



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FERROMANYETİK AMORF TELLERDE
ÇOK BÜYÜK MANYETİK EMPEDANS
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Osman ÇAYLAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

BURSA-2008



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FERROMANYETİK AMORF TELLERDE
ÇOK BÜYÜK MANYETİK EMPEDANS
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Osman ÇAYLAK

Prof.Dr. Naim DEREBAŞI
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

BURSA-2008

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FERROMANYETİK AMORF TELLERDE
ÇOK BÜYÜK MANYETİK EMPEDANS
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

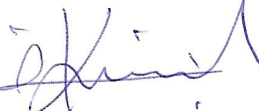
Osman ÇAYLAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

Bu Tez 22/01/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy-çokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof.Dr. Naim DEREBAŞI
(Danışman)


Prof.Dr. Kadri ARSLAN


Yrd.Doç.Dr. İlker KÜÇÜK

ÖZET

12 cm uzunluğunda ve 125 μm çapında pozitif manyetik gerilmeye sahip ($\lambda_s=35.10^{-6}$) üretildiği gibi (as-cast) ve çeşitli işlemler uygulanmış amorf tellerde çok büyük manyetik empedans etkisi (GMI) araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar için önceden hazırlanmış, “as-cast” (A), fırında tavllanmış (B), kuvvet altında tavllanmış (C), doğru akım ile tavllanmış (D) ve zıt manyetik alan altında tavllanmış (E) örnekleri kullanılmıştır. İncelenen örneklerde en büyük manyetik empedans etkisi (%GMI) yaklaşık 5 MHz civarında bulunmuştur. 5 MHz’de A, B, C, D ve E örnekleri için en büyük GMI etkisi sırasıyla %83, %74, %77, %160 ve %81 olarak belirlenmiştir. Bu oranlara, örneklerin domain yapıları ve domain duvarı hareketleri sebep olduğu anlaşılmıştır. Manyetik anizotropiden dolayı zıt manyetik alanda tavllanmış örnek (E), (A) “as-cast” örneğe göre daha az etkilediği saptanmıştır. Yüksek frekanslarda, çeşitli işlemlerle tavllanmış (B), (C), (D) ve (E) örneklerinde nüfuz etme derinliğinin baskın olduğu belirlenmiştir. Üretimden sonra tavllanmış örneklerde, çok büyük manyetik empedans (GMI) etkisinin tavlama, kuvvet uygulama, manyetik alan, manyetik anizotropi ve domain yapıları gibi parametrelere bağlı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Amorf teller, Çok büyük manyetik empedans etkisi, Manyetik anizotropi, Domain yapısı, Tavlama

ABSTRACT

Giant magneto impedance effect was investigated on as-cast and post-production treated positive magnetostriction ($\lambda_s=35.10^{-6}$) $\text{Fe}_{77.5}\text{Si}_{7.5}\text{B}_{15}$ amorphous wire with the diameter of 125 μm and 12 cm long. As-cast (A), furnace annealed (B), furnace annealed under axial tension (C), dc current annealed (D) and flash annealing (E) samples were used in this investigation. The samples were carefully located and fixed in the solenoid. The highest giant magneto impedance ratio (GMI%) was found to be around 5 MHz for all samples. The maximum ratio of the GMI for the samples A, B, C, D and E are 83%, 74%, 77%, 160% and 81% at 5 MHz, respectively. The domain structure and wall mechanism are responsible for this behaviour. The circumferential field was less pronounced in the annealed sample under transverse magnetic field than the as-cast sample due to its anisotropy. Also, the skin effect becomes more dominant in the post-production treated samples at higher frequencies. It is found to be the giant magneto impedance effect sensitively depends on the post-production treated process such as annealing, applied stress magnetic field, induced anisotropies and domain structures.

Key Words: Amorphous wires, Giant magneto impedance effect, Magnetic anisotropy, Domain structure, Annealing,

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
TEZ ONAY SAYFASI.....	II
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
SİMGELER DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	X
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER.....	3
2.1. Manyetik Maddeler	3
2.1.1. Manyetik Geçirgenlik ve Alınganlık.....	3
2.1.2. Ferromanyetik Maddeler.....	4
2.1.3. Ferromanyetik Maddelerin Özellikleri.....	5
2.1.3.1 Geçirgenlik ve Artık Mıknatıslanma.....	5
2.1.4. Ferromanyetik Maddelerin Sınıflandırılması.....	6
2.2. Amorf Maddeler.....	7
2.2.1. Amorf Maddelerin Üretim Yöntemleri.....	8
2.2.2. Amorf Maddelerin Kullanım Alanları.....	10
2.2.3. Amorf Maddelerin Özellikleri.....	10
2.2.3.1. Sıfırlayıcı Alan.....	12
2.2.3.2. Geçirgenlik.....	13
2.2.3.3. Manyetik Gerilme.....	13
2.2.3.4. Histerisis.....	14
2.2.4. Ferromanyetik Amorf Teller.....	15
2.2.4.1. Demir Esaslı Amorf Tel.....	17
2.2.4.1.1. AF-10 Tipi Amorf Telde Histerisis Eğrisi.....	17
2.2.4.2. Kobalt Esaslı Amorf Tel.....	18
2.2.4.2.1. AC-20 Tipi Amorf Telde Histerisis Eğrisi.....	19
2.2.4.2.2. Geçirgenliğin Frekansa Bağlılığı.....	19
2.2.4.3. Nikel Esaslı Amorf Tel.....	20

2.3. Çok Büyük Manyetik Empedans (GMI) Etkisi.....	21
2.3.1. Amorf Tellerde GMI Etkisi.....	26
2.3.2. Elektronik Aletlerde ve Algılayıcılarda GMI Uygulamaları.....	28
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	30
3.1. Amorf Teller ve Özellikleri.....	30
3.2. Deney Düzenegi.....	30
3.3. Örneklerin Çalışma Frekansının Belirlenmesi.....	32
3.3.1. Örnek A İçin Çalışma Frekansının Belirlenmesi.....	32
3.3.2. Örnek B İçin Çalışma Frekansının Belirlenmesi.....	34
3.3.3. Örnek C İçin Çalışma Frekansının Belirlenmesi.....	35
3.3.4. Örnek D İçin Çalışma Frekansının Belirlenmesi.....	36
3.3.5. Örnek E İçin Çalışma Frekansının Belirlenmesi.....	37
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA.....	39
4.1. Frekans ile %GMI Oranı Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	39
4.2. Manyetik Alan ile %GMI Etkisi Değişimi.....	41
4.2.1. Örnek A için Manyetik Alan Şiddeti ile %GMI Değişimi.....	41
4.2.2. Örnek B için Manyetik Alan Şiddeti ile %GMI Değişimi.....	45
4.2.3. Örnek C için Manyetik Alan Şiddeti ile %GMI Değişimi.....	47
4.2.4. Örnek D için Manyetik Alan Şiddeti ile %GMI Değişimi.....	49
4.2.5. Örnek E için Manyetik Alan Şiddeti ile %GMI Değişimi.....	51
4.3. Beş Farklı Örnek için Manyetik Alan Şiddeti ile Çok Büyük Manyetik Empedans Etkisinin İncelenmesi.....	53
4.4. A Örneği için Çok Büyük Manyetik Empedans Etkisinin Frekans ile Değişimi.....	56
5. ELDE EDİLEN SONUÇLAR.....	59
KAYNAKLAR.....	60
EKLER.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	66
TEŞEKKÜR.....	67

KISALTMALAR DİZİNİ

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
DC	Doğru akım
AC	Alternatif akım

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1. Çeşitli amorf teller ve özellikleri.....	16
Çizelge 2.2. Bazı amorf alaşımlar ve manyetik özellikleri	25
Çizelge 3.1. Örnek A deneysel sonuçlar	33
Çizelge 3.2. Örnek B deneysel sonuçlar	34
Çizelge 3.3. Örnek C deneysel sonuçlar	35
Çizelge 3.4. Örnek D deneysel sonuçlar	36
Çizelge 3.5. Örnek E deneysel sonuçlar.....	37
Çizelge 4.1. Örnek A için manyetik alan ile empedans değerleri.....	43
Çizelge 4.2. Örnek B için manyetik alan ile empedans değerleri.....	45
Çizelge 4.3. Örnek C için manyetik alan ile empedans değerleri.....	47
Çizelge 4.4. Örnek D için manyetik alan ile empedans değerleri.....	49
Çizelge 4.5. Örnek E için manyetik alan ile empedans değerleri.....	51

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Ferromanyetizma.....	5
Şekil 2.2. Kristal ve amorf yapı	8
Şekil 2.3. Amorf şeritin üretim şeması.....	9
Şekil 2.4. Amorf tellerin üretim şeması	9
Şekil 2.5. Manyetik gerilme mekanizması	14
Şekil 2.6. Histerisis eğrisi ve domainlerin durumu	15
Şekil 2.7. Demir esaslı amorf telin histerisis eğrisi	18
Şekil 2.8. Kobalt esaslı amorf telin histerisis eğrisi	19
Şekil 2.9. Kobalt esaslı amorf tel için μ -f grafiği	20
Şekil 2.10. Kobalt esaslı amorf telde empedans-frekans değişimi	22
Şekil 2.11. Demir esaslı amorf telin histerisis eğrisi	24
Şekil 2.12. Amorf telde empedansın H_{dc}/H_k oranına göre değişimi	26
Şekil 2.13. Amorf tellerde domain duvarı yapıları	28
Şekil 3.1. Deneysel çalışmalar için kullanılan devre şeması.....	31
Şekil 3.2. Örnek A için %GMI ile frekans değişimi.....	33
Şekil 3.3. Örnek B için %GMI frekans değişimi.....	34
Şekil 3.4. Örnek C için %GMI frekans değişimi.....	36
Şekil 3.5. Örnek D için %GMI frekans değişimi.....	37
Şekil 3.6. Örnek E için %GMI frekans değişimi.....	38
Şekil 4.1. Beş farklı örneğin f-%GMI değişiminin birlikte görünümü.....	41
Şekil 4.2. Örnek A için 5 MHz'deki %GMI-H değişimi.....	44
Şekil 4.3. Örnek B için 5 MHz'deki %GMI-H değişimi.....	46
Şekil 4.4. Örnek C için 5 MHz'deki %GMI-H değişimi.....	48
Şekil 4.5. Örnek D için 5 MHz'deki %GMI-H değişimi.....	50
Şekil 4.6. Örnek E için 5 MHz'deki %GMI-H değişimi.....	52
Şekil 4.7. Örnek A, B, C, D ve E için 5 MHz'deki %GMI-H değişimi.....	55
Şekil 4.8. Örnek A için farklı frekans değerlerine karşılık %GMI değişimi.....	56

SİMGELER DİZİNİ

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	Alınganlık
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	İndüklenen gerilim
R	Direnç
X	Relaktans
I	Akım
ω	Açısal frekans
Z	Manyetik empedans
I_0	Akımın etkin değeri

δ_s	Nüfuz etme derinliği
c	Işık hızı
σ	İletkenlik
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

1.GİRİŞ

Deneysel çalışmalarda kullanılan $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ kimyasal bileşimli ferromanyetik amorf tel, dönen kaynak üzerine püskürtme yöntemi kullanılarak Unitika® firması tarafından üretilmiştir. 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 malzemeler, bilgisayar teknolojisi başta olmak üzere, algılayıcılarda, yüksek frekanslı güç kaynaklarında ve tıpta yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

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.

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 görülmemektedir. GMI olayı genelde 10 kHz'den daha büyük değerlerinde gözlenmiştir (Usov ve ark. 1997). Yüksek frekanslarda GMI olayının gözlenmesi, araçlarda manyetik yol gösterme cihazlarının gelişmesinde, uçakların ve gemilerin konumlarının belirlenmesinde, beyin görüntüleme (MEG cihazlarında), kalp taramasında (MCG cihazlarında) ve yer altı, yer üstü kaynakların belirlenmesinde oldukça önemli gelişmelere yol açmıştır.

Bu çalışmada, aynı kimyasal bileşenlere sahip ve aynı uzunlukta Cardiff Üniversitesi'nde hazırlanan beş 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 tavllanmış ve üretimden sonra herhangi bir işlem uygulanmamış amorf tellerde GMI etkisinin nasıl gerçekleştiği araştırıldı. Elde edilen sonuçların fiziksel değerlendirmeleri yapılarak GMI olayının hangi frekans değerinde daha iyi gözleendiği belirlenmiş ve bu frekans değerinde farklı amorf tellerdeki en büyük %GMI etkisi bulunmuştur.

2. 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. Manyetik Geçirgenlik ve Alınganlık

Bir maddenin manyetik geçirgenliği (μ),

$$\mu = \frac{\vec{B}}{\vec{H}} \quad (2.2)$$

olarak tanımlanır. Alınganlık ise

$$\chi = \frac{\vec{M}}{\vec{H}} \quad (2.3)$$

ifade edilir. B ve M manyetik alanın doğrusal bir fonksiyonu olabilir veya olmayabilir. Bu durum maddenin veya ortamın çeşidine bağlıdır. Genellikle SI birim sisteminde bağıl geçirgenlik kullanılmaktadır. Bir ortamın bağıl geçirgenliği (μ_r) ile gösterilir ve

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_o} \quad (2.4)$$

Serbest uzayın bağıl manyetik geçirgenliği ise 1'dir. Bağıl geçirgenlik alınganlıkla bağlantılıdır ve şu şekilde ifade edilir (Jiles 1991).

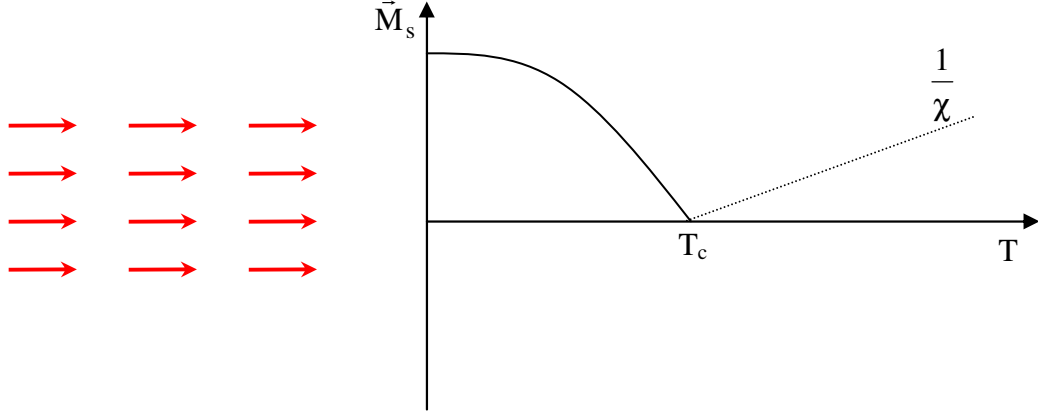
$$\mu_r = \chi + 1 \quad (2.5)$$

Maddeleri alınganlıklarına göre, diyamanyetik, paramanyetik, antiferromanyetik, ferrimanyetik, metamanyetik ve ferromanyetik olarak sınıflandırılabilir.

2.1.2. 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 (Chikazumi 1986)

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.

2.1.3.1. Geçirgenlik ve Artık Mıknatıslanma

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. En yüksek değer permalloy ve süpermalloy adı verilen Ni-Fe alaşımlarda elde edilir. Dünyanın manyetik alanının belirlenmesi, petrolün veya yeraltı kaynakların keşfi, ekranlama gibi birçok uygulamalara sahiptir.

Ferromanyetik maddeler manyetik alana konulduğunda mıknatıslanmaktadır. Manyetik alan kaldırılırsa dahi maddede mıknatıslanma (M_r) kalır. Artık mıknatıslanma ferromanyetik maddelere ait bir özelliktir.

2.1.4. Ferromanyetik Maddelerin Sınıflandırılması

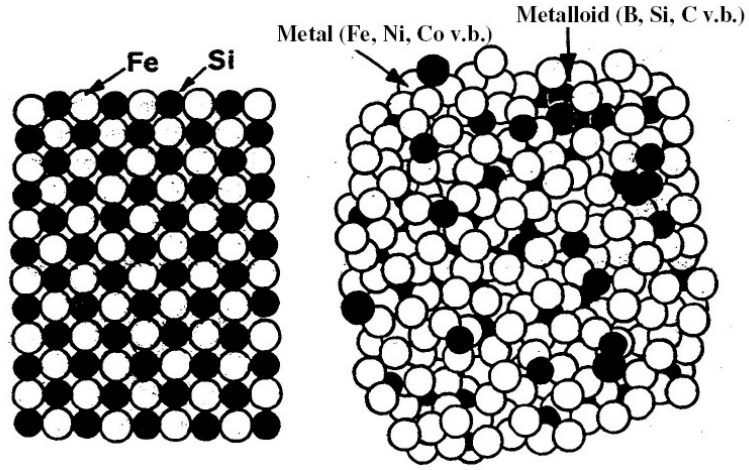
Madde üzerinde kalan artık mıknatıslanmanın yok edilebilmesi için uygulanan ters manyetik alana sıfırlayıcı alan denir. Ferromanyetik maddeler, sıfırlayıcı alana (H_c) göre sınıflandırılırlar. Sıfırlayıcı alan madde yapısına duyarlı bir manyetik özelliktir. Farklı sıcaklık ve mekanik işlemler altında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

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.

