

**CU-%24,2MN ALAŞIMININ YAPISAL, KRİSTALOGRAFİK VE
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Nevzat KARAKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Haziran 2016

AMASYA

Nevzat KARAKAYA tarafından hazırlanan “Cu-%24,2Mn Alaşımının Yapısal, Kristolografik ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd.Doç.Dr.Emine ALDIRMAZ

Tez Danışmanı, Fizik Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Fizik Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

(Ünvanı, Adı ve Soyadı)

(Anabilim Dalı, Üniversite Adı)

(Ünvanı, Adı ve Soyadı)

(Anabilim Dalı, Üniversite Adı)

(Ünvanı, Adı ve Soyadı)

(Anabilim Dalı, Üniversite Adı)

Tarih :...../...../.....

Bu tez ile A.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

.....

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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



(İmza)

Nevzat KARAKAYA

**CU-%24,2MN ALAŞIMININ YAPISAL, KRİSTALOGRAFİK VE
ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Nevzat KARAKAYA

AMASYA

ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2016

AMASYA

ÖZET

Bu tez çalışması kapsamında, özellikle son yıllarda bir çok kullanım alanına sahip olan Cu-Mn alaşımlarında ısıtma işlemler sonucunda alaşımın yapılarında meydana gelen değişimler; SEM, XRD, DSC ve 4 Nokta DC ölçümü gibi çeşitli fiziksel yöntemler kullanılarak kristalografik, kinetik, morfolojik ve elektriksel direnç özellikleri incelendi.

Taramalı elektron mikroskop (SEM) incelemeleri sonucunda hızlı soğutma ile elde edilen numunenin tane boyutunun yavaş soğutmaya göre daha küçük olduğu ve daha fazla çökelti meydana geldiği gözlemlendi. Bu durum soğutma işlemlerindeki farklılıkların alaşımın tane boyutlarında değişiklikler meydana getirdiğini gösterdi. X-ışınları kırınımı incelemeleri sonucunda alaşımın sahip olduğu faz yapıları ve yansıma veren düzlemler belirlendi. Alaşımın austenite fazda kaldığı bulundu. Termodinamik parametre ve aktivasyon enerjilerinin belirlenebilmesi için Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) kullanıldı. Numunelerden sırasıyla, 5°C/dak, 10°C/dak ve 15°C/dak ısıtma hızlarında ölçümler alındı. Elde edilen sonuçlardan yararlanılarak aktivasyon enerjileri hesaplandı, çıkan değerler ısıtma hızına bağlı olarak değişiklik gösterdi. Numuneye uygulanan ısıtma işlemler sonucunda alaşımın elektriksel direncine bağlı olarak iletkenliğindeki değişim incelendi. I-V grafiklerinden yararlanılarak alaşımın elektriksel direncine bakıldığında soğutma farklılığının direnci bir miktar artırdığı gözlemlendi. Bu sonucun da alaşıma uygulanan ısıtma işlemlerinden dolayı, numunelerde oluşan çökelti fazlarından kaynaklandığı görüldü.

Anahtar Kelimeler : Alaşım, ısıtma işlemler, faz dönüşümleri, DSC

Sayfa Adedi : 61

Tez Yöneticisi : Yard. Doc.Dr. Emine ALDIRMAZ

**CU- 24,2%MN ALLOYSTRUCTRAL, CRYSTALLOGRAPHIG AND
ELECTRICAL PROPERTIES OF INVESTIGATION**

Nevzat KARAKAYA

**AMASYA
UNIVERSITY**

INSTITUTE OF SCIENCE

JUNE 2016

ABSTRACT

Within the scope of this thesis study, within Cu-Mn alloys which have so many application areas especially in recent years, the changes that occur in the structures of alloy as a result of heat treatment was investigated; also the characteristics of crystallographic, kinetic, morphological and electrical resistance were examined by using several physical methods such as SEM, XRD, DSC and 4 Point DC Measurement. As a result of the SEM examinations it was observed that, the grain size of the sample obtained by rapid cooling is much smaller than the slow cooling and there became much more precipitation. As a result of X-ray diffraction examinations, the phase structures of the alloy and the planes giving reflections were determined. In order to determine the thermodynamic parameters and activation energies Differential Scanning Calorimetry (DSC) was used. The measurements were taken from the samples respectively, in the heating rates of 5°C/min, 10°C/min and 15°C/min. The activation energies were calculated by benefiting from the obtained results, the resulting values are differed depending on the heating rate. When considering the electrical resistance of the alloy by benefiting from I-V graphics, it was observed that the cooling difference is slightly increased the resistance. These results were found to be aroused from the precipitate phases that are occurred in the samples, due to the heat treatments applied to the alloy.

Keywords : Alloy, heat treatments, phase transformation, DSC
Page Number : 61
Adviser : Yard. Doc. Dr. Emine ALDIRMAZ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ile çalışmayı yönlendiren ve her türlü desteğini esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Yard. Doç. Dr. Emine ALDIRMAZ'a, araştırmalarım sırasında laboratuvarların kullanımında sağlamış olduğu desteklerinden dolayı Doç. Dr. İbrahim Hüdai TAŞDEMİR'e, ayrıca her zaman görüş ve düşünceleri ile yanımda olan Amasya Üniversitesi fizik bölümü öğretim üyesi tüm hocalarıma teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	ix
RESİMLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. METAL, METAL ALAŞIMLARI VE FİZİKSEL DAVRANIŞLARI....	3
2.1. Metal, Metal Alaşımaları ve Genel Özellikleri.....	3
2.2. Alaşım Çeşitleri.....	3
2.2.1. Bakır ve bakır alaşımaları.....	4
2.3. Faz ve Faz Dönüşümleri.....	7
2.3.1. Bakır bazlı alaşımlarda gözlenen faz dönüşümleri.....	10
2.4. Elektriksel İletkenlik.....	12
2.4.1. Metallerde elektriksel iletkenlik ve öz direnç.....	13
2.5. Faz Dönüşümlerinin Kinetiği.....	14
3. MATERYAL VE METOT.....	17
3.1. Alaşımın Hazırlanması.....	17
3.2. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Gözlemleri İçin Numunelerin Hazırlanması	17
3.3. X-Işını Kırınımı (XRD) İncelemeleri İçin Numunelerin Hazırlanması.....	19
3.4. Diferansiyel Tarama Kalorimetresi (DSC) Ölçümü için Numunelerin Hazırlanması.....	20
3.5. Elektriksel Direnç Ölçümleri İçin Numunelerin Hazırlanması.....	21
4. BULGULAR.....	23
4.1. Termal Etki İle Oluşan Faz Dönüşümlerinin SEM ile İncelenmesi..	23
4.2. Termal Etki İle Oluşan Faz Dönüşümlerinin XRD İle İncelenmesi..	26
4.3. Termal Etki İle Oluşan Faz Dönüşümlerinin DSC İle İncelenmesi...	30
4.4. Termal Etki İle Oluşan Direnç Değişimlerinin Dört Nokta D.C İletkenlik Ölçüm Tekniği İle İncelenmesi.....	35
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	39
6. KAYNAKLAR.....	41
7. ÖZGEÇMİŞ.....	47

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Cu-Mn alaşımlarından hazırlanan numuneler.....	23
Çizelge 4.2. N1 numunesinin gözlenen 2θ değerleri ve fazlara ait Miller indisler.....	27
Çizelge 4.3. N2 numunesinin gözlenen 2θ değerleri ve fazlara ait Miller indisler.....	28
Çizelge 4.4. N3 numunesinin gözlenen 2θ değerleri ve fazlara ait Miller indisler.....	29
Çizelge 4.5. N2 ve N3 numunelerinin DSC grafiklerinden elde edilen kinetik parametreler.....	34
Çizelge 4.6. N2 ve N3 numunelerinin DSC grafiklerinden hesaplanan aktivasyon enerjileri.....	35

ŞEKİLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1.N1 numunesinin X-ışını toz kırınımı deseni.....	27
Şekil 4.2.N2 numunesinin X-ışını toz kırınımı deseni.....	28
Şekil 4.3.N3 numunesinin X-ışını toz kırınımı deseni.....	29
Şekil 4.4.N2 numunesinin 5 °C/dak ısıtma hızına bağlı ısı akışı grafiği.....	31
Şekil 4.5.N2 numunesinin 10 °C/dak ısıtma hızına bağlı ısı akışı grafiği.....	31
Şekil 4.6. N2 numunesinin15 °C/dak ısıtma hızına bağlı ısı akışı grafiği.....	32
Şekil 4.7. N3 numunesinin 5 °C/dak ısıtma hızına bağlı ısı akışı grafiği.....	32
Şekil 4.8. N3 numunesinin10 °C/dak ısıtma hızına bağlı ısı akışı grafiği.....	33
Şekil 4.9. N3 numunesinin15 °C/dak ısıtma hızına bağlı ısı akışı grafiği.....	33
Şekil 4.10. N1 numunesinin I-V grafiği.....	36
Şekil 4.11. N2 numunesinin I-V grafiği.....	37
Şekil 4.12.N3 numunesinin I-V grafiği.....	37

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Bakırın yaptığı alaşımların şematik gösterimi.....	5
Resim 2.2. Şekil hatırlamalı alaşımın sıcaklığa bağlı faz değişimi.....	7
Resim 2.3. Şekil hatırlama olayının şematik gösterimi.....	9
Resim 2.4. Cu-Mn alaşımının faz diyagramı.....	11
Resim 2.5. B2 (CsCl), Fe ₃ Al (DO ₃) tipi kristal yapıların birim hücreleri...	12
Resim 3.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM).....	18
Resim 3.2. Shimadzu XRD toz difraktometresi ölçüm cihazı.....	19
Resim 3.3. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC).....	20
Resim 3.4. Keithley 2400 elektrometer malzeme direnç ölçüm cihazı.....	22
Resim 4.1. Cu-Mn alaşımının N1 numunesinin SEM görüntüsü.....	24
Resim 4.2. Cu-Mn alaşımının N2 numunesinin SEM görüntüsü.....	25
Resim 4.3. Cu-Mn alaşımının N3 numunesinin SEM görüntüsü.....	26

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A_f	Austenite faz dönüşümünde bitiş sıcaklığı
A_s	Austenite faz dönüşümünde başlama sıcaklığı
M_f	Martensite faz dönüşümünde bitiş sıcaklığı
M_s	Martensite faz dönüşümünde başlama sıcaklığı
d	Kristal yapıda düzlemler arası mesafe
ΔH	Entalpi değişimi
ΔS	Entropi değişimi
V	Potansiyel fark
I	Akım
E_a	Aktivasyon enerjisi
T_o	Austenite yapının dengedeki sıcaklığı
T_x	Maksimum pik sıcaklığı
α	Çökelti fazı (f.c.c.)
β	e / a oranı 1,5 civarındaki kübik austenite faz
β_1	DO ₃ türü ana faz yapısı (b.c.c.)
β_2	β_2 türü ana faz yapısı (b.c.c.)
γ	Çökelti fazı
Ω	Elektriksel direnç
T	Sıcaklık

Kısaltmalar	Açıklama
hkl	Kristal düzlemlerini belirleyen Miller indisi
f.c.c.	Yüzey merkezli kübik yapı
b.c.c.	Hacim merkezli kübik yapı
b.c.t.	Hacim merkezli tetragonal yapı
h.c.p.	Sıkı paketlenmiş hekzagonal yapı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	Enerji Dağılımlı X Işını Spektrometresi
DSC	Diferansiyel Tarama Kalorimetresi
XRD	X-Işınları Toz Difraktometresi

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojik gelişmelerin getirdiği gereksinimlerden dolayı yeni malzemelerin elde edilmesi ve geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Metal ve metal alaşımlarının mekanik ve fiziksel özelliklerinin anlaşılması, insanoğlunun sürekli değişen ve gelişen ihtiyaçlarını karşılayabilmesi bakımından önemlidir. Özellikle malzemelerdeki sıcaklık değişimi, metal ve alaşımlarının ısıl ve elektriksel özelliklerinin değişimlerini etkilemekte, dolayısıyla bu değişimlerden yararlanılarak yeni malzemeler elde edilebilmekte; değişen ve gelişen teknolojik ihtiyaçlarımızı daha kolay karşılayabilme imkan ve olanakları bulabilmekteyiz. Ayrıca alaşımlar maliyetinin düşük olması; sürekli artan ve yenilenen ihtiyaçlarımıza cevap verebilmesi bakımından da teknolojik uygulamalarda ve endüstride çok fazla kullanılmaktadır. Alaşımların üretimi ve çeşitli uygulamaları oldukça geniş ve caziptir [1]. Bu çalışmada Cu-Mn alaşımına farklı ısıl işlemler uygulanarak alaşımda meydana gelen yapısal değişiklikler Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope SEM) kullanılarak tespit edildi. Katı yüzeylerin fiziksel niteliği hakkında bilgi sağlamak amacıyla kullanılan SEM, çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taranması prensibiyle çalışır [2]. Görüntü, yüksek potansiyel ile hızlandırılmış elektronların örnek üzerine odaklanması ve bu elektron demetinin örnek üzerinden taratılmasıyla elektron ve örnek arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla oluşturulur. Cu-Mn alaşımının kristalografik özelliklerinin incelenmesinde X-ışınları toz difraktometresi X-Ray Diffraction (XRD) yöntemi kullanıldı. XRD sistemi çoğunlukla ağır elementlerden oluşan, katı anorganik ve kristal maddelerin araştırılmasına uygun bir aletsel yöntemdir. Ayrıca XRD çalışmaları, metallerin, polimerik ve diğer malzemelerin fiziksel özelliklerinin çok daha iyi anlaşılmasını sağlar. X-ışınları difraksiyonu son zamanlarda stereoidler, vitaminler ve antibiyotikler gibi yapıların çözümlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. XRD kırınım yöntemi her bir kristal örnek için X-ışını difraksiyon modelinin sadece o kristale özgü olması temeline dayanır. Böylece örneğin difraksiyon deseni, literatürde karşılaştırıldığı maddenin literatürdeki difraksiyon deseni ile tam uyarsa (difraksiyon açıları aynı olursa), örneğin kimyasal yapısı elde

edilir [1]. Böylece bir kristalin yapısı, atomla etkileşen dalgaların kırınım desenleri incelenerek tayin edilebilir. Kırınım doğrultuları ve şiddetleri ölçülerek, difraksiyondan sorumlu kristal yapı ile ilgili bilgiler elde edilebilir. Alaşımında meydana gelen faz dönüşüm sıcaklıkları Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (Differential Scanning Calorimetry DSC) tekniği kullanılarak belirlendi. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri tekniği malzemelerin ısıl analizi için kullanılan termoanalitik bir metoddur. Yani, malzemeleri ısıttığımız yada soğuttuğumuz zaman ne gibi fiziksel değişimlere uğrayacağını gösteren bir yöntemdir. Bu yöntemin ana fikri, numunenin ve referansın üzerindeki ısı akışı farkıdır. DSC yöntemine maruz kalan örnek faz değiştirme gibi fiziksel bir dönüşüme gidiyorsa referansla aynı sıcaklıkta tutabilmek için örnekten daha az yada daha çok ısı akışı olacaktır. Isı akışının sıcaklık ile değişim grafiği çizilerek her bir alaşım sistemi için katı fazın belirli bir sıcaklığına kadar olan ısısal iletkenlik değerleri bulunur [2]. Malzemelerin kullanım alanlarının pek çoğunda elektriksel davranışları, fiziksel davranışlarından daha önemli olabilir. Çeşitli uygulama ve kullanım alanları için malzeme seçmek ve bu malzemeleri kullanmak istediğimizde malzemelerin elektriksel iletkenliklerini bilmek ve kontrol edebilmek önemlidir. Çünkü elektriksel iletkenlik; malzemelerin birçok fiziksel özelliklerine karşı hassastır ve iletkenlik davranışlarının bilinmesi malzemeler açısından önemlidir. Bundan dolayı Cu-Mn alaşımının direncini; dolayısıyla elektriksel özelliğini belirlemek için dört nokta elektriksel iletkenlik ölçüm tekniği kullanıldı. Bu amaçla kurulan düzenekte kontaklardan ikisi numune üzerinden geçen akımı ölçmek için, diğer ikisinde herhangi iki nokta arasındaki potansiyel farkı ölçmek için kullanılır.

