

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



PÜSKÜRTME YÖNTEMİYLE
AISI 202 VE AISI 304 ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİK KAYNAKLARDAN
ESNEK ALT TABAKALAR ÜZERİNDE BÜYÜTÜLEN
FeCrMn VE FeCrNi MARTENSİTİK İNCE FİMLERİN
YAPISAL VE MANYETİK KARAKTERİZASYONLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NADİR KAPLAN

BALIKESİR, OCAK – 2019

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



**PÜSKÜRTME YÖNTEMİYLE
AISI 202 VE AISI 304 ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİK KAYNAKLARDAN
ESNEK ALT TABAKALAR ÜZERİNDE BÜYÜTÜLEN
FeCrMn VE FeCrNi MARTENSİTİK İNCE FİLMLEİN
YAPISAL VE MANYETİK KARAKTERİZASYONLARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nadir KAPLAN

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

Doç. Dr. Mürşide HACIİSMAİLOĞLU

Doç. Dr. Hilal KURU

BALIKESİR, OCAK - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Nadir KAPLAN tarafından hazırlanan “PÜSKÜRTME YÖNTEMİYLE AISI 202 VE AISI 304 ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİK KAYNAKLARDAN ESNEK ALT TABAKALAR ÜZERİNDE BÜYÜTÜLEN FeCrMn VE FeCrNi MARTENSİTİK İNCE FİLMLEİN YAPISAL VE MANYETİK KARAKTERİZASYONLARI” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 09.01.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman

Prof. Dr. Hakan KÖÇKAR

Üye

Doç. Dr. Mürşide HACİSMAİLOĞLU

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

Prof. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

**Bu tez çalışması; Balıkesir Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
2016/132 No'lu araştırma projesi ile desteklenmiştir.**

ÖZET

**PÜSKÜRTME YÖNTEMİYLE
AISI 202 VE AISI 304 ÖSTENİTİK PASLANMAZ ÇELİK KAYNAKLARDAN
ESNEK ALT TABAKALAR ÜZERİNDE BÜYÜTÜLEN
FeCrMn VE FeCrNi MARTENSİTİK İNCE FİLMLERİN
YAPISAL VE MANYETİK KARAKTERİZASYONLARI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
NADİR KAPLAN
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK BÖLÜMÜ
TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. HAKAN KÖÇKAR
EŞ DANIŞMAN: DOÇ. DR. ALİ KARPUZ
BALIKESİR, OCAK – 2019**

Bu çalışmada; tek bir kaynak malzeme (AISI 304 ve AISI 202 östenitik paslanmaz çelik) aracılığıyla üretilen FeCrMn ve FeCrNi martensitik ince filmlerin farklı biriktirme hızlarının (0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s) ve alt tabakanın dönme hızlarının (0, 15, 30 ve 45 rpm) yapısal ve manyetik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Filmler ticari esnek polimer asetat alt tabakalar üzerine bir DC magnetron püskürtme yöntemi kullanılarak üretildi. Filmlerin kalınlığı 50 nm'dir. Biriktirme hızları, alt tabaka ile kaynak arasında oluşturulan DC akım değiştirilerek belirlendi. Alt tabakanın farklı dönme hızları, alt tabakayı döndüren elektrik motoruna uygulanan gerilim değiştirilerek belirlendi.

Enerji ayırmalı X-ışını spektrometrisi ile yapılan elementel analizlerde, filmlerin atomik içeriğinin biriktirme hızı ve alt tabakanın dönme hızından etkilendiğini göstermektedir. X-ışını kırınımı kullanılarak belirlenen kristal yapı, tüm filmlerin cisim merkezli tetragonal yapıya sahip olduğunu göstermiştir. Bu sebeple tüm filmlerin martensitik faza sahip olduğu düşünülmektedir. Tüm filmlerin, tane büyüklüğünün birikme hızının artmasıyla arttığı ve alt tabaka dönme hızının artmasıyla azaldığı bulunmuştur. Bir taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope, SEM) ile incelenen filmlerin yüzeylerinde, birikme hızının artması ile granül yapıların boyutlarının artmış olduğu, ancak alt tabaka dönme hızının artmasıyla azaldığı, böylece film yüzeylerin daha homojen olduğu belirlenmiştir. Bir atomik kuvvet mikroskobu ile yapılan diğer yüzey ölçümleri, tüm filmler için yüzeylerin analiz sonuçlarının SEM görüntüleri ile uyumlu olduğunu ortaya koymuştur. Bir titreşimli numune manyetometresi ile incelenen manyetik özelliklerde, tüm filmler için doyum manyetizasyonunun biriktirme hızı ve alt tabakanın dönme hızının artışıyla arttığı görülmüştür. FeCrMn filmlerinin koersivite değerleri artan biriktirme hızı ile arttığı, ancak artan alt tabaka dönme hızı ile azaldığı, dahası, FeCrNi filmlerin koersivite değerlerinin hem biriktirme hızı hem de alt tabakanın dönme hızının artışı ile arttığı bulunmuştur. Ayrıca, tüm filmlerin düzlem içi manyetik anizotropi göstermektedir.

FeCrNi ve FeCrMn martensitik ince filmlerin özelliklerinin esnek alt tabakalar üzerindeki elektrik ve elektronik cihazlar için üretim parametrelerini değiştirmek suretiyle kolayca kontrol edilebildiği görülmektedir.

ANAHTAR KELİMELELER: FeCrMn, FeCrNi, Alaşım İnce filmler, Martensitik Durum, Manyetik Özellikler, Yapısal Özellikler, DC Püskürtme Tekniği, Düşük Dönme Hızlarında RPM Metre.

ABSTRACT

STRUCTURAL AND MAGNETIC CHARACTERISATIONS OF FeCrMn AND FeCrNi MARTENSITIC THIN FILMS DEPOSITED ON FLEXIBLE SUBSTRATES FROM THE SOURCES OF AISI 202 AND AISI 304 AUSTENITIC STAINLESS STEEL USING SPUTTERING METHOD

M.SC. THESIS

NADİR KAPLAN

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

DEPARTMENT OF PHYSICS

SUPERVISOR: PROF. DR. HAKAN KÖÇKAR

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

BALIKESİR, JANUARY – 2019

In this study, the effects of different deposition rates (0.04, 0.06, 0.08, 0.10 and 0.12 nm/s) and rotation speeds (0, 15, 30 and 45 rpm) of substrate on structural and magnetic properties of FeCrMn and FeCrNi martensitic thin films produced via a single source material (AISI 304 and AISI 202 austenitic stainless steels) were investigated. The films were deposited on commercially flexible polymer acetate substrates by using a DC magnetron sputtering method. The thickness of the films was 50 nm. The deposition rates were determined by changing the DC current generated between the substrate and the source. The different rotational speeds of the substrate were also determined by varying the voltage applied to the electric motor that rotates the substrate.

Elemental analysis performed by energy dispersive X-ray spectrometry revealed that the atomic contents of the films were affected by deposition rate and substrate rotational speed. The crystal structure determined by using X-ray diffraction showed that all films have body-centred tetragonal structure. Therefore, it was considered that all films have martensitic phase. It was found that all films, the grain size increased with the increase of deposition rate and decreased with the increase of substrate rotation speed. In the surfaces of films examined with a scanning electron microscope (SEM), it is determined that increased of the sizes of the granular structures with the increased of the deposition rate, but decreased with the increase of substrate rotational speed, thus, the surfaces of films had occurred more homogeneous. Further surface measurements performed by an atomic force microscope disclosed that the analysis results of the surfaces for all films were compatible with SEM images. In the magnetic properties studied with a vibrating sample magnetometer showed that the saturation magnetization for the present films increased with the increase of the deposition rate and substrate rotational speed. It is found that the coercivity values the FeCrMn films increased with the increase of deposition rate but decreased with the increase of the substrate rotational speed, moreover, the coercivity values of the FeCrNi films increased with the increase of both of the deposition rate and substrate rotational speed. Also, it was found that all films showed that in-plane magnetic anisotropy.

It is seen that the properties of the FeCrNi and FeCrMn martensitic thin films can be easily controlled by changing production parameters for using in the development of potential electric and electronic devices on flexible substrates.

KEYWORDS: FeCrMn, FeCrNi, Alloy Thin Films, Martensitic Status, Magnetic Properties, Structural Properties, DC Sputtering Technique, RPM Meter at Low Rotational Speed.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	xiii
ÖNSÖZ	xv
1.GİRİŞ	1
2.KURAMSAL BİLGİLER	7
2.1 Manyetizma ve Manyetizmanın Temel Kavramları	7
2.2 Manyetik Maddelerin Sınıflandırılması	12
2.2.1 Diyamanyetik Maddeler ve Diyamanyetizma.....	13
2.2.2 Paramanyetik Maddeler ve Paramanyetizma	14
2.2.3 Antiferromanyetizma ve Ferrimanyetizma	15
2.2.4 Ferromanyetik Maddeler ve Ferromanyetizma	17
2.2.4.1 Ferromanyetik Madde Kristalindeki Bant Yapısı	17
2.2.5 Manyetizasyon Çevrimi (Histeresis).....	19
2.3 Manyetik Malzemelerde İzotropi ve Anizotropi Özelliği.....	21
2.4 Ferromanyetik Malzeme Sınırları	21
2.5 Malzemelerde Yapı Sistemleri.....	22
2.5.1 Paslanmaz Çelik Alaşımlar	23
2.5.2 Paslanmaz Çeliklerde Kristal Yapılar ve Manyetik Özellikleri.....	24
2.6 Adezyon ve Kohezyon Kuvveti	26
2.7 İnce Film Kaplama Yöntemleri.....	28
2.7.1 Fiziksel Buhar Biriktirme ile Kaplama Yöntemleri	29

2.7.2 Püskürtme (Sputtering) Tekniği.....	31
2.7.3 Püskürtme Tekniğinde Elektrik ve Manyetik Alan.....	32
3.DENEYSEL TEKNİKLER.....	34
3.1 Fiziksel Buharlaştırma Biriktirme Sistemi.....	34
3.2 DC Manyetik Alanda Püskürtme Sisteminin Kullanımı.....	44
3.3 İnce Filmlerin Üretilmesi	47
3.3.1 FeCrMn Alaşım İnce Filmlerin Üretimi	51
3.3.2 FeCrNi Alaşım İnce Filmlerin Üretimi	52
3.4 Filmlerin Analiz Teknikleri	53
3.4.2 Enerji Ayırmalı X-Işınları Spektroskopisi Analizi	54
3.4.3 X-ışınları Kırınımı.....	55
3.4.4 Taramalı Elektron Mikroskobu	57
3.4.5 Atomik Kuvvet Mikroskobu	59
3.4.6 Titreşimli Numune Manyetometresi	61
3.5 Fiziksel Buhar Biriktirme Sisteminin Geliştirilmesi.....	63
3.5.1 Vakumun İyileştirilmesi.....	63
3.5.2 Magnetrona Uyumlu Yeni Bir Hedef Tutucu Tasarımı	64
3.5.3 Döner Alt tabaka Otomatik Devir Ölçüm Ünitesinin Geliştirilmesi.....	65
4.BULGULAR VE TARTIŞMA.....	71
4.1 Alaşım Kaynak Malzemelerin Elementel Analizleri	72
4.2 İnce Filmlerin Elementel Analizleri.....	73
4.2.1 FeCrMn İnce Filmlerin Elementel Analizleri	73
4.2.1.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri	73
4.2.1.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri	74
4.2.2 FeCrNi İnce Filmlerin Elementel İçerik Analizleri	76
4.2.2.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri	76
4.2.2.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri	77
4.3 İnce Filmlerin Yapısal Analizleri.....	78
4.3.1 FeCrMn İnce Filmlerinin Yapısal Analizleri	78

4.3.1.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri	78
4.3.1.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri	80
4.3.2 FeCrNi İnce Filmlerinin Yapısal Analizleri.....	81
4.3.2.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri	81
4.3.2.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri	82
4.4 İnce Filmlerin Yüzey Analizleri	84
4.4.1 İnce Filmlerin SEM Analizleri.....	84
4.4.1.1 FeCrMn İnce Filmlerinin Morfolojik Yüzey Analizleri	85
4.4.1.1.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri	85
4.4.1.1.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri	87
4.4.1.2 FeCrNi İnce Filmlerinin Morfolojik Yüzey Analizleri.....	88
4.4.1.2.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri	88
4.4.1.2.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri	90
4.4.2 İnce Filmlerin AFM Analizleri	92
4.4.2.1 FeCrMn İnce Filmlerinin Topografik Yüzey Analizleri.....	92
4.4.2.1.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri	92
4.4.2.1.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri	96
4.4.2.2 FeCrNi İnce Filmlerinin Topografik Yüzey Analizleri	99
4.4.2.2.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri	99
4.4.2.2.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri	102
4.5 İnce Filmlerin Manyetik Analizleri.....	105
4.5.1 FeCrMn İnce Filmlerin Manyetik Analizleri	105
4.5.1.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri	105
4.5.1.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri	110
4.5.2 FeCrNi İnce Filmlerin Manyetik Analizleri.....	116
4.5.2.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri	116
4.5.2.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri	122
5.SONUÇ.....	130
6.KAYNAKLAR.....	134
7.EKLER.....	143

SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	: Açıklaması
M_S	: Doyum Manyetizasyonu (Saturation Magnetization)
H_C	: Koersivite Alanı (Coercivity Field)
M_r	: Kalıcı Manyetizasyon (Remanans Magnetization)
p^+	: Proton
n^0	: Nötron
e^-	: Elektron
m_p	: Proton Kütlesi
m_n	: Nötron Kütlesi
m_e	: Elektron Kütlesi
r_e	: Elektron Yörüngesinin Yarıçapı
π	: Pi Sabiti
m	: Birim Hacim Başına Düşen Manyetik Moment Sayısı
v_e	: Elektronun Hızı
ω_e	: Elektronun Yörüngesel Hızı
t	: Zaman
i_e	: Elektronun Oluşturduğu Akım
T_e	: Elektronun Periyodu
μ_e	: Manyetik Moment
A	: Elektronun Yörünge Hareketiyle Taradığı Alan
L_e	: Açısal Momentum
$\mu_{yörünge}$: Yörüngesel Momentumdan Kaynaklı Manyetik Moment
μ_{spin}	: Spin Açısal Momentumdan Kaynaklanan Manyetik Moment
μ_{toplam}	: Toplam Manyetik Moment
S	: Spin Açısal Momentumun Büyüklüğü
h	: Planck Sabiti
m	: Manyetik Moment Sayısı
M	: Manyetizasyon
\vec{M}	: Manyetizasyon Vektörü
V	: Hacim
H	: Manyetik Alan Şiddeti
B	: Manyetik Akı Yoğunluğu
I	: Akım
X	: Manyetik Alınganlık
$D\uparrow$: Spin-yukarı
$D\downarrow$: Spin-aşağı
E_F	: Fermi Enerjisi
μ	: Manyetik Geçirgenlik(Permabilite)
μ_r	: Bağlı Geçirgenlik

Simge	: Açıklaması
q_e	: Elektronun Yüğü
DBA	: Atomlar Arası Uzaklık (Distance of Between Atoms)
ARGE	: Araştırma Geliştirme
Å	: Angström
TMP	: Turbo Moleküler Pompa
P	: basınç (pressure)
atm	: Atmosfer Basıncı
sccm	: Standart Santimetreküp başına Kütle
mBar	: milibar
W	: Watt
mA	: miliamper
V	: Volt
DC	: Doğru Akım (Direct Current)
RF	: Radyo Frekans (Radio Frequency)
rpm	: revolutions per minute
ICP-AES	: Endüktif Eşleşmiş Plazma – Atomik Emisyon Spektrometresi
EDX	: Enerji Ayırmalı X-Işını Spektroskopisi
XRD	: Yapısal Analizi X-Işını Difraksiyonu
CuK_{α1}	: XRD’de kullanılan X-Işını
β_{1/2}	: Yarı Yükseklikteki Pik Genişliği
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
AFM	: Atomik Kuvvet Mikroskobu
VSM	: Titreşimli Numune Manyetometresi
ADC	: Analog-Dijital Çevirici (ADC, Analog-Digital Converter)
DAC	: Dijital-Analog Çevirici (DAC, Digital-Analog Converter)
Op-Amp	: Operasyonel yükseltici (operational ampilifier)
TFTLCD	: Thin Film Transistor Liquid-Crystal Display
NK	: Nadir Kaplan Sabiti
"	: saniye
at.	: atomik içerik
t	: kristal tanecik boyutu
d	: kristal düzlemler arası boşluk
a	: kristal örgü sabiti
fcc	: yüzey merkezli kübik (face centered cubic)
bcc	: cisim merkezli kübik (body centered cubic)
bct	: cisim merkezli tetragonal (body centered tetragonal)
Rq	: Karekök ortalama (Root Mean Square, RMS)
Ra	: Ortalama kök (Average Root, AR)
//	: paralel
⊥	: dik

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1: İlk Hard Disk [12] ve Son Hard Disk [13].	3
Şekil 1.2: Açısal mikro jiroskop yapısı [21].	4
Şekil 2.1: v_e hızı ile yörüngede dolanan bir elektron.	10
Şekil 2.2: Uygulanan manyetik alana göre diyamanyetik malzemelerin manyetizasyonu.	14
Şekil 2.3: Paramanyetik maddelerde a) Dış Manyetik Alanın ile Manyetizasyon b) Alınganlığın, (χ) Sıcaklıkla, (T) Değişimi	15
Şekil 2.4: Antiferromanyetik maddelerin manyetik alınganlıklarının, (χ) sıcaklıkla, (T) ile değişimi	16
Şekil 2.5: Manyetik malzemelerin manyetik moment dizilimi; (a) Ferromanyetizma, (b) Antiferromanyetizma, (c) Ferrimanyetizma.	17
Şekil 2.6: Stoner Modeli ile (a) Paramanyetik bant şeması ve (b) Ferrimanyetik bant yapısı.	18
Şekil 2.7: Manyetik maddelerde elektronik bant yapısı (a) Paramanyetik, (b) Ferrimanyetik ve (c) Ferromanyetik malzemede spinlerin gösterimi.	19
Şekil 2.8: Tipik bir histeresis ilmeği grafiği.	20
Şekil 2.9: Atomlar arası uzaklığa bağlı değiş-tokuş enerjisi sonucu ortaya çıkan antiferromanyetik ve ferromanyetik durum[2].	22
Şekil 2.10: Paslanmaz çeliklerde kristal örgü sistemleri (a) fcc yapı, (b) bct yapı.	26
Şekil 2.11: Buhar fazdan ince film yapılan kaplama yöntemlerinin şematik gösterimi [2, 4]	31
Şekil 2.12: DC manyetik alan püskürtme tekniği şematik görünümü [59].	33
Şekil 3.1: Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Nanomanyetik Malzeme Üretim Laboratuvarı.	34
Şekil 3.2: Rotary pompa şeması [55].	36
Şekil 3.3: TMP kesit görünümü.	36
Şekil 3.4: Atmosferdeki parçacıkların sıklıkları (a) $P = 1$ atm, (b) $P < 1$ atm ve (c) $P \ll 1$ atm değerlerde.	37

Şekil 3.5:	Basınç sensörü.	38
Şekil 3.6:	Magnetronlar ve kalınlık (thickness) sensörü.	39
Şekil 3.7:	Fiziksel buhar biriktirme sistemi kontrol paneli.	40
Şekil 3.8:	Kilitleme kontrolörü.	40
Şekil 3.9:	Ana anahtar panosu.	41
Şekil 3.10:	DC güç destek sistemi.	41
Şekil 3.11:	Kalınlık monitörü.	42
Şekil 3.12:	Gaz akış kontrol panosu.	42
Şekil 3.13:	Basınç monitörü.	43
Şekil 3.14:	Alt tabaka kontrol paneli.	43
Şekil 3.15:	Döner alt tabaka otomatik dakikada devir görüntüleyici.	44
Şekil 3.16:	Işık mikroskobu ile 150 kez büyütülmüş mikrofiber bez görüntüsü.	45
Şekil 3.17:	Ultrasonik temizleme makinesi.	46
Şekil 3.18:	Magnetronun yüzeyi (a) ve Montaj sonrasında koruyucu (b) ile birlikte görünümü.	47
Şekil 3.19:	Tipik ICP Kaynağı: A plazma hamlacı; B ise, plazma yönünde yüksek enerjili numune çıkışını göstermektedir [63].	53
Şekil 3.20:	EDX analizi detektörün şematik gösterimi.	54
Şekil 3.21:	Mükemmel bir kristal düzleminde X-ışınları kırınımı.	55
Şekil 3.22:	XRD'nin bir fotoğrafı.	57
Şekil 3.23:	SEM'in şematik gösterimi.	58
Şekil 3.24:	SEM & EDX'in bir fotoğrafı.	59
Şekil 3.25:	AFM'nin şematik gösterimi.	59
Şekil 3.26:	AFM'nin bir fotoğrafı.	60
Şekil 3.27:	VSM'in şematik gösterimi.	61
Şekil 3.28:	VSM sisteminin genel görünümü (a) Kontrol Bilgisayarı ve Kontrol Ünitesi, (b) Titreştirici ve Elektromıknatıs.	63
Şekil 3.29:	Yeni kılavuz parçanın teknik çizimi.	64
Şekil 3.30:	Yeni kaynak malzeme tutucu parçanın teknik çizimi.	65
Şekil 3.31:	Yeni silindirik sinyal üretici tasarımı.	67

Şekil 3.32:	Döner alt tabaka otomatik devir ölçüm sistemi.	68
Şekil 3.33:	Döner alt tabaka otomatik ölçüm sistemi algılayıcı aparatı.	69
Şekil 3.34:	Algılayıcı aparat sabitleme kaidesi bilgisayar destekli kesim taslağı.	69
Şekil 3.35:	Döner alt tabaka otomatik devir ölçüm sistemi görüntüleyici ünitesi çalışma anından bir fotoğraf.	70
Şekil 4.1:	Farklı biriktirme hızlarında FeCrMn filmlerinin ve alt tabakanın XRD desenleri.	79
Şekil 4.2:	Farklı döner alt tabaka hızlarında FeCrMn filmlerinin ve alt tabakanın XRD desenleri.	80
Şekil 4.3:	Farklı biriktirme hızlarında FeCrNi filmlerinin ve alt tabakanın XRD desenleri.	82
Şekil 4.4:	Farklı döner alt tabaka hızlarında FeCrNi filmlerinin XRD desenleri.	83
Şekil 4.5:	SEM kullanılarak elde edilen alt tabakanın görüntüsü.	84
Şekil 4.6:	SEM kullanılarak elde edilen (a) 0.04, (b) 0.06, (c) 0.08, (d) 0.10, (e) 0.12 nm/s biriktirme hızlarında üretilen FeCrMn ince filmler ve (f) alt tabaka görüntüleri.	86
Şekil 4.7:	SEM kullanılarak elde edilen (a) 0, (b) 15, (c) 30, (d) 45 rpm değerlerindeki döner alt tabaka hızlarında üretilen filmlerin FeCrMn ince filmler ve (e) alt tabakanın görüntüleri.	87
Şekil 4.8:	SEM kullanılarak elde edilen (a) 0.04, (b) 0.06, (c) 0.08, (d) 0.10, (e) 0.12 nm/s biriktirme hızında üretilen FeCrNi ince filmler ve (f) alt tabaka görüntüleri.	89
Şekil 4.9:	SEM kullanılarak elde edilen (a) 0, (b) 15, (c) 30, (d) 45 rpm değerlerindeki döner alt tabaka hızlarında üretilen FeCrNi ince filmler ve (e) alt tabaka görüntüleri.	90
Şekil 4.10:	AFM ile elde edilen alt tabakanın morfolojik görüntüsü.	92
Şekil 4.11:	AFM kullanılarak elde edilen (a) alt tabaka, (b) 0.04, (c) 0.06, (d) 0.08, (e) 0.10 ve (f) 0.12 nm/s biriktirme hızlarında üretilen filmlerin yüzey morfolojik görüntüleri.	94
Şekil 4.12:	AFM kullanılarak elde edilen (a) alt tabaka, (b) 0.04, (c) 0.06, (d) 0.08, (e) 0.10 ve (f) 0.12 nm/s biriktirme hızlarında üretilen filmlerin histogram grafikleri.	95
Şekil 4.13:	AFM kullanılarak elde edilen, (a) 0, (b) 15, (c) 30, (d) 45 rpm değerlerindeki döner alt tabaka hızlarında üretilen filmlerin ve (e) alt tabaka morfolojik görüntüleri.	97

Şekil 4.14:	AFM kullanılarak elde edilen, (a) 0, (b) 15, (c) 30, (d) 45 rpm değerlerindeki döner alt tabaka hızlarında üretilen filmlerin ve (e) alt tabaka histogram grafikleri	98
Şekil 4.15:	AFM kullanılarak elde edilen a) alt tabaka, b) 0.04, c) 0.06, d) 0.08, e) 0.10 ve f) 0.12 nm/s biriktirme hızlarında üretilen FeCrNi filmlerin morfolojik görüntüleri..	100
Şekil 4.16:	AFM kullanılarak elde edilen (a) alt tabaka, (b) 0.04, (c) 0.06, (d) 0.08, (e) 0.10 ve (f) 0.12 nm/s biriktirme hızlarında üretilen FeCrNi filmlerin histogram grafikleri.	101
Şekil 4.17:	AFM kullanılarak elde edilen (a) 0, (b) 15, (c) 30, (d) 45 rpm değerlerindeki döner alt tabaka hızlarında üretilen FeCrNi filmlerin ve e) alt tabaka morfolojik görüntüleri.	103
Şekil 4.18:	AFM kullanılarak elde edilen a) 0, b) 15, c) 30, d) 45 rpm değerlerindeki döner alt tabaka hızlarında üretilen filmlerin ve e) Alt tabaka histogram grafikleri.	104
Şekil 4.19:	VSM kullanılarak elde edilen 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s biriktirme hızlarında üretilen FeCrMn filmlerin paralel histeresis eğrileri.	105
Şekil 4.20:	VSM kullanılarak elde edilen 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s biriktirme hızlarında üretilen FeCrMn filmlerin Ms ve Hc değerleri.	107
Şekil 4.21:	VSM kullanılarak elde edilen 0.08 nm/s biriktirme hızında üretilen FeCrMn ince filmin manyetik alana paralel ve dik histeresis eğri grafikleri.	108
Şekil 4.22:	VSM kullanılarak elde edilen 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s biriktirme hızında üretilen FeCrMn ince filmlerin dik histeresis grafikleri.	109
Şekil 4.23:	VSM kullanılarak elde edilen 0, 15, 30, 45 rpm hızlarında üretilen FeCrMn ince filmlerin paralel histerezis grafikler.	111
Şekil 4.24:	VSM kullanılarak elde edilen 0, 15, 30 ve 45 rpm dönme hızlarında üretilen FeCrMn ince filmlerin paralel Ms ve Hc değerleri.	112
Şekil 4.25:	VSM kullanılarak elde edilen döner alt tabakanın 0, 15, 30 ve 45 rpm hızlarında üretilen FeCrMn ince filmlerin dik histeresis grafikleri.	113
Şekil 4.26:	VSM kullanılarak elde edilen döner alt tabakanın 45 rpm hızında üretilen FeCrMn filminin manyetik alana paralel (//) ve dik (⊥)elde edilen histeresis eğri grafikleri.	114
Şekil 4.27:	VSM kullanılarak elde edilen döner alt tabakanın 45 rpm hızında üretilen FeCrMn filminin manyetik alana paralel 0°, 30°, 60° ve 90° açılarda paralel ölçülen histeresis grafikleri.	115

Şekil 4.28:	VSM kullanılarak elde edilen döner alt tabakanın 45 rpm hızında üretilen FeCrMn filminin manyetik alana paralel 0°, 30°, 60° ve 90° açılarda Ms ve Hc değerleri.	116
Şekil 4.29:	VSM kullanılarak elde edilen 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s biriktirme hızında üretilen FeCrNi filmlerin paralel histeresis eğrileri.	117
Şekil 4.30:	VSM kullanılarak elde edilen biriktirme hızları 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s hızlarında üretilen FeCrNi filmlerin Ms ve Hc değerleri.	119
Şekil 4.31:	VSM kullanılarak elde edilen 0.08 nm/s biriktirme hızında üretilen FeCrNi filminin manyetik alana paralel ve dik histeresis eğri grafikleri.	120
Şekil 4.32:	VSM kullanılarak biriktirme hızları 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s hızlarında üretilen FeCrNi filmlerin film düzlemine dik elde edilen histeresis grafikleri.	121
Şekil 4.33:	VSM kullanılarak elde edilen döner alt tabakanın 0, 15, 30, 45 rpm hızlarında üretilen FeCrNi filmlerin paralel histeresis eğri grafikleri.	122
Şekil 4.34:	VSM kullanılarak elde edilen döner alt tabakanın 0, 15, 30, 45 rpm hızlarında üretilen FeCrNi filmlerin paralel Ms ve Hc Değerleri.	124
Şekil 4.35:	VSM kullanılarak elde edilen döner alt tabakanın 45 rpm dönme hızında üretilen FeCrNi filminin dik ve paralel histeresis eğri grafikleri.	125
Şekil 4.36:	VSM kullanılarak elde edilen döner alt tabakanın 0, 15, 30, 45 rpm hızlarında üretilen filmlerin dik histeresis eğri grafikleri.	125
Şekil 4.37:	VSM kullanılarak elde döner alt tabakanın 45 rpm dönme hızında üretilen FeCrNi filminin manyetik alana paralel 0°, 30°, 60° ve 90° açılarda elde edilen histeresis eğri grafikleri.	127
Şekil 4.38:	VSM kullanılarak elde döner alt tabakanın 45 rpm dönme hızında üretilen FeCrNi filmlerin manyetik alana paralel 0°, 30°, 60° ve 90° açılarda Ms ve Hc değerleri.	128

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1:	Farklı biriktirme hızları incelenen FeCrMn filmlerinin üretim parametreleri.....	51
Tablo 3.2:	Döner alt tabakanın farklı hızları incelenen FeCrMn filmlerinin üretim parametreleri.	51
Tablo 3.3:	Farklı biriktirme hızları incelenen FeCrNi filmlerinin üretim parametreleri.....	52
Tablo 3.4:	Döner alt tabakanın farklı hızları incelenen FeCrNi filmlerinin üretim parametreleri.	52
Tablo 4.1:	Ticari edinilen kaynak malzemelerin atomik içerikleri.....	72
Tablo 4.2:	Farklı biriktirme hızlarındaki FeCrMn filmlerinin elementel analiz verileri.	74
Tablo 4.3:	Farklı döner alt tabaka hızlarında üretilen FeCrMn filmlerin elementel analiz verileri.	75
Tablo 4.4:	Farklı biriktirme hızlarındaki FeCrNi filmlerinin elementel analiz verileri.....	76
Tablo 4.5:	Farklı döner alt tabaka hızlarında üretilen FeCrNi filmlerinin elementel analiz verileri.	77
Tablo 4.6:	Farklı biriktirme hızlarındaki FeCrMn filmlerinin FeCrMn filmlerin paralel manyetik özelliklerinin değerleri.	107
Tablo 4.7:	Farklı biriktirme hızlarındaki FeCrMn filmlerinin dik manyetik özelliklerinin değerleri.....	110
Tablo 4.8:	Farklı döner alt tabaka hızlarındaki FeCrMn filmlerinin paralel manyetik özelliklerinin değerleri.....	111
Tablo 4.9:	Farklı döner alt tabaka hızlarındaki FeCrMn filmlerinin dik manyetik özelliklerinin değerleri.....	113
Tablo 4.10:	Farklı biriktirme hızlarındaki FeCrNi filmlerinin paralel manyetik özelliklerinin değerleri.....	118
Tablo 4.11:	Farklı biriktirme hızlarındaki FeCrNi filmlerinin dik manyetik özelliklerinin değerleri.....	122
Tablo 4.12:	Farklı biriktirme hızlarında FeCrNi filmlerinin dik manyetik özelliklerinin değerleri.....	123

Tablo 4.13: Farklı döner alt tabaka hızlarında FeCrNi filmlerinin paralel manyetik özelliklerinin değerleri.....	126
Tablo 4.14: AISI 202 ve AISI 304 kaynak kullanılarak elde edilen FeCrMn ve FeCrNi ince filmlerin tüm üretim parametreleri ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması.....	129

ÖNSÖZ

Bilimsel ve akademik kariyerimin en önemli basamaklarından birini tamamladığım bu çalışmanın gerçekleşmesi sürecinde ihtiyaç duyduğum her anda desteğini esirgmeden paylaşılan değerli danışmanım Prof.Dr. Hakan KÖÇKAR'a çok teşekkür ederim.

Bu çalışma süresince elde edilen filmlerin özelliklerinin incelenmesinde, SEM ve EDX analizleri için Konya Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji, Araştırma ve Uygulama Merkezi'ne, XRD ve AFM analizleri için Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne, ayrıca, yapısal analizlerin gerçekleştirilmesi ve diğer çalışmalarımı gerçekleştirirken katkılarından dolayı eş danışmanım Doç.Dr. Ali KARPUZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmamın tüm aşamalarında Balıkesir Üniversitesi, Fizik Bölümü'nden, ihtiyaç duyduğum her anda; bilgi ve deneyimlerini benimle esirgmeden paylaşılan Doç.Dr. Öznur KARAAĞAÇ'a, özellikle manyetik analizlerin yapılması ve yorumlanması sürecinde, bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşılan Doç.Dr. Hilal KURU'ya, gerek püskürtme sisteminin kullanımında ve film üretim çalışmalarında gerekse diğer tüm çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübelerini esirgmeden benimle paylaşılan Uzm. Mehmet UÇKUN'a ayrı ayrı teşekkür ederim.

Çalışmam süresi içinde, ihtiyacımız doğrultusunda laboratuvarımıza kazandırmış olduğumuz Otomatik Devir Ölçüm Ünitesinin geliştirilmesi sürecinde; bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşılan Balıkesir Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden Üyesi Yar. Doç.Dr. Serhat KÜÇÜKDERMENCİ ile imkânlarını benimle paylaşılan öğrencilerine teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmaya BAP 2016/132 no'lu proje ile destek olan Balıkesir Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi'ne ve Fiziksel Buhar Biriktirme Sistemi ile Titreşimli Numune Manyetometre sistemlerinin alınmasına 2005K120170'nolu proje ile destek olan Devlet Planlama Teşkilatı'na teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bu süreçte, görev yapmakta olduğum Balıkesir Devlet Hastanesi, Anesteziyoloji Kliniği'ndeki çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Bu süreçte, bu satırları yazarken aklıma gelmeyen, en küçük katkıda dâhi bulunan herkese teşekkür ederim.

Her zaman olduğu gibi, çalışmalarım süresince de yanımda olan aileme, özellikle de bu yoğun tempoda istemeden zahmet vermeme rağmen, desteğini katlayarak sürdüren Sevgili Annem, Ziyneti KAPLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Balıkesir, Ocak 2019

Nadir KAPLAN

1.GİRİŞ

İlk çağlardan günümüze insanoğlu sürekli bir arayış içindedir. Çoğunlukla bu arayışın ana sebebi dönemin insanların ihtiyaçlarına yönelik olmasıyla birlikte teknolojik anlamda da gelişim yine insanoğlunun ihtiyaçlarına göre şekillenmiştir. Tüm insanlık tarihi boyunca devam eden teknolojik gelişimin 19. yüzyılda ivmelenmesi hiç şüphesiz bazı dönüm noktası olan buluşların gerçekleşmesi sayesinde olmuştur.

On dokuzuncu yüzyılın sonlarına gelindiğinde James Clerk Maxwell tarafından elektrik ve manyetizma tek bir çatı altında toplanmıştır. Devam eden yıllarda da bu, başta elektrik enerjisinin insanlık yararına kullanılmasını konu eden bilimlerde bir dönüm noktası olmuş olup, yirminci yüzyılın başlarında bu alandaki çalışmaların ivmelendiği, yirmi birinci yüzyıla gelindiğinde ise bu teknolojik çalışmalar iyiden iyiye en üst seviyeye çıktığı iyi bilinen bir gerçektir. Günümüzde ortaya çıkan yeni ihtiyaçlarla birlikte; maddenin alışık olduğumuz boyutlarında gözlenemeyen bazı özelliklerinin ancak çok küçük olan nanometre (nm) mertebelerinde gözlenebilmesi bilim insanlarını bu alanda daha çok çalışmalar yapmaya sevk etmiştir [1-3]. Böylelikle nano teknolojinin gelişmesi başlamıştır.

Bir malzemenin hacmini oluşturan üç boyuttan (x, y, z) en az birinin milimetrenin dörtte birinin altına indirgenmesiyle elde edilen kalınlıktaki malzeme folyo adıyla anılmaktadır. Bu durum malzemenin kalınlığı 5 µm olana kadar devam etmektedir. Malzemenin kalınlığı 5 µm ile 500 nm arasında ise film ismini alır. Bu filmlerin kalınlıkları yaygın olarak; 500 nm ile 10 nm arasında ise ince film, dahası, bu filmler 10 nm kalınlığın da altında ise ultra ince film adıyla anılmaktadır [4-5].

Malzeme boyutunun atom altı boyutlara atfedilen kuantum boyutuna indirgenmesi günümüz teknolojisinde mümkün değildir. Ancak malzeme boyutlarından yalnızca birinin kuantum boyutlarına yaklaştırılması sonucu malzemede ortaya çıkan yeni özellikler; kuantum boyutlarında malzemenin farklı özellikler gösterebileceği fikrinin bir yansıması olarak ifade edilebilir. Bir malzemenin özellikleri (fiziksel, kimyasal, mekanik vb.) üç boyuttan yalnızca birinin küçültülmesiyle makro ölçekteki göre farklılıklar sergilemektedir. Örneğin, herkes tarafından bilinen altın (Au) sarı renkli

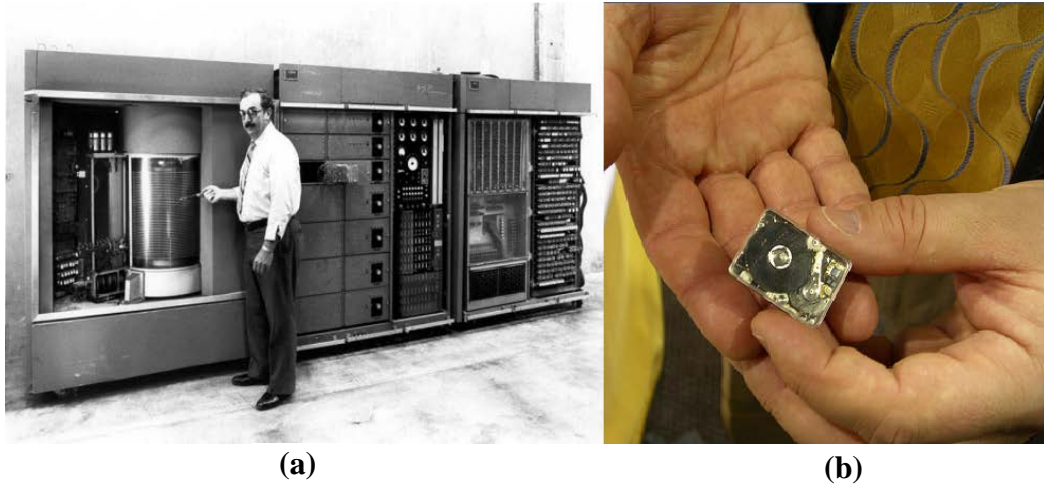
görülen değerli bir metaldir. Ancak bunun yanı sıra çok küçük boyutlara indirgenerek elde edilen altın nanoparçacıklar ise kırmızı renkli görülmektedir [6].

Manyetik malzemelerin kuantum boyutlarına yakın nano boyutlarda üretilebilmesi manyetik özelliklerinde de farklılıklar gözlenmesini mümkün hâle getirmiştir [7]. Zaman içinde, ortaya çıkan ürünler sıra dışı özellikler gösterdiğinden nanoteknolojiye olan ilgi giderek artmış ve aynı zamanda bu alanda yapılan bilimsel çalışmalar ivme kazanmıştır. Böylelikle nanomanyetik malzeme biliminin önü açılmıştır. Malzeme boyutu, günlük hayatta sıklıkla kullanılan bazı elektronik eşyaların boyutuyla da doğrudan ilişkilidir. Sıklıkla bilgi depolama sistemlerinde kullanılmakta ve manyetik malzemenin boyutu küçüldükçe daha az alana daha çok bilgi depolanmasını mümkün hâle getirmektedir. Böylelikle, bu malzemelerle yapılan cihazların ve dolayısıyla eşyaların da boyutları doğrudan etkilenecek şekilde küçülmektedir. Sadece kullanılan bu eşyaların değil, aynı zamanda manyetizmanın merkezde yer aldığı farklı uygulama alanlarının da önünü açmaktadır. Örneğin, manyetik nanoparçacıklar kullanılarak önceki tekniklerden daha yüksek çözünürlükte tıbbi görüntülemeler ya da diğer biyolojik uygulamalar da yapılabilmektedir [1, 7-8].

Malzemenin boyutunun nanometre mertebesine indirgenmesinin bir başka avantajı ise daha az enerji tüketimidir ki bu nanomanyetik malzemelerin enerji açısından da daha verimli olduğunu göstermektedir [9-10]. Manyetik malzemelerin farklı uygulamalardaki ihtiyaçlara göre nanometre mertebesindeki boyutlarda farklı manyetik özellikleri ve buna ek olarak daha verimli özelliklerde talep edilmeleri bilimsel araştırmalarda çalışılan konuların odağında bulunmalarını açık bir şekilde ortaya koyar.

Manyetik kayıt sistemlerinin yapısında bilgi depolamada kullanılan katmanlı yapılar kadar elektromanyetik dönüştürücü kısımlarında da alaşım malzemeler kullanılmaktadır. Bir sabit diskte bilgi, dönen diskler üzerine kaplanmış katmanlı manyetik malzeme üzerine yine manyetik malzemedan üretilmiş okuma-yazma başlıkları aracılığıyla yazılarak depolanmakta ve okunmaktadır. Bu malzemelerin geliştirilme çalışmaları sayesinde daha çok bilginin daha küçük yerde depolanması mümkündür. Aynı zamanda dönme hareketini sağlayan elektromanyetik sistem bileşeninde de manyetik alaşım malzeme bulunmaktadır. Bu malzemenin manyetik davranışları, temelinde manyetizma kullanılan cihazın tamamını etkileyen önemli bir

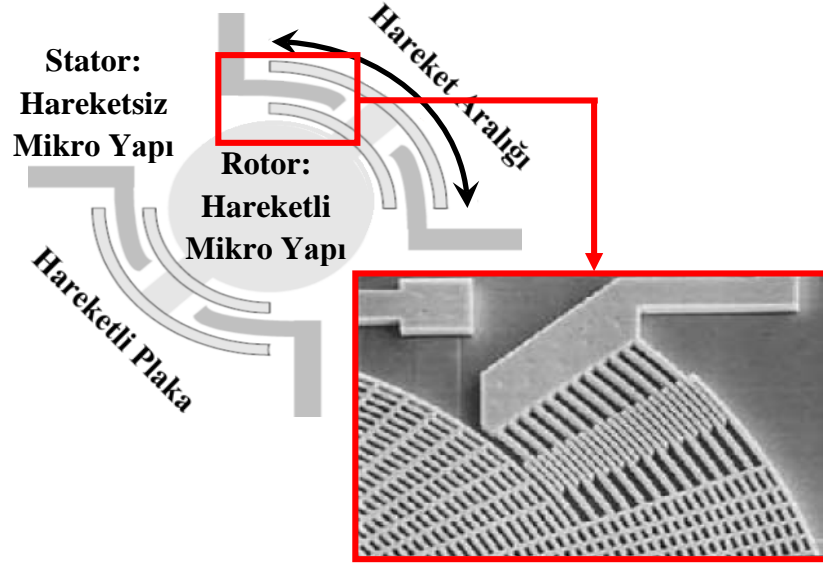
konudur. Bu sebeple elektromanyetik hareketli sistemin manyetik özellikleri de ayrıca önemli hâle gelmektedir. Bu sistemlerde kullanılan manyetik malzemelerin manyetik davranışları tükettikleri enerji açısından da oldukça önemlidir [9]. Yapısında elektromanyetik bir bileşenin bulunduğu tüm cihaz veya sistemlerde enerji tüketiminin büyük oranını elektromanyetik dönüştürücüler (adım motorlar vb.) üstlenmektedirler [11]. Bu kapsamda Şekil 1.1’de IBM (International Business Machines; Uluslararası İş Makineleri) tarafından geliştirilen ilk sabit disk (a) [12] ile TOSHIBA tarafından geliştirilmiş son sabit disk (b) [13] gösterilmiştir. Çünkü katı hâl disklere (solid state disc, SSD) kıyasla hard disklerde (hard drive disc, HDD) dönme hareketi için gerekli bir elektrik motorunun yapısında bulunması enerji tüketimi açısından bakıldığında verimliliği düşürdüğü bilinmektedir. Bu sebeple diğer rakip firmalar SSD’lerin boyutunu daha da küçültüp kapasitesini arttırınca TOSHIBA firması da bu mini HDD’nin üretimini durdurmuştur [14].



Şekil 1.1: İlk Hard Disk [12] ve Son Hard Disk [13].

Bilgi depolama teknolojisi dâhilinde cihazların geliştirilmesi hâlâ oldukça önem arz eden çalışma alanlarından biridir. Ancak diğer taraftan, mikro ve nano elektromekanik sistemler bilgi toplama teknolojisinde de oldukça önemli yer tutmaktadırlar. Bu sebeple, nano elektromekanik sistemlerin geliştirilmesi için farklı elementlerin birleşimleri kullanılarak hazırlanan manyetik nanoyapıların manyetik ve yapısal özelliklerinin belirlenmesi de oldukça önemlidir. Özellikle birikme hızı, dönme hızı ve alt tabaka tipine ait bazı üretim parametreleri üretilen nano boyutlu manyetik malzemenin istenen özelliklerini elde etmek için oldukça önemlidir [15-20].

Manyetik kayıt sistemlerine, son yıllarda kullanımı oldukça azalan, hatta sadece koleksiyonlarda yer bulabilen ses ve video manyetik bantları ile disket sürücüler için tasarlanmış manyetik disketler başlıca örnekler olarak gösterilebilir. Diğer taraftan, günlük hayatta sıklıkla karşılaşılan birçok cihazda da manyetik malzemeler kullanılmaktadır. Hâlen insanların sıklıkla kullanmakta olduğu bilgisayar sabit diskleri, bu diskleri okumak ve yazmakta kullanılan başlıkların yanı sıra tablet ve cep telefonlarının konumlarının basit bir el hareketiyle değişmesiyle birlikte ekranlarının da eş zamanlı yön değiştirmesini sağlayan mikro elektromekanik aç sensörü mikro manyetik malzemelerin günlük hayatta karşılaşılan uygulamalarına bir örnektir. Şekil 1.2’de, mikro elektromekanik bir sistemin yapı şeması ve bir taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen bir görüntüsü kesiti birlikte sunulmuştur [21].



Şekil 1.2: Açısal mikro jiroskop yapısı [21].

İnsanoğlunun bu teknolojileri daha da geliştirebilmesi, teknolojik gelişmelerle uyum içerisinde olabilmesine bağlıdır. Hiç şüphesiz ortaya çıkan bilgilerin güvenli bir şekilde saklanması da bu gelişim için önemlidir. Ayrıca bilgi depolama amacıyla kullanılan cihazları kolayca taşıyabilme arzusu, bu alanda çalışan mühendisleri daha küçük boyutta cihazları üretmeye sevk etmiştir. Dolayısıyla bu arzu, bilim insanlarını daha küçük alana daha çok bilgi depolama amacıyla yeni malzemeler geliştirmeye yöneltmiştir. Benzer şekilde bilgi toplamada da bu durum oldukça önemlidir. Bilgi toplama sistemlerinin de küçültülmesi hem daha kullanışlı hem de enerji verimliliği açısından önem arz etmektedir. Daha küçük, daha kapasiteli ve daha verimli cihazlarda

kullanılmak üzere uygun malzemelerin geliştirilmesinde bilim insanları yarış hâlinde bulunmaktadır. Bu yarışta asıl amaç malzemenin daha küçük boyutlarda istenilen özelliklerde olmasını sağlamaktır. Bu durum açıklanırsa; manyetik kayıt cihazlarında, malzemenin daha uzun süre bilgi saklayabilmesi amacıyla büyük kalıcı manyetizasyon (Remanence Magnetization, M_r), daha kısa sürede bilgi depolayabilmek için düşük manyetik alanda ulaşılan büyük değerde doyum manyetizasyon (Saturation Magnetization, M_s) özelliklerine sahip olmaları talep edilmektedir. Bunlara ek olarak daha kolay şekilde taşıyabilmek için boyutlarının da mümkün oldukça küçük olması gerekmektedir [22-25]. Bu örneğin aksine bazı uygulamalarda ise M_s ve M_r değerlerinin küçük olması da amaçlanabilmektedir. Ayrıca, diğer elektromanyetik uygulamalarda ise daha güçlü sistemler geliştirebilmek için büyük M_s değerlerine ek olarak malzemenin manyetizasyon yönünü de kolayca değiştirebilmek için düşük koersivite değerine (zorlayıcılık alanı)(Coercivity Field, H_c) sahip olması istenmektedir. Elektromanyetik sistemlerde koersivite değeri verimi doğrudan etkilediği bilinmektedir [26].

Farklı uygulamalarda farklı şekillerde ihtiyaç duyulan manyetik malzemelerin özellikleri, onların birçok bilimsel çalışmada araştırma konusu olmalarını daha iyi açıklamaktadır. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmalar da oldukça önemlidir. Mühendislerin yeni elektromanyetik dönüştürücüler (adım(step) motorlar, diğer elektrik motorları, jeneratörler vb.) geliştirirken kullandıkları manyetik malzemelerin sistemin daha verimli olması için en uygun özelliklere sahip olanlarını tercih etmeleri [11] bu malzemelerin üzerine yapılan çalışmaların ne derece gerekli olduğunu açıkça göstermektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, manyetik malzemelerin kullanıldığı yapılardan biri olan elektromekanik dönüştürücü sistemlerinde kullanılması öngörülen yeni malzemelerin geliştirilmesi ve karakterizasyonları planlandı. Çünkü AISI 202 ve AISI 304 paslanmaz çelikler östenitik gruba altında sınıflandırılan manyetik olmayan malzemelerdir [27]. Ancak vakum altında püskürtme yönteminin bir şekilde bu malzemelerde östenitik fazdan martensitik faza bir dönüşümü tetiklediği de bilinmektedir [28-29]. Bu dönüşüm ise elde edilen filmlerin manyetik özellikler sergilemesinin bir sebebi olabilir [30]. Bu bilgiyle son yıllarda büyük önem arz etmekte olan esnek cihazların tasarımında kullanılabilecek bir malzemenin geliştirilmesi amaçlandı. Benzer şekilde bu bilginin AISI 202 ve AISI 304 paslanmaz çelik

kullanılarak esnek alt tabaka üzerinde üretilen filmler için de geçerli olması durumunda kullanılabilir yeni bir malzeme geliştirilmiş olacağı öngörüldü. Bu amaçla mümkün oldukça küçük kalınlıklarda AISI 202 ve AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemelerden esnek alt tabakalar üzerinde farklı üretim parametrelerinde (biriktirme hızı ve döner alt tabaka hızı) ince filmler üretilerek karakterizasyonları gerçekleştirildi.

Çalışma kapsamında, ticari amorf polimer esnek asetat alt tabaka üzerine DC magnetron püskürtme tekniği kullanılarak 50 nm kalınlıkta FeCrMn ve FeCrNi nanomanyetik ince filmler büyütüldü. Püskürtme tekniği ile yapılan deneysel üretim sürecinde malzeme karakterinde önemli değişikliklere sebep olan biriktirme hızı ve döner alt tabaka hızının değişiminin bu filmlerin yapısal ve manyetik özellikleri üzerine etkileri araştırıldı. FeCrMn ince filmler için üretim parametrelerinden, farklı biriktirme hızı ve döner alt tabakanın farklı hızlarının yapısal ve manyetik özelliklerine etkisinin incelenmesi için iki seri ve benzer şekilde FeCrNi için farklı iki seri olmak üzere toplamda dört seri film elde edildi. Tüm serilerdeki filmlerin yapısal ve manyetik özellikleri Bölüm 3’te detaylı bir şekilde anlatılan analizlerle belirlendi. Elde edilen veriler literatürdeki benzer çalışmalara atıflarda bulunularak yorumlandı ve çalışma sonucunda öne çıkan noktalar vurgulanarak açıklandı.

Bu tez çalışması beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm, tez çalışmasının amacı ve kapsamının belirtildiği “Giriş” bölümüdür. İkinci bölüm, yapılan çalışmayı destekleyen teorik bilgilerin yer aldığı “Kuramsal Bilgiler” bölümüdür. Üçüncü bölüm, nanomanyetik alaşım ince filmlerin büyütülmesi öncesinde yapılan hazırlık ve planlamalar, filmlerin üretiminde kullanılan püskürtme sisteminin bileşenleri, bu tez kapsamında ihtiyaçlar doğrultusunda kullanılan sistemin geliştirilmesi, filmlerin büyütülmesi sonrasında yapılan saklama, alaşım ince filmlerin yapısal ve manyetik karakterizasyonunda kullanılan analiz teknikleri hakkında bilgi verilen “Deneysel Teknikler” bölümüdür. Dördüncü bölüm, deneysel teknikler bölümünde anlatılan aşamalar ve yapılan analizlerle elde edilen verilerle oluşturulan grafik ve tablolar yardımıyla açıklanıp, literatüre atıfta bulunularak yorumlandığı “Bulgular ve Tartışma” bölümüdür. Beşinci bölüm ise elde edilen bulgular ışığında ve tartışmalar neticesinde ortaya çıkan bu tez çalışmasının öne çıkan noktaların olduğu “Sonuç ” bölümüdür.

2.KURAMSAL BİLGİLER

Bu bölümde, manyetizmanın temel kavramları, kristal örgü sistemleri, demir bazlı alaşımlar ve ince film üretim teknikleri ile ilgili genel kuramsal bilgiler sunulmuştur.

2.1 Manyetizma ve Manyetizmanın Temel Kavramları

Madde, atom veya moleküllerin bir araya gelerek oluşturduğu yapıya verilen isimdir. Farklı fiziksel hâllerde bulunabilir. Bir madde yeterince yakından gözleendiğinde atomlardan oluştuğu görülmektedir. Atomlar daha da derinlemesine incelendiğinde; merkezinde güçlü nükleer kuvvetle birbirlerine bağlı pozitif yüklü protonlar (p^+) ile yüksüz nötronlardan (n^0) oluşan nükleonik yapı ile karşılaşılır. Bu yapı atom çekirdeği olarak tanımlanır. Atom çekirdeğinde bulunan protonlara elektrostatik kuvvetlerle bağlı, yörüngeler üzerine yerleşmiş rölativistik hızlarda ve kendi eksenleri etrafında da dönme hareketi yapan bu sebeple spin momentumuna (ayrıca, bakınız Bölüm 2.2.4.1) sahip negatif yüklü elektronlardan (e^-) oluşmaktadır. Bir maddeye manyetik özellik kazandıran temel parçacıklar bu elektronlardır. Bunun sebebi de elektronların spin ve yörünge hareketlerine sahip olmalarıdır [31].

İki manyetik kutup arasındaki kuvvet, teorik olarak iki elektrik yükü arasındaki kuvvete benzetilmekle birlikte bu iki kuvvet arasında oldukça önemli bir fark olduğu da bilinir [31]. Doğada elektrik yükleri ya proton ya da elektron gibi birbirlerinden bağımsız şekilde tek başlarına pozitif veya negatif olarak bulunabilirler. Bununla birlikte elektriksel kutupların kaynağı durgun yükler iken manyetik kutuplar yüklerin bir hareketinin sonucu olmasından dolayı her zaman çiftler hâlinde bulunurlar. Yani; doğada, normal şartlar altında manyetik tek kutup yoktur ve bulunamaz denilebilir.

Günlük hayatta da sıklıkla kullanılan ve birçok elektrik makinesinde de görülebilecek çok temel bir dönüşüm; zaman içinde değişen bir elektrik alan manyetik alanı oluşturabilirken, benzer şekilde, zaman içinde değişen manyetik alan da elektrik alanı oluşturabilir [31-33].

Her hangi bir maddenin manyetik özelliği, atomik manyetik dipol momentlerle açıklanabilir. Bu atomik manyetik momentler hem elektronların yörüngesel hareketlerinden, hem de spin özelliğinden kaynaklanır. Bir atomda manyetik momentlere katkı çekirdeğindeki proton ve nötronlarından da vardır. Proton ($m_p = 1.672623 \times 10^{-27}$ kg) ve nötronun ($m_n = 1.6749286 \times 10^{-27}$ kg) kütleleri, elektronun ($m_e = 9.1093897 \times 10^{-31}$ kg) kütesinden çok büyük olduklarından manyetik momentleri yaklaşık on bin kat daha küçüktür. Bu sebeple bir protonun ya da nötronun manyetik momentini, elektronun manyetik momentinin yanında çok küçük olmasından dolayı genellikle ihmâl edilir [31-33].

Yarıçapı r_e olan ve çembersel bir yörüngede sabit v_e hızıyla dolanan bir elektronun manyetik momentinin kaynağı bu elektronun yörüngesel hareketiyle ilgili olduğu varsayıldığında, elektron çemberin çevresi kadar yolda hareket edeceğinden, bu yolu t sürede aldığı için yörüngesel hızı:

$$\vec{\omega}_e = \frac{2\pi\vec{r}_e}{t} \quad (2.1)$$

kadar olacaktır. Bu hareketi yapan elektronun birim zamanda oluşturduğu akım ise:

$$i_e = \frac{q_e}{T_e} \quad (2.2)$$

kadar olacaktır. Burada elektronun yükü q_e^- ve elektronun periyodu ise T_e 'dir.

$$T_e = \frac{2\pi}{\omega_e} \quad (2.3)$$

ve

$$\vec{\omega}_e = \frac{\vec{v}_e}{r_e} \quad (2.4)$$

bağıntıları kullanılarak elektronun oluşturduğu akım, i_e :

$$\vec{i}_e = \frac{e}{T_e} = \frac{e\vec{\omega}_e}{2\pi} \quad (2.5)$$

olarak ifade edilebilir. Bu, yörünge etrafında dolaşan elektronun oluşturduğu akımdan yola çıkarak elektronunu oluşturduğu manyetik moment:

$$\vec{\mu}_e = i_e A \quad (2.6)$$

olduğu bulunur. Burada A elektronun yörünge hareketiyle taradığı alandır. Bu durumda manyetik moment:

$$\vec{\mu}_e = i_e A = \left(\frac{ev}{2\pi r_e} \right) \pi r^2 = \frac{1}{2} evr \quad (2.7)$$

olarak bulunur. Yalnızca yörüngesel hareketten geldiği varsayıldığında elektronun yörüngesel açısal momentumunun büyüklüğü:

$$\vec{L} = mvr(\sin \phi) \quad (2.8)$$

yalnızca yörüngeden gelen katkı spinlerin yörüngeye dik olduğu kabul edilerek aradaki açının $\sin \phi$ (90°) = 1 olması durumunda:

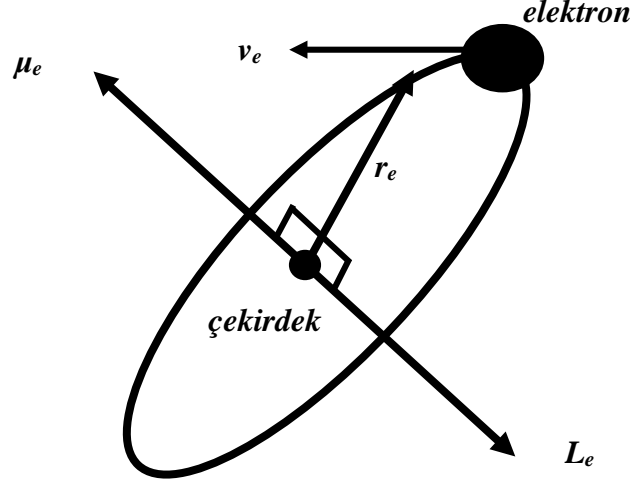
$$\vec{L} = mvr \quad (2.9)$$

yazılabilir. Bu durumda, yörüngesel manyetik moment:

$$\vec{\mu}_{yörünge} = \left(\frac{e}{2m_e} \right) \vec{L}_e \quad (2.10)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada m_e elektronun kütlesidir. Bu sonuç, elektronun manyetik momentinin, yörüngesel açısal momentum ile orantılı olduğunu göstermektedir [31].

