

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI**



**PÜSKÜRTME METODUYLA ÜRETİLEN FeCr ALAŞIM İNCE
FİLMLEİN YAPISAL VE MANYETİK ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE BİRİKTİRME ORANI VE DÖNER ALT TABAKA
HIZININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİROL KAYA

BALIKESİR, ARALIK - 2017

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI



PÜSKÜRTME METODUYLA ÜRETİLEN FeCr ALAŞIM İNCE
FİLMLEİN YAPISAL VE MANYETİK ÖZELLİKLERİ
ÜZERİNE BİRİKTİRME ORANI VE DÖNER ALT TABAKA
HIZININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİROL KAYA

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hakan KÖÇKAR (Tez Danışmanı)

Prof. Dr. Muhitdin AHMETOĞLU

Doç. Dr. Hilal Kuru

BALIKESİR, ARALIK - 2017

KABUL VE ONAY SAYFASI

Birol KAYA tarafından hazırlanan “**PÜSKÜRTME METODUYLA ÜRETİLEN FeCr ALAŞIM İNCE FİLMLEİN YAPISAL VE MANYETİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE BİRİKTİRME ORANI VE DÖNER ALT TABAKA HIZININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 08.12.2017 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Prof. Dr. Hakan KÖÇKAR



Üye
Prof. Dr. Muhiddin AHMETOĞLU



Üye
Doç. Dr. Hilal KURU



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

Bu tez alışması Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2016/149 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

PÜSKÜRTME METODUYLA ÜRETİLEN FeCr ALAŞIM İNCE FİMLERİN YAPISAL VE MANYETİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE BİRİKTİRME ORANI VE DÖNER ALT TABAKA HIZININ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİROL KAYA

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FİZİK ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. HAKAN KÖÇKAR)

(EŞ DANIŞMAN: DOÇ. DR. ALİ KARPUZ)

BALIKESİR, ARALIK - 2017

Bu çalışmada, iki DC magnetronlu bir püskürtme sistemi kullanılarak FeCr alaşım ince filmleri üretildi. Önemli üretim parametreleri olan, depozisyon hızı ile alt tabakanın dönme hızlarının farklı değerleri dikkate alınarak, filmlerin yapısal ve manyetik özellikleri üzerindeki etkileri araştırıldı. Filmler oda sıcaklığında ticari asetat alt tabaka üzerine üretildi ve sırasıyla elementel, kristal yapı, yüzey ve manyetik analizleri yapıldı.

Elementel analiz sonuçlarına göre, depozisyon hızı ve alt tabakanın dönme hızı arttıkça film bileşimindeki Fe içeriğinin de arttığı tespit edilmiştir. Kristal yapı analizi sonucunda ise, depozisyon hızı ve alt tabakanın dönme hızı değiştirilmesine rağmen filmlerin bcc kristal fazını sürdürdüğü ancak, kristal yapıya ait düzlemler arası uzaklık ve tane büyüklüğü gibi özelliklerin bu değişimden etkilendiği tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra, farklı depozisyon hızı ve alt tabakanın farklı dönme hızının filmlerin yüzey morfolojilerinde dikkate değer değişimlere neden olduğu bulunmuştur.

Depozisyon hızının ve alt tabakanın dönme hızının artması, filmlerin doyum manyetizasyonu, koersivite alanı ve kalıcı manyetizasyon değerlerinde bir artışa sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. Filmlerin manyetik özelliklerinde meydana gelen bu değişikliklerin, yapısal özelliklerdeki değişimlere bağlı olduğu ifade edilebilir.

ANAHTAR KELİMELELER: FeCr alaşımlar, Manyetik ince filmler, Püskürtme tekniği, Yapısal özellikler

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF EFFECT OF STRUCTURAL AND MAGNETIC PROPERTIES ON DEPOSITION RATE AND ROTATION SUBSTRATE OF FeCr ALLOY THIN FILMS PRODUCED BY SPUTTERING

MSC THESIS

BIROL KAYA

BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

PHYSICS DEPARTMENT

(SUPERVISOR: PROF.DR. HAKAN KOCKAR)

(CO-SUPERVISOR: ASSOC. PROF.DR. ALI KARPUZ)

BALIKESİR, DECEMBER 2017

In this study, FeCr alloy thin films were produced by using a sputtering system with two DC magnetrons. The effect of different deposition rates and rotation speeds of the substrate, which are very important production parameters, on the structural and magnetic properties of the films was investigated. The films were produced on a commercial acetate substrate at room temperature and the elemental, crystalline structure, surface and magnetic analysis were done, respectively.

According to results of the elemental analysis, the increase in the deposition rate and rotation speed of the substrate resulted in an increase in the Fe content of the films. According to crystalline structure analysis, it was detected that although the deposition rate and rotation speed of the substrate were changed, the films maintained the bcc crystal phase. However, the interplanar spacing and the grain size were affected by the changing deposition parameters. In addition, it was found that different deposition rates and rotation speeds of the substrate caused the considerable changes on the surface morphologies of the films.

The increase of the deposition rate and rotation speed of the substrate leads to an increase in the saturation magnetisation, coersvity field and remanans magnetisation values of the films. It can be stated that the changes in the magnetic properties depend on the changes in the structural properties of the films.

KEYWORDS: FeCr alloys, Magnetic thin films, Sputtering technique, Structural properties.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL BİLGİLER.....	4
2.1 Kristal Örgü Sistemleri.....	4
2.2 Manyetizma.....	6
2.2.1 Manyetik Alan.....	6
2.3 Manyetizmanın Temelleri.....	7
2.4 Manyetik Maddelerin Sınıflandırılması.....	8
2.4.1 Diyamanyetizma.....	8
2.4.2 Paramanyetizma.....	9
2.4.3 Ferromanyetizma.....	11
2.4.3.1 Manyetik Histeresis Eğrisi.....	12
2.4.4 Antiferromanyetizma.....	15
2.4.5 Ferrimanyetizma.....	16
2.5 İnce Film Kaplama Teknikleri.....	17
2.5.1 Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi.....	18
2.5.2 DC Püskürtme (Sputtering) Tekniği.....	19
3. DENEYSEL TEKNİKLER	22
3.1 DC Püskürtme Sisteminin Yapısı ve Film Üretimi.....	22
3.1.1 Farklı Depozisyon Hızlarına Sahip FeCr Alaşım İnce Filmlerinin Üretimi.....	28
3.1.2 Alt tabakanın Farklı Dönme Hızlarına Sahip FeCr Alaşım İnce Filmlerinin Üretimi.....	28
3.2 Enerji Ayırmalı X-ışını Spektroskopisi (EDX).....	29

3.3	X-Işınları Kırınımı (XRD).....	29
3.4	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM).....	31
3.5	Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM).....	33
3.6	Titreşimli Numune Manyetometresi (VSM).....	34
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	36
4.1	Farklı Depozisyon Hızlarının Etkisinin İncelendiği FeCr Alaşım İnce Filmleri.....	36
4.1.1	Elementel Analiz.....	36
4.1.2	Kristal Yapı Analizi.....	37
4.1.3	Yüzey Morfolojik Analizi.....	40
4.1.4	Yüzey Pürüzlülük Analizi.....	44
4.1.5	Manyetik Analiz.....	48
4.2	Alt Tabakanın Farklı Dönme Hızlarının Etkisinin İncelendiği FeCr Alaşım İnce Filmleri.....	51
4.2.1	Elementel Analiz.....	51
4.2.2	Kristal Yapı Analizi.....	52
4.2.3	Yüzey Morfolojik Analizi.....	54
4.2.4	Yüzey Pürüzlülük Analizi.....	56
4.2.5	Manyetik Analiz.....	57
5.	SONUÇ	60
6.	KAYNAKLAR.....	61

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Üç boyutlu uzayda yedi kristal sistemine ait 14 farklı Bravais örgü çeşidi [29].....	4
Şekil 2.2: Bir çubuk mıknatıs etrafında oluşan manyetik alan çizgileri	6
Şekil 2.3: a) Paramanyetik maddelerin manyetizasyonunun uygulanan manyetik alana göre değişimi, b) Paramanyetik maddelerin manyetik alınganlığının sıcaklığa bağlı değişimi [1].....	10
Şekil 2.4: Dışarıdan uygulanan manyetik alan sonucunda ferromanyetik maddelerin sahip olduğu manyetik momentlerin davranışı [17].....	11
Şekil 2.5: Manyetizasyonun (M), uygulanan manyetik alan şiddetine (H) bağlı histeresis grafiği[32].....	13
Şekil 2.6: Antiferromanyetik malzemelerde spinlerin yönelimi [37].....	15
Şekil 2.7: Bir antiferromanyetik maddenin alınganlığının sıcaklık ile değişim grafiği.....	16
Şekil 2.8: Ferrimanyetik malzemede spinlerin yönelimi [37].....	16
Şekil 2.9: Buhar fazda yapılan kaplamalar ve fiziksel buhar biriktirme yöntemleri.....	18
Şekil 2.10: DC Püskürtme sisteminin şematik yapısı [1].....	21
Şekil 3.1: Balıkesir Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Nanomanyetik Malzeme Üretim Laboratuvarında bulunan ve bu çalışmada kapsamında incelenen filmlerin üretildiği püskürtme sistemi.....	25
Şekil 3.2: Vakum odasının üst kapağı, alt tabaka tutucu ve alt tabaka, 1) Vakum odasının üst kapağı, 2) Alt tabaka engeli (shutter), 3)Alt tabaka tutucu, 4) Alt tabaka.....	26
Şekil 3.3: Üretimin yapıldığı ve magnetronların yer aldığı vakum odasının bileşenleri: 1) DC Magnetron, 2) DC Magnetron, 3) RC Magnetron, 4) Kalınlık Sensörü, 5) Yüksek Akım Ayakları, 6)İnert Gaz ve7) Elektrik Kabloları.....	26
Şekil 3.4: Üretim esnasında vakum odasının elde edilen bir görüntüsü.....	27
Şekil 3.5: DC Püskürtme sisteminin açık hali ve tüm parametreleri kontrol etmemizi sağlayan kontrol ünitesi.....	27
Şekil 3.6: Kristal düzlemden yansıyan X-ışınları [5].....	30
Şekil 3.7: Taramalı elektron mikroskobunun (SEM) çalışma şeması [44].....	32
Şekil 3.8: Atomik kuvvet mikroskobunun şematik gösterimi.....	33

Şekil 3.9: VSM' in şematik gösterimi [46].....	34
Şekil 4.1: Farklı depoizasyon hızlarının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin XRD desenleri.....	39
Şekil 4.2: Alt tabakaya ait SEM görüntüsü [1].....	41
Şekil 4.3: FeCr alaşım ince filmlerinin farklı depoizasyon hızlarındaki SEM görüntüleri, a) 0.03 nm/s, b) 0.05 nm/s, c) 0.07 nm/s, d) 0.11 nm/s.....	42
Şekil 4.4: Alt tabakanın AFM görüntüsü.....	45
Şekil 4.5: FeCr alaşım ince filmlerinin farklı depoizasyon hızlarındaki AFM görüntüleri, a) 0.03 nm/s, b) 0.05 nm/s, c) 0.07 nm/s, d) 0.11 nm/s.....	46
Şekil 4.6: Farklı depoizasyon hızlarına göre üretilen FeCr alaşım ince filmlerinin histeresis eğrileri. (// Paralel, ⊥ Dik).....	50
Şekil 4.7: Farklı depoizasyon hızlarına göre üretilen FeCr alaşım ince filmlerinin M_s ve H_c değerleri.....	51
Şekil 4.8: Alt tabakanın farklı dönme hızlarının etkisinin incelendiği FeCr alaşım alaşım ince filmlerinin XRD desenleri.....	53
Şekil 4.9: Alt tabakanın farklı dönme hızlarının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin SEMgörüntüleri, a) 0 RPM, b) 45 RPM.....	55
Şekil 4.10: Alt tabakanın farklı dönme hızının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin AFM görüntüleri, a) 0 RPM, b) 45 RPM.....	56
Şekil 4.11: Alt tabakanın farklı dönme hızlarının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin histeresis eğrileri (// Paralel, ⊥ Dik).....	59

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Üç boyutlu uzayda 14 adet Bravais örgü çeşidinin, birim hücre eksenlerinin ve açılarının özellikleri.....	4
Tablo 2.2: Bazı diyamanyetik maddelerin alınganlık değerleri [17].....	8
Tablo 2.3: Bazı paramanyetik maddelerin 300K' deki alınganlık değerleri [17].....	9
Tablo 2.4: Bazı ferromanyetik malzemeler için M_s değerleri [2].....	12
Tablo 3.1: Farklı depozisyon hızlarına sahip FeCr alaşım ince filmlerin üretim parametreleri.....	27
Tablo 3.2: Alt tabakanın farklı dönme hızlarına sahip FeCr alaşım ince filmlerinin üretim parametreleri.....	28
Tablo 4.1: Farklı depozisyon hızlarının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin elementel analiz sonuçları.....	37
Tablo 4.2: Farklı depozisyon hızlarının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin XRD analizinden elde edilen sonuçlar.....	40
Tablo 4.3: Farklı depozisyon hızları dikkate alınarak üretilen FeCr alaşım ince filmlerinin paralel ölçümünden elde edilen manyetik sonuçlar.....	49
Tablo 4.4: Alt tabakanın farklı dönme hızlarının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin elementel analiz sonuçları.....	52
Tablo 4.5: Alt tabakanın farklı dönme hızlarının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin XRD analizinden elde edilen sonuçlar.....	54
Tablo 4.6: Alt tabakanın farklı dönme hızlarının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin paralel ölçüm sonuçları.....	58

SEMBOL LİSTESİ

Fe	: Demir
Cr	: Krom
FBB	: Fiziksel Buhar Biriktirme
M	: Manyetizasyon
H	: Manyetik alan şiddeti
χ	: Alınganlık
V	: Hacim
ϕ	: Manyetik akı
μ	: Manyetik geçirgenlik
μ_0	: Boşluğun manyetik geçirgenliği
K	: Kelvin
T_C	: Curie sıcaklığı
T	: Mutlak sıcaklık
<i>m</i>	: Manyetik moment
<i>e</i>	: Elektronun yükü
<i>m_e</i>	: Elektronun kütlesi
<i>m_p</i>	: Protonun kütlesi
<i>m_n</i>	: Nötronun kütlesi
M_s	: Doyum manyetizasyonu
M_r	: Kalıcı manyetizasyon
H_c	: Koersivite
DC	: Doğru akım
RF	: Radyo frekans
kV	: Kilovolt
μm	: Mikrometre
mbar	: Milibar
mA	: Miliamper
nm	: Nanometre
Å	: Angstrom
d	: Kristal düzlemleri arasındaki uzaklık
θ	: Bragg açısı
2θ	: Difraksiyon açısı
λ	: X-ışını dalga boyu
n	: Yansıma mertebesi, değerlik elektron sayısı
t	: Tane büyüklüğü
kOe	: Kiloörsted
ccm	: dakikada standart santimetreküp (standart cubic centimeter)
RPM	: Dakikadaki Devir/Yenilenme (Revolution Per Minute)

ÖNSÖZ

Çalışmam süresince, bana olan güvenini kaybetmeden, araştırmalarımın her aşamasında bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan değerli danışmanlarım Prof. Dr. Hakan KÖÇKAR ve Doç. Dr. Ali KARPUZ' a çok teşekkür ederim.

Film üretim sürecinde, yanımda olan bilgisini ve desteğini esirgemeyen, yaşadığım her sorunda yol gösteren değerli çalışma hocalarım Salih ÇÖLMEKÇİ ve Uzm. Mehmet UÇKUN'a, filmlerin VSM ölçümlerinde katkılarından dolayı Doç. Dr. Hilal KURU' ya ve Doç. Dr. Öznur KARAAĞAÇ'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışma kapsamında araştırılan ince filmlerin XRD, AFM analizi için Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Teknoloji Araştırma Laboratuvarına, EDX ve SEM analizi için Konya Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (İLTEK)' e teşekkür ederim.

Türkiye Cumhuriyeti Devlet Planlama Teşkilatına 2005K120170 numaralı proje ile Fiziksel Buharlaştırma Sistemi ve Titreşimli Numune Manyetometresi Sistemlerinin alınmasındaki desteği için ve bu çalışmaya 2016/149 numaralı araştırma projesi ile destek olan Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi' ne teşekkür ederim.

Ayrıca; her zaman yanımda olan, beni destekleyen ve yardımını hiçbir zaman esirgemeyen çalışma arkadaşım Nadir KAPLAN'a çok çok teşekkür ederim.

Hayatımın her anında yanımda olan yol arkadaşım Hanife ERTAN'a ve desteklerini bir an bile eksik etmeyen sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

Balıkesir, 2017

Birol KAYA

1. GİRİŞ

Nanoteknoloji alanındaki gelişmeler 20. yüzyılda araştırmacılar açısından dikkat çekici boyutlara ulaşmış ve birçok bilimsel çalışmaya konu olmuştur. Nanoteknolojinin bir alanı olan manyetik ince filmler, birçok üstün özelliklerinden dolayı yoğun bir çalışma alanına sahiptir. Bunun sebebi, bir malzemenin nano boyutlarına doğru gidildikçe fiziksel ve kimyasal özelliklerinde ortaya çıkan oldukça şaşırtıcı değişikliklerin gözlenmesinden kaynaklanmaktadır [1-4]. Günümüzde bilişim sektöründeki teknolojik ilerlemelerin her geçen gün artması ile birlikte, yüksek hızlarda işlev gören bilgisayarlara, buna paralel olarak daha hızlı ve yüksek kapasiteli belleklere, manyetik kayıt başlıklarına ve manyetik kayıt araçlarına duyulan ihtiyaç artırmaktadır. Manyetik ince filmlerin üretimi ve karakterizasyonu uygulama alanlarındaki işlevselliklerini artırmayı amaçlar [2, 5-7]

Nano boyutlu manyetik filmler, endüstride birçok uygulama alanına sahiptir. Okuma yazma başlıkları, yarı iletken aletlerin üretimi, manyetik kayıt cihazları, bilgisayar sabit diskleri, manyetik sensörler, biyomedikal ve biyoteknolojik uygulamalar başta olmak üzere çok geniş kullanım alanına sahiptir [1, 8, 9]. Bu nedenle, sektörün isteklerine uygun manyetik ince filmlerin üretilmesi ve tasarlanması büyük çaba gerektirmektedir [10, 11]. Günümüz teknolojisinde manyetik ince film üretimi için birçok teknik kullanılmaktadır. Genel olarak ince film üretim teknikleri; malzeme yüzeylerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değiştirilmesine olanak sağlayan kaplama teknikleridir. Bu kaplama teknikleri; buhar fazda kaplama, sıvı fazda kaplama ve katı fazda kaplama olarak üç gruba ayrılır [12-14]. Kaplamaya ve hedef malzemeye herhangi bir sınırlama getirmeksizin yüksek kalitede kaplamalar elde etme olanağı sağlayan buhar fazda kaplama teknikleri, fiziksel buhar biriktirme (FBB) (Physical Vapour Deposition, PVD) ve kimyasal buhar biriktirme (KBB) (Chemical Vapour Deposition, CVD) olmak üzere ikiye ayrılır [12, 15]. Fiziksel buhar biriktirme yöntemi ise püskürtme (sputtering) ve buharlaştırma olmak üzere kendi içinde ikiye ayrılır [1].

Bu çalışmada doğru akım (DC) manyetik alanda püskürtme tekniği kullanılarak manyetik ince filmler üretilmiştir. Püskürtme işlemi, genel bir ifade ile hedef malzemeyi yeterli enerjiye sahip atomlarla ya da iyonlarla bombardıman etmek suretiyle hedef malzemeden atom koparma işlemine verilen isimdir [17, 18]. Püskürtme tekniği yüksek enerjili bir süreçtir ve bu süreç manyetik ince filmleri kaplamak için oldukça önemlidir. Yüzeğe iyonların ve atomların etkisiyle gelen parçacıkların momentum transferinin sonucunda yüzeyde püskürtme olayı gerçekleşir. Homojen ve kaliteli kaplamaların elde edilebilmesi, birçok malzemeye uygulanabilmesi, alt tabaka sıcaklıklarının değiştirilebilmesi, üretilen filmlerin mükemmel bağlanma ve kristallografik yapılar göstermesi püskürtme tekniğinin önemli avantajları arasında yer alır [18-22]. DC püskürtme tekniği ile manyetik ince filmlerin üretimi vakumlu bir ortamda gerçekleştiği için yüksek saflıkta ve kaliteli filmlerin üretimine olanak sağlamaktadır [5, 23]. Manyetik ince filmlerin toplam kalınlığı, depozisyon oranı ve alt tabakanın farklı hızlarda dönmesi gibi parametrelerin değişmesi ile ince filmlerin yapısal ve manyetik özelliklerinde birçok değişikliği de ortaya çıkarabilir.

Bu çalışmada, DC magnetron püskürtme tekniği ile üretilen FeCr alaşım manyetik ince filmlerin yapısal ve manyetik özellikleri üzerine etkileri araştırılarak filmlerin teknolojik uygulamalardaki verimliliği ve kullanım alanlarının artırılması amaçlanmıştır. [24-27]. FeCr alaşım manyetik ince filmler iki ayrı seri olarak üretildi. Birinci seride farklı depozisyon hızlarının, ikinci seride alt tabakanın farklı hızlarda döndüğü durumların FeCr alaşım manyetik ince filmlerinin yapısal ve manyetik özellikleri üzerine etkileri incelendi.

Bu tez, beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, çalışmanın amacının ve kapsamının belirtildiği “Giriş” bölümüdür. İkinci bölüm, yapılan çalışmanın daha anlaşılır olmasını sağlayan teorik bilgilerin yer aldığı “Kuramsal Bilgiler” bölümüdür. Üçüncü bölüm, manyetik ince filmlerin üretiminde kullanılan DC püskürtme sisteminin yapısı ile üretim öncesinde ve üretim esnasında yapılanların anlatıldığı, filmlerin karakterizasyonunda kullanılan teknikler hakkında bilgilerin verildiği “Deneysel Teknikler” bölümüdür. Dördüncü bölüm, gerçekleştirilen analiz sonuçlarının verildiği ve yorumlandığı, elde edilen şekil, grafik ve tabloların verildiği

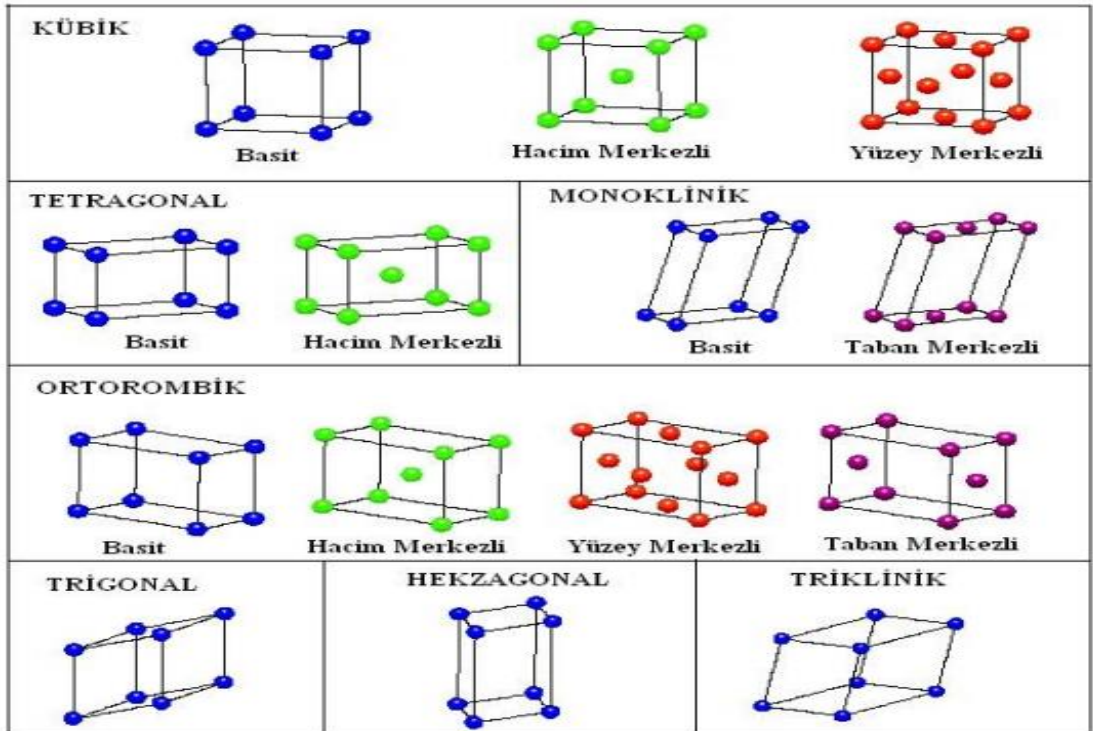
‘‘Bulgular ve Tartışma’’ bölümüdür. Son bölüm ise çalışmanın dördüncü bölümden elde edilen bulguların özlü biçimde verildiği ‘‘Sonuç’’ bölümüdür.

2. KURAMSAL BİLGİLER

Bu bölüm, kristal örgü sistemleri, manyetizma ve temelleri, manyetik maddelerin sınıflandırılması ve ince film kaplama yöntemleriyle ilgili genel bilgileri içermektedir.

2.1 Kristal Örgü Sistemleri

Kristal yapılar, belirli bir yerleşim düzeni içerisinde atomların üç boyutlu periyodik bir düzene göre bir araya gelmesiyle oluşan yapılardır. Yapı taşları tek tip atomlar veya farklı tipteki atomlardan oluşan atom grupları olabilir. Atomların ortaya çıkardığı düzeni bir nokta ile gösterecek olursak, üç boyutta oluşan kristal, noktalardan yapılmış bir kafes gibi düşünülebilir. Bu kafese “örgü” denilir. Örgüdeki her bir noktaya eşlik eden ve tamamen birbirinin aynısı olan atom veya molekül gruplarına ise “baz” denilir [28, 29]. Bu bazın uzayda tekrarlanması ile kristal yapı oluşur.



Şekil 2.1: Üç boyutlu uzayda yedi kristal sistemine ait 14 farklı Bravais örgü çeşidi [29].

Doğada bulunan kristal yapıların hiçbiri ideal kristal özelliğine sahip değildir. Fakat fiziksel özellikleri bakımından bazı hallerde kristalleri ideal kabul etmek gerekir. Bir malzemenin atomları düzenli bir dizilişe sahip ise kristal yapı, düzensiz ya da rastgele ise amorf yapı oluşur [1]. Doğadaki kristal malzemelerin tamamı, kübik, hekzagonal, tetragonal, rombohedral, ortorombik, monoklinik ve triklinik olmak üzere yedi adet kristal sistemden oluşmaktadır. Bu yedi kristal sisteminde 14 adet Bravais örgü çeşidi bulunmaktadır. Şekil 2.1’ de bu yapıların geometrik gösterimi verilmiştir. Tablo 2.1 ‘de ise üç boyutlu uzayda, yedi kristal sisteminde tanımlanan 14 adet Bravais örgü çeşidinin, birim hücre eksenlerinin ve açılarının özellikleri gösterilmiştir [29].

