

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ\*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DA YÜKSEK GERİLİM DİRENÇSEL BÖLÜCÜLERDE ÖLÇÜM  
BELİRSİZLİĞİNİN AZALTILMASI İÇİN YENİ YAKLAŞIMLAR**

**135970**

**DOKTORA TEZİ**

**Y. Müh. Serhat YILMAZ**

**Ana Bilim Dalı: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği**

**Danışman : Prof. Dr. Hasan DİNÇER**

**TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DENEYİM MERKEZİ**

**135970**

**NİSAN 2003**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ\*FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DA YÜKSEK GERİLİM DİRENÇSEL BÖLÜCÜLERDE ÖLÇÜM  
BELİRSİZLİĞİNİN AZALTILMASI İÇİN YENİ YAKLAŞIMLAR**

**DOKTORA TEZİ**

**Y. Müh. Serhat YILMAZ**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 Nisan 2003**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 16 Haziran 2003**



**Prof. Dr. Hasan DİNÇER**  
Danışman




**Prof. Dr. Atilla BİR**  
Üye



**Prof. Dr. İbrahim EKSİN**  
Üye



**Doç. Dr. Bekir ÇAKIR**  
Üye



**Yrd.Doç. Dr. Sıtkı ÖZTÜRK**  
Üye

**NİSAN 2003**

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DENEYİM MERKEZİ**

# DA YÜKSEK GERİLİM DİRENÇSEL BÖLÜCÜLERDE ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİNİN AZALTILMASI İÇİN YENİ YAKLAŞIMLAR

Serhat YILMAZ

**Anahtar Kelimeler:** YG dirençsel bölücüler, YG ölçüm standartları, ölçüm belirsizlikleri, PID denetim, bulanık denetim, YSA denetim

Bu çalışmada 5KV'a kadar olan DA gerilimleri hassas biçimde ölçebilen bir DA YG Dirençsel Bölücü Sistemin tasarımı ve gerçekleştirilmesi verilmiştir.

Dirençlerde, içerisinden akan akımdan dolayı meydana gelen ısınma, bu ısının dirençler boyunca düzensiz dağılımı, kaçak akımlar ve korona etkileri, ölçüm hatalarına neden olmaktadır. Son iki etkenden kaynaklanan ölçüm belirsizlikleri gerilim bölücü sisteminin tasarımında düzenlemeler yapılarak azaltılabilmektedir. Bununla birlikte, dirençlerin ısınarak direnç değerlerini ve gerilim bölme oranlarını değiştirmesi, ölçüm hassasiyetini etkileyen en önemli hata kaynağıdır.

Bu sistemde ölçüm belirsizliğini azaltmak için yeni yaklaşımlar önerilmiştir. Dirençlerin ısınmasından kaynaklanan sıcaklık artışını ve dirençler boyunca oluşan sıcaklık farkını denetleyerek ölçüm belirsizliği azaltılmıştır.

Gerçekleştirilen DA YG Dirençsel Bölücü'de sıcaklık denetimi için bilgisayar kontrollü peltier soğutma elemanları ve sıcaklık farkı denetimi için bilgisayar kontrollü devir daim motoru eklenmiştir. Sistemin denetimi için PID denetleyici, bulanık denetleyici ve YSA denetleyici programları geliştirilmiştir.

Denetim için gerekli sıcaklık bilgilerinin alınacağı noktaların sayısını ve yerini tespit edebilmek için sistemin ısı dağılım (iletim ve taşınım) modeli çıkarılmıştır. Her bir sıcaklık durum değişkeni için uygun noktalara sıcaklık algılayıcıları yerleştirilmiştir. Denetim çıkışları peltier elemanlarının soğutma gerilimini ve devir daim motor hızını belirlemektedir.

Sıcaklıktan kaynaklanan ölçüm belirsizliği, bu sistemde denetim yöntemine bağlı olarak 5-11 ppm değerlerine düşürülmüştür.

Standart gerilim bölücüler, 10 V'un üstündeki gerilimleri hassas biçimde ölçebilmek ve diğer yüksek gerilim ölçüm cihazlarını kalibre etmek için kullanılırlar. Yapılan çalışma, TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde hazırlanan Türkiye'nin DA yüksek gerilim standardını oluşturacak olan 100 kV'luk Dirençsel Yüksek Gerilim Bölücü'ye ilk örnek olacaktır.

## NEW APPROACHES TO REDUCE MEASUREMENT UNCERTAINTY IN HV DC RESISTIVE DIVIDERS

Serhat YILMAZ

**Index Terms:** HV resistive dividers, HV measurement standarts, measurement uncertainties, PID control, fuzzy control, neural control

In this study, design and realization of a dc voltage standart divider for highly precise measurement up to 5 kV is described.

As to the effects of self heating of the resistors, chaotic distribution of this heat, leakage currents and corona effects are caused to error in measurements. Uncertainties arisen from the last two effects may be reduced by arrangements in design and construction of voltage divider systems. However, the self heating of the resistors and any temperature gradient along the resistor column is the major error source in precise measurements.

New approaches are suggested and used in the system to reduce uncertainties in measurement. Thermal stabilisation of the device reduces the uncertainty in measurement on a large scale.

Computer aided control of peltier cooling elements are added to keep the temperature at some certain degree and computer aided control of the circulation motor is added to approximate the temperature gradient to insignificant values. Several control methods are applied to eliminate the self-heating and heat gradient effects in the DC HV Resistive Divider. PID control, fuzzy control and neural network control programs are developed to control these effects of the system.

Heat dispersion (conduction and convection) of the system is modelled to determine the number and place of the points of temperature data. Temperature sensors are placed to these suitable points for each state variables. Control outputs determine voltage of the peltier cooler and the circulation motor speed.

The measurement uncertainty sourced by the heat effects are reduced to the values between 5-11 ppm .

Accurate measurements of DC voltages at values above 10 V and calibrating other dividers are achieved by standart voltage dividers. The device that was realized has been the prototype of 100 kV DC Voltage Resistive Divider which is prepared in TÜBİTAK-National Metrology Institute to be the DC high voltage standart of Turkey.

## **ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR**

Yüksek Gerilim Mühendisliğindeki gelişmeler ve bu alanda kalite güvencesi aranması, YG ölçümlerinde iyileştirmeler ve standartlar oluşturma gereğini beraberinde getirmiştir. Halen ülkemizde, özellikle yüksek gerilim trafosu, kablo ve izolasyon malzemeleri alanında üretim faaliyetinde bulunan firmalar, üretim aşamalarında kullandıkları yüksek gerilim kaynak, ölçüm ve test cihazlarının kalibrasyonlarını çoğunlukla ya kendi bünyelerinde faaliyet veren izlenebilirliği dikkate alınmamış laboratuvarlarda ya da yurt dışında bulunan laboratuvarlarda yaptırmaktadırlar. Üniversitelerin bünyesinde bulunan yüksek gerilim laboratuvarlarında ise sanayinin ihtiyaç duyduğu yüksek gerilim testlerinin bir kısmı yapılabilmektedir. Bu firmaların ve üniversitelerin yüksek gerilim ölçüm laboratuvarlarına izlenebilirlik verebilmek amacıyla ölçüm sistemlerinin oluşturulması için Türk Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde çalışmalar başlatılmıştır. Bu çalışmalardan biri de doğruluğu oldukça yüksek olan ve DC 100kV'a kadar ölçüm yapabilen dirençsel gerilim bölücü tasarımı ve bölücünün ölçüm hassasiyetinin yeni denetim yöntemleriyle iyileştirilmesidir.

Sıcaklığın etkisiyle, dirençsel yüksek gerilim bölücülerin ölçümlerinde oluşan hataları en aza indirmek için 100KV'luk standarda ilk örnek teşkil edecek 5KV'luk bir düzenek tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan PID Denetleyici, Bulanık Denetleyici ve YSA denetleyici programları ile sıcaklık ve gerilim bölücü boyunca oluşan ısı farklılık istenen değerler arasında tutulmaya çalışılmıştır.

