

**T. C.
HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn ALAŞIMINDA
TERMAL ETKİ İLE OLUŞAN MARTENSİTENİN
BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ**

Serap GÜL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Melek GÜLER**

**NİSAN 2019
ÇORUM**

**Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn ALAŞIMINDA
TERMAL ETKİ İLE OLUŞAN MARTENSİTENİN
BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ**

Serap GÜL

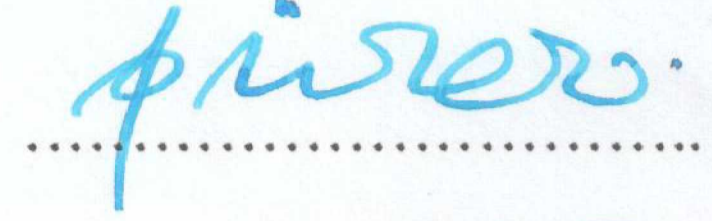
**YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Melek GÜLER**

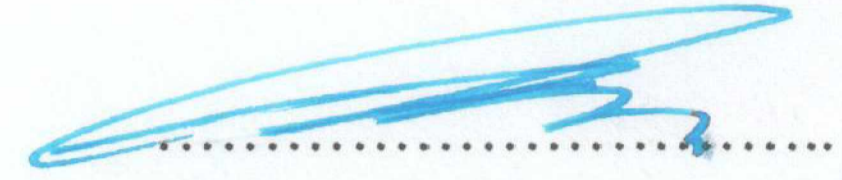
**NİSAN 2019
ÇORUM**

Serap GÜL tarafından hazırlanan “Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn Alaşımında Termal Etki ile Oluşan Martensitenin Bazı Fiziksel Özellikleri” adlı tez çalışması 16.07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği /oy çokluğu ile Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans olarak kabul edilmiştir.

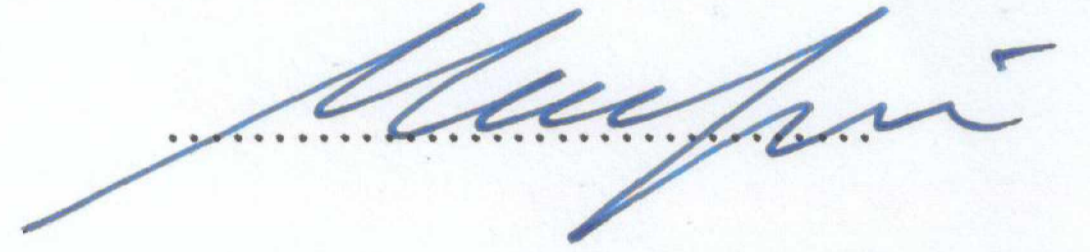
Prof. Dr. Emre GÜLER



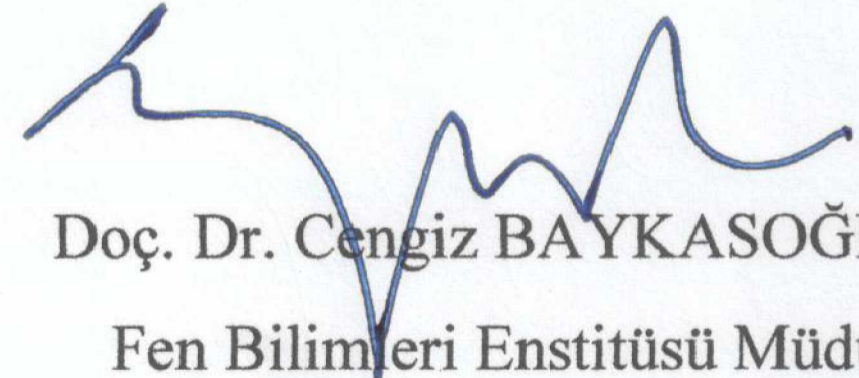
Prof. Dr. Abdullah AYDIN



Doç.Dr. Melek GÜLER



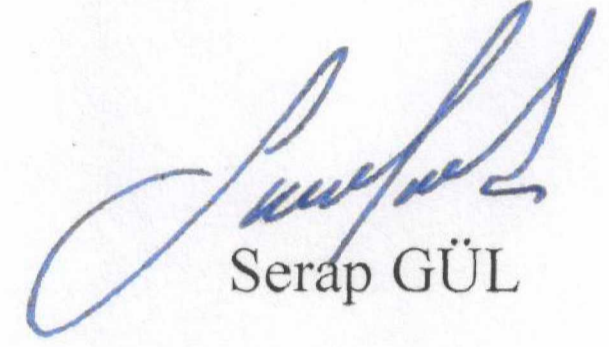
Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun 17.07/2019 tarih ve 2019/95..... sayılı kararı ile Serap GÜL’ün Fizik Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans derecesi alması onaylanmıştır.



Doç. Dr. Cengiz BAYKASOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANI

Tez içindeki bütün etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunduğum, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.


Serap GÜL

Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn ALAŞIMINDA TERMAL ETKİ İLE OLUŞAN MARTENSİTENİN BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Serap GÜL

HİTİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2019

ÖZET

Bu çalışmada, Fe-%27 Ni-%4 Mn-%1 Zn alaşımında termal etki ile oluşturulan faz dönüşümleri araştırılmıştır. Alaşımın üzerine uygulanan ısı işlem etkisi ile alaşımda oluşan martensite faz dönüşümü ve ısı işlem sonucu oluşan martensitik dönüşümün bazı fiziksel özellikleri, Taramalı elektron mikroskobu (SEM), Titreşimli örnek magnetometresi (VSM) teknikleri kullanılarak incelendi.

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemelerinden, Fe-%27 Ni-%4 Mn-%1 Zn alaşımında martensitik dönüşüm gözlemlendi. Fe-%27 Ni-%4 Mn-%1 Zn alaşımında termal etkiyle oluşturulan martensite yapının “lath martensite” morfolojisine uygun yapı sergilediği görüldü. Alaşımın; Mıknatıslanma-Uygulanan Alan (M-H) eğrisinden ferromagnetik bir davranış sergilediği görüldü. Numunenin doyum mıknatıslanma değeri yaklaşık 21 emu g^{-1} bulundu. Ayrıca örneğin M-H eğrisinden elde edilen zorlayıcı alan değeri yaklaşık 36 Oe olarak elde edildi.

Anahtar Kelimeler: Fe- %27 Ni-%4 Mn- %1 Zn, Austenite, Martensite, SEM, VSM, Magnetik Alan, Curie Sıcaklığı.

**INVESTIGATION OF THE THERMAL EFFECT OF THERMAL EFFICI-
ENCY IN Fe-27 Ni-4 Mn-1 Zn ALLOY**

Serap GÜL

HITIT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

April 2019

ABSTRACT

In this study, phase transformations of Fe- 27% Ni- 4% Mn- 1% Zn alloy with thermal effect were investigated. Some physical properties of the martensitic transformation as a result of the heat transfer effect on the alloy and the martensitic phase transformation formed in the alloy with the effect of heat treatment on the alloy, were investigated by scanning electron microscope (SEM), Vibrating sample magnetometer (VSM) techniques.

From the scanning electron microscope (SEM) investigations, Fe-27 Ni-4 Mn-1 Zn alloy was observed in the martensitic conversion. Fe-27 Ni-4 Mn-1 Zn alloy was formed by the thermal effect of martensite structure. Z lath martensite thermal morphology was observed to show the structure. Magnetization-Applied Area (M-H) curve showed a ferromagnetic behavior. The saturation magnetization value of the sample was about 21 emug^{-1} . In addition, for example the compelling field value obtained from the M-H curve was obtained as about 36 Oe

Keywords: Fe-27 Ni-4 Mn-1 Zn alloy, austenite, martensite, SEM, VSM, Magnetic field, Curie temperature.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince tüm bilgilerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan saygıdeğer Hocalarımız Prof. Dr. Emre GÜLER ve Doç. Dr. Melek GÜLER'e sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada her türlü desteğini esirgemeyen Doç. Dr. Emine ALDIRMAZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili eşim İlyas GÜL'e yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde en önemli maddi ve manevi desteği sağlayan emeklerinin ve haklarının karşılığını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim, çalışma süresince beni hep destekleyen, güvenen, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen çok sevdiğim canım babam Yusuf ŞEN'e; canım annem Fadime ŞEN'e, tüm çalışmalarında bana yol gösteren, yardımcı olan, maddi ve manevi desteğini esirgemeyen hayat arkadaşım, eşim İlyas GÜL'e, ve tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Litaratür Özeti.....	2
1.2. Çalışmanın Amacı.....	4
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	6
2.1. Kristal Yapı Kusurları.....	8
2.2. Metallerin Manyetik Özellikleri.....	11
2.2.1. Diyamanyetik Maddeler.....	11
2.2.2. Paramanyetik Maddeler.....	12
2.2.3. Ferromanyetik Maddeler.....	13
2.3. Faz Dönüşümleri.....	17
2.4. Austenite-Martensite Faz Dönüşümlerinin Kinetik Özellikleri.....	23
2.5. Austenite- Martensite Faz Dönüşümlerinin Kristolografik Özellikleri.....	25
2.6. Martensite Fazın Morfolojisi.....	28
3. DENEYSEL MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1. Yöntem.....	31
3.1.1. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Hakkında Genel Bilgiler.....	31
3.1.2. Titreşimli örnek magnetometresi (VSM).....	35

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	37
4.1. Numunelerin Hazırlanması	37
4.1.1. SEM İncelemeleri İçin Numunelerin Hazırlanması	37
4.1.2. VSM Ölçümleri İçin Numune Hazırlanması	37
4.2. Araştırma Bulguları.....	38
4.2.1. SEM Gözlemleri	38
4.2.2. VSM Ölçümleri.....	40
5. SONUÇLAR.....	42
KAYNAKLAR.....	44
ÖZGEÇMİŞ	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge

Sayfa

Çizelge 2.1. Metallerde en çok rastlanan hacim, kübik ve yüzey merkezli yapılar...8

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Fe elementinin alotropisi	6
Şekil 2.2. Kristal örgüde eksenler ve açılar.....	7
Şekil 2.3. Basit, Yüzey Merkezli, Hacim Merkezli Yapılar	8
Şekil 2.4. a) diyamanyetik madde b) manyetik moment.....	12
Şekil 2.5. Dış manyetik alanın a) yokluğunda, b) varlığında ve c) alan kaldırıldı- ğında paramanyetik maddede manyetik momentlerin yönelimi	13
Şekil 2.6. Bir dış manyetik alanın yokluğunda ve varlığında bir ferromanyetik malzemede domain mıknatıslanması	14
Şekil 2.7. Ferromanyetik maddelerde Hysterisis eğrisi. a) sert, b) orta, c) yumuşak ferromanyetik maddede uygulanan dış manyetik alana göre madde için- deki mıknatıslanma.....	15
Şekil 2.8. Ferromanyetik bir maddede mıknatıslanma ile mutlak sıcaklık arasın- daki ilişki	16
Şekil 2.9. İzotermal dönüşüm için dönüşüm yüzdesinin zamanla değişimi (Yaşar, 2005).....	21
Şekil 2.10. Atermal dönüşüm için dönüşüm yüzdesinin zamanla değişimi (Yaşar, 2005).....	21
Şekil 2.11. Austenite- Martensite Fazlarının serbest enerjilerinin sıcaklığın fonksi- yonu olarak değişimi (Kaufman, 1958).....	25
Şekil 2.12. Austenite-Martensite dönüşümü sonrası ortaya çıkan martensite kristal- lerinin yerleşim şeması	26
Şekil 3.1. Elektron-numune etkileşmesi sonucu oluşan ışınlar ve elektronlar.....	32
Şekil 3.2. Elektron-numune etkileşmesi. (Akay, 2013)	34
Şekil 3.3. VSM sisteminde manyetik algılama yapısı.....	35
Şekil 3.4. Quantum Design PPMS-9t titreşimli örnek magnetometresi (vibrating sample magnetometre, VSM).....	36
Şekil 4.1. Fe-27%Ni-4%Mn-1% Zn alaşımında gözlenen austenite yapı.....	39

Şekil 4.2. Fe- 27 % Ni-4% Mn-1% Zn alaşımında termal etki ile oluşan martensite yapı.....	39
Şekil 4.3. Fe-27% Ni-4% Mn-1% ZnAlaşımından elde edilen martensite yapının mıknatıslanma-Uygulanan Alan (M-H) Eğrisi	40
Şekil 4.4. Fe-27% Ni-% 4 Mn-%1 Zn alaşımından elde edilen martensite yapıya ait (M-T) grafiği	41

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

γ	Yüz merkezli kübik yapı
α	Hacim merkezli tetragonal yapı
α'	Hacim merkezli kübik yapı
ε	Sıkı Paketlenmiş hegzagonal yapı
T_0	Austenite ve martensite fazların dengede bulunduğu sıcaklık
M_s	Austenite-martensite faz dönüşümünün başlama sıcaklığı
M_f	Austenite-martensite faz dönüşümünün bitiş sıcaklığı
A_s	Martensite-austenite faz dönüşümünün başlama sıcaklığı
$G_{\alpha-\gamma}$	Kimyasal serbest enerji değişimi
G_γ	Ana fazın kimyasal serbest enerjisi
G_α	Ürün fazın kimyasal serbest enerjisi
E	Sistemin kinetik ve potansiyel enerjileri toplamı
T	Mutlak sıcaklık
H	Entalpi
S	Entropi
E	İç Enerji
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat Derece
dak	Dakika
a_γ	Austenite fazın örgü parametresi
c_ε	Martensite fazın örgü parametresi
a_ε	Martensite fazın örgü parametresi
δ_γ	Austenite Fazın İzomer Kayması
δ_ε	Martensite Fazın İzomer Kayması
B_{hf}	Martensite Fazın İç Manyetik Alanı
h,k,l	Miller indisleri

Kısaltmalar

fcc	Yüzey merkezli kübik yapı
bct	Hacim merkezli tetragonal yapı
bcc	Hacim merkezli kübik yapı
hcp	Sıkı paketlenmiş hekzagonal yapı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
VSM	Titreşimli Örnek Magnetometresi

1. GİRİŞ

Malzemeler muhtemelen çoğumuzun farkında olduğundan daha fazla bir şekilde uygarlığımızı etkilemiştir. Ulaşım, konut, giyim, iletişim ve gıda üretimi gibi günlük hayatımızın her alanı az ya da çok malzemelerin etkisi altındadır. Toplumların gelişmesi ve ilerlemesi için malzeme üretme ve kullanma kabiliyetleri çok önemlidir. İlk insanlar taş, tahta, kil ve deri gibi doğada kendiliğinden bulunan malzemeleri kullanıyorlardı. Zamanla doğada hazır bulunan bu malzemelere göre daha üstün özelliklere sahip bazı metaller kullanılarak yeni malzemeler üretecek teknikler keşfedildi. Bunun da ötesinde başka maddelerin eklenmesi ve ısıl işlem yoluyla malzeme özelliklerinin değişebileceği tespit edildi. Katı malzemeler; metaller, seramikler ve polimerler olmak üzere üç ana katagoriye ayrılır. Bununla birlikte iki ya da daha fazla malzemenin birlikte kullanılması sonucunda oluşturulan kompozit (karma) malzemeler de vardır. İleri teknoloji uygulamalarında kullanılan ve ileri malzemeler olarak adlandırılan diğer bir grup ise yarı iletkenler, biyo-malzemeler, akıllı-malzemeler ve nano mühendislik malzemeleri gibi malzemelerdir.

Birçok alanda kullanılan metal ve alaşımların en önemli karakteristik özellikleri; kristal yapıya sahip olmaları, dayanımlarının yüksek olması, kolay şekillendirilebilir olmaları, sünek olmaları (kırılmaya uğramadan yüksek oranda şekil değiştirebilme kabiliyetleri) ve kırılmaya karşı yüksek dirence sahip olmalarıdır. Günümüzde metaller teknolojinin gelişmesi ile çok önemli yere sahip olmuş ve bunun sonucunda metaller üzerindeki çalışmalar daha çok hız kazanmıştır. Metal; yüksek parlaklığa sahip, iyi elektrik ve ısı iletimi olan, ergime ile döküme uygun hale getirilebilen maddedir (Durlu, 1991). Kristal yapıya sahip olmayan maddelere amorf denir (Durlu, 1991). Metaller; kristal yapıları, ısı iletkenlikleri, elektriksel iletkenlikleri gibi özelliklerinden dolayı metal olmayan maddelerden ayrılırlar (Güner, 2006). Metale belirli bir özellik kazandırmak için en az bir elementin kasıtlı olarak eklenmesi ile elde edilen metal karakterli maddeye alaşım denir (Savaşkan, 1999). Alaşım oluşturmanın birçok sebebi vardır. Bunlar; istenilen özelliğe göre malzemenin sertliğini ve dayanımını artırmak ya da malzemedeki sertleşmeyi kolaylaştırmak, çekirdek yapısına kadar sertleşmeyi sağlamak, korozyon olaylarına karşı dayanımı artırmak, mıknatıslanma özelliğini geliştirmek, elektrik direncinde değişiklik yapmak, aşınmaya karşı direnci

artırmak, ısıl işleme tabi tutularak genleşmeyi değiştirmek gibi birçok neden sayılabilir (Savaşkan, 1999). Metaller katı durumda iken kristal yapıdadırlar, metali oluşturan atomlar üç boyutlu olarak belli bir dizilime sahiptirler. Metal alaşımlarında en sık rastlanan kristal yapılar; hacim merkezli kübik yapı (bcc), yüzey merkezli kübik yapı (fcc), sıkı paket hegzagonal (hcp), hacim merkezli tetragonal (bct) yapılarıdır (Nishiyama, 1978).

1.1. Litaratür Özeti

Austenite- Martensite faz dönüşümleri sonucunda alaşımların önemli fiziksel özelliklerinin yanı sıra mekanik özelliklerinde de büyük değişiklikler olduğu görülmüştür. Bu durum araştırmaların artmasına ve bu konu üzerinde ilginin büyümesine neden olmuştur. Özellikle Fe bazlı alaşımlardan Fe-Ni alaşımı, özel manyetik özelliklere sahip olması, yüksek elektrik dirence sahip olması, şekil hatırlatma özelliği göstermesi gibi özelliklerinin olması ve ucuz maliyetli olmasından dolayı teknolojik alanlarda çok tercih edilmektedir. Martensitik dönüşümler incelenirken ilk olarak çeliğe su verildiğinde sertleşmenin olduğu farkedilmiş ve günümüz teknolojisinde önemli bir yere sahip olduğu anlaşılmıştır. İlk olarak 1864 yılında Sorby tarafından martensitik faz dönüşümleri incelenmiştir. Sonrasında ise 1866 yılında Tschernoff ve 1878 yılında Martens tarafından demir bazlı alaşımlarda yapılan çalışmalarda martensitik faz dönüşümleri gözlenmiştir. Osmond 1895 yılında Martens'in yorumlarına yakın görüşler bildirmiştir. Yüksek sıcaklık fazına austenite ve bu geçiş olayına da martensitik dönüşüm adı verilmiştir (Aydoğdu, 1995).

