

**KİLİS 7 ARALIK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Elektrodepolama Yöntemi İle Elde Edilen ZnFe İnce Filmlerinin
Elektriksel Özdirenç Özelliklerinin
Sezgisel Yöntemler Yardımıyla İncelenmesi**

Rasim ÖZDEMİR

FİZİK ANABİLİM DALI

Danışman: Doç.Dr. İsmail Hakkı KARAHAN

**KİLİS
2010**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Doç. Dr. İsmail Hakkı KARAHAN danışmanlığında, Rasim ÖZDEMİR tarafından hazırlanan “Elektrodepolama Yöntemi ile Elde Edilen ZnFe İnce Filmlerinin Elektriksel Özdirenc Özelliklerinin Sezgisel Yöntemler Yardımıyla İncelenmesi” adlı tez çalışması 25/06/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Fizik Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı Soyadı (Kurumu)	İmza
Başkan	Doç. Dr. İsmail Hakkı KARAHAN (Mustafa Kemal Üniv. Fen-Edeb. Fak. Fizik ABD)	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Mustafa YAZICI (Kilis 7 Aralık Üniv. Fen-Edeb. Fak. Fizik ABD)	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Abdurrahman ÇETİN (Kilis 7 Aralık Üniv. Fen-Edeb. Fak. Fizik ABD)	

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/...../2010 tarih ve/..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Tez No:

Doç. Dr. Bilal ACEMİOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Elektrodepolama Yöntemi İle Elde Edilen ZnFe İnce Filmlerinin Elektriksel Özdirenç Özelliklerinin Sezgisel Yöntemler Yardımıyla İncelenmesi

Rasim ÖZDEMİR

Kilis 7 Aralık Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İsmail Hakkı KARAHAN

Yıl: 2010

Sayfa: 119

Çinko alaşımları endüstride yüksek korozyon direnci özelliğinden dolayı kullanılmaktadır. Saf çinkoya demir grubu elementler alaşımlanarak yüksek korozyon özelliği sağlanmaktadır. Elektrokimyasal depolama yöntemi ile üretilen ZnFe alaşımları mükemmel mekanik özellikleri ve korozyon direnci ile bilinen Kadmiyuma alternatif olarak üretilen çevreci alaşımlardır. Kadmiyumun kanserojen ve çevre düşmanı bir malzeme olduğundan kullanılmasından kaçınılmakta, çinkonun demir grubu elementlerle oluşturduğu alaşımlar ön plana çıkmaktadır. Klasik özdirenç formülünde filmin üretim şartları özdirenç formülü içerisinde yer almamaktadır. Bu çalışmayla üretim şartları da formül içerisine dahil edilerek literatüre kazandırılmaktadır. Formülün elde edilmesinde Sezgisel yöntemler olarak bilinen Genetik Programlama ve Neural Network programlarından yararlanılmış ZnFe alaşımı için yeni bir özdirenç formülü elde edilerek literatüre uygunluğu test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektriksel özdirenç, elektrodepolama, sezgisel yöntemler

ABSTRACT

MSc. Thesis

SOFT COMPUTATIONAL ANALYSIS OF ELECTRICAL RESISTIVITY
PROPERTIES OF ZnFe ALLOY FILMS
PRODUCED BY ELECTRODEPOSITION METHOD

Rasim ÖZDEMİR

Kilis 7 Aralık University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İsmail Hakkı KARAHAN

Year: 2010 Page: 119

Zinc alloys are used in industry due to their high corrosion resistivity. The property of high corrosion resistivity is maintained by alloying pure zinc with iron-group elements. Electrodeposited ZnFe alloys are environment-friendly alloys that are produced as alternatives to Kadmium, which is well known for its perfect mechanical properties and corrosion resistance. As Kadmium is cancerogenic and is not environment friendly, its use is avoided and therefore alloys comprised of zinc and iron-group elements come into prominence. Traditional resistivity formula does not consist the production conditions of the film. This study contributes to the literature by including the production conditions in the electrical resistivity formula. Soft computing techniques such as genetic programming and neural network programs were utilized to develop a new resistivity formula for ZnFe alloys and the relevance of new formula to the literature was tested.

Key Words: Electrical resistivity, electrodeposition, soft computing techniques

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. İsmail Hakkı KARAHAN'a,

Araştırma sırasında sezgisel yöntemler konusunda yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Erdoğan ÖZBAY ve Yrd.Doç. Dr. Erdoğan KANCA'ya,

Ayrıca çalışmalarım sırasında desteklerini esirgemeyen eşim ve çocuklarıma teşekkür ederim.

Rasim ÖZDEMİR
Kilis, Haziran 2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1. Elektrokimyasal Depolama	2
1.2. Elektrokimyasal Depolamayı Etkileyen Parametreler	6
1.3. Elektrokimyasal Depolama Sistemi	7
1.4. Elektriksel Direnç	9
1.5. Elektriksel Dirence Katkısı Olan Fiziksel Faktörler	15
1.6. Özdirenç Ölçümleri.....	15
1.7. İki Nokta Kontak Metoduyla Özdirenç Ölçme Devresi:	16
1.8. Dört Nokta Kontak Metodları	16
1.9. Dört Nokta Prob Metodu	17
1.10. Van Der Pauw Metodu.....	18
1.11. Özdirençin Sıcaklıkla Değişiminin Dört Nokta Kontak Yöntemiyle Ölçümü.....	20
2. MATERYAL VE METOD	21
2.1. METOD	21
2.1.1. Sezgisel Yöntemler	21
2.1.2. Yapay Zeka	23
2.1.3. Yapay Sinir Ağları.....	24
2.3.1.1. Yapay Sinir Ağlarının Tarihsel Gelişimi.....	24
2.3.1.2. Yapay Sinir Ağlarının Biyolojik Yapısı	26
2.3.1.3. Yapay Sinir Hücresi ve Ana Öğeleri	28
2.3.1.3.1. Girişler	29
2.3.1.3.2. Ağırlıklar	29
2.3.1.3.3. Toplama İşlevi (Birleşme fonksiyonu).....	29

2.3.1.3.4. Etkinlik İşlevi (Aktivasyon)	30
2.3.1.3.4.1. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu.....	31
2.3.1.3.4.2. Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu.....	31
2.3.1.3.4.3. Signum Aktivasyon Fonksiyonu.....	31
2.3.1.3.4.4. Eşik Aktivasyon Fonksiyonu (Step)	31
2.3.1.3.4.5. Logaritma Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu	32
2.3.1.3.5. Ölçekleme ve Sınırlama.....	32
2.3.1.3.6. Çıkış İşlevi.....	32
2.1.4. Öğrenme	32
2.4.1.1. Hebb Kuralı	33
2.4.1.2. Hopfield Kuralı.....	33
2.4.1.3. Delta Kuralı	33
2.4.1.4. Kohonen Kuralı.....	33
2.1.5. Katmanlar	34
2.1.6. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması.....	34
2.1.7. Öğrenme Algoritmaları.....	38
2.1.8. Genetik Algoritmalar	42
2.2. MATERYALLER.....	53
2.2.1. $Zn_{1-x}Fe_x$ İnce Film Alaşımının Fiziksel Özellikleri	54
2.2.2. Genetik Programlama ve Neural Network Programları için Train ve Test Dosyalarının Oluşturulması	56
2.2.3. Genetik Programlama İle Özdirenç Formülünün Oluşturulması.....	63
2.2.4. Genetik Programlamanın Çalıştırılması	64
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	67
3.1. Genetik Programlamanın Çalıştırılmasıyla Elde Edilen Veriler ve Ağaç Yapısı	67
3.2. Formülün Bulunması.....	68
3.3. Genetik Programlama ve Neural Network Programının Çalıştırılmasında Kullanılan Deneysel Veri Grafikleri.....	69
3.3.1. Train Dosyası Deneysel Verilerinin Grafiği.....	69
3.3.2. Test Dosyası Deneysel Verilerinin Grafiği.....	70

3.4. Genetik Programlama İle Elde Edilen Sonuçların Grafik Olarak Gösterimi.....	70
3.4.1. GEP İle Elde Edilen Train Verilerinin Grafik Olarak Gösterimi	70
3.4.2. GEP İle Elde Edilen Test Verilerinin Grafik Olarak Gösterimi.....	72
3.5. Neural Network (YSA) Programı ile Özdirenç Formülünün Oluşturulması	73
3.5.1. Neurosolutions Programının Çalıştırılması	73
3.5.2. NN Programıyla Elde Edilen Veriler.....	74
3.5.3. Formülün Elde Edilmesi.....	75
3.6. NN (YSA) Programı İle Elde Edilen Sonuçlar	76
3.6.1. NN ile Elde Edilen Train Veri Sonuçları.....	76
3.6.2. NN ile Elde Edilen Test Verilerinin Grafik Olarak Gösterimi.....	78
3.7. GEP ve NN Programları ile Tahmin Edilen Sonuçların Deneysel Verilerle Karşılaştırılması	80
3.8. GEP ve NN Programları Yardımıyla Elde Edilen Formüllerin Test Edilmesi	82
3.8.1. Korozyon Potansiyeli ve Sıcaklık Değişimi İle Elektriksel Özdirençin Değişimi	83
3.8.2. Çeşitli Sıcaklık Değerlerinde Korozyon Geriliminin, Film İçerisindeki Zn ve Fe Oranına Göre Özdirenç Değişimine Etkisi (NN ve GEP)	88
3.8.3. GEP'e Göre Sabit Korozyon Gerilimi ve Sıcaklıkta Film İçerisindeki Fe Oranı Değişiminin Özdirenç Etkisi.....	93
3.8.4. Herbir Korozyon Gerilimi Sabit Tutularak Farklı Sıcaklık Değerlerinde Elektrolit ve Film İçerisindeki % ZnFe Oranı Değişiminin Özdirenç Etkisi (NN'e göre)	96
3.8.5. Her Bir Sıcaklık Değeri Sabit Tutularak Farklı Korozyon Gerilimlerinde Elektrolit ve Film İçerisindeki Fe Oranı Değişiminin Özdirenç Etkisi (NN'e Göre)...	99
3.8.6. Sabit Sıcaklık ve Korozyon Geriliminde, Film İçeriği Sabit İken Elektrolit İçerisindeki Fe Oranı Değişiminin Özdirenç Etkisi (GEP'e Göre)	102
3.8.7. Sıcaklık, Korozyon Gerilimi ve Film İçeriği Sabit Tutularak Elektrolit İçerisindeki Fe Oranı Değişiminin Özdirenç Etkisi (NN'e Göre)	104
3.8.8. Sıcaklık, Korozyon Gerilimi ve Elektrolit İçeriği Sabit Tutularak Film İçerisindeki Fe Oranı Değişiminin Özdirenç Etkisi (NN'e Göre)	107

4. SONUÇ VE ÖNERİLER	110
5. KAYNAKLAR	112
ÖZGEÇMİŞ.....	120

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A:	Akım birimi, Amper
A :	Kaplama alanı
α :	Sıcaklık katsayısı
B :	Magnetik alan
C:	Celcius derece (Santigrat)
E:	Elektrik alan
E_{Zn} :	Elektrolitteki çinko oranı
E_{Fe} :	Elektrolitteki demir oranı
e:	Elektron yükü
ϵ :	Dielektrik sabiti
F:	Faraday sabiti
F :	Kuvvet
F_{Fe} :	Filmdeki demir oranı
F_{Zn} :	Filmdeki çinko oranı
f :	Aktivasyon kodu
G:	Düzeltilme faktörü
h :	Planck sabiti
I:	Akım şiddeti
J:	Akım yoğunluğu
K:	Kelvin
k :	Dalga vektörü
l :	Serbest yol
λ :	Dalga boyu
λ :	Uzaklık
m:	Kütle
m^* :	Etkin kütle
M:	Molar kütle
μ :	Mikron
n :	Elektron sayısı
P:	Momentum

π :	Radyan
θ :	Kırınım açısı
θ_1 :	Eşik değer
R:	Direnç
r:	Korelasyon katsayısı
σ :	İletkenlik
ρ :	Özdirenç
$\Delta\rho$:	Özdirenç değişimi
s:	Spin kuantum katsayısı
T:	Sıcaklık
T:	Zaman
t :	Film kalınlığı
τ :	İki çarpışma arasında geçen zaman
x:	Filmdeki arınmış konsantrasyon değeri
V:	Gerilim birimi, volt
V :	Hacim
V_{Cor} :	Korozyon gerilimi
$V(\epsilon)$:	Durum yoğunluğu
w_i :	Ağırlıklar
x_j :	Girişler
y_i :	Çıkışlar
Z:	Orantı sabiti

Kısaltmalar

Ag:	Gümüş
Co:	Kobalt
Cu :	Bakır
ÇKA:	Çok Katmanlı Algılayıcılar
Fe:	Demir
GA:	Genetik Algortima
GEP:	Genetik Programlama
μm :	Mikron metre
MLP:	Çok Katmanlı Algılayıcı Ağı

Ni:	Nikel
NN:	Neural Network
pH:	Asitlik
RBFNN:	Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı
TDNN:	Zaman Gecikmeli Yapay Sinir Ağı
XRD:	X ışını Kırınım ölçer
YSA:	Yapay Sinir Ağı
Zn:	Çinko
ZnFe:	Çinko-Demir

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Tipik bir elektro depolama düzeneği	3
Şekil 1.2. Elektro depolama düzeneği	7
Şekil 1.3. Elektrodepolama hücresi ve referans elektrot	8
Şekil 1.4. Bilgisayar kontrollü elektro depolama düzeneği	9
Şekil 1.5. Metal içerisindeki elektronların karşılaşabileceği örgü düzeni ve kusur diyagramı	13
Şekil 1.6. Farklı oranlarda katkılanmış iki metal numunesinin öz dirençleri	14
Şekil 1.7. İki-problu metotla öz direnç ölçme devresi	16
Şekil 1.8. Dört nokta prob ölçme sisteminin esası	17
Şekil 1.9. Van Der Pauw Metodu ölçme şekilleri	18
Şekil 1.10. $R_{AB,CD}$ ve $R_{BC,DA}$ dirençlerin oranına bağlı düzeltme fonksiyonunun grafiği	19
Şekil 1.11. Bilgisayar kontrollü kapalı devre He soğutmalı dört nokta öz direnç ölçme düzeneği	20
Şekil 2.1. Yumuşak hesaplamaların bileşenleri	23
Şekil 2.2. Biyolojik sinir hücresi ve bileşenleri	27
Şekil 2.3. Yapay bir sinir hücre yapısı (düğüm)	28
Şekil 2.4. Çeşitli aktivasyon fonksiyonları	30
Şekil 2.5. İleri beslemeli yapay sinir ağı	35
Şekil 2.6. Geri beslemeli yapay sinir ağı mimarisi	36
Şekil 2.7. Geri beslemeli yapay sinir ağ yapısı	36
Şekil 2.8. Danışmanlı öğrenme yapısı	37
Şekil 2.9. Danışmansız öğrenme yapısı	38
Şekil 2.10. Takviyeli öğrenme yapısı	38
Şekil 2.11. Çok katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı modeli	39

Şekil 2.12. Çok katmanlı algılayıcı ağı (MLP).....	41
Şekil 2.13. İkili kodlama için kromozom örneği	45
Şekil 2.14. Permütasyon kodlama için kromozom örneği.....	45
Şekil 2.15. Değer kodlama için kromozom örneği	45
Şekil 2.16. Ağaç kodlama için kromozom örneği.....	46
Şekil 2.17. Genetik algoritmaların genel akış seması	47
Şekil 2.18. Bir bireyin ağaçsal yapısı	51
Şekil 2.19. Mutasyon için seçilmiş birey ve bireyin seçilmiş mutasyon noktası ve mutasyon sonrası oluşan yeni birey.	51
Şekil 2.20. Çaprazlama için seçilmiş iki birey ve bireylerin seçilmiş çaprazlama noktaları ile çaprazlama sonrası oluşan yeni bireyler (çocuklar).....	52
Şekil 3.1. ZnFe özdirenç formülü ağaç yapısı (1.kısım).....	67
Şekil 3.2. ZnFe özdirenç formülü ağaç yapısı (2.kısım).....	67
Şekil 3.3. ZnFe özdirenç formülü ağaç yapısı (3.kısım).....	67
Şekil 3.4. ZnFe özdirenç formülü ağaç yapısı (4.kısım).....	68
Şekil 3.5. ZnFe özdirenç formülü ağaç yapısı (5.kısım).....	68
Şekil 3.6. ZnFe alaşımının oranlarına göre train dosyası verileri grafiği	69
Şekil 3.7. ZnFe alaşımının oranlarına göre test dosyası verileri grafiği	70
Şekil 3.8. GEP ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin (Train) deneysel çalışmalardaki verilerle karşılaştırmalı olarak gösterimi	70
Şekil 3.9. GEP ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin (Train) deneysel çalışma verileri (hedef) ile karşılaştırılması	71
Şekil 3.10. GEP ile bulunan elektriksel özdirenç verilerinin (Train) ZnFe oranlarına göre deneysel verilerle sıcaklık karşısındaki değişimlerinin karşılaştırmalı gösterimi ..	71
Şekil 3.11. GEP ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin (Test) deneysel çalışmalardaki verilerle karşılaştırmalı olarak gösterimi	72
Şekil 3.12. GEP ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin (Test) deneysel çalışma verileri (hedef) ile karşılaştırılması	72

Şekil 3.13. GEP ile bulunan elektriksel özdirenç verilerinin (Test) ZnFe oranlarına göre deneysel verilerle sıcaklık karşısındaki değişimlerinin karşılaştırmalı gösterimi.....	73
Şekil 3.14. NN programının çalıştırılmasında seçilen çalışma modelinin gösterimi.....	74
Şekil 3.15. NN ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin (Train) deneysel çalışmalardaki verilerle karşılaştırmalı olarak gösterimi	77
Şekil 3.16. NN ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin (Train) deneysel çalışma verileri (hedef) ile karşılaştırılması	77
Şekil 3.17. NN ile bulunan elektriksel özdirenç verilerinin (Train) ZnFe oranlarına göre deneysel verilerle sıcaklık karşısındaki değişimlerinin gösterimi	78
Şekil 3.18. NN ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin (Test) deneysel çalışmalardaki verilerle karşılaştırmalı olarak gösterimi	78
Şekil 3.19. NN ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin (Test) deneysel çalışma verileri (hedef) ile karşılaştırılması	79
Şekil 3.20. NN ile bulunan elektriksel özdirenç verilerinin (Test) ZnFe oranlarına göre deneysel verilerle sıcaklık karşısındaki değişimlerinin gösterimi	79
Şekil 3.21. NN ve GEP ile bulunan sonuçların (Train) deneysel verilerle karşılaştırılması	80
Şekil 3.22. Elektrolitteki Zn % 80 - Fe % 20 oranlarında iken NN ve GEP ile hesaplanan sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılması	81
Şekil 3.23. Elektrolitteki Zn % 77 - Fe % 23 oranlarında iken NN ve GEP ile hesaplanan sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılması	81
Şekil 3.24. Elektrolitteki Zn % 57,1- Fe % 42,9 oranlarında iken NN ve GEP ile hesaplanan sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılması	82
Şekil 3.25. Elektrolitteki Zn % 50 - Fe % 50 oranlarında iken NN ve GEP ile hesaplanan sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılması	82
Şekil 3.26. NN'e göre film içerisindeki Zn % 96 - Fe % 4 oranında iken korozyon gerilimi ve sıcaklık değişiminin elektriksel özdirence etkisi	84
Şekil 3.27. GEP'e göre film içerisindeki Zn % 96 - Fe % 4 oranında iken korozyon gerilimi ve sıcaklık değişiminin elektriksel özdirence etkisi	84
Şekil 3.28. NN'e göre film içerisindeki Zn % 78 - Fe % 22 oranında iken korozyon gerilimi ve sıcaklık değişiminin elektriksel özdirence etkisi	85

Şekil 3.29. GEP'e göre film içerisindeki Zn % 78 – Fe % 22 oranında iken korozyon gerilimi ve sıcaklık değişiminin elektriksel özdirence etkisi	85
Şekil 3.30. NN'e göre film içerisindeki Zn % 69 - Fe % 31 oranında iken korozyon gerilimi ve sıcaklık değişiminin elektriksel özdirence etkisi	86
Şekil 3.31. GEP'e göre film içerisindeki Zn % 69 – Fe % 31 oranında iken korozyon gerilimi ve sıcaklık değişiminin elektriksel özdirence etkisi	86
Şekil 3.32. NN'e göre film içerisindeki Zn % 61 - Fe % 39 oranında iken korozyon gerilimi ve sıcaklık değişiminin elektriksel özdirence etkisi	87
Şekil 3.33. GEP'e göre film içerisindeki Zn % 61 - Fe % 39 oranında iken korozyon gerilimi ve sıcaklık değişiminin elektriksel özdirence etkisi	87
Şekil 3.34. NN'e göre çeşitli sıcaklık değerlerinde değişken korozyon geriliminin, film içerisindeki Zn % 96 ve Fe % 4 oranında iken özdirenç değişimine etkisi	89
Şekil 3.35. GEP'e göre çeşitli sıcaklık değerlerinde değişken korozyon geriliminin, film içerisindeki Zn % 96 ve Fe % 4 oranında iken özdirenç değişimine etkisi	89
Şekil 3.36. NN'e göre çeşitli sıcaklık değerlerinde, değişken korozyon geriliminin, film içerisindeki Zn % 78 ve Fe % 22 oranında iken özdirenç değişimine etkisi	90
Şekil 3.37. GEP'e göre çeşitli sıcaklık değerlerinde değişken korozyon geriliminin, film içerisindeki Zn % 78 ve Fe % 22 oranında iken özdirenç değişimine etkisi	90
Şekil 3.38. NN'e göre çeşitli sıcaklık değerlerinde değişken korozyon geriliminin, film içerisindeki Zn % 69 ve Fe % 31 oranında iken özdirenç değişimine etkisi	91
Şekil 3.39. GEP'e göre çeşitli sıcaklık değerlerinde değişken korozyon geriliminin, film içerisindeki Zn % 69 ve Fe % 31 oranında iken özdirenç değişimine etkisi	91
Şekil 3.40. NN'e göre çeşitli sıcaklık değerlerinde değişken korozyon geriliminin, film içerisindeki %Zn 61 ve %Fe 39 oranında iken özdirenç değişimine etkisi	92
Şekil 3.41. GEP'e göre çeşitli sıcaklık değerlerinde değişken korozyon geriliminin, film içerisindeki % Zn 61 ve % Fe 39 oranında iken özdirenç değişimine etkisi	92
Şekil 3.42. GEP'e göre -1,05 V sabit korozyon geriliminde sıcaklık ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi	94
Şekil 3.43. GEP'e göre -1,08 V sabit korozyon geriliminde sıcaklık ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi	94
Şekil 3.44. GEP'e göre -1,11 V sabit korozyon geriliminde sıcaklık ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi	95

Şekil 3.45. GEP'e göre -1,14 V sabit korozyon geriliminde sıcaklık ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi	95
Şekil 3.46. NN'e göre -1,05 V korozyon gerilimi ve değişik sıcaklıklarda elektrolit ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi	97
Şekil 3.47. NN'e göre -1,08 V korozyon gerilimi ve değişik sıcaklıklarda elektrolit ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi	97
Şekil 3.48. NN'e göre -1,11 V korozyon gerilimi ve değişik sıcaklıklarda elektrolit ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi	98
Şekil 3.49. NN'e göre -1,14 V korozyon gerilimi ve değişik sıcaklıklarda elektrolit ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi	98
Şekil 3.50. NN'e göre 25 K sabit sıcaklıkta, farklı korozyon gerilimlerinde, elektrolit ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi	99
Şekil 3.51. NN'e göre 100 K sabit sıcaklıkta, farklı korozyon gerilimlerinde, elektrolit ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi	100
Şekil 3.52. NN'e göre 175 K sabit sıcaklıkta, farklı korozyon gerilimlerinde, elektrolit ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi	100
Şekil 3.53. NN'e göre 250 K sabit sıcaklıkta, farklı korozyon gerilimlerinde, elektrolit ve film içerisindeki Fe oranının değişiminin özdirence etkisi	101
Şekil 3.54. NN'e göre 325 K sabit sıcaklıkta, farklı korozyon gerilimlerinde, elektrolit film içerisindeki Fe oranının değişiminin özdirence etkisi	101
Şekil 3.55. GEP'e göre sabit sıcaklık ve -1,05 V korozyon geriliminde, film içeriği sabit iken elektrolit içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi	102
Şekil 3.56. GEP'e göre sabit sıcaklık ve -1,08 V korozyon geriliminde, film içeriği sabit iken elektrolit içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi	103
Şekil 3.57. GEP'e göre sabit sıcaklık ve -1,11 V korozyon geriliminde, film içeriği sabit iken elektrolit içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi	103
Şekil 3.58. GEP'e göre sabit sıcaklık ve -1,14 V korozyon geriliminde, film içeriği sabit iken elektrolit içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi	104
Şekil 3.59. NN'e göre sabit sıcaklık ve -1,05 V korozyon geriliminde, film içeriği sabit iken elektrolit içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi	105
Şekil 3.60. NN'e göre sabit sıcaklık ve -1,08 V korozyon geriliminde, film içeriği sabit iken elektrolit içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi	105

- Şekil 3.61.** NN'e göre sabit sıcaklık ve -1,11 V korozyon geriliminde, film içeriği sabit iken elektrolit içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi 106
- Şekil 3.62.** NN'e göre sabit sıcaklık ve -1,14 V korozyon geriliminde, film içeriği sabit iken elektrolit içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi 106
- Şekil 3.63.** NN'e göre 25 K sabit sıcaklık ve çeşitli korozyon gerilimlerinde, elektrolit içeriği sabit film içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi 107
- Şekil 3.64.** NN'e göre 100 K sabit sıcaklık ve çeşitli korozyon gerilimlerinde, elektrolit içeriği sabit film içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi 108
- Şekil 3.65.** NN'e göre 175 K sabit sıcaklık ve çeşitli korozyon gerilimlerinde, elektrolit içeriği sabit film içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi 108
- Şekil 3.66.** NN'e göre 250 K sabit sıcaklık ve çeşitli korozyon gerilimlerinde, elektrolit içeriği sabit film içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi 109
- Şekil 3.67.** NN'e göre 250 K sabit sıcaklık ve çeşitli korozyon gerilimlerinde, elektrolit içeriği sabit film içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi 109

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Biyolojik sinir sistemi ile YSA'nın benzer özellikleri	32
Çizelge 2.2. AISI 4140 düşük alaşım çeliğinin kimyasal karışımı (%).....	54
Çizelge 2.3 Elektrolit ve filmin kimyasal bileşeni.....	55
Çizelge 2.4. Programın yapılandırılmasında kullanılan değişkenler	57
Çizelge 2.5. Train dosyası verileri	57
Çizelge 2.6. Test dosyası verileri.....	62
Çizelge 2.7. GEP ile uygun modelin seçiminde kullanılan parametreler ve değerleri ...	64
Çizelge 2.8. Genetik programlamanın çalıştırılmasında kullanılan fonksiyonlar.....	65
Çizelge 2.9. GEP programının çeşitli seçeneklerde çalıştırılmasıyla elde edilen en iyi sonuçlar	65
Çizelge 3.1. Giriş ve çıkış parametreleri ile normalleştirme katsayıları.....	74
Çizelge 3.2. Çalıştırılan NN modelinin istatistiksel olarak performansı	75

1. GİRİŞ

Çinko ve çinko alaşımları temelde otomotiv endüstrisinde; iyi şekillenebilirlik, kaynaklanabilirlik, sanayi tipi boyanabilirlik ve yüksek korozyon direnci özelliğinden dolayı kullanılmaktadır. Saf çinkonun korozyon özelliği tatmin edici olmadığından çinkoya demir grubu elementler alaşımlanarak yüksek korozyon özelliği sağlanmaktadır. Elektrokimyasal depolama yöntemi ile üretilen ZnFe alaşımları piyasada mükemmel mekanik özellikleri ve korozyon direnci ile bilinen Kadmiyuma alternatif olarak üretilen çevreci alaşımlardır. Kadmiyum bu özellikleri taşımakta fakat kanserojen ve çevre düşmanı bir malzeme olduğundan kullanılmasından kaçınılmaktadır. Bu nedenle çinkonun demir grubu elementlerle oluşturduğu alaşımlar son yıllarda yoğun bir biçimde çalışılmaktadır.

Fizikte elektriksel özdirenç formülü sadece filmin kesit alanına boyuna ve cinsine bağlı bir eşitlik olarak verilmektedir. Oysa filmin üretim şartlarının özdirenç formülü içerisinde yer almadığı görülmektedir. Elektrodepolama yöntemi ile elde edilen filmler üzerine elektrolit pH değeri, ortam sıcaklığı, elektrolite katılan malzemenin miktarı, korozyon özelliği ile tanınan bu malzemenin korozyon direnci önemli etkilerde bulunmaktadır. Oysa özdirenç formülünde bu özellikler gözlenememekte bu da yorum yapma güçlüklerine neden olmaktadır.

Sezgisel yöntemler olarak bilinen programlardan ikisi genetik programlama ve Neural Network programlarıdır. Bu programlar formülasyon özellikleri yardımı ile verilen özellikleri çıktı olarak istediğimiz özdirenç özelliğine ne kadar etki edebildiği belirli bir düzen içerisinde formüle edilebilmektedirler.

ZnFe alaşımları her yönü ile literatürde ilgi görmekte ve yoğun biçimde çalışılmaktadır (Aylıkçı, 2010; Tsuru vd., 1997; Karahan, 2009; Karahan, 2007; Thiemig, 2009; Etzold, 2008; Karahan, 2008). Fakat henüz alaşım üzerine etki eden tüm faktörler araştırılmamış ve mekanizmanın nasıl çalıştığı açıklığa kavuşturulamamıştır. Deneysel çalışmalar bir yandan devam ederken bilgisayar destekli sonuçlar da literatürde yer bulmaktadır. Literatürde deneysel verilerin formülasyonu son 10 (on) yılda hızlı bir biçimde çalışılmaya başlanmıştır. Karahan ve arkadaşları CuCoNi alaşım filmleri üzerine sezgisel programları kullanarak alaşımın manyeto direnci ve elektriksel

özdirenci üzerine bir formülasyon oluşturmuş ve %99,9 yaklaşıklıkla programın çalıştığını test etmişlerdir (Karahan, 2009).

Özellikle elektrodpozisyon alanında sezgisel yöntemlerle özdirenç hesabının formülasyonu konusunda fazla çalışma bulunmamaktadır. Koza tarafından başlatılan çalışmalar artan biçimde devam etmekte ve deneysel olarak ulaşılamayan veri aralıklarına da elde edilen formüller vasıtasıyla tahminde bulunulabilmektedir.

Bu çalışmada ilk önce elektrokimyasal depolama yöntemi ile elde edilmiş ZnFe alaşımlarının özdirençleri üzerine ortam sıcaklığının, alaşım filmindeki demir miktarının, alaşım filmindeki çinko miktarının, elektrolite katılan demir miktarının, elektrolitteki çinko miktarının ve korozyon potansiyelinin nasıl etki ettiği genetik programlama yardımı ile formüle edilmeye çalışılmıştır. Daha sonra ZnFe alaşımlarının elektriksel özdirenci Neural Network programı ile bulunmaya çalışılmış ve bu iki programın performansı karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Alaşım filmlerinin hazırlanmasında kullanılan elektrokimyasal depolama yöntemi ve özdirenç olayının fiziksel temelini anlamak için teorilerini anlamak gerekir. Bu nedenle elektrokimyasal depolama ve özdirenç konuları hakkında bilgiler verilmiştir.

1.1. Elektrokimyasal Depolama

Son yıllarda teknolojik ve bilimsel araştırmalardaki gelişmeler birçok alanda olduğu gibi ince film üretiminde de çeşitli değişimlere neden olmuştur. İnce filmler üzerinde yapılan araştırmalar 1950’li yıllardan günümüze kadar çeşitli yöntemler denenerek yapılmıştır. İnce film elde etmede kullanılan ilk teknik elektroliz yöntemidir. İnce filmlerin elde edilmesinde kullanılan çeşitli yöntemler vardır. İnce filmler, kalınlıkları 100 Angstrom ile birkaç μm arasında değişen kaplamalar olup, atomların ya da moleküllerin kaplanacakları yüzeye tek tek dizilmeleriyle hazırlanabilmektedir. Yarıiletken filmler kalınlıklarına göre kalınlığı $1\mu\text{m}$ ve daha ince olanlar “ince film” (Thin film), kalınlığı $1\mu\text{m}$ den daha fazla olanlar ise “kalın film” (Thick film) olarak adlandırılır (Wasa, 1992).

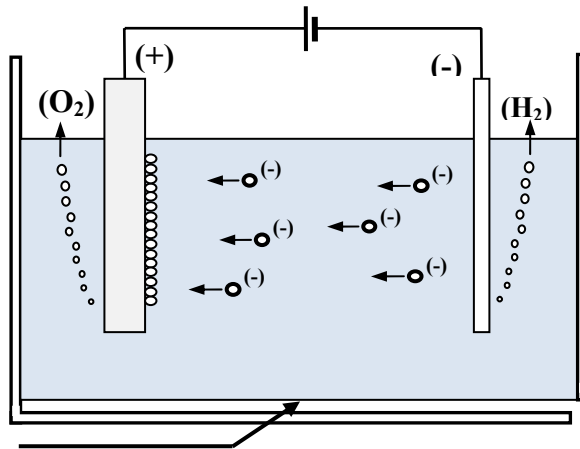
İnce filmler, hacimli malzemelerin yüzeyine kaplandığında onların tek başlarına sağlayamadıkları birçok özellikten dolayı optik, elektronik, manyetik, kimyasal ve

mekanik alanlarını ilgilendiren endüstrilerde ileri teknoloji malzemeleri olarak kullanılmaktadırlar. Çok katmanlı üretildiklerinde hacim özelliklerinden tamamen farklı bir şekilde, yeni malzemeler gibi davrandıklarından elektronik devre elemanları olarak kullanılabilirler.

Elektrodepolama; bir elektrolitik çözelti içerisindeki metal iyonlarının katot üzerine indirgenerek depolanmasıdır. Bu yöntem, elektrokimyasal mikrofabrikasyon diye genelleştirilebilecek bir dizi işlem gruplarından biri olup, kendisine alternatif diğer teknolojilere göre bazı avantajlara sahiptir.

19. Yüzyılın ortalarında, elektrolizle şekillendirme banknotlar için yazma düzlemlerinin üretimi için uygulanıyordu . Elektrokimyasal teknoloji elektronik endüstrisine düşük sonlu yazı devre tahtaları uygulamaları için 50 yıl önce girdi. Sert magnetik maddelerin üretilmesi için çok uygun bir yöntemdir. Mikro sistem ve elektronik endüstrisinde hızla artan bir şekilde kullanılmaktadır. Elektrodepolamayı oluşturan banyo kompozisyonu, pH, akım yoğunluğu, sıcaklık, çalkalama gibi parametre değerleri öz direnç özelliklerini değiştirebilir. (Karahan, 2002)

Günümüzde 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). Elektrokimyasal mikrofabrikasyon teknolojisinin ucuzluk avantajı ve yüksek bir doğruluk oranıyla yapılabilmesi nedeniyle, elektronik ve mikro sistem endüstrisinde artan bir şekilde gittikçe rol oynamaktadır (Karahan, 2002).



Şekil 1.1. Tipik bir elektro depolama düzeneği (Karahan, 2002)

Asit baz ve tuzların sudaki çözeltilerine elektrolit denir. Elektrolitler elektriği ileten ortamlardır. Elektrolit içerisinde meydana gelen olaylara elektrot reaksiyonları adı verilir. Elektrokimyasal hücrenin tipik şekli, Şekil 1.1’de verilmiştir.

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;

$$m \propto I.t \quad \text{veya} \quad m=zIt \quad (1.1)$$

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.

$$\frac{m_1 \cdot \propto \cdot M_1}{n_1 \cdot \propto \cdot z_1} \quad \text{ve} \quad \frac{m_2 \cdot \propto \cdot M_2}{n_2 \cdot \propto \cdot z_2} \quad (1.2)$$

burada m_1 ve m_2 ana ürünün kütlesi (g),

M_1, M_2 =Molar kütle (g. mol⁻¹)

n_1, n_2 =reaksiyondaki elektronların sayısı

z_1, z_2 =elektrokimyasal eşdeğerleri gösterir.

Denklem 1.1 ve 1.2’deki kanunlar birleştirilerek bir tek bağıntı çıkarılabilir.

(1.1) den $m=z I t$

(1.2) deki z yi çekip (1.1) de yerine koyarsak

$m=k M / n.I.t$ burada k bir sabittir.

veya $m=1 / F.M/ n.I.t$

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

Sabit akımda (1.1) eşitliğinde $m=ItM / nF$

Şimdi $m=V\rho$, burada V=hacimdir.

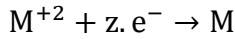
$V\rho =It M/nF$ veya $V =It M/nF.1/\rho$

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

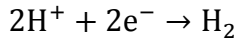
$A.x=It M/nF.1/\rho$

$X=It/A M/nF.1/\rho$ veya $x=jt M/nF. 1/\rho$

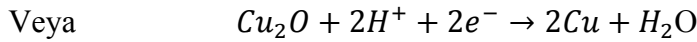
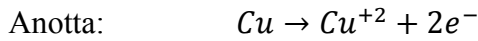
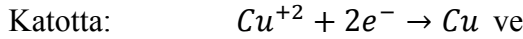
Bu %100'lük bir akım verimi için geçerlidir. Verim düştükçe depolanan miktarda düşer. Elektrodepolama işlemi için katodik reaksiyon büyük bir öneme sahiptir. Metal depolamanın genel eşitliği;



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 etmede
- Metallerin yeniden kullanıma hazırlanması için tamiri veya temizlenmesi,
- Uygun ve kontrollü bir kaynak sağlayarak elektrodepolama 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)

1.2. Elektrokimyasal Depolamayı Etkileyen Parametreler

Elektrokimyasal biriktirme (elektrodepozisyon) tekniğinde oluşan ince filmin kalitesini etkileyen bazı parametreler vardır. Bu parametreleri değiştirerek aranan özelliklere göre ince film üretmek mümkündür. Aşağıdaki parametreler elektrodepozisyonu etkilemektedir.

- 1) Depozisyon potansiyeli
- 2) Elektrolite katılan maddelerin cinsi ve miktarı
- 3) Çözelti pH'ı
- 4) Akım yoğunluğu
- 5) Elektrolit sıcaklığı
- 6) Çözelti içine katılan kimyasal katkı maddeleri

Depozisyon potansiyeli: İnce film üretiminde depozisyon potansiyeli önemli rol oynamaktadır. Uygulanacak olan potansiyel aralığı dönüşümlü voltametri ile belirlenebilir. Uygulanan potansiyelin değeri filmin oluşturulabilmesi ve kalitesi için önemlidir.

Elektrolite katılan maddelerin cinsi ve miktarı: Oluşan filmin içeriği ve hangi özelliklere sahip olacağı elektrolite katılan maddelerin neler oldukları ve konsantrasyonu ile doğrudan ilişkilidir.

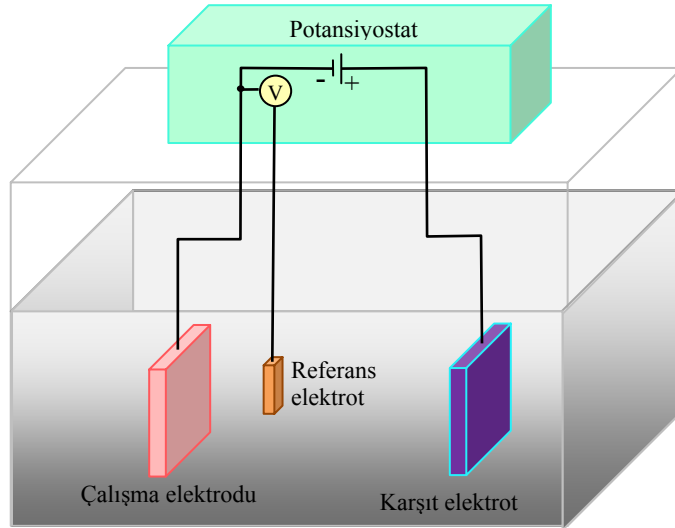
Çözelti pH'ı: Depozisyonu etkileyen faktörlerden biri olan elektrolit pH'ı çözelti içindeki hidrojen iyonlarının bir ölçüsüdür ve $pH = -\log_{10} a_{H^+}$ ifadesi ile verilir. Çözeltideki pH değerinin değişmesi çözelti içindeki H iyonlarının konsantrasyonunun artması veya azalması anlamına gelmektedir. H iyonlarının çıkması sonucunda da film kalitesi etkilenir ve akım verimliliği değişir.

Akım yoğunluğu: Akım yoğunluğu elektrot yüzeyinin birim alanı başına geçen akım olarak tanımlanır. Bu özellik yüzey morfolojisini ve filmin kristal yapısını etkileyebilir. Genellikle kaliteli ince film üretmek için düşük akım yoğunlukları tercih edilir.

Kimyasal katkı maddeleri: Biriktirme işleminde kullanılan çözelti içine bazen katkı maddeleri katmak gerekmektedir (glisin, jelatin ve bazı organik maddeler). Katkı maddeleri ince film kalitesini arttırmak, tane büyüklüklerini düzenlemek ve bazen de depolama potansiyelini ayarlamak için kullanılır.

1.3. Elektrokimyasal Depolama Sistemi

Basit bir elektrokimyasal depolama sistemi Şekil 1.2'de verilmiştir. Sistem bir potansiyostat, voltmetre, çalışma elektrodu, karşıt elektrot ve referans elektrottan oluşmaktadır.



Şekil 1.2. Elektro depolama düzeneği (gamry.com)

Referans elektrot; sabit bir potansiyele sahiptir. Karşılaştırma amacıyla kullanılır. Ag/AgCl veya Hg/HgCl den yapılmıştır. Çalışma elektrotu; yüzeyinde çözeltideki

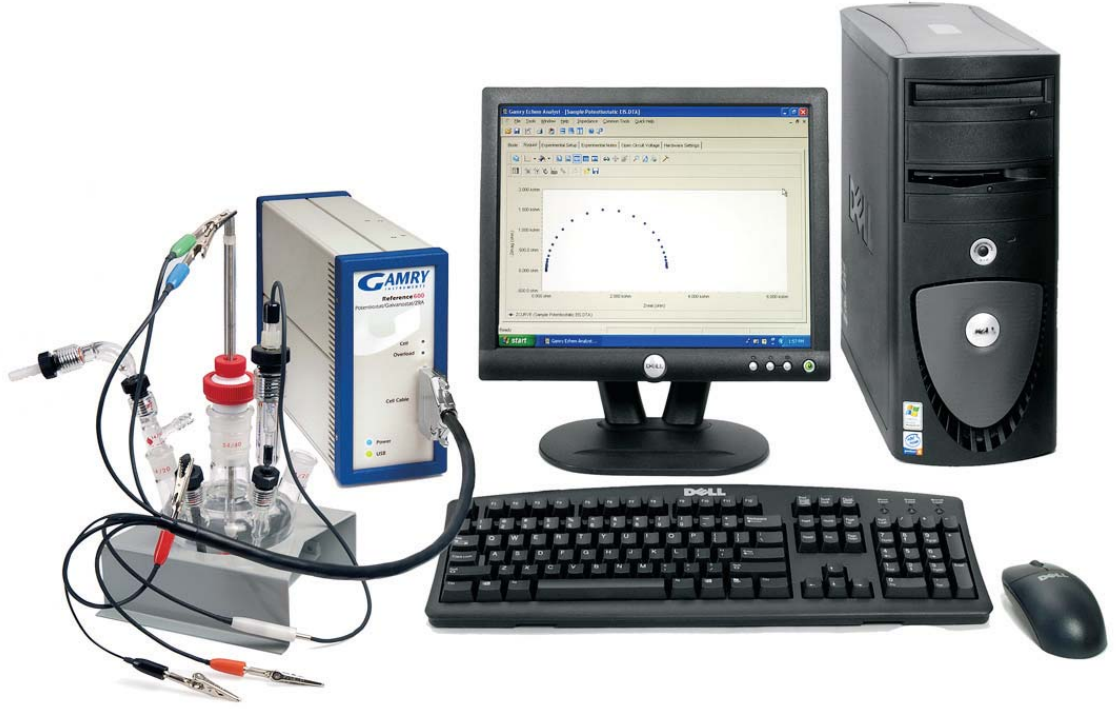
maddelerin indirgendiği veya yükseltgendiği elektrottur. Yardımcı (karşıt) elektrot; hücre içerisinde akımın iletilmesini sağlar. Çalışma elektrotu ile çift oluşturur. Soy bir maddeden yapılır.

Bir potansiyostat, referans elektrot ve çalışma elektrotu arasındaki voltaj farkını kontrol eden elektronik aygıttır. Her iki elektrot da elektrolit içerisinde bulunur. Gerilim denetleme işlemi elektrolit içerisine yerleştirilen bir yardımcı elektrot veya karşı elektrot yardımıyla yapılır.



