



T.C.
KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

**BOR KATKILI NiMnSb ŞEKİL HAFIZALI
ALAŞIMLARIN ANTİBAKTERİYEL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

ASENA SAVUR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KIRŞEHİR / 2023



T.C.
KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İLERİ TEKNOLOJİLER ANABİLİM DALI

**BOR KATKILI NiMnSb ŞEKİL HAFIZALI
ALAŞIMLARIN ANTİBAKTERİYEL
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Asena SAVUR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Hakan SEPET**

KIRŞEHİR / 2023

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 bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Bu tez, Yüksek Lisans Bursiyeri olarak görev aldığım Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun TÜBİTAK 119M300 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ASENA SAVUR

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi’nin aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.



ÖNSÖZ

Yüksek Lisansa başlamamda ve yüksek lisans ders sürecinde kendisini tanıdığım günden bu yana gösterdiği sakin ve sabırlı hali ile her zaman bana örnek olmasının yanı sıra bir bilim adamının nasıl çalışması gerektiğini kendisinden öğrendiğim değerli danışmanım Doç.Dr.Hakan SEPET'e büyük bir içtenlikle teşekkür ederim. Ayrıca tezin şekillenmesinde ve nihai hale gelmesinde katkıları olan değerli jüri üyelerim Prof.Dr.Mediha KÖK ve Doç.Dr.Levent URTEKİN'e teşekkürlerimi sunarım.

TÜBİTAK 109M300 no lu projelerinde beni bursiyer olarak kabul eden ve destekleyen proje yürütücüsü Prof.Dr.Yıldırım AYDOĞDU ve projede araştırmacı olarak görev yapan Prof.Dr.Ayşe AYDOĞDU'ya ve Doç.Dr.Fethi DAĞDELEN'e, tezimde antibakteriyel deneylerde her türlü imkanı sağlayan Prof.Dr.Sevda KIRBAĞ'a teşekkür ediyorum.

Yüksek Lisansa başlamamda başarısını örnek aldığım ablam Dr. Öğretim Üyesi Ayça AYDOĞDU EMİR'e teşekkür ediyorum.

Tezimi eşim Melih Mert SAVUR'a ithaf ederim.

Ocak, 2023

ASENA SAVUR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİL LİSTESİ	VII
TABLO LİSTESİ.....	IX
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ	X
ÖZET	XI
ABSTRACT	XII
1. GİRİŞ	1
2. ŞEKİL HAFIZALI ALAŞIMLAR VE ANTİBAKTERİYEL ÖZELLİKLER.....	3
2.1. Şekil Hafıza Mekanizması.....	3
2.1.1. Tek Yönlü Şekil Hafıza Olayı	4
2.1.2. Çift Yönlü Şekil Hafıza Olayı	5
2.2. Biyoyumluluk ve Antibakteriyel Özellikler	5
2.2.1. Staphylococcus aureus'un Canlılarda Olumsuz Etkileri.....	5
2.2.2. Escherichia coli'nin Canlılarda Olumsuz Etkileri	6
2.3. Biyoyumlu Metaller	7
2.4. Antibakteriyel Metaller.....	8
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	9
3.1. Şekil Hafızalı Alaşımların Üretim Metotları	9
3.1.1. Toz Metalurjisi Metodu	9
3.1.2. Ark Ergitme Metodu.....	9
3.2. NiMnSbB Şekil Hafızalı Alaşımların Üretimi	10
3.3. X-Işını Analizi (XRD)	12
3.4. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM-EDX)	13
3.5. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri Analizi (DSC)	14
3.6. Antibakteriyel Test	14
4. BULGULAR	15
4.1. NiMnSbB Alaşımlarının SEM-EDX Analizleri	15
4.2. X-Işını (XRD) Analizleri	21
4.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Ölçüm Sonuçları	22
4.4. Antibakteriyel Testler	27

4.4.1. NiMnSbB Alaşımlarında Kullanılan Metallerin Antibakteriyel Testleri	27
4.4.2. NiMnSbB Alaşımlarının Antibakteriyel Testleri.....	30
5. TARTIşMA VE SONUÇ	32
KAYNAKLAR.....	33
ÖZGEÇMİş	36



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Şekil hafızalı alaşımlarda faz geçişlerinin kristalografisi (Acar, 2014)...	3
Şekil 2.2. a) Tek yönlü, b) çift yönlü şekil hafıza olayı ve c) dönüşüm sıcaklıklarının şematik gösterimi.....	4
Şekil 2.3. Staphylococcus aureus elektron mikroskobunda 50000 büyütme görüntüsü (https://tr.wikipedia.org/wiki/Staphylococcus_aureus).....	6
Şekil 2.4. Bir E.coli bakterisi kümesinin elektron mikroskobunda 10.000 kere büyütülmüş görüntüleri (https://tr.wikipedia.org/wiki/Escherichia_coli).....	7
Şekil 3.1. Ark ergitme sistemi ve numune haznesi.....	10
Şekil 3.2. Pelet haline getirilmiş toz numuneler.....	10
Şekil 3.3. Ingot şeklindeki NiMnSbB alaşımlarının görüntüsü.....	11
Şekil 3.4. Mikro metal kesme cihazı.....	11
Şekil 3.5. X-ışınları analizlerinde kullanılan Panalytical Empyrean bilgisayar kontrollü x-ışını difraktometresi	12
Şekil 3.6. Leo Evo-40xVP elektron mikroskobu ve EDX ünitesi.....	13
Şekil 3.7. Perkin Elmer Marka Pyris 6 DSC Diferansiyel Taramalı Kalorimetri.....	14
Şekil 4.1. Ni ₅₀ Mn _{35,8} Sb ₁₁ B _{3,2} alaşımının (a) SEM görüntüsü, b) EDX pikleri.....	16
Şekil 4.2. Ni ₅₀ Mn _{35,6} Sb ₁₁ B _{3,4} alaşımının (a) SEM görüntüsü, b) EDX pikleri	17
Şekil 4.3. Ni ₅₀ Mn _{35,4} Sb ₁₁ B _{3,6} alaşımının (a) SEM görüntüsü, b) EDX pikleri	18
Şekil 4.4. Ni ₅₀ Mn _{35,2} Sb ₁₁ B _{3,8} alaşımının (a) SEM görüntüsü, b) EDX pikleri	19
Şekil 4.5. Ni ₅₀ Mn _{35,0} Sb ₁₁ B _{4,0} alaşımının a) SEM görüntüsü, b) EDX pikleri	20
Şekil 4.6. Alaşımların XRD desenleri	21
Şekil 4.7. C0 numunesinin 2°C-20°C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafikleri.....	23
Şekil 4.8. C1 numunesinin 2°C-20°C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafikleri.....	23
Şekil 4.9. C2 numunesinin 2°C-20°C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafikleri.....	23
Şekil 4.10. C3 numunesinin 2°C-20°C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafikleri.....	24
Şekil 4.11. C4 numunesinin 2°C-20°C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafikleri.....	24
Şekil 4.12. Numunelerin 10 °C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafikleri	24
Şekil 4.13. C0 numunesinin 10 °C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafiği	25
Şekil 4.14. C1 numunesinin 10 °C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafiği	25

Şekil 4.15. C2 numunesinin 10 °C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafiği	25
Şekil 4.16. C3 numunesinin 10 °C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafiği	26
Şekil 4.17. C4 numunesinin 10 °C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafiği	26
Şekil 4.18. Numunelerin faz dönüşüm sıcaklıklarının değişimi	27
Şekil 4.19. a) <i>E.coli</i> ve b) <i>S.aureus</i> bakteri kolonisi içerisine bırakılmış saf metallerin inhibasyon zonlarının görüntüsü	28
Şekil 4.20. a) <i>E.coli</i> ve b) <i>S.aureus</i> bakteri kolonisi içerisine bırakılmış pelet haline getirilmemiş metal tozlarının (Ni1, Mn1, Sb1 ve B1) ve standart antibiyotik diskin inhibasyon zonu değerlerinin karşılaştırılması	29
Şekil 4.21. a) <i>E.coli</i> ve b) <i>S.aureus</i> bakteri kolonisi içerisine bırakılmış pelet haline getirilmiş metal tozlarının (Ni, Mn, Sb ve B) ve standart antibiyotik diskin inhibasyon zonu değerlerinin karşılaştırılması.....	29
Şekil 4.22. a) <i>E.coli</i> ve b) <i>S.aureus</i> bakteri kolonisi içerisine bırakılmış alaşımların inhibasyon zonlarının görüntüsü	30
Şekil 4.23. a) <i>E.coli</i> ve b) <i>S.aureus</i> bakteri kolonisi içerisine bırakılmış alaşımların (Co, C1, C2, C3, C4) ve standart antibiyotik diskin inhibasyon zonu değerlerinin karşılaştırılması.....	31

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1. Elementlerin biyolojik etkilere karşı vücuda vermiş olduğu tepkiler (Balci ve Dagdelen, 2022)	8
Tablo 3.1. Hazırlanan alaşımların atomikçe, kütlece oranları ve ev/a değerleri	11
Tablo 4.1. Numunelerin dönüşüm sıcaklıkları ve entalpi değerleri	27
Tablo 4.2. Saf metallerin <i>E.coli</i> ve <i>S.aureus</i> bakterilerine karşı bulunan inhibasyon zonu değerleri	29
Tablo 4.3. Alaşımların <i>E.coli</i> ve <i>S.aureus</i> bakterilerine karşı bulunan inhibasyon zonu değerleri	31

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
B	: Bor elementi
Mn	: Mangan elementi
Ni	: Nikel elementi
Sb	: Antimon elementi

Kisaltmalar	Açıklama
C0	: Ni ₅₀ Mn _{35.8} Sb ₁₁ B _{3.2} Alaşımı
C1	: Ni ₅₀ Mn _{35.6} Sb ₁₁ B _{3.4} Alaşımı
C2	: Ni ₅₀ Mn _{35.4} Sb ₁₁ B _{3.6} Alaşımı
C3	: Ni ₅₀ Mn _{35.2} Sb ₁₁ B _{3.8} Alaşımı
C4	: Ni ₅₀ Mn _{35.0} Sb ₁₁ B _{4.0} Alaşımı
dak	: dakika
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetri
E.coli	: <i>Escherichia coli</i>
S. aureus	: <i>Staphylococcus aureus</i>
SEM-EDX	: Taramalı Elektron Mikroskobu-Enerji Dağılımlı X ışını Spektroskopisi
XRD	: X Işınları Diffraksiyonu

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BOR KATKILI NiMnSb ŞEKİL HAFIZALI ALAŞIMLARIN
ANTİBAKTERİYEL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Asena SAVUR

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr.Hakan SEPET

Bu çalışmada, $Ni_{50}Mn_{35.8-x}Sb_{11}B_{3.2+x}$ ($x=0.0, 0.2, 0.4, 0.6$ ve 0.8 % at.) kimyasal kompozisyona sahip şekil hafızalı alaşımlar ark ergitme yöntemi ile üretildi ve $Ni_{50}Mn_{35.8}Sb_{11}B_{3.2}$, $Ni_{50}Mn_{35.6}Sb_{11}B_{3.4}$, $Ni_{50}Mn_{35.4}Sb_{11}B_{3.6}$, $Ni_{50}Mn_{35.2}Sb_{11}B_{3.8}$, $Ni_{50}Mn_{35.0}Sb_{11}B_{4.0}$ alaşımlarına sırasıyla C0, C1, C2, C3 ve C4 kodları verildi. Bu şekil hafızalı alaşımların bazı fiziksel özellikleri ve antibakteriyel özellikleri araştırıldı. Taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDX) ölçümlerinde hazırlanan alaşımların homojen bir kimyasal dağılım gösterdiği belirlendi. Oda sıcaklığında X-ışınları alınan alaşımların martensit fazı temsil eden 10M ve 4M mikro yapıya sahip olduğu belirlendi. Alaşımların faz dönüşüm sıcaklıkları, termodinamik parametreleri belirlemek için diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) kullanıldı. Alaşımın Mn oranının azalması ve bor oranının artması ile e/a oranın azaldığı buna bağlı olarak da faz dönüşüm sıcaklıklarının önemli ölçüde azaldığı belirlendi. Ayrıca değişen kimyasal yapıya bağlı olarak faz dönüşümü için gerekli olan entalpi değerlerinde azalma olduğu belirlendi. *Escherichia coli* ve *Staphylococcus aureus* bakterileri ile yapılan çalışmada bu alaşımların bu bakterilere karşı duyarlı olduğu ve mikroorganizmaların gelişimini engelledikleri görüldü.

Ocak 2023, 47 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Şekil Hafızalı Alaşım, NiMnSbB, Antimikrobiyal, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*

ABSTRACT
M.Sc. THESIS

**INVESTIGATION OF ANTIBACTERIAL PROPERTIES OF BORON
DOPED NiMnSb SHAPE MEMORY ALLOYS**

Asena SAVUR

**Kirsehir Ahi Evran University
Graduate School of Sciences and Engineering
Department of Advanced Technologies**

Supervisor: Doç. Dr. Hakan SEPET

In this study, shape memory alloys with chemical composition $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{35.8-x}\text{Sb}_{11}\text{B}_{3.2+x}$ ($x=0.0, 0.2, 0.4, 0.6$ and 0.8 % at.) were produced by arc melting method and $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{35.8}\text{Sb}_{11}\text{B}_{3.2}$, $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{35.6}\text{Sb}_{11}\text{B}_{3.4}$, $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{35.4}\text{Sb}_{11}\text{B}_{3.6}$, $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{35.2}\text{Sb}_{11}\text{B}_{3.8}$, $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{35.0}\text{Sb}_{11}\text{B}_{4.0}$ alloys were assigned the codes C0, C1, C2, C3, and C4, respectively.

Some physical properties and antibacterial properties of these shape memory alloys were investigated. It was determined that the alloys prepared in scanning electron microscopy (SEM-EDX) measurements showed a homogeneous chemical distribution. It was determined that the alloys, which were X-rayed at room temperature, had 10M and 4M microstructures representing the martensite phase. Differential scanning calorimetry (DSC) was used to determine the phase transformation temperatures and thermodynamic parameters of the alloys. It was determined that the e/a ratio decreased with the decrease in the Mn ratio of the alloy and the increase in the boron ratio, and accordingly the phase transformation temperatures decreased significantly. In addition, it was determined that there was a decrease in the enthalpy values required for the phase transformation depending on the changing chemical structure. In the study conducted with *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* bacteria, it was observed that these alloys were sensitive to these bacteria and prevented the growth of microorganisms.

January, 2023, 47 Pages

Keywords: Shape memory alloy, NiMnSbB, Antimicrobial, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*.

1. GİRİŞ

Şekil hafızalı alaşımlar (ŞHA) sıcaklığa karşı duyarlı olan ve şekil değişimine uğrayabilen teknolojik malzemeler sınıfındadır. Bu alaşımlar, kritik bir dönüşüm sıcaklığının üzerinde veya altında iki farklı kristal yapıya sahip olmaktadır. Bu alaşımlar dış bir kuvvet etkisiyle deforme edildiğinde, yüksek sıcaklıklara çıkıldığında deformasyon öncesi şekillerine geri dönerler. Sadece sıcaklık artışıyla eski şeklini hatırlaması durumunda bu alaşımlar "tek yönlü şekil hafızalı" alaşım olarak adlandırılırlar. Şayet, soğutma durumunda eski durumuna dönebiliyorsa bu alaşımlar "iki yönlü şekil hafızalı alaşımlar" olarak tanımlanırlar. Şekil hafıza olayı diffüzyonsuz faz geçişine karşı gelmektedir (Frémond ve Miyazaki, 2014).

Şekil hafızalı faz dönüşümü, ilk olarak 1932 yılında Chang ve Read tarafından anlaşılmış ve daha sonra 1938 de söz konusu yapısal dönüşümün pirinç malzemede de olduğu görülmüştür. 1951 yılında ise AuCd alaşımlı bir çubukta gözlenen şekil hafıza olayından sonra 1962' de Buehler ve arkadaşları tarafından Ni%50Ti alaşımlarında şekil hafıza etkisi gözlemiştir. Bu aşamadan sonra, ŞHA'ların hem ticari kullanımlarına, hem de metalurjik araştırmaları çalışmalarına hız verilmiştir.

Günümüzde yeni teknolojik malzemelerin elde edilmesi ve geliştirilmesi büyük önem kazanmıştır. Bu gelişmeler yeni malzeme üretme yönünde değil, aynı zamanda üretilen bu malzemelere yeni özellikler kazandırma yönündedir. Bu durumda ancak üretilen yeni malzemelerin kullanım alanı genişletmiş olunacaktır. Bu kapsamda oluşan yeni malzeme üretim aşamalarında, ŞHA'lar ilgi odağı haline gelmiştir. ŞHA'ların benzersiz özelliklerini kullanarak daha yoğun, otomatik ve önceden düşünülemez kadar iyi kapasitede makineler üretmek olanak sağlar. Medikal cihazlar, aktüatör ve akıllı yapıların uygulamalarında kullanılan ŞHA'lar son yılların önemli araştırma konularından biridir.

