

T.C.
İNÖNÜ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MANYETOELASTİK SENSÖR İLE MANYETİK PARÇACIK
DEDEKTASYONU**

Erdem GİRİŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

AĞUSTOS 2019

ONAY

Tezin Başlığı: Manyetoelastik Sensör ile Manyetik Parçacık Dedektasyonu

Tezi Hazırlayan: Erdem GİRİŞ

Sınav Tarihi: 07/08/2019

Yukarıda adı geçen tez jürimizce değerlendirilerek Fizik Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Sınav Jüri Üyeleri:

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Selçuk ATALAY**

İnönü Üniversitesi

Prof. Dr. Nevzat BAYRI

İnönü Üniversitesi

Dr. Öğrt. Üyesi Harun KAYA

Malatya Turgut Özal Üniversitesi

Prof. Dr. Halil İbrahim ADIGÜZEL

Enstitü Müdürü

ONUR SÖZÜ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum “Manyetoelastik Sensörler ile Manyetik Parçacık Dedektasyonu” başlıklı bu çalışmanın bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın tarafımdan yazıldığını ve yararlandığım bütün kaynakların, hem metin içinde hem de kaynakçada yöntemine uygun biçimde gösterilenlerden oluştuğunu belirtir, bunu onurumla doğrularım.



Erdem GİRİŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MANYETO ELASTİK SENSÖRLER İLE MANYETİK PARÇACIK DEDEKTASYONU

Erdem GİRİŞ

İnönü Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı

67 + x sayfa

2019

Danışman: Prof. Dr. Selçuk ATALAY

Günümüzde teknolojik alanda pek çok kullanım alanı bulan amorf ferromanyetik şeritler, uygun ısıtma işlemleriyle manyetik özellikleri iyileştirilerek koersivite ve manyetik geçirgenlik özellikleri daha iyi hale getirilebilmektedir. Bu çalışmada Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) şerit numunesi üzerinde ısıtma işlem etkisi, kütle etkisi ve manyetik nano parçacık dedektasyonu çalışılmıştır. Piyasada hazır halde satılan güvenlik etiketlerinden satın alınarak çıkarılan şerit numune ile sıvı viskozite ölçümleri yapılarak, yine bu numune ile diğer ölçümler gerçekleştirilmiştir. İnsan sağlığı açısından önem taşıyan manyetik nano parçacık dedektasyonu Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) şerit numune ile kablosuz, hızlı ve ekonomik olarak sağlanmaktadır.

ANAHTAR KELİMELELER: Amorf ferromanyetik malzemeler, Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$), Manyetik nano parçacık dedektasyonu.

ABSTRACT

Master's Thesis

MAGNETOELASTIC SENSOR FOR MAGNETIC PARTICLE DETECTION

Erdem GİRİŞ

Inonu University

Science and Arts Faculty, Department of Physics

67 + x pages

2019

Supervisor: Prof. Dr. Selçuk ATALAY

Nowadays, amorphous ferromagnetic strips, which are used in many technological fields, can be improved by improving the magnetic properties of their magnetic properties by means of suitable thermal processes. In this study effect of heat treatment effect were investigated on Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) ribbon sample. Liquid viscosity measurements were made with the ribbon sample purchased from the security tags sold in the market. Metglass 2826 MB ribbon were used as a magnetoelastc sensor and various amounts of the mass coated to the surface of ribbon was measured. More over, magnetic nanoparticle detection, which is important for human health, is carried out using magnetoelastic Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) ribbon sample wirelessly, quickly and economically.

KEYWORDS: Amorphous ferromagnetic materials, Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$), Magnetic nanoparticle detection.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarımın her aşamasında yardım ve desteklerini esirgemediğiniz sabırla yanımda olan tez yöneticisi değerli hocam Sayın Prof. Dr. Selçuk Atalay'a;

Takıldığım her noktada kapılarını bana sınırsızca açan ve desteklerini esirgemeyen Fizik bölümünden değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Tekin İZGİ' ye, Sayın Prof. Dr. V. Serkan KOLAT' a, Eğitim Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Nevzat BAYRİ' ye, Malatya Turgut Özal Üniversitesi Dr. Öğretim Üyesi Sayın Harun KAYA' ya;

Tez yazımı sırasında sonsuz destek veren değerli arkadaşım Sayın Erhan KAYMAZ' a;

Hayatımın her anında benden desteklerini esirgemeyen eşim Elvan' a ve sevgili oğlum Ares' e

sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
TABLolar DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	1
1.2. Tezin Ana Hatları	1
1.3. Temel Manyetik Parametreler	2
2. KURAMSAL TEMELLER.....	5
2.1. Giriş	5
2.2. Amorf Ferromanyetik Alaşımlar.....	5
2.3. Amorf Alaşımların Üretimi.....	8
2.4. Manyetoelastik sensörler.....	10
2.4.1. Manyetostriksiyon.....	11
2.4.2. Manyetoelastik Sensör Olarak Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	17
2.4.3. Manyetoelastik Sensör Uygulamaları	17
2.4.3.1. Basınç Algılama Sistemleri	18
2.4.3.2. Sıvı Viskozite ve Yoğunluk Ölçüm Sistemleri.....	19
2.4.3.3. Nem Algılama Sistemleri	20
2.4.3.4. Manyetoelastik pH Sensörleri	20
2.4.3.5. Manyetoelastik Sensörlerin Biyolojik Ajanların Tespitinde Kullanımı.....	21
2.4.3.6. Manyetoelastik Sensörlerin Diğer Uygulamaları.....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1. Giriş	25
3.2. Örneklerin Hazırlanışı ve Isıl İşlemler.....	25
3.3. X-Işınları Kırınım Ölçümleri	27
3.3. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri	28
3.4. Manyetoelastik Ölçüm Sistemi	28
3.5. Güvenlik Etiketleri ile Ölçümler.....	32
3.6. DeneySEL Hata Kaynakları	34

4. ARAŞTIRMA BULGULARI	35
4.1. Isıl İşlem Etkisi	35
4.1.1. Giriş.....	35
4.1.2. Isıl İşlem Görmemiş Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) Numunesinin Deneysel Ölçümleri.....	35
4.1.3. Isıl İşlem Görmüş Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) Numunesinin Deneysel Ölçümleri	38
4.2. Sıvı Ortam Ölçümleri.....	45
4.2.1. Giriş.....	45
4.2.2. Güvenlik Etiketini ile Yapılan Ölçümler	45
4.3. Kütle Etkisi.....	52
4.4. Manyetik Nano parçacık Dedektasyonu	57
5. SONUÇLAR ve YORUM	60
5.1. Giriş	60
5.2. Deneysel Sonuçlar ve Yorumlar	60
5.3. Gelecek Çalışmalar	61
6. KAYNAKLAR.....	62
7. ÖZGEÇMİŞ	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 M-H Eğrisi	2
Şekil 1.2 M-H Eğrisi	3
Şekil 2.1 Melt - Spinning Metodu	9
Şekil 2.2 Melt -Spining Metodu ile üretilmiş amorf şeritler.	9
Şekil 2.3 Manyetik alan altındaki numunenin boyutundaki değişim.	11
Şekil 2.4 Manyetoelastik sensörün temel çalışma prensibi	12
Şekil 2.5 Bir ME sensöre etki eden kuvvetlerin yönelimleri	13
Şekil 2.6 Manyetoelastik sensörün manyetik, akustik ve optik olarak izlenmesi	16
Şekil 2.7 Manyetoelastik sensörde stres yaratmak için kullanılan geometriler: (a) çukurlu bir sensör, (b) katlanmış bir sensör, (c) kavisli bir sensör, (d): kavisli ve çukurlu bir sensör	18
Şekil 2.8 Folded (katlanmış), dimpled (çukurlu), curved (kavisli) ve curved&dimpled (kavisli ve çukurlu) sensörlerdeki basınç – frekans grafiği	19
Şekil 2.9 Manyetoelastik nem sensörünün ölçülen frekans spektrumu	20
Şekil 2.10 Tekrarlanan pH ölçümlerinde rezonans frekans değerleri.	21
Şekil 2.11 Manyetoelastik biyosensör kullanarak domates yüzeyi üzerindeki Salmonella bakterisinin doğrudan tespiti şematik gösterimi	22
Şekil 3.1 Levhalar arasına sıkıştırılmış numunenin şematik gösterimi.....	26
Şekil 3.2 Tüp fırının fotoğrafı.....	27
Şekil 3.3 Ölçüm Sisteminin şematik görünümü.....	29
Şekil 3.4 Test Point Programlama dili ile yazılan programın çalışma diyagramı.....	31
Şekil 4.1 Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) şerit numune için frekans – manyetik alan grafiği.....	36
Şekil 4.2Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) şerit numune için genlik – manyetik alan grafiği.....	36
Şekil 4.3 Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) şerit numune için genlik – frekans grafiği. .	37
Şekil 4.4 420 °C’ de 20 dakika ısıtıl işlem uygulanmış numunenin frekans – manyetik alan grafiği.....	38
Şekil 4.5 420 °C de 20 dakika ısıtıl işlem uygulanmış numunenin genlik – manyetik alan grafiği.....	39
Şekil 4.6 420 °C de 20 dakika ısıtıl işlem uygulanmış numunenin -240 A/m, -120 A/m ve 160 A/m manyetik alandaki frekans – genlik grafiği.....	39
Şekil 4.7 420 °C’ de 30 dakika ısıtıl işlem uygulanmış numunenin frekans – manyetik alan grafiği.....	40
Şekil 4.8 420 °C’ de 30 dakika ısıtıl işlem uygulanmış numunenin genlik – manyetik alan grafiği.....	40
Şekil 4.9 420 °C’ de 30 dakika ısıtıl işlem uygulanmış numunenin -240 A/m, -100 A/m ve 160 A/m manyetik alandaki frekans – genlik grafiği.....	41
Şekil 4.10 420 °C’ de 75 dakika ısıtıl işlem uygulanmış numunenin frekans – manyetik alan grafiği.....	42
Şekil 4.11 420 °C’ de 75 dakika ısıtıl işlem uygulanmış numunenin genlik – manyetik alan grafiği.....	42

Şekil 4.12 420 °C de 75 dakika ısıt işlem uygulanmış numunenin -180 A/m ve -140 A/m manyetik alandaki frekans – genlik grafiği.	43
Şekil 4.13 Güvenlik etiketi açılmadan yapılan ölçümlerde manyetik alan – frekans grafiği.	46
Şekil 4.14 Güvenlik etiketi açılmadan yapılan ölçümlerde manyetik alan – genlik grafiği.	46
Şekil 4.15 Güvenlik etiketi açılmadan -500 A/m, -100 A/m, 450 A/m ve 700 A/m manyetik alanlarda frekans – genlik grafiği.	47
Şekil 4.16 Güvenlik etiketi açılarak çıkarılan numune ile yapılan ölçümlerin frekans – manyetik alan grafiği.	48
Şekil 4.17 Güvenlik etiketi açılarak çıkarılan numune ile yapılan ölçümlerin genlik – manyetik alan grafiği.	48
Şekil 4.18 Güvenlik etiketi kullanılarak -500 A/m alan altında havada, suda ve asetonda yapılan ölçümler sonucunda frekans – genlik grafiği.	49
Şekil 4.19 Sadece numunenin -600 A/m,-500 A/m, -400 A/m ve -200 A/m alan değerlerinde frekans – genlik grafiği.	53
Şekil 4.20 Oje ile kütle yüklemesi yapılan numunenin -600 A/m,-500 A/m, -400 A/m ve -200 A/m alan değerlerinde frekans – genlik grafiği.	54
Şekil 4.21 -600 A/m manyetik alan altında kütleli ve kütsüz numunelerin frekans – genlik grafikleri.	54
Şekil 4.22 Sadece numune ve kütle eklemesi yapılan numunenin frekansının manyetik alan ile değişimi grafiği.	56
Şekil 4.23 Şerit numunenin SEM resimleri.	57
Şekil 4.24 X-ışını spektrumu: (a) MNP'li şerit ve (b) MNP olmayan şerit.	58
Şekil 4.25 Şerit yüzeyinin optik görüntüleri: (a) MNP'ler olmadan ve (b) şerit yüzeyine kümelenmiş MNP'ler ve (c) şerit yüzeyine düşen MNP'lerin optik görüntüsü.	59

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1 Bazı amorf ferromanyetik malzemelerin genel özellikleri	6
Tablo 2.2 Bazı amorf ferromanyetik malzemelerin kullanım alanları	7
Tablo 2.3 Isıl işlem görmemiş amorf şeritlerin manyetik özellikleri.....	10
Tablo 2.4 Manyetoelastik sensör olarak kullanılan amorf ferromanyetik şeritlere ait bazı parametreler.	17
Tablo 4.1 Sıvıların ölçülen değerleri.....	50
Tablo 4.2 Hava ve su ortamları için hesaplanan K değerleri.....	51
Tablo 4.3 Hava ve aseton ortamları için hesaplanan K değerleri.....	51



SİMGELER VE KISALTMALAR

μ	Manyetik geçirgenlik
θ	Bragg açısı
λ	Magnetostriction
χ	Manyetik alınganlık
β	Radyan olarak yarı yükseklikteki pik genişliği
δ	Yüzey derinliği
μ_{ϕ}	Dairesel geçirgenlik
μ_0	Boş uzayın geçirgenliği
λ_s	Doyum manyetostriksiyon
χ_t	Enine alınganlık
ΔZ	Yüzde manyeto empedans
f	Sürücü akım frekansı
$f(H)$	Rezonans frekans
f_s	Doyum frekansı
H	Dış manyetik alan
H_c	Coercivity
H_k	Anizotropi alanı
H_{dc}	Dış Manyetik alan
K	Anizotropi enerjisi
K_D	Şekil anizotropi enerjisi
K_k	Kristal anizotropi enerjisi
L	İndüktans
M	Manyetizasyon

M_r	Remenant manyetizasyon
M_s	Doyum manyetizasyon
Z	Empedans



1. GİRİŞ

1.1. Tezin Amacı

Şerit formundaki amorf ferromanyetik malzemelerin manyetik ve manyetoelastik özellikleri uzun yıllardır araştırılmaktadır. Bu numunelerin sensör teknolojilerinde kullanılmaya başlanması ile manyetik nano parçacık dedekte sistemleri üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Manyetoelastik sensör sistemleri teknolojinin birçok alanında (fizik, kimya, biyoloji...) geniş kullanıma sahiptir. Özellikle son yıllarda biyolojik ajanların tespitinde, tıp alanında pek çok çalışma literatürde yerini almıştır.

Bu çalışmada Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) şerit numune üzerindeki ısıtıl işlemlerin etkisi incelenmiştir. Ayrıca şerit numuneye yüklenen kütle etkisinin gözlenmesi, sıvı ortamlar için viskozite ölçümleri ve manyetik nano parçacık dedektasyonu hedeflenmiştir.

1.2. Tezin Ana Hatları

Bu çalışmada, ikinci bölümde amorf alaşımlar ve bunların üretimi, manyetik özellikleri ve manyetoelastik kavramının tanımı ile birlikte amorf ve ısıtıl işlem görmüş şeritlerde manyetostriksiyon, manyetoelastiklik ve manyetoelastik sensör olarak kullanılan numunelerin uygulama alanları ile ilgili çalışmalar hakkında geniş bir literatür bilgisi verilmiştir.

Üçüncü bölümde numunelerin hazırlanışı ve deneysel metotlar hakkında bilgi verilerek ölçümlerde kullanılan deneysel sistemler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

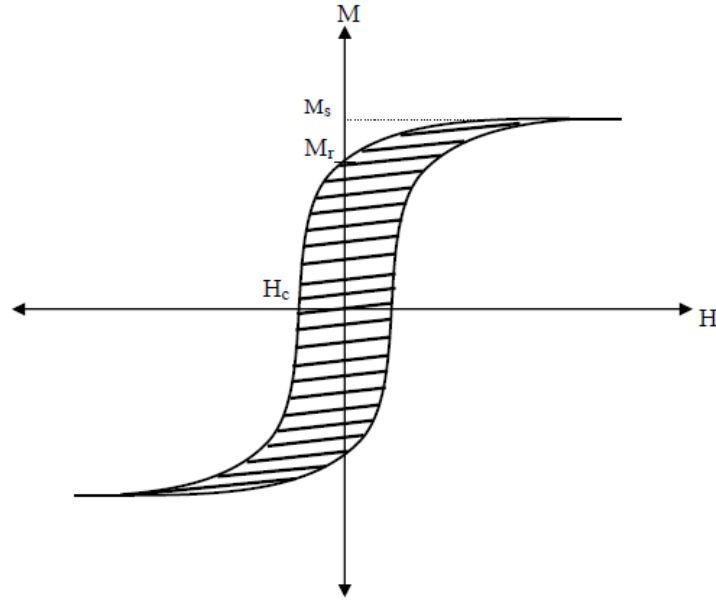
Dördüncü bölümde Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) şerit numuneye ısıtıl işlem etkisinin sonuçları tartışılmıştır. Manyetik alan ve stresin fonksiyonu olarak yüksek elastik değişim gösteren şerit numune ile yapılan sıvı ortam ölçümleri, kütle etkisinin

deneysel olarak incelenmesi ve manyetik nano parçacıkdedektasyonu olarak kullanılması ile ilgili sonuçlar bulunmaktadır.

Beşinci bölümde ise elde edilen bulguların yorumlanması, sonuç ve ileride yapılması planlanan çalışmalar hakkında bilgiler bulunmaktadır.

1.3. Temel Manyetik Parametreler

Bir manyetik malzemenin en önemli özelliği o malzemenin M-H eğrisi diye adlandırılan hysteresis eğrisidir. Hysteresis eğrisi ölçülerek malzemenin bazı manyetik özellikleri belirlenir. Ölçümlerde uygulanan dış alana karşı manyetizasyonölçümleri yapılarak M-H eğrileri belirlenir. Bu eğrilerden çok yüksek alanlara çıkarak doyum manyetizasyonu (M_s), Remanantmanyetizasyon (M_r) ve Coercivity (H_c) gibi parametreler hesaplanabilmektedir. Tipik bir M-H eğrisi Şekil 1.1' de gösterilmiştir.



Şekil 1.1 M-H Eğrisi

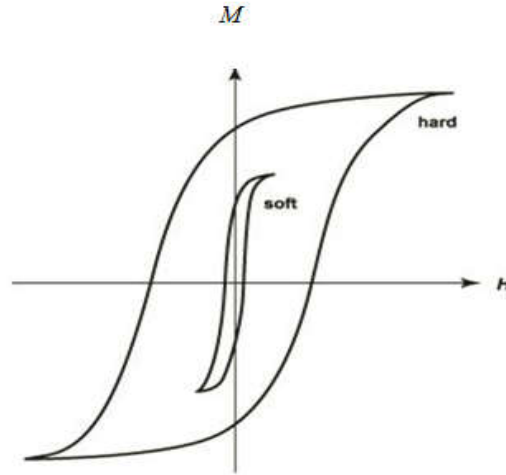
Doyum manyetizasyonu (M_s): Uygulanan dış alana bağlı olarak manyetik momentler bu alan doğrultusunda yöneldiklerinde ortaya çıkan manyetizasyon değerine doyum manyetizasyonu denir.

RemanantManyetizasyon (M_r): Manyetik alan şiddeti ters yönde sıfıra düşürüldüğünde numunede ortaya çıkan manyetizasyondur.

Coercivity(H_c): Manyetizasyonu doyum değerinden sıfıra düşürmek için gerekli olan alan değeridir.

Anizotropi alanı (H_k): Malzemenin manyetizasyon değerinin doyuma ulaşması için gerekli olan alan değeridir.

Elde edilen hysteresis eğrisinin alanı enerji kaybını ifade eder. Alan küçükse yüksek manyetik alınganlık ve düşük coercivity kuvvetine sahiptir. Bu tür malzemeler yumuşak (soft) malzeme denir. Alan büyükse düşük manyetik alınganlık ve yüksek coercivity kuvvetine sahiptir. Bu tür malzemelere sert (hard) malzeme denir. Şekil 1.2' de yumuşak ve sert malzemelere ait manyetizasyonun uygulanan alanla ($M - H$) değişimi gösterilmektedir.



Şekil 1.2 M-H Eğrisi

Alınganlık: Bulk malzemelerde manyetik malzemelerin manyetizasyonu bu malzemelerin manyetik alana verdiği tepkiye bağlıdır. Manyetik malzemelerin çoğunda manyetizasyon uygulanan alan ile orantılıdır ve aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$M = \chi / H \quad (1.1)$$

Burada χ alınganlıktır; ancak kullanımda manyetik malzemeler daima sabit bir alınganlığa sahip olmadığından M ile H' ın değişim oranı (dM/dH) bazen χ olarak kullanılmıştır ve bu da diferansiyel alınganlık olarak adlandırılmıştır.

Manyetostriksiyon (λ): Manyetik alan altında malzemelerin boyutlarındaki değişim olarak tanımlanmaktadır. Manyetostriksiyon dış manyetik alan içinde bir değişiklik nedeniyle bir ferromanyetik materyalin herhangi bir boyut (genleşme veya daralma) değişimidir. Manyetostriksiyon etkisinin sebebi domainlerin yeniden düzenlenmesidir. Her domain numune demanyetize olduğunda bile bir yönelim gösterir. Fakat bu yönelim manyetik alanın varlığında bir yöne doğru olmaya başlar. Böylece numunenin doğrusal boyutlarında değişim meydana gelir. Uygulanan dış manyetik alana bağlı olarak malzemenin boyutlarındaki maksimum değişime doyum manyetostriksiyon denir ve λ_s ile gösterilir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Giriş

Bu bölümde metalik amorf alaşımların kısa tarihsel gelişimi, amorf ferromanyetik alaşımların genel özellikleri, amorf alaşımların üretim teknikleri verilmiştir. Daha sonra manyetoelastik (ME) sensörler hakkında kısa tarihsel bilgi verilerek ME sensörlerin karakteristikleri anlatılmıştır. Ayrıca ME sensörlerin bazı kullanım alanları verilmiştir.

