

T.C.  
NIĞDE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANABİLİM DALI

**Fe BAZLI ALAŞIMLARIN YAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

ESRA YÜKSEL

MAYIS 2011



**T.C.  
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
FİZİK ANA BİLİM DALI**

**Fe BAZLI ALAŞIMLARIN YAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Esra YÜKSEL**

**Yüksek Lisans Tezi**

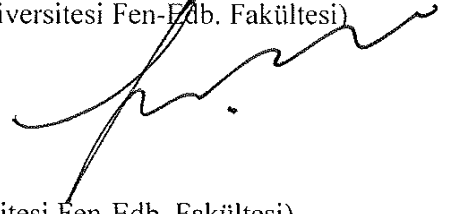
**Danışman**

**Yrd. Doç. Dr. Selva BÜYÜKAKKAŞ**

**Mayıs 2011**

Esra YÜKSEL tarafından Yrd. Doç. Dr. Selva BÜYÜKAKKAŞ danışmanlığında hazırlanan “Fe-Bazlı Alaşımların Yapısal ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Selçuk KERVAN (Nevşehir Üniversitesi Fen-Edb. Fakültesi)  
(Unvan, Adı Soyadı) (Kurumu)



Üye : Doç. Dr. Emin ÇADIRLI (Niğde Üniversitesi Fen-Edb. Fakültesi)  
(Unvan, Adı Soyadı) (Kurumu)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Selva BÜYÜKAKKAŞ (Niğde Üniversitesi Fen-Edb. Fakültesi)  
(Unvan, Adı Soyadı) (Kurumu)



ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından 31/05/2011 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun .... / .... / 20.... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

..... / ..... / 20....

Doç. Dr. Nurettin ACIR  
MÜDÜR

## ÖZET

### Fe BAZLI ALAŞIMLARIN YAPISAL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEL, Esra

Niğde Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Ana Bilim Dalı

Danışman : Yrd.Doç.Selva BÜYÜKAKKAŞ

Mayıs 2011

Bu çalışmada, demir-bazlı alaşımlarda yapısal ve mekanik özelliklerin belirlenmesi için 1200 °C sıcaklıkta ve 24 saat ısıtılma tabii tutularak değişik oranlarda silisyum katkılanmış Fe-%40 Ni örnekleri hazırlanmıştır. Hazırlanan örneklerin mekaniksel ve yapısal özellikleri zor-zorlanma, Vickers mikro sertlik ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) yöntemleri yardımıyla belirlenmiştir.

Vickers mikro sertlik ölçümleri Fe-Ni-Si alaşımlarının sertlik değerlerinin Si katkı oranlarının değişmesiyle değişmediği gözlenmiştir. Ancak, değişik oranlarda Si katkılı Fe-Ni-Si alaşımlarının sertlik değerlerinin Fe-Ni alaşımının sahip olduğu sertlik değerinden daha büyük olduğu gözlenmiştir.

Örneklerin zor-zorlama yöntemi ile yapılan ölçümleri Si katkılı alaşım örneklerinin mukavemetlerinin katkı oranı artarken azaldığı ve elastiklikleştikleri görülmüştür.

Diğer taraftan, Fe-Ni-Si örneklerinin optik mikroskopla alınan ölçümlerinden oda sıcaklığında austenite fazının ve austenite fazı içinde de ferrite-perlite fazlarının oluştuğu gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Vickers Mikro Sertlik, Zor-zorlanma, SEM, Austenite, Ferrite-Perlite, Mukavemet, Esneklik

## SUMMARY

### INVESTIGATION OF STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF Fe- BASED ALLOYS

YÜKSEL, Esra

Nigde University  
Graduate School of Natural Applied Sciences  
Department of Physics

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Selva BÜYÜKAKKAŞ

May 2011

In this study, Fe-40% Ni alloy samples doped with different ratios of silicon have been prepared by sintering at 1200 °C temperature and for 24 hours for the determination of their structural and mechanical properties. The mechanical and structural properties of these samples have been determined by means of stress-strain method, Vickers method and scanning electron microscope (SEM).

From Vickers micro-hardness measurements, it has been seen that the hardness values of the Fe-Ni-Si alloys are more or less the same while the doping ratio of Si is changing. Moreover, it has been observed that the hardness values of Fe-Ni-Si samples are greater than the hardness value of Fe-Ni alloys.

Measurements of the prepared samples carried out by stress-strain method have shown that the strength of the samples increases with the increasing ratio of Si doped in alloy and they become less elastic.

On the other hand, it has been observed from the optical microscope measurements of Fe-Ni-Si samples that both austenite and ferrite-perlite phases formed in grain boundaries at room temperature.

Keywords: Vickers Micro Hardness, Stress-Strain, SEM, Austenite, Ferrite-perlite, Strength, Elasticity

*Sevgili Anneme...*

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca bilgilerimi, deneyimlerini ve her şeyden önce arkadaşça yaklaşımını benden esirgemeyen değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Selva BÜYÜKAKKAŞ' a yürekten teşekkür ederim.

Bu tezin ait olduğu projeyi destekleyerek maddi katkılarda bulunan Bilimsel Araştırma Birimi(BAP)' ne (Proje No:FEB/2009-29) teşekkür ediyorum.

Ayrıca laboratuvar çalışmalarım esnasında gerek deneyimleri ve bilgileriyle gerekse değerli zamanlarını bana ayırdıklarından dolayı Niğde Üniversitesi'ndeki saygı değer hocalarım Prof. Dr. Refik Kayalı' ya, Doç. Dr. Emin ÇADIRLI' ya, Doç. Dr. Ahmet KILIÇ' a, Arş. Gör. Mevlüt ŞAHİN' e, ayrıca Kırıkkale Üniversitesi' deki çalışmalarımı yönlendiren saygı değer hocam Yrd. Doç. Dr. Erdem YAŞAR' a ve Niğde üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde bulunan saygı değer hocalarım Prof. Dr. Mahmut Dursun MAT' a, Doç. Dr. Fahrettin ÖZTÜRK' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Laboratuvarları' nda (KUBTAL), Niğde Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarları' nda ve Niğde Üniversitesi Fizik Bölümü Katıhal Fiziği-1 Laboratuvarları' nda çalışan değerli hocalarım ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bunların yanında güvenleriyle, destekleriyle ve her şeyden önemlisi koşulsuz sevgileriyle beni bugünlere getiren aileme, Gürcan ÇAMUR ve Müriyet KAŞIKÇI' ya teşekkür ederim.

Esra YÜKSEL  
NİĞDE

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iii
SUMMARY.....	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
FOTOĞRAF DİZİNİ.....	xi
KISALTMA VE SİMGELER.....	xii
BÖLÜM I. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM II. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
BÖLÜM III. TEORİ.....	10
3.1 Kristal Yapı Kusurları.....	10
3.1.1 Noktasal yapı kusurları.....	10
3.1.2 Çizgisel yapı kusurları.....	11
3.1.3 Yüzeysel yapı kusurları.....	12
3.1.4 Hacimsel yapı kusurları.....	13
3.2 Metallerin Mekanik Özellikleri.....	14
3.2.1 Zor-zorlanma.....	14
3.2.2 Vickers mikro sertlik yöntemi.....	15
3.3 Malzemelerin Yüzeysel Özellikleri.....	16
3.3.1 Taramalı elektron mikroskop (SEM).....	16
3.3.2 Optik mikroskop.....	18
3.4 Martensite ve Austenite Faz dönüşümleri.....	18
BÖLÜM IV. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	21
4.1 Materyal ve Metot.....	21
BÖLÜM V. ARAŞTIRMA VE BULGULAR.....	23
5.1 Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si Alaşımlarının Yapısal Özellikleri.....	23
5.1.1 Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarının optik mikroskop görüntüleri.....	23
5.1.2 Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarının taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri.....	28
5.2 Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si Alaşımlarının Mekanik Özellikleri.....	29

5.2.1 Vickers Mikro Sertlik Ölçümleri.....	29
5.2.2 Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımalarında zor-zorlanma ölçümleri.....	31
BÖLÜM VI. SONUÇ.....	38
KAYNAKLAR.....	40

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1 Fe-Ni-Si alaşım örneklerinde alaşım elementlerinin bileşim yüzdeleri .....	21
Çizelge 5.1 Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarının Vickers sertlik değerleri .....	25
Çizelge 5.2 Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarının zor-zorlanma deneyi sonrasında sertlikleri ölçümleri sonuçlarının çizelgesi.....	37

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 (a) Boş nokta kusuru, (b) Ara yer kusuru, (c) Yer alan atom kusuru, (d)Frenkel kusuru, (e) Schottky kusuru.....	11
Şekil 3.2 (a) Kenar dislokasyonları, (b) Vida dislokasyonları.....	12
Şekil 3.3 Tane sınırları yapı kusurları.....	12
Şekil 3.4 İstiflenme kusurunun oluşumunu gösteren şematik gösterim.....	13
Şekil 3.5 (a) Mükemmel bir kristal, (b) İkizlenme ve ikiz sınırları.....	13
Şekil 3.6 Vickers Mikro Sertlik deneyi temsili şekli.....	15
Şekil 3.7 Taramalı elektron mikroskop temsili şekli.....	17
Şekil 3.8 Austenite ve martensite fazı şematik gösterimi.....	20
Şekil 5.1 (a)Fe-%40Ni-%2Si alaşımında (b) Fe-%40Ni-%5 alaşımında deformasyon uygulanması sonucu oluşan zor-zorlanma eğrileri.....	32
Şekil 5.2 Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5 alaşımlarının zor-zorlanma grafiklerinin karşılaştırılması sonucu elde edilmiş karşılaştırmalı zor-zorlanma grafiği.....	33
Şekil 5.3 (a)Fe-%40Ni-%2Si alaşımında (b) Fe-%40Ni-%5 alaşımında deformasyon uygulanması sonucu oluşan yük- yerdeğiştirme eğrileri.....	34

## FOTOĞRAF DİZİNİ

Fotoğraf 3.1 Vickers Mikro Sertlik Deneyi Esnasında Malzeme Üzerinde Oluşan İzler.....	16
Fotoğraf 3.2 Optik Mikroskop Fotoğrafi .....	18
Fotoğraf 5.1 (a)Fe-%40Ni-%2Si alaşımında (b)Fe-%40Ni-%5Si alaşımında oda sıcaklığında bulunan austenite yapı ve tane sınırları.....	25
Fotoğraf 5.2 (a)Fe-%40Ni-%2Si alaşımında (b)Fe-%40Ni-%5Si alaşımında bulunan austenite yapı ve tane sınırları.....	26
Fotoğraf 5.3 (a)Fe-%40Ni-%2Si alaşımında (b)Fe-%40Ni-%5Si alaşımında bulunan austenite yapı ve tane sınırları.....	27
Fotoğraf 5.4 (a)Fe-40Ni-%2Si alaşımında ve (b)Fe-%40Ni-%5Si alaşımında oda sıcaklığında austenite yapının ve tane sınırlarının SEM görüntüleri.....	28
Fotoğraf 5.5 Vickers Mikro Sertlik deneyi sonrası numunede oluşan iz.....	30
Fotoğraf 5.6 Vickers Mikro Sertlik deneyi sonrası oluşan izler ve tane sınırları.....	30
Fotoğraf 5.7 Zor-Zorlanma deneyi yapılışı.....	31
Fotoğraf 5.8 Fe-%40Ni-%2Si alaşımında zor-zorlanma deneyi sonrası oluşan (a) austenite yapının (b) austenite yapı içerisinde meydana gelmiş ferrite yapının resimleri.....	35
Fotoğraf 5.9 Fe-%40Ni-%5Si alaşımında zor-zorlanma deneyi sonrası oluşan (a) austenite yapının (b) austenite yapı içerisinde meydana gelmiş ferrite yapının resimleri.....	36

## KISALTMA VE SİMGELER

### KISALTMA

Bcc	Basit kübik yapı
Fcc	Yüzey merkezli kübik yapı
Hcp	Hacim merkezli kübik yapı
TEM	Geçirmeli elektron mikroskop
SEM	Taramalı elektron mikroskop

### SİMGE

$M_s$	Martensite başlama sıcaklığı
$M_f$	Martensite bitiş sıcaklığı
$A_s$	Austenite başlama sıcaklığı
$A_f$	Austenite bitiş sıcaklığı
$\gamma$	Yüz merkezli kübik yapı
$\alpha$	Hacim merkezli tetragonal yapı
$\alpha'$	Hacim merkezli kübik yapı
$T_0$	Austenite ve martensite fazların dengede bulunduğu sıcaklık

# BÖLÜM I

## GİRİŞ

İlk insandan beri demir işlenerek insanlığın kullanımı için uygun hale getirildi. Bu süreç esnasında demir ısıtılmış, şekil verilmiş ve işlenmiştir. Böylece bu madenden nasıl yararlanılabileceği öğrenilmiştir. 19.yy. sonlarında demir üzerinde yapılan laboratuvar çalışmaları ile bu madenin işlenmesi sırasında kristal yapısında önemli ölçüde değişikliklerin olduğu ortaya konulmuştur. Modern teknolojinin gelişmesiyle uygulanan fiziksel etkenlerin yardımı ile yumuşak demirin neden sertleştiği ve metal alaşımlardaki bu sertliğin malzemenin içindeki fazlardan ileri geldiği büyük ölçüde anlaşılmıştır [1]. Demir ve demir bazlı alaşımların kristal yapısındaki değişiklikler ilk kez 1924'te Bain tarafından saptanmıştır. Ayrıca bu alaşımlar içerisindeki faz dönüşümleri ise ilk kez Alman bilim adamı Martens tarafından bulunmuştur. Demir bazlı alaşımlarda görülen martensite ve austenite faz dönüşümleri son yıllarda akademik olarak üzerinde yoğunlaşılacak konulardan biridir. Fe bazlı alaşımların incelenmesi tarih boyunca oldukça ilginç sonuçlara sahne olmuştur. Kuşkusuz birçok alanda kullanılan bu elementin bünyesinde sakladığı daha ne gibi sırları vardır?

İşte bu çalışmada, bu sırlardan bir kaçına ışık tutmaya çalışılmıştır. Bu incelemeyi yaparken: Fe-Ni alaşımına %2 Si ve %5 Si eklemek suretiyle elde edilen alaşımlar 1200°C sıcaklığında 24 saat ısıtılma işlemi uygulandıktan sonra yapısal ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu iki alaşım hem kendi arasında hem de daha önce yapılmış olan çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Fe bazlı alaşımlara katılan elementler, kristal yapıda olduğu kadar alaşımların manyetik, mekanik, elektriksel ve termal özellikleri üzerinde oldukça büyük değişikliklere neden olmaktadır. Ni elementinin eklenmesiyle elde edilen ve büzülme, genleşme katsayıları en küçük olan alaşımlarda ısıtılma işlemi bağli olarak austenite yapıda meydana gelen fiziksel değişimler oldukça ilginç sonuçlar doğurmaktadır [1]. Ayrıca alaşıma Si eklenmesi, alaşımın dayanımını arttırdığından ve yığılım hatası (stacking fault) enerjisini azalttığından dolayı alaşımın şekil hafıza özelliği göstermesinde önemlidir [2].

Demir bazlı alaşımların bazı tipleri Şekil hafıza etkisi gösterirler. Fe-Ni ve Fe-Mn-Si bazlı Şekil hafızalı alaşımlar teknolojik uygulamalar için tercih edilir. Çünkü bu alaşımlar Fe-Pt ya da Fe-Pd bazlı alaşımlardan daha düşük maliyetlidir. Fe-Mn-Si ve Fe-Ni bazlı Şekil hafızalı alaşımların bu iki sisteminin arasında; Fe-Ni bazlı alaşımlar potansiyel olarak daha caziptir. Çünkü bu alaşımlarda soğuk Şekil verebilme kabiliyeti yüksek ve bcc martensite yapı ferromanyetiktir [3].

Şekil hafıza olayı kısaca: Belirli bir Őekle sahip alaşımın düşük sıcaklıklarda deformasyona uğratıldıktan sonra, dönüşüm sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa ısıtılması sonucu alaşımın eski Őekline dönmesi olarak bilinmektedir. Ti-Ni bazlı alaşımlar çok stn Şekil hafıza özelliği göstermektedir. Ancak maliyetinin yüksek olması, bu konuda çalıŐmaların kısıtlı kalmasına neden olmaktadır. Bazı Fe bazlı alaşımların Şekil hafıza özelliği göstermesi ve maliyetinin düşük olması, martensitik faz dönüşümleri gösteren Fe bazlı alaşımlarda çalıŐmaların yoĐunlaŐmasına sebep olmuştur[2]. Alaşımların Şekil hafıza etkisinin geliŐimi birçok çalışmanın ana amacı olmuştur. Bunun yanında kusursuz Şekil hafıza etkisi elde edilmesi için alaşım elementlerinin bileşimi ve uygun sıcaklık arasındaki iliŐki tespit edilmektedir. Son zamanlarda bu alaşımlara Mn, Cr, Si ve Ni elementlerinin eklenmesi ile ortaya çıkan korozyon direnci ve Şekil hafıza etkisinin geliŐmesi ele alınmaktadır [4].