Bir atomda yörüngesel manyetik moment dışında elektronların spin hareketlerinden kaynaklanan bir katkı da toplam momente katkı yapar. Atomların etrafında elektronların yörüngede buldukları konumlara göre de açısal momentum katkıları vardır.



Şekil 2. 1: v_e hızı ile yörüngede dolanan bir elektron.

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi elektronun zıt yönlerde manyetik momentleri, $\vec{\mu}_e$ ve açısal moment, \vec{L}_e vektörleri vardır. Elektronun manyetik momentinin yine aynı atomun ters yönde dolanan diğer bir elektronunun manyetik momenti tarafından dengelenerek etkisiz hâle getirilmesi, maddelerin bir kısmının niçin net bir manyetik momentinin olmadığını açıklar. Bu maddeler için elektronların yörüngesel hareketleri sonucunda oluşan manyetik etki ya sıfırdır ya da oldukça küçüktür [31-33]. Yörüngesel momentumun artmasının manyetik momenti azaltacağı, benzer şekilde yörüngesel momentumun azalmasının da manyetik momenti arttıracığı ancak hiçbir şekilde toplam manyetik momenti sıfıra götürmeyeceği sonucuna varılabilir.

Bir maddede, manyetik moment kaynağı anlaşılacağı üzere elektronun spin hareketinden de kaynaklanmaktadır. Bu noktada elektronun spin hareketlerini açıklayabilmek için kuantum mekanişel ifadelerden faydalanmak gerekir. Spin momentumu ve açısal momentumun vektörel çarpımından oluşan spin açısal momentumun büyüklüğü S ile gösterilir ve yörüngesel açısal momentum ile aynı mertebelerde bulunur.

Spin açısal momentumun büyüklüğü kuantum teorisi kullanılarak hesaplanabilir. Bu durumda spin açısal momentumu:

$$\vec{S} = \frac{\hbar\sqrt{3}}{2} \quad (2.11)$$

ifadesinden türetilebilir [31-32]. Burada $\hbar = h/2\pi$ 'dir. Planck sabitinin kullanımı kolay olması için bu şekilde gösterilmiştir [34]. Bu durumda spin kaynaklı manyetik moment:

$$\vec{\mu}_{spin} = \left(\frac{e\hbar}{2m_e} \right) \quad (2.12)$$

Burada e elektronun yükü ve m_e elektronun kütesidir. Bu ifadelerden yola çıkarak daha önce türetilen Denklem (2.10) ve Denklem (2.12) kullanılarak toplam momentin büyüklüğü:

$$\vec{\mu}_{toplam} = \vec{\mu}_{yörünge} + \vec{\mu}_{spin} \quad (2.13)$$

yörünge momentumundan ve spin momentumunun toplamına eşit olduğu açıkça görülmektedir. Manyetik alan altında maddede manyetik momentleri açıklamak için klasik model yetersiz kalır. Bu nedenle manyetizmanın açıklanabilmesi için kuantum mekaniği gereklidir [31, 33, 35].

Manyetik malzemelerin manyetik durumu, manyetizasyon vektörü (\vec{M}) ile sembolize edilir. Manyetizasyon; bir katı maddenin birim hacmi (V) başına düşen manyetik moment sayısı (m) olarak tanımlanır. Birim hacim, o maddedeki en küçük hacimdir. Manyetik moment sayısı da kısaca spin hareketi olarak tanımlayabiliriz ya da bir maddede klasik olarak düşünüldüğünde ulaşılabilecek en küçük mıknatıs olarak bulunur.

$$\vec{M} = \frac{\vec{\mu}}{V} \quad (2.14)$$

Manyetik malzemelerin sınıflandırılmasında manyetik moment, (μ) oldukça önemlidir. Ancak diğer taraftan maddenin manyetik alınganlık özelliği de oldukça önemlidir. Manyetik alınganlık, maddenin manyetik alan uygulanarak yapılan etkiye verdiği tepkilerdendir. Manyetik alınganlık, (χ) manyetizasyon, \vec{M} ve manyetik alan şiddeti, (\vec{H}) ile orantılıdır:

$$\vec{M} = \chi \vec{H} \quad (2.15)$$

Bu ifadede manyetik alınganlığın sadece malzemenin manyetik alana olan tepkisini ifade etmek için kullanılan bir katsayı olduğu görülmektedir.

Burada alınganlık, χ maddelere göre farklı değerleri gösteren birimsiz bir büyüklüktür. Ferromanyetik maddeler için Denklem (2.15)'in geçerli olmadığı daha önce yapılan çalışmalardan da bilinmektedir [2, 32].

Manyetik akı yoğunluğu ya da diğer bir ifadeyle manyetik indüksiyon vektörü, (\vec{B}) manyetik alana bir tepki olarak ortaya çıkar ve ortamın manyetik alana karşı tepkisini dolayısıyla da davranışını açıklar. Manyetik alan, (\vec{H}) ve manyetik indüksiyon, (\vec{B}) arasındaki bağıntı:

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad (2.16)$$

olarak verilir. Burada μ manyetik geçirgenlik (permabilite) olarak ifade edilir. Madde dış bir manyetik alana maruz bırakılırsa toplam manyetik indüksiyon:

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{\mu}) \quad (2.16)$$

olur. $\vec{\mu}_0 = 1.256637061 \times 10^{-6} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$ (her bir metre başına henry) ya da bir başka ifade ile $\text{N} \cdot \text{A}^{-2}$ (her amperin karesi başına newton) olup serbest uzayın manyetik geçirgenliğidir [31].

Manyetik alınganlık ve manyetik geçirgenlik terimleri ile ifade edilen büyüklükler manyetik maddeler için karakteristik özelliklerdir [31]. Permabilite olarak adlandırılan bir diğer manyetik özellik olan manyetik geçirgenlik, μ ve boşluğun manyetik geçirgenliği, μ_0 olsun:

$$\mu_r = \mu / \mu_0 \quad (2.15)$$

ifadesi bağlıl geçirgenlik olarak tanımlanır [31]. Ayrıca bu bağlıl geçirgenlik ifadesi de manyetik maddelerin sınıflandırılmasında kullanılmaktadır.

2.2 Manyetik Maddelerin Sınıflandırılması

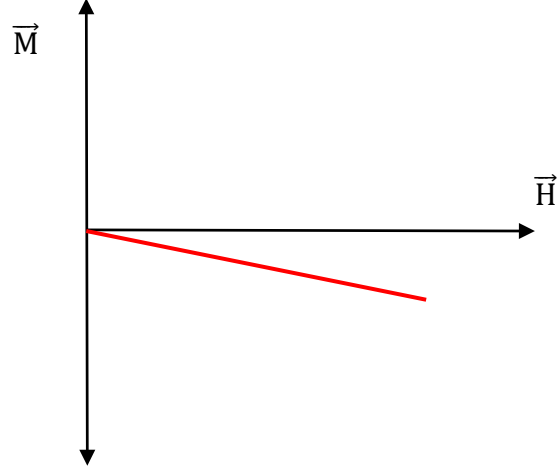
Bir manyetik alana maruz kalmalarını takip eden süreçte davranışlarında değişikliklerin meydana gelmesi manyetik maddelerin sınıflandırılmasında kullanılmaktadır.

2.2.1 Diyamanyetik Maddeler ve Diyamanyetizma

Dış bir manyetik alanın olmadığı şartlarda toplam net manyetik momenti sıfır olan, ancak dış bir manyetik alan etkisine girdiklerinde ise zıt yönde ve çok zayıf bir manyetik momente sahip olan maddeler diyamanyetik maddeler olarak tanımlanır. Yaptıkları bu davranışa ise diyamanyetizma denir. Doğadaki bütün maddelerde diyamanyetik tepki ya da diyamanyetik özellik vardır. Ancak her hangi bir maddenin diğer sınıflara giren hiçbir manyetik özelliği yoksa diyamanyetik özellikleri gözlenebilir [36]. Bölüm 2.1’de bahsedilen pozitif yüklü çekirdeğin oluşturduğu çekici elektrostatik kuvvet, elektronların çekirdek etrafında belli yörüngelerde dolanmalarının sebebi olarak gösterilebilir. Bu elektronların dolandığı yörüngelerin en dış kabuğunu oluşturan kısım valans elektronlarını oluşturur. Bu en dış yörüngedeki elektronların sayılarının eşit olması durumunda ki bu diyamanyetik malzemelerdeki durum olup manyetik momentlerinin büyüklükleri de birbirlerine eşit olacaktır. Ancak Pauli Dışarlama İlkesi gereğince spin yönleri birbirlerine zıt olmasına sebep olmakta ve dolayısıyla atomun net manyetik momentinin de sıfır olması sonucunu doğurur. Bu sonucun akabinde elektronların yörünge hareketleri dışında momentuma katkı yoktur. Yani spin hareketinden manyetik momente katkı diyamanyetik malzemelerde olmaz. Diyamanyetik özellikteki madde bir dış manyetik alana maruz kaldığında; elektronlar:

$$\vec{F} = \vec{q}_e \vec{v}_e \vec{B} \quad (2.16)$$

ile ifade edilen ek bir kuvvete maruz kalır. Burada elektronun yükü, \vec{q}_e , elektronun hızı \vec{v}_e ve \vec{B} ise manyetik indüksiyon vektörüdür. Bir maddenin, manyetik alan içinde olması durumunda, dış manyetik kuvvetin etkisiyle Zeeman Etkisi olarak adlandırılan olay ortaya çıkar [31]. Bu süreçte dış manyetik alana zıt yönde manyetik momente sahip elektronun yörüngesel açısal momentumu azalır ve dolayısıyla hızı da azalır. Aynı zamanda bu kuvvetle aynı yönde manyetik momente sahip olan elektronun yörüngesel momentumu artar. Bu da elektronun hızının artmasına sebep olur. Kısaca yörünge momentumu, yörünge manyetik alan etkisi altında farklı enerji seviyelerine bölünmesi sonucu farklı değerler alır. Bu olay ancak kuantum mekaniği ile açıklanabilir. Bu sürecin sonunda ters yönde dolanan elektronların manyetik momentleri birbirlerini yok edemez ve uygulanan manyetik alanın ters yönde madde Şekil 2.2’deki gibi bir manyetik moment kazanır.

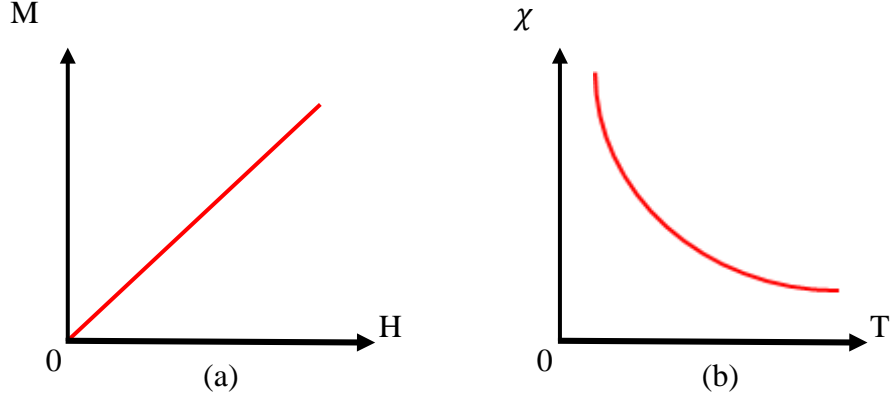


Şekil 2.2: Uygulanan manyetik alana göre diyamanyetik malzemelerin manyetizasyonu.

Diyamanyetik malzemelerin alınganlıkları negatif olmakla birlikte ferromanyetik ve paramanyetik maddelerden çok daha küçüktür (SI birim sisteminde alınganlık, $\chi \cong -10^{-5} - -10^{-6}$). Buna ek olarak diyamanyetik alınganlık sıcaklıktan bağımsızdır [32]. Soy gazların tamamı (atomik son yörüngelerdeki tüm kabuklar dolu olduğu için) ve Bakır (Cu), Gümüş (Ag), Altın (Au) ve Bizmut (Bi) gibi elementlerin katı formları genelde diyamanyetik özellik gösterirler [31].

2.2.2 Paramanyetik Maddeler ve Paramanyetizma

Bir dış manyetik alanın yokluğunda manyetik momentleri rastgele yönelen; bir dış manyetik alan ile etkileştiklerinde ise atomik manyetik momentleri manyetik alan yönünde hizalanan, manyetik alınganlıkları diyamanyetik malzemelerdekine benzer şekilde, diyamanyetik maddelere göre biraz daha büyük ama yine de oldukça küçük olan maddelerdir. Ancak diyamanyetik maddelerde olduğu gibi negatif değil; pozitif yönde manyetik alınganlıkları ($\chi \cong 10^{-3} - 10^{-5}$) olan maddeler paramanyetik maddeler olarak ifade edilir. Paramanyetik maddelerin manyetizasyonu Şekil 2.3'te de görüldüğü gibi, (a) uygulanan manyetik alanla doğru orantılı olup, (b) manyetik alınganlıkları ise mutlak sıcaklıkla ters orantılıdır [31]. Çok yüksek manyetik alanda ve çok düşük sıcaklıklarda manyetizasyon en yüksek değerine ulaşır. Bu en yüksek noktada paramanyetik malzemelerde momentlerin tümü aynı yönde yönelirler ve doyum manyetizasyonuna ulaşır [31]. Paramanyetik maddelere birer örnek olarak Alüminyum (Al), Platin (Pt), Tungsten (W), Mangan (Mn) gibi maddeler gösterilebilir.



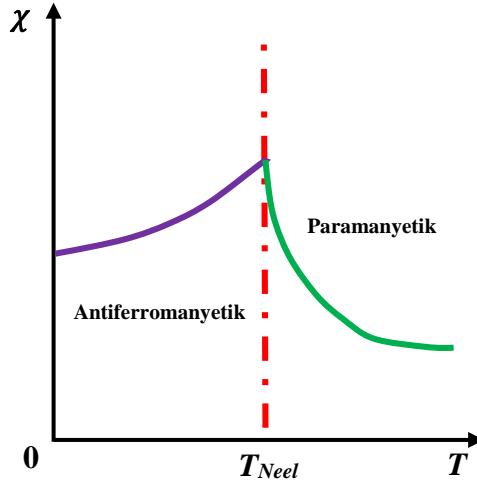
Şekil 2. 3: Paramanyetik maddelerde
 (a) Dış Manyetik Alanın ile Manyetizasyon
 (b) Alınganlığın,(χ) Sıcaklıkla, (T) Değişimi.

2.2.3 Antiferromanyetizma ve Ferrimanyetizma

Elektronların değiş tokuş etkileşmesiyle paralel ve antiparalel dizildiği durumlar kuantum mekaniği ile açıklanarak ifade edilebilir. Değiş tokuş etkileşmesinin klasik fizikte örneği yoktur. Elektronlar en düşük enerjiyi meydana getirmek için dizilmeye çalışırlar. Bu durumda spinlerin paralel ve antiparalel dizilmesi sistemin enerjisine dayanır. Atomik manyetik momentler arasındaki değiş tokuş, paralel ya da antiparalel manyetik düzeni belirlemektedir. Bu düzen malzemenin ferrimanyetizma ve antiferromanyetizma olarak adlandırılan davranışları sergilemesine sebep olur [31-32].

Ferromanyetik malzemelerde elektronların spin yönelimleri aynı yönde iken antiferromanyetik malzemelerde birbirine zıt olacak şekilde spin yönelimleri görülür. Ferromanyetik maddelerin sergiledikleri davranışın tersi bir türü de antiferromanyetizma adı verilen manyetik davranış olarak tanımlanabilir. Antiferromanyetizma ilk kez Neel tarafından açıklanmıştır [32, 37]. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi paramanyetik bir maddenin manyetik duyarlılığı, tüm sıcaklıklarda pozitif ve küçüktür. Fakat sıcaklık azaldıkça duyarlılık önce artar daha sonra ise Neel sıcaklığında bir maksimumdan geçerek azalmaya başlar. Madde, Neel sıcaklığının üstünde paramanyetik, altında ise antiferromanyetiktir [25, 32]. Antiferromanyetik maddelerde, Neel sıcaklığının altında spinlerin birbirine zıt yönelme eğilimleri oldukça büyüktür. Bu nedenle antiferromanyetik madde zihinlerde somut olarak canlanması için zıt yönlerde mıknatıslanmış ve iç içe girmiş, birbirinin içinde iki alt tabakadan oluştuğu

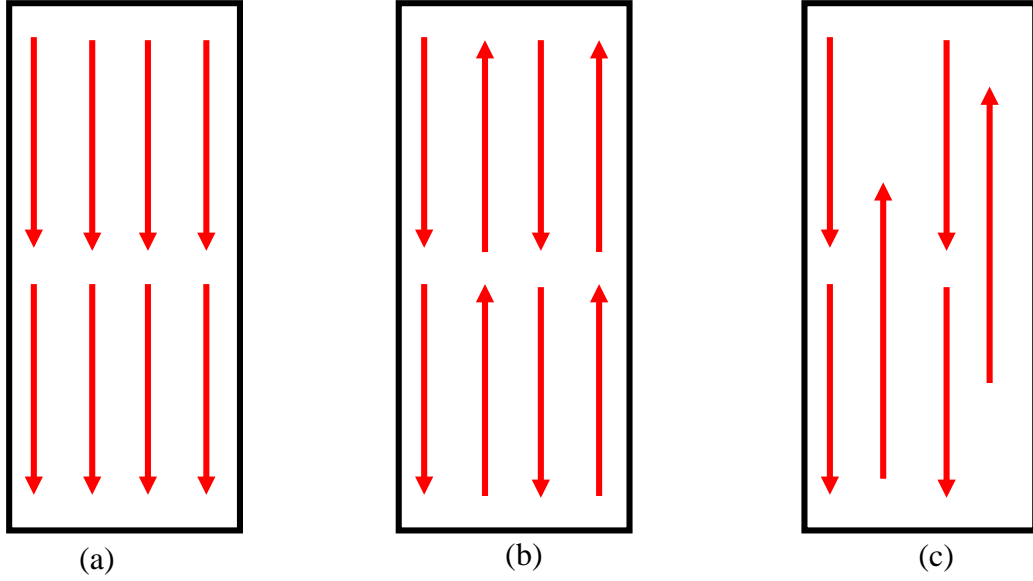
düşünülebilir. Antiferromanyetik maddeler, net bir kendiliğinden mıknatıslanmaya sahip değildirler [38].



Şekil 2.4: Antiferromanyetik maddelerin manyetik alınganlıklarının, (χ) sıcaklıkla, (T) ile değişimi.

Ferromanyetik maddelerde manyetik momentleri paralel hale getirmeye çalışan pozitif etkileşmeler varken ferrimanyetik ve antiferromanyetik malzemeler için bu negatiftir. Ferrimanyetik ve antiferromanyetik malzemeler iç içe geçmiş birbirine zıt yönde sıralanmış manyetik momentlere sahiptirler. Ferrimanyetik malzemelerde de bu manyetik momentlerin büyüklükleri farklı olduğundan ferromanyetikler gibi kendiliğinden mıknatıslanma gösterirler [31, 37]. Şekil 2.5'te manyetik malzemelerin manyetik moment dizilimi gösterilmektedir.

Değiş tokuş pozitif olduğu zaman elektronlar ferromanyetizmaya neden olacak şekilde Şekil 2.5 (a)'da gösterildiği gibi paralel dizilmektedir. Değiş tokuş etkileşmesi negatif olduğu zaman elektronlar, net manyetizasyonun olmadığı antiferromanyetik düzeni oluşturmak için Şekil 2.5 (b)'de gösterildiği gibi paralel dizilmektedir. Şekil 2.5 (c)'de gösterildiği gibi manyetik momentler zıt yönleri gösterirler ancak farklı büyüklüklere sahiptir. Ferrimanyetizma, antiferromanyetizmanın özel bir durumudur. Ferrimanyetikler, makroskobik ölçekte ferromanyetikler gibi hareket ederler. Bu sebepten dolayı aralarında fark olduğu yıllarca fark edilememiştir. Doğal manyetizasyonun büyüklüğü, değiş tokuş etkileşmesiyle paralel dizilen spin sayısına bağlıdır [38-39].



Şekil 2.5: Manyetik malzemelerin manyetik moment dizilimi;
 (a) Ferromanyetizma, (b) Antiferromanyetizma,
 (c) Ferrimanyetizma.

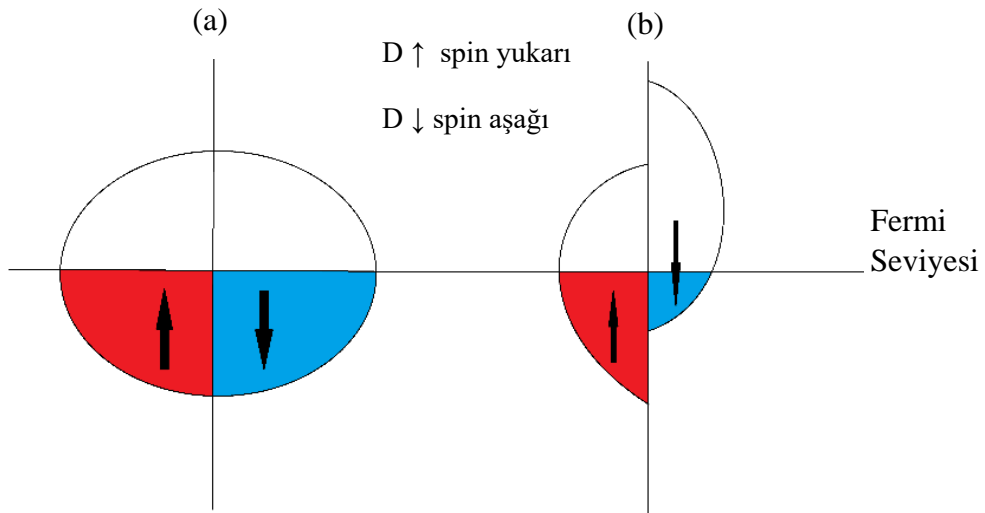
2.2.4 Ferromanyetik Maddeler ve Ferromanyetizma

En yaygın şekilde bilinen manyetik malzemeler, alınganlıkları, χ pozitif ve 1'den çok daha büyük olan ferromanyetik katılardır ($\chi = 50 - 10^5$). Ferromanyetik maddeler mıknatıs tarafından çekilirler. Bu maddelere örnek olarak Demir, Nikel, Kobalt, Gadolinyum (Gd), Holmiyum (Ho) ve Manyetit (Fe_3O_4) verilebilir. Bu maddeler ısıtıldıklarında belli bir sıcaklıkta (Curie sıcaklığı) mıknatıslık özelliğini kaybederler ve paramanyetik olurlar. Bu durum kristal örgü içerisindeki iyon ya da atomların komşularıyla etkileşimlerinden kaynaklanır [25, 31, 40].

2.2.4.1 Ferromanyetik Madde Kristalindeki Bant Yapısı

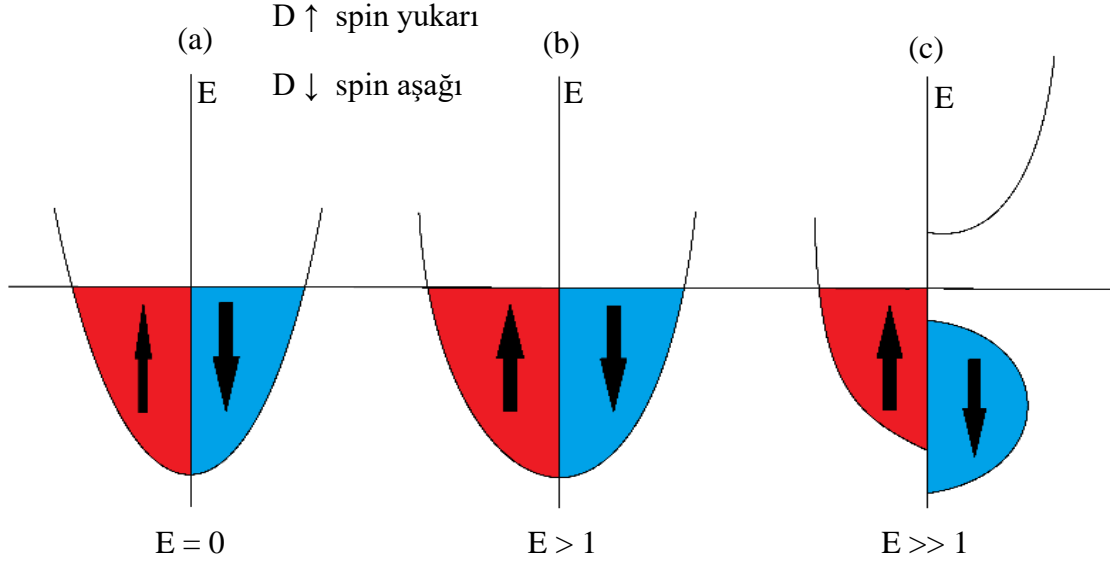
Bilim insanları, spin-yukarı ve spin-aşağı elektronları düzenleyerek; spin tabanlı elektronik cihazlar geliştirmek için de malzeme üretimi amaçlanmıştır. Bir önceki bölümde yalnızca bir tek elektron üzerinden anlatılan manyetizma ile ilgili olarak maddenin valans bandında neler olduğunu açıklamak için Fermi düzeyine E_F yakın bir paramanyetik ve ferromanyetik elektronik bant yapısının birer şeması Şekil 2.6 ve Şekil 2.7'de sunulmuştur [28]. Şekil 2.6 Stoner modeli ile paramanyetik ve ferrimanyetik malzemelerde $D\uparrow$ spin-yukarı ve $D\downarrow$ spin-aşağı bant yapısını temsil etmektedir [28].

Elektron çiftleri atomlar arası yörüngelerde dönerken, bir manyetik kutup çifti oluşturur. Spinleri ters olup aynı enerji seviyesindeki iki elektron birbirlerinin manyetik alanlarını yok ederler. Bu durumda Şekil 2.6 (a)'da gösterildiği gibi valans banttı manyetik alınganlığa katkı yoktur. Ancak malzemede alınganlıık valans bandı dışındaki elektronların spin hareketlerinden gelmekte ve pozitif yönde ancak oldukça küçük değerlerdedir. Bu durum malzemenin paramanyetik alınganlıık göstermesinin sebebidir. Ancak bazı malzemelerde şekil 2.6 (b)'de gösterildiği gibi valans bandında bulunan çiftlenmemiş elektronların bulunması manyetik enerjide anlamlı bir fark oluşturur. Bu çiftlenmemiş elektronların sayısı her bir atom için birkaç tane olması malzemenin geneli istatiksels olarak ele alındığında manyetik alana verdiği tepkiyi kat ve kat arttırarak malzemenin alınganlığını da orantılı olarak arttırır. Bu durum malzemenin ferromanyetik özellik göstermesinin bir sebebidir [28].



Şekil 2.6: Stoner Modeli ile (a) Paramanyetik bant şeması ve (b) Ferrimanyetik bant şeması.

Bir malzemenin Şekil 2.7'de görüldüğü üzere bant yapısı incelendiğinde valans bandı tam dolu iken toplam enerjisi azalırken paramanyetik (a), ferrimanyetik (b) ve ferromanyetik (c) geçişle birlikte çiftleşmiş spinlerle birlikte çiftleşmemiş spinlerde bulunmaktadır [28]. Bu durum genelde ters sırada bilinir ki bu “ferromanyetik bir malzeme yeterince ısıtıldığında bir sıcaklıktan sonra paramanyetik özellik gösterir” ifadesidir. Bu mantıkla yeterince soğutulan bir paramanyetik malzeme de ferromanyetik özellik göstermelidir. Ancak herkes tarafından bilindiği gibi paramanyetik bir malzeme ne kadar soğutulursa soğutulsun ferromanyetik özellik sergilemez.

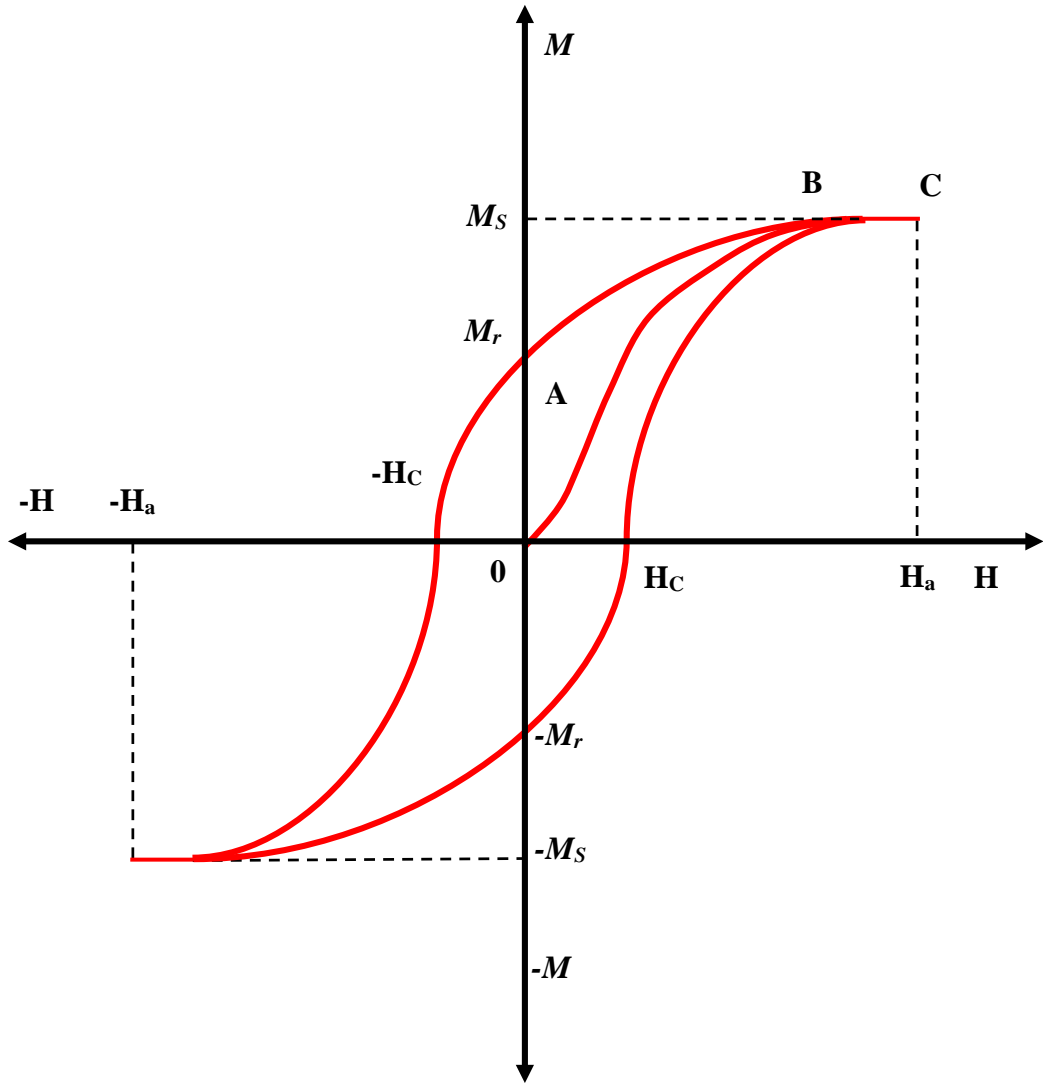


Şekil 2.7: Manyetik maddelerde elektronik bant yapısı
 (a) Paramanyetik, (b) Ferrimanyetik ve
 (c) Ferromanyetik malzemede spinlerin gösterimi.

2.2.5 Manyetizasyon Çevrimi (Histeresis)

Manyetik malzemelere manyetik alan uygulandığında ve daha sonra bu uygulanan alan ters yönde tekrar uygulanarak malzeme manyetizasyonunun değerleri çizdirilirse elde edilen grafiğe histeresis çevrimi adı verilir. Histeresisin temel nedeni domain duvar hareketleridir. Ancak bunun yanında fazlalık atomlar, çatlaklar ve boşlukların etkisi olduğu da bilinmektedir. Manyetik histeresis eğrisi; hiçbir zorluk olmaksızın; tek bir domain duvarı gibi düşünülerek daha kolay anlaşılabilir. Şekil 2.8’de tipik bir ferromanyetik malzeme için histeresis eğrisi görülmektedir. Görüldüğü gibi manyetik alan artarken malzeme içindeki domain duvarının hareketi herhangi bir konumdayken yavaş yavaş manyetik alan yönünde yönelimler başlamaktadır (0→A). Manyetik alan şiddeti yavaş yavaş arttırıldığında (A→B) bir noktada maddede tüm domainler manyetik alana paralel doğrultuda yönelirler. Bu noktada artık malzeme doyum manyetizasyonuna ulaşmıştır. Manyetik alan şiddetinin arttırılmaya devam edilmesiyle manyetizasyonda çok ufak değişiklikler meydana getirilebilir ancak eğrinin eğimi de artık sıfıra çok yakındır (B). Eğimin sıfıra yakın olduğu görüldüğünde uygulanan manyetik alan şiddeti bir noktada durdurulur (C). Manyetik alanın şiddetinin yavaş yavaş düşürülmesiyle birlikte manyetik madde içindeki toplam manyetizasyon da azalmaya başlar (B→M_r). Manyetik alan sıfıra düşerken domain duvarları kendi eski

konumuna dönmeye çalışır. Fakat yeterli enerjiye sahip olmadıkları için kalıcı bir mıknatıslanma durumu meydana gelmektedir. Manyetik alan şiddeti sıfıra ulaştığında manyetik maddede kalan manyetizasyon kalıcı mıknatıslık (M_r) olup ters yönde manyetik alan uygulanmadıkça kalıcılığını devam ettirir [2, 3, 35, 39, 41]. Kalıcı manyetizasyonunun ortadan kaldırılabilmesi maddenin net manyetik momentinin tekrar sıfır değerine ulaşmasını sağlamak için gereken manyetik alan şiddetine ise koersivite alanı (H_c) denir. Bu diğer bir ifadeyle zorlayıcılık alanı olarak da adlandırılabilir [35, 38].



Şekil 2.8: Tipik bir histeresis ilmeği grafiği.

2.3 Manyetik Malzemelerde İzotropi ve Anizotropi Özelliği

Elde edilen bir numunenin temel özelliğini tanımlanmak için kullanılan “izotropik” ve “anizotropik” kavramları malzeme bilimi için çok önemlidir. Kristal yapı gösteren malzemelere uygulanan dış etkilere karşı her doğrultu ve yönde aynı davranışları sergileyen malzemeler izotropik, dış etkilere farklı doğrultu ve yönlerde farklı davranışlar sergileyen malzemeler ise anizotropik malzemelerdir [35, 40].

Bir malzeme ne kadar saf olursa olsun kristal yapısında mutlaka farklı atomlar olabilir veya yapısal kusurlar bulunabilir [33]. Tek bir atomdan oluşan mükemmel yakın kristal yapı üretilse dahi yapı örgülerinde dış kaynaklı olmasa da örgü ve duvar kusuru vb. gibi mutlaka bir kusur oluşacaktır. Oluşan bu kusur da mutlaka malzemenin farklı bir özellik sergilemesine yol açacaktır. Bu durumu ölçmek mümkün olmadığından genellikle ihmal edilir [28, 35]. Aslında, tüm katı kristal yapıdaki manyetik malzemeler incelendiğinde; bir dereceye kadar anizotropik özellik göstermektedir [28, 35].

Manyetik malzemelerde malzemeye manyetik özellik kazandıran, özel tekniklerle gözlenebilmesi mümkün olan manyetik domainler ve bunları da oluşturan manyetik momentler bulunur. Bu yapılar aslında malzemenin makroskobik yapısını oluşturan temel mikroskobik yapılardır [35, 41].

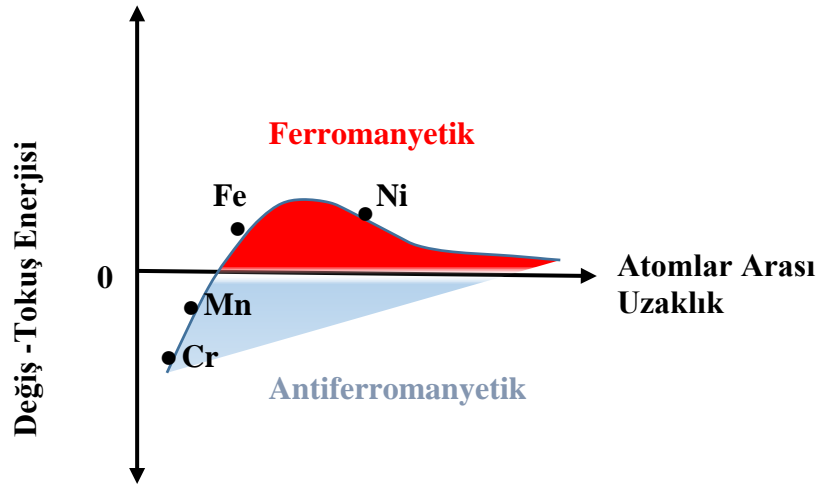
2.4 Ferromanyetik Malzeme Sınırları

Bir madde içinde manyetik momentlerin aynı doğrultuda yöneldiği en küçük bölgeler domain olarak adlandırılır. Domainler, arasında kalan çok küçük bölgeler tarafından ayrılmaktadırlar. Bu bölgeler domain duvarı olarak adlandırılır. Bir domainde manyetik momentler arasındaki etkileşme çok güçlüdür. Domain duvarı içinde manyetik momentler belirli bir enerjiye sahiptir ve denge durumundadır. Bu denge anizotropi enerjisi ve değiş tokuş (Exchange) enerjisi arasındadır. Manyetik alanda meydana gelen bir değişim, manyetik momentlerin dönmesine neden olduğundan dolayı bu denge bozulmaktadır. Domain duvarı içinde, momentlerin dönmesi domain duvar geçişi olayına neden olmaktadır. Bu sebeple alanla aynı yönde yönelen domainler, domain duvarını genişletir, antiparalel yönelenler ise daraltır [40].

Domain dönmesi, ferromanyetik malzemenin manyetizasyonunu etkileyen bir domain davranış biçimidir. Ferromanyetik bir malzeme manyetize edildiği zaman,

domainler manyetik alan ile kendiliğinden dizilmektedir. Bu durum, domain duvar hareketi ve domain dönmesi etkilerinin birlikte oluşturduğu bir sonuç olarak ifade edilebilir. Uygulanan bir alanda tüm domainler manyetik alana paralel dizilir. Böylece tek bir domain oluşur ve tek bir domain gibi hareket ederler. Gerçekleşen bu durum, tekniksel manyetizasyon olarak adlandırılır [39-40].

Şekil 2.9’da görüldüğü gibi atomlar arası mesafenin değişimi domain duvarını malzemenin manyetik özelliğini belirleyecek kadar etkilemektedir. Atomlar arası mesafeler de bu duvarın kalınlığında önemli rol oynamaktadır [32, 40]. Domain duvarında meydana gelen bu hareket domain duvar yer değiştirmesi olarak bilinmektedir.



Şekil 2.9: Atomlar arası uzaklığa bağlı değiş-tokuş enerjisi sonucu ortaya çıkan antiferromanyetik ve ferromanyetik durum[2].

2.5 Malzemelerde Yapı Sistemleri

Katıhâl fiziğinin ortaya çıkışı, X-ışınlarının kırınımı olayının keşfedilmesi ve kristal özelliklerini başarıyla öngören bir dizi basit model hesapların yayınlanmasıyla olmuştur [2]. Kristal, atom gruplarından oluşan üç boyutlu bir örgüdür. İdeal bir kristal, özdeş yapı taşlarının uzayda sonsuza kadar dizilişi ile ortaya çıkar. Doğada bulunan kristallerin hiçbiri ideal kristal değildir. Ancak diğer taraftan fiziksel özellikler bakımından anlaşılmasının daha kolay olması için kristalleri ideal kabul etmek gerekir [33, 42]. Bir malzemedeki atomların dizilişi düzenli ve periyodik ise kristal yapı, düzensiz ve rastgele ise amorf yapı oluşur.

2.5.1 Paslanmaz Çelik Alaşımalar

En az biri metal, iki veya daha fazla farklı elementin birleştirilmesi sonucu elde edilen maddelere alaşım adı verilir [27, 43]. Bir başka ifadeyle en az bir metal ile daha fazla elementin ya da metal olmayan başka bir elementin farklı teknikler kullanılarak katı solüsyon hâline getirilmesiyle meydana gelen maddeler alaşım olarak isimlendirilir.

Bileşimlerindeki elementler ve elementlerin kompozisyondaki atomik oranlarına göre birçok çeşide sahip alaşım vardır [44]. Aslında alaşım, farklı kristal yapılarına sahip elementlerin bir araya getirilerek bu farklı kristal yapılara sahip elementlerin katı solüsyonu olarak da ifade edilebilir [27, 44].

Doğada bulunan elementlerin birçoğunda, atomlar birbirine sıkıca bağlanmış ve molekül olarak adlandırılan birimler hâlinde gruplaşmıştır. Doğada bulunan tüm elementlerdekinin aksine metaller içinde atomlar molekül hâlinde gruplaşmazlar; ya bir çözücü içinde çözünerek tek başlarına iyonize olurlar ya da bir arada kristal yapı oluşturma eğilimindedirler [4, 35]. Metallerin tuzlarının da kristal yapıya sahip oldukları bilinmektedir. Alaşımlarda gruplaşmaların görülmesi, onları ilgi çekici hâle getirmektedir. Çünkü bu gruplaşmalar farklı özelliklerin gözlenmesine sebep olurlar [44]. Elementlerin alaşım oluşturabilmesi için, atomların tek tek bir ölçüye göre gruplaşması gerekir. Bazı atomların bir bölümü bu gruplaşmaya katılırken, bazılarında tüm atomlar katılmaktadır. Örneğin; pirinçte bütün çinko ve bakır atomları bir araya gelir ve moleküller halinde gruplaşırlar. Çelikte ise demir atomları ve karbon atomlarının bir bölümü birleşerek, demir karbür molekülleri oluşturur. Alaşımlar genellikle kristal yapı gösterirler. Ancak yapının içinde var olan kristal yapılar yerel gruplar hâlinde ve bu grupların amorf yapılar gibi düzensiz heterojen karışımı şeklinde bulunurlar. Kristal yapısı için yapılan analizlerinde elde edilen X-ışını kırınımı (X-ray Diffraction, XRD) pikleri de bu sebeple alaşım pikleri şeklinde özel olarak adlandırılır [44-46].

Paslanmaz çelikler de demir temelli alaşımlardır. Herhangi bir alaşım, kendisini oluşturan tüm elementlerden farklı farklı özellikler taşır [44-46]. Bu sebeple farklı elementlerden gelen özellikler demir temelli alaşımlar olan paslanmaz çelikleri ilgi çekici hâle getirmektedir.

2.5.2 Paslanmaz Çeliklerde Kristal Yapılar ve Manyetik Özellikleri

Kristal yapıdan bahsedildiğinde düzgün şekilde dizilmiş atomlardan oluşmuş örgüler akla gelmektedir. Örgü türleri, hücre yapısının özelliğine göre ayrılmak istendiğinde triklinik, monoklinik, ortorombik, tetragonal, kübik, trigonal ve altıgen olmak üzere yedi farklı şekilde gruplandırılırlar. Malzemelerin örgüleri doğada ancak bu geometrik şekillerden biri olarak bulunabilir ve temsili gösterimleri [2, 33, 42] daha önceki çalışmalarda sunulmuştur.

Paslanmaz çeliklere kristal yapıları açısından bakıldığında; östenitik, ferritik, martensitik ve dubleks olmak üzere dört ana grup altında sınıflandırılmaktadırlar [27, 44]. Bu terimler demir elementinin allotroplarından gelmektedir [27, 44, 46]. Saf demir elementi için:

α -Demir

Erimiş demir soğutuldukça 912°C sıcaklıkta bcc yapıya dönüşmeye başlar. Bu sebeple bu sıcaklıklarda demir ferromanyetik özellik göstermeye başlar ve ferrit adını alır [46]. Diğer taraftan oda sıcaklığında bu fazın korunması ancak alaşım yapılarak mümkündür.

β -Demir

Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak manyetik alan ve genişmiş vücut merkezli kübik kafes parametresi dışına α -Demir ile kristallografik olarak aynıdır. Aynı şekilde paramanyetik özellikler sergiler [46].

γ -Demir

Erimiş demir soğutuldukça 1400°C'de kristal yapısı, yüz merkezli kübik (face centered cubic, fcc) kristal yapıya dönüşür. Bu faza gamma demir veya östenitik denir [46].

δ -Demir

Erimiş Demir soğudukça 1538°C sıcaklıkta cisim merkezli kübik (body centered cubic, bcc) yapıya sahip olan allotropuna katılır. Bu sıcaklıklarda demir katılmasıyla birlikte paramanyetik özellikler göstermektedir [46].

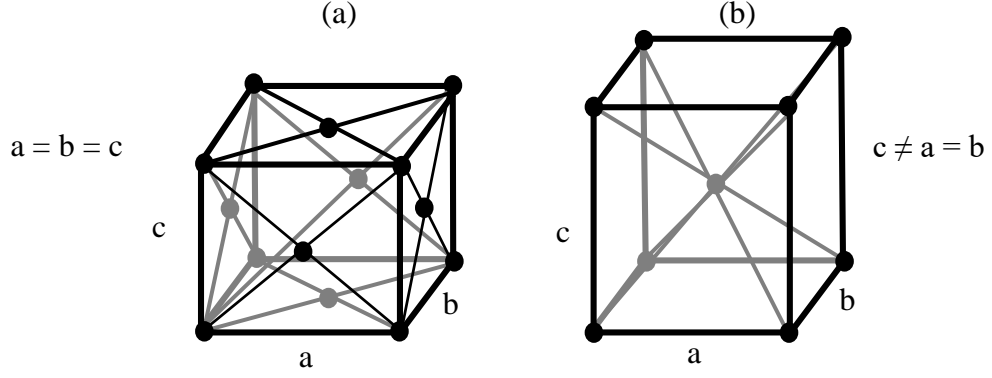
Ayrıca demirin ancak yüksek sıcaklık ve basınç altında görülebilen bir fazı da olabilir. Bu faz ayrıca sunulmuştur. Yer kürenin manyetik alana sahip olmasının temel sebebi olarak görülmektedir [46].

ϵ -Demir

Yaklaşık 10 GPa üzerindeki basınçlarda ve birkaç yüz Kelvin veya daha düşük sıcaklıklarda, α -demir ayrıca ϵ -demir veya hekzaferrum olarak da bilinen bir altıgen kapalı-paket (hexagonal closed package, hcp) yapıya dönüşür [47]. Yüksek sıcaklıkta ve ancak daha yüksek basınçlarda γ -fazı da ϵ -demir olarak dönüşür. Mn, Os ve Ru ile birlikte ϵ -Fe alaşımlarında antiferromanyetizma gözlenmiştir [47-48].

Saf demirin sıcaklık düştükçe görülen faz değişikliğinin yanı sıra alaşımlama ile bu fazların farklı sıcaklıklarda da görülmesi mümkündür [44]. Alaşımlarda yapıya katılan diğer elementler alaşımdaki örgünün formunu ve mesafelerini yeniden düzenlenmesine sebep olur [44-50]. Bu durumda alaşım içinde örgü farklı bir geometriye sahip olur.

Östenitik paslanmaz çelikler nitelikli bir paslanmaz çelik alaşım türüdür. Östenitik çelikler imalatı sonrası yüz merkezli kübik (face centered cubic, fcc) yapıdadırlar. Ancak bu gruptaki çeliklerin sahip oldukları fazları üretim sonrası bazı teknikler (soğuk haddeleme, ısıtma-tavlama vb) kullanılarak dönüştürülebilir. Bu dönüşümlerin de malzemenin özellikleri açısından avantajları olduğundan talep edilen bir durumdur. Östenitik çelikler fcc yapıdan, bcc yapının bir benzeri olan cisim merkezli tetragonal (body centered tetragonal, bct) yapıya dönüşür. Şekil 2.10'da imalattan hemen sonra bir östenitik çelikteki örgü ve martensitik dönüşüm gerçekleşmiş bir çelikteki örgüler verilmiştir. Normalde bcc yapı " α -demir" şeklinde gösterilirken bu dönüşmüş yapı " α' -demir alaşımı" olarak ifade edilir [50-51].



Şekil 2.10: Paslanmaz çeliklerde kristal örgü sistemleri
(a) fcc yapı, (b) bct yapı.

2.6 Adezyon ve Kohezyon Kuvveti

Bir metali oluşturan atomlarının birbirleriyle bağ yapması, bir tutkal gibi atomları birbirleriyle bir arada tutan metale iletkenlik özelliği kazandıran elektron bulutu aracılığıyla olur. Negatif yüke sahip elektronlardan oluşan bu elektron bulutuna, metali oluşturan pozitif yüklü atomların çekim kuvveti uygulaması kohezyon kuvveti olarak ifade edilir [31, 38]. Metali oluşturan atomların iç kısımlarda bulunanları tek düze şekilde birer elektron bulutuna sahiptir. Atom bu elektron bulutuna bir çekim kuvveti uygular ki bu da elektronun bağ enerjisi olarak bilinir. Diğer taraftan bu kohezyon kuvveti olarak da adlandırılır. Ancak yüzeyde durum oldukça farklıdır. Çünkü yüzeydeki atomların bulutlarının birleşerek oluşturduğu devasa serbest elektron bulutu, metale farklı özellikler kazandıran yeni bir katman oluşturur. Bu katmanda bulunan elektronların bağ enerjisi daha düşüktür. Bir başka ifadeyle serbest enerjisi çok daha yüksektir. Enerji entropinin kaçınılmaz kuralına göre hareket eder ve doğada sıkça karşılaşıldığı gibi bu yüksek enerji durumundaki elektronlar daha düşük enerjili duruma geçmek isterler. Bu durum ise bu katmanın bağ yapma yeteneğine sahip olmasını sağlar. Yüksek enerjinin bir şekilde azaltılması için doğal olarak her olası bağın oluşması kaçınılmaz ve muhtemeldir. Açık havada demirin paslanması bu duruma iyi bir örnektir.

Metalin yüzeyi yeterince temizlenerek aynı türdeki metal atomlarıyla kaplanırsa, yüzeydeki atomların bağ yapma enerjileri ve dolayısıyla bağ oluşumu engellenmiş olur [31, 38]. Bu durumda elektron bulutu kaplanan atomların arasında serbestçe hareket edebilir. Kaplanan tabaka ile metal yüzeyi arasındaki bağ kuvveti teorik olarak metalin herhangi bir noktasındaki bağ kuvveti kadardır. Aslında oldukça sağlam bir şekilde

bağlıdır. Bu bağ kuvveti de metalin herhangi bir yerinde var olan kohezyon kuvveti kadardır. Eğer yüzeye metali oluşturan atomdan farklı başka bir metal kaplanırsa aynı atomik kuvvetlerin yine ortaya çıktığı görülür. Metal yüzeyine bağlanan kaplama atomları ile ana metal atomları arasında da bir bağ kuvveti oluşur. Bu noktada oluşan bağ kuvveti; kohezyon kuvveti değil adezyon kuvveti olarak adlandırılır. Kısaca; aynı tür atomların aralarında oluşan çekim kuvveti kohezyon, farklı atomların aralarında oluşan çekim kuvvetine ise adezyon kuvveti denir.

Yüzeye metalden başka herhangi bir atom ya da molekülün bağlanması; yani, adezyon kuvvetini oluşturan bağ kuvveti önceki paragraflarda açıklanan yüzeyde bulunan elektron bulutundaki yüksek serbestlik enerjisini bir miktar azaltacaktır. Önceki paragrafta anlatılan demirin paslanması yani oksitlenme olarak adlandırılan olay metalin yüzeyine ortamda bulunan oksijen moleküllerinin bağlanarak bu yüksek enerjiyi düşürmesine güzel bir örnektir [31, 38]. Bu durum, demir için olumsuz bir özellik gibi görülmesine rağmen ileri teknoloji ürünü sensörlerin üretilmesinde de yine bu özellikten faydalanılmaktadır. Örneğin; beş oksijen atomu ile bağ yapmış olan Tantalyum metali artık bir oksit grubu maddedir ve Tantalyum Pentaoksit (Ta_2O_5) olarak adlandırılır. Ta_2O_5 yüzeyinde hâlâ enerjisi fazla olan elektronlar mevcuttur. Bu elektronlar da ortamda bulunan serbest hidrojen iyonları ile zayıf bir etkileşime girerler. Bu etkileşim sonucunda sistemin enerjisi düşer ancak hidrojenden gelen elektronla birlikte sistemin sahip olduğu negatif yük artar. Bu yük farkının bir alan etkili transistör üzerinde bulunan tetikleyici yerine kullanılması ile elde edilen yarıiletken yapı serbest hidrojen iyonlarını tanımlamada daha önce ancak tuz köprüsü prensibiyle çalışan devasa algılayıcılarla yapılabilen analizlerin mikrometre mertebesindeki boyutlarda iyon seçici alan etkili transistör olarak adlandırılan yeni bir algılayıcının geliştirilmesini sağlamıştır [52].

Bu çalışma kapsamında kullanılan alt tabaka, ticari esnek asetat olup yapısında Karbon, Klor ve Oksijen bulunan zincirlerin oluşturduğu amorf yapıda bir polimerdir [49]. Polimerler genel olarak yalıtkan malzemelerdir. İletkenlik özelliği, yalıtkan malzemelerde elektron bulutu olamamasından dolayı görülmez [53]. Polimer nitelikte olan asetat yalıtkan olup elektron bulutuna sahip değildir. Polimerler organik moleküllerin ardı arkasına dizilerek oluşturduğu çok uzun molekül zincirlerinin bir araya gelmesi sayesinde oluşur. Güçlü kovalent bağlar ile bir arada duran bu zincirlerde iyonik bağlar ve zayıf Van Der Waals bağları da vardır. Bu yapıda statik

elektriklenmenin oluşması durumu göz önüne alındığında yüzey üzerinde mutlaka serbest elektron vardır. Ancak neredeyse tüm elektronlar kovalent bağlar ya da iyonik bağlarda görevli olup serbest elektron çok çok az sayıdadır. Bu polimer malzemenin yüzeyine metal tabakası kaplamak istenildiğinde; yüzeye çarpan metal atomları polimer yüzeyinde elektron bulutu bulunmamasından dolayı yapışmanın gerçekleşmesi mümkün değildir. Ancak bu süreçte, Wan Der Waals kuvvetleri iş başındadır. Wan Der Waals kuvvetleri o kadar zayıftır ki bağ yapmaya yeterli gelmeyeceği fikri çok doğaldır. Ancak Wan Der Waals kuvvetleri, metalik bağ kuvvetlerinin yaklaşık yüzde biri kadar küçük olduğu herkes tarafından bilinen bir gerçektir [31]. Ne kadar küçük olsa da polimer bir malzemenin yüzeyi yeterince temiz olursa ve kaplanan atom sayısının istatistiksel olarak çok çok yüksek sayıda olması ile polimer yüzeye metal kaplanabilmesinin de gayet mümkün olduğu bir gerçektir [5]. Bu sebeple bu çalışmada da temizlik oldukça önemlidir ve çalışma sürecindeki temizlik adım adım anlatılmıştır (ayrıca bakınız Bölüm 3.2).

Yeterince temiz bir ortamda ilk katmanın tutunmasının arkasından kohezyon kuvvetleri ve alaşımı oluşturan diğer elementlerin de adezyon kuvvetleri ile bağlanması mümkün hâle gelir. Ancak tüm bu süreç mutlaka yüksek oranda temiz ortamda olmalı ki bu sebeple en ideal ortam yüksek vakum ortamıdır. Böylelikle polimer üzerine nispeten iyi derecede metal alaşımı kaplamak mümkündür. Yapılan araştırmalarda polimer malzemelerin ince filmlerle yapılan bilimsel çalışmalarda sıklıkla alt tabaka olarak kullanıldığı görülmektedir [2-4, 17, 40, 53].

2.7 İnce Film Kaplama Yöntemleri

İnce filmler, atom veya moleküllerin bir yüzeye (alt tabaka) farklı teknik ve yöntemlerle biriktirilmesi ya da doğrudan bir malzemenin boyutlarının indirgenmesi bakımından da ele alındığında kuantum boyut etkisi sebebiyle üstün özelliklere sahip malzemelerdir [2, 22, 40, 54-56].

Şimdiye kadar gelişen ince film kaplama teknikleri arasında, yüzey kaplama yöntemleri nanometre mertebesinde film üretmeyi mümkün hale getiren birçok teknikten birkaç tanesidir. Bu tekniklerde bir ince filmi şekli bozulmadan elde etmek için mutlaka bir alt tabaka kullanılmalıdır [5, 28, 41]. Kaplama yöntemleri kullanılarak malzemelere birçok yeni fiziksel ve kimyasal özellikler kazandırılabilir ki bunlara

manyetik, optik, elektrik-elektronik, termal, kimyasal, sürtünme ve aşınma örnek olarak verilebilir [4, 6, 28, 41]. Yüzey kaplama yöntemleri, kaplama malzemesinin kaynağının fiziksel hâline göre; katı fazdan, sıvı fazdan, ergimiş ya da yarı ergimiş fazdan ve buhar fazdan yapılan kaplamalar olmak üzere dört gruba ayrılır. Buhar fazdan yapılan kaplamalar ise kimyasal buhar biriktirme, fiziksel buhar biriktirme, iyon demeti destekli biriktirme olmak üzere üç farklı şekilde yapılabilir [2, 5, 25]. Fiziksel buhar biriktirme yöntemi ise kendi içinde püskürtme ve buharlaştırma olarak ikiye ayrılır [2, 5, 36].

Manyetik alan püskürtme tekniği kullanılarak üretimi yapılan filmlerin yapısal ve manyetik açıdan karakteristik özelliklerinin üretim parametrelerine bağlı olarak farklılık göstermesi; farklı üretim parametreleriyle imalatı yapılan nanomanyetik ince filmlerin yapısal ve manyetik analizlerinde elde edilen değerlerin farklılıklarını açıklayan birçok çalışma vardır [2, 3, 16, 36, 55-57].

Bu çalışmada nanomanyetik film üretimi için kullanılan teknik olan, buhar fazdan yapılan kaplama yöntemlerinden fiziksel buhar biriktirme yöntemi ayrıntılı bilgi verilerek açıklanacaktır.

