

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

ELEKTROKİMYASAL DEPOLAMA YOLUYLA ELDE EDİLEN  
Co-Cu ve Co-Cu-Ni ALAŞIM FİLMLEİNİN  
YAPISAL ve MAGNETOREZİSTANS ÖZELLİKLERİ

İsmail Hakkı KARAHAAN

ORTA ÖĞRETİM FEN ve MATEMATİK ALANLARI EĞİTİMİ  
FİZİK ANABİLİM DALI

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ


ERZURUM  
2002

Her hakkı saklıdır

121437  
121437

Prof. Dr. Ömer Faruk BAKKALOĞLU danışmanlığında, İsmail Hakkı KARAHAN tarafından hazırlanan bu çalışma 21/ 10 / 2002 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Orta Öğretim Fen ve Matematik Alanları eğitimi Fizik Eğitimi Anabilim Dalı'nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.


Başkan: Prof. Dr. Bahattin DÜZGÜN

İmza : 

Üye : Prof. Dr. Muhammet YILDIRIM

İmza : 

Üye : Prof. Dr. Tahsin KILIÇOĞLU

İmza : 

Üye : Prof. Dr. Hasan EFEOĞLU

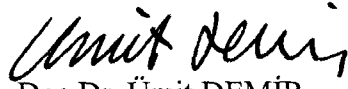
İmza : 

Üye : Prof. Dr. Ömer Faruk BAKKALOĞLU

İmza : 

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Yukarıdaki sonucu onaylarım



Doç. Dr. Ümit DEMİR  
Enstitü Müdürü

*Doktora alışması olarak sunduğum bu tezimi,*

*Rahmetli babam Hacı İbrahim KARAHAN'ın anısına  
ithaf ediyorum.*



## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xv
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>12</b>
2. 1. Giriş.....	12
2. 2. Elektrokimyasal depolama.....	12
2. 3. Elektriksel direnç.....	18
2. 3.1. Elektriksel dirence katkısı olan fiziksel faktörler.....	25
2. 3. 2. Elektronların safsızlıklardan saçılması.....	26
2. 3. 3. Elektron-elektron saçılması.....	27
2. 3. 4. Elektron-fonon saçılması.....	28
2. 4. Metallerde magnetorezistans.....	29
2. 4.1. Magnetik alanda elektronların hareket denklemleri.....	37
2. 4.1. a. Kapalı fermi yüzeyi.....	37
2. 4. 1. b. Açık fermi yüzeyleri.....	38
2. 4. 2. Zayıf magnetik alanda galvanomagnetik olaylar.....	42
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>43</b>
3. 1. CuCo ve CuCoNi alaşım filmlerinin özellikleri.....	43
3. 2. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan yöntem ve deney düzenekleri	44
3. 3. Büyütme yönteminin seçimi.....	43
3. 4. Elektrokimyasal depolama düzeneği ve elektrokimyasal işlemler.....	45
3. 5. Banyo bileşimi ve elektrodepolama şartları.....	46
3. 6. Alüminyum altlıkların elektrodepolamaya hazırlanması.....	48

3. 1. 2. Atomik absorpsiyon ölçümleri.....	49
3.1.3. Filmlerin kalınlıklarının tespiti.....	50
3.1.4. XRD, SEM ve EDS çalışmaları.....	55
3.1.5. Magnetorezistans ölçüm sistemi ve film tutucuları.....	57
3.1.6. Magnetorezistans ve özdirenç ölçümleri için yöntem seçimi.....	61
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI</b> .....	62
4. 1. Filmlerin kristal yapılarının tayini.....	62
4. 2. Elektron mikroskobu ölçümleri.....	70
4. 3. Atomik absorpsiyon ölçümleri.....	73
4. 4. Magnetorezistans ölçümleri.....	77
<b>5. SONUÇ ve TARTIŞMA</b> .....	93
5.1. Elektrokimyasal depolama sonuçları.....	93
5.2. Özdirenç ve Magnetorezistans sonuçlarının yorumları.....	99
5.3. Genel sonuçlar ve tartışma.....	118
KAYNAKLAR.....	125
ÖZGEÇMİŞ.....	

## SİMGELER DİZİNİ

A	Akım birimi, Amper
A	Kaplama alanı
A°	Angstrom
$\alpha$	Sıcaklık katsayısı
B	Magnetik Alan
C	Celcius derece ( Santigrat)
C	Termal İletkenlik
C	Konsantrasyon
E	Elektrik alan
e	Elektron yükü
$\epsilon$	Dielektrik sabiti
F	Faraday sabiti
F	Kuvvet
h	Planck sabiti
I	Akım şiddeti
J	Akım yoğunluğu
K	Kelvin
k	Dalga vektörü
l	Serbest yol
$\lambda$	Dalga boyu
m	Kütle
m <sup>*</sup>	Etkin Kütle
M	Molar kütle
$\mu$	Mikron
n	Elektron sayısı
P	Momentum
$\pi$	Radyan
$\theta$	Kırınım Açısı
R	Direnç

$\sigma$	İletkenlik
$\rho$	Özdirenç
$\Delta\rho$	Özdirenç değişimi
$s$	Spin kuantum katsayısı
$T$	Zaman
$t$	Film kalınlığı
$\tau$	İki çarpışma arasında geçen zaman
$x$	Filmdeki arınmış konsantrasyon değeri
$x^1$	Saf olmayan konsantrasyon değeri
$V$	Gerilim birimi, volt
$V$	Hacim
$V(\epsilon)$	Durum yoğunluğu
$y$	Kobalt katkısından arınmış bakır konsantrasyonu
$y^1$	Saf olmayan bakır konsantrasyonu
$Z$	Orantı sabiti

### Kısaltmalar

Ag	Gümüş
BMK	Boyuna Magnetorezistans Katsayısı
Co	Kobalt
Cu	Bakır
cps	Saniyede Alınan X ışını Sayısı
EDS	Enerji Dağılım Spektrometre
EMA	Etkin alan yaklaşımı
GMR	Çok Büyük Magnetorezistans
kG	Magnetik alan birimi, kiloGaus
$\mu\text{m}$	Mikron metre
Ni	Nikel
nm	nanometre
pH	Asitlik
kOe	KiloOrsted, Magnetik alan birimi

SEI	İkincil elektron şekli
SEM	Taramalı Elektron Mikroskop
XRD	X ışını Kırınım ölçer





## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Tipik bir elektrodepolama düzeneği.....	14
Şekil 2.2. Elektrokimyasal depolama hücresi ve olan olayların şematik gösterimi.	17
Şekil 2.3. Fermi yüzeyi hareketi (a) $t=0$ 'da Fermi yüzeyi (b) $t=t$ de Fermi yüzeyi.....	21
Şekil 2.4. Metal içerisindeki elektronların karşılaşabileceği örgü düzeni ve kusur diyagramı. a) Kusursuz bir örgü düzeni ve b) Kusurlu bir örgü düzeni.....	23
Şekil 2.5. Farklı oranlarda katkılanmış iki metal numunesinin öz dirençleri.....	24
Şekil 2.6. Antiferromagnetik ve Ferromagnetik maddelerin iç düzenleri.....	30
Şekil 2.7. Elektronun “yukarı spin” ve “aşağı spin” durumu.....	31
Şekil 2.8. Fermi enerjisi bölgesinde yukarı ve aşağı bölgeler.....	32
Şekil 2.9. Tanecikli bölgelerin bir magnetik olmayan bölge içerisindeki yönelimleri.....	32
Şekil 2.10. İki taşıyıcı bandından Hall etkisine gelen katkı.....	35
Şekil 2.11. Kapalı ve açık fermi yüzeylerinin şekli.....	38
Şekil 2.12. Üç boyutlu uzayda a) kobalt, b) bakır, c) nikelin Fermi yüzeyleri.....	39
Şekil 3.1. CuCo ve CuCoNi alaşım filmlerinin büyütüldüğü sistem diyagramı.....	46
Şekil 3.2 CuCoNi alaşım filmlerinin kalınlıklarının alaşım hazırlanmasında kullanılan banyodaki nikel miktarı ile değişimi.....	52
Şekil 3.3. CuCoNi alaşım filmlerinde % nikel konsantrasyonuna karşı film kalınlıkları.....	53
Şekil 3.4.. CuCoNi alaşım filmlerinde % kobalt konsantrasyonuna karşı film kalınlıkları.....	53
Şekil 3.5. CuCo alaşım filmlerinde % kobalt konsantrasyonuna karşı film kalınlıkları.....	54
Şekil 3.6. CuCo alaşım filmlerinin kalınlıklarının alaşım hazırlanmasında kullanılan banyodaki pH değeri ile değişimi.....	54
Şekil 3.7. X ışını kırınım ölçer.....	56
Şekil 3.8. Taramalı elektron mikroskobu.....	56

Şekil 3.9. Sıcaklığa karşı magnetorezistans ölçüm sistemi.	57
Şekil 3.10. Numunelerin ölçüm sistemine bağlandığı numune tutucu.....	58
Şekil 3.11. Magnetik alan değiştirilerek alınan magnetorezistans ölçüm sisteminde kullanılan magnetler .....	60
Şekil 3.12. Magnetik alan değiştirilerek alınan magnetorezistans ölçüm sistemi.....	
Şekil 3.13. Van der Pauw metodu için dirençlerin tespit şekli.....	61
Şekil 4.1. pH= 4,5 olan CuCo numunesinin XRD grafiği.....	62
Şekil 4.2. pH= 5 olan CuCo numunesinin XRD grafiği.....	63
Şekil 4.3. pH= 5,25 olan CuCo numunesinin XRD grafiği.....	63
Şekil 4.4. pH= 5,5 olan CuCo numunesinin XRD grafiği .....	64
Şekil 4.5. pH= 5,75 olan CuCo numunesinin XRD grafiği.....	64
Şekil 4.6. pH= 6 olan CuCo numunesinin XRD grafiği.....	65
Şekil 4.7. 10 g/l CuCoNi alaşım filminin XRD grafiği.....	66
Şekil 4.8. 15 g/l CuCoNi alaşım filminin XRD grafiği .....	66
Şekil 4.9. 20 g/l CuCoNi alaşım filminin XRD grafiği .....	67
Şekil 4.10. 25 g/l CuCoNi alaşım filminin XRD grafiği .....	67
Şekil 4.11. 30 g/l CuCoNi alaşım filminin XRD grafiği .....	68
Şekil 4.12. 35 g/l CuCoNi alaşım filminin XRD grafiği .....	68
Şekil 4.13. 40 g/l CuCoNi alaşım filminin XRD grafiği .....	69
Şekil 4.14. pH=5 olan CuCo alaşım filminin tarayıcı elektron mikroskobu ile çekilmiş filmi.....	70
Şekil 4.15. İçerisinde 15g/l nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin SEM resmi.....	71
Şekil 4.16. CuCo alaşım filmlerinde banyo pH'sının filmde biriken kobalt konsantrasyonuna etkisi.....	73
Şekil 4.17. CuCo alaşım filmlerinde banyo pH'sının filmde biriken bakır konsantrasyonuna etkisi.....	74
Şekil 4.18. CuCoNi alaşım filmlerindeki nikel miktarının filmde biriken bakır konsantrasyonuna etkisi.....	75
Şekil 4.19. CuCoNi alaşım filmlerindeki nikel miktarının filmde biriken kobalt konsantrasyonuna etkisi.....	75

Şekil 4.20. CuCoNi alaşım filmlerindeki nikel miktarının filmde biriken nikel konsantrasyonuna etkisi.....	76
Şekil 4.21. 1 g/l (%1,56) nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin magnetik alana bağlı magnetorezistans değişimi.....	77
Şekil 4.22. 5 g/l (%2,2) nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin magnetik alana bağlı magnetorezistans değişimi.....	78
Şekil 4.23. 10 g/l (%2,6) nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin magnetik alana bağlı magnetorezistans değişimi.....	78
Şekil 4.24. 15 g/l (%3,06) nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin magnetik alana bağlı magnetorezistans değişimi.....	79
Şekil 4.25. 20 g/l (%4,08) nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin magnetik alana bağlı magnetorezistans değişimi.....	79
Şekil 4.26. 25 g/l (%5,04) nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin magnetik alana bağlı magnetorezistans değişimi.....	80
Şekil 4.27. 30 g/l (%5,5) nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin magnetik alana bağlı magnetorezistans değişimi.....	80
Şekil 4.28. 35 g/l (%6,55) nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin magnetik alana bağlı magnetorezistans değişimi.....	81
Şekil 4.29. 40 g/l (%11,46) nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin magnetik alana bağlı magnetorezistans değişimi.....	81
Şekil 4.30. pH=4,5 olan alaşım filminin magnetik alana bağlı magnetorezistans değişimi.....	82
Şekil 4.31. pH=5 olan alaşım filminin magnetik alana bağlı magnetorezistans değişimi.....	82
Şekil 4.32. pH=5,25 olan alaşım filminin magnetik alana bağlı magnetorezistans değişimi.....	83
Şekil 4.33. pH=5,5 olan alaşım filminin magnetik alana bağlı magnetorezistans değişimi.....	83
Şekil 4.34. pH=5,75 olan alaşım filminin magnetik alana bağlı magnetorezistans değişimi.....	84
Şekil 4.35. pH=6 olan alaşım filminin magnetik alana bağlı magnetorezistans	

değişimi.....	
Şekil 4.36. pH=5,25 olan alaşım filminin boyuna magnetorezistansının sıcaklıkla değişim grafiği.....	85
Şekil 4.37. pH=5,5 olan alaşım filminin boyuna magnetorezistansının sıcaklıkla değişim grafiği.....	86
Şekil 4.38. pH=5,75 olan alaşım filminin boyuna magnetorezistansının sıcaklıkla değişim grafiği.....	86
Şekil 4.39. pH=6 olan alaşım filminin boyuna magnetorezistansının sıcaklıkla değişim grafiği.....	87
Şekil 4.40. 20K sıcaklığında CuCo alaşım filmlerinde boyuna magnetorezistansın pH'ya göre değişimi.....	87
Şekil 4.41. İçerisinde 1 g/l nikel bulunan CuCoNi alaşım filminde boyuna magnetorezistansın sıcaklıkla değişimi.....	88
Şekil 4.42. 5 g/l nikel içeren filmin boyuna magnetorezistans katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği.....	88
Şekil 4.43. 10 g/l nikel içeren filmin boyuna magnetorezistans katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği.....	89
Şekil 4.44. 15 g/l nikel içeren filmin boyuna magnetorezistans katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği.....	89
Şekil 4.45. 20 g/l nikel içeren filmin boyuna magnetorezistans katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği.....	90
Şekil 4.46. 25 g/l nikel içeren filmin boyuna magnetorezistans katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği.....	90
Şekil 4.47. 30 g/l nikel içeren filmin boyuna magnetorezistans katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği.....	91
Şekil 4.48. 35 g/l nikel içeren filmin boyuna magnetorezistans katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği.....	91
Şekil 4.49. 40 g/l nikel içeren filmin boyuna magnetorezistans katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği.....	92
Şekil 5.1. CuCoNi alaşım filminde Co konsantrasyonuna karşı kristal örgü sabiti değişimi.....	94

Şekil 5.2. CuCo alaşım filminde Co konsantrasyonuna karşı kristal örgü sabiti değişimi.....	94
Şekil 5.3. Artan Asitlik derecesinin % konsantrasyon değerlerine etkisi.....	95
Şekil 5.4. Nikel katkısının yüzde konsantrasyon dağılımına etkisi.....	96
Şekil 5.5. Uygun pH seçimi için pH- %Co grafiği.....	97
Şekil 5.6. Elektrolite uygulanan akım şiddetine filmdeki kobalt konsantrasyonu..	98
Şekil 5.7. Filmdeki %kobalt konsantrasyonunun zamanla değişimi.....	99
Şekil 5.8. CuCo alaşım filmlerinde magnetorezistansın sıcaklıkla değişimleri.....	100
Şekil 5.9. CuCoNi alaşım filmlerinde magnetorezistansın sıcaklıkla değişimleri..	101
Şekil 5.10. pH=5,25 olan CuCo numunesinin öz direncinin sıcaklıkla değişim grafiği.....	102
Şekil 5.11. pH=5,5 olan CuCo numunesinin öz direncinin sıcaklıkla değişim grafiği.....	102
Şekil 5.12. pH=5,75 olan CuCo numunesinin öz direncinin sıcaklıkla değişim grafiği.....	103
Şekil 5.13. pH= 6 olan CuCo numunesinin öz direncinin sıcaklıkla değişim grafiği.....	103
Şekil 5.14. pH= 6,25 olan CuCo numunesinin öz direncinin sıcaklıkla değişim grafiği.....	104
Şekil 5.15. pH- CuCo alaşımlarında normalize öz direnç.....	104
Şekil 5.16. 1g/l nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin öz direncinin sıcaklıkla değişimi.....	105
Şekil 5.17. 5g/l nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin öz direncinin sıcaklıkla değişimi.....	105
Şekil 5.18. 20 g/l nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin öz direncinin sıcaklıkla değişimi.....	106
Şekil 5.19. 25 g/l nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin öz direncinin sıcaklıkla değişimi.....	106
Şekil 5.20. 30 g/l nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin öz direncinin sıcaklıkla değişimi.....	107
Şekil 5.21. 35 g/l nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin öz direncinin sıcaklıkla	107

değişimi.....	
Şekil 5.22. 40 g/l nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin öz direncinin sıcaklıkla değişimi.	108
Şekil 5.23. CuCoNi alaşımlarında normalize öz direncin sıcaklıkla değişimi.....	108
Şekil 5.24. CuCo alaşım filmlerinde 20K sıcaklıkta boyuna magnetorezistansın pH ile değişimi.....	110
Şekil 5.25. CuCo alaşım filmlerinde % kobalt konsantrasyonunun pH değeri ile değişimi.....	111
Şekil 5.26. CuCo alaşım filmlerinde Boyuna magnetorezistansın filmdeki kobalt miktarı ile değişimi.....	112
Şekil 5.27. CuCo alaşım filmlerinde Boyuna magnetorezistansın filmdeki bakır miktarı ile değişimi.....	113
Şekil 5.28. CuCoNi alaşım filmlerinde banyoya katılan nikel miktarının (g/l) magnetorezistans ile değişimi.....	114
Şekil 5.29. CuCoNi alaşım filmlerinde % nikel konsantrasyonunun boyuna magnetorezistans ile değişimi.....	114
Şekil 5.30. CuCoNi alaşım filmlerinde % kobalt konsantrasyonunun boyuna magnetorezistans ile değişimi.....	115
Şekil 5.31. CuCo alaşım filmlerinin boyuna magnetorezistansının pH değeri ile değişimi.....	115
Şekil 5.32. Boyuna magnetorezistans katsayısının Magnetik alanla değişimi.....	116
Şekil.5.33. 1.2 T magnetik alanda Boyuna magnetorezistansın CuCoNi filmlerindeki nikel miktarı ile değişimi.....	117

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. pH-CuCo alaşım filmlerinin film kalınlıkları.....	51
Çizelge 3.2. CuCoNi alaşımlarının film kalınlıkları.....	52
Çizelge 4.1. CuCo alaşım filmlerinin % konsantrasyonunun pH ile değişimi.....	72
Çizelge 4.2. CuCoNi alaşım filmlerinin % konsantrasyonunun nikel eklenmesi ile değişimi.....	72



## ÖZET

Doktora Tezi

### ELEKTROKİMYASAL DEPOLAMA YOLUYLA ELDE EDİLEN Co-Cu ve Co-Cu-Ni ALAŞIM FİMLERİNİN YAPISAL ve MAGNETOREZİSTANS ÖZELLİKLERİ

İsmail Hakkı KARAHAN

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Fizik Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Ömer Faruk BAKKALOĞLU

Çok büyük magnetorezistans etki (GMR) gösteren materyaller günümüzde sensör teknolojisi ve magnetik okuyucu kafalı cihazlar başta olmak üzere çok yaygın bir teknolojik kullanım alanına sahiptir. Alaşımlarda çok büyük magnetorezistans etki, özellikle oda sıcaklığında bir biri içerisinde çözünüp tek fazlı alaşım yapma eğiliminde olmayan maddelerin oluşturduğu magnetik alaşımlarda gözlenebilmektedir. CoCu alaşım sistemleri de oda sıcaklığında bir biri içinde çözünüp tek fazlı alaşım yapma eğiliminde olmayan sistemlerdir.

CoCu ve CoCuNi alaşım filmleri elektrokimyasal depolama yöntemi ile asit-sitrat banyosundan, farklı konsantrasyonlarda ve bilgisayar kontrollü olarak elde edildi. CoCu alaşım filmleri elektrolit pH'sının değiştirilmesi ile CoCuNi alaşım filmleri ise Cu ve Co miktarı sabit tutularak Nikel miktarının artırılması ile oluşturuldu. Filmlerin kompozisyonu, tarayıcı elektron mikroskobu ve Atomik Absorbsiyon Spektrometresi kullanılarak analiz edildi. Filmlerin kristal yapıları ise X-ışını difraksiyon spektrometresi ile belirlenerek yüzey topografileri elektron mikroskobuyla incelendi. Elektriksel ölçümler kullanılarak boyuna magnetorezistans katsayısı ve elektriksel öz direnç araştırıldı.

Difraksiyon piklerine yalnızca alaşım filmlerdeki bakırdan cevap geldi. Tüm filmlerde negatif magnetorezistans gözlenirken 20K sıcaklığında pH=5,5 CuCo'ta %1,9, pH=6 CuCo'ta %1,48, pH=5,25 CuCo'ta %2,08 ve pH=6,25 CuCo alaşım filminde %3,03, NiCuCo alaşımlarında ise 20g/l'de %1,25, 5g/l'de %1,29, 1g/l'de %1,7 GMR gözlemlendi. CuCo alaşımlarında magnetorezistansın önce artan Co yüzdesi ile arttığı daha sonra düştüğü, CuCoNi alaşımlarında ise artan Ni yüzdesi ile düştüğü gözlemlendi.

2002, 124 sayfa

**Anahtar kelimeler:** Magnetoresistans, Çok Büyük Magnetorezistans, Elektrokimyasal depolama, CuCo alaşım filmi, CuCoNi alaşım filmi.



## ABSTRACT

Ph. D. Thesis

### THE CHARACTERIZATIONS OF STRUCTURAL AND MAGNETORESISTANCE PROPERTIES OF CuCo and CuCoNi ALLOYS OBTAINED BY ELECTROCHEMICAL DEPOSITION

İsmail Hakkı KARAHAN

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Physical Education

Supervisor : Prof. Dr. Omer Faruk BAKKALOĞLU

Nowadays Giant magnetoresistive materials are used in sensor and magnetic read heads. The giant magnetoresistance (GMR) effect is usually observed in systems composed of insoluble elements especially at room temperature. Co in Cu is an example of such a system, which tend not to make solid solution with each other at equilibrium conditions.

The CuCo and CuCoNi alloy films were prepared by electrochemical deposition technique. The variations of Co and Cu contents in film were investigated as a functions of bath pH and Ni content in bath. The composition of the alloy films were determined by an atomic absorption spectrophotometer and energy dispersive spectrometer. The crystal structures of the alloy films were analysed by a Cu( $K_{\alpha}$ )-X-Ray diffractometer. The structural properties were investigated by scanning electron microscopies (SEM). Using the electrical measurements, the longitudinal mr coefficients and electrical resistivity were calculated and investigated.

The diffraction lines observed were only those of copper component in alloy films. All films showed negative magnetoresistance effect while a giant magnetoresistance effect was observed to be %1,9 at value of pH=5,5 CoCu, %1,48 at value of pH=6 CoCu, %2,08 at value of pH=5,25 CoCu and %3,03 at value of pH=6,25 CoCu, %1,25 at (20g/l Ni) NiCoCu, %1,29 in (5 g/l Ni) CuCoNi, %1,7 in (1 g/l Ni) CuCoNi alloy films at 20K. It was also deduced that the magnetoresistance effect initially increased and then decreased with increasing Co percentage in CuCo alloys and decreased with increasing Ni percentage in CuCoNi alloy films.

**2002, 124 pages**

**Keywords** : Magnetoresistance, Giant Magnetoresistance (GMR), CuCo alloys, Electrochemical deposition, CuCoNi alloys.

## TEŞEKKÜR

Doktora çalışması olarak sunduğum bu çalışmada başından beri her türlü yardımını esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ömer Faruk BAKKALOĞLU'na teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım esnasında her türlü imkanından istifade ettiğim Atatürk üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü başkanı Sayın Prof. Dr. Yusuf ŞAHİN'e ve Sayın Prof. Dr. Muhammet YILDIRIM'a ve Gaziantep Üniversitesi fizik mühendisliğinde aldığım ölçümlerde yardımını esirgemeyen Sayın Öğ. Gör. Metin BEDİR'e, tez süresi boyunca olumlu eleştirilerini aldığım Sayın Prof. Dr. Bahattin DÜZGÜN'e, Sayın Prof. Dr. Hasan EFEOĞLU'na ve Sayın Prof. Dr. Y. Kemal YOĞURTÇU'ya teşekkür ederim.

Ayrıca manevi desteklerini esirgemeyen eşim ve anneme şükranlarımı sunarım.

İsmail Hakkı KARAHAN

Ekim 2002

## 1. GİRİŞ

Magnetorezistans, magnetik alan etkisiyle numunede oluşturulan direnç değişikliği olarak tanımlanır ve malzemenin elektrik ve magnetik özelliklerini incelemede önemli bir tekniktir. Magnetorezistans etkisinin deneysel olarak tespiti için iki çeşit magnetorezistans katsayısı hesaplanabilir. Enine magnetorezistans akımın doğrultusu ile magnetik alanın doğrultusunun bir birine dik olduğu zaman, boyuna magnetorezistans ise akımın doğrultusuyla magnetik alanın doğrultusunun bir birine paralel olduğu zaman elde edilir. Bu katsayıları tespit etmek için dikdörtgen şeklinde kesilen numunenin akım gecen uçları arasındaki kontaklardan potansiyel farkı ölçümü alınmalıdır. Ölçüm sırasında oluşabilecek olan termal potansiyelleri bertaraf etmek için akımın ve magnetik alanın yönleri ters çevrilerek ölçümlerin ortalamasının alınması gerekir (Putley 1960).

Son yıllarda magnetorezistans etkisi, artan teknolojik imkanlar sayesinde çok cazip hale gelmiştir. Magnetorezistans pek çok magnetik uygulamaya sahiptir. Özellikle magnetorezistiv sensör teknolojisi, hareket sensörleri, disk sürücülerinin kapasitesinin artırılması, magnetik kayıt ve okuma başlıkları, manyetik veri saklama filmlerinin yapılması, bilgisayarlardaki RAM ve MRAM (Rasgele Erişimli Hafıza) yapımı, araba hız kontrol sistemleri, araç antikilit fren sistemi, otomatik çekme sistemleri, elektrik emniyet cihazları, metal detektörleri, alternatif veya doğru akım güç ve faz ölçümü için akım transformatörleri veya sensörleri, manyetik çok katlılar, magnetorezistansın fiziksel kökeni ve taşıyıcı özelliklerinin belirlenmesi gibi kullanım alanlarının artması nedeniyle bu alandaki araştırmalar hızlanmıştır.

Magnetorezistans çok eskiden beri bilinen fiziksel bir olaydır. Fakat magnetorezistans etkisinin yüzde miktarının giderek artması, araştırmacıları tekrar magnetorezistans olayına ve magnetorezistans etkisi gösteren maddeler üzerine çalışmaya yönlendirdi. Özellikle Giant (Dev) Magnetorezistans etkisinin keşfi teknolojik uygulamaları da

beraberinde getirdi. Magnetorezistans üzerine olan ilginin çoğu ferromagnetik ve magnetik olmayan metallere yönelmiştir.

Çok büyük magnetorezistans (GMR) bakır gibi magnetik olmayan maddelerde gözlenen geleneksel pozitif magnetorezistans ve demir gibi magnetik metallere gözlenen pozitif ve negatif anizotropik magnetorezistans ayırt edici bir şekilde farklıdır. GMR etkisi magnetik çok katlı filmlerde ve magnetik tanecikli filmlerde (granular) ( $\Delta\rho/\rho > \%50$ ) bazı durumlarda çok büyük bir oranda rastlanabilir. Bu sistemlerin dışındaki maddelerde daha küçük ( $\Delta\rho/\rho < \%5$ ) olarak gözlenmektedir. GMR etkisini diğer magnetorezistans etkilerden ayıran özellik büyüklüğü değil aynı zamanda daima negatif olmasıdır. Yeterli büyüklükte magnetik alan uygulandığında, magnetik tabakaların bir ferromagnetik yönelimi oluşur ve bu daha düşük bir dirençle sonuçlanır.

İlk olarak çok büyük magnetorezistansa (GMR) Fe/Cr çok tabakalı filminde Baibitch *et al.* (1988) tarafından 4 K sıcaklığında %40 oranında gözlemlendi. Sonradan antiferromagnetik / Ferromagnetik çiftlenim içeren çok katlılarda da gözlemlendi. Bu çalışmadan sonra Velu *et al.* (1988) Co/Au/Co, Parkin *et al.* (1991) Co/Cu ve Petroff *et al.* (1991) Fe/Cu gibi çok katlı sistemlerde GMR etkisini gözlediler. Çok büyük değerli magnetorezistansın çok katlı filmlerde gözlenmesi, magnetik olmayan tabakalara komşu olan magnetik tabakalar arasındaki antiferromagnetik bir çiftlenimin olmasına bağlanmaktadır (Ueda *et al.* 1994). Bu yüzden büyük değerli magnetorezistansın yalnızca çok tabakalı yapılara has bir olay olduğu sanılıyordu.

1992 yılında tanecikli magnetik katılarda, CoCu ve CoAg alaşımlarında GMR'nin gözlenmesi, GMR olayının çok katlı sistemlere has bir olay olmadığını ortaya çıkardı. A.E. Berkovitz ve arkadaşları (1992), çok büyük magnetorezistans etkisini Silisyum üzerine sputter metodu ile hazırladıkları CuCo alaşım filmlerinde oda sıcaklığında ihmal edilebilir bir etki göstermesine rağmen, tavlama sıcaklığında %10 civarında bulmuşlardı. Bu magnetorezistans etkisi, tavlama sıcaklığında kobalt zengin ferromagnetik parçacıkların çökmesi sayesinde gerçekleştiği şeklinde

yorumlandı. Ardından aynı etki Carey *et al.* (1992) tarafından CoAg alaşımlarında da gözlemlendi. Magnetorezistans olayı filmin büyütülme yöntemine bağlı olarak değişiklikler göstermektedir.

Xiao *et al.* (1992), sputter metodu ile elde ettikleri  $\text{Co}_{20}\text{Cu}_{80}$  alaşımlarında 4,2 K de %75 oranında magnetorezistansa rastladılar.

Xiao *et al.* (1993) sputter metodu ile ürettikleri  $\text{Fe}_{20}\text{Ag}_{80}$  alaşımlarında 4,2 K'de GMR oranını %43 olarak ölçtüler.

Parkin *et al.* (1993) Moleküler Beam epitaksiyal büyütme ile hazırladıkları  $\text{Co}_{25}\text{Cu}_{75}$  alaşımlarında magnetorezistans değerini 4,2 K de %50 olarak buldular.

Ueda *et al.* (1994) elektrodepolama metodu kullanarak CuCo alaşım filmleri üretmiş 15 kOe alan altında  $\text{Co}_{0,17}\text{Cu}_{0,83}$  alaşımında magnetorezistans değerini %1,3 olarak ölçmüştür. %20 oranına kadar artan kobalt konsantrasyonunun magnetorezistansı arttırdığını daha sonra katılmaya devam edilen kobalt miktarının ise magnetorezistansı azalttığı gözlenmiştir. Yine tavlamanın magnetorezistansta keskin bir artışa neden olduğu örneğin tavlanan  $\text{Co}_{0,17}\text{Cu}_{0,83}$  alaşım filminde magnetorezistansın %1,3'ten %5,6'ya çıktığını gösterdiler.

Chien (1995) tanecikli magnetik sistemlerde çok büyük magneto taşıyıcı (magnetotransport) olayını Co-Cu ve Ag-Co alaşımlarında incelemiş, Cu gibi magnetik olmayan maddelerde gözlenen pozitif geleneksel magnetorezistans ve demir gibi magnetik maddelerde gözlenen pozitif ve negatif anizotropik magnetorezistansın çok büyük magnetorezistanstan (GMR) çok farklı olduğunu, GMR nin sürekli negatif ve çok büyük değerlerde magnetik tanecikli sistemler ve çok katlılarda gözlenebildiğini rapor etmiş ve GMR'yi partiküllerin ara yüzeylerindeki saçılmaya bağlamıştır.

Yomamoto *et al.* (1995) yine sputter ile oluşturdukları CuCo alaşım filmlerinde artan kobalt yüzdesinin magnetorezistansa etkisini incelemiş ve kobalt yüzdesinin %35 oranına kadar katılmasının magnetorezistansı arttırdığını ve %35' ten sonra ki kobalt miktarının magnetorezistansı azaltıcı bir etkisin olduğunu göstermiştir. Magnetorezistans oranını oda sıcaklığında %2 ve 400 °C'de bir saat tavlandıktan sonra %4,5 olarak bulmuştur.

Hua *et al.* (1995) elektrokimyasal depolama ile elde ettikleri Co/Cu çok katlı filminde magnetorezistansın film tabakalarını oluşturan elementlerin kalınlığı ile nasıl bir ilgisi olduğunu araştırmıştır. Ard arda dizilmiş Cu ve Co katmanlarından bakırın kalınlığı  $t_{Cu}=1\text{nm}$  olduğunda 5 Teslalık bir alan içerisinde 15 K sıcaklıkta magnetorezistansın %7, 298 K da %3 olduğunu, filmi oluşturan bakır kalınlığının  $t_{Cu}=2,3\text{ nm}$  olduğunda ise 15 K'da %20, 298 K'da ise %10'a ulaştığını yani magnetorezistansın filmi oluşturan elementlerin kalınlığı ile direkt bir ilişkisi olduğunu göstermiştir.

Yu *et al.* (1995), ilk örnekleri Wecker *et al.* (1993), Dieny *et al.* (1994) ve Rubinstein *et al.* (1994) tarafından yapılan, kararlı CuCo alaşımları oluşturabilmenin bir diğer yolu olarak kabul edilen hızlı katılaştırma veya ergiyikten çekme ismi verilen yöntemle  $\text{Cu}_x\text{Co}_{1-x}$  ( $0 \leq x \leq 0,20$ ) şerit şeklindeki filmleri elde etmişlerdir. Doyuma ulaşmış filmler tavlansın yüksek sıcaklıklarda bakır matris içerisine gömülmüş kobalt salkımlarının oluştuğu gözlenmiştir. 450°C 30 dakika tavlansın filmler 30 kOe'lik alan içerisinde iken magnetorezistans değerleri  $\text{Co}_{0,05}\text{Cu}_{0,95}$  alaşımında %28,5 ve  $\text{Co}_{0,10}\text{Cu}_{0,90}$  alaşımında %33,  $\text{Co}_{0,15}\text{Cu}_{0,85}$  alaşımında %43 olarak gözlenmiştir.

Takanashi *et al.* (1996) sputter yöntemi ile elde ettikleri CuCo heterojen alaşımlarında mikro yapı ve GMR üzerine çalışarak, magnetorezistansın Co konsantrasyonu ile değiştiğini, kobalt içeriğinin %20 civarında olduğunda maksimum magnetorezistansın gözlendiğini ve bu GMR değerinin 4,2 K'de 140 kOe magnetik alanda %15 civarında olduğunu göstermiştir.

Fedosyuk *et al.* (1996) Alüminyum üzerine elektrodepolama ile  $\text{Co}_{0,20}\text{Cu}_{0,80}$  tanecikli alaşımlarını büyütürük oda sıcaklığında %5,  $600^{\circ}\text{C}$  de tavlanan filmlerde ise %10 magnetorezistans okumuşlardır.

Ueda *et al.* (1996) çok katlı Co/Cu alaşım filmlerini elektrodepolama ile elde ederek çok katlı filmdeki bakır iç tabakasındaki artan kobalt yüzdesinin magnetorezistans üzerine etkisini incelemişler ve bakır iç tabakasına katılan kobaltın %1 den %10'a doğru artarken çok büyük magnetorezistansın %5 ten %1'e doğru düştüğünü tespit etmişlerdir.

Blayte *et al.* (1996), elektrodepolama ile ürettikleri tanecikli (granular) CuCo alaşımlarında  $300^{\circ}\text{C}$  de tavlanan filmlerde 1,3 Tesla da %4 GMR gözlemiştir.

Ge *et al.* (1997) magnetron saçılma (Sputter) yöntemi ile hazırladıkları CoCu alaşımlarında GMR etkisini ve tavlama koşullarının magnetorezistansa etkisini incelemişlerdir. Artan kobalt konsantrasyonunun %20'ye ulaştığı değerlerde magnetorezistansın bir maksimuma ulaştığı ve bu maksimum değer tavlama numunede 1,2 Tesla alan altında %1,7 olduğunu, tavlama numunede ise GMR'nin %4,4 değerine ulaştığını göstermiştir. GMR'nin 3,5 T civarında bir magnetik alanda doyuma ulaştığını ve %7,5 değerine geldiği gösterilmiştir. Bunun yanı sıra tavlama zamanı 0- 50 dakika arasında değiştirildiğinde GMR'nin düzgün bir şekilde tavlama zamanına bağlı olarak %0,5 ten %3,3 değerine kadar arttığı gözlemlenmiştir.

Bakkaloğlu *et al.* (1998) tarafından üretilen elektrodepolama ile üretilmiş  $\text{Cu}_x\text{Co}_{1-x}$  ( $0,06 \leq x \leq 0,26$ ) alaşım filmlerinde 8 kOe dış magnetik alanda 100 K sıcaklığında yapılan ölçümlerde  $\text{Co}_{0,19}\text{Cu}_{0,81}$  alaşım filminde magnetorezistans değeri %1,74 iken  $\text{Co}_{0,21}\text{Cu}_{0,79}$  alaşım filminde magnetorezistans değeri %1,611 elde edilmiştir.

Ueda *et al.* (1999) tarafından çok katlı Cu/Co filmler ve tanecikli CuCo alaşımları elektrodepolama ile üretilmiş ve çok katlı Cu/Co filmlerde 21 kOe lik alan altında 300K

sıcaklıkta GMR %16, 5 K sıcaklıkta ise %24 GMR elde edilirken, 723 K de bir saat tavlanan tanecikli CuCo alaşımlarında ise %6,3 GMR ye rastlanmıştır.

Shima *et al.* (1999) bakırla kaplanmış Silisyum (001) üzerine Co/Cu çok katlı filmlerini elektro kimyasal depolama ile yapmış ve %3 civarında magnetorezistans gözlemiştir.

Bakkaloğlu *et al.* (2000) elektrokimyasal depolamayla ürettikleri  $Cu_x Co_{1-x}$  tanecikli yapıya sahip alaşım ince filmlerinden  $Co_{0,26}Cu_{0,74}$  alaşımında %1,  $Co_{0,19}Cu_{0,81}$  alaşım filminde ise %1,7 magnetorezistansa rastlamıştır.

Pattaniak *et al.* (2000) tanecikli CoCu alaşımlarını elektrokimyasal depolama ile bir asit sitrat banyosundan alüminyum üzerine üretmiş ve oda sıcaklığında 10 kOe alanda %4 oranında GMR gözlemiş ve aynı filmi 450 °C de 1 saat süre ile tavladıktan sonra %7,5 GMR elde etmiştir.

Gomez *et al.* (2001) CuCo alaşım filmlerini değişen konsantrasyonlarda indiyum ince oksit kaplı cam tabaka üzerine elektrodepolama ile üretmiş 11 kOe alanda magnetorezistans ölçüsü almıştır. CuCo alaşımlarında kobalt yüzdesi %4'ten %16'ya doğru arttıkça magnetorezistansın %1,6 dan %2,4'e kadar arttığını gözlemiştir.

Errahmani *et al.* (2001) iyon ekimi ile tanecikli yapıda CuCo alaşımlarını üretmiş, manyetik kobalt kümelerinin büyüklüğünün ve bunların magnetik olmayan matriks bakır içerisindeki dağılımının magnetorezistansı nasıl etkilediğini araştırmıştır. 300 °C de tavlanan filmlerde %0,5 ve 400 °C de tavlanan filmlerde %0,8 GMR gözlemiştir.

Lopez Anton *et al.* (2001)  $Cu_{88}Co_{12}$  numunelerini elektrodepolama ve lazer aşındırma yöntemi ile elde etmiş ve bu iki yöntemle büyütülen filmler arasında bir karşılaştırma yapmıştır. Bu iki yöntemle elde edilen filmlerin kristal yapılarında ve elde edilen magnetorezistans değerlerinin farklı olduğunu göstermiştir. Lazer aşındırma ile elde edilen filmde 4 kOe'lik alanda magnetorezistans oda sıcaklığında %0,5 ve 450 °C de



tavlanan numunede %2 elde edilirken, 500 °C de tavlanan elektrodepolama ile üretilen filmde magnetorezistans %4 magnetorezistans göstermiştir.

Sun *et al.* (2001) CuCo alaşımlarına nikel katılmasının sıvı faz ayırımına, dolayısıyla magnetorezistansa nasıl bir etki yaptığını incelemiştir. Tanecikli CoCu alaşımlarına nikel katılmasının magnetorezistansta bir artışa yol açtığını göstermiştir. Süper soğutma yöntemi ile elde edilen Co-Cu-Ni alaşımlarında GMR %7,5 olarak bulunmuş, CuCo alaşımlarına Ni katılmasının GMR oranını %5'ten %7,2'ye çıkardığı gösterilmiştir.

Gomez *et al.* (2002) Co/Cu çok tabakalı filmlerini elektrodepolama yöntemi ile elde etmiştir. Magnetorezistansın büyütme şartlarına çok duyarlı olduğunu göstermek amacı ile indiyum ince oksit tabakası üzerine kalınlık miktarları değişen Co/Cu ince çok katlılarını büyütmüş, 4nm kalınlıklı Cu tabakadan oluşan filmde 27 K sıcaklıkta %1,2 magnetorezistansa ve  $t_{Cu}=1nm$ ,  $t_{Co}=2nm$  olan Cu/Co çok katlılarında %5 GMR'ye rastlamışlardır.

Kainuma *et al.* (2002) puls elektrodepolama kullanılarak üretilen Co-Cu tanecikli alaşım filmlerinde parçacık büyüklüğünün dağılımını ve GMR etkisini incelemiştir. Normal DC akımla oluşturulan alaşım filmlerinden farklı olarak pulse akım vererek oluşturulan  $Cu_{0,82}Co_{0,18}$  alaşım filminde %1,5 magnetorezistans gözlenmiştir. Yine aynı filmde 450°C de tavlendiğinde 15 kOe alanda %4 magnetorezistans elde etmişlerdir.

Errahmani *et al.* (2002)  $Cu_{80}Co_{20}$  tanecikli alaşımlarını iyon ekimi yöntemi ile oda sıcaklığında cam üzerine büyütmüş, mikro yapısını ve magnetik alan altındaki taşıyıcı özelliklerini incelemiştir. 250°C de 30 dakika tavlanan numunede 17 kOe alanda magnetorezistans %3 ve 300 K'da 17 kOe alanda %1,68 olarak gözlemiştir.

Yapılan çalışmalar şu şekilde toplu halde gösterilebilir.

Üretim Yöntemi	Numune	GMR Oranı	Çalışan / Yıl
Sıçratma	Fe/Cr	%40 (4 K)	Baibitch, 1988
Sıçratma	CuCo	%10 (10 K)	Berkowitz, 1992
Sıçratma	Cu <sub>80</sub> Co <sub>20</sub>	%75 (4,2 K)	Xiao, 1992
Sıçratma	Fe <sub>20</sub> Ag <sub>80</sub>	%43 (4,2 K)	Xiao, 1993
MBE	Co <sub>25</sub> Cu <sub>75</sub>	%50 (4,2 K)	Parkin, 1993
Elektrodepolama	Co <sub>0,25</sub> Cu <sub>0,83</sub>	%1,3	Ueda, 1994
Sıçratma	CuCo	%2	Yamamoto, 1995
Elektrodepolama	Cu/Co	%3 (298 K)	Hua, 1995
Eriyik döndürme	CuCo	%28,5	Yu, 1995
Sıçratma	CuCo	%15 (4,2 K)	Takanashi, 1996
Elektrodepolama	Cu <sub>0,80</sub> Co <sub>0,20</sub>	%5 (Oda sıcaklığı)	Fedosyuk, 1996
Elektrodepolama	Cu/Co	%5	Ueda, 1996
Elektrodepolama	CuCo	%4	Blayte, 1996
Sıçratma	CuCo	%1,7	Ge, 1997
Elektrodepolama	Cu <sub>0,81</sub> Co <sub>0,19</sub>	%1,74	Bakkaloğlu, 1998
Elektrodepolama	Cu/Co	%16 (5 K)	Ueda, 1999
Elektrodepolama	CuCo	%6,3	Ueda, 1999
Elektrodepolama	Cu/Co	%3	Shima, 1999
Elektrodepolama	Cu <sub>0,74</sub> Co <sub>0,26</sub>	%1	Bakkaloğlu, 2000
Elektrodepolama	CuCo	%4	Pattaniak, 2000
Elektrodepolama	CuCo	%4	Gomez, 2001
Elektrodepolama	CuCo	%0,5	Errahmani, 2001
Lazer aşındırma	Cu <sub>88</sub> Co <sub>2</sub>	%0,5 (Oda sıcaklığı)	Lopez, 2001
Sıçratma	CuCoNi	%5	Sun, 2001
Elektrodepolama	Co/Cu	%1,2 (27K)	Gomez, 2002
Elektrodepolama	CoCu	%1,5	Kainuma, 2002
İyon ekimi	Cu <sub>80</sub> Co <sub>20</sub>	%3	Errahmani, 2002

Daha hızlı daha küçük, daha ucuz entegre devreleri, mikromekanik sistemler ve bilgisayar sürücülerini gibi elektronik sistemlere olan ihtiyacın sürekli olarak artması, düşük maliyetli işlemlerin çoğalması ile sonuçlanmıştır. Sert ve yumuşak magnetik maddeler, tetikleyiciler, mikro motorlar gibi mikromekanik sistemlerin yapımında kullanılır (Chien *et al.* 2000, Judy *et al.* 1997, 1996, 1995, Ahn *et al.* 1998, Liakopoulos 1998). NiFe, CoNiFe gibi yumuşak magnetik ince filmler hard disk üzerine yazmak için kayıt başlarında kullanılır (Andricacos 1998). Çok küçük yapıları GMR spin valfleri ise okuma başlarında kullanılır (Hartman 1999). İkili ve üçlü sert magnetik alaşımlar ise veri kaydı ortamında kullanılırlar (Lee 1998).

Üretim şartları ile filmin özellikleri arasındaki ilişki henüz tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır. Myung ve arkadaşları elektrodepolama ile ürettikleri magnetik maddelerde magnetik özelliklerin direkt olarak banyo kompozisyonu, pH, akım yoğunluğu ve sıcaklığa bağlı olduğunu göstermişlerdir. Elektrokimyasal depolama alaşım ve çok katlı filmler üretmek için çok büyük avantajlara sahip olan bir yöntemdir. Elektrolizle metal büyütme buhar fazda büyütmeden metal ve çözelti arasındaki tabaka sayesinde önemli bir biçimde ayrılır. Farklılığın sebeplerinin bu çift tabaka içindeki elektrot ve iyonlar arasındaki  $10^7 \text{ Vcm}^{-1}$  mertebesindeki elektrik alanının varlığı ve yüzeye ulaşan yüklü parçacıkların tabiatından kaynaklandığı sanılmaktadır.

Deneysel çalışmalar yoğun bir şekilde yapılırken bir yandanda magnetorezistansın özelliklerde çok büyük magnetorezistansın (GMR) orjini ile ilgili teorik çalışmalar ve modeller üretilmiştir. GMR'nin ilk olarak çok katlılarda keşfi spin bağımlı elektrik iletiminin anlaşılması için yeni yaklaşımlar oluşturmuştur. Tanecikler ve matrisler arasındaki ara yüzlerdeki ve tanecikler içindeki spin bağımlı saçılma, tanecikli sistemlerde gözlenen GMR'nin ana mekanizması olarak bilinmekteydi (Berkowitz *et al.* 1992, Xiao *et al.* 1992, Zhang *et al.* 1992, 1993, Rubeinstein *et al.* 1994).

Daha sonra Rubeinstein *et al.* (1994) yılında Velu'nun 1993'te ki modelini geliştirdi. Bu modelde Rubeinstein çok katlılar için geliştirilen modeli tanecikli sistemlere uygulamıştı. Fakat bu model GMR'nin tanecikli yapıları için hesaplama zorluklarına

sahipti. Gu *et al.* (1996)'da Rubeinstein modelini temel alarak tanecikli magnetik maddelerde ki GMR'nin makroskopik bir modelini geliştirdi. Chang *et al.* (1996), tanecikler arasındaki karşılıklı etkileşmeyi içeren ve Rubeinstein teorisini geliştirmeyi deneyen bir model üretti. Fakat Rubeinstein ve Gu, GMR'nin hacim etkisinden söz etmemişlerdi. Chang *et al.* (1996), düşük hacim kesirli sorunları çözmüş fakat yüksek hacim kesirli sorunlara cevap verememişti.

Homojen olmayan maddelerin taşıyıcı özellikleri ile en iyi model Etkin Alan yaklaşımlı Bruggeman modelidir. Bu model Bruggeman *et al.* 1992 tarafından geliştirilmiştir. Yang *et al.* ise bu teoriyi 1998'de daha da geliştirmiştir. Bu metotla küresel ve silindirik sistemlerdeki GMR'yi ve iletkenliği hesaplamışlardır. Bu model hem daha basit hem de deneysel verilerle daha yakın sonuçlar sunmaktadır.

CuCo alaşım sistemleri magnetorezistans gösteren sistemlerdir. Bu sistemlerin oluşturulmasında buharlaştırma, sputter, eriyikten kristal çekme, elektrokimyasal depolama gibi yöntemler kullanılır. Elektrokimyasal depolamanın diğer metotlara üstünlüğü, çok pahalı vakum sistemlerine ihtiyaç duymayan ucuz bir metot olmasıdır. Diğer metotlarla elde edilemeyen özelliklerdeki yapılarda filmler retilbilmesidir.

Bu çalışmada içerisindeki nikel konsantrasyonu değişen miktarlarda olmak üzere nikel-kobalt-bakır (CuCoNi) l alaşımları ve pH değerleri değişen bakır-kobalt (CuCo) alaşım filmleri elektrokimyasal depolama yöntemiyle asit sitrat banyolarında retildiler. Elde edilen CuCo ve CuCoNi filmlerinin bakır, kobalt ve nikel konsantrasyonları ve kalınlıkları Taramalı Elektron Mikroskobu EDS analizi ve Atomik absorpsiyon spektrofotometresi kullanılarak tespit edildi. İnce CuCo ve CuCoNi alaşım filmlerinin yapısı hakkında bilgi edinebilmek için X-ışını Difraksiyon spektrometresi kullanılarak yapı parametreleri, örgü sabitleri tespit edildi. Alaşım filmlerin yüzey topografileri Elektron Mikroskobu ile incelendi. Dört nokta prob ölümü ile magnetorezistans ve özdirenç ölümü yapıldı.

Çalışmanın birinci bölümünde elektrokimyasal depolama yöntemi, öz direnç, direnç, magnetorezistans kavramları teorik olarak açıklandı. Magnetorezistans bağıntısı ve öz direncin sıcaklıkla değişim ifadeleri verildi.

İkinci bölümde elektroliz sistemi, film büyütülmesi, filmlerin kompozisyon ve kristal yapı tayin teknikleri ve bu tayinlerde kullanılan deney düzeneklerinin çalışma ilkeleri kısaca anlatıldı.

Üçüncü bölümde magnetorezistans ölçümlerinde kullanılan filmlerin hazırlanması, magnetorezistans ölçüm sistemi, film kalınlıklarının tespiti anlatıldı.

Öz direnç ve magnetorezistans ölçümleri ve değerlendirilmesi dördüncü bölümde tartışıldı.