ŞHA'ların makroskobik davranışları iki önemli olgu olarak ayrılabilir. Birincisi lineer olmayan esnek davranış gösteren süper elastiklikdir. Bu fiziksel davranışta, zayıf bir kuvvet uygulanması ile şekil değişimine uğrayan malzeme, kuvvetin malzeme üzerinden kaldırılması ile malzeme kendiliğinden orijinal şekline geri döner. Diğer olgu ise şekil hafıza etkisidir (Baksan, 2006; Malkoç, 2014).

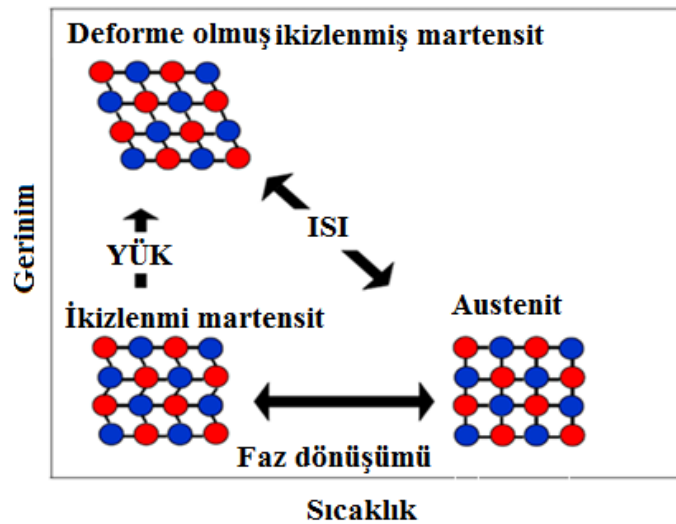
Sıcaklık, zor ve manyetik alana bağlı olarak Şekil hafıza olayı farklı fazlarda meydana gelebilir. Bu fazlar arasında en önemlileri dönüşüm öncesindeki faz olan austenit faz ve diğeri ise krsital yapısı deęiŐmiŐ olan martensit fazdır. Austenit faz ana faz olarak ta tanımlanır, yüksek sıcaklık ya da düşük zor altında kararlı bir fazdır ve tam tersi martensit faz, düşük sıcaklık ya da yüksek zor altında kararlıdır (Dagdelen ve Aydogdu, 2019; Heil, 2005). Martensit faz dönüşümü, austenit fazından martensit fazına difüzyonsuz olarak gerçekleşen atomların ortak hareketidir (Thamburaja ve Nikabdullah, 2009). Bu faz geçişlerinin meydana geldiği biyouyumlu malzemeler olan ŞHA'lar günümüzde yaygın olarak sağlık sektöründe kullanılmaktadır. Bu alaşımların biyouyumluluklarının bilinmesi yanı sıra antibakteriyel özelliklerinin de bilinmesi gerekmektedir (Aydogdu ve diğ., 2022). Ayrıca sağlık sektörüne hizmet veren kurumların laboratuvar veya ameliyathanelerinde kullanılan ana ekipmanlarının antibakteriyel malzemelerden yapılması ile hastane enfeksiyonlarının büyük oranda önleneceği bilinmektedir.

Şekil hafızalı antibakteriyel malzeme elde edilmesi amaçlanan bu kapsamda yapılan çalışmada, NiMn esaslı olarak üretilen NiMnSb alaşımına bor katkılanarak Şekil hafıza özelliğine sahip NiMnSbB alaşımların üretimi yapılarak, bu alaşımların antibakteriyel özellikleri incelenmiŐtir.

2. ŞEKİL HAFIZALI ALAŞIMLAR VE ANTİBAKTERİYEL ÖZELLİKLER

2.1. Şekil Hafıza Mekanizması

Şekil hafızalı alaşımlar kritik bir sıcaklıkta şeklini ve boyutunu geri hatırlamalarından dolayı akıllı malzemeler olarak da adlandırılırlar (Aydoğdu, 1995; Qader ve diğ., 2019). Şekil hafızalı malzemeler, düşük sıcaklıklarda plastik olarak deforme edilip, daha sonra sıcaklıklarının artırılması ile deformasyondan önceki şekillerine geri dönerler (Sharma ve diğ., 2008). Şekil hafızalı alaşımlar Şekil 2.1’ de verildiği gibi iki faza sahiptirler. Yüksek sıcaklık fazı; austenit faz olarak bilinir. Bu faz adını İngiliz metalurjist William Chander Austen’ den almıştır. Diğer faz ise düşük sıcaklık fazı olan Martensit fazdır. Bu fazda ismini Alman metalograf Adolf Martens’ten almıştır. Martensit-austenit ve austenit-martensit faz geçişlerinde austenit başlangıç sıcaklığı A_s olarak, austenit bitiş sıcaklığı A_f olarak ve martensit başlangıç sıcaklığı M_s , martensit bitiş sıcaklığı ise M_f olarak tanımlanır. Sıcaklık ile oluşan faz geçişlerinde meydana gelen dönüşüm sıcaklıkları büyüklükleri genellikle $M_f < M_s < A_s < A_f$ olarak gözlenir. $M_s < T < A_f$ durumunda faz dönüşümü gözlenmemektedir. $M_f < T < A_f$ durumunda ise, martensit ve austenit fazlar bu aralıkta oluşmaktadır (Rahman, 2008).

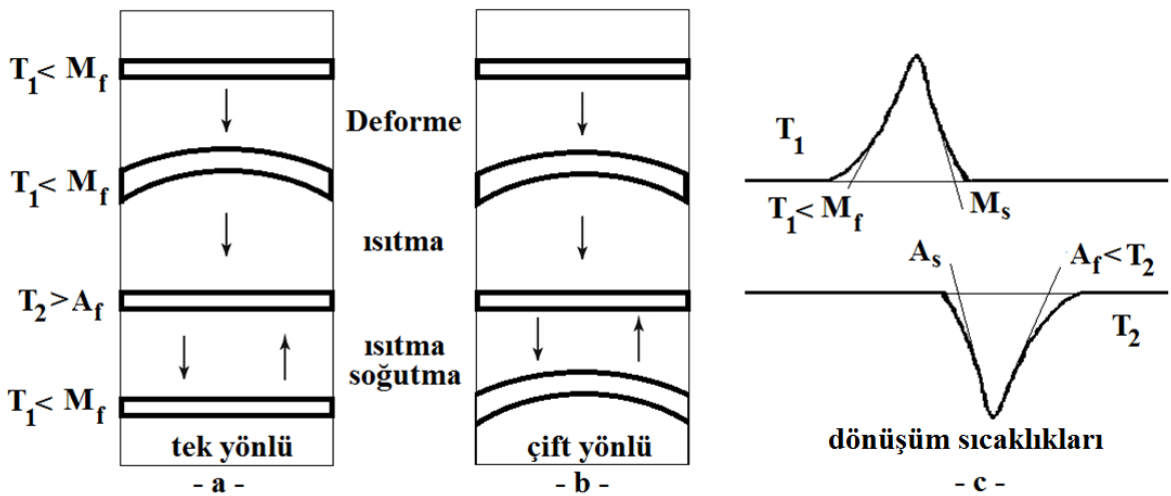


Şekil 2.1. Şekil hafızalı alaşımlarda faz geçişlerinin kristalografisi (Acar, 2014).

2.1.1. Tek Yönlü Şekil Hafıza Olayı

Tek ve çift yönlü şekil hafıza olayı sergileyen alaşımların başlıca özellikleri, kritik bir dönüşüm sıcaklığının altında ve üstünde iki ayrı şekil ve konfigürasyon sergileme özelliğidir (Şekil 2.2.a,b). Kristal yapıdaki değişimler, aynı zamanda boyutlardaki değişimle bağlantılıdır ve alaşım düşük ve yüksek sıcaklık şekillerinin varlığını gösterir (Adıgüzel ve Ceylan, 1988).

Alaşım martensit fazın bitiş sıcaklığının altında bir sıcaklıkta ($T_1 < M_f$) deforme edilince uygulanan zorun kaldırılması durumunda alaşım kendi orijinal durumuna geri dönebilir. Bu alaşım ısıtma sonucunda, sıcaklık kritik bir sıcaklığın üzerine çıkarken kademeli olarak şeklini geri kazanır. Sıcaklığın tekrar düşürülmesi üzerine, numune deforme edilmiş şeklini kazanamaz. Bu mekanizma tek yönlü şekil hafıza olayı olarak bilinir (Friend, 1986). NiTi, TiNb, NiAl, FePt, CuZnSi, CuZnSn, FeMnC gibi birçok alaşım sistemlerinde tek yönlü şekil hafıza olayı gözlenmektedir (Hona, 1986; Malkoç, 2014; Tautzenberger, 1989). Tek yönlü şekil hafıza olayına tersinmez bir olaydır. Austenit fazında bulunan çubuk şeklindeki şekil hafızalı alaşım, sıcaklığın azaltılması ile martensit faza geçer ancak şeklini değiştirmeden kalır. Martensit fazda bulunan çubuk şeklindeki alaşıma bir zor uygulanırsa şekli bozulur. Şekil 2.2.a' de gösterildiği gibi, kavisli bir hal alması durumunda numune yeniden ısıtılırsa austenit fazdaki orijinal çubuk şekline geri döner.



Şekil 2.2. a) Tek yönlü, b) çift yönlü şekil hafıza olayı ve c) dönüşüm sıcaklıklarının şematik gösterimi.

2.1.2. Çift Yönlü Şekil Hafıza Olayı

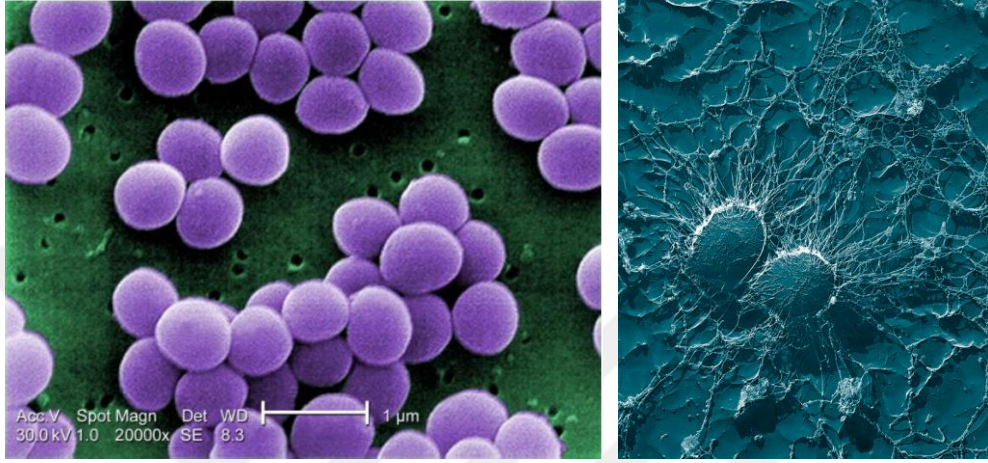
Şekil 2.2.b,c de görüldüğü gibi, alaşım martensit fazın bitiş sıcaklığının altında bir sıcaklıkta ($T_1 < M_f$) deforme edildikten sonra $T_2 > A_f$ sıcaklığında numune tekrar orijinal şekline geri döner. Tek yönlü şekil hafıza olayında numunenin tekrar soğutulması durumunda ($T_1 < M_f$) sıcaklığında deforme edilmiş haline geri dönemez. Halbuki çift yönlü şekil hafıza olayında numune tekrar soğutulması durumunda Şekil 2.2.b de görüldüğü gibi numune deforme edilmiş haline tekrar geri döner. Isıtma-soğutma işlemleri devam ettikçe bu olay tekrarlanır. Dolayısıyla çift yönlü şekil hafıza etkisi alaşımın düşük ya da yüksek sıcaklıktaki şekillerini dışarıdan uygulanacak bir gerilmeye ihtiyaç duymadan hatırlaması olayıdır.

2.2. Biyouyumluluk ve Antibakteriyel Özellikler

2.2.1. Staphylococcus aureus'un Canlılarda Olumsuz Etkileri

Bu çalışmada kullanılan staphylococcus aureus bakterisi, yuvarlak şekile sahip olup gram pozitif ve hareketsizdirler ve spor oluşturmazlar. Yaklaşık $1\mu\text{m}$ çapında fakültatif anaerob bakterilerdir. Fakat aerob şartlarda daha bol ürerler. S. aureus için optimum üreme ısısı $30 - 37\text{ }^\circ\text{C}$ dir. Optimal Ph $7 - 7,5$ 'tur. Bazı suşları kapsül oluşturur. Katı besiyerinde üredikleri zaman birbirine dik iki yüzeyde bölünmeleri sonucu üzüm salkımına benzer kümeler yaparlar. Sıvı besiyerinde ürediklerinde ise kısa zincirler ve diplokoklar oluştururlar. Birçok bakteri $60\text{ }^\circ\text{C}$ de 30 dakikada aktivitesini kaybederken, S. aureus bakterileri ısıya dirençli nükleazları oluşturdukları için dayanıklıdır. Kültürleri $4\text{ }^\circ\text{C}$ de ve oda ısısında tutulduklarında aylarca canlılıklarını korurlar. Bu yüzden; tozda, toprakta, eşya üzerinde insan ve hayvan deri, ağız ve nazofarinks floralarının da yaygın şekilde bulunurlar. Staphylococcus'lara bağlı deri enfeksiyonları insanlarda karşılaşılan Staphylococcus hastalıklarının en sık görülenleridir (Erecevit, 2007). S. aureus özellikle insanlarda birçok enfeksiyon hastalıklarına neden olmaktadır. Bu bakteri türü her koşulda dayanıklı oldukları için doğada yaygın olarak yaşamaktadırlar. Çoğunlukla burun ve boğaz boşluğunda, insan ve hayvan dışkılarında, ciltte apseli yaralarda ve sivilcelerde bulunmaktadırlar. Bu bakteri türü insanlarda enfeksiyon yapan patojen stafilokokların kaynağı yine insanlar olmaktadır. Elle gıda hazırlayanlarda, hastane personeli, hastane ortamlarında ve gıdalarda bulunma olasılığı çok fazladır (Çetin, 2016). Metisilin dirençli S. aureus, ciddi ve tedavisi güç

infeksiyonlar oluşturmaktadır (Gülbandlılar, 2009). Bu bakteriler deri ve yumuşak doku infeksiyonları, bakteriyemi, yara infeksiyonları, gastroentrit, septik artrit, osteomyelit ve endokardit gibi hastalıklara neden olduğu bilinir. *S. aureus* genellikle canlı vücudunda apse şeklinde görülmektedir. Apse merkezi dışarı açılım yapar ise organizmaya kan yolu ile yayılabilmektedir. Dikiş ve damar içi katater gibi yabancı cisimler de infeksiyonlara sebep olabilmektedir (Hoş, 2010).



- a -

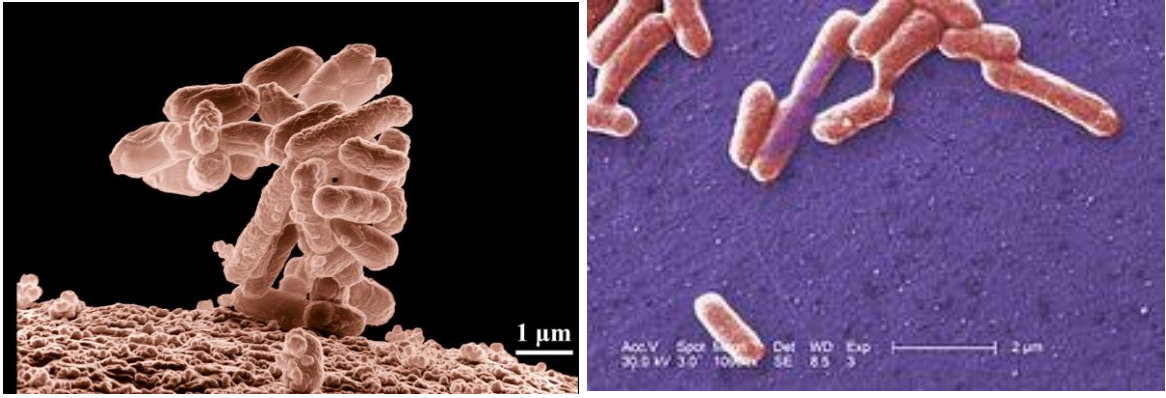
- b -

Şekil 2.3. *Staphylococcus aureus* 'un elektron mikroskobu görüntüsü **a)** 20.000 büyütme, **b)** 50.000 büyütme (https://tr.wikipedia.org/wiki/Staphylococcus_aureus)

2.2.2. *Escherichia coli*'nin Canlılarda Olumsuz Etkileri

E.coli kısaltma adıyla koli basili olarak da adlandırılan *Escherichia coli* Gram (-) olup 2- 6 µm boyunda ve 1,0- 1,5 µm eninde düz, uçları yuvarlak çomakçıklardır. Genellikle etraflarının da bulunan kirpikleri aracılığı ile hareketli olmakla beraber hareketleri yavaştır. Hatta hareketsiz görülebilirler. Spor oluşturmazlar. Fakültatif anaerob olup optimal Ph 7 - 7,2, optimal üreme ısısı 37°C' dir. Isıya fazla dayanıklı değildir. 55°C'ye 1 saat, 60°C'ye 20 dakika dayanıklıdır. İnsan ve sıcakkanlı hayvanların kalın bağırsağında yaşar. Soğuğa karşı dirençli fakat dezenfektanlara karşı dirençsizdir. Bakteriden bakteriye kolayca geçebilen direnç plazmitleri taşıdıklarından duyarlı oldukları kemoterapötiklere direnç kazanabilmektedirler (Erecevit, 2007). *E. coli*, ilk olarak çocuk doktoru olan aynı zamanda bakteri üzerine çalışan Theodor Escherich tarafından bebek dışkılarında keşfedildiğinden dolayı bu adı almıştır. Coli kelimesi ise "kalın bağırsaktan" kaynaklandığını ifade etmektedir. *Escherichia coli*, canlılar da en fazla bilinen bakteri olduğu söylenebilir. Normalde bağırsak florasında bulunan *Escherichia coli* bakterisi konakladığı organizma ile

uyumlu olduğundan normalde hastalık yapmaz. Ancak, bir başka organa veya ortama geçmesi durumunda *Escherichia coli* hastalığa neden olmaktadır. Bazı *Escherichia coli* tipleri buldukları hayvan florasında zararsız olarak bulunmalarına rağmen insana geçtiklerinde hastalık yapmaktadırlar. Bu hastalıklar arasında başlıca ishalleri hastalıklar olmakla beraber idrar yolu infeksiyonları, menenjit, karın zarı iltihaplanması (peritonit), halk arasında bilinen adıyla kan zehirlenmesi (septisemi) ve gram-negatif pnömoni de sayılabilir. *Escherichia coli* dana, tavuk veya başka hayvanlarda da benzer hastalıklara neden olduğu ve hastalık yaptığı görülmüştür (https://tr.wikipedia.org/wiki/Escherichia_coli.)



