



**FERROMANYETİK AMORF TELLERDE YÜZEYİN KİMYASAL
MALZEMELER İLE KAPLANMASININ ÇOK BÜYÜK MANYETİK
EMPEDANSA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

OSMAN ÇAYLAK



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FERROMANYETİK AMORF TELLERDE YÜZEYİN KİMYASAL
MALZEMELER İLE KAPLANMASININ ÇOK BÜYÜK MANYETİK
EMPEDANSA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Osman ÇAYLAK

Prof. Dr. Dr. Naim DEREBAŞI

(Danışman)

DOKTORA TEZİ

FİZİK ANABİLİM DALI

BURSA 2016

Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Osman ÇAYLAK tarafından hazırlanan “**Ferromanyetik Amorf Tellerde Yüzeyin Kimyasal Malzemeler ile Kaplanması Çok Büyük Manyetik Empedansa Etkisinin İncelenmesi**” adlı çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliğiyle Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü FİZİK Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Dr. Naim DEREBAŞI


Başkan: Prof. Dr. Dr. Naim DEREBAŞI
Uludağ Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi,
Fizik Anabilim Dalı

İmza


Üye : Prof. Dr. Muhittin AHMETOĞLU
Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi,
Fizik Anabilim Dalı

İmza


Üye : Prof. Dr. Güneş YILMAZ
Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi,
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Üye : Prof. Dr. Yüksel ERGÜN
Anadolu Üniversitesi, Fen Fakültesi,
Fizik Anabilim Dalı

İmza


Üye : Doç. Dr. Faruk DEMİR
Bursa Teknik Üniversitesi,
Doğa Bilimleri, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi,
Metaller ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza


Yukarıdaki sonucu onaylarım


Prof. Dr. Ali Osman DEMİR
Enstitü Müdürü
25.11.2016

U. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

26/02/2016

İmza

Osman ÇAYLAK

ÖZET

Doktora Tezi

FERROMANYETİK AMORF TELLERDE YÜZEYİN KİMYASAL MALZEMELER İLE KAPLANMASININ ÇOK BÜYÜK MANYETİK EMPEDANSA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Osman ÇAYLAK

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Dr. Naim DEREBAŞI

Demir (Fe) ve kobalt (Co) esaslı ferromanyetik amorf tellerde, asfaltan ve kobalt bileşikleri ile kaplamanın çok büyük manyetik empedansa etkisi deneysel olarak incelendi. Bu çalışmada, ferromanyetik amorf tellerin kaplanmasında, ardışık iyon tabaka adsorpsiyon ve reaksiyon (SILAR) tekniği kullanıldı. Bu yöntem temel olarak çözeltideki iyonların adsorpsiyonu, reaksiyonu ve her bir daldırma işlemi sonrasında çözeltideki homojen olmayan çökelmeden kaçınmak için saf su ile durulama işleminden ibarettir. Amorf tellerin üzerindeki organik tabaka kalınlığı yaklaşık 1 µm olarak belirlendi. Kaplanmış ve kaplanmamış örneklerde çok büyük manyetik empedans (GMI) oranı ölçüldü. Her bir örnek için çalışma frekansı belirlendi. Çalışma frekansı değerleri yaklaşık 4 ve 5 MHz olarak ölçüldü. Kaplanmamış ve kaplanmış amorf tellerde %GMI değerindeki değişim %92 ile %226 arasındadır. Bu değişimin sebebi amorf tellerin domain yapısı ve domain duvarı hareketleridir.

Anahtar kelimeler: amorf tel, SILAR, GMI.

2016, xiii+99 sayfa.

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

INVESTIGATION OF GIANT MAGNETO IMPEDANCE EFFECT ON FERROMAGNETIC AMORPHOUS WIRES COATED WITH CHEMICALS TO THE SURFACE

Osman ÇAYLAK

Uludag University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Prof. Dr. Dr. Naim DEREBAŞI

Influence of organic coating on the giant magneto impedance effect was experimentally investigated in asphaltene and cobalt complex-coated iron (Fe) and cobalt (Co) based ferromagnetic amorphous wires. In this study, Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction (SILAR) technique was used for ferromagnetic amorphous wires coating. This method mainly based on the adsorption and reaction on the ions from the solution and rinsing between every immersion with deionised water to avoid homogeneous precipitation in the solution. The organic layer on amorphous wires were determined to be about 1 μm thick. The giant magneto impedance effect (GMI) ratio was measured uncoated and organic complex coated samples. There exists an optimum frequency where the GMI ratio has a maximum for each sample investigated. This optimum frequency corresponds to about 4-5 MHz at the samples. It is observed that GMI% value for uncoated and coated samples changes from 92% to 226% , respectively. The reason for changes are domain structure and domain wall motion.

Key words: amorphous wire, SILAR, GMI.

2016, xiii+99 pages.

TEŞEKKÜR

Doktora tez çalıŐmalarım boyunca bilgisinden faydalandığım, deneysel çalıŐmalarımda desteğini esirgemeyen ve her zaman her konuda yardımcı olan değerli hocam Prof. Dr. Dr. Naim DEREBAŞI'na,

Bütün sıkıntılı zamanlarımda bana her türlü desteğini ve yardımını esirgemeyen değerli abim Doç. Dr. S. Kemal AKAY'a,

Deneylerde kullanılan bazı örneklerin hazırlanmasında yardımcı olan Doç. Dr. Ahmet PEKSÖZ'e ve Araştırma Görevlisi Dr. Yunus KAYA'ya,

Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimine (BAP No:29 2009),

Her zaman beni uğurlarken gözyaŐlarına hakim olamayan canım annem İsmi ÇAYLAK'a ve eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteği esirgemeyen ve dualarını eksik etmeyen babam Osman ÇAYLAK'a,

Ayrıca doktora tezimi, her türlü zorluğa karşı bitirmeyi baŐarabildiđim için KENDİME,

TeŐekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER	6
2.1. Manyetik maddeler.....	6
2.1.1. Ferromanyetik maddeler.....	6
2.1.2. Ferromanyetik maddelerin sınıflandırılması.....	7
2.1.3. Ferromanyetik maddelerin özellikleri	7
2.2. Amorf maddeler	8
2.2.1. Amorf maddenin üretim yöntemleri.....	9
2.2.2. Amorf maddenin kullanım alanları.....	11
2.2.3. Amorf maddenin özellikleri.....	12
2.3. Ferromanyetik amorf teller.....	13
2.3.1. Demir (Fe) esaslı amorf tel.....	15
2.3.2. Kobalt (Co) esaslı amorf tel.....	15
2.3.3. Nikel (Ni) esaslı amorf tel.....	16
2.4. Çok büyük manyetik empedans etkisi.....	17
2.4.1. Amorf tellerde GMI etkisi.....	22
2.4.2. Elektronik aletlerde ve algılayıcılarda GMI uygulamaları.....	24
2.5. Ardışık iyon tabaka adsorpsiyonu ve reaksiyonu (SILAR) yöntemi.....	25
2.6. GMI ölçüm sistemi.....	29
3. MATERYAL ve YÖNTEM	31
3.1. Amorf teller özellikleri.....	31
3.2. Deney düzeneği.....	31

3.3. Deneysel çalışmalar.....	33
3.3.1. Co esaslı amorf telin kimyasal malzemeler ile kaplanması.....	33
3.3.2. 400 °C’de tavllanmış amorf tellerin kimyasal kimyasal malzemeler ile kaplanması.....	52
3.3.3. Farklı sıcaklıkta tavllanmış amorf tellerin kaplanması.....	69
4. TARTIŞMA ve SONUÇ	81
4.1. Deneysel çalışmaların tartışılması.....	81
4.2. Deneysel çalışmaların sonuçları.....	85
KAYNAKLAR	88
EKLER	92
ÖZGEÇMİŞ	95
TEZ ÇOĞALTMA VE ELEKTRONİK YAYIMLAMA İZİN FORMU	98
TEZ ÇALIŞMASINDAN YAPILAN YAYIN.....	99

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
i	akım
eV	elektron volt
V	potansiyel fark
T	sıcaklık
R	elektriksel direnç
i_{\min}	en küçük akım
B	manyetik akı yoğunluğu (manyetik indüksiyon)
M	mıknatıslanma
H	manyetik alan şiddeti
μ_0	boşluğun manyetik geçirgenliği
I	mıknatıslanma yoğunluğu (manyetik polarisasyon)
μ	manyetik geçirgenlik
χ	alınanlık
μ_r	bağıl geçirgenlik
T	sıcaklık
T_c	Curie sıcaklığı
T_N	Neel sıcaklığı
M_s	manyetik doyum mıknatıslanması
B_r	artık manyetik akı yoğunluğu
H_c	sıfırlayıcı alan
m	manyetik moment
n	birim hacimdeki atom sayısı
e^-	elektron yükü
μ_b	Bohr magnetonu
λ	manyetik gerilme
λ_s	doyum manyetik gerilmesi

f	frekans
V_{in}	indüklenen gerilim
R	direnç
X	relaktans
ω	açısal frekans
Z	manyetik empedans
i_e	akımın etkin değeri
δ_s	nüfuz etme derinliği
c	ışık hızı
σ	iletkenlik
a	amorf telin yarıçapı
τ	gevşeme zamanı
H_k	manyetik anizotropi alanı
H_{dc}	doğru akımın oluşturduğu manyetik alan
R_{dc}	üzerinden doğru akım geçen direnç
t	zaman
Δl	maddenin boyundaki değişim
k	Boltzman sabiti

Kısaltma	Açıklama
A	amper
C	Celcius
V	volt
GHz	gigaHertz
MHz	megaHertz
μm	mikrometre
nm	nanometre
mm	milimetre
dc	doğru akım
ac	alternatif akım
GMI	çok büyük manyetik empedans etkisi
SI	uluslar arası birim sistemi

FMR	ferromanyetik rezonans
DMR	domain mıknatıslanma yönelimi
DWD	domain yapı sınıflandırması
GPS	küresel konum belirleme sistemi
SILAR	ardışık iyon tabaka adsorpsiyonu ve reaksiyonu
Fe	demir
Co	kobalt
Si	silisyum
B	bor



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1.	Amorf tel üretim şeması.....	1
Şekil 1.2.	GMI uygulama alanları.....	2
Şekil 1.3.	SILAR yöntemi basamakları.....	3
Şekil 1.4.	Deneysel ölçüm elektrik devresi.....	3
Şekil 1.5.	Manyetik empedans,manyetik direnç ve süperiletken kuantum algılayıcıları.....	4
Şekil 1.6.	Amorf telde domain duvarı yapıları.....	5
Şekil 2.1.	Ferromanyetizma.....	6
Şekil 2.2.	Kristal ve amorf yapı.....	7
Şekil 2.3.	Amorf tel üretim şeması.....	9
Şekil 2.4.	Kobalt esaslı amorf tel için μ -f grafiği	15
Şekil 2.5.	Demir esaslı amorf telin histerisis eğrisi	19
Şekil 2.6.	Amorf tellerde domain duvarı yapıları	22
Şekil 2.7.	SILAR yönteminin deneysel gösterimi.....	25
Şekil 2.8.	Deneysel çalışmalar için kullanılan devre şeması.....	28
Şekil 3.1.	1. örnek için %GMI ile frekans değişimi.....	34
Şekil 3.2.	1. örnek için 4 MHz'de%GMI-H değişimi.....	36
Şekil 3.3.	2. örnek için %GMI ile frekans değişimi.....	37
Şekil 3.4.	2. örnek için 4 MHz'de%GMI-H değişimi.....	39
Şekil 3.5.	3. örnek için %GMI ile frekans değişimi.....	40
Şekil 3.6.	3. örnek için 4 MHz'de%GMI-H değişimi.....	42
Şekil 3.7.	4. örnek için %GMI ile frekans değişimi.....	44
Şekil 3.8.	4. örnek için 5 MHz'de%GMI-H değişimi.....	45
Şekil 3.9.	5. örnek için %GMI ile frekans değişimi.....	46
Şekil 3.10.	5. örnek için 5 MHz'de%GMI-H değişimi.....	48
Şekil 3.11.	6. örnek için %GMI ile frekans değişimi.....	49
Şekil 3.12.	6. örnek için 5 MHz'de%GMI-H değişimi.....	50
Şekil 3.13.	Örnek A için f-%GMI değişimi-H değişimi.....	52
Şekil 3.14.	Örnek A için 5MHz'deki %GMI-H değişimi.....	54

Şekil 3.15.	Örnek B için f-%GMI değişimi-H değişimi.....	55
Şekil 3.16.	Örnek B için 5 MHz'deki %GMI-H değişimi.....	56
Şekil 3.17.	Örnek C için f-%GMI değişimi-H değişimi.....	58
Şekil 3.18.	Örnek C için 5 MHz'deki %GMI-H değişimi.....	59
Şekil 3.19.	Örnek D için f-%GMI değişimi-H değişimi.....	60
Şekil 3.20.	Örnek D için 4MHz'deki %GMI-H değişimi.....	62
Şekil 3.21.	Örnek E için f-%GMI değişimi-H değişimi.....	63
Şekil 3.22.	Örnek E için 4MHz'deki %GMI-H değişimi.....	64
Şekil 3.23.	Örnek F için f-%GMI değişimi-H değişimi.....	65
Şekil 3.24.	Örnek F için 4 MHz'deki %GMI-H değişimi.....	67
Şekil 3.25.	1. Örnek 300 °C tavllanmış %GMI değişimi.....	69
Şekil 3.26.	1. Örnek 400 °C tavllanmış %GMI değişimi.....	71
Şekil 3.27.	1. Örnek 500 °C tavllanmış %GMI değişimi.....	72
Şekil 3.28.	1. Örnek 600 °C tavllanmış %GMI değişimi.....	73
Şekil 3.29.	2. Örnek 300 °C tavllanmış %GMI değişimi.....	75
Şekil 3.30.	2. Örnek 400 °C tavllanmış %GMI değişimi.....	76
Şekil 3.31.	2. Örnek 500 °C tavllanmış %GMI değişimi.....	77
Şekil 3.32.	2. Örnek 600 °C tavllanmış %GMI değişimi.....	78
Şekil 4.1.	Fe esaslı amorf telin kaplanmış ve tavllanmış GMI-H değişimi.....	82
Şekil 4.2.	Co esaslı amorf telin kaplanmış ve tavllanmış GMI-H.....	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

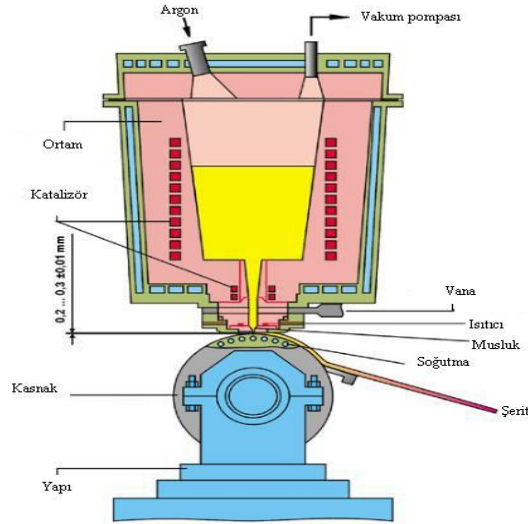
Çizelge 2.1.	Çeşitli amorf teller ve özellikleri.....	13
Çizelge 2.2.	Bazı amorf alaşımlar ve manyetik özellikleri	20
Çizelge 3.1.	1. Örnek için CoO ile kaplanmış Co esaslı amorf telin frekans ile GMI değerleri.....	33
Çizelge 3.2.	1. Örnek için 4 MHz'de manyetik alan ile GMI değerleri.....	35
Çizelge 3.3.	2. Örnek için asfalten ile kaplanmış Co esaslı amorf telin frekans ile GMI değerleri.....	36
Çizelge 3.4.	2. Örnek için 4 MHz'de manyetik alan ile GMI değerleri.....	38
Çizelge 3.5.	3. Örnek için ZnO ile kaplanmış Co esaslı amorf telin frekans ile GMI değerleri.....	40
Çizelge 3.6.	3. Örnek için 4 MHz'de manyetik alan ile GMI değerleri.....	41
Çizelge 3.7.	4. Örnek için CoO ile kaplanmış Fe esaslı amorf telin frekans ile GMI değerleri.....	43
Çizelge 3.8.	4. Örnek için 5 MHz'de manyetik alan ile GMI değerleri.....	44
Çizelge 3.9.	5. Örnek için asfalten ile kaplanmış Fe esaslı amorf telin frekans ile GMI değerleri.....	46
Çizelge 3.10.	5. Örnek için 5 MHz'de manyetik alan ile GMI değerleri.....	47
Çizelge 3.11.	6. Örnek için ZnO ile kaplanmış Fe esaslı amorf telin frekans ile GMI değerleri.....	48
Çizelge 3.12.	6. Örnek için 5 MHz'de manyetik alan ile GMI değerleri.....	50
Çizelge 3.13.	Örnek A için tavllanmış ve CoO ile kaplanmış Fe esaslı amorf telin frekans ile GMI değerleri.....	52

Çizelge 3.14. Örnek A için 5 MHz'de manyetik alan ile empedans değerleri.....	53
Çizelge 3.15. Örnek B için tavllanmış ve asfaltan ile kaplanmış Fe esaslı manyetik alan ile empedans değerleri.....	54
Çizelge 3.16. Örnek B için 5 MHz'de manyetik alan ile empedans değerleri.....	56
Çizelge 3.17. Örnek C için ZnO ile kaplanmış Fe esaslı amorf telin frekans ile GMI değerleri.....	57
Çizelge 3.18. Örnek C için 5 MHz'de manyetik alan ile empedans değerleri.....	58
Çizelge 3.19. Örnek D için tavllanmış ve CoO ile kaplanmış Co esaslı manyetik alan ile empedans değerleri.....	60
Çizelge 3.20. Örnek D için 4 MHz'de manyetik alan ile empedans değerleri.....	61
Çizelge 3.21. Örnek E için CoO ile kaplanmış Co esaslı amorf telin frekans ile GMI değerleri.....	62
Çizelge 3.22. Örnek E için 4 MHz'de manyetik alan ile empedans değerleri.....	64
Çizelge 3.23. Örnek F için tavllanmış ve ZnO ile kaplanmış Co esaslı manyetik alan ile empedans değerleri.....	65
Çizelge 3.24. Örnek F için 4 MHz'de manyetik alan ile empedans değerleri.....	66
Çizelge 3.25 CoO ile kaplanmış Fe esaslı amorf telin 300 °C ve 5 MHz'de manyetik alan ve GMI değerleri.....	69
Çizelge 3.26 CoO ile kaplanmış Fe esaslı amorf telin 400 °C ve 5 MHz'de manyetik alan ve GMI değerleri.....	70
Çizelge 3.27 CoO ile kaplanmış Fe esaslı amorf telin 500 °C ve 5 MHz'de manyetik alan ve GMI değerleri.....	71
Çizelge 3.28 CoO ile kaplanmış Fe esaslı amorf telin 600 °C ve 5 MHz'de manyetik alan ve GMI değerleri.....	73

Çizelge 3.29 CoO ile kaplanmış Co esaslı amorf telin 300 °C ve 4MHz'de manyetik alan ve GMI değerleri.....	74
Çizelge 3.30 CoO ile kaplanmış Co esaslı amorf telin 400 °C ve 4 MHz'de manyetik alan ve GMI değerleri.....	75
Çizelge 3.31 CoO ile kaplanmış Co esaslı amorf telin 500 °C ve 4 MHz'de manyetik alan ve GMI değerleri.....	77
Çizelge 3.22 CoO ile kaplanmış Co esaslı amorf telin 600 °C ve 4 MHz'de manyetik alan ve GMI değerleri.....	78
Çizelge 4.1. GMI değerlerinin karşılaştırılması.....	80

1.GİRİŞ

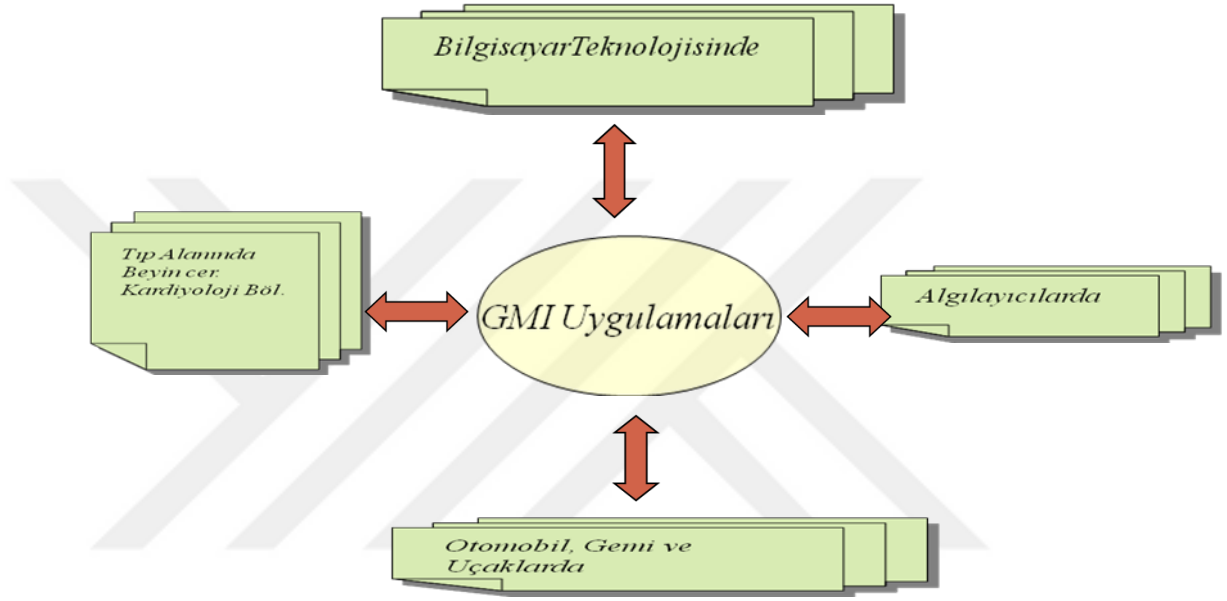
Deneysel çalışmalarda kullanılan demir (Fe) esaslı ve kobalt (Co) esaslı amor teller, dönen kasnak üzerine püskürtme yöntemi kullanılarak Unitika® firması tarafından üretilmiştir. Tavlama ve kaplama işlemleri ise Uludağ Üniversitesi'nde gerçekleştirildi. Günümüzde, mevcut malzemelerin gelişen teknoloji karşısında yetersiz kalmasından dolayı, yeni malzemeler üretme ve inceleme çalışmalarına oldukça ağırlık verilmektedir. Ferromanyetik amorf tellerin üretimi ile teknolojik alanlarda gelişmeler hız kazanmıştır (Mohri ve ark. 1991). Üretilen amorf maddeler çeşitli işlemler uygulanarak daha kullanışlı ve teknolojik gelişmelere katkı sağlamaktadır. Amorf malzemelerden biri olan amorf teller tavlanaarak, çeşitli malzemelerle kaplanarak (cam, organik ve inorganik kimyasal madde vb.) değişik formlarda özellikleri geliştirilmiş yeni malzemeler elde edilmiştir. Bu yeni malzemelerin MI, GMI, FMR gibi değerleri hesaplanarak günümüzde teknolojide önemli bir yer işgal eden algılayıcıların üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bunun yanı sıra elde edilen yeni malzemeler, bilgisayar teknolojisi başta olmak üzere, yüksek frekanslı güç kaynaklarında ve tıp da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.



Şekil 1.1. Amorf Tel Üretim Şeması (Çaylak 2008)

Amorf malzemeler üstün manyetik ve mekanik özelliklere sahip olmasından dolayı diğer manyetik malzemelere göre daha fazla ilgi uyandırmaktadır. Günümüzde,

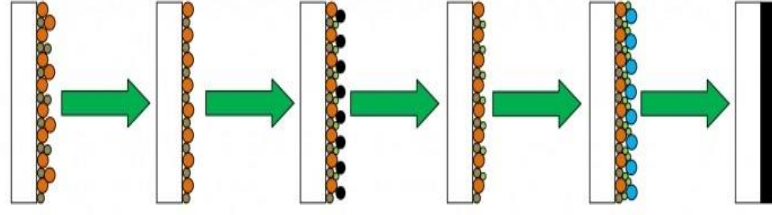
özellikle bilgisayar teknolojisinde daha küçük hacimlerde çok büyük bilgi depolamaya ihtiyaç vardır. Bundan dolayı amorf malzemeler bilgisayarların belleklerinde kullanılmaya başlamıştır. Amorf maddeleri kullanan aygıtların, daha az yer kaplaması, ağırlığının daha az olması ve bu durumda bile daha fazla bilgiyi depolama gücüne sahip olması anlamına gelmektedir. Böylece daha küçük ve taşınabilir bilgisayarlar üretilebilmektedir.



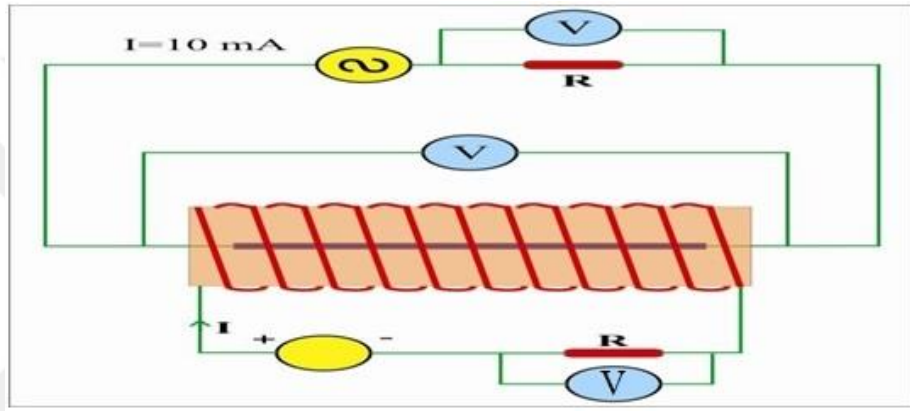
Şekil 1.2. GMI uygulama alanları (Tayşioğlu 2010)

Ferromanyetik amorf tellerde çok büyük manyetik empedans etkisi (GMI) araştırmaları 1994'ten sonra yoğunluk kazanmıştır (Knobel ve ark. 2001). Düşük frekans değerlerinde ve düşük manyetik alanlarda GMI olayı gözlenmemektedir. GMI olayı genelde 10 kHz'den daha büyük değerlerinde gözlenmiştir (Usov ve ark. 1997). Özellikle 2005 yılından sonra amorf maddelerin, çeşitli malzemeler ve çeşitli kaplama yöntemleri ile yeni malzeme üretme konusunda birçok bilimsel araştırma ve çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmada, ferromanyetik amorf teller SILAR (Ardışık iyon tabaka adsorpsiyonu ve reaksiyonu) yöntemi kullanılarak çeşitli kimyasal malzemeler ile kaplanıldı.



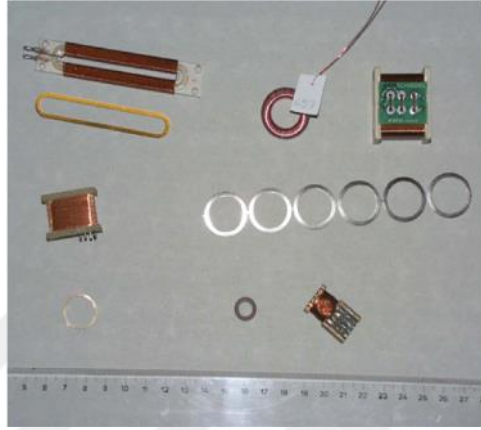
Şekil 1.3.SILAR metodu basamakları



Şekil 1.4. Deneysel Ölçüm Elektrik Devresi (Çaylak 2008)

Bu araştırmada, aynı kimyasal bileşenlere sahip ve aynı uzunlukta hazırlanan farklı örnek için manyetik empedans etkisinin (GMI) en büyük olduğu frekans değeri belirlendi. Belirlenen bu frekans değerinde çok büyük manyetik empedans etkisi (GMI) ile manyetik alan (H) değişimi incelendi. Çeşitli şekillerde kaplanmış ve kaplanmamış amorf tellerde GMI etkisinin nasıl değiştiği araştırıldı. Elde edilen sonuçların fiziksel değerlendirmeleri yapılarak GMI olayının hangi frekans değerinde daha iyi gözlemlendiği belirlenmiş ve bu frekans değerinde farklı amorf tellerdeki en büyük %GMI etkisi bulunmuştur.

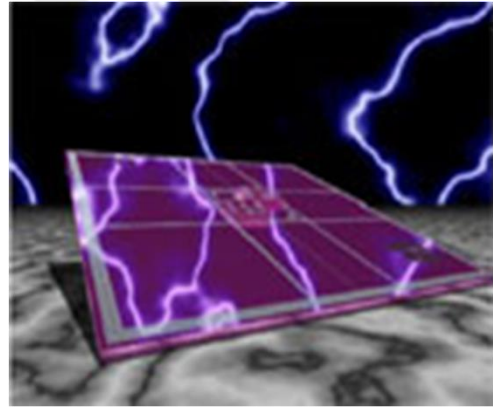
Elde edilen sonuçlara göre algılayıcıların üretilme aşamasında oldukça faydalıdır. Çünkü algılayıcılar 3 temel gruba ayrılır. Hall ve manyetik direnç, manyetik empedans ve süperiletken kuantum algılayıcılarıdır. Özellikle manyetik empedans algılayıcıları, bu çalışma sonuçları ile oldukça ilgilidir.