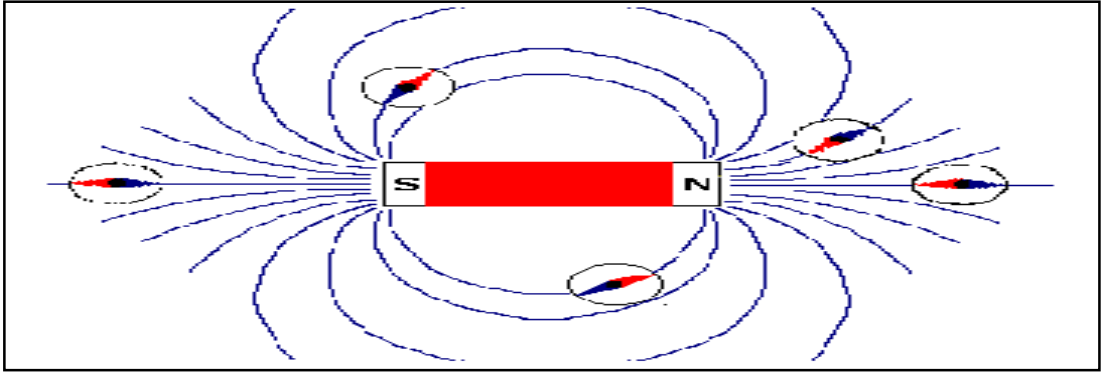
Tablo 2.1: Üç boyutlu uzayda 14 adet Bravais örgü çeşidinin, birim hücre eksenlerinin ve açılarının özellikleri.

Kristal Sistemi	Örgü Sayısı	Birim Hücre Eksen ve Açılarının Özellikleri	Uzay Kafesleri
Kübik	3	$a = b = c \alpha = \beta = \gamma = 90$	Basit Hacim merkezli Yüzey merkezli
Hegzagonal	1	$a = b \neq c \alpha = \beta = 90, \gamma = 120$	Basit hegzagonal
Tetragonal	2	$a = b \neq c \alpha = \beta = \gamma = 90$	Basit Hacim merkezli
Rombohedral	1	$a = b = c \alpha = \beta = \gamma < 120, \neq 90$	Basit
Ortorombik	4	$a \neq b \neq c \alpha = \beta = \gamma = 90$	Basit Hacim merkezli Taban merkezli Yüzey merkezli
Monoklinik	2	$a \neq b \neq c \alpha = \gamma = 90 \neq \beta$	Basit Taban merkezli
Triklinik	1	$a \neq b \neq c \alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90$	Basit

2.2 Manyetizma

En basit ifadeyle, bir mıknatısın çekebildiği maddelere ferromanyetik maddeler ya da manyetik maddeler, mıknatısın çekemediği maddelere de manyetik olmayan maddeler denir. Mıknatısların ferromanyetik maddeleri çekmesini sağlayan kuvvete, “manyetik kuvvet” denilmektedir. Bu kuvvet, mıknatısa yakın alanlarda şiddetli iken mıknatıstan uzaklaştıkça azalmaktadır. Mıknatısın çevresinde oluşan çizgilere ise mıknatısın o bölgede oluşturduğu manyetik alan çizgileri denir.

Şekil 2.2 'de bir çubuk mıknatıs etrafından oluşturulan manyetik alan çizgileri gösterilmiştir. Manyetik alan çizgileri, mıknatısın uçlarına yakın bölgelerde daha sık, mıknatısın uçlarına uzak bölgelerde ise daha seyreklerdir. Ayrıca, manyetik alan şiddeti ise manyetik alan çizgileriyle doğru orantılıdır. Bir başka ifadeyle manyetik alan çizgilerinin sık olduğu yerlerde manyetik alan şiddeti fazla iken, manyetik alan çizgilerinin seyrek olduğu yerlerde ise manyetik alan şiddeti azalmaktadır.



Şekil 2.2: Bir çubuk mıknatıs etrafında oluşan manyetik alan çizgileri.

2.2.1 Manyetik Alan

Maddeye manyetik özellik kazandıran temel unsur maddenin en küçük yapı taşı olan atomun yapısındaki elektronların spin ve orbital hareketinden kaynaklanır. Negatif yüklü olan elektronların hareket etmesi sonucunda manyetik alan üretilir [30].

Negatif yüklü olan elektronlar hem kendi ekseninde bir dönme hareketi (spin) gerçekleştirir hem de çekirdek etrafında yörüngesel dönme hareketi yaparlar

[32]. Manyetizma konusunda yapmış olduğu çalışmalar sonucunda büyük bir katkı sağlayan Andre Marie Ampere, mıknatıssal özellik gösteren bir madde içerisinde dolaşan akımların var olduğunu ve maddenin manyetik özelliğinin bu küçük kapalı devre akımlarından oluştuğunu ileri sürmüştür. Manyetik alan yönü, doğrultusu ve şiddeti olan vektörel bir niceliktir [32].

2.3 Manyetizmanın Temelleri

Manyetik maddeleri oluşturan atomların manyetik momenti manyetizmanın temelini oluşturmaktadır [33]. Atomik manyetik momentler başlıca üç sebepten kaynaklanmaktadır. Bunlar;

- ✓ Elektronların sahip oldukları spinlerinden,
- ✓ Elektronların çekirdek etrafındaki yörünge açısal momentumundan,
- ✓ Elektronların dış manyetik alanda kazandıkları yörünge momentindedir [34].

Manyetizasyon, maddenin birim hacimdeki net manyetik momenti olarak tanımlanır ve büyüklüğü Denklem 2.1' de ifade edildiği gibidir.

$$M = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

Burada (M) ile ifade edilen manyetizasyon, (m) net manyetik moment sayısı, (V) ise maddenin hacmidir. Manyetizasyon (M), manyetik alan şiddeti (H) ile orantılıdır.

$$M = \chi H \quad (2.2)$$

Denklem 2.2'de gösterildiği üzere, (χ) manyetik alınganlığı ifade eder. Bir manyetik alana maruz bırakılan manyetik maddeler bu manyetik alana karşı bir tepki gösterirler. Gösterilen bu tepkiye manyetik alınganlık denir [33].

Manyetik alınganlık kavramı gibi manyetik geçirgenlik kavramı da manyetik maddeler için ayırt edici bir özelliktir.

Manyetik geçirgenlik (μ):

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (2.3)$$

ifadesiyle verilir [34].

Manyetik indüksiyon (manyetik akı yoğunluğu), manyetik alan tarafından oluşturulur. Manyetik bir alan (H) bir maddeye etki ettiği zaman maddenin göstermiş olduğu tepki manyetik indüksiyon (B) olarak adlandırılır [34]. Manyetizasyon (M), manyetik alan (H) ve manyetik indüksiyon (B) arasındaki ilişki Denklem 2.4'te ifade edildiği gibidir.

$$B = \mu_0(H+M) \quad (2.4)$$

Burada (μ_0) boşluğun manyetik geçirgenlik sabitidir. Denklemdeki, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/Am değerindedir. Manyetik alan tarafından üretilen manyetik indüksiyon μ_0H , madde tarafından üretilen manyetik indüksiyon ise μ_0B olarak ifade edilir [3].

Manyetik geçirgenlik (μ) ile manyetik alınganlık (χ) arasındaki ilişki;

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

Bağıl geçirgenlik (μ_r) olarak tanımlanır [5].

2.4 Manyetik Maddelerin Sınıflandırılması

Manyetik malzemeleri manyetik geçirgenliklerine ve manyetik alınganlıklarına göre beş ana başlık altında inceleyebiliriz. Bunlar diyamanyetikler, paramanyetikler, ferromanyetikler, antiferromanyetikler ve ferrimanyetiklerdir. Bunlar arasından özellikle ferromanyetik malzemeler daha ayrıntılı bir şekilde incelenecektir.

2.4.1 Diyamanyetizma

Diyamanyetik malzemeler sıfır net manyetik momente sahip atomlardan oluşmuş olmasına rağmen, uygulanan alana belirli bir şekilde tepki veren, manyetik alınganlıkları sıfırdan küçük olan malzemelere denir [17]. Diyamanyetik malzemeler negatif bir alınganlığa sahip olmakla birlikte alınganlıkları paramanyetik ve ferromanyetiklerden daha küçük bir değere sahiptir. Diyamanyetiklerin alınganlıkları SI birim sistemine göre, -10^{-5} ile -10^{-6} arasında bir değerdir [1]. Bu sebepten dolayı, manyetik tepkileri uygulanan manyetik alana zıt yönde olur. Altın (Au), Gümüş (Ag) ve Bakır (Cu) diyamanyetik malzemelere örnek olarak verilebilir [5].

Diyamanyetik alınganlık manyetik alanın etkisi altında elektron yörüngelerinin yeniden sıralanmasından kaynaklanır. Bu nedenle bütün maddeler diyamanyetik alınganlık gösterir. Dolayısıyla tüm malzemelerin diyamanyetik bileşeni vardır. Ayrıca her malzeme belirli miktarda diyamanyetik özellik gösterir. Ancak paramanyetik ve ferromanyetik malzemelerde etkisi daha zayıf olarak kalmaktadır.

Diyamanyetik malzemelere ilgili bilmemiz gereken önemli özelliklerinden biri ise, alınganlıklarının sıcaklıktan bağımsız olmasıdır. Diyamanyetizmada elektronun manyetizmaya katkısı elektronun kendi eksenini etrafında değil de yörünge etrafında dönmesinden kaynaklanır [1]. Atomik yörüngelerindeki tüm kabuklar dolu olduğu için soy gazların hepsi diyamanyetiktir. Ayrıca pek çok çift atomlu gaz da moleküler yörüngelerindeki tüm elektronlar net manyetik moment sıfır olacak şekilde çiftlendiği için diyamanyetiktir [17].

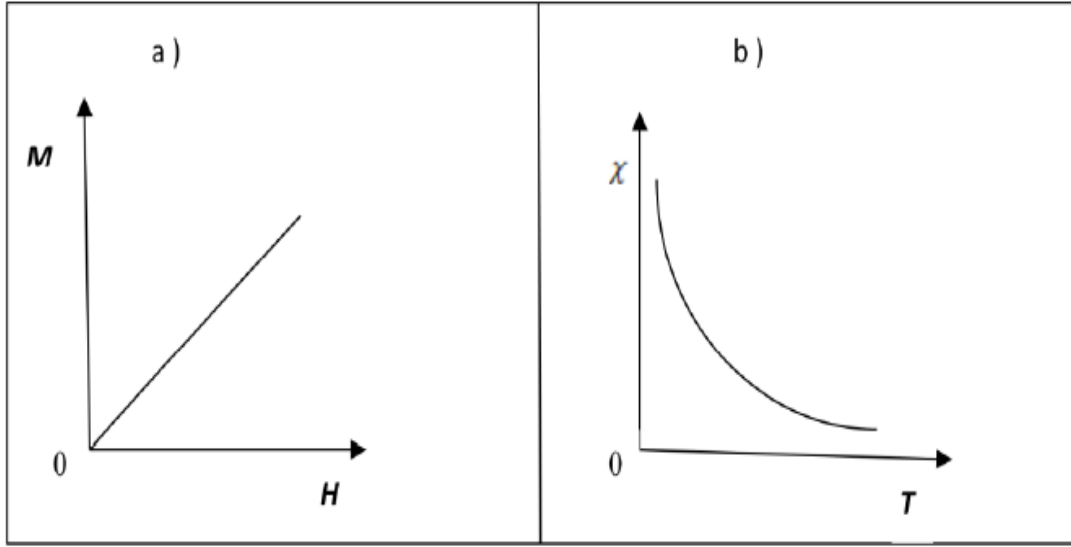
Tablo 2.2: Bazı diyamanyetik maddelerin alınganlık değerleri [17].

Diyamanyetik Madde	Alınganlık
Bakır	-9.5×10^{-6}
Altın	-3.6×10^{-5}
Kurşun	-1.7×10^{-5}
Gümüş	-2.6×10^{-5}
Silisyum	-4.2×10^{-6}

2.4.2 Paramanyetizma

Paramanyetik maddeler, maddelerdeki iyonlar veya atomların bazılarının kısmen dolu yörüngelerinde çiftlenmemiş elektronlarından dolayı net bir manyetik momente sahiptir. Paramanyetik maddelerde net manyetik momentler rastgele sıralanmıştır. Ancak maddeye dışarıdan bir manyetik alan uygulandığında, manyetik momentler uygulanan manyetik alan doğrultusunda yönelim gösterirler ve maddede bir miktar mıknatıslanma meydana gelir [17]. Paramanyetik maddelere dışarıdan uygulanan manyetik alan ortadan kaldırıldığında, madde eski haline geri döner ve manyetik momentler tekrar rastgele yönelim gösterirler [34]. Paramanyetik maddelerin alınganlıkları diyamanyetik maddelerden büyük, ferromanyetik maddelerden düşük ve pozitif bir değer alır. Bu değer 10^{-3} ile 10^{-5} arasındadır [5].

Paramanyetik maddelerin mıknatıslanması Şekil 2.3 'te gösterildiği gibi manyetik alanla doğru orantılı iken, manyetik alınganlıkları mutlak sıcaklıkla ters orantılıdır.



Şekil 2.3: a) Paramanyetik maddelerin manyetizasyonunun uygulanan manyetik alana göre değişimi b) Paramanyetik maddelerin manyetik alınganlığının sıcaklığa bağlı değişim grafiği [1].

Bütün ferromanyetik maddeler yüksek sıcaklıklara kadar ısıtıldığında paramanyetik özellik gösteren maddelere dönüşürler. Bu ferromanyetik maddeden paramanyetik maddeye geçiş sıcaklığına Curie sıcaklığı denir [34]. Curie sıcaklığının altında, manyetik momentler düzenli yönelim gösterdikleri için madde ferromanyetik bir özellik gösterir. Curie sıcaklığının üzerinde ise manyetik momentler rastgele yönelim gösterdikleri için madde paramanyetik özellik gösterir. Curie sıcaklığında maddenin manyetik geçirgenliği aniden düşer, koersivitesi ve kalıcı manyetizasyonu sıfır olur [1]. Bazı paramanyetik maddeler ve alınganlıkları Tablo 2.3'te verildiği gibidir.

Tablo 2.3: Bazı paramanyetik maddelerin 300 K'deki alınganlık değerleri [17].

Paramanyetik Madde	Alınganlık
Alüminyum	2.3×10^{-5}
Krom	2.7×10^{-4}
Lityum	2.1×10^{-5}
Magnezyum	1.2×10^{-5}
Oksijen	2.1×10^{-6}
Platin	2.9×10^{-4}

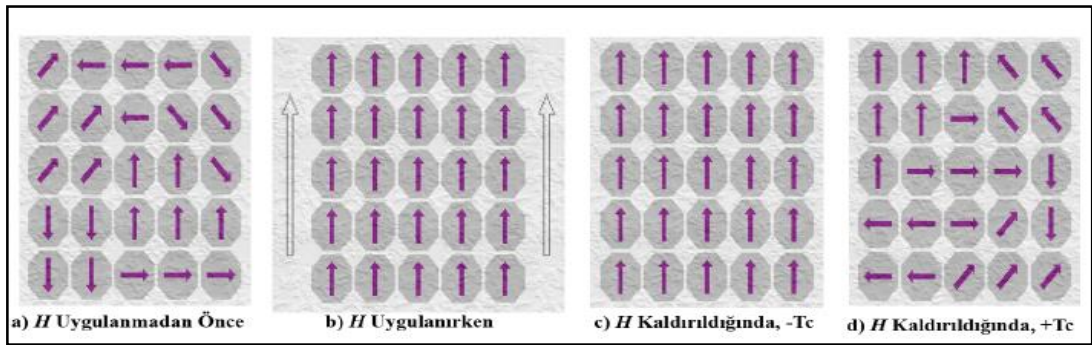
2.4.3 Ferromanyetizma

Manyetik maddelerin eşsiz özellikleri bakımından en önemlisi olan ferromanyetik maddeler, gerek teknolojik açıdan gerek bilimsel ve mühendislik uygulamaları açısından önemli bir malzeme türüdür. Ferromanyetik maddelerin alınganlıkları diyamanyetik maddelerden ve paramanyetik maddelerden oldukça yüksektir. Bu değer $\chi = 50$ ile 10000 arasındadır [1]. Ferromanyetik maddeler, sürekli net manyetik momentlere sahiptirler [35]. Bundan dolayı ferromanyetik maddelere dışarıdan zayıf bir manyetik alan dahi uygulansa manyetik momentleri paralel olarak yönelim gösterirler. Ancak dışarıdan uygulanan manyetik alan kaldırıldığı zaman manyetik momentlerin yöneliminde bir değişiklik meydana gelmez ve kalıcı manyetik özellik kazanırlar [1, 17].

Ferromanyetik maddeye dışarıdan yeterince manyetik alan uygulanırsa manyetik momentler düzenli olarak sıralanır ve madde doyuma ulaşır. Buna doyum manyetizasyonu (M_s) denilmektedir [34]. Şekil 2.4 uygulanan dış manyetik alanın, ferromanyetik maddelerin manyetik momentleri üzerindeki etkilerini temsil etmektedir [17].

Ferromanyetik maddeler yeterli derecede yüksek sıcaklığa çıkıldığı durumlarda paralel yönelim gösteren manyetik momentleri bozulur ve Curie sıcaklığında madde paramanyetik özellik gösterir. Bundan dolayı ferromanyetik özellik sıcaklığa bağlıdır. Bu bağıklık Denklem 2.6 'da ifade edildiği gibi Curie Weiss yasası ile açıklanır. Burada C Curie sabiti, T sıcaklık ve T_c Curie sıcaklığıdır [1].

$$\chi = \frac{C}{T - T_c} \quad (2.6)$$



Şekil 2.4: Dışarıdan uygulanan manyetik alan sonucunda ferromanyetik maddelerin sahip olduğu manyetik momentlerin davranışı [17].

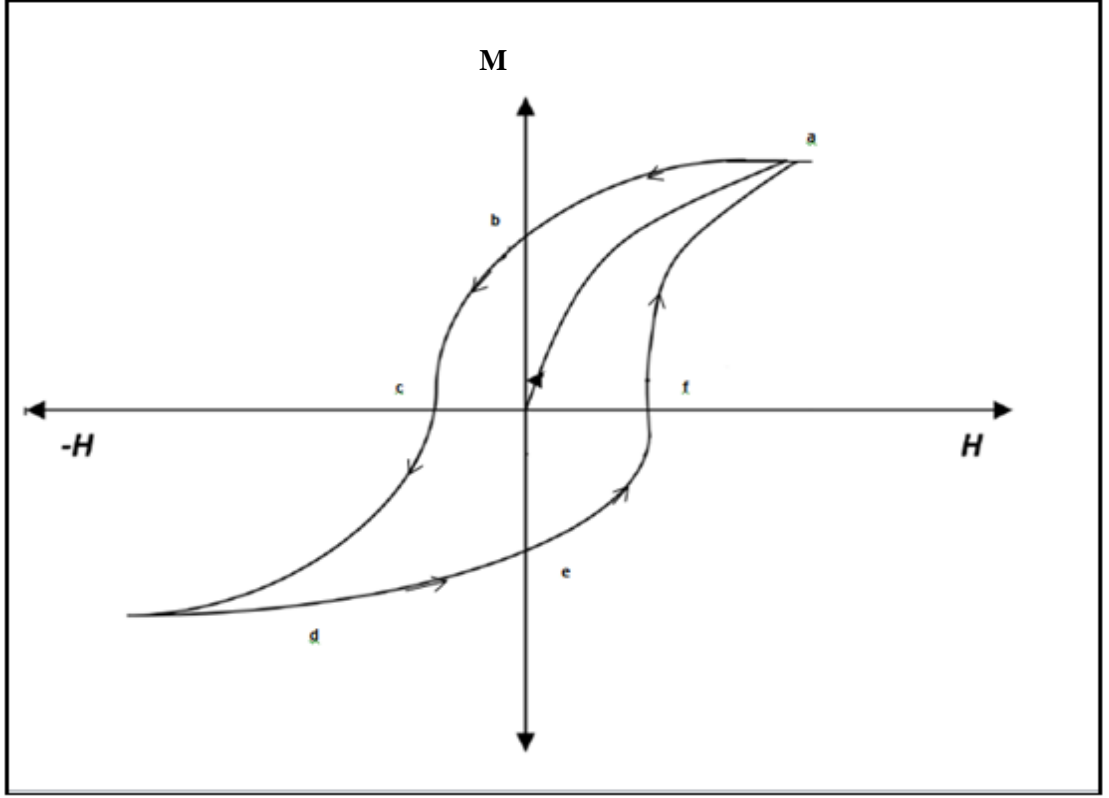
Ferromanyetik maddelerin makroskobik özellikleri histeresis eğrisi üzerinden belirlenir. Histeresis eğrisi, incelenecek maddenin doyum manyetizasyonu, kalıcı manyetizasyonu, koersivitesi, manyetik geçirgenliği ve manyetik güç kaybı gibi birçok özelliği hakkında bilgi verir. Ferromanyetik maddeleri, paramanyetik maddelerden ve diyamanyetik maddelerden ayıran önemli özellikleri vardır. Bunlar;

- ✓ Yüksek manyetik geçirgenlikleri,
- ✓ Manyetik histeresis eğrilerine sahip olmaları,
- ✓ Kalıcı mıknatıslanma özelliği göstermeleri,
- ✓ Manyetik alınganlıklarının yüksek olması,
- ✓ Dış manyetik alanın uygulanmadığı durumda “Domain” adı verilen mikroskobik manyetik bölgelere sahip olmaları gibi özelliklerdir [17, 32, 34].

Ferromanyetik maddelere örnek olarak, Demir (Fe), Nikel (Ni), Kobalt (Co), Gadolinium (Gd), Disprosyum (Dy) verilebilir [34].

2.4.3.1 Manyetik Histeresis Eğrisi

Ferromanyetik maddelerde, domain yapıları ve davranışları histeresis eğrisi ile karakterize edilir. Histeresisin temel sebebi domain duvar hareketidir. Şekil 2.5 'de gösterildiği gibi histeresis eğrisi manyetik alan şiddeti (H) ile manyetik indüksiyon (B) arasındaki ilişkiyi gösterir. Ayrıca histeresis eğrisi bize maddenin mıknatıslanmasının (M), manyetik alan şiddetine (H) karşı grafiğini verir. Her iki grafikten de aynı sonuca ulaşılır. Çünkü $B = \mu_0(H+M)$ olduğu için aynı bilgileri verir [1, 5, 32].



Şekil 2.5: Manyetizasyonun (M), uygulanan manyetik alan şiddetine (H) bağlı histeresis grafiği [32].

Tablo 2.4: Bazı ferromanyetik malzemeler için M_s değerleri [2].

Madde	M_s (10^6 A/m)
Demir	1.71
Kobalt	1.42
Nikel	0.48

Histeresis eğrisini daha ayrıntılı bir şekilde inceleyecek olursak, eksenlerin kesim noktası 0 , mıknatıslanmanın olmadığı ve hiçbir kuvvetin uygulanmadığı durumu ifade eder. Ferromanyetik maddeye, $0a$ aralığında dışarıdan bir manyetik alan uygulandığında domain bölgeleri uygulanan manyetik alana paralel olarak yönelim göstermeye başlar. Uygulanan manyetik alanın şiddeti yeterli derecede arttırılırsa manyetik momentlerin tamamına yakını uygulanan alanla aynı yönde paralel olarak dizilir. Manyetizasyon değerinin maksimum olduğu bu duruma doyum

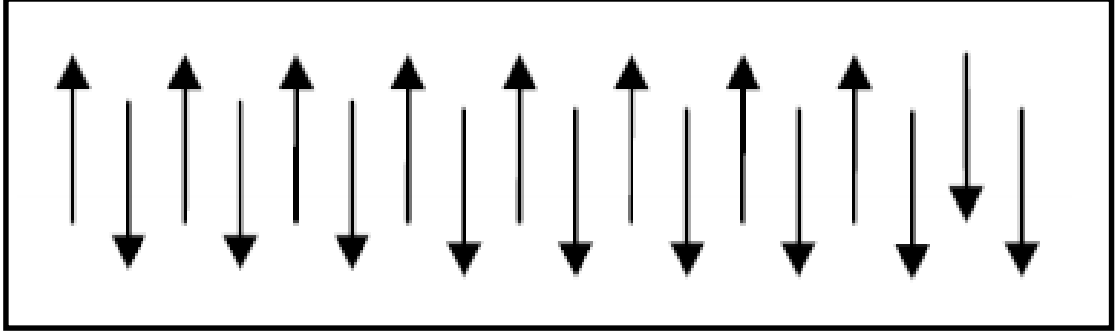
manyetizasyonu denir. Günlük hayatta bazı ferromanyetik malzemeler için ölçülen M_s değerleri Tablo 2.4 'te verilmiştir [2]. Doyum manyetizasyonunu meydana getirmek için gereken alan ise doyum alanı denir ve H_s ile ifade edilir. Ayrıca $0a$ eğrisine histeresis başlangıç eğrisi denir. İlk durumda dışarıdan uygulanan manyetik alanın neticesinde madde **a** noktasına maksimum doyuma ulaşmıştı. Bu noktadan sonra dışarıdan uygulanan manyetik alanı ortadan kaldırdığımız zaman grafik **ab** yolunu izler ve **b** noktasında dışarıdan uygulanan manyetik alan sıfır olmasına rağmen manyetizasyon sıfır olmaz ve ferromanyetik madde kalıcı mıknatıslığa ya da artık mıknatıslık özelliğine sahip olur. Bunun nedeni ise, ferromanyetik maddenin sahip olduğu domain yapılarının aynı yöne yönelimlerini sürdürüyor olmasından kaynaklanır. Artık mıknatıslanma M_r ile gösterilir. Dışarıdan uygulanan manyetik alanın yönü ters çevrilip şiddeti artırılırsa, malzeme **c** noktasında sıfır manyetizasyon değerine sahip olur ve alan uygulandıkça **d** noktasında ters yönde mıknatıslanır ve doyuma ulaşır. Manyetizasyonu sıfır yapabilmek için ters yönde uygulanan manyetik alana koersivite alanı denir ve H_c ile gösterilir. Manyetik alan ilk yönde uygulanırsa benzer durumlar söz konusu olur ve mıknatıslanma eğrisi **def** yolunu takip eder.

Sonuç olarak dışarıdan uygulanan manyetik alanın şiddeti yeterince artırıldığı zaman malzeme **a** noktasında tekrar doyuma ulaşır ve kalıcı mıknatıslık özelliği gösterir [1, 2, 5].