Farklı kompozisyonlardaki alaşımların örneğin Fe-Ni-Mn gibi yapılan çalışmalarda kristalografik gözlemler sonucunda oluşan martensite kristallerinin $(1\ 1\ 1)_\gamma$ (Wakasa ve Wayman, 1981), $(2\ 2\ 5)_\gamma$ (Kajiwara, 1984), $(2\ 5\ 9)_\gamma$ (Ocak, 1999) farklı habit düzlemleri ile K-S türü ve S-N türü dönme bağıntısı gösterdiklerini ortaya çıkarmışlardır (Kajiwara, 1984; Ghosh ve Raghavan, 1986; Ocak, 1999; Aktürk, 2001). Farklı kompozisyona sahip olan Fe-Ni-Mn alaşımlarında morfolojik bakımdan incelendiğinde martensite kristalleri f.c.c. yapıdan b.c.c. (b.c.t) yapıya dönüşümlerinde iğne ya da çubuk (lath) şekilli (Baydur, 1999; Schino ve ark., 2002; Takaki ve ark., 1999), kelebek (butterfly) şekilli (Takaki ve ark., 1999), plaka (plate) şekilli (Kajiwara, 1984;

Ghash ve ark., 1986; Sun ve ark., 1989; Kajiwara, 1992) ve ellipsoid şekilli martensite (Durlu, 2001) lenticular iken f.c.c.yapıdan h.c.p. yapıya dönüşümlerinde ise bant yapılı morfolojilerin oluştuğu gözlenmiştir (Ocak, 1999; Aktürk, 2001).

Fe-Ni-Mn ve Fe-Ni-Cr alaşımlarında faz dönüşümlerinde element etkisini çalışmak amacıyla yapılan araştırmalarda Jones ve Entwisle %1.5Cr yerine farklı bir element olan %1Mn kullanılmasının martensite oluşumunun özelliklerinde bir değişiklik göstermediğini belirtmişlerdir (Güler, 2005).

Dış fiziksel etkiler sonucunda gerçekleşen başka bir dönüşüm örneğinde Fe-%20Ni-%2Mn alaşımında soğutma etkisi ile elde edilen izotermal b.c.c. türü martensite dönüşüm oranının alaşıma uygulanan 20 kOe'lik bir manyetik alanla 3 katına çıktığı ve benzer etki Fe-%20 Ni-%4 Mn oranında artırıldığında da görülmüştür (Nishiyama, 1978).

Georgiyeva ve arkadaşları tarafından belirli aralıklarla yapılan çalışmalar incelendiğinde dönüşüm ile ilgili değişik sonuçlara ulaşılmıştır. Bu çalışmaları 1969 yılından itibaren inceleyecek olursak çalışmalar şunlardır:

Georgiyeva ve arkadaşları Fe-%24.3Ni-%5.2Mo alaşımı üzerinde yaptıkları çalışmada izotermal ve atermal martensite dönüşümünde izotermal dönüşüm başlama sıcaklığı -50 °C ile -150 °C aralığında iken atermal dönüşüm M_s sıcaklığı -185 °C bulunmuştur. Dönüşüm sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda da martensite faza geçiş olduğandır (Georgiyeva ve ark., 1969).

Fe-%24Ni-%3Mn alaşımı üzerinde izotermal martensitin kristalografik özelliği araştırılmış ve bunun sonucunda Fe-Ni-Mn alaşımının dönüşüm sıcaklığının Fe-Ni-Mo dönüşüm sıcaklığı ile aynı değere sahip olduğu görülmüştür (Georgiyeva ve ark., 1971).

Fe-Ni alaşımlarında Ni miktarı değiştikçe austenite-martensite faz diyagramı sıcaklığın bir fonksiyonu olarak belirlenmiş ve Ni miktarı artması ile M_s sıcaklığının düş-

tüğü görülmüştür. Burada Ni miktarı %9.5 iken M_s 525 °C, %33 iken M_s -223 °C olarak bulunmuştur (Kaufman ve Cohen, 1956).

1998 yılında J.H. Jun ve arkadaşları tarafından yapılan Fe–Mn–Co alaşımlarında mikroyapısal özellikler ve ısı işlemlerin malzeme tarafından mekanik enerjiye titreşim artışı sonucu dönüştürülmesinin martensitik faz dönüşümüne bağlılığı incelenmiştir (Jun ve ark.,1998). 2003 yılında P. Marinelli ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada Fe-Mn-Co alaşımlarında termal etkili martensitik alaşımlar incelenmiştir (Marinelli ve ark., 2003). Sarı ve arkadaşları Fe-Mn alaşımlarında Mo ve Co'ın martensitik dönüşüm ve manyetik özelliklerine etkisini araştırmışlardır (Sarı, 2009). Yapılan çalışmalarda, Fe-Mn bazlı alaşımlarda meydana gelen γ (f.c.c.) \rightarrow ϵ (h.c.p.) faz dönüşümü ilave olunan elementin yüzde oranının dönüşümü nasıl etkilediği ve alaşım içinde oluşan kusurları incelemiştir (Inagaki,1992; Martinez ve ark.,2005).

Çalışmalardan da görüldüğü gibi Fe-Ni-Mn alaşımının farklı kompozisyon ve farklı dış fiziksel etkiler altında iken kinetik, kristalografik ve morfolojik özellikler bakımından oldukça farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Kakeshita ve arkadaşları atermal ve izotermal martensitikte manyetik bir alan Fe – Ni – Mn ve Fe – Ni – Cr alaşımlarında dönüşümler ve bu alaşımların izotermal bir martensitik sergilediğini buldu (Kakesita, 1993). Fe-bazlı bazı alaşımlar hem atermal hem de izotermal martensite formasyonu tipi ortaya çıkabilir (Kakesita, 1999). İzotermal martensite alaşımın soğuması esnasında oluşmuştur. Bu çalışmada izotermal martensite yapılarının gelişimi austenite numunelerde sıvı azotta bekletilerek elde edildi (Güner ve ark., 2004).

1.2. Çalışmanın Amacı

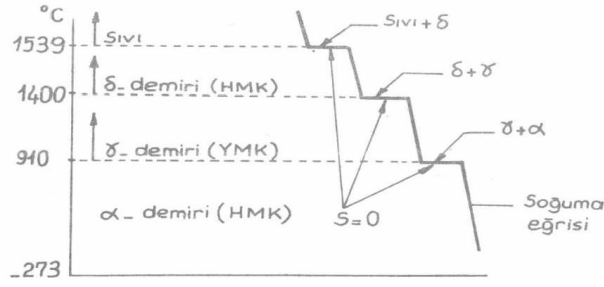
Metal ve metal alaşımları günümüzde çok kullanılmaktadır. Günümüzdeki yaşam ortamları ve yaşam şartları yüksek kaliteye sahip malzemeler üretmeye ihtiyaç duymuştur. Teknolojik alanlardaki gelişmeler metal ve alaşımların tüm özelliklerinin bilinmesini sağlamış ve hangi alanlarda kullanılabileceği hakkında fikirler edinilmiştir. Alaşımların yapısal, mekanik, manyetik, kristalografik ve kinetik özellikleri araştırılarak uygulama alanları belirlenmektedir. Faz dönüşümleri de maddelerin daha sağlam ve iyi bir kalitede olmasını sağlamaktadır. Martensitik faz dönüşümünün ger-

ekleşmesi ile malzemelerin özellikleri de ortaya çıkmaktadır. Bu şekilde istenilen özelliklere sahip malzemeler üretilmektedir.

Isıl etkilerle alaşımlarda gözlenen martensitik dönüşümler ve manyetik özelliklerdeki değişimlerin ortaya çıkarılması uygulamalar açısından önemlidir. Dolayısıyla bu çalışmadaki amacımız Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn alaşımında termal etkilerle oluşabilecek mikroyapı değişimleri ve manyetik özellikleri Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Titreşimli Örnek Magnetometresi (VSM) yöntemleri ile incelenmiştir. Austenite- martensite faz dönüşümlerinin morfolojik özelliklerinin belirlenmesi için Taramalı elektron mikroskop (SEM) kullanılmıştır. Malzemenin manyetik karakterinde Titreşimli Örnek Magnetometresi (VSM) ile belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Demir, tüm dünya da üretilen metallerin ağırlıkça %95'ini oluştururken metallerin içinde en çok kullanılma özelliğine sahiptir. Düşük fiyatı ve yüksek dayanım özelliklerinden dolayı demir, otomotiv sanayi, gemi gövdesi yapımı ve binaların yapısal bileşeni olarak kullanımında vazgeçilmez bir malzeme kılar (Anonim, 2018). Alaşım oluşturmada, diğer metallerin yanı sıra demirin ana element olduğu, demir bazlı alaşımlar teknolojiye yaygın olarak kullanılmaktadır. Demir bazlı alaşımlarda faz dönüşümlerini inceleyebilmek için; endüstriyel açıdan büyük önem taşıyan demir (Fe) elementinin allotropisini incelemek yerinde olacaktır (Güner, 2006).

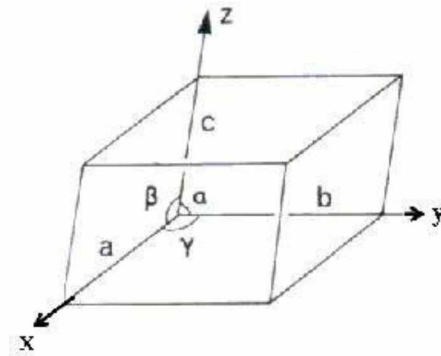


Şekil 2.1. Fe elementinin allotropisi

Demir elementi farklı sıcaklık değerlerinde farklı kristal yapılar sergileyebilen allotropik bir metaldir. Saf demir ısıtılmaya başladığında α , β , γ , δ faz dönüşümü gerçekleşir (Savaşkan, 1977). Oda sıcaklığında saf demir hacim merkezli kübik yapı (bcc)'ya ve manyetiklik özelliğine sahip olup α -Fe olarak adlandırılır. Demir 768°C sıcaklıkta mıknatıslık özelliğini kaybeder ve bu sıcaklığın üzerinde β -Fe olarak adlandırılır. Manyetiklik sınırını kaybettiği bu sınır sıcaklığına Curie sıcaklığı denir. α -Fe ile β -Fe'in farkı sadece mıknatıslık özelliğini kaybetmesidir. Çünkü α -Fe ferromanyetik iken β -Fe paramanyetiktir. 768°C ve 910°C'lik sıcaklıkları aralığında kristal yapı yine hacim merkezli kübik yapı (bcc)'dir. 910°C ve 1400°C aralığında demir, yüzey merkezli kübik yapı (fcc)'ya sahiptir ve γ -Fe olarak adlandırılır. Demir 1400°C ile 1535°C sıcaklık arasında yine hacim merkezli kübik yapıya (bcc) sahiptir ve δ -Fe olarak adlandırılır. 1535°C sıcaklığının üstünde artık eriyerek sıvı duruma geçer (Nishiyama, 1978). Saf demir başka metallerle alaşım haline getirildiğinde kristal

yapı dönüşümleri meydana gelir. Alaşımlamada demirin allotropisindeki dönüşüm sıcaklığı alaşımın cinsine göre değişiklik gösterir. Alaşım elementi demirin allotropisindeki dönüşüm sıcaklığını daha yüksek sıcaklıklara çıkarabilir veya daha düşük sıcaklıklara düşürebilir. Alaşımdaki yabancı atomların miktarı ne kadar değişirse buna bağlı olarak etkileri de o kadar değişir (Topbaş, 1993). Örnekleme yapılırsa; C elementi ucuz bir element olmasına rağmen demirin en önemli alaşım elementidir. Çok az oranda demir elementine katılan C elementi demirin özelliklerinde büyük değişiklik yapmasına sebep olur.

İncelemiş olduğumuz Fe bazlı Fe-%27 Ni-%4 Mn-%1 Zn alaşımının ve diğer Fe bazlı alaşımlarda bulunan örgü çeşitleri ve kristal yapı kusurları ile ilgili genel bilgilerden de bahsedilmesi gerekmektedir. Malzemeler kristal yapı malzemeler ve kristal yapı olmayan malzemeler olmak üzere ikiye ayrılır. Kristal yapıya sahip malzemelerde atomlar üç boyutlu olarak basit geometrik şekillere sahip dizilimden oluşmuş kafes yapıya sahiptir. Sir Laurence Bragg ilk kez kaya tuzu kristalinin yapısını incelemiş ve kristallerin atomik yapıları hakkında birçok önemli bilgilere ulaşmıştır. Araştırmalar sonucunda kristali oluşturan en küçük yapının “Birim Hücre” olarak adlandırıldığı ve bunun uzayda yayılarak ne çeşit bir kristali oluşturduğunu anlayabilmişlerdir (Durlu, 1989). Birim hücre bir üç boyutlu eksen üzerinde a, b, c atom uzaklıklarına sahip ve bu üç boyutlu x, y ve z eksenleri arasındaki açılar α , β , γ açıları olarak belirlenir. Kristal örgüsü de bu basit geometrik şekillere sahip olup atomik boyutlarda yan yana gelerek oluşur (Küçük, 2004).

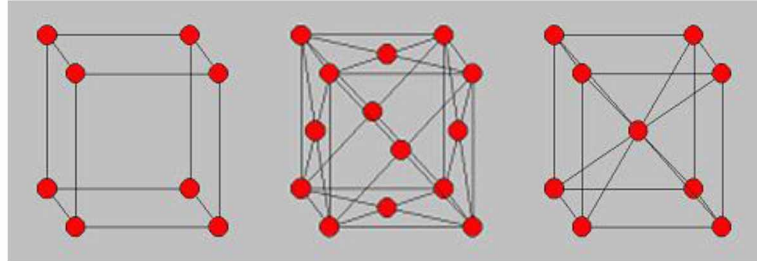


Şekil 2.2. Kristal örgüde eksenler ve açılar

Metallerde en sık rastlanan yapılar olan (Savaşkan, 1999); hacim merkezli kübik yapı (bcc), yüzey merkezli kübik yapı (fcc) ve sıkı paket hekzagonal (hcp) yapının kristalografik özellikleri çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Metallerde en çok rastlanan hacim, kübik ve yüzey merkezli yapılar

Sistemler	Atom Uzaklıkları	Eksenler Arasındaki Açılar
Kübik Sistem	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Tetragonal Sistem	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Hekzagonal Sistem	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$



Şekil 2.3. Basit, Yüzey Merkezli, Hacim Merkezli Yapılar

2.1. Kristal Yapı Kusurları

İki atom arasındaki denge durumu; eğer bağ enerjisi en küçük değere sahip ise kusursuz bir yapıdadır. Kristallerin yapısında meydana gelen bozulma ve gerilmeler kristalin enerjisinin değişmesine yani artmasına neden olur. Kusurları her zaman olumsuz anlamda değerlendirmemek gerekir. Tam tersine belirli kusurlar istenilerek

oluşturulur ve böylece malzemenin özellikleri yükseltilmeye çalışılır. Malzemeler işleme tabi tutulduğunda özellikle kusurların oluşması istenir (Nishiyama, 1978).

Katının kristal yapısında bazı sebeplerden dolayı meydana gelen değişim katının fiziksel özelliklerini etkiler. Katılarda meydana gelen kusurlar incelenirken; kusurların çeşitleri, meydana geliş sebepleri ve bunların neden olduğu sonuçlar incelenmelidir. Atomların yeniden düzenlenmesini sağlayan faz dönüşümleri sırasında ana fazdaki kusurlar önemlidir. Kusurlar; katılaşma sürecinde, ısı, dış zor ve basınç gibi etkilerle meydana gelebilirler. Kristal kusurlar, bozulmaya uğramış bölgelerin sıfır, bir, iki veya üç boyutlu olmasına göre; noktasal, çizgisel, yüzeysel ve hacimsel kusurlar olarak sınıflandırılır (Güner, 2006).

Bu kusurları inceleyecek olursak, noktasal kusurlar; kristal yapı içerisindeki bir atomun olması gerektiği yerden daha farklı bir yerde olması ya da olmaması gereken bir yeri doldurması ile oluşan basit örgü düzensizliğine sahip kusurlardır. Noktasal kusurları da kendi arasında gruplandırabiliriz. Bunlar; boş nokta kusurları (boş kafes kusurları), arayer kusuru, yeralan atom kusuru, frenkel kusuru ve schottky kusuru olarak sıralanabilir (Savaşkan, 1999). Atomun olması gereken yerde olmamasından kaynaklanan kusura boş nokta kusuru denir. Atomik yarıçapı 10^{-8} cm' den küçük olan H, B, N, C, O atomlarının ana metalin atomları arasındaki aralara girmesiyle oluşan kusurda arayer kusuru olarak adlandırılır. Yeralan atom kusuru ise çözünen metalin atomları çözücü metalin kristal atomlarının bazılarının yerini alması ile oluşur. Frenkel kusuru; kristal örgü içinde bulunan bir atomun yerinden ayrılarak örgü arasında bir arayer, atomların bulunmaması gereken bir yere geçmesiyle oluşan kusurdur. Kristal yapı içerisinde eşit elektriksel yükün korunması için örgü yapıdan bir anyon ve bir katyonun ayrılması sonucunda oluşan kusurda schottky kusuru denir.