Şekil 1.3. Elektrodepolama hücresi ve referans elektrot (gamry.com)

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte elektrodepolama sistemi bilgisayar kontrollü olarak yapılmaktadır. Şekil 1.3’de elektrodepolama hücresi ve referans elektrot görülmektedir. Şekil 1.4’de bilgisayar kontrollü olarak elektrodepolama yapılan bir sistemi oluşturan elemanlar görülmektedir. Bu sistemde deney tamamen bilgisayar kontrolü ile yapılmakta ve her 3,3 mikrosaniye içerisinde veri okunabilmektedir. Bilgisayarda bulunan çeşitli paket programlar yardımıyla birçok parametreler ölçülebilmekte ve aynı anda birçok farklı deney gerçekleştirilebilmektedir. Bunlar; korozyon deneyleri, dört nokta kontakta yapılan akım ve voltaj ölçümleri gibi deneylerdir.



Şekil 1.4. Bilgisayar kontrollü elektro depolama düzeneği (gamry.com)

1.4. 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

$$j = \frac{1}{3} e^2 E \left[v^2 \tau v(\varepsilon) \right]_{\varepsilon=\mu} \quad (1.3)$$

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

$$\sigma = \frac{1}{3} e^2 [v^2 \tau v(\varepsilon)]_{\mu} \quad (1.4)$$

$$\rho = \left[\frac{1}{3} e^2 [v^2 \tau v(\varepsilon)]_{\mu} \right]^{-1} \quad (1.5)$$

ifadeleri yazılabilir. Burada v , elektronun sürüklenme hızı, τ iki çarpışma arasında geçen süre ve $v(\varepsilon)$, Fermi yüzeyine yakın elektronların durum yoğunluğunu ε , elektronların enerjisini ve μ , 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 ρ_0 sıcaklıktan bağımsızdır. ρ_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. ρ_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 metallerden 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 ρ_T nin sıcaklığa bağlı ve sıcaklıktan bağımsız kısımlarının ayrılması Mattheissen kuralı olarak bilinir ve

$$\rho_T = \rho_0 + \rho_i(T) \quad (1.6)$$

şeklinde ifade edilir. ρ_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;

$$q = -\chi \nabla T \quad (1.7)$$

şeklinde elde edilir. Bu ifadeden ısı iletkenlik için, κ ısı iletkenlik olmak kaydıyla;

$$\kappa = \frac{1}{9} \pi^2 T (v \nu^2 \tau)_\mu \quad (1.8)$$

ifadesi elde edilir. Bu ifadelerden

$$\frac{\kappa}{\sigma T} = \frac{\pi^2}{3e^2} \quad (1.9)$$

ifadesi bulunur. Eşitliğin sağ tarafı sadece elektriksel iletkenliğe bağlıdır ve metalin bir karakteristik özelliğini içermemektedir. Bu sabit Lorentz sabiti olarak adlandırılır. (1.9) ifadesi Widemann-Franz kanunu olarak bilinmektedir. Anizotropik metalde elektrik alan ve akım arasındaki ilişki

$$j = \sum_{i,k} \sigma_{ik} E_k \quad (1.10)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Yalnız σ niceliği yerine σ_{ik} tensörü alınmaktadır. Bu ısı iletkenlik için de geçerlidir. Widemann-Franz kanunu σ_{ik} ve κ_{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

$$m \cdot \vec{V} = \hbar \cdot \vec{k} \quad (1.11)$$

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;

$$\vec{F} = -e \left[\vec{E} + (1/c) \vec{V} \times \vec{B} \right] \quad (1.12)$$

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

$$\vec{F} = m \frac{d\vec{V}}{dt} = \hbar \frac{d\vec{k}}{dt} = -e[\vec{E} + (1/c)\vec{V} \times \vec{B}] \quad (1.13)$$

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

$$\vec{k}_{(t)} - \vec{k}_{(0)} = -e.\vec{E}.t/\hbar \quad (1.14)$$

bulunur.

Elektriksel iletkenlik σ göz önüne alınarak;

$$\vec{J} = \sigma.\vec{E} \quad (1.15)$$

olacaktır. Buradan;

$$\sigma = \frac{n.e^2}{m} \tau \text{ bulunur.} \quad (1.16)$$

Elektriksel özdirenç, iletkenliğin tersi olarak tanımlanmaktadır. Buna göre, özdirenç, ρ ;

$$\rho = m/(n.e^2.\tau) \quad (1.17)$$

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

$$l = v_f.\tau \quad (1.18)$$

olarak alınır, metaller için ortalama serbest yol uzunluğunun bir hayli uzun olduğu görülür. Özdirenç sıcaklığa bağlılığını ifade eden bağıntı;

$$\rho = [2.(3.k.m.T)^{1/2}]/e^2.n.l \quad (1.19)$$

olarak verilmektedir. Her ne kadar klasik teori metallerin elektriksel özdirençlerinin

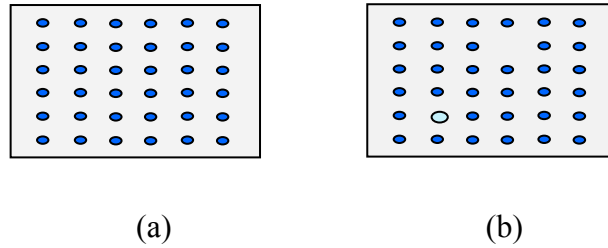
$\rho \approx T^{1/2}$ ile değiştiğini gösterse de, geniş bir sıcaklık alanını kapsayacak şekilde yapılan deneyler

$$\rho = \rho_0[1 + \alpha(T - T_0)] \quad (1.20)$$

bağıntısıyla uyum içerisinde olduğunu göstermektedir. Burada ρ_0 , T_0 referans sıcaklığındaki iletkenin özdirençidir. α ise seçilen sıcaklık bölgesine uygun özdirenç sıcaklık katsayısıdır (Haliday vd., 1981; Kittel, 1986).

Birçok metalin elektriksel özdirencini meydana getiren önemli etken sıcaklığa bağlı elektronların örgü fononlarıyla çarpışması neticesinde oluşan özdirenç ρ_L ve iletkendeki katkı atomları ve kusurlarla, elektronların çarpışması neticesinde oluşan özdirenç ρ_i dir.

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



Şekil 1.5. 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 τ ;

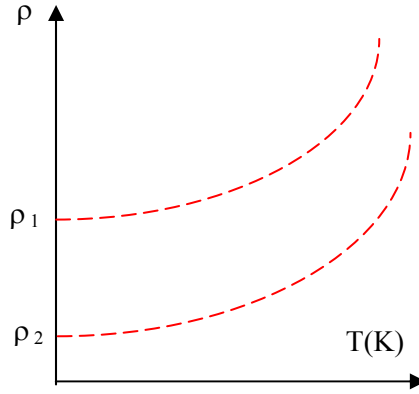
$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_L} + \frac{1}{\tau_i} \quad (1.21)$$

olur. Burada τ_L ve τ_i sırasıyla, fononlardan ve katkılardan saçılma zamanlarıdır.

$$\text{Net özdirenç; } \rho = \rho_L + \rho_i \quad (1.22)$$

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

Farklı iki metalin 20 K altında elektrik özdirencinin sıcaklıkla değişimi, Şekil 1.6'da verilmiştir. 0 K sıcaklığında ki özdirençlerin farklı olmasının iki numunedeki farklı katkı yoğunluğu ve statik kusurlardan kaynaklandığı sanılmaktadır.



Şekil 1.6. Farklı oranlarda katkılanmış iki metal numunesinin öz dirençleri

$T \rightarrow 0$ olurken ρ_L sıfır olduğundan, öz direnç 0 K sıcaklığına uzatılarak elde edilen ρ_i (0) değerine kalıntı öz direnç denir. Bir metal numunesinin öz direnç oranı, oda sıcaklığındaki öz direncinin kalıntı öz direncine oranı olarak tanımlanır. Bu büyüklük numunenin saflık derecesinin bir ölçüsüdür. Elektrik öz direncinin sıcaklığa bağlı olan kısmı elektronun ısısal fononlarla ve elektronlarla çarpışma sıklığına bağlıdır. Fononlarla çarpışma sıklığı ısısal fonon yoğunluğuyla orantılıdır. θ Debye sıcaklığından yukarı limitte fonon yoğunluğu sıcaklıkla orantılı olur. $T > \theta$ için $\rho \propto T$ 'dir.

Bir iletkenin direnci ise öz direncine bağlı olarak

$$R = \rho.l / A \quad (1.23)$$

şeklinde verilir. Burada l iletkenin uzunluğu, A kesit alanı, ρ ise öz dirençtir.

$R = \rho.l / A$ eşitliğinden ρ öz direnç değerini burada yerine koyarsak

$$R = \frac{m.l}{n.e^2.T.A} = \frac{V}{I} \quad (1.24)$$

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 öz direnç hesaplanabilir. T sıcaklığındaki bir metalin elektriksel direnci;

$$\rho(T, H) = \rho_0 + \rho(T) + \Delta\rho_M(T, H) \quad (1.25)$$

şeklinde ifade edilir. Burada ρ_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 vd., 1996).

1.5. 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 birçok teorik yaklaşım mevcuttur. Bu yaklaşımlar, dirence yukarıda bahsedilen saçılmalarından gelen katkılar hakkında yeterince bilgi vermektedirler (Karahana, 2002).

1.6. Özdirenç Ölçümleri

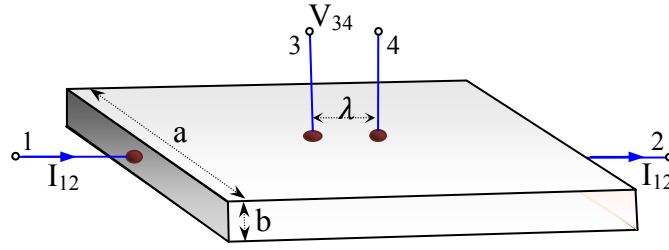
Elektrikte direnç ölçümleri direnç değerinin büyüklüğüne göre sınıflandırılarak uygun yöntemlerle ölçülür. Dirençler değerleri bakımından değeri 0,1 Ω dan küçük olan küçük değerlikli dirençler, değeri 0,1-10⁶ Ω olan orta değerlikli dirençler ve değeri 10⁶ Ω dan büyük olan dirençler olmak üzere üç sınıfa ayrılır. Elektriksel özdirenç ölçümü bu sınıflandırmalardan genellikle küçük değerlikli direnç ölçme grubuna girmektedir. Küçük değerlikli direnç ölçmelerinde dirençler dört uçlu yapılırlar ve bunların ölçülmesinde çeşitli metotlar kullanılır (Erimez, 1975).

Küçük değerlikli dirençlerin ölçülmesinde ölçme düzeneğini oluşturan ölçü aletleri hataları, bağlantı iletkenleri dirençleri ve bağlantı noktaları arasında meydana gelen temas dirençleri sonuca etki etmekte ve ölçülen değerlerin hatalı bulunmasına neden olmaktadır. Bu ölçme hatalarının en aza indirilebilmesi ve ölçme yapılabilmesi için iki nokta kontak ve dört nokta kontak metotları geliştirilmiştir.

İnce metal filmlerin ve yarıiletken malzemelerin elektriksel özelliklerinin ölçülmesinde; genellikle iki nokta kontak ve dört nokta kontak metotları kullanılmaktadır. Ölçülecek örnek üzerinden akım geçerken, belirli bir bölgesinde elektrik potansiyel farkı ölçümü bu yöntemlerin temeli olup daha hassas ölçme yapılabilen dört nokta kontak metotları yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.7. İki Nokta Kontak Metoduyla Özdirenç Ölçme Devresi:

İki nokta kontak metodu özdirenç ölçümlerinde kullanılan bir metot (Schroder, 1990) olup, ölçme yapılacak örneklerin şekli düzgün dikdörtgen ve geometrik şeklinde, sabit bir kesit alanına sahip olmalıdır. Ölçmede kullanılan örnek üzerinde Şekil 1.7’de görüldüğü gibi akım için kullanılan 1 ve 2 nolu omik kontaklar bulunmakta, gerilim ölçümleri (V_{34}) için akım çizgileri üzerine yerleştirilen 3 ve 4 nolu küçük alanlı, birbirinden λ uzaklıkta omik kontaklar yapılmaktadır. Homojen bir örneğin özdirenç değeri; aşağıdaki formül ile hesaplanır. Burada I_{12} , 1 ve 2 nolu kontaklardan geçen sabit akım, V_{34} 3 ve 4 nolu kontaklar (problar) arasında oluşan gerilim, λ ise 3 ve 4 nolu kontakları arasındaki uzaklıktır.



Şekil 1.7. İki-problu metotla özdirenç ölçme devresi

Akımın birimi (A), gerilim birimi (V), örnek boyutlarının birimi (cm) olduğunda, hesaplanan özdirenç birimi (Ohm.cm) dir.

$$\rho = \frac{S.V_{34}}{\lambda.I_{12}} \quad (\text{Ohm.cm}) \quad (1.26)$$

1.8. Dört Nokta Kontak Metodları

Dört nokta prob metodu İlk olarak 1916 yılında Wenner tarafından toprak özdirençinin ölçülmesi amacıyla geliştirilmiştir (Wenner, 1915). Bu yöntemde toprağa çakılan iki paslanmaz metal-çelik elektrot aracılığı ile yer içine elektrik akımı gönderilir. Yeryüzündeki diğer iki noktada yerleştirilen iki elektrot yardımı ile de oluşan gerilim farkı ölçülür. Elde edilen Akım (I) ve Gerilim (V) değerinden özdirenç hesap edilir. Bu yöntem jeofizikte Wenner metodu olarak bilinmektedir. Yer altının sismik araştırmalarında da kullanılmaktadır. 1954 yılında Valdes yarıiletkenlerin özdirençlerinin ölçülmesi amacıyla bu metodu elektroniğe uygulamıştır (Lewis vd., 2005).

İnce metal filmlerin ve yarıiletken malzemelerin elektriksel özelliklerinin özdirençlerinin ölçülmesinde genellikle dört nokta kontak metotları kullanılır (Dieter, 1990). İki nokta kontak metodunda kontak dirençleri etkisi yok edilememekte ancak dört nokta kontak metoduyla bu etki en az düzeye indirilebilmekte ve hassas ölçme yapılabilmektedir (Valdes, 1954; Jones, 1993). Bu nedenle daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Dört nokta kontak metodu iki grupta incelenebilir. Bunlar;

- a) Dört nokta prob metodu
- b) Van Der Pauw metotlarıdır.

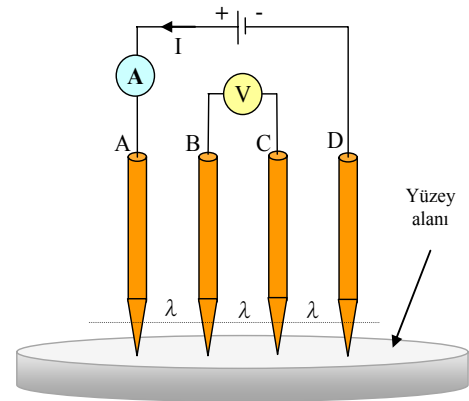
Dört Nokta (prob) Kontak ve Van Der Pauw Metodu birbirine benzeyen metotlardır. Ölçülecek örnekten akım geçerken, belirli bir bölgesinde elektrik potansiyel farkı ölçümleri bu metotların temelidir. Bu metotlarla ince film malzemelerin ve yarıiletkenlerin; özdirenç, iletkenlik, manyeto rezistans direnci, Seebeck etkisi ve Hall ölçümleri yapılabilmektedir.

Dört nokta kontak tekniği; Yarıiletken endüstrisinde, elektronik devrelerin üretimi sırasında çeşitli adımlarda devre kontrollerinde ve test ölçümlerinde, fizik, kimya ve biyoloji alanlarında yüzey dirençlerinin bulunmasında kullanılmaktadır. Ayrıca nano ve mikro boyutlu devrelerde elektriksel ölçümler yapılabilmektedir.

1.9. Dört Nokta Prob Metodu

Dört nokta prob metodu, genellikle ince film malzemelerin veya yarıiletken maddelerin iletkenlik ve özdirençlerinin ölçülmesinde kullanılır. En az bir yüzeyi düzlemsel olmalı ve bu yüzeyin geometrik boyutları, kontak boyutlarından daha büyük olmalıdır.

Dört nokta prob metodu ile özdirenç ölçme de ölçmenin doğruluğu, numunenin şekline ve boyutuna bağlıdır. Ölçümü yapılacak malzemenin boyutları mümkün olduğu kadar düzgün geometrik şekiller (kare, dikdörtgen ve daire) halinde hazırlanmalıdır. Böylece yapılacak ölçmenin doğruluğu artırılır.



Şekil 1.8. Dört nokta prob ölçme sisteminin esası

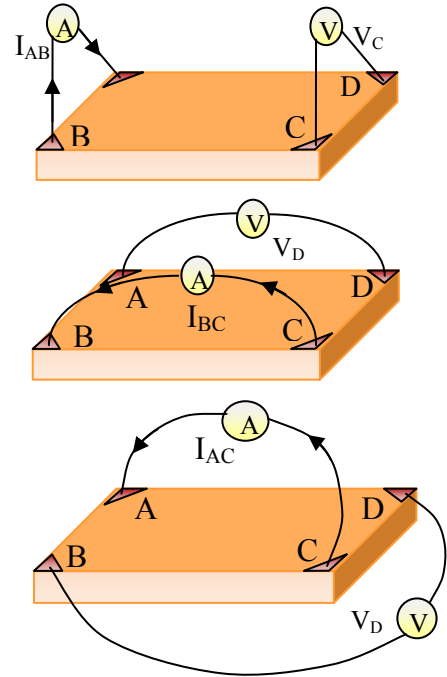
Dört nokta kontak metodunda, Şekil 1.8’de görülen ölçme sisteminde olduğu gibi dıştaki iki proba (A ve D) akım kaynağı bağlanır. İçteki iki uçtan (B ve C) potansiyel fark ölçülür. Ölçülen akım, gerilim (I, V) değerleri ile Denklem 1.27’deki formül yardımıyla elektriksel öz direnç değeri hesaplanarak bulunmaya çalışılır. Kontaklar aynı düzlem üzerinde ve eşit aralıklarda olmalıdır (Schroder, 1990). Birbirinden eşit uzaklıkta (λ) yerleşen dört kontak sistemi kullanıldığında, örneğin öz direnci,

$$\rho = G \cdot \frac{V}{I} (\Omega cm.) \text{ ile bulunur.} \quad (1.27)$$

Burada I, A ve D isimli kontaklardan geçen akımı, V; B ve C isimli kontaklar (problar) arasında oluşan gerilimi verir. G ise düzeltme faktörüdür. Düzeltme faktörü numunenin boyutlarını ve kontakların durumunu içeren bir denklemler topluluğudur ve geometrik öz direnç düzeltme katsayısı olarak tanımlanır. Bu düzeltme faktörü numunenin kalınlığına ve geometrik yapısına, yüzey büyüklüğüne, numune kenar sınırlarının yapısına, bağlantı uçlarının numune üzerinde bulunduğu konuma ve diziliş düzenine bağlı olarak değişir. Ölçme sırasında Problar ölçülen şeklin tam ortasına temas ediyorsa düzeltme faktörü hesaba katılmaz. Ortasında değil ise geometrik faktör bulunarak hesaplamaya dahil edilir (Vadbaek, 1966).

1.10. Van Der Pauw Metodu

Dört nokta prob tekniğinde olduğu gibi kontakların ikisine akım uygulanırken diğer iki kontak arasındaki potansiyel fark ölçülür (Leblebici, 1983). Dört nokta prob metodu ile öz direnç ölçme de ölçmenin doğruluğu, numunenin şekline ve boyutuna bağlı olup malzemenin boyutları mümkün olduğu kadar düzgün geometrik şekiller halinde hazırlanmaktadır. Van Der Pauw tekniğinde ise serbest formlu düzlemsel levha şeklindeki malzemelerin öz direnç ölçümleri yapılabilmektedir. Bu ölçümler için numunenin kenarının dört noktasına omik kontaklar yapılır (Nist home, 2009).



Şekil 1.9. Van Der Pauw Metodu ölçme şekilleri

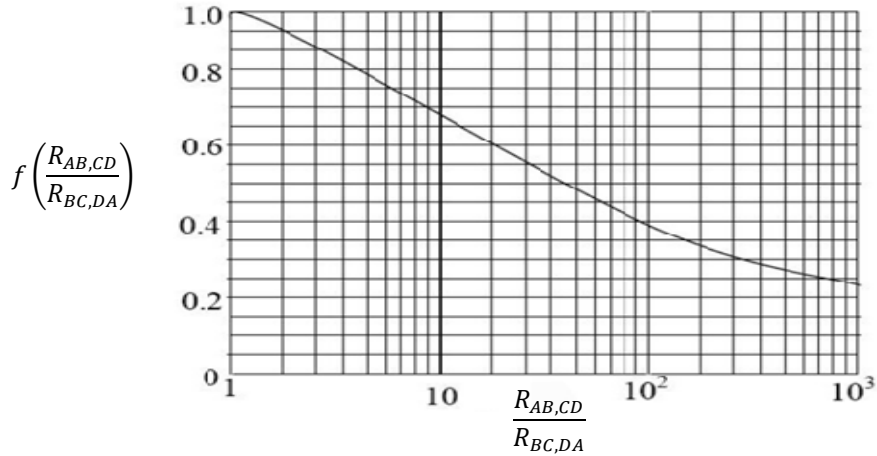
Van der Pauw metoduyla dört nokta kontak ölçümünde, öz direnci hesaplamak için, Şekil 1.9’da görüldüğü gibi A, B, C ve D noktalarından elektrotlar numune yüzeyine temas ettirilir. $R_{AB,CD}$ direnci, A ve B noktaları arasındaki akıma karşılık gelen D ve C noktaları arasındaki $V_D - V_C$ potansiyeli olarak tarif edilir. $R_{BC,DA}$ direnci de benzer şekilde tarif edilir. Aşağıdaki formül (1.28) ile öz direnç bulunur (Berger, 1958).

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \left[\frac{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}}{2} \right] f \left(\frac{R_{AB,CD}}{R_{BC,DA}} \right) \quad (\Omega \text{cm.}) \quad (1.28)$$

Formüldeki “d” numunenin kalınlığıdır. $R_{AB,CD}$ direnci; A ve B temas noktaları arasındaki akıma karşı, C ve D temas noktaları arasında oluşan dirençtir. Formülde verilen “f” değeri ise $R_{AB,CD}$ ve $R_{BC,DA}$ değerlerinin farklı çıkması durumundaki düzeltme faktörüdür ve formül (1.29) ile hesaplanır (Xu vd.,2000).

$$f = \left[\frac{R_{AB,CD}}{R_{BC,DA}} \right] = 1 - \left[\frac{R_{AB,CD} - R_{BC,DA}}{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}} \right]^2 \left[\frac{\ln 2}{2} \right] - \left[\frac{R_{AB,CD} - R_{BC,DA}}{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}} \right]^4 \left[\frac{(\ln 2)^2}{4} \right] - \left[\frac{(\ln 2)^3}{12} \right] \quad (1.29)$$

$f(R_{AB,CD} / R_{BC,DA})$ düzeltme fonksiyonudur. $R_{AB,CD}$ ve $R_{BC,DA}$ dirençlerin oranı ile bağlı olan düzeltme fonksiyonunun grafiği Şekil 1.10’da gösterilmektedir.

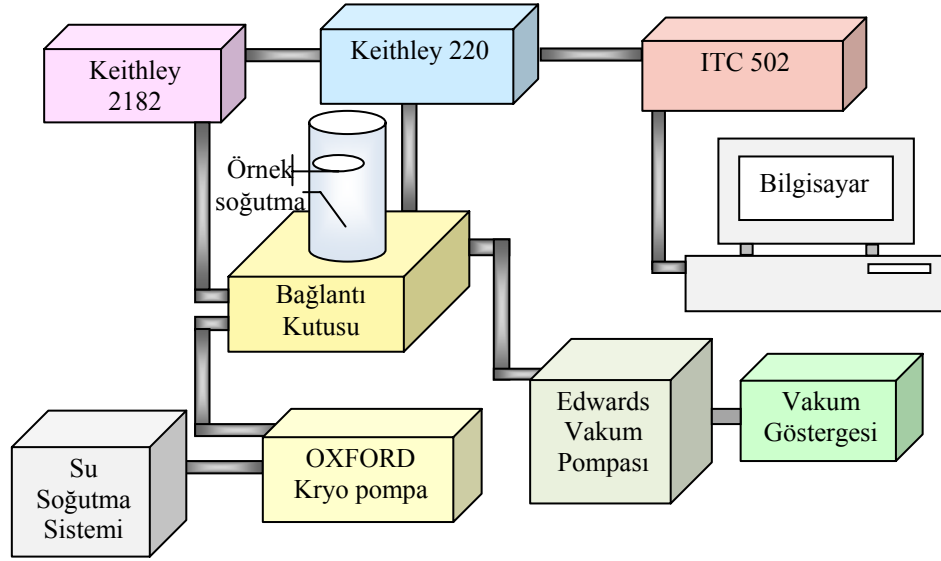


Şekil 1.10. $R_{AB,CD}$ ve $R_{BC,DA}$ dirençlerin oranına bağlı düzeltme fonksiyonunun grafiği

$R_{AB,CD} / R_{BC,DA}$ oranının birden çok az ($\pm \%10$) farklı olduğu durumda, bu metotla örneklerin öz direnci yüksek doğrulukla ölçülmektedir. Kontakların alanı büyüktür ve örneğin kenar yüzeyinden düzlem yüzeyine yayıldığı durumda, öz direnç ölçü hataları artmaktadır. Bu hataların sebeplerini ortadan kaldırmak veya azaltmak için özel geometrik formülü örnekler kullanılmaktadır (Demirci, 2006).

1.11. Özdirencin Sıcaklıkla Değişiminin Dört Nokta Kontak Yöntemiyle Ölçümü

Dört nokta kontak sistemiyle özdirencin sıcaklıkla değişiminin ölçülebilmesi amacıyla Şekil 1.11’de görülen devre gibi bir ölçme sisteminin kurulması gerekir. Dört nokta kontak metodu ile ölçme için hazırlanan örneğin direnç-sıcaklık ölçümleri bilgisayar kontrollü soğutma sistemi ile yapılmaktadır. Soğutma sistemi sayesinde sıcaklıkla dirençteki değişim değerleri özel paket programlarla kontrol edilerek bilgisayara kaydedilmektedir (Okur, 2005).



Şekil 1.11. Bilgisayar kontrollü kapalı devre He soğutmalı dört nokta öz direnç ölçme düzeneği (Okur, 2005)

Şekil 1.11’de ki öz direnç ölçme sisteminde örneğe akım göndermek için Keithley 220 akım kaynağı ve uçlardaki voltajı ölçmek için ise Keithley 2000 dijital multimetre kullanılmaktadır. Krypompa sistemini soğutmak için ise kapalı devre su kaynağı, sıcaklığı kontrol etmek için ise IEEE standartları ile çalışan ITC 502 bilgisayar kontrollü sıcaklık kontrol ünitesi kullanılmaktadır. GPIB bağlantılı olarak deneyle eş zamanlı olarak verilerin elde edilmesi için Objectbench yazılan akım voltaj programı kullanılmaktadır. Her bir örnek için küçük miktarlarda artan akımlar gönderilerek bunlara karşılık gelen sıcaklık ve voltaj değerleri kaydedilerek öz direnç grafikleri çizilebilmektedir.

2. MATERYAL VE METOD

2.1. METOD

2.1.1. Sezgisel Yöntemler

Fen bilimleri ve sosyal bilimlerin bir çok uygulama alanlarında karşılaşılan çoğu problem, doğrusal veya doğrusal olmayan optimizasyon problemi olarak modellenebilmektedir. Uygulamadaki problemlerin büyük bir bölümü doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Doğrusal olmayan problemlerin çözümüne yönelik olarak geliştirilmiş birçok teknik söz konusudur. Özellikle değişken sayısına ve veri tiplerine bağlı olarak problemlerin zorluk dereceleri de artabilmektedir. Bu tip problemlerin deterministik yöntemlerle çözümü, hem problemin yapısına bağlı olarak modellemede hem de çözüm sürecinde zorluklar içermektedir. Ya istenilen sonuca ulaşamamakta ya da kabul edilebilir sınırların dışında sürelerde ulaşabilmektedir. Bunların üstesinden gelebilmek için sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Özellikle popülasyon temelli sezgiseller çok noktalı arama prosedürleri sayesinde, hızlı bir şekilde sonuç verebilmektedirler. Bunlardan bazıları genetik algoritma (GA), yapay sinir ağları (YSA), bulanık mantık, karınca kolonisi algoritması, benzetilmiş tavlama (Keskintürk, 2006).

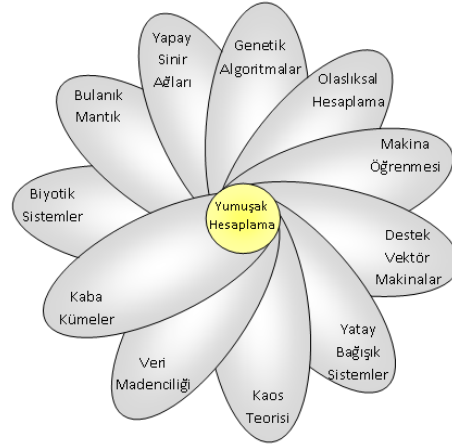
Karşılaştığımız bütün problemleri her zaman tam olarak çözmek mümkün olmayabilir. Bazı durumlarda problemlerin tam çözümünü bulmak maliyetli olduğundan doğruya yakın çözümleri bulmaya ve yeni yöntemler geliştirmeye ihtiyaç duyulmaktadır. İnsanın düşünme tarzı, öğrenme yetenekleri ve insanın genetik yapısından esinlenerek mühendislik alanındaki problemler çözülmeye çalışılması sezgisel yöntemlerle mümkün olabilmektedir.

Günümüzde kaynakların uygun kullanımı ekonomik hayatın öncelikli hedeflerindedir. Bu nedenle kısıtlı kaynak kullanımının planlanması gerekmektedir. Bu durumdaki projeler ancak proje programlama yöntemleri ile çözüme kavuşturulabilmektedir. Kaynakların kısıtlı olduğu şartlarda çözüm yapan üç ana programlama yöntemi bulunmaktadır. Sezgisel yöntemler ile çözüm yapabilen programlama modelleri de bunlardan biridir. Sezgisel yöntemler, basit bir kurala dayanarak çözüm kümesinin bulunmasını kolaylaştıran yöntemler olarak tanımlanabilir (Demeulemeester, 1992).

Sezgisel yöntemlerin en iyi çözümü sağlayıp sağlamadığı, karşılaştırma yapılmadan anlaşılabilir değildir. Sezgisel yöntemler, büyük olasılıkla her zaman en iyiye yakın veya yeterli sayılabilecek çözümleri sağlayan yöntemlerdir (Wiest, 1967).

Son yıllarda birçok bilim dalının araştırma konusu olan sezgisel algılama teknikleri (soft computing) önemli bir araştırma alanı olmuştur. Sezgisel algılama teknikleri akıllı sistemlerin temelini oluşturmaktadır. Problemlerin çözümünde ve çeşitli alanlarda kullanılan yapay zeka sistemleri, şimdiye kadar bilgisayarlarla geleneksel hesaplama teknikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ancak son zamanlarda geleneksel hesaplama tekniklerinin etkinlik, belirsizlik ve öğrenme gibi birçok sınırlamalarını ortadan kaldıran yeni “akıllı yöntemler” kullanılmaktadır. Hesaplama teknikleri olarak kullanılan Bulanık Mantık, Yapay Sinir Ağları, Olasılıksal Hesaplama ve Genetik Algoritmalar gibi akıllı yöntemlerin birleşimi, yumuşak hesaplama (soft computing), esnek hesaplama olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemlere genel olarak sezgisel algılama teknikleri de denilmektedir. Hesaplama temelli akıllı sistemler oluşturmak için yeni bir yaklaşım olan esnek hesaplama, insan bilgi ve tecrübesi ile mantık işleyişini etkin olarak birleştirerek matematiksel modellenmesi zor olan sistemlerde daha iyi bir performans için değişen ortam koşullarına uyum göstermeyi hedefler. Geleneksel hesaplama ile farklı olarak esnek hesaplama ile insanın muhakeme, sezgi ve düşüncelerinin gerçekleştirilebilme üstünlüğü kullanılmaya çalışılmaktadır. Bunun için esnek hesaplamanın amacı; insanın karar verme modelini kullanarak başarılı, basit, gerçekleştirilebilir ve düşük maliyetli çözümlerle belirsizlikleri ortadan kaldırmaktır (Karay, 2004).

Bulanık hesaplama, sinirsel hesaplama, evrimsel hesaplama ve olasılıksal hesaplamanın çekirdek bileşenlerini oluşturduğu yumuşak hesaplamanın günümüzdeki bileşenleri Şekil 2.1 ile verilebilir. Yumuşak hesaplama kavramı her zaman gelişmeye açık bir kavramdır. Şekil 2.1’de sezgisel algılama tekniklerini (yumuşak hesaplama) oluşturan bileşenler görülmektedir.



Şekil 2.1. Yumuşak hesaplamamın bileşenleri

2.1.2. Yapay Zeka

Bir bilgisayarın ya da bilgisayar denetimli bir makinenin genellikle insana özgü olduğu varsayılan akıl yürütme, anlam çıkartma, genelleme ve geçmiş deneyimlerden öğrenme gibi yüksek zihinsel süreçlere ilişkin görevleri yerine getirme yeteneği olarak tanımlanır (Nabiyev, 2010).

İnsan beyni dünyanın en karmaşık makinesi olarak kabul edilebilir. İnsan beyni sayısal bir işlemi birkaç dakikada yapabilmesine karşın; idrak etmeye yönelik olayları çok kısa bir sürede yapar. Örneğin yolda giden bir şoför, yolun kayganlık derecesini önündeki tehlikeden ne kadar uzak olduğunu, sayısal olarak değerlendiremese dahi geçmişte kazanmış olduğu tecrübeler sayesinde aracın hızını azaltır. Çünkü o saniyelerde ölçülebilecek kadar kısa bir sürede tehlikeyi idrak etmiş ve ona karşı koyma gibi bir tepki vermiştir. Bilgisayarlar çok karmaşık sayısal işlemleri anında çözümleyebilmelerine karşın, idrak etme ve deneyimlerle kazanılmış bilgileri kullanabilme noktasında yetersizdirler. Bu olayda insanı yada insan beynini üstün kılan temel özellik, sinirsel algılayıcılar vasıtası ile kazanılmış ve görevli olarak sınıflandırılmış bilgileri kullanabilmesidir. Uzman sistemler, Bulanık Mantık, Genetik Algoritma (GA) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) gibi yapay zeka alt dalları özellikle son yıllarda, geniş bir araştırma ve uygulama alanı bulmaktadır (Elmas, 2007).

Yapay zekada problemlerin çözümünde genellikle sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Literatürde bu açıdan bir boşluk bulunmakta ve sezgisel algoritmaların her zaman çalışmadığı savunulmaktadır. Gerçekten de bir problem için geçersiz olan sezgisel yaklaşım diğerinde başarılı sonuçlar verebilir (Nabiyev, 2010).

Çok sayıda kullanılan sezgisel yöntemler bulunmaktadır. Yaptığımız tez çalışması içerisinde bu tekniklerden genetik programlama ve yapay sinir ağlarını kullandığımız için sadece bu iki konu hakkında bilgi verilmiştir.

2.1.3. Yapay Sinir Ağları

İnsan beyni bilinen en gizemli ve karmaşık hesaplayıcıdır. Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin işleyişini taklit ederek yeni sistem oluşturmaya çalışan yaklaşımlardır. İstisnasız tüm YSA yapılarının esin kaynağı biyolojik sinir ağlarının işleyiş yöntemidir.

Yapay sinir ağları, sisteme ilişkin tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanan girdi verileri ile sistemin yine tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanabilen çıktıları arasında ilişki kurabilme yeteneğine sahiptir (Sagiroglu vd., 2003).

Basit tanımıyla yapay sinir ağları, birçok basit işlemci elemandan oluşan yapılardır. Bu elemanlar farklı formda ifade edilebilen sayısal verileri taşıyan bağlantılar veya ağırlıklar ile birbirlerine bağlıdırlar. YSA yapılarına göre farklı öğrenme yaklaşımı kullanır ve bu yaklaşımlara göre ağırlıklar değiştirilir. Ağırlıkların değişimi öğrenmeyi ifade eder. YSA'de ağırlık değişimi yok ise öğrenme işlemi de sona ermektedir.

2.3.1.1. Yapay Sinir Ağlarının Tarihsel Gelişimi

İnsan davranışlarını taklit etmek amacıyla geliştirilen yapay zekâ uygulamalarının bir alt dalı olan yapay sinir ağları, günümüze kadar birçok aşamalardan geçmiş ve son yıllarda teknolojik gelişime paralel olarak gelişimini çok hızlı bir şekilde sürdürmektedir. Yapay sinir ağlarının tarihçesi nörobiyoloji konusuna insanların ilgi duyması ve elde ettikleri bilgileri bilgisayar bilimine uygulamalarıyla başlamaktadır.

Yapay sinir ağları ile ilgili çalışmaları 1970 öncesi ve sonrası olarak ikiye ayırmak gerekmektedir. 1970 yılında bu bilimin tarihinde bir önemli dönüm noktası başlamış ve o zamana kadar olmaz diye düşünülen birçok sorun çözülmüş ve yeni gelişmeler başlamıştır. Her şey bitti derken yapay sinir ağları yeniden doğmuştur (Öztemel, 2003).

1943 yılında McCulloh ve Pitts'in yayınladıkları makale yapay sinir ağları konusundaki ilk makale sayılmaktadır. Bu makalede sinirlerin giriş faaliyet seviyesi, belirli bir eşik değerine eriştiğinde aktif hale geçen açık/kapalı anahtar gibi davrandıklarını ve mantık

fonksiyonlarını hesaplamak için çeşitli şekillerde bir araya getirilebileceklerini göstermiştir.

1948’de yılında Wiener “Cybernetics” isimli kitabında, sınırların çalışması ve davranış özelliklerine değindi. 1949 yılında ise Hebb yayınladığı makalede beynin öğrenme yeteneğini bir modelle açıklamıştır. “Hebbian öğrenme” kuralı denilen bu kural günümüzde de birçok öğrenme kuralının temelini oluşturmaktadır.

1954’te M. Minsky yapay sinir ağları konusunda doktora yapmış ve 1960’lı yıllarda yapay sinir ağlarına ilgi büyük ölçüde artmıştır. Bu yıllarda F. Rosenblatt, McCulloch ve Pitts’in eşik değeri yaklaşımını kullanarak tecrübeye dayanan, öğrenebilen eleman ağlarını meydana getirmiştir. Yine bu yıllarda S. Grossberg, verbal öğrenmede deney sonuçlarıyla ifade edilen ağların diferansiyel denklemlerini kurmuş; daha sonra gerçek biyolojik sinir ağlarını ifade eden genel denklem setini çıkarmış ve yaptığı araştırmaların sonunda “Adaptif Rezonans Teorisi”ni geliştirmiştir. 1969 yılında M. Minsky ve S. Papert yapay sinir ağlarındaki sınırlamaları inceledikleri “perceptrons” adlı kitabı yayınlamışlardır. Bu kitapta tek katmanlı ağların “ayrıcılık veya” işlemini gerçekleştirmek gibi basit sorunları çözemeyecekleri ispatlanmıştır.

1958’de Rosenblatt, çalışmalarında çok katmanlı perceptron ve geliştirdiği modelin parametrelerini ayarlayabilen bir algoritma geliştirmiştir. Aynı tarihte Widrow ve Hoff (Widrow vd., 1960) ADALINE (Adaptive Linear Model) ve MADALINE (Multiple ADALINE) çoklu adaptif lineer nöron yapay sinir ağı modellerini geliştirerek ve ilk olarak YSA’ yı sayısal işaret işleme, hava durumu tahmini ve adaptif kontrol problemlerini çözmek için kullanmışlardır.

1969 yılında Minsky ve Papert tek katmanlı perseptron ağının çok basit işlemleri çözemediğini ispatlatarak (XOR problemi) ve hesaplamalarda aşılması zor engeller olduğunu iddia etmiştir. Minsky ve Papert buna dayanarak YSA’ ların ilgi çekici bir konu olmadığını vurgulamışlar ve YSA ile ilgili yapılan çalışmaları neredeyse durdurma noktasına getirmişlerdir (Minsky vd., 1969).

Yapay sinir ağlarındaki büyük gelişmeler 1980’li yıllarda gerçekleşmiştir. 1980’lerin başında J. Hopfield, gelişmeyle birlikte rasgele bulunan etkenlerin probleme karıştığını

ve her çözüm yolunda problemin başlangıç halinde bulunduğuna işaret etmiş, bu nedenle her hesaplamanın doğru çözüm yolu için sürekli yenilenen bir mekanizmaya ihtiyaç olduğunu belirterek bu iş için geliştirdiği stratejiyi yapay sinir ağlarında kullanmıştır.

1982’de Hopfield tarafından yapılan “Neural Networks and Physical systems” adlı çalışması ile modern YSA devri başlar (Hopfield, 1982). 1984 yılında Kohonen sinirlerin düzenli sıralanması eşleşme özelliği için danışmansız öğrenme ağlarını geliştirmiştir (Elmas, 2007).

1986’da Rumelhart, ileri beslemeli YSA modellerinde yeni öğrenme modeli olan hatanın geri yayılması algoritmasını geliştirmiştir. Bu algoritma ile daha önce yapılmış olan çalışmalarda ortaya çıkan sorunların çözülebileceğini göstermiştir (Rumelhart vd, 1986).

Günümüzde yapay sinir ağları teorik ve laboratuvar çalışmaları olmaktan çıkmış, günlük hayatta kullanılan sistemler oluşturmaya ve pratik olarak insanlara faydalı olmaya başlamışlardır.

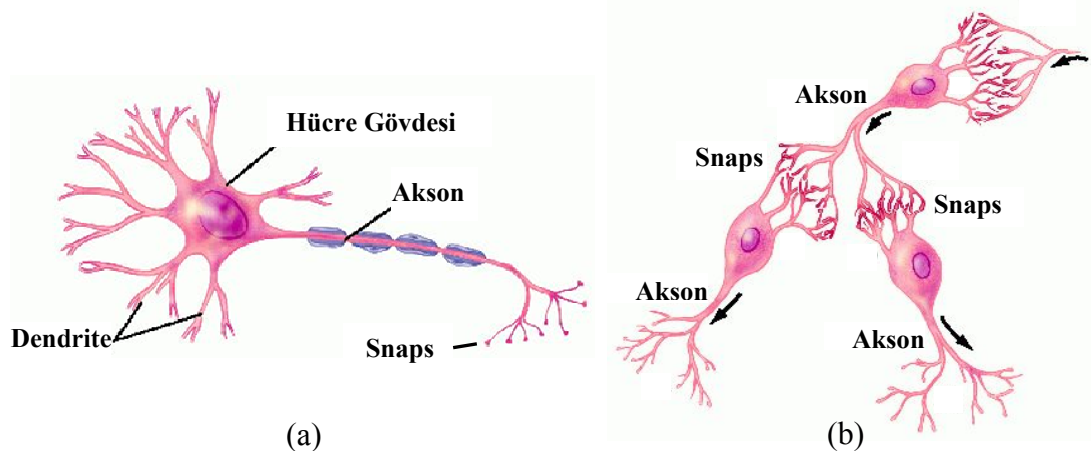
2.3.1.2. Yapay Sinir Ağlarının Biyolojik Yapısı

Yapay sinir ağlarının yapısını anlayabilmek için beynin içyapısının nasıl çalıştığı hakkında temel bilgilere sahip olunması gerekir. Beyin merkezi sinir sisteminin bir parçasıdır ve çok büyük bir sinir ağına sahiptir. Sinir ağı, oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir; fakat (Nissen, 2003) tarafından yapılan çalışmada sadece YSA kullanımı ile ilgili temel bilgiler verilmiştir.

Sinir hücreleri farklı yapıda olmalarına rağmen, birbirlerine bağlanma açısından benzerlikler taşırlar. Bir biyolojik sinir hücresi hücre gövdesi, akson ve dendritlerden oluşur. Bu elemanların her biri bilgi girişi, işlenmesi ve iletiminde farklı görevleri üstlenmektedirler.

Sinir ağı birbirine bağlı nöronlardan oluşmaktadır. Nöronun merkezi çekirdek olarak adlandırılır. Çekirdek bir diğer çekirdeğe “dendrit” ve “akson” ile bağlıdır. Bu bağlantıya snaptik bağlantı adı verilir (Şekil 2.2.a).

