

FERROMANYETİK FILMLERDE OLUSAN YÜZEY
MANYETİK ANİZOTROPİSİNİN NUMERİK
ÇÖZÜMLENMESİ

Yüksek Lisans Tezi
Fizik Anabilim Dalı

EMRAH ÇÖKTÜREN
Danışman: Yrd.Doç.Dr.Mehmet BAYIRLI
2008
EDİRNE

T.C
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FERROMANYETİK FILMLERDE OLUSAN YÜZEY MANYETİK ANİZOTROPİNİN
NÜMERİK ÇÖZÜMLENMESİ

EMRAH ÇÖKTÜREN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANABİLİM DALI

Tez Yöneticisi :Yrd.Doç.Dr.Mehmet BAYIRLI

2008
EDİRNE

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
FİZİK ANA BİLİM DALI

Bu tez 29.02.2008 tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.

Prof.Dr. Hasan AKBAŞ (Başkan)

Doç. Dr. Raif KURTARAN

Yrd. Dr. Mehmet BAYIRLI (Danışman)



Handwritten signatures of the jury members: Hasan Akbaş, Raif Kurtaran, and Mehmet Bayırlı.

Ferromanyetik Filmlerde Manyetik Yüzey Anizotropi Oluşumunun Nümerik Çözümlemesi

Emrah ÇÖKTÜREN

Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Fizik Anabilim
Dalı.

ÖZET

Ferromanyetik malzemelerde kristografik doku manyetik özelliklerle yakın ilişkilidir. Bu çalışmada, ticari flopidisk, kayıtlı teyp şeridi ve farklı kalınlıklı NiCo filmlerin kristalleşme dokusu Fourier serisi kullanılarak incelenmektedir. NiCo filmler elektrodepozisyon yöntemi ile üretildi ve manyetik parametreleri titreşimli örnek manyetik ölçer (VSM) kullanılarak ölçüldü. M_r / M_s kareselliğinin β açısına bağlı ölçümlerinden elde edilen datalar, en küçük kareler yöntemi kullanılarak beşinci dereceden polinomial uygulanarak 90 derece ölçümlerden toplamı üzerinden fit edildi. Parçacıkların α ve $\alpha+d\alpha$ aralığında bulunma olasılığını veren kolay yönelimlerinin dağılım fonksiyonu $f(\alpha)$, α açısına bağlı değerleri hesaplanmaktadır. Sonuç olarak, örneklerden 2, 4 ve 10 μm kalınlıklı NiCo filmler ve ticari kayıt şeridi anizotropi diğer numuneler izotropik bulunmuştur. NiCo filmlerin kalınlığı artarken örnek yüzeyi üzerinde doku düzene girmektedir. Paralel remanensin ve kareselliğin bir fonksiyonu olarak kolay eksen dağılımı ölçümleri ayrıca yapıldı ve kalınlık değerleri arasında ilişki kurulmuştur. NiCo filmlerin ferromanyetik özellikleri için sonuçların uygulamaları tartışılmaktadır.

2008.

Anahtar Kelimeler: Ferromanyetik film, Doku, Histerisiz, karesellik, izotropi karakterizasyonu

Numerical Computation of the Formation of the Magnetic Surface Anizotropi in the Ferromagnetic Films

Emrah ÇÖKTÜREN

Master thesis. Trakya University, Graduate School Of Naturel and Applied
Sciences. Physics

SUMMARY

The magnetic properties are closely related to cryptographic texture of the ferromagnetic materials. It is studied the Fourier series methods in order to describe the effects of crystalline texture of the ferromagnetic nickel-cobalt films, which are the different thickness, the recorded tape and the commercial floppy tape in this study. The nickel-cobalt films are produced electrodeposition method and were measured the magnetic parameters with the Vibration Samples Magnetometer (VSM). The data which obtained these measures of the squareness M_r / M_s versus β were fitted to polynomials of five degrees using a least squares analysis to enable accurate integration over the ninety degrees. Values of the distribution function of the easy directions $f(\alpha)$, which is defined so that $f(\alpha)$ gives the probability of finding the axis of the particle between α and $\alpha+d\alpha$, were computed and plotted against α . As a result, the thickness 2, 4 and 10 μm nickel-cobalt films and the commercial recording media from samples were obtained the anisotropic structures; the other samples were not. While the thicknesses of the nickel-cobalt films were increased, the texture was arranged on the sample surfaces. Easy axis distribution measurements as a function of the squareness and the parallel remanence have also been made and correlation has been established between this thickness values. The implications of the results for ferromagnetic properties of the nickel-cobalt films are discussed.

2008.

Key words: ferromagnetic films, texture, hysteresis, squareness, isotropic characterization

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, Prof. Dr. Mürsel ALPER' e, NiCo filmler üretilerek manyetik histerisiz ölçümlerinin almasından dolayı Arş. Gör. Elif GÜNGÖR' e, tez konu önerisi, katkıları ve histerisiz verilerini kullanılabilmem konusundaki nazik hoşgörülerinden dolayı Doç. Dr. Hakan KÖÇKAR'a, ayrıca Uzm. Mehmet UÇKUN'a, Hale ÇANDARLI' ya, Niyazi MERİÇ' e ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet BAYIRLI' ya katkılarından dolayı teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
SUMMARY	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLO DİZİNİ	xi
 GİRİŞ	 1
 1.KURAMSAL BİLGİLER	 4
1.1 Manyetizma.....	5
1.2 Manyetik Alan.....	5
1.3 Atomların Manyetik Momentleri.....	6
1.4 Ferromanyetik Maddeler Ve Manyetik Domenler.....	10
1.5 Histerisiz Çevrimi.....	17
1.6 İnce Film Teknolojileri	19
1.7 İnce Film Kaplama Yöntemleri.....	20
1.8 Materyallerde İzotropi ve Anizotropinin Belirlenmesi.....	20
1.8 Manyetik Anizotropi Enerjisi.....	21
2.MATERYAL VE METOT	22
2.1 Stoner-Wohlfarth Modeli.....	22
2.2 Stoner-Wohlfarth Teorisinin Manyetik Malzeme Karakterizasyonu için Uyarlanması.....	27
2.3 Kolay Yönelimlerin Dağılım Fonksiyonu ait A_0 ve A_{2n} Sabit Değerlerinin Fiziksel Anlamı.....	30
2.4 Polinomial Regrasyon Analizi.....	30

2.5 Titreşimli Örnek Magnetometresi.....	31
3. BULGULAR.....	35
3.1 NiCo Filmler ve Diğer Örneklerin Manyetik Parametrelerin Belirlenmesi.....	36
3.2. Örneklerin doku derecesinin (texture) belirlenmesi.....	42
4.SONUÇ VE TARTIŞMA.....	62
5.ÖNERİLER.....	65
5.EKLER.....	66
6.KAYNAKLAR.....	68
7.ÖZGEÇMİŞ.....	71

SİMGELER DİZİNİ

Simge	Adı
A	Yüzey alanı
A_0	Kolay yönelim dağılım fonksiyonu sabiti
A_{2n}	Kolay yönelim dağılım fonksiyonu sabiti
B	Manyetik alan
B_0	Kolay yönelim dağılım fonksiyonu sabiti
B_{2n}	Kolay yönelim dağılım fonksiyonu sabiti
B_z	Z yönünde uygulanan manyetik alan
e	Elektron yükü
E_{an}	Anizotropi enerjisi
H	Manyetik alan, Akı yoğunluğu
H_c	Polikristalize malzemede mıknatıslanmanın doyuma ulaşması gerekli alan
η	Planck sabiti
I	Elektrik akımı
K	Anizotropi sabiti
L	Açısal momentum
M_p	Uygulanan alana paralel manyetizasyon vektörü
M_r	Doyum manyetizasyonu
M_s	Manyetizasyon vektörü
M_s	Kalıcı manyetizasyon
M_t	Uygulanan alana dik manyetizasyon vektörü
m	Kütle

N	Sarım sayısı
r	Korelasyon katsayısı, Konum vektörü, yarıçap
S	Spin açısal momentumu, Yüzey alanı
S_r	Regrasyon analizinde hataların kareleri toplamı
T	Periyot
t	Zaman
ϑ	Çizgisel hız
V	İndüksiyon elektromotor kuvveti
y_r	Regrasyon analizinde polinom fonksiyon
ω	Açısal hız
μ	Manyetik moment
μ_0	Boşluğun geçirgenliği
μ_B	Bohr magnetronu
τ_{an}	Anizotropi yüzey enerjisinin açıya bağlı yönelim torku
τ_H	H manyetik alanca üretilen dönme torku
π	Matematiksel sabit
σ_r	Regrasyon analizinde polinom fonksiyonuna ait tahmini hata

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Adı	Sayfa No
Şekil 1.2.1	Maddenin basit atomik modeli.....	5
Şekil 1.2.2	Elektronun kendi eksenini etrafında dönerken meydana Getirdiği Manyetik alan.....	6
Şekil-1.3.1	Çekirdeğin etrafında r yarıçaplı yörüngede ϑ hızıyla hareket eden elektron.....	7
Şekil 1.3.2	Elektronun manyetik momenti μ spin S ve B_z ise yönünde Oluşan manyetik alan.....	9
Şekil 1.4.1	Birbirine paralel olarak yönelmeye çalışan atomik manyetik dipol momentleri.....	11
Şekil 1.4.2	Malzeme içinde görülen manyetik domenler.....	11
Şekil 1.4.3	NdFeB malzemesine ait manyetik domenler	12
Şekil 1.4.4	(a) Domenler ve domen duvarı (b) Domen duvarları.....	12
Şekil 1.4.5	(a) Dış alanın yokluğunda domen duvarları (b) Dış alan varlığında domen duvar hareketi.....	13
Şekil 1.4.6	(a) Bloch duvarı , (b) Neel duvarı.....	13
Şekil 1.4.7	Gd _{16,7} Fe _{83,3} den oluşan malzemede domenlerin dış manyetik alana göre davranışları.....	14
Şekil 1.4.8	Bir manyetik malzemeye ait manyetik domenlerin -27 ,0 ve 26 Oe 'lik bir dış manyetik alanın etkisinde kaldığında manyetik domen davranışları.....	14
Şekil 1.4.9	Manyetik domenlerin dış bir manyetik alanın etkisinde kaldığında manyetik domenlerin ve manyetik domen duvarlarının zaman göre değişimi.....	15

Şekil 1.4.10	Manyetik domenlerin dış bir manyetik alanın sıfır' dan başlayarak artan ve azalan değerleri ile tekrar alanın sıfır olduğunda manyetik domenlerin davranışlarındaki fenomen görülmektedir.....	15
Şekil 1.4.11	Dış ortamın sıcaklık değişimine göre manyetik domenlerin davranışı görülmektedir.....	16
Şekil 1.5.1	Histerisiz çevrimi ve genel özellikleri.....	17
Şekil 2.1.1	Stoner-Wohlfart modeline göre düşünülen tek domenli Partiküller.....	23
Şekil 2.1.2	Manyetik parçacıkların manyetik kayıt cihazında sıralanışı	23
Şekil 2.1.3	Manyetik kayıt cihazında farklı yönlerde manyetizasyon oluşturan manyetik partiküller.....	24
Şekil 2.1.4	(a) Demir, (b) Nikel, (c) Kobalt ait kolay ve zor eksen yönleri ile manyetizasyon eğriler.....	25
Şekil 2.1.5	Tek domenli elipsoit partikül	25
Şekil 2.1.6	Küresel tek bilgi alanlı parçacık ve onun histeresiz eğrisi ($\phi=90$).....	26
Şekil 2.1.7	H anizotropik alana anti paralel ($\phi=0$).....	27
Şekil 2.1.8	H anizotropi alanına gelişi güzel ϕ açısıyla geliyorsa.....	27
Şekil 2.2.1	E ile θ_0 açılı basit eksenli tek bir parçacığı.....	28
Şekil 2.5.1	VSM cihazının bir fotoğrafı.....	33
Şekil 3.1	İzotropik yapıdaki 6 μ m kalınlıklı NiCo filmine ait histeresiz Çevrimi.....	38
Şekil 3.2	Anizotropik yapıdaki 10 μ m kalınlıklı NiCo filmine ait histeresiz Çevrimi.....	39
Şekil 3.3	Anizotropik yapıdaki Teyp Bandına ait histeresiz çevrimi.....	40
Şekil 3.4	İzotropik özellikli kalınlığı 1, 6 μ m NiCo filmlerin $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranların analitik β açına bağlı değişimleri.....	45
Şekil 3.5	İzotropik özellikli kalınlığı flopidisk ve bandının $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranların analitik β açına bağlı değişimleri.....	46

Şekil 3.6	Anizotropik özellikli kalınlığı 2 µm NiCo filmin $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranların analitik β açına bağlı değişimleri.....	47
Şekil 3.7	Anizotropik özellikli kalınlığı 4 µm NiCo filmin $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranların analitik β açına bağlı değişimleri.....	48
Şekil 3.8	Anizotropik özellikli kalınlığı 10 µm NiCo filmin $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranların analitik β açına bağlı değişimleri.....	49
Şekil 3.9	Anizotropik özellikli kalınlığı 15 µm olan kayıtlı teyp şeridinin $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranların analitik β açına bağlı değişimleri.....	50
Şekil 3.10	Kolay eksen yöü yönelim fonksiyonu $f(\alpha)$ ım analitik α açısına bağlı değişim grafikleri.....	53
Şekil 3.11	Kolay eksen yönü yönelim fonksiyonu $f(\alpha)$ ım analitik α açısına bağlı değişim grafikleri.....	54
Şekil.3.12	Kolay eksen yönü yöneliminde oluşan 2, 4 ve 10 µm kalınlıklı NiCo filmlere ait paralelartık mıknatıslanma (remanence) değeri $M_p(\beta)$ fonksiyonunun analitik açı β açısına bağlı değişim grafiği.....	57
Şekil.3.13	Kolay eksen yönü yöneliminde oluşan kayıtlı Teyp kaseti şeridine ait paralel artık mıknatıslanma (remanence) değeri $M_p(\beta)$ fonksiyonunun analitik β açısına bağlı değişim grafiği.....	58
Şekil.3.14	NiCo filmlerin $f(\alpha)$ Kolay Eksen Yönelimi Dağılımı fonksiyonu değerindeki A_0 ve A_{2n} Fourier serisi katsayıları ile filmlerin kalınlıkları arasındaki ilişkisi.....	59
Şekil.3.15	NiCo filmlere ait kolay eksen yönelimleri fonksiyonu $f(\alpha)$ nın A_0 ve A_{2n} ($n=1$) katsayıları (Fourier Seri) ile $M_p(0)$ arasındaki ilişki.....	60

Şekil.3.16	1 µm kalınlıklı izotropik NiCo filme ait 40/1 oranında büyütme ile optik yüzey mikroskobu kullanılarak çekilen yüzey resmini görünümü.....	61
Şekil.3.17	10 µm kalınlıklı anizotropik NiCo filme ait 40/1 oranında büyütme ile optik yüzey mikroskobu kullanılarak çekilen yüzeyin görünümü.....	62

TABLO DİZİNİ

Tablo	Adı	Sayfa No
Tablo 1.1	Manyokristal Enerjisi Sebeb Sonuç İlişkileri.....	21
Tablo 3.1	Farklı kalınlıklı NiCo filmler ve ait VSM ölçüm sonucu raporlarından elde edilen $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranlarının farklı β açılardaki değerleri oranlarına göre belirlenen manyetik karakterizasyonu ve doyum manyetizasyonunun sıfır dereceye karşılık gelen H_c manyetik alan değerleri.....	41
Tablo 3.2	Ticari piyasada kullanımda olan Flopidisk, Disket Bant ve kayıtlı Teyp Şeridine ait VSM ölçüm sonucu raporlarından elde edilen $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranlarının farklı β açılardaki değerleri oranlarına göre belirlenen manyetik karakterizasyonu ve doyum manyetizasyonun sıfır dereceye karşı gelen H_c manyetik alan değerleri.....	41
Tablo 3.3	Anizotropik yapılı $2\mu m$, $4\mu m$ ve $10\mu m$ kalınlıklı NiCo filmlere ait beşinci dereceden en küçük kareler yöntemi kullanarak poliminal uyum fonksiyonları ve regrasyon katsayı.....	42
Tablo 3.4	Kayıtlı Teyp Şeridine ait beşinci dereceden en küçük kareler yöntemi kullanarak poliminal uyum fonksiyonları ve regrasyon katsayıları.....	43
Tablo 3.5	Farklı kalınlıktaki ince NiCo filmleri için hesaplanan kolay eksen yönelim fonksiyonu $f(\alpha)$ nın A_0 ve A_{2n} katsayı değerleri.....	51
Tablo 3.6	Teyp Şeridine için hesaplanan kolay eksen yönelim fonksiyonu $f(\alpha)$ nın A_0 ve A_{2n} katsayı değerleri	51

Tablo 3.7	Anizotropik ve farklı kalınlıktaki NiCo filmlere ait değerler kullanarak hesaplanan kolay eksen yönelimine ait paralel artık mıknatıslanma (remanence) değerleri için B_0 ve B_{2n} katsayı değerleri	55
Tablo 3.8	Anizotropik kayıtlı Teyp Şeridi değerleri kullanarak hesaplanan kolay eksen yönelimine ait paralelartık mıknatıslanma (remanence) değerleri için B_0 ve B_{2n} katsayı değerleri.....	55

GİRİŞ ve AMAÇ

Manyetik ince filmler elektromanyetik veya manyetik kayıt cihazlarındaki endüstriyel uygulamalarından dolayı hem teorik hem de deneysel olarak yoğun çalışma alanına sahiptir. Özellikle duyarlılığı yüksek sensör ve bilgi depolama teknolojisinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişip büyümesine paralel olarak özellikle manyetik malzemelerin üretimi ve bu malzemelerin kimyasal, fiziksel ve manyetik özelliklerinin (kolay eksen yönelimi, manyetik doku analizi, manyetik anizotropi vb.) büyük önem taşımaktadır.

Bilişim sektörünün günümüzde hızla gelişmesi yüksek hızda bilgisayarlara, dolayısı ile yüksek kapasiteli belleklere, kayıt araçlarına ve buna paralel olarak sözü edilen malzemelerin üretimine olan ihtiyaç zaman içerisinde artmaktadır. Bu tür malzemelerin üretim tekniklerinde biri elektrodepozisyon tekniğidir [1]. Bu teknik, manyetik cihazlar içerisinde önemli bir yeri olan manyetik kayıt başlıklarında kullanılan manyetik filmlerin üretiminde kullanılmaktadır. Bu amaçla, alaşım film üretimi ve manyetik özelliklerinin belirlenmesi önemlidir [3].

Üretilen cihazın kayıt performansı ile ilişkili yapıya özel makro manyetik özellikler vermek ve bilgi depolayabilmek için ferromanyetik özellik gösteren metal alaşım filmler hazırlanmaktadır [3]. Kayıt cihazı hem veri depolama hem de geri okuma sinyalini (reed-back) verebilmesi için yüksek kalıcı alan (coercity, H_c), yüksek veri verme yoğunluğu, yüksek artık (remanent) manyetizasyonu ve kaydedilen bitler arasında keskin geçişleri vermek için dar anahtarlama alan dağılımına sahip olması gerekir [5].

Üretilen bir numunenin temel özelliğini tanımlanmak için kullanılan “*izotropik*” ve “*anizotropik*” kavramları malzeme bilimi için çok önemlidir. Bir numunede bütün kristiyografik yönlerde malzemenin sahip olduğu fiziksel özellikler aynı ise “*izotropik*” ve diğer taraftan üretilen numuneler için farklı eksenlerde ölçülen fiziksel parametrelerinin değerlerinin farklı değerde olması ise “*anizotropik*” kavramları ile tanımlanmaktadır [6,7]. Polikristal numunelerde ve filmlerde anizotropi, numunenin üretim şartları ve bu esnada yüzeyde meydana gelen doku desenlerinin farklılığından kaynaklanmaktadır. Metaller ve alaşımlar çoğu izotropik davranış göstermesine rağmen,

bazen çok önemli anizotropik davranış gösterdiği deneysel çalışmalar ile rapor edilmiştir [8, 9].

Bir numunenin izotropik veya anizotropik özelliği Titreşimli Örnek Manyetometresi (Vibrating Sample Magnetometer, VSM) ve Manyeto Optik Kerr Etki (Magneto Optic Kerr Effect, MOKE) teknikleri kullanılarak belirlemek mümkündür. Her iki yöntemde numuneye 0° - 90° arasında değişen açılarla manyetik alan uygulanarak histerisiz eğri ölçümleri yapılmaktadır. Bu ölçümlerden doyum manyetizasyonu M_r nin kalıcı manyetizasyon M_s oranları $\frac{M_r}{M_s}$ oranları (squarness) sabit kalıyorsa, bu numune "**izotropik**" özellik göstermektedir. Eğer farklı açılarda $\frac{M_r}{M_s}$ değişiyor ise "**anizotropik**" özellik göstermektedir [10, 11].

Birçok deneysel ve teorik çalışma film yüzeyindeki tek domain parçacıklarının manyetik davranışı ile ilgilenmektedir. Stoner-Wohlfarth (SW) modeli hem manyetik kristalleşme anizotropisi tek eksenli anizotropi ile tek domain parçacıklarını kümesinin manyetizasyon eğrilerini tanımlamaktadır. Manyetik karakterli yapıda anizotropi enerjisi SW'a göre kristal anizotropi yada yapıdaki metal parçacıklarının dokusundan (texture) kaynaklanmaktadır. Bu parçacıkların manyetik momentleri dış manyetik alanının uygulanması esnasında yapının manyetizasyonları homojen olarak dönmekte ve yalnızca birleşik eksen (uniaxial) anizotropi etkisi gözlenmektedir. SW'ın yaklaşımı, doğal ortamdaki sıcaklık etkisi ve yapının oluşumunu meydana getiren metal parçacıklar arası etkileşimleri ihmal etmektedir [11].

Materyal biliminde, yüzey texture etkisi bir numunenin kristiyografik yönelimi dağılımını belirlemektedir. Yapılan bir çok çalışma göstermiştir ki bir numunede yönelim tamamen rasgele olup yüzeyden bağımsızdır. Eğer hazırlanan numunede kristografik yönelim rasgele değilse, bazı yönelimler tercih edilir. Bu yaklaşımlar ile texture etkisi zayıf, orta ve güçlü olarak tanımlanmaktadır. Kristalin yüzdelik derecelendirme, texture etkisi ile orantılıdır. Tüm mühendislik çalışmaları ile üretilen malzemelerde texture etkisi görülmekte ve malzemenin fiziksel özelliklerini belirlemede büyük etkiye sahiptir.

Numunenin yüzey dokusunu belirlemede farklı metotlar kullanılır. Bu metotlardan üretilen numune için nitelikli bir analiz yapılmasını sağlar. Bu metotlar arasında en

yaygın kullanılan X Işını Kırınımı (X Ray Diffraction, XRD) ve Tarama Elektron Mikroskopudur. Nitelikli bir analiz için Laue Fotograflama Tekniği, X Işını Kırınımı veya Polarize Mikroskobu ile yapılabilir. Nötron ve X Işını Kırınımı materyalin bulk yüzeyini inceler X Işını Kırınımı Cihazı ince film içinde uygundur [12, 13].

Bu tez çalışmasında, oda sıcaklığında elektrodpozisyon tekniği kullanılarak üretilen NiCo manyetik alaşım filmlerin yüzeylerindeki doku etkisi, SW modeli [11] ki M. E-Hilo ve ark. tarafından manyetik ince filmlere uyarlanan Fourier Seri açılımı yöntemi kullanılarak incelenmektedir [7-9]. Bu amaç ile yapılan çalışmanın aşamaları aşağıda özetlenerek sunulmaktadır.