Beşinci bölümde elde edilen verilerden çıkarılan sonuçlar verildi.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Giriş

Alaşım filmlerinin hazırlanmasında kullanılan elektrokimyasal depolama yöntemi ve magnetorezistans olayının fiziksel kökenini anlamak için bu olayların teorisi hakkında bilgi sahibi olmak gerekir. Bu amaçla bu bölümde elektrokimyasal depolama, direnç, öz direnç ve magnetorezistans hakkında bilgiler verilmiştir.

### 2.2. Elektrokimyasal Depolama

Elektrodepolama bir elektrolitik çözeltiden metal iyonlarının katot üzerinde indirgenerek depolanması olayıdır. Elektrokimyasal depolama yöntemi, elektrokimyasal mikrofabrikasyon diye genelleştirebileceğimiz bir dizi işlem grubundan biridir. Elektrokimyasal mikrofabrikasyon, kendisine alternatif diğer teknolojiler üzerine bazı avantajlara sahiptir.

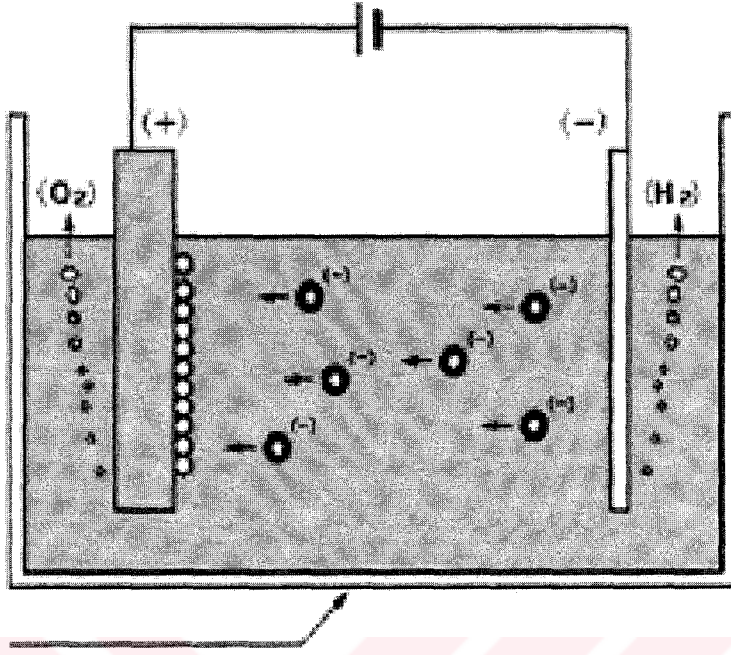
19. Yüzyılın ortalarında, elektrolizle şekillendirme banknotlar için yazma düzlemlerinin üretimi için uygulanıyordu. (Safranek *et al.* 1986) Elektrokimyasal teknoloji elektronik endüstrisine düşük sonlu yazı devre tahtaları uygulamaları için 50 yıl önce girdi. Sert magnetik maddelerin üretilmesi için çok uygun bir yöntemdir. CoNi, CoNiP (Bondar *et al.* 1969), CoW, CoWP, CoMnP, CoPtP ve CoP (Luborsky 1970) gibi teknolojik uygulamaya sahip magnetik maddelerin yapımında kullanılır. Bu yüzden mikro sistem ve elektronik endüstrisinde hızla artan bir şekilde kullanılmaktadır. Elektrodepolamayı oluşturan banyo kompozisyonu, pH, akım yoğunluğu, sıcaklık, çalkalama gibi parametreler magnetik özellikleri değiştirebilir.

Bugün elektrokimyasal teknoloji geniş bir şekilde ileri mikroelektronik makinelerin yapımında kullanılmaktadır. bakır çipler dahil, yüksek uç kaplamaları ve iç bağlantılar,

ince film magnetik kafalar ve mikro-elektro-mekanik sistemler yapılmaktadır. (Romankiw 1997) Bu ileri uygulamalar iki paralel gelişme ile mümkün olmuştur. Bunlar: Elektrokimyasal mikrofabrikasyon işlemlerinin temel prensiplerinin (Akım dağılımı, kütle transferi, elektrot kinetikleri, büyütme oranları, asitlik dereceleri, elektro depolamanın yapıldığı altlık özellikleri) teorik olarak anlaşılması ve aynı zamanda madde bilimi ve mühendislik, deneysel ve teorik aletleri elektrokimyasal bir şekilde üretilen maddelerin özellikleriyle ilişkilendirilmesine izin vermesidir. Elektrokimyasal mikrofabrikasyon teknolojisinin ucuzluk avantajı ve yüksek bir kesinlik oranıyla başarılabilmesi sayesinde, elektronik ve mikro sistem endüstrisinde artan bir şekilde rol oynayacağı bilinmektedir.

Ek olarak elektrodepolama işlemi çevre dostu olarak israfı minimize etme açısından tercih edilmektedir. Etkili bir elektrokimyasal depolama sisteminin gelişmesi, elektrot yüzeyinde arzulanan akım dağılımı ve kütle transferini sağlayan bir tasarımın dikkatlice dizayn ve üretimini gerektirir. Elektrodepolamanın en önemli aşamasında arzu edilen filmin üretilmesini sağlayacak elektrolit kompozisyonunun oluşturulması gelir. Çok çeşitli elektrokimyasal depolama sistemleri mevcuttur. Bunların en çok kullanılanlarından bazıları; kanal akışlı, elektrolitik jet, yarılmış jet, çok ağızlı sistemlerdir. Numune yönlendirme, filtreleme koşulları, elektriksel kontak, elektrolitin ısıtılması, kararlı durum banyo kontrolü elektro-depolama aleti dizayn ederken hesaba katılması gereken önemli ayrıntılardır (Datta 1980, Labdolt 1969, Datta 1981).

Asit baz ve tuzların sudaki çözeltilerine elektrolit denir. Elektrolitler elektriği ileten ortamlardır. Elektrolit içerisinde cereyan eden olaylara elektrot reaksiyonları adı verilir. Elektrokimyasal hücrenin tipik şekli, şekil 2.1'de verilmiştir.



**Şekil 2.1:** Tipik bir elektro depolama düzeneği

Michael Faraday'ın 19. Yüzyılın başlarında, elektrolizin temellerini tanımaya başlaması yeni uygulamalara yol açtı. Faraday'ın iki kanunu şöyle özetlenebilir.

- Elektroliz ile elektrotta şekillendirilen temel ürünün kütlesi, direkt olarak geçen elektriğin miktarına bağlıdır. Sabit akım şartları altında ;

$$m \propto I.t \quad \text{veya} \quad m = zIt \quad (1)$$

burada  $m$ : Temel ürünün kütlesi (g)

$I$ : Akım (A)

$t$ : zaman (s)

$z$ : orantı sabitini (elektrokimyasal eşdeğer) temsil etmektedir.

$z$ ; 1 amper saniyede elektroliz sırasında serbest kalan madde miktarı olarak tanımlanır.

(1 Coulomb olarak isimlendirilir.) Uygunluk için daha pratik bir birim, 1 amper-saat veya 3600 Coulomb'tur.



- Aynı elektrik yükünün çeşitli elektrolitlerden geçirilmesi durumunda, katotta toplanan madde miktarları, çözeltilerin elektrokimyasal eşdeğer gramları ile doğru orantılıdır.

$$m_1 \propto M_1/n_1 \propto z_1$$

$$m_2 \propto M_2/n_2 \propto z_2$$

burada  $m_1$  ve  $m_2$  ana ürünün kütlesi (g),

$M_1, M_2$  =Molar kütle ( $\text{g mol}^{-1}$ )

$n_1, n_2$  =reaksiyondaki elektronların sayısı

$z_1, z_2$  =elektrokimyasal eşdeğerleri gösterir.

1.ve 2. kanunlar birleştirilerek bir tek formül çıkarılabilir.

(1) den  $m = z I t$

(2) deki  $z$  yi çekip (1) de yerine koyarsak

$$m = k M / n.I.t \quad \text{burada } k \text{ bir sabittir.}$$

$$\text{veya} \quad m = 1 / F.M/ n.I.t$$

F, Faraday sabitidir. Faraday kanunu tüm dünya tarafından kabul edilen evrensel bir sabittir. Faraday kanununun en önemli kullanımı elektropolama parametreleri ile film kalınlığının önceden hesaplanabilmesidir.

Sabit akımda (1) eşitliğinde  $m = ItM / nF$

Şimdi  $m = V\rho$ , burada  $V$ =hacimdir.

$$V\rho = It M/nF \quad \text{veya} \quad V = It M/nF.1/\rho$$

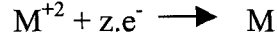
Fakat burada  $V = Ax$  ( $A$ =kaplama alanı),  $x$  depolamanın derinliği

$$A.x = It M/mF.1/\rho$$

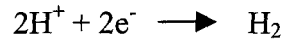
$$X = It/A M/mF.1/\rho \quad \text{veya} \quad x = jt M/nF. 1/\rho$$

Bu %100'lük bir akım verimi için geçerlidir. Verim düştükçe depolanan miktarda düşer.

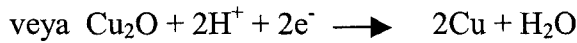
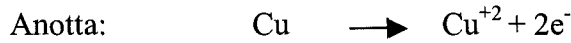
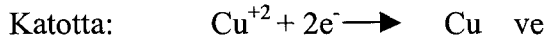
Elektrodepolama işlemi için katodik reaksiyon büyük bir öneme sahiptir. Metal depolamanın genel eşitliği ;



Buna hidrojen açığa çıkması da eşlik eder.



Katotta oluşan diğer reaksiyonlarda olabilir. Örneğin



Elektrot reaksiyonlarının metallerin yüzey işlemlerinde önemli bir rolü vardır. Bu reaksiyonların kullanıldıkları alanlar;

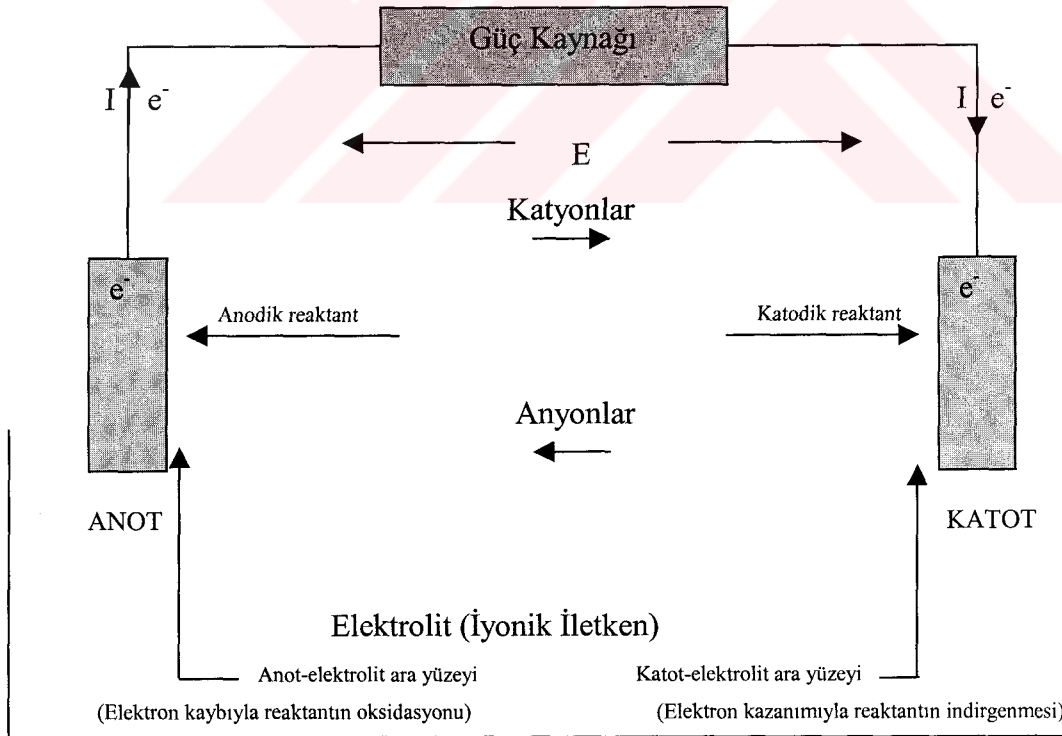
- Bir metalin yüzeyinin doğasını kontrol etme, örneğin
  - (1) Depolanan metalin tabakaları farklı şekillerde, elektronik veya mühendislik özelliklerinde olabilir.
  - (2) Bir oksit veya diğer bir inorganik bileşen anodize edilmiş yeni fiziksel özellikleri olan ürün elde edilmesine yarar.
- Metallerin yeniden kullanıma hazırlanması için tamiri veya temizlenmesi, istenmeyen bir oksit filmin kaldırılması veya mikron boyutta aşındırma yapılmasını sağlar.
- Uygun ve kontrollü bir kaynak sağlayarak elektro depolama banyosundaki çözülmemiş metal seviyesinin korunmasına yardım eder.
- Seçici bir şekilde iş parçalarından metali açık devre çözeltisi veya anodik yolla kaldırarak bakır kaplı yolların oluşturulmasında kullanılır
- Aşınan veya oksitlenen parçaların yeniden üretilmesinde kullanılır.
- Çevrecidir.

Elektrokimyasal depolama hücresinin temel parçaları bir elektrolitle kontak kurabilen bir anot ve bir katottur. Katotta, elektron kazanımı ile reaksiyona giren maddenin indirgenmesi gerçekleşir. Diğer bir deyişle elektronlar katottan maddeye elektrolit

içinde transfer olurlar. Anotta, elektron kaybıyla reaksiyona giren maddenin oksidasyonu söz konusudur. Elektronlar elektrolit içinde anoda doğru transfer olurlar. Her iki elektrotta etkili elektron ileticisi ve genelde metal olmalıdır. (Karbon, özel seramikler, iletken polimerler ve yarı iletkenlerde olabilir) Elektrodepolama işlemlerinde genelde dikkat edilen hususlar şunlardır:

- Akım akışı elektron akışıyla aynı yönlüdür.
- Ara yüzey bölgelerinde yük transferi çok küçüktür ( $=10^{-9}$  m)

Elektrolitler organik tuzların asit veya bazların yeterli iletkenliği sağlayan sulu çözeltilerini içerirler. Belli durumlarda erimiş tuzlar sulu olmayan çözeltiler ve hatta katı hal elektrolitleri özel uygulamalarda kullanılabilir.



Şekil 2.2. Elektrokimyasal depolama hücresi ve hücre ile ilgili temel kavramlar.

Şekil 2.2'de şematik bir elektrodepolama hücresi bulunmaktadır. Şekille ilgili şu yorumlar yapılabilir.

- Anot, katot ve elektrolite ilaveten anodik reaktant ve katodik reaktant ögeleri de elektrokimyasal depolamanın bir parçasıdır.
- Elektrolitteki akım; pozitif yüklü katyonların (Katoda doğru yol alırlar) ve negatif yüklü anyonların (Anoda doğru yol alırlar) iki doğrultuda hareketi ile sağlanır. Elektrotlardaki ve dış elektrik devresindeki akım doğrudan ve elektron hareketi ile sağlanır.
- Elektrokimyasal reaksiyonlar iki elektrotun reaksiyonlarının bileşenidir. Sistem elektriksel olarak nötrdür. Toplam katodik akım anodik akıma eşittir ve terstir.
- Elektrot reaksiyonları elektrolit ve elektrot arasındaki çok sınırlı bir ara yüzeyde cereyan eder. Bu yüzden bir elektronik ve iyonik iletken arasındaki yük transferi gibi elektrot reaksiyonlarının belirlenmesi mümkündür. Böyle reaksiyonlar doğada heterojendir.

### 2.3. Elektriksel Direnç

Bu sahada ilk anlamlı adım Thomson'un elektronu keşfiyle daha sonra Drude (1900, 1902) ve Lorentz (1904-1905) tarafından metallerde serbest elektron modeliyle atılmıştır. Uygulanan bir elektrik alan altında iletkenlik elektronlarının meydana getirdiği akım, elektronların örgü noktaları ile çarpışmaları neticesinde bir dirençle karşılaşmaktadır. Elektronlar, birbiri ile etkileşmeyen mükemmel bir gaz gibi kabul edilerek dağılımı Maxwell-Boltzman istatistiği ile verilebilir.

Herhangi bir dış alan yokken, elektronlar örgü noktaları arasında sıcaklığa bağlı olarak  $v$  hızı ile hareket etmektedirler. Uygulanan bir elektrik alan, elektronları  $E$  alanı doğrultusunda  $v_d$  ortalama sürüklenme hızı ile harekete zorlamaktadır. Bu sürüklenme hızı termal hızdan çok daha küçüktür. Denge durumunda, elektronların hızlarının artması yerine örgü noktalarının tesiri ile elektronlar çarpışmakta ve bu esnada alandan kazandıkları enerjiyi harcamaktadırlar. Bu niceliklerin ışığında akım yoğunluğu

$$j = \frac{1}{3} e^2 E \left[ v^2 \tau v(\varepsilon) \right]_{\varepsilon=\mu} \quad (3)$$

şeklinde elde edilir. (Abrikosov, 1988) İletkenlik,  $j = \sigma E$  şeklinde  $j$  akım yoğunluğu ile  $E$  elektrik alan arasındaki orantı faktörü olarak tanımlanmıştır. Bu durumda iletkenlik ve özdirenç için

$$\sigma = \frac{1}{3} e^2 [v^2 \tau v(\varepsilon)]_{\mu} \quad (4)$$

$$\rho = \left[ \frac{1}{3} e^2 [v^2 \tau v(\varepsilon)]_{\mu} \right]^{-1} \quad (5)$$

ifadeleri yazılabilir. Burada  $v$ , elektronun sürüklenme hızı,  $\tau$  iki çarpışma arasında geçen süre ve  $v(\varepsilon)$ , Fermi yüzeyine yakın elektronların durum yoğunluğunu  $\varepsilon$ , elektronların enerjisini ve  $\mu$ , kimyasal potansiyeli göstermektedir. Deneysel olarak elde edilen iletkenlik ya da onun tersi olan özdirenç, çok küçük sıcaklıklar hariç genellikle sıcaklığın bir fonksiyonudur. Düşük sıcaklıklarda da var olan ve artık direnç olarak bilinen  $\rho_0$  sıcaklıktan bağımsızdır.  $\rho_0$ , numunenin yapısında var olan örgü kusurları ile sonradan bilerek ilave edilen safsızlıklardan kaynaklanır. Bununla birlikte ısı işleme tabi tutulmuş saf metallerde bu artık direnç oldukça küçüktür.  $\rho_0$  artık direnci ölçülen dirençten çıkarıldığında, saf bir numuneden elde edilen değerlerle bir direnç değeri elde edilmektedir ve bu değerler tamamen sıcaklığın bir fonksiyonudur. Magnetik olmayan metallere elde edilen sıcaklığa bağlı direnç değerleri, ideal direnç olarak adlandırılır. Bu özdirenç  $T$  sıcaklığında  $\rho_i(T)$  şeklinde gösterilir ve elektronların birbirleriyle ve örgü titreşimleriyle etkileşmelerinden kaynaklanır. Toplam özdirenç  $\rho_T$  nin sıcaklığa bağlı ve sıcaklıktan bağımsız kısımlarının ayrılması Mattheissen kuralı olarak bilinir ve

$$\rho_T = \rho_0 + \rho_i(T) \quad (6)$$

şeklinde ifade edilir.  $\rho_0$  artık direnci, magnetik ve magnetik olmayan safsızlık atomlarından kaynaklanmaktadır.

Elektriksel iletkenlikte yalnız elektronlar yük taşımakta iken ısı iletkenlikte hem elektronlar hem de fononlar aynı zamanda enerji de taşımaktadırlar. Elektrik yüklerinin taşınması elektronlar tarafından yapılmaktadır. Elektron gazı modelinin parçacık yoğunluğu, elektronların yoğunluğuna eşit olduğundan elektrik akımının, elektron gazı modelinde bir elektriksel alanın etkisi altında meydana geldiği göz önüne alınabilir. Isıl

iletkenlik, ısı akısı ve sıcaklık gradienti arasında orantı sabiti olarak tanımlanmıştır. Buradan;

$$q = -\chi \nabla T \quad (7)$$

şeklinde elde edilir. Bu ifadeden ısı iletkenlik için

$$\kappa = \frac{1}{9} \pi^2 T (v \nu^2 \tau)_\mu \quad (8)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadelerden

$$\frac{\kappa}{\sigma T} = \frac{\pi^2}{3e^2} \quad (9)$$

ifadesi elde edilir. Eşitliğin sağ tarafı sadece elektriksel iletkenliğe bağlıdır ve metalin bir karakteristik özelliğini içermemektedir. Bu sabit Lorentz sabiti olarak adlandırılır. (9) ifadesi Widemann\_Franz kanunu olarak bilinmektedir. Anizotropik metalde elektrik alan ve akım arasındaki ilişki

$$j = \sum_{i,k} \sigma_{ik} E_k \quad (10)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Yalnız  $\sigma$  niceliği yerine  $\sigma_{ik}$  tensörü alınmaktadır. Bu ısı iletkenlik için de geçerlidir. Widemann\_Franz kanunu  $\sigma_{ik}$  ve  $\kappa_{ik}$  bileşenlerinin oranını vermektedir. Eğer çarpışma elastik değilse Widemann\_Franz kanunu sağlanmaz. Metallerin yapılarından kaynaklanan, sıcaklık ve magnetik alan gibi dış fiziksel şartlardan dolayı ortaya çıkan direnç değerleri ayrı ayrı tartışılmıştır.

Serbest elektronun kütlesi  $m$  ve hızı  $\vec{V}$  ise momentumu ile  $\vec{k}$  dalga vektörü arasında

$$m \cdot \vec{V} = \hbar \cdot k \quad (11)$$

bağıntısı vardır. Bu elektronun elektrostatik yükünü  $e$  olarak alır ve  $\vec{E}$  elektrik alanı ile  $\vec{B}$  magnetik alanının birlikte bulunduğu bir ortam içerisinde hareket ettiğini düşünürsek, elektron üzerine etki eden toplam kuvvet;

$$\vec{F} = -e \left[ \vec{E} + (1/c) \vec{V} \times \vec{B} \right] \quad (12)$$

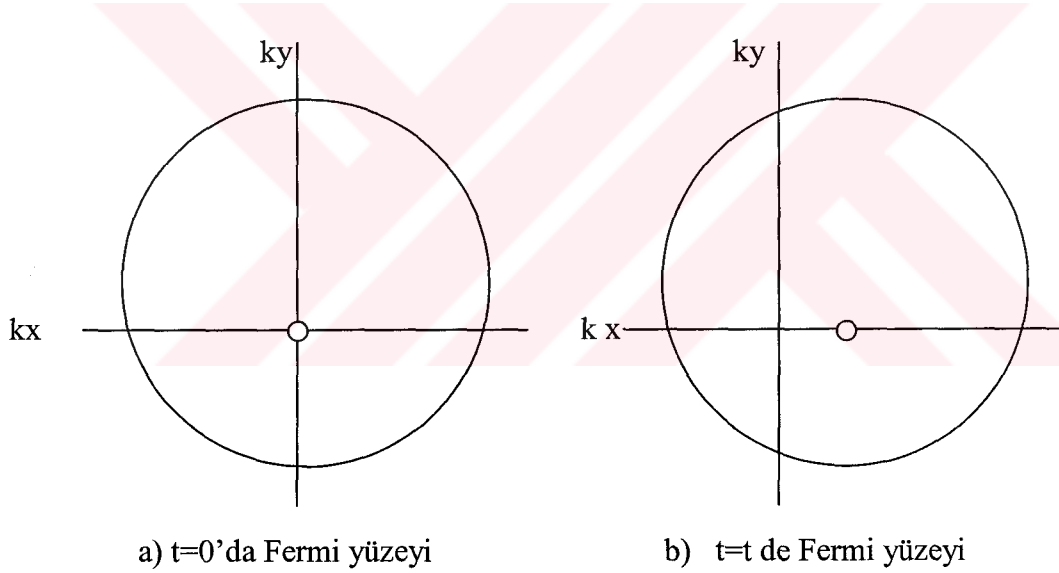
büyükliğünde olacaktır. Burada Newton'un ikinci hareket kanununa göre;

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{V}}{dt} = \hbar \frac{d\vec{k}}{dt} = -e[\vec{E} + (1/c)\vec{V} \times \vec{B}] \quad (13)$$

yazabiliriz. Herhangi bir çarpışma yoksa,  $\vec{k}$  uzayında Fermi küresinin merkezi, uygulanan elektrik alanın etkisiyle, sabit bir hızla yer değiştirir.  $\vec{B} = 0$  ile integral alınırsa

$$\vec{k}_{(t)} - \vec{k}_{(0)} = -e\vec{E}t/\hbar \quad (14)$$

bulunur. Fermi küresinin söz konusu hareketi şekil 2.3'de verilmiştir. Burada, birinci halde, Fermi küresi,  $\vec{k}$  uzayında doldurulmuş elektron yörüngelerini elektron gazının taban durumu için, içerisinde bulundurmaktadır. Her  $k$  yörüngesi için  $-\vec{k}$ 'da doldurulmuş bir yörünge olacağından net momentum sıfır olacaktır.



**Şekil 2.3.** Fermi yüzeyi hareketi

İkinci halde ise,  $t$  zaman aralığı içerisinde etki eden sabit  $\vec{F}$  kuvveti dolayısıyla her yörüngenin sahip olduğu  $\vec{k}$  vektörü “  $d\vec{k} = \vec{F}t/\hbar$  ” kadar artmıştır. Bu sonuçta, bütün Fermi küresinin  $d\vec{k}$  kadar yer değiştirmesi demektir. Böylece toplam momentum,  $N$  tane elektron varsa,

$$P = N\hbar d\vec{k} \quad (15)$$

olur. Kuvvetin etkisiyle sistemin enerjisi de;

$$U = N(\hbar d\vec{k})^2 / 2.m \quad (16)$$

kadar artmış olacaktır. Yukarıda dikkate aldığımız  $\vec{k}$  vektörünün değişimi içerisinde  $\vec{F}$  kuvvetinin  $-e.\vec{E}$  şeklinde olması gerektiğini düşünecek olursak;

$$d\vec{k} = -e.\vec{E}.t / \hbar \quad (17)$$

buluruz. Böylece, Fermi küresi  $d\vec{k}$  kadar yer değiştirerek yeni konumuna varmış olur. Elektronlarla, safsızlık elektronlarının, kristal örgü kusurlarını yada fononların çarpışması ile, yer değiştiren küre belli bir konumda kararlı bir şekilde kalabilir. Bu durumda Fermi küresinin  $\vec{E}$  elektrik alanının etkisi altında kararlı bir konumda kalması durumunda da yer değiştirmesi  $d\vec{k}$  olarak belirlenmiş olacaktır. Çarpışmaların süresi  $\tau$  ile gösterilirse, hızdaki artma miktarı;

$$\vec{V} = -e\vec{E}.\tau / m \quad (18)$$

şeklindedir. Sabit  $\vec{E}$  elektrik alanında birim hacimde her birinin yükü  $q=-e$  olan  $n$  tane elektron varsa, elektriksel akım yoğunluğu;

$$\vec{J} = n.q.\vec{V} = n.e^2.\tau.\vec{E} / m \quad (19)$$

şeklindedir ve bu OHM kanununun ifadesidir. Elektriksel iletkenlik  $\sigma$  göz önüne alınarak;

$$\vec{J} = \sigma.\vec{E} \quad (20)$$

olacaktır. Buradan;

$$\sigma = \frac{n.e^2}{m} \tau \text{ bulunur.} \quad (21)$$

Elektriksel öz direncin, iletkenliğin tersi olarak tanımlandığını dikkate alırsak, öz direnç,  $\rho$  ;

$$\rho = m / (n.e^2.\tau) \quad (22)$$

bulunur. İletim elektronlarının ortalama serbest yol uzunluğu,  $v_f$  Fermi yüzeyindeki hız olmak üzere;

$$l = v_f.\tau \quad (23)$$

olarak alınır, metaller için ortalama serbest yol uzunluğunun bir hayli uzun olduğu görülür.



Özdirencin sıcaklığa bağlılığını ifade eden bağıntı;

$$\rho = [2.(3.k.m.T)^{1/2}] / e^2.n.l \quad (24)$$

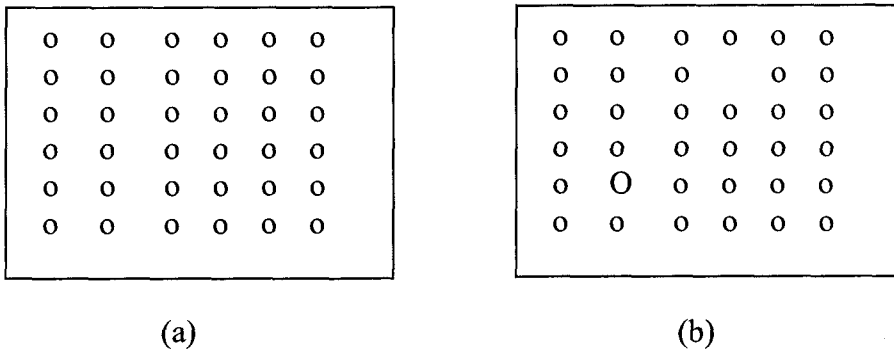
olarak verilmektedir. Her ne kadar klasik teori metallerin elektriksel özdirençlerinin  $\rho \approx T^{1/2}$  ile değiştiğini gösterse de, geniş bir sıcaklık alanını kapsayacak şekilde yapılan deneyler

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)] \quad (25)$$

bağıntısıyla uyum içerisinde olduğunu göstermektedir. Burada  $\rho_0$ ,  $T_0$  referans sıcaklığındaki iletkenin özdirencidir.  $\alpha$  ise seçilen sıcaklık bölgesine uygun özdirencin sıcaklık katsayısıdır (Haliday *et al.* 1981, Kittel 1986).

Bir çok metalin elektriksel özdirencini meydana getiren önemli etken sıcaklığa bağlı elektronların örgü fononlarıyla çarpışması neticesinde oluşan özdirenç  $\rho_L$  ve iletkendeki katkı atomları ve kusurlarla, elektronların çarpışması neticesinde oluşan özdirenç  $\rho_i$  dir.

Düşük sıcaklıklarda fononların sayısı azalacağından, bu sıcaklıklarda iletkendeki katkı atomları ve kusurlarla çarpışmaların neticesinde oluşan özdirenç olan  $\rho_i$  etkin olurken, yüksek sıcaklıklarda fononlarla elektronların çarpışması sonucu oluşan  $\rho_L$  etkin olmaya başlar.



**Şekil.2.4.** Metal içerisindeki elektronların karşılaşılabileceği örgü düzeni ve kusur diyagramı. a) Kusursuz bir örgü düzeni ve b) Kusurlu bir örgü düzeni

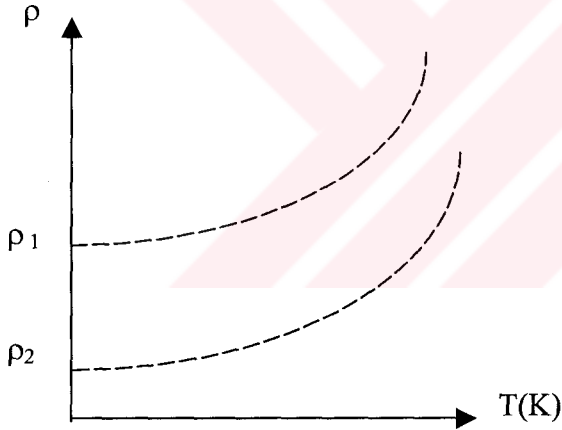
Bu çarpışmaların oldukça iyi bir yaklaşıklıkla birbirinden bağımsız olduğu varsayılır. Buna göre elektrik alan kaldırıldığında momentum dağılımının tekrar taban durumuna dönebilmesi için gerekli durulma zamanı  $\tau$  ;

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_L} + \frac{1}{\tau_i} \quad (26)$$

olur. Burada  $\tau_L$  ve  $\tau_i$  sırasıyla, fononlardan ve katkılardan saçılma zamanlarıdır.

$$\text{Net özdirenç; } \rho = \rho_L + \rho_i \quad (27)$$

olarak yazılırsa (Omar 1975),  $\rho_L$  ısısal fononların,  $\rho_i$  ise elektronların örgü düzenini bozan statik kusurlara da saçılmasının neden olduğu özdirençtir. Örgü kusurları yoğunluğu az ise  $\rho_L$  etkin olur,  $\rho_i$  ise düşük sıcaklık bölgesinde etkindir.



**Şekil.2.5.** Farklı oranlarda katkılanmış iki metal numunesinin özdirençleri

Farklı iki metalin 20 K altında elektrik özdirencinin sıcaklıkla değişimi, şekil 2.5'te verilmiştir. 0 K sıcaklığında ki özdirençlerin farklı olmasının iki numunedeki farklı katkı yoğunluğu ve statik kusurlardan kaynaklandığı sanılmaktadır.

$T \rightarrow 0$  olurken  $\rho_L$  sıfır olduğundan, özdirenç 0 K sıcaklığına uzatılarak elde edilen  $\rho_i(0)$  değerine kalıntı özdirenç denir. Bir metal numunesinin özdirenç oranı, oda sıcaklığındaki özdirencinin kalıntı özdirencine oranı olarak tanımlanır. Bu büyüklük numunenin saflık derecesinin bir ölçüsüdür.

Elektrik özdirencinin sıcaklığa bağlı olan kısmı elektronun ısısal fononlarla ve elektronlarla çarpışma sıklığına bağlıdır. Fononlarla çarpışma sıklığı ısısal fonon yoğunluğuyla orantılıdır.  $\theta$  Debye sıcaklığından yukarı limitte fonon yoğunluğu sıcaklıkla orantılı olur.  $T > \theta$  için  $\rho \propto T$ 'dir.

Bir iletkenin direnci ise özdirencine bağlı olarak

$$R = \rho l / A \quad (28)$$

şeklinde verilir. Burada  $l$  iletkenin uzunluğu,  $A$  kesit alanı,  $\rho$  ise özdirençtir.

$R = \rho l / A$  eşitliğinden  $\rho$  özdirenç değerini burada yerine koyarsak

$$R = \frac{m.l}{n.e^2.T.A} = \frac{V}{I} \quad (29)$$

olur. Burada  $V$  iletkenin iki ucu arasındaki potansiyel farkı ve  $I$  iletkenin üzerinden geçen akım şiddetidir. Dolayısıyla  $V$  ve  $I$  bilinerek eşitliğin diğer tarafındaki nicelikler ve özdirenç hesaplanabilir.

T sıcaklığındaki bir metalin elektriksel direnci

$$\rho(T, H) = \rho_0 + \rho(T) + \Delta\rho_M(T, H) \quad (30)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada  $\rho_0$  iletim elektronlarının safsızlıklardan saçılmaları yüzünden oluşan sabit direnç,  $\rho(T)$  fonon ve magnonlardan saçılmayı içeren direnç ve  $\Delta\rho_M(T, H)$  uygulanan magnetik alan ile dirençteki değişimdir. T sıcaklık, H uygulanan dış magnetik alanı göstermektedir (Yu *et al.* 1996).

### 2.3.1. Elektriksel dirence katkısı olan Fiziksel Faktörler

Metallerde direnç, iletkenlik elektronlarının elektrik alan doğrultusundaki hareketleri esnasında safsızlıklardan (elektron-safsızlık), diğer elektronlardan (elektron-elektron) ve örgü titreşimlerinden (elektron-fonon) saçılmalarından kaynaklanmaktadır.

Bu saçılmalarla ilgili geliştirilmiş bir çok teorik yaklaşım mevcuttur. Bu yaklaşımlar, dirence yukarıda bahsedilen saçılmalarından gelen katkılar hakkında yeterince bilgi vermektedirler. Aşağıda bu saçılmalar ayrı ayrı incelenmiştir.

### 2.3.2. Elektronların Safsızlıklardan Saçılması

Metallerdeki elektronların, momentum uzayındaki  $\varepsilon(p)$  enerji fonksiyonları çok karmaşıktır. Bundan dolayı elektriksel ve ısısal iletkenliklerin gerçek sayısal değerlerini elde etmek oldukça zordur. Buna rağmen ısısal iletkenlik ( $\kappa$ ) ve elektriksel iletkenlik ( $\sigma$ ) katsayılarının sıcaklığa bağımlılıklarını ve büyüklüklerini bulmak kolaydır. Bu katsayıları elde etmek için çoğu durumlarda kinetik eşitliği çözmek yerine serbest yol yaklaşımını kullanmak yeterli olmuştur.  $\sigma$  ve  $\kappa$ 'yı veren ifadeler, safsızlıkların neden olduğu saçılmalar ve kalitatif gözlemlerden elde edilmiştir.

Safsızlık atomlarının elektronlar üzerindeki etkin potansiyelleri hakkında farklı kabuller yapılabilir. Biz burada atomların nötr olduğunu ve atomik boyutlarda katı bir küre modelinin uygulanabildiği durumu göz önüne alalım.

Bu yapıldığında;

$$\sigma \approx \frac{hv}{p_0 c_i Q_{eff}} \approx \frac{h}{m c_i Q_{eff}} \approx \frac{10^{-27} gcm^2 s^{-1}}{10^{-27} g c_i Q_{eff}} \approx \frac{10^{-26} gs^{-1}}{c_i} \dots\dots(31)$$

elde edilir. Burada iletkenliğin sıcaklıktan bağımsız olduğu açıkça görülmektedir.

$$\frac{\kappa}{\sigma T} = \frac{\pi^2}{3e^2} \text{ Widemann-Franz kuralı ve } \sigma \text{ ifadesinden}$$

$$\kappa \propto 10^4 T [K] c_i^{-1} erg / cmsK \dots\dots(32)$$

elde edilir.

### 2.3.3. Elektron-Elektron Saçılması

Elektronların hareket mekanizmalarında etkili olan diğer bir faktör, elektron-elektron saçılmasıdır. Fermi parçacıklarının birbirlerinden saçılmalarının incelenmesi, saçılma ihtimalinin sıcaklığın karesi ( $T^2$ ) ile orantılı olduğunu göstermiştir. Saçılma ihtimali  $\propto \frac{1}{\tau}$  olduğundan,  $\tau$ 'nın,  $T^2$  ile orantılı olduğu görülür. Elektron-elektron etkileşmelerinin potansiyel enerjisi, kinetik enerjiyle aynı büyüklükte olmasından dolayı  $\tau \sim \hbar m / T^2$  olmaktadır.  $e^2 \sim \hbar v$  durumu göz önüne alınarak, iletkenlik ifadesi;

$$\begin{aligned} \sigma &\approx \frac{ne^2 \hbar \mu}{mT^2} \approx \frac{ne^2 p_0 \mu}{m^2 T^2} \approx \left(\frac{\mu}{T}\right) \frac{ne\hbar^2 p_0}{\mu m^2} \approx \left(\frac{\mu}{T}\right) \frac{ne\hbar^2}{p_0 m} \quad \dots(33) \\ &\approx \left(\frac{\mu}{T}\right)^2 \left(\frac{p_0}{\hbar}\right)^3 \left(\frac{\hbar^2}{p_0 m}\right) \approx \left(\frac{\mu}{T}\right)^2 \left(\frac{\hbar}{m}\right)^3 \left(\frac{p_0}{\hbar}\right)^3 \end{aligned}$$

olarak elde edilir.  $\hbar / p_0 \sim 10^{-8}$  cm olduğu dikkate alınırsa  $\sigma$  için yaklaşık olarak,

$$\sigma \sim 10^{-16} (\mu/T)^2 \text{ s}^{-1} \quad \dots\dots(34)$$

değeri elde edilir.

Burada görüldüğü gibi, iletkenlik  $T^2$  ile değişmektedir. Elektronlar arasındaki çarpışmalar elastik olarak göz önüne alınamaz. Çünkü momentum değişimleri  $p_0$  mertebesinde. Bu, elektronların Coulomb potansiyelinin, atomik mesafelerdeki safsızlık potansiyelleri ile aynı şekilde perdelenmesi ve böyle saçılmadaki momentum değişiminin büyüklük derecesinin  $\hbar / r_D \sim p_0$  a eşit olması demektir. Ancak ortalama serbest yol kavramı momentum ve enerjinin değişiminde etkin olan her çarpışmayı anlamada kullanılamaz. Bundan dolayı  $\frac{\kappa}{\sigma T} = \frac{\pi^2}{3e^2}$  Widemann-Franz formülü uygulanabilir. Buna göre termal iletkenlik için

$$C \approx \frac{10^{12} \text{ erg}}{T[K] \text{ cmsK}} \quad (35)$$

elde edilir.

### 2.3.4. Elektron-Fonon Saçılması

Bilindiği gibi, ideal periyodik bir örgüde elektron, serbest bir parçacık gibi hareket etmektedir. Bununla birlikte, örgü noktaları  $T=0$  K da bile sabit değildir. Çünkü, atomlar sıfır nokta titreşimi olarak bilinen titreşimler yapmaktadırlar. Saçılma olaylarının, elektronların örgü titreşimlerinden veya örgü titreşimlerinin elektronlardan enerji ve momentum transfer etmeleriyle sonuçlanmasından dolayı  $T=0$  K da elektriksel direnç yoktur.  $T \neq 0$  K durumunda örgü noktaları kuantumlu titreşimler yapmaktadır. Bu quantalara fononlar denir. Bu durumda saçılma olayları, elektronların fonon soğurması veya yayınlamasıyla sonuçlanır.  $T=0$  K da fononlar olmadığı için soğurulma veya salınma olayları mümkün değildir.

Aynı zamanda elektron gazı, taban durumunda fonon da yayınlamaz. Çünkü fonon yayılımı için gerekli olan enerji yoktur.  $T \neq 0$  olduğu durumlarda soğurulma ve salınma meydana gelebilir. Bu durumda daha önce olduğu gibi  $\sigma$  ve  $\kappa$  nın büyüklük derecesi ve sıcaklığa bağımlılığı bulunabilir.  $k$  nın küçük değerleri yani uzun dalga boyu için ses dalgaları elde edilir ve  $\omega = sk$  dir. Bu bağıntı  $k$  nın büyük değerleri için de doğru sonuç verir.  $k$ 'nın maksimum fiziksel değeri, Brillion Bölgesinin yüzeilerine karşılık gelir. Yani  $K_{\min} \sim \pi/a$  büyüklüğüne eşit olduğundan, fonon frekansının limiti;

$$\omega_D \sim sK_{\min} \sim s\pi a \quad (36)$$

büyükliğindedir. Bu limit Debye Frekansı olarak adlandırılır. Metaller için bu birkaç yüz derece olduğundan  $\hbar/a \sim p_0$ , elektronların Fermi momentumudur.  $\hbar\omega_D \sim sp_0$  yaklaşımı yapılabilir. Bose dağılımını kullanarak fononların sayısı  $n_k$ ,

$$n_k = (e^{\hbar\omega/T} - 1)^{-1} \quad (37)$$

şeklinde yazılır.

Bu konuda teorik olarak çalışmalar mevcut olup hala araştırmacıların ilgi odağı olmaktadır (Cote *et al.* 1981, Harris *et al.*, Rao *et al.* 1983, Ziman 1961, Evans *et al.* 1971). Bu çalışmalarda, ilk olarak Zimann 1961 tarafından yapılmıştır.

Evans ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş ifadeler kullanılmıştır. Örgü bozukluklarının potansiyellerinden elektron saçılmaları temel alınarak yapılmıştır, bu çalışmalarda direncin sıcaklığa bağımlılığı

$$\rho(T) = \frac{30\pi^3 \hbar^3}{me^2 k_F E_F \Omega} \sin^2[\eta_2(E_F)] S_T(2k_F) \dots\dots\dots(38)$$

şeklinde verilmektedir. Bu ifadeye  $k_F$  ve  $E_F$  sırası ile Fermi dalga faktörü ve Fermi enerjisidir.  $\Omega$  atomik hacim  $\eta(E_F)$ , iyon korlarından elektron saçılmalarını vermektedir. Bu şartlar altında dirence oda sıcaklığından düşük sıcaklıklarda numunenin yapı faktörü ve alaşım miktarlarından dirence gelen katkı

$$\rho(T) = \frac{30\pi^2 \hbar^3}{me^2 k_F^2 E_F \Omega} \sin^2[\eta_2(E_F)] \left\{ W_k(0) + 4W_k(0) \frac{\pi^2}{6} \left[ \frac{T}{\theta_D} \right]^2 \right\} T \ll \theta_D \dots\dots(39)$$

veya

$$\rho(T) = \frac{30\pi^2 \hbar^3}{me^2 k_F^2 E_F \Omega} \sin^2[\eta_2(E_F)] \left\{ S_0(2k_F) + \left[ \frac{2\pi}{\theta_D} \right]^2 \frac{W_0}{3} [1 - S_0(2k_F)] T^2 \right\} T \ll \theta_D \quad (40)$$

şeklinde verilmiştir (Roy *et al.* 1985, Kaul *et al.* 1986).

#### 2.4. Metallerde Magnetorezistans

Bu bölümde metallerin magnetik alan içerisindeki elektriksel iletkenlikleri incelenmiştir. Son yıllarda teorik fizikçiler gazlar, metaller ve plazmalarda iletkenlik problemlerine geliştirilmiş çözümler üretmek için büyük çaba harcamışlardır. Elektriksel ölçümler elektriksel iletkenlik olaylarını anlamının alışıla gelmiş bir yoludur.

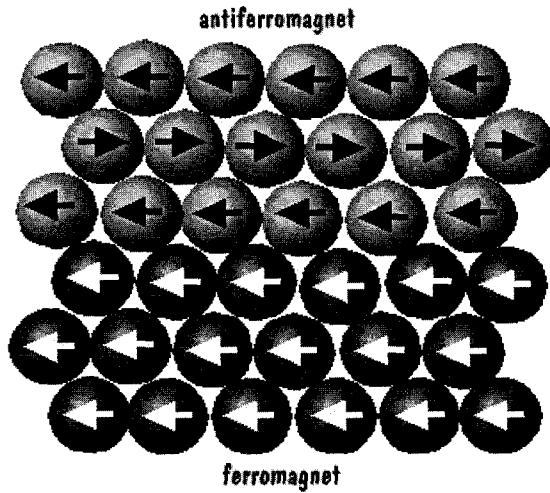
İletkenin öz direncinde ve dolayısıyla direncinde bir dış magnetik alan etkisiyle meydana getirilen değişiklik magnetorezistans olarak bilinir. Bu olay magnetik alan etkisindeki

elektronların saçılmasının magnetik alan yokken görülen saçılmadan farklı olmasının bir sonucudur.

Magnetorezistansın fiziksel orijini spin-orbit çiftleniminde yatar. İçinden akım geçen bir iletkenine magnetik alan uygulandığında her bir çekirdek etrafındaki elektron bulutu dağılımının şekli değişir. Bu değişiklik iletim elektronlarının farklı şekilde saçılmalarına yol açar (Callity 1972).

Magnetorezistansı daha iyi anlamak için magnetizma ve ferromagnetizma kavramlarını incelemek gerekir. Magnetorezistans, ferromagnetik maddelerde veya içerisinde ferromagnetik madde bulunduran malzemelerde gözlenebilmektedir.

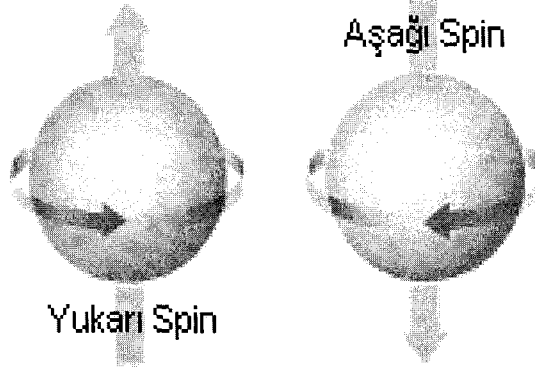
Ferromagnetik bir maddede (Fe, Ni, Co) diğer maddelerden farklı olarak, spin durumunda bir dengesizlik vardır. Bunun sonucunda da net bir iç magnetik alana sahiptirler. Ferromagnetik ve antiferromagnetik düzenleme şekil 2.6'da elektron magnetik momentleri ile gösterilmiştir.



**Şekil.2.6.** Antiferromagnetik ve Ferromagnetik maddelerin iç düzenleri



Elektronlar için, spin kuantum sayısı  $s = 1/2$  dir,  $z$  bileşeni iki bileşene sahiptir. Bunlardan birisi  $-\hbar/2$  (aşağı) ve diğeri de  $+\hbar/2$  (yukarı) olarak bilinirler. (şekil.2.7)



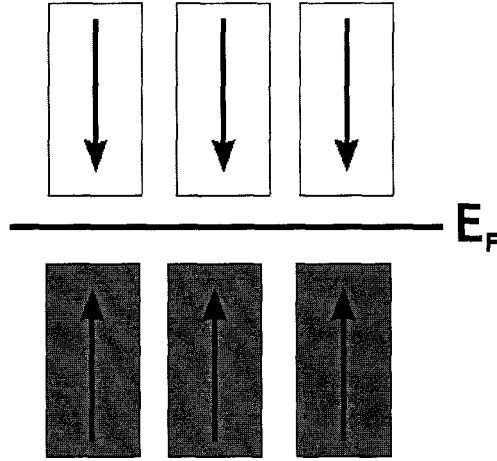
**Şekil.2.7.** Elektronun "yukarı spin" ve "aşağı spin" durumu

Bir magnetik dipol moment yüklü parçacıkların hareketinden ve onların iç spininden kaynaklanır.

$$\mu = (g_l I + g_s s) \frac{e}{2m} \quad \text{olarak verilir. (41)}$$

Kuantum mekanik kanunlarına göre bir elektron iki yönelimden ancak birine dönebilir ; ya kendi magnetik alanı (yüklü parçacığın dönmesinden kaynaklanan) bir dış alanla aynı yöne yönelir ve buna "**yukarı**" yönelimi denilir, yada elektronun dış alanla ters yöneldiği "**aşağı**" yönelimidir.

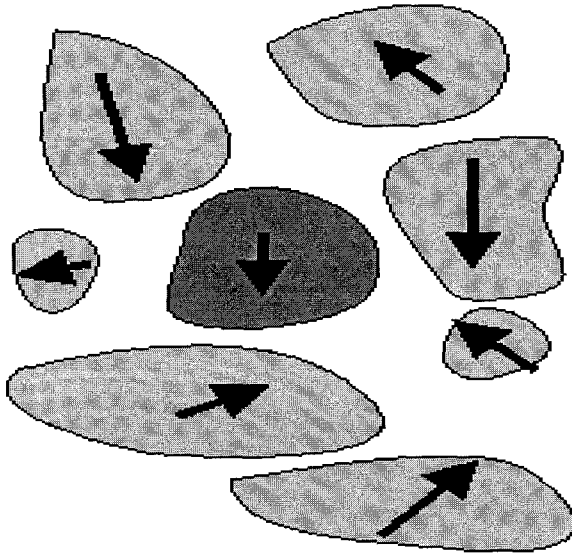
Bir magnetik alanda pek çok elektron magnetik alanın doğrultusunda yönelirse burada yukarı elektronlar, aşağı elektronlardan çoktur denir. Magnetik olmayan maddelerde yukarı ve aşağı spinli elektronların bir birleri üzerine bir üstünlüğü olmadığından uygulanan bir alana tamamen aynı şekilde cevap vermesi beklenir. Magnetik maddelerde yukarı ve aşağı spinli elektronların oldukça farklı bir şekilde dış magnetik alana cevap vermesi beklenir. Serbest elektronlar için saçılma işlemi onların spin durumlarına bağlıdır.



**Şekil.2.8.** Fermi enerjisi bölgesinde yukarı ve aşağı bölgeler

Elektronlar zıt spinli bölgelerden geçerken daha çok saçılırken, paralel spinli bölgelerden daha az saçılarak geçerler (şekil.2.8).

Magnetorezistans gösteren maddelere magnetorezistiv maddeler denir. Magnetorezistiv maddeler bir manyetik alan uygulandığında elektriksel dirençlerinde değişiklik gösteren maddelerdir. Magnetorezistans oranı  $MR = (R_{yüksek} - R_{düşüş}) / R_{düşüş} \times 100$  şeklinde hesaplanır. Magnetorezistans malzemenin büyütülme şekline göre değişiklik gösterir. Tanecikli (Granular) yapıdaki alaşımlarda manyetik atomlar manyetik olmayan bir matriks içerisinde tanecikler halinde şekillenirler (şekil 2.9).