Nöron, snaptik bağlantı aracılığı ile diğer nöronların dendritlerinden gelen elektrik dalgasını ağa yayar. Bu yolla bilgi, sinir ağı boyunca yayılır. Snaptik bağlantılar bir nöronun hayat süresi ve gelen nöronu aktif hale getirebilecek sinyallerin miktarına göre değişiklik gösterirler (Nissen, 2003). İnsan beyninde yaklaşık 10^{11} nöron bulunur ve bunlar birbirlerine yaklaşık 10^{15} snaptik bağlantı ile yoğun bir biçimde bağlıdır (Tettamanzi vd., 2001). Bu nöronlar iç ve dış kaynaklardan gelen sinyallere paralel olarak aktif duruma geçerek sinyali (bilgiyi) iletirler. Beyin sinir sisteminin diğer kısmı olan bilgilerin geldiği beş duyu organına ve kasların kontrol edildiği sinir sistemine bağlıdır (Nissen, 2003). İnsan beyni yaklaşık 10 milyar sinir hücresinden oluştuğundan, son derece karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu nedenle öğrenme, genelleme gibi özellikleri ile paralel dağıtılmış bir işleme birimidir. İnsan beyninin bu çalışma şekli model alınarak yapay sinir ağları geliştirilmiştir. Şekil 2.2.a'da biyolojik bir sinir hücresinin genel yapısı, Şekil 2.2.b'de ise sinir hücrelerinin oluşturduğu ağ verilmiştir.



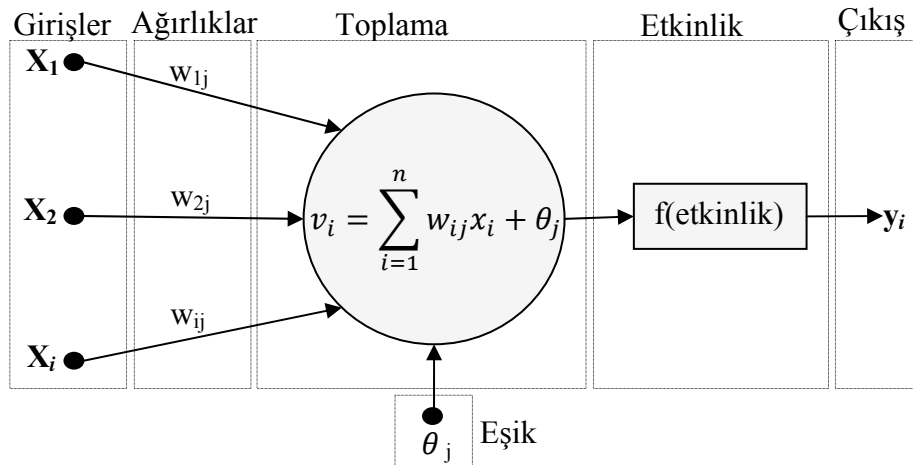
Şekil 2.2. Biyolojik sinir hücresi ve bileşenleri (Mercksource.com)

Yapay sinir ağları, insanın sinir sistemi ve biyolojik nöronların davranışı ve yapısından esinlenilerek geliştirilmiş modellerdir (Kecman, 2001). Daha genel bir ifade ile yapay sinir ağları, insan beynindeki birçok nöronun veya yapay olarak basit işlemcilerin birbirlerine farklı etki seviyeleri ile bağlanması sonucu oluşan karmaşık bir sistem olarak düşünülebilir. Fen bilimleri ve mühendislik alanında yapay sinir ağlarının geniş bir şekilde kullanılmasının en önemli nedeni, klasik teknikler kullanılarak çözümü karmaşık olan problemler için etkili bir alternatif oluşturmalarıdır (Chow, 1997). Geleneksel bilgisayarlar, belirli bir görevi yerine getirmek için programlanır. Yapay sinir ağları ise bunlardan farklı olarak eğitilir, öğrenir ve eldeki problem için kullanılır.

Kullanıcılar yapay sinir ağları kullanarak, görevlerini yapmak için komutların bir kümesini seçmez. Bunun yerine, kullanıcılar eldeki problemin ilişkilerini ve örüntülerini öğrenmek için uygun sinir ağı mimarisini ve uygun başlangıç ağırlıklarını seçer. Biyolojik sinir ağlarının sinir hücreleri olduğu gibi yapay sinir ağlarının da yapay sinir hücreleri vardır. YSA'ler birbirine bağlı doğrusal ve/veya doğrusal olmayan birçok elemandan oluşurlar (Sagiroglu vd., 2003).

2.3.1.3. Yapay Sinir Hücresi ve Ana Öğeleri

Yapay bir sinir ağı hücresi biyolojik sinir hücresine göre çok daha basit bir yapıya sahiptir. En temel nöron modeli Şekil 2.3'de görülmektedir. Yapay sinir ağı hücresinde temel olarak dış ortamdan ya da diğer nöronlardan alınan veriler; girişler (x_i), ağırlıklar (w_i), toplama fonksiyonu (v_i), aktivasyon (etkinlik) fonksiyonu ve çıkışlar (y_i) bulunmaktadır. Dış ortamdan alınan veri ağırlıklar aracılığıyla nörona bağlanır ve bu ağırlıklar ilgili girişin etkisini belirler. Toplam fonksiyonu ise net girişi hesaplar. Net giriş; girişler ve bu girişlerle ilgili ağırlıkların çarpımının bir sonucudur. Aktivasyon fonksiyonu işlem süresince net çıkışını hesaplar ve bu işlem aynı zamanda nöron çıkışını verir. Genelde aktivasyon fonksiyonu doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Denklem 2.2'de görülen θ_j bir sabittir, bias veya aktivasyon fonksiyonunun eşik değeri olarak adlandırılır. Nöronun matematiksel modeli Şekil 2.3'deki gibidir (Özçalık, 2000).



Şekil 2.3. Yapay bir sinir hücre yapısı (düğüm) (Elmas, 2007)

$$o = f(w.x + b) \quad (2.1)$$

şeklinde nöron çıkışı hesaplanır. Buradaki w ağırlıklar matrisi, x ise girişler matrisidir. n giriş sayısı olmak üzere;

$$W = W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$$

$$X = X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$$

şeklinde yazılabilir. Formülize edilirse;

$$Net_j = \sum_{i=1}^n w_{ij} \cdot x_i + \theta_j \text{ ve } o = f(net) \quad (2.2)$$

$$0 = f\left(\sum_{i=1}^n w_{ij} \cdot x_i + \theta_j\right) \quad (2.3)$$

Yukarıdaki eşitlikte görülen f aktivasyon fonksiyonudur. Genelde doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonunun çeşitli tipleri vardır. Bir yapay sinir hücrelerini oluşturan temel bölümleri aşağıda açıklanmıştır.

2.3.1.3.1. Girişler

Girişler ($x = x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) çevreden aldığı bilgiyi sinire iletir. Girişler kendinden önceki sinirlerden veya dış dünyadan sinir ağına gelebilir. Girdiler, dentrit'lere benzer şekilde diğer yapay hücrelerden bağlantılar yardımıyla işlem elemanına bilgi gelmesini sağlarlar. Bazı durumlarda bir işlem elemanı kendisine de bilgi geri gönderebilir (feedback).

2.3.1.3.2. Ağırlıklar

Ağırlıklar ($w = w_1, w_2, w_3, \dots, w_i$) yapay sinir tarafından alınan girişlerin sinir üzerindeki etkisini belirleyen uygun katsayılardır. Her bir giriş kendine ait bir ağırlığa sahiptir. Ağırlıklar, bir yapay sinir ağının bilgisini depolar. Ağ dışından gelen bilgiler ağırlıklarına göre işlenir ve yeni şeklini alırlar. Ağırlıklar, öğrenme esnasında ağın girdi ve çıktısı arasındaki bağıntıyı yakalamaya çalışır.

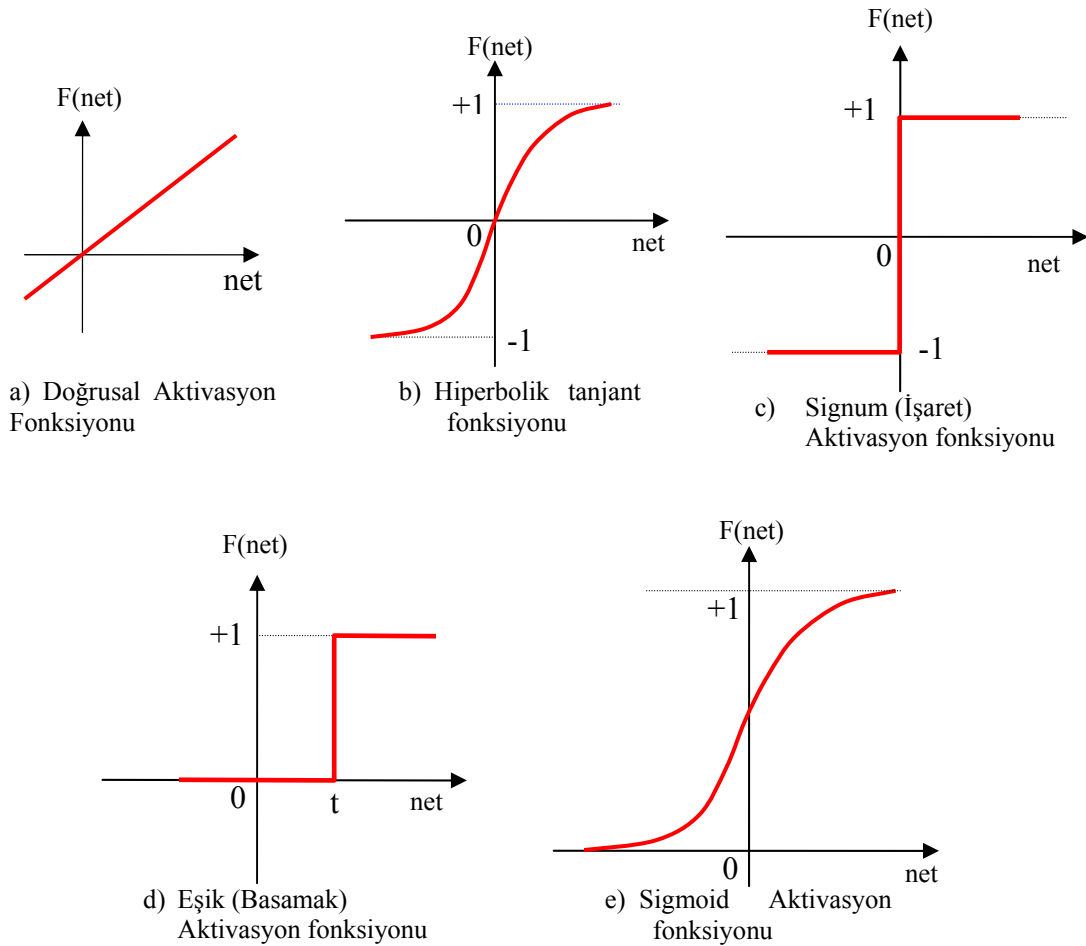
2.3.1.3.3. Toplama İşlevi (Birleşme fonksiyonu)

Toplama işlevi v_i , sinirde her bir ağırlığın ait olduğu girişlerle çarpımının toplamalarını eşik θ_j değeri ile toplayarak etkinlik işlevine gönderir. Bazı durumlarda toplama işlemi basit bir işlem yerine çok daha karmaşık bir işlem olabilir. Bir işlem elemanından gelen bilgileri birleştirme görevi yapar.

2.3.1.3.4. Etkinlik İşlevi (Aktivasyon)

Toplama işlevinin sonucu, etkinlik işlevinden f (etkinlik) geçirilip çıkışa iletilir. Bir etkinlik işlevinin kullanım amacı zaman söz konusu olduğunda toplama işlevinin çıkışının değişmesine izin vermektir.

Toplama fonksiyonunun çıktısı aktivasyon formülünde girdi olarak kullanılır. Ancak bu girdileri belirli bir seviyenin üstünde tutmak için bir eşik değeri seçilmelidir. Toplam fonksiyonundan gelen değerler bu eşik değerinden yukarıda ise işleme tabi tutulur. Aktivasyon fonksiyonu girdileri algoritma ile gerçek bir çıkışa dönüştürür. Aktivasyon fonksiyonunda genel olarak türevi alınabilen fonksiyonlar kullanılır. En çok kullanılan sigmoid fonksiyonudur. Sıkça kullanılan aktivasyon fonksiyonları ve şekilleri, Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Çeşitli aktivasyon fonksiyonları

2.3.1.3.4.1. Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu

Doğrusal bir problemi çözmek amacıyla kullanılan doğrusal hücre ve YSA' da ya da genellikle katmanlı YSA' nın çıkış katmanında kullanılan doğrusal aktivasyon fonksiyonu, hücrenin net girdisini doğrudan hücre çıkışı olarak verir (Şekil 2.4.a). Doğrusal aktivasyon fonksiyonu Denklem 2.4'deki gibi ifade edilir (Ham, 2001; Kostanic, 2001).

$$F(\text{NET}) = \text{NET} \quad (2.4)$$

2.3.1.3.4.2. Hiperbolik Tanjant Aktivasyon Fonksiyonu

Gelen NET girdi değerinin tanjant fonksiyonundan geçirilmesi ile hesaplanmaktadır. Türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılan YSA'larda tercih edilir. Şekil-2.4.b de Hiperbolik tanjant aktivasyon fonksiyonu gösterilmektedir. Fonksiyonu Denklem 2.5 deki gibi ifade edilmektedir (Ham, 2001; Kostanic, 2001).

$$F(\text{NET}) = \text{Tanh}(\text{NET}) = \frac{e^{\text{Net}} - e^{-\text{Net}}}{e^{\text{Net}} + e^{-\text{Net}}} \quad (2.5)$$

2.3.1.3.4.3. Signum Aktivasyon Fonksiyonu

Eşik aktivasyon fonksiyonunun -1 ile $+1$ arasında değişenine signum aktivasyon fonksiyonu denir. Eşik aktivasyon fonksiyonlu hücreler, mantıksal çıkış verir ve sınıflandırıcı ağlarda tercih edilir. Şekil 2.4.c'de katı sınırlamalı aktivasyon fonksiyonu gösterilmektedir. Signum aktivasyon fonksiyonu matematiksel olarak Denklem 2.6'daki gibi ifade edilir (Bose, 2002).

$$f(\text{NET}) = \text{sgn}(\text{net}) = \begin{cases} +1, \text{net} > 0 \\ -1, \text{net} < 0 \end{cases} \quad (2.6)$$

2.3.1.3.4.4. Eşik Aktivasyon Fonksiyonu (Step)

Eşik aktivasyon fonksiyonu eğer net değeri eşik değeri (t)' den küçükse sıfır, eşik değerinden daha büyük veya eşit bir değer ise çıkışında $+1$ değeri verir (Şekil 2.4.d). Denklem 2.7'deki gibi ifade edilmektedir (Ham, 2001; Kostanic, 2001).

$$f(\text{NET}) = \begin{cases} 1, \text{NET} \geq t \\ 0, \text{NET} < t \end{cases} \quad (2.7)$$

2.3.1.3.4.5. Logaritma Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu

Günümüzde yaygın olarak kullanılan çok katmanlı algılayıcı modelinde genel olarak aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyon Denklem 2.8' deki formül ile gösterilmektedir. Fonksiyona sürekli eşikleme fonksiyonu da denilmektedir. Şekil 2.4.e'de Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu gösterilmektedir (Ham, 2001; Kostanic, 2001).

$$f(\text{NET}) = \frac{1}{1+e^{-\text{NET}}} \quad (2.8)$$

2.3.1.3.5. Ölçekleme ve Sınırlama

Yapay hücrelerde, aktivasyon fonksiyonun sonuçları ölçek veya sınır işlemlerinden geçebilir. Bu ölçeklendirme basitçe bir ölçek etmeni ile etkinlik değerinin çarpımının sonucudur. Sınırlandırma ise, ölçeklenmiş sonuçların en az ve en çok sınırlarını aşmamasını sağlamaktadır (Elmas, 2007).

2.3.1.3.6. Çıkış İşlevi

Çıkış $y_i=f(s)$, etkinlik işlevi sonucunun dış dünyaya veya diğer sinirlere gönderildiği yerdir. Bir sinirin bir tek çıkışı vardır. Sinirin bu çıkışı, kendinden sonra herhangi bir sayıdaki diğer sinirlere giriş olabilir. Hücre kendi çıkışını kendisine giriş olarak da gönderebilir. Bir işlem elemanının birden fazla çıkışı olmasına rağmen sadece bir çıkışı olmaktadır. Biyolojik sinir sistemi ile yapay sinir sistemi arasındaki benzerlik Çizelge 2.1'deki gibi gösterilebilir.

Çizelge 2.1. Biyolojik sinir sistemi ile YSA'nın benzer özellikleri

Biyolojik Sinir Sistemi	Yapay Sinir Ağlar
Nöron	Yapay Nöron (İşlemci Eleman)
Dendrit	Toplama Fonksiyonu
Hücre Gövdesi	Transfer Fonksiyonu
Aksonlar	Yapay Nöron Çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

2.1.4. Öğrenme

Öğrenme sistemlerinde kullanılan değişik öğrenme kuralları vardır. Yapay sinir ağlarında bu öğrenme kurallarının çoğu Hebb kuralına dayanmaktadır. Öğrenme

algoritmalarının bir çoğu aslında Hebb, Delta, Kohonen ve Hopfield olmak üzere dört farklı öğrenme kuralından esinlenilerek geliştirilmiştir.

2.4.1.1. Hebb Kuralı

Bilinen en eski öğrenme kuralıdır. Diğer öğrenme kuralının temelini oluşturmaktadır. Bu kurala göre bir işlem elemanı (hücre) diğer bir işlem elemanından bilgi alırsa ve her iki işlem elemanı da aktif ise (matematik olarak aynı işareti taşıyorsa) her iki hücrenin arasındaki bağlantı kuvvetlendirilmelidir. Başka bir deyişle bir hücre kendisi aktif ise bağlı olduğu hücreyi aktif yapmaya, pasif ise pasif yapmaya çalışmaktadır. Hebbien öğrenme kuralı bağlantı ağırlıklarını istenen çıkışlara ve giriş çarpımlarına göre oransal olarak değiştirir. Hebb öğrenme kuralı danışmanlı öğrenme kurallarından sayılmaktadır. Çünkü öğrenme süreci boyunca doğru çıkışlar kullanılmaktadır (Abdi vd., 1999).

2.4.1.2. Hopfield Kuralı

Yapay sinir ağı elemanlarının bağlantılarının ne kadar kuvvetlendirilmesi veya zayıflaması gerektiği belirlenir. Eğer beklenen çıktı ve girdiler ikisi de aktif pasif ise öğrenme katsayısı kadar ağırlık değerleri kuvvetlendir/zayıflat denmektedir. Yani, ağırlıkların kuvvetlendirilmesi veya zayıflatılması öğrenme katsayısı yardımı ile gerçekleştirilmektedir. Öğrenme katsayısı genel olarak 0–1 arasında kullanıcı tarafından atanan sabit ve pozitif bir değerdir (Elmas, 2003; Abdi vd., 1999).

2.4.1.3. Delta Kuralı

Bu kural Hebb kuralının biraz daha geliştirilmiş şeklindedir. Bu kurala göre beklenen çıktı ile gerçekleşen çıktı arasındaki farklılığı azaltmak gerekir. Bu yöntem yapay sinir ağının elemanlarının bağlantılarının ağırlık değerlerinin sürekli değiştirilmesi ilkesine dayanarak geliştirilmiştir. Ağın ürettiği çıktı ile üretilmesi gereken beklenen çıktı arasındaki hatanın karelerinin ortalamasını olabildiğince azaltmak hedeflenmektedir (Öztemel, 2003; Elmas, 2007).

2.4.1.4. Kohonen Kuralı

Kohonen tarafından geliştirilen bu yöntem biyolojik sistemlerdeki öğrenmeden esinlenmiştir. Bu kurala göre ağın elemanları (hücreleri) ağırlıklarını değiştirmek için birbirleri ile yarışır. En büyük çıktıyı üreten hücre kazanan hücre olmakta ve bağlantı ağırlıkları değiştirilmektedir. Bu, o hücrenin yakınındaki hücrelere karşı daha kuvvetli

hale gelmesi demektir. Hem kazanan elemanların hem de komşuları sayılan elemanların (hücrelerin) ağırlıklarını değiştirmesine izin verilmektedir (Elmas, 2007).

2.1.5. Katmanlar

Temel olarak, yapay sinir ağlarının basit topolojik yapıya sahiptir. Bu yapı içinde, sinir hücrelerinin bir kısmı dış dünyadan girdileri sağlarken, diğer sinirler ise ağın çıkışında gerçek dünyayı oluşturur. Diğer geriye kalan sinirlerin tamamı gerçek anlamda görünmediğinden gizli katman olarak adlandırılır.

Bir yapı ortaya çıkarmanın en kolay yolu guruplardan oluşan katmanlar oluşturmaaktır. Katmanlar arasındaki bağlantılar, toplama ve aktivasyon fonksiyonları işleyen bir yapay sinir ağı meydana getirir. Sadece tek katmanlı sinir ağları olduğu gibi, çoğu uygulama için sinir hücreleri, 3 katmanlı ve her katman içinde paralel olarak bir araya gelerek ağı oluştururlar. Bir yapay sinir ağında, en az bir girdi katmanı, sıfır veya daha fazla gizli (ara) katman ve bir çıktı katmanı bulunur. Girdi katmanı dışındaki tüm katmanlar, sinir hücreleri veya nöronlardan meydana gelir.

Giriş katmanına bir giriş geldiğinde, sinirle diğer katmanlara giriş olacak şekilde çıkış üretir. Bu işlem şartları yerine getiren kesin durum oluncaya kadar veya çıkış katı çağrılıncaya kadar devam eder ve çıkışı dış çevreye aktarır.

Gizli katmanların(düğümler) sayısı ağın en iyi çalışabileceği şekilde seçilmelidir. Eğer gizli sinir sayısı çok arttırılırsa istenen sonuç değerin üzerine çıkılır. Bu durumda ağda genelleşme problemi ortaya çıkar (Elmas, 2007).

2.1.6. Yapay Sinir Ağlarının Sınıflandırılması

YSA'lar, birbirleri ile bağlantılı işlemci birimlerden veya nöronlardan oluşurlar. Bu yapıların mimarisinin geliştirilmesinde biyolojik sinir sistemlerinin prensibinden ve mühendislik bilimlerinden yararlanılmıştır.

Sinir hücreleri arasındaki bağlantıların yapısı ağın yapısını belirler. İstenilen sonuca ulaşmak için bağlantıların nasıl değiştirileceği öğrenme algoritması tarafından belirlenir. Kullanılan bir öğrenme kuralına göre, hatayı sıfıra indirecek şekilde, ağın ağırlıkları değiştirilir. YSA'lar yapılarına ve öğrenme algoritmalarına göre sınıflandırılırlar. Yapay sinir ağı modelleri, bir ağın öğrenmesi gereken giriş-çıkış bilgilerine ve yapay sinirler

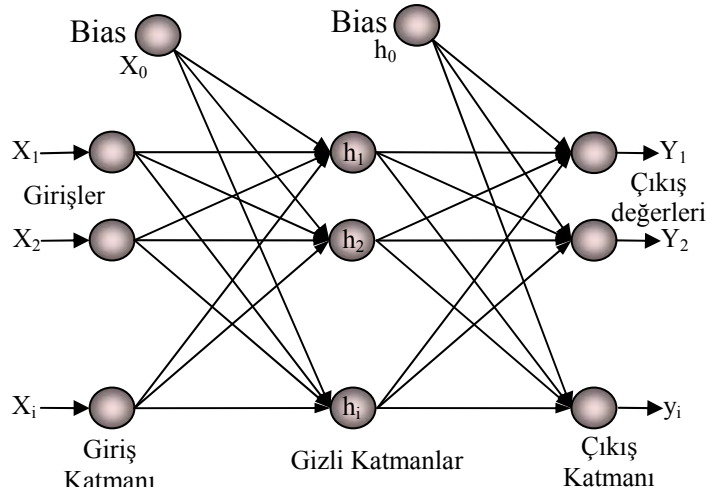
arası ilişkilerle ifade edilen mimarilerine göre farklılıklar göstermektedir (Nabiyev, 2010).

2.1.6.1. Yapılarına Göre Sınıflandırılması

Yapay sinir ağları, mimari yapılarına göre, ileri beslemeli (feedforward) ve geri beslemeli (feedback) ağlar olmak üzere iki şekilde sınıflandırılır (Nabiyev, 2010).

2.1.6.1.1. İleri Beslemeli Ağlar

İleri beslemeli bir ağda işlem elemanları genellikle katmanlara ayrılmışlardır. Veri akışı bu tip ağlarda giriş birimlerinden çıkış birimlerine ileriye doğrudur. Birimlerin çıkışlarından, aynı katmanda veya önceki katmanlarda yer alan nöronların girişlerine bağlantı yapılmasına izin verilmez. Bu topoloji, yapay sinir ağına problemle ilgili tüm bilgilerin bir kerede giriş olarak verilebileceği, sonucun (çıkışın) tamamen o andaki girdi değerlerine bağlı olduğu durumlarda kullanılır. Şekil 2.5’de İleri beslemeli yapay sinir ağına örnek model görülmektedir.

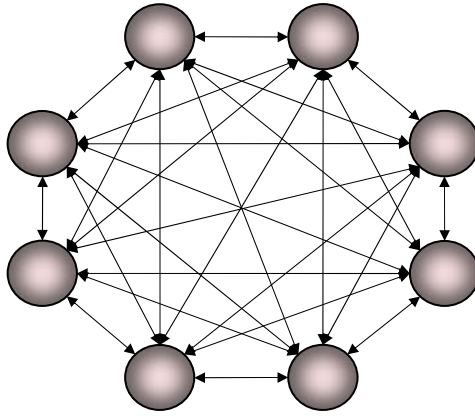


Şekil 2.5. İleri beslemeli yapay sinir ağı (Yavuz, 2006)

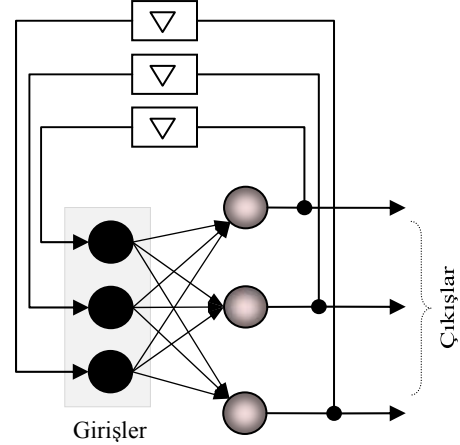
2.1.6.1.2. Geri Beslemeli Ağlar

Herhangi bir sinirin çıkışından girişine işaretin ulaştığı ağlara geri beslemeli ağ denir. Bu tip ağlarda giriş işaretleri hem ileri hem de geri yönde aktarılabilir. Bu çeşit sinir ağlarının dinamik hafızaları vardır ve bir andaki çıkış hem o andaki hem de önceki girişleri yansıtır. Bu nedenle, özellikle önceden tahmin uygulamaları için uygundur. Geleceğe etki edebileceklerinden danışmansız öğrenme modeline dayanmaktadır (Nabiyev, 2010).

Bu tip ağlarda bütün nöronlar Şekil 2.6'da görüldüğü gibi birbiri ile bağlantılıdır. Hopfield ağları olarak da literatürde isimlendirilmektedir (Hopfield, 1982). Bazı optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır (Cura, 2008). Şekil 2.7'de bir geri beslemeli ağ görülmektedir.



Şekil 2.6. Geri beslemeli yapay sinir ağı mimarisi (Cura, 2008)



Şekil 2.7. Geri beslemeli yapay sinir ağı yapısı (Nabiyev, 2010)

2.1.6.2. Öğrenme Algoritmalarına Göre Sınıflandırılması

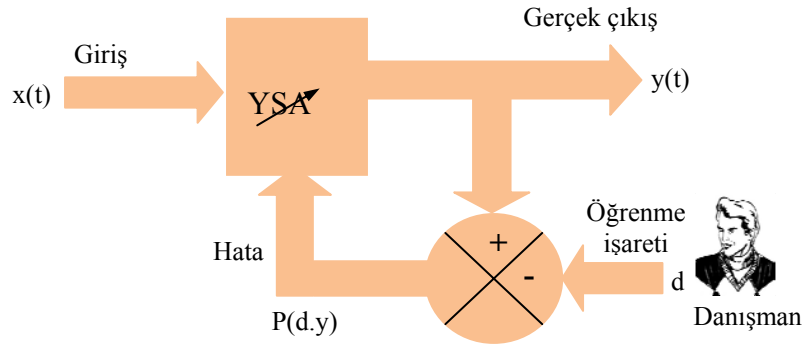
Yapay sinir ağlarında işlem elemanlarının bağlantılarının ağırlık değerlerinin belirlenmesi işlemine ağıın eğitilmesi denir. Başlangıçta bu ağırlık değerleri rastgele olarak atanır. Yapay sinir ağları kendilerine örnekler gösterildikçe bu ağırlık değerlerini değiştirirler. Amaç ağı gösterilen örnekler için doğru çıktıları üretecek ağırlık değerlerini bulmaktır. Örnekler ağı defalarca gösterilerek en doğru ağırlık değerleri bulunmaya çalışılır. Ağıın doğru ağırlık değerlerine ulaşması örneklerin temsil ettiği olay hakkında genellemeler yapabilme yeteneğine kavuşması demektir. Bu genelleştirme özelliğine kavuşması işlemine ağıın öğrenmesi denir. Ağırlıkların değerlerinin değişmesi belirli kurallara göre yürütülmektedir. Bu kurallara öğrenme kuralları denir. Kullanılan öğrenme stratejisine göre değişik öğrenme kuralları geliştirilmiştir (Öztemel, 2003).

Öğrenme; gözlem, eğitim ve hareketin doğal yapıda meydana getirdiği davranış değişikliği olarak tanımlanmaktadır. Bir yapay sinir ağıın eğitilebilmesi, gözlem ve eğitime göre ağıdaki ağırlıkların, yöntem ve kuralların değiştirilmesi ile sağlanmalıdır.

Bunun için genel olarak üç öğrenme metodundan ve bunların uygulandığı değişik öğrenme kurallarından söz edilebilir. Bu öğrenme kuralları aşağıda açıklanmaktadır.

2.1.6.2.1. Danışmanlı Öğrenme (Supervised Learning)

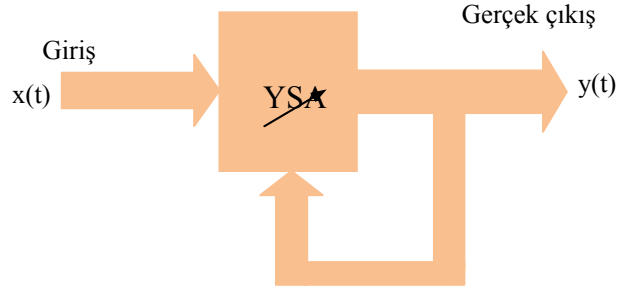
Bu tip öğrenmede, YSA' ya örnek olarak bir doğru çıkış verilir. İstenilen ve gerçek çıkış arasındaki farka (hataya) göre işlem elemanları arasındaki bağlantıların ağırlıkları, en uygun çıkışı elde etmek için sonradan düzenlenir. Bu sebeple danışmanlı öğrenme algoritmasının bir öğretmene veya danışmana ihtiyacı vardır. Şekil 2.8'de danışmanlı öğrenme yapısı gösterilmiştir. Widrow-Hoff tarafından geliştirilen Delta kuralı ve Rumelhart ve McClelland tarafından geliştirilen genelleştirilmiş Delta kuralı veya geri besleme (back propagation) algoritması danışmanlı öğrenme algoritmalarına örnek olarak verilebilir (Elmas, 2003; Noğay, 2008).



Şekil 2.8. Danışmanlı öğrenme yapısı (Noğay, 2008)

2.1.6.2.2. Danışmansız Öğrenme (Unsupervised Learning)

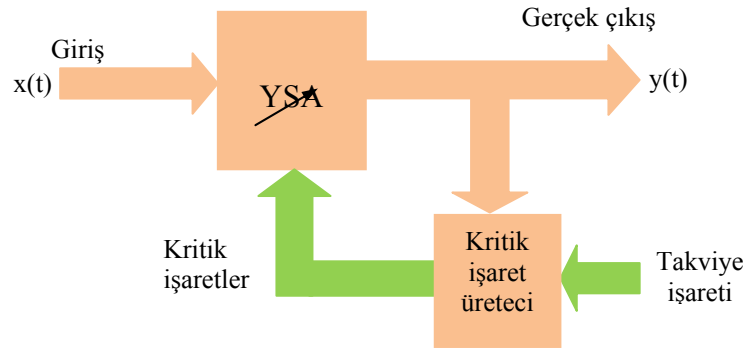
Bu tür öğrenme stratejisinde sistemin öğrenmesine yardımcı olan herhangi bir öğretmen yoktur. Girişe verilen örnekten elde edilen çıkış bilgisine göre ağ sınıflandırma kurallarını kendi kendine geliştirmektedir. Bu öğrenme algoritmalarında, istenilen çıkış değerinin bilinmesine gerek yoktur. Öğrenme süresince sadece giriş bilgileri verilir. Ağ daha sonra bağlantı ağırlıklarını aynı özellikleri gösteren desenler (patterns) oluşturmak üzere ayarlar. Şekil-2.9'da danışmansız öğrenme yapısı gösterilmiştir. Grossberg tarafından geliştirilen ART (Adaptive Resonance Theory) veya Kohonen tarafından geliştirilen SOM (Self Organizing Map) öğrenme kuralı danışmansız öğrenmeye örnek verilebilir (Elmas, 2003; Noğay, 2008).



Şekil 2.9. Danışmansız öğrenme yapısı

2.1.6.2.3. Takviyeli Öğrenme (Reinforcement Learning)

Bu öğrenme kuralında da öğrenen sisteme bir öğretmen yardımcı olur. Öğretmen her girdi seti için olması gereken (üretilmesi gereken) çıktı setini sisteme göstermek yerine, sistemin kendisine gösterilen girdilere karşılık çıktısını üretmesini bekler ve üretilen çıktının doğru veya yanlış olduğunu gösteren bir sinyal üretir. Şekil-2.10'da takviyeli öğrenme yapısı gösterilmiştir. Optimizasyon problemlerini çözmek için Hinton ve Sejnowski' nin geliştirdiği Boltzmann kuralı takviyeli öğrenmeye örnek verilebilir (Elmas, 2003; Noğay, 2008).



Şekil 2.10. Takviyeli öğrenme yapısı

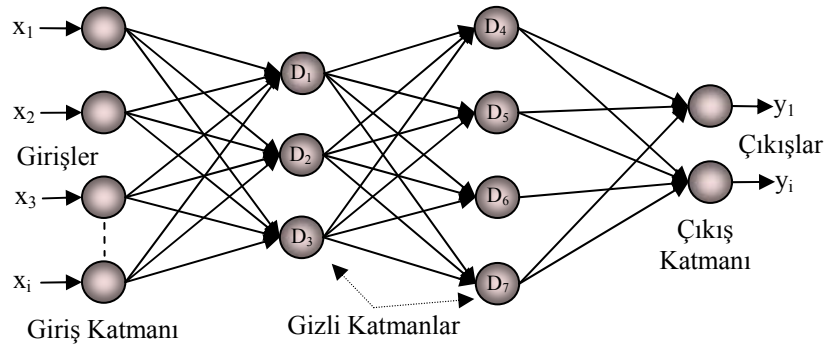
2.1.7. Öğrenme Algoritmaları

Literatürde bulunan birçok öğrenme algoritmasından sadece tez çalışmasında kullanılan, geri yayımlı öğrenme algoritması ve Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması açıklanmıştır. Geri yayılım algoritması danışmanlı öğrenmede kullanılan en genel algoritmadır. Basit olması ve iyi bir öğrenme kapasitesine sahip olması birçok alana uygulanmasını sağlamıştır.

2.1.7.1. Çok Katmanlı Algılayıcılar (ÇKA)

Rumelhart ve arkadaşları tarafından geliştirilen bu modele hata yayma modeli veya geriye yayılım modeli (backpropagation network) de denilmektedir. ÇKA modeli yapay sinir ağlarına olan ilgiyi çok hızlı bir şekilde arttırmış ve YSA tarihinde yeni bir dönem başlatmıştır. Bu ağ modeli özellikle mühendislik uygulamalarında en çok kullanılan sinir ağı modeli olmuştur. Birçok öğretim algoritmasının bu ağı eğitmede kullanılabilir olması, bu modelin yaygın kullanılmasının sebebidir.

Bir ÇKA modeli, bir giriş, bir veya daha fazla ara ve bir de çıkış katmanından oluşur (Şekil 2.11). Bir katmandaki bütün işlem elemanları bir üst katmandaki bütün işlem elemanlarına bağlıdır. Bilgi akışı ileri doğru olup geri besleme yoktur. Bunun için ileri beslemeli sinir ağı modeli olarak adlandırılır. Giriş katmanında herhangi bir bilgi işleme yapılmaz. Buradaki işlem elemanı sayısı tamamen uygulanan problemlerin giriş sayısına bağlıdır. Ara katman sayısı ve ara katmanlardaki işlem elemanı sayısı ise, deneme-yanılma yolu ile bulunur. Çıkış katmanındaki eleman sayısı ise yine uygulanan probleme dayanılarak belirlenir. Bu ağ modeli, özellikle sınıflandırma, tanıma ve genelleme yapmayı gerektiren problemler için çok önemli bir çözüm aracıdır.



Şekil 2.11. Çok katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı modeli (Elmas, 2007)

2.1.7.2. Levenberg-Marquardt Algoritması

Bu algoritma, maksimum komşuluk fikri üzerine kurulmuş en az kareler hesaplama metodudur. Gauss-Newton ve Steepest-Descent algoritmalarının en iyi özelliklerinden oluşur ve bu iki metodun kısıtlamalarını ortadan kaldırır. Yavaş yakınsama problemlerinden etkilenmez. Çok hızlı çözüme ulaşmasına rağmen çok fazla bellek gerektirmektedir (Sağiroğlu vd., 2003; Helhel, 2009).

2.1.7.3. Eşleştirmeli Eğitim (Conjugate Gradient) Algoritmaları

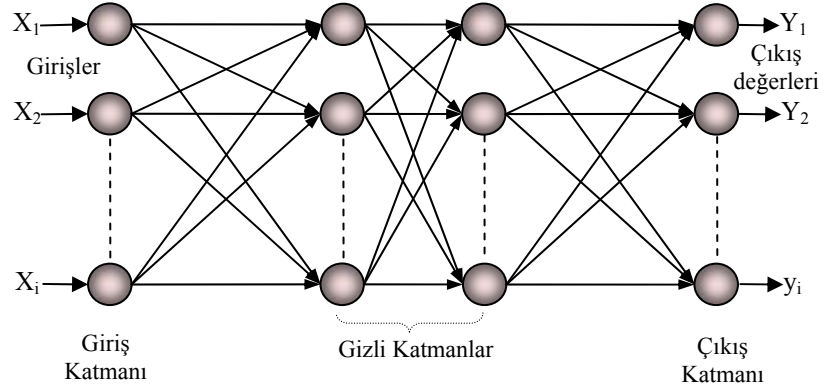
Eşleştirmeli eğitim algoritmalarında, eğitim azaltım yöntemindeki doğrultulardan genellikle daha hızlı yakınsayan eşleştirme doğrultularında bir arama işlemi yapılır. Bu algortmada adım boyutu, her iterasyonda yeniden güncellenir. Performans fonksiyonunun o doğrultu boyunca minimize edileceği adım boyutunu belirlemek için, eşleştirmeli eğitim doğrultusu boyunca bir arama gerçekleştirilir. Literatürde mevcut olan eşleştirmeli eğitim algoritmalarının isimleri şöyledir: Fletcher-Reeves, Polak-Ribiere, Powell-Beale, Ölçeklendirilmiş Eşleştirmeli Eğitim algoritmaları (Helhel, 2009).

2.1.7.4. Kuasi-Newton Öğrenme Algoritmaları

Newton yöntemi, eşleştirmeli eğitim yöntemine alternatif olarak hızlı optimizasyon için geliştirilmiştir. Genelde Newton yöntemi eşleştirmeli eğitim yöntemlerinden daha hızlı yakınsamasına rağmen ileri beslemeli ağlar için Hessian matrisinin hesaplanması oldukça zor ve zaman alıcıdır. Bunun için Hessian matrisinin (ikinci mertebeden türevler) hesaplanmasına gerek olmayan yöntemler geliştirilmiş ve bunlara Kuasi-Newton adı verilmiştir (Sağıroğlu vd., 2003).

2.1.7.5. Çok Katmanlı Algılayıcı Ağı (Multilayer Perceptron; MLP)

Çok Katmanlı Algılayıcı ağı, geriye yayılma algoritmasıyla çalışan ileri beslemeli bir yapay sinir ağıdır. Çok Katmanlı Algılayıcı ağı, sinir ağı tarafından elde edilen çıktıyı gözlenen değerlerle karşılaştırarak en iyi ağı belirlemeye çalıştığı için danışmanlı öğrenme stratejisiyle çalışır. Çok Katmanlı Algılayıcı Ağı, girdi ve çıktı katmanının yanında bir ya da daha fazla gizli katmandan oluşabilir. Gizli katmandaki nöronlar, girdi vektörü ile çıktı vektörleri arasındaki doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkilerin açıklanması için gerekli bilginin kayba uğramadan taşınmasına izin verir. Çok Katmanlı Algılayıcı ağı, özellikle sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılan en popüler yapay sinir ağıdır. Çok katmanlı algılayıcı ağı Şekil 2.12'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 2.12. Çok katmanlı algılayıcı ağı (MLP)

Çok katmanlı algılayıcı ağı, gözlenen ve beklenen çıktı arasındaki farktan kaynaklanan hatayı en küçük yapan en iyi ağırlıkları belirlemek için geriye yayılma algoritmasını kullanır.

2.1.7.6. Radyal Tabanlı Yapay Sinir Ağı (RBFNN)

Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları, öğrenme sürecinde danışmansız ve danışmanlı öğrenme olmak üzere karma strateji kullanır ve böylece öğrenme süreci iki aşamaya ayrılır. Danışmansız öğrenme stratejisi ile gerçekleştirilen ilk aşama, girdi verilerine gizli katmanda radyal tabanlı fonksiyon uygulanması sürecidir. Danışmanlı öğrenme stratejisi ile gerçekleştirilen ikinci aşama ise, gizli katmandan elde edilen çıktılara doğrusal dönüşüm uygulanarak ağ çıktıları ile gözlenen çıktılar arasındaki hatayı en küçük yapan ağırlıkların belirlenmesi sürecidir.

Bu yapılar, genellikle sistem modelleme, tahmin ve sınıflandırma gibi problemlerin çözümleri için kullanılırlar. RBFNN, ÇKA yapılarından daha hızlı öğrenir ve karar sınırlarının belirlenmesinde ve sınıflandırmada ÇKA yapılarından daha doğru sonuç verebilir. Ancak ÇKA gibi farklı yapısal formda olmamaları bir dezavantajdır (Sağiroğlu vd., 2003)

2.1.7.7. Zaman Gecikmeli Yapay Sinir Ağı (Time Delay Neural Network; TDNN)

Zaman Gecikmeli Sinir Ağı, çok katmanlı ileri beslemeli bir sinir ağıdır. Waibel tarafından 1988 yılında ses tanıma için geliştirilmiş olmasına rağmen aynı zamanda zaman serisi tahmini için de kullanılan bir ağıdır. Zaman gecikmeli sinir ağı, çok katmanlı algılayıcı ağından farklı olarak iki ek özelliğe sahiptir. Birincisi, nöronların

toplam bağlantı sayısını azaltmakta ve öğrenme süresini kısaltmaktadır. İkinci ek özellik ise, zamana bağlı verilerin olası kayıplarına karşın başarılı bir tanıma gerçekleştirilmeye yardımcı olur. Çok katmanlı algılayıcı ağı için kullanılan öğrenme algoritmaları küçük bir değişiklikle zaman gecikmeli sinir ağının eğitiminde kullanılır (Yamashita, 1997).

Zaman Gecikmeli Sinir Ağı, çok katmanlı ileri beslemeli bir sinir ağının girdi katmanında bellek hücreleri yerleştirilerek oluşturulan dinamik bir sinir ağıdır. Girdi ve gizli katmanlar arasındaki bellek hücrelerinde, sonlu dürtü cevaplı (finite impulse response, FIR) filtreleme kullanılır. Zaman Gecikmeli Sinir Ağı girdi verisini, bu filtreleme sayesinde zaman gecikmelerini dikkate alarak ardışık biçimde ele alır.

Zaman Gecikmeli Sinir Ağı, ağın ağırlıkların ayarlanması sürecinde çok katmanlı ağlarda kullanılan algoritmaları kullanmaktadır. En çok kullanılan algoritma ise temporal (zamana bağlı) geriye yayılma algoritmasını kullanır. Sinir ağının öğrenme süreci, gözlenen çıktı ve beklenen çıktı arasındaki karesel hataların toplamını minimum yapmak amacıyla çalıştırılır. Ağırlıkların güncellenmesi süreci, ağ hatasını minimum yapan ağırlıkları elde edene kadar temporal geriye yayılma algoritmasıyla adım adım sürer (Haykin, 1999).