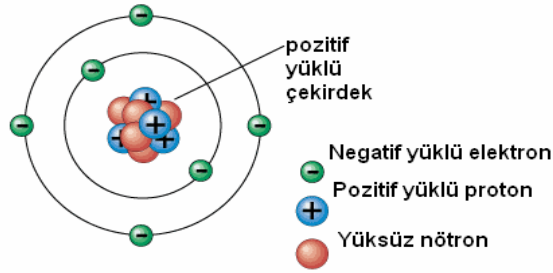
1. Üretilen farklı kalınlıktaki NiCo ince filmlerin manyetik parametreleri VSM ile ölçülmektedir.
2. Farklı kalınlıklı NiCo alaşım filmlerin histerisiz grafikleri elde edilerek, filmlere ait kalıcı alan H_c , doyum alanı H_s , doyum manyetizasyonu M_s ve kalıcı manyetizasyon M_r değerleri belirlenmektedir.
3. Histerisiz grafiklerinden NiCo alaşım filmlere ait kareselliği (squareness) değerleri olan M_r/M_s değerleri VSM histerisiz çevrimi ölçüm raporlarından alınarak analitik β açısına bağlı grafiği çizilmekte ve dağılım en küçük kareler yöntemi kullanılarak beşinci dereceden polinomial uyum fonksiyonu hesaplanmaktadır.
4. Daha sonra, NiCo film yüzey anizotropisi ve doku etkilerini belirlemek için kolay eksen yönelimleri dağılım fonksiyonları Fourier Serisi ile tanımlanmaktadır. Ayrıca Fourier Serisi Katsayıları A_0 ve A_{2n} değerleri hesaplanarak üretilen numunelerin manyetik karakterizasyonu kalınlığa bağlı olarak tartışılmaktadır.

1. BÖLÜM
KURAMSAL BİLGİLER

1.1 MANYETİZMA

1.2 Manyetik Alan

Manyetik alan, elektrik yüklerinin hareketi sonucunda ortaya çıkan fiziksel bir etkidir. Maddenin basit atomik modeline göre Şekil 1.2.1 de görüldüğü gibi bütün maddeler pozitif yüklü bir çekirdek muhtelif sayıda negatif yüklü elektron yörüngelerinden oluşmuştur [31].



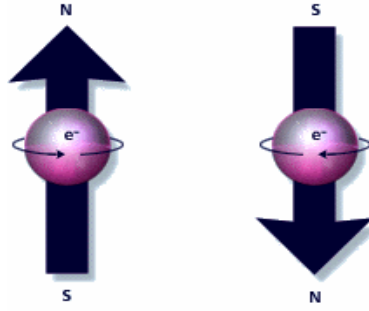
Şekil 1.2.1

Maddenin basit atomik modeli [13]

Negatif yüklü olan elektronlar, çekirdek etrafında yörüngesel bir dolanım yaptıkları gibi kendi eksenleri etrafında da bir dönme hareketi (spin) gerçekleştirir. Andre Marie Ampere (1775-1836) göre mıknatıslanmış madde içinde dolaşan akımlar var olduğunu ve maddenin manyetik özelliğinin bu küçük kapalı devre akımlardan ileri geldiğini ileri sürmüştür. Bu yaklaşım günümüzde artık kesinlik kazanmıştır. Ampere 'in ortaya koyduğu bu yaklaşıma göre, elektrik yüklü parçacıklar hareket halinde ise ortamda bir değişiklik meydana gelir. İşte akım taşıyan bir bobinin yada bir mıknatısın bulunduğu ortamda manyetik kuvvet olarak çıkan bu değişiklik, “manyetik alan” olarak isimlendirilir.

Manyetik alan, doğrultusu, yönü ve şiddeti ile belirlenen vektörel bir niceliktir. Herhangi bir ortamdaki manyetik alan etkisi, kuvvet çizgileri yada manyetik akı çizgileri ile gösterilmektedir. Kuvvet çizgileri kapalı bir çevrim oluşturur. Aynı zamanda manyetik alan vektörü bu çizgilere teğettir. Pozitif yüklü çekirdek etrafında yörüngede dolanım yapan elektron bir akım meydana getirir. Direnci olmayan ve sürekli

devam eden bu akım devreleri atomlardaki negatif yüklü elektronların dönmesinden ileri gelir. Yukarıdaki yaklaşımda belirtildiği gibi hareket eden bir elektrik yükü çevresinde her zaman bir manyetik alan meydana getirildiğinden negatif elektrik yüklü bir elektronda yaptığı bu hareketinden dolayı bir manyetik alan meydana getirir. Meydana gelen bu alanın yönü Şekil 1.2.2 görüldüğü gibi elektronun dönme yönüne bağlıdır.



Şekil 1.2.2

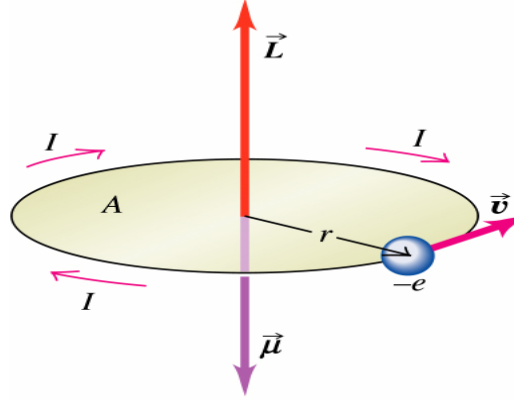
Elektronun kendi eksenini etrafında dönerken meydana getirdiği manyetik alan [13]

Mıknatıslanmamış bir madde de bu hareketler düzensizdir. Bunun sonucu olarak da bu etkiler birbirini yok ettiklerinden bileşke etki sıfıra çok yakındır. Madde içersine konulduğu zaman manyetik alanda bu etkileri bir düzene girdiğinden mıknatıslanır [13, 21, 32].

1.3 Atomların Manyetik Momentleri

Bir maddedeki manyetik momentler iç atomik akımlardan meydana gelirler. Bu akımlar manyetik alan bölümünde açıklandığı gibi elektronların pozitif çekirdek etrafında ve çekirdekteki protonların birbirleri etrafında donanımlarından ileri gelir. Elektronlardan kaynaklanan manyetik momentler daha açık bir ifadeyle elektronun net manyetik momenti elektronun yörüngesel hareketiyle, spin olarak tanımlanan iç özelliğinin birleşiminden meydana gelir

Maddenin basit atom modeline göre elektron Şekil 1.3.1 de görüldüğü gibi ağır bir çekirdek etrafında r yarıçaplı bir yörüngede $\mathbf{v}$ hızıyla hareket etmektedir.



Şekil 1.3.1

Çekirdeğin etrafında r yarıçaplı yörüngede ϑ hızıyla hareket eden elektron [43]

Elektron çekirdeğin etrafında $2\pi r$ 'lık yani dairesel yörüngenin çevresi kadar yolu T (periyot) zamanında dolanmaktadır. Elektronun, bir dolanım sonucunda oluşturacağı akım,

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.3.1)$$

Denklem ile tanımlanır ve dolanım periyodu ise;

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (1.3.2)$$

Denklemleri ile verilir. Elektronun açısal hızı ve oluşan akım;

$$\omega = \vartheta . r \quad (1.3.3)$$

$$I = \frac{e \vartheta}{2\pi r} \quad (1.3.4)$$

denklemleri ile tanımlanmaktadır.

Manyetik moment ise ;

$$\mu = I . S \quad (1.3.5)$$

$$S = \pi r^2 \quad (1.3.6)$$

$$\mu = I \cdot S = \left(\frac{e \hbar}{2\pi m} \right) \pi r^2 = \frac{1}{2} e \hbar r \quad (1.3.7)$$

olacaktır.

Elektronun açısal momentumunun büyüklüğü ;

$$L = m \mathbf{v} \times \mathbf{r} \quad (1.3.8)$$

Olduğundan,

$$\mu = \left(\frac{e}{2m} \right) L \quad (1.3.9)$$

Şeklinde tanımlanabilir. Elektronlar negatif yüklü olduğundan Şekil 1.3.1. μ ve L vektörleri ters yönlü ve yörünge düzlemine diktirler.

Kuantum mekaniğine göre ise $\hbar$ Planck sabitini göstermek üzere $\eta = \frac{\hbar}{2\pi} = 1,054 \cdot 10^{-34} \text{ j.s}$

yörünge açısal momentumu kesikli yani kuantumlu ve her zaman $\hbar$ ' nin tam katları şeklinde ifade edilir. Böylece açısal momentum ;

$$L = 0, \hbar, 2\hbar, 3\hbar, \dots, n\hbar$$

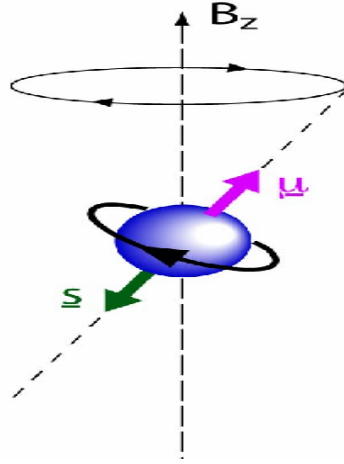
değerlerini alabilir.

Manyetik momentin sıfır olmayan en küçük değeri (1.3.9) bağıntısına göre;

$$\mu = \frac{e}{2m} \eta \quad (1.3.10)$$

dır.

Elektronların spin özelliği nedeniyle elektron manyetik momente katkıda bulunur. Kuantum mekaniği açısından Şekil 1.3.2 de görüldüğü gibi " spin " özelliği dönen bir elektronun bir akım ilmeği oluşturması ve dolayısıyla manyetik moment oluşturmasından meydana gelir.



Şekil 1.3.2

Elektronun manyetik momenti μ spini S ve B_z ise z yönünde oluşan manyetik alan [13]

Bu momentin büyüklüğü; yörüngesel manyetik momentle aynı mertebededir. Spin açısal momentumunun büyüklüğü kuantum mekaniğine göre ;

$$S = \left(\frac{h}{2\pi} \right) \frac{1}{2} = 5,2729 \cdot 10^{-35} \text{ j.s} \quad (1.3.11)$$

dir.

Bir elektron spininden iç manyetik momentin değeri ise ;

$$\mu_B = \frac{e}{2\pi} \eta = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ j/T} \quad (1.3.12)$$

denklemleri ile verilmektedir. ve bu büyüklüğe “*Bohr Magnetronu*” denir.

Çok sayıda elektron bulunduran atomlar veya iyonlarda genellikle elektronlar, spinleri zıt yönde yönelecek biçimde elektron çiftleri meydana getirirler. Böylece spin manyetik momentleri birbirini yok eder.

Genelde tek sayıda elektronu bulunan atomların en azından bir tane çiftlenmemiş elektronu ve buna karşı gelen spin manyetik momentleri vardır. Bir atomun toplam manyetik momentinden bahsetmek gerekirse " spin " ve " yörüngesel " manyetik momentlerinin vektörel toplamıdır.

Bir atomun çekirdeğindeki proton ve nötronlardan da kaynaklanan çekirdek manyetik momenti de vardır. Çekirdeksel manyetik momentler elektronun manyetik momentlerinden yaklaşık olarak 10^3 kez daha küçüktürler.

Atomik numaraları 21 ila 28, 39 ila 45, 57 ila 78 arasında ve 89 ve büyük olan malzemelerde manyetik moment söz konusudur. En önemli aralık 21 ila 28 arasında olup bu aralıkta bulunan vanadyum, krom, manganez, demir, nikel, kobalt ve bunların alışımlarında net manyetik moment sıfırdan farklıdır. Bu malzemelere "*ferromanyetik malzeme* " adı verilir [21, 31, 32].

1.4 Ferromanyetik Maddeler ve Manyetik Domenler

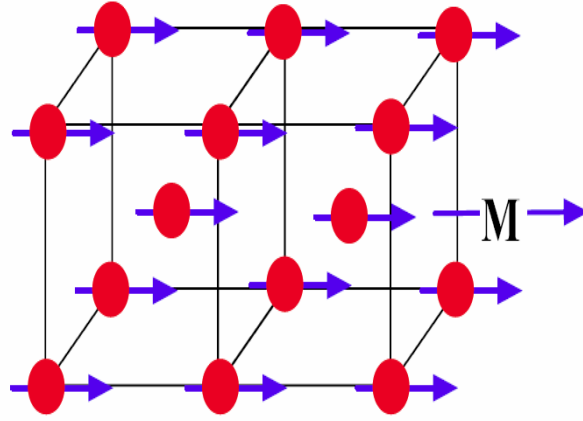
Michael Faraday (1791-1867)' in yaptığı çalışmalar sonucunda tüm maddelerin, manyetik alana bir tepki gösterdiğini ve bu tepki neticesinde karşılıklı bir etkileşimin söz konusu olmasından dolayı maddelerin üç grupta toplanabileceğini göstermiştir. Bu maddeler diamanyetik, paramanyetik ve ferromanyetik maddelerdir.

Paramanyetik ve diyamanyetik maddelerde her bir atomun manyetik momentinin yönü diğer atomların manyetik momentlerinin yönlerinden bağımsızdır. Bundan dolayı da dış manyetik alan olmadığında oluşan net manyetik moment sıfırdır.

Paramanyetik maddelere bir dış manyetik alan uyguladığımızda her bir manyetik moment üzerine bir tork etki eder. Böylece paramanyetik maddenin her bir atomunun sahip olduğu manyetik moment dış manyetik alanla aynı yönde yönelir ve büyüklüğü dış alanın büyüklüğü ile orantılı olur.

Diamanyetik maddelere bir dış alan uygulandığında ise, dış alanın yönüne ters net bir manyetik moment oluşturur.

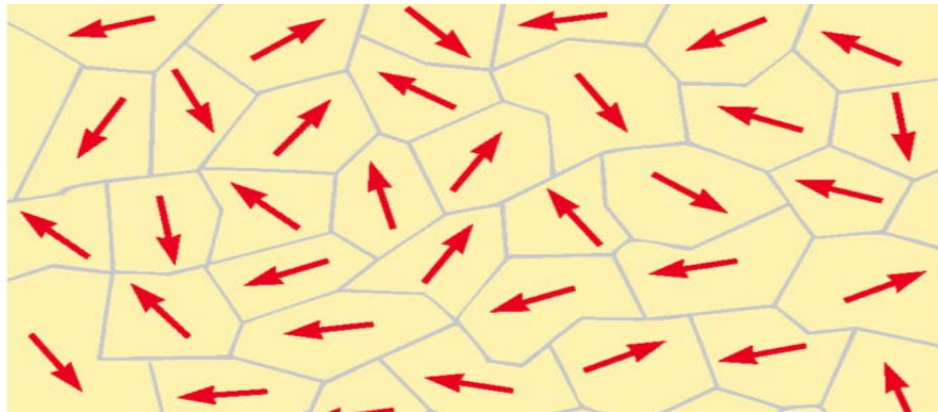
Ferromanyetik maddeler ise zayıf bir dış manyetik alan içinde bile Şekil 1.4.1 de görüldüğü gibi birbirine paralel olarak yönelmeye çalışan atomik manyetik dipol momentlerine sahiptir.



Şekil 1.4.1

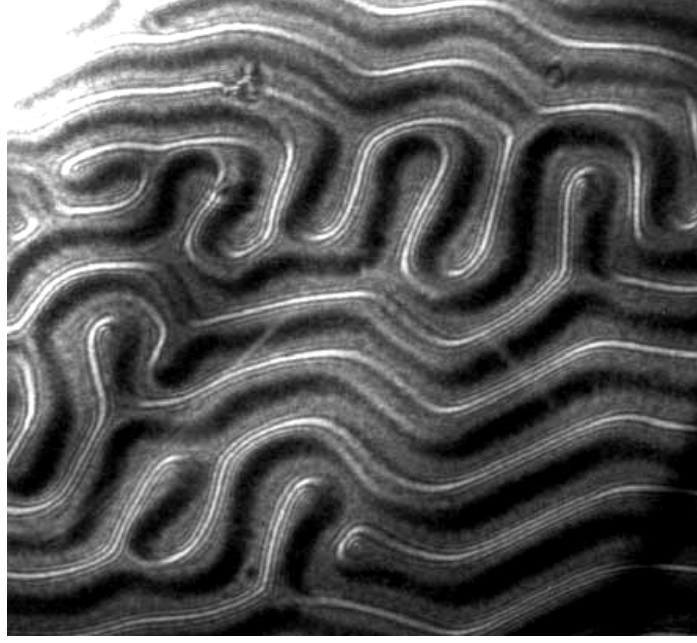
Birbirine paralel olarak yönelmeye çalışan atomik manyetik dipol momentleri [30]

Eğer momentler paralel hale getirildikten sonra, dış alan kaldırılsa bile ferromanyetik malzeme mıknatıslanmış olarak kalacaktır. Bu sürekli yönelim, komşu olan manyetik momentler arasındaki kuvvetli etkileşimden kaynaklanmaktadır. Ferromanyetik maddeler ısı enerjisi ile yada dış manyetik alanın oluşturduğu manyetik enerji ile mıknatıslık kazanmaktadır. Bu etkileşim sonucunda Şekil 1.4.2 de görüldüğü gibi ferromanyetik maddeler içinde manyetik momentleri aynı yönde oluşan atomlardan oluşan bölgeler meydana gelir ve bu bölgelere manyetik domen olarak adlandırılır [18, 21].



Şekil 1.4.2

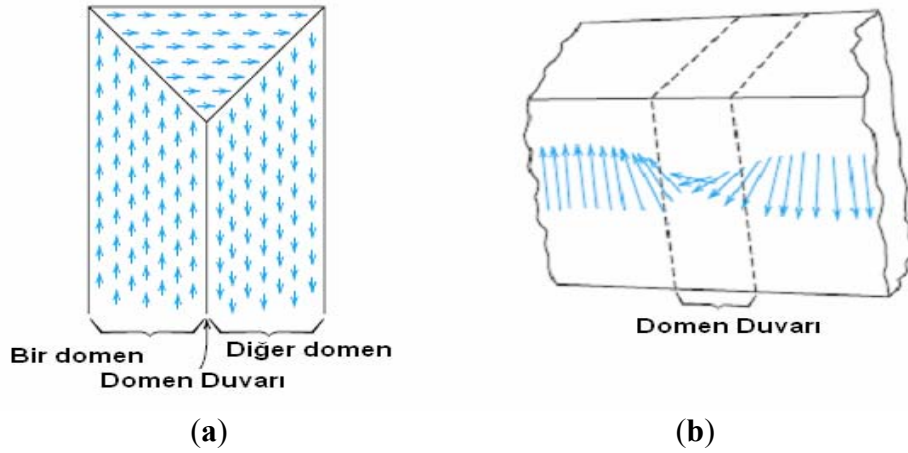
Malzeme içinde görülen manyetik domenler [27]



Şekil 1.4.3

NdFeB malzemesine ait manyetik domenler [38]

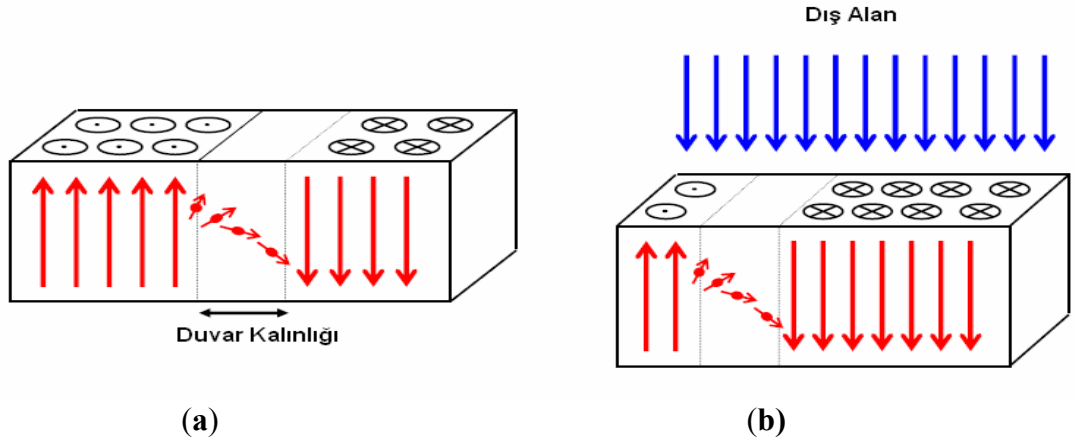
Domenlerin hacimleri yaklaşık olarak 10^{-12} - 10^{-8} m^3 olup, her bir domen 10^{17} - 10^{21} civarında atom içermektedir. Farklı yönelimlere sahip olan domenlerin arasındaki sınırlara domen duvarları denir. Şekil 1.4.4. de domen duvarları görülmektedir.



Şekil 1.4.4

(a) Domenler ve domen duvarı (b) Domen duvarları [26]

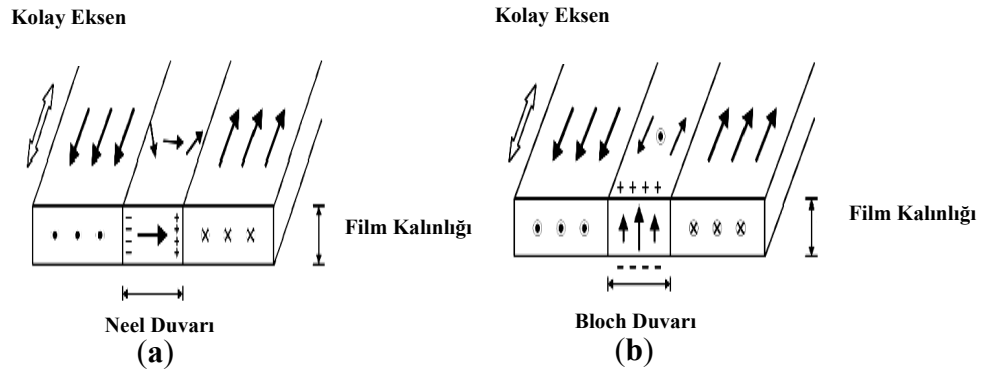
Duvarlar bir dış alanla hareket ederler ve enerji yüklüdür. Şekil 1.4.4 de bir dış alana maruz kalan bir domen duvarının davranışı gösterilmektedir.



Şekil 1.4.5

- (a) Dış alanın yokluğunda domen duvarları
(b) Dış alan varlığında domen Duvar hareketi [26]

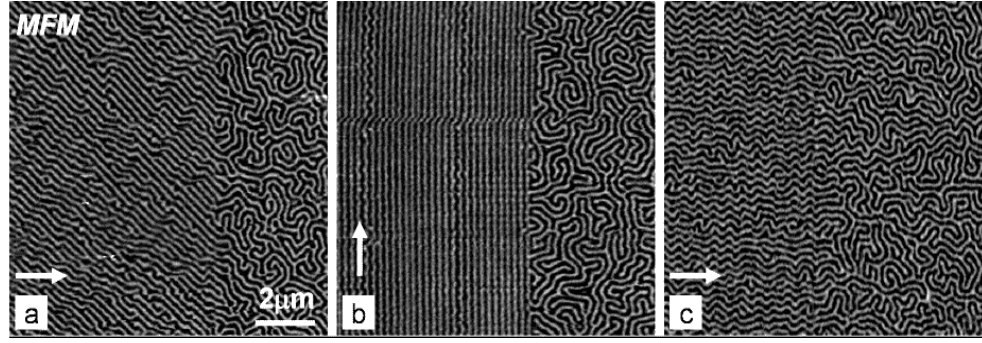
Domen duvarları için iki model geliştirilmiştir. Bu modeller Bloch ve Neel duvarı modelleridir. Bu duvar modelleri Şekil 1.4.6 da görülmektedir.