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 camsı 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, buhar toplaması ve iyon saçılması gibi birçok yöntemle üretilmektedir. En çok kullanılan yöntem, erimiş haldeki alaşıma basınç uygulayıp hızla dönen bir kasnak üzerine püskürtülerek elde edilen yöntemdir. Bu üretim yöntemi maddeye daha iyi bir düzgünlük veren ve büyük miktarda üretim için uygun bir yöntemdir. Amorf maddelere metal camları da denilmektedir



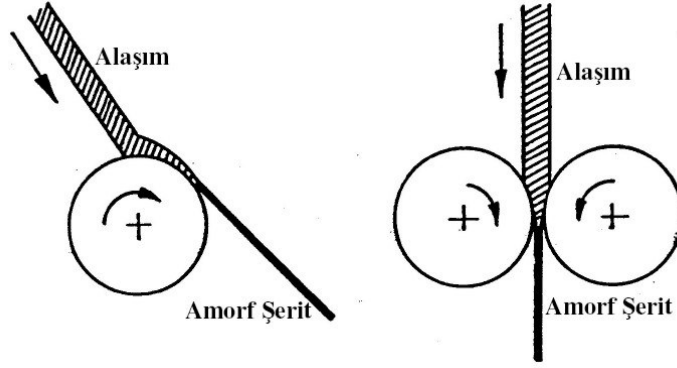
Şekil 2.2. Kristal ve Amorf Yapı (Luborsky 1983)

2.2.1. Amorf Maddelerin Üretim Yöntemleri

Temel olarak kasmağa püskürtme yöntemi, erimiş haldeki alaşımı hızla dönen bir kaskak 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.

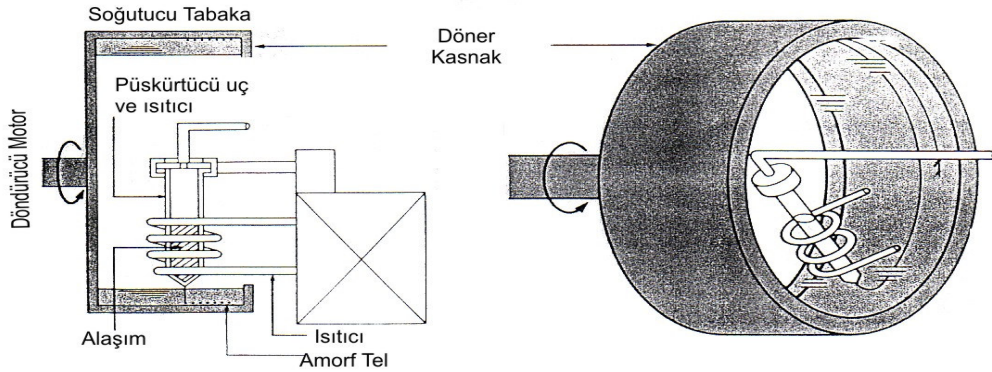
- a) Erimiş haldeki alaşımı hızla dönen kasmağın iç yüzeyine püskürtmek, bu yöntem genellikle amorf telleri üretmek için kullanılır.
- b) Alaşımı dönen iki kasmağın arasına püskürtmek, bu yöntemle ferromanyetik amorf şeritler üretilmektedir.
- c) Erimiş haldeki alaşımı dönen kasmağın dış yüzeyine püskürtmek. Bu yöntemle de amorf şeritler üretilmektedir.
- d) Erimiş haldeki alaşımı dönen dış bükey bir kasmağın dış yüzeyine püskürtmektir.

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



Şekil 2.3. Amorf şeritlin üretim şeması (Derebaşı 1994)

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 2.4.'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 2.4. Amorf tellerin üretim şeması (Sency 1991)

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;

- a) Güç dağıtım transformatörlerinde
- b) Güç kaynakları
- c) Elektrik makinaları
- d) Yüksek frekanslı transformatörler
- e) Manyetik koruma (ekranlama)
- f) Gecikme hatları
- g) Atımlı güç uygulamaları
- h) Manyetik kafalarda (teyp. bilgisayar vb), genelde amorf tel kullanılmaktadır.
- ı) Manyetik yaylar
- i) 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 sıfırlayıcı alandır. Amorf maddeler, elektrik çelikleriyle karşılaştırıldığında 3 kat daha verimlidir. Elektriksel direnci en az üç kat daha fazladır. Daha küçük sıfırlayıcı 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 metallerden üretilmektedir.

Ferromanyetik amorf maddelerin bu olumlu yönlerinin yanında bazı olumsuz yönleri de vardır. Pahalı olmaları, düşük doyum mıknatıslanmasına sahip olması ve ısıtıldıklarında kırılğan 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 metallerinde 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 metallerin 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 (Ca) atomu $2\mu_B$ ve her bor (B) atomu $1\mu_B$ bileşiğin 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,

$$T_{1-x-y}F_xG_y \quad \Rightarrow \quad \mu = \mu_B \frac{m(1-x-y) - fx - gy}{1-x-y} \quad (2.6)$$

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.

2.2.3.1. Sıfırlayıcı Alan (H_c)

Amorf maddelerdeki sıfırlayıcı alan aynen kristalli metallerde olduğu gibi tanımlanmaktadır. Toplam bölgesel sıfırlayıcı alanın oluşumu için en az beş engelleyici etki tanımlanmaktadır. Bunlar,

- a) Bölgesel anizotropiler ve değişim enerjisinin kararsızlığı
- b) Çok küçük bölgelerdeki yapı bozuklukları
- c) Yüzey düzensizlikleri
- d) Manyetik gerilme olan alaşımlarda domain duvarlarının hacimsel olarak tutulması

Amorf maddelerde düşük güç kayıpları elde etmek için yukarıdaki etkilerden olan sıfırlayıcı alan en düşük düzeye çekilmelidir. Sıfırlayıcı alanda yükselme sağlayan bozuk yapılar düzeltilemez. Bunlar maddede üretim aşamasında meydana gelmektedir ve tavlama işlemiyle tümüyle düzeltilememektedir. Böylece bozukluklarla domain duvarlarının etkileşmesi sadece manyetik gerilmesi olmayan amorf maddelerde bir miktar azaltılabilmektedir. Bu durumda, çok küçük hacimsel etkiler ve gevşeme etkili önemli olmaktadır.

Amorf maddelerdeki sıfırlayıcı alan temel olarak alaşımın üretim aşamasındaki ani soğumasıyla oluşan iç mekanik kuvvetler tarafından belirlenmektedir. Bunların çoğu bölgesel küçük gerilmelerdir.

Ayrıca bölgesel sınırlarının (grain) olmaması amorf maddelerde domain yapılarının çok kristalli çeliklere göre çok farklı oluşmasına yol açmaktadır. İzotropinin olması, amorf maddenin neden manyetik olarak yumuşak bir madde olduğunu açıklamaktadır. Bu maddeler çok küçük sıfırlayıcı alana sahiptir.

2.2.3.2. Geçirgenlik (μ)

Genel olarak amorf alaşımların geçirgenliği ($\mu = \frac{\bar{B}}{\bar{H}}$) üretimden sonra herhangi bir işlem uygulanmadığı durumda oldukça düşüktür. Fakat yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda geliştirilebilir. Ayrıca manyetik gerilme azaltılarak geçirgenlik artırılabilir.

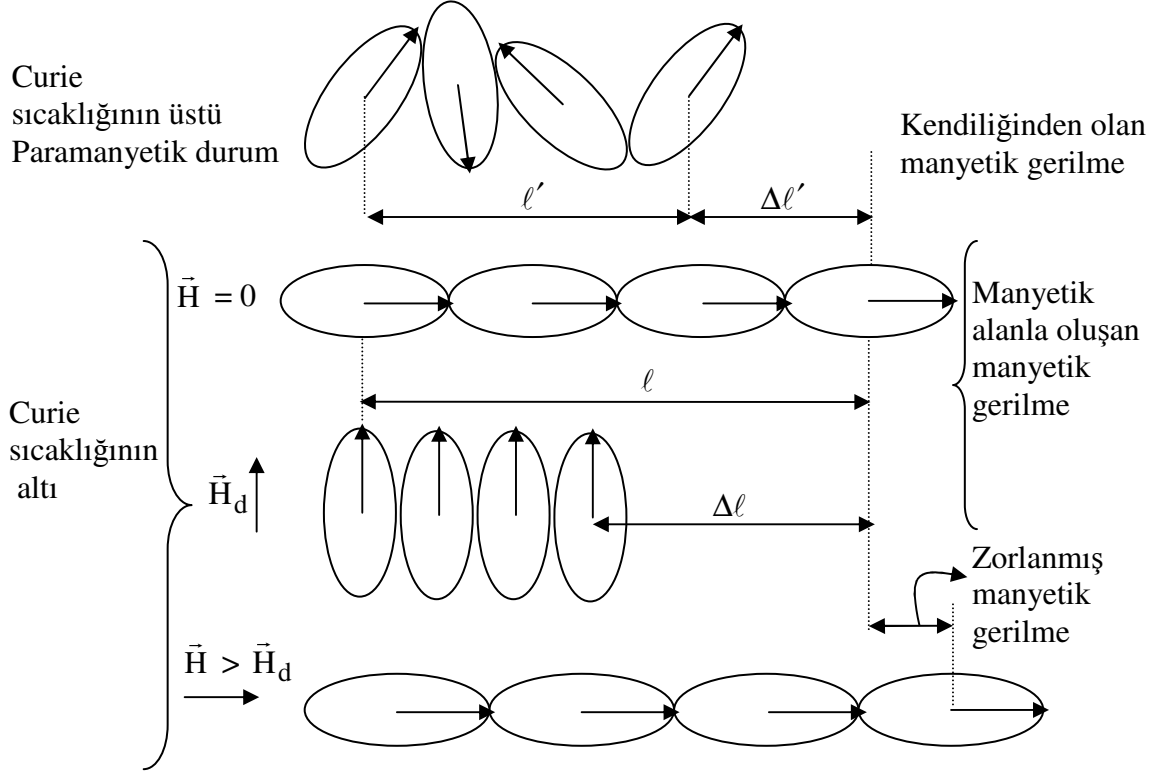
Geçirgenliğin frekansa göre değişimi birçok uygulamada çok önemlidir. Frekans değişimi amorf alaşımlarda yüzey bozukluklarından dolayı büyüktür. Yüksek frekanslarda yüzey bozuklukları, elektriksel direncin yardımıyla ihmal edilebilir (125-180 $\mu\Omega\text{-cm}$).

2.2.3.3. Manyetik Gerilme (λ)

Mıknatıslanan bir ferromanyetik maddenin boyutlarında bir değişim olmaktadır. Bu değişim sonucu oluşan gerilmelere manyetik gerilme denir. λ ile gösterilmektedir. Ferromanyetik maddelerin kullanıldığı transformatörlerdeki gürültünün başlıca sebebi manyetik gerilmelerdir. Manyetik gerilme,

$$\lambda = \frac{\Delta l}{l} \quad (2.7)$$

Amorf bir manyetik madde esnek bir gerilmenin altında kaldığı zaman her manyetik iyonun komşu iyonları konumlarını biraz değiştirirler. Sonuçta makroskobik büyüklükte bir değişim olur. Bu durum Şekil 2.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Manyetik gerilme mekanizması (Jiles 1991)

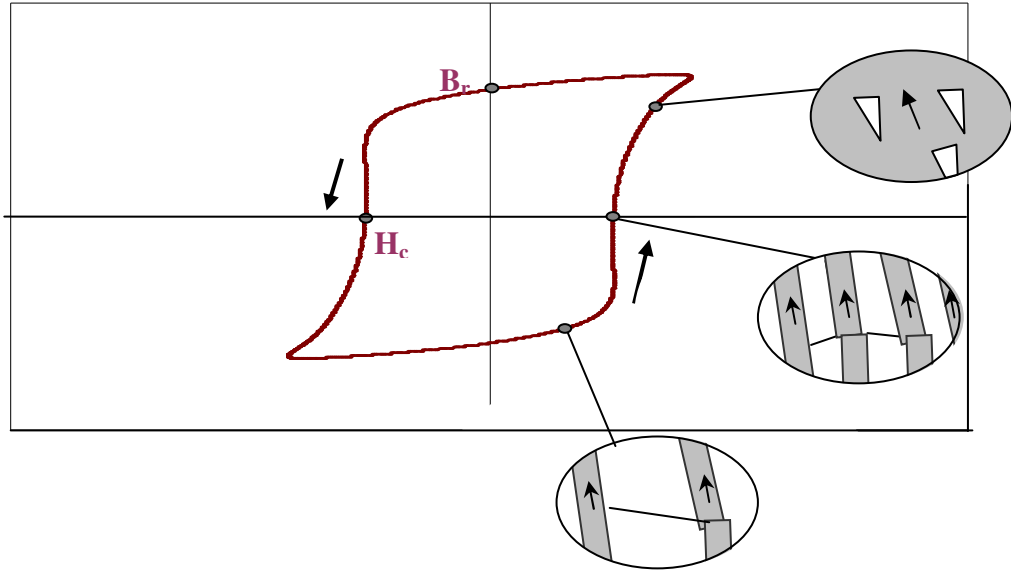
Amorf alaşımlar makroskobik olarak izotropiktir. Yani her yöndeki manyetik gerilme eşit olmaktadır. Manyetik doyumdaki (M_s) gerilmeye doyum manyetik gerilmesi (λ_s) denir. Böylece manyetik gerilme sadece gerilmenin yönü ile mıknatıslanma yönünün arasındaki açıya bağlıdır.

$$\lambda = \lambda_s \cos^2 \theta \quad (2.8)$$

2.2.3.4. Histerisis

Ferromanyetik maddelerin manyetik özelliklerini belirlemenin en iyi yolu, farklı manyetik alan (H) değerleri için manyetik indüksiyona (B) göre değişimini çizmektir. Ferromanyetik maddeye uygulanan manyetik alan aynı yönde bir manyetik akı yoğunluğuna sebep olur. Uygulanan manyetik alan artırılmaya devam ederse madde doyuma ulaşacaktır. Bu duruma manyetik doyum (B_s) denilmektedir. Bu durumda madde içindeki tüm manyetik momentler uygulanan manyetik alan yönüne yönelmişlerdir. Ferromanyetik madde mıknatıslandıktan sonra uygulanan alan sıfır

değerine düşürülürse madde üzerinde kalan manyetik induksiyona artık induksiyon (B_r) veya artık mıknatıslanma (M_r) denir. Manyetik induksiyon, ters yönlü manyetik alan uygulanırsa sıfır yapılabilir. Manyetik induksiyonu sıfır yapan manyetik alan şiddetine sıfırlayıcı alan (H_c) denir. Bu değer maddeye uygulanan fiziksel özelliklere bağlıdır. Yani madde sıcaklığa tabi tutulur veya kuvvet uygulanırsa sıfırlayıcı alanın değeri değişebilir. Tüm ferromanyetik maddeler uygun yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılırsa paramanyetik madde olurlar. Ferromanyetik maddeden paramanyetik maddeye geçiş sıcaklığına Curie sıcaklığı (T_c) denilmektedir.



Şekil 2.6. Histerisis eğrisi ve domainlerin durumu

2.2.4. 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>Makaraya 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	15-20-30-50-70-100	“	

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.

2.2.4.1. Demir (Fe) Esaslı Amorf Tel

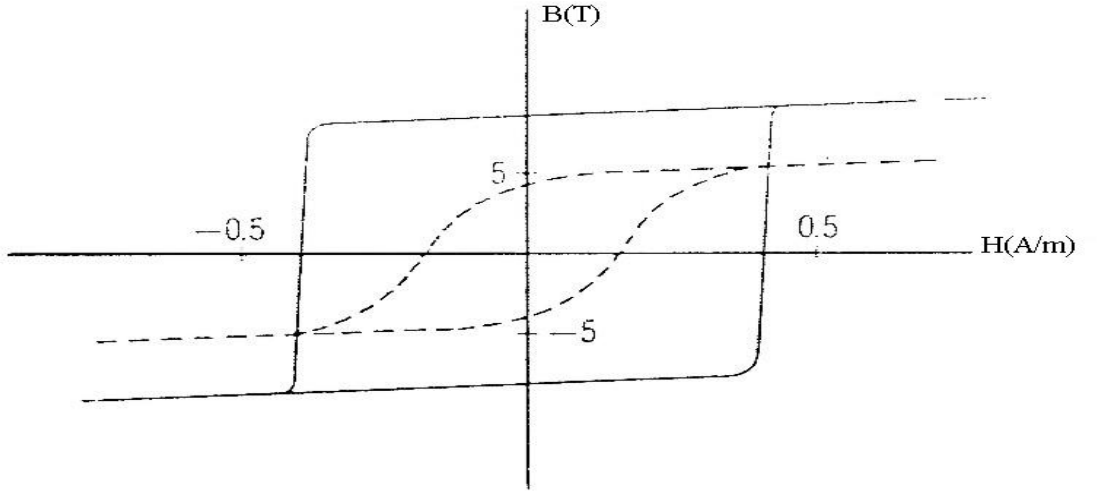
Demir esaslı amorf teller T_xM_{100-x} bileşimindeki demirin x yüzdesinin büyük olduğu amorf maddelerdir. Buradaki T geçiş elementi birden fazla olduğu zaman daha iyi amorf yapı özelliği göstermektedir. Amorf tellerde T geçiş elementi olarak demir ve kobalt kullanılır. Bileşikteki demir ve kobalt elementlerin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

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

2.2.4.1.1. AF-10 Tipi Amorf Telde Histerisis Eğrisi

Histerisis eğrisi ferromanyetik maddeler için oldukça önemlidir. Bir ferromanyetik maddenin manyetik özelliklerini bu eğri yardımı ile bulabiliriz. Histerisis eğrisi ile manyetik maddenin doyum mıknatıslanmasını, artık mıknatıslanmasını, sıfırlayıcı alanı ve manyetik geçirgenliği bulabiliriz. Ayrıca histerisis eğrisinin kapladığı alan bize manyetik maddenin güç kayıplarını vermektedir.