2.7.1 Fiziksel Buhar Biriktirme ile Kaplama Yöntemleri

Alt tabaka üzerine, katı bir malzemenin uygun vakum ve plazma ortamında buharlatırılıp taşınması işlemine fiziksel buhar biriktirme denir [36]. Fiziksel buhar biriktirme işlemi; buhar fazın oluşumu, oluşan buharın kaynaktan alt tabakaya taşınması ve alt tabaka üzerine yığınlaarak birikmesi süreciyle gerçekleşir [36]. Buharlaştırma ve püskürtme olarak ikiye ayrılan fiziksel buharlaştırma ile kaplama yöntemlerinde; buharlatırmada malzeme kaynaktan termal enerji aktarımı sayesinde koparılır ve reaktif bir gaz ile alt tabakaya taşınırken, bu durum püskürtme tekniğinde biraz farklıdır. Püskürtme tekniğinde, yüksek vakum ortamında iyon hâle gelen inert gaz atomlarının yalnızca kaynak malzemeye yönlendirilmesi ile kaynak yüzeyindeki atomlar, atom toplulukları ya da moleküllere momentumlarının aktarılması suretiyle yüzeyden atomların kopartılması ve yine inert gaz sayesinde alt tabakaya taşınması şeklinde gerçekleşir [2-5, 28]. Fiziksel buhar biriktirme yönteminde uygulanan tekniklerde kaynak yüzeyinden koparılan atomların alt tabakaya ulaşana kadar ve ulaştıklarında da birleşip yığınlar oluşturacak kadar enerjilerinin olması beklenir. Bu sebeple, ortamda

hava molekülü gibi yabancı atomlar istenmediğinden yüksek vakum ortamı oluşturulur [2, 5, 36, 28].

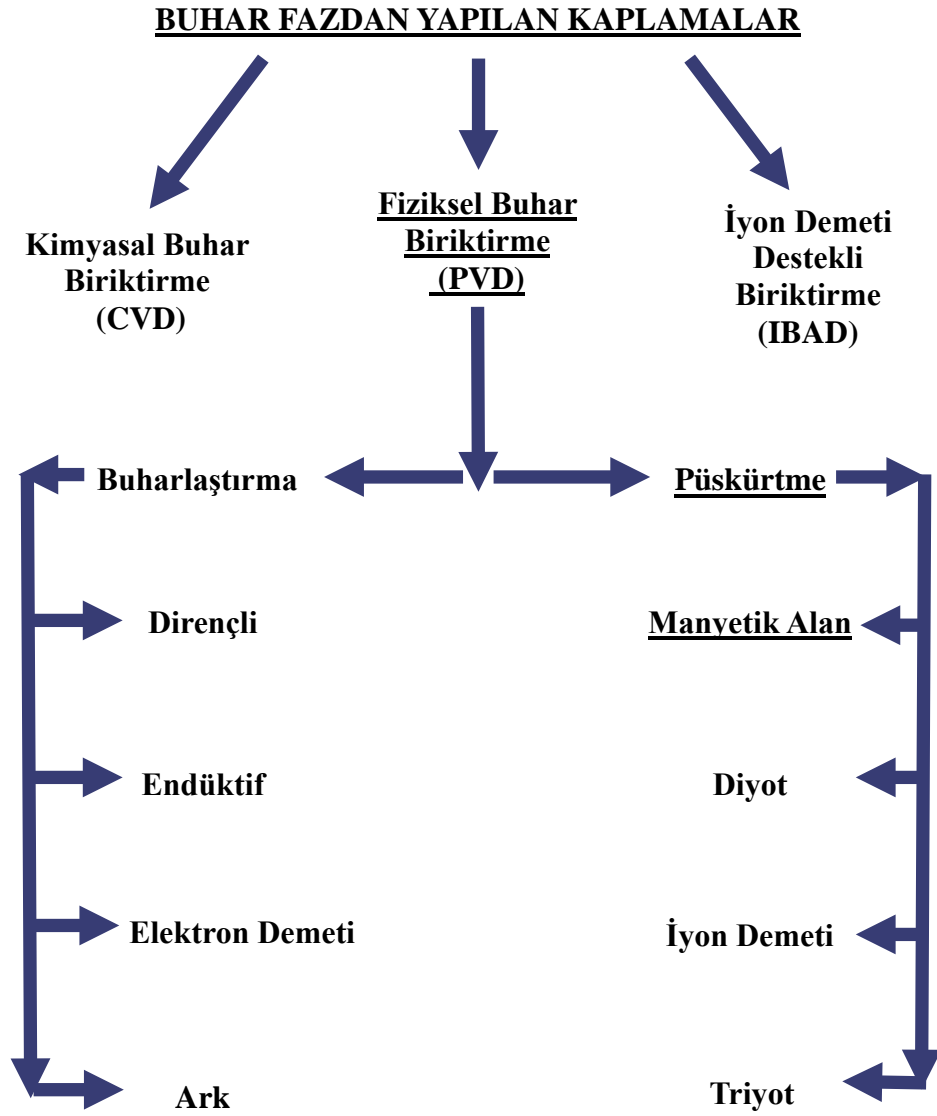
Fiziksel buhar biriktirme yönteminde bilimsel çalışmalar yapılırken güvenilirliğin yüksek tutulabilmesi için parametrelerin kontrolünün hassasiyetle yapılabildiği cihazlar kullanılması gereklidir. Bu cihazlar karmaşık bileşenlerden oluştuğundan ve yüksek vakum ortamında üretim yapılması gerektiğinden işlem öncesinde yüksek vakumun sağlanması açısından ciddi zaman gerekli olması bu tekniğin kullanılmasında zorluk olarak görülürken; bu yöntemlerin tercih edildiği çalışmalarda elde edilen çıktılar, avantajları açısından maddeler halinde açıklanmıştır [2-5, 28, 41]:

- Metal, alaşım, bileşik, seramik, yalıtkan ve hatta yarı iletken kaplamaların tümü bu yöntem ile elde edilebilir.
- Alt tabakaya tutunma özelliğine bakılırsa; vakum ortamında momentum transferi sayesinde diğer kaplama yöntemlerine nazaran açık ara öndedir.
- Değişik geometrik yapılarda ve sıcaklıktan etkilenmeyen birçok malzeme alt tabaka olarak tercih edilebilir.
- Zehirli atık oluşturmaması diğer kaplama yöntemlerine kıyasla doğaya çok daha az toksik salınımına sebep olur. Bu da çevre dostu bir yöntem olduğunun göstergesidir.
- Kaynak malzemenin saflığı ve yüksek vakum ortamının sağladığı imkânla elde edilen ürünler de yüksek saflıkta olurlar.
- Kaplama kalınlığı homojenlik açısından mükemmel yakındır.
- Kaplama işlem sonrasında yüzey parlatma işlemlerine gereksinim duyulmayacak kadar kaliteli olur.
- Kaplama sırasında tercih edilen üretim parametrelerinin kontrolü hassasiyetle yapılabilir, böylelikle oluşan ürünlerin özellikleri de hassasiyetle belirlenebilir.

- Geliştirilmeye açık bir sistem oluşu yeterince ARGE çalışması yapıldığında sistemin zorluklarının azaltılabilir olması da önemli bir avantajdır.

2.7.2 Püskürtme (Sputtering) Tekniği

Şekil 2.11’de de görüldüğü üzere püskürtme tekniği de kendi içinde dört gruba ayrılır. Bu çalışmada da bunlardan biri olan manyetik alan içinde yapılan püskürtme tekniği uygulanacağından yalnızca bu konuda detaylı bilgi verilecektir.



Şekil 2.11: Buhar fazdan yapılan ince film kaplama yöntemlerinin şematik gösterimi [2, 4].

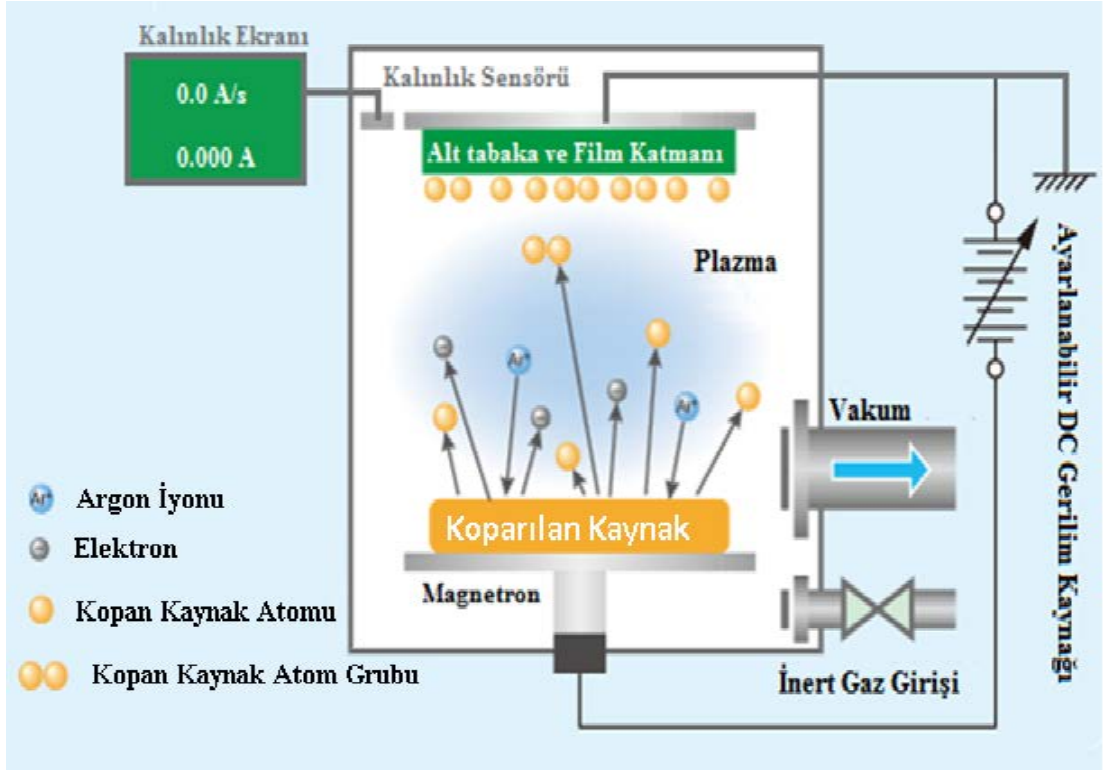
Püskürtme, kaynak malzemenin yeterli enerjiye sahip atomlarla veya iyonlarla bombardıman edilmesi ile kaynak malzemedan atom koparma işlemidir [54, 56-58].

Manyetik çok katmanlı ve heterojen yapıların, püskürtme tekniği kullanılarak üretilmesi ile manyetik sensör, manyetik kayıt ve depolama teknolojilerinde geniş uygulama alanları ortaya çıkmaktadır[56-58]. Aynı teknikle alaşımlar da üretilerek elde edilen yapılarda farklı manyetik özellikler bulunabilir.

2.7.3 Püskürtme Tekniğinde Elektrik ve Manyetik Alan

Bu yöntemde manyetik alan, yüksek vakum ortamında oluşturulan serbest elektronların yüzeye yakın yerde tutulması ve bununla birlikte yine elektrik alan ile hızlandırılan iyonize atomların yalnızca kaynak hedefe çarpmasını sağlamak için kullanılır.

Bu yöntemde iyonize atomların istenilen yönlerde hareket ettirilmesi yüksek vakum ortamında doğru akımlı yüksek elektriksel gerilim uygulanarak yapılır. Püskürtme tekniği, manyetik alan içinde hapsedilen ve elektrik alan altında hızlandırılan iyonize atomların kaynak malzeme yüzeyine yalnızca momentumlarını aktarmasıyla malzeme koparılmasıdır. Bu durumda bu iyonize atomlar, atomik boyutlu birer çekiç ya da balyoz gibi düşünülebilir. Bu manyetik alanın içinde iyonize olan atomlar kaynak yüzeyine atomik boyutlarda bir balyoz gibi vurarak kaynak malzeme atomlarını koparır. Her çarpışma sonunda kaynak üzerindeki elektronlardan alarak yüksüz hâle gelir. Ardından plazma ortamına geri döner. Plazma ortamında atom tekrar iyonize olur ve hızlanarak momentum kazanır. Bu momentumu da kaynağa tekrar çarparak tekrar atom koparır. Bu döngü manyetik alan içinde defalarca tekrar eder. Şekil 2.12'de [59] DC Manyetik Alan Püskürtme Tekniği şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.12: DC manyetik alan püskürtme tekniği şematik görünümü.[59]

3.DENEYSEL TEKNİKLER

Bu bölümde, bu çalışmada kullanılan DC Manyetik Alan Püskürtme (DC Magnetron Sputtering) Tekniği kullanılan cihaz, üretim parametreleri, üretim sırasındaki aşamalar anlatılacaktır. Ayrıca, çalışma süresince kullanılan kaynak malzeme ve üretilen filmlerin elementel, yapısal ve manyetik karakterlerini anlamak için başvurulan analiz teknikleri; Endüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy, ICP-AES), Enerji Ayırımı X-Işını Spektroskopisi (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, EDX), X-ışınları Difraksiyonu (X-Ray Diffraction, XRD), Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope, SEM), Atomik Kuvvet Mikroskobu (Atomik Forces Microscope, AFM) ve Titreşimli Numune Manyetometresi (Vibrating Sample Magnetometer, VSM) ve ek olarak sistemin geliştirilmesi de anlatılacaktır.

3.1 Fiziksel Buharlaştırma Biriktirme Sistemi

Bu çalışma kapsamında alayım ince filmlerin üretimleri Balıkesir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Nanomanyetik Malzeme Üretim Laboratuvarı'nda bulunan; bir fiziksel buharlaştırma deposizyon sistemi (MANTIS, QPrep-500, Birleşik Krallık) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu sistem birçok bileşenden oluşmaktadır. Püskürtme sisteminin tüm bileşenleriyle birlikte genel görüntüsü Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

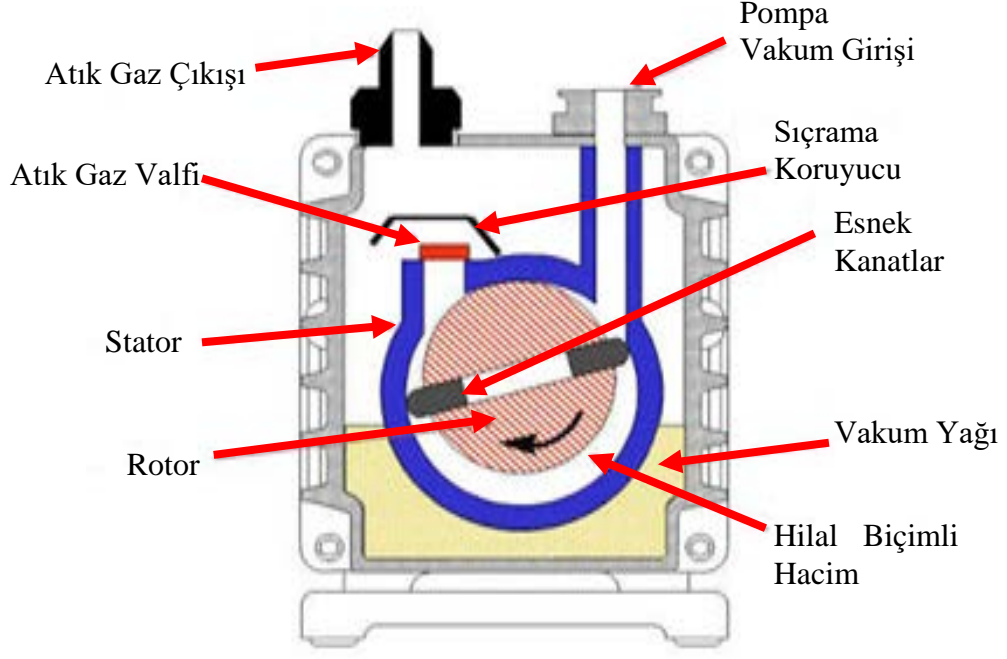


Şekil 3.1: Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Nanomanyetik Malzeme Üretim Laboratuvarı.

Burada yapılan çalışmalar detaylı bir şekilde bir sonraki bölümde açıklanacak olup gerektiğinde tekrar bu konuya atıflarda bulunulacaktır. Sistemde, bu tez çalışmasında kullanılmayan termal buharlaştırma ve yüksek radyo frekans buharlaştırma (radio frequency, RF) ile ilgili olarak; RF kaynak, RF kontrol ünitesi, termal buharlaştırma botu ve güç [60] kontrol ünitesi de mevcuttur. Bu çalışma kapsamında, sistemde mevcut olan ancak kullanılmayan ünitelere bu çalışma kapsamında yer verilmeyecektir. Ancak çalışma kapsamında sistem üzerinde kullanılan tüm bileşenler hakkında her bir bileşen için tek tek temel bilgiler resimler ve şekillerle birlikte detaylı şekilde devam eden bölümlerde açıklanmıştır.

A. Döner Kanatlı (rotary vane) Pompa

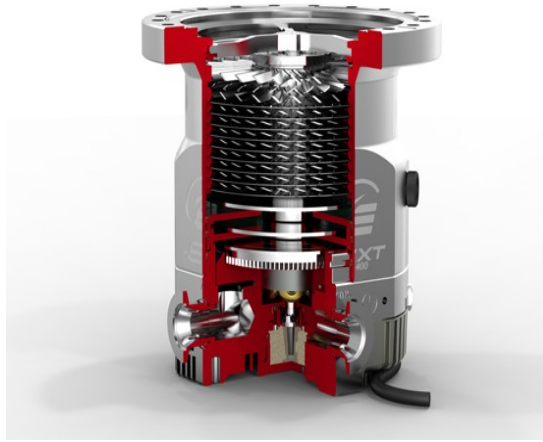
Bu fiziksel buharlaştırma sistemi; chamber (vakum odası) basıncını turbo moleküler pompanın (TMP) çalıştırılabilmesi için gereken azami vakum değerine düşüren mekanik yapraklı dönen kanatlı pompa “rotary pump” çalışma şeması [60] Şekil 3.2’de görülmektedir. Bu pompa biri sabit ve diğeri hareketli farklı iki eliptik düzlem arasında kalan bölgenin metal yapraklar aracılığıyla boşaltılması prensibiyle çalışan bir vakum pompasıdır.



Şekil 3. 2: Rotary pompa şeması.

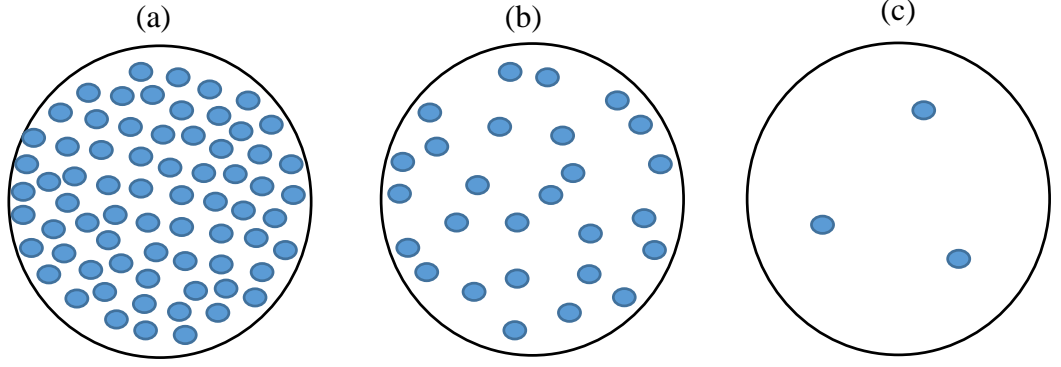
B. Turbo Moleküler Pompa

Vakum odası basıncını yapılacak deneysel çalışma için gerekli yüksek vakum değerine taşıyan turbo şaft üzerine kurulu bıçaklardan oluşan Şekil 3.3'te kesiti görülen özel tasarım fanların yüzeyi ile ortamdaki havada bulunan molekülleri vakum istenen bölgenin dışına doğru sürekli itmesi prensibiyle çalışan turbo moleküler pompa [61] görülmektedir. Turbo moleküler pompa yüksek hızlarda dönmektedir. Bu durumda havada bulunan atom ve moleküllerin serbest sürüklenme hızları düşüktür.



Şekil 3.3: TMP Kesit Görünümü.

Şekil 3.4'te bu durum farklı basınçlar için gösterilmiştir. Bu aslında havadaki parçacıkların birbirlerine ne kadar yakın ve sık olduğunu gösteren temsili bir modeldir. Bu parçacıklar Turbo Moleküler Pompa(TMP) bıçaklarına zaman içinde zarar vermektedir.



Şekil 3.4: Atmosferdeki parçacıkların sıklıkları

(a) $P = 1 \text{ atm}$, (b) $P < 1 \text{ atm}$ ve (c) $P \ll 1 \text{ atm}$ değerlerde.

Döner paletli pompa ile basınç düşürülerek vakum odası içindeki atmosferde bulunan bu parçacıkların serbest ortalama hızları yüksek değerlere çıkarılarak birim hacimdeki parçacık sayısı da azalmaktadır [62]. Böylelikle TMP'nın bıçaklarına daha az zarar vermekte ve dolayısı ile kullanım ömrünü uzatmaktadır. Üzerinde güç tasarrufu amacıyla yerleştirilmiş volanlar yüksek dönme hızlarına çıktığında verimliliğini arttırmasının yanı sıra durma süresini de oldukça uzatmaktadır. Bu sebeple güç kesildikten sonra en az bir saat süre daha TMP soğutmaya devam edilmelidir. Böylelikle pompa tamamen durana kadar güvenliği sağlanmış olur.

C. Yüksek Vakum Basınç Sensörü

Vakum odasının basınç takibi bir basınç sensörü (LEYBOLD, IONIVAC ITR 90, 12091, Almanya) ile yapılmaktadır. Şekil 3.5'te bu sensör görülmektedir. Bu basınç sensörü fiziksel buharlaştırma sistemi için geliştirilmiş ve sisteme bütünleşmiş nitelikli bir üründür. İdeal gaz denkleminde bulunan terimlerin sabit bir hacim için tekrar düzenlenmesi prensibiyle ortamdaki parçacık sayısından yola çıkarak basınç ölçümü yapmaktadır.

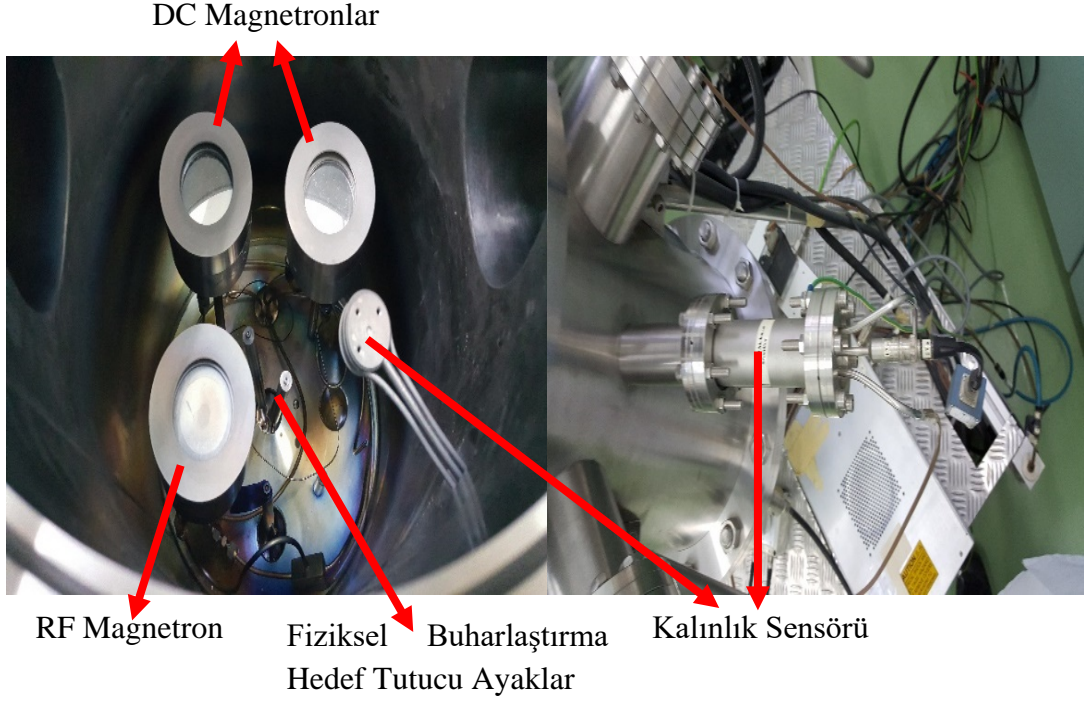


Şekil 3.5: Basınç sensörü.

Bu sensör, ± 1 pikobar (pBar, 10^{-12} Bar) hassasiyetle değer ölçebilmektedir. Kaplama sisteminde çalışmasıyla birlikte sistem içinde oluşan kaplama malzemesinin basınç sensörünü kapatmasına engel bir koruyucu perdesi olan ve doğru basıncın ölçülemediği durumlarda da bu perdeyi 10^{-9} Bar basıncın altına düşüldükten sonra otomatik “degaz” işlemiyle biriken malzemelerden temizleme imkânı sunan gelişmiş bir sensördür.

D. Kalınlık Sensörü (Thickness Sensor)

Bu fiziksel buhar biriktirme sisteminde üretilen malzemelerin kalınlıkları kuvarz kristal hassas denge (Quartz Crystal Microbalance, QCM) yöntemiyle $\pm 10^{-11}$ metre hassasiyetle kalınlık ölçmeyi sağlayan kalınlık (thickness) sensörü (INFICON, PN 074-157M, İsviçre) ile yapılmaktadır. Kuvars Kristal Mikrobalans (Quartz Crystal Microbalance, QCM) farklı algılama uygulamalarında kullanılan, yüksek frekanslı, yüzeyindeki kütle değişimlerine oldukça hassas bir yöntemdir. Sensör vakum odası içinde magnetronlara belirli bir mesafede bulunması ve devamı (dışına çıkışı) Şekil 3.6’da açıklamalarıyla birlikte verilmiştir.



Şekil 3. 6: Magnetronlar ve kalınlık (thickness) sensörü.

Sensör yüzeylerine tutunmuş olan tabakaların neden olduğu tınlama frekansındaki değişimlerin, Δf belirlenmesi temeline dayanır. Bu frekans farkı üzerinde biriken kütlenin matematiksel bir ifadesi olarak ele alındığında biriktirilen filmin kütlesi hakkında fikir sahibi olunmasını sağlar. Bu yöntem birim zamanda sensör üzerine biriken malzeme bazında formüllerle hesaplanarak biriktirme hızı (depozisyon rate) hakkında bilgi sahibi olunmasını sağlamaktadır. Bu sensörden alınan verilerin yanında yapılan teorik hesaplarla deney sırasında elde edilen veriler kıyaslanarak deneysel hata oranı daha sonra Bölüm 3.3'te paylaşılacaktır.

E. Fiziksel Buhar Biriktirme Sistemi Kontrol Paneli

Birden fazla tekniğin uygulanabilmesine olanak sağlayan bu sistemde yapılan çalışmaya göre farklı parametrelerde hassas ayarlamalar yapabilmeyi ve eş zamanlı olarak sistemi takip edebilmeyi sağlayan bir kontrol paneli bulunmaktadır. Üzerinde bulunan dijital görüntüleme ekranları, butonlar ve elektronik döner anahtarlar (rotary switch) sayesinde yapılan çalışmadaki üretim parametreleri hassasiyetle ayarlanır. Aynı zamanda gerçek zamanlı geri bildirimler ile de takip edilebilir. Şekil 3.7'de bu kontrol panelinin bir fotoğrafı sunulmuştur.



Şekil 3.7: Fiziksel buhar biriktirme sistemi kontrol paneli.

a. Kilitleme Kontrolörü, (Interlock Controller)

Fiziksel buhar biriktirme sisteminin en önemli bileşenlerinden biri de kilitleme kontrolörü olup (MANTIS, Interlock Controller, Birleşik Krallık) Şekil 3.8’de bir fotoğrafı sunulmuştur. Bu cihaz sayesinde; açık kapak, soğutma suyu akışı, vakum seviyesi ve elektronik iletişimin doğrulaması otomatik yapılır. Olası aksi bir durum olduğunda sistem üzerindeki en maliyetli bileşen olan TMP’ye verilen güç otomatik kesilmektedir. Böylelikle uygun şartlar oluşmadan TMP çalıştırılması engellenerek korunmuş olur.



Şekil 3.8: Kilitleme kontrolörü.

b. Ana Anahtar Panosu (Main Switch Panel)

Fiziksel buhar biriktirme sisteminde bulunan bileşenlerin her birinin ayrı ayrı güç kontrolü (aç-kapat) ana anahtar panosundan yapılabilmektedir. Şekil 3.9’da bir fotoğrafı sunulmuştur.



Şekil 3.9: Ana anahtar panosu.

c. DC Güç Destek Sistemi, (DC Power Supply System)

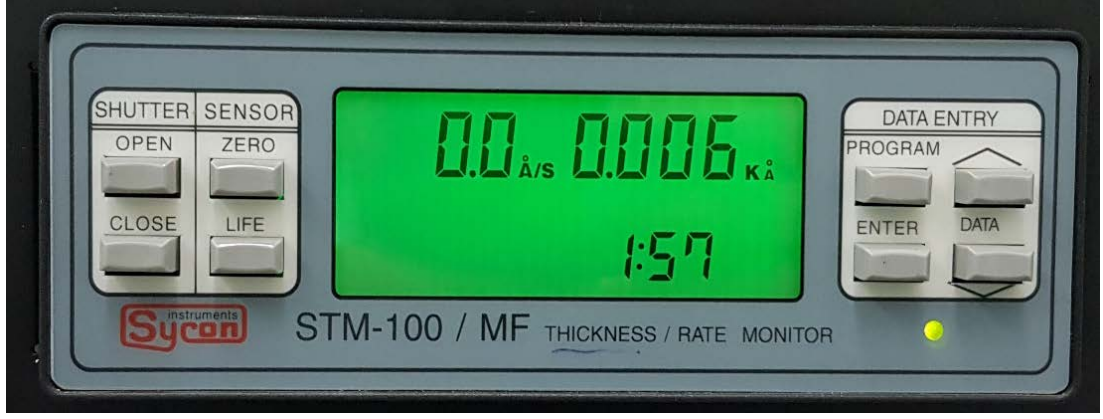
Fiziksel buhar biriktirme sisteminde plazma oluşturmak ve şiddetini belirlemek için kullanılan kontrol panelindeki güç kaynağının (Lambda, Gen600-1.3, ABD) bir fotoğrafı Şekil 3.10’da sunulmuştur. Bu DC güç kaynağı en fazla 780 W (0 - 600 V ve 0 - 1300 mA) gücünde DC gerilim uygulamaya olanak sağlamakta ve çıkış gerilimi verilmeden önce ayarlamaların yapılmasına imkân vermektedir.



Şekil 3.10: DC güç destek sistemi.

d. Kalınlık Monitörü (Thickness Monitor)

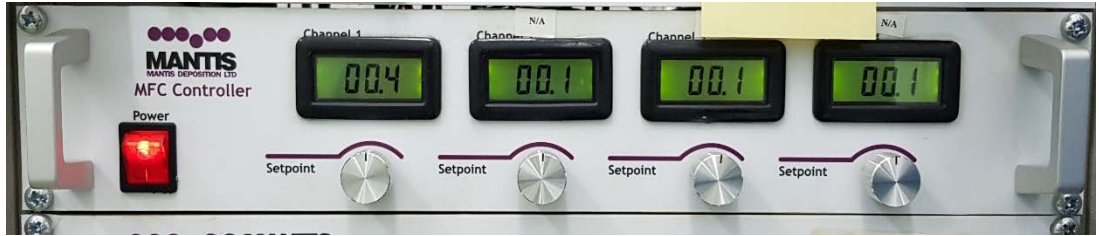
Fiziksel buhar biriktirme sisteminde ince film üretimi sırasında Bölüm 3.1, D. maddesinde açıklanan kalınlık sensöründen gelen verilerle toplam kalınlık ± 1 Angström (Å) ve biriktirme hızının $\pm 0.1 \text{ Å/s}$ hassasiyetle gerçek zamanlı olarak takip edilmesini sağlayan monitörün (Sycon, STM-100/MF, ABD) bir fotoğrafı Şekil 3.11’de görülmektedir. Ancak bu çalışmada bu değerler nanometre birimine dönüştürülerek kullanılmıştır. Cihaz aynı zamanda 9 farklı element için yoğunluk, z-faktör gibi değerler kaydedilebilir ve gerektiğinde bunlardan her hangi birinin seçilmesine imkân verir.



Şekil 3.11: Kalınlık monitör.

e. Kalınlık Monitörü (Thickness Monitor)

Fiziksel buhar biriktirme sisteminde vakum odası içine gönderilen gazın akış kontrolünü sağlayan bir aktüatöre bağlı hem ayar yapılabilen hem de akış miktarını standart santimetreküp başına kütle, (standart cubic centimeter mass, sccm) biriminde gerçek zamanlı olarak izlenebilmesini sağlayan monitörün (MANTIS, MFC Controller, Birleşik Krallık) bir fotoğrafı Şekil 3.12’de görülmektedir. Gerektiğinde dört farklı gazın akış kontrolü aynı anda yapılabilir.



Şekil 3.12: Gaz akış kontrol panosu.

f. Basınç Monitörü (Pressure Monitor)

Fiziksel buhar biriktirme sisteminde vakum odasının basıncının Bölüm 3.1, C. maddesinde açıklanan basınç sensöründen gelen verilerle gerçek zamanlı olarak izlenebilmesini sağlayan monitörün (LEYBOLD, IONIVAC, for ITR Series, Almanya) bir fotoğrafı Şekil 3.13’te görülmektedir. Bu monitör üzerinde farklı basınç seviyelerinde farklı cihazların güç kontrolü de yapılabilir.



Şekil 3.13 Basınç monitörü.

g. Alt tabaka Kontrol Panosu (Substrate Control Panel)

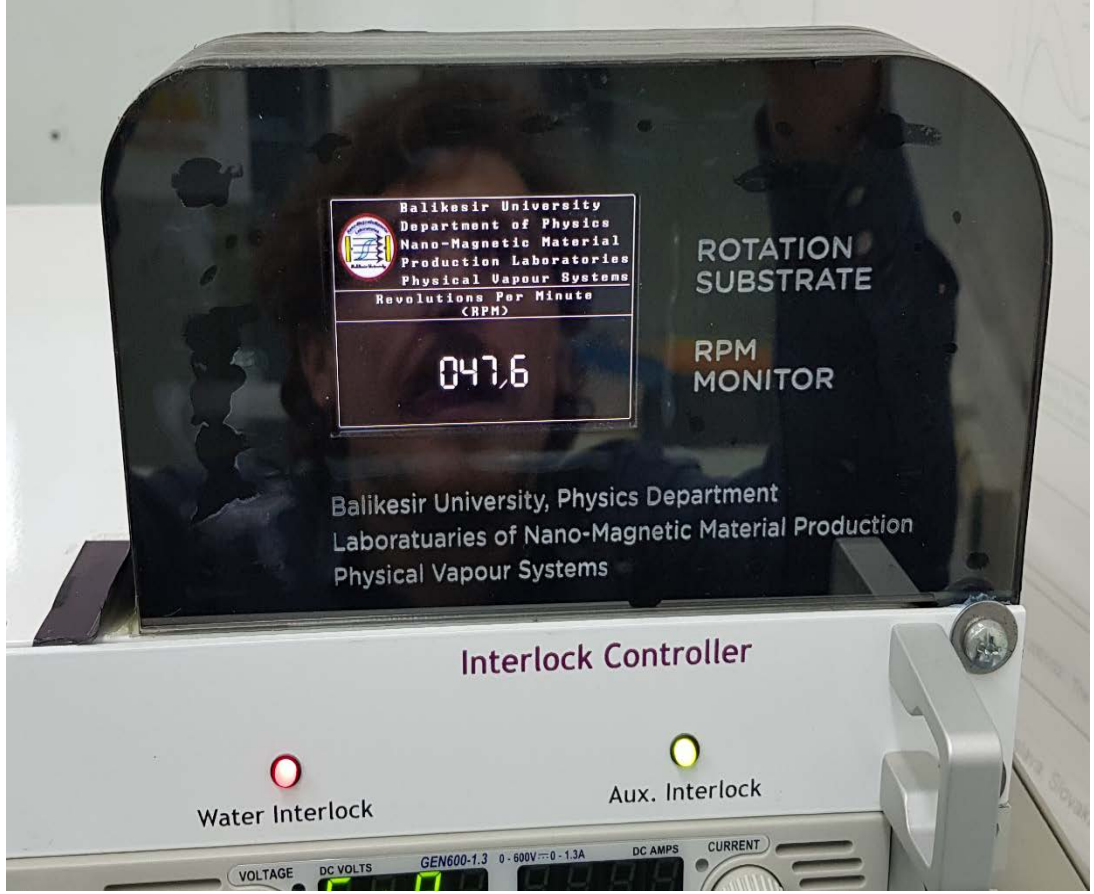
Fiziksel buhar biriktirme sisteminde üzeri kaplanan alt tabakanın dönme hareketi ve sıcaklığının kontrolü yapılan panodur ve Şekil 3.14’te bir fotoğrafı görülmektedir.



Şekil 3.14: Alt tabaka kontrol paneli

h. Alt tabaka Otomatik Devir Monitörü

Döner alt tabaka otomatik dakikadaki devir monitörü (Rotation Substrate RPM Monitor) fiziksel buhar biriktirme sisteminde biriktirme yapılan alt tabakanın dönme devrini ± 0.1 rpm hassasiyetle ölçen ve görüntüleyen sonradan tarafımızca tasarlanmış ve sisteme bütünleştirilmiş monitörün bir fotoğrafı Şekil 3.15’te görülmektedir.



Şekil 3.15: Döner alt tabaka otomatik dakikada devir görüntüleyici.

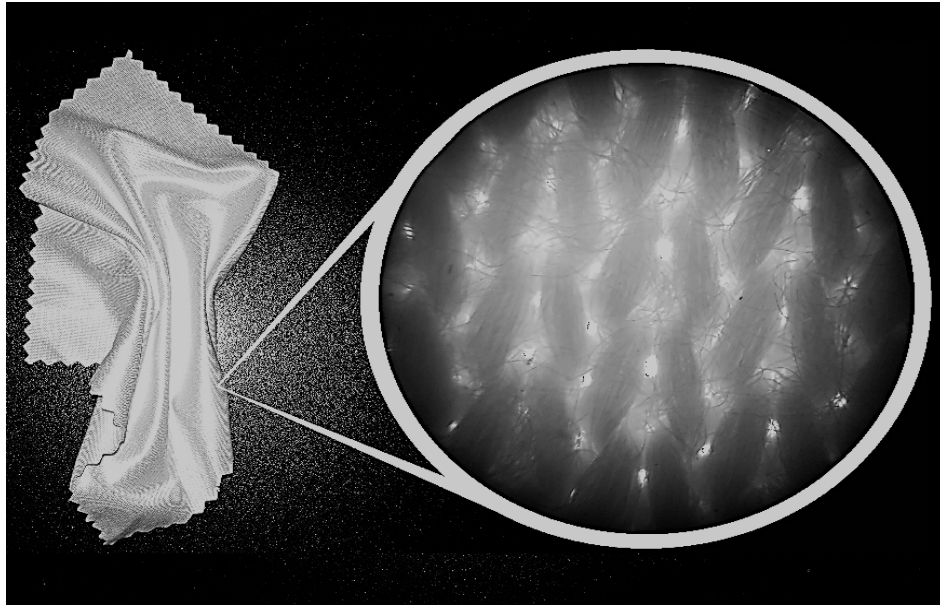
3.2 DC Manyetik Alanda Püskürtme Sisteminin Kullanımı

Bu bölümde, bu çalışma süresince ince film üretim süreci başlangıçtan sonuna kadar detaylı bir şekilde anlatılacaktır. Aşağıda anlatılan bölümler yalnızca tek bir filmin üretimi olup her bir film üretimlerinde tüm aşama aynı şekilde uygulanmıştır.

Fiziksel buharlaştırma sisteminin yüksek vakum gerektirmesi, ayrıca bu durumun tekniğin bir zorluğu olmasının yanında üretilen filmlerin yüksek homojenlik ve safsızlıkta üretilebilme olanağı sağlaması bir avantaj olarak görüldüğü daha önce Bölüm 2.7’de detaylı şekilde açıklandı.

Yüksek vakum sistemlerinin kurulduğu odada temiz oda standartları özenle sağlanmalıdır. Bunun yanında yapılan çalışmalarda kullanılan alt tabaka malzemesi, kaynak hedef malzemesi ve bu malzemeleri sisteme yerleştirmek için kullanılan diğer sistem bileşenlerinin temizlikleri de özenle yapılmalıdır.

Sistemde zaman içinde kullanılan kaynak malzemeden kopan atomlar vakum odasının iç yüzeyinde topaklanmaların (droplet) oluşmasına sebep olmaktadır. Her bir seri üretim değişikliğinde detaylı ve seri içinde her bir yeni film üretiminde de standart bir temizlik yapılması gerekmektedir. Bu temizlik işleminde ellerde bulunan organik vücut artıklarından (cilt yağı vb.) bulaşma olmaması, farklı kirlenmelere yol açılmaması için pudrasız ve organik madde içermeyen eldiven ile diğer koruyucu laboratuvar çalışma kıyafetleri (önlük, maske, bone vb.) mutlaka kullanılmalıdır. Temizlik sürecinde mutlaka mikrofiber bez kullanılmalıdır. Mikrofiber bezler çok uzun ipliklerin sıkı sıkı dokunmasıyla elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan mikrofiber bezlerin ticari üreticisi her bir gramında 9000 metre iplik kullanılarak üretildiğini belirtmektedir [63]. Bu özelliğinden dolayı temizlik sırasında ortama organik kirliliğe sebep olacak tüycükler bırakmamaktadır. Bu bezin bir fotoğrafı ve ışık mikroskobu altındaki 150 kat büyütülmüş görüntüsü birleştirilerek Şekil 3.16'da sunulmuştur.



Şekil 3.16: Işık mikroskobu ile 150 kez büyütülmüş mikrofiber bez görüntüsü.

Bu çalışmada, alt tabaka ve hedef kaynak (target source) malzemelerine olası organik kirlenmeleri engelleme amacıyla organik bileşen (kauçuk vb.) içermeyen tek kullanımlık eldiven ile tutularak işlemler yapıldı. Bu eldivenlerin kullanılmasının yanı sıra temizliği kolaylaştırması için buharlaşma hızı oldukça yüksek olması ve atık bırakmamasından dolayı izopropil alkol kullanıldı.

Alt tabaka, kaynak ve bu malzemelerin vakum odasının içine bir şekilde yerleştirilmesini sağlayan tüm parçalar (kaynak ve alt tabaka tutucu vb.) film üretimi hazırlığında izopropil alkol ile ıslatılmış bir mikrofiber bez ile kabaca temizlendi. Sonrasında her bir parçayı ayrı ayrı temizlemek amacıyla içinde izopropil alkol bulunan ultrasonik temizleme makinesinde (KUDOS, SK3310HP, Çin) 15 dakika süreyle organik ve inorganik her türlü kirden arındırılması için temizlik banyosu yapıldı. Sonrasında kirletmeden temiz bir mikrofiber bez üzerine alınarak oda koşullarında kurutuldu. Şekil 3.17’de bu işlem için kullanılan Ultrasonik Temizleme Makinesinin bir fotoğrafı sunulmuştur. Bu işlemler her bir film üretimi için ayrı ayrı aynı şekilde tekrarlandı.



Şekil 3.17: Ultrasonik temizleme makinesi.

3.3 İnce Filmlerin Üretilmesi

Kaynak malzeme olarak ortalama 0.48 mm kalınlığında ve 50.8 mm çapında AISI 202 diskler ile ortalama 0.78 mm kalınlığında ve yine 50.8 mm çapında AISI 304 diskler kullanıldı. Diskler yüzeyindeki oksitlenme ve kirlilerden kurtulmak için hafifçe ve yeterince zımparalanarak kabaca temizlendi. Sonrasında bu diskler önceki paragraflarda detaylı şekilde anlatıldığı gibi temizlenen kaynak diskin pürüzsüz yüzeyi Şekil 3.18’de görülen magnetronun yüzeyine temas edecek şekilde yerleştirildi.



Şekil 3.18: Magnetronun yüzeyi (a) ve Montaj sonrasında koruyucu (b) ile birlikte görünümü.

Pürüzsüz yüzeyi magnetronlara getirilmesinin sebebi daha sonra bu boşluklarda ark oluşmasının önlenmesidir. Bu durumda tüm çalışmanın iptal edilip, sistemin durdurulup kaynak malzemenin konumunun tekrar değiştirilmesi zorunlu hâle gelebilir. Tüm bu işlemler ve sistemin toplamda uygun çalışma seviyesinde vakum elde etme süresi göz önüne alındığında sistemi tekrar açma ve kapatmanın vakit kaybı olacağından herhangi bir sorunla karşılaşmadan önlem almak en akılcı çözüm olduğu açıkça ortadadır. Kaynak malzeme yerine yerleştirilip kaynak tutucu tüm vidaların yeterince sıkılarak kaynak malzemenin sabitlendiğinden emin olunduktan sonra bir multimetre ile iletkenlik kontrolleri yapıldı. Böylelikle kaynak malzeme ile magnetronları birikmelerden koruyan koruyucu arasında olası bir kısa devreye sebep olacak kirlilik olmadığından emin olundu.

Alt tabaka için ticari olarak satılan; yapılan analizlerde içinde kristal yapı bulunmayan ve manyetik bir bileşen ihtiva etmeyen asetatlar kullanıldı. Uygun ölçüde kesilip hazırlandıktan sonra bu bölümün başında detaylı şekilde anlatıldığı gibi temizlendikten sonra oda sıcaklığında kuruması beklendi. Kuruduktan sonra etiketleme yapıldı. Alt tabaka tutucu içine yerleştirilip, tutucu da vakum odasının üst kapağında bulunan alt tabaka tutucu ile birlikte vakum odasının üzerine uygun şekilde yerleştirildi.

Vakum odasının açılabilir üst kapağı, eser miktarda vakum gres ile bocalanmış contaların uygunluğu ve temizliği dikkatle gözlendi. Sistem kapağı, cihaz içinde iletken bileşenlerin birbirlerine temas etmeyecek şekilde olduğuna emin olundu. Sonra tek seferde kapatıldı. Bu şekilde kapatmanın alt tabakanın yerinden oynamamasını ve kapak ile contanın birleşim yerinin tek seferde temasının sağlanmasının sızdırmazlığı iyileştirdiği tecrübe edildi.

Diğer gerekli kontroller yapılarak kapatıldıktan sonra cihazın kontrol panelinde basınç monitörü ve kalınlık sensöründen gelen verilerin değerlendirildiği gösterge ekranları çalıştırıldı. Döner yapraklı mekanik pompa çalıştırıldı. Vakum odasının basıncını TMP'nın çalışabilmesi için gereken azami değer olan 5×10^{-3} mBar basıncın altına düşürmek için yaklaşık 40-50 dakika süreyle çalıştırmaya devam edildi. Soğutma sisteminin çalıştığından, soğutma hatlarının sıcaklıkları kontrol edilerek sistem TMP'nın çalıştırılabileceği basınca getirilirken eş zamanlı olarak doğru şekilde çalıştığından emin olundu. Uygun vakum basıncına gelindiğinde TMP çalıştırıldı. Basınç 5×10^{-6} mBar vakum değerine gelinceye dek yaklaşık 50-60 dakika daha sistem takip edildi. Bu seviyede vakuma ulaşıldığında da bir süre daha beklendi. Böylelikle vakum odası içindeki vakum atmosferinin yabancı parçacıklardan tamamen arınmış olduğundan emin olundu.

Vakum odası basıncı istenilen değere düşürülerek yeterli atmosfer temizliği sağlandıktan sonra kontrol panelinden gerekli olan tüm ünitelere enerji verildi. Kalınlık monitörü çalıştırılarak, üzerinde çalışacak maddelerin yoğunlukları, z-faktör ve kütle yüzdesi değerleri ayarlandı. Sistemde bulunan iki adet DC magnetronun kaynak malzemenin yerleştirilmiş olanı, magnetron seçmeye olanak sağlayan yüksek gerilim konektörü aracılığıyla seçildi.

DC güç kaynağı çalıştırıldı. Kaynak malzemelere göre planlanan parametrelerde filmlerin üretilmesi sırasında güvenli sınır koşullarını belirlemek amacıyla yapılan birkaç deneme ve gözlemlerin sonunda AISI 202 kaynağı için 360 V ve yine AISI 304 kaynağı için ise 450 V olmak üzere DC gerilim uygulanmasına karar verilerek kontrol panelinde de bu değerlerde ayarlandı. İstenilen değerlerde inert gaz akışı sağlayan elektronik aktüatörü kontrol eden kütle akış kontrol ünitesi çalıştırılarak vakum odası içine argon gazı akışı sağlandı. Bu aşamada ani gaz artışı TMP üzerine aşırı yük bindirmesi sebebiyle kaçınılması gereken bir durumdur. Bu sebeple argon gaz akışı TMP'nın zorlanmasına sebep vermeyecek şekilde 90 sccm kütle akış değerinin üzerine çıkana kadar yavaş yavaş arttırıldı. Böylece istenilen seviyede gaz akışı güvenle sağlandı.

Plazma oluşturulması beraberinde kaynak yüzeyinden atomların da sökülmesi anlamına gelmektedir. Bu sebeple, istenilen parametreler elde edilene kadar alt tabakanın kontrolsüz şekilde kaplanmasını önlemek için alt tabaka ile kaynak arasına konumlandırılmış olan engel (shutter) aracılığıyla alt tabakanın üzerine birikme olması engellendi. Sistemde bulunan pencereden gözlenerek engelin alt tabakayı koruduğuna emin olundu. Sistem üzerinde bulunan iki adet DC magnetronun kullanılması planlanan ile DC güç kaynağı arasındaki kontak sağlandı. Doğru şekilde kontak sağlandığı tekrar kontrol edilerek emin olundu. Her seferinde ilk kez plazma oluşturmak için DC güç kaynağında akım ile ~ 100 W güç ayarlanarak plazma oluşturulması için çıkış gücü verildi. Plazma oluştuğu gözlemlendikten sonra tasarruflu kullanım amacıyla inert gaz kütle akış miktarı önceden planlanan parametrelerde sorunsuz çalışılabilecek en düşük değer olan 40 sccm(standart cubic centimeter) olarak ayarlandı. DC güç kaynağı üzerinde akım değiştirilerek ayarlamak suretiyle planlanan biriktirme hızları elde edildi.

Tüm parametrelerin kontrolü yapıldıktan sonra kalınlık monitörü üzerindeki sayaç sıfırlanarak ve eş zamanlı olarak alt tabak üzerindeki engel kaldırıldı. Böylelikle alt tabaka üzerinde film biriktirme süreci başlatıldı.

Filmlerin biriktirilmesi sırasında tüm parametreler takip edildi ve sık aralıklarla not edildi. Film biriktirme süreci planlanan 50 nm kalınlığa ulaştığında DC gerilimin kesilmesiyle oluşturulan plazmanın ortadan kaldırılması eş zamanlı olarak koruyucu

engelin tekrar kapatılması ile sonlandırıldı. Hemen arkasından inert gaz akışı da hızlı bir şekilde sıfırlandı. Yirmi dakika süresince vakum odasının tekrar temizlenmesi beklendikten sonra TMP'nın gücü kesildi. Tamamen durması yaklaşık 75 dakika sürmesinden dolayı bu süre boyunca TMP soğutulmaya devam edildi.

Sürecin sonunda çıkış vanaları kapatılarak rotary pompa da durdurulup tüm pompalar durdurulmuş ve vakum işlemine son verilmiş oldu. Böylelikle üretilen film çıkarılıp bir sonraki film için hazırlanan alt tabaka yerleştirilene kadar vakum altında korundu. Vakum odası içine argon gazı doldurularak büyütülmesi tamamlanan filmin kirlenmesi ya da atmosferde bulunan diğer gaz atomlarıyla yüzey üzerinde bağ kurması engellendi. Filmin sistemden çıkarılıp bir sonraki filmin hazırlığı için vakum odasının basıncı argon gazı verilerek yavaş yavaş atmosfer basıncına eşitlendi. Basınç eşitlenmesi sonunda vakum odasının açılabilen üst kapağı kaldırıldı. Dikkatle alt tabaka tutucu ile birlikte çalışma tezgâhı üzerine alındı. Burada filmler özenle etiketlenmiş zarfların içine zarar görmeyecek şekilde yerleştirildi.

Üretilen filmler seriler tamamlana ve gereken yapısal ve manyetik analizler yapılanaya kadar zarar görmeden saklanmak üzere vakumlu cam kavanozlar içerisinde bağlantı noktası ticari parafin film aracılığıyla sızdırmazlığı sağlanarak ve ayrıca vakumlu desikatör içinde muhafaza edildi.

Bu süreçte, tüm filmlerin toplam kalınlıkları 50 nm olup, üretimi etkileyen parametrelerden inert argon gazı 40 sccm değerinde, hedef malzeme ile alt tabaka arasındaki mesafe eşit tutulmuş, vakum odası basıncı $\sim 5.30 \times 10^{-3}$ mBar seviyesinde sabit tutulmuş ve üretimler deneysel etkilerden kaynaklı $\pm 4^\circ\text{C}$ ' değişimlerle oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. İki farklı malzeme (AISI 202 ve AISI 304) ile her bir kaynak malzemedен de püskürtme tekniğinde önemli üretim parametrelerinden biriktirme hızı ve döner alt tabaka hızı olmak üzere iki konu üzerine çalışma yapılmıştır. Döner alt tabakanın, farklı dönme hızlarındaki etkileri araştırılan serilerin üretimlerinde, bu parametrenin ölçüm ve takibi Bölüm 3.5.3'te detaylı şekilde anlatılan "Döner Alt tabaka Otomatik Dakikada Devir Ölçüm Sistemi" ile gerçekleştirildi. Ayrıca biriktirme hızı ile 50 nm toplam kalınlığa ulaşma süresi teorik olarak hesaplanarak saniye, (") simgesi ile sunulmuştur. Deneysel üretim sürecindeki süre ile teorik süre karşılaştırılarak ayrıca biriktirme hızının sapma oranları da belirlenerek tablolarda yer verilmiştir.

3.3.1 FeCrMn Alaşım İnce Filmlerin Üretimi

Bu çalışma kapsamında FeCrMn ince filmlerin üretilmesi Bölüm 3.3'te anlatıldığı gibi çalışma konusu dışındaki tüm parametreler sabit tutularak gerçekleştirildi. Tablo 3.1'de görüldüğü gibi FeCrMn ince filmleri biriktirme hızları farklı değerlerde değiştirilerek üretilmiş ve bir seri film elde edilmiştir. Üretimi etkileyen parametrelerden biriktirme hızı uygulanan güç ki bu da sabit DC gerilim altında uygulanan akım değiştirilerek gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.1: Farklı biriktirme hızları incelenen FeCrMn filmlerinin üretim parametreleri.

Film	Biriktirme Hızı (nm/s)	Gerilim (Volt)	Akım (mA)	Güç (Watt)	Süre		Sapma (%)
					Teorik	Ölçülen	
FeCrMn	0.04	334.5	99	33.1	1250"	1275"	2.8
	0.06	339.8	142	48.3	833"	855"	2.6
	0.08	340.2	185	62.9	625"	638"	2.1
	0.10	339.3	238	80.8	500"	509"	1.8
	0.12	339.5	295	100.2	417"	422"	1.4

Tablo 3.2'de görüldüğü gibi FeCrMn alaşım ince filmleri 0.12 nm/s biriktirme hızında döner alt tabaka hızları farklı değerlerde değiştirilerek üretilmiş ve ikinci bir seri film elde edilmiştir. Üretimi etkileyen parametrelerden döner alt tabaka hızı alt tabaka tutucuyu döndüren DC elektrik motoruna uygulanan DC gerilim değiştirilerek gerçekleştirilmiş ve geribildirim otomatik devir ölçüm sistemiyle elde edilmiştir.

Tablo 3.2: Döner alt tabakanın farklı hızları incelenen FeCrMn filmlerinin üretim parametreleri.

Film	Döner Alt Tabaka Devri (rpm)	Süre		Sapma (%)
		Teorik	Ölçülen	
FeCrMn	0	417"	420"	0.7
	15.0 ± 0.2	417"	420"	0.7
	30.0 ± 0.3	417"	420"	0.7
	45.0 ± 0.4	417"	416"	0.1

3.3.2 FeCrNi Alaşım İnce Filmlerin Üretimi

Bu tez kapsamında FeCrNi alaşım ince filmlerin üretilmesi de Bölüm 3.3'te anlatılan adımlar takip edilerek çalışma konusu dışındaki tüm parametreler sabit tutularak gerçekleştirildi. Tablo 3.3'te görüldüğü gibi FeCrNi alaşım ince filmlerinin biriktirme hızları farklı değerlerde değiştirilerek deneysel olarak üretilmiş ve üçüncü bir seri film elde edilmiştir. Üretimi etkileyen parametrelerden biriktirme hızı uygulanan güç ve bu da sabit DC gerilim altında uygulanan akım değiştirilerek gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.3: Farklı biriktirme hızları incelenen FeCrNi filmlerinin üretim parametreleri.

Film	Biriktirme Hızı (nm/s)	Gerilim (Volt)	Akım (mA)	Güç (Watt)	Süre		Sapma (%)
					Teorik	Ölçülen	
FeCrNi	0.04	439.2	105	46.1	1250"	1273"	1.8
	0.06	439.5	161	70.8	833"	845"	1.6
	0.08	440.1	190	83.6	625"	648"	2.7
	0.10	439.8	250	101.0	500"	500"	0.0
	0.12	439.9	290	127.6	417"	424"	1.4

Tablo 3.4'te görüldüğü gibi FeCrMn alaşım ince filmleri 0.12 nm/s biriktirme hızında döner alt tabaka hızları farklı değerlerde değiştirilerek üretilmiş ve ikinci bir seri film elde edilmiştir. Üretimi etkileyen parametrelerden döner alt tabaka hızı önceki seride olduğu gibi alt tabaka tutucuyu döndüren DC elektrik motoruna uygulanan DC gerilim değiştirilerek gerçekleştirilmiş ve geribildirim otomatik devir ölçüm sistemiyle elde edilmiştir.

Tablo 3.4: Döner alt tabakanın farklı hızları incelenen FeCrNi filmlerinin üretim parametreleri.

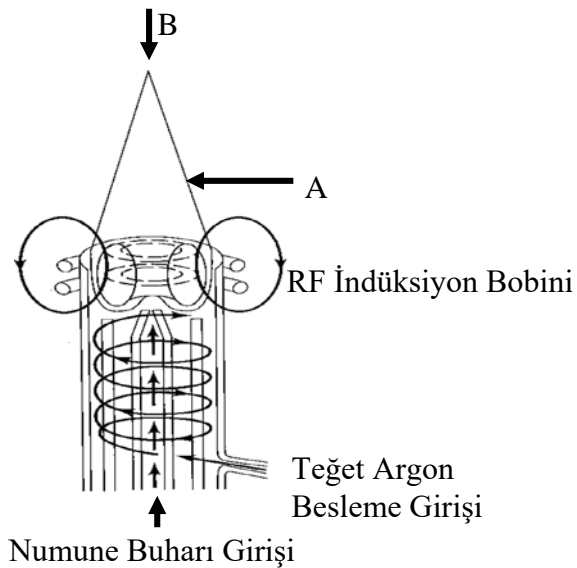
Film	Döner Alt Tabaka Devri (rpm)	Süre		Sapma (%)
		Teorik	Ölçülen	
FeCrNi	0	417"	421"	0.8
	15.0 ± 0.1	417"	418"	0.1
	30.0 ± 0.2	417"	418"	0.1
	45.0 ± 0.3	417"	413"	0.8

3.4 Filmlerin Analiz Teknikleri

Bu başlık altında, çalışma kapsamında filmlerin üretimi sonrası başvuru analiz yöntemleri hakkında alt başlıklarda kısaca bilgiler paylaşıldı. Bu kapsamda; ICP-AES, EDX, XRD, SEM, AFM ve VSM hakkında detaylı bilgilere yer verildi.