Öncelikle, bana bu konuda çalışma fırsatı veren, istisnasız her öğrencisine sorumluluk, çalışma ve güven bilincini verebildiğini düşündüğüm, danışmanım Sayın Prof.Dr. Hasan DİNÇER'e yönlendirme ve katkılarından dolayı teşekkür ederim. Sayın Uzm. İdris HACİVELİOĞLU, Sayın Okan YILMAZ, Sayın Adem GEDİK, Sayın Ar.Gör. Cihan KARAKUZU başta olmak üzere desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Kocaeli Üniversitesi'nin, Tübitak-Ulusal Metroloji Enstitüsü'nün, Güç Elektrik San. ve Geçer Makine San. Firmaları'nın değerli çalışanlarına ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR .....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xvii
TABLolar DİZİNİ.....	xxii
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
1.1. Yazın İncelemesi.....	1
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı .....	5
BÖLÜM 2. YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜM STANDARTLARI.....	8
2.1. Yüksek Gerilimde Ölçme.....	8
2.1.1. Yüksek gerilim bölücü cihazların kalibrasyonu .....	9
2.1.1.1. Direnç ölçme yöntemi .....	9
2.1.1.2. Gerilim standardıyla karşılaştırma yöntemi .....	9
2.1.2. YG sistemlerinde ölçüm belirsizliği.....	9
2.1.3. Dirençlerdeki ısınmanın ölçüm belirsizliğine etkileri .....	10
2.2 Dirençsel Yüksek Gerilim Bölücü Standartları .....	14
BÖLÜM 3. 5 KV'LUK DA YÜKSEK GERİLİM BÖLÜCÜ İLK ÖRNEĞİ .....	15
3.1. 5 kV DA YG Dirençsel Bölücü Düzenegi .....	16
3.2. Sıcaklık Denetim Sistemi .....	17

3.2.1. Sıcaklık denetim sisteminin giriş bölümü .....	18
3.2.2. Sıcaklık denetim sisteminin denetleyici bölümü.....	19
3.2.3. Sıcaklık denetim sisteminin çıkış bölümü.....	19
3.3. Sıcaklık Denetimli 5 kV YG Bölücü Sisteminin Isı İletim Modeli.....	21
3.3.1. Isı iletimi ve enerji denklemleri .....	21
3.3.1.1. Isı üretilen tankta ısının dağılımı.....	23
3.3.1.2. Soğutucu tank kısmında ısının dağılımı .....	25
3.3.2. Isı geçişlerinin durum denklemleri cinsinden ifadesi.....	27
3.3.3. Sistemin Simulink eşdeğer blok modeli.....	32
<b>BÖLÜM 4. DENETİM YÖNTEMLERİ .....</b>	<b>34</b>
4.1. PID Denetim Yöntemi .....	34
4.1.1. Sayısal PID denetleyici .....	34
4.1.2. İntegral yığılmasının önlenmesi .....	35
4.1.3. Uygulama için gerekli PID denetleyici algoritmasının oluşturulması.....	37
4.2. Bulanık Küme Kuramı .....	40
4.2.1. Uygulama için gerekli bulanık denetleyici algoritmasının oluşturulması.....	40
4.3. Yapay Sinir Ağları ile Denetim .....	56
4.3.1. Hata geriye yayma yöntemiyle parametre güncelleme .....	57
4.3.2. Yöntemin dayandığı yöntembilim .....	57
4.3.3. Matematiksel türetim ve çözümleme .....	58
4.3.4. Hata geriye yayma yönteminin sorunları ve çözümleri .....	62

4.3.5. YSA denetim uygulaması için gerekli algoritmaların oluşturulması....	63
4.3.5.1. Eğitim algoritmasının oluşturulması .....	63
4.3.5.2. Denetim algoritmasının oluşturulması .....	75
<b>BÖLÜM 5. DENEYSEL GÖZLEMLERDEN YARARLANARAK SİSTEMİN</b>	
<b>ISIL DAVRANIŞININ ÇÖZÜMLENMESİ .....</b>	<b>76</b>
5.1. Soğutma Miktarına Etki Eden Etkenlerin İncelenmesi.....	77
5.1.1. Dış ortam sıcaklığının soğutma miktarına etkileri.....	78
5.1.2. Soğutma için peltierlere uygulanan gerilimin sisteme etkileri.....	79
5.1.2.1. Peltiere uygulanan gerilimin yüzeyler	
arası sıcaklık farkına etkisi.....	79
5.1.2.2. Peltiere uygulanan gerilimin soğutma miktarına etkisi.....	80
5.1.3. Devir daim motorunun soğutma miktarına etkisi.....	87
5.1.4. Gerilim bölücü dirençlerde meydana gelen	
ısınmamanın sisteme etkileri.....	92
5.1.4.1. 5 KV'luk kaynağın üreteceği ısının sisteme etkileri .....	92
5.1.4.2. Tasarlanan 100 KV'luk gerilim bölücünün	
üreteceği ısının etkileri.....	95
5.2. Dirençler boyunca oluşan sıcaklık farkına	
etki eden değişkenlerin incelenmesi .....	97
5.2.1. Peltierlere uygulanan gerilimin $T_{üst}-T_{alt}$ sıcaklık farkına etkisi.....	98
5.2.2. Motora uygulanan gerilimin $T_{üst} T_{alt}$ sıcaklık farkına etkisi.....	98
5.2.3. Dirençlerin ürettiği ısının $T_{üst} T_{alt}$ sıcaklık farkına etkisi .....	100
5.3. Gerilim Bölücünün Soğutma Düzenine Tasarımı .....	100
<b>BÖLÜM 6. DENEYSEL DENETİM UYGULAMALARI.....</b>	<b>103</b>
6.1. PID denetim programının çalıştırılması	
ve elde edilen denetim sonuçları.....	103



6.1.1. Denetim sonuçları .....	105
6.1.2. Sıcaklık bilgileri ile ilgili grafikler ve sayısal veriler.....	107
6.1.3. Denetim ile ilgili grafikler ve sayısal veriler.....	112
6.2. Bulanık denetim programının çalıştırılması	
ve alınan denetim sonuçları .....	114
6.2.1. Denetim sonuçları .....	115
6.2.2. Sıcaklık bilgileri ile ilgili grafikler ve sayısal veriler.....	116
6.2.3. Denetim ile ilgili grafikler ve sayısal veriler .....	120
6.3. YSA denetim programının çalıştırılması	
ve alınan denetim sonuçları .....	123
6.3.1. Denetim sonuçları .....	124
6.3.2. Sıcaklık bilgileri ile ilgili grafikler ve sayısal veriler.....	125
6.3.3. Denetim ile ilgili grafikler ve sayısal veriler .....	129
<b>BÖLÜM 7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.</b> ....	<b>132</b>
<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>139</b>
<b>EK A</b> .....	<b>143</b>
<b>EK B</b> .....	<b>146</b>
<b>EK C</b> .....	<b>151</b>
<b>EK Ç</b> .....	<b>161</b>
<b>EK D</b> .....	<b>162</b>
<b>EK E</b> .....	<b>166</b>
<b>EK F</b> .....	<b>178</b>
<b>EK G</b> .....	<b>194</b>
<b>KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER</b> .....	<b>207</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>208</b>

## SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

A	: Az bulanık üyelik işlevi
A/S	: Analog / Sayısal
$a_1$	: Soğutma tankının iç eni (m)
$A_1$	: Silindirin iç yanal alanı ( $m^2$ )
$A_2$	: Silindirin dış yanal alanı ( $m^2$ )
$a_2$	: Soğutma tankının dış eni (m)
$A_3$	: Soğutma tankının iç yüzeyinin alanı ( $m^2$ )
$A_4$	: Peltierin soğutma tankının dış yüzeyiyle temas ettiği alan ( $m^2$ )
$A_{direnc}$	: Her bir direncin yanal alanı ( $m^2$ )
$A_f$	: Kanadın temas yüzeyi ( $m^2$ )
$a_k$	: Soğutucu kanatçık tabanının eni (m)
$A_t$	: Kanatların ve üzerine yerleştirildikleri asal yüzeyin toplam alanı ( $m^2$ )
$A_{TD}$	: Dirençlerin toplam yanal alanı ( $m^2$ )
B	: Büyük bulanık üyelik işlevi
b	: Kayış genişliği (m)
b(t)	: Geri bildirim işareti
$b_1$	: Soğutma tankının iç genişliği (m)
$b_2$	: Soğutma tankının dış genişliği (m)
$B_{bulanık\ denetim}$	: Peltier bulanık denetleyicisinin denetim bandı
$b_k$	: Soğutucu kanatçık tabanının boyu (m)
$B_{PID1}$	: Peltier PID denetleyicisinin denetim bandı
$B_{PID2}$	: Motor PID denetleyicisinin denetim bandı ( $^{\circ}C$ )
c(t)	: Çıkış işareti
$c_1$	: Soğutma tankının iç yüksekliği (m)
$c_2$	: Soğutma tankının dış genişliği (m)
$c_a$	: Alüminyumun özgül ısısı (J/kg.K)
$c_d$	: Direnç kılıfının özgül ısısı (J/kg.K)
$C_d$	: Dirençlerin ısı kapasitesi (J/K)
$C_k$	: Kanatların ısı kapasitesi (J/K)