Şekil 1.4.6

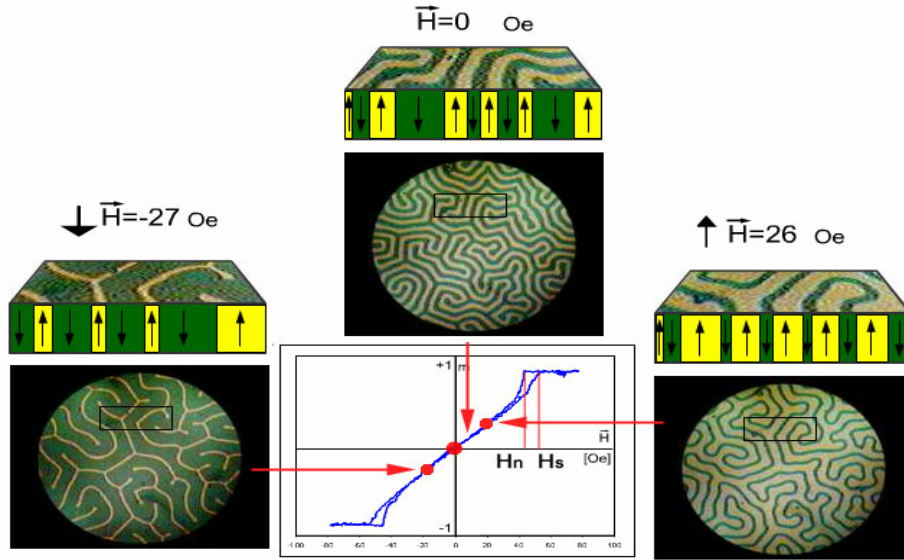
- (a) Bloch duvarı , (b) Neel duvarı [12]

Mıknatıslanmamış maddelerde domenler net manyetik momenti sıfır olacak şekilde rasgele yönelirken bir dış alan uygulandığında ise uygulanan alanla aynı yönde olmayan bütün dipoller üzerine bir kuvvet etki eder. Bu kuvvet, domen duvarı atomlarının manyetik dipollerini Şekil 1.4.8 , Şekil 1.4.9, Şekil 1.4.10, Şekil 1.4.8 ve Şekil 1.3.9 de görüldüğü gibi dış alan yönünde döndürür.



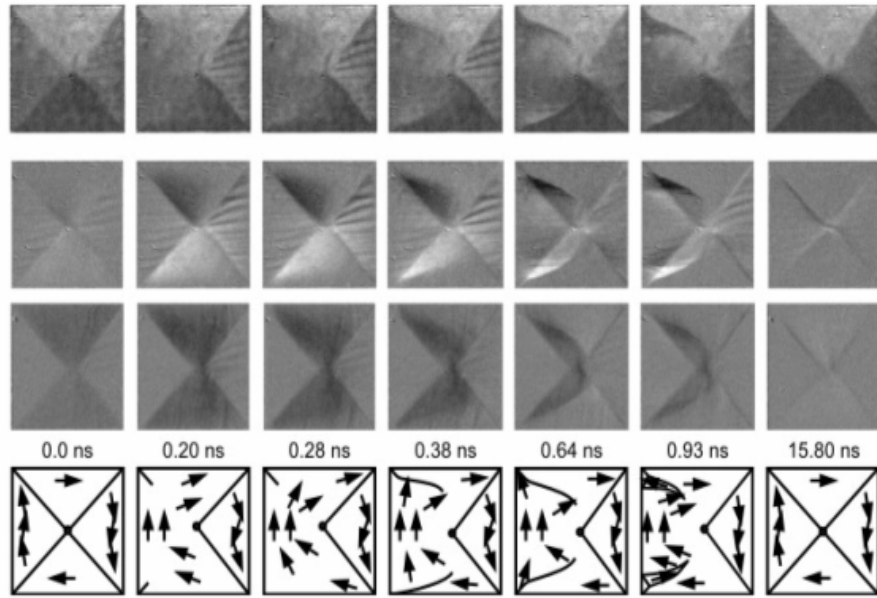
Şekil 1.4.7

$Gd_{16.7}Fe_{83.3}$ den oluşan malzemede domenlerin dış manyetik alana göre davranışları [34]



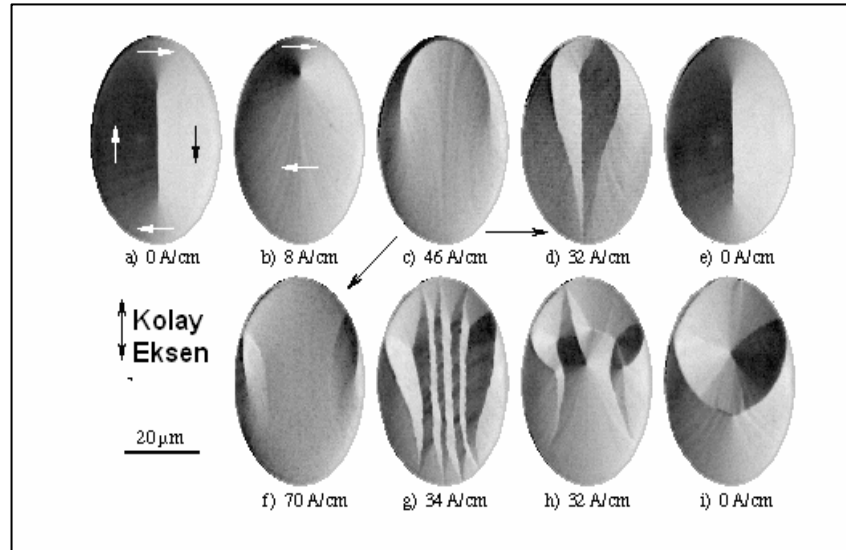
Şekil 1.4.8

Bir manyetik malzemeye ait manyetik domenlerin -27 ,0 ve 26 Oe 'lik bir dış manyetik alanın etkisinde kaldığında manyetik domenlerin davranışları [40]



Şekil 1.4.9

Manyetik domenlerin dış bir manyetik alanın etkisinde kaldığında manyetik domenlerin ve manyetik domen duvarlarının zaman göre değişimi [40]

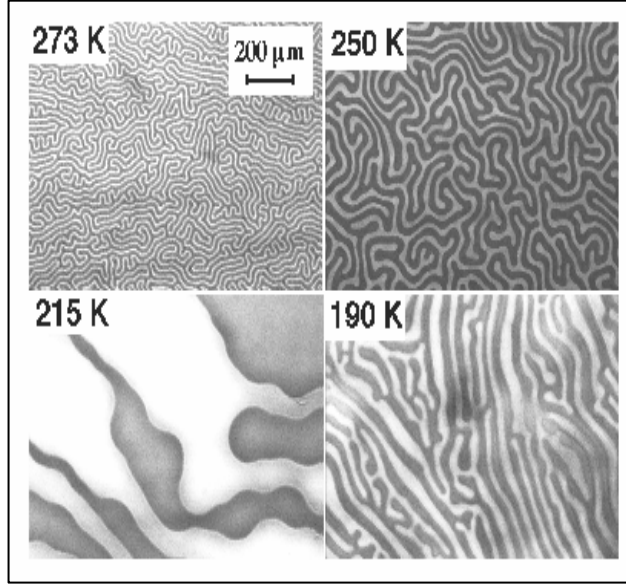


Şekil 1.4.10

Manyetik domenlerin dış bir manyetik alan etkisi ile değişimi [40]

Bunun sonucu olarak ta dış alan yönündeki domenler büyür. Eğer dış alan yeter kadar güçlü ise madde içersinde ki var olan bütün manyetik dipoller alanla aynı yönde yönelir ve madde manyetik doyuma ulaşır. Bu durumda dış manyetik alan kaldırılırsa bile, dış alan yönünde net bir manyetik moment (**kalıcı mıknatıslanma**)

kalır. Ferromanyetik maddeler sürekli (**devamlı**) mıknatısların yapımında kullanılır. Domenlerlerin yapıları ve davranışları, ferromanyetik maddenin mıknatıslanma eğrisi (**histerisiz eğrisi**) belirler [21, 33].



Şekil 1.4.11

Dış ortamın sıcaklık değişimine göre manyetik domenlerin davranışları görülmektedir [42]

Ferromanyetik maddelerin genel özelliklerini aşağıda maddelerle özetlenmektedir.

1- Bağıl manyetik geçirgenlikleri 1' den çok büyüktür.

2-Bağıl manyetik geçirgenlikleri, malzemenin cinsine, malzemeye daha önce uygulanan manyetik işlemlere ve manyetik alan şiddetinin değerine bağlı olarak değişkendir.

3- Paramanyetik ve diamanyetik maddelerde B manyetik akı yoğunluğu ile H alan şiddeti arasındaki doğrusal bir ilişki varken, ferromanyetik malzemelerde bu ilişki doğrusal değildir.

4- Manyetik histerisize sahiptir.

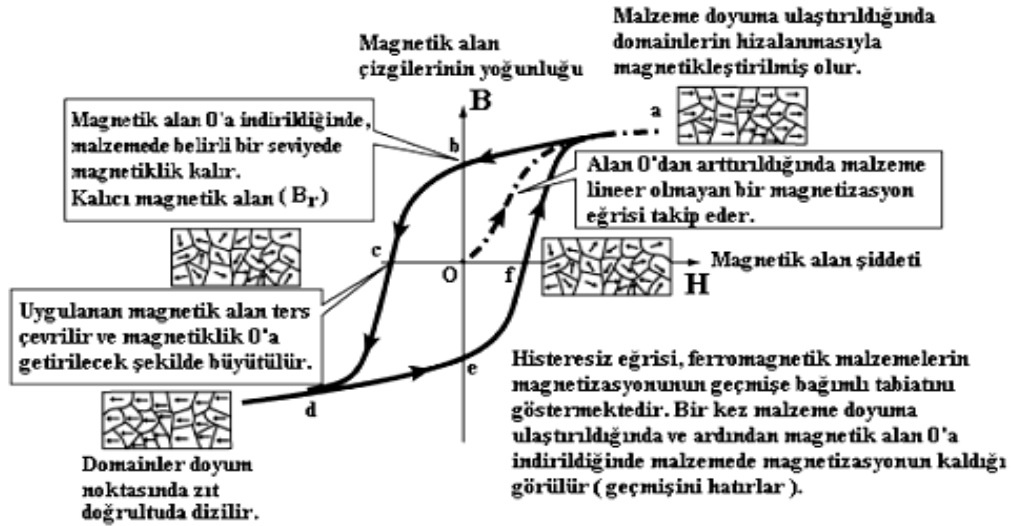
5- Ferromanyetik maddeler Curie sıcaklığı üzerinde paramanyetik malzeme durumuna geçerler [21].

1.5 Histerisiz Çevrimi

Bir malzemede, domenlerin yapıları ve davranışları, ferromanyetik maddenin mıknatıslanma eğrisi belirler. Bu eğriye Şekil 1.5.1.de görüldüğü gibi " ***histerisiz eğrisi*** " (***histerisiz çevrimi***) denir.

Histerisiz eğrisi mıknatıslığını tamamen kaybetmiş bir malzemeye değişken bir dış manyetik alana maruz bırakıldığında, bu dış alan ile akı yoğunluğu ölçülerek histerisiz eğrisi elde edilebilir. Histerisiz eğrisinin düşey eksen M , malzemedeki akı yoğunluğu, H ise uygulanan manyetik alan şiddetini ifade etmektedir.

Eksenlerin kesim noktası 0 , mıknatıslanmanın olmadığı ve hiçbir kuvvetin uygulanmadığı anı temsil eder. Manyetik alan şiddetini arttırdığında, akı yoğunluğu önce hızlı, sonra maksimum yada doyma noktasına ulaşınca kadar yavaşlayarak artar. Manyetik alan şiddetinin daha fazla arttırılması akı yoğunluğunda bir artış meydana getirmez. Akı yoğunluğunun yükselişi Şekil 1.5.1 de noktalı çizgi ile gösterilmiştir.



Şekil 1.5.1

Histerisiz çevrimi ve genel özellikleri [33]

Şekil 1.5.1 deki Histeresis eğrisinin temel özellikleri aşağıda maddelerle özetlenmektedir.

1-Manyetik alan şiddeti ters yönde 0 ' a düşürüldüğünde H_r noktasında malzemede bir miktar mıknatıslanma mevcut kalır. Buna malzemenin artık mıknatıslığı (**remanans**) adı verilir.

2-Mıknatıslanma akımı ters çevrilerek yavaşça 0 ' a düşürüldüğünde malzemedeki akı yoğunluğu azalır. Artık mıknatıslık (**c**) noktasında 0 olur. Yatay eksenindeki mesafe, giderme kuvveti (**koersitif**) olarak adlandırılır.

3-Giderme kuvveti mıknatıslanma sonrasında malzemelerdeki manyetik akı yoğunluğu 0 ' a indirmek için gerekli olan manyetik alan şiddeti değeridir. Bu noktadan manyetik alan şiddeti daha da arttırılırsa malzeme tekrar doyuma ulaşır.(**d**)

4-Manyetik alan şiddeti tekrar yavaş yavaş 0 ' a düşürüldüğünde, akı yoğunluğu bir miktar azalır (**e**).

5-(**e**) noktasında da malzemede bir miktar artık mıknatıslanma görülür.

6-Manyetik alan ilk yönde arttırılmaya devam edilirse artık akı yoğunluğu azalır ve (**f**) noktasında 0 olur.

7-(**f**) noktasından manyetik alan arttırılmaya devam edilirse başlangıç doyma noktasına (**a**) ulaşır [32].

Elde edilen histerisiz eğrileri malzeme hakkında şu bilgileri verir;

1-Çok ince manyetik filmlerde, histerisiz eğrisi kareye benzer bir görünüm alır.

$\frac{M_r}{M_s}$ değeri, histerisiz eğrisinin kareselliği olarak adlandırılır. Eğri

kareselleştikçe, oran 1 ' e yaklaşır.

2-Elde edilen histerisiz eğrisinin alanı küçükse yüksek manyetik geçirgenlik ve düşük zorlayıcı kuvvete sahiptir. Bu tür malzemeler yumuşak mıknatıslardır. Bu tür malzemeler primer ve sekonder arasındaki akım değişen transformatör çekirdeklerinde kullanışlı bir özelliktir. Bunun dışında bilgisayarlardaki gibi, yüksek anahtarlanma hızlı devrelerde de kullanışlıdır.

3-Büyük alanlı bir histerisiz eğrisi sert bir manyetik malzem göstergesidir. Bu tür malzemelere sert mıknatıs denir. Bu tür mıknatıslar, manyetik kilit, haparlör ve küçük motorlar için kullanılır.

Sonuç olarak; histersisiz eğrisinin daralması malzemenin kolay mıknatıslanabileceğini ve düşük artık mıknatısa sahip olacağını, genişlemesi ise malzemenin zor mıknatıslana bileceğini ve daha kuvvetli bir artık mıknatıslığa sahip olacağını göstermektedir [21, 31, 32].

1.6 İnce Film Teknolojileri

İnce filmler, kalınlığı $1\mu m'$ den az olan metal oksit filmler olarak tanımlanmaktadır. İnce filmlerin yeteri ölçüde tanımlanabilmesi için mikroskobik film özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir. Elementlerin kompozisyonu ve kimsayasal bağlanma durumu, topografik özellikleri, yüzey pürüzlüğü, kristal ve amorf yapıdaki ara yüzeyler ve kristal yapı gibi faktörler ince film özelliklerinde doğrudan etki etmektedir.

Diğer açıdan bazı ince filmler, elementlerin düşük basınçlı bir ortam içersinde buharlaştırılması ve bu buharın daha düşük sıcaklıktaki kalıcı yüzey üzerinde yoğunlaşması ile elde edilir.

Günümüzde ince filmler, yarı iletken aletlerin yapımında, manyetik kayıt ve algılama sistemlerinde, optik kaplamalarda ve dekoratif işlerde yaygınlıkla kullanılmaktadır. Kaplama yöntemlerindeki farklılıklar ve kaplama sırasındaki çeşitli işlemler sonucu, hacimli malzemede bulunmayan birçok özellik bu malzemelerin ince filmlerinde yaratılabilir. İnce filmlerli malzemelerde olup hacimli malzemelerde olmayan şu özellikler vardır:

- 1.Klasik laboratuvar şartlarında elde edilemeyecek ölçüde temizdir,
- 2.Klasik laboratuvar şartlarında elde edilemeyecek seviyede küçük geometrilerin üç boyutta oluşması mümkündür,
- 3.Atomik büyüme işleminden kaynaklanan filme özgü malzeme özellikleri görülebilir,
- 4.Kalınlık, kristal yönlenmesi ve çok katlı yapılardan kaynaklanan kuantum boyut etkileri ve diğer boyut etkilerini görmek mümkündür [20].

1.7 İnce Film Kaplama Yöntemleri:

Elektrodepozisyon Tekniği :Elektrodepozisyon tekniği, iletken bir banyo içersinden bir akım geçirmek sürati ile metallerin iletken bir yüzey üzerinde indirgenmesi prensibine dayalı elektro kimyasal bir yöntemdir. Elektrodepozisyon tekniğinde film üretimi oda sıcaklığında yapılmakta ve üretim hızlı olmaktadır. Sistemin bileşenlerinin maliyeti diğer yöntemlere kıyasla daha düşük olması, elektrodepozisyon tekniğiyle malzeme üretimi oldukça cazip kılmaktadır [29].

1.8 Materyallerde İzotropi ve Anizotropinin Belirlenmesi

Kristografik yaklaşımlarda malzemelerin özellikleri belirlemek önemlidir. Bu amaç ile "*İzotropik*" ve "*Anizotropik*" terimlerin bilinmesi gerekir.

Kısaca ; tüm kristografik yönlerde malzemenin fiziksel parametreleri aynı olmasına "*İzotropik*" kavram ile tanımlanmaktadır. Materyaller için farklı eksenler boyunca ölçülen fiziksel parametreleri farklı olmasına ise "*Anizotropik*" denir. Malzemelerin manyetik parametreleri ile izotropik veya anizotropik davranışı VSM ve Magneto Optik Kerr Etki ile belirlenir. Her iki yöntemde de 0^0 ile 90^0 , 0^0 ile 180^0 yada 0^0 ile 360^0 derece arasındaki histeresiz çevriminin kareselliğini belirleyen $\frac{M_r}{M_s}$ oranları incelendiğinde aynı $\frac{M_r}{M_s}$ oranları elde edilmiş ise ve açığa karşı $\frac{M_r}{M_s}$ oranlarının grafiği çizildiğinde lineer bir doğru elde ediliyorsa malzememiz "*izotropik*", 0^0 ile 90^0 arası taramada $\frac{M_r}{M_s}$ oranının değerinde dalgalanma elde ediliyor ise bu malzeme "*anizotropik*" tir.

1.9 Manyetik Anizotropi Enerjisi

Ferromagnetik bir kristalde magnetizasyon yönünü, kolay manyetizasyon eksenini denilen belirli kristal eksenleri yönüne çeken bir enerji vardır. Bu enerjiye "*magnetokristal*" veya "*anizotropi enerjisi*" denir.[12]

TABLO 1.1

Manyokristal Enerjisi Sebeb Sonuç İlişkileri [30]

İsim	Neden	Sonuç
Değişim Enerjisi	Fe 3d orbitallerinin O 2p orbitalleriyle örtüşmesi Pauli dışlama ilkesi komşu Fe atomlarının paralel veya anti paralel atomlarla enerji farkına neden olur.	Manyetik momentler kritik curie sıcaklığının altında oluşur. Bu kendiliğinden oluşan manyetizme bağlı ısının gelişmesine sebep olur.
Manyokristalin Anizotropi Enerjisi	Spin ve orbital açısal momentum arasındaki birleşme.	Manyetik momentler tercih edilmiş kolay eksen yönünde paralel hizaya sokmaya neden olur.
Demanyetizasyon Enerjisi	Parçacığın manyetizmine anti paralel bir iç manyetik alanın gelişmesinden sorumlu dengelenmiş manyetik yüzey kutupları.	Kütle manyetizmini azaltma görevi yapan, mıknatıslamayan bir iç alan oluşturur.
Şekil Anizotropi Enerjisi	Bir küresel olmayan taneciğin içindeki yönelim fonksiyonu gibi mıknatıslanmayan enerji içindeki çeşitlilik.	Kristalin dış şekli tarafından belirlenen manyetizmin kolay bir ekseni yaratır. Genelde manyetizm kristalin uzun eksenine paraleldir.
Manyeto statik Enerji	Dış alanın etkisi, B iç manyetizmin üzerindeki uygulanan manyetizma M ($E=-M.B$)	Manyetizmi dışa doğru çeviriri

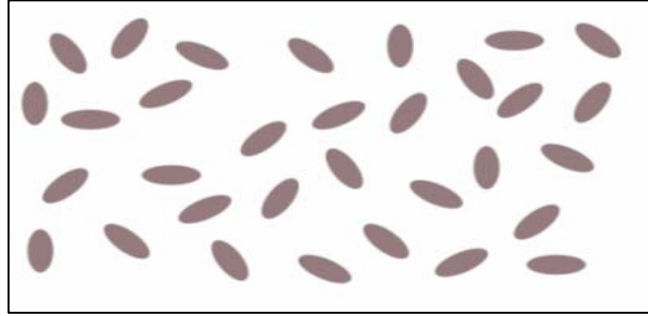
2.BÖLÜM

MATERYAL VE METOT

2.1 STONER-WOHLFARTH MODELİ

Ferromanyetik malzemelerin üretimi, manyetik davranışları ile ilgili deneysel ve teorik alanlı bir çok çalışma yapılmaktadır. 1947 de Stoner-Wohlfarth tarafından mıknatıslanma için tek bilgi alan modelini önerdi. Bu çalışmada, ferromanyetik bir numune için ideal tek bilgi alanlı parçacıklar tanımlanırken, bu parçacıkların sadece kolay eksen anizotropisi ve manyetize olurken homojen manyetizasyon yönelimlerini dikkate alırken çevre ısı etkisi ve parçacıklar arasındaki etkileşimler ihmal etmektedir.

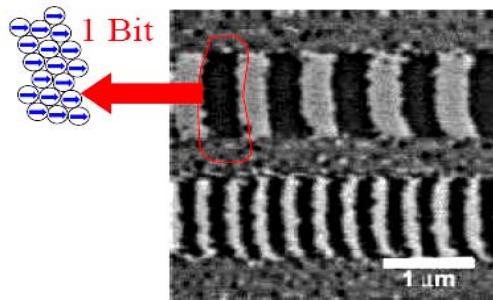
Sert manyetik numuneleri Şekil 2.1.1 de görüldüğü gibi manyetik olmayan matris içine yerleştirilmiş manyetik parçacıklardan oluştuğu yaklaşımı ile başlamaktadır.



Şekil 2.1.1

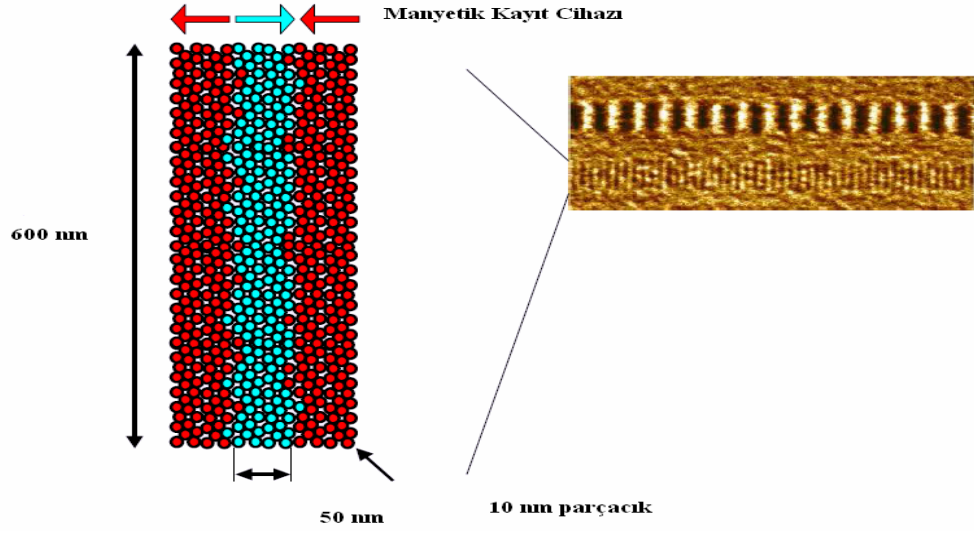
Stoner-Wohlfarth modeline göre düşünülen tek domenli parçacıklar [37]

Sert manyetik materyalleri manyetik olmayan matris içine yerleştirilmiş manyetik partiküllerden oluşma fikri manyetik kayıt cihazını anlamamızda olumlu sonuçlar vermektedir. Şekil 2.1.2 Manyetik kayıt cihazında manyetik parçacıkların sıralanışını göstermektedir.



