

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPAY ZEKA TEKNİĞİ KULLANAN BİLGİSAYAR
TABANLI YÜKSEK HASSASİYETLİ SICAKLIK ÖLÇME
BİRİMİ TASARIMI**

138914

**Tezi Hazırlayan
İlker DALKIRAN**

**Tezi Yöneten
Prof. Dr. Kenan DANIŞMAN**

**Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2003
KAYSERİ**

138914

Bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

11 / 07 / 2003

JÜRİ:

Üye : Prof. Dr. Mustafa ALÇI
Üye : Prof. Dr. Kenan DANIŞMAN
Üye : Yrd. Doç. Dr. Celal YILDIZ

Mustafa Alçi
Kenan Danişman
Celal Yıldız

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun17..07..2003.... tarih ve0....9.... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

15 EKİM 2003
2003
Prof. Dr. İbrahim ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü
Mühür ve İmza

TEŞEKKÜR

En başta, tez çalışmam süresince bana anlayış gösterdiği, destek olduğu ve en önemlisi bana her zaman yol gösterdiği için tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Kenan DANIŞMAN'a teşekkür ederim.

Geç saatlere kadar bana eşlik eden, zaman zaman çalışmalarına yardımcı olan arkadaşlarım Arş Gör. Fatma YILDIRIM'a, Arş Gör. Nurettin ÜSTKOYUNCU'ya, Arş Gör. Ebru Seza İMAMOĞLU'na ve Arş Gör. Özgür AKSU'ya şükranlarımı sunarım.

Beni bu günlere getiren, maddi manevi desteğini esirgemeyen sevgili aileme teşekkürü borç bilirim.

YAPAY ZEKA TEKNİĞİ KULLANAN BİLGİSAYAR TABANLI YÜKSEK HASSASİYETLİ SICAKLIK ÖLÇME BİRİMİ TASARIMI

ÖZET

Sistem tasarımında önemli bir parametre olan sıcaklık, sürekli kontrol altında tutulması gereken fiziksel bir büyüklüktür. Ancak sıcaklığın kontrol altında tutulması oldukça zordur. Çünkü basınç, akış hızı, genleşme ve diğer fiziksel büyüklükler gibi sıcaklığı boyutla, kütleyle veya zamanla ilişkilendirmek kolay değildir. Sıcaklığın doğrudan ölçülemeyeceğini ancak bir sıvının genleşmesi gibi meydana getirdiği etkileri gözlemleyerek belirlenebileceğini ve gözlemlenen bu etkinin lineer olduğunu kabul ederek ölçülebileceğini söylemek mümkündür. Endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılan sıcaklık sensörleri rezistif sensörler ve termal çiftler olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Rezistif elemanlar, metalik yada yarı iletken olup niteliği değiştirilmiş dönüştürücüler oldukları için işaret işleme amaçlı köprü devreleriyle kullanılırlar. Termal çiftler sıcaklıkla orantılı olarak kendileri voltaj üretirler. Bunun yanı sıra çalışma sahaları oldukça geniştir. Ancak çıkış voltaj seviyeleri çok küçük olduğu için kuvvetlendiriciye ihtiyaç duyarlar.

Yapay zeka metotları, öğrenme, karar verebilme, farklı sonuç çıkarma, karmaşık problemlere basit çözümler sunabilme ve donanım olarak gerçekleştirilme gibi üstün özelliklerinden dolayı son yıllarda birçok alanda başarıyla uygulanmaktadır. Bütün bunlara ilave olarak özellikle lineer olmayan bir yapıya sahip olmalarından dolayı yapay sinir ağları pek çok problemin çözümünde tercih edilmektedir.

Çalışmanın birinci bölümünde sıcaklık ölçme değerlendirme birimleri izah edilmiş ve yapılan çalışmanın amacı açıklanmıştır.

IV

İkinci bölümde, endüstride kullanılan sıcaklık sensörleri ve bu sensörlere ait ölçme devrelerine yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde sıklıkla kullanılan yapay sinir ağı modelleri ve eğitim algoritmaları hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, gerçekleştirilen yapay sinir ağı tabanlı değerlendirme birimi ve literatürde yer alan eğri uydurma (interpolasyon) tekniklerine dayalı değerlendirme birimleri incelenmiştir.

Beşinci ve son bölümde bir önceki bölümde elde edilen sonuçlar irdelenmiş ve ileriki zamanlarda yapılabilecek çalışmalarla ilgili önerilerde bulunulmuştur.

Sonuç olarak yapay sinir ağı tabanlı yüksek hassasiyetli sıcaklık ölçme ve değerlendirme birimi tasarımı ilk defa bu çalışmada gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan sistem, literatürdeki mevcut tekniklerle kıyaslandığında çok küçük hataya ve çok yüksek çözünürlüğe sahip bir şekilde deneysel sonuçlara yakın değerler üretmektedir.

Anahtar Sözcükler: Yapay Sinir Ağları, Termal Çiftler, Sıcaklık Ölçümü, Lineerleştirme

A PC BASED TEMPERATURE MEASUREMENT UNIT DESIGN WITH HIGH ACCURACY USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

SUMMARY

Temperature is a physical quantity that should be kept under control. However it is too difficult to keep it under control in system design. Because it is not easy to make a relation between temperature and length, mass or time like pressure, flow rate or expansion. It is possible to say that temperature cannot measure directly, but its effects can be observed. If its effects are assumed linear, temperature can be measured. Temperature sensors generally used in industrial applications falls into two groups such as resistive sensors and thermocouples. Resistive devices may be metallic or semiconductor, and require some form of bridge circuit for signal conditioning since they are modulating transducers. Thermocouples are self-generating and their operational range is so wide. However their very low output means that an amplifier is always needed in practice.

Artificial Neural Networks (ANNs) have superior characteristics such as learning, generalization, adaptation, error tolerance and parallelism. In addition to these ANNs that have a nonlinear structure are preferred solving many different problems.

In the first chapter of this study, temperature measurement and conditioning units and the purpose of this work are explained.

In the second chapter, temperature sensors used in industry and measurement circuits that belong to those sensors are explained.

VI

In the third chapter, some knowledge is given about generally used ANN models and learning algorithms.

In the fourth chapter, ANN based conditioning unit realization and interpolation techniques based conditioning unit that taken place in literature are studied.

In the fifth chapter the results, which are obtained in the previous chapter, are discussed and some ideas are suggested for future works.

As a result ANN based conditioning unit with high accuracy is realized in this work. When designed system is compared with available techniques in literature the designed system is produce an output with too small error and too high accuracy.

Keywords: Artificial Neural Network, Thermocouple, Temperature Measurement, Linearization

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI	I
TEŞEKKÜR	II
ÖZET	III
SUMMARY	V
İÇİNDEKİLER	VII
KISALTMALAR	XI
TABLolar LİSTESİ	XII
ŞEKİLLER LİSTESİ	XIII

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1. Sıcaklık Ölçme Ve Değerlendirme	1
1.2. Çalışmanın Amacı	3

BÖLÜM II

SICAKLIK SENSÖRLERİ

2.1. Giriş	4
2.2. Rezistif Sıcaklık Dönüştürücüleri	4
2.2.1. Metalik Rezistif Sıcaklık Sensörleri	5
2.2.2. Termistörler	5
2.3. İki Metalli Sıcaklık Sensörleri	6
2.4. PN Eklemler Sensörler	7
2.5. Sıvı Kristal Sıcaklık Sensörleri	8
2.6. Kızıl Ötesi (Infra – Red) Emisyon ve Yüksek Sıcaklık Sensörleri	8
2.7. Termal Çiftler	8
2.7.1. Termoelektrik Kuvvet	9

VIII

2.7.2. Termal Çiftlerin Yapımında Kullanılan Metaller	13
2.7.3. Termal Çift Türleri	13
2.7.3.1. S Tipi Termal Çift (Platin - %10 Rodyum (+) / Platin (-))	14
2.7.3.2. R Tipi Termal Çift (Platin - %13 Rodyum (+) / Platin (-))	14
2.7.3.3. B Tipi Termal Çift (Platin -%30 Rodyum(+)/Platin -%6 Rodyum(-))	14
2.7.3.4. J Tipi Termal Çift (Demir (+) / Bakır - Nikel (-))	15
2.7.3.5. T Tipi Termal Çift (Bakır (+) / Bakır - Nikel (-))	15
2.7.3.6. E Tipi Termal Çift (Nikel - Krom (+) / Bakır - Nikel (-))	15
2.7.3.7. K Tipi Termal Çift (Nikel - Krom (+) / Nikel - Alüminyum (-))	15
2.7.3.8. N Tipi Termal Çift (Nikel - Krom - Silikon (+) / Nikel - Silikon (-))	16
2.7.4. Ölçme Eklemleri	16
2.7.5. Referans Eklemleri	17
2.7.5.1. Doğrultma Hesabı	17
2.7.5.2. Doğrultma Ve Kararlılık Teknikleri	18
2.7.5.2.1. Ortam Sıcaklığına Eşit Referans Sıcaklık	18
2.7.5.2.2. Donma Noktası (0 °C)	18
2.7.5.2.3. Peltier Termostat Elemanı (0 °C)	19
2.7.5.2.4. Elektriksel Termostatlar (50 °C ~ 60 °C)	19
2.7.5.2.5. Isı İletim Termostatları	19
2.7.5.2.6. Doğrultma Köprü Devreleri	20
2.7.5.2.6.1. Elektronik Doğrultma Elemanları	21
2.7.6. Yüksek Sıcaklık Termal Çiftleri	21

BÖLÜM III

YAPAY SİNİR AĞLARI 23

3.1. Giriş	23
3.2. Biyolojik Nöron	24
3.3. Yapay Nöron	25
3.4. Yapay Sinir Ağlarının Temel Özellikleri	27
3.4.1. Doğrusal Olmama	27
3.4.2. Öğrenme	27
3.4.3. Genelleme	28

3.4.4. Uyarlanabilirlik	29
3.4.5. Dağıtılmış Birleşik Hafıza	29
3.4.6. Hata Toleransı	29
3.4.7. Paralel İşlem Yapma	29
3.5. Yapay Sinir Ağlarının Gruplandırılması	29
3.5.1. Ağ Mimarisine Göre Gruplandırma	30
3.5.1.1. İleri Beslemeli Ağlar	30
3.5.1.2. Geri Beslemeli Ağlar	30
3.5.2. Kullanılan Öğrenme Algoritmasına Göre Gruplandırma	31
3.5.2.1. Danışmanlı Öğrenme (Supervised Learning)	31
3.5.2.2. Danışmansız Öğrenme (Unsupervised Learning)	31
3.5.2.3. Takviyeli Öğrenme (Reinforcement Learning)	31
3.6. Ağ Modelleri	31
3.6.1. Çok Katlı Perseptronlar (MLP)	32
3.6.2. Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları	33
3.6.3. LVQ Ağı (Learning Vector Quantization)	33
3.6.4. SOM Ağı (Self Organising Map)	33
3.6.5. Hopfield Ağı	34
3.6.6. Elman Ve Jordan Ağları	34
3.7. Öğrenme Algoritmaları	34
3.7.1. Geri Yayılım	34
3.7.2. Delta-Bar-Delta	35
3.7.3. Genişletilmiş Delta-Bar-Delta	37
3.7.4. Hızlı Yayılım	39
3.7.5. Levenberg-Marquardt	40

BÖLÜM IV

YAPAY SİNİR AĞI TABANLI YÜKSEK HASSASİYETLİ SICAKLIK ÖLÇME BİRİMİ

4.1. Giriş	42
4.2. Uygulama Devresinin Blok Yapısı Ve Devre Elemanları	42
4.2.1. ADG527 Analog Seçici	43
4.2.2. AMP02 Enstrümantasyon Kuvvetlendiricisi	44

X

4.2.3. ADG976 A/D Dönüştürücü	45
4.2.3.1. A/D Dönüşümü	45
4.2.3.2. Bilgisayar Destekli Dönüşüm İşlemleri	46
4.2.4. AD595 Sıcaklık Dönüştürücüsü	48
4.3. Ölçme Değerlendirme Birimi	49
4.3.1. Yapay Sinir Ağları Tabanlı Değerlendirme	50
4.3.2. Eğri Uydurma Teknikleri İle Değerlendirme	52
4.4. Program Arayüzü	56

BÖLÜM V

SONUÇ

61

KAYNAKLAR

64

EK-1

68

ÖZGEÇMİŞ

80

KISALTMALAR

ROM	Sadece Okunabilir Hafıza
RTD	Rezistans Sıcaklık Dönüştürücü
NTC	Negatif Sıcaklık Katsayısı
PTC	Pozitif Sıcaklık Katsayısı
emf	Termoelektrik Kuvvet
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission)
ANN	Artificial Neural Network
YSA	Yapay Sinir Ağı
MLP	Çok Katmanlı Perseptron
LVQ	Learning Vector Quantization
SOM	Self Organising Map
BP	Geri Yayılım (Back Propagation)
DBD	Delta-Bar-Delta
EDBD	Genişletilmiş Delta-Bar-Delta (Extended Delta-Bar-Delta)
QP	Hızlı Yayılım (Quick Propagation)
LM	Levenberg-Marquardt
A/D	Analog/Dijital
ISA	Industry Standart Architecture
SPS	Saniyedeki Örnekleme Hızı
rms	Etkin

TABLULAR LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1	100 °C Sıcaklıktaki Platin Referans Alınarak Elde Edilen emf Değerleri	13
Tablo 2.2	IEC 584 Standartlarına Uygun Üretilen Termal Çift Çeşitleri	14
Tablo 3.1	Yapay Ve Biyolojik Nöronlar Arasındaki Benzerlikler	26
Tablo 3.2	Aktivasyon Fonksiyonları	28
Tablo 4.1	Farklı Öğrenme Algoritmaları Kullanılarak Eğitilen Yapay Sinir Ağlarının Etkin Eğitim Ve Test Hataları	51
Tablo 4.2	Farklı Öğrenme Algoritmaları Kullanılarak Eğitilen Yapay Sinir Ağlarının Korelasyon Katsayıları	52
Tablo 4.3	J Tipi Termal Çift İçin Elde Edilen Eğri Denklemleri Ve Denklem Katsayıları	53
Tablo 4.4	İnterpolasyon Yöntemi İle Elde Edilen Denklemlerin Ürettiği Sıcaklık Değerleri Ve Deneysel Olarak Elde Edilen Sıcaklık Değerleri Arasındaki Etkin Hatalar	54
Tablo 4.5	İnterpolasyon Yöntemi İle Elde Edilen Sıcaklık Değerleri Ve Deneysel Olarak Elde Edilen Sıcaklık Değerleri Arasındaki Korelasyon Katsayıları	54
Tablo 4.6	J Tipi Termal Çift İçin 5. Dereceden Eğri Ve Yapay Sinir Ağına Ait Sonuçlarla Deneysel Sonuçlar Arasındaki Mutlak Hatalar	55
Tablo 4.7	8255 Mikroişlemci Tabanlı Giriş Çıkış Kartının Donanım Adresleri	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No	
Şekil 2.1	Platin Dirençli Dönüştürücü Modeli	5
Şekil 2.2	PTC Termistörlerin Direnç-Sıcaklık Karakteristiği	6
Şekil 2.3	İki Metalli Şerit	7
Şekil 2.4	Bir Termal Çiftin Şematik Gösterilimi	8
Şekil 2.5	Yaygın Olarak Kullanılan Termal Çiftlerin Sıcaklığa Bağlı Olarak Ürettikleri emf Değerleri	10
Şekil 2.6	Termoelektriksel Devre	12
Şekil 2.7	Termal Çift Eklemleri	16
Şekil 2.8	Termal Çiftin Ürettiği emf Değeri (E') Ve Üretmesi Gereken emf (E) Değerleri	18
Şekil 2.9	Referans Eklem Termostatı (+50 °C)	19
Şekil 2.10	Doğrultma Köprü Devresi	20
Şekil 2.11	Yüksek Sıcaklık Termal Çiftlerinin Sıcaklığa Bağlı emf Değerleri	22
Şekil 3.1	İnsan Vücudunda Bulunan Sinir Sisteminin Blok Yapısı	24
Şekil 3.2	Biyolojik Nöron	25
Şekil 3.3	Yapay Nöronun Yapısı	27
Şekil 3.4	Çok Katmanlı Perseptronlar	32
Şekil 4.1	Uygulama Devresine Ait Blok Şema	43
Şekil 4.2	ADG527 Analog Seçici Doğruluk Tablosu Ve Blok Şeması	44
Şekil 4.3	AMP02' nin Blok Şeması	45
Şekil 4.4	Analog / Dijital Dönüşüm	46
Şekil 4.5	Analog Sinyal Ve 4 - Bit Dijital Eşdeğeri	47
Şekil 4.6	AD595 Tüm Devresinin Blok Şeması	48
Şekil 4.7	AD595 İle Gerçekleştirilen Celcius Termometre	49
Şekil 4.8	Gerçekleştirilen Yapay Sinir Ağının Blok Şekli	51
Şekil 4.9	E, J Ve K Tipi Termal Çiftlerin Deneysel Olarak Elde Edilen Sıcaklık Ve emf Değerleri Ve Levenberg-Marquardt Algoritmasıyla Eğitilen Ağın Test Sonucunda Elde Edilen Sıcaklık Ve emf Değerleri	53
Şekil 4.10	J Tipi Termal Çift İçin Levenberg-Marquardt Geri Yayılım Algoritmasından Ve 5. Dereceden Eğriden Elde Edilen Sonuçlar İle Deneysel Sonuçlar Arasındaki Mutlak Hataya Ait Eğriler	55
Şekil 4.11	Bilgisayar Ortamına Veri Aktarmak için Hazırlanan Program Arayüzü	56
Şekil 4.12	Arka Planda Önceden Eğitilmiş Yapay Sinir Ağının Çalıştığı Termal Çiftlere Ait Verilerin Okunduğu Ve Değerlendirildiği Program Arayüzü	58
Şekil 4.13	Hazırlanan Programa Ait Akış Şeması	60

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1. Sıcaklık Ölçme Ve Değerlendirme

Sıcaklık, insanların sürekli olarak ilgi duydukları bir nicelik olmuştur. Dolayısıyla sıcaklığın ölçülebilmesi için çeşitli elemanlar imal edilmiştir. Bunlar arasında en yaygın olanı cıvalı termometredir. Günümüzde ölçüm yapılan sıcaklık sahası – 270 °C ile 10000 °C arasında değişmektedir. Ancak çoğu uygulama bu saha, oda sıcaklığı ile 2000 °C aralığındadır [1]. Sıcaklık ölçümü için kullanılan birçok sensör vardır ve bunlar arasında ucuz olmaları, küçük boyutlu olmaları, doğrulukları ve geniş çalışma sahaları nedeniyle termal çiftler en çok kullanılan elemandır.

Sensörlerin ölçtükleri sıcaklık değerleri ile çıkışlarında ürettikleri elektriksel büyüklükler arasında lineer olmayan bir ilişki vardır. Dolayısıyla sensör çıkışlarının daha kolay bir şekilde değerlendirilebilmesi için girişle ilişkili olarak lineerleştirilmesi gerekmektedir.

Gelişen teknolojiyle beraber mikroişlemci fiyatlarının düşmesi, veri değerlendirme sistemlerini ihtiva eden birçok tasarımda bu devre elemanlarının tercih edilmesinde uygun ortamı hazırlamıştır. Dolayısıyla bunların birer devre elemanı olarak kullanılmasıyla analog lineerleştirme yöntemlerinin yerine sayısal lineerleştirme yöntemleri tercih edilmeye başlanmıştır [2].

Günümüzde mikroişlemci tabanlı sıcaklık ölçüm sistemlerinin tasarımında, girişle lineer olmayan çıkış üreten sensörlerin çıkışlarının lineerleştirilmesi maksadıyla interpolasyon metotları kullanılmaktadır. Bu metotla yapılan tasarımlar, iki alternatif üzerine kurulmuştur. Bunlardan ilkinde, katsayıları sadece okunabilir bir hafıza (ROM) üzerinde saklanan ve interpolasyon tekniğiyle elde edilen birinci dereceden veya daha yüksek dereceli bir denklem ile sensörden alınan mevcut giriş verileri kullanılarak

yapılan hesaplamalar neticesinde çıkışlar üretilir. Ancak burada denklemin derecesi küçük olursa katsayıların sayısı da az olmaktadır. Tasarlanan sistemin yapısı basit olmakla beraber, sistemin çıkışında elde edilen sonuçlar ile gerçek sonuçlar arasındaki hata miktarı büyük olmaktadır. Artırılan sistem derecesi ile birlikte denkleme ait katsayıların sayısı ve buna paralel olarak sistem karmaşası da artmaktadır. İkinci yöntemde ise, ROM üzerinde saklanan tek boyutlu “look-up table” olarak isimlendirilen bir veri tabanı oluşturulmakta ve sensörden okunan veriye karşılık bu tablodan uygun değerler seçilerek çıkışa aktarılmaktadır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı oluşturulan veri tabanının büyüklüğünün sistemin hassasiyeti ile doğru orantılı olarak artmasıdır. Diğer bir deyişle yüksek hassasiyetli çıkışın arzu edildiği uygulamalarda ihtiyaç duyulan hafıza boyutlarının artması kaçınılmazdır [3].

Yukarıda bahsedilen tekniklerin her ikisi de, tek bir tip termal çiftin giriş-çıkış karakteristiğinin lineerleştirilmesi işleminde kullanılabilir. Bu tekniklerle yapılabilecek en iyi tasarım, farklı ortamlarda ölçüm yapan aynı tip termal çiftlerden alınacak bilgilerin değerlendirilmesi olacaktır. Sistemin farklı tipteki bir termal çiftten alınan bilgiyi değerlendirebilmesi için bütün katsayıların veya veri tabanının tümüyle değiştirilmesi gerekir. Şayet gerçekleştirilen tek bir tasarımla iki veya daha fazla sayıda ve tipteki sensörden alınan bilgilerin değerlendirilmesi istenirse, katsayıların saklandığı ROM hafıza veya veri tabanı büyüklüğü, farklı tipteki sensör sayısı ile ilişkili olarak katlanarak artacaktır.

Yapay sinir ağları, nöronların yapısındaki lineer olmayan transfer fonksiyonlarından dolayı gerçek hayatta karşılaşılan ve lineer olmayan problemlerin çözümünde başarılı sonuçlar vermektedir [4]. Herhangi bir probleme ait az sayıdaki örnekten problemin giriş ve çıkışları arasında ilişki kurup daha önce hiç karşılaşılmayan girişlere karşılık beklenen çıkışlara çok yakın sonuçlar üretmektedir. Bunun yanı sıra ilgilenilen problemde meydana gelen değişimlere göre yeniden eğitilebilir olması ilgi çekicidir. Yapay sinir ağlarının, probleme ait bilgileri depolaması ve paralel işlem yapabilmesi, pek çok farklı disiplinlerde kullanılmasının nedenlerindedir. Genel olarak bakıldığında inşaat, yapı, makine, kimya, elektronik, süreç ve sistem mühendisliğinde yapay sinir ağları, oldukça fazla uygulama alanı bulmuştur [5].

Elektronik mühendisliğinde de oldukça geniş bir yer edinen yapay sinir ağları, özellikle insan vücudunda oluşan elektriksel işaretlerin analizinde [6], kontrol ve kumanda devrelerinde [7-8], robot uygulamalarında [9], optik konularında [10], görüntü işlemede [11], kullanılmakta olup bu konuya gösterilen ilgi her geçen gün daha da artmaktadır.

Lineer olmayan sistem karakteristiklerini en az hata ile modelleyebilme potansiyeline sahip olmalarından dolayı yapay sinir ağları, fonksiyon yaklaşırma (eğri uydurma) alanında da yaygın olarak kullanılmaktadır [3-4, 12]. Yapay sinir ağları kullanılarak ölçüm sisteminin kalibrasyon verisinden kolayca elde edilebilen ve öğrenme verisi olarak da adlandırılan giriş-çıkış veri çiftinden doğrudan olmasa da dolaylı olarak giriş çıkış ilişkisini ortaya koyan F fonksiyonu elde edilir. Bu bağlamda, Polinomial interpolasyon gibi klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında, sistem davranışlarının modellenmesinde yapay sinir ağları daha düşük hatalar sağlamaktadır [13]. Ayrıca yapay sinir ağları kullanılarak yüksek dereceden polinomial interpolasyonun neden olduğu bilinen sayısal kararsızlık problemleri aşılmaktadır [14].

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, farklı termal çiftlerden alınan sıcaklık bilgilerinin yapay sinir ağı tabanlı bir sistem tarafından değerlendirilmesi amacıyla bir sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. E, J ve K tipi termal çiftlerinin ürettiği voltaj değerleri kullanılarak yapay sinir ağı eğitilmiş, eğitim aşaması sona erdikten sonra ağı, daha önce hiç karşılaşmadığı veriler kullanılarak test edilmiştir.

Bunun yanı sıra, gerçekleştirilen sistemin hassasiyetini ortaya koymak amacıyla interpolasyon metotlarıyla elde edilen sonuçlar ile mukayese edilmeye çalışılmıştır.

Bölüm II'de sıcaklık sensörleri hakkında bilgi verilmiş, Bölüm III'de yapay sinir ağları açıklanmıştır. Bölüm IV'de yapay sinir ağı tabanlı ve eğri uydurma tekniklerine dayalı sıcaklık ölçme birimi izah edilmiş ve Bölüm V'de elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

BÖLÜM II

SICAKLIK SENSÖRLERİ

2.1.Giriş

Beş duyumuz tarafından algılanabilen fiziksel büyüklüklerden birisi olan sıcaklık elbette ki mühendisler açısından da önemli bir tasarım parametresidir. Sıcaklığın elektronik sistemlerce algılanması ve devamında değerlendirilmesi oldukça zordur. Çünkü basınç, akış hızı, genleşme gibi fiziksel büyüklüklere oranla sıcaklığı, boyutla, kütleyle veya zamanla ilişkilendirmek daha zordur. Sıcaklığın doğrudan ölçülemeyeceğini ancak bir sıvının genleşmesi gibi meydana getirdiği etkileri gözlemleyerek belirlenebileceğini ve gözlemlenen bu etkinin lineer olduğunu kabul ederek ölçülebileceğini söylemek mümkündür [15].

Tarihte sıcaklık, ilk defa kullanılabilir bir sahada Galileo tarafından ölçülmüştür. Galileo'nun kullandığı cihaz en ilkel termometre olarak kabul edilebilir [15].

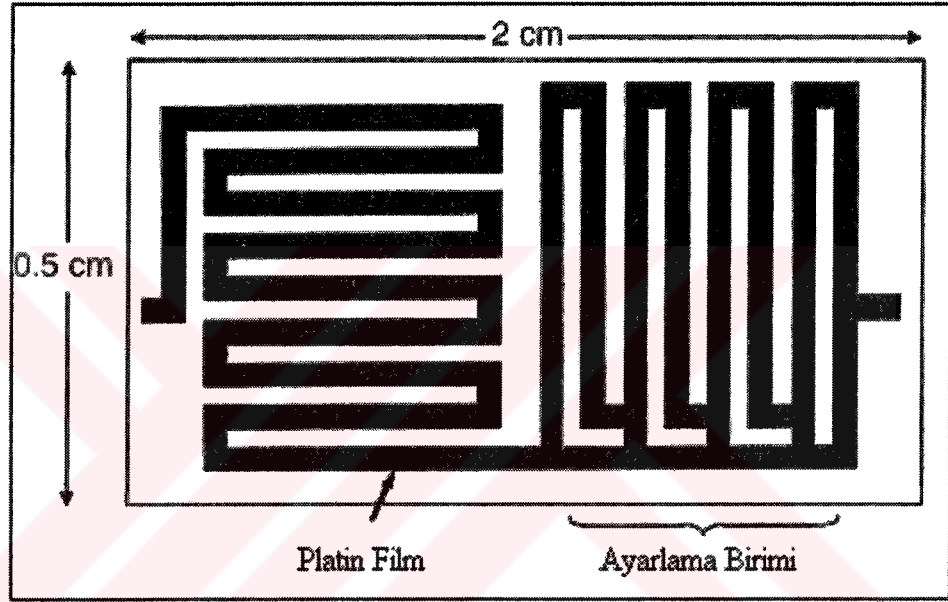
Mühendislikte kullanılan sıcaklık sensörleri iki temel gruba ayrılır: Rezistif ve termoelektriksel. Rezistif elemanlar, metalik veya yarı iletken olup niteliği değiştirilmiş dönüştürücüler oldukları için işaret işleme amaçlı köprü devreleriyle kullanılırlar. Termoelektriksel sensörler veya diğer adlarıyla termal çiftler sıcaklıkla orantılı olarak kendileri voltaj üretirler. Bunun yanı sıra çıkış voltaj seviyeleri çok küçük olduğu için kuvvetlendiriciye ihtiyaç duyarlar [15].

2.2. Rezistif Sıcaklık Dönüştürücüleri

Yaygın olarak kullanılan rezistif sıcaklık dönüştürücüleri, metal yada yarı iletkenlerden imal edilirler. Rezistans sıcaklık dönüştürücüleri (Resistance Temperature Detectors, RTDs) olarak da adlandırılan yarı iletken modelleri metal olanlara nazaran hem daha yaygındır hem de daha ucuzdur. Buna karşın metalik olanları daha üstün performans sergiler ve yüksek hassasiyet gerektiren tasarımlarda tercih edilirler [16].

2.2.1. Metalik Rezistif Sıcaklık Sensörleri

Bu tip dönüştürücüler, tel sarımlı dirençlere benzerler. Ölçme işleminde kullanılacak şekilde küçük boyutlu bir cam fanusla çevrelenmiştir. Şekil 2.1.'den görüleceği gibi diğer bir kılıf yapısı da dikdörtgen matris formundadır. Seramik zemin üzerine platin parçacıklar yerleştirilmesiyle oluşturulan bu modelin gövde bağlantıları yüksek hassasiyetli çalışmalar amaçlanarak lazerle akordlanmıştır.