## BÖLÜM II

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Zaman içerisinde demir bazlı alaşımlar yapısal ve mekanik olarak incelenmiş ve bu incelemeler esnasında ilgi çekici sonuçlara ulaşılmıştır. Burada Fe ve Fe bazlı alaşımlarda yapılan bazı çalışmalarını özetlersek:

Özellikle Fe-Ni bazlı alaşımların belirli manyetik özelliklere sahip olması, şekil hafıza özelliği göstermesi, soğuk işlenebilmesi, yüksek elektriksel dirence sahip olması ve maliyetinin ucuz olması teknolojik olarak tercih edilme sebebidir. Demir bazlı alaşımlarda meydana gelen bcc martensite yapı çubuk, kelebek, iğ ve ince plaka olmak üzere dört farklı şekilde gözlemlenmektedir. Bu alaşımların martensite morfolojisi austenitleştirme sıcaklığına ve zamanına, austenitleştirme matrisinin deformasyonuna, alaşımların kimyasal bileşimine ve soğuma oranına bağlıdır. Fe-%24,5Ni-%4,5Si alaşımında 1100°C’ de gerçekleştirilen Güngüneş ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada; TEM ve SEM yöntemi kullanılarak martensite yapının oluşumu üzerine austenitleştirme zamanının etkisi incelenmiştir. Termal olarak uyarılmış martensite ve austenite fazları arasındaki yönelim ilişkisi Kurdjumov-Sachs tipi olarak bulunmuştur. Ayrıca ikizlenme yapısıyla kelebek tipi plaka martensitelerin oluşumu sıcaklıkla uyarılma sonucunda gözlemlenmiştir. Bazı sıcaklık uygulamalarıyla, bazı alaşımlarda farklı martensite morfolojileri kelebek, dönüşüm ikizlenmesi ve plaka şeklinde görülebilmektedir. Martensite yapının morfolojisi, austenitleştirme zamanının artması ile plaka, iğ, çubuk martensite şeklinde değişmektedir. Bu durumun oluşması için sabit austenitezasyon sıcaklığına ve austenitezasyon zamanına ihtiyaç vardır [5].

Cao ve çalışma arkadaşları Fe-%24Ni-%xC alaşımında C miktarını değiştirmek suretiyle dört tip martensitik dönüşüm elde etmişlerdir. Martensite dönüşümün morfolojisi C miktarının artmasıyla çubuk, çubuk + kelebek, iğ + ince plaka tipi martensite şeklinde değişmektedir. Fe-%24Ni-%0,8C’da iğ martensite yapısını elektrokimyasal dağlama metodu kullanılarak ortaya çıkarılmıştır [6].

Yine Fe-Ni-Si alaşımların Fe bakımından zengin kısmında yapılan çalışmada 800-1200°C arasında oluşan  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\sigma$  ve sıvı fazları incelenmiş; Ni ve Si miktarının değişimini ile bu fazlar arasındaki geçiş bölgelerinin genişliklerinin değiştiği gözlenmiştir [7].

Fe-%24-30Ni-%5-8Si alaşımlarının Şekil hafıza özelliği gösterdiği çalışmada; 400°C sıcaklıkta ve farklı srelerde yaşlandırma etkisi sonucu; alaşımın  $M_s$  sıcaklığının azaldığı ve sertliğinin arttığı gösterilmiş, bunun da austenite yapıda oluşan okelti fazdan kaynaklandığı belirtilmiştir. Yaşlandırma sonucu martensite morfolojisinin iğ tipinden ince plaka tipine dönüştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca ince-plaka martensite kısmi Şekil hafıza etkisi göstermesi açısından önemlidir. Şekil hafızanın derecesi deformasyon sıcaklığının azalmasıyla basamak basamak artmaktadır [3].

Patterson ve Wayman, Fe-%30Ni alaşımında Ni oranı değiştikçe morfolojinin değiştiğini ve meydana gelen ikizlenme bölgelerinin genişlediğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca ikizlenmemiş bölgelerde meydana gelen dislokasyonların kayma doğrultularına paralel olduğunu, tamamen ikizlenmiş martensite plakaların daha düşük dönüşüm sıcaklıklarında oluştuğunu ortaya koymuşlardır [8].

Güngüneş ve arkadaşlarının Fe-%24,5Ni-%4,5Si alaşımı üzerine yaptıkları çalışmada, 1100°C'de 24-45 saat ve 1250°C'de 45 saatlik ısıl işlemden sonra bir kısmı oda sıcaklığına yavaş, bir kısmı ise sıvı azot içerisine atılarak hızlı soğutulmuştur. Bu numuneler üzerinde yapılan incelemelerde soğuma hızının artmasıyla martensite oluşumunun arttığı gözlemlenmiştir [9].

Fe-%24Ni-%0.45C alaşımında dönüşüm sıcaklığı civarında ( $M_s = -50^\circ\text{C}$ ) kısmen ikizlenmiş iğ tipi;  $-95^\circ\text{C}$  altında tamamen ikizlenmiş ince plaka tipi martensitelerin oluştuğu bulunmuştur. Ayrıca dislokasyonların martensite kristallerin kayma doğrultusuna paralel olduğu gözlenmiştir [10].

N. Van Caenegem ve arkadaşları ise Fe-Mn-Si bazlı Şekil hafızalı alaşım üzerine; zor uygulamanın alaşımlarda Şekil hafıza etkisi ile ilişkisi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada ise Fe-%29Mn-%7Si ve Fe-%29Mn-%7Si-%5Cr ikili bileşim alaşımlarının Şekil hafıza etkisi incelenmiştir. X-ışını kırınım metodu ve optik

mikroskop kullanılarak martensite dönüşümü ve oluşan yapılar gözlenmiştir. Dönüşüm sıcaklıkları ile numuneler deforme olmuştur [11].

Fe-%24Ni-%4Mo alaşımı üzerine yapılan çalışmada, atermal ve izotermal tip dönüşümlerin her ikisinin birden meydana gelebildiği ortaya çıkmıştır. İzotermal dönüşümün başlama sıcaklığının -40 °C ile -160 °C aralığında olduğu ve atermal  $M_s$  sıcaklığının -80 °C olduğu bulunmuştur [12].

Fe- %31Ni içeren alaşımda iğ tipli martensite oluştuğu ve iğ tipi martensite yapının da kısmen oluşmuş ikizlenmelerden kaynaklandığı belirtilmiştir [13].

Shibata ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; Fe-%33Ni ikili alaşımında numuneler 1473K' de austeniteleştirilmiş ve su içerisinde hızlı soğutulmuştur. Bu numunelerin oda sıcaklığında tamamen austenite yapıda olduğu gözlemlenmiştir. İğ tipi martensite yapının gözlemlenebilmesi için numuneler martensite başlama sıcaklığının hemen altına soğutulmuştur [14].

Fumihito Nishimura ve arkadaşlarının yaptığı bir başka çalışmada ise Fe bazlı şekil hafızalı alaşımda Zor-zorlanma-sıcaklık histerisizi ve martensite başlama çizgisi incelenmiştir. Fe-9%Cr-5%Ni-14%Mn-6%Si polikristal şekil hafızalı alaşımda tek eksenli zor-zorlanma-sıcaklık histerik davranışı ardışık çekme-basma mekanik yükleme ve termal yükleme altında, özellikle dönüşüm hatları ile ilgili, zor-sıcaklık düzlemi üzerinde martensitenin başlama çizgisi ve austenitenin başlama/bitiş çizgisi incelenmiştir [15].

Kakeshita ve arkadaşları tarafından Fe-%31.4Ni-%0.5Mn alaşımında martensitik dönüşümün atermal tipli ve dönüşüm sıcaklığının -73°C; Fe-%24.9Ni-%3.9Mn alaşımında ise dönüşümün izotermal tipli ve dönüşüm sıcaklığının -120°C olduğu bulunmuştur [16].

K. Tanaka, F. Nishimura ve H. Tobushi'nin yaptığı bir diğer çalışmada ise; Fe bazlı şekil hafızalı alaşımda termomekanik süreç altında dönüşüm koşulları ve alt döngüler incelenmiştir. Martensite/austenite başlama ve bitiş şartları, zor-sıcaklık düzleminde

dönüşüm sıcaklığı, mekanik veya termal süreç altında Fe-Cr-Ni-Mn-Si polikristal şekil hafızalı alaşımda belirlenmiştir. Dönüşüm çizgileri; bazı eğrilerinin neredeyse lineer olduğunu gösterilmiştir. Hem martensite yapının başladığı zor hem de austenite yapının başladığı sıcaklık önyükleme ve kalıntı gerilme miktarıyla dönüşümlerin ölçütüne bağlıdır [17].

Y. Watanabe ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; Fe-Mn-Si şekil hafızalı alaşımında şekil hafıza etkisi; boy değişimi ve elektriksel özdirenç ölçüleriyle incelenmiştir. 30 K civarına soğutulmak suretiyle büyük iyileşme meydana geldiği bulunmuştur. Aynı zamanda ters dönüşümün başlangıç sıcaklığı ve yükselen bitiş sıcaklığı düşürülmüştür [18].

Fe-%30Ni-%3,6Mo alaşımı 1100<sup>0</sup>C'de 12 saat bekletildikten sonra oda sıcaklığına soğutulularak SEM ve TEM yardımıyla martensite fazının yapısal özellikleri incelenmiştir. SEM ve TEM gözlemleri; FeNiMn ve FeNiCr alaşımlarında olduğu gibi FeNiMo alaşımında da hem izotermal hem de atermal tip martensite oluşabileceğini ortaya çıkarmıştır. Yapısal açıdan bakıldığında, ısı ile uyarılmış martensite Fe-%30Ni-%3,6Mo alaşımında ince plaka şeklinde gözlemlenmiştir. Yani izotermal martensite plakaların oluşumunun austenite fazındaki dislokasyonları hafiflettiği tespit edilmiştir [19].

Zhang Jihua ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, üç farklı bileşime sahip Fe-Mn-Si alaşımlarının X ışını difraksiyon karakter analizleri ile alaşımların öğelerinin konsantrasyonu tanımlanmıştır. Sabit olmayan bileşimli Fe-Mn-Si şekil hafızalı alaşımlarda fcc( $\gamma$ ) $\leftrightarrow$ hcp( $\epsilon$ ) martensitik dönüşümünün yapısı incelenmiştir [20].

Fe-Ni ikili alaşımlara Mn ve Cr eklemek martensitik dönüşümü atermalden izotermale değiştirmektedir. Atermal martensitik dönüşümler yalnızca sıcaklığa bağlıken izotermal martensitik dönüşümler hem sıcaklığa hem de zamana bağlıdır. Ayrıca bu alaşıma Mo eklenmesi ise bcc yapının değişmesine neden olmaktadır. Fe-%30Ni-%5Cu alaşımın austenite fazdan martensite faza dönüşümü -122<sup>0</sup>C'nin altında gerçekleşmiştir. Buna rağmen -122<sup>0</sup>C'nin altında 5 dk'dan daha az bekletildiğinde dönüşümün gerçekleşmediği ve ayrıca martensitin morfolojisinin ince plaka şeklinde olduğu ortaya çıkmıştır [21].

S. Cotes ve arkadaşlarının hazırladığı çalışmanın birinci kısmında Fe-Mn-Si sistemde fcc-hcp martensitik dönüşümü ve fcc/hcp ilişkili faz sabitinin termodinamik ve deneysel çalışmasının bir parçasını sunmuşlardır. %15-35 Mn ve %6,5'un üzerinde Si ile hazırlanmış Fe-Mn-Si alaşımlar fcc-hcp ( $M_s$ ) ve hcp-fcc ( $A_s$ ) sıcaklıkları dilatometre yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu yeni bilgilerle,  $M_s$  ve  $A_s$  sıcaklıklarının bileşim bağımlılıkları tespit edilmiştir [22]. Bu çalışmanın ikinci kısmında ise; Fe-Mn-Si alaşımlarında fcc / hcp martensite dönüşümü: itici güçlerin termodinamik modellenmesi ile  $M_s$  ve  $A_s$  sıcaklıklarını incelemiştir [23].

Fe-Ni-Co alaşımına Mo eklenmesi bu alaşım sisteminde iğ tipi martensite dönüşümü gözlenmesine neden olmaktadır [24].

F. Ciura ve arkadaşları Fe-%30Ni alaşımı üzerine yaptıkları çalışmada bu alaşımın niceleyici mikro yapı karakterizasyonunu incelemiştir. Fe-30Ni alaşımında hem plastik deformasyon hem de su ile soğutma sonucu meydana gelen martensitik dönüşümler incelenmiştir. Plastik deformasyon işlemi esnasında oluşan martensite yapı termomekanik işlem uygulanmasına bağlı olarak su verme ve bileşik benzeri formlar sırasında elde edilen bir yapının farklı bir morfolojisini sergilemiştir. Termomekanik işlemin çeşitleri hacim kesiti ve farklı martensite morfolojisi elde etmelerini sağlamıştır. Mikro yapısal analizler geçirmeli elektron mikroskop ve ışık mikroskobu vasıtasıyla sağlanmıştır. Martensite hacim kesiti üzerine sıcaklığın etkisinin zorlanmanın etkisinden daha belirgin olduğu bulunmuştur [25].

Georgiyena ve Nikitina Fe-%24Ni-%5Mo alaşımında martensitik dönüşümlerin oda sıcaklığında iki farklı yolla meydana geldiğini gözlemlemiştir. Birincisi (-50°C)-(-150°C) civarında soğutma oranına karşılık gelen ve bazı demir bazlı alaşımlarda örneğin Fe-Ni-Mn alaşımlarda izotermal şartlar altında yer alabilen dönüşümdür. Fakat ikinci de -185°C'de aniden atermal dönüşüm oluşmuştur [26].

Yaşar ve arkadaşları Fe-%30Ni-%xMo alaşımlarda atermal tip martensite dönüşümü TEM ile gözlemlemiştir. Martensite'in morfolojisinin Mo miktarının artmasıyla ( $x=0,8$ ) çubuk tipinden ( $x=1,8$  ve  $2,6$ ) iç ikizlenmelere sahip martensite kristale doğru değiştiği bulunmuştur [27].

Fe-Ni-Mo bazlı alaşım üzerine yapılan bir başka çalışmada farklı Mo oranlarına sahip alaşımlarda TEM ile martensite oluşumları ve atermal martensitenin morfolojik ve kristalografik özellikleri incelenmiştir. Kısmen ikizlenmiş plakaların iki kısımda büyüdüğü: birinci kısmın ikizlenmeyi, ikinci kısmın ise açıkça kaymayı içerdiği görülmüştür. Martensite morfolojisinin Mo miktarının artmasıyla değiştiği tespit edilmiştir [28].

T.N.Durlu çalışmasında, austenite fzında bulunan Fe-%32,4Ni alaşımına %20 civarında bir zor uygulamış ve habit düzleminin büyük bir saçılma gösterdiği tespit edilmiştir. Ana austenite fzın %4 civarında bir deformasyonu ile kelebek tipi martensite dönüşüm ortaya çıkarken, %9-10 deformasyonu sonrasında kelebek tipi martensite gözlenmemiştir [29].

Fe-%20Ni-%0,8C alaşımında deformasyon sonucu oluşan martensite yapı içerisinde ikizlenmelerin oluştuğu gözlenmiştir. Ayrıca yüksek C miktarına sahip martensite yapı ikizlenme ile oluşmuştur [30].

Fe-Ni-Co alaşımlarda ısıyla oluşmuş martensitenin morfolojisi Ni oranının artmasıyla çubuk şekline iğ şekline eğilim göstermiştir. Benzer şekilde Co oranı arttıa aynı özellikler gözlenmiştir [31].

Demirce zengin Fe-Si alaşımına Ni' in eklenmesiyle fcc faz sabit kalmakla birlikte, bcc+fcc ikili faz bölgesinin genişliği artmıştır. Bu genişlik %20Ni bileşimine sahip alaşım için 1000°C civarında belirgin bir şekilde değişmiştir [32].

Demir bazlı alaşımlarda oluşan kısmen ikizlenmiş plaka martensitelerin tipik özelliklerinden birisi midrib denilen yaprak orta damarına benzeyen yapının gözlenmesidir. Fe-%24Ni-%0,45C alaşımı üzerine yapılan çalışmada iğ tipi martensitelerde midrib yapı oluşmuştur [33].

Fe-%29Ni-%2Mn alaşımında yapılan çalışmada numuneler 1100°C' ye kadar ısıtılmış sonra oda sıcaklığına soğutulmuştur. Daha sonra bu numunelerin bir kısmı su içerisinde bir kısmı sıvı azot ortamında soğutulmuştur. Ayrıca diğer bir kısım numunelere ise deformasyon uygulanmıştır. Böylece hem deformasyonun hem de sıcaklığın martensite

yapının oluşumu üzerine etkisi gözlemlenmiştir. Termal olarak oluşan martensite kısmen ikizlenmiş iğ tipi martensite yapıdan  $\epsilon$  martensite yapıya morfolojik bir değişim göstermiştir. Diğer taraftan, plaka morfolojisi iç ikizlenmeler göstermesine rağmen, çubuk morfolojisi hiç böyle ikizlenme göstermemiştir [34].

Farklı Fe bazlı alaşımlarda martensitenin oluşumu üzerine yapılan çalışmalarda martensitenin yapısı ve oluşum mekanizması dönüşüm sıcaklığı, alaşım elementlerinin bileşimi, martensite ve austenite fazında materyalin dayanımı, dönüşüm boyunca yapının soğuma oranı ile doğrudan değiştirilebilmektedir. Fe-%40Ni-%0,36C alaşımı vakum ortamında 900°C-1350°C arasında çeşitli sıcaklıklarda ısıtılmış ve sıvı azot-metanol banyosuyla soğutulup dilometre yardımıyla martensitenin başlama sıcaklığı yaklaşık -50°C olarak bulunmuştur [35].

Kajiwara; austenite ana yapıya uygulanan plastik deformasyonun belirli fiziksel özelliklere sahip alaşımların iç yapısını ve kinetiğini değiştirdiğini ortaya çıkarmıştır [36].

Büyükakkaş ve arkadaşları Fe-%40Ni-%2Mn alaşımında 800°C ve 1150°C ısıtım sıcaklıklarında, farklı ısıtım sürelerinde alaşımın morfolojisini incelemiştir. Yapının 1150°C'de 12 saat ısıtım sonrasında tamamen austenite yapıda olduğunu rapor etmişlerdir. Numunelerin bazıları ısıtım sıcaklığından suya bazıları da sıvı azot içerisine atılarak hızlı soğutulmuş; ne  $\epsilon$  ne de  $\alpha$  martensite bu numunelerde gözlemlenmemiştir [37].