Metalik amorf alaşımların hazırlanması ilk olarak 1946 yılında Brenner ve Riddell [1] tarafından amorf Ni-P filmler olarak rapor edilmiştir. 1960 yılında Duwez ve çalışma arkadaşları [2] tarafından California Teknoloji Üniversitesinde Au-Si%25 alaşımının ani soğutulması ile amorf yapıda metaller elde edilmiştir. İlk ferromanyetik amorf alaşımlar 1965 yılında Mader ve Nowik tarafından rapor edilmiş ve soft manyetik özellikler 1966 yılında Tsuei ve Duwez [3] tarafından gözlenmiştir. Amorf alaşımların eşsiz özellikleri uzun erişimli atomik düzenlenişlerin eksikliğinden ileri gelmektedir. Amorf alaşımların bir kısmı manyeto-kristal anizotropi göstermediklerinden dolayı manyetik özellikler açısından oldukça soft davranış sergilemektedirler. Bu alaşımlar 1970' li yıllardan itibaren teknolojik ve ticari olarak kullanıma başlanmıştır.

2.2. Amorf Ferromanyetik Alaşımlar

Amorf metal alaşımlar uzun erişimli atomik düzenlenişe sahip olmayan metal alaşımlarıdır. Amorf alaşımlar cam ya da kristal halde olmayan alaşımlar olarak da isimlendirilirler. Metalik camlar atomların uygun enerjiye sahip kristal örgülerine yerleşmelerine zaman kalmadan çok hızlı bir şekilde sıvı fazda soğutulması tekniğiyle üretilen alaşımların bir sınıfıdır. Amorf yapının bir sonucu olarak, bu alaşımlar; benzersiz manyetik, mekanik, elektriksel ve korozyon davranışları gösterirler. Manyetik amorf alaşımlar üç teknolojik sınıfa ayrılabilir. Bunlar; transitionmetal-metaloid (TM-M) alaşımları, rareearth-transation metal (RE-TM)

alaşımları ve geçiş metal-zirconium veya hafnium alaşımlarıdır [4]. TM-M alaşımları, genellikle %80 oranında 3d geçiş metalleri (Fe, Ni, Co gibi) ve %15-20 oranında metalloid (M) atomları (genellikle P, B, Si, C) içermektedir. Tipik alaşımlar amorf yapının kararlı ve cam yapının şekillenmesi için gerekli olan Si ve B metalloidleri sayesinde yüzde olarak $(\text{Fe,Co,Ni})_{70-85}(\text{Si,B})_{30-15}$ şeklindedir. Soft manyetik uygulamalar için amorf malzemeler, tipik olarak yaklaşık 20 μm kalınlığında ve 1-100 mm genişliğinde ince şeritler şeklinde üretilmektedir.

Kristal malzemelerden farklı olarak amorf ferromanyetik malzemeler düşük koersiviti, düşük manyetik kayıp, çok yüksek manyetik doygunluk ve düşük anizotropiye sahiptir. Amorf yapıdan kaynaklı olarak amorf ferromanyetik malzemeler çok serttir ve yüksek elastik özelliğe sahiptir. Amorf ferromanyetik malzemelerin bazılarının genel özellikleri Tablo 2.1’ de gösterilmiştir[5].

Tablo 2.1 Bazı amorf ferromanyetik malzemelerin genel özellikleri [5].

Üretici	ALLIED SIGNAL INC			
Ticari İsmi	METGLAS			
Alaşım	2605SM	2705M	2714A	2826MB
Geçiş Metal Bileşimi	Fe	Co	Co	Fe, Ni
Doyum akı yoğunluğu, $B_s(T)$	1.28	0.70	0.55	0.88
Doyum manyetositriksiyon katsayısı, $(\lambda_s \times 10^{-6})$	19	<1	<1	12
Curie sıcaklığı, $T_c(^{\circ}\text{C})$	310	365	205	353
Koersiviti, $H_c(A/m)$	-	-	-	1.2
Elektriksel Direnç, $\rho(\mu\Omega/m)$	1.28	1.36	1.42	1.38
Dirençin sıcaklık katsayısı, $[20^{\circ}\text{C} \rightarrow 200^{\circ}\text{C}](10^{-4}/K)$	-	-	-	-
Isısal Genleşme, $(10^{-6}/K)$	6.6	12.1	12.7	11.7
Kristalleşme sıcaklığı, $T_x(^{\circ}\text{C})$	520	520	550	410
Yoğunluk, $\delta(g/cm^3)$	7.50	7.8	7.59	7.90
Young modülü, E (Mpa)	$\cong 60$			
Şerit kalınlığı, (μm)	19→38			
Şerit genişliği (mm)	12, 25, 50			

Amorf ferromanyetik malzemeler sahip oldukları manyetostriksiyon değerine göre sensör malzemesi olarak kullanılmaktadır. Tablo 2.2’ de bazı amorf ferromanyetik malzemelerin kullanım alanları gösterilmiştir[6].

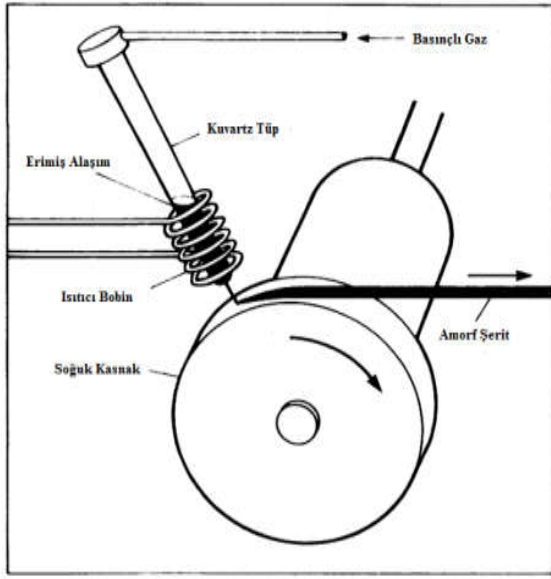
Tablo 2.2 Bazı amorf ferromanyetik malzemelerin kullanım alanları [6].

Alaşımlar	Doyum Mıknatıslanması	Kayıplar	Uygulama Alanları
Demir-Baz 2605S-2	Yüksek	Düşük	İndüktörler Güç Dönüştürücüleri Dağıtım Dönüştürücüleri Motorlar
2605SC 2605CO	Yüksek	Ortadan düşük	Manyetik Anahtarlar Manyeto elastik transducers
2605S-3A 2605SM	Yüksek	Çok düşük	Yüksek frekanslı dönüştürücüler Akım dönüştürücüleri
Nikel-Demir bazlı 2826MB	Orta	Orta	Manyetik alan algılayıcıları Kayıt başları Algılayıcılar
Co-bazlı 2705M 2714A 2705MN	Düşük	En düşük	Yüksek frekanslı manyetik yükselticiler Kayıt başları Algılayıcılar

2.3. Amorf Alaşımların Üretimi

Sıvı haldeki alaşımların hızlı soğutulmasıyla üretilen amorf alaşımlar, çok ilginç ve karakteristik manyetik, mekaniksel ve elektriksel özellik göstermesinden dolayı birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Buna paralel olarak şerit, tel ve tabakalar halinde üretimi mümkün kılan çeşitli üretim teknikleri geliştirilmiştir. Amorf alaşımlar eriyik haldeki alaşımların hızlı soğutulmasıyla elde edilmektedir. Amorf malzemelerin üretiminde kristal faz oluşumundan sakınmak için soğutulma hızının yaklaşık 10^6 °C/sn oranında olması gerekmektedir. Üretimde yüksek soğutma oranına gereksinim duyulduğu için bu malzemeler yalnızca ince film, tel ve şerit şeklinde elde edilmektedir. Üretim tekniğinde daha yüksek soğutma oranları amorf malzemelerin içinde elastik gerilmeler ortaya çıkarır. Bu durum, amorf malzemelerin soft manyetik özelliklerinde belirleyici bir faktör olan manyetoelastikanizotropiyi ortaya çıkarır.

Melt – Spining Metodu ile uzun ve ince şeritler üretmek mümkündür. Potaya konulan metal alaşımı indüksiyon ertitme yöntemi ile eritilir. Ardından ağız kısmından dönen bir bakır diskin üzerine dökülür. Diske temas eden eriyik haldeki alaşım aniden katılaşır ve şerit halinde uzamaya başlar. Soğuma hızları 10^5 - 10^6 K/s civarındadır. Üretilen şeritler 2 – 5 mm genişliğinde ve 20 – 50 µm kalınlığındadır. Üretim Sistemi Şekil 2.1’ de gösterilmiştir[7]. Şekil 2.2’ de ise Melt – Spining metodu ile üretilen farklı genişlikteki amorf şeritler verilmiştir.



Şekil 2.1 Melt - Spinning Metodu [7].



Şekil 2.2 Melt -Spining Metodu ile üretilmiş amorf şeritler.

Amorf alaşımlar değişik manyetik özellikler göstermektedirler. Amorf alaşımların çoğu ferromanyetiktir ve bu alaşımlar benzer polikristal malzemeler ile karşılaştırıldığında mükemmel soft manyetik özellikler göstermektedirler. Amorf yapılarda uzun erişimli atomik düzenlenişin (longerangeorder) eksikliği soft manyetik özelliklerin temelini oluşturmaktadır. Bu alaşımların soft manyetik özellikler sergilemesinin diğer bir nedeni ise düşük coercivity ve yüksek geçirgenliktir. Bu özelliklere bağlı olarak kolay manyetize olabilmektedirler[8].

Isıl işlem görmemiş amorf şeritlerin manyetik özellikleri Tablo 2.3' de gösterilmiştir[9]. Burada M_s ; Doyum manyetizasyonu, H_s ; Doyum alanı ve λ_s ; Doyum manyetostriksiyon değerlerini göstermektedir.

Tablo 2.3 Isıl işlem görmemiş amorf şeritlerin manyetik özellikleri [9].

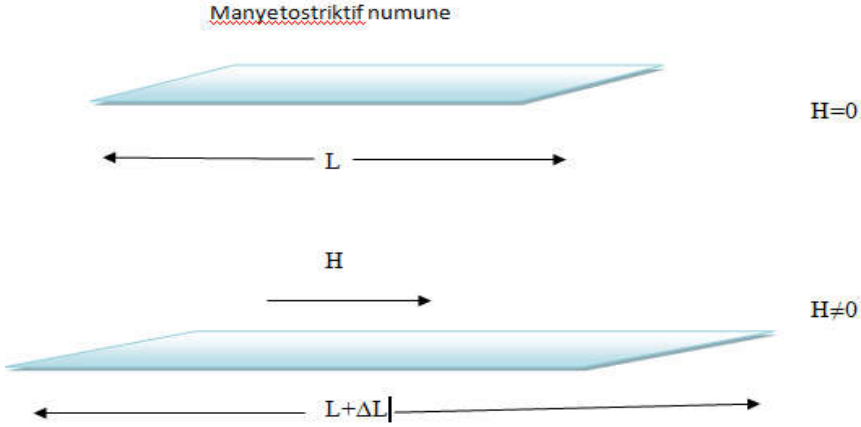
Alaşım	$M_s(T)$	$H_s (kA/m)$	$\lambda_s (x10^{-6})$
$Fe_{72.5}Si_{12.5}B_{15}$	1.30	11.2	25
$(Fe_{0.75}Co_{0.25})_{72.5}Si_{12.5}B_{15}$	1.19	8.8	20
$Co_{72.5}Si_{12.5}B_{15}$	0.64	3.2	-3
$Fe_{73}Cr_5Si_9B_{13}$	1.21	4.8	18
$(Fe_{0.96}Ni_{0.04})_{75}Si_{10}B_{15}$	1.33	17.6	28

2.4. Manyetoelastik sensörler

Manyetoelastik etki, stres ve tork altında manyetik bir malzemenin manyetizasyonundaki değişim olarak tanımlanır. Bu etkinin sebebi manyetostriksiyon etkidir. Manyetostriksiyon, ferromanyetik malzemelerin manyetik alana maruz kaldığında şeklinde olan değişimdir. Bu etki ilk olarak 1842 yılında James Joule tarafından gözlemlenmiştir (JouleEffect). Daha sonra 1847 yılında Matteucci ve 1865 yılında Villari bu değişimleri gözlemleyerek Manyetoelastik etkinin fiziksel temellerini oluşturmuşlardır [10].

2.4.1. Manyetostriksiyon

Manyeto elastik sensörleri daha iyi anlamak için manyetostriksiyon etkisinden bahsetmek gerekmektedir. Bu etki ferromanyetik malzemelerin önemli bir özelliğidir. Ferromanyetik malzemeler manyetik alan etkisinde iken manyetik alan doğrultusunda bazıları uzar bazıları kısalır. Bir numune bir manyetik alan uygulanarak demanyetize durumdan doyma durumuna alınırsa, numunenin doğrusal boyutları değişir, numune doyuma ulaştığında ise sabit bir değere ulaşır. Numunenin uzunluğunda bir değişim olur ve bu değişim manyetostriksiyon etki olarak adlandırılır. Manyetostriksiyonun sebebi domainlerin yeniden düzenlenmesidir. Her domain, numune demanyetize olduğunda bile bir yönelim gösterir. Fakat manyetik alanın varlığında bu yönelimler bir yöne doğru olur ve numunenin doğrusal boyutlarında değişimler meydana gelir. Şekil 2.3’ de numunedeki bu değişim şematik olarak gösterilmektedir[10].



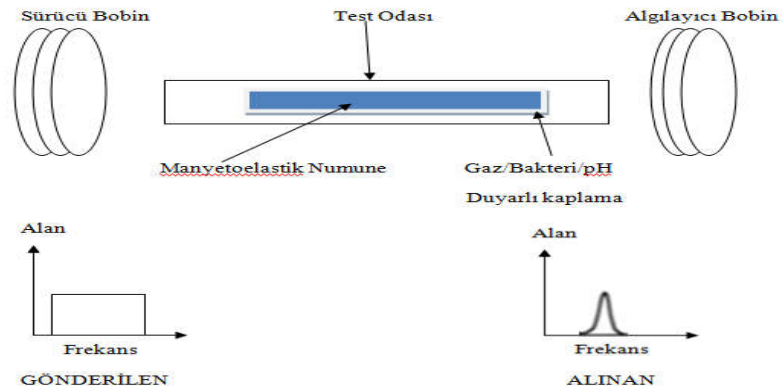
Şekil 2.3 Manyetik alan altındaki numunenin boyutundaki değişim [10].

Manyetostriksiyon özellik gösteren malzemeler manyetik enerjiyi mekanik enerjiye veya tersi olarak mekanik enerjiyi manyetik enerjiye çevirirler.

Manyetoelastik özellik gösteren malzemeler dış manyetik alana maruz kaldığında boyutlarında 10^{-4} ile 10^{-6} aralık mertebesinde genişleme veya küçülme gösterirler. Serbest haldeki manyetoelastik malzemeler, zamanla değişen (AC) manyetik alana maruz kaldığında titreşmeye (kısalmaya-uzamaya) başlarlar. Bu gibi numunelerin titreşim frekansı, numunenin geometrisine, elastik katsayısına ve kütlesine (yoğunluğuna) bağlı olarak değişmektedir.

Manyetoelastik sensörler, basınç [11-12], nem [12-13], sıcaklık [13-14], sıvı viskozitesi ve yoğunluğu [15-16], kimyasal gazlar [17-18], pH [19-20] ve bakteri konsantrasyonunun belirlenmesi [11] gibi çevresel parametreleri de içeren geniş uygulama alanına sahiptirler. Bu tip sensörlerde genelde 2826MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{18}$) metglass numune kullanılmaktadır [18].

Şekil 2.4’ te manyetoelastik sensörün temel çalışma prensibi gösterilmiştir. Sürücü bobin tarafından manyetoelastik malzeme bir AC sinyale maruz kaldığında sensör bu AC sinyalin frekansına eşit frekansta titreşmeye başlar. Böylece manyetik alandan alınan enerji mekanik enerjiye dönüştürülür. Rezonans haldeki bu elastik enerji maksimum durumdadır [19].



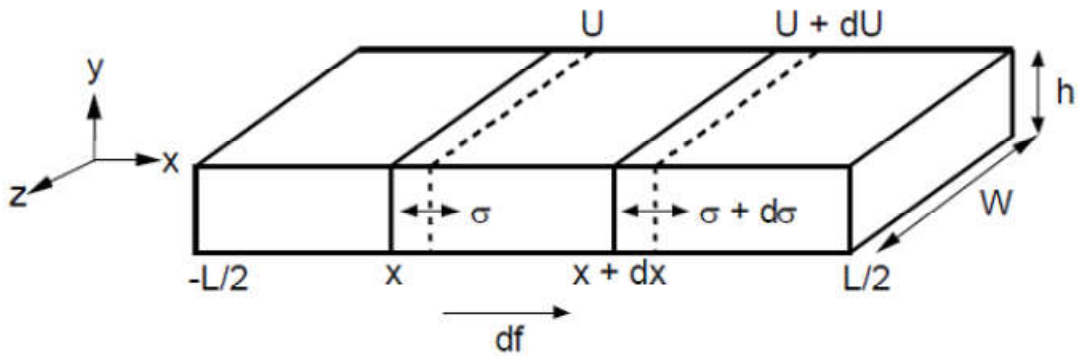
Şekil 2.4 Manyetoelastik sensörün temel çalışma prensibi [19].

Manyetoelastik malzemenin rezonans frekansındaki bu titreşim toplayıcı bobin üzerinde bir sinyal indüklenmesine sebep olur. İndüklenen bu sinyal malzemenin

içindeki ortama göre değişim gösterir (PH, gaz, bakteri, manyetik parçacık, nem, sıcaklık... gibi fiziksel, kimyasal veya biyolojik etmenler).

Sinyaldeki bu değişimin temel sebebi malzemenin yüzeyine absorbe olan moleküllerin malzemenin kütlesini veya yoğunluğunu değiştirmesinden kaynaklanır.

Bir manyetoelastik sensörün çeşitli koşullar altında nasıl davranacağını anlamak için temel denklemler aşağıda verilmektedir. Şekil 2.5'te bir ME sensörün temel davranışı resmedilmiştir [19].



Şekil 2.5 Bir ME sensöre etki eden kuvvetlerin yönelimleri [19].

İnce bir metal plaka boyunca yayılan uzunlamasına elastik dalgaları düşünelim. Değişken U kesit diliminin yer değiştirmesini, L sensörün boyunu ifade eder. Şekil 2.5' deki sensörün x' den x+dx' e kadar uzaması durumunda numune içindeki e gerilimi şöyle yazılabilir:

$$e = \frac{U+dU-U}{x+dx-x} = \frac{dU}{dx} \quad (2.1)$$

Aynı pozisyondaki iç gerilme (σ), gerilme ve efektif modülden belirlenir. Uygulanan manyetik alan altındaki esneklik (E_H):

$$\sigma = E_H \frac{dU}{dx} \quad (2.2)$$

Sensörde oluşan stres bir elastik kuvvete neden olacaktır. Stres değişikliği:

$$f_{elastic} = A(\sigma + d\sigma - \sigma) = Ad\sigma = A \frac{d\sigma}{dx} dx = E_H A \frac{d^2 y}{dx^2} dx \quad (2.3)$$

Sensöre bir de sönümlleme kuvveti etki eder. Bu kuvvet;

$$f_{damping} = D_0 \frac{dU}{dt} \rho A dx \quad (2.4)$$

ile verilir. D_0 sönümlleme katsayısı, ρ ise sensörün yoğunluğudur. Sensörlerin metalik, iletken doğası ve değişken zamanın varlığı nedeniyle manyetik alandan kaynaklı eddy akımı etkileri de dikkate alınmalıdır.

$$D_{eddy} = \left[\frac{\pi^2 h^2}{6 \rho_{el}} F_{X_0 X} \right] k^2 \quad (2.5)$$

Burada F kuvveti ifade eder. X_0 ; boş alan duyarlılığı, X ; diferansiyel duyarlılık, ρ_{el} ; elektriksel direnç ve k^2 ; manyetoelastik katsayısıdır. Böylece mekanik ve eddy akımlarından gelen sönümlleme toplamı;

$$D = D_0 + D_{eddy} \quad (2.6)$$

ile ifade edilir. Toplam kuvvet;

$$E_H A \left(\frac{d^2 U}{dx^2} \right) \partial x - D \left(\frac{dU}{dt} \right) A \rho \partial x = Total\ force = ma = A \rho \partial x \left(\frac{d^2 U}{dt^2} \right) \quad (2.7)$$

ile ifade edilir. Dolayısıyla hareket denklemi şöyle yazılabilir:

$$E_H \frac{d^2 U}{dx^2} - D \rho \frac{dU}{dt} = \rho \frac{d^2 U}{dt^2} \quad (2.8)$$

Bu denklem periyodik hareket denkleminin benzeri, frekansı uygulanan manyetik alan frekansı olarak alabiliriz. Dolayısıyla genel çözüm şu şekilde yazılabilir:

$$U(x, t) = [U_1 \cos(\beta x) + U_2 \sin(\beta x)] e^{j\omega t} \quad (2.9)$$

U_1 ve U_2 sabit olduğu ve β karmaşık dalga sayısının ω açısal frekansla ilişkisi şöyledir:

$$\beta^2 = \frac{\omega^2}{v^2} - j\omega \frac{D}{v^2} \quad (2.10)$$

Bu denklemin çözümü uygulanan manyetik alan nedeniyle rezonans frekans değerini verir. H alanı şöyledir:

$$\omega_H^2 = \frac{\beta^2 E_H}{\rho} \quad (2.11)$$

Uygun sınır şartlarını uyguladıktan sonra denklem şöyle olur:

$$\omega_0 = \frac{\pi}{1} \sqrt{\frac{E_H}{\rho}} \quad (2.12)$$

Poisson oranının σ etkisine bakıldığında temel rezonans frekansı:

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{E_H}{\rho(1-\sigma)}} \quad (2.13)$$

ile verilir. Sensör uygulamalarında, bu rezonans frekansına karşılık gelen rezonans genliği ve ortam koşullarına göre değişimleri Metglass™ 2826 MB için yaklaşık olarak σ 0,33 olarak verilir.