2.1.8. Genetik Algoritmalar

Çözülmesi zor ya da imkânsız olan çok sayıda problem vardır. Bu problemlerin çözülmesinde geliştirilmiş bir matematiksel fonksiyon olmadığı gibi muhtemel çözümlerin hesaplanması ve en iyi çözümün bulunması da çok uzun zaman almaktadır. Mümkün olan tüm çözümlerin değil de sadece bazı seçilmiş çözümlerin denenmesi yöntemiyle, beklenen optimum sonucun elde edilmesini sağlayacak algoritmalar araştırılmış ve pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri de Genetik Algoritmalarıdır (Başkak vd., 2004).

Genetik algoritmalar, doğal seleksiyon ve doğal genetik mekanizmasına dayanan araştırma algoritmalarıdır. Sayısal optimizasyon yöntemlerinden olan genetik algoritmalar, evrimsel hesaplama tekniğinin bir parçasını oluşturmakta ve geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya hemen hemen imkansız olan problemlerin çözümünde kullanılabilirlerdir.

Genetik algoritmalar, deneysel çalışmalarda, optimizasyonda, endüstriyel uygulamalarda ve sınıflandırılmalarda uygulama alanı bulmaktadır. Mühendislik

alanında en çok optimizasyon amaçlı olarak kullanılmakta, diğer klasik yöntemlere göre daha iyi sonuç vermektedir.

2.1.8.1. Genetik Algoritmaların Tarihçesi

Genetik algoritmalar, doğal seçim ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemidir. Temel ilkeleri John Holland tarafından ortaya atılan genetik algoritmalar hakkında birçok bilimsel çalışma yayınlanmıştır. Genetik algoritmaların, fonksiyon optimizasyonu, çizelgeleme, mekanik öğrenme, tasarım, hücresel üretim gibi alanlarda başarılı uygulamaları bulunmaktadır. Geleneksel optimizasyon yöntemlerine göre farklılıkları olan genetik algoritmalar, parametre kümesini değil kodlanmış biçimlerini kullanırlar. Olasılık kurallarına göre çalışan genetik algoritmalar, yalnızca amaç fonksiyonuna gereksinim duyar. Çözüm uzayının tamamını değil belirli bir kısmını tararlar. Böylece, etkin arama yaparak çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşırlar (Goldberg, 1989).

Genetik algoritmalar, bazı doğal olayları modelleyen stokastik algoritmalarlardır. Bu algoritmalar biyolojik birimin işleyiş biçimini taklit eder. Genetik algoritmalar doğal seleksiyon ve doğal genetik mekanizmasına dayanan sayısal optimizasyon algoritmalarıdır.

1960’larda Rechenberg tarafından Evrim Stratejileri isimli eserinde evrimsel hesaplama tanımı kullanılmıştır. Genetik algoritmaların tarihsel gelişim sürecine bakıldığında Bagley 1967 yılındaki çalışmasında genetik algoritmalarından bahsederken ancak öğrencisi Holland tarafından uygulanmaya başlanmıştır (Elmas, 2007). İlk olarak John Holland evrim sürecini bir bilgisayar yardımıyla kullanarak, genetik algoritmaları oluşturmuştur.

John Holland tarafından evrim sürecini, bilgisayara anlayamadığı çözüm yöntemlerini öğretebileceği şekle dönüştürülmesiyle Genetik Algoritma yöntemi Holland’ın öğrencileri ve arkadaşları tarafından geliştirildi. Sonuçta, Holland’ın kitabı “Doğal ve Yapay Sistemlerde Adaptasyon” 1975 yılında yayınlandı (Kurt vd., 2001).

Genetik algoritmalar, evrim teorisinden esinlenerek türetilen hesaplama modelleridir. Makine öğrenmesi konusunda çalışan Holland (1975), canlılardaki genetik işlemleri

sanal ortamda gerçekleştirmeye çalışarak bu işlemlerin etkinliğini açıklamıştır. Başlangıçta pratik bir yararı olmadığı düşünülen GA'lara olan ilgi, Holland'ın öğrencisi olan Goldberg'in yaptığı doktora teziyle National Science Foundation tarafından verilen Genç Araştırmacı ödülünü alması ve dört yıl sonrada klasik eserini yayınlamasıyla çoğalmıştır (Goldberg, 1989).

1992 yılında John Koza, genetik algoritmayı kullanarak genetik programlamayı geliştirmiştir (Koza, 1992). Literatürdeki çalışmalarda araştırma alanı geniş ve karmaşıksa, konuyla ilgili bilgi az veya eldeki bilgi araştırma alanını daraltmada yeterli değilse, matematiksel analiz elde edilemiyorsa veya geleneksel araştırma metotlarıyla başarısız olunmuş veya iyi sonuç elde edilemiyorsa; genetik algoritmalarından faydalanılarak çözüm getirilebilmektedir.

2.1.8.2. Genetik Algoritmada Kullanılan Temel Kavramlar

Genetik Algoritmaların çalışılması ve çözüm değerlerinin bulunulması sırasında karşılaşılabileceğimiz kavramların iyi bilinmesi gerekir. Bu kavramlar:

2.1.8.2.1. Gen

Yapay sistemlerde gen, kromozom yapısında kendi başına birer genetik bilgi taşıyan en küçük birimdir. GA'nın kullanıldığı programlama yapısında programcı genin içerdiği bilgileri ikili taban, onluk taban veya onaltılık tabandaki sayı değerine göre tanımlayabilir. Yazılan programa göre içerik nem kazanmaktadır (Elmas, 2007).

2.1.8.2.2. Kromozom

Bir ya da birden en fazla genin bir araya gelerek oluşturduğu dizilere kromozom denir. Kromozomlar, üzerinde durulan problemin muhtemel çözüm bilgilerini içerir (Elmas, 2007).

2.1.8.2.3. Popülasyon

Kromozomlardan oluşan topluluğa, popülasyon denir. Popülasyon, geçerli alternatif çözüm kümesidir. Popülasyondaki birey sayısı (kromozom) genelde sabit tutulur, programın özelliğine göre programlayıcı tarafından belirlenir. GA'da popülasyondaki birey sayısı ile ilgili genel bir kural yoktur. Popülasyondaki kromozom sayısı arttıkça çözüme ulaşma süresi (iterasyon sayısı) azalır (Elmas, 2007).

2.1.8.3. Genetik Algoritmanın Kodlanması

Genetik algoritma ile çözüme başlandığında ilk adımlardan bir tanesi kromozomların kodlanması ve kodlanma seçimidir. Kromozomların kodlanması problemlere göre değişmektedir. GA'ların Kodlama yöntemleri aşağıda verilmiştir.

2.1.8.3.1. İkili Kodlama

En çok kullanılan ve ilk kullanılan yöntemlerdendir. Her kromozom 0 ve 1 sayısından oluşan bit dizisidir ve ikili diziyle ifade edilir. Bir dizideki her bit çözümün özelliğini taşır, dizideki her bit ise bir sayıya karşılık gelir.

Kromozom	A	110110110110
Kromozom	B	111010011011

Şekil 2.13. İkili kodlama için kromozom örneği

İkili düzendeki kodlama çok kullanılmasına rağmen kısıtlı en iyileme problemlerinde ve çok değişkenli problemlerin çözümünde kullanılmazlar.

2.1.8.3.2. Permütasyon Kodlama

İş sıralama problemleri ve Gezgin Satıcı Problemi gibi permütasyon problemlerinde kullanılır. Her kromozom bir numaralar dizisidir. Her onluk sayı için ikili düzende karşılık gelen sayı yazılır. Örneğin; 0 için 000, 1 için 001, 2 için 010 gibi. 8 genden oluşan permütasyon kodlamalı bir kromozom 24 genden oluşur.

Kromozom	A	110110110110
Kromozom	B	111010011011

Şekil 2.14. Permütasyon kodlama için kromozom örneği

2.1.8.3.3. Değer Kodlama

Bu kodlama gerçel sayılar gibi kompleks sayıların yer aldığı problemlerde kullanılır. Her kromozom değerler dizisidir. Bu değerler ise problemlerle ilişkilidir. Bu kodlama türü bazı yapay sinir ağlarının ağırlık katsayılarının bulunmasında önemlidir.

Kromozom	A	3.425 6.125 4.265 4.658
Kromozom	B	ABCFGSDKSAKDMF
Kromozom	C	(geri), (sağ), (ileri),(geri),(sol)

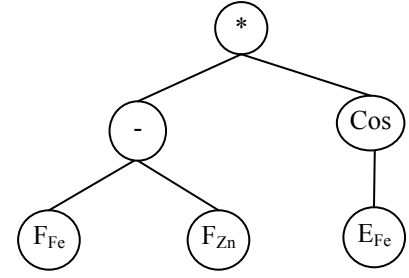
Şekil 2.15. Değer kodlama için kromozom örneği

2.1.8.3.4. Ağaç Kodlama

Bu kodlama genetik programlamada programlar ve ifadeler oluşturmak için kullanılır. Ağaç kodlamada her kromozom, nesnelere ve nesnelere arası işlemleri içeren bir ağaç yapısından oluşur. Ağaç kodlama program geliştirmek için uygundur. LISP ve prolog gibi programlama dillerinde çok sık olarak kullanılır.

Yarışma programlarındaki gibi verilen hedef değere

en yakın sonucu üretecek aritmetik ifadenin bulunması bu kodlama ile mümkündür. Bu ifade sayılardan ve aritmetik işlemlerden (+, -, *, /, sin x gibi) oluşmaktadır. Her zaman kesin sonucu bulmak mümkün değildir. Bu durumda genetik algoritma en yakın sonucu verecek formülü üretmeye çalışır (Nabiyev, 2010).



Şekil 2.16. Ağaç kodlama için kromozom örneği

2.1.8.4. Genetik Algoritmanın Çalışma Prensipleri

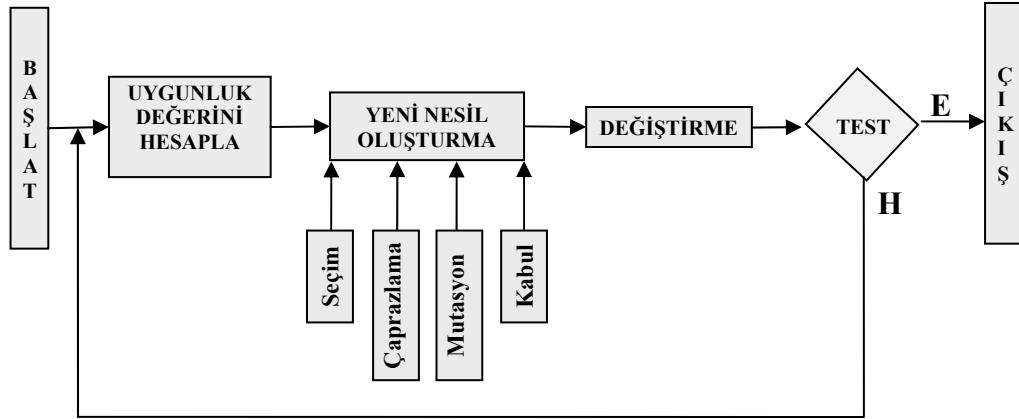
Genetik Algoritmalar ya da Evrimsel Algoritmalar, doğadaki evrimsel süreçleri model olarak kullanan bilgisayar yardımıyla problem çözme teknikleridir. Geleneksel programlama teknikleriyle çözülmesi güç olan, sınıflandırma ve çok boyutlu optimizasyon problemleri, bilgisayar programları yardımıyla çok daha kolay ve hızlı olarak çözülebilmektedir. Genetik Algoritma, belirli bir problemi çözecek davranışın, var olan veya sonradan tanımlanan veri modeline dayandırılarak adım adım ortaya konulması ve bunun bilgisayar ortamında herhangi bir programlama diliyle kodlanmasıdır (Çölesen, 2002).

Bir problemin standart GA ile çözümünde izlenecek işlem adımları aşağıda verilmektedir (Nabiyev, 2010).

- Kullanıcının önceden tanımladığı kurallara göre genellikle rastgele bir çözüm grubu oluşturulur. Önerilen birey sayısı 100 ila 300 arasındadır.
- Her bir kromozom için bir uygunluk değeri hesaplanır; bulunan uygunluk değerleri dizilerin çözüm kalitesini gösterir. Popülasyonda yer alan en iyi uygunluk değerine sahip olan birey (kromozom), bir sonraki yeni nesile (popülasyon) doğrudan değiştirilmeden aktarılır. Uygunluk fonksiyonu genetik algoritmanın beynini oluşturmaktadır.

- c. İki grup dizi (kromozom), belirli bir seçim yöntemine göre (uygunluk değerlerine göre hesaplanmış olasılık değerlerine göre) rastsal olarak seçilirler.
- d. Yeni kromozomlara yer açmak için eski kromozomlar çıkarılarak sabit büyüklükte bir toplum sağlanır.
- e. Tüm kromozomların uygunlukları hesaplanarak yeni toplumun başarısı bulunur.
- f. Verilen zaman içerisinde işlemler tekrarlanarak daha iyi olan nesillerin oluşturulması gerçekleştirilir.
- g. Sonuçta toplumların hesaplanması sırasında en iyi bireyler bulunduğu çözümler bulunmuş olur.

GA bireylerin uygunluk ve iyiliklerine göre ayrılıp fark edilmesine gerek duyar. Bu sayede üstün ve başarılı olanlar bir sonraki neslin bireylerini oluşturur. Çaprazlama, iki kromozomun bir araya gelerek genetik bilgi değişimi yapmasıdır. Mutasyon ise bir kromozomun taşıdığı genetik bilgide bir nedene bağlı olmaksızın değişmesidir. Mutasyon aramada kısır döngüye girilmemesini sağlamak, toplulukta çözümü olmayan birbirine benzer bireylerden kurtulmak ve yeni alt optimal çözümler bulunmasını sağlamak için kullanılır (Holland, 1975). Genetik algoritmaların genel akış çalışma prensip şeması Şekil 2.17’de görülmektedir.



Şekil 2.17. Genetik algoritmaların genel akış şeması (Bolat vd., 2004)

Ele alınan bir problem için öncelikle rastgele bir n kromozomlu popülasyon oluşturulur ve popülasyondaki her bir kromozom için $f(x)$ uygunluk fonksiyonu hesaplanır. Yeni bir popülasyon oluşuncaya kadar aşağıdaki adımlar tekrar edilir:

Genetik Algoritma akış şemasında;

1. **Başlangıç:** n kromozom oluşan rastgele toplum oluşturulur (problemin olası çözümleri)
2. **Uygunluk:** Toplumdaki her x kromozomu için f(x) uygunluk değeri değerlendirilir.
3. **Yeni Nesil:** Aşağıdaki adımlar izlenerek yeni nesil üretilir;
 - a. **Seçim:** Toplumdan uygunluklarına göre iki ata seçilir (daha uygun olanın seçilme sansı daha fazladır)
 - b. **Çaprazlama:** Çaprazlama olasılığı ile ataları yeni yavru oluşturmak için birbirleriyle eşleştirilir. Eğer çaprazlama yapılmazsa, yavru ataların tıpatıp aynısı olacaktır.
 - c. **Mutasyon:** Mutasyon olasılığı ile yeni yavru üzerinde her yörünge için mutasyon işlemi yapılacaktır.
 - d. **Kabul:** Yeni yavru, yeni topluma eklenir.
4. **Değiştirme:** Yeni toplum algoritmanın tekrar islenmesinde kullanılır.
5. **Deney(Test) :** Eğer bitiş durumu sağlandıysa, durup toplumdaki en iyi çözüm döndürülür.
6. **Döngü:** Adım 2'ye gidilir (Obitko, 1998).

Genetik algoritmalarda kromozomlarla başlangıç popülasyonu rastgele oluşturulmaktadır. Popülasyon genişliğinin belirlenmesi gerekir. Büyük popülasyonlarda, çözüm aralığı iyi örneklendiği için aramanın etkinliği artmakta ve karşılık olarak arama süresi uzamaktadır. Küçük popülasyonlarda ise, çözüm aralığını yeterli örnekleyememe ve zamansız yakınsama ortaya çıkmaktadır.

Genetik algoritmanın her çevriminde yığındaki dizilerin bir değerlendirme fonksiyonu yardımıyla uygunluk değeri hesaplanmaktadır. Uygunluk fonksiyonu, kromozomları problemin parametreleri haline getirip bunlara göre hesaplama yapmaktadır. Genellikle genetik algoritmaların başarısı bu fonksiyonun verimli olmasına bağlıdır.

2.1.8.5. Genetik Programlama

Genetik Programlama, ele alınan problemin yapı taşlarından oluşturulan muhtemel ilkel çözüm tarzlarının belirli bir uyum kriterine göre evrilerek mükemmelleşmesini amaçlayan Evrimsel Algoritma tekniğidir (Koza, 1992; Koza, 1994).

1992 yılında John Koza genetik algoritmayı kullanarak çeşitli görevleri yerine getiren Genetik Programlama'yı geliştirdi (Koza, 1992). Genetik programlama, genetik algoritmaların bir uzantısıdır ve aralarındaki temel farklılık, yönettikleri yapının gösterimi ve bu gösterimin taşıdığı anlamda ortaya çıkar. Genetik algoritmalar genelde sabit uzunluktaki ikili dizilere sahip popülasyonlar üzerinde çalışır. Genetik programlama ise genellikle bilgisayar programlarını barındıran ağaç yapılarına sahip popülasyonlar üzerinde çalışır. Genetik programlama bilgisayar programlarının davranışları ile ilgilendiği için, fenotip (kalıtımla oluşan dış görünüş) tanımını genetik algoritmalara göre daha soyut kalmaktadır (Wong vd., 1999).

Genetik programlamada ana fikir "program" popülasyonunun evrimidir. Bir program (popülasyonun bir bireyi) genellikle içsel düğümleri operatör ve uç yaprakları nitelikler olan bir ağaç şeklinde gösterilir. Geçmişte sunulan grafik ve çoklu ağaç gibi daha karmaşık gösterimler ağaç gösterimi kadar tutulan gösterimler olmamıştır (Gruau, 1992; Teller vd., 1996). Fonksiyon ve terminal kümesi hedef probleme uygun nitelikleri içermelidir. Fonksiyon kümesi aritmetik operatörleri, mantık operatörlerini ve matematiksel fonksiyonları içerirken terminal kümesi problemin değişkenlerini (nitelikler) içerebilir. Örnek olarak tıp alanında bu nitelikler sinyaller, belirtiler veya hasta hakkında diğer tanımlar olabilir (Bojarczuka vd., 2004).

Genetik Programlamada çeşitliliğin tanıtılması ancak ağaç seviyesinde olduğundan, geçerli yapıların oluşumu çok dikkatli yapılmalıdır. Örnek olarak, ağaca özgü üreme genetik programlamada genetik çeşitlilikte kullanılan neredeyse tek kaynaktır. Bu şekilde alt ağaçlar takas edilebilir ve her zaman geçerli yapılar üretilir. Ancak, diğer operatörlerin uygulanması yüksek oluşumlu mutasyon gibi verimsiz olmaktadır. Sözdizimsel olarak yanlış yapılar ortaya çıkarabilmektedir. Açıkça, nakil ve tersleme gibi diğer operatörlerin uygulanması çeşitli zorlukları ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca Koza iki ayrı ağaç yapısına özel operatör daha tanımlamıştır. Bunlar permütasyon ve mutasyondur. Bu operatörler genetik programlamada nadiren kullanılmaktadırlar (Ferreira, 2002).

Genetik programlamada mutasyon ve çaprazlama operatörleri ağaç yapısına uygun olarak yapılandırılmıştır. Mutasyon rastgele bir düğümü seçerek gerçekleştirilir.

Rastgele seçilen düğümün altındaki alt ağaç yapısı silinerek yerine rastgele yeni bir yapı büyütülür (Takac, 2002).

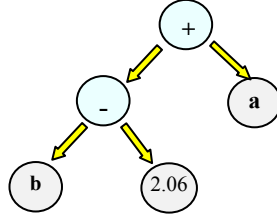
Çaprazlamada ise ilk olarak iki ağaç aday olarak seçilmelidir. Mutasyon işlemine benzer şekilde her iki aday için rastgele bir düğüm belirlenir. Belirlenen düğümün sonraki alt ağaçlar karşılıklı seçilen noktalardan takas edilir. Genetik programlamada seçim operatörü genetik algoritmalarındaki durumdan farklı değildir (Takac, 2002).

2.1.8.6. Genetik Programlamanın Bileşenleri

2.1.8.6.1. Terminal ve Fonksiyonlar

Problemi çözmeye yönelik adım, nesilin ilkel yapısının rastgele oluşturulması ile başlar. Bu yapıları kromozom (birey) da denir. Bireyleri oluşturabilmek için iki farklı sınıftan gelen nesnelere kullanılır. Bu nesnelere terminaller ve fonksiyonlardır. Terminaller problemin kurulmasına yarayan ve problemin tanımlanmasında doğrudan etkin olan değişkenler veya sabitlerdir. Örneğin; bir karıncanın besin bulma probleminde, karıncanın yaşamını devam ettirmesi için bulması gereken besinin, problemin tanımlı olduğu evrendeki konumu veya karıncanın bu evrendeki konumu besin bulma probleminde birer terminaldirler. Her problemim kendine özgü terminal yapısı vardır ve terminallerin seçimi konusunda kesin kuralları yoktur. Problemi genetik programlamaya uyarlayan kişiler bunu belirler (Ege, 2004). Fonksiyonlar; terminalleri belli bir işlem mantığına göre birleştirmeye yarayan nesnelere dir. Fonksiyonlar ve terminallerin hiyerarşik bir anlayış içinde anlamlı bir yapı oluşturacak şekilde birleştirilmesiyle kromozomlar oluşur.

Genetik programlamada kromozomların yapısı şekil olarak bir kaynaktan çıkan ve daha sonra dallanıp budaklanan bir ağaca (tree) benzer. Terminaller ağaçsal yapının dallanıp budaklanarak sonlandığı noktalara yerleştirilir. Fonksiyonlar ise bu uç noktalardan ağacın kaynağına kadar olan diğer bütün kısımlarda yer alırlar. Şekil 2.18'de matematiksel terminal ve fonksiyonlardan oluşturulmuş bir kromozomun ağaçsal yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.18. Bir bireyin ağaçsal yapısı (+ ve – fonksiyonları; a, b, 2.06 terminalleri)

2.1.8.6.2. Uyumluluk (Fitness) Fonksiyonu

Nesildeki bireyler çözülmeye uğraşılan problemin tipine ve tanımına göre matematiksel ya da işlevsel sonuçlar verirler. Bu sonuçlar, tanımlanmış bir prosedüre göre uyum diye adlandırılan, bireyin problemi çözebilme yeteneğini gösteren bir tür sayısal niceliğe çevrilirler ve sıralanırlar. Sıralanan bireylerin bir kısmı, yine çoğu kez uyumlarına dayanan bir prosedüre (genetik işlemciler) göre seçilirler. Bu temel genetik işlemciler; Yeniden Üreme, Çaprazlama ve Mutasyon olarak adlandırılır.

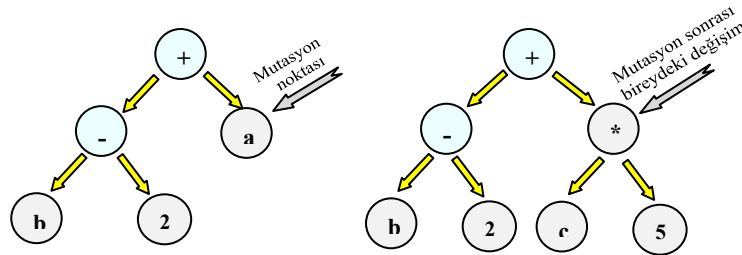
2.1.8.6.3. Genetik İşlemciler

2.1.8.6.3.1 Yeniden Üreme (Reproduction)

Seçilen bireylerden bazıları gelecek nesile doğrudan aktarılır (yeniden üreme). Bir kısmı da gelecek nesile bazı farklılaşma işlemlerinden geçirilerek yeni bir birey olarak girerler.

2.1.8.6.3.2 Mutasyon (Mutation)

Mutasyon seçilen bir bireyin ağaç yapısının herhangi bir noktadan kırılması ve kırılan noktanın altında kalan bölgeye yeni bir ağaçsal yapı eklenmesi ile yeni bir birey elde edilmesi işlemidir. Şekil 2.19’da mutasyon için seçilen bir birey ve bireyden mutasyon sonucu elde edilen yeni birey gösterilmektedir.

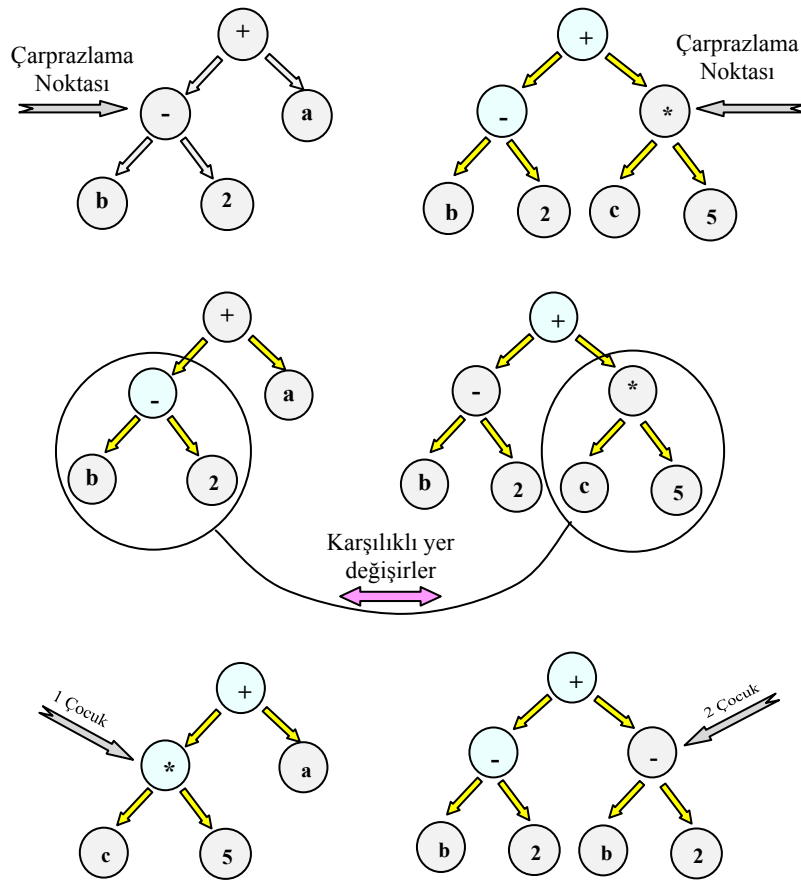


Şekil 2.19. Mutasyon için seçilmiş birey ve bireyin seçilmiş mutasyon noktası ve mutasyon sonrası oluşan yeni birey.

Çaprazlama yeniden üreme ve mutasyon işlemlerin belli bir oranda uygulanması sonucu eski nesilden yeni bir nesil elde edilir. Bu yeni nesil de yukarıda anlatılan işlevlerden geçirilerek başka nesillerin oluşmasını sağlayacaktır. Ne zaman herhangi bir nesilde elde ettiğimiz bireylerden bir tanesi istediğimiz sonuca ulaşırsa Genetik Programlama yöntemi o zaman sonlandırılır. Yöntem bu en iyi sonuç veren bireyi problemin çözümü olarak sunar.

2.1.8.6.3 Çaprazlama (Crossover)

Çaprazlama farklılaşmayı sağlayan işlemlerden biridir. Seçilmiş iki birey onları oluşturan ağaçsal yapıların herhangi bir noktasından ikiye parçalanır. Ayrılan parçalar çapraz olarak yer değiştirirler. Şekil 2.20’de çaprazlama öncesinde var olan iki birey ve bu çaprazlama sonrası oluşan iki yeni birey örnek olarak verilmiştir.



Şekil 2.20. Çaprazlama için seçilmiş iki birey ve bireylerin seçilmiş çaprazlama noktaları ile çaprazlama sonrası oluşan yeni bireyler (çocuklar)

2.1.8.7. Genetik Programlama ve Veri Sınıflandırma

Genetik programlama, genetik algoritmaların alfabe sembollerinden oluşan sabit uzunluklu diziler yerine evrimleşen bireylerin kendileri bilgisayar programı olan bir varyasyonu olarak düşünülebilir. Programlar içsel düğümleri fonksiyonlardan oluşan sıralı dallanmalardan ve terminal olarak adlandırılan yapraklara sahip ağaç yapısıyla gösterilir. Genetik programlamada arama uzayı problem alanında bulunan terminal ve fonksiyonlardan oluşturulmuş uygun bütün bilgisayar programlarıdır. Genetik programlama yaklaşımı çoğalma, çaprazlama ve mutasyon genetik operatörlerini kullanarak ağaç yapısındaki popülasyonu evrimleştirir. Her bir ağaç verilen problem için bir çözümü temsil eder ve bu adayın diğer adaylardan ne kadar iyi olduğunu gösteren bir uygunluk değeri ile birleştirilir (Folino vd.,1999).

Genetik programlama veri sınıflandırma görevinde karar ağaçları üretmek için kullanılabilir. Fonksiyon kümeleri her bir niteliği nitelik test fonksiyonuna dönüştürerek elde edilebilir. Hem çaprazlama hem de mutasyon operatörü sözdizimi doğru olan karar ağaçları üretmek zorundadırlar. Yani bir nitelik kök düğümden yaprak düğüme kadarki yol üzerinde birden fazla tekrar edemez. Ağaç büyüklüğüne karşı doğruluğu dengelemek için uygunluk cimrilik adlı bir opsiyonel parametre ile güçlendirilir. Bu parametre ile fonksiyonun yapısı mümkün olduğu kadar basit tutulmaya çalışılır. Bu parametre ne kadar yüksek ise yapı o kadar basittir ancak bu durum doğruluğu azaltabilir. Eğer veritabanı birçok niteliğe sahip yüksek miktarda örnek içeriyorsa doğru bir şekilde sınıflandırma yapılabilmesi için geniş karar ağaçlarına ihtiyaç duyulur.

2.2. MATERYALLER

Bu bölümde ZnFe alaşımının elektriksel özdirenç özellikleri, sezgisel yöntemler olarak bilinen, Genetik Programlama ve Neural Network programları ile incelenmiştir. ZnFe alaşımı elektrodepolama yöntemi ile üretilen bir ince film olup elektriksel özdirenç ile ilgili deneysel veriler daha önce yapılan çalışmadan alınmıştır (Karahana, 2007).

1) Öncelikle elde edilen deneysel verilerden genetik programlama ile yapılacak çalışma için train (eğitim) dosyası ve test dosyası oluşturulmuştur. Genetik Programlama ile elde edilen sonuçlar anlaşılır ve kullanılabilir bir şekilde formül haline dönüştürülmüştür. Bulunan formüle göre deneysel girdiler değiştirilmiş elektriksel özdirençteki değişimlerle ilgili grafikler çizilerek değerlendirmeler yapılmıştır.

2) Daha sonra neural network programı ile yapılacak çalışma için genetik programlamada olduğu gibi yapılacak çalışma için train(eğitim) dosyası ve test dosyası oluşturulmuştur. Programın çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlara göre anlaşılır bir formül oluşturularak grafikler çizilmiştir. Bulunan formüle göre deneysel girdiler değiştirilerek grafikler çizilmiş öz direnç değişimleri ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

3) Son olarak Genetik Programlama ve Neural Network programlarının çalıştırılmasıyla elde edilen sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Aşağıda yapılan çalışmada kullanılan ZnFe alaşımının elektrodepolama yöntemiyle ince film üretilmesi ve filmin elektriksel öz direncinin bulunmasında izlenen yöntem ve metotlar Karahan 2007'den alınarak çıkarılmıştır.

2.2.1. Zn_{1-x}Fe_x İnce Film Alaşımının Fiziksel Özellikleri

2.2.1.1. Zn_{1-x}-Fe_x Alaşımının Elektrodepozisyonu

Yapılan çalışmada kullanılan Zn_{1-x}Fe_x alaşımları elektrokimyasal yöntemle AISI 4140 çelik altlık üzerine depolanmıştır. Banyo içeriği 40 g dm⁻³ ZnSO₄.7H₂O, 20-40 g dm⁻³ FeSO₄.7H₂O, 25 g dm⁻³ Na₃ C₆ H₅ O₇ ve 16 g dm⁻³ H₃BO₃'den oluşmaktadır. Elektriksel öz direnç üzerine banyo karışımının etkisi, faz yapısı ve korozyon davranışı, sıcaklık değişimine karşı akım-voltaj ölçümleri, XRD analizleri, atomik emilim spektrometrisi analizi ve polarizasyon ölçümleri yapılarak incelenmiştir (Karahan, 2007).

Zn_{1-x}Fe_x alaşımları sülfat banyosundan üretilmiştir. Banyonun pH değeri 4, deney sıcaklığı 50 °C ve depolanma akım yoğunluğu 1 A. dm⁻² de gerçekleştirilmiştir. Elektrodepolama için kullanılan çalışma elektrotları AISI 4140 çelik disklerdir ve AISI 4140 çeliğin kimyasal karışımı Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. AISI 4140 düşük alaşım çeliğinin kimyasal karışımı (%)

Element	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	S	Cu	P
	0,36	0,80	0,005	0,914	0,30	0,85	0,075	0,07	0,143	0,034

Elektrotlar zımpara ile parlatılmış ve iyice temizlenmiştir. Deiyonize su içerisinde çalkalanmış, aseton ile yıkanmış, tekrar saf su içerisinde çalkalanmış ve sonra havayla

kurutulmuştur. Counter (Katot) elektrot bir Pt elektrottur. Bütün deneylerde kullanılan referans elektrot doymuş kalomel elektrottur (SCE).

Filmin karışımı atomik absorpsiyon spektrometresi kullanılarak Çizelge 2.3'de görüldüğü gibi belirlenmiştir (Karahan, 2007).

Çizelge 2.3 Elektrolit ve filmin kimyasal bileşeni

Elektrolitteki %		Filmdeki %	
Zn	Fe	Zn	Fe
80	20	96	4
77	23	78	22
57,1	42,9	69	31
50	50	61	39

2.2.1.2. Korozyon Ölçümleri

Elektrodepolama ile elde edilen Zn-Fe alaşımının elektrokimyasal davranışı ısıya dayanıklı bir cam kabın içerisinde, oda ısısında ve %3 NaCl sulu çözelti içerisinde test edilmiştir. Filmin korozyon davranışı çizgisel tarama polarizasyon (LSV) tekniğiyle araştırılmıştır. Polarizasyon ölçümleri üç elektrotlu bir elektrokimyasal analizör cihazı ile (Model 1100, CH Instruments, USA) gerçekleştirilmiştir. Korozyon işlemine maruz bırakılan filmin büyüklüğü 1cm^2 dir. İnce fimler açık devre potansiyeli sabitlenene kadar çözelti içerisine daldırılmış ve dengelenmeden sonra 1 mV/s 'lik tarama hızıyla deney başlatılmıştır (Karahan, 2007).

2.2.1.3. Elektriksel Özdirenç Ölçümleri

Elektriksel özdirenç ölçümü geleneksel dört nokta prob tekniği kullanılarak yapılmıştır. Termal voltaj etkisi zıt kenarlardaki akımla voltaj değerleri okunup ortalamaları alınarak giderilmeye çalışılmıştır. Her örnek farklı zamanlarda ölçülerek değerlerin güvenilirliğinden emin olunmaya çalışılmıştır. Kapalı devre helyum kriyostat (Leybold RW2) ile örneğin ısısı $\pm 0,2\text{ K}$ duyarlılıkla kontrol edilmiştir. Örneğin boyutları özdirenç ölçümleri için $1\text{mm} \times 4\text{mm} \times 4\text{mm} \times 10^{-4}\text{ mm}$ 'dir (Karahan, 2007).

Dört farklı oranda üretilen ZnFe ince film alaşımında deneysel olarak bulunan elektriksel özdirenç değerleri, elektrolit ve ince film içerisindeki Zn ve Fe oranlarına göre değişim göstermiştir. Bu ölçümlerdeki deneysel değerlerin veri özellikleri her bir oran için aşağıya çıkarılmıştır;

Elektrolit içerisine katılan Zn oranı %80, Fe oranı %20 iken elde edilen ince film içerisindeki Zn oranı %96 ve Fe oranı %4 dür. Bu oranlarda yapılan deneysel çalışmada elektrokimyasal depolama yöntemi ile korozyon gerilimi -1,11 Volt, Elektrolit içerisine katılan Zn oranı %77, Fe oranı %23 iken elde edilen film içerisindeki Zn oranı %78 ve Fe oranı %22 dir. Bu oranlarda yapılan deneysel çalışmada elektrokimyasal depolama yöntemi ile korozyon gerilimi -1,054 Volt, Elektrolit içerisine katılan Zn oranı %57,1 Fe oranı %42,9 iken elde edilen film içerisindeki Zn oranı %69 ve Fe oranı %31 dir. Bu oranlarda yapılan deneysel çalışmada elektrokimyasal depolama yöntemi ile korozyon gerilimi -1,062 Volt, Elektrolit içerisine katılan Zn oranı %50 Fe oranı %50 iken elde edilen film içerisindeki Zn oranı %61 ve Fe oranı %39 dur. Bu oranlarda yapılan deneysel çalışmada elektrokimyasal depolama yöntemi ile korozyon gerilimi -1,14 Volt olarak okunmuş, sıcaklık değeri 10 K ile 330 K arasında 5 K aralıklarla değiştirilmiş ve sıcaklığın etkisi ile değişen öz direnç değerleri elde edilmiştir. Ölçülen veri sayısı her bir film için 65 er adet, toplam 260 adettir.

2.2.2. Genetik Programlama ve Neural Network Programları için Train ve Test Dosyalarının Oluşturulması

2.2.2.1. Train ve Test Dosyalarının Oluşturulması

Train ve test dosyaları Genetik programlama ve NN programının çalıştırılması sırasında oluşturulacak formül için eğitim amaçlı olarak kullanılmak üzere oluşturulmaktadır. Oluşturulan train ve test dosyaları her iki program için biçim farklılıklarıyla aynı değerlerden oluşturulmuştur. Oluşturulan train ve test dosyaları hem genetik programlama hem de Neural Network programları için veri kütüğü olarak kullanılabilir. Literatürden alınan toplam deneysel veri sayısı her bir ZnFe alaşım oranı için ölçülen elektriksel öz direnç değeri 65 şer tane olmak üzere toplam veri sayısı 260 tanedir.

Programların çalıştırılması sırasında kullanılacak olan test dosyaları oluşturulurken belirli bir düzen ve sistem içerisinde veri seçilir. Bütün verilerin %20'si civarında örnekleme olarak veri seçilmesi sonucun daha doğru çıkmasına katkı sağlar. Bu nedenle yapılan bu çalışma içerisinde toplam verilerin %20'si olan Çizelge 2.6'daki 52 adet veri seçilerek test dosyası oluşturulmuştur. Geriye kalan Çizelge 2.5'deki 208 tane veri ile de train dosyası oluşturulmuştur. Programda kullanılan verilerin değerleriyle ilgili alt ve

üst sınır oranları ve değişken tanımlamaları sembolleri Çizelge 2.4 içerisinde verilmiştir.

Çizelge 2.4. Programın yapılandırılmasında kullanılan değişkenler

Kodlama	Giriş Değişkenler	Min-Max oranlar	Kodlama	Çıkış Değişken	Min-max oranlar ($\mu\Omega\text{cm}$)
d0	T	10-330	D.V	ρ_0	0.77-6.085
d1	E_{Zn}	50-80			
d2	E_{Fe}	20-50			
d3	F_{Zn}	61-96			
d4	F_{Fe}	4-39			
d5	V_{Cor}	(-1.14) - (-1.054)			

* E_{Zn} , E_{Fe} , F_{Zn} ve F_{Fe} elementlerinin karışım değeri % olarak verilmiştir.