Histeresis eğrisinin daralması malzemenin kolay mıknatıslanabileceğini ve düşük kalıcı mıknatıslığa sahip olacağını, genişlemesi ise malzemenin zor mıknatıslanabileceği ve daha kuvvetli bir kalıcı mıknatıslığa sahip olacağını gösterir. Ayrıca koersivite değerine göre manyetik malzemeler, sert ferromanyetik maddeler ve yumuşak ferromanyetik maddeler olarak sınıflandırılırlar. H_c değerine göre; 12.5 Oe altında malzemelere yumuşak ferromanyetik malzemeler, 125 Oe üzerinde olanlara ise sert ferromanyetik malzemeler denir [1,17,32].

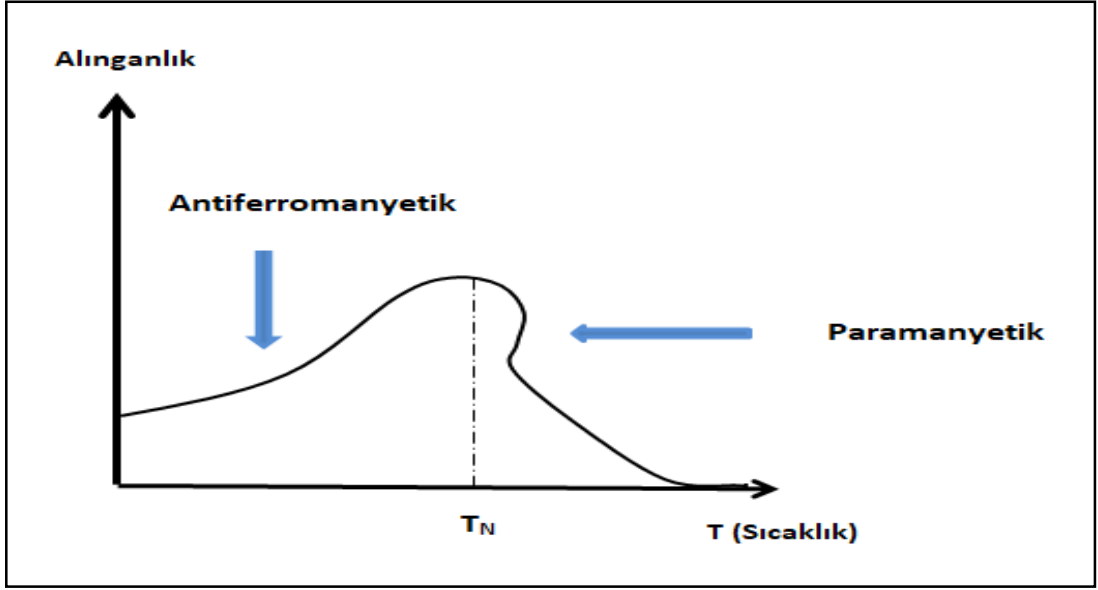
2.2.4 Antiferromanyetizma

Ferromanyetik malzemelerde manyetik momentler aynı yönlü ve eşit büyüklüklere sahip iken antiferromanyetik malzemelerde ise Şekil 2.6 'da gösterildiği gibi manyetik momentler zıt yönlü ama eşit büyüklüktedirler. Antiferromanyetik malzemelerde manyetik alanın varlığında malzeme mıknatıslanma özelliği kazanır fakat her atomun dışa yansıyacak manyetik momenti komşu atomun zıt yönlü manyetik momenti tarafından giderildiğinden, malzemenin mıknatıslanması dışarıdan algılanmaz [36]. Antiferromanyetik malzemelerde manyetik alanın yokluğunda ise net mıknatıslanma sıfırdır. Ayrıca antiferromanyetik malzemelerde histeresis ve kalıcı mıknatıslanma görülmez [17,37].



Şekil 2.6: Antiferromanyetik malzemelerde spinlerin yönelimi [37].

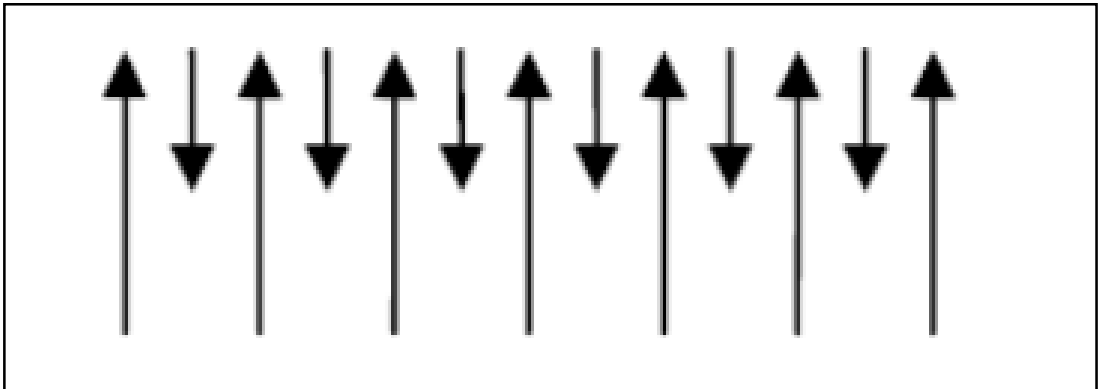
Antiferromanyetik malzemeler tüm sıcaklıklarda düşük alınganlık değeri gösterirler ancak Şekil 2.7 'de gösterildiği gibi Neel sıcaklığı (T_N) denilen geçiş sıcaklığında maksimum alınganlık gösterirler. Neel sıcaklığının altında antiferromanyetik davranış gösterirken, bu sıcaklığın üstünde ise paramanyetik davranış gösterir. İyonik bileşiklerin çoğu; oksitler, sülfatlar, klorürler antiferromanyetik özellik gösterirler. Antiferromanyetik malzemelere yeterli şiddette manyetik alan uygulanırsa antiferromanyetik özellikten ferromanyetik özelliğe geçmesi mümkün olabilir [36,37].



Şekil 2.7: Bir antiferromanyetik maddenin alınganlığının sıcaklık ile değişim grafiği.

2.4.5 Ferrimanyetizma

Ferrimanyetik malzemeler, ferromanyetik malzemelerin ve antiferromanyetik malzemelerin özel bir hali gibi nitelendirilebilir. Ferrimanyetik malzemelerde manyetik momentler, aynı antiferromanyetik malzemelerde olduğu gibi anti paralel yönelimi tercih ederler [1]. Ferrimanyetik malzemelerin manyetik momentleri, kristalografik sebeplerden ve yapısındaki kusurlardan dolayı Şekil 2.8’de gösterildiği gibi farklı büyüklükte zıt yönelim gösteren manyetik momentlere sahiptir [17].



Şekil 2.8: Ferrimanyetik malzemede spinlerin yönelimi [37].

Ferrimanyetik malzemeler, birçok özelliği bakımından ferromanyetik malzemelere benzer davranış gösterdikleri için uzun yıllar aralarındaki fark

keşfedilmemiştir [5]. Manyetik sınıflamaya ise 1948 yılında Neel tarafından ferritlerin davranışlarını açıklamak için dâhil edilmiştir [1]. Ferrimanyetik malzemelerin, ferromanyetik malzemelere benzer davranışları sıralanacak olursa:

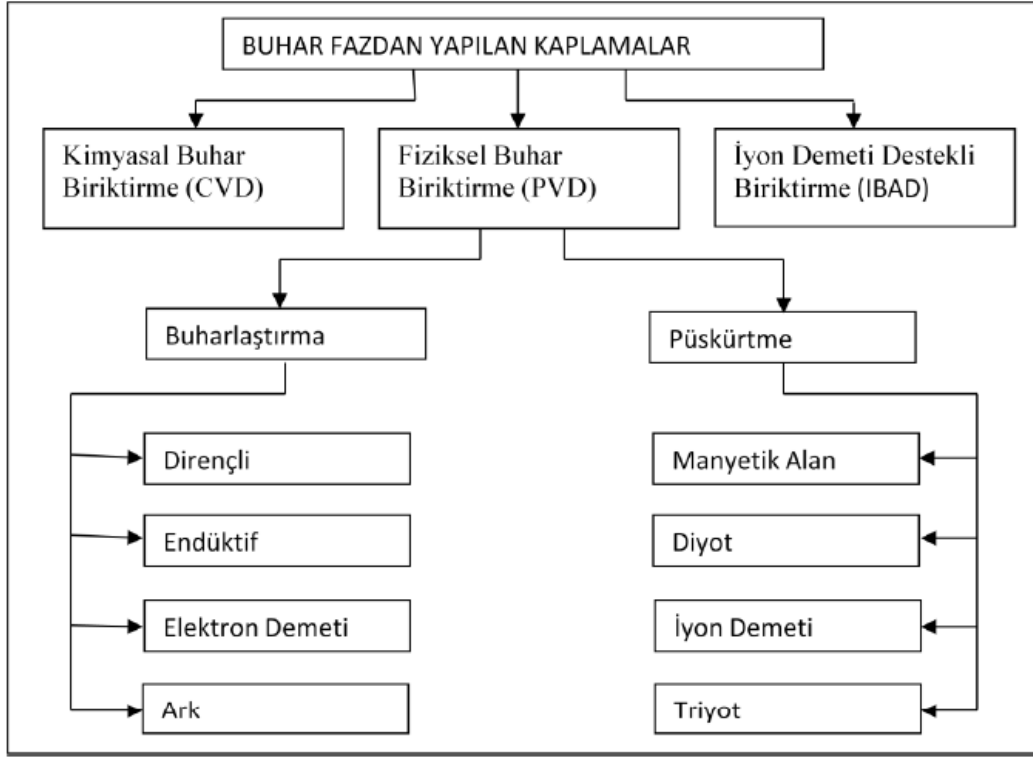
- ✓ Kalıcı mıknatıslanma özelliği gösterirler.
- ✓ Domain yapılarına sahiptirler.
- ✓ Manyetik alan altında benzer davranış gösterirler.
- ✓ Yüksek elektrik direnci ve manyetik geçirgenlik değerlerine sahiptirler.
- ✓ Manyetik doyum ve manyetik histeresis gösterirler [17,36-38].

Ferromanyetik malzemeler gibi ferrimanyetik malzemelerde Curie sıcaklığı (T_C) denilen bir geçiş sıcaklığının altında kendiliğinden olan bir mıknatıslanmaya sahiptir. Fakat Curie sıcaklığının üzerine çıkıldığı zaman kalıcı mıknatıslanmalarını yitirip paramanyetik hale geçerler [1, 36]. Ferrimanyetik malzemelere örnek olarak, Fe_3O_4 , MO , Fe_2O_3 verilebilir [34]. Ferrimanyetik malzemelerin kullanım yerleri ise, hafıza depolama, mikrodalga malzemeleri, elektrik endüstrisi gibi alanlardır [38].

2.5 İnce Film Kaplama Teknikleri

İnce filmler, bilimsel ve endüstriyel çalışmalar için gerekli işlevleri yerine getirebilecek sistemlerin üretilmesine olanak sağlamaktadır. İnce film malzemelerinde gözlenip hacimli malzemelerde gözlenemeyen elektronik, haberleşme, optik, tekstil ve enerji gibi pek çok üstün özellik var olduğundan dolayı alanda bu tür filmler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların en başında bilgisayarlar, LED'ler, bellekler, manyetik kayıt ve algılama sistemleri, güneş pilleri, optik kaplamalar gelmektedir [5, 39].

İnce film kaplama teknikleri; buhar fazdan yapılan kaplamalar, sıvı fazdan yapılan kaplamalar, katı fazdan yapılan kaplamalar ve ergimiş ya da yarı ergimiş fazda yapılan kaplamalar olmak üzere dört sınıfa ayrılır. Bu kısımda, Şekil 2.9 'da gösterildiği gibi bu çalışmanın konusu olan, buhar fazdan yapılan kaplamaların bir çeşidi fiziksel buhar biriktirme yöntemi ve filmlerin üretiminin yapıldığı DC püskürtme tekniği ayrıntılı olarak incelenecektir.



Şekil 2.9: Buhar fazda yapılan kaplamalar ve fiziksel buhar biriktirme yöntemleri [1].

2.5.1 Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi

Fiziksel buhar biriktirme yöntemi (FBB), vakum altında bulunan malzemenin buharlaştırılarak veya püskürtülerek atomlarının ya da moleküllerinin hedef malzeme yüzeyinden koparılıp kaplanacak olan alt tabaka yüzeyine ince bir film katmanı halinde biriktirilmesi esasına dayanan bir yöntemdir. Vakum ortamına ihtiyaç duyulmasının temel sebebi, vakum değeri arttırıldıkça ortamda gaz halinde bulunabilecek başka moleküllerin sayısının azalmasını sağlamaktır. Bundan dolayı yüksek vakum değerlerinde çalışarak, buhar halindeki kaplama malzemesinin, buharlaştıktan sonra kaplanacağı yüzeye ulaşana kadar ortamdaki istenmeyen moleküllerle çarpışma olasılığını mümkün olduğu kadar en az değerlere indirilmesini sağlamaktır [1, 40, 41]. Fiziksel buhar biriktirme tekniği ile kaplama yapılırken uygun vakum ortamına ihtiyaç duyulmasının yanında, düşük basınçlı gaz (veya plazma) ortamına da ihtiyaç vardır [41]. Özellikle yarıiletken endüstrisinde kendisine yer bulan

fiziksel buhar biriktirme tekniği, mikro-elektronik, tıp, dekoratif amaçlı, korozyona karşı direnç gerektiren uygulamalar gibi birçok farklı alanda kullanılmaktadır [42].

Fiziksel buhar biriktirme yönteminin sahip olduğu özelliklerden dolayı önemli avantajları vardır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- ✓ Bu yöntemle elde edilen kaplamalar mükemmel yapışma özelliğine sahiptir.
- ✓ Diğer kaplama yöntemlerine göre, düşük sıcaklıklarda kaplamalar elde edilebilir.
- ✓ Çevre kirliliğine yol açmaz ve zehirleyici atıklar açığa çıkarmaz.
- ✓ Biriktirme hız aralığının geniş olmasından dolayı yüksek hızlarda üretim yapılabilmesine imkân sağlar.
- ✓ Seramik, polimer, alaşım, metal kaplamalar gibi çok geniş bir aralıktaki malzeme grubu bu yöntemle üretilebilir.
- ✓ Elde edilen kaplamalar yüksek homojenliğe sahiptir [1, 5, 40, 42].

2.5.2 DC Püskürtme (Sputtering) Tekniği

DC Püskürtme (Sputtering) tekniği, bir hedef malzemenin yüzey atomlarının iyonize olmuş gaz atomları tarafından kopartılarak fırlatılması ve bu fırlatılan atomların istenilen alt tabaka üzerine transferi olayıdır [1]. Püskürtme tekniği için iki tane teorik model önerilmiştir. Bunlardan birincisi momentum transferi teorisi ikincisi buharlaştırma teorisidir. Momentum transferi teorisinde hedef malzemenin yüzey atomları yüzeye çarpan parçacıkların aktardığı momentumdan dolayı ortama yayılır. Buharlaştırma teorisinde ise hedef malzemenin yüzeyi yüksek enerjili iyonlarca bombardıman edilerek buharlaşmaya kadar yeterince ısıtılır [17]. Püskürtme tekniği yüksek enerjili bir süreçtir ve bu süreç ince film kaplamak için oldukça önemlidir. İyonların ve atomların etkisiyle yüzeye gelen parçacıkların momentum transferinin sonucunda yüzeyde püskürtme olayı gerçekleşir.

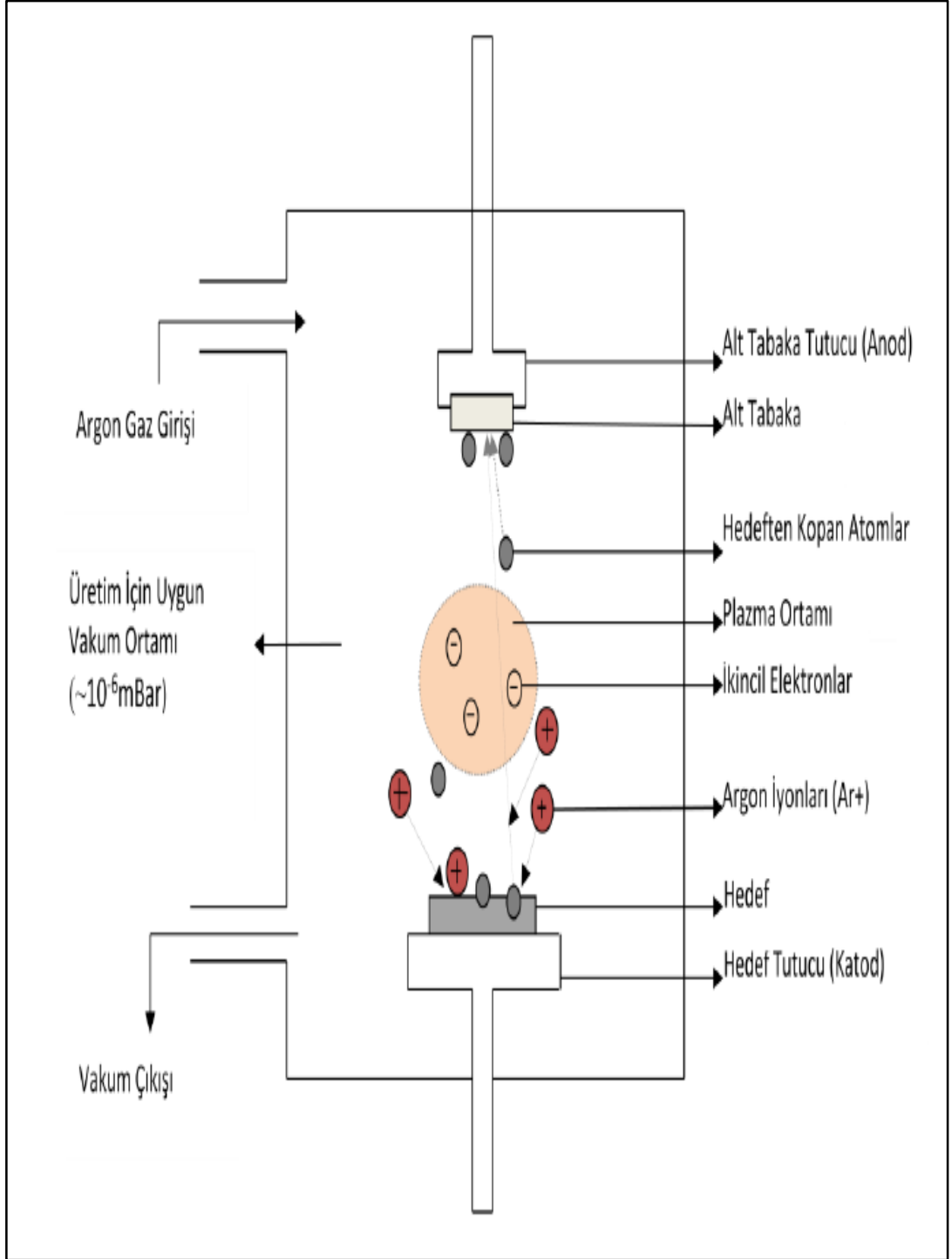
Püskürtme sisteminin başlıca temel bileşenleri; üretimin gerçekleştiği vakum odası (chamber), vakum odasının basıncını tek başına 10^{-2} mBar seviyesine kadar

düşürebilen rotary pompa, ancak bu seviyeden sonra çalışmaya başlayan ve vakum odasının basıncını 10^{-6} mBar değerine kadar düşürebilen turbo moleküler pompa ile hedef malzemenin üzerine yerleştirildiği magnetronlar ile bu magnetronların ısınmasını önlemek için kullanılan soğutma sistemi ve bunlara ek olarak tüm bu üretim ile ilgili parametrelerin ayarlanabildiği kontrol paneli şeklinde sıralanabilir. Püskürtme tekniğiyle ince film üretebilmek için plazma ortamına ihtiyaç vardır. Plazma, elektriksel olarak nötr ve çok iyi bir iletkenidir. Plazma ortamının oluşabilmesi için vakum odasının basıncının 0,1-10 Pa aralığında olması ve hedef malzeme ile alt tabaka arasına argon gazı gönderilmesi gerekir. Plazma ortamına argon gazının gönderilmesinin sebebi ise, kimyasal tepkimelere girmemesi ve daha hafif (inert) gaz olmasından kaynaklanır. Oksijen ve azot gibi reaktif gazlar da kullanılmaktadır. Püskürtme tekniğinde ortama gönderilen argon gazının gerekenden fazla ya da az olmaması gerekir. Kaliteli kaplamaların elde edilebilmesi için tepkimeye girecek kadar yeterlilikte argon gazı ortama gönderilmelidir. Argon iyonları hedef malzemeden kopartılan atomları alt tabakaya taşıyarak kaplama işlemini gerçekleştirmiş olur. Argon iyonlarının hedef malzemeye çarpması esnasında plazma ortamında ark etkisi meydana gelir. Ark, anot ve katot arasında elektriksel boşalmadan kaynaklanan bir etkidir. Püskürtme tekniğinde uygulanan akım doğru akım (DC)'dir [1, 4]. Şekil 2.10 'da DC Püskürtme sisteminin şematik yapısı gösterilmektedir.

Püskürtme tekniği ile ince film üretilirken genel olarak aşağıda yer alan adımlar uygulanır:

- ✓ Hedef malzeme magnetronların üzerine yerleştirilir.
- ✓ Kaplamanın yapılacağı alt tabaka alt tabaka tutucuya yerleştirilir.
- ✓ Üretim odası vakum altına alınır.
- ✓ Argon gazı, vakum ortamına gönderilir ve hedef malzemenin üzerine elektriksel gerilim (negatif potansiyel) uygulanması sonucunda plazma oluşturulur.
- ✓ Plazma ortamında yer alan elektronlar ve iyonlar elektrik alanı oluşturur. Dolayısıyla elektriksel iletkenlik sağlanmış olur.
- ✓ Elektronlar ve iyonlar yönlendirilerek hedef malzeme yüzeyinde yüksek enerjili çarpışmalar gerçekleşir ve böylece ikincil elektronlar ortaya çıkar.

- ✓ İkincil elektronları plazma ortamına kazandırmak ve hedef malzemenin yüzeyine yakın bölgelerde tutabilmek için bir manyetik alan uygulanır.
- ✓ Hedef malzemedен koparılan atomlar yüksüz olduğu için manyetik alandan etkilenmeden alt tabakaya ulaşır ve böylece kaplama işlemi gerçekleşmiş olur [1, 43-46].



Şekil 2.10: DC Püskürtme sisteminin şematik yapısı [1].

3. DENEYSEL TEKNİKLER

Bu bölümde, DC püskürtme (sputtering) tekniği ile üretilen ince filmlerin üretim parametreleri, üretim aşamaları ve analiz teknikleri hakkında bilgi verilecektir. Bu çalışmada filmlerin elementel analizi için “Enerji Ayrırmalı X-ışını Spektroskopisi (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, EDX)”, filmlerin kristal yapı analizi için “X-Işınları Kırınımı (X-Ray Diffraction, XRD)” tekniği kullanılmış, bu teknikler hakkında ayrıntılı bilgiler bu bölümde verilmiştir. Ayrıca, yüzey morfolojik görüntülerinin incelenmesinde kullanılan “Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope, SEM)”, incelenen malzemenin yüzey pürüzlülük analizi için kullanılan “Atomik Kuvvet Mikroskobu (Atomic Force Microscope, AFM)” ve bununla birlikte manyetik analizde kullanılan “Titreşimli Numune Manyetometresi (Vibrating Sample Magnetometer, VSM)” tekniği ile ilgili ayrıntılar da verilmiştir.

3.1 DC Püskürtme Sisteminin Yapısı ve Film Üretimi

Bu bölümde, DC püskürtme sisteminin yapısı ve ince film üretim süreci ayrıntılı olarak verilmiştir. FeCr alaşım ince filmlerin üretimi, Balıkesir Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Nanomanyetik Malzeme Üretim Laboratuvarı’nda bulunan ve Şekil 3.1 ’de gösterilen DC püskürtme sistemi kullanılarak yapılmıştır. DC püskürtme sisteminin temel bileşenleri; kontrol ünitesi, rotary pompa, turbo moleküler pompa, soğutma sistemi, ince filmlerin üretildiği vakum odası (chamber), hedef malzemenin yerleştirildiği magnetronlar, magnetronları besleyen DC güç kaynağı, argon gazı tüpü ve bazı devre elamanlarından oluşmaktadır. Bu çalışmada, FeCr alaşım ince filmleri, iki ayrı seri olarak üretilmiştir.

DC püskürtme sistemi ile ince film üretilirken, film üretim öncesinde ve film üretim esnasında yapılan işlemler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- ✓ Vakum odası, alt tabaka ve hedef metalin temizliği yapılırken en küçük kirlenmenin olmaması için eldiven giyilmesi oldukça önemlidir.
- ✓ Üretimde kullanılan hedef malzeme (FeCr alaşım metali) ve biriktirmenin yapıldığı alt tabaka (asetat), organik ve inorganik kirlere arındırmak için

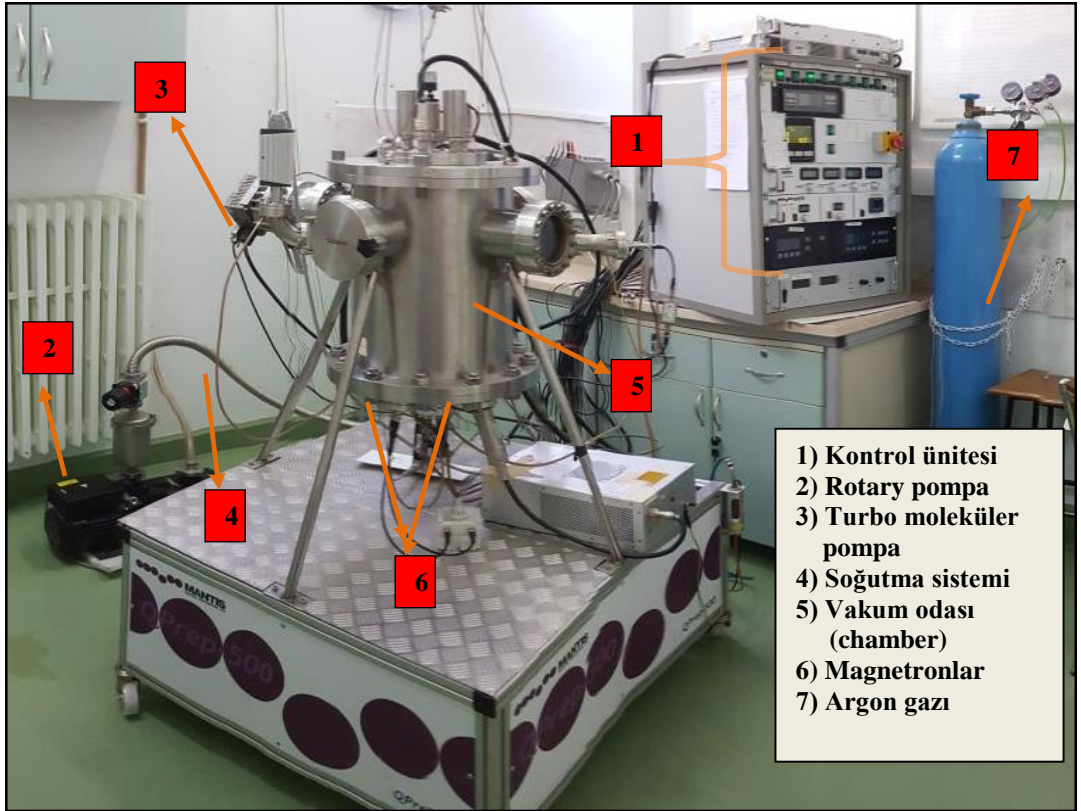
isopropil alkol ile doldurulmuş ultrasonik banyoda 10 dakika süreyle temizleme işlemine tabi tutulmuştur.