Metal ve alaşımların mekanik özelliklerini belirlemede çizgisel yapı kusurları (dislokasyonlar) çok önemli bir faktördür. Dislokasyon; bir kristal örgüdeki çizgisel kusurlardır (Durlu, 1991). Dislokasyon, kristalin mükemmel iki bölümü arasındaki yapı düzeni bozulmuş bölgedir (Savaşkan, 1999). Dislokasyonlar vida ve kenar dislokasyonlar olmak üzere ikiye ayrılır. Vida dislokasyonu, örgü düzlemi kendisine dik olan

dislokasyon çizgisi etrafında spiral şeklini alır. Kristalin eğildiği her doğrultuda, bir atom aralıklı eşitlikte hareket ettiği eksen etrafında bir tur dönülerek kristalografik düzlem takip edilirse, başlangıç noktasından bir atom aralığı aşağıda bitebilir (Durlu, 1991). Kenar dislokasyonu, mükemmel kristale yarım atom düzlem eklenmesi ile oluşturulabilir ya da bir veya iki sıra atom düzleminin çıkarılması ile oluşabilir. Burgers çevrimi kullanılarak kenar dislokasyonunun oluşturduğu kusurun büyüklüğü ve yönü hesaplanır. Kusursuz bölgede yapılan bir çevrim sırasında paralel yönlerde, eşit aralıklarla ilerlenince çevrim kapanır. Eğer çember kusur içeriyorsa bu çevrimin uçları kapanmaz ve atomların arasındaki uzaklık kadar fazlalık kalır. Bu uzaklığa Burgers vektörü adı verilir (Onaran, 2006). Burgers vektörü kenar dislokasyonuna diktir (Savaşkan, 1999).

Aynı örgü yapısına sahip fakat farklı doğrultularda yönlenmiş değişik bölgelere ayrılan yüzeylerden oluşan kusurlar ise yüzeysel kusurlar olarak adlandırılır. Yüzeysel kusurlara verilebilecek en belirgin örnekler ise; tane sınırları, ikiz sınırları ve yığılım hataları verilebilir. Yüzey atomlarının enerjisi daha yüksek fakat içindeki atomlara göre daha zayıf bağlıdır (Güner, 2006). Kristal yapının düzlemleri belirli koşullar altında düz ayna simetrisi gösterebilir. Bu duruma ikiz oluşumu denir ve simetri düzlemlerine de ikiz düzlemleri veya ikiz sınırları denir. Bu bölgelerin enerjisi çok düşüktür. İkizler genellikle kristal taneciklerin içinde oluşur. Alaşımın plastik deformasyona uğraması ya da uygulanan ısı işlem sırasında ikizlenme meydana gelir (Bulun, 2010). İkizlenmelerin oluşumu; katılma sırasında yapısal veya mutlak bir aşırı soğumayı gerektirir (Nishiyama, 1978). Kristal yüzeyde dışa doğru kuvvet mevcut değildir, dolayısıyla yüzeydeki atomlar farklı denge uzaklığına sahip olacaklardır. Yani kristal yüzeyi daha yüksek bir enerji seviyesindedir (Durlu, 1991). Eriyikten katılma veya yeniden kristalleşme sırasında genellikle çok sayıda kristal tanesi aynı zamanda büyür. Bunlardan komşu olanların örgü düzlemleri arasında çoğunlukla büyük açılar ve süreksizlik görülür. Böylece tane sınırları ortaya çıkar. Sıkı düzenli örgü düzlemlerinin üst üste diziliş sırasının bozulmasından kaynaklanan iki boyutlu kusura da yığılım kusuru denir (Bargel ve ark., 1993).

Hacimsel kusurlar kristal örgü kusurlarına girmemekle beraber malzemenin oluşumu sırasında ya da malzemenin döküm, dövme, haddeleme gibi şekillendirilmesi sıra-

sında oluşur. Metallerin üretimi sırasında oluşan oksit, nitrür, sülfür gibi kalıntılar hacimsel kusurlara örnek olarak verilebilir (Güner, 2006).

2.2. Metallerin Manyetik Özellikleri

Maddelerin manyetik özellikleri atomu oluşturan elektronların çekirdek etrafında ve kendi eksenini etrafındaki hareketleri sonucunda meydana gelir. Elektronların hem kendi etrafında hem de çekirdek etrafında dönmesi; yörünge manyetik dipol momenti ve spin manyetik dipol momenti kavramlarının ortaya çıkmasına neden olur. Yörünge ve spin manyetik momentlerin vektörel toplamına toplam manyetik moment denir. Elektronların atomlarındaki yörüngesel ve spin hareketleri bir akımın ortaya çıkmasına dolayısıyla bir dipol moment oluşmasına sebep olur. Maddede oluşan net dipol momentin büyüklüğü onun manyetikliğini belirler.

Malzemeler manyetik özelliklerine göre üç gruba ayrılır. Bunlar; diyamanyetik, paramanyetik ve ferromanyetik maddelerdir (Güler, 2005).

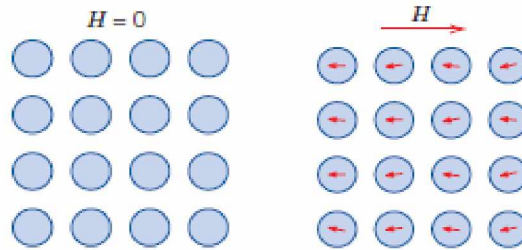
2.2.1. Diyamanyetik Maddeler

Kuvvetli bir dış manyetik alan uygulanması, elektron akımlarını etkileyerek iç alanların kısmen yönelmesine ve iki ayrı manyetik davranışın ortaya çıkmasına neden olur. Bu durumda iç alan dış alana karşı etki ederek bunu azda olsa zayıflatır. Bu durum “diyamanyetiklik” olarak adlandırılır (Güner, 2006). Diyamanyetik maddeler dış manyetik alanın yönü ne olursa olsun alanla zıt yönlü mıknatıslanma edinirler ve alanın daha zayıf olduğu yöne doğru kaçarlar (Emen, 2005). Manyetik bir alan uygulandığında diyamanyetik malzemelerde çok küçük bir elektron hareketlenmesi oluşur. Manyetik moment diyamanyetik malzemelerde manyetik alana ters yönde oluşur (Günay, 2000). Diyamanyetizma genellikle tüm yörüngeleri dolu olan maddelerde görebiliriz. Örneğin soygazlarda bunu görebiliriz. Fakat diğer manyetik özellikler yalnızca atomun dolmamış elektron yörüngeleri varsa ortaya çıkar. Diyamanyetik bir malzemeyi alan dışına iten kuvvetin büyüklüğü çok küçük olduğundan böyle malzemelerin manyetik alanla etkileşmelerini gözlemlemek oldukça zordur. Yapılan araştırmalar göstermektedirki maddelerin diyamanyetik özelliğinin sıcaklığa bağlı olma-

dığı ve manyetik momentin genellikle alanla orantılı olduğunu göstermiştir (Emen, 2005). Bakır, gümüş ve altın gibi elementler ve alaşımları diyamanyetik özellik gösterirler. Süper iletkenlerin mükemmel diyamanyetik özellik gösterdiklerini biliyoruz. Sonuçta süper iletken içindeki manyetik alanı sıfır olacak şekilde uygulanan alanı dışlar. Bu olaya Meissner olayı denir (Günay, 2000).

Atomların hepsi diyamanyetik özellikler gösterir (Halliday ve ark.,1923). Fakat kendine özgü bir manyetik dipol momentine sahip atomda, atomun bu özellikleri daha kuvvetli paramanyetik veya ferromanyetik etkiler nedeniyle diyamanyetik özellikleri perdelenir (Nishiyama, 1978).

Şekil 2.4.'de diyamanyetik bir malzemeye bir manyetik alan uygulandığında çok küçük bir elektron hareketlenmesi oluşur. Şekil 2.4 b'de görüldüğü gibi manyetik moment manyetik alana ters yönde oluşur. Sonuçta diyamanyetik malzemelerde kalıcı bir mıknatıslanma olmaz.



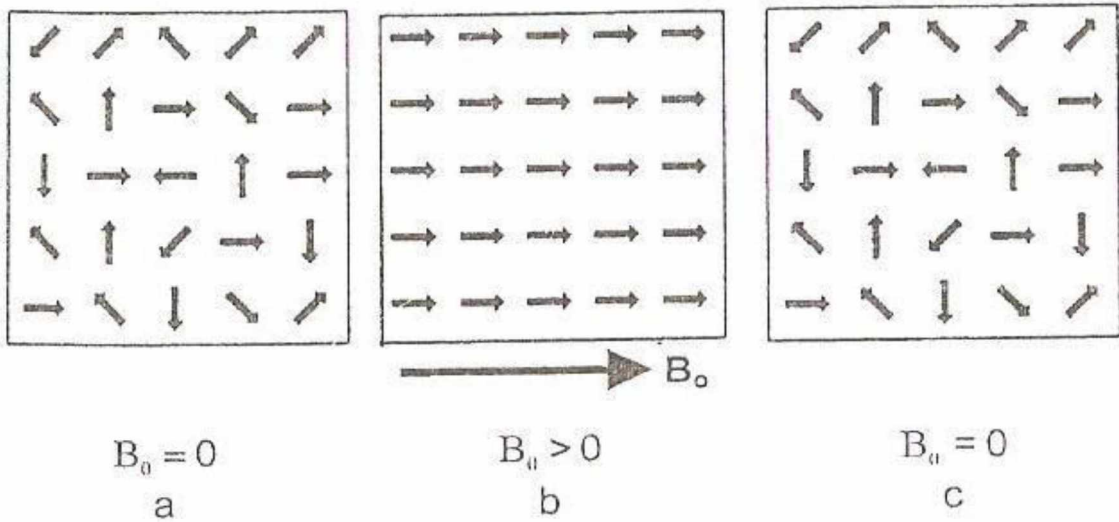
Şekil 2.4. a) diyamanyetik madde b) manyetik moment

Maddelerde diyamanyetizma özelliği olmakla birlikte paramanyetizma veya ferromanyetizmaya göre daha zayıftır (Durlu, 1992).

2.2.2. Paramanyetik Maddeler

Maddenin paramanyetik olması, yapısında eşleşmemiş elektronu bulundurmasına bağlıdır. Bir malzemeye uygulanan manyetik alan rasgele yönlerde yönelmiş olan momentlerin yönelimini değiştirerek alanla aynı yönü almaya çalışırlar ve manyetik

dipolün enerjisi azalır. Mıknatıslanmanın tekrar sıfır olması için uygulanan manyetik alanın kaldırılması gerekir ki bu özellikteki maddelere paramanyetik maddeler denir (Emen, 2005). Paramanyetik maddeler dış alan içinde alanın daha şiddetli olduğu yere hareket eder. Bu nedenle paramanyetik denilen bu maddelere alan içine doğru çeken bir kuvvetin etki ettiği düşünülür. Bu kuvvet büyüklük bakımından, hemen hemen bütün paramanyetik maddeler için, diyamanyetik maddelere etkileyen itme kuvvetinden pek farklı değildir. Sıcaklık düştükçe paramanyetik maddelere etkileyen kuvvet büyür ve mutlak sıfır noktası yakınlığında bu kuvvet çok büyük değerlere ulaşabilir (Emen, 2005). Alüminyum elementi ve alaşımları paramanyetik maddeye örnek olarak verilebilir.

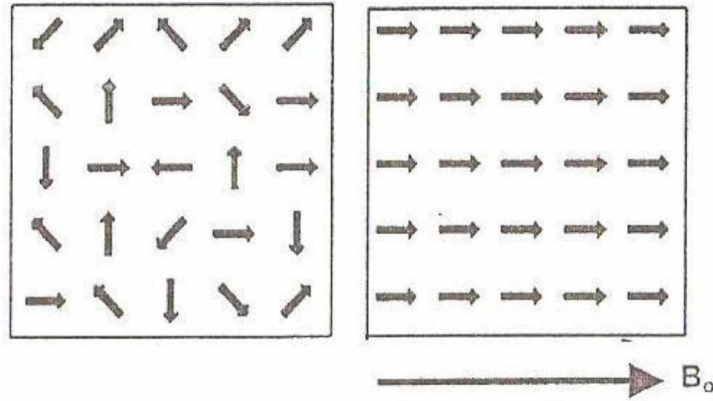


Şekil 2.5. Dış manyetik alanın a) yokluğunda, b) varlığında ve c) alan kaldırıldığında paramanyetik maddede manyetik momentlerin yönelimi.

2.2.3. Ferromanyetik Maddeler

Ferromanyetik maddelerde atomik manyetik momentler, bir dış manyetik alanın yokluğunda bile manyetik domain olarak adlandırılan makroskobik bölgelerde birbirlerine paralel olarak yönelirler (Halliday ve ark., 1923). Zayıf bir dış manyetik alan içinde dahi olsalar bu maddeler, birbirlerine paralel olarak yönelmeye çalışan atomik dipol momentlere sahiptirler.

Uygulanan dış manyetik alan kaldırılrsa bile paralel olarak yönelen dipol momentler madde içerisinde aynı yönde sürekli olarak kalmaya devam ederler. Bu durum manyetik dipol momentlerinin birbirleriyle etkileşimi sonucu ortaya çıkar (Emen, 2005). Demir, Nikel, Kobalt, Gadolinyum ve Disprosyum gibi maddeler manyetiklik açısından oldukça kuvvetli maddeler olup bu maddeler ferromanyetik madde olarak adlandırılır.

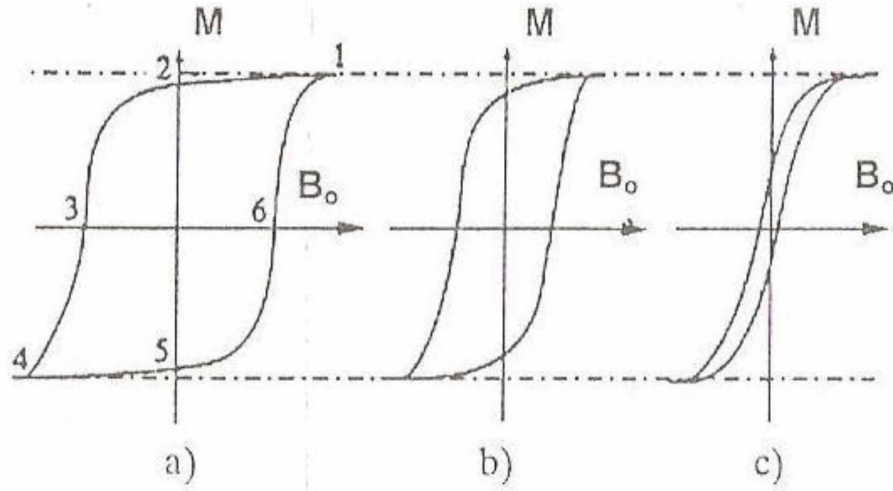


Şekil 2.6. Bir dış manyetik alanın yokluğunda ve varlığında bir ferromanyetik malzemede domain mıknatıslanması.

Ferromanyetik maddeler kendi arasında yumuşak ve sert ferromanyetik olarak iki gruba ayrılır (Jiles, 1991). Sert ferromanyetik; sürekli olarak mıknatıslanma durumunu koruyan ferromanyetler olarak adlandırılırken mıknatıslanmasını sürekli olarak korumayan ferromanyetlere de yumuşak ferromanyetler denir. Demir ferromanyet olmasına rağmen mıknatıslanması kalıcı değildir (Emen, 2005). Yumuşak ferromanyetik malzemeler kolay mıknatıslanırlar ve mıknatıslıklarını kolayca da kaybedebilirler. Elektrik motoru, jeneratör, elektromıknatıslık ve benzeri aygıtların çekirdekleri bu tür malzemelerden yapılır. Endüstride kullanılan Alnico adıyla bilinen yarısı demir, geri kalanları alüminyum, nikel, kobalt ve bir miktar bakır olan alaşımlar önemli sert ferromanyetiklerdir. Elektrik sayaçları gibi hassas ölçüm yapan aletlerde ve yüksek ve kalıcı mıknatıslık özelliği isteyen alanlarda kullanılabilir (Callister, 2007; Jiles, 1991). Manyetik dipol momentleri ‘domain’ denilen bir mikroskopik bölgelerde

bulunan ferromanyetik malzemelerin sert ya da yumuşak manyetik özellikleri histerisis ölçümleri ile belirlenebilir (Jiles, 1991).

Mıknatıslanma oluşurken dışardan uygulanan manyetik alanın bir eğrisi çizilir. Yumuşak, orta ve sert ferromanyetik malzemelerin histerisis eğrileri şekil 2.7.'deki gibidir.



Şekil 2.7. Ferromanyetik maddelerde Hysterisis eğrisi. a) sert, b) orta, c) yumuşak ferromanyetik maddede uygulanan dış manyetik alana göre madde içindeki mıknatıslanma

Bazı ferromanyetik malzemeler için dışarıdan uygulanan B_0 manyetik alanına karşı M mıknatıslanma ilişkisi şekil 2.7' de gösterildiği gibi ferromanyetik maddeye uygulanan B_0 alan yavaş yavaş artırılarak tüm manyetik momentlerin alan içinde alan doğrultusunda yönelmesi sağlanırsa, mıknatıslanma doyum noktasına ulaşır. Mıknatıslanmanın doyum noktası şekilde 2.7.a. olarak gösterilmiştir. Bu noktadan itibaren dışarıdan uygulanan manyetik alan azaltılır ve değeri $B_0=0$ olması durumunda mıknatıslanmanın varlığı devam etmektedir. Şekil 2.7.b. olarak gösterilmiştir. Bu noktadan sonra B_0 alanı ters yönde uygulanır yavaş yavaş artırılırsa 3 noktasına yaklaşırken mıknatıslanmanın azaldığı ve tam bu noktada $M=0$ değerini aldığı görülür. Ters yönde B_0 alanı artırılmaya devam ettirilirse mıknatıslanma negatif yönde doyuma ulaşır. Bu durum da Şekil 2.7.c.'de gösterilmiştir. Ters yönde uygulanan B_0 azaltılarak 5

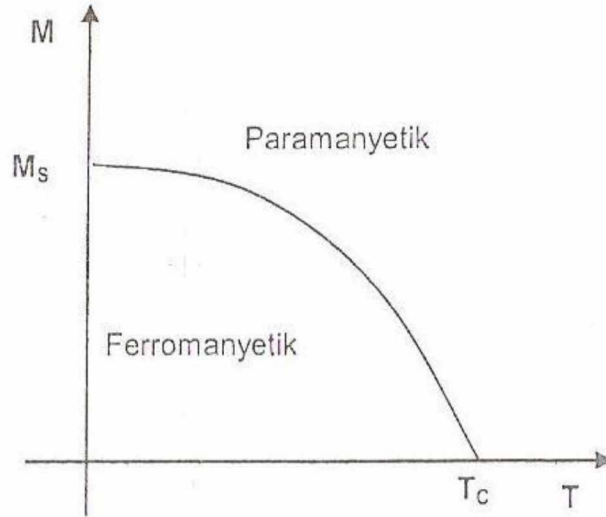
noktasına ulaşırsa ($B_0=0$) mıknatıslanmanın olduğu gözlenir. Şayet B_0 alanı orijin doğrultusunda uygulanır ve artırılmaya devam edilirse 6 noktasında mıknatıslanmanın sıfır olduğu gözlenir. Bu olay manyetik hysteresis olarak bilinir (Anonim, 2012).