Demir esaslı amorf tele dış bir manyetik alan uygulandığında mıknatıslanma eğrisi ters yöne yönelmiştir. Dolayısıyla kapalı bir eğri oluşmaktadır. Bu eğriye histerisis denir. Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi amorf telin kapladığı alan, amorf şerittin kapladığı alandan daha fazladır. Bundan dolayı amorf telde güç kaybı daha fazladır. Demir esaslı amorf tel için çizilen histerisis eğrisinin kapladığı alan büyük olmasına rağmen amorf şeritte göre doyum mıknatıslanması daha büyüktür. Ferromanyetik



maddeler kullanılırken malzemenin çabuk doyuma ulaşması istenilen bir özellik değildir.

Şekil 2.7. Demir esaslı amorf telin histerisis eğrisi

Fe-Si-B yapı (AF-10) sistemlerde bazı manyetik özellikler (Sency 1991),

- Sıfırlayıcı alan (H_c), 32 A/m
- Artık manyetik akı yoğunluğu (B_r), 0,8 Tesla
- 1600 A/m manyetik alan uygulandığında manyetik akı yoğunluğu, 1,3 Tesla
- Doyum manyetik akı yoğunluğu (B_s), 1,6 Tesla

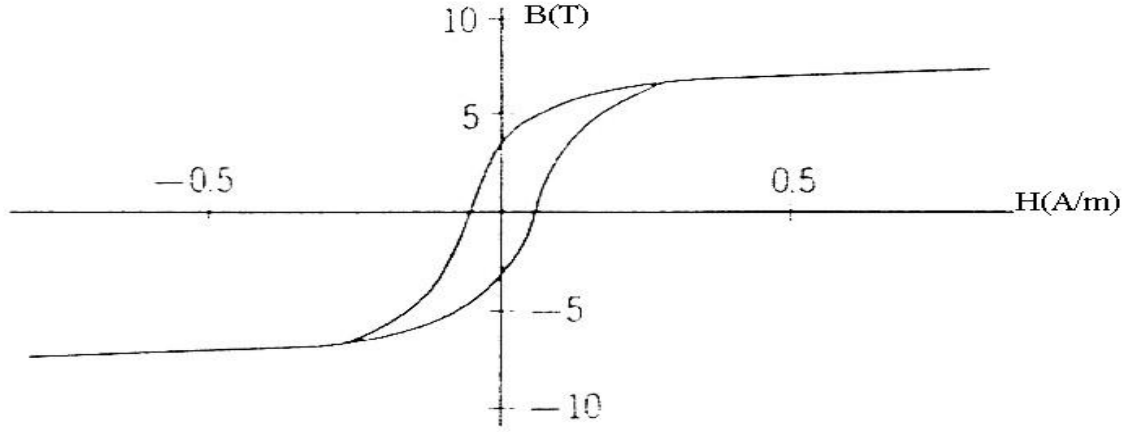
2.2.4.2. Kobalt (Co) Esaslı Amorf Tel

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

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

2.2.4.2.1. AC-20 Tipinde Histerisis Eğrisi

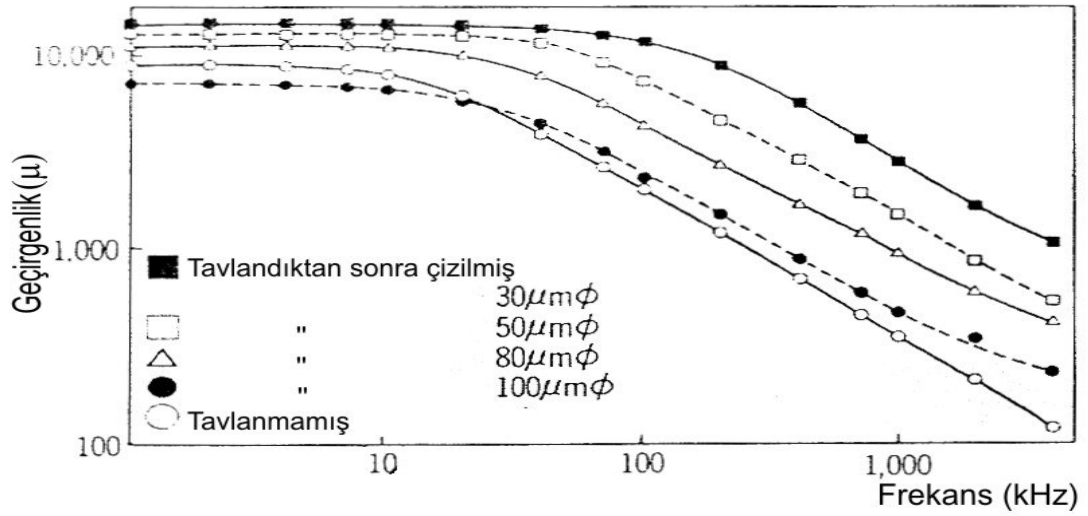
Şekil 2.7.'de görüldüğü gibi kobalt esaslı amorf telde güç kaybı oldukça düşüktür. Çünkü histerisis eğrisinin kapladığı alan küçüktür.



Şekil 2.8. Kobalt esaslı amorf telin histerisis eğrisi

2.2.4.2.2. Geçirgenliğin Frekansa Bağlılığı

Geçirgenlik frekansa bağlıdır. Tavlanmış kobalt esaslı amorf teller daha yüksek geçirgenlik gösterirler. Tavlandıktan sonra çizilmiş amorf tellerde geçirgenliğin frekansa bağlılığı daha iyi görülmektedir. Bu durum Şekil 2.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Kobalt esaslı amorf tel için µ-f grafiği

Co-Fe-Si-B (AC-20) sistemindeki amorf tellerde bazı manyetik özellikler (Sency 1991).

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

2.2.4.3. 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,

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

2.3. ÇOK BÜYÜK MANYETİK EMPEDANS ETKİSİ

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,

$$V = iR + V_L \quad (2.9)$$

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

$$Z = R + j\chi_L \quad (2.10)$$

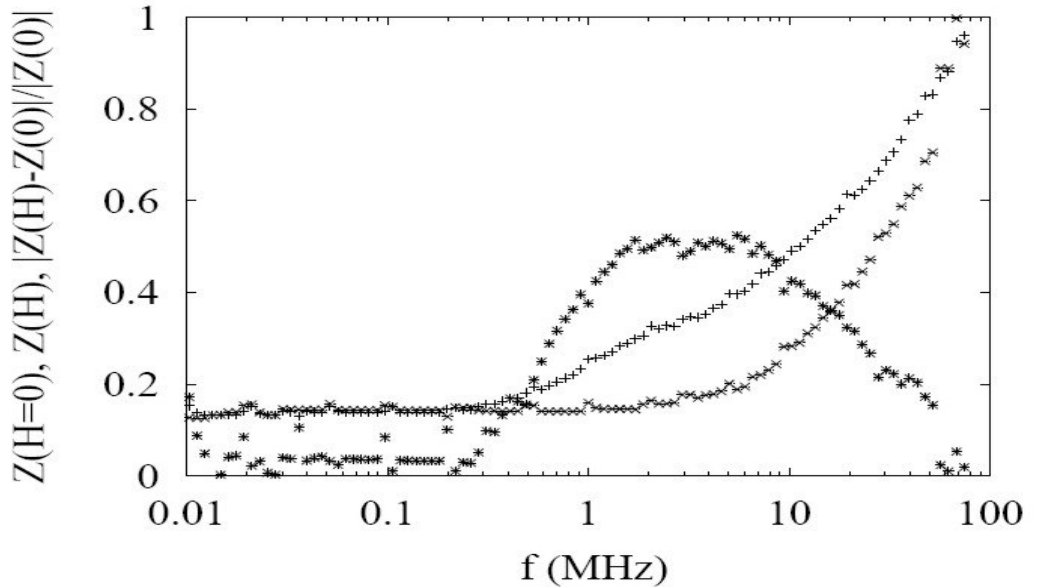
burada sanal kısım indüktif reaktansı belirtmektedir. Manyetik empedansın alana bağlılığı, enine manyetik geçirgenlikle ilgilidir. Frekans artırıldığında, hem direnç hem de indüktif bobin üzerindeki toplam gerilim değişir. Manyetik empedansın manyetik alana bağlılığını nüfuz etme derinliği (δ_s) belirler. Nüfuz etme derinliği Denklem 2.11.'deki gibi verilir.

$$\delta_s = \frac{c}{\sqrt{2\pi\omega\sigma\mu}} \quad (2.11)$$

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 2.9.'da 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 ($10\text{kHz} <$ değerlerde) manyetik empedanstaki değişim, manyetik maddelerde GMI etkisinin başlangıcıdır.



Şekil 2.10. Kobalt esaslı amorf telde empedans-frekans değişimi. (+) $Z(H=0)$, (x) $Z(H)$ ve (*) ise GMI oranını göstermektedir.

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 yapılabılır

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

$$\frac{\Delta Z}{Z} \% = \frac{[Z(H) - Z(H_{\max})]}{Z(H_{\max})} \times 100 \quad (2.12)$$

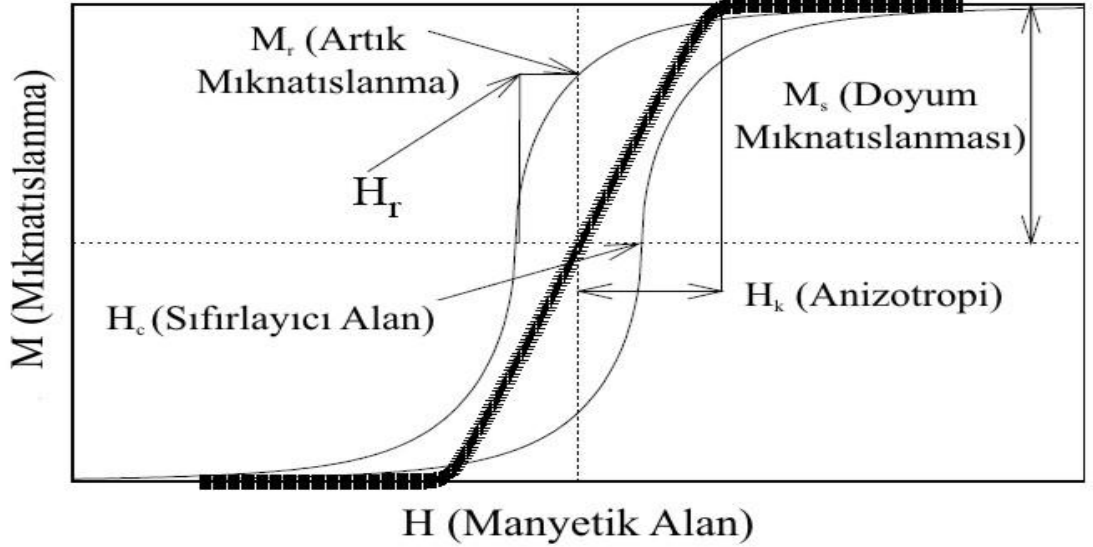
burada $Z(H)$ manyetik alanın belli değerinde ölçülen empedans, $Z(H_{\max})$ ise malzeme manyetik doyuma ulaştığında ölçülen empedanstır.

b) Çok büyük manyetik empedans etkisi birkaç Tesla'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 eksenini ile kolay mıknatıslanma yönü benzerlik göstermelidir. Bununla beraber Şekil 2.10.'daki gibi anizotropik alan (H_k) küçük olmalıdır. Tipik olarak H_k-H_c oranı 20'dir. Bu oran GMI etkisini tanımlamaktadır.



Şekil 2.11. Demir esaslı amorf telin histerisis eğrisi

- c) Histerisis eğrisinin kapladığı alan küçük olmalıdır. Çünkü sıfırlayıcı alan ve histerisis eğrisi, uygulanan manyetik alanın açısı ile ve maddenin anizotropik eksenini ile değişmektedir.
- d) Maddeye alternatif akım $i = i_0 e^{j\omega t}$ uygulandığında kolay mıknatıslama eksenine dik olmalı ve anizotropik alandan küçük bir alternatif manyetik alan (H_{ac}) meydana getirmelidir.

e) Maddenin öz direnci küçük ($\leq 100 \mu\Omega.cm$) 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 $100 \mu\Omega.cm$ civarındadır.

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

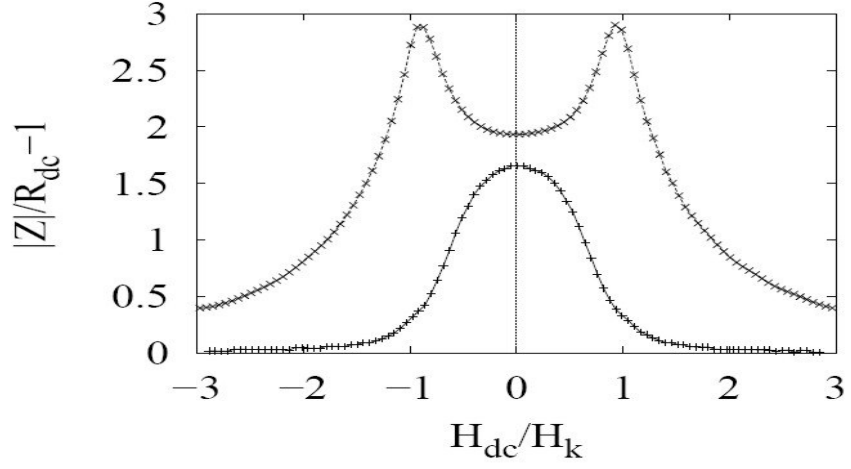
g) Frekansın küçük değerlerinde Çizelge 2.2.'de görüldüğü gibi geçirgenlik çok büyük olmalıdır.

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.



şekil 2.12. Amorf telde empedansın H_{dc}/H_k oranına göre değişimi

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 2.11.'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 görölmektedir. Burada “a” parametresi amorf şeritlerin kalınlığı veya amorf tellerin yarıçapıdır.

2.3.1. 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),

$$Z = R + j\chi(\omega) \quad (2.13)$$

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 değişiklikler ile hesaplamalar her zaman temel olarak alınır. Madde üzerindeki toplam değişiklikler DYS, DMY, manyetik rezonans ve manyetik gevşeme olabilir. Yarıçapı a, iletkenliği σ ve geçirgenliği μ olan düzgün bir tel için empedans şöyle ifade edilir,

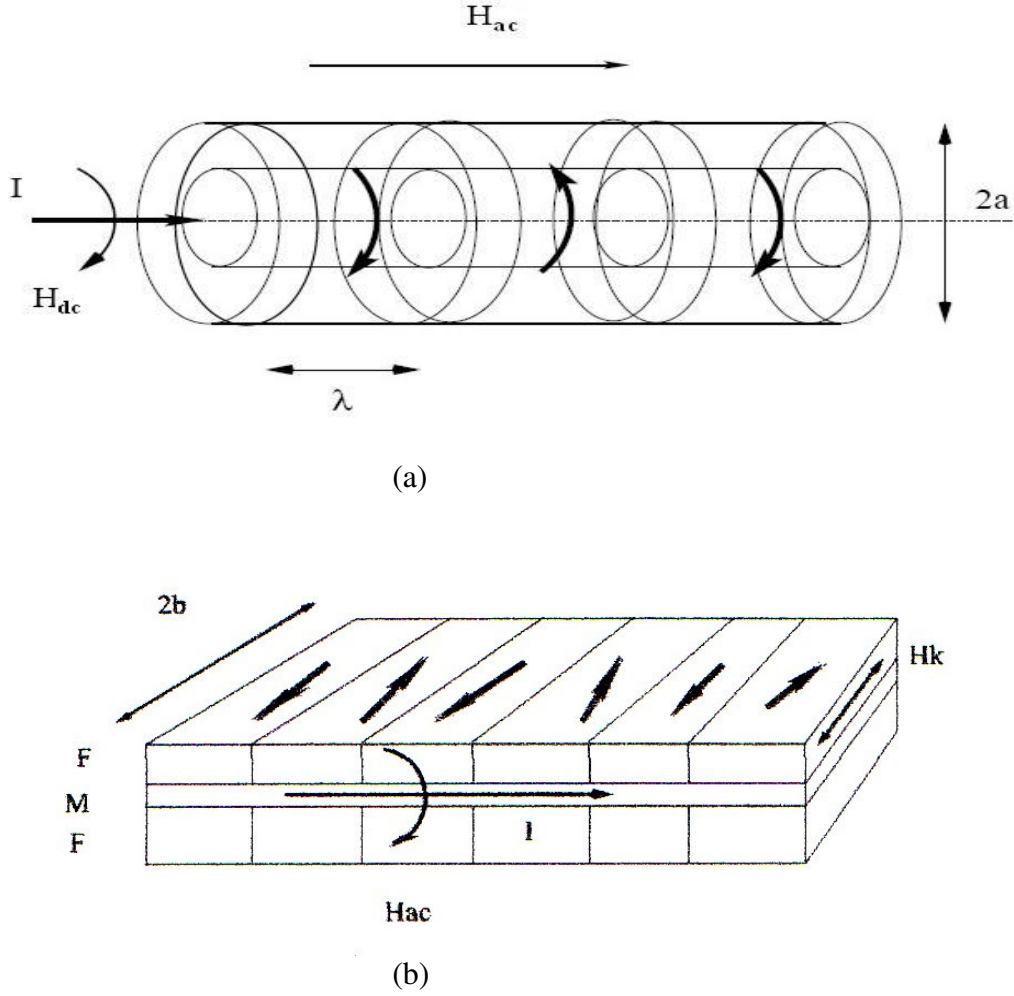
$$\frac{Z}{R_{dc}} = \frac{R + j\chi}{R_{dc}} = \frac{ka J_0(ka)}{2 J_1(ka)} \quad (2.14)$$

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 hesaplamaların

sonucunda amorf tele ac akım uygulandığında, manyetik alan madde içinde dairesel mıknatıslanma oluşturur.