2. METAL, METAL ALAŞIMLARI VE FİZİKSEL DAVRANIŞLARI

2.1. Metal, Metal Alaşimleri Ve Genel Özellikleri

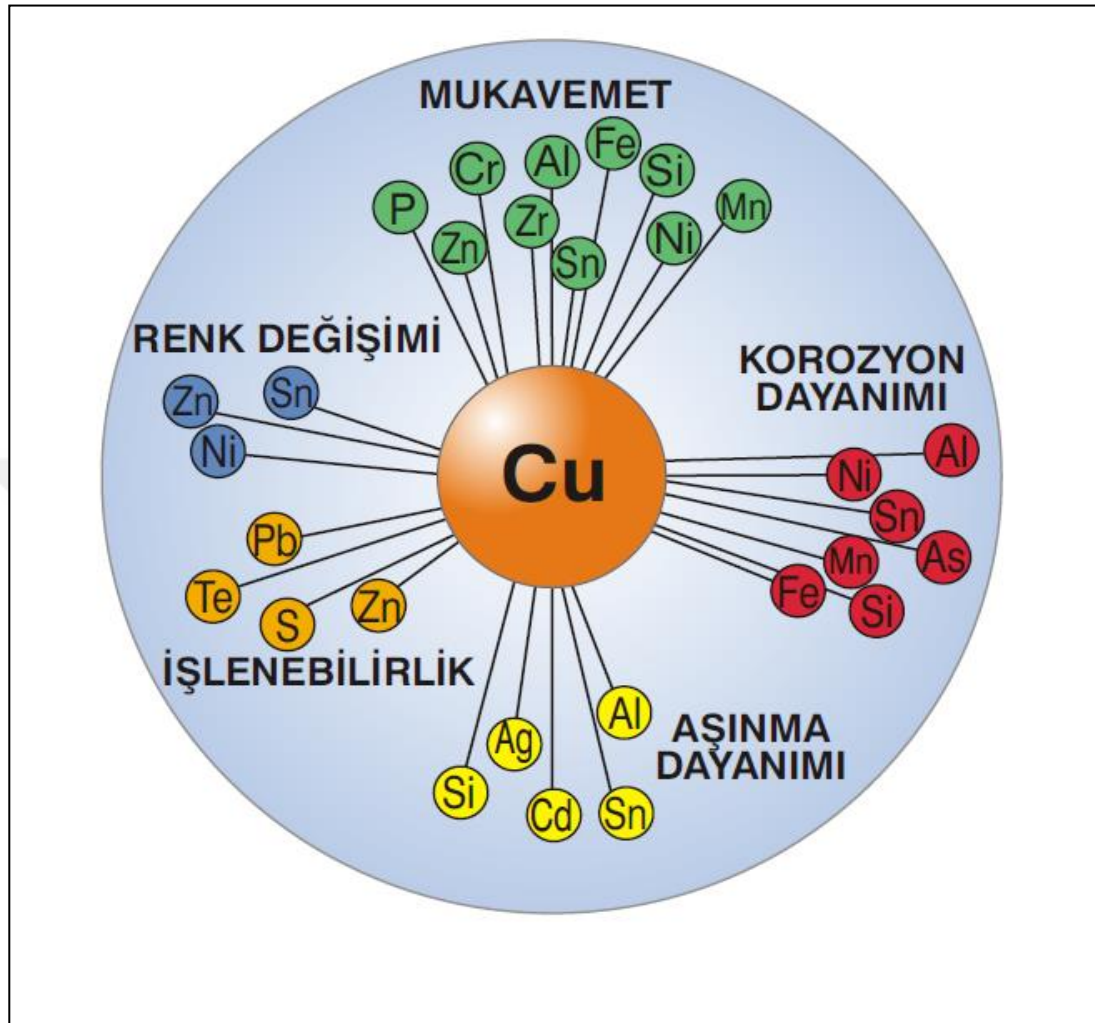
Dünyadaki teknolojik gelişmeler ve bu gelişmelere bağlı olarak değişen ihtiyaçların karşılanabilmesi için yeni malzemelerin elde edilmesi ve geliştirilmesi çok önemlidir. Bu gelişmeler sadece malzeme elde etmeye yönelik olmamalı, bunun yanı sıra malzemelere yeni işlevler katabilmeli ve malzemenin kullanım alanını genişleterek fonksiyonelliğini artırabilmelidir. Bu alandaki yeniliklerle birlikte malzemelerin kullanılabilirliği ve fonksiyonelliği malzemelerin her yönüyle tam olarak tanınmasına ve buna bağlı olarak da çok çeşitli ürünler geliştirilebilmesine bağlıdır [1]. Teknolojik gelişmelerin getirdiği gereksinimlerden dolayı; metal ve metal alaşımlarının mekanik ve fiziksel özelliklerinin anlaşılması pek çok bilimsel çalışmaya konu olmuştur [3]. Özellikle sıcaklık ve farklı elektriksel etkilere maruz kalan bazı metal ve metal alaşımlarında görülen çeşitli mikro yapısal değişiklikler ve bunun sonucunda oluşan makroskobik şekil değişimlerinin atomik boyuttaki nedenleri açıklanmaya çalışılmıştır [4]. Metaller katı durumda kristal yapıdadırlar ve katıyı oluşturan atomlar üç boyutlu bir düzen içinde bulunurlar. Üç boyutlu bir düzene göre dizilen ve denge konumunda bulunan atomların merkezlerinin birleştirilmesi ile ortaya çıkan desene kristal örgü denir [5]. Uygulanan bir elektrik alanın etkisi altında; elektriği iyi ileten katıya metal veya iletken; en az biri metal olmak üzere iki veya daha fazla elementten oluşan ve metal özelliği gösteren maddeye ise alaşım denir [6, 7].

2.2. Alaşım Çeşitleri

Bir metalin yapısına (bileşimine) başka maddeler katılarak onun özellikleri, kullanım amacına uygun bir şekilde değiştirilebilir. Genelde alaşımlar; malzemenin fiziksel ve mekaniksel özelliklerini değiştirmek suretiyle daha elverişli malzemeler üretmek, çok sayıda ve değişik özelliklerde malzemeler geliştirerek ihtiyaçlara cevap vermek, ısı işlemlere uygun malzemeler elde etmek, malzemenin maliyetini düşürmek, malzemeyi aşınma ve dış şartların yıpratıcı etkilerinden korumak gibi bir takım ihtiyaçlara cevap vermesi amacıyla yapılır. Bazı alaşımların, sıcaklığın değiştirilmesi ile veya zor etkisi ile şekillerinin değiştirilmesi ve ters dönüşümle tekrar orijinal şeklini alması olayı şekil hatırlama etkisi olarak adlandırılmakta ve günümüzde endüstriyel alanda yaygın olarak kullanılmaktadır [4].

2.2.1. Bakır ve bakır alaşımları

Son yıllarda endüstriyel sektörlerin birçok alanında kullanılan bakır ve bakır bazlı alaşımlar, günlük yaşamımızda çok önemli bir yere sahiptir. Özellikle saf bakır, yumuşak olması, iyi işlenebilme özelliğinin bulunması ve iyi elektrik iletkenliğinden dolayı oldukça fazla tercih edilir. Bakırın diğerkullanım alanlarından birisi de, farklı metallerle oluşturduğu alaşımlardır. Bakır bazlı alaşımlar, özellikle yüksek dayanım, yüksek elektriksel ve termal iletkenliğe sahip olduğundan dolayı geniş bir uygulama alanına sahiptir [8]. Bakır bazlı alaşımlar, şekil hatırlama olayının bir etkisi olarak da martensit faz gösterebilirler bu özelliklerinden dolayı stent, gözlük ve ortopedi gibi farklı sektörlerde uygulama alanı bulabilmektedir. Bu nedenle malzeme bilgisi içerisinde bakır alaşımlarının önemli bir yeri vardır. Saf bakıra ilave edilebilen elementler genellikle şunlardır; Alüminyum, Arsenik, Berilyum, Kadmiyum, Krom, Kobalt, Demir, Kurşun, Manganez, Nikel, Fosfor, Silisyum, Gümüş, Kükürt, Tellür, Kalay, Çinko ve Zirkonyum. Bu alaşım elementlerinin saf bakıra olan etkileri ise aşağıdaki şematik resimde gösterilmiştir. Fakat bakırın maliyetinin yüksek olması ve dünyadaki zengin bakır yataklarının günden güne azalması dolayısıyla maliyet faktörleri artmaktadır. Bu durum bakır ve bakır alaşımlarının kullanımını sınırlamaktadır.



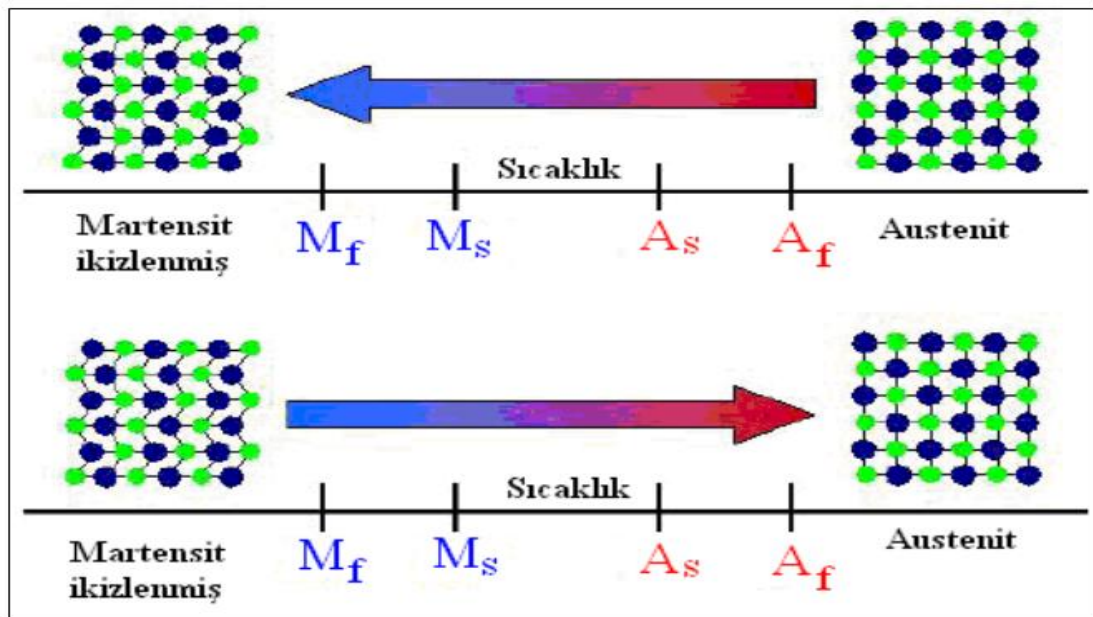
Resim 2.1. Bakırın yaptığı alaşımların şematik gösterimi [9].

Bakırın özelliklerini istenilen yönde geliştirmek için alaşımlama yapılır. Bakırın mekanik özellikleri çok az olduğundan daha çok alaşımları kullanılır [10]. Bakırın çinkoyla değişik oranlarda katılarak oluşturduğu alaşımlara “pirinç” adı verilir. Mukavemet ve korozyon dayanım özellikleri çok yüksektir [11, 12]. Bakır ve çinko aynı zamanda döküm alaşımlarında bakırın en önemli alaşım türüdür. Cu-Zn alaşımına çeşitli oranlarda bir takım farklı elementler ilave edilerek farklı amaçlar için kullanılabilir. Örneğin silisyum ilavesi sertlik miktarını artırır, kalay, kopma ve uzama direncini artırır [12]. Alüminyum bronzları; %14'e kadar alüminyum içeren bakır esaslı alaşımlardandır. Bu malzemelerin aşınma dayanımı da yüksek olduğundan kalıpcılıkta ve makine imalatında çeliğe alternatif olarak kullanılmaktadır [11]. Çelikten daha iyi ısı iletkenliğinin olması sayesinde de plastik

kalıplarında oldukça fazla kullanılmaktadır. Sürtünme katsayısının düşük olması nedeniyle, paslanmaz saçların derin sıvama kalıplarında kullanılan malzemedir. Bakır, elektrik ve elektrotekniğin en hakim metali olup; bu alanlarda birçok yeni gelişmelere de destek olmuştur. Bakır veya bakır alaşımları, elektrik ve ısı iletkenliklerinin çok yüksek olması, korozyon direncinin ve dayanıklılık özelliklerinin iyi olması, toksik olmaması (gıda, şeker sanayi), yatak olmaya elverişliliği (kayma – sürtünme özelliği), özellikle de yüksek performansından dolayı elektronik devrelerde çok fazla uygulama alanı bulabilmektedir [13, 14]. Cu-Al alaşımına nikel, demir, manganez, silisyum ve kalay elementlerinin çeşitli oranlarda ilave edilmesiyle alaşım soğuk işleme ile boru, levha, şerit ve tel şekillerine getirilmeye uygun hale gelir, yüksek ergime sıcaklığına sahip olurlar ve ısıl işlemlerde sertleştirilebilme özeliği kazanırlar [12]. Yüksek sıcaklıklarda mukavemet özellikleri ve korozyon dirençleri çok iyidir [15, 16]. Saf bakıra ilave edilen alaşım elementlerinden Mn elementi, dayanım artırıcıdır ve iyi dökülme özellikleri vardır. Öncelikle pervane imalatı için geliştirilmişlerdir [17]. Bu alaşımlar grubuna zaman zaman %8-9 oranında alüminyum da ilave edilebilir. Bu alaşımlar alüminyum bronzları kadar dayanıklı değildir, fakat daha iyi döküm özellikleri vardır. İyi korozyon dayanımı ve üstün kaynak edilebilme özellikleri vardır ve aynı zamanda titreşim ve sönüleme özelliğine sahiptirler [18]. Cu-Mn alaşımları, madeni para basımında da kullanılır [19]. Mangan elementi, M_s (martensite başlama sıcaklığını) düşürür. Yüksek oranlarda mangan, oda sıcaklığında austenite fazını kararlı kılar [20]. Mangan, yüksek sıcaklıklara karşı büyük dayanım gösterdiğinden ve deniz suyuna karşı dayanıklı olduğundan, başta gemi yapımı olmak üzere ısıya dayanıklı makine parçalarının imalatında tercihen kullanılır [21, 22]. Cu-Mn alaşımının karakteristiklerinden birisi de, kendisi ile uyum sağlayan ikizlenme bantlarının iç taneleridir. Bu bantlar genellikle 1-5 μm genişliğindedir ve ikizlenme sınırları da tane sınırları da esasında düz veya doğrudur [17].

2.3. Faz Ve Faz Dönüşümleri

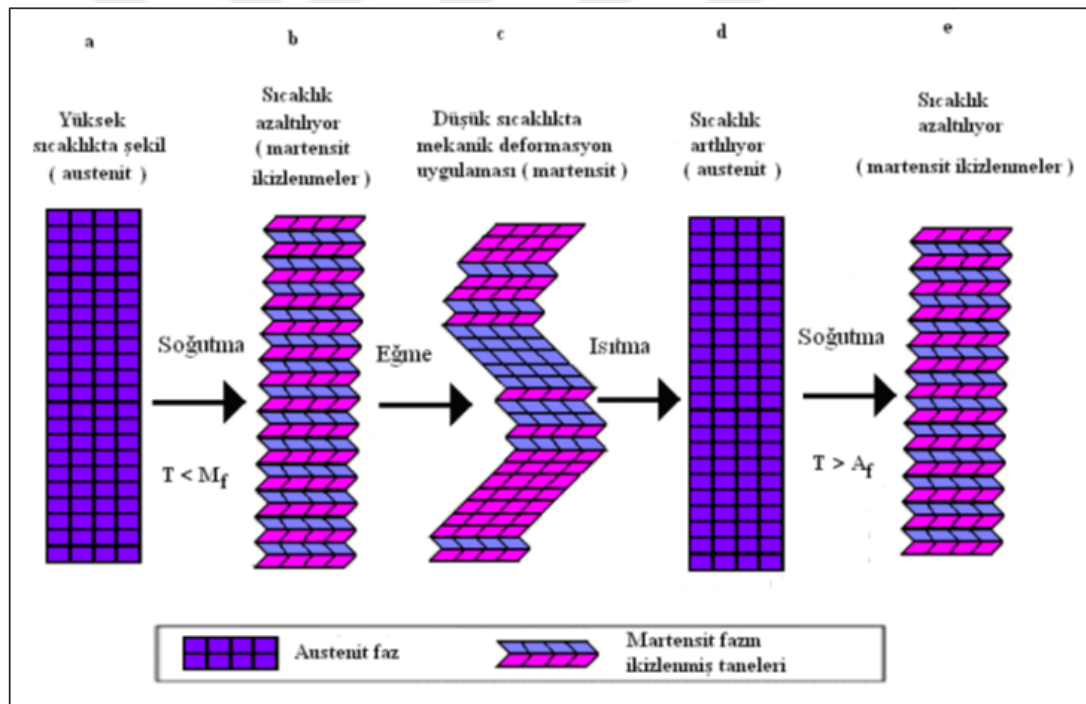
Sürekli bir maddede; kristal özellikleri ve atomların düzenlenişi kendi içinde homojen olan ve fiziksel olarak maddenin diğer kısımlarından ayrılan her bölge bir “faz” olarak tanımlanır. Şartlar değişirse enerjinin içeriği ve miktarında değişir, atomik denge bozulur ve atomlar daha düşük enerji gerektiren başka bir denge konumuna geçerek farklı bir biçimde dizilirler bu durumda yeni bir faz oluşur. Faz dönüşümleri sırasında atomlar doğal olarak yer değiştirirler ve aynı zamanda bu değişimler meteryalin cinsine ve bileşenlerine bağlı olarak değişen farklı fiziksel etkenler altında oluşur. Metal ve metal alaşımları, farklı fiziksel şartlar altında farklı fazlarda bulunur. Yapı içerisinde belirli fazlardan oluşan bir denge yapısından değişik fazlardan oluşan birbaşka denge yapısına geçiş olayına “faz dönüşümü” denir [23]. Yani faz dönüşümü sistemin bulunduğu fazdan başka bir faza geçmesi olarak ifade edilebilir ve bu geçiş belirli bir sıcaklıkta olur. Bu sıcaklık malzeme için çok önemli bir sıcaklıktır. Bir faz dönüşümü sırasında, yapıyı oluşturan fazların birbirine göre konumları yada komşulukları değişerek meydana gelen faz dönüşümlerine “Difüzyonlu Faz Dönüşümü”; konumları ya da komşulukları değişmeden meydana gelen faz dönüşümlerine “Difüzyonsuz Faz Dönüşümü” adı verilir [24].



Resim 2.2. Şekil hatırlamalı alaşımın sıcaklığa bağlı faz değişimi [27].