2.2.2.2. Train Dosyası Verileri

Çizelge 2.5. Train dosyası verileri

Sıra No	Sıcaklık (K) T	Elektrolitteki Yüzde %		Filmdeki Yüzde %		Korozyon Potansiyeli V_{cor}	Özdirenc ρ ($\mu\Omega\text{cm}$)
		Zn	Fe	Zn	Fe		
1	325	80	20	96	4	-1,11	1,158
2	320	80	20	96	4	-1,11	1,154
3	315	80	20	96	4	-1,11	1,145
4	310	80	20	96	4	-1,11	1,133
5	300	80	20	96	4	-1,11	1,113
6	295	80	20	96	4	-1,11	1,105
7	290	80	20	96	4	-1,11	1,095
8	285	80	20	96	4	-1,11	1,085
9	275	80	20	96	4	-1,11	1,071
10	270	80	20	96	4	-1,11	1,065
11	265	80	20	96	4	-1,11	1,057
12	260	80	20	96	4	-1,11	1,047
13	250	80	20	96	4	-1,11	1,036
14	245	80	20	96	4	-1,11	1,032
15	240	80	20	96	4	-1,11	1,024
16	235	80	20	96	4	-1,11	1,019
17	225	80	20	96	4	-1,11	1,008
18	220	80	20	96	4	-1,11	1,000
19	215	80	20	96	4	-1,11	0,995
20	210	80	20	96	4	-1,11	0,990
21	200	80	20	96	4	-1,11	0,978

Çizelge 2.5'in devamı Train dosyası verileri

22	195	80	20	96	4	-1,11	0,973
23	190	80	20	96	4	-1,11	0,966
24	185	80	20	96	4	-1,11	0,960
25	175	80	20	96	4	-1,11	0,947
26	170	80	20	96	4	-1,11	0,942
27	165	80	20	96	4	-1,11	0,935
28	160	80	20	96	4	-1,11	0,929
29	150	80	20	96	4	-1,11	0,918
30	145	80	20	96	4	-1,11	0,912
31	140	80	20	96	4	-1,11	0,904
32	135	80	20	96	4	-1,11	0,898
33	125	80	20	96	4	-1,11	0,881
34	120	80	20	96	4	-1,11	0,875
35	115	80	20	96	4	-1,11	0,871
36	110	80	20	96	4	-1,11	0,868
37	100	80	20	96	4	-1,11	0,856
38	95	80	20	96	4	-1,11	0,851
39	90	80	20	96	4	-1,11	0,846
40	85	80	20	96	4	-1,11	0,840
41	75	80	20	96	4	-1,11	0,827
42	70	80	20	96	4	-1,11	0,822
43	65	80	20	96	4	-1,11	0,816
44	60	80	20	96	4	-1,11	0,810
45	50	80	20	96	4	-1,11	0,800
46	45	80	20	96	4	-1,11	0,795
47	40	80	20	96	4	-1,11	0,790
48	35	80	20	96	4	-1,11	0,787
49	25	80	20	96	4	-1,11	0,780
50	20	80	20	96	4	-1,11	0,777
51	15	80	20	96	4	-1,11	0,774
52	10	80	20	96	4	-1,11	0,770
53	325	77	23	78	22	-1,054	3,700
54	320	77	23	78	22	-1,054	3,650
55	315	77	23	78	22	-1,054	3,587
56	310	77	23	78	22	-1,054	3,578
57	300	77	23	78	22	-1,054	3,505
58	295	77	23	78	22	-1,054	3,463
59	290	77	23	78	22	-1,054	3,417
60	285	77	23	78	22	-1,054	3,374
61	275	77	23	78	22	-1,054	3,316
62	270	77	23	78	22	-1,054	3,287
63	265	77	23	78	22	-1,054	3,257
64	260	77	23	78	22	-1,054	3,230

Çizelge 2.5'in devamı Train dosyası verileri

65	250	77	23	78	22	-1,054	3,179
66	245	77	23	78	22	-1,054	3,159
67	240	77	23	78	22	-1,054	3,151
68	235	77	23	78	22	-1,054	3,127
69	225	77	23	78	22	-1,054	3,077
70	220	77	23	78	22	-1,054	3,051
71	215	77	23	78	22	-1,054	3,028
72	210	77	23	78	22	-1,054	3,007
73	200	77	23	78	22	-1,054	2,954
74	195	77	23	78	22	-1,054	2,929
75	190	77	23	78	22	-1,054	2,905
76	185	77	23	78	22	-1,054	2,880
77	175	77	23	78	22	-1,054	2,829
78	170	77	23	78	22	-1,054	2,805
79	165	77	23	78	22	-1,054	2,778
80	160	77	23	78	22	-1,054	2,754
81	150	77	23	78	22	-1,054	2,704
82	145	77	23	78	22	-1,054	2,678
83	140	77	23	78	22	-1,054	2,652
84	135	77	23	78	22	-1,054	2,626
85	125	77	23	78	22	-1,054	2,574
86	120	77	23	78	22	-1,054	2,540
87	115	77	23	78	22	-1,054	2,521
88	110	77	23	78	22	-1,054	2,500
89	100	77	23	78	22	-1,054	2,442
90	95	77	23	78	22	-1,054	2,300
91	90	77	23	78	22	-1,054	2,150
92	85	77	23	78	22	-1,054	2,075
93	75	77	23	78	22	-1,054	2,025
94	70	77	23	78	22	-1,054	2,000
95	65	77	23	78	22	-1,054	1,977
96	60	77	23	78	22	-1,054	1,953
97	50	77	23	78	22	-1,054	1,907
98	45	77	23	78	22	-1,054	1,885
99	40	77	23	78	22	-1,054	1,865
100	35	77	23	78	22	-1,054	1,842
101	25	77	23	78	22	-1,054	1,820
102	20	77	23	78	22	-1,054	1,800
103	15	77	23	78	22	-1,054	1,780
104	10	77	23	78	22	-1,054	1,760
105	325	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,420
106	320	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,385
107	315	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,372

Çizelge 2.5'in devamı Train dosyası verileri

108	310	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,356
109	300	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,313
110	295	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,298
111	290	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,286
112	285	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,275
113	275	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,258
114	270	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,251
115	265	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,242
116	260	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,235
117	250	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,219
118	245	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,211
119	240	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,204
120	235	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,196
121	225	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,181
122	220	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,174
123	215	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,166
124	210	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,162
125	200	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,146
126	195	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,142
127	190	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,135
128	185	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,130
129	175	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,121
130	170	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,117
131	165	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,109
132	160	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,102
133	150	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,087
134	145	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,080
135	140	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,074
136	135	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,066
137	125	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,052
138	120	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,045
139	115	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,037
140	110	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,030
141	100	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,014
142	95	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,007
143	90	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,000
144	85	57,1	42,9	69	31	-1,062	0,993
145	75	57,1	42,9	69	31	-1,062	0,983
146	70	57,1	42,9	69	31	-1,062	0,977
147	65	57,1	42,9	69	31	-1,062	0,971
148	60	57,1	42,9	69	31	-1,062	0,963
149	50	57,1	42,9	69	31	-1,062	0,949
150	45	57,1	42,9	69	31	-1,062	0,941

Çizelge 2.5'in devamı Train dosyası verileri

151	40	57,1	42,9	69	31	-1,062	0,935
152	35	57,1	42,9	69	31	-1,062	0,929
153	25	57,1	42,9	69	31	-1,062	0,918
154	20	57,1	42,9	69	31	-1,062	0,914
155	15	57,1	42,9	69	31	-1,062	0,910
156	10	57,1	42,9	69	31	-1,062	0,906
157	325	50	50	61	39	-1,14	6,085
158	320	50	50	61	39	-1,14	6,024
159	315	50	50	61	39	-1,14	5,942
160	310	50	50	61	39	-1,14	5,867
161	300	50	50	61	39	-1,14	5,760
162	295	50	50	61	39	-1,14	5,748
163	290	50	50	61	39	-1,14	5,711
164	285	50	50	61	39	-1,14	5,674
165	275	50	50	61	39	-1,14	5,600
166	270	50	50	61	39	-1,14	5,564
167	265	50	50	61	39	-1,14	5,523
168	260	50	50	61	39	-1,14	5,500
169	250	50	50	61	39	-1,14	5,322
170	245	50	50	61	39	-1,14	5,264
171	240	50	50	61	39	-1,14	5,220
172	235	50	50	61	39	-1,14	5,177
173	225	50	50	61	39	-1,14	5,147
174	220	50	50	61	39	-1,14	5,138
175	215	50	50	61	39	-1,14	5,120
176	210	50	50	61	39	-1,14	5,085
177	200	50	50	61	39	-1,14	5,032
178	195	50	50	61	39	-1,14	5,002
179	190	50	50	61	39	-1,14	4,971
180	185	50	50	61	39	-1,14	4,941
181	175	50	50	61	39	-1,14	4,880
182	170	50	50	61	39	-1,14	4,860
183	165	50	50	61	39	-1,14	4,812
184	160	50	50	61	39	-1,14	4,775
185	150	50	50	61	39	-1,14	4,606
186	145	50	50	61	39	-1,14	4,569
187	140	50	50	61	39	-1,14	4,544
188	135	50	50	61	39	-1,14	4,509
189	125	50	50	61	39	-1,14	4,456
190	120	50	50	61	39	-1,14	4,439
191	115	50	50	61	39	-1,14	4,392
192	110	50	50	61	39	-1,14	4,366
193	100	50	50	61	39	-1,14	4,326

Çizelge 2.5'in devamı Train dosyası verileri

194	95	50	50	61	39	-1,14	4,296
195	90	50	50	61	39	-1,14	4,267
196	85	50	50	61	39	-1,14	4,238
197	75	50	50	61	39	-1,14	4,190
198	70	50	50	61	39	-1,14	4,020
199	65	50	50	61	39	-1,14	3,985
200	60	50	50	61	39	-1,14	3,966
201	50	50	50	61	39	-1,14	3,923
202	45	50	50	61	39	-1,14	3,908
203	40	50	50	61	39	-1,14	3,894
204	35	50	50	61	39	-1,14	3,877
205	25	50	50	61	39	-1,14	3,823
206	20	50	50	61	39	-1,14	3,808
207	15	50	50	61	39	-1,14	3,780
208	10	50	50	61	39	-1,14	3,700

2.2.2.3. Test Dosyası Verileri

Çizelge 2.6. Test dosyası verileri

Sıra No	Sıcaklık (K) T	Elektrolitteki Yüzde		Filmdeki Yüzde		Korozyon Potansiyeli (V) V _{cor}	Özdirenç ($\mu\Omega\text{cm}$) ρ
		Zn	% Fe	Zn	% Fe		
1	330	80	20	96	4	-1,11	1,17
2	305	80	20	96	4	-1,11	1,12
3	280	80	20	96	4	-1,11	1,08
4	255	80	20	96	4	-1,11	1,04
5	230	80	20	96	4	-1,11	1,01
6	205	80	20	96	4	-1,11	0,99
7	180	80	20	96	4	-1,11	0,95
8	155	80	20	96	4	-1,11	0,92
9	130	80	20	96	4	-1,11	0,89
10	105	80	20	96	4	-1,11	0,86
11	80	80	20	96	4	-1,11	0,83
12	55	80	20	96	4	-1,11	0,81
13	30	80	20	96	4	-1,11	0,78
14	330	77	23	78	22	-1,054	3,71
15	305	77	23	78	22	-1,054	3,54
16	280	77	23	78	22	-1,054	3,35
17	255	77	23	78	22	-1,054	3,20
18	230	77	23	78	22	-1,054	3,10
19	205	77	23	78	22	-1,054	2,98

Çizelge 2.6'nın devamı test dosyası verileri

20	180	77	23	78	22	-1,054	2,85
21	155	77	23	78	22	-1,054	2,73
22	130	77	23	78	22	-1,054	2,60
23	105	77	23	78	22	-1,054	2,47
24	80	77	23	78	22	-1,054	2,06
25	55	77	23	78	22	-1,054	1,93
26	30	77	23	78	22	-1,054	1,84
27	330	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,50
28	305	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,34
29	280	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,27
30	255	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,23
31	230	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,19
32	205	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,15
33	180	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,13
34	155	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,09
35	130	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,06
36	105	57,1	42,9	69	31	-1,062	1,02
37	80	57,1	42,9	69	31	-1,062	0,99
38	55	57,1	42,9	69	31	-1,062	0,95
39	30	57,1	42,9	69	31	-1,062	0,92
40	330	50	50	61	39	-1,14	6,17
41	305	50	50	61	39	-1,14	5,83
42	280	50	50	61	39	-1,14	5,64
43	255	50	50	61	39	-1,14	5,45
44	230	50	50	61	39	-1,14	5,16
45	205	50	50	61	39	-1,14	5,07
46	180	50	50	61	39	-1,14	4,91
47	155	50	50	61	39	-1,14	4,65
48	130	50	50	61	39	-1,14	4,48
49	105	50	50	61	39	-1,14	4,36
50	80	50	50	61	39	-1,14	4,21
51	55	50	50	61	39	-1,14	3,94
52	30	50	50	61	39	-1,14	3,85

2.2.3. Genetik Programlama İle Özdirenç Formülünün Oluşturulması

Elektriksel özdirenç formülünün bilgisayar yardımıyla oluşturulmasında genetik programlama paket yazılım programlarından olan GeneXproTools 4.0- Advanced Edition versiyonu kullanılmıştır.

2.2.4. Genetik Programlamanın Çalıştırılması

Bilgisayarda yüklü olan GeneXproTools 4.0 programı çalıştırıldıktan sonra elektriksel özdirenç formülünün bulunabilmesi için fonksiyon seçeneği seçilmiştir. Train ve test veri dosyaları yüklenmiş ve programın çalışması ile ilgili çeşitli veriler seçilmiştir. Bunlar; gen sayısı, kromozom sayısı, uygun istatistiksel yöntem (MSE, RMSE gibi), matematiksel fonksiyonlar, işlem sırasındaki çalışmayla ilgili çeşitli kurallardır. Yapılan çalışmada program üzerinde seçilen parametre değerleriyle ilgili bilgiler Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7. GEP ile uygun modelin seçiminde kullanılan parametreler ve değerleri

P1	Number of generation	257625
P2	Function set	+, -, *, /, $\sqrt{\quad}$, $\ln(x)$, x^2 , x^3 , $\sqrt[3]{x}$, $\sin(x)$, $\cos(x)$, $\tan(x)$, $\exp(x)$, $\tan(x)$
p3	Number of Chromosomes	50
p4	Head size	8
p5	Number of genes	5
p6	Linking function	Multiplication
P7	Fitness function	MSE
P8	Mutation rate	0.044
P9	Inversion rate	0.1
P10	One-point recombination rate	0.3
p11	Two-point recombination rate	0.3
p12	Gene recombination rate	0.1
p13	Gene transposition rate	0.1
P14	Data Type	Integer
P15	Costantans Per Gene	1
P16	Lower bound- Upper bound	(+10) - (-10)

GeneXprotools programı ile bulunacak formülün oluşturulmasında matematiksel fonksiyonların seçimi büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle elektriksel özdirenç formül haline getirilmesi için kullanışlı ve basit fonksiyonlardan formül oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla Çizelge 2.8’deki fonksiyon değerleri her çalışmada farklı değişkenler seçilerek çalıştırılıp denenmiştir. Bu denemelerle ilgili elde edilen en iyi sonuçlar Çizelge 2.9’da verilmiştir.

Çizelge 2.8. Genetik programlamanın çalıştırılmasında kullanılan fonksiyonlar

Kodlama	Fonksiyonlar
S1	+, -, *, /, $\sqrt{\quad}$, $\ln(x)$, x^2 , x^3 , $\sqrt[3]{x}$, Sin(x), Cos(x), tan(x)
S2	+, -, *, /, $\sqrt{\quad}$, $\ln(x)$, x^2 , x^3 , $\sqrt[3]{x}$, Sin(x), Cos(x), Arctan(x), Exp(x)
S3	+, -, *, /, $\sqrt{\quad}$, $\ln(x)$, x^2 , x^3 , $\sqrt[3]{x}$, Sin(x), Cos(x), Tan(x), Exp(x)
S4	+, -, *, /, $\sqrt{\quad}$, $\ln(x)$, x^2 , x^3 , $\sqrt[3]{x}$
S5	+, -, *, /, $\sqrt{\quad}$
S6	+, -, */

Çizelge 2.9. GEP programının çeşitli seçeneklerde çalıştırılmasıyla elde edilen en iyi sonuçlar

Sıra No	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	R ² error	
								Training	Test
1	S1	4	8	Multiplication	49074	40	RRMSE	0,982	0,983
2	S1	5	9	Multiplication	97578	50	RRSE	0,984	0,986
3	S1	4	8	Multiplication	138343	40	RRRSE	0,98	0,977
4	S1	4	8	Addition	64502	40	RRSE	0,981	0,977
5	S1	4	8	Multiplication	129688	70	MSE	0,995	0,995
6	S1	6	8	Multiplication	152062	70	MSE	0,994	0,994
7	S1	5	8	Multiplication	334494	70	RMSE	0,995	0,994
8	S1	5	8	Multiplication	451096	60	RRSE	0,99	0,99
9	S1	5	8	Multiplication	256059	50	RRRSE	0,989	0,989
10	S1	5	8	Addition	133374	70	RRSE	0,985	0,985
11	S1	5	8	Multiplication	244156	70	MSE	0,995	0,995
12	S1	5	8	Multiplication	693860	50	MSE	0,998	0,997
13	S1	5	8	Addition	176308	50	MSE	0,987	0,984
14	S1	5	8	Multiplication	39959	60	MSE	0,994	0,994
15	S1	5	8	Multiplication	28402	40	MSE	0,995	0,996
16	S1	5	8	Multiplication	137106	80	MSE	0,997	0,996
17	S1	5	8	Addition	132668	50	MSE	0,982	0,983
18	S1	3	8	Addition	241369	30	MSE	0,976	0,975
19	S1	4	9	Addition	182727	50	MSE	0,979	0,978
20	S2	4	8	Multiplication	214564	50	RRSE	0,988	0,986
21	S2	4	8	Multiplication	386336	50	RRSE	0,987	0,985
22	S2	4	8	Addition	349822	50	RRSE	0,983	0,982
23	S2	4	8	Addition	60001	30	RRSE	0,974	0,973
24	S3	4	8	Addition	15310	60	RRSE	0,971	0,971
25	S3	4	8	Multiplication	35329	60	RRSE	0,993	0,993
26	S3	4	8	Multiplication	328788	50	RRSE	0,984	0,985
27	S3	4	8	Multiplication	235355	40	RRSE	0,989	0,989
28	S3	4	8	Multiplication	45067	40	RRSE	0,996	0,996

Çizelge 2.9'un devamı GEP programının çeşitli seçeneklerde çalıştırılmasıyla elde edilen en iyi sonuçlar

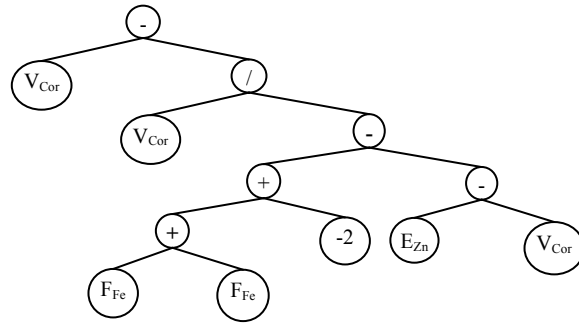
29	S3	5	8	Multiplication	28349	40	RRSE	0,996	0,996
30	S3	6	8	Addition	45734	50	RRSE	0,978	0,977
31	S4	4	8	Addition	198487	40	MSE	0,993	0,993
32	S4	4	8	Multiplication	120216	40	MSE	0,992	0,993
33	S4	5	8	Addition	243035	50	MSE	0,984	0,984
34	S4	4	8	Addition	246986	40	MSE	0,974	0,973
35	S5	4	8	Multiplication	93881	50	MSE	0,992	0,994
36	S5	4	8	Addition	209682	50	MSE	0,988	0,987
37	S5	5	8	Multiplication	257625	50	MSE	0,997	0,997
38	S5	5	8	Addition	92904	50	MSE	0,984	0,984
39	S5	6	8	Multiplication	103771	50	MSE	0,993	0,993
40	S5	6	8	Addition	102506	50	MSE	0,982	0,983
41	S6	4	8	Multiplication	63038	50	MSE	0,963	0,963
42	S6	4	8	Addition	66227	50	MSE	0,982	0,981
43	S6	5	8	Multiplication	96740	50	MSE	0,988	0,989
44	S6	5	8	Addition	113073	50	MSE	0,978	0,979
45	S6	6	8	Multiplication	73732	50	MSE	0,995	0,995
46	S6	6	8	Addition	100016	50	MSE	0,982	0,983

Çizelge 2.9'da Genetik programlamanın çeşitli seçeneklerde çalıştırılmasıyla ilgili değerler gözükmemektedir. Programın bulduğu grafikler ve formüller tek tek incelenmiş içerisinde en doğru sonucu verebilecek olan çalışma seçilmiştir. Yapılan çalışma sonucu en doğru ve basit olarak elektriksel öz direnç formülünü 37. sıradaki çalışma vermiştir. Bu çalışmada elde edilen formülün istatistiksel olarak %99,7 doğrulukla sonuç verdiği Çizelge 2.9'da görülmektedir.

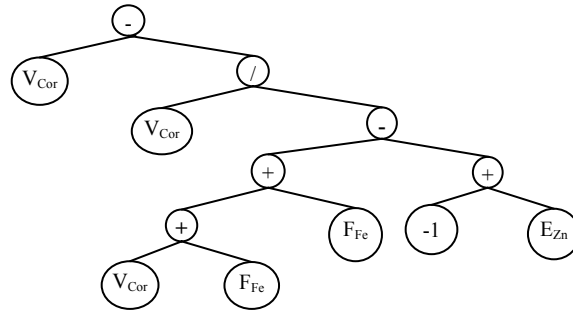
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Genetik Programlamanın Çalıştırılmasıyla Elde Edilen Veriler ve Ağaç Yapısı

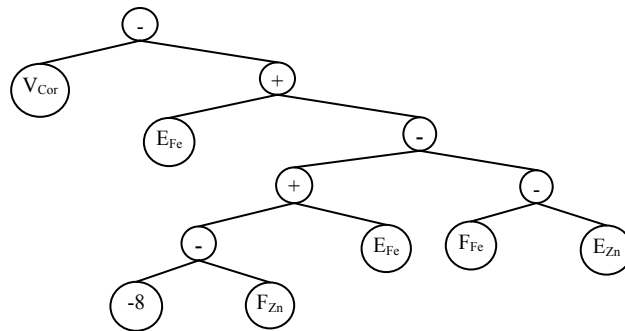
Genetik programlamanın çok sayıda çalıştırılmasıyla elde edilen en iyi sonuçlar içerisinde en uygun olanı Çizelge 2.9 içerisinde seçilmiştir. Bu seçenekte genetik programlama yardımıyla formülün oluşturulabilmesi için seçilen gen sayısı (Number of Gene) 5 olarak alındığı için üretilen ağaç yapısı 5 parçadan oluşmaktadır. Programdan elde edilen Şekil 3.1, Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'deki ağaç yapıları deney verilerine göre düzenlenmiştir.



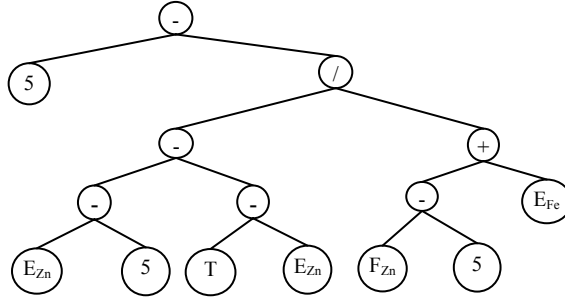
Şekil 3.1. ZnFe özdirenç formülü ağaç yapısı (1.kısım)



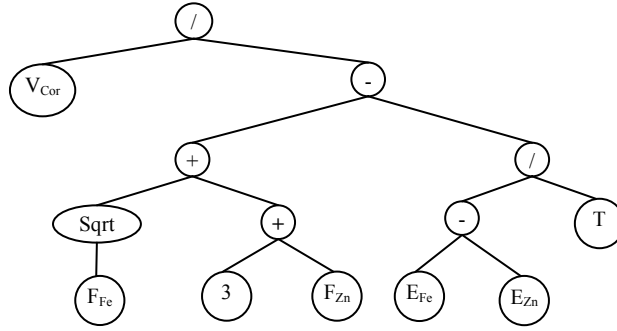
Şekil 3.2. ZnFe özdirenç formülü ağaç yapısı (2.kısım)



Şekil 3.3. ZnFe özdirenç formülü ağaç yapısı (3.kısım)



Şekil 3.4. ZnFe özdirenç formülü ağaç yapısı (4.kısım)



Şekil 3.5. ZnFe özdirenç formülü ağaç yapısı (5.kısım)

3.2. Formülün Bulunması

Genetik programlama yardımıyla bulunan ağaç yapısı; programın verilerle ilgili olarak oluşturduğu kodlamalar ve sırasıyla T, E_{Zn}, E_{Fe}, F_{Zn}, F_{Fe}, V_{cor} deneysel girdi değerleri dikkate alınarak düzenlenmiştir. Bulunması istenilen ve hesap edilen elektriksel özdirençin sembolü ise ρ ile gösterilmiştir.

Program çalıştırılmaya başlarken gen sayısı 5 ve genler arası bağlantı fonksiyonu çarpma (Multiplication) olarak seçilmişti. Bu nedenle elde edilen formülde 5 parça olarak Denklem 3.1 Şekil 3.1'den, Denklem 3.2 Şekil 3.2'den, Denklem 3.3 Şekil 3.3'den, Denklem 3.4 Şekil 3.4'den ve Denklem 3.5 Şekil 3.5'deki ağaç yapısından elde edilmiştir. Bağlantı fonksiyonu programın çalıştırılması sırasında çarpma (multiplication) olarak seçildiği için elde edilen ilk 5 denklemdeki formüller birbiri ile çarpılarak Denklem 3.6'daki eşitlik (K) bulunmuştur. Bulunan K değeri, belirli şartlar altında oluşturulan ZnFe ince alaşım filmlerinin, GEP programı yardımıyla, elektriksel özdirenç (ρ) formülüdür.

$$U_1 = V_{Cor} - \left(\frac{V_{Cor}}{2 * F_{Fe} - 2 * E_{Zn} + V_{Cor}} \right) \quad (3.1)$$

$$U_2 = V_{Cor} - \left(\frac{V_{Cor}}{2 * F_{Fe} + 1 - E_{Zn} + V_{Cor}} \right) \quad (3.2)$$

$$U_3 = V_{Cor} - (2 * E_{Fe} - 8 - F_{Zn} - F_{Fe} + E_{Zn}) \quad (3.3)$$

$$U_4 = 5 - \frac{2 * E_{Zn} - 5 - T}{F_{Zn} - 5 + E_{Fe}} \quad (3.4)$$

$$U_5 = V_{Cor} / ((\sqrt{F_{Fe}} + 3 + F_{Zn}) - ((E_{Fe} - E_{Zn}) / T)) \quad (3.5)$$

$$K = U_1 * U_2 * U_3 * U_4 * U_5 \quad (3.6)$$

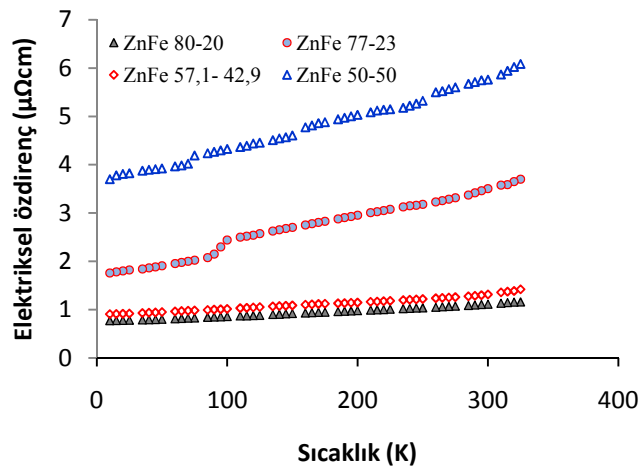
Denklem 3.6'daki ifadeler yerlerine yazılırsa elektriksel özdirenç formülü Denklem 3.7'deki eşitlikte görüldüğü gibi ifade edilebilir.

$$\rho = \left[V_{Cor} - \left(\frac{V_{Cor}}{2 * F_{Fe} - 2 - E_{Zn} + V_{Cor}} \right) \right] * \left[V_{Cor} - \left(\frac{V_{Cor}}{2 * F_{Fe} + 1 - E_{Zn} + V_{Cor}} \right) \right] * \left[V_{Cor} - (2 * E_{Fe} - 8 - F_{Zn} - F_{Fe} + E_{Zn}) \right] * \left[5 - \frac{2 * E_{Zn} - 5 - T}{F_{Zn} - 5 + E_{Fe}} \right] * \left[V_{Cor} / ((\sqrt{F_{Fe}} + 3 + F_{Zn}) - ((E_{Fe} - E_{Zn}) / T)) \right] \quad (3.7)$$

3.3. Genetik Programlama ve Neural Network Programının Çalıştırılmasında Kullanılan Deneysel Veri Grafikleri

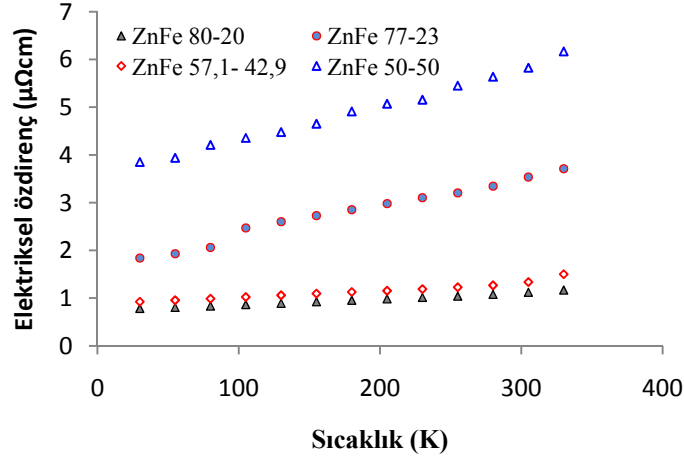
Programların çalıştırılmasında kullanılan train ve test dosyaları deneysel verilerden elde edilmiştir. Şekil 3.6'da train dosyası verilerinin grafiği, Şekil 3.7'de ise test dosyası verilerinin grafiği gösterilmiştir. Bu veriler sezgisel yöntemler yardımıyla herhangi bir işleme tabi tutulmamış orijinal deneysel verilerdir.

3.3.1. Train Dosyası Deneysel Verilerinin Grafiği



Şekil 3.6. ZnFe alaşımının oranlarına göre train dosyası verileri grafiği

3.3.2. Test Dosyası Deneysel Verilerinin Grafiği



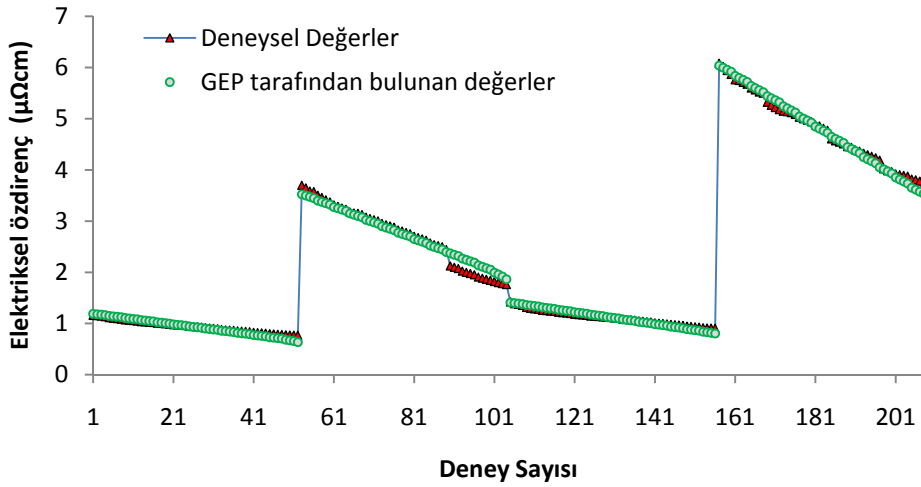
Şekil 3.7. ZnFe alaşımının oranlarına göre test dosyası verileri grafiği

3.4. Genetik Programlama İle Elde Edilen Sonuçların Grafik Olarak Gösterimi

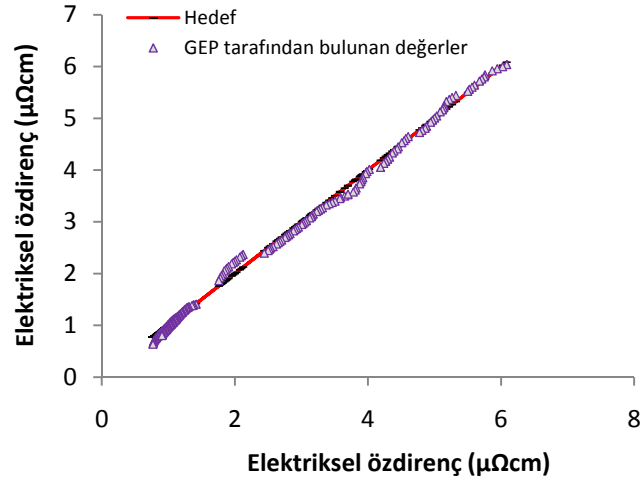
Genetik programlama ile yapılan çalışmada deneysel verilerden yararlanarak, programın bulduğu formüle göre hesapladığı elektriksel özdirenç değerleri train ve test verileri olarak ayrı ayrı elde edilmiş ve grafikleri deneysel değerlerle birlikte aşağıda verilmiştir.

3.4.1. GEP İle Elde Edilen Train Verilerinin Grafik Olarak Gösterimi

GeneXproTools 4.0 Programıyla bulunan elektriksel özdirenç değerlerinin grafiği Şekil 3.8’de deneysel çalışmalarla beraber verilmiştir. Grafikte; GEP ile bulunan değerlerin deneysel değerlerdeki değişimlerle büyük oranda uyum sağladığı Çizelge 2.9’dan da görüleceği gibi %99,7’lik bir doğrulukla GEP tarafından tahmin edilebilmiştir.

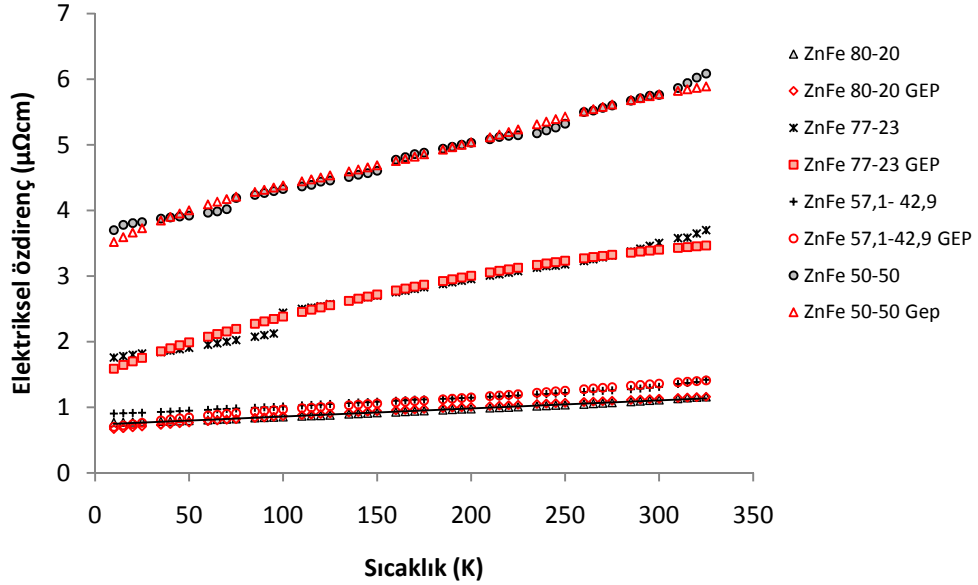


Şekil 3.8. GEP ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin (Train) deneysel çalışmalardaki verilerle karşılaştırmalı olarak gösterimi



Şekil 3.9. GEP ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin (Train) deneysel çalışma verileri (hedef) ile karşılaştırılması

Şekil 3.9’da GEP ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin deneysel çalışma verileri (hedef) ile karşılaştırılması görülmektedir. Şekil 3.9’daki grafik; elde edilen formülün büyük bir doğrulukla çalıştığını göstermektedir.

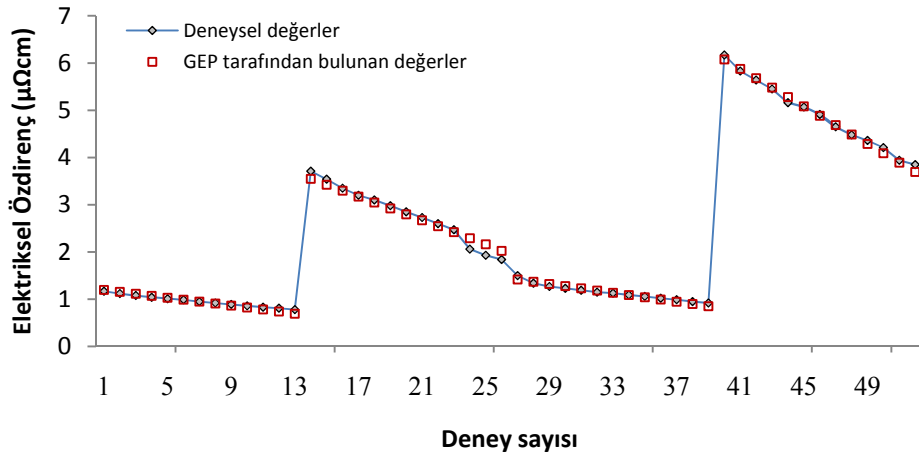


Şekil 3.10. GEP ile bulunan elektriksel özdirenç verilerinin (Train) ZnFe oranlarına göre deneysel verilerle sıcaklık karşısındaki değişimlerinin karşılaştırmalı gösterimi

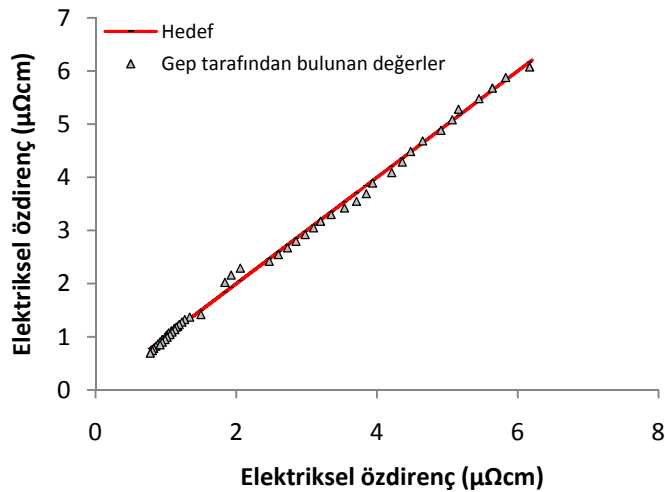
Şekil 3.10’da GEP ile bulunan elektriksel özdirenç verileri ve deneysel verilerin ZnFe alaşımı oranlarına göre sıcaklık karşısındaki değişimleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. GEP ile hesaplanan elektriksel özdirenç değerinin deneysel verilerde olduğu gibi sıcaklıkla doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir.

3.4.2. GEP İle Elde Edilen Test Verilerinin Grafik Olarak Gösterimi

GEP programıyla elde edilen elektriksel özdirenç değerlerinin grafiği Şekil 3.11’de test verilerinin GEP tarafından elde edilen değerler ile karşılaştırılması gösterilmektedir. Grafikte görüleceği gibi GEP programının tahmin gücü neredeyse gerçek değerlere yakın çıkmakta ve deneysel sonuçları takip eden bir grafik elde edilmektedir. Çizelge 2.9’da görüleceği gibi test verileri %99,7’lik bir doğrulukla GEP tarafından tahmin edilebilmiştir.

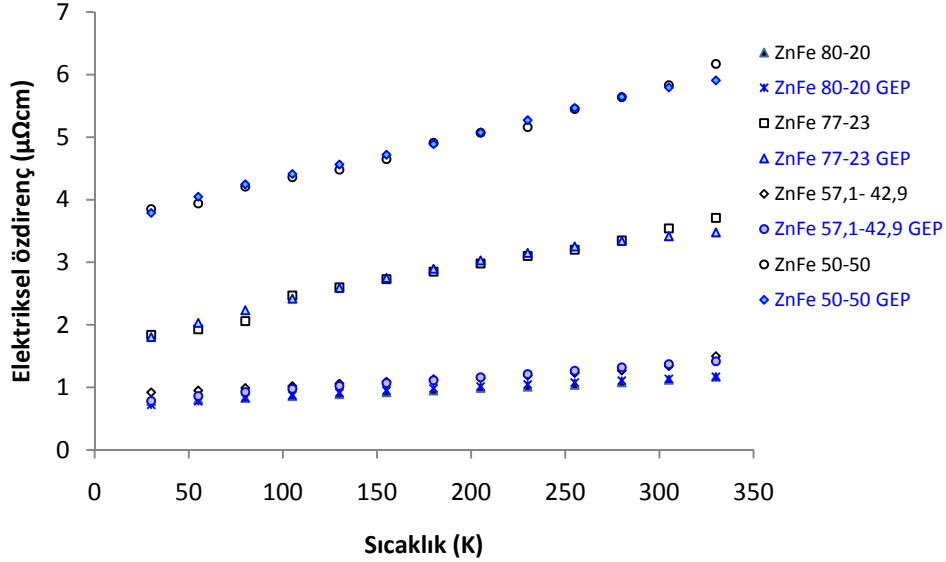


Şekil 3.11. GEP ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin (Test) deneysel çalışmalardaki verilerle karşılaştırmalı olarak gösterimi



Şekil 3.12. GEP ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin (Test) deneysel çalışma verileri (hedef) ile karşılaştırılması

Şekil 3.12’de test verilerinin, deneysel çalışma verileri ile karşılaştırılması görülmektedir. Görüldüğü gibi grafikte hedef olarak gösterilen deneysel sonuçlarla GEP tarafından bulunan değerler uyum içerisindedir.



Şekil 3.13. GEP ile bulunan elektriksel özdirenç verilerinin (Test) ZnFe oranlarına göre deneysel verilerle sıcaklık karşısındaki değişimlerinin karşılaştırmalı gösterimi

Şekil 3.13’de ise GEP ile hesaplanan elektriksel özdirenç verileri ve deneysel verilerin ZnFe alaşımlarının değişen dört farklı oranına göre sıcaklık karşısındaki değişimleri karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Tipik metalik davranış özelliği GEP tarafından da tahmin edilebilmiştir.

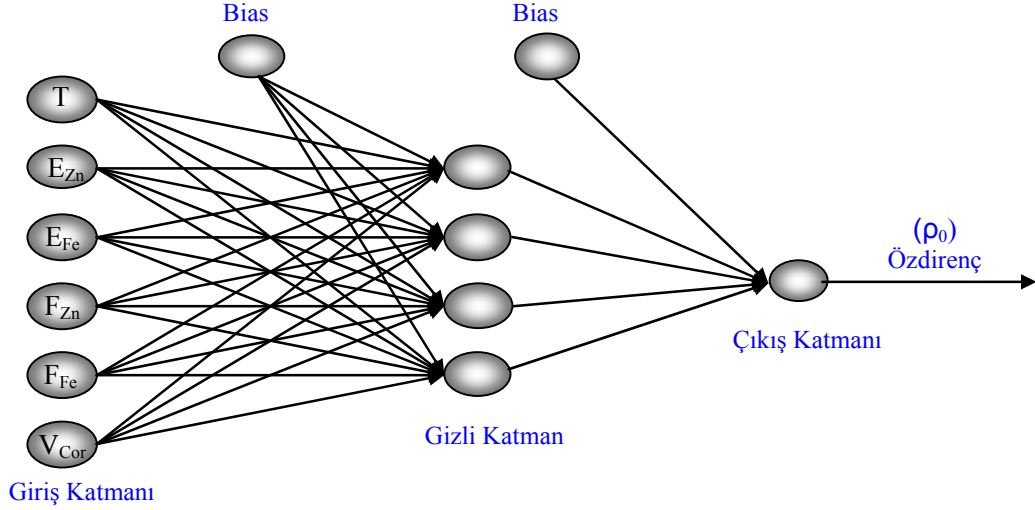
3.5. Neural Network (YSA) Programı ile Özdirenç Formülünün Oluşturulması

Sezgisel yöntemlerden olan Neural Network programı ile elektriksel özdirenç formülünün bilgisayar yardımıyla oluşturulmasında yapay sinir ağları (YSA) paket yazılım programlarından olan NeuroSolutions 5.02 versiyonu kullanılmıştır.

3.5.1. Neurosolutions Programının Çalıştırılması

NeuroSolutions programı çalıştırıldıktan sonra elektriksel özdirenç formülünün bulunabilmesi için ileri beslemeli geriye yayımlı çok katmanlı çalışma modellerinden Multilayer Perceptron seçeneği seçilmiştir. Train ve test veri dosyaları yüklenmiş ve programın çalışması ile ilgili Hidden Layer (gizli katman sayısı), çalışma aktivasyon kodu olarak LevenbergMarquate ve ConjugateGradient seçenekleri çeşitli değerlerde

seçilmiştir. Bu değerler içerisinde en iyi sonuç; MultilayerPerceptron seçeneği altında, gizli katman sayısı 4, levenberg seçeneğinde elde edilmiştir. Elde edilen formülün test edilmesinde kullanılan istatistiksel yöntem MSE dir. Şekil 3.14’de NN programının çalıştırılmasında kullanılan yapının model olarak şeması verilmiştir.



Şekil 3.14. NN programının çalıştırılmasında seçilen çalışma modelinin gösterimi

3.5.2. NN Programıyla Elde Edilen Veriler

NN programı çeşitli seçeneklerde çalıştırılmış bu seçenekler içerisinde en iyi sonucu LevenbergMarquate gizli katman sayısı 4 olan çalışma vermiştir. Çizelge 3.1’de NN modelinin giriş ve çıkış parametreleri ve parametre değerleri görülmektedir.

Çizelge 3.1. Giriş ve çıkış parametreleri ile normalleştirme katsayıları

Parametre sınıfı	Parametreler	Sembol	Min	Max	Normalleştirme katsayıları	
					c	d
Bağımsız değişkenler	Sıcaklık	T	10	330	0,005	-0,957
	Elektrolit içeriğindeki % Zn	E _{Zn}	50	80	0,06	-3,9
	Elektrolit içeriğindeki % Fe	E _{Fe}	20	50	0,06	-2,1
	Film içeriğindeki % Zn	F _{Zn}	61	96	0,051	-4,037
	Film içeriğindeki % Fe	F _{Fe}	4	39	0,051	-1,105
	Korozyon Voltajı	V _{Cor}	-1.14	-1.054	20,93	22,96
Bağımlı değişken	Electrical Resistivity	ρ_0	0.77	6.085	-	-

*Fe ve Zn alaşımlarının oranı % olarak verilmiştir.

Ayrıca Çizelge 3.1 içerisinde formülün oluşturulması sırasında kullanılan normalleştirme katsayıları verilmiştir. Her bir parametre Denklem 3.8'deki gibi kendi katsayısıyla çarpılıp (c) sonra toplanmaktadır (d).

$$\Gamma_{normalized} = c\Gamma + d \quad (3.8)$$

NN programı ile bulunan formül ile ilgili istatistiksel sonuçlar Çizelge 3.2'de verilmiştir. Çizelgede NN programının bulunduğu elektriksel özdirencin train ve test değerleri ile ilgili sonuçları verilmiştir. Elde edilen formüllerin doğruluk değerleri Train değeri için %99,98 test değeri için ise %99,97 oranında uyumlu çıkmaktadır.