(a)



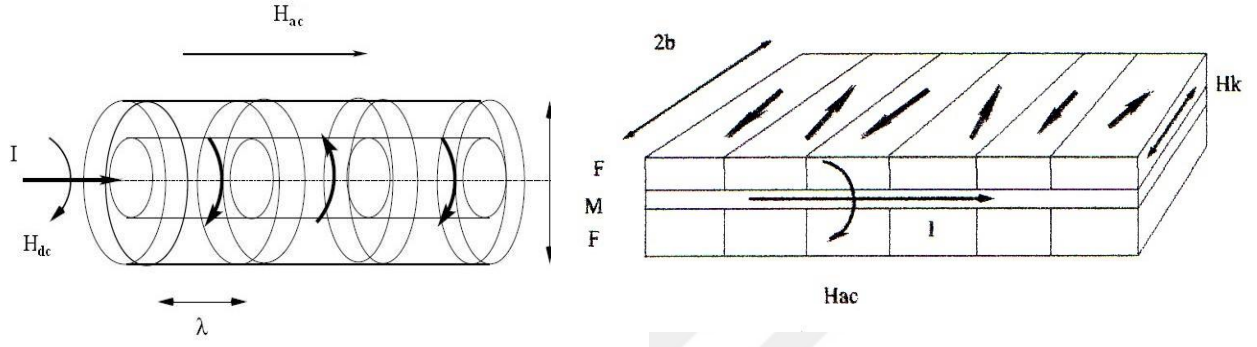
(b)



(c)

Şekil 1.5. (a) manyetik empedans, (b) Hall ve manyetik direnç, (c) süperiletken kuantum algılayıcıları

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde kaplanmış ve çeşitli malzemeler ile kaplanmış amorf maddelerdeki GMI değerleri incelendiğinde, kaplanmış maddelerde GMI değerinin arttığı görüldü. GMI değerindeki artışın amorf maddelerdeki domain duvarı hareketleri ve domain yapılarının yeniden oluşmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 1.6. Amorf Telde Domain Duvarı Yapıları (Mohri 1998)

KURAMSAL BİLGİLER

2.1. MANYETİK MADDELER

Manyetik alan tarafından az veya çok mıknatıslanan maddelere manyetik maddeler denir. Manyetik yapılarıyla özdeşleştirilen manyetizma çeşitleri vardır. Bu manyetizma çeşitleri ya manyetik yapılarına ya da manyetik özelliklerine göre sınıflandırılır.

Manyetik indüksiyon veya manyetik akı yoğunluğu (\vec{B}) genel olarak mühendislik uygulamalarında mıknatıslanmayı (\vec{M}) açıklamak için kullanılmaktadır. \vec{B} ve \vec{M} arasındaki ilişki,

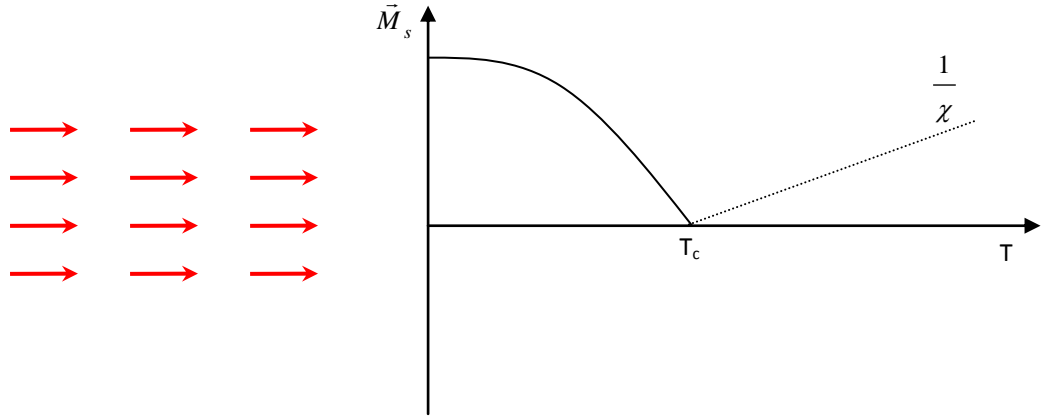
$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{M} + \vec{H}) = \mu_0 \vec{M} + \mu_0 \vec{H} \quad (2.1.)$$

ile verilir. Burada μ_0 serbest uzayın manyetik geçirgenlik olup değeri $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m'dir.

2.1.1. Ferromanyetik Maddeler

Ferromanyetik maddelerde domain (aynı yönde manyetik momentlerin bulunduğu bölge) içinde spinler birbirine paralel yönelmiştir. Böylece komşu spinler arasında kuvvetli bir etkileşme vardır. Bu kuvvetli etkileşme, ferromanyetik maddeyi kendiliğinden doyum mıknatıslanması (M_s) değerine ulaştırmıştır. Sıcaklıkla spin düzeni uyarılmaktadır. Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi mıknatıslanma sıcaklığın artmasıyla azalır ve belli bir sıcaklık değerinde sıfır olur. Bu sıcaklığa Curie sıcaklığı (T_c) denilmektedir. Bu sıcaklıktan sonra mıknatıslanma doğrusal olarak tekrar artar ve madde paramanyetik özellik gösterir.

Ferromanyetik maddelerin alınganlığı diamanyetik ve paramanyetik maddelerin alınganlığından çok fazladır ve büyüklüğü 50 ile 100000 arasındadır. Bu maddeler demir (Fe), nikel (Ni), kobalt (Co) örnek olarak verilebilir.



Şekil 2.1. Ferromanyetizma (Çaylak 2008)

2.1.2. Ferromanyetik Maddelerin Sınıflandırılması

Madde üzerinde kalan artık mıknatıslanmanın yok edilebilmesi için uygulanan ters manyetik alana sıfırlayıcı alan denir. Ferromanyetik maddeler, sıfırlayıcı alana (H_c) göre sınıflandırılırlar. Sıfırlayıcı alan madde yapısına duyarlı bir manyetik özelliktir. Farklı sıcaklık ve mekanik işlemler altında maddenin sıfırlayıcı alanı değişebilir. Ancak doyum mıknatıslanması bu olaylarla değişmez. Ferromanyetik maddeler manyetik olarak kolay ve zor mıknatıslanabilir olmak üzere ikiye ayrılırlar. Manyetik olarak zor mıknatıslanabilir maddelerin sıfırlayıcı alanı 10 kA/m 'in üzerinde, kolay mıknatıslanabilir maddelerin ise 1 kA/m 'in altındadır. Kolay mıknatıslanabilir manyetik maddeler elektromıknatıslarda, motorlarda, transformatör ve rölelerin çekirdeklerinde, zor mıknatıslanabilir manyetik maddeler ise manyetik kayıt ortamlarında ve jeneratörlerde olarak kullanılmaktadır. Kolay mıknatıslanabilir ferromanyetik maddelere, amorf maddeleri ve elektrik çeliklerini örnek verebiliriz.

2.1.3. Ferromanyetik Maddelerin Özellikleri

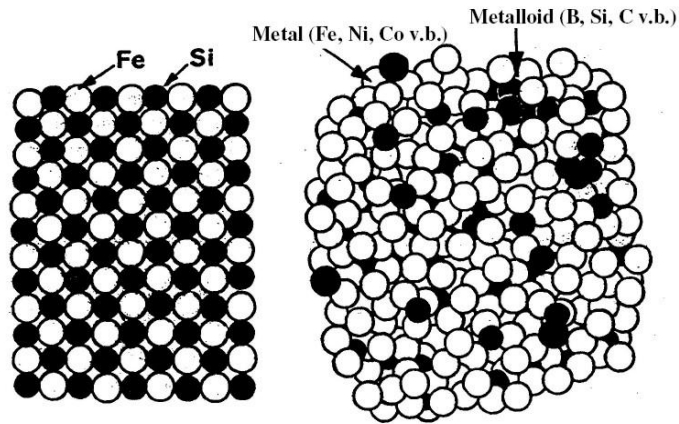
En yaygın kullanılan manyetik madde grubu ferromanyetik maddelerdir. Birçok uygulamalarda ferromanyetik maddeler kullanılmaktadır. Bunun nedeni ferromanyetik

maddelerin, kararlı manyetik alanlarda gösterdiği kuvvetli manyetik indüksiyon, yüksek geçirgenlik ve artık mıknatıslanmalarıdır.

Ferromanyetik maddelerin en önemli özelliği yüksek geçirgenliğe sahip olmalarıdır. Bu maddelerin geçirgenliği manyetik akı yoğunluğunun fonksiyonudur. Bir ferromanyetik maddenin özelliklerini belirlemek için manyetik alanın sürekli olduğu bir aralıkta, manyetik alanın fonksiyonu olarak manyetik akı yoğunluğunu ölçmek, histeresis eğrisini elde etmek için önemlidir. Ferromanyetik maddeler için başlangıç geçirgenliği 10^3-10^5 arasındadır. Ferromanyetik maddeler manyetik alana konulduğunda mıknatıslanmaktadır. Manyetik alan kaldırılrsa dahi maddede mıknatıslanma (M_r) kalır. Artık mıknatıslanma ferromanyetik maddelere ait bir özelliktir.

2.2. Amorf Maddeler

Amorf durum, genel olarak yönlendirilmiş kristal yapıdan çok düzensiz küresel topluluklar yapısı gibi tanımlanmaktadır. Amorf maddeler büyük derecede kristal yapıya sahip değildirler. Çünkü moleküller düzensiz olarak birlikte paketlenmişlerdir. Amorf maddelerdeki atomlar, erimiş halde hızla soğudukları için kendilerini düzenli bir yapıya dönüşecek kadar zaman bulamazlar ve kristalleşmemiş şekilde kendilerini düzenlerler. Amorf yapıların oluşması erimiş haldeki maddenin kristalleşmemesi için gereken soğuma oranına bağlıdır.



Şekil 2.2. Kristal ve Amorf Yapı (Luborsky 1983)

Elektromanyetik araçlar, ya kullanılan maddenin özelliklerini geliştirmekle ya da yeni bir gelişmiş manyetik madde kullanılarak daha verimli hale getirilirler. Bu nedenle ferromanyetik amorf alaşımların geliştirilmesi çok önemlidir. Amorf alaşımların temel kimyasal bileşimi T_xM_{100-x} 'dir. Burada T, bir veya daha fazla geçiş elementi olan demir (Fe), nikel (Ni), kobalt (Co) ve M ise bir veya daha fazla camı elementi olan fosfor (P), bor (B), karbon (C), silisyum (Si), molibdenyum (Mo) temsil etmektedir. Deneysel olarak amorf durumu oluşturmak kolaydır. T simgesinin; demir, nikel, kobalt ve M simgesinin; fosfor, bor, silisyum, karbon, molibdenyum gibi elementler içerdiği zaman madde ferromanyetik özellik göstermektedir. Burada X atomik yüzde olup bu amorf maddeler için %70-%86 değerleri arasında değişmektedir. Bu değerler oldukça sınırlıdır ve bu değerlerin dışında amorf madde üretmek çok zordur. T ve M maddeleri birden fazla olduğunda üretim çok daha kolaylaşmaktadır.

Amorf maddeler, elektrolitik, kimyasal ve buhar toplama yöntemleri ile üretilen amorf teller dünyada ilk defa Japon firması Unitika® tarafından üretilmiştir. En çok kullanılan yöntem, erimiş haldeki alaşıma basınç uygulayıp hızla dönen bir kasa üzerine püskürtülerek elde edilen yöntemdir (Şekil 2.3.). Bu üretim yöntemi maddeye daha iyi bir düzgünlük veren ve büyük miktarda üretim için uygun bir yöntemdir. Amorf maddelere metal camları da denilmektedir.

2.2.1. Amorf Maddelerin Üretim Yöntemleri

Temel olarak kasağa püskürtme yöntemi, erimiş haldeki alaşımı hızla dönen bir kasa üzerine basınçla göndermektir. Böylece madde kristalleşmeye fırsat bulamadan hızla soğur ve amorf bir yapı olur. Bu teknik büyük miktarda üretim için çok uygundur ve değişik uygulamaları vardır.

a) Erimiş haldeki alaşımı hızla dönen kasağın iç yüzeyine püskürtmek, bu yöntem genellikle amorf telleri üretmek için kullanılır.

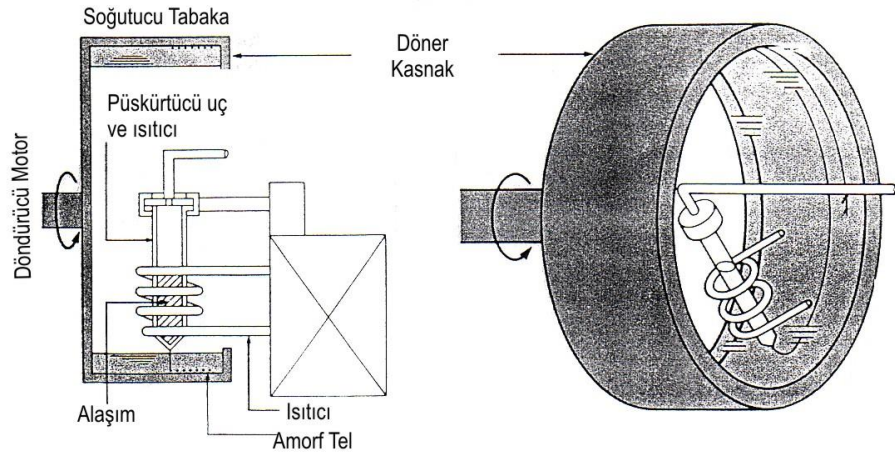
b) Alaşımı dönen iki kasağın arasına püskürtmek, bu yöntemle ferromanyetik amorf şeritler üretilmektedir.

c) Erimiş haldeki alaşımı dönen kasnağın dış yüzeyine püskürtmek. Bu yöntemle de amorf şeritler üretilmektedir.

d) Erimiş haldeki alaşımı dönen dış bükey bir kasnağın dış yüzeyine püskürtmektir.

Madde ısıtılıp eritildikten sonra argon (Ar) veya azot (N) gazlarıyla basınç uygulayıp püskürtülür.

Dönen kasnak genellikle bakır (Cu) veya bakır-berilyum (Cu-Be)'dan yapılmıştır. Bunun sebebi hava ile etkileşmeye girmesini önlemektir. Kasnağın üzerine gelen metal hızla katılır. Kasnaktan, üretim yöntemine göre amorf şerit veya tel olarak toplanır. Bu durum Şekil 2.3.'de gösterilmiştir. Ferromanyetik amorf maddelerin üretim işlemine etki eden bazı parametreler vardır. Bunlar alaşımın erime sıcaklığı, uygulanan gaz basıncı, erimiş metalin çıktığı ucun çap ve uzunluğu, dönen kasnağın hızı ve püskürtme açısıdır. Ortalama soğuma oranı 10^6 derece C/s büyüklüğündedir. Bu değer altındaki soğuma oranı maddenin kristalleşmesine izin vermektedir. Bu yüzden amorf yapı oluşmamaktadır. Amorf maddelerinin ortalama üretim hızları 2 km/da'dır.



Şekil 2.3. Amorf tellerin üretim şeması (Sency 1981)

2.2.2. Amorf Maddelerinin Kullanım Alanları

Ferromanyetik amorf maddeler, üstün kimyasal, mekaniksel ve manyetik özelliklerinden dolayı birçok uygulamada kullanılmaktadır. Amorf maddelerin uygun manyetik özellikleri, amorf şeritlerin izotropik yapıda olması ve yapısal bozuklukların olmayışından kaynaklanmaktadır. Tercih edilen uygulama alanları;

- Güç dağıtım transformatörlerinde
- Güç kaynakları
- Algılayıcılarda
- Yüksek frekanslı transformatörler
- Manyetik koruma (ekranlama)
- Gecikme hatları
- Manyetik kafalarda (teyp. bilgisayar vb), genelde amorf tel kullanılmaktadır.
- Manyetik yaylar
- Manyetik-esnek dönüştürücüler

Yumuşak ferromanyetik maddelerin başlıca kullanım alanı güç transformatörleri ve elektronik cihazlardır. Transformatörlerde kullanılan elektrik çeliği, amorf madde ile değiştirildiğinde güç kayıpları azalmaktadır. Aynı şekilde bilgisayar hard disklerinde de amorf tel kullanılarak daha küçük yer kaplamayla daha fazla bilgi depolanabilmektedir.

2.2.3. Amorf Maddelerin Özellikleri

Manyetik aletlerde kullanılacak madde de aranan özellikler, verim, geçirgenlik ve sınırlayıcı alandır. Amorf maddeler, elektrik çelikleriyle karşılaştırıldığında 3 kat daha verimlidir. Elektriksel direnci en az üç kat daha fazladır. Daha küçük sınırlayıcı alana (H_c), daha büyük geçirgenliğe (μ) ve kuvvetinden hiçbir şey kaybetmeden esneklik özelliğine sahiptirler. Benzer kristalli alaşımlara göre daha yüksek aşınma direnci ve çok yüksek hızlarda stratejik olmayan metallere üretilmektedir.

Ferromanyetik amorf maddelerin bu olumlu yönlerinin yanında bazı olumsuz yönleri de vardır. Pahalı olmaları, düşük doyum mıknatıslanmasına sahip olması ve ısıtıldıklarında kırılabilir hale gelmeleri olumsuz yönleridir.

Amorf maddeler kötü iletkenler oldukları halde 3d-elektronları kristalli geçiş metal alaşımlarında hareketlidirler. Böylece 3d-elektronlarının manyetik momenti, manyetizmanın bant teorisi olarak bilinmektedir. Atomlarda, yüksek enerjili spin durumları daha çok elektron-elektron (e^-e^-) Coulomb itme enerjilerine sahiptir. Ayrıca Hund kuralına göre atomlar daha büyük manyetik momentlere sahip olacaktır. Atom etkileşmelerinde yüksek enerjili spinler için Coulomb enerjisindeki azalmayla, spin toplamı sıfır olan elektron çiftleriyle en düşük enerji seviyelerinin doldurulmasındaki enerji azalmasında bir denge elde edilmektedir. Bağ etkileşmesiyle karşılaştırıldığında Coulomb enerjisinin büyük olduğu yerlerde, yüksek enerjili spinli atoma benzer durum oluşmaktadır. Bağ enerjisi Coulomb enerjisiyle karşılaştırılabilir olduğu zaman, geçiş metallere 3d yörüngeleri arasında olduğu gibi, bir dengeye varılır ve momentler azalır. Bağların hala kuvvetli olduğu durumlarda, camı elementlerin s ve p durumlarıyla geçiş elementlerin 3d durumları arasında olduğu gibi, moment daha da küçülür veya ihmal edilebilir.

Amorf maddelerde geçiş elementlerinin manyetik momentlerinin, (Fe, Ni, Co) bulunabilmesi en kolaylarıdır. Fakat bu elementleri saf halleriyle elde etmek oldukça zordur. Band teorisine göre basitleştirilmiş kurallar gösterir ki geçiş metallere manyetik momenti, camı elementlerin eklenmesiyle gelişigüzel olarak azalır. Bu azalma camı elementlerden elde edilebilen elektron sayısına bağlı olarak değişir. Her fosfor (P) atomu $3\mu_B$, her silisyum (Si) veya karbon (C) atomu $2\mu_B$ ve her bor (B) atomu $1\mu_B$

bileşimin toplam manyetik momentinden azaltır. Manyetik maddelerin mıknatıslanması genellikle atomdaki manyetik moment biriminden veya Bohr magnetonu (μ_B) ile belirlenir. Geçiş elementlerinin atomları (T) genel olarak amorf bileşiklerde,

$$T_{1-x-y}F_xG_y \Rightarrow \mu = \mu_B \frac{m(1-x-y) - fx - gy}{1-x-y} \quad (2.2.)$$

şeklinde ifade edilir. Burada T, geçiş elementi G ve F ise camsı elementleri temsil eder. m ise geçiş elementlerdeki çiftlenmemiş spin sayısıdır. f ve g , F ve G atomlarının elektron sayısı, x ve y ise atomik yüzdelerdir.

2.3. Ferromanyetik Amorf Teller

Elektrolitik, kimyasal ve buhar toplama yöntemleri ile üretilen amorf teller dünyada ilk defa Japon firması Unitika® tarafından üretilmiştir. Amorf tellerin uygulama alanları oldukça geniştir. Çünkü diğer tellere göre değişik şekil ve benzersiz özelliklere sahiptir. Örneğin diğer metal tellerle karşılaştırıldığında, amorf teller kuvvete karşı dayanıklı, daha yüksek aşınma direncine sahip ve tekrar tekrar oluşturulabilir. Bu yüzden amorf teller değişik destek uygulamalarında kullanılabilir. Amorf teller, amorf yapılarından ve tel biçimlerinden dolayı değişik üstün manyetik özellikler göstermektedir. Birçok alanda yeni ihtiyaçlara göre üstün özellikli amorf teller geliştirilmektedir.

Ferromanyetik amorf teller kolaylıkla bükülebilir, katlanabilir, sıralanabilir ve makaraya bir ip gibi sarılabilir. Çünkü amorf teller ince ve çok küçük yarıçapa sahiptir.

Çizelge 2.1.'de gösterildiği gibi ferromanyetik amorf teller, Co-Fe-Cr-Si-B, Fe-Si-B ve Co-Fe-Si-B olmak üzere alaşımları farklı 3 gruba ayrılmaktadır. Bu alaşımlardan farklı çaplarda ticari isimleri AF-10, DF-10 ve AC-20 gibi 10 değişik amorf tel üretilmektedir. Yine bu çizelgede bu tellere ait bazı manyetik özellikler ve bir makarada minimum kaç metre tel olduğu gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Çeşitli amorf teller ve özellikleri (Sency 1991)

<i>Bileşimler</i>	<i>Tür</i>	<i>Standart tel çapı</i>	<i>Makara başına</i>	<i>Özellikler</i>
		<i>(μm)</i>	<i>uzunluk (m)</i>	
Co-Fe-Cr-Si-B	AE-10	125	Minimum 300 m	Dayanıklı metal, aşınma direnci
	DE-10	15-20-30-50-70-100	“	
	AE-20	125	“	Dayanıklı metal, aşınma direnci
	DE-20	15-20-30-50-70-100	“	
Fe-Si-B	AF-10	125	“	Yüksek manyetik akı yoğunluğu, yüksek manyetik gerilme, büyük Barkhausen etkisi
	DF-10	15-20-30-50-70-100	“	
Co-Fe-Si-B	AC-10	120	“	Yaklaşık sıfır manyetik gerilme yüksek geçirgenlik
	DC-10	15-20-30-50-70-100	“	
	AC-20	120	“	Yaklaşık sıfır manyetik gerilme, yüksek geçirgenlik
	DC-20	15-20-30-50-70	“	

Ferromanyetik amorf telleri kimyasal bileşimlerine göre üç gruba ayırabiliriz. Demir oranının çok olduğu demir (Fe) esaslı amorf tel, kobalt oranının çok olduğu kobalt (Co) esaslı amorf tel ve nikel oranının çok olduğu nikel (Ni) esaslı amorf tellerdir.

2.3.1. Demir (Fe) Esaslı Amorf Tel

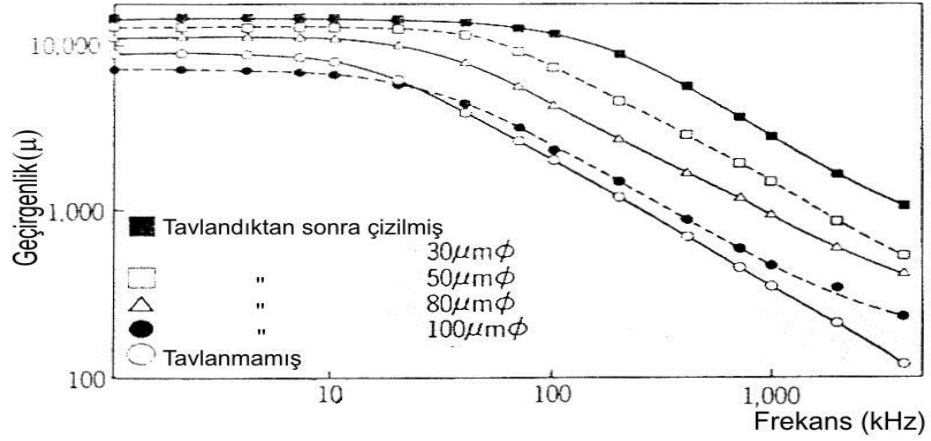
Demir esaslı amorf teller T_xM_{100-x} bileşimindeki demirin x yüzdesinin büyük olduğu amorf maddelerdir. Buradaki T geçiş elementi birden fazla olduğu zaman daha iyi amorf yapı özelliği göstermektedir. Amorf tellerde T geçiş elementi olarak demir ve kobalt kullanılır. Bileşikteki demir ve kobalt elementlerin yüzdeleri toplamı %70 ile %86 arasındadır. AF-10 tipi amorf teller demir esaslı amorf tellerdir. Demir esaslı amorf tellerin bazı manyetik özelliklerini şöyle sıralayabiliriz (Sency 1991),

- i) Yüksek manyetik gerilmeye sahiptirler
- ii) Büyük doyum manyetik akı yoğunluğu (B_s), 1,6 Tesla
- iii) Domain duvarı hareketleri için gereken kritik alandan büyük veya eşit en büyük manyetik alan uygulandığında histerisis eğrilerindeki mıknatıslanmada ters yönelim gözlenir. (Büyük Barkhausen etkisi)
- iv) Uygulanan dış manyetik alanın değişimi, amorf tellerin uçları arasında keskin dalgalanmalar meydana getirir. (Matteucci Etkisi)
- v) Gerilim eğrilerinin frekans spektrumu büyük harmonikler içerir. Bu keskin dalgalanmaların bir sonucudur.

2.3.2. Kobalt (Co) Esaslı Amorf Tel

Genel formülde kobalt oranının yüksek olduğu amorf tellerdir. AC-20 tipindeki teller bu gruptandır. Bu tür tellerin manyetik özellikleri şöyle sıralayabiliriz (Sency 1991),

- i) Negatif manyetik gerilmeye sahiptir.
- ii) Yüksek manyetik geçirgenlik, 10 kHz'de yaklaşık 10000
- iii) Çok düşük sıfırlayıcı alan, 160 A/m'lik manyetik alan uygulandığında sıfırlayıcı alan 5 A/m
- iv) Oldukça ince tellerdir. Bu yüzden manyetik geçirgenlik, frekansa bağlıdır.



Şekil 2.4. Kobalt esaslı amorf tel için μ-f grafiği (Sency 1991)

Co-Fe-Si-B (AC-20) sistemindeki amorf tellerde bazı manyetik özellikler

- i) Sıfırlayıcı alan, 5 A/m
- ii) Artık manyetik akı yoğunluğu, 0,4 Tesla
- iii) 1600 A/m'lik manyetik alan altında manyetik akı yoğunluğu, 0,8 Tesla
- iv) Doyum manyetik akı yoğunluğu, 0,8 Tesla

2.3.3. Nikel Esaslı Amorf Tel

Nikel esaslı amorf teller, demir esaslı ve kobalt esaslı tellere oranla daha az yaygındır. Amorf maddeler için geçerli olan formülde, nikel oranı yüksek olan tellerdir. Nikel esaslı ferromanyetik amorf tellerin bazı manyetik özellikleri şöyledir,

- i) Manyetik gerilmesi (λ_s) negatiftir.
- ii) Küçük sıfırlayıcı alana (H_c) sahiptir.
- iii) Artık manyetik akı yoğunluğu (B_r) düşüktür.
- iv) Manyetik geçirgenliği yüksektir.

2.4. Çok Büyük Manyetik Empedans (GMI) Etkisi

Ferromanyetik maddelerde çok büyük manyetik empedans etkisi GMI olarak tanımlanır. Ferromanyetik maddelerde çok büyük manyetik empedans etkisi ilk olarak yaklaşık 60 yıl önce gözlenmesine rağmen yoğun olarak GMI araştırmaları 1994'den sonra başlamıştır (Knobel ve ark. 2001). GMI araştırmaların 1994'den sonra yoğunlaşmasının başlıca sebebi teknolojik gelişmelerdir.

Çok büyük manyetik empedans etkisi, uygulanan sabit bir manyetik alan (H_{dc}) etkisi altında ferromanyetik maddenin toplam empedansındaki değişimdir (Tannous ve Gieraltowski 2003). Madde üzerine alternatif akım uygulandığında, $i=i_0e^{j\omega t}$ ve $\omega=2\pi f$ (açısal frekans), i_0 selenoid içinde düzgün manyetik alan oluşturmak için gerekli akım değeri, enine manyetik alan Amper yasasına göre madde üzerinde bir mıknatıslanma oluşturur. Düşük frekanslarda enine mıknatıslanmadaki değişim manyetik madde üzerinde bir indüktif (V_L) gerilim düşümü meydana getirir,

$$V = iR + V_L \quad (2.3.)$$

burada R telin direncidir. Böylece manyetik empedans (Z)'yi yazabiliriz,

$$Z = R + j\chi_L \quad (2.4.)$$

burada sanal kısım indüktif reaktansı belirtmektedir. Manyetik empedansın alana bağlılığı, enine manyetik geçirgenlikle ilgilidir. Frekans artırıldığında, hem direnç hem de indüktif bobin üzerindeki toplam gerilim değişir. Manyetik empedansın manyetik alana bağlılığını nüfuz etme derinliği (δ_s) belirler. Nüfuz etme derinliği Denklem 2.5.'deki gibi verilir.

$$\delta_s = \frac{c}{\sqrt{2\pi\omega\sigma\mu}} \quad (2.5.)$$

burada δ_s nüfuz etme derinliği, c ışık hızı, σ iletkenlik ve μ ise geçirgenliktir. Akım değişimi sadece frekans ve iletkenin şekline bağlı değildir. Enine mıknatıslanma (H_{dc}) ile değişir.

Tipik olarak manyetik empedans frekansla artar, nüfuz etme derinliğinin güçlü olduğu frekanslarda en büyük değerine ulaşır ($\delta_s \ll a$;“a” parametresi amorf tel için yarıçap, amorf şerit için kalınlık) ve daha sonra azalır. Çünkü yüksek frekanslarda geçirgenlik manyetik alanla değişmemektedir.

90’lı yıllarda düşük manyetik alanda ve düşük frekanslarda amorf teller için çok büyük manyetik alan etkisini açıklamıştır (Panina ve Mohri 1994). Şekil 2.4.’de görüldüğü gibi GMI olayı 10 kHz’den büyük frekans değerlerinde gerçekleşmektedir (Usov ve ark. 1997). Çünkü düşük frekanslarda ferromanyetik amorf telin direnci değişmemektedir. Daha sonraki yıllarda GMI olayı ince filmlerde (Machado ve ark. 1994) ve amorf şeritlerde (Beach ve Berkowitz 1994) araştırıldı. Düşük manyetik alanda (birkaç Tesla’da) ve düşük frekanslarda ($10\text{kHz} < \text{değerlerde}$) manyetik empedanstaki değişim, manyetik maddelerde GMI etkisinin başlangıcıdır.

GMI etkisi incelenecek maddeler, kolay mıknatıslanabilir maddeler olmalıdır. GMI etkisi, amorf tellerde, amorf mikro tellerde, amorf şeritlerde, manyetik olmayan malzemelerle kaplanmış tellerde, ince filmlerde ve çok tabakalı yapılarda araştırılmaktadır. Bu etki maddenin geometrik yapısına, maddeyi oluşturan yapıya ve çok katlı yapıya bağlı olarak farklılıklar gösterir.