Resim 2.2' de sadece sıcaklık etkisi altında kalmış ve daha sonra sıcaklığın değişimi ile birlikte ilk haline geri dönmüş malzemenin şematik gösterimi verilmiştir. Faz dönüşümü için malzeme içindeki sıcaklık değişimleri en önemli faktördür. Eğer ısıtma veya soğutma süreçleri çok yavaş olarak gerçekleştirilirse, denge sıcaklığına yakın sıcaklıkta faz dönüşümü gerçekleşir. Genelde faz dönüşümü, iki faz arasındaki serbest enerji farkından meydana gelir. Serbest enerji, sıcaklık ve basınçtan etkilenir. Bir faz dönüşümü sıcaklık ve basıncın yanında dış zor ve yapı kusurları gibi diğer faktörlerden de etkilenir. Dolayısıyla dönüşümün hangi şartlar altında gerçekleştiğini bilmek önemlidir. Bu değişkenler yardımı ile faz dönüşümlerini kontrol ederek, istenen özelliklere sahip ihtiyaca uygun türde malzeme elde etmek mümkün olmaktadır [25]. Austenite-Martensitik faz dönüşümü; metal alaşımlarda gözlenen bir faz dönüşümü olup austenite (ana) faza dışarıdan uygulanan sıcaklık ve zorun ayrı ayrı veya birlikte etkisiyle; yada ana fazdan sıcaklığın hızla düşürülmesi ile martensite (ürün) fazın elde edilmesi olayıdır. Genel olarak martensitik dönüşümler sadece sıcaklığın, M_s (martensite başlama sıcaklığı) sıcaklığının altına düşürülmesi ile meydana gelir. Soğutma durdurulduğunda dönüşümde durur. Bu reaksiyonlar sadece sıcaklığın değişimiyle oluşturulur. Bu yüzden bu tip değişimlere; zamana bağlı olmayıp sadece sıcaklığa bağlı olan “*Atermal Dönüşüm*” denir. Çeliklerde martensitik faz dönüşümlerinin çoğu bu kategoriye aittir. Dönüşümün bu tipinde, martensite kristalleri oluşuktan sonra büyüme devam etmez. Ana fazda yeni bir martensite kristalin çekirdeklenmesiyle dönüşüm başlar. Martensite kristalleri katıda tek başına çekirdeklenir ve hızla büyür. Dönüşüm çok hızlı olup (10^{-7} sn) patlama reaksiyonları şeklinde olduğundan bu dönüşümde şekil hatırlama olayı gözlenmez [24]. Bazı durumlarda martensiteler martensite sıcaklığının altında yada üzerinde izotermal olarak oluşmaya devam eder. Hem sıcaklığa hemde zamana bağlı olan bu dönüşümlere “*İzotermal Dönüşüm*” adı verilir. İzotermal dönüşümde austenite haldeki numunenin sıcaklığı düşürülerek belli bir M_s (martensite başlama sıcaklığı) sıcaklığına gelindiğinde austenite yapı içinde martensite yapı oluşmaya başlar. Sıcaklık düşüşü ile dönüşüm devam eder ve dönüşüm M_f (martensite bitiş sıcaklığı) sıcaklığında tamamlanır. İzotermal dönüşüm belli bir sıcaklık aralığında devam ettiğinden, bu dönüşümlerde şekil hatırlama olayı gözlenir [24]. Martensitik dönüşümlerde belli bir kristal yapıya sahip material fiziksel etkilere maruz

kaldığında daha düşük serbest enerjili düşük sıcaklık fazındaki yeni bir kristal yapıyı tercih eder [26]. Austenite-martensitik faz dönüşüm olayı belirli fiziksel şartlar altında tersinir olma özelliğine sahiptir. Bilindiği gibi termoelastik martensite, düşük sıcaklık yada gerilme değişimleri ile harekete geçebilen düşük enerjisine ve parlak ara yüzeyine göre karakterize edilir. Bunun sonucu olarak termoelastik martensite, dönüşüm esnasında simetri kaybı yüzünden sınırlandırılmış olarak tersinebilir. Bu tip dönüşümlerde, martensite plakalarının büyümesi ve tekrar geriye küçülmesi, termal ve elastik etkiler arasındaki bir denge altında meydana gelir ve böylece tersinirlik sağlanır. Isıtma ve soğutma işlemleri altında tersinirlik özelliği sergileyen bazı martensiteler “*Termoelastik Martensite*” olarak adlandırılır [24]. Termoelastik dönüşüm sergileyen alaşımlar, şekil hatırlamalı alaşımlardır.



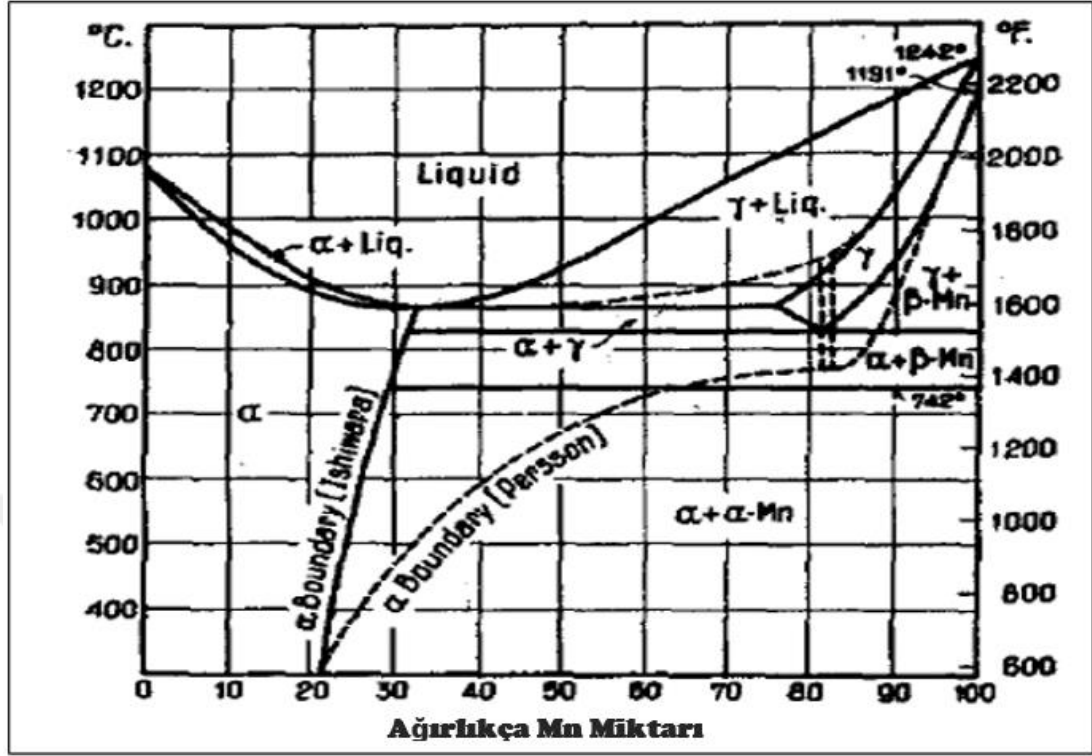
Resim 2.3. Şekil hatırlama olayının şematik gösterimi [15].

Bir alaşımın şekil hatırlama olayı gösterebilmesi için belirli bir kristal yapıya sahip olması gerekir. Şekil hatırlama, mekanik olarak esnek bir yayın bir kuvvet karşısındaki davranışına benzer. Esnek bir yaya kuvvet uygulanırsa yayın boyu değişir. Yay üzerindeki kuvvet kaldırılırsa yay eski boyuna geri döner. Şekil hatırlama olayı bununla benzerlik gösterir. Şekil hatırlama olayının şematik gösterimi Resim 2.3’ de verilmiştir. Resim 2.3.b’de görüldüğü gibi soğutulduğunda martensite faza geçen alaşım, tekrar ısıtıldığında Resim 2.3.d’ de görüldüğü gibi

austenite faza geri döner. Şekil hatırlamalı alaşımlar ısı işlemlere hassasiyet gösteren malzemelerdir [26]. Karakteristik özellikleri kritik dönüşüm sıcaklığının altında ve üstünde iki farklı şekil veya kristal yapısına sahip olmalarıdır. Şekil hatırlama mekanizmasında atomların yer değiştirme miktarı çok büyük olmamasına karşın, hepsinin birden hacimsel olarak aynı doğrultuda olması sebebiyle, makroskopik bir şekil değişimi olur [27]. Düşük sıcaklıklarda deforme edilebilen bu alaşımlar, daha yüksek sıcaklıklarda deformasyon öncesi şekillerine dönebilirler [27].

2.3.1. Bakır bazlı alaşımlarda gözlenen faz dönüşümleri

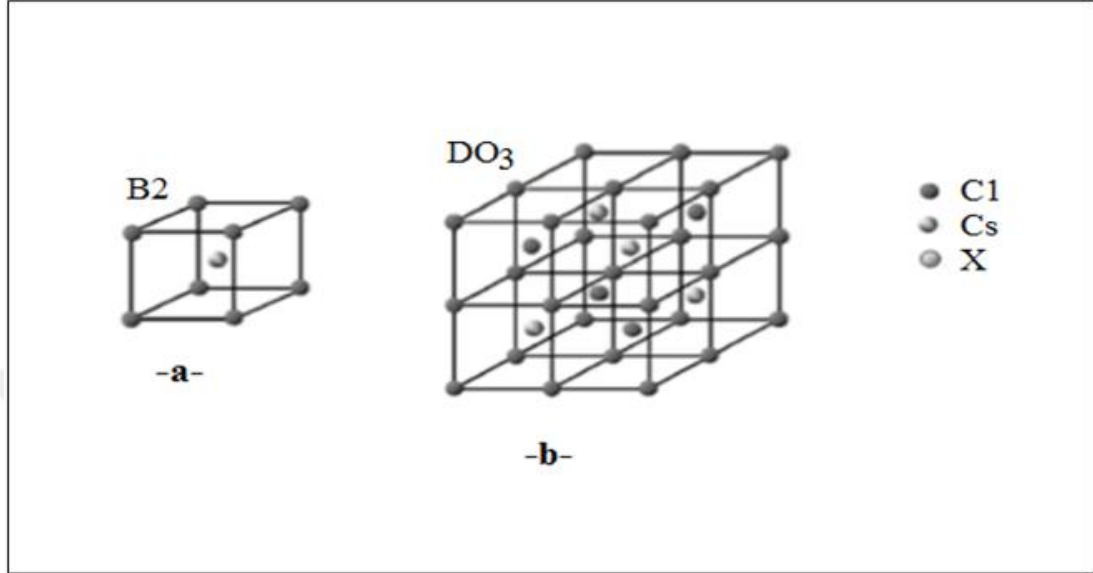
Bir malzeme sisteminde fazların bileşimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişimini gösteren diyagramlara denge diyagramları veya faz diyagramları denir ve özellikle iki maddenin karışıp karışmayacağını, yada hangi oranlarda karıştırılırsa denge durumunun oluşacağını göstermesi bakımından önemlidir. Faz diyagramları, faz dönüşümleri neticesinde oluşturulur. Cu-Mn alaşımlarının doğru faz diyagramlarının belirlenebilmesi; alaşımın termodinamik özelliklerinin ortaya çıkarılmasında pek çok yönden önemlidir. Cu-Mn alaşımının faz diyagramı Resim 2.4' te verilmiştir. Bakır alaşımlarının ana fazı olan β fazı, %20-25 Mn atomu içerir ve (b.c.c.) kristal yapıdadır. Mn konsatrasyonu arttıkça alaşımın kristal yapısı yüzey merkezli tetragonal yapıya dönüşür.



Resim 2.4. Cu-Mn alaşımının faz diyagramı [15].

Termoelastik martensitik dönüşüm meydana gelen bütün şekil hatırlamalı alaşımların ana fazı temel olarak (b.c.c.) yapılı örgülere sahiptir ve β faz alaşımları olarak adlandırılırlar. Süper örgüler dönüşüm için önemlidirler. Çünkü martensitik dönüşümde ana fazın atomik düzeninin ürün faza ayrıldığı düşünülür. Bakır bazlı şekil hatırlamalı alaşımlarda, ana fazın atomik düzeni, uygulanan ısıl işlem ile soğutmaya bağlı olarak değişir. Ana faz kompozisyon ve sıcaklığa bağlı olarak B₂, DO₃ veya L₂₁ süper örgü düzenli kristal yapılardan birinde bulunur. β -faz alaşımlarında ana (austenite) faz çoğunlukla Fe₃Al (DO₃) yada CsCl (B₂) süper örgülere sahiptir [24]. Alaşımın çeşidine bakılmadan, aşağı yukarı 50:50 oranına sahip olan alaşımların β -fazları CsCl tipi (B₂ süper örgü) düzenli yapıdadır ve β_2 ile ifade edilir. Bu yapı içiçe girmiş iki tane basit kübik yapı olarak görülebilir. Bu süper örgüye CsCl yapı da denir. Şekil 2.5.a'da görüldüğü gibi Cl atomları kübün köşelerine, Cs atomları merkeze yerleşecek şekilde dağılır. Yaklaşık 75:25 kompozisyon oranına sahip olan alaşımların β -fazları Fe₃Al tipi (DO₃ süper örgü) düzenli yapılardır ve bu oluşumda, (b.c.c.) altyapının bütün örgü noktaları β_1 fazı ile temsil edilirler. Bu örgünün birim hücresi Resim 2.5.b' de görülmektedir. DO₃

tipi süper örgülerin en tanınan özelliği her bir atom maksimum sayıda benzemeyen atom tarafından çevrilmiş olmasıdır.



2.4. Elektriksel İletkenlik

Elektriksel iletkenlik, hareketli yüklü taneciklere göre sınıflandırılır. Çoğu uygulamalarda malzemelerin elektriksel davranışı mekanik davranışlardan daha önemlidir. Elektrik ve elektronik uygulamalar için malzeme seçmek ve kullanmak elektrik iletkenliği gibi özelliklerin kontrol edilir olmasını gerektirir [33]. Elektrik yüklü taneciklerin herhangi bir etki ile (genelde potansiyel etki) bir maddesel

ortamdaki hareketlilik derecesi genellikle “*Elektriksel İletkenlik*” olarak tanımlanır [34]. Metallerin elektriksel iletkenliğinin iyi olması değerlik elektronlarının serbestçe hareket edebilmesinden ileri gelir. Ancak bu elektronların bir atomun etki alanını terk edip, bir diğerinin etki alanına ulaşabilmeleri için enerji durumlarını değiştirmeleri gerekir. Elektriksel gerilim uygulamasıyla bir atomun etki alanını terk edip, bir diğerinin etki alanına giren elektronlar yeni konumlarına ulaşmaya kadar çok fazla yol kat ederler. Kristal örgü yapısındaki kusurlar elektronun alabileceği bu serbest yol uzunluğunun azalmasına yol açar. Dolayısıyla dislokasyon yoğunluğunun yüksek olduğu soğuk şekil değiştirmiş metaller ile, saf olmayan veya alaşım elemanı olarak yabancı atomlar içeren metallerde iletkenlik daha düşük olur [35]. Ayrıca artan sıcaklıkla elektriksel direncin artması da serbest yol uzunluğunun kısalmasından ileri gelir. Yüksek sıcaklıklarda atomların titreşim genliklerinin büyümesi, hareket eden elektronlarla atomların çarpışma olasılığını artırır [35]. Katı metallerde metalik bağda elektronlar belirli bir atoma bağlı olmayıp birçok atom tarafından paylaşıldığından metalik bağda değerlik elektronları serbestçe hareket eder ve bu durum metallerde elektriğin iyi iletildiğinin bir göstergesidir [34]. Şekil hatırlamalı alaşımların temel ve mekaniksel çalışmaları arasındaki elektriksel direnç değişimlerinin sıcaklık değişimine karşı eğrisi mevcut fazların tanımlanmasında etkilidir. Bu ölçümler dönüşüm sıcaklıklarının değerlendirilmesinde de kullanılmaktadır [36].

2.4.1. Metallerde elektriksel iletkenlik ve özdirenç

Birçok metalin elektrik özdirencinin sebebi, oda sıcaklığında elektronların örgü fononlarıyla yada örgü kusurlarıyla katkı atomlarının çarpışmalarından kaynaklanır. Bu çarpışmaların genel olarak birbirinden bağımsız olduğu varsayılır. Bir metalin özdirenci genel anlamda oda sıcaklığındaki özdirenci olarak tanımlanır. Bu büyüklük, numunenin saflık derecesinin bir ölçüsüdür. Alaşıma katılan elementlerin ağırlıkça yüzdeleri özdirençte bir değişime neden olur [36]. İletkenlik ve özdirenç bir malzemenin karakteristik özelliğidir. Bir numunenin elektriksel iletkenliğinin bulunması için I-V eğrilerinden faydalanılır. Özdirenç değeri iletkenliğin tersi olarak tanımlanır ve numunenin geometrik yapısı ile bir ilişkisi vardır [33].

Özdirencin hesaplanmasında kullanılan Ohm kanunu:

$$V=IR \quad (2.1)$$

eşitliğine geometrik yapıya bağlı olan bir düzeltme değeri ilave edilerek özdirenç:

$$\rho = G \frac{V}{I} \quad (2.2)$$

eşitliği ile hesaplanır [33].

Burada G gösterimi numunenin boyutlarını yani yüzey geometrik sınırları ve kalınlığını, elektriksel kontakların numune üzerindeki konumunu ve diziliş düzenini içeren bir katsayıdır ve “Geometrik Düzeltme Katsayısı/Faktörü” (Resistivity Correction Factor, RCF) olarak tanımlanır [37]. Malzemelerin özdirençlerinin belirlenebilmesi için tipik olarak örnek içinde bir elektrik alan oluşturacak olan bir akım kaynağına, bu elektrik alan nedeniyle numune içinde meydana gelen I elektrik akımının şiddetine ve keyfi seçilen herhangi iki nokta arasında meydana gelen V potansiyel düşmesinin belirlenmesi gerekir [38].

Bir metalin özdirenci;

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad (2.3)$$

eşitliği ile ifade edilir. Elektrik direnci (R) telin boyuyla doğru orantılı, kesiti (A) ile ters orantılıdır. Bu değerler, (ρ) elektrik özdirenci veya özdirenç adı verilen bir malzeme sabiti aracılığıyla birbiriyle ilişkilidir.

2.5. Faz Dönüşümlerinin Kinetiği

Metallerin ve alaşımların ısıl özelliklerinin bilinmesi pek çok endüstriyel alanda önemli bir yere sahiptir. Çünkü alaşımların ısıl ve elektriksel iletkenlikleri hem sıcaklık hemde sıcaklığın çeşitli parametrelerine bağlı olarak değişir. Bir maddenin bütün moleküllerinin sahip olduğu enerjilerinin toplamına ısı denir [39]. Isı bir enerji çeşididir ve diğer enerjilere dönüşebilir. Isı kalorimetre kabı ile ölçülür ve ısı birimi olarak “joule” veya “kalori” kullanılır. Isı madde miktarına bağlıdır. Atom ve moleküller ne kadar hızlı hareket ederse, cisim o kadar çok ısınır [36].