Büyükakkaş ve arkadaşlarının diğer çalışmasında; incelenen alaşımın morfolojisi farklı ısıtım şartı altında taramalı elektron mikroskop tekniğiyle incelenmiştir. Farklı ısıtım süreleri ve sıcaklıklarının incelenen alaşımın manyetik ve morfolojik yapısını değiştirdiği gözlemlenmiştir [38].

## BÖLÜM III

### TEORİ

Malzemelerin içyapısı atomlar arası bağ kuvvetleri etkisinde atomların diziliş biçimine bağlıdır. Atomların dizilişi düzenli ise kristal yapı, düzensiz ve rastgele ise amorf yapı oluşur [39]. Kristal yapıda valans bağları her atom için belli sayı ve açıda komşu atomları bir araya getirdiğinden, moleküllerde bir yapı uygunluğu vardır [40]. Bu bölümde kristal yapılar, kristal yapı kusurlarının malzemenin özellikleri üzerine etkisi malzemelerin mekanik ve yapısal özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

#### 3.1 Kristal Yapı Kusurları

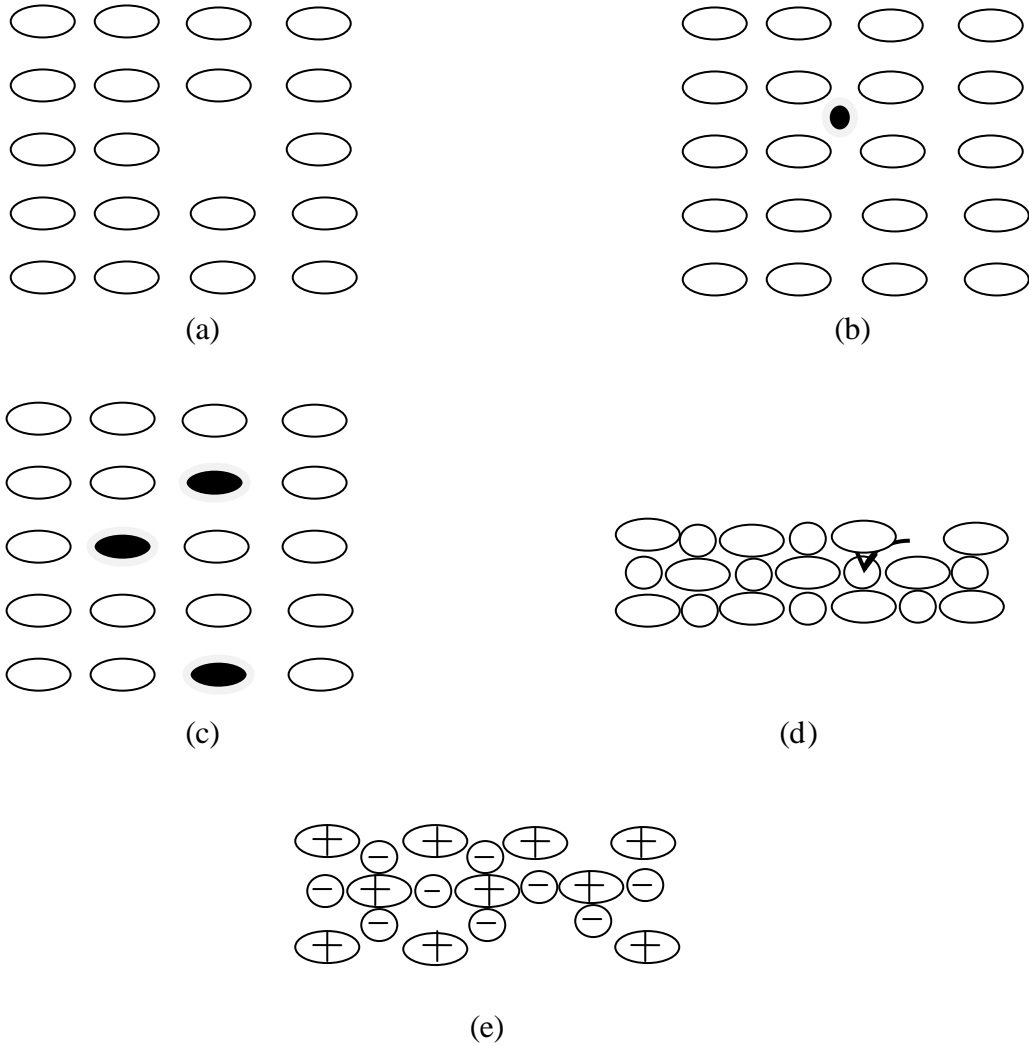
Yaklaşık olarak bütün metaller kristal (düzenli) halde bulunurlar. Ancak bir kristal yapıyı oluşturan atomların hiçbir zaman durgun halde olmadıkları unutulmamalıdır. Atomlar bir kristalin içerisinde bulunmaları beklenen noktanın etrafında sıcaklığa bağlı olarak titreşim hareketi yaparlar. Atomlar sabit noktalarda ve birbirlerine göre belirli uzaklıkta olmazlar. Gerçek bir kristaldeki atomların düzeni, tanımlandığı ideal şekilden çeşitli şekillerde ayrılabilir ve bu durum kristal yapı kusurları olarak adlandırılır [41].

Kristallerin içinde değişik boyutta yabancı atomlar bulunabilir, bazı kafes köşeleri boş olabilir, bazı atomlar yerinden kaymış ve bazı kristal düzlemleri yarım olabilir. Bunlara ilaveten cisim tek yerine çok kristalden oluşabilir. Tüm bu etkenler kusurlu yapıları meydana getirir [39]. Kristal yapı kusurlarından dört ana başlıkta kısaca bahsedebiliriz.

##### 3.1.1 Noktasal yapı kusurları

Noktasal yapı kusurları; atomun bulunması gereken yerde bulunmamasından kaynaklanan boş kafes noktası (Şekil 3.1.a), yarıçapı çok küçük olan atomların ana metalin atomları arasındaki konumlara girmesiyle oluşan ara yer kusuru (Şekil 3.1.b), katı çözeltilisi içerisinde çözünen elementin atomlarının çözen elementin atomlarının yerini almasıyla meydana gelen yer alan atom kusuru (Şekil 3.1.c), bir iyonun normal kafes konumundan bir ara yer konumuna atılması ile radyasyona maruz kalan elementlerde görülen Frenkel kusuru (Şekil 3.1.d) ve iyonik bağla bağlanan

malzemelerde boş nokta çifti olarak görülen Schottky kusuru (Şekil 3.1.e) olarak görülebilir.



Şekil 3.1 (a) Boş nokta kusuru, (b) Ara yer kusuru, (c) Yer alan atom kusuru, (d)Frenkel kusuru, (e) Schottky kusuru

### 3.1.2 Çizgisel yapı kusurları

Çizgi biçiminde olan bu kusurlara örnek olarak atom eksilmesiyle oluşan kenar (3.2.a) ve atom fazlaşmasıyla oluşan vida dislokasyonlarını (3.2.b) örnek gösterebiliriz. Dislokasyonlar, bir kristalin mükemmel iki bölümü arasında yapı düzeni bozulmuş bir bölgesi anlamına gelir ve kristalin kaymış bölgesi ile kaymamış bölgesi arasındaki çizgisel hata olarak tanımlanabilir.

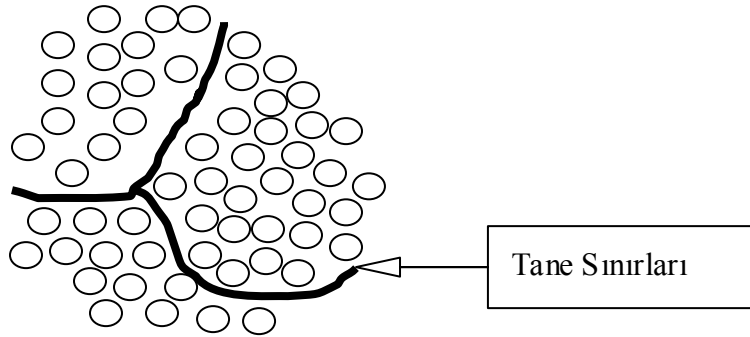


Şekil 3.2 (a) Kenar dislokasyonları, (b) Vida dislokasyonları

### 3.1.3 Yüzeysel yapı kusurları

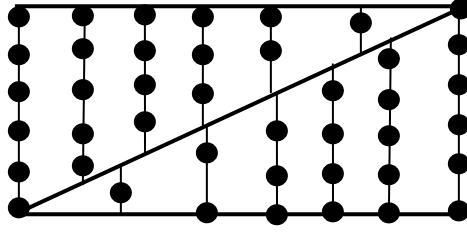
Yüzeysel kusurlar bir malzemeyi aynı kafes yapısına sahip ancak farklı doğrultularda yönelmiş değişik bölgelere ayıran yüzeylerden oluşur. Bu yüzeyler kesit üzerinde sınır biçiminde gözlenmektedir. Bunlara en belirgin örnek tane sınırları, istiflenme kusurları ve ikiz sınırları verilebilir.

Tane sınırları yapı kusuru (Şekil 3.3) tane sınırlarını oluşturan yüzey bölgelerinde yer alan atomlar düzgün olarak sıralanmadıklarında ortaya çıkarlar.



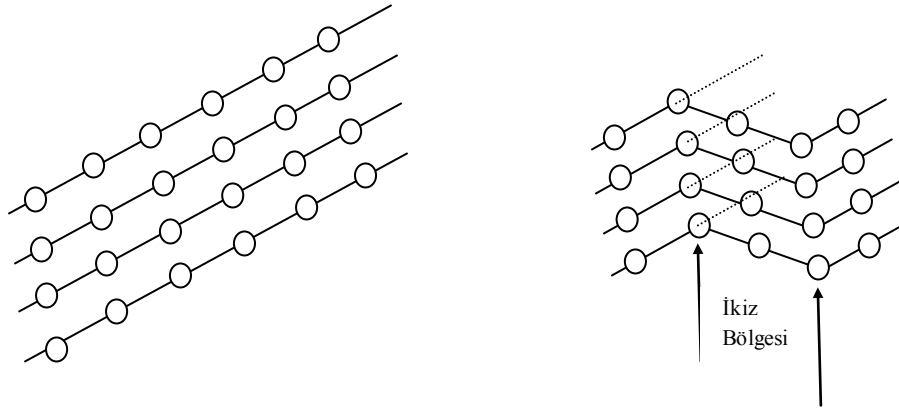
Şekil 3.3 Tane sınırları yapı kusurları

İstiflenme yapı kusuru (Şekil 3.4) yüzey merkezli kübik yapılarda meydana gelir ve sıkı düzenli düzlemlerin diziliş sırasını değiştirir.



Şekil 3.4 İstiflenme kusurunun oluşumunu gösteren şematik gösterim

İkiz sınırı (Şekil 3.5.b), kristal kafes yapısındaki atom düzlemlerinin simetrik olarak farklı doğrultularda yönlenmeleri sonucunda birbirinin ayna görüntüsü şeklinde oluşan iki bölge arasındaki düzlem olarak tanımlanır. İkiz sınırı boyunca etki eden bir kayma kuvveti atomların yerini değiştirerek ikizlenmeye neden olur. İkizlenme bazı metallerin plastik deformasyonu ya da ısıtılma sırasında meydana gelir.



Şekil 3.5 (a) Mükemmel bir kristal, (b) İkizlenme ve ikiz sınırları

### 3.1.4 Hacimsel yapı kusurları

Kristal kusurlarına girmemekle birlikte malzemelerde yaygın olarak görülen kusurların bir türüdür. Genellikle malzemelerin üretimi ve şekillendirilmesi esnasında oluşan metalik olmayan kalıntılar ve döküm, dövme, biçimlendirme, kaynak kusurlarıdır [42].

## 3.2 Metallerin Mekanik Özellikleri

Bir malzemenin uygulanan kuvvetlere karşı gösterdiği tepki o malzemenin mekanik davranışdır. Bu davranışlar değişik tür zorlamalar altında oluşan gerilme ve şekil değiştirmeleri ölçerek ve gözleyerek saptanır. Bir malzemenin mekanik özellikleri incelenirken ortam sürekli ve homojen kabul edilmektedir. Dış kuvvetlerin denge durumunda malzeme içerisinde oluşturduğu iç kuvvetlerin büyüklüğü denge kuralları yardımı ile bulunur. Davranışlar incelenirken parça boyutlarından soyutlamak için kuvvet yerine kuvvet şiddeti anlamına gelen gerilme, boyutlarda oluşan değişimler yerine şekil değiştirme oranı göz önüne alınır. Gerilme, birim alana etkiyen kuvvet; şekil değiştirme oranı da birim boydaki değişimdir. Cisimlerin düşük zorlamalar altında şekil değiştirmeleri elastik olur yani tersinirdir. Ancak cisimlerin dış zorlanmaları elastiklik sınırlarını aşarsa şekil değişikliği kalıcı olur yani plastik deformasyona uğrar. Dene sonuçları uygulanan gerilme ile onun etkisinde oluşan şekil değiştirme arasındaki bağlantıya indirgenir. Deneyle elde edilen gerilme-şekil değiştirme oranı eğrileri malzemelerin mekanik davranışları ile ilgili çok yararlı bilgiler sağlarlar [39]. Malzemelerin mekanik özelliklerinden bazıları süneklik, sertlik ve yorulma dayanıklılığıdır. Bu tez çalışmasında zor-zorlanma ve Vickers sertlik yöntemi uygulayarak mekanik özellikleri incelendiğinden dolayı bu konularla ilgili bilgi aktarılmaktadır.

### 3.2.1 Zor-zorlanma

Plastik deformasyonun numunelerin mekanik özellikleri üzerinde nasıl bir etkisi olduğunu bulmak için zor-zorlanma deneyleri yapılır. Sıkıştırma ve çekme şeklinde kuvvet uygulanarak da yapılabilir. Çekme deneyi; malzemelerin sabit sıcaklıkta, tek eksen ve belirli bir hızla koparılmaya kadar çekilmesi ile sağlanan, sıkıştırma deneyi ise malzemeye belirli bir eksen ve iki tarafından kuvvet uygulamak suretiyle sıkıştırılarak; esneklik modülü, esneklik sınır, akma gerilmesi, çekme dayanımı gibi özellikleri elde ettiğimiz bir deneştir.

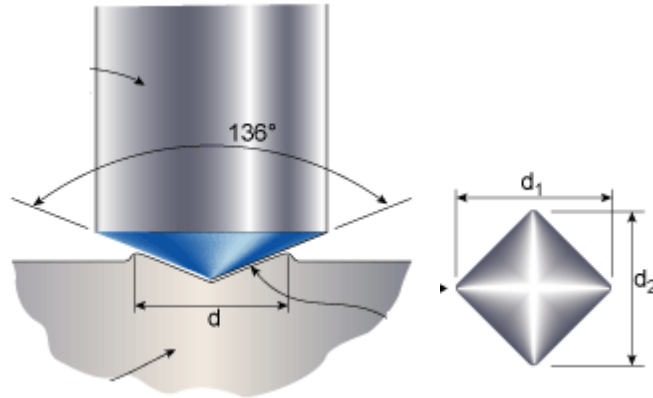
### 3.2.2 Vickers mikro sertlik yöntemi

Bu yöntemde batıcı uç piramit şeklinde olup elmastan yapılmıştır. Bu deney belirli bir sürede belirli bir yük altında deforme olmayan bir küre veya koninin metal içine batma derinliğinin ölçülmesiyle yapılır. Vickers deneyi mikro sertlik ölçümünde de kullanılır. Bu yöntemle en yumuşak malzemeden en sert malzemeye kadar geniş bir aralıkta sertlik ölçümü yapılabilir. Uygulama süresi genelde 10-15 saniyedir. Vickers sertliğinin avantajı, oldukça doğru okumalar yapması; tüm metal ve işlem görmüş yüzeyler için sadece bir tip batıcı ucun kullanılmasıdır. Belirli bir yükte malzeme yüzeyine batırılan batıcı uç şekilde de görüldüğü gibi bir eş kenar dörtgen oluşturur. Eşkenar dörtgenin iki köşegeninin ortalaması

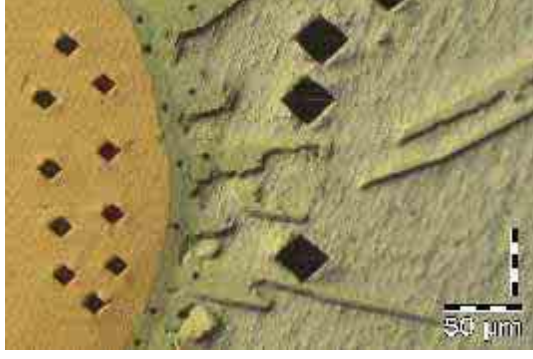
$$d = (d_1 + d_2) / 2 \quad (3.1)$$

$$H_v = 1,854 P / d^2 \quad (3.2)$$

formülünde yerine konularak alınır ve buradan çıkan sonuçta  $H_v$  denkleminde yerine konularak Vickers sertliği bulunur. Birimi ise  $kg/mm^2$  dir.