**Şekil.2.9.** Tanecikli bölgelerin, magnetik olmayan bölge içerisindeki yönelimleri

Her bir tanecik grubu bir magnetik momente sahiptir. Bir dış magnetik alan yokken doğrultuları gelişi güzeldir. Manyetik alan taneciklerin manyetik momentlerini ferromagnetik bir şekilde yönlendirdiğinden direnç azalacaktır. Bunun nedeni spin bağımlı saçılmadır. Magnetorezistans açısından tanecik bölgelerinin şekli ve büyüklüğü önemlidir. Tanecikli yapılarda magnetorezistansın görülme nedeni tanecik sınırlarından elektronların saçılması olarak tahmin edilmektedir.

Magnetorezistans katsayısı;

$$\mu = (\Delta\rho / B^2 \rho_0) = \left\{ \left[ \rho_{(B)} - \rho_{(0)} \right] / B^2 \rho_{(0)} \right\} \quad (42)$$

olarak tanımlanır. Burada  $\Delta\rho = \rho_{(B)} - \rho_{(0)}$  olup dirençteki değişimdir.  $\rho_{(B)}$ ,  $B$  magnetik alanı uygulandığında numune öz direnci,  $\rho_{(0)}$  ise  $B$  magnetik alanı yokken ölçülen öz direnç değeridir. Ayrıca;

$$\begin{aligned} \Delta\rho / \rho_0 \cdot B^2 &= \left[ \rho_{(B)} - \rho_{(0)} \right] / \rho_{(0)} \cdot B^2 \\ &= \left[ V_x(B) - V_x(0) \right] / V_x(0) \cdot B^2 \end{aligned}$$

$$V_x(B) = \frac{1}{2} \left[ V_x(B) |I_+ - V_x(B) |I_- \right] \text{ ve}$$

$$V_x(0) = \frac{1}{2} (V_{xI+} - V_{xI-}) \quad (43)$$

olup,  $V_x(B)$  ve  $V_x(0)$  değerleri  $\Delta\rho / \rho_0$  ifadesinde yerine yazılıp magnetorezistans katsayısı bulunabilir. Magnetorezistans sıcaklığa da yakından bağlıdır. Metal ve metal alaşımlarında sıcaklık arttıkça magnetorezistansın azaldığı görülmektedir.

Metallerde, yük taşınmasının kuantum teorisi ile ilgili bir çok öncü makaleler yayınlanmıştır. Magnetorezistansın klasik teorisi, Wilson ve Zyman tarafından geliştirilmiş ve katılarda nitelikli bir şekilde ele alınmıştır. Deneysel sonuçların analizleri, doğrudan Fermi yüzeyi ve onun şekline dayanmaktadır.

Magnetorezistansla, metal ve yarı iletkenlerin magnetik alana yerleştirildikleri zaman elektriksel dirençlerindeki değişim kastedilmektedir. En ilginç etki, x eksenini

doğrultusunda yönelmiş ince uzun bir tele, aynı doğrultuda dc elektrik alanı ve buna dik doğrultuda homojen bir  $H_z$  magnetik alanının uyguladığı yani, enine magnetorezistans ölçümünde gözlenmiştir. Cyclotron frekansı ve relaksasyon zamanının çarpımı 1 den çok büyük yani  $|\omega_c|\tau \gg 1$  olduğu durumlarda, çarpışma olaylarının ayrıntıları bastırılarak Fermi yüzeyi incelenmiştir. Yukarıda tanımlanmış, standart olarak kabul edilen geometride zayıf magnetik alan ( $|\omega_c|\tau \ll 1$ ), direnci  $H^2$  ilave bir terim kadar artırmaktadır. İlave terim  $(\omega_c\tau)^2$  büyüklük mertebesinde olabilir yani,

$$\frac{R(H) - R(0)}{R(0)} \approx (\omega_c\tau)^2 \dots\dots\dots(44)$$

dir. Bir kristalin enine magnetorezistansı,  $|\omega_c|\tau \gg 1$  olduğu yüksek magnetik alanın var olması durumunda bir birinden farklı üç durum sergileyebilir (Nickel 1995).

- Direnç doyuma ulaşabilir, bu durumda H den bağımsızdır. Bu değer sıfır magnetik alandaki değerden birkaç katı olabilir. Doyum, ölçüm yapılan doğrultudan bağımsızdır. Bu durum, kapalı Fermi yüzeyine sahip Al, Na ve Li gibi kristallerde görülür.
- Direnç bütün kristal yönelimleri için alanla artmaya devam eder. Bu durum, elektron ve boşluk sayıları eşit olan Bi, Sb, W ve Mo gibi kristallerde görülmektedir.
- Direnç bazı kristal doğrultularında doyuma ulaşır fakat diğerlerinde ulaşmaz. Bu son durum, magnetik alanın bazı doğrultularında açık yörüngelere sahip Fermi yüzeyli Cu, Ag, Au, Mg, Zn, Cd, Ga, Ta, Sn, Pb ve Pt kristalleri kapsamaktadır. Bu, bir magnetik alanda direncin olağan üstü bir anizotropisi olduğunu gösterir.

Magnetorezistans Fermi yüzeyinin kapalı ya da açık yörünge içerdiğini ve açık yörünge uzandığı doğrultuları göstermektedir. Açık Fermi yüzeyinin açık yörüngeler içermediği bazı geometrik durumlarda mümkündür.

Metallerde iletkenlik bandı etkindir. Yarı iletkenlerde ise boşluklar ve elektronlar akım iletiminde etkindir. Buradan Zyman tarafından iki bant modeli göz önüne alınarak geliştirilmiş magnetorezistans modelini inceleyelim ve sonucun metallere nasıl uygulanacağını tartışalım. Taşıyıcıların elektron ve boşluklardan oluştuğunu kabul edelim. Bu durumda Boltzmann iletkenlik ifadesi kullanılarak, magnetik alanın var olduğu ortamlarda her bir taşıyıcı için ayrı ayrı

$$E = \frac{1}{\sigma_1} J_1 + \beta_1 H_x \frac{1}{\sigma_1} J_1 \quad \dots(45)$$

$$\beta_1 = \frac{e\tau_1}{m_1 c} \quad (46)$$

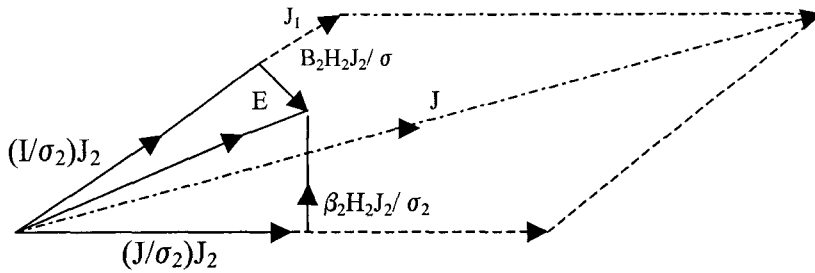
eşitliği elde edilir. Burada  $\sigma_1$ , iletkenliğe elektronlardan gelen katkıdır. Boşluk'lar için aynı eşitlik

$$E = \frac{1}{\sigma_2} J_2 + \beta_2 H_x \frac{1}{\sigma_2} J_2$$

şeklinde elde edilir. Toplam akım  $J=J_1+J_2$  şeklinde olur. Her bir taşıyıcı akımı için uygun çözümler elde edildiğinde toplam akım,

$$J = \left( \frac{\sigma_1}{1 + \beta_1^2 H^2} + \frac{\sigma_2}{1 + \beta_2^2 H^2} \right) E - \left( \frac{\sigma_1 \beta_1}{1 + \beta_1^2 H^2} + \frac{\sigma_2 \beta_2}{1 + \beta_2^2 H^2} \right) H_x E \quad \dots(47)$$

şeklinde elde edilmiş olur. Bu ifade geometrik olarak şekli, şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.10. İki taşıyıcı bandından Hall etkisine gelen katkı

J ile E nin J doğrultusundaki bileşeni kıyaslandığında  $\rho$ ,

$$\rho = \frac{(J.E)}{J^2}$$

$$\rho = \frac{\left(\frac{\sigma_1}{1 + \beta_1^2 H^2} + \frac{\sigma_2}{1 + \beta_2^2 H^2}\right)}{\left(\frac{\sigma_1}{1 + \beta_1^2 H^2} + \frac{\sigma_2}{1 + \beta_2^2 H^2}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_1 \beta_1 H}{1 + \beta_1^2 H^2} + \frac{\sigma_2 \beta_2 H}{1 + \beta_2^2 H^2}\right)^2} \dots\dots(48)$$

şeklinde yeniden yazılabilir. Magnetik alanın olmadığı durumda ise  $\rho$ ,

$$\rho = \frac{1}{\sigma_1 + \sigma_2} \quad (49)$$

şeklinde dir. Bu eşitlik bazı matematiksel işlemlerden sonra

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_0} = \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} = \frac{\sigma_1 \sigma_2 (\beta_1 - \beta_2)^2 H^2}{(\sigma_1 + \sigma_2)^2 + H^2 (\beta_1 \sigma_1 + \beta_2 \sigma_2)^2} \dots\dots(50)$$

şekline dönüştürülür. Bu ifade magnetorezistans olayının temel özelliğini göstermesinden dolayı önemlidir.  $\Delta\rho$  esasen pozitiftir ve  $\beta_1 = \beta_2$  olduğu zaman sıfıra gider. Fakat, iki farklı taşıyıcı farklı yüke ve farklı kütleye sahip olduklarından yada saçılmadan önce farklı mesafelerde olmalarından dolayı, magnetik alan altında yollarından farklı miktarlarda sapmaktadırlar.

Bundan dolayı elektrik alanın, bu iki farklı tipten kaynaklanan akımı, aynı doğrultuda tutması mümkün değildir.  $\Delta\rho$ , küçük magnetik alan değerlerinde  $H^2$  ile orantılı olarak bir artış göstermektedir. Fakat, yüksek magnetik alanlarda doyuma ulaşmaya meyillidir. Doyuma ulaşma, kapalı enerji yüzeylerin olduğu durumlara bağlıdır. Daha sonra açıklanacağı gibi, bazı kristal doğrultularında  $\Delta\rho$  doyuma ulaşamaz.

Bu ifade, çok farklı taşıyıcı tiplerinin bulunduğu durumlara kolayca adapte edilebilir. Diğer bir değişle, farklı bölgelerinde farklı  $\beta$  ya sahip kompleks Fermi yüzeylerinin bulunduğu ortamlarda da geçerli olabilir. Metallerde magnetorezistans,  $\beta$  nın farklı oluşundan yani, Fermi yüzeyi üzerinde, etkin kütlelerin yada  $\tau$  nun farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Fakat Fermi yüzeyinin,  $\Delta\rho$  nun elde edilen değerinden çıkarılması oldukça karmaşıktır.

Magnetorezistans etkisinin deneysel olarak tespiti için iki çeşit magnetorezistans katsayısı hesaplanabilir. Enine magnetorezistans; akımın doğrultusu ile magnetik alanın doğrultusunun bir birine dik olduğu zaman, boyuna magnetorezistans ise akımın doğrultusuyla magnetik alanın doğrultusunun bir birine paralel olduğu zaman elde edilir. Bu katsayıları tespit etmek için belli geometrik şekillerde kesilen numunenin akım gecen uçları arasındaki kontaklardan potansiyel farkı ölçümü almak gerekir. Ölçüm sırasında oluşabilecek olan termal potansiyelleri bertaraf etmek için akımın ve magnetik alanın yönleri ters çevrilerek ölçümlerin ortalamasının alınması gerekir (Putley 1960).

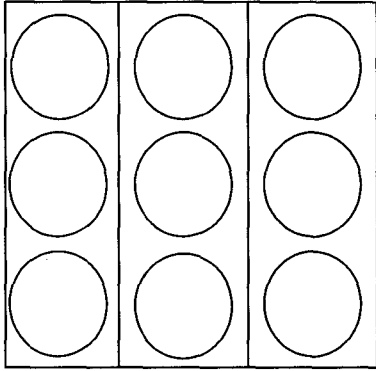
#### 2.4.1 Magnetik Alanda Elektronların Hareket Denklemleri

Elektronların elektrik ve magnetik alanlardaki hareketleri, Fermi yüzeyinin geometrik şekli göz önüne alınarak kapsamlı bir şekilde açıklanmıştır. Brillion bölgesi yerine tüm ters örgü vektörünü göz önüne alalım. Bu durumda elektronların enerjisi, sanki momentumun (quasimomentum) periyodik bir fonksiyonu şeklindedir. Bu durum  $\varepsilon(p)$ =sabit olan bütün yüzeyler, özellikle de Fermi yüzeyleri için geçerlidir. Fermi yüzeyleri açık ve kapalı olmak üzere iki gruba ayrılır.

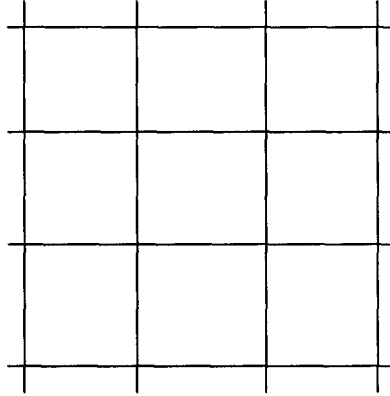
##### a) Kapalı Fermi Yüzeyi

Ters örgü uzayında, periyodik kapalı bir yüzey vardır. Fermi yüzeyinin Brillion bölgesinin sınırları içerisinde yerleştiği durumlarda, Fermi yüzeyi içerisindeki bir

vektör, ters örgü vektöründen daha küçüktür. Bundan dolayı bir tek Brillion bölgesinden bahsediyorsak, Fermi yüzeyi, bölge sınırlarına dokunmaz. Bu durum şekil 2.11.a ve b’de iki boyutlu olarak gösterilmiştir.



a)  
(Kapalı Fermi Yüzeyi)



b)  
(Açık Fermi Yüzeyi)

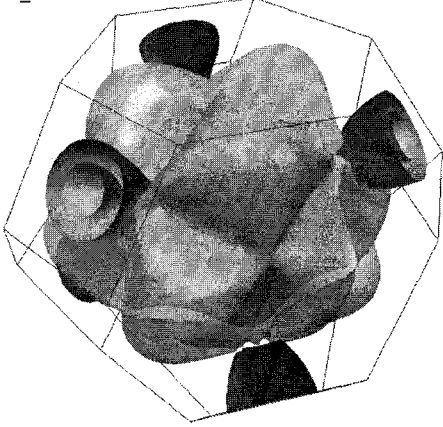
**Şekil 2.11.** Kapalı ve açık fermi yüzeylerinin şekli

### b) Açık Fermi Yüzeyleri

Açık Fermi yüzeyleri, ters örgü noktalarının tamamını kapsayacak şekildedir. Fermi yüzeyi göz önüne alındığında, Fermi yüzeyinin Brillion bölgesi sınırlarına dokunduğu görülür. İki boyut için bu durumlar şekil 2.11.b’de görülmektedir. kobalt, bakır ve nikel için deneysel olarak elde edilmiş şekiller sırası ile, şekil 2.12. a, b ve c’de üç boyutlu olarak görülmektedir.

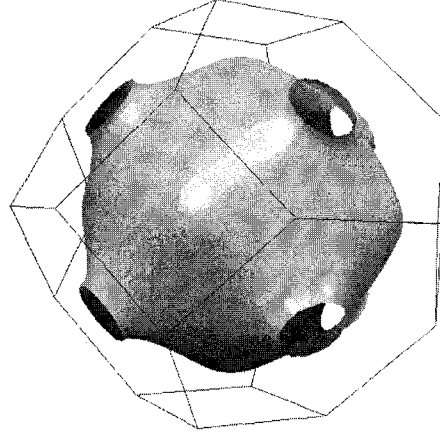


Co\_fcc



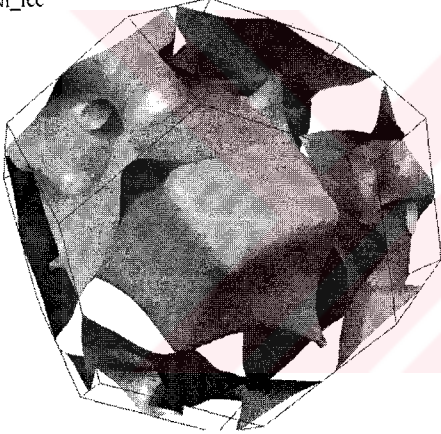
a) Üç boyutlu uzayda kobalt elementinin Fermi yüzeyi

Cu



b) Üç boyutlu uzayda bakır elementinin Fermi yüzeyi

Ni\_fcc



c) Üç boyutlu uzayda nikel elementinin Fermi yüzeyi

**Şekil 2.12.** Üç boyutlu uzayda a) kobalt, b) bakır, c) nikelin Fermi yüzeyleri

Magnetik alanda hareket eden bir elektronu göz önüne alalım. Eğer kuantum etkileri ihmal edilirse hareket denklemi

$$\vec{k} = \frac{e}{c\hbar} \vec{v} \times \vec{H} \dots\dots\dots(51)$$

şeklinde olur. Bu durum  $\vec{k}$  dalga vektörü üzerindeki değişimin;

- a) Magnetik alana dik olması

b) Enerji yüzeyine dik olan  $\vec{v}$  ye de dik olması demektir.

Fakat bilindiği gibi elektronlar en önemli rolü  $\varepsilon = \mu$  olduğu Fermi yüzeyi komşuluğunda oynamaktadır. Bu durumda  $\vec{k}$  dalga vektörü magnetik alana dik bir düzlemle Fermi yüzeyinin arakesiti tarafından belirlenmiş yörüngeyi kuşatmaktadır. Eğer Fermi yüzeyi kapalı ise, bütün tesir kesitleri kapalı eğriler şeklinde olur. Fermi yüzeyi açık ise, tesir kesitleri kapalı yada açık olabilir, yani ters örgü noktalarını kapsayabilir.

Magnetik alan basit olarak göz önüne alınan bir noktayı, enerjisinde bir değişiklik yapmadan yörünge üzerinde hareket etmeye zorlamaktadır. Şayet bu esnada elektron herhangi bir noktadan saçılmamışsa bu durumda bu yörüngeyi periyodu;

$$T = \frac{2\pi}{\Omega} = \frac{c\hbar}{eH} \oint \frac{d\vec{k}}{v_{\perp}} \dots\dots(52)$$

şeklinde olacaktır. Burada  $v_{\perp}$ ,  $v$  nin  $k$  noktasında  $H$  magnetik alanına dik düzlemdeki bileşenidir.  $\Omega$  ise, cyclotron frekansı olarak isimlendirilir. Cyclotron kütlesi yalnız kapalı yörüngeler için tanımlanabilir. Eğer  $\vec{k}$ =sabit yörüngeyi düşük enerji bölgesini çevreliyorsa  $m^*$  pozitifdir. Bu durumda taşıyıcılar elektronlardır. Bu aynı zamanda tabana yakın bölgede yoğunlaşmış bir banttaki az sayıda elektronun bulunduğu durumu içerir. Bunun tersi, eğer yörünge sabit yüksek enerji bölgesini çevreleyen kapalı bir yörünge ise  $m^*$  negatif olacaktır. Bu durumda taşıyıcıların yükleri elektronun yüküne zıt, yani pozitif yüklü kütleyle sahip olan boşluklardır. Serbest elektron için basit olarak,

$$\oint \frac{dk}{v_{\perp}} = \frac{m}{\hbar} \oint \frac{dk}{k_{\perp}} = \frac{2\pi m}{\hbar} \dots\dots\dots(53)$$

$$T = \frac{2\pi m^* c}{eH} \dots\dots\dots(54)$$

$$\Omega = \frac{eH}{mc} \dots\dots\dots(55)$$

şeklinde elde edilir. Burada  $m^*$ , Cyclotron kütlesi olarak isimlendirilir. Bu, elektronun kütlesinden farklıdır ve tamamen elektronun izlediği yörüngenin bir özelliğidir. Fermi yüzeyine dik bir yörüngede elektronun hızı;

$$v_{\perp} = \frac{1}{\hbar} \frac{d\varepsilon}{dk_{\perp}} \dots\dots\dots(56)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $dk_{\perp}$ , Fermi yüzeyine dik bir yörünge düzlemi üzerinde k da ki artışı göstermektedir. (38) ve (47) ifadelerini kullanarak Cyclotron kütlesi için

$$m^* = \frac{eH}{c} \frac{1}{2\pi} \frac{c\hbar}{eH} \oint \frac{dk}{v_{\perp}} \dots\dots\dots(57)$$

$$= \frac{\hbar^2}{2\pi} \oint \frac{dk_{\perp}}{d\varepsilon} dk = \frac{\hbar^2}{2\pi} \frac{\partial A}{\partial \varepsilon}$$

ifadesi elde edilir. Burada A magnetik alana dik düzlem üzerinde yörünge tarafından çevrelenmiş alanı göstermektedir.

Momentum değişimi, koordinat uzayındaki büyüklükler cinsinden,

$$dk = \frac{e}{c} [drH] \quad (58)$$

şeklinde yazılabilir.

Bu, elektron yörüngelerinin, H magnetik alanına dik bir düzlemdeki iz düşümlerinin tekrarlanması demektir. Eğer  $P_z = \text{sabit}$  düzlemi ile Fermi yüzeyinin arakesiti kapalı bir yörünge ise koordinat uzayındaki yörünge, H magnetik alanı boyunca helix şeklinde olacaktır. Eğer momentum uzayındaki yörünge açık ise (x,y) düzleminde de açık bir yörünge olacaktır.

### 2.4.2. Zayıf Magnetik Alanda Galvanomagnetik Olaylar

Burada saçılma olaylarının baskın olduğu zayıf magnetik alan durumu göz önüne alınmıştır. Saçılma etkisinin büyüklük mertebesi zayıf magnetik alan durumu göz önüne alınarak bulunmuştur.  $n_e = P_0^3 / (3 \pi \hbar^3)$ , izotropik model de elektron yoğunluğudur.

Eğer akım yalnız x doğrultusunda ise,  $J_y = 0$  olur.

Bu durumda,

$$E_y = \Omega \tau E_x \quad j_x = \frac{n_e e^2 \tau}{m^*} E_x \quad \dots\dots\dots(59)$$

elde edilir. Bu durumda magnetik alan iletkenliği değiştirmez. Bununla birlikte magnetik alan, akım ve magnetik alana dik bir elektrik alanın meydana çıkmasına yol açar.

Bu durum bilinen Hall olayıdır ve Hall sabiti;

$$R = \frac{E_y}{H J_x} = \frac{eH}{m^* c} \frac{\tau E_x m^*}{n_e e^2 \tau H E_x} = (n_e c)^{-1} \quad \dots\dots\dots(60)$$

şeklinde tanımlanır.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde numunelerin hazırlanmasında kullanılan elektrodepolama sistemi ve bu sistem ile büyütülen CuCo ve CuCoNi alaşım filmlerinin hazırlanması için kullanılan işlemler sırası ile verilmiştir. Ayrıca alaşım filmlerin fiziksel özelliklerini tespit etmek için yapılan analizler, kullanılan deneysel teknikler ve yapılan ölçümler izah edilmiştir. Film oluşturulmasında, elektrokimyasal depolama yöntemi kullanılırken elde edilen filmlerin kristal yapıları X-ışını difraksiyon spektrometresi ile, konsantrasyon miktarları EDS (Enerji Dispersive Spektrometre) analizi ve Atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile, yüzey topolojileri ve film kalınlıkları Tarayıcı Elektron Mikroskobu (SEM) ve atomik absorpsiyon ile, elektriksel ve magnetik karakteristikleri dört nokta prob metodu ile yapıldı.

#### 3.1. CuCo ve CuCoNi Alaşım Filmlerinin Özellikleri

- Tanecikli veya çok katlı yapılarda depolanabilmektedirler.
- İyi elektriksel iletkenliğe sahiptirler.
- Cu ve Co'ın yine Cu ve Ni'in normalde oda sıcaklığında birbirleri içerisinde çözünme özellikleri yoktur.
- Elektrokimyasal depolama dışındaki depolama çeşitlerinde ancak çok yüksek sıcaklıklarda oluşturulabilmektedirler.
- 500 °C nin altındaki sıcaklıklarda bakır matriks içerisinde yalnızca %2'den daha az miktarda kobalt çözünebilmektedir.
- Üretim yöntemine göre kristal yapıları ve magnetorezistans etkileri değişmektedir.
- Bakır, matriks element oluştururken kobalt ve nikel yüzde konsantrasyon miktarlarına bağlı olarak bu matriks içerisindeki örgüde yer bulmaktadır.

Magnetik olmayan bakır içine gömülen magnetik kobalt veya nikel elementleri  $10^{-9}$ - $10^{-10}$ m büyüklüğünde kümeler halinde bulunmaya meyillidirler.

- Magnetik tanecikler, magnetik olmayan matris içerisinde üzüm salkımları şeklinde bir araya gelmekte ve ısı işlem neticesinde bu salkımların bir araya toplanarak hacimlerini artırdıkları gözlenmektedir.
- Alaşım filmin magnetik özelliği magnetik parçacıkların dağılım şekline bağlıdır.
- Alaşım filmin özelliği elektrodepolama şartlarına göre değiştirilebilmektedir.
- Magnetik veri kaydı ve bu verilerin okunmasında kullanılan cihazlar, magnetik sensörler, magnetik alan tespiti gibi uygulamalara sahiptirler.

### **3.2. Numunelerin Hazırlanmasında Kullanılan Yöntem Seçimi ve Deney Düzenekleri**

Alaşım filmleri büyütülürken kullanılan yöntemin seçimi, bu işlemler için kullanılan deney düzenekleri, numune hazırlanmasını etkileyen parametreler incelenecektir.

### **3.3. Büyütme Yönteminin Seçimi**

Alaşım filmlerinin elde edilmesi için pek çok teknik bulunmakta olup, elektrokimyasal depolama diğer teknikler üzerine bazı açık üstünlükler sağlamaktadır.

Bunlar:

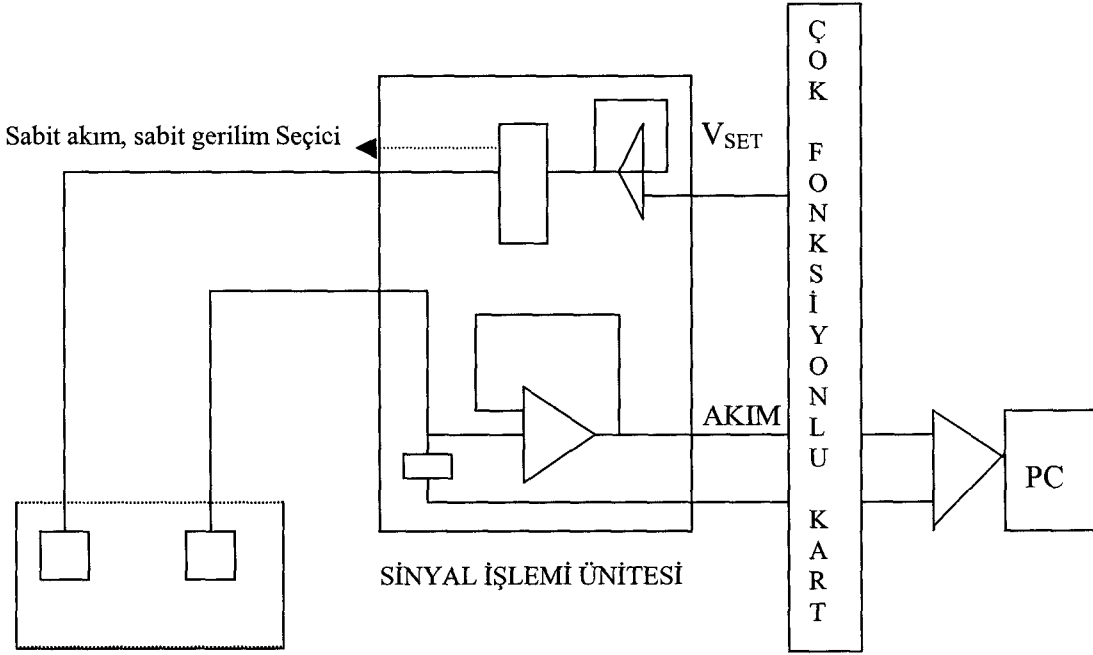
- Elektrokimyasal depolama yardımı ile elde edilecek alaşımın yapı ve özellikleri rahatlıkla kontrol edilebilir.
- İstenilen boyutta alaşım elde edilebilmektedir.
- Yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyulmaksızın oda sıcaklığında çalışmaya imkan tanımaktadır.

- Banyo ortamının asitlik değerini, akım Őiddetini, elektrot potansiyelini, elektrotlar arası uzaklığı, katkı maddelerini değiştirerek farklı yapılara sahip alaşımlar elde etmeye izin verir.
- Oldukça pahalı olan vakum sistemlerini gerektirmeyen bir yöntemdir.
- Diğer üretim sistemleri ile kıyaslandığında nispeten basittir.
- Maliyet açısından ucuz numune elde etmeye yarar.
- Çevrecidir.
- Yalnızca depolama yapılan elektrot üzerine madde depolandığından madde israfı olmaz.
- Depolama yapılan sisteme madde bulaŐarak kirliliğe neden olmaz.
- Elektrokimyasal depolamanın bir dezavantajı, film büyütülecek altlığın iletken olma gerekliliğidir.

### 3.4. Elektrokimyasal Depolama Düzenegi ve Elektrokimyasal İşlemler

Şekil 3.1'de CuCo ve CuCoNi alaşım filmlerinin büyütüldüğü elektrodepolama cihazının Şematik gösterimi verilmiştir. Sistem bir bilgisayar, galvanometre potansiyometre sistemi, iki elektrot, ampermetre, voltmetre, karıŐtırıcı ve elektrolit kabından oluŐmaktadır. Filmin büyütülmesinde sabit akım sağlanması ve depolama sürelerinin ayarlanması tamamen bilgisayar kontrolü ile yapılmıştır. Bu işlem özel bir yazılım tarafından kontrol edilmiştir. Anot elektrot platin olarak, katot elektrot ise filmin üzerine büyütüldüğü alüminyum altlık olarak seçilmiŐtir.

Banyo kompozisyonunu oluşturan elementlerin tuzları saf su içerisinde çözünerek iletken elektrolit oluşturulmuş ve uygulanan sabit akım sayesinde depolama işlemi baŐlatılmıŐtır. Elektrolit içerisindeki Cu ve Co iyonları (CuCoNi alaşımları için Ni iyonları) alüminyum altlık (katot) üzerine depolanmıŐtır.



Şekil 3.1. CuCo ve CuCoNi alaşım filmlerinin büyütüldüğü sistem diyagramı

### 3.5. Banyo Bileşimi ve Elektrodepolama Şartları

PH değişiminin CuCo alaşım filmlerinin yapısını nasıl değiştirdiğini test etmek için yapılan deneylerde, CuCo alaşım filmleri alüminyum levha üzerine elektrokimyasal depolama yöntemiyle büyütüldü. Elektrolit olarak kullanılan terkip:

$\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_3\text{BO}_3$ ,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  olarak düzenlendi.

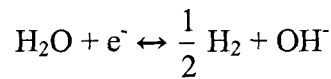
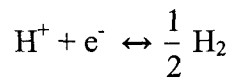
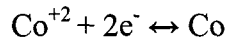
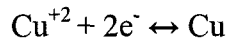
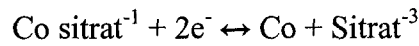
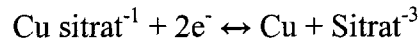
Burada  $\text{H}_3\text{BO}_3$  (Borik asit),  $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$  (Sodyum Sitrata) ve  $\text{MgSO}_4$  (magnezyum sülfat) tuzları film üzerindeki oluşması muhtemel Hidrojen tabakasını engellemek, elementlerin elektrot potansiyellerini aynı düzeye getirmek ve akımı kararlı bir düzeyde tutmak amacıyla katılmıştır. Sodyum sülfat aynı zamanda pH kararlılığı sağlamaktadır, kullanılmadığı banyolarda pH'da dengesizlik gözlenmektedir. CuCo filmlerinde, asitlik derecesi pH, sırası ile 5,00 – 5,25 -5,50 - 5,75 – 6,00 - 6,25 değerlerinde tutularak değişik şartlarda CuCo alaşım filmleri üretildi.



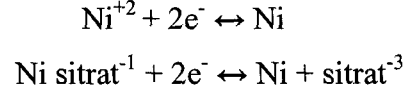
CuCoNi filmlerinin oluşturulmasında kullanılan kimyasal terkipte ise, CuCo filmlerindeki bileşenler sabit tutularak sırasıyla elektrot içerisine 1 g/l, 5 g/l, 10 g/l, 15 g/l, 20 g/l, 25 g/l, 30 g/l, 35 g/l, 40 g/l lik miktarlarda NiSO<sub>4</sub>.6H<sub>2</sub>O tuzu eklendi ve 9 CuCoNi filmi elde edildi. Filmler sabit akım altında üretildi. Elektrodepolamanın akım yoğunluğu 5 mA / cm<sup>2</sup> olarak bilgisayar kontrolünde sabit tutuldu.

CuCoNi alaşım filmlerinin yapılmasında ise pH her zaman 6 değerinde sabit olarak tutuldu. Depolama süresi 45 dakika olarak seçildi. Depolama oda sıcaklığında yapıldı. Altlık olarak alüminyum film kullanıldı, alüminyum altlığın bir yüzeyi kapatılarak depolamanın yalnızca altlığın bir yüzeyine (ön yüz) yapılması sağlandı. Filmler 4x4 mm olarak kesildi ve ölçüme hazır hale getirildi.

Yukarıda bileşenleri verilen CuCo ve CuCoNi banyolarında katotta oluşturulan reaksiyonlar serbest Cu<sup>+2</sup>, Co<sup>+2</sup>, Ni<sup>+2</sup> ve H<sup>+</sup> iyonları ile Cu, Co ve nikelin sitrat komplekslerinin indirgenmesi elektrodepolama da esas rolü oynamaktadır. CuCo çözeltilisindeki Cu<sup>+2</sup> ve Co<sup>+2</sup> iyonları sitrat<sup>-3</sup> ile Cu sitrat<sup>-1</sup> Co sitrat<sup>-1</sup> kompleksi yaparken CuCoNi banyosundaki Cu<sup>+2</sup>, Co<sup>+2</sup>, Ni<sup>+2</sup> iyonları Sitrat<sup>-3</sup> ile Cu sitrat<sup>-1</sup> Co sitrat<sup>-1</sup> komplekslerini yaparlar. Gerek serbest Cu<sup>+2</sup> ve Co<sup>+2</sup> iyonları ve gerekse bunların kompleksleri (Cu sitrat<sup>-1</sup> ve Co sitrat<sup>-1</sup>) CuCo banyosunda eş zamanlı olarak hidrojen çıkışıyla katotta indirgenirler.



CuCoNi banyosunda ise yukarıdakilere ilave olarak serbest  $Ni^{+2}$  ve nikelin sitrat kompleksi  $Ni\ sitrat^{-1}$  katotta indirgenir (Podlaha *et al.* 1994).



### 3.6. Alüminyum Altlıkların Elektrodopolamaya Hazırlanması

Elektrokimyasal depolama işleminde temizlik ana prensiplerden birisidir. Film üzerinde oluşabilecek herhangi bir yağ veya oksit tabakası film üzerinde bir depolamaya izin vermeyecek veya hatalı sonuçlara neden olacaktır. Bu nedenle filmler aşağıda sıralanan temizleme işlemlerine tabi tutuldular.

- Perkloretilende 5 dakika alüminyum altlığın yağı alındı.
- Deiyonize su ile iyice yıkandı.
- Alkali kızgın NaOH çözeltisinde dağlandı,
- Deiyonize su ile iyice yıkandı.
- %5'lik  $HNO_3$  çözeltisinde 4-5 saniye bekletildi.
- Deiyonize su ile iyice yıkandı.
- HF'li su içerisinde bir müddet bekletildi.
- Deiyonize su ile iyice yıkandı.

Bu şekilde temizlenen altlıklar daha sonra 1cm x 1cm ebatlarında kesilerek depolamaya hazır hale getirildi.



### 3.1.2. Atomik Absorbsiyon Ölçümleri

Atomik absorpsiyon spektrometresi, atomik absorpsiyon prensibi ile çalışır. Buna göre polikromatik ultraviyole veya görünür bölge ışınının cıva veya sodyum gazı gibi tek atomlu bir ortamdan geçmesi, az sayıda fakat iyi tanımlanmış frekanslar oluşturur. Bu spektrumların oldukça basit niteliği, absorpsiyon yapan parçacıkların muhtemelen az sayıda enerji düzeyine sahip olmasındandır. Uyarılma, yalnızca atomda bir veya birden çok elektronu üst enerji düzeyine yükseltildiği elektronik bir süreçle meydana gelir. Ultraviyole veya görünür ışın, yalnızca en dıştaki veya bağ yapan elektronlarda geçişlere neden olabilecek yeterlikte enerjiye sahiptir. Öte yandan X-ışını frekansları ise, bunlardan birkaç mertebe daha yüksek enerji içerip, atom çekirdeğine en yakın elektronlarla etkileşim gösterebilirler. En içteki bu elektronların elektronik geçişlerini gösteren absorpsiyon pikleri, bu yüzden X-ışınları bölgesinde yer alır.

Alaşım filmlerdeki elementlerin konsantrasyonları ve bu filmlerin kalınlıklarının tayini için aşağıdaki yol takip edildi. Atomik absorpsiyon spektrometresinden ölçülen değerler element konsantrasyon değerleri olarak okunmaktadır. Her bir element için konsantrasyon değeri ayrı ayrı elde edilmektedir. Girişim olayından dolayı alaşımı oluşturan elementlerin alınan değerleri, bir birleri üzerine girişim etkisi bulunan bağlı değerlerdir. Filmler birer alaşım oldukları için spektrometreden saf konsantrasyon değerleri yerine Co ve Cu nun birbirleri üzerine girişim yapmış değerleri okunmaktadır. Elementlerin saf konsantrasyonunu elde etmek için yani girişim (interference) den katkıları yok etmek için konsantrasyon değerlerinin hesaplanmasında;

$$y = y' + 0,228.x \quad \dots\dots\dots(61)$$

$$x = \frac{x' + 0,181.y'}{0,96} \quad \dots\dots\dots(62)$$

düzeltilmeleri kullanıldı. Burada;

- $x$ : Filmdeki Co in Cu katkısından arınmış konsantrasyon değeri,  
 $y$ : Filmdeki Cu in Co katkısından arınmış konsantrasyon değeri,  
 $x'$ : kobaltın bakır etkisi altındaki spektrometreden okunan değeri,  
 $y'$ : bakırın kobalt etkisi altındaki spektrometreden okunan değeridir.

Bu hesaplamalar için konsantrasyonları bilinen, her birinin hacmi 50 ml olan saf bakır, saf kobalt ve saf nikel çözeltilerinden ve bunların bir birleri ile belirli oranlarda karıştırılmış hallerinden oluşan referans konsantrasyonlar hazırlandı. Saf ve katkılı durumlar için konsantrasyon değerlerinin değiştiği ve gerçektende bir alaşım etkisinin olduğu anlaşıldı. Bu etki denklem 50 ve 51'de verildiği şekli ile yok edilerek her bir elementin bir biri üzerine etkisi yok edildi.

Atomik absorpsiyon ölçümleri için numuneler 5mm x 5 mm boyutlarında kesilerek 5 ml'lik HNO<sub>3</sub> te çözülmeye bırakıldı. Tamamen çözülen alaşım filmleri 50 ml'ye saf su eklenerek tamamlandı

### 3.1.3. Filmlerin Kalınlıklarının Tespiti

Alaşım filmlerinin kalınlık tespitinde, kütle, yoğunluk ve hacim ilişkisi olan  $m = \rho.A.t$  bağıntısı kullanılarak yapıldı. Filmin toplam m kütlesi, bakır ve kobaltın atomik absorpsiyon spektrometresinde okunan konsantrasyonlar kullanılarak bulundu. Alaşım yoğunluğu ise saf kobalt ve bakırın yoğunluk ortalaması ile bulundu. Her bir filmin yüzey alanı  $A = 16 \text{ mm}^2$  seçildi. Bu hesaplamalar sonucu elde edilen film kalınlıkları çizelge 3.1.'de verilmiştir.

CuCo ve CuCoNi alaşım filmlerinin kalınlıkları atomik absorpsiyon spektrometresi kullanılarak yapıldı. Spektrometreden mg/l birimi ile okunan konsantrasyon değerleri, alaşım etkisi giderildikten sonra, kütle yoğunluk ve hacim arasındaki ilişki

$$m = \rho.A.t \quad \dots\dots\dots(63)$$

ile verilen bağıntısı kullanılarak kalınlık tespiti için kullanıldılar.

Film kalınlıkları bu bağıntılardan faydalanılarak tespit edildi. Burada  $m$ , CuCo alaşımları için filmdeki kobalt ve bakırın, CuCoNi alaşımları içinse kobalt bakır ve nikelin toplam kütlesi,  $\rho$  film içeriğini oluşturan elementlerin ortalama yoğunlukları,  $A$  filmin yüzey alanı,  $t$  ise filmin kalınlığını göstermektedir. Filmin toplam  $m$  kütlesi bakır, nikel ve kobaltın atomik absorpsiyon spektrometresinden bulunan konsantrasyonlar kullanılarak bulundular. Alaşım yoğunluğu ise saf bakır, kobalt ve nikelin yoğunluklarının aritmetik ortalamasından bulundu. CuCo alaşımları için

$$\rho_{CuCo} = \rho_{Cu} \cdot C_{Cu}(\%) + \rho_{Co} \cdot C_{Co}(\%) \dots\dots\dots(64)$$

CuCoNi alaşımları içinde,

$$\rho_{CuCo} = \rho_{Cu} \cdot C_{Cu}(\%) + \rho_{Co} \cdot C_{Co}(\%) + \rho_{Ni} \cdot C_{Ni}(\%) \dots\dots\dots(65)$$

olarak alındı. ( $\rho_{Cu} = 9,96 g/cm^3$ ,  $\rho_{Co} = 8,9 g/cm^3$ ,  $\rho_{Ni} = 8,902 g/cm^3$ )

Her bir filmin yüzey alanı  $A=4*4 mm^2$  olarak belirlendi. Bu hesaplamalarla elde edilen film kalınlıkları çizelge 3.1 ve çizelge 3.2.de verilmiştir.

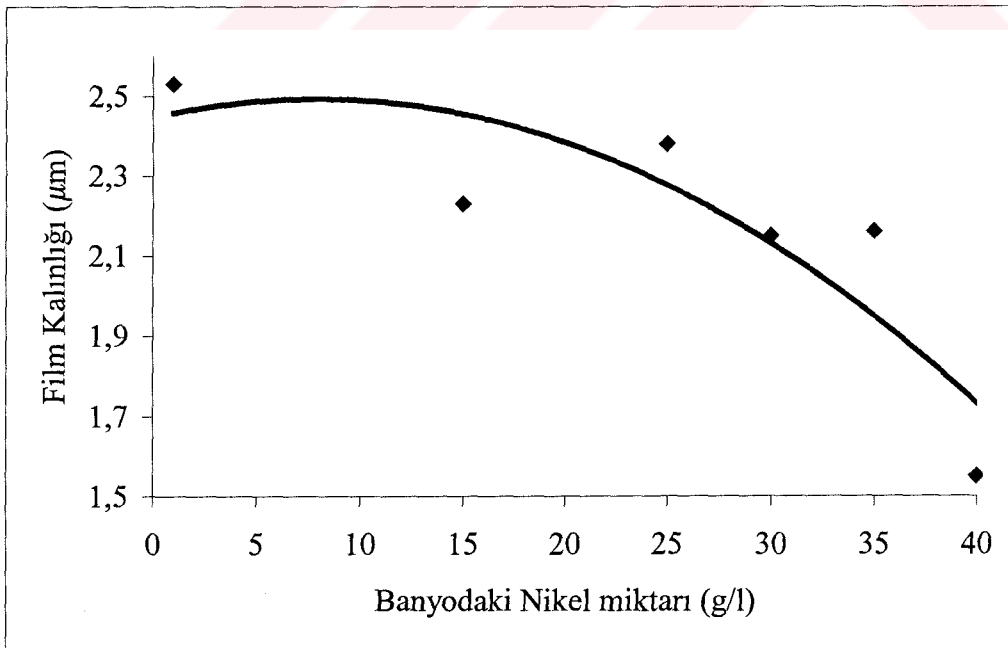
**Çizelge.3.1.** pH-CuCo alaşım filmlerinin film kalınlıkları

Filmdeki % kobalt konsantrasyonu	Elektrolit pH'sı	Film Kalınlığı ( $\mu m$ )
30,3020	5,00	1,91
27,6763	5,25	2,18
27,3511	5,50	2,13
28,4887	5,75	2,24
37,8476	6,00	2,52
28,4370	6,25	2,24

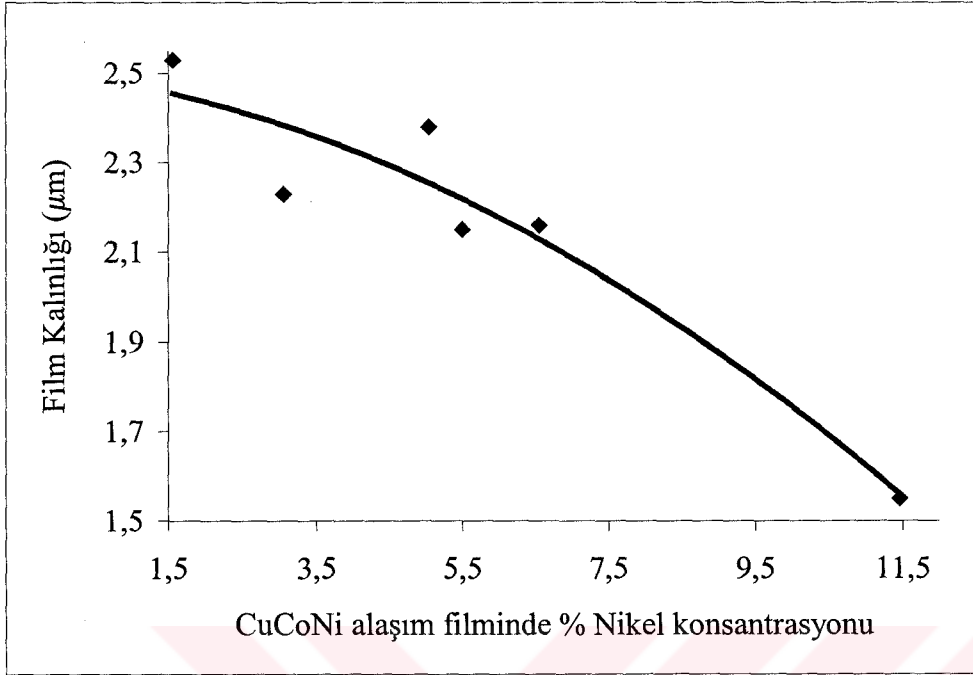
Çizelge.3.2. CuCoNi alaşımlarının film kalınlıkları

Filmdeki % nikel konsantrasyonu	Elektrolitteki nikel miktarı (g/l)	Film Kalınlığı ( $\mu\text{m}$ )
1,564171	1	2,43
3,060142	15	2,16
5,042493	25	2,30
5,501415	30	2,05
6,553018	35	2,06
11,465390	40	1,50

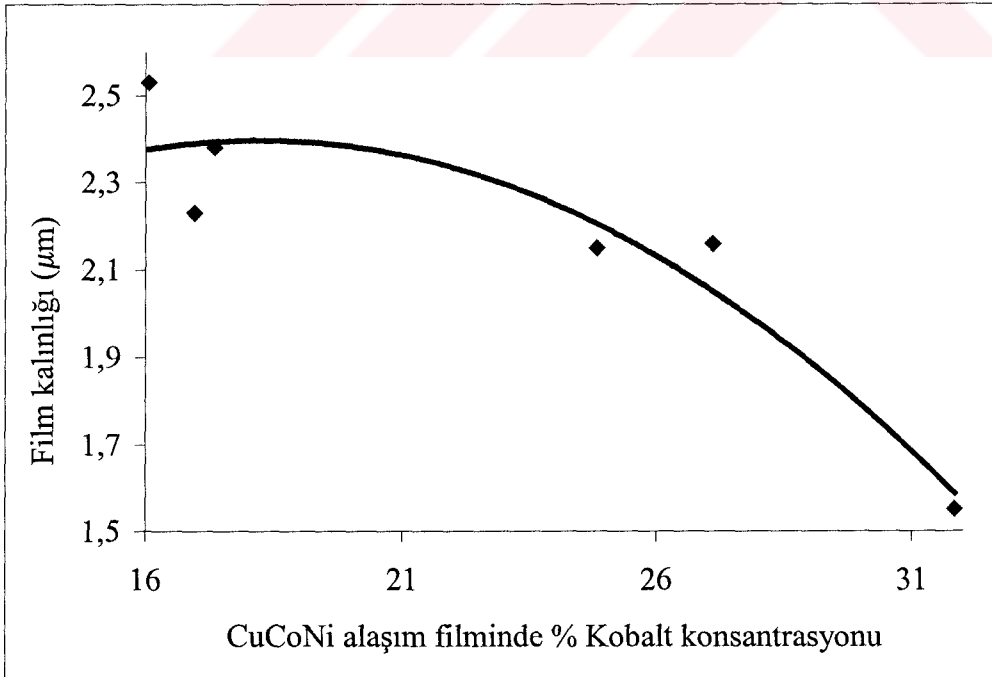
Bu verilere göre elektrolitte bulunan Co ve nikel miktarlarına göre film kalınlıklarının nasıl değiştiği şekil 3.2-6 grafiklerde verilmiştir.