P. Curie, paramanyetik maddelerin mıknatıslanmasının dışarıdan uygulanan manyetik alan B_0 doğru, ortamın sıcaklığı ile ters orantılı olarak değiştiğini bulmuştur. Bu ifade;

$$M = C \cdot \frac{B_0}{T}$$

biçimindedir ve Curie yasası olarak bilinen bu ifadede C , Curie sabiti olarak adlandırılır (Kırım, 1979).

Ferromanyetik bir maddenin M mıknatıslanması ile T mutlak sıcaklığı arasındaki ilişki şekil 2.8’te verilmiştir.



Şekil 2.8. Ferromanyetik bir maddede mıknatıslanma ile mutlak sıcaklık arasındaki ilişki

Şekil 2.8’de T_c mutlak sıcaklık artıkça M manyetikliğin azaldığı görülür. T_c mutlak sıcaklığın altında kalan kısmının ferromanyetiklik özelliği gösterdiği görülüyor. Mutlak sıcaklığın üstündeki bir sıcaklık değerinde ise maddenin paramanyetik özelliği gösterdiği görülüyor.

2.3. Faz Dönüşümleri

Fizikte ve malzeme biliminde faz kavramı önemli bir yere sahiptir. Faz, maddenin homojen bir hali olarak tanımlandığı gibi başka bir ifadede ise malzemede iç yapı yönünden farklılık gösteren kısımlara da faz denilmektedir (Durlu,1989; Güngüneş, 2005). Metal ve alaşımlarının çeşitli denge hallerindeki iç yapıları, termodinamik kanunların kontrolü altında olup kullanılan maddenin atomları ve molekülleri gibi küçük elemanlarının toplamı termodinamik sistemi meydana getirir. Böyle bir sistemi çevreden yalıtılmış olarak kararlı hale getirebilmek için kendi iç şartlarında yeteri kadar bekletilirse denge halini alır. Denge halini almış herhangi iki sistem, kendi arasında homojen bir sistem olmakla birlikte ikisi bir arada bulunduğu zaman heterojen bir sistem oluşturur. Bu şekilde heterojen bir sistem homojen kısımlarına ayrılabilirse, böyle gruplara sistemin fazları denir (Yılmazlar, 1993).

Metal alaşım kristalleri, farklı fiziksel şartlar altında farklı fazlarda bulunabilirler. Fiziksel şartların değişmesi sonucu bir fazdan bir başka faza geçme işlemine de faz dönüşümü denir. Faz dönüşümü, sıcaklığın aniden düşürülmesi veya yükseltilmesi sonucunda veya dışarıdan mekaniksel zorun etkisi altında meydana gelir. Bu dönüşüm esnasında dönüşmüş ve dönüşmemiş bölgelerin sadece kristal yapıları değişir (Durlu, 1989). Atomların homojen olarak dizilmesi sonucu oluşan belirli yapılarla değişik fazlar oluşur. Kararlı denge halinde olan bir faz dışarıdan uygulanan fiziksel bir etki ile enerjisi değişir, dengesi bozulur. Atomlar tekrar denge durumuna gelmek için daha düşük enerji gerektiren yeni bir faz durumuna gelmek ister. Denge durumundaki bir fazdan başka bir denge durumuna geçişe “faz dönüşümü” denir (Güngüneş, 2005). Atomlar yeni faz durumuna geçerken yer değiştirirler. Faz dönüşümü sırasında atomların konumları ya da komşulukları değişiyor ise bu tür faz dönüşümleri “difüzyonlu faz dönüşümleri” olarak isimlendirilirken atomların konumlarının ya da komşuluklarının değişmediği faz dönüşümleri ise “difüzyonsuz faz dönüşümleri”

olarak isimlendirilir (Güler, 2005). Demir ve kalay gibi bazı metaller allotropiktirler. Her metal farklı sıcaklık aralığında kararlı birkaç yapıda kristalleşirler. Burada her kristal yapı ayrı bir fazdır. Dolayısıyla allotropik metaller birden fazla katı fazında olurlar. Demirin; alfa (α), gama (γ) ve delta (δ) ile gösterilen üç ayrı katı fazı vardır. Gerçekte, hacim merkezli kübik (bcc) yapısına sahip olan α ve δ fazları birbirinin aynı olduğundan, demirde iki farklı katı fazı vardır (Yılmazlar, 1993). Demirin üçüncü bir katı (β) fazına sahip olduğu düşünülmüştür. Çünkü ısıtma ve soğutma eğrileri 500-791 °C sıcaklık aralığında faz dönüşümü gösterdi. Bu sıcaklık aralığında demirin ferromanyetik durumundan paramanyetik duruma geçtiği gözlemlendi. Manyetik dönüşüm bölgesinde kristal yapı bcc kaldığından, β fazı ayrı bir faz olarak kabul edilmedi. Manyetik dönüşümün α fazında olduğu düşünüldü (Yılmazlar, 1993).

Eski çağlardan beri metaller hayatımızda çok önemli yere sahiptir. İnsanlık tarihinde demir çağının başlaması ile yumuşak demirin insanların kullanım alanlarında fiziksel ve mekanik ihtiyaçlarını karşılayamaz bir döneme girilmiştir. O dönemlerde demirciler demiri yüksek sıcaklıklarda kor haline getirerek hızlı bir şekilde suda soğutulması ile demirin sertleşmesini sağlayan teknik kullanırdı. 16. yüzyılın sonlarına kadar bu yöntem akademik bir ilgi görmemiştir. 1639 yılında Rene Descartes'le başlayan çalışmalar 1671 yılında Jacques Rohault ile devam etmiştir. Charles Perrault 1680'de yaptığı çalışmada hızlı bir şekilde soğutulan çeliğin hacminde artma olduğunu görmüştür. İsveçli kimyacı Sven Rinman demir ve çelik arasındaki farklılığın "plumbago" olarak bilinen bir durumdan kaynaklandığı bilgisine yeni bir bilgi ekleyerek bunun karbon olarak bilinen maddeden kaynaklandığını belirtmiştir. 1866-1868 yılları arasında Dimitri Chernov çelikte oluşan dönüşümün kritik sıcaklıklarını karbon miktarının bir fonksiyonu olarak keşfetmiştir (Güler,2005). 1861 yılında Henry Sorbi ile metallerin mikroskopik tekniklerle incelenmesine başlanmıştır. Hemen ardından Alman metalograf Adolf Martens ile devam etmiştir. 1869'da G. Gore kritik bir sıcaklıkta çeliğin bir anlık uzamasını gözlemlerken 1890'da Floris Osmond demirin alfa (α), gama (γ) ve beta (β) fazlarının değişimini farketmiştir. Floris Osmond çeliklerde gözlenen mikroyapıların, gözlemleyen kişilerin isimlerinin verilmesini önermiş ve kabul görmüştür. Böylece Adolf Martens'in gözlemlediği mikroyapı "Martensite" adını almıştır. 1930'larda martensite terimi yoğun olarak kullanılmıştır. İlk başlarda

çeliklerde sert mikroyapıya sahip olan bu terim sonraları bakırlı alaşımlarda, seramiklerde, $RbNO_3KNO_3$ gibi organik bileşiklerde, düşük sıcaklıklarda V_3Si ve Nb_3Sn gibi A15 bileşiklerinde, Y-Ba-Cu-O gibi yeni yüksek sıcaklıktaki süper iletkenlerde ve kristal yapıya sahip protein gibi malzemeler içinde kullanılarak günümüze kadar gelmiştir (Vanpaemel, 1982; Petty, 1970; Wayman, 1990). Metal malzemelerin martensitik faz dönüşümünü 1895 yılında Adolf Martens demir bazlı alaşımlarda gözlemiştir (Günay, 2000). Demir alaşımından sonra Au, Cu, Zn, Sn, Al ve Ti gibi metal alaşımlarında da martensitik faz dönüşümleri ortaya çıkmıştır (Wayman, 1980).

Bir katı-katı faz dönüşümü olan martensitik dönüşümde dönüşüme uğramamış kısmın (ana faz) kimyasal kompozisyonu, dönüşüme uğramış olan kısmın (ürün faz) kimyasal kompozisyonu ile aynıdır. Buda dönüşüm boyunca atomik difüzyonun olmadığı anlamına gelir. Yani martensitik dönüşüm bir çeşit difüzyonsuz dönüşümdür. Genelde tüm metal ve alaşımlar atomların difüzyonlu bir oluşumla yer değiştiremeyecekleri kadar hızlı bir şekilde soğutulduklarında (veya ısıtıldıklarında) difüzyonsuz faz dönüşümü gösterirler (Güner, 2006; Nishiyama, 1978).

Martensitik faz dönüşümleri bir kristal yapıdan yeni bir kristal yapıya dönüşürken difüzyonsuz olarak gerçekleşir. Martensite kristal yapı (ürün faz) oluşurken austenite kristal yapı (ana faz) tümü ile ürün faza dönüşmez. Austenite içerisinde serpilmiş olarak martensite kristalleri düzgün olmayan bir dağılımla bulunurlar. Martensitik dönüşüm; metal ve alaşımlarda görülen bir yapısal faz dönüşümüdür. Austenite faza dışarıdan uygulanan; sıcaklık, zor, manyetik alan, hidrostatik basınç gibi dış etkilerin ayrı ayrı veya birlikte uygulanmasıyla martensite faz (ürün faz) oluşur. Martensitik dönüşüm ve martensite için genel bir tanım yapacak olursak; martensitik dönüşüm, atomların topluca hareketi ile meydana gelen bir faz dönüşümüdür. Martensitik dönüşümün ürünü ise “martensite” olarak adlandırılır (Nishiyama, 1978).

Araştırmacılar martensitik dönüşümü farklı şekillerde tanımlamışlardır. Nishiyama'ya göre (1978), atomların toplu hareket edebildikleri bir faz geçişidir. Christian (1965), martensitik dönüşümü; basit oluşum mekanizması nedeniyle, atomik difüzyonun gerekmediği, serbest enerjinin net bir azalımı ile gerçekleşen hızlı bir yeni oluşumu olarak tanımlanır. Clapp'ın (1985) yaptığı tanım ise bir atom takımının,

şekil değişimi ortaya çıkaracak şekilde, bir ara yüzey boyunca topluca hareketi ile oluşan bir faz geçişidir.

Martensite plakaların kristal yapı yüzeyinde oluşması ile yüzeyde kabartılar oluşur. Yüzeydeki bu kabartılar makroskopik olarak görülen en belirgin özelliklerdir. Bu özelliğe yüzey rahatlama adı verilir. Bu yapı martensite kristallerinin oluştuğu sırada yüzeyde meydana gelen yükselmedir. Mikroskopla görülen bu yüzey rahatlama martensitik dönüşüm için önemli bir başka özelliktir (Nishiyama, 1978). Greninger ve Troniano 1949 yılında yaptıkları çalışmalarda Fe-%22 Ni- %0.8 C alaşımının yüzeyinde parlatma ve dağlama yapıldığında; martensite plakasının oluştuğu yerde yüzey rahatlama (surface relief) varolduğunu görmüşler ve bu değişimi incelemişlerdir (Kaufman ve ark., 1956).

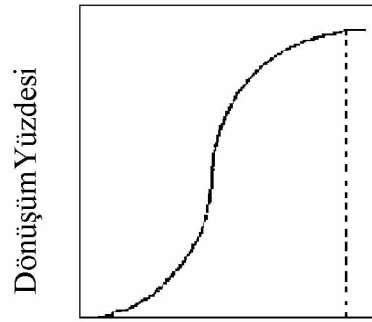
Tersinir bir dönüşüm olması martensitik dönüşümün diğer bir özelliğidir. Oluşan martensite kristalleri, M_s sıcaklığından daha yüksek bir A_s sıcaklığında yeniden austenite kristaline dönüşebilir. Martensite fazdaki alaşım ısıtılınca, A_s sıcaklığında austenite yapı oluşmaya başlar ve A_f sıcaklığında yapı tamamen austenite yapıya dönüşür (Güner, 2006).

Martensitik faz dönüşümlerinin genel karakteristik özelliklerinin açıklanmasında; sıcaklığa bağlılık, zamana bağlılık, uygulanan zorun etkisi, kimyasal kompozisyon, atomik hacim, yeni fazın şekli ve kararlılığında önemlidir (Güner, 2006).

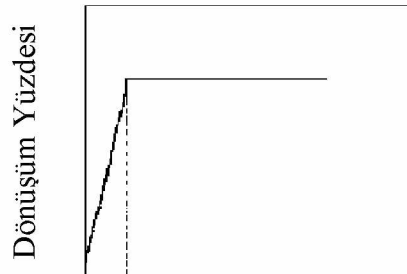
Martensitik dönüşümün gerçekleşmesinde iki mekanizmanın varlığından söz edilebilir. Bunlar; “çekirdeklenme” ve “büyüme” dir. İlk yıllarda martensitik dönüşüm için klasik çekirdeklenme teorisi (homojen çekirdeklenme) genel olarak düşünölmüştür. Sonraki yıllarda önemli gelişmeler olmuş ve 1956 yılında Kaufman ve Cohen Fe- Ni alaşımlarının üzerinde çalışmışlar ve martensite başlama sıcaklığı M_s 'in belirlenmesi ile martensitenin homojen olarak çekirdeklendiğine tam olarak inanmamışlardır. Çalışmalarında Fe- Ni alaşımları serisinde; M_s martensite başlama sıcaklığı Ni içeriğinden dolayı giderek azalmıştır. Yaklaşık -120 °C nin altındaki M_s sıcaklıklarında homojen çekirdeklenme modelleri engellenir. Böylece Kaufman ve Cohen; düşük M_s sıcaklıklarında austenitedeki belirli yerlerde heterojen çekirdeklenme ile uyumlu

olmalıdır diye düşünmüşlerdir. Bu olayı kimyasal serbest enerjideki değişimler ile ilişkilendirilebilir. Böylece çekirdeklenmenin martensite oluşumunda homojen olarak değil heterojen olarak oluştuğu kanısına varılmıştır (Kaufman ve ark., 1956). Kinetik özellikleri bakımından alaşım sistemlerinde martensitik dönüşüm atermal ve izotermal olarak meydana gelir. Atermal dönüşüm; sıcaklığa bağlı zamandan bağımsız bir dönüşümdür. İzotermal dönüşüm ise hem zamana hem de sıcaklığa bağlı dönüşümdür (Kakeshita ve ark., 1993; Wayman, 1964).

Atermal ve izotermal dönüşümler için dönüşümün zamana bağlılığı Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.9. İzotermal dönüşüm için dönüşüm yüzdesinin zamanla değişimi (Yaşar, 2005)



Şekil 2.10. Atermal dönüşüm için dönüşüm yüzdesinin zamanla değişimi (Yaşar, 2005)

Bunshah ve Mehl (1953), Fe- bazlı alaşımlarda ısısal etki ile oluşan atermal özellikli martensite kristallerinin 10^{-7} s gibi kısa bir zamanda ortaya çıktığını ölçmüşlerdir (Bunshah ve ark., 1953). Bazı durumlarda martensite kristalleri, M_s sıcaklığının altında veya üstünde atermal olarak oluşabilir. Atermal tip dönüşümlerde; oluşan martensitenin miktarı sadece M_s sıcaklığına bağlıdır, o sıcaklıkta tutulma süresine bağlı değildir (Sinha, 2003). Austenite haldeki numunenin sıcaklığı düşürülerek belli bir M_s sıcaklığına gelindiğinde austenite yapı içinde martensite kristalleri oluşmaya başlar. Sıcaklık düşüşü ile dönüşüm devam eder ve dönüşüm M_f sıcaklığında tamamlanır. Bu dönüşüm izotermal dönüşüm olarak adlandırılır. İzotermal dönüşüm belli bir sıcaklık aralığında devam eder. İzotermal dönüşümün en belirgin özelliği, dönüşümün hem sıcaklığın hem de zamanın fonksiyonu olmasıdır. Atermal martensitik dönüşüm ise yüksek dönüşüm hızından dolayı izotermal dönüşümün çok hızlı bir şekli olarak düşünülmüştür. Bu nedenle her bir martensite kristalinin oluşumunu ve büyüme süresini incelemek oldukça zordur (Nishiyama, 1978).

Martensitik dönüşümün başlama sıcaklığı olan M_s 'in değerinin ilk yıllarda yapılan çalışmalarda sabit olduğu düşünülmüştür. Bu sıcaklığın soğutma hızına bağlı olmadığı söylenmiştir (Cettrell, 1954). İlerleyen zamanlarda yapılan çalışmalarda M_s sıcaklığının artan soğutma hızı ile azaldığı görülmüştür (Tsai, 2002). Austeniteleme sıcaklıklarının değişmesi ve soğutma hızında M_s sıcaklığının değişmesinde etkili olduğu görülmüştür (Tsai, 2002). Alaşımlardaki elementlerin miktarlarının değiştirilmesi de M_s sıcaklığını etkiler. Örneğin C, Ni ve Mn elementlerinin miktarlarının artırılması M_s sıcaklığını azaltırken, Co ve Al elementlerinin eklenmesi M_s sıcaklığını yükseltir (Petty, 1970).

Başka bir çalışmada da dışarıdan uygulanan bir manyetik alanın etkisinde çeliğin M_s sıcaklığının yükseldiği görülmüştür (Voronchikhin ve ark., 1967; Malinen ve ark., 1969; Shimizu ve ark., 1989).

Yukarıda bahsedilen değişik bilim insanlarının ortaya koyduğu çalışmaların sonucunda M_s sıcaklığını etkileyen birçok faktörün olduğu ortaya çıkmıştır. Bu faktörler martensite başlama sıcaklığı (M_s sıcaklığı)'ı etkileyen faktörlerdir. Bu faktörleri; Ya-

pının kimyasal kompozisyonu, zor ve zorlanma, kristal kusurlar ve çökelti, soğutma hızı, austenitenin tane büyüklüğü, uygulanan manyetik alan, hidrostatik basınç, austenitletme sıcaklığı şeklinde sıralayabiliriz (Güner, 2006). Austenite yapıya dışardan uygulanan mekanik zor martensite oluşumu sırasında dönüşüm için etki etmektedir. Isı değişimi olmadan yalnızca zor etkisi ile martensite faz dönüşümünün olabileceğini deneysel çalışmalar göstermiştir (Christian, 1975; Porter ve ark., 1981).