GMI etkisini tanımlamak için birçok gözlem yapılabilir

a) Uygulanan dış bir manyetik alan ile empedansta büyük bir değişim meydana gelir. Bu değişim oranı bize GMI oranını vermektedir.

$$\frac{\Delta Z}{Z} \% = \frac{[Z(H) - Z(H_{\max})]}{Z(H_{\max})} \times 100 \quad (2.6.)$$

burada $Z(H)$ manyetik alanın belli değerinde ölçülen empedans, $Z(H_{max})$ ise malzeme manyetik doyuma ulaştığında ölçülen empedanstır.

b) Çok büyük manyetik empedans etkisi $0,1 \text{ kA/m}$ 'lık dış bir manyetik alan uygulanmasıyla görülür.

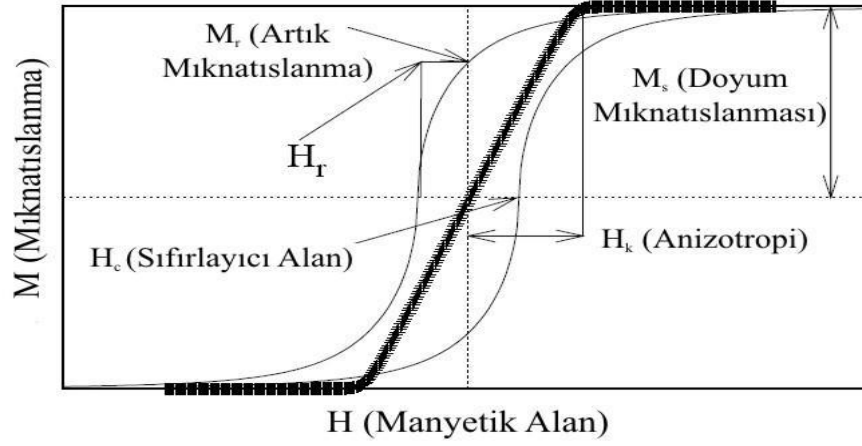
c) Frekans aralığı 10 kHz ve 10 Mhz değerleri arasındadır (Frekans aralığı GHz değerinde olduğunda Ferromanyetik Rezonans FMR etkisi görülür). GMI etkisi görülen maddelerde nüfuz etme derinliği maddenin kalınlığından daha büyüktür. Eğer frekans değeri GHz derecesinde olursa nüfuz etme derinliği maddenin kalınlığından daha küçüktür. Nüfuz etme derinliğinin geçirgenlik üzerinde bir etkisi yoktur. Oysaki manyetik maddeleri nüfuz etme derinliği yansıtmaktadır. Geçirgenlik sıcaklığa, kuvvete, maddenin geometrisine ve kimyasal bileşimine bağlıdır. Geçirgenlik, basınç altında tavlama veya manyetik alan varlığı gibi çeşitli fiziksel işlemler uygulanarak değiştirilebilir. GMI etkisini incelemek için maddenin bazı özelliklere sahip olması gerekir.

Maddenin sahip olması gereken bazı özellikler;

a) Madde kolay mıknatıslanabilir ve sıfırlayıcı alanın küçük olması gerekir. Çünkü küçük sıfırlayıcı alana sahip maddeler daha kolay mıknatıslanabilir.

b) Madde iyi tanımlanmış bir anizotropi eksenine sahip olmalıdır. Yani maddenin anizotropi ekseni ile kolay mıknatıslanma yönü benzerlik göstermelidir. Bununla

beraber Şekil 2.5.'deki gibi anizotropik alan (H_k) küçük olmalıdır. Tipik olarak H_k-H_c oranı 20'dir. Bu oran GMI etkisini tanımlamaktadır.



Şekil 2.5. Demir esaslı amorf telin histerisis eğrisi (Zhukov 1997)

c) Histerisis eğrisinin kapladığı alan küçük olmalıdır. Çünkü sıfırlayıcı alan ve histerisis eğrisi, uygulanan manyetik alanın açısı ile ve maddenin anizotropik eksenine ile değişmektedir.

d) Maddeye alternatif akım $i(t) = i_0 e^{j\omega t}$ uygulandığında kolay mıknatıslama eksenine dik olmalı ve anizotropik alandan küçük bir alternatif manyetik alan (H_{ac}) meydana getirmelidir.

e) Maddenin öz direnci küçük ($\leq 100 \mu\Omega \cdot \text{cm}$) olmalıdır. Çünkü direnç üzerinden alternatif akım geçmektedir. Bu önemli bir noktadır çünkü birçok manyetik maddenin direnci büyüktür. Amorf maddelerde ise tersine direnç değeri düşüktür. Oda sıcaklığında $100 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ civarındadır.

f) Uygulanan manyetik alanın madde üzerinde etkili olması için maddenin doyum mıknatıslanması (M_s) büyük olmalıdır.

g) Frekansın küçük değerlerinde Çizelge 2.2.'de görüldüğü gibi geçirgenlik çok büyük olmalıdır.

Çizelge 2.2. Bazı amorf alaşımlar ve manyetik özellikleri (Tannous 2003)

<i>Alaşım</i>	H_c (kA/m)	μ_{max} 50 Hz	<i>Manyetik Gerilme</i>
Fe ₈₀ B ₂₀	3.2	320, 000	$\lambda_s \sim 30. \times 10^{-6}$
Fe ₈₁ Si _{3.5} B _{13.5} C ₂	3.5	260, 000	
Fe ₄₀ Ni ₄₀ P ₁₄ B ₆	0.6	400, 000	$\lambda_s \sim 10. \times 10^{-6}$
Fe ₄₀ Ni ₃₈ Mo ₄ B ₁₈	1-4	200, 000	
Fe ₃₉ Ni ₃₉ Mo ₄ Si ₆ B ₁₂	1-4	200, 000	
Co ₅₈ Ni ₁₀ Fe ₅ (Si, B) ₂₇	0.8-1	200, 000	$\lambda_s \sim 0.1 \times 10^{-6}$
Co ₆₆ Fe ₄ (Mo, Si, B) ₃₀	0.2-0.4	300, 000	

h) Maddenin manyetik gerilmesi düşük olmalıdır. Çünkü manyetik alan uygulandığında küçük manyetik gerilmeler meydana gelmelidir.

Uygulanan H_{dc} manyetik alanının değişimi, dc direnç (R_{dc}) değerinden birkaç kat büyüklükte en büyük empedans (Z) meydana getirebilir.

Düşük frekanslarda empedans (Z), $H_{dc} \sim 0$ aralığında keskin bir en büyük tepe değerine sahiptir. Frekans artırıldığında en büyük tepe değeri $H_{dc} \sim \pm H_k$ aralığına doğru kayar. Bundan dolayı H_{dc} fonksiyonu olarak Z frekans artışına bağlı olarak bir veya çift en büyük tepe değere sahip olabilir. Bu durum Şekil 2.5.'de gösterilmiştir. Anizotropi alanının yönü tam olarak belirlendiğinde en büyük tepe değerleri keskinleşir. Nüfuz etme derinliği "a" parametresinden büyük olduğu ($\delta_s > a$) durumlarda GMI görülmektedir. Burada "a" parametresi amorf şeritlerin kalınlığı veya amorf tellerin yarıçapıdır.

2.4.1. Amorf Tellerde GMI Etkisi

Amorf ve mikro tellerde GMI araştırmaları, önemli uygulama alanları olduğu için oldukça yaygın incelenmektedir. Bu uygulama alanlarının en önemlisi manyetik alan algılayıcılarıdır.

Düşük frekanslarda yani nüfuz etme derinliğinin büyük olduğu zaman, frekansa karşılık empedans (Z) manyetik alandaki gerilime bağlı olarak büyümektedir. Empedans (Z),

$$Z = R + j\chi(\omega) \quad (2.7.)$$

burada R direnci, χ ise relaktansı temsil etmektedir. Yüzey etkisi kuvvetli olduğu zaman direnç (R) ve relaktansı (χ) içeren toplam empedans manyetik alandaki nüfuz etme hareketliliğine göre değişir.

Ferromanyetik maddelerin geçirgenliklerini belirlemek için farklı yöntemler vardır. Öncelikle örnek üzerinde dc akım geçerken ki geçirgenlik ve daha sonra domainlerin mıknatıslanma yönleri (DMY) veya mıknatıslanma süreci ile domain yapılarının sınıflandırılması (DYS) hesaba katılır. Alternatif akım altındaki empedansa bakıldığında, standart ölçüm modellerin domain yapılarını hesaba katmadıkları görülmektedir. Bundan dolayı manyetik empedans tanımlanırken, madde üzerindeki toplam değişikler ile hesaplamalar her zaman temel olarak alınır. Madde üzerindeki toplam değişikler DYS, DMY, manyetik rezonans ve manyetik gevşeme olabilir. Yarıçapı a, iletkenliği σ ve geçirgenliği μ olan düzgün bir tel için empedans şöyle ifade edilir,

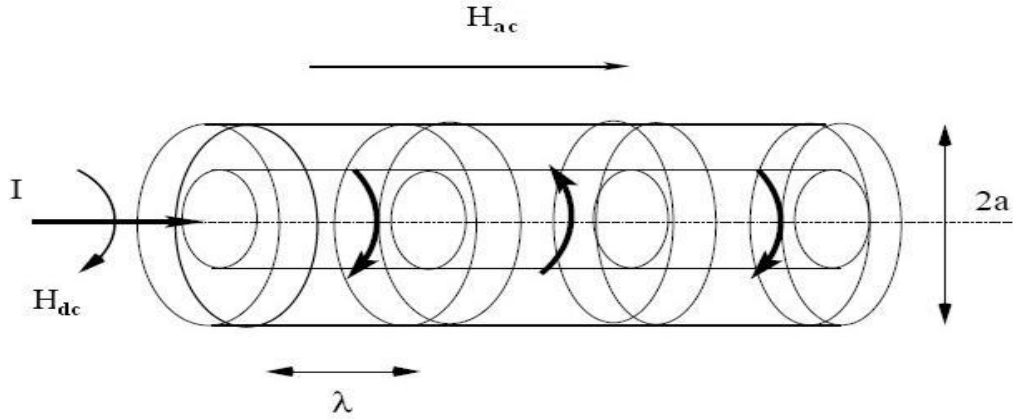
$$\frac{Z}{R_{dc}} = \frac{R + j\chi}{R_{dc}} = \frac{ka J_0(ka)}{2 J_1(ka)} \quad (2.8.)$$

Burada J_1 i. Bessel fonksiyonu, a amorf telin yarıçapı ve $k=(1+j)/\delta_s$ 'dir. Anizotropik eksene dik olarak tele ac akım uygulandığında enine geçirgenlik hesaba katılmalıdır.

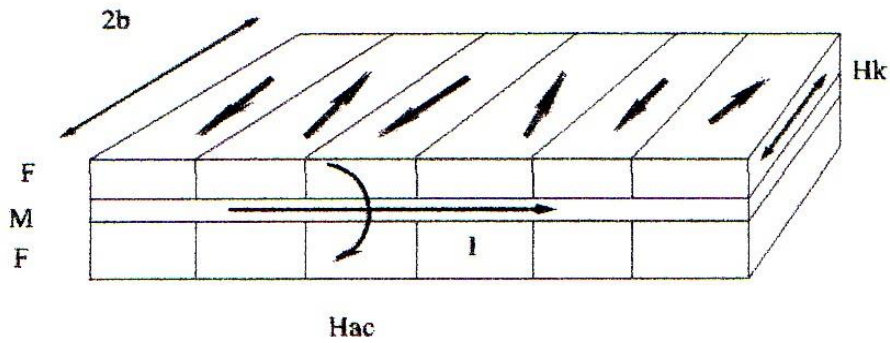
Burada geçirgenlik empedansın değişimine etki etmektedir. Düşük frekanslarda hesaplamalar, $ka \ll 1$ alınarak yapılır.

Yüksek frekanslarda $\frac{Z}{R_{dc}}$ yaklaşık 1000 olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamının sonucunda amorf tele ac akım uygulandığında, manyetik alan madde içinde dairesel mıknatıslanma oluşturur.

Küçük negatif manyetik gerilmeli λ_s üretilmiş amorf tellerde, Şekil 2.6.'da gösterildiği gibi mıknatıslanma ve manyetik anizotropik alan H_k ac akım uygulanan düzleme dik, düzlemde dairesel olarak hareket etmektedir. H_{dc} alanı mıknatıslanma yönünde olursa enine geçirgenlikte azalma olur.



(a)



(b)

Şekil 2.6. (a) ve (b) Amorf tellerde domain duvarı yapıları (Panina 1995)

Klasik formüllerde domain duvarı hareketleri için nüfuz etme derinliliğine bağılılığı ölçülmez. Çünkü taşıyıcıların dağılımı değiştirilebilir (Chen ve ark. 1998)

2.4.2. Elektronik Aletlerde ve Algılayıcılarda GMI Uygulamaları

Geçirgenliği büyük manyetik maddelerin birçok GMI uygulama alanları vardır. İlk kullanım alanı araçlara bağlı olan cihazlardaki manyetik korumadır. Çünkü malzemelerde maddelerin kolay mıknatıslanabilir manyetik özellikleri sık sık kullanılır. Bu uygulamalarda amaç en küçük manyetik alanın varlığını tespit edebilmektir. Genel görüş doğal ve yapay alanların büyüklüğünde manyetik akım değerinin önemli rol oynadığıdır.

Manyetik alanların ölçülmesi oldukça önemlidir ve manyetik alan algılayıcıları (sensör) genelde üç sınıfta toplanabilir (Hauser 2001).

- a) Orta seviyenin üstündeki manyetik alanları belirleyen Hall ve manyetik direnç algılayıcıları
- b) Orta seviyenin altındaki manyetik alanları belirleyen manyetik empedans ve manyetik akı-kapısı algılayıcıları
- c) Çok küçük manyetik alanları belirleyen süperiletken kuantum algılayıcıları

Bilgisayar disklerinde okuyucu (sabit disk), araçlarda manyetik yol gösterme cihazlarında, gemilerde ve uçaklarda (GPS ile veya GPS'siz, Küresel konum belirleme sistemleri), beyni görüntüleme (MEG cihazlarında), kalp taramasında (MCG cihazlarında), dünyanın manyetik alanının belirlenmesinde, petrolün veya yeraltı kaynakların bulunmasında GMI uygulamaları kullanılmaktadır.

Algılayıcılar için sadece yüksek duyarlık, esneklik, geniş bant aralığı ve düşük maliyet gibi özellikler yeterli değildir ama en geçerli özelliklerdir. DC manyetik alan ile duyarlılığı artan GMI cihazları geliştirilmektedir. Bu GMI cihazlarında H_{dc} ile manyetik empedansın değişimi simetrik değildir. Böyle cihazlarda manyetik alanda tavlanmış Co- esaslı amorf malzemeler kullanılmaktadır. Manyetik empedansın asimetric olması $H \sim 0$ arasındaki çok çok küçük alanların belirlenmesinde oldukça faydalıdır. Bunlar GMI esaslı cihazlardır. Bu cihazların duyarlılığı oldukça geliştirilmiş ve yaklaşık 80 kA/m değerine ulaşmıştır. Amorf tellerde olduğu gibi asimetric yapı maddeye uygulanan kuvvet tarafından oluşturulmuştur. Uygulanan kuvvet ile GMI değişmesine karşın

manyetik gerilme algılayıcıları geliştirilmektedir. Bu çeşit algılayıcılar mühendislik ve fen alanında birçok yerde kullanılmaktadır.

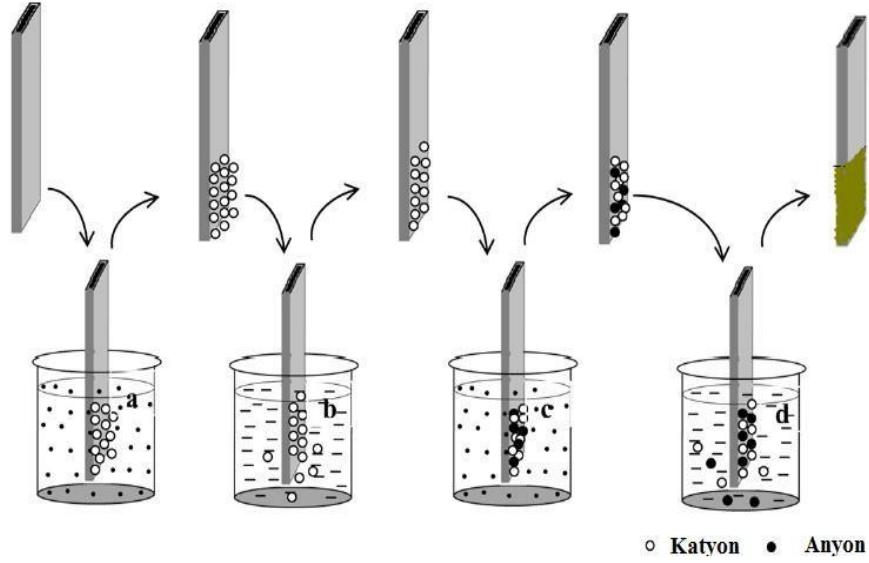
2.5. SILAR (Ardışık İyon Tabaka Adsorpsiyonu ve Reaksiyonu) Yöntemi

Geçtiğimiz son otuz, otuz beş yıl süresinde SILAR yöntemi çeşitli kimyasal maddelerin ince film elde edilmesinde kullanılan bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. SILAR metodu diğer ince film kaplama tekniklerine göre daha ucuz, kaplama işlemi kolay ve büyük bir aralıkta çöktürme ve kaplama yapmak için elverişlidir. Kimyasal reaksiyonları 25 °C veya 25 °C sıcaklık civarındaki sıcaklıklarda gerçekleştirildiği için yalıtkan, yarıiletken, iletken ve sıcaklığa hassas değişik alt tabaka malzemeleri kullanılabilir. Bir sıcaklık işlemi olduğu için taban malzemenin oksitlenmesi ve aşınması da önlenmiş olur. SILAR metodu kullanılarak doğru ve iyi durumda ince filmler elde etmek için mutlaka gerekli olan şey, çözültide kullanılan maddelerinin konsantrasyonu, karmaşık yapıdaki bileşiklerin yapısı, başlangıçtaki çözültülerin pH değeri ve adsorpsiyonu, reaksiyon ve durulama süresi gibi öncül şartları düzenlemektir.

SILAR metodu, diğer ince film kaplama tekniklerine göre daha güncel ve üzerinde az çalışılmış bir yöntemdir. SILAR tekniği temel olarak hazırlanmış çözültideki iyonların adsorpsiyonu ve reaksiyonu ve her saf su içine daldırma işlemi sonrasında çözültideki homojen olmayan tortulardan ve çökelmeden kaçınmak için iyonlaşmamış su ile durulama işleminden ibarettir. Kullanılan alt tabaka malzeme üzerinde bir kimyasal bileşiği diğer malzeme üzerinde biriktirme işlemi SILAR metodunun temel yapı taşıdır. Bu olaya adsorpsiyon denir. Adsorpsiyon ifadesi bir sistemin iki farklı durumu arasındaki ara yüzey katmanları olarak tanımlanabilir. İki homojen olmayan farklı durumun birbirleriyle temas haline getirilmesi sonucunda, adsorpsiyon olayının gerçekleşmesi öngörülür. Bu sebeplerden dolayı gaz-sıvı, sıvı-katı ve gaz-katı üç farklı mümkün olabilen adsorpsiyon durumudur. Bu tez çalışmasında SILAR yönteminde yalnızca katı-sıvı sistem adsorpsiyonu ele alınmıştır. Adsorpsiyon, kullanılan alt tabaka malzemenin yüzeyi ile iyonlar arasında gerçekleşen dışarı ısı veren bir yüzey işlemidir ve kimyasal çözültideki iyonlarla alt tabaka malzemenin yüzeyi arasındaki çekim kuvvetlerden kaynaklanır. Bu çekim kuvvetleri bağlayıcı çekim kuvvetler, Van-der Waals kuvvetleri veya kimyasal çekim kuvvetleri olabilir. Alt tabaka malzeme

yüzeyindeki atomlar veya moleküller, çözeltilde diğer atom veya moleküller tarafından her yönden sarılmış durumda değildirler (Çevik 2013).

Bu sebeplerden dolayı alt tabaka olarak kullanılan malzemenin iyonlarına tutunan dengelenmemiş veya artık kuvvetler vardır. Bundan dolayı atomlar alt tabaka olarak kullanılan malzeme yüzeyine yapışabilirler. Hazırlana kimyasal çözeltinin sıcaklığı (T), basıncı (P), kullanılan altlık malzemenin yapısı, çözeltinin derişimi ve kullanılan alt tabaka malzemenin yüzey alanı gibi etkiler adsorpsiyon işleminde etkin rol oynar. Başlangıçta kullanılan alt tabaka malzeme yüzeyine yapışan madde (artı yüklü iyonlar) ile sonradan yapışan madde (eksi yüklü iyonlar) arasında oluşacak reaksiyon, istenilen ince filmi elde edilmiş olur.



Şekil 2.7. SILAR yönteminin deneysel gösterimi (Pawar 2011)

(a) K^+X^- adsorpsiyonu

(b) Fazla ve yapışmayan K^+ ve X^- iyonlarının uzaklaştırılması

(c) Daha önce yapışan K^+ iyonları ile A^- iyonları ile KA oluşturacak şekilde reaksiyona girmesi

(d) Taban malzeme yüzeyinde oluşan KA bileşiğinden fazla ve reaksiyona girmeyen parçacıkların uzaklaştırılması

SILAR metodu ile iyi kalitede ince filmler elde etmek için gerekli olan, çözeltilerin derişimi, kimyasal çözeltilerin pH değeri ve adsorpsiyonu, reaksiyon ve durulma süresi hazırlama şartları düzenlemektir. İnce film elde etmek için kullanılan SILAR metodunun birçok avantajı vardır.

- İnce filmi, herhangi bir elementi herhangi bir oranda katkı yapmak için, sadece kullanılan elementinin katyonik çözeltisinin bazı formlarına katmak vasıtasıyla kolay bir yol sağlar.

- Kapalı buhar çökeltme metodundan farklı olarak SILAR, kullanılan alt tabaka malzemenin yüksek kalitede olmasına gerek kalmadan veya kaplama işleminin herhangi bir aşamada vakum işlemi yapılmasına gerek kalmadan yapılabilmesi bu durum yöntemin endüstriyel ve sanayi uygulamalarda kullanılması halinde büyük avantaj sağlar.

- Çökeltme oranı ve filmin kalınlığı, çökeltme döngüsünün kolayca değiştirilebildiği için geniş bir aralıkta kolaylıkla kontrol edilebilir.

- Yüksek veya düşük sıcaklara gerek kalmadan oda sıcaklığında yapılan işlemlerle, örnekler üzerinde daha sağlıklı ince film büyütülebilir.

- Kullanılan alt tabaka malzemenin ebatı ve yüzey profili ile ilgili olarak hiçbir kısıtlama yoktur.

Bu nedenlerden başka diğer ince film kaplama yöntemlerine göre pahalı olmaması, kaplama işleminin basit ve geniş aralıkta çökeltme yapmak için kullanışlıdır. Cam beherler içerisinde gerçekleştirilebilir. Başlangıç malzemeleri çoğunlukla kolay elde edilebilir ve ucuz malzemelerdir. Kimyasal bir yöntem olmasından dolayı çok

çeşitli altlıklar kullanılabilir. Böylece çözeltinin kolaylıkla ulaşabileceği herhangi bir çözünmez yüzey çökeltme için uygun altlık olacaktır. Metalik taban malzemelerinin aşınmasını veya oksitlenmeden kaçınmak için çökeltme oda sıcaklığında veya civarında gerçekleştirilir. Stokiyometrik çökeltme kolaylıkla elde edilebilir. Temel yapı malzemeleri atomlar yerine iyonlar olduğu için, hazırlık parametreleri kolaylıkla kontrol edilebilir, en iyi yönelim ve tanecik yapısı elde edilebilir.

Kimyasal banyo çökeltmesi metodunda, metal kalkojenit yarıiletken ince filmlerin çökeltilmesi, altlık malzemenin metal ve kalojen iyonlar ihtiva eden sulandırılmış kimyasal banyo ile temasının sürdürülmesi neticesinde meydana gelir. İnce film, iyonik ürünler çözünürlük ürünlerini aştığı zaman altlık üzerinde oluşmaya başlar. Bununla birlikte bu durum çözelti içinde önlenmesi mümkün olmayan bir çökelmeye neden olur ve sonuçta materyal kaybı ortaya çıkar. Bu istenmeyen çökeltme olayından kurtulmak için kimyasal banyo çökeltmesi yöntemi değiştirilerek, SILAR yöntemine dönüştürülür (Çevik 2013). Bu değiştirmede kaplanmak için kullanılan malzeme birbirinden ayrılmış çinko ve kobalt çözeltileri içerisinde ayrı ayrı daldırılır ve her bir daldırma işleminin ardından deiyonize edilmiş su içerisinde temizlenir. Deiyonize edilmiş su içerisindeki durulama süresi iyonik katmanların oluşumunda önemlidir. Böylece çözelti içindeki iyonların çökeltmesinden bir başka deyişle malzeme kaybından SILAR metoduyla kaçınılmış olur. SILAR için hazırlanmış bir deney düzeneği Şekil 2.7.'de gösterilmiştir.

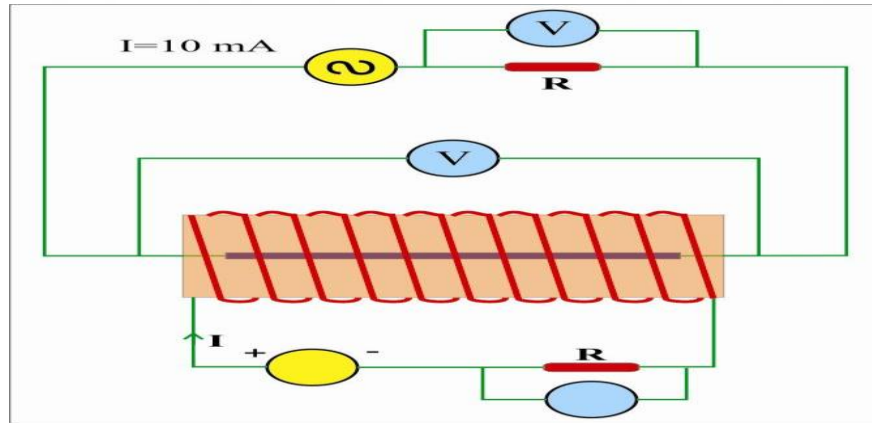
2.6. GMI Ölçüm Sistemi

Amorf tellerde GMI ölçümleri için Şekil 2.8.'deki devre kullanılacaktır. Şekilde görüldüğü gibi devrede 0.52 Ω 'luk indüktif olmayan direnç ile şönt direnci ve 16 cm uzunluğunda, 600 sarımlı selenoid kullanılmıştır.

Hazırlanan örnekler selenoidin tam ortasına yerleştirilerek ve şönt direnci üzerinden geçen akımı değeri 10 mA sabit değerindedir. Bu değerin ayarlanması için aşağıdaki Denklem 2.9. kullanılacaktır

$$I = \frac{V_{\text{şönt}}}{Z} \quad (2.9.)$$

burada, $V_{\text{şönt}}$ şönt direnci üzerinden geçen gerilimi, $Z_{\text{şönt}}$ şönt direncinin empedansını ve I (10 mA) ise şönt direnci üzerinden geçen akımı göstermektedir.



Şekil 2.8 GMI ölçüm için kullanılan devre şeması

Selenoidin ortasındaki manyetik alan şiddeti (H), Denklem 2.10'a göre hesaplanır. Bu ifade devreden geçecek akım değerini bulmamıza yardımcı olacaktır.

$$H = \frac{N \cdot I}{L} \quad (2.10.)$$

burada N selenoidin sarım sayısı, L selenoidin boyu, I direnç üzerinden geçen akım

$$I = V/R \quad (2.11.)$$

ile hesaplanmaktadır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. AMORF TELLER ÖZELLİKLERİ

Deneysel çalışmalarda Demir esaslı ve Kobalt esaslı amorf teller, ardışık iyonik tabaka adsorpsiyonu ve reaksiyonu (SILAR) yöntemi kullanılarak kaplandı. Ölçümlerde pozitif manyetik gerilmeye ($\lambda_s = 35 \cdot 10^{-6}$) sahip, 125 μm çapında, 12 cm uzunluğunda ve AF10 ($\text{Fe}_{77.5}\text{Si}_{7.5}\text{B}_{15}$) ve manyetik gerilmeye sahip, 120 μm çapında, 12 cm uzunluğundaki AC ($\text{Fe}_{4.3}\text{Co}_{68.2}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$) amorf tel kullanıldı.

Deneysel çalışmalarda kullanılan amorf teller Unitika® firması tarafından üretilmiştir. SILAR yöntemi ile kaplanması aşaması ise Uludağ Üniversitesi 2009/29 BAP kapsamında gerçekleştirildi. GMI ölçümleri ise Uludağ Üniversitesi Fizik Bölümü Manyetizma Araştırma Laboratuvarında yapıldı. Bu örneklerde tavlama işlemi Curie sıcaklığının altında yapıldı ve örneklerin domain yapılarında kalıcı yapısal değişiklikler meydana gelmemesi sağlandı. Deneysel çalışmalarda, Demir ve Kobalt esaslı amorf teller çeşitli kimyasal malzemeler ile kaplandı. Kaplama işleminden sonra her bir örnek için çalışma frekansı ve bu çalışma frekansındaki GMI değerleri hesaplandı. Son aşamada ise kimyasal malzemeler ile kaplanmış örnekler ve kaplanmamış örnekler arasındaki GMI değerlerindeki farklılıklar incelendi.

3.2. DENEY DÜZENEGİ

Demir esaslı amorf tellerde GMI ölçümleri için Şekil 2.8.'deki devre kullanıldı. Şekilde görüldüğü gibi devrede 0.52 Ω 'luk indüktif olmayan direnç, paralel direnç ve 16 cm uzunluğunda, 600 sarımlı selenoid kullanıldı.

Hazırlanan örnekler selenoidin tam ortasına yerleştirildi. Paralel direnç üzerinden geçen akımı literatürdeki standart değere uygun olarak 10 mA olarak ayarlandı. Bu değer hesaplanması Denklem 3.1. ile gerçekleştirildi.

$$I = \frac{V_p}{Z_p} \quad (3.1.)$$

burada, V_p paralel direnci üzerinden geçen gerilimi, Z_p paralel direncinin empedansını ve $I(10 \text{ mA})$ ise paralel direnci üzerinden geçen akımı göstermektedir.