$c_k$	: Soğutucu kanatçık tabanının yüksekliği (m)
$c_p$	: Polyemit'in özgül ısısı (J/kg.K)
$C_{ps}$	: Polyemit silindirin ısı kapasitesi (J/K)
$C_{st}$	: Soğutma tankının ısı kapasitesi (J/K)
$C_{sty}$	: Soğutma tankında bulunan yağın ısı kapasitesi (J/K)
$C_{sy}$	: Isının üretildiği tankta bulunan yağın ısı kapasitesi (J/K)
$C_{TD}$	: Dirençlerin toplam ısı kapasitesi (J/K)
$c_y$	: Yağın özgül ısısı (J/kg.K)
$\mathcal{C}$	: Çok bulanık üyelik işlevi
$\mathcal{C}_V$	: Denetleyici için çıkış bulanık değişkeni
$D$	: Düşük bulanık üyelik işlevi
$d_i$	: Ağın i. çıkışı için istenen çıkış değeri
$E$	: Hata giriş bulanık değişkeni
$e(t)$	: Hata işareti
$e_1$	: Örneklemeyle ilişkin hata işareti
$e_2$	: Bir önceki örneklemeyle ilişkin hata işareti
$e_3$	: İki önceki örneklemeyle ilişkin hata işareti
$E_d$	: Sistemde depolanan ısı enerjisi ( J )
$E_{enb}$	: En büyük elektrik alan şiddeti (V/m)
$E_g$	: Sisteme giren ısı enerjisi ( J )
$E_k$	: Küme hatası
$E_o$	: Sistemden çıkan ısı enerjisi ( J )
$e_u(t)$	: İntegral yığılması düzeltme işareti
$E_{\bar{u}}$	: Sistem içinde üretilen ısı enerjisi ( J )
$F_n$	: n. çıkış üyelik işlevinin yeri
$G$	: Temel küme
$G/\mathcal{C}$	: Giriş/çıkış
$g_1$	: Birinci aşma genliği
$g_2$	: İkinci aşma genliği
$H$	: Kullanılan bir peltierin yüksekliği (m)
$h_1$	: Akışkanın taşınım katsayısı ( W/(m <sup>2</sup> .K) )
$h_2$	: Havanın taşınım katsayısı ( W/(m <sup>2</sup> .K) )
$h_3$	: Havanın zorlamalı taşınım katsayısı ( W/(m <sup>2</sup> .K) )

$I_{enb}$	: Peltierin kullandığı en büyük akım (A)
$I_m$	: Motor akımı (A)
$J_r$	: Maliyet işlevi
$k$	: katman numarası
$K$	: Küçük bulanık üyelik işlevi
$k_a$	: Alüminyumun ısı geçirgenliği (J/mKs)
$K_a$	: İntegral yığılma önleyici kazancı
$K_C$	: Toplam denetleyici kazancı
$k_d$	: Direnç kılıfının ısı geçirgenliği (J/mKs)
$K_D$	: Türev katsayısı
$Kd_1$	: Peltier PID denetleyicisinin türev katsayısı
$Kd_2$	: Motor PID denetleyicisinin türev katsayısı ( $^{\circ}C$ )
$K_I$	: İntegral katsayısı
$Ki_1$	: Peltier PID denetleyicisinin integral katsayısı
$Ki_2$	: Motor PID denetleyicisinin integral katsayısı
$K_p$	: Oransal katsayı
$Kp_1$	: Peltier PID denetleyicisinin oransal katsayısı
$Kp_2$	: Motor PID denetleyicisinin oransal katsayısı
$k_p$	: Polyemit'in ısı geçirgenliği (J/mKs)
$K_{pmax}$	: Titreşim oluşturan en büyük oransal kazanç
$k_y$	: Yağın ısı geçirgenliği (J/mKs)
$L$	: Silindirin yüksekliği (m)
$L_c$	: Adyabatik uçlu eşdeğer kanadın uzunluğu (m)
$L_{direnc}$	: Bir direncin yüksekliği (m)
$L_g$	: Gizli katman sayısı
$L_k$	: Her bir soğutucu kanatçığının boyu (m)
$m$	: Kütleli akış hızıdır (kg/sn)
$M_d$	: Her bir direncin kütlesi (kg)
$MG$	: Motor gerilimi giriş bulanık değişkeni
$m_k$	: Kanatların toplam kütlesi (kg)
$m_k$	: Soğutucu kanatçığının kütlesi (kg)
$MO$	: En büyük aşma ( $^{\circ}C$ )
$M_{ps}$	: Polyemit silindirin kütlesi (kg)

$M_{st}$	: Soğutma tankının kütlesi (kg)
$M_{sty}$	: Soğutma tankında bulunan yağın kütlesi (kg)
$M_{sy}$	: Isının üretildiği tankta bulunan yağın kütlesi (kg)
$M_{TD}$	: Dirençlerin toplam kütlesi (kg)
NB	: Negatif büyük bulanık üyelik işlevi
NG	: Negatif bulanık üyelik işlevi
$n_k$	: k. katmandaki nöron sayısı
NK	: Negatif küçük bulanık üyelik işlevi
NO	: Negatif orta bulanık üyelik işlevi
O	: Orta bulanık üyelik işlevi
P	: Pozitif bulanık üyelik işlevi
$P_0$	: Bir önceki örnelemeye ilişkin denetim işareti
$P_1$	: Örnelemeye ilişkin denetim işareti
PB	: Pozitif büyük bulanık üyelik işlevi
$P_{gir}$	: Peltierin giriş gücü (W)
PK	: Pozitif küçük bulanık üyelik işlevi
$P_m$	: Motora uygulanan güç (W)
PO	: Pozitif orta bulanık üyelik işlevi
ppm	: Milyonda bir oranı
$P_u$	: Titreşim periyodu
q	: Elektriksel yük (Coulomb)
$Q_c$	: Peltierin yüzeyler arasında birim zamanda aktardığı ısı miktarı (W)
$Q_c$	: Peltier tarafından birim zamanda sistemden çekilen ısı yük (W)
$Q_ç$	: Isının üretildiği tanktan birim zamanda çıkan ısı (W)
$Q_{çt}$	: Soğutma tankındaki akışkandan birim zamanda çıkan ısı (W)
$Q_{enb}$	: Peltierin birim zamanda aktarabileceği en büyük ısı yük (W)
$Q_g$	: Isının üretildiği tanka birim zamanda giren ısı (W)
$Q_{gt}$	: Soğutma tankındaki akışkana birim zamanda giren ısı (W)
$Q_h$	: Soğutucu kanatçığın birim zamandaki toplam yükü (W)
$Q_m$	: Motorun birim zamandaki sürtünme ısısı (W)
$Q_{net}$	: Isının üretildiği tanktan birim zamanda zorlamalı taşınım ile uzaklaştırılan net ısı (W)