Küçük negatif manyetik gerilmeli λ_s üretilmiş amorf tellerde, Şekil 2.12.'de 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.



Şekil 2.13. (a) ve (b) Amorf tellerde domain duvarı yapıları (Panina 1995)

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

2.3.2. 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 yumuşak 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 görüntülemeye (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 tavllanmış 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.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. AMORF TELLER VE ÖZELLİKLERİ

Deneysel çalışmalarda demir esaslı amorf tel kullanıldı. Ölçümlerde yüksek manyetik gerilmeye ($\lambda_s = 35 \cdot 10^{-6}$) sahip, 125 μm çapında, 12 cm uzunluğunda ve $\text{Fe}_{77.5}\text{Si}_{7.5}\text{B}_{15}$ bileşimindeki amorf tel kullanıldı. GMI etkisi ölçümlerinde;

- a) Örnek A, üretimden sonra hiçbir işlem uygulanmamıştır.
- b) Örnek B, 400 °C derecede 30 dakika tavlammıştır.
- c) Örnek C, 400 °C derecede 450 MPa basınç altında 30 dakika tavlammıştır.
- d) Örnek D, 30 dakika örnek içinden 450 mA'lık akım geçirilerek tavlammıştır.
- e) Örnek E, 400 °C derecede 250 A/m zıt manyetik alan altında 30 dakika tavlammıştır.

Bu örneklerin hazırlanma işlemi Cardiff Üniversitesi'nde gerçekleştirildi (Meydan ve ark. 2003). Bu örneklerde tavlama işlemi Curie sıcaklığının altında yapıldı ve örneklerin domain yapılarında kalıcı yapısal değişiklikler meydana gelmemesi sağlandı. Deneysel çalışmalar iki aşamada gerçekleştirildi. Birinci aşamada her bir örnekte en büyük GMI etkisi için uygun frekans değeri belirlendi. İkinci aşamada ise belirlenen frekans değerinde, farklı manyetik alan değerlerine karşılık GMI etkileri incelendi.

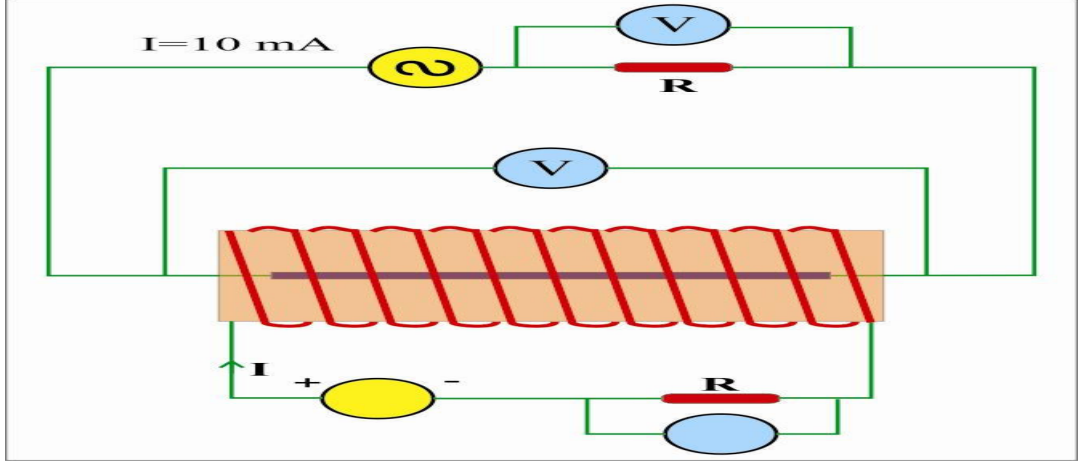
3.2. DENEY DÜZENEGİ

Demir esaslı amorf tellerde GMI ölçümleri için Şekil 3.1.'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 değerın 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.



Şekil 3.1. Deneysel çalışmalar için kullanılan devre şeması

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 3.2. ile hesaplandı.

$$H = \frac{N.I}{L} \quad (3.2)$$

burada N selenoidin sarım sayısı, L selenoidin boyu, I direnç üzerinden geçen akım ve $I = V/R$ ile hesaplanmaktadır. 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 3.3 ile hesaplanmıştır. Burada faz farkının olmadığı dikkate alınmış ve Ohm yasası kullanılmıştır.

$$Z_{top}=Z_{in}+Z_{ör} \quad (3.3)$$

Burada Z_{top} devredeki toplam empedans değişimi, $Z_{ör}$ örneğin empedansı, Z_{in} indüktif olmayan direncinin empedansıdır. Amorf tellerde %GMI aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\frac{\Delta Z}{Z} (\%GMI) = \frac{[Z(H) - Z(H_{max})]}{Z(H_{max})} \times 100 \quad (3.4)$$

denklemden $Z(H)$ ölçülen manyetik alandaki empedans değeri, $Z(H_{max})$ en büyük manyetik alandaki empedans değeridir.

3.3. ÖRNEKLERİN ÇALIŞMA FREKANSININ BELİRLENMESİ

Hazırlanmış olan beş farklı örnek için öncelikle her birinin çalışma frekansı belirlendi. İkinci aşamada ise belirlenen bu frekans değerinin de çok büyük manyetik empedans etkisi (GMI) ile manyetik alan değişimi araştırıldı.

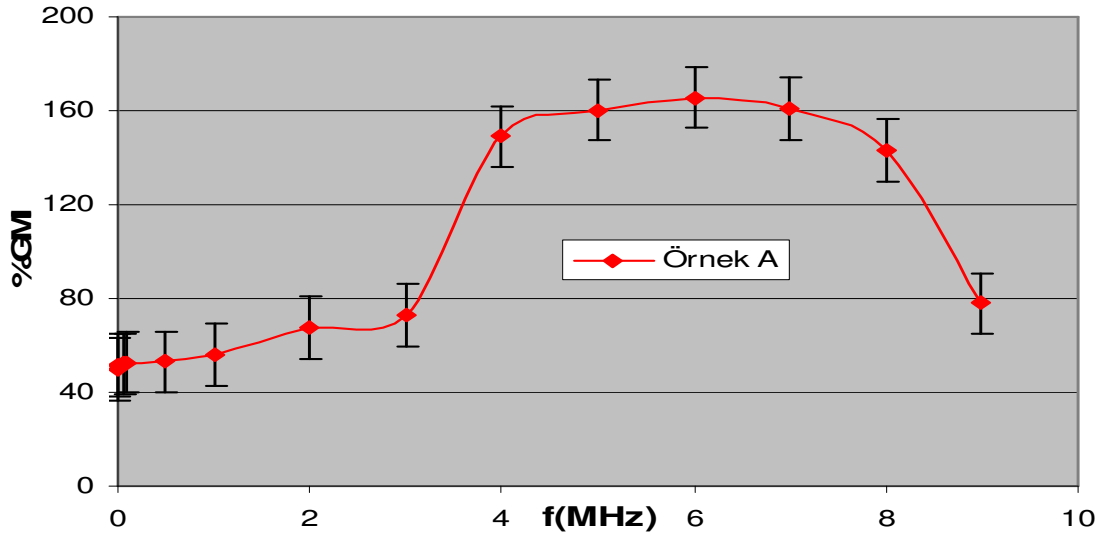
3.3.1. Örnek A için çalışma frekansının belirlenmesi

Örnek A, üretimden sonra herhangi bir işlem uygulanmamış $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ amorf teli temsil etmektedir. Bütün örnekler selenoidin tam ortasına düzgün manyetik alan içine yerleştirildi. Böyle yerleştirilerek dünyanın manyetik alan etkisi en aza indirilmiş oldu. Çizelge 3.1. Örnek A'nın deneysel sonuçlarını göstermektedir.

Çizelge 3.1. Örnek A için deneysel sonuçlar

$f \pm 0.001 \text{MHz}$	$V_p \pm 2.00 \text{mV}$	$V_A \pm 0.001 \text{V}$	$Z_p \pm 0.01 \Omega$	$Z_A \pm 0.10 \Omega$	$Z_T \pm 0.12 \Omega$
0.100	4.99	0.204	0.49	20.44	20.94
0.500	4.99	0.182	0.49	18.28	18.78
1.000	4.99	0.152	0.49	15.20	15.70
2.000	4.99	0.185	0.49	18.56	19.06
3.000	4.99	0.178	0.49	17.81	18.31
4.000	4.99	0.140	0.49	14.07	14.57
5.000	4.99	0.163	0.49	16.33	16.83
6.000	4.99	0.238	0.49	23.88	24.38
7.000	4.99	0.348	0.49	34.89	35.39
8.000	4.99	0.451	0.49	45.12	45.62
9.000	4.99	0.511	0.49	51.14	51.64
10.000	4.99	0.752	0.49	75.21	75.71

Bu sonuçlara göre frekans ile Örnek A için çok büyük manyetik empedans etkisi (%GMI) değişimi incelenmiştir. Şekil 3.2’de bu değişim gösterilmektedir.



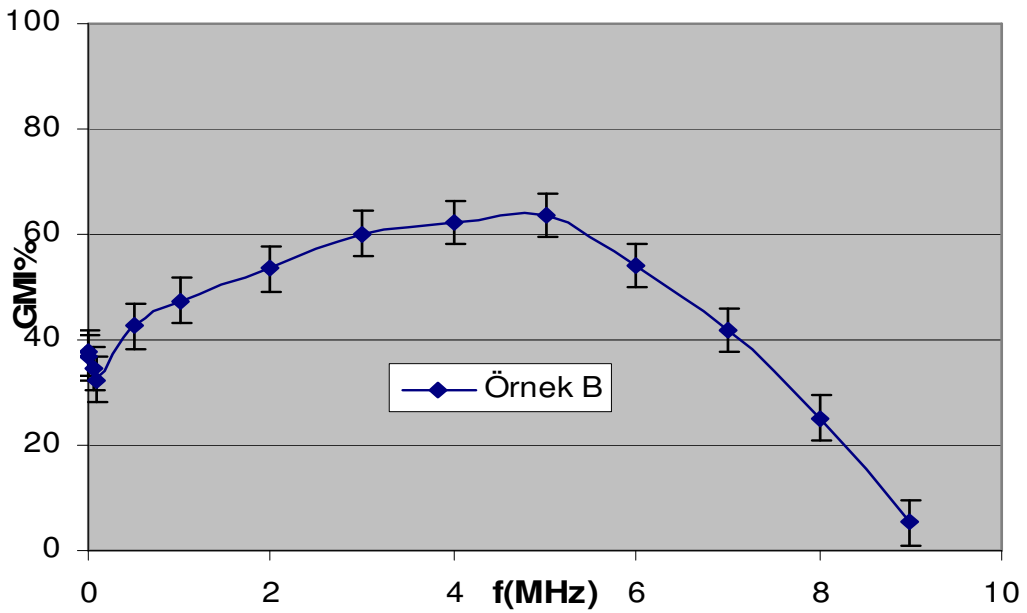
Şekil 3.2. Örnek A için %GMI ile frekans değişimi

3.3.2. Örnek B için çalışma frekansının belirlenmesi

Örnek B, 400 °C derecede 30 dakika tavllanmış $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ amorf teli temsil etmektedir. Şekil 3.1.'deki sistem kullanılarak belli frekans değerleri için empedans değişimleri incelendi. Elde edilen veriler Çizelge 3.2.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Örnek B'nin deneysel sonuçları

$f \pm 0.001 \text{ MHz}$	$V_p \pm 2.00 \text{ mV}$	$V_B \pm 0.001 \text{ V}$	$Z_p \pm 0.01 \Omega$	$Z_B \pm 0.10 \Omega$	$Z_T \pm 0.12 \Omega$
0.100	5.23	0.697	0.52	69.51	70.04
0.500	5.23	0.591	0.52	59.07	59.59
1.000	5.23	0.431	0.52	43.05	54.58
2.000	5.23	0.528	0.52	52.75	48.28
3.000	5.23	0.518	0.52	51.84	41.37
4.000	5.23	0.395	0.52	39.60	39.13
5.000	5.23	0.370	0.52	37.16	37.69
6.000	5.23	0.468	0.52	47.03	47.56
7.000	5.23	0.657	0.52	65.88	66.33
8.000	5.23	0.779	0.52	77.16	77.69
9.000	5.23	0.976	0.52	97.67	98.21
10.000	5.23	1.031	0.52	103.14	103.66



Şekil 3.3. Örnek B için %GMI frekans değişimi

Bu verileri kullanarak Örnek B için frekansın çok büyük manyetik empedans etkisine göre değişimi incelenmiştir. Bu durum Şekil 3.3’de gösterilmiştir.

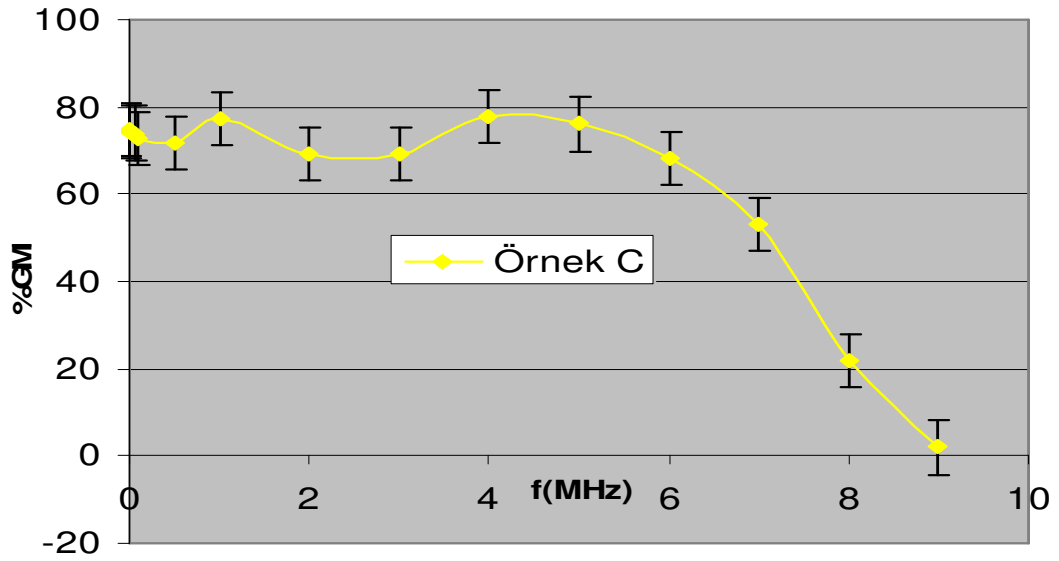
3.3.3. Örnek C için çalışma frekansının belirlenmesi

Örnek C, 400 °C derecede 450 MPa basınç altında 30 dakika tavlanmış $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ amorf teli temsil etmektedir. Çizelge 3.3. bu örnek için elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Bu veriler kullanılarak Şekil 3.4.’deki Örnek C için frekansın GMI ile değişimi gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Örnek C’nin deneysel sonuçları

$f \pm 0.001 MHz$	$V_p \pm 2.00 mV$	$V_C \pm 0.001 V$	$Z_p \pm 0.01 \Omega$	$Z_C \pm 0.10 \Omega$	$Z_T \pm 0.12 \Omega$
0.100	5.18	0.291	0.52	29.06	29.58
0.500	5.18	0.305	0.52	30.50	31.02
1.000	5.18	0.244	0.52	24.44	24.56
2.000	5.18	0.333	0.52	33.33	33.43
3.000	5.18	0.329	0.52	32.91	32.91
4.000	5.18	0.237	0.52	23.75	24.26
5.000	5.18	0.256	0.52	25.66	26.18
6.000	5.18	0.342	0.52	34.21	34.72
7.000	5.18	0.507	0.52	50.71	51.24
8.000	5.18	0.848	0.52	84.85	85.37
9.000	5.18	1.072	0.52	107.22	107.74
10.000	5.18	1.144	0.52	114.42	114.94

Örnek C örneği Çizelge 3.3. incelenirse, demir esaslı amorf telin empedansı yaklaşık en çok 115 Ω değerine ulaştığı görülmektedir. Bu değer A ve B örneklerine göre daha büyüktür. Bu durum amorf tele belirli bir kuvvet uygulanmasından kaynaklanmaktadır.