Şekil 2.1.2

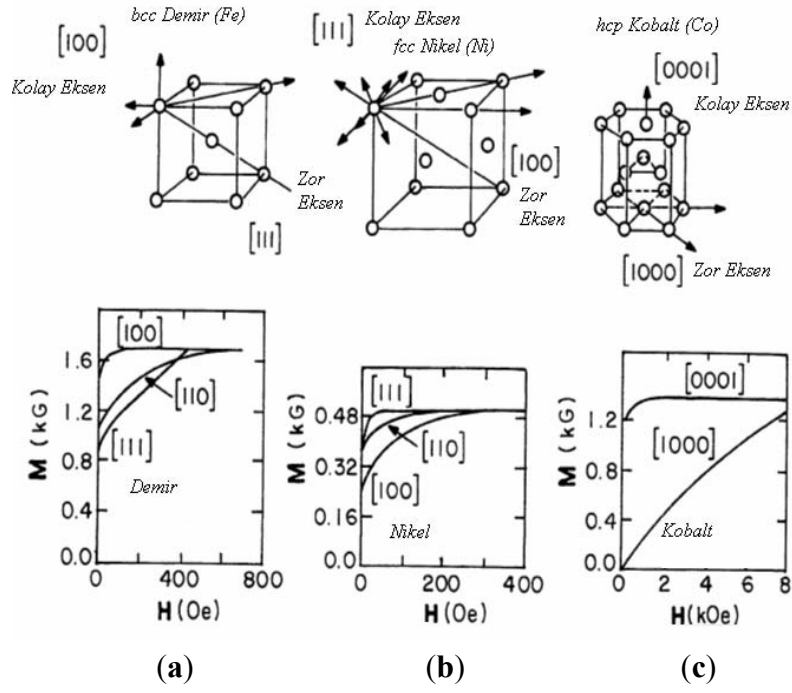
Manyetik parçacıkların manyetik kayıt cihazında sıralanışı [25]



Şekil 2.1.3

Manyetik kayıt cihazında farklı yönlerde manyetizasyon oluşturan manyetik parçacıklar [25]

Her parçacık, domen sınırları oluşumu için kritik boyuttan altta olduğu dolayısıyla tek domen içerdiği ve manyetik anizotropiye sahip olduğu düşünülmüştür. Modelin en temel yaklaşımı tek partiküllü sistemleri ele almış ve bir parçacığın yenilenme elipsoidinin geometrisine sahip olduğu varsayılmıştır. Parçacık şekline geçen anti manyetizasyon alanından dolayı parçacık, anizotropi şekline sahip olup, dışarıdan uygulanan manyetik alanın yokluğunda manyetizasyonun doğal yönü öyleydi ki anizotropi potansiyel enerjisi minimize olmuştur. Parçacıkların sahip olduğu bu manyetizasyon yönü basit eksen ya da kolay eksen olarak isimlendirilir ve Şekil 2.4. de gösterildiği gibi parçacıkların manyetizasyon vektörü bu yönde sıralanır. Fe ve Ni gibi kübik yapıya sahip materyaller ile hegzogonal yapıya sahip Co elementinin kolay (basit) eksen yönü ile zor eksen yönleri ile tercih edilen eksen doğrultusundaki manyetizasyon görülmektedir.



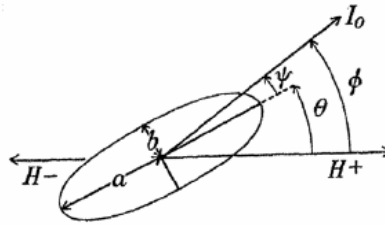
Şekil 2.1.4

(a) Demir, (b) Nikel, (c) Kobalt ait kolay ve zor eksen yönleri ile manyetizasyon eğrileri [27]

Stoner-Wohlfarth Modeli tek domenli parçacıkları bir araya toplayarak eğrisini, birleşik eksenli anizotropiyle, parçacık şekli yada manyeto kristalize anizotropiyi kullanarak tanımlamaktadır. Eğer anizotropi enerjisi kristalize anizotropi yada geometrik şekil anizotropisinden bağımsız olarak tek sabit bir ifade gösterilebilir. Böylece yüzey enerjisi;

$$E_{an} = -K \sin^2 \theta \quad (2.1.1)$$

denklemleri ile tanımlanabilir. Manyetizasyon Şekil 2.1.5 gösterildiği gibi θ açısından basit eksen doğrultusu yönlendirir.



Şekil 2.1.5

Tek domenli elipsoid parçacık [37]

Anizotropik yüzey enerjisinin açığa bağlı yönelim torku;

$$\tau_{an} = \frac{-dE_{an}}{d\theta} \quad (2.1.2)$$

ve

$$= 2K \sin \theta \cos \theta \quad (2.1.3)$$

denklemleri ile tanımlanabilir.

H alanında üretilen dönme torku Şekil 2.5. de gösterilen θ açısında manyetizasyon ve alan yönüne bağlı olacaktır. H alanınca üretilen dönme torku anizotropi dönme gücüne eşit olduğunda denge kazanmış olur. Böylece;

$$\tau_H = \mu_o H \times M_s \quad (2.1.4)$$

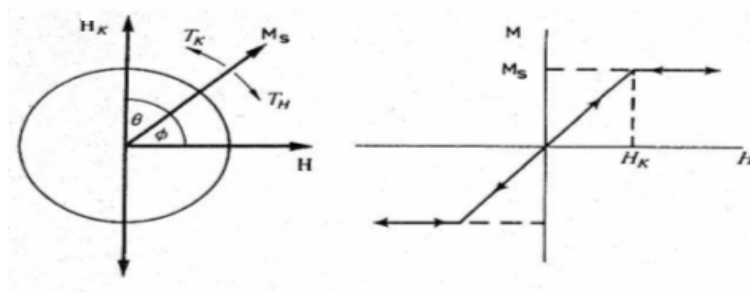
$$= \mu_o H M_s \sin \varphi \quad (2.1.5)$$

$$\tau_H = \tau_{an} \quad (2.1.6)$$

$$\mu_o H M_s \sin \varphi = 2K \sin \theta \cos \theta \quad (2.1.7)$$

Elipsoidal tek domenli parçacıkların şekil anizotropisinin, kristal yada baskı anizotropisinin olmadığı varsayılır. Partikülün kısa ekseninde, uzun ekseninde olduğundan daha yüksek manyetizasyon faktörü etkisi vardır.

Anizotropik alanı H_k ve basit ekseninde dikey H manyetik alanlı bir küresel tek domenli Şekil 2.1.6 görüldüğü gibi bir partikül ve Histerezis eğrisi ise $\phi = 90$



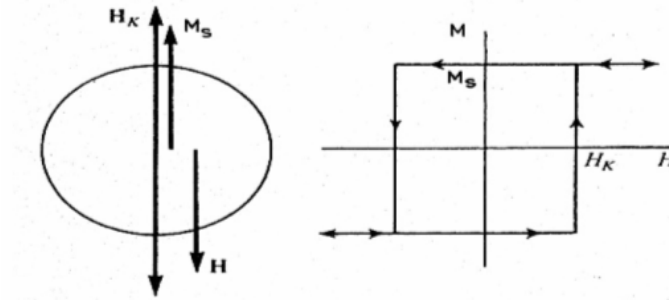
Şekil 2.1.6

Küresel tek bilgi alanlı parçacık ve onun histerezis eğrisi ($\phi = 90$) [37]

Polikristalize malzemedeki mıknatıslanmanın doyuma ulaşması için gerekli manyetik alan H_c değeri ile anizotropinin üstesinde gelmekte ve manyetizasyon basit eksen ile 90 dereceden alan yönüne ve alan yönünün içine döndürmekte gerekli olan alan değeridir. Bu H_c alan büyüklüğü aşağıda sunulan denklemi ile basit olarak şöyle ifade edilebilir;

$$H_c = \frac{2K}{\mu_0 \mu_s} \quad (2.1.8)$$

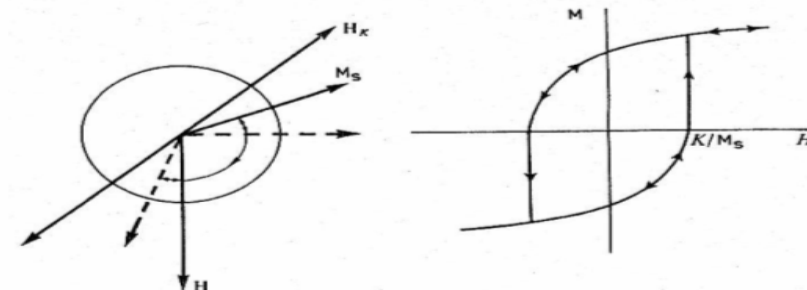
Anizotropik alanı H_c ve basit eksen dikey H manyetik alanlı tek domenli bir küresel bir parçacık ve Histerezis eğrisi ise $\phi = 0$ için Şekil 2.1.7 de görülmektedir.



Şekil 2.1.7

H anizotropik alana anti paralel ($\phi = 0$) [37]

Eğer H anizotropi alanına gelişi güzel bir ϕ açıyla geliyorsa Şekil 2.8.de olduğu gibi mıknatıslanmakta kısmen değiştirilebilir yada kısmen değiştirilemez.



Şekil 2.1.8

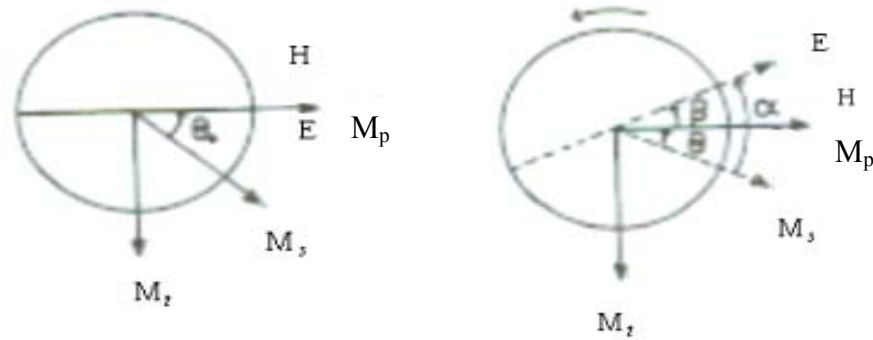
H anizotropi alanına gelişi güzel ϕ açısıyla geliyorsa [37]

Bilgi alanı (domen) yönünün farklı olası kombinasyonları incelendiğinde, bilgi alanı dağılımı meydana gelir ve histerisiz çevrimleri oluşmaktadır. Stoner-Wohlfarth modeli, kalıcı mıknatıs üreticileri tarafından geliştirilmiş özelliklerin sadece anizotropiyi yükselterek elde edileceğini gösteren yolları belirtmede kullanılmaktadır. Bu teorinin geniş kullanımına rağmen, birçok gerçek kalıcı mıknatıs materyallerinin geçerliliği konusunda tartışmalar devam etmektedir. Bu teorinin en zayıf noktalarından biri, teori tek bilgi alan (tek domen) partiküllerinin etkileşimleri için hiçbir hazırlık yapmamasıdır. Yani dokuyu meydana getiren parçacıkların domenler arası etkileşmeyi ihmal etmesidir [23].

2.2 Stoner-Wohlfarth Teorisinin Manyetik Malzeme Karakterizasyonu için Uyarlanması

Ferromanyetik bir malzemede, eksensiz tek domain parçacıklarını içeren iki boyutlu numune için E referans doğrultusu olarak seçilen ve dönme simetri eksenine sahip olduğunda aşağıdaki uygulama düşünülebilir.

Önce, Şekil 2.2.1 de görüldüğü gibi E ile ilk durumda bileşke manyetik moment vektörleri arasında θ_0 açılı basit eksenli tek bir parçacık göz önüne alınır. Eğer dış manyetik alanı uygulanıp ve örnek döndürüldüğünde, parçacığın M_s manyetizasyon vektörünün basit eksen üzerinde bileşenleri oluşacaktır. Ondan sonra artık M_s manyetizasyonu, uygulanan manyetik alana paralel M_p ve M_t ise dik olacaktır. Eğer, örneği β açısı kadar döndürüp doyum alanı değerine kadar manyetik alanı uygulamaya devam edersek M_s ile E eksenini arasındaki açı artık θ ve basit eksen açısı $\alpha = \theta + \beta$ olacaktır.



Şekil 2.2.1

E ile θ_0 açılı basit eksenli tek bir parçacığı [7]

Artık M_s , M_p ve M_t değerleri hesaplandığı zaman bütün sisteme uyarlamak mümkün olacaktır, parçacıklar arası etkileşmenin olmadığı sistemler için M_p ve M_t arasındaki ilişki β 'nın bir fonksiyonu olarak ;

$$M_t(\beta) = \frac{dM_p(\beta)}{d\beta} \quad (2.2.1)$$

Tanımlanabilir. Böylece manyetik alana paralel manyetizasyon bileşeni $M_p(\beta)$ ve dik bileşeni $M_t(\beta)$

$$M_p(\beta) = M_s \cos(\theta_0 - \beta) \quad (2.2.2)$$

$$M_t(\beta) = M_s \sin(\theta_0 - \beta) \quad (2.2.3)$$

Bağıntıları ile hesaplanabilir.

Artık İki boyutlu bir sistem için paralel manyetizasyon değeri mıknatıslanma Stoner-Wohlfarth teorisine göre;

$$M_p(\beta) = \frac{2}{\pi} M_s \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta f(x) d\theta \quad (2.2.4)$$

Bağıntısı ile tanımlanabilir. Burada $x = \cos \theta$ ve α örneğin basit eksen yönü ile manyetizasyon vektörü arasındaki açıdır. Denklem (2.1.4) deki $f(x)$ 'i α ve $\alpha + d\alpha$ arasında parçacık ekseninin bulunma olasılığı oranı vermesi ile tanımlanan “*Basit eksenin Dağılım Fonksiyonu*” olarak tanımlanmaktadır.

Artık sırası ile aşağıda verilecek olan $f(x) = f(\cos \theta)$ ve $M_p(\beta)$ $\cos \alpha$ ve $\cos \beta$ 'nin “*Fourier Serisi*”;

$$F(\cos \alpha) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_{2n} \cos 2n\alpha \quad (2.2.5)$$

$$M_p(\beta) = B_0 + \sum_{n=1}^{\infty} B_{2n} \cos 2n\beta \quad (2.2.6)$$

olarak genişletilebilir.

Burada B_0 ve B_{2n} katsayıları;

$$B_{2n} = \frac{4}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} M_p(\beta) \cos 2n\beta d\beta \quad (2.2.7)$$

$$B_o = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} M_p(\beta) d(\beta) \quad (2.2.8)$$

denklemleri ile tanımlanabilir.

Ayrıca (2.5.8), (2.5.7) ve (2.5.6) den ve α, β ve θ arasındaki ilişkiyi trigonometrik fonksiyonların ortagonarlığı ilkesini kullanarak

$$A_{2n} = \frac{\pi}{2} B_{2n} \left(M_s \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta \cos 2n \theta d\theta \right)^{-1} \quad (2.2.9)$$

$$A_o = \frac{\pi}{2} B_o / M_s \quad (2.2.10)$$

(2.1.9) ve (2.1.7) dan ve (2.1.10) ve (2.1.8) arasındaki ilişkinin kullanımı;

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta \cos 2n \theta = (-1)^{n+1} / (2n-1)(2n+1) \quad (2.2.11)$$

Böylece, $f(x) = f(\cos \theta)$ Kolay Eksen Yönelimindeki Dağılım Fonksiyonu, paralel artık mıknatıslanma (remananence) değerinin açığa bağlı değişim ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$f(\cos \theta) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} M_r(\beta) d\beta + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n-1)(2n+1)}{\pi(-1)^{n+1}} \left[\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} M_r(\beta) \cos 2n\beta d\beta \right] \cos 2n\alpha \quad (2.2.12)$$

Ayrıca, en basit ifadesi ile kolay eksen yönelim dağılımı fonksiyonu;

$$f(x) = A_o + \sum_{n=1}^{\infty} A_{2n} \cos 2n\alpha \quad (2.2.13)$$

bağıntısı ile tanımlanabilir.

2.3 Kolay Yönelimlerin Dağılım Fonksiyonu ait A_0 ve A_{2n} Sabit

Değerlerinin Fiziksel Anlamı

Kolay eksen yönelimi dağılım fonksiyonu $f(\cos \alpha)$ parçacıklarının oluşturduğu manyetizasyon vektörünün α ve $\alpha + d\alpha$ arası değişiminde bulunma olasılığını vermektedir.

Denklem 2.2.12 deki $f(\cos \alpha)$ dağılım fonksiyonundaki A_0 katsayısı etkileşim olmayan sistemler için bir değerine (unity) eşit olması gerekir ve sistemdeki doku (texture) derecesini etkilemez. Bu durumu, paralel manyetizasyonu $\overline{M_p}(\beta)$ ' nın sabiti $\left(=\frac{2}{\pi}\right)$ olduğu rasgele yönelmiş sistemler için denklem 2.2.12 kullanarak ispatlamak mümkündür. Böylece etkileşim olmayan sistemler için $A_0=1$ ve bütün $n \geq 1$ değerleri için $A_{2n}=0$. Ayrıca, denklem 2.2.12 den paralel artık mıknatıslanma (remanence) değeri $\overline{M_p}(\beta)=\cos \beta$ olduğu durumda $A_0=1$, eğer sistem tamamen doku düzeni sağlanmış ise bütün $n \geq 1$ durumları için $A_0=1$ ve $A_{2n}=2$ değeri elde edilir. Böylece parçacıklar arası etkileşim olmayan sistemde $A_0=1$ ve dağılım fonksiyonu $f(\cos \alpha)$ ' nın ikinci sabiti A_{2n} film yüzeyindeki doku düzenlenmesinin bir derecesi olacaktır [7].

2.4 Polinomial Regrasyon Analizi

Belli sayıda data ve bu dataların her birinin bir noktaya denk geldiğini düşünüldüğünde. Genelde duyarlı ve düzgün olarak sınırlayan ve bu noktalardan geçen bir polinom denklemi elde etmek mümkün olacaktır.

Bazı durumlarda ise elde çok sayıda data olabilir ve bu noktalar rasgele dağılım gösterebilir. Genelde deneysel veya istatistik ölçümlerinden elde edilen bu noktalardaki geliş güzel dağılım ölçüm cihazın duyarlılığından veya araştırmacının ölçüm hatasından kaynaklanabilir. Bu tür bir dağılım gösteren noktalardan geçen bir eğri denklemi bulmak mantıklı olmaz. Bu noktalardan bazılarını seçip onlardan geçen eğri denklemi bulmak olası ise de bu noktaların seçimi araştırmacıya bağlı olacağından sonuç objektif olmaz. Yani bulunacak denklem kişiden kişiye farklı olur. Bu durumda bütün noktalardan geçen bir denklem bulmak yerine noktaları temsil eden, yani noktalardaki gidişatı veya eğilimi gösterecek şekilde bir denklem bulma yoluna başvurulur ki buna istatistikte " regresyon analizi " denir. Verilen noktaları temsil eden

en iyi eğriyi bulma işleminde yaygın olarak kullanılan yöntem “*En Küçük Kareler*” yöntemidir. Bu yöntemde verilen noktalardaki ölçüm hatalarının normal dağılım gösterdiği kabul edilir. En küçük kareler yöntemi oluşacak hataların kareleri toplamı minimum olacak şekilde bir eğri denklemi bulma esasına dayanır. Bu şekilde bulunacak bir denklem en az hatalı ve en muhtemel değeri verecek bir eğri denklemi olacaktır.

Verilen n adet datayı temsil etmek üzere m. Dereceden ($m < n$) bir polinom

$$y_r = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_m x^m \quad (2.4.1)$$

bulunabilir. Bu denkleme ait katsayıların bulunmasında en küçük kareler yöntemi kullanılacaktır.

Hataların kareleri toplamı olan

$$S_r = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i - a_2 x_i^2 - \dots - a_m x_i^m)^2 \quad (2.4.2)$$

ifadesinin minimum olması için her katsayıya göre türevin sıfır olma şartı vardır. Böylece oluşan lineer bağımsız denklem grubunun çözümü ile polinom katsayıları hesaplanır. Elde edilen polinom fonksiyonuna ait tahmini hata;

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{S_r}{n - (m + 1)}} \quad (2.4.3)$$

denklem ile hesaplanır. Ancak dağılımı tanımlayan fonksiyonun güvenilirliği korelasyon katsayısı değeri ile kontrol edilmektedir. Böylece korelasyon katsayısı 1 (unity) değerine ne kadar yakın ise fonksiyon dağılımı en doğru biçimde tanımlanmaktadır.

$$S = \sum (y_i - \bar{y})^2 \quad (2.4.4)$$

Korelasyon katsayısı;

$$r^2 = \frac{S - S_r}{S} \quad (2.4.5)$$

ifadelerinden bulunabilir.[28].

2.5 Titreşimli Örnek Magnetometresi

Titreşimli Örnek Magnetometresi (VSM) ile incelenen malzemenin manyetik karakterini ortaya koyan manyetizasyon eğrisi deneysel olarak elde edilmektedir.

VSM sistemi, güç kaynağı, kontrol panelleri gibi elektronik kısımlar ile örnek titreştirici, elektro mıknatıs ve bunlara bağlanmış bir bilgisayardan oluşur. Ayrıca elektro mıknatısa bağlı bir soğutma sistemi kullanılmaktadır. VSM' in resmi Şekil 2.4.1.de verilmektedir.



Şekil 2.5.1.

VSM cihazının bir fotoğrafı

VSM, elektromanyetik indüksiyon prensibine göre çalışır. Faraday indüksiyon kanununa göre bir kapalı devredeki manyetik akı değişimi, devrede bir indüksiyon elektro motor kuvveti (e.m.k.) oluşturur. Elektromanyetik indüksiyon kavramı, manyetik akı değişiminin indüklenen e.m.k.'e eşit olduğu söylenerek açıklanır. Buna göre üzerinden akım geçen bir bobinin oluşturduğu indüksiyon e.m.k.;

$$V = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.5.1)$$

dir. ϕ manyetik akı, N manyetik akının geçtiği bobinin sarım sayısıdır. Manyetik akı yoğunluğu:

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (2.5.2)$$

ifadesi ile indüksiyon e.m.k.'sı yeniden yazılırsa:

$$V = -NA \frac{dB}{dt} \quad (2.5.3)$$

elde edilir. B manyetik indüksiyon, A manyetik indüksiyonun incelendiği alandır. Boş uzayda;

$$B=\mu_0 H \quad (2.5.4)$$

İfadesiyle birlikte indüksiyon e.m.k.'sı:

$$V=-\mu_0 NA \frac{dH}{dt} \quad (2.5.5)$$

eşitliğiyle ifade edilir.

İndüksiyon e.m.k.'nın oluşabilmesi için manyetik akının zamanla değişmesi gerekir. Bunun bir yolu zamanla değişen manyetik alan uygulamak, diğer yolu da manyetik alana konan örneği titreştirmektir. VSM'in çalışması, manyetik alanda titreşen örneklerle manyetik akı değişimi oluşturmaları ve bu manyetik akı değişimi sonucu oluşan indüksiyon e.m.k.'nın ölçülmesine dayanır. İndüklenen e.m.k. titreşen örneğin manyetizasyonu ile orantılı olduğundan bu yöntemle örneğin manyetizasyonu ölçülebilir.