Şekil.3.2. CuCoNi alaşım filmlerinin kalınlıklarının alaşım hazırlanmasında kullanılan banyodaki nikel miktarı ile değişimi

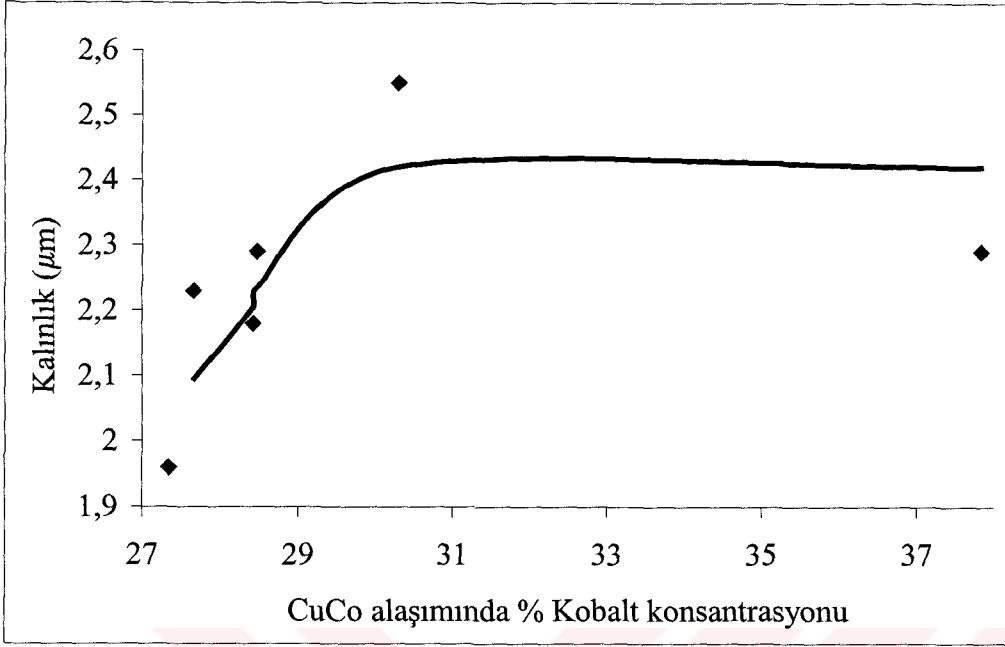


Şekil 3.3. CuCoNi alaşım filmlerinde % nikel konsantrasyonuna karşı film kalınlıkları

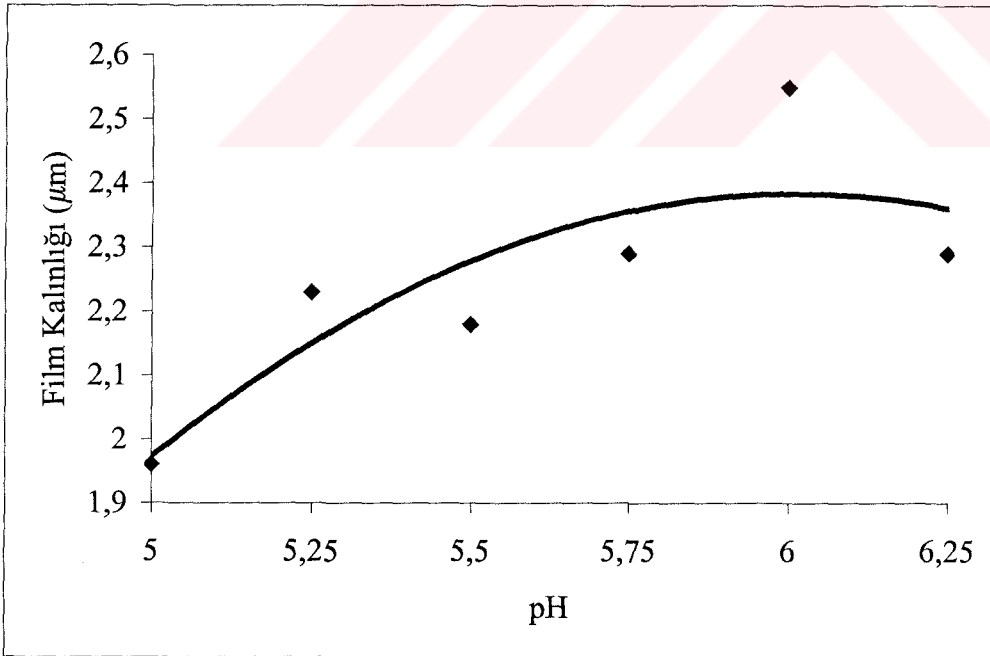


Şekil.3.4. CuCoNi alaşım filmlerinde % kobalt konsantrasyonuna karşı film kalınlıkları





Şekil.3.5. CuCo alaşım filmlerinde % kobalt konsantrasyonuna karşı film kalınlıkları



Şekil.3.6. CuCo alaşım filmlerinin kalınlıklarının alaşım hazırlanmasında kullanılan banyodaki pH değeri ile değişimi

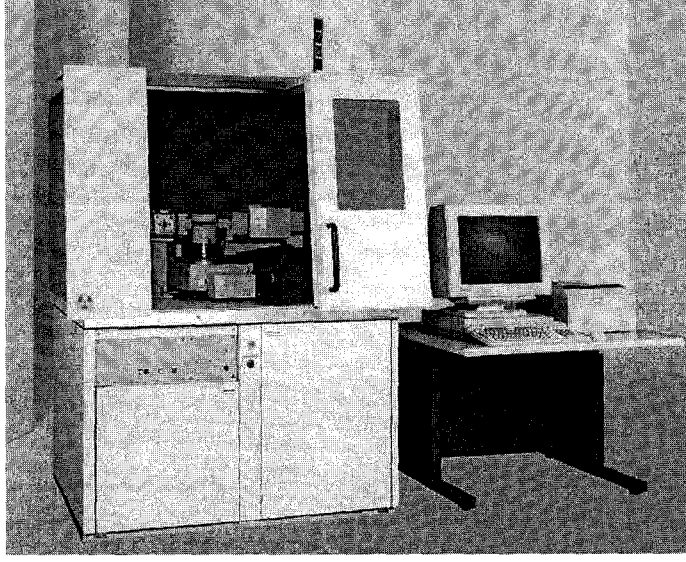
### 3.1.4. X-Işını Kırınım Difraksiyonu (XRD), Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve EDS (Energy Dispersive Spectrometry) çalışmaları

Malzemelerin herhangi bir mükemmel temizleme, düzeltme veya dağlama işlemine gerek duyulmaksızın 5-50 kat büyütme yaparak gerçekleştirilen yüzey incelemesi makroskobik çalışma, 50 veya daha üzeri büyütme yaparak gerçekleştirilen yüzey incelemesi ise mikroskobik çalışma olarak tanımlanır.

Günümüzde malzemelerin iç yapısını incelemeye mikroskobik inceleme yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü iç yapıda oluşan fazlar, taneler, tane sınırları ve mikro çatlaklar malzemeyi temsil etmekte ve kriterler mikroskop yardımıyla elde edilebilmektedir. Yapıdaki tane boyutu metal mikroskobu ile tanımlanabilirken kristal yapısı elektron mikroskobu yardımı ile tanımlanabilir. Ayrıca elektron mikroskobu yardımıyla madde tanımlama ve % konsantrasyon tayini de yapılabilir.

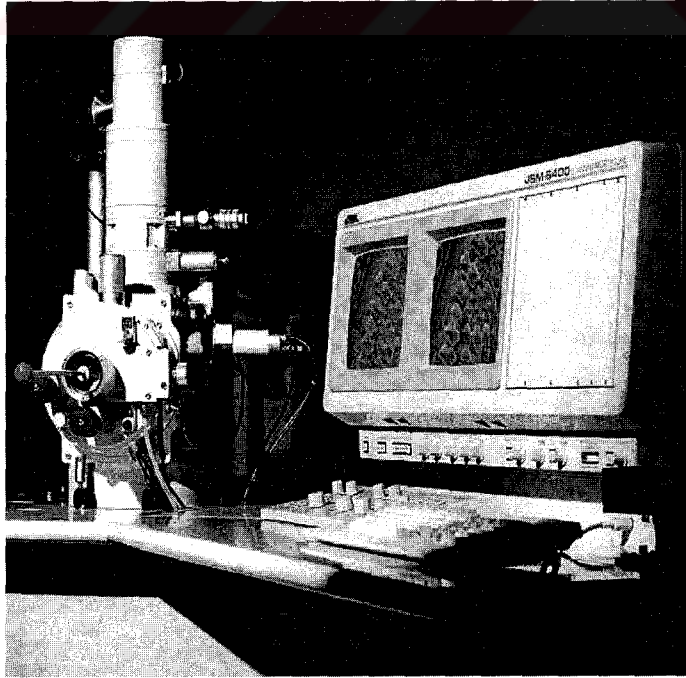
Yapısal karakterizasyon için analizler,  $\lambda = 1.5405 \text{ \AA}$  (0,154 nm) dalga boyuna sahip Cu-K $\alpha$  kaynaklı Rigaku-2200 D/Max XRD (X ışını kırınım ölçer, şekil 3.7) cihazı ile yapıldı.

XRD analizleri 5-80 derece tarama aralığında, 1,5 derece/dak tarama hızında ve 0,1 derece tarama adımında gerçekleştirildi. Filamente ise 30 kV ve 30 mA'lık bir enerji uygulandı. Filmlerden elde edilen kırınımlar neticesinde ortaya çıkan grafikler, XRD cihazını kontrol eden bilgisayarda mevcut standart JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) kütüphanesi kullanılarak değerlendirildi.



Şekil 3.7. X ışını kırınım ölçer

CuCo ve CuCoNi alaşımlarının yapısı içerisinde bulunan elementlerin yüzde miktarlarının tespiti için Taramalı elektron mikroskop (SEM-Jeol 6400) ve Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) kullanıldı (şekil 3.8).

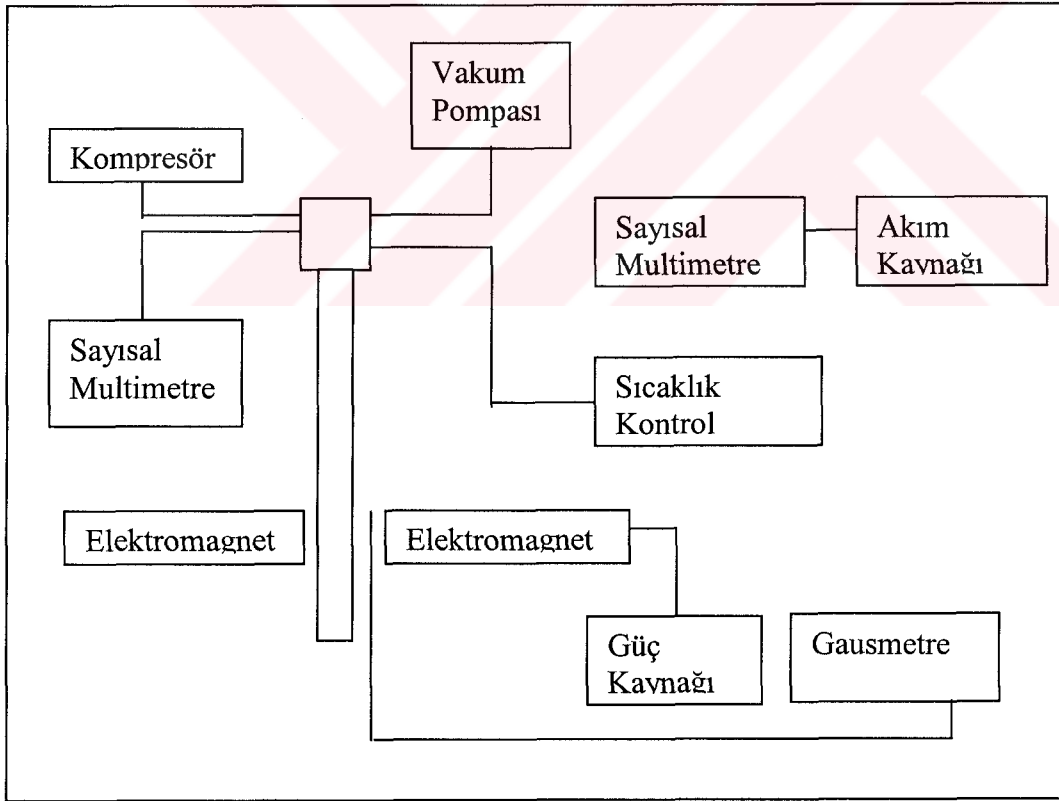


Şekil 3.8. Taramalı elektron mikroskop

Bu çalışmada alaşım filmleri SEM ve EDS analizleri için 4x4 mm kesildi ve tüm filmler bir iletken tutucuya yapıştırıldı. Üst yüzeyin daha net resminin alınabilmesi için 15 saniye süre ile altın kaplandı ve ölçümlere hazır hale getirildi. SEM ve EDS sonuçları ve yorumu araştırma bulguları 4. bölümde verilmiştir.

### 3.1.5. Magnetorezistans Ölçüm Sistemi ve Film Tutucuları

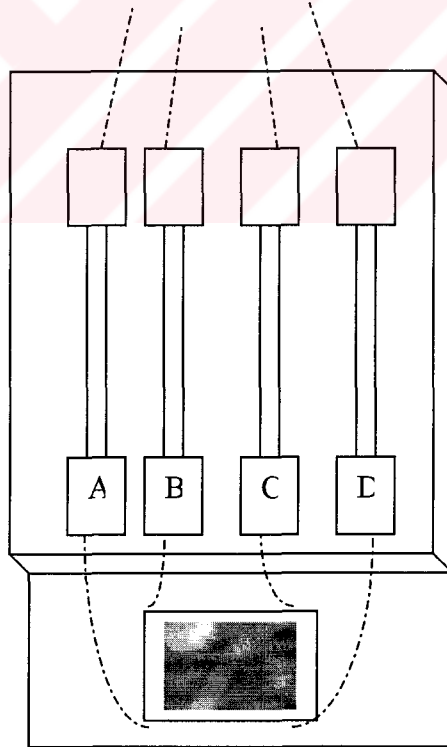
Magnetorezistans ölçümleri, sıcaklığa ve magnetik alana karşı olmak üzere iki farklı deney düzeneğinde alındı. Sıcaklığa karşı magnetorezistansın nasıl değiştiğinin ölçüldüğü deney sistemi, magnetorezistans ve Hall ölçümü yapılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Sistemin diyagramı şekil 3.9'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Sıcaklığa karşı magnetorezistans ölçüm sistemi

Numune bu sistemde 10K sıcaklığa düşecek şekilde kapalı devre Helyum kriyostatına (Leybold Serueus) tespit edildikten sonra turbo moleküler pompa ile vakum altına alındı. Numunelerin öz direnç ve magnetorezistans ölçümleri, 320 K dan 10 K sıcaklığa doğru 20K aralıklarla yapıldı. Her bir sıcaklık aralığında sistem termal dengeye gelinceye kadar beklendi.

Sıcaklık üretici firma tarafından kalibre edilmiş D-tipi diyot yardımıyla kalibre edilen sensör yardımıyla ölçüldü. Magnetik alanda ölçü alabilmek için numune 2,5 cm hava aralığında 12 kiloGaussluk alan üretebilen Varian V-2900 elektromagnetin kutupları arasına yerleştirildi. Magnetik alan Hall probu yardımıyla 8450 Gauss olarak ölçüldü ve tüm ölçümler bu değerde yapıldı. Filmler şekil.3.10'deki akım yoluna yapıştırılarak sisteme yerleştirildi.



**Şekil.3.10.** Numunelerin Ölçüm sistemine bağlandığı Numune tutucu

Ölçümler manuel olarak alındı. Akım yolları ile film arasındaki bağlantı iletken bakır tellerle sağlandı. Tellerin film üzerine gelen kısmındaki kontaklar Gümüş pasta ile sağlandı. Bu numune tutucu, sistemdeki akım ve voltaj kablolarına bağlandı. A-D noktalarından akım geçirildi ve B-C noktaları arasından potansiyel farkı değerleri okundu.

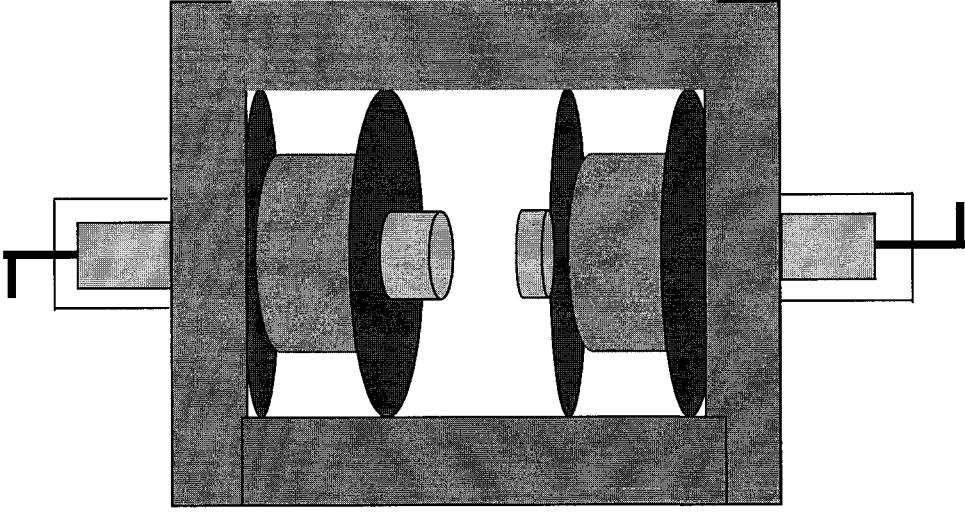
Boyuna magnetorezistans katsayısı ölçümü yapabilmek için akım doğrultusu ile magnetik alanın doğrultusu film düzleminde aynı yönlü tutuldu. Enine magnetorezistans katsayısı hesaplanırken ise akım ve magnetik alan birbirine dik olarak ama film düzleminde tutuldular. Böylece her bir filmin magnetik alan yokken ve magnetik alan altında öz dirençleri ölçüldü. Bu ölçümler, termal potansiyelleri bertaraf etmek amacı ile akım ve magnetik alanın yönü ters çevrilerek tekrarlandı. Magnetorezistans katsayısı ve öz direnç değişimi her bir film için;

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_0 B^2} = \frac{[\rho_{(B)} - \rho_{(0)}]}{\rho_{(0)} B^2} = \frac{[V_{(B)} - V_{(0)}]}{V_{(0)} B^2}$$

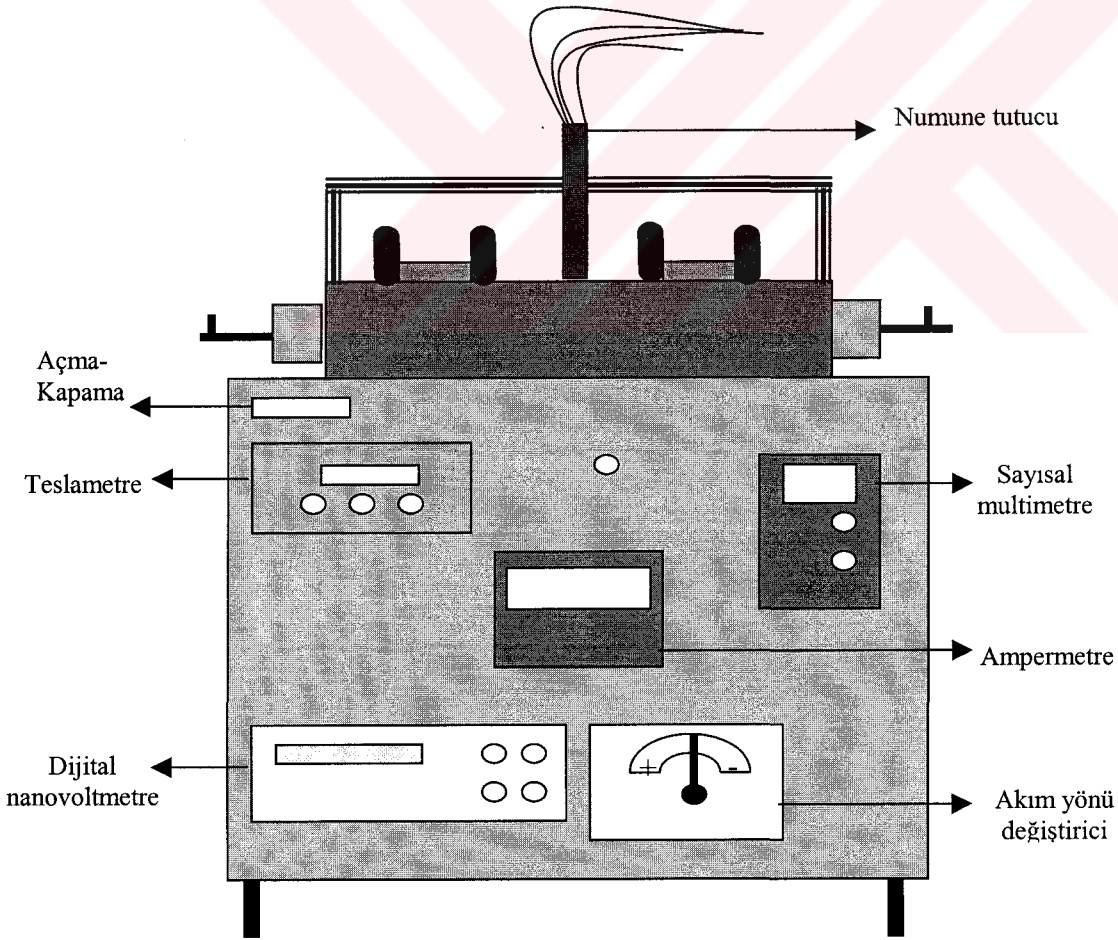
formülü kullanılarak 20-320 K sıcaklıkları aralığında hesaplandı. Burada  $\rho_{(B)}$ , magnetik alan altındaki öz direnç,  $\rho_{(0)}$  magnetik alan yokken hesaplanan öz direnç değeridir. Diğer ifadelerde de (B) li ifadeler magnetik alan altında yapılan ölçümleri temsil etmektedir.

Bir diğer Magnetorezistans ölçümü, magnetik alana karşı öz direncin nasıl değiştiğini incelemek amacı ile oda sıcaklığında sadece magnetik alan değiştirilerek ikinci bir kez yapıldı. Bu ölçümlerde de CuCo ve CuCoNi alaşım filmleri 4x4 mm büyüklüğünde kesildi ve dört nokta prob metodu kullanılarak öz direnç ölçümleri yapıldı.

Magnetik alan 0 ile 1,2 T arasında olarak 0,2 Tesla aralıklarla değiştirildi. Bunun için gerekli olan ölçüm sistemi aşağıdaki şekil 3.12'da gösterilmiştir.



Şekil.3.11 Magnetik alan değiştirilerek alınan magnetorezistans ölçüm sisteminde kullanılan magnetler



Şekil.3.12. Magnetik alan değiştirilerek alınan magnetorezistans ölçüm sistemi

### 3.1.6. Magnetorezistans ve özdirenç ölçümleri için yöntem seçimi

Magnetorezistans ve özdirenç ölçümleri için, dört nokta prob metodunun kare geometrideki numuneler için özel bir uygulaması olan Van Der Pauw metodu kullanıldı. Bu metoda göre iki çeşit direnç tespit edilerek şu şekilde hesaplandı.

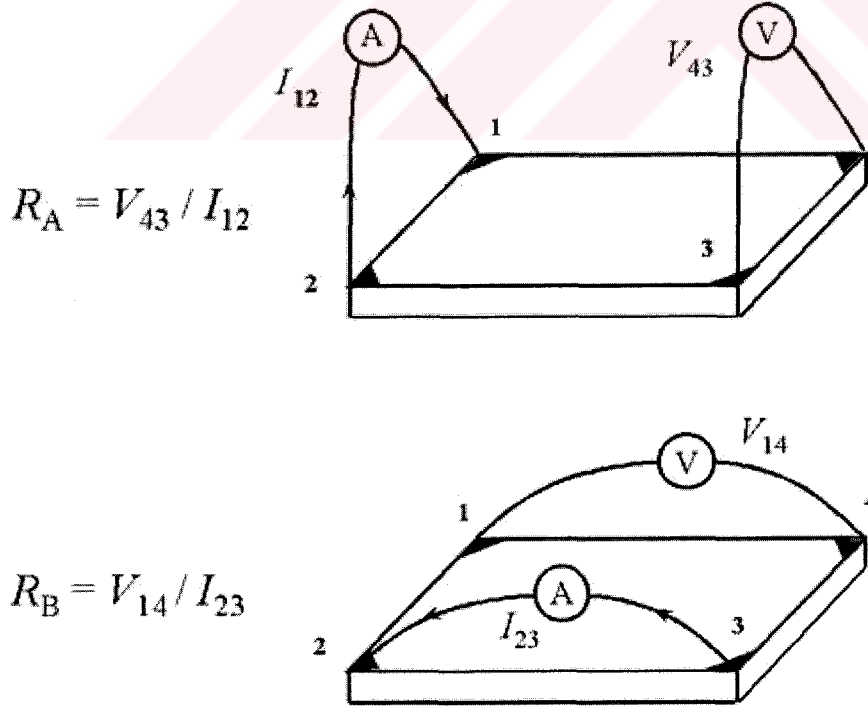
Tez de kullanılan özdirençler

$$\rho = \frac{\pi}{\ln 2} \frac{R_A + R_B}{2} f\left(\frac{R_A}{R_B}\right) \quad (66)$$

kare geometrisi için  $R_A$ - $R_B$  ve  $f\left(\frac{R_A}{R_B}\right)=1$  olduğundan ifademiz (van der Pauw, 1958)

$$\rho = \frac{\pi}{\ln 2} \frac{V}{I} \text{ haline dönüşür.}$$

Bu ifade hesaplamalarda kullanıldı.



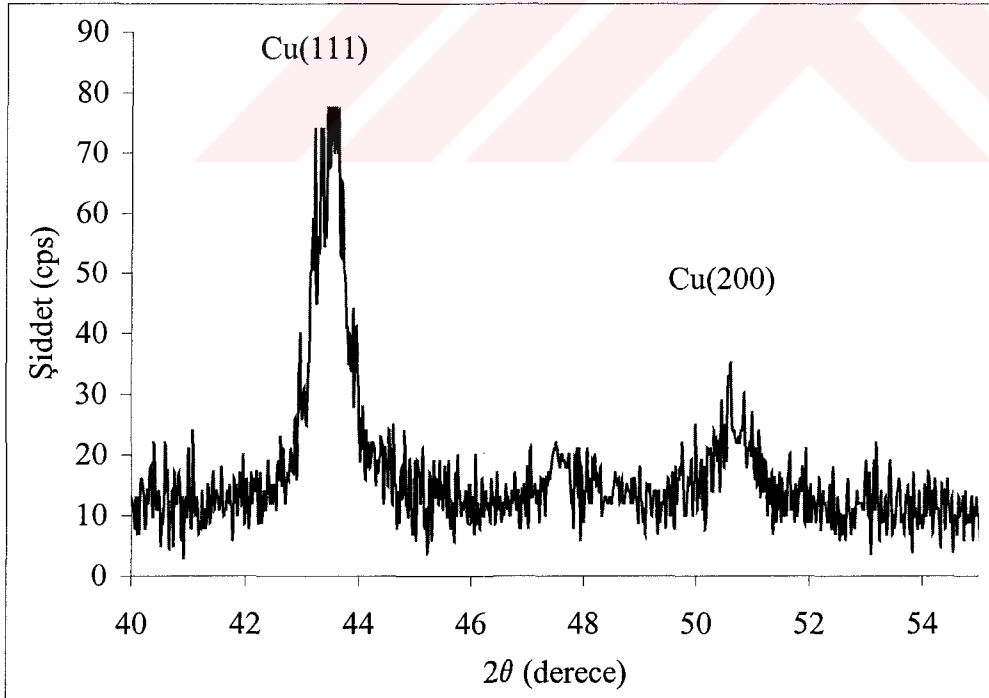
Şekil.3.13. Van der Pauw metodu için dirençlerin tespit şekli.



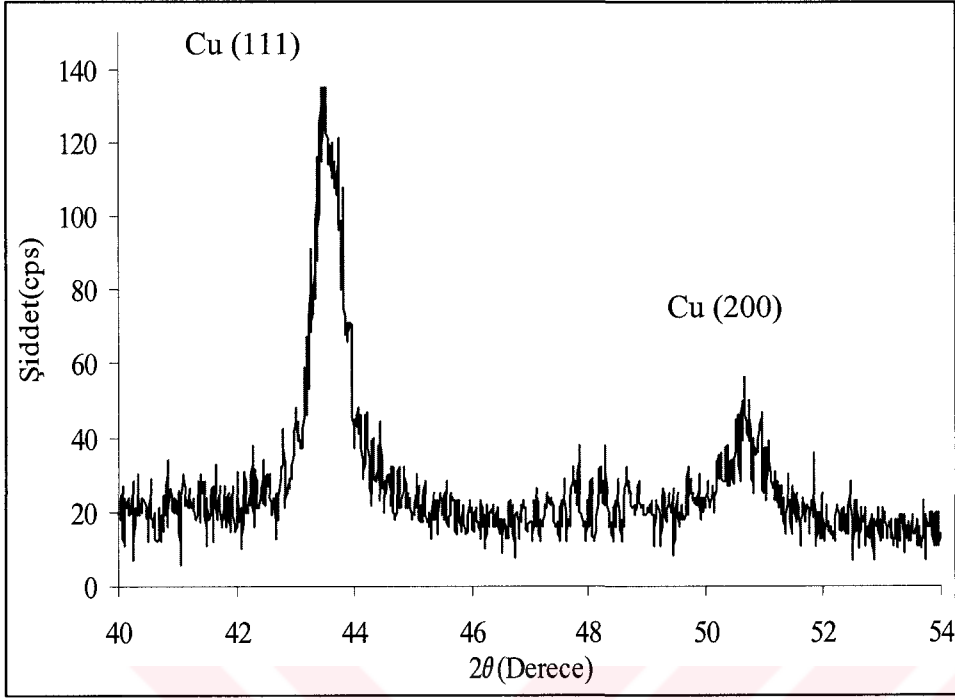
#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

##### 4. 1. Filmlerin Kristal yapılarının tayini

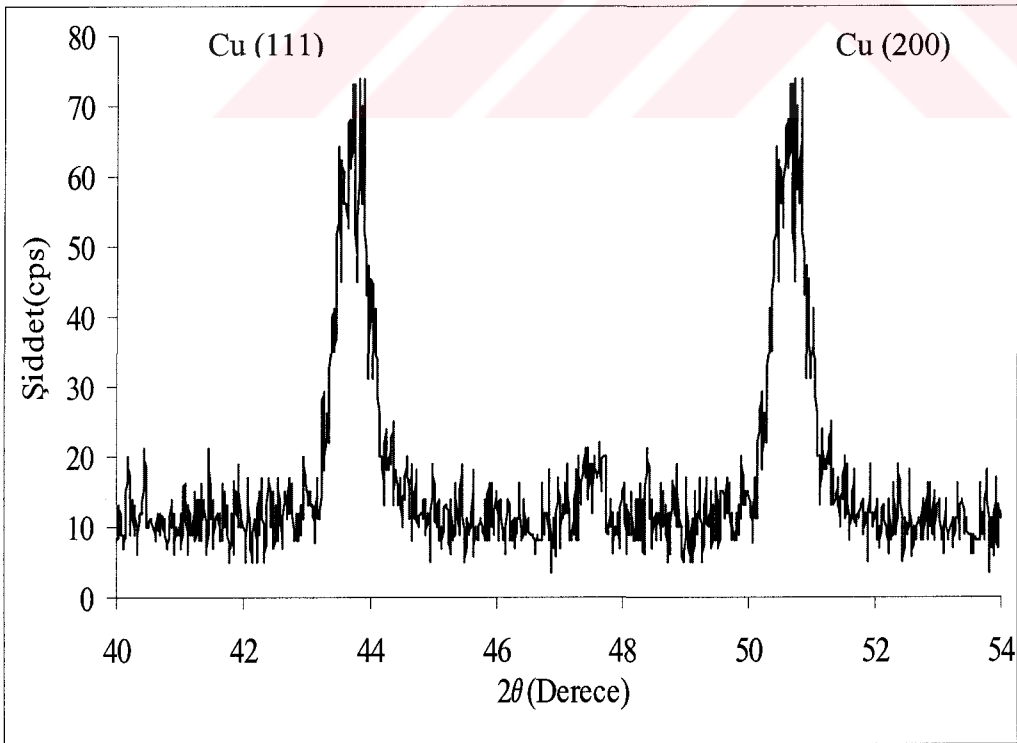
CuCo ve CuCoNi alaşımlarının kristal yapı tayinleri X-ışını Difraksiyon Spektrometresi ile Cu  $K\alpha$  ışını kullanılarak 3-70° arasında yapıldı. pH=6 olan numune için CuCo alaşım filmine ait XRD grafiği şekil 4.1’de verilmiştir. Diğer numunelerde de benzer grafikler elde edildi fakat piklerde  $2\theta$  açısında küçük kaymalar gözlenmiştir. XRD grafiklerinde gözlenen tüm pikler bakıra aittir. Kobalt pikine rastlanmamıştır. Bunun nedeni kobalt atomlarının kristali oluşturan bakır matriks içerisine yayılmış olması ve yansıma oluşturabilecek kristalografik yapıya sahip olmamasıdır. pH-CuCo numunelerinin XRD grafikleri şekil 4.1- 4.6’da sıra ile verilmiştir



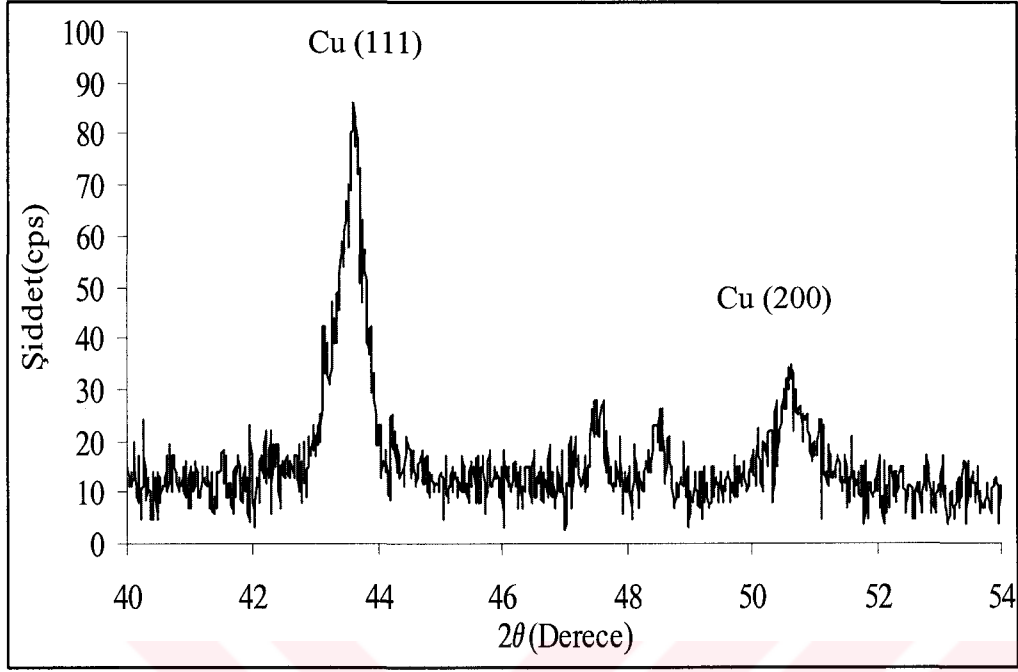
Şekil 4.1. pH=4,5 olan CuCo numunesi için XRD



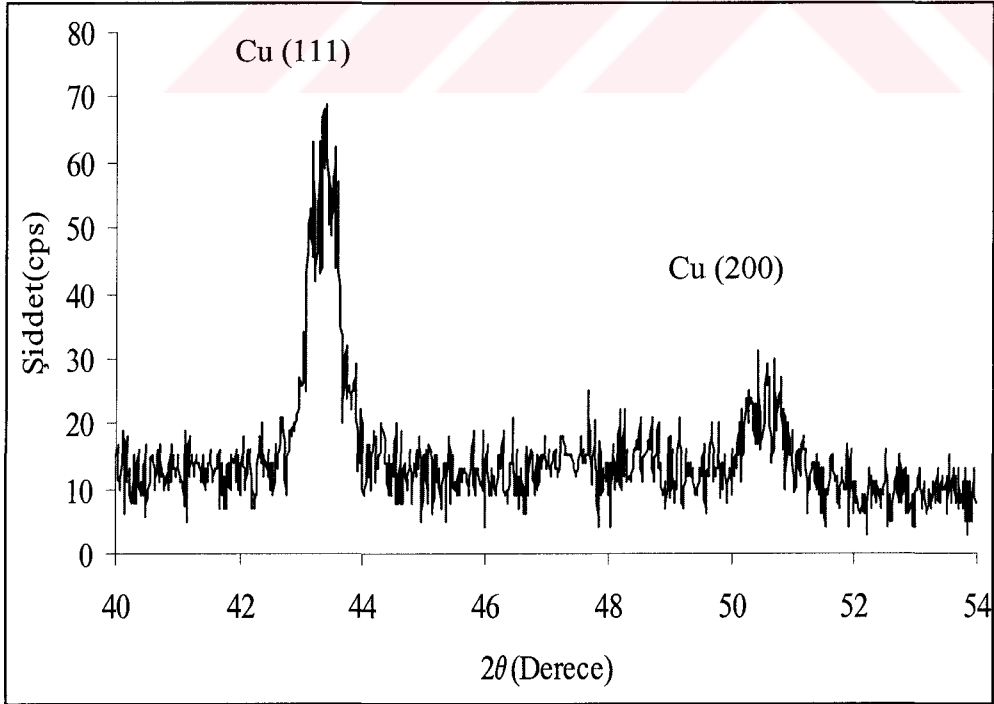
Şekil 4.2. pH=5 olan CuCo numunesi için XRD



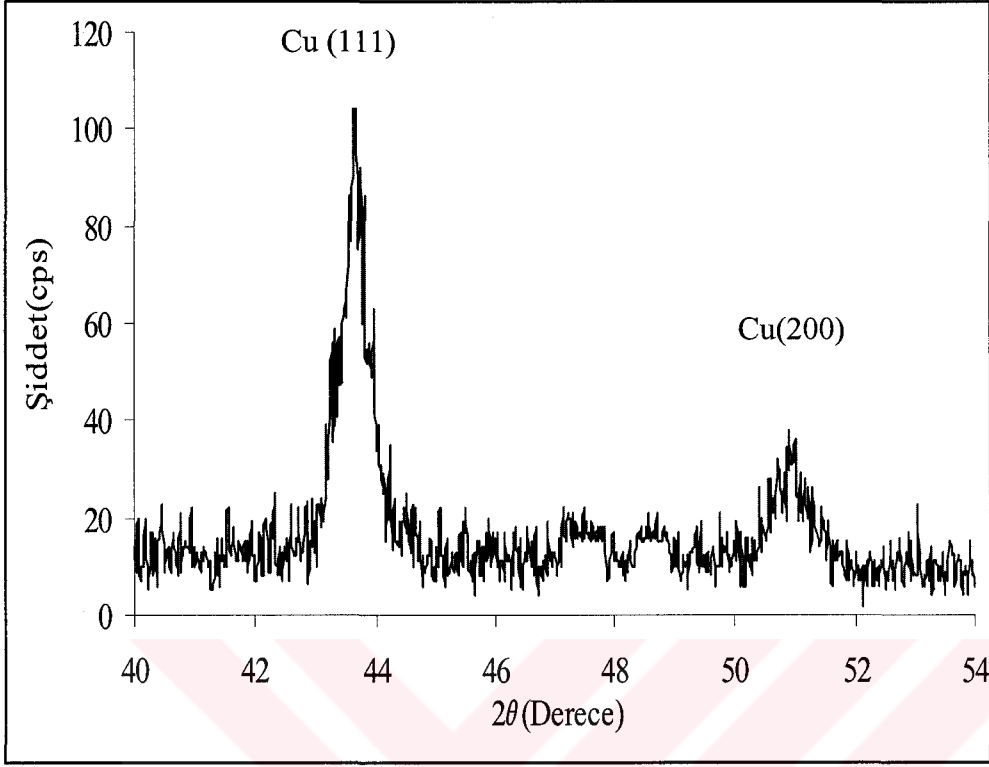
Şekil 4.3. pH=5,25 olan CuCo numunesi için XRD



Şekil 4.4. pH=5,5 olan CuCo numunesi için XRD

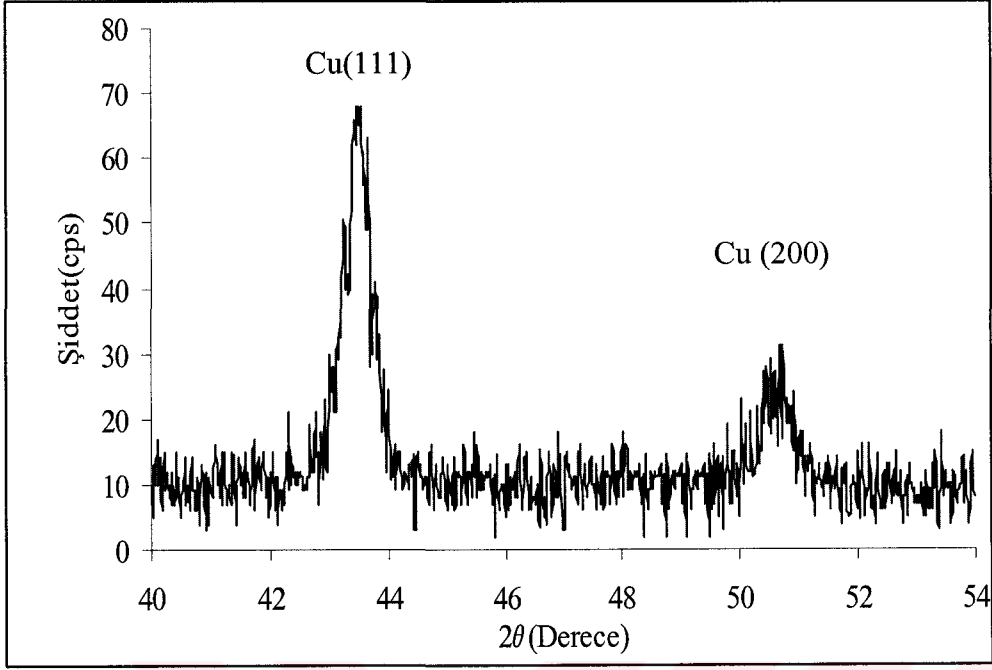


Şekil 4.5. pH=5,75 olan CuCo numunesi için XRD

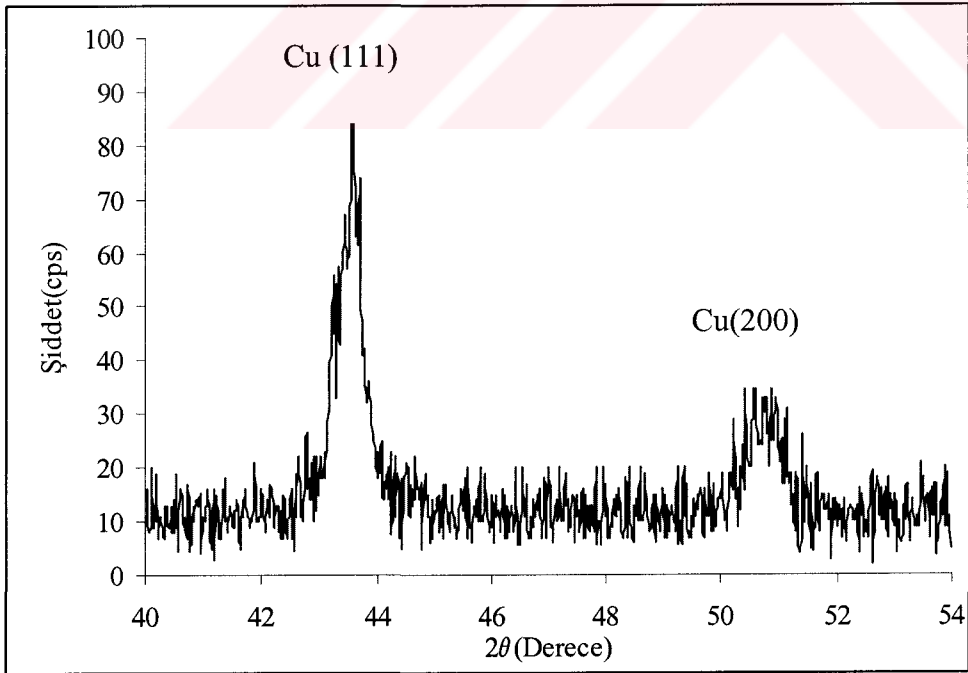


**Şekil 4.6.** pH=6 olan CuCo numunesi için XRD

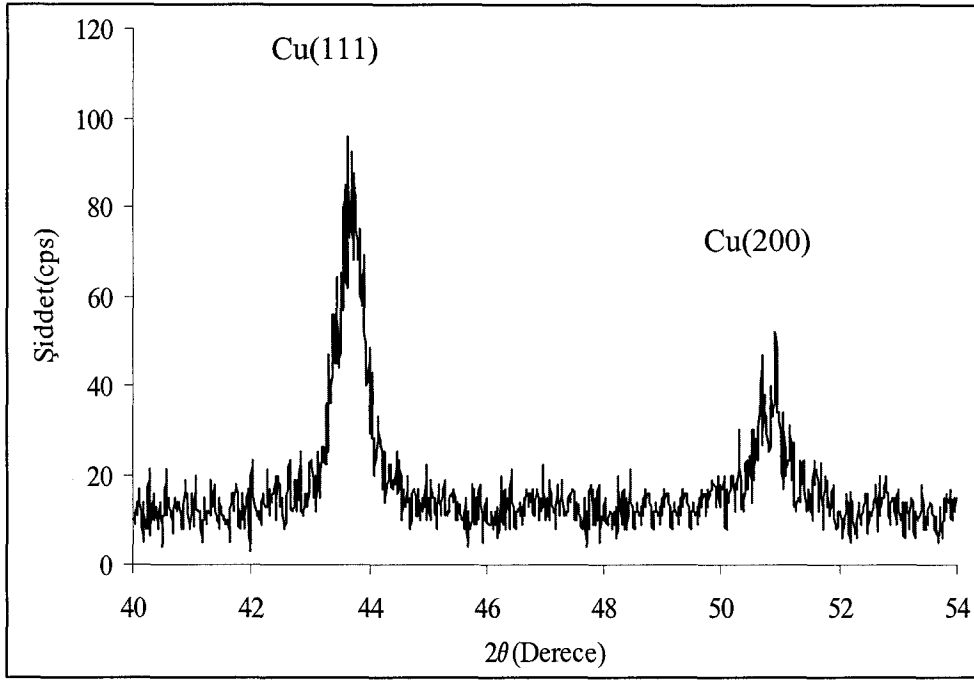
CuCoNi alaşımlarında da aynı sonuçlar elde edilmiştir. Ana matriks bakır tarafından oluşturulmuş ve kobalt ve nikel atomları bu bakır matriks içerisinde kendilerine yer bulmuşlardır. İçerisinde ki nikel miktarları değişen CuCoNi alaşım filmlerinin XRD grafiği aşağıda verilmiştir (şekil 4.7-4.12).



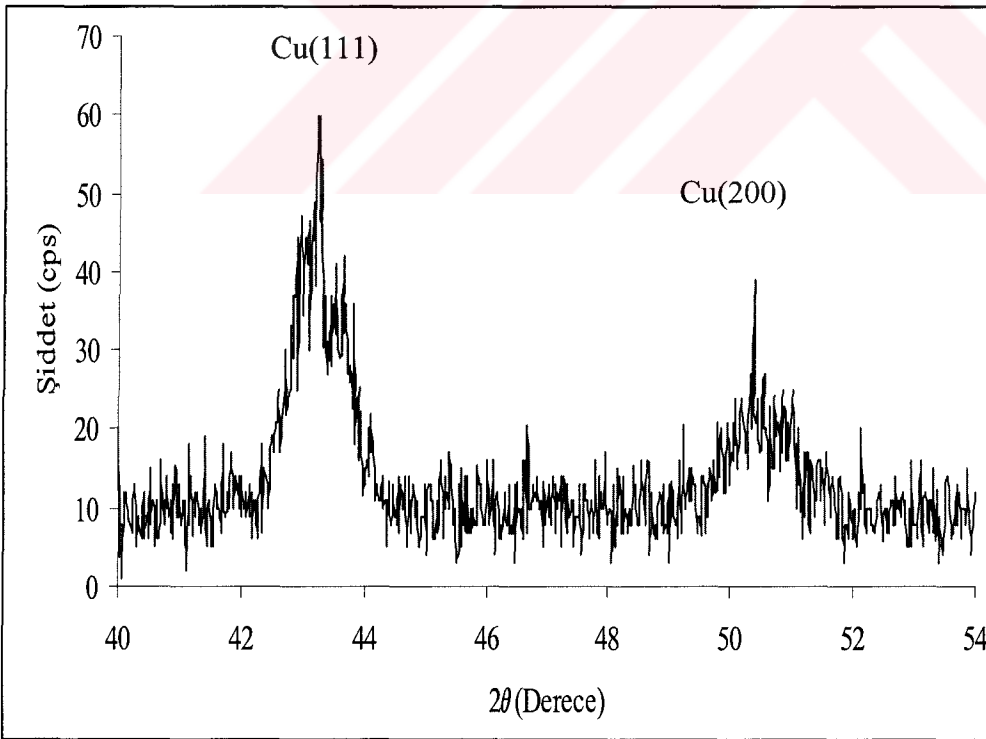
Şekil 4.7. 10 g/l CuCoNi alaşım numunesi için XRD



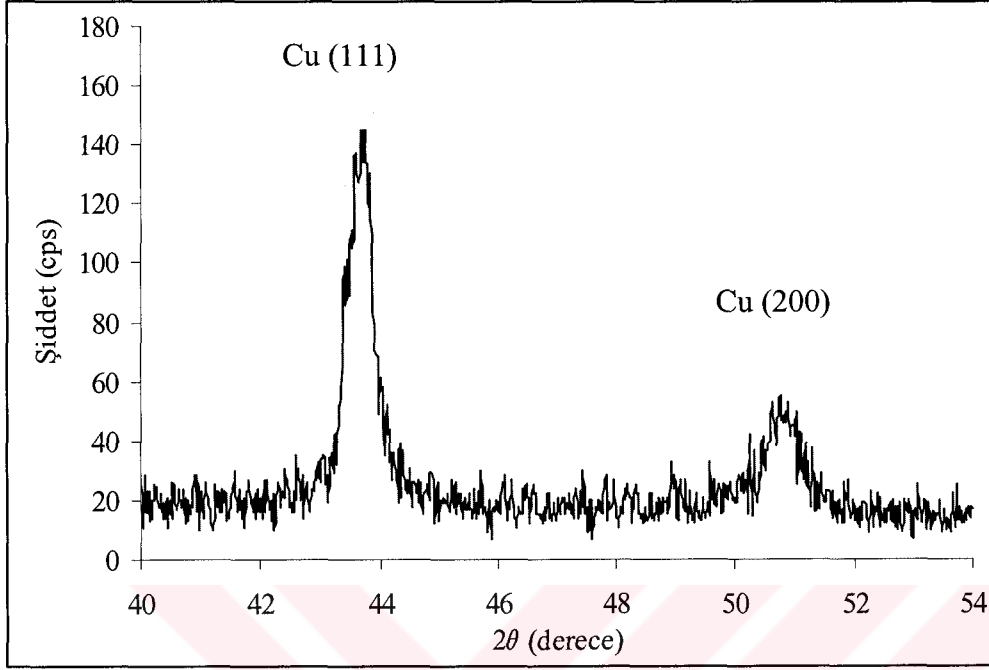
Şekil 4.8. 15 g/l CuCoNi alaşım numunesi için XRD



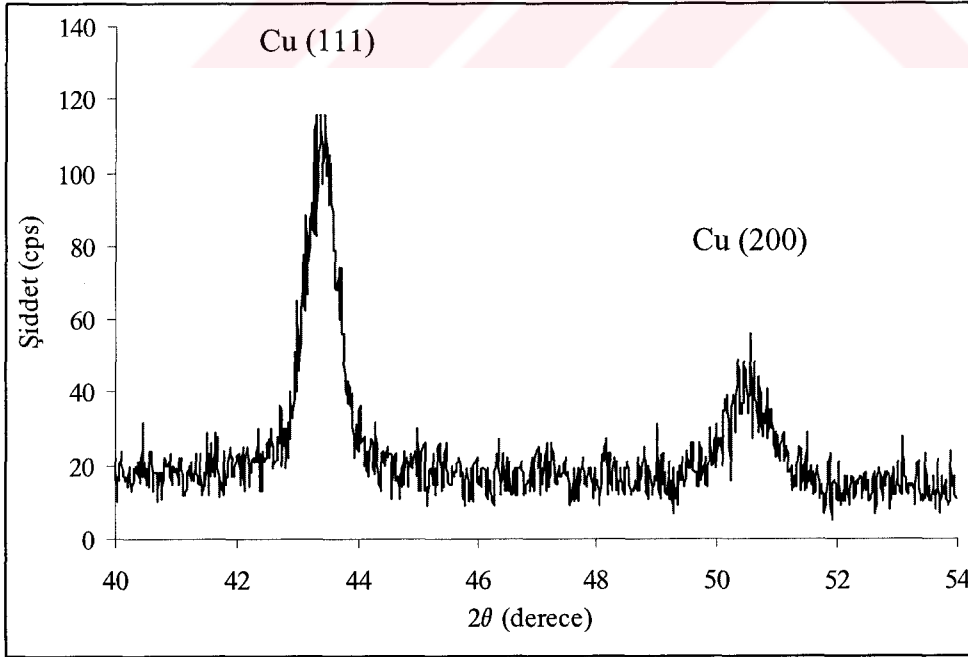
Şekil 4.9. 20 g/l CuCoNi alaşım numunesi için XRD



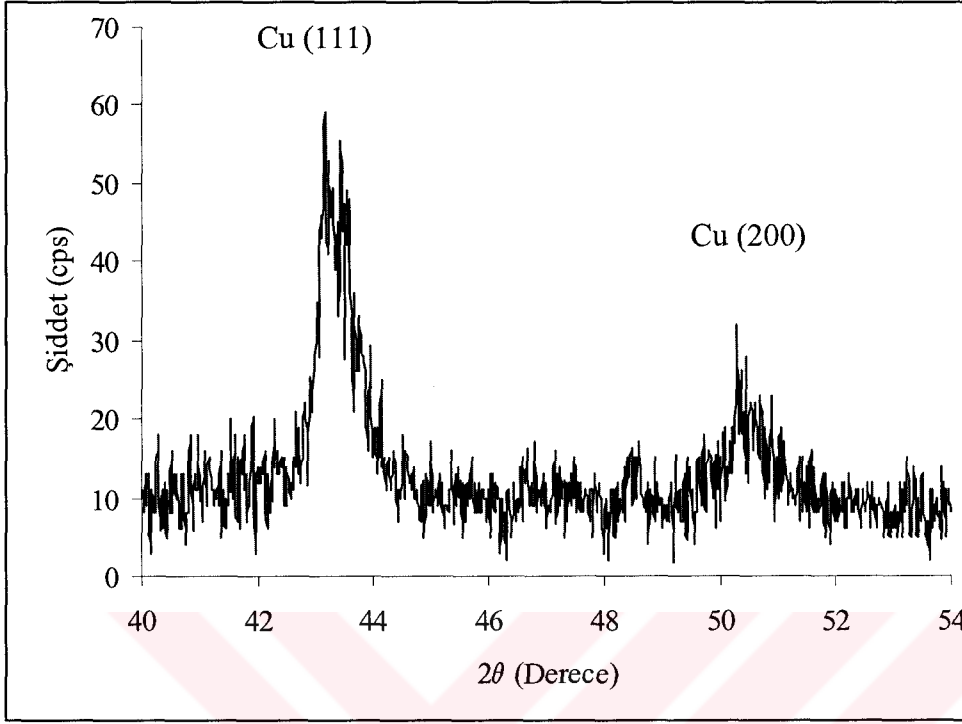
Şekil 4.10. 25 g/l CuCoNi alaşım numunesi için XRD



Şekil 4.11. 30 g/l CuCoNi alaşım numunesi için XRD



Şekil 4.12. 35 g/l CuCoNi alaşım numunesi için XRD



**Şekil 4.13.** 40 g/l CuCoNi alaşım numunesi için XRD

Yukarıdaki X-ışını difraksiyon spektrumları filmlerin kristal yapıda olduğunu ve Bragg yasasına uyduğunu göstermektedir. Bragg yasası  $n\lambda=2.d.\sin\theta$  ile verilir. Burada n, kırınım mertebesi,

$$d = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (67)$$

düzlemler arası mesafe,  $\lambda$ , X-ışını dalga boyu,  $\theta$ , kırınım açısıdır. Buradan

$$\sin^2\theta = \frac{\lambda^2(h^2 + k^2 + l^2)}{4a^2} \quad (68) \quad \text{ifadesi kullanılarak } a$$

kristal sabiti bulunmuş ve 5. bölümde verilmiştir.