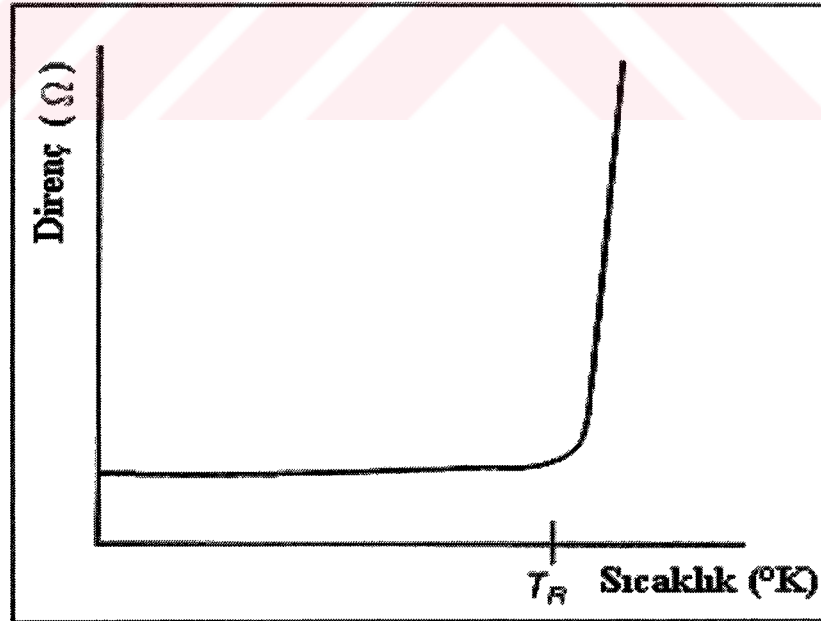
Şekil 2.1. Platin Dirençli Dönüştürücü Modeli.

Metalik RTD'lerin nominal direnç değeri R_0 , çok küçük değerler ile birkaç kilo ohm'lar arasında değişebilir. Fakat tipik olarak bu değer 100Ω civarındadır ve toleransı $\pm \%20$ dir [15].

2.2.2. Termistörler

Termistörler, küçük boyutlu yarı iletken dönüştürücülerdir ve genellikle top , disk veya çubuk şeklinedirler. İki veya daha fazla metal oksidin kombinasyonundan meydana gelirler. Şayet oksit olarak kobalt, bakır, demir, magnezyum, manganez, nikel veya çinko kullanılırsa; elde edilen yarı iletken sensörün negatif sıcaklık katsayısına (NTC) sahip olduğu söylenir. Diğer bir deyişle artan sıcaklığa karşılık sensörün elektriksel dirençliliği azalır. Bu tip termistörlerin dirençleri çok geniş bir sahada değişmektedir. Tipik olarak elemanın direnci $0\text{ }^\circ\text{C}$ de $10\text{ K}\Omega$ ve $100\text{ }^\circ\text{C}$ de $200\text{ }\Omega$ 'dur. Bahsedilen bu

yüksek hassasiyet, çok küçük sıcaklık değişimlerinin sezilmesine imkan sağlamaktadır. Fakat metalik RTD'ler ile mukayese edildiğinde termistörlerin sıcaklık sezmedeki doğruluğu, üretim aşamasındaki yarı iletkenlerin kompanzasyonlarında meydana gelen kaçınılmaz değişimlere bağlı olarak daha kötüdür. Pek çok termistörün toleransı % 10 ~ 20 arasındadır ve bu sebeple yarı iletken termistörlerin kullanıldığı devrelerde çıkışta oluşacak hataları önlemek için mutlaka ek düzenlemeler yapılmalıdır. Oksit olarak baryum, kurşun gibi elementlerin kullanıldığı ve pozitif sıcaklık katsayılarına (PTC) sahip termistörler de mevcuttur. PTC'ler, NTC'lerden farklı olarak artan sıcaklığa bağlı olarak dirençleri artan elemanlardır. Bu sebeple PTC'ler daha ziyade cihazları, aşırı ısınmadan korumak amacıyla kullanılırlar. Şekil 2.2.'de görüldüğü üzere eşik sıcaklık değerine kadar çok küçük bir dirençlilik gösteren elemanın, eşik değerini aşan sıcaklıkla beraber dirençliliği ani olarak çok büyük değerlere ulaşır. Buradan hareketle korunmak istenen sistem yada cihazla güç kaynağı arasına seri bağlanacak bir PTC, herhangi bir sebeple sıcaklık aşırı arttığında yüksek dirençlilik göstererek besleme akımını keser [17].

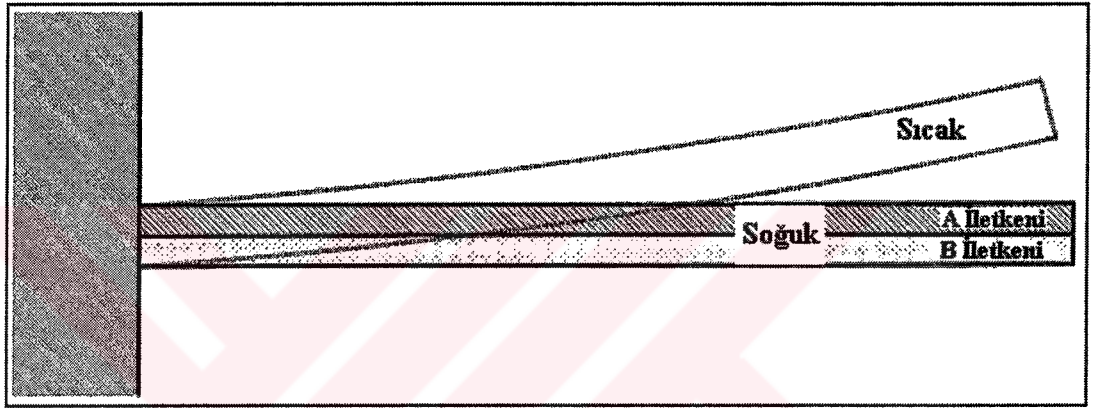


Şekil 2.2. PTC Termistörlerin Direnç – Sıcaklık Karakteristiği.

2.3. İki Metalli Sıcaklık Sensörleri

İki metalli şeritler, farklı termal genişleme katsayılarına sahip iki metal birbirine bağlanarak elde edilir. Temel elementler olarak pirinç ve nikel - demir karışımı

alaşım lar kullanılır. Elemanın sıcaklığı arttığında pirinç alaşım değerine göre daha fazla genişler ve eleman eğri bir şekil alır. Sensörde meydana gelen genişleme matematiksel denklemler aracılığıyla sıcaklıkla ilişkilendirilir ve bu şekilde ölçüm yapılır. Şekil 2.3.'de çalışama prensibi verilen iki metalli sensörler, düşük maliyetli, yüksek doğruluğun önemli olmadığı sıcaklık kontrol sistemlerinde açma - kapatma (on - off) elemanı olarak kullanılabilir. Elektrik motorlarında aşırı yüklenme durumunda sistemi kapatacak anahtar örnek bir uygulama olarak verilebilir [15].



Şekil 2.3. İki Metalli Şerit.

2.4. PN Eklemlili Sensörler

Düşük maliyetlerinden ötürü, PN eklemlili yarı iletkenlerin bir sıcaklık sensörü olarak kullanımı popüler bir hale gelmiştir. Diyot karakteristiğindeki 600 ~ 700 mV civarındaki V_f bariyer voltajı, -50 °C ile -150 °C arasında sıcaklıkla doğrusal bir değişim gösterir. Bu değişim $-2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ kadardır. Genel olarak diyot yerine BJT'lerin kullanıldığı devrelerde beyz ve kollektör terminalleri birbirine bağlanarak bir diyot yapısı elde edilir. İyi bir performans elde etmek için diyot üzerinden sabit bir akım akmalıdır. Ancak sabit voltajla sürülen devrede yine hata oluşur fakat küçüktür.

Kontrol devrelerinde yarı iletken diyotlar, sıcaklık sensörü olarak kullanıldığında, hata olma ihtimali yüksektir. Bir diyotun sıcaklık sensörü olarak kullanıldığı ve bir ısıtıcının kontrol edildiği varsayılan bir sistemde, diyota bağlı kabloların kopması sistem tarafından sıcaklığın düşük olduğu şeklinde yorumlanabilir ve sistem ısıtıcıya daha fazla güç aktarabilir [16].

2.5. Sıvı Kristal Sıcaklık Sensörleri

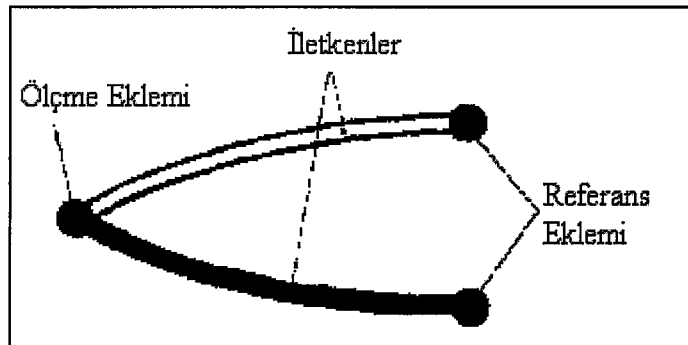
Birkaç farklı organik sıvının, moleküllerinin çoğu veya tamamı ortak bir yönde sıralı ve düzgün bir yapı oluşturabilirler. Bahsedilen bu yapı, elektriksel veya manyetik alanla değiştirilebilir. Günlük hayatta yaygın olarak kullanılan sıvı kristal ekranlardaki sıvılar, elektriksel alana karşı duyarlıdır. Bu sıvıların dışında kalan ve daha az yaygın olan sıvılar ise sıcaklığa karşı hassasiyet gösterirler. Bu tip sıvılara örnek olarak tıbbi uygulamalarda kullanılan kolesterik bileşikler sayılabilir. Esnek plastik bir şerit şeklinde üretilen bu termometrenin cilde temas ettirilmesi suretiyle vücut sıcaklığı ölçülür [15].

2.6. Kızıl Ötesi (Infra – Red) Emisyon ve Yüksek Sıcaklık Sensörleri

Gövde sıcaklığı ile ilişkili olarak yayılan radyasyonu temel alan, temassız sıcaklık ölçüm tekniğine uygun olarak üretilen sensörler, radyasyon termometreleri adıyla bilinirler. Radyasyon termometreleri, alüminyum veya plastikten imal edilmiş silindirik bir gövde içerisindedirler. Gövdenin bir ucunda bulunan ve dalga boyuna bağlı olarak cam, safir veya kuvarstan imal edilen optik lensler, ölçüm yapılacak ortamdaki, enerjiyi tüpün içerisindeki detektörün üzerine odaklar. Ölçümde sıcaklık detektörü olarak termal çiftler, termistörler veya PN eklemeli elemanlar kullanılır [15].

2.7. Termal Çiftler

Termal çiftler, iki farklı metal, alaşım veya metal olmayan iletkenin birer uçlarının birbirine bağlanmasıyla elde edilir. Şekil 2.4.'den de görüleceği gibi birbirine temas eden uçlar "ölçme eklemi", boşta kalan uçlar ise "referans eklemi" olarak isimlendirilir. Termal çiftler, eklemleri arasındaki sıcaklık farkıyla ilişkili bir emf üretirler.



Şekil 2.4. Bir Termal Çiftin Şematik Gösterimi.

Ürettikleri termal emf açısından birbirine yakın olmayan metaller veya alaşımlar seçilerek termal çiftler oluşturulur. Bu sayede mümkün olabilecek en büyük emf üretilebilir. Termal çift imalatında kullanılan malzemelerin karakteristik özellikleri aşağıda verilmiştir [18].

- Yüksek erime sıcaklığı
- Yüksek çalışma sıcaklığı
- Atmosferik etkilere ve paslanmaya karşı yüksek mukavemet
- Zamanla değişmeyen karakteristik özellikler
- Aynı özellikleri taşıyan termal çiftlerin seri olarak imal edilebilmesi
- Düşük elektriksel dirençlilik
- Düşük termal dirençlilik katsayısı
- emf'nin sıcaklığa mümkün olduğunca lineer bağımlılığı

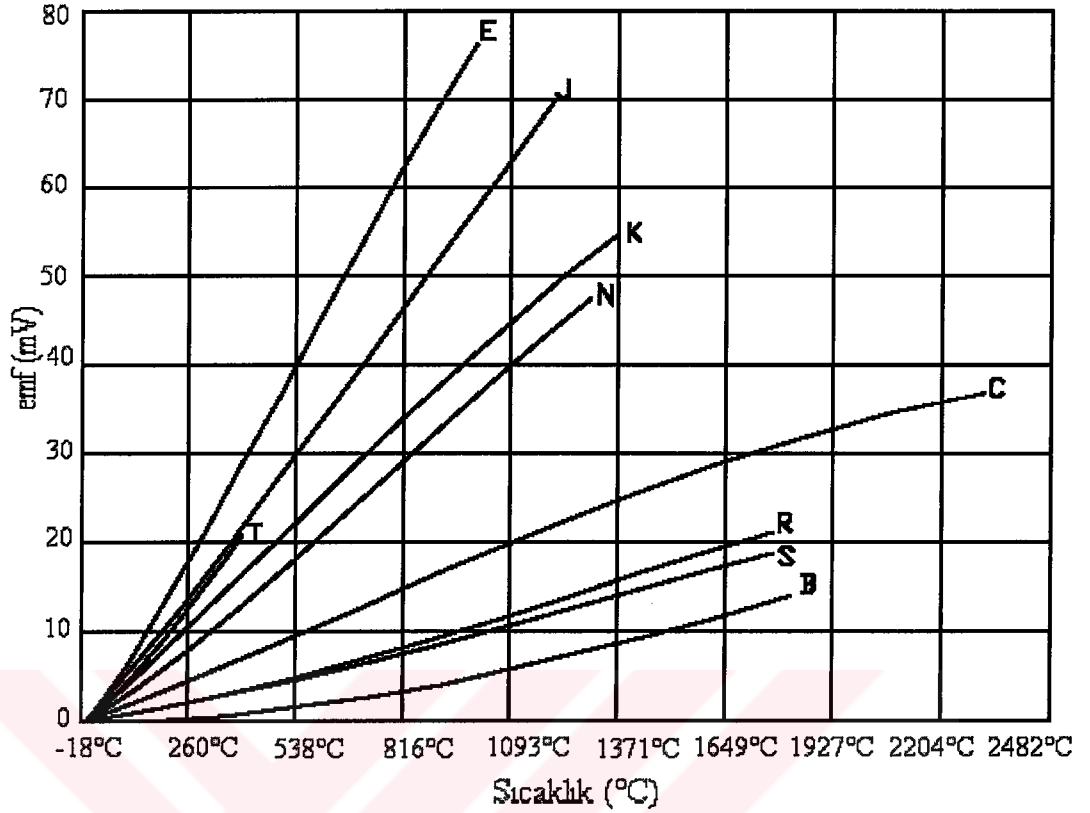
Pratikte, yukarıda sayılan özellikleri kısmen taşıyan termal çiftler üretilmektedir. Şekil 2.5'de yaygın olarak kullanılan termal çiftlerin sıcaklığa bağlı olarak ürettikleri emf değerleri verilmiştir [19].

Genellikle termal çiftler isimlendirilirken öncelikli olarak pozitif iletken ismi ardından negatif iletken ismi belirtilir. Termal çift üreticileri uluslar arası standartlar uymakla beraber A.B.D., Fransa, Almanya, İngiltere gibi bazı ülkeler bu alanda kendi ulusal standartlarını belirlemiş ve uygulamaktadırlar [20].

Takip eden bölümde termal çiftlerin fiziksel prensipleri, termal çift türleri ve ölçme devreleri açıklanmıştır.

2.7.1. Termoelektrik Kuvvet

1821'de T. Seebeck tarafından bulunan ve kendi adıyla anılan Seebeck etkisine göre eklem sıcaklıkları farklı olan iki farklı metalin oluşturduğu kapalı döngü üzerinde bir akım oluşur. 1826 yılına kadar G. S. Ohm tarafından Ohm kanununun matematiksel olarak ifade edilememesinden dolayı bu etki, o tarihte nicel olarak tanımlanamamıştır [19].



Şekil 2.5. Yaygın Olarak Kullanılan Termal Çiftlerin Sıcaklığa Bağlı Olarak Ürettikleri emf Değerleri.

1834'de I. C. A. Peltier, iki farklı metalin oluşturduğu kapalı bir döngüde herhangi bir yönde akım akışı sağlandığı takdirde metallerin eklemlerinin ısındığını veya soğuduğunu gözlemlemiştir. Bu olay, R direnci üzerinden akan I akımının oluşturduğu ve değeri I^2R joule ile hesaplanan ısıdan farklı idi [18].

Bahsedilen bu iki olaydan farklı olarak 1854'de Lord Kelvin (W. Thomson), sıcaklığı değişken bir ortamda üzerinden akım geçen bir iletkenin, kendi ısısından farklı olarak ortamdaki ısıyı absorbe ettiğini veya ortama ısı verdiğini gözlemlemiştir. Bu ısı absorpsiyonunun veya yayınının metalin özellikleriyle ve akım yönüyle ilişkili olduğunu tespit etmiştir [18].

Peltier ve Thomson etkileri sadece ısı yayını veya absorpsiyonu ile ilgili olup herhangi bir termoelektrik kuvvet üretmemektedir. Dolayısıyla bu bahsedilen etkiler sadece akım akışı ile oluşan birer termal olaydır. Pratikte bir termoelektrik devrede akan akım çok küçük olduğu için Peltier ve Thomson etkileri ihmal edilebilir [20].

Bu üç termoelektrik etkiden sadece Seebeck etkisi gerçek bir termoelektrik kuvvet kaynağıdır. Bundan sonraki tanımlamalarda termoelektrik kuvvet veya diğer bir deyişle termal elektromotor kuvveti, basitçe emf olarak isimlendirilecektir.

Seebeck termoelektrik kuvveti:

$$dE = \sigma_A(V)dV \quad (2.1)$$

şeklinde olup σ_A , A metalinin Seebeck katsayısıdır.

İki ucunun sıcaklıkları, V_1 ve V_2 olan homojen bir iletken üzerindeki Seebeck termoelektriksel kuvveti E_A , Denklem 2.1.'de verilmiştir.

$$E_A(V_1, V_2) = \int_{V_2}^{V_1} \sigma_A(V)dV \quad (2.2)$$

Yukarıdaki integral çözülür ve yeniden düzenlenirse;

$$E_A(V_1, V_2) = E_A(V_1) - E_A(V_2) \quad (2.3)$$

halini alır.

Benzer bir durum homojen A ve B metallerinden meydana gelen termoelektriksel devre için düşünüldüğünde;

$$E_{AB}(V_1, V_2) = [E_A(V_1) - E_A(V_2)] - [E_B(V_1) - E_B(V_2)] \quad (2.4)$$

veya

$$E_{AB}(V_1, V_2) = E_A(V_1, V_2) - E_B(V_1, V_2) \quad (2.5)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Bu aşamada termal kuvvetler hesaplanırken her zaman saat yönünde toplama yapılacaktır. Bu varsayıma uygun olarak Şekil 2.6.'da verilen devrede emf değerlerin toplanması sonucunda aşağıdaki ifade elde edilir:

$$E_{AB}(V_1, V_2) = e_{AB}(V_1) + e_{BA}(V_2) \quad (2.6)$$

Devrede üretilen emf, A ve B metallerinin eklem sıcaklıkları V_1 ve V_2 'nin bir fonksiyonudur. Bu ifadede,

$$e_{BA}(V_2) = -e_{AB}(V_2) \quad (2.7)$$

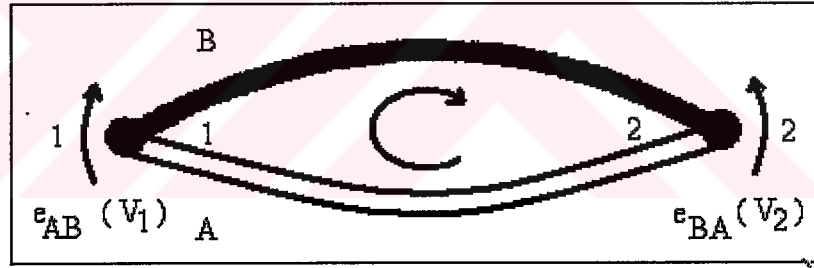
eşitliği söz konusudur. Sonuç olarak Denklem 2.6, yeniden düzenlenerek;

$$E_{AB}(V_1, V_2) = e_{AB}(V_1) - e_{AB}(V_2) \quad (2.8)$$

veya,

$$E_{AB}(V_1, V_2) = f(V_1, V_2) \quad (2.9)$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 2.6. Termoelektriksel Devre.

A ve B metallerinden oluşan bir sıcaklık ölçme sisteminde iki değişkenli bir fonksiyonun çözümü nispeten daha zordur. Bu sebeple eklemlerden birisi “referans eklemi” diye isimlendirilir ve “referans sıcaklığı” ismini alan V_2 eklem sıcaklığının sabit bir referans değerde (V_r) olduğu kabul edilir. Böylece, Denklem 2.6 yeniden düzenlenerek,

$$E_{AB}(V_1, V_2) = E_{AB}(V_1, V_r) = e_{AB}(V_1) - e_{AB}(V_r) = f_2(V_1) \quad (2.10)$$

şeklinde elde edilir. Denklem 2.10.’da görüleceği üzere A ve B metallerinden oluşan devrenin ürettiği emf, Şekil 2.6.’da 1. eklem olarak gösterilen ölçme ekleminde ölçülen sıcaklık V_1 ’in bir fonksiyonudur [18].

2.7.2. Termal Çiftlerin Yapımında Kullanılan Metaller

Pek çok farklı metal, termoelektriksel devrelerde kullanılmaktadır. Platinin bu metaller arasında önemli bir yeri bulunmaktadır. Atmosferik etkilere karşı gösterdiği dirençlilik, fiziksel özelliklerinin sabit olması ve yüksek erime sıcaklığı bu metalin referans metal olarak seçilmesine neden teşkil etmektedir [16].

Termal çiftler oluşturulurken referans alınan Tablo 2.1.'den görüleceği üzere bazı metaller, Platine göre (+), bazı metaller ise (-) emf üretmektedirler [18].

Tablo 2.1. 100 °C Sıcaklıktaki Platin Referans Alınarak Elde Edilen emf Değerleri

Metal	emf (mV)	Metal	emf (mV)
Constantan (%55 Ni - %45 Cu)	-3,51	İridyum	0,65
Nikel	-1,48	Rodyum	0,70
Kobalt	-1,33	Gümüş	0,74
Alumel (%95 Ni+Al, Si, Mn)	-1,29	Bakır	0,76
Paladyum	-0,57	Çinko	0,76
Platin	0	Altın	0,78
Alüminyum	0,42	Tungsten	1,12
Kurşun	0,44	Molibden	1,45
%94 Pt, %6 Rh	0,614	Demir	1,98
%90 Pt, %10 Rh	0,645	Krom (%90 Ni, %10 Cr)	2,81
%70 Pt, %30 Rh	0,647		

2.7.3. Termal Çift Türleri

Tablo 2.2.'de verilen ve uluslararası IEC 584 standartlarınca kabul edilen termal çiftler aşağıda kısaca açıklanmıştır. Tabloda verilen bütün termal çiftler ve tabloya dahil edilmeyen diğer bazı termal çiftler için her ne kadar bazı ülkeler kendi standartlarını geliştirseler de, dünya genelinde termal çift üreticileri IEC 584 standartlarına uygun elemanlar üretirler [20].

Tablo 2.2. IEC 584 Standartlarına Uygun Üretilen Termal Çift Çeşitleri

TC Tipi	Kullanılan İletken Malzemeler
S	Platin - %10 Rodyum (+) / Platin (-)
R	Platin - % 13 Rodyum (+) / Platin (-)
B	Platin - %30 Rodyum (+) / Platin - % 6 Rodyum (-)
J	Demir (+) / Bakır – Nikel (-)
T	Bakır (+) / Bakır – Nikel (-)
E	Nikel - Krom(+) / Bakır – Nikel (-)
K	Nikel - Krom (+) / Nikel – Alüminyum (-)
N	Nikel – Krom - Silikon (+) / Nikel – Silikon (-)

2.7.3.1. S Tipi Termal Çift (Platin - %10 Rodyum (+) / Platin (-))

IEC 584-1 standartlarına göre imal edilen S tipi termal çift, bütün termal çiftler içerisinde en yaygın kullanılanına sahip olanıdır. Normal çalışma sahası $-50\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmasına karşın $+1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ye kadar kısa süreli ölçümlerde kullanılabilir. Paslanmaya karşı yüksek direnç gösteren S tipi termal çift, düşük maliyet ve düşük termal ataletin ön planda olduğu uygulamalarda tercih edilirler. S tipi termal çiftler, oldukça kararlı çalışmalarına rağmen; $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ de 100 saatten fazla bir süre ölçüm yapan bir termal çiftte, Platin - %10 Rodyum iletkeninden den dağılan ve Platin iletkenine karışan Rodyum, termal çiftin kalibrasyonunda $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ lik bir hataya neden olabilmektedir [18].

2.7.3.2. R Tipi Termal Çift (Platin - % 13 Rodyum (+) / Platin (-))

İlk olarak 1922'de İngiltere'de üretilen ve IEC 584-1 standartlarına uygun olan R tipi termal çiftler, S tipi termal çiftler ile benzer özellikler taşımaktadırlar [18].

2.7.3.3. B Tipi Termal Çift (Platin - %30 Rodyum (+) / Platin - % 6 Rodyum (-))

$+1800\text{ }^{\circ}\text{C}$ ye kadar yapılan ölçümlerde kullanılan B tipi termal çiftler S tipiyle karşılaştırıldığında bazı avantajları olduğu görülmektedir. Bunlar;

- Daha yüksek ölçüm sahası,
- Kimyasal tepkimelere karşı daha yüksek dirençlilik,
- Metalik safsızlıktan ölçüm sahasının daha az etkilenmesi,
- Rodyum elementinin (+) iletkenden (-) iletkene daha yavaş karışması ve
- Ölçüm sahası içerisinde 100 °C ye kadar ihmal edilebilir seviyede küçük emf değeri üretildiği için referans sıcaklık stabilizasyonuna ihtiyaç yoktur [18].

2.7.3.4. J Tipi Termal Çift (Demir (+) / Bakır – Nikel (-))

Düşük maliyetleri, yüksek emf'leri ve paslanmaya karşı mukavemetleri J tipi termal çiftlerin kullanımını yaygın hale getirmiştir. 1000 °C'ye kadar ölçüm yapabilen termal çiftin, 600 °C ve üzeri sıcaklık ölçümlerinde daha geniş çaplı iletkenlerden imal edilmiş olması gerekir [18].

2.7.3.5. T Tipi Termal Çift (Bakır (+) / Bakır – Nikel (-))

-270 °C ~ 400 °C arasında bir ölçüm sahasına sahip olmasına karşın, T tipi termal çift daha ziyade -200 °C ~ +350 °C arasındaki sıcaklık ölçümlerinde kullanılmaktadır. Genel olarak laboratuvar çalışmalarında kullanılan ve 350 °C sıcaklıkta paslanmaya ve atmosferik deformasyona karşı oldukça iyi sonuçlar vermekle beraber daha yüksek sıcaklıklarda aynı olumlu performansı sergileyememektedir [18].

2.7.3.6. E Tipi Termal Çift (Nikel - Krom(+)) / Bakır – Nikel (-))

Özellikle A.B.D.'de yaygın olarak kullanılan bu tip, bütün metal termal çiftler arasında en yüksek emf'ye sahip olup -270 °C ~ +800 °C veya 0 °C ~ +800 °C arasında bir ölçüm sahasına sahiptir. Kısa süreli ölçümlerde +1100 °C'ye kadar ölçme sahasının üst sınırı genişlemektedir [18].

2.7.3.7. K Tipi Termal Çift (Nikel - Krom (+) / Nikel – Alüminyum (-))

Bazı ülkelerin hazırladıkları kendi ulusal standartlarında kromel / alumel adını da alan bu tip termal çift, -200 °C ~ +1100 °C arasında bir ölçüm sahasına sahip olup, E tipine benzer olarak kısa süreli ölçümlerde +1300 °C'ye kadar üst sınır genişletilebilmektedir. Diğer bütün termal çiftlerle karşılaştırıldığında, ürettiği sıcaklık ile termal emf arasında lineere en yakın ilişki K tipi termal çifte aittir [18].

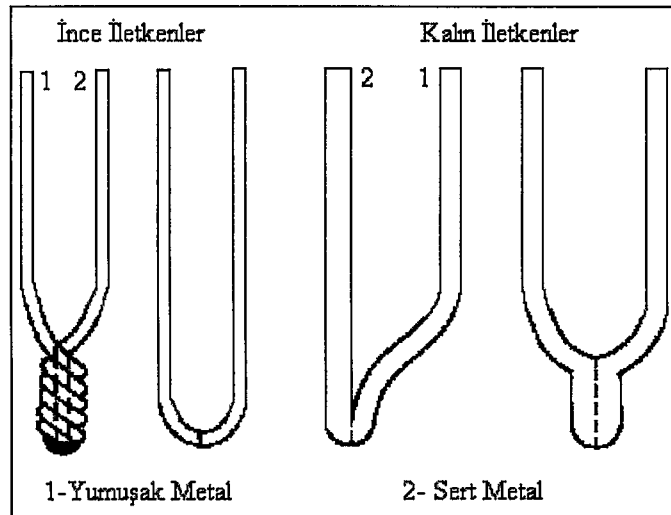
2.7.3.8. N Tipi Termal Çift (Nikel – Krom - Silikon (+) / Nikel – Silikon (-))

N tipi termal çiftin (+) ve (-) elektrotlarını meydana getiren metallerin oluşturduğu bileşikler, termal çiftin oldukça kararlı bir çalışmaya sahip olmasında ve paslanmaya karşı mukavemetinde önemli bir faktördür. N tipi termal çiftlerin çalışma sahaları, K tipi termal çiftlerle aynı olmakla beraber paslanmaya karşı daha dayanıklıdırlar [18].