Manyetoelastik sensöre kütle etkisi için denklem 2.13 aşağıdaki gibi dönüştürülürse;

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{1}{1+\frac{\Delta m}{m_s}} \frac{Ad_s}{m_s} \frac{E_H}{\rho_s(1-\sigma^2)}} = f_0 \sqrt{\frac{1}{1+\frac{\Delta m}{m_s}}} \quad (2.14)$$

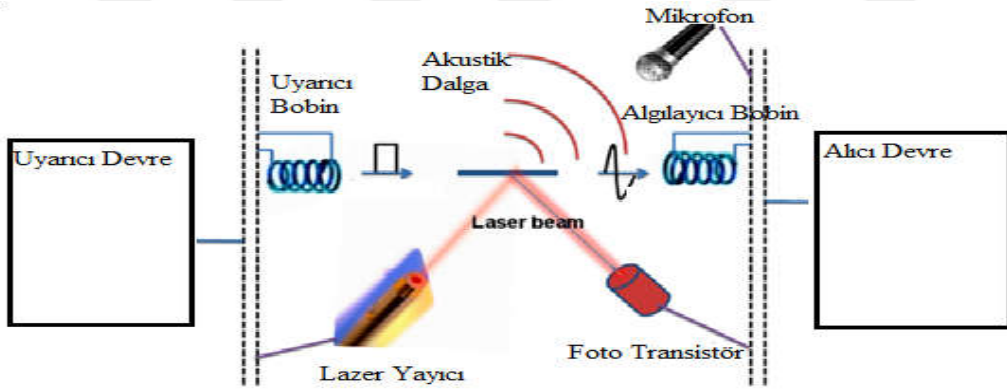
Küçük kütle yüklemeleri için denklem 2.14 aşağıdaki gibi olur:

$$\Delta f = f_{kütlesi} - f_0 = -f_0 \frac{\Delta m}{2m_s} \quad (2.15)$$

ile ifade edilir.

Rezonans frekansı, sensörün yüzeyine küçük bir kütle bırakıldığında yani malzeme yüzeyine absorbe olan moleküllerin kütle miktarına bağlı olarak değişir.

Şekil 2.6’ da tipik bir manyetoelastik sensörün çalışma mekanizması üzerine üç farklı yolla algılama yapılabilmektedir. Bunlar; manyetik, akustik ve optik mekanizmalardır. Manyetik olarak algılama numunenin rezonans frekansındaki değişimler incelenerek yapılmaktadır. Akustik olarak algılama numunenin titreşiminden dolayı ortaya çıkan ultra ses dalgalarının bir alıcı mikrofon tarafından algılanması prensibiyle çalışmaktadır. Optik olarak algılama ise gönderilen lazer ışınlarının bir foto transistör tarafından yansıyan ışınları algılayarak değişen dalga boyunu algılaması ile çalışmaktadır.



Şekil 2.6 Manyetoelastik sensörün manyetik, akustik ve optik olarak izlenmesi [21].

2.4.2. Manyetoelastik Sensör Olarak Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Manyeto elastik sensör uygulamalarında malzemelerin manyetik özellikleri önemli bir parametredir. Tablo 2.4’de manyetoelastik sensör olarak kullanılan amorf ferromanyetik şeritlere ait bazı parametreler verilmiştir.

Tablo 2.4 Manyetoelastik sensör olarak kullanılan amorf ferromanyetik şeritlere ait bazı parametreler.

Ticari İsim	Kompozisyon	λ_s (ppm)	M_s (T) (doyum manyetizasyonu)
METGLASS 2605 CO	$Fe_{67}Co_{18}Si_{11}B_4$	35	1.8
METGLASS 2605 SC	$Fe_{81}B_{13.5}Si_{3.5}C_2$	30-40	1.61
METGLASS 2826 MB	$Fe_{40}Ni_{38}Mo_4B_{18}$	12	0.88
VAC 0040	$Fe_{40}Ni_{40}B_{20}$	15	1

İyi manyetoelastik sensör için düşük manyetik alanda yüksek manyetostriksiyon gösteren malzeme gereklidir. Bu amaçla genellikle amorf ferromanyetik malzemeler tercih edilmektedir.

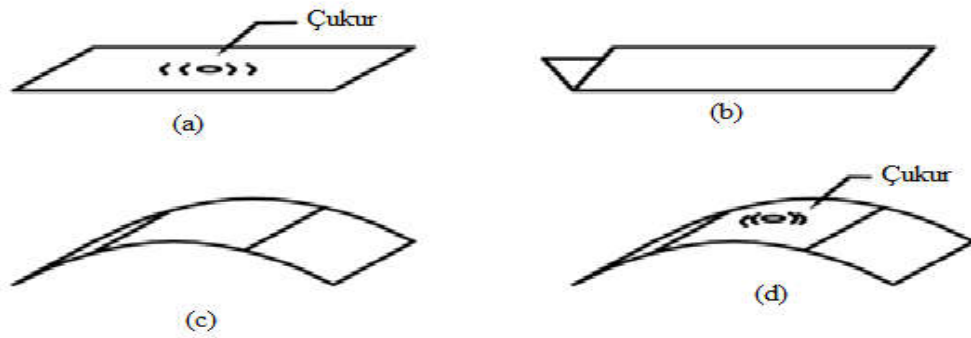
2.4.3. Manyetoelastik Sensör Uygulamaları

Manyetoelastik sensör sistemleri birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik değişkenlerin algılanmasında kullanılır. Bunlardan bazıları hakkında aşağıda temel bilgiler verilmiştir.

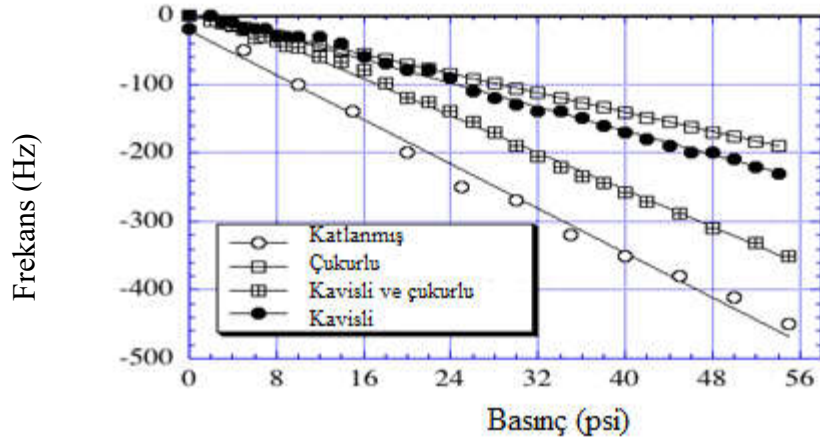
2.4.3.1. Basınç Algılama Sistemleri

Manyetoelastik sensör, ortam basıncındaki değişikliklere tepki verir. Bu konuda yapılan bir çalışmada algılamanın sensörün düzlem titreşimlerinden kaynaklandığı belirlenmiştir. Hassasiyeti arttırmak için sensör bilinçli olarak bükülerek düzlem dışı dikey titreşimler üretilmesi sağlanmıştır. Buradaki amaç manyetoelastik sensör üzerine stres yaratarak manyetik enerjiyi mekanik enerjiye çevirmek ve böylece dikey titreşimleri sağlamaktır [22].

Şekil 2.7’ de manyetoelastik sensörde stres yaratmak için kullanılan geometriler gösterilmiştir. Çukurlu, katlanmış, kavisli ve kavisli çukurlu sensörlerdeki basınç etkisi izlenmiş ve şekil 2.8’ de basınç etkisine karşı ortaya çıkan rezonans frekans değerleri verilmiştir [22].



Şekil 2.7 Manyetoelastik sensörde stres yaratmak için kullanılan geometriler: (a) çukurlu bir sensör, (b) katlanmış bir sensör, (c) kavisli bir sensör, (d): kavisli ve çukurlu bir sensör [22].



Şekil 2.8 Folded (katlanmış), dimpled (çukurlu), curved (kavisli) ve curved&dimpled (kavisli ve çukurlu) sensörlerdeki basınç – frekans grafiği [22].

2.4.3.2. Sıvı Viskozite ve Yoğunluk Ölçüm Sistemleri

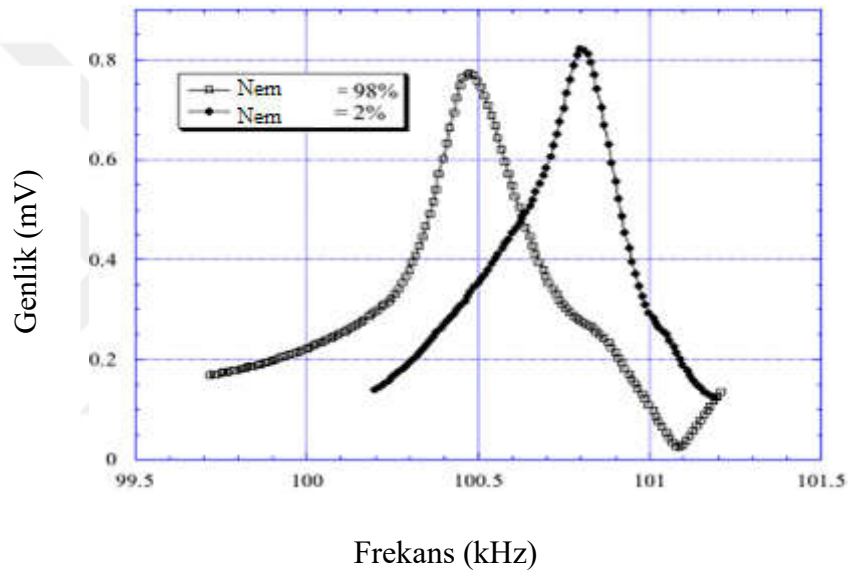
Grimes ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada sıvı viskozitesinin ve yoğunluğunun manyetoelastik sensör kullanılarak ölçülebileceği belirtilmiştir [22]. Bu çalışmada TiO_2 ile kaplanmış ve kaplanmamış iki malzeme kullanılarak ölçümler yapılmıştır. TiO_2 sıvıyı tutucu olarak kullanılmaktadır. Yapılan ölçümlerde sensöre kütle yüklemesi yapılarak frekans kayması ölçülmüştür [22]. Viskozite ölçümünde frekanstaki kayma hesaplanmıştır. Frekanstaki değişim;

$$\Delta f = \frac{\sqrt{\pi f_0}}{2\pi \rho_s d} \sqrt{\eta \rho_l} \quad (2.16)$$

bağıntısı ile verilir. Burada Δf rezonans frekansındaki değişim, η viskozite, ρ_l ise ortamın yoğunluğu olarak tanımlanır.

2.4.3.3. Nem Algılama Sistemleri

Bir manyetoelastik sensör nem tutucu bir malzeme ile kaplanırsa kütsel yüklem sebebiyle sensörün rezonans frekansında bir kayma olur böylece ortamdaki nem miktarı ölçülmüş olur. Nem tutucu olarak genellikle TiO_2 veya Al_2O_3 ile sensör yüzeyi kaplanır. Daha sonra ortamdaki nem miktarı ölçülür. Şekil 2.9’ da TiO_2 ile kaplanmış manyetoelastik sensörün artan ve azalan nem oranlarına göre rezonans frekansındaki kayma gösterilmektedir [22].

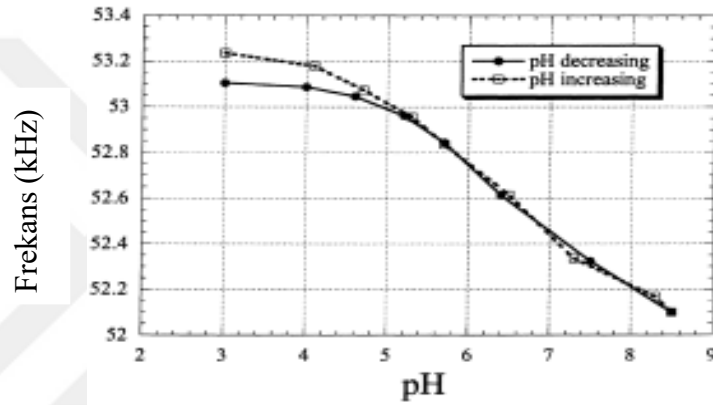


Şekil 2.9 Manyetoelastik nem sensörünün ölçülen frekans spektrumu [22].

2.4.3.4. Manyetoelastik pH Sensörleri

Grimes ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada uzaktan algılama için ucuz ve pasif bir çözüm sunan manyetoelastik sensörler ile pH ölçümü gerçekleştirilmiştir [22]. Manyetoelastik malzemeler aynı zamanda manyetostriktif olduğundan sensör mekanik olarak deforme olur ve stres altında kaldığında manyetik enerjiyi elastik enerjiye dönüştürür. Bu değişiklik algılayıcı bobin tarafından algılanır. Böylece numunenin titreşim frekansında meydana gelen kaymadan yola çıkılarak pH değeri

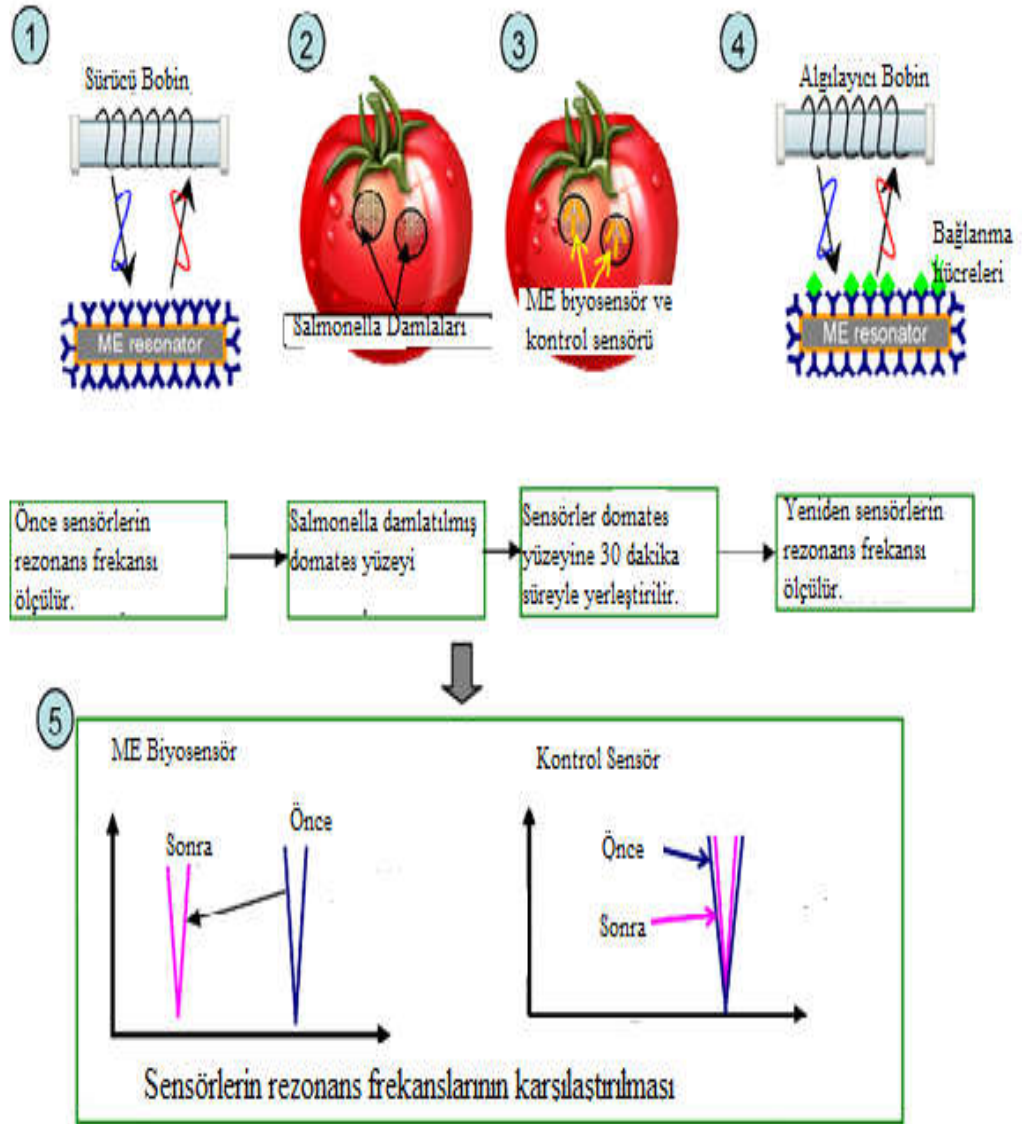
hesaplanabilir. Manyetoelastik sensörlerin temel çalışma prensibine uygun olarak kütledeki değişim sonucu rezonans frekansındaki değişim ölçülerek pH değeri hesaplanmıştır (Şekil 2.10) [15]. Bunun için malzeme uygun polimerle kaplanmalıdır. pH ölçümü için, %60 - 80 mol akrilik asit polimerleri ile çözünmeyen polimer jel elde etmek için hafifçe çapraz bağlanmış kopolimer jel (%2 mol akrilamid) ilave edilerek hazırlanan polimer jel kullanılmıştır. Hazırlanan bu polimer jel ile kaplanan ME sensör pH ölçülmesi istenen çözeltiye daldırılarak kütledeki değişimin rezonans frekansındaki kayma ölçülerek çözeltinin pH değeri hesaplanır[15].



Şekil 2.10 Tekrarlanan pH ölçümlerinde rezonans frekans değerleri[15].

2.4.3.5. Manyetoelastik Sensörlerin Biyolojik Ajanların Tespitinde Kullanımı

Manyetoelastik sensörler biyolojik ajanların (bakteri, virüs, hücre organelleri gibi) tespitinde kullanımına ait literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır [22]. Bunlardan taze meyve veya sebzeler üzerinde sağlığa zararlı Salmonella bakterisinin tespitine yönelik olan çalışma oldukça dikkat çekicidir. Manyetoelastik malzeme salmonella bakterisine duyarlı bir bakteriyofaj ile kaplıdır. Salmonella bakterilerini tutan bu yapı malzemenin kütlelerinde değişime sebep olmakta ve böylece rezonans frekansı değişmektedir. Şekil 2.11' de bu sistemin şematik gösterimi aşamalı olarak verilmiştir [23,24].



Şekil 2.11 Manyetoelastik biyosensör kullanarak domates yüzeyi üzerindeki Salmonella bakterisinin doğrudan tespitinin şematik gösterimi [23,24].

2.4.3.6. Manyetoelastik Sensörlerin Diğer Uygulamaları

Manyetoelastik sistemler uzaktan algılama özelliği sayesinde yukarıda bahsedilen uygulama alanları dışında daha pek çok platformda kullanılmaktadırlar. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir;

- Süt kalitesinin izlenmesi,
- Lipoprotein dedektasyonu,
- Kan pıhtılaşmasının izlenmesi
- Endotoksin, B ve E gibi farklı kimyasal – biyolojik maddelerin çözeltilerinin ölçümlerinde,
- Trombosit özelliklerinin belirlenmesinde,
- Manyetik nano parçacık dedektasyonu.

Manyetoelastik sensör sistemleri, hem teorik model hem de uygulama alanındaki gelişmelerle son yıllarda önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Teknolojik gelişmeler sayesinde ilk evrelerindeki büyük alet kullanımını mikro-kontrol temelli devre kartı tasarımına dönüştürmüştür. Bu dönüşüm portatif, etkili ve kolay kullanım sağlamıştır. Temassız işlem ve ucuz sensör materyali avantajı ile gelecekte birçok algı uygulamaları için manyetoelastik sensör sistemlerinin kullanımı gittikçe artacaktır.

Manyetoelastik sensör sistemleri pek çok fiziksel, kimyasal ve biyolojik alanda geniş kullanıma sahiptir. Yukarıda bahsedilen uygulamalarının dışında savunma sanayisinde, pek çok makine ve araçlarda, inşaat sektöründe, otomotiv sektöründe, gıda sektöründe ve tıp alanında gün geçtikçe daha fazla kullanım alanı bulmaktadır.