Yüksek frekanslarda manyetik alan değerlerini hesaplamak için indüktif olmayan direnç üzerinde indüklenen gerilimi ve paralel direnç üzerindeki akımı ölçmeye ihtiyaç vardır. Bu verileri almak için Agilent Technology® HP3458A model sayısal multimetre ve 0.01 ile 10 MHz arasındaki frekans değişimleri için yine Agilent Technology® HP-33250A model sinyal üretici kullanılmıştır. Yüksek frekanslardaki manyetik alan girişimlerini engellemek için kısa ve bükülmüş bağlantı kabloları kullanılmıştır (Derebaşı ve ark. 2000). Selenoidin ortasındaki manyetik alan Denklem 2.10. ile hesaplandı.

İndüktif olmayan direnç üzerindeki gerilimin değişmesi selenoidin ortasındaki manyetik alanı değiştirmektedir. Manyetik alan şiddeti indüktif olmayan direnç üzerinden geçen akımla orantılıdır. Bunun için frekans ile indüktif olmayan direncin empedans değişimi hesaplanmıştır. Manyetik alandaki bu değişim selenoidin ortasında bulunan örneğin empedansını değiştirmektedir. Dolayısıyla toplam empedandaki değişim Denklem 3.2. ile hesaplanmıştır. Burada faz farkının olmadığı dikkate alınmış ve Ohm yasası kullanılmıştır.

$$Z_{top} = Z_{in} + Z_{ör} \quad (3.2.)$$

Burada Z_{top} devredeki toplam empedans değişimi, $Z_{ör}$ örneğin empedansı, Z_{in} indüktif olmayan direncin empedansıdır. Amorf tellerde %GMI hesaplamaları Denklem 2.6. kullanılarak yapıldı.

3.3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.3.1. Demir ve Kobalt Esaslı Amorf Telin Kimyasal Malzemeler ile Kaplanması

Taban malzemesi değişik şekilde temizlenir. Taban malzemesi iyice deterjan ile yıkandıktan sonra aseton içinde 10 dakika ultrasonik olarak temizlenmiştir. Daha sonra bire bir (1:1) etanol su karışımı içinde tekrar 10 dakika ultrasonik olarak temizlenir ve temizlenmiş taban malzemeleri kurutulduktan sonra desikatör içinde korunmuştur. Amorf tele kimyasal malzemelerin kaplanması şu aşamalardan oluşur;

- i) Kimyasal çözeltilerin adsorpsiyonu
- ii) Fazla ve yapışmayan anyon veya katyonların iyonlarının uzaklaştırılması
- iii) Daha önce yapışan anyon ve katyonların bileşik oluşturacak şekilde reaksiyona girmesi
- iv) Taban malzemesi yüzeyinde oluşan bileşikten fazla ve reaksiyona girmeyen parçacıkların uzaklaştırılması

Demir (Fe) ve kobalt (Co) esaslı amorf teller, ardışık iyon tabaka adsorpsiyonu ve reaksiyonu (SILAR) tekniği kullanılarak kobalt-oksit (CoO), asfaltin ve çinko-oksit (ZnO) ile kaplanmıştır. Bu aşamada 6 örnek oluşturuldu. Bu örnekler için ayrı ayrı çalışma frekansı (f), megahertz (MHz) biriminde belirlendi. Belirlenen bu frekans değerinde çok büyük manyetik empedans etkisi (GMI) ile manyetik alan şiddeti (H) değişimi incelendi. SILAR tekniği kullanılarak yapılan kaplama işlemi oda sıcaklığında gerçekleştirildi. Deneylede kullanılan elektronik cihazlarda termal olarak denge sağlanabilmesi için sıfırlama işlemi gerçekleştirildi. Deneysel ölçümler uygun istatistik değerler için en az üçer kez tekrarlanıp hesaplamalarda ortalama değerleri kullanılmıştır.

i) 1. Örnek, $(\text{Fe}_{4.3}\text{Co}_{68.2}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15})$ Co esaslı negatif manyetik gerilmeye sahip amorf tel aşağıdaki basamaklar takip edilerek kobalt-oksit (CoO) ile SILAR metodu kullanılarak kaplama işlemi gerçekleştirildi.

i) $\text{Co}(\text{NH}_3)_4$ adsorpsiyonu

ii) Fazla ve yapışmayan Co veya NH_3 iyonlarının uzaklaştırılması

iii) Daha önce yapışan Co^{+2} iyonları ile O^{-2} iyonlarının CoO oluşturacak şekilde reaksiyona girmesi

iv) Taban malzemesi yüzeyinde oluşan CoO bileşiğinden fazla ve reaksiyona girmeyen parçacıkların uzaklaştırılması

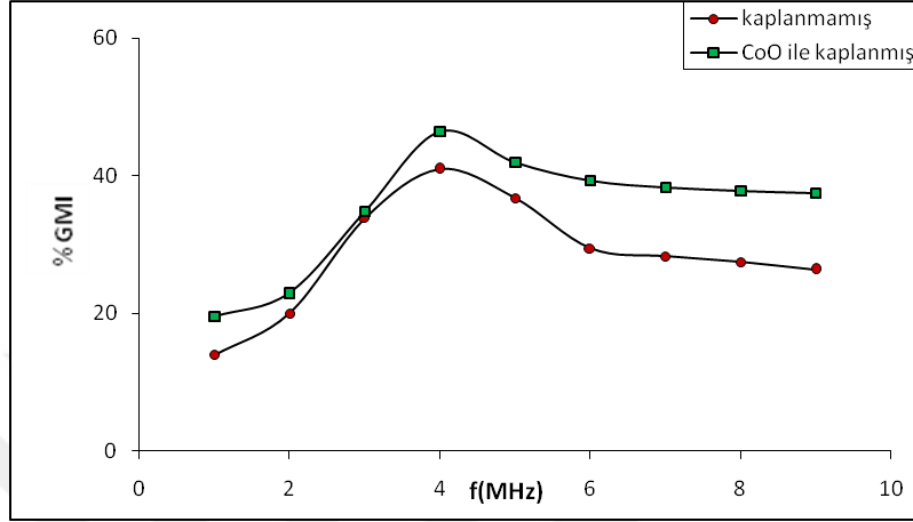
Çizelge 3.1.'de bu örnek için çalışma frekansı belirlemek için yapılan ölçüm değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. CoO Kaplanmış Co esaslı amorf telin frekans ve GMI değerleri

$f(\text{MHz})$	$Z(\Omega)$	%GMI	$Z(\Omega)$	%GMI CoO ile kaplanmış
1,0	100,70	13,96	138,32	19,61
2,0	106,07	20,03	142,21	22,98
3,0	118,31	33,89	155,96	34,87
4,0	124,57	40,97	169,30	46,41
5,0	120,83	36,74	164,20	41,99
6,0	114,38	29,44	161,11	39,32
7,0	113,39	28,32	160,01	38,36
8,0	112,62	27,45	159,36	37,81
9,0	111,64	26,34	158,96	37,47

CoO ile kaplanmış Co esaslı ve kaplanmamış Co esaslı amorf tel için yapılan deneysel sonuçları Şekil 3.1.'de gösterilmiştir. Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi 0-2 MHz frekans değerleri arasında çok büyük manyetik empedans etkisi belirgin bir değişim olmamıştır.

Düşük frekans değerlerinde GMI olayı yeterince büyük değerde gözlenememektedir (Panina ve ark. 1995).



Şekil 3. 1. Örnek için frekans ile %GMI değişimi

2 MHz'den 4 MHz'e kadar hızlı bir artış olmuş ve 4 MHz frekans değerinde en büyük %GMI etkisi değerine ulaşmıştır. Bu frekans değerinde kaplanmamış amorf telde GMI değeri %40 iken kaplanmış amorf telde GMI değeri %46 civarındadır. GMI değerinde %5 artış olmasına rağmen çalışma frekansı 4 MHz'dir. 4 MHz değerinden sonra %GMI etkisinde bir azalma görülmektedir. 1. Örnek için her iki durumda da çalışma frekansı 4 MHz olarak bulunmuştur.

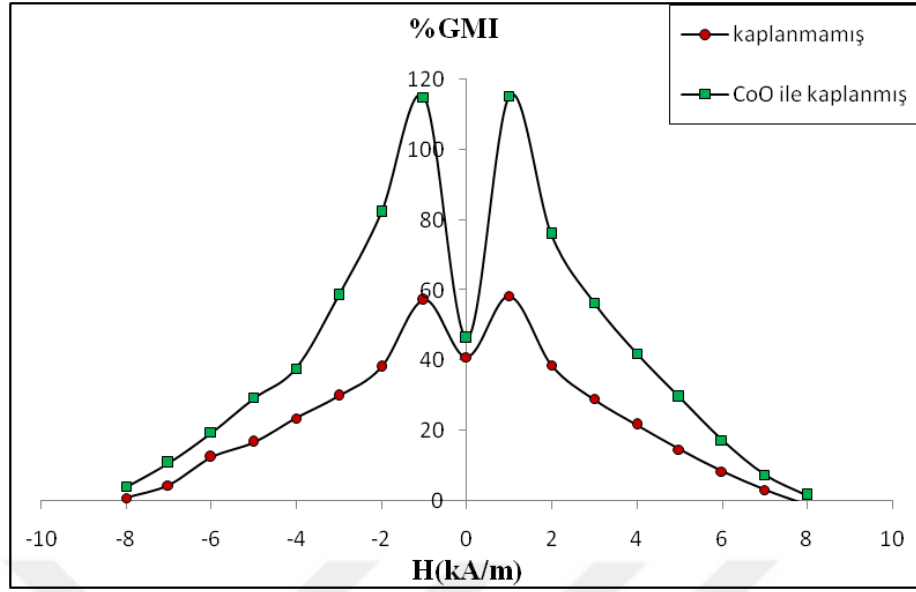
Bu örnek için çalışma frekansı 4 MHz olarak belirlendikten sonra bu frekans değerinde belirli manyetik alan değerlerine karşılık GMI davranışları incelenmiştir.

Çizelge 3.2. 1. Örnek için 4 MHz’de manyetik alan ile GMI değerleri

<i>H(kA/m)</i>	<i>Z(Ω)</i>	<i>%GMI kaplanmamış</i>	<i>Z(Ω)</i>	<i>%GMI CoO ile kaplanmış</i>
-8,0	10,82	0,85	15,95	4,07
-7,0	11,95	4,53	17,01	10,92
-6,0	14,38	12,51	18,32	19,52
-5,0	15,68	16,76	19,84	29,39
-4,0	17,76	23,55	21,10	37,66
-3,0	19,71	29,93	24,30	58,54
-2,0	22,23	38,19	27,94	82,24
-1,0	28,06	57,24	32,94	114,88
1,0	28,38	58,30	33,01	115,30
2,0	22,38	38,66	26,97	75,93
3,0	19,43	29,02	23,98	56,46
4,0	17,19	21,68	21,77	42,01
5,0	15,05	14,70	19,88	29,66
6,0	13,14	8,45	17,98	17,31
7,0	11,54	3,18	16,47	7,43
8,0	10,24	-1,06	15,58	1,66

Şekil 3.2.’de görüldüğü gibi manyetik alan şiddeti değerleri (+8) ile (-8) kA/m değerleri arasında değişmektedir. En büyük GMI değeri kaplanmamış malzeme için %60 iken CoO ile kaplanmış amorf telde %120 civarındadır. Görüldüğü gibi kaplanan malzemede GMI değerinde yaklaşık 2 kat artış gözlenmektedir. Manyetik alan şiddeti değerleri arttığında %GMI oranlarında da azalma meydana gelmektedir. Yüksek manyetik alan şiddeti değerlerinde %GMI oranı değerleri sıfıra yaklaşmaktadır.

CoO ile kaplanan malzemedeki GMI değerindeki artışın sebebi; kaplanan kimyasal malzeme, amorf telin kimyasal özelliğinde ve domain yapısında değişime neden olmuştur.



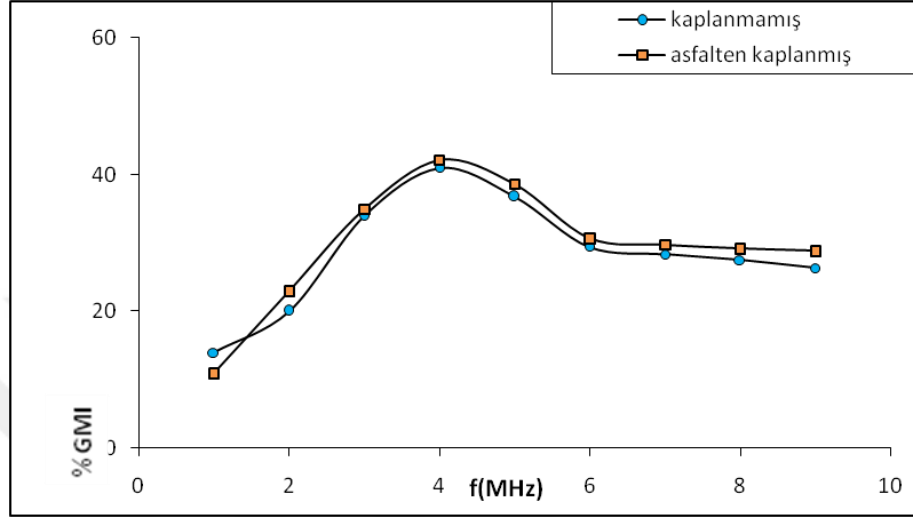
Şekil 3.2. 1.örnek için 4 MHz’de manyetik alan ile %GMI değişimi

ii) 2. Örnek, $(\text{Fe}_{4,3}\text{Co}_{68,2}\text{Si}_{12,5}\text{B}_{15})$ Co esaslı negatif manyetik gerilmeye sahip amorf tel, paramanyetik bir malzeme olan asfaltan ile SILAR metodu kullanılarak kaplanmıştır. Çizelge 3.3.’de bu örnek için çalışma frekansı belirlemek için yapılan ölçüm değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Asfaltan ile Kaplanmış Co esaslı amorf telin f ve GMI değerleri

$f(\text{MHz})$	$Z(\Omega)$	%GMI	$Z(\Omega)$	%GMI asfaltan ile kaplanmış
1,0	100,70	13,96	128,33	10,97
2,0	106,07	20,03	142,21	22,98
3,0	118,31	33,89	155,97	34,87
4,0	124,58	40,98	164,30	42,08
5,0	120,83	36,75	160,20	38,54
6,0	114,38	29,44	151,11	30,67
7,0	113,39	28,32	150,01	29,72
8,0	112,63	27,46	149,37	29,17
9,0	111,65	26,35	148,97	28,82

Bu sonuçlara göre 2. Örnek için frekans ile çok büyük manyetik empedans etkisi (%GMI) değişimi incelenmiştir. Şekil 3.3.'de bu değişim gösterilmektedir. Şekil 3.3.'de görüldüğü en büyük GMI değeri 4 MHz'de elde edilmiştir.



Şekil 3.3. 2. Örnek için frekans ile %GMI değişimi

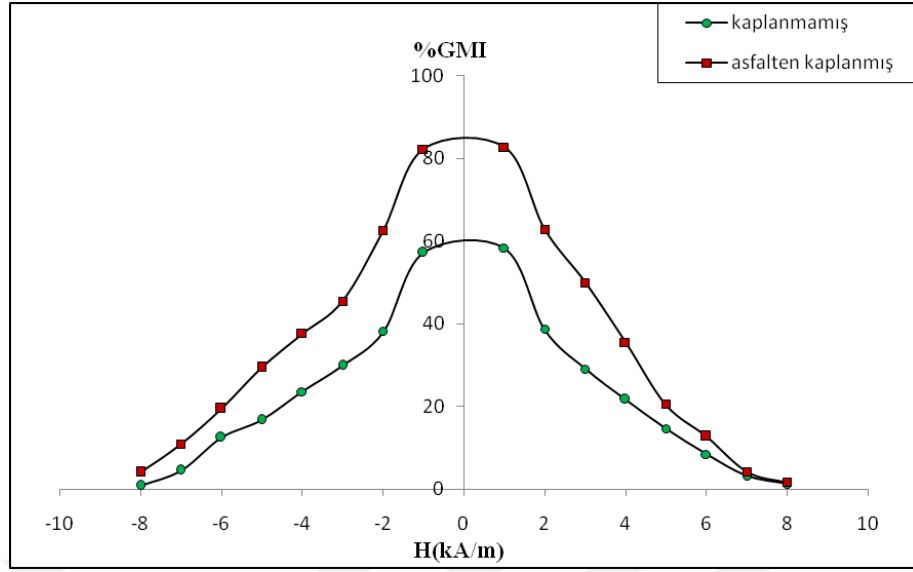
Bu örnek için de çalışma frekansı 4 MHz'dir. 1. ve 2. Örnek $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ kimyasal bileşime sahip Co esaslı amorf telde çalışma frekansı 4 MHz olarak elde edildi. Sonuçta Co esaslı amorf tel, farklı kimyasal malzemeler ile kaplandığında çalışma frekansı değişmemektedir. $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ kimyasal bileşime sahip Co esaslı kaplanmış amorf telin 4 MHz'deki GMI değeri %42 bulundu. 1. Örnek de bu değer %46 idi. 4 MHz'de Co esaslı amorf telde maksimum GMI değeri, asfaltten ile kaplandığında azalmıştır.

$Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ kimyasal bileşime sahip 2. örnek için çalışma frekansı 4 MHz olarak belirlendikten sonra bu frekans değerinde belirli manyetik alan değerlerine karşılık GMI davranışları incelenmiştir. Çizelge 3.4.'da manyetik alan(H) ile GMI değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.4. 4 MHz’de manyetik alan ve GMI değerleri

<i>H(kA/m)</i>	<i>Z(Ω)</i>	<i>%GMI kaplanmamış</i>	<i>Z(Ω)</i>	<i>%GMI asfaltan ile kaplanmış</i>
-8,0	10,82	0,85	15,95	4,07
-7,0	11,95	4,53	17,01	10,92
-6,0	14,38	12,51	18,32	19,52
-5,0	15,68	16,76	19,84	29,39
-4,0	17,76	23,55	21,10	37,66
-3,0	19,71	29,93	22,30	45,49
-2,0	22,23	38,19	24,94	62,66
-1,0	28,06	57,24	27,94	82,26
1,0	28,38	58,30	28,01	82,68
2,0	22,38	38,66	24,97	62,88
3,0	19,43	29,02	22,98	49,93
4,0	17,19	21,68	20,77	35,48
5,0	15,05	14,69	18,48	20,53
6,0	13,14	8,45	17,28	12,75
7,0	11,54	3,18	15,97	4,17
8,0	10,94	1,23	15,58	1,66

Şekil 3.4.’de görüldüğü gibi manyetik alan şiddeti değerleri (+8) ile (-8) kA/m değerleri için GMI değerleri incelendi. $Fe_{4,3}Co_{68,2}Si_{12,5}B_{15}$ esaslı amorf tel için en büyük GMI değeri %58 ve paramanyetik bir madde olan asfaltan ile kaplanmış $Fe_{4,3}Co_{68,2}Si_{12,5}B_{15}$ amorf telde en büyük GMI değeri %83 bulunmuştur.. Asfaltan ile kaplanmış amorf telde GMI değeri %25 artmıştır. 3. Örnekte de amorf tele, kaplama işlemi gerçekleştirildiğinde de GMI değerinde artış gözlenilmiştir. Ferromanyetik amorf telleri kimyasal malzemeler ile kapladığımız zaman GMI değerlerinde artış gözlenilmektedir. Sonuçta elde edilen GMI değerleri ve bu değerler kullanılarak oluşturulan yeni malzemeler, temelde uygulama alanı algılayıcılar olan GMI sensörlerinin geliştirilmesi için oldukça önemlidir. Manyetik alan şiddeti değerleri arttığında %GMI oranlarında da azalma meydana gelmektedir. Manyetik alan şiddeti değerleri artırmaya devam edildiğinde GMI değerleri azaldığı gözlemlendi.



Şekil 3.4. 2. Örnek için 4 MHz’de manyetik alan ile %GMI değişimi

Asfaltten ile kaplanan $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ esaslı amorf teldeki GMI değerindeki artışın sebebi; paramanyetik asfaltten amorf telin manyetik özelliklerinin değişiminden kaynaklanmaktadır.

iii) 3. Örnek, ($Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$) Co esaslı negatif manyetik gerilmeye sahip amorf tel, çinko-oksit (ZnO) aşağıdaki basamaklar takip edilerek SILAR metodu ile kaplanmıştır.

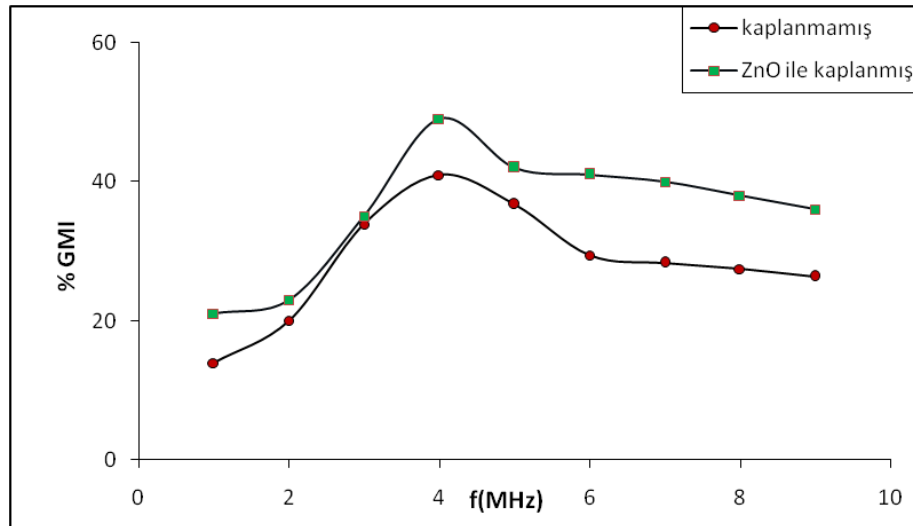
- i) $Zn(NH_3)_4$ adsorpsiyonu
- ii) Fazla ve yapışmayan Zn veya NH_3 iyonlarının uzaklaştırılması
- iii) Daha önce yapışan Zn^{+2} iyonları ile O^{-2} iyonlarının ZnO oluşturacak şekilde reaksiyona girmesi
- iv) Taban malzemesi yüzeyinde oluşan ZnO bileşiğinden fazla ve reaksiyona girmeyen parçacıkların uzaklaştırılması

Çizelge 3.5.'de bu örnek için çalışma frekansı belirlemek için yapılan ölçüm değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.5. ZnO ile kaplanmış Co esaslı amorf telin f ve GMI değerleri

$f(\text{MHz})$	$Z(\Omega)$	%GMI	$Z(\Omega)$	%GMI ZnO ile kaplanmış
1,0	100,70	13,96	128,33	10,97
2,0	106,07	20,03	142,21	22,98
3,0	118,31	33,89	155,97	34,87
4,0	124,58	40,98	164,30	42,08
5,0	120,83	36,75	160,20	38,54
6,0	114,38	29,44	151,11	30,67
7,0	113,40	28,32	150,01	29,72
8,0	112,63	27,46	149,37	29,17
9,0	111,65	26,35	148,97	28,82

Bu sonuçlara göre 3. Örnek için frekans ile çok büyük manyetik empedans etkisi (%GMI) değişimi incelenmiştir. Şekil 3.5.'de bu değişim gösterilmektedir. Şekil 3.5.'de görüldüğü en büyük GMI değeri 4 MHz'de elde edilmiştir.



Şekil 3.5. 3. Örnek için frekans ile %GMI değişimi

3. örnek için çalışma frekansı 4 MHz'dir. 1. ve 2. Örnek $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ kimyasal bileşime sahip Co esaslı amorf telde çalışma frekansı da 4 MHz olarak elde edildi. Co esaslı amorf tel, kobalt oksit, asfalten ve çinko oksit ile kaplandığında da çalışma frekansı değişmemiştir. ZnO ile kaplanmış Co esaslı amorf telde GMI değeri %45 olarak elde edildi. 4 MHz'de; CoO kaplanmış amorf telde GMI değeri %46, asfalten ile kaplandığında ise %42 bulundu

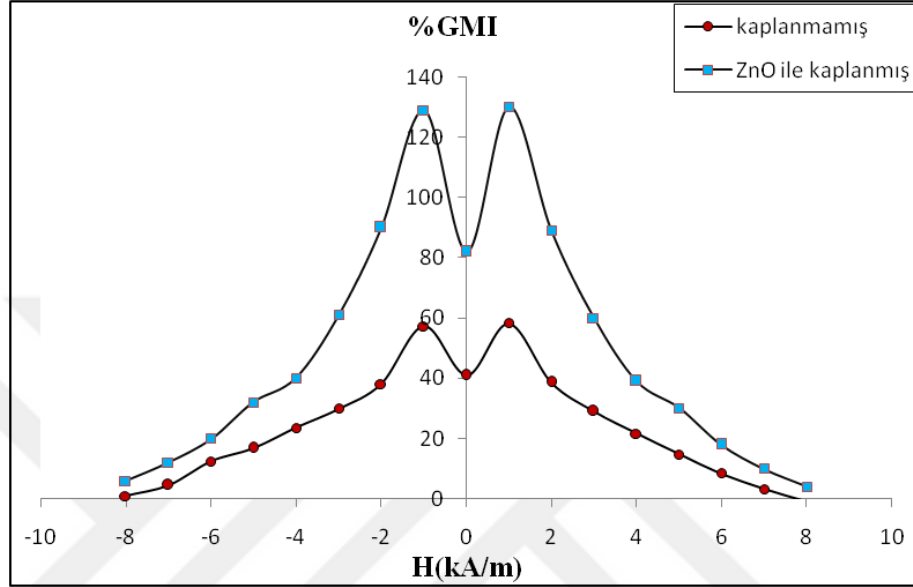
$Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ kimyasal bileşime sahip 3. örnek için çalışma frekansı 4 MHz olarak belirlendikten sonra bu frekans değerinde belirli manyetik alan değerlerine karşılık GMI davranışları incelenmiştir. Çizelge 3.6.'da manyetik alan ile GMI değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.6. 4 MHz'de manyetik alan ile GMI değerleri

$H(kA/m)$	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmamış	$Z(\Omega)$	%GMI ZnO ile kaplanmış
-8,0	10,82	0,85	15,95	6,04
-7,0	11,94	4,53	17,00	12,23
-6,0	14,38	12,50	18,32	20,54
-5,0	15,68	16,75	19,83	32,76
-4,0	17,75	23,54	21,10	40,88
-3,0	19,71	29,93	24,30	61,12
-2,0	22,23	38,19	27,93	90,46
-1,0	28,05	57,24	32,93	129,00
1,0	124,57	40,97	169,30	82,76
2,0	28,38	58,30	33,00	130,32
3,0	22,37	38,65	26,9	89,87
4,0	19,43	29,02	23,98	60,02
5,0	17,18	21,68	21,76	39,45
6,0	15,05	14,69	19,87	30,71
7,0	13,14	8,44	17,98	18,09
8,0	11,53	3,18	16,46	10,54

Şekil 3.6.'da görüldüğü gibi manyetik alan şiddeti değerleri ile GMI değerleri incelendiğinde, kaplanmamış amorf tel ile kaplanmış amorf arasındaki GMI değerlerindeki artış meydana geldiği görüldü. $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ esaslı amorf tel için en büyük GMI değeri %58 ve çinko oksit (ZnO) ile kaplanmış $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ amorf

telde en büyük GMI değeri %130 civarındadır. ZnO ile kaplanmış amorf telde GMI değeri yaklaşık 2,5 kat artış göstermektedir. GMI değerindeki en büyük artış miktarı, kaplanmamış ve kimyasal malzemeler ile kaplanmış örnekler için değerlendirildi.



Şekil 3.6. 3. Örnek için 4 MHz’de manyetik alan ile %GMI değişimi

Co esaslı amorf tel için 4MHz çalışma frekansında, kaplanmamış durumda GMI değeri %58, kobalt oksit ile kaplandığında %115, asfaltan kaplandığında %82 ve çinko oksit ile kaplandığında %130 olarak hesaplandı. Bu değerler incelendiğinde en büyük GMI değeri çinko oksit ile kaplanıldığında elde edildi. Çinko oksit ile kaplanan $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ esaslı amorf teldeki GMI değerindeki artışın sebebi; amorf telin kimyasal bileşiminde bulunan elementler ile çinko oksit çözeltisinin kimyasal reaksiyonundaki tepkime sonucunda kaplama işleminin uygunluğundan kaynaklanmaktadır.

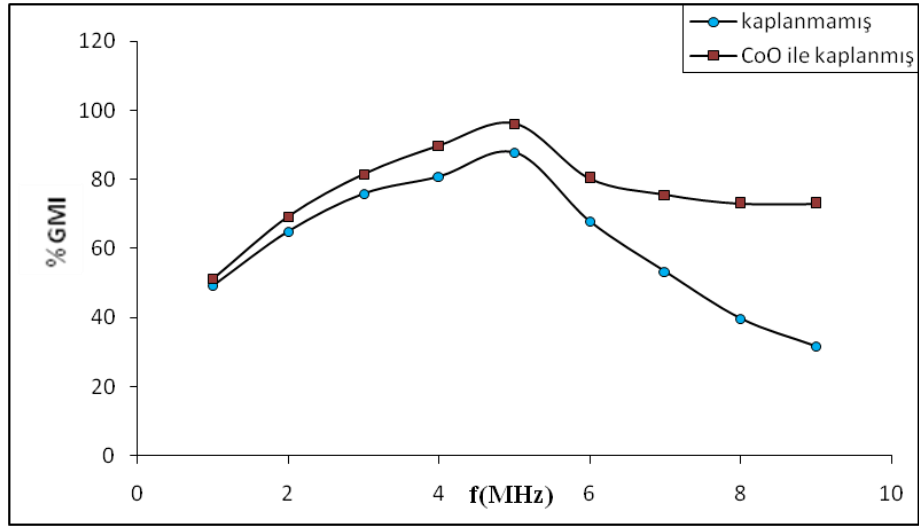
iv) 4. Örnek, ($\text{Fe}_{77,5}\text{Si}_{17,5}\text{B}_{15}$) Fe esaslı pozitif manyetik gerilmeye sahip amorf tel, kobalt-oksit CoO ile SILAR metodu ile kaplanmıştır. Çizelge 3.7.'de bu örnek için çalışma frekansı belirlemek için yapılan ölçüm değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.7. CoO kaplanmış Fe esaslı amorf telin frekans ve GMI değerleri

$f(\text{MHz})$	$Z(\Omega)$	%GMI	%GMI CoO ile kaplanmış
1,0	40,70	49,26	51,27
2,0	26,06	64,82	69,12
3,0	18,31	75,81	81,54
4,0	14,57	80,75	89,84
5,0	16,83	87,76	96,08
6,0	24,38	67,80	80,25
7,0	35,39	53,25	75,46
8,0	45,62	39,73	73,03
9,0	51,64	31,78	72,95

Çizelge 3.7.'deki değerleri kullanılarak frekans ile çok büyük manyetik empedans etkisi arasındaki değişim incelenmiştir. Bu değişim Şekil 3.7.'de gösterilmiştir. Şekil 3.7.'de görüldüğü en büyük GMI değeri 5 MHz'de elde edilmiştir. 4. örnek için çalışma frekansı 5 MHz'dir. Co esaslı amorf tel örneklerinde çalışma frekansı 4 MHz olarak elde edilmiştir.