Termal çiftler, ürettikleri termal emf'ler açısından farklı standartlara göre imal edildikleri gibi, kılıf yapısı ve dirençlerdeki renk kodlarına benzer olarak kılıf rengi açısından da farklılık taşırlar.

2.7.4. Ölçme Eklemi

Termal çiftin elektriksel olarak birbirine temas eden ve sıcaklık ölçümü yapılacak ortamda bulunan eklemine ölçme eklemi denir. Genel olarak lehimlenerek oluşturulan ölçme eklemine elektriksel direncinin çok küçük olması ve fiziksel mukavemetinin çok iyi olması istenir. Şekil 2.7.'de görüldüğü üzere termal çifti meydana getiren eklemler oluşturulurken lehimleme yapılır ve iletkenlerin sertliğine veya yumuşaklığına göre farklı formlarda eklemler oluşturulur. Eklem oluşturulmasında kullanılan lehim malzemeleri, iletkenlerin birbirine lehimlenmeden önce zımpara ile temizlenmemesi üretilen emf değerini etkilemektedir. Zira 2000 °C sıcaklıkta ölçüm yapılırken kimyasal tepkimelerin oluşması ve iletkenlerin karakteristik özelliklerinin değişmesi muhtemeldir [18].



Şekil 2.7. Termal Çift Eklemleri.

Maliyetleri göz önüne alınan ve özellikle pahalı elementler kullanılarak üretilen termal çiftlerin boylarının kısa olması kimi uygulamalarda bir takım problemler ortaya çıkarır. Zira değerlendirme işleminin yapıldığı devrenin kararlı çalışabilmesi için ortam sıcaklığının belirli bir sahada ($-55\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +125\text{ }^{\circ}\text{C}$) olması gerekir. Bu durumda termal çiftten alınan voltajın değerlendirme işleminin yapılacağı yere iletilmesi amacıyla kompanzasyon kabloları kullanılır ki, bu durumda da parazitik emf'ler oluşur. Bu istenmeyen etkilerden kaçınmak için büyük sıcaklık değişimlerinin olmadığı ortamlarda kompanzasyon kabloları ile termal çiftlerin birbirine irtibatlandırılması gerekir [18].

2.7.5. Referans Ekleme

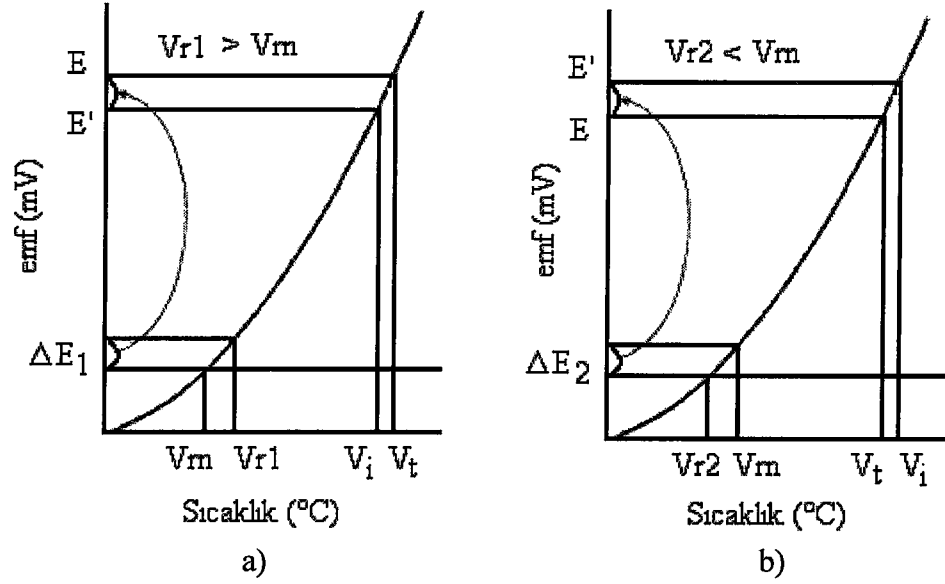
Ulusal veya uluslar arası standartlara uygun olarak imal edilen termal çiftlerin tamamına ait karakteristik tablolar mevcuttur. Bu tablolar hazırlanırken ve sıcaklık ölçümü yapılırken referans noktası sıcaklığı esas alınır. Yani bir termal çiftin ürettiği emf değeri, belirli bir referans sıcaklığa göredir. Genellikle bu referans sıcaklık, nominal değer olarak $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alınır. Referans sıcaklığı $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den farklı ise değerlendirme biriminin tasarımında bu fark dikkate alınmalıdır. Aksi durumda hatalı sonuçlar elde edilebilir. Bu amaçla ya mevcut referans sıcaklığında üretilen emf değeri üzerinde işlem yapılmalıdır ya da referans sıcaklığı $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tutulmalıdır [21].

2.7.5.1. Doğrultma Hesabı

Yukarıda bahsedilen ilk teknikte, referans sıcaklığının (V_{r1}) nominal değerden (V_{rn}) büyük olduğu kabul edilirse; Şekil 2.8.a.'da görüleceği üzere, beklenen emf değerinden (E) daha küçük bir voltaj değeriyle (E') karşılaşılır. Tersine bir durumda Şekil 2.8.b.'de görüleceği üzere, nominal referans sıcaklığından daha küçük bir referans sıcaklığında ölçüm yapılmış ise beklenen emf değerinden büyük bir emf değeri ölçülür. Her iki durumda da Denklem 2.11 ve Denklem 2.12 kullanılarak gerekli olan referans noktası kaydırma işlemi gerçekleştirilir [18].

$$\Delta E = V_{rn} - V_{r1} \quad (2.11)$$

$$E = E' - \Delta E \quad (2.12)$$



Şekil 2.8. Referans Sıcaklığı V_r Ve Nominal Değer V_{rn} nin

a) $V_{r1} > V_{rn}$ Ve

b) $V_{r2} < V_{rn}$ Olduğu Durumda Termal Çiftin Ürettiği emf Değeri (E') Ve Üretmesi Gereken emf (E) Değerleri.

2.7.5.2. Doğrultma Ve Kararlılık Teknikleri

Bir ölçme sisteminde gerekli olan doğrultma hesabını yapmak yerine referans eklemi sıcaklığını doğrultan veya kararlılığını sağlayan sistemler mevcuttur. Bu sistemlerden bazıları aşağıda açıklanmıştır.

2.7.5.2.1. Ortam Sıcaklığına Eşit Referans Sıcaklık

Oda sıcaklığının her zaman için $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğu kabul edilerek; sıcaklık ölçme işlemlerinde referans eklemine sıcaklığının bu değer olduğu kabul edilir ve bu temel üzerine işlemler yapılır [18].

2.7.5.2.2. Donma Noktası ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$)

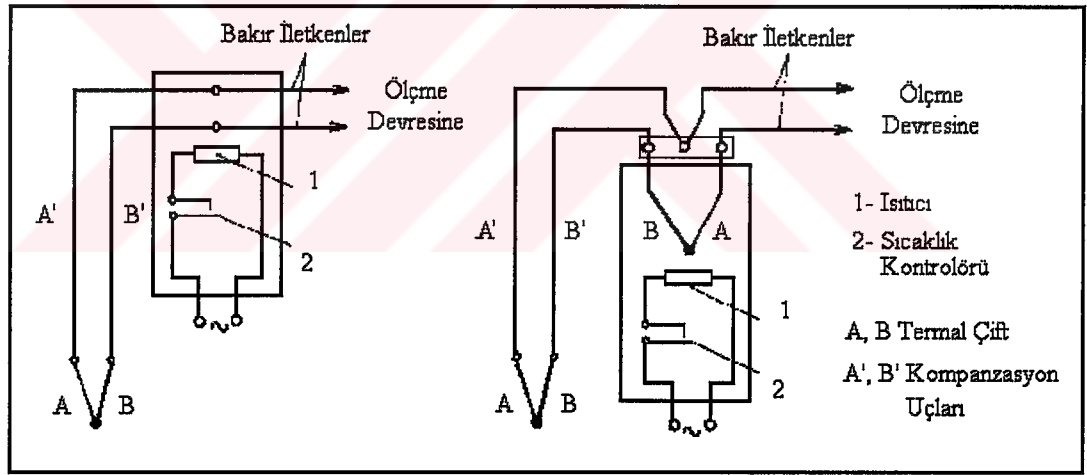
Bu teknikte, bir kasanın içerisindeki yarı eriyik halde bulunan buzun içerisine daldırılmış ve içerisi yağ dolu tüp, referans eklemine sıcaklığının sabit tutulmasına imkan sağlamaktadır. Referans eklemi bu tüpün içerisine yerleştirilir ve sıcaklığı $\pm 0,01\text{ }^{\circ}\text{C} \sim \pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında bir hassasiyetle $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tutar. Ancak zamanla buzun erimesi nedeniyle sisteme sürekli olarak buz takviyesi gerekmektedir [18].

2.7.5.2.3. Peltier Termostat Elemanı (0 °C)

Bu eleman donma noktası prensibine eklemeler yapılarak geliştirilmiştir. Buzun zamanla erimesini ve tamamen su olmasını önlemek için Peltier etkisine sahip yarı iletken bir termostat ile ortam belirli aralıklarla soğutulmakta ve 0 °C sıcaklık değeri $\pm 0,1$ °C hassasiyetle korunmaktadır [18].

2.7.5.2.4. Elektriksel Termostatlar (50 °C ~ 60 °C)

Endüstride en çok tercih edilen bu düzenek, bir ısıtıcı eleman ve bir termostatla ortam sıcaklığını ayarlanan bir değerde (50 °C ~ 60 °C) $\pm 0,5$ °C hassasiyetle sabit tutmaktadır. Şekil 2.9'da iki farklı yapı görülmektedir. Bunlardan ikincisinde referans sıcaklığını ölçmek için de ayrıca bir termal çift kullanılmaktadır. Bu düzenekte dikkat edilmesi gereken nokta, bakır iletkenlerin hepsinin aynı sıcaklıkta olması gerektiğidir [18].



a) b)
Şekil 2.9. Referans Eklem Termostatı (+50 °C)

- a) Sabit Sıcaklıkta Bulunan Kompanzasyon Terminalleri
b) Sabit Sıcaklıkta Bulunan Yardımcı Termal Çift Eklemi.

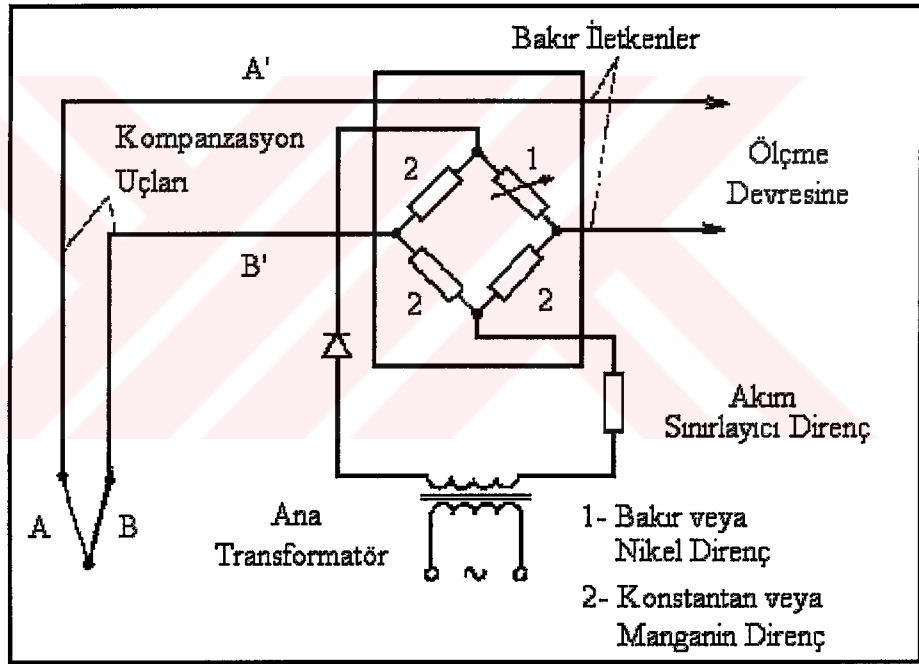
2.7.5.2.5. Isı İletim Termostatları

En uzun süreli kararlı çalışabilen düzeneklerdir. 0,02 °C'den daha az hata ile homojen sıcaklık değişimi sunan parçalı sürekli elektronik rezistans köprü kontrol devreleri kullanılarak üretilen termostatlar ticari olarak bulunmaktadır. Bu tip termostatlar laboratuvar çalışmalarında tercih edilmektedir [18].

Yukarıda bahsedilen bütün düzenekler, bir veya daha fazla sayıdaki termal çiftler için kurulabilir ve kullanılabilir. Bu düzenekler sayesinde, termal çiftler kullanılarak yapılan ölçümlerdeki referans eklem sıcaklığındaki dalgalanmaların etkileri de ortadan kaldırılabılır [18].

2.7.5.2.6. Doğrultma Köprü Devreleri

Termal çiftlere seri olarak bağlanan bu devreler, referans eklemının sıcaklığının bir fonksiyonu olarak ürettikleri voltaj aracılığıyla doğrultma işlemlerini gerçekleştirirler. Şekil 2.10.'da bu tekniğe uygun olarak tasarlanmış bir devre görülmektedir.



Bu devrede, kabul edilen nominal referans sıcaklığı dengeleyen DC direnç köprüsü bulunmaktadır. Köprü devresinde değeri sabit uç direnç ve değeri sıcaklığa bağlı olarak değişen bir değişken direnç bulunmaktadır. Referans sıcaklığında bir sapma meydana geldiğinde, bu olayla eş zamanlı olarak daha önceden dengelenmiş köprü devresi de bir voltaj üretir. Bu voltaj ters kutuplu (+ -, - +) olarak termal çiftte seri bağlı olduğu için, referans sıcaklığında meydana gelen değişim termal emf üzerine eklenir veya termal emf'den çıkarılır. Bu devrenin her hangi bir termal çift tipine adapte edilebilmesi için sadece akım sınırlayıcı direnç ve besleme voltajları değiştirilir [18].

2.7.5.2.6.1. Elektronik Doğrultma Elemanları

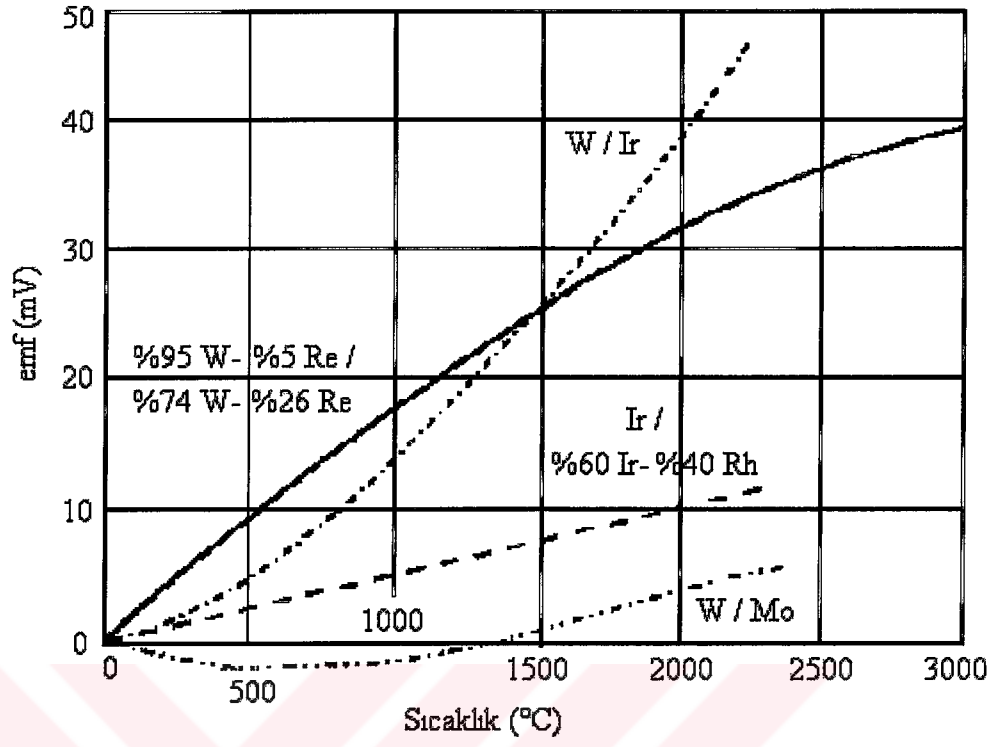
Gelişen teknoloji ile beraber bütün bu termal çift doğrultma devrelerinin dezavantajlarını ortadan kaldıran ve sıcaklık değişimlerine karşı hassas çözümler sunan tüm devreler imal edilmiştir. Referans sıcaklıkları ilave bir sıcaklık sensörü (pn eklemlerli sensörler, termistörler, vb.) ile ölçülmektedir. Bir işlemsel kuvvetlendirici ile kuvvetlendirilen termal emf ve referans sıcaklık değeri modern kontrol teknikleri ile değerlendirilerek gerek hassasiyet gerekse doğruluk açısından mutlak sonuçlar elde edilmektedir [18].

2.7.6. Yüksek Sıcaklık Termal Çiftleri

1000 °C'nin üzerinde ölçüm yapmak amacıyla standartları olmayan metal yada ametal termal çiftler imal edilmiştir.

Şekil 2.11.'de emf-sıcaklık değişimleri verilen bu tip termal çiftlerin diğer termal çiftlerle mukayesesi yapıldığında, sıcaklık ölçüm sahaları oldukça geniş olmasına karşın; ürettikleri emf'ler daha küçüktür. W/Mo tipi termal çift, paslanmaya dirençlilik gösteremezken; iyileştirilmiş çevre şartlarında +2400 °C'ye kadar ölçüm yapabilmektedir.

%95 W - %5 Re / %74W - %26 Re ve Ir / %60 Ir - %40 Rh tipi termal çiftler özellikle düşük sıcaklıklarda nispeten lineere yakın bir davranış sergiledikleri için daha çok tercih edilmektedirler [18].



Şekil 2.11. Yüksek Sıcaklık Termal Çiftlerinin Sıcaklığa Bağlı emf Değerleri.

BÖLÜM III

YAPAY SİNİR AĞLARI

3.1. Giriş

Çok eski zamanlardan beri insanoğlu, beyninin mevcut yeteneklerini daha verimli kullanmaya çaba sarf etmiştir, hatta beyninin mevcut yetenekleriyle yetinmemiş ve sınırlarını keşfetmek için çalışmıştır. İnsan beyninin güçlü düşünme, hatırlama ve problem çözme yetenekleri dikkate değerdir. Bu özellikler, pek çok bilim adamının ilgisini çekmiş ve bu konuda biyologlar, beynin biyolojik yapısını incelemek ve gizlerini çözmek için, matematikçiler de matematiksel modelini ortaya koymak için çalışmaktadırlar. İlk olarak Warren McCulloch ve Walter Pitts isimli araştırmacılar 1943 yılında, yapay nöronlardan oluşan ağların hesaplama yapabileceğini göstererek bu alanda önemli bir adım atmışlardır [23].

Takip eden yirmi yılda bu konuda çalışanların sayısı şaşırtıcı bir şekilde artmıştır. 1960'lı yılların sonunda tecrübeye dayalı öğrenme ve Adaptif Rezonans Teorisi geliştirilmiştir. 1970'li yıllara geldiğinde, üzerinde çalışılan öğrenme algoritmalarının yetersizliğinden ve mevcut yazılım ve donanım imkanlarındaki sınırlamalardan dolayı yapay sinir ağlarına olan ilgi büyük ölçüde azalmıştır. Ayrıca biyolojik sinir yapılarının tam anlamıyla çözülememesi nedeniyle nöronların modellenmesi konusunda yapılan çalışmaların sekteye uğradığı ve tıp, biyoloji ve ilgili bilim dallarındaki gelişmelerin de beklendiği söylenebilir [24].

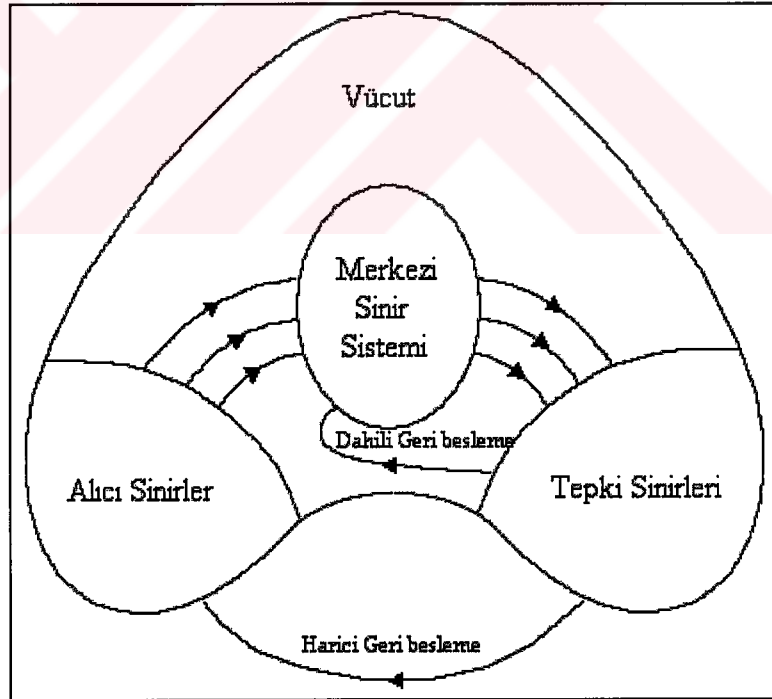
1980'li yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak yapay sinir ağlarındaki gelişmeler de hız kazanmıştır. 1982 yılında Hopfield, gelişmeyle birlikte rasgele bulunan etkenlerin probleme karıştığını ve her çözüm yolunda problemin başlangıç halinde olduğuna işaret ederek her hesaplamanın doğru çözüm yolu için sürekli yenilenen bir mekanizmaya ihtiyaç olduğunu belirtmiştir [25]. Bu amaçla geliştirdiği bir algoritmayı yapay sinir ağlarında kullanmıştır. 1986 yılında geri yayılım

öğrenme algoritmasının geliştirilmesiyle karmaşık problemlerin çözümünde eğitilen çok katmanlı ağ sistemlerinin kullanılabileceği gösterilmiştir [26].

Yapay sinir ağı algoritmalarının çok hızlı gelişmesi, insanoğluna yeni ufuklar açmaktadır. Bugün gelinen noktada, atılacak bir sonraki adım, dinamik yapının değiştirilmesi ve öğrenme özelliklerinin modellenmesindeki gelişmeler sayesinde uygulama alanlarının da artmasıdır.

3.2. Biyolojik Nöron

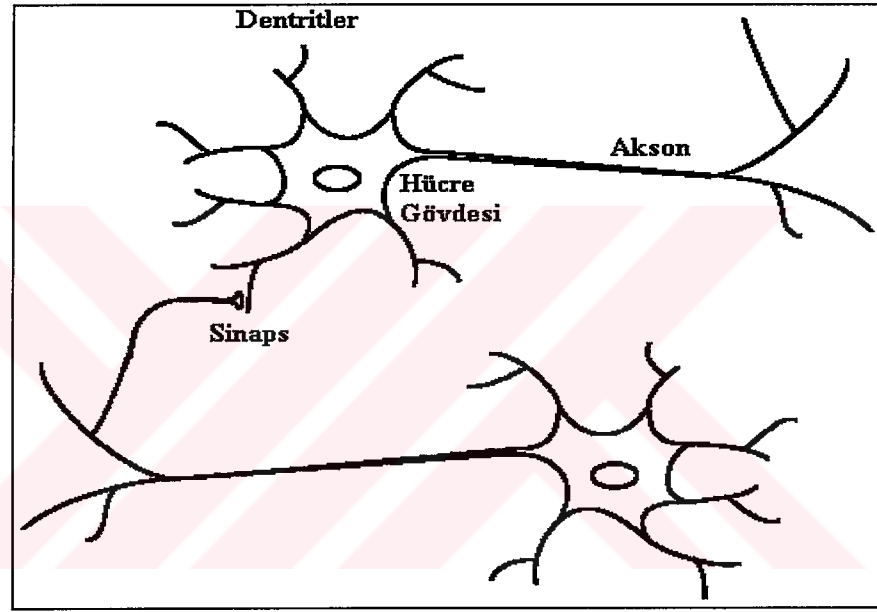
Yapay nöronlara esin kaynağı olan biyolojik nöronların kendi aralarında haberleştikleri ve normal bir insan beyinde ortalama 10^{11} adet nöron olduğu bilinmektedir. Vücut içerisinde üstlendikleri görev bakımından diğer hücrelerden ve birbirlerinden ayrılan sinir hücrelerinin oluşturduğu sinir ağı blok olarak Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. İnsan Vücudunda Bulunan Sinir Sisteminin Blok Yapısı.

Ağı meydana getiren bir sinir hücresinin yapısı (nöron) Şekil 3.2.’de görülmektedir. Bu karmaşık yapıyı meydana getiren ve elektro-kimyasal işaretleri algılama, işleme ve iletme özelliklerine sahip olan bir nöron, diğer sinir hücrelerinden bilgiyi alan

dentritlerden, dentritlerden alınan bilgileri işleyen ve sonucu aksona aktaran hücre gövdesinden ve son olarak hücre gövdesinden gelen bilgileri diğer hücre dentritlerine ileten aksondan oluşur [27]. Sinir hücrelerinde birden çok dentrit olmasına rağmen tek bir çıkış yani akson vardır. Sinir hücreleri arasında iletilen bilgiler darbe formundadır. Komşu iki sinir hücresinden birinin dentriti ile diğerinin aksonu arasında darbe iletiminin olduğu yere sinaps adı verilir ve sinapslarda sinirler birbirlerine bağlı olmayıp darbe iletimi için birbirlerine yeterince yakındırlar.



Şekil 3.2. Biyolojik nöron.

Nöronların en büyük özelliği, algıladıkları işaretlerin belirli bir eşik değerin üzerinde olması durumunda değerlendirip cevaplandırmalarıdır. Şayet gelen işaret eşik değerinin altında ise değerlendirmeyerek çıkışta hiçbir cevap üretmezler [28].

3.3. Yapay Nöron

Yapay sinir ağlarının temelini oluşturan yapay nöronlar yukarıda bahsedilen biyolojik nöronlar örnek alınarak geliştirilmiştir. Yapay ve biyolojik nöronlar arasındaki benzerlikleri Tablo 3.1. ile özetlemek mümkündür.

Yapay nöronlar, oluşturulmak istenen ağ yapısına göre uygun şekilde birbirlerine bağlanırlar. Yapay sinir ağları içerisindeki nöronlar, gruplandırılarak katman, tabaka

veya kat ismini alırlar. Katmanlardan oluşan yapının tamamına, yapay sinir ağı mimarisi (Artificial Neural Networks Architecture) denir.

Tablo 3.1. Yapay Ve Biyolojik Nöronlar Arasındaki Benzerlikler

YAPAY NÖRON	BİYOLOJİK NÖRON
İşlem Elemanı	Nöron
Toplama Fonksiyonu	Dentrit
Transfer Fonksiyonu	Hücre Gövdesi
Nöron Çıkışı	Akson
Ağırlık	Sinaps

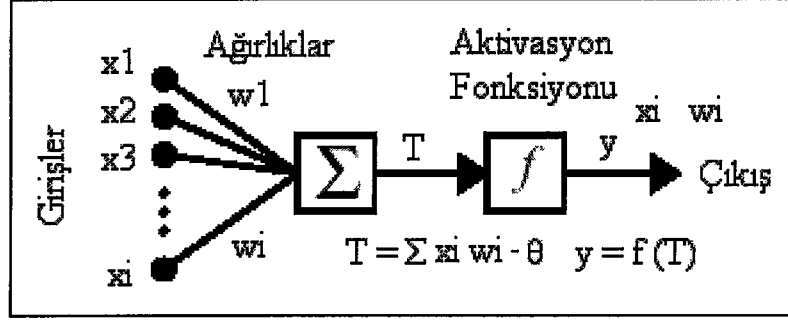
Ağı oluşturan her bir nöron üç ana bölüme ayrılır. Bunlar sırasıyla ağırlıklar, toplayıcı birim ve aktivasyon fonksiyonudur. Sinir hücresinin girişi ile diğer yapay sinir hücrelerinin çıkışları arasında durdurucu veya uyarıcı olacak biçimde ağırlık katsayıları bulunur. Bu katsayılar, hücre girişinde bulunan diğer hücre çıkışlarının birbirinden farklı öneme sahip olduğunu ifade etmektedir. Şekil 3.3.'de görüleceği üzere diğer nöron çıkışlarından gelen bilgiler ağırlıklarla çarpılarak toplanmakta ve elde edilen toplam değer, belirli bir eşik seviyesi ile karşılaştırılmaktadır. Şayet toplam değer eşik seviyenin üzerinde ise transfer fonksiyonundan geçirilmektedir aksi durumda hücre, girişlere cevap vermemektedir. Ağırlıklı toplamın oluşturulması:

$$T = w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_ix_i - \theta = \sum_{n=1}^i w_nx_n - \theta \quad (3.1)$$

şeklinde olur. Yapay nöronun çıkışının hesaplanması ise aşağıda tanımlanmaktadır:

$$y = f(T) \quad (3.2)$$

Her bir giriş bilgisinde meydana gelen değişim, çıkışı etkilemektedir. Bu etkinin büyüklüğü, girişin etki derecesini belirleyen ağırlıklara (w_i), toplayıcının eşik değerine (θ) ve yapay nöronun aktivasyon fonksiyonuna (f) bağlıdır.



Şekil 3.3. Yapay Nöronun Yapısı.