Şekil 2.4. Bir *E.coli* bakteri kümesinin elektron mikroskopunda 10.000 kez büyütülmüş görüntüleri (https://tr.wikipedia.org/wiki/Escherichia_coli).

2.3. Biyouyumlu Metaller

Biyomalzeme olarak kullanılan implant ya da protezler 7000 yıldan daha da eski bir tarihe dayanmaktadır (Hildebrand, 2013). Antik çağda, yapay olan bir dişi komşu olan diğer dişlere bağlamak için altın teller temel bir iskele olarak kullanılmıştır. 1900'lerin başında ise kemik plakaları; kemik kırıklarını onarmak ve iyileşmelerini hızlandırmak için başarıyla kullanılmıştır. 1950'ler ve 1960'larda, kalça eklemleri ve yapay kalp kapakçıkları kullanılarak; kan damarı uygulamalarında kullanımları yaygın hale gelmiştir. Bir biyomalzeme sınıfı olarak metaller, yük taşıyan implantlar için (eklem ve kalça protezleri gibi) en yaygın olarak bilinen yapı iskelesidir. Örneğin ortopedik ameliyatlardan bazıları metalik implant kullanma seçeneğini elinde ön planda tutar. Bu malzeme grupları; basit teller, vidalar, kırık tespit plakaları, kalça, ayak bilekleri, dizler, omuzlar vb. için birçok eklem protezlerine kadar çeşitlilik gösterir. Dahası kalp damar cerrahisinde, çene cerrahisinde ve diş malzemeleri olarak kullanılan çoğu tıbbi implant uygulamalarında metalik implantlar tercih edilmektedir. Kristal yapıları ve mekaniksel özellikleri metallerin biyouyumlu malzeme olarak kullanılmasında onlara avantaj kazandırırken, sert ya da yüksek

yoğunlukta olmaları kullanımlarını dezavantaja çevirebilir. Tıbbi cihaz uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan metaller ve alaşımlar; paslanmaz çelik (316L SS), titanyum ve alaşımları, kobalt esaslı alaşımlar ve tantal esaslı alaşımlardır (Balci ve Dagdelen, 2022; Balci ve diğ., 2021; Hench, 1982; Hill, 1998; Kawahara ve diğ., 1989; King ve Fries, 2003; Ping, 2014). Bazı temel elementlerin, biyolojik etkilere karşı vücuda vermiş olduğu tepkiler Tablo 1’ de belirtilmiştir (Balci ve Dagdelen, 2022).

Tablo 2.1. Elementlerin biyolojik etkilere karşı vücuda vermiş olduğu tepkiler (Balci ve Dagdelen, 2022).

Element	Biyoyumluluk	Kanserojen	Genotoksik	Mutajenik	Sitotoksik	Alerjenik	Korozyona eğilim
Kobalt	X	✓	✓	✓	↑	✓	✓
Çinko	X	X	X	X	↑	X	X
Tantal	✓	X	X	X	↓	X	X
Niyobyum	✓	X	X	X	↓	X	X
Zirkonyum	✓	X	X	X	↓	X	X
Titanyum	✓	X	X	X	↔	X	X
Vanadyum	✓	✓	✓	✓	↑	?	X
Molibden	X	?	✓	✓	↓	✓	✓
Altın	X	X	X	X	↑	X	X
Gümüş	✓	X	X	X	↑	✓	X
Krom	X	?	✓	✓	↑	✓	X
Platin	X	✓	✓	✓	↑	✓	X
Mangan	X	X	✓	✓	↑	✓	✓
Hafniyum	X	∞	✓	X	↔	X	X
Kalay	∞	X	∞	∞	↓	X	X
	✓		X	X		X	

* Evet (✓), Hayır (X), Yüksek (↑), Orta (↔), Düşük (↓), Belirsiz (∞), Şüpheli (?)

2.4. Antibakteriyel Metaller

Doğada bulunan bazı metallerin iyonları (Ag^{+1} , Cu^{+2} , Zn^{+2} gibi) bakterilerin metabolizmalarına girerek enzimlerini etkisiz hale getirmektedirler. Ayrıca, bazı sistemler ise H_2O_2 (hidrojen peroksit) oluşturarak bakterilerin ölmesine sebep olmaktadır. (Doğan ve diğ., 2001). Metal iyonlarının mikroorganizmalara karşı gösterdikleri direnç sıralaması $Ag > Hg > Cu > Cd > Cr > Pb > Co > Au > Zn > Fe > Mn > Mo > Sn$ şeklinde verilebilir (Doğan ve diğ., 2002). Canlı vücuda karşı zararsız olan ancak bakterilere karşı en dirençli metal olan gümüş metali diğer metallere göre daha yaygın kullanılmaktadır. Buna ek olarak gümüş nitrat klinik ürünlerde en çok kullanılan gümüş bileşiğidir. Gümüş nitrat gümüş iyonlarını en çabuk serbest bırakabilen element olarak bilinir (Zhao ve Stevens, 1998).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Şekil Hafızalı Alaşımların Üretim Metotları

3.1.1. Toz Metalurjisi Metodu

Sıkıştırma bir yük altında serbest yapıdaki metal toz partiküllerinin istenilen şekle dönüştürülmesi için yoğunluk kazandırma işlemi olarak tanımlanabilir. Tozların sıkıştırılmasındaki ana amaç ham yoğunluk ve dayanımın elde edilmesidir. Bu işlem için genellikle hidrolik, mekanik ve pnömatik presler kullanılmaktadır. Preslerin uyguladıkları basınç değerleri 5 ila 700 MPa arasındadır. Preslemeden önce ya da presleme anında tozlar ısıtmaya tabi tutulur. Böylece oksitler, rutubet, karbon, kükürt ve fosfor mümkün mertebe ortamdaki uzaklaştırılmış olur. Ayrıca ısı işlem tozların sertliklerini de azaltır. Böylece tozların sıkıştırılabilme imkânı artar. Sıkıştırılabilme miktarı tavlama sıcaklığı arttıkça, oksijen miktarı azaldıkça artar. Sinterleme, parçacıkların birbirine bağlanmasını sağlayarak önemli ölçüde mukavemet artışına ve özelliklerin iyileşmesine yol açan ısıtma işlemidir. Bu bağlanma, ergime sıcaklığının altında katı halde atom hareketleriyle oluşur. Bazı durumlarda az miktarda sıvı faz oluşumu sinterlemeyi kolaylaştırır. Sinterleme, yüksek sıcaklıklarda atomların yayılımı ve küçük parçacıkların yüzey enerjisinin azalmasıyla gerçekleşir. Toz üretimi malzemeye enerji vererek yüzey alanı veya yüzey enerjisi yaratma işlemidir. Sinterleme ile bu yüzey enerjisi giderilir. Birim hacimdeki yüzey enerjisi parçacık boyutu azaldıkça arttığından küçük boyuttaki parçacıklar daha hızlı sinterlenir.

3.1.2. Ark Ergitme Metodu

Vakum ark ergitme tekniği işlemi metaller arası bileşiklerin ingot metalurjisinde ilgi uyandıran bir işlemdir. İşlem bir pota ile elektrot arasında ark oluşturularak başlatılır. Katılaşma mikroyapısı üzerinde daha geniş kontrol imkanı sağlar. Ayrıca ergitme hızı ve soğutma hızı elektrot ile pota arasındaki ark uzunluğu ayarlanarak değiştirilebilir. Bu teknik alaşımların ergitilmesi için en uygun tekniklerden biridir. Su soğutmalı bir pota kullanılarak elde edilecek alaşımlar ile pota arasında meydana gelen reaksiyonlar en aza indirilebilir.

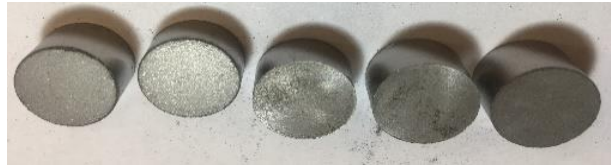


Şekil 3.1. Ark ertitme sistemi ve numune haznesi

3.2. NiMnSbB Şekil Hafızalı Alaşımların Üretimi

Alaşımların üretiminde yukarıda verilen ark ertitme metodu kullanıldı (Şekil 3.1). Satın alınan yüksek saflıktaki (%99.6-99,99) metal tozlarından, Tablo 3.1 de verilen oranlarda elde edilen toz halindeki numuneler, ark ertitme sisteminde vakum esnasında problem yaşanmaması için, 13 mm lik die ler kullanılarak 5-7 ton basınç altında pelet haline getirildiler (Şekil 3.2).

Pelet haline getirilen numunelerden, hizmet alımı yapılarak, ark ertitme sistemi kullanılarak 25 gramlık ingotlar elde edildi (Şekil 3.3). Elde edilen ingot şeklindeki alaşımlar laboratuvarımızda bulunan yüksek sıcaklık fırını kullanılarak yüksek saflıkta (%99.999) argon atmosferi altında 830 °C de 17 saat homojenleştirme işlemine tabi tutularak, tuzlu-buzlu suda ani soğutma uygulandı.



Şekil 3.2. Pelet haline getirilmiş toz numuneler



Şekil 3.3. Ingot şeklindeki NiMnSbB alaşımlarının görüntüsü

Tablo 3.1. Hazırlanan alaşımların atomikçe, kütlece oranları ve e_v/a değerleri

Alaşımlar	(at.%)				(ağ.%)				e_v/a
	Ni	Mn	Sb	B	Ni	Mn	Sb	B	
Ni ₅₀ Mn _{35.8} Sb ₁₁ B _{3.2} (C0)	50	35.8	11	3.2	46,77	31,34	21,34	0,55	8,088
Ni ₅₀ Mn _{35.6} Sb ₁₁ B _{3.4} (C1)	50	35.6	11	3.4	46,83	31,21	21,37	0,59	8,076
Ni ₅₀ Mn _{35.4} Sb ₁₁ B _{3.6} (C2)	50	35.4	11	3.6	46,90	31,08	21,40	0,62	8,064
Ni ₅₀ Mn _{35.2} Sb ₁₁ B _{3.8} (C3)	50	35.2	11	3.8	46,96	30,95	21,43	0,66	8,052
Ni ₅₀ Mn _{35.0} Sb ₁₁ B _{4.0} (C4)	50	35.0	11	4.0	47,03	30,82	21,46	0,69	8,040



Şekil 3.4. Mikro metal kesme cihazı

Ani soğutma yapılan numunelerden, Şekil 3.4 verilen mikro metal kesme cihazı ile DSC, SEM- EDX, XRD ve antibakteriyel ölçümler için parçalar kesildi. Kesme işleminde soğutma sıvısı kullanıldığından numunelerin ısı işleme maruz kalmaması sağlandı. Buna rağmen ölçüm için kesilmiş numuneler yüksek saflıkta argon atmosferi altında tekrar 830 °C de 30 dakika ısı işleme tabi tutulup tuzlu-buzlu suda ani soğutma uygulandı.

3.3. X-Işını Analizi (XRD)

Atomlar ve atom gruplarının belli bir hacimde belli bir düzene sahip olmalarından kristal yapı oluşur. Kristalde X-ışınlarının kırınımına uğraması ile kristal yapının özelliklerinin incelenmesinde olanak sağlamıştır. X-ışınlarıyla, kristal içerisindeki atomların dizilimleri ve atomların oluşturdukları düzlemlere karşı gelen bir takım noktaları veya daireleri incelenmektedir. Bu ışınlar, kısa dalga boylu elektromanyetik ışınımlardır ve tek renkli değildirler.

Günümüzde kullanılan X-ray diffraction ya da X-ışını kırınımı (XRD) cihazları bilgisayar kontrollü olup çok daha hassas bir şekilde analiz yapabilmektedir. Bu çalışmada alaşımların hangi fazlarda oluştuğunu belirlemek için Panalytical Empeyrean bilgisayar kontrollü x-ışını difraktometresi cihazı ile kristal yapı analizi yapıldı (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. X-ışınları analizlerinde kullanılan Panalytical Empeyrean bilgisayar kontrollü x-ışını difraktometresi

3.4. Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi (SEM-EDX)

Elektron mikroskobunun çalışma prensibi yüksek voltaj altında hızlandırılan elektronlar, malzeme yüzeyine çarptırılıp yansıması ilkesine dayanır. Bu yansıyan elektronlar kullanılarak yüzeyin topografisi elde edilir. SEM analizleri için Leo Evo-40xVP model elektron mikroskobu ve EDX analizleri için 125 eV hassasiyete sahip Bruker dedektör ve sinyal işleme ünitesi kullanıldı (Şekil 3.6). EDX analizleri ile üretim ve ısıl işlem sürecinden sonra numunelerde bulunan elementlerin atomik yüzdeleri belirlenerek başlangıç kompozisyonları ile kıyaslandı. Yapılan bu analizler sonucunda, deneysel olarak e/a oranının hesaplandı. Elementel haritalama (element mapping) yapılarak yapıdaki elementlerin dağılımları tespit edildi. EDX analizinde cihazın ölçüm aralığı dışında kaldığı için Bor elementi miktarı tespit edilememiştir.



Şekil 3.6. Leo Evo-40xVP elektron mikroskobu ve EDX ünitesi

3.5. Diferansiyel Taramalı Kalorimetri Analizi (DSC)

Üretilen şekil hafızalı alaşımların dönüşüm sıcaklıkları $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında ölçüm alabilen Perkin Elmer Marka Pyris 6 DSC Diferansiyel Taramalı Kalorimetri cihazı (Şekil 3.7) ile belirlendi. Ölçümler esnasında numunelerin oksitlenmemesi için 100 mL/dakika akış hızında yüksek saflıktaki azot atmosferi sağlandı.



Şekil 3.7. Perkin Elmer Marka Pyris 6 DSC Diferansiyel Taramalı Kalorimetri

3.6. Antibakteriyel Test

Bu çalışmada *Staphylococcus aureus* COWAN 1 ve *Escherichia coli* ATCC 25922 bakterilerini ve kontrol için de standart antibiyotik diskleri kullanıldı. Antibakteriyel etkinin belirlenmesinde Disk-Difüzyon metodu uygulandı (Erecevit, 2007). Bu metotta bakteri suşları, Nutrient Buyyon da aşılansak $35\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ de 24 saat süreyle inkübasyona bırakıldı. Besiyerinde gelişen kültürlerin, MacFarland (0.5) standartta göre bulanıklık ayarı yapıldıktan sonra buyyon tüplerine aktarıldı. Erlende steril edilen ve $45\text{-}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğutulan "Muller Hinton Agar" a buyyondaki kültürleri, %1 oranında aşılansak (10^6 bakteri/ml), iyice karıştırıldıktan sonra 9 cm çapındaki steril petri kutularına 15'er ml kadar konuldu ve homojen bir şekilde dağılması sağlandı. Bu şekilde hazırlanan petri kutuları 4°C 'de 1,5-2 saat bekletildikten sonra bakteri aşılansak plaklar $37\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat inkübasyona bırakıldı. Belirtilen süre sonunda inhibisyon zonları mm olarak ölçüldü. Kontrol için standart antibiyotik disklerden kullanıldı.