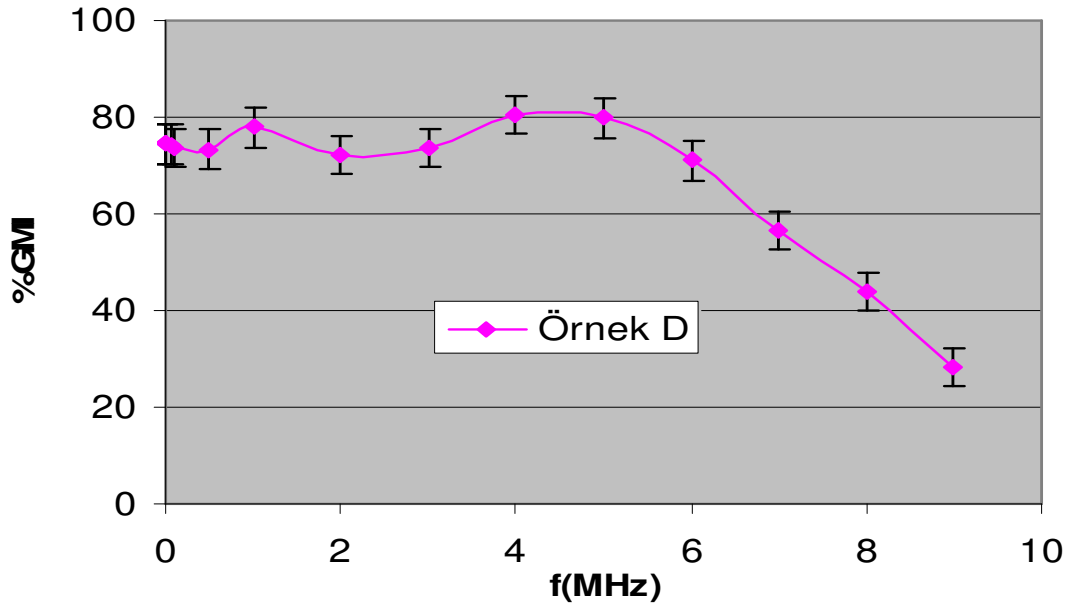
Şekil 3.4. Örnek C için %GMI frekans değişimi

3.3.4. Örnek D için çalışma frekansının belirlenmesi

Örnek D, örnek içinden 30 dakika 450 mA'lık akım geçirilerek tavllanmış amorf teli göstermektedir. Çizelge 3.4. 'de ve Şekil 3.5.'de bu örnek için elde edilen sonuçlar ve çok büyük manyetik empedansın frekansla değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 3.4. Örnek D'nin deneysel sonuçları

$f \pm 0.001 \text{ MHz}$	$V_p \pm 2.00 \text{ mV}$	$V_D \pm 0.001 \text{ V}$	$Z_p \pm 0.01 \Omega$	$Z_D \pm 0.10 \Omega$	$Z_T \pm 0.12 \Omega$
0.100	5.85	0.289	0.59	28.92	29.51
0.500	5.85	0.294	0.59	29.47	30.03
1.000	5.85	0.243	0.59	24.36	24.95
2.000	5.85	0.307	0.59	30.71	31.29
3.000	5.85	0.291	0.59	29.14	29.72
4.000	5.85	0.214	0.59	21.43	22.02
5.000	5.85	0.222	0.59	22.18	22.77
6.000	5.85	0.317	0.59	31.68	32.67
7.000	5.85	0.482	0.57	48.15	48.74
8.000	5.85	0.626	0.59	62.60	63.19
9.000	5.85	0.801	0.59	80.17	80.76
10.000	5.85	1.120	0.59	112.00	112.59



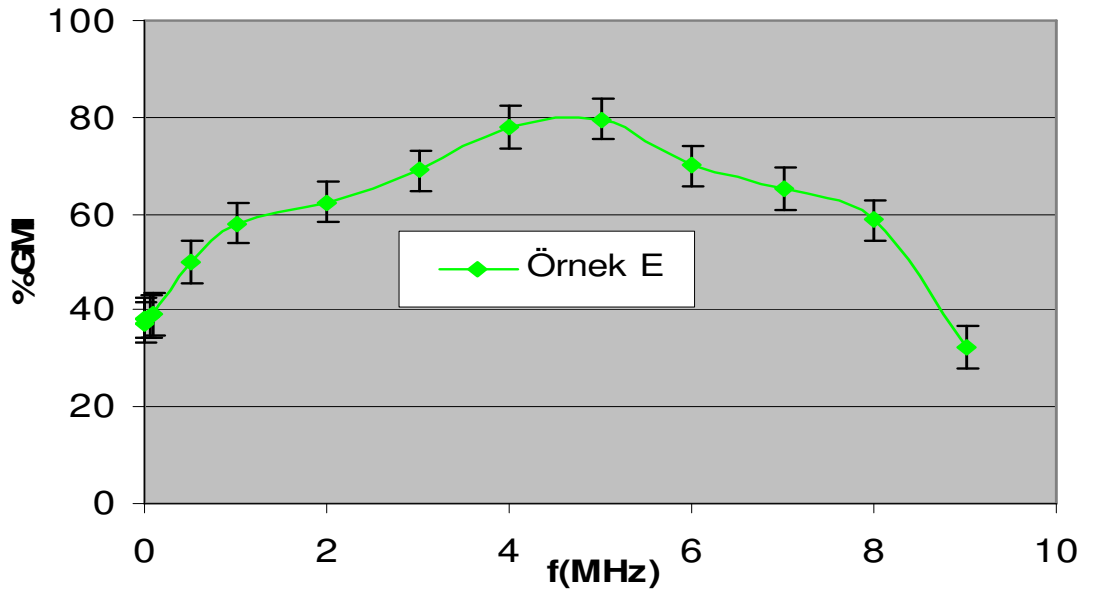
Şekil 3.5. Örnek D için %GMI frekans değişimi

3.3.5. Örnek E için çalışma frekansının belirlenmesi

Örnek E, 400 °C derecede 250 A/m enine manyetik alan altında 30 dakika tavllanmış $Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ amorf teli temsil etmektedir. Deneysel sonuçlar çizelge 3.5.'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre çizilen frekansın değişimi Şekil 3.6.'da elde edilmiştir.

Çizelge 3.5. Örnek E'nin deneysel sonuçları

$f \pm 0.001 \text{ MHz}$	$V_p \pm 2.00 \text{ mV}$	$V_E \pm 0.001 \text{ V}$	$Z_p \pm 0.01 \Omega$	$Z_E \pm 0.10 \Omega$	$Z_T \pm 0.12 \Omega$
0.100	4.85	0.316	0.48	31.65	32.13
0.500	4.85	0.259	0.48	25.91	26.39
1.000	4.85	0.187	0.48	18.73	19.22
2.000	4.85	0.194	0.48	19.56	19.88
3.000	4.85	0.159	0.48	15.94	16.43
4.000	4.84	0.112	0.48	11.19	11.66
5.000	4.84	0.103	0.48	10.30	10.78
6.000	4.85	0.154	0.48	15.42	15.90
7.000	4.85	0.250	0.48	24.99	25.47
8.000	4.84	0.214	0.48	21.37	21.85
9.000	4.84	0.353	0.48	35.26	34.74
10.000	4.85	0.524	0.48	52.41	52.89



Şekil 3.6. Örnek E için %GMI frekans değişimi

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI ve TARTIŞMA

4.1. FREKANS ile %GMI ETKİSİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Üretimden sonra herhangi bir işlem uygulanmamış Örnek A için yapılan deneysel sonuçları Şekil 3.2.'de gösterilmiştir. Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi 0-3 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 4 MHz'e kadar hızlı bir artış olmuş ve 6 MHz frekans değerinde en büyük %GMI etkisi değerine ulaşmıştır. Bu frekans değerinde GMI etkisi %162 değerindedir. 6 MHz değerinden sonra %GMI etkisinde bir azalma görülmektedir. Örnek A için çalışma frekansı 6 MHz olarak bulunmuştur. Bu amorf telin kimyasal özelliğinden ve domain yapısındaki değişimlerden kaynaklanmaktadır (Mohri ve ark. 1995).

Örnek B, 400 °C'de fırında 30 dakika tavlansak hazırlanmıştır. Şekil 3.3.'de görüldüğü gibi 5 MHz frekans değerinde Örnek B için en büyük %GMI etkisi değerine ulaşmıştır. 5 MHz'de en büyük GMI etkisi yaklaşık %65 civarındadır. Bu değer, Örnek A göre daha düşüktür. Amorf telde tavlama, maddenin domain yapısında ve manyetik anizotropisinde bir değişim meydana getirmektedir (Vazquez ve ark. 2001). Bu deneysel sonuçlar daha önce yapılmış çalışmalarla uyum göstermektedir. Frekans artmaya devam ederken 5 MHz değerinden sonra %GMI etkisinde bir azalma görülmektedir.

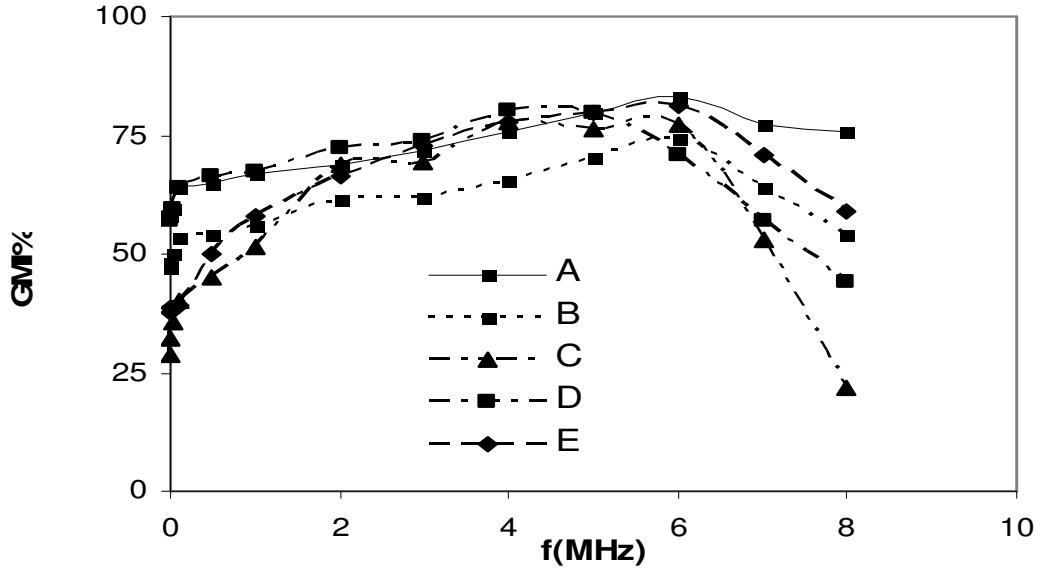
Örnek C, 450 MPa kuvvet altında 400 °C derecede 30 dakika tavlansak hazırlanmıştır. Şekil 3.4.'de Örnek C için frekans ile %GMI değişimi gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi 0 ile 5 MHz değerleri arasında %GMI etkisinde bir dalgalanma olduğu halde 5 MHz civarında en büyük GMI oranı %80 olarak bulunmuştur. Bu frekans değerinden sonra %GMI etkisinde azalma görülmektedir. Amorf telin kuvvet altında tavlansak 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). Madde yapısındaki bu değişikler %GMI etkisinde azalmanın nedeni olduğu düşünölmektedir. Örnek B ve Örnek C'nin %GMI etkisi değeri, Örnek A'nın %GMI etkisine göre oldukça düşüktür.

Örnek D, tel içinden 30 dakika 450 mA'lık akım geçirilerek tavlannmıştır. Akımla tavlama sırasında telin etrafında dairesel olarak oluşturacağı manyetik alan özellikle dış kısımlardaki dairesel yüzey domainlerini geliştirmektedir (Raposo ve ark 2003). Örnek D için elde edilen sonuçlar incelenirse, 0-5 MHz değerleri arasında dalgalanmalar olmasına rağmen yaklaşık 5 MHz frekans değerinde, Örnek D için en büyük GMI etkisi %81 elde edilmiştir. 450 mA'den daha düşük akım değerleri geçirilerek tavlama Joule ısısının küçük olacağından GMI etkisinde fazla bir değişim meydana getirmemiştir. Daha büyük akım değerlerinde de fazla ısıdan kristalleşmeler olacağından en uygun değer 450 mA olarak elde edilmiştir (Garcia ve ark. 2004).

Örnek E, 250 A/m zıt manyetik alan altında 400 °C'de 30 dakika tavlannarak hazırlanmıştır. Bu örnek için frekans ile %GMI etkisi arasındaki değişim Şekil 3.6.'da gösterilmiştir. Şekil 3.6.'da %GMI etkisinde değişim oldukça simetrik olarak değişmektedir. 0 ile 5 MHz arasındaki artan %GMI etkisi varken 5-10 MHz arasında azalan GMI etkisi görölmektedir. En büyük GMI oranı %81 olarak 5 MHz değerinde elde edilmiştir. Amorf tele zıt yönde manyetik alan uygulamak için selenoide uygulanan akım terslendirilmelidir (Brunetti ve ark. 2001).

Bütün örnekler için yapılan deneysel sonuçlara göre en büyük GMI etkisinin olduğu frekans değeri yaklaşık 5 MHz olduğu görölmüştür ve çok büyük manyetik empedans etkisi oranları hesaplandı. Üretimden sonra herhangi işlem yapılmamış Örnek A, tavlannmış Örnek B, kuvvet altında tavlannmış Örnek C, akımla tavlannmış Örnek D ve zıt manyetik alan altında tavlannmış Örnek E, 12 cm uzunluğunda kesilerek selenoidin tam ortasına düzgün manyetik alan içine yatay olarak yerleştirildi. Bu durumda dünyanın manyetik alanının etkisi azaltıldı. Şekil 3.7.'de bütün örnekler için çalışma frekansları gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Beş farklı örneğin f-%GMI değişiminin birlikte görünümü
(Hata Oranı ±0.11)

Bütün örneklerde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda %GMI etkisinin hangi frekans değerleri arasında nasıl değiştiği incelendi. Bunların sonucunda düşük frekans değerlerinde GMI oranının düşük olduğu saptandı. En büyük GMI oranları 5-6 MHz arasında gözlemlendi.

4.2. MANYETİK ALAN ŞİDDETİ İLE %GMI ETKİSİ DEĞİŞİMİ

Ferromanyetik A, B, C, D ve E örneklerinde GMI etkisinin en büyük olduğu frekans belirlendikten sonra bu örnekler için manyetik alan değeri (H) ile çok büyük manyetik empedans değerinin (%GMI) nasıl değiştiği araştırıldı

4.2.1. Örnek A için manyetik alan şiddeti ile %GMI değişimi

$Fe_{77.5}Si_{7.5}B_{15}$ kimyasal bileşimli amorf tel pozitif manyetik gerilmeye sahip demir esaslı amorf teldir. Üretimden sonra herhangi bir işlem uygulanmamış Örnek A'da yapılan deneysel çalışmalar Şekil 3.1.'deki deney düzeneği ile gerçekleştirildi. Deneysel çalışmalarda yüksek frekans etkilerinden sakınmak için bağlantı kabloları sarılarak kullanıldı. Örneklerden geçen akım değeri her deneyde uyum için 10 mA

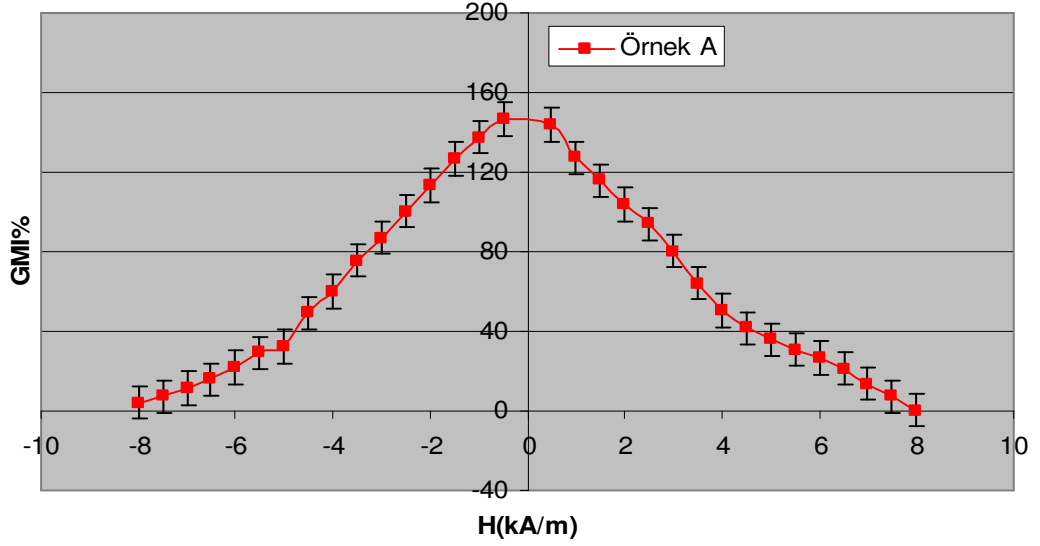
değerinde sabit tutuldu. Manyetik alan şiddeti (+H) değerleri selenoid bobinden geçen akım değerleri değiştirilerek ayarlandı. Negatif manyetik alan şiddeti (-H) değerleri akım yönü terslendirilerek elde edildi. Manyetik alan şiddeti -8 kA/m ile +8 kA/m değerleri arasında, 0.5 kA/m'lik artışlarla ayarlandı. Deneysel çalışmalarda hatayı en aza indirmek için ölçümler her ölçme aralığında üç kez tekrarlandı.