Enerji veren madde çevresine göre daha yüksek sıcaklıktadır. Sıcaklık, ısıl denge halinde bulunmayan bir sistemin çevresini ısıl dengeye getirmeye zorlayan potansiyeldir. Isıl denge sağlandıktan sonra bu potansiyel kalkmakta ve sistem çevresiyle aynı sıcaklık değerini almaktadır. Sıcaklık enerji değildir ve termometre ile ölçülür. Birimi günlük hayatta °C (santigrad derece); bilim ve teknikte K (Kelvin

derece)'dir. Sıcaklık madde miktarına bağlı değildir [36]. Bir maddeyi oluşturan moleküller özdeş değilse her birinin kinetik enerjileri farklı olabilir. Bütün moleküllerin kinetik enerjileri toplanıp, parçacık sayısına bölünürse akışkanın ortalama kinetik enerjisi bulunur. Eğer bulunan enerji yüksek ise madde sıcak, düşük ise madde soğuktur. Buna göre sıcaklık bir maddenin moleküllerinin ortalama kinetik enerjileri ile orantılı bir büyüklüktür. Yani maddeyi oluşturan atom ve moleküllerin hızları ile ilgili bir niceliktir ve molekülün kinetik enerjisiyle orantılıdır. Bir nesnenin sıcaklığı, onun ne kadar soğuk ya da sıcak olduğunu gösterir. Sıcaklık ayrıca bir cismin etrafına kendiliğinden enerji verme eğiliminde bir ölçüsüdür [36]. Aşışmlarda aktivasyon enerjisi, bir tepkimenin gerçekleşebilmesi için aşılması gereken enerji değeridir. Aktivasyon enerji hesaplamalarında çeşitli yöntemler kullanılır. Bunlardan bir tanesi Kissinger metodu, bir diğeri Augis- Bennet metodudur.

Aktivasyon enerjisi Kissinger metoduna göre;

$$\frac{d \ln[\phi/T_x^2]}{d[1/T_x]} = \frac{-E_a}{R} \quad (2.4)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanır [40]. Burada ϕ ; (ısıtma hızı), T_x ; DSC eğrisinden elde edilen A_{max} ; (elde edilen en yüksek pik değeri), E_a ; (aktivasyon enerjisi) ve R ; (gaz sabitidir) ($R=8,314 \text{ J/molK}$). DSC grafiklerinden elde edilen $A_{max} = T_x$ sıcaklıkları alınarak; $\ln(\phi/T_x^2)$ 'nin $1000/T_x$ 'e karşı bulunan eğimden yararlanılarak Kissinger metoduna göre aktivasyon enerjisi hesaplanır.

Diğeri bir aktivasyon enerjisi hesaplama metodu ise Augis-Bennet metodudur [41].

Bu metoda göre aktivasyon enerjisi;

$$\ln \left[\frac{\phi}{T_x - T_0} \right] = \frac{E_a}{RT_x} + sbt \quad (2.5)$$

denklemleriyle verilir [41]. Burada $T_0 = 300 \text{ K}$ 'dir. Aktivasyon enerjisi; $\ln(\phi/T_x - T_0)$ 'in $1000/T_x$ 'e karşı bulunan eğimden yararlanılarak aktivasyon enerjisi hesaplanır.

Entalpi, maddenin yapısında depoladığı her türden enerjilerin toplamıdır ve H ile gösterilir. Maddelerin entalpilerini kesin olarak tahmin etmek güçtür. Bu nedenle çalışmalarda entalpi değeri olarak, maddenin değiştirilebilen ısı potansiyelinin içerdiği termal entalpileri kullanılır. Entalpi değeri maddenin sıfır derece Kelvin

sıcaklıktan var olan sıcaklığına yükseltilmesi için yüklenen ısılarla faz değiştirme ısılarının toplamına eşittir [42].

Entropi, bir sistemin mekanik işe çevrilemeyecek termal enerjisini temsil eden termodinamik terimidir. Genellikle bir sistemdeki düzensizlik olarak tanımlanır. Termal analizler, genellikle sabit basınç altında yürütüldüğünden, geçerli olan termodinamik eşitlik;

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S \quad (2.6)$$

Gibbs-Helmholtz ifadesidir. Burada G; sistemin serbest enerjisi, H; sistemin entalpisi, S; sistemin entropisi ve T; Kelvin sıcaklığıdır. Sıcaklığın bağımsız değişken olduğu TG, DTA ve DSC yöntemlerinde T. ΔS terimi önemlidir. Bu denklem tepkimenin olmadığı bir durumdan ($\Delta G > 0$), tepkimenin olacağı bir duruma ($\Delta G < 0$) nasıl geçileceğini gösterir. ΔS pozitif ise, sıcaklığın artması ile sonuç negatif olacaktır, ΔS negatif ise, sıcaklığın azalması ile kendiliğinden olan tepkime elde edilecek demektir [43]. Gibbs serbest enerjisinin entalpi, sıcaklık ve entropinin farklı üç fonksiyonunun birleşimiyle hesaplanmasıyla herhangi bir matematiksel ispata gerek duymadan kendisinin bir durum fonksiyonu olduğunu söylenebilir [43]. Bir sistemin belli bir durumundaki serbest enerjisini direkt olarak ölçebilmemiz mümkün değildir. Bu nedenle Gibbs serbest enerjisinde, diğer durum fonksiyonları gibi, değerindeki değişimler üzerinden (ΔG) değerlendirilebiliriz [44]. Özellikle DSC grafiklerinden elde edilen pikin altında kalan alan tepkimede emilen veya açığa çıkan ısı ile, pik yükseklikleri de tepkime hızı ile doğrudan orantılıdır. ΔH pozitif ise endotermik, malzeme ısıtıcısına ısı eklenir ve pozitif bir sinyal elde edilir. ΔH negatif ise ekzotermik, referans ısıtıcısına ısı eklenir ve bir negatif sinyal elde edilir.

3. METERYAL VE METOT

3.1. Alaşımın Hazırlanması

Bu tez çalışmasında incelenen Cu-Mn alaşımı Tübitak Gebze Araştırma Merkezinde hazırlandı. %99,9 saflık derecesinde toz halinde bulunan Cu ve Mn elementleri bir araya getirilip yüksek sıcaklıkta eritilerek 1 cm çapında, 10 cm uzunluğunda silindirik çubuklar halinde dökülerek elde edildi. ubuklardan kesilen örneklerden, IXRF (Integrated X-ray FluorescenceSystem) sistemi kullanılarak, EDS tekniği ile alaşımların ağırlıkça yüzdeleri belirlendi. Buna göre; alaşımın, ağırlıkça ~ %75,8 Cu ve ~ %24,2 Mn içerdiği bulundu. ubuk halde hazırlanan Cu-Mn alaşımından, elmas bıçaklı kesicilerle uygun boyutta kesilen numunelerden birer örnek alınarak vakumlanmış quartz tüpler içine konuldu. Bu örnekler 900 °C' de 1 er saatlik sürelerde homojenleştirme işlemine tabi tutuldular. Alaşımlarda oluşan faz dönüşümlerine ısıl işlemlerin etkisini incelemek amacıyla, alınan numunelerden bir tanesi hiçbir ısıl işleme tabii tutulmadı. Alaşımdan alınan diğer numunelerden biri, fırında yavaş soğumaya, diğeri ise buzlu suda hızlı soğutulmaya maruz bırakıldılar.

3.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Gözlemleri İçin Numunelerin Hazırlanması

SEM ve EDS incelemeleri için, alaşımlardan elde edilen numuneler sırasıyla 220, 500, 600, 1200 ve 2400'lük su zımparaları ile zımparalandı ve böylelikle numunelerin yüzeyleri pürüzlerden arındırıldı. Ardından, 10 ml HCl,48 ml metanol ve 2.5 g (FeCl₃-6H₂O) karışımından oluşan çözelti içerisinde oda sıcaklığında birkaç dakika bekletilerek yüzeyleri dağlandı. Numunelerin yapısal özellikleri, JEOL-JSM-5600 30 kV hızlandırma gerilimine sahip taramalı elektron mikroskobu ile incelendi. SEM yönteminde, numunenin yüzey görüntüsü, ~10 eV'luk düşük enerjilere sahip ikincil elektronlarla elde edildi. Yüzey incelemeleri için kullanılan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) fotoğrafı Resim 3.1' de verildi.



Resim 3.1. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

Malzemelerin mikro yapısını incelemek için kullanılan en önemli cihazlardan birisi, taramalı elektron mikroskobu (SEM)'dir. SEM, elektron tabancasından çıkan elektron demetini, hedefteki numunenin yüzeyinde küçük bir noktaya çarptırarak, numuneden çıkan elektronik sinyalleri toplayan ve çözümleyen bir cihazdır. Taramalı elektron mikroskobunda görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında, elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Numuneden gelen elektron sayısı ne kadar fazla ise görüntü o kadar parlak olur. Malzemenin yüzeyi ışığı yansıtacak şekilde parlatıldıktan sonra kimyasal bir aşındırıcı asitle dağlanır. Asitler, enerji yönünden zayıf olan bu hatalı yerleri tahrip eder. Böylece elektron mikroskobunda numunenin yüzeyleri incelenerek fotoğrafları çekilir.

3.3. X-Işını Kırınımı (XRD) İncelemeleri İçin Numunelerin Hazırlanması

Isıl işlem yolu ile elde edilen herbir örnekten ince dişli eğe (törpü) yardımıyla yaklaşık 2 gr kadar toz elde edildi. Daha sonra toz örnekleri, asetonla yıkanıp kurutuldu. Elde edilen toz örnekler XRD spektrumunun alınmasında kullanıldı. Bu çalışmada örneklerin kırınım desenleri Resim 3.2’ de fotoğrafı verilen “Shimadzu XRD- 6000” toz difraktometresinde dalga boyu $1,54 \text{ \AA}$ olan CuK_{α} X-ışını kaynağı ile 2 derece/dak tarama hızı ile alındı. Numune, dönebilen bir tabla üzerine uygun bir şekilde yerleştirildikten sonra üzerine Ni filtre sayesinde monokromatik bir X-ışını gönderilir ve kristal düzlemden yansıyan ışınlar bir sayaç veya detektör yardımı ile kaydedilir. XRD analizinde sonuçlar şiddet (I)-açı (2θ) diyagramı şeklinde verildi. Elde edilen bu sonuçlar kullanılarak hazırlanan örneklerin örgü parametreleri EVA bilgisayar programı ile belirlendi.



Resim 3.2. Shimadzu (XRD) toz difraktometresi ölçüm cihazı

3.4. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) Ölçümü İçin Numunelerin Hazırlanması

Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (DSC) ölçümleri için ısıtma işlemi yolu ile elde edilen her bir örnekten ince dişli ege yardımıyla 3 mg kadar toz elde edildi. Numunelerin termodinamik özellikleri Netzsch Jupiter STA449F3 markalı DSC termal analizörü kullanılarak alındı. DSC ölçümleri sırasıyla, 5 °C/dak, 10 °C/dak ve 15 °C/dak ısıtma hızlarında alındı. Bu örneklerin DSC eğrilerinden yararlanılarak dönüşüm sıcaklıkları tayin edildi. Bu dönüşüm sıcaklıklarından yararlanılarak N2 ve N3 numunelerinin T_x (elde edilen en yüksek pik değeri) ve ΔH (entalpi değişim enerjisi) belirlendi. Elde edilen alaşım numunelerinin ölçümlerinin yapıldığı DSC termal analizörü fotoğrafı Resim 3.3' de verildi.



Resim 3.3. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC)

Bakır bazlı alaşımlarda martensitik ve austenite dönüşümün başlama ve bitiş sıcaklıkları çok önemlidir. Dönüşümün başlama ve bitiş sıcaklıklarını belirlemede en yaygın olarak kullanılan teknik DSC analizidir. DSC, çeşitli faz dönüşümlerinde dönüşüm sıcaklıklarını analiz etmek için geniş bir alanda kullanılmaktadır. DSC,

örnek ısıtılırken veya soğutulurken ya da sabit bir sıcaklıkta tutulurken soğurulan ya da salıverilen enerji miktarını ölçer. Diferansiyel taramalı kalorimetri tekniğinde, referans numune ile örnek numunedeki gelen yada uzaklaşan ısı farkı sıcaklığa veya zamana bağlı olarak gösterilir. DSC' de, örnek numune sıcaklığı ile referans numune sıcaklığı aynı tutulur. DSC eğrileri, eklenen eğrilerin ısının sıcaklığa karşı çizilen grafikleridir. Bu grafiklerde, numunedeki enerji değişimi endotermik veya ekzotermik reaksiyon şeklinde meydana gelir ve bu durum dış devrede pikler şeklinde görülür. Bu pikler, bu bölgelerde faz dönüşümlerinin meydana geldiğini gösterir. Bu şekilde oluşan pikler yardımı ile birçok malzemenin; entalpi, entropi ve aktivasyon enerjileri gibi birçok kinetik özellikleri incelenebilir [24, 45].

3.5. Elektriksel Direnç Ölçümleri İçin Numunelerin Hazırlanması

Elektriksel direnç ölçümleri için numuneler elmas kesici ile kesildi ve yüzeyleri zımpara ile düzeltildi. Direnç ölçümleri için standart dört nokta ölçüm tekniği ile, Resim 3.4'te fotoğrafı verilen Keithley 2400 programlanabilir akım kaynağı ve Lakeshore 335 sıcaklık kontrol dijital ünitesi kullanıldı. Dört nokta DC elektriksel iletkenlik ölçüm tekniğinde, I akımı ve V voltajı multimetreden okunur. Termal çift ise o anki numunenin sıcaklığını ölçer. Akım her durumda numune üzerinde seçilen 1. kontakdan diğer kontağa doğrudur. Akım geçişi esnasındaki numune üzerine düşen gerilim ise geriye kalan diğer 2 kontak arasında okunur. Dört nokta DC elektriksel iletkenlik ölçüm tekniğinde kullanılan kontakların dirençleri ölçümde hesaba girmez ve hesaplanan değer sadece numunenin öz direncidir [46].



Resim 3.4. Keithley 2400 elektrometer malzeme direnç ölçüm cihazı

4. BULGULAR

Alaşımdan, belirtilen yöntemlere göre hazırlanan numuneler, soğutma işlemine göre; N1, N2 ve N3 olarak adlandırıldı ve bir tablo halinde Çizelge 4.1’ de verildi.

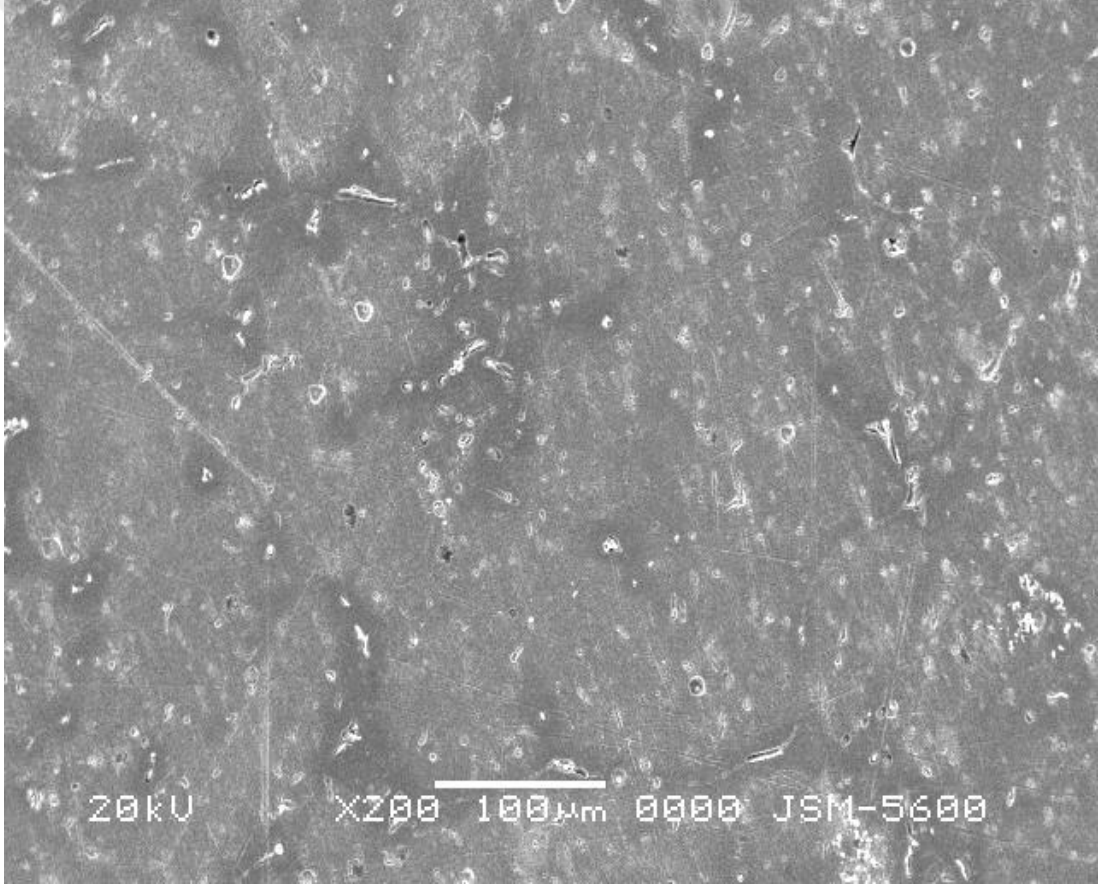
Çizelge 4.1. Cu-Mn alaşımlarından hazırlanan numuneler

Alaşım	Isıl İşlem °C	Isıl İşlem (saat)	Soğutma İşlemi	Numune No
Cu-%24,2 Mn	Isıl İşlemsiz	Isıl İşlemsiz	Isıl İşlemsiz	N1
	900	1	Buzlu su içine atılarak hızlı soğutma	N2
	900	1	Fırın içerisinde oda sıcaklığına kadar yavaş soğutma	N3