$Q_{netst}$	: Soğutma tankına birim zamanda giren net ısı (W)
$Q_{soğutma}$	: Sistemden birim zamanda çekildiği gözlemlenen net ısı (W)
$Q_{sistem}$	: Isı kayıplarıyla birlikte sistemi soğutmak için gerekli ısı güç (W)
$Q_{\dot{u}}$	: Dirençlerde birim zamanda üretilen ısı (W)
$Q_{t,c}$	: Soğutma tankı dış yüzeyinden peltier soğuk yüzeyine birim zamanda geçen ısı (W)
$Q_{r1}$	: Dirençlerden akışkana birim zamanda taşınımıyla geçen ısı (W)
$Q_{r2}$	: Akışkandan silindire birim zamanda taşınımıyla geçen ısı (W)
$Q_{r3}$	: Silindirden dış ortama birim zamanda kaybedilen ısı (W)
$Q_{r4}$	: Akışkandan soğutma tankına birim zamanda taşınımıyla geçen ısı (W)
$Q_{r5}$	: Kanatçıktan ortama birim zamanda taşınan toplam ısı (W)
$r$	: Silindirin ya da direncin yarıçapı (cm)
$R$	: Durulaştırma sonucu
$r(t)$	: Referans işareti
$r_1$	: Silindirin iç yarıçapı (m)
$R_1$	: Toplam direnç yüzeyi ile akışkan arasında oluşan taşınım direnci (K/W)
$R_2$	: Akışkan ile silindirin iç yüzeyi arasında oluşan taşınım direnci (K/W)
$r_2$	: Silindirin dış yarıçapı (m)
$R_3$	: Silindirin dış yüzeyi ile hava arasında oluşan taşınım direnci (K/W)
$R_4$	: Soğutucu tankın iç yüzeyiyle akışkan arasındaki taşınım direnci (K/W)
$r_{direnç}$	: Bir direncin yarıçapı (m)
$R_k$	: Kanat ısı direnci ( $^{\circ}C/W$ )
$R_{t,c}$	: Soğutucu tank dış yüzeyi-peltierin soğuk yüzeyi temas direnci (K/W)
$R_{t,c}''$	: Birim ısı temas direnci ( $m^2.K/W$ )
$R_{2t,c}$	: İki peltiere ait toplam temas direnci (K/W)
$S$	: Nöron girişleri ağırlıklı net toplamı
$SC$	: Sıfır civarı bulanık üyelik işlevi
$SF_6$	: Sülfür heksaflorid gazı
$S_n$	: n. çıkış üyelik işlevinin ağırlığı
$t$	: Her bir soğutucu kanatçığın genişliği (m)
$T_{akışkan}$	: Sistemdeki tüm akışkanın ortalama sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )
$T_{alt}$	: Isı üretilen tankın alt kısmındaki sıcaklık ( $^{\circ}C$ )

$T_c$	: Peltier'in soğuk yüzeyinin sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\phi}$	: Isının üretildiği tanktan çıkan akışkanın çıkış sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\phi t}$	: Soğutma tankından çıkan akışkanın çıkış sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$t_d$	: Gecikme zamanı (dk.)
$T_D$	: Türev zamanı
$T_g$	: Isının üretildiği tanka gelen akışkanın giriş sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{gt}$	: Soğutma tankına gelen akışkanın giriş sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_h$	: Peltier'in sıcak yüzeyinin sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_h-T_c$	: Peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_i$	: İntegral zamanı
$T_{ilk}$	: Ölçülen ilk sıcaklık değeri
$T_{ist}$	: Isı üreten tankta istenen ortalama sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_k$	: Soğutucu Kanatçığın sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{ort}$	: Isı üretilen tankın ortalama sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$t_{örnek}$	: PID denetleyicilere ait örnekleme zamanı
$T_P$	: Isının üretildiği tank gövdesindeki iç sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )
$t_r$	: Yükselme zamanı (dk.)
$t_s$	: Yerleşme zamanı (dk.)
$T_{S1}$	: Dirençlerin yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{S2}$	: Isının üretildiği tankın iç yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{S3}$	: Isının üretildiği tankın dış yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{S4}$	: Soğutma tankının iç yüzeyinin sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{S5}$	: Soğutma tankının dış yüzeyinin sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{st}$	: Soğutma tankının içindeki sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{sty}$	: Soğutma tankındaki yağın sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{sy}$	: Isının üretildiği tankta bulunan yağın sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{TD}$	: Dirençlerin iç sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{üst}$	: Isı üretilen tankın üst kısmındaki sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{üst}-T_{alt}$	: Isı üreten tankın üst ve altı arasındaki sıcaklık farkı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\infty}$	: Dış ortamın sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$u(t)$	: Denetim işareti
$u_c(t)$	: PI denetleyici çıkışı

$u_D$	: Türevsel denetim işareti
$U_{enb}$	: Dirençler üzerindeki en büyük gerilim düşümü (V)
$u_{enb}$	: Geri bildirimli sistemde etki organının en büyük çıkışı
$u_n$	: YSA giriş değerleri
$u_p$	: Oransal denetim işareti
$V_{direnç}$	: Her bir direncin hacmi ( $m^3$ )
$V_{enb}$	: Peltierin kullandığı en büyük gerilim (V)
$V_m$	: Motora uygulanan gerilim (V)
$V_p$	: Peltiere uygulanan gerilim (V)
$V_{ps}$	: Polyemit silindirin hacmi ( $m^3$ )
$V_{st}$	: Alüminyum soğutma tankının hacmi ( $m^3$ )
$V_{sty}$	: Soğutma tankında bulunan yağın hacmi ( $m^3$ )
$V_{TD}$	: Dirençlerin toplam hacmi ( $m^3$ )
$w_{ij}^k$	: k+1. katmanın i. nöron ile k. katmandaki j. nöronu birleştiren ağırlık
$w$	: Kullanılan bir peltierin eni (m)
$W(T_{üst} - T_{alt})$	: Sıcaklık dağılım farkından kaynaklanan belirsizlik
$W(T_{ort} - T_{ist})$	: Akışkandaki sıcaklık artışından kaynaklanan belirsizlik
$W(\Delta x/X)$	: Gerilim bölme oranındaki değişmeden kaynaklanan belirsizlik
$w_k$	: Her bir soğutucu kanatçığının eni (m)
$w_n$	: YSA ağırlık değerleri
$y$	: Üretilen nöron cevabı
$Y$	: Yüksek bulanık üyelik işlevi
$YG$	: Yüksek gerilim
$Y1(t)$	: Peltier denetleyicisi denetim çıkışı (V)
$Y2(t)$	: Motor denetleyicisi denetim çıkışı (V)
$YSA$	: Yapay sinir ağı
$\alpha_d$	: Deney düzeneğinde kullanılan dirençlerin sıcaklık katsayısı (ppm/K)
$\alpha_{alt}$	: Düşük gerilim direncinin sıcaklık katsayısı (ppm/K)
$\alpha_{ort}$	: Yüksek gerilim dirençlerinin sıcaklık katsayısı (ppm/K)
$\Delta x/X$	: Gerilim bölme oranındaki bağıl değişme
$\nabla_w$	: Maliyet işlevinin w parametresine göre kısmi türevi