4. BULGULAR

4.1. NiMnSbB Alaşımlarının SEM-EDX Analizleri

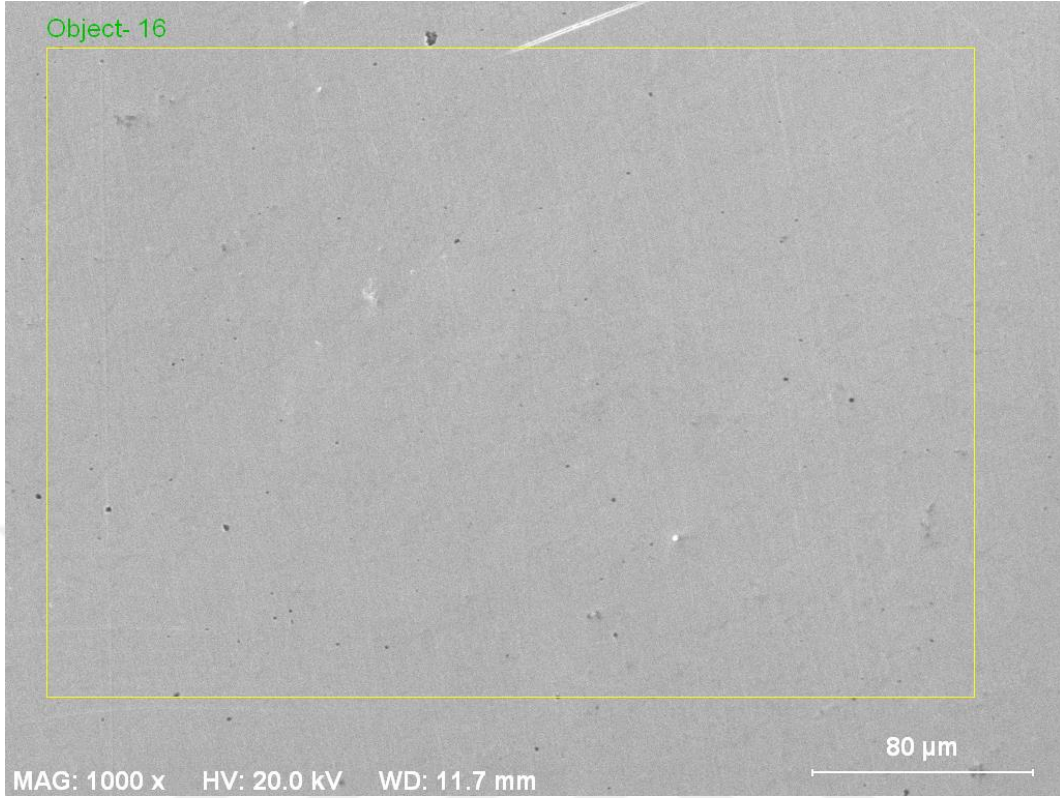
Farklı elektron konsantrasyonlarına sahip olan şHA'ların metalografik gözlemleri ve kimyasal analizleri, SEM-EDX ölçüm cihazı ile tüm yüzeyler için yapıldı. Elde edilen sonuçlar detaylı olarak bu bölümde incelendi. $Ni_{50}Mn_{35.8}Sb_{11}B_{3.2}$ alaşımının tüm yüzeyinden elde edilen SEM-EDX sonuçları şekil 4.1.a ve b'de verildi. şekil 4.1.a'da 1000 büyütme (1000X) tüm yüzeyden alınan SEM görüntüsü verildi. Oda sıcaklığında alınan SEM görüntüsü incelendiğinde martensit plakalara rastlanmazken alaşımın homojen olarak meydana geldiği, çökelti fazlarının oluşmadığı görülmektedir. Ayrıca tüm yüzeyden alınan EDX sonuçları (şekil 4.1.b) incelenirse hedeflenen $Ni_{50}Mn_{35.8}Sb_{11}B_{3.2}$ alaşımına yakın sonuç gözlenmektedir.

$Ni_{50}Mn_{35.6}Sb_{11}B_{3.4}$ alaşımının tüm yüzeyinden elde edilen SEM-EDX sonuçları şekil 4.2.a-b'de verildi. şekil 4.2.a'da 1000 büyütme (1000X) tüm yüzeyden oda sıcaklığında alınan SEM görüntüsü ve EDX sonuçları verildi. Bu alaşımın da homojen olarak katılaştığı ve martensit plakalara oluşmadığı söylenebilir. $Ni_{50}Mn_{35.6}Sb_{11}B_{3.4}$ alaşımına da hazırlanan alaşıma yakın kompozisyona sahip olduğu söylenebilir.

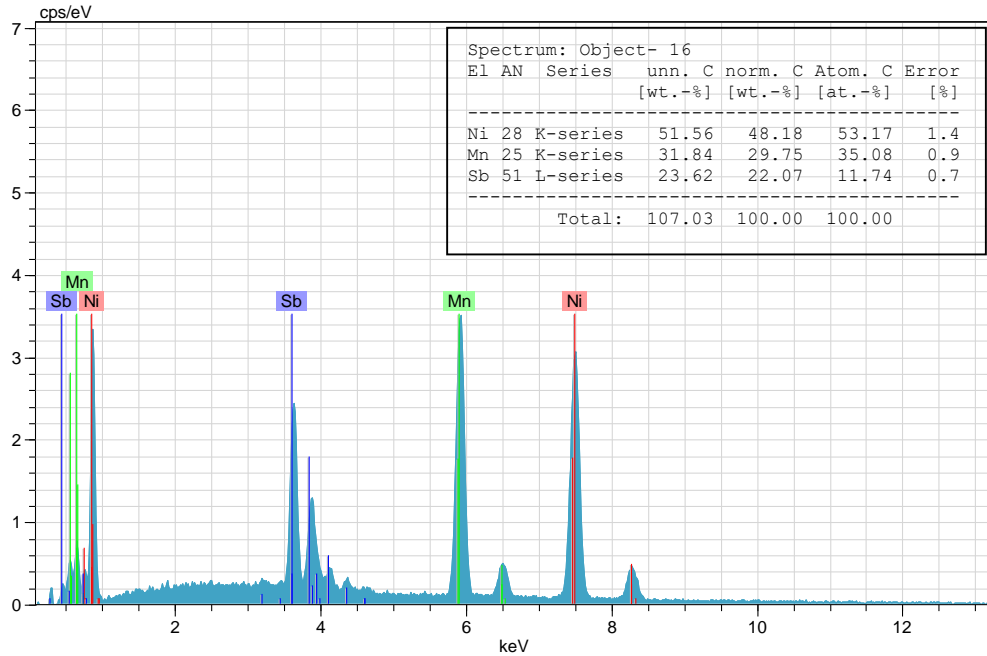
$Ni_{50}Mn_{35.4}Sb_{11}B_{3.6}$ alaşımının tüm yüzeyinden elde edilen SEM-EDX sonuçları şekil 4.3.a-b'de verildi. şekil 4.3.a'da 1000 büyütme tüm yüzeyden alınan SEM görüntüsü oda sıcaklığındadır. Object 18 EDX tablosu da verildi. Alaşımın homojen katılaştığı ve martensit plakaların oluşmadığı görülmektedir. Ayrıca şekil 4.3.b EDX piklerinde alaşımı oluşturan elementlerin piklerinden oluştuğu söylenebilir.

şekil 4.4.a-b'de ise $Ni_{50}Mn_{35.2}Sb_{11}B_{3.8}$ alaşımının tüm yüzeyinden elde edilen SEM-EDX sonuçları görülmektedir. şekil 4.4.a'da tüm yüzeyden alınan SEM görüntüsü verildi. Alaşımın martensit plakalarının belirginleşmediği ifade edilebilir. Ayrıca şekil 4.4.b EDX piklerinde alaşımı oluşturan elementlerin piklerinden oluştuğu söylenebilir.

$Ni_{50}Mn_{35.0}Sb_{11}B_{4.0}$ alaşımının tüm yüzeyinden elde edilen SEM-EDX sonuçları şekil 4.5.a ve b'de verildi. şekil 4.5.a'da tüm yüzeyden alınan 1000 büyütme SEM görüntüsü görülmektedir. Oda sıcaklığında alınan SEM görüntüsü incelendiğinde martensit plakalara rastlanmazken alaşımın homojen olarak meydana geldiği, çökelti fazlarının oluşmadığı görülmektedir. Ayrıca tüm yüzeyden alınan EDX sonuçları (şekil 4.5.b) incelenirse alaşımın kompozisyonunun istenilen oranda sağlandığı söylenebilir.

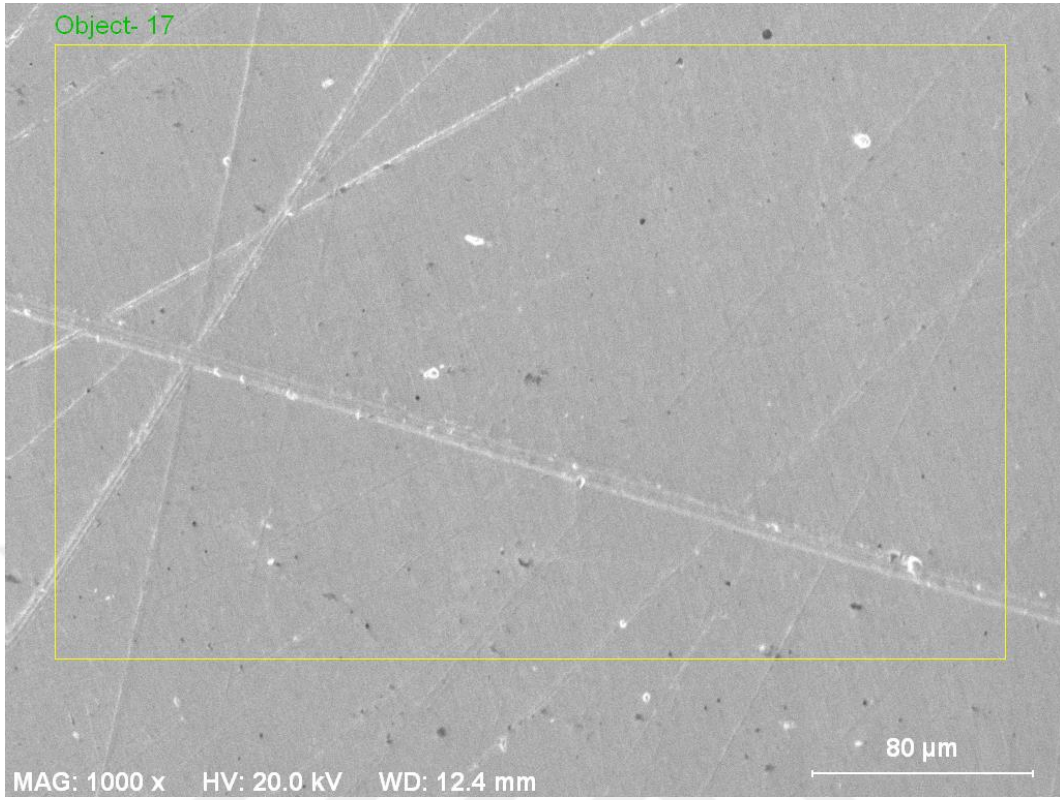


- a -

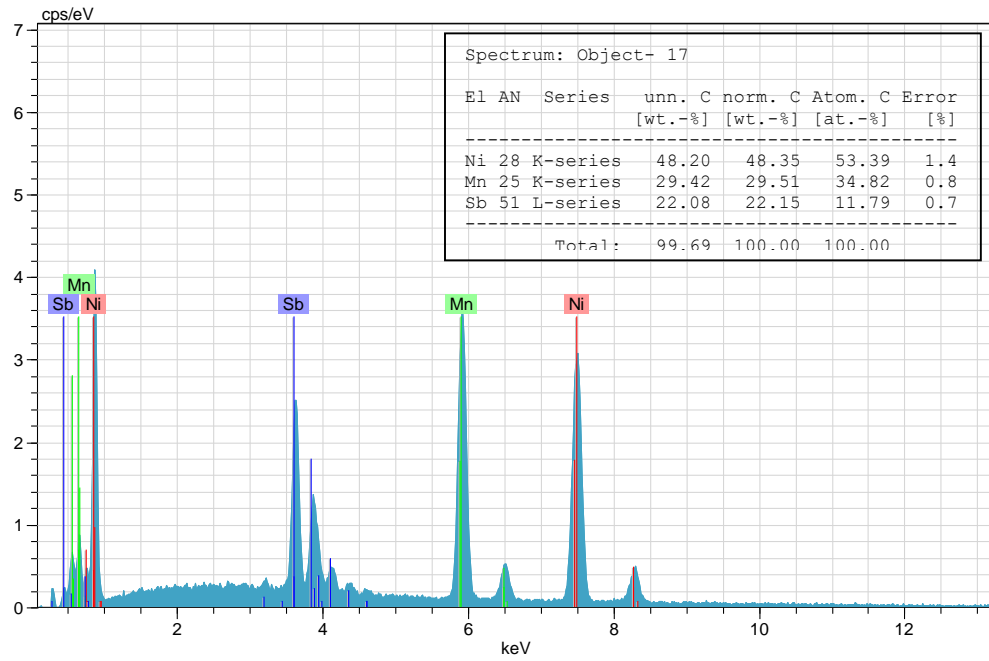


- b -

Şekil 4.1. $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{35.8}\text{Sb}_{11}\text{B}_{3.2}$ alaşımının (a) SEM görüntüsü, b) EDX pikleri.

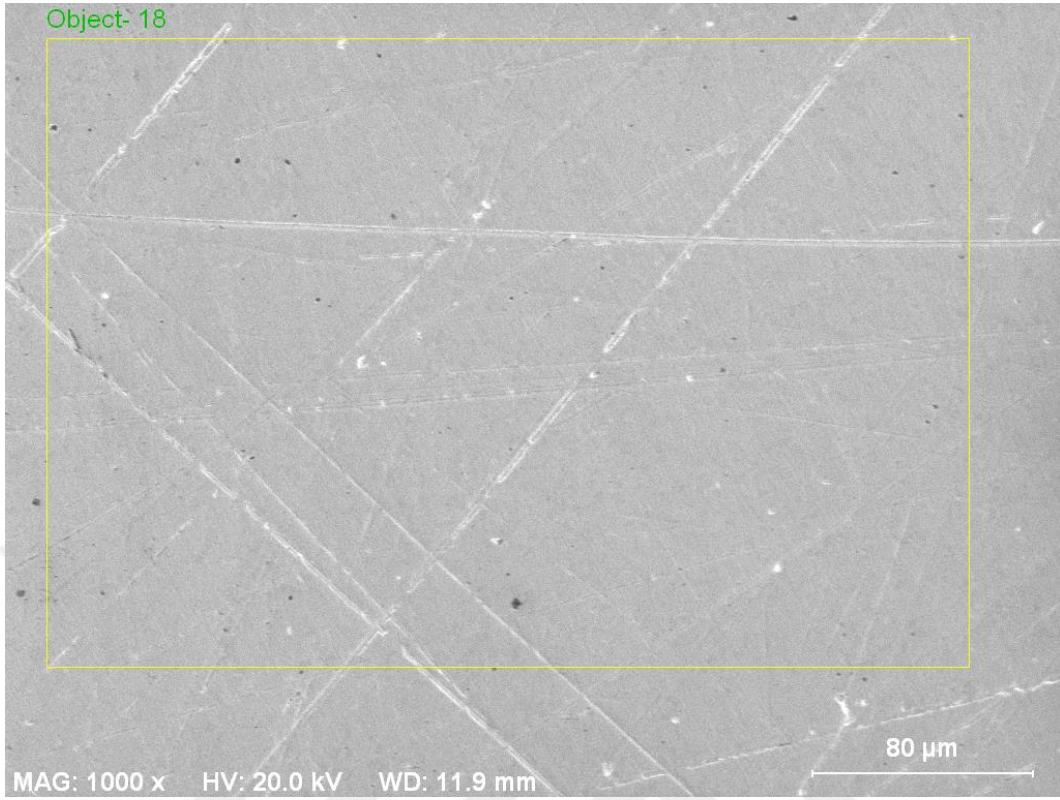


- a -

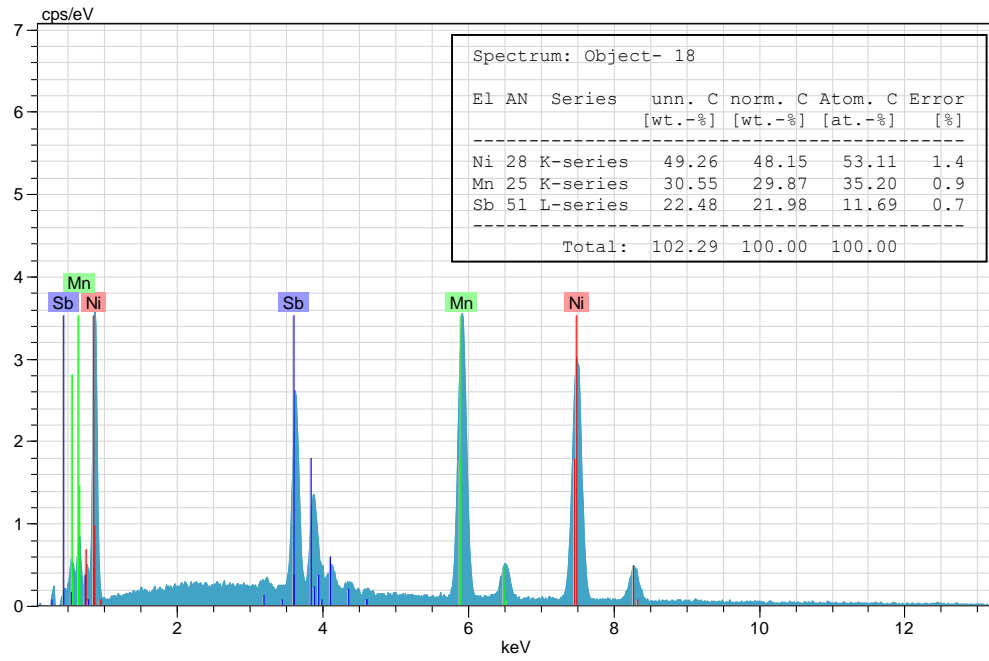


- b -

Şekil 4.2. $Ni_{50}Mn_{35.6}Sb_{11}B_{3.4}$ alaşımının (a) SEM görüntüsü, b) EDX pikleri