Şekil 3.6 Vickers mikro sertlik deneyi temsili şekli



Fotoğraf 3.1 Vickers Mikro Sertlik Deneyi Esnasında Malzeme Üzerinde Oluşan İzler

### 3.3 Malzemelerin Yüzeysel Özellikleri

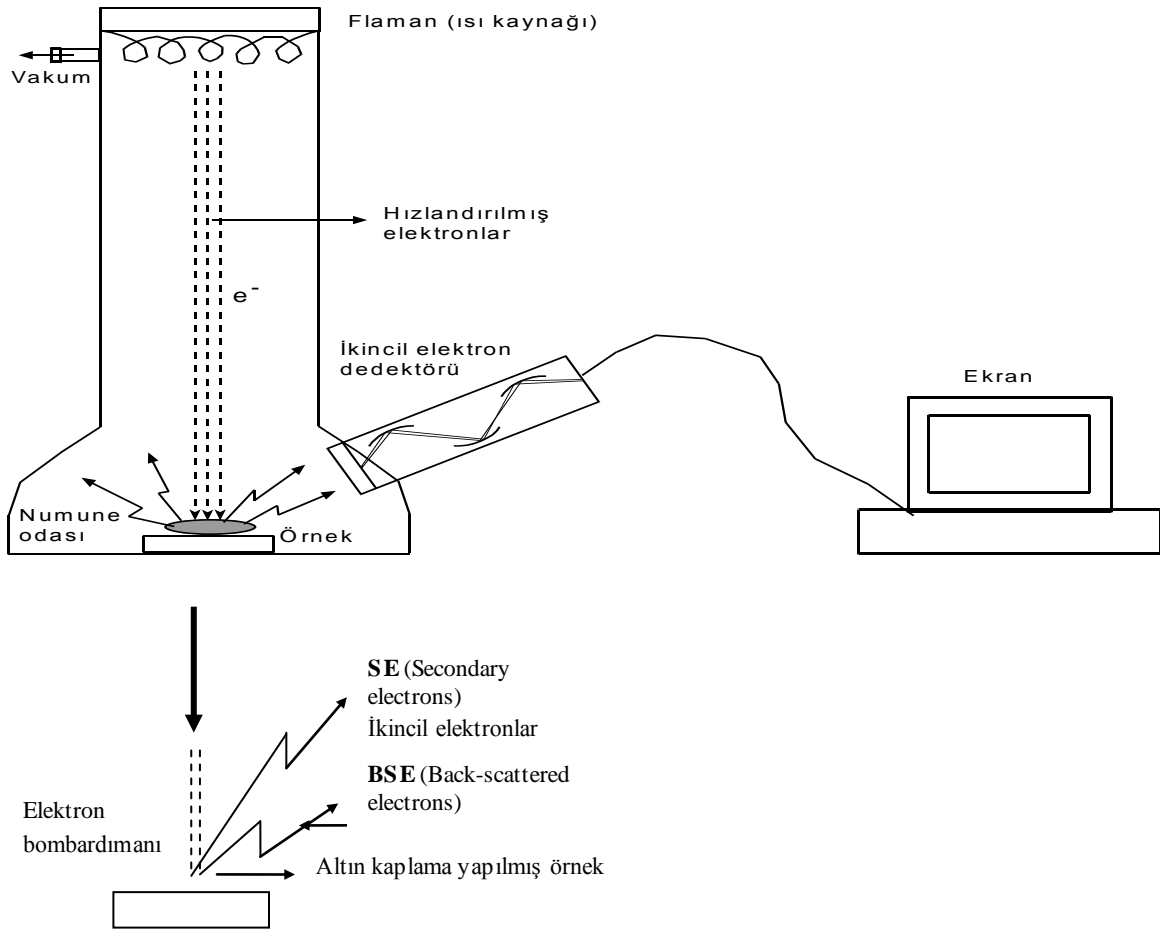
Katı malzeme yüzeyleri, dış ortamdan ya da çevreden kaynaklanan bozunmalara uğrarlar. Bu bozunma şekilleri, kimyasal (tuzlar, çözeltiler), ısıl (yüksek sıcaklık, doğrudan alev), atmosferik (nem, güneş ışığı) ve mekanik (titreşim, adezyon kuvvet/yapışma) gibi süreçlerin korozyona, aşınmaya, yırtılmaya, çatlamaya ve tabakalar halinde kalkmaya sebep olması şeklinde ortaya çıkabilmektedir [43]. Bu özellikler mikro düzeylerde olduğundan dolayı incelemek için mikroskoplardan yararlanırız. Biz bu tez çalışmasında Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) ve Optik Mikroskoptan faydalandığımızdan dolayı bu mikroskoplar hakkında bilgi verilmiştir.

#### 3.3.1 Taramalı elektron mikroskop (SEM)

Bu mikroskopta elektron bombardımanı ile incelenen malzemeden kaynaklanan ikincil elektronlar ve geri saçınimli elektronları kullanılarak incelenen malzemeye ait üç boyutlu görüntü elde edilmektedir. Bu tür incelemeler mineral tanelerinin şekli ve dokusunun incelenmesinde oldukça kullanışlıdır. 0.01 µm çözünürlüklü, diğer bir ifadeyle ilgili numuneleri 100.000 misli büyütme kapasitesine sahiptir [44]. Modern SEM; ışık mikroskobundan ve Geçirimli Elektron Mikroskop (TEM)tan daha kaliteli ve çözünürlüğü yüksek görüntü sağlar [45].

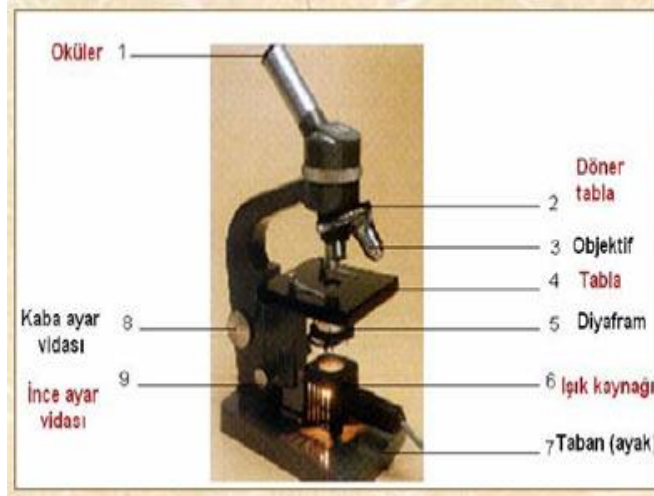
Bir ısı kaynağı tarafından hızlandırılmış elektronlar numuneye çarptırılarak geri saçınimli elektronlar (BSE) ve ikincil elektronlar (SE) elde edilir. İkincil elektronlar numunenin yüzeyinden koparılan elektronlar olup, numunenin yüzeyi (morfolojisi)

hakkında bilgi verir. Geri saçılan elektronlar ise, numuneden yansıyan elektronlar olup, atom numarasına göre farklı yansımalara sahiptir. Atom numarası yüksek olan atomlar daha fazla elektron yansıtır ve daha açık renkli görünürler. Bu özellikleri nedeniyle geri saçılmımlı elektronlar numunenin kimyası hakkında bilgi verir. Metal olmayan yani organik malzemeler için SEM yönteminde numune altın veya karbonla kaplandıktan sonra incelenmektedir. Bunun nedeni elektron iletmek için (gelen elektronları gönderip, yeni elektronlar alma) iletken bir madde kullanılmasından kaynaklanmaktadır. SEM yöntemini jeoloji mühendisleri kayalardaki kil oluşumlarının dokularını ve kökenlerini incelemek için kullanır. Bir petrol mühendisi için yüksek sıvı kapasitesine sahip bir kayacın neden petrol akışına izin vermediğini bilmesi çok önemlidir. Malzeme ve Metalürji mühendisleri üretilen malzemelerin kalitesini denetlemek için sık sık bu görüntülere başvurmuşlardır [44].



Şekil 3.7 Taramalı Elektron Mikroskobun şematik gösterimi

### 3.3.2 Optik mikroskop



Fotoğraf 3.2. Optik mikroskop fotoğrafı

Optik Mikroskop; dijital video yardımıyla büyük çaplı araştırma laboratuvarlarında hassas optik kısımların ve aynı odaklı optikal sistemlerin fotoğraflanmasında kullanılmaktadır. Optik mikroskopta; mikroskop lambasından çıkan ışık, ışık toplayıcı boyunca ve numune boyunca geçtiği zaman; sabit bir yolda numune içerisinde ilerlemektedir. Bu ışığın bir miktarı da numune tarafından yansıtılmakta ve numunenin içerisindeki parçalarla karşı karşıya gelip yine sapmaya uğramaktadır. Geriye kalan ışın demeti numune içerisinde hiçbir engelle karşılaşmadan ilerleyip numunenin diğer tarafına geçerek objektife düşmektedir. Objektif ise bu görüntüyü fotoğraflamaktadır [46].

### 3.4 Martensite ve Austenite Faz dönüşümleri

Bir sistem farklı homojen parçalara ayrılabilirse, bu parçalara sistemin fazları denir. Örnek olarak suyu ve buzu verebiliriz çünkü aynı maddenin farklı fazlarıdır. Metal alaşımlarının kristalleri koşullara göre farklı fazlarda bulunabilirler. Bir fazdan başka bir faza geçmeye faz dönüşümü denir. Herhangi bir alaşım veya metalin atomlarının bir grubu fiziksel yer değiştirerek bir faz dönüşümüne sebep olurlar. Bu tür dönüşüme difüzyonlu faz dönüşümü denir. Bir alaşım veya metalde atomların komşulukları değişmeden sadece kristal yapı değişiyorsa bu tür değişime difüzyonsuz faz dönüşümleri denir [47]. Martensite ve austenite faz dönüşümleri difüzyonsuz olarak gerçekleşen faz dönüşümleridir.

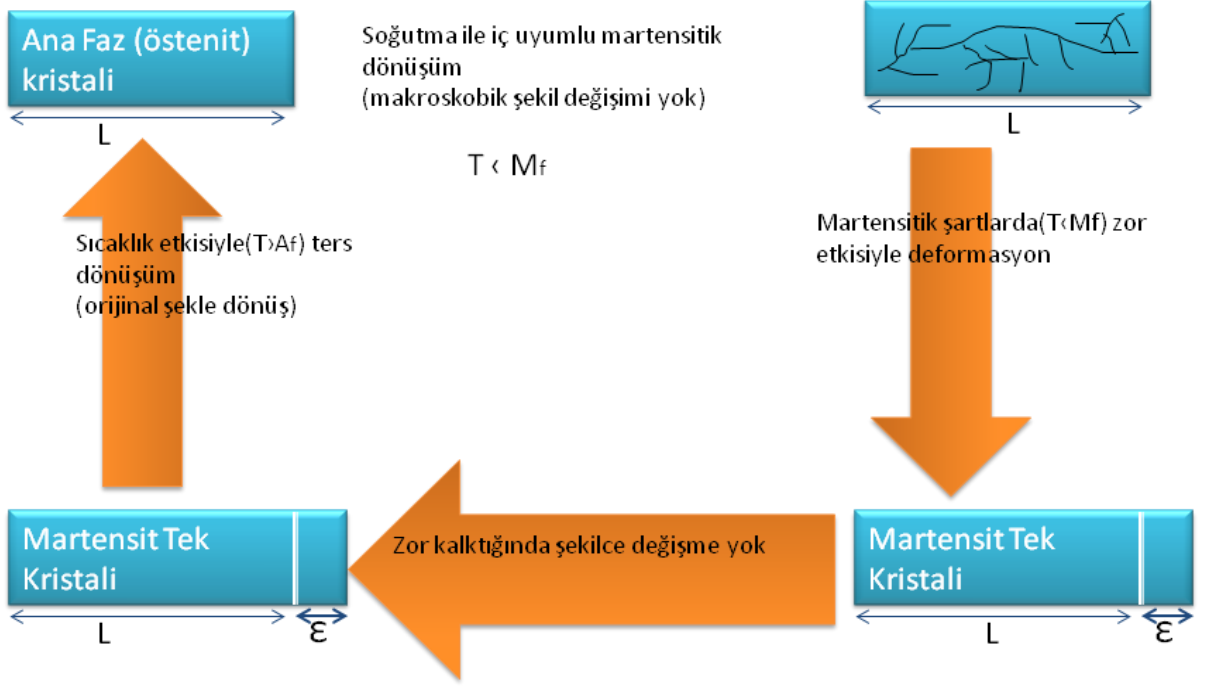
Demir ve alaşımları yaklaşık 1400°C’ de erimeye başlamaktadır. Havasız ortamda ve oda sıcaklığına soğutulurken yaklaşık olarak 900°C civarında yüzey merkezli kübik (fcc) yapıda kristalleşir. Alaşımların bu fazına austenite faz adı verilir. Austenite fazındaki alaşım uygulanan fiziksel etkenler nedeniyle hacim merkezli tetragonal (hct), sıkı paketlenmiş hekzagonal (hcp) veya hacim merkezli kübik yapı gibi kristal yapılara dönüşür. Alaşımın bu fazına ise martensite faz denir [47].

Martensitik faz dönüşümü; numune sıcaklığının hızla düşürülmesi ve austenite yapıya dıştan uygulanan mekanik zor ya da her ikisinin aynı anda uygulanmasıyla meydana gelir. Austenite kristal yapı bir  $T_0$  sıcaklığında termodinamik dengededir. Kristal yapı bu sıcaklıktan hızla soğutulursa kritik bir  $M_s$  sıcaklığından sonra austenite kristal yapı içerisinde martensite yapı oluşmaya başlar. Bu  $M_s$  sıcaklığına martensite yapının başlama sıcaklığı denir ve farklı alaşımlar için farklı değerlere sahiptir [48].

Martensite; austenite faz içerisinde ya atermal yani bir anda patlamalar şeklinde ya da izotermal olarak yani atermale göre gözle gözlemlenebilecek kadar yavaş, parçalar halinde meydana gelir.

Sıcaklık farkı, fazlar arasındaki kimyasal serbest enerjiyi, bu enerji de dönüşüm için gerekli olan sürücü kuvveti doğurmaktadır. Bu anda dışarıdan uygulanacak bir mekanik zor ile  $M_s$  sıcaklığı  $T_0$  sıcaklığının çok altına düşmeden dönüşüm başlayabilmektedir. Dışarıdan uygulanan bu mekanik zor  $M_s$ ’ yi arttırdığı gibi dönüşen hacim miktarını da artırır.  $M_s$  sıcaklığında başlayan dönüşüm belli bir sıcaklık aralığında devam eder ve durur. Dönüşümün bittiği bu sıcaklığa martensite bitiş sıcaklığı ( $M_f$ ) denir. Martensite halinde bulunan numune ısıtılırsa tekrar ana faz olan austenite faza dönüşür [48]. Martensite faz bu özelliğinden dolayı tersinir bir fazdır.

Ayrıca martensite dönüşüm olayında austenite yapı ile martensite yapıyı birbirinden ayıran düzleme “yerleşim” habit düzlem adı verilmektedir.



Şekil 3.8 Austenite ve martensite fazı şematik gösterimi

## BÖLÜM IV

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarının hazırlanması, alaşım yüzdelere ve uygulanan ısıtma işlemleriyle birlikte mekanik ve yapısal özelliklerin tayini için malzemelerin hazırlanışına yer verilmiştir.

#### 4.1 Materyal ve Metot

Bu tez çalışmasında incelenen Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımları, %99,99 saflıkta toz halinde bulunan Fe, Ni, Si elementlerinin Çizelge 4.1’ de verilen oranlarda karıştırıldıktan sonra Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü Katıhal Fizigi Laboratuvarında yalıtılmış ark fırınında argon atmosferinde 5'er gramlık külçeler halinde hazırlanmıştır.

Çizelge 4.1 Fe-Ni-Si alaşım örneklerinde alaşım elementlerinin bileşim yüzdeleri

Fe-Ni-Si	Fe(%)	Ni(%)	Si(%)
	58	40	2
	55	40	5

Numuneler sertleşme kabiliyetini iyileştirmek, sertlik, mukavemet ve tokluğu artırmak, düşük ve yüksek sıcaklıklarda mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla alaşım haline getirilmiştir. Hazırlanan bu alaşımlar homojen hale getirilmesi amacıyla Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Laboratuvarı’nda 1200°C’de 24 saatlik ısıtma işlemi tabii tutulmuştur. Sonra numunelerin hepsi su içerisinde atılarak hızlı soğutulmuştur. Numuneler 1cm çapında 0,3cm kalınlığında elmas bıçaklı kesici ile kesilmiştir. Kesilen numunelerin yüzeyindeki kalın çizgiler ve pürüzler 350µm, 500µm, 1200µm, 2400µm, 4000µm kalınlıktaki su zımparaları ile kalından inceye doğru gidilerek Struers Labopol-5 marka parlatıcı ile ortadan kaldırılmış, daha sonra 1µm, 1/4µm’lik elmas pastalarla yüzeyler parlatılmıştır. Mekanik olarak parlatılan yüzeyler %45H<sub>2</sub>O, %45H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, %10 HF ve %65 H<sub>2</sub>O, %30H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, %5 HF asit karışımından oluşan iki çözelti içinde oda sıcaklığında, 100°C ve 0°C’de 10-30sn arasında bekletilerek dağlanmıştır. Numunelerin yüzeyinde oluşan mikro yapı özellikleri SEM ve Olympus

BX-51 marka optik mikroskop ile incelenmiştir. Daha sonra Future-Tech FM-700 marka ve modeldeki teçhizat ile Vickers mikro sertlik testi yapılmak suretiyle sertlik değerleri elde edilmiş ve bunlar optik mikroskop altında incelenmiştir.

## BÖLÜM V

### ARAŞTIRMA, BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşım numuneleri üzerine yapılan deneysel çalışmalar, bu çalışmalar ile bulunan sonuçlar ve sonuçların değerlendirmelerine yer verilmektedir.