$\Delta(T_{üst} - T_{alt})$	: Isı üreten tankın üst-alt sıcaklık farkındaki değişim ( $^{\circ}\text{C}/\text{sn}$ )
$\Delta T_{\text{enb}}$	: Yüksüzken iki yüzey arasındaki en büyük sıcaklık farkı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\theta$	: YSA eşik değeri
$\eta$	: Adım büyüklüğü, öğrenme katsayısı
$\rho_a$	: Alüminyumun yoğunluğu ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\rho_d$	: Direnç kılıfının yoğunluğu ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\mu_A(x)$	: Herhangi bir x değerinin, A kümesine üyelik derecesi
$\delta_i^{k+1}$	: k+1. katmanın i. nöronuna ait delta değeri
$o_i^{k+1}$	: k+1. katmanın i. nöronunun çıkışında gözlenen değer
$\eta_f$	: Kanat verimi
$l$	: Kullanılan bir peltierin genişliği (m)
$\mu_M$	: M kümesinin üyelik işlevi
$\eta_o$	: N adet kanatçıktan oluşan kanat dizisinin toplam yüzey verimi
$\Psi$	: Nöral aktivasyon işlevi
$\rho_p$	: Polyemit'in yoğunluğu ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\Delta T$	: Silindirin girişi ile çıkışı arasındaki sıcaklık farkı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\Delta T_t$	: Soğutma tankının girişi ile çıkışı arasındaki sıcaklık farkı ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\eta_c$	: Soğutma verimi
$\rho_y$	: Yağın yoğunluğu ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\gamma$	: YSA adım büyüklüğünü arttıran gamma terimi
$\beta$	: YSA adım büyüklüğünü azaltan beta terimi
$\mu$	: YSA parametre güncellemesine ait momentum terimi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. $T_{ort}$ , $T_{alt}$ ve $\Delta x/X$ 'in Uygulanan Gerilime Göre Değişimi.....	11
Şekil 2.2. Sıcaklık Değişimi $\Delta T$ 'nin Uygulanan Gerilime Göre Değişimi.....	12
Şekil 2.3. Farklı $\alpha_{alt}$ ve $\alpha_{ort}$ Katsayıları İçin $\Delta x/X$ 'in Gerilime Göre Değişimi.....	13
Şekil 3.1. Sıcaklık Denetimli 5 kV'luk DA YG Bölücü Düzeneği .....	15
Şekil 3.2. Düzeneğin Yandan Görünüşü.....	15
Şekil 3.3. Gerilim Bölücü Düzeneği.....	16
Şekil 3.4. Dirençlerin Gerilim Bölücü Haznesindeki Görünümü.....	16
Şekil 3.5. Sıcaklık Denetimli YG Bölücü Düzeneği .....	17
Şekil 3.6. Isı Üretilen Tankta Bulunan Algılayıcılar .....	18
Şekil 3.7. (a) Sol Kanattaki Peltiere Ait Algılayıcı (b) Soğutma Tankının İçindeki Algılayıcı (c) Sağ Kanattaki Peltiere Ait Algılayıcı .....	18
Şekil 3.8. Denetim Sisteminin Giriş Katı.....	19
Şekil 3.9. Bilgisayar Denetimli Güç Kaynağı Devresi .....	20
Şekil 3.10. Sıcaklık Denetimli 5 kV YG Bölücü Sisteminde Isı Dağılımı.....	22
Şekil 3.11. Sistemin Isı İletim Modelinin Basitleştirilmiş Elektriksel Eşdeğeri.....	32
Şekil 3.12. Sıcaklığı Denetlenen Sistemin Eşdeğer Blok Modeli.....	33
Şekil 4.1. Gerçeklenen PID Denetleyicinin Yapısı.....	35
Şekil 4.2. Bir PI Denetleyicisi için Integral Yığılması Önleyici Devre.....	36
Şekil 4.3. Soğutma Veriminin Peltier Yüzeyleri Arasındaki Sıcaklık Farkına Göre Değişimi.....	37
Şekil 4.4. Motora Uygulanan Gerilim ile Motor Gücü Arasındaki İlişki .....	39
Şekil 4.5. Hata Değişkenine Ait Üyelik İşlevleri.....	41
Şekil 4.6. Soğutma Verimi Değişkenine Ait Üyelik İşlevleri.....	42
Şekil 4.7. Çıkışı Ayarlayan Değişkene Ait Üyelik İşlevleri .....	42
Şekil 4.8. Hata Değişkenine Ait Üyelik İşlevleri.....	46
Şekil 4.9. Motor Gerilimi Değişkenine Ait Üyelik İşlevleri.....	46
Şekil 4.10. $T_h-T_c$ Değişkenine Ait Üyelik İşlevleri .....	47
Şekil 4.11. Çıkışı Ayarlayan Değişkene Ait Üyelik İşlevleri .....	47

Şekil 4.12. Hata Değişkeninin (E) Hesaplanması .....	47
Şekil 4.13. Hata (E) Değişkeninin Bulunduğu Aralığa Göre Hesaplanacak İşlev Çiftleri .....	48
Şekil 4.14. Motor Gerilimi Giriş Değişkeni İçin Hesaplanacak İşlevler .....	49
Şekil 4.15. $T_h-T_c$ Değişkeninin Bulunduğu Aralığa Göre Hesaplanacak İşlev Çiftleri .....	49
Şekil 4.16. Sıcaklık Denetimi Çıkışını Ayarlayan Değişkene Ait Üyelik İşlevleri ..	50
Şekil 4.17. $T_{üst}-T_{alt}$ Değişkenine Ait Üyelik İşlevleri ve Geçerli Oldukları Bölgeler .....	52
Şekil 4.18. $\Delta(T_{üst} - T_{alt})$ Değişkeninin Bulunduğu Aralığa Göre Hesaplanan İşlev Çiftleri .....	53
Şekil 4.19. $T_{üst}-T_{alt}$ Sıcaklık Farkı Denetim Çıkışını Ayarlayan Motor Gerilimi Değişkenine Ait Üyelik İşlevleri .....	54
Şekil 4.20. Eğim Düşümü Yönteminin Grafikselsel Yorumu .....	58
Şekil 4.21. Çıkış Katmanında Hatanın Geriye Yayılması .....	59
Şekil 4.22. Gizli Katmanlar Boyunca Hatanın Yayılımı .....	60
Şekil 4.23. Sıcaklık Denetiminde Kullanılan YSA'nın Yapısı .....	65
Şekil 4.24. $T_{üst}-T_{alt}$ Sıcaklık Farkı Denetiminde Kullanılan YSA'nın Yapısı .....	66
Şekil 4.25. Sıcaklık Denetimi İçin Düzenlenmiş Eğitim Programı Ana Menüsü .....	67
Şekil 4.26. Sıcaklık Eğitiminde YSA'na Girilen Eğt. Çiftleri ve Ağın Cevapları .....	67
Şekil 4.27. Sıcaklık Denetimi İçin YSA Eğitim Grafikleri .....	68
Şekil 4.28. Sıcaklık Denetimi İçin YSA Sınama Grafikleri .....	70
Şekil 4.29. $T_{üst}-T_{alt}$ Sıcaklık Farkı Denetimi İçin Gerekli Eğitim Programı Menüsü .....	71
Şekil 4.30. $T_{üst}-T_{alt}$ Sıcaklık Farkı Eğitimi Sırasında YSA'na Girilen Eğitim Çiftleri ve Ağın Verdiği Cevaplar .....	72
Şekil 4.31. $T_{üst}-T_{alt}$ Sıcaklık Farkı Denetimi İçin YSA Eğitim Grafikleri .....	72
Şekil 4.32. $T_{üst}-T_{alt}$ Sıcaklık Farkı Denetimi İçin YSA Sınama Grafikleri .....	74
Şekil 5.1. a) Peltier elemanlarına uygulanan 1,5V'luk gerilime ait soğutma grafiği. b) 5V'luk gerilime ait soğutma grafiği .....	76
Şekil 5.2. a) Peltier elemanlarına uygulanan 10V'luk gerilime ait soğutma grafiği. b) 14V'luk gerilime ait soğutma grafiği .....	76
Şekil 5.3. Peltier elemanlarına uygulanan gerilimlere karşılık ısı üretilen tankta meydana gelen ortalama sıcaklık farkları .....	77

Şekil 5.4. Dış ortam sıcaklığının zamana göre değişimi.....	78
Şekil 5.5. $T_h$ değerinin zamana göre değişimi .....	78
Şekil 5.6. Peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının peltier elemanlarına uygulanan gerilime göre değişimi ( $T_h-T_c=f(V_p, V_m, T_\infty) \Big _{V_m=sbt}$ ) .....	79
Şekil 5.7. Peltier elemanlarının giriş gücüyle soğutma miktarı arasındaki ilişkiler (Ortam sıcaklığı değişken, $Q_{soğutma}=f(P_{gir}, V_m, T_\infty) \Big _{V_m=sbt}$ ).....	80
Şekil 5.8. Soğutma veriminin peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkına göre değişimi ( Ortam sıcaklığı değişken, $\eta_c = f(T_h-T_c, V_m, T_\infty) \Big _{V_m=sbt}$ ).....	81
Şekil 5.9. Verim-Sıcaklık Farkı grafiklerine uydurulan işlevler.....	82
Şekil 5.10. Motora gerilim uygulanmadığı durumda soğutma verimi eğrisini temsil eden ayrık doğrusal işlevler ve tanımlı oldukları bölgeler.....	82
Şekil 5.11. Motora uygulanan gerilimin 4V olduğu durumda soğutma verimini temsil eden ayrık doğrusal işlevler ve tanımlı oldukları bölgeler .....	83
Şekil 5.12. Motora uygulanan gerilimin 8V olduğu durumda soğutma verimini temsil eden ayrık doğrusal işlevler ve tanımlı oldukları bölgeler.....	83
Şekil 5.13. Motora uygulanan gerilimin 12V olduğu durumda soğutma verimini temsil eden ayrık doğrusal işlevler ve tanımlı oldukları bölgeler.....	84
Şekil 5.14. Soğutma veriminin peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkına göre değişimi ( $\eta_c = f(T_h-T_c, V_m, T_\infty) \Big _{V_m=sbt, T_\infty=sbt}$ ).....	84
Şekil 5.15. Soğutma veriminin peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkına göre değişimi ( $0<verim<0,8$ ).....	85
Şekil 5.16. Peltier elemanlarının giriş gücüyle soğutma miktarı arasındaki ilişkiler ( $Q_{soğutma} = f(P_{gir}, V_m, T_\infty) \Big _{V_m=sbt, T_\infty=sbt}$ ).....	86
Şekil 5.17. Peltier elemanlarına uygulanan gerilime göre soğutma miktarının değişimi ( $Q_{soğutma} = f(V_p, V_m, T_\infty) \Big _{V_m=sbt, T_\infty=sbt}$ ).....	86
Şekil 5.18. Peltier elemanlarına uygulanan gerilime göre soğutma miktarının değişimi ( $0 < Q_{soğutma} < 12$ ).....	87
Şekil 5.19. Motora 4,03V uygulandığında ortalama sıcaklığın değişimi .....	88