Manyetoelastik prensiplerle çalışan sensörlerin avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz [16-20]:

- i) Manyetoelastik sensörler oda sıcaklığında çalışabilme kabiliyetine sahiptirler.
- ii) Tasarımının basit olmasının yanı sıra küçük boyutlu olarak imal edilebilirler. Bu nedenle isteğe bağlı olarak tek kullanımlık sensörler olarak da tasarlanabilirler. Ucuz olmasından dolayı kullan – at tipinde sensörler olarak kullanılabilirler.
- iii) Sensör platformu kablosuzdur. Bu nedenle sensör ile izleme sistemi arasında her hangi bir elektriksel bağlantı yoktur.

iv) Pasif bir sensördür. Bundan dolayı sensör platformuyla bütünleşik bir enerji ihtiyacı daha düşüktür.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Giriş

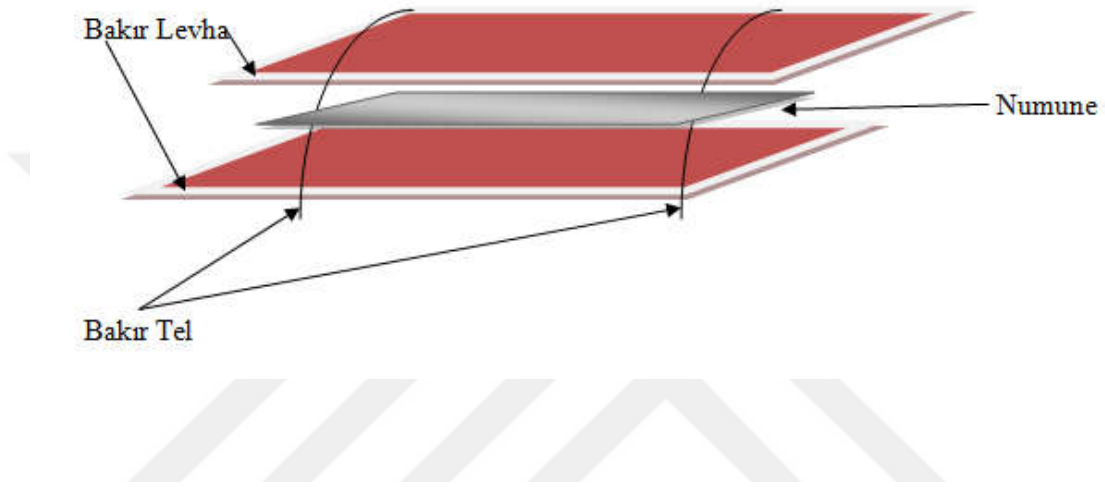
Manyetoelastik sensörlerin tasarımının basit olması, pasif bir sensör olmasından kaynaklı olarak enerji ihtiyacının çok düşük olması, kablosuz algılama yapabilmesi, oda sıcaklığında çalışabilmesi, maliyetinin düşük olması gibi sebeplerden dolayı son yıllarda sensör teknolojilerinde daha tercih edilir hale gelmiştir. Ayrıca bu avantajlarına ek olarak pek çok fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenlerin tespit edilmesinde kullanılabilir. Özellikle son yıllarda tıp ve mühendislik teknolojilerinde tercih edilir durumdadır.

Yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı bu çalışmada manyetoelastik sensör olarak pek çok kullanım alanına ve avantajına sahip olan amorf ferromanyetik şerit numunelerden Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) şerit numunesi kullanılmıştır. Bu bölümde ilk olarak örneklerin hazırlanma süreci ve ısıtma işlemi yapıma prosesi anlatılmıştır. Daha sonra Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) şerit numunesinin SEM, EDX ve X-Ray ölçümleri ve ölçüm sistemleri hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Manyetoelastik ölçümlerin yapıldığı ölçüm sistemi hakkında genel bir bilgilendirme sunulmuştur. Piyasada hazır halde satılan ve mağazalarda hırsızlıklara karşı kullanılan güvenlik etiketinden satın alınarak bu sensörün gerekli incelemeleri ve ölçümleri yapılmıştır. Son olarak deneyler sırasında oluşan hata kaynakları hakkında bilgi verilmiştir.

3.2. Örneklerin Hazırlanışı ve Isıl İşlemler

Deneyisel çalışmalar için kullanılacak şerit 5 cm uzunluğunda 0,5 cm genişliğinde kesildi. Numunelerin kesim işlemi kenarlarda oluşabilecek kırıklardan dolayı ortaya çıkacak stresleri giderebilmek için keskin bir makasla yapıldı. Daha sonra kesilen numune saf alkol ve aseton ile temizlendi. Temizleme işlemi ısıtma işlemlerinden önce ve sonra yapıldı. Deneyisel ölçümleri yapılan tüm numunelere uygulanan ısıtma işlemleri sırasında, numuneler iki bakır levha arasına yerleştirilerek levhalar sıkıca perçinlendi.

Bakır levhalar arasında ısıtıl işlemin yapılma sebebi; ısıtıl işlem sırasında oluşabilecek kristalleşmeyi ortadan kaldırmaktır. Şekil 3.1’ de bakır levha arasına konulmuş numunenin şematik gösterimi bulunmaktadır. Bakır levhalar işlemden önce ince zımpara ile zımparalanarak yüzeyinin pürüzsüz halde olması sağlandı. Sonrasında ise aseton ile temizliği yapılan bakır plakalar arasına numune yerleştirildi.



Şekil 3.1 Levhalar arasına sıkıştırılmış numunenin şematik gösterimi.

Numuneler 420 °C sıcaklık altında 20 dakika, 30 dakika ve 75 dakika süre ile ısıtıl işleme tabi tutulmuşlardır. Isıtıl işlem yapılırken belirlenen zamanlar kronometre ile ölçülmüştür. Sıcaklık düşük olduğundan bakır levhalardan numunelere herhangi bir stres kaynağı gelmemektedir. Belirlenen zamandan sonra tüp fırın içerisindeki numune çıkarılarak hızlı soğutma yapılmıştır. Soğutma işleminden sonra numune aseton ve alkol ile iyice temizlenmiştir. Numunelere ısıtıl işlem uygulanan tüp fırın düzeneğinin fotoğrafı şekil 3.2’de gösterilmiştir. Fırının kontrol birimine istenilen sıcaklık ve süre bilgisi girilerek programlanmıştır. Ana kontrol birimi zamanla meydana gelebilecek sıcaklık değişimlerini $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ’ de tutabilme kapasitesindedir. Bakır levhalarla sabitlenmiş numune tüp fırının ısı merkezine konularak ısıtıl işlem başlatıldı. Numune boyutları küçük olduğundan ve numune tüp fırının daha önce belirlenmiş ısı merkezine yerleştirildiğinden fırın içerisindeki ısı farklarından etkilenmediği düşünülmektedir. Isıtıl işleminden sonra numune dikkatlice levhalar arasından çıkartılarak hızlı soğutma yapıldı. Ardından numune aseton ile temizlendi.



Şekil 3.2 Tüp fırının fotoğrafı

3.3. X-Işınları Kırınım Ölçümleri

X – ışını kırınım yöntemi kristal malzemelerdeki farklı fazları ve kristal yapının parametrelerini tespit etmek için kullanılmaktadır. Bu yöntem temelde Bragg yansıması prensibine göre çalışmaktadır. Numune üzerine sistemden üretilen X-ışınları gönderilerek kırınıma uğraması sonucunda saçılan veya yansıyan ışınlar bir dedektör tarafından algılanarak bilgisayara aktarılır. Bir yazılım yardımıyla yansıyan ışının şiddetinin 2θ değerine karşılık grafiğini çizer. Ölçümlerde $\text{CuK}\alpha$ ışınımı kullanılır. Bu sistem $2\theta = 1 - 170^\circ$ lik açı değerleri arasında 0.001° lik hassasiyetle sürekli ve kesikli ölçüm yapabilmektedir.

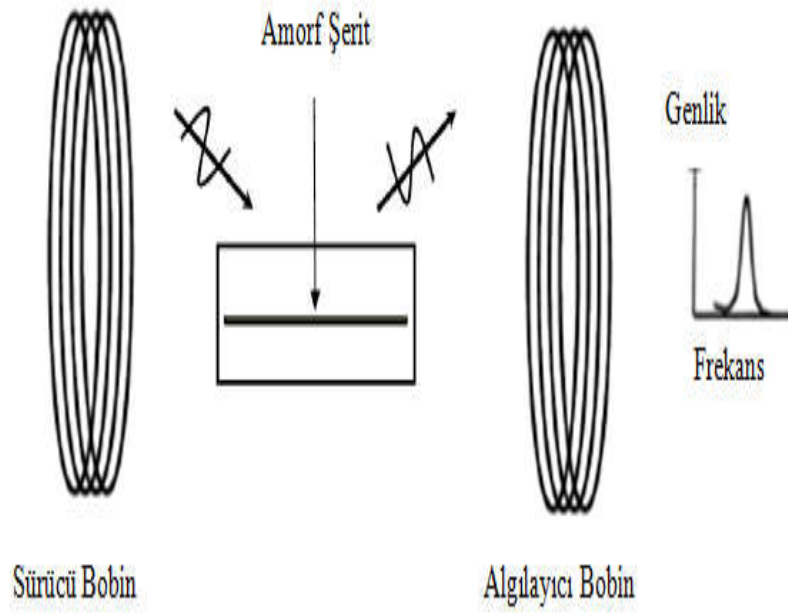
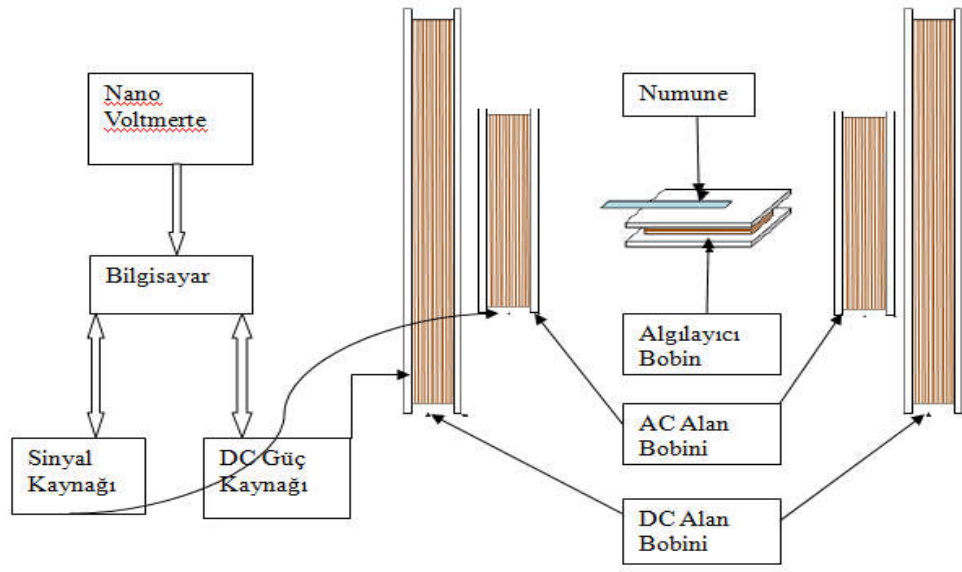
3.3.Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

Taramalı elektron mikroskobu ile (Scanning Electron Microscope, SEM) numunelerin yüzey formasyonu, faz oluşumları ve taneciklerin yapı içerisindeki dizilimlerini kapsayacak şekilde analizleri yapılmıştır. Numunelerin analizi 10 – 20 kV çalışma aralığında LE EVO – 40XVP taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yapılmıştır.

3.4. Manyetoelastik Ölçüm Sistemi

Malzeme kesilip temizlendikten ve ısıtma işlemi uygulanan numunelerin de en son temizliği yapıldıktan sonra manyetoelastik ölçüm sistemi içerisine yerleştirilerek ölçümler yapılmaya başlandı.

Şekil 3.3’ de kullanılan ölçüm sisteminin şematik görüntüsü verilmiştir. Şekil 3.4’ de ise sistemin fotoğrafı bulunmaktadır.



Şekil 3.3 Ölçüm Sisteminin şematik görünümü.



Şekil 3.4 Ölçüm Sisteminin fotoğrafı.

Manyetoelastik ölçüm sistemi AC alan bobini, DC alan Bobini, Algılayıcı bobin, DC güç kaynağı, Sinyal Kaynağı, Nano Voltmetre ve Bilgisayardan oluşmaktadır. AC ve DC alan bobinleri manyetik alan oluşturarak numunenin titreşmesini sağlamaktadır. Titreşen numunenin rezonans frekansı algılayıcı bobin tarafından algılanıp kablosuz olarak bilgisayara aktarılmaktadır. Bilgisayardakullandığımız TESPOINT programlama dili sayesinde numunenin titreşim rezonans frekansları kaydedilmektedir. Sonrasında ORİJİN isimli grafik çizim programına aktarılan veriler ile grafikler çizilmektedir. Çalışma grubumuz tarafından TESTPOINT ile yazılan program kullanılmaktadır. Programın çalışma prensibi aşağıda anlatılmaktadır:

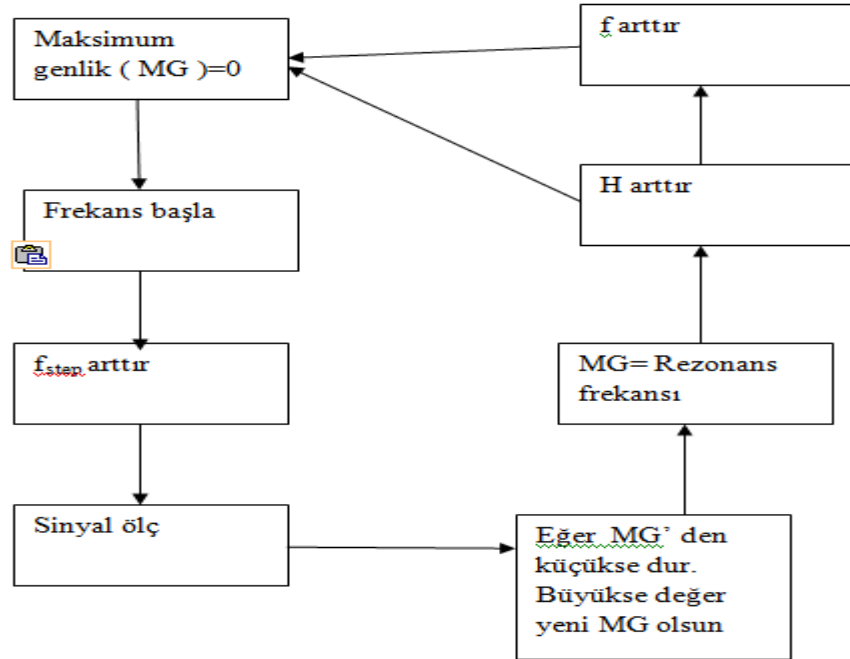
İlk başta sisteme maksimum genlik değeri “0” olarak girilmiştir. Tarama yapılması istenen frekans ve manyetik alanları ile bu değerlerin artış adımı (step) bilgileri girilerek sistem ölçüm için çalıştırılır. Program her bir frekans değeri için titreşen numunenin genliğini ölçer, bu değer programa girilen maksimum genlik değerinden küçükse bir sonraki değer için ölçüm yapar. Eğer titreşim genliği büyükse yeni maksimum genlik değeri olarak bilinir. Ve bu değer titreşen numunenin rezonans frekansının genliği olarak kabul edilir. Bu işlemler her bir manyetik alan için

(belirlenen H_{step} değeri için) tekrarlanır. Ayrıca her bir frekans değeri için yine istenen adım aralığında ölçümleri gerçekleştirir.

Program ölçüm yaparken bir yandan da ölçülen veriler ile 3 farklı grafik çizmektedir. Bu grafikler frekans – genlik, manyetik alan – frekans ve genlik – frekans grafikleridir. Ayrıca frekans – genlik, manyetik alan – frekans ve manyetik alan – genlik değerlerini de tablo halinde kayıt altına almaktadır.

Sistemde ölçüm yaparken belirlediğimiz bazı manyetik alan değerlerinde manuel olarak oluşan rezonans frekans değerlerini alabilmekteyiz.

Belirlediğimiz frekans ve manyetik alan aralığında ölçümler tamamlandığında program durmaktadır. Böylece programın ekranında manyetik alan – frekans, manyetik alan – genlik ve frekans – genlik grafikleri ve bu grafiklerin verileri bulunmaktadır. Bu verilerden ve grafiklerden kullanmak istediklerimiz alınarak incelenmektedir. Ölçüm sistemi 5 Hz hata ile çalışabilmektedir. Şekil 3.4’ de programın kısaca akış şeması bulunmaktadır.



Şekil 3.4 Test Point Programlama dili ile yazılan programın çalışma diyagramı.

Ölçüm sistemimizde kullanılan DC alan uygulayan bobinin çapı=52,6 cm, sarım sayısı = 29 sarım ve sarım telinin çapı = 1,8 mm' dir. AC alan bobininin çapı = 32,4 cm, sarım sayısı = 33 sarım, sarım telinin çapı = 1,8 mm' dir. Algılayıcı bobin olarak 6x6 cm boyutlarında 300 sarımlık büyük bobin ve 500 sarımlık 3,7x3,7 cm boyutlarında iki farklı bobin kullanılmıştır.

3.5. Güvenlik Etiketi İle Ölçümler

Ürünlerin çalınmasını engellemek amacıyla mağazalarda yaygın olarak kullanılan sensörlerden alınarak incelemeler yapılmıştır. Güvenlik etiketlerinden çıkarılan numunelerin Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) amorf ferromanyetik numune olduğu anlaşılmıştır. Şekil 3.5' de bu sensörün kullanıldığı ürünler ve sensörün kendisine ait hem kapalı hem de paketi açık haldeki fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 3.5.Güvenlik etiketine ait fotoğraflar.

Güvenlik etiketi mağazada satılan bir ürünün üzerine yapıştırılır. Ürün eğer parası ödenmeden alınmışsa yani çalınma durumunda; mağazanın çıkışında verici-alıcı bobin özelliği gösteren sistemden geçerken güvenlik etiketine gelen sinyal karşı tarafa geçerken kesintiye uğrar ve akustik olarak (ses ile) uyarı verir.

Güvenlik etiketi ile paketi açılmadan ve paketi açıldıktan sonra manyetoelastik ölçümler yapılmıştır. Güvenlik etiketi ile sıvı ortam ölçümleri ve kütle etkisi ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

3.6. Deneysel Hata Kaynakları

Deneysel ölçümlerin yapılabilmesi için öncelikle numunenin belirli boyutlarda kesilmesi gerekmektedir. Bu kesme işlemi sırasında çok keskin bir makas kullanılmış olsa bile numunenin kenarlarında mikro boyutta çatlaklar oluşabilmektedir. Bu çatlaklar ölçüm sırasında numunede fazladan stres kaynağı oluşturmaktadır.

Ayrıca dünyanın manyetik alanının etkisinden dolayı düşük alan ölçümlerinde hatalar olabilmektedir.

Şekil 3.2’ de fotoğrafı verilen sistem açık sistem olduğundan ölçüm sonuçlarında dış etkenlerden kaynaklı hatalar olmaktadır.

Isıl işlem sırasında numunede kristalleşmeler gözlenebilmektedir. Numunelerin tam olarak temizlenememesi ve ölçüm sistemine yerleştirilirken istemsiz olarak kirlenmesi de hata kaynağı olarak sayılabilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Isıl İşlem Etkisi

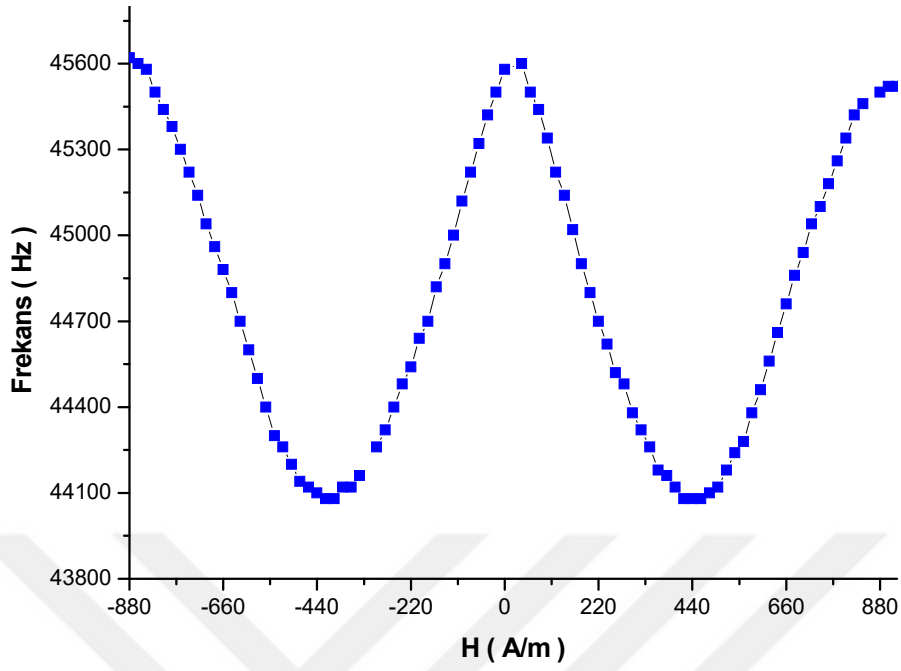
4.1.1. Giriş

Bu bölümde amorf ferromanyetik şerit numune üzerinde ısıtma işlemi etkisinin ölçüm sonuçları araştırılmıştır. Isıtma işlemi öncesinde kullanılacak tüp fırın; istenilen sıcaklık olan 420 °C sıcaklığa 30 dakikada ulaşır 3 saat bu sıcaklıkta sabit kalır ve sonrasında da 30 dakikada tekrar oda sıcaklığına düşmesi için programlanmıştır. Ayrıca numune ile numunenin konulacağı bakır levhalar alkol ve aseton ile iyice temizlenmiştir. Ardından numunelere 20 dakika, 30 dakika ve 75 dakikalık ısıtma işlemleri uygulanmıştır. Isıtma işlemi sonrası hızlı soğutma yapılan numuneler temizlendikten sonra ölçüm sistemine yerleştirilerek manyetik alan altındaki davranışları incelenmiştir.