3.4.1 Endüktif Eşleşmiş Plazma - Atomik Emisyon Spektroskopisi

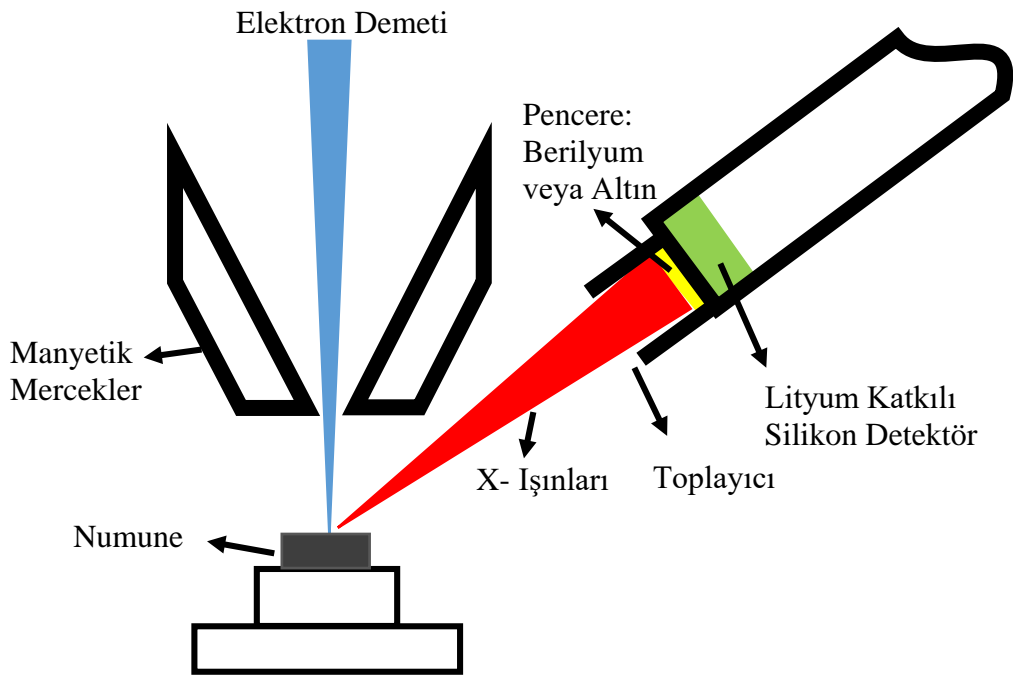
Bu yönteme Endüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi (ICP-AES, Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy) denir [64]. Manyetik bir şişe içinde inert argon gazı ile oluşturulmuş plazmanın içine numune enjekte edilerek, plazma aracılığıyla numuneyi oluşturan elementlerin elektronlarının uyarılması sağlanır. Tipik bir ICP kaynağı Şekil 3.19'da gösterilmiştir. Uyarılan elektronlar, eski kararlı duruma dönerlerken karakteristik bir dalga boyunda enerji yayarlar. Yayılan bu ışık optik bir spektrometre aracılığıyla ölçülerek analizi yapılır. Atomların en dış kabuklarında bulunan elektronların uyarılması ve geri dönmesi sürecinde yayınlanan enerji her element için farklı olmasından faydalanılarak spektroskopideki enerji şiddetine göre numunenin içerik yüzdesi belirlenebilir. Bu çalışmada, hedef kaynak malzemeler için bahsedilen atomik içerikler, ticari olarak alınan kaynak malzemelerinin bir ICP-AES (PERKIN-ELMER, OPTIMA 7300 DV, USA) ile yapılan analiz sonucudur.



Şekil 3.19: Tipik ICP Kaynağı: A plazma hamlacı; B ise, plazma yönünde yüksek enerjili numune çıkışı göstermektedir [63].

3.4.2 Enerji Ayırmalı X-Işınları Spektroskopisi Analizi

Enerji Ayırmalı X-Işınları Spektroskopisi (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, EDXS) analizi genelde, kısaca EDX olarak anılır. Şekil 3.20’de görüldüğü gibi incelenen numunenin bir yüzeyi hızlandırılmış elektron demetiyle bombardıman edilerek numunenin üzerinden karakteristik X-ışını fotonlarının yayınlanması ve bu fotonların uygun detektörlerle algılanarak analiz edilip numuneyi oluşturan bileşenlerin tespit edilmesi prensibine dayanır.



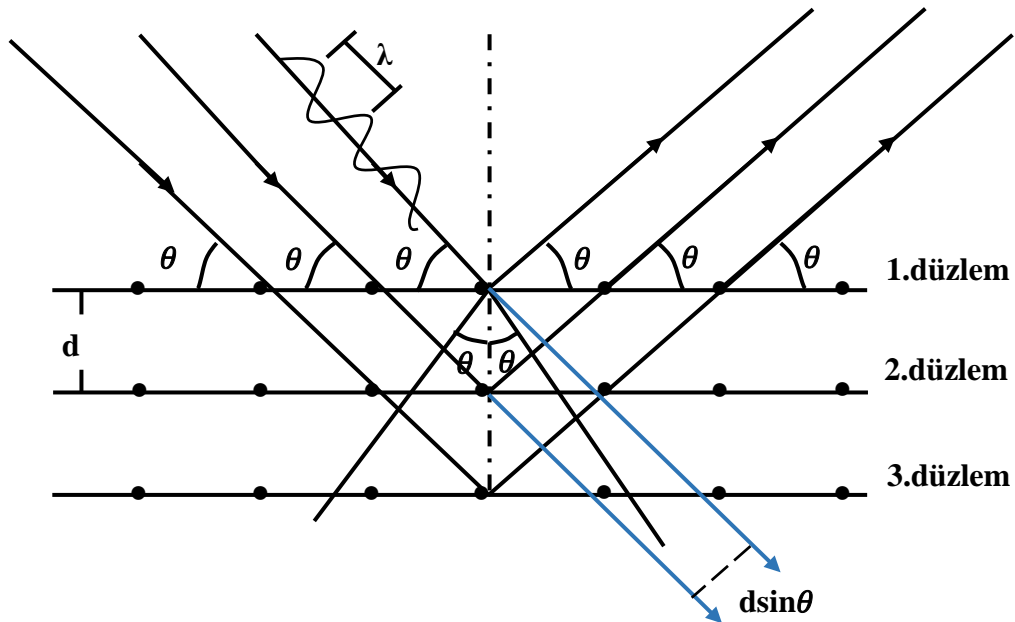
Şekil 3.20: EDX analizi detektörünün şematik gösterimi.

İncelenen numune üzerine gönderilen elektronların enerjisi, numunenin elektronlarının bağlanma enerjisinden daha büyüktür ve numunedeki atomun iç yörüngesinden bir elektron kopmasına neden olur ki kopan bu elektronun yerini atomun üst yörüngesinden gelen ve daha fazla enerjiye sahip olan elektron doldurur [64-65]. Üst yörüngeden, alt yörüngeden koparılan elektronun yerine geçen elektron bu anda karakteristik bir X-ışını yayımlar. Numune içindeki atomların yoğunluğu, yayımlanan karakteristik X-ışınlarının şiddetleri ile orantılıdır ve numunenin elementel bileşimi hakkında bilgi verir. Ortaya çıkan bu karakteristik X-ışınlarının enerjilerine göre ayırt edilip ölçülmesi işlemine enerji ayırmalı X-ışınları spektroskopisi denir [64-66]. Spektrumda görülen piklerin her biri farklı frekansta olduğundan farklı bir atoma özgü yani karakteristik olduğu için farklı bir elemente karşılık gelir. Piklerin şiddeti ise o pike

neden olan elementin numunedeki miktarını ifade eder [2-3, 64]. Bu yöntem sayesinde numunede belirlenen herhangi bir bölgenin elementel analizi yapılabileceği gibi numune üzerindeki herhangi bir noktanın da elementel analizi yapılabilir. Bu çalışma kapsamında üretilen filmlerin içerik analizleri SEM ile tümleşik bir EDX detektörü (Bruker, Quantax 124 eV, Birleşik Krallık) ile elde edildi.

3.4.3 X-ışınları Kırınımı

X-ışını kırınımı (X-Ray Diffraction, XRD) bir kristal yapının analizinin yapılmasında yapıya zarar vermemesi açısından önemlidir. Kristal yapıdan her hangi bir parçacık sökülmediği için yapı hasar görmez ki bu durum tahribatsız olmasını sağlar. Kristal yapının üzerine X-ışınları gönderilerek, kristalin örgü noktalarındaki atomlar tarafından saçılması ve etkileşmeleriyle yapıcı girişim yapması sonucu ortaya çıkan kırınım deseni sayesinde elde edilen verilerin hesaplanması ile yapı hakkında birçok bilgiye ulaşılabilir. Şekil 3.21’de mükemmel bir kristal düzleminde saçılarak yapıcı girişim oluşturan X-ışınlarının geometrisinin sembolik gösterimi verilmiştir. Yalnızca komşu düzlemlerden gelen yansımaların yapıcı girişim oluşturmasıyla kırınım desenleri ortaya çıkar. Yapıcı girişim oluşabilmesi için Bragg yasasında da ifade edildiği gibi X-ışınlarının optik yol farkının dalga boyunun n . katlarına eşit olması gerekir [45, 64].



Şekil 3.21: Mükemmel bir kristal düzleminde X-ışınları kırınımı.

Kristal yapı ile ilgili bilgiler Bragg tarafından ortaya atılan dalga teorisi ile hesaplanabilir. Bu teorideki denklem,

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

olarak ifade edilir. Burada kristal düzlemleri arasındaki mesafe, d , gelen ışınlarla düzlemler arasındaki açı, θ , yansımanın mertebesi, n olarak verilmiştir.

Yapıcı girişimin olduğu açılar X-ışını kırınımı deseninde pikler olarak görülür. Piklerin yarı yüksekliğindeki genişliği Denklem (3.2) Scherrer bağıntısında kullanılarak yansımanın olduğu kristal düzleminin tane büyüklüğü hesaplanabilir [45, 64]. Kristal düzleminin tane büyüklüğü t , aşağıda verilen Scherrer bağıntısı [45, 64] kullanılarak bulunur:

$$t = \frac{0.9\lambda}{\beta_{1/2} \times \cos\theta} \quad (3.2)$$

burada, çalışılan pikin yarı yükseklikteki pik genişliği, $\beta_{1/2}$, θ ise yansıma açısıdır.

Bu tez çalışması kapsamında üretilen tüm filmlerin kristal yapı tayini amacıyla yapılan XRD analizleri; 50keV gerilim ve 40mA akım ile toplam 2000W güç kullanılarak elde edilen $\text{CuK}\alpha_1$ ($\lambda = 0.15406$ nm) radyasyonunun, Nikel monokromatör filtre kullanılarak kırınım açısı, $2\theta = 30^\circ$ ile 90° arasında 0.005° adım aralığıyla taranarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında XRD desenleri anlaşılır aralıklarda çizdirilmiştir.

Bu çalışma süresince yapılan XRD analizleri; Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan bir XRD cihazı (Bruker, D8 Advance with Davinci Design for XRD², Birleşik Krallık) ile gerçekleştirildi. Şekil 3.22'de bu cihazın bir fotoğrafı sunulmuştur.

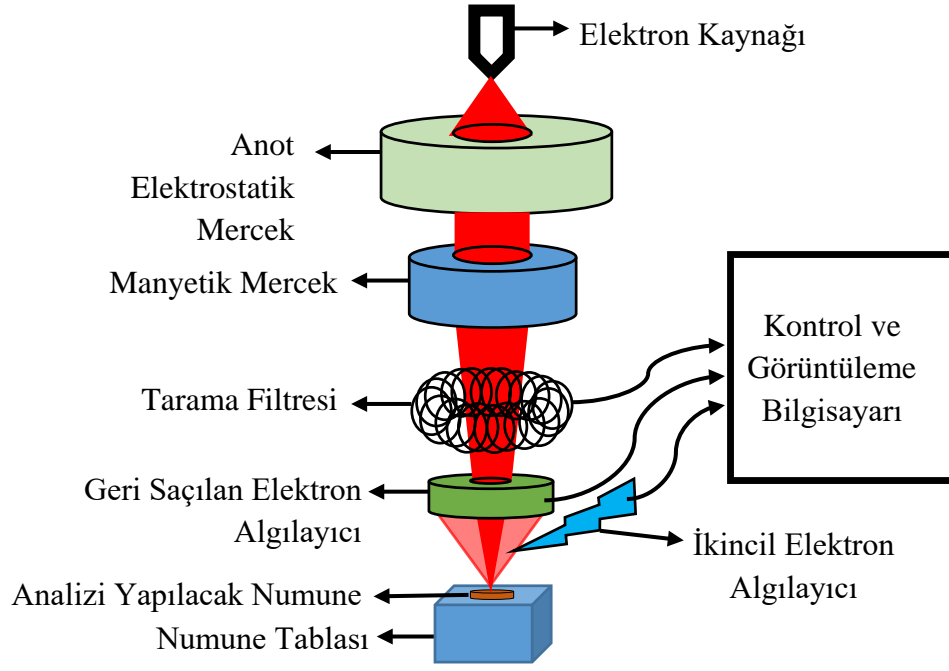


Şekil 3.22: XRD'nin bir fotoğrafı.

3.4.4 Taramalı Elektron Mikroskobu

Katı yüzeyleriyle ilgili inceleme yapılması istenildiğinde; yüksek büyütme oranlarında, yüksek çözünürlükte görüntü elde etmek istenir ki bunun için de Şekil 3.13'te şematik gösterimi olan taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope, SEM) kullanılır.

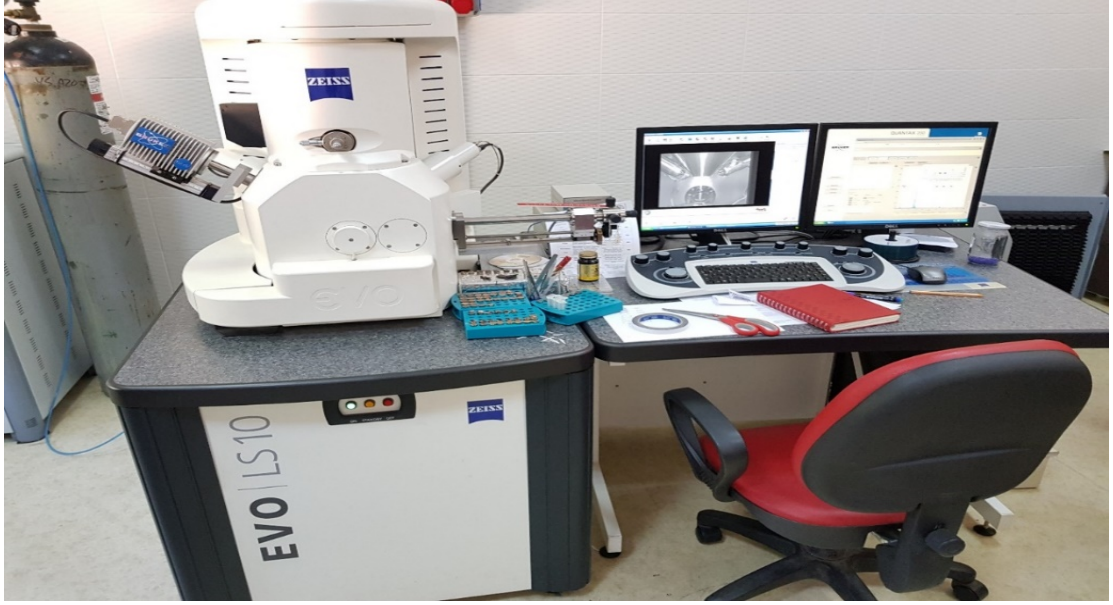
Taramalı elektron mikroskobu ile görüntü elde etmek için incelenecek olan katı numune eğer yalıtıksa, bir şekilde kaplanarak iletken duruma getirildikten sonra yüksek vakum ortamında yüksek gerilim altında hızlandırılmış elektron demetiyle iki boyutta taranır. Taramalı elektron mikroskobu ile görüntüleme her bir koordinatta gelen verilerin Op-Amp (operational amplifiyer, operasyonel yükseltici) aracılığıyla okunaklı değerle çıkarılıp dijital ortama aktarıldıktan sonra bu koordinatların tekrar bir araya getirilmesi sonucu yüksek çözünürlükte görüntüler elde edilmesi şeklindedir.



Şekil 3.23: SEM'in şematik gösterimi.

Görüntülenecek numunenin yüzeyine çarpan hızlandırılmış elektronlar atomların dış yörüngelerinde dolanan elektronlarla çarpışırlar ki bu durumda elastik ve inelastik çarpışmalar oluşur. Bu inelastik çarpışmalar sonucu ortama Auger elektronları salınır. Bu Auger elektronları numune yüzeyi hakkında bilgi verir. Hızlandırılmış elektronların yaptığı elastik çarpışmalar sonucunda numune yüzeyindeki atomlarda bulunan elektronların içinde ikincil olanlar yüzeyden ayrılırlar ve görüntüyü oluştururlar. Yüzey üzerindeki atomların yörüngeler arasındaki inelastik etkileşmeleri sonucu ortama X-ışınları çıkar ancak enerjisi düşük olduğundan yapısal analiz için yeterli değildir. Bu noktada Bölüm 3.4'te anlatılan enerji ayırmalı X-ışınları spektroskopisi analizi yapılabilecek şiddetteki ışınlar başka bir kaynak ile oluşturur [2-3, 64]

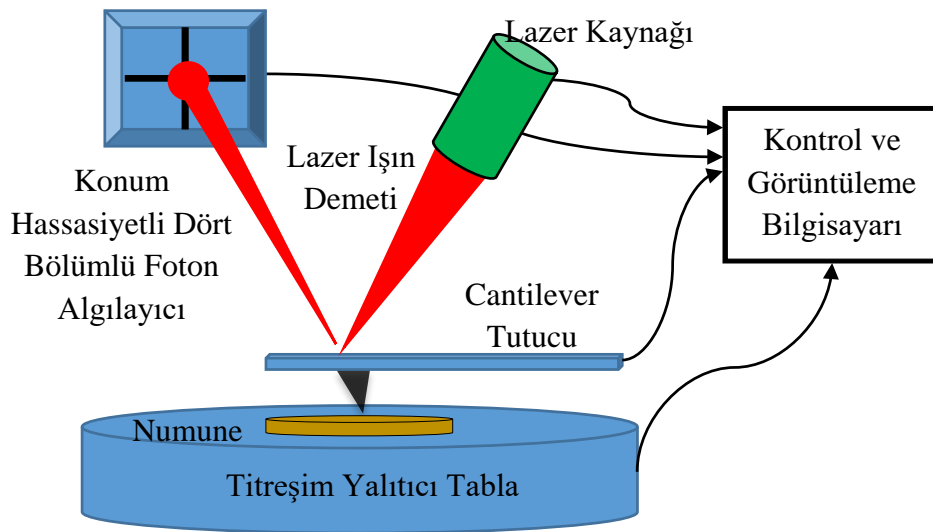
Bu çalışmada filmlerin yüzey morfolojilerin görüntüleri ve atomik içerik analizleri Konya, Selçuk Üniversitesi, İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi (İLTEK)'nde bulunan bir SEM (Zeiss, EVO LS 10, Almanya) ve cihazın üzerinde bulunan bir EDX detektörü (Bruker, eV123, Birleşik Krallık) kullanılarak elde edildi. Şekil 3.24'te bu tümleşik cihazın bir fotoğrafı sunulmuştur.



Şekil 3.24: SEM & EDX'in bir fotoğrafı.

3.4.5 Atomik Kuvvet Mikroskobu

Şekil 3.25'te şematığı görülen atomik kuvvet mikroskobuyla (Atomic Force Microscope, AFM) analizi yapılacak numunenin yüzeyini, belirli bir frekansta salınım yapan ve sıklıkla ucu 0.2 nm ile 10 nm arasında değişen, genellikle SiO₂ ya da Si₃N₄ malzemeden yapılmış iğne aracılığıyla kartezyen koordinatlarda tarayarak yüzeyin yüksek çözünürlükte ve üç boyutlu görüntüsü oluşturulur [3]. Bu iğne "Cantilever" adıyla anılır [64, 67].



Şekil 3.25: AFM'nin şematik gösterimi.

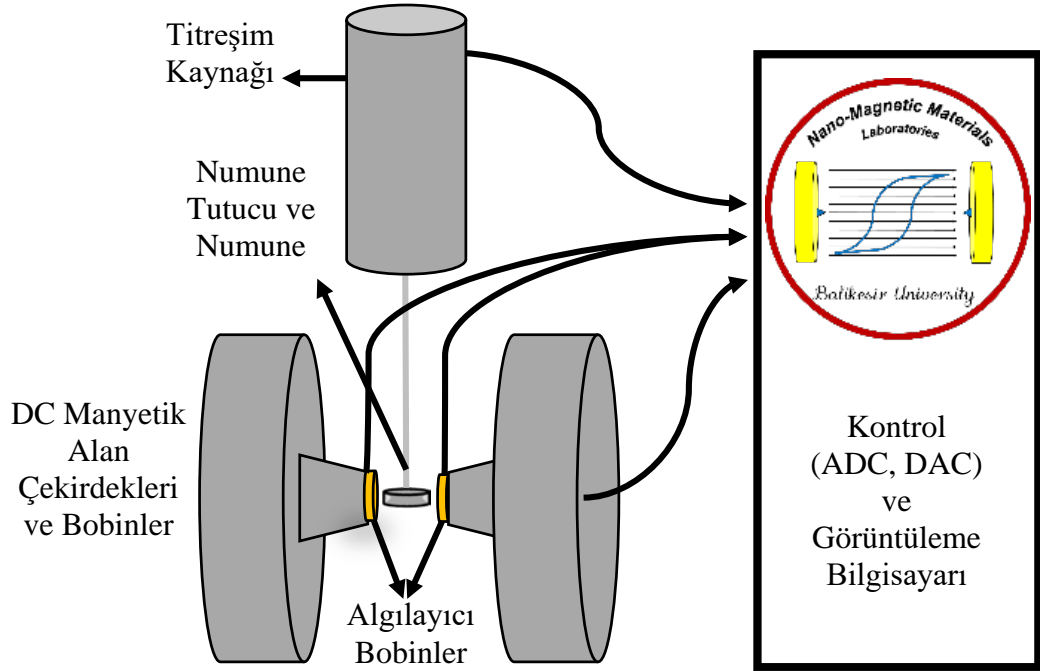
Atomik kuvvet mikroskopuyla; iğnenin yüzeye temas ettirilerek, temas ettirmeden ve iğnenin yüzeye vurdurularak yapılan toplam üç farklı teknik uygulanır. Atomik kuvvet mikroskopunda verilerin elde edilmesi iğne yüzeye yaklaştıkça, iğne ile yüzeydeki atom ya da moleküller arasındaki atomik kuvvetlere bağlı oluşan etkileşimin incelenmesiyle sağlanır. İğne yüzeye yaklaştıkça, yüzey ve bu iğne arasında bir çekim kuvveti olur. Daha da ileri gidilerek, iğne çok daha fazla yaklaştırıldığında yüzey iğneyi iter. Atomik kuvvet mikroskopuyla yalnızca yüzeyin görüntülenmesi değil [67] bunun yanında faz, elektriksel iletkenlik ve manyetik farklılıklar da belirlenebilmektedir [68] [42]. Bu tez çalışması dâhilinde filmlerin topografik yüzey görüntüleri Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan Şekil 3.26'da bir fotoğrafı sunulan bir AFM cihazı(NANOMAGNETICS INS., hpAFM, Türkiye) kullanılarak, normal koşullar altında $10 \mu\text{m}^2$ 'lik alan taranarak elde edildi. Filmlerin topografik analizleri ise firmanın geliştirdiği "NMI Image Analyzer 1.4" yazılımı ile gerçekleştirildi.



Şekil 3.26: AFM'nin bir fotoğrafı.

3.4.6 Titreşimli Numune Manyetometresi

En uygun çevirimiyle titreşimli numune manyetometresi (Vibrating Sample Magnetometer, VSM); sıcaklık, zaman ve manyetik alanın bir fonksiyonu olarak malzemelerin manyetik özelliklerini belirlemek ve yorumlamak için kullanılır. Şekil 3.27’de şematik görünümü olan VSM; sabit frekansta titreşim yapacak şekilde düzgün bir manyetik alan içerisinde yerleştirilen örnek üzerinden geçen manyetik akının değişimi sonucu bu numunenin çevresinde bulunan algılayıcı bobinler üzerinde indüklenen gerilimin ölçülmesi aracılığıyla numunenin manyetizasyon değerini belirleme prensibine dayanır. Bobinler üzerindeki gerilim manyetik alan içinde titreşen numunenin manyetizasyon değeriyle ilgilidir. Bu analiz ile manyetik malzemeler için karakteristik histeresis eğrisi elde edilir. Faraday yasasına göre algılayıcı bobin içindeki indüklenen gerilimin büyüklüğü yine bobin içindeki manyetik akının değişim hızıyla orantılıdır [1, 35, 40]. Bu gerilim manyetizasyonun bir fonksiyonudur ve VSM sistemi içinde analog-dijital dönüştürücü (ADC) işleminden geçirilerek kontrol ve kayıt için kullanılan bir bilgisayara gönderilir. Elde edilen veriler çizdirilerek histeresis eğri grafiğine ulaşılır.

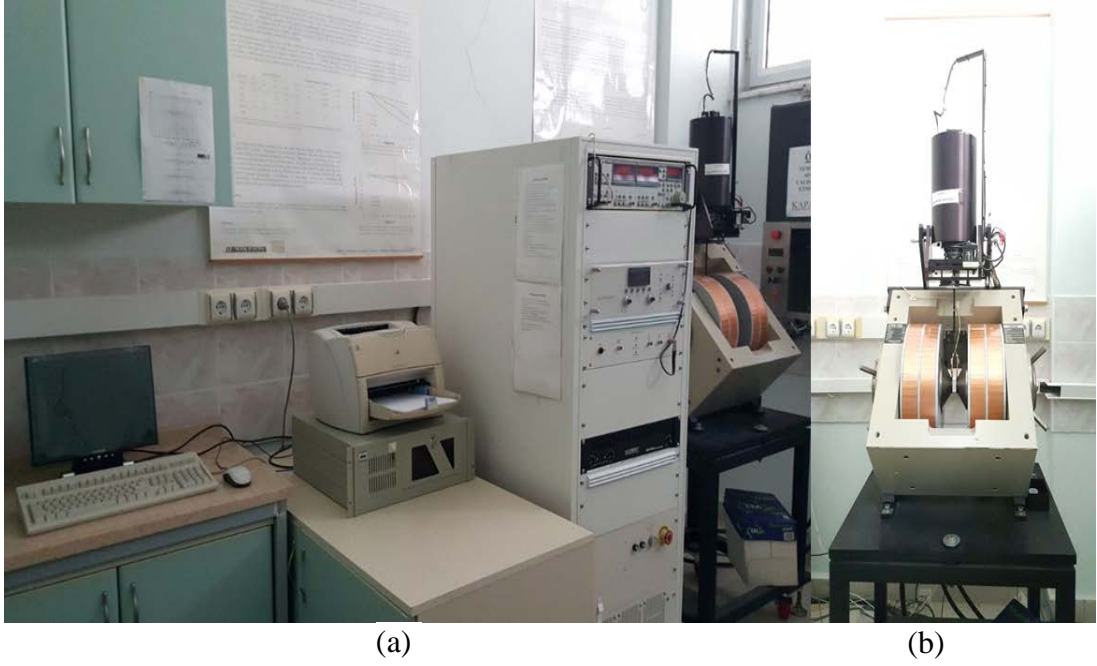


Şekil 3.27: VSM’in şematik gösterimi.

Bu yöntemde malzemenin manyetizasyon eğrisini en doğru şekilde elde etmek için bilinen bir değer üzerinden referans alınarak kalibrasyon yapılması gereklidir. Bu çalışmada da kalibrasyon, boyutları ve manyetik değerleri bilinen Nikel bir numune kullanılarak yapıldı.

Tüm maddeler manyetik alan içinde diyamanyetik alınganlık gösterir. Bu sebeple numune tutucu, yapışkan bant gibi diyamanyetik malzemelerden gelen diyamanyetik katkı da arka plan manyetizasyon eğrisine katılmalıdır. Böylelikle yalnızca numunenin histeresis eğrileri elde edilmiş olur. Numune bir holder aracılığıyla manyetik alan içinde en uygun pozisyon belirlenerek tutulacağından en doğru manyetizasyon eğrisini elde etmek için sistem numune dışında tüm parametreler sağlanarak arka plan manyetizasyon eğrisi belirlendi. Bu işlemler sonrasında yapılan numune ölçümünden önceki değerler çıkarılarak Ni elementinin manyetizasyonuna göre bu sistem ile yapılan ölçümler güvenilir ve yalnızca filmlerden kaynaklı veriler durumuna getirildi.

Bu çalışmada, şekil anizotropisinden kaçınmak için filmlerden 3 mm yarıçapında kesilen diskler VSM analizinde numune olarak kullanıldı. Filmlerin manyetik analizleri oda sıcaklığında, ± 20 kOe manyetik alan uygulanarak elde edildi. Ancak Bölüm 4'te sunulurken en anlaşılır şekilde yeniden sınırları belirlendi. Analizler sırasında manyetik alanın filmlerin yüzeyine uygulanış yönünü dik ve paralel olarak uygulanmasıyla yine dik ve paralel histeresis eğrileri elde edilmiştir. Bu çalışması kapsamında filmlerin manyetik analizleri Balıkesir Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi, Nanomanyetik Malzeme Ölçüm Laboratuvarında mevcut olan, duyarlılığı 5×10^{-6} emu olan VSM sistemi (ADE TECHNOLOGIES, DMS-EV9, ABD) kullanılarak yapıldı. Şekil 3.28 (a)'da kontrol ünitesi ve bilgisayarı (b)'de elektromıknatıs ve titreştiricinin birer fotoğrafı sunulmuştur.



Şekil 3.28: VSM sisteminin genel görünümü (a) Kontrol Bilgisayarı ve Kontrol Ünitesi, (b) Titrestirici ve Elektromıknatıs.

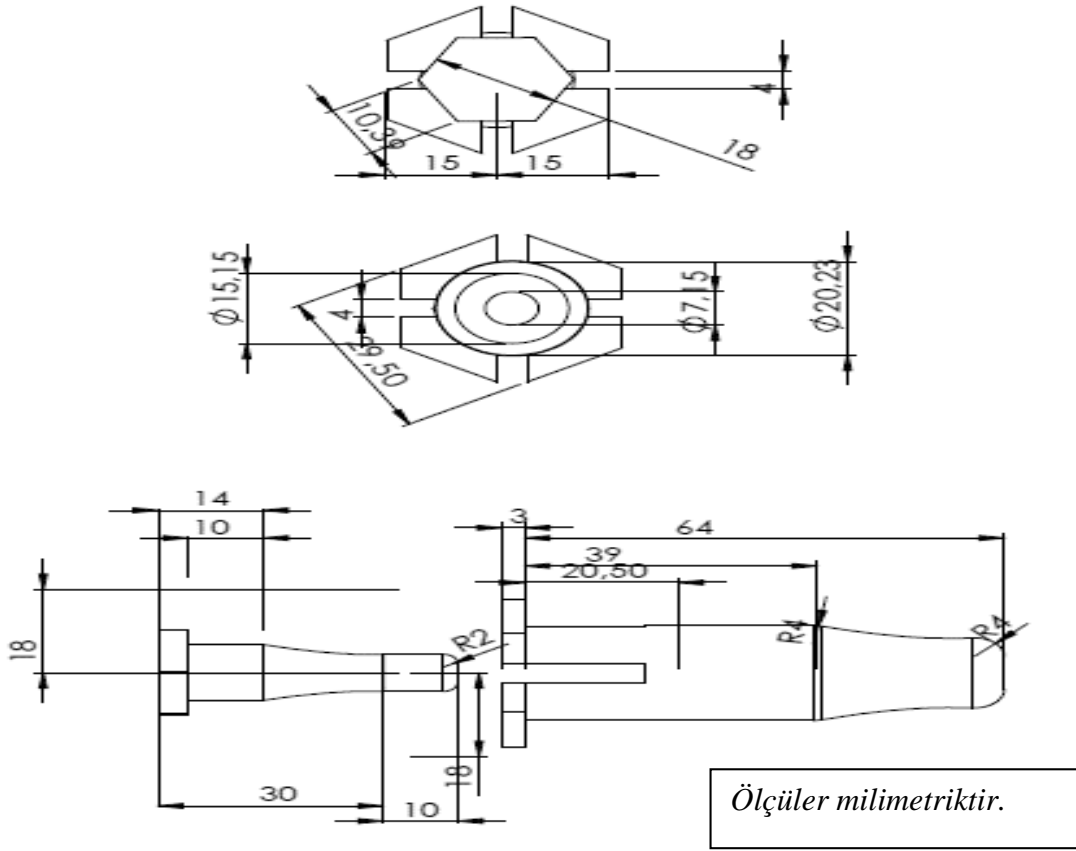
3.5 Fiziksel Buhar Biriktirme Sisteminin Geliştirilmesi

Deneysel üretimlerin gerçekleştirildiği Fiziksel Buhar Biriktirme Sisteminin anlatıldığı Bölüm 2.7’de bahsi geçtiği üzere bu sistemin en önemli avantajlarından biri ise geliştirilmeye açık olmasıdır. Bu bölümde, bu çalışma sürecinde gereksinim duyulan ihtiyaçlar doğrultusunda çözümleriyle birlikte sistemin geliştirilme faaliyetleri sunulmuştur.

3.5.1 Vakumun İyileştirilmesi

Vakum odası 22 mm kalınlığında paslanmaz çelik kullanılarak üretilmiş olup silindirik biçimde 36 litre hacme sahip olması ve üzerinde diğer cihazların da bulunması sebebiyle oldukça ağır bir sistem bileşenidir. Bu sebeple yalnızca açılabilen üst kapak ki bu da bir diferansiyel palanga sistemi olan bir ceraskal vinç yardımıyla sağlanmaktadır. Vinç ile kaldırılan kapak üç boyutta hareket edebilmektedir. Bu durum üst kapak ile vakum odasının ana gövdesi arasında bulunan sızdırmazlık contasının kapaklar ile temas eden yüzeyinin her seferinde değişmesine sebep olmakta olup dolayısıyla vakum süreci de arttırmaktaydı. Sorunun çözümü için üst kapak üzerinde bulunan bağlantı sağlamak amacıyla somunlar için bırakılan 20.3 mm çapındaki delikler

için 70 µm toleranslı Şekil 3.29’da teknik resmi sunulan parçanın tasarımı ve imalatı gerçekleştirildi. Üretilen bu kılavuz pimlerinden yalnızca üç tanesinin montajı, üst kapağın hareketini düşey ekseninde rahatlıkla hareketi sağlanacak şekilde ancak yatay eksenlerde iki yönde ± 70 µm sapma olacak şekilde sınırlandırdı. Böylelikle vakum odasının kapağının açılıp kapatılması sırasında; gövde ile üst kapak hareketi 70 µm sapma hassasiyetiyle, yalnızca dikey ekseninde doğrusallaştırılarak her seferinde aynı yere denk gelmesi sağlandı. Bu tekrarın doğrulanması sayesinde vakum süresi için yaklaşık 50 % kadar avantaj sağlandığı bulundu.



Şekil 3.29: Yeni kılavuz parçanın teknik çizimi.

3.5.2 Magnetrona Uyumlu Yeni Bir Hedef Tutucu Tasarımı

Daha önce Bölüm 3.3’te anlatılan, istenmeyen ark oluşumu; magnetron ile kaynak malzeme arasında boşluk kalması durumunda yaşanan bir durumdur. Aynı bölüm içinde Resim 3.17’de de görüldüğü gibi magnetronun yüzeyi pürüzsüz ve temiz olmalı, magnetron yüzeyinde ark sonucu ya da başka bir sebeple oluşabilecek kirliliğin

birim zamanda kaç tur attığı deney yapan araştırmacı tarafından bir kronometreye, bir dönen mil üzerine koyduğu işarete bakarak bir tur zamanı belirlenmekteydi. Bu tur zamanından da devir hesaplanmakta ve not edilmekteydi.

B. Problemin Çözümü

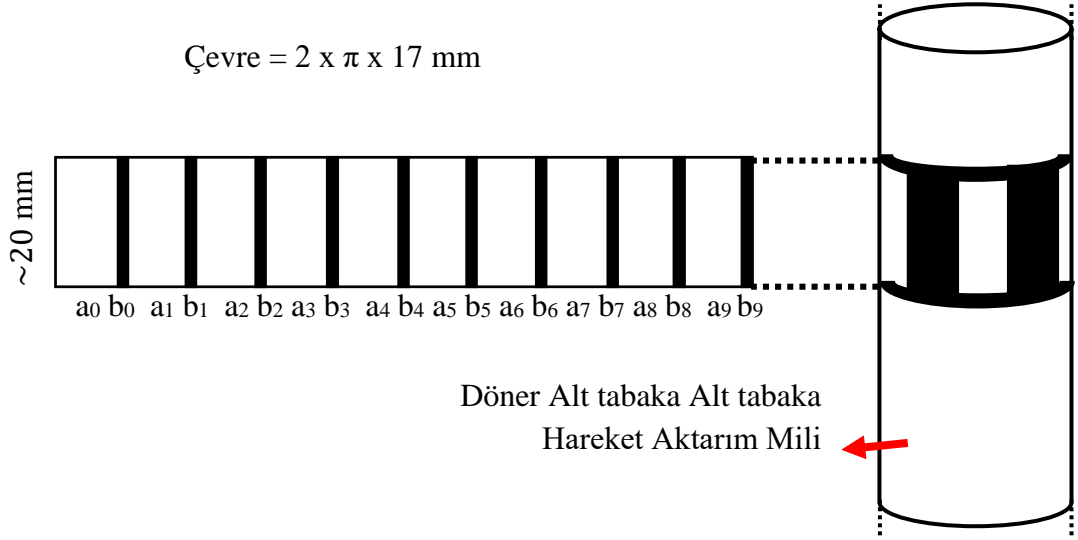
Gelişen teknoloji ile birlikte son yıllarda mikro denetleyiciler, fiziksel niceliklerin ölçülmesi ve ölçülen değerler üzerinde farklı mantıksal ve sayısal işlemlerin yapılabilmesini kolaylaştıran elektronik araçlar olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [64, 69]. Bu bölümde, daha önce ancak deneysel üretim yapan bilim insanı tarafınca yapılabilen, döner alt tabakanın birim zamandaki tur sayısını gözlerle takip ederek not alma işini bir mikro denetleyici aracılığıyla yapılarak araştırmacıya zaman ve kolaylık kazandıracak geliştirmenin yapılma süreci anlatılacaktır.

C. Dakikadaki Devir Sayısı

Tekrar eden hareketlerin gerçekleştiği durumlarda bu hareketin bir noktası başlangıç noktası kabul edilip tekrar aynı noktadan gerçekleşen geçişe kadar geçen bir tam tur sistemin yenilenmesi olarak tanımlanır. Bir dakika içindeki yenilenme sayısı ise devir (revolutions per minute, rpm) olarak ifade edilir. Bir sistemde başlangıç noktasının sayısı bir turu farklı periyotlara bölmekte ve kesinliği arttırmaktadır. Bu amaçla bir tur on eşit parçaya bölünerek daha kesin sonuç hedeflendi.

D. Sistemde Devir Ölçümü

Döner alt tabakanın hareket aktarımını sağlayan mil 34 mm çapında olup temassız ölçüm yapılabilmesi için ışık kullanılacak sistemde elektronik mikro denetleyici aracılığıyla anlaşılacak yüksek çözünürlüklü sinyallerin üretilebilmesi için özel bir sinyal üretim yansıtıcı tasarlandı. Şekil 3.31’de görüldüğü gibi milinin etrafında görülen teflon yansıtıcının eşit aralıklı on bölgede işaret koyularak oluşturuldu.



Şekil 3.31: Yeni silindirik sinyal üretici tasarımı.

Şekil 3.31’de görülen tasarımda eşit a ve b uzunlukları cinsinden her hangi bir sinyal üretim bölgesinin;

$$\text{Sinyal Üretim Bölgesi} = (a_i + b_i) \quad (3.1)$$

olduğu görülmektedir. Dakikadaki devir, rpm ifadesinin bir dakikadaki yenilenme sayısı olması, bir yenilenmenin de tam bir tur olması göz önüne alındığında bir dakikada bir turun onda biri hassasiyetle ölçüm yapılmasının mümkün hâle gelmesi öngörüldü. Ancak burada işaretleyici olarak kullanılan a ve b bölgelerinin de milin çevresinde yer kaplaması; her hangi bir mikro işlemcinin bu işlemi yaparken bir miktar zaman kaybetmesi, sayacın her sinyal üretiminde aynı derecede bir gecikme durumuna sebep olmaktadır. Bu gecikme piyasada ticari olarak edinilebilecek cihazlarda da bir problemdir. Bu sebeple düşük hızlarda yapılan ölçümlerin güvenilir olmadığı üreticiler tarafından vurgulanmaktadır. Bu bölgelerin aktarım mili üzerinde kapladığı toplam uzunluğun onda bir hassasiyetle yapılacak bir ölçüm için bir turun:

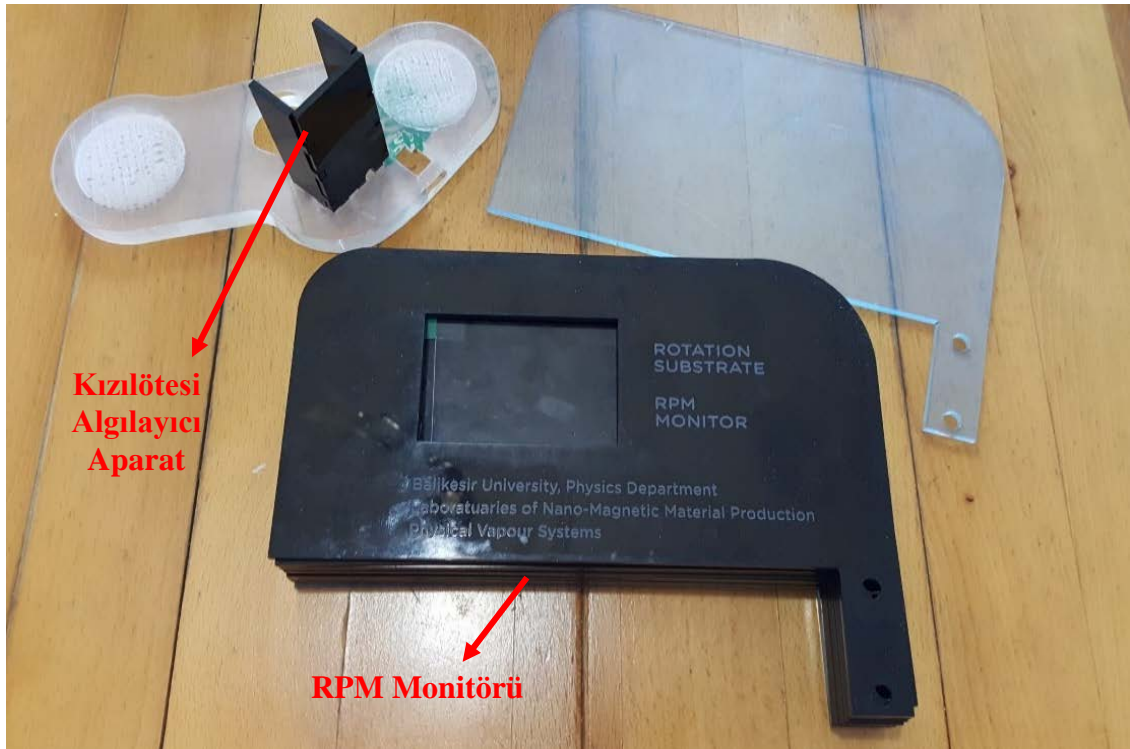
$$\text{Çevre} = \sum_{i=0}^n (a_i + b_i) \quad (n = 10) \quad (3.2)$$

ona bölündüğü görülmektedir. Bu durumda eşit a ve b bölgelerinin işaretlemeye kullanılacağı göz önünde bulundurularak her hangi bir i değeri için:

$$NK = \left(\frac{b_i}{a_i + b_i} \right) \quad 3.3$$

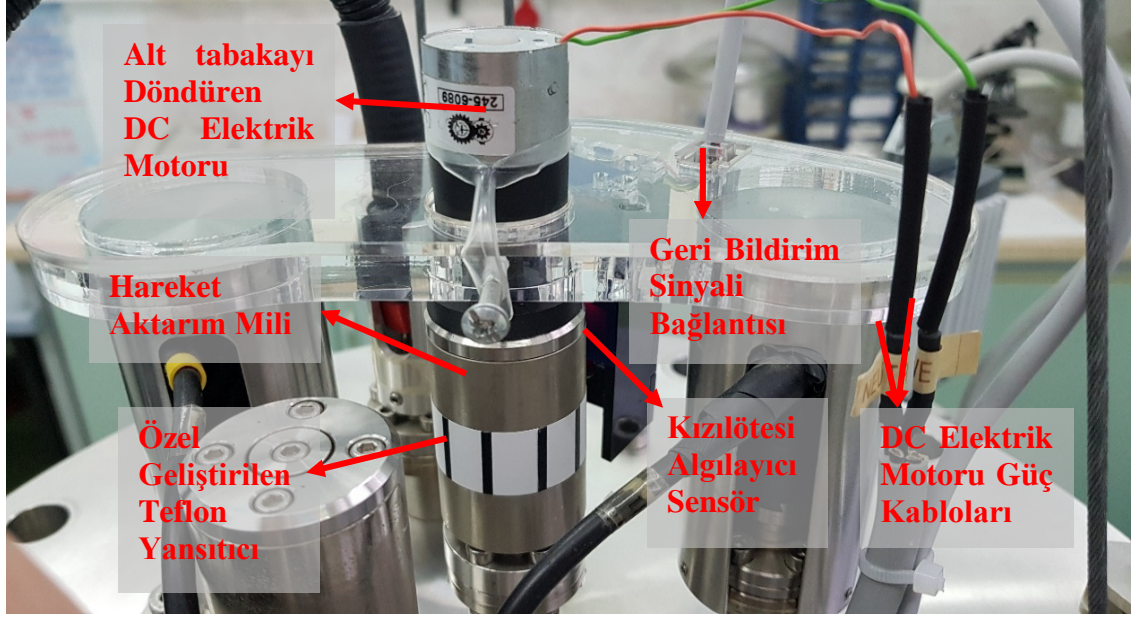
gecikmenin de Eşitlik 3.3'te görüldüğü gibi sabit Nadir Kaplan, NK kadar olduğu görülmektedir. Bu oran her bir bölge için hesaplanarak sayacın tuttuğu zamanın NK sabiti ile çarpımı hesaba katılırsa düşük hızlarda ölçüm yapılmasına izin vermeyen ölçüm gecikmesi sorunu aşılarak yaşanan gecikme probleminin çözümü sağlandı. Bu sayede düşük hızlarda da devir ölçümü başarıyla yapılabildi. Bu çözümün, farklı çaplardaki hareket millerinde de yapılan denemelerde ölçümün çok düşük dönme hızlarında da yüksek hassasiyetle başarılı olduğu doğrulandı.

Bu amaçla, Şekil 3.32'de görülen Balıkesir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Nanomanyetik Malzeme Üretim Laboratuvarında bulunan Fiziksel Buhar Biriktirme Sistemi üzerine temassız, sistem standardını etkilemeden çalışabilecek veri alma olanağı sağlayan uygun bir kızılötesi algılayıcı aparat ve Döner Alt tabaka Otomatik Devir Görüntüleyici tasarlanarak üretimi gerçekleştirildi. Ayrıca, bu sistemi çalıştırmak için bir algoritma geliştirilerek program kodları da oluşturuldu.



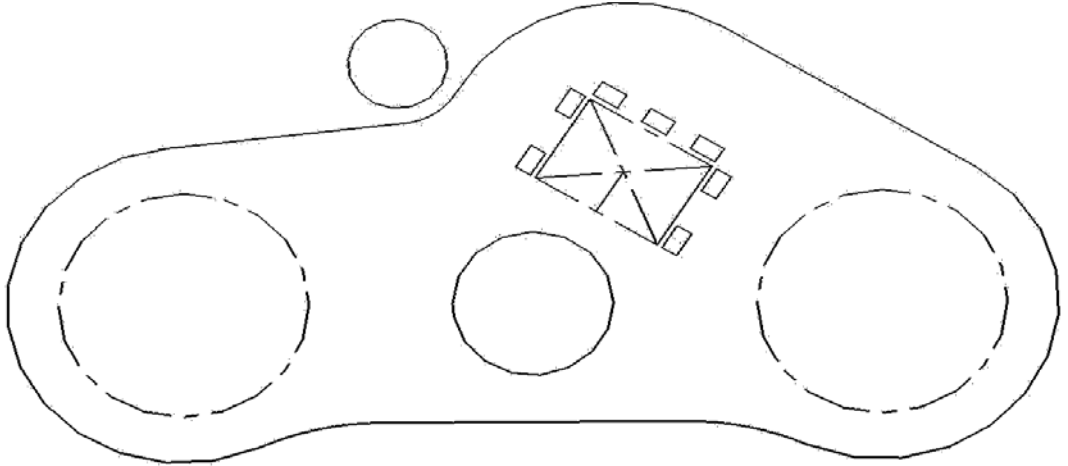
Şekil 3.32: Döner alt tabaka otomatik devir ölçüm sistemi..

Geliştirilen yazılım mikro kontrolcüye yüklendikten ve gerekli testler yapıldıktan sonra cihaz üzerine montajı yapılan Döner Alt tabaka Otomatik Devir Ölçüm Siteminin algılayıcı aparatı cihaz üzerinde görünümü Şekil 3.33'te sunulmuştur.



Şekil 3.33: Döner alt tabaka otomatik ölçüm sistemi algılayıcı aparatı.

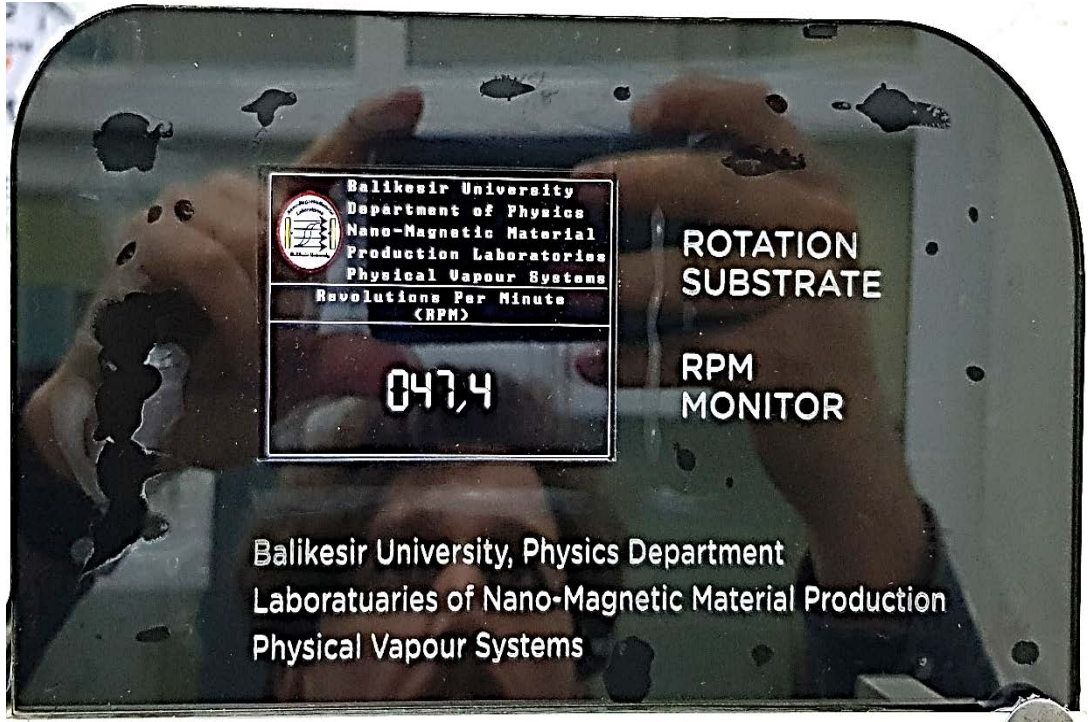
Tüm bu kaideyi sabit tutan poliakrilik malzemeden lazer ile kesilerek hazırlanmış olan tasarımın bilgisayar destekli kesim taslağı ise Şekil 3.34'te sunulmuştur.



Şekil 3.34: Algılayıcı aparat sabitleme kaidesi bilgisayar destekli kesim taslağı.

Sonraki aşamada, kızıl ötesi ışık yayan diyot (Infrared Light Emitting Diode, IRLED) bir kaynak ve yansıyan ışığı foto diyot aracılığıyla temassız şekilde elektronik olarak okunan sinyallerin bir mikro denetleyici üzerinde değerlendirilmesi amacıyla iki işaret arasındaki süreyi sayarak belirleyip, bir dakikada kaç tur olduğunu hesaplayarak bir görüntüleyiciye aktaran bir algoritma geliştirildi.

Temassız kızılötesi sensör aracılığıyla veriler elde edildi. Elde edilen bu veriler ADC algoritmasından geçirilerek araştırmacı tarafından rahatça anlaşılabilir dijital verilere dönüştürüldü. Ek A’da C# dilinde yazılmış açık kaynak kodları ile “Microchip” marka “AtmelATmega16U2” mikro kontrolcü programlanarak 3.2 inç’lik ince film transistör sıvı kristal ekran (Thin Film Transistor Liquid-Crystal Display, TFTLCD) üzerinden bu dijital verilerin gerçek zamanlı olarak görüntülenmesi sağlandı. Şekil 3.35’te görüldüğü üzere, Şekil 3.33’te sunulan aparat üzerindeki IRLED sensör ile elde edilen verilerin araştırmacının kolayca anlayabileceği şekilde, değerleri üzerindeki renkli TFTLCD aracılığıyla gösteren Alt tabaka Otomatik Devir Görüntüleyici Ünitesinin çalışma anından bir fotoğrafı sunulmuştur.



Şekil 3.35: Döner Alt tabaka Otomatik Devir Ölçüm Sistemi Görüntüleyici Ünitesi çalışma anından bir fotoğraf.

4.BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında farklı iki alaşım kaynak (AISI 202 ve AISI 304) kullanılarak üretim parametrelerinden en önemli olan biriktirme hızı ve döner alt tabaka hızı değiştirilerek diğer tüm üretim parametreleri sabitlenmiş; tüm üretim sürecinde inert gaz akışı ise 40 sccm değerinde sabit tutulmuştur. Oda sıcaklığında, esnek ticari polimer amorf asetat alt tabaka üzerine, 50 nm kalınlıkta toplamda dört seri ince film elde edilmiştir. İnce filmlerin deneysel üretimlerinde Bölüm 3.3'te anlatılan adımlar uygulandı. Yapılan üretimler sırasında takip edilen bazı veriler bahsi geçen bu bölümde daha önce sunulmuştur.

İlk seride, AISI 202 kaynak malzeme kullanılarak; üretim parametrelerinden biriktirme hızı 0.04 nm/s değerinden başlayarak, 0.12 nm/s değerine kadar 0.02 nm/s aralıklarla arttırılarak farklı biriktirme hızlarında beş adet alaşım filmin deneysel üretimi yapılmış olup bir seri film elde edildi.

İkinci seride, benzer şekilde AISI 202 kaynak malzeme kullanılarak 0.12 nm/s birikme oranında; üretim parametrelerinden döner alt tabaka hızı 0 rpm değerinden 45 rpm değerine kadar 15 rpm aralıklarla arttırılarak döner alt tabakanın farklı hızlarında dört adet alaşım filmin üretimi yapılmış olup bir başka seri elde edildi.

Üçüncü seride, AISI 304 kaynak malzeme kullanılarak; üretim parametrelerinden biriktirme hızı 0.04 nm/s değerinden başlayarak, 0.12 nm/s değerine kadar 0.02 nm/s aralıklarla arttırılarak farklı biriktirme hızlarında beş adet alaşım filmin üretimleri yapılmış olup bir seri daha film elde edildi.

Dördüncü seride, benzer şekilde AISI 304 kaynak malzeme kullanılarak 0.12 nm/s birikme oranında; üretim parametrelerinden döner alt tabaka hızı 0 rpm değerinden 45 rpm değerine kadar 15 rpm aralıklarla arttırılarak döner alt tabakanın farklı hızlarında dört adet alaşım filmin üretimi yapılmış olup son seri elde edildi.

Böylelikle filmlerin üretimleri tamamlanarak kendi içinde ve daha önceki çalışmalarla karşılaştırmaların yapılabilmesi için elementel, yapısal, yüzey ve manyetik analizleri gerçekleştirildi.

Bu bölümde, çalışma kapsamında kullanılan kaynak malzemeler ve üretilen alaşım ince filmlerin analiz sonuçları sunulup daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırarak yapılan tartışma ve çıkarımlar yer almaktadır.

4.1 Alaşım Kaynak Malzemelerin Elementel Analizleri

Bu çalışma kapsamında püskürtme tekniği tek bir DC magnetron kaynağı kullanılarak uygulandı. Bu durumda, filmlerin üretilmesi bu tek magnetron üzerine ticari olarak edinilen kaynak malzemeler yerleştirilerek gerçekleştirilmiş olup deneysel üretim sonunda yapılan içerik analizleriyle de ayrıca karşılaştırıldı. Ticari olarak kullanılan AISI 202 ve AISI 304 östenitik paslanmaz çelik disklerin; Balıkesir Üniversitesi, Temel Bilimler Araştırma Merkezi (BÜTAM)'da bir ICP-AES cihazı (Perkin-Elmer, OPTIMA 7300 DV, ABD) ile yapılan analiz sonucu elde edilen atomik içerikleri Tablo 4.1'de sunulmuştur.

Tablo 4.1: Ticari edinilen kaynak malzemelerin atomik içerikleri.

Kaynak Malzeme	Demir (Fe) (at.) %	Krom (Cr) (at.) %	Mangan (Mn) (at.) %	Nikel (Ni) (at.) %	Diğer Elementler (at.) %
AISI 202	76.91	12.12	10.02	0.95	*1.81
AISI 304	76.83	14.84	1.16	7.17	**0.44

* AISI 202 malzeme içindeki diğer elementlerin oranları; % 0.10 Vanadyum (V), % 0.14 Kobalt (Co) ve % 1.57 Bakır (Cu) bulunmaktadır.

** AISI 304 malzeme içindeki diğer elementlerin oranları; % 0.02 Kadmiyum (Cd), % 0.09 Vanadyum (V), % 0.25 Kobalt (Co) ve % 0.08 Bakır (Cu) bulunmaktadır.

Kaynak malzeme içeriği Tablo 4.1'de sunulmuş olup filmlerin EDX analizlerinde araştırılan elementlerle doğru şekilde karşılaştırmak amacıyla ilerleyen bölümlerde ilgili tablodaki sunulan filmlere göre kaynak malzemenin de içeriği Tablo 4.2, Tablo 4.3, Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'in de sonuna eklenmiştir.

4.2 İnce Filmlerin Elementel Analizleri

Bu başlık altında filmlerin elementel, yapısal, yüzey ve manyetik analiz sonuçları sunularak, serilerin kendi içlerinde ve daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırılması yapılarak tartışılacaktır.

Tüm filmlerin elementel içerik analizleri EDX analizi ile belirlendi. Bu çalışma kapsamında AISI 202 kaynak kullanılarak üretilen filmlerin EDX analizlerinde alaşım kompozisyonlarındaki önemli orana sahip olan Fe, Cr ve Mn elementleri araştırılmıştır. Benzer şekilde AISI 304 kaynak kullanılarak elde edilen filmlerin analizlerinde alaşım içinde en önemli orana sahip olan Fe, Cr ve Ni elementleri araştırılmıştır.