VSM ile manyetizasyonun direkt ölçümü yapılır. Algılayıcı bobinler, arasındaki boşlukta örnek varken ve örnek yokken ölçülen manyetik indüksiyon arasındaki fark hesaplanır. Bu ölçüm sonucu elde edilen veriler uygulanan manyetik alana göre manyetizasyonun nasıl değişimini vermekle sınırlıdır. Farkın ölçüm yapıldıktan sonra elde edilen verilerin keyfi değerler olmaktan çıkması için bir standarda göre değerlendirilmesi gerekir. Örneğin gerçek manyetizasyon değerinin ortaya konması için sistem, manyetik moment değeri bilinen nikel (Ni) standart ile kalibre edilir. Bu kalibrasyonda, örnek boyutlarına benzer Ni standart kullanılır. Ni standardın bilinen manyetik moment değerinin, VSM ile ölçülen manyetik moment değerine oranı kalibrasyon sabiti olarak hesaplanır ve diğer ölçümlerde kullanılarak örnekler için gerçek manyetik moment değerleri ortaya konur. Kalibrasyondan sonra VSM, tüm ölçümler için aynı hesaplamayı yaparak ölçülen örnekler için gerçek manyetik moment değerlerinin, uygulanan manyetik alana karşı değişimini verir. Bu kalibrasyondan farklı olarak, her ölçümden önce sistemi ölçüm yapılan şartlara uygun hale getirmek için kalibre etmek gerekir. Bunun için de örneğin boyutlarına benzer Ni standart kullanılır. Kalibrasyonun ile örneğin algılayıcı bobinler arasında en sağlıklı ölçüm alınacak konuma getirilmesi

sağlanır.Bu konumda ölçümlerin duyarlılığı kontrol edilir, ölçüm sonuçlarından çıkarılmak istenen katkılar belirlenir. Kalibrasyon tamamlandıktan sonra örnek, pyrex örnek tutucunun ucuna yerleştirilip örnek tutucu titreştiriciye takılır. İki tür örnek tutucu ile örnekler yatay (manyetik alan film yüzeyine paralel) ve düşey (manyetik alan film yüzeyine dik) olarak yerleştirilip ölçüm yapılabilir. Örnek tutucunun istenen açılarla döndürülmesiyle farklı yönlerde uygulanan manyetik alan altında ölçüm yapmak da mümkündür. İstenen değerler arasında istenen aralıklarla uygulanan manyetik alana karşı ölçülen manyetik moment değerleriyle örneğin histerisiz eğrisi elde edilir.

Bu çalışmada, ölçümler için kullanılan elektromıknatıs ± 2.25 T manyetik alan aralığında çalışabilmektedir. Numune titreştiricinin titreşim frekansı 75 Hz'dir. Kolay kullanılabilir bir yazılımla kontrol edilen cihaz ile çeşitli ölçümler yapılabilir. Sistem yazılımı, VSM'in çalışmasını kontrol ettiği gibi kalibrasyonda ve dataların toplanıp anlamlandırılmasında ve gösterilmesinde kullanılır.

Bu çalışmada kullanılan NiCo depozit filmlerin manyetik ölçümleri Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü laboratuvarında bulunan ADE EV9 Model VSM ile yapılmıştır.

3. BÖLÜM

BULGULAR

3. BULGULAR

Bu tez çalışma, Elektrodpozisyon tekniği ile büyütülen NiCo filmlerin ve ticari kullanımdaki örneklerin manyetik yüzey doku (texture) derecesi belirleme iki farklı aşamada ile gerçekleştirilmektedir. Birinci aşamada, NiCo filmlerin manyetik özelliklerini belirleyen parametrelerin ölçülmesi. İkinci aşamada ise manyetik ölçüm verileri kullanılarak malzemelerin doku derecesi SW teorisi yaklaşımı kullanılarak nümerik çözüm ile gerçekleştirilmektedir.

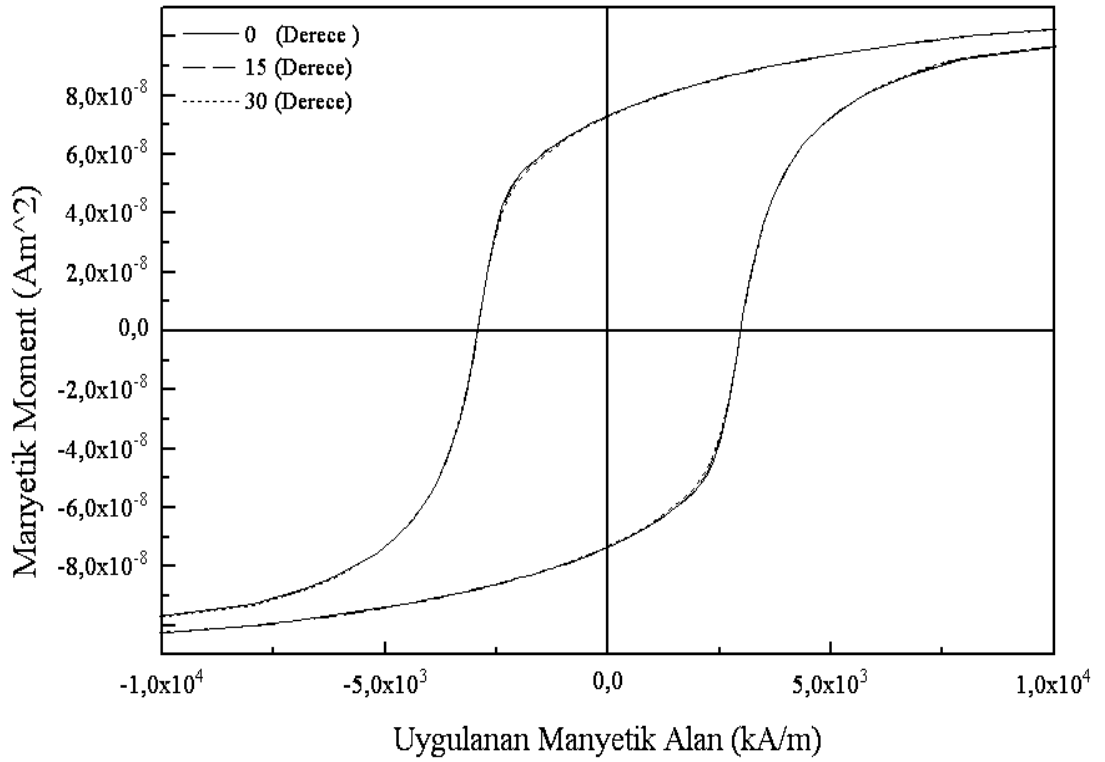
3.1 NiCo Filmler ve Diğer Örneklerin Manyetik Parametrelerin Belirlenmesi

Manyetik yüzey doku etkileri belirlenecek 1, 2, 4, 6, 10 µm kalınlıklı NiCo filmler Uludağ Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Araştırma laboratuvarında elektrodpozisyon tekniği kullanılarak üretildi. Üretilen NiCo filmler ile karşılaştırmak için ticari amaçla kullanılan 79µm kalınlıklı Flopi Disk, 70µm kalınlıklı Disket Bandı ve 15µm kalınlıklı kayıtlı Teyp kaseti Şeridi için ölçüler yapıldı. Büyütülen NiCo filmlerin doku derecesini belirlemek için ön hazırlık iki aşamada gerçekleştirildi.

Genel bir yaklaşım ile elektrodpozisyon tekniğiyle büyütülen filmlerin manyetik parametrelerin oluşumu; kullanılan çözelti türü, üretim şartlarının sınır değerleri ve numunelerin fiziksel yapısı (kalınlık, geometrik yapısı) belirler. Ancak bu çalışmada üretim şartları dikkate alınmamaktadır. Manyetik parametreleri belirlemek amacı ile kullanılan NiCo filmler ve diğer numunelerin manyetik karakteristiği Balıkesir Üniversitesi, Temel Bilimler Laboratuvarındaki Titreşimli Manyetik Ölçer (VSM) ile yapıldı.

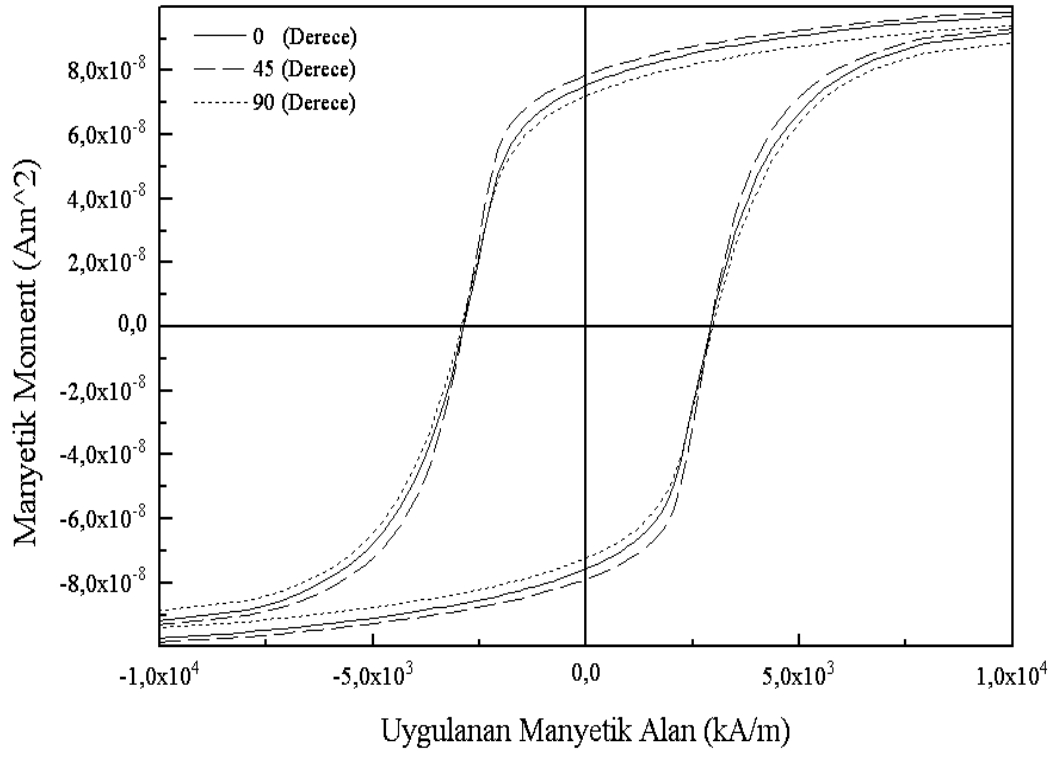
NiCo filmlerin histerisiz çevrimlerini oluşturmak için duyarlılığı $50 \cdot 10^{-6}$ Oe ve örnek titreşim frekansı 75 Hz olan VSM kullanıldı. Önce, ölçüm cihazı örneklerin boyutuna ve ölçüm özelliğine göre paralel Ni standardı ile kalibre edildi. Örnekler ait şekil anizotropi etkisinin yapılacak ölçüleri etkilememesi için örnekler daire levha olarak özel bir aparat ile kesildi. Cihazın güvenilirliği sağlandıktan sonra numuneler paralel olarak VSM nin örnek tutucusuna keyfi yerleştirildi. Daha sonra, örnekler 0° - 90° arasında 15 derecelik aralı açılarda yüzeye paralel manyetik alanı -10^4 den $+10^4$ Oe büyüklüğünde değiştirilerek uygulandı. Her bir örnek ayrıca doyuma ulaşınca kadar

ölçüme devam edildi. Manyetik alan büyüklüğünün manyetizasyon ile ilişkisinin grafikleri çizilerek, her bir örneğe ait histerisiz çevrimleri oluşturuldu. Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 de gösterildiği gibi örneklere ait histerisiz çevrimlerinin değişimlerini net görülebilmesi için -20.10^2 ile $+20.10^2$ Oe arasındaki manyetik alan değerleri daha küçük aralıklarla seçildi.

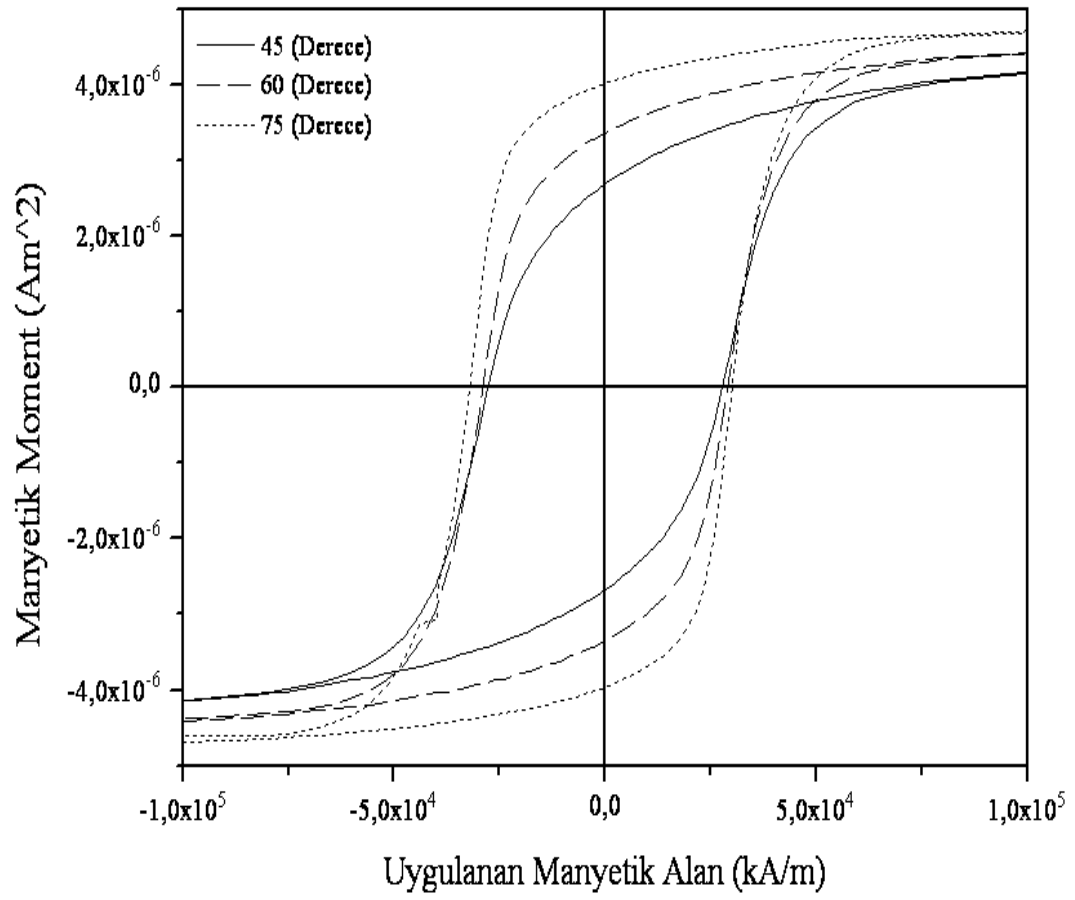


Şekil 3.1

İzotropik yapıdaki 6 μm kalınlıklı NiCo filmine ait histeresiz çevrimi



Şekil 3.2
Anizotropik yapıdaki 10 μm kalınlıklı NiCo filmine ait histeresiz çevrimi



Şekil 3.3

Anizotropik yapıdaki Teyp Bandına ait histeresiz çevrimi

Şekil 3.1 izotropik yapılı 6 µm kalınlıklı NiCo film ait histerisiz çevrimi incelendiğinde, her farklı açı değerleri için histerisiz çevrimlilerinde herhangi bir dalgalanmanın olmadığını göstermektedir. Ancak Şekil 3.2 de ise, anizotropik yapılı 10 µm kalınlıklı NiCo film ile Şekil 3.3 de kayıtlı teyp kaseti şeridine ait her bir farklı açı β değerlerindeki dalgalanmalar sonucu histerisiz çevrimlerimi doyum manyetizasyon değerine ulaşırken değişimleri göstermektedir.

Her bir örneğe ait farklı açılarda M_r doyum ve M_s kalıcı manyetizasyonlar değerleri bu VSM ölçümleri ile belirlendi. Elde edilen VSM in sonucu histerisiz çevrim raporlarından örneklerin ortalama $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranları (squareness) değerleri elde edildi.

NiCo filmlerin ve diğer örneklerin farklı açılarda ortalama $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranları Tablo 3.1.

de sunulmaktadır.

Genel bir yaklaşım, $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranları $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranı değerleri farklı bütün açılar için sabit kalıyorsa yani verilerde dalgalanma olmadığı için yapı **"izotropik"**, eğer değişiyorsa **"anizotropik"** özelliklidir. Bu yaklaşımın sonucu olarak Tablo 3.1 de görüldüğü gibi, örneklerden 1 ve 6 µm kalınlıklı filmler ile Tablo 3.2 de verilen Flopidisk ve Disket Bandının $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranı sabit olduğundan izotropik yapıdadır.

Ancak 2, 4 ve 10 µm kalınlıklı NiCo film örnekler ve Kayıtlı Teyp Şeridi ise anizotropik yapılı olduğu gözlenmiştir. Tablo 3.1 de farklı kalınlıktaki NiCo filmler ile Tablo 3.2 de Flopidisk, Disket Bant ve Kayıtlı Teyp Şeridine ait histerisiz çevrimlerinden elde edilen $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranlarına göre belirlenen manyetik karakterizasyonu ve doyum manyetizasyonunun sıfır dereceye karşılık gelen H_c manyetik alan değerleri verilmektedir.

TABLO 3.1

Farklı kalınlıklı NiCo filmler ve ait VSM ölçüm sonucu raporlarından elde edilen $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranlarının farklı β açılardaki değerleri oranlarına göre belirlenen manyetik karakterizasyonu ve doyum manyetizasyonunun sıfır dereceye karşılık gelen H_c manyetik alan değerleri

Sıra	Örnek	Kalınlık (μm)	Açı (Derece)- M_r / M_s							H_c	Anizotropi
			0	15	30	45	60	75	90		
1	NiCo Film	1	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	48,97	Yok
2		2	0.44	0.44	0.44	0.45	0.46	0.47	0.47	44,35	Var
3		4	0.47	0.48	0.49	0.51	0.51	0.52	0.51	41,85	Var
4		6	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	37,04	Yok
5		10	0.63	0.64	0.64	0.65	0.65	0.66	0.66	36,37	Var

TABLO 3.2

Ticari piyasada kullanımda olan Flopidisk, Disket Bant ve kayıtlı Teyp Şeridine ait VSM ölçüm sonucu raporlarından elde edilen $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranlarının farklı β açılardaki değerleri oranlarına göre belirlenen manyetik karakterizasyonu ve doyum manyetizasyonunun sıfır dereceye karşılık gelen H_c manyetik alan değerleri

Sıra	Örnek	Kalınlık (μm)	Açı (Derece)- M_r / M_s							H_c	Anizotropi
			0	15	30	45	60	75	90		
1	Flopidisk	79	0.65	0.66	0.65	0.66	0.66	0.66	0.66	904,14	Yok
2	Disket Bant	20	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	885,26	Yok
3	Teyp Şeridi	15	0.38	0.39	0.48	0.61	0.73	0.83	0.87	388,08	Var

3.2. Örneklerin doku derecesinin (texture) belirlenmesi

Örneklere ait kalıcı manyetizasyonun doyum manyetizasyonuna oranı (squareness) değerleri olarak tanımlanan $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ değerleri hesaplanarak analitik açı ya bağlı grafiği ve veri dağılımı en küçük kareler yöntemi kullanılarak beşinci dereceden polimimal uyum fonksiyonları hesaplanmaktadır. Fonksiyonların uyumu ve güvenilirliği regrasyon katsayısı değerleri ile kontrol edilmektedir. Örneklerden 2 μ m, 4 μ m ve 10 μ m kalınlıklı NiCo filmlere ve kayıtlı Teyp Şeridine ait regrasyon katsayıları ile beşinci dereceden en küçük kareler yöntemi kullanarak uyum fonksiyonları Tablo 3.3 ve Tablo 3.4 de verilmiştir. R regrasyon katsayısının 1'e ne kadar yaklaşır ise fonksiyonun o kadar uyumlu olduğu anlaşılır. Ayrıca korelasyon katsayı değerleri $0.9811 < R < 0.9997$ aralığında olduğu için polinom fonksiyonları örneklerin $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranların β analitik açığa bağlı değişimini doğru olarak tanımlamaktadır.

TABLO 3.3.

Anizotropik yapı 2 μ m, 4 μ m ve 10 μ m kalınlıklı NiCo filmlere ait beşinci dereceden en küçük kareler yöntemi kullanarak polimimal uyum fonksiyonları ve regrasyon katsayıları

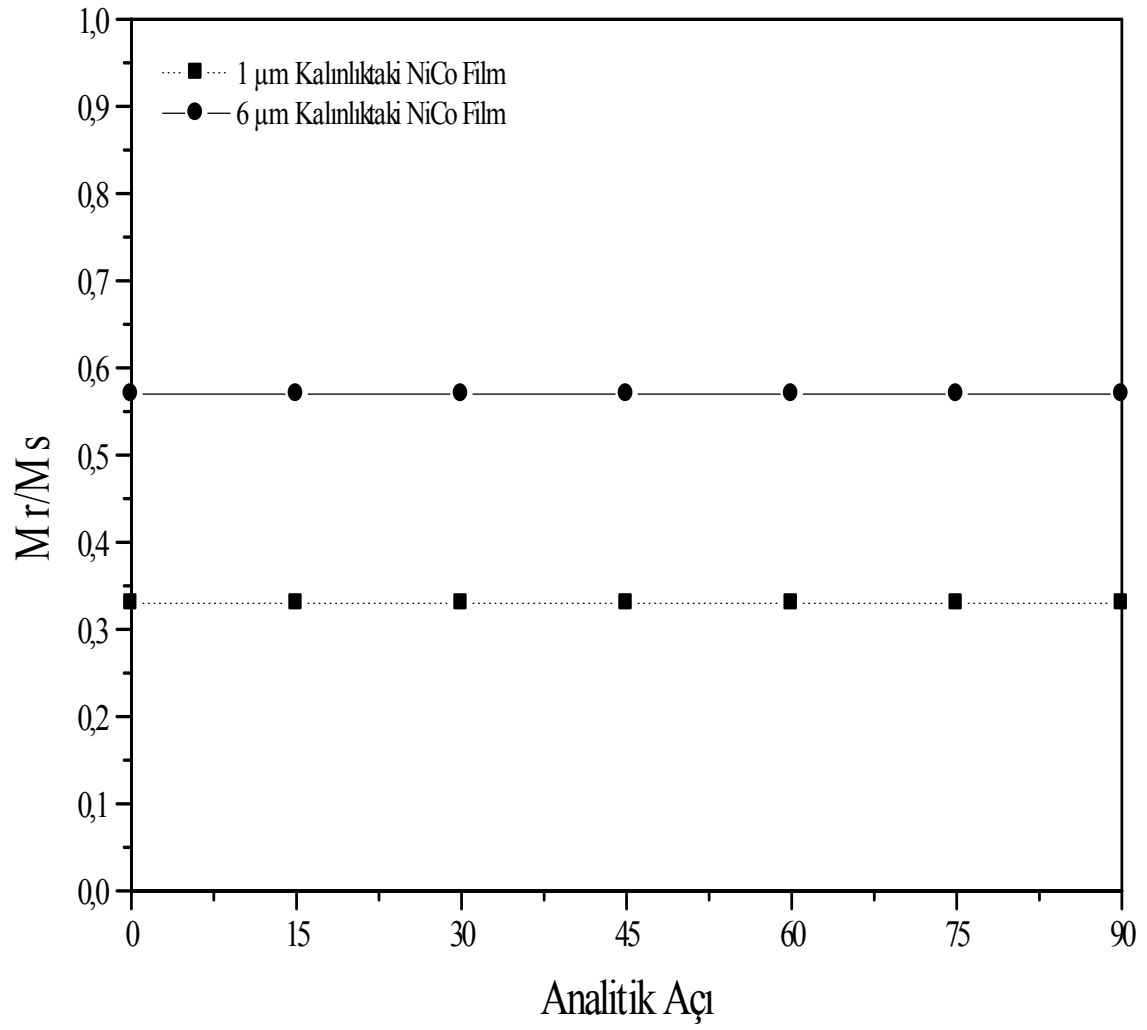
Örnek	Kalınlık (μ m)	Fonksiyon F(β)	Regrasyon Katsayısı (R)
NiCo Film	2	$0.440054+0.000256061.\beta-0.0000356061.\beta^2+1.34119.10^{-6}.\beta^3-1.53386.10^{-8}.\beta^4+5.48697.10^{-11}.\beta^5$	0,99882
	4	$0.470238-0.000188889.\beta+0.0000759259.\beta^2-2.09877.10^{-6}.\beta^3+2.46914.10^{-8}.\beta^4-1.09739.10^{-10}.\beta^5$	0,98736
	10	$0.630173+0.000939394.\beta-0.0000309764.\beta^2+5.38721.10^{-7}.\beta^3-2.99289.10^{-9}.\beta^4+8.86249.10^{-24}.\beta^5$	0,98117