Şekil 5.20. Motora 16,95V uygulandığında ortalama sıcaklığının değişimi .....	88
Şekil 5.21. Motora uygulanan gerilime göre peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının değişimi ( $T_h-T_c=f(V_p, V_m, T_\infty) \Big _{V_p=sbt, T_\infty=sbt}$ ).....	89
Şekil 5.22. Motora uygulanan gerilimle soğutma veriminin değişimi.....	90
Şekil 5.23. Motora uygulanan gerilime göre soğutma miktarının değişimi .....	91
Şekil 5.24. Motora uygulanan gerilime göre soğutma miktarının değişimi ( $0 < Q_{soğutma} < 12$ ) .....	92
Şekil 5.25. 2,5W için ısının üretildiği tanktaki yağın ortalama sıcaklığı.....	93
Şekil 5.26. Dirençlerde gerilim bölme oranı.....	93
Şekil 5.27. 2,5W için sisteme ait sıcaklıktan kaynaklanan ölçüm belirsizliği.....	95
Şekil 5.28. 100 KV'luk kaynağa özdeş ısı vermek için hazırlanan düzenek .....	96
Şekil 5.29. 100W için ısı üreten tanktaki yağın ortalama sıcaklığı .....	96
Şekil 5.30. 100W için sistemde sıcaklıktan kaynaklanan ölçüm belirsizliği.....	97
Şekil 5.31. Peltier elemanlarına uygulanan gerilimle $T_{üst}-T_{alt}$ sıcaklık farkının değişimi ( $T_{üst}-T_{alt}=f(V_m, V_p, T_\infty) \Big _{V_m=sbt, T_\infty=sbt}$ ).....	98
Şekil 5.32. $T_{üst}-T_{alt}$ sıcaklık farkının motora uygulanan gerilime göre değişimi ( $T_{üst}-T_{alt}=f(V_m, V_p, T_\infty) \Big _{V_p=sbt, T_\infty=sbt}$ ).....	99
Şekil 5.33. Dirençlerin ürettiği farklı ısı değerleri için $T_{üst}-T_{alt}$ sıcaklık farkının zamana göre değişimi (Motora uygulanan gerilim 4V) .....	100
Şekil 6.1. PID denetim programı giriş arayüzü.....	104
Şekil 6.2. Isı üretilen tankta ortalama sıcaklık değerinin zamana göre değişimi.....	106
Şekil 6.3. Sıcaklıktan kaynaklanan ölçüm belirsizliğinin zamana göre değişimi.....	106
Şekil 6.4. Isının üretildiği tanka ait üst algılayıcıdan gelen sıcaklık bilgileri.....	107
Şekil 6.5. Isının üretildiği tanka ait alt algılayıcıdan gelen sıcaklık bilgileri .....	108
Şekil 6.6. Sol peltierin soğuk yüzeyine ait sıcaklık bilgileri.....	109
Şekil 6.7. Sağ peltierin soğuk yüzeyine ait sıcaklık bilgileri.....	109
Şekil 6.8. Sol peltierin sıcak yüzeyine ait sıcaklık bilgileri.....	110
Şekil 6.9. Soğutma tankındaki yağın sıcaklık bilgileri .....	111
Şekil 6.10. Dış ortam sıcaklığı algılayıcısından gelen sıcaklık bilgileri.....	111
Şekil 6.11. İstenen değerle gerçek değer arasındaki sıcaklık farkı .....	112
Şekil 6.12. Peltier elemanlarına uygulanan denetim gerilimi.....	113

Şekil 6.13. Üst ve alt algılayıcılar arasındaki sıcaklık farkı .....	113
Şekil 6.14. Denetim için motora uygulanan gerilim .....	114
Şekil 6.15. Bulanık denetim programı giriş arayüzü .....	114
Şekil 6.16. Isı üretilen tankta ortalama sıcaklık değerinin zamana göre değişimi....	115
Şekil 6.17. Sıcaklıktan kaynaklanan ölçüm belirsizliğinin zamana göre değişimi...	116
Şekil 6.18. Isı üretilen tanka ait üst algılayıcısından gelen sıcaklık bilgileri.....	117
Şekil 6.19. Isı üretilen tanka ait alt algılayıcıdan gelen sıcaklık bilgileri.....	117
Şekil 6.20. Soğutma tankının solunda bulunan peltierin soğuk yüzeyi .....	118
Şekil 6.21. Sağ peltierin soğuk yüzeyine ait sıcaklık bilgileri.....	118
Şekil 6.22. Sol peltierin sıcak yüzeyine ait sıcaklık bilgileri.....	119
Şekil 6.23. Soğutma tankındaki yağın sıcaklık bilgileri .....	119
Şekil 6.24. Dış ortam sıcaklığı algılayıcısından gelen sıcaklık bilgileri.....	120
Şekil 6.25. İstenen değerle gerçek değer arasındaki sıcaklık farkı .....	121
Şekil 6.26. Peltier elemanlarına uygulanan denetim gerilimi .....	121
Şekil 6.27. Üst ve alt algılayıcılar arasındaki sıcaklık farkı .....	122
Şekil 6.28. Denetim için motora uygulanan gerilim .....	122
Şekil 6.29. YSA denetim programı giriş arayüzü.....	123
Şekil 6.30. Isı üretilen tankta ortalama sıcaklık değerinin zamana göre değişimi....	124
Şekil 6.31. Sıcaklıktan kaynaklanan ölçüm belirsizliğinin zamana göre değişimi...	125
Şekil 6.32. Isı üretilen tanka ait üst algılayıcısından gelen sıcaklık bilgileri.....	125
Şekil 6.33. Isı üretilen tanka ait alt algılayıcıdan gelen sıcaklık bilgileri.....	126
Şekil 6.34. Soğutma tankının solunda bulunan peltierin soğuk yüzeyi .....	126
Şekil 6.35. Sağ peltierin soğuk yüzeyine ait sıcaklık bilgileri.....	127
Şekil 6.36. Sol peltierin sıcak yüzeyine ait sıcaklık bilgileri.....	127
Şekil 6.37. Soğutma tankındaki yağın sıcaklık bilgileri .....	128
Şekil 6.38. Dış ortam sıcaklığı algılayıcısından gelen sıcaklık bilgileri.....	128
Şekil 6.39. İstenen değerle gerçek değer arasındaki sıcaklık farkı .....	129
Şekil 6.40. Peltier elemanlarına uygulanan denetim gerilimi .....	129
Şekil 6.41. Üst ve alt algılayıcılar arasındaki sıcaklık farkı .....	130
Şekil 6.42. Denetim için motora uygulanan gerilim .....	131

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 4.1. Sıcaklık denetim kuralların düzenlenmesi.....	42
Tablo 4.2 Kural Tabanı ( $\dot{Q}V =$ ).....	43
Tablo 4.3. Sıcaklık denetimi için oluşturulan Eğer/O halde kuralları .....	43
Tablo 4.4. Soğutma verimi ile $V_m$ ve $T_h-T_c$ ilişkisini ifade eden kurallar .....	44
Tablo 4.5. $V_m$ ve $T_h-T_c$ girişleri eklenen, yeni sıcaklık denetim kuralları .....	44
Tablo 4.6. E, $V_m$ ve $T_h-T_c$ girişleri ve $\dot{Q}V$ çıkışı için düzenlenen kurallar .....	45
Tablo 4.7. Hatanın bulunduğu aralığa göre hesaplanacak işlev çiftleri .....	48
Tablo 4.8. Motor gerilimi ( $V_m$ ) değişkeni için hesaplanacak işlevler .....	49
Tablo 4.9. $T_h-T_c$ 'nin bulunduğu aralığa göre hesaplanacak işlev çiftleri .....	50
Tablo 4.10. Çıkış değişkeni $\dot{Q}V$ 'nin dayanak noktaları olan işlevler .....	51
Tablo 4.11. $T_{üst}-T_{alt}$ 'ın bulunduğu aralığa göre hesaplanacak işlev çiftleri .....	53
Tablo 4.12. $\Delta(T_{üst}-T_{alt})$ 'ın bulunduğu aralığa göre hesaplanacak işlev çiftleri.....	54
Tablo. 4.13. $V_m$ denetim çıkışı değişkeni'nin dayanak noktaları olan işlevler.....	55
Tablo 4.14. $T_{üst}-T_{alt}$ Sıcaklık Farkı denetim kuralların düzenlenmesi.....	55
Tablo 4.15. Kural Tabanı ( $V_m =$ ) .....	55
Tablo 4.16. Sıcaklık denetimi için oluşturulan Eğer/O halde kuralları .....	56
Tablo 4.17. Sıcaklık denetleyici eğitim kümesi.....	64
Tablo 4.18. $T_{üst}-T_{alt}$ denetleyici eğitim kümesi .....	65
Tablo 4.19. Sıcaklık denetimi için hazırlanan sınama kümesi .....	69
Tablo 4.20. $T_{üst}-T_{alt}$ sıcaklık farkı denetimi için hazırlanan sınama kümesi.....	74
Tablo 5.1. Motor gücü ile sürtünme ısısı arasındaki ilişki.....	88
Tablo 5.2. 100W üreten rezistans ile ilgili büyüklükler.....	95