4.2.1 FeCrMn İnce Filmlerin Elementel Analizleri

4.2.1.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri

Elementel içerik tayini için yapılan EDX analizine göre filmlerin içeriklerini oluşturan atomik Demir, Krom ve Mangana içerikleri Tablo 4.2’de sunulmaktadır. Analiz sonuçlarına göre, biriktirme hızının artışıyla atomik Demir içerikleri % 72.19’dan % 74.15 oranına yükseldiği bulundu. Diğer taraftan, atomik Krom içeriği % 14.92 ile % 15.85 aralığında ve aynı zamanda atomik Mangana içeriği ise % 10.93 ile % 12.75 değerleri arasındaydı.

Tablo 4.2’deki veriler değerlendirildiğinde; farklı biriktirme hızlarında filmlerin Demir içeriğinin artışına paralel şekilde filmlerin içeriğini oluşturan Krom ve Mangana içeriğinin toplamının ise azaldığı görülmektedir. Bu sonuçlar daha önce püskürtme tekniğiyle AISI 430 malzemenin üretilen filmlerin farklı biriktirme hızlarının yapısal ve manyetik özellikler üzerine etkilerinin incelendiği çalışmadaki [42] sonuçlar ile uyum içinde ve diğer benzer çalışmalarda [19, 54] da vurgulandığı gibi elementin buharlaşma enerjisiyle bağlantılı olarak biriktirme hızının artışıyla arttığı bulunmuştur. Ancak Demir oranı kaynağa göre düşüktür. Bu durumun muhtemel sebebinin püskürtme tekniğiyle üretilen FeCrMn ince filmlerin biriktirme hızındaki artışın filmlerin elementel birleşimindeki Demir Atomu’nun buharlaşma enerjisinin diğer elementlere göre oldukça yüksek olması sebebiyle kaynak yüzeyinden kopup alt tabaka yüzeyine ulaşabilmesi için alaşımı oluşturan diğer atomlardan daha fazla momentum ihtiyacının olmasıdır. Biriktirme hızını belirlerken bu oranın artırılması, uygulanan gücün de

arttırılmasını gerektirir. Bunun bir sonucu olarak kaynak yüzeyine çarpan inert gaz argon iyonları ile yüzeydeki parçacıklara aktarılan momentumun artmasıyla ihtiyaç duyulan momentumun karşılanması sayesinde daha fazla atom sökülür. Böylelikle daha fazla güçle yüzeyden koparılan Demir atomları alt tabaka yüzeyine daha etkili bir şekilde ulaşabilmektedirler. Diğer taraftan bu sonuçlara göre Krom ve Mangan atomlarının ise biriktirme hızının değişiminden çok fazla etkilenmeden rahatça alt tabaka yüzeyine ulaşabildiği sonucuna varılabilir.

4.2.1.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri

Elementel içerik tayini için yapılan EDX analizinden elde edilen filmlerin atomik Demir, Krom ve Mangan içerikleri Tablo 4.3'te sunulmaktadır.

Tablo 4.2: Farklı biriktirme hızlarındaki FeCrMn filmlerinin elementel analiz verileri.

Film	Biriktirme Hızı (nm/s)	Atomik Film İçeriği (at.) %		
		Demir	Krom	Mangan
FeCrMn	0.04	72.19	15.85	11.96
	0.06	72.28	14.97	12.75
	0.08	73.30	15.36	11.34
	0.10	73.65	15.03	11.32
	0.12	74.15	14.92	10.93
*AISI 202		76.91	12.12	10.02

* Kaynakta Bölüm 4.1'de detaylı şekilde verildiği gibi farklı elementler de bulunmaktadır.

Analiz sonuçlarına göre, ikinci seride; alt tabakanın devir hızının artışıyla atomik Demir içerikleri % 70.32'den % 73.30'a kadar arttığı ve atomik Mangan içeriğinin ise % 13.96'dan % 11.33'e kadar azaldığı bulunmuştur. Ancak diğer taraftan, Krom içeriği ise % 16.32 ile % 15.37 arasında bulundu. Bu veriler incelendiğinde; döner alt tabakanın devrinin artışıyla atomik Demir içeriği artmaktadır. Buna ek olarak filmlerin atomik Krom içeriğinin dar bir aralıkta dönme durumunda artış sergilediği ancak devrin artışıyla azaldığı ve aynı zamanda Mangan içeriğinin de bir noktada değerini korusa da genel anlamda azalan yönde olduğu görülmektedir. Alt tabakanın dönme hızının artışıyla atomik Demir içeriğinin artışı ve atomik Krom içeriğinin azalışı daha önce püskürtme tekniğiyle yapılan AISI 430 kullanılarak püskürtülen filmlerde döner alt

tabaka hızlarının yapısal ve manyetik özellikler üzerine etkilerinin incelendiği çalışmadaki [42] sonuçlardan farklıdır.

Bu ikinci seride filmlerin deneysel üretimleri alt tabaka kendi eksenine etrafında farklı dönme hızlarında dönmekteyken gerçekleştirildi. Bir elementin kohezyon kuvveti buharlaşma enerjisi ile paralellik göstermektedir [31, 46, 49]. Bu kapsamda, film içeriğindeki atomik oranı en yüksek olan Demir elementinin buharlaşma enerjisi

Tablo 4.3: Farklı döner alt tabaka hızlarında üretilen FeCrMn filmlerin elementel analiz verileri.

Film	Döner Alt Tabaka Hızı (rpm)	*Atomik Film İçeriği (at.) %		
		Demir	Krom	Mangan
FeCrMn	0	70.32	15.74	13.94
	15 ± 0.2	71.30	16.33	12.37
	30 ± 0.3	71.78	15.89	12.33
	45 ± 0.4	73.30	15.37	11.33
AISI 202		76.91	12.12	10.02

* Kaynakta Bölüm 4.1’de detaylı şekilde verildiği gibi farklı elementler de bulunmaktadır.

de en yüksektir. Bu durumda, filmlerin içinde esas element olan ve alt tabakanın farklı hızlarda dönmesi sırasında kohezyon kuvveti yüksek olan Demir elementinin üretilen filmlerde daha fazla birikmesinin en muhtemel sebebi budur. Daha düşük buharlaşma enerjisine sahip Krom elementinin dönme hızı arttıkça filmlerin içeriğindeki atomik oranının azalmasının da açıklaması aynı şekilde olacaktır. Tablo 4.3’te de görülebileceği gibi film içeriğinde buharlaşma enerjisi en düşük olan Mangan içeriği 15 ve 30 rpm hızında dönerken değişmeden kalmıştır. Bunun en muhtemel açıklaması buharlaşma enerjisinin düşük olması sebebiyle film içeriğindeki oranının alt tabakanın dönme hızının değişiminden nispeten pek etkilenmemiş olmasıdır.

4.2.2 FeCrNi İnce Filmlerin Elementel İçerik Analizleri

4.2.2.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri

Elementel içerik tayini için yapılan EDX analizlerinden elde edilen filmlerin içeriklerini oluşturan atomik Demir, Krom ve Nikel içerikleri Tablo 4.4'te sunulmaktadır.

Yapılan EDX analizi sonuçlarına göre, biriktirme hızlarının 0.04 nm/s'den 0.12 nm/s artışıyla; atomik Demir içerikleri % 69.91'den % 71.56'ya, atomik Nikel içeriği de yine % 11.82'den % 12.23'e kadar arttığı bulundu. Diğer taraftan atomik Krom içeriği ise % 18.26'dan % 16.21'e azaldığı bulundu.

Tablo 4.4: Farklı biriktirme Hızlarındaki FeCrNi filmlerinin elementel analiz verileri.

Film	Biriktirme Hızı (nm/s)	*Atomik Film İçeriği (at.) %		
		Demir	Krom	Nikel
FeCrNi	0.04	69.91	18.26	11.82
	0.06	70.16	17.95	11.88
	0.08	69.71	17.67	12.61
	0.10	71.07	16.82	12.10
	0.12	71.56	16.21	12.22
AISI 304		76.83	14.84	7.17

* Kaynakta Bölüm 4.1'de detaylı şekilde verildiği gibi farklı elementler de bulunmaktadır.

Tablo 4.4'te sunulan veriler incelendiğinde farklı biriktirme hızlarında filmlerde atomik Demir ve Nikel içeriği atarken atomik Krom içeriğinin ise azaldığı görülmektedir. Bu sonuçlar daha önce püskürtme tekniğiyle yapılan farklı biriktirme hızlarının incelendiği çalışmadaki [42] sonuçlar ile uyum içinde bulunmuştur. Ancak AISI 202 den üretilen filmlerde olduğu gibi atomik Demir oranı kaynağa göre düşük kalmıştır. Bu durumun sebebinin de birinci seride incelenen FeCrMn filmlerindeki gibi olduğu düşünülebilir. Benzer şekilde FeCrNi filminde de içeriği oluşturan elementlerin kaynaktan koparıldıktan sonra alt tabakaya daha etkili bir şekilde ulaşması yine bu elementlerin buharlaşma enerjilerine bağlı şekilde gerçekleşmiştir.

4.2.2.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri

Elementel içerik tayini için yapılan EDX analizi sonuçlarına göre, 0, 15, 30 ve 45 rpm dönme hızlarında atomik Demir içerikleri sırasıyla % 63.48, %69.61, % 70.40 ve % 69.86 değerlerde döner alt tabaka hızına paralel olarak arttığı bulundu. Bu sonuçlara ek olarak, filmlerin içeriğindeki atomik Krom içeriği sırasıyla % 22.57, % 17.68, % 17.09 ve % 16.84 değerlerde ve atomik Nikel içeriği de yine sırasıyla % 13.95, % 12.71, % 12.51 ve % 13.30 değerlerinde olduğu bulundu. Yapılan EDX analizine göre filmlerin bileşenini oluşturan atomik Demir, Krom ve Nikel içerikleri Tablo 4.5'te sunulmaktadır.

Tablo 4.5: Farklı döner alt tabaka hızlarında üretilen FeCrNi filmlerinin elementel analiz verileri.

Film	Döner Alt Tabaka Hızı (rpm)	*Atomik Film İçeriği (at.) %		
		Demir	Krom	Nikel
FeCrNi	0	63.48	22.56	13.95
	15 ± 0.1	69.61	17.67	12.71
	30 ± 0.2	70.40	17.08	12.51
	45 ± 0.3	69.86	16.83	13.30
AISI 304		76.83	14.84	7.17

* Kaynakta Bölüm 4.1'de detaylı şekilde verildiği gibi farklı elementler de bulunmaktadır.

Tablo 4.5'te sunulan veriler değerlendirildiğinde farklı biriktirme hızlarının etkilerinin araştırıldığı film serisindeki sonuçlara benzer şekilde döner alt tabakanın farklı hızlarında da atomik Demir içeriğinin artışına bağlı bir şekilde filmlerin Krom içeriğinin sürekli azaldığı ve Nikel içeriğinin Demir içeriğinin artışında azaldığı ve azalışında ise arttığı görülmektedir. Genel olarak bakıldığında, toplam Demir ve Nikel içeriği sürekli artarken Krom içeriği sürekli azalmaktadır. Bu sonuçlar daha önce püskürtme tekniğiyle yapılan döner alt tabaka hızlarının etkilerinin incelendiği çalışmalardaki [42] sonuçlar ile uyum içindedir. Bu durumda kohezyon kuvvetinin etkisi daha iyi gözlenmiştir. Bu ince filmlerde elementlerin atomik içeriklerinin oranları yine bu filmi oluşturan elementlerin kohezyon kuvvetlerine bağlı şekillenmiştir.

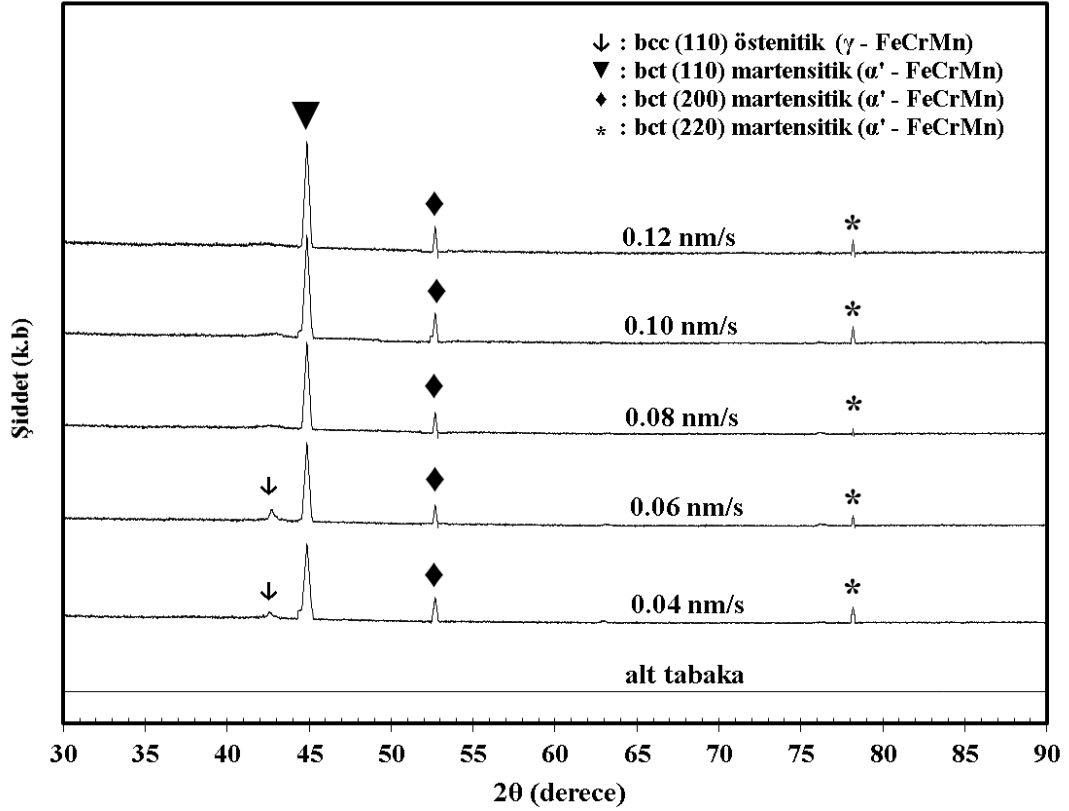
4.3 İnce Filmlerin Yapısal Analizleri

Tüm filmlerin yapısal analizleri XRD analizi ile belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen dört serinin analiz sonuçları bu başlık altında açıklanmıştır.

4.3.1 FeCrMn İnce Filmlerinin Yapısal Analizleri

4.3.1.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri

FeCrMn ince filmlerin farklı biriktirme hızlarının etkilerinin araştırıldığı serinin XRD desenleri çizdirilmiş ve Şekil 4.1’de sunulmuştur. Kaynak olarak kullanılan ticari AISI 202 paslanmaz çelik manyetik olmayan östenitik yapıda üretilmektedir [70]. Ayrıca östenitik yapı cisim merkezli kübik yapıya sahip olup genelde (110) düzlemine ait $2\theta \approx 42.7^\circ$ ’de en şiddetli pik göstermektedir. Ancak ince filmlerin XRD desenlerindeki pikler önceki yapılan çalışmalarla [70-71] karşılaştırıldığında elde edilen FeCrMn filmlerin vücut merkezli tetragonal (bct) yapıya sahip oldukları görülmüştür. Vakum altında püskürtme tekniğinin bu östenitik yapının martensitik yapıya dönüşümünü bir şekilde tetiklediği bilinmektedir [29]. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi XRD desenleri, bct (110) düzlemine ait (martensitik yapı) şiddeti en yüksek pik $2\theta \approx 44.8^\circ (\pm 0,1^\circ)$ ’de ortaya çıktığı ve biriktirme hızının artışıyla şiddetlerinin de arttığı görülmektedir. 0.04 ve 0.06 nm/s biriktirme hızlarında $2\theta \approx 42.7^\circ (\pm 0.1^\circ)$ ’de görülen bcc (110) düzlemi (östenitik yapı) biriktirme hızının artışıyla kaybolmuştur. Tüm filmlerde $2\theta \approx 52.6^\circ (\pm 0.1^\circ)$ ’de görülen bct (200) düzlemine ait diğer pik yüksekliği hafifçe artmıştır. Bunun muhtemel sebebi filmlerdeki bu düzlemdeki kristal yapının film içindeki hacminin değişmemesi olabilir. Ayrıca benzer şekilde $2\theta \approx 78.2^\circ (\pm 0.1^\circ)$ ’de görülen bct (220) düzleminde büyüyen kristallerin, biriktirme hızının artışıdan nispeten daha az etkilendiği görülmektedir.



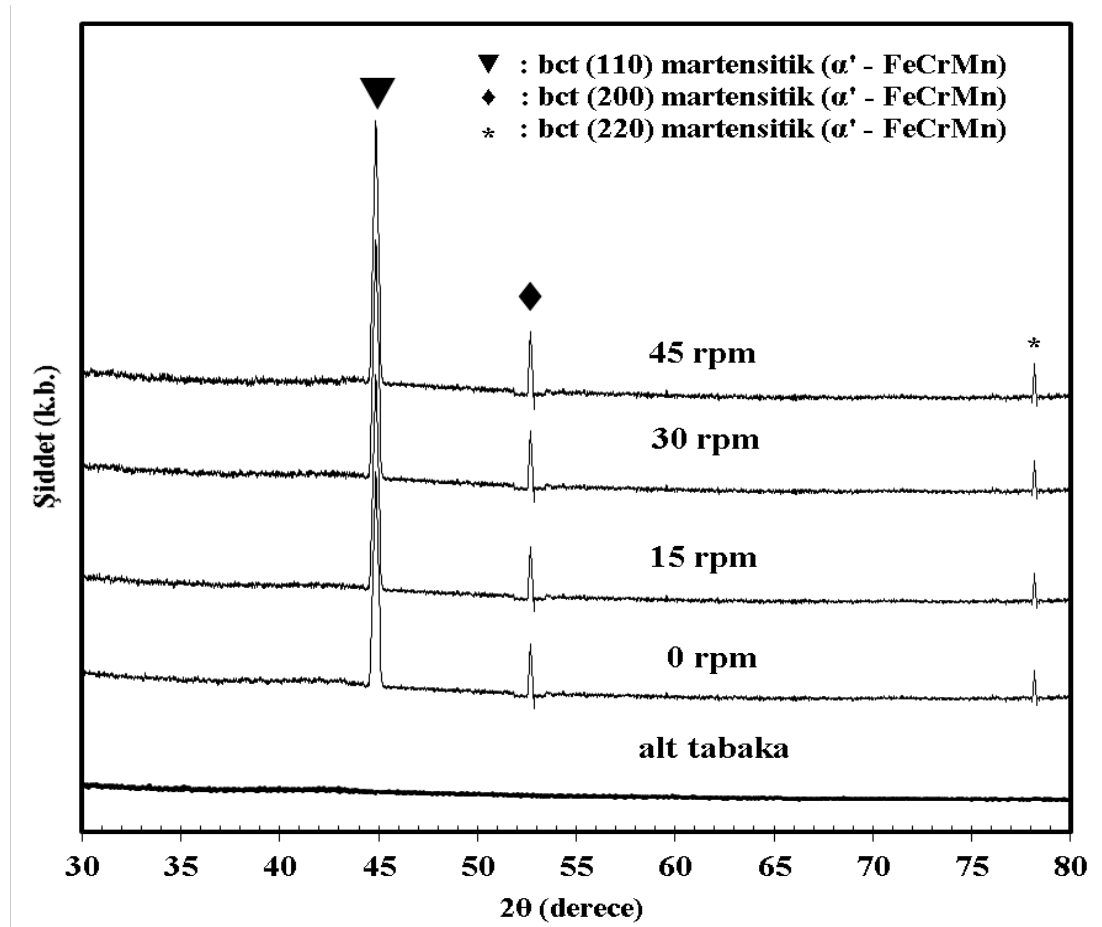
Şekil 4.1: Farklı biriktirme hızlarında FeCrMn filmlerinin ve alt tabakanın XRD desenleri.

XRD ile elde edilen verilerden ileri yapısal parametreler de hesaplandı. Tanecik boyutları ise 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s biriktirme hızlarında sırasıyla 3.4, 4.1, 4.7, 5.5 ve 7.4 nm olarak hesaplandı. Biriktirme hızınının 0.04 nm/s'den 0.12 nm/s'ye artışıyla (110) için düzlemler arası mesafeler Bragg Yasası [45] kullanılarak hesaplandığında $d_{(min)} = 0.2063$ nm ile $d_{(max)} = 0.2065$ nm arasında olduğu bulundu. Örgü sabitleri a ise bct(110) pikinin pozisyonundan Scherrer formülü kullanılarak $\sim 0.2919 \pm 0.0001$ nm civarında hesaplandı. Hesaplanan bu değerler bulk Fe ($a_{Fe} = 0.2866$ nm) ve Cr ($a_{Cr} = 0.2979$ nm) arasında ve Mn ($a_{Mn} = 0.8912$ nm) değerinden ise oldukça küçüktür [45]. Bunun muhtemel sebebi alaşımın içindeki Mangan oranının oldukça küçük olmasıdır.

Biriktirme hızının artışıyla birlikte FeCrMn filmlerin tanecik boyutları da artmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar daha önce yapılan FeCrMn paslanmaz çeliklerin martensitik dönüşümünde gerilimin etkilerinin araştırıldığı çalışma [71] ile uyum içerisindedir.

4.3.1.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri

Bir önceki seride farklı biriktirme hızlarındaki filmlere benzer şekilde döner alt tabakanın farklı hızının araştırıldığı bu seride FeCrMn ince filmlerin; XRD sonuçlarındaki piklerden alaşımın birinci seride de olduğu gibi aynı faza sahip oldukları anlaşılmaktadır. İnce filmlerin $2\theta \approx 44.8^\circ (\pm 0.1^\circ)$ 'de martensitik bct (110) düzlemine ait şiddeti en yüksek pike sahip olduğu Şekil 4.2'de görülmektedir. Ayrıca $2\theta \approx 52.6^\circ (\pm 0.1^\circ)$ 'de ve $2\theta \approx 78.1^\circ (\pm 0.1^\circ)$ 'de bct (200) ve bct (220) düzlemlerine ait iki ayrı fazın daha oluştuğu ve alt tabakanın dönme hızının artışıyla tüm piklerin şiddetlerinin yükseldikleri görülmektedir. Bu sonuçlardan dönme hızının artışıyla bir şekilde martensitik dönüşümün daha da etkili olduğu sonucuna varılabilir. Bildiğimiz kadarıyla bu durum esnek polimer alt tabakalar üzerine tek bir AISI 202 malzeme kullanılarak püskürtme tekniğiyle nano boyutlu üretilen FeCrMn filmlerde ilk kez karşılaşılmıştır. Ancak daha önce yapılan çalışma [42] ile uyum içerisindedir.



Şekil 4.2: Farklı döner alt tabaka hızlarında FeCrMn filmlerinin ve alt tabakanın XRD desenleri.

Ayrıca, biriktirme hızının araştırıldığı seride düşük hızlarda ortaya çıkan film içeriğindeki östenitik fazdan kaynaklı olduğu düşünülen piklerin bu seride görülmemesinin sebebi bu seride biriktirme hızının 0.12 nm/s olarak sabitlenmesidir.

XRD analizinden elde edilen veriler kullanılarak ileri yapısal parametreler de belirlendi. Döner alt tabakanın 0, 15, 30 ve 45 rpm hızlarında (110) düzlemi için Bragg Yasası [45] aracılığıyla hesaplanan düzlemler arası mesafeleri sırasıyla $d_{(0)} = 0.2061$, $d_{(15)} = 0.2062$, $d_{(30)} = 0.2063$ ve $d_{(45)} = 0.2064$ nm olarak bulundu. Filmlerin tanecik boyutları ise 0, 15, 30 ve 45 rpm hızlarında sırasıyla $t_{(0)} = 6.9$, $t_{(15)} = 5.2$, $t_{(30)} = 4.9$ ve $t_{(45)} = 3.5$ nm olarak hesaplandı. Örgü sabitleri ise sırasıyla $a_{(0)} = 0.2915$, $a_{(15)} = 0.2916$, $a_{(30)} = 0.2918$ ve $a_{(45)} = 0.2919$ nm olarak hesaplandı. Hesaplanan bu değerler bulk Fe ($a_{Fe} = 0.2866$ nm) ve Cr ($a_{Cr} = 0.2979$ nm) arasında ve Mn ($a_{Mn} = 0.8912$ nm) değerinden ise oldukça küçüktür [45]. Alt tabakanın dönme hızının artışıyla birlikte FeCrMn filmlerin tanecik boyutlarının azaldığı bulunmuştur. Elde edilen bu sonuçlar daha önce yapılan FeCr ince filmlerin döner alt tabaka etkilerinin incelendiği çalışma [42] ile oldukça farklılık göstermektedir.

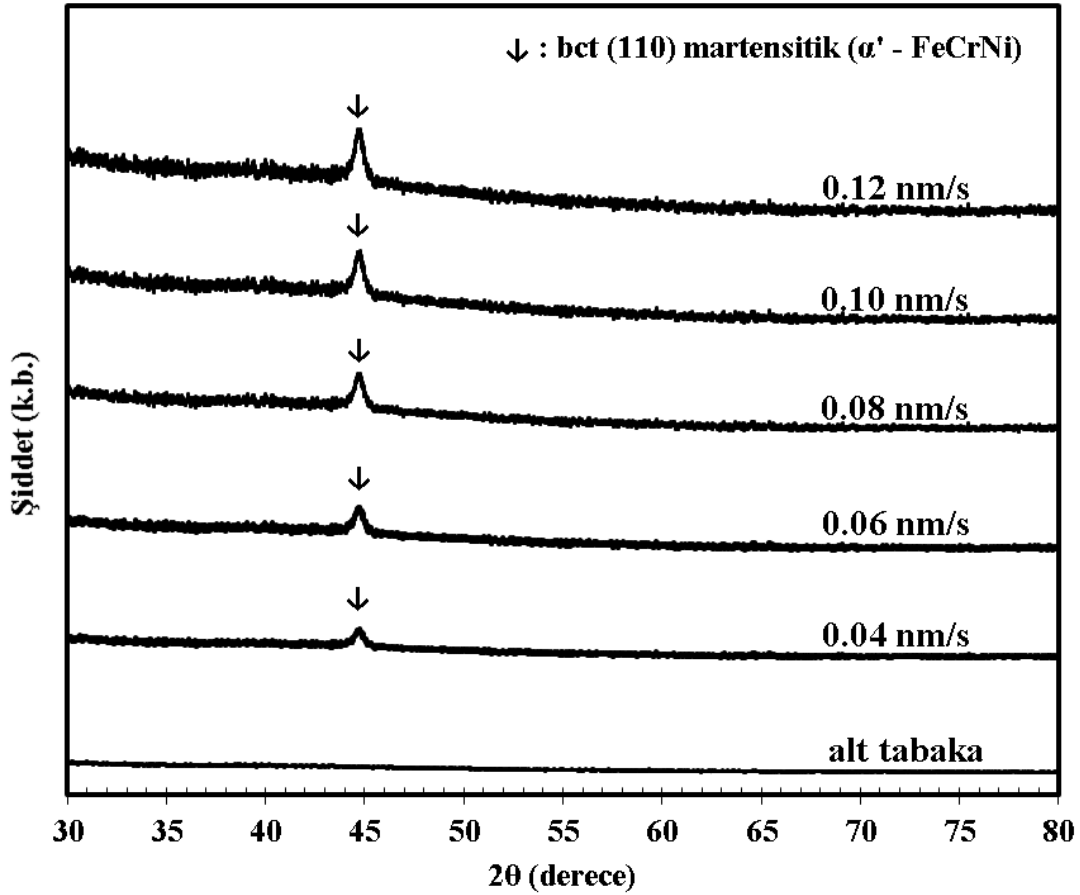
4.3.2 FeCrNi İnce Filmlerinin Yapısal Analizleri

4.3.2.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri

FeCrNi ince filmlerin XRD desenleri Şekil 4.3'te sunulmuştur. İnce filmlerde bct (110) düzlemine ait tek pik $2\theta \approx 44.1^\circ (\pm 0.1^\circ)$ 'de görülmüş olup filmlerin martensitik yapıda olduğu görülmektedir. Şekil 4.3'te görüldüğü üzere piklerin şiddeti biriktirme hızının artışıyla artmaktadır. Bu piklerin pozisyonları Vegard'ın Yasası [53] ile uyumlu olup, film içeriklerinin atomik oranlarına uygun şekilde hafifçe kayma göstermektedir. Ayrıca elde edilen sonuçlar daha önceki çalışmalarla [72-73] uyum içerisindedir.

XRD analizi sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak ileri yapısal parametreler de hesaplandı. İnce filmlerin XRD analizlerinden elde edilen verilerle bct (110) düzlemi için Bragg Yasası [45] aracılığıyla yapılan hesaplarda tüm filmlerde düzlemler arası mesafenin $d = 0.2049$ nm değerlerinde olduğu bulundu. İnce filmlerin tanecik boyutları ise sırasıyla $t_{(0.04 \text{ nm/s})} = 8.1$, $t_{(0.06 \text{ nm/s})} = 9.3$, $t_{(0.08 \text{ nm/s})} = 12.2$, $t_{(0.10 \text{ nm/s})} = 13.5$ ve $t_{(0.12 \text{ nm/s})} = 15.8$ nm olarak hesaplandı. Biriktirme hızının artışıyla birlikte

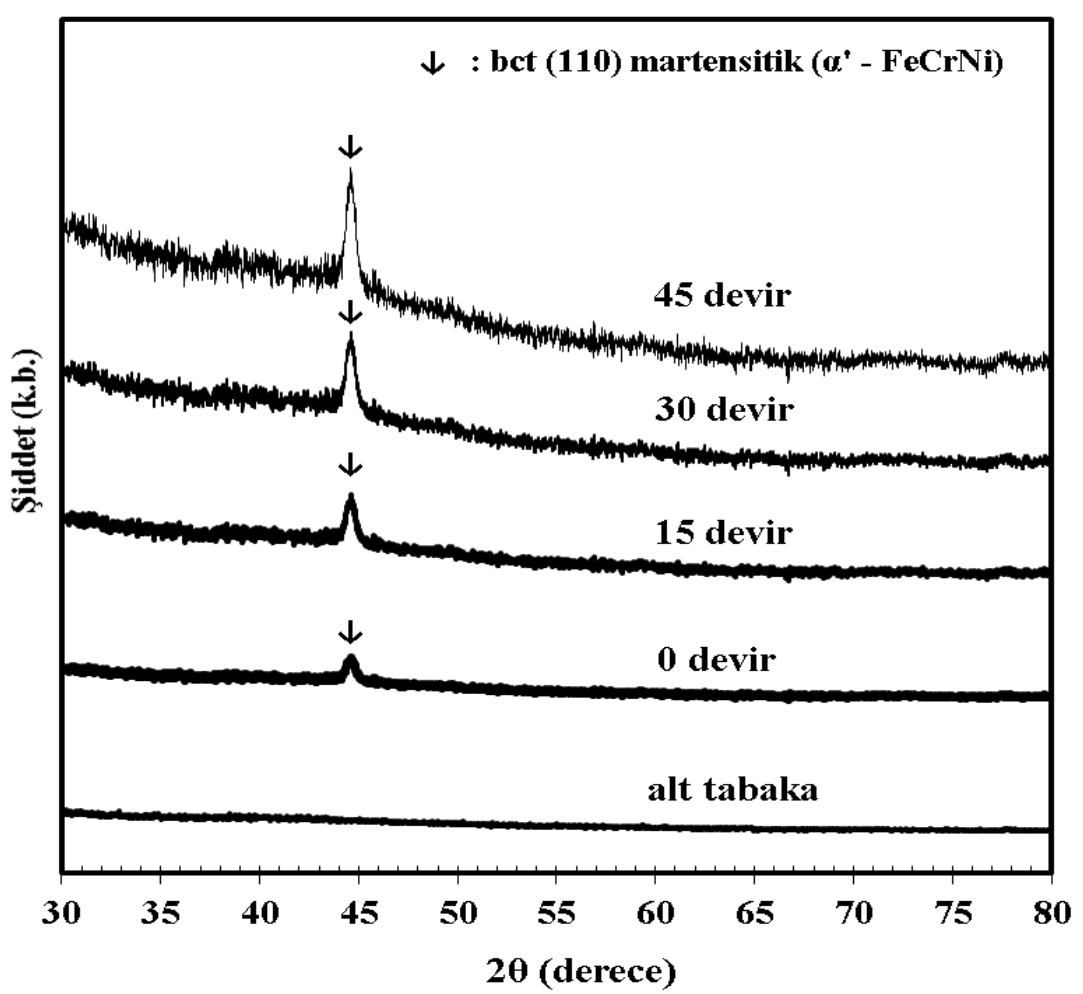
FeCrNi ince filmlerin tanecik boyutları da artmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar daha önce yapılan çalışmalar [50, 64] ile uyum içerisindedir. Örgü sabitleri ise yine tüm ince filmler için $a = 0.2898$ nm civarında hesaplandı. Hesaplanan bu değerler bulk Fe ($a_{Fe} = 0.2866$ nm) ve Cr ($a_{Cr} = 0.2979$ nm) arasında ve Ni ($a_{Ni} = 0.3524$ nm) değerinden ise daha küçüktür [45]. Alaşımdaki Nikelin atomik içerik oranı ile bu değer uyumludur.



Şekil 4.3: Farklı biriktirme hızlarında FeCrNi filmlerinin ve alt tabakanın XRD desenleri.

4.3.2.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri

Önceki farklı biriktirme hızlarının araştırıldığı serideki FeCrNi ince filmlere benzer şekilde döner alt tabakanın farklı hızının araştırıldığı bu seride FeCrNi ince filmlerin XRD desenleri Şekil 4.4'te sunulmuştur. XRD desenlerindeki piklerden alaşımın baskın şekilde bct(110) düzleminde martensitik yapıya faza sahip olduğu anlaşılmaktadır. Şiddeti en yüksek ve tek pik $2\theta \approx 44.1^\circ (\pm 0.1^\circ)$ 'de ortaya çıktığı Şekil 4.4'te görülmektedir.



Şekil 4.4: Farklı döner alt tabakanı ızlarında FeCrNi filmlerinin ve alt tabakanın XRD desenleri.

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi pikin şiddeti döner alt tabaka hızı arttıkça buna paralel şekilde artmaktadır. Ayrıca 0.12 nm/s birikme hızıyla üretilen bu filmlerin XRD desenlerinde açının küçük olduğu bölgede görülen geniş pik tipik amorf yapı kaynaklıdır. Bu durumun muhtemel sebebi filmlerin alt tabakanın dönme hızının artışıyla amorf dönüşümün de ortaya çıkışı olabilir.

XRD analizi ile elde edilen verilerle ileri yapısal parametreler de belirlendi. Yapılan hesaplara göre, filmlerin 0, 15, 30 ve 45 rpm hızlarında tanecik boyutları ise sırasıyla $t_{(0)} = 15.9$, $t_{(15)} = 15.1$, $t_{(30)} = 14.9$ nm ve $t_{(45)} = 13.9$ nm olarak hesaplandı. Alt tabakanın dönme hareketiyle birlikte tanecik boyutunun azaldığı görülmektedir. Farklı döner alt tabaka hızlarında (110) fazı için Bragg Yasası aracılığıyla hesaplanan düzlemler arası mesafelerinin $d = 0.2046$ nm civarında olduğu belirlendi. Örgü sabitleri ise Scherrer formülü [45] kullanılarak her bir film için yine aynı şekilde $a = 0.2894$ nm

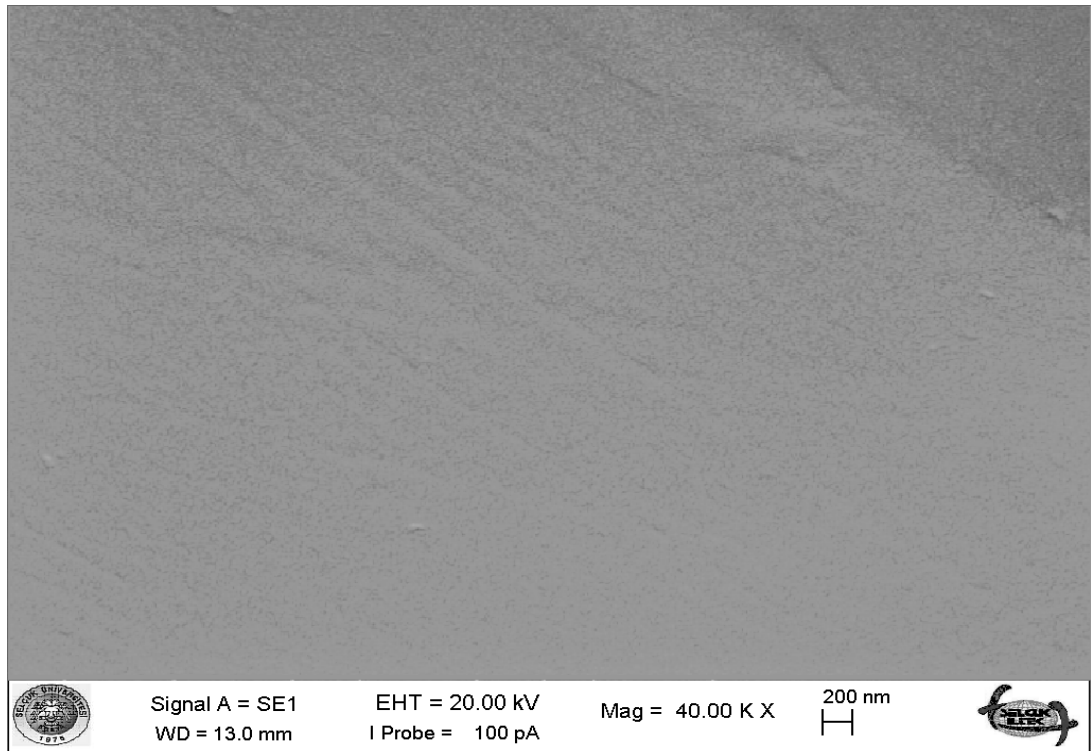
olarak hesaplandı. Hesaplanan bu değerler bulk Fe ($a_{Fe} = 0.2866$ nm) ve Cr ($a_{Cr} = 0.2979$ nm) arasında ve Ni ($a_{Ni} = 0.3524$ nm) değerinden ise daha küçüktür [45]. Elde edilen bu sonuçlar daha önce yapılan çalışmalar [42, 72] ile uyum göstermektedir.

4.4 İnce Filmlerin Yüze Analizleri

Farklı biriktirme hızları ve alt tabakanın farklı dönme hızlarının deneysel olarak üretilen FeCrMn ve FeCrNi ince filmlerine etkilerinin incelendiği serilerin yüze analizleri SEM ve AFM ile incelenmiş olup bu bölümde ayrı alt başlıklar altında incelenecektir.

4.4.1 İnce Filmlerin SEM Analizleri

FeCrMn ve FeCrNi ince filmlerin üretimlerinde kullanılan alt tabakanın 40000 kat büyütülerek elde edilen SEM görüntüsü Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Bu SEM görüntüsüne bakıldığında oldukça pürüzsüz bir alt tabaka olduğu görülmekte olup birkaç çizik görünümü de gözden kaçırılmamalıdır. Bu görüntü diğer tüm SEM görüntüleriyle birlikte de değerlendirmenin daha kolay yapılabilmesi için verilecektir.



Şekil 4.5: SEM kullanılarak elde edilen alt tabakanın görüntüsü.

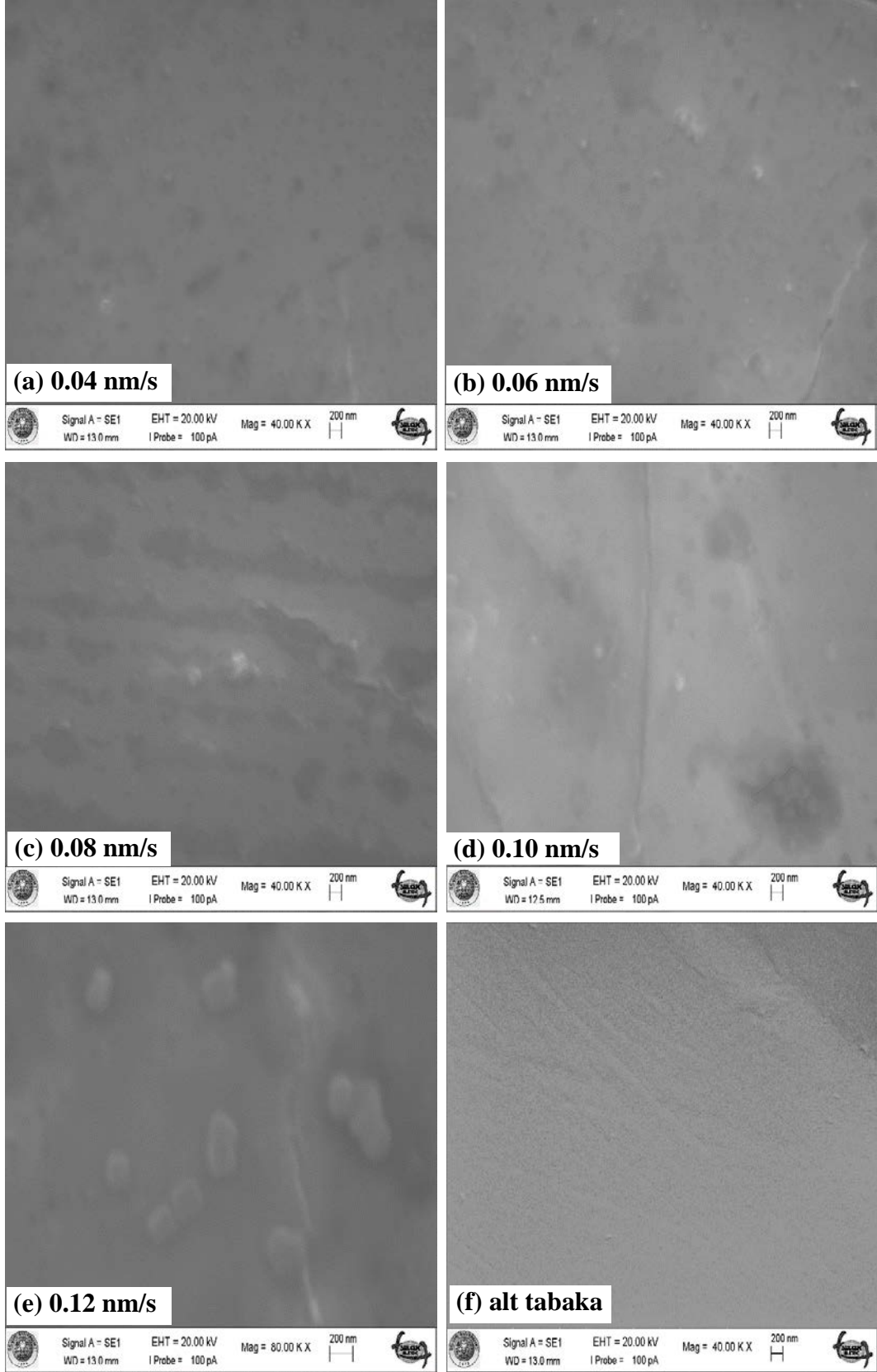
4.4.1.1 FeCrMn İnce Filmlerinin Morfolojik Yüzey Analizleri

4.4.1.1.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri

Farklı biriktirme hızlarının etkilerinin araştırıldığı bu seride biriktirme hızları (a) 0.04, (b) 0.06, (c) 0.08, (d) 0.10 ve (e) 0.12 nm/s olan FeCrMn ince filmlerin ve (f) alt tabakanın SEM ile elde edilen görüntüleri Şekil 4.6’da sunulmuştur.

FeCrMn ince filmlerin biriktirme hızları arttıkça filmlerin yüzeyinde taneli yapıların sayılarının azalırken ve boyutlarının da arttığı görülmektedir. Düşük biriktirme hızlarında yüzey nispeten daha homojen görülmektedir. Dahası, 0.04, 0.06 ve 0.08 nm/s biriktirme hızlarında üretilen filmlerin SEM görüntüleri Şekil 4.6(a), (b) ve (c)’den anlaşıldığı gibi, filmlerin yüzeyinde boyutları yaklaşık 100 nm’yi geçmeyen çok sayıda taneli yapıların olduğu görülmektedir. Ayrıca, 10 nm/s biriktirme hızında üretilen filmin SEM görüntüsü Şekil 4.6(d)’de görüldüğü gibi çatlaklar ortaya çıkmıştır. Görülen bu çatlakların, filmlerdeki martensitik dönüşümün bir sonucu olduğu tahmin edilmektedir. Çünkü martensitik yapıların SEM görüntülerinde daha önceki çalışmalardan bu çatlak görünümlerinin varlığı bilinmektedir [70]. Biriktirme hızı 0.12 nm/s ye geldiğinde bu filmin görüntüsü Şekil 4.6(e)’de görüldüğü gibi yüzeydeki taneli yapıların sayısı oldukça azalırken boyutlarının da iyiden iyiye 300 nm’ye kadar arttığı bulunmuştur.

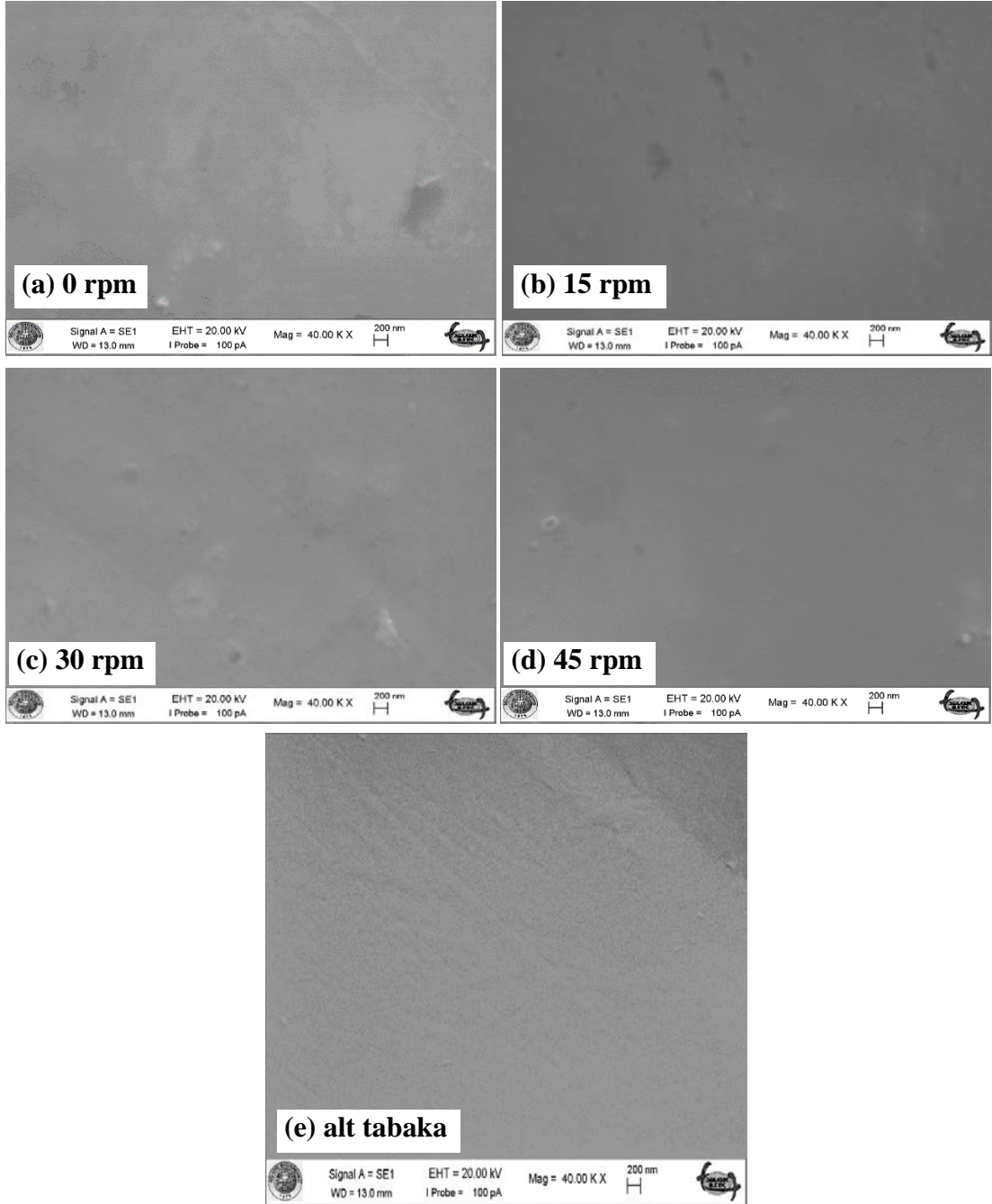
İkili FeCr ince filmlerine benzer şekilde, üçlü FeCrMn ince filmlerde de biriktirme hızının artışıyla yüzey daha pürüzlü olduğu bulundu. Bu durumun muhtemel sebebi filmlerde gözlenen martensitik dönüşümün biriktirme hızının artışıyla daha yoğun bir şekilde gerçekleşmesidir. Bu durum daha önce FeCr ince filmlerin farklı biriktirme hızlarının morfolojik özellikleri üzerine yapılan çalışma [42] ile uyum göstermektedir.



Şekil 4.6: SEM kullanılarak elde edilen (a) 0.04, (b) 0.06, (c) 0.08, (d) 0.10, (e) 0.12 nm/s biriktirme hızlarında üretilen FeCrMn ince filmler ve (f) alt tabaka görüntüleri.

4.4.1.1.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri

Farklı döner alt tabakanın hızlarının araştırıldığı bu seride alt tabaka dönme hızları (a) 0, (b) 15, (c) 30 ve (d) 45 rpm olan FeCrMn ince filmlerin ve (e) alt tabakanın SEM ile elde edilen görüntüleri Şekil 4.7’de sunulmuştur.



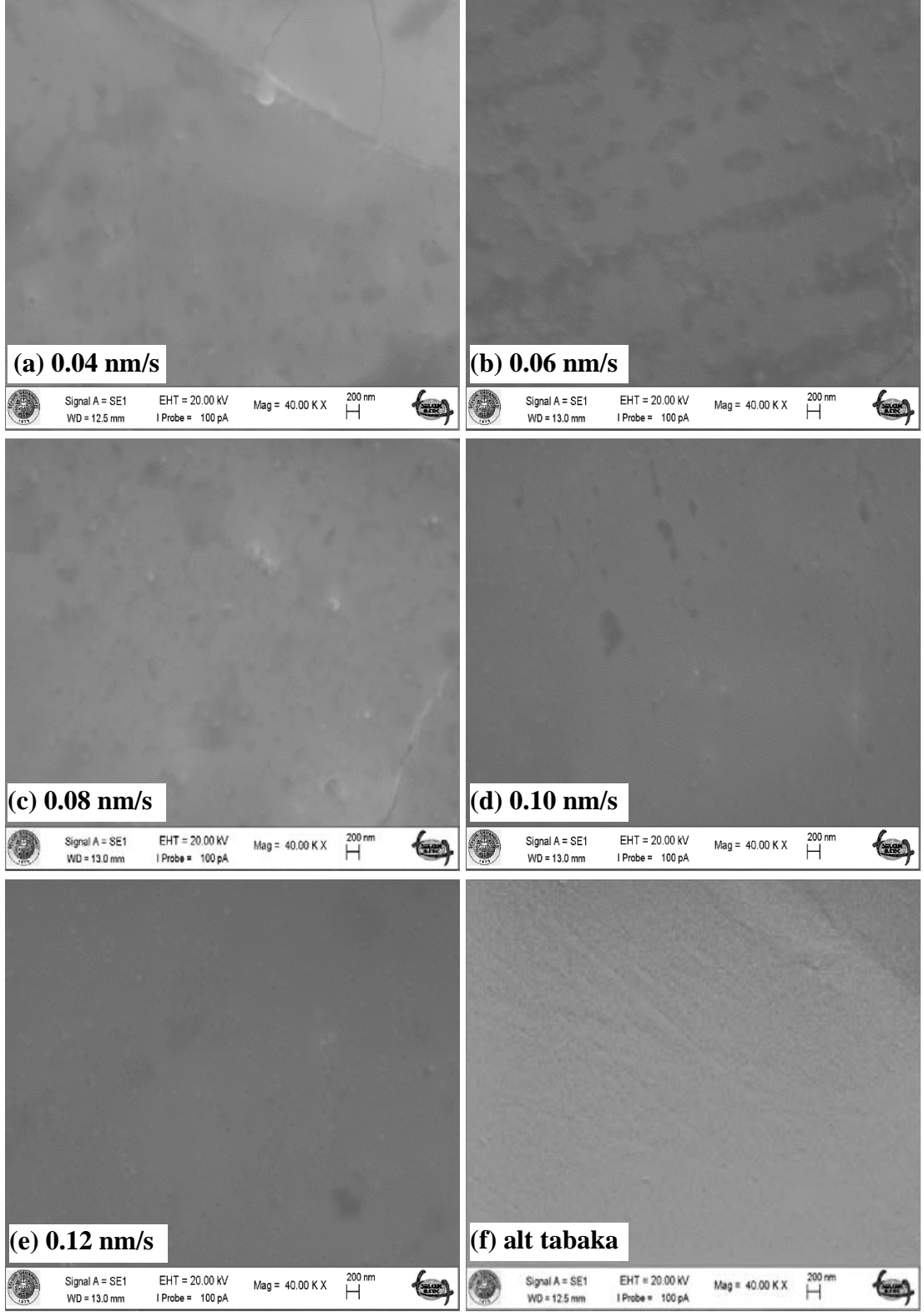
Şekil 4.7: SEM kullanılarak elde edilen, (a) 0, (b) 15, (c) 30, (d) 45 rpm değerlerindeki döner alt tabaka hızlarında üretilen filmlerin FeCrMn ince filmler ve (e) alt tabakanın görüntüleri.

Şekil 4.7(a)'da görüldüğü gibi 0 rpm dönme hızındaki alt tabaka üzerine büyütülen FeCrMn ince filminin SEM görüntüsü yüzeyde taneli yapıların varlığını açıkça göstermektedir. Ancak alt tabaka devrinin artışıyla 45 rpm de üretilen FeCrNi ince filmin SEM görüntüsü Şekil 4.7(d)'de görüldüğü gibi bu taneli yapıların boyutları 50 nm'nin altına düşmüş ve sayıları da oldukça azalmıştır. FeCrMn ince filmlerin farklı alt tabaka dönme hızlarının etkilerinin araştırıldığı bu seride filmlerin dönme hızlarının artışıyla filmlerin yüzeylerinin daha homojen görüldüğü, kohezyon kuvvetlerinin etkisiyle yüzeylerde daha homojen bir görünümde olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar daha önce yapılan çalışmadan [42] farklı şekilde bulunmuştur. Bahsi geçen çalışmada alt tabakanın dönüş devri artarken yüzey pürüzlülüğü de artmakta, ancak bu çalışmada pürüzlülüğün azaldığı açıkça ortadadır. Bunun en muhtemel sebebi filmlerin içeriğinde kohezyon kuvveti düşük Mangan elementinin de dâhil olmasıyla ikili alaşıma göre daha az boşluklu yapılara sahip şekilde büyümesidir.

4.4.1.2 FeCrNi İnce Filmlerinin Morfolojik Yüzey Analizleri

4.4.1.2.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri

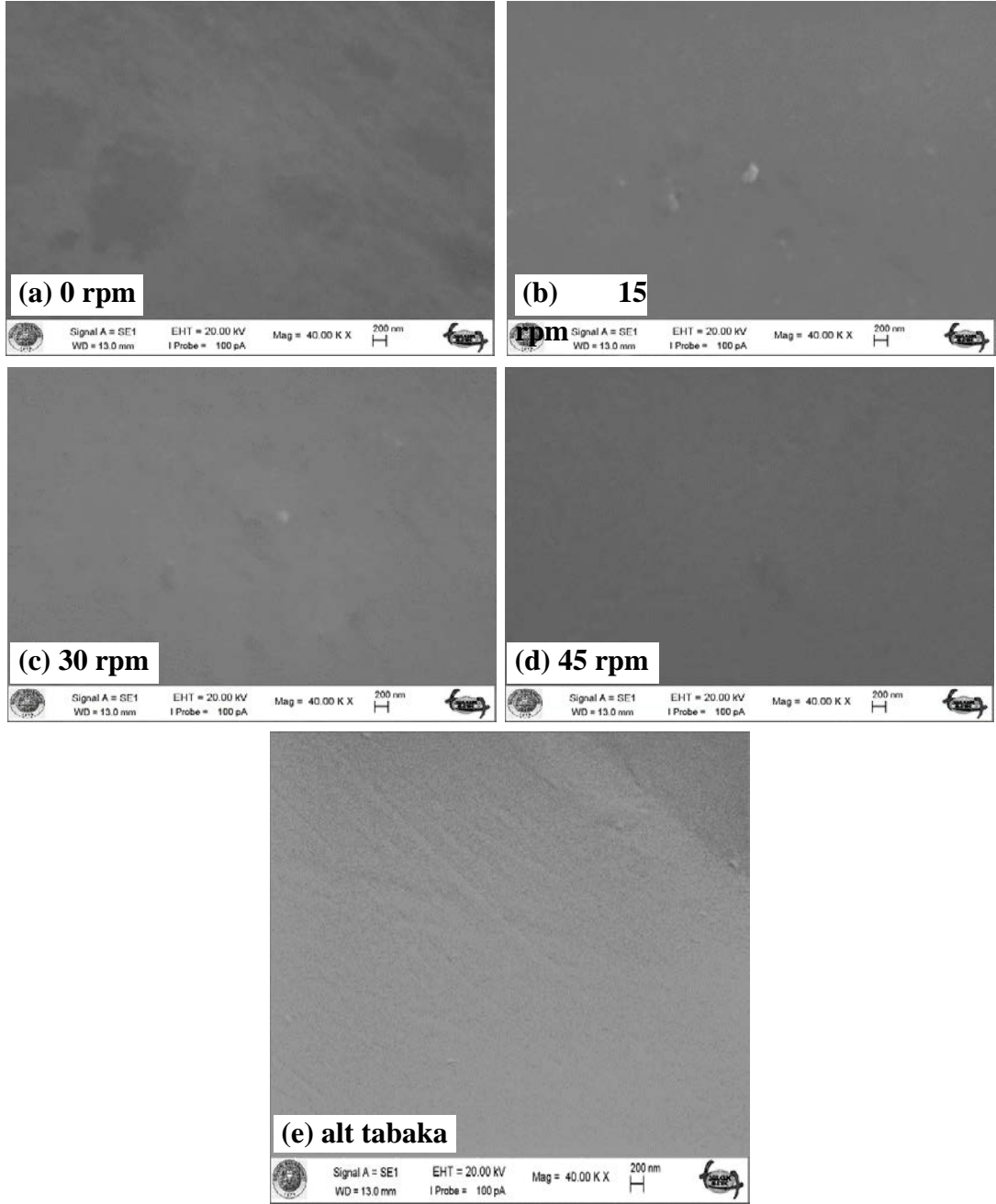
Biriktirme hızı arttıkça yapılan EDX analizlerinde filmlerin içeriklerinde atomik Demir ve Nikel içeriği artarken Krom içeriği azalmakta olduğu ve XRD deseni incelendiğinde de bu sonuçları doğrular nitelikte olduğu Bölüm 4.3.1.3'te sunulmuştu. Farklı biriktirme hızlarının etkilerinin araştırıldığı bu üçüncü seride biriktirme hızları (a) 0.04, (b) 0.06, (c) 0.08, (d) 0.10 ve (e) 0.12 nm/s olan FeCrNi ince filmlerin ve (f) alt tabakanın SEM ile elde edilen görüntüleri Şekil 4.8'de sunulmuştur. FeCrNi ince filmlerin biriktirme hızları arttıkça filmlerin yüzeyinde tanecik boyutlarının azaldığı görülmektedir. Düşük biriktirme hızlarında üretilen filmlerin SEM görüntülerinde daha önce yapılan çalışmalarla [42, 55, 72] uyumlu olarak yarık ve çatlaklardan yapıların ortaya çıktığı görülmektedir. Bunun sebebi de martensitik dönüşüm olabilir. Çünkü martensitik yapılar çatlak ve yarıklı görülmektedir. Diğer taraftan, FeCrNi ince filmlerin biriktirme hızları arttıkça taneli yapıların sayılarının arttığı, boyutlarının ise azalarak yüzey çatlaklarının da ortadan kaybolduğu görülmektedir. Bu durumun daha önce yapılan [42] çalışma ile uyumlu olduğu bulundu.