## 4.2. Elektron Mikroskobu Ölçümleri

CuCo-pH ve CuCoNi filmlerinin yüzey fotoğrafları SEM ile elde edildi. İkincil yansıma elektronları (Seconder elektron Image) ile SEI mikrografikleri çekildi.

Bunlardan pH=5 olan CuCo numunesinin SEM fotoğrafı şekil 4.14'te, içerisine 15 gr/l katılan CuCoNi filminin SEM filmi ise şekil 4.15'de verilmiştir.



Şekil.4.14. pH=5 olan CuCo alaşım filminin tarayıcı elektron mikroskobu ile çekilmiş filmi

Şekil 4.14' ten filmlerin tanecikli yapıda (granul) oluştuğu, taneciklerin boyutlarının ve film içerisindeki dağılımlarının homojen olduğu görülmektedir. Granüllerin film içerisindeki dağılımı her bir  $10\mu\text{m}^2$  için 5 granüldür.



**Şekil 4.15.** İçerisinde 15 g/l nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin SEM resmi

CuCo alaşım filmlerinin granular yapıda olduğu açıkça görülmektedir. CuCoNi filmlerin ise yine granular yapıda olduğu fakat CuCo filmlerine göre daha pürüzsüz olarak büyüyebildiği görülmektedir. Her iki tür filmdeki kristal granülleri, Alüminyum altlık üzerine depolama başlangıcındaki çekirdek oluşumlarının sonucudur. Çekirdeklenme alüminyum altlık üzerinde değişik noktalarda oluşur ve depolama devam ettiği sürece her bir çekirdek üç boyutta büyüyerek granül haline gelir. Granüller birleşerek filmi oluştururlar. CuCoNi alaşım filminin CuCo filmine göre daha pürüzsüz olması CuCoNi filmi için alüminyum altlık üzerinde çok daha fazla noktada çekirdeklenmenin başlaması sonucudur. Bu ise banyoya nikel katılarak Cu ve Co ile birlikte nikelinde depolamaya katılması ile sağlanmıştır. Böylece CuCo filmine nikel ilave edilerek filmin daha küçük granüller halinde büyütülmesi mümkün olabilmektedir.

Yine taramalı elektron mikroskobu ile yapılan çalışmalarda elde edilen filmlerin yüzde konsantrasyonları EDS yardımı ile hesaplandı. Buna göre: CuCo alaşım filmlerinde bulunan % konsantrasyonlar çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge. 4.1.** CuCo alaşım filmlerinin % konsantrasyonunun pH ile değişimi

pH	%Co	%Cu
5,00	29,30	70,70
5,25	27,70	72,30
5,50	27,42	72,58
5,75	29,00	71,00
6,00	38,10	61,09
6,25	38,30	61,70

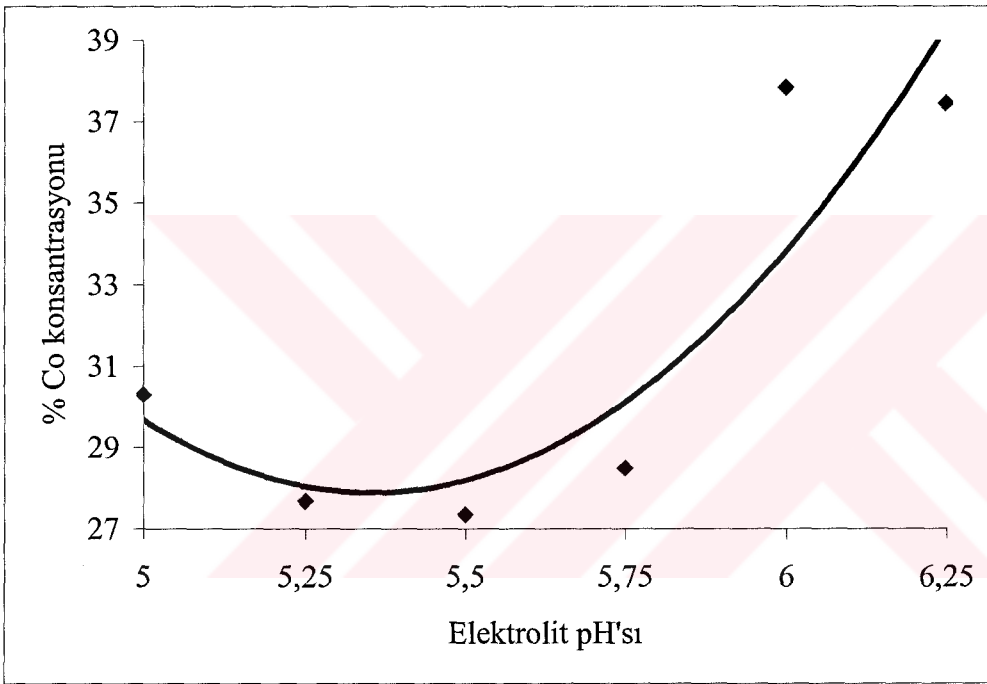
CuCoNi filmlerinin % konsantrasyonu ise şöyle bulundu (çizelge.4.2).

**Çizelge.4.2.** CuCoNi alaşım filmlerinin % konsantrasyonunun nikel eklenmesi ile değişimi

Elektrolite katılan % Ni miktarı (g/l)	% Co	% Cu	% Ni
1	32,30	66,10	1,60
5	30,60	67,40	2,20
10	28,10	69,30	2,60
15	24,90	72,10	3,00
20	21,70	74,30	4,05
25	27,08	67,85	5,07
30	16,50	77,90	5,60
35	17,90	76,40	6,60
40	18,00	70,50	11,50

### 4.3. Atomik absorpsiyon ölçümleri

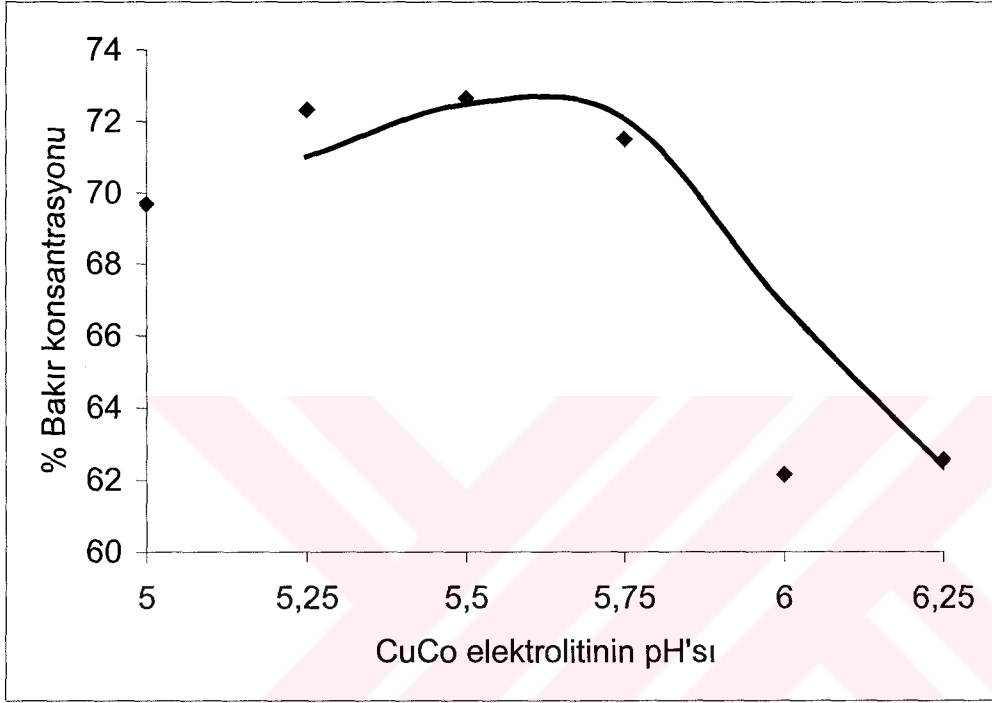
Çözelti haline getirilen alaşım filmleri atomik absorpsiyon spektrometresinde konsantrasyon olarak okundu, Cu, Co ve Ni'in girişim etkileri bölüm 3.1.2'de anlatıldığı gibi hesaplanarak düşüldükten sonra yüzde değerler tespit edildi. Tespit edilen % konsantrasyon değerleri çeşitli değişkenlere göre grafik haline getirildi.



**Şekil.4.15.** CuCo alaşım filmlerinde banyo pH'sının filmde biriken kobalt konsantrasyonuna etkisi

Banyo pH sı elektro depolamayı etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Katotta biriken madde miktarı direkt olarak etkilenmektedir. Şekil.4.15'ten görüldüğü gibi filmde biriken magnetik kobalt atomlarının % miktarı en fazla pH'nın 6 olduğu değerde gerçekleşmiştir. Bu nedenle CuCoNi alaşımları oluşturulurken de en uygun pH değeri 6 alınarak filmler hazırlanmıştır.

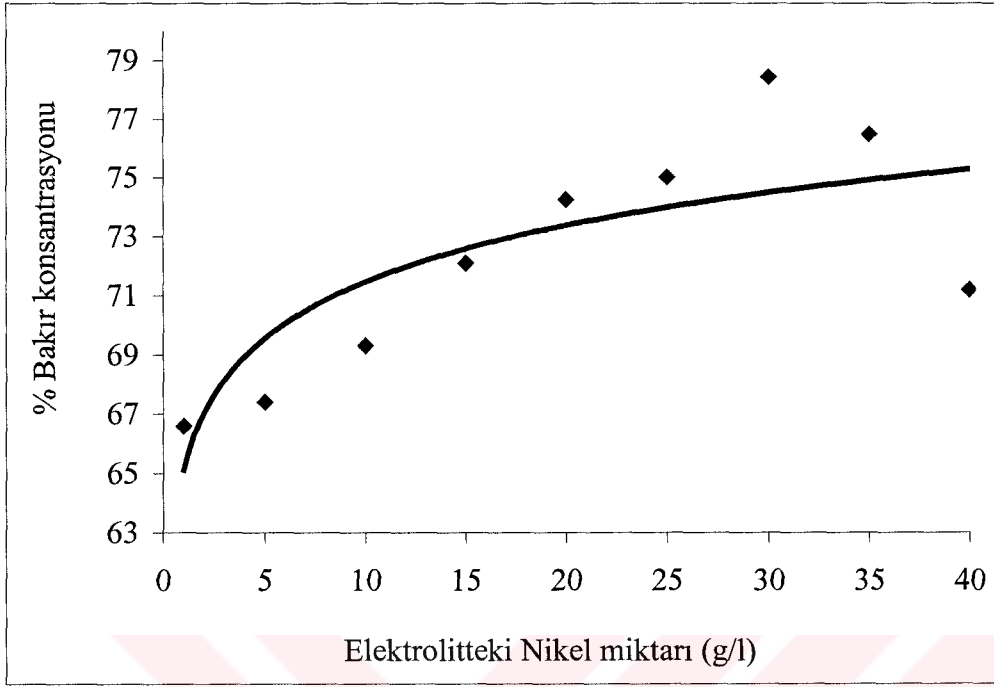
pH değerinin film üzerinde depolanan matriks bakır miktarını nasıl etkilediğini görmek amacı ile atomik absorpsiyon sonuçlarından faydalanılarak çizilen bakırın pH ile etkileşim grafiği aşağıda verilmiştir.



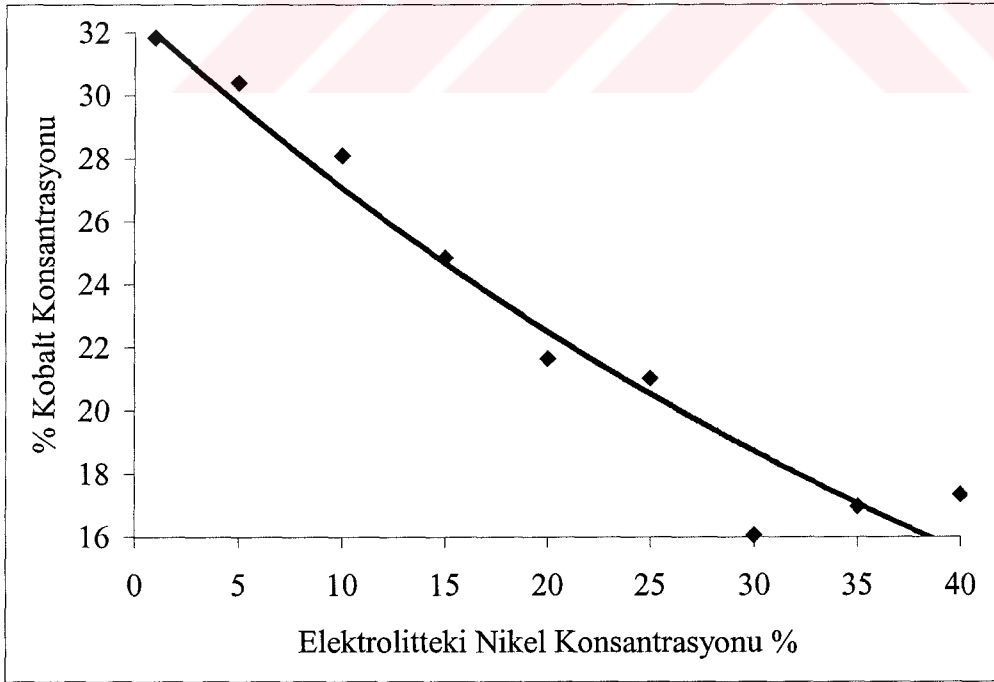
**Şekil 4. 17.** CuCo alaşım filmlerinde banyo pH'sının filmde biriken bakır konsantrasyonuna etkisi

Burada da pH=6 değerinde, en az bakır birikimi saptanmıő olup magnetorezistans ölçümleri için aranan vasıfta bir CuCo alaşımı elde etmek için pH=6 değerinin kullanılması gerektiği şekil 4.17'den de anlaşılacaktır.

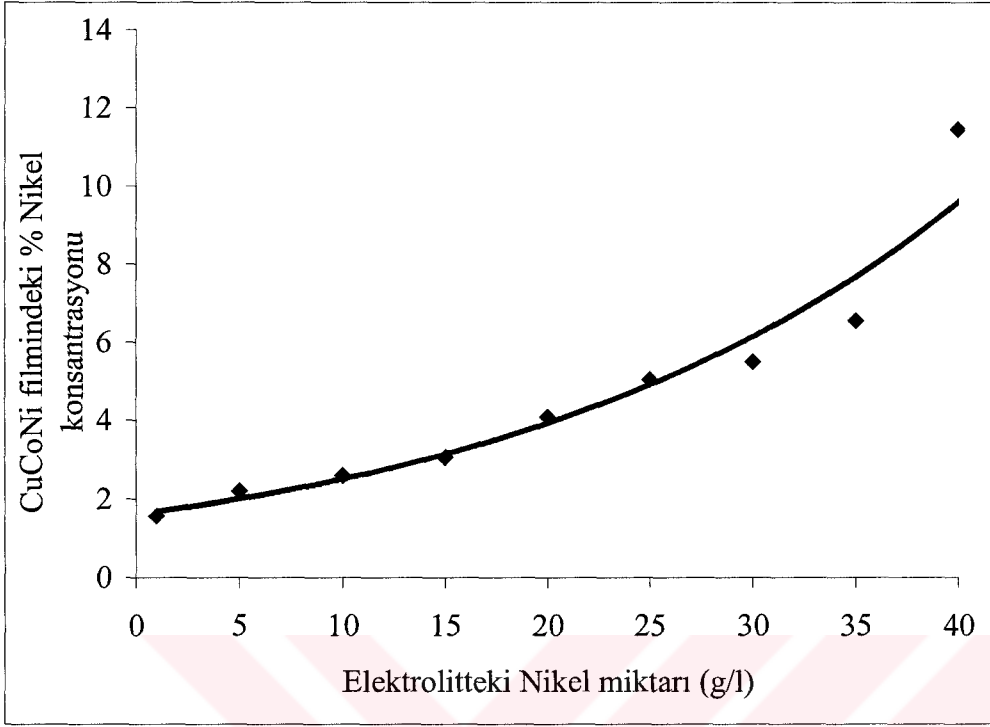
Yine atomik absorpsiyon spektrometresi yardımı ile CuCoNi alaşımlarının % konsantrasyon tayinleri yapılarak aşağıdaki değerler elde edilmiştir.



**Şekil 4.18.** CuCoNi alaşım filmlerinde banyodaki nikel miktarının filmde biriken bakır konsantrasyonuna etkisi



**Şekil 4.19.** CuCoNi alaşım filmlerinde banyodaki nikel miktarının filmde biriken kobalt konsantrasyonuna etkisi



**Şekil 4.20.** CuCoNi alaşım filmlerinde banyodaki nikel miktarının filmde biriken nikel konsantrasyonuna etkisi

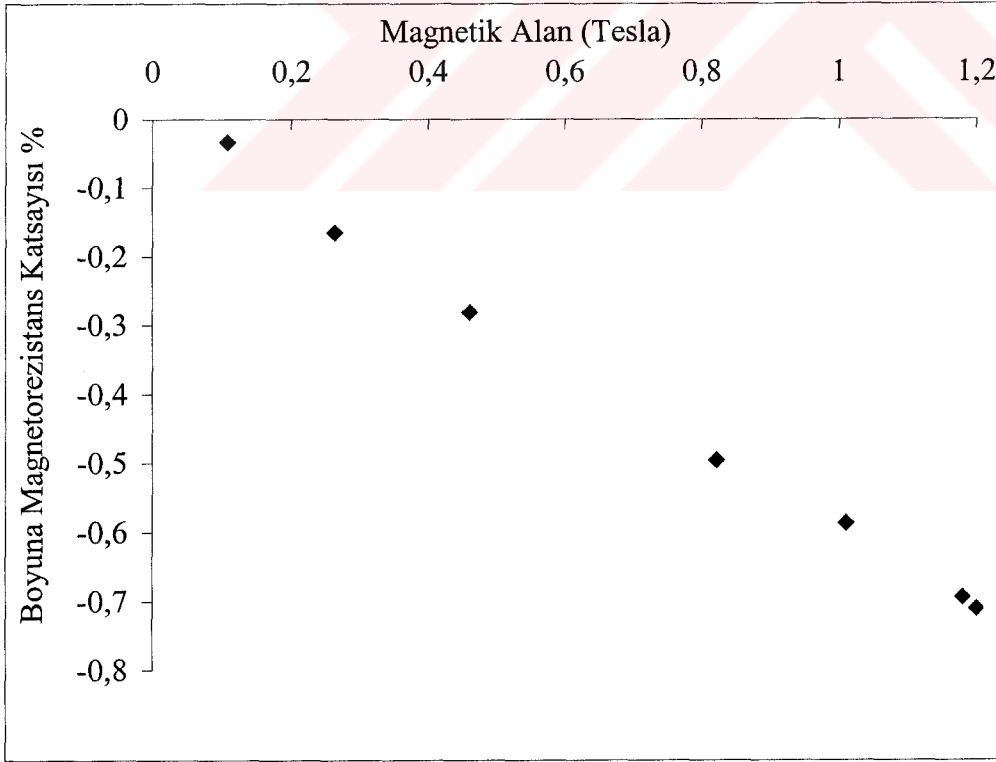
Şekil 4.20'dan görüleceği gibi banyodaki artan nikel miktarı ile CuCoNi alaşım filminde Ni miktarı 35 g/l'ye kadar doğrusal olarak artmıştır. CuCoNi filminde artan % nikel miktarının % 5,5'e (elektrolitteki 30 g/l değerine karşılık gelen) gelinceye kadar % Ni miktarının doğrusal olarak arttığı bakırın ise doğrusal olarak azaldığı şekil 4.18 ve 4.20 karşılaştırılması ile görülebilir. nikelin filmdeki miktarı % 5,5'e ulaştığında filmdeki nikel miktarı keskin bir artış gösterirken filmdeki % bakır miktarı keskin bir azalma % kobalt miktarının ise yavaş bir artış gösterdiği şekil 4.18, 4.19 ve 4.20'nin karşılaştırılmasından görülebilir.

Bu durum banyoda artan nikel miktarının kobaltın depolanmasını engelleyerek azalttığını buna karşılık bakırın depolanmasını tercihli bir hale getirdiğini ama banyodaki nikel miktarı 35 g/l yi aştığında bakırın bu tercihli depolama durumunu nikel ve kobaltın tercihli hale gelmesi ile kaybettiğini görüyoruz.

#### 4.4. Magnetorezistans Ölçümleri

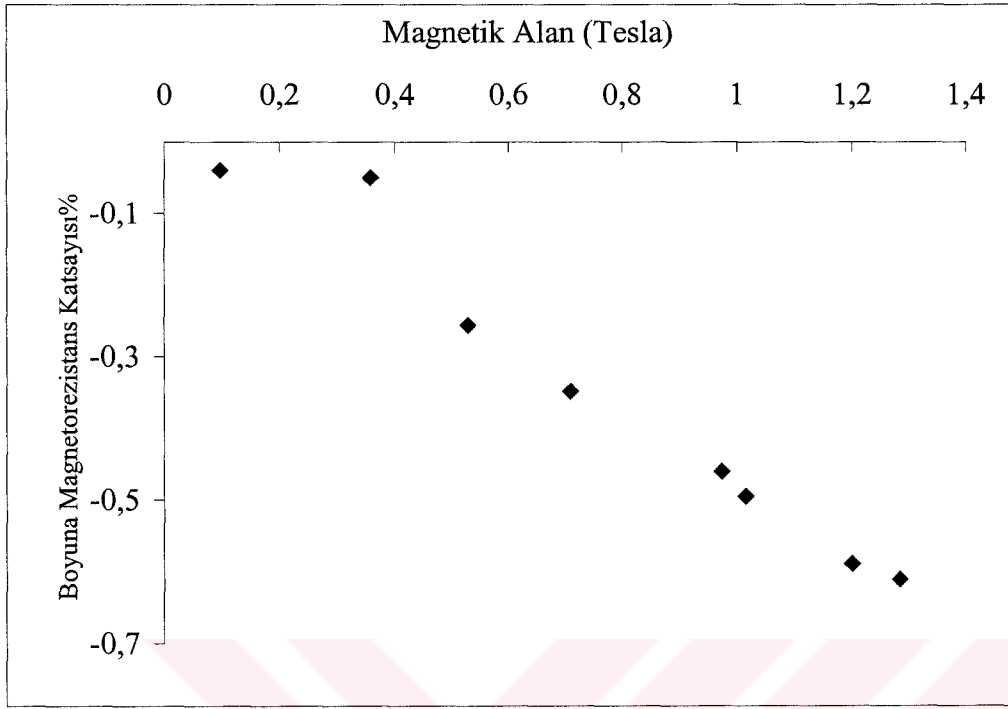
Magnetorezistans ölçümleri CuCo ve CuCoNi alaşım filmlerinin her ikisi içinde iki farklı şekilde yapıldı. İlk olarak değişik pH değerleri için elde edilen CuCo filmlerinde oda sıcaklığında magnetik alan değiştirilerek magnetorezistans değerinin magnetik alanın değişmesi ile nasıl değiştiği incelendi. Daha sonra sabit magnetik alanda magnetorezistansın sıcaklığa karşı değişimi incelendi.

CuCoNi üçlü alaşımlarının hem magnetik alana karşı magnetorezistans değişimi hem de sıcaklığa karşı magnetorezistans değişimi incelenmiştir. Her bir CuCoNi alaşım filmi için oda sıcaklığında magnetik alana karşı magnetorezistans değişimlerinin grafikleri aşağıda verilmiştir (şekil 4.21- 4.29).

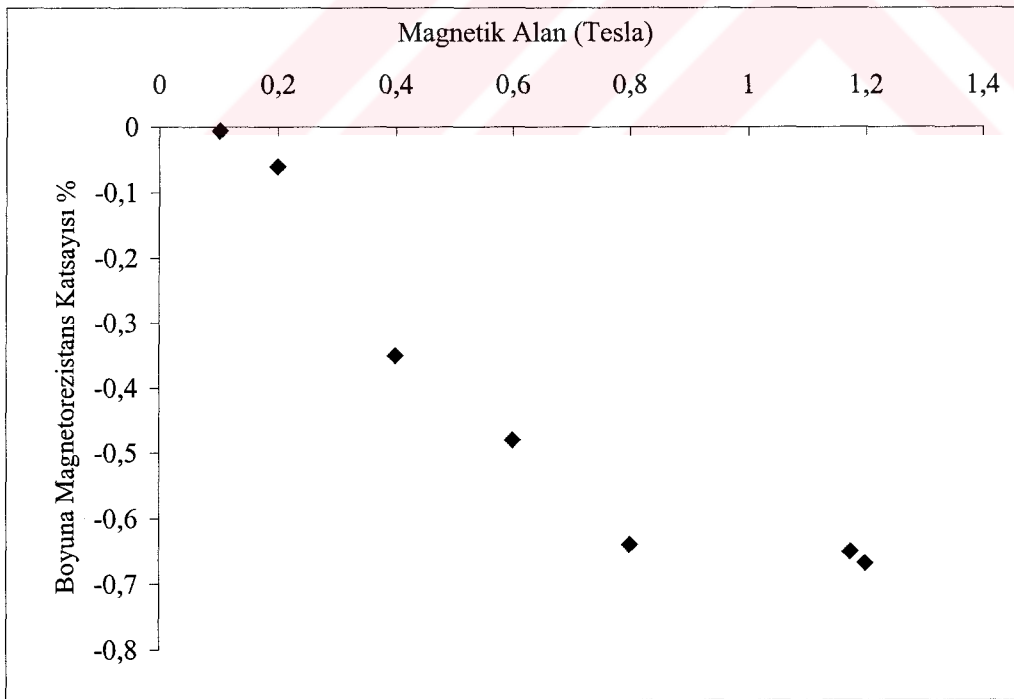


**Şekil 4.21.** 1g/l (% 1,56) nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin magnetik alan ile magnetorezistansın değişimi.

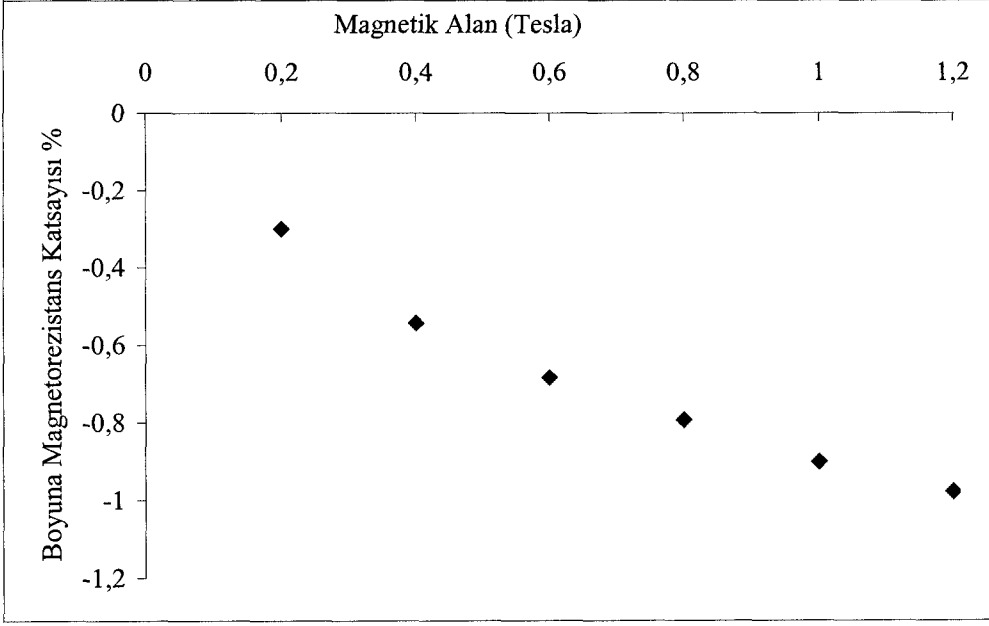




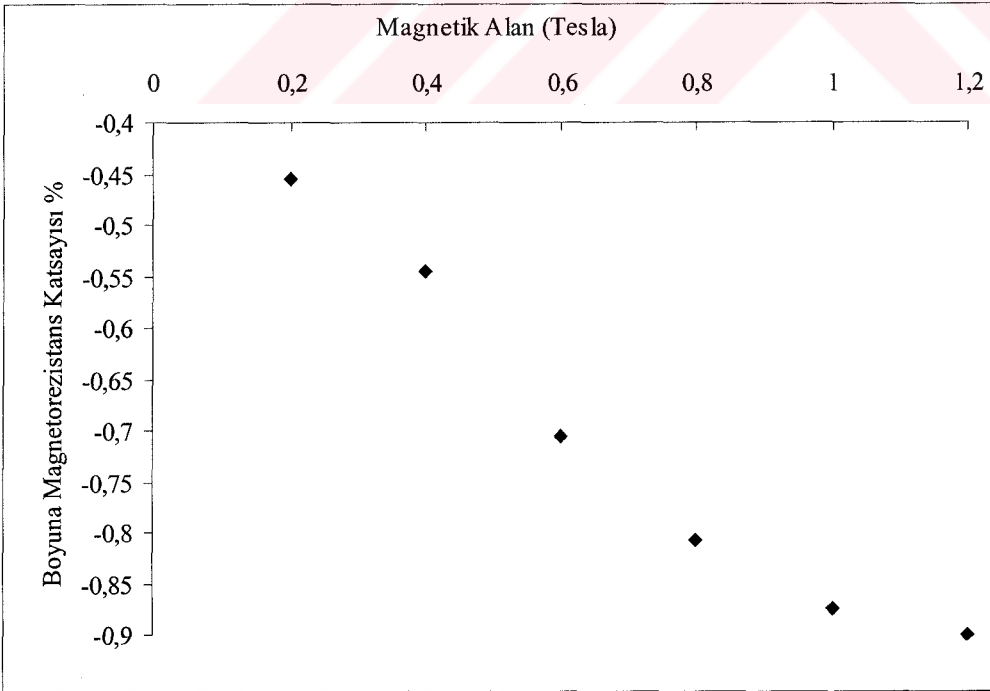
**Şekil 4.22.** 5 g/l (% 2,2) nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin magnetik alan ile magnetorezistansın değişimi



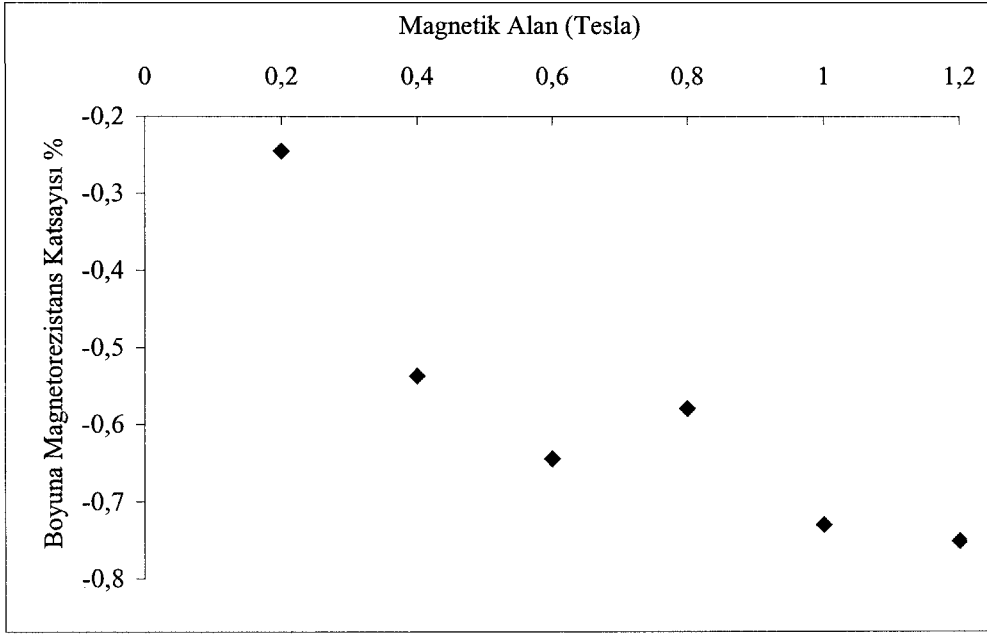
**Şekil 4.23.** 10 g/l (% 2,6) nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin magnetik alan ile magnetorezistansın değişimi



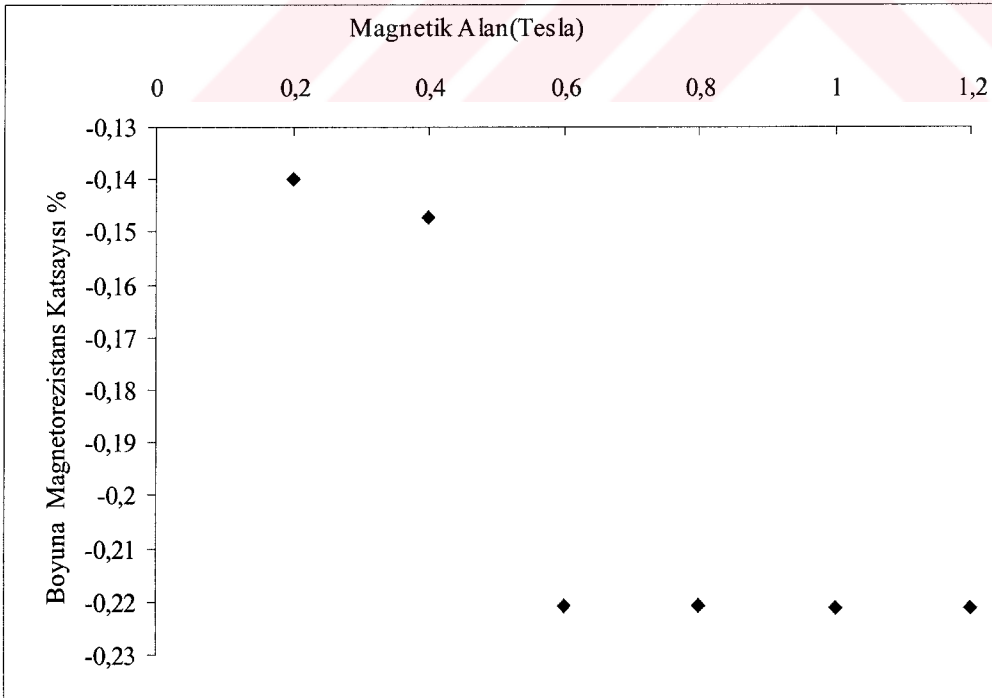
**Şekil 4.24.** 15 g/l (% 3,06) nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin magnetik alan ile magnetorezistansın değişimi



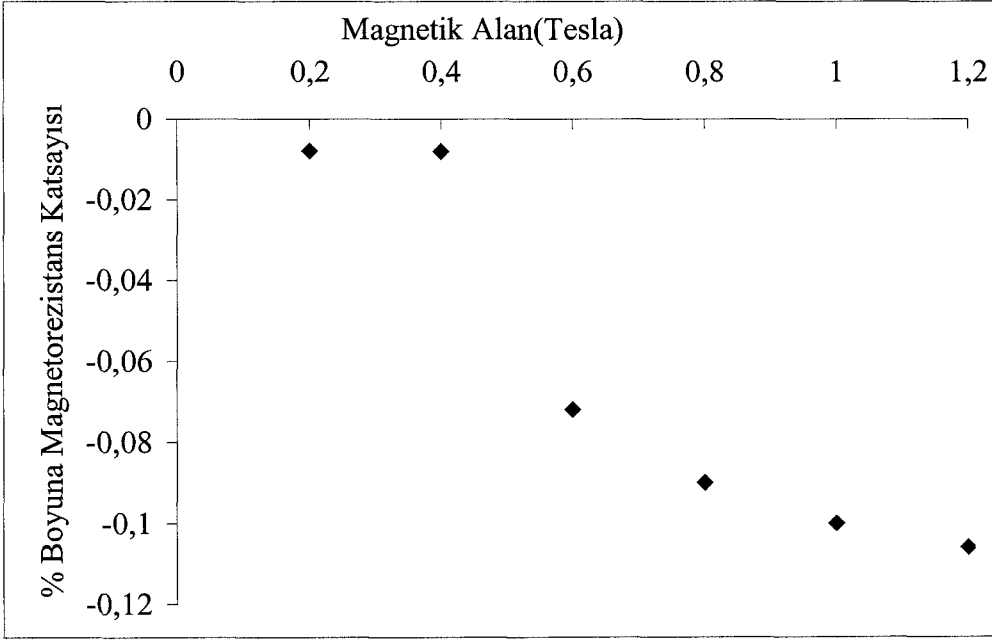
**Şekil 4.25.** 20 g/l (% 4,08) nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin magnetik alan ile magnetorezistansın değişimi



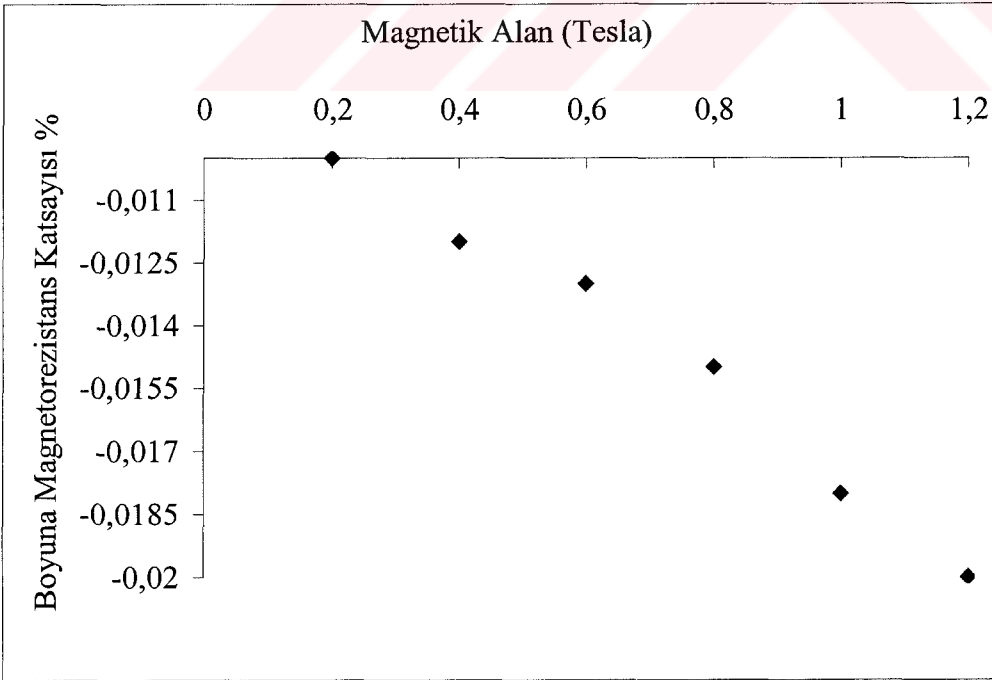
**Şekil 4.26.** 25 g/l (% 5,04) nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin magnetik alan ile magnetorezistansın değişimi



**Şekil 4.27.** 30 g/l (%5,5) nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin magnetik alan ile magnetorezistansın değişimi

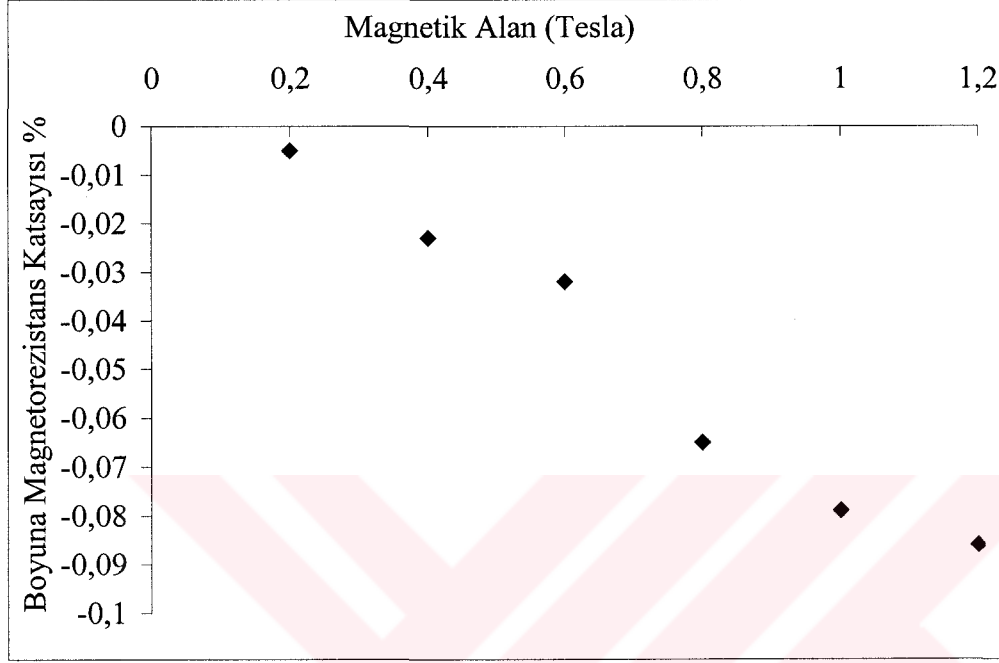


Şekil 4.28. 35 g/l (% 6,55) nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin magnetik alan ile magnetorezistansın değişimi

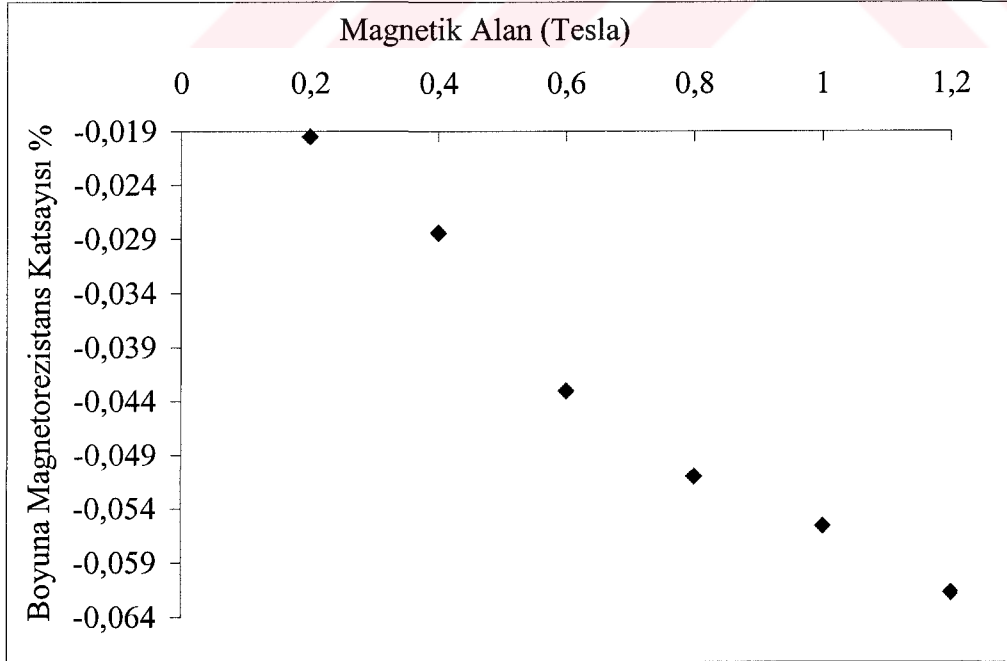


Şekil 4.29. 40 g/l (% 11,46) nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin magnetik alan ile magnetorezistansın değişimi

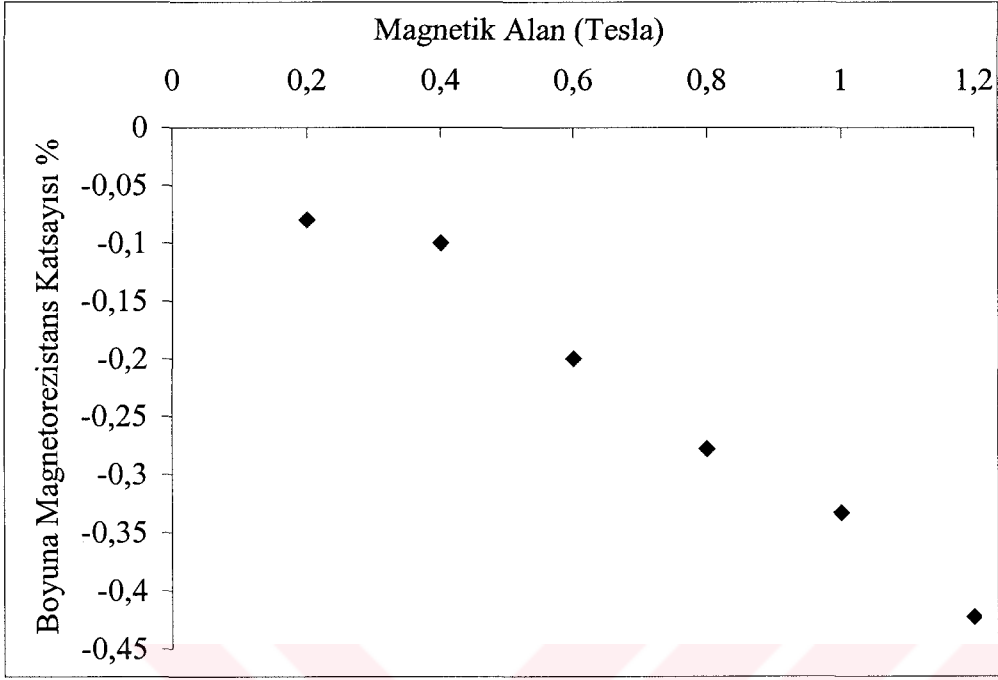
pH değişimi ile oluşturulan CuCo alaşım filmlerinde Magnetik alana karşı magnetorezistansın değişimi şekil 4.30- 4.35'te verilmiştir.