TABLO 3.4

Kayıtlı Teyp Şeridine ait beşinci dereceden en küçük kareler yöntemi kullanarak poliminal uyum fonksiyonları ve regrasyon katsayıları

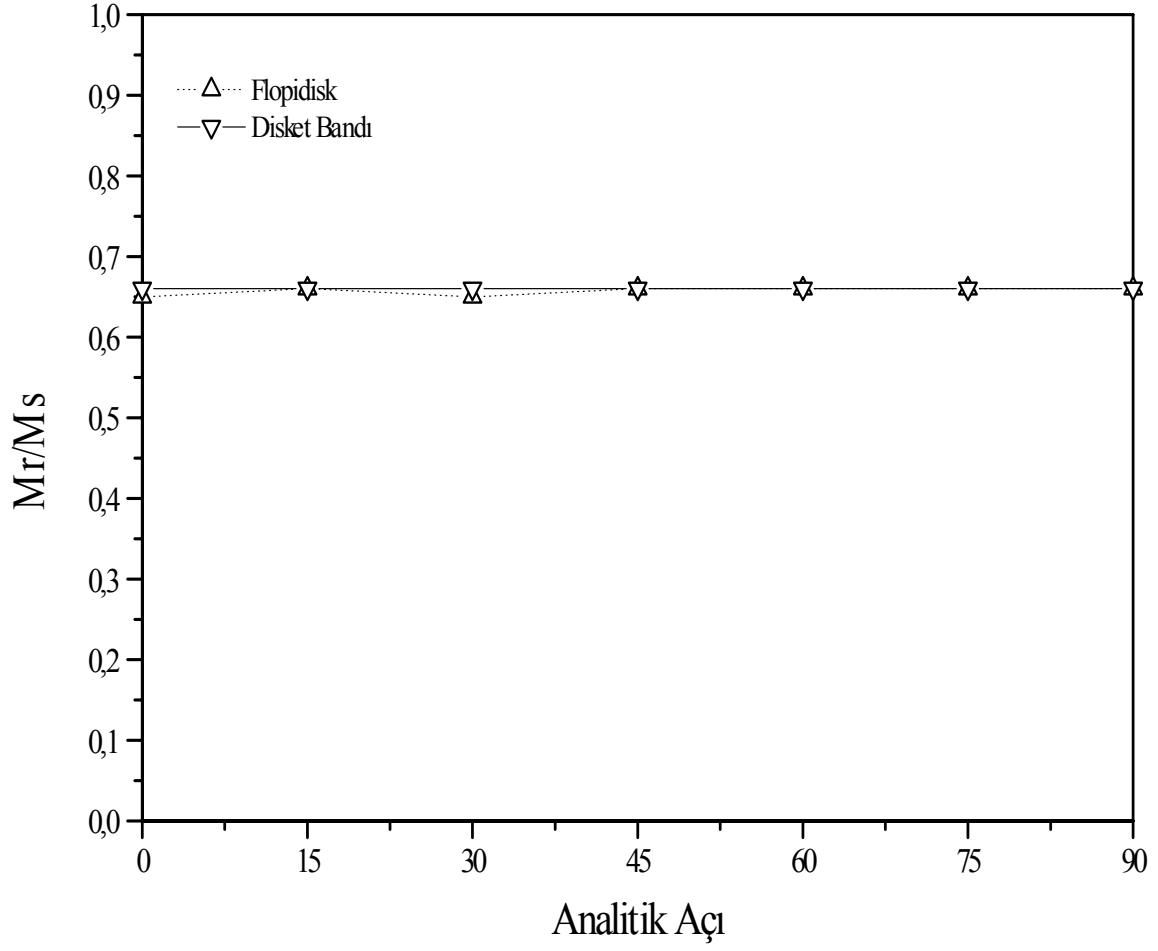
Örnek	Kalınlık (μm)	Fonksiyon $F(\beta)$	Regrasyon Katsayısı (R)
Teyp Şeridi	15	$0.38013-0.00373434.\beta+0.000352694.\beta^2-4.65769.10^{-6}.\beta^3+3.06771.10^{-8}.\beta^4-1.09739.10^{-10}.\beta^5$	0,99997

1 μm ve 6 μm kalınlıktaki NiCo filmler ile Flopidisk ve Disket Bandı Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 de gösterildiği gibi $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranı ile analitik açı β ya bağlı dağılımın sabit kaldığı olduğu gözlenmektedir. Böylece, örneklerden kalınlığı 1 ve 6 μm NiCo filmler "*izotropik*" yapıdadır. Ayrıca, 2, 4, 10 μm kalınlıktaki NiCo film örnekleri ile kayıtlı Teyp Şeridine ait $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranlarının analitik β açısına bağlı değişim grafikleri Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 da gösterilmektedir. Bu örnekler "*anizotropik*" yapıdadırlar.



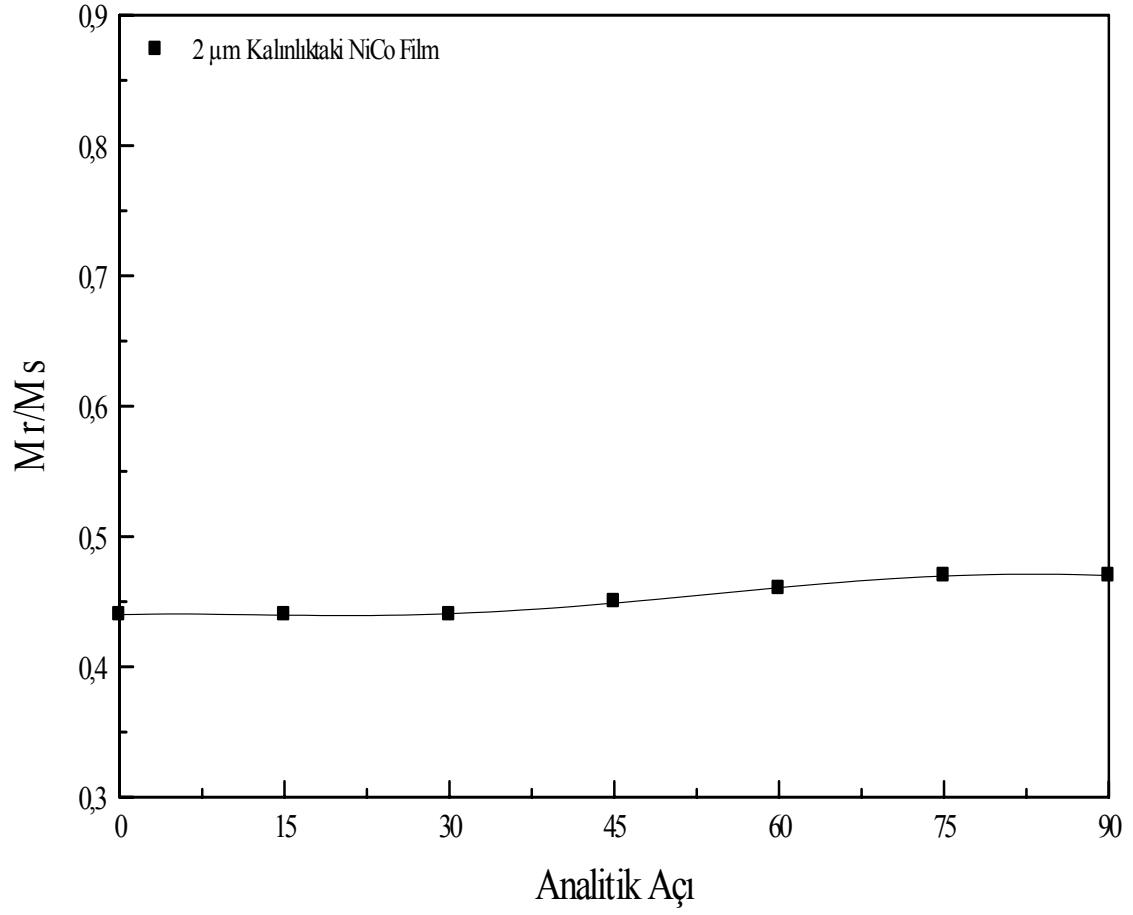
Şekil 3.4

İzotropik özellikli kalınlığı 1, 6 μm NiCo filmlerin $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranların analitik β açına bağlı değişimleri

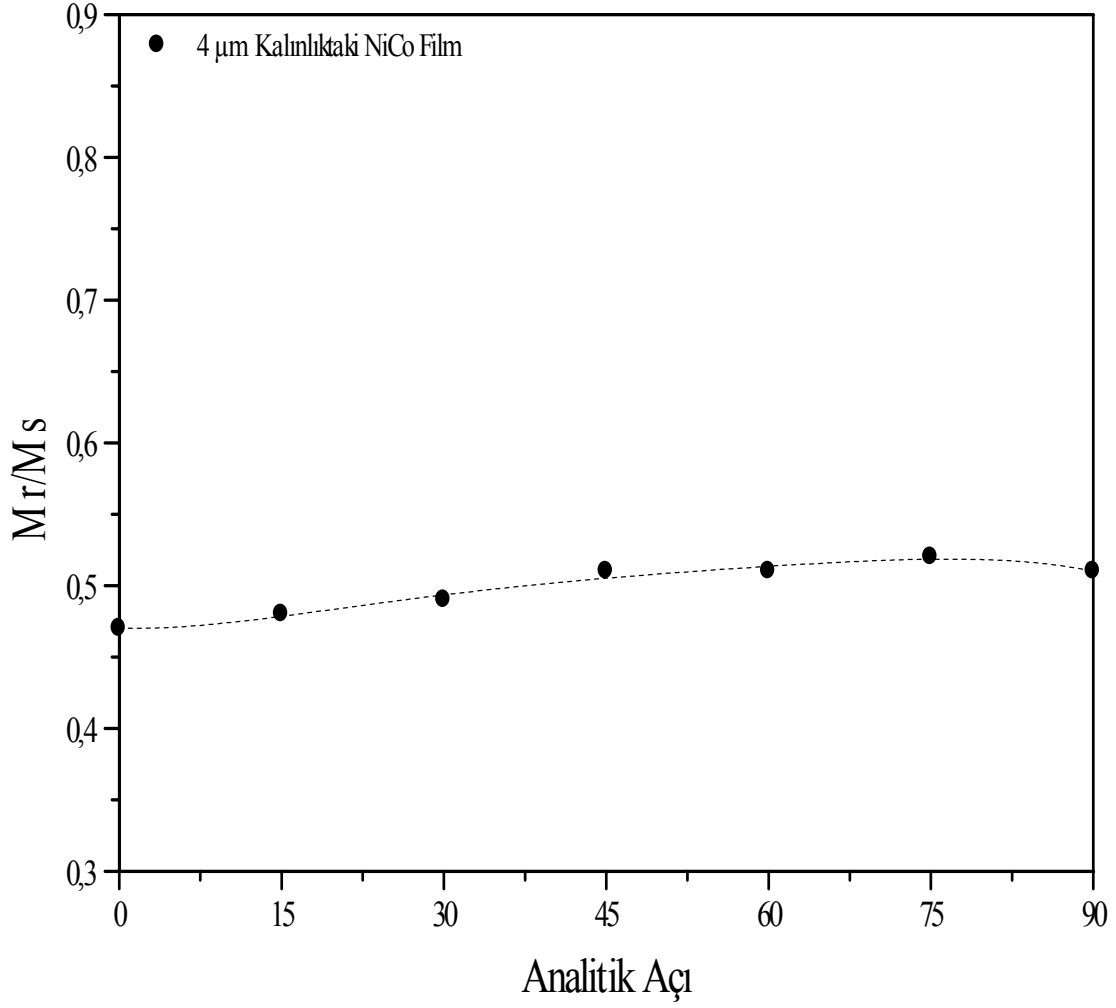


Şekil 3.5

İzotropik özellikli kalınlığı flopidisk ve bandının $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranlarının analitik β açına bağlı değişimleri

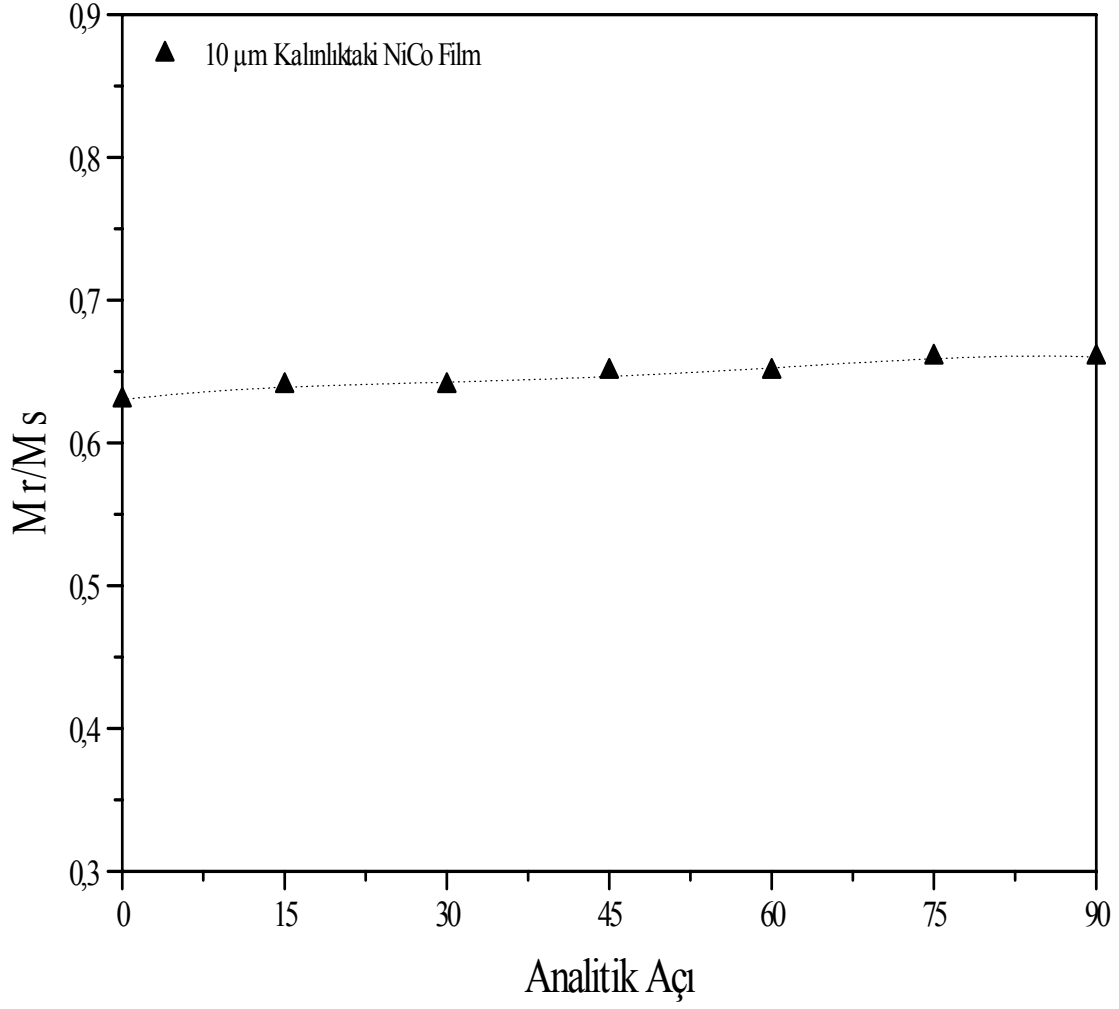


Şekil 3.6
Anizotropik özellikli kalınlığı 2 μm NiCo filmin $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranların analitik β açına bağlı değişimleri



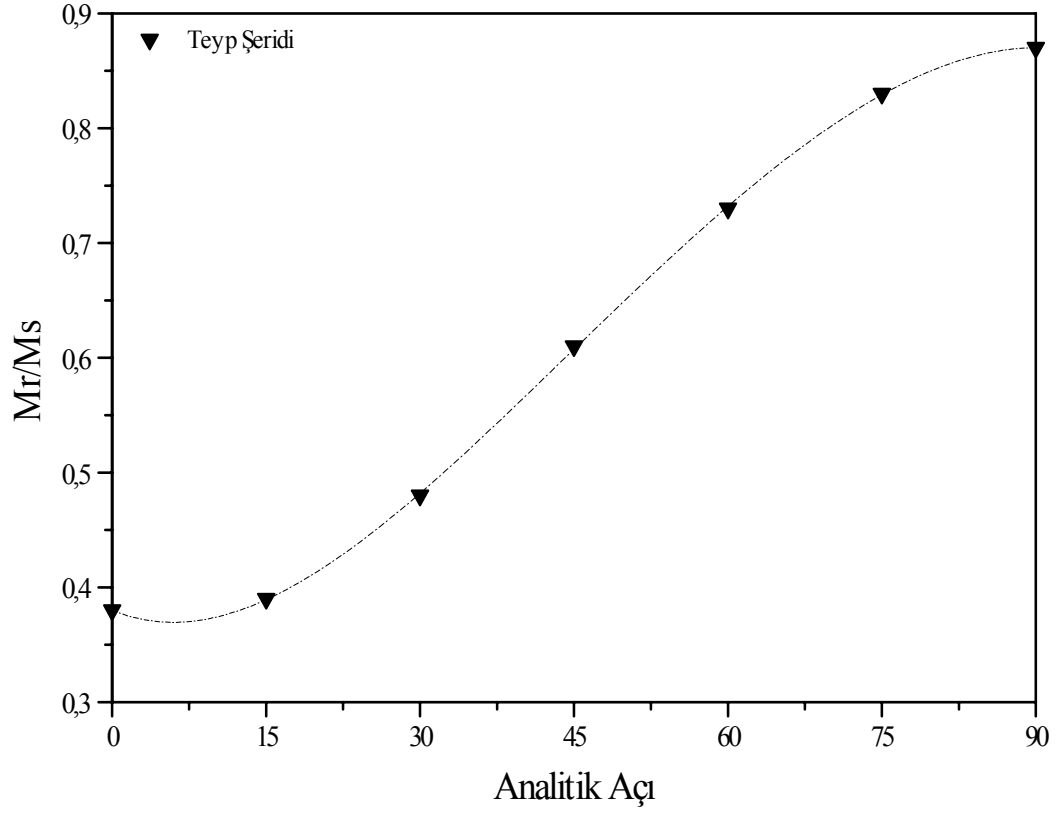
Şekil 3.7

Anizotropik özellikli kalınlığı 4 μm NiCo filmin $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranların analitik β açına bağlı değişimleri



Şekil 3.8

Anizotropik özellikli kalınlığı 10 µm NiCo filmin $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranların analitik β açına bağlı değişimleri



Şekil 3.9

Anizotropik özellikli kalınlığı $15\ \mu\text{m}$ olan kayıtlı teyp şeridinin $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranların analitik β açına bağlı değişimleri

Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9 incelendiğinde anizotropik özellikli kalınlığı 2, 4 ve 10 μm NiCo filmlerin ve kalınlığı 15 μm olan kayıtlı teyp şeridinin $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranların analitik β açına bağlı veri dağılımındaki değişimleri tam olarak gözlenmektedir. Ancak VSM ölçümü sonucu 10 μm NiCo film ile kalınlığı 15 μm olan kayıtlı teyp şeridinin $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ oranların analitik β açına bağlı veri dağılımında dalgalanmalar gözlenmiştir. Fakat VSM nin örnek tutucusuna numuneler rasgele yerleştirildiğinden dolayı dataların hangi analitik açığa karşılık değeri bilinmediğinden keyfi bir seri oluşturularak işlemler yapılmıştır.

Daha sonra, NiCo filmlerin manyetik yüzey anizotropisini ve doku (texture) etkilerini belirlemek için SW teorisi kullanılmaktadır. Manyetik örneğin üretim şartları sonucu oluşan kalıcı durum için bileşke manyetizasyon M_s nin kolay eksenli α , $\alpha+\alpha_0$ şartlarında bulunma olasılığını veren kolay eksen dağılım fonksiyonları ve bu farklı kalınlıklı NiCo filmler ve Teyp Şeridi için Fourier Serisi Katsayıları A_0 , A_{2n} ve manyetizasyonun kolay eksen bileşenini dağılımı $M_p(\beta)$ ya ait B_0 , B_{2n} katsayıları nümerik olarak hesaplanmaktadır [7].

Böylece SW Teorisi ve M. El-Hilo ve arkadaşları tarafından manyetik malzemelerin karakterizasyonu için uyarlanan Fourier seri yaklaşımı ile manyetik kolay eksen yönelimleri dağılım fonksiyonu,

$$f(\alpha) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_{2n} \cos(2n\alpha)$$

şekline 2.2.13 denklemi ile materyal ve metot bölümünde verilmişti. Burada A_0 ve A_{2n} ($n \geq 1$ olmak üzere) katsayıları hesaplanmaktadır. A_0 ve A_{2n} katsayıları trigonometrik fonksiyonların ortagonalliğinden yararlanılarak 2.2.10 denklemi kullanılarak hesaplanabilir. Böyle A_0 katsı;

$$A_0 = \int_0^{\pi/2} M_r(\beta) d\beta$$

şeklinde ve 2.2.9 deki ifade A_{2n} katsayısı ise;

$$A_{2n} = 2 \left[\frac{(2n-1)(2n+1)}{-1^{n+1}} \right] \int_0^{\pi/2} M_r(\beta) \cos(2n\beta) d\beta$$

denklemleri hesaplanmaktadır.

Parçacıklar arası etkileşmelerinin ihmal edildiği manyetik eksen yönündeki yönelimlerin dağılım fonksiyon $f(\alpha)$ nın Fourier serisi açılımı ile hesaplanan A_0 ve A_{2n} katsayıları hesaplandı. Anizotropik yapıda olan 2, 4 ve 10 μm kalınlıklı NiCo filmlerin ve kayıtlı Teyp Şeridine ait A_0 ve A_{2n} katsayıları Tablo 3.5 ve Tablo 3.6 da verilmektedir.