Yapay nöronun davranışını belirleyen önemli etkenlerden birisi de aktivasyon fonksiyonudur. Biyolojik nöronlarda hücre gövdesine gelen girişler toplamı belirli bir değeri aştığında nöron kısa süreli bir darbe göndermektedir. Benzer olarak yapay nöronlarda da girişler toplamı belirli bir değeri aştığında nöron çıkışına bilgi göndermek üzere literatürde kullanılan bir çok aktivasyon fonksiyonu vardır. Nöron tasarımında aktivasyon fonksiyonu seçilirken, fonksiyonun tek yada çift yönlü olması, lineer olması yada olmaması önemlidir. Tablo 3.2.'de bu fonksiyonlardan bazıları verilmiştir [5].

3.4. Yapay Sinir Ağlarının Temel Özellikleri

Yapay sinir ağlarının aşağıda sıralanan karakteristik özellikleri, uygulama alanlarını oldukça genişletmekte ve özellikle giriş ve çıkışları arasında karmaşık bir ilişki olan sistemlerin analizinde ve gerçekleşmesinde tercih edilmektedir.









3.4.1. Doğrusal Olmama

Ağın temelini teşkil eden nöronlar doğrusal olmadığından dolayı ağın kendisi de doğrusal değildir. Bu sayede özellikle girişi ile çıkışı arasında doğrusal olmayan bir ilişki bulunan karmaşık problemlerin çözümünde yapay sinir ağları oldukça iyi sonuçlar vermektedir [8].

3.4.2. Öğrenme

Öğrenme, bir yapay sinir ağının ağırlıklarının, sistemin giriş-çıkış ilişkisini en küçük hata ile tanımlayabilecek şekilde ayarlanması işlemidir. Diğer bir deyişle yapay sinir ağına öğretilmek istenen sisteme ait örneklerden, sistemin giriş-çıkış ilişkisinin ortaya konması işlemi, öğrenmedir [8].

Tablo 3.2. Aktivasyon Fonksiyonları

Transfer Fonksiyonu	Matematiksel İfadesi	Sembolü	MATLAB Komutu
Keskin Sınırlayıcı	$f = 0 \quad x < 0$ $f = 1 \quad x \geq 0$		hardlim
Simetrik Keskin Sınırlayıcı	$f = -1 \quad x < 0$ $f = +1 \quad x \geq 0$		hardlims
Lineer	$f = x$		purelin
Doymuş Lineer	$f = 0 \quad x < 0$ $f = x \quad 0 \leq x \leq 1$ $f = 1 \quad x > 1$		satlin
Simetrik Doymuş Lineer	$f = -1 \quad x < -1$ $f = x \quad -1 \leq x \leq 1$ $f = 1 \quad x > 1$		satlins
Logaritmik Sigmoid	$f = \frac{1}{1 + e^{-x}}$		logsig
Hiperbolik Tanjant Sigmoid	$f = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$		tansig
Pozitif Lineer	$f = 0 \quad x < 0$ $f = x \quad 0 \leq x$		poslin

3.4.3. Genelleme

Yapay sinir ağı, istenilen giriş-çıkış ilişkisini öğrendikten sonra, daha önce hiç karşılaşmadığı sistem girişlerine karşılık uygun çıkışlar üretebilir veya ağa uygulanan giriş verisinin bir kısmı eksik veya bozulmuş ise ağ, çıkışta yine arzu edilen değerleri üretebilir [8].

3.4.4. Uyarlanabilirlik

Belirli bir problemi çözmek için eğitilmiş bir ağ, problemde meydana gelen değişimler karşısında yeniden eğitilebilir. Şayet değişimler sürekli ise gerçek zamanda da eğitim yapılabilir [8].

3.4.5. Dağıtılmış Birleşik Hafıza

Yapay sinir ağların en önemli özelliklerinden biriside bilgiyi depolamalarıdır. Nöral hesaplamalarda bilgi, ağırlıkların üzerine dağıtılmıştır. Diğer bir ifade ile ağırlıklar birer hafıza elemanıdır. Yapay sinir ağı girişine uygulanan eksik veya bozulmuş verilerden beklenen çıkışa yakın çıkış değerlerinin üretilmesinin bir nedeni de yapay sinir ağının dağıtılmış hafızaya sahip olmasıdır [8].

3.4.6. Hata Toleransı

Bir yapay sinir ağı, çok sayıda nörondan oluşmaktadır ve ağın sahip olduğu bilgi nöronlar arasında bulunan ağırlıklar üzerine dağılmıştır. Ağa giriş olarak uygulanacak bir gürültü, yapının tamamına dağılacığından dolayı çıkışa olan etkisi azalacaktır. Bu nedenle bilinen tekniklere oranla yapay sinir ağlarının gürültüyü tolere etme kabiliyetleri daha fazladır [8].

3.4.7. Paralel İşlem Yapma

Yapay sinir ağları, paralel yapılarından dolayı çok hızlı işlem yapabilmektedirler. Ancak özellikle transfer fonksiyonları ve nöronlar arasındaki ağırlıkların mevcut devre elemanları ile gerçekleştirimi zor olduğu için yapay sinir ağlarını donanımsal olarak gerçekleştirmek pek mümkün olmamıştır [8].

3.5. Yapay Sinir Ağların Gruplandırılması

Yapay sinir ağları, daha öncede belirtildiği gibi çok sayıda nöronun ara bağlaşımları ile oluşmuştur. Nöronlar arasındaki bu ara bağlaşımlar doğrudan ağın yapısını belirler. Ağın eğitiminde kullanılan öğrenme algoritması bağlantıların nasıl gerçekleştirileceğini belirler. Seçilen öğrenme algoritmaları vasıtasıyla hatanın en aza indirilmesi amacıyla

ağırlıklar değiştirilir. Bu noktada yapay sinir ağları, ağın mimari yapısına göre ve eğitimde kullanılan öğrenme algoritmasına göre gruplandırılırlar.

3.5.1. Ağ Mimarisine Göre Gruplandırma

Literatürde temel olarak ileri beslemeli (feed forward) ve geri beslemeli (feed back) ağlar şeklinde isimlendirilen iki farklı ağ yapısı bulunmaktadır. Bunların dışında tek katmanlı ileri beslemeli (single layer feed forward), çok katmanlı ileri beslemeli (multi layer feed forward), çoklu tekrarlamalı (fully recurrent), basit tekrarlamalı (simple recurrent) başta olmak üzere birçok ağ mimarisi mevcuttur [28]. Ancak burada, bunlardan ilk ikisi açıklanacaktır.

3.5.1.1. İleri Beslemeli Ağlar

Giriş, çıkış ve ara birimlerden oluşan ileri beslemeli bir ağ yapısında ağın ilk katmanı olan giriş birimi dış ortamdan işaret alır. Ağın en son katı olan çıkış biriminde değerlendirilen bilgiler çıkışa aktarılırlar. Ara birimler ise giriş ve çıkış birimleri arasındaki bağlantıyı sağlamakta olup çevre ile direkt teması bulunmayan elemanlardır. Bu yapıda, aynı katman içindeki ya da en son katmandan ilk katmana doğru geriye dönük herhangi bir bağlantı yapılması mümkün değildir. Sadece ilk tabakalardan son tabakalara olan tek yönlü bağlantılar bulunabilir. İleri beslemeli ağlarda eğitim aşamasında nöronlar arası ağırlıkların ayarlanması için bir çok algoritma geliştirilmiştir. Bu tip ağlara örnek olarak çok katmanlı perseptron (Multi Layer Perceptron, MLP) ve LVQ (Learning Vector Quantization) ağları gösterilebilir [5].

3.5.1.2. Geri Beslemeli Ağlar

İleri beslemeli ağlardan farklı olarak geri beslemeli ağlarda, çıkış katından ve ara katlardaki çıkışlardan giriş birimlerine veya önceki ara katlara doğru geri besleme yapılması mümkündür. Bu sebeple herhangi bir andaki çıkış, hem o andaki hem de önceki girişlerden etkilenmektedir ve önceden tahmin uygulamalarında tercih edilirler. Çıkışın geçmiş girişlere bağımlı olması bu tip ağların dinamik hafızası olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca optimizasyon problemlerinin çözümünde de genel olarak geri beslemeli ağ mimarileri kullanılmaktadır. Bu tip ağlara Hopfield, Elman ve Jordan ağları örnek olarak verilebilir [25].

3.5.2. Kullanılan Öğrenme Algoritmasına Göre Gruplandırma

Herhangi bir probleme ait giriş-çıkış dataları kullanılarak ağın ağırlıkları değiştirilebilir. Öğrenme süreci tamamlandıktan sonra test edilen ağın, ürettiği sonuçların değerlendirilmesinde izlenecek yola göre üç farklı öğrenme algoritmasından söz edilebilir.

3.5.2.1. Danışmanlı Öğrenme (Supervised Learning)

Bu tip öğrenmede, yapay sinir ağına uygulanan bir girişe karşılık ağın ürettiği çıkış ile üretmesi gereken çıkış arasındaki hataya bağlı olarak ağın ağırlıkları en uygun çıkışı elde etmek için sonradan düzenlenebilir. Bu noktada hatanın istenilen değerde olup olmadığını değerlendirmek için bir danışmana veya öğretmene ihtiyaç vardır [8].

3.5.2.2. Danışmasız Öğrenme (Unsupervised Learning)

Girişine verilen değerlerden ürettiği çıkışlara göre ağ, ağırlıklarını kendisi değiştirmektedir. Bu öğrenme algoritmasında üretilmesi gereken çıkış değerlerinin bilinmesine gerek yoktur. Sadece giriş datalarının bilinmesi yeterlidir. Daha sonra ağ, ağırlıklarını, aynı özellikleri gösteren desenler oluşturmak üzere ayarlar [8].

3.5.2.3. Takviyeli Öğrenme (Reinforcement Learning)

Danışmanlı öğrenmeye benzer olan bu algoritmada; verilen girişe karşılık üretilen çıkış ile üretilmesi gereken çıkış arasındaki hata miktarı, bir danışman yerine bir kriter ile değerlendirilmekte ve bu değerlendirme sonucunda ağırlıkların değiştirilmesi gündeme gelmektedir [8].

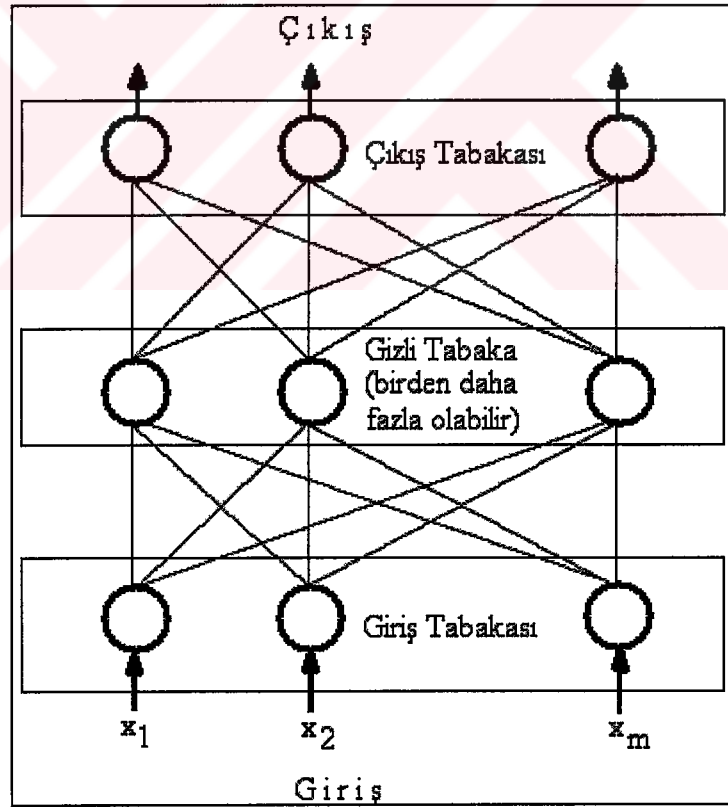
3.6. Ağ Modelleri

Çok Katlı Perseptronlar (Multi Layer Preceptron, MLP), Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları, LVQ Ağları (Learning Vector Quantization), SOM Ağları (Self Organising Map), Hopfield Ağları, Elman ve Jordan Ağları literatürde sıkça karşılaşılan modellerdir. Bunlar içerisinde Çok Katlı Perseptron yapısı, eğitim aşamasında pek çok öğrenme algoritmasının uygulanabilmesi nedeniyle uygulamalarda yaygın şekilde tercih edilmektedir [5].

3.6.1. Çok Katlı Perseptronlar (MLP)

Giriş ve çıkış katları arasında bir yada daha fazla ara katın bulunduğu ileri beslemeli MLP ağlarının blok yapısı Şekil 3.4.'de görülmektedir. Çok sayıda öğrenme algoritması kullanılarak eğitilebilen bu ağ yapısında; giriş, çıkış ve ara katlarda bulunan nöron sayısı problemin karmaşıklığı ile ilgili olup bu sayı deneme yanılma yolu ile belirlenir.

Danışmanlı öğrenme algoritmaları kullanılarak eğitilen MLP ağlarında, uygulanan girişe karşılık üretilen çıkış ile hedef çıkış arasındaki hata, kullanılan öğrenme algoritmasına göre tekrar değerlendirilerek; hata değeri en aza düşürülünceye kadar ağınlı ağırlıkları değiştirilir. Ayrıca ağ içerisinde ara bağlantılar girişten çıkışa doğru olduğu için herhangi bir andaki çıkış sadece o andaki girişin bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Bundan dolayı bu tür ağlar statik ağlar olarak da bilinmektedir [27].



Şekil 3.4. Çok Katmanlı Perseptronlar.

3.6.2. Radyal Tabanlı Fonksiyon Ağları

İleri beslemeli yapılara örnek gösterilen bu ağlar, üç katmanlıdır. Genel olarak MLP'lere benzeyen bu ağların MLP'lerden ayrılan tarafı ara birim nöronlarıdır. Bahsedilen fark, merkez diye isimlendirilen bir parametre vektörü olup bu vektör, ara birim nöronları tarafından belirlenmektedir. Yapılan işlem, giriş vektörleri ile merkez arasındaki Öklit (Euclidian) mesafesinin hesaplanıp doğrusal olmayan bir fonksiyondan geçirilmesidir. Ara birimle giriş birimi arasındaki işlemler lineer değildir. Ancak ara birimle çıkış birimi arasındaki işlemler lineerdir. Çıkış biriminin girişine ulaşan değerler değerlendirilerek ağın nihaiyi tepkisi belirlenir [29].

3.6.3. LVQ Ağı (Learning Vector Quantization)

Sınıflandırma problemlerinin çözümünde uygulanan ve Kohonen tarafından geliştirilen LVQ ağı, giriş örneklerinin önceden tanımlandığı vektör nitelime tekniğine dayanmaktadır. Öğrenme işlemi tamamlandığında referans vektörler bulunur. Eğitim sırasında her bir giriş vektörü bütün nöronlara uygulanır. Bu noktada giriş değerleri ile nöronlar arasındaki mesafeler hesaplanarak en yakın nöron 1, diğer nöronlar 0 değerini alır. Eğer 1 değerini alan nöron, giriş vektör sınıfına dahilse giriş vektörüne doğru hareket ettirilir, dahil değilse eğitim vektöründen uzaklaştırılır. Bu eğitim işlemi süresince nöronlar ilişkili oldukları bölgeye hareket ettirilerek sınıflandırma sağlanmış olur. Öğrenme bir eğitim vektörü ve her bir nöronun ağırlık vektörü arasındaki Öklit uzaklığının hesaplanmasıyla gerçekleştirilir [28].

3.6.4. SOM Ağı (Self Organising Map)

Kohonen tarafından geliştirilmiş bir başka ağ yapısı da SOM ağlarıdır. Danışmansız bir yapay sinir ağı modeli olan SOM ağı, kümelendirme işlemlerinde oldukça başarılıdır. Nöronlar n boyutlu bir kafes yapısında düzenlenmiş olup her nöron diğer bütün nöronlara ağırlığı sıfır olsa bile tam olarak bağlanmıştır. Burada tepki veren bir nöron öğrenme tecrübesini komşuluğundaki nöronlarla paylaşır. Komşularla beraber öğrenme süreci Meksika şapkasına benzeyen (Gauss Eğrisi) bir paylaşım fonksiyonu ile olur. O andaki giriş vektörüne en yakın ağırlık vektörü bulunarak bu vektör ve komşuluğundaki diğer ağırlık vektörleri eğitilir. Öğrenme oranı yavaş yavaş azaltılarak önceden

belirlenmiş her bir döngüde komşuluğun boyutu da küçültülür. Bu işlem, öğrenme kararlı hale gelinceye kadar devam eder [30].

3.6.5. Hopfield Ağı

Hopfield ağı tek tabakadan oluşan bir ağıdır. Tabakada bulunan nöronların her biri diğer nöronlara bağlanmıştır. Geri beslemeli bir yapıyı gösteren bu ağın bir özelliği de eğitiminin sadece bir adımda yapılmasıdır [28].

3.6.6. Elman Ve Jordan Ağları

Elman ve Jordan ağları yapı olarak MLP'lere benzerler ve çok katlıdır. Her iki ağda da ara birim tabakasına ek olarak durum tabakası denilen ve geri besleme işaretlerini alan özel bir gizli tabaka daha vardır. Geri beslemeli ağlara örnek teşkil eden bu ağların her ikisinde de durum tabakasındaki nöronların çıkışları ileriye doğru gizli tabakaya verilmektedir. Her iki ağda da sadece ileri doğru bağlantılar göz önüne alınır ve geri besleme bağlantılarına sabit değerler verilirse, bu ağlar sıradan ileri beslemeli ağlar haline gelirler. Jordan ağının ek olarak durum tabakasındaki her nöronun kendisine bağlantısı vardır [28].

3.7. Öğrenme Algoritmaları

Bu bölümde, yapay sinir ağlarının eğitiminde sıklıkla kullanılan öğrenme algoritmalarından geri yayılım (back propagation, BP), delta-bar-delta (DBD), genişletilmiş delta-bar-delta (extended delta-bar-delta, EDBD), hızlı yayılım (quick propagation, QP), Levenberg-Marquardt (LM) algoritmaları kısaca anlatılacaktır.

3.7.1. Geri Yayılım

Ağ çıkışındaki hatayı geriye doğru ağın üzerine dağıtan geri yayılım algoritması, matematiksel ispatı kolay olan öğrenme algoritmalarından biridir. Giriş katındaki nöronlar, giriş işareti x_i üzerinde hiçbir işlem yapmayıp sadece, giriş ile ara katmanlar arasında tampon görevi yaparlar. Ara katmandaki j indisli nöronların girişine aktarılan giriş değerleri w_{ji} ağırlıkları ile çarpıldıktan sonra toplanır ve toplamın bir f fonksiyonu olarak y_i çıkışını aşağıdaki gibi hesaplar:

$$y_i = f\left(\sum w_{ji} x_i\right) \quad (3.3)$$

Hesaplanan çıkışa göre i ve j katlar arasındaki ağırlık değişimi $\Delta w_{ij}(t)$ geri yayılım algoritmasına göre aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\Delta w_{ij}(t) = \eta \delta_j x_i + \beta \Delta w_{ij}(t-1) \quad (3.4)$$

Burada, η öğrenme katsayısı, β momentum katsayısı ve δ_j , j indisli nöronun çıkış nöronu veya gizli kat nöronu olup olmamasına bağlı olan bir faktördür. Çıkış nöronları için:

$$\delta_j = \left(\frac{\partial f}{\partial net_j}\right)(y_j^{(t)} - y_j) \quad (3.5)$$

Ara birim nöronları için ise:

$$\delta_j = \left(\frac{\partial f}{\partial net_j}\right) \sum_q w_{qj} \delta_q \quad (3.6)$$

ile verilir. İfadelerde $net_j = \sum x_j w_{ji}$ ve $y_j^{(t)}$, j indisli işlem elemanı için hedef çıkışıdır.

Ara birimdeki nöronlar için herhangi bir hedef olarak Denklem (3.5) yerine Denklem (3.6) kullanılır. Buna bağlı çıkış katmanından başlayıp, δ_j bütün nöronlar için hesaplanarak ağırlıkların güncellenmesi bütün bağlantılar için Denklem (3.4)'e göre gerçekleştirilir [5].

3.7.2. Delta-Bar-Delta

MLP'lerde bağlantı ağırlıklarının yakınsama hızını artırmak için kullanılan sezgisel bir yaklaşımdır. Bu tip yaklaşımlar tecrübeye ve eğitilmiş tahmine dayalı kurallardan oluşmaktadır. Bunlar optimum çözümü garanti edemeyip ona yakın çözümü bulmaktadır. Hata yüzeyindeki değişimleri açıklamak için, özellikle, ağırlık her bağlantısı kendi öğrenme katsayısına sahip olmalıdır.

Standart geri yayılım algoritmasında eğim bileşeni aşağıdaki gibidir:

$$\delta(k) = \frac{\partial E(k)}{\partial w(k)} \quad (3.7)$$

Burada $E(k)$, k anındaki hata değerini; $w(k)$, bağlantı ağırlığını; $\delta(k)$ ise ağırlık değişiminin eğim bileşenini göstermektedir. Geri yayılım algoritmasındaki bağlantı ağırlığı aşağıdaki şekilde değiştirilir:

$$w(k+1) = w(k) + \beta\delta(k) \quad (3.8)$$

Burada β , sabit bir öğrenme oranıdır. Delta-Bar-Delta öğrenme algoritmasında her bağlantı için değişken öğrenme oranı, $\beta(k)$ olur ve bağlantı ağırlıklarının güncelleşmesi:

$$w(k+1) = w(k) + \beta(k)\delta(k) \quad (3.9)$$

şeklinde yapılır. Her bağlantıda öğrenme hızının azalması ve artması için $\delta(k)$ eğim bileşeninin ağırlıklı ortalaması kullanılmıştır. Ağırlıklı ortalama olan $\bar{\delta}(k)$ aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$\bar{\delta}(k) = (1 - \theta)\delta(k) + \theta\delta(k-1) \quad (3.10)$$

Buradaki θ , konveks ağırlık faktörüdür.

Bir önceki eğim bileşeninin üstel artması ve o andaki eğim bileşeninin aynı işaretli olması durumunda, öğrenme oranı, κ sabitiyle birlikte artan ağırlıkla birleştirilir. O andaki eğim bileşeni üstel ortalamadan farklı işaretli ise, öğrenme oranı mevcut değeri ile orantılı olarak azalır. Öğrenme oranının güncelleştirilmesi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\Delta\beta(k) = \begin{cases} k, & \bar{\delta}(k-1)\delta(k) > 0 \text{ ise} \\ -\varphi\beta(k), & \bar{\delta}(k-1)\delta(k) < 0 \text{ ise} \\ 0, & \text{farklı durumlarda} \end{cases} \quad (3.11)$$

Burada κ, φ sırasıyla öğrenme katsayısı artma ve azaltma faktörlerini, $\beta(k)$, k anındaki öğrenme oranını göstermektedir. Görülebileceği gibi algoritma öğrenme katsayılarını lineer olarak artırmakta fakat geometrik olarak azaltmaktadır [31].

3.7.3. Genişletilmiş Delta-Bar-Delta

Eğitimde belirli bir anda bir periyotluk (epoch) genel hatayı hesaplayarak hata düzeltme özelliğine sahiptir. Herhangi bir andaki ölçülen hata, bir önceki anda bulunan hatadan büyük ise ağırlıklar bir önceki ağırlık değerini alır. Daha iyi sonuçlar elde etmek için hata düzeltme özelliğine dayanıklılık (patience) faktörü eklenmiştir. Her periyottaki hatanın test edilmesi yerine daha önce iyileştirilme işlemi yapıldığından hata, n periyotta test edilir.

Genişletilmiş Delta-Bar-Delta kuralında her bağlantıdaki momentum hızı $\mu(k)$ ve öğrenme hızı $\beta(k)$ zamanla değişmektedir. Delta-Bar-Delta ile karşılaştırmak için standart Delta-Bar-Delta ile verilen momentum için bağlantı ağırlıklarının değiştirilmesi:

$$\Delta w(k+1) = \beta(k)\delta(k) + \mu(k)\Delta w(k) \quad (3.12)$$

değerinin ağırlıklara katkısıyla:

$$w(k+1) = w(k) + \Delta w(k+1) \quad (3.13)$$

elde edilir. Burada β ve μ sabittir. Bunun yanında Genişletilmiş Delta-Bar-Delta için değişken öğrenme ve değişken momentum hızları aşağıdaki gibi elde edilebilir.

Genişletilmiş Delta-Bar-Delta için öğrenme hızının değişimi:

$$\Delta\beta(k) = \begin{cases} k_{\beta} \exp(\gamma_{\beta} |\bar{\delta}(k)|), & \bar{\delta}(k-1)\delta(k) > 0 \text{ ise} \\ -\varphi_{\beta} \beta(k), & \bar{\delta}(k-1)\delta(k) < 0 \text{ ise} \\ 0, & \text{farklı durumlarda} \end{cases} \quad (3.14)$$

formülünden elde edilir. Burada κ_β , sabit öğrenme hızı skala faktörünü, φ_β , sabit öğrenme hızı azaltma faktörü, γ_β ise öğrenme hızı üstel faktörünü göstermektedir. Aynı şekilde k zamanındaki momentum hızı değişimi:

$$\Delta\mu(k) = \begin{cases} K_\mu \exp(-\gamma_\mu |\bar{\delta}(k)|), & \bar{\delta}(k-1)\delta(k) > 0 \text{ ise} \\ -\varphi_\mu \mu(k), & \bar{\delta}(k-1)\delta(k) < 0 \text{ ise} \\ 0, & \text{farklı durumlarda} \end{cases} \quad (3.15)$$

ifadesinden bulunabilir. Burada κ_μ , sabit momentum hızı skala faktörünü, φ_μ , sabit momentum hızı azaltma faktörünü ve γ_μ , sabit momentum hızı üstel faktörünü göstermektedir.

Dikkat edilirse öğrenme ve momentum hızlarının azalmasını ve artmasını kontrol eden sabitler vardır. $\delta(k)$, bu artışların veya azalışların uygun olup olmadığına karar vermek için kullanılır.

Ağırlık uzayında, osilasyonları ve aşırı atlamaları engellemek için, üst sınırlar her bir bağlantı öğrenme hızları ve momentum hızları üzerinde belirlenir:

$$\beta(k) \leq \beta_{\max} \quad (3.16)$$

$$\mu(k) \leq \mu_{\max} \quad (3.17)$$

Burada β_{\max} ve μ_{\max} öğrenme ve momentum katsayısının üst sınırlarıdır.

Sonuç olarak Genişletilmiş Delta-Bar-Delta algoritmasının içine düzeltme özellikli bir hafıza yerleştirilmiştir. Kullanıldığı zaman, eğitim verilerinin durumu her iterasyondan sonra hatanın değerlendirilmesine yol açar. Hata, $E(k)$, bir önceki minimum hatadan küçük ise ağırlıkları o andaki en iyi ağırlıklar olarak hafızada saklar. İyileştirme tolerans parametresi, ψ , düzeltme sürecini kontrol eder. Mevcut durumdaki hata önceki minimum hatayı geçerse:

$$E(k) > E_{\min} \psi \quad (3.18)$$

tüm bağlantı ağırlıkları, hafızada saklı olan en iyi değerlerle değiştirilir. Ayrıca öğrenme ve momentum hızları, düzeltmeyi başlatmak için azaltılır [32].

3.7.4. Hızlı Yayılım

Hızlı yayılım algoritması Newton metoduna dayanan sezgisel bir öğrenme algoritmasıdır. Özellikle gürültü seviyesi az olan veriye sahip problemlerde Genişletilmiş Delta-Bar-Delta kadar iyi sonuç vermektedir.

Bu öğrenme algoritmasında ağırlık hızlandırması ve kırılması ihmal edilerek $t-1$ den t ye kadar ağırlıklardaki değişim:

$$\Delta w(t) = \varepsilon L(t) + \beta Q(t) \quad (3.19)$$

olarak verilir. Burada ε , öğrenme katsayısı, β ise momentum katsayısıdır. Diğer fonksiyonlar olan $L(t)$ ve $Q(t)$ ifadeleri sırasıyla:

$$L(t) = \begin{cases} h(t), & h(t) h(t-1) \geq 0 \text{ ise} \\ 0, & \text{farklı durumlarda} \end{cases} \quad (3.20)$$

$$Q(t) = \begin{cases} \mu \Delta w(t-1), & h(t)(h(t) - (\mu / \mu + 1)) h(t-1) \geq 0 \text{ ise} \\ \Delta q(t), & \text{farklı durumlarda} \end{cases} \quad (3.21)$$

eşitlikleri ile verilir. Bu ifadelerde μ , momentum büyüme faktörü, $h(t) = \partial E / \partial w(t)$, eğimi ve $q(t) = \frac{\Delta w(t) h(t)}{h(t-1) - h(t)}$ minimum adım miktarını göstermektedir. Buradan ağırlık fonksiyonunu güncelleştirmek için, delta ağırlık fonksiyonu ve ağırlık hızlandırma katsayısı işleme katılır:

$$w(t) = (1 - \delta) w(t-1) + \Delta w(t) \quad (3.22)$$

Burada δ , hızlandırma katsayısıdır. Son olarak ağırlık çok küçük ise sıfır alınarak kırılır:

$$|w(t)| < \kappa \text{ ise } w(t) = 0 \text{ alınır.} \quad (3.23)$$

Buradaki κ , ağırlık kırılması faktörüdür [33].

3.7.5. Levenberg-Marquardt

Oldukça başarılı bir optimizasyon metodu olan Levenberg-Marquardt (LM) öğrenme algoritması Hessian matrisinin hesaplanmasına gerek olmayan Quasi-Newton algoritmalarından biridir. Bu matris her bir iterasyondaki ağ parametre performanslarının ikinci dereceden türevlerini belirtir.

Bu algoritmaların geliştirme ifadesi aşağıdaki formülle verilebilir:

$$X_{k+1} = X_k + \beta \cdot p_k \quad (3.24)$$

Burada p_k , arama doğrultusu ve β , arama doğrultusu boyunca performansı azaltacak şekilde seçilen bir faktördür.