Örnek A için elde edilen veriler Çizelge 3.6. 'da gösterilmiştir. Örnek A'da herhangi bir işlem uygulanmadığı için domainler gelişigüzel bir yapıda bulunduğundan manyetik alan şiddeti (H) değerlerine karşılık çok büyük manyetik empedans değerleri de simetrik olarak benzerlik göstermektedir. %GMI hesaplamaları denklem 3.4. ile yapılmıştır. Toplam empedansın en büyük değeri çizelge 3.6.'dan bulunmuş ve denklem 3.4.'de $Z(H_{max})$ yerine yazılmıştır. $Z(H)$ değeri ise hangi manyetik alan şiddeti değerinde hesaplanıyor ise o değerdeki empedans değeridir

Çizelge 4.1. Örnek A için manyetik alan ile empedans değerleri

f = 5 MHz					
$H \pm 0.03 \text{ kA/m}$	$V_p \pm 2.00 \text{ mV}$	$V_A \pm 0.001 \text{ V}$	$Z_p \pm 0.01 \Omega$	$Z_A 0.10 \Omega$	$Z_T \pm 0.12 \Omega$
8.00	6.68	0.024	0.66	2.46	3.13
7.50	6.61	0.026	0.66	2.69	3.35
7.00	6.50	0.034	0.65	3.49	3.54
6.50	6.43	0.032	0.64	3.24	3.79
6.00	6.36	0.033	0.63	3.31	3.95
5.50	6.26	0.029	0.62	2.97	3.09
5.00	6.16	0.034	0.61	3.43	4.24
4.50	6.09	0.038	0.60	3.81	4.42
4.00	5.96	0.038	0.59	3.80	4.69
3.50	5.87	0.045	0.58	4.54	5.12
3.00	5.77	0.050	0.57	5.05	5.63
2.50	5.66	0.054	0.56	5.49	6.05
2.00	5.57	0.058	0.55	5.81	6.36
1.50	5.46	0.061	0.54	6.19	6.74
1.00	5.35	0.066	0.53	6.64	7.10
0.50	5.24	0.066	0.52	6.60	7.62
-0.50	5.23	0.071	0.53	7.18	7.71
-1.00	5.35	0.068	0.53	6.89	7.42
-1.50	5.45	0.065	0.54	6.54	7.08
-2.00	5.56	0.061	0.55	6.11	6.66
-2.50	5.66	0.056	0.56	5.69	6.26
-3.00	5.78	0.052	0.57	5.26	5.84
-3.50	5.88	0.049	0.58	4.90	5.49
-4.00	6.00	0.043	0.60	4.39	4.99
-4.50	6.08	0.040	0.60	4.05	4.66
-5.00	6.18	0.035	0.61	3.52	4.14
-5.50	6.28	0.039	0.62	3.90	4.03
-6.00	6.38	0.031	0.63	3.17	3.81
-6.50	6.45	0.029	0.64	2.97	3.61
-7.00	6.55	0.028	0.65	2.82	3.47
-7.50	6.65	0.026	0.66	2.68	3.35
-8.00	6.73	0.025	0.67	2.58	3.25

Çizelgedeki veriler incelenirse Örnek A için küçük manyetik alan değerlerinde empedans değeri oldukça büyüktür. Yüksek manyetik alan değerlerinde amorf telin empedansı azalmış ve empedans değeri 7Ω 'dan 3Ω değerine kadar düşmüştür. Manyetik alan şiddeti değerleri artığında ferromanyetik amorf telin empedansı azalmaktadır. Toplam empedanstaki değişim, amorf telin empedansındaki değişim ile orantılıdır. Empedanstaki bu azalmaya, manyetik alan, domainlerdeki manyetik momentler ve telden sabit olarak geçen 5 MHz değerindeki a.c. akımın etkileşmesinin sebep olduğu düşünülmektedir. Şekil 3.8.'de Örnek A için 5 MHz frekans değerinde manyetik alan şiddeti (H) ile çok büyük manyetik empedans oranı (%GMI) gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Örnek A için 5 MHz'deki %GMI-H değişimi

Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi manyetik alan şiddeti değerleri 0-(+8) ile 0-(-8) kA/m değerleri arasında değişmektedir. En büyük %GMI oranları simetrik olarak düşük manyetik alan şiddeti değerlerinde gözlemlenmektedir ve 160 civarındadır. Manyetik alan şiddeti değerleri artığında %GMI oranlarında da azalma meydana gelmektedir. Yüksek manyetik alan şiddeti değerlerinde %GMI oranı değerleri 0 yaklaşmaktadır. Örnek A için yüksek manyetik alan şiddeti değerlerinde azalmaktadır.

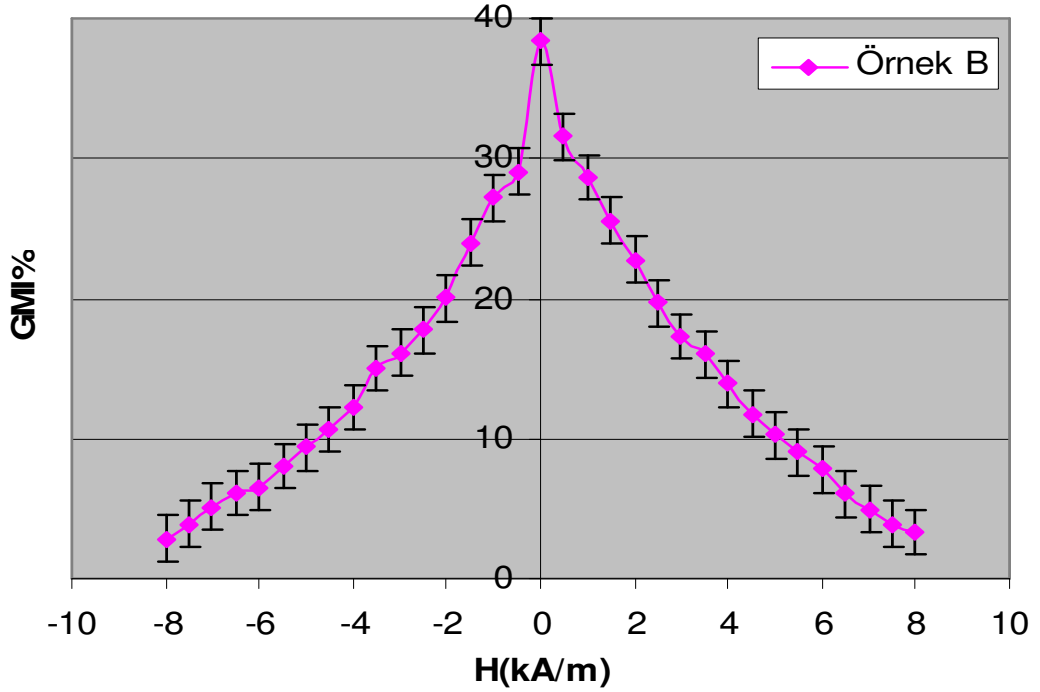
4.2.2. Örnek B için manyetik alan şiddeti ile %GMI değişimi

Örnek B, 400 °C derecede 30 dakika fırında tavlannmıştır. Böylece tel içindeki gerilmeler giderilerek domain yapısının değişimi sağlanmıştır. Çizelge 3.7.'de B örneği için deneysel sonuçlar gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Örnek B için manyetik alan ile empedans değerleri

f=5MHz					
$H \pm 0.03 \text{ kA/m}$	$V_p \pm 2.00 \text{ mV}$	$V_B \pm 0.001 \text{ V}$	$Z_p \pm 0.01 \Omega$	$Z_B \pm 0.10 \Omega$	$Z_T \pm 0.12 \Omega$
8.00	6.87	0.346	0.68	34.62	35.51
7.50	6.92	0.350	0.69	35.01	35.70
7.00	6.86	0.353	0.68	35.38	36.07
6.50	6.81	0.357	0.68	35.77	36.45
6.00	6.74	0.363	0.67	36.37	37.04
5.50	6.65	0.368	0.66	36.81	37.47
5.00	5.59	0.372	0.65	37.24	37.90
4.50	6.47	0.377	0.64	37.75	38.40
4.00	6.38	0.385	0.63	38.52	39.16
3.50	6.31	0.392	0.63	39.23	39.86
3.00	6.22	0.396	0.62	39.69	40.31
2.50	6.11	0.405	0.61	40.51	41.12
2.00	5.96	0.416	0.59	41.60	42.20
1.50	5.76	0.425	0.57	42.58	43.16
1.00	5.60	0.436	0.56	43.65	44.21
0.50	5.41	0.446	0.54	44.64	45.21
-0.50	5.34	0.438	0.53	43.81	44.34
-1.00	5.53	0.431	0.55	43.15	43.71
-1.50	5.69	0.420	0.56	42.04	42.62
-2.00	5.86	0.406	0.58	40.66	41.25
-2.50	6.04	0.398	0.60	39.86	40.47
-3.00	6.15	0.392	0.61	39.29	39.91
-3.50	6.28	0.389	0.62	38.91	39.54
-4.00	6.38	0.379	0.63	37.93	38.57
-4.50	6.47	0.373	0.64	37.38	38.03
-5.00	6.54	0.369	0.65	36.94	37.60
-5.50	6.66	0.364	0.66	36.47	37.13
-6.00	6.72	0.359	0.67	35.93	36.60
-6.50	6.83	0.357	0.68	35.79	36.47
-7.00	6.89	0.354	0.68	35.43	36.12
-7.50	6.96	0.350	0.69	35.00	35.70
-8.00	7.01	0.346	0.70	34.64	35.34

Çizelge 4.2.'de gösterildiği gibi Örnek B'nin empedansı Örnek A'ya göre oldukça büyüktür. Örnek A örneğinin empedansı 0.5 kA/m'de yaklaşık 7Ω iken Örnek B'nin empedansı bu manyetik alan şiddeti değerinde 6 kat artarak yaklaşık 45Ω ulaşmıştır. Örnek B tavlandığı için maddenin domain yapısında bazı değişiklikler meydana gelmiştir. Böylece Örnek A'da olduğu gibi manyetik alan, telden geçen akım ve manyetik momentler arasındaki etkileşme değişerek empedansın artmasına sebep olmuştur. Manyetik alan şiddeti değeri arttığında, telin empedansında azalma meydana gelmektedir. Örnek B için manyetik alan şiddeti (H) ile çok büyük manyetik empedans etkisi oranı (%GMI) değişimi Şekil 4.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Örnek B için 5 MHz'deki %GMI-H değişimi

Şekil 4.3. incelendiğinde çok büyük manyetik empedans oranı (%GMI) yaklaşık 40 olduğu görülmektedir. Örnek A'ya göre %GMI oranı $\frac{1}{4}$ oranında azalmıştır. Aksine telin empedansı Örnek A'ya göre arttığı çizelge 4.2.'de görülmektedir. Örnek B'de %GMI-H eğrisi daha keskin bir azalma göstermektedir.

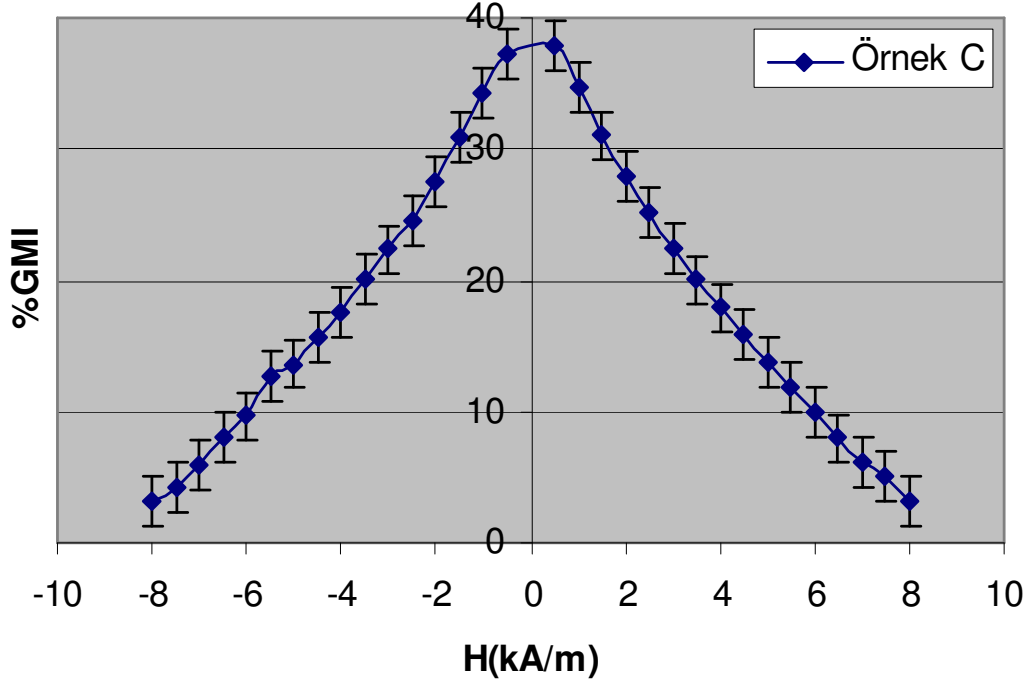
4.2.3. Örnek C için manyetik alan şiddeti ile %GMI değişimi

Kuvvet uygulanarak tavlanan Örnek C, 450MPa basınç uygulanarak 30 dakika süreyle fırında tavlandı. Bu durumda kuvvet yönündeki domain yapısında gelişme sağlanmıştır.

Çizelge 4.3. Örnek C için manyetik alan ile empedans değerleri

f = 5 M H z					
$H \pm 0.03 \text{ kA/m}$	$V_p \pm 2.00 \text{ mV}$	$V_C \pm 0.001 \text{ V}$	$Z_p \pm 0.01 \Omega$	$Z_C \pm 0.10 \Omega$	$Z_T \pm 0.12 \Omega$
8.00	6.75	0.216	0.67	21.67	22.35
7.50	6.67	0.221	0.66	22.10	22.77
7.00	6.66	0.223	0.66	22.34	23.01
6.50	6.55	0.227	0.65	22.74	23.40
6.00	6.47	0.231	0.64	23.19	23.84
5.50	6.37	0.236	0.63	23.64	24.28
5.00	6.32	0.240	0.63	24.03	24.66
4.50	6.23	0.244	0.62	24.48	25.10
4.00	6.10	0.249	0.61	24.94	25.55
3.50	5.99	0.254	0.59	25.41	26.01
3.00	5.90	0.293	0.51	29.38	29.90
2.50	5.78	0.286	0.53	28.66	29.20
2.00	5.65	0.278	0.55	27.85	28.40
1.50	5.53	0.271	0.56	27.15	27.72
1.00	5.83	0.265	0.57	26.57	27.14
0.50	5.17	0.259	0.59	25.94	26.53
-0.50	5.20	0.292	0.52	29.22	29.75
-1.00	5.38	0.285	0.53	28.57	29.11
-1.50	5.55	0.278	0.55	27.81	28.37
-2.00	5.72	0.270	0.57	27.06	27.63
-2.50	5.86	0.264	0.58	26.41	27.00
-3.00	5.97	0.259	0.59	25.92	26.51
-3.50	6.05	0.254	0.60	25.42	26.02
-4.00	6.14	0.248	0.61	24.87	25.48
-4.50	6.25	0.244	0.62	24.49	25.07
-5.00	6.33	0.240	0.63	24.00	24.63
-5.50	6.41	0.235	0.64	23.57	24.21
-6.00	6.48	0.231	0.64	23.12	23.76
-6.50	6.55	0.227	0.65	22.76	23.41
-7.00	6.64	0.222	0.66	22.29	22.96
-7.50	6.68	0.219	0.66	21.93	22.60
-8.00	6.75	0.217	0.67	21.70	22.37

Hazırlanan bu örnek için deneysel sonuçlar Çizelge 4.3.'de gösterilmektedir. Çizelge 4.3.'de görüldüğü gibi kuvvet uygulanarak tavllanmış Örnek C'nin 0.5 kA/m manyetik alan şiddetindeki empedans değeri yaklaşık 26Ω 'dur. Fırında tavllanmış Örnek B'ye göre Örnek C amorf telin empedansı azalmıştır. Ferromanyetik amorf tele kuvvet uygulamak telin domain yapısındaki değişimden meydana gelmiştir. Bundan dolayı telin direncinde değişim oluşturmuştur. Örnek C'de manyetik alan şiddeti pozitif ve negatif yönde arttığında telin empedansındaki değişim doğrusala oldukça yakın değişmektedir. Kuvvet uygulanarak tavllanmış amorf telin manyetik alan şiddeti (H) ile çok büyük manyetik empedans etkisi değişimi Şekil 4.4.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Örnek C için 5 MHz'deki %GMI-H değişimi

Kuvvet uygulanarak tavllanmış (C) amorf telde, en büyük %GMI oranı yaklaşık 40 kadardır. Bu değer fırında tavllanmış (B) amorf telin %GMI değerine oldukça yakındır. Tavlınırken kuvvet uygulama amorf telin empedansında önemli değişiklik meydana getirmesine rağmen %GMI oranında aynı şekilde değişim oluşturmamıştır.