Şekil 4.8: SEM kullanılarak elde edilen (a) 0.04, (b) 0.06, (c) 0.08, (d) 0.10, (e) 0.12 nm/s biriktirme hızlarında üretilen FeCrNi ince filmler ve (f) alt tabaka görüntüleri.

4.4.1.2.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri

Farklı döner alt tabakanın hızlarının araştırıldığı bu seride alt tabaka dönme hızları (a) 0, (b) 15, (c) 30 ve (d) 45 rpm olan FeCrNi ince filmlerin ve (e) alt tabakanın SEM ile elde edilen görüntüleri Şekil 4.9'da sunulmuştur.



Şekil 4.9: SEM kullanılarak elde edilen (a) 0, (b) 15, (c) 30, (d) 45 rpm değerlerindeki döner alt tabaka hızlarında üretilen FeCrNi ince filmler ve (e) alt tabaka görüntüleri.

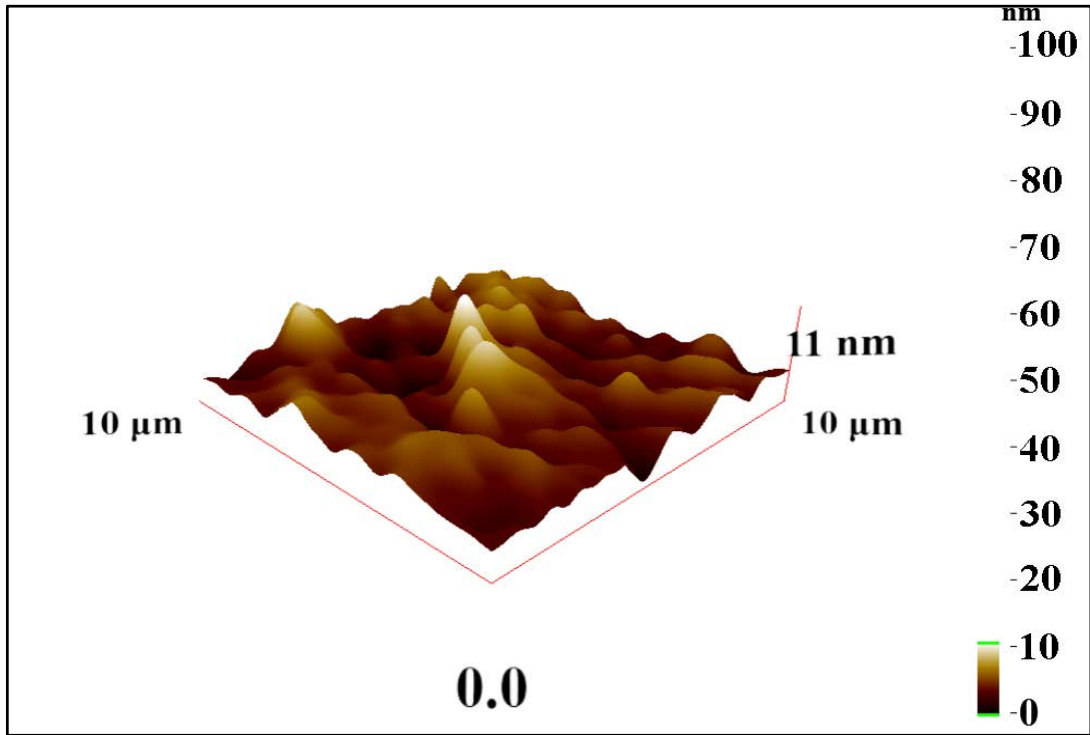
Şekil 4.9(a)'da alt tabaka dönmüyorken üretilen filmin SEM görüntüsünden anlaşıldığı gibi bazı girintili çıkıntılı yapıların varlığı belirgindir. Şekil 4.9(b)'de alt tabaka 15 rpm devrinde dönüyorken üretilen filmin SEM görüntüsünde bu girintili çıkıntılı yapılar ortadan kayboldu ve boyutu 150 nm yi geçmeyen yalnız çıkıntılar kaldı. Şekil 4.9(c)'de alt tabaka 30 rpm devrinde dönüyorken üretilen filmin SEM görüntüsünde bu çıkıntılarının boyutu 100 nm'nin de altına düşmüştür. Şekil 4.9(d)'de alt tabaka 15 rpm devrinde dönüyorken üretilen filmin SEM görüntüsünün neredeyse pürüzsüz bir görünümde ve homojen olduğu açıkça ortadadır.

FeCrNi ince filmlerin farklı alt tabaka dönme hızlarının etkilerinin araştırıldığı bu seride filmlerin alt tabakanın dönme devrinin artışının filmlerin yüzeylerinde tanecikli yapılarının boyutlarını azalttığı giderek daha homojen, daha düzgün görümlü yüzeye sahip filmlerin elde edildiği görülmüştür. Bu durumun en muhtemel sebebi kohezyon kuvvetlerinin etkisiyle film içeriğini oluşturan atomların daha etkili bir şekilde yüzeye tutunmasıdır.

Farklı alt tabaka dönme devirlerinde üretilen filmlerin SEM görüntüleri birlikte değerlendirildiğinde; hem FeCrMn hem de FeCrNi filmlerinde alt tabakanın dönme devrinin artışıyla daha pürüzsüz bir yüzeyin ortaya çıktığı bulunmuştur.

4.4.2 İnce Filmlerin AFM Analizleri

Bu çalışmada FeCrMn ve FeCrNi ince filmlerin üretimlerinde kullanılan alt tabakanın $10 \mu\text{m}^2$ 'lik yüzey alanı AFM ile yapılan topoğrafik görüntüsü Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Bu AFM görüntüsüne bakıldığında alan ortalama yükseltileri 5 nm'yi, en yüksek yükseltinin ise 11 nm'yi geçmeyen pürüzlülüklerin mevcut olduğu filmlerin görüntülerinde de mevcut bulunan yükseltilere katkısının muhtemel olduğu ve bunların alt tabakadan kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Ayrıca bu alt tabaka görüntüsü değerlendirmenin kolay olması için diğer AFM görüntüleri ile birlikte sunulmuştur.



Şekil 4.10: AFM kullanılarak elde edilen alt tabakanın morfolojik görüntüsü.

4.4.2.1 FeCrMn İnce Filmlerinin Topografik Yüzey Analizleri

4.4.2.1.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri

Farklı biriktirme hızlarının etkilerinin araştırıldığı bu seride (a) alt tabakanın ve biriktirme hızları (b) 0.04, (c) 0.06, (d) 0.08, (e) 0.10 ve (f) 0.12 nm/s olan FeCrMn ince filmlerin ve AFM ile elde edilen morfolojik yüzey görüntüleri değerlendirmenin daha kolay yapılabilmesi için bir arada Şekil 4.11'de sunulmuştur.

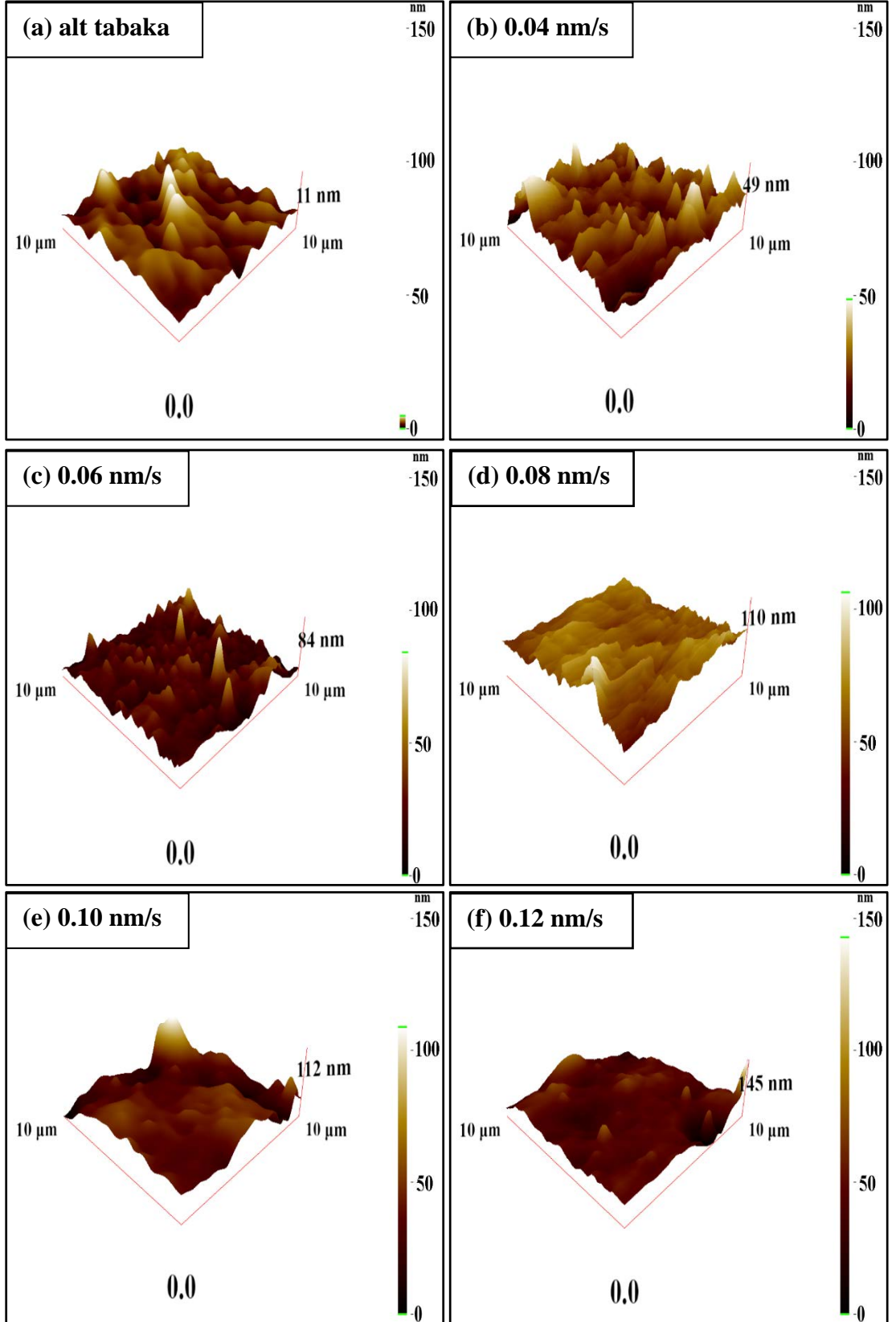
Biriktirme hızları 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s olan FeCrMn ince filmleri için sırasıyla en yüksek yükselteleri 49 nm, 84 nm, 110 nm, 112 nm ve 145 nm olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi biriktirme hızının artışı ile hedef yüzeyinden rasgele saçılan parçacıkların birbirleri üzerine birikip yükselteler oluşturma hızı istatistiksel olarak artmasının bir sonucu olabilir.

Ek olarak Şekil 4.12’de biriktirme bu seri ve alt tabakanın AFM ile elde edilen morfolojik yüzey görüntülerinin histogram grafikleri de sunulmuştur. Görüldüğü gibi ortalama yükseltelerin yoğunlukları biriktirme hızları 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s olan FeCrMn ince filmler için sırasıyla 18, 21, 33, 48 ve 58 nm değerlerinde en yükseğe ulaştığı görülmektedir.

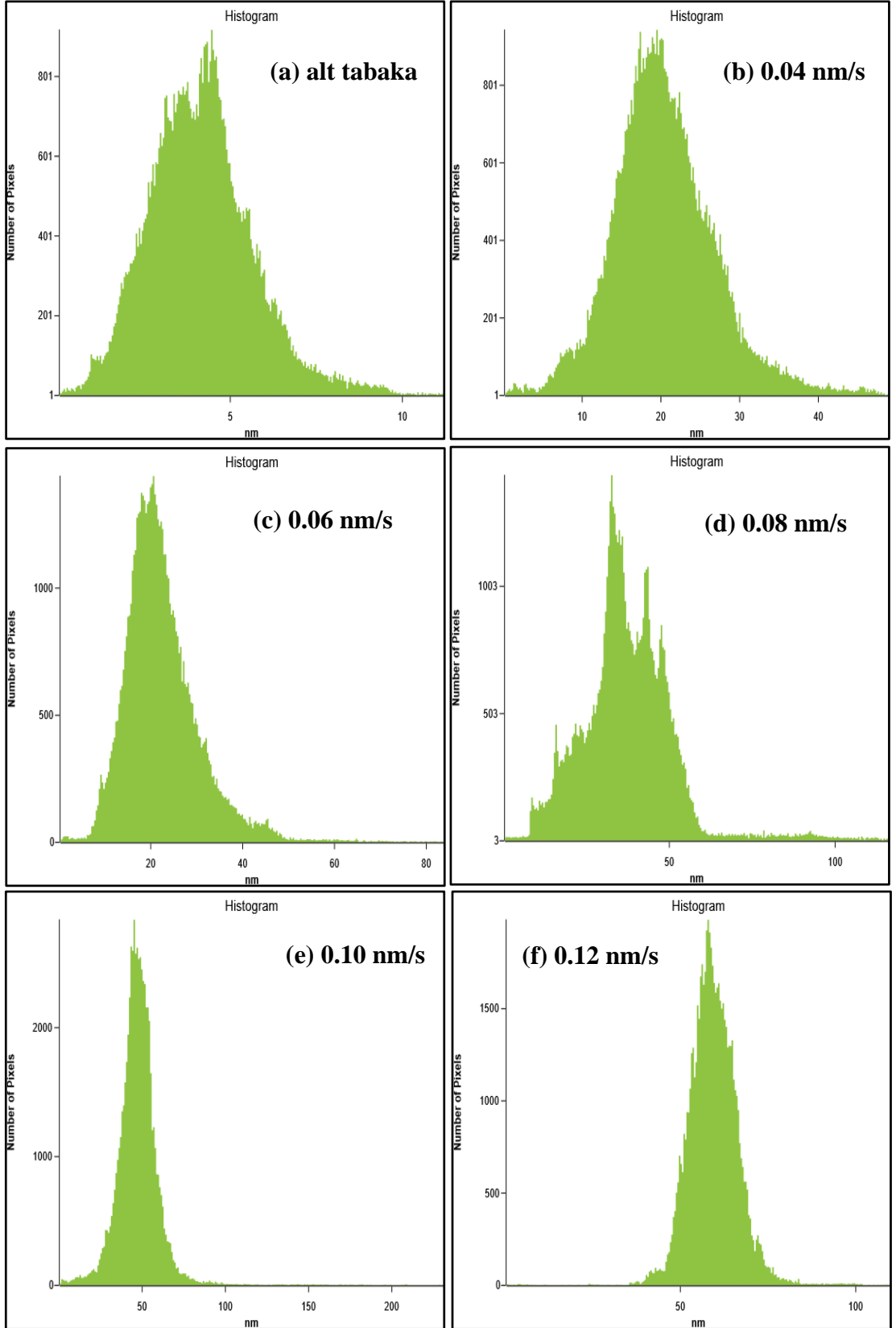
Filmlerin AFM görüntüleri Bölüm 3.4.5’te AFM hakkında bilgilerin paylaşıldığı bölümde anlatılan yazılım ile analiz edildiğinde elde edilen histogram grafikleri Şekil 4.12’de sunulmuştur. Bir önceki bölümde AFM görüntülerinin analizine alt tabaka ile başlandı. Alt tabaka yüzeyinde yükselteleri ortalaması 5 nm’yi, en yüksek yükseltinin ise 11 nm’yi geçmeyen pürüz ve çiziklerin mevcut olduğu Şekil 4.12(a)’da görülmekte ve filmlerde de alt tabaka olarak aynı malzeme kullanılmıştır. Biriktirme hızları 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s olan FeCrMn ince filmleri için alan ortalama kökü (R_q) (root mean square, RMS) değerleri incelendiğinde sırasıyla 6.54, 6.99, 8.10, 12.37 ve 14.56 nm olduğu bulundu. Filmlerin çarpıklık (skewness) değerleri sırasıyla 0.241, 0.550, 1.287, 1.294 ve 1.647 olduğu, bunun yanında basıklık (kurtosis) değerleri ise sırasıyla 4.286, 6.907, 7.634, 7.640 ve 20.547 olduğu bulundu.

FeCrMn ince filmlerinin biriktirme hızları arttıkça yüzey pürüzlülüklerinin de artmakta olduğu; alan ortalama köklerinin de artış gösterdiği bunun yanında basıklık ve çarpıklık değerlerinin de artış gösterdiği belirlendi. Bunun muhtemel sebebi film içeriğinin püskürtme tekniğinde filmin oluşumu sırasında alt tabaka yüzeyine vardığında etkili olan kohezyon kuvvetlerin katkısının olmasıdır. AFM analizine göre elde edilen bilgiler filmlerin üretim parametreleri açısından daha önce yapılan çalışmalar [3, 42] ile uyum içindedir.

Elde edilen AFM görüntüleri önceki bölümde sunulan SEM görüntüleriyle uyum içinde olduğu açıkça ortadadır.



Şekil 4.11: AFM kullanılarak elde edilen (a) alt tabaka, (b) 0.04, (c) 0.06, (d) 0.08, (e) 0.10 ve (f) 0.12 nm/s biriktirme hızlarında üretilen filmlerin yüzey morfolojik görüntüleri.



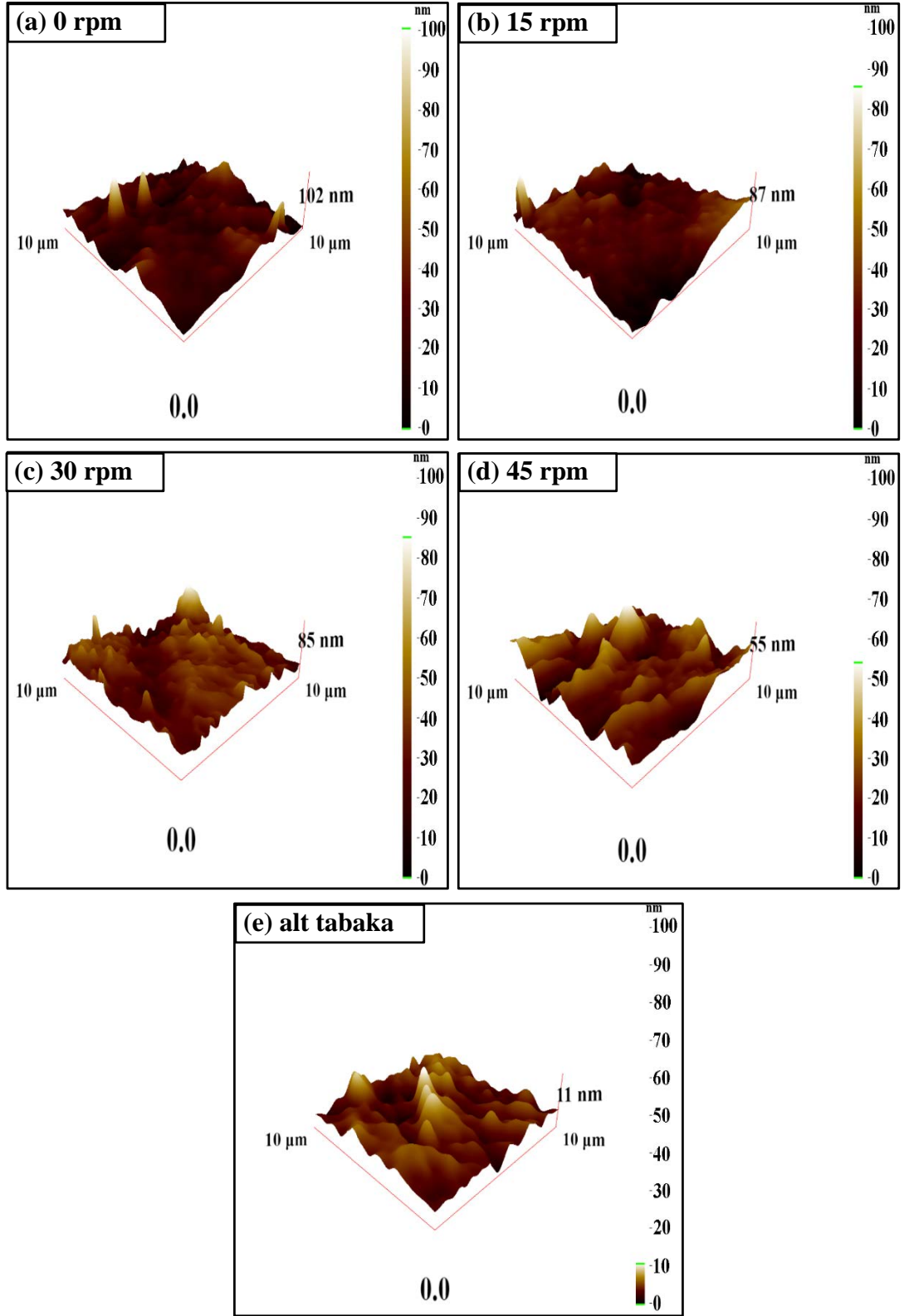
Şekil 4.12: AFM kullanılarak elde edilen (a) alt tabaka, (b) 0.04, (c) 0.06, (d) 0.08, (e) 0.10 ve (f) 0.12 nm/s biriktirme hızlarında üretilen filmlerin histogram grafikleri.

4.4.2.1.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri

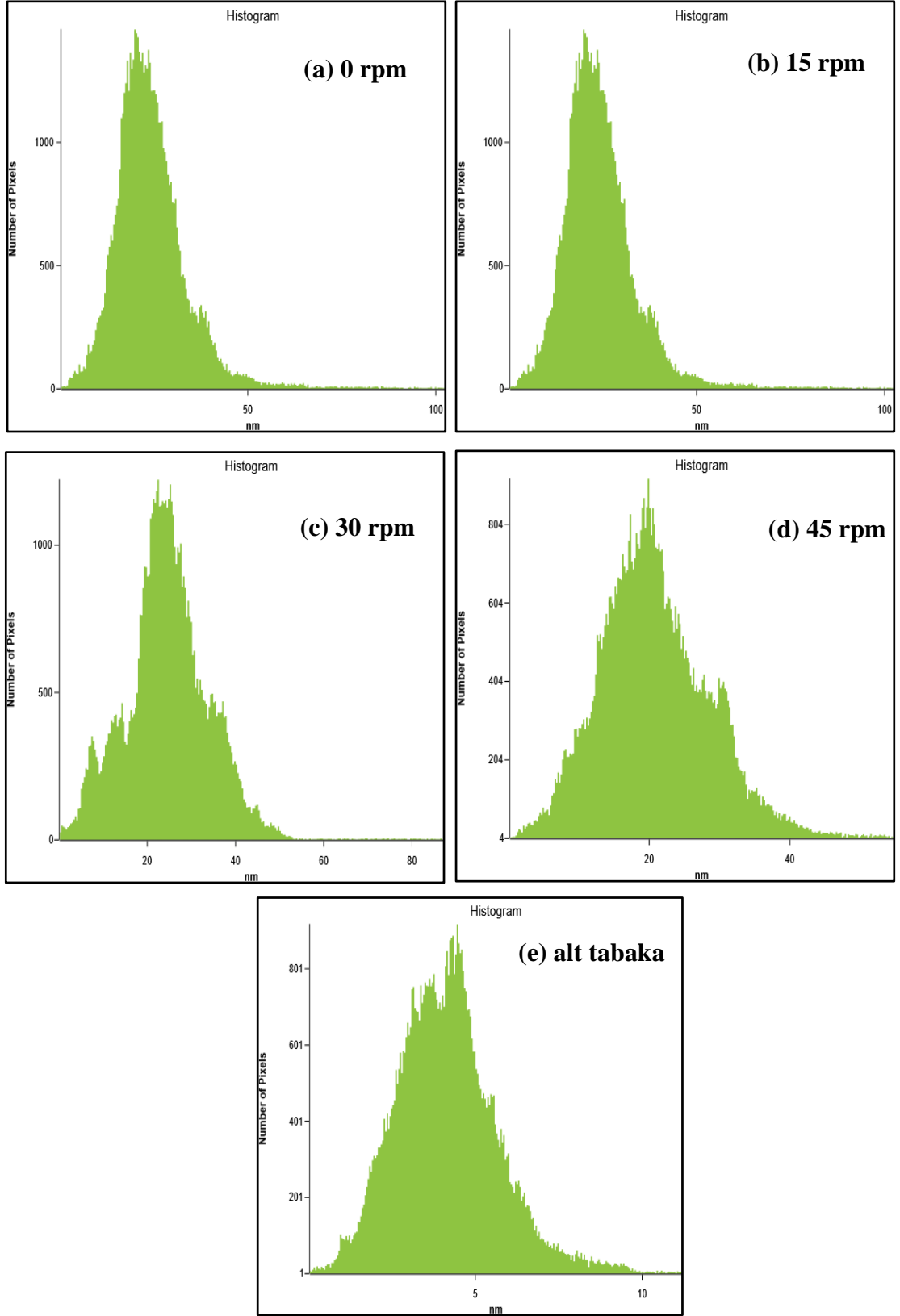
Farklı alt tabaka dönme hızlarının etkilerinin araştırıldığı bu seride alt tabaka dönme hızları (a) 0, (b) 15, (c) 30 ve (d) 45 rpm olan FeCrMn ince filmlerin ve alt tabakanın AFM ile elde edilen morfolojik yüzey görüntüleri değerlendirmenin daha kolay yapılabilmesi için Şekil 4.13'te sunulmuştur. Alt tabaka dönme hızı 0, 15, 30 ve 45 rpm olan FeCrMn ince filmleri için sırasıyla en yüksek yükselteleri 102, 87, 85 ve 55 nm olduğu görülmektedir. Bu durumun en olası sebebi dönme hızının artışı ile kaynak yüzeyinden rasgele saçılan parçacıkların hareketli alt tabaka üzerinde üst üste birikmenin engellenmesidir.

Filmlerin AFM görüntüleri Bölüm 3.4.5'te bahsedilen yazılım ile analiz edildiğinde elde edilen histogram grafikleri Şekil 4.14'te sunulmuştur. Döner alt tabakanın farklı hızlarının etkilerinin incelendiği bu ikinci seride FeCrMn ince filmleri için RMS'leri sırasıyla filmlerin (Rq) değerleri incelendiğinde alt tabaka dönme hızı 0, 15, 30 ve 45 rpm olan FeCrMn ince filmleri için sırasıyla 14.16, 9.83, 9.45 ve 7.99 nm olduğu bulundu. Filmlerin çarpıklık (skewness) değerleri sırasıyla 0.336, 0.540, 1.294, 1.697 ve 1.276 olduğu, bunların yanında basıklık (kurtosis) değerleri ise sırasıyla 3.684, 4.365, 7.627 ve 10.118 olduğu bulundu.

FeCrMn ince filmlerinin alt tabaka dönme hızları arttırıldığında yüzey pürüzlülüklerinin azalmakta olduğu bulundu. Bunun en muhtemel sebebi film içeriğinin alt tabaka üzerinde filmin büyümesi sırasındaki hareketin atomların gruplaşmaya olanak vermemesidir. Böylece yüzey nispeten daha düzgün ve pürüzsüz bir şekillenim göstermektedir. Filmlerin alt tabakanın dönme hızının arttırılmasıyla çarpıklık ve basıklık değerlerinin arttığı ancak ortalama alan kök değerlerinin azaldığı bulunmuştur. AFM analizine göre elde edilen bilgiler filmlerin üretim parametreleri açısından daha önce yapılan çalışma [3] ile uyum içindedir. Ancak diğer bir çalışma [42] ile farklılık göstermektedir. Elde edilen AFM görüntüleri önceki bölümde sunulan SEM görüntüleriyle uyum içinde olduğu açıkça ortadadır.



Şekil 4.13: AFM kullanılarak elde edilen, a) 0, b) 15, c) 30, d) 45 rpm değerlerindeki döner alt tabaka hızlarında üretilen filmlerin ve (e) alt tabaka morfolojik görüntüleri.



Şekil 4.14: AFM kullanılarak elde edilen, (a) 0, (b) 15, (c) 30, (d) 45 rpm değerlerindeki döner alt tabaka hızlarında üretilen filmlerin ve (e) alt tabaka histogram grafikleri.

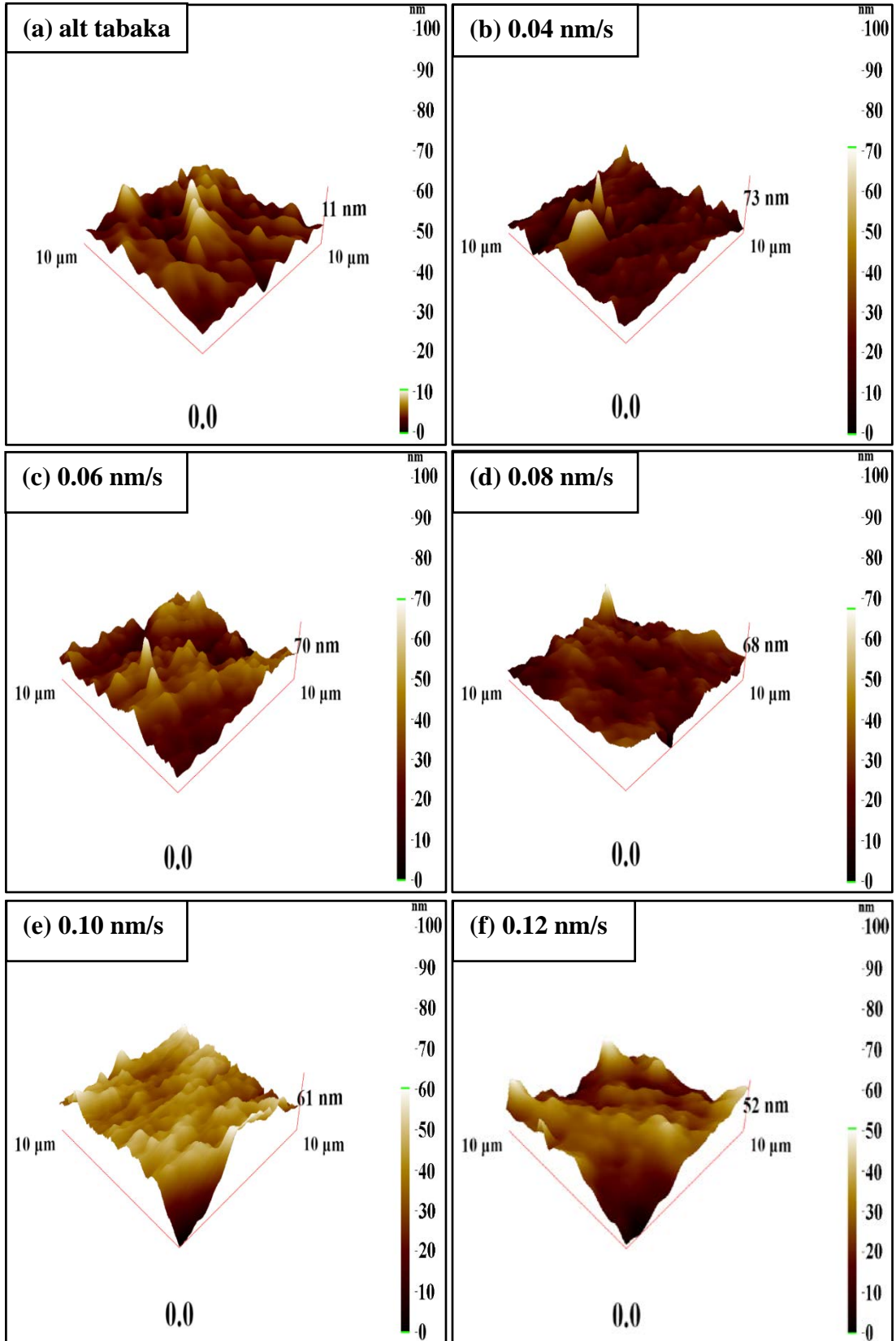
4.4.2.2 FeCrNi İnce Filmlerinin Topografik Yüzey Analizleri

4.4.2.2.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri

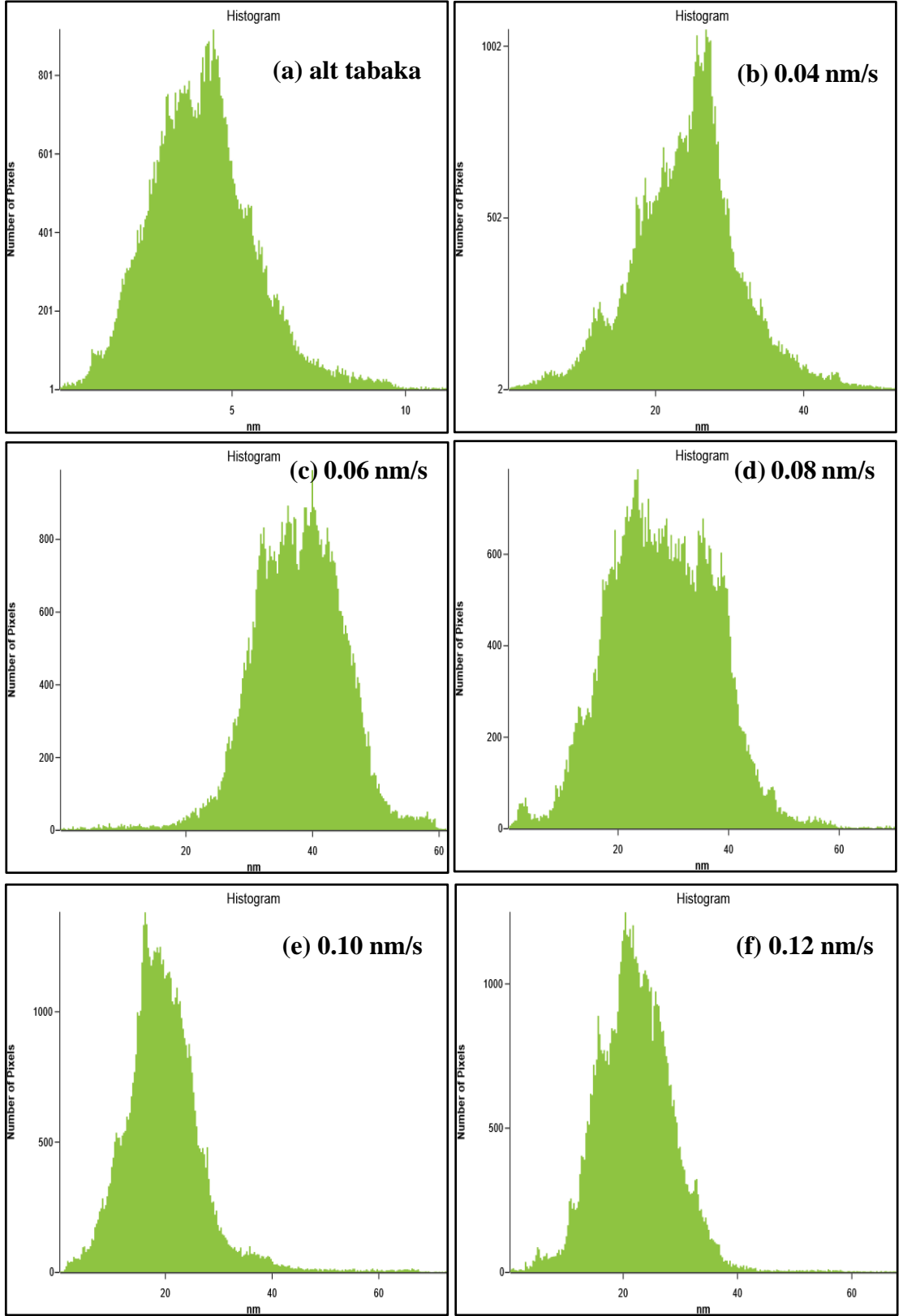
Farklı biriktirme hızlarının etkilerinin araştırıldığı bu seride biriktirme hızları 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s olan FeCrNi ince filmler ile alt tabakanın AFM ile elde edilen morfolojik yüzey görüntüleri değerlendirmenin daha kolay yapılabilmesi için birlikte Şekil 4.15'te sunulmuştur. Biriktirme hızları sırasıyla 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s olan FeCrNi ince filmleri için sırasıyla en yüksek yükseltileri 73, 70, 68, 61 ve 52 nm olduğu görülmektedir. Bu seride, en yüksek yükseltiler birikme oranının artışıyla azalarak daha yumuşak yüzeylere neden olduğu görülmektedir. Bu durumun en muhtemel sebebi alaşımın içinde benzer özellikte farklı iki elementin alt tabaka yüzeyine ulaşırken birbirleriyle etkileşmesidir.

Filmlerin AFM görüntüleri birinci ve ikinci seride olduğu gibi yazılım ile analiz edildiğinde elde edilen histogram grafikleri Şekil 4.16'da sunulmuştur. Biriktirme hızları 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s olan FeCrNi ince filmleri için alan ortalama kökü (Rq) değerleri incelendiğinde sırasıyla 6.66, 7.15, 7.35, 7.48 ve 9.54 nm olduğu bulundu. Filmlerin çarpıklık (skewness) değerleri sırasıyla 0.549, 0.356, 0.080, 1.432 ve 0.101 olduğu ve basıklık (kurtosis) değerleri sırasıyla 5.458, 4.384, 3.667, 8.978 ve 2.943 olduğu bulundu.

FeCrNi ince filmlerinin biriktirme hızları arttıkça yüzey pürüzlülüklerinin de artmakta olduğu; tanecik boyutlarının artmasının yanında filmlerin alan ortalama köklerinin de artış gösterdiği bunun yanında basıklık ve çarpıklık değerlerinde ise lineerlikten sapmalar gözlemlendi. Bunun muhtemel sebebi film içeriğinin püskürtme tekniğinde filmin oluşumu sırasında alt tabaka yüzeyine vardığında etkili olan kohezyon kuvvetlerin katkısının olmasıdır. AFM analizi ile elde edilen sonuçlar SEM analizleriyle elde edilen görüntülerle uyum içerisindedir. Ayrıca, AFM analizine göre elde edilen bilgiler filmlerin üretim parametreleri açısından daha önce yapılan çalışmalar [3, 42] ile uyum içindedir.



Şekil 4.15: AFM kullanılarak elde edilen (a) alt tabaka, (b) 0.04, (c) 0.06, (d) 0.08, (e) 0.10 ve (f) 0.12 nm/s biriktirme hızlarında üretilen FeCrNi filmlerin morfolojik görüntüleri.



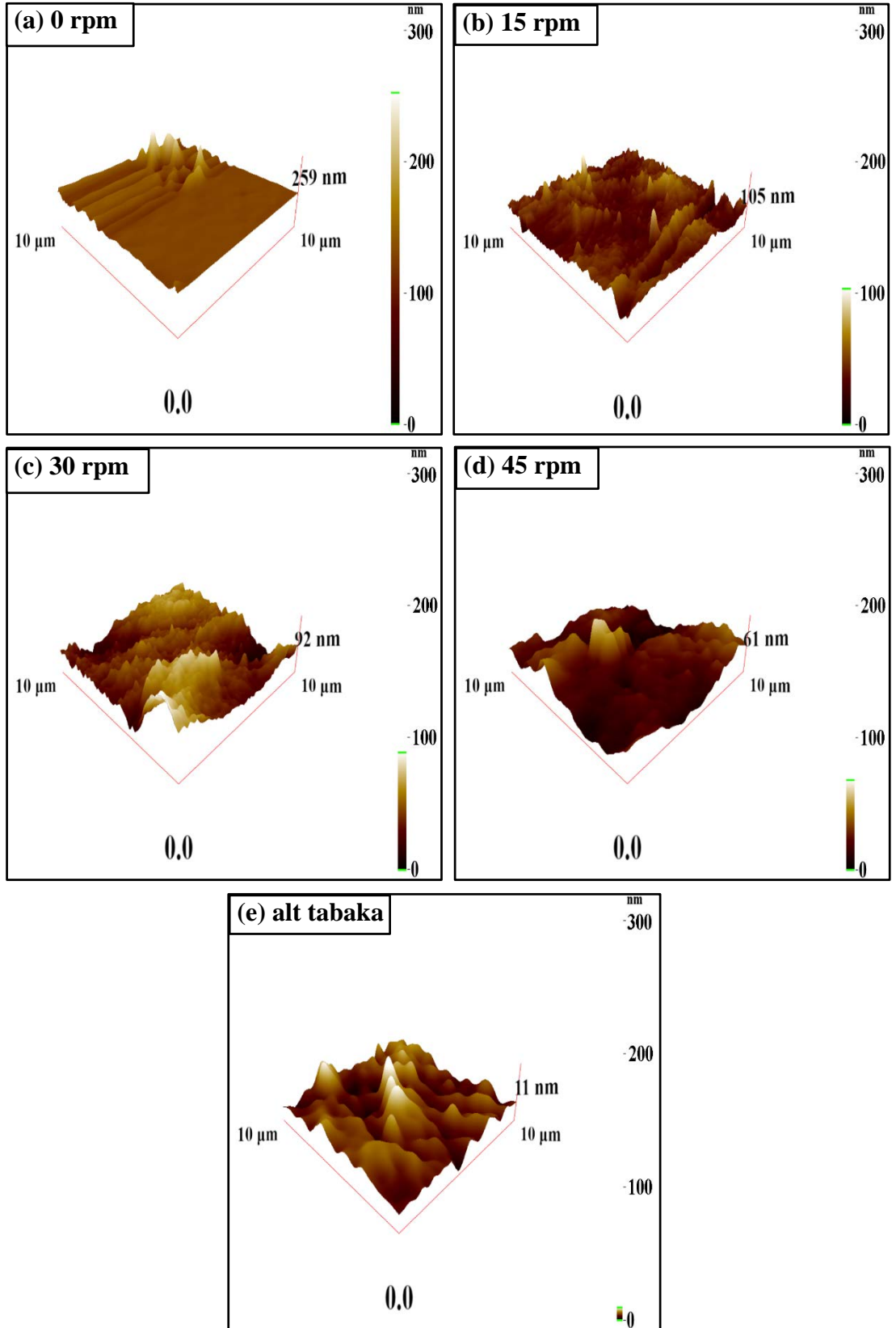
Şekil 4.16: AFM kullanılarak elde edilen (a) alt tabaka, (b) 0.04, (c) 0.06, (d) 0.08, (e) 0.10 ve (f) 0.12 nm/s biriktirme hızlarında üretilen FeCrNi filmlerin histogram grafikleri.

4.4.2.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri

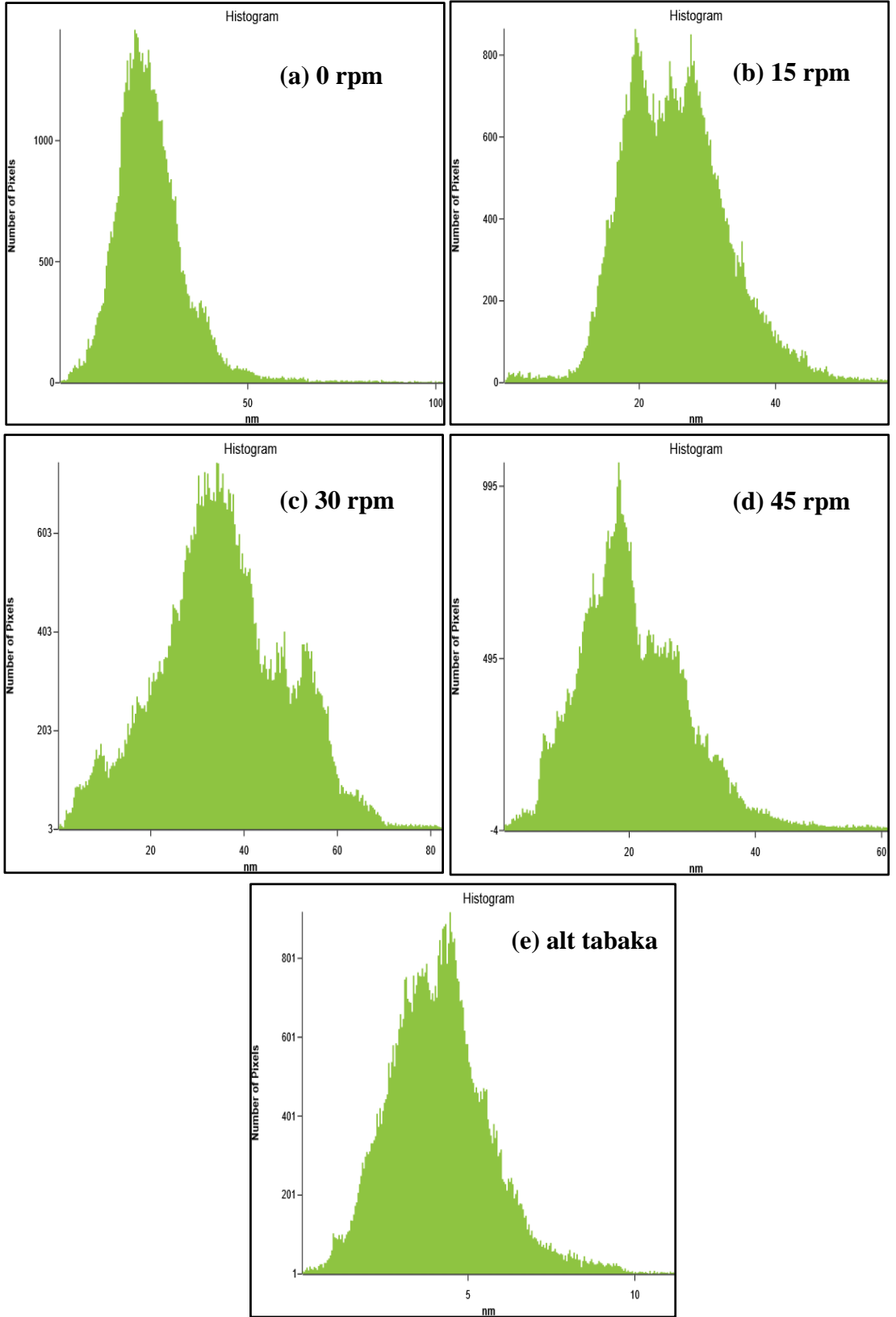
Farklı biriktirme hızlarının etkilerinin araştırıldığı bu seride alt tabaka dönme hızları (a) 0, (b) 15, (c) 30 ve (d) 45 rpm olan FeCrNi ince filmlerin ve (e) alt tabakanın AFM ile elde edilen morfolojik yüzey görüntüleri değerlendirmenin daha kolay yapılabilmesi için Şekil 4.17’de sunulmuştur. Alt tabaka dönme hızları (a) 0, (b) 15, (c) 30 ve (d) 45 rpm olan FeCrNi ince filmleri için sırasıyla en yüksek yükselteleri 259, 105, 92, ve 61 nm olduğu görülmektedir. Bu durumun en olası sebebi dönme hızının artışı ile hedef yüzeyinden rasgele saçılan parçacıkların hareketli alt tabaka ile istatistiksel oranın azaltılarak üst üste birikmenin engellenmesidir. Bu durum ikinci seri ile uyum içerisindedir.

Filmlerin AFM görüntüleri önceki serilerde olduğu gibi yazılım ile analiz edildiğinde elde edilen histogram grafikleri Şekil 4.18’da sunulmuştur. Filmlerin AFM görüntüleri döner alt tabakanın farklı hızlarının etkilerinin incelendiği bu ikinci seride FeCrNi ince filmleri için alan ortalama kökleri sırasıyla filmlerin (Rq) değerleri incelendiğinde alt tabaka dönme hızları (a) 0, (b) 15, (c) 30 ve (d) 45 rpm olan FeCrNi ince filmleri için sırasıyla 27.39, 13.86, 8.50 ve 7.59 nm olduğu bulundu. Filmlerin çarpıklık (skewness) değerleri sırasıyla 0.169, 0.102, 0.684 ve 0.423 olduğu ve basıklık (kurtosis) değerleri sırasıyla 13.669, 2.852, 3.947 ve 3.569 olduğu bulundu.

FeCrNi ince filmlerinin alt tabaka dönme hızları arttırıldığında yüzey pürüzlülüklerinin ise azalmakta olduğu bulundu. Bunun en muhtemel sebebi ferromanyetik içeriğin filmin alt tabaka üzerinde büyümesi sırasında etkili olan kohezyon kuvvetlerine ilaveten kalıcı mıknatıslıklarının da katkısının olmasıdır. Böylece yüzey nispeten daha düzgün bir şekillenim göstermektedir. Filmlerin alt tabakanın dönme hızının arttırılmasıyla çarpıklık ve basıklık değerlerinin dalgalandığı ancak ortalama alan kök değerlerinin azaldığı bulunmuştur. Filmlerin yüzeyindeki taneli yapıların da dönme hızı arttıkça azaldığı görülmüştür. Bu bulgular ikinci seri ile uyum içindedir. Ayrıca, AFM analizine göre elde edilen bilgiler filmlerin üretim parametreleri açısından daha önce yapılan çalışma [3] ile uyum içindedir. Ancak diğer bir çalışma [42] ile farklılık göstermektedir.



Şekil 4.17: AFM kullanılarak elde edilen (a) 0, (b) 15, (c) 30, (d) 45 rpm değerlerindeki döner alt tabaka hızlarında üretilen FeCrNi filmlerin ve (e) alt tabaka morfolojik görüntüleri.



Şekil 4.18: AFM kullanılarak elde edilen (a) 0, (b) 15, (c) 30, (d) 45 rpm değerlerindeki döner alt tabaka hızlarında üretilen filmlerin ve (e) alt tabaka histogram grafikleri.

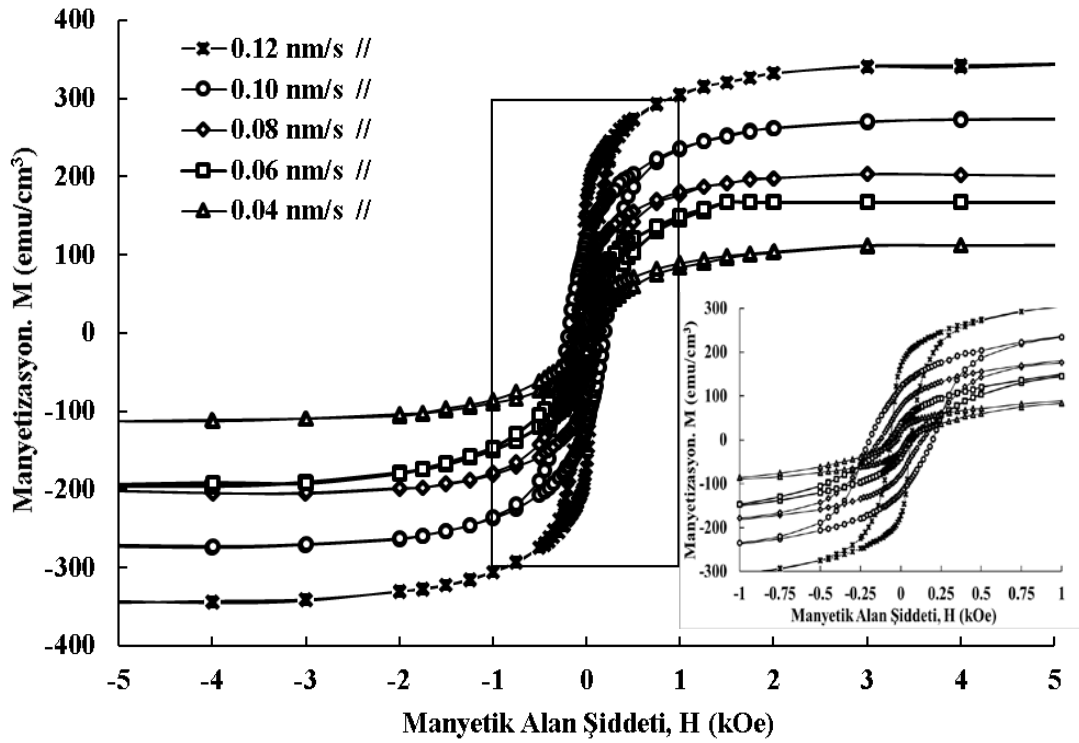
4.5 İnce Filmlerin Manyetik Analizleri

Üretimleri tamamlanan tüm filmlerin manyetik analizleri VSM ile belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen dört serinin analiz sonuçları bu başlık altında açıklanmıştır.

4.5.1 FeCrMn İnce Filmlerin Manyetik Analizleri

4.5.1.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri

FeCrMn ince filmlerinin farklı biriktirme hızlarının etkilerinin araştırıldığı bu seride manyetik özelliklerini belirlemek için VSM ile filmlerin manyetik alana paralel olarak yerleştirilerek paralel (//) manyetik histeresis eğrileri elde edilerek Şekil 4.19'da sunulmuştur.



Şekil 4.19: VSM kullanılarak elde edilen (a) 0.04, (b) 0.06, (c) 0.08, (d) 0.10 (e) 0.12 nm/s biriktirme hızlarında üretilen FeCrMn filmlerin paralel histeresis eğrileri.

Filmlerin M_s ve M_r değerlerinin birimleri emu/cm^3 olması için filmlerin hacmine bölünerek kullanılmıştır. Ayrıca paralel ölçümler için M_s , M_r , H_c ve M_r/M_s değerleri Tablo 4.6'da sunulmuştur. FeCrMn ince filmlerin M_s değerleri 0.04, 0.06,

0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s'lik biriktirme hızlarında sırasıyla, 117.25, 196.46, 204.45, 280.84 ve 345.73 emu/cm³ olarak bulunmuştur. Biriktirme hızlarındaki artışın Mn ve Cr bileşenlerinin azalmasına ve Fe bileşeninin atomik yüzdesinde küçük bir artışa neden olabileceği ve dolayısıyla M_S değerlerinin arttığı sonucuna varılabilir. Bu sonuçların nedeninin, filmlerin atomik içeriğinin püskürtme işlemi sırasında değişmesine bağlı olduğu açıkça görülmüştür. Bu M_S değerleri, filmlerin kompozisyon analizi ile uyumludur. Aslında bu sonuç, temelde filmin içerdiği manyetik malzemenin yüzdesine ve türüne bağlı olduğu bilinmektedir. Bu durum, Periera R. tarafından yapılan çalışmada [74] M_S'nin de parçacık boyutu ve kafes gerilmesi gibi mikroyapısal özelliklere bağlı olduğu da açıkça vurgulanmaktadır.

Ayrıca, filmlerin M_r değerleri sırasıyla 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s'de biriktirilen filmler için 22.06, 37.65, 77.41, 119.50 ve 171.07 emu/cm³ olarak belirlendi. M_r değerleri de birikim hızının artmasıyla arttı. Doyum alanı, Şekil 4.29'da görüldüğü gibi tüm filmler için yaklaşık 3 kOe bulundu. Filmlerin doyum alanları ise, Şekil 4.29'da görüldüğü gibi tüm filmler için yaklaşık olarak 3 kOe bulundu. Bu sonuca ilişkin en olası açıklama histerezis döngülerinden gelebilir; birikim hızındaki değişim, doyum, kalıcı manyetizasyon ve koersivite değerlerinde bir artışa neden olmuş olup, tablodaki M_r/M_S oranı ise 0.18'den 0.49'a kadar yükselmiştir.

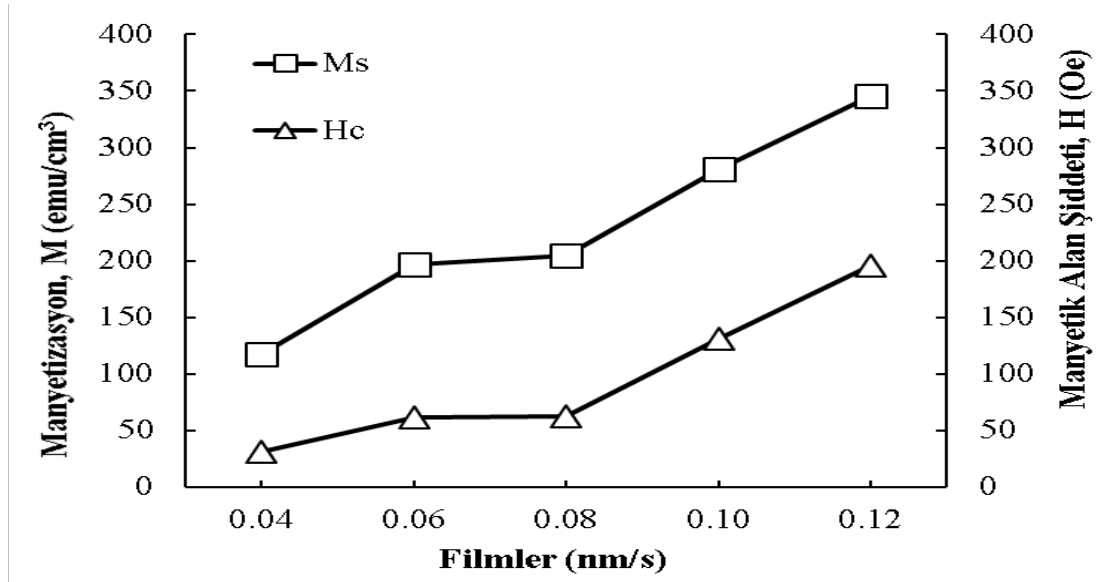
Biriktirme hızı arttıkça, filmlerin SEM görüntülerinde daha sert ve pürüzlü yüzeyler ve ayrıca H_c değerlerinin de artmasının nedeni olabilecek AFM görüntüleri gözlenmiştir. H_c değerleri, sırasıyla 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm / s'de biriktirilen filmler için 31, 61, 62, 131 ve 196 Oe değerleri tespit edilmiş ve ayrıca Şekil 4.20 ve Tablo 4.6'da sunulmuştur. M_S ve M_r'nin artması ve aynı zamanda biriktirme hızının artması ile birlikte H_c değerlerinin de artması nedeniyle filmler daha sert manyetik özellikler sergiler. Bu kapsamda FeCrMn ince filmlerinde biriktirme hızının artışıyla M_S, M_r, H_c ve dolayısıyla M_r/M_S değerlerindeki yükseliş yalnızca filmin içeriğindeki Fe oranının artışıyla değil martensitik dönüşümün de biriktirme hızıyla birlikte artarak filmlerde görülen ferromanyetik davranışlarının bir sebebi olabilir. Ayrıca, diğer benzer çalışmalarda [71, 75] belirtildiği gibi, bir AISI 202 östenitik paslanmaz çelik bcc fazında kristalleşir ve östenitik durumda zayıf bir ferromanyetik davranışa sahiptir. Mevcut XRD sonuçlarında belirtilen mevcut filmlerin bcc fazı, filmlerin histerezis döngülerinde ferromanyetik davranışı açıklamaktadır. Başka bir deyişle, bir dc

magnetronun püskürtülmesiyle üretilen AISI 202 östenitik paslanmaz çelik kaynaktan elde edilen FeCrMn ince filmlerin martensitik faza sahip olduğu bulunmuştur. Bildiğimiz kadarıyla, bu durum literatürdeki daha önceki çalışmalarda ifade edilmemiştir. Ayrıca paralel ölçümler için M_s , M_r , H_c ve M_r/M_s değerleri Tablo 4.6’da sunulmuştur.