Çizelge 3.2. Çalıştırılan NN modelinin istatistiksel olarak performansı

	İstatistiksel Parametreler	Train set	Test set
Elektriksel Özdirenç (ρ_0)	Mean square error (MSE)	0.000147	0.000145
	% Hata	1.2163	1.2738
	Korelasyon katsayısı (r)	0.9998	0.9997

3.5.3. Formülün Elde Edilmesi

Neurosolution programının çalıştırılması durdurulduktan sonra en iyi performansı veren çalışmanın formül verileri, Formula Generatör programı yardımıyla Excel/C formatında elde edildi. Elde edilen verilerin elektriksel özdirencin değişim fonksiyonu sırasıyla Denklem 3.9'daki gibi ifade edilmiştir. Elde edilen formül Denklem 3.10, Denklem 3.11, Denklem 3.12 ve Denklem 3.13'deki gibi ifade edildikten sonra Denklem 3.14'de yerlerine yazıldı.

$$\text{Özdirenç } (\rho_0) = f(T, E_{Zn}, E_{Fe}, F_{Zn}, F_{Fe}, V_{Cor}) \quad (3.9)$$

$$F_1 = (T) * (3,197141) + (E_{Zn\%}) * (0,805922) + (E_{Fe\%}) * (1,09172) + (F_{Zn\%}) * (-0,691547) + (F_{Fe\%}) * (0,544265) + (V_{Cor}) * (-1,087442) + (1,850418) \quad (3.10)$$

$$F_2 = (T) * (0,162815) + (E_{Zn\%}) * (0,353721) + (E_{Fe\%}) * (-0,165048) + (F_{Zn\%}) * (0,371344) + (F_{Fe\%}) * (-0,437600) + (V_{Cor}) * (0,151433) + (0,255752) \quad (3.11)$$

$$F_3 = (T) * (-2,025895) + (E_{Zn\%}) * (-5,251716) + (E_{Fe\%}) * (1,053807) + (F_{Zn\%}) * (0,065483) + (F_{Fe\%}) * (0,441611) + (V_{Cor}) * (2,265462) + (-1,481772) \quad (3.12)$$

$$F_4 = (T) * (-0,431202) + (E_{Zn\%}) * (-0,658153) + (E_{Fe\%}) * (-0,09485) + (F_{Zn\%}) * (0,343649) + (F_{Fe\%}) * (-0,788212) + (V_{Cor}) * (0,23324) + (0,960826) \quad (3.13.a)$$

Denklem 3.10, Denklem 3.11, Denklem 3.12 ve Denklem 3.13'deki eşitliklerin yerine, Denklem 3.13.b deki eşitlikte olduğu gibi matris şeklinde de gösterilebilir.

$$\begin{bmatrix} 3,197 & 0,805 & 1,091 & -0,691 & 0,544 & -1,087 \\ 0,162 & 0,353 & -0,165 & 0,371 & -0,437 & 0,151 \\ -2,025 & -5,251 & 1,053 & 0,065 & 0,441 & 2,265 \\ -0,431 & -0,658 & -0,094 & 0,343 & -0,788 & 0,233 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} T \\ E_{Zn} \\ E_{Fe} \\ F_{Zn} \\ F_{Fe} \\ V_{Cor} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1,850 \\ 0,255 \\ -1,481 \\ 0,996 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{bmatrix} \quad (3.13b)$$

$$F = (0,13904) * \left(\frac{2}{1+e^{-2F_1}} - 1\right) + ((-1,692536) * \left(\frac{2}{1+e^{-2F_2}} - 1\right) + (-1,061146) * \left(\frac{2}{1+e^{-2F_3}} - 1\right) + (-1,400295) * \left(\frac{2}{1+e^{-2F_4}} - 1\right) + (0,386475) \quad (3.14)$$

Sonuç olarak Denklem 3.14'deki ifade yerine yazıldığında Denklem 3.15'de görülen elektriksel özdirenci veren formül elde edilmektedir.

$$\text{Özdirenç } (\rho_0) = \frac{\left(\frac{2}{1+e^{-2F}} - 1\right) + 1,160771}{0,338664} \quad (3.15)$$

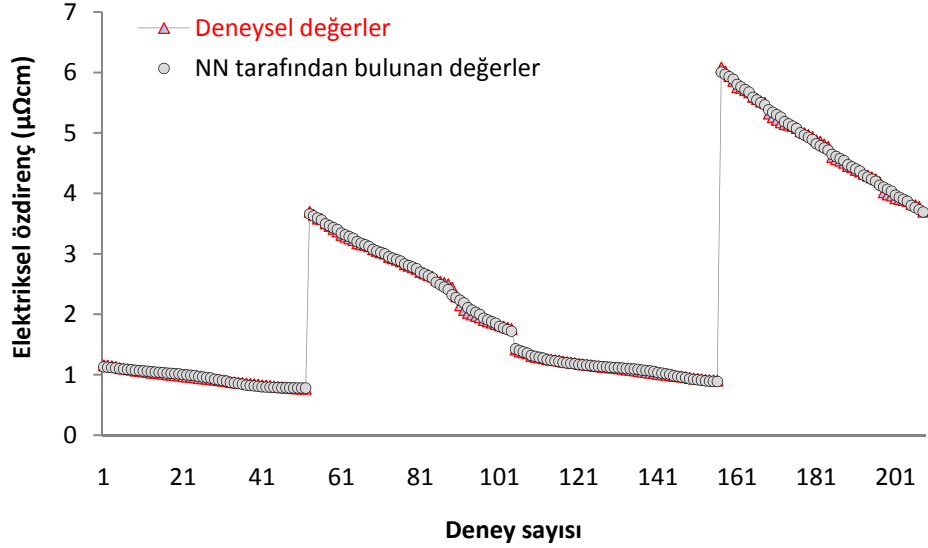
3.6. NN (YSA) Programı İle Elde Edilen Sonuçlar

NN programı ile yapılan çalışmada deneysel verilerden yararlanarak, programın bulduğu formüle göre hesapladığı elektriksel özdirenç değerleri train ve test verileri olarak ayrı ayrı elde edilmiştir. Elde edilen train ve test değerleri sonuçları deneysel değerlerle kıyaslamalı olarak grafikleri verilmiştir.

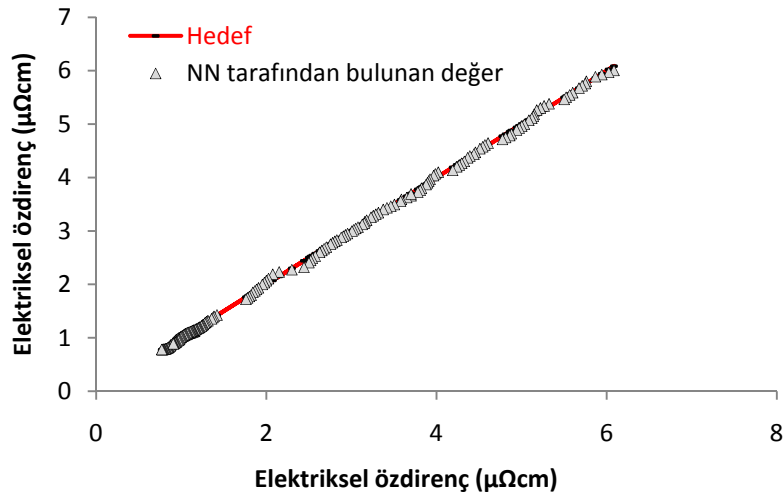
3.6.1. NN ile Elde Edilen Train Veri Sonuçları

Neurosolutions programı yardımıyla elde edilen elektriksel özdirenç değerlerinin grafiği Şekil 3.15'de deneysel çalışmalarla beraber verilmiştir. Grafikte NN tarafından hesaplanan değerlerin deneysel değerlerdeki değişimlerle büyük oranda uyum sağladığı görülmektedir. Şekil 3.16'da NN ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin train

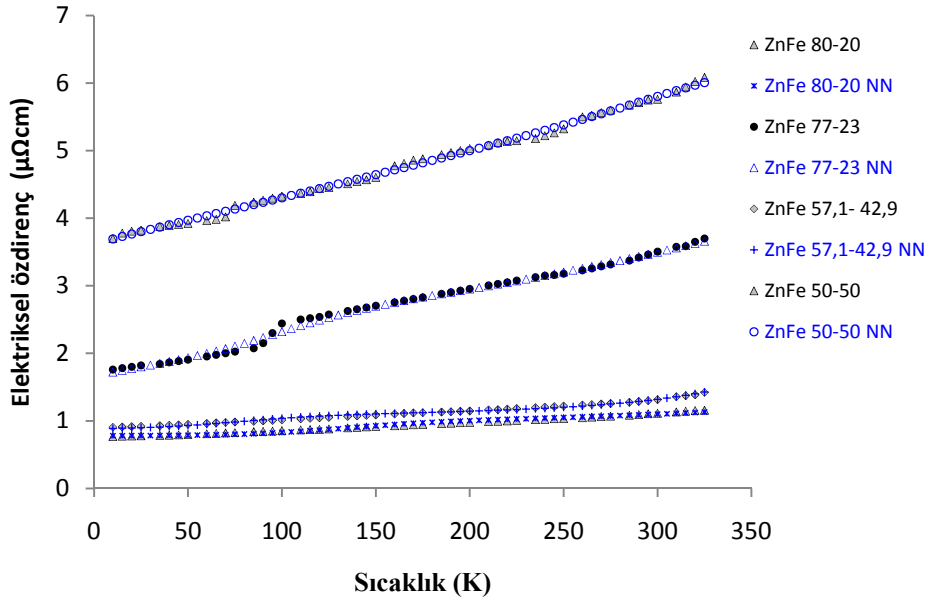
deneysel çalışma verileri (hedef) ile karşılaştırılması görülmektedir. NN ile bulunan elektriksel özdirenç verileri ZnFe alaşımının deneysel verileriyle karşılaştırıldığında %99,97 doğrulukla tahmin edilebilmiş ve korelasyon sağlanmıştır.



Şekil 3.15. NN ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin (Train) deneysel çalışmalardaki verilerle karşılaştırmalı olarak gösterimi



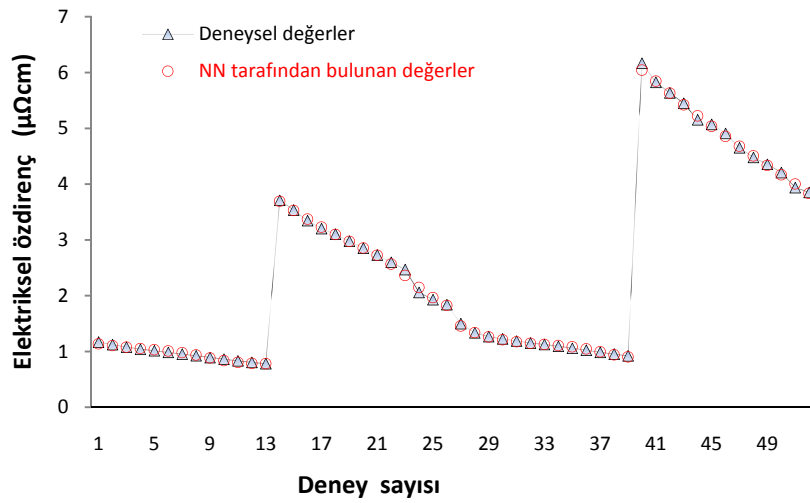
Şekil 3.16. NN ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin (Train) deneysel çalışma verileri (hedef) ile karşılaştırılması



Şekil 3.17. NN ile bulunan elektriksel özdirenç verilerinin (Train) ZnFe oranlarına göre deneysel verilerle sıcaklık karşısındaki değişimlerinin gösterimi

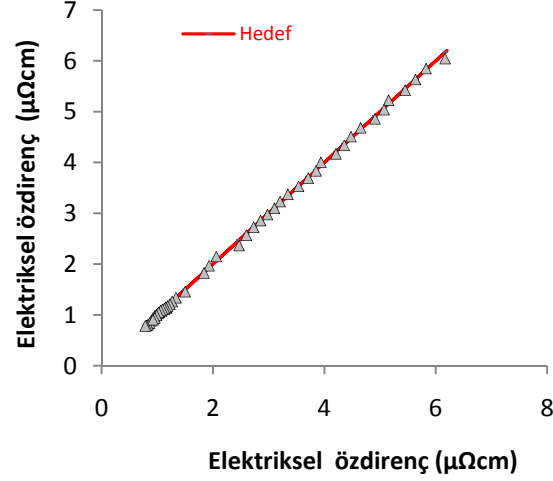
Şekil 3.17'de NN ile bulunan elektriksel özdirenç verileri ve deneysel verileri ZnFe alaşımı oranlarına göre sıcaklık karşısındaki değişimleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. NN ile hesaplanan elektriksel özdirenç değerlerinin deneysel verilerde olduğu gibi sıcaklıkla doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Bu beklenen sonuç NN programının doğru tahminde bulunduğu önemli bir göstergesidir.

3.6.2. NN ile Elde Edilen Test Verilerinin Grafik Olarak Gösterimi



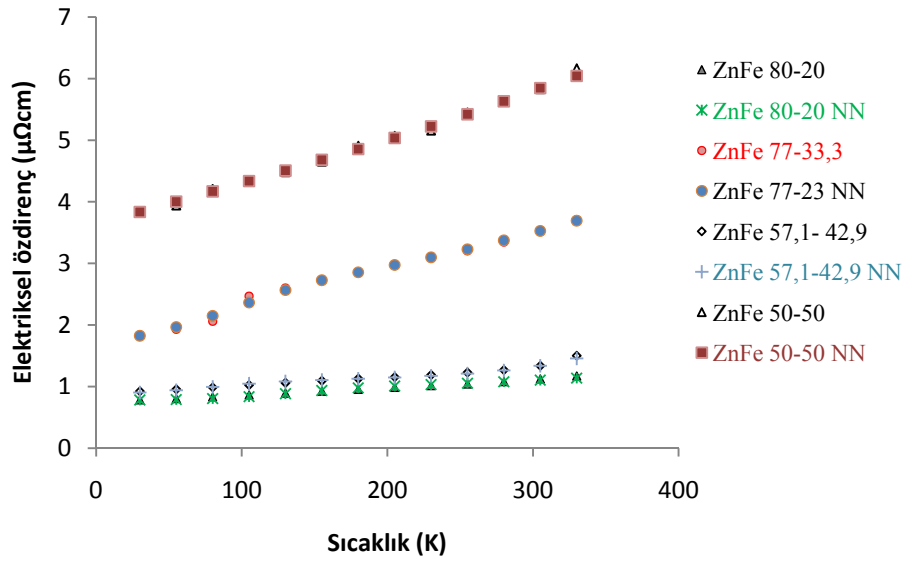
Şekil 3.18. NN ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin (Test) deneysel çalışmalarındaki verilerle karşılaştırmalı olarak gösterimi

Test verileri kullanılarak çalıştırılan NN programıyla elde edilen elektriksel özdirenç değerlerinin deneysel çalışma verileri ile karşılaştırıldığı grafik Şekil 3.18’de görülmektedir.



Şekil 3.19. NN ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin (Test) deneysel çalışma verileri (hedef) ile karşılaştırılması

Şekil 3.19’da NN ile elde edilen elektriksel özdirenç verilerinin test deneysel çalışma verileri ile karşılaştırılması görülmektedir. NN ile bulunan elektriksel özdirenç verileri ZnFe alaşımının deneysel verileri sonuçları ile kıyaslandığında % 99,98 doğrulukla tahmin edilebilmiş ve korelasyon sağlanmıştır.

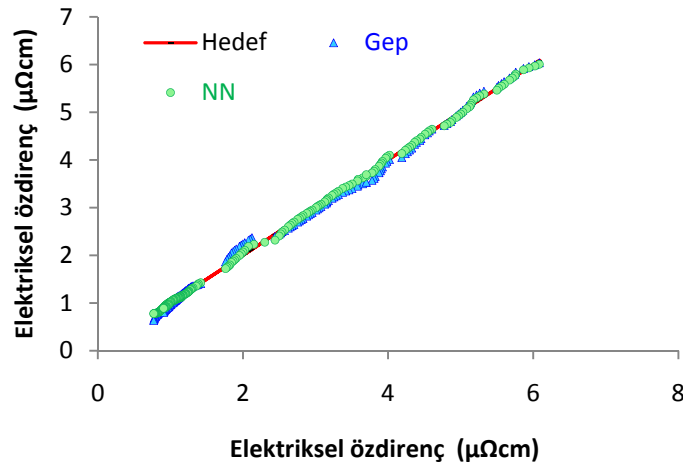


Şekil 3.20. NN ile bulunan elektriksel özdirenç verilerinin (Test) ZnFe oranlarına göre deneysel verilerle sıcaklık karşısındaki değişimlerinin gösterimi

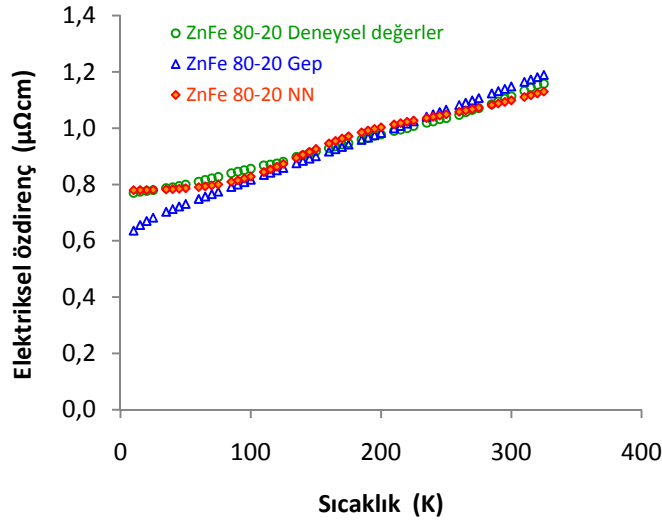
Şekil 3.20’de ise NN ile bulunan elektriksel özdirenç verileri ve deneysel test verileri ZnFe alaşımı oranlarına göre sıcaklık karşısındaki değişimleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. NN ile hesaplanan elektriksel özdirenç değerlerinin deneysel verilerde olduğu gibi sıcaklıkla doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Bu beklenen sonuç NN programının test verileri içinde yüksek doğruluk payı ile çalıştığını göstermektedir.

3.7.GEP ve NN Programları ile Tahmin Edilen Sonuçların Deneysel Verilerle Karşılaştırılması

GEP ve NN programları yardımıyla bulunan sonuçlar, değerlendirme açısından kolaylık sağlaması için Şekil 3.21’de birlikte gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi NN ve GEP verileri hedef değerlerden bir miktar sapma gösterse de her iki formülde yüksek doğrulukta çalışmaktadır. Ancak bu değerler içerisinde NN ile elde edilen sonuçlar, GEP programından elde edilenlere göre deneysel verilere daha yakındır. Zaten istatistiksel sonuçlara bakıldığında NN sonuçları % 99,98 doğrulukta tahminde bulunurken, GEP % 99,7 doğrulukta tahminde bulunmuştur. Bu sonuç, bu iki sezgisel programı kullanarak yeni formülasyon oluşturan (Kanca vd., 2009) diğer araştırmacıların sonuçları ile uyum içerisinde dir.

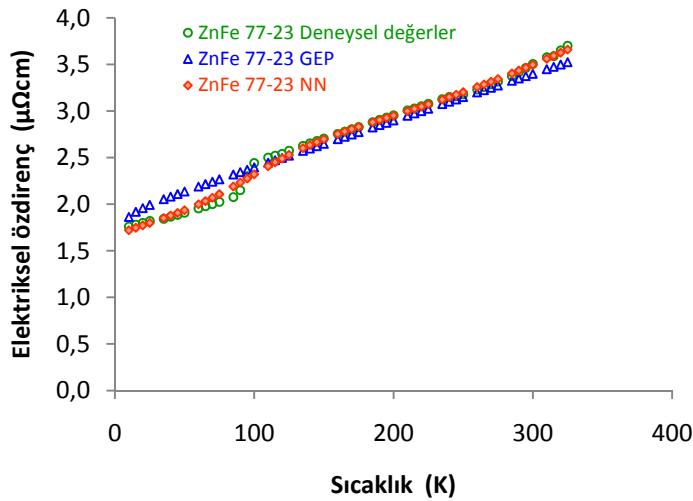


Şekil 3.21. NN ve GEP ile bulunan sonuçların (Train) deneysel verilerle karşılaştırılması

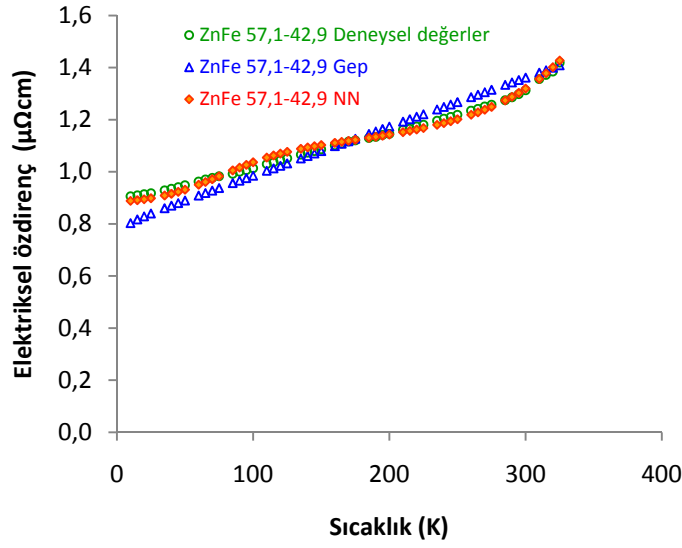


Şekil 3.22. Elektrolitteki Zn % 80 - Fe % 20 oranlarında iken NN ve GEP ile hesaplanan sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılması

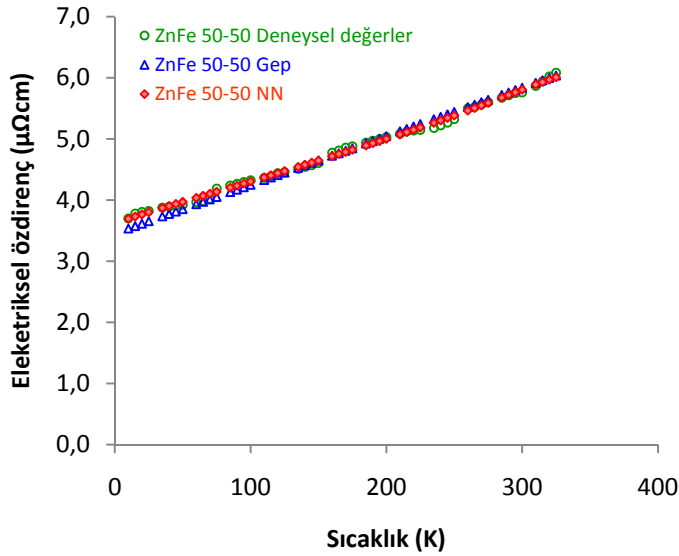
Şekil 3.22’de Elektrolit içerisindeki ZnFe alaşımının oranına (% 80 - % 20) göre, deneysel sonuçlarla, NN ve GEP programı ile hesaplanan sonuçlar aynı grafik içerisinde gösterilmiştir. Grafikte alaşım oranına göre elektriksel öz direncin sıcaklıkla değiştiği, öz direnç değerinin sıcaklıkla doğru orantılı olarak arttığı ve NN ile hesaplanan değerlerin deneysel verilere daha yakın bulunduğu görülmektedir. Şekil 3.23, Şekil 3.24 ve Şekil 3.25’de de sırasıyla alaşım oranlarına göre (% 77 - % 23, % 57.1 - % 42.9, % 50 - % 50) sıcaklık ile elektriksel öz direnç değerlerinin değişim grafikleri görülmektedir.



Şekil 3.23. Elektrolitteki Zn % 77 - Fe % 23 oranlarında iken NN ve GEP ile hesaplanan sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 3.24. Elektrolitteki Zn % 57,1- Fe % 42,9 oranlarında iken NN ve GEP ile hesaplanan sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılması



Şekil 3.25. Elektrolitteki Zn % 50 - Fe % 50 oranlarında iken NN ve GEP ile hesaplanan sonuçların deneysel verilerle karşılaştırılması

3.8. GEP ve NN Programları Yardımıyla Elde Edilen Formüllerin Test Edilmesi

GEP ve NN programlarıyla elde edilen formüllerin literatür ile uyumluluğu girdi parametrelerinin bazıları periyodik bir biçimde artırılırken diğer parametreler sabit tutularak sezgisel program yardımıyla oluşturulan yapay formül test edilmeye çalışılmıştır. Her bir formül Excel programında çalıştırılabilecek şekilde yazılmış deneysel veriler uygun bir biçimde düzenlenerek girdiler değiştirilip sonuçların

literatürle uygun olup olmadığı değerlendirilmiştir. Bir anlamda bilgisayar ortamında laboratuvar şartları oluşturularak çalışma yapılmıştır. Her iki programla elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

3.8.1. Korozyon Potansiyeli ve Sıcaklık Değişimi İle Elektriksel Özdirencin Değişimi

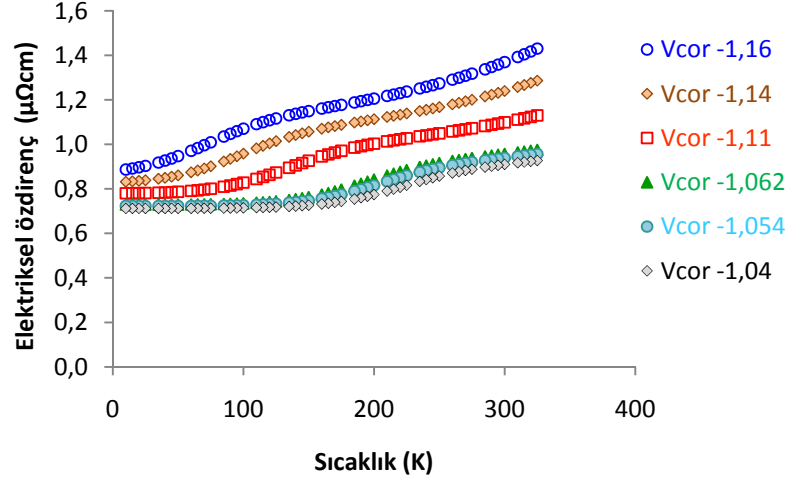
Sıcaklık değeri 10-330 K arasında değiştirilmiş, farklı korozyon gerilim değerleri sabit tutularak her ZnFe alaşımı oranı için ayrı ayrı uygulanmış ve elektriksel özdirenç değeri hesap edilmiştir. Şekil 3.26'da ince film içerisindeki Zn oranı % 96, Fe oranı % 4 olan alaşımın farklı korozyon gerilimlerinde değişen sıcaklıkla elektriksel özdirencinin değişimi, NN ile bulunan Denklem 3.15 ile hesap edilerek grafiği çizilmiştir. Aynı hesaplama GEP yardımıyla elde edilen Denklem 3.7 ile yapılmış Şekil 3.27'deki grafik elde edilmiştir. Her iki grafikte de sıcaklığın artmasıyla özdirencin arttığı, aynı zamanda korozyon geriliminin negatif yönde polarizasyonu arttırıldıkça yine özdirenç değerinin de arttığı görülmektedir.

NN ve GEP ile ilgili hesaplamalar alaşım içerisindeki her bir Zn ve Fe oranına göre aynı şekilde yapılmış ve grafikleri çizilmiştir. Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'da film içerisindeki Zn oranı % 78, Fe oranı % 22 iken özdirenç değişim grafiği, Şekil 3.30 ve Şekil 3.31'de film içerisindeki Zn oranı % 69, Fe oranı % 31 iken özdirenç değişim grafiği, Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'de film içerisindeki Zn oranı % 61, Fe oranı % 39 iken özdirenç değişim grafiği görülmektedir.

Bütün alaşım oranlarında GEP ve NN ile hesaplanarak çizilen grafiklerde sıcaklık arttıkça özdirencin arttığı, aynı zamanda korozyon gerilimine bağlı olarak da özdirencin değiştiği görülmektedir. GEP ve NN programları arasındaki hesaplamalardaki değerler arasında küçük değer farklılıkları görülmektedir. Grafiklerden görüldüğü gibi GEP değişim yönünü doğru olarak tahmin etmekte fakat bölgesel değişimlere duyarsız kalırken, NN programı değişimleri daha hassas sezgilemekte ve lineer bir değişimden ziyade bölgesel değişimleri daha iyi belirleyebilmektedir.

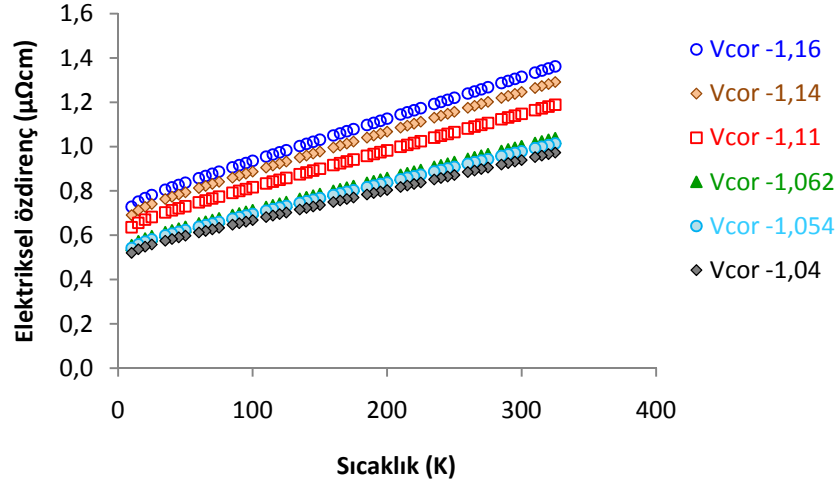
3.8.1.1. Film İçerisindeki Zn Oranı % 96, Fe Oranı % 4 İken Özdirenç Değişimi

NN'e göre;



Şekil 3.26. NN'e göre film içerisindeki Zn % 96 - Fe % 4 oranında iken korozyon gerilimi ve sıcaklık değişiminin elektriksel özdirence etkisi

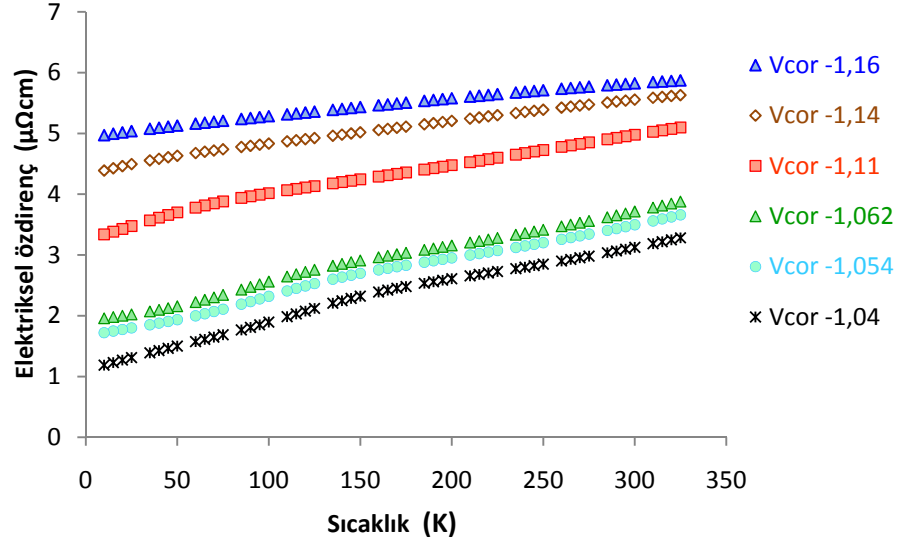
GEP'e göre;



Şekil 3.27. GEP'e göre film içerisindeki Zn % 96 - Fe % 4 oranında iken korozyon gerilimi ve sıcaklık değişiminin elektriksel özdirence etkisi

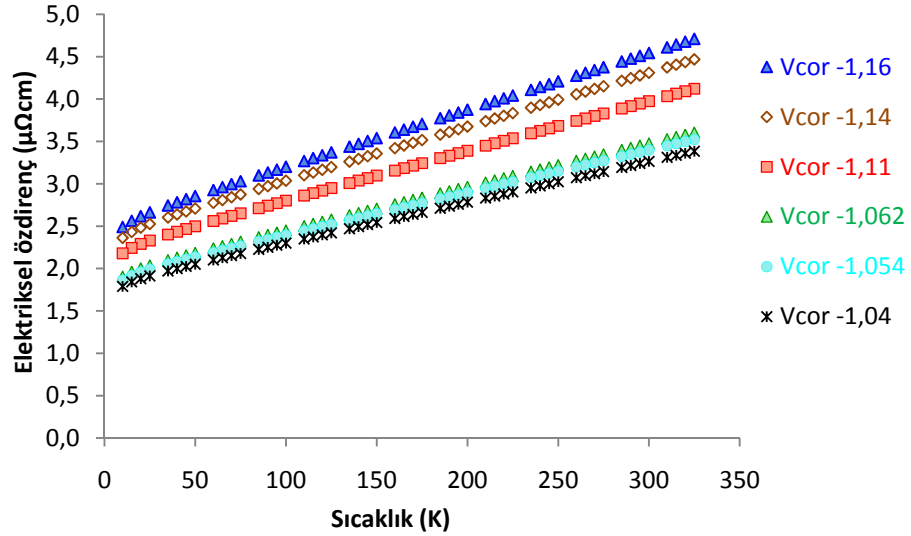
3.8.1.2. Film İçerisindeki Zn Oranı % 78, Fe Oranı % 22 İken Özdirenç Değişimi

NN'e göre;



Şekil 3.28. NN'e göre film içerisindeki Zn % 78 - Fe % 22 oranında iken korozyon gerilimi ve sıcaklık değişiminin elektriksel özdirence etkisi

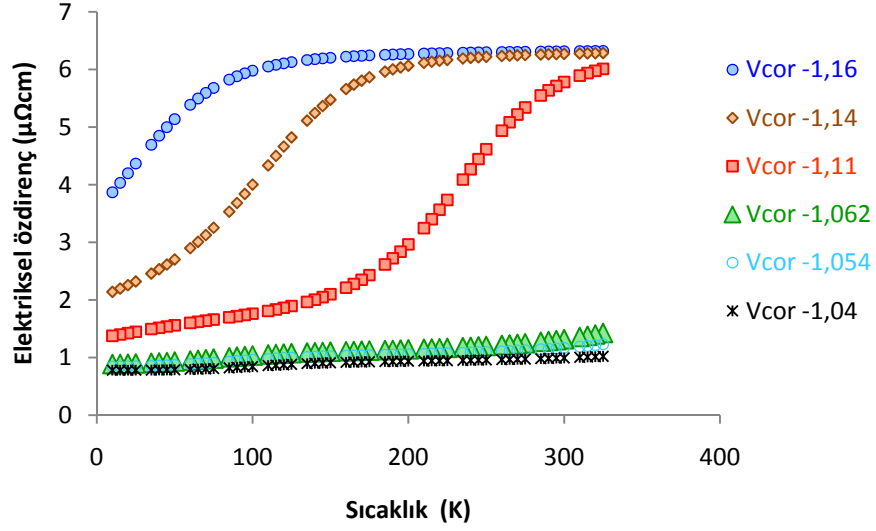
GEP'e göre;



Şekil 3.29. GEP'e göre film içerisindeki Zn % 78 - Fe % 22 oranında iken korozyon gerilimi ve sıcaklık değişiminin elektriksel özdirence etkisi

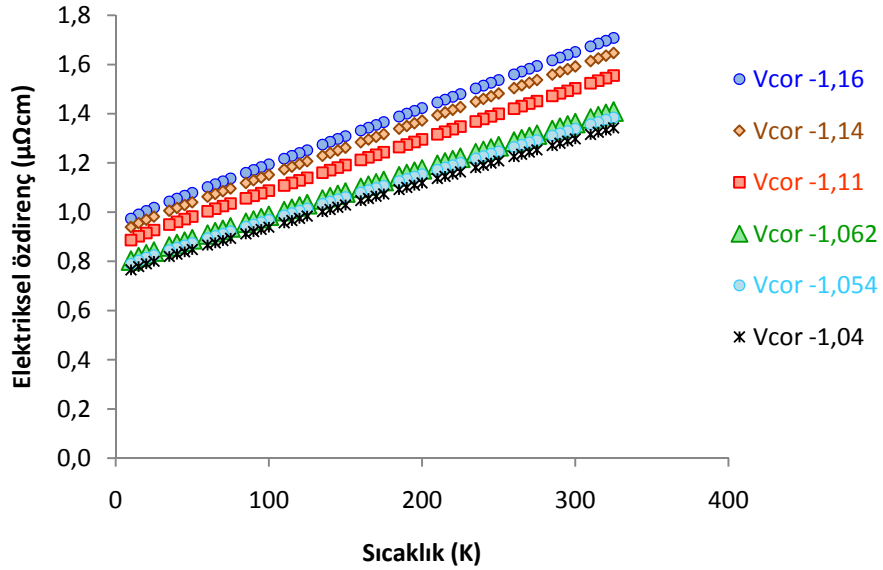
3.8.1.3. Film İçerisindeki Zn Oranı % 69, Fe Oranı % 31 İken Özdirenç Değişimi

NN'e göre;



Şekil 3.30. NN'e göre film içerisindeki Zn % 69 - Fe % 31 oranında iken korozyon gerilimi ve sıcaklık değişiminin elektriksel özdirence etkisi

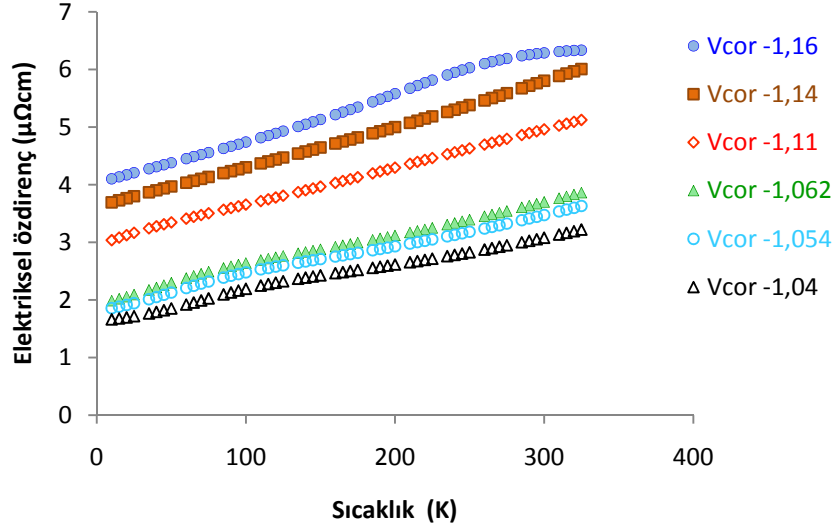
GEP'e göre;



Şekil 3.31. GEP'e göre film içerisindeki Zn % 69 - Fe % 31 oranında iken korozyon gerilimi ve sıcaklık değişiminin elektriksel özdirence etkisi

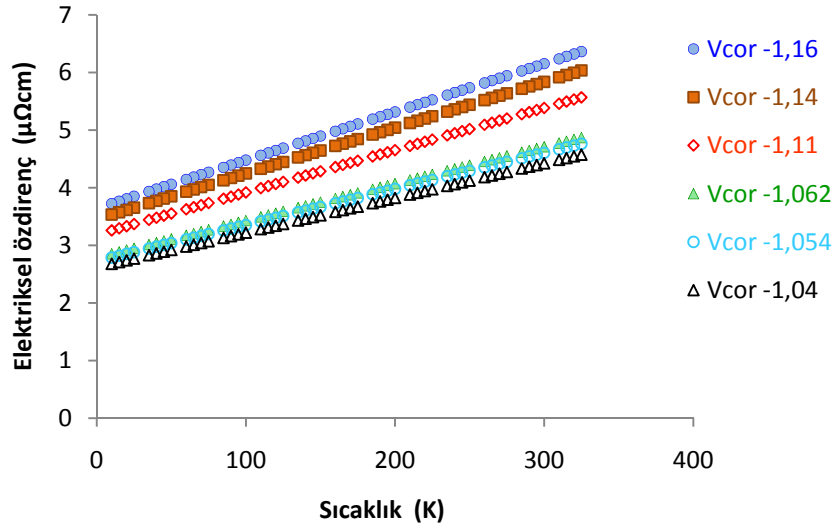
3.8.1.4. Film İçerisindeki Zn Oranı % 61, Fe Oranı % 39 İken Özdirenç Değişimi

NN'e göre;



şekil 3.32. NN'e göre film içerisindeki Zn % 61 - Fe % 39 oranında iken korozyon gerilimi ve sıcaklık değişiminin elektriksel zdirene etkisi

GEP'e göre;



şekil 3.33. GEP'e göre film içerisindeki Zn % 61 - Fe % 39 oranında iken korozyon gerilimi ve sıcaklık değişiminin elektriksel zdirene etkisi

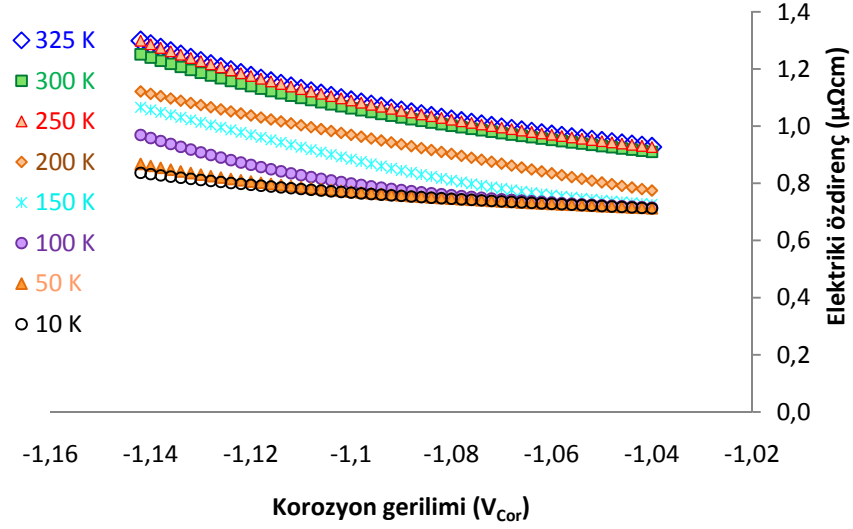
3.8.2. Çeşitli Sıcaklık Değerlerinde Korozyon Geriliminin, Film İçerisindeki Zn ve Fe Oranına Göre Özdirenç Değişimine Etkisi (NN ve GEP)

Bu kısımda korozyon gerilimindeki değişimin elektriksel özdirenci nasıl etkilediğini inceleyebilmek için, NN ve GEP ile elde edilen formüller kullanılarak sıcaklık ve korozyon gerilimleri değiştirilmiş ve özdirencin değişimi incelenmiştir. Bu amaçla her bir alaşım oranı için korozyon gerilimi -1,04 V ile -1,14 V arası değiştirilmiş, sıcaklık ise her bir alaşım oranı için 10 K, 50 K, 100 K, 150 K, 200 K, 250 K, 300 K ve 325 K sıcaklıklarda ayrı ayrı hesaplanmış, hem NN hem de GEP programlarından yararlanarak bulunan formüllere göre elektriksel özdirenç değişim grafiği çizilmiştir. Bu hesaplamalarla ilgili grafikler; Şekil 3.34, Şekil 3.35, Şekil 3.36, Şekil 3.37, Şekil 3.38, Şekil 3.39, Şekil 3.40 ve Şekil 3.41’de gösterilmiştir.

Bu kısımdaki grafikler incelendiğinde NN ve GEP ya göre yapılan hesapların değerleri arasında küçük farklılıklar olduğu grafiklerde görülmektedir. Bazı alaşım oranlarında bu farklar az bazılarında ise biraz daha fazla olmasına rağmen formüllerin yüksek doğrulukla çalıştığı gözlenmektedir. Her iki yöntemle elde edilen sonuçlarda sıcaklık arttıkça elektriksel özdirencin arttığı görülmektedir. Aynı şekilde her bir sıcaklık değerinde negatif yönlü polarizasyon gerilimi arttırıldıkça elektriksel özdirencinde arttığı görülmektedir. Her iki program formülünde de lineer değişimler gözlenirken ZnFe (% 69 - % 31) filminde NN programı ile tahmin edilen değişim exponansiyel bir değişim olmuştur.