#### 5.1 Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si Alaşımlarının Yapısal Özellikleri

##### 5.1.1 Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarının optik mikroskop görüntüleri

1200°C' de 24 saat ısıtılma gören her iki numunede ortaya çıkan fazların yapısal özellikleri Niğde Üniversitesi Fizik Bölümü Katıhal Fiziği-1 Laboratuvarlarında oda sıcaklığında yapılan optik mikroskop incelemeleri sonucunda açığa çıkarılmıştır. Fotoğraf 5.1, 5.2, 5.3 bu incelemelere ait optik mikroskop görüntülerini göstermektedir.

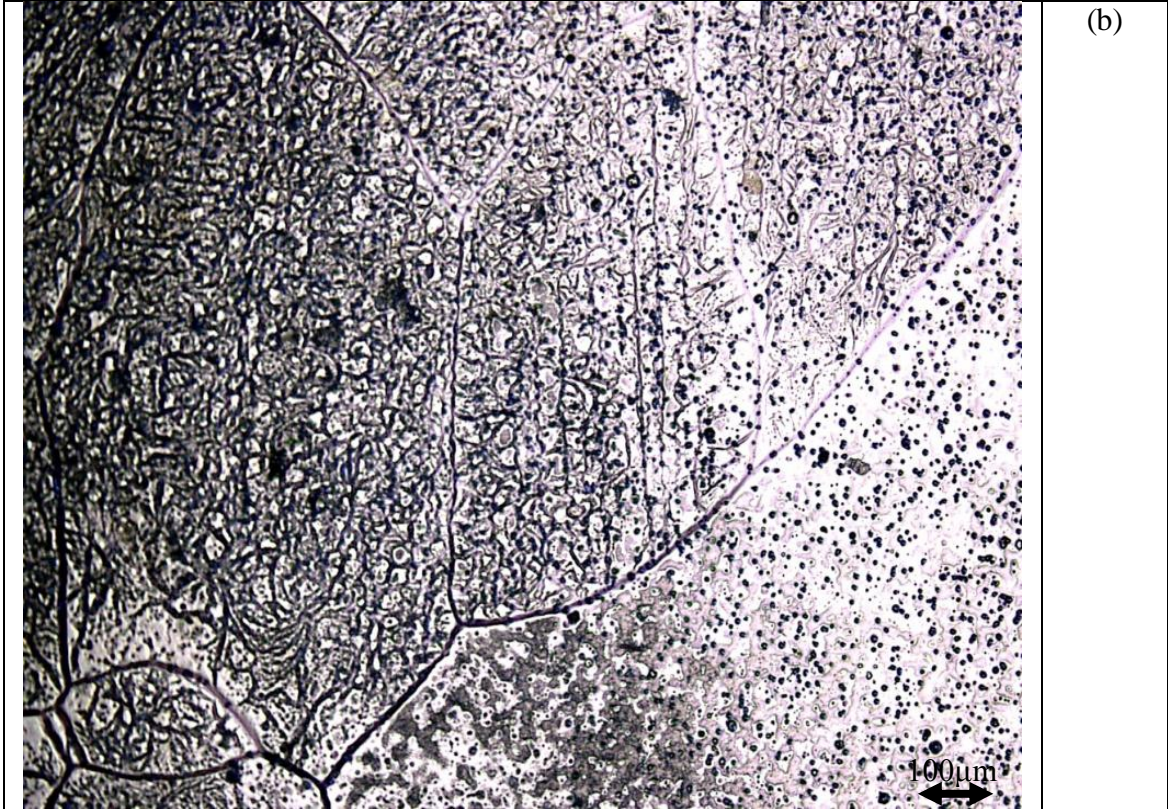
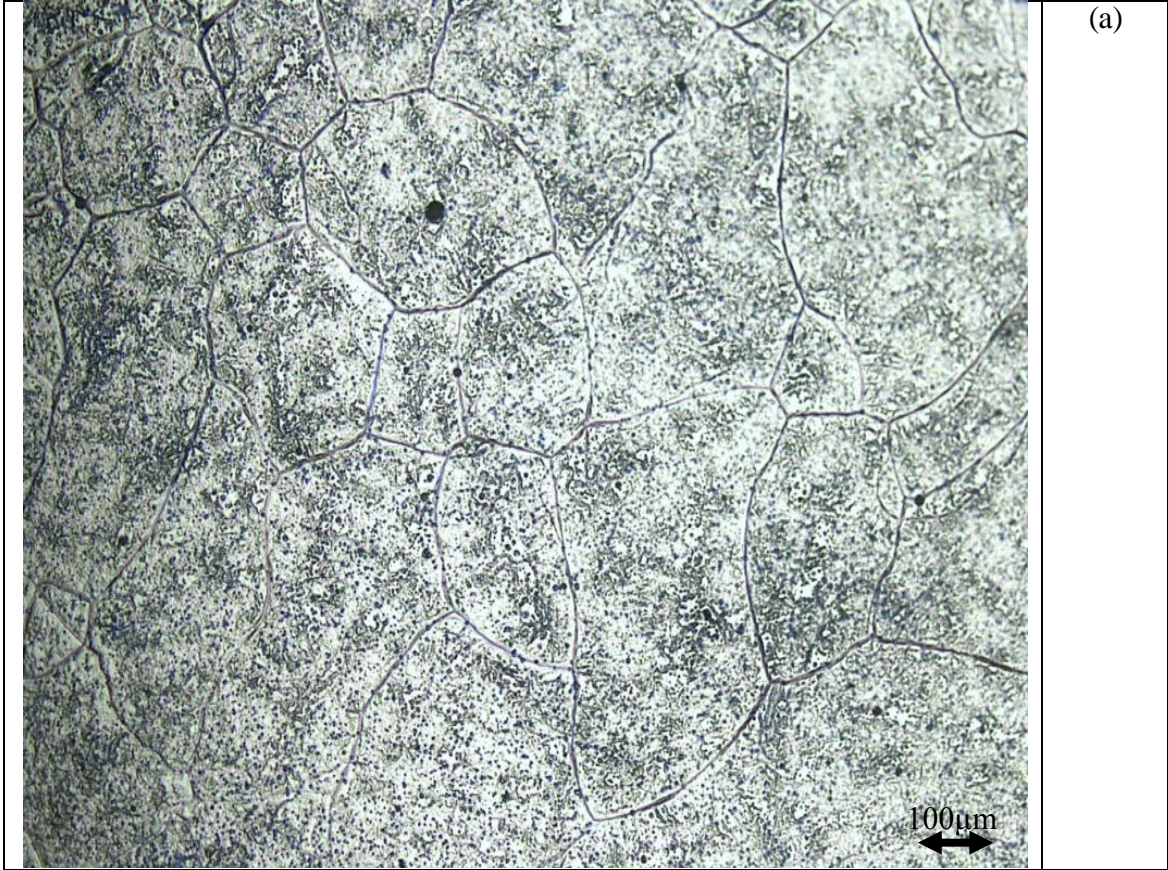
Austenite tane sınırlarının hareketinin ısıtılma süresine ve ısıtılma sıcaklığına bağlı olarak austenite tane sınırlarının büyümesinin katılma sonrası olduğu daha önceki çalışmalarda ortaya konulmuştur. Ayrıca düşük karbonlu çeliklerde ilk oluşan dentrite yapılar  $\delta$ -ferrite yapılarıdır; sonradan bunlar austenite yapıya daha sonra da ferrite, pearlite, bainite veya martensite yapıya dönüşebilirler [49]. Ayrıca Büyükakkaş Fe-%40Ni-%2Mn alaşımı üzerine yaptığı çalışmada ısıtılma sıcaklıklarını ve ısıtılma sürelerini değiştirerek oda sıcaklığında austenite tane sınırlarının büyüdüğünü gözlemlemiştir [1].

Austenitik paslanmaz çelikler genellikle Fe ve Cr' a Ni eklenmesinden oluşur. Bu durum oda sıcaklığında yüzey merkezli austenite yapıyı kararlı hale getirir. Ni, Mn gibi austenite yapıyı kararlı hale getiren diğer elementlerle yer değiştirerek bu yapılar elde edilebilmektedir [50].

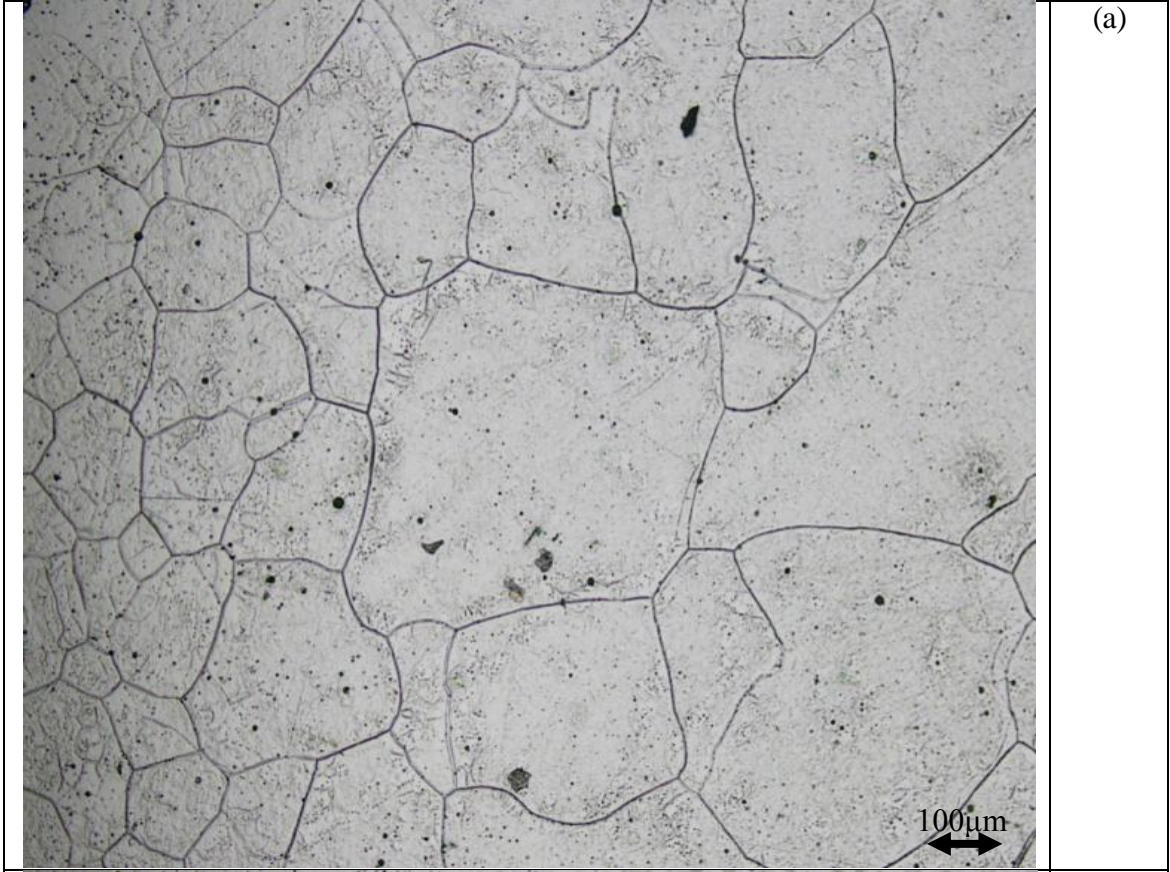
Alaşım elementlerine eklenen C, Ni, Cu ve Mn elementleri oda sıcaklığında en gcl austenite yapıyı kararlaştırıcı elementlerdir. Ayrıca Cr, Si, Nb, Ti ve Mb elementlerinin eklenmesi ise ferrite yapıyı kararlı hale getirmektedir.

Fe ve Fe bazlı alaşımlara Ni, Mn, Si, Cr gibi elementlerin eklenmesi ve bu elementlerin alaşım bileşimleri malzemenin fiziksel yapısını büyük ölçüde etkilemektedir. Ni, Al, Si, Cu ve Co gibi elementlerin ferrite içerisindeki  znrlkleri oldukça yüksektir [42].

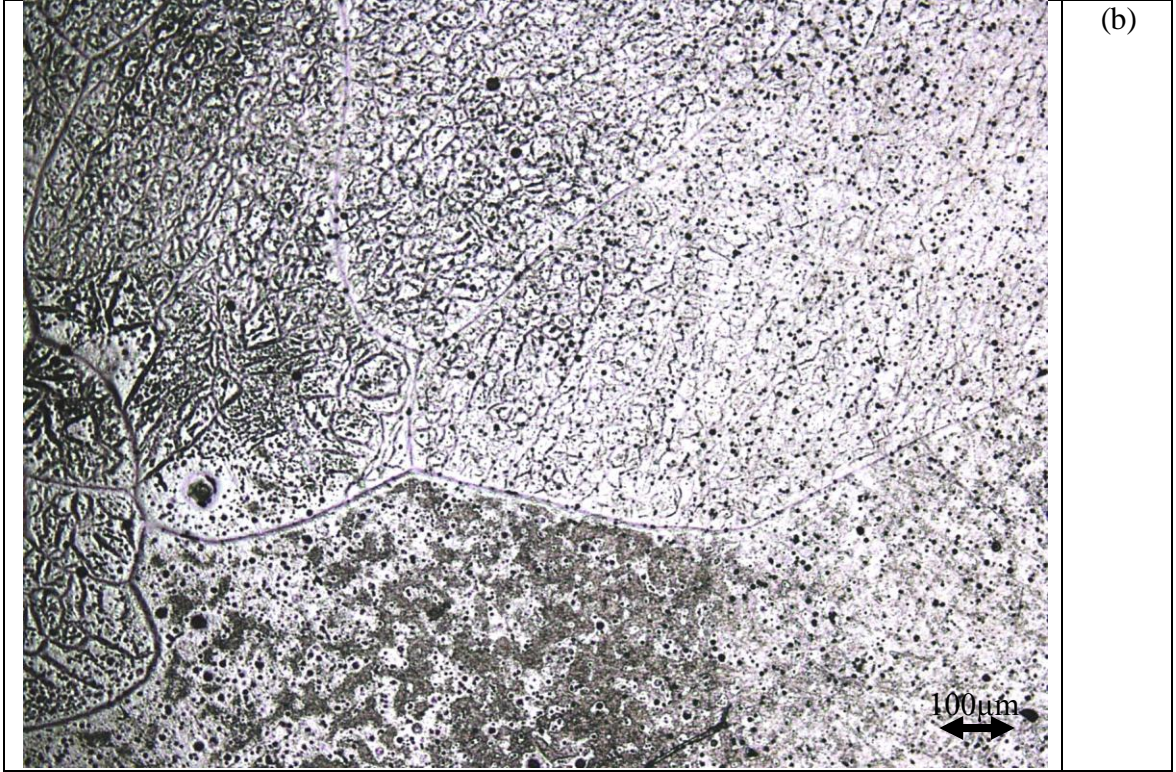
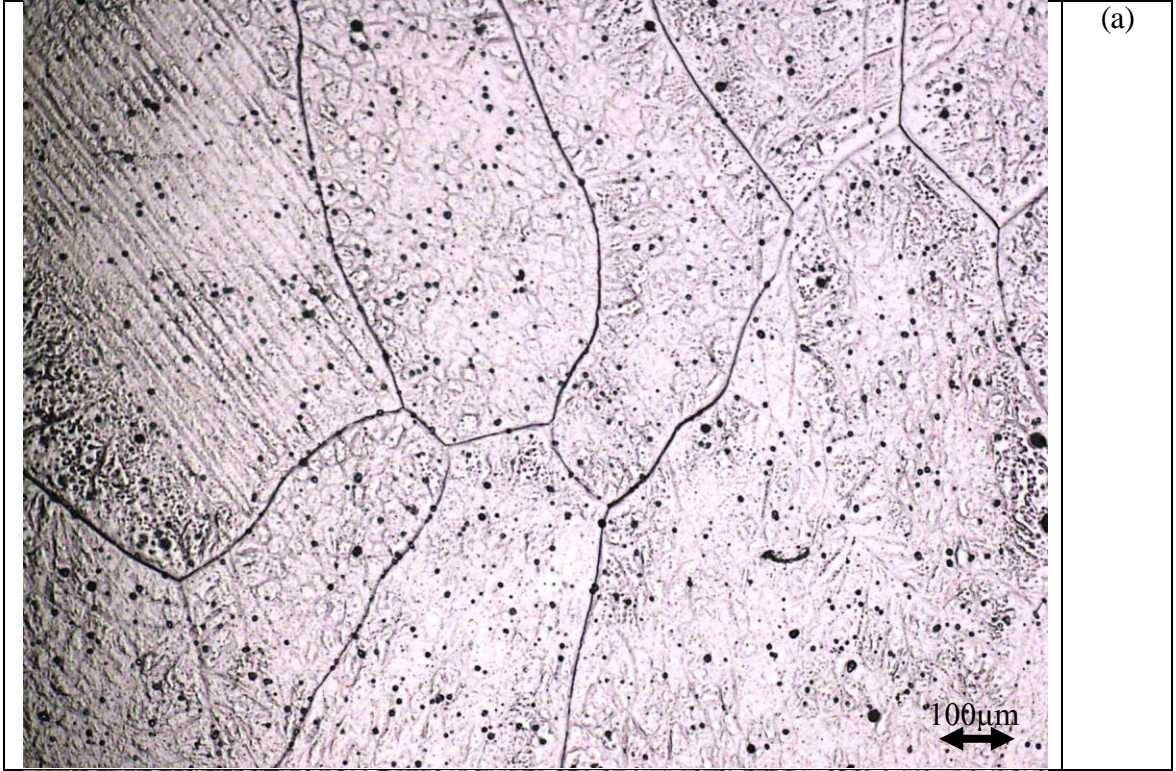
Bu çalışmadaki ana amacımız ısıl işlem süresi ve sıcaklığı sabit tutularak numunelerin farklı Si değerleri altında oda sıcaklığında ve diğer sıcaklıklarda oluşacak fazların gözlenmesi olmuştur. Araştırmalara ve deneysel verilere dayanarak optik mikroskop görüntülerinden yani Fotoğraf 5.1, 5.2, 5.3' den anlaşıldığı gibi Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarının yüzeysel yapıları bünyelerinde bulundurdukları Si miktarı ile değişiklik göstermiştir. Si oranı düşük olan numunenin tane sınırları kken Si oranı yüksek olan numunenin tane sınırları oldukça büyüktür. Yaptığımız bu tez çalışmasında Fe-Ni alaşımına eklenen Si miktarının artması, austenite tane sınırlarının büyümesine yol açmıştır. Ayrıca alaşım elementleri arasında Si elementinin bulunması oda sıcaklığında austenite yapının gözlenmesine, Ni elementinin bulunması ise ferrite-perlite yapının gözlenmesine sebep olmuştur. Austenite yapı içerisinde sıcaklık etkisi ile ortaya çıkabilecek olan martensite yapının bu alaşımda ortaya çıkmadığı belirlenmiştir. Literatürle bu tez çalışması arasında yapılan karşılaştırmada; martensite yapının gözlenememesinin nedeni, alaşım elementlerinin bileşimi içerisinde yüksek oranda Ni bulunması ve martensite oluşumu için gerekli olan  $M_s$  sıcaklığının sıfırın çok çok altında olmasıdır.