Newton yöntemli eşleştirmeli türev yöntemleri daha hızlı yakınsamasına rağmen Hessian matrisinin hesaplanmasındaki zorluklar nedeniyle tercih edilmemektedir. Bir çok ileri beslemeli sinir ağında olduğu gibi, performans fonksiyonunun karelerin toplamı şeklinde yazılabildiği durumlarda Hessian matrisi:

$$H = J^T J \quad (3.25)$$

ile tahmin edilir ve türevde ise:

$$g = J^T e \quad (3.26)$$

yaklaşımı kullanılır. Burada J , jakobian matrisi, e ise hata değeridir. Jakobian matrisi standart geri yayılım algoritmasına göre hesaplandığından Hessian matris hesabından daha kolaydır. Yöntem, parametrelerin yakınsamasında:

$$x_{k+1} = x_k - [J^T J + \mu I]^{-1} J^T e \quad (3.27)$$

yaklaşımını kullanır. Eğer μ , büyükse, minimuma yaklaşım adımı küçük olur. Bundan dolayı başarılı adımlarda μ , değeri azaltılmalı, performans fonksiyonu artıyorsa μ , artırılmalıdır.

Bu yöntem, ileri beslemeli ağılardaki kullanılan en hızlı öğrenme metodudur. Fakat Jakobian matrisinin çok büyük olması, hesaplama zamanının ve kaydetme alanındaki artışlar bu yöntemin en büyük dezavantajıdır [34-35].



BÖLÜM IV

YAPAY SİNİR AĞI TABANLI YÜKSEK HASSASİYETLİ SICAKLIK ÖLÇME BİRİMİ

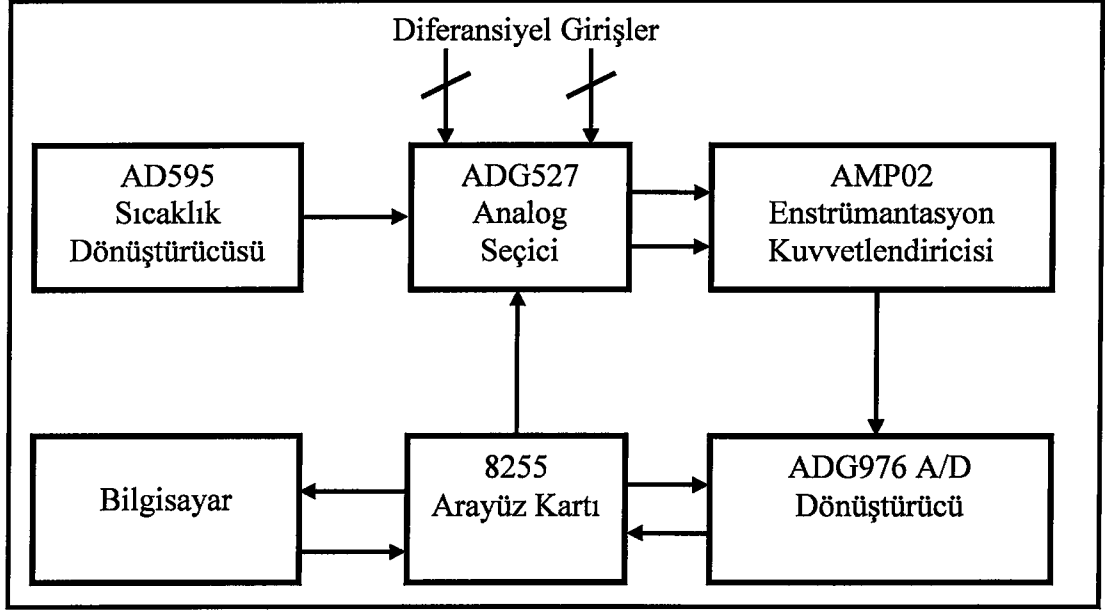
4.1. Giriş

Tasarımı gerçekleştirilen ve Şekil 4.1.'de blok yapısı verilen sistemde 8 kanal diferansiyel girişlere sahip ADG527 analog seçici, seçici çıkışını 100 kat kuvvetlendiren AMP02 enstrümantasyon kuvvetlendiricisi ve kuvvetlendirici çıkışında elde edilen analog voltajı dijital forma dönüştüren ADG976 A/D dönüştürücüsü kullanılmıştır. Bahsedilen bu elemanların yanı sıra termal çiftlerin referans sıcaklığını hesaplamak amacıyla AD595 sıcaklık dönüştürücüsü ile Celsius termometre gerçekleştirilmiş ve analog seçicinin 1 numaralı diferansiyel kanalına uygulanmıştır. Devrede kullanılan besleme voltajları ± 12 V, + 5 V ve 0 V ortak toprak olup devreye hariçten bağlanmıştır.

A/D dönüştürücü çıkışında elde edilen dijital formdaki 16 bit sıcaklık bilgisi, Bytronics firması tarafından üretilen, bilgisayarın ISA (Industry Standard Architecture) slotuna takılan ve üzerinde 8255 mikro işlemcisi bulunan MPIBM4 ara yüz kartı aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır [36]. Bilgisayar ortamında elde edilen veriler, daha önce MATLAB programında eğitilen ve DELPHI programa dili ile gerçekleştirilen program tarafından işlenmiştir. Tasarımı yapılan sistem, donanım ve yazılım kısmı olmak üzere takip eden bölümlerde etraflıca açıklanmıştır.

4.2. Uygulama Devresinin Blok Yapısı ve Devre Elemanları

Şekil 4.1.'de verilen blok yapıdan da görüleceği gibi ADG527 analog seçici tüm devresinin diferansiyel girişlerine bağlı olan iki uçlu termal çiftlerden herhangi birisi, bilgisayar üzerinde koşulan program tarafından üretilen seçme bilgisi ile seçilerek kuvvetlendirici girişine aktarılır. Harici bir dirençle, kazancı 100 olarak ayarlanmış olan



Şekil 4.1. Uygulama Devresine Ait Blok Şema.

kuvvetlendirici girişindeki diferansiyel voltaj 100 kat kuvvetlendirilerek A/D dönüştürücünün analog girişine uygulanır. Analog seçiciye benzer olarak; dönüştürücünün çevrime başlaması için yine bilgisayar tarafından gerekli kontrol sinyalleri üretilmelidir. Çevrim tamamlandığında 16 bit uzunluğundaki dijital veri bilgisayar üzerine aktarılmakta ve DELPHI programlama dilinde yazılan program ile değerlendirilerek termal çiftin ürettiği emf değerine karşılık düşen sıcaklık değeri bilgisayar ekranına yazılmaktadır. Analog Seçicinin diferansiyel girişlerinden birisine bağlı olan AD595 sıcaklık dönüştürücüsü, ortam sıcaklığına bağlı olarak bir voltaj değeri üretmektedir. Bu voltaj değeri, bilgisayar üzerinde koşturulan program vasıtasıyla gerçekleştirilen termal çiftlerin referans kaydırma işlemlerinde kullanılmaktadır. Gerçeklenen devre ile bilgisayar arasındaki veri alış verişi 8255 mikroişlemci tabanlı MPIBM4 arayüz kartı ile sağlanmaktadır.

Tasarımda kullanılan tüm devrelerin temel özellikleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

4.2.1. ADG527 Analog Seçici

Analog Device firması tarafından üretilen ADG527 tüm devresi, daha önce de belirtildiği gibi, girişleri diferansiyel olan 8x1 analog seçicidir. Şekil 4.2.'de blok yapısı ve fonksiyon tablosu verilen seçicinin bir adet "reset", bir adet "enable", bir adet "write" kontrol değişkeni ve 3 adet adres kontrol değişkeni bulunmaktadır.

A2	A1	A0	EN	WR	RS	Durum
X	X	X	X	\bar{f}	1	Önceki Durumunu Korur
X	X	X	X	X	0	Adres ve Enable Kay. Temizlenir
X	X	X	0	0	1	Çıkışta Değişiklik Gözlenmez
0	0	0	1	0	1	1. Kanal Seçilir
0	0	1	1	0	1	2. Kanal Seçilir
0	1	0	1	0	1	3. Kanal Seçilir
0	1	1	1	0	1	4. Kanal Seçilir
1	0	0	1	0	1	5. Kanal Seçilir
1	0	1	1	0	1	6. Kanal Seçilir
1	1	0	1	0	1	7. Kanal Seçilir
1	1	1	1	0	1	8. Kanal Seçilir

Şekil 4.2. ADG527 Analog Seçici Doğruluk Tablosu Ve Blok Şeması.

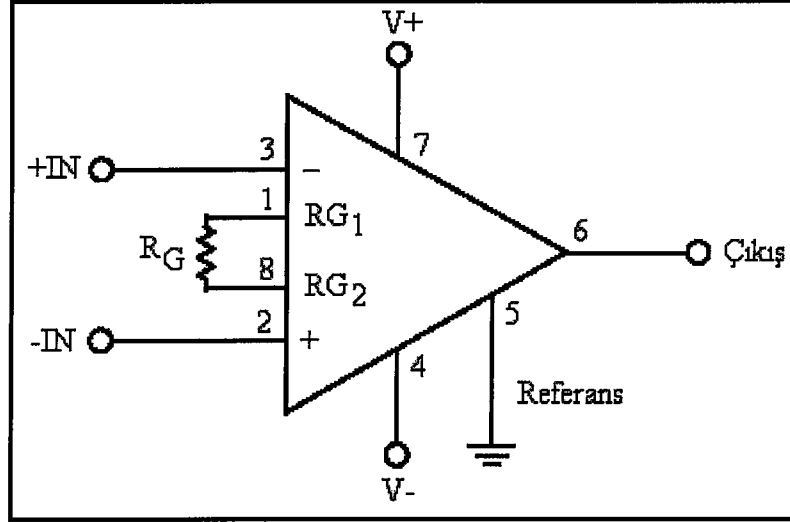
Maksimum 44V besleme aralığına sahip olan tüm devrenin seçebileceği analog işaretlerin sahası besleme voltajları ile sınırlıdır. Mikroişlemcilerle çalışmaya uygun olan tüm devrenin iletim anındaki direnci 280Ω 'dur. Kanal seçme işlemleri 600 ns'den daha az bir sürede gerçekleşmektedir [37].

4.2.2. AMP02 Enstrümantasyon Kuvvetlendiricisi

Analog Device firması tarafından üretilen bu kuvvetlendiricinin en büyük özelliği Denklem 4.1'de verilen eşitlikle ifade edilen kazancının ilgili terminalleri arasına bağlanan tek bir harici dirençle 1 ~ 10000 arasında herhangi bir değere $\pm \%5$ yaklaşıklıkla ayarlanabilmesidir. Ayrıca maksimum 100 μV değerinde dengesizlik voltajı, $^{\circ}C$ başına 2 μV değerinde bir sapma göstermesi, kazancı 1000 iken 200 KHz'lik bant genişliğine sahip olması bu tüm devrenin tıbbi ölçme, veri akış sistemleri, termal çift ölçme ve kuvvetlendirme işlemleri gibi çok hassas uygulamalarda tercih edilmesine neden olmaktadır.

$$Kazanç = \frac{V_{Çıktı}}{(+IN) - (-IN)} = \frac{50K\Omega}{R_G} + 1 \quad (4.1)$$

Şekil 4.3.'de, AMP02 tüm devresinin blok şeması verilmiştir. $\pm 4,5 V \sim \pm 18 V$ beslemeye sahip olan kuvvetlendiricinin şemasında "Referans" olarak adlandırılan terminale uygulanacak voltaj ile çıkış işaretinin DC seviyesi belirlenmektedir [37].



Şekil 4.3. AMP02'nin Blok Şeması.

4.2.3. ADG976 A/D Dönüştürücü

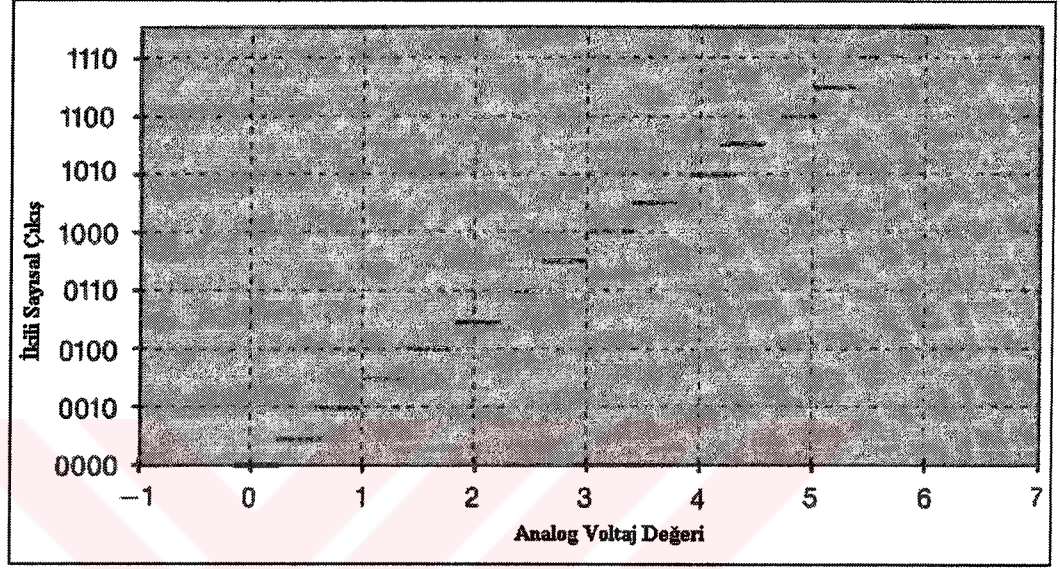
ADG976 tüm devresi 16 bit dijital çıkışa sahip A/D dönüştürücü elemandır. A/D dönüşüm işlemi ve bir A/D dönüştürücünün temel özellikleri aşağıdaki bölümlerde tanımlanmıştır.

4.2.3.1. A/D Dönüşümü

A/D dönüşüm işlemi iki aşamalı olarak düşünülebilir: Birinci aşama örnekleme, ikinci aşama kuantalama. Bir sürekli zaman işareti öncelikli olarak örneklenir ve akabinde kuantalanarak dijital koda dönüştürülür.

Her ne kadar A/D dönüştürücüler ayrık işlemler yürütmeseler de konunun daha kolay anlaşılması açısından dönüşüm sürecinin ayrık olarak düşünülmesi uygundur. İlk olarak sürekli zaman işaretinin, örneklenmesi sonucu işlemler, sürekli zamandan ayrık zamana kaymaktadır. Bu aşamada, dönüşüm hatalarının en aza indirilmesi açısından, örnekleme frekansı ve analog işaretin değişim hızı önem kazanmaktadır. İkinci adımda, iki referans zaman arasındaki sonsuz sayıdaki voltaj değerinin sonlu sayıda voltaj değeriyle temsil edilmesidir. Bu işlem sırasında kuantalama hatası olarak bilinen ve dijital olarak temsil edilen voltaj değeri ile analog voltaj değeri arasındaki hatanın büyüklüğü dijital bit sayısı ile doğrudan ilişkilidir ve analog işaretin dinamik sahasını kısıtlamaktadır. Şekil 4.4.'de gösterilen ve 0 ~ 6 V arasında değişen V_i analog işareti 4 bitlik dijital bir işarete dönüştürülmektedir. A/D dönüştürücü çıkışında toplam $2^4=16$ farklı durumun oluştuğu

bir dönüşüm Şekil 4.5.'de görülmektedir. Şekilden de görüleceği gibi elde edilen dijital işaret genel olarak analog işarete benzemekle birlikte, kuantalama hatalarından dolayı iki işaret birbiriyle tamamen örtüşmemektedir.

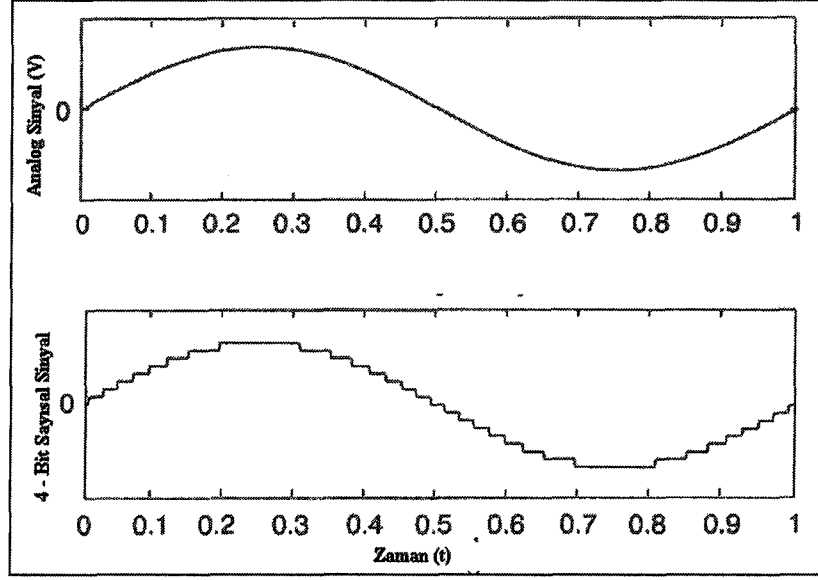


Şekil 4.4. Analog / Dijital Dönüşüm.

Yapılan bir tasarımda, uygun elemanların seçimi ve doğru kullanımı ile kuantalama hataları azaltılabilir. Kuantalama hatalarının en aza indirmek için eleman seçiminde dikkat edilmesi gereken en önemli kriter, analog işaret ile A/D dönüştürücünün analog giriş sahasının uyumlu olmasıdır. Diğer bir deyişle, analog işaretin tepe değeri, A/D dönüştürücünün maksimum girişinden büyük olursa dijital çıkışlar belirli bir değerden sonra değişmeyebilir yada tersi bir durumda çok küçük genlikli bir analog işaret büyük bir voltaj sahasına sahip bir A/D dönüştürücüye uygulanırsa istenilen hassasiyette dönüşüm yapılamaz [38].

4.2.3.2. Bilgisayar Destekli Dönüşüm İşlemleri

Genellikle, tasarlanan pek çok ölçme sisteminde A/D dönüşüm yapıldıktan sonra elde edilen dijital veriler değerlendirilmek üzere dijital bir kontrol birimine (mikroişlemci, mikro denetleyici, PLC, PC, vb.) aktarılır. Bu noktada dikkat edilmesi gereken iki husus vardır: Öncelikli olarak kullanılan dönüştürücü ile kontrol birimi, birbirleri ile uyumlu



Şekil 4.5. Analog Sinyal Ve 4 – Bit Dijital Eşdeğeri.

çalışabilmelidirler. İkinci olarak analog işaretin özelliklerine uygun bir A/D dönüştürücü seçilmelidir. Dolayısıyla;

- Dönüştürücünün çevrim süresi, diğer bir deyişle örnekleme hızı işaretin değişim hızının en az iki katı olmalıdır.
- Dönüştürücü çıkışında elde edilen bilgiler, akım yada voltajla ifade edilebilir. Bundan dolayı gerekli olan akım ve voltaj dönüşümleri yapılmalıdır. Ayrıca kontrol birimi ile dönüştürücü arasında yüksek çıkış direnci, düşük giriş direnci, giriş ve çıkış kapasiteleri gibi problemlerin aşılması için gerekli düzenlemeler yapılmalıdır.
- Dönüştürücü çıkışında elde edilen maksimum voltaj yada akım değerleri, tasarlanan devrenin hasar görmemesi için düşük voltaj yada akım değerlerinin kuvvetlendirilmesi veya yüksek değerlerin sınırlandırılması şeklinde düzenlenmelidir.
- Analog işaretin dinamik sahası, A/D dönüşüm neticesinde elde edilen dijital olarak kodlanmış bilginin bit sayının belirlenmesinde doğrudan etkilidir. Dolayısıyla geniş bir analog giriş sahası seçildiği durumda çözünürlükten vazgeçilmek istenmiyorsa A/D dönüştürücünün dijital bit sayısı artırılmalıdır.
- Analog işaretin belirli bir seviyeyi aşması durumunda veya belirli bir zaman gecikmesi ile yeniden çevrim yapılması gereken durumlarda A/D

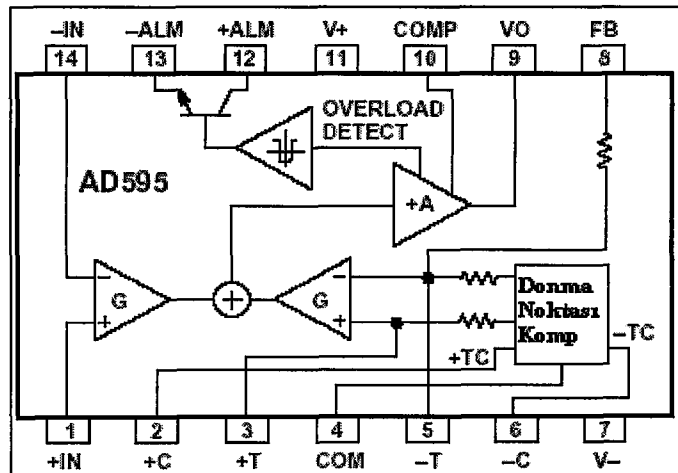
dönüştürücünün çevrime başlaması için gerekli tetikleme sinyalleri bilgisayar yazılımı veya harici olarak kurulan devrelerle yapılabilir.

- A/D dönüşümü sonucunda elde edilen verinin bit sayısı, kontrol biriminin veri hattının bit sayısından büyük olmamalıdır. Aksi halde bu problemi aşmak amacıyla harici devreler veya yazılımlar kullanılarak verilerin iki veya daha çok sayıda parçalara bölünerek transfer edilmesi kaçınılmaz olacaktır ki; bu durumda da, sistem karmaşası ve veri transfer zamanı artacaktır.

Bütün bu bilgiler ışığında tek bir +5 V besleme kaynağından beslenebilen ADG976 A/D dönüştürücü, 16 bit paralel dijital çıkışa, 200 KSPS (Sample Per Second) hıza, ± 10 V analog giriş sahasına, dahili senkronizasyon devresine, 305 μ V adım büyüklüğüne sahip olup ve anahtarlamalı kapasitör dizisi kullanılarak imal edilmiştir [37].

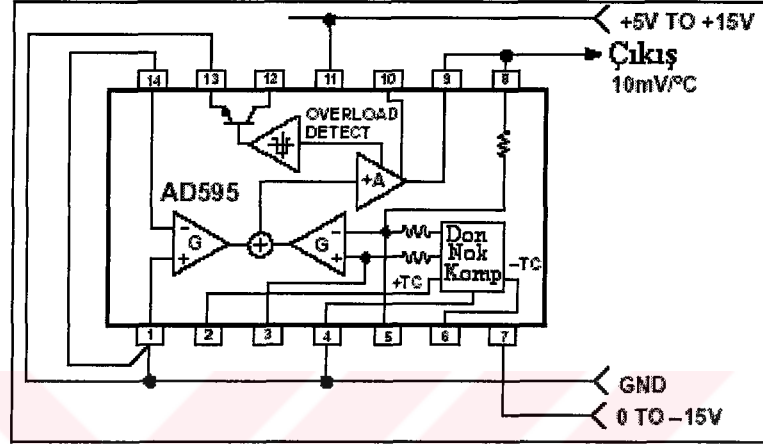
4.2.4. AD595 Sıcaklık Dönüştürücüsü

Şekil 4.6.'da blok şeması görülen ve Analog Device firması tarafından üretilen AD595 tüm devresi, K tipi termal çifte uygun üretilmiş, referans eklem kompanzasyonu yapılmış, monolitik bir kuvvetlendiricidir. Tüm devre girişine K tipi termal çift bağlandığında çıkışında 40,44 μ V / $^{\circ}$ C lik lineer bir voltaj düşümü olmaktadır. Ancak bu lineer çıkış, ortam sıcaklığının 25 $^{\circ}$ C'de sabit tutulmasıyla mümkün olmaktadır. Ayrıca AD595 tüm devresi sadece K tipi termal çiftin ürettiği çıkış voltajlarını lineerleştirilecek şekilde akordlanmıştır. Dolayısıyla başka bir termal çift çıkışının lineerleştirilmesi için ilave düzeneklere ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 4.6. AD595 Tüm Devresinin Blok Şeması.

Bu çalışmada AD595 tüm devresi lineer çıkış üretmesinden dolayı üretim amacının dışında kullanılmıştır. Girişlerine termal çift bağlamak yerine doğrudan 0 V uygulanmış ve 10 mV / °C çıkış üreten bir Celcius termometre gerçekleştirilmiştir. Bu bağlantılar Şekil 4.7.'de verilmiştir [37].



Şekil 4.7. AD595 İle Gerçekleştirilen Celcius Termometre.

4.3. Ölçme Değerlendirme Birimi

Ek-1'de verilen veriler dikkatle incelenecek olursa bir termal çiftin °C başına emf değerindeki değişim (E tipi için en büyük fark 0,08 mV / °C) oldukça küçüktür [39]. Dolayısıyla bu denli küçük voltaj değerinin gerek yapay sinir ağının eğitiminde gerekse eğri uydurma teknikleriyle üretilen denklemlerin belirlenmesinde kullanılmak üzere bilgisayar ortamına aktarılması mevcut imkanlarla pek mümkün değildir. Bu nedenle her iki yöntem için gerekli olan verilerin kuvvetlendirilmesi, A/D dönüşümünün yapılması ve bilgisayar ortamına aktarılması, Denklem 4.2'de verilen ifade kullanılarak hesaplama yoluyla belirlenmiştir.

$$\text{Okunan Veri} = \text{Yuvarla} (\text{emfx}100 \times 32767 / 10000) \quad (4.2)$$

Bu ifadedeki 100 çarpanı, AMP02 enstrümantasyon kuvvetlendiricisinin kazancını, 32767 çarpanı, A/D dönüştürücünün ürettiği maksimum dijital çıkış değerini ve 10000 değeri, A/D dönüştürücünün maksimum analog giriş voltajını temsil etmektedir. Elde edilen bölüm değeri yuvarlatılarak hesaplama yoluyla bulunan sonuçların okunması gereken gerçek değerlere benzetimi sağlanmıştır. Bu işlem sonucunda elde edilen veriler, gerçek sonuçlardan en fazla $\pm \text{LSB} / 2$ (152,5 μV) kadar sapmaktadır.

Aşağıda gerek yapay sinir ağı kullanılarak gerekse eğri uydurma teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen ölçme ve değerlendirme işlemleri açıklanmıştır.

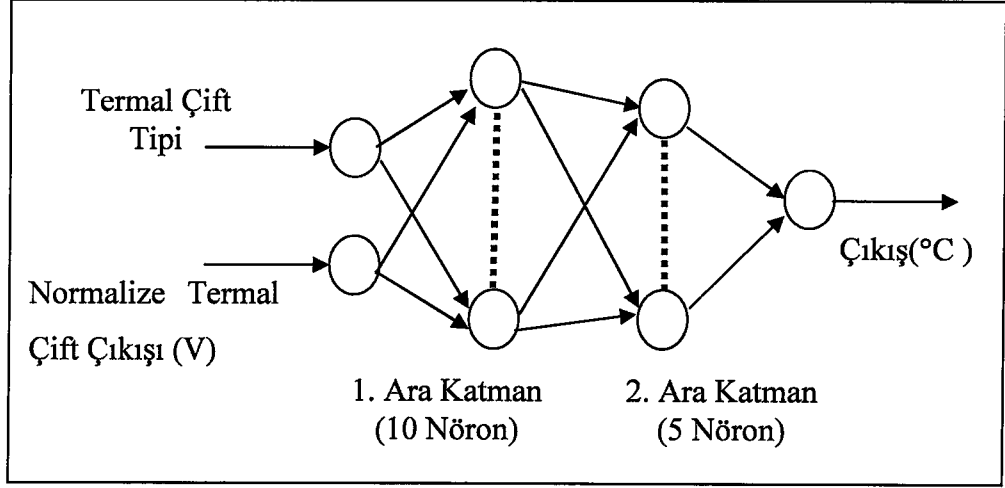
4.3.1. Yapay Sinir Ağları Tabanlı Değerlendirme

Yapılan eğitimler neticesinde giriş olarak verilen ve ± 1 aralığında normalize edilmiş termal çift emf değerlerine ve termal çift tipine göre Şekil 4.8.'de blok şeması verilen ağın çıkışında sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Yapay sinir ağının eğitilirken en iyi ağ yapısının ve öğrenme algoritmasının belirlenmesi amacıyla bir program yazılmıştır. Neticede en iyi hata değerleri $2 \times 10 \times 5 \times 1$ ağ yapısına ve katmanlarda sırasıyla lineer, hiperbolik tanjant sigmoid, logaritmik sigmoid ve lineer transfer fonksiyonlarına sahip, Levenberg-Marquardt Geri Yayılım algoritması ile eğitilmiş bir ağ modeli ile elde edilmiştir. Tablo 4.1.'den görüleceği gibi bahsedilen ağ modeli $7.5406e-5$ etkin eğitim hatasına sahiptir. Ağın girişlerine uygulanan termal çiftlere ait emf değerlerinin normalizasyon işlemlerinde kullanılan ifade,

$$pn = 2x(p-minp) / (maxp-minp) - 1 \quad (4.3.)$$

şeklindedir. Bu ifade de pn , normalize değeri, p , giriş değerini, $minp$ ve $maxp$, sırasıyla eğitim aşamasında ağa uygulanacak veriler içerisindeki en küçük ve en büyük veri değerleri temsil etmektedir [40].

Ek-1'de verilen ve uluslararası organizasyonlarca [21,39] standart olarak kabul edilen termal çiftlerin sıcaklıkla değişen emf değerleri, yapay sinir ağının eğitimi ve test edilmesi amacıyla kullanılmıştır. Toplam 4325 veriden 3246 tanesi eğitim, 1079 tanesi test amaçlı olarak seçilmiştir. Eğitim aşamasında kullanılan veri grubu, iki girişli, tek çıkışlı olan ve blok yapısı Şekil 4.8.'de verilen yapay sinir ağına uygulanmıştır. Ağa uygulanan girişlerden biri termal çiftlere ait emf değeri olup diğer giriş, termal çiftin tipini belirlemek üzere atanmıştır. Ağın girişine uygulanan normalize emf değerlerine karşılık çıkışında sıcaklık değeri elde edilmiştir. Farklı öğrenme algoritmaları kullanılarak gerçekleştirilen 1000 periyotluk eğitim sonucunda elde edilen eğitim ve test sonuçlarının ortalama karesel hatalarının karekökleri (etkin hataları) Tablo 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.8. Gerçekleştirilen Yapay Sinir Ağının Blok Şekli.