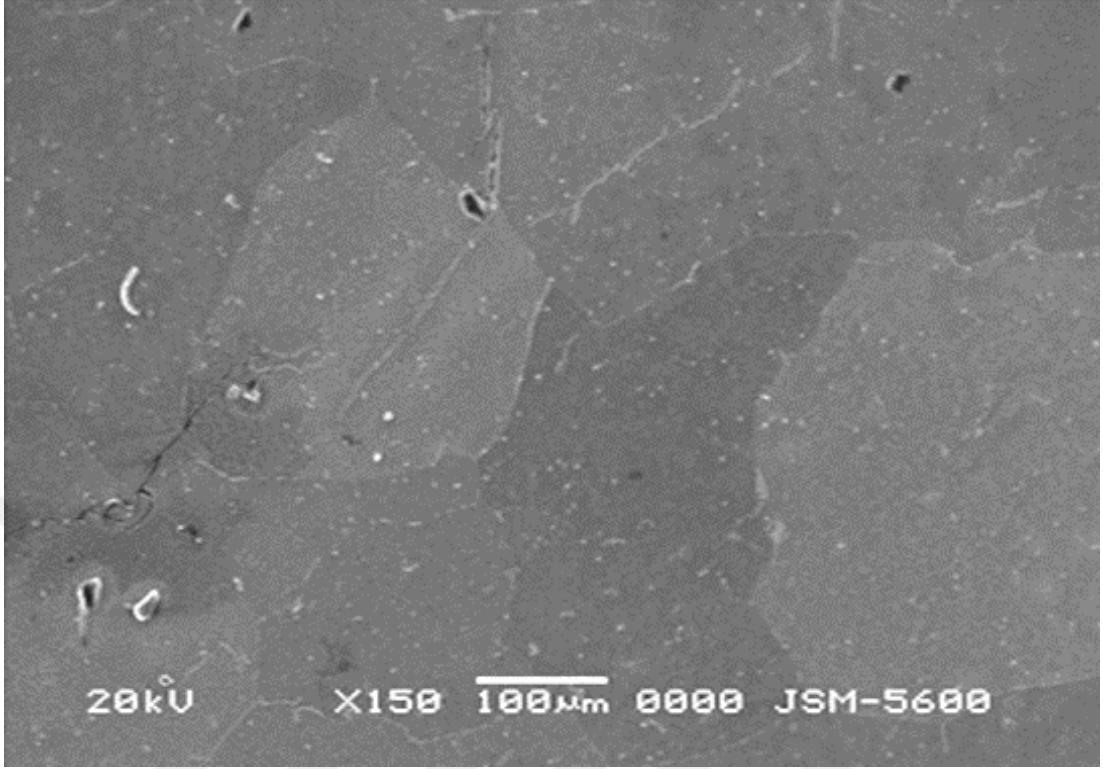
4.1. Termal Etki İle Oluşan Faz Dönüşümlerinin Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İle İncelenmesi

Cu-%24,2Mn alaşımında meydana gelen faz dönüşümlerinin yapısal özellikleri SEM ile incelendi. N1 numunesinin SEM görüntüsü Resim 4.1’de, gerçek boyutundan 150 kat daha fazla büyütülerek verildi. N2 numunesine ait austenite yapının SEM görüntüsü Resim 4.2’de, gerçek boyutundan 150 kat daha fazla büyütülerek verildi. Soğutma hızının artırılması ile austenite tanelerin sayısında artış olduğu ve tane boyutlarının küçüldüğü gözlemlendi. Soğutma hızının artırılması ile tane boyutlarının küçülmesi daha önceden yapılan çalışmalarda da gözlemlendi. Bu nedenle bu sonuç, literatürle uyum içerisindedir [20]. Cu-Mn alaşımları uygun sıcaklıklarda izotermal işlemler yoluyla ya da soğutulma süresince olmak üzere difüzyonlu olarak denge fazlarına ayrılmaya maruz kalmaktadır [15]. Bakırca zengin yüzey merkezli kübik yapıya (f.c.c.) α fazı, cisim merkezli kübik (b.c.c.) yapıdaki martensite olarak bilinen faza da γ fazı denir. Katı fazdan diğer bir katı fazın ayrışması “çökelti” olarak adlandırılır [47]. Çökelti; eriyebilirlik sınırı aşıldığında ana fazdan oluşan ikinci bir katı fazdır. Genellikle ana faz süreklidir, ikinci faz ise ana fazdan çökeler ve süreksiz, yani kesintilidir. Bakır alaşımlarının mukavemeti temelde çökeltme sertleştirilmesi ile

arttırılmakta ve yüksek derecedeki iletkenliklerini de korumak için alaşımlama yapılabilmektedir. Çökelti, en kolay tane sınırlarında veya diğer örgü kusurlarında çekirdeklenir ve büyür. N2 numunesinin SEM görüntüsünden ortaya çıkan diğer bir sonuçta numunede meydana gelen α çökeltileridir. Çökelti oluşumu sırasında atomların yer değiştirmesi çok yavaş, alınan yollar kısa, ayrışan tanecikler çoğunlukla çok küçüktür. Olay, öncelikle yüzey gerilimi ve boşluk yoğunluğu yüksek tane sınırlarında olmak üzere, genellikle enerji bakımından uygun yerlerde meydana gelir. Bu yerler tane sınırları yanında ikiz sınırları, boşluk ve dislokasyon yığınları, kalıntılar ve diğer örgü kusurları olabilir [47].

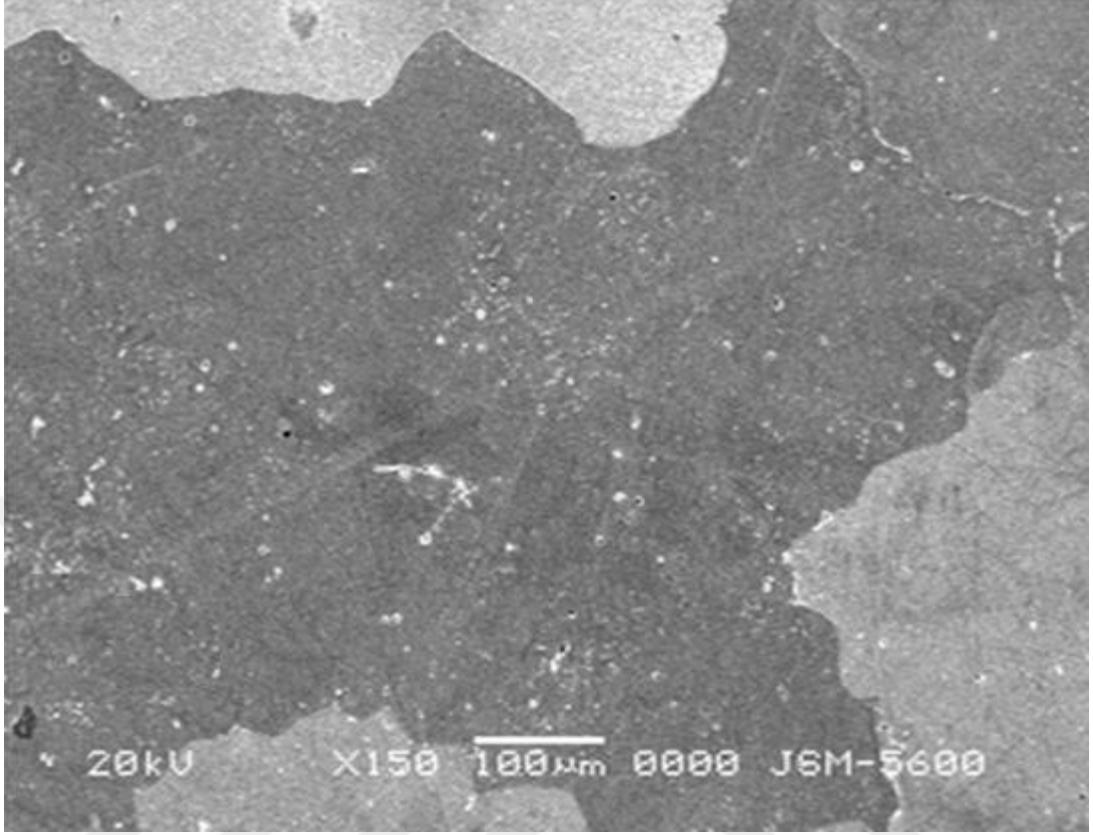


Resim 4.1. Cu-Mn alaşımlarının N1 numunesinin SEM görüntüsü



Resim 4.2. Cu-Mn alaşımının N2 numunesinin SEM görüntüsü

Yavaş soğutulan N3 numunesinin yüzey görüntüsü, gerçek boyutundan 150 kat daha fazla büyütülerek Resim 4.3’de verildi. Numunenin SEM görüntüsü incelendiğinde, oda sıcaklığında tamamen austenite yapıda olduğu ve tanecikli bir yapıya sahip olduğu gözlendi. N3 numunesinde oluşan tane boyutlarının N2 numunesine göre daha büyük olduğu bulundu. Katı bir fazdan diğer bir katı fazın ayrışmasına “çökelti” denildiği daha önceden ifade edilmişti [47]. Numunede oluşan bu çökelti fazları, örgü parametrelerinde bir değişim olur ve malzeme sertleşir. Çökelti miktarı artıkça malzemenin sertliğide artar [48].



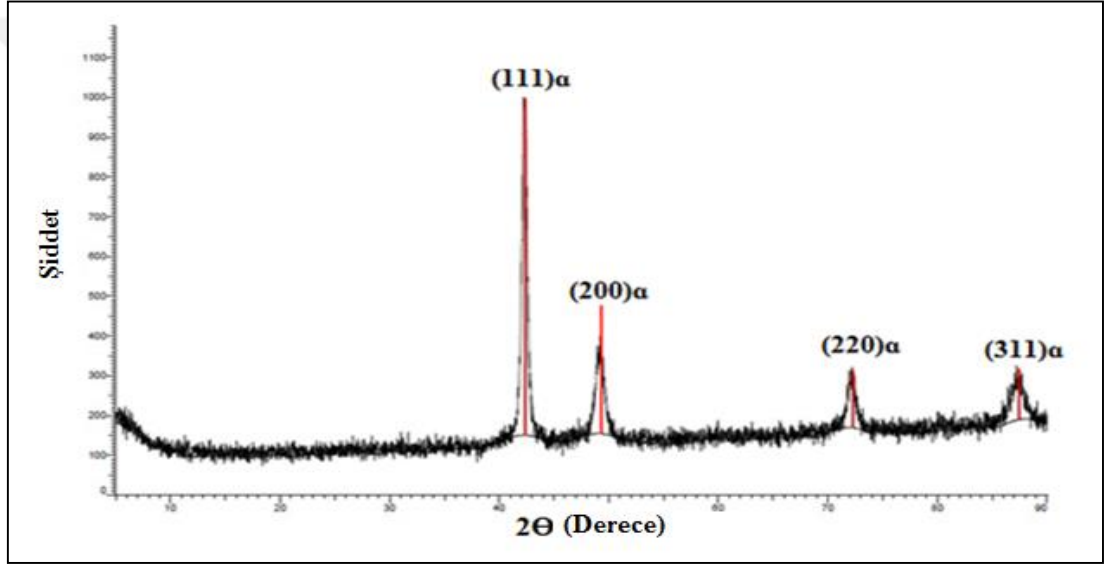
Resim 4.3. Cu-Mn alaşımının N3 numunesinin SEM görüntüsü

Isıl işlemlere bağlı olarak alaşımlar, daha büyük ya da daha küçük tanelerini meydana getirebilirler. Genellikle, hızlı soğutma küçük tanelerinin oluşmasına neden olurken, yavaş soğutma daha büyük tanelerinin oluşmasına neden olur. Bu tez çalışmasında N2 numunesinin tane yapısının N3 numunesinin tane yapısına göre daha küçük taneli meydana geldiği gözlemlendi [49, 50]. Örneklerde gözlenen diğer bir sonuçta; her tanedeki renk farklılığıdır. Bunun sebebi tane sınırları denilen ve her tanedeki atomik yönelimin farklı olmasıdır [51].

4.2. Termal Etki İle Oluşan Faz Dönüşümlerinin (XRD) İle İncelenmesi

Cu-Mn alaşımından alınarak hazırlanan N1, N2, N3 numunelerinde oluşan faz dönüşümlerinin kristalografik özelliklerini incelemek için oda sıcaklığında X-ışınları toz difraktometresi XRD ölçümleri alındı. Elde edilen veriler, literatür bilgisi ile karşılaştırıldı ve bu bilgiler doğrultusunda, EVA bilgisayar programı ile fazlar ve bu fazların örgü parametreleri belirlendi. Şekil hatırlamalı alaşımların ana fazları, hacim merkezli kübik (b.c.c.) yapıya bağlı olarak süper örgüye sahiptir. Bu alaşımlardan elektron/atom (e/a) oranları $\sim \leq 1,38$ için (f.c.c.) yapı (α -faz), $\sim 1,5$ civarında olan

alaşımlar (b.c.c.) yapı (β -faz), $\sim 1,62$ civarında kompleks yapı (γ -faz) ve $>1,65$ ise (h.c.p) yapıya sahip alaşımlar olarak isimlendirilir. Burada alaşımların faz durumlarını belirlemede kullanılan e/a oranı elektron konsantrasyonu olarak bilinmektedir [52, 53]. Cu-Mn alaşımından alınan ve herhangi bir ısıl işleme tabi tutulmayan N1 numunesinin kırınım deseni Şekil 4.1’de; kırınım deseninden elde edilen bilgiler ise Çizelge 4.2’ de verildi. Kırınım deseninden de görüldüğü gibi yansıma veren düzlemler (1 1 1), (2 0 0), (2 2 0) ve (3 1 1) düzlemleridir. Bu faz için birim örgü parametresi $a = 3.6963 \text{ \AA}$ bulundu.

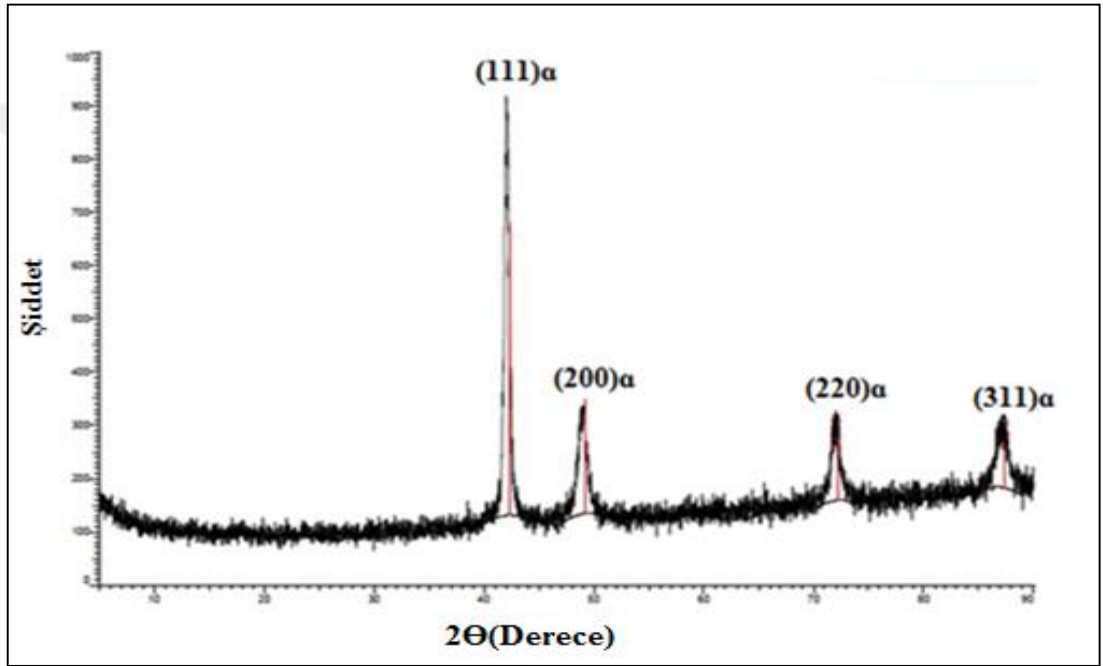


Şekil 4.1. N1 numunesinin X-ışını toz kırınımı deseni

Çizelge 4.2. N1 numunesinin gözlenen 2θ değerleri ve fazlara ait Miller indisler

$2\theta(^{\circ})$	hkl	$d(\text{Å})$	I
42,325	(111) α	2,1337	846
49,275	(200) α	1,8477	321
72,245	(220) α	1,3066	144
87,455	(311) α	1,1142	127

Hızlı soğutulan numune N2' ye ait kırınım deseni Şekil 4.2' de verildi. Kırınım deseninden elde edilen paralel düzlemler arası uzaklık (d), hkl düzlemi ve 2θ değerleri Çizelge 4.3' de verildi. Kırınım deseninden de görüldüğü gibi yansıma veren düzlemler (1 1 1), (2 0 0), (2 2 0), (3 1 1) düzlemleridir. En şiddetli yansıma veren düzlem (1 1 1) düzlemidir. Ayrıca, en zayıf yansıma veren düzlemin (3 1 1) düzlemi olduğu belirlendi. Bu faza ait birim örgü parametresi $a=3,6963\text{\AA}$ olarak hesaplandı. Bu parameter (f.c.c.) α çökelti fazına aittir [54, 55].

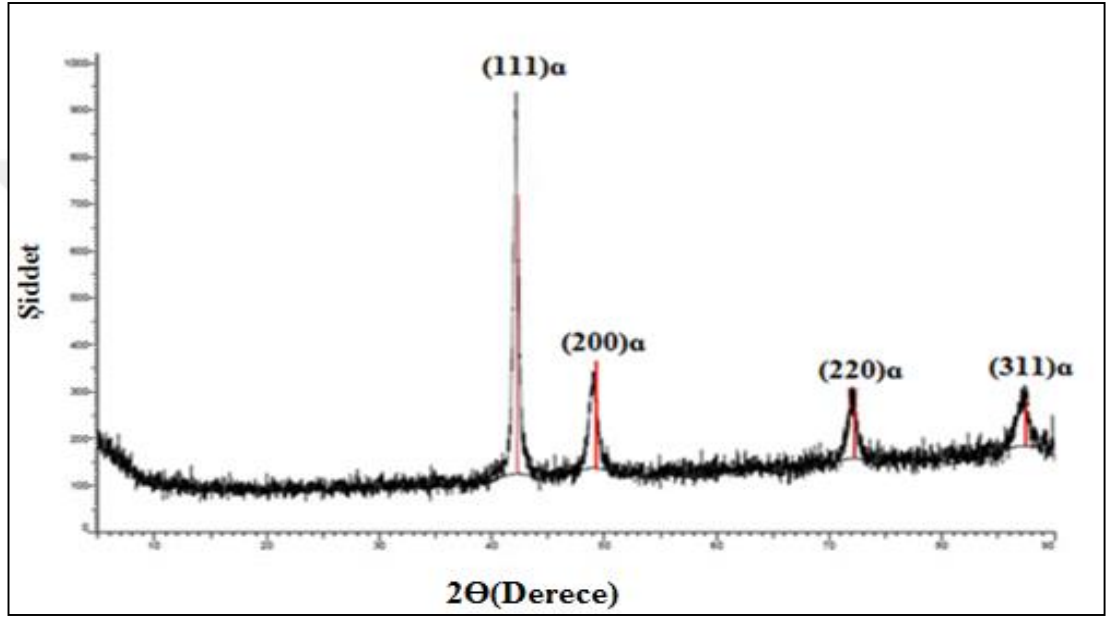


Şekil 4.2. N2 numunesinin X-ışını toz kırınımı deseni

Çizelge 4.3. N2 numunesinin gözlenen 2θ değerleri ve fazlara ait Miller indisleri

$2\theta(^{\circ})$	hkl	$d(\text{\AA})$	I
42,273	(111) α	2,1362	493
49,212	(200) α	1,8501	216
72,150	(220) α	1,3084	91,9
87,337	(311) α	1,1156	84,5

Şekil 4.3'teki kırınım deseninden de görüldüğü gibi N3 numunesinin yansıma veren düzlemleri (1 1 1), (2 0 0), (2 2 0), (3 1 1) düzlemleridir. En şiddetli yansıma veren düzlem (1 1 1) düzlemidir. Ayrıca, en zayıf yansıma veren düzlemin (3 1 1) düzlemi olduğu belirlendi. Bu faza ait birim örgü parametresi $a=3,7000\text{Å}$ olduğu bulundu. Kırınım deseninden elde edilen bilgiler Çizelge 4.4' de görüldüğü gibi, N3 numunesi içerisinde oluşan (f.c.c.) yapıya sahip yüksek sıcaklık fazı α dir [56].