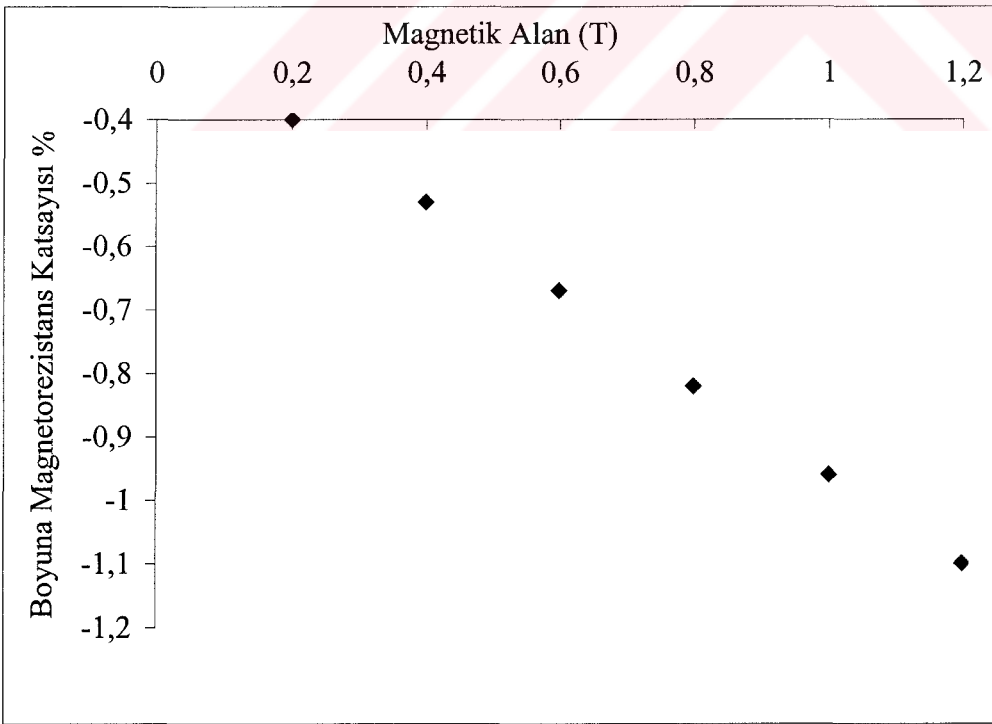
Şekil 4.30. pH=4,5 olan alaşım filminin magnetik alan- Magnetorezistans grafiği



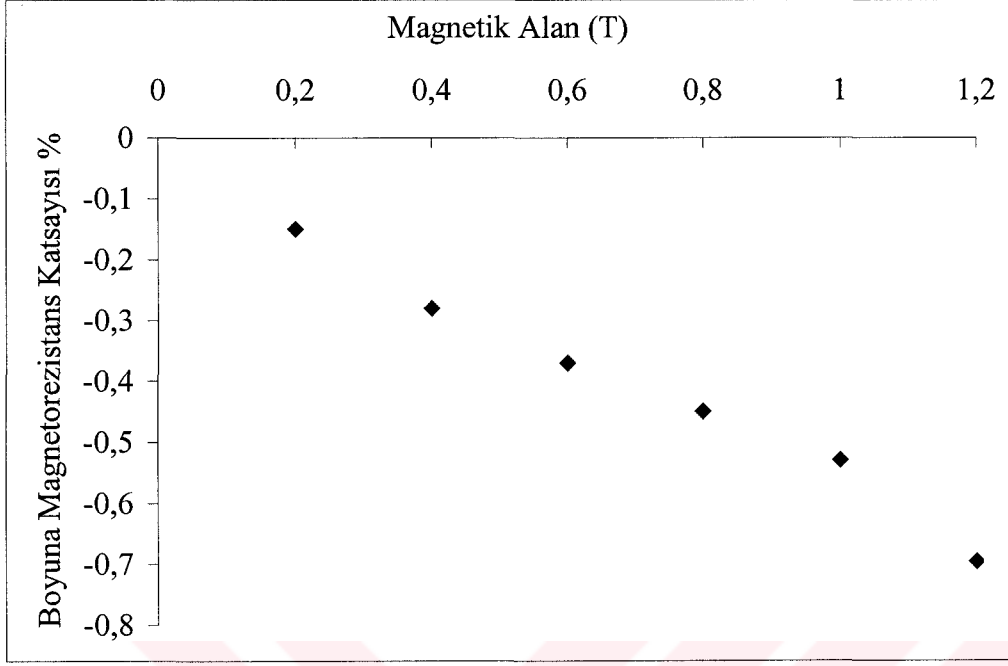
Şekil 4.31. pH=5 olan alaşım filminin magnetik alan- Magnetorezistans grafiği



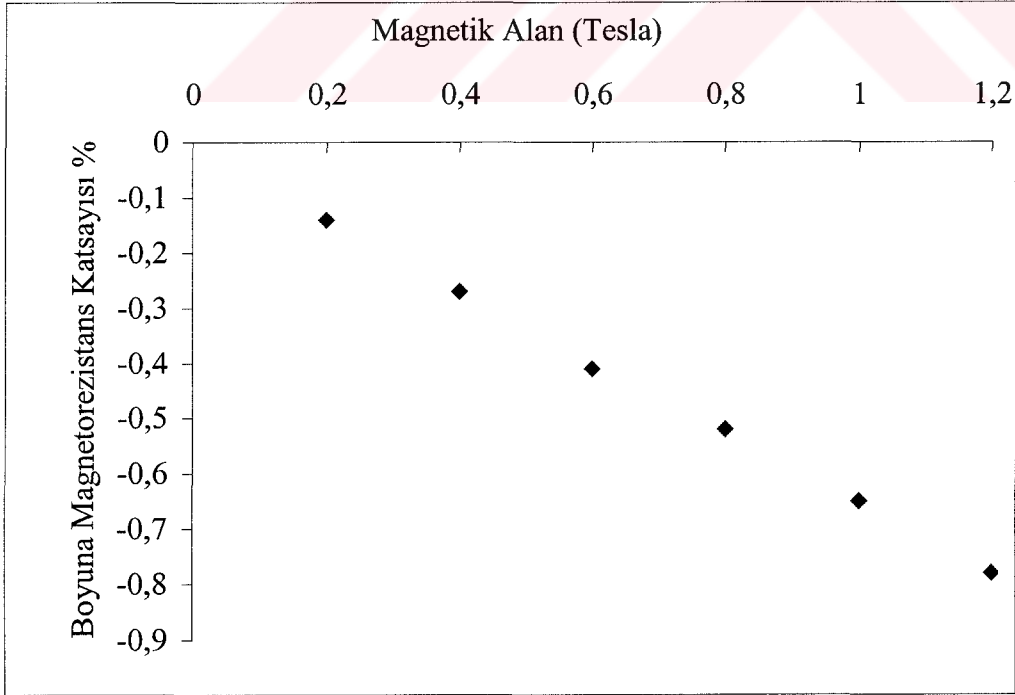
Şekil 4.32. pH=5,25 olan alaşım filminin magnetik alan- Magnetorezistans grafiği



Şekil 4.33. pH=5,5 olan alaşım filminin magnetik alan- Magnetorezistans grafiği



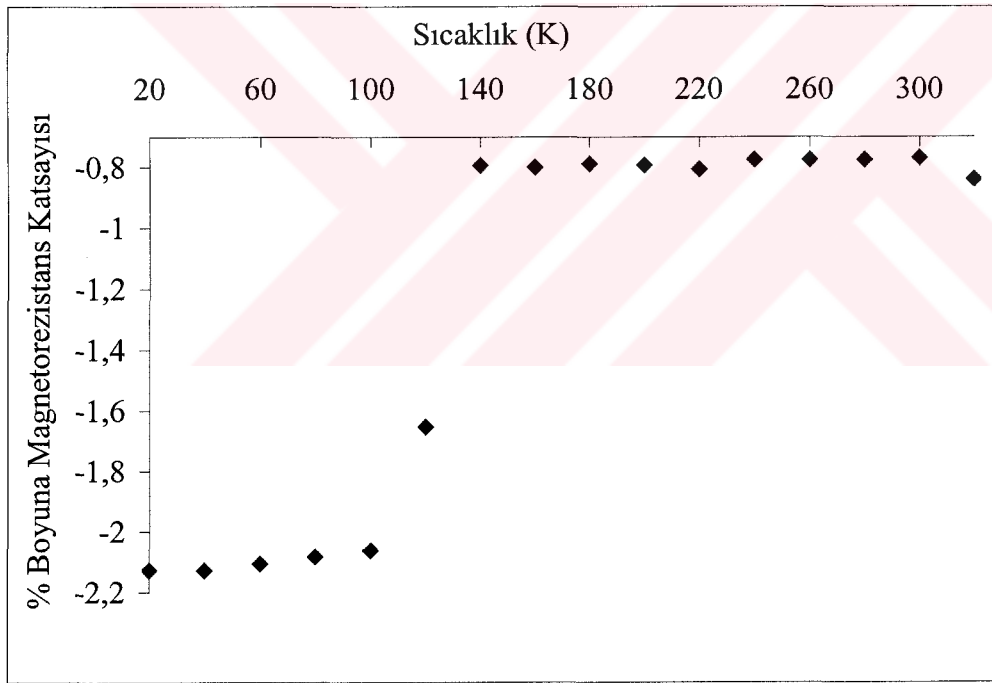
Şekil 4.34. pH=5,75 olan alaşım filminin magnetik alan- Magnetorezistans grafiği



Şekil 4.35. pH=6 olan alaşım filminin magnetik alan- Magnetorezistans grafiği

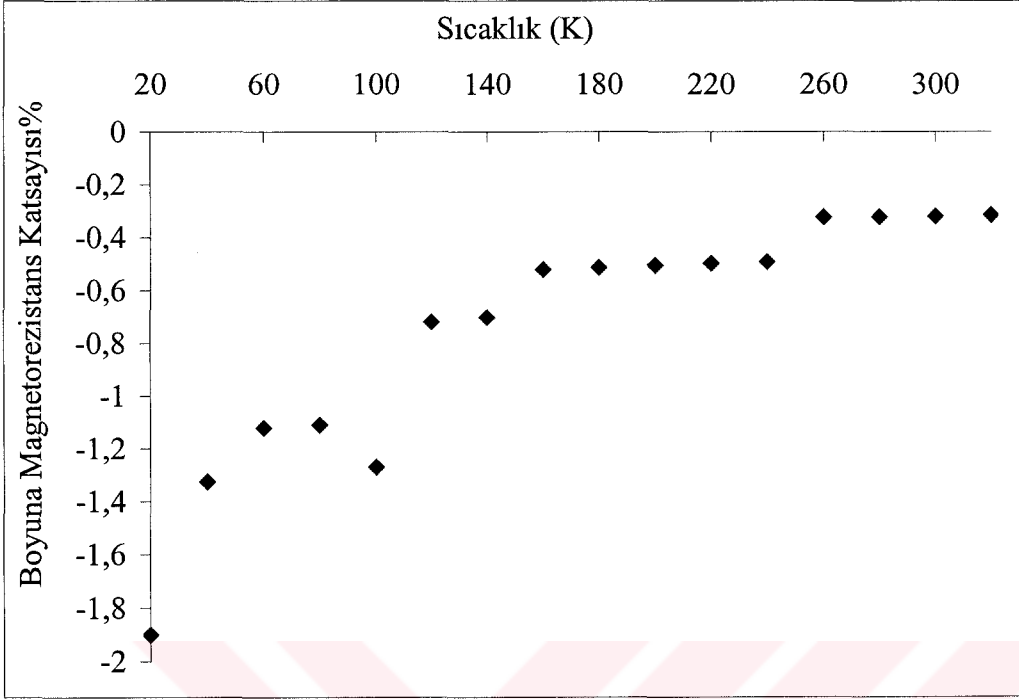
CuCo alaşım filmleri ve CuCoNi filmlerinin magnetorezistanslarının sıcaklıkla nasıl değiştiğini anlamak için 2,5 cm kutup aralıkta 12 kGaussluk alan üretebilen Varian V-2900 elektromıknatis kullanıldı. Elektromıknatisin kutupları arasına yerleştirilen numunelerin sıcaklığı, Helyum kriyostat vasıtası ile vakum altında 20 K ile 320 K arasında değiştirildi.

pH değerleri değiştirilerek oluşturulan CuCo alaşım filmlerinin sıcaklığa karşı 12 kG magnetik alanda elde edilen magnetorezistans değerlerini içeren grafikler artan pH değerine göre aşağıda (şekil 4.36- 4.39) verilmiştir.

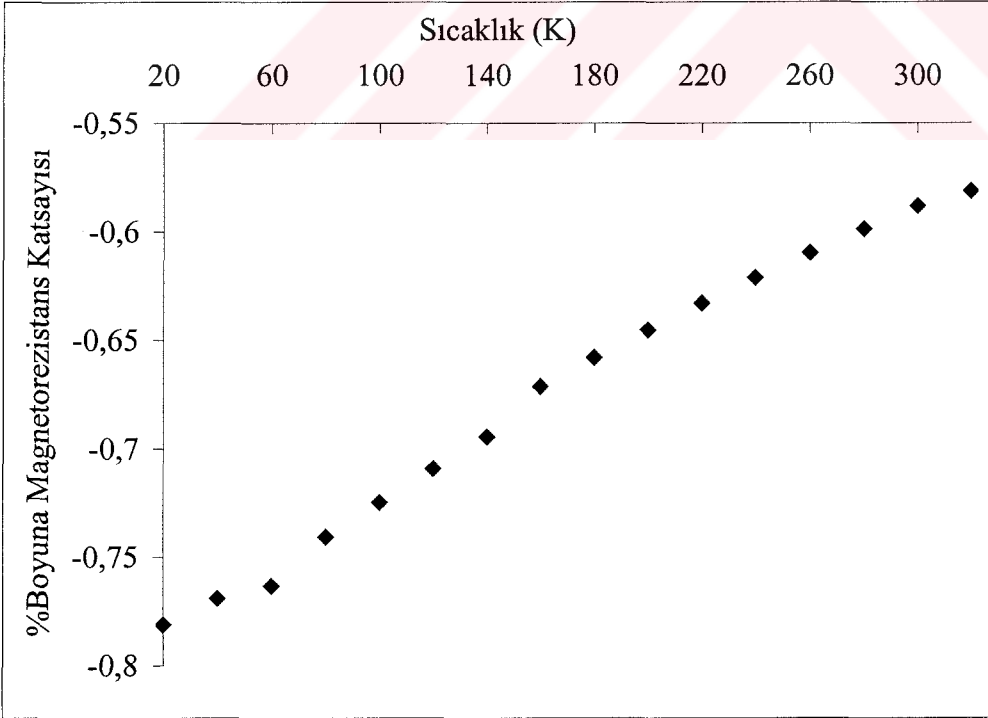


**şekil 4.36.** pH=5,25 olan numunenin boyuna magnetorezistansın sıcaklıkla değişim grafiği

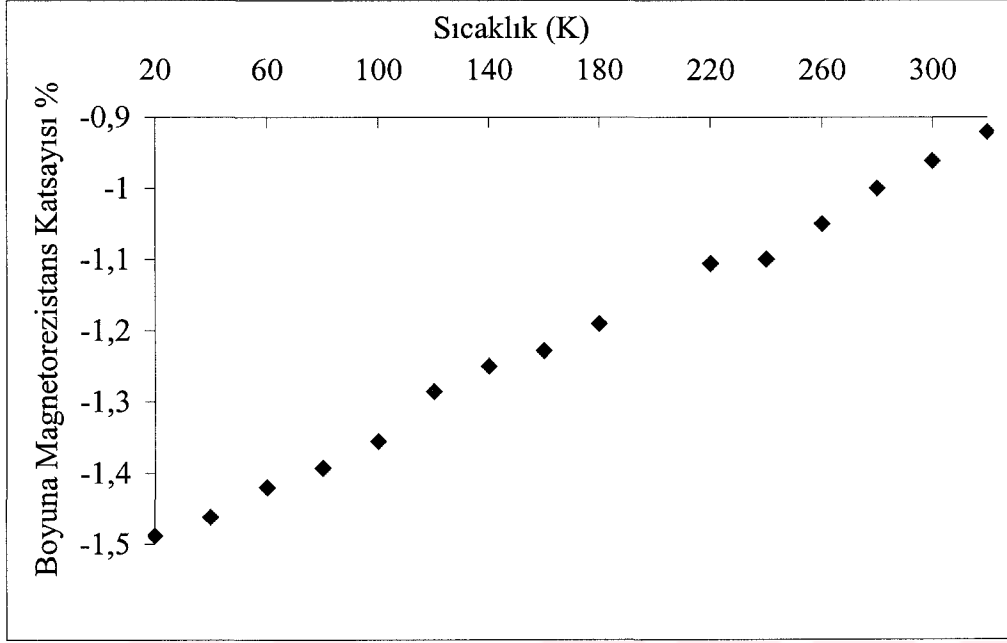




Şekil 4.37. pH=5,5 olan numunenin boyuna magnetorezistansın sıcaklıkla değişim grafiği

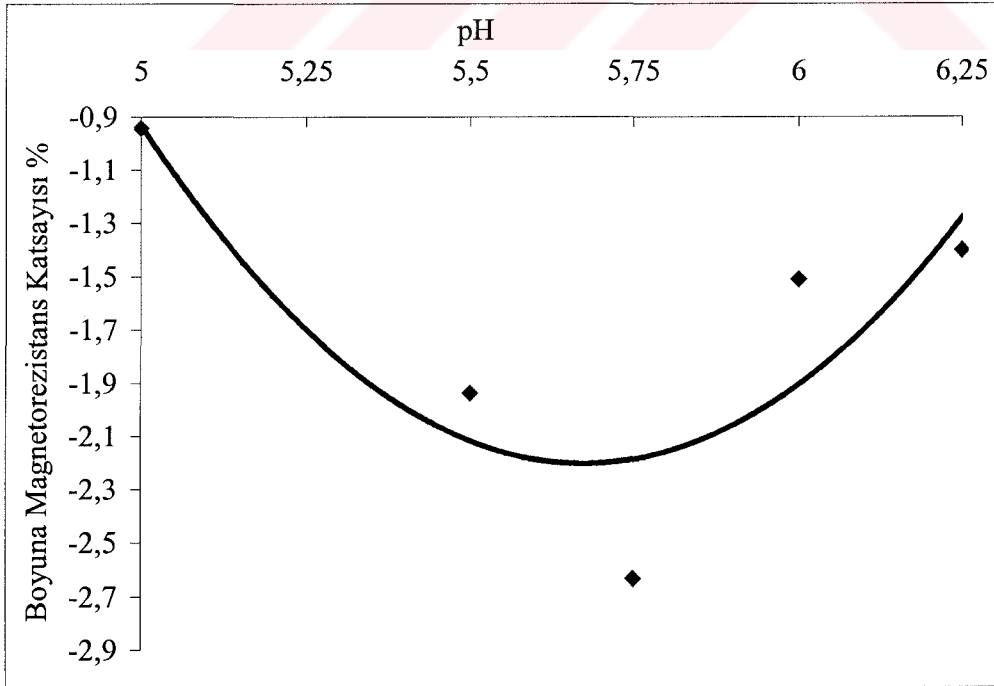


Şekil 4.38. pH=5,75 olan numunenin boyuna magnetorezistansın sıcaklıkla değişim grafiği



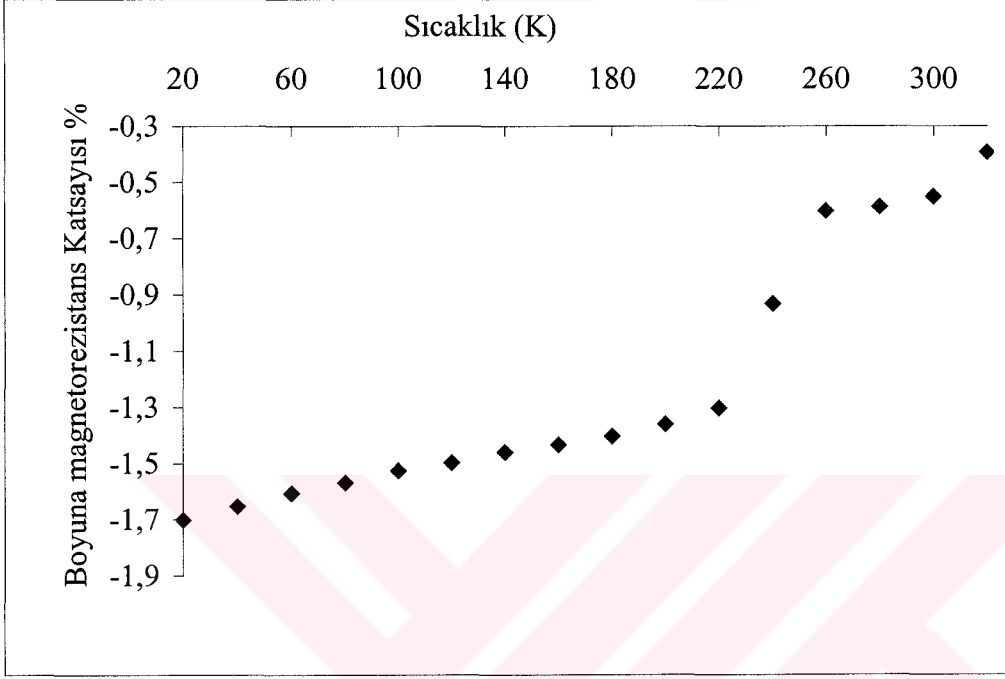
Şekil 4.39. pH=6 olan numunenin boyuna magnetorezistansın sıcaklıkla değişim grafiği

20 K de 12 kG'luk magnetik alanda elde edilen CuCo alaşım filmlerinde boyuna magnetorezistans değerleri pH'ya göre şu şekilde değişti.

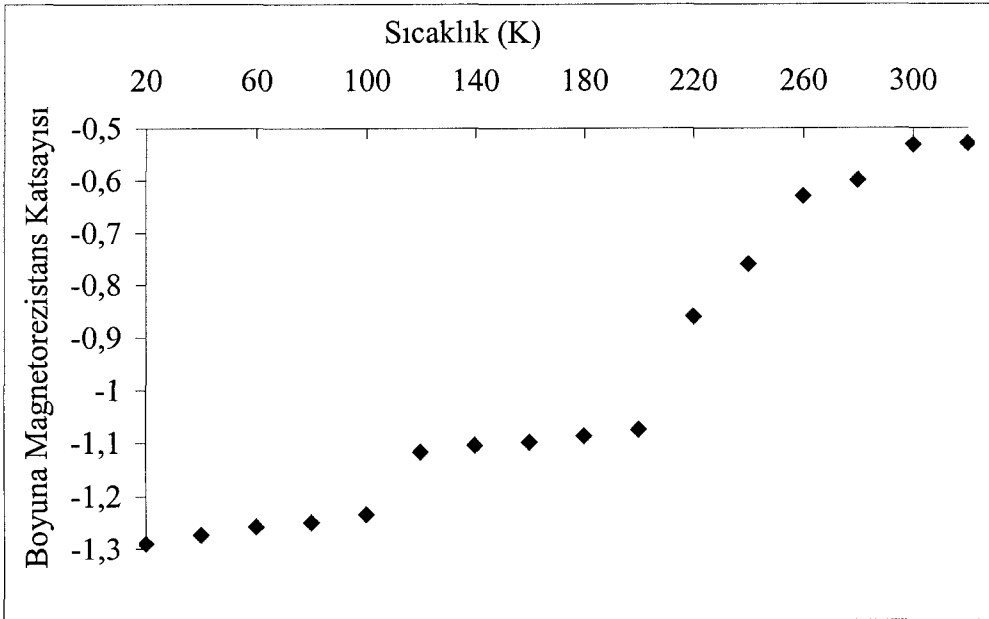


Şekil 4.40. 20 K sıcaklığında CuCo alaşım filmlerinde boyuna magnetorezistansın pH ya göre değişimi.

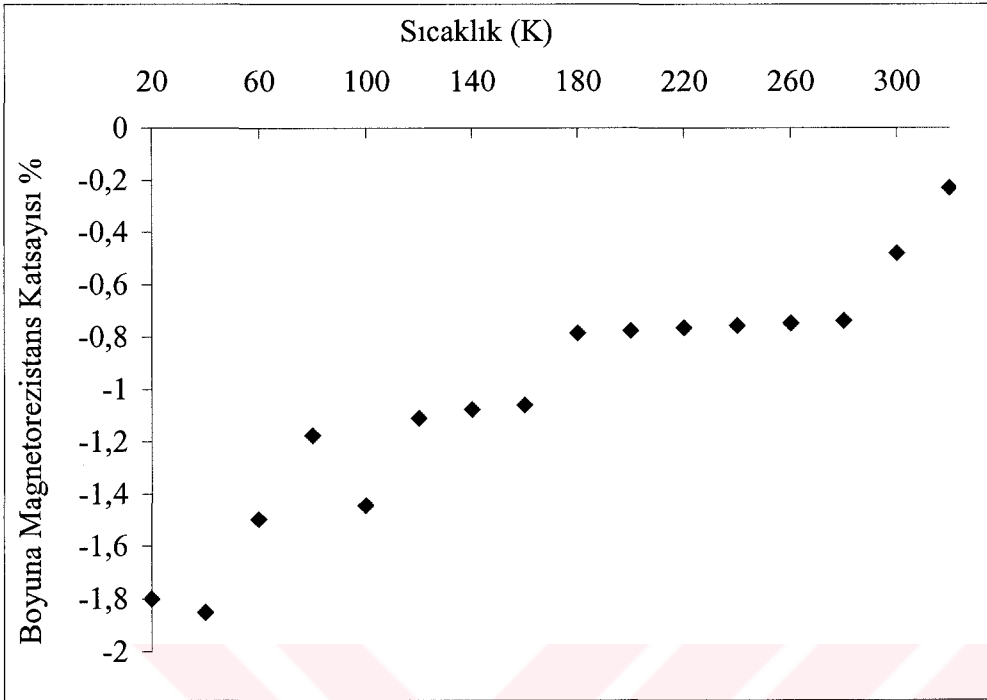
Nikel miktarları değişen CuCoNi alaşım filmlerinin boyuna magnetorezistans değerlerinin sıcaklıkla değişimini gösteren grafikler (şekil 4.41- 4.49) aşağıda sıralanmıştır.



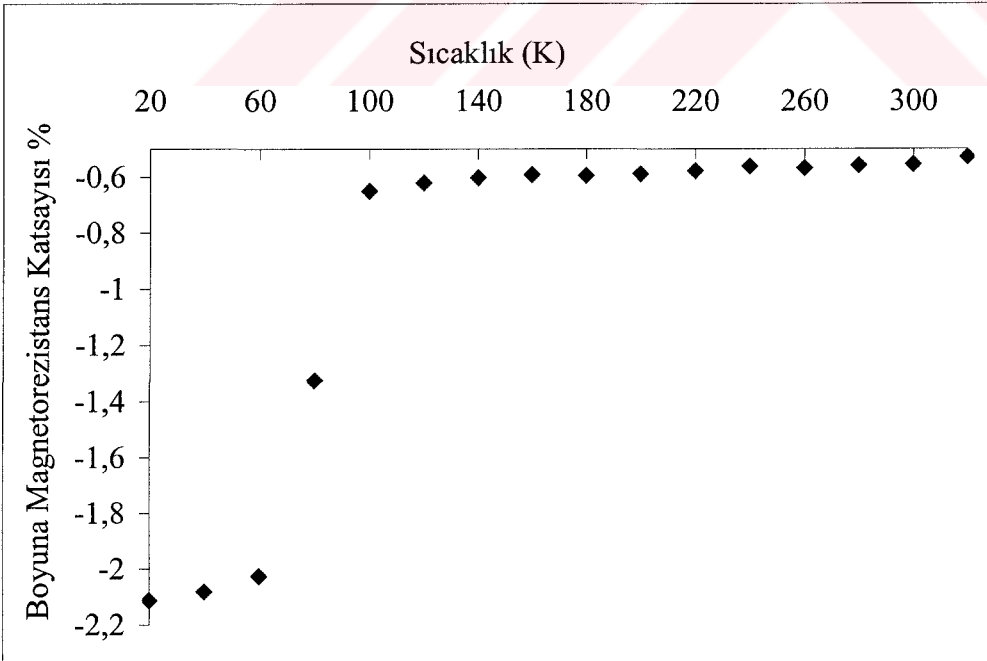
**Şekil 4.41.** İerisinde 1 g/l nikel bulunan CuCoNi alaşım filminde boyuna magnetorezistansın sıcaklıkla değişimi.



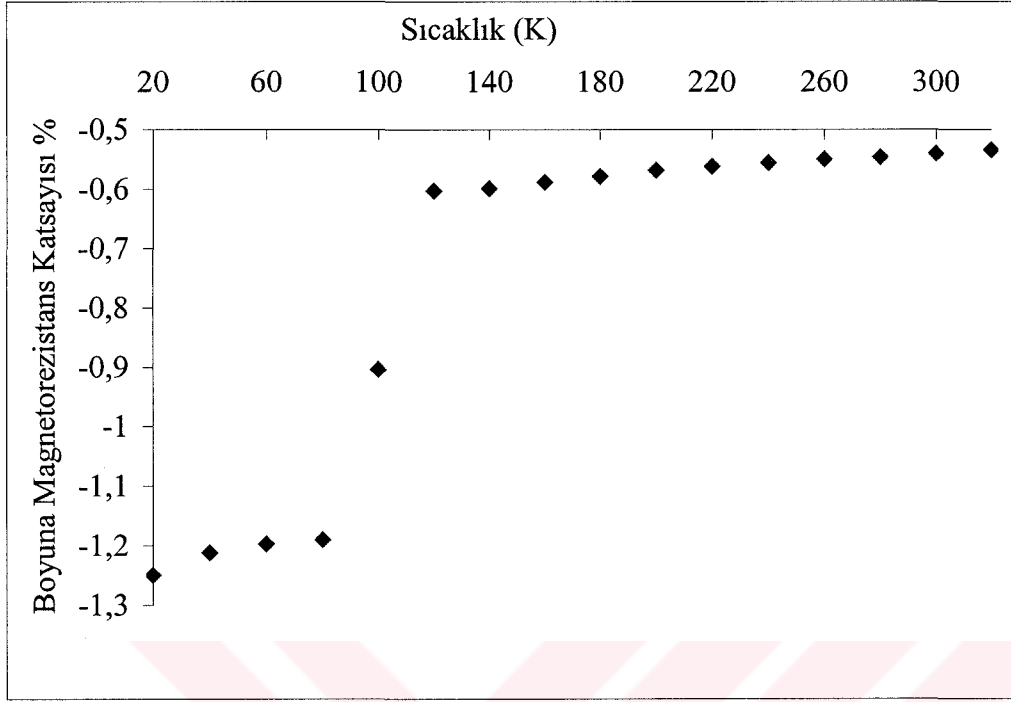
**Şekil 4.42.** 5 g/l nikel ieren filmin boyuna magnetorezistans katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği



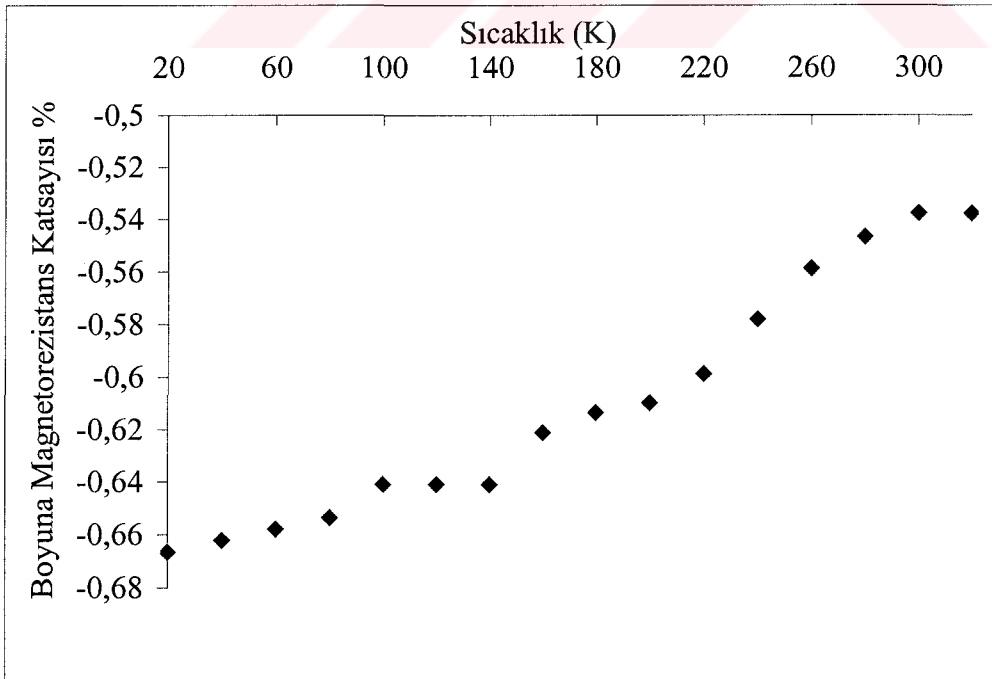
Şekil 4.43. 10 g/l nikel içeren filmin Boyuna magnetorezistans katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği



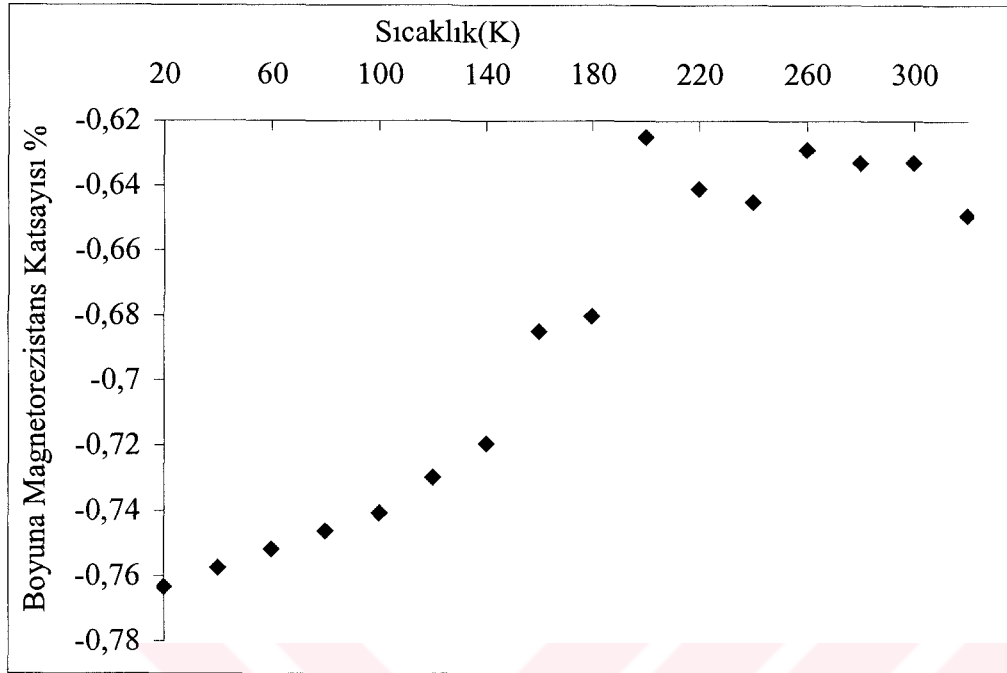
Şekil 4.44. 15 g/l nikel içeren filmin Boyuna magnetorezistans katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği



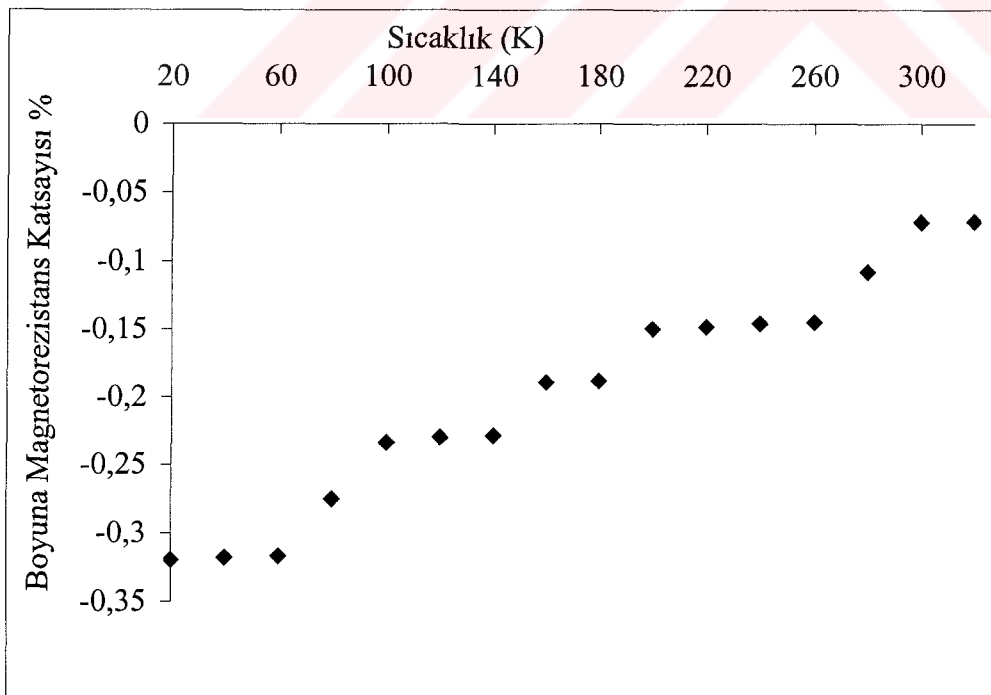
Şekil 4.45. 20 g/l nikel içeren filmin Boyuna magnetorezistans katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği



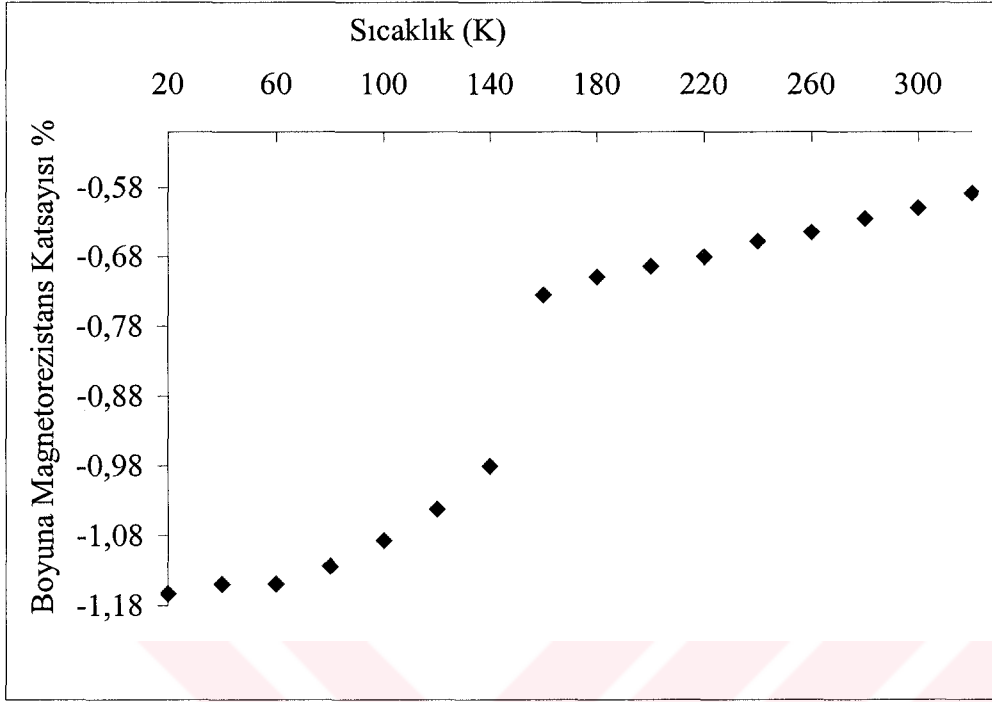
Şekil 4.46. 25 g/l nikel içeren filmin Boyuna magnetorezistans katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği



Şekil 4.47. 30 g/l nikel içeren filmin Boyuna magnetorezistans katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği



Şekil 4.48. 35 g/l nikel içeren filmin Boyuna magnetorezistans katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği



**Şekil 4.49.** 40 g/l nikel içeren filmin Boyuna magnetorezistans katsayısının sıcaklıkla değişim grafiği

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

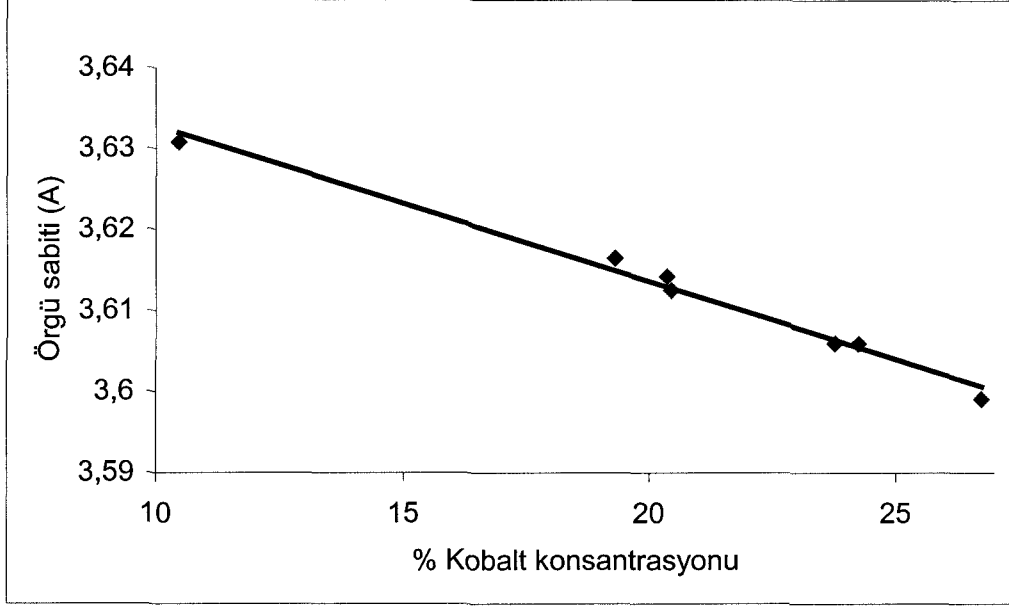
### 5.1. Elektrokimyasal Depolama Sonuçları:

Elektrokimyasal depolama yolu ile elde edilen pH değerleri farklı olan CuCo ve nikel miktarları farklı olan CuCoNi filmlerinin gerçekten birer alaşım olup olmadıklarının anlaşılması için Vegard kanunu numunelere tatbik edildi. XRD ölçümleri alaşım filmlerin fcc yapıdan yansımalarını gösterdi. CuCo filmlerinde kobalt pikine rastlanamadı. Bu kobaltın yansıma yapabilecek kadar kümeleşemediğini yani yansıma düzlemi oluşturamadığını göstermektedir. CuCo filmlerinde filmlerin latis sabitlerinin artan kobalt konsantrasyonlarıyla ve CuCoNi filmlerinde de artan nikel konsantrasyonlarıyla azaldığı gözlemlendi. Bu sonuç elde edilen numunelerin Vegard kanununa uyduğunu ve dolayısıyla elde edilen filmlerin katı çözelti olduğunu göstermektedir. Vegard kanununa göre katı çözelti içerisinde çözünen element miktarı ile matriks elementin kristal sabiti doğru orantılı olarak azalır.

Ayrıca konsantrasyon ölçümlerinden elde edilen sonuçlara göre elektro depolama banyosuna katılan yüzde oranında maddenin filmde aynı yüzde ile temsil edilmedikleri fakat banyoda artan miktarla orantılı olarak filmde depolandığı görülmektedir. CuCoNi filminin Latis sabitinin artan kobalt miktarı ile nasıl değiştiğini gösteren grafik şekil 5.1 de verilmiştir.

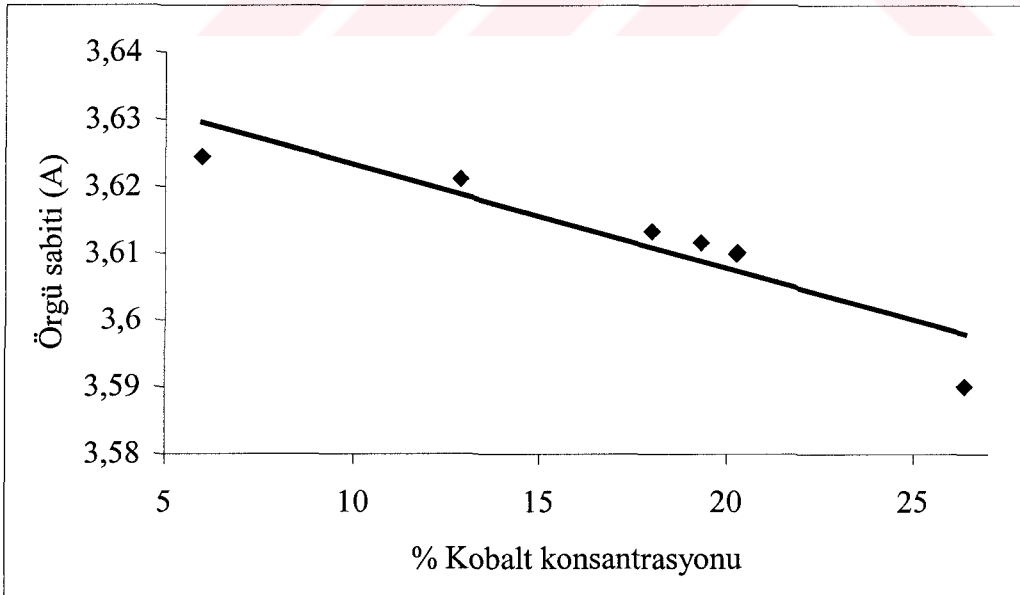
Filmin kobalt konsantrasyonu arttıkça kristal örgü sabitinin küçüldüğü görülmüştür. Bu, fcc bakır örgüsü içinde, bakırdan daha küçük atomik yarıçapa sahip olan kobalt atomlarının örgüye yerleşmesi olarak açıklanmaktadır. Bu sonuç bize, bu çalışmada hazırlanan alaşımın diğer teknikler ile hazırlanan CuCo alaşım filmleri gibi katı çözelti olduğunu göstermektedir.





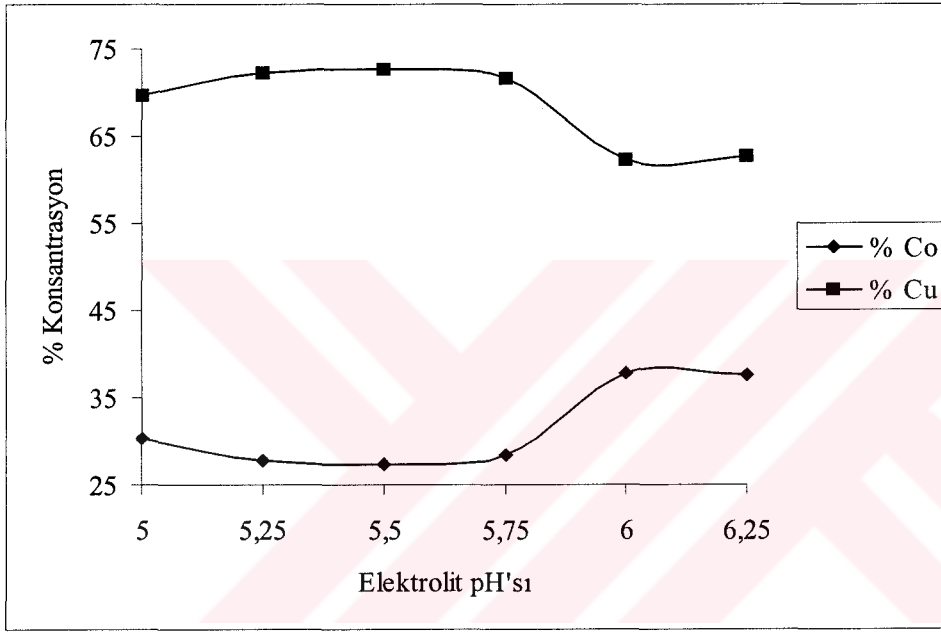
**Şekil 5.1.** CuCoNi alaşım filminde %Co konsantrasyonuna karşı kristal örgü sabiti değişimi

Yine CuCo alaşım filminde de oluşan filmin katı çözeltili olduğunu gösteren latis sabitinin artan kobalt konsantrasyonu ile değişimi şekil 5.2 de verilmiştir.



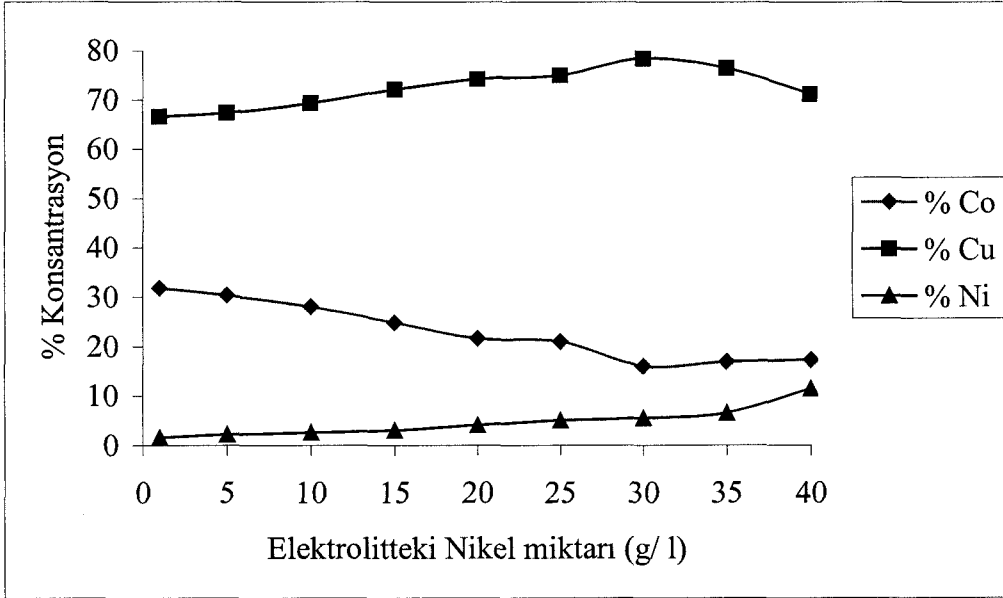
**Şekil 5.2.** CuCo alaşım filminde %Co konsantrasyonuna karşı kristal örgü sabiti değişimi

CuCo alaşımlarında pH asitlik derecesinin filmlerde kobalt miktarının artmasına yol açarken bakır miktarının azalmasına yol açtığı görüldü. Hatta pH değerinin 4,5 ten aşağı olduğu durumlarda oluşan filmde hiç kobalt oluşmadığı filmin yalnızca bakırdan ibaret olduğu tespit edilmektedir. Asitlik değerinin filmin oluşumunda bu kadar etkin olması elektro depolamada unutulmaması gereken bir faktördür. Bu durum aşağıdaki şekil.5.3.te görülmektedir.



**Şekil 5.3.** Artan Asitlik derecesinin % konsantrasyon değerlerine etkisi

CuCo filmlerine katılan nikel miktarı arttıkça bir diğer magnetik madde olan kobalt konsantrasyonunda belirgin bir düşüş gözlenmektedir. Örneğin pH değeri 6 iken CuCo alaşım filmindeki kobalt konsantrasyonu %31,85 iken nikel miktarı 1 gramdan 40 grama doğru çıkarılan CuCoNi üçlü alaşım filmlerindeki kobalt miktarı %31,84' den %17,34'e doğru azalmaktadır. Buna karşılık Filmdeki nikel miktarı ise %1,56' dan %11,46 değerine kadar çıkmış ve CuCoNi alaşım filmindeki kobalt atomlarının yerini nikel atomları almaya başlamıştır. Bu durum aşağıdaki şekil 5.4' te görülmektedir.

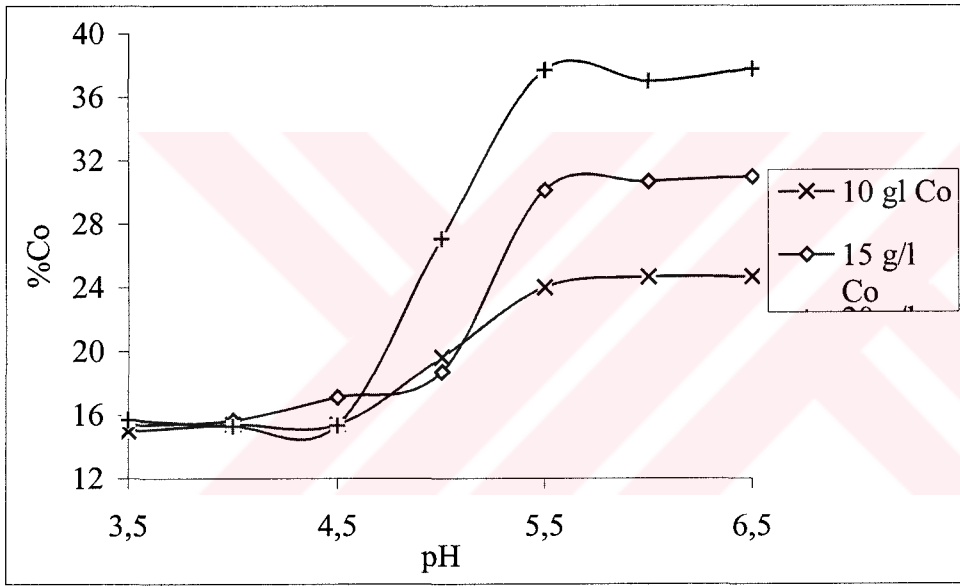


**Şekil 5.4.** nikel katkısının yüzde konsantrasyon dağılımına etkisi

Alaşım filmler oluşturulurken en uygun pH değerinin tespit edilmesine karar verebilmek için CuCo alaşım filmlerinin oluşturulmasında kullanılan banyo terkihi kullanılarak banyo pH'sı 3,5 ile 6,5 arasında değiştirilerek yedi farklı film elde edildi. Depolama süresi 30 dakika, akım yoğunluğu  $5 \text{ mA/cm}^2$  tutuldu. Filmler  $1 \text{ cm}^2$  boyutunda kesildi ve atomik absorpsiyon spektrometresinde analiz edilerek en çok kobalt elementinin biriktiği pH değeri tespit edilmeye çalışıldı. Hazırlanan banyoya katılan kobalt miktarları sırası ile 10,15,20 g/l olarak değiştirilen üç farklı bakır kobalt filmde, asitlik derecesinin oluşan filmde biriken % kobalt konsantrasyonunu nasıl değiştirdiği şekil 5.5'te görülmektedir.