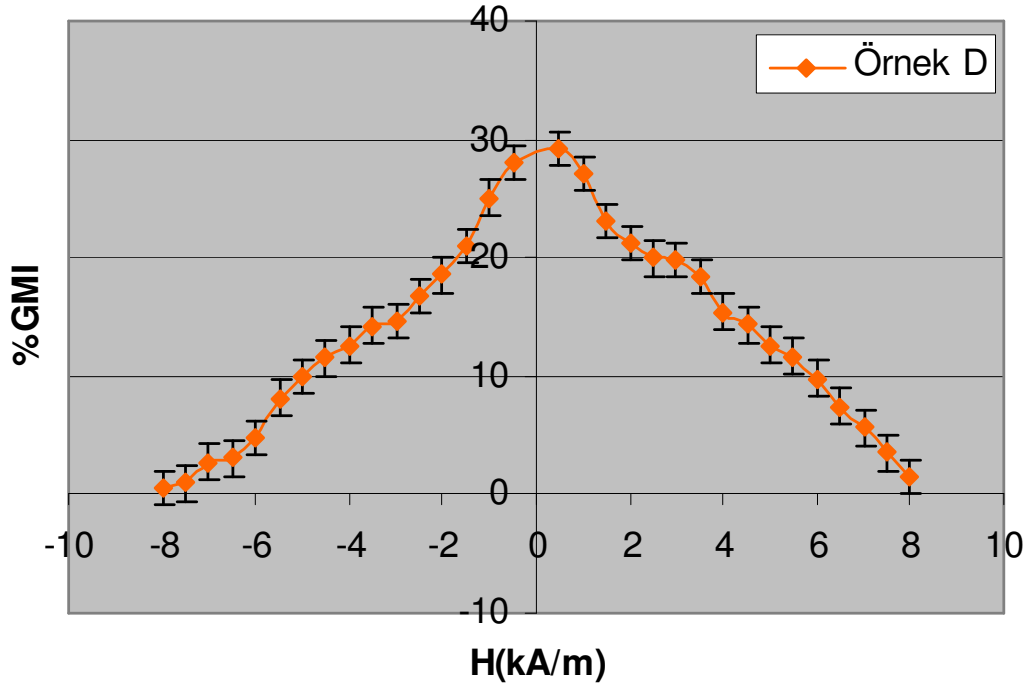
4.2.4. Örnek D için manyetik alan şiddeti ile %GMI değişimi

Örnek D akımla tavlannmıştır. Bu sırada Joule yasası ile içinden akım geçen telin sıcaklığı artarken aynı zamanda telin etrafında Amper yasasına göre dairesel bir manyetik alan oluşarak bu yöndeki domain yapısı gelişmektedir.

Çizelge 4.4. Örnek D için manyetik alan ile empedans değerleri

f = 5 M H z					
$H \pm 0.03 \text{ kA/m}$	$V_p \pm 2.00 \text{ mV}$	$V_D \pm 0.001 \text{ V}$	$Z_p \pm 0.01 \Omega$	$Z_D \pm 0.10 \Omega$	$Z_T \pm 0.12 \Omega$
8.00	7.56	0.214	0.75	21.48	22.23
7.50	7.45	0.219	0.74	21.94	22.69
7.00	7.42	0.224	0.74	22.41	23.15
6.50	7.35	0.228	0.73	22.82	23.55
6.00	7.28	0.233	0.72	23.33	24.06
5.50	7.23	0.237	0.72	23.75	24.47
5.00	7.14	0.239	0.71	23.96	24.67
4.50	7.07	0.243	0.70	24.34	25.05
4.00	7.00	0.245	0.70	24.59	25.29
3.50	6.94	0.252	0.69	25.24	25.94
3.00	6.86	0.255	0.68	25.58	26.26
2.50	6.78	0.256	0.67	25.60	26.28
2.00	6.69	0.258	0.66	25.88	26.55
1.50	6.60	0.263	0.66	26.31	26.97
1.00	6.51	0.271	0.65	27.19	27.84
0.50	6.37	0.276	0.63	27.68	28.31
-0.50	6.32	0.274	0.63	27.42	28.05
-1.00	6.42	0.267	0.64	26.76	27.40
-1.50	6.58	0.258	0.68	25.85	26.51
-2.00	6.68	0.249	0.66	24.91	25.58
-2.50	6.74	0.246	0.67	24.65	25.59
-3.00	6.83	0.244	0.68	24.44	25.12
-3.50	6.89	0.245	0.68	24.55	25.24
-4.00	6.98	0.239	0.69	23.98	24.68
-4.50	7.03	0.237	0.70	23.72	24.43
-5.00	7.08	0.233	0.70	23.38	24.08
-5.50	7.17	0.229	0.71	22.97	23.69
-6.00	7.25	0.222	0.72	22.24	22.97
-6.50	7.32	0.228	0.73	22.85	23.58
-7.00	7.39	0.217	0.73	21.78	22.52
-7.50	7.43	0.213	0.74	21.38	22.12
-8.00	7.51	0.205	0.75	20.58	21.33

Manyetik alan şiddeti ile telin empedans değerleri Çizelge 4.4.'de gösterilmiştir. Akım ile tavllanmış Örnek D'nin 0.5 kA/m manyetik alan şiddeti değerinde, empedansı yaklaşık 28Ω 'dur. Örnek D'nin empedansı, fırında tavllanmış Örnek B'ye göre oldukça düşük bir değerde ancak kuvvet uygulanarak tavlanan Örnek C'yle oldukça yakındır. Bu iki örnek karşılaştırıldığında akım ile tavlama telin yüzeyinde bulunan dairesel domain yapısında az da olsa bir gelişme olduğu ve tel içindeki eksen yönündeki domain yapısı kendini koruduğu anlaşılmaktadır. Empedans değeri -8 kA/m'de yaklaşık 21Ω 'dur. -0.5 ile 8 kA/m manyetik alan şiddeti değerleri arasında ferromanyetik amorf telin empedansında çok küçük bir değişiklik meydana getirmiştir. Örnek D için manyetik alan şiddeti (H) ile çok büyük empedans etkisi (%GMI) değişimi Şekil 4.5.'de görülmektedir.



Şekil 4.5. Örnek D için 5 MHz'deki %GMI-h değişimi

Akım ile tavllanmış (D) amorf telin en büyük manyetik empedans oranı (%GMI) yaklaşık 30 kadardır. Farklı yöntemlerle tavllanmış Örnek B ve C'ye göre GMI oranı, Örnek D'de azalmıştır.

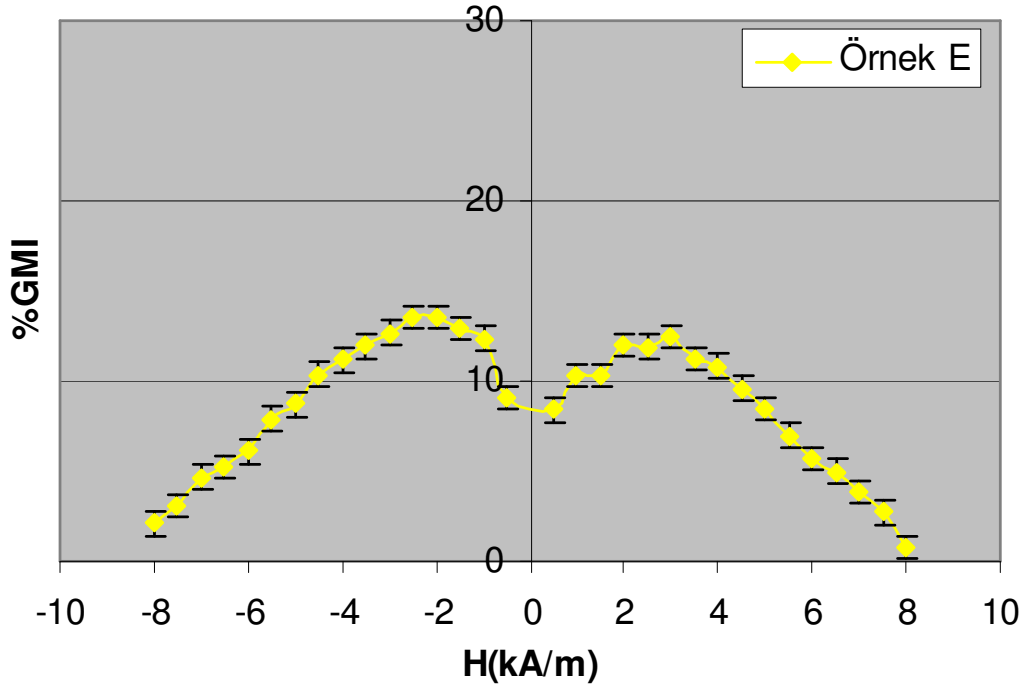
4.2.5. Örnek E için manyetik alan şiddeti ile %GMI değişimi

Bu örnek ısıtılan tel eksenine zıt yönde 250 A/m manyetik alan aniden uygulanarak tavlannmıştır. Böylece eksene dik yöndeki domainlerin gelişmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 4.5. Örnek E için manyetik alan ile empedans değerleri

f = 5 MHz					
$H \pm 0.03 \text{ kA/m}$	$V_p \pm 2.00 \text{ mV}$	$V_E \pm 0.001 \text{ V}$	$Z_p \pm 0.01 \Omega$	$Z_E \pm 0.10 \Omega$	$Z_T \pm 0.12 \Omega$
8.00	4.91	0.151	0.49	15.14	15.63
7.50	4.92	0.148	0.49	14.84	15.33
7.00	4.88	0.156	0.48	15.62	16.11
6.50	4.85	0.158	0.48	15.80	16.29
6.00	4.81	0.158	0.48	15.88	16.40
5.50	4.77	0.162	0.47	16.27	16.20
5.00	4.76	0.163	0.47	16.39	16.83
4.50	4.72	0.166	0.47	16.66	17.00
4.00	4.71	0.162	0.47	16.28	17.20
3.50	4.67	0.169	0.46	16.90	17.25
3.00	4.65	0.169	0.46	16.98	17.45
2.50	4.68	0.168	0.46	16.89	17.36
2.00	4.66	0.169	0.46	16.91	17.38
1.50	4.66	0.166	0.46	16.65	17.12
1.00	4.68	0.166	0.46	16.65	17.12
0.50	4.65	0.163	0.46	16.35	16.82
-0.50	4.65	0.164	0.46	16.45	16.92
-1.00	4.62	0.169	0.46	16.97	17.43
-1.50	4.63	0.170	0.46	17.06	17.52
-2.00	4.64	0.171	0.46	17.15	17.67
-2.50	4.64	0.171	0.46	17.15	17.61
-3.00	4.66	0.170	0.46	17.02	17.49
-3.50	4.67	0.169	0.47	16.90	17.37
-4.00	4.71	0.162	0.47	16.28	16.75
-4.50	4.72	0.166	0.47	16.16	17.13
-5.00	4.77	0.163	0.47	16.39	16.87
-5.50	4.77	0.162	0.47	16.27	16.74
-6.00	4.80	0.158	0.48	15.88	16.46
-6.50	4.82	0.158	0.48	15.85	16.33
-7.00	4.85	0.157	0.48	15.75	16.24
-7.50	4.86	0.155	0.48	15.51	16.00
-8.00	4.91	0.153	0.49	15.35	15.84

Hazırlanan Örnek E için manyetik alan şiddeti ve toplam empedans değerleri Çizelge 4.5.'de gösterilmiştir. Zıt manyetik alan altında tavllanmış E örneğinin, 0.5 kA/m manyetik alan şiddeti değerindeki empedansı 16Ω 'dur. Diğer yöntemlerle tavlanan B, C ve D örneğine göre oldukça düşüktür. Ferromanyetik amorf tele zıt yönde manyetik alan uygulamak, teldeki eksen yönüne dik manyetik momentleri geliştirdiğinden ve telden geçen akımın genliği de bu yönde değiştiğinden Örnek E amorf telin empedansında diğer örneklerle karşılaştırıldığında bir azalma meydana gelmiştir. Ancak 0.5 kA/m ile 8 kA/m manyetik alan şiddeti değerleri arasında telin empedansında bir değişim gözlenmemektedir. Burada uygulanan alan, telin manyetik empedansını değişiminde etkisiz kalmaktadır. Örnek E için manyetik alan şiddeti (H) ile çok büyük manyetik empedans oranı (%GMI) değişimi Şekil 4.6.'da gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Örnek E için 5 MHz'deki %GMI-H değişimi

Zıt manyetik alanda tavllanmış E örneğinde en büyük GMI oranı yaklaşık 15'dir. Bu değer diğer örneklerin aksine 2 kA/m ile -2 kA/m manyetik alan şiddeti değerinde bulunmuştur. Bu örnekteki değişim diğerlerinden farklı olarak yaklaşık -2 kA/m ve 3 kA/m manyetik alan değerlerinde en büyük değeri vermekte ve bu iki değer arasında

manyetik alan sıfır olduğunda azalarak bir minimumdan geçmektedir. Bu farklılığın oluşan farklı domain yapısına bağlı olduğu düşünülmektedir.

4.3. BEŞ FARKLI ÖRNEK İÇİN MANYETİK ALAN ŞİDDETİ ile ÇOK BÜYÜK MANYETİK EMPEDANS ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Üretimden sonra herhangi bir işlem uygulanmamış ve farklı şekillerde tavllanmış amorf tellerde çok büyük empedans etkisi (GMI) incelendi. Beş farklı örnek için yapılan deneysel çalışmalar sonucunda farklı manyetik alan şiddeti değerlerine karşılık GMI değerleri hesaplandı. Hesaplanan bu değerlerle manyetik alan şiddeti ile değişimi gözlemlendi. Ayrıca GMI olayına hangi faktörlerin etkili olduğu araştırıldı.

Üretimden sonra herhangi bir işlem uygulanmamış (A) ferromanyetik amorf telin en büyük GMI oranı 5 MHz'de deneysel olarak bulundu. Bu değer belirlendikten sonra Örnek A için manyetik alan şiddeti değerlerine karşılık çok büyük manyetik empedans etkisi incelendi. 5 MHz frekans değerinde en büyük GMI oranı %160 olarak hesaplandı. Tavlama yapılmamış bu örnekte iç gerilmelerin olabileceğinden GMI oranı oldukça yüksek çıkmıştır. Üretimden sonra herhangi bir işlem uygulanmamış amorf telde, nüfuz etme derinliği etkisi yüzünden küçük anizotropik alanlar meydana gelmektedir (Moron ve ark. 2003). Örnek A'da amorf telde domain yapısında ve manyetik anizotropisinde herhangi bir değişme olmamıştır (Luborsky 1983).

400 °C derecede tavllanmış Örnek B'de en yüksek GMI frekansı Örnek A'da olduğu gibi 5 MHz olarak belirlendi. Örnek B için 5 MHz'de en büyük GMI oranı %40 olarak bulundu. Bu değer Örnek A'nın %GMI oranı değeriyle karşılaştırılırsa dörtte bir oranında daha azdır. Zira Örnek A en büyük GMI oranı değeri %160'dır. Örnek B manyetik alan şiddeti değerine karşılık çok büyük manyetik empedans etkisi incelendiğinde yüksek akım değerlerinde %GMI oranı oldukça düşüktür. Eğer selenoid bobin üzerinden geçen akım değerini azalttırsak %GMI oranı değerinin arttığı gözlenmektedir. Ferromanyetik amorf tel tavlандığı zaman telin bazı manyetik özelliklerinde değişimler gözlenmiştir (Chiriac ve ark. 2004). Amorf telin domain yapısı değişmiştir (Bayri ve ark. 2004). Domain yapılarının değişmesi domain duvarı

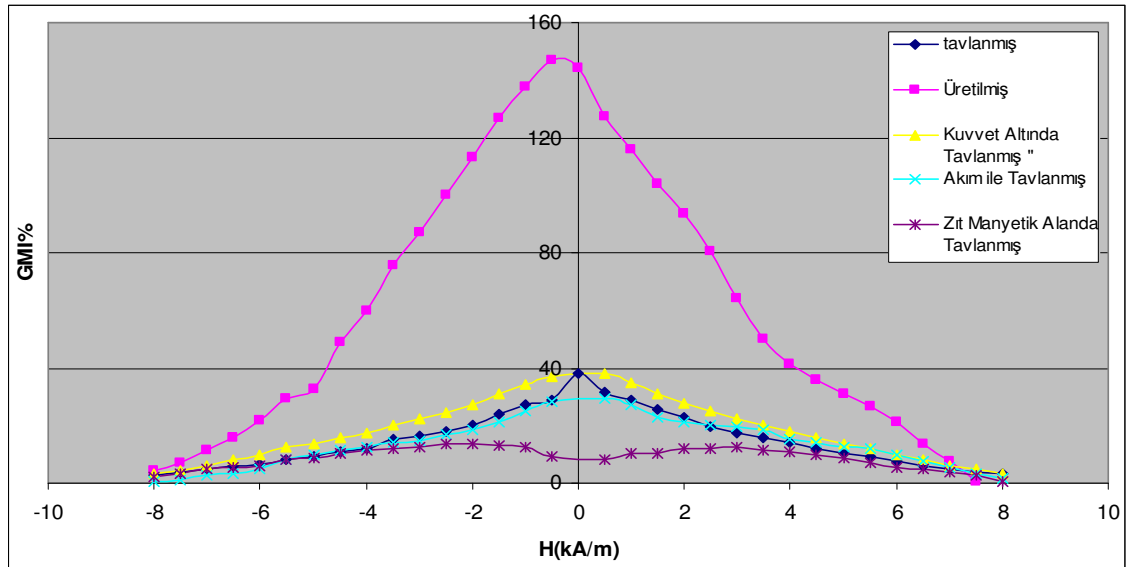
hareketlerinin yönelimlerini de değiştirmiştir. Bu yüzden amorf telde %GMI oranında azalma meydana gelmektedir

450 MPa'lık basınç ile kuvvet uygulanarak tavlanan rnek C amorf telin en büyük GMI frekansı 5MHz civarında olduğu bulundu. Bu değer rnek A ve B ile uyum sağlamaktadır. rnek C için yapılan deneysel çalışmalarda en büyük GMI oranı %40 civarında olduğu bulunmuştur. Deneysel sonuca göre rnek A ve B'ye göre GMI oranında bir değişme meydana gelmektedir. Uygulanan kuvvet arttırıldığında GMI oranı azalmaktadır. Kuvvet ile tavlama yaparken manyetik alan etkinliği artmaktadır. Ferromanyetik amorf tele kuvvet uygulandığında telin manyetik gerilmesinde bir değişim oluşmaktadır (Squire ve ark. 1995). Bu değişim $\lambda = \Delta l / l$ ile verilmektedir. rnek üzerinde meydana gelen gerilme, teldeki çok büyük manyetik empedans etkisi oranında bir azalma meydana getirmiştir. Kuvvet uygulayarak hazırlanan rnek C'nin manyetik gerilmesinde ve manyetik elastik enerjisinde bir artış gözlenmektedir. Bu durumda telin manyetik domain yapıları hızla dış kabuğa doğru yönelmektedir (Chiriac ve ark. 2005). rnek C'nin en büyük %GMI oranı, rnek B ile yaklaşık aynıdır. Fakat rnek A'nın sahip olduğu en büyük %GMI oranına göre oldukça düşüktür. Bunun sebebinin yapılan bilimsel çalışmalarda, kuvvet uygulandığı zaman amorf telde meydana gelen domain düzenlemeleridir.