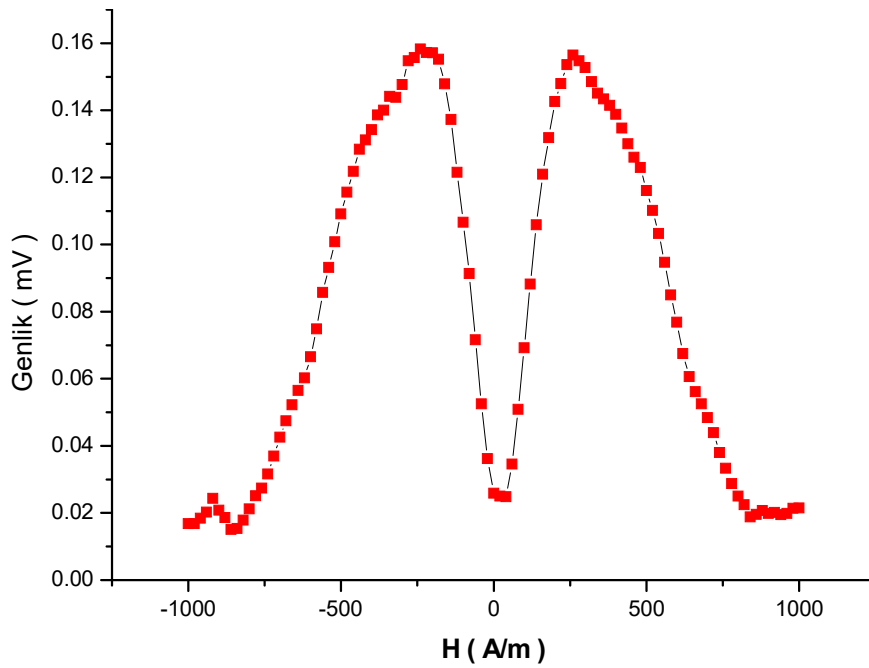
4.1.2. Isıtma İşlemi Görmemiş Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) Numunesinin DeneySEL Ölçümleri

Amorf Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) şerit numunedan 5cmx0,5 cm ebatlarında kesilip temizlendikten sonra manyetoelastik ölçüm sistemine yerleştirilerek ölçümler alınmıştır. Yapılan ölçümlerde frekans aralığı 30000 Hz – 50000 Hz, uygulanan manyetik alan aralığı -1000 A/m – 1000 A/m olarak kullanılmıştır.

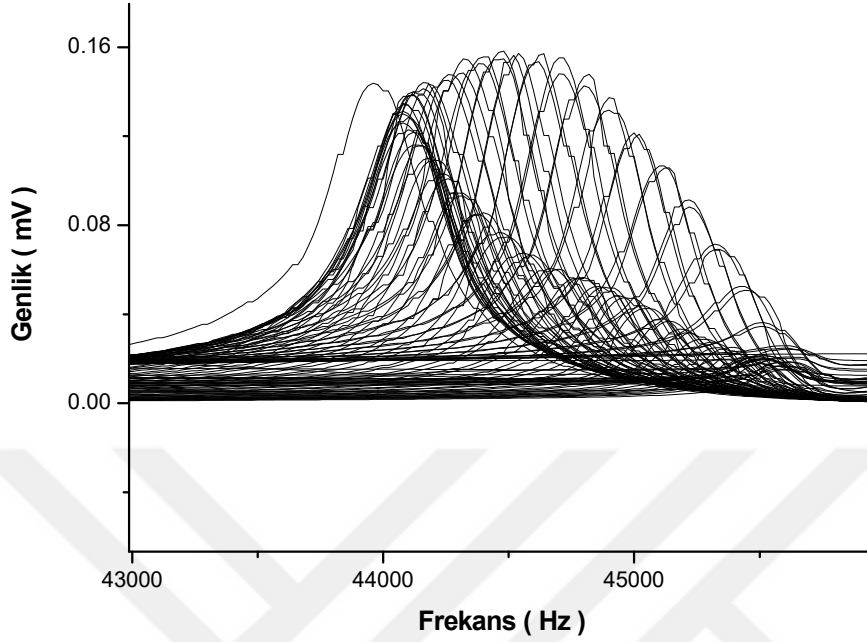
Ölçüm sonucunda manyetik alan – frekans grafiği şekil 4.1’ de verilmiştir. Manyetik alan – Genlik grafiği ise şekil 4.2’ de ve Şekil 4.3’ te ise frekans – genlik grafiği verilmiştir.



Şekil 4.1 Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) şerit numune için frekans – manyetik alan grafiği.



Şekil 4.2 Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) şerit numune için genlik – manyetik alan grafiği.



Şekil 4.3 Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) şerit numune için genlik – frekans grafiği.

Isıl işlem uygulanmamış numunelerde iç streslerden dolayı manyetoelastik anizotropi enerjisi oluşmaktadır. Bu iç streslerin kaynağı üretimsel nedenlerdir. Numunede mevcut olan bu iç stresler numunenin manyetik momentlerini numunenin boyu, yani manyetik alan doğrultusunda yönelimini engellemektedir. Squire modeli incelendiğinde Young Elastik modülü eşitlik 4.1 ile verilmiştir.

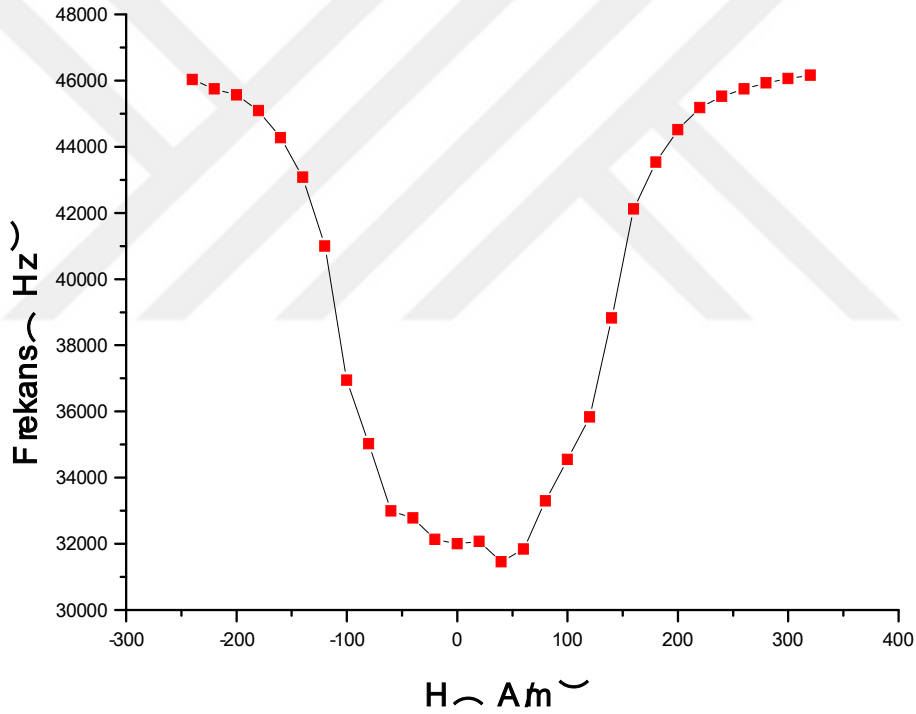
$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{\lambda_s^2 E_s}{8K} f(h, \theta) \quad (4.1)$$

Farklı θ yönelimleri E/E_s değerini değiştirmekte ve böylece manyetik alan - frekans eğrisi değişmektedir. Isıl işlem görmemiş numunelerde θ yönelimi yaklaşık olarak 80° civarındadır. Bu durumda eğri W şeklinde görülmektedir (şekil 4.1). Şekil anizotropi etkisi sıfır olarak kabul edilebilmektedir. Öte yandan amorf alaşımlarda

makroskobik kristal anizotropi katkısı bulunmadığından kristal anizotropi sıfır kabul edilebilir.

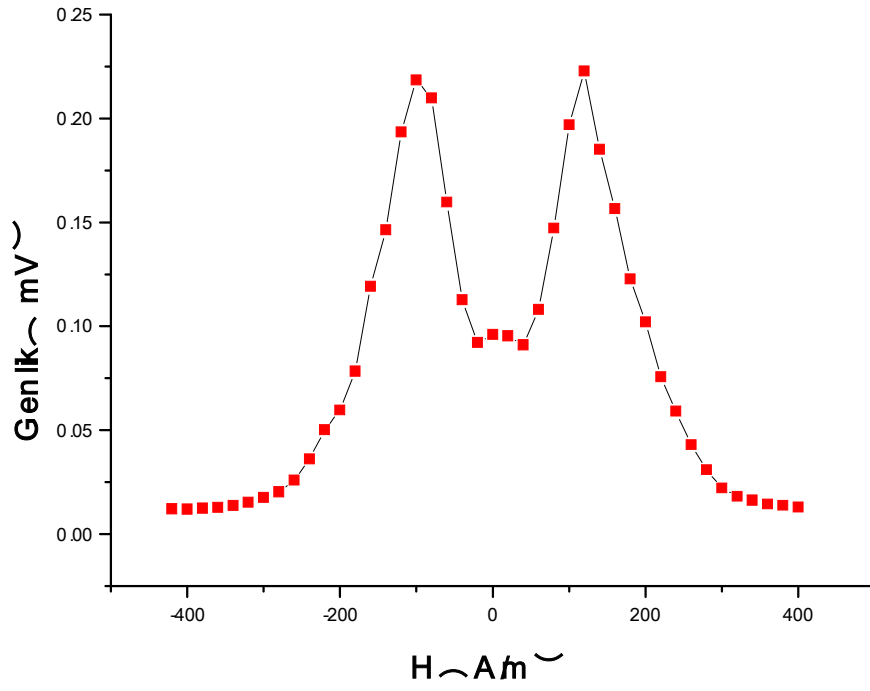
4.1.3. Isıl İşlem Görmüş Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) Numunesinin Deneysel Ölçümleri

Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) amorf ferromanyetik şerit numuneye $420\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de sırasıyla 20 dakika, 30 dakika ve 75 dakika ısıtılarak uygulanarak manyetoelastik ölçümler alınmıştır. Bu ölçümler sonucunda $420\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de 20 dakika süre ile yapılan ısıtılma işlemi sonucunda manyetik alan - frekans grafiği Şekil 4.4' de verilmiştir.



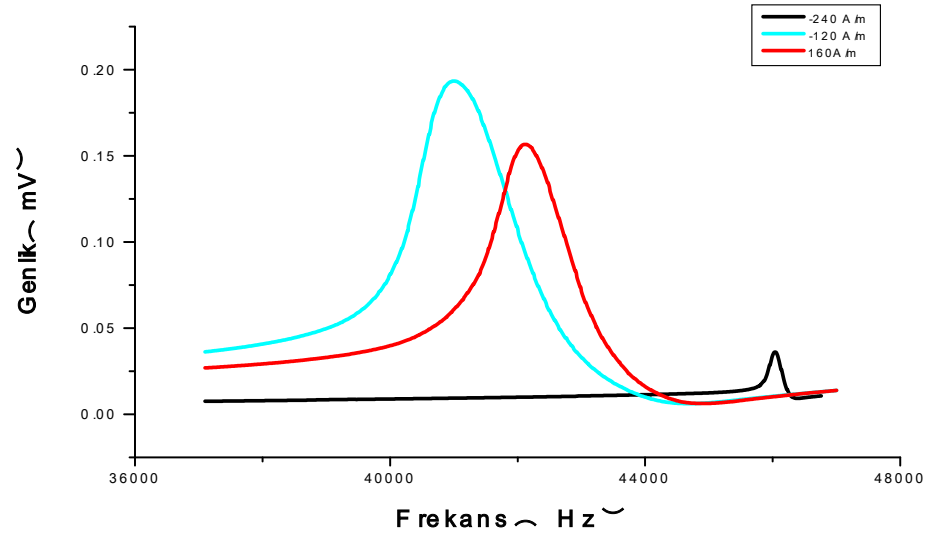
Şekil 4.4 $420\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de 20 dakika ısıtılma işlemi uygulanmış numunenin frekans – manyetik alan grafiği.

Şekil 4.5' de ise $420\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de 20 dakika süre ile yapılan ısıtılma işlemi sonucunda oluşan genlik – manyetik alan grafiği verilmiştir. Genlik sıfıra gittiği için ölçümler -400 A/m ile 400 A/m aralığında kesilmiştir.



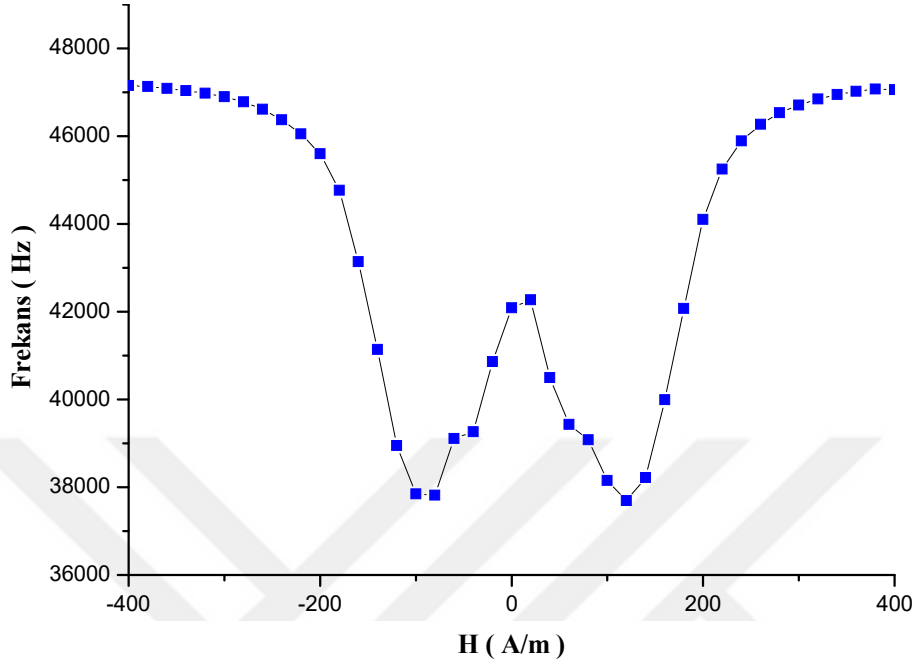
Şekil 4.5 420 °C de 20 dakika ısıtılmış numunenin genlik – manyetik alan grafiği.

Şekil 4.6’ da 420 °C’ de 20 dakika süre ile yapılan ısıtılmış numunenin -240 A/m, -120 A/m ve 160 A/m manyetik alan değerlerinde frekans – genlik grafikleri verilmiştir.

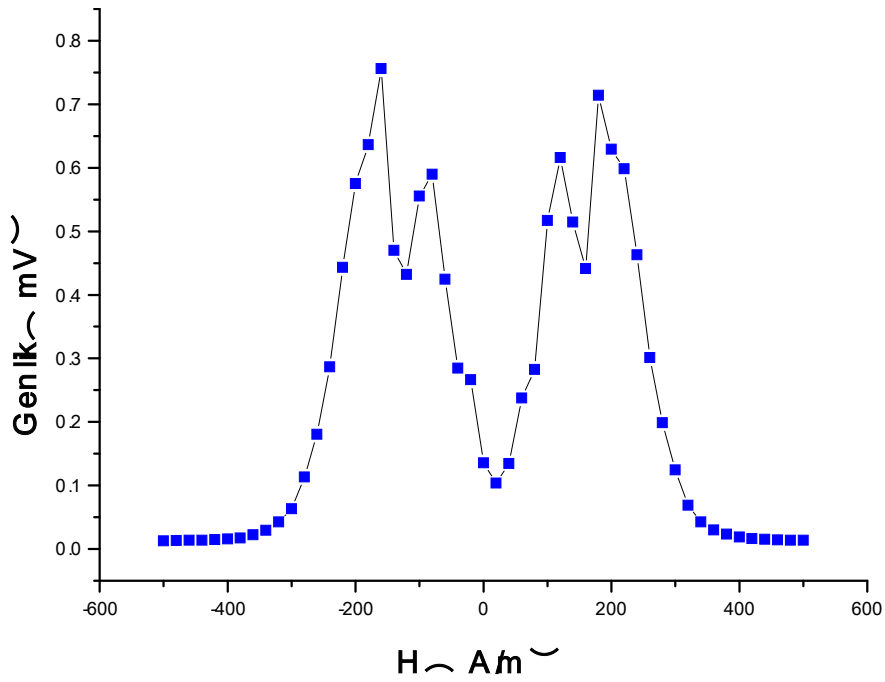


Şekil 4.6 420 °C de 20 dakika ısıtılmış numunenin -240 A/m, -120 A/m ve 160 A/m manyetik alandaki frekans – genlik grafiği.

Şekil 4.7’ de 420 °C’ de 30 dakika süre ile yapılan ısıt işlem sonucunda f – H grafiği verilmiştir. Şekil 4.8’de ise aynı numunenin genlik – manyetik grafiği verilmiştir.

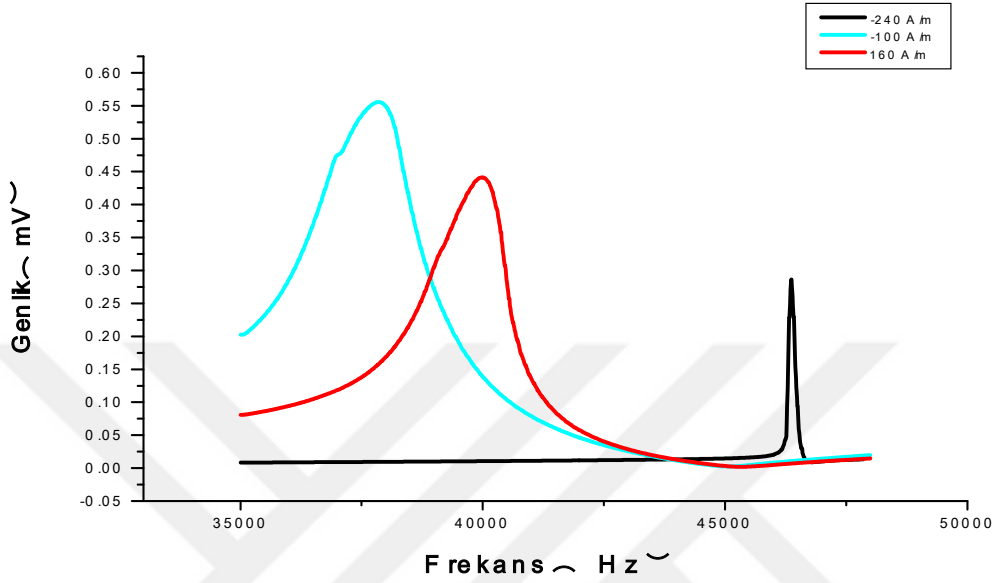


Şekil 4.7 420 °C’ de 30 dakika ısıt işlem uygulanmış numunenin frekans – manyetik alan grafiği.



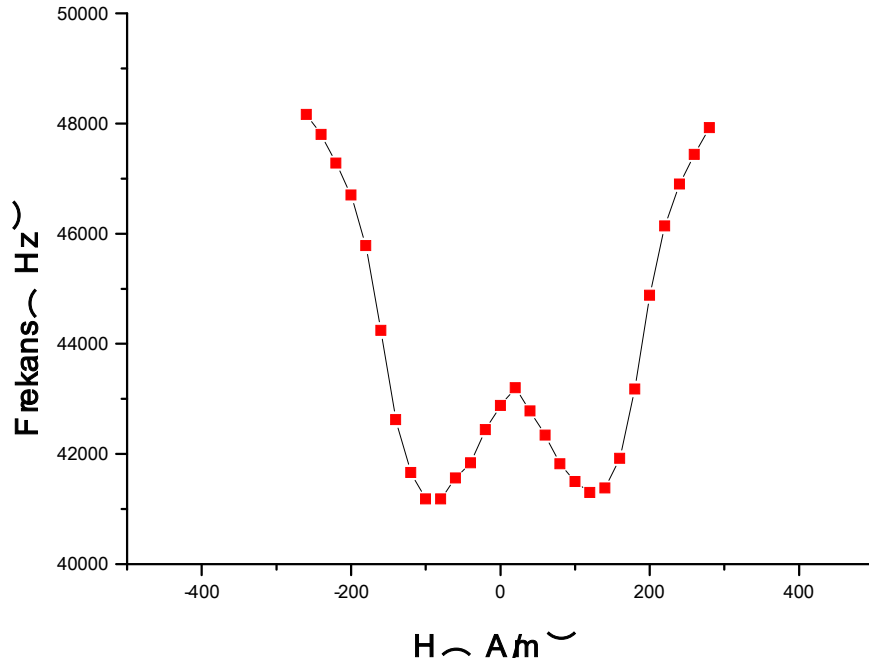
Şekil 4.8 420 °C’ de 30 dakika ısıt işlem uygulanmış numunenin genlik – manyetik alan grafiği.