Martensitik bir dönüşüm için zorun uygulanma sıcaklığı, M_s sıcaklığının üstünde bir sıcaklık aralığıdır. Austenite faza veya austenite-martensite her iki fazın karışımına uygulanan zor, M_s sıcaklığın üzerinde bir sıcaklık aralığında dönüşüm için bir tetikleme görevi yapar. Bu şekilde oluşan bir dönüşüm zor etkisiyle gerçekleşmiştir. Termal etkiyle önceden oluşmuş çekirdeklenme yerlerinde fakat zor etkisiyle gerçekleşir. Yani, uygulanan zor ile yeni çekirdeklenme oluşmaz ancak zor öncesi varolan çekirdeklenme noktalarında oluşum gerçekleşir. Bu şekilde oluşan martensite, zor-etkili martensite (stress-induced) olarak isimlendirilir. Şayet dönüşüm, plastik deformasyon ile ve yeni çekirdeklenmeler oluşarak meydana geliyorsa bu durumda oluşan martensite, zorlanma-etkili martensite (strain-induced) olarak adlandırılır. Zor-etkili ve zorlanma-etkili martensiteler birbiriyle kıyaslandığında her ikisi de zor etkisi ile oluşmasına karşılık çekirdeklenmelerinin farklı olduğu görülür (Read, 1970; Gall ve ark., 1998).

2.4. Austenite-Martensite Faz Dönüşümlerinin Kinetik Özellikleri

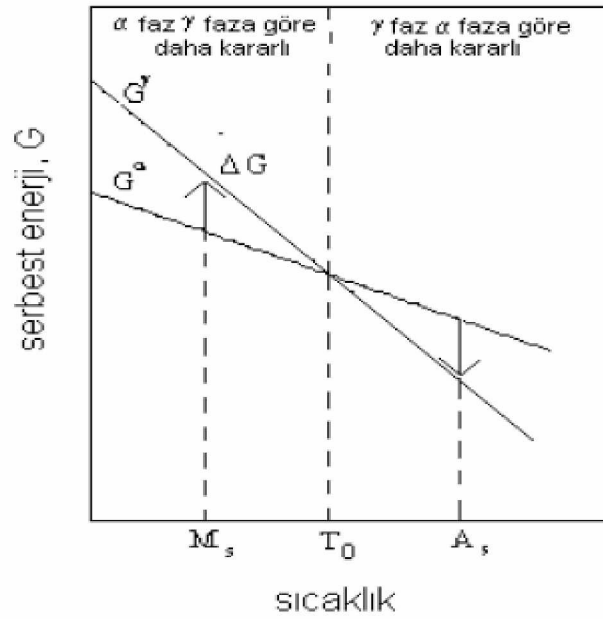
Çevre şartlarının değişmesi atomlar arası bağ kuvvetlerinin değişmesine yol açarken üzerinde çalışılan sistemin kararlılığı da değişmiş olur. Faz dönüşümü sırasında gerçekleşen bu durum sistemin kararlılığına bağlıdır. İç enerjiye bağlı olan sistemin kararlılığı; en düşük enerjiye sahip sistemlerde en kararlı durumdadır. Çevre şartlarının değiştirilmesi ile atomik düzeni bozulan sistem, kararlı durumunu korumak için en düşük enerjili atomik düzenimi tercih edecektir.

Austenite fazındaki bir numuneye soğutma etkisi uygulanması sonucunda oluşan martensite fazı düşük sıcaklık fazıdır ve austenite faza göre daha kararlı bir fazdır.

Bunun nedeni ise düşük sıcaklıkta meydana gelen fazlar, en düşük enerjiye ve güçlü atomik bağlanmaya sahip olduklarından en kararlı fazları oluştururlar (Güner, 2006).

Bir sistemin serbest enerjisini sıcaklık ve basınç etkisi değiştirebileceği gibi elektrik ve manyetik alan etkisinde değiştirebilir. Serbest enerjideki bu değişim kristallerin atomik yapısında değişikliğe neden oluyorsa sistemde faz dönüşümü olduğu söylenir (Rao ve ark.,1982). Austenite-Martensite faz dönüşümünün meydana gelebilmesi için martensite fazın serbest enerjisinin austenite fazın serbest enerjisinden daha düşük olması gerekir (Nishiyama, 1978). Minimum serbest enerji kuralına göre bir sistem birçok değişik durumlara izin verirse sistemin bu durumlardan en düşük serbest enerjili olanını seçmesi beklenilir. Serbest enerji farkı, faz dönüşümü için gerekli olan "sürücü kuvvet" olarak adlandırılır (Kahveci, 1997). Faz dönüşümleri termodinamik denge sıcaklıklarında çok yavaş olur. Sadece belli bir soğutma derecesinde ölçülebilir oranda ve bu oranları etkileyen faktörler dönüşüm kinetiğinin konusudur. Isıtıldığında ya da soğutulduğunda bir metal veya alaşım yeni bir kristal yapıya ya da faza dönüşür. Serbest enerji kavramı ile açıklanan bu faz dönüşümü verilen bir alaşım için; sıcaklık ve kimyasal kompozisyonun fonksiyonu olarak değişen bir serbest enerjiye sahiptir (Kaufman ve ark., 1968).

Başlangıçta T_0 denge sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda en kararlı durumda bulunan austenite faz sıcaklığının hızlıca düşürülmesi ile M_s sıcaklığından sonra austenite yapı içinde martensite yapının oluşmaya başlaması gerçekleşir. Her iki fazın serbest enerji farkı dışında dönüşümün gerçekleşmesi için yüzey enerjisi ve dönüşüm zorlama enerjisi gibi de ek bir enerjiye ihtiyaç vardır. T_0 sıcaklığında her iki fazın serbest enerjisi eşit olduğundan dönüşüm olayı gerçekleşmez. T_0 denge sıcaklığı dönüşümün önemli bir kinetik parametresidir ve her iki fazın serbest enerjisi eşittir ve fark sıfırdır. T_0 denge sıcaklığının altındaki sıcaklıkta martensite fazın serbest enerjisi daha küçük olduğundan minimum enerji kuralına göre martensite faz daha karardır. T_0 denge sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda ise fark sıfırdan küçüktür ve austenite faz daha karardır. T_0 - M_s sıcaklık farkı sonucu açığa çıkan enerji kimyasal serbest enerji olarak adlandırılır. Bu enerji dönüşümü için gerekli olan sürücü kuvveti doğurur (Nishiyama, 1978). Bu olay şekil 2.11'de gösterilmiştir.



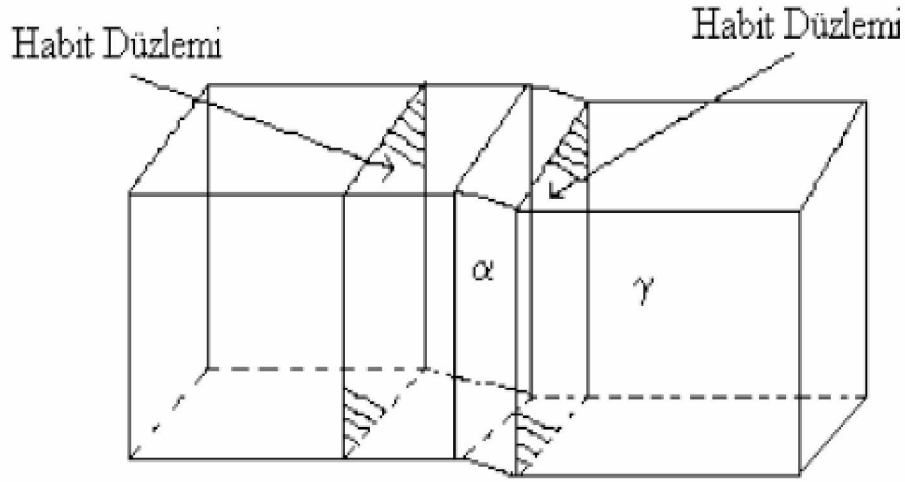
Şekil 2.11. Austenite- Martensite Fazlarının serbest enerjilerinin sıcaklığın fonksiyonu olarak değişimi (Kaufman, 1958)

2.5. Austenite- Martensite Faz Dönüşümlerinin Kristolografik Özellikleri

Deneysel olarak gözlenebilen Austenite- martensite faz dönüşümlerinin üç önemli parametresi vardır. Bunlar; austenite fazı martensite fazdan ayıran düzlem olarak bilinen “habit” düzlemi, yüzey rahatlaması olarak bilinen “şekil değişimi” ve austenite faz ile martensite faz arasında ortaya çıkan “kristolografik dönme bağıntıları”dır (Kostorz, 2001).

Martensite dönüşümün açıklanmasında habit düzlemi önemli bir yer tutmaktadır. Dönüşümü tamamlanan austenite- martensite fazda görülen bir düzlemde dönme ve bozulmaya uğramamış iki kristal yapı bulunabileceği varsayılmıştır.

Austenite-martensite dönüşümünün gerçekleşmesinden sonra oluşan martensite kristal yapıyı austenite yapıdan ayırması gereken ve düzlem olduğu varsayılan bu sınıra (habit düzlem) alışım düzlemi denir (Güner, 2006).



Şekil 2.12. Austenite-Martensite dönüşümü sonrası ortaya çıkan martensitekristallerinin yerleşim şeması

Makroskopik düzeyde deformasyona uğrayan martensitik dönüşümde şekil değişimi gerçekleşir. Bu şekil değişimi önceden parlatılan bir austenite yüzeyinde martensite oluşmasına sebep olmaktadır (Nishiyama, 1978). Oluşan martensite fazın yüzeyi incelendiğinde parlatılmış austenite yüzeyindeki değişiklik gözle görülebilecek bir hal almıştır.

Kristolografik dönme bağıntıları ise üçüncü ve önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Habit düzlemi ile birlikte kristolografik dönme bağıntıları arasındaki ilişki göz ardı edilmemelidir. Habit düzlemi ve kristolografik dönme bağıntıları ikisi arasında bir ilişki görülüp austenite fazın kristolografik örgüleriyle martensitik fazın kristolografik örgüleri arasında ortaya çıkar. Austenite ve martensite fazlar arasındaki kristolografik dönme bağıntıları kristolografik açılarla ifade edilebilir. Farklı bir şekilde ifade edilmek istenirse o zamanda her iki fazın düzlem ve doğrultularının paralellikleri ile ifade edilebilir (Güler, 2005).

C çeliği üzerinde 1930 yılında Kurdjumov ve Sacks tarafından % 1.4 C çeliği kullanılarak yapılan incelemelerde kristolografik dönme bağıntısı:

$$(111)_p // (011)_m$$

$$[\bar{1}11]_p // [\bar{1}\bar{1}1]_m$$

şeklinde gösterilmiştir (Waymann, 1990).

Buradaki bağıntıda alt indis p ile gösterilen ana faz olan fcc yapıdaki austenite fazı, m ile gösterilen indis ise bcc ya da bct kristal yapıdaki martensite fazı göstermektedir. Kurdjumov ve Sacks tarafından incelenen bu bağıntının adı K-S dönme bağıntısı olarak tanımlanır. Bu tür kristolografik dönme bağıntısı $(2\ 2\ 5)_\chi$ habit düzlemi ile ilişkilidir. Buradaki bağıntıda dikkati çeken sıkı paket düzlemler ve iki örgüde yönelmelerin paralel olmasıdır.

Nishiyamanın yaptığı bir çalışması olan Fe-30% Ni alaşımı için austenite-martensite faz dönüşümünün kristolografik dönme bağıntısı:

$$(111)_{p \approx 1^\circ} // (011)_m$$

$$[\bar{1}\ 01]_{p \approx 2.5^\circ} // [\bar{1}\bar{1}\bar{1}]_m$$

Şeklinde tanımlanan bir dönme bağıntısı bulmuştur (Nishiyama, 1934). Wassermann'da bu bağıntıyı doğruluğunu kabul etmiş ve bu bağıntı Nishiyama ve Wassermann tarafından doğrulanan bu bağıntı N-W ilişkisi olarak literatüre geçmiştir. Bu tür kristolografik dönme bağıntısında genelde $(2\ 5\ 9)_\chi$ habit düzlemi ile ilişkilidir (Wassermann, 1935).

Bu tür kristolografik dönme bağıntısı üzerinde çalışan bir başka bilim adamlarında Greninger ve Troniano (1940) Fe-22%Ni-0,8% C alaşımındaki austenite-martensite faz dönüşümü çalışmışlar ve

$$(111)_{p \approx 1^\circ} // (011)_m$$

$$[\bar{1}\ 01]_{p \approx 2.5^\circ} // [\bar{1}\bar{1}\bar{1}]_m$$

olduğunu görmüşlerdir. Bu kristolografik dönme bağıntısı ise Greninger ve Troniano tarafından G-T yönelim ilişkisi olarak adlandırılır. G-T türü kristolografik dönme bağıntısı (3 10 15) \times habit düzlemi ile ilişkilidir (Christion, 1966).

Yukarıda farklı bilim adamlarının çalışmaları sonucu ortaya çıkan üç dönme bağıntısı austenite ana fazın fcc yapısı ile martensite ürün fazları bcc veya bct yapısı arasındaki kristolografik dönme bağıntıdır.

1924 yılında ilk kez Bain tarafından “martensitenin doğası” olarak adlandırılan kristolografik bir model ortaya atılmıştır. Bu modele göre martensitik faz dönüşümünün kristografisinde fcc-bcc örgü uyumu söz konusudur (Raghavan ve ark., 1972). Bain’in ortaya attığı bu model daha sonraları “Bain zorlaması” olarak anlaşılması zor olmayan bir model olarak önerildi (Bowles, 1972). Uzun yıllar bain tarafından ortaya atılan bu model kabul gördü. Fakat bu süreç, bir fcc austenite yapının bir bcc (bct) martensite yapıya dönüşümü olarak kabul gören basit bir “kurulum” sürecidir ve günümüzde hala martensitik dönüşümün kristografisinin açıklanmasında temel rol oynamaktadır.

2.6. Martensite Fazın Morfolojisi

Yapılan araştırmalarda austenite-martensite faz dönüşümleri çalışmalarında austenite yapı içinde oluşan martensite kristalleri incelenmiştir. Demir alaşımları incelendiğinde, martensite fazın iki ana başlık altında inceleyebiliriz. Bunları sıralayacak olursak plate martensite ve lath (iğne) şeklindeki martensite morfoloji üzerine kurulduğu gözlenmiştir. Bunlardan ilki plate martensite (Plaka martensite)’dir. Plaka martensitenin; yüksek -C, yüksek -Ni ve yüksek -N’lu alaşımlarda görüldüğü gibi ikili demir alaşımlarında da görüldüğü bilinmektedir (Osmond, 1895; Reed, 1967). İğne (lath) şeklinde bir morfolojik yapıya sahip olan martensite ise ikinci tip martensite morfolojisidir. Bu yapının özelliği iğne şekline benzemesinden dolayı bu adı almıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda çeliklerde ve Fe-C alaşımlarında oluşan iğne martensitelerde iç ikizlenmelerin olduğu görülmüştür ve bunlar üzerinde incelemeler yapılmıştır (Marder ve ark., 1967; Kelly ve ark., 1960). Fakat yapılan deneyler göstermiştir ki bazı alaşımlarda iç ikizlenmelerin olmadığı tespit edilmiştir. Örneğin Fe-V, Fe-W,

Fe-Sn, Fe-Mn ve Fe-Mo alaşımlarının iğne martensitelerinde iç ikizlenmelere rastlanmamıştır. İğne martensitelerin iç yapısında yoğun dislokasyonlar mevcuttur (Speich, 1969).

Yoğun dislokasyona sahip olan iğne martensite morfolojilerine Speich'in yaptığı birçok deneysel çalışmalar örnek olarak verilebilir (Osmond, 1895). Alaşımın kompozisyonunun ve dönüşüm sıcaklığının etkisi ile çok sayıdaki ikili demir alaşımlarının iğne martensiteden plate martensiteye geçişin olabileceği görülmüştür (Förster ve ark., 1940). Yapılan incelemelerde görülmüştürki; Alaşımın cinsine bağlı olarak martensite kristalleri farklı martensite yapıda olabilir. Bu yapılar; ince plate martensite (thin plate martensite), kama martensite (wedgemartensite), mercimek martensite (lenticular martensite), iğne martensite (lath martensite), kelebek martensite (butterfly martensite), sıkı martensite (compact martensite) ve buna benzer şekillerde oluşabilir (Maki, 1990; Callister, 2003).

Çalışmamıza temel olacağını düşündüğümüz martensite yapının morfolojisini açıklayabilmek amacı ile önce Fe-Ni alaşımlarında gözlenen martensite morfolojisinin yanı sıra C çeliklerinde N çeliklerinde ve alaşım çeliklerinde oluşan martensitenin morfolojisinden bahsetmek uygun olacaktır.