## **BÖLÜM 1. GİRİŞ**

### **1.1. Yazın İncelemesi**

Gerilim bölücüler, seri bağlanmış çok sayıda dirençten oluşur. Gerilim standardı olarak kullanılan pillerden daha yüksek olan doğru gerilimleri ölçebilmek için bu gerilimleri karşılaştırabileceğimiz uygun gerilim seviyelerine düşüren bir veya birden fazla gerilim bölme oranlarına sahip özel dirençsel gerilim bölücüler kullanılır. Özellikle yüksek gerilim laboratuvarlarında test amaçlı olarak üretilen yüksek gerilimin doğruluğu, karakteristiği iyi bilinen YG bölücüler ile belirlenir. Fakat 1,5 kV'un üzerinde, gerilime bağlı olarak değeri değişmeyen yüksek gerilim dirençleri tasarlamak oldukça zordur.

Artan gerilimle dirençlerin değişmesi, dirençlerin ısınmasından, gerilim bölücüdeki yalıtkan yüzeyler üzerinden akım kaçakları meydana gelmeye başlamasından veya dirençler arası bağlantılarda elektrik alan şiddetindeki artışın korona boşalmalarına neden olmasından kaynaklanır. Yüksek gerilim elektrotuyla toprak arasında düzgün bir potansiyel dağılımı sağlayabilmek için dirençlerin uygun değerlerde seçilmesi ve dairesel bir sarmal oluşturacak şekilde yerleştirilmesi gerekir. Dirençlerin ısı katsayıları çok küçük olmadığı müddetçe birinci etken olan ısınma etkisi oldukça önemli bir sorun olur.

1 M $\Omega$ 'luk dirençler kullanılan ve korona etkilerini en aza indiren özel bir sarmal tasarım ilk olarak 1955'te geliştirilmiş ve ilk yüksek gerilim DA standardı olarak kullanılmıştır (Park 1961). Standart, çok sayıda 1 M $\Omega$ 'luk direncin seri bağlanmasından oluşur. Dirençler sarılmış tel dirençlerdir ve her biri ekranlanmıştır. Kaynak elektrotuyla toprak arasında dikey bir sarmal oluştururlar. Direnç yüzeyi ekranlanmış olduğu için gerilim yüksek olsa da korona oluşmaz. Elektriksel boşalmaları önlemek ve elektrik alanının düzgün dağılımı için gerilim bölücünün üstüne "şapka" şeklinde koruyucu bir simit takılmaktadır. 1956'da 200 M $\Omega$ 'luk bir birim yapılmıştır. Isınma etkisiyle direnç değerlerindeki değişimler oldukça fazla



çıkıştır. (1 °C de % 0,01). Daha sonra düşük sıcaklık katsayılarına sahip, toplam 100 MΩ'luk, 100 kV'luk gerilim bölücü yapılmıştır. Korona ve kaçak akımların tespiti için gerilim bölücü standarda giren ve çıkan akımları ölçen yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Deneyler sonucunda gerilim bölücü standardının sıcaklıktan kaynaklanan en büyük belirsizliğin 40 ppm civarında olduğu hesaplanmıştır.

Ziegler (1970) tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek çözünürlüklü bir elektron mikroskopunda kullanılmak üzere oldukça kararlı 500 kV güç kaynağı geliştirilmiştir. Böyle bir güç kaynağındaki kritik bileşenlerden biri de geribildirim elemanıdır. Burada bu eleman bir dirençsel gerilim bölücüdür. Bu cihazın kararlılığını belirlemek için 150 kV 'luk bir gerilim bölücü yapılmıştır. Ziegler ve arkadaşları, Park'ın çalışmasında dirençlerin ısınması, kaçak akımlar ve koronanın belirsizliğe neden olduğunu göz önüne alarak, gerilim bölücünün kararlılığını ölçmek istemişler ve karşılaştıracak bir referans bulunmadığı için 150 kV 'luk iki gerilim bölücü yapmışlardır. Her bir bölücünün yüksek gerilim kısmı 150 adet 1 MΩ'luk dirençlerden oluşmaktadır. Bölücüler korumalı bir Wheatstone köprüsü devresi ile karşılaştırılmıştır. 150 kV'ta oldukça kararlı oldukları görülmüştür.

Childers et al (1976) tarafından 10 kV'a kadar olan doğru gerilimleri ölçmek için yüksek doğrulukta gerilim bölme oranına sahip bir gerilim bölücü standardı geliştirilmiştir. Tasarlanan standart, sıcaklığı peltier soğutma elemanları tarafından denetlenen bir yağ banyosuna yerleştirilmiştir. Bölme oranının çözünürlüğü 1:1'de 0,1 ppm olarak başlar, 10 000:1 oranında 0,2 ppm'e kadar çıkar. Her biri dokuz nominal eşdeğer bölümden oluşan üç direnç grubunun seri olarak bağlı ayarlanabilir bir referans bölümü vardır. Direnç oranları 1:1 köprü tekniği kullanılarak kendi içlerinde kalibre edilir. Kalibrasyonun seri ve paralel kipte yapılması oranların doğruluğunun denetlenebilmesini sağlar.

DA gerilimler için diğer ölçüm cihazlarını kalibre etmekte kullanılmak üzere geliştirilen 300 kV'a kadar ölçüm yapabilen standart bir ölçüm cihazı Peier ve Graetsch tarafından geliştirilmiştir ( Peier and Graetsch, 1979). Cihaz, her biri 2 MΩ olan oldukça kesin değerlere sahip 300 tane dirençten oluşmaktadır. Bölme oranı 300'dür. Gerilim bölücünün çıkışı, ayarlı bir standart DA gerilim kaynağı ile düzeltilmektedir. Cihaz 10 farklı kaynak ile çok dikkatli şekilde kontrol edilmiş,

ölçümde çeşitli etkenlerden kaynaklanan belirsizlikler hesaplanmış ve bağıl toplam hata  $\pm 2,8.10^{-5}$  ( $2\sigma$ ) olarak bulunmuştur.

D'emilio et al (1985), 100 kV'a kadar olan DA gerilim bölücüleri 5ppm belirsizlikle kalibre edebilen bir sistem geliştirmişlerdir. Kendisi de 200 M $\Omega$ 'luk bir gerilim bölücü olan sistem, zorlamalı hava taşınımıyla soğutulmaktadır ve seri bağlanmış 100 adet 2 M $\Omega$ 'luk ekranlanmış dirençten oluşmaktadır. Dirençlerin ısınma etkisini incelemek ve toplam seri direnci bulabilmek için dirençler seriden paralele dönüşebilecek şekilde düzenlenmiştir.

100 kV girişi ve 100V, 10V, 2V ve 1V'luk çıkışları olan bir dirençsel gerilim bölücünün gerilim bölme oranlarını, 5 farklı metroloji laboratuvarında karşılaştırmalı olarak ölçülmüştür (Deacon 1985). 100 000/1 bölme oranı için laboratuvarlar belirsizliğin  $(7-12) \cdot 10^{-6}$  sınırları içinde olduğu konusunda hemfikir olmuşlardır.