Şekil 4.9’ da 420 °C’ de 30 dakika ısıt işlem uygulanmış numunenin -240 A/m, -100 A/m ve 160 A/m manyetik alandaki frekans – genlik grafiği sunulmaktadır.

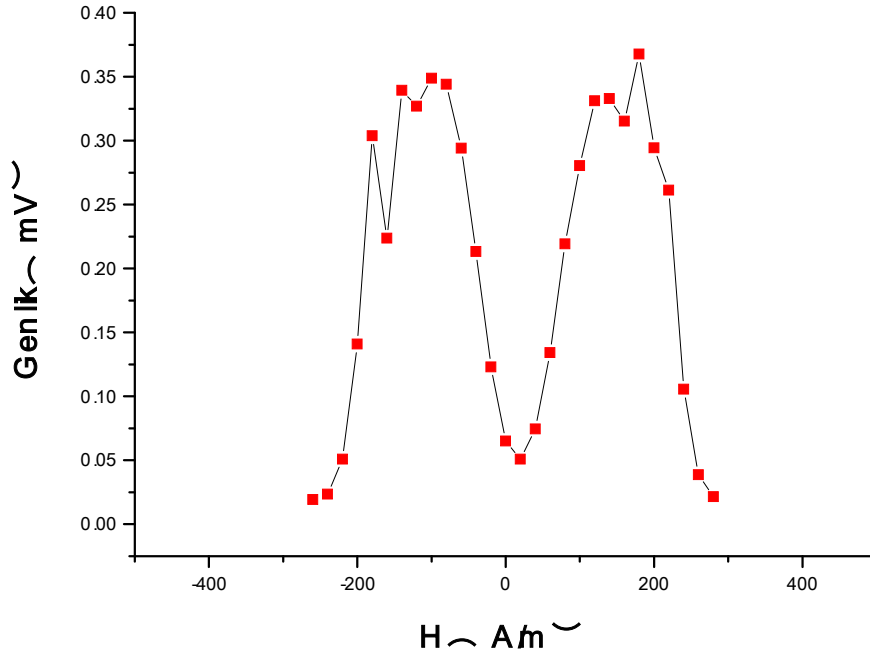


Şekil 4.9 420 °C’ de 30 dakika ısıt işlem uygulanmış numunenin -240 A/m, -100 A/m ve 160 A/m manyetik alandaki frekans – genlik grafiği.

Şekil 4.10’da 420 °C’ de 75 dakika ısıt işlem uygulanmış numunenin frekans – manyetik alan grafiği, Şekil 4.11’de ise 420 °C’ de 75 dakika ısıt işlem uygulanmış numunenin genlik – manyetik alan grafiğiverilmiştir.

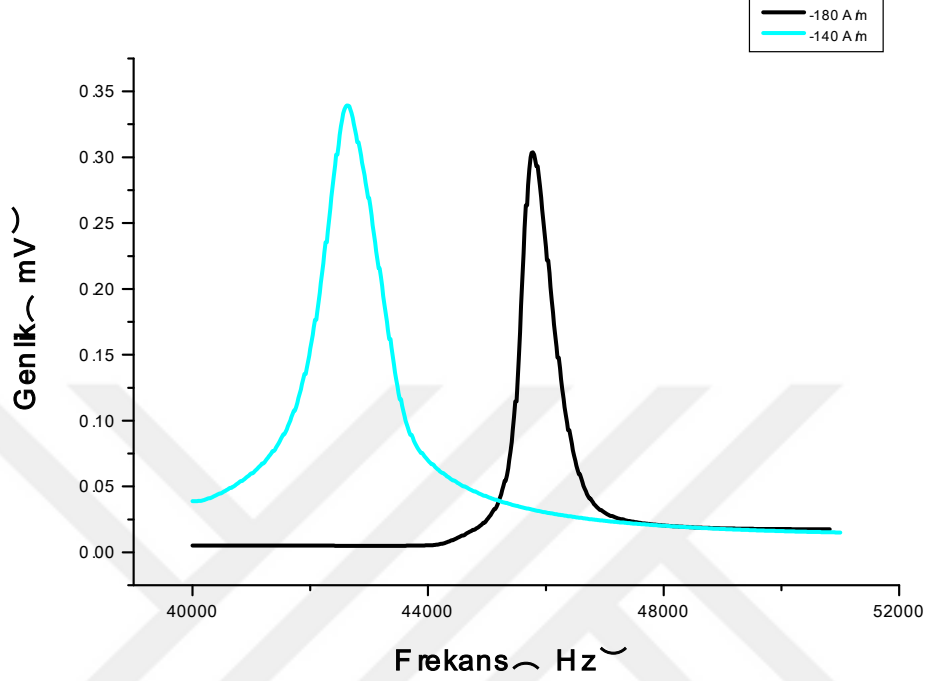


Şekil 4.10 420 °C’ de 75 dakika ısıt işlem uygulanmış numunenin frekans – manyetik alan grafiği.



Şekil 4.11 420 °C’ de 75 dakika ısıt işlem uygulanmış numunenin genlik – manyetik alan grafiği.

Şekil 4.12’ de 420 °C de 75 dakika ısıt işlem uygulanmış numunenin -180 A/m ve -140 A/m manyetik alandaki frekans – genlik grafiği verilmiştir.



Şekil 4.12 420 °C de 75 dakika ısıt işlem uygulanmış numunenin -180 A/m ve -140 A/m manyetik alandaki frekans – genlik grafiği.

Isıl işlem görmüş numunelerde üretim sırasında oluşabilen iç streslerden kaynaklı manyetik momentlerin yönelimi (θ) değişmektedir. Düşük süreli ısıt işlemlerden sonra bu θ değeri yaklaşık olarak 45° civarındadır. Bu da eğrinin V şekline benzemesine sebep olmuştur (şekil 4.4). Isıl işlem süresi arttırıldığında manyetik momentlerin yönelimi tekrar 80° civarına doğru yaklaşarak eğrinin W şekline benzemesine sebep olmuştur (Şekil 4.7 ve Şekil 4.10).

Sonuç olarak ısıt işlem uygulanmamış numunelerde üretimden kaynaklanan iç stresler manyetik momentin uygulanan manyetik alan doğrultusu ile yaklaşık 80° ’lik açı yaparak elastikliğinin istenen düzeyde olmasını engellemektedir.

Özellikle düşük süreli ısıt işlem uygulamalarından sonra numunelerde iç stresler azaldığından ve kristal anizotropi etkisi sıfır kabul edildiğinden dolayı numunenin manyetik moment yönelimi uygulanan manyetik alan doğrultusuna çok düşük açılar

oluşturmaktadır. Ama iç stresleri tamamen yok etmek mümkün olmadığından manyetik momentler tamamen uygulanan manyetik alanın doğrultusunda yönelmemektedirler. Yaklaşık 45^0 lik manyetik moment yönelimi görülmektedir.

Ancak ısıtma işlemin süresi arttırıldığında manyetik momentlerin manyetik alan ve numunenin boyu doğrultusundaki yönelim açısı tekrar artarak yaklaşık 80^0 'lik açı oluşturmaktadırlar.



4.2. Sıvı Ortam Ölçümleri

4.2.1. Giriş

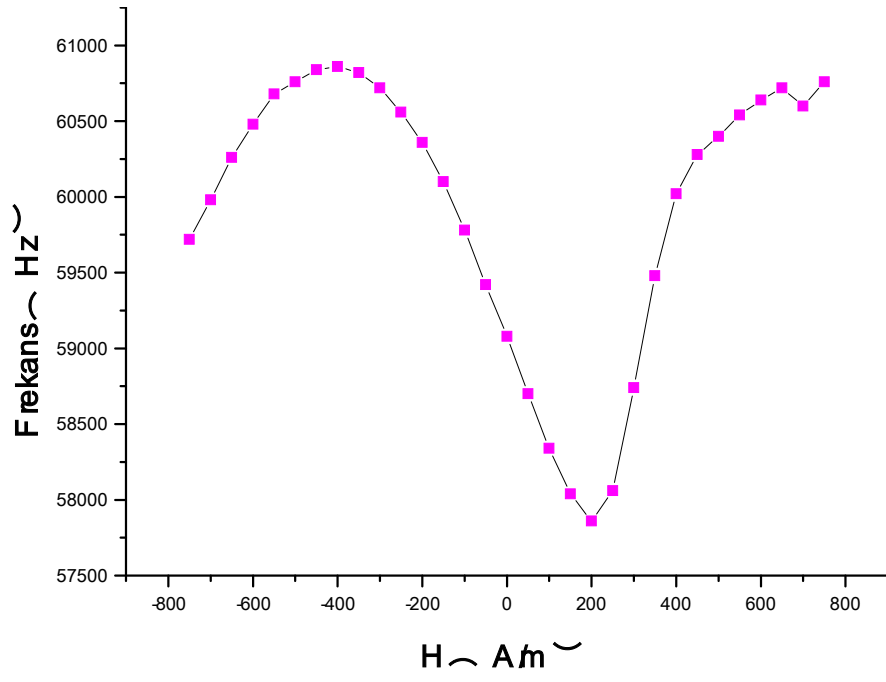
Bu bölümde öncelikle mağazalardan temin edilen güvenlik etiketleri içerisindeki amorf ferromanyetik şerit çıkarılmadan manyetoelastik ölçümler yapılmıştır. Daha sonra güvenlik etiketi içerisindeki şerit çıkarılarak manyetoelastik ölçümler yapılmış ve sonuçları verilmiştir. Bu işlemlerden sonra güvenlik şeridinden çıkarılan amorf şerit bir alümina (Al_2O_3) kroze içerisine yerleştirilip manyetik alan altındaki davranışları incelenmiştir. Daha sonra kroze içerisine amorf şeritle beraber önce saf su ve sonrasında aseton konularak manyetoelastik ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca bu bölümde güvenlik etiketinden çıkarılan amorf ferromanyetik şeritlerle kütle etkisinin gözlenmesi amacıyla kütleli ve kütsüz olarak ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

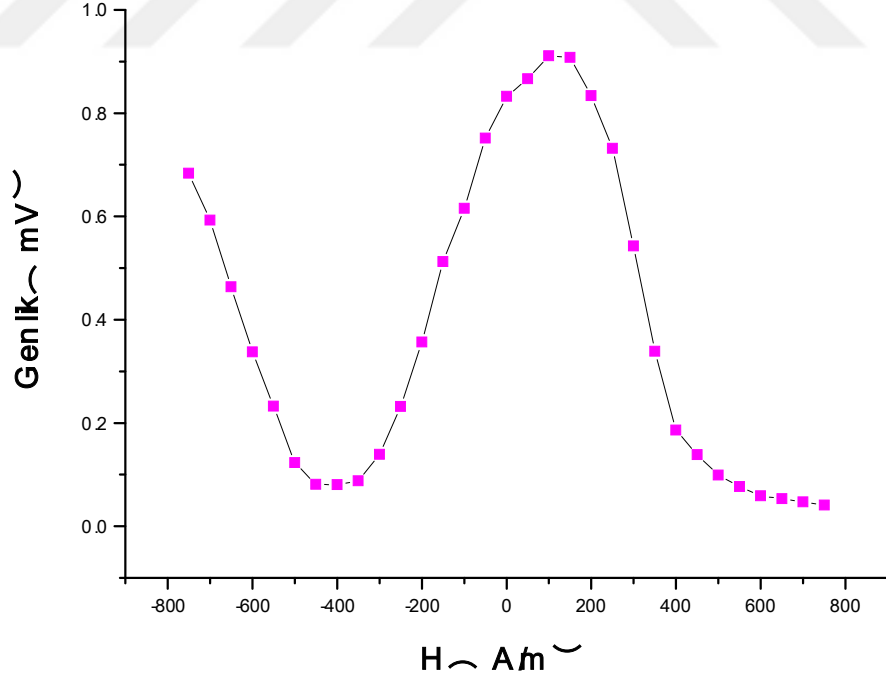
Daha sonra manyetik nano parçacık dedektasyonu için yapılan çalışmalar hakkında bilgiler ve veriler bulunmaktadır.

4.2.2. Güvenlik Etiketi ile Yapılan Ölçümler

İlk önce satın alınan güvenlik etiketi koruması açılmadan manyetoelastik ölçüm sistemine yerleştirilmiştir. 55000 Hz – 62000 Hz frekans aralığında ve -600 A/m ile-100 A/m manyetik alan değerlerinde ölçümler yapılmıştır. Ölçüm sonuçlarına göre manyetik alan – frekans grafiği şekil 4.13’ de, Şekil 4.14’ de ise manyetik alan - genlik grafiği verilmiştir.

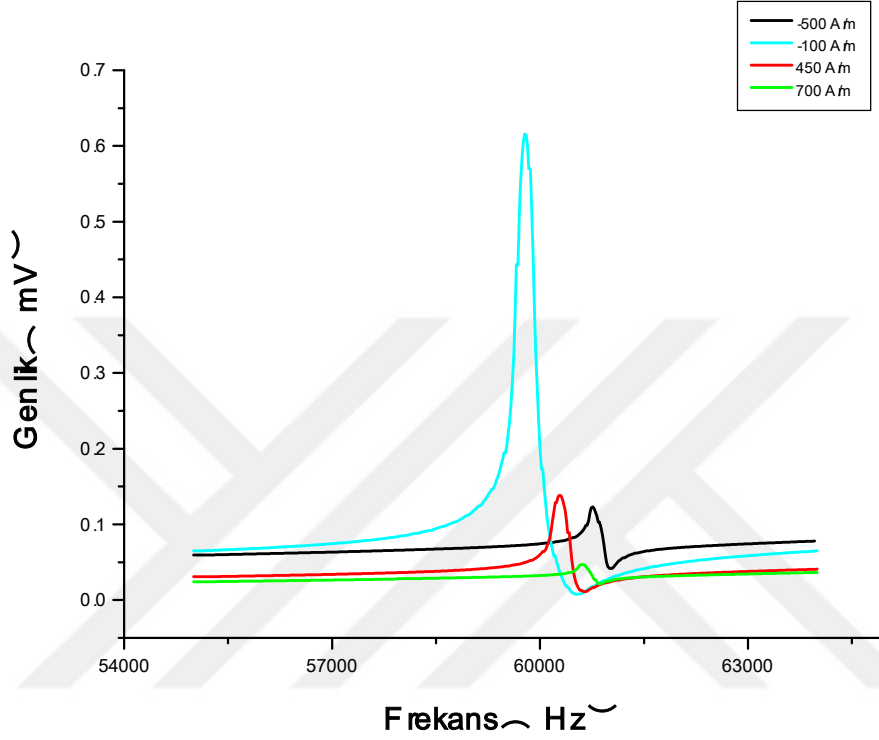


Şekil 4.13 Güvenlik etiketinin koruması açılmadan yapılan ölçümlerde manyetik alan – frekans grafiği.



Şekil 4.14 Güvenlik etiketinin koruması açılmadan yapılan ölçümlerde manyetik alan – genlik grafiği.

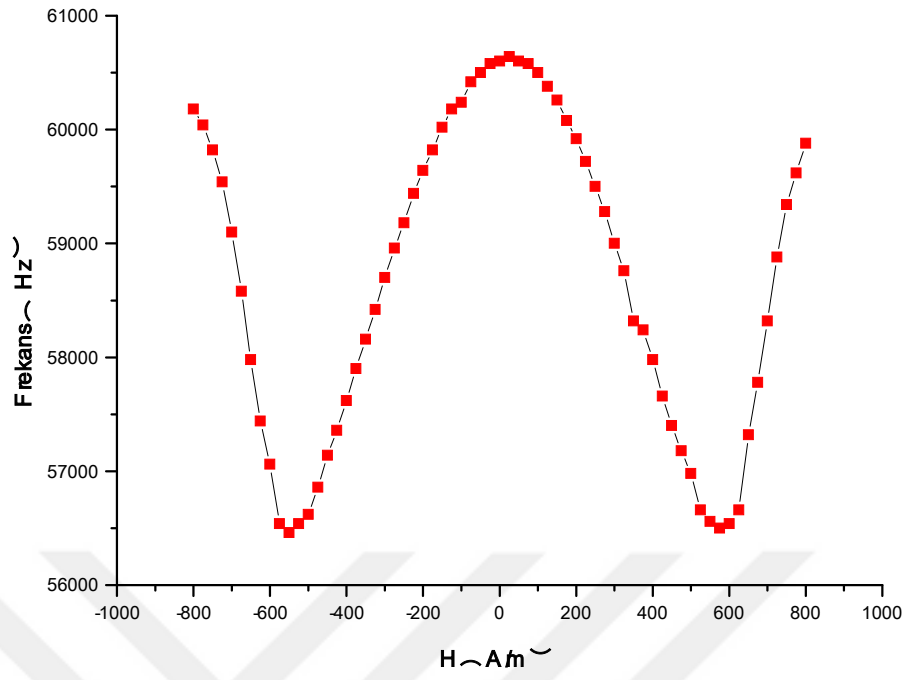
Şekil 4.15’ te koruması açılmadan kullanılan amorf şeridin -500A/m, -100A/m, 450 A/m ve 700 A/m manyetik alan değerlerinde elde edilen frekans – genlik davranışları verilmiştir.



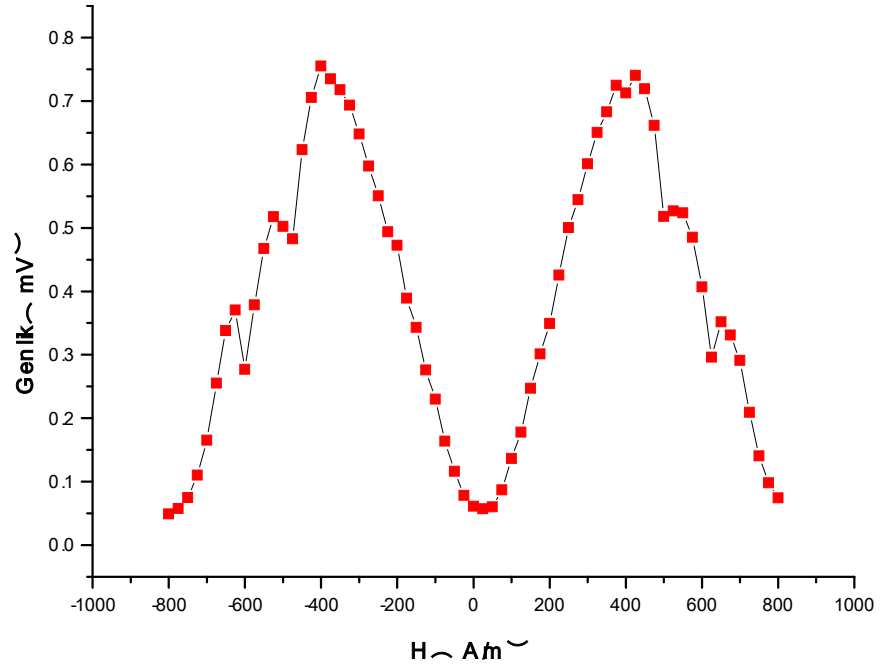
Şekil 4.15 Güvenlik etiketi açılmadan -500 A/m, -100 A/m, 450 A/m ve 700 A/m manyetik alanlarda frekans – genlik grafiği.

Güvenlik etiketinin koruması açılmadan şekil 4.13 ve şekil 4.14’ de verilen sonuçlar incelendiğinde eğrilerde kayma olduğu gözlenmiştir. Eğrilerdeki bu kaymanın sebebi paket içerisinde bulunan ve şerit numuneye DC Bias sağlayan farklı bir maddeden kaynaklandığı söylenebilir.

Güvenlik etiketinin koruması açıldıktan sonra aynı deneysel parametrelerle yapılan ölçümlerde manyetik alan – frekans grafiği şekil 4.16’ de, manyetik alan – genlik grafiği şekil 4.17’ de sunulmuştur.



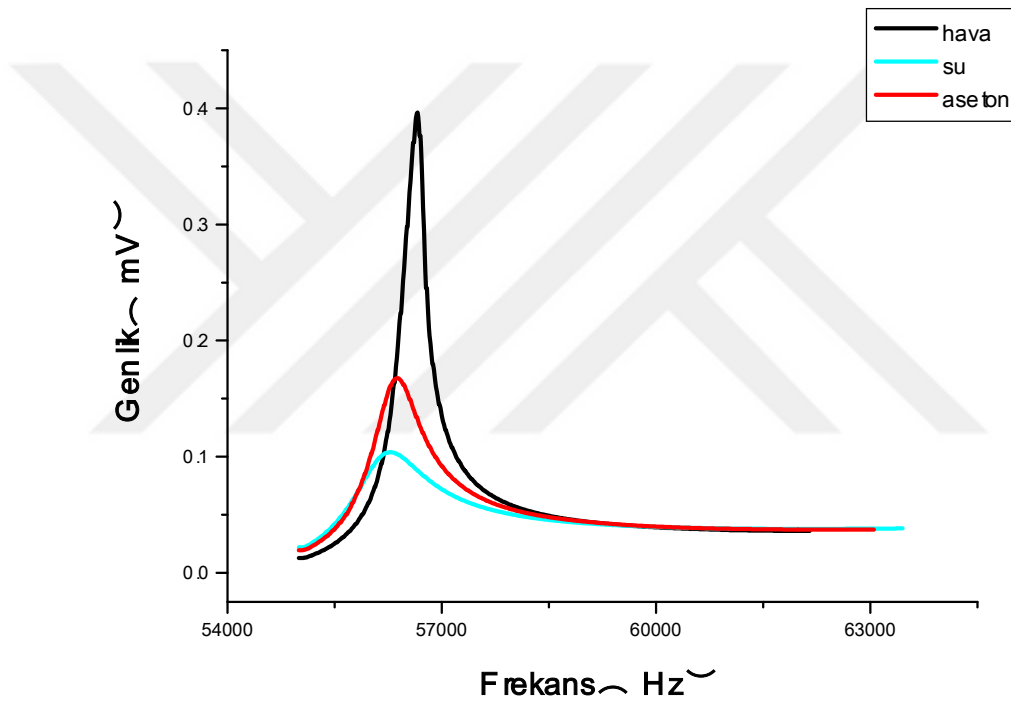
Şekil 4.16 Güvenlik etiketi açılarak çıkarılan numune ile yapılan ölçümlerin frekans – manyetik alan grafiği.