- ✓ Biriktirme işleminden önce hedef malzeme ve alt tabaka son kez mikro fiber dokulu bez ile temizlenerek uygun şartlarda kurutulmuştur. Bu işlemler, her üretim öncesinde büyük bir dikkatle gerçekleştirilmiştir.
- ✓ Temizlik süreci tamamlanan alt tabaka, Şekil 3.2 'de gösterilen alt tabaka tutucuya yerleştirilmiştir.
- ✓ Temizlik süreci tamamlanan hedef malzeme ise, Şekil 3.3 'te gösterilen 2. DC magnetrona yerleştirilmiştir.
- ✓ FeCr alaşım hedef metali, magnetrona yerleştirildikten sonra elektriksel iletkenlik ölçen avometre ile iletkenlik kontrolü gerçekleştirildi ve magnetron ile bağlantı kabloları arasında elektriksel direncin çok küçük bir değerde olduğu gözlemlendi.
- ✓ Sistemde elektriksel iletim ya da kaçak olup olmadığını teyit edebilmek için, avometrenin bir ucu magnetrona diğer ucu ise vakum odasının dış kısmına temas ettirilerek herhangi bir elektriksel iletimin ve kaçağın olmadığı gözlemlenmiştir.
- ✓ Bu işlemler tamamlandıktan sonra, son kontroller yapılarak vakum odasının üst kapağı kapatıldı ve sistemi vakum altına alma işlemine geçildi.
- ✓ Vakum altına alma işlemi gerçekleştirilirken, magnetronların, vakum pompalarının ve diğer ilgili bileşenlerin ısınmasını engellemek için su soğutma sistemi çalıştırıldı. Su sıcaklığının 12 °C 'nin altına düştükten sonra rotary pompa çalıştırıldı ve yaklaşık yarım saat sonra vakum odasının basıncı 5×10^{-3} mBar değerine düşürüldü. Bu değer gözlemlendikten sonra turbo moleküler pompa aktif hale getirilerek basıncın hızlı bir şekilde (5-10 dakika

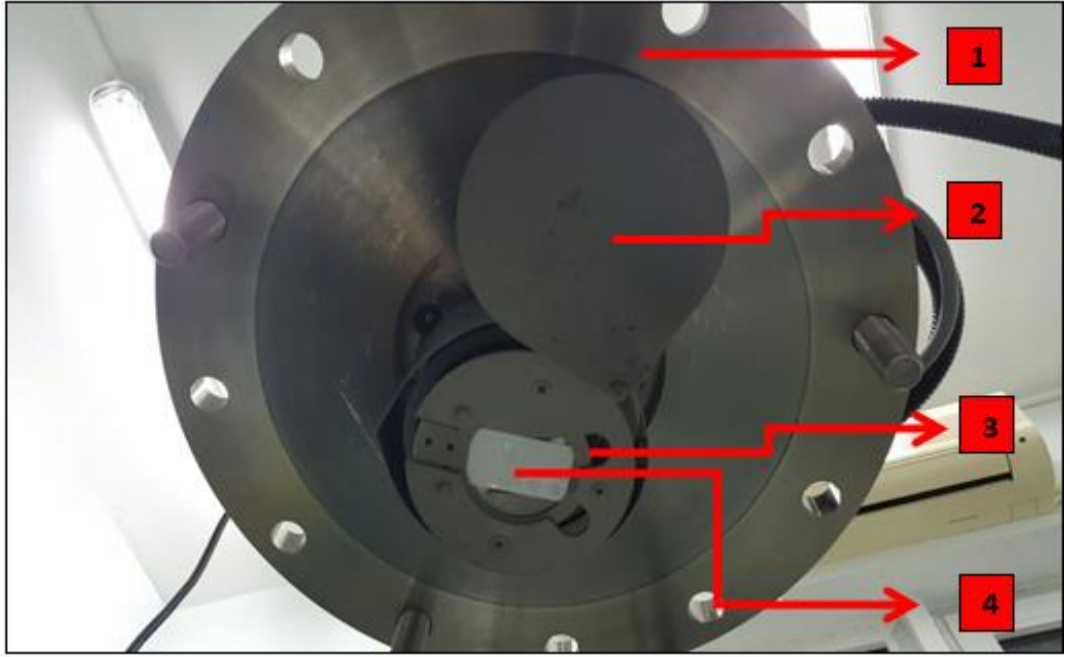
arası bir sürede) 10^{-6} mBar değerine düşmesi sağlandı. Bu andan itibaren üretim için gerekli vakum ortamı oluşturulmuş oldu.

- ✓ Üretime başlanılmadan önce son olarak alt tabaka kapağı (shutter) kontrol edilerek kapalı konumda olduğu teyit edildi.
- ✓ Kalınlık monitörüne FeCr alaşımına özgü (yoğunluk vb.) değerler girildi.
- ✓ Vakum ortamına, plazmayı oluşturmak için argon gazı gönderildi. Argon gazı ortam basıncını 4×10^{-3} mBar seviyesine kadar yükseltti. İlk durumda plazmanın daha kolay elde edilebilmesi için argon gazı maksimum seviyede gönderildi. Ancak, plazma oluştuktan hemen sonra argon gaz değeri üretim için sabit tutulan 40 sccm (dakikadaki standart santimetreküp) değerine kadar indirildi. Bu işlem yapılırken plazmanın ark yapmamasına özen gösterildi.
- ✓ Film üretim sürecine başlamak için magnetronları besleyen DC güç kaynağı aktif hale getirilerek katot ile anot arasına potansiyel farkı uygulanmaya başlandı. Bu aşamadan sonra Şekil 3.4 'te gösterildiği gibi plazma oluşturuldu. Film üretim süreci boyunca gözetleme penceresinden plazma takip edildi.
- ✓ Plazma oluştuktan hemen sonra istenilen üretim parametreleri ayarlanarak ve ardından alt tabaka kapağı açılarak biriktirme işlemine başlandı.
- ✓ İstenilen parametrelerde film üretilene kadar beklenildi ve kontrol ünitesinden Şekil 3.5 'te gösterildiği üzere tüm parametreler takip edildi. Ayrıca ince film üretim süreci boyunca gerekli bütün bilgiler ayrıntılı bir şekilde not edildi.
- ✓ İncelenecek olan filmler Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de belirtilen toplam film kalınlığı, argon gazı akış değeri, depozisyon hızı, doğru akım şiddeti değeri ve vakum odası basıncı değerlerinde üretildi.

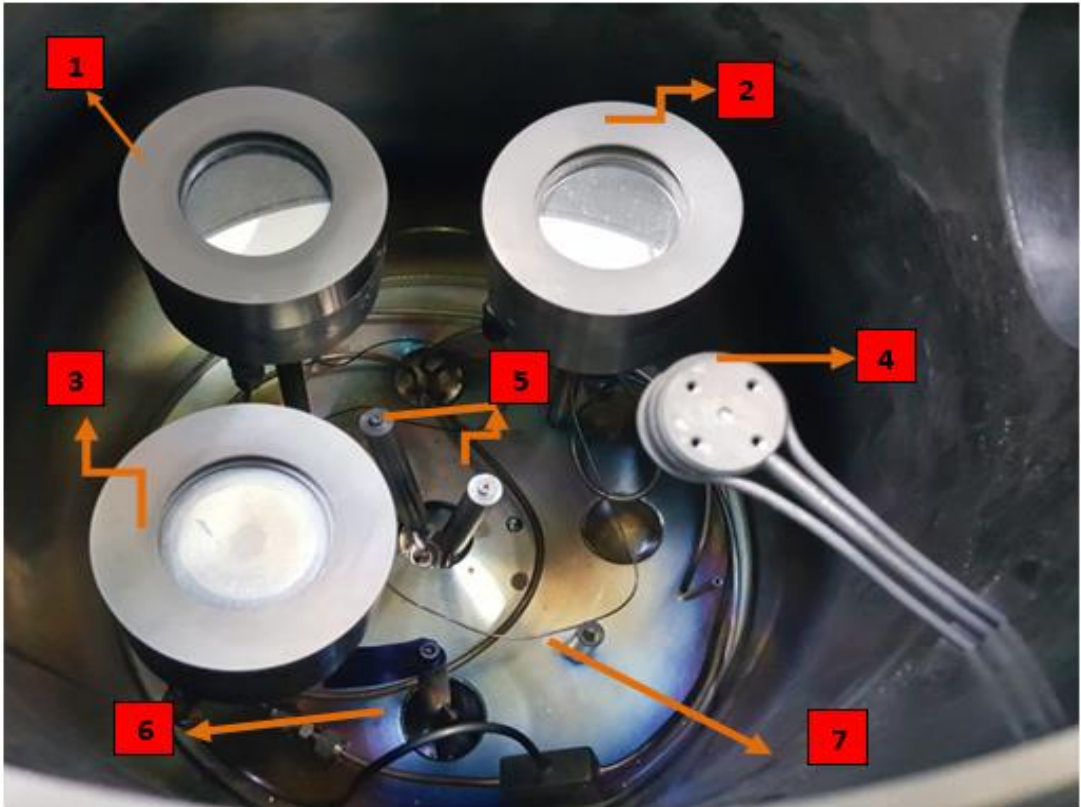
- ✓ İnce film üretim süreci bittikten sonra, alt tabaka kapağı kapatılarak magnetronları besleyen güç kesildi, argon gazı kapatıldı ve biriktirme işlemi sonlandırıldı.
- ✓ Turbo moleküler pompa kapatıldıktan yaklaşık bir saat sonra rotary pompa ve su soğutma sistemi kapatıldı.
- ✓ Üretimi tamamlanan ince filmi vakum odasından çıkarmak için vakum odasının basıncı ile dış basınç eşitlendi ve Şekil 3.5 'te gösterildiği gibi vakum odasının üst kapağı açılarak üretilen ince film alt tabaka tutucudan alındı.
- ✓ Üretilen ince filmler, karakterizasyon işlemlerine kadar desikatörde uygun şartlarda muhafaza edildi. Ayrıca ince film üretiminden sonra sistemin tüm bileşenlerinin gerekli kontrolleri ve temizlik işlemleri yapılarak bir sonraki üretim için hazır hale getirildi.



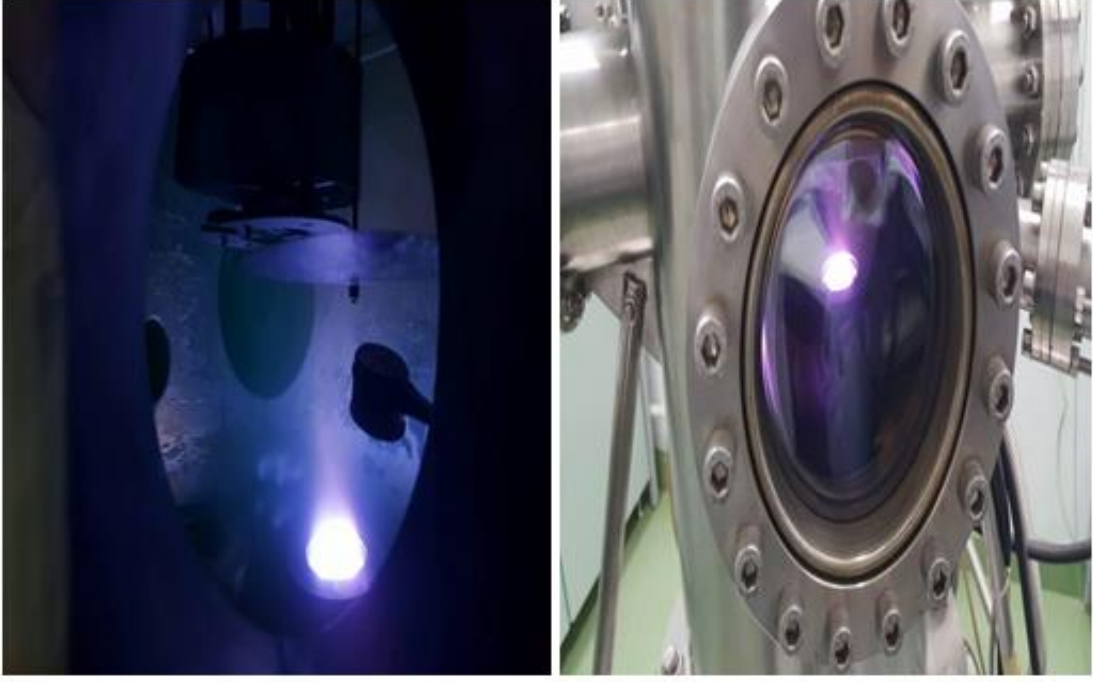
Şekil 3.1: Balıkesir Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Nanomanyetik Malzeme Üretim Laboratuvarında bulunan ve bu çalışma kapsamında incelenecek filmlerin üretildiği püskürtme sistemi.



Şekil 3.2: Vakum odasının üst kapağı, alt tabaka tutucu ve alt tabaka, 1)Vakum odasının üst kapağı, 2) Alt tabaka engeli (shutter), 3) Alt tabaka tutucu, 4) Alt tabaka.



Şekil 3.3: Üretim yapıldığı ve magnetronların yer aldığı vakum odasının bileşenleri: 1) DC Magnetron, 2) DC Magnetron, 3) RC Magnetron, 4) Kalınlık Sensörü, 5) Yüksek Akım Ayakları, 6) İnert Gaz ve 7) Elektrik Kablolari.



Şekil 3.4: Üretim esnasında vakum odasının elde edilen bir görüntüsü.



Şekil 3.5: DC Püskürtme sisteminin açık hali ve tüm parametreleri kontrol etmemizi sağlayan kontrol ünitesi.

3.1.1 Farklı Depozisyon Hızlarına Sahip FeCr Alaşım İnce Filmlerinin Üretimi

Bu seride, üretilen FeCr alaşım ince filmlerinde, toplam film kalınlığı 50 nm, argon gaz akış değeri 40 sccm olarak sabit tutuldu. Depozisyon oranı, sırası ile 0.03 nm/s, 0.05 nm/s, 0.07 nm/s ve 0.11 nm/s değerlerinde dört farklı alaşım ince film üretildi. Filmlerin üretim sürecinde, vakum odasında plazma oluşturabilmek için uygulanan akım şiddeti sırası ile 85 mA, 130 mA, 240 mA ve 310 mA değerlerinde uygulandı. Birinci seride üretilen FeCr alaşım ince filmlerine ait üretim parametreleri Tablo 3.1 'de yer almaktadır.

Tablo 3.1: Farklı depozisyon hızlarına sahip FeCr alaşım ince filmlerin üretim parametreleri.

Film Adı	Toplam Kalınlık (nm)	Argon Gazı Akış Değeri (sccm)	Depozisyon Hızı (nm)	Vakum Odası Basıncı (mBar)	Akım Şiddeti (mA)
FeCr 1	50	40	0.03	4.35×10^{-3}	85
FeCr 2	50	40	0.05	4.43×10^{-3}	130
FeCr 3	50	40	0.07	4.36×10^{-3}	240
FeCr 4	50	40	0.11	4.36×10^{-3}	310

3.1.2 Döner Alt Tabakanın Farklı Dönme Hızlarına Sahip FeCr Alaşım İnce Filmlerinin Üretimi

Bu seride, döner alt tabakanın farklı hızlarda döndüğü durum dikkate alınarak iki farklı FeCr alaşım manyetik ince filmi üretildi. Bu üretim sürecinde, toplam film kalınlığı 50 nm, argon gaz akış değeri 40 sccm değerlerinde sabit tutuldu. Filmler, 0 RPM ve 45 RPM hızlarında alt tabakanın döndürülmesi ile elde edildi. Depozisyon oranı 0.09 nm/s değerinde sabit tutulurken, vakum odasında plazma oluşturabilmek için gereken doğru akım değeri 250 mA civarında uygulandı.

Tablo 3.2: Döner alt tabakanın farklı dönme hızlarına sahip FeCr alaşım ince filmlerinin üretim parametreleri.

Film Adı	Toplam Kalınlık (nm)	Argon Gazı Akış Değeri (sccm)	Depozisyon Hızı (nm)	Vakum Odası İç Basıncı (mBar)	Akım Şiddeti (mA)	Alt Tabaka Dönme Hızı (RPM)
RFeCr1	50	40	0.09	5.18×10^{-3}	247	0
RFeCr2	50	40	0.09	5.20×10^{-3}	252	45

3.2 Enerji Ayrılmalı X-ışını Spektroskopisi (EDX)

EDX bir malzemenin elementel analizinin yapılmasında kullanılan önemli bir tekniktir. Bu teknikle elementel analiz yapılırken malzeme üzerine genellikle yüksek enerjili 10-20 keV olan elektron demeti gönderilir. Bu yüksek enerjili elektronlar incelenen malzeme üzerinden karakteristik x-ışını fotonlarının yayılmasına neden olur [5]. EDX, üretilen x - ışınlarının, enerjinin bir fonksiyonu olarak ölçülmesi prensibine dayanır ve malzemedeki yayılan x-ışınlarının özelliklerine göre incelenecek olan örneğin elementel bileşimi tayin edilir. EDX analizinin SEM görüntüsü alımı ile aynı anda gerçekleştirilebilir olması ve numuneyi herhangi bir yöntemle çözündürmeden analizinin yapılması dolayısıyla çözündürme sırasında gelebilecek safsızlık veya hata olasılığı bulunmaması EDX' in önemli bir avantajıdır. Sonuç olarak numunenin barındırdığı elementlerin cinsi ve miktarı bu yöntem ile belirlenmiş olur [43].

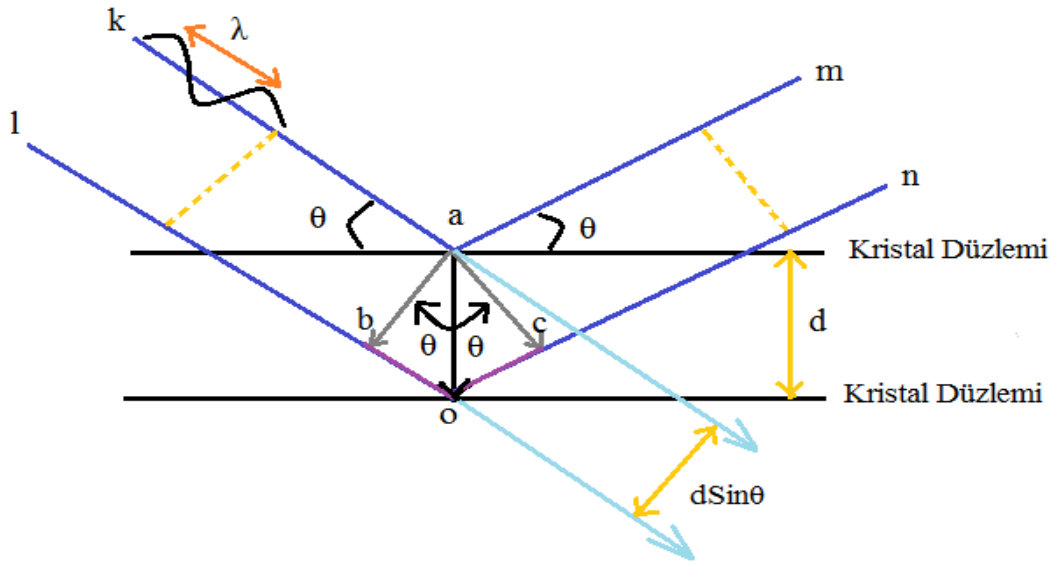
Bu çalışmada, üretilen FeCr alaşım ince filmlerin elementel analizi, Selçuk Üniversitesi/Konya, İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (İLTEK)' nde bulunan “ BRUKER “ markalı EDX cihazı ile yapıldı.

3.3 X- Işınları Kırınımı (XRD)

X-ışını kırınımı (XRD) tekniği malzemelerin kristal yapıları hakkında bilgi alabilmek için kullanılan önemli bir tekniktir [6]. XRD tekniği kullanılarak, örgü noktalarındaki atomların cinsleri, kristal düzlemleri ile düzlemler arası mesafeler malzemeye zarar vermeden bulunabilir. Kristal yapı analizinde XRD tekniğinin kullanılmasının sebebi X-ışını dalga boyunun 0,1-10Å aralığında olmasından

kaynaklanmaktadır [1, 44, 45]. X-ışınları malzeme üzerine gönderilen örgü noktalarındaki atomlar tarafından saçılmaya uğrar. Saçılan x-ışınları yıkıcı girişim yaparak birbirini yok ederken, bazı x-ışınları ise yapıcı girişim yaparak birbirini güçlendirir. Bir malzemenin kristal yapısı bu yapıcı girişim ile tespit edilebilir [5].

X-ışınları elde edilirken, içerisinde elektron kaynağı ve iki elektrot bulunan bir X-ışını tüpünde gerçekleşen reaksiyonlar sonucunda gerçekleşir. Elektrotlar arasında oluşturulan çok yüksek gerilimin sonucu olarak elektronlar anot tarafına çekilir. Çok yüksek hızlarla çarpışan elektronlar X-ışınlarını oluşturur ve bu ışınlar her doğrultuda yayılır [17].



Şekil 3.6: Kristal düzlemden yansıyan X-Işınları [5].

Bir malzeme üzerine gönderilen x-ışınları kırınıma uğrar. Kırınımın gerçekleşmesi için gereken durum Bragg Yasası ile açıklanabilir:

$$2d \sin \theta = n \lambda \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (3.1)$$

Burada; (θ) x-ışınlarının malzemenin atom düzlemlerine çarpma açısı, (d) atom düzlemleri arasındaki mesafe, (λ) kullanılan x-ışınlarının dalga boyu, n kırınımın mertebesidir ve tam sayı olması gerekir [6].

Bir malzemenin kristal düzlemlerine ait kristal büyüklükleri ise, Scherrer formülü ile elde edilir:

$$t = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte, kristal düzlemin tane büyüklüğü (t), kristal düzleme gönderilen X-ışınının dalga boyu (λ), incelenen düzleme ait yarı pik yükseklikteki genişliği (B), yansıma açısı (Θ) olarak ifade edilir [6].

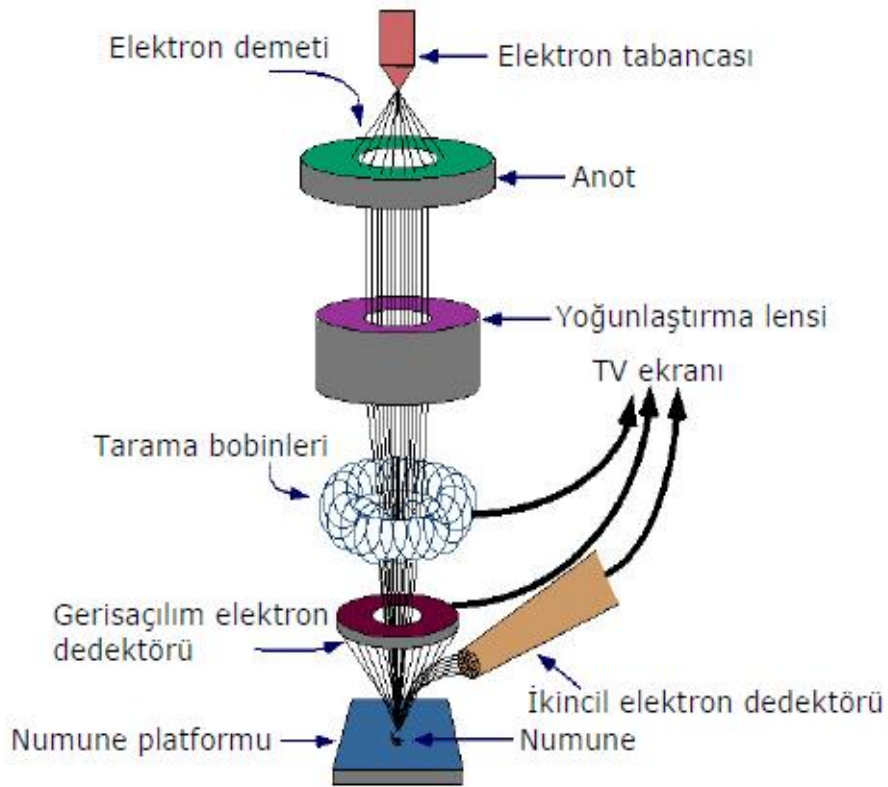
Bu çalışmada üretilen FeCr alaşım ince filmlerin kristal yapı analizi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan "BRUKER D8 ADVANCE WITH DAVINCI DESIGN" markalı XRD cihazı ile gerçekleştirildi. Ölçümler Cu-K α ($\lambda = 0.15406$ nm) radyasyonu kullanılarak ve 2θ değeri 10° ile 100° arasında değiştirilerek yapıldı. XRD 'de, numunenin ölçümü yapılırken 50 keV gerilim ve 40 mA ile 2000 W güç uygulanarak analizler gerçekleştirildi.

3.4 Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope, SEM), büyütme gücü çok yüksek olan, çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taranması prensibiyle çalışan ve manyetik bir malzemenin yüzey analizinde ve element analizinde kullanılan önemli bir tekniktir. Bu teknik ile analiz yapılırken çok küçük boyuttaki cisimlerin büyük görüntülerini oluşturmak ve yüksek çözünürlüklü resimler elde etmek için kullanılır [5]. Taramalı Elektron Mikroskobu katı yüzeyler hakkında morfolojik bilgi sağlar. SEM' de görüntü elde etmek için, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların malzeme üzerine odaklanması, bu elektron demetinin malzeme yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve malzeme atomları arasındaki etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün dijital ortama aktarılmasıyla gerçekleştirilir.