TABLO 3.5

Farklı kalınlıktaki ince NiCo filmleri için hesaplanan kolay eksen yönelim fonksiyonu $f(\alpha)$ nın A_0 ve A_{2n} katsayı değerleri

Sıra	Örnekler	Kalınlık (μm)	A_0	A_2
1	NiCo Film	2	0.691	1.320
2		4	0.738	1.410
3		10	0.990	1.892

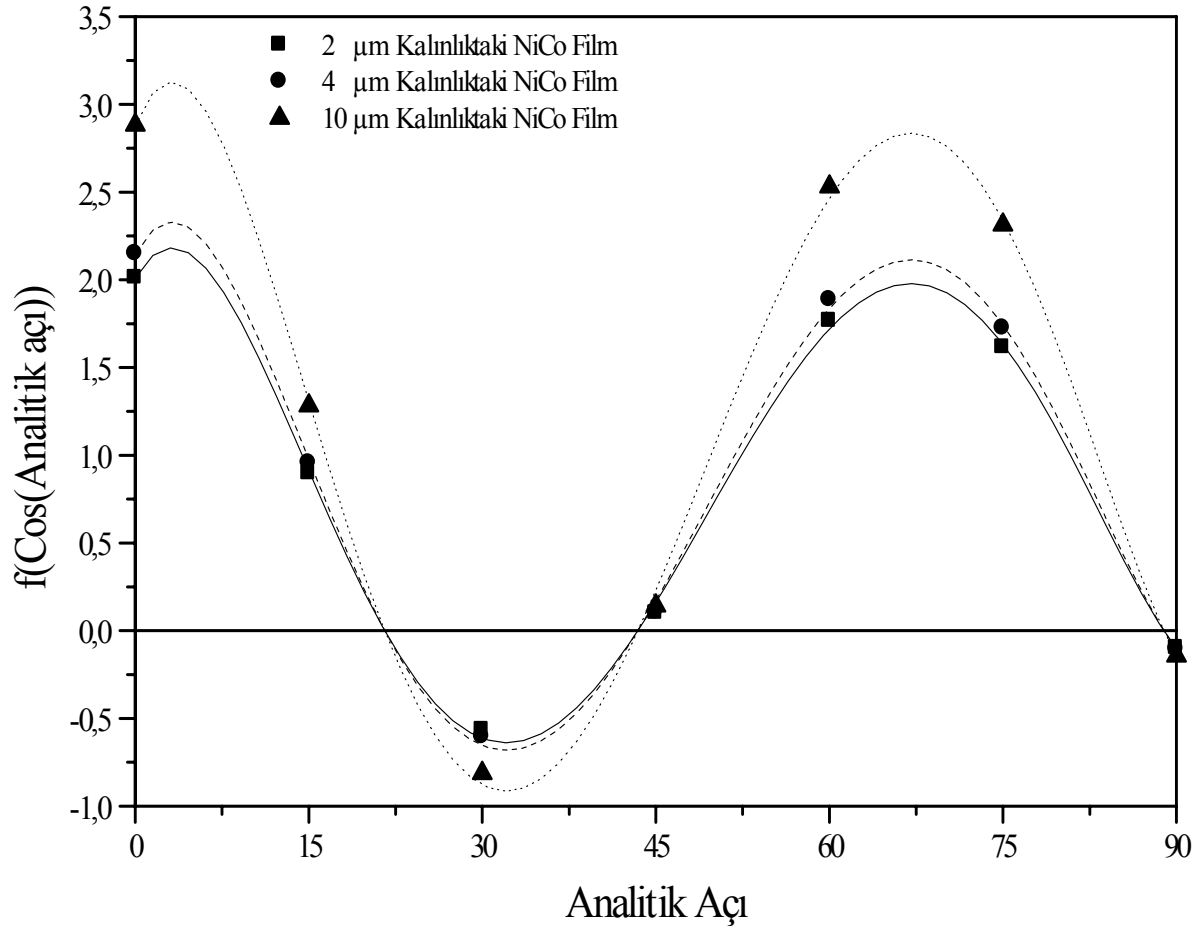
TABLO 3.6

Teyp Şeridine için hesaplanan kolay eksen yönelim fonksiyonu $f(\alpha)$ nın A_0 ve A_{2n} katsayı değerleri

Sıra	Örnekler	Kalınlık (μm)	A_0	A_2
1	Teyp Şeridi	15	0.592	1.134

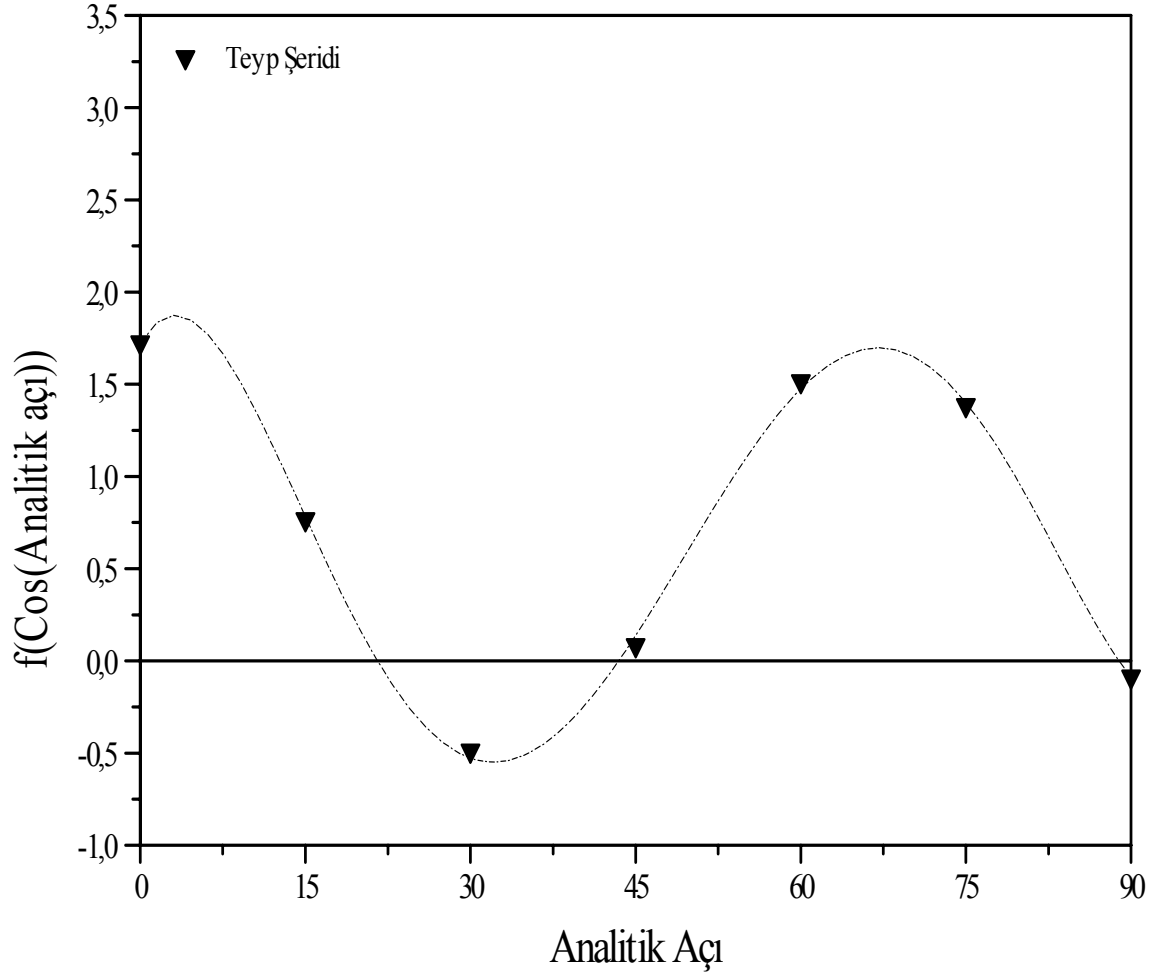
Kolay eksen dağılımı fonksiyonu $f(\alpha)$ anizotropik yapılı 2 μm , 4 μm ve 10 μm kalınlıklı NiCo filmler ve Teyp Şeridi için özel yazılım ile açığa bağlı olarak 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 derecelere karşı gelen veri değerleri hesaplandı. Daha sonra, kolay eksen yönelimleri dağılım fonksiyonu $f(\alpha)$ 'nın analitik α açısına bağlı değişim grafikleri Şekil 3.9 da gösterilmektedir. Şekil 3.9 incelendiğinde anizotropik özellikli her

bir örneğin $f(\alpha)$ dağılım fonksiyonu sinüzoidal bir değişim göstermektedir. $f(\alpha)$ dağılım fonksiyonu yaklaşık $10^0 < \alpha < 20^0$ analitik açı değerlerinde sıfır'a ulaşmaktadır.



Şekil 3.10

Kolay eksen yönü yönelim fonksiyonu $f(\alpha)$ ın analitik α açısına bağlı değişim grafikleri



Şekil 3.11

Kolay eksen yönü yönelim fonksiyonu $f(\alpha)$ ım analitik α açısına bağlı değişim grafikleri

Ayrıca bu çalışmada anizotropik örneklerin kolay eksen yönelimine izdüşüm paralel artık mıknatıslanma (remanence) değerleri hesaplanmaktadır. Bir örneğin paralel artık mıknatıslanma (remanence) değerlerindeki değişim materyal ve metot bölümünde tanımlandığı gibi Fourier seri açılımı ile hesaplanmaktadır. Herhangi bir örneğe ait paralel artık mıknatıslanma (remanence) değerindeki değişim B_0 ve B_{2n} ($n \geq 1$ olmak koşulu ile) iki farklı sabit katsayılı Fourier Seri fonksiyonu Denklem 2.2.6 tanımlandığı gibi;

$$M_p(\beta) = \frac{2}{\pi} M_s \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta f(x) d\theta$$

verilmektedir. Böylece paralel artık mıknatıslanma (remanence) değeri Fourier katsayıları B_0 ve B_{2n} (2.2.8) deki ve (2.2.7) deki ifadeleri ;

$$B_0 = \frac{2}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \overline{M_{rp}}(\beta) d\beta$$

ve

$$B_{2n} = \frac{2}{\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \overline{M_{rp}}(\beta) \cos 2n\beta d\beta$$

ile tanımlanmaktadır.

Manyetik filmlere uyarlanan paralel artık mıknatıslanma (remanence) değerini SW teorisine göre (2.2.6) denklemi ile verilen kolay eksen yönü değişimleri bulmak için B_0 ve $n \geq 1$ koşulu ile B_{2n} katsayıları hesaplanmaktadır. Anizotropik yapılı $2\mu\text{m}$, $4\mu\text{m}$ ve $10\mu\text{m}$ kalınlıklı NiCo filmler ile kayıtlı Teyp Şeridinin B_0 ve B_{2n} hesaplanan katsayı değerleri Tablo 3.7 ve Tablo 3.8 de verilmektedir.

TABLO 3.7

Anizotropik ve farklı kalınlıktaki NiCo filmlere ait değerler kullanarak hesaplanan kolay eksen yönelimine ait paralel artık mıknatıslanma (remanence) değerleri için B_0 ve B_{2n} katsayı değerleri

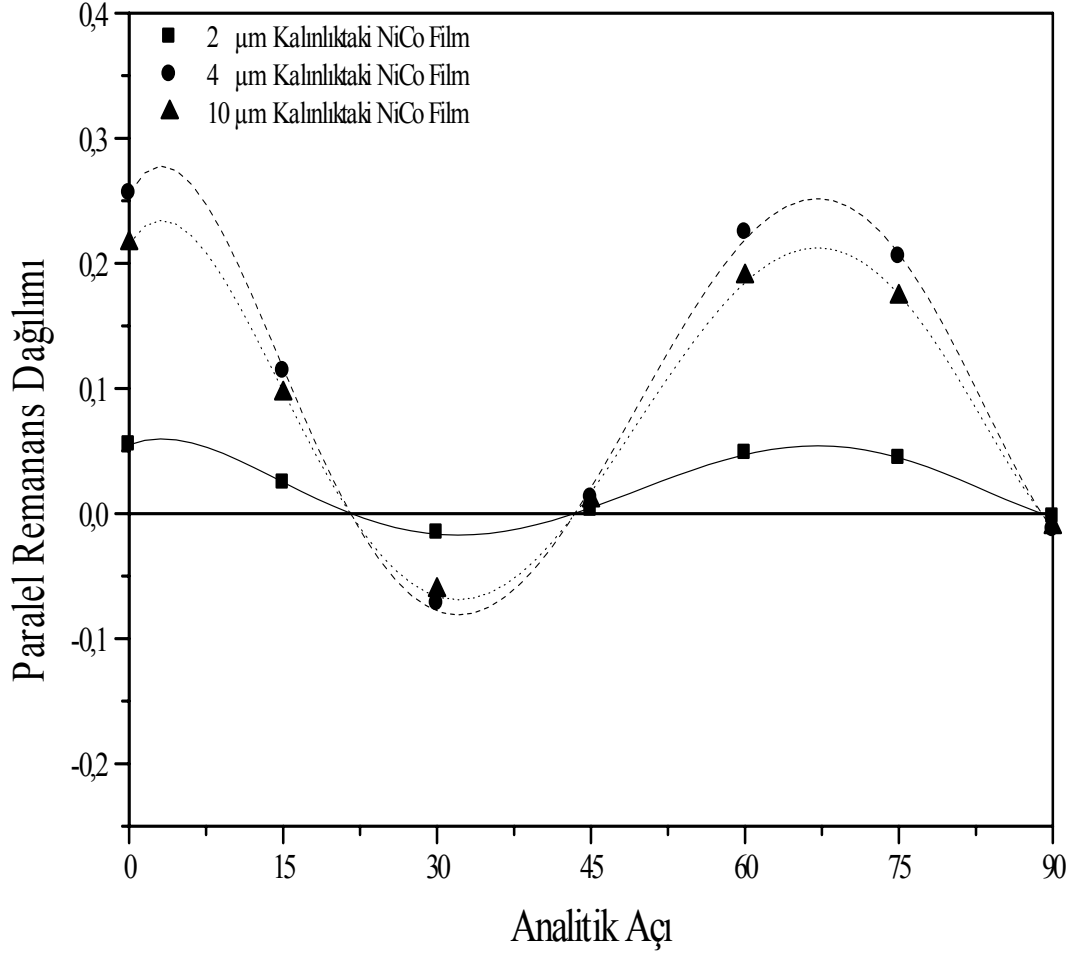
Sıra	Örnekler	Kalınlık (μm)	M_s	B_0	B_2
1	NiCo Film	2	0,04	0,019	0,036
2		4	0,094	0,088	0,168
3		10	0,1176	0,074	0,142

TABLO 3.8

Anizotropik kayıtlı Teyp Şeridi değerleri kullanarak hesaplanan kolay eksen yönelimine ait paralel artık mıknatıslanma (remanence) değerleri için B_0 ve B_{2n} katsayı değerleri

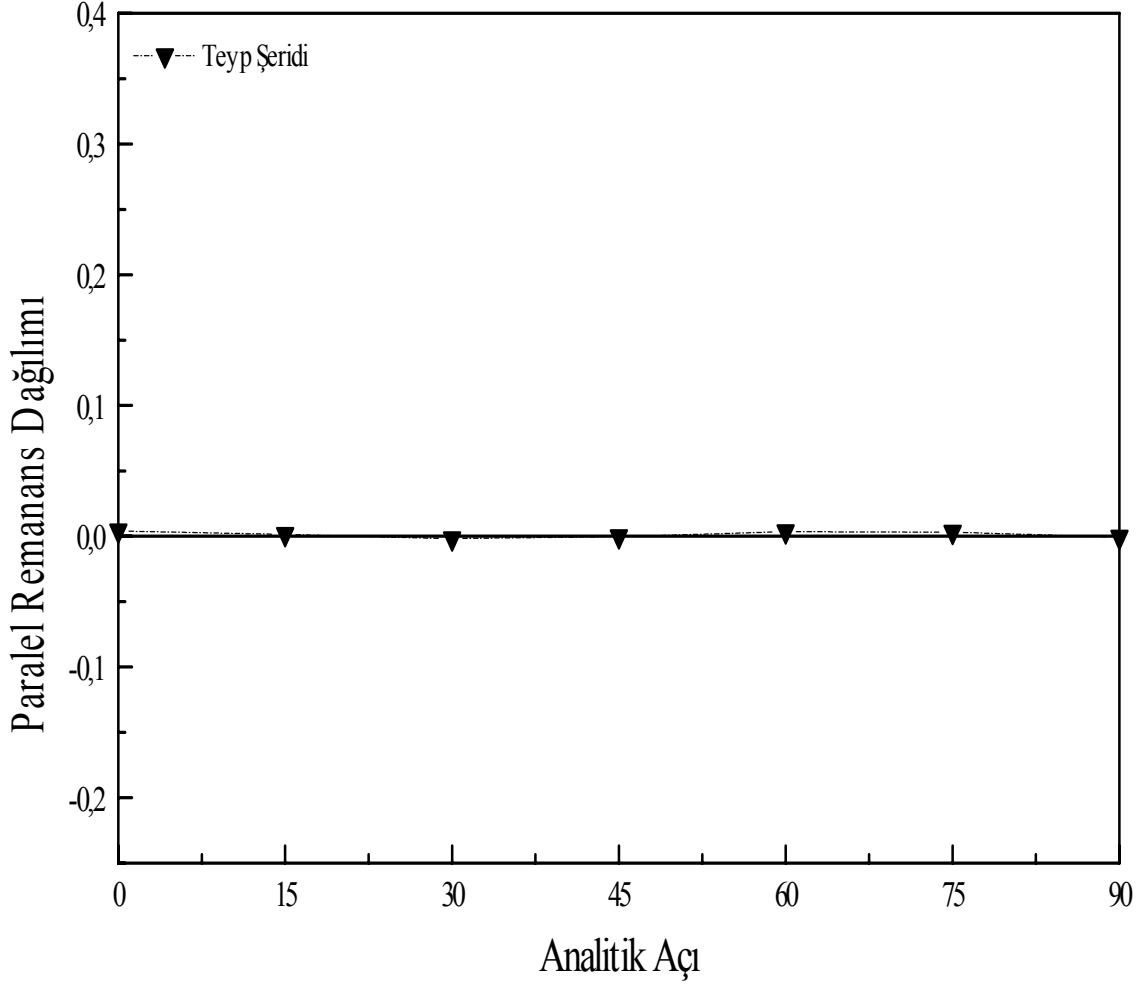
Sıra	Örnekler	Kalınlık (μm)	M_s	B_0	B_2
1	Teyp Şeridi	15	0,00494	0,001	0,003

Manyetik filmlere uyarlanan paralel artık mıknatıslanma (remanence) değerini anizotropik yapı gösteren $2\mu m$, $4\mu m$ ve $10\mu m$ kalınlıklı NiCo filmler ve Teyp Şeridi için özel yazılım ile açığa bağlı olarak 0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 derecelere karşı gelen data değerleri hesaplanmaktadır ve paralel artık mıknatıslanmasının (remanence) açığa bağlı değişim grafiği Şekil 3.12. de gösterilmektedir. Şekil 3.12. incelendiğinde örneklere ait paralel artık mıknatıslanma (remanence) değerlerinin sinüsoidal olarak değişime sahiptir. Şekil 3.13. de ise kayıtlı teyp kaseti şeridinin paralel artık mıknatıslanma (remanence) değerinin analitik açığa bağlı değişimi gösterilmektedir. Şekil 3.12. ve Şekil 3.13. incelendiğinde NiCo filmleri $f(\alpha)$ kolay eksen yönelimleri korelasyon fonksiyonunun analitik açı α ya bağlı değişimi kayıtlı teyp kaset şeridinkinden daha büyük genlikli olduğu gözlenmektedir.



Şekil 3.12

Kolay eksen yönü yöneliminde oluşan 2, 4 ve 10 μm kalınlıklı NiCo filmlere ait paralel artık mıknatıslanma (remanence) değeri $M_p(\beta)$ fonksiyonunun analitik β açısına bağlı değişim grafiği

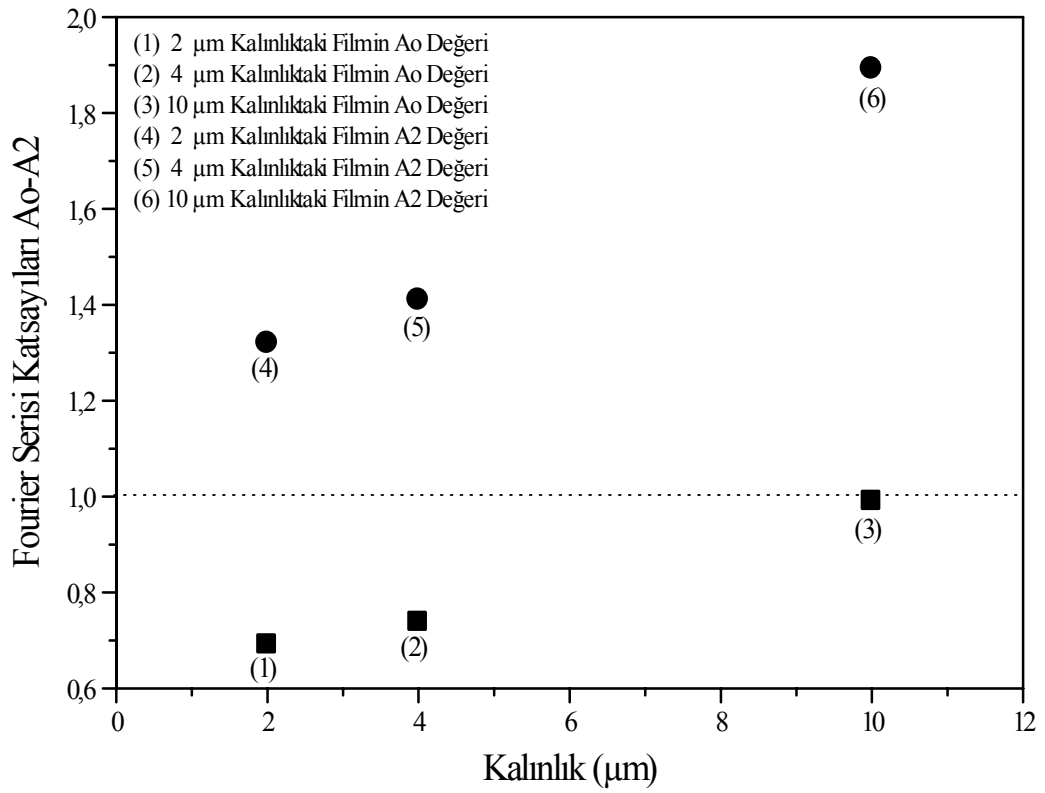


Şekil 3.13

Kolay eksen yönü yöneliminde oluşan kayıtlı Teyp kaseti şeridine ait paralel artık mıknatıslanma (remanence) değeri $M_p(\beta)$ fonksiyonunun analitik β açısına bağlı değişim grafiği

Kolay eksen yönelimleri dağılım fonksiyon Fourier Serisi ile tanılanarak, seriye ait katsayıları A_0 ve A_{2n} nin manyetik yüzey anizotropisi açısından tanımladı. A_0 katsayısı yapının doku derecesinden bağımsız ve parçacıklar arası etkileşmenin olmadığını gösterir ve 1 (unity) değerine yaklaşması gerekir [7]. Bu çalışmada

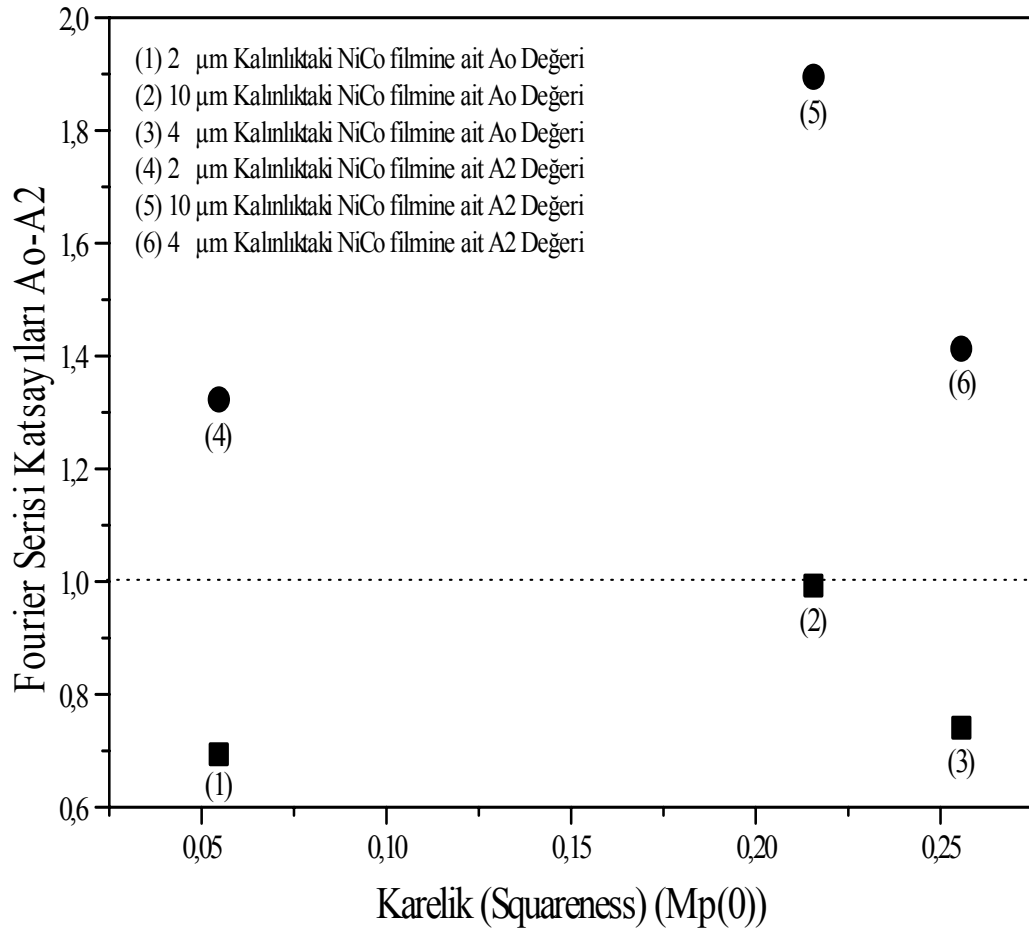
kullanılan farklı kalınlıklı NiCo filmlerde $1 \geq A_0$ olarak hesaplanmaktadır. 10 μm kalınlıklı NiCo filmin A_0 değeri 0.990~1 ve 15 μm kalınlıklı kayıtlı teyp kaseti şeridinin ise 0.592 değerleri hesaplanmıştır. A_{2n} katsayısı değeri $1 < A_{2n} < 2$ sınır değeri doku derecesini belirlemektedir. NiCo filmler için A_{2n} değeri ise kalınlıkla dereceli olarak artmaktadır. Böylece, NiCo filmleri A_0 , A_{2n} $n=1$ durumu için katsayılarının kalınlığa bağlı değişimi Şekil 3.14. de gösterilmektedir. Şekil 3.14. incelendiğinde numunelerin kalınlığı arttıkça hem A_0 hem de A_{2n} düzenli olarak değerleri arttığı sonucuna ulaşılmaktadır.