Şekil 5.5'ten de anlaşıldığı gibi banyoya katılan kobalt miktarı filmde kendisini etkin bir şekilde göstermekte fakat bu doğrusal olmamaktadır. Düşük asitlik derecelinde kobalt atomlarının çok az miktarda filmde depolana bildiği, oysa pH değerinin 4,5 olmasından itibaren filmde oluşan % kobalt miktarının gözle görülür bir şekilde arttığı izlenmektedir. pH=4,5- 5,5 değerleri arasında kobalt birikimi çok hızlı bir şekilde artmakta pH=5,5 değerinden sonra sabitlenme eğilimine girmekte ve en fazla kobalt birikimi pH'nın 6 olduğu değerde gerçekleşmektedir. pH'nın bu artışı devam

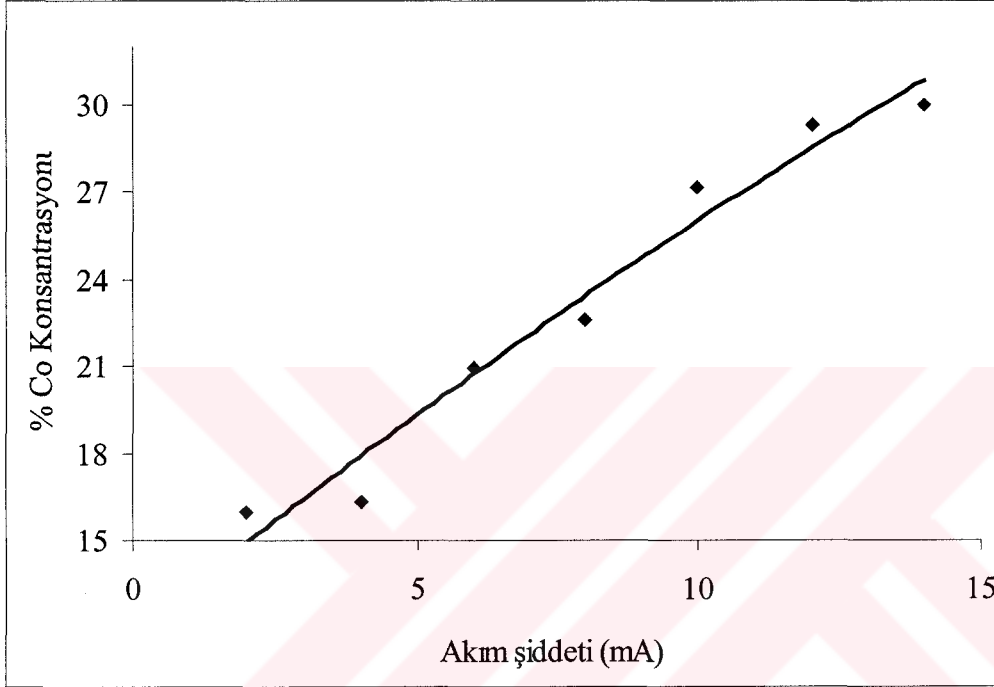
ettirildiğinde artık banyoda film üzerindeki pürüzsüzlük bozulmakta ve elektrolit içerisinde çökme meydana gelmektedir. Ayrıca pH=5,5- 6,5 değerleri arasında oluşan filmde toplanan maddelerin konsantrasyon miktarları açısından bir kararlılık gözlenmektedir. Düşük pH değerlerinde çalışıldığında oluşan filmde hemen hemen hiç magnetik atom toplanamamakta ve film yalnızca bakırdan ibaret olmaktadır. pH=5,5-6,5 aralığında film yüzeyi düzgün oluşurken düşük asitlik değerlerinde film üzerinde delikler ve istenmeyen lekeler gözlenmektedir. Bu nedenlerden dolayı CuCo alaşımları elde etmek için en uygun pH değerinin 6 olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 5.5. Uygun pH seçimi için pH- %Co grafiği

İkinci olarak depolanan filmlerinin uygun akım şiddeti araştırıldı. Bunun için hazırlanan banyoda pH=6 ve zaman 15 dakika tutuldu. Akım yoğunlukları sırası ile 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 mA/cm<sup>2</sup> olarak ayarlandı ve bu şartlar altında 7 film elde edildi. Oluşan durum şekil 5.6. de verilmiştir. Akım şiddeti arttıkça düzenli olarak filmde biriken kobalt miktarının arttığı gözlenmektedir. Bu elektrodepolamanın doğal bir sonucudur. Akım şiddetinin 10 mA/cm<sup>2</sup> olduğu değere kadar filmde biriken kobalt miktarının hızlı bir artış gösterdiği bu değerden sonra daha az bir eğimle artış göstererek doyuma ulaştığı görülmektedir. 10 mA/cm<sup>2</sup> den fazla akım verilen numunelerde film yüzeyinde

pürüzsüzlükler oluştuğu gözlenmektedir. Depolamanın madde miktarının fazla olması istendiğinde akım şiddetinin çok fazla tutulmasının değil, depolama süresinin uzatılmasının daha düzgün yapıda filmler elde etmek için daha yararlı bir yol olduğu görülmektedir.

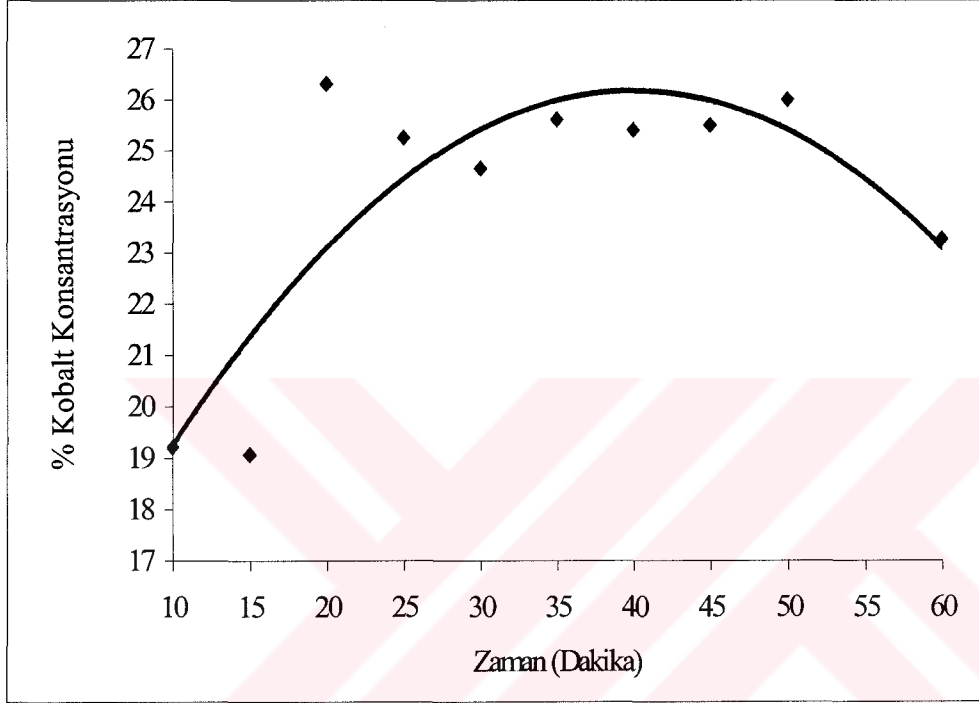


**Şekil 5.6.** Elektrolite uygulanan akım şiddetine filmdeki kobalt konsantrasyonu

Şekilde akım yoğunluğunun artması ile filmdeki kobalt konsantrasyonunun doğrusal arttığı görülmektedir. En uygun depolama akım yoğunluğunun  $5\text{mA}/\text{cm}^2$  olduğuna karar verildi.

En uygun depolama zamanının tespiti için farklı zaman dilimlerine karşı kobalt konsantrasyonunun nasıl değiştiği Şekil.5.7 de verilmiştir. Bunun için banyo terkihi aynı tutularak  $\text{pH}=6$ , akım yoğunluğu  $I=5\text{mA}/\text{cm}^2$  alındı. Depolama süresi 10 dakika ile 60 dakika arasında 5'er dakikalık zaman farklılıkları ile  $t=10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60$  dakika seçilerek farklı 11 CuCo filmi elde edildi. Filmler nitrik asitte çözülerek 50 ml'ye saf su ile tamamlandıktan sonra atomik absorpsiyon ölçümleri için

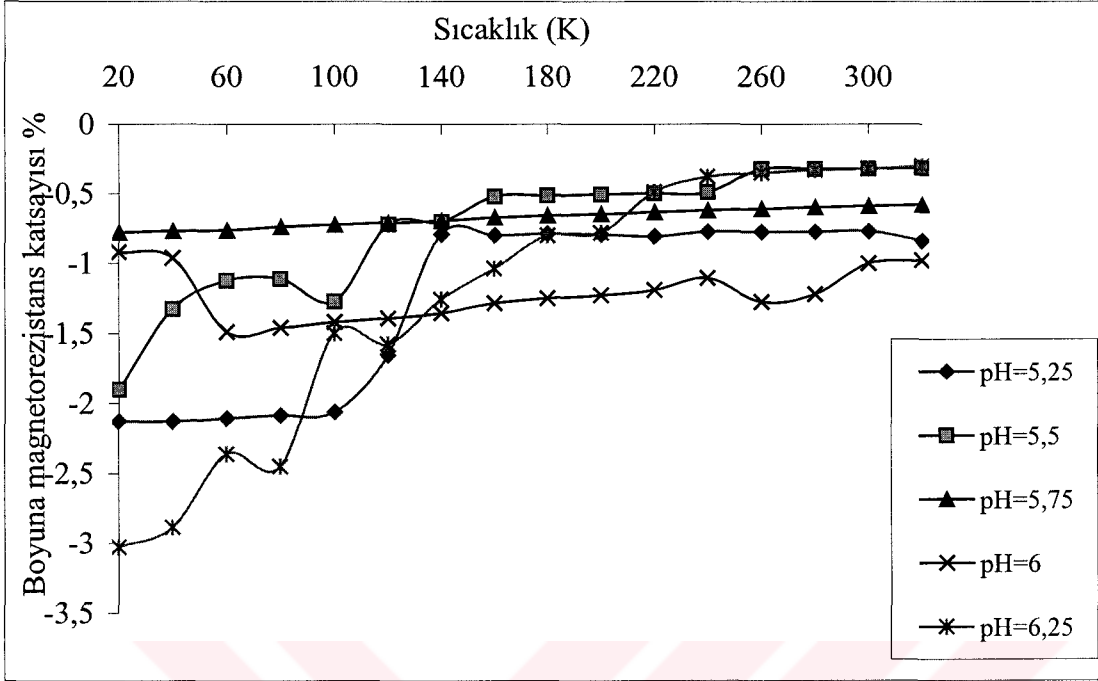
hazır hale getirildi ve atomik absorpsiyon spektrometresi ile madde analizi yapıldı. İlk 10 dakika içerisinde magnetik kobalt konsantrasyonunun keskin bir artış gösterdiği daha sonra hemen hemen sabitlendiği görülmektedir.



Şekil.5.7. Filmdeki % kobalt konsantrasyonunun zamanla değişimi

## 5.2.Özdirenç ve Magnetorezistans Sonuçlarının Yorumları

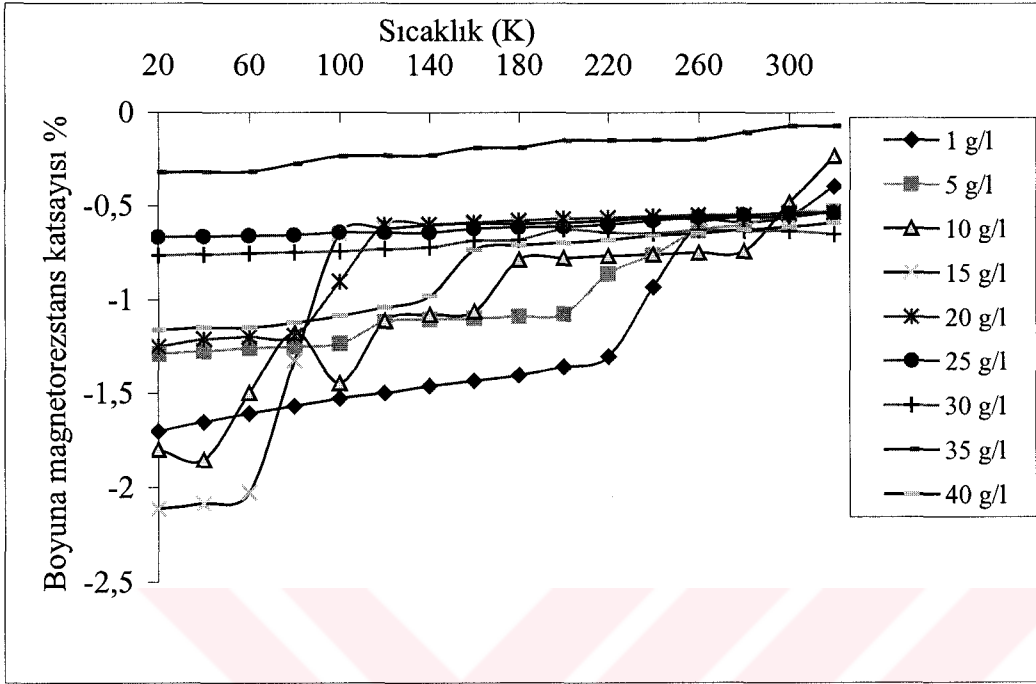
Bu bölümde CuCo ve CuCoNi alaşım filmlerinin sabit magnetik alana karşı değişen sıcaklıkta magnetorezistansında meydana gelen değişiklikler yorumlanmaktadır. Her iki tip numune grubunun magnetorezistans sonuçları şekil 5.8 ve şekil 5.9'da verilmiştir. Ayrıca pH'sı değişen CuCo numunelerinin magnetorezistanslarının sıcaklıkla değişimini toplu halde görebilmek için bağıl magnetorezistansları toplu halde şekil 5.8'de verilmiştir.



**Şekil. 5.8.** CuCo alaşım filmlerinde magnetorezistansın sıcaklıkla değişimleri

Şekilden de anlaşılacağı gibi pH'nın düzenli olarak artırılması magnetorezistansta sıcaklığa karşı düzenli bir artış veya düzenli bir düşüşe neden olmamıştır. pH =5,25 değerinden 5,5 değerine ulaştığında magnetorezistans düşmüş daha sonra pH'nın artışı ile magnetorezistansta artmıştır.

Elektrolitin asitlik derecesinin yani pH değerinin artması filmin kompozisyonunun değişmesine neden olmaktadır. pH=5,25 değerinden 5,5 değerine çıkması CuCo filmde oluşan kobalt konsantrasyonunun %18,77 den %21,42 değerine yükselmesine neden olmuş, konsantrasyondaki bu artış ise magnetorezistansın düşmesine yol açmıştır. Yine pH =5,75 değerinden 6 ya ve daha sonra 6,25 değerine ulaşırken filmdeki kobalt konsantrasyonu düzenli olarak 22,96 dan 22,06'ya ve oradan 21,73 değerine düşmüş, buna karşılık magnetorezistans ise artma eğilimine girmiştir.

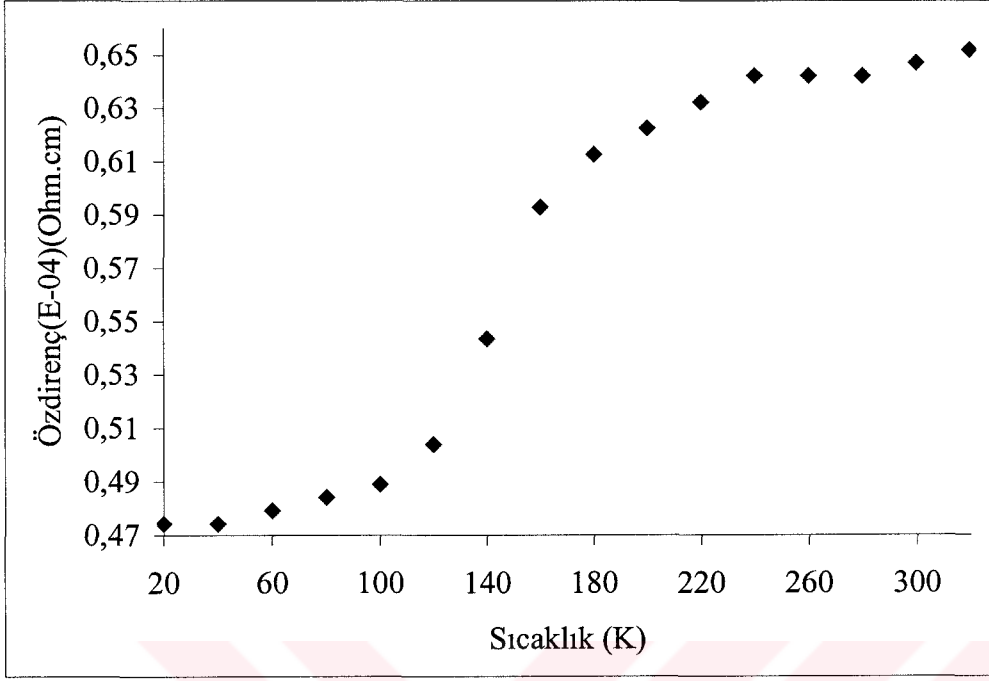


**Şekil. 5.9.** CuCoNi alaşım filmlerinde magnetorezistansın sıcaklıkla değişimleri

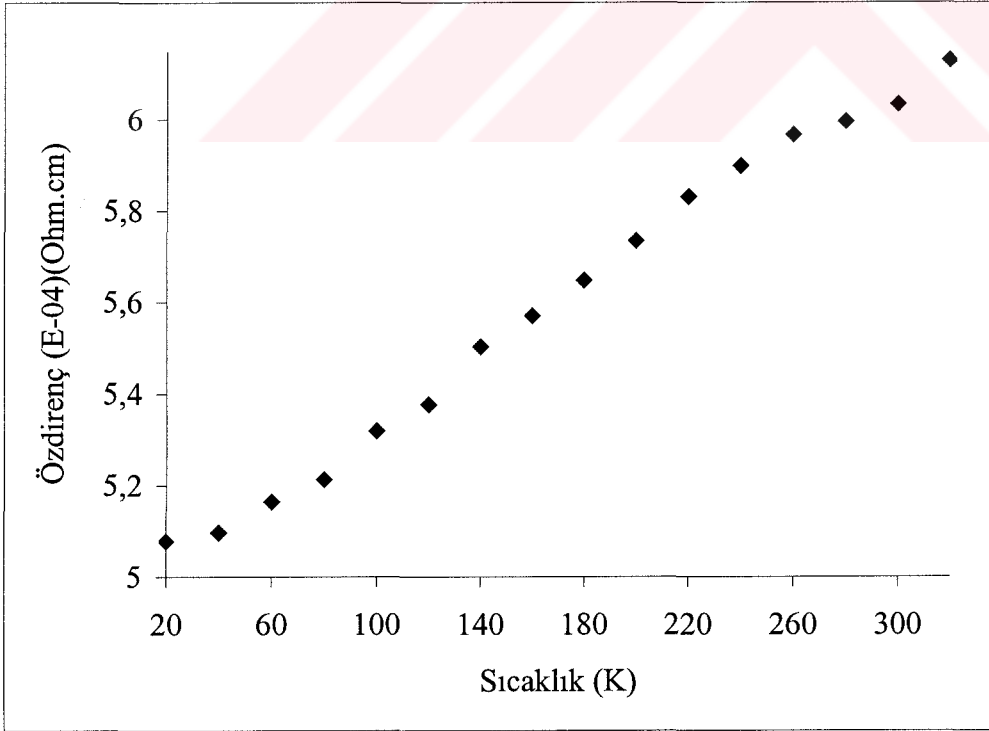
CuCoNi alaşım fillerinde ise CuCo alaşımına nikelin katılması ile magnetorezistansın genel olarak azaldığı görülmüştür. nikelin CuCo alaşımının sıvı faz ayrımını kısmen engellemektedir. Saf yapıdaki kobaltça zengin partiküller için hacim oranının düşmesine neden olmaktadır. Kompozisyon analizleri nikelin hem kobaltça zengin hem de bakırca zengin fazlarda çözüldüğünü fakat kobaltça zengin fazdaki nikel miktarının bakır matrikstekinden çok daha fazla olduğunu göstermiştir. kobaltça zengin partiküllerin miktarının saf mikro yapıda ve sıvı faz ayrımında düşmesi, CuCo alaşımlarının nikel eklenmesi ile magnetorezistansında bir azalmaya yol açmasını açıklamaktadır.

Değişik pH değerleri için CuCo numunelerinin özdirençlerinin şekil 5.10- 5.14'te ve karşılaştırma amacı ile normalize edilmiş halleri şekil 5-15'te verilmiştir.

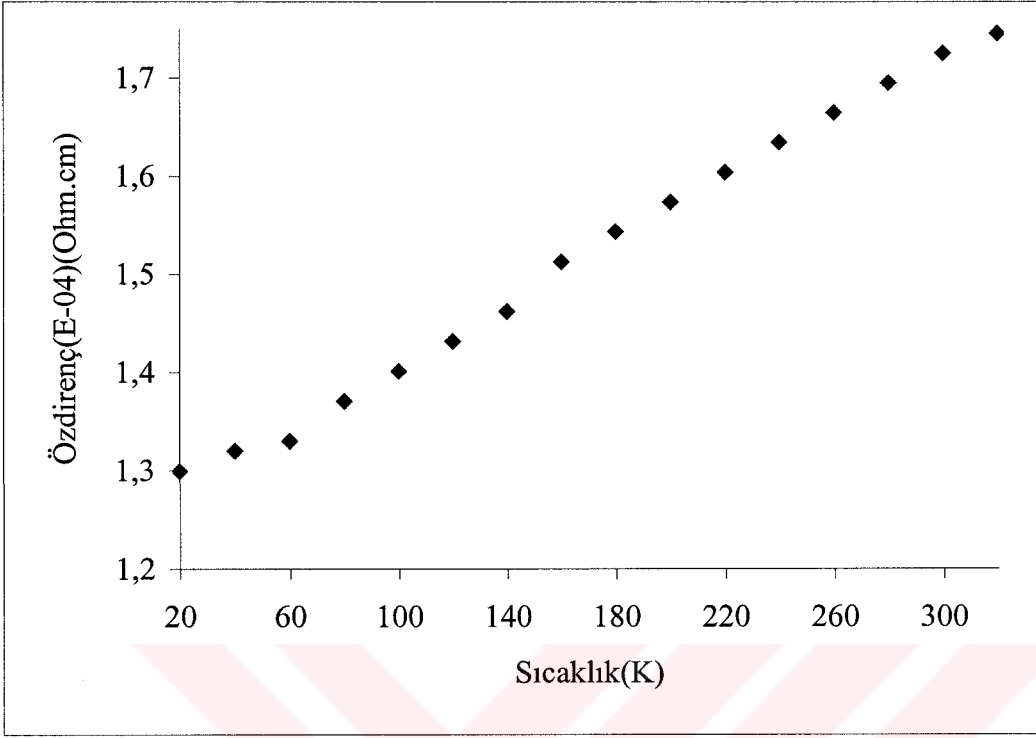




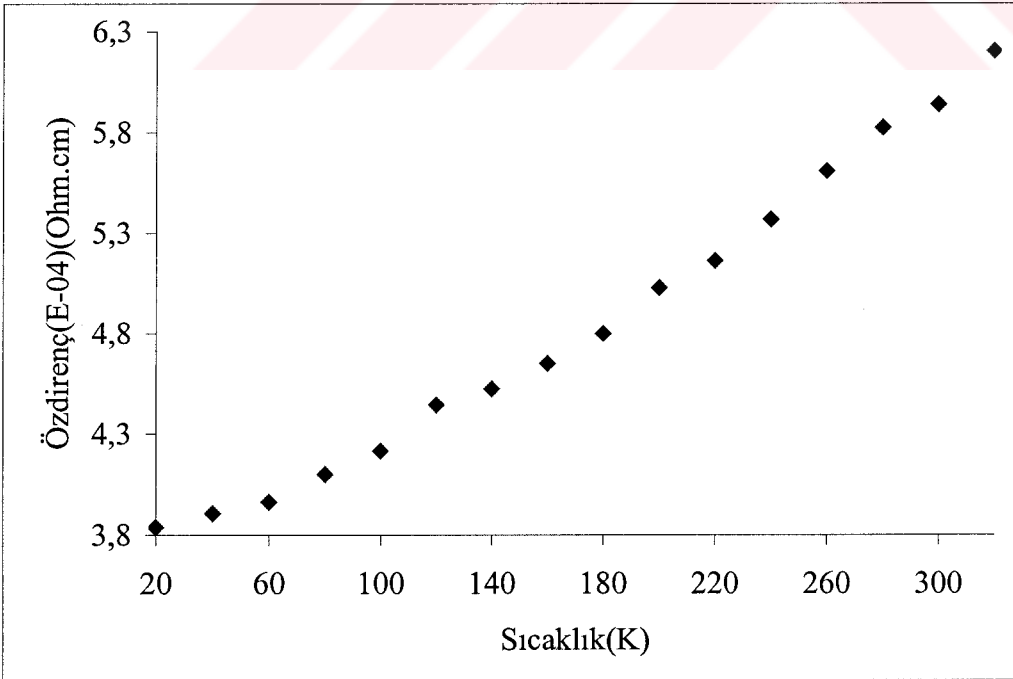
Şekil 5.10. pH=5,25 olan CuCo numunesinin özdirencinin sıcaklıkla değişim grafiği



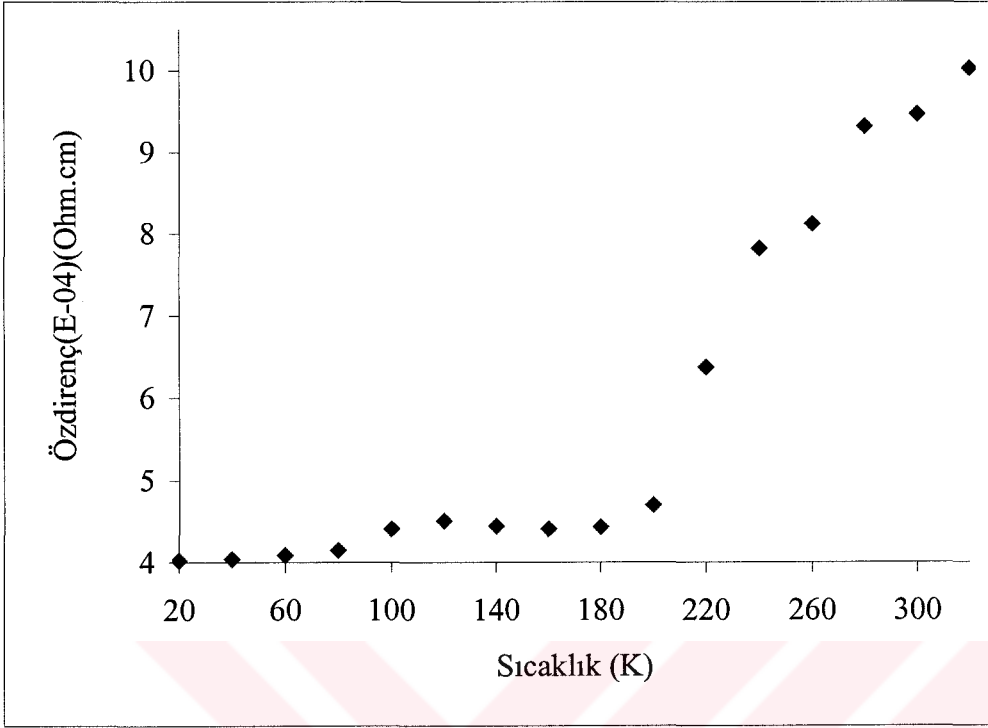
Şekil 5.11. pH=5,5 olan CuCo numunesinin özdirencinin sıcaklıkla değişim grafiği



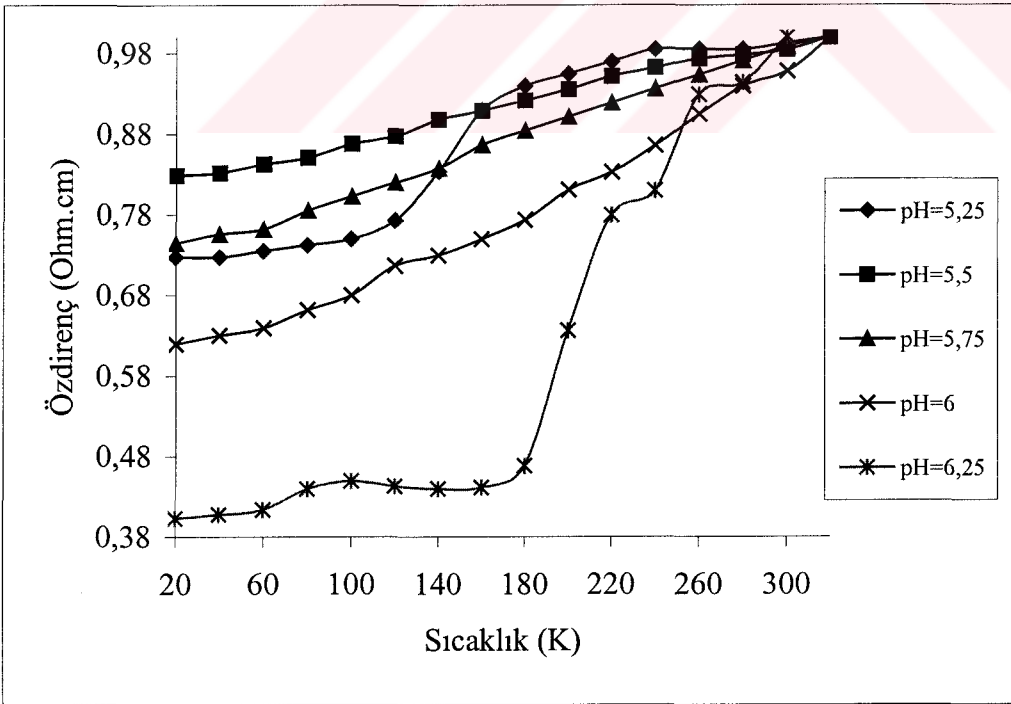
Şekil 5.12. pH=5,75 olan CuCo numunesinin özdirencinin sıcaklıkla değişim grafiği



Şekil 5.13. pH=6 olan CuCo numunesinin özdirencinin sıcaklıkla değişim grafiği

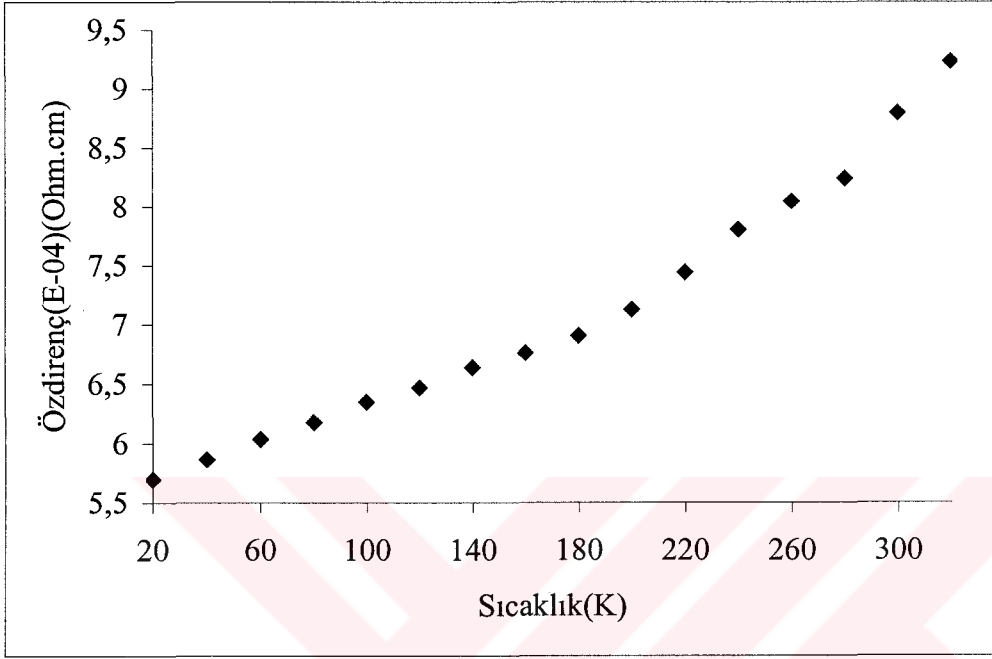


Şekil 5.14. pH=6,25 olan CuCo numunesinin özdirençinin sıcaklıkla değişim grafiği

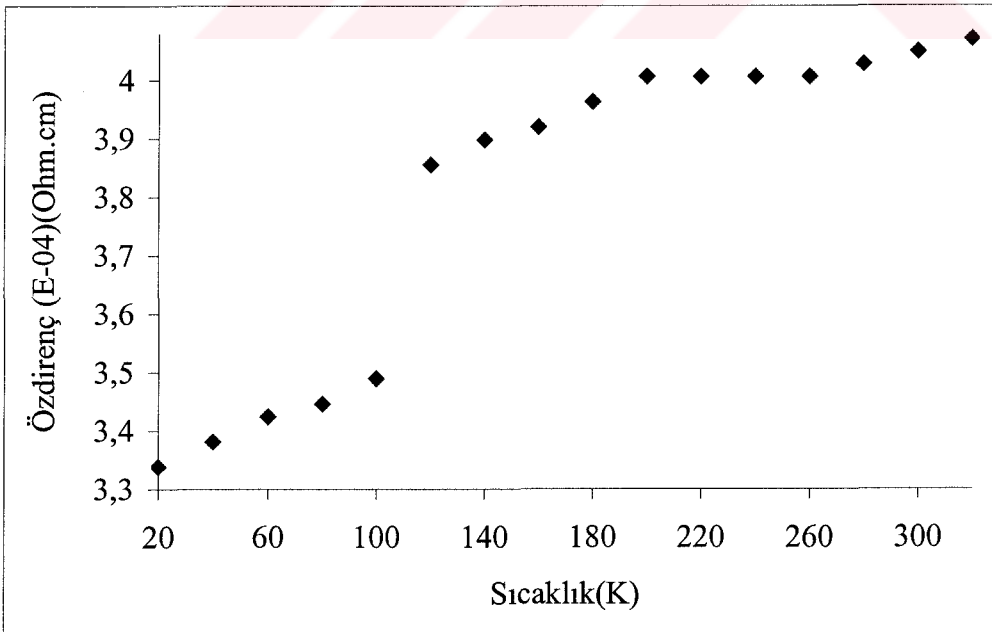


Şekil 5.15. pH- CuCo alaşımlarında normalize özdirenç

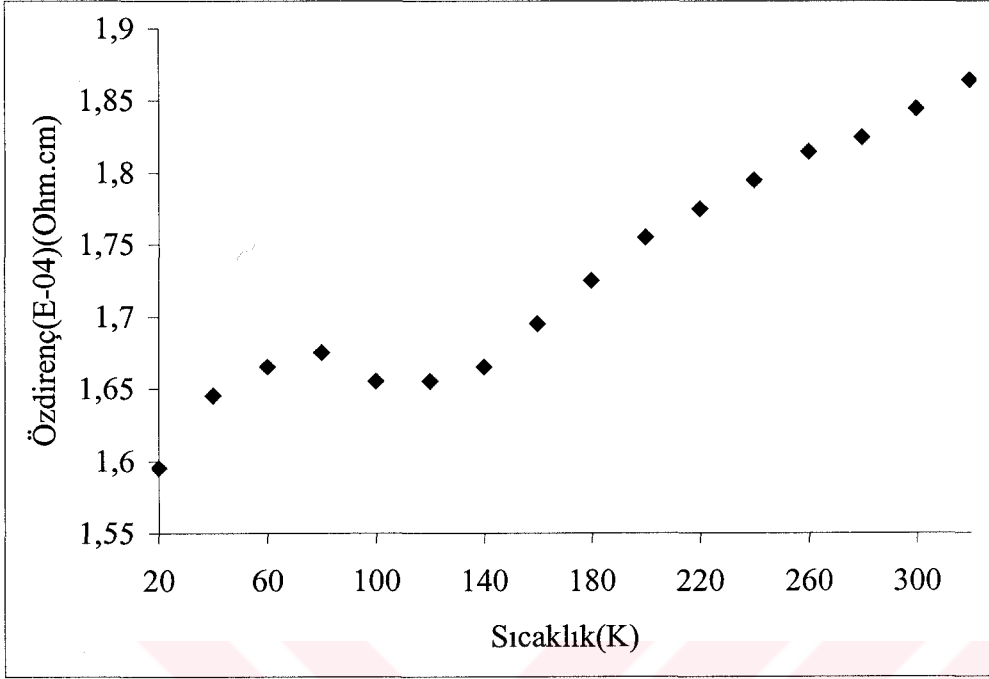
Yine CuCoNi üçlü alaşımlarının özdirençlerinin sıcaklıkla değişim grafikleri artan nikel miktarlarına göre sırası ile aşağıda verilmiştir.



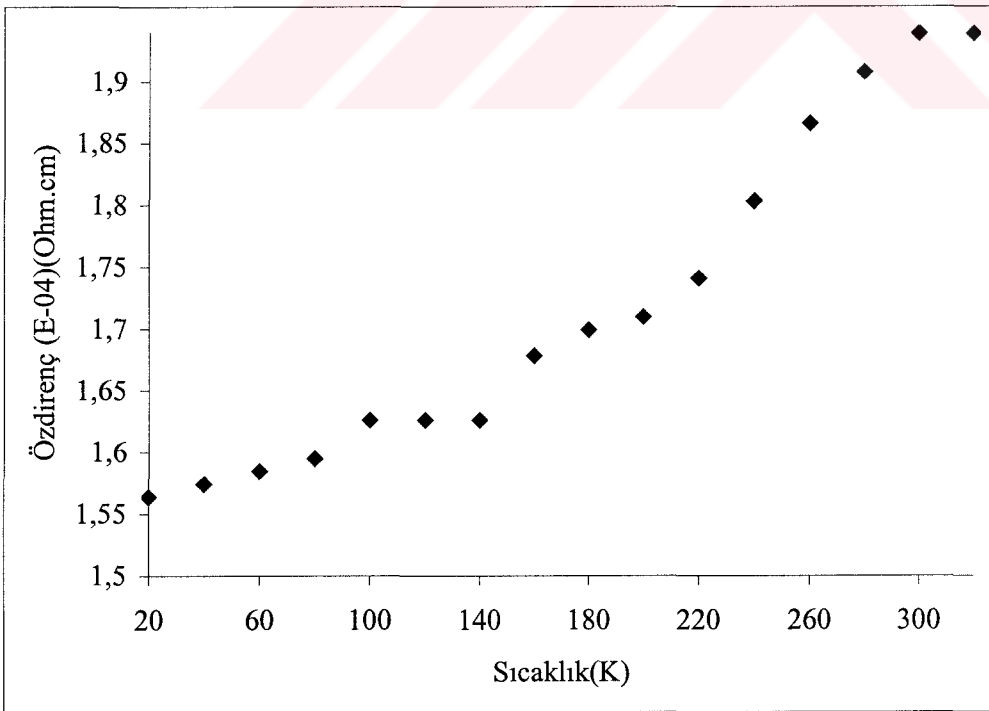
Şekil 5.16. 1g/l nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin özdirençinin sıcaklıkla değişimi



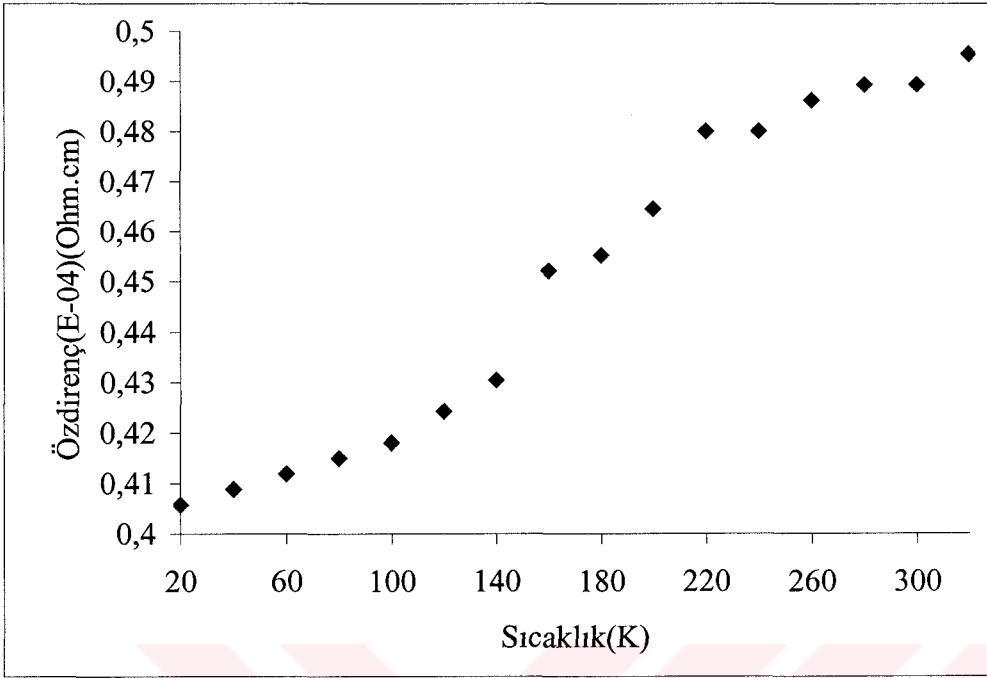
Şekil 5.17. 5g/l nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin özdirençinin sıcaklıkla değişimi



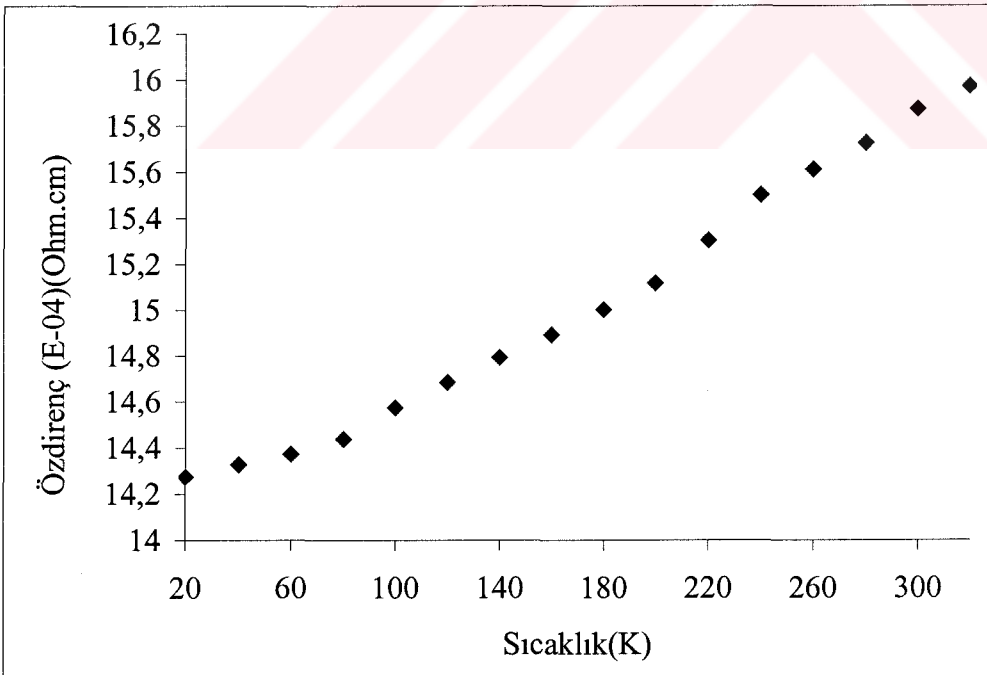
**Şekil 5.18.** 20 g/l nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin özdirençinin sıcaklıkla değişimi



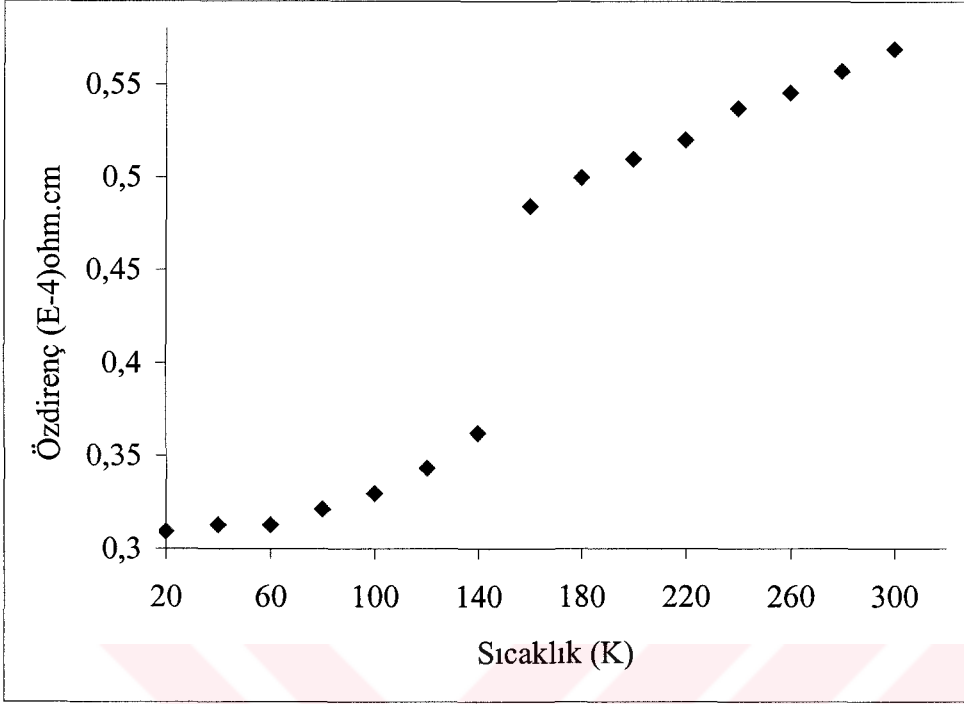
**Şekil 5.19.** 25 g/l nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin özdirençinin sıcaklıkla değişimi



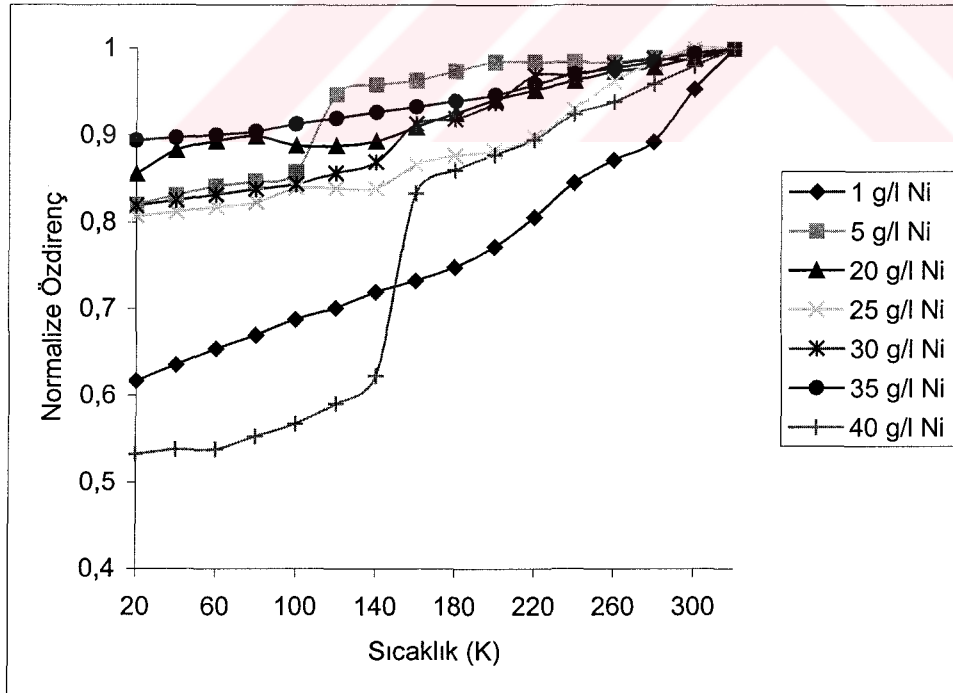
**Şekil 5.20.** 30 g/l nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin özdirencinin sıcaklıkla değişimi



**Şekil 5.21.** 35 g/l nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin özdirencinin sıcaklıkla değişimi



Şekil 5.22. 40 g/l nikel bulunan CuCoNi alaşım filminin öz direncinin sıcaklıkla değişimi



Şekil 5.23. CuCoNi alaşımlarında normalize öz direncin sıcaklıkla değişimi

Safsızlık oranının yüksek olması durumunda ortalama serbest yol küçük olacak ve elektronlar yeterli hıza sahip olamadan tekrar çarpışmaya maruz kalacaklardır. Bu durumda kaybedecekleri enerji, çarpışma hızlarının düşük olmasından dolayı daha düşük olacağından, iletkenliğe katkısı daha düşük olacaktır. Başka bir açıdan, safsızlık oranı düşük olan numunelerin tanecik boyutlarının büyük olması nedeniyle birim alana düşen grain sayısı az olacak ve taşıyıcılar hareketleri esnasında daha az kristalcik sınırları ile karşılaşacaklardır, hızlarındaki azalma birim alana daha fazla kristalcik düşen numunelere kıyasla daha küçük olacaktır. Dolayısıyla daha az sayıda çarpışmalara neden olacaktır.

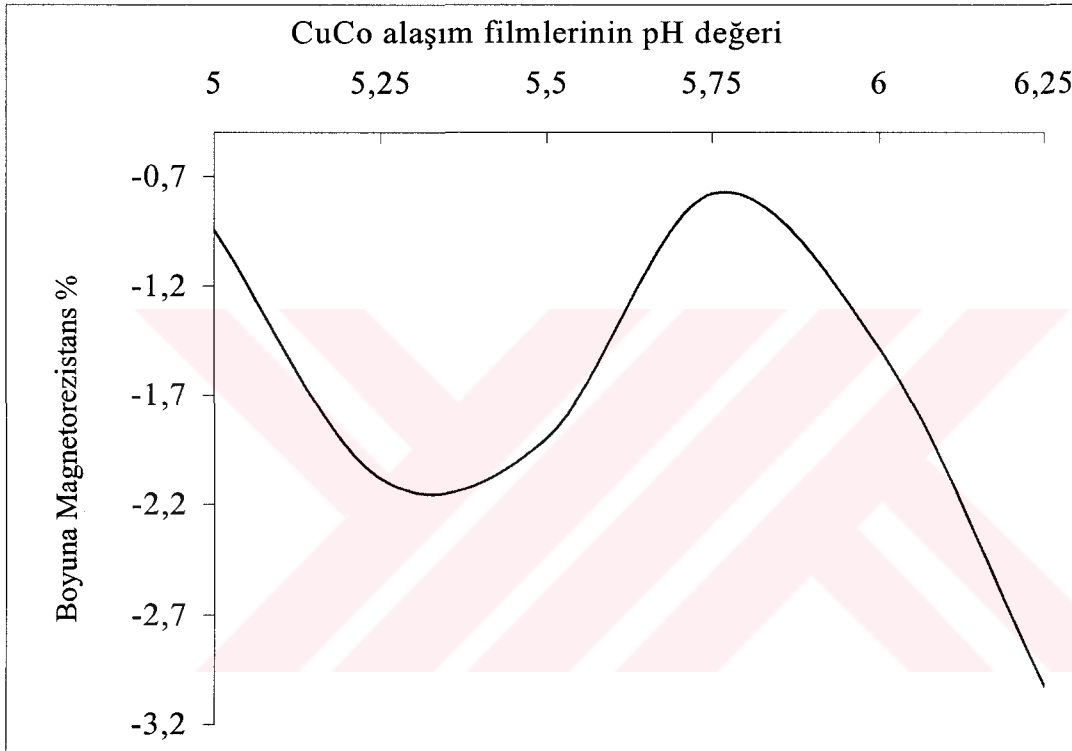
Bu incelemeler sonucunda alaşımların direncinde, sıcaklığın en fazla etkili olduğu bölge ile en az etkili olduğu bölge arasında veya diğer bir deyişle safsızlık etkilerinin fazla olduğu düşük sıcaklık bölgesi ile fononların etkili olduğu yüksek sıcaklık bölgesi arasındaki mesafeler daralmakta ve bu bölgelerdeki safsızlık oranı az olan numunelerde dirence gelen katkı küçük, safsızlık oranı fazla olan numunelerde ise dirence gelen katkının daha büyük olduğu dikkat çekmektedir. Safsızlık oranı düşük numunelerde elektron-elektron ve elektron – fonon etkileşmesinin birlikte olduğu bölgede safsızlık oranına bağlı olarak bir daralma olduğu görülmektedir. Bu bölgelerde elektron-elektron ve elektron-fonon etkileşmelerinin birlikte bulunduğu bölgeler, düşük sıcaklık bölgesinden sonra yerini tamamen elektron- fonon etkileşmelerine bıraktığı şeklinde yorumlanmıştır.