SEM'in temel bileşenleri Numune Hücresi, Optik Kolon ve Görüntüleme Sisteminden oluşmaktadır [17]. Şekil 3.7 'de görüldüğü gibi şematik olarak; optik kolon kısmında elektron demetinin kaynağı olan elektron tabancası, elektronları

numuneye doğru hızlandırmak için yüksek gerilimin uygulandığı anot plakası, ince elektron demeti elde etmek için yoğunlaştırıcı mercekler, demeti numune üzerinde odaklamak için objektif merceği, bu merceğe bağlı çeşitli çapta aparatlar ve elektron demetinin numune yüzeyini taraması için tarama bobinleri yer almaktadır. Mercek sistemleri elektromanyetik alan ile elektron demetini inceltmekte veya numune üzerine odaklamaktadır. SEM 'in ayırım gücü, odak derinliği, görüntü ve analizi birleştirme özeliği kullanım alanlarını genişletmektedir [17, 44].



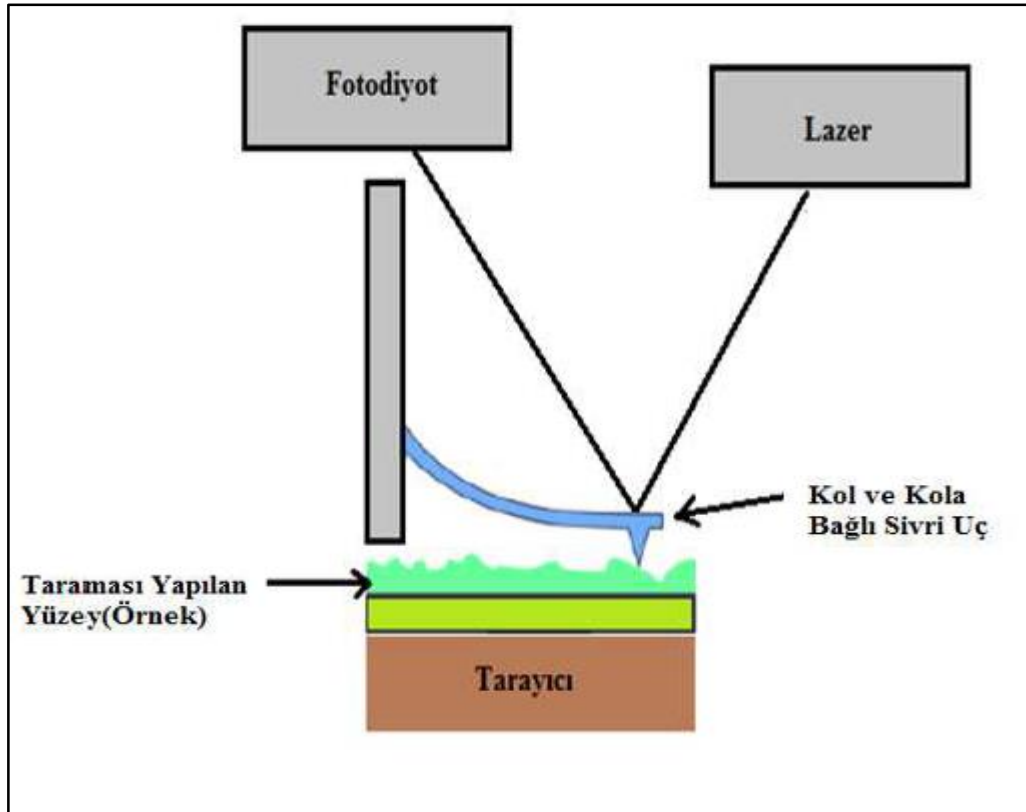
Şekil 3.7: Taramalı elektron mikroskobunun (SEM) çalışma şeması [44].

Bu çalışmada, DC püskürtme tekniği ile üretilen FeCr alaşım ince filmleri SEM görüntüsü, Selçuk Üniversitesi/Konya İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (İLTEK) 'nde bulunan " ZEISS " markalı "EVO LS 10" model SEM cihazı ile elde edildi. Görüntü elde etme süresince filmler, numune tutucu üzerine iletken bant kullanılarak sabitlendi.

3.5 Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)

Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) malzeme yüzeyinin pürüzlülük analizini gerçekleştirmek için kullanılan çok yüksek çözünürlüklü bir taramalı kuvvet mikroskobudur [45]. AFM esnek bir kola monte edilmiş çok ince bir iğne ucu yardımıyla örnek yüzeyi tarayan, yüzeyin yüksek çözünürlükte üç boyutlu görüntüsünün elde edilmesini sağlayan bir cihazdır. Görüntü, iğne ucunun yüzey ile yapmış olduğu etkileşim sonucunda elde edilir [5]. Şekil 3.8 AFM 'nin şematik gösterimini temsil etmektedir.

Bu çalışmada DC püskürtme tekniği ile üretilen FeCr alaşım ince filmlerinin yüzey pürüzlülük analizi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan "NANOMAGNETICS INSTRUMENTS" marka "hpAFM" model AFM cihazı ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.8: Atomik kuvvet mikroskobunun şematik gösterimi [5].

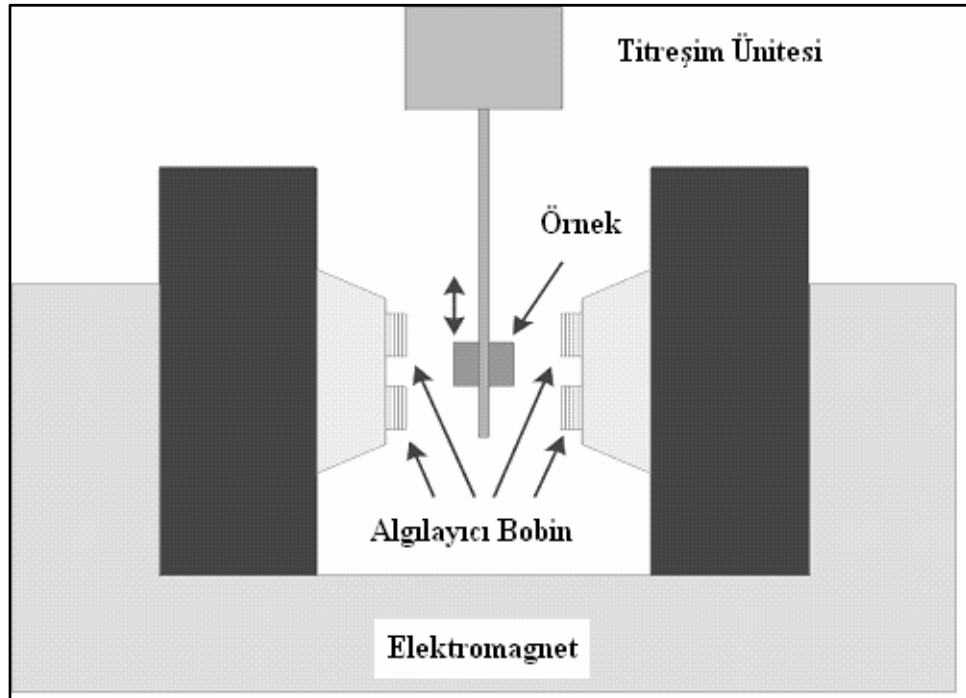
3.6 Titreşimli Numune Manyetometresi (VSM)

Titreşimli numune manyetometresi (VSM), ince filmlerin ve manyetik malzemelerin, manyetik özelliklerini ortaya koyan, histeresis eğrileri yardımıyla incelenmesini sağlayan bir sistemdir. Şekil 3.9 'da de görüldüğü gibi VSM sisteminin temel bileşenleri bilgisayar, numune titreştirici, elektromagnet ve numune tutucudan oluşmaktadır. Ayrıca elektromagnete bağlı bir soğutma sistemine ihtiyaç vardır [6]. VSM' in çalışma prensibi Faraday'ın indüksiyon yasasına dayanır. Bir manyetik malzeme, manyetik alan altında titreşim yapar ve malzemenin titreşim manyetik alanı Faraday İndüksiyon yasasına göre algılayıcı bir voltaj indükler. Faraday Yasasında emk, bobin içindeki manyetik akının zamanla değişim hızıyla orantılı olduğunu ifade eder [46].

Faraday indüksiyon yasasına göre;

$$E = - \frac{d\phi}{dt} \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte E, elektromotor kuvveti ve $d\phi$, malzeme ile bobini ilişkilendiren manyetik akıdır [5]. Manyetik akı değişimi iki yolla gerçekleşir. Bunlar; birincisi zaman içinde değişen manyetik alan uygulanarak ikincisi de dc manyetik alanda bulunan malzemeyi titreştirerek gerçekleşir[1, 46].



Şekil 3.9: VSM' in şematik gösterimi [46].

VSM tekniğinde analiz yapılırken malzemenin uygun histeresis eğrisini elde etmek için öncelikle sistem kalibre edilmelidir. Kalibrasyon aşamasında, numune algılayıcı bobinler arasında en uygun koordinatlara getirilerek sabitlenir ve bunun için boyutları ve doyum manyetizasyonu bilinen Nikel(Ni) standart yaygın olarak kullanılır. Sistemin kalibrasyon işlemi tamamlandıktan sonra en doğru sonuçları verecek hale getirilmiş olur [1, 47].

Bu çalışmada, DC püskürtme tekniği ile üretilen FeCr alaşım ince filmlerinin manyetik ölçümleri için 6 mm daire şeklinde kesme işlemi uygulandı. Hysteresis eğrileri manyetik alanın +20 kOe ile -20 kOe arasında değiştirilmesi ile oda sıcaklığında elde edildi. Üretilen FeCr alaşım ince filmlerin manyetik analizi Balıkesir Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Nanomanyetik Malzeme Ölçüm Laboratuvarında bulunan, duyarlılığı 0.5 μ emu olan “ADE TECHNOLOGIES markalı “DMS-EV9” model bir VSM sistemi ile gerçekleştirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, incelenen FeCr alaşım ince filmlerin elementel, yapısal ve manyetik analizinden elde edilen bulgular verilip, bu bulgular tartışılacaktır.

İncelenen ilk seride, FeCr alaşım ince filmlerinin toplam film kalınlığı 50 nm olarak sabit tutulurken depozisyon hızları ise sırasıyla 0.03 nm/s, 0.05 nm/s, 0.07 nm/s ve 0.11 nm/s değerlerinde değiştirilerek filmlerin yapısal ve manyetik özellikleri incelenmiştir.

İkinci seride ise, FeCr alaşım ince filmlerin kalınlıkları 50 nm olarak belirlenmiş, depozisyon oranı ise 0.09 nm/s değerinde sabit tutularak, alt tabakanın üretim esnasında farklı hızlarda döndürülmesinin filmlerin yapısal ve manyetik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

4.1 Farklı Depozisyon Hızlarının Etkisinin İncelendiği FeCr Alaşım İnce Filmleri

Bu bölümde, FeCr alaşım ince filmlerinin farklı depozisyon hızlarının filmlerin yapısal ve manyetik özellikler üzerine etkisi araştırıldı. Filmlerin depozisyon hızları 0.03 nm/s' den 0.11 nm/s' ye değerine kademeli olarak artırılmış, buna karşılık toplam film kalınlığı 50 nm' de sabit tutulmuştur. Yapılan analizler sonucu elde edilen bulgular verilmiştir.

4.1.1 Elementel Analiz

Hedef malzemenin (FeCr alaşım metali) elementel analiz sonuçlarına göre atomik Fe içeriği % 86.90, atomik Cr içeriği ise %13.10 olduğu tespit edilmiştir. Elementel analiz sonucuna göre, filmlerin atomik Fe ve Cr içerikleri Tablo 4.1' de gösterilmektedir.

FeCr alaşım ince filmlerinin 0.03 nm/s, 0.05 nm/s, 0.07 nm/s ve 0.11 nm/s depozisyon hızları için sırası ile atomik Fe içerikleri % 83.26, %84.84, % 85.15 ve % 98.80 olarak arttığı tespit edilmiştir. Atomik Cr içeriği ise sırası ile % 16.74, % 15.16, % 14.85 ve % 1.20 olarak azaldığı bulunmuştur.

Yapılan elementel analiz sonuçlarına göre, depozisyon hızı kademeli olarak artırıldığında atomik Fe içeriğinin de arttığı, ancak atomik Cr içeriğinin ise azaldığı

bulunmuştur. Bir başka ifadeyle, depozisyon hızındaki artış Fe atomların film bileşimine daha fazla katılmasına neden olarak atomik Fe içeriğini arttırmıştır.

Tablo 4.1: Farklı depozisyon hızlarının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin elementel analiz sonuçları.

Film Adı	Depozisyon Hızı (nm/s)	Film İçeriği (at.%)	
		Fe	Cr
FeCr 1	0.03	83.26	16.74
FeCr 2	0.05	84.84	15.16
FeCr 3	0.07	85.15	14.85
FeCr 4	0.11	98.80	1.20

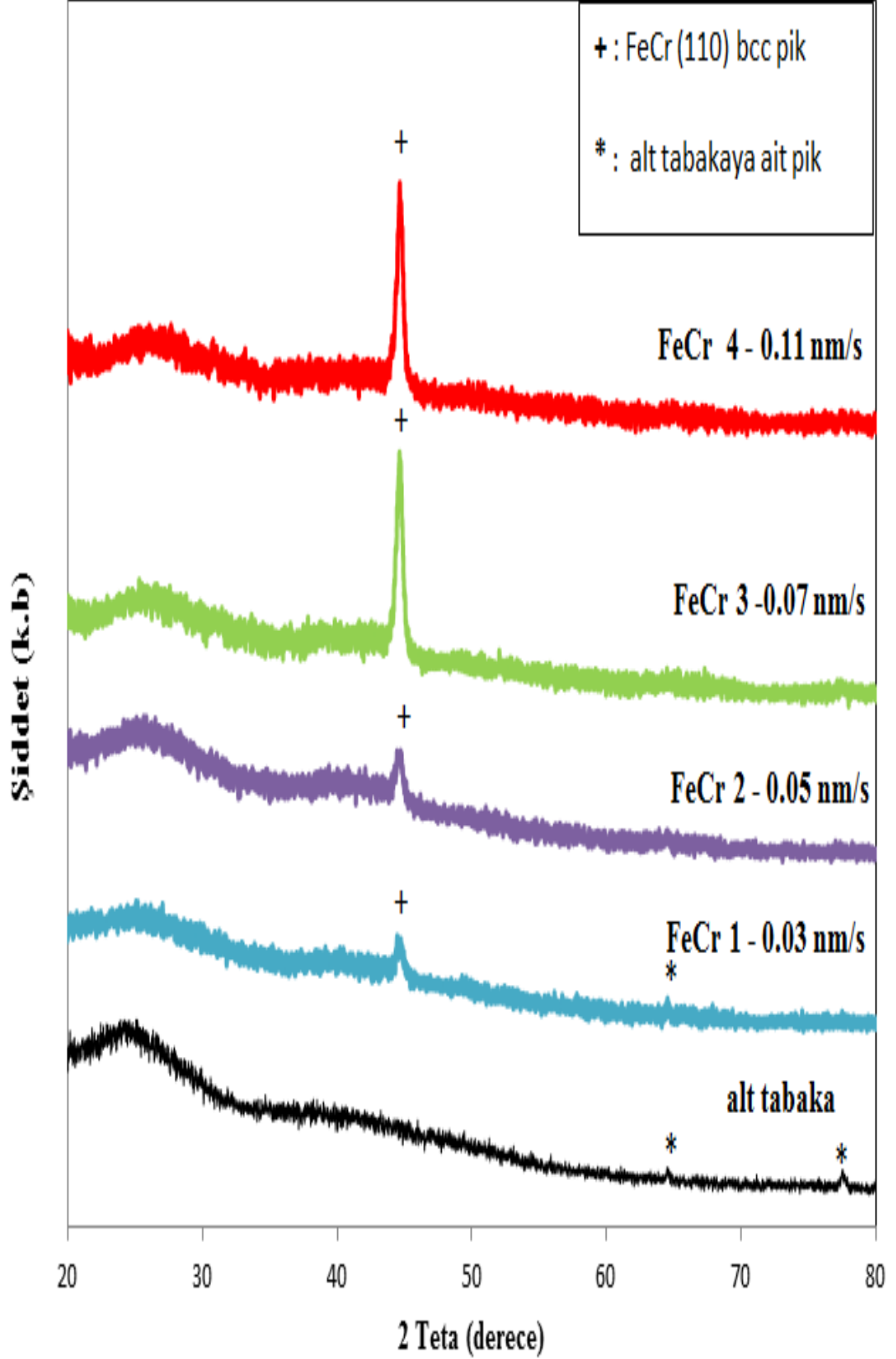
4.1.2 Kristal Yapı Analizi

Üretilen FeCr alaşım ince filmlerinin farklı depozisyon hızları dikkate alınarak kristal yapısı üzerine etkileri incelendi. Kristal yapı analizi, CuK_α radyasyonu kullanılarak $2\theta = 10^\circ$ ile 100° arasında 0.005° adım aralığı kullanılarak yapıldı. Farklı depozisyon hızlarında üretilen FeCr alaşım ince filmlerinin XRD desenleri Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Üretilen ince filmlerin XRD ölçümleri filmler amorf yapıdaki alt tabaka üzerinde iken gerçekleştirildi. Ayrıca filmlerin yanı sıra, alt tabakanın da biriktirme işlemi yapılmadan önce XRD ölçümü yapılarak kristal yapısı tespit edildi ve alt tabakaya ait XRD deseni Şekil 4.1’de gösterildi.

XRD desenlerinde gözlenen pikler incelendiği zaman, 0.03 nm/s depozisyon hızında üretilen FeCr 1 filminin, $2\theta \approx 44^\circ$ ’de bcc (110) pikine sahip olduğu görülmektedir. Depozisyon hızı arttıkça, incelenen diğer filmlerin de kırınım desenlerinde aynı Bragg açısı değerinde aynı pike sahip olduğu ve başka düzlemlerden yansımalara ait piklerin oluşmadığı sonucuna varılmıştır. Depozisyon oranı arttıkça bu pikin şiddetinin kademeli olarak arttığı XRD desenlerinden açıkça görülmektedir (Bakınız Şekil 4.1). Pik şiddetindeki bu artış, filmlerin Fe içeriğindeki artışa

atfedilebilir. Elde edilen bu sonuçlara göre, filmlerin tamamının bcc yapıda olduğu ve depozisyon hızı arttıkça bcc (110) pikinin şiddetinin arttığı tespit edilmiştir.

Farklı depozisyon hızlarının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinde, filmlerin düzlemler arası uzaklık (d) değeri Bragg açısı değerlerinden faydalanılarak hesaplandı. Elde edilen bu değerler, Tablo 4.2’ de gösterilmiştir. FeCr alaşım ince filmlerinin sırası ile 0.03 nm/s, 0.05 nm/s, 0.07 nm/s ve 0.11 nm/s depozisyon hızlarına ait düzlemler arası uzaklık sırası ile $d_{(110)} = 0.2031$ nm, $d_{(110)} = 0.2038$ nm, $d_{(110)} = 0.2038$ nm ve $d_{(110)} = 0.2380$ nm olarak hesaplandı. Bu sonuca göre, düzlemler arası uzaklığın depozisyon hızı artışı ile bir değişime uğradığı tespit edildi. Filmlerin örgü sabitleri (a), XRD desenlerinde görülen pikin açısız konumu ve miller indisi kullanılarak hesaplandı. Depozisyon hızları, 0.03 nm/s, 0.05 nm/s, 0.07 nm/s ve 0.11 nm/s olan filmlerin örgü sabiti değerleri sırası ile $a = 0.2872$ nm, $a = 0.2882$ nm, $a = 0.2882$ nm ve $a = 0.2882$ nm olarak bulundu. FeCr alaşım ince filmlerinin, XRD desenlerinde görülen piklerin açısız konumlarından ve yarı yükseklikteki genişliklerinden faydalanılarak kristal yapıya ait tane büyüklükleri (t), Scherrer bağıntısı kullanılarak hesaplandı [48]. Filmlerin tane büyüklükleri Tablo 4.2 ‘de gösterilmektedir. Depozisyon hızı, 0.03 nm/s, 0.05 nm/s, 0.07 nm/s ve 0.11 nm/s olan filmlere ait tane büyüklüğü sırası ile 46 nm, 47 nm, 64 nm ve 70 nm olarak bulundu. Bu sonuca göre, depozisyon hızı arttıkça filmlerin bcc (110) düzlemine ait tane büyüklüğünün arttığı tespit edilmiştir. Kristal yapı analizi ile elde edilen XRD desenleri sonucunda, farklı depozisyon hızlarında üretilen filmlerin bcc yapıya sahip olduğu ve kristal yapıya ait düzlemler arası uzaklık ve tane büyüklüğü gibi parametrelerin depozisyon hızının değişiminden bir dereceye kadar etkilendiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.1: Farklı depozisyon hızlarının etkisinin incelendiği

FeCr Alaşım ince filmlerinin XRD desenleri.

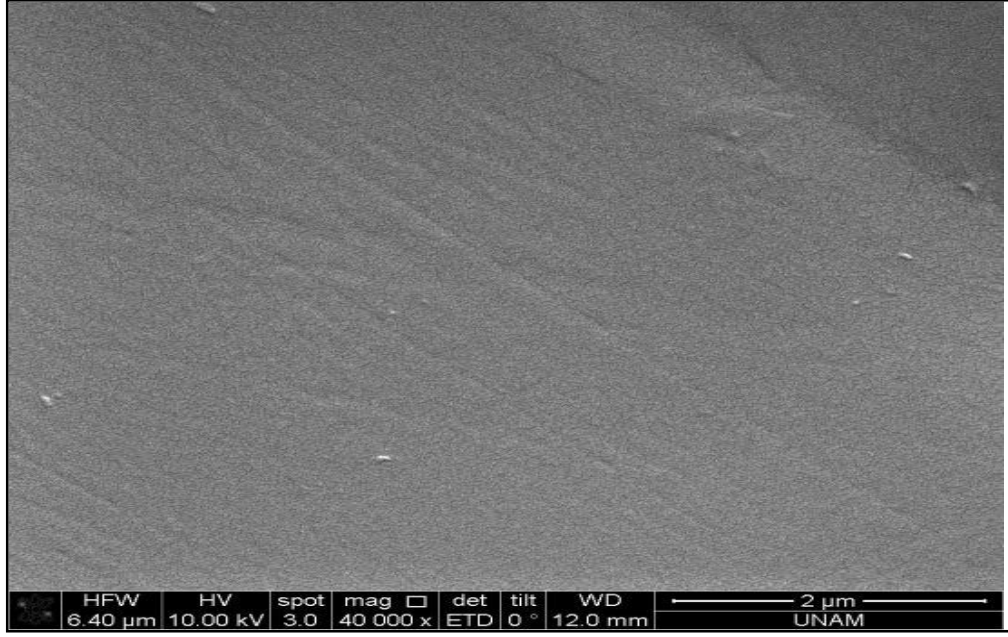
Tablo 4.2: Farklı depozisyon hızlarının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin XRD analizinden elde edilen sonuçlar.

Film Adı				
Değişken Parametre	FeCr 1	FeCr2	FeCr3	FeCr4
Depozisyon Hızı (nm/s)	0.03	0.05	0.07	0.011
Atomik Fe içeriği (at. %)	83.26	84.84	85.15	98.80
Atomik Cr içeriği (at. %)	16.74	15.16	14.85	1.20
Örgü Sabiti (a) (nm)	0.2872	0.2882	0.2882	0.2882
2 Teta (derece)	44.405	44.415	44.575	44.615
Düzlemler arası uzaklık (d) (nm)	0.2031	0.2038	0.2038	0.2380
Tane büyüklükleri (t) (nm)	46	47	64	70

4.1.3 Yüzey Morfolojik Analizi

Farklı depozisyon hızlarında üretilen FeCr alaşım ince filmlerinin, yüzey özelliklerini incelemek için yapılan yüzey morfolojik analizi sonucunda elde edilen SEM görüntüleri Şekil 4.3 'de gösterilmektedir.

Filmlerin SEM görüntüleri 40000 kat büyütülerek elde edilmiştir. Ayrıca filmlerin üstüne büyütüldüğü alt tabakaya ait SEM görüntüsü ise Şekil 4.2 'de yer almaktadır. Alt tabakanın SEM görüntüsü incelendiğinde, FeCr alaşım ince filmlerine ait SEM görüntülerindeki bazı çizgi ve deformasyonların alt tabakadan kaynaklandığı anlaşılmaktadır.



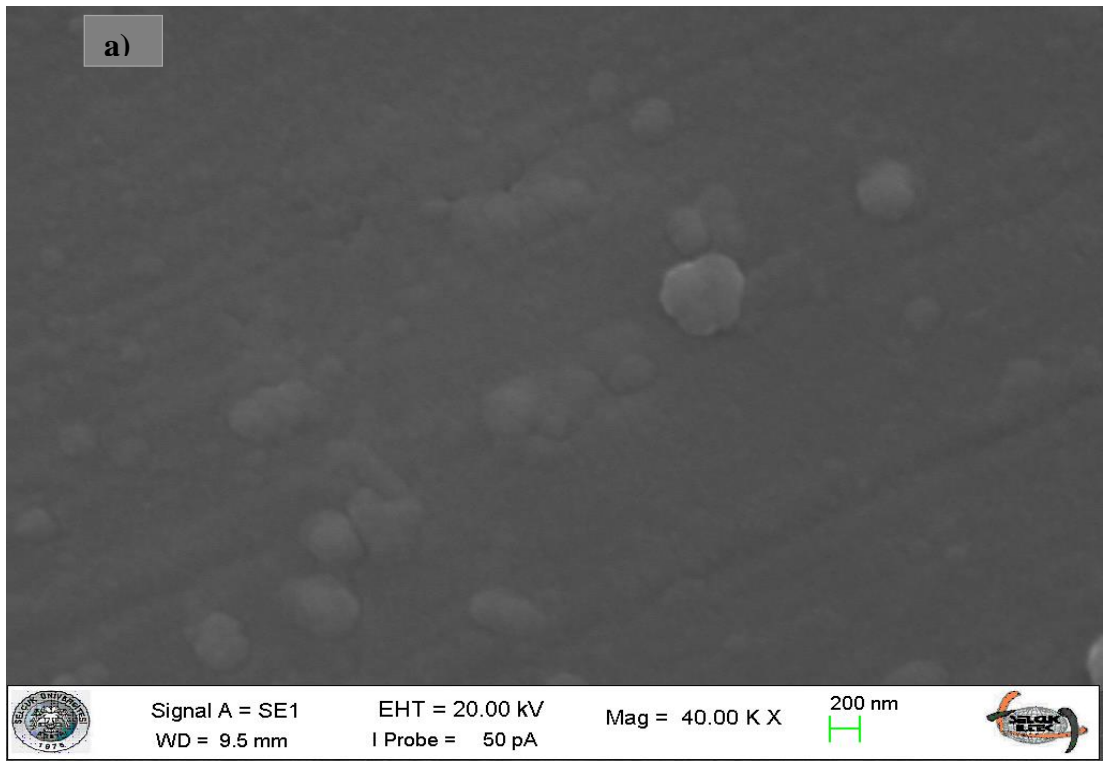
Şekil 4.2: Alt tabakaya ait SEM görüntüsü [1].