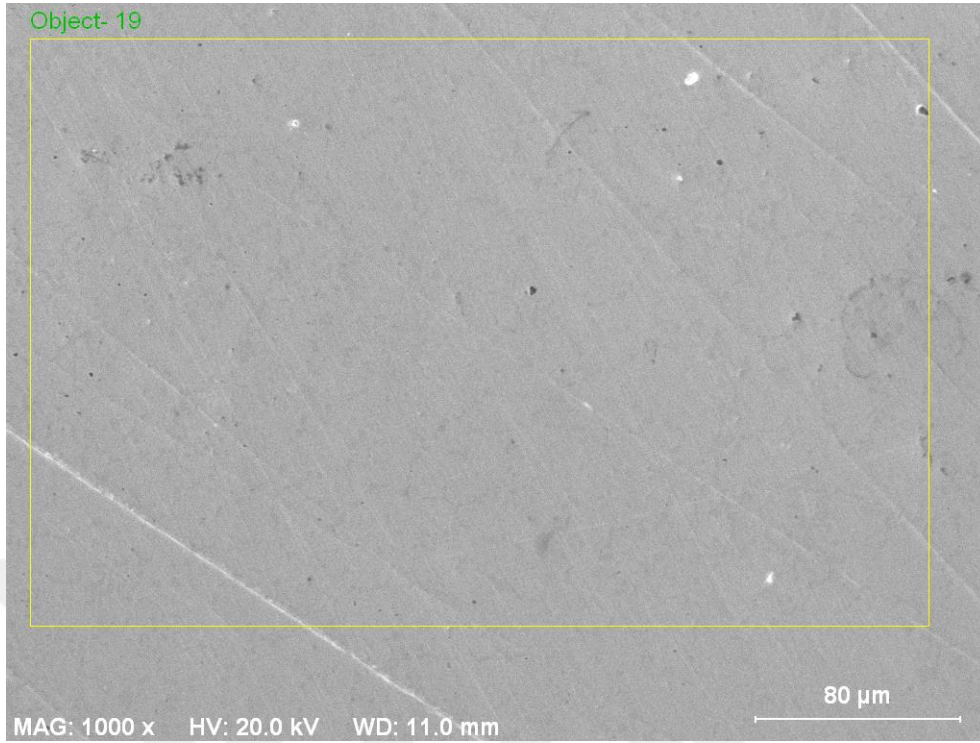


- a -

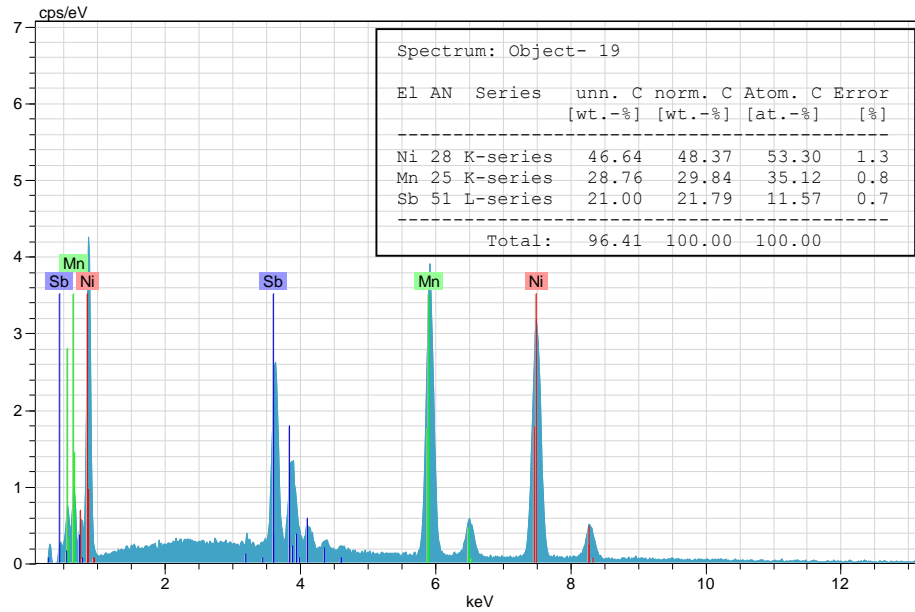


- b -

Şekil 4.3. $Ni_{50}Mn_{35.4}Sb_{11}B_{3.6}$ alaşımının (a) SEM görüntüsü, b) EDX pikleri

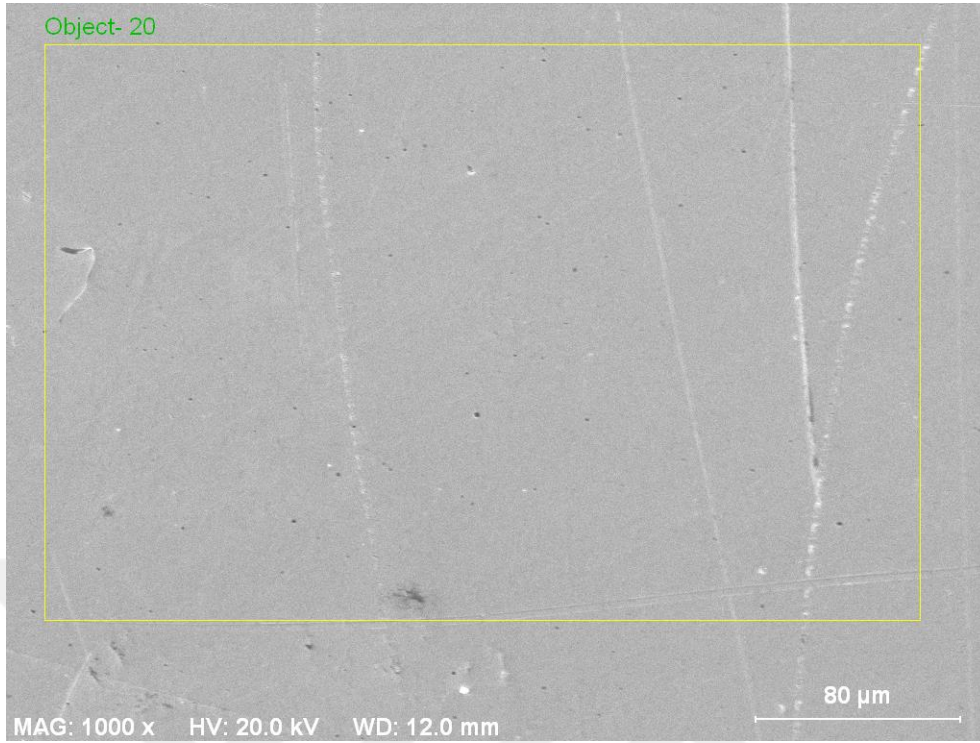


- a -

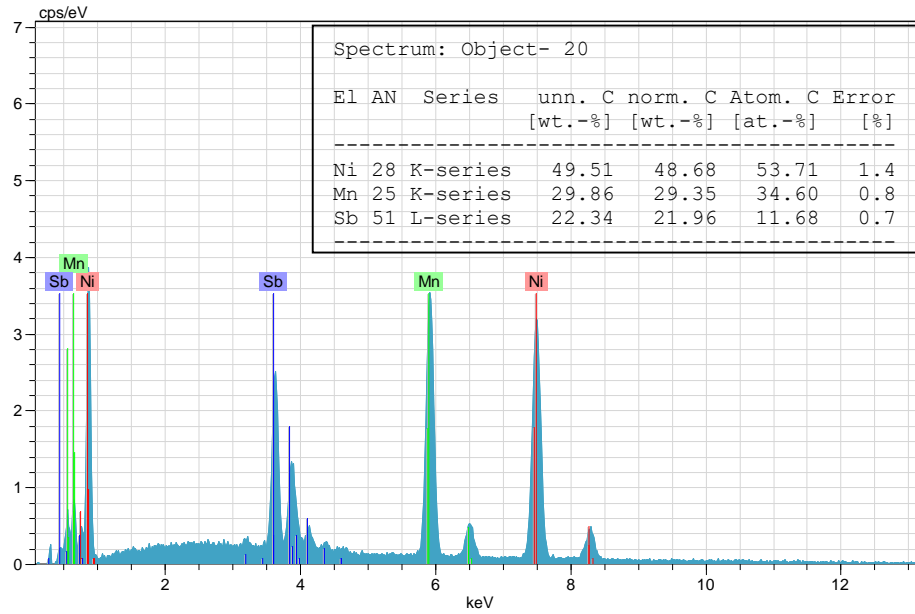


- b -

Şekil 4.4. $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{35.2}\text{Sb}_{11}\text{B}_{3.8}$ alaşımının (a) SEM görüntüsü, b) EDX pikleri



- a -

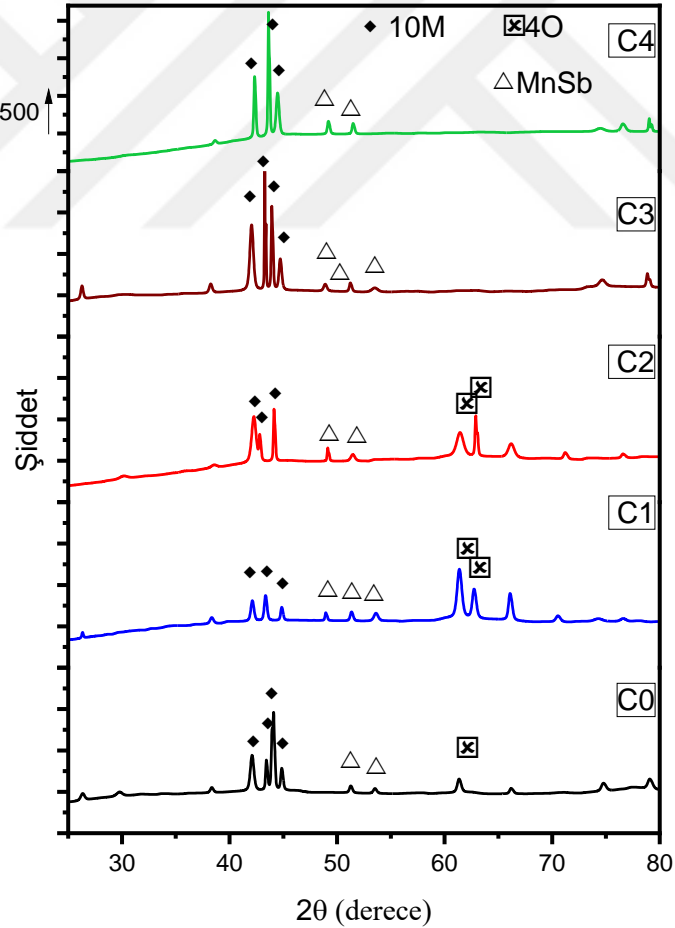


- b -

Şekil 4.5. $Ni_{50}Mn_{35.0}Sb_{11}B_{4.0}$ alaşımının a) SEM görüntüsü, b) EDX pikleri

4.2. X-Işını (XRD) Analizleri

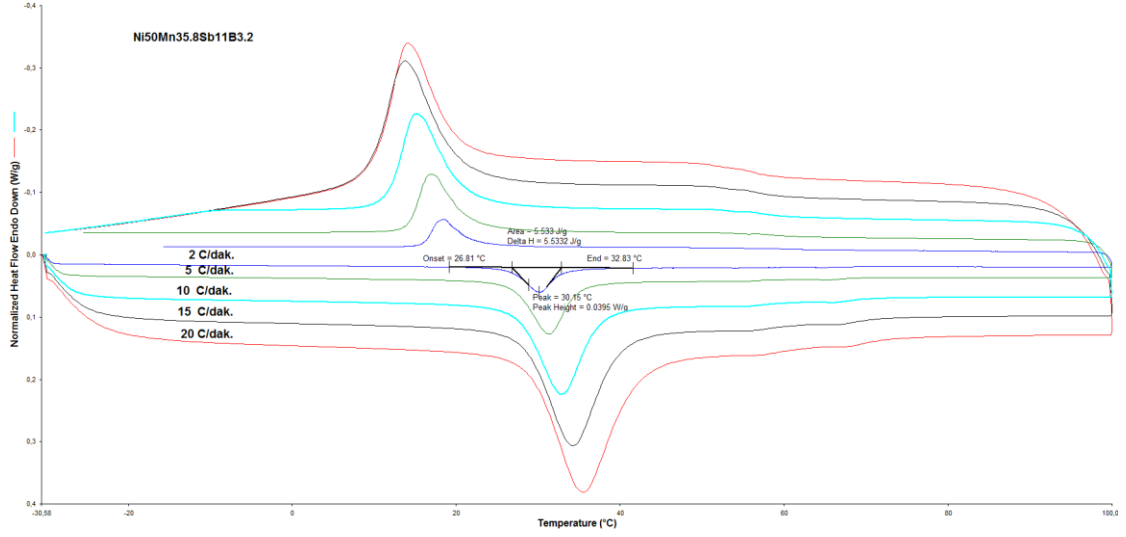
Şekil 4.6'da C0-C4 alaşımlarının oda sıcaklığında 20-80° aralığında 2°/dk. tarama hızı ile alınan X-ışınları difraktogramları verilmiştir. Oda sıcaklığında X-ışınları alınan alaşımlarının neredeyse tamamen martensitik mikro yapıya sahip olduğu görülmektedir. Alaşımında hepsinde 10M ve 4O ortorombik (martensit) yapıları mevcuttur (Dagdelen, ve diğ. , 2022; Zheng ve diğ., 2013). Özellikle 40-46° arasında iç içe geçmiş ortorombik 10M martensit yapıları belirgindir. Ayrıca, C0, C1 ve C3 numunelerinde ortorombik 4O martensit yapıları da görülmektedir (Coll ve diğ., 2010). 10M martensit piklerinin şiddetleri C3 ve C4 numunelerinde arttığı görülmektedir. Piklerdeki bu değişimlerin alaşımın kompozisyonundaki element miktarlarının değişmesinden kaynaklandığı bilinmektedir (Zheng ve diğ., 2013). Alaşımlarda 49, 51, 53° de gözlenen piklerin MnSb fazına ait olduğu söylenebilir (Topel ve diğ., 2020).