Tablo 4.1.'den görüleceği gibi özellikle test işlemleri sonucunda en küçük etkin hata değeri Levenberg-Marquardt Geri Yayılım Algoritması ile elde edilmiştir.

Tablo 4.1. Farklı Öğrenme Algoritmaları Kullanılarak Eğitilen Yapay Sinir Ağlarının Etkin Eğitim Ve Test Hataları

	Etkin Eğitim Hatası	Etkin Test Hatası		
		E Tipi	J Tipi	K Tipi
Birleşik Gradyent Ölçekli Geri Yayılım Algoritması	0.0027	2.2928	0.9478	2.4792
Powell-Beale Birleşik Gradyent Geri Yayılım Algoritması	0.0029	2.4077	1.5594	2.5464
BFGS Quasi-Newton Geri Yayılım Algoritması	0.0022	1.4845	0.3674	2.3948
Levenberg-Marquardt Geri Yayılım Algoritması	7.5406e-5	0.0332	0.0207	0.0762

Etkin hatanın yanı sıra herhangi iki veri dizisinin birbirine olan benzerliğinin bir ölçüsü olan korelasyon katsayıları da farklı eğitim algoritmaları için hesaplanmıştır. Bu amaçla Denklem 4.4.'de verilen eşitlik kullanılmıştır [41].

$$r = \frac{T \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{T \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{T \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}} \quad (4.4)$$

Bu eşitlikte T , veri dizisinin toplam veri sayısını, x_i ve y_i değerleri, veri dizilerini r , korelasyon katsayısını temsil etmektedir.

Denklem 4.4.'den hareketle Tablo 4.2.'de test işlemi sonucunda farklı öğrenme algoritmalarıyla eğitilen ağın ürettiği sıcaklık değerleriyle deneysel sonuçların benzerliklerinin bir ölçüsü olan korelasyon katsayıları verilmiştir.

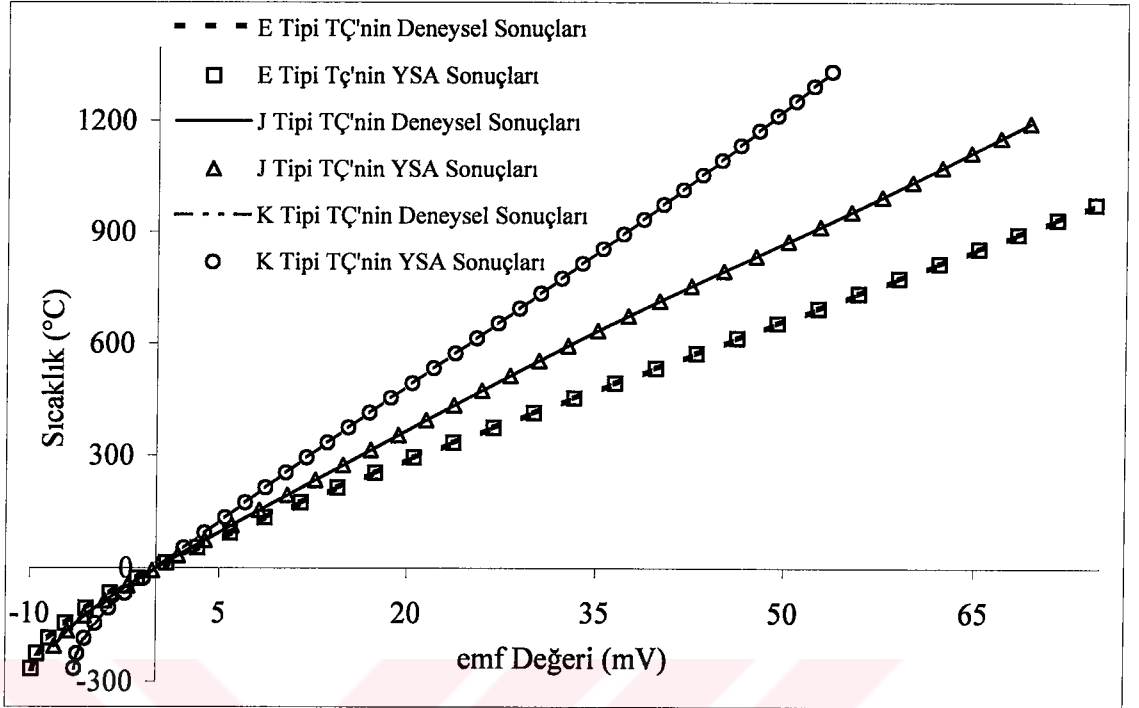
Tablo 4.2. Farklı Öğrenme Algoritmaları Kullanılarak Eğitilen Yapay Sinir Ağlarının Korelasyon Katsayıları

	Korelasyon Katsayısı		
	E Tipi	J Tipi	K Tipi
Birleşik Gradyent Ölçekli Geri Yayılım Algoritması	0.99998	0.999997	0.999986
Powell-Beale Birleşik Gradyent Geri Yayılım Algoritması	0.999978	0.999993	0.999986
BFGS Quasi-Newton Geri Yayılım Algoritması	0.9999918	0.9999996	0.999987
Levenberg-Marquardt Geri Yayılım Algoritması	0.999999996	0.9999999987	0.999999987

Şekil 4.9.'da Levenberg-Marquardt eğitim algoritması ile eğitilen ağın test aşamasında girişine uygulanan emf değerleri için ürettiği sıcaklık değerleri ve deneysel ölçümlerde elde edilen sıcaklık değerlerini gösterir bir grafik verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi gerek deneysel sonuçlar, gerekse ağın ürettiği çıkışlar arasında oldukça iyi bir uyum vardır.

4.3.2. Eğri Uydurma Teknikleri İle Değerlendirme

Termal çiftlerle yapılan sıcaklık ölçüm işlemlerinde kullanılan bir diğer yöntem, eğri uydurma tekniğidir (Eğri Uydurma) [3]. Bir giriş ve bir çıkışa sahip denklemler oluşturulurken bir grup veri denklemin oluşturulmasında, diğer bir grup veride oluşturulan denklemin doğruluğunun test edilmesinde kullanılmıştır.



Şekil 4.9. E, J Ve K Tipi Termal Çiftlerin Deneysel Olarak Elde Edilen Sıcaklık Ve emf Değerleri ve Levenberg-Marquardt Algoritmasıyla Eğitilen Ağın Test Sonucunda Elde Edilen Sıcaklık Ve emf Değerleri.

Bu yönetime uygun olarak yapay sinir ağının eğitiminde kullanılan verilerin tamamı ile Tablo 4.3.'de J tipi termal çift için verilen katsayılara sahip eğri denklemleri türetilmiş ve ağın test edilmesine benzer olarak, oluşturulan denklemlerin ürettiği sonuçların gerçek sonuçlara olan yakınlığı belirlenmeye çalışılmıştır.

Tablo 4.3. J Tipi Termal Çift İçin Elde Edilen Eğri Denklemleri Ve Denklem Katsayıları

Doğrusal Eğri	$y = 17.491 * x + 1.1244$
2. Der. Eğri	$y = 0.034131 * x^2 + 19.502 * x - 9.9469$
3. Der. Eğri	$y = 0.00067893 * x^3 - 0.094714 * x^2 + 20.655 * x - 8.7379$
5. Der. Eğri	$y = 1.1784 * 10^{-6} * x^5 - 0.00018259 * x^4 + 0.0099563 * x^3 - 0.25484 * x^2 + 20.839 * x - 2.2435$

Her bir termal çift için doğrusal, ikinci dereceden ve daha yüksek dereceli denklemler kullanılarak emf değerine karşılık elde edilen ve deneysel olarak elde edilen sıcaklık değerleri arasındaki etkin hataları, Tablo 4.4.'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Eğri Uydurma Yöntemi İle Elde Edilen Denklemlerin Ürettiği Sıcaklık Değerleri ve Deneysel Olarak Elde Edilen Sıcaklık Değerleri Arasındaki Etkin Hatalar

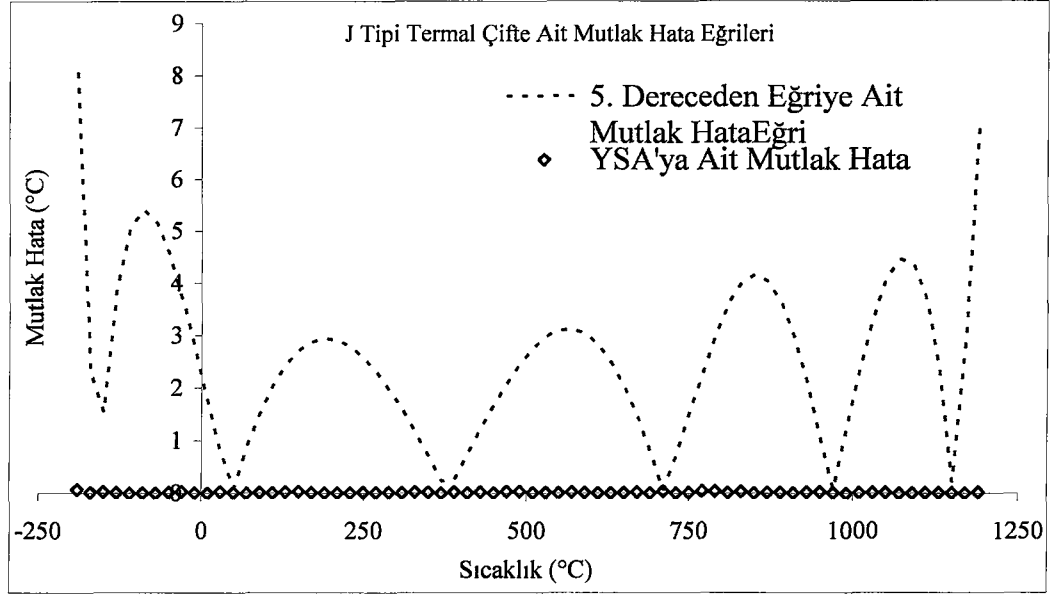
	E Tipi	J Tipi	K Tipi
Doğrusal Eğri	30.551538	17.806591	17.103521
2. Dereceden Eğri	20.318059	8.004001	16.903626
3. Dereceden Eğri	11.383811	5.193694	9.826509
5. Dereceden Eğri	5.424100	3.184628	6.812219

Eğri uydurma tekniğiyle elde edilen denklemlerin ürettiği sonuçlarla deneysel sonuçlar arasındaki korelasyon katsayıları Denklem 4.3. kullanılarak bulunmuş ve Tablo 4.5.'de verilmiştir.

Tablo 4.5. Eğri Uydurma Yöntemi İle Elde Edilen Sıcaklık Değerleri ve Deneysel Olarak Elde Edilen Sıcaklık Değerleri Arasındaki Korelasyon Katsayıları

	E Tipi	J Tipi	K Tipi
Doğrusal Eğri	0.99651	0.99904	0.99935
2. Dereceden Eğri	0.99846	0.99981	0.99936
3. Dereceden Eğri	0.99952	0.99992	0.99978
5. Dereceden Eğri	0.99989	0.99997	0.999897

J Tipi Termal Çift İçin Levenberg-Marquardt Geri Yayılım Algoritmasının ve 5. dereceden eğrinin J tipi termal çift için ürettikleri sonuçlar ile deneysel sonuçlar arasındaki mutlak hatalara ait eğriler Şekil 4.10.'da ve bazı hesaplama sonuçları Tablo 4.6.'da verilmiştir.



Şekil 4.10. J Tipi Termal Çift İçin Levenberg-Marquardt Geri Yayılım Algoritmasından Ve 5. Dereceden Eğriden Elde Edilen Sonuçlar İle Deneysel Sonuçlar Arasındaki Mutlak Hataya Ait Eğriler.

Tablo 4.6. J Tipi Termal Çift İçin 5. Dereceden Eğri Ve Yapay Sinir Ağına Ait Sonuçlarla Deneysel Sonuçlar Arasındaki Mutlak Hatalar

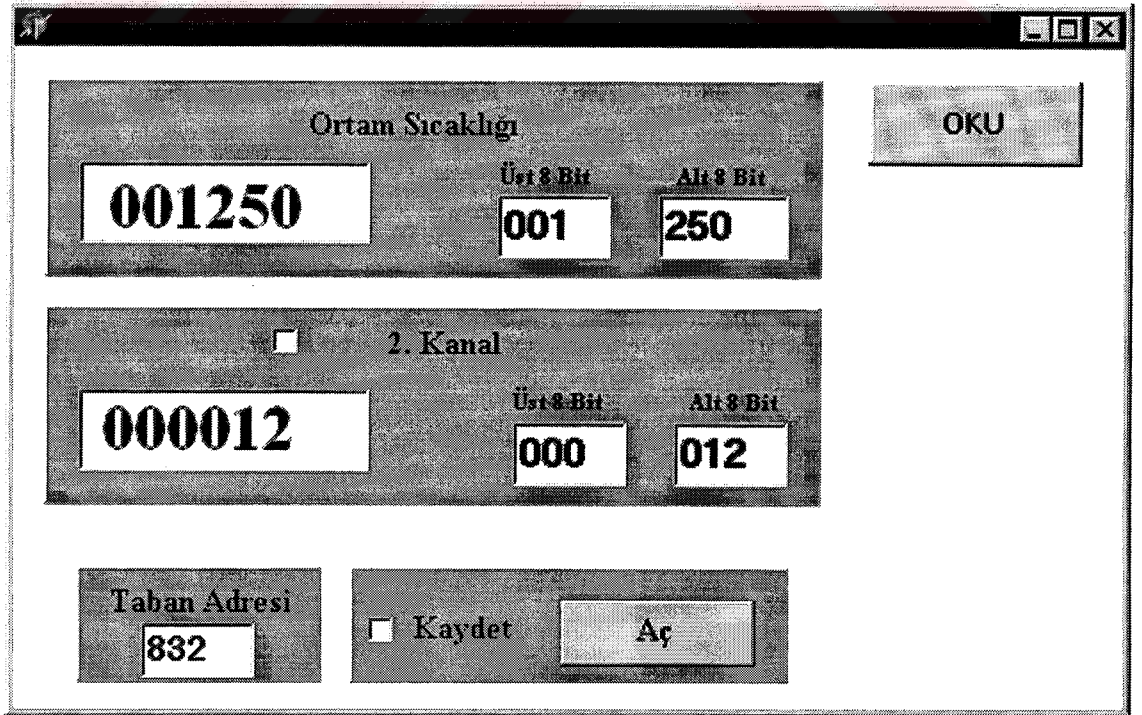
Deneysel Sonuçlar (°C)	5. Dereceden Eğri Sonucu (°C)	YSA Sonucu (°C)	Eğriye Ait Mutlak Hata (°C)	YSA'ya Ait Mutlak Hata (°C)
-206	-191,609	-206,007	14,39081	0,00652
-202	-189,352	-202,012	12,64823	0,01179
-198	-186,967	-197,974	11,03312	0,02563
-162	-161,423	-161,924	0,57657	0,07587
-158	-158,206	-157,995	0,2057	0,00546
-154	-154,901	-153,977	0,90064	0,02325
-6	-8,5393	-6,01665	2,539298	0,016653
-2	-4,35083	-1,9983	2,35083	0,001698
2	-0,14142	2,000095	2,141417	9,54e-05
6	4,047444	5,979427	1,952556	0,020573
42	41,75471	41,99567	0,245292	0,004328
46	45,9185	45,99729	0,081497	0,002714
50	50,08525	49,98677	0,085253	0,013233
54	54,25518	53,96473	0,255183	0,035269
58	58,40897	57,98918	0,408967	0,010823
62	62,56654	62,00294	0,566542	0,002944
66	66,72814	66,00657	0,72814	0,006573
1190	1196,979	1190,022	6,9787	0,0224
1194	1201,924	1194,016	7,9238	0,0156
1198	1206,94	1198,012	8,9404	0,0121

4.4. Program Arayüzü

DELPHI programlama dilinde yazılan program aracılığıyla elektronik devre için gerekli olan kontrol işaretleri üretilmekte ve devreden veriler alınmaktadır.

Şekil 4.10.'da ISA slota takılan 8255 mikroişlemci tabanlı giriş çıkış kartı ve gerçekleştirilen elektronik devre üzerinden, herhangi bir termal çifte ait emf değerlerinin bilgisayar ortamına aktarılması amacıyla hazırlanmış olan programa ait arayüz görülmektedir.

“OKU” butonuna her basıldığında kullanıcının kontrolünde olmaksızın AD595 sıcaklık dönüştürücüsünün ortam sıcaklığıyla ilgili olarak ürettiği bilgi, termal çiftlerin soğuk eklem sıcaklığının belirlenmesinde (referans eklem sıcaklığı) referans olması açısından okunmakta ve ekrana yazılmaktadır. Şayet analog seçicinin ikinci kanalına bağlı herhangi bir termal çiftin ürettiği emf değeri okunmak istenirse ilgili kanal, arayüz üzerinde seçilmekte ve okuma işlemi gerçekleştirilmektedir. Kayıt dosyasında bir satırda sırasıyla sistem zamanı, sistem saati, ortam sıcaklığı ve seçilmiş ise ikinci kanaldan okunan bilgi bulunur. Dış ortamdan 8 bitlik iki parça halinde okunan bilgilerin 10'luk



Şekil 4.11. Bilgisayar Ortamına Veri Aktarmak İçin Hazırlanan Program Arayüzü.

sayı sistemindeki şekilleri de ekrana yazılmaktadır. Son olarak, bilgisayarın ISA slotuna takılan 8255 mikroişlemci tabanlı arayüz kartına belirli bir taban adresi verilmesi gerekmektedir. Bu adres, üretici firma tarafından belirlenmekte ve kart üzerinde bulunan anahtarlar vasıtasıyla donanımsal olarak verilmektedir. Hazırlanan program, dış dünya ile bu kart üzerinden haberleştiği için mutlak surette kartın taban adresi, program çalıştırılmadan önce ilgili alana yazılmalıdır. Adresin yanlış yazılması durumunda bilgisayarın hata üretmesi muhtemeldir. Herhangi bir hataya meydan vermemek için kartın taban adresi gerek donanım aşamasında gerekse yazılımla onluk sistemde 832 olarak atanmıştır. Ancak kullanıcının bu değeri değiştirmesi gereken durumların olabileceği düşünülerek istenildiğinde farklı değer atanması mümkün kılınmıştır. Tablo 4.7.'de karta atanacak taban adresleri 16'lı ve 10'lu sayı siteminde verilmiştir [36].

Tablo 4.7. 8255 Mikroişlemci Tabanlı Giriş Çıkış Kartının Donanım Adresleri

Anahtarlar	16'lı	10'lu	Anahtarlar	16'lı	10'lu
	0200	512		0220	544
	0240	576		0260	608
	0280*	640*		02A0	672
	02C0	704		02E0	736
	0300	768		0320	800
	0340	832		0360	864
	0380	896		03A0	928
	03C0	960		03E0	992

Şekil 4.11.'de arka planda dış ortamdan okunan bilgilerin daha önce eğitilmiş olan bir yapay sinir ağı tarafından değerlendirildiği ve sonuçlarının ekrana yazıldığı program arayüzü görülmektedir. Bu program arayüzünde “Başla” kutucuğu işaretlendiği zaman termal çiftlere ait veriler dış ortamdan sürekli olarak okunmaktadır. Şekil 4.10.'da verilen programdan farklı olarak analog seçicinin 7 farklı diferansiyel kanallarına (1.kanala AD595 sıcaklık dönüştürücüsü bağlanmıştır) bağlanan termal çiftlerden istenilenler okunmakta ve yapay sinir ağı tarafından değerlendirilerek ekrana

yazılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta herhangi bir kanala bağlanacak olan termal çiftin tipi ile programda seçilen termal çiftin tipinin aynı olması gerektiğidir. Program üzerinde yapılan seçme işlemi, elektronik devre üzerinde herhangi bir değişikliğe neden olmayıp sadece yapay sinir ağının sonuç üretmesinde kullanılmaktadır. Dolayısıyla kanala bağlanan termal çiftin tipi ile program arayüzü üzerinde seçilen termal çiftin tipi arasında bir uyumsuzluk olursa ekrana yazılan değerler hatalı olabilir.

Kanal	Aktif	Ortam Sıcaklığı (°C)	Üst 8 Bit	Alt 8 Bit
Ortam Sıcaklığı		25	000	025
2. Kanal	Aktif	125	001	250
3. Kanal	Aktif	120	001	248
4. Kanal	Aktif			
5. Kanal	Aktif			
6. Kanal	Aktif			
7. Kanal	Aktif			
8. Kanal	Aktif			

Yenileme Zamanı: 0

Taban Adresi: 832

Kaydet Aç

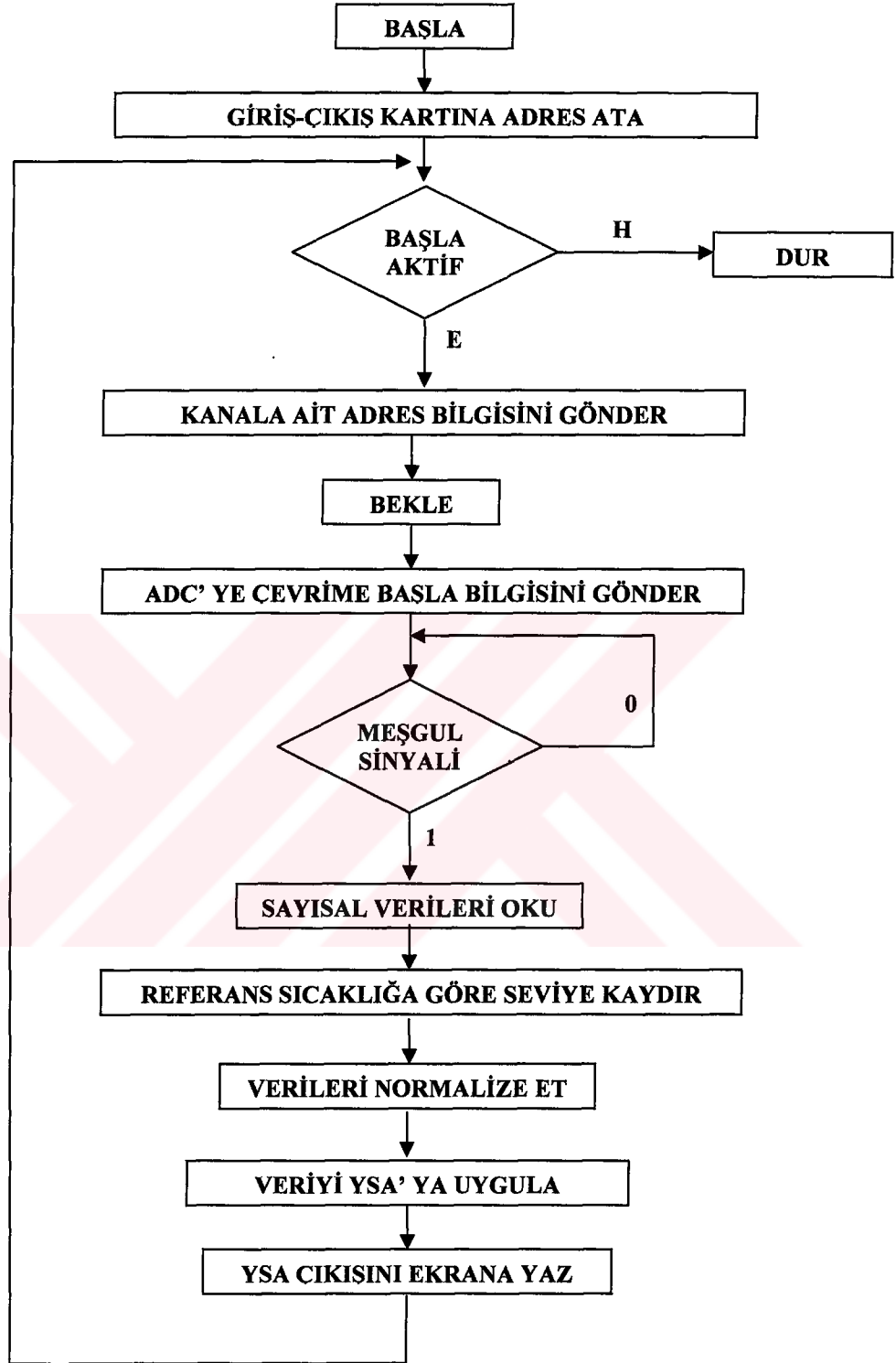
BAŞLA

Şekil 4.12. Arka Planda Önceden Eğitilmiş Yapay Sinir Ağının Çalıştığı Termal Çiftlere Ait Verilerin Okunduğu ve Değerlendirildiği Program Arayüzü.

Şayet okunması istenmeyen kanallar var ise bu kanallar kullanıcının kontrolü dahilinde seçilmeyebilmektedir. Veri okumak için hazırlanan diğer programla hemen hemen aynı olan bu programda farklı olan ikinci bir nokta yenileme zamanıdır. Yenileme zamanı, elektronik devre elemanlarının gecikmeleri dikkate alınarak peş peşe okunan iki kanalın

okunması durumundaki bekleme süresini belirlemektedir. Yenileme zamanının başlangıç değeri, 100 milisaniyedir. Ayrıca kullanıcı bu değeri 1 saniye aralıklarla değiştirebilir.

Şekil 4.11.'de yukarıda açıklanan programa ait akış şeması verilmiştir. Akış şemasına göre program ilk olarak giriş çıkış kartına ait taban adresini atamaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi yazılım tarafından atanan taban adresi ile Tablo 4.6.'da verilen ve donanımsal olarak atanan adres ile aynı olmalıdır. Aksi durumda bilgisayar hata verir. Kullanıcı arayüzünde okunması istenilen kanallara ait kanal adresleri sırasıyla giriş çıkış kartı aracılığıyla analog seçici tüm devresine gönderilir, tüm devrelerin gecikmeleri dikkate alınarak 10 ms beklenir ve ADG976 A/D dönüştürücünün çevrime başlaması için gerekli olan kontrol sinyali üretilir. A/D dönüştürücü çevrime başladıktan sonra kendi üzerinde bulunan "MEŞGUL" sinyalini toprak seviyesine çeker ve çevrim bitene kadar bu seviyede tutar. Çevrim bittiği anda MEŞGUL sinyali + 5V seviyesine çekilir ve dijital veriler 8255 mikroişlemci tabanlı giriş çıkış kartı aracılığıyla okunur. Termal çiftlerden alınan emf değerlerinin o andaki ortam sıcaklığı referans alınarak değerlendirilmesi hatalı sonuçların üretilmesine neden olur. Zira Ek-1'de verilen ve yapay sinir ağının eğitiminde kullanılan veriler, referans eklem sıcaklığı 0 °C değerinde iken elde edilmişlerdir. Bu yüzden okunan sayısal verilerin öncelikli olarak AD595 sıcaklık dönüştürücüsünden alınan ortam sıcaklığına ilişkin bilgi kullanılarak 0 °C referans sıcaklığına uygun hale dönüştürülmesi için Denklem 2.11 ve Denklem 2.12 kullanılarak gerekli dönüşüm yapılır. Elde edilen sonuç, ± 1 aralığına çekilerek normalize edilir ve yapay sinir ağına uygulanır. Ağın ikinci girişi ise kullanıcı tarafından program arayüzü üzerinde termal çift tipini belirlemek üzere yapılan seçme işlemine göre atanan bir değişkendir. Bu girişlere karşılık yapay sinir ağı çıkışında elde edilen bilgi ekrana yazılır ve programın başa döner. "Başla" Kutucuğunun seçili olmaması durumunda da kullanıcı kanal ve termal çift seçimi yapabilmektedir ancak yapılan seçimler neticesinde program herhangi bir işlem yapmamaktadır.



Şekil 4.13. Hazırlanan Programa Ait Akış Şeması.

BÖLÜM V

SONUÇ

Bu tez çalışmasında, endüstride yaygın olarak kullanılan farklı tipteki termal çiftlerin sıcaklığa bağlı olarak ürettikleri voltaj değerleri, yapay sinir ağları kullanılarak değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar gerek literatürde yer alan eğri uydurma teknikleriyle gerekse deneysel sonuçlarla mukayese edilmiştir.

Gerçeklenen yapay sinir ağı, iki girişli bir çıkışlı bir yapıya sahiptir. Ağ girişlerden birisi termal çiftten alınan bilgi olup diğer giriş, termal çiftin tipini belirlemek için kullanılmıştır. Çıkış olarak yapay sinir ağından sıcaklık değeri alınmıştır. Uygulama aşamasında E, J ve K tipi termal çiftler seçilmiştir.

Farklı algoritmaları kullanılarak eğitilen yapay sinir ağları, eğri uydurma teknikleriyle mukayese edildiğinde; deneysel sonuçlara daha yakın değerler verdiği görülmüştür. Farklı ağ yapıları ve öğrenme algoritmalarının denenmesi sonucunda Tablo 4.1.'den de görüleceği gibi 2X10X5X1 ağ yapısına sahip, Levenberg-Marquardt Geri Yayılım algoritması ile eğitilen ileri beslemeli yapay sinir ağı modelinin deneysel sonuçlara en yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu yapıyla $7.5406e-5$ değerinde bir etkin eğitim hatasına ve E, J ve K tipi termal çiftleri için sırasıyla 0.0332 °C, 0.0207 °C ve 0.0762 °C etkin test hatalarına ulaşılmıştır.