Depozisyon hızının 0.03 nm/s olduğu filmin SEM görüntüsü Şekil 4.3 (a)' da verilmiştir. Bu SEM görüntüsü incelendiğinde, film yüzeyindeki tanecik boyutları diğer filmlerdekine kıyasla daha büyük olduğu görülmektedir. Bu taneciklerin çaplarının ise yaklaşık olarak 400 nm 'ye kadar çıktığı bu resimlerinden açıkça görülmektedir. Şekil 4.3 (b)' de ise depozisyon oranı 0.05 nm/s olan filmin SEM görüntüsü verilmiştir. Bu resimde film yüzeyindeki tanecikli yapıların boyutlarının 0.03 nm/s'de üretilen filme göre küçüldüğü görülmüştür. Şekil 4.3 (c)' de 0.07 nm/s depozisyon hızında ki filmin SEM görüntüsü incelendiğinde, tanecikli yapıların Şekil 4.3 (b)'deki filmin yüzeyine kıyasla daha küçük boyutlarda ve sayıca fazla olduğu söylenebilir. Depozisyon hızı arttıkça; tanecik boyutları küçülerek, sayılarının arttığı bulunmuştur.

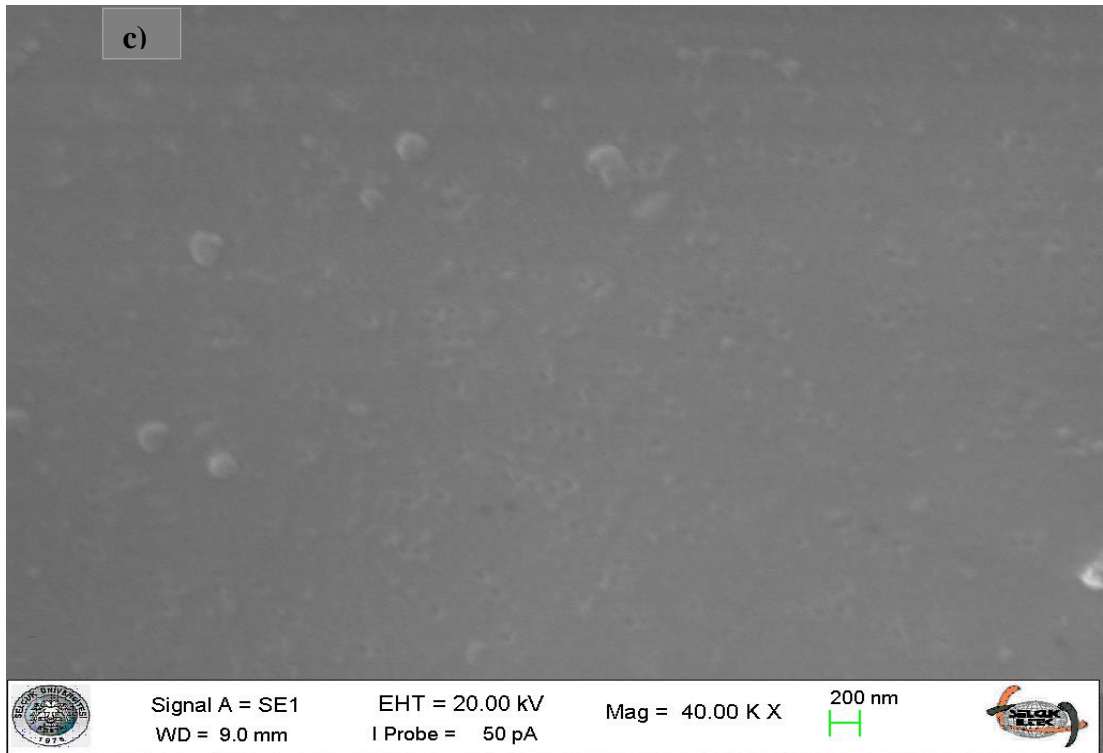
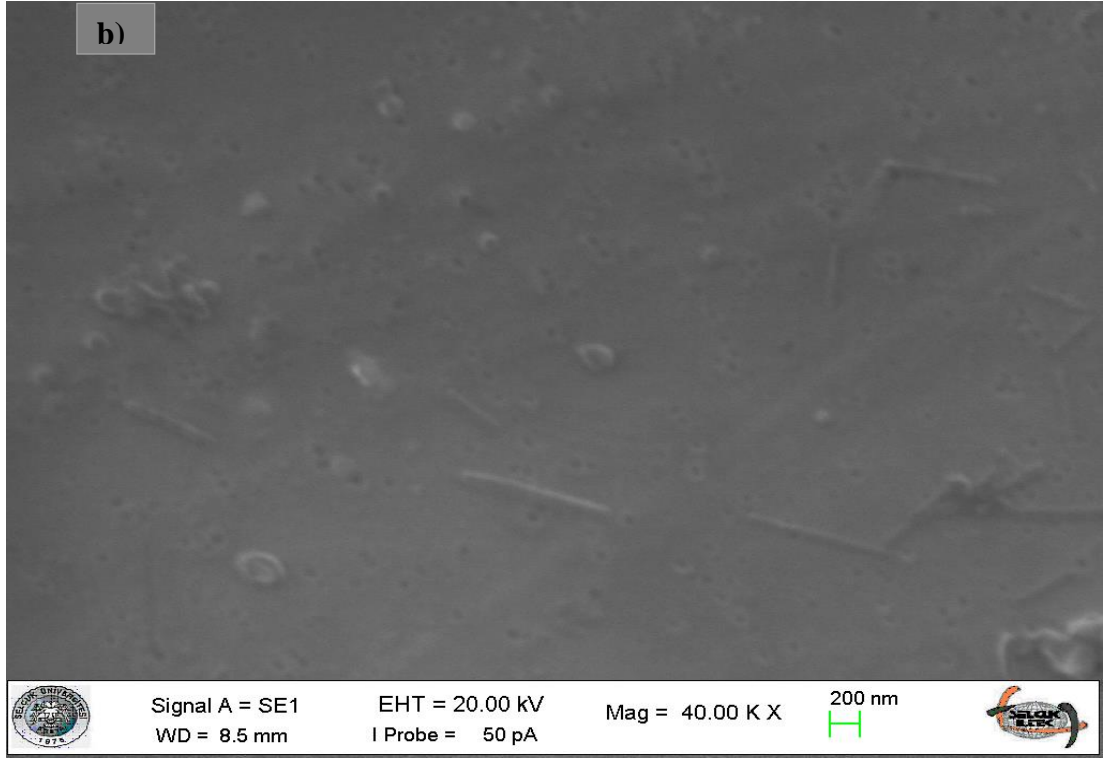
Şekil 4.3 (d) 'de, depozisyon hızı 0.11 nm/s filmin SEM görüntüsü incelendiğinde ise, film yüzeyindeki tanecikli yapıların 0.07 nm/s depozisyon hızında üretilen filme kıyasla boyutlarının yaklaşık olarak aynı kaldığı fakat tanecik miktarının daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca, depozisyon oranı 0.11 nm/s seviyesine çıktığında film yüzeyinde nano metre seviyesinde çatlaklar oluştuğu bu filmin SEM resminden açıkça görülmektedir. Bunlara ek olarak, yapılan gözlemler sonucunda, en

yüksek depozisyon oranında üretilen filmin yüzeyinin daha parlak olduğu ifade edilebilir. Genel olarak, depozisyon hızı 0.03 nm/s değerinden 0.11 nm/s seviyesine arttırıldıkça film yüzeylerindeki taneciklerin boyutlarının küçüldüğü, buna karşılık sayılarının ise arttığı gözlenmiştir.

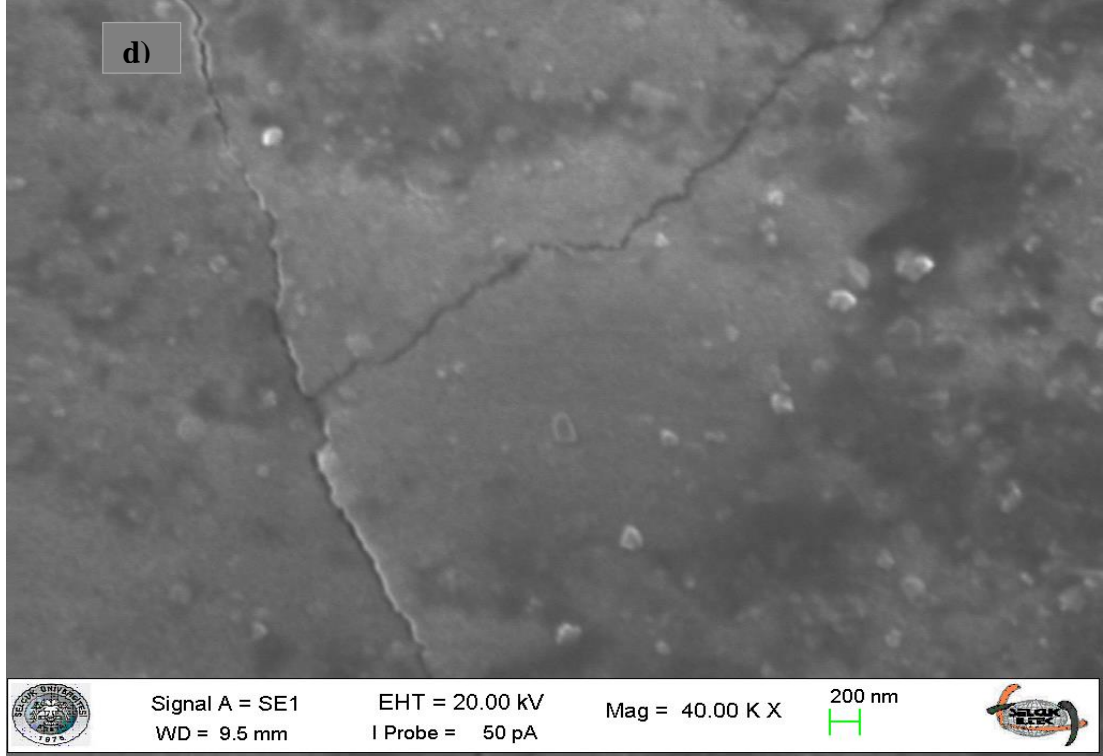
Depozisyon hızı arttıkça filmlerin yüzeyinde tanecik boyutlarının küçüldüğü bir noktada ise çatlakların oluştuğu görülmüştür. SEM resimlerinin incelenmesi sonucunda, farklı depozisyon hızlarının film yüzeyi üzerinde dikkate değer bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.3: FeCr alaşım ince filmlerinin farklı depozisyon hızlarındaki SEM görüntüleri, **a)** 0.03 nm/s, **b)** 0.05 nm/s, **c)** 0.07 nm/s, **d)** 0.11 nm/s.



Şekil 4.3 (devam): FeCr alaşım ince filmlerinin farklı depoizasyon hızlarındaki SEM görüntüleri,
a) 0.03 nm/s, **b)** 0.05 nm/s, **c)** 0.07 nm/s, **d)** 0.11 nm/s.

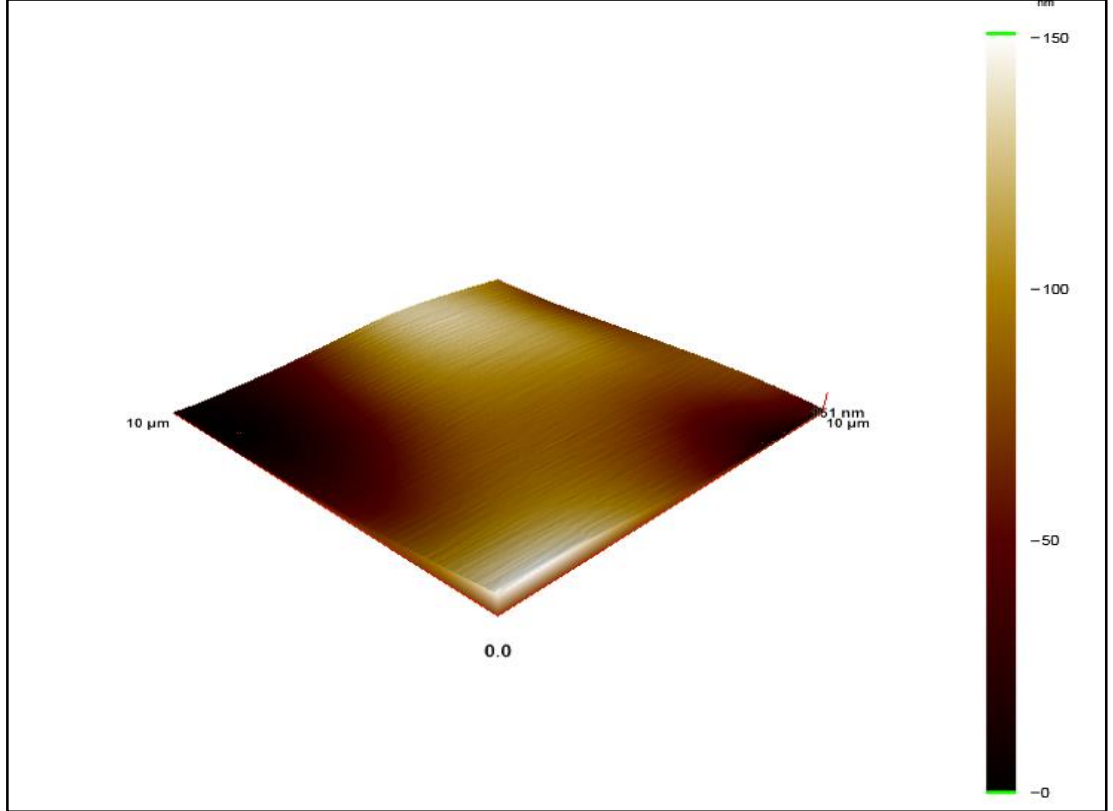


Şekil 4.3 (devam): FeCr alaşım ince filmlerinin farklı depoizasyon hızlarındaki SEM görüntüleri, **d)** 0.11 nm/s.

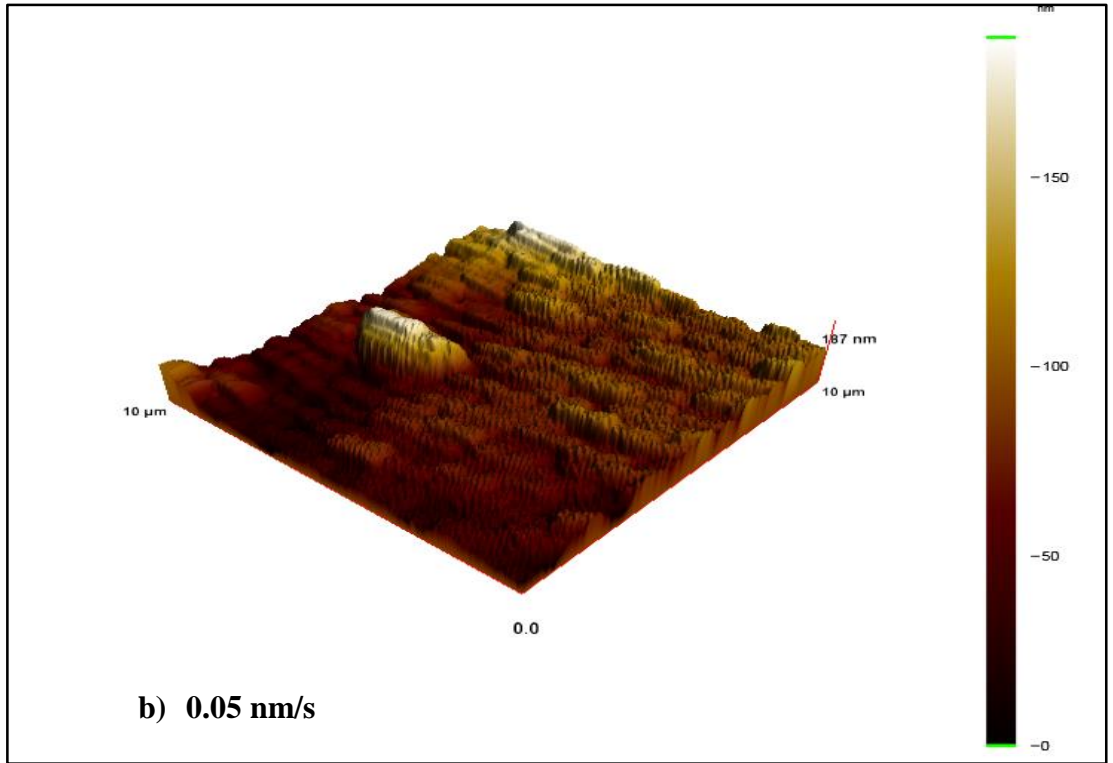
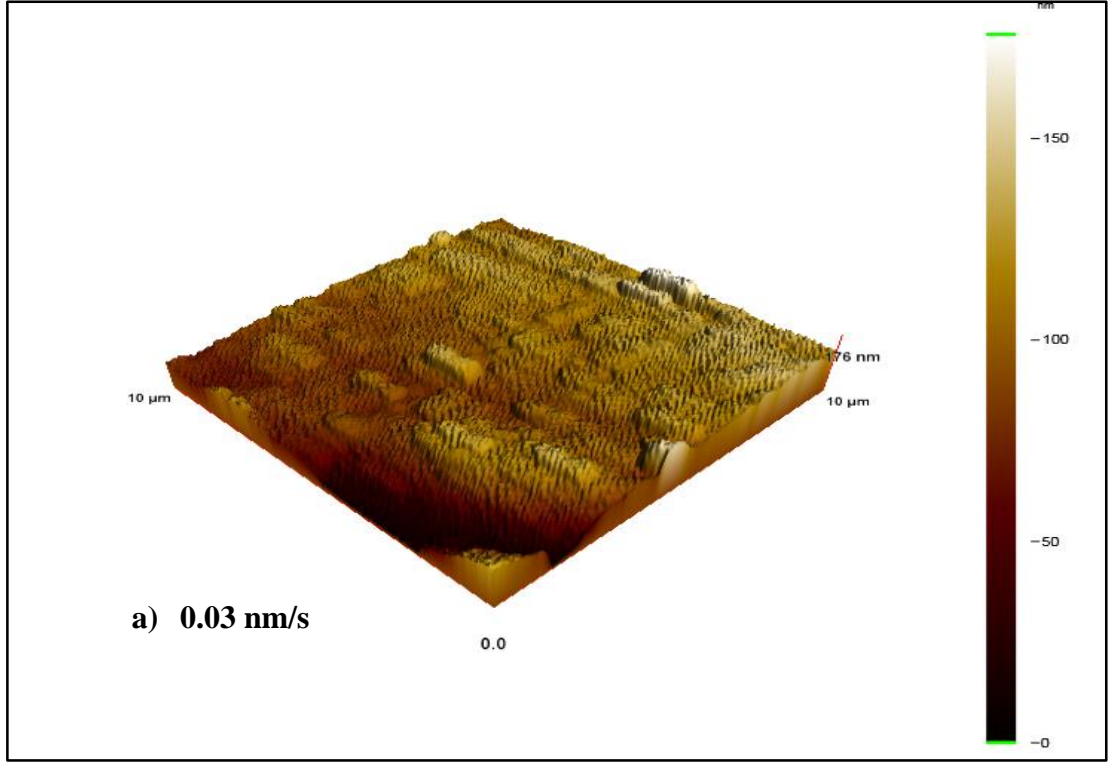
4.1.4 Yüzey Pürüzlülük Analizi

FeCr alaşım ince filmlerinin yüzeyleri hakkında daha kapsamlı bilgilere ulaşabilmek için, SEM görüntülerine ek olarak, yüzey pürüzlülük analizinde kullanılmak üzere AFM görüntüleri elde edildi. Filmlerin AFM görüntülerinin yanı sıra alt tabakaya ait AFM görüntüsü de Şekil 4.4’ te gösterilmiştir. 0.03 nm/s, 0.05 nm/s, 0.07 nm/s ve 0.11 nm/s depoizasyon oranlarında üretilen FeCr alaşım ince filmlerin yüzeyinin AFM görüntüleri Şekil 4.5’ de gösterilmiştir. Alt tabakanın AFM resmi incelendiğinde film kaplı yüzeylere göre nispeten çok daha pürüzsüz bir yüzey olduğu görülmektedir. Bu durum, alt tabakanın yüzey pürüzlülüğünün film yüzeyine etkisinin az olması açısından istenen bir durumdur. Filmlerin AFM resimleri incelendiğinde ise, düşük depoizasyon hızından yüksek depoizasyon hızına doğru gidildikçe film yüzeyindeki engebeli yapının giderek arttığı görülmektedir. Bir başka ifadeyle, en düşük depoizasyon hızında üretilen filmin yüzeyinde çok az sayıda yükselti varken bu yükseltilerin sayıları, resimlerdeki yükseltiyi gösteren renk ölçeğinden de anlaşılacağı üzere, depoizasyon hızı arttıkça genel olarak artmıştır. Bu durum, yüksek

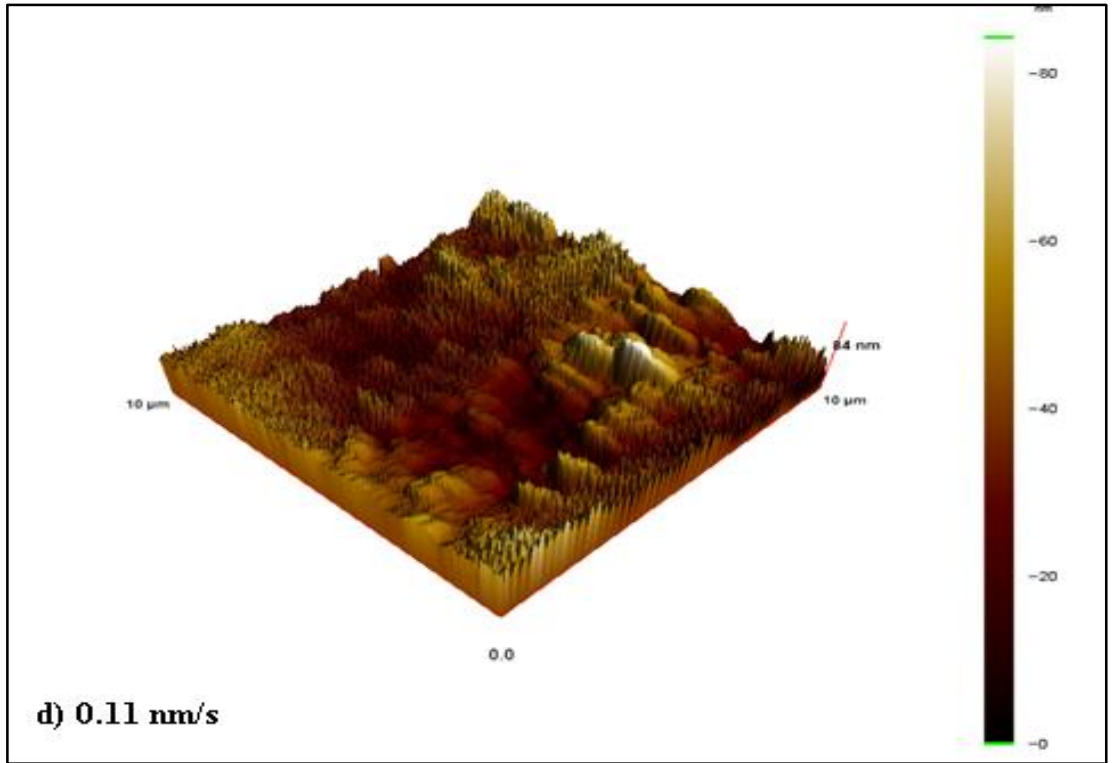
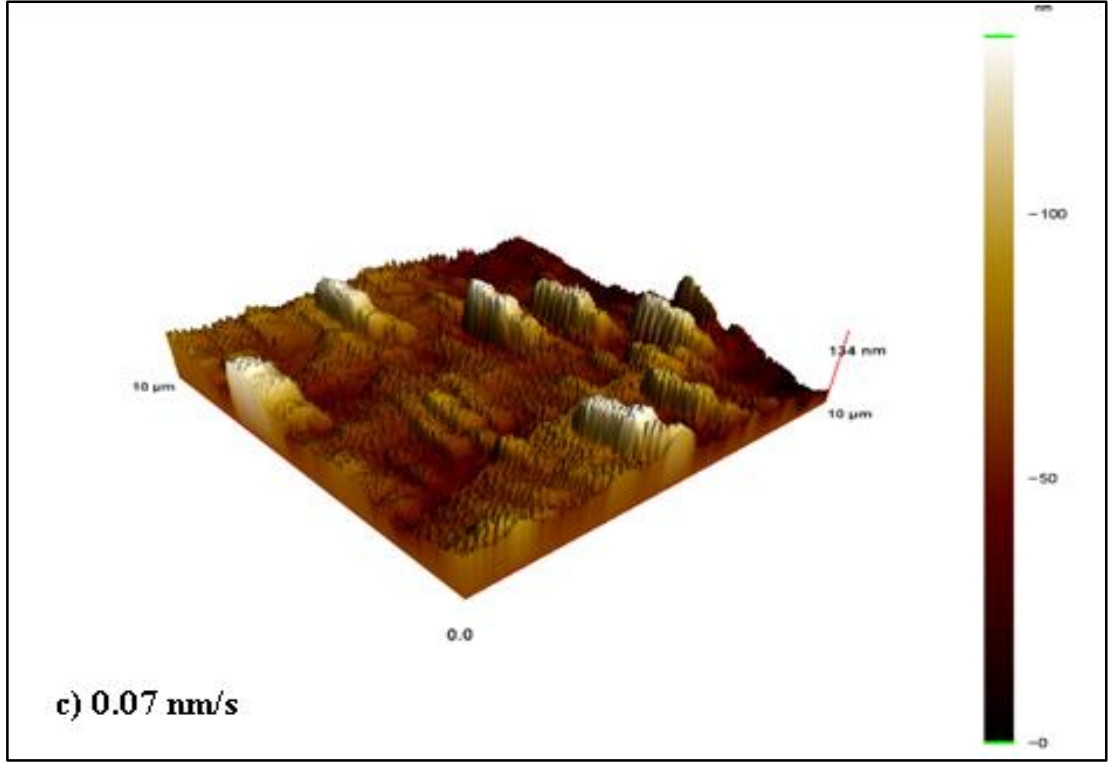
depozisyon hızında üretilen filmlerin atomlarının alt tabakaya yüksek enerji ile çarpıp, düşük depozisyon hızında üretilenlere göre daha düzensiz bir yüzey oluşturması ile ilgili olabilir. Bunlara ek olarak, depozisyon oranı arttıkça, SEM resimlerinde gözlenen tanecikli yapıların sayısının ve AFM resimlerinde gözlenen engebeli yapıların sayısının artması, SEM ve AFM analizi sonuçlarının uyumu açısından önem teşkil etmektedir.