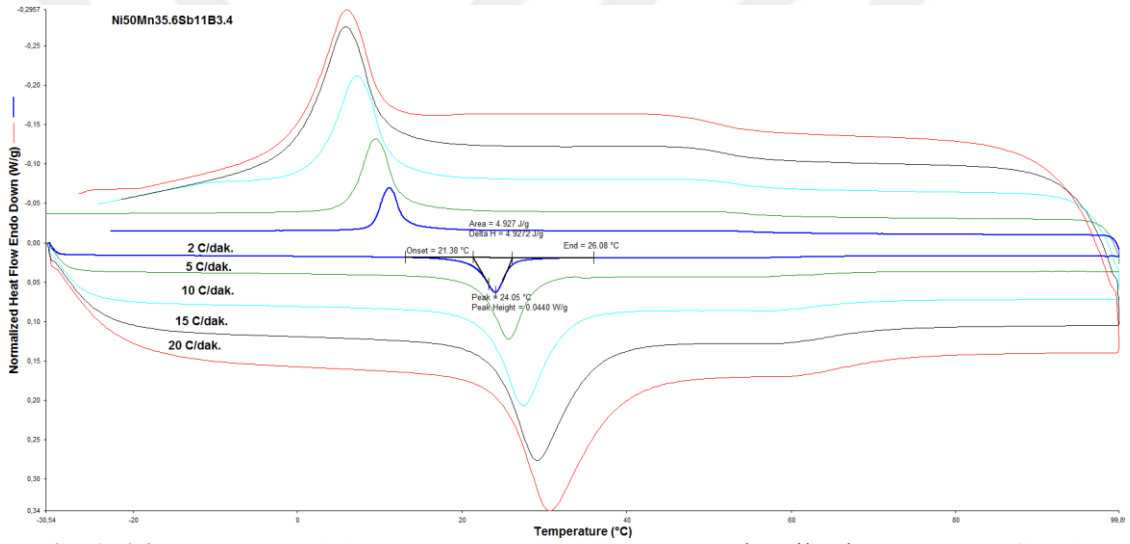
Şekil 4.6. Alaşımların XRD desenleri

4.3. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre (DSC) Ölçüm Sonuçları

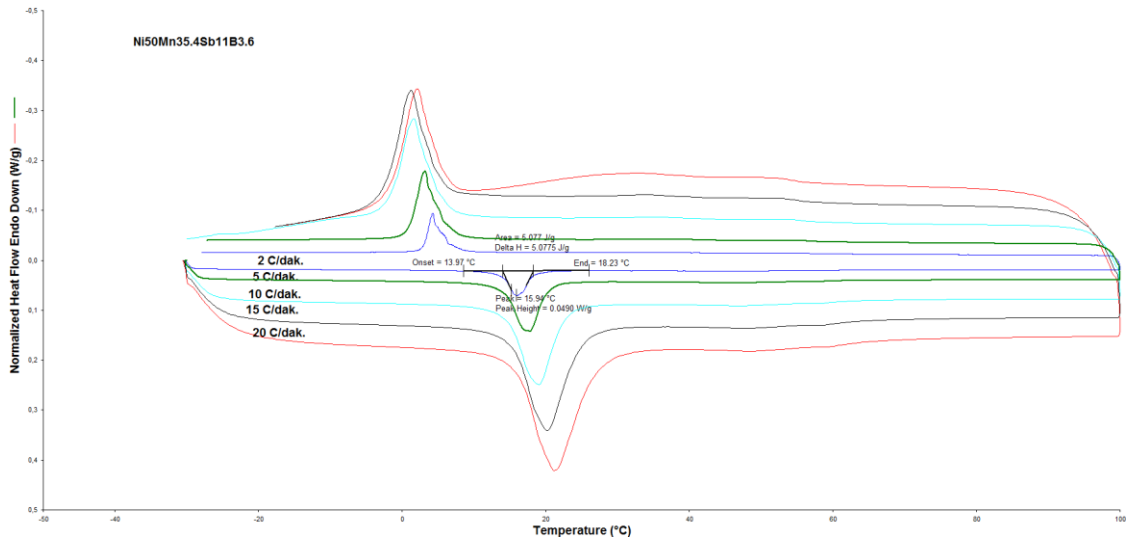
C0-C4 olarak kodlanan alaşımların 2, 5, 10, 15 ve 20 °C/dak tarama hızlarında alınan DSC analizi sonucunda elde edilen DSC eğrileri cihazın orijinal programı çıktısı olarak Şekil 4.7-11 de verilmiştir. Elde edilen piklerdeki M_s (martensit fazın başlama sıcaklığı), M_f (martensit fazın bitiş sıcaklığı), A_s (austenite fazın başlama sıcaklığı) ve A_f (austenite fazın bitiş sıcaklığı) dönüşüm sıcaklıkları belirlendi ve Tablo 4.1. de verildi. $Ni_{50}Mn_{(35.2-x)}Sb_{11}B_{(3.8+x)}$ ($x=0.2, 0.4, 0.6$ ve 0.8 % at.) alaşımlarında tek adımlı martensit faz dönüşümü gözlenmiştir. Şekil 4.12’de 10 °C/dak ısıtma soğutma oranlarına bağlı tüm alaşımların faz dönüşüm eğrileri karşılaştırmalı verildi. Ayrıca faz dönüşüm sıcaklıklarını daha detaylı inceleyebilmek için 10 °C/dak ısıtma soğutma oranlarında alınan DSC eğrileri Şekil 4.13-17 ayrı ayrı verildi. Elde edilen NiMnSbB alaşımlarında, azalan Mn elementinin miktarı kadar eklenen Bor elementi sonucunda, alaşımların dönüşüm sıcaklıklarının (A_s , A_f , M_s ve M_f) önemli derecede azaldığı görülmüştür. Şekil 4.18 de verilen grafikte de görüldüğü gibi alaşımda Mn oranının azalması ve bor miktarının artması faz dönüşüm sıcaklıklarını önemli ölçüde azaltmıştır. Faz dönüşüm sıcaklıklarının negatif değerlere düşmesine neden olmuştur. NiMn bazlı şekil hafızalı alaşımlarla yapılan birçok çalışmada faz dönüşüm sıcaklıkları 100 °C nin üzerindedir. Aydoğdu ve diğ. yaptığı bir çalışmada NiMnGa alaşımının dönüşüm sıcaklıklarını $A_s=121.4$ °C, $A_f=132.4$ °C, $M_s=117.9$ °C ve $M_f=106.5$ °C olarak tespit ettiler(Aydogdu ve diğ., 2014). Kök ve Aydogdu yaptığı bir çalışmada NiMnGa alaşımına ısıtma işlem etkileri incelenmiş 1000C de 2 saat ısıtma işleminden sonra alaşımın dönüşüm sıcaklıklarının $A_s=107.9$ °C, $A_f=118.4$ °C, $M_s=112.3$ °C ve $M_f=99.7.5$ °C olduğu belirlenmiştir(Kök ve Aydogdu, 2012). Faz geçiş sıcaklıklarının değişimi genellikle atom başına değerlik elektronlarının sayısına (e/a) ve austenit fazının birim hücre hacmine bağlıdır. Faz geçiş sıcaklığı genellikle e/a ile doğru orantılıdır. e/a etkisi bant modeli açısından incelenirse: L21 kristal yapılı austenit, Fermi yüzeyi (110) Brillouin bölgesine tam değdiği için stabilize olmuştur. Artan e/a ile Fermi yüzeyi ve (110) Brillouin bölgesi örtüşür ve sonuç olarak, sistem enerjisindeki aşırı artış, serbest enerjiyi, yani martensit oluşumunu en aza indirmek için kafes bozulmasına yol açar (Kırat, 2021). Faz geçiş sıcaklıklarını etkileyen ikinci faktör, atom boyutu etkisidir. Austenit fazın yüksek sıcaklıkta birim hücre büzülmesinin, Fermi yüzeyi ile Brillouin bölgesi arasındaki nispi konumlardaki değişiklikler nedeniyle martensitik dönüşümü destekleyeceği yaygın olarak kabul edilmektedir. Sonuç olarak, Mn oranının azalması e/a oranını azaltır, dolayısıyla faz geçiş sıcaklığında azalmasına neden olur (Zheng ve diğ., 2013).



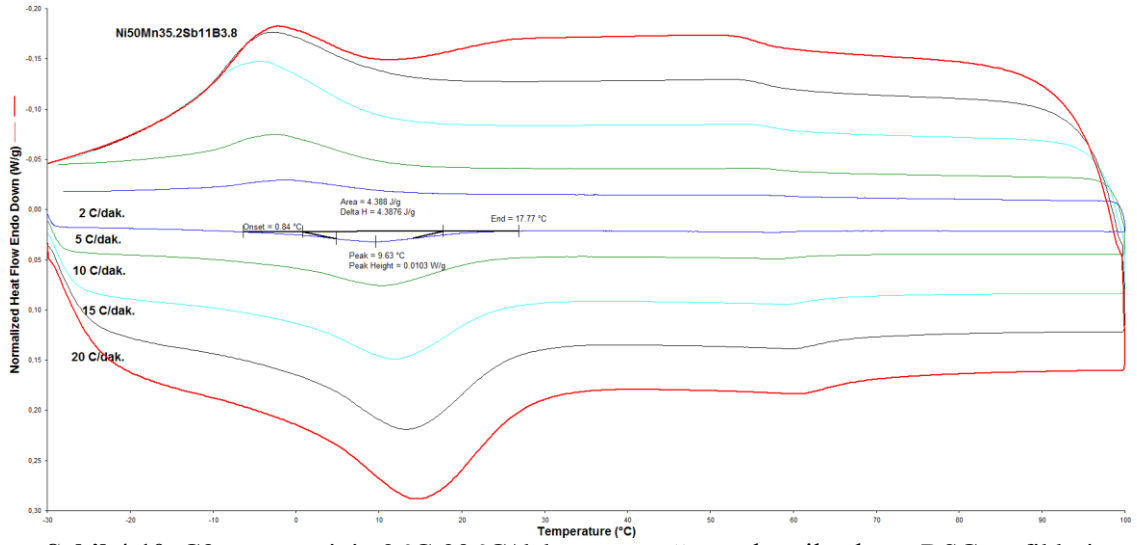
Şekil 4.7. C0 numunesinin 2 °C-20 °C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafikleri



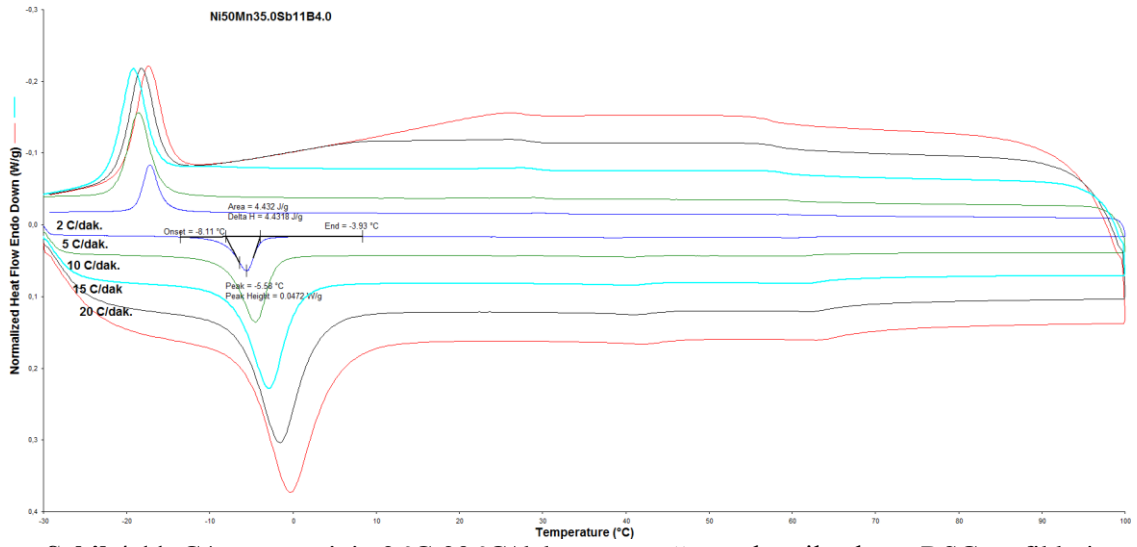
Şekil 4.8. C1 numunesinin 2 °C-20 °C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafikleri



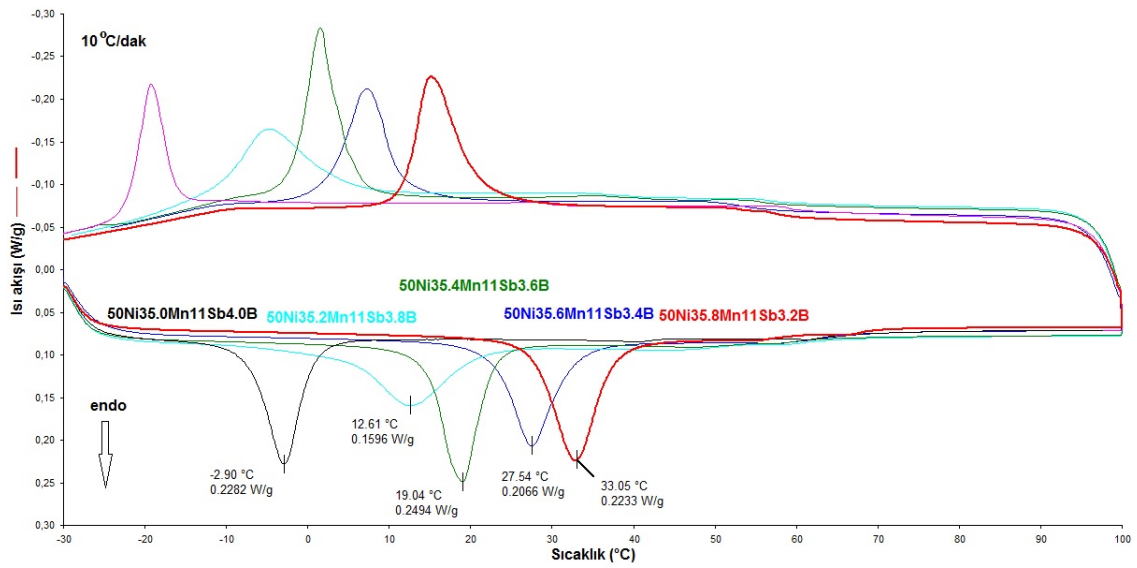
Şekil 4.9. C2 numunesinin 2 °C-20 °C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafikleri



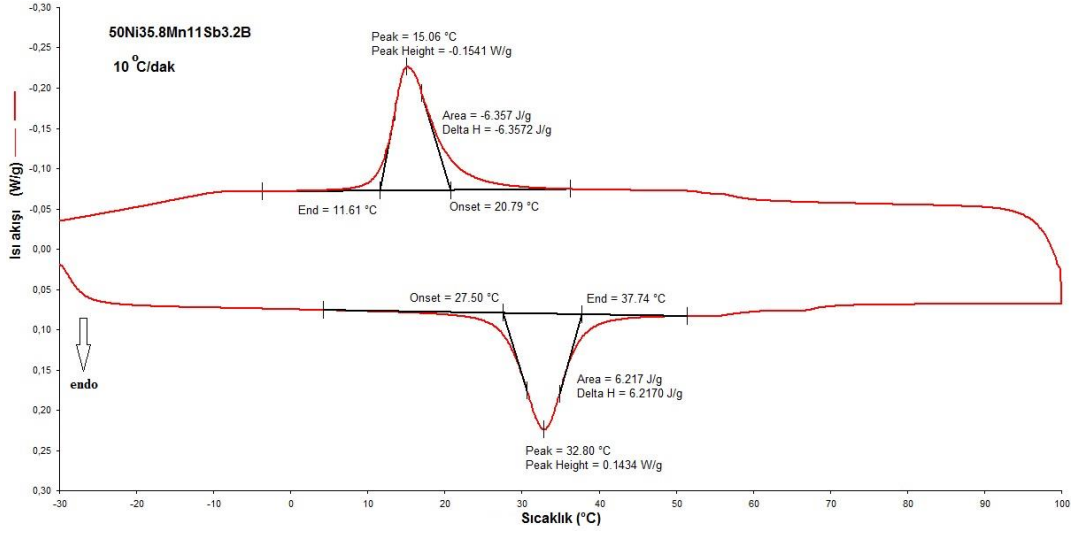
Şekil 4.10. C3 numunesinin 2 °C-20 °C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafikleri



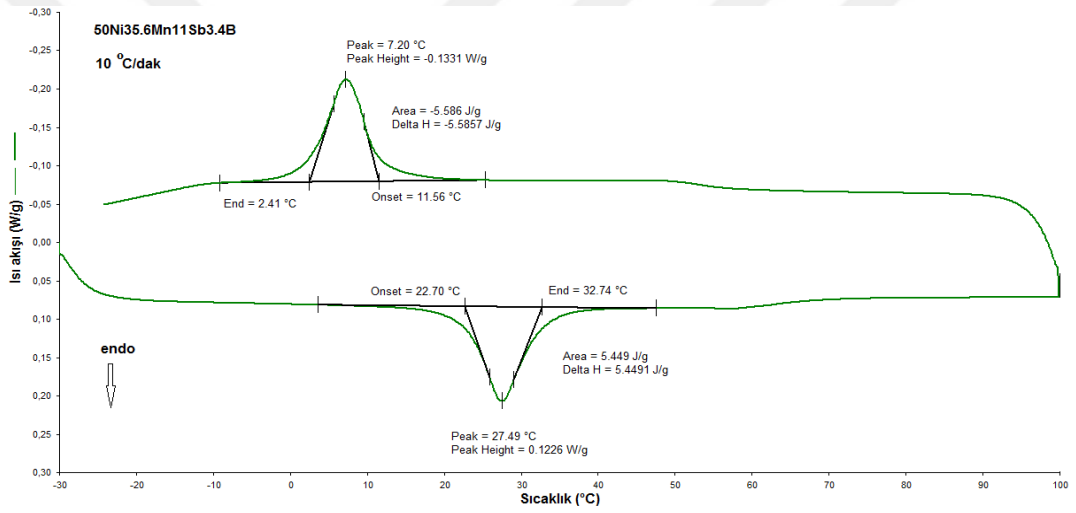
Şekil 4.11. C4 numunesinin 2 °C-20 °C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafikleri



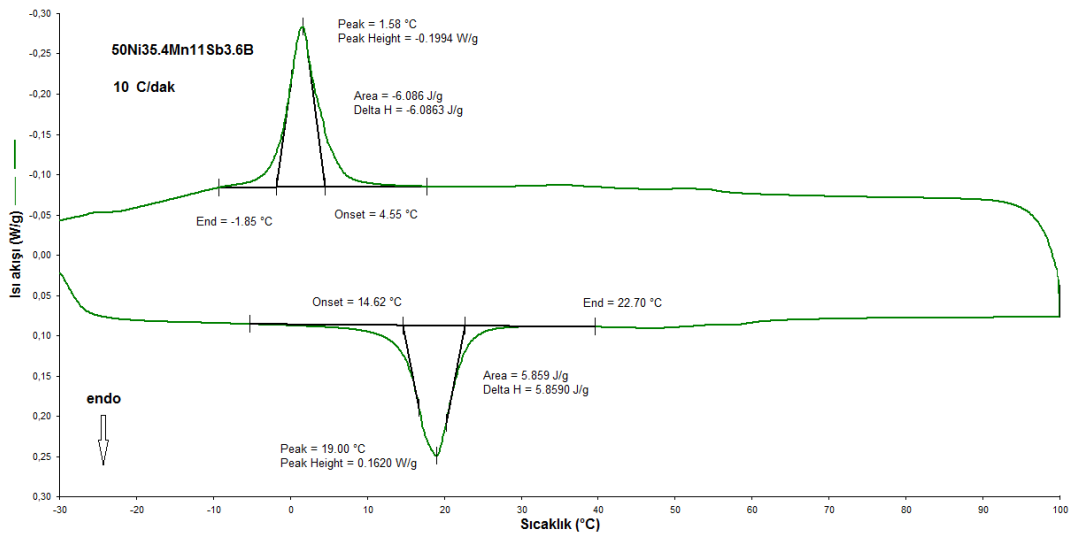
Şekil 4.12. Numunelerin 10 °C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafikleri



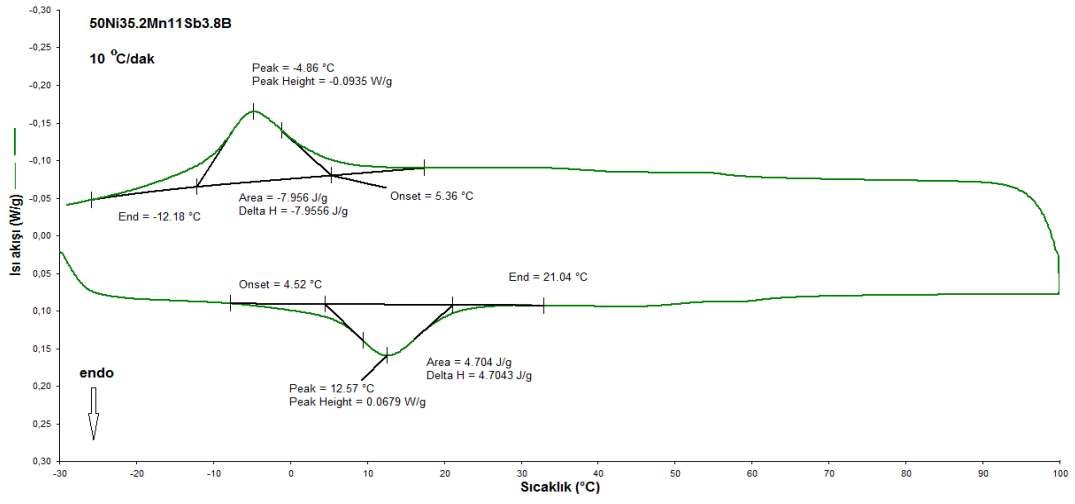
Şekil 4.13. C0 numunesinin 10 °C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafiği



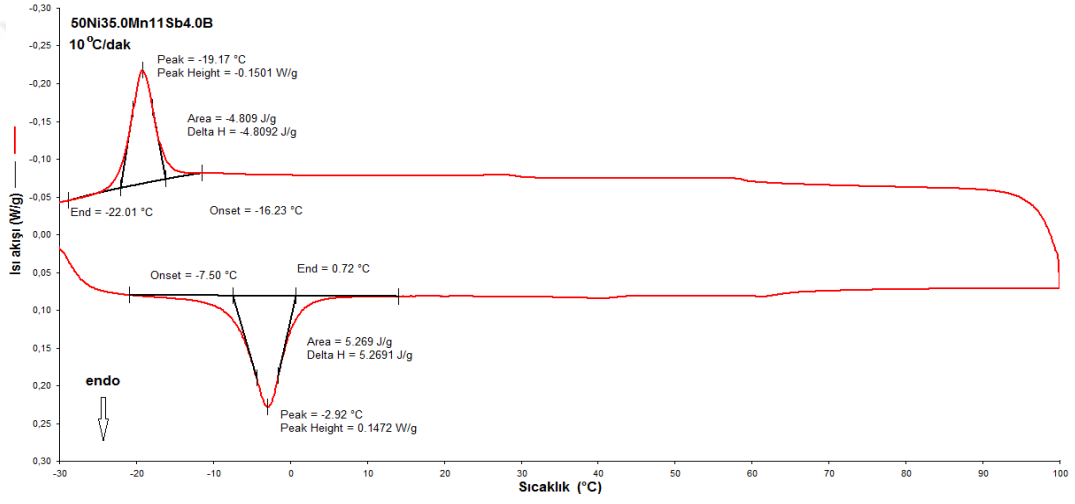
Şekil 4.14. C1 numunesinin 10 °C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafiği



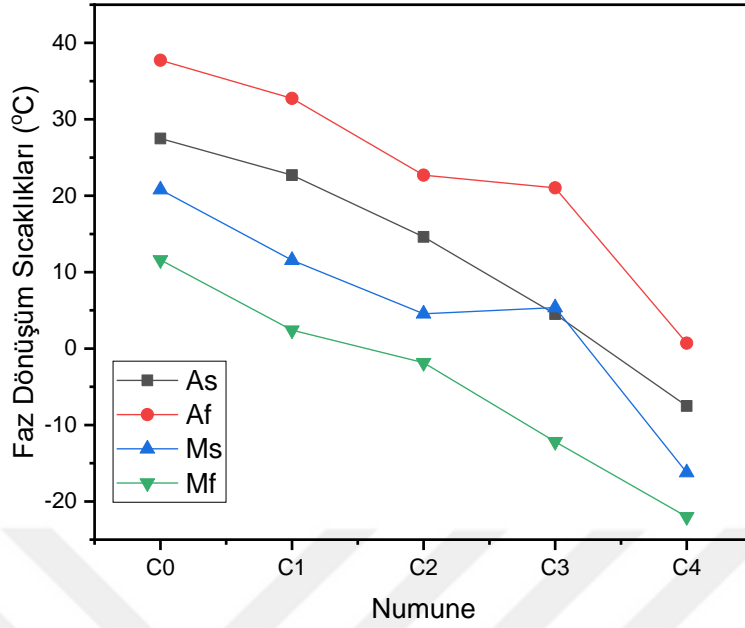
Şekil 4.15. C2 numunesinin 10 °C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafiği



Şekil 4.16. C3 numunesinin 10 °C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafiği



Şekil 4.17. C4 numunesinin 10 °C/dak ısıtma-soğutma hızı ile alınan DSC grafiği



Şekil 4.18. Numunelerin faz dönüşüm sıcaklıklarının değişimi

Tablo 4.1. Numunelerin dönüşüm sıcaklıkları ve entalpi değerleri

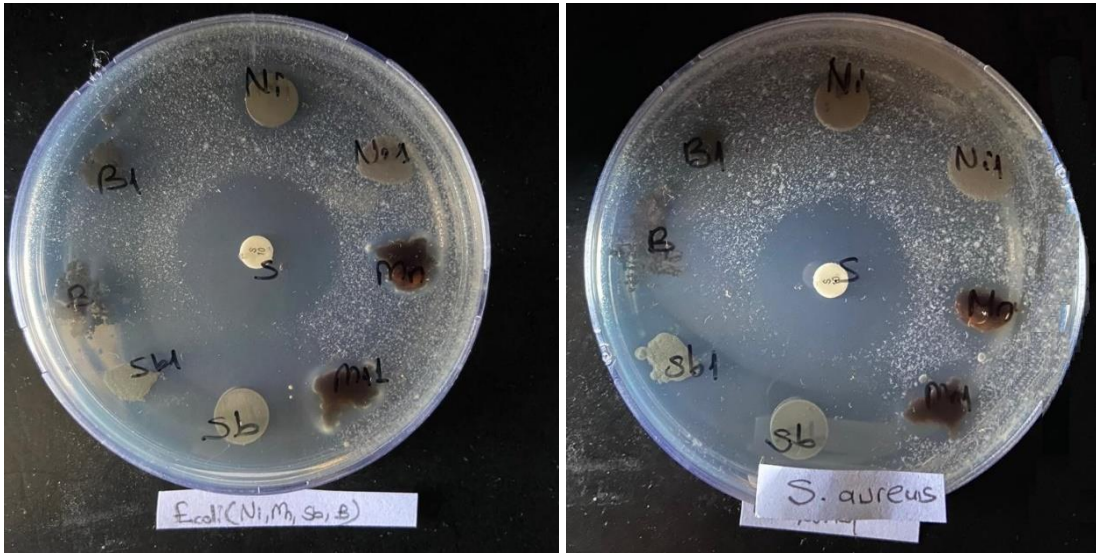
Alaşım 10 °C/dak ısıtma-soğutma hızı	A_s (°C)	A_f (°C)	A_p (°C)	M_s (°C)	M_f (°C)	ΔH_{M-A} J/g	ΔH_{A-M} J/g
Ni ₅₀ Mn _{35.8} Sb ₁₁ B _{3.2} (C0)	27.50	37.74	32.80	20.79	11.61	6.22	-6.36
Ni ₅₀ Mn _{35.6} Sb ₁₁ B _{3.4} (C1)	22.70	32.74	27.49	11.56	2.41	5.45	-5.59
Ni ₅₀ Mn _{35.4} Sb ₁₁ B _{3.6} (C2)	14.62	22.70	19.00	4.56	-1.85	5.85	-6.09
Ni ₅₀ Mn _{35.2} Sb ₁₁ B _{3.8} (C3)	4.52	21.04	12.57	5.36	-12.18	4.70	-7.96
Ni ₅₀ Mn _{35.0} Sb ₁₁ B _{4.0} (C4)	-7.50	0.72	0.15	-16.23	-22.01	5.27	-4.81

4.4. Antibakteriyel Testler

4.4.1. NiMnSbB Alaşımlarında Kullanılan Metallerin Antibakteriyel Testleri

Antibakteriyel testler için alaşım elde edilmesinde kullanılacak yüksek saflıktaki (%99.6-99,99) metal tozları 10 mm çapında die ler kullanılarak 5-7 ton basınç altında pelet haline getirildiler ve Ni, Mn, Sb ve B olarak kodlandırıldılar. Ayrıca aynı metal tozlarının pelet haline getirilmemiş ve petri kabına doğrudan küçük kümeler halinde bırakılanlar ise Ni1, Mn1, Sb1 ve B1 olarak kodlandırıldı. Kullanılan alaşımlar Petri kabında C0, C1, C2, C3 ve

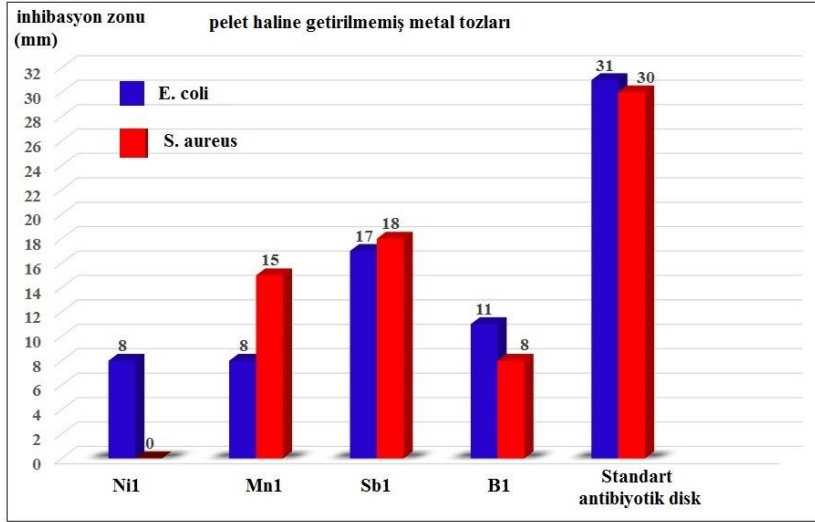
C4 olarak kodlandı. Antibakteriyel testlerde kullanılacak bakteriler, “Nutrient Buyyon”a aşılılarak $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat süreyle inkübasyona bırakıldı. Besiyerinde gelişen kültürlerin, MacFarland (0.5) standarta göre bulanıklık ayarı yapıldıktan sonra buyyon tüplerine aktarıldı. Erişte steril edilen ve $45-50^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğutulan “Muller Hinton Agar” a buyyondaki kültürleri, %1 oranında aşılılarak (10^6 bakteri/ml), iyice karıştırıldıktan sonra petrilere 15'er ml olacak şekilde dökülüp homojen olarak dağılması sağlandı. Plaklar, 4°C 'de 1.5-2 saat bekletilip, bakteri aşılı plaklar $37\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat inkübasyona bırakıldı. Süre sonunda inhibisyon zonları mm olarak ölçüldü⁽¹⁾ (şekil 4.19). Kontrol için standart antibiyotik disklerden kullanıldı. (1. National Committee for Clinical Laboratory Standards (NCCLS) (1999) Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing. NCCLS Approved Standard M100-S9. National Committee for Clinical Laboratory Standards, Wayne). Bulunan değerler Tablo 4.2 de topluca verildi. Şekil 4.20 de görüldüğü gibi *E. coli* ve *S. aureus* bakteri kolonisi içerisine bırakılmış pelet haline getirilmemiş metal tozlarının (Ni1, Mn1, Sb1 ve B1) ve standart antibiyotik diskin inhibisyon zonu değerlerinin karşılaştırılmasında, toz halinde bulunan antimon elementinin standart antibiyotik diskinin en yakın zon değerine sahip olduğu görüldü (Savur ve diğ., 2022). Şekil 4.21 de görüldüğü gibi, benzer durum pelet haline getirilmiş metal tozlarında da görülmektedir.



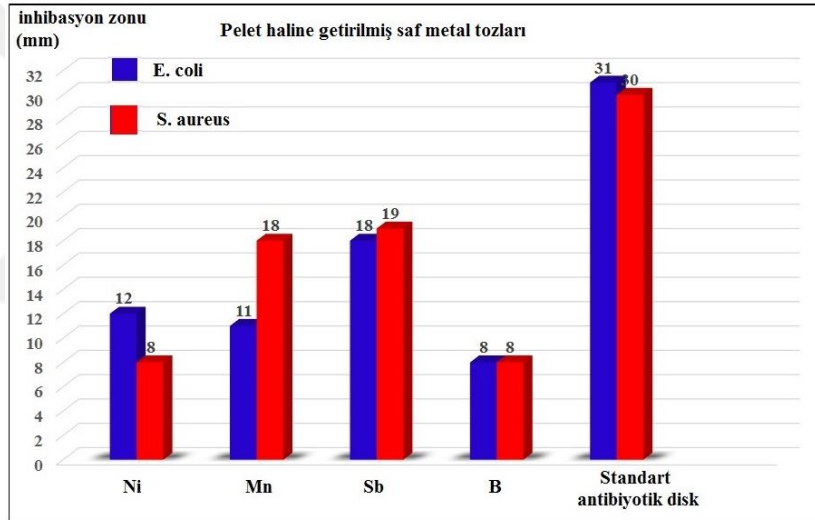
- a -

- b -

Şekil 4.19. a) *E. coli* ve b) *S. aureus* bakteri kolonisi içerisine bırakılmış saf metallerin inhibisyon zonlarının görüntüsü



Şekil 4.20. a) *E.coli* ve b) *S.aureus* bakteri kolonisi içerisinde bırakılmış pelet haline getirilmemiş metal tozlarının (Ni1, Mn1, Sb1 ve B1) ve standart antibiyotik diskin inhibasyon zonu değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.21. a) *E.coli* ve b) *S.aureus* bakteri kolonisi içerisinde bırakılmış pelet haline getirilmiş metal tozlarının (Ni, Mn, Sb ve B) ve standart antibiyotik diskin inhibasyon zonu değerlerinin karşılaştırılması

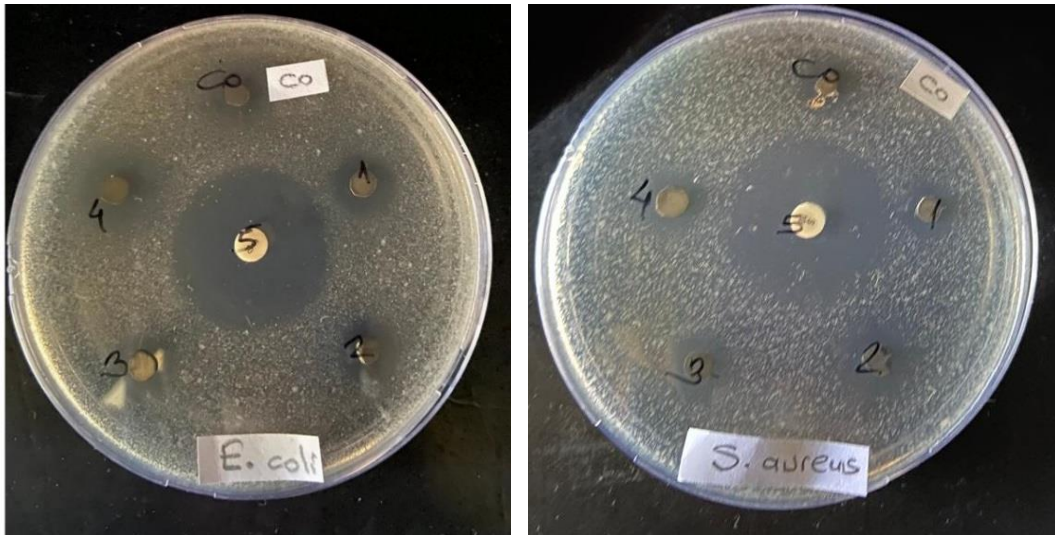
Tablo 4.2. Saf metallerin *E.coli* ve *S.aureus* bakterilerine karşı bulunan inhibasyon zonu değerleri

	<i>E.coli</i> İnhibasyon zonu (mm)	<i>S.aureus</i> İnhibasyon zonu (mm)
Ni	12	8
Ni1	8	-
Mn	11	18
Mn1	8	15
Sb	18	19
Sb1	17	18
B	8	8
B1	11	8
Standart	31	30

Antimon elementi (Sb) en fazla *E. coli*'nin gelişimini engellemiştir (18 mm inhibisyon zonu). Ni1, Mn1 ve B aynı mikroorganizmanın gelişimini en az engelleyen alaşımlar olmuştur. Standart ile karşılaştırıldığında kullanılan saf metallerin antibakteriyel etkileri daha düşük bulunmuştur. *S. aureus*'un gelişimini en fazla Sb (19 mm inhibisyon zonu), en az ise Ni, B, B1 in engellediği belirlenmiştir.