Förster ve Scheil (1940) Fe-Ni alaşımında martensite dönüşümü osiloskop ile yaptıkları incelemede elektriksel direnç değişimini ve oluşan martensitelerin morfolojisi ile dönüşüm hızı arasında bir ilişki olduğunu düşünerek iki tip martensitenin oluştuğunu belirlemişlerdir. Förster ve Scheilin incelemeleri göstermiştir ki bu martensite oluşumunun birincisi hızlı ikincisi ise daha yavaş oluşmuştur. Hızlı olan oluşum mekanik ikizlenmeye benzerliğinden dolayı "umklapp dönüşüm" olarak adlandırılmıştır. Yavaş oluşan dönüşüm ise kayma deformasyonuna benzerliğinden dolayı "schibung dönüşüm" olarak adlandırılır (Reed, 1967). Başka bir araştırmayı incelediğimizde Honma ve arkadaşları (1957)'nin %2-%35Ni'li demir alaşımlarının seri haldeki kompozisyonlarını çalışmışlardır. Bu çalışmada austenite martensite dönüşümünde iki farklı morfoloji belirlemişlerdir. Bulduğumuz ortam sıcaklığından daha yüksek olan M_s sıcaklığında ve düşük Ni yoğunluğunda "massive martensite" morfolojisinin ortaya çıktığı görülmüştür. Alaşımın Ni oranının artırılması ilede oluşan martensite-

nin ise plaka şekilli (plate martensite) ya da iğne şekilli (lath martensite) morfolojiye sahip olduğunu gözlemlenmiştir. Bu durum göstermektedir ki ortam sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta veya alaşım oranlarının artırılmasıyla austenite- martensite fazın morfolojisinin değiştiği görüldü (Honma, 1957). Oda sıcaklığının üstünde dönüşüm morfolojisi değiştiği gibi M_s sıcaklığı oda sıcaklığının altında ise ve %30'dan fazla Ni içeren alaşımlarda da mercimek (lenticular) ya da bambu yaprağı (bamboo leaf) morfolojisinde olduğunu gözlemlenmiştir. C çeliklerinde yapılan incelemelerde C içeriğine göre martensitenin morfolojisinin değiştiği görülmüştür. Çok yüksek sıcaklıklardan hızlı bir şekilde soğutulan çeliğin martensite ürün yapısının kaba olduğu görülür. Optik mikroskopla yapılan incelemede yapının kristallerinin farklı şekillerde görülebildiği çalışılmıştır. C çeliği alaşımında düşük oranda bulunuyorsa martensitede kristallerin iğne (lath) yapılı ortaya çıktığı görülmüştür. Orta ve yüksek C çeliklerinde bamboo yaprakları (bamboo leaf) ve mercimek (lenticular) şeklinde olduğu görülmüştür (Nishiyama, 1978). İncelemeler göstermektedir ki alaşıma farklı özel bir element eklenmesi, dönüşüm sıcaklığının değişmesine neden olacağından oluşan martensite kristallerinin morfolojisinde de farklılıklar görülür (Nishiyama, 1978). Fe-Ni-C içeren alaşımın kompozisyonunun etkisini görmek için Further, Klastermann ve Burgers (Klostermann ve ark., 1964) tarafından yapılan Fe- %30Ni-%0,04C alaşımı incelenmiş ve plaka (plate) yüzey martensitelerinin olduğu görülmüştür. Martensite morfolojisinin alaşımın termal etkisindedeki bağlı olduğunu göstermek için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan biriside Tamura ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Tamura ve arkadaşları (1971) Fe- %31Ni-%0,28C alaşımının termal davranışlara bağlı olarak değişen morfolojilerini incelemişler ve M_s sıcaklığı -81°C de olan ve bölgesel ikizlenmelere sahip mercimek (lenticular) şeklinde ortaya çıkan martensite kristallerinin olduğunu görmüşlerdir. M_s sıcaklığının -171°C olduğu durumda ise ince plaka (thin) şeklinde olduğu görülmüştür (Maki ve ark., 1972). Hatta Fe-C ve Fe-Ni alaşımlarına farklı özel elementlerin eklenmesi sonucunda eklenen elementin miktarı çok büyük olmadığı sürece yapıda belirgin değişiklikler görülmeyeceğini Nishiyama belirtmiştir (Nishiyama, 1978).

3. DENEYSEL MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde; alaşımın Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Titreşimli Örnek Magnetometresi (VSM) incelemeleri için hazırlanma aşamaları ile kullanılan sistemler hakkında da genel bilgiler verilmiştir.

3.1. Yöntem

Bu kısımda; Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve titreşimli örnek magnetometresi (Vibrating Sample Magnetometer, VSM) teknikleri, genel anlamda bu sistemlerle ne tür çalışmaların yapılabileceği ve sözü geçen sistemlerin çalışma prensipleri hakkında genel bilgiler verilmiştir.

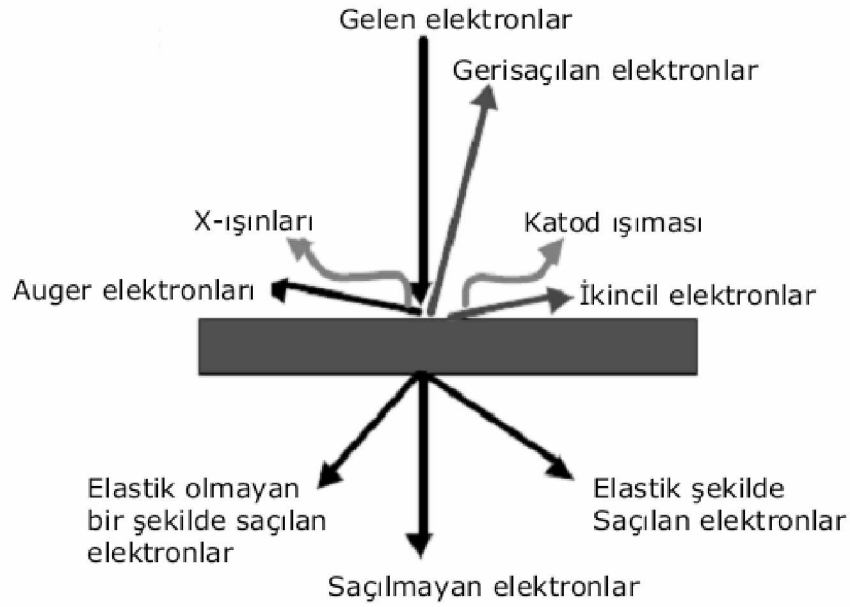
3.1.1. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Hakkında Genel Bilgiler

Tarihte ilk olarak McMullan tarafından SEM hakkında bilgi aktarılmıştır. Hans Busch tarafından ilk elektromanyetik lens 1926'da geliştirildi.1931 yılına kadar birçok başarısız denemelerin ardından Alman fizikçi Ernst Ruska ve elektrik mühendisi Max Knoll X400 büyütme gücüne sahip bir elektron mikroskobu prototipi oluşturular.

Elektron mikroskobunun temel prensipleri bu cihaz ile ortaya çıktı. Ruska 1933'te ışık mikroskobu ile elde edilebilen çözünürlüğü aşan bir elektron mikroskobu üretti. Knollse elektron demeti taraması kullanarak 50 mm objektif alan genişliğine sahip, kanallama kontrastı gösteren bir fotoğraf çekti. Tüm bu gelişmelerin ardından, 1937'de, Manfred von Ardenne, daraltılmış ve iyi odaklanmış bir elektron demeti ile çok küçük bir alanı tarayarak, yüksek çözünürlüklü gerçek bir taramalı elektron mikroskobu icat etmeyi başardı.

Manfred Von Ardenne çalışmalarında hem yüksek büyütmeye ulaşmak için hem de elektron mikroskobunun doğasında bulunan kromatik sapıncı engellemek için tarama prensibini uygulamıştır. Ayrıca SEM teorisi ile ilgili çalışmalar ve farklı görüntüleme metodları için bu uygulamayı kullanmıştır. Zworykin grubu ve Charles Oatley

yönetimindeki Cambridge grubu tarafından SEM cihazları yıllar içinde geliştirilmeye devam etmiştir. İlk “Stereoscan” adı verilen ticari cihaz olarak 1965 yılında Cambridge Scientific Instrument Company tarafından DuPont firmasına satılmıştır (Anonim, 1997).



Şekil 3.1. Elektron-numune etkileşmesi sonucu oluşan ışınlar ve elektronlar

Şekil 3.1’deki Elektron-numune etkileşmesi ile ortaya çıkan ışınlar X ışınları, Katot Işıması, Auger Elektronları, Birincil Geri Saçılan Elektronlar, İkincil Elektronları açıklayacak olursak;

X ışınları: Numune atomları hakkında bilgi verir.

Katot Işıması: Numune atomlarının geçişleri sonucunda oluşan ışınlar valans (dış kabuk) elektronlarıdır.

Auger Elektronları: Numunenin iç kabuklarından gelen elektronlardır.

Birincil Geri Saçılan Elektronlar: Elektron demetine ait elektronlardır, numunenin yüzey yapısı ve atomları ile ilgili bilgi verir.

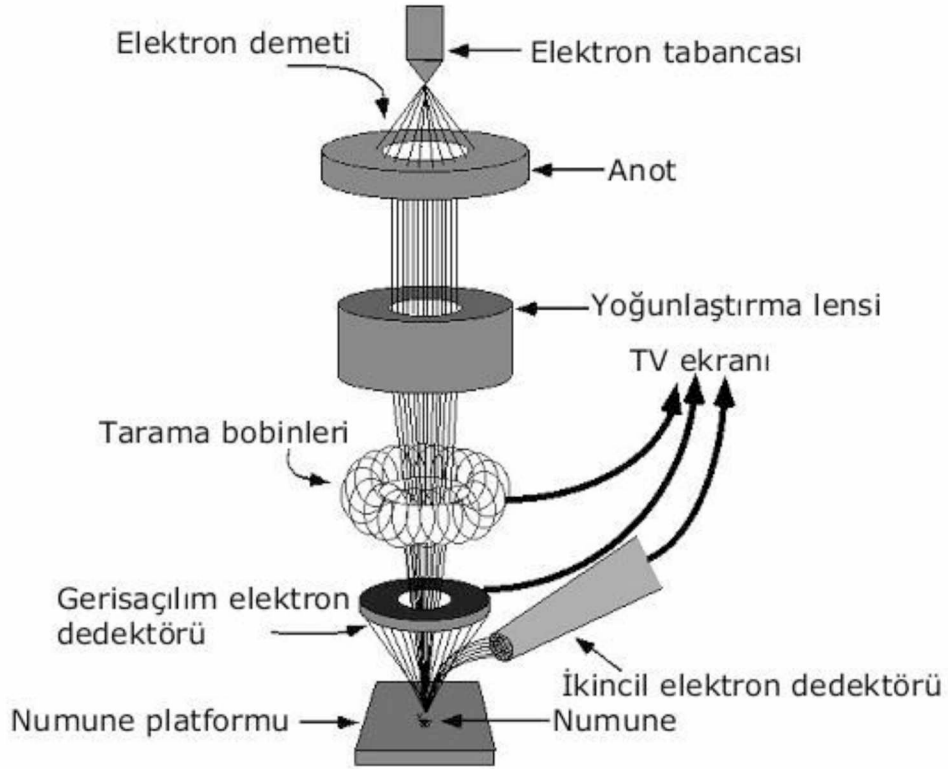
İkincil Elektronlar: Numune atomlarından gelen elektronlardır, numune yüzeyi hakkında bilgi verir.

Böylece incelenen malzemenin yüzeyi hakkında bilgi edinilir (Akay, 2013). Doğal kaynakların morfolojisini ve mineralojisini araştırmak için kullanılırlar. Yani malzemenin yapı ve biçimini incelemek, özel fiziksel özelliklerini araştırmak, minerallerin geometrik şekillerini, içyapılarını, fiziksel-kimyasal özelliklerini ve bunlar arasındaki ilişkileri ve yasaları, ayrıca endüstriyel kullanımlarını ve uygulamalarını incelemek için kullanılır. Taş ya da minerallerin kimyasal kompozisyonunun saptanması, imal edilen bileşenlerin rutin analizler sonucunda kalite standartlarına ve dayanıklılık gereksinimlerine uyup uymadığının araştırılması, malzemelerin sahip olduğu kusurların ve aşınma özelliklerinin saptanması, ateşli silah artıkları gibi kriminal kanıtların incelenmesi ve toksikoloji, ilaç bileşenlerinin parçacık boyutu ve morfolojisinin incelenmesi, malzemelerin yüzey özellikleri, korozyon dayanımları, kaplama kalınlığı, parçacık boyutu ve morfolojisi gibi özelliklerin belirlenmesinde kullanılır (Anonim, 1997).

Numune atomlarının dış yörünge elektronları ile yüksek enerjili demet elektronları elastik olmayan bir çarpışma sonucunda düşük enerjili Auger elektronlarını oluşturur. Auger elektronları kullanılan numune yüzeyi hakkında bilgi taşır ve Auger Spektroskopisinin (bir atomun, aynı atom arasında bir elektron emisyon ile atomdaki boşlukları doldurması olayı) çalışma prensibini oluşturur (Anonim, 1997). Yine yörüngelerinden atılan veya enerjisi azalan elektron demetleri yörünge elektronları ile olan girişimler sonucunda numune yüzeyine doğru hareket ederek numunenin yüzeyinde toplanmaya başlar. Bu elektronlar ise “ikincil elektron” olarak tanımlanır.

İkincil elektronlar numune odasında bulunan ve bir yüklü parçacık uyarılmasında gözle görünür ışık yayan kristal veya maddeler olarak binen sintilatörde toplanarak ikincil elektron görüntüsü sinyaline dönüşür. İkincil elektronlar numune yüzeyinin 10 nm veya daha düşük derinlikten geldiği için numunenin yüksek çözünürlüğe sahip topografik görüntüsünün elde edilmesinde kullanılır (Anonim, 1997). Elektron demeti numuneye çarptığında elektronlar ve ışınlar (radyasyon) yayar (Erkoç, 2010). Bi-

rincil elektronların numuneye çarpması ile numune yüzeyinden fırlatılan ikincil elektronlar bir dedektör yardımıyla toplanır. İkincil elektronlardan gelen sinyaller bir bilgisayar ekranına aktarılır (Ocak, 2003).



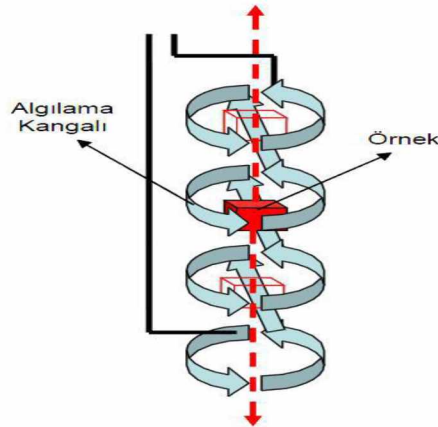
Şekil 3.2.Elektron-numune etkileşmesi. (Akay, 2013)

Numune yüzeyinde çıkıntılı bölgelerde daha çok sayıda ikincil elektronlar saçıldığından bu bölgeler açık, numunenin daha derinde bulunan bölgeleri ise koyu olarak görülür. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)'nda odaklanma derinliğinin büyük olması kırılma yüzeylerini incelemeye ve yüzey ile ilgili başka ayrıntıları incelemeye de oldukça elverişlidir (Ocak, 2003).

Bu cihazın diğer kullanım alanları ise; malzeme bilimi, kimya ve eczacılık, adli tıp, jeoloji, diş hekimliği, inşaat sektörleri gibi geniş bir kullanım alanı mevcuttur (Anonim, 1997).

3.1.2. Titreşimli örnek magnetometresi (VSM)

Malzemelerin manyetik ölçümleri, en az elektriksel ve kristalografik ölçümleri kadar önemlidir (Emen, 2005). Dışarıdan uygulanan manyetik alana karşı tüm malzemeler tepki vermektedir. Uygulanan bu manyetik alan malzeme içerisinde bir manyetizasyona sebep olmaktadır. Malzemenin susebtibilitesi olarakta bilinen bu durum malzemeye uygulanan alana karşı göstermiş olduğu duyarlılıkla ilgilidir (Bulun, 2010). Duyarlılığın ölçüsüne malzemenin manyetik duyunluğu denmektedir. Yani manyetizasyonun, uygulanan alana göre değişim hızı dM/dH , malzemenin duyarlılığının yani uygunluğunun bir ölçüsüdür. Bu durumda dışardan uygulanan alanın malzeme de manyetizasyonun oluşumuna neden olduğunu söyleyebiliriz. Dışarıdan uygulanan manyetik alanın hangi sıcaklıkta gerçekleştiğide önem taşımaktadır. Kritik T sıcaklığının altında ve üstünde malzeme farklı özelliklere sahiptir ve bu T sıcaklığı faz dönüşümünün olduğu sıcaklıktır (Emen, 2005). Titreşimli örnek magnetometresi (VSM) ile incelenen malzemenin manyetik karakterini ortaya koyan manyetizasyon eğrisi deneysel olarak elde edilmektedir. VSM, Forner tarafından geliştirilen elektromanyetik indüksiyon prensibine göre çalışmaktadır. Manyetik akı değişiminin indüklenen elektromotor kuvveti (e.m.k.)' ne eşit olduğu kabul edilerek açıklanan elektromanyetik indüksiyon bu metotta örnek sabit manyetik alan içerisinde titreştirilir. Manyetik alan içerisinde titreşikli örnek içerisindeki manyetik momentler titreşimin frekansına paralel olarak salınırlar. Bu titreşimlerin sonucunda algılama bobinlerinde titreşimle orantılı bir gerilim indüklenir. (Şekil 3.3)



Şekil 3.3. VSM sisteminde manyetik algılama yapısı

Faz kilitlemeli yükselteç (lock-in amplifier) kullanılarak indüklenen gerilim ölçülmektedir. Ölçüm sonucunda yalnızca titreşim frekansı ile aynı frekansa sahip gerilim okunmaktadır. Okunan bu gerilimin değeri bilinen bir malzeme ile kalibre edilmesi suretiyle örneklerin manyetizasyonu belirlenebilir (Bulun, 2010).

Örnek tutucunun istenen açılarla döndürülmesi ile farklı yönlerde uygulanan manyetik alan altında ölçüm yapılarak, istenen değerler arasında istenen aralıklarla uygulanan manyetik alana karşı ölçülen manyetik moment değerleri ile örneğin histeresis eğrisi elde edilmektedir (Bulun, 2010).



Şekil 3.4. Quantum Design PPMS-9t titreşimli örnek magnetometresi (sample magnetometre, VSM)

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Numunelerin Hazırlanması

Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn alaşımı, Gebze Teknik Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümünde Fe, Ni, Mn ve Zn elementleri %99,9 saflık derecesinde toz halinde bulunan bu elementler bir araya getirilip yüksek sıcaklıkta eritilerek 1 cm çapında, 10 cm uzunluğunda silindirik çubuklar halinde dökülmüştür. Oluşan alaşımın kompozisyonu, IXRF sistemi kullanılarak EDS (Elektron Dispersion Spectroscopy) tekniği ile Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn (% ağırlık) şeklinde tespit edildi. Silindirik çubuk şeklindeki alaşım, CNC torna tezgahında elmas bıçaklı kesicilerle uygun boyutta kesilerek (5mm kalınlığında 1cm çapında diskler şeklinde) hazırlanan numune ısıtma işlemi sırasında, yüksek sıcaklıklarda malzemedeki oksitlenmeyi önlemek amacıyla yüksek sıcaklıklara dayanabilen kuartz cam tüpler içine konuldu ve daha sonra ısıtma işlemi uygulandı.