450 mA'lık akım ile tavlanan rnek D için yapılan deneysel çalışmalarda en büyük GMI frekansı 5 MHz olarak belirlendi. 5 MHz'de akım ile tavlanan rnek D'nin en büyük GMI oranı yaklaşık %30 olarak bulundu. rnek D'nin %GMI oranı, diğer tavlanan rnek B ve C'ye göre daha düşük değerdedir. Ferromanyetik amorf teli akım ile tavlama ona Joule yasasına göre i^2R 'lik ısı enerjisi vermektedir. bu olaya "Joule Heating" yöntemi denilmektedir (Blanco ve ark. 1999). Akım ile tavlama amorf telde, mıknatıslanma işleminden dolayı küçük spiral anizotropik alanlar meydana getirmektedir. Bunun sonucunda telin manyetik geçirgenliği değişmektedir (Li ve ark. 2002). rnek D rneği için yapılan çalışmalar sonucunda akım ile tavlandığı zaman GMI oranı diğer örnekler göre azalmaktadır. rnek D'nin %GMI oranı, diğer yöntemlere göre tavlanan rnek B ve C'nin %GMI oranlarına göre oldukça düşüktür.

250 A/m zıt manyetik alan değeri altında tavlanan (E) amorf tel için en büyük GMI frekansı diğer 4 örnekte olduğu gibi yaklaşık 5 MHz olarak bulunmuştur. Örnek E'nin en büyük GMI oranı %13 olarak hesaplanmıştır. Örnek A, B, C ve D'nin sırasıyla %160, %40, %40 ve %30 daha düşük bir değerdedir. Diğer örneklerde en büyük GMI oranı 0.5 kA/m iken Örnek E'de 2 kA/m manyetik alan şiddeti değerinde bulunmuştur. Örnek E'nin eksene dik yönde manyetik alanla tavlaniırken, 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 olacağından telin empedansında bir azalma meydana gelir. Böylece Örnek E'nin GMI oranı diğer örneklerden daha küçük olduğu hesaplanmıştır.

Üretimden sonra herhangi bir işlem uygulanmamış Örnek A, tavllanmış Örnek B, kuvvet altında tavllanmış Örnek C, akım ile tavllanmış Örnek D ve zıt manyetik alan altında tavllanmış Örnek E çeşitli manyetik alan şiddeti değerlerine karşılık çok büyük manyetik empedans etkisi değişimi Şekil 4.7.'de gösterilmiştir.

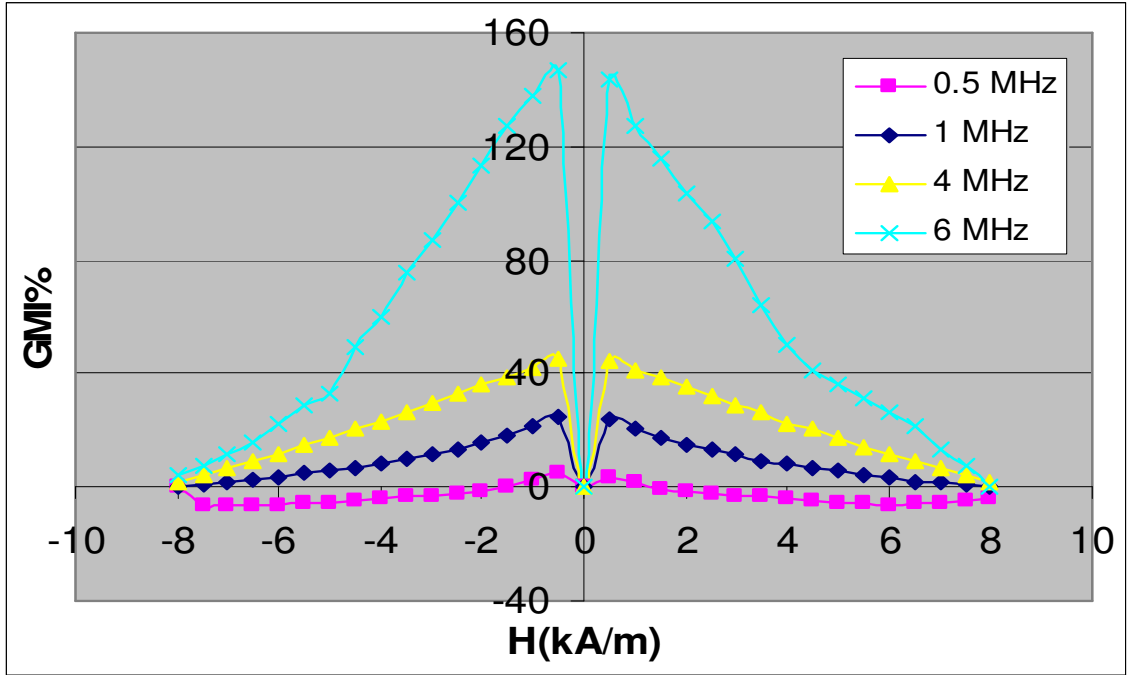


Şekil 4.7. Örnek A, B, C, D ve E'nin 5 MHz'deki %GMI-H değişimi (Hata Oranı ±0.03)

Şekil 4.7.'de görüldüğü gibi beş farklı örnek için manyetik alan şiddeti ile %GMI değişimi incelendi. %GMI değerleri sırasıyla %160, %41, %40, %30, ve %13'dür.

4.4. ÖRNEK A İÇİN ÇOK BÜYÜK MANYETİK EMPEDANS ETKİSİNİN FREKANS İLE DEĞİŞİMİ

Örnek A ($\text{Fe}_{77.5}\text{Si}_{7.5}\text{B}_{15}$) demir esaslı ferromanyetik amorf telde çok büyük manyetik empedans etkisinin frekans ile değişimi incelenmiştir. 0.5, 1, 4 ve 6 MHz frekans değerlerinde ki empedans değeri kaydedildi. Şekil 4.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Örnek A için farklı frekans değerlerine karşılık %GMI değişimi (Hata Oranı ± 0.03)

Şekil 4.8.'de görüldüğü 0.5 MHz'de çok büyük empedans etkisi oranı %2 ile en küçük değerdedir. Manyetik alan şiddeti değerleri arttığı zaman en büyük %GMI değeri negatif değerlere ulaşmaktadır. GMI olayı düşük frekans değerlerinde etkili olarak gözlenmemektedir (Usov ve ark. 1997). Bu manyetik alan şiddeti değerlerinde GMI

olayı gözlenilmediği anlamına gelmemektedir. Fakat GMI olayı daha çok frekans ve diğer bazı parametrelerle değişmektedir. Tavlama, kuvvet uygulama, manyetik anizotropi ve domain yapılarının değişmesi bu parametrelerden bazılarıdır.

Örnek A'nın 1 MHz değerindeki çok büyük manyetik empedans etkisi (GMI) değeri %30'dur. Bulunan bu değer akım ile tavllanmış Örnek D'de en büyük manyetik empedans değeriyle aynıdır. 1 MHz'deki en büyük GMI değeri, akım ile tavlanaarak hazırlanan Örnek D 5 MHz'deki en büyük GMI oranı değeri yaklaşık aynıdır. Örnek A'da hesaplanan GMI değeri daha küçük frekans değerlerinde bulunabilmektedir. Örnek A'nın 1 MHz de sahip olduğu GMI değeri 1 kA/m manyetik alan şiddeti değerinde en büyük değerine ulaşmaktadır. Manyetik alan şiddeti artarken GMI eğrisi ters yöne yönelerek 0 değerine yaklaşmaktadır (Şekil 4.8.).

Örnek A'nın 4 MHz değerinde çok büyük manyetik empedans etkisi oranı %41'dir. Bu değer 4 MHz'de bulunan %GMI değeri, tavllanmış ve kuvvet uygulanarak tavllanmış örnekler için 5 MHz'de bulunan %GMI değeri ile aynıdır. Örnek B'de 5 MHz'de bulduğumuz değer, Örnek A'da 4 MHz değerinde elde edilen değere yakındır.

Örnek A için 6 MHz'de çok büyük manyetik empedans etkisi oranı yaklaşık %120'dir. Şekil 4.1.'e göre Örnek A örneği için 5 MHz'de en büyük GMI oranı %160 bulunmuştu. GMI oranının belli bir frekans değerinde en büyük değere ulaştığı ve frekans değeri arttırılmaya devam edilirse GMI oranının azalmaya başladığı görülmektedir. Bu yüzden deneysel olarak kullandığımız amorf tellerin en büyük GMI frekansları belirlenmiştir. Bütün örnekler için en büyük GMI oranının elde edildiği frekans değerini yaklaşık 5 MHz olarak belirlendi. Kullanılan örneklerde GMI olayı 3-6 MHz arasında gözlenmiştir. Örnek A için 6 MHz değerinde, diğer frekans değerlerinde olduğu gibi 1 kA/m manyetik alan şiddeti değerinde en büyük değerine ulaşmıştır.

Frekans 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 rapor edilmiştir. (Mohri ve ark. 1991). Ferromanyetik amorf tellerden geçen

akımın frekansının değişimi ile domain yapıları arasında bazı değişimler olmaktadır. Farklı yöntemlerle hazırlanmış örneklerde domain yapıları farklı şekillerde gerçekleşmektedir.

5. ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Farklı yöntemlerle hazırlanmış demir esaslı amorf tellerde oluşan domain yapıları ile telin empedansı ve GMI oranı arasında bir bağ kurularak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

» İncelenen örneklerde en büyük %GMI oranı yaklaşık 5 MHz olarak tespit edilmiştir.

» Bu frekanstaki %GMI oranları ise Örnek A, B, C, D ve E için sırasıyla %160, %41, %40, %30 ve %13 olarak hesaplanmıştır.

» Tavlanarak hazırlanan Örnek B ile kuvvet uygulanarak hazırlanan Örnek C en büyük GMI oranı değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu bulunmuştur.

» Demir esaslı amorf tellerin pozitif ve yüksek manyetik gerilmeye sahip oldukları için farklı yöntemlerle tavlандığı zaman manyetik gerilmesinde değişimler meydana gelmektedir. Örnek A'nın %GMI değeri ile diğer örneklerin %GMI değeri arasında oldukça büyük fark olduğu, bu farkın tavlama yöntemiyle değişen domain yapılarından kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

» Farklı tavlama yöntemleri ile telin domain yapısı değişiminden anizotropi oluşmaktadır.

» Örnek A için farklı frekans değerlerinin çok büyük empedans etkisine göre 0.5, 1, 4 ve 6 MHz frekans değerlerinde en büyük GMI oranları sırasıyla %2, %30, %41 ve %120 olarak hesaplanmıştır. Belli bir en büyük değeri veren frekans değerinden sonra %GMI oranında azalma olduğu anlaşılmıştır.

» En küçük empedans ve GMI oranı zıt yönde mıknatıslanmış Örnek E'de elde edilmiştir. Bu sonuca göre madde içindeki domain yapısı maddenin empedansı ve GMI oranı üzerinde çok büyük etkisi olduğu kesinleşmiştir.

KAYNAKLAR

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

BAYRI, N., S. ATALAY. 2004. Giant Stres-Impedance Effect in $Fe_{71}Cr_7Si_9B_{13}$ Amorphous Wires, Journal of Alloys and Compounds, 381 p.245-249.

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

BRUNETTI, L., P. TIBERTO, F. VINAI, H. CHIRIAC. 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., I. MURGULESCU, N. LUPU.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.

DEREBASI, 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.

GARCÍA, D., V. RAPOSO, M. ZAZO, A.G. FLORES, J.I. INIGUEZ. 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.

LI, Y.F., M. VAZQUEZ, D.X. CHEN 2002. GMI Effect of $\text{Fe}_{73.5-x}\text{Cr}_x\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{13.5}\text{B}_9$ 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., F. BORZA, N. DEREBAZI. 2003. Large Gyromagnetic Effect in As-Cast and Post Production Treated Amorphous Wires, Sensors and Actuators A, Vol.106, p.278-281.

MORON, C., M.T. CARRACEDO, J.G. ZATO, A. GARCIA 2003. Stres and Field Dependence of the Giant Magnetoimpedance Effect in Co-Rich Amorphous Wires, Sensors and Actuators A,106 p.217-220.

PANINA, L.V., K. MOHRI, T. UCHIYAMA, M. NODA. 1995. Giant Magneto-Impedance in Co-Rich Amorphous Wires and Films, IEEE Transactions on Magnetic, Vol:31, No:2.

RAPOSO, V., A.G. FLORES, M. ZAZO, J.I. INIGUEZ. 2004. Magnetic After Effect of Giant Magnetoimpedance in Amorphous Wires, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 254-255, p.204-206.

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

SQUIRE, T., D. ATKINSON, S. ATALAY. 1995. Magnetostrictive and Magnetoelastic Properties of Rapidly Quenched Wire, IEEE Transactions on Magnetic, Vol:31, No.2.

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

USOV, N., A. ANTONOV, A. GRANOVSKY. 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,

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

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

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

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

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

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

$N=600$ ($\Delta N=1$ 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. $V_{EK}=0.024$ ve $V_{EB}=0.447$ değerlerinin ortalaması alındı ve $V_{\ddot{o}}=0.236V$ ($\Delta V_{\ddot{o}}=0.001V$) hata hesabında bu değerler kullanıldı. Bu değerlerle hesaplama yapıldığında,

$$\Delta H=34.60 \text{ A/m}$$

olarak hesaplandı.

EK-2. MANYETİK EMPEDANS İÇİN HATA HESABI

Manyetik empedans Eşitlik 3.1. ile verilmektedir. Bu eşitlik,

$$Z_T = \frac{V_{\ddot{o}}}{I} \quad \text{E2.1}$$

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

$$Z_T = \frac{V_{\ddot{o}}}{V_p/R} = \frac{V_{\ddot{o}}.R}{V_p} \quad \text{E2.2}$$

şeklini alır. Bu eşitliğin hatası,

$$\Delta Z_T = \sqrt{\left(\frac{\partial Z_T}{\partial V_{\ddot{o}}} \Delta V_{\ddot{o}}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z_T}{\partial R} \Delta R\right)^2 + \left(\frac{\partial Z_T}{\partial V_p} \Delta V_p\right)^2} \quad \text{E2.3}$$

ölarak yazılır. Burada,

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

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

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

$$\Delta Z_T = \sqrt{\left(\frac{R}{V_p} \Delta V_{\ddot{o}}\right)^2 + \left(\frac{V_{\ddot{o}}}{V_p} \Delta R\right)^2 + \left(-\frac{V_{\ddot{o}} \cdot R}{V_p} \Delta V_p\right)^2} \quad \text{E2.7}$$

$R=0.52\Omega$ ($\Delta R=0.01\Omega$), $V_{\ddot{o}}=0.643V$ ($\Delta V_{\ddot{o}}=0.001V$) ve $V_p=5.339mV$
($\Delta V_p=2.000mV$)

Bu değerler kullanılarak ΔZ_T hesaplandı,

$$\Delta Z_T=0.12 \Omega$$

olarak bulundu.

ÖZGEÇMİŞ

Osman ÇAYLAK, 25 Haziran 1981 yılında Çankırı'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Çankırı'da tamamladıktan sonra 1999 yılında Çankırı Süleyman Demirel Fen Lisesinden mezun oldu ve aynı yıl Uludağ Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde lisans eğitimine başladı. 2003 yılında Fizik Bölümünden mezun olarak Eylül 2004 yılında Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Fizik Anabilim dalında yüksek lisansa başladı.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamda, maddi ve manevi olarak yardımlarını esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Naim DEREBAŞI' na sonsuz teşekkür ederim. Deneysel çalışmamda bana yardımcı olan Yrd. Doç. Dr. İlker KÜÇÜK, Öğr. Gör. Dr. Sezer ERDEM ve desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Araş. Gör. Dr. Kadir ERTÜRK, Araş. Gör. Cüneyt HACİİSMAİLOĞLU' na ve ev arkadaşlarım Arif AKA, Gürkay KASAP, Barıő YAVUZ' a çok teşekkür ederim.

Ayrıca bugüne kadar hiçbir konuda desteğini esirgemeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

YÜKSEK LİSANS'DA YAPILAN YAYINLAR

1) “Giant Magneto-Impedance Effect in As-Cast and Post Production Treated $\text{Fe}_{77.5}\text{Si}_{7.5}\text{B}_{15}$ Amorphous Wires” Osman CAYLAK, Naim DEREBAŞI and Turgut MEYDAN, Sensor Lett. 5, 123-125 (2007)

2) “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” Osman CAYLAK, Naim DEREBAŞI, 6. INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE BALKAN PHYSICAL UNION. AIP Conference Proceedings, Volume 899, p.773 (2007)