Tablo 4.6: Farklı biriktirme hızlarındaki FeCrMn filmlerinin paralel manyetik özelliklerinin değerleri.

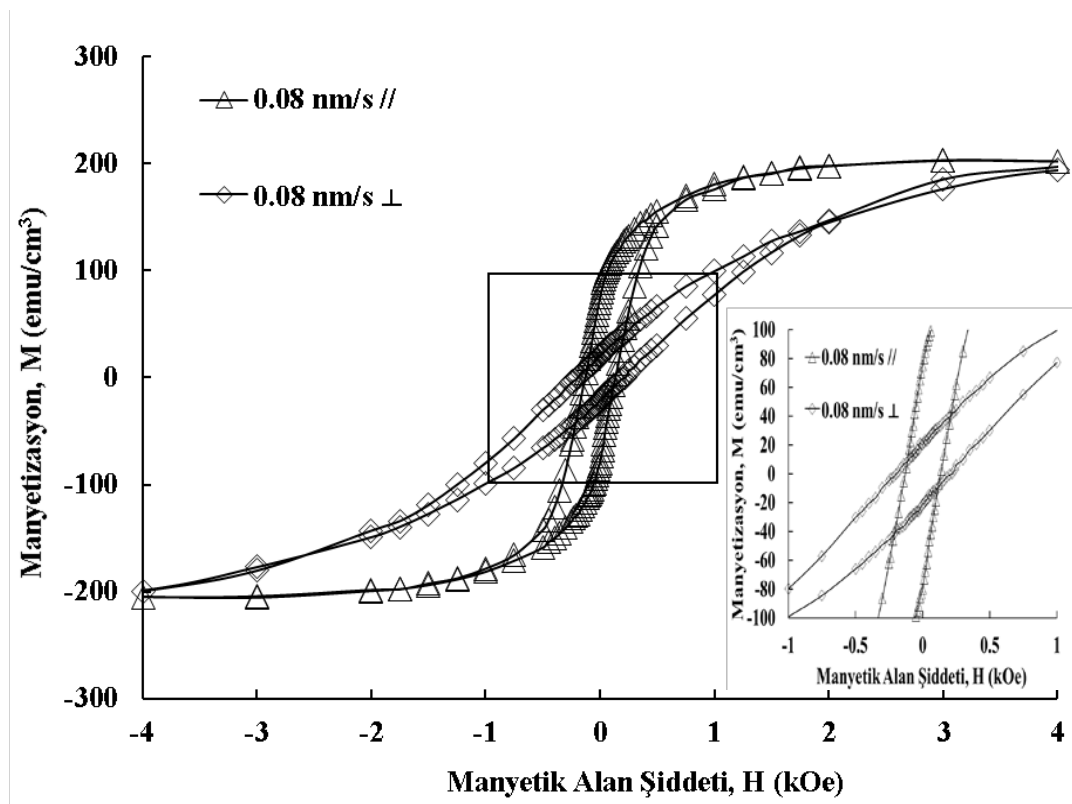
Film	Biriktirme Hızı (nm/s)	Film Düzlemine // Manyetik Değerler			
		M_s (emu /cm ³)	H_c (Oe)	M_r (emu /cm ³)	(M_r/M_s)
FeCrMn	0.04	117.25	31	22.06	0.18
	0.06	196.46	61	37.65	0.19
	0.08	204.45	62	77.41	0.37
	0.10	280.84	131	119.50	0.42
	0.12	345.73	196	171.07	0.49

FeCrMn ince filmlerin farklı biriktirme hızlarının etkilerinin M_s ve H_c değerlerinin değişimi Şekil 4.20’de sunulmuştur.



Şekil 4.20: VSM kullanılarak elde edilen 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s biriktirme hızlarında üretilen FeCrMn ince filmlerin M_s ve H_c değerleri.

Farklı biriktirme hızlarının incelendiği birinci serinin manyetik analizlerine göre, FeCrMn ince filmlerin Tablo 4.6’da görüldüğü gibi; serinin Bölüm 4.2.1’de elementel analiz sonuçlarının sunulduğu bölümde detaylı şekilde açıklandığı gibi biriktirme hızları arttırıldığında martensitik dönüşümün daha etkili olarak ferromanyetik içeriğin artışıyla birlikte doyum manyetizasyonunun da arttığı, koersivite değerlerinin ise ne yumuşak ne sert değerlerdeyken artarak sert manyetik malzemeye dönüştüğü, kalıcı mıknatıslık değerlerinin sürekli olarak arttığı ve buna paralel olarak M_r/M_s oranının da artış gösterdiği bulunmuştur. Bu durum daha önceki yapılan çalışmalar [24, 30, 76] ile uyum içerisindedir.

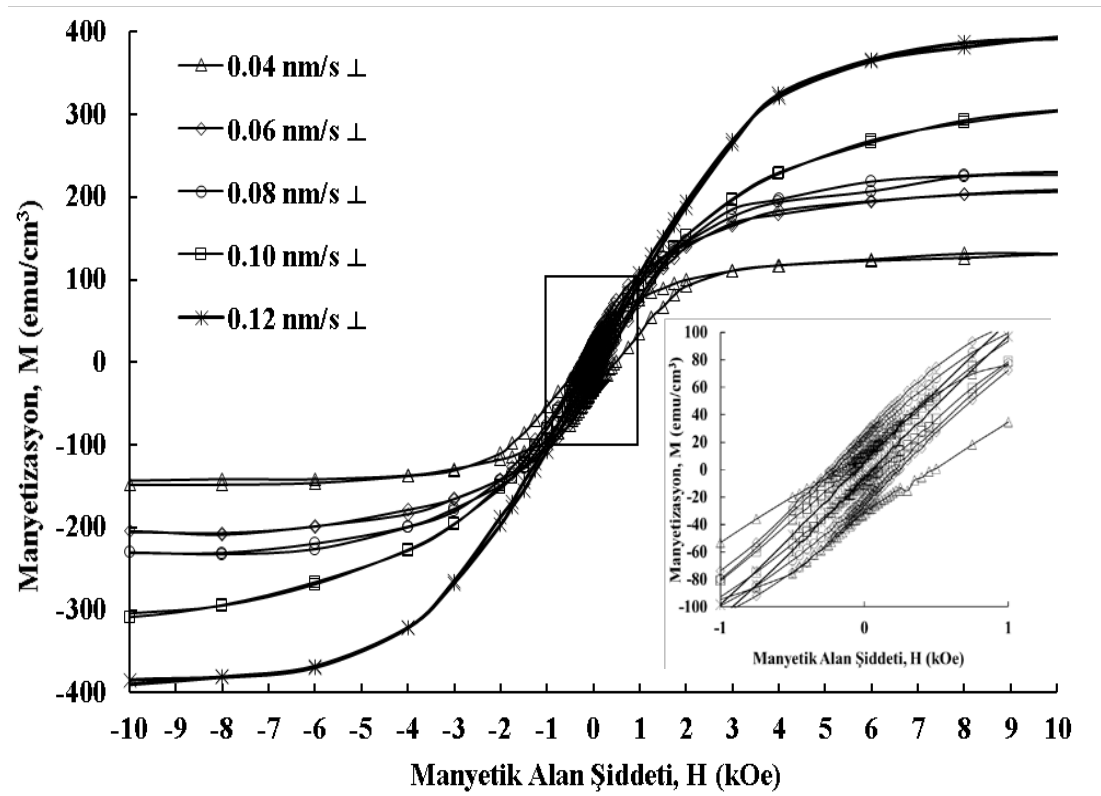


Şekil 4.21: VSM kullanılarak elde edilen 0.08 nm/s biriktirme hızında üretilen FeCrMn ince filmin manyetik alana paralel ve dik histeresis eğri grafikleri.

FeCrMn ince filmlerin farklı biriktirme hızlarının etkilerinin incelendiği bu ilk serideki tüm filmlerin manyetik alana paralel ve dik olarak elde edilen histeresis eğrileri birbirleriyle aynı formda olduğu bulunmuştur. Bu farklı değerlerin merkezinde bulunan 0.08 nm/s değerinde üretimi yapılan filmin paralel ve dik histeresis eğrileri Şekil 4.21’de bir örnek olarak sunulmuştur.

Filmlerin manyetik alana paralel yerleştirilerek elde edilen ile dik yerleştirilmesiyle elde edilen histeresis eğri grafikleri değerlendirildiğinde de anlaşılacağı üzere manyetizasyonun doyuma ulaşırken izlediği yola bakıldığında filmlerin manyetik alana dik yerleştirilmesi durumunda zor eksen ve manyetik alana paralel olarak yerleştirilmesi durumunda ise kolay eksen olduğu görülmektedir.

FeCrMn ince filmlerinin farklı biriktirme hızlarının etkilerinin araştırıldığı bu seride manyetik özelliklerini belirlemek için VSM ile filmlerin manyetik alana dik olarak yerleştirilerek dik (\perp) manyetik histeresis eğrileri elde edilerek Şekil 4.22’de sunulmuştur. FeCrMn ince filmlerinin farklı biriktirme hızlarının etkilerinin araştırıldığı bu seride; manyetik alana dik yerleştirilerek elde edilen histeresis eğrilerinden düşük manyetik alan şiddetinde ferromanyetik davranış sergilerlerken, manyetik alan şiddetinin artışıyla paramanyetik davranış sergilemektedir.



Şekil 4.22: VSM kullanılarak elde edilen 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s biriktirme hızında üretilen FeCrMn ince filmlerin dik histeresis grafikleri.

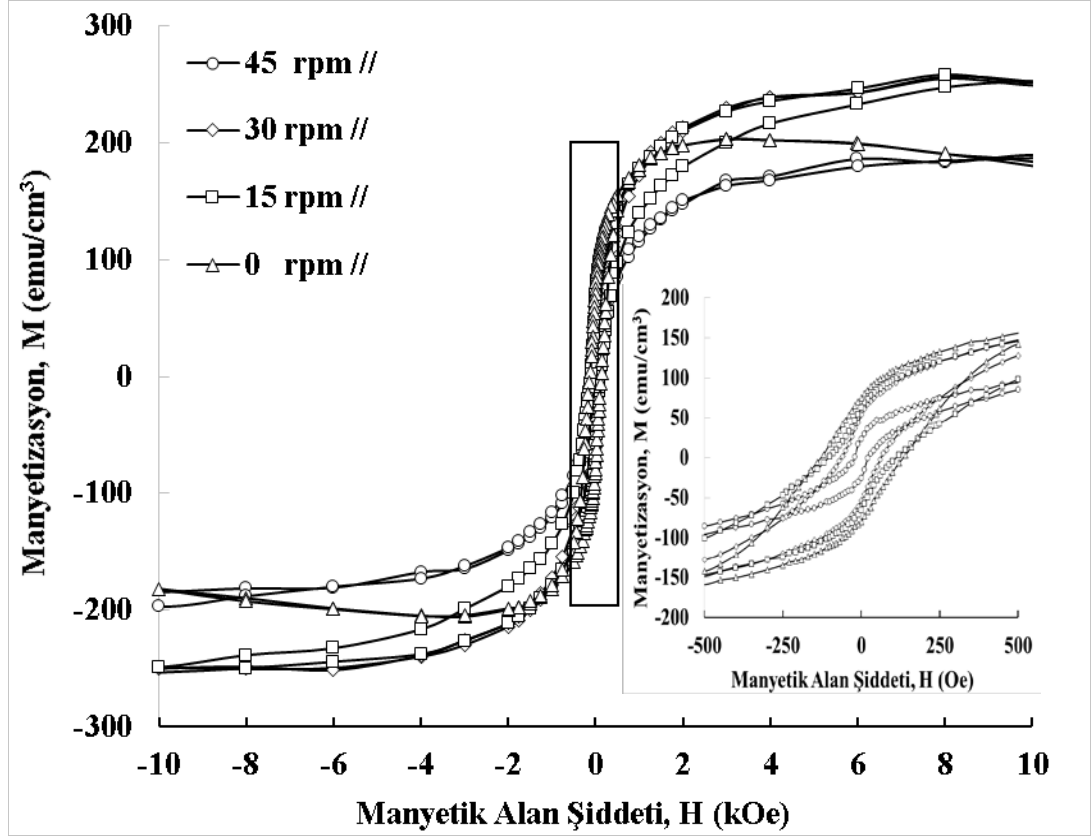
Filmlerin ayrıca M_s , M_r , H_c ve M_r/M_s değerleri paralel ölçümler için Tablo 4.7’de sunuldu.

Tablo 4.7: Farklı biriktirme hızlarındaki FeCrMn filmlerinin dik manyetik özelliklerinin değerleri.

Film	Biriktirme Hızı (nm/s)	FeCrMn Dik \perp Manyetik Değerler			
		M_s (emu/cm ³)	H_c (Oe)	M_r (emu/cm ³)	(M_r/M_s)
FeCrMn	0.04	136.75	325	22.35	0.19
	0.06	207.45	232	26.02	0.13
	0.08	228.35	204	20.75	0.10
	0.10	312.50	95	4.88	0.20
	0.12	400.15	50	5.72	0.01

4.5.1.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri

FeCrMn ince filmlerinin döner alt tabakanın farklı hızlarının etkilerinin araştırıldığı bu seride manyetik özelliklerini belirlemek için VSM ile filmlerin manyetik alana paralel olarak yerleştirilerek paralel (//) manyetik histeresis eğrileri elde edilmiş olup Şekil 4.23’te sunulmuştur.



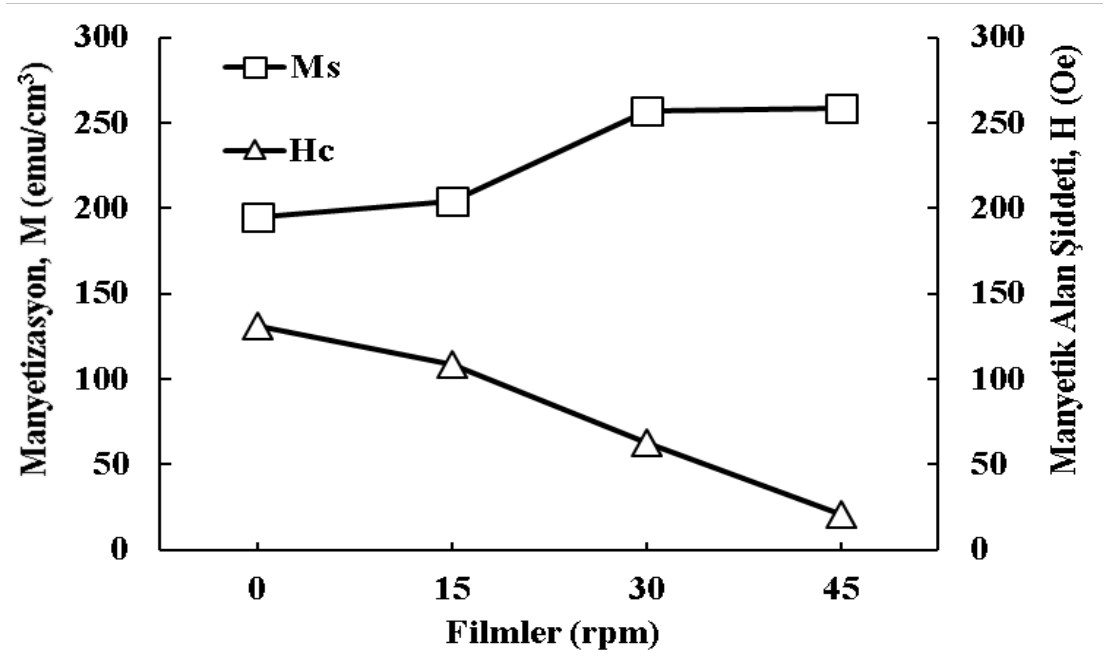
Şekil 4.23: VSM kullanılarak elde edilen 0, 15, 30, 45 rpm hızlarında üretilen FeCrMn ince filmlerin paralel histerezis grafikleri.

FeCrMn filmlerin paralel şekilde ölçülerek elde edilen histeresis eğrilerinden elde edilen M_s , M_r , H_c ve M_r/M_s değerleri paralel ölçümler için Tablo 4.8’de sunulmaktadır.

Tablo 4.8: Farklı döner alt tabaka hızlarındaki FeCrMn filmlerinin paralel manyetik özelliklerinin değerleri.

Film	Alt Tabaka Dönme Hızı (rpm)	Film Düzlemine // Manyetik Değerler			
		M_s (emu/cm ³)	H_c (Oe)	M_r (emu/cm ³)	(M_r/M_s)
FeCrMn	0	194.52	131.41	27.02	0.13
	15 ± 0.2	204.45	108.28	20.77	0.10
	30 ± 0.4	257.28	63.14	19.39	0.07
	45 ± 0.4	258.54	21.13	9.08	0.03

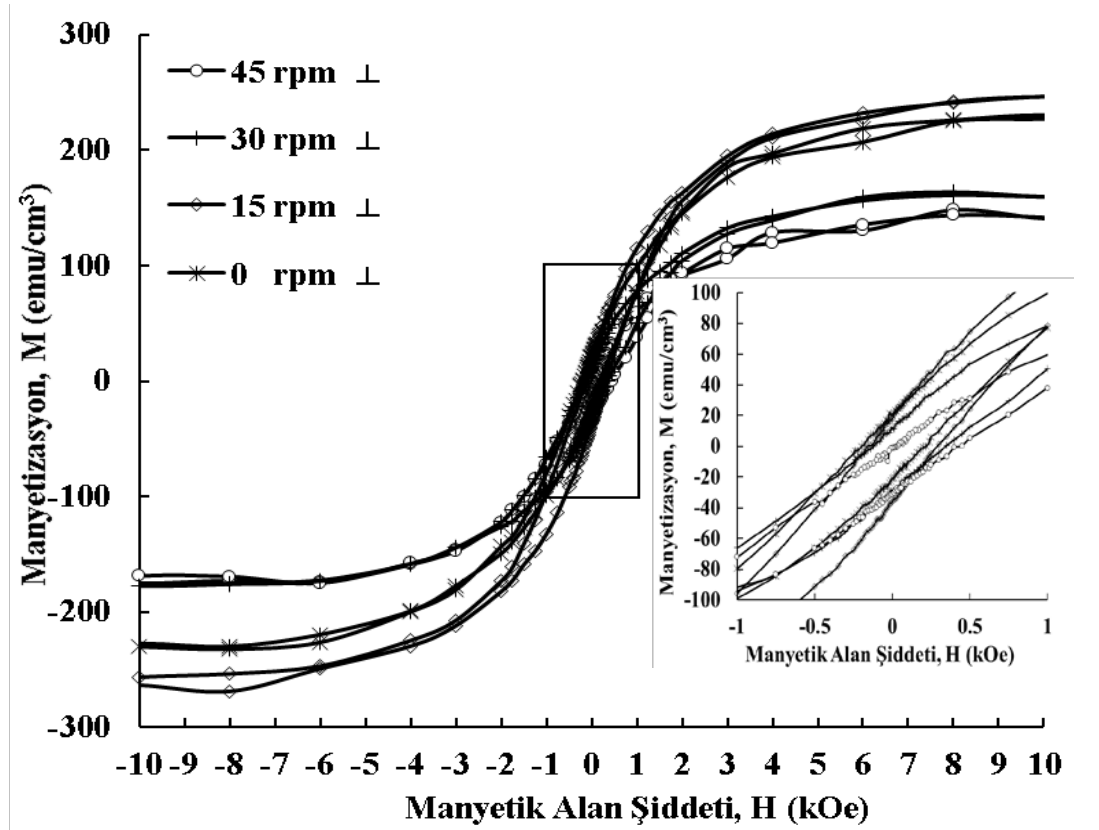
FeCrMn ince filmlerin döner alt tabakanın farklı hızlarının etkilerinin M_s ve H_c değerlerini nasıl değiştirdiği Şekil 4.24'te sunulmuştur.



Şekil 4.24: VSM kullanılarak elde edilen 0, 15, 30 ve 45 rpm dönme hızlarında üretilen FeCrMn ince filmlerin paralel M_s ve H_c değerleri.

Tablo 4.8'de görüldüğü üzere; dördüncü bölüm, ikinci başlık, ikinci alt başlığın, ilk alt başlığında elementel analizin sunulduğu bölümde açıklandığı gibi döner alt tabaka hızı arttırıldığında martensitik dönüşümün bir şekilde artışıyla birlikte doyum manyetizasyonunun da arttığı, koersivite değerlerinin ise bir önceki bölümde yüzey pürüzlülüğünün azalışını destekler nitelikte; sert manyetik malzeme değerlerinden ne yumuşak ne sert malzeme sınıfına doğru azaldığı, kalıcı mıknatıslık değerlerinin de sürekli olarak azaldığı ve M_r/M_s oranının da azalış gösterdiği bulunmuştur. Ayrıca döner alt tabakanın hızının artışıyla koersivite değerlerinin azalması domain duvarlarındaki değiş tokuş enerjisinin daha düşük olmasına da atfedilebilir.

FeCrMn ince filmlerinin döner alt tabakanın farklı hızlarının etkilerinin araştırıldığı bu seride manyetik özelliklerini belirlemek için VSM ile filmlerin manyetik alana dik olarak yerleştirilerek dik (\perp) manyetik histeresis eğrileri elde edilerek Şekil 4.25'te sunulmuştur.



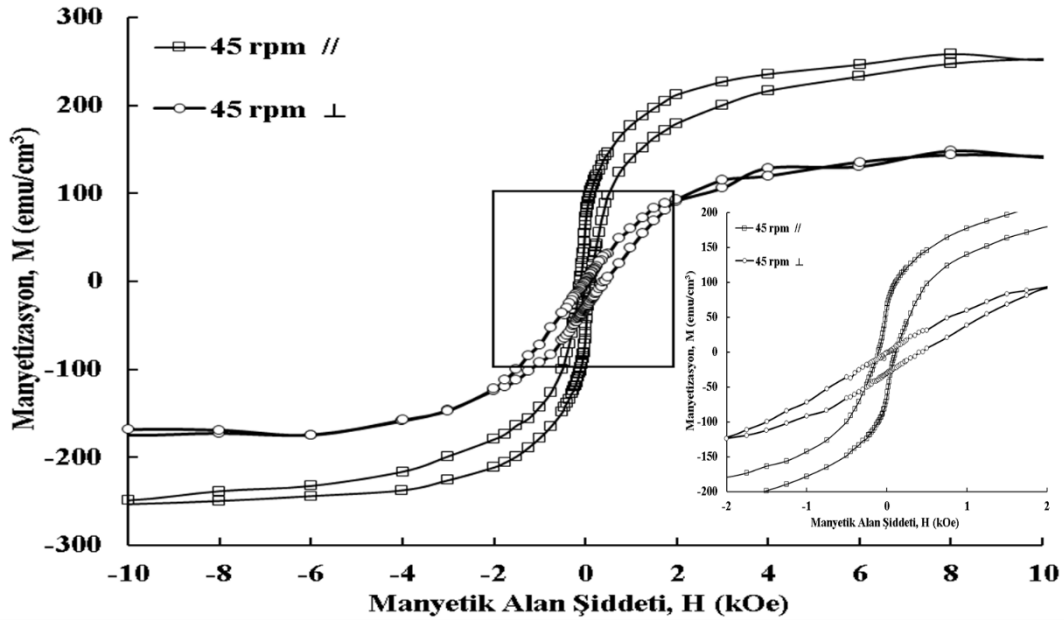
Şekil 4.25: VSM kullanılarak elde edilen döner alt tabakanın 0, 15, 30 ve 45 rpm hızlarında üretilen FeCrMn ince filmlerin dik histeresis grafikleri.

FeCrMn ince filmlerinin farklı alt tabaka dönme hızlarının etkilerinin araştırıldığı bu ikinci seride de elde edilen dik histeresis eğrileri Tablo 4.9’da sunulmuştur.

Tablo 4.9: Farklı döner alt tabaka hızlarındaki FeCrMn filmlerinin dik manyetik özelliklerinin değerleri.

Film	Alt tabaka Dönme Hızı (rpm)	Film Düzlemine \perp Manyetik Değerler			
		M_S (emu/cm ³)	H_C (Oe)	M_r (emu/cm ³)	(M_r/M_S)
FeCrMn	0	228.72	150	21.13	0.09
	15 \pm 0.2	154.45	207	22.34	0.14
	30 \pm 0.4	169.68	220	19.43	0.11
	45 \pm 0.4	156.45	396	6.78	0.04

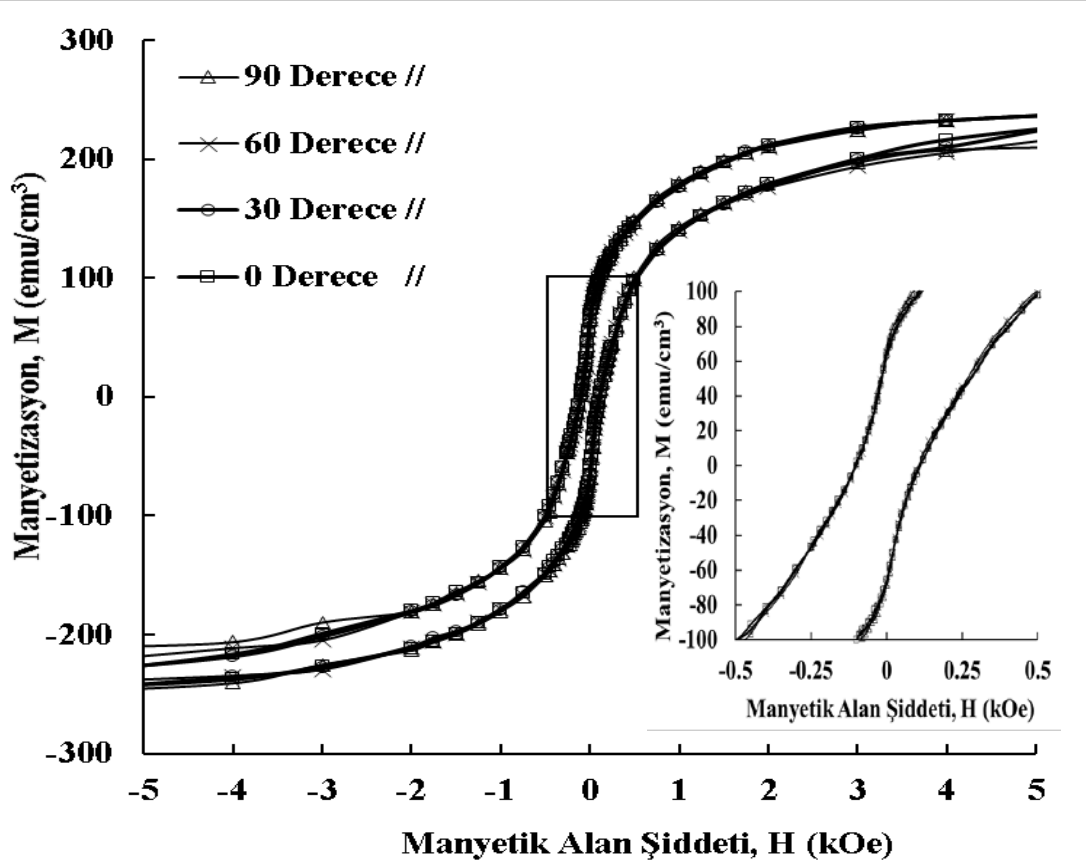
Tablo 4.9ve Şekil 4.26’da görülen verilerden anlaşılmaktadır ki bu filmlerde eğrilerin oluştuğu düşük manyetik alan şiddetinden yüksek manyetik alan şiddetine gidildikçe doyuma ulaştıkları noktalara dikkat edildiğinde; orijin etrafında pozitif yönde bir dönme gerçekleştirdiği görülmektedir.



Şekil 4.26: VSM kullanılarak elde edilen döner alt tabakanın 45 rpm hızında üretilen FeCrMn filminin manyetik alana paralel (//) ve dik (⊥) elde edilen histeresis eğri grafikleri.

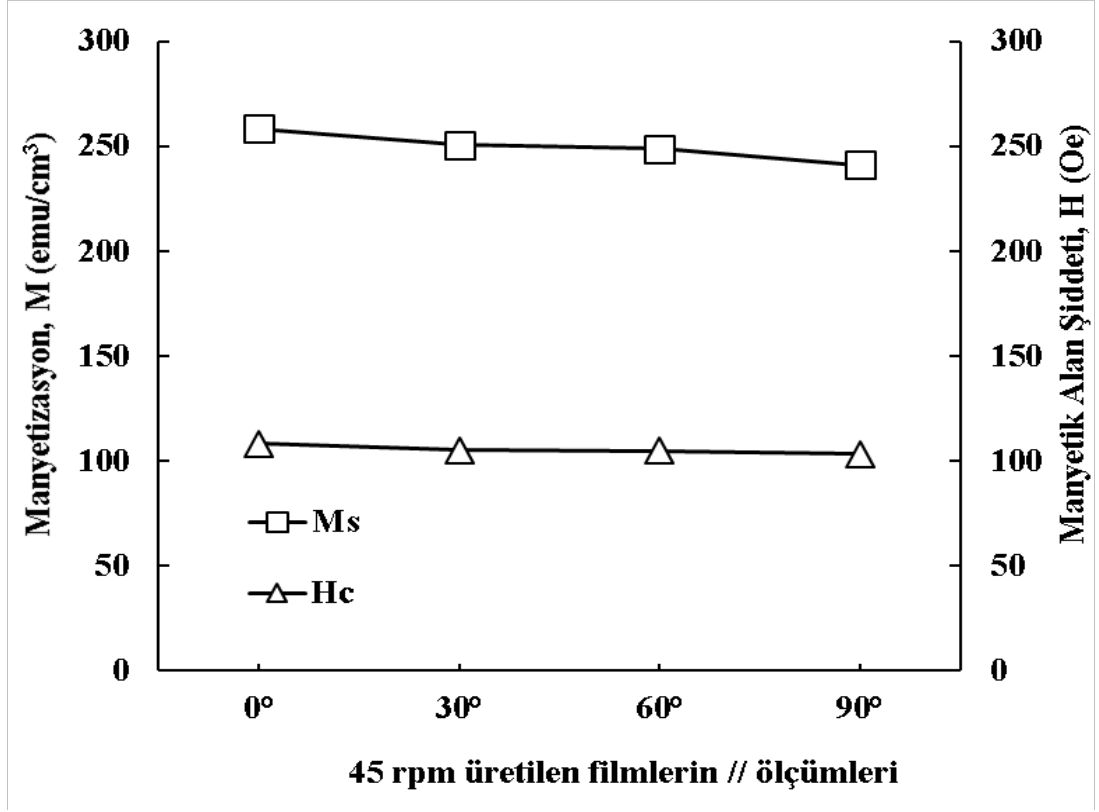
Kalıcı manyetizasyonun doyum manyetizasyonuna oranı dönme hızı arttıkça değişkenlik göstermektedir. Bu sonuçların akabinde şekil anizotropisinin varlığına emin olundu. Ancak bu anizotropinin bir diğer olası sebebi martensitik dönüşüm sırasında kristal yapıdaki örgünün parametrelerinin değişmesidir. Manyetik alana paralel yapılan ölçümlerin manyetizasyonun kolay ekseninde olduğu görüldü.

Manyetik alana paralel yönde ve sırasıyla 0°, 30°, 60° ve 90° açılarda yapılan ölçümlerde eğrilerde değişikliklerle karşılaşıldı. Bu ölçümlerle elde edilen histeresis eğrileri Şekil 4.27’de sunulmuştur.



Şekil 4.27: VSM kullanılarak elde edilen döner alt tabakanın 45 rpm hızında üretilen FeCrMn filminin manyetik alana paralel 0°, 30°, 60° ve 90° açılarda paralel ölçülen histeresis grafikleri.

Filmlerin en yüksek alt tabaka dönme hızında üretimi gerçekleştirilen 45 rpm’de üretilen filmin Şekil 4.27’de sunulan VSM ile elde edilen dik açılı ölçümlerin histeresis eğrileri iç içe geçmiş gibi görünse de Şekil 4.28’de görüldüğü gibi M_s ve H_c değerleri değişim göstermektedir.



Şekil 4.28: VSM kullanılarak elde edilen döner alt tabakanın 45 rpm hızında üretilen FeCrMn filminin manyetik alana paralel 0°, 30°, 60° ve 90° açılarda Ms ve Hc değerleri.

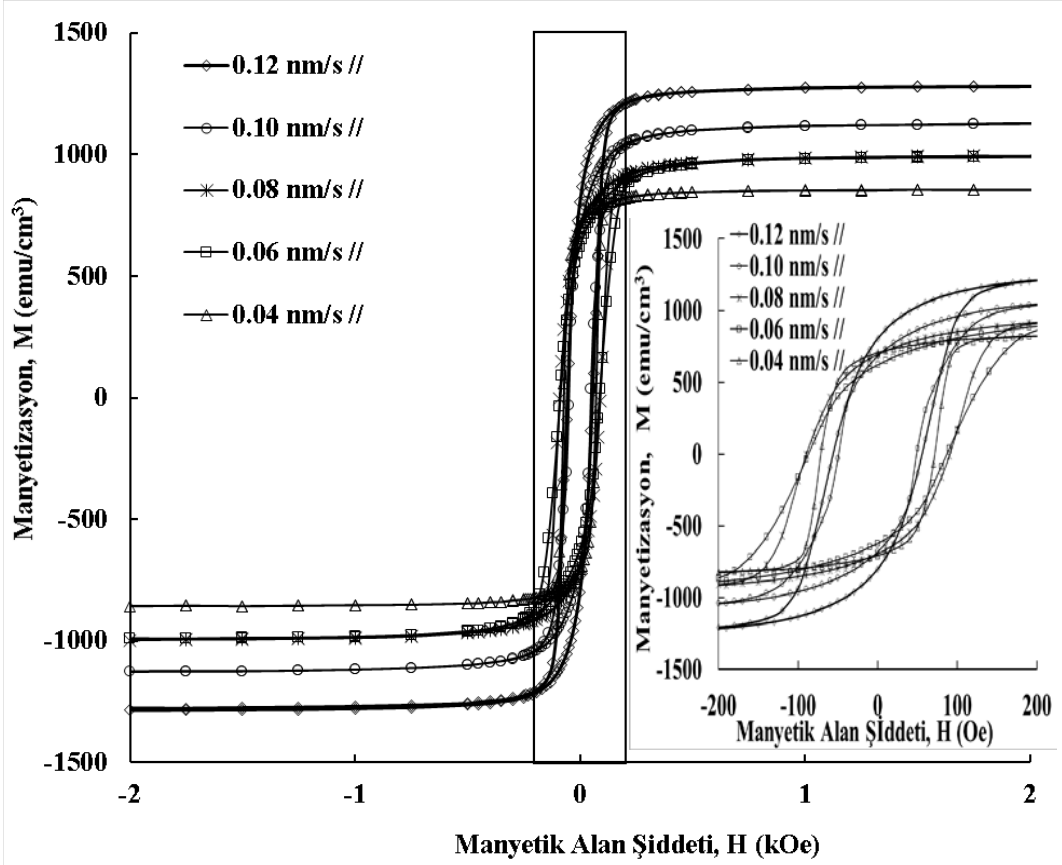
FeCrMn ince filmlerde çok küçük bir miktarda değişimin olduğu görülmektedir. Bunun en muhtemel sebebi ise çalışılan parametrenin oldukça düşük olmasıdır.

Bu çalışmada ayrıca, kullanılan polimer malzemeden oluşan esnek asetat alt tabaka göz önüne alındığında dönme hareketiyle birlikte alt tabaka üzerinde oluşan yapısal iç gerilmelerin artışının, dönme hızı arttıkça filmlerde görülen manyetik zor eksene doğru kaymanın da en muhtemel sebebidir.

4.5.2 FeCrNi İnce Filmlerin Manyetik Analizleri

4.5.2.1 Farklı Biriktirme Hızlarının Etkileri

FeCrNi ince filmlerinin farklı biriktirme hızlarının etkilerinin araştırıldığı bu seride manyetik özelliklerini belirlemek için VSM ile filmlerin manyetik alana paralel olarak yerleştirilerek paralel (//) manyetik histeresis eğrileri elde edilerek farklı biriktirme hızlarına göre Şekil 4.29'da sunulmuştur.



Şekil 4.29: VSM kullanılarak elde edilen 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s biriktirme hızında üretilen FeCrNi filmlerin paralel histeresis eğrileri.

Filmlerin M_s ve M_r değerlerinin birimleri emu/cm^3 olması için filmlerin hacmine bölünerek kullanılmıştır. FeCrNi ince filmlerinin M_s değerleri 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s'lik biriktirme hızlarında sırasıyla, 991.00, 1002.32, 1024.25, 1128.23 ve 1283.14 emu/cm^3 olarak bulunmuştur. Biriktirme hızlarındaki artışın filmlerde, Fe ve Ni bileşenlerinin atomik içeriğinin oranında küçük bir artışa ve Cr bileşeninin azalmasına neden olabileceği ve dolayısıyla M_s değerlerinin arttığı sonucuna varılabilir. Elde edilen değerler, Eymery J.P. ve ark. [77] çalışmasında yaklaşık 1117.2 emu/cm^3 'e eşit olduğu hesaplanan 2-4 nm/s biriktirme hızıyla üretilen en kalın film için 140 emu/g 'lik M_s değeri ile farklılık göstermektedir. Çünkü bu çalışmada M_s değerleri Eymery J.P. tarafından daha önce yapılan çalışmadan [29] da daha yüksektir. Bu farklı sonuçların nedeninin, püskürtme işlemi sırasında filmlerin atomik içeriğinin değişmesine bağlı olduğu açıkça görülmüştür. Doyum alanı, H_a , Şekil 4.29'da görüldüğü gibi tüm filmler için yaklaşık 0.3 kOe bulundu. Bu değer Eymery J.P. tarafından [76] daha düşük bulundu. Bu M_s değerleri, filmlerin

kompozisyon analizi ile uyumludur. Aslında bu sonuç, temelde filmin içerdiği manyetik malzemenin yüzdesine ve türüne bağlı olduğu bilinmektedir. Ancak diğer taraftan, Periera R. ve ark tarafından yapılan çalışmada [74] ve Specht E.D ve ark tarafından yapılan çalışmada [78] M_s 'nin parçacık boyutu ve kafes gerilmesi gibi mikroyapısal özelliklere bağlı olduğu da açıkça vurgulanmaktadır. Ayrıca, filmlerin M_r değerleri sırasıyla 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s'de biriktirilen filmler için 622.10, 682.30, 694.40, 707.50 ve 803.25 emu/cm³ olarak tespit edildi. M_r değerleri de birikim hızının artmasıyla arttı. Ayrıca paralel ölçümler için M_s , H_c , M_r ve M_r/M_s değerleri Tablo 4.10'da sunulmuştur.

Tablo 4.10: Farklı biriktirme hızlarındaki FeCrNi filmlerinin paralel manyetik özelliklerinin değerleri.

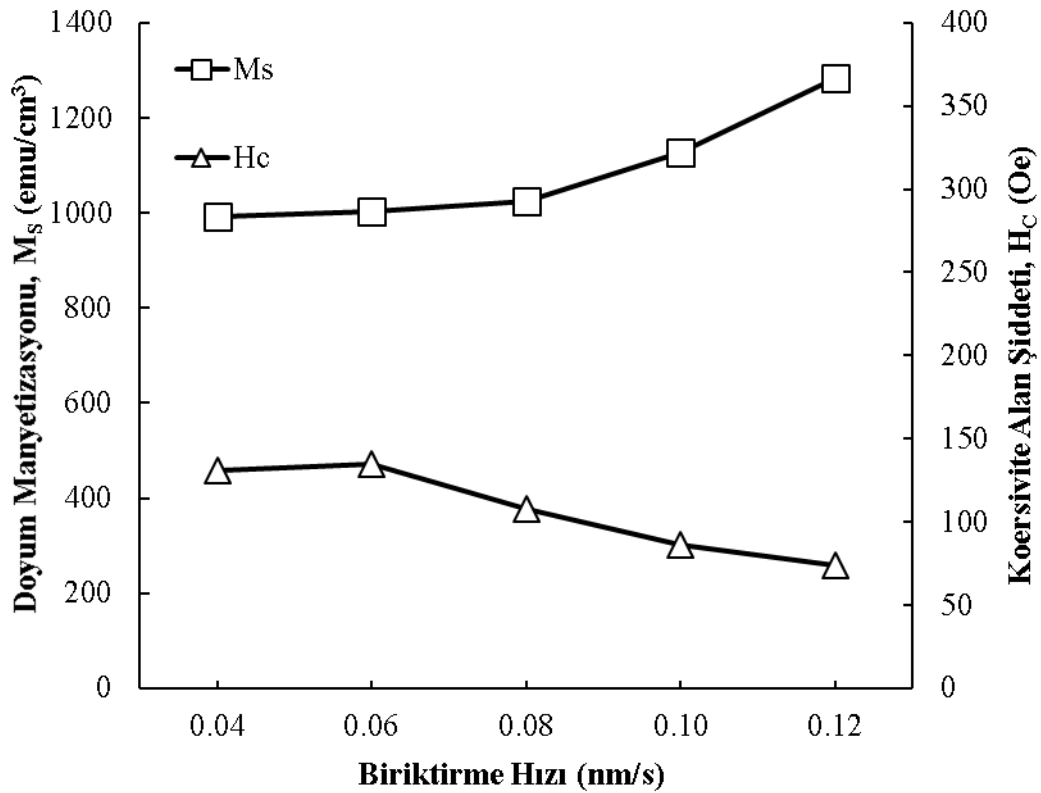
Film Adı	Biriktirme Hızı (nm/s)	Film Düzlemine // Manyetik Değerler			
		M_s (emu/cm ³)	H_c (Oe)	M_r (emu/cm ³)	(M_r/M_s)
FeCrNi	0.04	991.00	131.00	707.50	0.71
	0.06	1002.32	135.06	622.10	0.62
	0.08	1024.25	107.59	694.40	0.67
	0.10	1128.23	86.08	682.30	0.60
	0.12	1283.14	73.83	803.25	0.62

Tablodaki M_r/M_s oranı hemen hemen sabit kalmıştır. Bu sonuca ilişkin en olası açıklama histerezis döngülerinden gelebilir; birikim hızındaki değişim, doyum ve kalıcı manyetizasyon değerlerinde bir artışa neden olurken, M_s ve H_c aynı zamanda Şekil 4.30'da biriktirme hızı ile karşılaştırılmıştır. Bu grafikte, biriktirme hızının artışıyla M_s değerleri artmış ve H_c değerlerinin ise azaldığı görülmüştür. Ancak M_r/M_s oranı hemen hemen sabit kalmıştır. Bu oran, biriktirme hızındaki değişikliklerin döngülerdeki şekillerde değil, parametrelerdeki varyasyonlardan olabileceğine işaret eder.

Biriktirme hızı arttıkça, filmlerin SEM görüntülerinde daha yumuşak yüzeyler ve ayrıca H_c değerlerinin azalmasının nedeni olabilecek AFM görüntüleri gözlenmiştir. H_c değerleri, sırasıyla 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm / s'de biriktirilen filmler için 131, 135, 108, 86 ve 74 Oe değerleri tespit edilmiş ve Şekil 4.30 ve Tablo

4.10'da sunulmuştur. Bu değerler farklıdır, Eymery J.P. ve ark. [76], 0.2 - 0.4 nm/s arasındaki herhangi bir biriktirme hızı için 55 Oe'nin H_c değerini bildirmektedir. M_s ve M_r 'nin artması ve birikim hızının artması ile H_c değerlerinin azalması nedeniyle filmler daha yumuşak manyetik özellikler sergiler.

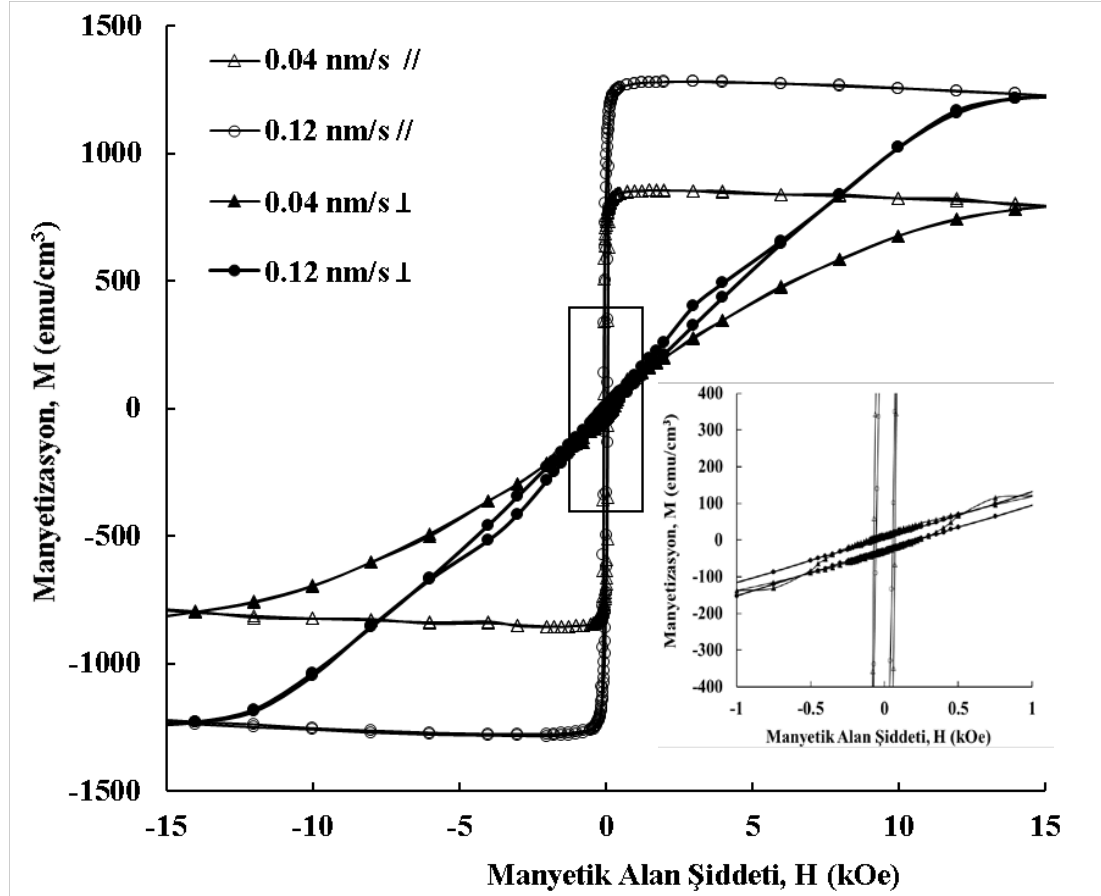
Ayrıca, Eymery tarafından yapılan çalışmada [29] belirtildiği gibi, bir AISI 304 paslanmaz çelik bcc fazında kristalleşir ve östenitik durumda zayıf bir ferromanyetik davranışa sahiptir. Mevcut XRD sonuçlarında belirtilen mevcut filmlerin bct fazı, filmlerin histerezis döngülerinde ferromanyetik davranışı açıklamaktadır. Başka bir ifadeyle, tek bir DC magnetron kullanılarak AISI 304 östenitik paslanmaz çelik kaynaklardan püskürtme tekniğiyle üretilen ince filmlerin martensitik faza sahip olduğu bulunmuştur. Bildiğimiz kadarıyla, bu farklı sonuçlar daha önceki çalışmalarda ifade edilmemiştir.



Şekil 4.30: VSM kullanılarak elde edilen biriktirme hızları 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s hızlarında üretilen FeCrNi filmlerin M_s ve H_c değerleri.

En düşük ve en yüksek biriktirme hızında püskürtülen filmlerin hem dikey hem de paralel histerezis halkaları Şekil 4.31'de gösterildi. Alaşımı oluşturan içeriğin büyük

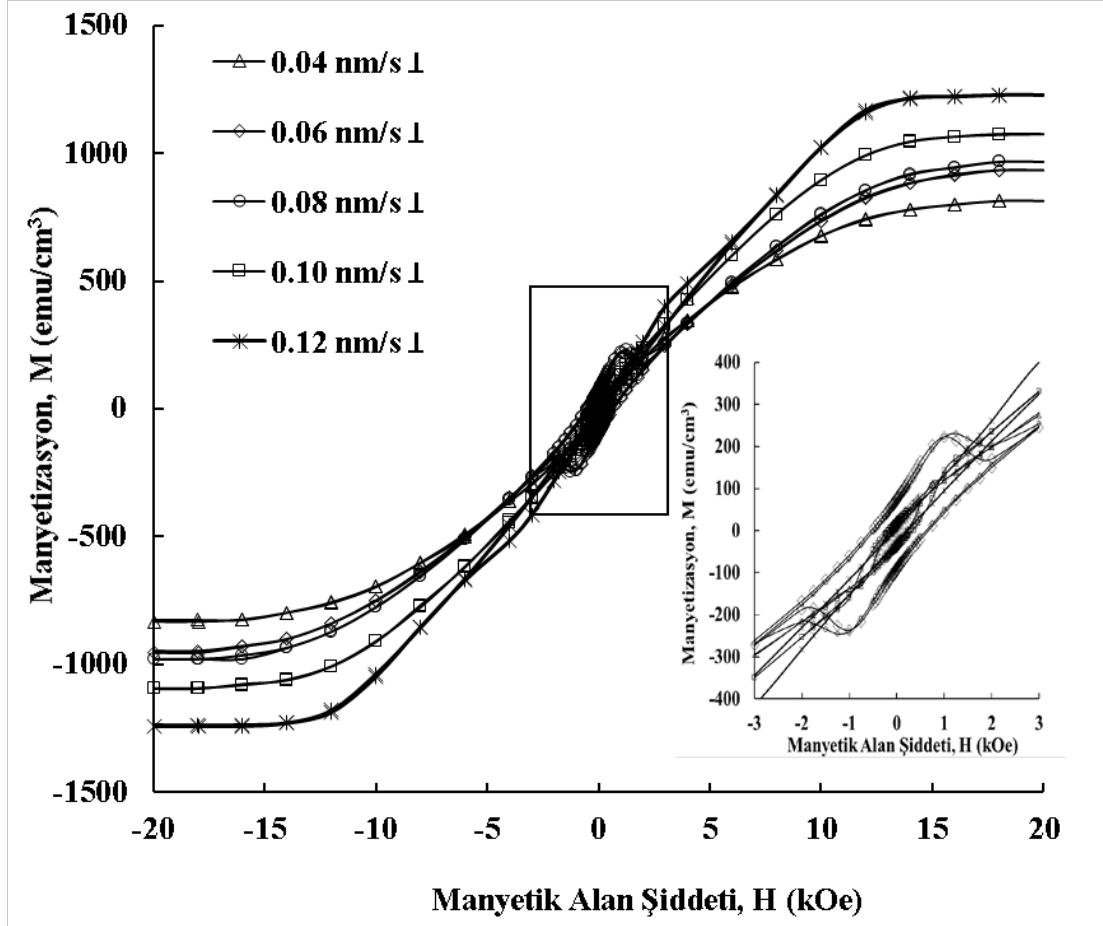
çoğunluğu ferromanyetik olmasına rağmen manyetik alana paralel durumda filmler çok daha kolay şekilde doyuma ulaşmaktalar. Manyetik alana paralel durumda 0.3 kOe yeterliyken, manyetik alana dik konumda filmlerin doyuma ulaşmaları için ~15 kOe değerine varan manyetik alan şiddetinin gerektiği görülmektedir.



Şekil 4.31: VSM kullanılarak elde edilen 0.08 nm/s biriktirme hızında üretilen FeCrNi filminin manyetik alana paralel ve dik histeresis eğri grafikleri.

Filmlerin dik histeresis eğrileri çizdirildiğinde benzer özdeş varyasyonlar gösterdi. FeCrNi filmlerin manyetik alana paralel ve dik manyetik histeresis eğrileri elde edilip karşılaştırıldığında biçimsel olarak benzer şekilde olduğu bulundu.

FeCrNi ince filmlerinin farklı biriktirme hızlarının etkilerinin araştırıldığı bu seride filmlerin dik (\perp) manyetik histeresis eğrileri Şekil 4.32’de sunulmuştur.



Şekil 4.32: VSM kullanılarak biriktirme hızları 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s hızlarında üretilen FeCrNi filmlerin film düzlemine dik elde edilen histeresis grafikleri.

FeCrNi ince filmlerinin farklı biriktirme hızlarının etkilerinin araştırıldığı bu üçüncü seride, manyetik alana dik yerleştirilerek elde edilen histeresis eğrilerinden anlaşılmaktadır ki birinci seride FeCrMn ince filmlerdekine benzer şekilde düşük manyetik alan şiddetlerinde filmler ferromanyetik davranış sergilerken manyetik alan şiddetindeki artış ile filmler paramanyetik davranış sergilemektedir. Bu durumun en olası sebebinin birinci seride de olduğu gibi alaşım yapının içinde ferromanyetik ve paramanyetik olmasından düşünülebilir. Ferromanyetik alınganlık çok daha yüksek olduğu için filmlerde önce ferromanyetik içerik doyuma gider ve devamında da alaşımın diğer elementlerden kaynaklı paramanyetik içeriği doyuma ulaşır.

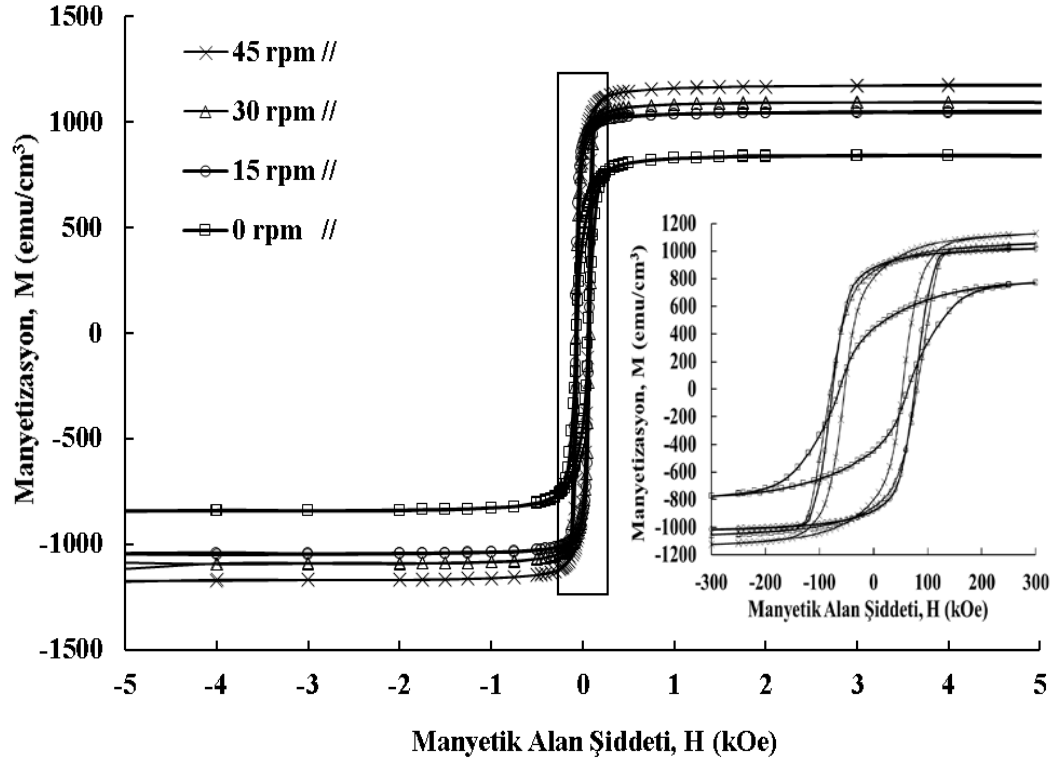
FeCrNi ince filmlerinin farklı biriktirme hızlarının filmlerin M_s ve M_r değerlerinin doyum manyetizasyonları (M_s), koersivite (H_c), kalıcı mıknatıslanma (M_r) ve Squareness (M_r/M_s) değerleri dik ölçümler için Tablo 4.11’de sunuldu.

Tablo 4.11: Farklı biriktirme hızlarında FeCrNi filmlerinin dik manyetik özelliklerinin değerleri.

Film	Biriktirme Hızı (nm/s)	Film Düzlemine \perp Manyetik Değerler			
		M_s (emu/cm ³)	H_c (Oe)	M_r (emu/cm ³)	(M_r/M_s)
FeCrNi	0.04	420.21	288	23.75	0,056
	0.06	480.44	480	86.05	0.179
	0.08	497.37	856	74.95	0.150
	0.10	555.89	426	31.65	0.056
	0.12	623.46	232	3.49	0.005

4.5.2.2 Farklı Döner Alt Tabaka Hızlarının Etkileri

FeCrNi ince filmlerinin döner alt tabakanın farklı hızlarının etkilerinin araştırıldığı bu seride manyetik özelliklerini belirlemek için VSM ile filmlerin manyetik alana paralel olarak yerleştirilerek paralel (//) manyetik histeresis eğrileri elde edilmiş olup Şekil 4.33’te sunulmuştur.



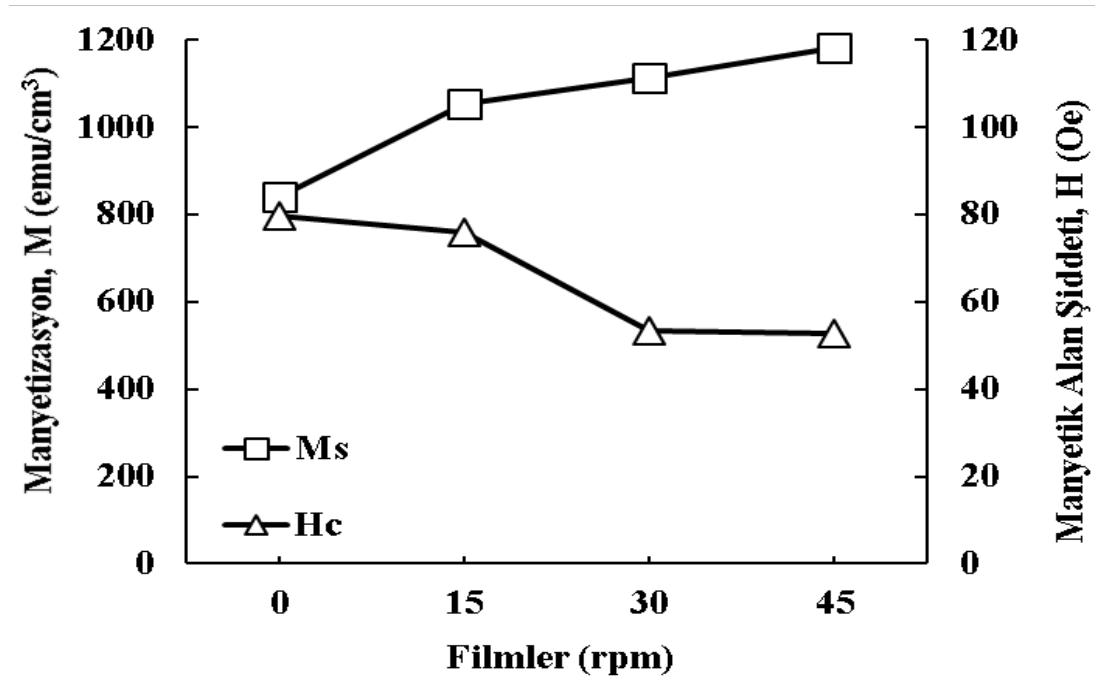
Şekil 4.33: VSM kullanılarak elde edilen döner alt tabakanın 0, 15, 30, 45 rpm hızlarında üretilen FeCrNi filmlerin paralel histerezis eğri grafikleri.