Şekil 3.14

NiCo filmlerin $f(\alpha)$ Kolay Eksen Yönelimi Dağılımı fonksiyonu değerindeki A_0 ve A_{2n} Fourier serisi katsayıları ile filmlerin kalınlıkları arasındaki ilişkisi

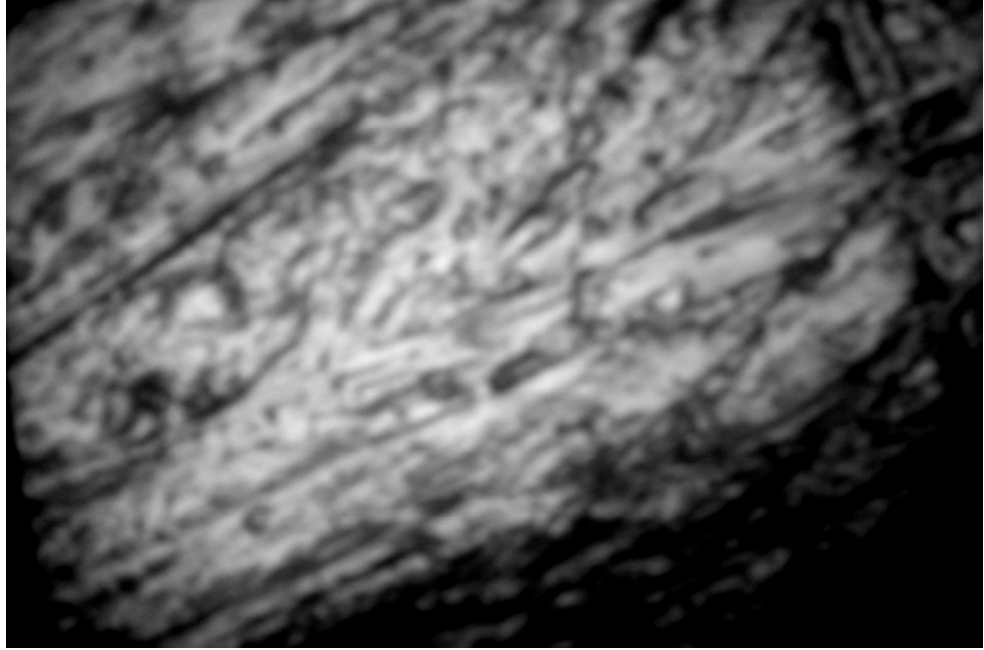
Şekil 3.15. de ise $f(\alpha)$ kolay eksen yönelimi dağılımı fonksiyonu katsayılarının paralel artık mıknatıslanma (remanence) değeri $M_p(0)$ a göre değişimi gösterilmektedir. NiCo filmlerin kalınlığı artarken paralel artık mıknatıslanma (remanence) değerlerinin arttığı ve A_0 , A_2 değerlerinin arttığı gözlenmektedir.



Şekil 3.15

NiCo filmlere ait kolay eksen yönelimleri fonksiyonu $f(\alpha)$ nın A_0 ve A_{2n} ($n=1$) katsayıları (Fourier Serisi) ile $M_p(0)$ arasındaki ilişki

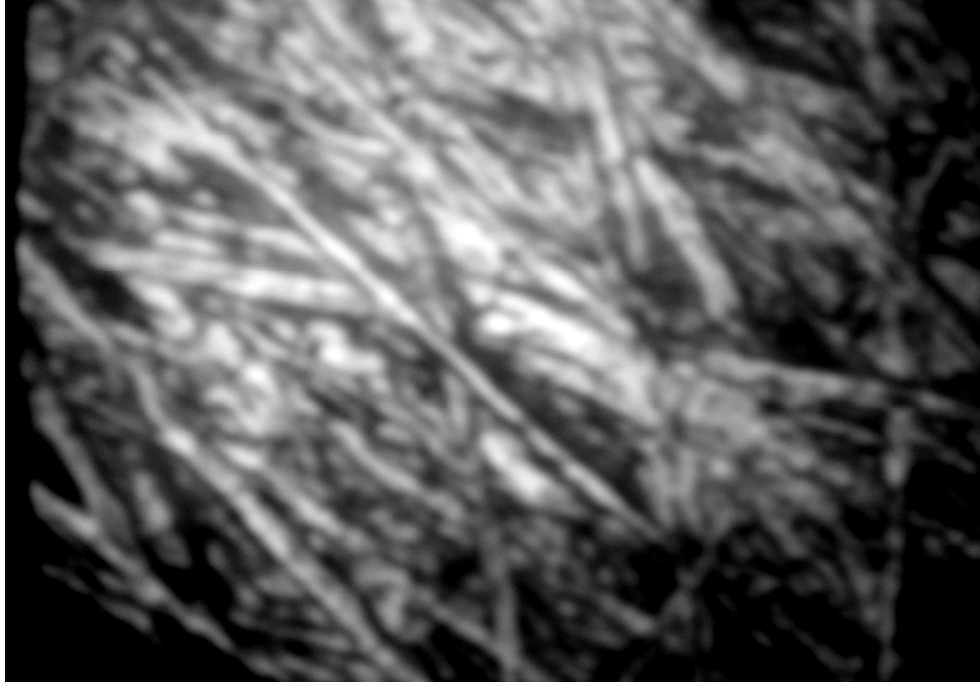
Elektrodepozisyon yöntemi kullanılarak farklı kalınlıkta üretilen NiCo filmlerin kolay eksen yönelimi dağılımı fonksiyonu $f(\alpha)$ ve paralel artık mıknatıslanma (remanence) değeri $M_p(\beta)$ değişimi hesaplandıktan sonra numunelerin yüzey yapılarının görsel karakteristiği araştırılmaktadır. Bu amaçla Balıkesir Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, malzeme laboratuvarında mevcut Nokai Optik Yüzey mikroskobu kullanılarak 40/1 büyütme oranı ile numunelerin resimleri çekildi. Numunelerden, 1 μm kalınlıklı izotropik NiCo filme ait 40/1 oranında büyütme ile optik yüzey mikroskobu kullanılarak çekilen yüzey resmini Şekil 3.16 gösterilmektedir. Şekil 3.16 incelendiğinde 1 μm kalınlıklı izotropik NiCo film yüzeyinde oluşan yapıda bir doku etkisi gözlenmemektedir.



Şekil 3.16

1 μm kalınlıklı izotropik NiCo filme ait 40/1 oranında büyütme ile optik yüzey mikroskobu kullanılarak çekilen yüzey resmini görünümü

Şekil 3.17. de ise 10 µm kalınlıklı anizotropik NiCo filme ait 40/1 oranında büyütme ile Optik Yüzey Mikroskobu kullanılarak çekilen yüzeyin görünümü gösterilmektedir. Şekil 3.17. incelendiğinde kalınlık arttıkça yüzeye gelen parçacıklar doku yapısı düzene girmekte ve yapı daha kararlı hale dönüşmektedir. Dolayısı ile doku etkisi artmaktadır.



Şekil 3.17

10 µm kalınlıklı anizotropik NiCo filme ait 40/1 oranında büyütme ile optik yüzey mikroskobu kullanılarak çekilen yüzeyin görünümü

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında; oda sıcaklığında elektrodpozisyon tekniği ile üretilen farklı kalınlıklardaki ferromanyetik NiCo filmlerin yüzey manyetik izotropi yada anizotropisinin nümerik çözümleri araştırılmıştır. Ayrıca üretilen filmlerin manyetik yüzey anizotropisi ile karşılaştırmak için ticari amaç ile kullanılan Disket bandı, Flopidisk ve kayıtlı Teyp kaseti şeridi kullanılmıştır. Farklı kalınlıktaki filmler ile Disket Bandı, Flopidisk ve Kayıtlı Teyp Kaseti Şeridinin manyetik özelliklerini belirleyen parametreleri şekil anizotropisi etkisini ortadan kaldırman için 3 mm yarı çaplı daire şeklinde kesilip örnek tutucuya yerleştirilerek Titreşimli Örnek Manyetik Ölçer (VSM) cihazı ile ölçülmüştür.

Ölçümler sonucu farklı kalınlıktaki filmler ile diğer numunelere ait histerisiz çevrimleri elde edilmiş, farklı kalınlıktaki filmler ile numunelere ait kalıcı alan H_c doyum alanı H_s , doyum manyetizasyonu M_s ve kalıcı manyetizasyon M_r değerleri belirlenmiştir. Histerisiz çevrimlerinden farklı kalınlıktaki NiCo filmler ile diğer numunelerin karelik (Squareness) değerleri olan ortalama $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ nin analitik açı β ya bağlı değerleri VSM ölçüm raporlarından elde edilmiştir. Filmlere ait analitik açı β ya karşı gelen $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ değerleri Tablo 3.1 'de ve ticari amaç için kullanılan Disket bandı, kayıtlı Teyp kaseti şeridi ve Flopidisk' e ait $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ değerleri Tablo 3.2 de gösterilmiştir. Tablo 3.1 ve Tablo 3.2 den elde edilen $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ değerleri ile analitik açı β açısına bağlı grafikler çizilmiştir. 1 ve 6 μm kalınlıktaki filmler ile flopidisk ve disket bandın $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ değerlerinin β açısına bağlı grafikleri Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 de gösterildiği gibi lineer bir dağılım göstermektedir. Bunun sonucu olarak bu örneklerin "**izotropik**" yapıdadır. Diğer örnekler 2, 4, 10 μm kalınlıklı filmler ile kayıtlı teyp kaseti şeridinin $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ değerlerinin analitik β açısına bağlı değişim grafikleri, lineer bir

doğru olmadığı gösterilmiştir. Böylece, bu örneklerin "**anizotropik**" yapıda olduğu anlaşılmıştır. Şekil 3.6., Şekil 3.7., Şekil 3.8., ve Şekil 3.9. anizotropik özellik gösteren örneklerin grafikleri gösterilmiştir.

Anizotropik özellik gösteren örneklerin açığa bağlı $\frac{M_r}{M_s}(\beta)$ değerleri en küçük

kareler yöntemi kullanılarak beşinci dereceden polinomial fit uygulanarak, numunelere ait uyum fonksiyonları ve güvenilirliğini kontrol etmek için regresyon katsayıları hesaplandı. Tablo 3.3 de anizotropik özellik gösteren 2, 4 ve 10 μm kalınlıktaki NiCo filmler ile Tablo 3.4 de anizotropik özellik gösteren 15 μm kalınlıklı kayıtlı teyp kaseti şeridine ait uyum fonksiyonları ile regresyon katsayıları gösterilmiştir. Anizotropik yapıda olan filmler ile Teyp şeridinin yüzey anizotropisini ve doku (texture) etkilerini belirlemek için SW teorisi kullanıldı. Parçacıkların bulunma olasılığını veren kolay eksen yönelimleri dağılım fonksiyonları ve anizotropik yapıda olan NiCo filmler ile kayıtlı teyp kaseti şeridine ait Fourier Serisi katsayıları A_0 , A_{2n} ve kolay eksene paralel kalıcı paralel manyetizasyonun dağılım fonksiyonuna ait B_0 ve B_{2n} katsayıları nümerik olarak hesaplandı. Tablo 3.5 ve Tablo 3.6 da A_0 , A_{2n} katsayıları ve Tablo 3.7 ve Tablo 3.8 de B_0 ve B_{2n} katsayıları gösterilmiştir. Kolay eksen dağılım fonksiyonu ilk sabiti A_0 etkileşmeyen sistemler için bire eşit olması gerekir ve sistemdeki doku (texture) derecesi A_0 değeri üzerinden etkiye sahiptir. A_{2n} örneğin sertliği (texture) artarken dağılım fonksiyonunun genişliği ile ters orantılı değere sahiptir.[7]

SW teorisi ve El-Hilo ve Arkadaşlarının yaklaşımı kullanılarak anizotropik yapıda olan örneklerin kolay eksen yönelimi dağılımı fonksiyonu hesaplandı. Kolay eksen dağılım fonksiyonu ile analitik açı arasında grafik çizildi. Şekil 3.10 NiCo filmlere ve Şekil 3.11 de Teyp Şeridine ait kolay eksen dağılımının analitik açığa bağlı olarak elde ettiğimiz grafiğin diğer çalışmalarda elde edilen kolay eksen dağılım fonksiyonu ile analitik açığa bağlı değerleri ile uyum içinde olduğu görülmüştür. Anizotropik yapıya sahip örneklerin Fourier serisi katsayıları A_0 , A_{2n} ile kalınlıkları arasındaki grafik çizilmiş Şekil 3.14 de görülmektedir. Kalınlık artıkça doku (texture) derecesinin arttığı gözlenmiştir. Anizotropik yapıdaki örneklerin SW teorisinde verilen iki boyutlu sistem için paralel kalıcı manyetizasyon dağılımı hesaplanmış bu hesaplanan dağılım ile analitik açığa bağlı grafiği çizilmiştir. Anizotropik yapıda olan 2, 4 ve 10 μm

kalınlıklardaki NiCo filmler ile anizotropik yapıdaki kayıtlı teyp kaseti şeridine ait paralel kalıcı manyetizasyon dağılımı ile analitik β açısı arasındaki ilişki Şekil 3.12 ve Şekil 3.13 de gösterilmektedir. Anizotropik yapıda olan 2, 4 ve 10 μm kalınlıklardaki NiCo filmlerin paralel kalıcı manyetizasyon $M_p(0)$ değeri için filmlerin Fourier serisi katsayıları A_0 ve A_2 değerleri ile değişim grafiği çizildi. Örneklerin kalınlık artıkça doku (texture) derecesinin arttığı görüldü.

Sonuç olarak, NiCo filmle düşük anizotropi özellik göstermektedir. H_c nin kalınlıkla küçülmesi NiCo filmlerin kalınlığı arttıkça yumuşak manyetik karaktere doğru yönelmektedir. NiCo filmler ile karşılaştırmak üzere ticari amaçlı kullanılan kayıtlı teyp kaseti şeridinin anizotropisi ve doku etkisi bu çalışmada kullanılan NiCo filmlere göre daha büyük olduğu gözlenmiştir. Film kalınlığının üretim şartları (ki burada ihmal edilmiştir) artması üretim zamanı ile doğru orantılı ve film yüzeyi üzerinde biriken parçacık sayısı artarken, yüzeye yapışan parçacıklar düzene girerek doku etkisi dolayısı ile doku derecesin arttırmaktadır.

ÖNERİLER

SW Teorisi, ferromanyetik malzemelerde VSM ölçümü sonucu oluşturulan histerisiz çevrimleri kullanılarak, iki boyutlu manyetik yüzey enerjisini ve manyetik yüzey izotropi özelliğini karakterize etmek için kullanılmaktadır. Bu amaçla bu çalışmaya ek olarak; Üretilen NiCo filmlerin diğer yöntemlerle anizotropi katsayıları hesaplanarak bu çalışma sonuçları ile karşılaştırılabilir, NiCo filmlerin anahtarlanma alanı etkileri ve NiCo filmlerde manyetik yüzey anizotropisinin sebeplerinin araştırılması deneysel ve teorik çalışmalara katkı getirebilir.

EKLER

EK-1

SÖZLÜK

Alignment: Sıralama aynı hizaya getirme, sıraya dizme

Aggregation: Bir araya toplama ,toplanma

Coactivity: Artık mıknatıslanma, zorlama, zorluk derecesi

Demagnetisation Process: Mıknatıslığın bozulması süreci, işlemi

Deposition: Tortu bırakma

Diffusion: Yayılma

Dimension: Boyut

Distribution: Dağılım

Domain: Bilgi alanı

Easy axis distribution: Basit eksen dağılımı

East axis switching field: Basit eksen dönüşen alanı

Ensemble: Topluluk

Fit: Uygun

Grain: Tohum, zerre

Hard direction: Sert yön

Head field: Boş alan

Hysteresis loop: Ardıl izlem döngüsü

Isothermal: Eşit ısıda olan

Magnetisation: mıknatıslanma

Magnetometer: Manyeto metre

Medium: Araç

Particles: Partiküller, parçacıklar

Pigment: Renk maddesi

Random: Rasgele

Remanence: Artık mıknatıslanma

Remanent: Artık manyetizasyon (mıknatıslanma)

Recording media: Kayıt cihazı

Saturating field: Doyurulan alan

Spin: Dönme, dönüş

Squareness: Karelik

Switching field: Dönüşen, dönüştürme alanı

Switching process: Dönüşüm, değişim süreci işlemi

Texture: Doku

Uniaxial: Tek, eksensel

Zeeman contribution: Zeeman katkısı

KAYNAKLAR

1. Barabasi A. ve Stanley H.E., (1965), " *Fractal concepts in surface growth*", Cambridge University press, New York
2. Meakin P., (1998), " *Fractals Scaling and growth for from equilibrium*", Cambridge University Press, Cambridge
3. Bunge H.J., (1989), " *Texture and magnetic properties, Textures and microstructures*", V.11, PP. 75-91
4. Topçu H., (2003), " *NiFe İnce Filmlerin Elektrodepozisyonu ve Karakterizasyonu*", Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir, Fen bilimleri Enstitüsü, Fizik Bölümü
5. Gonzales-Fernandez M.A. ve Ark., (2005), " *Texture Effects in Particulate Media*", Journal of magnetism and magnetic materials, 290-291, 498-501
6. Carbucicchio M., Rateo M., Ruggiero G., Turilli G., (2002), " *In plane uniaxial magnetic anisotropy in metallic multilayers*", Journal of magnetism and magnetic materials, 242-245, 601-603
7. El-Hilo M., Kelly P., O'Grady K. Popplewell J., (1990), " *Determination of easy axis distribution in recording media*" IEEE Transactions on magnetics, V.26, No:1
8. Gonzales-Fernandez M.A. ve Ark.(2005), " *Texture and viscosity effects in particulate recording media*", Journal of applied physics 97, 10P702
9. Morales M.P. , O'Grady K., (1995), " *Texture and interaction effects in barium ferrite media*" IEEE Transactions on magnetics, V31 N:6, PP. 2904
10. Torre E.D., (1999), " *Magnetic hysteresis*", IEEE pres. New York
11. Jiles D., (1996), " *Introduction to magnetism and magnetic materials*", Chapman and hall press, London
12. Kittel C., (1986), " *Introduction to solid state physics*" John Wiley and Sons, Inc.
13. Purcell E.M., (1979), " *Electricity and magnetism*" McGraw Hill book company, Berkeley, California
14. Sebt A., Akhavan M., (2001), " *Switching field distribution of magnetic fine particles*" Journal of magnetism and magnetic materials, 237, 111-118

15. Thamm S., Hesse J., (1998), "*The remanence of a Stoner-Wohlfarth particle ensemble as a function of the demagnetisation process*", Journal of magnetic materials, 184, 245-255
16. Sebt A., Akhavan M., (2002), "*Angular dependence of switching field of magnetic recording particles*" Physica, B321, 120-123
17. Jackson M., Prichard L., O'Grady K., Mayo P., (1999), "*Determination of switching field distribution and easy axis distribution in metal particle tape*", Journal of magnetism and magnetic materials, 193, 342-344
18. Akdoğan N., (2004), "*İnce Filmlerde Manyeto-Optik Ölçümler*" Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü, İstanbul
19. Bilim F., (2004), "*Potansiyel Yardımıyla Kayaçlardaki Kalıntı Manyetizasyonunun Özelliğinin Araştırılması*" Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
20. Gürler Y., (1971), "*İnce Film Devre Teknolojisi*", Elektrik Müh. Odası Aylık Yayın Organı, 15, 174, 32
21. Tacer E., (2004), "*Ders Notları*" İ.T.Ü Elektrik Elektronik Fakültesi, İstanbul
22. Gülcü A., (2004), "*Matemática 5*", Nobel Yayın Dağıtım, Ankara
23. Jiles D., (1991), "*Introduction to magnetism and magnetic materials*" Chapman and Hall
24. Karadeniz A., (2000), "*Yüksek Matematik*", Çağatay Kitabevi, 2, İstanbul
25. Ranno L., (2003), "*Magnetic Recording Media*", Laboratoire Louis Neel, Power Point Sunu
26. Heinonen O., (2003), "*Computation Applied Magnetism*" Seagate Technology, Power Point Sunu
27. Brian F.P., (1999), "*An Inclusive Model of Ferromagnetic Hysteresis*" Queen's University Kingston, Ontario, Canada, Power Point Sunu
28. Karagöz İ., (2001), "*Sayısal analiz ve Müh. Uygulamaları*" Vipaş.A.Ş., 52-215
29. Karpuz A., (2006), "*Fe-Cu alaşım filmlerin büyütülmesi, yapısal ve manyetik karakterizasyonu*", Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, fizik bölümü, Balıkesir
30. Kasap S.O., (2005), "*Principles of Electronic Materials and Devices*" Mc Graw-Hill, Power Point Sunu

31. www.galvoteknik.org (14.07.2007)
32. http://sciart.karaelmas.edu.tr/bolumler/fizik/fizik_bolumu.htm (17.07.2007)
33. http://www.tmmndt.com/download/MPI_demagnetizasyon.pdf (19.07.2007)
34. <http://staff.science.uva.nl/~konings/fib.html> (22.07.2007)
35. <http://sol.sci.uop.edu/~jfalward/physics17/chapter9/chapter9.html> (22.07.2007)
36. <http://www.st-andrews.ac.uk/~osc/mag-res.html> (22.07.2007)
37. <http://www.uni-koblenz.de/~mbrehmer/P99-1.htm> (24.07.2007)
38. www.doitpoms.ac.uk/.../printall.php (14.08.2007)
39. www.ep4.rub.de/imperia/md/content/skripte/sso4/thinfilmmagnetism/4-lecture.pdf (14.08.2007)
40. http://labfiz.uwb.edu.pl/exp/domeny/fizyka_domen_magnetycznych.php?lang=p (14.08.2007)
41. <http://www.ifw-dresden.de/institutes/imw/sections/24/magdyn/time-resolved-microscopy-with-psec-resolution/?searchterm=domain> (17.08.2007)
42. <http://lab-neel.grenoble.cnrs.fr/themes/macro/subjects/model-en.html> (18.08.2007)
43. http://www.physics.sjsu.edu/becker/physics51/mag_field.htm (18.08.2007)

ÖZGEÇMİŞ

1974 yılında Balıkesir’de doğdu. İlk okulu Susurluk İnebey ilkokulunda, Orta okulu Bandırma Şehit Süleyman Bey Orta okulunda , Liseyi Bandırma Şehit Mehmet Gönenç Lisesinde okudu. Lisans eğitimini Trakya Üniversitesi Fizik bölümünde tamamladı. Yüksek lisans eğitimine aynı üniversitede Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik bölümünde başladı. Halen özel bir eğitim kurumunda Fizik ve Fen Bilgisi öğretmeni olarak çalışmaktadır.