Şekil 4.3. N3 numunesinin X-ışını toz kırınımı deseni

Çizelge 4.4. N3 numunesinin gözlenen 2θ değerleri ve fazlara ait Miller indisleri

$2\theta(^{\circ})$	hkl	d (Å)	I
42,325	(111) α	2,1334	600
49,275	(200) α	1,8472	228
72,245	(220) α	1,3067	102
87,455	(311) α	1,1148	89,3

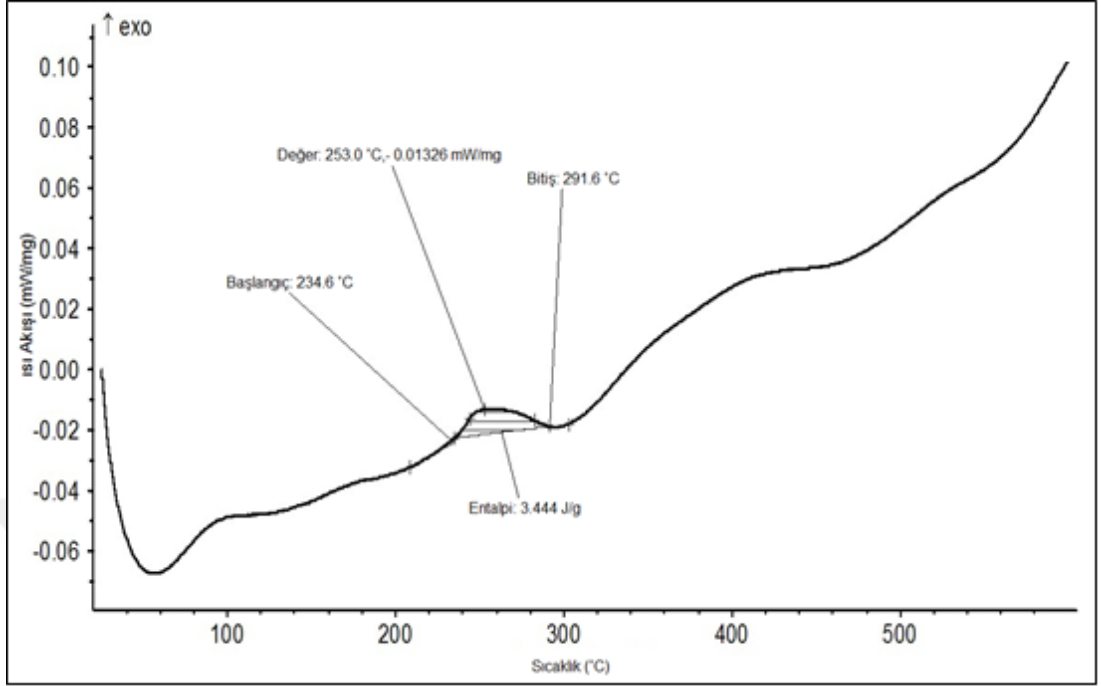
Cu-Mn alaşımlarında dönüşüm sonucunda meydana gelen denge fazları, α -fazı (f.c.c.) ve γ_2 (Cu_9Al_4) fazıdır. α -fazı, yüzey merkezli kübik (f.c.c.) yapıya sahip iken, γ_2 fazı kompleks kübik yapıya sahiptir [54]. Genellikle çökeltilerin varlığı istenilmeyen bir durumdur. Numunede oluşan çökelti fazlar örgü parametrelerinin

değişmesine ve numunenin sertliklerinde bir artışa neden olur [56]. Bu tez çalışmasında farklı soğutma işlemlerinin örgü parametrelerinde değişikliğe neden olduğu tespit edildi [51].

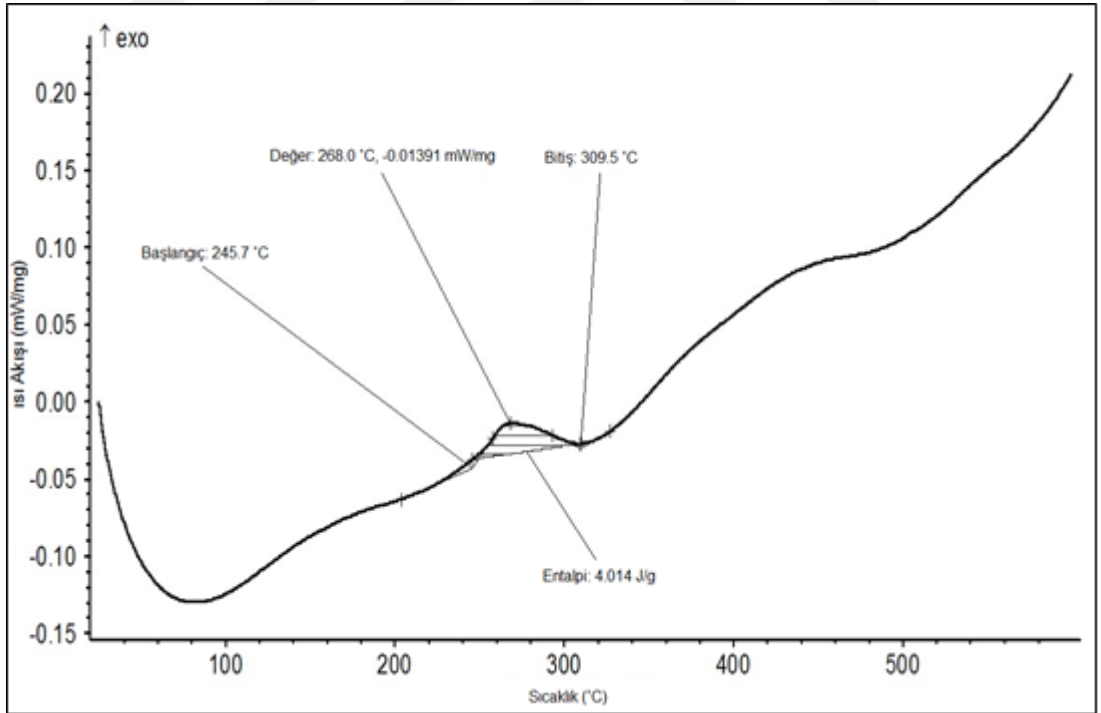
4.3. Termal Etki İle Oluşan Faz Dönüşümlerinin (DSC) İle İncelenmesi

Isıl işlemlere tabi tutulan örneklerin kinetik özelliklerini incelemek için DSC ölçümleri alındı. DSC ölçümleriyle elde edilen A_s (austenite başlama sıcaklığı), T_x (elde edilen en yüksek pik değeri) ve ΔH (entalpi değişim enerjisi) belirlendi.

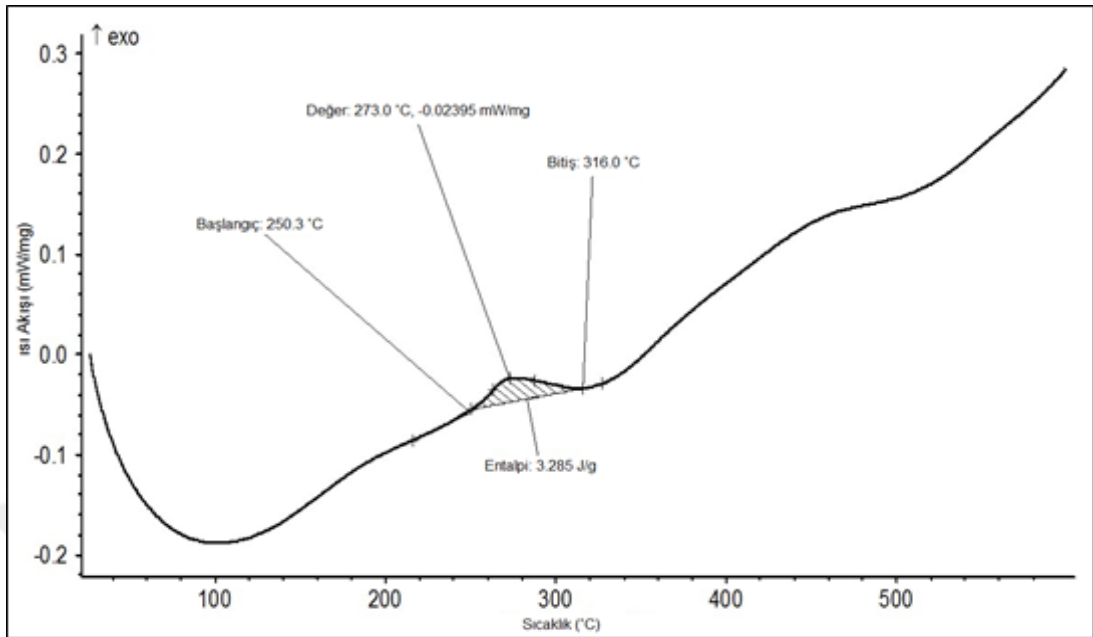
DSC eğrilerindeki pikler bu sıcaklıklarda meydana gelen faz dönüşümlerinin sıcaklıklarını ifade eder. N2 ve N3 numunelerine ait farklı ısıtma hızlarında alınmış (5 °C/dak, 10 °C/dak, 15 °C/dak) DSC ölçüm grafikleri sırasıyla Şekil 4.4-4.9'da verildi. Grafiklerin eğrilerinden yararlanılarak hesaplanan aktivasyon enerjileri ve kinetik parametreler ise Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 'da verildi. N2 numunesinden elde edilen austenite başlama ve bitiş sıcaklıkları sırasıyla 5 °C/dak ısıtma hızı için; 234,6 °C-291,6 °C, 10 °C/dak ısıtma hızı için; 245,7 °C-309,5 °C, 15 °C/dak ısıtma hızı için ise 250,3 °C-316 °C olarak bulundu. Isıtma hızının değişmesiyle entalpi değerlerinde de bir değişim olduğu gözlemlendi. Farklı ısıtma hızlarına göre alınmış N3 numunesine ait DSC eğrileri incelendiğinde ısıtma hızının artmasıyla A_s (austenite başlama) ve A_f (austenite bitiş sıcaklıklarında) bir artma olduğu gözlemlendi. N3 numunesinin 5 °C/dak ısıtma hızında elde edilen austenite başlama ve bitiş sıcaklıkları sırasıyla, 254,1°C - 285 °C iken; 10°C/dak ısıtma hızında bu değerler 272,2 °C-299,9 °C ve 15 °C/dak ısıtma hızında ise 280 °C-309 °C olarak bulundu.



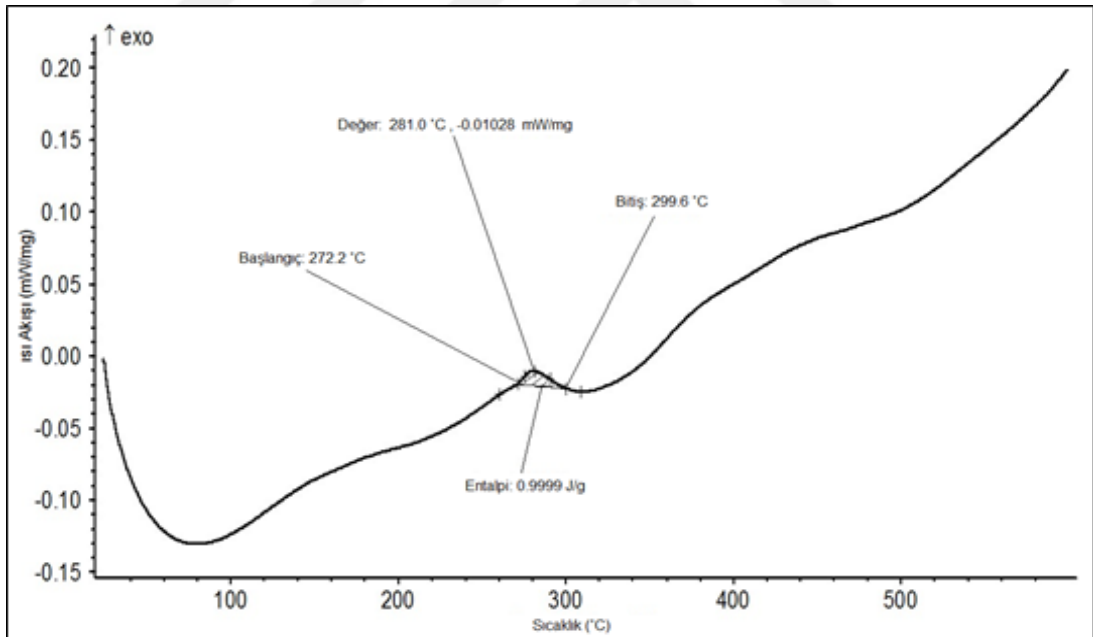
Şekil 4.4. N2 numunesinin 5 °C/dak ısıtma hızına bağlı ısı akışı grafiği



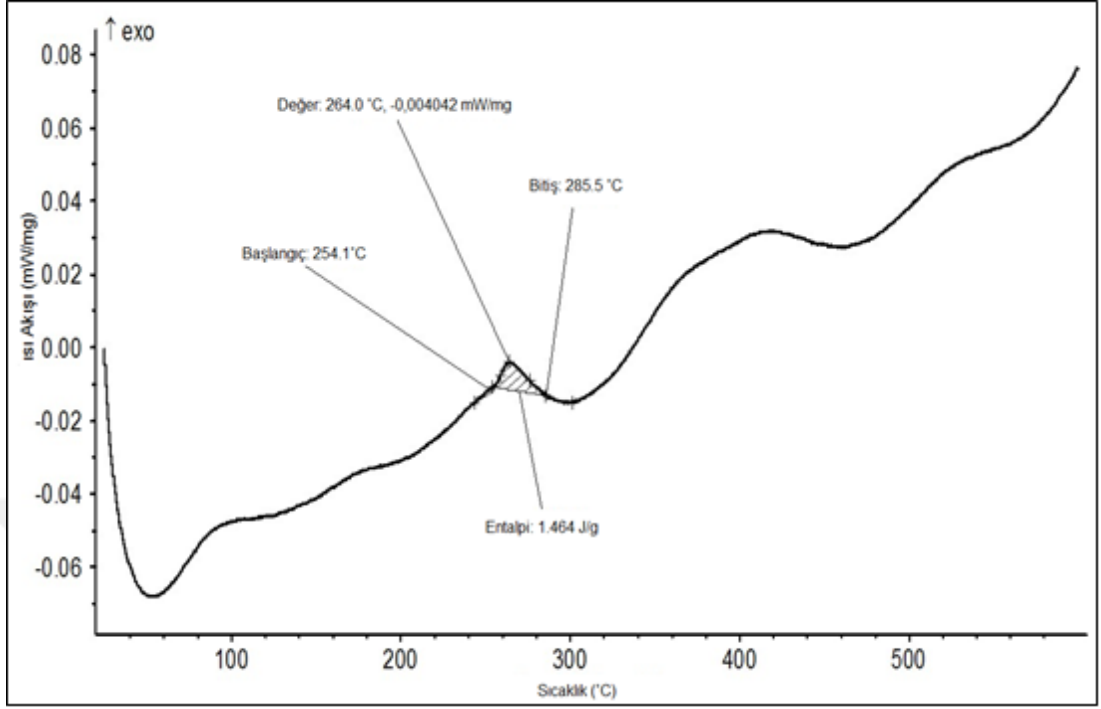
Şekil 4.5. N2 numunesinin 10 °C/dak ısıtma hızına bağlı ısı akışı grafiği