Şekil 4.4: Alt tabakanın AFM görüntüsü.



Şekil 4.5: FeCr alaşım ince filmlerinin farklı depozisyon hızlarındaki AFM görüntüleri,
a) 0.03 nm/s, b) 0.05 nm/s, c) 0.07 nm/s, d) 0.11 nm/s.



Şekil 4.5 (devam): FeCr alaşım ince filmlerinin farklı depoziyon hızlarındaki AFM görüntüleri, **c)** 0.07 nm/s, **d)** 0.11 nm/s.

4.1.5 Manyetik Analiz

FeCr alaşım ince filmlerinin farklı depozisyon hızları dikkate alınarak manyetik özelliklerini incelemek için, filmler 6 mm çapında dairesel Şekilde kesilerek, ± 20 kOe manyetik alan Şiddeti altında ve oda sıcaklığında histeresis eğrileri elde edildi. Elde edilen histeresis eğrileri Şekil 4.6 'da gösterilmektedir. Dış manyetik alan değerinin 20 kOe olarak film yüzeyine paralel ve dik uygulanması sonucunda doyum manyetizasyonu (M_s), koarsivite (H_c) ve kalıcı mıktanıslanma (M_r) değerleri bulunmuştur. Bu paralel ölçüm değerleri Tablo 4.3 'de gösterilmiştir. FeCr alaşım ince filmlerinin depozisyon hızı 0.03 nm/s, 0.05 nm/s, 0.07nm/s ve 0.11nm/s olarak kademeli olarak arttırıldığında elde edilen doyum manyetizasyonu değerleri sırası ile 888 emu/cm³, 1223 emu/cm³, 1560 emu/cm³ ve 1700 emu/cm³ olarak tespit edilmiştir. Buna göre, depozisyon hızındaki artış filmlerin doyum manyetizasyon değerlerinde artışa sebep olmuştur. Başka bir ifadeyle, FeCr alaşım ince filmlerinin depozisyon hızı arttırıldığıa atomik Fe içeriğinin artması (bakınız Tablo 4.1) ve buna paralel olarak atomik Cr içeriğinin ise azalması, filmlerin doyum manyetizasyonu değerini depozisyon hızının arttırılmasına paralel Şekilde artmasına neden olmuştur. Doyum manyetizasyonu değerindeki bu artış beklenen bir sonuçtur. Bunun sebebi, bir malzemenin ferromanyetik malzeme içeriği arttığıa, uygulanan dış manyetik alan etkisi altında birim hacimdeki aynı yöne yönelmiş manyetik moment sayısında bir artışın meydana gelmesidir. Bu durum malzemenin doyum manyetizasyonu değerinde bir artışa sebep olur [49]. Bu durum, Ni/Cu çok katmanlı yapılarda ferromanyetik tabakanın farklı depozisyon hızlarının incelendiği [1] çalışmasıyla uyum içerisindedir. Şekil 4.7' de FeCr alaşım ince filmlerindeki Fe oranının artmasıyla doyum manyetizasyon değerindeki artış açıkça görülmektedir. FeCr alaşım ince filmlerinin depozisyon hızının 0.03 nm/s, 0.05 nm/s, 0.07nm/s ve 0.11nm/s olarak arttırılması sonucunda filmlerin koarsivite değerleri sırası ile 42 Oe, 49 Oe, 75 Oe ve 107 Oe olarak bulunmuştur (bakınız Şekil 4.7). Buna göre, depozisyon hızının artmasıyla yüzeylerdeki tanecikli yapının ve engebeli yapının sayısının artması koarsivite değerinde bir artışa sebep olmuştur.

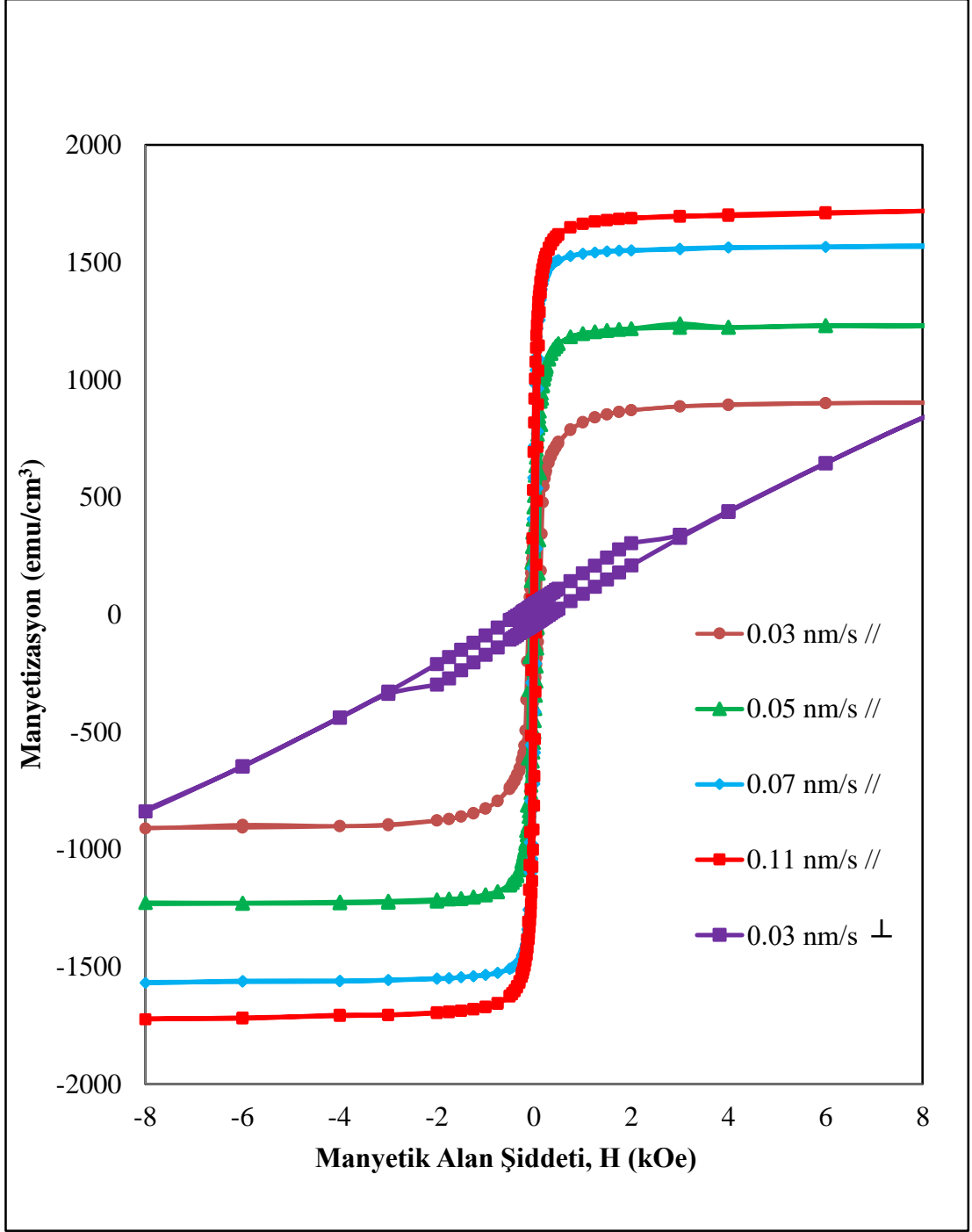
Manyetik açıdan kolay eksenin belirlenmesi için manyetik alanın film düzlemine paralel ve dik olduğu konumlar dikkate alınarak histeresis ilmekleri elde edilmiştir. Farklı depozisyon hızının etkisinin incelendiği bu seride paralel ve dik ölçümlere örnek olarak sadece 0.03 nm/s depozisyon hızındaki filmin histeresis

eğrileri verilmiştir. Diğer filmlerin zor ekseninde elde edilen histeresis eğrileri de benzer şekildedir. Yapılan inceleme sonucunda, paralel histeresis eğrisinin dik histeresis eğrisine göre çok yüksek bir kalıcı mıknatıslanma ($M_r \text{ paralel}=337 \text{ emu/cm}^3$, $M_r \text{ dik}=17 \text{ emu/cm}^3$) ve çok düşük bir koarsivite ($H_c \text{ paralel}=42 \text{ Oe}$, $H_c \text{ dik}=331 \text{ Oe}$) değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, manyetizasyonun kolay eksen yönünün film yüzeyine paralel olduğu ve bu durumun manyetik şekil anizotropisinden kaynaklı olduğu sonucuna varılabilir.

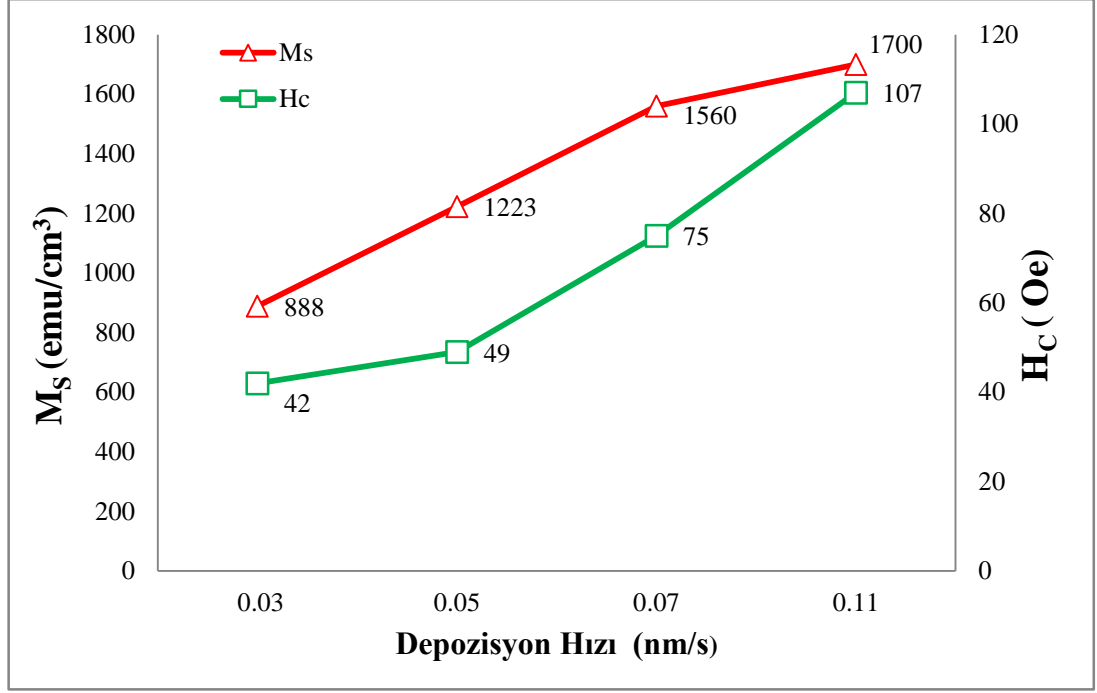
Yapılan manyetik analiz sonuçlarına göre, farklı depozisyon hızlarının FeCr alaşım ince filmlerinin manyetik özellikleri üzerinde dikkate değer etkileri olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.3: Farklı depozisyon hızları dikkate alınarak üretilen FeCr alaşım ince filmlerinin paralel ölçümünden elde edilen manyetik sonuçlar.

Film Adı Değişken Parametre	FeCr 1	FeCr 2	FeCr 3	FeCr 4
Depozisyon Hızı (nm/s)	0.03	0.05	0.07	0.11
Atomik Fe içeriği (at. %)	83.26	84.84	85.15	98.80
Atomik Cr içeriği (at. %)	16.74	15.16	14.85	1.20
M_s (emu/cm^3)	888	1223	1560	1700
H_c (Oe)	42	49	75	107
M_r (emu/cm^3)	337	504	732	816



Şekil 4.6: Farklı deposisyon hızlarına göre üretilen FeCr alaşım ince filmlerin histeresis eğrileri (//: Paralel, ⊥: Dik)



Şekil 4.7: Farklı depozisyon hızlarına göre üretilen FeCr alaşım ince filmlerinin M_s ve H_c değerleri.

4.2 Alt Tabakanın Farklı Dönme Hızlarının Etkisinin İncelendiği FeCr Alaşım İnce Filmleri

Bu bölümde, alt tabakanın farklı dönme hızlarının FeCr alaşım ince filmlerin yapısal ve manyetik özellikleri üzerine etkisi incelendi. FeCr alaşım ince filmlerinin üretiminde toplam film kalınlığı 50 nm değerinde sabit tutulurken, depozisyon oranı ise 0.09 nm/s değerinde sabit tutulmuştur. Buna karşın, alt tabaka dönme hızının iki farklı değeri (0 RPM ve 45 RPM) dikkate alınarak elde edilen bulgular tartışılmıştır.

4.2.1 Elementel Analiz

Filmlerin yanı sıra, filmlerin büyütüldüğü hedef malzemenin de elementel analiz sonuçları elde edildi ve hedef malzemenin atomik Fe içeriğinin % 86.90, Cr içeriğinin ise % 13.10 olduğu tespit edilmiştir. Filmlerin elementel analizi sonucunda elde edilen atomik Fe ve Cr içerikleri Tablo 4.4' de görülmektedir. Alt tabakanın farklı hızlarda döndürülmesi ile üretilen FeCr alaşım ince filmlerin elementel analiz sonucuna göre, düşük (0 RPM) hızında atomik Fe içeriği % 79.38 ve Cr içeriği ise % 20.62, yüksek (45 RPM) hızında atomik Fe içeriği % 82.14 ve Cr içeriği % 17.86 olarak bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlara göre, alt tabakanın dönme hızı

arttırıldıkça filmlerin bileşimindeki Fe içeriğinin bir miktar arttığı, buna paralel olarak Cr içeriğinin ise azaldığı tespit edilmiştir.

Tablo 4.4: Alt tabakanın farklı dönme hızlarının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin elementel analiz sonuçları.

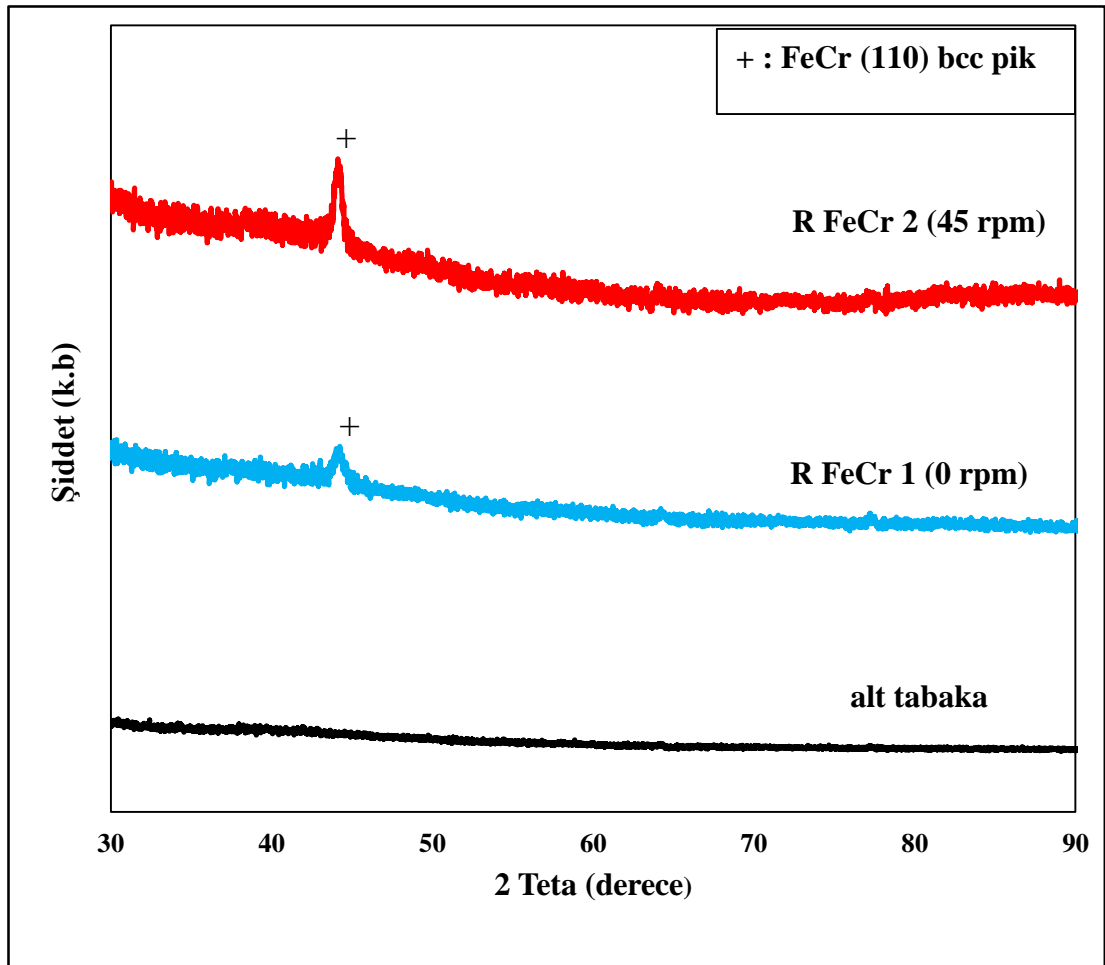
Film Adı	Alt Tabaka Dönme Hızı (RPM)	Film İçeriği (at.%)	
		Fe	Cr
R FeCr 1	0	79.38	20.62
R FeCr 2	45	82.14	17.86

4.2.2 Kristal Yapı Analizi

Alt tabakanın farklı dönme hızlarının FeCr alaşım ince filmlerinin kristal yapısı üzerine etkisini incelemek için elde edilen XRD desenleri Şekil 4.8 'de gösterilmiştir. Alt tabakanın düşük (0 RPM) ve yüksek (45 RPM) hızlarda döndürülmesi ile üretilen FeCr alaşım ince filmlerinin XRD desenlerinde gözlenen pik filmlerin cisim merkezli kübik (bcc) yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu pik, R FeCr 1 filmi (0 RPM hızında) ve R FeCr 2 filmi için (45 RPM hızında) $2\theta \approx 44^\circ$ 'de beliren bcc (110) pikidir. Alt tabakanın 45 RPM dönme hızı için bcc (110) pik şiddeti 0 RPM hızında büyütülen filminkinden daha büyüktür. Bir başka ifadeyle, dönme hızı artıkça pik şiddetinin bir miktar arttığı tespit edilmiştir. Bu durum film içeriğindeki Fe miktarının artışına atfedilebilir.

Alt tabakanın dönme hızının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerde, düzlemler arası uzaklık (**d**) ilk seride yapıldığı gibi Bragg Dengleminden yararlanılarak hesaplandı (bakınız Tablo 4.5). Alt tabakanın, 0 RPM ve 45 RPM hızlarında döndürülmesi ile filmlere ait düzlemler arası uzaklık sırası ile **d** = 0.2056 nm ve **d** = 0.2063 nm olarak hesaplandı. Filmlerin örgü sabitleri (**a**), XRD desenlerinde görülen piklerin açısız konumları ve miller indisleri kullanılarak hesaplandı. Buna göre, alt tabakanın 0 RPM ve 45 RPM dönme hızlarına ait örgü sabitleri sırası ile **a** =

0.2882 nm ve $a = 0.2983$ nm olarak bulundu. Ayrıca, XRD desenlerinde görülen piklerin yarı yükseklikteki genişliklerinden ve açısız konumlarından faydalanılarak tane büyüklükleri (t), Scherrer bağıntısı kullanılarak hesaplandı (bakınız Tablo 4.5). FeCr alaşım ince filmlerinde, alt tabaka dönme hızının 0 RPM ve 45 RPM değerleri için tane büyüklüğü sırası ile $t = 22$ nm ve $t = 28$ nm olarak hesaplandı. Bu sonuçlara göre, alt tabakanın dönme hızı arttıkça filmlerin (110) düzlemine ait tane büyüklüğünün arttığı gözlenmektedir. Kristal yapı analiz sonuçlarına göre, filmlerin bcc yapıya sahip olduğu ve filmlerin kristal yapısının alt tabakanın dönme hızındaki değişimden etkilendiğini ifade edilebilir.



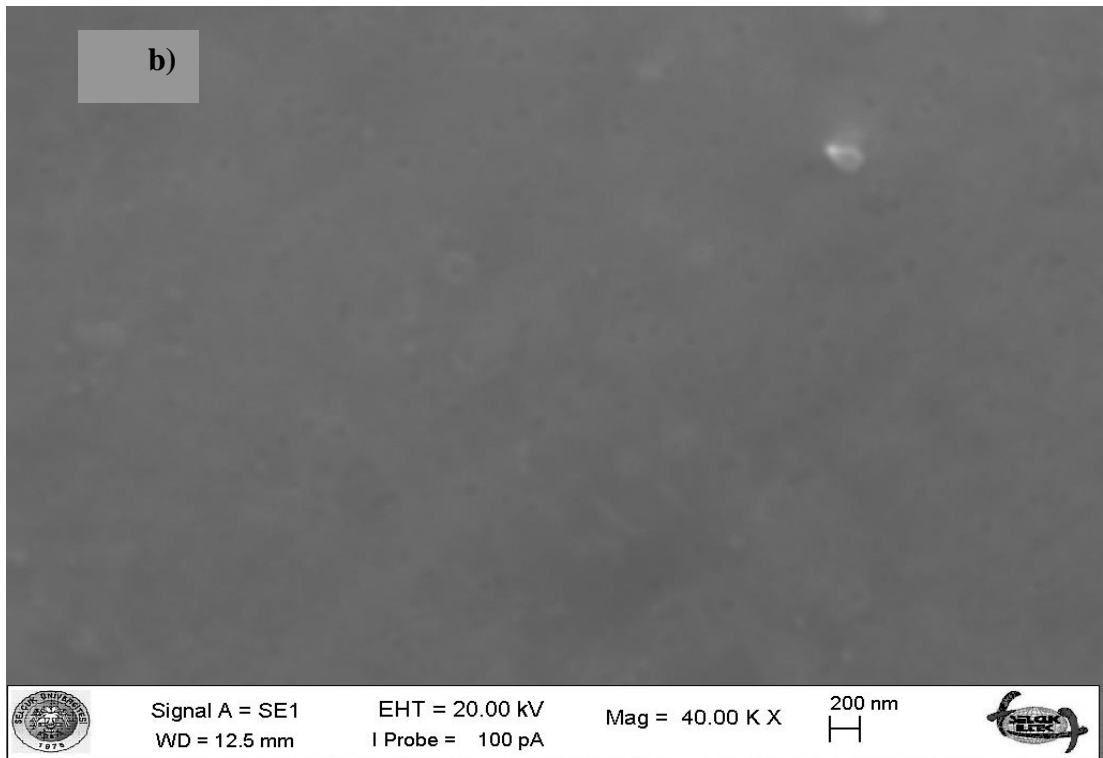
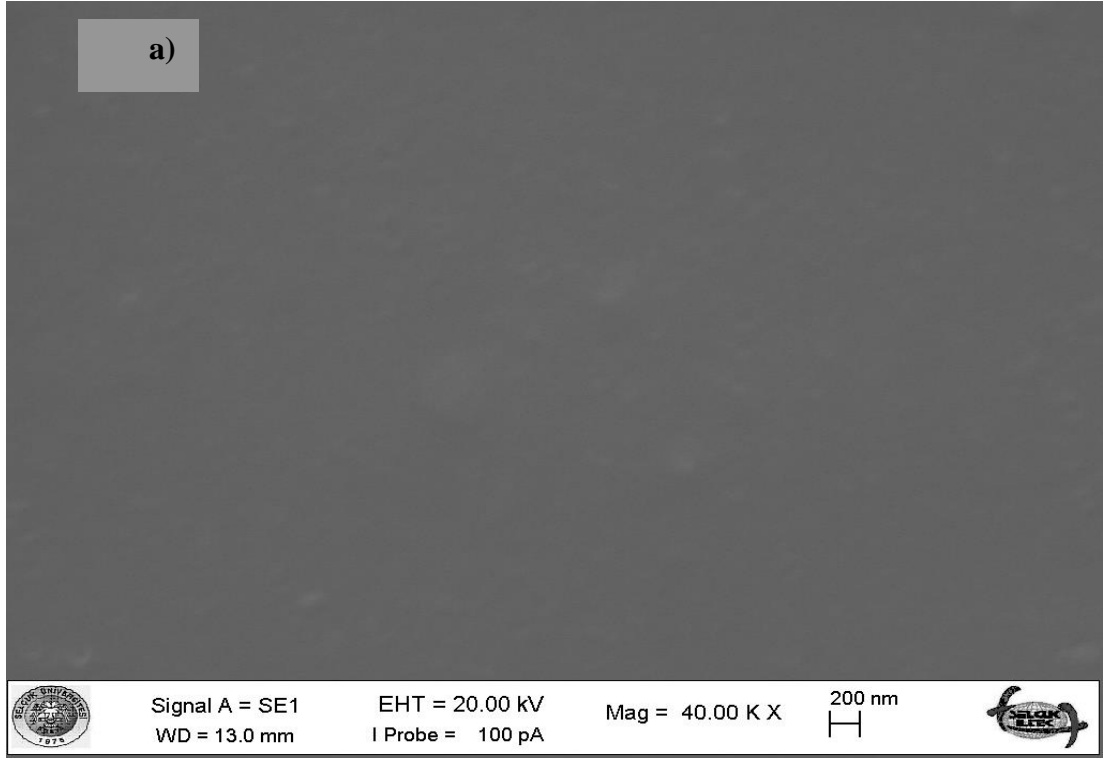
Şekil 4.8: Alt tabakanın farklı dönme hızlarının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin XRD desenleri.

Tablo 4.5: Alt tabakanın farklı dönme hızlarının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin XRD analizinden elde sonuçlar.