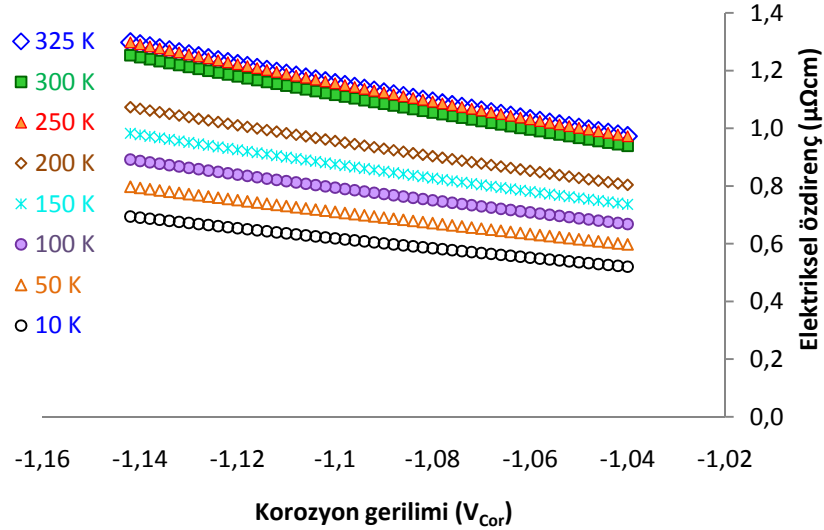
3.8.2.1. Film İçerisindeki Zn Oranı % 96, Fe Oranı % 4 İken Özdirenç Değişimi

NN'e göre;



Şekil 3.34. NN'e göre çeşitli sıcaklık değerlerinde değişken korozyon geriliminin, film içerisindeki Zn % 96 ve Fe % 4 oranında iken özdirenç değişimine etkisi

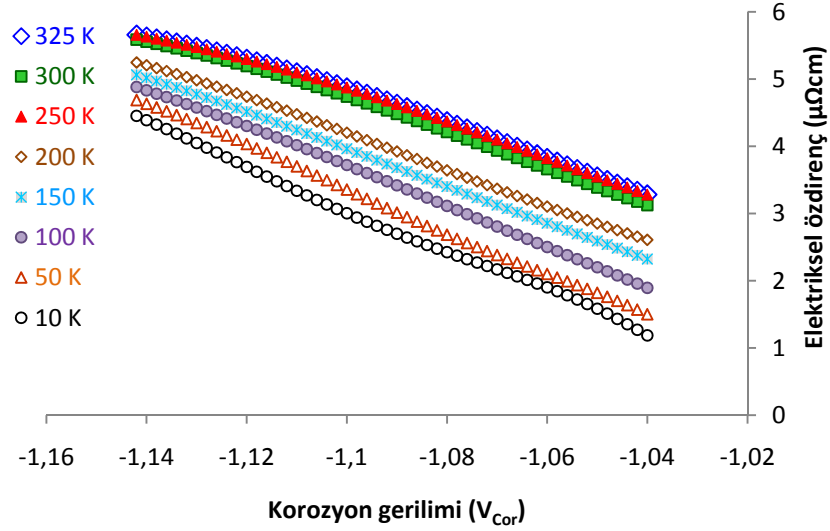
GEP'e göre;



Şekil 3.35. GEP'e göre çeşitli sıcaklık değerlerinde değişken korozyon geriliminin, film içerisindeki Zn % 96 ve Fe % 4 oranında iken özdirenç değişimine etkisi

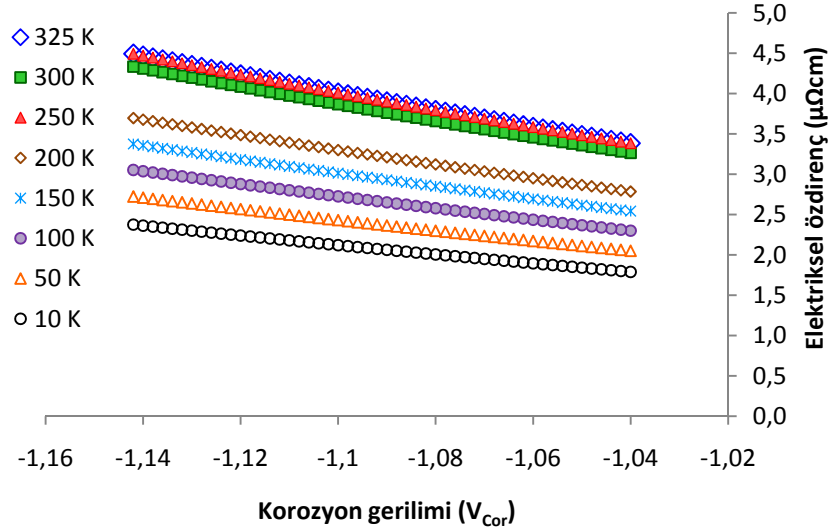
3.8.2.2. Film İçerisindeki Zn Oranı %78, Fe Oranı %22 İken Özdirenç Değişimi

NN'e göre;



Şekil 3.36. NN'e göre çeşitli sıcaklık değerlerinde, değişken korozyon geriliminin, film içerisindeki Zn % 78 ve Fe % 22 oranında iken özdirenç değişimine etkisi

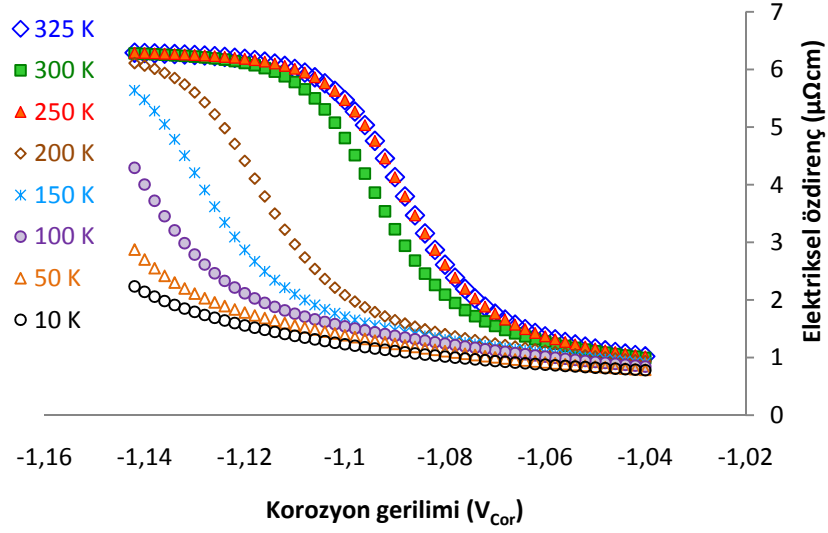
GEP'e göre;



Şekil 3.37. GEP'e göre çeşitli sıcaklık değerlerinde değişken korozyon geriliminin, film içerisindeki Zn % 78 ve Fe % 22 oranında iken özdirenç değişimine etkisi

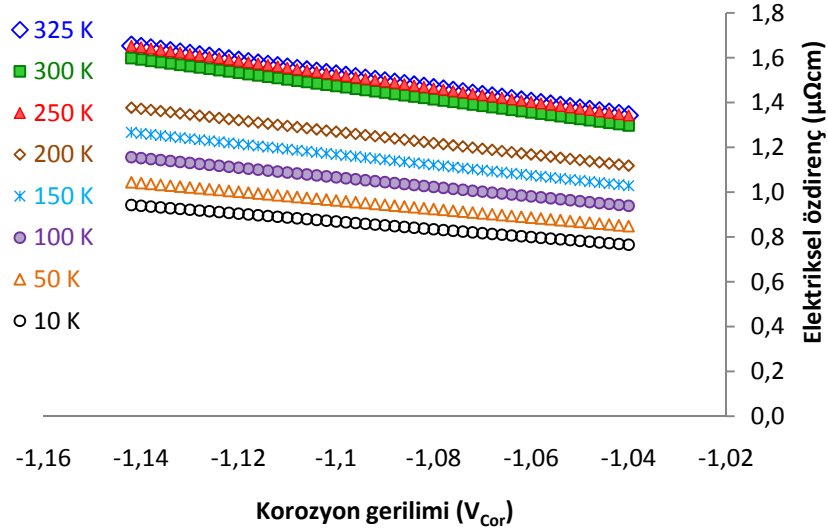
3.8.2.3. Film İçerisindeki Zn Oranı % 69, Fe Oranı % 31 İken Özdirenç Değişimi

NN'e göre;



Şekil 3.38. NN'e göre çeşitli sıcaklık değerlerinde değişken korozyon geriliminin, film içerisindeki Zn % 69 ve Fe % 31 oranında iken özdirenç değişimine etkisi

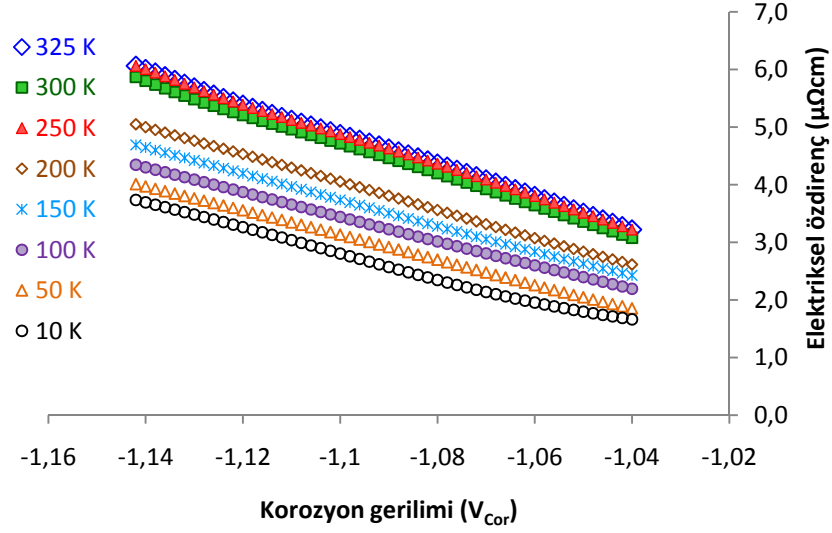
GEP'e göre;



Şekil 3.39. GEP'e göre çeşitli sıcaklık değerlerinde değişken korozyon geriliminin, film içerisindeki Zn % 69 ve Fe % 31 oranında iken özdirenç değişimine etkisi

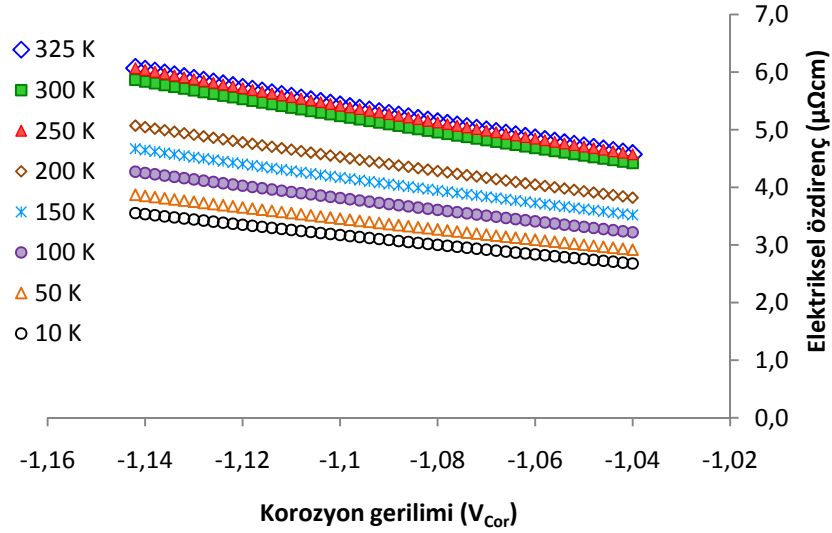
3.8.2.4. Film İçerisindeki Zn Oranı %61, Fe Oranı %39 İken Özdirenç Değişimi

NN'e göre;



Şekil 3.40. NN'e göre çeşitli sıcaklık değerlerinde değişken korozyon geriliminin, film içerisindeki %Zn 61 ve %Fe 39 oranında iken özdirenç değişimine etkisi

GEP'e göre;



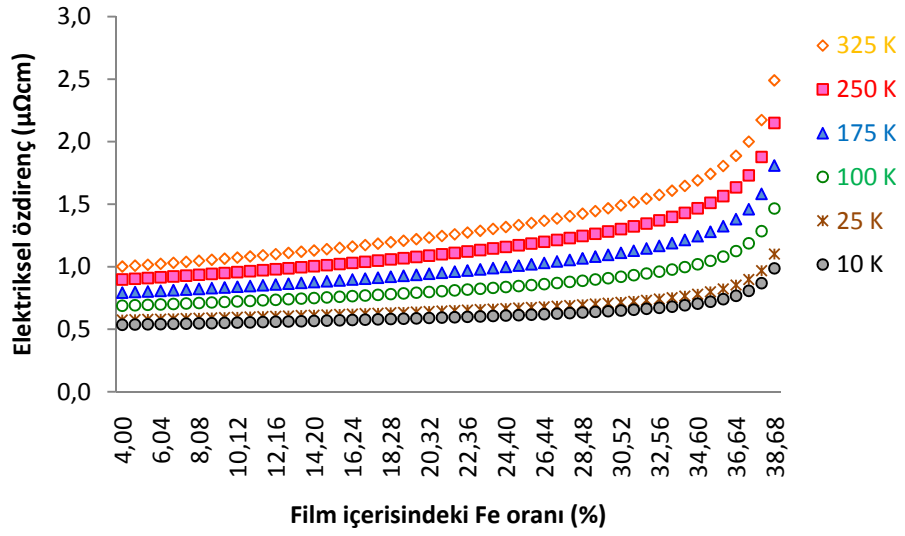
Şekil 3.41. GEP'e göre çeşitli sıcaklık değerlerinde değişken korozyon geriliminin, film içerisindeki % Zn 61 ve % Fe 39 oranında iken özdirenç değişimine etkisi

3.8.3. GEP'e Göre Sabit Korozyon Gerilimi ve Sıcaklıkta Film İçerisindeki Fe Oranı Değişiminin Özdirence Etkisi

Korozyon gerilimi -1,05 V, -1,08 V, -1,11 V ve -1,14 V değerlerinde sabit olarak tutulmuştur. Sıcaklık değerleri her bir korozyon gerilimi değeri için 10 K, 25 K, 100 K, 175 K, 250 K, 325 K sıcaklıklarda farklı olarak alınmış film içerisindeki Fe oranı % 4 ile % 39 arasında değiştirilmiştir. GEP ile elde edilen sonuçlar küçük değişim aralıkları ile değiştirilerek GEP formülü ile hesaplama yapılmıştır. Hesaplama sonucu elde edilen değerlerin, her bir korozyon geriliminde sıcaklık ve film içeriğindeki demir oranı değişiminin elektriksel özdirence etkisinin grafiği çizilmiştir. Korozyon gerilimleri her bir sıcaklık için sabit tutulmuş ve film içerisindeki demir oranları değiştirilerek çizilen grafikler Şekil 3.42, Şekil 3.43, Şekil 3.44 ve Şekil 3.45'de verilmiştir.

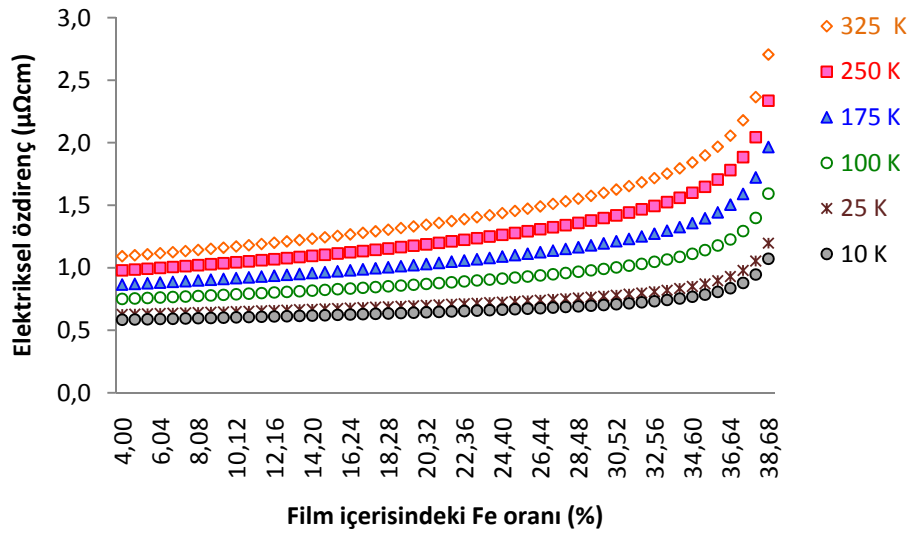
Elde edilen grafiklerde film içerisindeki demir oranı arttıkça elektriksel özdirence değerinde artmakta olduğu görülmektedir. Benzer değişim Ghazanfar ve arkadaşları tarafından yapılan ZnNi alaşımlarında değişen nikel oranıyla özdirencin artması şeklinde (Ghazanfar, 2005), Van Den Broek ve arkadaşları tarafından metalik SiCr filmlerinde (Broek, 1998), Pazourek ve arkadaşları tarafından FeAl filmlerinde Al yüzdesini değiştirirken (Pazourek, 2010), Yoon ve arkadaşları BaTiO₃ filmlerinde Nb'nin yüzdesini değiştirerek (Yoon, 2002), Lilly ve arkadaşları FeAl filmlerinde Al'nin yüzdesini değiştirerek (Lilly, 1998) özdirencin arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca korozyon geriliminin negatif yönde polarizasyon değeri arttıkça özdirence değerinde küçük artışlar meydana geldiği grafiklerde gözlenmektedir.

3.8.3.1. Korozyon Gerilimi -1,05 V İken



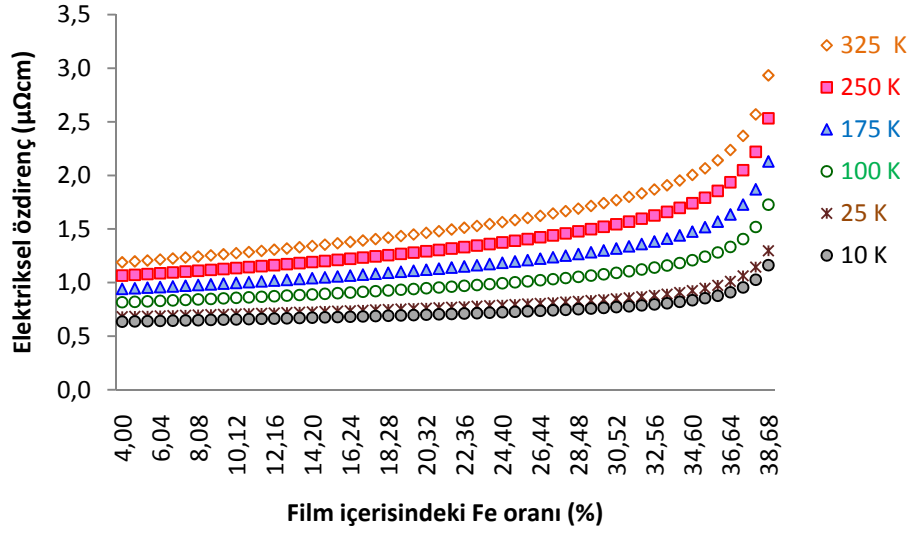
Şekil 3.42. GEP'e göre -1,05 V sabit korozyon geriliminde sıcaklık ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi

3.8.3.2. Korozyon Gerilimi -1,08 V İken



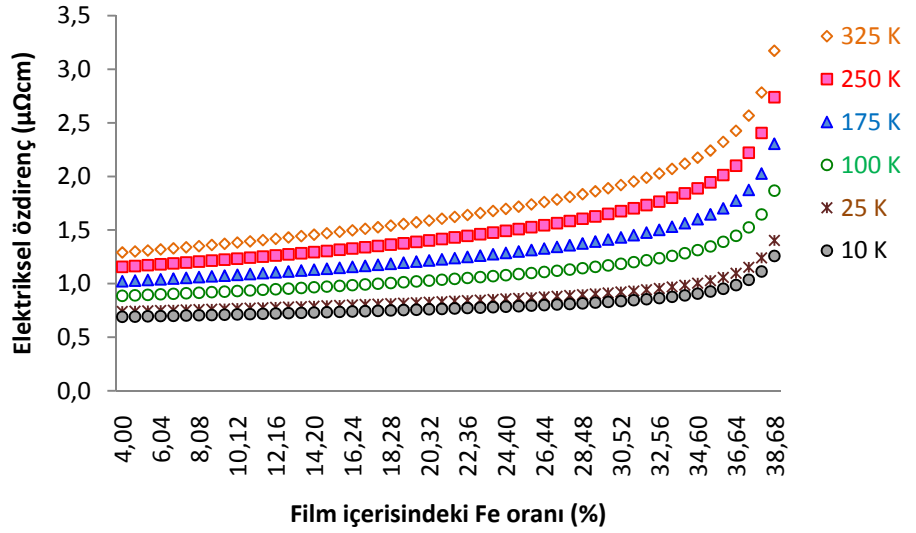
Şekil 3.43. GEP'e göre -1,08 V sabit korozyon geriliminde sıcaklık ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi

3.8.3.3. Korozyon Gerilimi -1,11 V İken



Şekil 3.44. GEP'e göre -1,11 V sabit korozyon geriliminde sıcaklık ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi

3.8.3.4. Korozyon Gerilimi -1,14 V İken



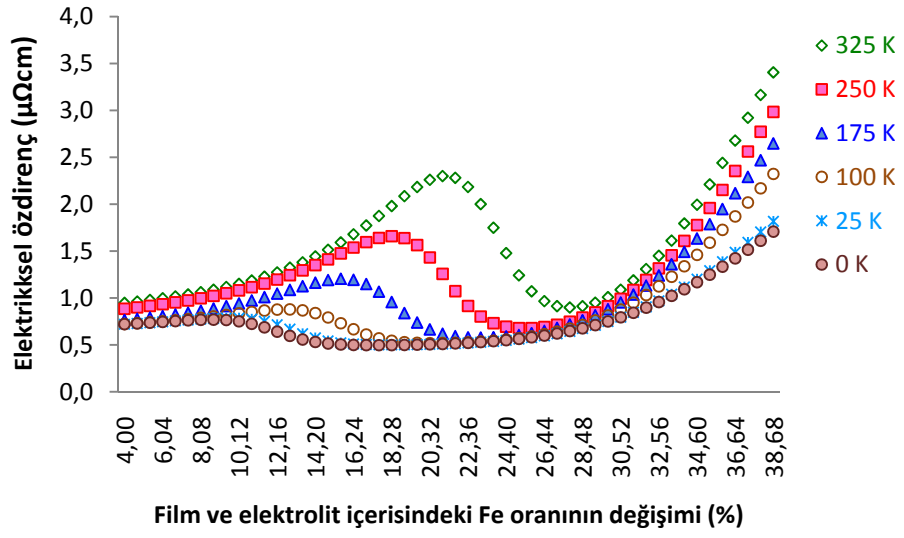
Şekil 3.45. GEP'e göre -1,14 V sabit korozyon geriliminde sıcaklık ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi

3.8.4. Herbir Korozyon Gerilimi Sabit Tutularak Farklı Sıcaklık Değerlerinde Elektrolit ve Film İçerisindeki % ZnFe Oranı Değişiminin Özdirence Etkisi (NN'e göre)

GEP ile yapılan hesaplamada olduğu gibi Korozyon gerilimi -1,05 V, -1,08 V, -1,11 V ve -1,14 V değerlerinde sabit olarak alınmıştır. Sıcaklık değerleri her bir korozyon gerilimi değeri için 0 K, 25 K, 100K, 175 K, 250 K, 325 K sıcaklıklarda farklı olarak alınmış film içerisindeki Fe oranı % 4 ila % 39 arasında (Zn oranı % 96 ila % 61) değiştirilmiştir. Aynı zamanda elektrolit içerisindeki Fe oranı % 20 ila % 50 arasında (Zn oranı % 80 ila % 50) değiştirilmiştir. Değiştirilen deneysel girdi verilerinden sonra NN formülü ile hesaplama yapılmıştır. Hesaplama sonucu elde edilen değerlerin her bir korozyon geriliminde, sıcaklık ve film içeriğindeki demir oranı değişiminin elektriksel özdirence etkisinin grafiği çizilmiştir. Korozyon gerilimine göre çizilen grafikler Şekil 3.46, Şekil 3.47, Şekil 3.48 ve Şekil 3.49'da verilmiştir.

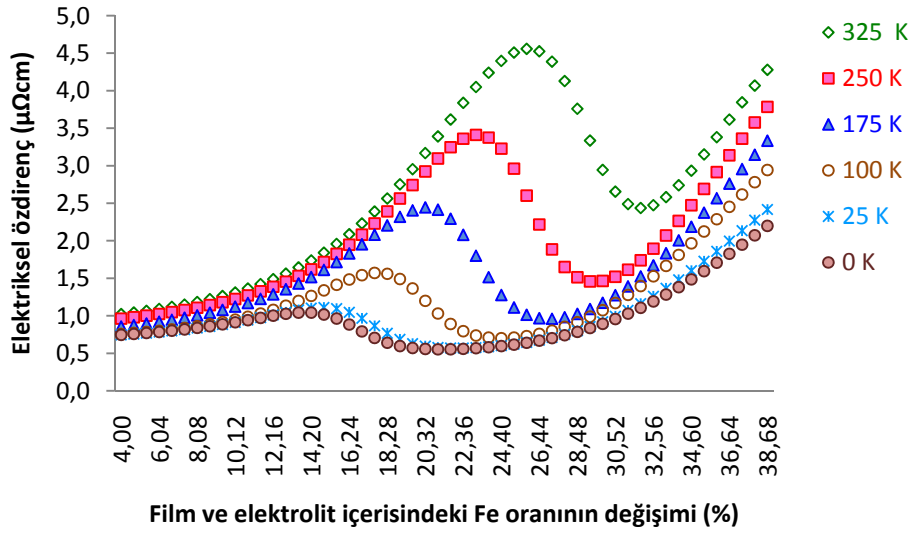
Korozyon geriliminin negatif yönde polarizasyon değeri arttıkça özdirenç değerlerinde küçük artışlar meydana geldiği grafiklerde gözlenmektedir. Elde edilen grafikler incelendiğinde film içerisindeki demir oranı miktarı artışına göre alaşım içerisindeki demir ve çinko oranına bağlı olarak elektriksel özdirenç değeri değişimi azalma ve artma yönünde farklılık göstermektedir. GEP ile bulunan formülle çizdirilen % Fe oranları değişimi doğrusal bir artış biçiminde ortaya çıkarken, NN ile hesaplanan formüle göre çizdirilen özdirenç değişim grafiğinde belli bir demir oranına kadar üstel bir artış, belirli bir oranın üzerinde özdirençte hızlı bir düşüş olduğu gözlenmektedir. Literatürle kıyaslandığında alaşımlardaki bileşen miktarının özdirençle değişim trendinin NN'e göre hesaplanan formülle uyum içerisinde olduğu görülmektedir (Vora, 2007). Bu sonuç NN programının GEP'e göre üstünlüğünü gösteren bir durum olup istatistiksel veriler kıyaslandığında NN'ün daha yüksek doğruluk oranı ile sonuç vereceği tahminini doğrulamaktadır.

3.8.4.1. Korozyon Gerilimi -1,05 V İken



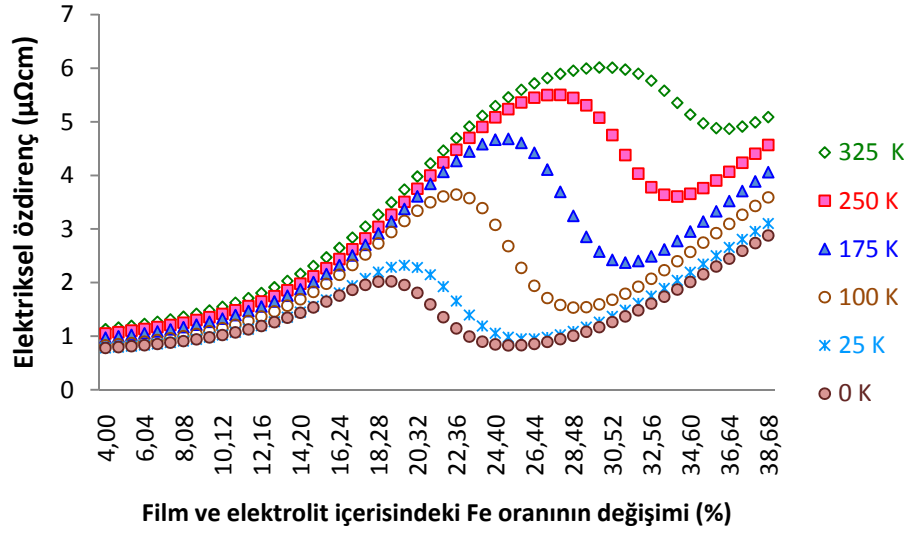
Şekil 3.46. NN'e göre -1,05 V korozyon gerilimi ve değişik sıcaklıklarda elektrolit ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi

3.8.4.2. Korozyon Gerilimi -1,08 V İken



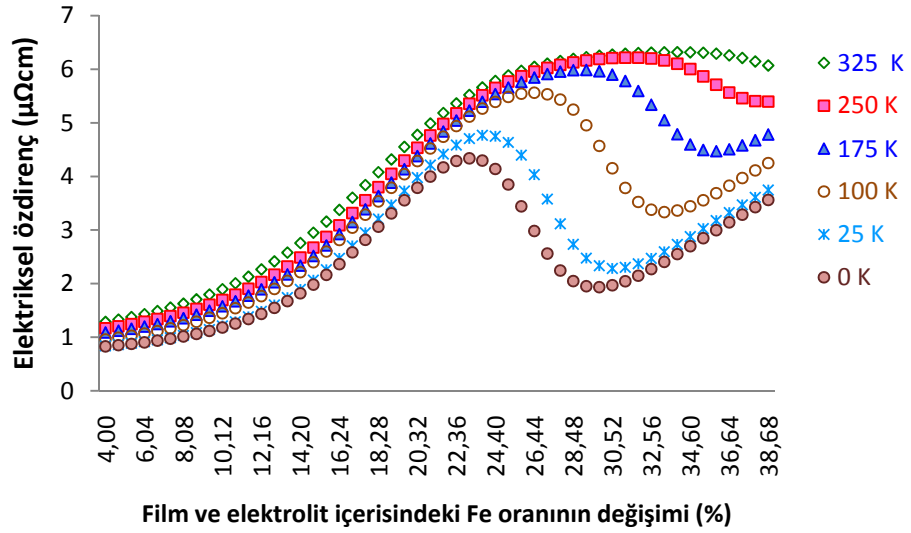
Şekil 3.47. NN'e göre -1,08 V korozyon gerilimi ve değişik sıcaklıklarda elektrolit ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi

3.8.4.3. Korozyon Gerilimi -1,11 V İken



Şekil 3.48. NN'e göre -1,11 V korozyon gerilimi ve değişik sıcaklıklarda elektrolit ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi

3.8.4.4. Korozyon Gerilimi -1,14 V İken



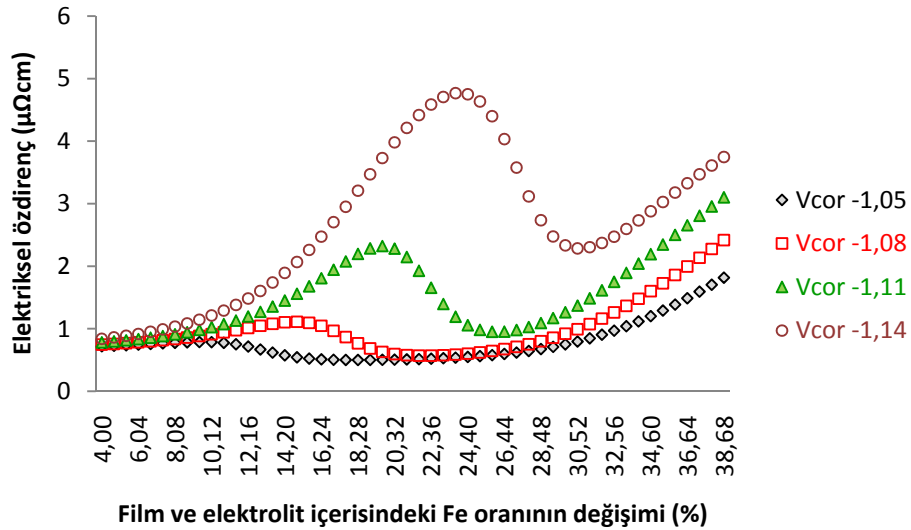
Şekil 3.49. NN'e göre -1,14 V korozyon gerilimi ve değişik sıcaklıklarda elektrolit ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi

3.8.5. Her Bir Sıcaklık Değeri Sabit Tutularak Farklı Korozyon Gerilimlerinde Elektrolit ve Film İçerisindeki Fe Oranı Değişiminin Özdirence Etkisi (NN'e Göre)

Bu hesaplamada sıcaklık değerleri için 25 K, 100 K, 175 K, 250 K, 325 K sabit olarak alınmıştır. Her bir sıcaklık değeri için korozyon gerilimi -1,05 V, -1,08 V, -1,11 V ve -1,14 V olarak ayrı ayrı olarak alınmış aynı zamanda film içerisindeki Fe oranı % 4 ila % 39 arasında (Zn oranı % 96 ila % 61) değiştirilmiştir. Aynı zamanda elektrolit içerisindeki Fe oranı % 20 ila % 50 arasında (Zn oranı % 80 ila % 50) değiştirilmiştir. Değiştirilen deneysel girdi verilerinden sonra NN formülü ile hesaplama yapılmıştır. Hesaplama sonucu elde edilen değerler, her bir sıcaklıkta korozyon gerilimi değiştirilerek, film içeriğindeki demir ve çinko oranı değişiminin elektriksel özdirence etkisinin grafiği çizilmiştir. Sıcaklığa göre çizilen grafikler Şekil 3.50, Şekil 3.51, Şekil 3.52, Şekil 3.53 ve Şekil 3.54'de verilmiştir.

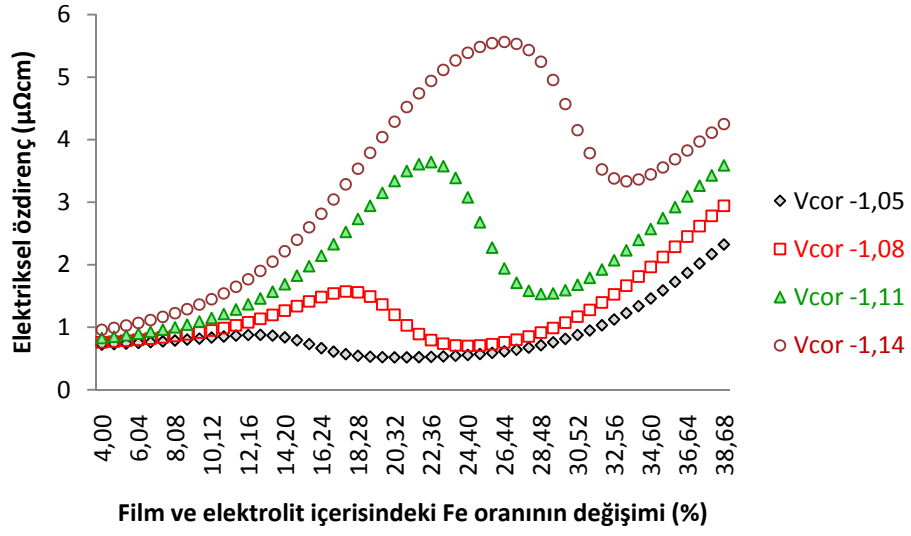
Elde edilen grafikler incelendiğinde film içerisindeki demir oranı miktarı artışına göre alaşım içerisindeki demir ve çinko oranına bağlı olarak elektriksel özdirenç değeri değişimi azalma ve artma yönünde farklılık göstermektedir. Sıcaklık arttıkça elektriksel özdirencin bütün alaşım oranlarında artış gösterdiği görülmektedir.

3.8.5.1. 25 K Sabit Sıcaklıkta



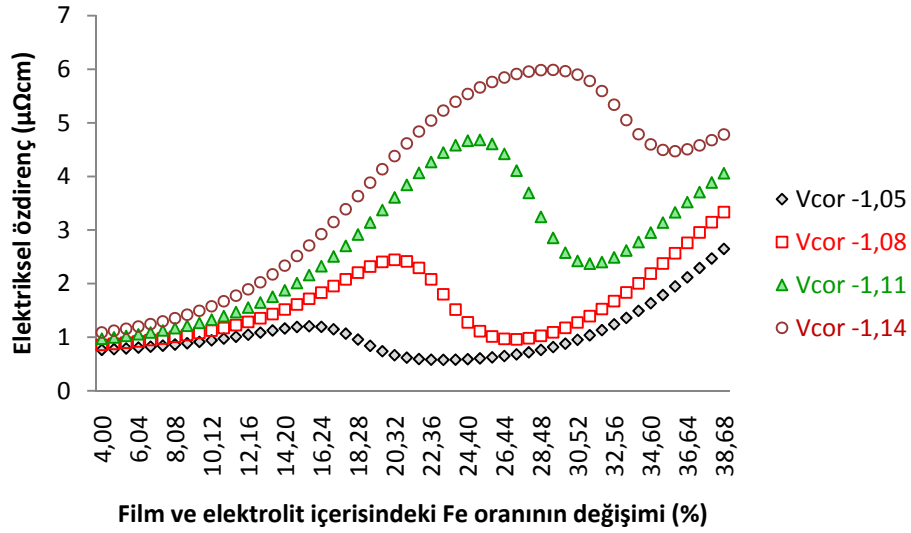
Şekil 3.50. NN'e göre 25 K sabit sıcaklıkta, farklı korozyon gerilimlerinde, elektrolit ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi

3.8.5.2. 100 K Sabit Sıcaklıkta



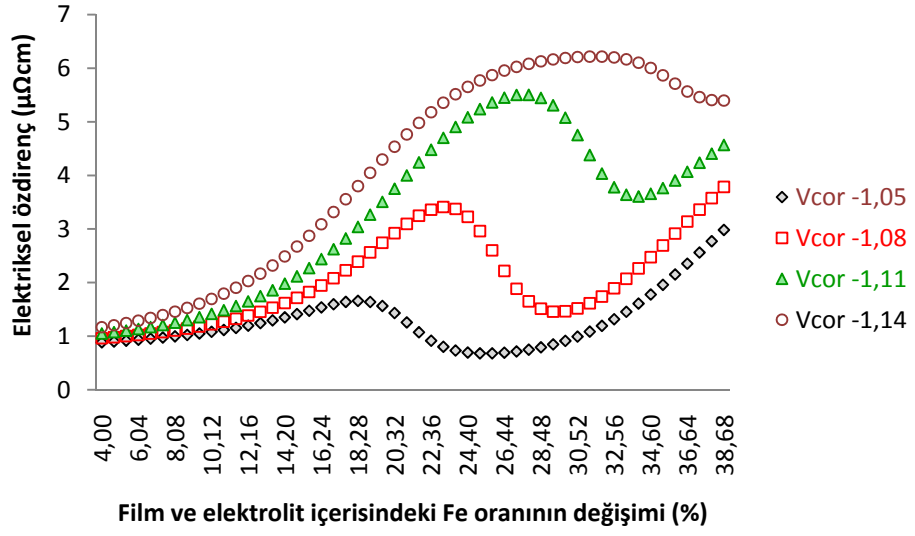
Şekil 3.51. NN'e göre 100 K sabit sıcaklıkta, farklı korozyon gerilimlerinde, elektrolit ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin öz dirence etkisi

3.8.5.3. 175 K Sabit Sıcaklıkta



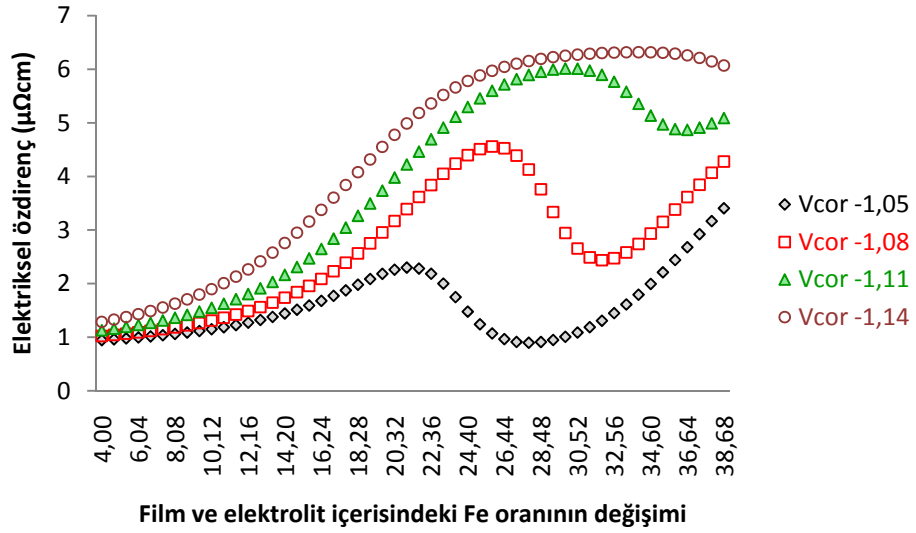
Şekil 3.52. NN'e göre 175 K sabit sıcaklıkta, farklı korozyon gerilimlerinde, elektrolit ve film içerisindeki Fe oranı değişiminin öz dirence etkisi

3.8.5.4. 250 K Sabit Sıcaklıkta



Şekil 3.53. NN'e göre 250 K sabit sıcaklıkta, farklı korozyon gerilimlerinde, elektrolit ve film içerisindeki Fe oranının değişiminin öz dirence etkisi

3.8.5.5. 325 K Sabit Sıcaklıkta



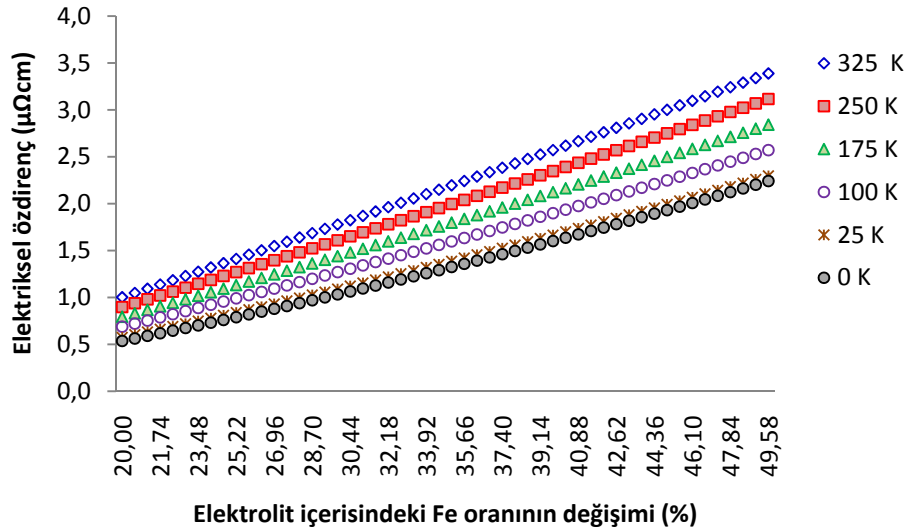
Şekil 3.54. NN'e göre 325 K sabit sıcaklıkta, farklı korozyon gerilimlerinde, elektrolit ve film içerisindeki Fe oranının değişiminin öz dirence etkisi

3.8.6. Sabit Sıcaklık ve Korozyon Geriliminde, Film İçeriği Sabit İken Elektrolit İçerisindeki Fe Oranı Değişiminin Özdirence Etkisi (GEP'e Göre)

Korozyon gerilimi -1,05 V, -1,08 V, -1,11 V ve -1,14 V değerlerinde sabit olarak tutulmuştur. Sıcaklık değerleri her bir korozyon gerilimi değeri için 0 K, 10 K, 25 K, 100 K, 175 K, 250 K, 325 K sıcaklıklarda farklı olarak alınmıştır. Film içeriği sabit iken elektrolit içerisindeki Fe oranı % 20 ila % 50 arasında (Zn % 80 ila % 50 arasında) değiştirilmiştir. Değiştirilen deneysel girdi verilerinden sonra GEP formülü ile hesaplama yapılmıştır. Hesaplama sonucu elde edilen değerlerin, her bir korozyon geriliminde sıcaklık ve elektrolit içeriğindeki demir ve çinko oranı değişiminin elektriksel özdirence etkisinin grafiği çizilmiştir. Korozyon gerilimine göre çizilen grafikler Şekil 3.55, Şekil 3.56, Şekil 3.57 ve Şekil 3.58'de verilmiştir.

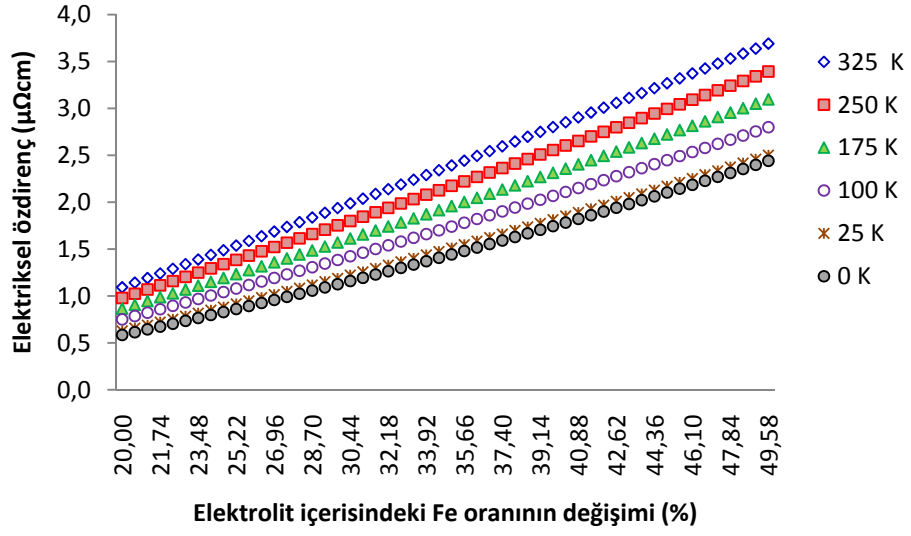
Elde edilen grafiklerde elektrolit içerisindeki demir oranı arttıkça elektriksel özdirence değerinde doğru orantılı olarak artmakta olduğu görülmektedir. Her bir korozyon gerilimindeki elektriksel özdirence değeri grafiklerde incelenirse, korozyon geriliminin negatif yönde polarizasyon değeri arttıkça özdirence değerinde de küçük artışlar meydana geldiği görülmektedir.