Tablo 4.2.'de farklı eğitim algoritmalarıyla eğitilen ağların test aşamasında ürettikleri sonuçların deneysel sonuçlarla olan benzerliklerinin bir ölçüsü olarak Denklem 4.3. kullanılarak hesaplanan korelasyon katsayıları verilmiştir. Yapılan test işlemleri neticesinde Levenberg-Marquardt Geri Yayılım algoritması ile eğitilen ağın E, J ve K tipi termal çiftleri için hesaplanan korelasyon katsayıları, sırasıyla 0.999999996 , 0.999999987 ve 0.999999987 olarak bulunmuştur. Dolayısıyla Tablo 4.2.'de sunulan verilerde Tablo 4.1.'i doğrular niteliktedir.

Şekil 4.9.'da her bir termal çiftte ait deneysel sonuçlar ve yapay sinir ağının ürettiği sonuçlara ilişkin eğriler, görülmektedir. Eğitilen yapay sinir ağının çıkışında termal çiftlerin çalışma sahasının tamamında deneysel sonuçlara yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Literatürde yer alan ve termal çiftlerin ürettiği termal emf'lerinin değerlendirildiği sistemlerde kullanılan bir diğer teknik eğri uydurma metodudur [3]. Yapılan çalışmada, eğri uydurma tekniğiyle yapay sinir ağının eğitiminde kullanılan veriler kullanılarak 1., 2., 3. ve 5. dereceden eğri denklemleri elde edilmiştir. Bu denklemlerden J tipi termal çift için elde edilen denklemler ve denklem katsayıları Tablo 4.3.'de sunulmuştur. Benzer şekilde yapay sinir ağının test işlemlerinde kullanılan veriler kullanılarak türetilen denklemlerin doğruluğu belirlenmeye çalışılmıştır.

Eğri uydurma yöntemi ile elde edilen denklemlerin ürettiği sıcaklık değerleri ve deneysel olarak elde edilen sıcaklık değerleri arasındaki etkin hatalar, Tablo 4.4.'de verilmiştir. Deneysel sonuçlarla denklem sonuçları karşılaştırıldığında en büyük etkin hata, 30.551538 °C ile E tipi termal çift için 1. dereceden denkleme aittir. En küçük hata değeri ise 3.184628 °C ile J tipi termal çift için 5. dereceden denkleme aittir.

Tablo 4.5.'de eğri uydurma tekniği ile elde edilen denklemlerin ürettiği sonuçlarla deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Bu değerler ile J tipi termal çift için 0.99997 korelasyon katsayısına sahip olan 5. dereceden denklem sonuçlarının deneysel sonuçlara olan yakınlığı bir kez daha doğrulanmıştır.

Şekil 2.5.'de karakteristik eğrileri verilen ve yaygın olarak kullanılan termal çiftlerin, çalışma sahalarının özellikle alt ve üst sınır noktalarına yakın sıcaklık değerleri ile ürettikleri emf değerleri arasında lineer olmayan bir ilişki vardır. Bu nedenle eğri uydurma yöntemi ile elde edilen 1. dereceden denklemler için bu sıcaklık değerlerine karşılık hata değerleri çok büyük olmaktadır. Denklem derecesi artırıldıkça hata değerleri de beklenildiği gibi azalmaktadır. Nitekim 5. dereceden denklem için hesaplanan hata değerleri, düşük dereceli denklemlerle kıyaslandığında daha küçüktür.

Şekil 4.10.'da yapay sinir ağlarının eğitiminde kullanılan algoritmalar içerisinde deneysel sonuçlara en yakın değerler üreten Levenberg-Marquardt Geri Yayılım algoritması ile eğri uydurma tekniği ile elde edilen denklemler içerisinde en iyi

sonuçlar veren 5. dereceden eğri denklemi karşılaştırılmıştır. Bahsedilen şekilde her iki yöntemin ıkışları ile deneysel sonuçlar arasındaki mutlak hatalar hesaplanmıştır. şekilden görüldüğü gibi yapay sinir ağına ait mutlak hata değerleri dar bir aralıktaki 5. dereceden eğri denklemine ait mutlak hata değerleri belirli noktalarda aşırı büyümektedir. Bu durumun nedeni, eğri denkleminin her ne kadar termal çift karakteristiğine uygun olduğu kabul edilse de yer yer termal çift karakteristiği ile rtşmemesidir. Bu uyumsuzluk daha önce de belirtildiği gibi alt ve üst sınır noktalarında aşırı artmaktadır. Ayrıca Tablo 4.6.'da yapay sinir ağına ve 5. dereceden denkleme ait ıkışlar ile deneysel sonuçlar arasındaki mutlak hata değerleri, °C cinsinden verilmiştir.

Yapılan çalışmalardan yapay sinir ağlarının termal çift karakteristiklerinin lineerleştirilmesinde şaşırtıcı derecede iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bununla beraber eğri uydurma teknikleri kullanılarak elde edilen denklemlerin derecesi artırılarak yapay sinir ağı kadar olmasa da düşük hatalara sahip değerlendirme birimlerinin tasarlanabilmesi mümkün olabilir. Bu durumda ise Bölüm 2'de bahsedildiği gibi eğri denklemlerin elektronik sistemlerle gerçeklenmesi zorlaşmaktadır [3-4]. Ayrıca eğri uydurma yöntemiyle elde edilen bütün denklemler sadece tek bir tip termal çift için sonuç üretebilmektedir. Dolayısıyla yapay sinir ağıyla gerçeklenen sistemin benzerinin eğri uydurma teknikleriyle tasarlanmak istenmesi durumunda her bir termal çift için ayrı bir eğri denklemi gerekir. Buna karşın Ek-1'de verilen veriler kullanılarak eğitilen bir yapay sinir ağı her üç çeşit termal çift için de deneysel sonuçlara oldukça yakın sonuçlar üretebilmektedir.

Sonuç olarak yapılacak olan yeni çalışmalarda, Tablo 2.1.'de verilen ve özellikle çok büyük çalışma sahalarına sahip olmalarına karşın çok küçük termal emf değerleri üreten diğer termal çiftlere ait karakteristikleri lineerleştirmek amacıyla yapay sinir ağlarının eğitiminde farklı öğrenme algoritmaları kullanılabilir ve ağ yapıları değiştirilebilir. Bu çalışmada, termal çiftlerin ürettiği emf değerlerinin bilgisayar ortamına aktarılması amacıyla tasarlanan elektronik devrede, kullanılan devre elemanlarının sıcaklığa bağlı olarak değişen davranışlarından kaynaklanan hatalar ihmal edilmiştir. Yapılacak olan çalışmalarda bu hatalar da dikkate alınarak daha hassas ölçümlerin yapılabilmesi için gerekli düzenlemeler gereklenebilir.

KAYNAKLAR

1. Considine, D.M., Process Instruments And Controls Handbook, New York, MacGraw-Hill, 1985.
2. Attari, M., Boudjema, F., Heniche, M., An Artificial Neural Network To Linearize A G (Tungsten vs. Tungsten 26% Rhenium) Thermocouple Characteristic In The Range Of Zero To 2000°C, Industrial Electronics, 1995. ISIE '95, Proceedings of the IEEE International Symposium on , Volume: 1 , 10-14 July 1995.
3. Mahana, P.N., Trofimenkoff F.N., Transducer Output Signal Processing Using an Eight-bit Microcomputer, IEEE Trans. Inst. & Meas., Vol. IM-35, No.2, 182-186, June1986.
4. Attari, M., Boudjema, F., Heniche, M., Linearizing a Thermistor Characteristic In The Range Of Zero To 1000 Degree C With Two Layers Artificial Neural Network, Proc. ICSS'94, The International Conference on Signal and Systems, Algiers, Vol.1, II.25-II.29, September1994.
5. Hagan, M. T., Demuth, H. B. and Beale, M., Neural Network Design, PWS Publishing Company, Boston, 1995.
6. Hoppe, U., Weiss, S., R. Stewart, W., Eysholdt, U., An Automatic Sequential Recognition Method For Cortical Auditory Evoked Potentials, IEEE Transactions On Biomedical Engineering, Vol. 48, No.2, 154-164, 2001
7. Arenas, P., Baglio, S., Fortuna, L., Graziani, S., Analog Cellular Networks For Multisensor Fusion And Control, IEEE Transactions on Circuits And Systems I: Fundamental Theory And Applications, Vol. 47, No.9, 1378-1382, 2000
8. Vas, P., Artificial Intelligence Based Electrical Machines and Drivers, Oxford University Press, New York, 1999.
9. Patino, H.D., Carelli, R., Kuchen, B.R., Neural Networks for Advanced Control of Robot Manipulators, IEEE Transactions on Neural Networks, Vol.13, No. 2, 343-354, 2002.
10. Snyder, A.W., Guiding Light Into the Millennium, IEEE J. S. Topics In Quantum Elec., Vol 6, No. 6, 1408-1412, 1995.

11. Looney, C.G., Pattern Recognition Using Neural Networks, Oxford University Press, New York, 1997.
12. Rojas, R., Neural Networks, A Systematic Introduction, New York, Springer-Verlag, 1995.
13. Petriu, E.M., Neural Network And Fuzzy Systems For Modelling Applications, In IMTC'98, St. Paul, MN, May1999.
14. Pareira, J.M.D., Postolache, O., Silva Girao, P.M.B., Cretu, M, Minimizing Temperature Drift Errors Of Conditioning Circuits Using Artificial Neural Networks, IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement, Vol.49, No.5, 1122-1127, October2000.
15. Turner, J., Hill, M., Instrumentation For Engineers And Scientists, Oxford University Press, New York, 1999.
16. Webster, J.G., at all, Measurement, Instrumentation And Sensors Handbook, CRCnetBase, 1999.
17. Dargie, P.N., Investigation Of The Properties Of Thick-Film Thermistor Pastes, USITT Report No.U104-2, University Of Southampton, Southampton SO5 9NH, UK, 1998.
18. Michalski, L., Eckersdorf, K., Kucharki, J. and McGhee, J., Temperature Measurement, John Wiley & Sons, Chichester, 2001.
19. Delta Controls Corporation, 585 Fortson Street Shreveport, Louisiana, 71107, USA, <http://www.deltacnt.com>, 2003.
20. Reed, R.P., The Transient Response Of Embedded Thin Film Temperature Sensors. Temperature: Its Measurement And Control In Science And Industry, 4(3), Instrument Society Of America, Pittsburgh, 2193-2196.
21. International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembe P.O. Box 131 CH - 1211 GENEVA 20 Switzerland, <http://www.iec.ch>, 2003.
22. Johnson, C. D., Process Control Instrumentation Technology, John Wiley & Sons, New York, 1988.
23. Mcculloch W., Pitts, W., A Logical Calculus Of The Ideas Immanent In Nervous Activity, Bulletin Of Mathematical Biophysics., Vol.5, 115-133, 1943.
24. Jagota, A Run: Neural Computing Surveys, NCS Journal, University Of Berkeley, California, 1998.

25. Hopfield, J.J., Neural Networks and Physical Systems With Emergent Collective Computational Capabilities, In. Proc. National Academy Of Sciences, Vol.79, 1982.
26. Rumelhart, D.E., McClelland, J.L., Parallel Distributed Processing: Explorations In The Microstructure Of Cognition, Vol.1, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1986.
27. Zurada, J.M., Introduction To Artificial Neural Networks, West Publishing Company, 1992.
28. Ham, F.M., Kostanic, I., Principles Of Neurocomputing For Science And Neurocomputing, New York: McGraw-Hill, 2001.
29. Callan, R., The Essence Of Neural Networks, Prentice Hall, London, 1999.
30. Kohonen, T., Self-Organization And Associative Memory, Springer-Verlag, 1989.
31. Jacobs, R.A., Increased Rate Of Convergence Through Learning Rate Adaptation, Neural Networks, Vol.1, 295-307, 1988.
32. Minai, A., Williams, R. D., Acceleration Of Backpropagation Through Learning Rate And Momentum Adaptation” International Joint Conference On Neural Networks, Vol.1, 676-679, 1990.
33. NeuralWare, Inc, Neuralware Handbook, Neural Computing, A Technology Handbook For Professional II/Plus and Neuralworks Explorer, Pittsburg USA, 1996.
34. Marquardt, D. W., An Algorithm For Least-Squares Estimation Of Nonlinear Parameters, J. Soc. Ind. Appl. Math., Vol.11, 431-441, 1963.
35. Hagan, M.T., Menhaj, M., Training Feedforward Networks With The Marquart Algorithm, IEEE Transactions On Neural Networks, Vol. 5, No.6, 989-993, 1994.
36. Bytronic International Ltd, The Courtyard, Reddicap Trading Estate Sutton Coldfield West Midlands B75 7BU United Kingdom, <http://www.bytronic.net>, 2003.
37. Analog Devices Inc., One Technology Way P. O. Box 9106 Norwood, MA, USA, <http://www.analog.com>, 2003.
38. Oppenheim, A.V., Schaffer, R.W., Digital Signal Processing, Prentice Hall, 1975.

39. National Institute of Standards and Technology, 100 Bureau Drive, Stop 3460, Gaithersburg, MD 20899-3460, USA, <http://srdata.nist.gov/its90/main>, 2003
40. The MathWorks Inc., 3 Apple Hill Drive Natick, MA 01760-2098 USA, <http://www.mathworks.com>, 2003
41. Özsoy, S., Çorlu, A., Temel Elektriksel Ölçmeler ve Değerlendirme, Kayseri, 1997.



EKLER

Ek-1.A. E Tipi Termal Çift İçin Üretici Firmaların Kabul Ettiği Standart emf Sıcaklık Tablosu

°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-260	-9.802	-9.808	-9.813	-9.817	-9.821	-9.825	-9.828	9.831	-9.833	-9.835
-250	-9.728	-9.737	-9.746	-9.754	-9.762	-9.770	-9.777	9.784	-9.790	-9.797
-240	-9.617	-9.630	-9.642	-9.654	-9.666	-9.677	-9.688	9.698	-9.709	-9.718
-230	-9.471	-9.487	-9.503	-9.519	-9.534	-9.548	-9.563	9.577	-9.591	-9.604
-220	-9.293	-9.313	-9.331	-9.350	-9.368	-9.386	-9.404	9.421	-9.438	-9.455
-210	-9.085	-9.107	-9.129	-9.151	-9.172	-9.193	-9.214	9.234	-9.254	-9.274
-200	-8.850	-8.874	-8.899	-8.923	-8.947	-8.971	-8.994	9.017	-9.040	-9.063
-190	-8.588	-8.616	-8.643	-8.669	-8.696	-8.722	-8.748	8.774	-8.799	-8.825
-180	-8.303	-8.333	-8.362	-8.391	-8.420	-8.449	-8.477	8.505	-8.533	-8.561
-170	-7.995	-8.027	-8.059	-8.090	-8.121	-8.152	-8.183	8.213	-8.243	-8.273
-160	-7.666	-7.700	-7.733	-7.767	-7.800	-7.833	-7.866	7.899	-7.931	-7.963
-150	-7.315	-7.351	-7.387	-7.423	-7.458	-7.493	-7.528	7.563	-7.597	-7.632
-140	-6.945	-6.983	-7.021	-7.058	-7.096	-7.133	-7.170	7.206	-7.243	-7.279
-130	-6.556	-6.596	-6.636	-6.675	-6.714	-6.753	-6.792	6.831	-6.869	-6.907
-120	-6.149	-6.191	-6.232	-6.273	-6.314	-6.355	-6.396	6.436	-6.476	-6.516
-110	-5.724	-5.767	-5.810	-5.853	-5.896	-5.939	-5.981	6.023	-6.065	-6.107
-100	-5.282	-5.327	-5.372	-5.417	-5.461	-5.505	-5.549	5.593	-5.637	-5.681
-90	-4.824	-4.871	-4.917	-4.963	-5.009	-5.055	-5.101	5.147	-5.192	-5.237
-80	-4.350	-4.398	-4.446	-4.494	-4.542	-4.589	-4.636	4.684	-4.731	-4.777
-70	-3.861	-3.911	-3.960	-4.009	-4.058	-4.107	-4.156	4.205	-4.254	-4.302
-60	-3.357	-3.408	-3.459	-3.510	-3.561	-3.611	-3.661	3.711	-3.761	-3.811
-50	-2.840	-2.892	-2.944	-2.996	-3.048	-3.100	-3.152	3.204	-3.255	-3.306
-40	-2.309	-2.362	-2.416	-2.469	-2.523	-2.576	-2.629	2.682	-2.735	-2.787
-30	-1.765	-1.820	-1.874	-1.929	-1.984	-2.038	-2.093	2.147	-2.201	-2.255
-20	-1.208	-1.264	-1.320	-1.376	-1.432	-1.488	-1.543	1.599	-1.654	-1.709
-10	-0.639	-0.697	-0.754	-0.811	-0.868	-0.925	-0.982	1.039	-1.095	-1.152
0	-0.059	-0.117	-0.176	-0.234	-0.292	-0.350	-0.408	0.466	-0.524	-0.582
0	0.059	0.118	0.176	0.235	0.294	0.354	0.413	0.472	0.532	0.591
10	0.651	0.711	0.770	0.830	0.890	0.950	1.010	1.071	1.131	1.192
20	1.252	1.313	1.373	1.434	1.495	1.556	1.617	1.678	1.740	1.801
30	1.862	1.924	1.986	2.047	2.109	2.171	2.233	2.295	2.357	2.420
°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

E Tipi Termal Çift İçin Üretici Firmaların Kabul Ettiği Standart emf Sıcaklık Tablosu

°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
40	2.482	2.545	2.607	2.670	2.733	2.795	2.858	2.921	2.984	3.048
50	3.111	3.174	3.238	3.301	3.365	3.429	3.492	3.556	3.620	3.685
60	3.749	3.813	3.877	3.942	4.006	4.071	4.136	4.200	4.265	4.330
70	4.395	4.460	4.526	4.591	4.656	4.722	4.788	4.853	4.919	4.985
80	5.051	5.117	5.183	5.249	5.315	5.382	5.448	5.514	5.581	5.648
90	5.714	5.781	5.848	5.915	5.982	6.049	6.117	6.184	6.251	6.319
100	6.386	6.454	6.522	6.590	6.658	6.725	6.794	6.862	6.930	6.998
110	7.066	7.135	7.203	7.272	7.341	7.409	7.478	7.547	7.616	7.685
120	7.754	7.823	7.892	7.962	8.031	8.101	8.170	8.240	8.309	8.379
130	8.449	8.519	8.589	8.659	8.729	8.799	8.869	8.940	9.010	9.081
140	9.151	9.222	9.292	9.363	9.434	9.505	9.576	9.647	9.718	9.789
150	9.860	9.931	10.003	10.074	10.145	10.217	10.288	10.360	10.432	10.503
160	10.575	10.647	10.719	10.791	10.863	10.935	11.007	11.080	11.152	11.224
170	11.297	11.369	11.442	11.514	11.587	11.660	11.733	11.805	11.878	11.951
180	12.024	12.097	12.170	12.243	12.317	12.390	12.463	12.537	12.610	12.684
190	12.757	12.831	12.904	12.978	13.052	13.126	13.199	13.273	13.347	13.421
200	13.495	13.569	13.644	13.718	13.792	13.866	13.941	14.015	14.090	14.164
210	14.239	14.313	14.388	14.463	14.537	14.612	14.687	14.762	14.837	14.912
220	14.987	15.062	15.137	15.212	15.287	15.362	15.438	15.513	15.588	15.664
230	15.739	15.815	15.890	15.966	16.041	16.117	16.193	16.269	16.344	16.420
240	16.496	16.572	16.648	16.724	16.800	16.876	16.952	17.028	17.104	17.181
250	17.257	17.333	17.409	17.486	17.562	17.639	17.715	17.792	17.868	17.945
260	18.021	18.098	18.175	18.252	18.328	18.405	18.482	18.559	18.636	18.713
270	18.790	18.867	18.944	19.021	19.098	19.175	19.252	19.330	19.407	19.484
280	19.561	19.639	19.716	19.794	19.871	19.948	20.026	20.103	20.181	20.259
290	20.336	20.414	20.492	20.569	20.647	20.725	20.803	20.880	20.958	21.036
300	21.114	21.192	21.270	21.348	21.426	21.504	21.582	21.660	21.739	21.817
310	21.895	21.973	22.051	22.130	22.208	22.286	22.365	22.443	22.522	22.600
320	22.678	22.757	22.835	22.914	22.993	23.071	23.150	23.228	23.307	23.386
330	23.464	23.543	23.622	23.701	23.780	23.858	23.937	24.016	24.095	24.174
340	24.253	24.332	24.411	24.490	24.569	24.648	24.727	24.806	24.885	24.964
350	25.044	25.123	25.202	25.281	25.360	25.440	25.519	25.598	25.678	25.757
360	25.836	25.916	25.995	26.075	26.154	26.233	26.313	26.392	26.472	26.552
370	26.631	26.711	26.790	26.870	26.950	27.029	27.109	27.189	27.268	27.348
°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

E Tipi Termal Çift İçin Üretici Firmaların Kabul Ettiği Standart emf Sıcaklık Tablosu

°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
380	27.428	27.507	27.587	27.667	27.747	27.827	27.907	27.986	28.066	28.146
390	28.226	28.306	28.386	28.466	28.546	28.626	28.706	28.786	28.866	28.946
400	29.026	29.106	29.186	29.266	29.346	29.427	29.507	29.587	29.667	29.747
410	29.827	29.908	29.988	30.068	30.148	30.229	30.309	30.389	30.470	30.550
420	30.630	30.711	30.791	30.871	30.952	31.032	31.112	31.193	31.273	31.354
430	31.434	31.515	31.595	31.676	31.756	31.837	31.917	31.998	32.078	32.159
440	32.239	32.320	32.400	32.481	32.562	32.642	32.723	32.803	32.884	32.965
450	33.045	33.126	33.207	33.287	33.368	33.449	33.529	33.610	33.691	33.772
460	33.852	33.933	34.014	34.095	34.175	34.256	34.337	34.418	34.498	34.579
470	34.660	34.741	34.822	34.902	34.983	35.064	35.145	35.226	35.307	35.387
480	35.468	35.549	35.630	35.711	35.792	35.873	35.954	36.034	36.115	36.196
490	36.277	36.358	36.439	36.520	36.601	36.682	36.763	36.843	36.924	37.005
500	37.086	37.167	37.248	37.329	37.410	37.491	37.572	37.653	37.734	37.815
510	37.896	37.977	38.058	38.139	38.220	38.300	38.381	38.462	38.543	38.624
520	38.705	38.786	38.867	38.948	39.029	39.110	39.191	39.272	39.353	39.434
530	39.515	39.596	39.677	39.758	39.839	39.920	40.001	40.082	40.163	40.243
540	40.324	40.405	40.486	40.567	40.648	40.729	40.810	40.891	40.972	41.053
550	41.134	41.215	41.296	41.377	41.457	41.538	41.619	41.700	41.781	41.862
560	41.943	42.024	42.105	42.185	42.266	42.347	42.428	42.509	42.590	42.671
570	42.751	42.832	42.913	42.994	43.075	43.156	43.236	43.317	43.398	43.479
580	43.560	43.640	43.721	43.802	43.883	43.963	44.044	44.125	44.206	44.286
590	44.367	44.448	44.529	44.609	44.690	44.771	44.851	44.932	45.013	45.093
600	45.174	45.255	45.335	45.416	45.497	45.577	45.658	45.738	45.819	45.900
610	45.980	46.061	46.141	46.222	46.302	46.383	46.463	46.544	46.624	46.705
620	46.785	46.866	46.946	47.027	47.107	47.188	47.268	47.349	47.429	47.509
630	47.590	47.670	47.751	47.831	47.911	47.992	48.072	48.152	48.233	48.313
640	48.393	48.474	48.554	48.634	48.715	48.795	48.875	48.955	49.035	49.116
650	49.196	49.276	49.356	49.436	49.517	49.597	49.677	49.757	49.837	49.917
660	49.997	50.077	50.157	50.238	50.318	50.398	50.478	50.558	50.638	50.718
670	50.798	50.878	50.958	51.038	51.118	51.197	51.277	51.357	51.437	51.517
680	51.597	51.677	51.757	51.837	51.916	51.996	52.076	52.156	52.236	52.315
690	52.395	52.475	52.555	52.634	52.714	52.794	52.873	52.953	53.033	53.112
700	53.192	53.272	53.351	53.431	53.510	53.590	53.670	53.749	53.829	53.908
710	53.988	54.067	54.147	54.226	54.306	54.385	54.465	54.544	54.624	54.703
°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

E Tipi Termal Çift İçin Üretici Firmaların Kabul Ettiği Standart emf Sıcaklık Tablosu

°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
720	54.782	54.862	54.941	55.021	55.100	55.179	55.259	55.338	55.417	55.497
730	55.576	55.655	55.734	55.814	55.893	55.972	56.051	56.131	56.210	56.289
740	56.368	56.447	56.526	56.606	56.685	56.764	56.843	56.922	57.001	57.080
750	57.159	57.238	57.317	57.396	57.475	57.554	57.633	57.712	57.791	57.870
760	57.949	58.028	58.107	58.186	58.265	58.343	58.422	58.501	58.580	58.659
770	58.738	58.816	58.895	58.974	59.053	59.131	59.210	59.289	59.367	59.446
780	59.525	59.604	59.682	59.761	59.839	59.918	59.997	60.075	60.154	60.232
790	60.311	60.390	60.468	60.547	60.625	60.704	60.782	60.860	60.939	61.017
800	61.096	61.174	61.253	61.331	61.409	61.488	61.566	61.644	61.723	61.801
810	61.879	61.958	62.036	62.114	62.192	62.271	62.349	62.427	62.505	62.583
820	62.662	62.740	62.818	62.896	62.974	63.052	63.130	63.208	63.286	63.364
830	63.442	63.520	63.598	63.676	63.754	63.832	63.910	63.988	64.066	64.144
840	64.222	64.300	64.377	64.455	64.533	64.611	64.689	64.766	64.844	64.922
850	65.000	65.077	65.155	65.233	65.310	65.388	65.465	65.543	65.621	65.698
860	65.776	65.853	65.931	66.008	66.086	66.163	66.241	66.318	66.396	66.473
870	66.550	66.628	66.705	66.782	66.860	66.937	67.014	67.092	67.169	67.246
880	67.323	67.400	67.478	67.555	67.632	67.709	67.786	67.863	67.940	68.017
890	68.094	68.171	68.248	68.325	68.402	68.479	68.556	68.633	68.710	68.787
900	68.863	68.940	69.017	69.094	69.171	69.247	69.324	69.401	69.477	69.554
910	69.631	69.707	69.784	69.860	69.937	70.013	70.090	70.166	70.243	70.319
920	70.396	70.472	70.548	70.625	70.701	70.777	70.854	70.930	71.006	71.082
930	71.159	71.235	71.311	71.387	71.463	71.539	71.615	71.692	71.768	71.844
940	71.920	71.996	72.072	72.147	72.223	72.299	72.375	72.451	72.527	72.603
950	72.678	72.754	72.830	72.906	72.981	73.057	73.133	73.208	73.284	73.360
960	73.435	73.511	73.586	73.662	73.738	73.813	73.889	73.964	74.040	74.115
970	74.190	74.266	74.341	74.417	74.492	74.567	74.643	74.718	74.793	74.869
980	74.944	75.019	75.095	75.170	75.245	75.320	75.395	75.471	75.546	75.621
990	75.696	75.771	75.847	75.922	75.997	76.072	76.147	76.223	76.298	76.373
°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Ek-1-B. J Tipi Termal Çift İçin Üretici Firmaların Kabul Ettiği Standart emf Sıcaklık Tablosu

°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-200	-7.912	-7.934	-7.955	-7.976	-7.996	-8.017	-8.037	-8.057	-8.076	-8.095
-190	-7.683	-7.707	-7.731	-7.755	-7.778	-7.801	-7.824	-7.846	-7.868	-7.890
-180	-7.429	-7.456	-7.482	-7.508	-7.534	-7.559	-7.585	-7.610	-7.634	-7.659
-170	-7.152	-7.181	-7.209	-7.237	-7.265	-7.293	-7.321	-7.348	-7.376	-7.403
-160	-6.853	-6.883	-6.914	-6.944	-6.975	-7.005	-7.035	-7.064	-7.094	-7.123
-150	-6.533	-6.566	-6.598	-6.631	-6.663	-6.695	-6.727	-6.759	-6.790	-6.821
-140	-6.194	-6.229	-6.263	-6.298	-6.332	-6.366	-6.400	-6.433	-6.467	-6.500
-130	-5.838	-5.874	-5.910	-5.946	-5.982	-6.018	-6.054	-6.089	-6.124	-6.159
-120	-5.465	-5.503	-5.541	-5.578	-5.616	-5.653	-5.690	-5.727	-5.764	-5.801
-110	-5.076	-5.116	-5.155	-5.194	-5.233	-5.272	-5.311	-5.350	-5.388	-5.426
-100	-4.674	-4.714	-4.755	-4.796	-4.836	-4.877	-4.917	-4.957	-4.997	-5.037
-90	-4.257	-4.300	-4.342	-4.384	-4.425	-4.467	-4.509	-4.550	-4.591	-4.633
-80	-3.829	-3.872	-3.916	-3.959	-4.002	-4.045	-4.088	-4.130	-4.173	-4.215
-70	-3.389	-3.434	-3.478	-3.522	-3.566	-3.610	-3.654	-3.698	-3.742	-3.786
-60	-2.938	-2.984	-3.029	-3.075	-3.120	-3.165	-3.210	-3.255	-3.300	-3.344
-50	-2.478	-2.524	-2.571	-2.617	-2.663	-2.709	-2.755	-2.801	-2.847	-2.893
-40	-2.008	-2.055	-2.103	-2.150	-2.197	-2.244	-2.291	-2.338	-2.385	-2.431
-30	-1.530	-1.578	-1.626	-1.674	-1.722	-1.770	-1.818	-1.865	-1.913	-1.961
-20	-1.044	-1.093	-1.142	-1.190	-1.239	-1.288	-1.336	-1.385	-1.433	-1.482
-10	-0.550	-0.600	-0.650	-0.699	-0.749	-0.798	-0.847	-0.896	-0.946	-0.995
0	-0.050	-0.101	-0.151	-0.201	-0.251	-0.301	-0.351	-0.401	-0.451	-0.501
0	0.050	0.101	0.151	0.202	0.253	0.303	0.354	0.405	0.456	0.507
10	0.558	0.609	0.660	0.711	0.762	0.814	0.865	0.916	0.968	1.019
20	1.071	1.122	1.174	1.226	1.277	1.329	1.381	1.433	1.485	1.537
30	1.589	1.641	1.693	1.745	1.797	1.849	1.902	1.954	2.006	2.059
40	2.111	2.164	2.216	2.269	2.322	2.374	2.427	2.480	2.532	2.585
50	2.638	2.691	2.744	2.797	2.850	2.903	2.956	3.009	3.062	3.116
60	3.169	3.222	3.275	3.329	3.382	3.436	3.489	3.543	3.596	3.650
70	3.703	3.757	3.810	3.864	3.918	3.971	4.025	4.079	4.133	4.187
80	4.240	4.294	4.348	4.402	4.456	4.510	4.564	4.618	4.672	4.726
90	4.781	4.835	4.889	4.943	4.997	5.052	5.106	5.160	5.215	5.269
100	5.323	5.378	5.432	5.487	5.541	5.595	5.650	5.705	5.759	5.814
110	5.868	5.923	5.977	6.032	6.087	6.141	6.196	6.251	6.306	6.360
120	6.415	6.470	6.525	6.579	6.634	6.689	6.744	6.799	6.854	6.909
130	6.964	7.019	7.074	7.129	7.184	7.239	7.294	7.349	7.404	7.459
140	7.514	7.569	7.624	7.679	7.734	7.789	7.844	7.900	7.955	8.010
°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