Değişken Parametre	Alt Tabakanın Dönme Hızı (RPM)	Atomik Fe içeriği (at. %)	Atomik Cr içeriği (at. %)	a (nm)	2 Teta (derece)	d (nm)	t (nm)
Film Adı							
R FeCr 1	0	79.39	20.62	0.2882	43.849	0.2056	22
R FeCr 2	45	82.14	17.86	0.2983	43.994	0.2063	28

4.2.3 Yüzey Morfolojik Analizi

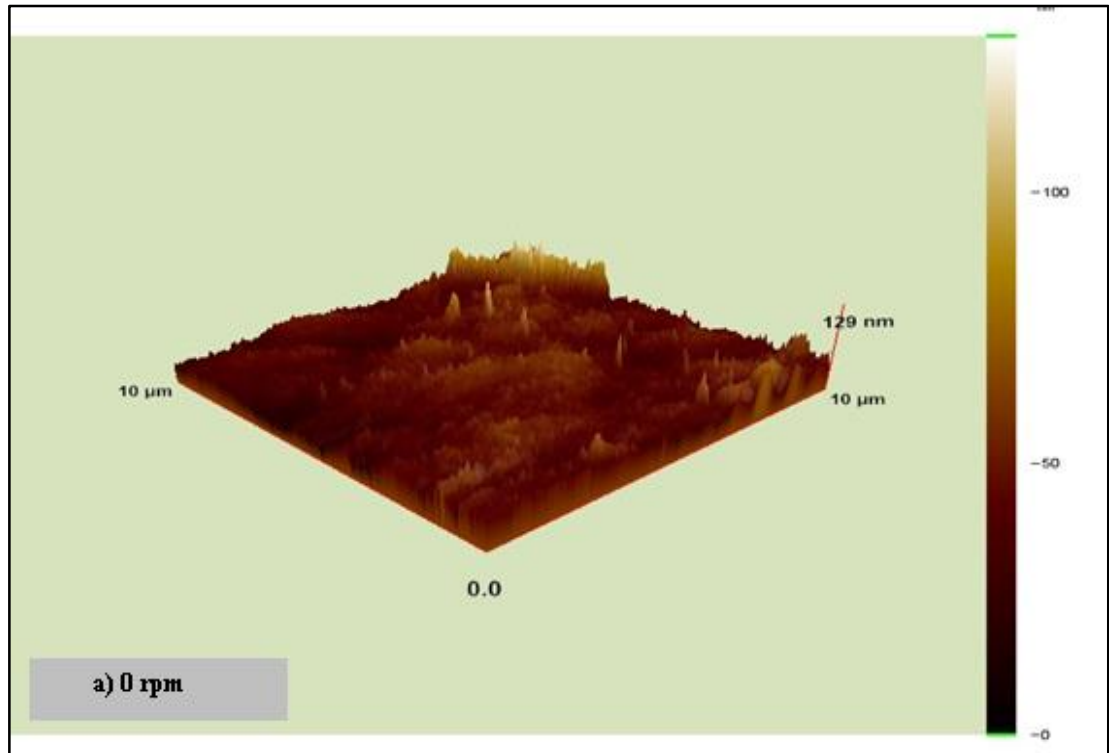
Alt tabakanın farklı dönme hızları dikkate alınarak üretilen FeCr alaşım ince filmlerinin, yüzey özelliklerinin nasıl değiştiğini incelemek için elde edilen SEM görüntüleri Şekil 4.9 (a) 'da ve Şekil 4.9 (b) 'de gösterilmiştir. Filmlerin üzerine büyütüldüğü alt tabakaya ait SEM görüntüsü ise daha önce Şekil 4.2 'de gösterilmiştir. Şekil 4.9 (a) 'da 0 RPM dönme hızı ile üretilen R FeCr 1 alaşım ince filminin yüzeyinin genel olarak anlaşılır ve karmaşık olmayan bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Bir başka ifadeyle, bu filmin yüzeyinde ana bölgeden farklı bir şekil oluşumu gözlenmemiştir. Şekil 4.9 (b) 'de ise 45 RPM dönme hızı ile üretilen R FeCr 2 alaşım ince filminin yüzeyinde, az sayıda ancak belirgin olan küresel tanecikli yapıların olduğu gözlenmiştir. Bu küresel tanecikli yapının ana bölgeden farklı, bağımsız yapılar olduğu ifade edilebilir. Sonuç olarak, SEM resimlerinden de anlaşılacağı üzere, alt tabakanın dönme hızındaki artış, film yüzeyinde az sayıda küresel tanecikli yapının oluşmasına neden olmuştur.



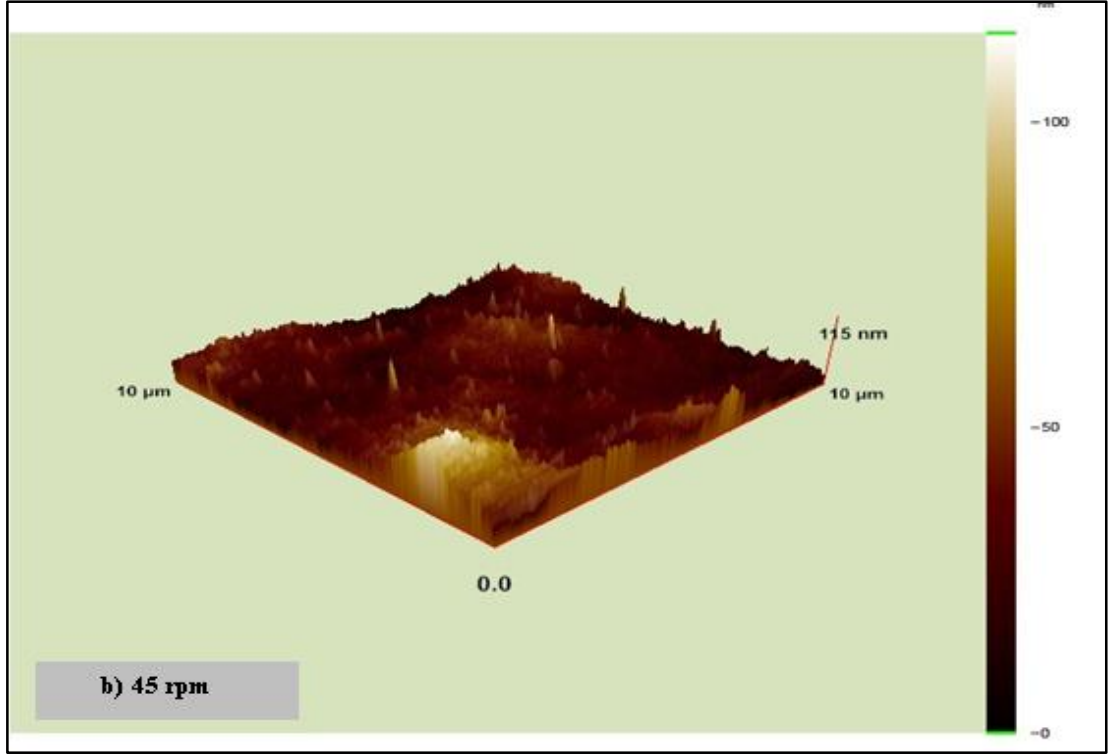
Şekil 4.9: Alt tabakanın farklı dönme hızlarının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin SEM görüntüleri
a) 0 RPM, **b)** 45 RPM.

4.2.4 Yüzey Pürüzlülük Analizi

Alt tabaka dönme hızlarının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin, yüzeyleri hakkında daha detaylı inceleme yapabilmek için yüzey morfoloji analizine ek olarak yüzey pürüzlülük analizi gerçekleştirildi. Yüzey pürüzlülük analizi için daha önceki seride yapıldığı gibi filmlerin AFM görüntüleri elde edildi. Alt tabakanın, düşük (0 RPM) ve yüksek (45 RPM) hızlarda döndürülmesi esnasında üretilen FeCr alaşım ince filmlerine ait AFM görüntüleri Şekil 4.10 'da verilmiştir. Bunun yanı sıra, filmlerin üzerine büyütüldüğü alt tabakaya ait AFM görüntüsü ise daha önceki bölümde Şekil 4.4 'te verilmişti. Filmlerin AFM görüntülerinden anlaşılacağı üzere, her iki filmin yüzeyinde, bir önceki seride gözlenen tanecikli yapılardan farklı olarak, film düzlemine dikey olarak beliren bir takım iğnemi yapılar meydana gelmiştir. Ayrıca, film yüzeylerinin genel olarak aynı yapıda olduğu söylenebilir. Buna ek olarak, alt tabakanın dönme hızı 45 RPM olarak ayarlandığında filmin yüzey pürüzlülüğünün bir miktar arttığı tespit edilmiştir. Bu durum, resimlere ait renk ölçeğinden anlaşılabilir. Şekil 4.10 incelendiğinde döner alt tabaka hızı arttırıldığında filmlerin yüzey pürüzlülüklerinin arttığı bulunmuştur. Sonuç olarak, alt tabakanın döndürülmesinin filmlerin yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.10: Alt tabakanın farklı dönme hızının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin AFM görüntüleri, **a) 0 RPM, b) 45 RPM.**



Şekil 4.10 (devam): Alt tabakanın farklı dönme hızının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin AFM görüntüleri, **b)** 45 RPM.

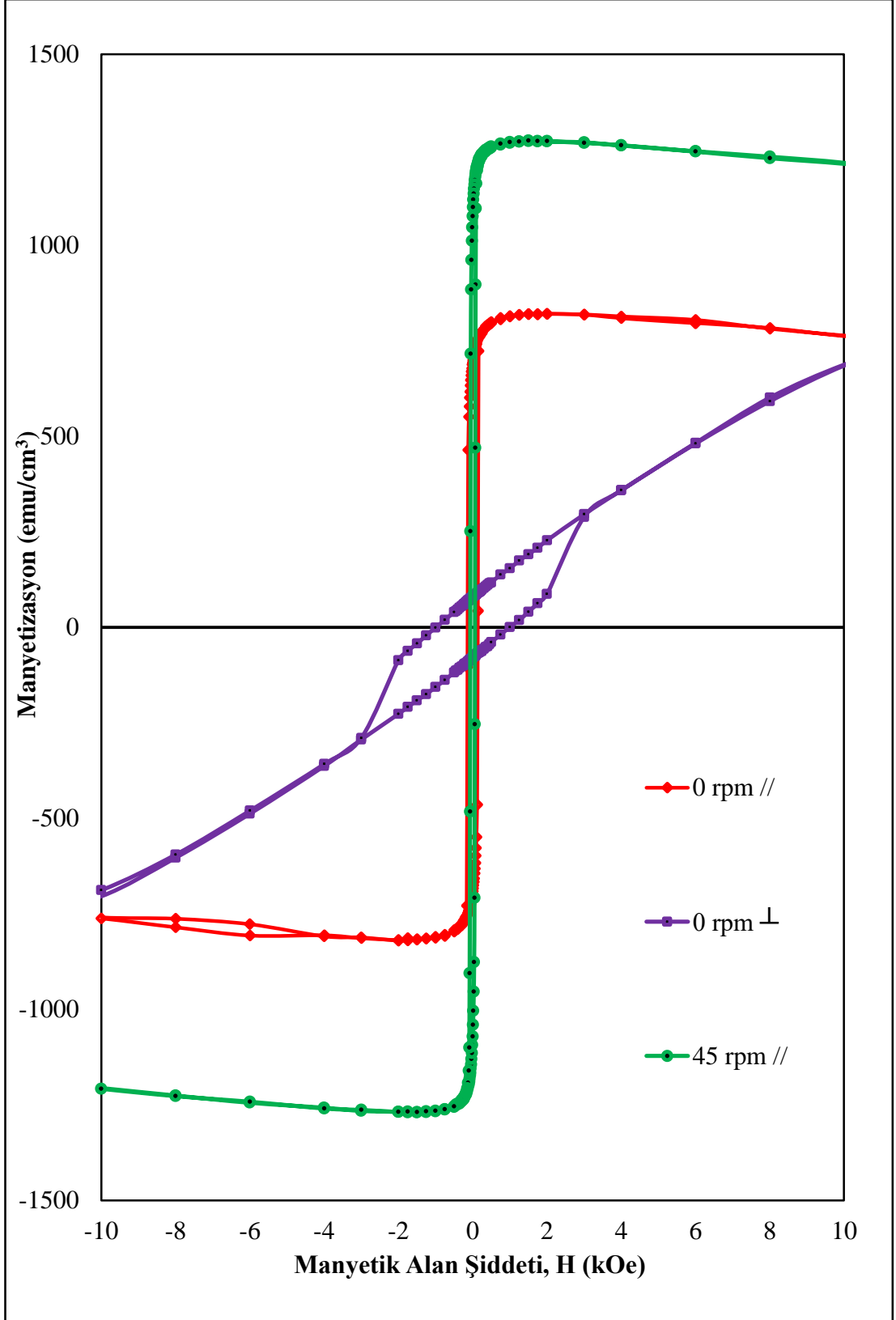
4.2.5 Manyetik Analiz

Alt tabakanın farklı dönme hızlarının FeCr alaşım ince filmlerinin manyetik özellikleri üzerindeki etkisini incelemek için elde edilen histeresis eğrileri Şekil 4.11 'de gösterilmiştir. Dış manyetik alanın ± 20 kOe değerinde film yüzeyine paralel ve dik uygulanması sonucu, üretilen filmlerin doyum manyetizasyonu (M_s), koersivite (H_c) ve kalıcı mıknatıslanma (M_r) değerleri tespit edilmiştir. Bu değerlerin, paralel ölçüme ait değerleri Tablo 4.6 'da verilmiştir. FeCr alaşım ince filmlerinin, alt tabakanın 0 RPM ve 45 RPM dönme hızlarındaki doyum manyetizasyon değerleri sırası ile 820 emu/cm^3 ve 1270 emu/cm^3 olarak bulunmuştur. Buna göre, alt tabakanın dönme hızındaki artış filmlerin doyum manyetizasyon değerlerinin artışına neden olmuştur. Başka bir ifadeyle, alt tabakanın dönme hızındaki artış, atomik Fe içeriğinin ve dolayısıyla doyum manyetizasyonun artmasına neden olmuştur. FeCr alaşım ince filmlerinin koersivitesi, döner alt tabaka hızının 0 RPM ve 45 RPM değerleri için sırası ile 64 Oe ve 137 Oe olarak tespit edilmiştir. Alt tabaka dönme hızının artışı, filmlerin koersivite değerlerinde bir artışa neden olmuştur.

Alt tabaka dönme hızının 0 RPM olduğu durumda üretilen filmin paralel histeresis eğrisi ile dik histeresis eğrisi karşılaştırmalı olarak Şekil 4.11 'de verilmiştir. Buna göre, paralel histeresis eğrisinin dik histeresis eğrisine göre yüksek bir kalıcı manyetizasyona ($M_{r \text{ paralel}} = 693 \text{ emu/cm}^3$, $M_{r \text{ dik}} = 80 \text{ emu/cm}^3$) ve düşük bir koersivite ($H_{c \text{ paralel}} = 64 \text{ Oe}$, $H_{c \text{ dik}} = 990 \text{ Oe}$) değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, manyetizasyonun kolay eksen yönünün film yüzeyine paralel olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, alt tabakanın farklı dönme hızları, manyetik özellikler üzerinde dikkate değer bir etki meydana getirmiştir.

Tablo 4.6: Alt tabakanın farklı dönme hızlarının etkisinin incelendiği FeCr Alaşım ince filmlerinin paralel ölçüm sonuçları.

Değişken Parametre Film Adı	Alt Tabaka Dönme Hızı (RPM)	M_s (emu/cm^3)	H_c (Oe)	M_r (emu/cm^3)
R FeCr 1	0	820	64	693
R FeCr 2	45	1270	137	1075



Şekil 4.11: Alt Tabakanın Farklı Dönme hızlarının etkisinin incelendiği FeCr alaşım ince filmlerinin histeresis eğrileri (// Paralel, ⊥ Dik).

5. SONUÇ

Bu çalışmada, püskürtme tekniği ile iki ayrı seri olarak FeCr alaşım ince filmleri üretilmiş ve bu filmlerin yapısal ve manyetik özellikleri üzerinde, farklı depozisyon hızlarının ve alt tabakanın farklı dönme hızlarının etkisi incelenmiştir.

İlk seride, filmlerin depozisyon hızları 0.03 nm/s' den 0.11 nm/s' ye değerine kademeli olarak artırılmıştır. Depozisyon hızı kademeli olarak arttırıldığında film bileşimindeki atomik Fe içeriğinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, depozisyon hızından bağımsız olarak filmlerin tamamının bcc yapıda olduğu ve depozisyon hızı arttıkça, elementel analiz sonuçlarına uygun olarak, bcc (110) pikinin şiddetinin arttığı tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak, depozisyon hızı değiştikçe kristal yapıya ait d ve t gibi parametrelerin bu değişimden etkilendiği bulunmuştur. SEM ve AFM kullanılarak yapılan yüzey analizine göre, üretim esnasında kullanılan farklı depozisyon hızlarının film yüzeyi üzerinde önemli değişikliklere neden olduğu tespit edilmiştir. Manyetik analiz sonucunda ise, depozisyon hızının artmasıyla, M_s , H_c ve M_r değerlerinde de bir artış meydana gelmiş ve filmlerin manyetik özellikleri depozisyon hızındaki değişimden ciddi oranda etkilenmiştir.

İkinci seride, alt tabakanın farklı dönme hızları 0 RPM ve 45 RPM olarak belirlenmiş ve dönme hızı arttıkça filmlerin bileşimindeki Fe içeriğinin bir miktar arttığı bulunmuştur. Kristal yapı analizinde ise incelenen bu filmlerin (110) düzlemini içeren bcc yapıya sahip olduğu bulunmuştur. Filmlerin yüzey analizi sonuçlarına göre, üretim esnasında alt tabakanın 45 RPM ile döndürülmesi, filmlerin yüzeyine bir etki yaparak yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı belirlenmiştir. Manyetik analiz sonuçları incelendiğinde, alt tabakanın dönme hızı 0 RPM değerinden 45 RPM değerine arttırıldığı zaman M_s , H_c ve M_r değerlerinde de bir artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, her iki seride üretilen filmler için, manyetik şekil anizotropisinden dolayı, manyetizasyonun kolay eksen yönünün film yüzeyine paralel olduğu bulunmuştur.

Yapılan bu çalışma sonucunda, depozisyon hızı ve alt tabakanın dönme hızı gibi püskürtme tekniğinin iki önemli üretim parametresinin, FeCr alaşım ince filmlerinin yapısal ve manyetik özellikleri üzerinde dikkate değer etkilerinin olduğu gösterilmiştir. Bu çalışma sonuçlarının, püskürtme tekniği ile üretilen manyetik ince filmlerin incelendiği çalışmalara katkıda bulunacağı öngörülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Çölmekçi, S., “Ni/Cu Çok Katmanlı İnce Filmlerin Püskürtme Tekniğiyle Üretilmesi ve Karakterizasyonu”, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Balıkesir, (2016).
- [2] Karpuz, A., “Fe-Cu Alaşım Filmlerin Büyütülmesi, Yapısal ve Manyetik Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Balıkesir, (2006).
- [3] Bilir, B., “Süperparamanyetik Kobalt Ferrit Nanoparçacıkların Sentezi ve Karakterizasyonu”, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Balıkesir, (2014).
- [4] Can, M.M., “Manyetik Nanoparçacıkların Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Ankara, (2005).
- [5] Eşiyok, M., “FeCl/Cu Süperörgülerin DC Püskürtme Metoduyla Hazırlanması, Manyetik ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi”, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Balıkesir, (2014).
- [6] Karaagac, O., “Optimum Doyum Manyetizasyonlu Süperparamanyetik Nanoparçacıkların Sentezi, Karakterizasyonu ve Enzim İmmobilizasyon Uygulaması”, Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Balıkesir, (2011).
- [7] Çelik, Y., “Kimyasal yöntemle büyütülen çinko oksit ince filmlerin yapısal, Optiksel ve elektriksel özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, (2005).
- [8] Prinz G. A., “Magnetoelectronics”, *Science*, 282, 5394, 1660-1663, (1998).

[9] Holz, M., Kronentwerth, O., Grundler, D., “Optimization of the extraordinary magnetoresistance in semiconductor-metal hybrid structures for magnetic-field sensor applications”, *Physica E*, 21, 2-4, 897, (2004).

[10] Coşkun, M.i., “DC Manyetik Alan Sıçratma Tekniği İle Üretilen Co₉₀Fe₁₀ Nano Filmlerin Yapısal ve Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Kilis, (2011).

[11] Dulal, S. M. S. I., Charles, E. A. and Roy, S., *Characterisation of Co-Ni(Cu)/Cu Multilayers deposited from a citrate electrolyte in a flow channel cell*, *Electrochimica Acta*, 49, 2041-2049, (2004).

[12] Sönmezoğlu, S., KOÇ, M., AKIN, S., “ İnce Film Üretim Teknikleri”, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Kamil Özdağ Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, *Karaman, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Bölümü, Konya, (2012).

[13] Bakkaloğlu, Ö. F., “A magnetic study of sputtered Fe/Cu multilayer films,” *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*”, 182, 3, 324-328, (1998).

[14] Schwarzacher, W., Attenborough, K., Michel, A., Nabiyouni, G. and Meier, J. P., “Electrodeposited nanostructures”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 165, 1-3, 23-29, (1997).

[15] Yaylacı E., “(PVD) Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi”, (2 Aralık 2012), <http://www.yupyaylaci.com/pvdfiziksel-buhar-biriktirme-yontemi/>, (2010).

[17] Diken S., “Co₉₀Fe₁₀ İnce Filmlerin Manyetik ve Yapısal Özelliklerine Altın Alt Tabaka Etkisi” Yüksek Lisans Tezi, *Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Kilis, (2013).

[18] Saları, M.A., “RF Magnetron Püskürtme Yöntemi ile ZnO:Al₂O₃ İnce Filmlerin Üretimi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisan Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Ankara ,(2012).

- [19] Tüzemen, E. Ş., “ZnO Filmlerinin Eldesi ve Aygıt Üretimi İçin Parametrelerinin Optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Adana, (2007).
- [20] Kuru, H., Kockar, H., Alper, M., “Characterizations of NiCu/Cu Multilayers: Dependence of Nonmagnetic Layer Thickness”, *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 26, 4, 779-784, (2013).
- [21] Akkera, H. S., Singh, I., Kaur, D., “Martensitic phase transformation of Magnetron sputtered nanostructured Ni-Mn-In ferromagnetic shape memory alloy thin films”, *Journal of Alloys and Compounds*, 642, 53-62, (2015).
- [22] Tong, L., Du, J., Pan, M., Lu, M., Feng, D., Chen, L., Jin, X. and Zhai, H., “Magneto-optical, optical and GMR effect in Ni-Co/Cu multilayers”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 198–199, 273–275, (1999).
- [23] Mansur, F., “Püskürtme Yöntemi İle Hazırlanan SnO₂ İnce Filmlerin Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Adana, (2007).
- [24] Danışman, M., “Manyetik Alanda Sıçratma Yöntemiyle Üretilen Ni-Cr Alaşımlarının Gerinim Ölçerlerde Kullanımı ve Uygulanması”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, (2011).
- [25] Brauer, G., Szyszka, B., Vergöhl, M., Bandorf, R., 2010. *Magnetron Sputtering – Milestones of 30 Years*. *Vacuum* 84, 1354-1359.
- [26] Dao, A. V., Le, T., Tran, T., Nguyen, H. C., Kim, K., Lee, J., Jung, S., Lakshminarayan, N., Yi, J., 2009. *Electrical and optical studies of transparent conducting ZnO:Al thin films by magnetron dc sputtering*. *J Electroceram* 23, 356-360.

[27] Martin, P. M., 2009. *Handbook of Deposition Technologies for Films and Coatings, Third Ed: Science, Applications and Technology*. ISBN: 978-0815520313, William Andrew, United States of America.

[29] Koç, H., “Sb₂S₃ ve SbI₃ Kristallerin Enerji Band Yapısı ve Optik Özellikleri: AB-İNİTİO (Temel Prensip) Hesaplamaları”, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Adana, (2010).

[30] Serway, R. A., Beichner, R. J., “Fen ve Mühendislik İçin Fizik 1,2,3”, *North Carolina State Üniversitesi*, (Çeviri: Prof. Dr. Kemal Çolakoğlu), Ankara: Palme Yayıncılık, (2011).

[31] Coşkun, S., “Manyetik Alanın İnsan Eritrosit Karbonik Anhidraz İzoenzimleri (hCA- I ve hCA-II) Üzerine İn Vitro Etkisi Araştırılması”, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Balıkesir, (2007).

[32] Çöktüren, E., “Ferromanyetik Filmlerde Oluşan Yüzey Manyetik Anizotropinin Nümerik Çözümlemesi”, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Edirne (2008).

[33] Şahin, T., “Elektrodepozisyon Tekniğiyle Üretilen Co ve CoFe Filmlerin, Yapısal ve Manyetodirenç Özelliklerinin İncelenmesi”, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Balıkesir, (2006).

[34] Karaagac Ö., “CoCu Alaşım Filmlerin Elektrodepozisyonu, Yapısal ve Manyetik Özellikleri Üzerine Depozisyon Parametrelerinin Etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Balıkesir, (2007).

[35] Özel, F., “Solvotermal Yöntemle Elde Edilen Demir Oleat Kullanarak Süperparamanyetik Demir Oksit Nanoparçacıklarının Sentezi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Balıkesir, (2009).

[36] Ağıl, H., “Bor Esaslı İntermetalik Bileşiklerin Manyetik, Yapısal ve Termal Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Ankara (2008).

[37] Ünal, S. M., “Doğal Kaynaklardan ve Atık Malzemelerden Stronsiyum Ferrit Mıknatıs Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul (2011).

[38] Kantarcı, N., “Sm_{1-x}Gd_xNi₄B Bileşiklerinin Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Adana, (2009).

[39] Akbaş, A. M., “Çinko- Oksit(ZNO) İnce Filmlerin Sentezlenmesi ve Fotovoltaik Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Nanoteknoloji ve Nanotıp Anabilim Dalı*, Ankara (2015).

[40] Başkurt, E., “Silisyum Karbür İnce Filmlerin Reaktif Doğru Akım Manyetik Alanda Sıçratma Yöntemiyle Üretimi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul (2010).

[41] Öztop, E., “Fiziksel Buhar Biriktirme Yöntemi İle Kaplanan Polimer Malzemelerin Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul (2006).

[42] Tozlu, N., “ZnO Tabanlı Yarıiletkenlerde Metal Kontak Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Adana, (2011).

[43] Karpuz, A., “Elektrodepozisyonla Büyütülen Ni-Co Filmlerinin Karakterizasyonu ve Manyetorezistans Davranışının İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Balıkesir, (2011).

[44] Özergin E., “Elektrodepozisyon Tekniği İle Büyütölen CoFeCu Filmlerin Yapısal, Manyetik ve Manyetodirenç Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Balıkesir, (2008).

[45] Yüzüak E., “Çok Tabakalı İnce Filmlerin Yapısal, Elektriksel, Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi ve Spintroniğe Uygulanması”, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, (2013).

[46] Demirbaş, Ö., “NiCoFe Filmlerin Elektrodepozisyon Tekniği İle Üretimi ve Depozisyon Parametrelerinin Karakterizasyonu Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, Balıkesir, (2008).

[47] Kuru, H., “Elektrodepozisyonla Sentezlenen NiFe Alaşım ve NiFeCu/Cu Süperörgülerin Yapısal, Manyetik ve Magnetotransport Karakterizasyonu”, Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, (2009).

[48] Cullity B. D., Stock S. R., *Elements of X-Ray Diffraction (Third Edition)*, New Jersey: Pearson Prentice Hall, (2001).

[49] Jiles D., *Introduction to Magnetism and Magnetic Materials*, USA: Chapman & Hall, (1996).