Şekil 4.17 Güvenlik etiketi açılarak çıkarılan numune ile yapılan ölçümlerin genlik – manyetik alan grafiği.

Koruması açılmadan yapılan ölçümlerde oluşan kayma koruma açılıp sadece numune ile ölçüm yapıldığında ortadan kalkmıştır.

Daha sonra güvenlik etiketi ile hava, saf su ve aseton ortamlarında ölçümler yapılmıştır. Numune PCB üzerinde 55000 – 62000 Hz frekans aralığında 10 Hz frekans adımı ile -600A/m ile -100 A/m manyetik alan aralığında, kroze içerisinde 6x6 cm boyutlarındaki büyük bobin kullanılarak ölçümler yapılmıştır. -500 A/m alan altında hava, saf su ve aseton ortamlarında frekans – genlik değişimleri şekil 4.18’ da verilmiştir.



Şekil 4.18 Güvenlik etiketi kullanılarak -500 A/m alan altında havada, suda ve asetonunda yapılan ölçümler sonucunda frekans – genlik grafiği.

Şekil 4.18’ de verilen grafik incelendiğinde sensör numunesi hava, saf su ve aseton ortamlarında farklı davranışlar sergilemektedir. Hava ortamında tepe frekans değerinde yani 56630 Hz’ de genlik 0.3920mV iken, su ortamında 0.1520mV ve aseton ortamında 0.1030 mV olarak ölçülmüştür.

Sıvı viskozitesi ölçümlerinde teorik hesaplama için 2. Bölümde verilen

$$\Delta f = \frac{\sqrt{\pi f_0}}{2\pi\rho_s d} \sqrt{\eta\rho_1} \quad (2.16)$$

bağıntısı kullanılmaktadır. Bu bağıntıda

$$K = \frac{\sqrt{\pi f_0}}{2\pi\rho_s d} \quad \text{kabul edilirse,}$$

$$\Delta f = K\sqrt{\eta\rho_1} \quad (4.1)$$

Eşitliği elde edilir. Deneysel ölçümler yapılırken teorik ve deneysel olarak oluşan frekans kaymaları belirlenerek K ile gösterilen değer hesaplanır. Ve böylece manyetoelastik sensörün sıvı viskozitesi ölçümlerinde kullanılabilirliği ifade edilebilir.

Denklem (4.1)' de ifade edilen $\sqrt{\eta\rho_1}$ değeri değişik ortamlar için hesaplanmıştır ve bu sonuçlar Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Sıvıların ölçülen değerleri.

Sıvılar	$\sqrt{\eta\rho_1}$ değeri
su	0,9453
Aseton	0,491
İsopropanol	1,24

Şimdi yapılan ölçümler ve teorik olarak görülen frekans kaymalarından K değerlerinin hesaplanması gerekir. Bu hesaplamalarda beklenen değişik manyetik alan değerlerinde bulunan K değerlerinin aynı olmasıdır.

Hava ve su ortamları için yapılan hesaplamalar tablo 4.2’ de verilmiştir.

Tablo 4.2 Hava ve su ortamları için hesaplanan K değerleri.

H (A/m)	f_{hava} (Hz)	f_{su} (Hz)	Δf (Hz)	K
-600	57200	56850	330	349,0955
-500	57200	56820	380	401,9887

Hava ve aseton ortamları için yapılan hesaplamalar tablo 4.3’ te verilmiştir.

Tablo 4.3 Hava ve aseton ortamları için hesaplanan K değerleri.

H (A/m)	f_{hava} (Hz)	f_{aseton} (Hz)	Δf (Hz)	K
-600	57200	56990	210	427,6985
-400	57690	57450	240	488,7983

Tablo 4.2 ve tablo 4.3 incelendiğinde hava – saf su ve hava – aseton ortamlarında hesaplanan değerler arasındaki farklılıklar; değişik manyetik alan değerlerinde sıvıların viskozite ve yoğunluk değerlerinin değişmesi ve deneysel hatalardan kaynaklandığı söylenebilir.

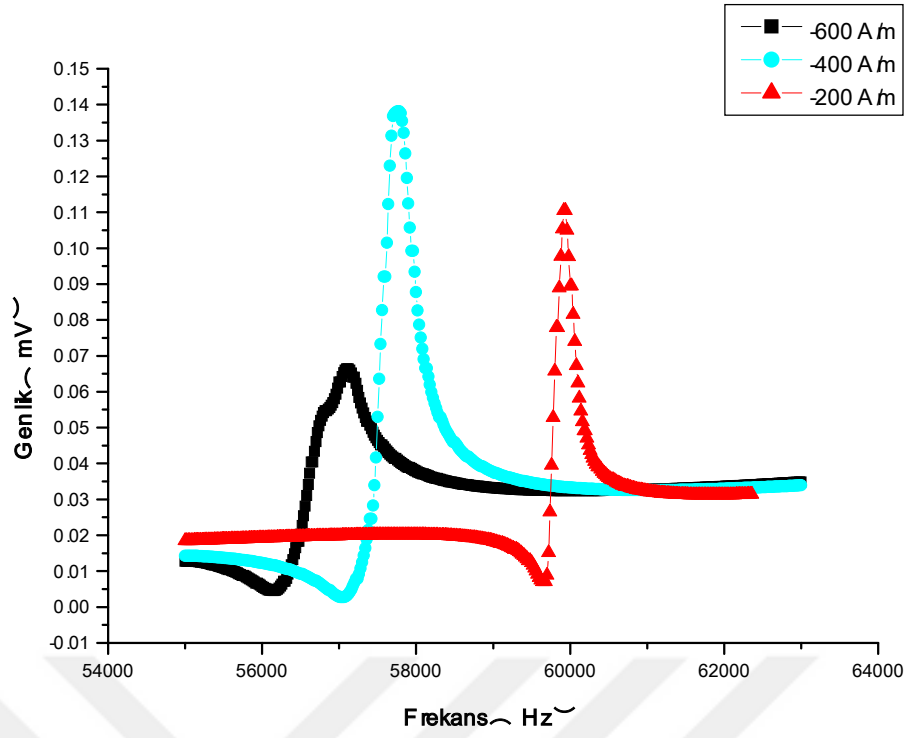
4.3. Kütle Etkisi

Manyetoelastik sensörlerin temel çalışma prensibi şöyledir: Öncelikle sensör yüzeyi ölçülmek istenen parametreyi tutabilecek bir kimyasal madde ile kaplanır. Sensör yüzeyine tutunan kütle numunenin rezonans frekansında bir kaymaya sebep olur. Bu kayma eşitlik (2.15) kullanılarak hesaplanabilir.

$$\Delta f = f_{kütletli} - f_0 = -f_0 \frac{\Delta m}{2m_s} \quad (2.15)$$

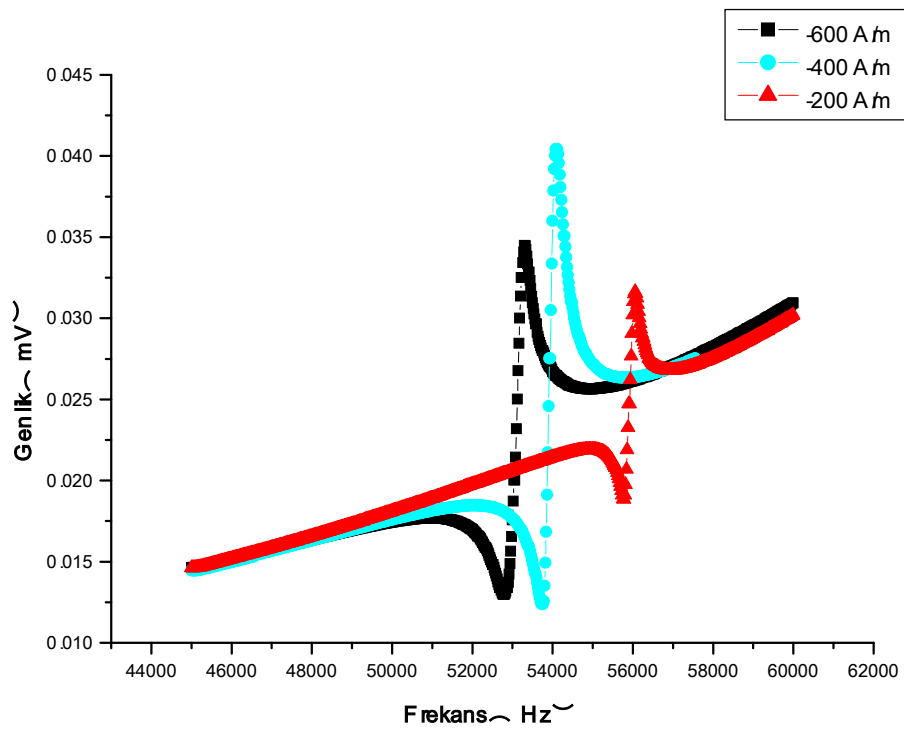
Bu prensiple hareket edilerek hassas terazide sensörün kütlesi (m_s) tartılıp manyetoelastik ölçüm sisteminde rezonans frekansı (f_0) ölçüldü. Daha sonra sensöre kütle yükleme amacıyla homojen olarak oje sürülüp tekrar tartılıp kütlesi (m) ve rezonans frekans değeri (f_m) ölçüldü. Böylece hem teorik olarak hem de deneysel olarak Δf değerleri karşılaştırıldı.

Sensörün kütlesi (m_s) 0.04078g olarak ölçülmüştür. 55000Hz - 63000 Hz frekans değerleri arasında ve 1200A/m-1200 A/m manyetik alan aralığında numuneye kütle eklenmeden manyetoelastik ölçüm sistemine yerleştirildi. Şekil 4.19, farklı manyetik alan değerleri için genlik – frekans eğrisini göstermektedir.



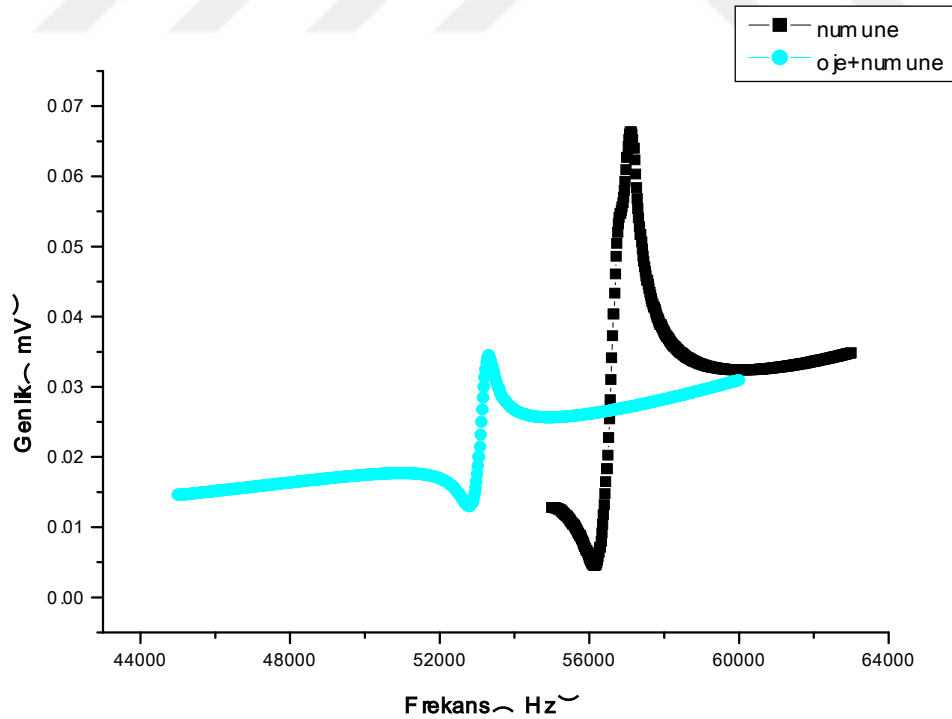
Şekil 4.19 Sadece numunenin -600 A/m,-500 A/m, -400 A/m ve -200 A/m alan değerlerinde frekans – genlik grafiği.

Numuneye homojen olarak oje sürülüp tartılmıştır. Ojeli olan numunenin kütlesi (m) 0.04749 g olarak ölçülmüştür. -600 A/m, -500 A/m, -400 A/m ve -200 A/m manyetik alan değerlerinde frekans – genlik değişimi incelenmiştir.(Şekil 4.20)



Şekil 4.20 Oje ile kütle yüklemesi yapılan numunenin -600 A/m,-500 A/m, -400 A/m ve -200 A/m alan değerlerinde frekans – genlik grafiği.

Şekil 4.21’ de kütleli ve kütsüz olan numunelerin -600 A/m manyetik alan değerinde frekans – genlik değişimi verilmiştir.



Şekil 4.21 -600 A/m manyetik alan altında kütleli ve kütsüz numunelerin frekans – genlik grafikleri.

-600 A/m manyetik alan altında sadece numunenin deneysel olarak ölçülen frekans ve kütle değerleri ile frekans kayması Tablo 4.4' te verilmiştir.

Tablo 4.4 Deneysel sonuçlar.

f_0	m_s	f_m	m	Δf	Δm
53300	0.04078	57105	0.04749	3805	0.00671

Teorik olarak frekans kayması;

$$\Delta f = -f_0 \frac{\Delta m}{2m_s}$$

$\Delta f = 4383$ Hz olarak hesaplanır.

-400 A/m manyetik alan altında,

Teorik olarak $\Delta f = 4450$ Hz olarak hesaplanır.

Deneysel olarak $\Delta f = 3660$ Hz olarak ölçülmüştür.

-200 A/m manyetik alan altında,

Teorik olarak $\Delta f = 4612$ Hz olarak hesaplanır.

Deneysel olarak $\Delta f = 3900$ Hz olarak ölçülmüştür.

-500 A/m manyetik alan altında,

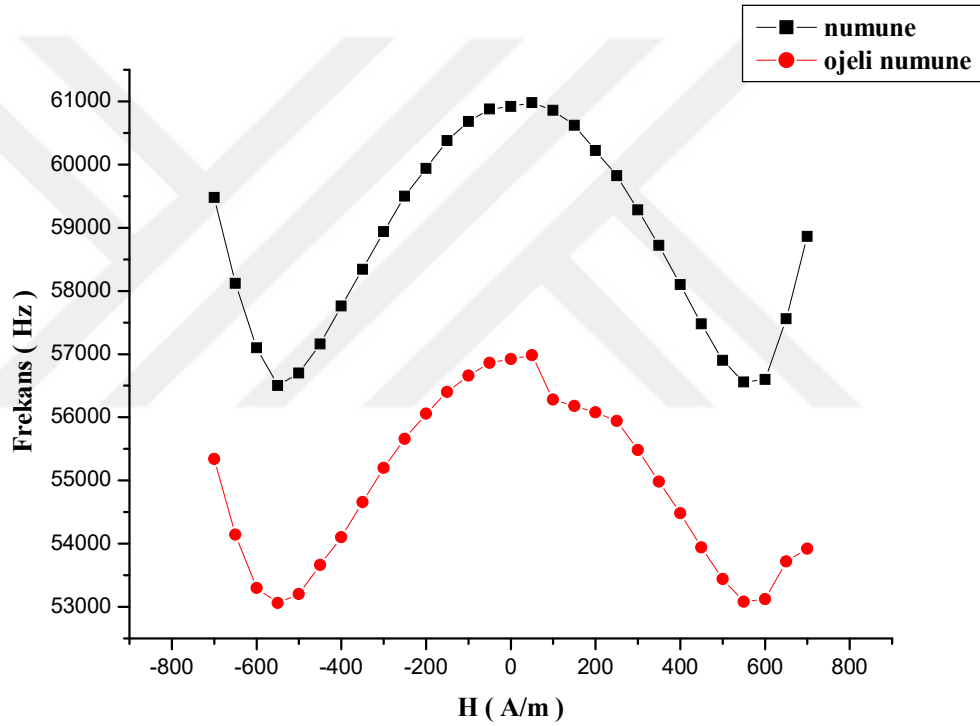
Teorik olarak $\Delta f = 4376$ Hz olarak hesaplanır.

Deneysel olarak $\Delta f = 3500$ Hz olarak ölçülmüştür.

Deneysel ile teorik sonuçlar arasındaki farklılık deneysel hatalardan kaynaklanabilir. Ayrıca kütle ölçümü için kullandığımız tartının aşırı hassas olmaması da sonuçlar

arasında bir fark yaratmış olabilir. Frekans kaymasının hesaplandığı 2.15 eşitliği homojen dağılım gösteren kütle yüklemeleri için geçerlidir. Bu çalışmada kütle olarak numuneye sürülen ojenin, numunenin her yerine homojen olarak sürülemediği olması da deneysel ve teorik olarak hesaplanan frekans kaymalarındaki farklılıkların sebebi olabilir.

Şekil 4.22’ de kütle yüklemesi yapılmış ve yapılmamış numunelerin frekanslarının manyetik alanla değişimi verilmiştir. Kütle yüklemesi sonucunda frekansta belirgin bir kayma olduğu açıkça görülmektedir.

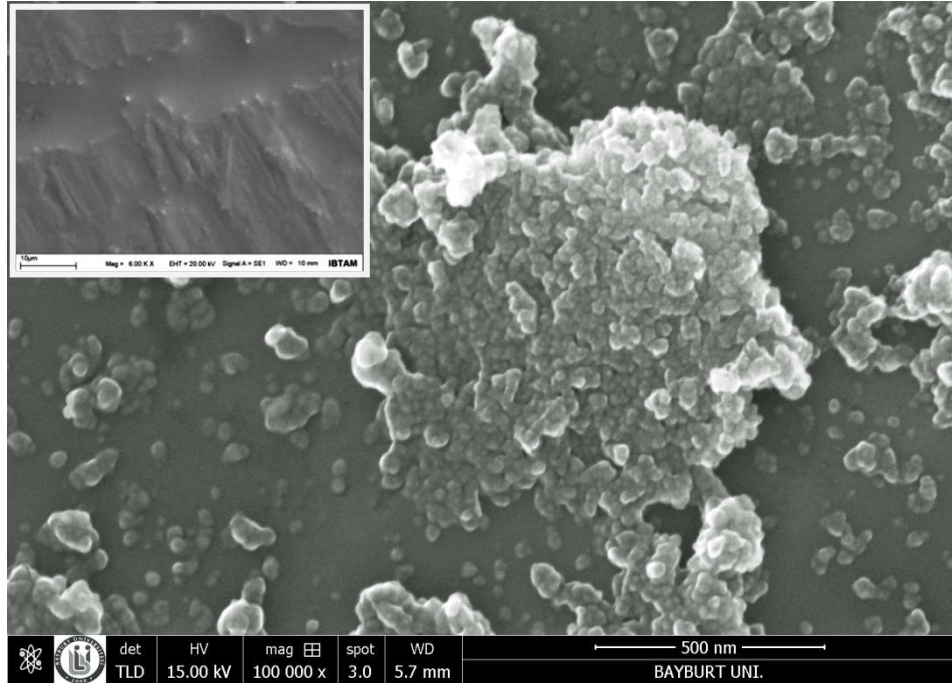


Şekil 4.22 Sadece numune ve kütle eklemesi yapılan numunenin frekansının manyetik alan ile değişimi grafiği.

4.4. Manyetik Nanoparçacık Dedektasyonu

Manyetik nano parçacıklar (MNP' ler) günümüzde pek çok alanda kullanılmaktadır [26-37]. Bu nedenle MNP' lerin tespit edilmesi teknolojik olarak oldukça önemli hale gelmiştir. Son araştırmalarda, MNP'lerin süper iletken kuantum girişim sistemleri (SQUID) [38], Hall etkisi sensörleri [39], manyeto direnç sensörleri [40], manyeto empedans sensörleri [41-42], fluxgate sensörleri [43], manyeto elektrikler [44] ve AC duyarlılığı [45] gibi pratik olarak MNP'lerin tespitinde farklı manyetik sensörler kullanılmaktadır [46].

Yukarıda ifade edilen tespit yöntemlerinden farklı olarak ilk defa Atalay ve arkadaşları tarafından manyetoelastik (ME) sensörler demir oksit (Fe_3O_4) MNP' lerini dedekte etmek için kullanılmışlardır. Demir oksit nano parçacıkları, manyetik özelliklerinden ve teknolojideki kapsamlı uygulamalarından dolayı çok dikkat çekmektedir [33-34, 35-37]. Deneysel yöntemde kullanılan şerit numuneye ait SEM analizine ait görüntüler şekil 4.23' de verilmiştir[47].