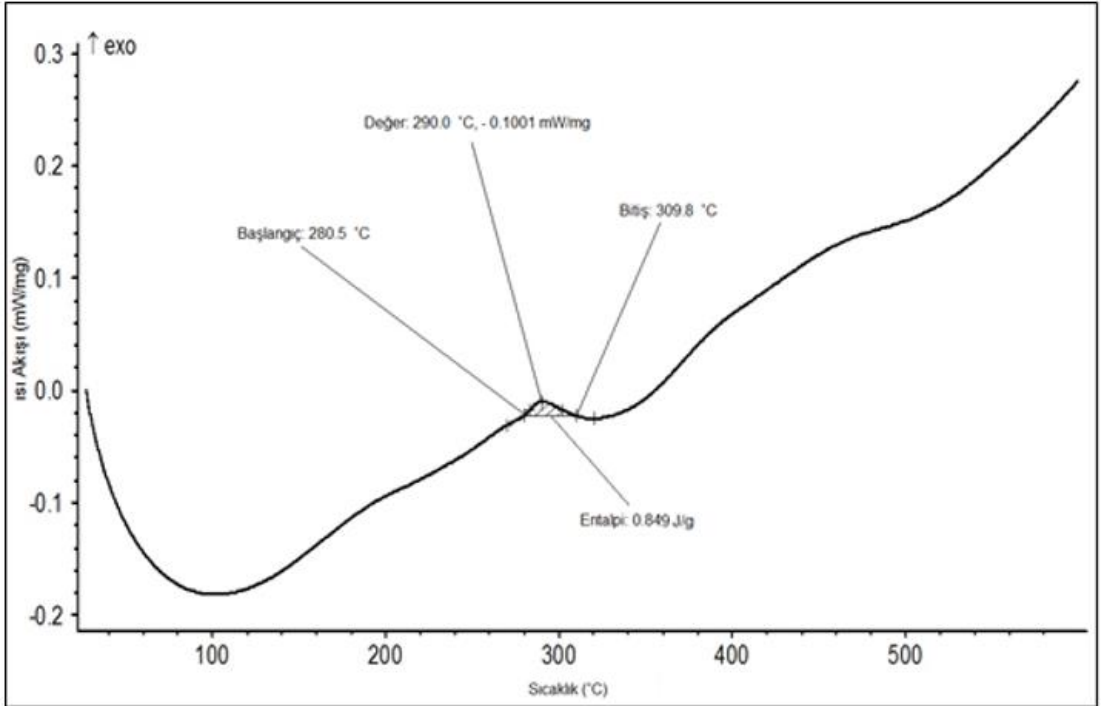
Şekil 4.6. N2 numunesinin 15 °C/dak ısıtma hızına bağlı ısı akışı grafiği



Şekil 4.7. N3 numunesinin 5 °C/dak ısıtma hızına bağlı ısı akışı grafiği



Şekil 4.8. N3 numunesinin 10 °C/dak ısıtma hızına bağlı ısı akışı grafiği



Şekil 4.9. N3 numunesinin 15 °C/dak ısıtma hızına bağlı ısı akışı grafiği

Cu bazlı alaşımlarda hızlı soğutmanın en önemli sonuçları; noktasal kusurların konsantrasyonunun ve atomik düzenin değişmesidir. Soğutma işlemi alaşımda denge fazı çökmesi, iç zor gibi değişiklikler meydana getirir [57]. Soğutma hızı artarsa

tane kusurlarının yoğunluğu artar ve taneler küçülür. Yavaş soğutulduğunda ise boşluklar azalır ve daha az örgü kusurları oluşur [58, 59]. Bakır bazlı alaşımlarda hızlı soğutmanın etkisiyle örgü kusurları ortaya çıkar ve bu durum M_f ve A_f dönüşüm sıcaklıklarını artırır [60, 61]. Ayrıca N2 ve N3 numunelerine ait DSC eğrileri incelendiğinde bu numunelerin kendi içlerinde ısıtma hızları arttıkça austenite başlama ve bitiş sıcaklıklarının arttığı bulundu.

DSC grafiklerinden elde edilen piklerin altında kalan alanın tepkimede emilen veya açığa çıkan ısı ile; pik yüksekliklerinin de tepkime hızı ile doğrudan orantılı olduğu bilinmektedir [44]. N2 ve N3 numunelerine ait DSC eğrilerindeki pik genişlikleri kıyaslandığında N2 numunesinde daha fazla bir artış göze çarpmaktadır. Bu sonuç hızlı soğutma işleminin yani küçük taneli yapıların endotermik enerjilerinin soğutma işlemleriyle arttığını göstermekte ve literatürle uygunluk sağlamaktadır [62]. Şekil hatırlamalı Cu-Mn alaşımları yüksek sıcaklıklarda mekaniksel özelliklerini koruyarak homojenleştirilebilirler. Homojenleştirme ısıl işlemleri tane boyutunu, dönüşüm sıcaklıklarını ve faz kompozisyonlarını değiştirir [63, 64]. DSC eğrilerinden de görüldüğü gibi büyük taneli N3 numunesinin dönüşüm sıcaklığı küçük taneli N2 numunesinin dönüşüm sıcaklığından daha düşüktür. Bu beklenen bir sonuçtur [65]. DSC ölçümlerinden yararlanılarak, numunelerin kinetik parametreleri ve bazı parametrelerdeki değişimler belirlendi. Literatürde yer alan Kissinger ve Augis-Bennet hesaplama yöntemleri kullanılarak aktivasyon enerjileri ayrı ayrı hesaplandı. Hesaplamalar N2 ve N3 numuneleri için sırasıyla 5 °C/dk, 10 °C/dk, 15 °C/dk ısıtma hızlarında alındı. Hesaplamalar için DSC ölçümlerinden elde edilen kinetik parametreler kullanıldı.

Çizelge 4.5. N2 ve N3 numunelerinin DSC grafiklerinden elde edilen kinetik parametreler

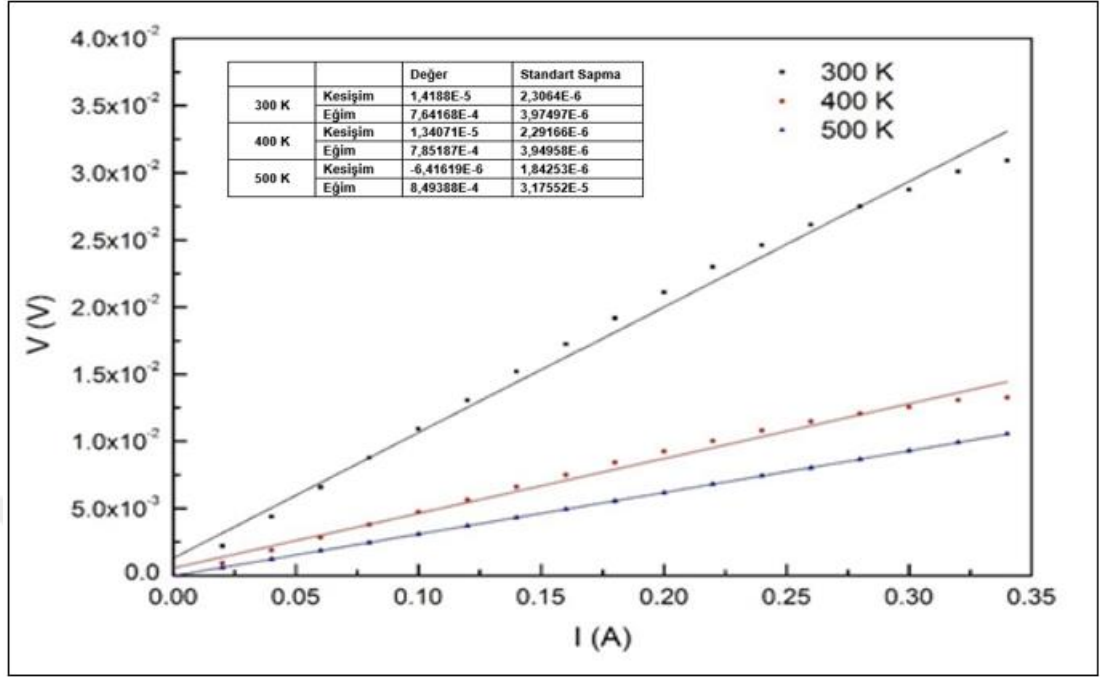
	N2 numunesi				N3 numunesi			
	T_x (°C)	A_s (°C)	A_f (°C)	ΔH (J/gr)	T_x (°C)	A_s (°C)	A_f (°C)	ΔH (J/gr)
5 °C/dak	253	234,6	291,6	3,444	264	254,1	285,5	1,464
10 °C/dak	268	245,7	309,5	4,014	281	272,2	299,6	0,999
15 °C/dak	273	250,3	316,0	3,285	290	280,5	309,8	0,849

Çizelge 4.6. N2 ve N3 numunelerinin DSC grafiklerinden hesaplanan aktivasyon enerjileri

	N2 numunesi		N3 numunesi	
	Kissinger Metodu (kJ/mol)	Augis-Bennet Metodu (kJ/mol)	Kissinger Metodu (kJ/mol)	Augis-Bennet Metodu (kJ/mol)
5 °C/dak	65,695	65,721	67,303	66,124
10 °C/dak	64,941	60,497	66,624	60,936
15 °C/dak	63,564	57,297	68,711	58,255

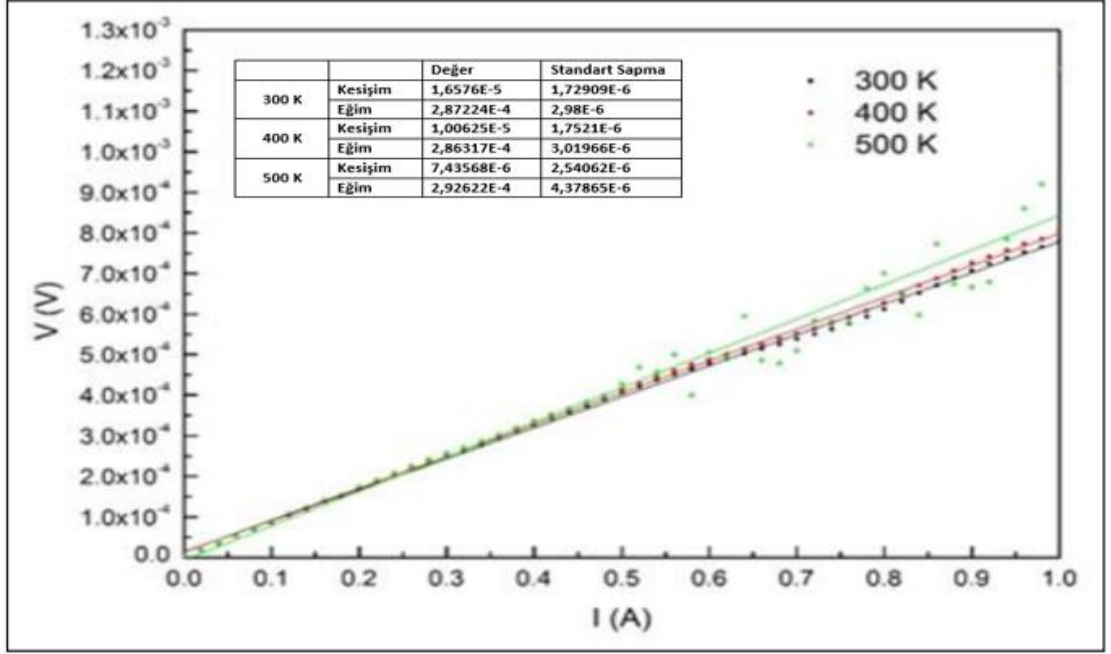
4.4. Termal Etki İle Oluşan Direnç Değişimlerinin 4 Nokta İletkenlik Ölçüm Tekniği İle İncelenmesi

Elektriksel iletkenlik özellikle atomik bağa, atomik yapıya ve malzeme işlemlerine karşı hassastır. Bu nedenle metaller yüksek bir elektriksel iletkenliğine sahiptir. Bu iletkenlik; sıcaklık değiştiğinde, alaşımlama ve malzeme işlemleri sırasında oluşan örgü hatalarına göre değişir [66]. Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de N1, N2 ve N3 numunelerine ait, farklı sıcaklıklarda alınan akım-gerilim değerlerine ait grafikler verildi. Burada ısı işlemlerin dirence etkisi farklı sıcaklıklarda incelendi. Elde edilen direnç değerleriyle, sıcaklığın elektriksel iletkenlik üzerindeki etkisi araştırıldı. Ölçümler 300K, 400K ve 500K farklı sıcaklıklarda alındı.



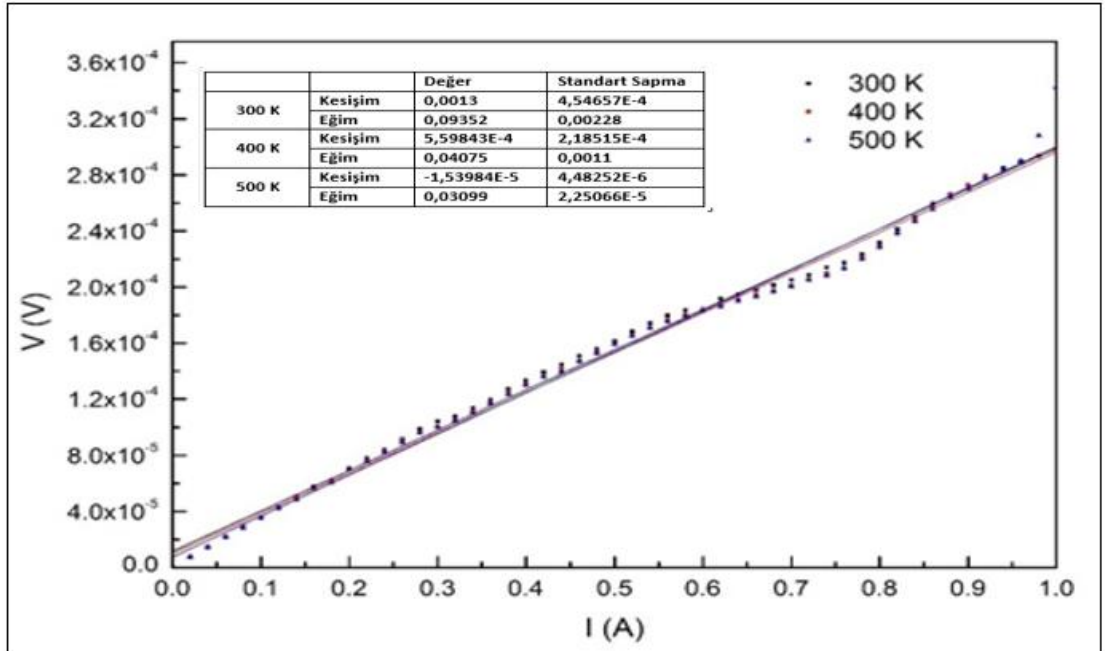
Şekil 4.10. N1 numunesinin (I-V) grafiği

Şekil 4.10'daki N1 numunesine ait (I-V) grafiği incelendiğinde, grafiğin eğiminden direnç değerlerinin 300K, 400K ve 500K sıcaklıklarında sırasıyla $0,932\Omega$, $0,047\Omega$ ve $0,0309\Omega$ olduğu bulundu. Değişik sıcaklıklarda elde edilen N1 numunesine ait direnç değerlerindeki bu artmanın nedeni; sıcaklık artışı ile birlikte titreşen atomların hızlarının artması; buna bağlı olarak atomlar arası ortalama serbest yolun azalmış olması ve bunun sonucu olarak da sıcaklık arttıkça direnç değerinin artmış olmasıdır. Bu sonuç literatürle uyum içindedir [67, 68].



Şekil 4.11. N2 numunesinin (I-V) grafiği

N2 numunesine ait Şekil 4.11 incelendiğinde grafiğin eğiminden direnç değerlerinin 300K, 400K ve 500K sıcaklıklarında sırasıyla $2,872\Omega$, $2,863\Omega$ ve $2,926\Omega$ olduğu gözlenmiş olup; sıcaklık artışı ile birlikte direnç değerlerinde N1 numunesine göre ciddi artış olduğu saptandı. Bu sonuç N2 numunesinde oluşan çökeltilerden kaynaklanmaktadır [68, 69].



Şekil 4.12. N3 numunesinin (I-V) grafiği

N3 numunesine ait Şekil 4.12 incelendiğinde grafiğin eğiminden direnç değerlerinin 300K, 400K ve 500K sıcaklıklarında sırasıyla $7,641\Omega$, $7,851\Omega$ ve $8,493\Omega$ olduğu gözlenmiş olup; sıcaklık artışı ile birlikte direnç değerlerinde önemli bir değişiklik olduğu saptandı. Bu duruma; N3 numunesinde gözlenen α çökeltilerinin atomların yer değiştirmesini yavaşlatmaya neden olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12 incelendiğinde; N1, N2 ve N3 numunelerine ait direnç değerleri farklılık göstermektedir. Elektriksel iletkenlik; kristal yapı içerisinde dislokasyonlar, yabancı atomlar, tane sınırları ve boşluklar gibi çeşitli kristal yapı kusurlarından etkilenmektedir. Alaşımdaki bu tür bir düzensizliğin bulunması, malzemenin elektriksel direncinde ve elektriksel iletkenliğinde önemli değişimlere neden olmaktadır [70].

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasına konu olan Cu-Mn alaşımında meydana gelen yapısal değişimler üzerine ısıtma işlemlerin etkisi, bazı fiziksel etkiler uygulanarak incelendi. Alaşımında oluşan faz dönüşümleri üzerine hızlı soğutma etkisini incelemek için alaşımdan elde edilen numunelerin ilk grubuna hiçbir ısıtma işlemi uygulanmadı. Numunelerin ikinci grubuna 900 °C'de 1 saat süre ile homojenleştirilip buzlu suda hızlı soğutulmaya maruz bırakıldı. Üçüncü grup numune ise 900 °C'de 1 saat ısıtma işlemi uygulanarak fırın içerisinde yavaş soğumaya bırakıldı.

Kristallerin başlangıçta oluşum hızları; kristallerin oluşmaya başladığı yerlerin sayısı ve büyüme hızları tane boyutunu etkiler [51]. Hızlı soğutma tane boyutunu küçültür ve böylece tane sayısı artar [71]. Yapılan yüzey gözlemlerinde her iki numunede ana yapı içerisinde α çökeltileri gözlemlendi. Gözlenen diğer bir sonuçta; hızlı soğutulan N2 numunesinin austenite tane boyutlarının yavaş soğutulan N3 numunesinin tane boyutuna göre küçüldüğü ve tanelerin sayısında artış olduğu tesbit edildi. SEM incelemeleri sonucunda alaşımın austenite fazda kaldığı bulundu.

Yapılan XRD ölçümleri sonucunda numuneler içinde meydana gelen fazların kristal yapısı ve bu fazların örgü parametreleri belirlendi. Bu tez çalışmasında; Cu-Mn alaşım sistemlerinin XRD çalışması ile soğutma yöntemlerindeki farklılıkların, bu alaşım sisteminin kırınım desenlerinde oluşan faz yapılarında, paralel düzlemler arası mesafe (d) ve örgü parametrelerinde büyük bir fark meydana getirmediği görüldü.