Filmlerin M_s ve M_r değerlerinin birimleri birinci seride olduğu gibi birimlerinin emu/cm^3 olması için filmlerin hacmine bölümüyle hesaplanarak doyum manyetizasyonları (M_s), koersiviteleri (H_c), kalıcı mıknatıslanma (M_r) ve Squareness (M_r/M_s) değerleri paralel ölçümler için Tablo 4.12’de sunulmaktadır.

Tablo 4.12: Farklı döner alt tabaka hızlarında FeCrNi filmlerinin paralel manyetik özelliklerinin değerleri.

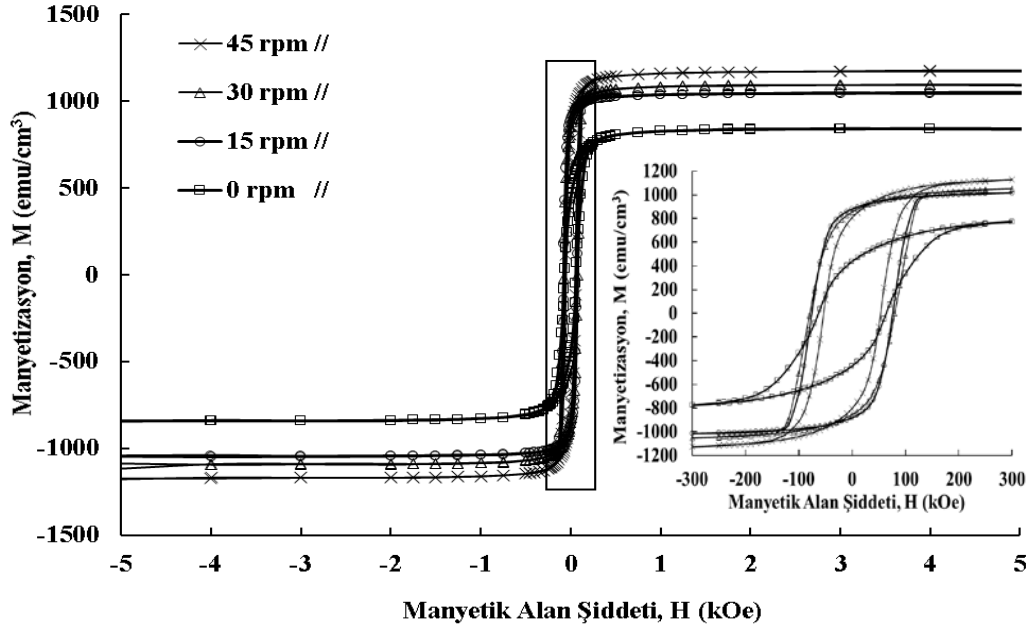
Film	Alt Tabaka Dönme Hızı (rpm)	Film Düzlemine // Manyetik Değerler			
		M_s (emu/cm^3)	H_c (Oe)	M_r (emu/cm^3)	(M_r/M_s)
FeCrNi	0	840.56	79	441.54	0.525
	15 ± 0.2	1054.67	75	805.28	0.763
	30 ± 0.3	1113.38	53	855.41	0.768
	45 ± 0.4	1181.99	52	881.63	0.745

FeCrNi filmlerin alt tabaka dönme hızı arttıkça doyum manyetizasyonları artmış bunun aksine koersivite değerleri azalmıştır. Tablo 4.12’de görüldüğü üzere; önceki bölümlerde elementel analizin sunulduğu bölümde açıklandığı gibi döner alt tabaka hızı arttırıldığında ferromanyetik içeriğin artışıyla birlikte doyum manyetizasyonunun da arttığı görülmektedir. FeCrNi ince filmlerin döner alt tabakanın farklı hızlarının etkilerinin M_s ve H_c değerlerini nasıl değiştirdiği Şekil 4.34’te sunulmuştur. Koersivite değerlerinin ise bir önceki bölümde yüzey pürüzlülüğünün azalışını destekler nitelikte; azalarak yumuşak manyetik malzeme sınıfına doğru gitmekte, kalıcı mıknatıslık değerlerinin de dönme hareketinin başlamasıyla ivmelenerek hızlandığı ancak bir noktada yavaşlamayla birlikte artışa devam ettiği ve M_r/M_s oranının da bu duruma paralellik gösterdiği bulunmuştur.

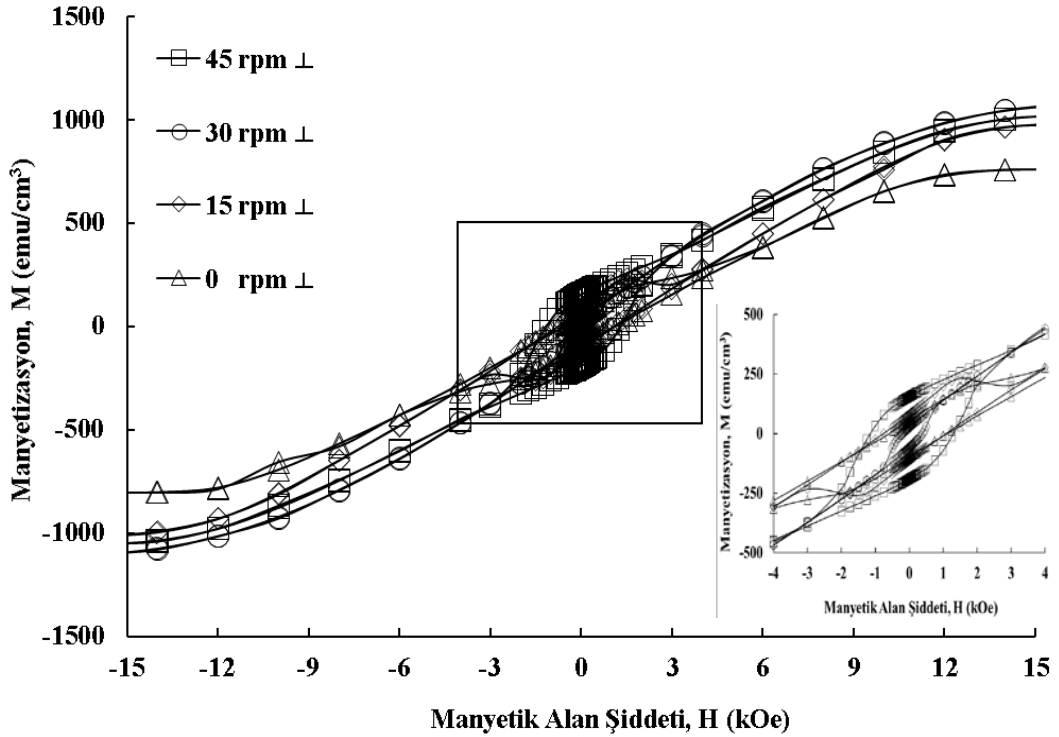


Şekil 4.34: VSM kullanılarak elde edilen döner alt tabakanın 0, 15, 30, 45 rpm hızlarında üretilen FeCrNi filmlerin paralel M_s ve H_c Değerleri.

Tüm filmlerin histeresis eğrileri dik ve paralel birlikte çizdirildiğinde hemen hemen aynı formda olduğu bulunmuştur. Ancak filmlerin paralel histeresis eğrileri Şekil 4.35’te ve aynı zamanda filmlerin dik histeresis eğrileri Şekil 4.36’da sunulmuştur.



Şekil 4.35: VSM kullanılarak elde edilen döner alt tabakanın 0, 15, 30 ve 45 rpm hızlarında üretilen FeCrNi filminin paralel histerezis eğri grafikleri.



Şekil 4.36: VSM kullanılarak elde edilen döner alt tabakanın 0, 15, 30 ve 45 rpm hızlarında üretilen filmlerin dik histerezis eğri grafikleri.

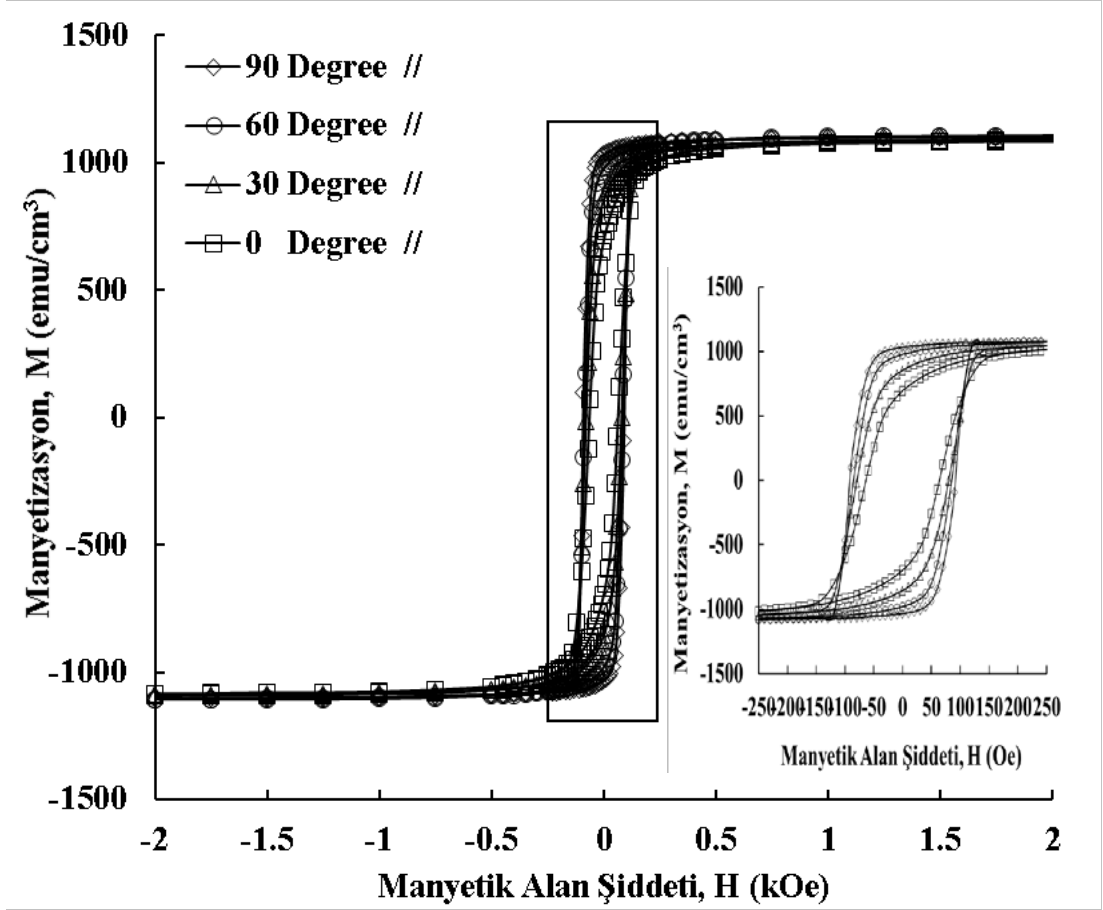
Tablo 4.13'te ise Şekil 4.36'da sunulan histeresis eğrilerinden elde edilen veriler sunulmuştur.

Tablo 4.13: Farklı döner alt tabaka hızlarındaki FeCrNi filmlerinin dik manyetik özelliklerinin değerleri.

Film	Alt tabaka Dönme Hızı (rpm)	Film Düzlemine \perp Manyetik Değerler			
		M_S (emu/cm ³)	H_C (Oe)	M_R (emu/cm ³)	(M_R/M_S)
FeCrNi	0	228.72	120	5.50	0.09
	15 \pm 0.2	154.45	850	19.43	0.04
	30 \pm 0.3	169.68	988	43.34	0.11
	45 \pm 0.4	156.45	1258	95.65	0.14

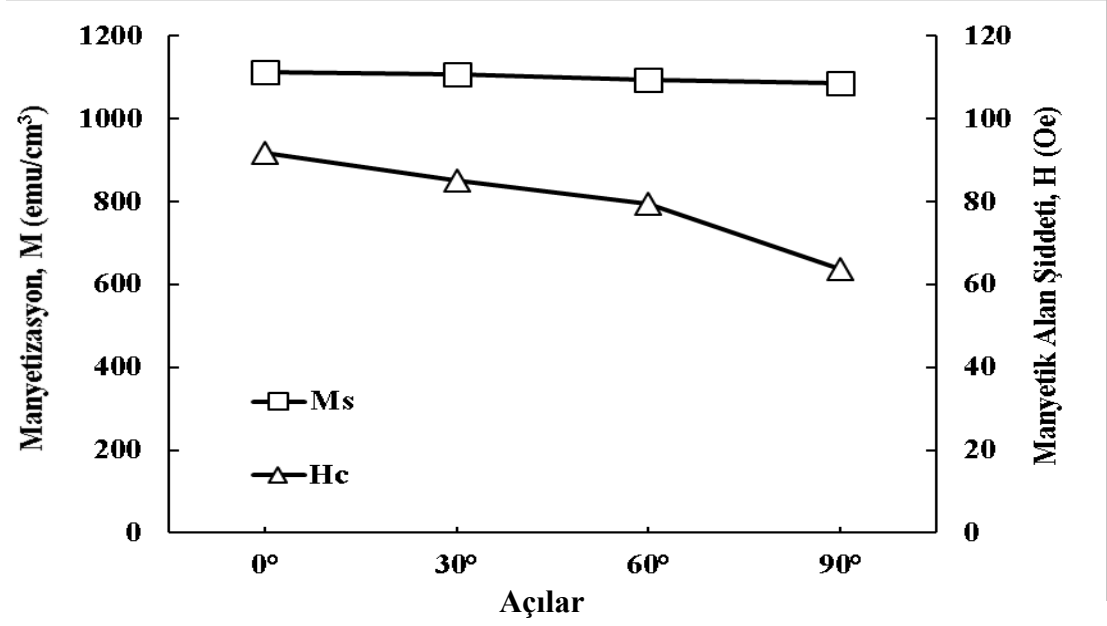
Şekil 4.36 grafiği sunulan ve bu grafiğin Tablo 4.13'te verilen değerlerinden anlaşılmaktadır ki bu filmlerde eğrilerin oluştuğu düşük manyetik alan şiddetinden yüksek manyetik alan şiddetine gidildikçe doyuma ulaştıkları noktalara dikkat edildiğinde sanki orijin etrafında negatif yönde bir dönme gerçekleştirdiği düşünüldü. Bu sonuçların akabinde şekil anizotropisinin varlığına emin olundu.

Yüksek hızlarda alt tabaka dönme hızına sahip FeCrNi filminin manyetik alana paralel farklı açılarda yapılan VSM ölçümlerinden elde edilen histeresis eğrileri Şekil 4.37'de sunulmuştur.



Şekil 4.37: VSM kullanılarak elde döner alt tabakanın 45 rpm dönme hızında üretilen FeCrNi filminin manyetik alana paralel 0°, 30°, 60° ve 90° açılarda elde edilen histeresis eğri grafikleri.

Dördüncü seride en yüksek alt tabaka dönme hızında deneysel üretimi gerçekleştirilen 45 rpm'de üretilen filmin Şekil 4.37'de sunulan VSM ile elde edilen açılı ölçümlerin histeresis eğrileri iç içe geçmiş gibi görünse de Şekil 4.38'de görüldüğü gibi M_s ve H_c değerleri değişim göstermektedir.



Şekil 4.38: VSM kullanılarak elde döner alt tabakanın 45 rpm dönme hızında üretilen FeCrNi filmlerin manyetik alana paralel 0°, 30°, 60° ve 90° açılarda Ms ve Hc değerleri.

Ancak bu seride de diğer serilerde olduğu gibi polimer malzemeden imal edilmiş esnek asetat alt tabaka kullanımı göz önüne alındığında dönme hızı arttıkça filmlerde dönme hareketiyle birlikte alt tabakada oluşan yapısal gerilim, görülen manyetik anizotropinin en muhtemel sebebidir.

Bir önceki bölümde malzeme içinde farklı en az iki ferromanyetik bileşenin olmasının sonucu dik anizotropinin görülebileceği daha önce yapılan çalışmada [79] bulunmuş bu çalışmada da görülen M_r/M_s oranının azalmasıyla birlikte histeresis alanının büyümesi şeklindedir. Bu durum sonucu daha önce yapılan çalışmalarla [16, 42, 79] uyum içerisindedir. Ancak farklı olarak, farklı dönme açılarında yapısal anizotropi gözlenmektedir. İkinci seridekine benzer şekilde; film büyürken martensitik dönüşüme uğraması sonucu bir yönde manyetizasyon baskın gelmektedir. Martensitik oluşum yalnızca bir düzlemde daha baskın olduğu için farklı açılarda filmin doyuma giderken izlediği histeresis eğrisi de farklı olmaktadır. Açılı arttıkça manyetizasyon kolay eksene doğru gitmektedir. Bu FeCrNi filmlerde yapısal anizotropinin görülmesinin en muhtemel sebebidir.

Ayrıca, FeCrMn ve FeCrNi ince filmlerin tüm parametreleri tek bir tabloda toplanarak Tablo 4.14'te sunulmuştur.

Tablo 4.14: AISI 202 ve AISI 304 kaynak kullanılarak elde edilen FeCrMn ve FeCrNi ince filmlerin tüm üretim parametreleri ve analiz sonuçlarının karşılaştırılması.

Film	Üretim Parametreleri				Atomik Film İçerikleri (at.) %				Kristal Yapı			Yüzey	Manyetik Değerler				
	Değişkenler	Gerilim (Volt)	Akım (mA)	Güç (Watt)	Süre ("Saniye)	Fe	Cr	Mn	Ni	t (nm)	d (nm)	a (nm)	Rq (nm)	Ms (emu/cm ³)	Hc (Oe)	Mr (emu/cm ³)	Mr/Ms
FeCrMn	0.04 nm/s	334.5	99	33.1	1275"	72.19	15.85	11.96		3.5	0.2063	0.2918	6.54	117.25	31	22.06	0.18
	0.06 nm/s	339.8	142	48.3	855"	72.28	14.97	12.75		4.1	0.2064	0.2918	6.99	196.46	61	37.65	0.19
	0.08 nm/s	340.2	185	62.9	638"	73.30	15.36	11.34		4.7	0.2064	0.2919	8.10	204.45	62	77.41	0.37
	0.10 nm/s	339.3	238	80.8	509"	73.65	15.03	11.32		5.6	0.2064	0.2920	12.37	280.84	131	119.50	0.42
	0.12 nm/s	339.5	295	100.2	422"	74.15	14.92	10.93		7.4	0.2065	0.2920	14.56	345.73	196	171.07	0.49
	0 rpm	339.5	295	100.2	420"	70.32	15.74	13.94		6.9	0.2061	0.2915	14.16	194.52	131.41	27.02	0.13
	15 rpm ±2	339.5	295	100.2	420"	71.30	16.33	12.37		5.2	0.2062	0.2916	9.83	204.45	108.28	20.77	0.10
	30 rpm ±3	339.5	295	100.2	420"	71.78	15.89	12.33		4.9	0.2063	0.2918	9.45	257.28	63.14	19.39	0.07
	45 rpm ±4	339.5	295	100.2	416"	73.30	15.37	11.33		3.5	0.2064	0.2919	7.99	258.54	21.13	9.08	0.03
AISI 202					77.65	12.24	10.12										
FeCrNi	0.04 nm/s	439.2	105	46.1	1273"	69.91	18.26		11.82	8.1	0.2049	0.2898	6.66	991.00	131.00	707.50	0.71
	0.06 nm/s	439.5	161	70.8	845"	70.16	17.95		11.88	9.3	0.2049	0.2898	7.15	1002.32	135.06	622.10	0.62
	0.08 nm/s	440.1	190	83.6	648"	69.71	17.67		12.61	12.2	0.2049	0.2898	7.35	1024.25	107.59	694.40	0.67
	0.10 nm/s	439.8	250	101.0	500"	71.07	16.82		12.10	13.5	0.2049	0.2898	7.48	1128.23	86.08	682.30	0.60
	0.12 nm/s	439.9	290	127.6	424"	71.56	16.21		12.22	15.8	0.2049	0.2898	9.54	1283.14	73.83	803.25	0.62
	0 rpm	439.9	290	127.6	421"	63.48	22.56		13.95	15.9	0.2046	0.2894	27.39	840.56	79	441.54	0.525
	15 rpm ±2	439.9	290	127.6	418"	49.61	17.67		12.71	15.1	0.2046	0.2894	13.86	1054.67	75	805.28	0.763
	30 rpm ±3	439.9	290	127.6	418"	70.40	17.08		12.51	14.9	0.2046	0.2894	8.50	1113.38	53	855.41	0.768
	45 rpm ±4	439.9	290	127.6	413"	69.86	16.83		13.30	13.9	0.2046	0.2894	7.59	1181.99	52	881.63	0.745
AISI 304					77.73	15.01		7.25									

5.SONUÇ

Teknolojinin her alanında, ihtiyaçlar doğrultusunda geliştirilen cihazların yapısında kullanılan manyetik ince filmler; sahip oldukları üstün özelliklerinden dolayı her zaman ilgi çekici olmuşlardır. Manyetik kayıt sistemlerinin yanı sıra bu sistemlerin bir diğer bileşeni olan elektromanyetik uygulamalar da farklı manyetik özellikler sergileyen malzemelere ihtiyaç duyulan birçok teknolojik uygulamadan yalnızca bir tanesidir.

İnce filmlerin üretimleri birçok farklı teknik kullanılarak gerçekleştirilebilirken, bu deneysel çalışmada FeCrMn ve FeCrNi ince filmleri DC püskürtme tekniği ile tek bir kaynak malzemedan üretildi. AISI 202 ve AISI 304 östenitik paslanmaz çelik ticari olarak edinilerek ICP-AES ile atomik içerikleri analiz edildi. Filmlerde, DC püskürtme tekniğinde üretim parametrelerinden en önemli olan farklı biriktirme hızları ve döner alt tabaka hızlarının yapısal ve manyetik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu amaçla FeCrMn ve FeCrNi ince filmleri için farklı biriktirme hızları ve döner alt tabaka hızlarının incelenmesi için ayrı ayrı seriler elde edildi.

FeCrMn ince filmlerinin farklı biriktirme hızlarının yapısal ve manyetik özellikleri üzerine etkileri incelendi. Bu amaçla, 0.02 nm/s artırılarak 0.04 nm/s ile 0.12 nm/s hızlarında filmler üretilerek bir ilk seri elde edildi. Alt tabakanın farklı dönme hızlarının FeCrMn ince filmlerinin yapısal ve manyetik özellikleri üzerine etkileri incelendi. Amaçlar doğrultusunda, 0, 15, 30 ve 45 rpm değerlerinde filmler üretilerek ikinci bir seri elde edildi. FeCrNi ince filmlerinin farklı biriktirme hızlarının yapısal ve manyetik özellikleri üzerine etkileri incelendi. Bu amaçla, 0.02 nm/s artırılarak 0.04 nm/s ile 0.12 nm/s hızlarında filmler üretilerek birinci seriye benzer şekilde üçüncü bir seri elde edildi. Alt tabakanın farklı dönme hızlarının FeCrNi ince filmlerinin yapısal ve manyetik özellikleri üzerine etkileri incelendi. Amaçlar doğrultusunda, ikinci serideki gibi 0, 15, 30 ve 45 rpm değerlerinde filmler üretilerek ikinci seriye benzer şekilde dördüncü bir seri film elde edildi.

Tüm ince filmlerin X-ışınları kırınımı tekniğiyle $\text{CuK}_{\alpha 1}$ radyasyonu kullanılarak kırınım açısı, 2θ , 10° ile 90° arasında 0.005° adımlarla yapılan analizlerde bct (110) düzlemine ait (martensitik yapı) şiddeti en yüksek pik $2\theta \approx 44.8^\circ (\pm 0,1^\circ)$ 'de ortaya çıktı. Tüm filmlerde östenitik yapıdan martensitik yapıya dönüşüm gözlemlendi. Hem biriktirme hızı hem de döner alt tabaka hızının artışıyla bu pikin şiddetinin arttığı bulundu. Bu durum, biriktirme hızı ve döner alt tabaka hızının artışının filmlerde östenitik yapıdan martensitik yapıya dönüşümü bir şekilde etkilemesine atfedilebilir.

Tüm ince filmlere yapılan enerji ayırmalı X-ışınları spektroskopisi ile yapılan analiz sonuçlarında, filmlerin kompozisyonlarını oluşturan elementlerin buharlaşma enerjilerine bağlı bir şekilde atomik içeriklerinin de arttığı bulundu. Atomik demir içeriği kaynak malzemedan daha düşük bulundu. Bunun en muhtemel sebebinin demir atomlarının buharlaşma enerjilerinin kompozisyonu oluşturan diğer elementlere göre daha yüksek olmasıdır. Ancak diğer taraftan biriktirme hızı ve döner alt tabaka hızının artışından FeCrMn ince filmlerinde % 2-3 kadar, FeCrNi ince filmlerinde ise % 2-6 arasında olup en çok demir içeriği etkilendi. Diğer elementler için bu oran tüm filmlerde % 2'nin çok üzerine çıkmayan, buharlaşma enerjileri ve kohezyon kuvvetlerine bağlı olduğu muhtemel değişimlerin olduğu bulundu.

Filmlerin SEM ile yapılan yüzey morfolojik incelemelerinde FeCrMn ince filmler için biriktirme hızının artışıyla yüzeyde taneli yapıların sayılarının azalırken boyutlarının 300 nm ye kadar arttıkları bulundu. Ancak diğer taraftan döner alt tabakanın hızının artışıyla bu taneli yapıların sayılarının artarken boyutlarının 50 nm ve daha da altına kadar azalarak daha pürüzsüz ve homojen görünüme sahip oldukları bulundu. FeCrMn ince filmlerinde yüksek biriktirme hızlarında çatlakların ortaya çıktığı, ancak FeCrNi ince filmlerinde ise düşük biriktirme hızlarında çatlaklar mevcutken biriktirme hızının artışıyla bu çatlakların kaybolduğu görüldü. Ayrıca FeCrNi ince filmlerinde ise hem biriktirme hızının hem de döner alt tabakanın hızının artışıyla yüzeylerindeki taneli yapıların boyutları 200 nm'den 50 nm'nin altına kadar küçülürken sayılarının da arttıkları, böylelikle daha pürüzsüz ve daha homojen göründükleri bulundu. Bu durumun ortaya çıkmasında içeriklerin değişimlerinde de etkili olan kohezyon kuvvetlerinin rolü büyük olduğu sonucuna varılabilir.

Filmlerin AFM ile yapılan yüzey incelemelerinde ise SEM görüntülerini doğrular nitelikte veriler elde edildi. FeCrMn filmlerinin AFM ile yapılan analizinde biriktirme hızının artışıyla yüzeylerinde en yüksek yükseltilerinin 49 nm'den 232 nm'ye kadar çıktığı görüldü. Ayrıca ortalama yükseltilerinin ise 6.54 nm'den 14.56 nm'ye kadar yükseldiği bulundu. Döner alt tabakanın hızının artışıyla en yüksek yükseltilerin 112 nm'den 54 nm'ye kadar düştüğü bulundu. Ayrıca ortalama yükseltilerinin ise 14.16 nm'den 7.90 nm'ye düştüğü bulundu. Diğer taraftan FeCrNi ince filmlerinin AFM ile yapılan analizlerinde biriktirme hızının artışıyla en yüksek yükseltilerinin 52 nm'den 73 nm'ye kadar yükseldiği bulunmuştur. Ayrıca biriktirme hızının artışıyla ortalama yükseltilerinin de 6.66 nm'den 9.54 nm'ye yükseldiği görüldü. Döner alt tabakanın hızının artışıyla en yüksek yükseltilerin 112 nm'den 55 nm'ye, benzer şekilde ortalama yükseltilerinin de 27.39 nm'den 7.59 nm'ye kadar azaldığı bulundu.

Titreşimli numune manyetometresi ile ± 20 kOe aralığında oda sıcaklığında gerçekleştirilen manyetik analizlerinde manyetik olmayan AISI 202 ve AISI 304 östenitik çelik kaynak malzemelerden üretilen ince filmlerin manyetik davranışlar sergiledikleri ve DC püskürtme tekniğinde üretim parametrelerinden en önemlileri olan biriktirme hızı ve döner alt tabaka hızından ciddi şekilde etkilendikleri bulunmuştur. Biriktirme hızının 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s'de üretilen FeCrMn ince filmlerinin doyum manyetizasyonları, (M_s) sırasıyla 117.25, 196.46, 204.45, 280.84 ve 345.73 emu/cm³ olarak bulunmuştur. Döner alt tabakanın 0, 15, 30 ve 45 rpm'de üretilen FeCrMn filmleri için M_s değerleri sırasıyla 194.52, 204.45, 257.28 ve 258.54 emu/cm³ olarak bulunmuştur. Biriktirme hızının 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 ve 0.12 nm/s'de üretilen FeCrNi ince filmlerinin M_s değerleri sırasıyla 991.00, 1002.32, 1024.25, 1128.23 ve 1283.14 emu/cm³ olarak bulunmuştur. Döner alt tabakanın 0, 15, 30 ve 45 rpm'de üretilen FeCrMn filmleri için M_s değerleri sırasıyla 840.56, 1054.67, 1113.38 ve 1181.99 emu/cm³ olarak bulunmuştur. Normalde manyetik olmayan bir kaynak ile elde edilen filmlerde bu yüksek oranlı değişim sonuçların çıkmasının sebebi yalnızca atomik içeriğin değişimi değil aynı zamanda püskürtme sürecinde filmlerde martensitik dönüşümün olmuş olabileceğidir. Ayrıca bu dönüşüm biriktirme hızının artışıyla daha etkin ve döner alt tabakanın hızlarının artışıyla hafifçe etkili bir biçimde gerçekleşmekte olduğu sonucuna varılabilir.

Genel olarak, DC püskürtme yönteminde en önemli üretim parametreleri arasında yer alan biriktirme hızı ve alt tabaka dönme hızının; bu kapsamda, üretimi yapılan FeCrMn ve FeCrNi alaşım ince filmlerin yapısal ve manyetik özelliklerini ciddi şekilde etkilediği sonucuna varıldı. VSM analizlerinde doyum manyetizasyonlarının büyük hızdaki artışın yalnızca içerikteki atomik Fe ya da Ni içeriğinin değişimden değil aynı zamanda östenitik çeliğin martensitik çeliğe dönüşümünün bir sonucu olabileceği tahmin edildi.

Bu çalışma kapsamında daha önce yüksek kesinlikte, düşük dönme hızlarının ölçümünü yapmak için kullanılan çok yüksek maliyetli ölçüm cihazlarına çok daha ucuz bir alternatif rpm ölçüm sistemi geliştirildi.

Bu tez çalışmasından elde edilen veriler ışığında, deneysel olarak üretilen FeCrMn ve FeCrNi martensitik ince filmlerin özellikle elektromanyetik dönüştürücüler için istenilen özelliklerde kolayca üretilerek kullanılabilceği sonucuna varılmıştır. Bunun yanı sıra, bu çalışmanın sonuçlarının; konuyla alakalı önemli teknolojik uygulamalar ve diğer bilimsel çalışmalar için çok değerli bilgi kaynağı olabileceği öngörülmektedir.

6.KAYNAKLAR

- [1] Ö. Karaağaç, “Optimum Doyum Manyetizasyonlu Süperparamanyetik Nanoparçacıkların Sentezi, Karakterizasyonu ve Enzim İmmobilizasyon Uygulaması”, Doktora Tezi: *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı*, (2011).
- [2] S. Çölmekçi, “Ni/Cu Çok Katmanlı İnce Filmlerin Püskürtme Tekniğiyle Üretilmesi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi: *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı*, (2016).
- [3] M. Eşiyok, “FeCl/Cu Süperörgülerin DC Püskürtme Metoduyla Hazırlanması, Manyetik ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi: *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı*, (2011).
- [4] D. M. Mattoks, “*Vacuum coating technology.*”, New York: William Andrew Publishing, (2003).
- [5] A. A. Tracton, “*Coatings technology: fundamentals, testing, and processing techniques*”, New York: Taylor and Francis group, (2006).
- [6] D. Philip, “Synthesis and spectroscopic characterization of gold nanoparticles.”, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, cilt 71, no. 1, pp. 80-85, (2008).
- [7] A. H. Lu, E. L. Salabas ve F. Schüth, “*Magnetic Nanoparticles: Synthesis, Protection, Functionalization and Application*”, Weinheim: A Journal of German Chemical Society, pp. 1222-1244, (2007).
- [8] G. A. Prinz, *Magnetolectronics. science*, 282(5394), 1660-1663., cilt 282, New York: Science Magnetolectronics, pp. 1660-1663, (1998).
- [9] T. Osaka, M. Takai, K. Hayashi, K. Ohashi, M. Saito ve K. Yamada, “A softmagnetic CoNiFe film with high saturation magnetic flux density and low coercivity”, *Nature*, cilt 1, no. 392, pp. 796-798, (1998).
- [10] L. Gui-fang, Z. Zi-dong, D. Feng, C. Chuan-bing, H. Chuan-xin ve L. Si-da, “*Formation and characterization of magnetic barium ferrite hollow fibers with low coercivity via co-electrospun*”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, cilt 1, no. 412, pp. 55-62, (2016).

- [11] S. G. Sankar, O. Gutfleisch, M. A. Willard, E. Brück, C. H. Chen ve J. P. Liu, “Magnetic materials and devices for the 21st century: stronger, lighter, and more energy efficient.”, *Journal of Advanced Materials*, cilt 23, no. 7, pp. 821-842, (2011).
- [12] Computer History Museum, “*The First Disk Drive: RAMAC 350*”, Computer History Museum, [Çevrimiçi], [Erişildi: 25 11 2018], Available: <http://www.computerhistory.org/revolution/memory-storage/8/233> , (1996).
- [13] C. V. Thangham, “*World Smallest Hard Drive 0.8 inch, 8GB, 2 Grams*”, digitaljournal.com, [Çevrimiçi], [Erişildi: 03 12 2018]. Available: <http://www.digitaljournal.com/article/117340> , 2007
- [14] R. Zaman, “*Does an SSD or HDD Consume More Power for Your Computer?*”, United Cyber Development, [Çevrimiçi]. [Erişildi: 7 12 2018]. Available: <https://therevisionist.org/reviews/ssd-vs-hdd-power-consumption/> (2016).
- [15] H. Köçkar, “Rotation Speed-Induced Uniaxial In-Plane Anisotropy in Thin Films Deposited Onto a Rotating Substrate”, *Journal of Superconductivity: Incorporating Novel Magnetism*, cilt 17, no. 4, pp. 531-536, (2004).
- [16] K. Ali, K. Hakan, U. Mehmet ve E. Mesut, “Characterizations of FeCl/Cu superlattices sputtered at low and high deposition rates of ferromagnetic layer”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, cilt 373, pp. 124-127, (2015).
- [17] A. Karpuz, S. Çölmekçi, H. Köçkar ve H. Kuru, “Impact of Deposition Rate on the Structural and Magnetic Properties of Sputtered Ni/Cu Multilayer Thin Films”, *Zeitschrift für Naturforschung A: Journal of Physical Sciences*, cilt 73, no. 1, pp. 85-90, (2018).
- [18] H. Köçkar ve T. Meydan, “Uniaxial in-plane magnetic anisotropy in silicon-iron films prepared using vacuum coating plant (VCP)”, *The European Physical Journal - Applied Physics*, cilt 30, no. 3, pp. 185-188, (2005).
- [19] H. Köçkar ve T. Meydan, “The rotation and clamping effect on the magnetic properties of iron films deposited onto a rotating substrate”, *Physica B: Condensed Matter*, cilt 321, no. 1-4, pp. 124-128, (2002).
- [20] H. Kockar, P. I. Williams, M. Alper, O. Karaagac ve T. Meydan, “Influence of Deposition Parameters of Novel Vacuum Coating Plant on Evaporated

- Ni₆₀Fe₄₀ and Ni₈₀Fe₂₀ Films”, *Sensor Letters*, cilt 7, no. 3, pp. 220-223, (2009).
- [21] S. E. Lyshevski, “*MEMS and NEMS Systems, Devices and Structures*”, New York: CRC Press, (2001).
- [22] G. Nabiyouni, W. Schwarzacher, Z. Rolik ve I. Bakonyi, “Giant-magnetoresistance and magnetic properties of electrodeposited Ni–Co–Cu/Cu multilayers”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, cilt 253, no. 1-2, pp. 356-359, (2002).
- [23] Y. Jyoko, S. Kashiwabara, Y. Hayashi ve W. Schwarzacher, “Characterization of Electrodeposited Magnetic Multilayers”, *IEEE Transactions On Magnetics*, cilt 34, no. 6, pp. 3910-3912, (1998).
- [24] E. Jartych, J. Zurawicz, E. Maczka ve J. Borc, “Preparation of Thin Iron Films by Electrodeposition and Characterization of Their Local Magnetic Properties”, *Materials Chemistry and Physics*, cilt 72, no. 3, pp. 356-359, (2001).
- [25] C. Boeglin, O. Ersen, M. Pilard, V. Speisser ve F. Kronast, “Temperature dependence of magnetic coupling in ultrathin NiO/Fe₃O₄ (001) films.”, *Physical Review B*, cilt 80, no. 3, p. 035409, (2009).
- [26] D. Stoppels, Developments in soft magnetic power ferrites, Eindhoven, Netherlands: Journal of Magnetism and Magnetic Materials, pp. 323-328, (1996).
- [27] American Society for Metals, “*The ASM Handbook, Volume 1: Properties and Selection: Irons, Steels, and High Performance Alloys*”, (Edited 2018) dü., cilt 36, Metals Park, Ohio: ASM International, (2018).
- [28] H. S. Nalwa, “*Handbook of Thin Film Materials: Deposition and processing of thin films*”, cilt 5, Tokyo: Academic Press, (2002).
- [29] J. Eymery ve G. Laplanche, “Structural and magnetic study of bcc 304 stainless steel thin films elaborated by ion sputtering”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, cilt 93, no. 1, pp. 179-182, (1991).
- [30] J. Childress, S. Liou ve C. Chien, “Magnetic Properties of Metastable 304 Stainless Steel with bcc Structure”, *Journal de Physique Colloques*, cilt 49, no. C8, pp. C8-113-C8-114, (1988).
- [31] Serway, R. A.; Beichner, R. J.; North Carolina State Üniversitesi, *Fen ve Mühendislik İçin Fizik Cilt 1, 2 ve 3*, Ankara: Palme Yayıncılık, (2011).

- [32] D. J. Griffiths, “*Elektromagnetik Teori*”, Ankara: Gazi Kitabevi Tic. Ltd. Şti., (2005).
- [33] C. Kittel, “*Katıhal Fiziğine Giriş*”, 6. dü., İstanbul: Güven Kitap Yayın Dağıtım, (1996).
- [34] A. Yıldız, “Planck's Constant and Its significance for Quantum Physics”, *The Journal of Academic Social Science*, cilt 3, no. 19, pp. 56-62, (2015).
- [35] B. D. Cullity ve C. D. Graham, “*Introduction to Magnetic Materials*”, Second Edition dü., New Jersey, Hoboken: Published by John Wiley & Sons Inc., (2009).
- [36] E. Çayan, “Tungsten Karbonitrür İnce Filmlerin Reaktif Doğru Akım Manyetik Alanda Sıçratma Yöntemiyle Üretimi ve Karakterizasyonu”, cilt Doktora Tezi, İstanbul: *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2013).
- [37] T. Rajnesh ve J. P. Davim, “Processing Techniques and Tribological Behavior of Composite Materials”, Aveiro, *Portugal: University of Aveiro*, (2015).
- [38] D. Jiles, “*Introduction to Magnetism and Magnetic Materials*”, London: Chapman & Hall, (1991).
- [39] H. Kuru, “*NiFe İnce Filmlerin Elektrodepozisyonu ve karakterizasyonu*”, Balıkesir: Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, (2003).
- [40] H. Köçkar, “Magnetic Material Production Using A Novel Rotating Crystat and Their Magnetic And Structural Analysis” , Degree of Doctor of Philosophy, *University of Wales Cardiff*, Cardiff-UK, (1998).
- [41] K. Wasa ve S. Hayakawa, “*Handbook of Sputtering Deposition Technology*”, Osaka: Noyes Publications, (1992).
- [42] B. Kaya, “Püskürtme Metoduyla Üretilen FeCr Alaşım İnce Filmlerin Yapısal Ve Manyetik Özellikleri Üzerine Biriktirme Oranı Ve Döner Alt Tabaka Hızının Etkilerinin İncelenmesi”, cilt 75, Balıkesir: Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, pp. 949-983, (2017).
- [43] R. Cahn ve P. Hassen, “*Physical Metallurgy*”, 4. dü., Amsterdam: VCH Verlagsgesellschaft mbH, (1996).

- [44] American Society for Metals, “*ASM Handbook, Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*”, Metals Park, Ohio: ASM International, (2018).
- [45] B. D. Cullity ve S. R. Stock, “*Elements of X-ray Diffraction*”, Third Edition dü., New Jersey: Pearson Prentice Hall, (2001).
- [46] R. & R.-H. R. E. Abbaschian, “*Physical metallurgy principles*”., Stamford: Cengage Learning, (2008).
- [47] O. Mathon, F. Baudalet, J. Itié, A. Polian, M. d'Astuto, J. Chervin ve S. Pascarelli, “Dynamics of the magnetic and structural alpha-epsilon phase transition in iron”, *Physical Review Letters.*, cilt 93, no. 25, p. 255503, (2004).
- [48] G. C. Fletcher ve R. P. Addis, “The magnetic state of the phase of iron”, *Journal of Physics F: Metal Physics.*, cilt 4, no. 11, p. 1954, (1974).
- [49] K. Onaran ve , “*Malzeme Bilimi*”, 10 dü., İstanbul: Bilim Teknik Yayınevi, pp. 308-319, (2006).
- [50] G. Ghosh ve G. B. Olson, “Kinetics of FCC→ BCC heterogeneous martensitic nucleation 1. The critical driving force for athermal nucleation”, *Acta Metallurgica et Materialia*, cilt 42, no. 10, pp. 3361-3370, (1994).
- [51] M. Kaya, Ö. Çakmak, T. Yıldız Saygılı ve K. C. Atlı, “Şekil Hafızalı Alaşımlarda Martensitik Faz Dönüşümü ve Şekil Hafıza Mekanizması”, *Selçuk-Teknik Dergisi*, cilt 15, no. 3, pp. 157-172, (2016).
- [52] Kaplan N. ve Pündük Z., “Hydrogen (H+) Ions the from Sweat is the New Measurement Methods of Ionselective Sensor with Non-invasive Body Apparatus: Ergonomic and Easily Calibrated Design and Prototyping”, *Journal of Aerobics Fitness*, cilt 2, no. 1, pp. 108-109, (2017).
- [53] R. E. Smallman ve R. J. Bishop, “*Modern Physical Metallurgy and Materials Engineering*”, Sixth Edition dü., London: Reed Educational and Professional Publishing Ltd, Elsevier, (1999).
- [54] K. Ali., “Elektrodepozisyonla Büyütülen Ni-Co Filmlerinin Karakterizasyonu Ve Manyetorezistans Davranışının İncelenmesi”, Balıkesir: Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fizik Anabilim Dalı, (2011).
- [55] C. İ.M., “DC Manyetik Alan Sıçratma Tekniği İle Üretilen Co₉₀Fe₁₀ Nano Filmlerin Yapısal ve Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi”, Kilis: Yüksek Lisans Tezi, *Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2011).

- [56] E. Başkurt, “Silisyum Filmlerin Reaktif Doğru Akım Manyetik Alanda Sıçratma Yöntemi İle Üretimi ve Karakterizasyonu”, İstanbul: Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalı, (2010).
- [57] T. Meydan, H. Köçkar ve P. I. Williams, “Magnetic characterization of silicon-iron magnetic material produced by a novel rotating cryostat”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, cilt 254, no. 255, pp. 91-93, (2003).
- [58] T. Yılmaz, “Saçtırma Tekniğiyle Hazırlanan Kobalt İnce Filmlerinin Manyetik Karakterizasyonu”, Gebze, Kocaeli: Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2008.
- [59] Nakajima, Sho; Fujihira Senka “*Monitoring & Control of Thin Film Deposition Process Sputter Deposition Equipment*”, M-System Co. Ltd., [Çevrimiçi], [Erişildi: 20 12 2018] Available: http://www.m-system.co.jp/newsletter/182/clip_contents.html , (2010).
- [60] VAC AERO International, “*Oil Sealed Rotary Vane Pumps*”, VAC AERO International, [Çevrimiçi], [Erişildi: 07 12 2018] Available: <https://vacaero.com/information-resources/vacuum-pump-technology-education-and-training/1040-oil-sealed-rotary-vane-pumps-part-1.html> , (2016).
- [61] National Instruments Inc., “*National Instruments Inc. Turbo Moleculer Pump*”, [Çevrimiçi] [Erişildi: 20 12 2018]. Available: http://sine.ni.com/cms/images/casestudies/figureone_2.jpg , (2018).
- [62] Ferhat BÜLBÜL & Somaiyeh JAFARPOUR, “Vakum Pompaları”, *Ordu Üniv. Bil. Tek. Derg.*, cilt 5, no. 2, pp. 42-54, (2015).
- [63] Tekstu Tekstil Sanayi Ve Ticaret Ltd.Şti., “*Mikrofiber Gözlük Bezi*”, Tekstu Tekstil Sanayi Ve Ticaret Ltd.Şti., [Çevrimiçi], [Erişildi: 2018 11 26]. Available: <http://www.tekstu.com.tr/microfiber-gozluk-bezi.html> , (2018).
- [64] A. S. Douglas, F. J. Holler ve S. R. Crouch, “*Principles of Instrumental Analysis*”, 7th Edition dü., Cengage Learning, (2017).
- [65] M. H. Enayati ve M. R. Bafandeh, “Phase transitions in nanostructured Fe–Cr–Ni alloys prepared by mechanical alloying”, *Journal of Alloys and Compounds*, cilt 454, no. 1-2, pp. 228-232, (2008).

- [66] M. Şafak Hacıismailoğlu, “Co/Cu Süperörgülerin Elektrokimyasal Olarak Üretilmesi ve Yapısal ve Manyetik Özelliklerinin İncelenmesi”, Bursa: Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı*, (2010).
- [67] F. J. Giessibl, “Advances in atomic force microscopy”, *Reviews Of Modern Physics*, cilt 75, no. 1, pp. 949-983, (2003).
- [68] A. Riss ve e. al., “Imaging single-molecule reaction intermediates stabilized by surface dissipation and entropy”, *Nature Chemistry*, cilt 8, no. 7, pp. 678-683, (2016).
- [69] M. Uckun, S. Kucukdermenci ve H. Kockar, “A multi-channel temperature and humidity measurement system based on a micro-controller”, *Optoelectronics And Advanced Materials-Rapid Communications*, cilt 10, no. 1-2, pp. 55-58, (2016).
- [70] M. Du Toit ve H. G. Steyn, “Comparing the formability of AISI 304 and AISI 202 Stainless Steel”, *Journal of materials engineering and performance*, cilt 21, no. 7, pp. 1491-1495, (2012).
- [71] A. Talgotra, E. Nagy, M. Sepsi, M. Benke ve V. Mertinger, “Strain induced martensitic transformations in FeMnCr TWIP steel”, In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 426(1), pp.012046, (2018).
- [72] Y. Xiao, Y. Liu, Z. Tang, L. Wu, Y. Zeng, Y. Xu ve Y. He, “Porous Ni–Cr–Fe alloys as cathode materials for the hydrogen evolution reaction”, *The journal of The Royal Society of Chemistry*, cilt 2016, no. 6, pp. 51096-51105, (2016).
- [73] C. K. Mukhopadhyay ve e. al., “Acoustic emission during tensile deformation of annealed and cold-worked AISI type 304 austenitic stainless steel”, *Journal of materials science*, cilt 28, no. 1, pp. 145-154., (1993).
- [74] R. Pereira, P. C. Camargo, A. J. A. de Oliveira ve E. C. Pereira, “Modulation of the morphology, microstructural and magnetic properties on electrodeposited NiFeCu alloys”, *Surface and Coatings Technology*, cilt 311, no. 1, pp. 274-281, (2017).
- [75] I. Meszaros ve J. Prohaszka, *Journal of Materials Processing Technology*, cilt 161, no. 1, pp. 162-168, (2005).
- [76] A. Kanni Raj, J. Satish Kumar ve K. A. Padmanabhan, “Martensitic transformation and plastic flow in metastable 2.5 wt. % nickel austenitic stainless steel sheets”, *Materials Letters*, cilt 38, no. 1999, pp. 386-389, (1988).

- [77] J. P. Eymery ve R. Krishnan, "On some magnetic properties of 304 stainless steel films", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, cilt 104, no. 1, pp. 1785-1786, (1992)
- [78] E. D. Specht, P. D. Rack, G. M. Pharr, E. P. George, J. D. Fowlkes, H. Hong ve E. Karapetrova, "Metastable phase evolution and grain growth in annealed nanocrystalline Cr-Fe-Ni films", *Thin Solid Films*, cilt 493, no. 1, pp. 307-312, (2005).
- [79] H. Kockar, O. Karaagac, H. Kuru, A. Karpuz, M. S. Hacısmaıloglu ve M. Alper, "Substrate type and their rotation speed controlled magnetic anisotropy of iron films evaporated by a newly designed vacuum coating system", *Optoelectronics and Advanced Materials – Rapid Communications*, cilt 8, no. 3-4, pp. 270-273, (2014).

EKLER

7.EKLER

EK A. Fiziksel Buhar Biriktirme Sistemi, Döner Alt tabaka Otomatik Dakikada Devir Ölçüm Sistemi İçin C# Dilinde Geliştirilen Mikro Kontrolcü Yazılımı

Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Nanomanyetik Malzeme Üretim Laboratuvarında bulunan Fiziksel Buhar Biriktirme Sistemi'nde döner alt tabaka geribildirim monitörünün mikro kontrolcüsü için "C#" diliyle geliştirilmiş program kodları aşağıda sunulmuştur. Bu çalışma kapsamında üretilen filmlerde bu kodlar ile çalıştırılan Döner Alt tabaka Otomatik Dakikada Devir Ölçüm ve Görüntüleme Sistemi kullanılmıştır.

Ayrıca, Döner Alt tabaka Otomatik Dakikada Devir Ölçüm ve Görüntüleme Sisteminin görüntüleyici ünitesinin geliştirilmesinde kullanılan 3.2 inç renkli TFTLCD kurulu hâlde ticari bir firmadan edinilmiştir. Bu sebeple üzerindeki sürücüye uygun şekilde üretici tarafından hazırlanmış olan "UTFT.h" yazılım kütüphanesi kullanılmıştır. Ayrıca altta sunulan kodlar, yalnızca Balıkesir Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Nanomanyetik Malzeme Üretim Laboratuvarında bulunan Fiziksel Buhar Biriktirme Sistemi'nde hâlihazırda çalışır durumdaki Döner Alt tabaka Otomatik Ölçüm ve Görüntüleme Sisteminin çalışan kodlarıdır. Evrensel algoritma ve diğer kütüphane kodları bu tez kapsamında sunulmamıştır.

```
[quote codes]
// This Software was developed for Touchless Automatic RPM
Measuring Systems
// for Rotating Substrate Systems on Physical Vapour Systems
// in Nano-Magnetic Material Production Laboratory
// Prof.Dr. Hakan KÖÇKAR's Nanomagnetism Group
// Balıkesir University, Nature Science Institute, Physics
Department
// using to UTFT_3.2"_480x320_TFTLCD with MICROCHIP_ATmega16U2
// Authored by Nadir KAPLAN who Create and Developed
// 28 February 2017
#include <UTFT.h>
UTFT myGLCD(CTE32HR, 38, 39, 40, 41);
extern short unsigned int nkr[10560];
```

```

extern short unsigned int ssn1[8556];
extern uint8_t BigFont[];
extern uint8_t SevenSegNumFont[];
unsigned long counter, oldtime = 0, country, oldtimey = 0;
int Rpm = 0, cal, deger, i, k, l, m, n, sc, onbes;
int inrpm = 0;
int irpm = 0;
int orpm = 0;
double trpm = 0.0, rpm = 0.0;
boolean newdeger;
boolean prevdeger = 1;
void startlogos()
{
  myGLCD.clrScr();
  myGLCD.setFont(BigFont);
  myGLCD.setBackgroundColor(0, 0, 0);
  myGLCD.drawBitmap(205, 50, 96, 110, nkr);
  myGLCD.print("developed by", CENTER, 185);
  myGLCD.print("Nadir KAPLAN", CENTER, 210);
  delay(6000);
}
void calibration()
{
  myGLCD.clrScr();
  myGLCD.setFont(BigFont);
  myGLCD.setBackgroundColor(0, 0, 0);
  myGLCD.print("                ", CENTER, 50);
  myGLCD.print("                ", CENTER, 75);
  myGLCD.print("Optical Sensor is being ", CENTER, 50);
  myGLCD.print("Calibration", CENTER, 75);
  deger = analogRead(A10);
  delay(1000);
  myGLCD.print("                ", CENTER, 125);
  myGLCD.print("    Calibration.        ", CENTER, 125);
  deger = analogRead(A10);
  delay(1000);
  myGLCD.print("                ", CENTER, 125);
  myGLCD.print("    Calibration..       ", CENTER, 125);
  deger = analogRead(A10);
  delay(1000);
  myGLCD.print("                ", CENTER, 125);
  myGLCD.print("    Calibration...      ", CENTER, 125);
  deger = analogRead(A10);
  delay(1000);
  myGLCD.print("                ", CENTER, 125);
  myGLCD.print("    Calibration....     ", CENTER, 125);
  deger = analogRead(A10);
  delay(1000);
}

```

```

myGLCD.print("                ", CENTER, 125);
myGLCD.print("    Calibration.....    ", CENTER, 125);
deger = analogRead(A10);
if (deger < 45 || deger > 980)
{
    myGLCD.clrScr();
    myGLCD.print("Sensor faulty!..", CENTER, 150);
    myGLCD.print("Please, check the sensor...", CENTER, 175);
    myGLCD.print("The system will automatically", CENTER, 200);
    myGLCD.print("recalibrate itself within", CENTER, 225);
    myGLCD.print("10 seconds.", CENTER, 250);
    delay(1000);
    myGLCD.print("                ", CENTER, 250);
    myGLCD.print(" 9 seconds.", CENTER, 250);
    delay(1000);
    myGLCD.print("                ", CENTER, 250);
    myGLCD.print(" 8 seconds.", CENTER, 250);
    delay(1000);
    myGLCD.print("                ", CENTER, 250);
    myGLCD.print(" 7 seconds.", CENTER, 250);
    delay(1000);
    myGLCD.print("                ", CENTER, 250);
    myGLCD.print(" 6 seconds.", CENTER, 250);
    delay(1000);
    myGLCD.print("                ", CENTER, 250);
    myGLCD.print(" 5 seconds.", CENTER, 250);
    delay(1000);
    myGLCD.print("                ", CENTER, 250);
    myGLCD.print(" 4 seconds.", CENTER, 250);
    delay(1000);
    myGLCD.print("                ", CENTER, 250);
    myGLCD.print(" 3 seconds.", CENTER, 250);
    delay(1000);
    myGLCD.print("                ", CENTER, 250);
    myGLCD.print(" 2 seconds.", CENTER, 250);
    delay(1000);
    myGLCD.print("                ", CENTER, 250);
    myGLCD.print(" 1 second. ", CENTER, 250);
    delay(1000);
    return calibration();
}
delay(1000);
myGLCD.print("                ", CENTER, 125);
myGLCD.print("                ", CENTER, 150);
myGLCD.print("Optical Sensor", CENTER, 125);
myGLCD.print("has been Calibrated", CENTER, 150);
delay(1000);
myGLCD.print("The Optical Sensor ", CENTER, 185);

```

```

    myGLCD.print("was calibrated ", CENTER, 210);
    myGLCD.print("between 4 and 99 as the", CENTER, 235);
    myGLCD.print("RPM resolution would be 0,1", CENTER, 260);
    delay(2000);
}
void nlogo()
{
    myGLCD.clrScr();
    myGLCD.setBackColor(0, 0, 0);
    myGLCD.drawBitmap (10, 20, 92, 93, ssn1);
}
void BaUn()
{
    myGLCD.setFont(BigFont);
    myGLCD.setBackColor(0, 0, 0);
    myGLCD.print("                    ", 106, 5);
    myGLCD.print("                    ", 106, 30);
    myGLCD.print("                    ", 106, 55);
    myGLCD.print("                    ", 106, 80);
    myGLCD.print("                    ", 106, 105);
    myGLCD.print("Balikesir University   ", 106, 5);
    myGLCD.print("Department of Physics  ", 106, 30);
    myGLCD.print("Nano-Magnetic Material ", 106, 55);
    myGLCD.print("Production Laboratories", 106, 80);
    myGLCD.print("Physical Vapour Systems", 106, 105);
    myGLCD.drawLine(1, 125, 480, 125);
    myGLCD.drawRoundRect(1, 1, 479, 319);
}
void rpmtitle()
{
    myGLCD.setFont(BigFont);
    myGLCD.setBackColor(0, 0, 0);
    myGLCD.print("                    ", CENTER, 130);
    myGLCD.print("                    ", CENTER, 150);
    myGLCD.print("Revolutions Per Minute", CENTER, 130);
    myGLCD.print("(RPM)", CENTER, 150);
    myGLCD.drawLine(1, 168, 479, 168);
    rpmtree();
}
void ss()
{
    unsigned int x1, x2, y1, y2;
    x1 = random(1, 389);
    y1 = random(1, 229);
    myGLCD.setBackColor(0, 0, 0);
    myGLCD.drawBitmap (x1, y1, 92, 93, ssn1);
}
void rpmtree()

```

```

{
  irpm = Rpm / 10;
  orpm = Rpm % 10;
  myGLCD.setFont(SevenSegNumFont);
  myGLCD.setBackgroundColor(0, 0, 0);
  //myGLCD.printNumI(irrpm, 165, CENTER, 3, '0');
  myGLCD.printNumI(irrpm, 165, 220, 3, '0');
  myGLCD.setFont(BigFont);
  myGLCD.print("/", 260, 255);
  myGLCD.setFont(SevenSegNumFont);
  myGLCD.printNumI(orpm, 280, 220, 1, '0');
}
void setup()
{
  pinMode(A10, INPUT);
  pinMode(5, OUTPUT);
  myGLCD.InitLCD();
  myGLCD.setBrightness(16);
  myGLCD.clrScr();
  startlogos();
  delay(5000);
  myGLCD.clrScr();
  Serial.begin(115200);
  calibration();
  delay(500);
  nlogo();
  BaUn();
  rpmtitle();
}
void loop()
{
  deger = analogRead(A10);
  if (deger > 530 )
  {
    newdeger = 1;
  }
  else
  {
    newdeger = 0;
  }
  if (prevdeger != newdeger)
  {
    if (newdeger == 1)
    {
      counter = (millis() - oldtime);
      rpm = (60000 / (counter * 10.23037719));//=> NK Constant
      oldtime = millis();
      sc = 0;
    }
  }
}

```

```

n++;
if (n <= 10)
{
    trpm = trpm + rpm;
    digitalWrite(5, LOW);
}
if (m == 1)
{
    myGLCD.clrScr();
    digitalWrite(5, HIGH);
    nlogo();
    BaUn();
    rpmtitle();
    m = 0;
}
}
}
if (prevdeger == newdeger)
{
    country = (millis() - oldtimey);
    sc = sc + country;
    if (sc > 30000)
    {
        myGLCD.clrScr();
        ss();
        m = 1;
        sc = 0;
    }
}
oldtimey = millis();
prevdeger = newdeger;
if (m == 0 && n == 10)
{
    Rpm = (int)trpm;
    rpmwrite();
    trpm = 0.0;
    n = 0;
    digitalWrite(5, LOW);
}
}
[/quote codes]

```