Fotoğraf 5.1 (a) Fe-%40Ni-%2Si alaşımında (b) Fe-%40Ni-%5Si alaşımında oda sıcaklığında bulunan austenite yapı ve tane sınırları



Fotoğraf 5.2 (a)Fe-%40Ni-%2Si alaşımında (b)Fe-%40Ni-%5Si alaşımında 100°C' de bulunan austenite yapı ve tane sınırları

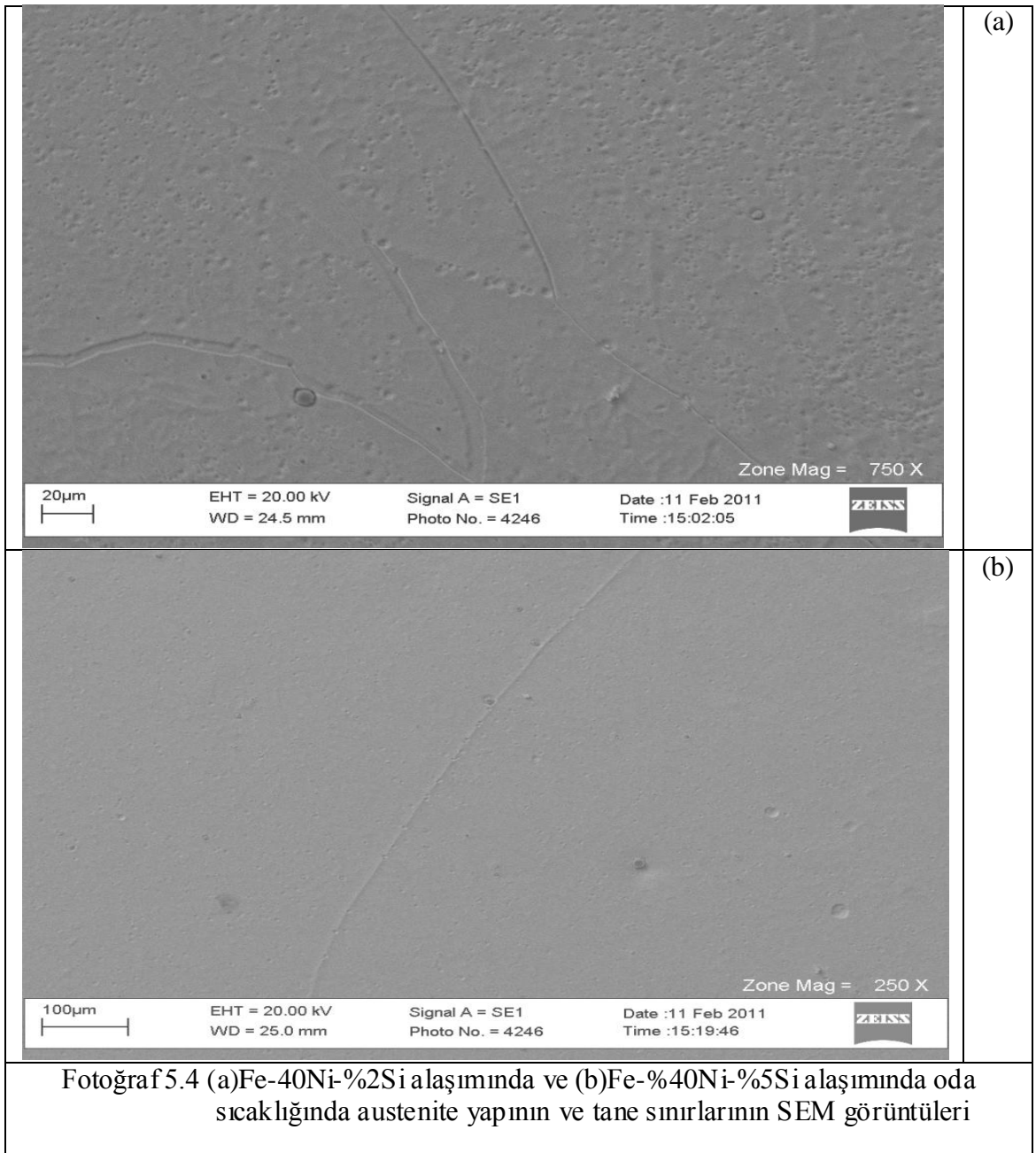


Fotoğraf 5.3 (a)Fe-%40Ni-%2Si alaşımında (b)Fe-%40Ni-%5Si alaşımında 0°C' de bulunan austenite yapı ve tane sınırları

### 5.1.2 Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarının taramalı elektron mikroskop (SEM) görüntüleri

1200°C de 24 saat ısıl işlem gören her iki numunede ortaya çıkan fazların yapısal özellikleri Niğde Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarlarında oda sıcaklığında yapılan SEM incelemeleri sonucunda açığa çıkarılmıştır. Fotoğraf 5.4(a) ve 5.4(b) SEM incelemelerine ait fotoğrafları göstermektedir.

Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarında yapılan SEM incelemelerinde tane sınırları gözlemlenmiştir.



## 5.2 Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si Alaşımlarının Mekanik Özellikleri

### 5.2.1 Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarında Vickers mikro sertlik ölçümleri

1200°C de 24 saat ısıtım gören her iki numunede sertlik ölçümleri sonucunda ortaya çıkan veriler Niğde Üniversitesi Fizik Bölümü Katıhal Fiziği-1 Laboratuvarında oda sıcaklığında yapılan Vickers mikro sertlik deneyi sonucunda açığa çıkarılmıştır. Vickers mikro sertlik deneyi sırasında numuneler 300gr lık yük altında 10sn bekletilerek ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümler esnasında Fe-%40Ni-%2Si alaşımından 40, Fe-%40Ni-%5Si alaşımından ise 33 ölçüm alınmıştır.

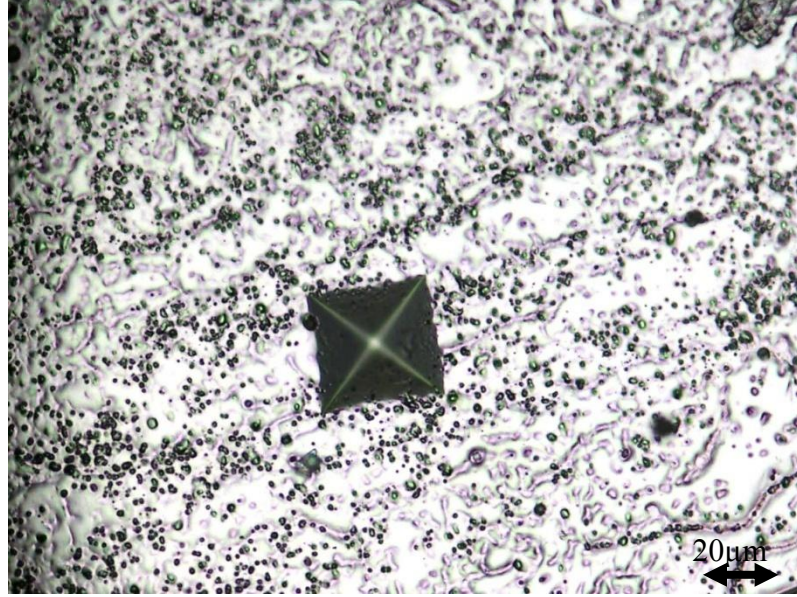
Bu verilere dayanarak numunenin elementlerinden Si' un oranının düşük olmasından dolayı alaşımın sertliği Si oranının değiştirilmesinden büyük ölçüde etkilenmemiştir. Zira Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarının sertlik değerlerine baktığımızda hemen hemen birbirine yaklaşık değerler çıktığı ve önemli bir oranda değişikliğin olmadığı gözlenmiştir.

Çizelge 5.1 Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarının Vickers sertlik değerleri

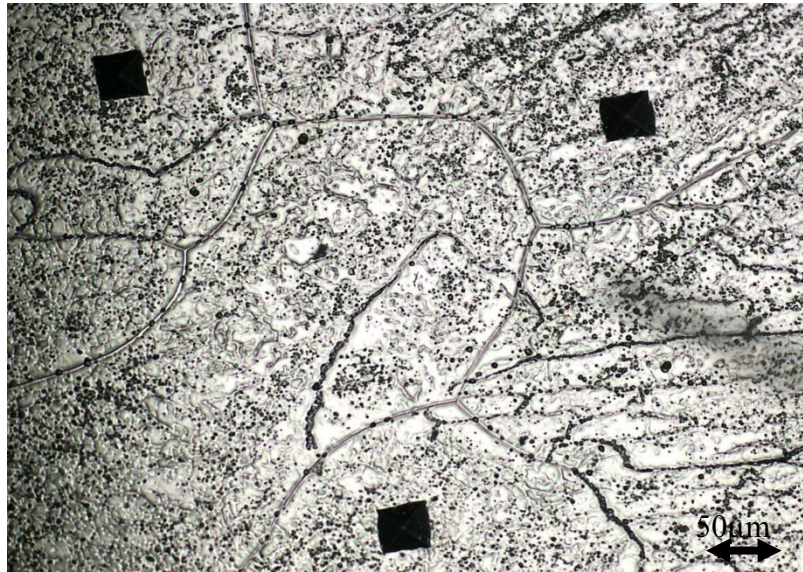
Numune	H <sub>v</sub>
Fe-%40Ni-%2Si	147,26VSD
Fe-%40Ni-%5Si	147,68VSD

Ancak Büyükakkaş' ın 1150°C' de 24 saat ısıtım gören Fe-%40Ni-%2Mn alaşımında gerçekleştirdiği Vickers Mikro Sertlik ölçümlerinde numunenin sertlik değerinin 110,6VSD olduğu bulunmuştur [1]. Bu tez çalışmasında 1200°C'de 24 saat ısıtım görmüş Fe-%40Ni-%2Si alaşımında gözlenen sertlik değeri 147,26VSD olarak bulunmuştur. Buradan da anlaşılacağı üzere numune element bileşiminde bulunan silisyumun numuneye mangandan daha fazla sertlik kattığı ortaya çıkarılmıştır. Buna ek olarak mineral sertlik ölçüm sistemi olan moh-s sertlik ölçümünde silisyumun değeri 7moh-s hardnessken manganın sertlik değeri 6moh-s hardnesstir. Bundan dolayı silisyumun alaşıma kattığı sertlik manganın alaşıma kattığı sertlikten daha fazladır.

Aynı zamanda ısıl işlem süresi ve sıcaklığının numune sertliği üzerinde etkisi bulunmaktadır. Fe-%40Ni-%2Mn alaşımı 800°C ve 1150°C’de farklı ısıl işlem sürelerinde tutularak gerçekleştirilen çalışmada numunelere uygulanan ısıl işlem süresi ve sıcaklığının artırılmasıyla sertlik değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Mikro sertlik ölçümlerinde etkili olan bir diğer unsur da dislokasyon yoğunluğudur. Dislokasyon oranı çok olan numunenin sertliği daha fazladır [1].



Fotoğraf 5.5 Vickers Mikro Sertlik deneyi sonrası numunede oluşan iz

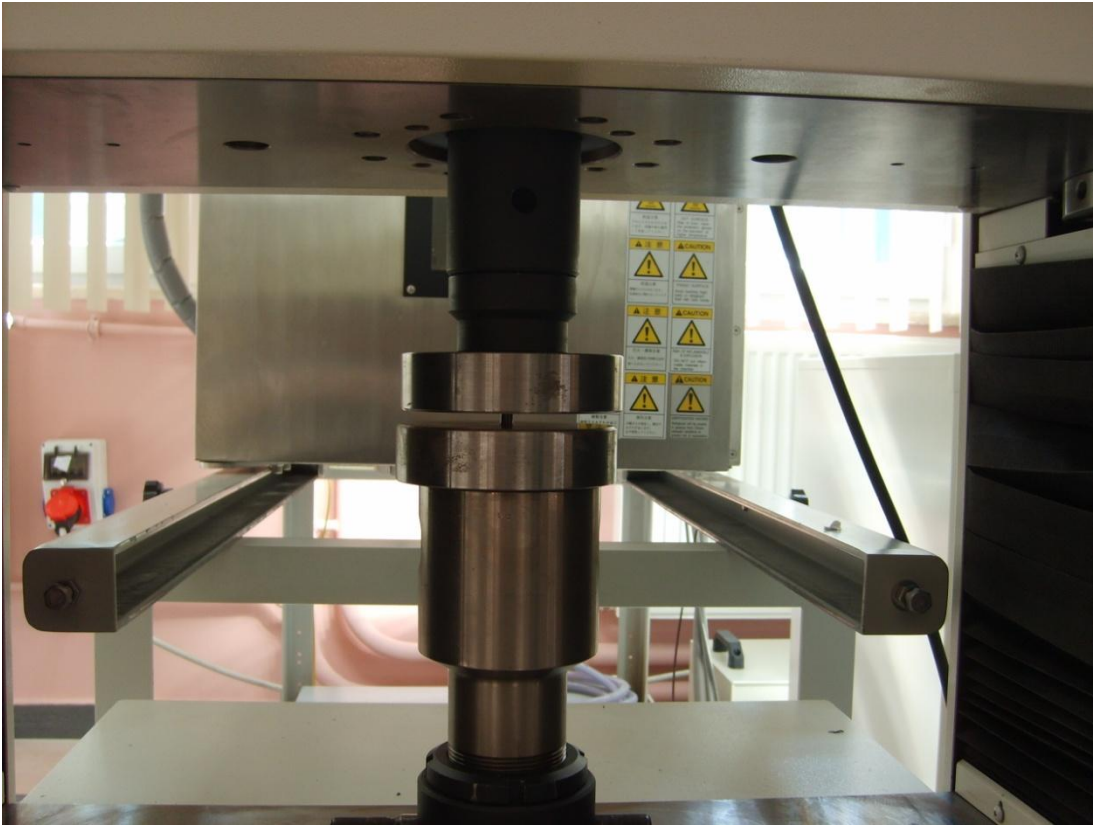


Fotoğraf 5.6 Vickers Mikro Sertlik deneyi sonrası oluşan izler ve tane sınırları

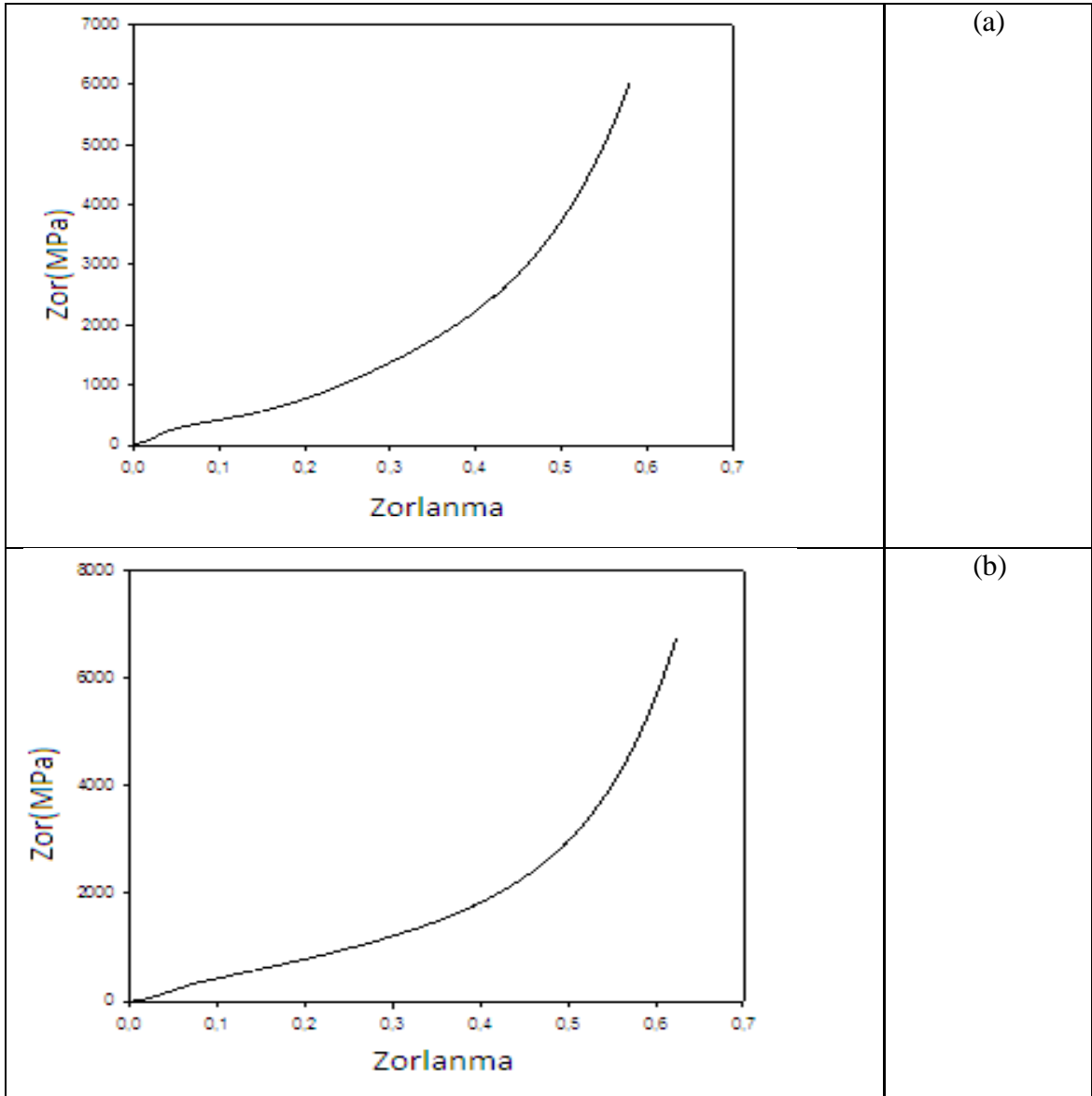
### 5.2.2 Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarında zor-zorlanma ölçümleri

1200°C de 24 saat ısıtılma işlemi gören her iki numunede zor-zorlanma ölçümleri sonucunda ortaya çıkan veriler Niğde Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında oda sıcaklığında yapılan zor-zorlanma deneyi sonucunda açığa çıkarılmıştır. Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3 bu deneylere ait verilerle oluşturulmuş şekiller ve Fotoğraf 5.7 ve 5.8 ise zor-zorlanma deneyi sonrasında malzemenin yapısal özelliklerine ait optik mikroskop görüntüleridir.

Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarında zor-zorlanma deneyi aşağıdaki fotoğraftaki gibi yapılmıştır.



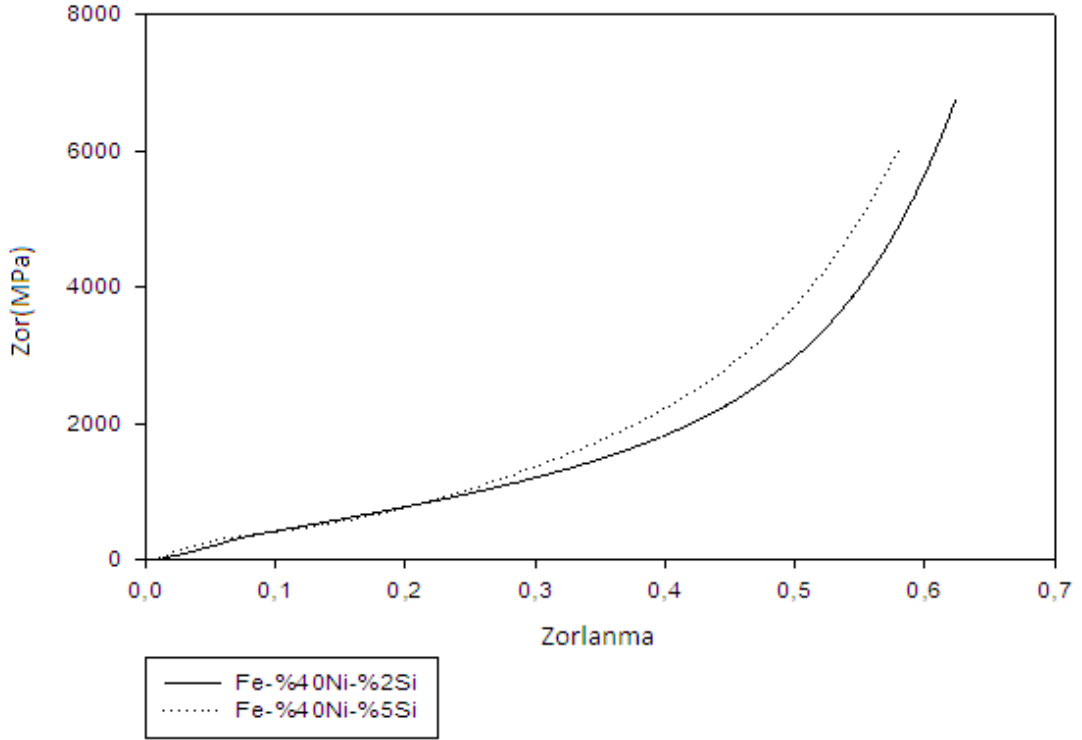
Fotoğraf 5.7 Zor-Zorlanma deneyi yapılışı



Şekil 5.1 (a)Fe-%40Ni-%2Si alaşımında (b) Fe-%40Ni-%5 alaşımında deformasyon uygulanması sonucu oluşan zor-zorlanma grafikleri

Basma makinesinde, basma plakaları aracılığıyla örneğe 10 ton' luk yani 100kN' luk yük uygulanmıştır. Basma deneyine tabi tutulan esnek malzemelerde fiçılşma olarak adlandırılan şişme olayı meydana gelmiştir. Basma eğrisinin eğiminde artış olması basma sırasında numunenin kesit alanının devamlı artmasından kaynaklanmaktadır. Kesit alanı özellikle plastik deformasyonun sonuna doğru büyük oranda arttığından dolayı basma gerilmesinde ani yükselme meydana gelmektedir.

Şekil 5.1(a) da görüldüğü üzere Fe-%40Ni-%2Si alaşımı 100kN'lık yük altında plastik deformasyona uğramamış ve elastik bir davranış sergilemiştir. Basma plakaları arasında kuvvete maruz bırakılan numune tamamen elastik halde kırılmaya uğramadan, sadece kesit alanı büyümüş olarak düzenden çıkarılmıştır. Oysa Şekil 5.1(b) de görüldüğü gibi Fe-%40Ni-%5 alaşımı kırılmaya ve plastik deformasyona uğramıştır. Bu deformasyon sonucunda oluşması beklenen martensite fazı gözlenememiştir. Bu da malzemenin esnekliğinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

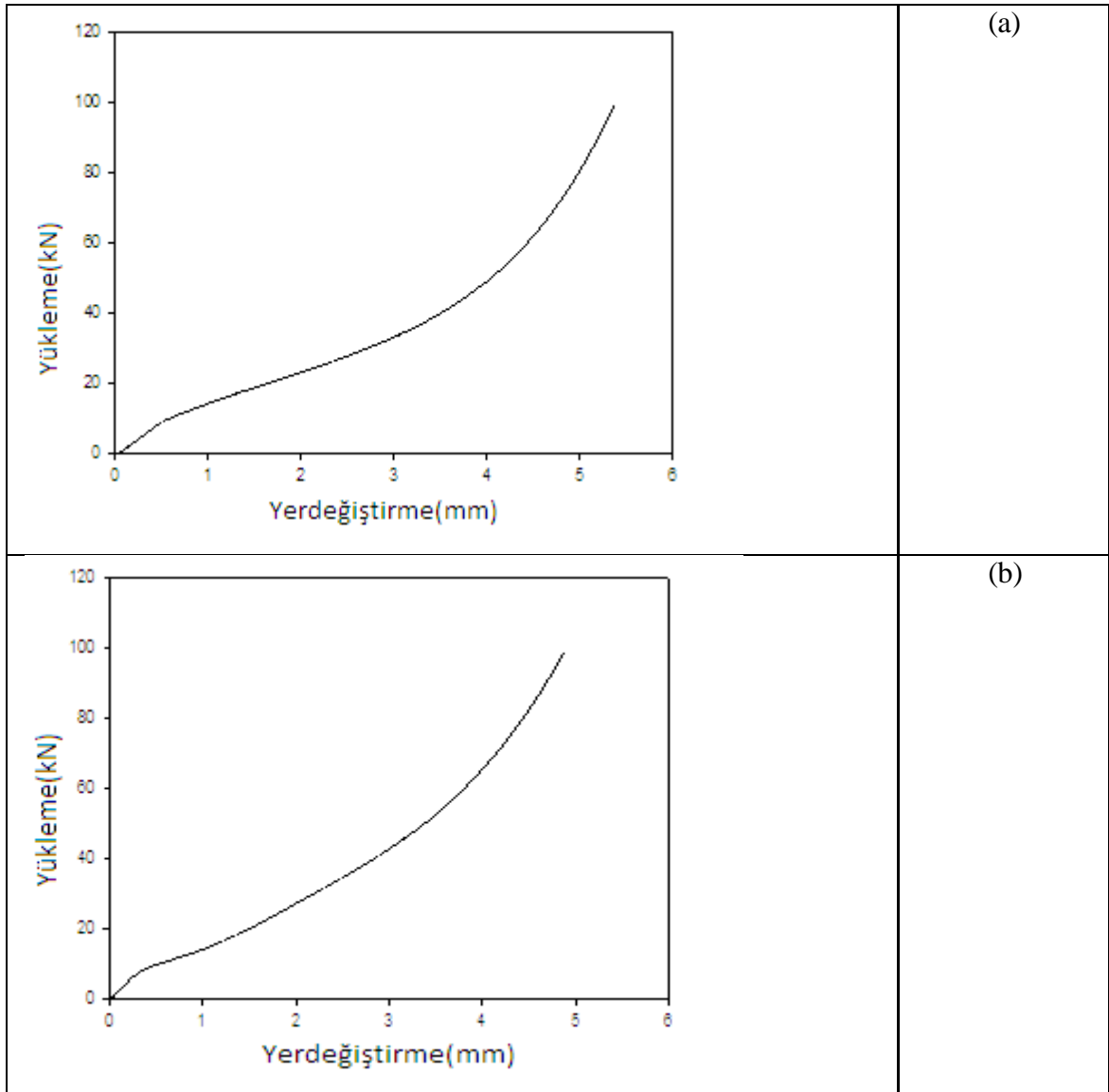


Şekil 5.2 Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5 alaşımlarının zor-zorlanma grafiklerinin karşılaştırılması sonucu elde edilmiş karşılaştırmalı zor-zorlanma grafiği

Şekil 5.2' de görüldüğü gibi alaşım elementleri içinde Si olması numunenin dayanımını artırmıştır. Ayrıca alaşımın %40 oranda Ni' e sahip olması malzemenin sertliğini, esnekliğini, mukavemetini ve korozyon direncini artırmaktadır. Buna ek olarak alaşım elementleri içerisinde Si bulunması malzemenin esnekliğini azaltmadan mukavemetin artmasına neden olmaktadır.

Elastik malzemelerin mekanik deformasyonlara direnci olarak bilinen mukavemet Si miktarının artmasıyla artmıştır. Mukavemet ile arasında ters orantı bulunan elastiklik ise Si miktarının artmasıyla azalmıştır.

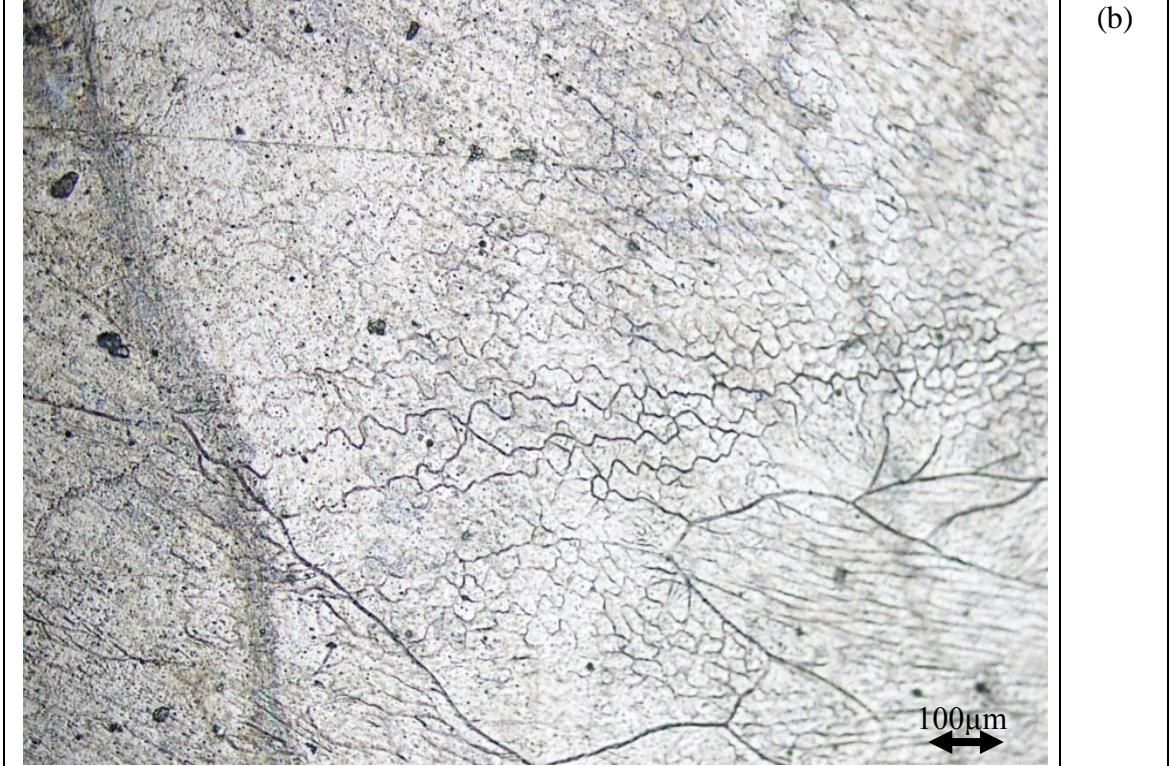
Ayrıca numuneler tane sınırları içerisinde meydana gelen ferrite yapı içerisinde çözünen herhangi bir element; katı çözültü setleşmesi ilkelerine uygun olarak ferritin sertlik ve mukavemetini artırır. Demirin mukavemetini artırması açısından büyükten küçüğe doğru Mo, Ni, Mn ve Si sırası izlenmektedir [42].



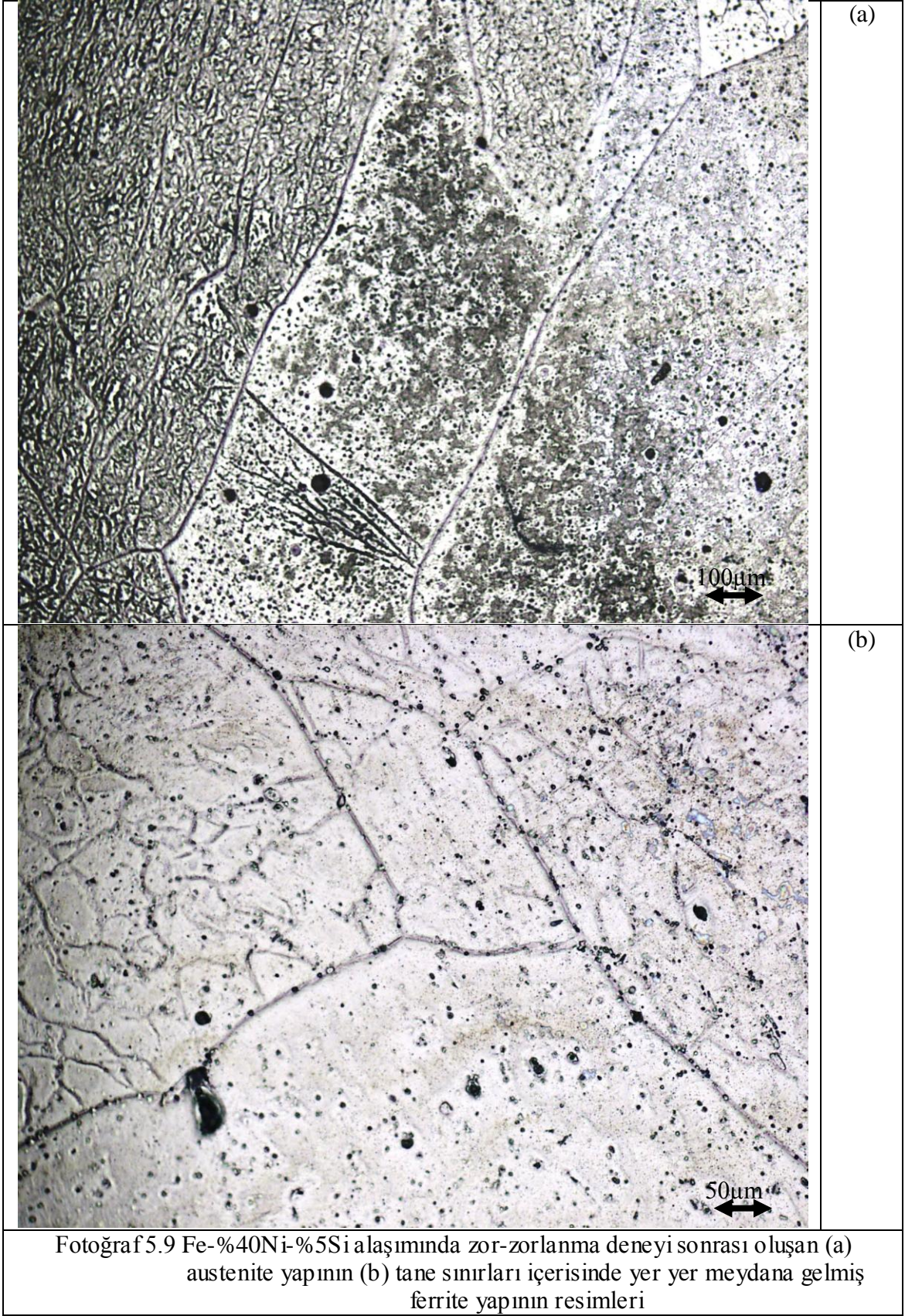
Şekil 5.3 (a) Fe-%40Ni-%2Si alaşımında (b) Fe-%40Ni-%5Si alaşımında de formasyon uygulanması sonucu oluşan yük-yer de ğiştirme grafikleri

Şekil 5.3(a) ve (b)' de görüldüğü gibi Si miktarı az olan numunenin üzerine bindirilen yükten dolayı yer değiştirme miktarı daha fazladır. Çünkü maksimum kuvvet noktasında maksimum elastikiyete sahiptir. Si miktarı arttıkça numunelerin esnekliği azaldığından dolayı numune maksimum kuvvet noktasına ulaşmadan plastik deformasyona uğramış yani gevrek hale gelmiştir.