4.4.2. NiMnSbB Alaşımlarının Antibakteriyel Testleri

Ark ergitme metodu ile elde edilen $Ni_{50}Mn_{35.8}Sb_{11}B_{3.2}$, $Ni_{50}Mn_{35.6}Sb_{11}B_{3.4}$, $Ni_{50}Mn_{35.4}Sb_{11}B_{3.6}$, $Ni_{50}Mn_{35.2}Sb_{11}B_{3.8}$, $Ni_{50}Mn_{35.0}Sb_{11}B_{4.0}$ alaşımları, sırasıyla C0, C1, C2, C3 ve C4 olarak kodlandı. İngot halinde üretilen bu alaşımlardan, antibakteriyel testler için yaklaşık 5 mm çapında 1 mm kalınlığında olacak şekilde parçalar kesildi. 4.4.1 de verilen bölümdeki saf metal tozları için uygulanan yöntem bu alaşımlara da uygulandı. Alaşımlardan alınan parçalar Şekil 4.22 de verildiği gibi *E. Coli* ve *S. Aureus* bakterileri bulunan petri kablarna yerleştirildiler. Bulunan inhibisyon zonu değerleri Tablo 4. 3 de verildi. Şekil 4.23 de görüldüğü gibi test edilen alaşımlar, *E. coli* gelişimini farklı oranlarda engellemişlerdir. En fazla C4 alaşımı 14 mm, C2 ve C3 alaşımları 13 mm ve C0, C1 alaşımları ise 12 mm inhibisyon zonu oluşturmuştur. *S. aureus*'un gelişimini en fazla C2 ve C4 engellemişlerdir (14 mm). En az inhibisyon zonu C1 de ölçülmüştür. Standart her iki mikroorganizmanın gelişimini eşit olarak engellemiştir.



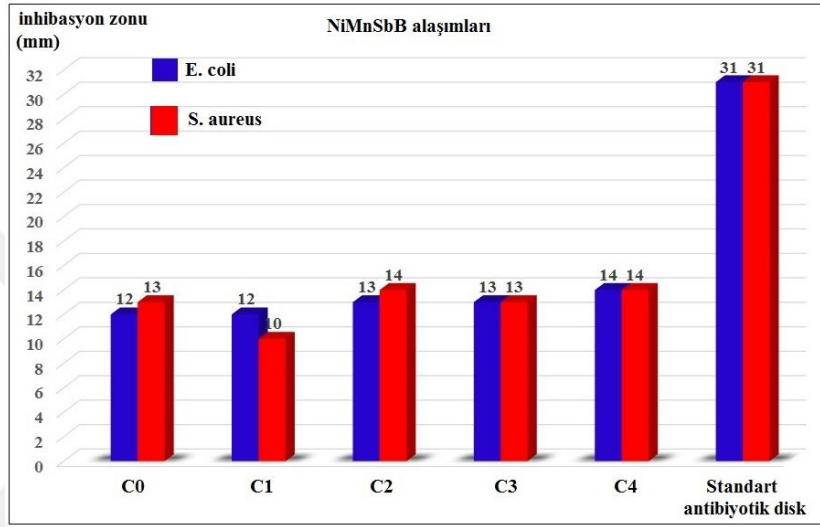
- a -

- b -

Şekil 4.22. a) *E.coli* ve b) *S.aureus* bakteri kolonisi içerisine bırakılmış alaşımların inhibisyon zonlarının görüntüsü

Tablo 4.3. Alaşımların *E.coli* ve *S.aureus* bakterilerine karşı bulunan inhibasyon zonu değerleri

	<i>E.coli</i> İnhibasyon zonu (mm)	<i>S.aureus</i> İnhibasyon zonu (mm)
Ni ₅₀ Mn _{35.8} Sb ₁₁ B _{3.2} (C0)	12	13
Ni ₅₀ Mn _{35.6} Sb ₁₁ B _{3.4} (C1)	12	10
Ni ₅₀ Mn _{35.4} Sb ₁₁ B _{3.6} (C2)	13	14
Ni ₅₀ Mn _{35.2} Sb ₁₁ B _{3.8} (C3)	13	13
Ni ₅₀ Mn _{35.0} Sb ₁₁ B _{4.0} (C4)	14	14
Standart	31	31



şekil 4.23. a) *E.coli* ve b) *S.aureus* bakteri kolonisi içerisine bırakılmış alaşımların (Co, C1, C2, C3, C4) ve standart antibiyotik diskin inhibasyon zonu değerlerinin karşılaştırılması

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, Tablo 3.1 de atomikçe ve ağırlıkça Ni, Mn, Sb ve B oranları verilen C0, C1, C2, C3 ve C4 olarak kodlanan şekil hafızalı alaşımlar hazırlandı. Hazırlanan alaşımlar $Ni_{50}Mn_{(35.2-x)}Sb_{11}B_{(3.8+x)}$ ($x=0.2, 0.4, 0.6$ ve 0.8 % at.) kimyasal yapıya uygun olması tasarlandı. Alaşımları üretmek için Ni, Mn, Sb ve B metal tozları karıştırıldıktan sonra hidrolik pres makinası kullanılarak pelet haline getirildikten sonra ark ergitme yöntemiyle üretilmesi sağlandı. Daha sonra yüzey morfolojisi (SEM-EDX) gözlemleri ve x-ışını difraksiyonu ile yapı analizi yapıldı. SEM-EDX sonuçları hazırlanan alaşım kompozisyonuna yakın alaşımlar elde edildiği belirlendi. Ayrıca alaşımın yüzey mikrograflarında martensit plakalar tespit edilmedi. Bunlara ek olarak alaşım elementlerinin yapı içinde homojen dağıldıkları tespit edildi. X-ışını difraksiyon deseninde 10M ve 4M ortorombik martensit piklerine rastlandı. Bu piklerin şiddetleri Mn miktarının azalmasıyla şiddetlerinin arttığı görüldü.

Şekil hafıza özelliği araştırmalarında yapılan DSC çalışmasında ele edilen alaşımların şekil hafıza özelliği sergilediği belirlendi. Alaşımların $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dak}$ - $20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dak}$ ısıtma soğutma oranında alınan DSC sonuçları incelendi. Mn oranı azaldıkça alaşımların faz dönüşüm sıcaklıklarının azaldığı görüldü. Ayrıca $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dak}$ ısıtma hızında alınan DSC sonuçları incelendiğinde faz dönüşümü için gerekli dönüşüm entalpi değerlerinde azalma olduğu belirlendi.

Laboratuvarımızda üretilen NiMnSbB alaşımlarının antibakteriyel testlerinde *E.Coli* ve *S.Aureus* bakterileri ve kontrol testlerinde ise standart antibiyotik diskler kullanıldı. Yapılan test sonuçlarından elde edilen NiMnSbB alaşımlarının *E.Coli* ve *S.Aureus* bakterilerine karşı direnç gösterdikleri ve mikroorganizmaların gelişimini engellediği görüldü.

KAYNAKLAR

- Acar, E., 2014, *Precipitation, Orientation and Composition Effects on the Shape Memory Properties of High Strength NiTiHfPd Alloys*, Doktora Tezi, University of Kentucky.
- Adıgüzel, O. and Ceylan, M., 1988, Shape Memory Phenomena in Noble Metal Copper Based Alloys. *J. Inst. Sci. Techn. Gazi Üniv*, 1(1), 35-41.
- Akdoğan, A. ve Nurveren, K., 2002, Akıllı Malzemeler ve Uygulamaları. *Machinery MakinaTek*(57 s 35).
- Aydoğdu, A., 1995, *Şekil Hatırlamalı CuAlNi Alaşımlarındaki Martensitik Dönüşümler üzerinde Termal Yaşlandırma Etkileri*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Aydogdu, Y., Turabi, A. S., Kok, M., Aydogdu, A., Tobe, H. and Karaca, H. E., 2014. Effects of the substitution of gallium with boron on the physical and mechanical properties of Ni–Mn–Ga shape memory alloys. *Applied Physics A*, 117(4), 2073-2078.
- Aydoğdu, Y., Abboosh, O., Soyer, P., Kılıç, G., Savur, A., Dağdelen, F., Aydogdu, A. ve Tunalı Y., 2022, Investigation of Thermal and Antimicrobial Properties of NiTiX (X = Ta, Ag and Nb) Shape Memory Alloys, *Physics of Metals and Metallography*, 1-9.
- Baksan, B., 2006, Bakır Esaslı Şekil Bellekli Alaşımların Üretimi ve Çekme Deneyi İle Karakterizasyonu. *Sakarya University Journal of Science*, 10(1), 28-36.
- Balcı, E., Dagdelen, F., Qader, I. N. and Kok, M., 2021, Effects of substituting Nb with V on thermal analysis and biocompatibility assessment of quaternary NiTiNbV SMA. *The European Physical Journal Plus*, 136(2), 1-13.
- Balcı, E. and Dagdelen, F., 2022, Thermal, Structural Properties and Potential Dynamic Corrosion Study of Ti-27Ni-21Nb-2Ta SMA. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 46(1), 353-359.
- Coll, R., Escoda, L., Saurina, J., Sánchez-Llamazares, J., Hernando, B. and Sunol, J., 2010, Martensitic transformation in Mn–Ni–Sn Heusler alloys. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 99(3), 905-909.
- Çetin, H., 2016, *Nano gümüş kaplı hidroksiapatit üretimi ve antibakteriyel yüzey uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dagdelen, F. and Aydogdu, Y., 2019, Transformation behavior in NiTi–20Ta and NiTi–20Nb SMAs. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 136(2), 637-642.
- Dagdelen, F., Ozay, C., Ercan, E., Emir, G. and Qader, I., 2022, Change of electrical resistivity during phase transitions in NiMnSn-based shape memory alloy. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147(10), 5815-5823.
- Doğan, A. ve Pekşen, C., 2005, Metal iyon katkılı antimikrobiyal malzemelerin hastane infeksiyonlarını önlemede katkıları ve uygulamaları. 4. *Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi*, 20-24.
- Doğan, A., Uzgur, E., Koparal, S. and Bayrakçı, F., 2001, Ceramic: Art, Science & Technology. *Turkish Ceramic Society*, 17, 20.

- Erecevit, P., 2007, *Tıbbi amaçlar için kullanılan bazı bitki türlerinin antimikrobiyal aktivitelerinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Frémond, M. and Miyazaki, S., 1996, *Shape memory alloys*, Springer.
- Friend, C. (1986). The effect of applied stress on the reversible strain in CuZnAl shape memory alloys. *Scripta metallurgica*, 20(7), 995-1000.
- Gülbandılar, A. (2009). Kütahya Yöresinde Burun Mukozasındaki Staphylococcus aureus Taşıyıcılığının ve Antibiyotik Duyarlılığının Araştırılması. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University* (018), 1-6.
- Heil, T. M., 2005, *An investigation of the structural and magnetic transitions in nickel-iron-gallium ferromagnetic shape memory alloys*. Doktora tezi, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Hench, L. L., 1982, Biomaterials, an interfacial approach. *Biophysics and bioengineering series*, 4, 62-86.
- Hildebrand, H. F., 2013, Biomaterials—a history of 7000 years. *BioNanoMaterials*, 14(3-4), 119-133.
- Hill, D., 1998, *Design engineering of biomaterials for medical devices*, Wiley.
- Hona, T., 1986, *The Mechanism of the All-Round Shape Memory Effect, Shape Memory Alloys' 86*. Paper presented at the Proceedings of the International Symposium on Shape Memory Alloys, China Academic Publishers.
- Hoş, A., 2010. *Antibakteriyel Nano Gümüş Katkılı Polimer Filmler*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kawahara, H., Mimura, Y., Ōki, M., Kubo, K., Soeda, Y. and Nomura, Y., 1989, *Institute of Clinical Materials, Osaka and Asahi University, School of Dentistry*. Paper presented at the Oral Implantology and Biomaterials: Proceedings of the 3rd International Congress of Implantology and Biomaterials in Stomatology, Osaka, April 27-29, 1988.
- King, P. H. and Fries, R. C., 2003, *Design of biomedical devices and systems*: Marcel Dekker New York-Basel.
- Kırat, G., 2021, Exchange Bias Effect in NiMnSbB Ferromagnetic Shape Memory Alloys Depending on Mn Content. *Adıyaman University Journal of Science*, 11(2), 444-455.
- Kök, M., 2011, *Ni-Mn-Ga Ferromanyetik Şekil Hatırlamalı Alaşımının Fiziksel Özellikleri Üzerine Alaşım Oranı Ve Isıl İşlem Etkisinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kök, M. and Aydogdu, Y., 2012, Effect of heat treatment on the physical properties of Ni–Mn–Ga alloy. *Thermochimica acta*, 548, 51-55.
- Malkoç, T., 2014, *CoAl Esaslı Ferromanyetik Şekil Hatırlamalı Alaşımların Üretimi Ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ping, D., 2014, Review on ω phase in body-centered cubic metals and alloys. *Acta Metallurgica Sinica (English letters)*, 27(1), 1-11.
- Qader, İ. N., Mediha, K., Dagdelen, F. and Aydogdu, Y., 2019, A review of smart materials: researches and applications. *El-Cezeri*, 6(3), 755-788.

- Rahman, M. A., 2008, Patents on superelastic shape memory alloy. *Recent Patents on Mechanical Engineering*, 1(1), 65-67.
- Savur, A., Aydogdu, Y., Kırbağ, S. ve Sepet, H., 2022, The Investigation of Thermal and Antimicrobial Properties of NiMnSbB Shape memory Alloys, 13 th Chemical Physics Congress 7-8 October 2002 Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Sharma, S., Nayak, M., and Dinesh, N., 2008, Shape memory alloy based motor. *Sadhana*, 33(5), 699-712.
- Tautzenberger, P., 1989, *Properties and Applications of Shape Memory Actuators*. Paper presented at the European Symposium on Martensitic Transformations.
- Thamburaja, P. and Nikabdullah, N., 2009, A macroscopic constitutive model for shape-memory alloys: theory and finite-element simulations. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 198(9-12), 1074-1086.
- Topel-Zeren, E., Akşit, A. and Aydoğdu, Y., 2020, Shape memory effect of polymeric composite materials filled with NiMnSbB shape memory alloy for textile materials. *Materials Research Express*, 7(5), 055702.
- Zhao, G. and Stevens, S. E., 1998, Multiple parameters for the comprehensive evaluation of the susceptibility of Escherichia coli to the silver ion. *Biometals*, 11(1), 27-32.
- Zheng, H., Wang, W., Xue, S., Zhai, Q., Frenzel, J. and Luo, Z., 2013, Composition-dependent crystal structure and martensitic transformation in Heusler Ni–Mn–Sn alloys. *Acta Materialia*, 61(12), 4648-4656.

ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Asena SAVUR
Doğum Yeri	
Doğum Tarihi	
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Başkent Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Biyomedikal Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2017

Yüksek Lisans	
Üniversite	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	İleri Teknolojiler Anabilim Dalı
Programı	-
Mezuniyet Tarihi	2023

Doktora	
Üniversite	-
Enstitü Adı	-
Anabilim Dalı	-
Programı	Program Adı
Mezuniyet Tarihi	-

Makale ve Bildiriler
<p>Asena Savur, Yıldırım Aydogdu, Sevda Kırbağ, Hakan Sepet, <i>The Investigation of Thermal and Antimicrobial Properties of NiMnSbB Shape Memory Alloys</i>, “13 th Chemical Physics Congress 7-8 October 2022 Firat University/Elazığ.</p> <p>Yıldırım Aydogdu, Omar Abboosh, Pervin Soyer, Gökhan Kiliç, Asena Savur, Fethi Dagdelen, Ayse Aydogdu & Yagmur Tunali, <i>Investigation of Thermal and Antimicrobial Properties of NiTiX (X = Ta, Ag, and Nb) Shape Memory Alloys</i>, <i>Physics of Metals and Metallography</i> (2022). 123, pp 1-9.</p>