Yüksek sıcaklık bölgelerinde ise fonon etkileri baskın olduğu için bütün numunelerde dirence gelen katkı aynı mertebede olmaktadır. Direncin sıcaklığa bağlı olarak artmaya başladığı yüksek sıcaklık bölgelerindeki direnç ideal ya da maddenin yapısına bağlı direnç (intrinsic) olarak isimlendirilmiştir ve  $\rho_1(T)$  sembolü ile gösterilir. Toplam ölçülen direnç

$$\rho_{ölç} = \rho_0(c) + \rho_1(T)$$



şeklinde olur. Burada  $\rho_0$  örgü kusurlarının konsantrasyonu  $c$  nin bir fonksiyonudur. Bu basit bağıntı Matheissen kuralı olarak bilinir. Gerek CuCo ve gerekse CuCoNi alaşımlarının özdirençlerinin sıcaklığa bağlı olarak düşmesi  $\rho_i$  (T) bileşeninin azalmasından dolayıdır. Bu ise bu numunelerde elektron - fonon çarpışmasının azalan sıcaklıkla azaldığını bize gösterir (şekil 5.10-23).

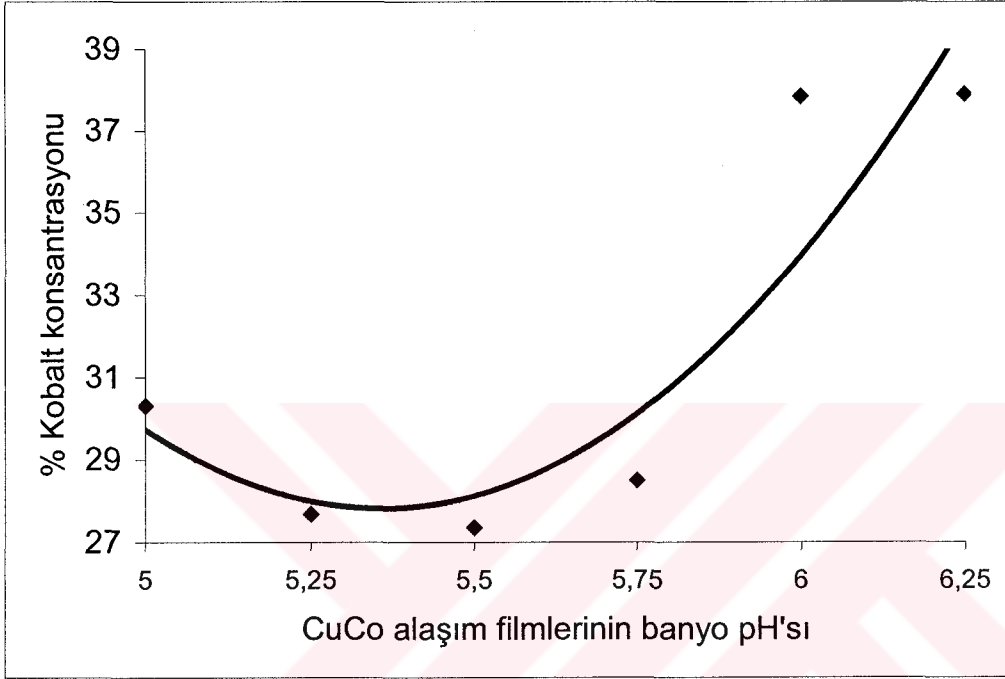


**Şekil 5.24.** CuCo alaşım filmlerinde 20 K sıcaklıkta boyuna magnetorezistansın pH ile değişimi

Şekil 5.24 te CuCo alaşım filmlerinin boyuna magnetorezistans katsayısının, pH değeri ile değişimi görünmektedir. Grafikten anlaşılacağı gibi pH=5 ile pH=5,75 değeri arasında negatif magnetorezistans %1 den %2 civarına artmakta, pH değerinin artışı ile 5,75 değerinde %1 in altına düşmektedir. pH=5,75 değerinden sonra magnetorezistans değeri tekrar artmakta ve pH=6,25 te en yüksek değeri olan %3 değerine ulaşmaktadır.

Boyuna magnetorezistansın pH değeri ile değişimi doğrudan pH'nın elektrokimyasal depolamada film üzerinde biriken magnetik kobalt atomlarının miktarını ve magnetik

olmayan bakır matrisi üzerindeki dağılımını etkilemesinden kaynaklanmaktadır. Bu durum pH değerinin filmdeki magnetik kobalt atomlarının konsantrasyonunu nasıl etkilediği incelendiği aşağıdaki şekil 5.25'te görülmektedir.

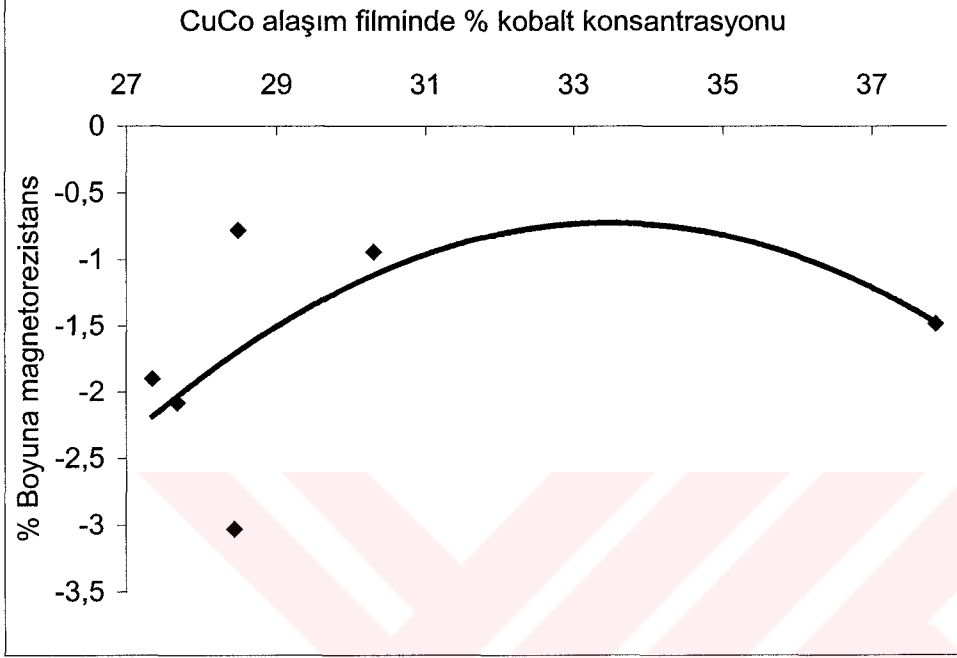


**Şekil 5.25.** CuCo alaşım filmlerinde % kobalt konsantrasyonunun pH değeri ile değişimi

Şekil 5.25'den de görüldüğü gibi banyonun pH değeri yani asitlik değeri film kompozisyonunun oluşmasında ana faktörlerden birisidir. Elektrodepolama yöntemi ile elde edilen CuCo alaşım filmlerinde boyuna magnetorezistansın filmin yapılmasında kullanılan banyonun pH değeri ile bu kadar farklılık göstermesi buradan anlaşılabilir.

Alaşım filmindeki kobalt miktarı pH=5 değerinden 5,75 değerine artırıldıkça azalmış, 5,75 ten 6'ya çıkarıldığında keskin bir artış göstermiş ve 6 değerinden sonra sabit kalmıştır.

CuCo alaşımlarındaki kobalt yuzdesi ile boyuna magnetorezistansın nasıl değiştiği şekil 5.26'da görülmektedir.

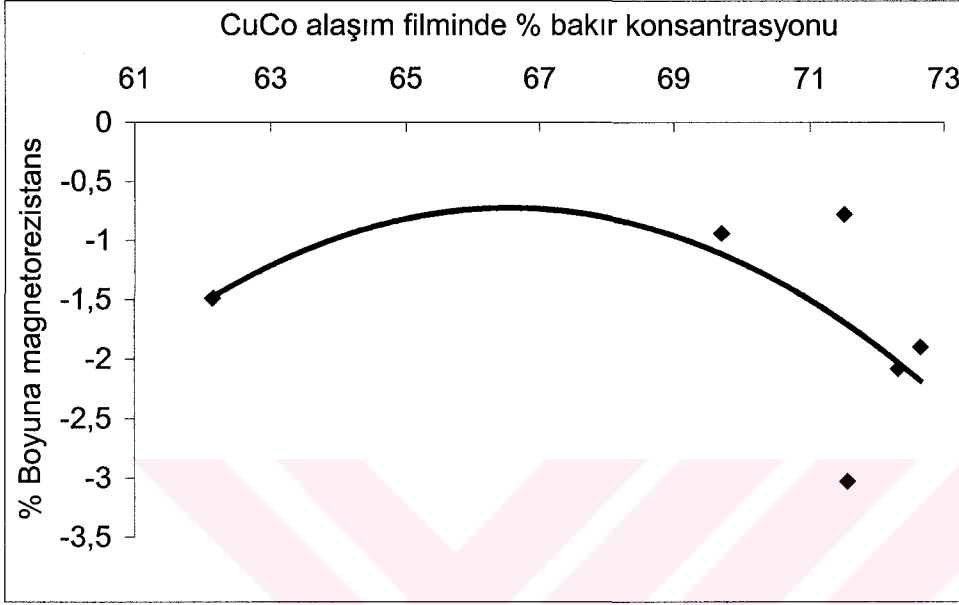


**şekil 5.26.** CuCo alaşım filmlerinde Boyuna magnetorezistansın filmdeki kobalt miktarı ile değişimi

şekil 5.26. da görüldüğü gibi, magnetorezistans  $(\rho_H - \rho_0) / \rho_0$  film içerisindeki % kobalt konsantrasyonunun artışı ile önce %1,8 den %3,2'ye artmış, daha sonra azalma eğilimine girmiştir. Bu sonuç Bakkaloğlu *et al.* 1998 ve Pattaniak *et al.* tarafından elektrokimyasal depolama ile üretilen CuCo alaşımlarından elde edilen sonuçlarla uyum ierisindeedir.

Elektrokimyasal depolama işleminde magnetik maddenin elektrolitte miktar olarak artırılması magnetik olmayan matriks konsantrasyonunda belli oranda düşüşe neden olmaktadır. CuCo alaşımlarında da pH film üzerinde toplanan kobalt konsantrasyonunda değişiklere neden olmuş dolayısı ile farklı konsantrasyonlara sahip filmler elde edilmiştir. kobalt konsantrasyonu arttırıldıķça filmdeki bakır konsantrasyonunda azalma gözlenmiştir. Bu durum aşağıdaki şekil 5.27'de gösterilmiştir. Alaşım filmdeki bakır

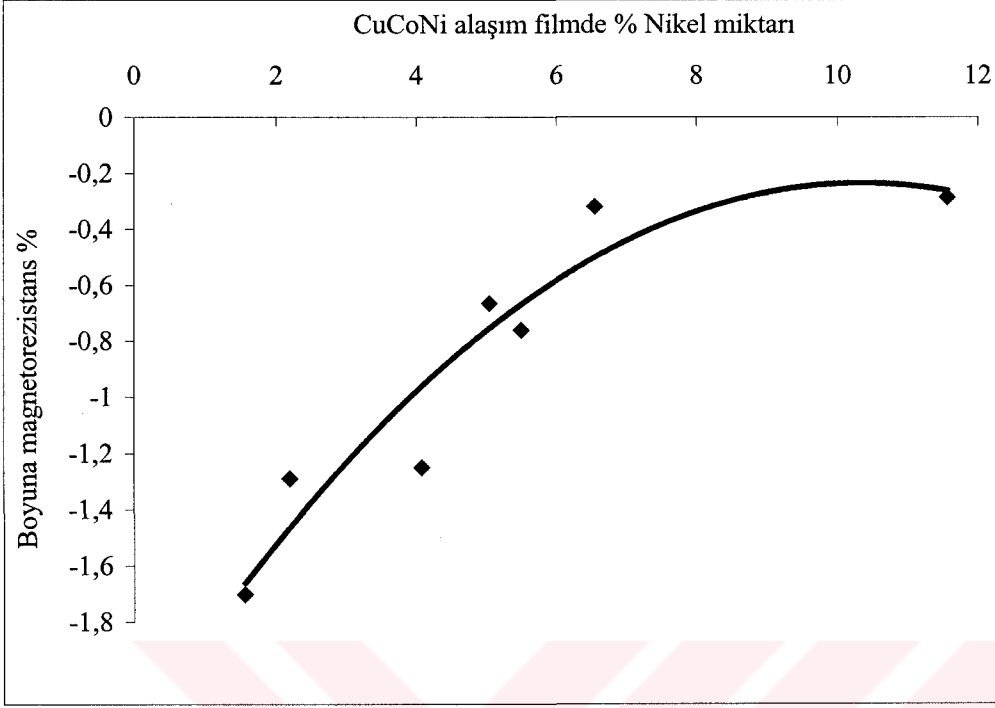
oranı arttıkça boyuna magnetorezistans önce azalmış, belli bir değerden sonra bir artışla karşılaşmıştır.



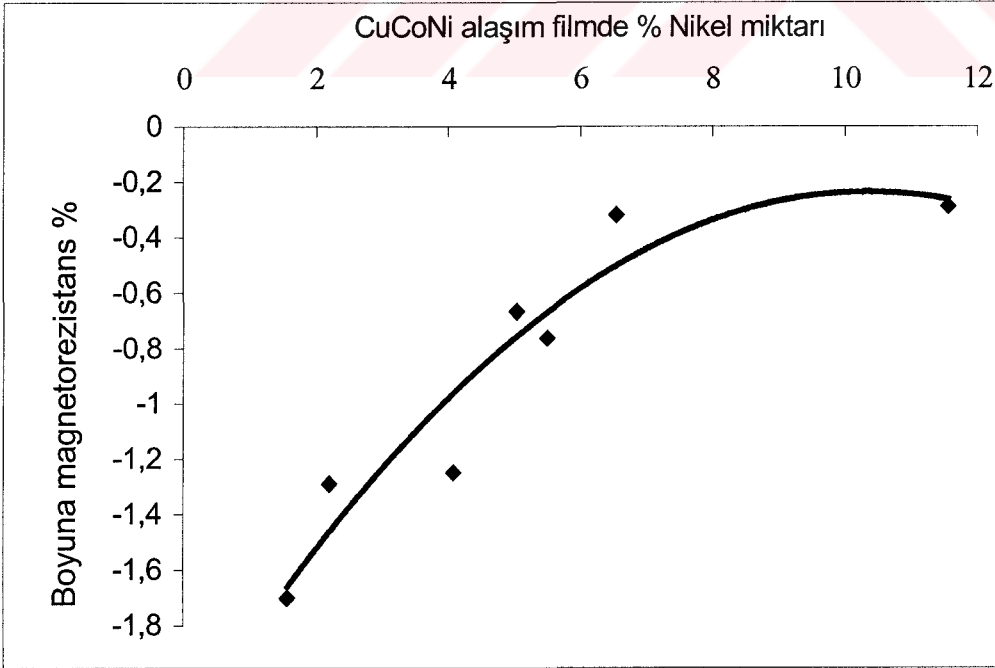
**Şekil 5.27.** CuCo alaşım filmlerinde boyuna magnetorezistansın filmdeki bakır miktarı ile değişimi

CuCoNi alaşım filmleri incelendiğinde alaşımı oluşturan elementlerin konsantrasyonlarına göre magnetorezistans değeri etkilenmiştir. CuCo alaşım filmlerinde magnetik bileşen olan kobalt artırıldıkça belli bir değere kadar çok büyük magnetorezistansın artmasına rağmen, CuCoNi alaşım filmlerinin oluşturulmasında kullanılan banyoya katılan magnetik nikel miktarı (g/l) artırıldıkça boyuna magnetorezistansın düzenli olarak artması beklenirken, düzenli olarak azaldığı gözlenmiştir. Bu azalma, filmdeki nikel miktarı %1,8'den %11,8'e artarken magnetorezistans %1,7 den %0,3'e doğru görülmektedir.

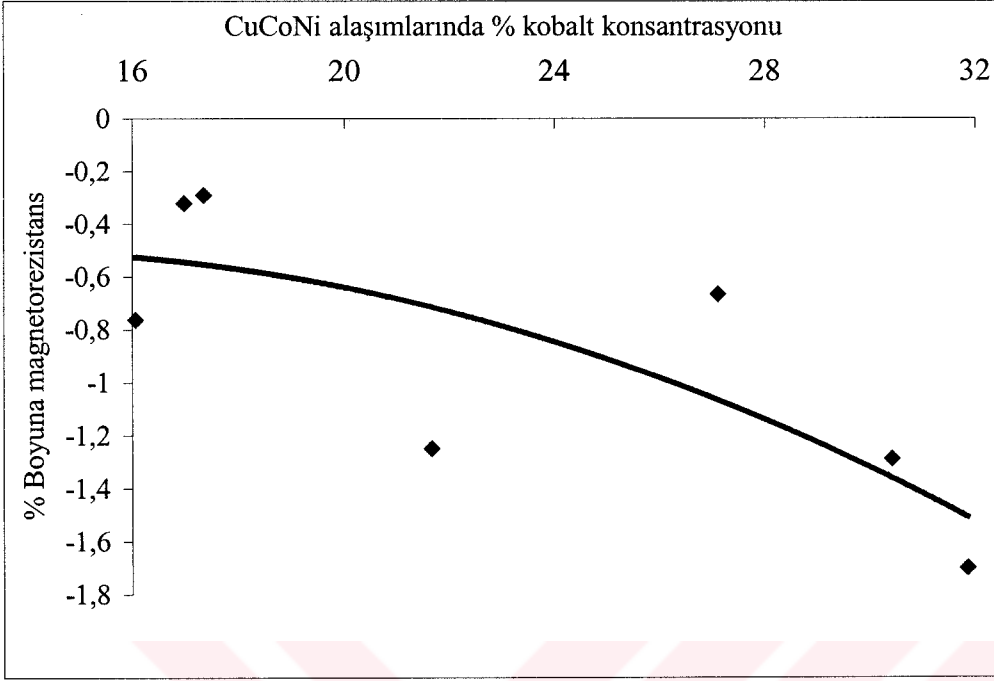
CuCoNi filmlerinin magnetorezistans oranlarının banyodaki nikel miktarlarına (şekil 5.28), filmdeki Ni miktarlarına (şekil.5.29), filmdeki Co miktarına bağlılığı (şekil.5.30) verilmiştir.



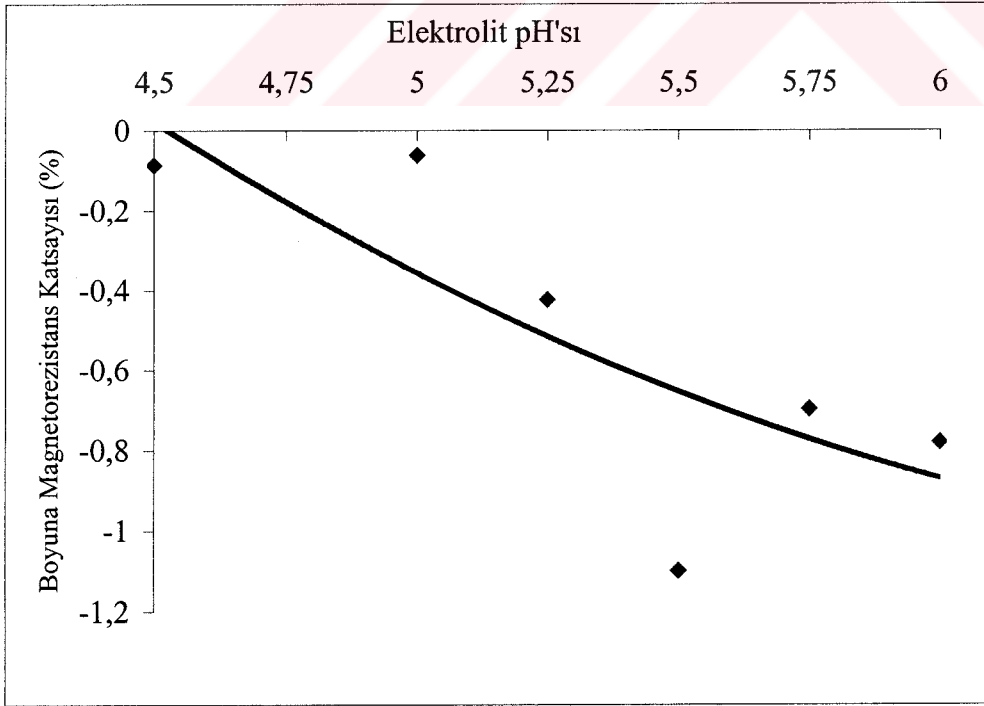
**Şekil 5.28.** CuCoNi alaşım filmlerinde banyoya katılan nikel miktarının (g/l) magnetorezistans ile değişimi



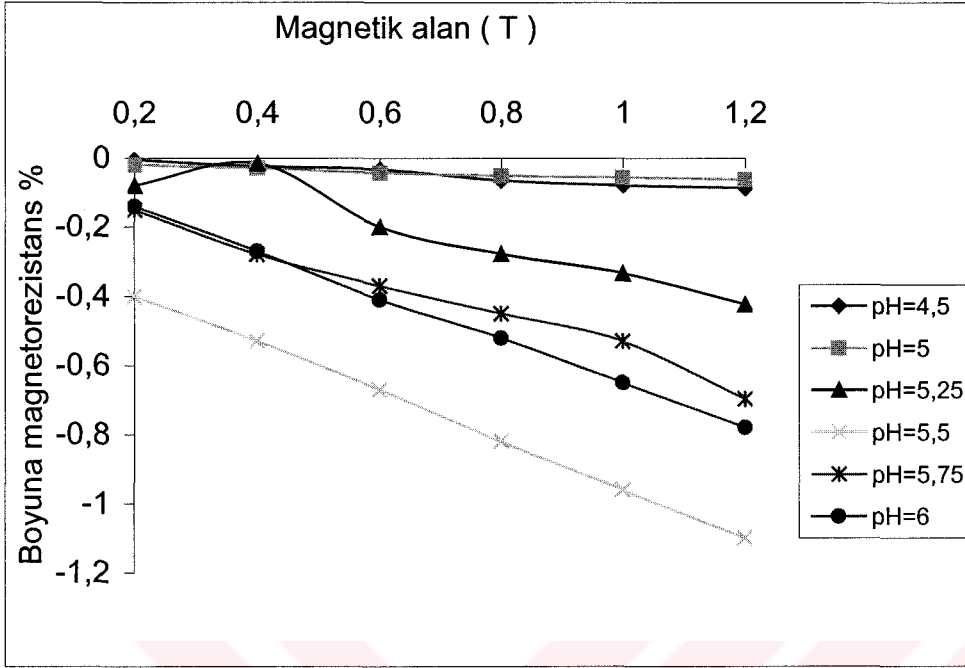
**Şekil 5.29.** CuCoNi alaşım filmlerinde % nikel konsantrasyonunun boyuna magnetorezistans ile değişimi



**Şekil 5.30.** CuCoNi alaşım filmlerinde % kobalt konsantrasyonunun boyuna magnetorezistans ile değişimi



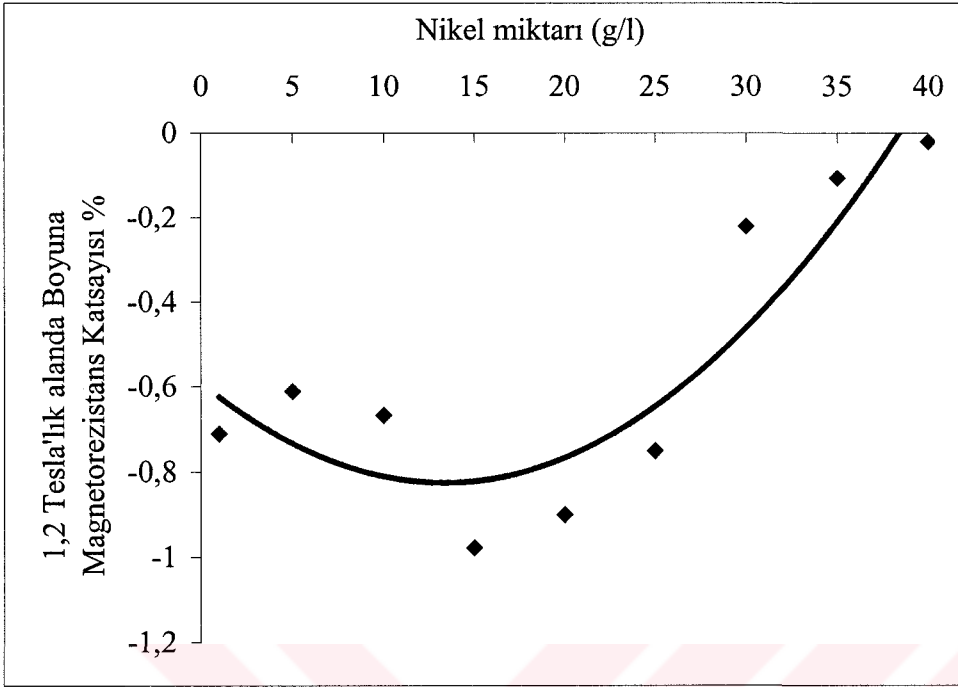
**Şekil 5.31.** CuCo alaşım filmlerinin boyuna magnetorezistansının pH değeri ile değişimi



Şekil 5.32. Boyuna magnetorezistans katsayısının magnetik alanla değişimi

Şekil 5.31. ve 5.32'de CuCo alaşım filmlerinin boyuna magnetorezistansının magnetik alan karşısındaki değişimi gözlenmektedir. pH=4,5 ve 5 olan CuCo numunelerinde değişimin çok fazla olmadığı ama daha yüksek pH değerlerine karşılık gelen filmlerde değişimin daha fazla olduğu görülmektedir. Bütün filmlerde genel değişim negatif magnetorezistans lehine olarak ortaya çıkmaktadır.

Şekil 5.33'te CuCoNi numunelerinin 1,2 T alanda alınan magnetorezistans değerlerinin filmdeki nikel miktarı ile değişimi verilmiştir. Filmdeki artan nikel miktarı ile magnetorezistans oranının azaldığı görülmektedir.



**Şekil.5.33.** 1.2 T magnetik alanda boyuna magnetorezistansın CuCoNi filmlerindeki nikel miktarı ile değişimi



### 5.3. Genel Sonuçlar ve Tartışma

Elektrokimyasal depolama yöntemi kullanılarak, pH değeri 4,5 - 6,25 arasında değışen CuCo alaşım filmleri ve nikel miktarı 1g/l- 40 g/l arasında değıştirilen CuCoNi alaşım filmleri büyütüldü. CuCo alaşım filmlerinde değışen pH değerinin filmi oluşturan elementlerin % konsantrasyonlarını değıştirdiği, en fazla kobalt elementi depolanan pH değerinin 6 olduğu görüldü. Ayrıca pH'nın filmin düzgün yapıda olmasında da belirli bir etken olduğu, ortamın asitliğinin elde edilen filmin fiziksel özellikleri üzerine belirleyici bir faktör olduğu gözlemlendi.

Elektrodepolama da film oluşumuna etki eden; akım yoğunluğu, zaman, pH gibi faktörlerin en uygun değeri tespit edildi. Bu işlemler için farklı zamanlarda, farklı akım yoğunluklarında ve farklı pH değeri filmler elde edilerek analizleri yapıldı. Elde edilen filmlerde depolanan elementlerin madde analizleri hem atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile hem de tarayıcı elektron mikroskobu ile (EDS) tespit edildi. Elde edilen konsantrasyonlar çizelge.4.1 ve 4.2'de gösterildi. Elde edilen sonuçlar birbirlerini teyit edici şekilde oldukları anlaşıldı. Filmlerin kalınlıkları da atomik absorpsiyon spektrometresi ile elde edilen konsantrasyon değeri kullanılarak  $m = \rho \cdot A \cdot t$  formülü esas alınarak hesaplandı. Filmlerin kalınlıklarının 1,50 - 2,52  $\mu\text{m}$  arasında olduğu görüldü. CuCoNi filmlerinde elektrolite katılan nikel miktarının artmasının süre aynı tutulmasına karşın film kalınlığını azalttığı görülmektedir. Bu durum, ortama katılan nikel atomları film oluşumunu yavaşlatmış olabileceği şeklinde yorumlanmaktadır. (Sun *et.al.* 2000)

CuCo ve CuCoNi filmlerinin kristal yapıları X-ışını difraksiyon spektrometresi kullanılarak tespit edildi. CuCo filmleri için XRD grafikleri Şekil 4.1-4.6, CuCoNi filmlerinin XRD grafikleri ise Şekil 4.7- 4.12'de verilmiştir. Bu grafiklerden filmlerin kristal yapıda olduğu ve Bragg yasasına uydukları anlaşılmaktadır. Şekil 5.1 ve 5.2'de CuCo ve CuCoNi filmlerinin *l*atis parametrelerinin filmde oluşan % kobalt konsantrasyonu ile değışimleri verilmiştir. Filmlerin kobalt konsantrasyonları arttııkça

kristal örgü sabitinin küçüldüğü görülmektedir. Bu da fcc bakır örgüsü içinde, bakırdan daha küçük atomik yarıçapa sahip olan kobalt atomlarının örgüye yerleşmesi olarak açıklanmaktadır. Bu sonuç bize, bu çalışmada elde edilen filmlerin katı çözeltili olduğunu göstermektedir. Filmlerin Vegard kanununa uydukları ve katı çözeltili yani alaşım oldukları anlaşılmıştır.

Alaşım filmlerin tanecikli yapıya sahip oldukları ve homojen taneciklerden oluştuğu tarayıcı elektron mikroskobu ile çekilen ve şekil 4.13 ve 4.14' te gösterilen filmlerde görülmektedir.

Elektrik ölçüleri yardımıyla boyuna magnetorezistans katsayısı ve elektriksel özdirenç değerleri hesaplandı ve bu niceliklerin sıcaklığa ve magnetik alana bağlı değişimleri incelendi.

CuCo alaşım filmleri için boyuna magnetorezistansın, magnetik alan değeri 0- 1,2 T arasında değiştirilerek magnetik alanla değişimleri şekil 4.29-4.34'te verilmiştir.

Tüm numunelerde artan magnetik alanla birlikte magnetorezistans değeri artmaktadır. Şekil 5.31 ve 5.32'de CuCo alaşım filmlerinin magnetik alan karşısında magnetorezistans değerlerinin nasıl değiştiği toplu halde verilmektedir. Şekillerden de anlaşılacağı gibi düşük pH değerlerinde filmde magnetik bileşen kobaltın zaten fazla depolanmadığı pH=4,5 ve 4,75 olan CuCo alaşım filmlerinde magnetorezistans değeri de %0,1 değerinin altında çıkmaktadır. Buna karşılık artan pH değeri kendisi ile birlikte filmde depolanan magnetik kobalt atomlarının da sayısını arttırmış ve magnetorezistans değerinin de pH=5 olan filme göre pH=5,5 olan filmde 16,4 kat artmış ve %1 seviyesine ulaşmıştır. Bu durum magnetik kobalt atomlarının filmde artışına bağlanabilir (Chien 1995). Tanecikli yapılarda magnetorezistansın görülme nedeni tanecik sınırlarından elektronların saçılması olarak tahmin edilmektedir. Dolayısıyla değişen pH değeri filmlerin tanecik yapılarını ve filmi oluşturan elementlerin % konsantrasyonunu

değiştirdiğine göre tanecik yapısında değişmiş ve magnetorezistansta değişime neden olmuştur.

CuCoNi alaşım filmleri için boyuna magnetorezistansın, magnetik alan değeri 0- 1,2 T arasında değiştirilerek magnetik alanla değişimleri şekil 4.20-4.28'te verilmiştir.

Şekil 5.30'da CuCoNi alaşım filmlerinde % kobalt konsantrasyonunun magnetorezistans ile değişimi gözlenmektedir. Elektrodepolama ile üretilen CuCoNi alaşım filmlerinin hazırlanmasında kullanılan banyonun pH değeri her zaman 6 olarak tutulmasına rağmen oluşan alaşım filmlerdeki kobalt konsantrasyonu şekil 4.19'daki gibi değişmiştir. Bunun nedeni banyo bileşimine katılan nikel elementinin filmde kobalt-bakır oluşumu içerisinde yer bulması ve kobalttan daha öncelikli olarak filme depo edilmesi ile ikili alaşım içerisinde çözünerek magnetik kobaltın rolünü üstlenmesidir.

Banyoya nikel katılması alaşım içerisindeki kobalt konsantrasyonunu azaltmış, bakır matriks içerisinde bakır ve nikel daha çok yer bulurken kobalt miktarı azalmıştır. Buda magnetorezistansta bir düşüşe neden olmuştur. Yapılan TEM çalışmaları Sun *et al.* 2001, nikelin hem kobaltça zengin fazda hem de bakırca zengin fazda dağıldığını fakat kobaltça zengin fazdaki nikel miktarının bakırca zengin fazdakinden çok daha fazla olduğunu göstermiştir.

CuCo alaşım filmlerinin 20-320 K aralığında boyuna magnetorezistans katsayılarının (BMK) sıcaklıkla değişim grafikleri şekil 4.35-4.38'te verilmiştir. CuCo filmlerinde sıcaklık düşerken boyuna magnetorezistansın arttığı gözlenmiştir. 20K sıcaklıkta filmlerin magnetorezistans değerlerindeki değişim şekil 4.39'da verilmiştir. pH değerinin artması ile birlikte pH=5 ile 5,75 arasında magnetorezistans düzgun olarak %-0,9'dan %-2,7'ye kadar yükselmiş bundan sonraki değerlerde %-1,3 değerine düşmüştür. Bu yine %Co miktarına bağlanmaktadır. Filmdeki magnetik bileşen bir

değere kadar magnetorezistansı arttırmakta daha sonra ise düşmesine neden olmaktadır. Bu GMR'nin tipik bir özelliğidir.

CuCoNi alaşım filmlerinin 20-320K arasında BMK'nın sıcaklıkla değişim grafikleri şekil 4.40-4.48 arasında verilmiştir. CuCo alaşım filmine katılan magnetik nikel elementi beklenenin aksine magnetorezistansta düşüşe neden olmuştur.

Oysa Sun et al 2001, eriyik döndürme yöntemi ile hazırladıkları CuCoNi alaşımlarında tavlama ile magnetik bölgeler oluşturmuş ve nikel katılımının GMR etkisini arttırdığını göstermiştir. Aradaki fark şu şekilde açıklanabilir: GMR etkisine magnetik bölgenin büyüklüğünün büyük etkisi vardır. Eğer magnetik bölgenin büyüklüğü 5nm'den daha büyükse GMR'nin azalacağı çok iyi bilinen bir sonuçtur. CuCo alaşımlarına nikel katmanın ana amacı, tavlama işlemi esnasında şekillenen küçük alanlı magnetik faz kesrini artırmak ve GMR için faydasız olan büyük magnetik fazları azaltmak dolayısıyla magnetorezistansı arttırmaktır. nikel, faz diyagramına göre kendi kendine bir fazda şekillenemez, yalnızca Cu ve Co çözeltilisinde çözünebilir. Diğer elementlerle karşılaştırıldığında kobalt çözeltilisinde çözünen nikel için, magnetik fazın spin bağımlı saçılma oranı çok fazla azalmayacaktır.

Eğer daha iyi bir magnetorezistans etkisi elde edilmek isteniyorsa Ni ve Co miktarları çok sıkı bir şekilde kontrol edilmelidir. Eğer nikel miktarı sıvı ayırımına neden olmayacak kadar azsa, CuCo alaşımına nikel katılması GMR'yi azaltacaktır. Eğer kobalt miktarı yeterli ise fakat nikel miktarı çok az ise nikel eklenmesinin etkisi belli olmayacaktır. Eğer nikel miktarı aşırı ise, çok fazla Ni atomu Cu matriks içerisinde çözünecek ve GMR'yi azaltmakla sonuçlanacaktır. Asıl mekanizmanın nedeni hala anlaşılabilmiş değildir.

Elektrodepolama ile elde edilen filmlerde eğer nikel, bakırca zengin fazda çözünüyor fakat kobaltça zengin fazda çözünmüyorsa veya Co- Ni miktarı doğru oranlarda değilse

GMR azalabilir. Yani kobaltça zengin fazın büyüklüğü Ni eklenmesi ile artıyorsa, GMR azalacaktır (Sun *et al.* 2001).

Magnetorezistans etkisi manyetik kümelerin momentlerinin yeniden düzenlenmesi ile ilgilidir. Magnetorezistans ayrıca manyetik ve manyetik olmayan ara yüzelerde olduğu kadar, manyetik kümelerde oluşan spin bağımlı saçılmalara dayanılarak yorumlanmaktadır. Bu yüzden magnetorezistans ve Giant magnetorezistans manyetik taneciklerin büyüklük, şekil ve manyetik olmayan matriks içerisindeki dağılımıyla yakından ilgilidir. Uygulanan bir dış magnetik alanın asıl etkisi ferromagnetik bileşenleri makroskobik bir şekilde yönelmiş bir duruma getirmeye zorlaması ve böylece bir magnetik düzenlemeye geçişi sağlamasıdır. Magnetorezistans yönelmemiş ferromagnetik bileşenlerin elektronlarının saçılmasından oluşan fazladan bir dirençtir.

Tane büyüklüğü bir alaşım filmdeki magnetorezistans oranını etkileyen faktörlerdendir. Manyetik filmlerdeki magnetik mahiyetler arasındaki antiferromagnetik veya ferromagnetik çiftlenme de magnetorezistansın büyüklüğünü etkiler. İletim elektronu antiferromagnetik çiftlenme çevresinde, ferromagnetik çiftlenme çevresinden daha çok saçılır. Manyetik filmdeki daha fazla antiferromagnetik çiftlenme daha çok spin saçılmasına yol açar ve bu yüzden daha büyük magnetorezistans etkisi oluşur. Çünkü iletim elektronları, antiferromagnetik çiftlenme çevresinde (ortamında) kendilerini daha çok farklı potansiyellerde bulurlar.

Teoriye uygun olarak filmlerin öz dirençleri sıcaklıkla ve magnetik alanla azalmış fakat magnetorezistansları artmıştır. Bu durum teorik verilerle uyum halindedir. Safsızlık oranı düşük olan numunelerde, fonon etkileşmesinin yaklaşık olarak ihmal edildiği sıcaklık bölgesinde elektronların kat ettiği ortalama serbest yol daha büyük olduğundan bu bölgede elektronlar, ortamın sıcaklığından aldığı enerji ile daha fazla hız kazanmaktadırlar. Düşük sıcaklık bölgesinde fononlarla olan çarpışmalar ve dolayısıyla dirence olan katkı azalmaktadır. Bu ise düşen sıcaklıkla öz direncin düşmesine ama magnetorezistansın düşen sıcaklıkla artmasına neden olmaktadır.

Elektron-fonon saçılmasının düşen sıcaklıkla azalmasının CuCo ve CuCoNi numunelerinde özdirenci nasıl etkilediği şekil 5.10- 5.14 ve 5.16- 5.22 de sırasıyla gösterilmiştir. Her bir numunenin özdirencinin sıcaklıkla farklı şekilde değiştiği, karşılaştırma amacı ile normalize edilmiş olarak çizilen CuCo ve CuCoNi grafiklerinden (şekil 5.15 ve 5.23) sırası ile görülmektedir.

Özdirencin her bir numunede farklı şekilde oluşması, sıcaklığa bağlı olarak oluşan fononların ve numune içerisindeki farklı atomların konsantrasyonlarının farklı olması ve her bir numunedeki magnetik atomların bir birleri ile etkileşmelerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 5.15 ve 5.23 karşılaştırıldığında CuCo numunelerinin genelde CuCoNi numunelerinden daha düşük özdirence sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni şekil 4.18'e bakıldığında anlaşılabilir. Bu grafik bize numunede artan nikel miktarı ile bakırın arttığını kobaltın azaldığını ve bu değişimin numunedeki bakır miktarı lehine olduğunu göstermektedir.

Özdirençteki azalmanın ilk adımı, magnetizasyonun uygulanan alan yönüne dönmesi ile ve daha sonra artan alan ile toplam magnetizasyonun tamamen alan yönüne gelerek magnetik enerjiyi en düşük duruma getirmesi ile sonlanır. Buda CuCo veya CuCoNi alaşım filmi gibi numunelerde özdirencin azalmasına neden olur. Bu azalma elbette numune içerisindeki element miktarları, cinsleri ve dağılımları ile ilgilidir. Bu yüzden yukarıdaki grafiklerde görüldüğü gibi aynı cins element ihtiva etseler bile bunların numune içerisindeki dağılımları ve bir birleriyle etkileşmeleri sonucu değişik magnetorezistans sonuçları ortaya çıkmaktadır.

bakırın öz direnci kobalt ve nikel göre düşük olduğundan ve CuCoNi numunelerinde CuCo numunesine göre oransal olarak daha fazla bakır olduğundan CuCoNi numunelerinin özdirencinin CuCo numunelerine göre daha düşük olması beklenebilir. Ancak değişen magnetik nikel ve kobalt miktarlarının düzensizliği artırması ve magnetik bölgelerdeki saçılma farklılıklarının artması direncin artmasına neden olacaktır.

Şekil 4.16 ve 4.18 karşılaştırıldığında CuCo numunelerindeki %Cu oranının CuCoNi numunelerine göre çok azda olsa fazla olduğu görülmektedir. CuCo numunelerine göre bakırın daha az olduğu CuCoNi numunelerinde, direncin CuCo alaşım filmine göre fazla çıkması numunedeki bakırın yanı sıra magnetik Co ve Ni atomlarının sayılarının, dağılımlarının ve etkileşmelerinin numune direncine farklı katkıda bulunabileceği yorumu ile anlaşılabilir.

Bir sonraki çalışmada;

- Bu çalışmada elektrodopolama yöntemi ile elde edilen filmler, bir sonraki çalışmada tavlansarak kristal kusurları azaltılabilir ve daha sonra magnetorezistans ölçümleri alınarak benzer bir çalışma yapılabilir.
- Magnetorezistans etkisi CuCo çok katlı sistemi ve CuCo alaşımı bir araya getirilerek Cu/CuCo/Cu şeklinde yeni sistemler oluşturulabilir.
- CuCoNi alaşımında nikel miktarının sıvı faz ayrımı üzerine etkisini araştırmak amacı ile nikel konsantrasyonunu geniş bir yelpazede tutarak magnetorezistans ölçümleri yapılabilir.
- Farklı altlık malzemeler kullanılarak filde oluşan granular yapı azaltılmaya çalışılabilir.
- Sıcaklık kontrollü bir sistemle çalışılarak tekrarlanabilir numuneler elde edilebilir.

## KAYNAKLAR

- Abrikosov, A.A., 1988. Fundamentals of The Theory of Metals, Elsevier Sciences Publishing Company, Inc., New York
- Ahn, C. H., and Allen, M. N., 1998. IEEE Trans. Ind. Electron., 45, 6, 866-876
- Andricacos, P. C., and Robertson, N., 1998. IBM J. Res. Develop., 42, 5, 671-80
- Baibitich, M. N., Broto, J.M., Fert, a., Nguyen van Dau, F., Petroff, F., Etienne,P., Creuzet,G., Frederich,A. And Chazeles,J., 1988. Phys.Rev.Lett.61,2472.
- Bakkaloğlu , O. F., Karahan, I. H., 2001. Turkish Journal of Phys. 25 , 27-33.
- Bakkaloğlu, Ö. F., Karahan, İ. H., Efeoğlu, H., Yıldırım, M., Çevik, U., Yoğurtçu, Y.K., 1998. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 190 , 193-198
- Berkowitz, A. E., Mitchell, J. R., Carey,M.J.,Young,A.P., Zhang,S., Spada,F.E. Parker,F.T., Hutten,A. And Thomas,G., 1992. Phys.Rev.Lett.
- Blayte, H. J., Fedosyuk, V. M., Kasyutch, O.I., 1996. Materials Letters 26, 69-72
- Bondar, V. V., Mel'nikova, M. M., and Plukarov, Yu. M., 1969. Elektrodeposition Metals and alloys. Khumutov, N. E., eds., IPST Press, 71-109
- Bruggeman, D. A. G., 1938. ann. Phys. (Leipzig) 24 636
- Carey, M.J., Young, A.P., Starr, A., Rao, D., Li, Z.G. 1992. Appl. Phys.Lett. 61 2395
- Chang, C. R., and Lo, K. H., 1996. J. Appl. Phys. 80, 6888
- Chin, T. S., 2000. J. Magn. Magn. Mater., 209, 75-79
- Chien, C.L. 1995. Materials Science and Engineering ,127-131
- Cote, B.J. and Meisel, L.V. , 1981. in Glassy Metals I: Ionic Structure, Elektronik Transport and Crystallisationedit by H.J. Güntheodt and H. Beck, Springer-Verlag, Berlin, 141
- Datta, M., Landolt, D., 1980. Electrochim. Acta. 25, 1255
- Datta Datta, M., Landolt, D., 1981. Electrochim. Acta. 26, 889
- Datta, M., Landolt, D., 2000. Electrochim. Acta. 45, 2535-2558
- De Gennes,P.G. Friedel, 1958. J. J. Phys.Chem. Solids 4 , 71.
- Drude, P., 1900. Ann Physik 1 (4), 566
- Drude, P., 1902. Ann Physik 7 (4), 687
- Errahmani, H., Berrada, A., Schmerber, G., Dinia, A., 2002. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 238, 145-154



- Errahmani, H., Berrada, A., Colis, S., Schmerber, G., Dinia, A., Muller, D., 2001. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 178, 69-73
- Evans, R., Greenwood, D.A., and Lloyd, P., 1971. Phys.Lett. 35 A , 57
- Fedosyuk, V. M., Kasyutich, O. I., Ravinder, D., Blyte, H. J., 1996. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 156, 345-346
- Ge, S., Lü, Y.Y., Zhang, Z. Z., Li, C.X., Xu, T., Zhao, J.Z., 1997. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 168, 35-42
- Gomez, E., Labarta, A., Llorente, A., Valles, E., 2002. Surface and Coating Technology 153, 261-266
- Gomez, E., Labarta, A., Llorente, A., Valles, E., 2001. Journal of Electroanalytical Chemistry 517, 63-68
- Gu, R. H., Shang, L., Xing, D. L., Wang, Z. D., and Dang, J. M., 1996. Phys. Rev. B.53, 11, 685
- Halliday, D., Resnick, 1981. R., Fiziğin Temelleri, (John Wiley and Sons. Inc.) 508
- Harris and Strom-Olsen J.O., 1983. in Glassy metals II: Atomic Structure and Dynamics, Electronic Structure, Magnetic Properties, edited by Beck, H., and Güntherodt (Springer Verlag, Berlin,) p.325
- Hartmann, U., Eds, 1999. Magnetic Multilayers and Giant Magnetoresistance: Fundamentals and Industrial Applications, Springer.
- Hua, S.Z., Salamanca-Riba, L., Bennett, L.H., Swartzendruber, L.J., McMichael, R.D., and Lashmore, D.S., 1995. Scripta Metalurgica et Materialia, Vol. 33, Nos. 10/11, 1643-1646
- Judy, J. W., and Muller, R. S., 1997. IEEE J. Micromechanical Sys., 6, 3, 249-256
- Judy, J. W., and Muller, R. S., 1996. Sensors and Actuators (Physical A), A53, 392-397
- Judy, J. W., and Muller, R. S., and Zappe, H. H., 1995. IEEE J. Micromechanical Sys., 4 (4), 162-69
- Kainuma, S., Takanayagi, K., Hisatake, K., Watanabe, T., 2002. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 246, 207-212
- Karahan, İ. H., 1997. Elektrokimyasal Depolama Yoluyla elde edilen CuCo Alaşım Filmlerinde Sıcaklığa Bağlı Magnetorezistans ve Özdirenç, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum

- Kittel, C., Introduction to Solid State Physics, John Willey and Sons Inc., Newyork, USA, ( 6. edition) 109
- Labdolt, D., Muller, R. H., Tabia, C. W., 1969. J. Electrochem. Soc. 116, 1384
- Lee, L. L., Laughlin, D. E., and Lambeth, D. N., 1998. IEEE Trans. Magn. 34 , 1561
- Liakopoulos, T. M., Xu, M., and Ahn, C. H., 1998. Technical Digest Solid-State sensor and Actuator workshop, Hilton Head Island, SC, USA, 19-22
- Lopez Anton, R, Fdez-Gubieda,M.L., Insausti,M., Garcia\_Arribas,A., Herreos,J., 200. Journal of Non-Crystalline Solids 287, 26-30
- Lorentz, H. A., 1904-1905. Proc. Acad. Sci. Amsterdam, 7,438, 585, 684
- Myung, N. V., Park, D. Y., Schwartz, M., and Nobe, K., Yang, H., Yang, C-K., and Judy, J. W., 2000. Sixth International Symposium on Magnetic Materials, Processes and Devices, Proc. Electrochem. Soc. PV 29
- Naugle, D.G., 1984. J. Phys. Chem. Solids 45 367
- Nickel, J., 1995. Hewlett Packard June. 95-60
- Omar, M.A., 1975. Elementary Solid State Physics, Addison wesley Publishing Company, 148
- Parent, F., Tuailon, J., Stern, L. B., Dupuis, V., Prevel, B., Pwewz, A., Melinon, P., Guiraud, G., Morel, R., Barhelemy, A., Fert, A., 1997. Phys. Rev. B 55, 3683
- Parkin, S. S. P., Bhadra, R. and Roche, K. P., 1991. Phys. Rev. Lett. 66. 2152.
- Parkin , S. S. P., Farrow, R. F. C., Rabedeau, J. A., Marks, R. F., Harp, G. R., Lam, Q., Chappert, C., Toney, M. F., Savoy, R. And Geiss, R., 1993. Europhys. Lett. , 22. 455
- Petroff, F., Barthelemy, A., Masco, D. H., Lottis, D. K., Fret, A., Schoreder, P.A., Pratt,W. P. and Lequien, S., 1991. Phys. Rev. B44, 5355
- Pattaniak, G.R. Kashyap, S.C., Pandya, D.K., 2000. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 219, 309-316
- Putley, E. H., 1960. The Hall Effect and Related Phenomena, Semiconductor monographs, Butter Worths, London.
- Rao, K.V., 1993. in amoprphous Metallic Alloys, edited by Luborrsky , Butterworths, London, p. 401
- Rubenstein, M., 1994. Phys. Rev. B 50, 3830
- Xiao, J. Q., Jiang, J.S., Chien, C.L., 1992. Phys. Rev.Lett. 68. 3749

Xiao, J. Q., Chien, C. L. and Jiang, J. S., 1993. *J. Appl. Phys.* 73, 5309

Shima, M., Salamanca\_Riba, L., Moffat, T.P., Mc Michale,R.D., 1999. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 198-199, 52-54

Sun, Z., Song, X., Hu, Z., Liang,G., Yang, S., Cochrane, R.F., 2001. *Journal of Alloys and Compounds* 319, 276-279

Takanashi, K., Park, J., Sugawara,T., Hono, K., Goto, A., Yasuoka, H., Fujimori, H., 1996. *Thin Solid Films* 275, 106-110

Ueda,Y.,Ito,M., 1994. *Jpn.J.Appl.Phys.* 33 p. L 1403-L 1405

Ueda, Y., Hataya, N., Zaman, H., 1996. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 156, 350-352

Ueda, Y., Houga, T., Zaman, H., and Yamada, A., 1999. *Journal of Solid State Chemistry* 147, 274

Valet, T., and Fert, A., 1993. *Phys. Rev. B* 48, 7099

Velu,E., Dupas,C., Renard,D., Renard,J.P. and Seiden,J., 1988. *Phys.Rev B* 37, 669

Yang, W., Sun, H., Zhu, X., Song, W., 2001. *Physica B* 299 77-82

Yang, R., Zhang, W., Song, W. J., 1998. *Journal of App. Phys.* V 84 N.4. 2044

Yomamoto, K., Kitada, M., 1995. *Thin Solid Films* 263, 111-116

Yu, R. H., Zhang, X. X., and Tejada, J., 1995. *J. Appl. Phys.* 79, 4, p. 1979

Zhang, S., 1992. *Appl. Phys. Lett.* 61, 1855

Zhang, S., and Levy, P. M., 1993. *J. Appl. Phys.*73, 5315

Ziman, M.N., 1961. *Phylos. Mag* 6, 1013

## ÖZGEÇMİŞ

Erzurum'da 1971 yılında doğdu. İlk, orta, lise öğrenimini Erzurum ili Pasinler ilçesinde tamamladı. 1989 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Eğitim Fakültesi Fizik Bölümü'nden 1993 yılında mezun oldu. Ekim 1994-Temmuz 1997 yılları arasında, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı.

Milli Eğitim bünyesinde bir süre öğretmenlik yaptı. Halen Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi bünyesinde çalışmaktadır.



**TC. YÜ.  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**