Ayrıca Fotoğraf 5.8 ve 5.9 numunenin zor-zorlanma deneyi sonrasında çekilmiş olup numune içerisinde oluşan austenite, ferrite fazlarının deformasyonla daha belirgin bir hale geldiğini göstermektedir.



Fotoğraf 5.8 Fe-%40Ni-%2Si alaşımında zor-zorlanma deneyi sonrası oluşan (a) austenite yapının (b) tane sınırları içerisinde yer yer meydana gelmiş ferrite yapının resimleri



Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarının zor-zorlanma deneyi ile sıkıştırılmış numunelerin Vickers Sertlik ölçümleri sonrasında oluşan sonuçların çizelgesi aşağıdaki gibidir.

Çizelge 5.2 Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarının zor-zorlanma deneyi sonrasında sertlikleri ölçümleri sonuçlarının çizelgesi

Numune	H <sub>v</sub>
Fe-%40Ni-%2Si	254,74VSD
Fe-%40Ni-%5Si	287,304VSD

Austenite yapıda bulunan alaşımlara 100kN' luk bir yük uygulandığı zaman Fe-%40Ni-%2Si alaşımının elastik deformasyona, Fe-%40Ni-%5Si alaşımının plastik deformasyona uğradığı görülmüştür. Sıkıştırılmış numunelerin deneyden önceki ve sonraki sertlik değerlerini karşılaştırmak amacıyla sıkıştırılmış numuneler Vickers Mikro Sertlik işlemlerine tabii tutulmuştur. 1200 °C' de 24 saat ısı işlem görmüş austenite yapıya sahip numunelerin sertlik değerleri ile deforme edilmiş numunelerin sertlik değerleri karşılaştırıldığında, deformasyon sonucunda oluşan dislokasyonların malzemeyi daha sert hale getirmesinden dolayı deforme edilen malzemenin sertliği daha büyük çıkmıştır.

## BÖLÜM VI

### SONUÇ

Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımları aynı ısıtma sıcaklıklarına ve aynı ısıtma sürelerine tabi tutularak Si oranını değiştirmek suretiyle alaşımda meydana gelen değişikliklerin malzemenin yapısal ve mekanik özelliklerini nasıl değiştirdiği Vickers Sertlik, zor-zorlanma ve optik mikroskop yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Fe bazlı alaşımlarda ısıtma sıcaklığının yani alaşımı homojen hale getirme sıcaklığının alaşım elementlerinin ergime sıcaklığının altında bir sıcaklık olması gerektiği için numune 1200 °C sıcaklıkta 24 saat tutulmuş ve oda sıcaklığına suyla hızlı soğutulmuştur.

Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarının yapısal özellikleri oda sıcaklığında optik mikroskop incelemeleri sonucunda ortaya çıkarılmıştır. Her iki numunede de oda sıcaklığında austenite yapının ve austenite tane sınırlarının olduğu gözlemlenmiştir. Numuneler kendi aralarında karşılaştırıldıklarında silisyum miktarının artmasıyla tane sınırlarının büyüdüğü ortaya çıkarılmıştır. Alaşım elementleri içerisinde nikelin ağırlıklı oranda bulunması oda sıcaklığında kararlı bir şekilde austenite ve ferrite yapılarının görülmesine sebep olabilmektedir. Öte yandan önceki çalışmalarda Fe-%40Ni-%2Mn alaşımı ile bu çalışmadaki Fe-%40Ni-%2Si alaşımı bu açıdan karşılaştırıldığında ise tane sınırlarının Fe-%40Ni-%2Mn alaşımında daha büyük Fe-%40Ni-%2Si alaşımında ise daha küçük olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada alaşım elementlerinin bileşimlerinin, homojenleştirmek için uygulanan ısıtma sıcaklığının ve süresinin numunenin yapısal özellikleri üzerine ne kadar önemli rol oynadığı tespit edilmiştir. Austenite yapı içerisinde ya ısıtma işlemi ya da deformasyonla oluşabilecek martensite yapı gözlemlenmemiştir.

Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarının mekanik özellikleri Vickers mikro sertlik ve zor-zorlanma deneyleri yapmak suretiyle incelenmiştir. Bu iki alaşım arasındaki mikro sertlik değerleri karşılaştırıldığında, silisyum oranının alaşımın sertlik değeri üzerine etkisinin hemen hemen olmadığı gözlemlenmiştir. Mikro sertlik değerleri bir malzemenin mekanik yönden ne kadar sert olup olmadığının bir ölçüsüdür. Ancak önceki çalışmalarda Fe-%40Ni-%2Mn alaşımı ile bu çalışmadaki Fe-%40Ni-%2Si

alaşımı karşılaştırıldığında ise silisyumun alaşıma kattığı sertliğin manganın alaşıma kattığı sertlikten daha fazla olduğu görülmüştür.

Fe-%40Ni-%2Si ve Fe-%40Ni-%5Si alaşımlarında yapılan zor-zorlanma deneyi sonuçlarına göre: alaşım elementleri içerisindeki Si miktarının artmasıyla mukavemet artmış numune daha gevrek hale gelmiştir. Fe-%40 alaşımına %2 oranında katılanmış Si miktarı numunenin elastik özelliklere sahip olmasını sağlamıştır. Ancak %5 katılanma durumunda numune gevrek hale gelmiş ve plastik deformasyona uğrayarak 100kN' luk yük altında kırılmıştır. Böylece Si miktarı arttıkça elastikiyet azalmıştır.

Sıkıştırılmış numunelerin deneyden önceki ve sonraki sertlik değerlerini karşılaştırmak amacıyla Vickers Mikro Sertlik işlemlerine tabii tutulmuştur. 1200 °C' de 24 saat ısıtılmış işlem görmüş austenite yapıya sahip numunelerin sertlik değerleri ile deforme edilmiş numunelerin sertlik değerleri karşılaştırıldığında, deformasyon sonucunda oluşan dislokasyonların malzemeyi daha sert hale getirmesinden dolayı deforme edilen malzemenin sertliğinin daha büyük olduğu bulunmuştur.

## KAYNAKLAR

- [1] Büyükakkaş,S., Fe-%40Ni-%2Mn alaşımında ısıtıl işlem süresi ve sıcaklık değişiminin austenite yapıda meydana getireceği değişiklikler ve bunların fiziksel özellikleri, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, ANKARA, 2004.
- [2] Kajiwara, S., Characteristic features of shape memory effect and related transformation behavior in Fe-based alloys, *Materials Science and Engineering*,A273–275,67–88,1999.
- [3] Himuro, Y., Kainuma, R. and Ishida, K., Martensitic Transformation and Shape Memory Effect in Austenized Fe-Ni-Si Alloys, *ISIJ International*, 42, 184-190,2002.
- [4] Kırındı,T., Sarı,U. ve Dikici,M., The effects of pre-strain, recovery temperature, and bending deformation on shape memory effect in an Fe–Mn–Si–Cr–Ni alloy, *Journal of Alloys and Compounds* 475, 145–150,2009.
- [5] Güngüneş, H., Yaşar, E. ve Durlu, T.N., The Effect of Austenitizing Time on Martensite Morphologies and Magnetic Properties of Martensite in Fe-24,5%Ni-4,5%Si Alloy, *Mater Sci.*, 42,6102-6107,2007.
- [6] Cao, H.L., Guo, Y.Y. and Zhang, X.M., Institute of Metal Research, Academia Sinica, Shenyang, The Morphology and fine Structure of Martensite in Fe-Ni-C Alloys,1989.
- [7] Ikeda, O., Himuro, Y., Ohnuma, I., Kainuma, R. and Ishida, K., Phase Equilibria in the Fe-rich Portion of the Fe-Ni-Si System, *Journal Alloys and Compounds*, 268, 130-136,1998.
- [8] Patterson, R.L., Wayman, C.M., The Crystallography and Growth of Partially-Twinned Martensite Plates in Fe-Ni Alloys, *Acta Metallurgica*, 14, 347-369,1966.
- [9] Güngüneş, H., Fe-%24,5Ni-%4,5Si Alaşımında Austenite – Martensite Faz Dönüşümleri Üzerinde Çalışmalar, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, KIRIKKALE, 2005.
- [10] Durlu, T. N., Dislocations in Fully Twinned Thin Plate Martensite of an Fe-Ni-C Alloy, *Journal Materials Science Letters*, 15, 1510,1996.
- [11] Caenegem, N.V., Duprez, L. , Verbeke, K. and Segers, D., Houbaert, Y., Stresses Related to The Shape Memory Effect in Fe–Mn–Si Based Shape Memory Alloys, *Materials Science and Engineering A* 481–482, 183–189, 2008.

- [12] Golovin, I.S., Nilsson, J.O., Serzhantova and G.V., Golovin, S.A., Anelastic Effect Connected With Isothermal Martensite Transformations in 24Ni5Mo Austenitic and 12Cr9Ni4Mo Maraging Steels, *Journal Alloys and Compounds*, 310, 411-417, 2000.
- [13] Morito, S., Nishikawa and J., Maki, T., Dislocation Density within Lath Martensite in Fe-C Fe-Ni Alloys, *ISIJ International*, 43, 1475-1477, 2003.
- [14] Shibata, A., Morito, S., Furuhashi, T. and Maki, T., Local Orientation Change Inside Lenticular Martensite Plate in Fe-33Ni Alloy, *Scripta Materialia*, 53-5, 597-602, 2005.
- [15] Nishimura, F., Watanabe, N. and Tanaka, K., Stress-Strain-Temperature Hysteresis and Martensite Start Line in an Fe-Based Shape Memory Alloy, *Materials Science and Engineering A238*, 367-376, 1997.
- [16] Kakeshita, T., Kuroiwa, K., Shimizu, K., Ikeda, T. and Yamagishi, A., Effect of Magnetic Fields on Athermal and Isothermal Martensitic Transformations in Fe-Ni-Mn Alloys, *Materials Transactions, JIM.*, 34, 415-422, 1993.
- [17] Tanaka, K., Nishimura, F. and Tobushi, H., Transformation Conditions and Subloops in an Fe-Based Shape Memory Alloy Under Thermomechanical Loading, *Journal De Physique IV, Colloque C2, supplément au Journal de Physique* 111-5, 1995.
- [18] Watanabe, Y., Mori, Y. and Sato, A., Training Effect in Fe-Mn-Si Shape-Memory Alloys. *Journal Of Materials Science* 28, 1509- 1514, 1993.
- [19] Yaşar, E., Güler, E., Güngüneş, H. ve Durlu, T.N., Some Characteristics of Thermally Induced Martensite in Fe-30Ni-3.6Mo Alloy, *Materials Characterization*, 59, 769-772, 2008.
- [20] Jihua, Z., Xuejun, I. and Zuyao, X., Thermodynamic Prediction of  $M_s$  in Fe-Mn-Si Shape Memory Alloys Associated with fcc (γ) - hcp (ε) Martensitic Transformation, *Science In China*, E, 42- 6, 1999.
- [21] Güner, M., Güler, E., Yaşar ve E., Aktaş, H., Some Aspects of Thermally Induced Martensite in Fe-30Ni-5Cu Alloy, *ScienceDirect, Physica-B*, 16-19, 2007.
- [22] Cotesa, S., Guillermet, A.F. and Sadea, M., Phase Stability and fcc /hcp Martensitic Transformation in Fe-Mn-Si Alloys Part I. Experimental Study and Systematics of the  $M$  and  $A$  Temperatures, *Journal of Alloys and Compounds*, 278, 231-238, 1998.
- [23] Cotesa, S., Guillermet, A.F. and Sadea, M., Phase Stability and Fcc /Hcp Martensitic Transformation in Fe-Mn-Si Alloys: Part II. Thermodynamic Modelling of The Driving Forces and The  $M_s$  and  $A_s$  Temperatures, *Journal of Alloys and Compounds* 280, 168-177, 1998.

- [24] Kırındı, T., Sarı, U., Güler, E., Güner, M. ve Dikici, M., Some Properties of Thermally Induced Martensite Phase in Fe-%25Ni-%15Co-%2Mo Alloy, 24th International Physics Congress of Turkish Physical Society, Malatya-TURKEY, 2007.
- [25] Ciura, F., Dubiel, B. and Satora, K., Quantitative Microstructural Characterisation of Fe-30Ni Alloy After Martensitic Transformations by Means of Stereological and Magnetic Methods, *Materials Characterization* 56, 290-296, 2006.
- [26] Georgiyeva, I.Y.A., Nikitina, I.I., Isothermal and Athermal Martensitic Transformations, *Fiz. Metal. Metalloved.*, 33, 144-150, 1972.
- [27] Yaşar, E., Güngüneş, H., Kılıç, A. ve Durlu, T.N., Effect of Mo on The Magnetic Properties of Martensitic Phase in Fe-Ni-Mo Alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 424, 51-54, 2006.
- [28] Yaşar, E., Güngüneş, H., Aktürk, S. ve Durlu, T.N., New Observations on The Formation of Athermal Martensite in Fe-Ni-Mo Alloys, *Journal of Alloys and Compounds*, 428, 125-129, 2007.
- [29] Durlu, T.N., The Effect of Deformation on Strain-Induced Martensite Formation in an Fe-32,4%Ni Alloy, *Scripta Metalurgica et Materialia*, 25, 2839-2841, 1991.
- [30] Zhang, M-X, Kelly, P.M., Deformation Twinning of Martensite in an Fe-Ni-C Alloy, *Scripta Mater.*, 44, 2575-2581, 2001.
- [31] Shibata, A., Yonezawa, H., Yabuuchi, K., Morito, S., Furuhashi, T. and Maki, T., Relation between martensite morphology and volume change accompanying fcc to bcc martensitic transformation in Fe-Ni-Co alloys, *Materials Science Eng.*, A438-440, 241-245, 2006.
- [32] Raghavan, V., Fe-Ni-Si (Iron-Nickel-Silicon) , *Journal of Phase Equilibria*, 24,3,2003.
- [33] Durlu, T.N., Structure of The Martensite in Fe-24%Ni-0,45%C Alloy, *Journal of Materials Science Letters*, 16, 1307-1308, 1997.
- [34] Güler, E., Kirindi, T. ve Aktaş, H., Comparison of Thermally Induced and Deformation Induced Martensite in Fe-29%Ni-2%Mn Alloy, *Journal of Alloys and Compounds*, 440, 168-172, 2007.
- [35] Durlu, T.N., Effect of High Austenitizing Temperature and Austenite Deformation on Formation of Martensite in Fe-Ni-C Alloys, *Journal of Materials Science*, 36, 5665-5671, 2001.
- [36] Kajiwara, S., Roles of Dislocations and Grain Boundaries in Martensite Nucleation, *Metall Trans.*, 17A, 1693-1696, 1986.

- [37] Büyükakkaş, S., Aktas, H. Ve Akturk, S., Effect of Plastic Deformation on Magnetic Properties Fe-40%Ni-2%Mn Austenitic Alloy, Journal of Iron and Steel Research International, 14-4, 56-59, 2007.
- [38] Büyükakkaş, S., Aktas, H. ve Akturk, S., Effect of Austenitization Heat Treatment on The Magnetic Properties of Fe-40%Ni-2%Mn Alloy, Journal of University of Science and Technology Beijing, 14-4, 327-330, 2007.
- [39] Onaran K., Malzeme Bilimi, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, 2000.
- [40] Vlack, L.H.V., Elements of Materials Science, Addison-Wesley Publishing, Michigan University, U.S.A., 1964.
- [41] Aytar, Ö.B., Fe Tabanlı Bazı Alaşımların Mekanik Davranışlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2004.
- [42] Savaşkan, T., Malzeme Bilgisi Ve Muayenesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2007.
- [43] Bülbül, F., Metal Dünyası, Malzeme ve Yüzey Mühendisliği  
<http://www.cadcamokulu.com/cad-cam-cae-hakkinda-makale-rapor-ve-yazilar/255-malzeme-ve-yuezey-muehendislii.html>, 2009.
- [44] Yalçın, H., Cumhuriyet üniversitesi Jeoloji mühendisliği Malzeme Analiz Teknikleri Ders notları, 2008.
- [45] Egerton, R.F., Physical Principles of Electron Microscopy, University of Alberta, Alberta, Canada, 2005.
- [46] Davidson, M.W., Abramowitz, M., Optical Microscopy,  
<https://imf.ucmerced.edu/downloads/optical-microscopy.pdf>, 2002.
- [47] Aktürk, S., Fe-%25Ni-%5Mn Alaşımında Atermal ve İzotermal Martensite Dönüşümleri ve Bunların Fiziksel Özellikleri, Ankara Üniversitesi, 2001.
- [48] Aydoğdu, A., Şekil Hatırlamalı CuAlNi Alaşımlarındaki Martensitik Dönüşümler üzerine Termal Yaşlandırma Etkileri, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, 1995.
- [49] Flemings, M. and Koseki, T., The AISE Steel Foundation, PA., Pittsburg, 2003.
- [50] Nygren, E., Folke, G., Molin, S., Ljungberg, L., Sandvikens Handbok: Järnets och stålets metalografi, Esselte Tryck, Stockholm, Sweden, 1970.