Bu farklılığın sebebi 1.,2., ve 3. örneğin kobalt (Co) esaslı amorf tel, 4. örneği demir (Fe) esaslı amorf tel olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca manyetik gerilme değerleri de farklıdır. Fe esaslı amorf tel pozitif manyetik gerilmeye sahip iken Co esaslı amorf tel negatif manyetik gerilmeye sahiptir. Fe esaslı amorf tel için kaplanmamış ve kobalt oksit (CoO) ile kaplandığında çalışma frekansı aynıdır. 5 MHz'de Fe esaslı amorf telde en büyük GMI değeri %88 iken CoO ile kaplanmış Fe esaslı amorf tel için bu değer yaklaşık %96 değerindedir.



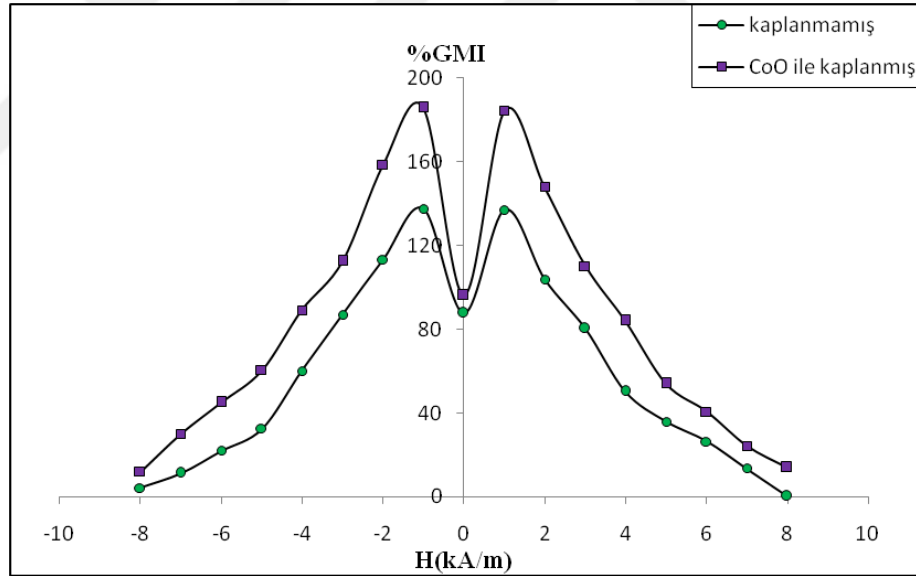
Şekil 3.7. 4. Örnek için frekans ile %GMI değişimi

Fe_{77,5}Si_{7,5}B₁₅ kimyasal bileşime sahip 4. örnek için çalışma frekansı 5 MHz olarak belirlendikten sonra bu frekans değerinde belirli manyetik alan değerlerine karşılık GMI davranışları incelenmiştir.

Çizelge 3.8. 5 MHz'de manyetik alan ile GMI değerleri

<i>H(kA/m)</i>	<i>Z(Ω)</i>	<i>%GMI kaplanmamış</i>	<i>Z(Ω)</i>	<i>%GMI CoO ile kaplanmış</i>
-8,0	3,25	4,22	5,86	12,01
-7,0	3,47	11,25	6,05	30,02
-6,0	3,81	21,98	7,59	45,08
-5,0	4,14	32,56	8,40	60,49
-4,0	4,99	59,98	9,89	89,01
-3,0	5,84	87,05	11,12	112,53
-2,0	6,66	113,38	13,53	158,51
-1,0	7,42	137,61	14,96	185,77
1,0	7,40	137,01	14,88	184,36
2,0	6,36	103,80	12,97	147,86
3,0	5,63	80,38	11,01	110,14
4,0	4,69	50,31	9,63	84,01
5,0	4,24	35,90	8,06	54,03
6,0	3,95	26,51	7,35	40,55
7,0	3,54	13,58	6,51	24,33
8,0	2,95	5,01	5,55	11,93

Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi manyetik alan şiddeti değerleri, 1., 2., 3. örnekte olduğu gibi (+8) ile (-8) kA/m değerleri için GMI değerleri hesaplanmıştır. $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ esaslı amorf tel için en büyük GMI değeri %138 ve CoO ile kaplanmış $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ amorf telde en büyük GMI değeri %188 civarındadır. CoO ile kaplanmış amorf telde GMI değeri yaklaşık %50 artmıştır. 1. örneğe göre yüzde olarak daha büyük değerlere ulaşmıştır. Ancak 2.ve 3. örnekte GMI değerinde 2 kat artış gerçekleşmemiştir. Fe esaslı amorf telin kimyasal yapısındaki elementlerin oranı incelendiğinde, kobalt elementi yüzde olarak diğer elementlere göre az olduğu için kobalt oksit çözeltisi ile tepkime gerçekleştiği için daha büyük değerlere ulaşılmıştır. Manyetik alan şiddeti değerleri arttığında GMI değerlerinde simetrik olarak azalma meydana gelmektedir. Özellikle manyetik alan şiddeti 8 kA/m değerinin üstündeki manyetik alan değerlerinde GMI değerleri de sifıra yaklaşmaktadır.



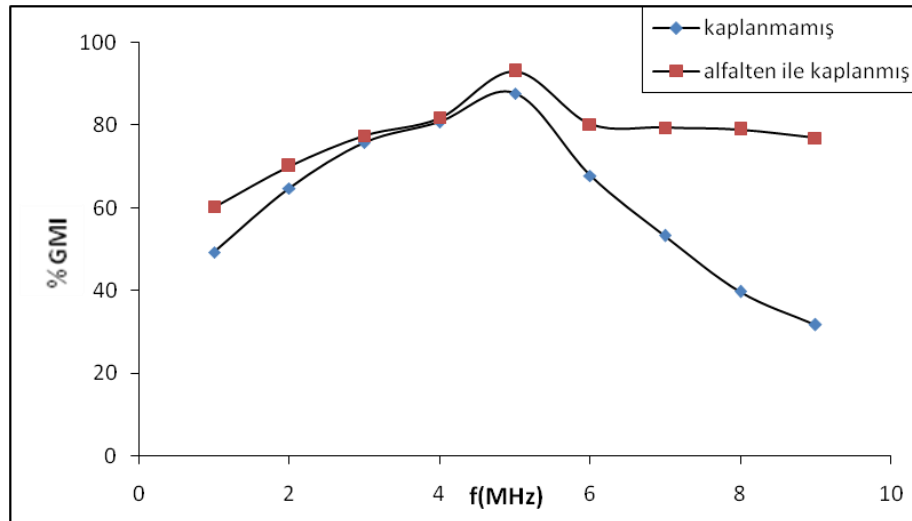
Şekil 3.8. 4.örnek için 5 MHz'de manyetik alan ile %GMI değişimi

v) 5. Örnek, ($\text{Fe}_{77.5}\text{Si}_{7.5}\text{B}_{15}$) Fe esaslı amorf tel, asfaltan ile SILAR metodu ile kaplanmıştır. Çizelge 3.9.'de bu örnek için çalışma frekansı belirlemek için yapılan ölçüm değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.9. Asfaltan ile kaplanmış Fe esaslı amorf telin frekans ve GMI değerleri

$f(\text{MHz})$	$Z(\Omega)$	%GMI	%GMI asfaltan ile kaplanmış
1,0	40,70	49,26	51,27
2,0	26,06	64,82	69,12
3,0	18,31	75,81	81,54
4,0	14,57	80,75	89,84
5,0	16,83	87,76	96,08
6,0	24,38	67,80	80,25
7,0	35,39	53,25	75,46
8,0	45,62	39,73	73,03
9,0	51,64	31,78	72,95

Çizelge 3.9.'deki değerleri kullanılarak frekans ile çok büyük manyetik empedans etkisi arasındaki değişim incelenmiştir. Bu değişim Şekil 3.9.'de gösterilmiştir. Şekil 3.9.'de görüldüğü en büyük GMI değeri 5 MHz'de elde edilmiştir. Fe esaslı 5. örnek için çalışma frekansı 5 MHz'dir.



Şekil 3.9. 5. Örnek için frekans ile %GMI değişimi

4. Örnek de ki demir esaslı amorf tel, CoO ile kaplandığında da 5 MHz olarak ölçülmüştü. Bu durumda kaplama yapılan maddenin cinsi değişmesine rağmen çalışma frekansında herhangi bir değişiklik olmamıştır. Frekans değerinde herhangi bir değişim olmamasına rağmen %GMI değerinde artış meydana gelmiştir. 5 MHz'de Fe esaslı amorf telde maksimum GMI değeri %88 iken asfaltan ile kaplanmış Fe esaslı amorf tel için bu değer %93'dır.

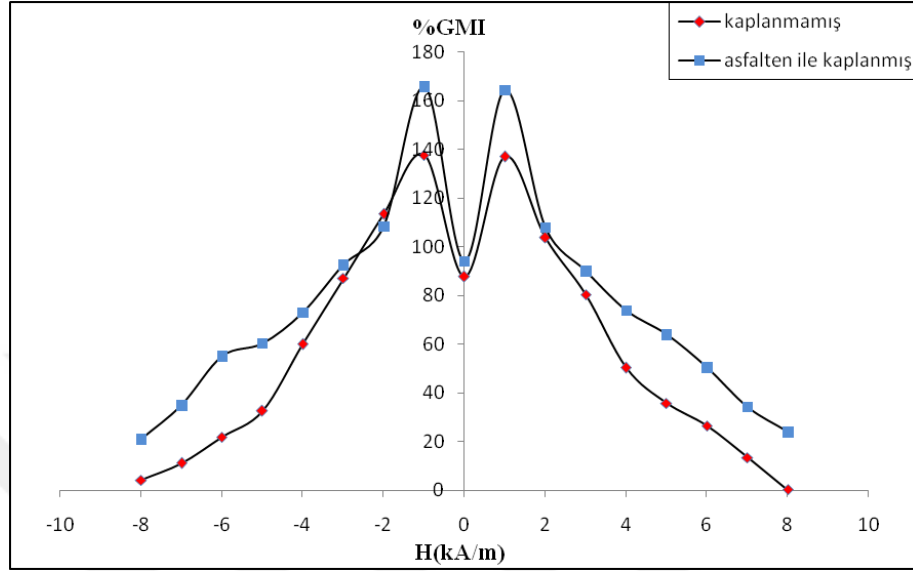
$Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ kimyasal bileşime sahip 4. örnek için çalışma frekansı 5 MHz olarak belirlendikten sonra bu frekans değerinde belirli manyetik alan değerlerine karşılık GMI davranışları incelenmiştir. Çizelge 3.10.'da GMI ölçümleri ile manyetik alan değerleri bulunmaktadır. Fe esaslı ve Co esaslı örnekler, asfaltan ile kaplandığında diğer kimyasal maddeler ile kaplanan örneklerde olduğu gibi büyük bir artış görülmemiştir..

Çizelge 3.10. 5 MHz'de manyetik alan ile GMI değerleri

$H(kA/m)$	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmamış	$Z(\Omega)$	%GMI asfaltan ile kaplanmış
-8,0	3,25	4,22	5,86	12,01
-7,0	3,47	11,25	6,05	30,02
-6,0	3,81	21,98	7,59	45,08
-5,0	4,14	32,56	8,40	60,49
-4,0	4,98	59,98	9,89	89,01
-3,0	5,84	87,05	11,12	112,53
-2,0	6,66	113,38	13,53	158,51
-1,0	7,42	137,61	14,96	185,77
1,0	7,41	137,01	14,88	184,36
2,0	6,36	103,80	12,97	147,86
3,0	5,63	80,38	11,01	110,14
4,0	4,69	50,31	9,63	84,01
5,0	4,24	35,90	8,06	54,03
6,0	3,95	26,51	7,35	40,55
7,0	3,54	13,58	6,51	24,33
8,0	3,22	5,87	5,01	11,67

Şekil 3.10.'de görüldüğü gibi $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ esaslı amorf tel için en büyük GMI değeri %138 ve asfaltan ile kaplanmış $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ amorf telde en büyük GMI değeri %165

civarındadır. Asfaltten ile kaplanmış amorf telde GMI değerindeki artış değeri 2. Örnekte CoO ile kaplanması ile elde edilen artışa göre daha az olduğu görüldü.



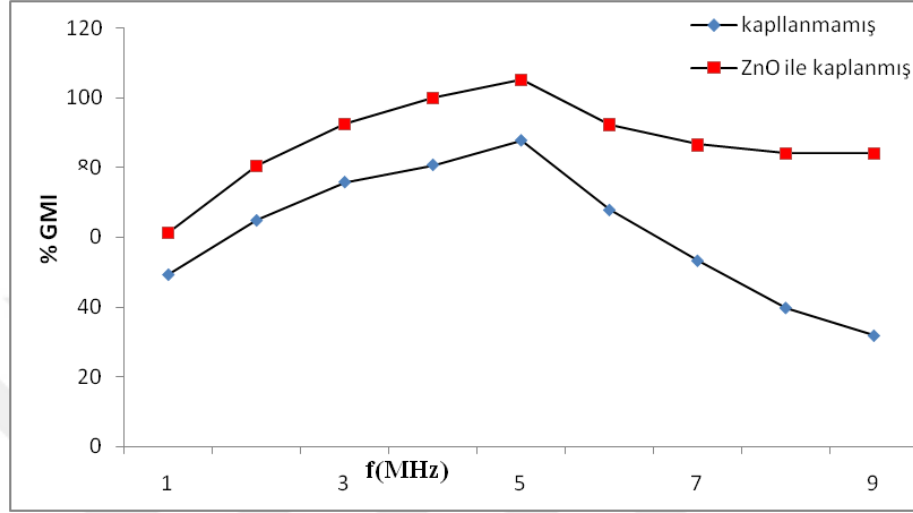
Şekil 3.10. 5.örnek için 5 MHz'de Manyetik Alan(H) ile %GMI değişimi

vi) 6. Örnek, (Fe_{77.5}Si_{7.5}B₁₅) Fe esaslı amorf tel, çinko-oksit (ZnO) ile SILAR metodu ile kaplanmıştır. Çizelge 3.11.'de bu örnek için çalışma frekansı belirlemek için yapılan ölçüm değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.11. ZnO ile kaplanmış Fe esaslı amorf telin frekans ve GMI değerleri

<i>f</i> (MHz)	<i>Z</i> (Ω)	%GMI	%GMI ZnO ile kaplanmış
1,0	40,70	49,26	51,27
2,0	26,06	64,82	69,12
3,0	18,31	75,81	81,54
4,0	14,57	80,75	89,84
5,0	16,83	87,76	96,08
6,0	24,38	67,80	80,25
7,0	35,39	53,25	75,46
8,0	45,62	39,73	73,03
9,0	51,64	31,78	72,95

Çizelge 3.11.'deki değerleri kullanılarak frekans ile çok büyük manyetik empedans etkisi arasındaki değişim incelenmiştir. Bu değişim Şekil 3.11.'de gösterilmiştir. Şekil 3.11.'de görüldüğü en büyük GMI değeri 5 MHz'de elde edilmiştir.



Şekil 3.11. 6. Örnek için frekans ile %GMI değişimi

4. ve 5. Örnek de ki demir esaslı amorf tel, CoO ile kaplandığında da 5 MHz olarak ölçülmüştü. Bu durumda kaplama yapılan kimyasal malzemenin türü değişmesine rağmen çalışma frekansında herhangi bir değişiklik olmamıştır. Buna rağmen 5 MHz'deki %GMI değerinde belli artış olduğu görüldü. 5 MHz'de Fe esaslı amorf telde maksimum GMI değeri %88 iken asfaltan ile kaplanmış Fe esaslı amorf tel için bu değer %93 civarındadır.

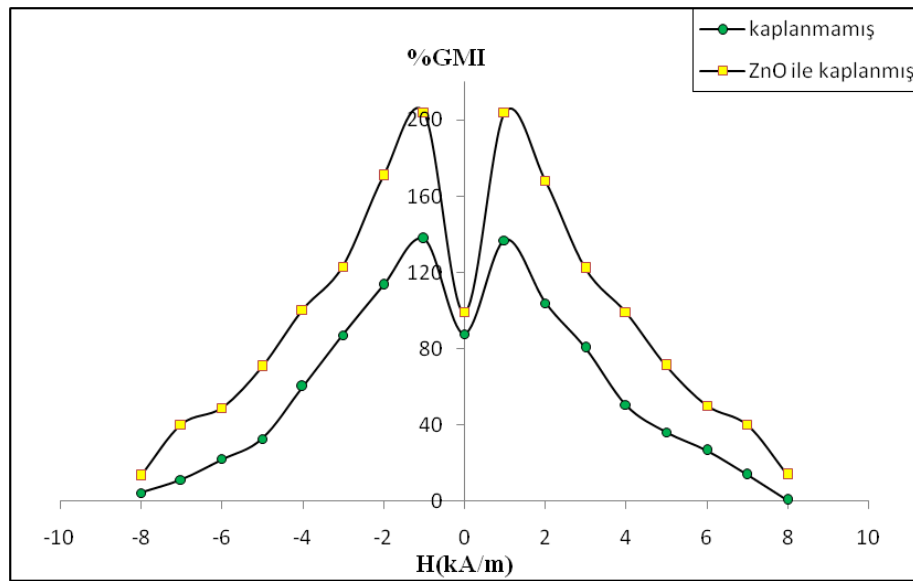
$Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ kimyasal bileşime sahip 6. örnek için çalışma frekansı 5 MHz olarak belirlendikten sonra bu frekans değerinde belirli manyetik alan değerlerine karşılık GMI davranışları incelenmiştir. Çizelge 3.12.'de manyetik alan(H) ile GMI değerleri bulunmaktadır.

ZnO ile kaplanmış amorf telde GMI değerindeki artış değeri, 4. örnekte CoO ile kaplanmış ve 5. örnekte asfaltan ile kaplanmış amorf tellere daha fazla olduğu görüldü.

Çizelge 3.12. 5 MHz’de manyetik alan ile GMI değerleri

$H(kA/m)$	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmamış	$Z(\Omega)$	%GMI ZnO ile kaplanmış
-8,0	3,25	4,22	5,86	12,01
-7,0	3,47	11,25	6,05	30,02
-6,0	3,81	21,98	7,59	45,08
-5,0	4,14	32,56	8,45	60,49
-4,0	4,99	59,98	9,89	89,01
-3,0	5,84	87,05	11,12	112,53
-2,0	6,66	113,38	13,53	158,51
-1,0	7,42	137,68	14,96	201,77
1,0	7,40	137,01	14,88	201,36
2,0	6,36	103,80	12,97	147,86
3,0	5,63	80,38	11,01	110,14
4,0	4,69	50,31	9,6350	84,01
5,0	4,24	35,90	8,06	54,03
6,0	3,95	26,51	7,35	40,55
7,0	3,54	13,58	6,51	24,33
8,0	3,33	4,02	5,51	11,98

Şekil 3.12.’de görüldüğü gibi $Fe_{77,5}Si_{7,5}B_{15}$ esaslı amorf tel için en büyük GMI değeri %138 ve ZnO ile kaplanmış $Fe_{77,5}Si_{7,5}B_{15}$ amorf telde en büyük GMI değeri %201 olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.12. 6.örnek için 5 MHz’de Manyetik Alan(H) ile %GMI değişimi

3.3.2. 400 °C'de Tavllanmış Amorf Tellerin Kimyasal Malzeme ile Kaplanması

Ölçümlerde yüksek manyetik gerilmeye ($\lambda_s = 35 \cdot 10^{-6}$) sahip, 125 μm çapında, 12 cm uzunluğunda ve $\text{Fe}_{77.5}\text{Si}_{7.5}\text{B}_{15}$ (Fe-esaslı) bileşimindeki amorf tel ve negatif manyetik gerilmeye sahip, 120 μm çapında $\text{Fe}_{4.3}\text{Co}_{68.2}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ (Co-esaslı) kullanıldı. Bu bölümde hazırlanan örneklerin aşağıda belirtilmiştir;

- i) Örnek A; Fe esaslı amorf tel, CoO ile kaplandı ve 400 °C derecede 30 dakika tavlandı.
- ii) Örnek B; Fe esaslı amorf tel, asfaltan ile kaplandı ve 400 °C derecede 30 dakika tavlandı.
- iii) Örnek C; Fe esaslı amorf tel, ZnO ile kaplandı ve 400 °C derecede 30 dakika tavlandı.
- iv) Örnek D; Co esaslı amorf tel, CoO ile kaplandı ve 400 °C derecede 30 dakika tavlandı.
- v) Örnek E; Co esaslı amorf tel, asfaltan ile kaplandı ve 400 °C derecede 30 dakika tavlandı.
- vi) Örnek F; Co esaslı amorf tel, ZnO ile kaplandı ve 400 °C derecede 30 dakika tavlandı.

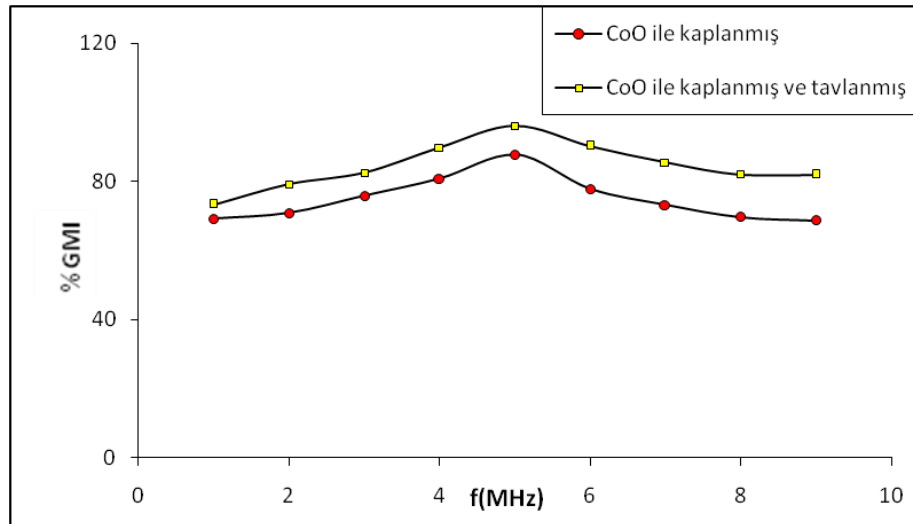
Hazırlanmış olan 6 örnek için çalışma frekansı belirlendi. Her bir örnek için belirlenen bu frekans değerinin de çok büyük manyetik empedans etkisi (GMI) ile manyetik alan şiddeti (H) değişimi incelendi.

i) Örnek A, Fe esaslı tavllanmış ve yüksek manyetik gerilmeye sahip amorf tel, CoO ile SILAR metodu ile kaplanmıştır. Çizelge 3.13.'de bu örnek için çalışma frekansı belirlemek için yapılan ölçüm değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.13. Tavllanmış ve CoO kaplanmış Fe esaslı amorf telin f ve GMI değerleri

$f(\text{MHz})$	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış ve tavllanmış
1,0	40,70	69,26	48,32	73,27
2,0	26,06	70,82	32,21	79,12
3,0	18,31	75,81	19,96	82,54
4,0	14,57	80,75	16,30	89,84
5,0	16,83	87,76	18,20	96,08
6,0	18,38	77,80	21,11	90,25
7,0	26,39	73,25	30,01	85,46
8,0	40,62	69,73	45,36	82,01
9,0	41,64	68,78	48,96	81,95

Bu sonuçlara göre Örnek A için frekans ile çok büyük manyetik empedans etkisi (%GMI) değişimi incelenmiştir. Şekil 3.13'de bu değişim gösterilmektedir.



Şekil 3.13. Örnek A için f-%GMI değişimi

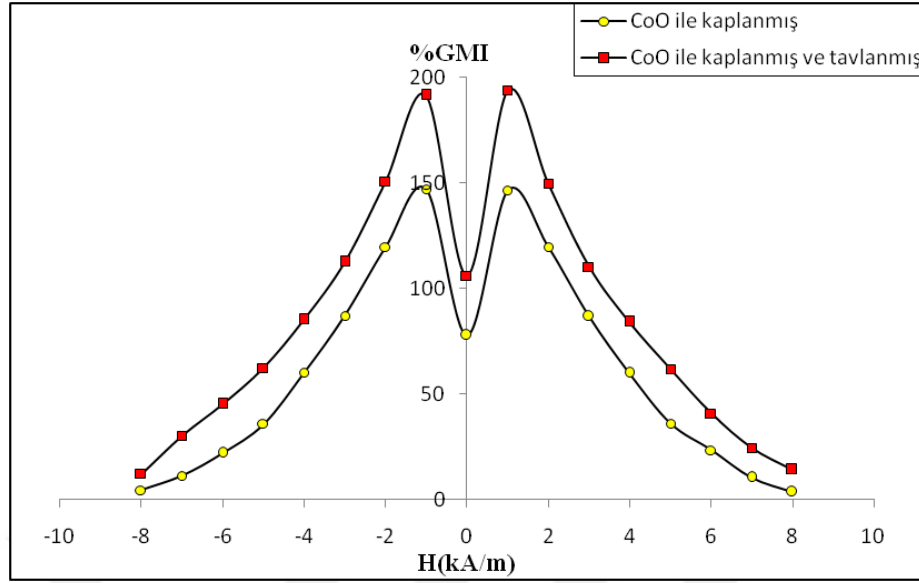
CoO ile kaplanmış Fe esaslı ve kaplanmamış Fe esaslı amorf tel için yapılan deneysel sonuçları Şekil 3.13’de gösterilmiştir. 0-2 ve 8-10 MHz frekans değerleri arasında çok büyük manyetik empedans etkisi belirgin bir değişim olmamıştır. Bu örnek için 5 MHz frekans değerinde en büyük %GMI değerine ulaşmıştır. Bu frekans değerinde 400 °C’de derecede tavllanmış Fe-esaslı amorf telin GMI değeri %87 civarındadır. Tavlanmış amorf teli CoO ile kapladığımızda GMI değeri %96 değerine yükselmiştir. Sonuçta. Örnek A için her iki durumda da çalışma frekansı 5 MHz olarak bulunmuştur.

Bu örnek için çalışma frekansı 5 MHz olarak belirlendikten sonra bu frekans değerinde belirli manyetik alan değerlerine karşılık GMI davranışları incelenmiştir. Çizelge 3.14.’de manyetik alan(H) ile GMI değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.14. 5 MHz’de manyetik alan ile GMI değerleri

$H(kA/m)$	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış ve tavllanmış
-8,0	3,22	4,85	5,95	12,07
-7,0	3,44	11,53	6,01	30,92
-6,0	3,88	21,50	7,32	45,51
-5,0	4,68	35,75	8,83	62,39
-4,0	4,75	59,54	9,10	85,66
-3,0	5,71	87,93	11,30	112,53
-2,0	6,23	119,19	13,93	150,23
-1,0	7,05	147,24	15,93	191,88
1,0	7,38	146,30	15,01	193,30
2,0	6,87	119,65	13,96	149,92
3,0	5,83	86,02	11,98	110,45
4,0	4,98	59,68	9,76	84,01
5,0	4,05	35,69	8,87	61,66
6,0	3,84	23,44	7,98	40,31
7,0	3,53	10,18	6,46	24,43
8,0	3,23	3,05	5,58	14,66

Şekil 3.14.’da görüldüğü gibi manyetik alan şiddeti değerleri Denklem 2.10. kullanılarak hesaplanmıştır ve deneysel ölçümlerde bu hesaplanan değerler kullanılmıştır. En büyük GMI değeri tavllanmış Fe-esaslı amorf tel için %147 iken tavllanmış ve CoO ile kaplanmış amorf telde %193 değerine arttığı görüldü. Manyetik alan şiddeti değerleri arttığında %GMI oranlarında da azalma meydana gelmektedir. Deneysel sonuçlara bakıldığında daha düşük manyetik alan değerlerinde en büyük GMI değerine ulaşılmıştır.



Şekil 3.14. 5 MHz’de Manyetik Alan ile %GMI değişimi

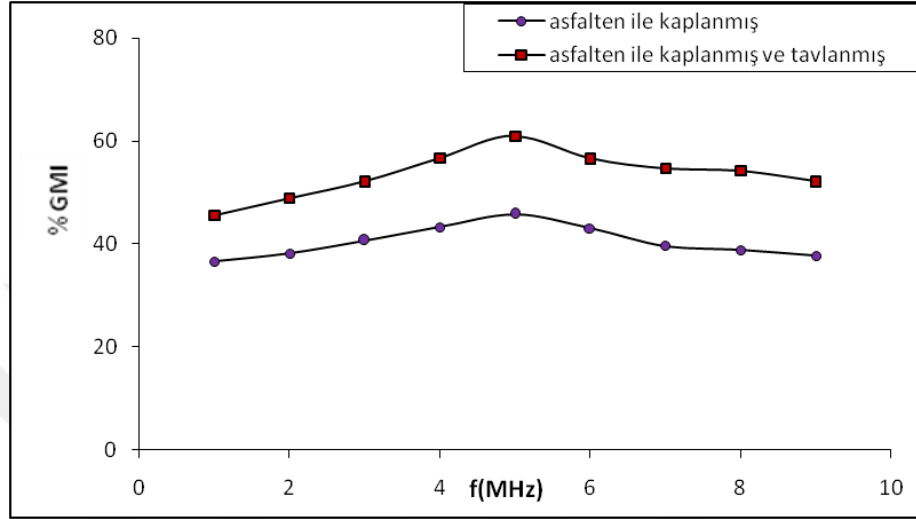
CoO ile kaplanan malzemede GMI değerindeki artışın sebebi; 400 °C’de tavlandığında ve CoO ile kaplandığında amorf telin manyetik özelliğinde ve manyetik momentlerinin diziliminde meydana gelen değişikliktir.

ii) Örnek B ($Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$) Fe esaslı amorf tel, paramanyetik bir malzeme olan asfaltan ile SILAR metodu ile kaplanmıştır. Çizelge 3.15.’de bu örnek için çalışma frekansı belirlemek için yapılan ölçüm değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.15. Asfaltan ile kaplanmış Fe-esaslı amorf telin f ve GMI değerleri

f (MHz)	Z (Ω)	%GMI kaplanmış	Z (Ω)	%GMI kaplanmış ve tavllanmış
1,0	120,70	36,96	168,32	45,97
2,0	122,06	38,03	172,21	48,97
3,0	124,31	40,89	175,96	52,87
4,0	126,57	43,97	181,30	56,08
5,0	128,83	45,74	186,20	61,53
6,0	126,38	43,44	181,11	56,67
7,0	123,39	39,32	179,01	54,71
8,0	122,62	38,45	178,36	54,16
9,0	121,64	37,34	175,96	52,81

Bu sonuçlara göre Örnek B için frekans ile GMI değişimi incelenmiştir. Şekil 3.15.'de görüldüğü en büyük GMI değeri 5 MHz'de elde edilmiştir. Örnek B için çalışma frekansı 5 MHz'dir. Örnek A ve B $Fe_{77.5}Si_{17.5}B_{15}$ kimyasal bileşime sahip Fe esaslı amorf telde çalışma frekansı 5 MHz olarak elde edildi.