3.8.6.1. Korozyon Gerilimi -1,05 V İken



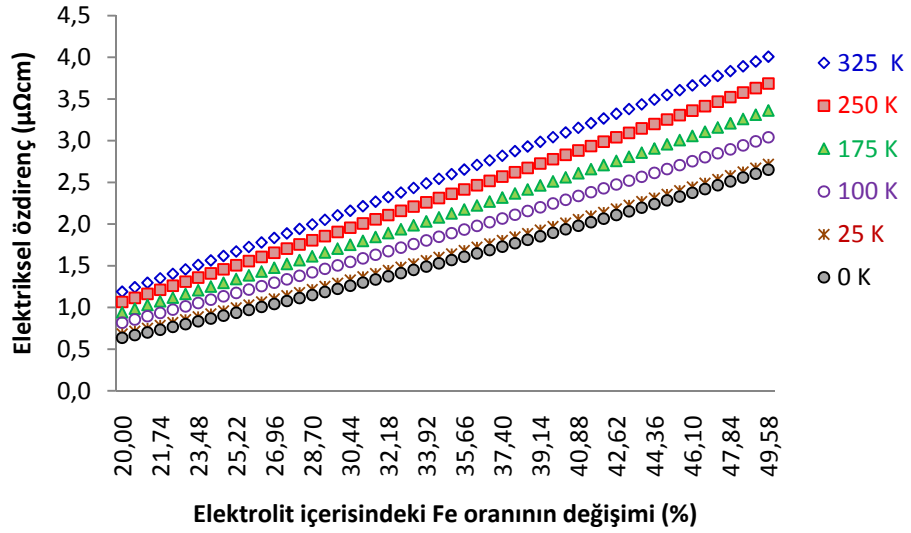
Şekil 3.55. GEP'e göre sabit sıcaklık ve -1,05 V korozyon geriliminde, film içeriği sabit iken elektrolit içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi

3.8.6.2. Korozyon Gerilimi -1,08 V İken



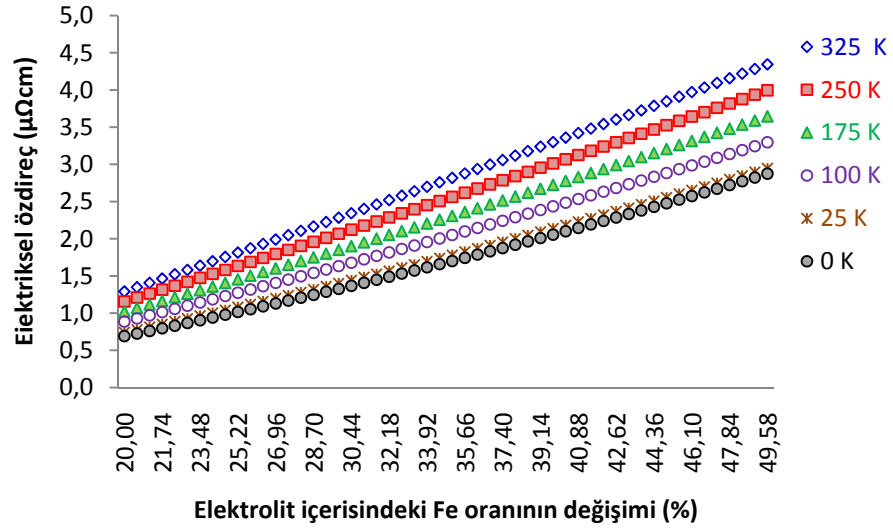
Şekil 3.56. GEP'e göre sabit sıcaklık ve -1,08 V korozyon geriliminde, film içeriği sabit iken elektrolit içeriğindeki Fe oranı değışiminin özdirence etkisi

3.8.6.3. Korozyon Gerilimi -1,11 V İken



Şekil 3.57. GEP'e göre sabit sıcaklık ve -1,11 V korozyon geriliminde, film içeriği sabit iken elektrolit içeriğindeki Fe oranı değışiminin özdirence etkisi

3.8.6.4. Korozyon Gerilimi -1,14 V İken



Şekil 3.58. GEP'e göre sabit sıcaklık ve -1,14 V korozyon geriliminde, film içeriği sabit iken elektrolit içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirenge etkisi

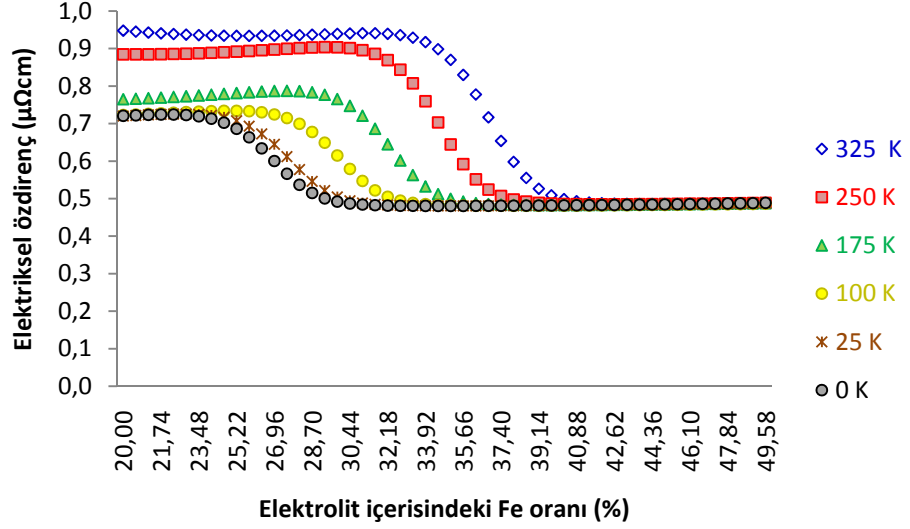
3.8.7. Sıcaklık, Korozyon Gerilimi ve Film İçeriği Sabit Tutularak Elektrolit İçerisindeki Fe Oranı Değişiminin Özdirenge Etkisi (NN'e Göre)

Korozyon gerilimi -1,05 V, -1,08 V, -1,11 V ve -1,14 V değerlerinde sabit olarak tutulmuştur. Sıcaklık değerleri her bir korozyon gerilimi değeri için 0 K, 10 K, 25 K, 100 K, 175 K, 250 K, 325 K sıcaklıklarda farklı olarak alınmış elektrolit içerisindeki Fe oranı % 20 ila % 50 arasında (Zn % 80 ila % 50 arasında) değiştirilmiştir. Değiştirilen deneysel girdi verilerinden sonra NN formülü ile hesaplama yapılmıştır. Hesaplama sonucu elde edilen değerlerin, her bir korozyon geriliminde sıcaklık ve elektrolit içeriğindeki demir ve çinko oranı değişiminin elektriksel özdirenge etkisinin grafiği çizilmiştir. Korozyon gerilimine göre çizilen grafikler Şekil 3.59, Şekil 3.60, Şekil 3.61 ve Şekil 3.62'de verilmiştir.

Elde edilen grafiklerde elektrolit içerisindeki demir oranı arttıkça elektriksel özdirenge değerinin düştüğü görülmektedir. Grafiklerdeki her bir korozyon gerilimindeki elektriksel özdirenge değeri incelenirse, korozyon geriliminin negatif yönde polarizasyon değeri arttıkça özdirenge değerinde küçük artışlar meydana geldiği görülmektedir. Bu sonuç ZnFe alaşımlarının anormal depolama özelliği ile uyum içerisindedir. Brenner ZnFe alaşımlarını elektrolite katılan demir oranının filmde depolanan Fe oranı ile

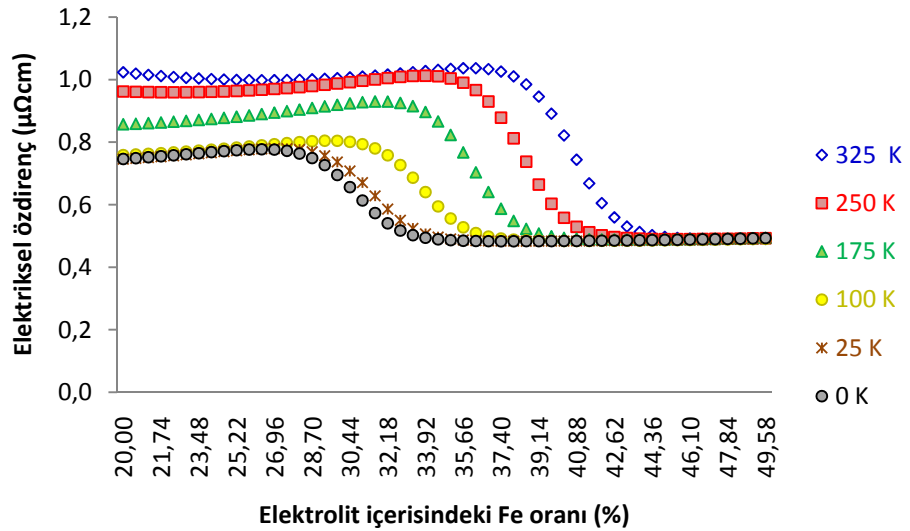
kıyaslandığında düşük değerlerde kaldığından anormal depolama olarak nitelendirmiştir (Brener,1963).

3.8.7.1. Korozyon Gerilimi -1,05 V İken



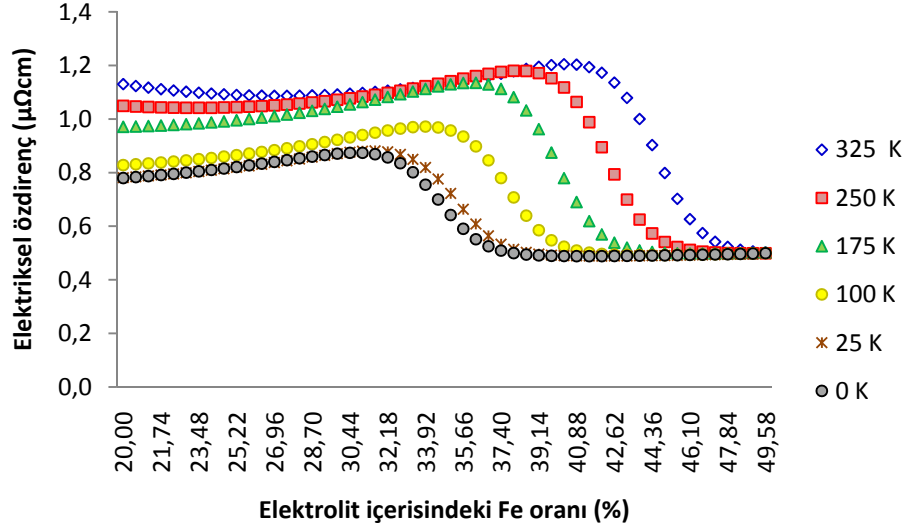
Şekil 3.59. NN'e göre sabit sıcaklık ve -1,05 V korozyon geriliminde, film içeriği sabit iken elektrolit içeriğindeki Fe oranı değişiminin öz dirence etkisi

3.8.7.2. Korozyon Gerilimi -1,08 V İken



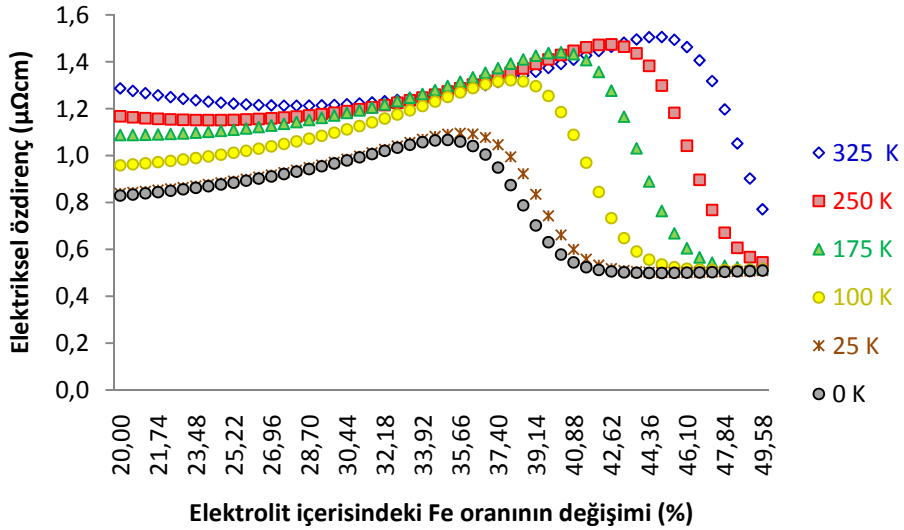
Şekil 3.60. NN'e göre sabit sıcaklık ve -1,08 V korozyon geriliminde, film içeriği sabit iken elektrolit içeriğindeki Fe oranı değişiminin öz dirence etkisi

3.8.7.3. Korozyon Gerilimi -1,11 V İken



Şekil 3.61. NN'e göre sabit sıcaklık ve -1,11 V korozyon geriliminde, film içeriği sabit iken elektrolit içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi

3.8.7.4. Korozyon Gerilimi -1,14 V İken



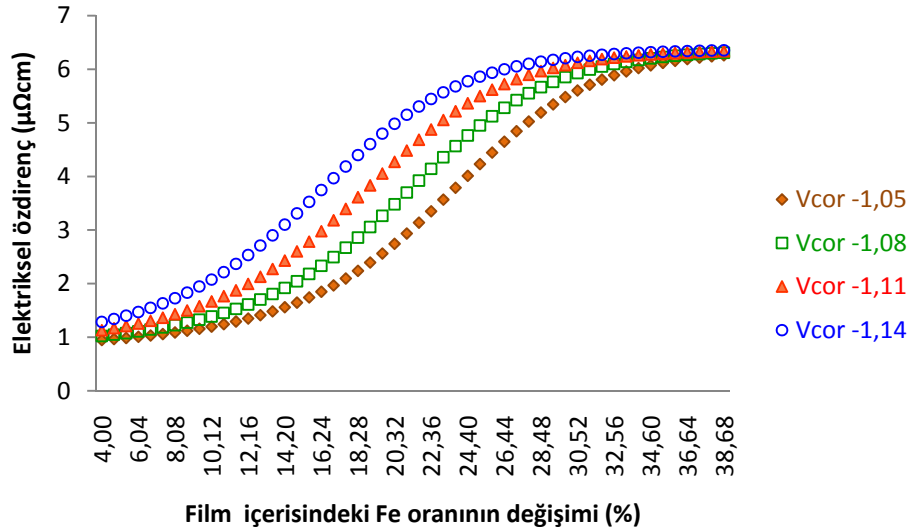
Şekil 3.62. NN'e göre sabit sıcaklık ve -1,14 V korozyon geriliminde, film içeriği sabit iken elektrolit içerisindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi

3.8.8. Sıcaklık, Korozyon Gerilimi ve Elektrolit İçeriği Sabit Tutularak Film İçerisindeki Fe Oranı Değişiminin Özdirence Etkisi (NN'e Göre)

Bu hesaplamada sıcaklık değerleri 25 K, 100 K, 175 K, 250 K, 325 K sabit olarak alınmıştır. Her bir sıcaklık değeri için korozyon gerilimi -1,05 V, -1,08V, -1,11 V ve -1,14 V olarak ayrı ayrı olarak alınmış ve elektrolit içeriği sabit tutulmuştur. Aynı zamanda film içerisindeki Fe oranı % 4 ile % 39 arasında (Zn % 96 ile % 61 arasında) değiştirilmiştir. Değiştirilen deneysel girdi verilerinden sonra NN formülü ile hesaplama yapılmıştır. Her bir sıcaklık ve korozyon gerilim değerinde, film içeriğindeki demir ve çinko oranı değiştirilerek elektriksel özdirenç hesap edilmiş ve grafiği çizilmiştir. Her bir sıcaklık sabit tutularak çizilen grafikler Şekil 3.63, Şekil 3.64, Şekil 3.65, Şekil 3.66, ve Şekil 3.67'de verilmiştir.

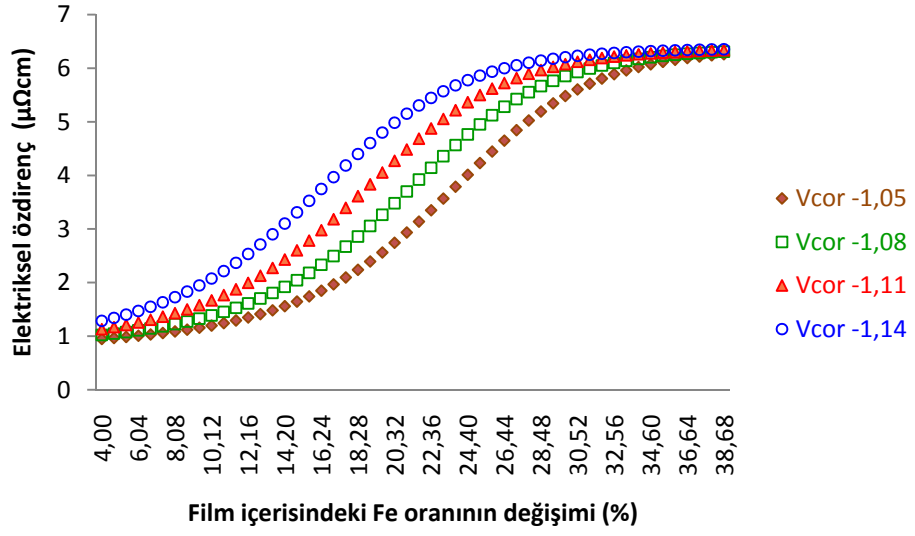
Elde edilen grafikler incelendiğinde ince film alaşımı içerisindeki demir oranı miktarı arttıkça elektriksel özdirenç değerinde arttığı görülmektedir. Aynı zamanda sıcaklık ve korozyon gerilimi arttıkça da elektriksel özdirenç değerinin arttığı görülmektedir.

3.8.8.1. 25 K Sabit Sıcaklıkta



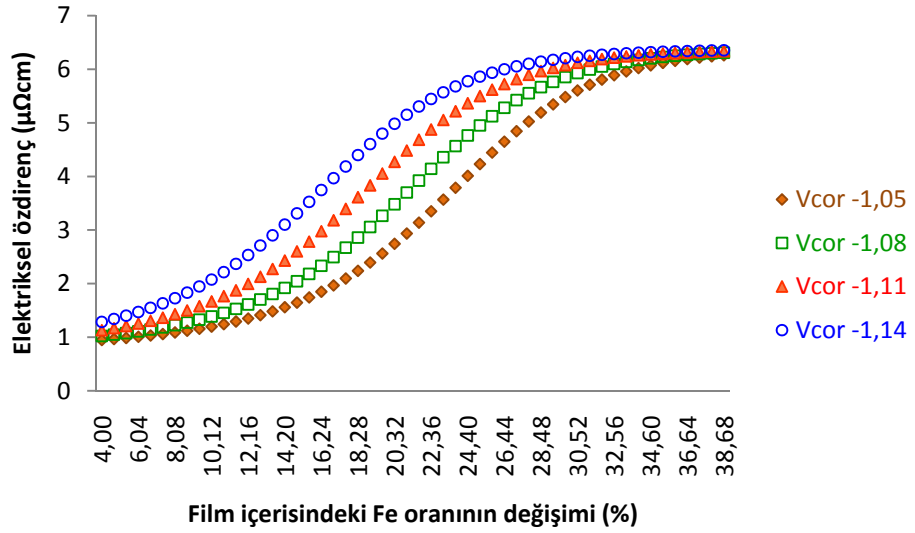
Şekil 3.63. NN'e göre 25 K sabit sıcaklık ve çeşitli korozyon gerilimlerinde, elektrolit içeriği sabit film içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi

3.8.8.2. 100 K Sabit Sıcaklıkta



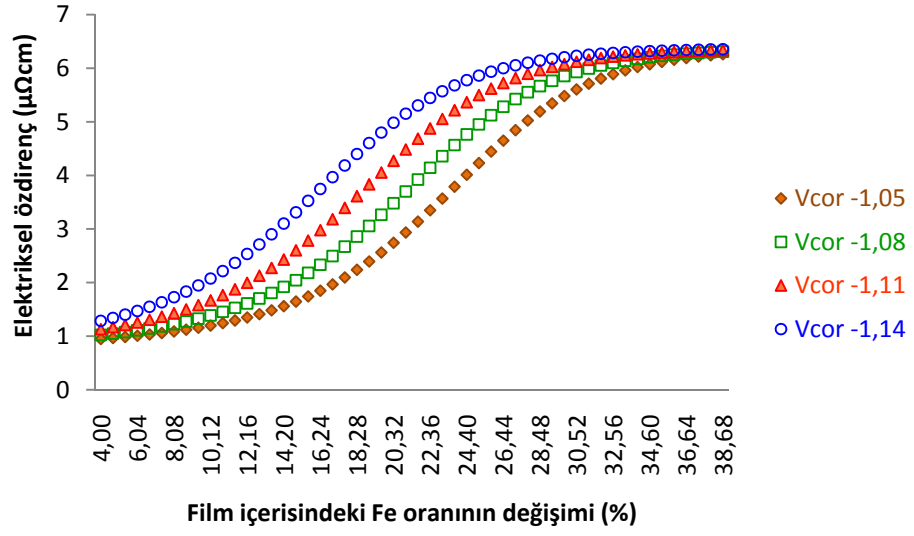
Şekil 3.64. NN'e göre 100 K sabit sıcaklık ve çeşitli korozyon gerilimlerinde, elektrolit içeriği sabit film içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi

3.8.8.3. 175 K Sabit Sıcaklıkta



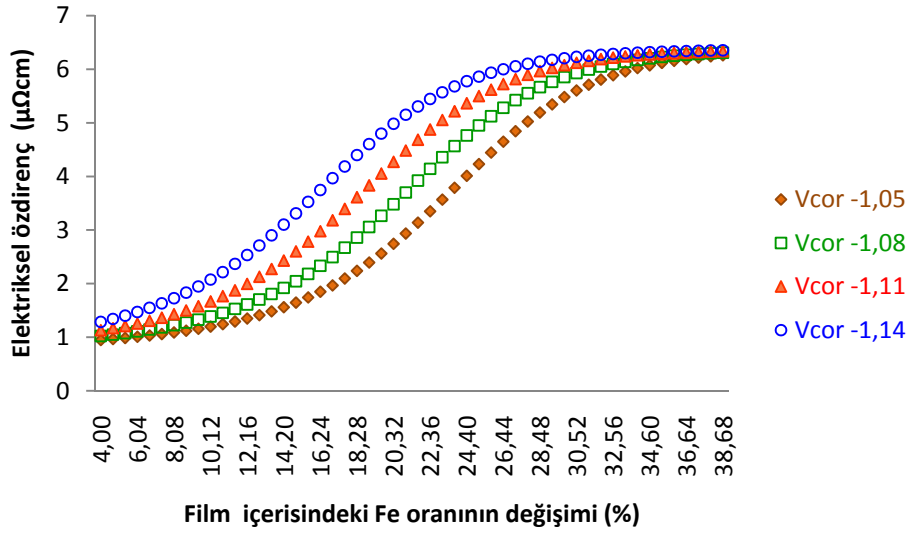
Şekil 3.65. NN'e göre 175 K sabit sıcaklık ve çeşitli korozyon gerilimlerinde, elektrolit içeriği sabit film içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi

3.8.8.4. 250 K Sabit Sıcaklıkta



Şekil 3.66. NN'e göre 250 K sabit sıcaklık ve çeşitli korozyon gerilimlerinde, elektrolit içeriği sabit film içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi

3.8.8.5. 325 K Sabit Sıcaklıkta



Şekil 3.67. NN'e göre 250 K sabit sıcaklık ve çeşitli korozyon gerilimlerinde, elektrolit içeriği sabit film içeriğindeki Fe oranı değişiminin özdirence etkisi

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Fizikte özdirenç formülü sadece filmin kesit alanına, boyuna ve cinsine bağlı bir eşitlik olarak verilmektedir. Oysa filmin üretim şartları özdirenç formülü içerisinde yer almamakta, bu durum yorum yapma güçlüklerine neden olmaktadır.

Sezgisel yöntemler olarak bilinen programlardan Genetik Programlama ve Neural Network programları formülasyon özellikleri yardımı ile verilen girdi parametrelerin çıktısı olarak istediğimiz özdirenç özelliğine ne kadar etki edebildiğini belli bir düzen içerisinde formüle edebilmektedir.

Bu tez çalışmasında elektrokimyasal depolama yöntemi ile elde edilmiş ZnFe alaşımlarının özdirençleri üzerine, ortam sıcaklığı, alaşım filmindeki demir ve çinko miktarı, elektrolite katılan demir ve çinko miktarı ile korozyon potansiyelinin nasıl etki ettiği Genetik Programlama ve Neural Network programının her birisiyle dikkate alınarak yeni bir elektriksel özdirenç formülü üretilmiştir. Genetik programlama ve Neural Network ile uygun formülün elde edilmesi sırasında her iki programla da çok sayıda program seçenekleri değiştirilerek en uygun formül elde edilmeye çalışılmıştır. Üretilen formülün özellikle basit, doğru ve kullanılabilir olmasına dikkat edilmiştir. Bu nedenle program mükerrer bir biçimde çalıştırılmış, içerisinde en iyi sonucu veren formüller seçilmiştir.

Genetik Programlama ve Neural Network programı ile üretilen formüllerin her birisiyle deneysel girdiler değiştirilerek özdirenç hesabı yapılmış ve elde edilen sonuçların grafikleri çizilmiştir. Elde edilen grafiklerin literatürdeki sonuçlarla uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Türetilen her iki formülün doğruluğu test edilerek literatürle karşılaştırılmıştır. Her iki formülünde yüksek doğruluk paylarıyla çalıştığı gösterilmiştir. İstatistiksel parametreler ve girdilerin bazıları sabit tutulup diğerleri değiştirilerek elde edilen doğrulama grafiklerine dayanarak Neural Network programının Genetik Programlama'ya göre daha doğru sonuçlar verdiği, literatürle daha uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Neural Network programı ve Genetik Programlama ile bulunan formüllerin, bu sonuçlara göre yoğun madde fiziği problemlerine doğru ve etkili kesin çözümler getirdiği görülmektedir.

Bu çalışma ile türetilen yeni formüller yardımıyla yapılacak hesaplamalarla elektriksel özdirenç üzerine etki edecek deneysel şartlar hesaba katılmış olacaktır. Uzun süren deneysel çalışmalara kıyasla kısa zamanda ve istatistiksel olarak iyi yaklaşımlar sayesinde hesap yoluyla elde edilen değerler üzerinde yorum yapılabilecektir. Böylece hem zamandan kazanılmış hem de deneysel giderlerden tasarruf sağlanmış olacak ve bir anlamda deneysel şartlar bilgisayar ortamında oluşturulacaktır. Genetik Programlama ve Neural Network'ün önemli bir avantajı kolaylıkla programlanabilme yeteneğinden kaynaklanmaktadır. Oluşan çıktılar umut vericidir. Çıkan sonuçlar deneysel verilerde olmayan girdilerde bile evrensel sonuçlar verebiliğinden özellikle Neural Network Programı ile elde edilen formülün genelleştirilebilmesi yüksektir. Bir sonraki çalışmada özdirenç etkileyen diğer parametrelerin de formülde yer alabileceği yeni formülasyonlar türetilebilir. Özdirençin yanı sıra diğer fiziksel kavramlarında deneysel sonuçlara bağımlılığını test edecek yeni çalışmalar yapılabilir.

5. KAYNAKLAR

- Abdi, H., Valentin, D., Edelman, B., 1999. Neural Networks Series: Quantitative Applications in the Social Sciences. Sage Publications, London.
- Anonim, 2004. www.yapay-zeka.org
- Aylikci, N.K., Tirasoglu E, Karahan İ.H., vd., 2010. Alloying effect on K shell X-ray fluorescence parameters and radiative Auger ratios of Co and Zn in Zn_xCo_{1-x} alloys. Chemical Physics Letters 484, 368-373.
- Bal, C., 2002. Doğru Akım Motorlarının Hız Denetiminde Yapay Sinir Ağlarının Performans Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Baykasoglu, A., Özbakır L., 2006. Multi - Expression Programming for Association Rule Mining (MEPAR), Miner: Multi-Expression Programming for Classification Rule Mining.
- Bell, C.E., Han, J., 1991. A new heuristic solution method in resource-constrained project scheduling. Naval Research Logistic, 38, 315-331.
- Berger, L.I., 1958. Van Der Pauw, Philips Research Reports, 13, 1-18.
- Boctor, F.F., 1990. Some efficient multi-heuristic procedures for resource-constrained project scheduling. European Journal of Operational Research, 49(1), 3-13.
- Bojarczuk, C.C., Lopes, H.S., and Freitas, A.A., 2000. Genetic programming for knowledge discovery in chest pain diagnosis. IEEE Engineering in Medicine and Biology magazine - Special Issue on Data Mining and Knowledge Discovery, 19(4), 38-44.
- Bojarczuk, C.C., Lopes, H.S., Michalkiewicz, E.L., and Freitas, A.A., 2004. A constrained-syntax genetic programming system for discovering classification rules, application to medical data sets. Artificial Intelligence in Medicine 30, 27-48.
- Bolat, B., Erol, K.O., İmrak, E., 2004. Genetic algorithms in engineering applications and the function of operators, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi 4, 264-271.
- Bose, K.B., 2002. Modern Power Electronics and AC Drives. Printice Hall PTR, Upper Saddle River, NJ 07458, USA.
- Brian, J., 1993. Resistance measurements on play-doh TM. Physics Teacher 31, 48-49.
- Broek, V.D., Donkers, T.M., Rijt, V.D., Janssen J.T.M., 1998. Metal Film Precision Resistors, Resistive Metal Films And A New Resistor Concept. Philips Journal of Research 51, 429-447.

- Carvalho, D.R., Freitas, A.A., 2002. A genetic algorithm with sequential niching for discovering small-disjunct rules. In Langdon, W.B., et al, editors, Proceedings Genetic and Evolutionary Computation Conference, July 2002. Morgan Kaufmann, New York and San Francisco, 1035-1042.
- Carvalho, D.R., Freitas, A.A., 2002. New Results For a Hybrid Decision Tree/genetic Algorithm For Data Mining. In Garibaldi, J., et al., editors, Proceedin of the 4th International Conference on Recent Advances in Soft Computing, Nottingham Trent University, 260-265.
- Chow, M.Y., 1997. Methodologies of Using Neural Network and Fuzzy Logic Technologies for Motor Incipient Fault Detection, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. Singapore.
- Cote, B.J., Meisel, L.V, 1981. in Glassy Metals I: Ionic Structure, Elektronik Transport and Crystallisation edit by H.J. Güntheodt and H. Beck, Springer-Verlag, Berlin.
- Çölesen, R., 2002. Veri Yapıları ve Algoritmalar, Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Demeulemeester, E., Herroelen, W., 1992. A branch-and-bound procedure for the multiple resource-constrained project scheduling problem. Management Science, 38(12), 1790-1803.
- Demirci, B., 2006. İndiyum katkılı ZnO ince filmlerin bazı fiziksel özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Doersch, R.H., Patterson, J.H., 1977. Scheduling a project to maximize its present value: a zero-one programming approach. Management Science, 23, 882-889.
- Drude, P., 1900. Zur elektronentheorie der metalle. Annalen Der Physik 1(4), 566-613.
- Drude, P., 1902. Zur elektronentheorie der metalle. Annalen Der Physik 7(4), 687-692.
- Ege Üniversitesi, 2004. Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, <http://bilmuh.ege.edu.tr/~bayindir/Evolap>, İzmir.
- Eggermont, J., Eiben, A.E., Hemert J.I.V., 1999. A comparison of genetic programming variants for data classication. Advances in Intelligent Data Analysis, Third International Symposium (IDA-99). Amsterdam, Netherlands, 281-290.
- Elmas Ç., 2007. Yapa Zeka Uygulamaları, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Elmas, Ç., 2003. Yapay Sinir Ağları, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Erimez, E., vd. 1975. Elektrik Ölçmesi Problemleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi, İstanbul.
- Etzold U, Reitz U, Petzold R, vd., 2008. The metallurgical characterisation of ZnFe alloy coatings on galvanized steel sheet. Praktische Metallographie-Practical Metallography, 45, 173-181.

- Evans, R., Greenwood, D.A., and Lloyd, P., 1971. *Physics Letters* 35 A , 57.
- Ferreira, C., 2000. GEP: A New Adaptive Algorithm For Solving Problems.
- Ferreira, C., 2001. Gene Expression Programming in Problem Solving, WSC6 Tutorial.
- Ferreira, C., 2002. Analyzing the founder effect in simulated evolutionary processes using gene expression programming. *Soft Computing Systems: Design, Management And Applications*, IOS Pres, Netherlands, 153-163.
- Fidelis, M.V, Lopes, H.S., Freitas, A.A., 2000. Discovering comprehensible classification rules with a genetic algorithm. *Proceeding of the Congress on Evolutionary Computation (CEC-2000)*. La Jolla, CA, USA, 805-810.
- Freitas, A.A., 1997. Genetic Programming Framework For Two Data Mining Tasks: Classification And Generalized Rule Induction. *Proceeding of the 2nd Annual Conference, Genetic Programming*, Morgan Kaufmann, Stanford University, 96-101.
- Freitas, A.A., 2002. A Survey Of Evolutionary Algorithms For Data Mining And Knowledge Discovery, In Ghosh A., And Tsutsui S., Editors. *Advances In Evolutionary Computation*, Springer, Berlin, 819-845.
- G.Folino, G., Pizzuti, C., Spezzano, G., 1999. A Cellular Genetic Programming Approach to Classification, *Proceeding Of the Genetic and Evolutionary Computation Conference GECCO99*, Morgan Kaufmann, Orlando, Florida, 1015-1020.
- Ghazanfar, U., Siddiqi, S.A., Abbas, G., 2005. Study of room temperature dc resistivity in comparison with activation energy and drift mobility of NiZn ferrites. *Materials Science and Engineering*, 132-134.
- Goldberg, D.E., 1989. *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Addison-Wesley Publishing Company Incorporated, New York.
- Gruau, F., 1992. Cellular Encoding Of Genetic Neural Networks. Technical Report 92-21.
- Halliday, D., Resnick, R., 1981. *Fiziğin Temelleri*, John Willey and Sons Incorporated
- Ham, M.F., Kostanic, I., 2001. *Principles of Neuro computing for Science and Engineering*. Mcgraw-Hill Companies, New York.
- Hassan, Y., Tazaki, E., 2001. Rule extraction based on rough set theory combined with genetic programming and its application to medical data analysis. *Seventh Australian and New Zeland Intelligent Information Systems Conference*, Perth, Western Australia, 18-21.
- Haykin, S., 1999. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*, Second Edition, Prentice Hall Press, New Jersey.

- Helhel, Y., 2009. Makroekonomik Değişkenler ve Döviz Kuru İlişkisi: Yapay Sinir Ağı ve Var Yaklaşımları ile Öngörü Modellemesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Hertz, J., Krogh, A., and Palmer, R. G., 1991. Introduction to The Theory of Neural Computing. Addison-Wesley Publishing Company
- Holland, J.H., 1975. Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Ann Arbor.
- Hopfield, J.J., 1982. Neural Networks and physical systems with emergent collective computational abilities. Proceedings of the National Academy of Sciences, April, 79, 2554-2558.
- http://www.gamry.com/Products/MultiPort_Pics.htm. (15.05.2010).
- http://www.gamry.com/Sales/Lit_PDF_Files/Reference600_A4_2008.pdf (15.05.2010).
- <http://www.genetic-programming.com/gppreparatory.html>, (27.08.2003).
- Kanca, E., Eskil, M., 2009. Comparasion of New Formulations For Martensite Start Temperature of Fe-Mn-Si Shape Memory Alloys Using Geneting Programming and Neural Networks, CMC-Computers Materials and Continua, 10, 65-95.
- Karahan İ.H., Çetinkara H.A., Güder H.S., 2008. Electrodeposition and characterization of Zn, Zn-Fe and Zn-Fe-Ni coatings in the presence of gelatine as additive. Transactions of the Institute of Metal Finishing.
- Karahan İ.H., Güder, H.S., 2009. Electrodeposition and properties of Zn, Zn-Ni, Zn-Fe and Zn-Fe-Ni alloys from acidic chloride-sulphate electrolytes. Transactions of the Institute of Metal Finishing, 87(13), 155-158.
- Karahan, İ. H., 2007. A study on electrodeposited $Zn_{1-x}Fe_x$ alloys. Journal of Materials Science, 42, 10160-10163.
- Karahan, İ.H, Bakkaloğlu Ö.F, 2009. A new formulation for magnetoresistance of electrodeposited CuCoNi alloy films by neural network. Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, 11(3), 308-312.
- Karahan, İ.H., 2002. Elektrokimyasal depolama yoluyla elde edilen CuCo ve Cu-Co-Ni alaşım filmlerinin yapısal ve magnetorezistans özellikleri. Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, , Erzurum.
- Karray, F.O., De Silva C., 2004. Soft Computing and Intelligent Systems Design: Theory, Tools and Applications. Pearson Addison Wesley, England.
- Kecman, V, 2001. Learning and Soft Computing, The Massachusetts Institute of Technology Press Cambridge, London-England.

- Kesintürk, T., 2006. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5(9), 85-99. İstanbul.
- Kittel, C., Introduction to Solid State Physics, John Willey and Sons Incorporated, 6. Edition, Newyork, USA,
- Koza, J., 1990. Genetic Programming: A Paradigm For Genetically Breeding Populations of Computer Programs to Solve Problems. PhD Thesis, Stanford University, Stanford.
- Koza, J.R., 1992. Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection. MIT Press, Cambridge.
- Koza, J.R., 2003. <http://www.genetic-programming.com/gpanimatedtutorial.html>.
- Koza, J.R., 2003. <http://www.genetic-programming.com/gppreparatory.html>.
- Kurt, M., Semetay, C. 2001. Genetik algoritma ve uygulama alanları. Mühendis ve Makine Dergisi, 42(501), 19-24.
- Leblebici, D., 1983. Elektronik Devreler -1. İstanbul Teknik Üniversitesi, 234-43.
- Lewis W., Brown C., Wilhelmus, J., 2003. Geerts Department of Physics. Texas State University at San Marcos, San Marcos, Texas 78666, USA.
- Lilly, A.C., Deevi, S.C., Gibbs, Z.P., 1998. Electrical properties of iron aluminides, Materials Science and Engineering, A258, 42-49.
- Lorentz, H.A., 1904-1905. Proceedings of the Academy Science, Amsterdam, 7,438, 585, 68.
- McCulloh, W., Pitts, W., 1943. A Logical Calculus of The Ideas Immanent in Nervous Activity, Bulletin of Mathematical Biophysics., 5, 115-133.
- Minsky, M.L., Papert, S.A., 1969. Perceptron, Expanded Edition, Cambridge, MIT Press, London, UK.
- Nabiyev, V.V., 2003. Yapay Zeka. Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Nabiyev, V.V., 2010. Yapay Zeka. Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- Nissen S., 2003. Implementation of a Fast Artificial Neural Network, Department of Computer Science, University of Copenhagen, 29.
- Nissen, S., 2007. FYSA Fast Artificial Neural Network Library, internet sayfası <http://sourceforge.net/projects/FYSA>, (08.02.2008).
- Nissen, S., Larsen, S., and Jensen, S., 2002. Real-time image processing.
- Nist., 2009. Resistivity and Hall Measurement. <http://www.eeel.nist.gov/812/fig3.htm> (04.06.2009).

- Noğay, H., 2008. Selçuk üç fazlı kafesli asenkron motorlarda toplam harmonik distorsiyonunun yapay sinir ağları yöntemi kullanılarak saptanması. Doktora tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.
- Obitko, 1998. Introduction to genetic algorithms with Java applets, Available at: <http://cs.felk.cvut.cz/~xobitko/ga/index.html>.
- Okur, S., 2005. Üstün iletken MgB₂ tellerin üretimi ve karakterizasyonu. Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu proje no:TBAG-2215.
- Omar, M.A., 1975. Elementary Solid State Physics, Addison Wesley Publishing Company, 148.
- Özçalık, H.R., 2003. Dinamik sistemlerin yapay sinir ağları ile düz ve ters modellenmesi. Kahramanmaraş Sütçüimam Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 6(1), Kahramanmaraş.
- Öztemel, E., 2003. Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık, İstanbul.
- Pazourek, A., Pfeiler, W., Sima, V., 2010. Dependence of electrical resistivity of Fe–Al alloys on composition. Intermetallics, 1-3.
- Perendeci, A., 2004. Şeker fabrikası anaerobik atıksu arıtım sisteminin kararlı olmayan koşullarda modellenmesi çalışmaları. Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Perendeci, A., Arslan, S., Tanyolaç, A., Çelebi, S.S., 2004. The effect of history extension on adaptive-network based fuzzy inference system for a real scale anaerobic wastewater treatment plant. Proceedins of the 10th World Congress on Anaerobic Digestion, Aug. 29-Sept. 2, 1392. Montreal, Canada.
- Rao, K.V., 1993. in Amoprphous Metallic Alloys, edited by Luborrsky , Butterworths, London.
- Rumelhart, D.E., McClelland, J.L., 1986. Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition. 1, Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge, Massachusetts.
- Sağiroğlu, Ş., Besdok, E., Erler, M., 2003. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I, Yapay Sinir Ağları, Ufuk Yayıncılık, Kayseri.
- Sağiroğlu, Ş., Beşdok, E., Erler M., 2003. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I Yapay Sinir Ağları, Ufuk Kitap Kırtasiye-Yayıncılık Ticaret ve Limited Şirketi, Kayseri.
- Schroder, D.K., 1990. Eds Renewable Energy, 2 World Renewable Energy Congress, Pergamon Pres. Oxford, New York.
- Seeger, P.K., 1973. Scarttering Semiconductor Physics., An Introduction 2, 283-285.

- Schroder D.K., 1990. Semiconductor Material and Device Characterization Wiley, New York.
- Slowinski, R., 1980. Two approaches to problems of resource allocation among project activities – a comparative study. *Journal of the Operational Research Society*, 31, 711-723.
- Tsuru, T., Kobayashi, S., Akiyama, T., Fukushima, H., Gogia, S.K., Kammel, R., 1997. *Journal of Applied Electrochemistry*, 27, 209.
- Takac, A., 2002. Cellular Genetic Programming Algorithm Applied To Classification Task. Institute of Informatics, Faculty of Mathematics, Physics and Informatics Comenius University, Bratislava, Slovakia.
- Talbot, F.B., 1982. Resource constrained project scheduling with time-resource tradeoffs: the nonpreemptive case. *Management Science*, 28, 1197-1210.
- Teller, A., Veloso, M., 1996. A new learning architecture for object recognition. Oxford University Press, 81-116.
- Tettamanzi, A., Tomassini, M., 2001. *Soft computing*, Springer-Verlag.
- Thiemig, D., Cantaragiu, A.M., Schachschal, S., vd., 2009. Electrocodeposition of hydroxyapatite nanoparticles with zinc-iron alloys. *Surface and Coatings Technology*, 203, 10-11, 1488-1493.
- Ulusoy, G., Ozdamar, L., 1989. Heuristic performance and network resource characteristics in resource constrained project scheduling. *Journal of Operations Research Society*, 40(12), 1145-1152.
- Xu, M., Chai, C., Luo, G., Yang, T., Mai, Z., Lai, W., 2000. Thin solid films. 375, 205-209.
- Vadbaek, 1966. Geometric factors in four point resistivity measurement . Haldor topsoe, semiconductor division.
- Valdes, L.B., 1954. Resistivity measurements on germanium for transistors. *Proceedings of the institute of radio engineers*, 42, 420–427.
- Vora, A.M., 2007. Electrical Transport Properties Of Liquid Cd-Binary Alloys. *Journal Ovonic Research*, 3, 57-66.
- Wenner, F., 1915. A method of measuring earth resistivity, *Bull of Bureo of Standards*, 12, 469–478.
- Widrow B., Hoff M.E., 1960. Adaptive Switching Circuits. *Proceeding Ire Wescon Convention Record, Part 4*, New York, 96-104.
- Wiest, J.D., 1967. Heuristic model for scheduling large projects with limited resources”, *Management Science*, 13(6), 359-377.

- Wong, M.L., Leung, K.S., 1999. Data Mining Using Grammar Based Genetic Programming and Applications, Kluwer Academic Publishers, London.
- Yamashita, Y., 1997. Time Delay Neural Networks for the Classification of Flow Regimes, Pergamon, 21, 367-371.
- Yang, K.K., Talbot, F.B., Patterson, J.H., 1993. Scheduling a project to maximize its net present value: an integer programming approach. European Journal of Operational Research, 64, 188-198.
- Yavuz, S., 2006. Performans Artırmaya Yönelik Paralel Mimarilerin Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı İle Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Yoon, S.H., Kim, H., 2002. Effect of donor Nb. concentration on the bulk electrical resistivity of Nb-doped barium titanate. Journal Of Applied Physics, 92, 1039-1047.
- Yu, R.H., Zhang, X.X., Tejada, J., 1996. Correlation between anisotropy and oxygen or substituted cation in high-temperature superconductors. Journal of Applied Physics, 79, 1979.
- Ziman, M.N., 1961. A theory of the electrical properties of liquid metals. Philosophical Magazine 6, 1013-1034.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Rasim ÖZDEMİR
Doğum Yeri : Darende
Doğum Tarihi : 30.07.1967
E posta : rsmozdemir@gmail.com
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Okul, mezuniyet yılı, şehir)

Orta Öğretim : Endüstri Meslek Lisesi, 1984, Osmaniye
Lisans : Marmara Ünivesitesi, 1988, İstanbul
Yüksek Lisans : Kilis 7 Aralık Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

Gaziantep Üniversitesi, Kilis Meslek Yüksek Okulu Öğretim Görevlisi, 1989-2008
Kilis 7 Aralık Üniversitesi Kilis Meslek Yüksekokulu Öğretim Görevlisi, 2008-