4.1.1. SEM İncelemeleri İçin Numunelerin Hazırlanması

Fe- %27Ni- %4Mn- %1Zn alaşımından uygun boyutlarda elde edilen örnek SEM incelemeleri için, 1100 °C'de 12 saat ısıtma işlemi tabii tutularak oda sıcaklığındaki suda soğutuldu. Daha sonra 500, 800, 1200 ve 2400 kalınlıklarındaki su zımparaları ile yüzey pürüzsüzleştirilip 6, 3 ve 1'lik elmas pastaları ile yüzey mekanik olarak parlatılmıştır. Ardından yüzeyde oluşan tane sınırlarını, kristal yapılarını gözlemleyebilmek için %3 nital (%3 Nitrik asit, %97 Metanol) çözeltisi içerisinde dağlama yapılarak ve sıvı azot (-196°C) içerisinde 5 saniye bekletilerek yüzey incelemeleri Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile yapılmıştır.

4.1.2. VSM Ölçümleri İçin Numune Hazırlanması

Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn alaşımından elde edilen numunelerin Manyetizasyon Uygulanan Alan (M-H) ölçümleri Quantum Design PPMS-9t titreşimli örnek magnetometresi (vibrating sample magnetometre, VSM) kullanılarak alındı. Alaşımın M-H ölçümleri -10 ile +10 Tesla manyetik alan değerleri arasında 300 K'de yapıldı.

Sıcaklığa bağlı mıknatıslanma (M-T) ölçümleri 0.499 kOe sabit manyetik alanda yapıldı.

4.2. Araştırma Bulguları

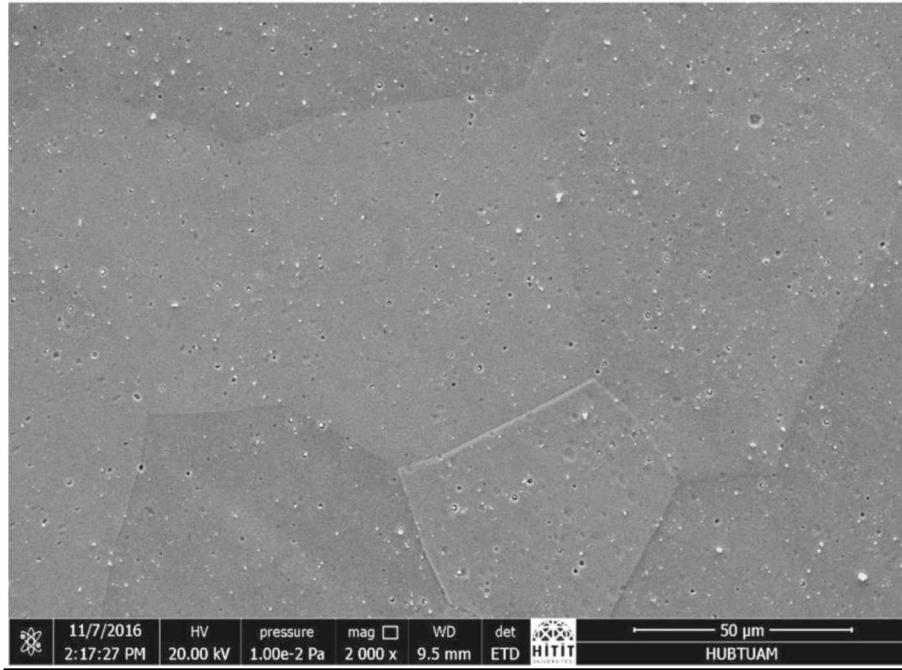
1500 °C civarında Fe-alaşımları ergir. Oda sıcaklığına soğutulurken yaklaşık 900 °C civarında yüz merkezli kübik (f.c.c.) yapıda kristalleşir. Oluşan bu faza austenite adı verilir. Austenite fazdaki alaşım dışardan uygulanan fiziksel etkenler sebebi ile hacim merkezli tetragonal (b.c.t.), sıkı paketlenmiş hegzagonal (h.c.p.) veya hacim merkezli kübik (b.c.c.) kristal yapıya dönüşebilir. Alaşımın bu fazına ise martensite faz adı verilir (Nishiyama, 1978).

Bu çalışmada kullanılan Fe-%27Ni-%4Mn-%1Zn alaşımı, 1100 °C’de 12 saat ısıl işlem gördükten sonra fırın içerisinden alınarak oda sıcaklığındaki suya atılarak soğutuldu. Ortaya çıkan faz dönüşümlerinin yapısal özellikleri SEM, oluşan fazların magnetik özellikleri VSM tekniği ile incelenmiştir.

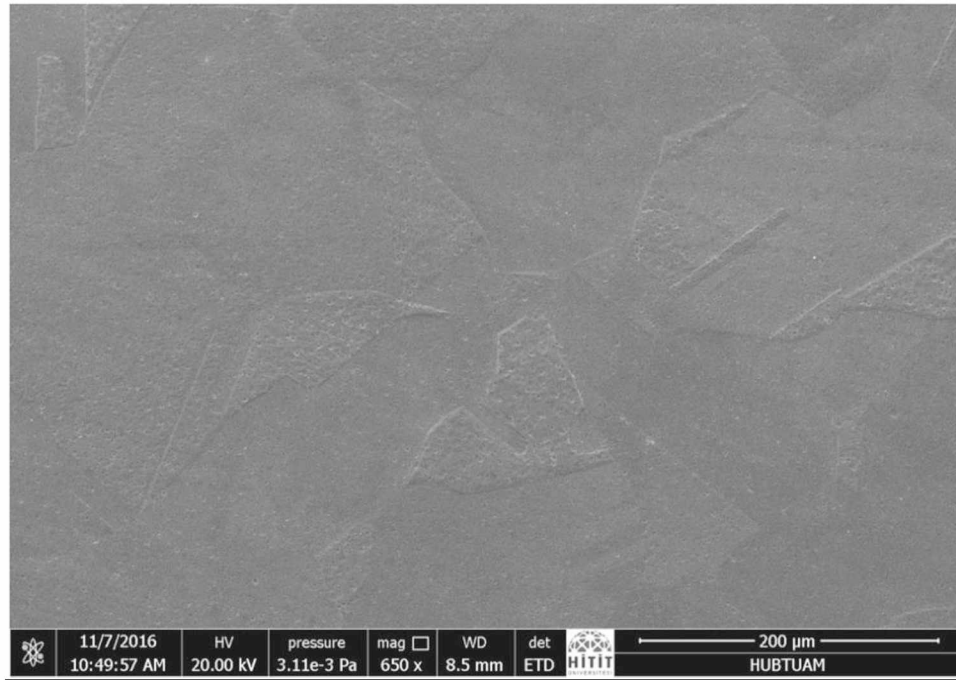
4.2.1. SEM Gözlemleri

Fe-27%Ni-%4Mn-%1Zn alaşımı, argon atmosferinde, saf (% 99.9) alaşım elemanlarından Fe, Ni, Mn ve Zn elementleri kullanılarak, indüksiyonla eritilerek hazırlandı. Elde edilen alaşımdan kesilen örnek 1100 °C’de 12 saat ısıl işleme tabi tutularak homojen hale getirildi ve daha sonra oda sıcaklığında su içine soğutuldu. Alaşımın SEM görüntüsü şekil 4.1’de verilmiştir. Fotoğrafta austenite taneleri ve tane sınırları açıkça görülmektedir. Ayrıca her tane farklı tonlarda meydana gelmiştir. Bu sonuç her tanedeki atomik yönelimin farklı olmasından kaynaklanmaktadır (Askeland, 2001). Alaşımda termal yol ile martensite elde etmek için elde edilen örnek sıvı azot (-196 °C) içine daldırılmıştır. Bu işlem sonucunda elde edilen SEM görüntüsü Şekil 4.2’de verilmiştir. Fotoğrafta açıkça martensite plakaları görülmektedir.

Şekil 4.2 incelendiğinde, Fe-27% Ni-%4 Mn 1 % Zn alaşımında termal etkiyle oluşturulan martensite yapının “lath martensite” morfolojisine uygun yapı sergilediği görülmüştür.



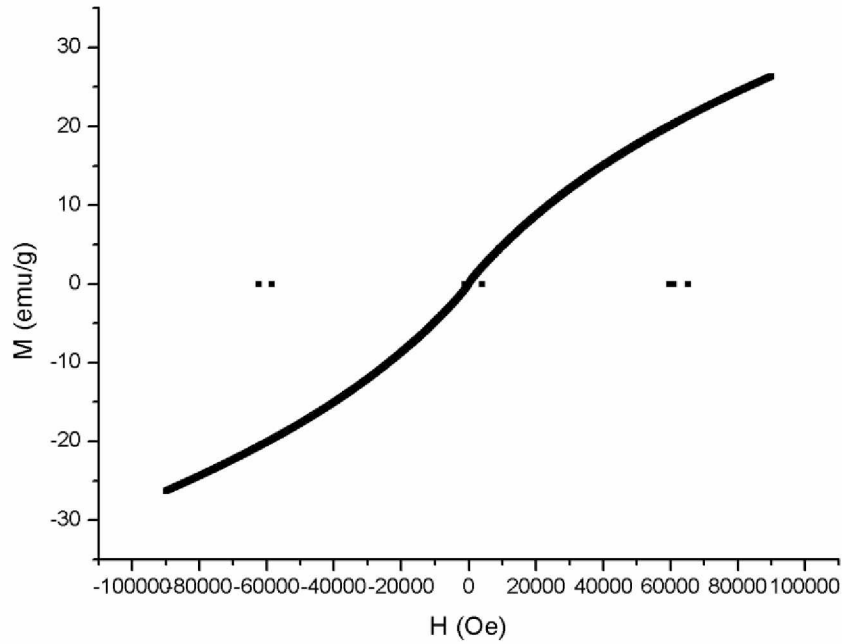
Şekil 4.1. Fe-27%Ni-4%Mn-1% Zn alaşımında gözlenen austenite yapı.



Şekil 4.2. Fe-27%Ni-4%Mn-1%Zn alaşımında termal etki ile oluşan martensite yapı.

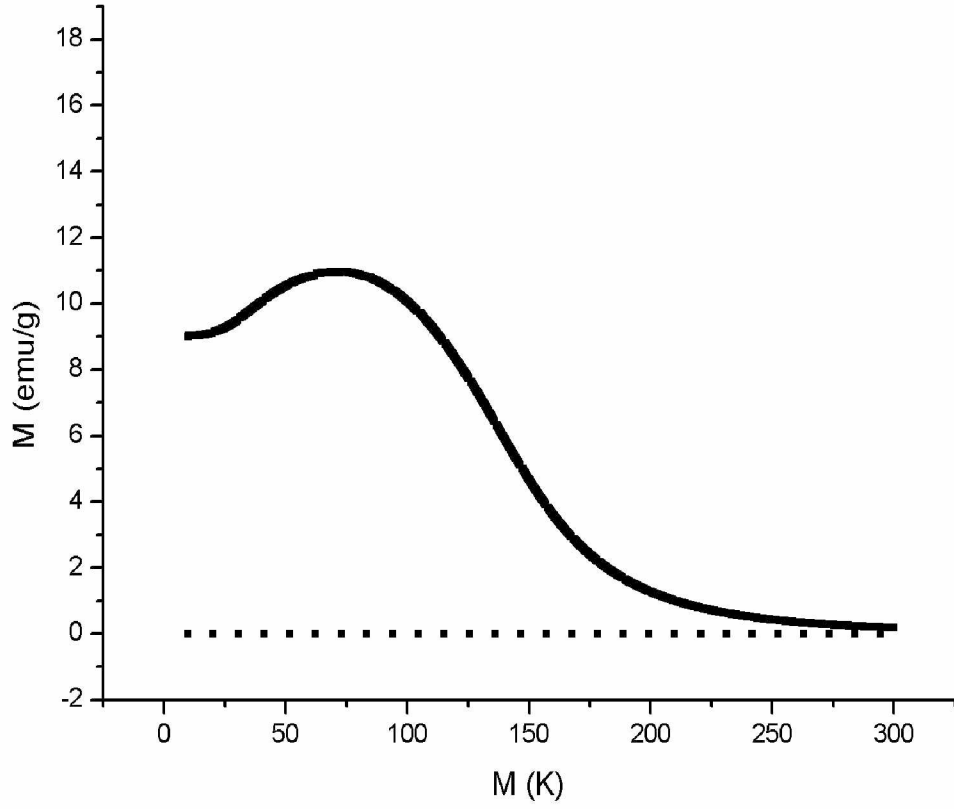
4.2.2. VSM Ölçümleri

Fe-27%Ni-% 4Mn% 1Zn alaşımında termal etki sonucu oluşan martensit yapının manyetik özelliklerini gözlemlemek için alaşımdan elde edilen numunenin uygulanan manyetik alana karşı manyetizasyondaki değişikliği (M-H) ölçümleri Quantum Design PPMS-9t titreşimli örnek magnetometresi (vibrating sample magnetometre, VSM) kullanılarak alındı. Miknatıslanma-Uygulanan Alan (M-H) ölçümleri -10 ile 10 T alan değerleri arasında 300 K'de alındı. Şekil 4.3'de oda sıcaklığında alınan numunenin uygulanan manyetik alana karşı manyetizasyondaki değişikliği göstermektedir. Numunenin Miknatıslanma-Uygulanan Alan (M-H) eğrisinden ferromagnetik bir davranış meydana geldiği bulunmuştur. Numunenin doyum miknatıslanma değeri yaklaşık 21 emu/g bulundu. Ayrıca örneğin M-H eğrisinden elde edilen diğer bir sonuçta zorlayıcı alan değeridir. Bu değer yaklaşık 36 Oe olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.3. Fe-27% Ni-4% Mn-1% Zn Alaşımından elde edilen martensite yapının Miknatıslanma-Uygulanan Alan (M-H) Eğrisi.

Birçok manyetik malzemede, tane ve yapı kusurları içeren mikroyapı; zorlayıcı alan ve doyum miknatıslanması gibi özellikleri maksimum değere ulaştırmada kritik bir rol oynamaktadır (Chaturvedi ve ark., 2014; Lucis ve ark., 2014).



Şekil 4.4. Fe-27% Ni-4% Mn-1% Zn alaşımından elde edilen martensite yapıya ait (M-T) grafiği.

Şekil 4.4. Örneğin sabit manyetik alan 0.499 kOe’de alınan sıcaklığa bağlı (M-T) grafiğini göstermektedir. Grafik incelendiğinde; yaklaşık 201 K sıcaklığında net bir azalma gözlenmiştir. Bu sıcaklık numunenin ferromagnetik davranıştan çıkıp paramagnetik davranış sergilediği Curie sıcaklığıdır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada Fe-27% Ni-%4 Mn%1 Zn alaşımında termal etki ile oluşturulan faz dönüşümlerinin; morfolojikve manyetik özellikleri çeşitli tekniklerle incelenmiştir. Farklı kompozisyonlardaki demir bazlı alaşımlarda, martensite oluşumu üzerine birçok çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda martensitik faz dönüşümünün yapısal özellikleri, kristolografik ve bazı fiziksel özellikleri alaşım kompozisyonu ve uygulanan ısı işlemlere göre farklılık meydana getirir. Demir-bazlı alaşımlarda termal etki ile hem atermal hemde martensitik dönüşümler sergilenir. Çalışmamızda 1100°C’de 12 saat ısı işlem uygulanmış ve oda sıcaklığındaki suya atılarak soğutulan örneğin austenite fazda olduğu görülmüştür. Diğer taraftan ise 5 s süreyle sıvı azotta termal etkiye maruz bırakılan bu austenite yapıya sahip örneğin içerisinde martensite fazın oluştuğu SEM incelemeleri ile belirlenmiştir. Termal etki, manyetik alan, deformasyon gibi değişik dış fiziksel etkilere uğrayarak ana fazdaki austenite yapıdaki alaşımların kristal yapısında değişimler gözlenmektedir. Bu değişimler genellikle mercimek (lenticular), çubuk (lath), plaka (plate), ince plaka (thin plate) ve kelebek (butterfly) şeklinde oluşmaktadır. Yüzey ve kristolografik incelemeler sonucunda bu martensite yapının “lath” martensite morfolojisine uygun yapı sergilediği görülmüştür. Ayrıca Fe-27% Ni-%4 Mn%1 Zn alaşımına uygulanan ısı işlemler ve dış fiziksel etkilerle yapının atermal dönüşüm kinetiği gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Manyetik ölçümler sonucunda, Fe-27%Ni-% 4Mn% 1Zn alaşımından termal etki sonucu oluşturulan martensite yapının manyetik özelliklerini belirlemek için martensite fazdaki numunenin uygulanan manyetik alana karşı manyetizasyondaki değişikliği (M-H) ölçümleri ve sıcaklığa bağlı alınan manyetizasyon (M-T) ölçümleri Quantum Design PPMS-9t titreşimli örnek magnetometresi (vibrating sample magnetometre, VSM) kullanılarak alındı. VSM ölçümlerinden Fe-27%Ni-% 4Mn%1Zn alaşımının ferromagnetik bir davranış sergilediği bulunmuştur. Bu ölçümlerden doyum mıknatıslanma değeri yaklaşık 21 emu/g bulundu. Ayrıca örneğin M-H eğrisinden zorlayıcı alan değeri yaklaşık 36 Oe olarak elde edildi. Ayrıca Fe-27%Ni-%4Mn%1Zn alaşımının sabit manyetik alan 0.499 kOe’ de alınan sıcaklığa bağlı (M-T) grafiğinden Curie sıcaklığı yaklaşık 201 K olarak belirlendi.