XRD çalışmasından ortaya çıkan başka bir sonuçta; yapılan XRD gözlemlerinde ısıtma işlemlerin etkisi ile pik değerlerinin değişim göstermesidir. Soğutma oranının artmasıyla numunelerin kırınım desenlerinden pik şiddetlerinin azaldığı gözlemlendi. Bu sonuç hızlı soğutma ile kristal yapı kusur yoğunluklarının artmasına bağlandı. Fazlarda oluşan noktasal kusurlardan; boşluk atomlarını doldurarak veya arayer atomu şeklinde boşluklara yerleşerek yapıyı değiştirdiği ve örneklerin XRD desenlerinden de görüldüğü gibi, piklerin şiddetinde bir artmaya sebep olması ile açıklanabilir.

DSC eğrilerinden elde edilen veriler kullanılarak her numune için kinetik parametreler hesaplandı. Bunlar, A_s (austenite başlama sıcaklığı) ve A_f (austenite bitiş sıcaklığı), T_x (maksimum pik değeri), ΔH (enerji değişimi) ve E_a (aktivasyon enerjisi) parametreleridir. Aktivasyon enerjileri farklı metodlara göre hesaplandı. Bu

yöntemler, Kissinger ve Augis–Bennet metodudur. Aktivasyon enerjisi şekil hatırlamalı alaşımlarda kristalizasyon davranışı hakkında bilgi verir. Aktivasyon enerjisi ne kadar büyükse, numune o kadar kararlı demektir ve ayrıca enerji değerinin yüksekliğinin bir başka sebepten numune içinde dengede olmayan kristal yapı kusurlarıdır.

Isıl işlemlerin etkisi ile oluşan faz yapılarının, elektriksel özellikleri dört nokta DC direnç ölçüm tekniği deneyleri ile incelendi. Elektriksel ölçümlerden elde edilen direnç değerlerinden çıkan sonuca göre, numuneye uygulanan ısıl işlemler numunenin direnç değerlerinde artışa sebep oldu. Bu sonuç, özellikle N2 ve N3 numunesinde oluşan α çökeltilerinden dolayı numuneler içinde elektronların daha zor ilerlemesine bağlandı. Bu nedenle de direnç değerlerinin N1 numunesine göre daha yüksek çıkmasına sebep oldu. N2 numunesi ile N3 numunesi arasındaki direnç farklılıklarının sebebi daha fazla çökelti fazına bağlandı. Çökelti fazı numunede örgü hatasına yol açmış ve elektronların hareketliliğini azaltmıştır. Bu sonuç çökeltme sertleşmesinin bir ürünüdür. Kristal yapıda kusur yoğunluğu artarsa elektron dalgalarının saptırılma olasılığı artar, ortalama serbest yol kısalır ve direnç değeri yükselir. Bu kusurlar; boşluk, arayer, dislokasyonlar ve tane sınırları olabilir [72].

Bu tez çalışmasına konu olan Cu-Mn alaşımının elektriksel özellikleri incelendiğinde; artan sıcaklık ile direnç değerlerinin arttığı bulundu. Yine bu alaşımın dönüşüm sıcaklıkları incelendiğinde, dönüşüm sıcaklıklarının yüksek olduğu tespit edildi. Bu sonuçlara dayanarak, bu alaşımların düşük elektriksel iletkenlik ve yüksek sıcaklık gerektiren bir çok alanda kullanılabileceği sonucuna varıldı. Sonuç olarak bu malzeme farklı uygulama alanlarında kullanılmak üzere yeni ve çeşitli malzemelerin elde edilmesine önemli katkı sağlar.

KAYNAKLAR

1. Jaronie, M.J., Leary, M., Subic, A. And Gibson, M.A.,“A review of shape memory alloy research, applications and opportunities”, *Materials and Desing* , 56:1078-1113 (2014).
2. Gök, M., “Ni-Mn-Ca ferromanyetik şekil hatırlamalı alaşımın fiziksel özellikleri üzerine alaşımın oranı ve ısıl işlem etkisinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 46 (2011).
3. Chen, I.W. And Chiao, Y.H., “Martensitic nucleation in ZrO₂”, *Acta Metallurgica*, 31(10): 1627-1638 (1983).
4. Nishiyama, Z., “Martensitic transformations, 3”, *Academic Press*, London, 254-255 (1978).
5. Yıldız, Y.G., “Cu-%25Mn-%11Al alaşımının mekaniksel ve elektriksel özellikleri üzerine ısıl işlemlerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 24-27 (2006).
6. Dikici, M., “Katıhal fizikine giriş”, *19 Mayıs Üniversitesi Yayınları*, Samsun, 87-89 (1993).
7. Savaşkan, T., “Malzeme bilgisi ve muayenesi”, *Derya Kitabevi*, Trabzon, 34-36 (1999).
8. Osaka, K. And Takama, T., “Material physics, 50”, *Hokkaido University*, Japonya, 1289-1296 (2002).
9. Koçak, H., “Sert bakır alaşımları”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1989).
10. Wang, Q., Han, F., Hao, G. And Wu, J.,“Zener relaxation peak in a Cu–Al–Mn shape memory alloy”, *Materials Letters*, 59(26): 3284-3286 (2005).
11. Chung, C.Y. And Lam, C.W.H., “Journal of materials processing technology”, *Materials Science and Engineering*, 149: 117-119 (2004).
12. Firstov, G. S., Humbeeck, J. V. And Koval, Y. N., “High-temperature shape memory alloys: some recent developments”, *Materials Science and Engineering*, A 378(1): 2-10 (2004).
13. Rezvani, M. R. And Shokuhfar, A., “Synthesis and characterization of nano structured Cu–Al–Mn shape memory alloy by mechanical alloying”, *Materials Science and Engineering*, A 532: 282-286 (2012).

14. Silva, R.A. G., Cuniberti, A., Stipcich, M. And Adorno, A.T., “Effect of Ag addition on the martensitic phase of the Cu- 10 wt % Al alloy”, *Materials Science And Engineering*, 456: 5-10 (2007).
15. Gökhan, T.,“Şekil hatırlamalı CuAlNi alaşımları üzerinde ısıl işlem etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 47 (2002).
16. Smith, W. F.,“Structure and properties of engineering alloys 2th ed.”, *Mc-Graw-Hill*, New York, 176-178 (1993).
17. Tian, Q.,Yin, F., Sakaguchi, T. And Nagai, K.,“Internal friction behavior of twin boundaries in tensile-deformed Mn-15 at.% Cu alloy”, *Materials Science and Engineering*, 442(1):433-438 (2006).
18. Askeland, D. R., “Malzeme bilimi ve mühendislik malzemeleri, 1”, Mehmet Erdoğan, *Nobel Yayınları*, Ankara, 76-94 (1998).
19. Li, Z., Pan, Z. Y.,Tang, N., Liu, Y. B. N., Fang, M. And Zheng, F.,“Cu–Al–Ni–Mn shape memory alloy processed by mechanical alloying and powder metallurgy”, *Materials Science and Engineering*, A 417(1): 225-228 (2006).
20. Kawasaki, M., Yamaji , K. And Izumi, O., “The Research instituten for Iron, stellan and other metals”, *Physics, Chemistry and Metalurgy*,7: 66-77 (1950).
21. Prado, M. O. And Tolley, A.,“Hardness of Cu-Mn-Al alloys as a function of the annealing temperature in the β phase”, *Materials Science and Engineering*, A:275,590-594 (1999).
22. Harders, T. M., Hicks , T. J. And Smith J. H.,“The magnetic phase diagram of Cu-Mn”,*Journal of Physics*, 13: 1263-1279 (1983).
23. Durlu, T. N., “Crystal structure and conformational”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bilimleri Dergisi*, 13(1): 1 (2001).
24. Aldırmaz, E.,“Cu-%9,97Al-%4,62Mn ve Cu-%13,81Mn-%3,78Al alaşımlarında termal ve mekanik etkiler ile oluşan yapısal değişimlerin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 39,42,55 (2009).
25. Anver, S. H., “Introduction to physical metallurgy, 2thed”, *Mc-Graw – Hill Book, Özgün Publishing Inc.*, Ankara, 213-214 (1984).
26. Soğuksu, A.K., “Şekil hatırlamalı Cu-Al-Ni ve Cu-Zn-Al alaşımların üretilmesi ve özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, 49-50 (2006).

27. Işık, A., “Fe-Pd ferromagnetik şekil hatırlamalı alaşımının kristalografisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 77 (2007).
28. Toptaş, E. And Akkuş, N., “Şekil hafızalı alaşımlar ve endüstriyel uygulamaları”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4: 15-22 (2007).
29. Mallik, U.S. And Sampath, V., “Influence of aluminum and manganese concentration on the shape memory characteristics of Cu-Al-Mn shape memory alloys”, *Journal of Alloys and Compounds*, 459: 142-147 (2003).
30. Akturk, S., Gencer, A. And Durlu, T. N., “Studies on themagnetic properties of martensitic phase in an Fe-Cr-C alloy.”, *Journal of materials science letters*, 16 (5): 389-391 (1997).
31. Akis, A. A., “Şekil hatırlamalı Co-Ni-Al-Si alaşımında yaşlandırma olayının martensitik faz dönüşümü üzerine etkileri ”, Yüksek lisans tezi, *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kilis, 35 (2012).
32. Chung, C. Y. And Lam, C. W. H., “Cu-based shape memory alloys with enhanced thermal stability and mechanical properties.”, *Materials Science and Engineering*, A 273: 622-624 (1999).
33. Bozoklu, M., “Holmiyum trioksit katkılanmış bizmut trioksit polimorflarının sentezlenmesi, karakterizasyonu ve elektriksel özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 118 (2007).
34. Kınıkoğlu, N., “Malzeme bilimi ve mühendisliği”, *Literatür Yayınları*, İstanbul, 900 (2001).
35. Aran, A. And Güleç, S., “Malzeme bilgisi, I”, *İtü Makine Fakültesi Ofset Atölyesi*, İstanbul, 190 (1993).
36. Charles, K., “Katıhal fiziğine giriş”, Bekir Karaoğlu, *Güven Kitap Dağıtım* İstanbul, 116-117 (1996).
37. Nwoye, C. I., Agbo, A. O., Nwogbu, C. C., Neife, S. And Ameh, E. M., “Reliability level of Pb-Sb-Cu alloy electrical resistance dependence on Its melting temperature and copper input concentration”, *Materials Science and Metallurgy Engineering*, 2(1):42-49(2013).
38. Yamashita, M., “Resistivity correction factor for the Four-Probe method”, *J.Phys. E: Sci. Instrum.*, 20: 1454-1456 (1987).
39. Szmukler, S., “Titanium hydride and hydrogen concentration in acid-etched commercially pure titanium and titanium alloy implants”, *Clinical oral implants research*, 21(9): 944-950 (2010).

40. Kissinger, H. E., "Variation of peak temperature with heating rate in differential thermal analysis", *J. Res. Nat. Bur. Stand.*, 57(4): 217-221 (1956).
41. Augis, J. A. And Bennett, J. D., "Calculation of the lattice parameters for heterogeneous solid state reactions using a modification of the kissinger method", *J. Thermal Anal*, 13 (2): 283-292 (1978).
42. Kadioğlu, C., "Alüminyum esaslı ikili alaşımlarda elektriksel iletkenlik ve ısısal iletkenliklerin ölçümü", Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 27 (2010).
43. Burak, G., "CoMnGe_{1-x}Gax sistemlerinin $0 \leq x \leq 0.1$ Bileşmeleri için yapısal, ısısal, manyetik ve manyetokalorik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 11-12, 45 (2010).
44. Gündoğdu, O., "Saf metalik monoparçacıkların faz kararlılığı", Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, 34 (2009).
45. Deevi, S. C., "Diffusional reactions in the combustion synthesis of MoSi₂", *Materials Science and Engineering*, A 149(2): 241-251(1992).
46. Keşlioğlu, K., "Katı-Sıvı arayüzey enerjisinin ölçümü", Doktora Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 57 (2002).
47. Aydoğdu, A. And Adıgüzel, O., "13.Ulusal Elektron Mikroskop Kongresi", Ankara, 674 (1997).
48. Ozgen, S. And Adıguzel, O., "Investigation of the thermoelastic phase transformation in a NiAl alloy by molecular dynamics simulation", *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 65(5):861-865 (2004).
49. Rawlings, R., "Practical physical metallurgy", *University of South Wales*, London, 9-31 (1961).
50. Tekelioğlu, A., "Cu-%24,2Mn alaşımlarının termal ve mekanik özelliklerinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 36 (2009).
51. Aldırmaz, E., Celik, H., Tekelioğlu, A. And Aksoy, İ., "Effects of thermal treatments on mechanical properties of Cu-24,2%Mn alloy", *Journal of Opto Electronics And Advanced Neterials*, 14 (9): 809 (2012).
52. Aygahoğlu, A., "Şekil bellekli alaşımlar ve uygulama alanları", Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya, 98-99 (1996).

53. Pal, P., Majumda, A. K. And Nigam, A.K., “Electrical resistivity in disordered NiMn alloys around the multicritical point”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 341: 65-71 (2013).
54. Bujoreanu, L. G., Stanciu, S., Comaneci, R. I., Meyer, M., Dia, V. And Lohan, C., “Stress-induced martensite to austenite in a Fe-Mn-Si-Cr-Ni shape memory alloy”, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 18 (5-6): 500-505 (2009).
55. Pan, Y.Z., Li, Z., Wang, P., M., Deng, P.,C., Zheng, F. And Li, S. H., “The effect of non-isothermal again on the β phase of Cu-Al-Mn alloy”, *Materials Science and Engineering*, A 467:104-107 (2007).
56. Czigany, Z., Misjak, F., Geszti, O. And Radnozci, G., “Structure and formation in Cu-Mn alloy thin films deposited at room temperature”, *Sciverse Science direct*, 60:3-4 (2012).
57. Isalgue, A., Torra, V., Yawny, A., And Lovey, F. C., “Metastable effects on martensitic transformation in SMA”, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 91(3): 991-998 (2008).
58. Porter, D. A. And Easterling, K. E., “Phase transformations in metals and alloys”, *Pergamon Press*, London, (1989).
59. Kayalı, N., Zengin, R. And Adiguzel, O., “Influence of aging on transformation characteristics in shape memory CuZnAl alloys.”, *Metallurgical and Materials Transactions*, A 31(2): 349-35 (2000).
60. Balo, Ş. N., Ceylan, M. And Aksoy M., “Effects of deformation on the microstructure of a Cu–Al–Be shape memory alloy”, *Materials Science and Engineering*, A 311(1): 151-156 (2001).
61. Dutkiewicz, J., Pons J. And Cesari, E., “Effect of γ precipitates on the martensitic transformation in Cu-Al-Mn alloys”, *Materials Science and Engineering*, A 158(1): 119-128 (1992).
62. Wu, C.Y., Wu, C.T., Lee, W.H., Chang, S.C. And Wang, L.Y., “A study on annealing mechanisms with different manganese contents in Cu- Mn alloy”, *Journal of Alloys and Compounds*, 542:118-123 (2012).
63. Mielczarek, A., Kopp, N. And Riehemann, W., “Ageing effects after heat treatment in Cu-Al-Mn Shape memory alloys”, *Materials Science and Engineering*. A: 182-185 (2009).
64. Mallik, U.S. And Sampath, V., “Effect of composition and ageing on characteristics of Cu-Al-Mn shape memory alloys”, *Material Science and Engineering*, A 478: 48-55 (2008).

65. Sherby, O. D. And Peter, M. B., “Mechanical behavior of crystalline solids at elevated temperature.”, *Progress in Materials Science*, 13: 323-390(1968).
66. Güngüneş, H., “Fe-%24.5Ni-%4.5Si alaşımında austenit ve martensitik faz dönüşümleri üzerine çalışmalar”, Doktora Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 24-27(2005).
67. Bican, O. And Savaşkan, T., “Influence of test conditions on the lubricated friction and wear behaviour of Al-25Zn-3Cu alloy.”, *Tribology letters*,37(2) :175-182 (2010).
68. Demirci, A. H., “Malzeme bilgisi ve malzeme muayenesi”, *Alfa Basım Yayın Dağıtım Şti*, İstanbul,72-94 (2004).
69. Kazanc, S. And Özgen, S., “An investigation of temperature effect on phonon dispersion spectra of Ni by molecular dynamics simulation.”, *Turkish Journal of Physics*, 32(6): 315-322 (2008).
70. Chan, F.S., Yao, Y.D. And Wang, S.H., “Low-temperature electrical resistivity study of deformed Inconel alloy 600”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 304 (1): 464-466 (2006).
71. Jiao, Y., Wen, Y.,Teng, j., Ning, L. And He, J., “Effect of environmental temperature on damping capacityof Cu-Mn alloy”, *Science direct* ,19:616-619 (2009).
72. Yılmaz, R., Vatansever, F. And Uzun, U., “Fe-F3C ikili denge diyagramının bilgisayarla modellenmesi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6 (1):135-141 (2002).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARAKAYA, Nevzat
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 11.10.1973
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (549) 470 56 25
 Faks :
 e-mail : nevzatkk@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	:KTÜ Fizik Öğretmenliği	1996
Lise	:Çanakkale Lisesi	1992

İşDeneyimi

Yıl	Yer	Görev
-----	-----	-------

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Karakaya, N. And Aldırmaz, E. “Research on change of phase transformation temperatures and electrical resistance triggered by heat treatment t of alloy from Cu-Mn system”, *Applied Physics*, A122:542 (2016).
2. Aldırmaz, E., Karakaya, N., Cucu, S. C. And Koyuncuoğlu, E., “Kinetic calculations of phase transformation in magnetic Cu-based alloy”, *International TURCMOS (Turkish Congress on Molecular Spectroscopy)*, Antalya,(2015).
3. Aldırmaz, E., Karakaya, N., Cucu, S. C., Çelik, H. And Koyuncuoğlu, E.,“Investigation on microstructures in shape memory Cu-based alloys”,

International Nanoscience and Nanotechnology for Next Generation (NaNoNG), (2015).

4. Karakaya, N., Aldırmaz, E., Cucu, S. C., Dağ, E. And Koyuncuoğlu, E., “Investigation by X-Ray diffraction of phase transformation in Al-Based alloys”, *20. Yoğun Madde Fiziği Toplantısı*, Ankara (2014).

Hobiler

Tenis, Bilgisayar teknolojileri, Basketbol