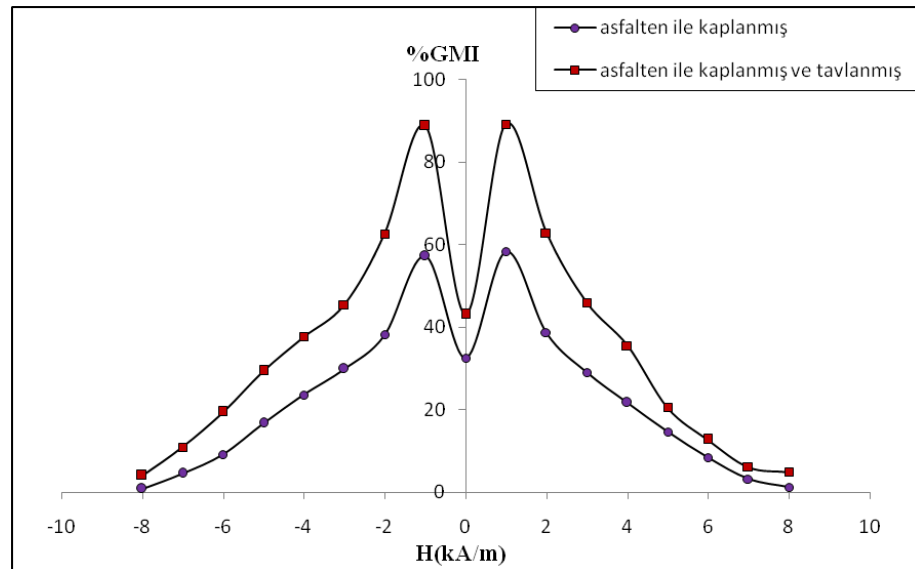
Şekil 3.15. Örnek B için frekans ile %GMI değişimi

Şekil 3.15 incelendiğinde Fe esaslı amorf tel, tavlama ve kaplama işlemi gerçekleştirilmesine rağmen çalışma frekansı hiçbir işlem uygulanmamış amorf teldeki ile aynıdır. Bunun nedeni uygulanan akım değerlerinin sabit kalması ve dolayısıyla manyetik alan şiddeti değerlerinin değişmemesidir. 5 MHz'de tavllanmış Fe-esaslı amorf telde maksimum GMI değeri %45 iken tavlama ve asfaltten ile kaplanmış Fe esaslı amorf tel için bu değer %62 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.16. 5 MHz'de manyetik alan ile GMI değerleri

$H(kA/m)$	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış ve tavlanmış
-8,0	11,82	1,85	16,95	5,07
-7,0	12,94	5,53	18,01	10,92
-6,0	13,38	13,50	19,32	20,51
-5,0	15,68	16,75	19,83	29,39
-4,0	17,75	24,54	21,10	37,66
-3,0	19,71	29,93	23,30	45,49
-2,0	20,23	48,19	24,93	62,66
-1,0	29,05	57,24	25,93	92,26
1,0	29,38	58,30	28,00	92,68
2,0	20,37	48,65	24,96	62,87
3,0	19,43	29,02	23,98	49,93
4,0	17,18	21,68	20,76	35,48
5,0	15,05	14,69	18,47	20,53
6,0	13,14	8,44	17,28	12,74
7,0	12,53	4,18	16,96	10,16
8,0	11,93	1,23	15,58	5,66

$Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ kimyasal bileşime sahip örnek B için çalışma frekansı 5 MHz olarak belirlendikten sonra bu frekans değerinde belirli manyetik alan değerlerine karşılık GMI davranışları incelenmiştir. Şekil 3.16.'de manyetik alan (H) ile GMI değerleri bulunmaktadır.



Şekil 3.16. 5 MHz'de Manyetik Alan ile %GMI değişimi

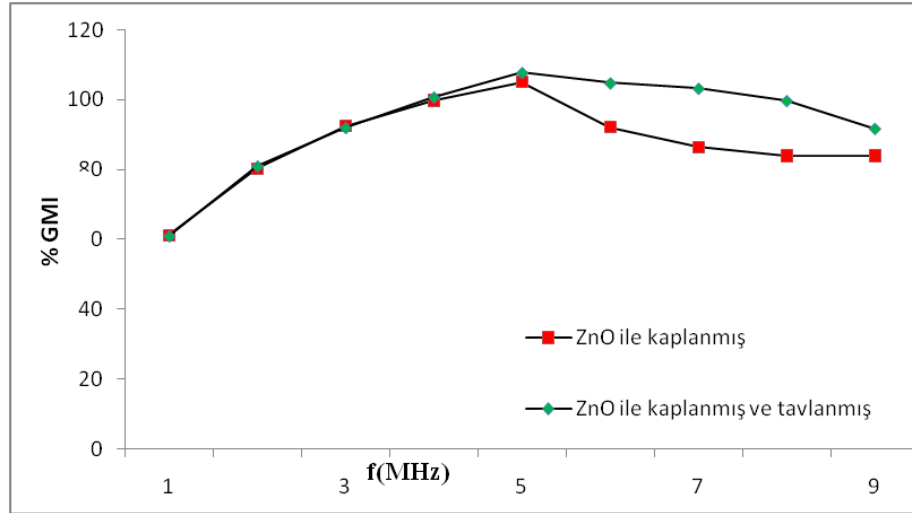
400 °C’de tavllanmış $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ esaslı amorf tel için en büyük GMI değeri %58, tavllanmış ve paramanyetik bir madde olan asfalten ile kaplanmış $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ amorf telde en büyük GMI değeri %92’dir. Örnek B’de de GMI değerinde artış gözlenilmiştir. Dolayısıyla ferromanyetik amorf telleri kimyasal malzemeler ile kapladığımız zaman GMI değerlerinde artış gözlenilmektedir. Asfalten ile kaplanan $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ esaslı amorf teldeki GMI değerindeki artışı, CoO ile kaplına örneğe göre beklenen değerden daha az miktarda olmuştur.

iii) Örnek C ($Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$) Fe esaslı yüksek manyetik gerilmeye sahip amorf tel, ZnO ile SILAR metodu ile kaplanmıştır. Tablo 3.17.’de bu örnek için çalışma frekansı belirlemek için yapılan ölçüm değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.17. ZnO ile kaplanmış Fe-esaslı amorf telin f ve GMI değerleri

$f(MHz)$	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış ve tavllanmış.
1,0	40,70	61,28	40,01	61,54
2,0	26,06	80,32	26,76	81,76
3,0	18,31	92,54	19,31	92,89
4,0	14,57	99,84	16,54	100,75
5,0	16,83	105,08	16,95	107,76
6,0	24,38	92,25	30,38	104,84
7,0	35,39	86,46	35,95	103,25
8,0	45,62	84,03	47,62	99,73
9,0	51,64	83,95	51,74	91,78

Deneysel ölçüm sonuçlarına göre örnek C için frekans ile çok büyük manyetik empedans etkisi (%GMI) değişimi incelenmiştir. Şekil 3.17.’de görüldüğü en büyük GMI değeri 5 MHz’de elde edilmiştir. Yapılan deneysel ölçümler sonucunda Fe esaslı amorf tel için çalışma frekansı 5 MHz olarak elde edildi. Fe esaslı amorf telin, tavlama işlemi veya farklı kimyasal malzemeler ile kaplama işlemi sonucunda sadece GMI değerlerinde farklılık göstermiştir. 5 MHz’de tavllanmış Fe-esaslı amorf telde maksimum GMI değeri %105 iken tavlama ve çinko oksit ile kaplanmış Fe esaslı amorf tel için bu değer %107 olarak bulundu.



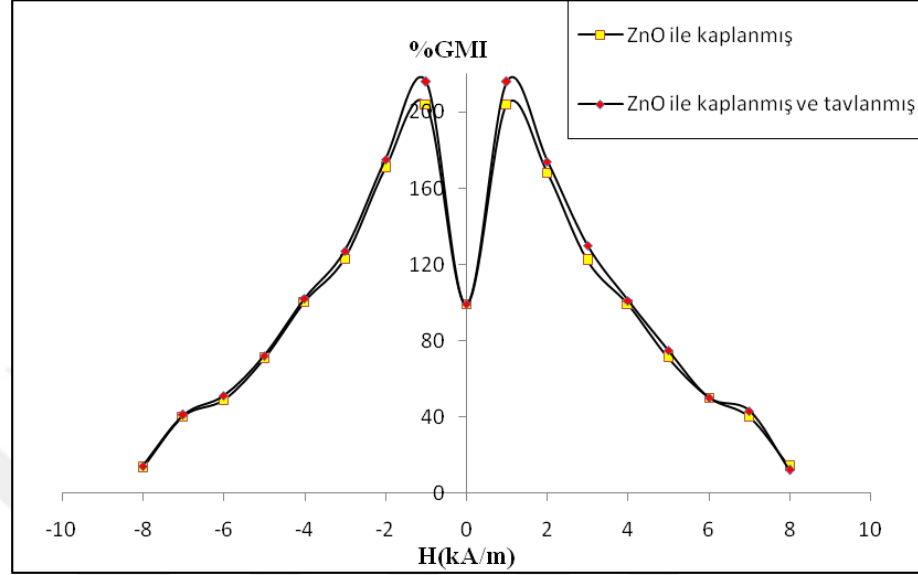
Şekil 3.17. Örnek C için frekans ile %GMI değişimi

$Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ kimyasal bileşime sahip örnek C için çalışma frekansı 5 MHz olarak belirlendikten sonra bu frekans değerinde belirli manyetik alan değerlerine karşılık GMI davranışları incelenmiştir. Çizelge 3.18.'de manyetik alan(H) ile GMI değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.18. 5 MHz'de manyetik alan ile GMI değerleri

$H(kA/m)$	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış ve tavlanmış
-8,0	3,25	12,01	5,86	13,09
-7,0	3,47	30,02	6,05	40,02
-6,0	3,81	45,08	7,59	49,87
-5,0	4,14	60,49	8,40	70,56
-4,0	4,99	89,01	9,89	100,23
-3,0	5,84	112,53	11,12	123,00
-2,0	6,66	158,51	13,53	170,76
-1,0	7,42	201,77	14,96	203,89
1,0	7,39	201,36	14,22	98,98
2,0	7,40	147,86	14,88	204,00
3,0	6,36	110,14	12,97	167,98
4,0	5,63	84,01	11,00	122,00
5,0	4,69	54,03	9,63	98,99
6,0	4,24	40,55	8,06	71,00
7,0	3,95	24,33	7,35	50,03
8,0	3,54	11,98	6,51	39,87

400 °C'de tavllanmış $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ esaslı amorf tel için en büyük GMI değeri %203 elde edildi. Çinko oksit ile kaplanmış $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ amorf telde en büyük GMI değeri yaklaşık %201'tür. Örnek C de GMI değeri yüzde olarak çok az miktarda artmıştır.



Şekil 3.18. 5 MHz'de Manyetik Alan ile %GMI değişimi

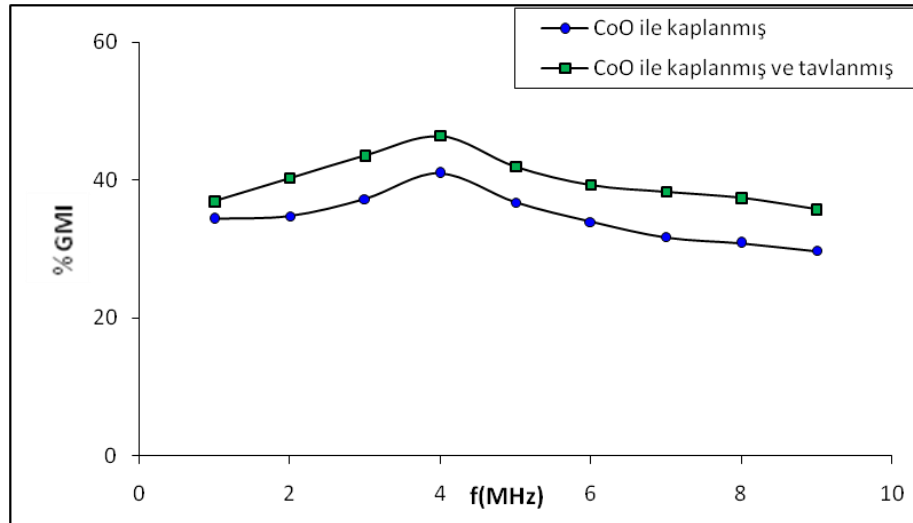
400 °C'de tavlanan ve ZnO ile kaplanan $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ esaslı amorf teldeki GMI değerindeki artışın sebebi; kimyasal çözeltinin ve sıcaklık artışının amorf maddenin yapısında meydana getirdiği değişikliktir.

iv) Örnek D ($\text{Fe}_{4.3}\text{Co}_{68.2}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$) Co esaslı negatif manyetik gerilmeye sahip amorf tel, CoO ile SILAR metodu ile kaplanmıştır. Çizelge 3.19.'da bu örnek için çalışma frekansı belirlemek için yapılan ölçüm değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.19. Tavlanmış ve CoO kaplanmış Co esaslı amorf telin f ve GMI

$f(\text{MHz})$	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış ve tavlanmış.
1,0	118,70	34,26	158,27	36,21
2,0	119,06	34,82	162,12	40,27
3,0	121,31	37,81	165,54	43,52
4,0	124,57	40,75	169,84	46,40
5,0	120,83	36,76	164,08	41,99
6,0	118,38	33,80	161,25	39,32
7,0	116,39	31,25	160,46	38,36
8,0	115,62	30,73	158,03	37,38
9,0	114,64	29,78	156,95	35,73

Çizelge 3.19'daki değerleri kullanılarak frekans ile çok büyük manyetik empedans etkisi arasındaki değişim incelenmiştir. Bu değişim Şekil 3.19.'da gösterilmiştir. Şekil 3.19.'da görüldüğü en büyük GMI değeri 4 MHz'de elde edilmiştir. Örnek D için çalışma frekansı 4 MHz'dir. Örnek A, B ve C için çalışma frekansı 5 MHz olarak elde edilmişti. Bu farklılığın sebebi örnek A, B ve C Fe esaslı amorf tel, örnek D ise Co esaslı amorf tel olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca manyetik gerilme değerleri de farklıdır.



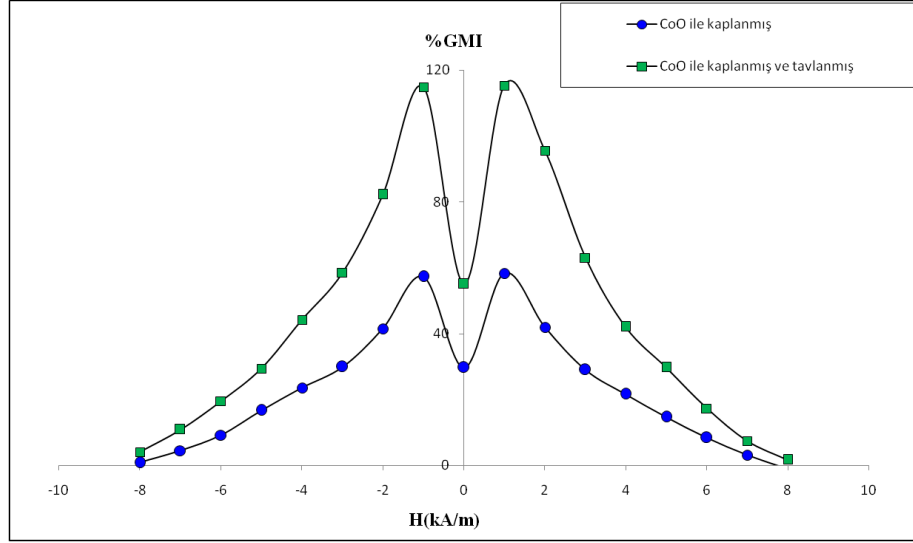
Şekil 3.19. Örnek D için frekans ile %GMI değişimi

4 MHz'de tavllanmış Co esaslı amorf telde maksimum GMI değeri %40 iken hem tavlama hem de CoO ile kaplanmış Co esaslı amorf tel için bu değer %46 civarındadır. $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ kimyasal bileşime sahip örnek D için çalışma frekansı 4 MHz olarak belirlendikten sonra bu frekans değerinde belirli manyetik alan değerlerine karşılık GMI davranışları incelenmiştir.

Çizelge 3.20. 4 MHz'de manyetik alan ile GMI değerleri

<i>H(kA/m)</i>	<i>Z(Ω)</i>	<i>%GMI kaplanmış</i>	<i>Z(Ω)</i>	<i>%GMI kaplanmış ve tavllanmış</i>
-8,0	10,25	0,22	15,86	4,01
-7,0	11,47	4,25	17,03	10,02
-6,0	13,81	9,98	18,58	19,08
-5,0	15,14	16,56	19,35	29,49
-4,0	17,99	23,98	22,88	44,01
-3,0	19,84	29,05	24,12	58,53
-2,0	23,66	41,61	27,50	82,51
-1,0	28,42	58,38	32,95	114,77
1,0	114,40	57,01	179,88	115,36
2,0	28,36	21,80	33,97	95,86
3,0	23,63	14,38	29,02	62,14
4,0	19,69	8,31	24,60	42,01
5,0	17,24	3,90	21,06	29,03
6,0	15,95	2,51	19,38	17,55
7,0	13,54	1,58	16,51	7,33
8,0	11,13	0,34	15,95	1,01

400 °C'de tavllanmış $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ esaslı amorf tel için en büyük GMI değeri %115 ve CoO ile kaplanmış $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ amorf telde en büyük GMI değeri %58 civarındadır. CoO ile kaplanmış amorf telde GMI değerindeki artış değeri diğer örneklere göre yüzde olarak daha düşük değerdedir. Ancak örnek D de GMI değerinde 2 kat artış gerçekleşmemiştir.



Şekil 3.20. 4 MHz'de Manyetik Alan ile %GMI değişimi

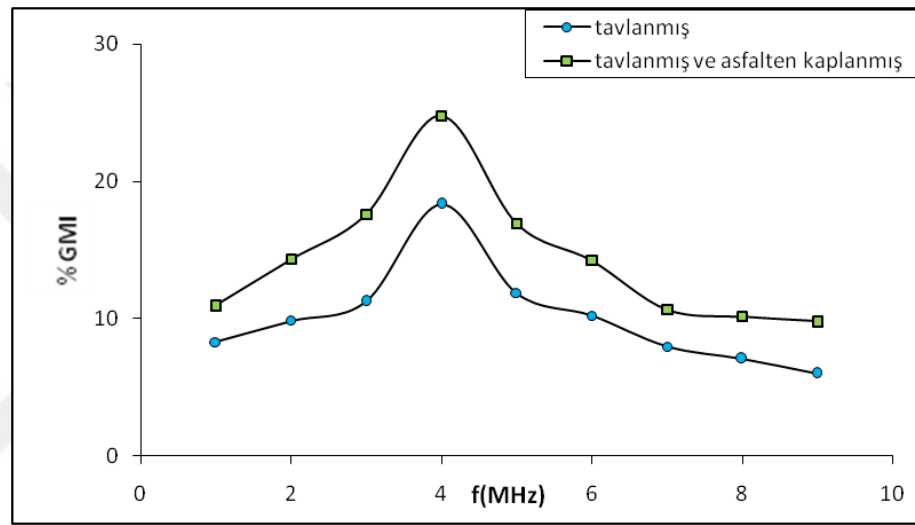
Co-esaslı amorf tel tavlandığında Fe-esaslı amorf tele göre GMI değeri azalmaktadır. Bu azalmanın sebebi, domain yapıları farklı olduğu için tel tavlandığı zaman domain yapılarındaki değişimleri de farklı olmaktadır (Mohri 1994). Manyetik alan şiddeti değerleri arttığında %GMI oranlarında da azalma meydana gelmektedir. Yüksek manyetik alan şiddeti değerlerinde %GMI oranı değerleri sıfıra yaklaşmaktadır.

v) Örnek E ($\text{Fe}_{4.3}\text{Co}_{68.2}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$) Co esaslı negatif manyetik gerilmeye sahip amorf tel, paramanyetik madde olan asfaltan ile SILAR metodu ile kaplanmıştır. Çizelge 3.21.'de bu örnek için çalışma frekansı belirlemek için yapılan ölçüm değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.21. Tavlanmış ve CoO kaplanmış Co esaslı amorf telin f ve GMI değerleri

$f(\text{MHz})$	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış ve tavlanmış
1,0	95,70	8,26	128,25	10,21
2,0	97,06	9,82	132,12	14,27
3,0	98,31	11,81	135,54	17,52
4,0	104,57	18,75	144,84	24,40
5,0	98,83	11,76	135,08	16,99
6,0	97,38	10,80	132,25	14,32
7,0	95,39	7,25	128,46	10,36
8,0	94,62	7,73	127,03	10,38

Çizelge 3.21.'deki değerleri kullanılarak frekans ile çok büyük manyetik empedans etkisi arasındaki değişim incelenmiştir. Şekil 3.21.'de görüldüğü en büyük GMI değeri 4 MHz'de elde edilmiştir. Bu örnek için çalışma frekansı 4 MHz'dir. Örnek D de bu örnek gibi çalışma frekansı 4 MHz olarak elde edilmiştir. Manyetik gerilme değerlerinin aynı olması ve domain yapılarındaki atomların dizilişleri benzerlik gösterdiği için çalışma frekansı değerleri aynıdır. 4 MHz'de asfaltan ile kaplanmış Co esaslı amorf telde maksimum GMI değeri %19 iken kaplanmış ve tavlanmış örnekte bu değer %24'e yükselmiştir.



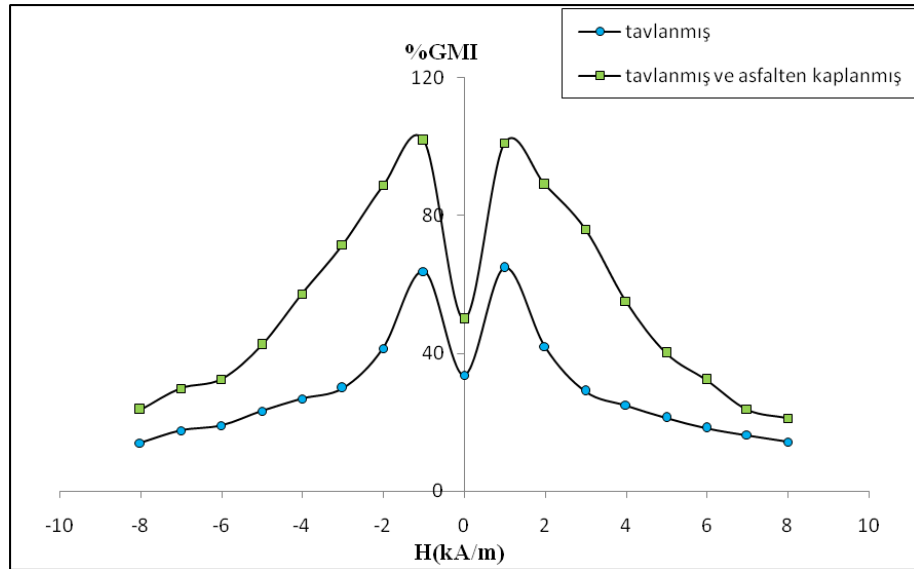
Şekil 3.21. Örnek E için frekans ile %GMI değişimi

$Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ kimyasal bileşime sahip örnek E için çalışma frekansı 4 MHz olarak belirlendikten sonra bu frekans değerinde belirli manyetik alan değerlerine karşılık GMI davranışları incelenmiştir. Çizelge 3.22.'de manyetik alan(H) ile GMI değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 3.22. 4 MHz’de manyetik alan ile GMI değerleri

$H(kA/m)$	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış ve tavlanmış
-8,0	14,25	13,22	18,86	23,01
-7,0	15,47	17,25	19,05	29,02
-6,0	16,81	19,98	20,59	32,08
-5,0	17,14	23,56	21,40	42,49
-4,0	18,99	26,98	24,89	57,01
-3,0	19,84	29,05	26,12	71,53
-2,0	23,66	41,38	28,53	88,54
-1,0	30,42	63,61	30,96	101,77
1,0	30,40	64,01	30,88	100,30
2,0	23,36	41,80	28,97	88,86
3,0	23,63	29,38	26,00	76,14
4,0	18,69	24,31	23,63	55,01
5,0	17,24	21,90	21,06	40,03
6,0	16,95	18,51	20,35	32,55
7,0	15,54	16,58	18,51	23,33
8,0	14,13	14,34	18,96	21,01

Kaplanmış $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ esaslı amorf tel için en büyük GMI değeri %64 ve asfaltten ile kaplanmış ve tavlanmış $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ amorf telde en büyük GMI değeri %101 civarındadır. Örnek D’ye göre yüzde olarak daha düşük değerlere ulaşmıştır.



Şekil 3.22. 4 MHz’de Manyetik Alan ile %GMI değişimi

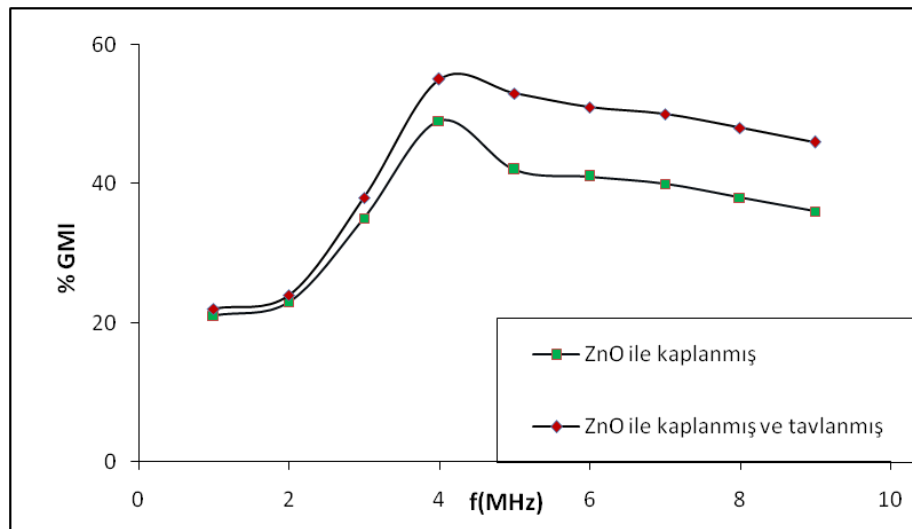
Tavlanmış Co esaslı amorf teli asfaltan ile kaplanması GMI değerini düşürmüştür. Bu yüzden tavlanmış Co-esaslı amorf teli paramanyetik bir malzeme ile kaplamak yerine CoO ve türevleri gibi kimyasal malzemelerle kaplamanın daha yerinde olduğu gözlenilmiştir.

vi) Örnek F ($\text{Fe}_{4.3}\text{Co}_{68.2}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$) Co esaslı negatif manyetik gerilmeye sahip amorf tel, ZnO ile SILAR metodu ile kaplanmıştır. Çizelge 3.23.'de bu örnek için çalışma frekansı belirlemek için yapılan ölçüm değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.23. Tavlanmış ve ZnO Kaplanmış Co esaslı amorf telin f ve GMI değerleri

$f(\text{MHz})$	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış ve tavlanmış
1,0	100,70	21,94	138,32	22,03
2,0	106,06	23,87	142,21	24,65
3,0	118,31	35,63	155,96	38,22
4,0	124,57	49,89	169,30	55,76
5,0	120,83	42,73	164,20	53,05
6,0	114,38	41,19	161,11	51,22
7,0	113,39	40,50	160,00	50,05
8,0	112,62	38,74	159,36	48,83
9,0	111,64	36,12	158,96	46,81

Şekil 3.23.'de görüldüğü en büyük GMI değeri 4 MHz'de elde edilmiştir.



Şekil 3.23. Örnek F için frekans ile %GMI değişimi

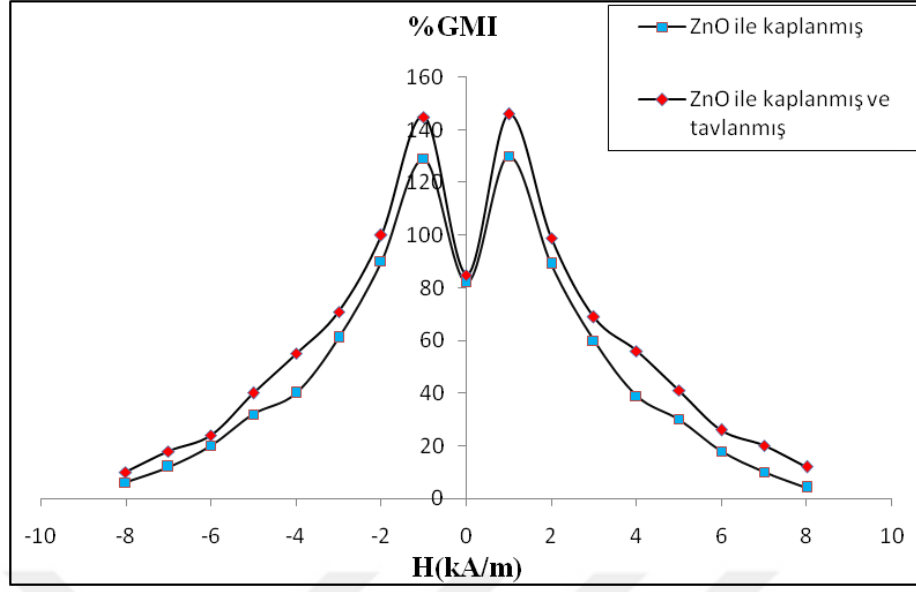
Yani bu örnek için çalışma frekansı 4 MHz'dir. 4 MHz'de ZnO ile kaplanmış Fe esaslı amorf tel için GMI değeri %50 iken tavllanmış ve kaplanmış amorf telde %56 civarındadır.

$Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ kimyasal bileşime sahip örnek F için çalışma frekansı 4 MHz olarak belirlendikten sonra bu frekans değerinde belirli manyetik alan değerlerine karşılık GMI davranışları incelenmiştir.

Çizelge 3.24. 4 MHz'de manyetik alan ile GMI değerleri

$H(kA/m)$	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış	$Z(\Omega)$	%GMI kaplanmış ve tavllanmış.
-8,0	10,82	6,02	15,95	10,43
-7,0	11,94	12,96	17,00	18,72
-6,0	14,38	20,32	18,32	24,34
-5,0	15,68	32,78	19,83	40,19
-4,0	17,75	40,62	21,10	55,34
-3,0	19,71	61,18	24,30	71,73
-2,0	22,23	90,32	27,93	100,29
-1,0	28,05	129,56	32,93	145,37
0,0	124,57	82,12	169,30	85,43
1,0	28,38	130,75	33,00	146,16
2,0	22,37	89,37	26,96	99,19
3,0	19,43	60,46	23,98	69,28
4,0	17,18	39,28	21,76	56,49
5,0	15,05	30,43	19,87	41,91
6,0	13,14	18,23	17,98	26,38
7,0	11,53	10,78	16,46	20,42
8,0	10,23	12,98	15,58	4,24

Tavllanmış ve kaplanmış $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ esaslı amorf tel için en büyük GMI değeri %146 ve çinko oksit ile kaplanmış $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ amorf telde en büyük GMI değeri %130 civarındadır. Bu durum Şekil 3.24'de gösterilmiştir. Örnek D ve E' ye göre yüzde olarak daha büyük değerlere ulaşmıştır. Tavllanmış Co esaslı amorf teli ZnO ile kaplanması GMI değerini artırmıştır. Fakat Fe esaslı amorf tele aynı işlemler uygulandığında GMI değerinde, Co esaslı amorf tele göre daha fazla artış gözlenilmiştir.



Şekil 3.24. 4 MHz’de Manyetik Alan ile %GMI değişimi

3.3.3. Farklı Sıcaklıkta Tavlanmış Amorf Tellerin Kaplanması

Ölçümlerde yüksek manyetik gerilmeye ($\lambda_s=35.10^{-6}$) sahip, 125 μm çapında, 12 cm uzunluğunda ve $\text{Fe}_{77.5}\text{Si}_{7.5}\text{B}_{15}$ (Fe-esaslı) bileşimindeki amorf tel ve negatif manyetik gerilmeye sahip, 120 μm çapında $\text{Fe}_{4.3}\text{Co}_{68.2}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ (Co-esaslı) kullanıldı.

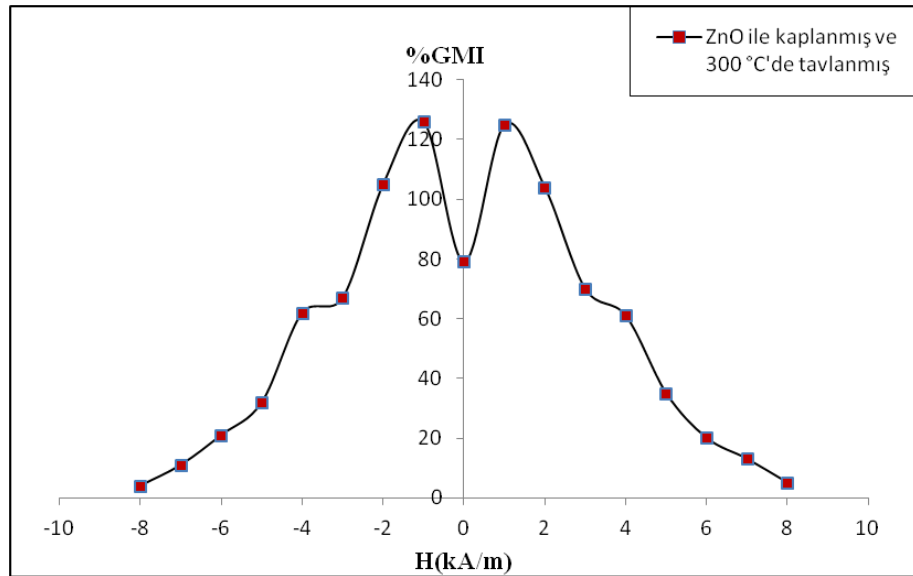
- i) 1. Örnek; çinko oksit (ZnO) ile kaplanan Fe esaslı amorf tel fırında 300 °C derecede 30 dakika fırında tavlandı.
- ii) 1. Örnek; çinko oksit (ZnO) ile kaplanan Fe esaslı amorf tel fırında 400 °C derecede 30 dakika fırında tavlandı.
- iii) 1. Örnek; çinko oksit (ZnO) ile kaplanan Fe esaslı amorf tel fırında 500 °C derecede 30 dakika fırında tavlandı.
- iv) 1. Örnek; çinko oksit (ZnO) ile kaplanan Fe esaslı amorf tel fırında 600 °C derecede 30 dakika fırında tavlandı.
- v) 2. Örnek; çinko oksit (ZnO) ile kaplanan Co esaslı amorf tel 300 °C derecede 30 dakika tavlandı.
- vi) 2. Örnek; çinko oksit (ZnO) ile kaplanan Co esaslı amorf tel 400 °C derecede 30 dakika tavlandı.
- vii) 2. Örnek; çinko oksit (ZnO) ile kaplanan Co esaslı amorf tel 500 °C derecede 30 dakika tavlandı.
- viii) 2. Örnek; çinko oksit (ZnO) ile kaplanan Co esaslı amorf tel 600 °C derecede 30 dakika tavlandı.

Hazırlanmış olan 8 örnek için GMI ölçüm sistemi ile çalışma frekansları belirlendi. Fe-esaslı amorf tel için çalışma frekansı önceki deneysel çalışmalarda 5 MHz ve Co-esaslı amorf elde çalışma frekansı 4 MHz olarak belirlenmişti. Bu değerler, ne tavlama ne kimyasal kaplama gibi fiziksel etkiler ile değişmemektedir.

i) Çinko oksit (ZnO) ile kaplanan ($\text{Fe}_{77.5}\text{Si}_{7.5}\text{B}_{15}$) Fe esaslı amorf tel, fırında $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ tavllanmış ve 5 MHz için manyetik alan ile %GMI değişimi incelenmiştir. Çizelge 3.25.'de deneysel veriler gösterilmiştir.

Çizelge 3.25. $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de manyetik alan ile %GMI değerleri

$H(\text{kA/m})$	%GMI ZnO kaplanmış ve $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de tavllanmış
-8,0	4,98
-7,0	11,78
-6,0	21,65
-5,0	32,34
-4,0	62,90
-3,0	67,06
-2,0	105,76
-1,0	126,89
1,0	79,54
2,0	125,01
3,0	104,00
4,0	70,69
5,0	61,91
6,0	35,90
7,0	20,38
8,0	13,01



Şekil 3.25. $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de tavllanmış ve ZnO ile kaplanmış telde H-%GMI değişimi

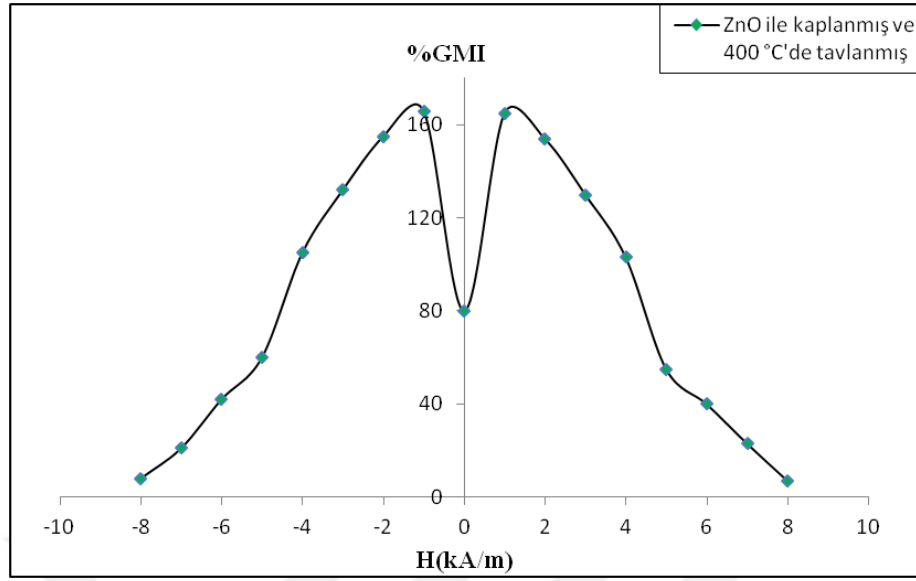
Şekil 3.25.'de görüldüğü gibi en büyük GMI değeri ZnO ile kaplanmış 300 °C tavllanmış Fe-esaslı amorf tel için yaklaşık %126 bulunmuştur. Manyetik alan şiddeti değerleri arttığında %GMI oranlarında da azalma meydana gelmektedir. Yüksek manyetik alan şiddeti değerlerinde %GMI oranı değerleri sifira yaklaşmaktadır.

ii) ZnO ile kaplanan (Fe_{77.5}Si_{7.5}B₁₅) Fe esaslı amorf tel, fırında 400 °C tavllanmış ve çalışma frekansı için GMI değişimi incelenmiştir.

Çizelge 3.26. 400 °C'de manyetik alan ile %GMI değerleri

<i>H(kA/m)</i>	<i>%GMI ZnO kaplanmış ve 400 °C'de tavllanmış</i>
-8,0	8,12
-7,0	21,95
-6,0	42,03
-5,0	60,76
-4,0	105,21
-3,0	132,99
-2,0	155,66
-1,0	166,33
0,0	80,07
1,0	165,04
2,0	154,73
3,0	130,08
4,0	103,43
5,0,	55,76
6,0	40,08
7,0	23,69
8,0	7,43

(Fe_{77.5}Si_{7.5}B₁₅) amorf telde en büyük GMI değeri %165 civarındadır. ZnO ile kaplanmış amorf telde GMI değerindeki artış değeri 1. Örneğe göre yüzde olarak daha büyük değerdedir. 300 °C'de tavlandığında %GMI değeri %126 idi. Tavlama sıcaklığı artışına bağlı olarak GMI değeri de doğru orantılı olarak artmıştır. Manyetik alan şiddeti değerleri artı ve zıt yönde arttırdığımızda de %GMI oranı değerleri ters orantılı olarak azalmaktadır. Bu durum literatürdeki bilimsel çalışmalar ile uyumludur.



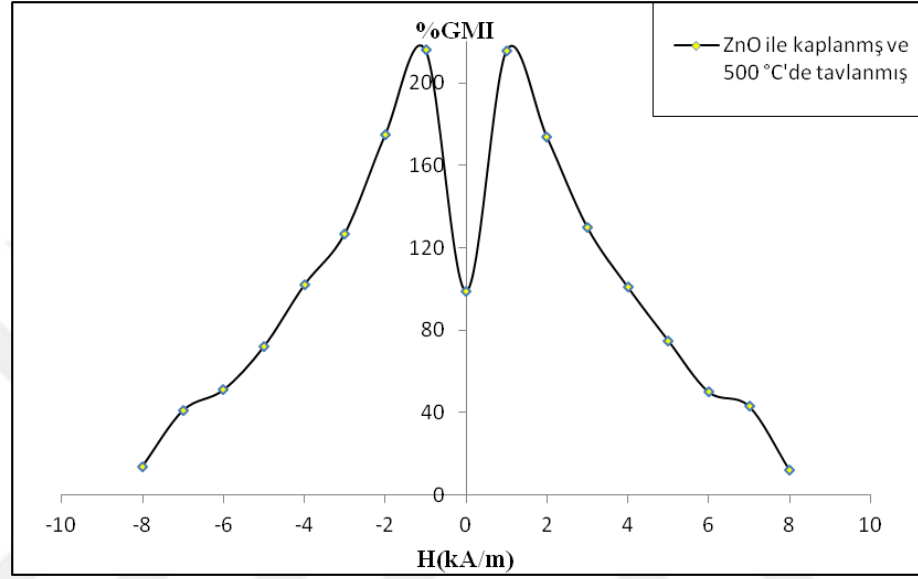
Şekil 3.26. 400 °C'de tavllanmış ve ZnO ile kaplanmış telde H-%GMI değişimi

iii) 3. Örnek ($Fe_{77,5}Si_{7,5}B_{15}$) Fe esaslı amorf tel, SILAR metodu ile ZnO kaplanmış ve 500 °C'de tavlanaştır. Çizelge 3.27.'de bu örnek için 5 MHz frekans değerinde yapılan ölçüm değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.27. 500 °C'de manyetik alan ile %GMI değerleri

<i>H(kA/m)</i>	<i>%GMI ZnO kaplanmış ve 500 °C'de tavlanaştır</i>
-8,0	14,00
-7,0	41,44
-6,0	51,54
-5,0	72,31
-4,0	102,01
-3,0	127,68
-2,0	175,39
-1,0	216,23
0,0	99,11
1,0	216,08
2,0	174,83
3,0	130,21
4,0	101,05
5,0	75,90
6,0	50,52
7,0	43,32
8,0	12,75

$Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ kimyasal bileşime sahip 3. örnek için belirli manyetik alan değerlerine karşılık GMI davranışları incelenmiştir. 500 °C'de tavllanmış $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ esaslı amorf tel için en büyük GMI değeri %216 civarındadır. 3. Örnekte de GMI değerinde artış gözlenilmiştir. Dolayısıyla demir esaslı amorf teli kimyasal malzemeler ile kapladığımız ve tavladığımız zaman GMI değerlerinde artış gözlenilmektedir.

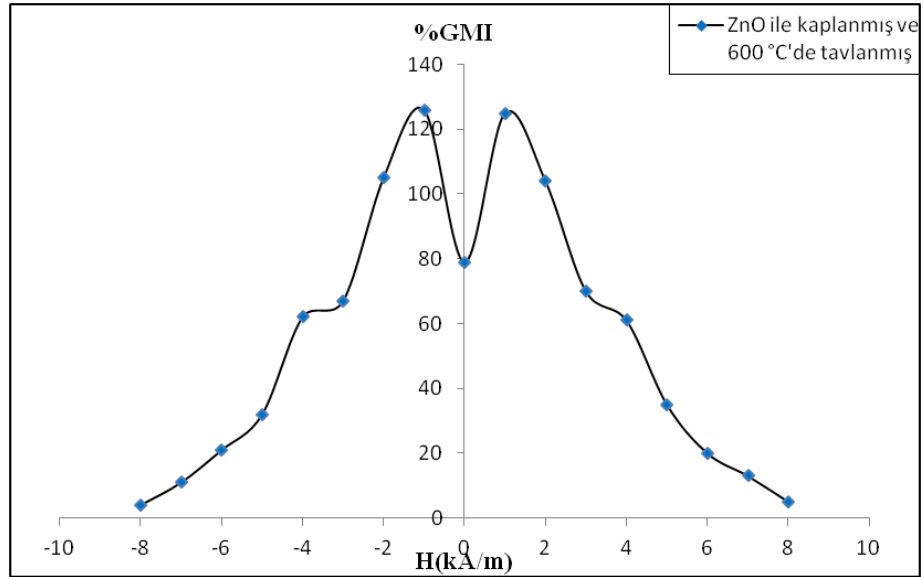


Şekil 3.27. 500 °C'de tavllanmış ve ZnO ile kaplanmış telde H-%GMI değişimi

iv) 4. Örnek ($\text{Fe}_{77.5}\text{Si}_{17.5}\text{B}_{15}$) Fe esaslı pozitif manyetik gerilmeye sahip amorf tel, SILAR metodu ile kaplanmış ve $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de tavlannmıştır. Çizelge 3.28'de bu örnek için yapılan ölçüm değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 3.28. $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de manyetik alan ile %GMI değerleri

$H(\text{kA/m})$	%GMI ZnO kaplanmış ve $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de tavlannmış
-8,0	6,05
-7,0	14,97
-6,0	24,42
-5,0	36,08
-4,0	68,64
-3,0	70,15
-2,0	104,77
-1,0	140,83
0,0	80,08
1,0	139,99
2,0	104,73
3,0	70,09
4,0	60,33
5,0	35,18
6,0	20,34
7,0	13,86
8,0	5,23



Şekil 3.28. $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de tavlannmış ve ZnO ile kaplanmış telde H-%GMI değişimi

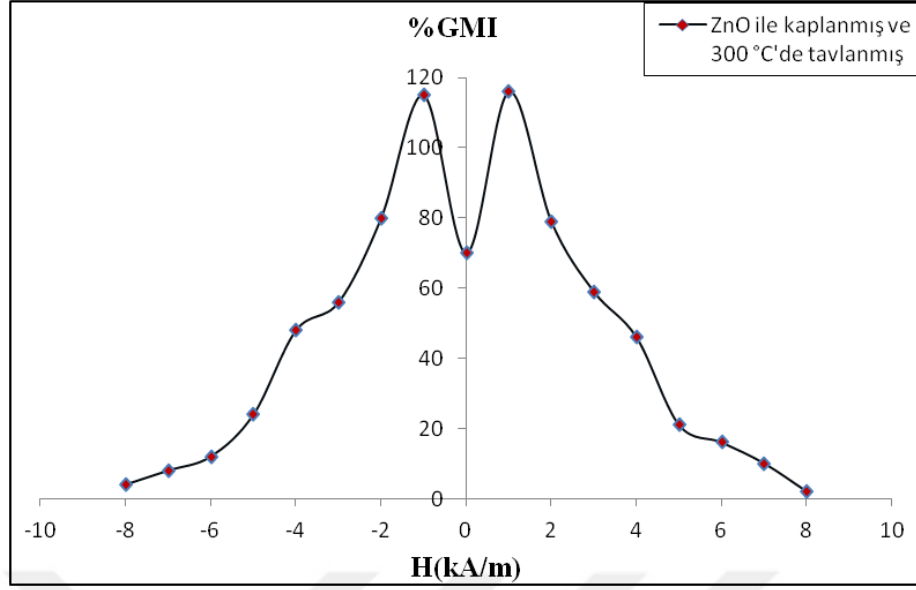
Şekil 3.28. incelediğinde 600 °C'de tavllanmış amorf telde en büyük GMI değeri %140 bulundu. 1., 2., ve 3. örneklerde tavlama sıcaklık değerleri arttığında, GMI değerleri de arttığı belirlendi. Fakat 4. Örnek de sıcaklık artışına devam edildiğinde, GMI değerinde azalma görüldü. 600 °C'de tavlanağında demir esaslı amorf telde GMI değeri, 300 °C'deki GMI değerine tekrar ulaşmıştır. Yapılan deneyler sonucunda demir esaslı amorf tel, çinko oksit ile kaplandığında tavlama işlemi gerçekleştirildiğinde 500 °C'de en büyük GMI değerine ulaştığı görüldü.

v) 5. Örnek; ZnO ile kaplanan ($\text{Fe}_{4.3}\text{Co}_{68.2}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$) Co esaslı amorf telfırında 300 °C tavllanmış ve çalışma frekansı için GMI değişimi incelenmiştir.

Çizelge 3.29. 300 °C'de manyetik alan ile %GMI değerleri

$H(\text{kA/m})$	%GMI ZnO kaplanmış ve 300 °C'de tavllanmış
-8,0	4,76
-7,0	8,54
-6,0	12,29
-5,0	24,84
-4,0	48,91
-3,0	56,58
-2,0	80,04
-1,0	115,81
0,0	70,03
1,0	116,97
2,0	79,02
3,0	59,80
4,0	46,54
5,0	21,32
6,0	16,08
7,0	10,05
8,0	2,14

Çizelge 3.29.'deki değerleri kullanılarak frekans ile çok büyük manyetik empedans etkisi arasındaki değişim incelenmiştir. 4 MHz'de 300 °C' de Co esaslı amorf telde maksimum GMI değeri %116 civarındadır. Elde edilen bu değer aynı sıcaklıkta tavlama Fe esaslı amorf teldeki GMI değerine göre daha düşüktür. Bu durum, kobaltın Curie sıcaklığının demirin Curie sıcaklığından küçük olduğundan kaynaklanmaktadır.

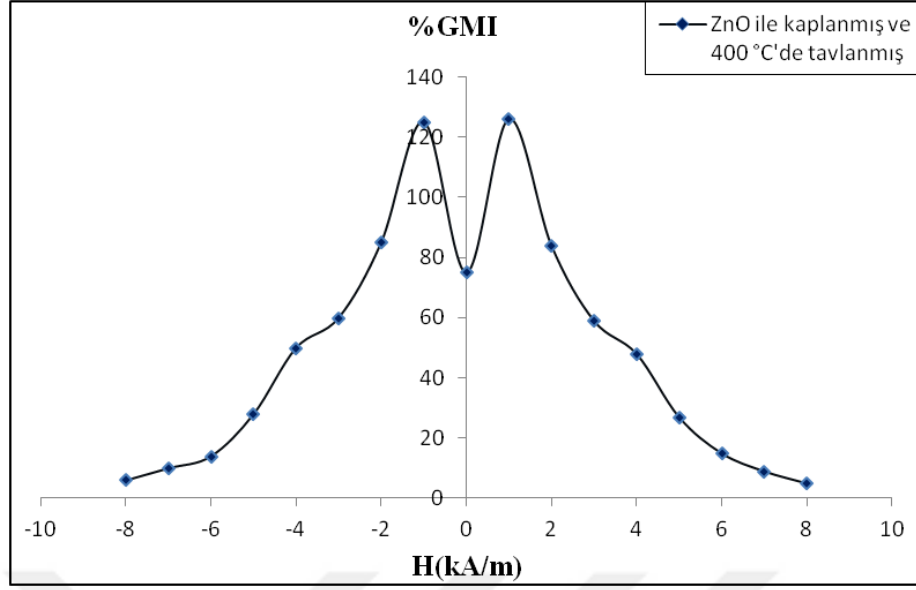


Şekil 3.29. 300 °C'de tavllanmış ve ZnO ile kaplanmış telde H-%GMI değişimi

vi) 6. Örnek; ZnO ile kaplanan ($\text{Fe}_{4.3}\text{Co}_{68.2}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$) Co esaslı amorf fırında 400 °C tavllanmış ve elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.30'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.30. 400 °C'de manyetik alan ile %GMI değerleri

$H(\text{kA/m})$	%GMI ZnO kaplanmış ve 400 °C'de tavllanmış
-8,0	6,78
-7,0	10,56
-6,0	14,34
-5,0	28,22
-4,0	50,93
-3,0	60,00
-2,0	85,27
-1,0	125,74
0,0	75,21
1,0	126,73
2,0	84,08
3,0	59,58
4,0	48,43
5,0	27,94
6,0	15,21
7,0	9,99
8,0	6,05



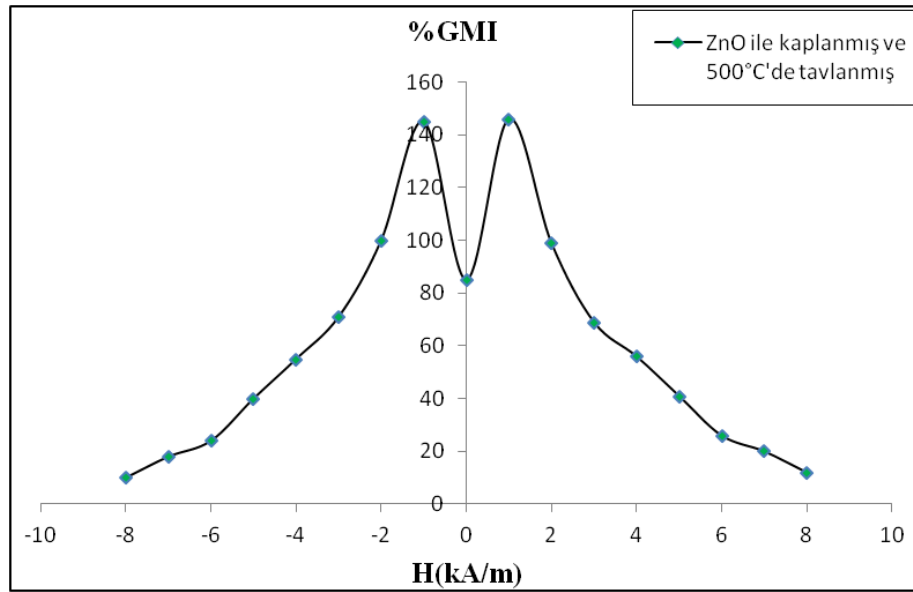
Şekil 3.30. 400 °C'de tavllanmış ve ZnO ile kaplanmış telde H-%GMI değişimi

Kobalt esaslı amorf telde en büyük GMI değeri %126 civarındadır. ZnO ile kaplanmış ve 400 °C'de tavllanmış amorf telde GMI değerindeki artış değeri 5. Örneğe göre yüzde olarak daha büyük değerdedir. Co-esaslı amorf tel tavlandığında GMI değeri artmaktadır. Bunun sebebi, domain yapıları farklı olduğu için tel tavlandığı zaman domain yapılarındaki değişimleri de farklı olmaktadır (Panina 1996). Manyetik alan şiddeti değerleri azaldığında ve sıcaklık değerleri arttığında maksimum GMI değeri artmaktadır. Yüksek manyetik alan şiddeti değerlerinde %GMI oranı değerleri azaldığı gözlemlendi.

vii) ZnO ile kaplanan Co esaslı 7. Örnek, fırında 500 °C tavllanmış ve Çizelge 3.31'deki değerler kullanılarak GMI değişimi incelenmiştir.

Çizelge 3.31. 500 °C'de manyetik alan ile %GMI değerleri

$H(kA/m)$	%GMI ZnO kaplanmış ve 500 °C'de tavllanmış
-8,0	10,09
-7,0	18,54
-6,0	24,21
-5,0	40,08
-4,0	55,54
-3,0	71,83
-2,0	100,97
-1,0	145,32
0,0	85,09
1,0	146,67
2,0	99,23
3,0	69,63
4,0	56,87
5,0	41,32
6,0	26,20
7,0	20,07
8,0	12,83



Şekil 3.31. 4 MHz'de Manyetik Alan(H) ile %GMI değişimi

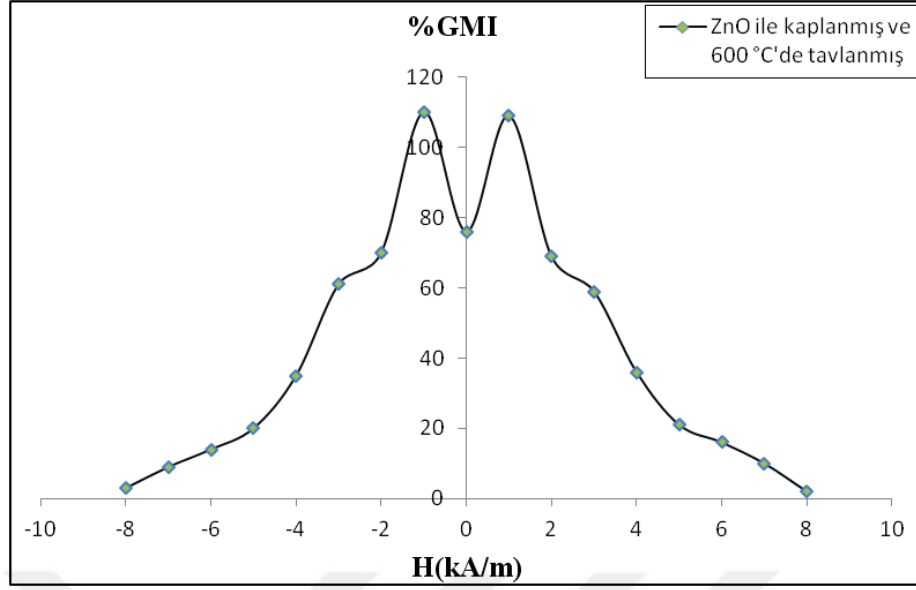
7. Örnek Co esaslı negatif manyetik gerilmeye sahip amorf tel, çinko oksit ile SILAR metodu kullanılarak kaplanmış, 500 °C’de tavllanmış ve örnek için çalışma frekansında manyetik alan ile çok büyük manyetik empedansındaki değişim Şekil 3.31.’de gösterilmiştir. 500 °C’de tavllanmış $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ esaslı amorf tel için en büyük GMI değeri %146 civarındadır. Bu örnekte de GMI değerinde artış gözlenilmiştir. Dolayısıyla ferromanyetik amorf telleri çeşitli fiziksel değişimler olduğu zaman GMI değerlerinde artış gözlenilmektedir.

ix) 8. Örnek; ZnO ile kaplanan negatif manyetik gerilmeye sahip Co esaslı amorf tel, fırında 600 °C tavllanmış ve çalışma frekansı için GMI değişimi incelenmiştir.

Çizelge 3.32. 600 °C’de manyetik alan ile %GMI değerleri

<i>H(kA/m)</i>	<i>%GMI ZnO kaplanmış ve 600 °C’de tavllanmış</i>
-8,0	3,23
-7,0	9,98
-6,0	14,77
-5,0	20,02
-4,0	35,66
-3,0	61,56
-2,0	70,28
-1,0	110,04
0,0	76,03
1,0	109,69
2,0	69,04
3,0	59,23
4,0	36,54
5,0	21,81
6,0	16,88
7,0	10,23
8,0	2,98

600 °C’de tavllanmış $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ esaslı amorf tel için en büyük GMI değeri %109 civarındadır. Bu örnekte, 5., 6. ve 7. örneğe göre GMI değerinde azalma gözlemlendi. Yine kobalt esaslı amorf telde de demir esaslı amorf telde olduğu gibi 500 °C’de maksimum GMI değeri elde edilmiştir.



Şekil 3.32. 600 °C'de tavllanmış ve ZnO ile kaplanmış telde H-%GMI değişimi

Grafikler incelendiğinde ZnO ile kaplanmış Co esaslı amorf tellerde değişik sıcaklıklarda tavlандığı zaman en yüksek GMI değerinin 500 °C'de olduğu görülmüş ve bu değer yaklaşık %146 civarındadır. Daha yüksek sıcaklık değerlerinde tavlандığı zaman i^2R 'lik Joule ısı etkisini artırmakta ve domain hareketlerinin hızı armaktadır. Bunun sonucunda amorf tellerdeki GMI değerleri azalmıştır. Yine aynı grafiklerden elde edilen sonuçlardan biri de düşük sıcaklıkta tavlандığı zamanda GMI değerinde azalma görülmektedir. Bunun sebebi farklı kimyasal yapılara sahip amorf tellerin belli bir çalışma frekansı olduğu gibi optimum bir sıcaklık değerine bağlı olduğu görülmektedir. Bu durum beklenen bir etkidir. Çünkü sıcaklık değişimi ile akım (birim zamandaki yük değişimi) değeri arasında kuvvetli bir bağ vardır.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

4.1. Deneysel Çalışmaların Tartışılması

Yeni malzemelerin bulunması ve üretilmesi, temelde uygulama alanı algılayıcılar olan GMI algılayıcıların geliştirilmesi için oldukça önemlidir. Düşük manyetik alan değerlerine duyarlı algılayıcıların (sensörlerin) geliştirilmesine için bu tür çalışmalara öncelik verilmiştir.