Bu tez çalışmasına konu olan alaşım, Fe-27%Ni-%4Mn%1Zn alaşımının uygulanan etki sonucunda martensitik faz dönüşümü sergilediği görülmüş ve oluşan martensite fazın manyetik ve yapısal özellikleri geniş çapta belirlenmiştir. Bu özellikler göz önüne alınarak ya da geliştirilerek daha iyi malzemeler tasarlanıp, teknolojiye ve bilime katkı sağlanabilir. Bu tez çalışmasının orijinalliği literatürde Fe, Ni, Mn elementlerine Zn elementinin etkisi hatta bu etkinin ortaya çıkardığı sonuçlardır. İlerleyen çalışmalarda gerek dördüncü element olarak Zn elementinin yüzdeleri değiştirilebilir ya da Zn elementi yerine farklı türdeki (Cr, Mo, V) gibi dördüncü alaşımlama elementi ile çalışma genişletilebilir. Isıl işlem koşulları değiştirilerek yani 1000 °C'de 48 saat bekletilerek, sıvı azotta soğutularak değişik etkiler incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Akay M. S., 2013. Fe-%30Ni-%2.6Mo-%XCo Alaşımlarında Martensitik Faz Dönüşümlerinin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Y. Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Akgün, I., Gedikođlu, A. ve Durlu, T. N., 1982. Mössbauer study of martensitic transformations in an Fe-29.6% Ni alloy. Journal of Material Science. 17, 3479-3483.
- Amar K. DE., David C. Murdock, Martin C. Matarya, John G. Speer and David K., 2004. Quantitative measurement of deformation-induced martensite in 304 stainless steel by X-ray diffraction. Scripta Materialia, p 1444-1449.
- Anonim, 1997. Makine Teknolojileri Kulübü. [www.orkam.yildiz.edu.tr/MAKTEK tanitim 2018. pdf](http://www.orkam.yildiz.edu.tr/MAKTEK_tanitim_2018.pdf) (03.04.2017)
- Anonim, 2012. Malzeme Bilgisi, RÜ. Faz Diyagramları, https://rahmiunal.net/dersler/malzeme/mb_07_fazlar.pdf (04.05.2017)
- Anonim, 2018. Los Alamos National Laboratory – Demir (İng.) <https://tr.wikipedia.org/wiki/Demir> (25.03.2017).
- Askeland Donald R. 2001. Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri, Nobel Yayınları, Ankara.
- Aydoğdu, A., 1995. Şekil Hatırlamalı Cu- Al-Ni Alaşımlarındaki Martensitik Dönüşümler Üzerinde Termal Yaşlandırma Etkileri, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.
- Bancroft, G. M., 1973. An Introduction For Inorganic Chemist and Geochemist, Mcgraw-Hill Book Company, London.
- Bargel, H. J., Schulze, G., 1993. Malzeme Bilgisi, Cilt 1 Metal Malzemelere Genel Giriş, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Baydur, G., 1999. Malzeme, 11.Baskı, M.E.B. Basımevi, İstanbul.
- Bowles, J. S. and Wayman, C. M., 1972. Met. Trans., 3, 1113.
- Bulun, G., 2010. 3d- Geçiş Metali Ni Katkılı Zn_{1-x}Ni_xO ve 4f-Lantanit Gd Katkılı Zn_{1-x}Gd_xO Bileşiklerinin Yapısal ve Manyetik Özellikleri, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- Bunshah R.F., Mehl, R.F., 1953. Rate of propagation of martensite. Transactions of the Metallurgical Society of AIME, Journal of Metals, 197, 1251.
- Callister, J. W. D., 2003. Materials Science and Engineering: An Introduction, 6th Edition, John Wiley and Sons Inc.
- Callister, Willam D. Jr., 2007. Materials Science and Engineering: An Introduction. (İngilizce).
- Cettrell, C. L. M., 1954. J. Iron Steel Inst. 176, 269.
- Chaturvedi, A., Yaqub, R., Baker, I., 2014. Microstructure and Magnetic Properties of Bulk Nanocrystalline MnAl. J. Phys. Cond. Matter 26, 064201.
- Christian J.W., 1975. The Theory of Transformations in Metals and Alloys, Pergamon Press, London.
- Christian, J. W., 1966. "The Mechanism of Phase Transformations in Crystalline Solid" London, 129.
- Christian, J.W., 1965. Journal of IMs. Metals, 84, 386 .
- Christian, J.W., 1965. The Theory of Transformations in Metals and Alloys, I. Edition, Pergamon Press, Oxford.
- Clapp, P. C., 1985. Proceedngs ICOMAT 95, C.8-11, Lausanne.
- Cotes S. M., Cabrera A.F., Damonte L.C., Mercader R.C., Desimoni J., 2002. PhysicaB: Condensed Matter, 320, 274.
- Cullity, B. D., Çeviren; Ali Sümer, 1966. İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
- Davies, R. G. and Magee, C. L., 1971. Met. Trans.,2,1939-1947.
- Durlu T.N., 1992. J. Mater. Sci. Lett. 11, 702.
- Durlu, T. N., 1989. Katıhal Fiziğine Giriş, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü.
- Durlu, T. N., 2001. Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi 13(1), 1.

- Durlu, T.N., 1991. Metal Fiziğine Giriş, Ders Notu, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Fizik Bölümü, Ankara.
- Emen, F., 2005. +3 değerli demir ve nikel iyonları içeren $LiFePO_4$ bileşiklerinin manyetik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Adana.
- Erkoç Ş., Ocak 2010. <https://www.scribd.com/document>. Nanobilim ve nanoteknoloji.
- Förster, F. and Scheil, E., 1940. Untersuchung des Zeitlichen Ablaufes von Umklappvorgängen in Metallen. 2. Metalkunde, 32, 165.
- Gall K., Sehitoglu H., Maier H. J. and Jacobus K., 1998. Stress-induced martensitic phase transformations in polycrystalline CuZnAl shape memory alloys under different stress states. Metall. Mater. Trans. A, 29A, 765.
- Georgiyeva, I. Ya., Izotov, V. I., Nikitina, I. I., Khandarov, P. A., 1969. Structural Singularities of Athermic and Isothermic Martensite in an Fe-Ni-Mo Alloy, Fiz. Metal. Metalloved, 27, 6, 1129-1130.
- Georgiyeva, I. Ya., Izotov, V. I., Utevskiy, L. M. ve Khandarov, P. A., 1971. Structural and crystallographic characteristics of isothermal martensite in Fe-24Ni-3Mn alloys. Fiz. Metal. Metalloved, 32, 3, 623-631.
- Ghosh, G., Raghavan, V., 1986. Scripta Metall. Mater., 1986. Vol. 20, pp. 849-54
- Greninger, A. B. and Troiano, A. R., 1949. The Mechanism of Martensite Formation, Trans AIME 185, 590.
- Greninger, A. B. and Troiano, A. R., 1940. Crystallography of Austenite Decomposition, Trans. AIME, 140, 307.
- Gruverman I. J., 1967. Mössbauer Effect Methodology, Vol 3, Plenum Press, New York.
- Guner, M., Akturk, S., Aktas H., 2004. Department of Physics, Science and Arts, Faculty of Kırıkkale University, Yahsihan 71450, Kırıkkale, Turkey.
- Güler, E., 2005. Fe-29Ni-2Mn Alaşımında Farklı Etkilerle Oluşan Martensitenin Bazı Fiziksel Özellikleri. Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

- Günay, E., 2000. Erciyes Üni. Müh. Fak. Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü Ders Notları.
- Güner, M., 2006. Fe-%30 Ni-%5 Cu Alaşımında farklı etkilerle oluşan martensitenin bazı fiziksel özellikleri. Doktora Tezi. Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Güngüneş H., 2005. Fe-%24.5Ni-%4.5Si Alaşımında Austenite Martensite Faz Dönüşümleri Üzerinde Çalışmalar, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Gürü, H. ve Yalçın, M., 2002. Malzeme Bilgisi, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Halliday, D., Resnick, R., 1923. (Cengiz Yalçın trans.), Fiziğin Temelleri.
- Hesse, J., Böttger, Ch., Wukfe, A., Sievert J. and Ahlers, H.,1993. Physica Status Solidi 135, 343.
- Honma, T., 1957. J. Jpn.Inst. Met. 21, 122.
- Inagaki, H., Z., 1992. Shape Memory Effect of Fe-14%Mn-6%Si-9%Cr-6%Ni Alloy Polycrystal Metallkd. 83,90.
- Jiles, D., 1991. Introduction to Magnetism and Magnetic Materials 1st. Edition, Champmann and Hall, London.
- Jun, J.H., Kong, D.K., Choi, C.S., 1998. The influence of Co on damping capacity of Fe-Mn-Co alloys. Materials Research Bulletin Vol. 33, No. 10 1419-1425. Doi:10.1016/S0025-5408(98)00145-7.
- Kahveci N., 1997. İnhomojen Ortamdaki Elipsoidal Bölgelerin Esneklik Alanları ve Enerjileri, Doktora Tezi, Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Kajiwara, S., 1984. Acta Metall., 32, No:3, 407.
- Kajiwara, S., 1992. Mater. Trans., JIM, 33 No:11,1027.
- Kakeshita T., Kriowa K., Shimizu K., Ikeda T., Yamagishi A. And Date M., 1993. Effect of Magnetic Fields on Athermal and Isothermal Martensitic Transformations in Fe-Ni-Mn alloys. Mater, Trans. JIM, 34, 415.
- Kakeshita, T., Sato Y., Saburi, T., Sihimizu, K., Matsuoka, Y., and Kinda, K., 1999. Materials Transactions, JIM, 40, 2, 100-106.

- Kakeshite, T., Sato, Y., Sabura, T., Matsuako Y. and Kinda, K., 1999. *Mat. Trans. JIM* 34 (5), 415.
- Kaufman and Chen, M., 1968. *Progress Metal Physics*, 7, 165.
- Kaufman L. and Cohen M., 1958. Thermodynamics and kinetics of martensitic transformations, in *Progress in Metal Physics*, Vol. 7, B. Chalmers and R. King, eds., Pergamon Press, New York, pp. 165–246.
- Kaufman L. and Cohen, M., 1956. *Ins. Metals Monograph*, No 18, p. 187 London.
- Kelly P. M. and Nutting, J., 1960. High-Strength iron alloys, *Proceeding of the Royal Society of London. Series A.*, 259, 45-58.
- Kelly, P. M., B. A., Ph. D., Nutting, J., M. A., B. Sc., Ph. D., *Iron*, J., 1961. *Stell Inst.* 197,199-211.
- Kırım, S., 1979. *Faraday Sistemi ve Manyetik Alınganlık Ölçümü*, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum.
- Kittel, C., Çeviri: Karaoğlu, B., 1996. *Katıhal Fiziğine Giriş*, Bilgitek Yayıncılık, İstanbul.
- Klostermann, J. A. and Burgers, W. G., 1964. *Acta Metall.*, 12, 355.
- Kostorz (Ed), G., 2001. *Phase Transformations in Materials*, Wiley-Uch, New York.
- Küçük, Ş., 2004. Fe-%15Mn-%2Cr Alaşımında Gözlenen Difüzyonsuz Faz Dönüşümleri Üzerinde Çalışmalar, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Lucis, M.J., Prost, T.E., Jiang, X., Wang, M., Shield, J.E. 2014. Phase transitions in mechanically milled Mn-Al-C Permanent magnets. *Metals* 4, 130.
- Maji, B. C., Krishnan, M., Raman Rao, V. V., 2003. *Metal. Mater. Trans. A*, 34A, 1029.
- Maki, T., 1990. Microstructure and mechanical behavior of ferrous martensite. *Mater. Sci. Forum*, 56-58, 157.
- Maki, T., Shimooka, S. and Tamura, I., 1971. *Metall. Trans.* 2, 2944.

- Maki, T., Shimooka, S., Umemoto M. and Tamura, I., 1972. The morphology of strain-induced martensite and thermally transformed martensite in Fe-Ni-C alloys. *Trans. JIM* 13, 400-407.
- Malinen, P. A. and Sadovskij, V. D., 1969. *Fiz. Met. Metalloved.*, 28, 1012.
- Marder, A. R. and Krauss, G., 1967. The Morphology of Martensite in Iron-Carbon Alloys. *ASM Trans. Quart.*, 62,651-660.
- Marinelli P., Fernandez A., Sade M.,2004. The Enthalpy Change of Hcp to Fcc Transformation in Fe-Mn-Co Alloys: Composition Dependence and Thermal Cycling Effects, *Materials Science and Engineering A373*, 1- 9.
- Martinez, J., Cotes, S.M., Cabrera, A.F., Desimoni, J., Fernandez Guillermet, 2005. On the relative fraction of ϵ martensite in γ -Fe-Mn alloys. *Materials Science and Engineering: A* 408, 26-32.
- Nagy, E., Mertinger, V., Tranta F. and Solyom, J., 2004. Deformation induced martensitic transformation in stainless steels. *Material Sci. And Eng: A*, 378, 308-313.
- Nishiyama Z., 1934. Mechanism of transformation from face-centred to body-centred cubic lattice. *Sci Rep Tohoku Imp Univ.* 23, 637-664.
- Nishiyama, Z., 1978. *Martensitic Transformation*, Academic Press, London, 304.
- Ocak, H. Y., 1999. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ocak, Ş., 2003. Fe-Mn-Cr Alaşımında Austenite-Bainite-Martensite Faz Dönüşümlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Onaran, K., 2006. *Malzeme Bilimi*. Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, s. 47.
- Osmond, F., 1895. *Bull de la Soc. D'Encouragement pour L'Industri National*, vol. 10, 480.
- Otte, H. M., 1957. *Acta Met*, 5, 614.
- Özkan, O. T. ve diğerleri, 1985. "Malzeme biliminde geçirim elektron mikroskobu uygulamasına giriş", TÜBİTAK-M.A.M.
- Özkan, O. T. ve diğerleri, 1986. "Malzeme biliminde geçirim elektron mikroskobu uygulamasına giriş", TÜBİTAK-M.A.M.

- Petty (Ed), E. R., 1970. Martensite, Fundamentals and Technology, Longman Group Limited, London.
- Porter D.A., Easterling K. E., 1981. Phase Transformations in Metals and Alloys, Chapman and Hall, London, 393.
- Raghavan, V. and Cohen, M., 1972. Recent Developments in Metallurgical Science and Tecnology (Physical Metallurg), İndian Institute of Metals, New Delhi p.255.
- Rao C. N. R., Rao K. J., 1982. Phase Transition in Solids, Mc Graw-Hill Inc., New York.
- Read R.E., 1970. Physical Metallurgy Principles, International Student Edition, NewYork, USA.
- Reed, R. P., 1967. The Plate-Like Martensite Transformation in Fe- Ni Alloys. Acta Meterialia, (15), 1287-1296.
- Sarı U., Kırındı T., Yüksel M. and Ağan S., 2009. Influence of Mo and Co on the magnetic properties and martensitic transformation characteristics of a Fe-Mn alloy Journal of Alloys and Compounds, (476) 160-163.
- Savaşkan, T., 1977. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Birsen Yayınları, İstanbul, 175.
- Savaşkan, T., 1999. Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Derya Kitabevi, Trabzon, 212.
- Schino, A. Di; Salvatori, I., Kenny, J. M., 2002. Effects of martensite formation and austenite reversion on grain refining of AISI 304 stainless steel, Journal of Materias Science, (37), 4561-4565.
- Shimizu, K. and Kakeshita, T., 1989. Effect of Magnetic Fields on Martensitic Transformations in Ferrous Alloys and Steels, ISIJ Int., 29; 97–116.
- Sinha, A. K., 2003. Physical Metallurgy Handbook, (The McGraw-Hill Companies) on Amazon.
- Speich, G. R., 1969. Trans. TMS-AIME, vol. 245, 2553-2565.
- Sun, E. X., Yang, D. Z., Hsu, T. Y., Yang, F. M., Zhao, Y. W., 1989. Pulsed Magnetic Field-induced Martensitic Transformation in an Fe-21Ni-4Mn Alloy. ISIJInt., (29), No:2, 154-157.

- Takaki, S., Nakatsu, H., Tokunaga, Y., 1999. Effects of Austenite Grain Size on ϵ Martensitic Transformation in Fe-15mass%Mn Alloy. *Materials Transactions, JIM*, (34), No:6, 489-495.
- Takeuchi, S., Honma T. and Suzuki, H., 1957. Studies on Martensite Transformation in Iron-Nickel Alloys. *J. Jpn. Inst. Met.* (21), 51.
- Topbaş, M. A., 1993. Isıl İşlemler, Prestij Basın Yayın ve Hizmetleri, İstanbul 45-49.
- Tsai, M. C., Chiou, C. S., Dn, J. S., Tang, J. R., 2002. *Materials Science and Engineering*, A332, 1-10.
- Vanpaemel, J., 1982. International Conference on Martensitic Transformations, (ICOMAT-82), *J. Phys. Colloques* (43), 847-854.
- Voronchikhin, L. D. and Fakidau, I. G., 1967. *Fiz. Met. Metalloved.*, 24, 459.
- Wada, T., Tagoyawa, T., Taya M., 2003. *Scripta Mater.*, 48, 207.
- Wakasa, K. ve Wayman, C. M., 1981. Crystallography and morphology of ferrous lath martensite, *Metallography*, (14), 49-60.
- Wassermann, G., 1935. *Mitt. Kaiser Wilhelm Inst. Eisenforsch.*, (17), 149-155.
- Wayman C. M., 1964. *Introduction to the Crytallograpy of Martensitic Transformations*, The Macmillan Company, New York.
- Wayman, C. M., 1990. The Growth of Martensite Since E. C. Bain (1924)-Some Milestones, *Material Science Form*, (56-58), 1-32.
- Wayman, C.M., 1980. Some Applications of shape-memory Alloys, *JOM: the Journal of the Minerals, Metals and Material Society*, 32(2), 129-137.
- Yaşar E., 2005. Fe-%30Ni-%XMo Alaşımlarında Atermal ve İzotermal Martensitik Faz Dönüşümlerinin Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : Serap GÜL
 Uyuşu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 24.07.1977 – Nevşehir/Avanos
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (505) 5223017
 e-Posta : serapsen1977@gmail.com

Eğitim

Derece tarihi	Eğitim Birimi	Mezuniyet
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi/ Fen-Ed. Fizik böl	1999
Lise	Fevzi Çakmak Lisesi	1994

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
07/10/1999	Millî Eğitim Bakanlığı	Fizik Öğretmeni

Yabancı Dil

Yayınlar

Güler, M., Aldırmaz, E., Gül, S., Koyuncuoglu, E., Kulucan, F.F., Güngüneş, H., Güler E., 2018. The effect of alloying element Zn on magnetic properties of martensite phase in Fe Ni Mn alloy. Journal of Molecular Structure, 1174, 103-106., Doi:10.1016/j.molstruc.

Güler, M., Aldırmaz, E., Gül, S., Gül, İ., Güler E., 2018. Structural and Magnetic Properties of Thermal and Deformation Induced Martensite in an Fe-27%Ni-

4%Mn-1%Zn Alloy. Journal of Superconductivity and Novel Magnetism, 31(2), 381-386.

Gül, S. 2017. Magnetic properties of thermally induced martensite in a Fe-27%Ni-4%Mn-1%Zn (wt.%) alloy. Turcmos- (Uluslararası Fizik Kongresi Sunum), 26-29. August 2017. Muğla Sıtkı Koçman University, Bodrum.

Gül, S., Yılmaz, H. S., Güler, M., Aldırmaz, E., Güler, E., 2017. Investigation by Mössbauer spectroscopy of magnetic properties in Fe-27%Ni-4%Mn Alloy. Turcmos- (Uluslararası Fizik Kongresi Poster), 26-29. August 2017. Muğla Sıtkı Koçman University, Bodrum.