J Tipi Termal Çift İçin Üretici Firmaların Kabul Ettiği Standart emf Sıcaklık Tablosu

°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
150	8.065	8.120	8.175	8.231	8.286	8.341	8.396	8.452	8.507	8.562
160	8.618	8.673	8.728	8.783	8.839	8.894	8.949	9.005	9.060	9.115
170	9.171	9.226	9.282	9.337	9.392	9.448	9.503	9.559	9.614	9.669
180	9.725	9.780	9.836	9.891	9.947	10.002	10.057	10.113	10.168	10.224
190	10.279	10.335	10.390	10.446	10.501	10.557	10.612	10.668	10.723	10.779
200	10.834	10.890	10.945	11.001	11.056	11.112	11.167	11.223	11.278	11.334
210	11.389	11.445	11.501	11.556	11.612	11.667	11.723	11.778	11.834	11.889
220	11.945	12.000	12.056	12.111	12.167	12.222	12.278	12.334	12.389	12.445
230	12.500	12.556	12.611	12.667	12.722	12.778	12.833	12.889	12.944	13.000
240	13.056	13.111	13.167	13.222	13.278	13.333	13.389	13.444	13.500	13.555
250	13.611	13.666	13.722	13.777	13.833	13.888	13.944	13.999	14.055	14.110
260	14.166	14.221	14.277	14.332	14.388	14.443	14.499	14.554	14.609	14.665
270	14.720	14.776	14.831	14.887	14.942	14.998	15.053	15.109	15.164	15.219
280	15.275	15.330	15.386	15.441	15.496	15.552	15.607	15.663	15.718	15.773
290	15.829	15.884	15.940	15.995	16.050	16.106	16.161	16.216	16.272	16.327
300	16.383	16.438	16.493	16.549	16.604	16.659	16.715	16.770	16.825	16.881
310	16.936	16.991	17.046	17.102	17.157	17.212	17.268	17.323	17.378	17.434
320	17.489	17.544	17.599	17.655	17.710	17.765	17.820	17.876	17.931	17.986
330	18.041	18.097	18.152	18.207	18.262	18.318	18.373	18.428	18.483	18.538
340	18.594	18.649	18.704	18.759	18.814	18.870	18.925	18.980	19.035	19.090
350	19.146	19.201	19.256	19.311	19.366	19.422	19.477	19.532	19.587	19.642
360	19.697	19.753	19.808	19.863	19.918	19.973	20.028	20.083	20.139	20.194
370	20.249	20.304	20.359	20.414	20.469	20.525	20.580	20.635	20.690	20.745
380	20.800	20.855	20.911	20.966	21.021	21.076	21.131	21.186	21.241	21.297
390	21.352	21.407	21.462	21.517	21.572	21.627	21.683	21.738	21.793	21.848
400	21.903	21.958	22.014	22.069	22.124	22.179	22.234	22.289	22.345	22.400
410	22.455	22.510	22.565	22.620	22.676	22.731	22.786	22.841	22.896	22.952
420	23.007	23.062	23.117	23.172	23.228	23.283	23.338	23.393	23.449	23.504
430	23.559	23.614	23.670	23.725	23.780	23.835	23.891	23.946	24.001	24.057
440	24.112	24.167	24.223	24.278	24.333	24.389	24.444	24.499	24.555	24.610
450	24.665	24.721	24.776	24.832	24.887	24.943	24.998	25.053	25.109	25.164
460	25.220	25.275	25.331	25.386	25.442	25.497	25.553	25.608	25.664	25.720
470	25.775	25.831	25.886	25.942	25.998	26.053	26.109	26.165	26.220	26.276
480	26.332	26.387	26.443	26.499	26.555	26.610	26.666	26.722	26.778	26.834
490	26.889	26.945	27.001	27.057	27.113	27.169	27.225	27.281	27.337	27.393
500	27.449	27.505	27.561	27.617	27.673	27.729	27.785	27.841	27.897	27.953
510	28.010	28.066	28.122	28.178	28.234	28.291	28.347	28.403	28.460	28.516
°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

J Tipi Termal Çift İçin Üretici Firmaların Kabul Ettiği Standart emf Sıcaklık Tablosu

°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
520	28.572	28.629	28.685	28.741	28.798	28.854	28.911	28.967	29.024	29.080
530	29.137	29.194	29.250	29.307	29.363	29.420	29.477	29.534	29.590	29.647
540	29.704	29.761	29.818	29.874	29.931	29.988	30.045	30.102	30.159	30.216
550	30.273	30.330	30.387	30.444	30.502	30.559	30.616	30.673	30.730	30.788
560	30.845	30.902	30.960	31.017	31.074	31.132	31.189	31.247	31.304	31.362
570	31.419	31.477	31.535	31.592	31.650	31.708	31.766	31.823	31.881	31.939
580	31.997	32.055	32.113	32.171	32.229	32.287	32.345	32.403	32.461	32.519
590	32.577	32.636	32.694	32.752	32.810	32.869	32.927	32.985	33.044	33.102
600	33.161	33.219	33.278	33.337	33.395	33.454	33.513	33.571	33.630	33.689
610	33.748	33.807	33.866	33.925	33.984	34.043	34.102	34.161	34.220	34.279
620	34.338	34.397	34.457	34.516	34.575	34.635	34.694	34.754	34.813	34.873
630	34.932	34.992	35.051	35.111	35.171	35.230	35.290	35.350	35.410	35.470
640	35.530	35.590	35.650	35.710	35.770	35.830	35.890	35.950	36.010	36.071
650	36.131	36.191	36.252	36.312	36.373	36.433	36.494	36.554	36.615	36.675
660	36.736	36.797	36.858	36.918	36.979	37.040	37.101	37.162	37.223	37.284
670	37.345	37.406	37.467	37.528	37.590	37.651	37.712	37.773	37.835	37.896
680	37.958	38.019	38.081	38.142	38.204	38.265	38.327	38.389	38.450	38.512
690	38.574	38.636	38.698	38.760	38.822	38.884	38.946	39.008	39.070	39.132
700	39.194	39.256	39.318	39.381	39.443	39.505	39.568	39.630	39.693	39.755
710	39.818	39.880	39.943	40.005	40.068	40.131	40.193	40.256	40.319	40.382
720	40.445	40.508	40.570	40.633	40.696	40.759	40.822	40.886	40.949	41.012
730	41.075	41.138	41.201	41.265	41.328	41.391	41.455	41.518	41.581	41.645
740	41.708	41.772	41.835	41.899	41.962	42.026	42.090	42.153	42.217	42.281
750	42.344	42.408	42.472	42.536	42.599	42.663	42.727	42.791	42.855	42.919
760	42.983	43.047	43.111	43.175	43.239	43.303	43.367	43.431	43.495	43.559
770	43.624	43.688	43.752	43.817	43.881	43.945	44.010	44.074	44.139	44.203
780	44.267	44.332	44.396	44.461	44.525	44.590	44.655	44.719	44.784	44.848
790	44.913	44.977	45.042	45.107	45.171	45.236	45.301	45.365	45.430	45.494
800	45.559	45.624	45.688	45.753	45.818	45.882	45.947	46.011	46.076	46.141
810	46.205	46.270	46.334	46.399	46.464	46.528	46.593	46.657	46.722	46.786
820	46.851	46.915	46.980	47.044	47.109	47.173	47.238	47.302	47.367	47.431
830	47.495	47.560	47.624	47.688	47.753	47.817	47.881	47.946	48.010	48.074
840	48.138	48.202	48.267	48.331	48.395	48.459	48.523	48.587	48.651	48.715
850	48.779	48.843	48.907	48.971	49.034	49.098	49.162	49.226	49.290	49.353
860	49.417	49.481	49.544	49.608	49.672	49.735	49.799	49.862	49.926	49.989
870	50.052	50.116	50.179	50.243	50.306	50.369	50.432	50.495	50.559	50.622
880	50.685	50.748	50.811	50.874	50.937	51.000	51.063	51.126	51.188	51.251
°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

J Tipi Termal Çift İçin Üretici Firmaların Kabul Ettiği Standart emf Sıcaklık Tablosu

°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
890	51.314	51.377	51.439	51.502	51.565	51.627	51.690	51.752	51.815	51.877
900	51.940	52.002	52.064	52.127	52.189	52.251	52.314	52.376	52.438	52.500
910	52.562	52.624	52.686	52.748	52.810	52.872	52.934	52.996	53.057	53.119
920	53.181	53.243	53.304	53.366	53.427	53.489	53.550	53.612	53.673	53.735
930	53.796	53.857	53.919	53.980	54.041	54.102	54.164	54.225	54.286	54.347
940	54.408	54.469	54.530	54.591	54.652	54.713	54.773	54.834	54.895	54.956
950	55.016	55.077	55.138	55.198	55.259	55.319	55.380	55.440	55.501	55.561
960	55.622	55.682	55.742	55.803	55.863	55.923	55.983	56.043	56.104	56.164
970	56.224	56.284	56.344	56.404	56.464	56.524	56.584	56.643	56.703	56.763
980	56.823	56.883	56.942	57.002	57.062	57.121	57.181	57.240	57.300	57.360
990	57.419	57.479	57.538	57.597	57.657	57.716	57.776	57.835	57.894	57.953
1000	58.013	58.072	58.131	58.190	58.249	58.309	58.368	58.427	58.486	58.545
1010	58.604	58.663	58.722	58.781	58.840	58.899	58.957	59.016	59.075	59.134
1020	59.193	59.252	59.310	59.369	59.428	59.487	59.545	59.604	59.663	59.721
1030	59.780	59.838	59.897	59.956	60.014	60.073	60.131	60.190	60.248	60.307
1040	60.365	60.423	60.482	60.540	60.599	60.657	60.715	60.774	60.832	60.890
1050	60.949	61.007	61.065	61.123	61.182	61.240	61.298	61.356	61.415	61.473
1060	61.531	61.589	61.647	61.705	61.763	61.822	61.880	61.938	61.996	62.054
1070	62.112	62.170	62.228	62.286	62.344	62.402	62.460	62.518	62.576	62.634
1080	62.692	62.750	62.808	62.866	62.924	62.982	63.040	63.098	63.156	63.214
1090	63.271	63.329	63.387	63.445	63.503	63.561	63.619	63.677	63.734	63.792
1100	63.850	63.908	63.966	64.024	64.081	64.139	64.197	64.255	64.313	64.370
1110	64.428	64.486	64.544	64.602	64.659	64.717	64.775	64.833	64.890	64.948
1120	65.006	65.064	65.121	65.179	65.237	65.295	65.352	65.410	65.468	65.525
1130	65.583	65.641	65.699	65.756	65.814	65.872	65.929	65.987	66.045	66.102
1140	66.160	66.218	66.275	66.333	66.391	66.448	66.506	66.564	66.621	66.679
1150	66.737	66.794	66.852	66.910	66.967	67.025	67.082	67.140	67.198	67.255
1160	67.313	67.370	67.428	67.486	67.543	67.601	67.658	67.716	67.773	67.831
1170	67.888	67.946	68.003	68.061	68.119	68.176	68.234	68.291	68.348	68.406
1180	68.463	68.521	68.578	68.636	68.693	68.751	68.808	68.865	68.923	68.980
1190	69.037	69.095	69.152	69.209	69.267	69.324	69.381	69.439	69.496	69.553
°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Ek-1-C. K Tipi Termal Çift İçin Üretici Firmaların Kabul Ettiği Standart emf Sıcaklık Tablosu

°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-260	-6.444	-6.446	-6.448	-6.450	-6.452	-6.453	-6.455	-6.456	-6.457	-6.458
-250	-6.408	-6.413	-6.417	-6.421	-6.425	-6.429	-6.432	-6.435	-6.438	-6.441
-240	-6.351	-6.358	-6.364	-6.370	-6.377	-6.382	-6.388	-6.393	-6.399	-6.404
-230	-6.271	-6.280	-6.289	-6.297	-6.306	-6.314	-6.322	-6.329	-6.337	-6.344
-220	-6.170	-6.181	-6.192	-6.202	-6.213	-6.223	-6.233	-6.243	-6.252	-6.262
-210	-6.048	-6.061	-6.074	-6.087	-6.099	-6.111	-6.123	-6.135	-6.147	-6.158
-200	-5.907	-5.922	-5.936	-5.951	-5.965	-5.980	-5.994	-6.007	-6.021	-6.035
-190	-5.747	-5.763	-5.780	-5.797	-5.813	-5.829	-5.845	-5.861	-5.876	-5.891
-180	-5.569	-5.588	-5.606	-5.624	-5.642	-5.660	-5.678	-5.695	-5.713	-5.730
-170	-5.374	-5.395	-5.415	-5.435	-5.454	-5.474	-5.493	-5.512	-5.531	-5.550
-160	-5.163	-5.185	-5.207	-5.228	-5.250	-5.271	-5.292	-5.313	-5.333	-5.354
-150	-4.936	-4.960	-4.983	-5.006	-5.029	-5.052	-5.074	-5.097	-5.119	-5.141
-140	-4.694	-4.719	-4.744	-4.768	-4.793	-4.817	-4.841	-4.865	-4.889	-4.913
-130	-4.437	-4.463	-4.490	-4.516	-4.542	-4.567	-4.593	-4.618	-4.644	-4.669
-120	-4.166	-4.194	-4.221	-4.249	-4.276	-4.303	-4.330	-4.357	-4.384	-4.411
-110	-3.882	-3.911	-3.939	-3.968	-3.997	-4.025	-4.054	-4.082	-4.110	-4.138
-100	-3.584	-3.614	-3.645	-3.675	-3.705	-3.734	-3.764	-3.794	-3.823	-3.852
-90	-3.274	-3.306	-3.337	-3.368	-3.400	-3.431	-3.462	-3.492	-3.523	-3.554
-80	-2.953	-2.986	-3.018	-3.050	-3.083	-3.115	-3.147	-3.179	-3.211	-3.243
-70	-2.620	-2.654	-2.688	-2.721	-2.755	-2.788	-2.821	-2.854	-2.887	-2.920
-60	-2.278	-2.312	-2.347	-2.382	-2.416	-2.450	-2.485	-2.519	-2.553	-2.587
-50	-1.925	-1.961	-1.996	-2.032	-2.067	-2.103	-2.138	-2.173	-2.208	-2.243
-40	-1.564	-1.600	-1.637	-1.673	-1.709	-1.745	-1.782	-1.818	-1.854	-1.889
-30	-1.194	-1.231	-1.268	-1.305	-1.343	-1.380	-1.417	-1.453	-1.490	-1.527
-20	-0.816	-0.854	-0.892	-0.930	-0.968	-1.006	-1.043	-1.081	-1.119	-1.156
-10	-0.431	-0.470	-0.508	-0.547	-0.586	-0.624	-0.663	-0.701	-0.739	-0.778
0	-0.039	-0.079	-0.118	-0.157	-0.197	-0.236	-0.275	-0.314	-0.353	-0.392
0	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397
10	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798
20	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203
30	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612
40	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023
50	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436
60	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851
70	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267
80	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682
90	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096
100	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509
110	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920
120	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328
130	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735
140	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138
150	6.179	6.219	6.259	6.299	6.339	6.380	6.420	6.460	6.500	6.540
°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

K Tipi Termal Çift İçin Üretici Firmaların Kabul Ettiği Standart emf Sıcaklık Tablosu

°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
160	6.580	6.620	6.660	6.701	6.741	6.781	6.821	6.861	6.901	6.941
170	6.981	7.021	7.060	7.100	7.140	7.180	7.220	7.260	7.300	7.340
180	7.380	7.420	7.460	7.500	7.540	7.579	7.619	7.659	7.699	7.739
190	7.779	7.819	7.859	7.899	7.939	7.979	8.019	8.059	8.099	8.138
200	8.178	8.218	8.258	8.298	8.338	8.378	8.418	8.458	8.499	8.539
210	8.579	8.619	8.659	8.699	8.739	8.779	8.819	8.860	8.900	8.940
220	8.980	9.020	9.061	9.101	9.141	9.181	9.222	9.262	9.302	9.343
230	9.383	9.423	9.464	9.504	9.545	9.585	9.626	9.666	9.707	9.747
240	9.788	9.828	9.869	9.909	9.950	9.991	10.031	10.072	10.113	10.153
250	10.194	10.235	10.276	10.316	10.357	10.398	10.439	10.480	10.520	10.561
260	10.602	10.643	10.684	10.725	10.766	10.807	10.848	10.889	10.930	10.971
270	11.012	11.053	11.094	11.135	11.176	11.217	11.259	11.300	11.341	11.382
280	11.423	11.465	11.506	11.547	11.588	11.630	11.671	11.712	11.753	11.795
290	11.836	11.877	11.919	11.960	12.001	12.043	12.084	12.126	12.167	12.209
300	12.250	12.291	12.333	12.374	12.416	12.457	12.499	12.540	12.582	12.624
310	12.665	12.707	12.748	12.790	12.831	12.873	12.915	12.956	12.998	13.040
320	13.081	13.123	13.165	13.206	13.248	13.290	13.331	13.373	13.415	13.457
330	13.498	13.540	13.582	13.624	13.665	13.707	13.749	13.791	13.833	13.874
340	13.916	13.958	14.000	14.042	14.084	14.126	14.167	14.209	14.251	14.293
350	14.335	14.377	14.419	14.461	14.503	14.545	14.587	14.629	14.671	14.713
360	14.755	14.797	14.839	14.881	14.923	14.965	15.007	15.049	15.091	15.133
370	15.175	15.217	15.259	15.301	15.343	15.385	15.427	15.469	15.511	15.554
380	15.596	15.638	15.680	15.722	15.764	15.806	15.849	15.891	15.933	15.975
390	16.017	16.059	16.102	16.144	16.186	16.228	16.270	16.313	16.355	16.397
400	16.439	16.482	16.524	16.566	16.608	16.651	16.693	16.735	16.778	16.820
410	16.862	16.904	16.947	16.989	17.031	17.074	17.116	17.158	17.201	17.243
420	17.285	17.328	17.370	17.413	17.455	17.497	17.540	17.582	17.624	17.667
430	17.709	17.752	17.794	17.837	17.879	17.921	17.964	18.006	18.049	18.091
440	18.134	18.176	18.218	18.261	18.303	18.346	18.388	18.431	18.473	18.516
450	18.558	18.601	18.643	18.686	18.728	18.771	18.813	18.856	18.898	18.941
460	18.983	19.026	19.068	19.111	19.154	19.196	19.239	19.281	19.324	19.366
470	19.409	19.451	19.494	19.537	19.579	19.622	19.664	19.707	19.750	19.792
480	19.835	19.877	19.920	19.962	20.005	20.048	20.090	20.133	20.175	20.218
490	20.261	20.303	20.346	20.389	20.431	20.474	20.516	20.559	20.602	20.644
500	20.687	20.730	20.772	20.815	20.857	20.900	20.943	20.985	21.028	21.071
510	21.113	21.156	21.199	21.241	21.284	21.326	21.369	21.412	21.454	21.497
520	21.540	21.582	21.625	21.668	21.710	21.753	21.796	21.838	21.881	21.924
530	21.966	22.009	22.052	22.094	22.137	22.179	22.222	22.265	22.307	22.350
540	22.393	22.435	22.478	22.521	22.563	22.606	22.649	22.691	22.734	22.776
550	22.819	22.862	22.904	22.947	22.990	23.032	23.075	23.117	23.160	23.203
560	23.245	23.288	23.331	23.373	23.416	23.458	23.501	23.544	23.586	23.629
570	23.671	23.714	23.757	23.799	23.842	23.884	23.927	23.970	24.012	24.055
580	24.097	24.140	24.182	24.225	24.267	24.310	24.353	24.395	24.438	24.480
590	24.523	24.565	24.608	24.650	24.693	24.735	24.778	24.820	24.863	24.905
600	24.948	24.990	25.033	25.075	25.118	25.160	25.203	25.245	25.288	25.330
°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

K Tipi Termal Çift İçin Üretici Firmaların Kabul Ettiği Standart emf Sıcaklık Tablosu

°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
610	25.373	25.415	25.458	25.500	25.543	25.585	25.627	25.670	25.712	25.755
620	25.797	25.840	25.882	25.924	25.967	26.009	26.052	26.094	26.136	26.179
630	26.221	26.263	26.306	26.348	26.390	26.433	26.475	26.517	26.560	26.602
640	26.644	26.687	26.729	26.771	26.814	26.856	26.898	26.940	26.983	27.025
650	27.067	27.109	27.152	27.194	27.236	27.278	27.320	27.363	27.405	27.447
660	27.489	27.531	27.574	27.616	27.658	27.700	27.742	27.784	27.826	27.869
670	27.911	27.953	27.995	28.037	28.079	28.121	28.163	28.205	28.247	28.289
680	28.332	28.374	28.416	28.458	28.500	28.542	28.584	28.626	28.668	28.710
690	28.752	28.794	28.835	28.877	28.919	28.961	29.003	29.045	29.087	29.129
700	29.171	29.213	29.255	29.297	29.338	29.380	29.422	29.464	29.506	29.548
710	29.589	29.631	29.673	29.715	29.757	29.798	29.840	29.882	29.924	29.965
720	30.007	30.049	30.090	30.132	30.174	30.216	30.257	30.299	30.341	30.382
730	30.424	30.466	30.507	30.549	30.590	30.632	30.674	30.715	30.757	30.798
740	30.840	30.881	30.923	30.964	31.006	31.047	31.089	31.130	31.172	31.213
750	31.255	31.296	31.338	31.379	31.421	31.462	31.504	31.545	31.586	31.628
760	31.669	31.710	31.752	31.793	31.834	31.876	31.917	31.958	32.000	32.041
770	32.082	32.124	32.165	32.206	32.247	32.289	32.330	32.371	32.412	32.453
780	32.495	32.536	32.577	32.618	32.659	32.700	32.742	32.783	32.824	32.865
790	32.906	32.947	32.988	33.029	33.070	33.111	33.152	33.193	33.234	33.275
800	33.316	33.357	33.398	33.439	33.480	33.521	33.562	33.603	33.644	33.685
810	33.726	33.767	33.808	33.848	33.889	33.930	33.971	34.012	34.053	34.093
820	34.134	34.175	34.216	34.257	34.297	34.338	34.379	34.420	34.460	34.501
830	34.542	34.582	34.623	34.664	34.704	34.745	34.786	34.826	34.867	34.908
840	34.948	34.989	35.029	35.070	35.110	35.151	35.192	35.232	35.273	35.313
850	35.354	35.394	35.435	35.475	35.516	35.556	35.596	35.637	35.677	35.718
860	35.758	35.798	35.839	35.879	35.920	35.960	36.000	36.041	36.081	36.121
870	36.162	36.202	36.242	36.282	36.323	36.363	36.403	36.443	36.484	36.524
880	36.564	36.604	36.644	36.685	36.725	36.765	36.805	36.845	36.885	36.925
890	36.965	37.006	37.046	37.086	37.126	37.166	37.206	37.246	37.286	37.326
900	37.366	37.406	37.446	37.486	37.526	37.566	37.606	37.646	37.686	37.725
910	37.765	37.805	37.845	37.885	37.925	37.965	38.005	38.044	38.084	38.124
920	38.164	38.204	38.243	38.283	38.323	38.363	38.402	38.442	38.482	38.522
930	38.561	38.601	38.641	38.680	38.720	38.760	38.799	38.839	38.878	38.918
940	38.958	38.997	39.037	39.076	39.116	39.155	39.195	39.235	39.274	39.314
950	39.353	39.393	39.432	39.471	39.511	39.550	39.590	39.629	39.669	39.708
960	39.747	39.787	39.826	39.866	39.905	39.944	39.984	40.023	40.062	40.101
970	40.141	40.180	40.219	40.259	40.298	40.337	40.376	40.415	40.455	40.494
980	40.533	40.572	40.611	40.651	40.690	40.729	40.768	40.807	40.846	40.885
990	40.924	40.963	41.002	41.042	41.081	41.120	41.159	41.198	41.237	41.276
1000	41.315	41.354	41.393	41.431	41.470	41.509	41.548	41.587	41.626	41.665
1010	41.704	41.743	41.781	41.820	41.859	41.898	41.937	41.976	42.014	42.053
1020	42.092	42.131	42.169	42.208	42.247	42.286	42.324	42.363	42.402	42.440
1030	42.479	42.518	42.556	42.595	42.633	42.672	42.711	42.749	42.788	42.826
1040	42.865	42.903	42.942	42.980	43.019	43.057	43.096	43.134	43.173	43.211
1050	43.250	43.288	43.327	43.365	43.403	43.442	43.480	43.518	43.557	43.595
°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

K Tipi Termal Çift İçin Üretici Firmaların Kabul Ettiği Standart emf Sıcaklık Tablosu

°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1060	43.633	43.672	43.710	43.748	43.787	43.825	43.863	43.901	43.940	43.978
1070	44.016	44.054	44.092	44.130	44.169	44.207	44.245	44.283	44.321	44.359
1080	44.397	44.435	44.473	44.512	44.550	44.588	44.626	44.664	44.702	44.740
1090	44.778	44.816	44.853	44.891	44.929	44.967	45.005	45.043	45.081	45.119
1100	45.157	45.194	45.232	45.270	45.308	45.346	45.383	45.421	45.459	45.497
1110	45.534	45.572	45.610	45.647	45.685	45.723	45.760	45.798	45.836	45.873
1120	45.911	45.948	45.986	46.024	46.061	46.099	46.136	46.174	46.211	46.249
1130	46.286	46.324	46.361	46.398	46.436	46.473	46.511	46.548	46.585	46.623
1140	46.660	46.697	46.735	46.772	46.809	46.847	46.884	46.921	46.958	46.995
1150	47.033	47.070	47.107	47.144	47.181	47.218	47.256	47.293	47.330	47.367
1160	47.404	47.441	47.478	47.515	47.552	47.589	47.626	47.663	47.700	47.737
1170	47.774	47.811	47.848	47.884	47.921	47.958	47.995	48.032	48.069	48.105
1180	48.142	48.179	48.216	48.252	48.289	48.326	48.363	48.399	48.436	48.473
1190	48.509	48.546	48.582	48.619	48.656	48.692	48.729	48.765	48.802	48.838
1200	48.875	48.911	48.948	48.984	49.021	49.057	49.093	49.130	49.166	49.202
1210	49.239	49.275	49.311	49.348	49.384	49.420	49.456	49.493	49.529	49.565
1220	49.601	49.637	49.674	49.710	49.746	49.782	49.818	49.854	49.890	49.926
1230	49.962	49.998	50.034	50.070	50.106	50.142	50.178	50.214	50.250	50.286
1240	50.322	50.358	50.393	50.429	50.465	50.501	50.537	50.572	50.608	50.644
1250	50.680	50.715	50.751	50.787	50.822	50.858	50.894	50.929	50.965	51.000
1260	51.036	51.071	51.107	51.142	51.178	51.213	51.249	51.284	51.320	51.355
1270	51.391	51.426	51.461	51.497	51.532	51.567	51.603	51.638	51.673	51.708
1280	51.744	51.779	51.814	51.849	51.885	51.920	51.955	51.990	52.025	52.060
1290	52.095	52.130	52.165	52.200	52.235	52.270	52.305	52.340	52.375	52.410
1300	52.445	52.480	52.515	52.550	52.585	52.620	52.654	52.689	52.724	52.759
1310	52.794	52.828	52.863	52.898	52.932	52.967	53.002	53.037	53.071	53.106
1320	53.140	53.175	53.210	53.244	53.279	53.313	53.348	53.382	53.417	53.451
1330	53.486	53.520	53.555	53.589	53.623	53.658	53.692	53.727	53.761	53.795
1340	53.830	53.864	53.898	53.932	53.967	54.001	54.035	54.069	54.104	54.138
1350	54.172	54.206	54.240	54.274	54.308	54.343	54.377	54.411	54.445	54.479
1360	54.513	54.547	54.581	54.615	54.649	54.683	54.717	54.751	54.785	54.819
1370	54.852	54.886								
°C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

ÖZGEÇMİŞ

İlker DALKIRAN 1977 yılında Kayseri’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kayseri’de tamamladı. 1996-1997 öğretim yılında Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2001 yılında bu bölümden mezun olup aynı yıl E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Aynı yıl E.Ü. Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliği Bölümü Elektronik Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Halen aynı görevini sürdürmektedir.

Adres:

Erciyes Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi

Elektronik Mühendisliği Bölümü

38039 Melikgazi / KAYSERİ

Tel: (352) 437 49 01 (İçhat:32 227)