Deneysel çalışmalarda kaplama işlemlerin SILAR metodu ile yapılması sebebi, kaplama işlemlerinin daha çabuk ve daha elverişli ortamlarda kolaylıkla elde edilmesidir. Örneklerin kaplanması Uludağ Üniversitesi 2009/29 BAP projesi kapsamında gerçekleştirildi.

Çizelge 4.1. GMI değerlerinin karşılaştırılması

Örnek No	Örneğin Kimyasal Bileşimi	Kaplama Yapılan Kimyasal Malzeme	Kaplanmamış Örneğin Mak. %GMI Değeri	Kaplanmış Örneğin Mak. %GMI Değeri	Artış Miktarı
1.	$Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$	kobalt-oksit	60	115	%55
2.	$Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$	asfalten	60	82	%22
3.	$Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$	çinko-oksit	60	130	%70
4.	$Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$	kobalt-oksit	138	185	%47
5.	$Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$	asfalten	138	179	%41
6.	$Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$	çinko-oksit	138	201	%63

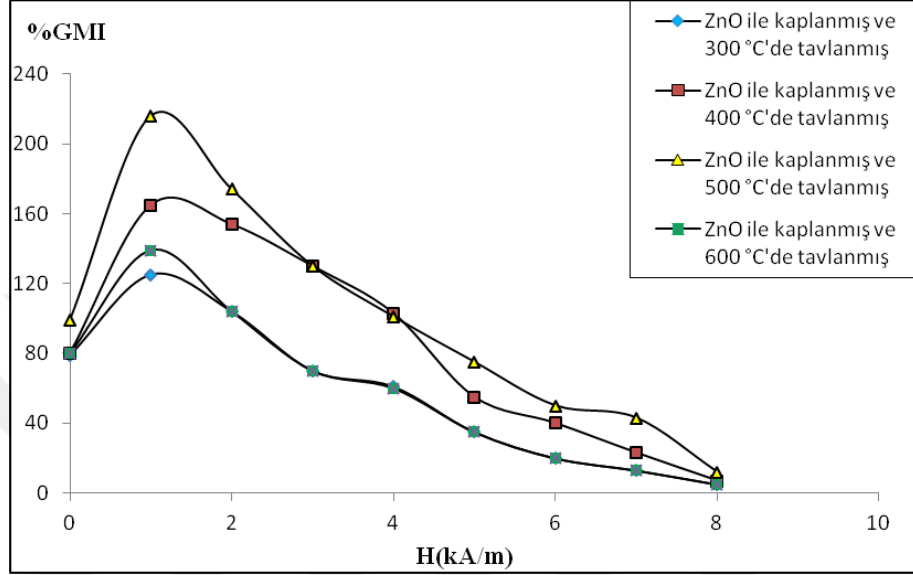
Demir ve Kobalt esaslı amorf teller çeşitli kimyasal malzemeler SILAR metodu ile kaplanmış ve kaplanmamış amorf teller arasındaki farklılıklar incelendi. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 4.1.'de gösterilmiştir. Deneysel sonuçlar incelendiğinde 0-2 MHz frekans değerleri arasında çok büyük manyetik empedans etkisi belirgin bir değişim olmamıştır. Düşük frekans değerlerinde GMI olayı gözlenmemektedir (Panina ve ark. 1995). 3 MHz'den sonra hızlı bir artış olmuş ve demir esaslı tellerde 5 MHz'de, kobalt esaslı amorf tellerde 4 MHz'de büyük %GMI etkisi değerine ulaşmıştır. Burada kaplanmış ve kaplanmamış örneklerin çalışma frekansında çok büyük bir değişim olmadığı görüldü. Elde edilen çalışma frekanslarında manyetik alan ile çok büyük manyetik empedans etkisi incelendiğinde kaplanmış amorf tellerdeki GMI değeri,

kaplanmamış amorf tellerdeki GMI değerinin yaklaşık 2 katı olduğu tespit edildi. Bu amorf tellerin kimyasal özelliğinden ve domain yapısındaki değişimlerden kaynaklanmaktadır (Mohri ve ark. 1995). Ayrıca bu değerdeki artışın amorf teldeki tavlama ve kimyasal malzemeler ile kaplanması sonucunda, maddenin domain yapısında ve manyetik anizotropisinde bir değişim meydana getirmektedir (Vazquez ve ark. 2001). Yapılan deneysel sonuçlar daha önce yapılmış bilimsel çalışmalarla uyum göstermektedir.

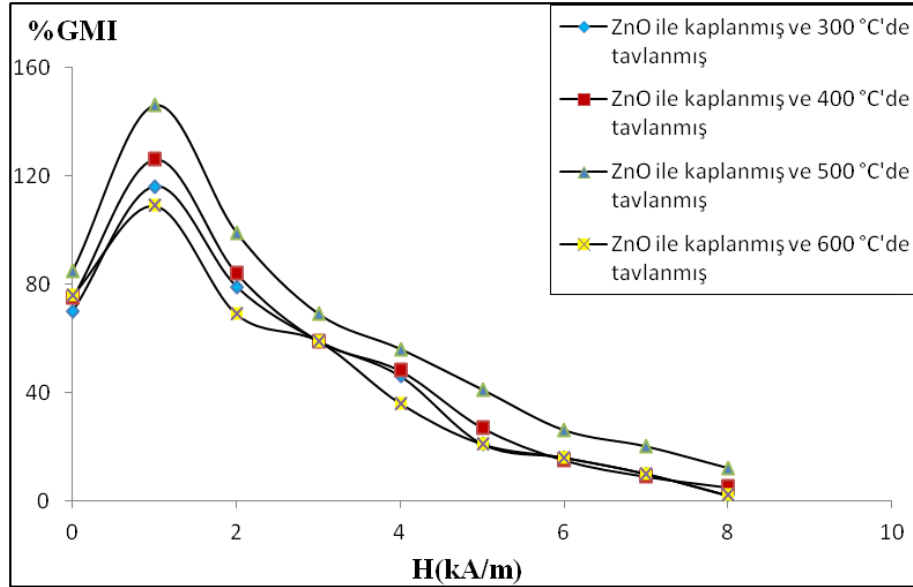
ZnO ile kaplanmış demir ve kobalt esaslı amorf teller farklı sıcaklıklarda tavlendiğinde benzer değişimler gözlemlendi (Şekil 4.1. ve Şekil 4.2.). Sıcaklık değeri artırıldığında maksimum GMI değeri daha düşük manyetik alan değerlerinde olduğu elde edildi. Kaplanmamış amorf tellerde maksimum GMI değeri yaklaşık 3 kA/m'lik manyetik alan değerinde iken kaplanmış amorf tellerde bu değer 1,5 kA/m değerine azalmıştır. Bu durum çeşitli araştırmalar için üretilen algılayıcılar için önemli bir husustur. Sıcaklık değişiminde meydana gelen amorf tellerdeki GMI değerindeki değişimin sebebi, amorf telin tavlama kuvvet yönünde bir anizotropi eksenini oluşturduğundan, bu yöndeki domainler gelişerek daha düzenli hale gelecektir. Ayrıca uygulanan kuvvet bir gerilmeye de sebep olacaktır (Barandiaran ve ark. 2004). Farklı sıcaklıklarda tavlama esnasında tavlama Joule etkisi olduğundan GMI etkisinde fazla bir değişim meydana getirmiştir. Daha büyük sıcaklık değerlerinde de fazla ısıdan kristalleşmeler olduğundan en uygun değer 500 °C elde edilmiştir. Hazırlanan örnekler manyetik alanla tavlarken, yüzey domainlerdeki manyetik momentler manyetik alan yönünde gelişerek artarken merkezdeki eksen boyunca olan manyetik momentlerin yönü manyetik alan yönüne doğru gelişme eğiliminde olur. Bu domain yapısı manyetik alan ve a.c. akımla etkileşerek empedans değerlerini vermektedir. Eksene zıt yönde gelişen manyetik momentler diğer örneklere göre telden geçen a.c. akım değişimi için kolay yön olduğundan telin empedansında bir azalma meydana gelir

Kobalt esaslı amorf telleri CoO, asfaltan ve paramanyetik malzemeler ile kaplandığında GMI değişimi en fazla CoO ile kaplama yapıldığında elde edildi. 4 MHz değerinde; CoO ile kaplandığında %162, asfaltan ile kaplandığında % 110 ve paramanyetik madde ile kaplandığında ise %140 GMI değerleri elde edilmiştir. CoO

kaplama sırasında sırasında telin etrafında dairesel olarak oluşturacağı manyetik alan özellikle dış kısımlardaki dairesel yüzey domainlerini geliştirmektedir (Chiriac ve ark 2008). 5 MHz frekans değerinde, Örnek D için en büyük GMI etkisi %81 elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Fe esaslı amorf telin kaplanmış ve tavllanmış GMI-H değişimi



Şekil 4.2. Co esaslı amorf telin kaplanmış ve tavllanmış GMI-H değişimi

Zıt manyetik alan değerlerinde ölçüm yapıldığında GMI değerlerinde belirli bir simetri oluşturmaktadır. Amorf tellerde zıt yönde manyetik alan uygulamak ve oluşturabilmek için selenoide uygulanan akım terslendirilmelidir (Brunetti ve ark. 2001).

Frekans değerleri ve manyetik alan değerleri değiştikçe GMI oranı değerleri de değişmektedir. Çok büyük manyetik empedans oranı frekans ve maddenin manyetik geçirgenliğinin fonksiyonu olarak değişmektedir. Yüksek frekans değerlerinde nüfuz etme derinliği etkisinin etkili olduğu yapılan bilimsel çalışmalarda ortaya çıkmıştır (Mohri ve ark. 1991). Ferromanyetik amorf tellerden geçen frekansının ve manyetik alan değişimi ile domain yapıları arasında bazı değişimler olmaktadır. Farklı yöntemlerle hazırlanmış örneklerde domain yapıları farklı şekillerde gerçekleşmektedir.

Bütün örnekler hazırlandıktan sonra 12 cm uzunluğunda kesilerek selenoidin tam ortasına düzgün manyetik alan içine yatay olarak yerleştirildi. Bu durumda selenoidin içinde oluşan manyetik alanının etkisi azaltıldı.

4.2. Deneysel Çalışmaların Sonuçları

Yapılan deneylerin sonuçları ve bu deneylerde elde edilen sayısal veriler kullanılarak bazı grafikler çizildi. Bu elde edilen grafikler yorumlandı ve bu deney sonuçlarının bilimsel uyumluluğu araştırıldı.

- i) Üretimden sonra herhangi bir işlem uygulanmamış ve tavlanmış Fe-esaslı amorf teller CoO ve asfaltan kaplanmasıyla çalışma frekansı ve GMI değişimi incelendi.
- ii) Üretimden sonra herhangi bir işlem uygulanmamış ve tavlanmış Co-esaslı amorf teller CoO ve asfaltan kaplanmasıyla çalışma frekansı ve GMI değişimi incelendi.
- iii) Fe-esaslı amorf tel için çalışma frekansı 5 MHz iken Co-esaslı amorf tel için 4 MHz'dir. Yapılan çalışmalarda düşük frekans değerlerinde GMI değişimi gözlenememiştir. . Düşük frekans değerlerinde ferromanyetik amorf tellerde çok büyük manyetik empedans etkisi (GMI) yeterince büyük gözlenememektedir. Yüksek frekans değerlerinde GMI etkisi daha büyüktür. Yüksek frekans değerlerinde GMI olayında nüfuz etme derinliği etkisi baskındır. Amorf tel çeşitli şekillerde tavlandığı ve değişik maddeler ile kaplandığı zaman amorf telin domain yapısında ve manyetik anizotropisinde değişim meydana gelmiştir. Bundan dolayı GMI oranı değişmiştir.
- iv) Fe-esaslı amorf tellerin çalışma frekanslarının yapılan işlemler sonucunda değişmediği gözlenilmiştir. Fe-esaslı amorf tel için bu değer 5 MHz'dir.

- v) Co-esaslı amorf tellerde de çalışma frekansı, telin tavllanması veya kaplanmasıyla değişmediği gözlenilmiştir. Co-esaslı tel için bu değer 4 MHz'dir.
- vi) %GMI değerlerindeki değişimin temeli, ferromanyetik amorf tellerin domain yapıları ve domain duvarı hareketleri, teller tavlandığı ve kimyasal malzemeler ile kaplandığı zaman değişmektedir. Aynı zaman da bu işlemler yapıldığında küçük anizotropik alanlar meydana gelmektedir. Bu durumda amorf telin manyetik anizotropisinde de değişimler oluşturmaktadır.
- vii) Üretimden sonra herhangi bir işlem uygulanmamış ve tavllanmış Fe-esaslı amorf teller CoO ve asfaltan kaplanmasıyla çalışma frekansı ve GMI değişimi incelendi.
- viii) Üretimden sonra herhangi bir işlem uygulanmamış ve tavllanmış Co-esaslı amorf teller CoO ve asfaltan kaplanmasıyla çalışma frekansı ve GMI değişimi incelendi.
- ix) Fe-esaslı amorf tel için çalışma frekansı 5 MHz iken Co-esaslı amorf tel için 4 MHz'dir. Yapılan çalışmalarda düşük frekans değerlerinde GMI değişimi gözlenememiştir. Düşük frekans değerlerinde ferromanyetik amorf tellerde çok büyük manyetik empedans etkisi (GMI) gözlenememektedir. Yüksek frekans değerlerinde GMI olayı gözlemek daha kolaydır. Yüksek frekans değerlerinde GMI olayında nüfuz etme derinliği etkisi baskındır. Amorf tel çeşitli şekillerde tavlandığı ve değişik maddeler ile kaplandığı zaman amorf telin domain yapısında ve manyetik anizotropisinde değişim meydana gelmiştir. Bundan dolayı GMI oranı değişmiştir.
- x) Fe-esaslı amorf tellerin çalışma frekanslarının yapılan işlemler sonucunda değişmediği gözlenilmiştir. Fe-esaslı amorf tel için bu değer 5 MHz'dir.

- xi)** Co-esaslı amorf tellerde de çalışma frekansı, telin tavlama veya kaplanmasıyla değişmediği gözlemlenmiştir. Co-esaslı tel için bu değer 4 MHz'dir.
- xii)** ZnO ile kaplanmış Fe-esaslı amorf tel değişik sıcaklık değerlerinde fırında tavlama. Burada GMI değişimleri incelenmiş ve maksimum değerleri araştırılmıştır. GMI değerleri Curie sıcaklığına yakın değerlere kadar artış göstermiştir. Curie sıcaklığı Fe için 770 °C'dir. Bundan sonraki sıcaklık değerlerinde malzeme manyetik olarak faz değiştirmektedir.
- xiii)** CoO ile kaplanmış Co-esaslı amorf tel 300, 400, 500, 600 °C'de tavlama sonuçları incelenmiştir. Sonuçlara göre tavlama yapılmamış yani sadece ZnO ile kaplanmış malzemelerdeki GMI değişimleri incelenmiş ve tavlama yapılan örneklerde GMI değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Kobalt'ın Curie sıcaklığı yaklaşık 1120 °C'dir. Daha yüksek sıcaklık değerlerinde tavlama zamanı GMI değerlerinin artabileceği gözlemlenmiştir.
- xiv)** ZnO ile kaplanmış örneklerin farklı sıcaklıklarda tavlama sebepleri yapılan deneysel çalışmalarda en büyük GMI değişimi, bu malzeme ile kaplanmış örneklerde elde edilmesinden dolayıdır.

KAYNAKLAR

Barandiaran J.M., Hernando A., 2004. Magnetostriction Influence on The Giant Magnetoimpedance Effect: A Key Parameter, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 268, p.309-314.

Bayri N., Atalay S., 2004. Giant Stres-Impedance Effect in Fe₇₁Cr₇Si₉B₁₃ Amorphous Wires, Journal of Alloys and Compounds, 381 p.245-249.

Blanco J.M., Zhukov A., Gonzalez J., 1999. Effect of Tensile and Torsion on GMI in Amorphous Wires, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 196-197 p. 377-379.

Brunetti L., Tiberto P., Vinai F., Chiriac H., 2001. High-Frequency Giant Magnetoimpedance in Joule-Heated Co-Based Amorphous Ribbons and Wires, Materials Science and Engineering A, 304-306, p.961-964.

Chikazumi S., 1986. Physics of Magnetism. Robert E. Krieger Publishing Co. Florida, p.11-13.

Chiriac H., Murgulescu I., Lupu N., 2004. The Influence of the Composition on the GMI Effect in Low Magnetostrictive Amorphous Microwires, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 272-276, p.1860-1861.

Çaylak O., Derebaşı N., Meydan T., 2007. Sensor Letters, 5, 1, 123-125.

Çaylak O., Derebaşı N.,2008. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, 10, 11, 2916-2918.

Çaylak O., 2008. Ferromanyetik Amorf Tellerde Çok Büyük Manyetik empedans Etkisinin İncelenmesi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.

Çevik S., 2013. SILAR Yöntemi Kullanılarak Elde Edilen Kurşun Sülfür Filmlerin Bazı Fiziksel Özellikleri, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Burdur.

Derebaşı N., 1994. Effect of Tension and Surface Properties on Magnetic Domains and Power Loss in Amorphous Ribbons. Phd Thesis, Wolfson Centre for Magnetic Technology, School of Electrical, Electronic and Systems Engineering, University of Wales College of Cardiff. p.13-15.

Derebaşı N. 2007. U. Ü. Fizik Bölümü, Fzk4203 Sensörler dersi ders notları.

Garcia D., Raposo V., Zazo M., Flore A.G., Iniguez J.I., 2003. Frequency Dependence of The Giant Magnetoimpedance in Current Annealed Amorphous Wires, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 272-276, p.1463-1465.

Jiles D., 1991. Introduction to Magnetism and Magnetic Materials. Chapman and Hall, p.1-3.

Kanniainen T., 2001. Studie of Zinc and Lead Chalcogenide Thin Films Grown by SILAR.

Li Y.F., Vazquez M., Chen D.X., 2002. GMI Effect of $Fe_{73.5-x}Cr_xCu_1Nb_3Si_{13.5}B_9$ Amorphous and Nanocrystalline Soft Wires, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 249 p.342-345.

Luborsky F.E., 1983. Amorphous Metallic Alloys, London. 44 p.

Meydan T., Borza F., Derebaşı N., 2003. Large Gyromagnetic Effect in As-Cast and Post Production Treated Amorphous Wires, Sensors and Actuators A, Vol.106, p.278-281.

Miti G.K., Moses A.J., Derebasi N., Fox D., 2003. A neural network-based tool for magnetic performance prediction of toroidal cores, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* Vol. 254, p. 262.

Moron C., Carracedo M.T., Zato J.G., Garcia A., 2003. Stres and Field Dependence of the Giant Magnetoimpedance Effect in Co-Rich Amorphous Wires, *Sensors and Actuators A*, 106 p.217-220.

O. Caylak, N. Derebasi, 2015. Influence of organic coating on the giant magneto impedance characteristics of Fe-rich amorphous wire, *Journal of superconductivity and Novel Magnetism*, Vol.28, No.3

Panina L.V., Mohri A., Uchiyama T., Noda M., 1995. Giant Magneto-Impedance in Co-Rich Amorphous Wires and Films, *IEEE Transactions on Magnetic*, Vol:31, No:2.

Pathan H. M., Lokhande C., 2004. Deposition of Metal Chalcogenide Thin Films by Successive Ionic Layer Adsorption and Reaction (SILAR) Method, *Bulletin of Materials Science*, Vol. 27 No. 2.

Peksoz A., Kaya Y., Taysioglu A., 2010. *IEEE Transactions on Magnetics*, 46, 2, 405-407.

Peksöz ., Çaylak O., Tayşioğlu A.A., Derebaşı N., Kaynak G., 2012. The asphaltene coating effect on GMI response in Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B₁₅ amorphous microwires, *Energy Sources Part A*, 35/18/17111716

Raposo V., Flores A.G., Zazo A., Iniguez J.I., 2004. Magnetic After Effect of Giant Magnetoimpedance in Amorphous Wires, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 254-255, p.204-206.

Sency, 1991. Highly-Sensitive Magnetic Fiber, with Excellent Soft Magnetism Properties, Unitika Ltd.

Squire T., Atkinson D., Atalay S., 1995. Magnetostrictive and Magnetoelastic Properties of Rapidly Quenched Wire, IEEE Transactions on Magnetic, Vol:31, No.2.

Tannous C., Gieraltowski J., 2002. Giant Magneto-Impedance and Its Applications, Laboratoire de Magnetisme de Bretagne, 809 p.6135.

Usov N., Antonov A., Granovsky A., 1997. Theory of Giant Magneto-Impedance Effect in Composite Amorphous Wire, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 171 p.64-68.

Vazquez M., 2001. Soft Magnetic Wires, Physica B, 299, p.302-313.

EKLER

EK-1. MANYETİK ALAN ŞİDDETİ İÇİN HATA HESABI

Manyetik alan şiddeti Eşitlik 3.2. ile verilmektedir. Bu eşitlik,

$$H = \frac{N.I}{L} \quad \text{E1.1.}$$

şeklindedir. Burada $\left(I = \frac{V_{\ddot{o}}}{R} \right)$ olduğundan,

$$H = \frac{N.V_{\ddot{o}}}{L.R} \quad \text{E1.2.}$$

şeklini alır. Bu eşitliğin hatası,

$$\Delta H = \sqrt{\left(\frac{\partial H}{\partial N} \Delta N \right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial V_{\ddot{o}}} \Delta V_{\ddot{o}} \right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial L} \Delta L \right)^2 + \left(\frac{\partial H}{\partial R} \Delta R \right)^2} \quad \text{E1.3.}$$

olarak yazılır. Burada,

$$\frac{\partial H}{\partial N} = \frac{V_{\ddot{o}}}{L.R} \quad \text{E1.4.}$$

$$\frac{\partial H}{\partial V_{\ddot{o}}} = \frac{N}{L.R} \quad \text{E1.5.}$$

$$\frac{\partial H}{\partial L} = -\frac{N.V_{\ddot{o}}}{L^2.R} \quad \text{E1.6.}$$

$$\frac{\partial H}{\partial R} = -\frac{N.V_{\dot{\theta}}}{L.R^2} \quad \text{E1.7.}$$

E1.4, E1.5, E1.6 ve E1.7 Eşitlikleri E1.3 Eşitliğinde yerine konuldu E1.8. Denklemi elde edildi.

$$\Delta H = \sqrt{\left(\frac{V_{\dot{\theta}}}{L.R} \Delta N\right)^2 + \left(\frac{N}{L.R} \Delta V_{\dot{\theta}}\right)^2 + \left(-\frac{N.V_{\dot{\theta}}}{L^2.R} \Delta L\right)^2 + \left(-\frac{N.V_{\dot{\theta}}}{L.R^2} \Delta R\right)^2} \quad \text{E1.8.}$$

$N=600$ ($\Delta N=1$ sarım), $L=0.16m$ ($\Delta L=1.10^{-3}m$) ve $R=0.5 \Omega$ ($\Delta R=0.01\Omega$)

ΔH bağıntısında kullanılan mutlak hatalar tüm hesaplamalarda aynı değildir. $V_{EK}=0,014$ ve $V_{EB}=0,224$ değerlerinin ortalaması alındı ve $V_{\dot{\theta}}=0,206V$ ($\Delta V_{\dot{\theta}}=0,001V$) hata hesabında bu değerler kullanıldı. Bu değerlerle hesaplama yapıldığında,

$$\Delta H=14,20 \text{ A/m}$$

olarak hesaplandı.

EK-2. MANYETİK EMPEDANS İÇİN HATA HESABI

Manyetik empedans Eşitlik 3.1. ile verilmektedir. Bu eşitlik,

$$Z_T = \frac{V_{\dot{\theta}}}{I} \quad \text{E2.1.}$$

Şeklindedir. Burada $\left(I = \frac{V_p}{R}\right)$ olduğundan,

$$Z_T = \frac{V_{\dot{\theta}}}{V_p/R} = \frac{V_{\dot{\theta}} \cdot R}{V_p} \quad \text{E2.2.}$$

şeklini alır. Bu eşitliğin hatası,

$$\Delta Z_T = \sqrt{\left(\frac{\partial Z_T}{\partial V_{\dot{o}}} \Delta V_{\dot{o}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z_T}{\partial R} \Delta R\right)^2 + \left(\frac{\partial Z_T}{\partial V_p} \Delta V_p\right)^2}$$

E2.3.

ölarak yazılır. Burada,

$$\frac{\partial Z_T}{\partial V_{\dot{o}}} = \frac{R}{V_p} \quad \text{E2.4.}$$

$$\frac{\partial Z_T}{\partial R} = \frac{V_{\dot{o}}}{V_p} \quad \text{E2.5.}$$

$$\frac{\partial Z_T}{\partial V_p} = -\frac{V_{\dot{o}} \cdot R}{V_p^2} \quad \text{E2.6.}$$

$$\Delta Z_T = \sqrt{\left(\frac{R}{V_p} \Delta V_{\dot{o}}\right)^2 + \left(\frac{V_{\dot{o}}}{V_p} \Delta R\right)^2 + \left(-\frac{V_{\dot{o}} \cdot R}{V_p} \Delta V_p\right)^2}$$

E2.7.

$R=0,52\Omega$ ($\Delta R=0,01\Omega$), $V_{\dot{o}}=0,544V$ ($\Delta V_{\dot{o}}=0,001V$) ve $V_p=5,222mV$
($\Delta V_p=2,000mV$)

Bu değerler kullanılarak ΔZ_T hesaplandı,

$$\Delta Z_T=0,09 \Omega$$

olarak bulundu.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Osman ÇAYLAK

Doğum Yeri ve Tarihi : Çankırı, 25.06.1981

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Çankırı Süleyman Demirel Fen Lisesi, 1999

Lisans : Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, 2003

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008

Çalıştığı Kurum ve Yıl :

İletişim (e-posta) : osmanfzk@uludag.edu.tr

Yayımları :

O. Caylak, N. Derebasi, 2015. Influence of organic coating on the giant magneto impedance characteristics of Fe-rich amorphous wire, Journal of superconductivity and Novel Magnetism, Vol.28, No.3

A. Peksoz, O. Caylak, A. Taysioglu, N. Derebasi, G. Kaynak, 2013. The asphaltene coating effect on GMI response in $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ amorphous microwires, Energy Sources Part A, 35/18/17111716

O. Caylak, N. Derebasi, 2008. Prediction of giant magneto impedance on As-cast and post production treated $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ amorphous wires using neural network, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, 10/11/2916-2918

O. Caylak, N. Derebasi, T. Meydan, 2007. Giant magneto-impedance effect in as-cast and post-production treated $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ amorphous wires, Sensor Letters, 5/1/123-125.

O. Caylak, N. Derebasi, 2007. Giant magneto impedance effect in as-cast and post production treated $\text{Fe}_{4.3}\text{Co}_{68.2}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ amorphous wires, AIP, 899/773-773.

Bildirileri:

N. Derebasi, O.Caylak, T.Günes, 2014. Localised angular flux directions on amorphous bent core 2605SA1, 10th European Conference on Magnetic Sensors and Actuators, Viena, Austria

N. Derebasi, F. Guldiken, O. Caylak, H. Kilic, E. N. Ozmutlu, 2013. Modelling of thermoelectric cooling module with geometrical factors using numerical methods 2nd International Conference on Water, Energy and Environment, Kusadasi, Türkiye

O. Caylak and N. Derebasi, 2013. Optimization of GMI on as cast and organic coated Fe based amorphous wires using numerical methods, 21th Soft Magnetic Materials Conference, Budapest, Hungary

O.Caylak, , A.A. Taysioglu, A. Peksoz, N. Derebasi, 2010. Enhancement of GMI response in Co organic coated $\text{Fe}_{4.3}\text{Co}_{68.2}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ amorphous microwires, International Workshop on Magnetic Wires, Bodrum, Türkiye

O.Caylak, A. Peksoz, A.A. Taysioglu, , N. Derebasi, 2010. GMI effect in uncoated and Co complex coated $\text{Fe}_{77.5}\text{Si}_{7.5}\text{B}_{15}$ amorphous wires, European Magnetic Sensors and Actuators Conference, Bodrum, Türkiye

A. Peksoz, A.A. Taysioglu, O.Caylak, N. Derebasi 2010. Asphaltene coating effect on GMI response of $\text{Fe}_{4.3}\text{Co}_{68.2}\text{Si}_{12.5}\text{B}_{15}$ amorphous microwires, International Workshop on Magnetic Wires, Bodrum, Türkiye

M. C. Hacısmailoğlu, F. Guldiken, O.Caylak N. Derebasi, 2010. Estimation of dynamic hysteresis loops of nanocrystalline toroidal cores using numerical techniques, European Magnetic Sensors and Actuators Conference, Bodrum, Türkiye

O.Caylak, A. Taysioğlu, M. C. Hacısmailoğlu, , N. Derebasi, 2008. Effects of post production techniques for amorphous materials on GMI, Condensed Matter Physics Conference of Balkan Countries, Muğla, Türkiye

O. Caylak and N. Derebasi, 2008. Prediction of giant magneto impedance on as cast and post production treated $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ amorphous wires using neural networks, 9th International Balkan Workshop on Applied Physics, Constanta, Romania

O. Caylak, A.A. Taysioğlu, N. Derebasi, 2007. Prediction of giant magneto impedance on as cast and post production treated $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ amorphous wires using neural networks, 18th Soft Magnetic Materials Conference, Cardiff, U.K.

O. Caylak and N. Derebasi, 2006. Giant magneto impedance effect in as-cast and post production treated $Fe_{4.3}Co_{68.2}Si_{12.5}B_{15}$ amorphous wires, 6th International Conference of the Balkan Physical Union, İstanbul, Türkiye

O. Caylak, N. Derebasi and T. Meydan, 2006. Giant magneto-impedance effect in as-cast and post-production treated $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ amorphous wires, 6th European Conference on Magnetic Sensors and Actuators, Bilbao, Spain

Proje:

“Amorf şerit ve tellerde yüzeyin yalıtkan kaplanmasının GMI etkisinin incelenmesi”, Uludağ Üniversitesi, Yardımcı Araştırmacı, **BAP 2009/29.**