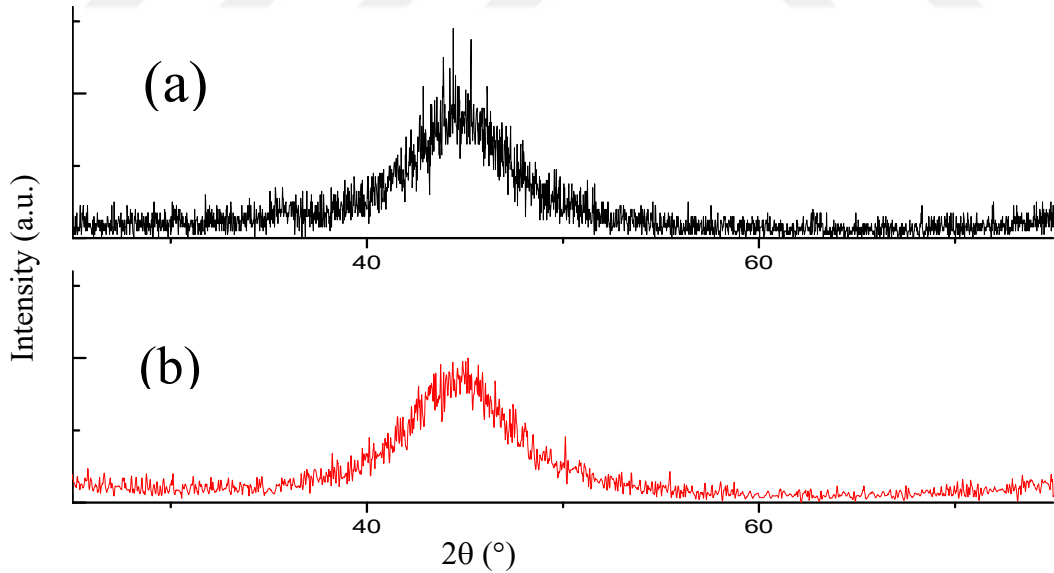


Şekil 4.23 Şerit numunenin SEM resimleri[47].

MNP'ler, nanopartiküllerin bulunmadığı bölgedeki şeridin parlamayan yüzeyine damlatıldığından, SEM ve optik resimler sadece yüzeyin pürüzlülüğünü gösterir. MNP'lerin bulunduğu bölgedeki hem optik hem de SEM resimleri, MNP kümelerinin özellikle çukur alanlarında örnek yüzeyine bağlandığını göstermiştir.

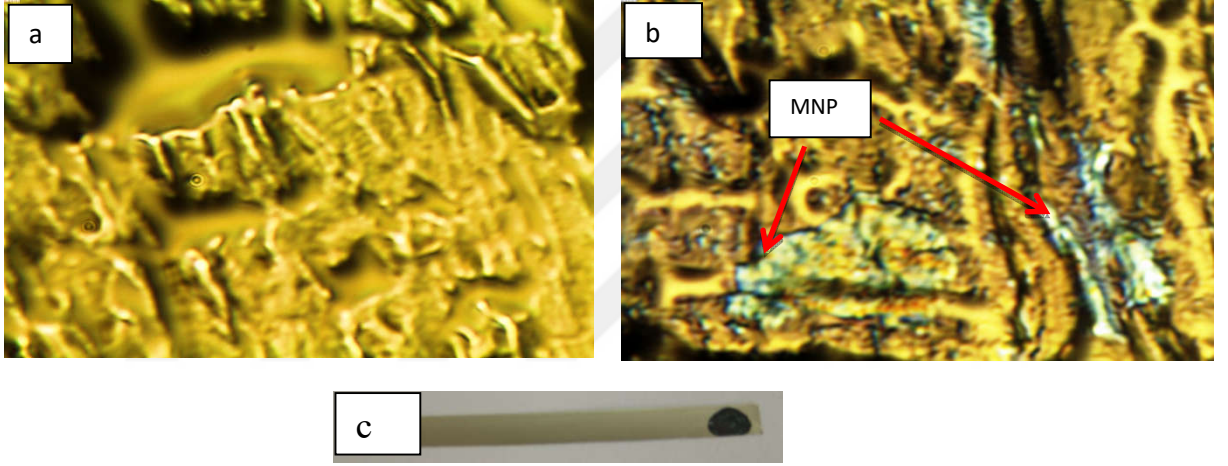
Fe_3O_4 nano parçacıkları Chemicell Company, Almanya tarafından temin edildi. MNP'lerin ortalama yarıçapı 50 nm ve ddH₂O (double distile H₂O) süspansiyonu içinde ağırlıkça 25 mg/ml' dir. ddH₂O tamponundaki MNP'ler şerit numune üzerine bir mikro pipet yardımı ile damlatıldı ve yaklaşık iki saat kurumaya bırakıldı. Yapılan gözlemlerde MNP'lerin numune yüzeyinde kümелendiği ve ancak bir kısmının numune yüzeyine yapıştığı belirlendi. Numune tekrar alkol ile temizlenerek ölçümler yapıldı. Burada önemli olan bir nokta ise numunenin hiçbir malzeme ile kaplanmamış olmasıdır.

Manyetoelastik sensörlerin genel davranışı olan kütle etkisinden dolayı frekans kayması MNP damlatılan numune de gözlemlenmiştir. Şeritlerin MNP'li (a) ve MNP' siz (b) X – ışını spektrumu şekil 4.24' de verilmiştir[47].



Şekil 4.24 X-ışını spektrumu: (a) MNP'li şerit ve (b) MNP olmayan şerit[47].

Şerit yüzeyinin optik görüntüleri MNP olmayan (a), MNP bulunan (b) ve MNP damlatılan numunenin fotoğrafı (c) şekil 4.25’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.25 Şerit yüzeyinin optik görüntüleri: (a) MNP'ler olmadan ve (b) şerit yüzeyine kümelenmiş MNP'ler ve (c) şerit yüzeyine düşen MNP'lerin optik görüntüsü[47].

5. SONUÇLAR ve YORUM

5.1. Giriş

Bu bölümde deneysel metotla elde edilen sonuçlar, yorumlar ve gelecek çalışmalar bulunmaktadır.

5.2. Deneysel Sonuçlar ve Yorumlar

Manyetoelastik sensörler pek çok fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlerin tespit edilmesinde kullanımı artan, pek çok avantajı bulunan sensör çeşidi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) şerit numune kullanılarak, bu numuneye ısı işlem etkisi, kütle etkisi incelenmiştir. Ayrıca Metglass2605S3A ($\text{Fe}_{77}\text{Cr}_2\text{Si}_5\text{B}_{16}$) şerit numune ile ilk defa bir manyetik sensör kullanılarak demir oksit bazlı manyetik nano parçacık dedektasyonu yapılmıştır.

Ayrıca bu çalışmada piyasada güvenlik etiketi olarak pek çok mağazada kullanılan ve içinde Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) şerit numune bulunan malzeme ile sıvı viskozite ölçümleri ve kütle etkisi incelenmiştir.

Isıl işlem görmemiş Metglass 2826 MB ($\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{38}\text{Mo}_4\text{B}_{19}$) şerit numune ile yapılan ölçümlerde f-H grafiklerinde eğrinin W şekline benzediği bunun da numunedeki üretim kaynaklı iç streslerden olabileceği tespit edilmiştir. Mevcut iç stresler numunenin manyetik momentlerinin uygulanan manyetik alana yaklaşık 80° lik açı ile yönelmesinin sebebidir. Numuneye farklı sürelerde uygulanan ısı işlemlerde bahsedilen eğrinin V şeklinde olduğu belirlenmiştir. Bu da numunenin manyetik momentlerinin yöneliminin uygulanan manyetik alana yaklaşık olarak 45° lik açı ile yöneldiğini göstermektedir. Isıl işlem süresi arttırıldığında ise yönelimin tekrar yaklaşık olarak 80° olduğu görülmektedir.

Manyetoelastik sensörlerin temel çalışma prensibi kısaca şu şekildedir: Numune ölçülmek istenen fiziksel, kimyasal veya biyolojik parametreyi tutacak bir malzeme ile kaplanır. Malzeme numune yüzeyine yapıştığında numunenin kütlesinde bir değişim meydana gelir. Bu değişim numunenin ilk rezonans frekansında kayma oluşturur. Bu frekans kayması ile ölçülmek istenen parametre değişik hesaplama yöntemleri ile ölçülebilir. Bu çalışmada yapılan deneyler sonucunda elde edilen

bulgulara göre manyetoelastik sensörlerin temel çalışma prensibine uygun davranışlar gösterdiği ve sıvı viskozitesi, kütle etkisi ve manyetik nano parçacık dedektasyonu haricinde daha pek çok parametrenin ölçümü ve tespiti için kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Sıvı viskozitesi ölçümlerinde su ve aseton ile çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda manyetoelastik sensör ile sıvı viskozite ölçümleri yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Diğer bir çalışma olan demir oksit (Fe_3O_4) manyetik nano parçacıkların tespitinde ilk defa manyetik sensör kullanılmıştır. Son yıllarda kullanımı oldukça artan nano parçacıkların insan sağlığı üzerindeki etkileri tam olarak bilinmemektedir. Kullanımının artması sebebi ile manyetik nano parçacıkların tespit edilebilmesi aşırı önem arz etmektedir. Metglass2605S3A ($\text{Fe}_{77}\text{Cr}_2\text{Si}_5\text{B}_{16}$) şerit numune ile demir oksit (Fe_3O_4) manyetik nano parçacık tespiti yapılmıştır.

5.3. Gelecek Çalışmalar

Son yıllarda pek çok fiziksel, kimyasal ve biyolojik parametrelerin tespitinde manyetoelastik sensörler daha fazla kullanılır hale gelmektedir. Manyetoelastik sensörlerin kablosuz, pasif, ekonomik, hızlı ve küçük boyutlarda üretilebilirliği sebebiyle özellikle tıp alanında, savunma sanayisinde ve daha birçok alanda kullanım alanları incelenip araştırılabilir.

6. KAYNAKLAR

- [1] A.Brenner and G. Riddell, *Nickel plating on steel by chemical reduction*,**J.Res.Natl. Bur. Stand**, 37 (1946) 31.
- [2] W. Klement, R.H. Willens and P. Duwez, *Non-crystalline Structure in solified gold-silicon Alloys*, **Nature**, 187 (1960) 869.
- [3] C.C. Tsuei and P. Duwez, *Metastable amorphous ferromagnetic phases in palladium-base alloys***J. Appl. Phys**, 37 (1966) 435.
- [4] F.E. Luborsky, *Amorphous Metallic Alloys*, Butterworths,London, 1983, 257-292
- [5] Liang C, Morshed S, Prorok BC. *Correction for longitudinal mode vibration in thin slender beams*,**Appl. Phys Letters** 2007;90.
- [6] Claeysen F, Lhermet N, LeLetty R, Bouchilloux P. *Act., transducers and motors based on giant magnetostrictive materials*,**J.All.C** 1997;258:61e73.
- [7] T. Maumoto, I. Ohnaka and M. Hagiwara, *Production of Pd-Cu-Si amorphous wires by melt spinning method using rotating water*, **Scripta Metall.**, 15 (1981) 293.
- [8] T. Egami, *Low-Field Magnetic Properties of Amorphous Alloys*, **J.A.Cer.S** 60 (1977) 128–133.
- [9] K. Mohri, F.B. Humphrey, K. Kawashima, K. Kimura, M. Mizutani, *Large Barkhausen and matteucci effect in FeCoSiB, FeCrSiB and FeNiSiB amorphous wires*, **IEEE Trans. Magn.**, 26(5) 1990 1789-1791.
- [10] Atkinson, D., Squire, P.T. 1994. *Engineering Magnetostriction Measurements of Annealed FeSiB Amorphous Wires*,**IEEE Trans. Magn.**, 30, 4782-4784.
- [11] Kouzoudis, D., Grimes, C.A. 2000. *The frequency response of magnetoelastic sensors to stres and atmospheric pressure*, **Smart. Mater. Struct.**,8, 885-889.
- [12] Grimes, C.A., Kouzoudis, D. 2000. *Remote query measurement of pressure, fluid-flow velocity, and humidity using magnetoelastic thick-film sensors*, **Sens. Act.**, 84, 205-212.
- [13] Jain, M.K., Schmidt, S., Ong, K.G., Mungle, C., Grimes, C.A. 2000. *Magnetoacoustic remote query temperature and humidity sensors*, **Smart**

Mater. Struct., 9, 502-510.

- [14] Jain, M.K., Cai, Y.Q., Grimes, C.A. 2001. *A wireless micro-sensor for simultaneous measurement of pH, temperature, and pressure*, **Smart Mater. Struct.**, 10, 347-353.
- [15] Grimes, C.A., Kouzoudis, D., Mungle, C. 2000. *Simultaneous measurement of liquid density and viscosity using remote query magnetoelastic sensors*, **Rev. Sci. Instrum.**, 71(10), 3822-3824.
- [16] Loisel, K.T., Grimes, C.A. 2000. *Viscosity measurements of viscous liquids using magnetoelastic thick-film sensors*, **Rev. Sci. Instrum.**, 71(3), 1441-1446.
- [17] Kouzoudis, D., Grimes, C.A. 2000. *Remote query fluid-flow velocity measurement using magnetoelastic sensors*, **J. Appl. Phys.**, 87(9), 6301-6303.
- [18] Kamble, R.B., Mathe, V.L. 2008. *Nanocrystalline nickel ferrite thick film as an efficient gas sensor at room temperature*, **Sens. Act. B**, 131, 205–209.
- [19] Cai, Y.Q., Grimes, C.A. 2000. *A remote query magnetoelastic pH sensor*, **Sens. Act. B**, 71, 112-117.
- [20] Pang, P., Gao, X., Xiao, X., Yang, W., Cai, Q., Yao, S. 2007. *A Wireless pH Sensor Using Magnetoelasticity for Measurement of Body Fluid Acidity*, **Analytical Sci.**, 23, 463-467.
- [21] Pang, P., Gao, X., Xiao, X., Yang, W., Cai, Q., Yao, S. 2007. *A Wireless pH Sensor Using Magnetoelasticity for Measurement of Body Fluid Acidity*, **Analytical Sci.**, 23, 463-467.
- [22] Grimes, C.A., Cai, Y.Q., Rani, S., Roy C.S. 2011, *Theory, Instrumentation and Applications of Magnetoelastic Resonance Sensors*, **Sens. Act. B**, 23, 567-582
- [23] Wan, J., Johnson, M.L., Guntupalli, R., Petrenko, V.A., Chin, B.A. 2007. *Detection of Bacillus anthracis spores in liquid using phage-based magnetoelastic micro-resonators*, **Sens. Act. B**, 127, 559–566.
- [24] Mi-Kyung, P., Li, S., Chin, B.A. 2013. *Detection of Salmonella typhimurium Grown Directly on Tomato Surface Using Phage-Based Magnetoelastic*

Biosensors, **Food Bioprocess Technol.**, 6, 682–689.

- [25] Li, S., Li, Y., Chen, H., Horikawa, S., Shen, W., Simonian, A., Chin, B.A. 2010. *Direct detection of Salmonella typhimurium on fresh produce using phage-based magnetoelastic biosensors*, **Biosensors and Bioelectronics**, 26, 1313–1319.
- [26] S. Purushotham, R.V. Ramanujan, *Modeling the performance of magnetic nanoparticles in multimodal cancer therapy*, **J. Appl. Phys** 107 (2010) 114701.
- [27] J.B. Haun, T.J. Yoon, L. Hakho, R. Weissleder, *Magnetic nanoparticle biosensors*, **W.I. Rev-Nanomedicine and Nanobiotechnology** 2 (2010) 291–304.
- [28] C.S.S.R. Kumar, F. Mohammad, *Magnetic nanomaterials for hyperthermia-based therapy and controlled drug delivery*, **A.D.D Rev.** 63 (2011) 789–808.
- [29] O. Veisheh, J.W. Gunn, M. Zhang, *Design and fabrication of magnetic nanoparticles for targeted drug delivery and imaging*, **A.D.D. Rev.** 62 (2010) 284–304.
- [30] E. Kita, S. Hashimoto, T. Kayano, W. Minagawa, H. Yanagihara, M. Kishimoto, K. Yamada, T. Oda, N. Ohkohchi, T. Takagi, T. Kanamori, Y. Ikehata, I. Nagano, *Heating characteristics of ferromagnetic iron oxide nanoparticles for magnetic hyperthermia*, **J. Appl. Phys** 107 (2010) 09B321.
- [31] X. Battle, N. Perez, P. Guardia, O. Iglesias, A. Labarta, F. Bartolome, L.M. Garcia, J. Bartolome, A.G. Roca, M.P. Morales, C.J. Serna, *Magnetic nanoparticles with bulk like properties*, **J. Appl. Phys** 109 (2011) 07B524.
- [32] S. Singamaneni, V.N. Bliznyuk, C. Binek and Y.T. Evengy, *Magnetic nanoparticles: recent advances in synthesis, self-assembly and applications*, **J. M. Chem.** 21 (2011) 16819–16845.
- [33] N. Tran, T.J. Webster, *Magnetic nanoparticles: biomedical applications and challenges*, **J. M. Chem** 20 (2010) 8760–8767.
- [34] A.E. Deatsch, B.A. Evans, *Heating efficiency in magnetic nanoparticle hyperthermia*, **J. Magn. Magnetic M.** 354(2014) 163–172.

- [35] M. Wierucka, M. Biziuk, *Application of magnetic nanoparticles for magnetic solid-phase extraction in preparing biological, environmental and food samples*, **Trac-Trends in Analytical Chem.** 59 (2014) 50-58.
- [36] C.Y. Li, C. Ma, F. Wang, Z.J. Xi, Z.F. Wang, Y. Deng, N.Y. He, *Preparation and Biomedical Applications of Core-Shell Silica/Magnetic Nanoparticle Composites*, **J.Nanoscience and Nanotechnology** 12 (2012) 2964-2972.
- [37] S. Sadeghi, H. Azhdari, H. Arabi, A.Z. Moghaddam, *Surface modified magnetic Fe_3O_4 nanoparticles as a selective sorbent for solid phase extraction of uranyl ions from water samples*, **J.Hazardous Materials** 215 (2012) 208-216.
- [38] E. Esposito, C. Granata, A. Vettoliere, R. Russo, D. Peddis, M. Russo, *Nano Superconducting Quantum Interference Device Sensors for Magnetic Nanoparticle Detection*, **J. Nanoscience and Nanotechnology** 12 (2012) 7468-7472.
- [39] G. Mihajlovic, P. Xiong, S. Von Molnar, M. Field, G.J. Sullivan, G. Ohtani, H. Ohno, *Submicrometer Hall Sensors for Superparamagnetic Nanoparticle Detection*, **IEEE Transactions on Magnetics**, 43 (2007) 2400-2402.
- [40] L.K. Quynh, B.D. Tu, D.X. Dang, D.Q. Viet, L.T. Hien, D.T. Huong Giang, N.H. Duc, *Detection of magnetic nanoparticles using simple AMR sensors in Wheatstone bridge*, **J.Sci.: Advanced Materials and Devices** 1 (2016) 98-102.
- [41] A. Garcia-Arribas, F. Martinez, E. Fernandez, I. Ozaeta, G.V. Kurlyandskaya, A.V. Svalov, J. Berganzo, J.M. Barandiaran, *GMI detection of magnetic-particle concentration in continuous flow*, **Sens. and Act. A** 172 (2011) 103-108.
- [42] J.J. Beato-Lopez, J.I. Perez-Landazabal and C. Gomez-Polo, *Magnetic nanoparticle detection method employing non-linear magnetoimpedance effects*, **J. Appl. Phys** 121 (2017) 163901.
- [43] K. Hikaru and I. Sasada, *Superparamagnetic nanoparticle detection system by using a fundamental mode orthogonal fluxgate (FM-OFG) gradiometer*, **AIP Advances** 7 (2017) 056716.

- [44] D.T. Huong Giang, D.X. Dang, N.X. Toan, N.V. Tuan, A.T. Phung and N.H. Duc, *Distance magnetic nanoparticle detection using a magnetoelectric sensor for clinical interventions*, **Rev.Sci. Instruments** 88 (2017) 015004.
- [45] E.A. Hincapie Ladino, N. Zufelato, A.F. Bakuzis, A.A. Oliveira Carneiro, D.T. Covas and O. Baffa, *Detection of magnetic nanoparticles with a large scale AC superconducting susceptometer*, **Supercond. Sci. and Tech.** 30 (2017) 084007.
- [46] S.J. Klaine, P.J.J. Alvarez, G.E. Batley, T.F. Fernandes, R.D. Handy, D.Y. Lyon, S. Mahendra, M.J. McLaughlin, J.R. Lead, *Nanomaterials in the environment: Behavior, fate, bioavailability, and effects*, **E.Toxicology and Chem.** 31 (2012) 2893-2893.
- [47] S. Atalay, V.S. Kolat, F.E. Atalay, N. Bayri, H. Kaya, and T. Izgi, *Magnetoelastic Sensor for Magnetic Nanoparticle Detection*, **J.Mag.and Mag.Mat.** (2018) 151-155

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Erdem GİRİŞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Malatya, 18.05.1980

Adres: Tecde Mahallesi Nurhan 3. Sokak Kumtaşı Rezidans A Blok Kat:8/29
Yeşilyurt, Malatya

E-Posta: areserdemgiris@gmail.com

Lisans: İnönü Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Malatya

Mesleki Deneyim Ve Ödüller: 2005 - 2014 yılları arasında Milli Eğitim Bakanlığında Sınıf Öğretmeni olarak, 2014 tarihinden itibaren de Yine Milli Eğitim Bakanlığına bağlı olarak Müdür Yardımcısı olarak çalışmaktayım.