Benzer bir çalışmada, 100 kV giriş gerilimine karşılık nominal 100, 10, 2 ve 1V çıkış gerilimleri olan bir dirençsel gerilim bölücü 1981 ile 1983 arasında Avrupa Birliği içindeki beş önemli laboratuvarı ayrı ayrı incelenmiştir (Marx und Schon, 1986). Yapılan anlaşmaya göre her bir laboratuvar 20, 50 ve 100 kV için bir veya birkaç bölme oranını mümkün olan en düşük belirsizlikle ölçmüştür. 1V ve 10V'luk çıkışlardaki bölme oranlarının sonuçları belirsizliği tanımlamak için toplanmıştır. Beş laboratuvarın dördünde sonuç  $1.10^{-5}$  (10 ppm) olarak ölçülmüştür.

Wu and Schon (1987), DA YG bölücülerde dirençlerin ısınma etkisini deneysel ve kuramsal olarak incelemiştir. Uygulanan gerilime bağlı olarak dirençlerde meydana gelen ısınmanın ve direnç sütunu boyunca oluşan sıcaklık farkının ölçüm hassasiyetine etki eden en önemli hata bileşeni haline geldiğini ve özellikle direnç değerleri daha düşük olan düşük maliyetli gerilim bölücülerde ısınmayla belirsizlik oranının çok daha fazla yükseldiğine dikkat çekmişlerdir. Taşınım ve iletim yoluyla klasik ısı üretimi ve aktarımı yasaları temel alınarak, dirençsel gerilim bölücülerde ısı dağılımı ve bunun gerilim bölme oranlarına etkisi özyineli bir yöntemle hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalar hava, yağ ve devir daim yapılan yağ ortamlarında birden fazla gerilim bölücü için tekrarlanmıştır.

Kim et al (1997), seri dirençlerden oluşan gerilim bölücülerde 0.01 ppm seviyesindeki genel hata kaynaklarını incelemişlerdir. Kaçak akımlar, ölçüm yapılan voltmetrenin hataları ve dirençlerin sıcaklık katsayıları gibi çeşitli hata kaynakları dikkatlice çözümlenmiş, gerilim bölücünün kararlılığına olan etkileri ve aralarındaki bağıntılar verilmiştir.

Shimizu et al (1999), geliştirilen 200 kV (2GΩ) 'luk yeni DA YG standardının kalibrasyonunu iki farklı yöntemle incelemişlerdir. Bunlardan birincisi direnç ölçümü metodu, diğeri ise düşük gerilimli standart bölücülerle karşılaştırma metodudur. İkinci yöntem kullanılarak gerilim bölme oranlarının kalibrasyonu basitleştirilmiştir ve işlemler için gerekli süre azaltılmıştır. Yapılan çalışmada dirençlerdeki ısınmanın ve nemin ölçüm belirsizliğine olan etkilerine değinilmiş ve özel bir havalandırma sistemiyle ortam sıcaklığı  $23 \pm 0.5$  °C aralığında, nem ise 40 % civarında tutulmaya çalışılmıştır. Ayrıca gerilim katsayıları ve karakteristikleri belirlenmiştir. Standart bölücünün belirsizliği 100 kV'ta 10 ppm'den, 200 kV'ta 20 ppm'den daha düşük olduğu hesaplanmıştır.

Li et al (1999), farklı ülkelerdeki standart gerilim bölücüler arasında karşılaştırmalar yapmak amacıyla Avustralya Ulusal Ölçümbilim Laboratuvarında 150 KV'luk bir gezgin gerilim bölücü yapmışlardır. Bu gerilim bölücüyle karşılaştırılan gerilim bölücü standartları arasındaki gerilim bölme oranı bağıl farklılıkları değerlendirilmiştir.

100 kV'a kadar olan DA gerilimlerin yüksek doğrulukta ölçümü için geliştirilmiş ısı denetimli, ekranlanmış bir yüksek gerilim bölücü standardının tasarımı Marx (2000) tarafından yapılmıştır. Ölçüm cihazında, toplam direnci 1GΩ olan 101 adet yüksek doğrulukta düşük toleranslı direnç bulunmaktadır. Dirençler içinde sıkıştırılmış SF6 (sülfür heksaflorid) gazı bulunan bir hazneye yerleştirilmiştir. Ölçüm cihazı gerilim kontrollü, homojen elektrik dağılımlı ve peltier elemanlarıyla sıcaklığı denetlenen bir düzenek içindedir. Peltier elemanları gerilim bölücünün çalışma sıcaklığını 26 °C'de sabit tutmakta, içerdeki sıcaklık en fazla 0,2 °C değişmektedir. Tüm gerilim bölücü sınırları boyunca sıcaklık farkı ( $T_{üst} - T_{alt}$ )  $\pm 0,15$  K'ni aşmaz. Anma gerilim bölme oranları 100:1 ve 10000:1'dir. Sıcaklık denetimiyle belirsizlik  $2 \cdot 10^{-6}$ 'ya düşürülmüştür.

TÜBİTAK UME raporları (Tübitak 2000), Alman Ulusal Metroloji Enstitüsü PTB'de yapılan 300 kV DA bölücü'nün tasarımına ilişkin bilgiler içermektedir. Yapılan çalışmada çok kararlı bir DA kaynağı ve sıkıştırılmış SF<sub>6</sub> gazının içine yerleştirilmiş hassas bir gerilim bölücünün geliştirilmesi ele alınmıştır. DA gerilim kaynağı ve ölçüm cihazları, metal kafes ekran ile ayrılarak YG alanının dışına kurulmuştur. Sistem, Visual Basic yazılımı ile bilgisayar üzerinden denetlenmektedir ve kalibrasyon sistemi otomatikleştirilmiştir. Çalışmada ölçüm belirsizliğinden ve azaltılma yollarından bahsedilmektedir. Yüksek gerilim bölücü yapımı, paralel ölçüm yöntemiyle diğer gerilim bölücülerin kalibrasyonu ve bireysel direnç çiftlerinin karakteristiklerinin çıkartılması verilmiştir.

Vargha et al (2001), R-2R dirençsel gerilim bölme prensibiyle çalışan sistemler için yeni bir kalibrasyon algoritması geliştirmişlerdir. Aynı yıl Alman Ulusal Metroloji Enstitüsü PTB'nin 100 kV'a kadar olan doğru gerilimleri ölçen dirençsel bölücü standartları için yeni bir ölçüm yöntemi önerilmiştir. Yine Zhang et al (2002), 20V:10V tan 1000 V:10V 'a kadar olan DA gerilim bölme oranlarını çok yüksek çözünürlükle ölçebilen yeni bir kalibrasyon yöntemi geliştirmişlerdir. Çalışmada, yapılan kalibrasyonla ilgili deneysel sonuçlar verilmiştir. Yöntemin geçerliliği 10 V'luk bir gerilim standardı ile doğrulanmıştır.

## **1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı**

Üretimde kaliteyi arttırabilmek için, üretimde kullanılan ölçüm cihazlarının uluslar arası veya ulusal standartlar tarafından düzenli olarak izlenebilmesi ve düzeltilmesi gerekir.

Bir ülke içinde yapılan ölçümlerin uluslararası alanda tanınmasını sağlamak için her türlü uygunluğun onaylanmasını ve düzenli bir belgelendirme sistemini yürütecek bir ulusal ölçüm sistemine gerek duyulur. Türkiye Ulusal Metroloji Sisteminde ilk adım 1992 yılında TÜBİTAK bünyesinde Ulusal Metroloji Enstitüsü'nün (UME) kurulmasıyla atılmıştır.

Ulusal Metroloji Enstitüsü ülkemizde yapılan her türlü ölçüme referans oluşturan en yetkili kuruluş olup, kuruluş aşamasındaki amaçları, ülke dahilindeki tüm ölçümleri

güvence altına almak, mevcut ve yeni ölçme teknolojilerini geliştirerek Türkiye'nin bilimsel ve teknolojik gelişimine katkıda bulunmak, böylece ülkemizdeki endüstriyel ürünlerinin kalitesini artırmak ve uluslararası ticarete karşılaşılan teknik engellerin aşılmasına yardımcı olmaktır (www.ume.tubitak.gov.tr 2002).

UME, bünyesinde kurulmakta olan Yüksek Gerilim Laboratuvarı'nda doğru akım, alternatif akım ve darbe gerilim ölçüm standartları'nın oluşturulması için çalışmalara başlanmıştır. Bu çalışmalardan biri de 100 kV'a kadar yapılan ölçümlerde DA Yüksek Gerilim Standardı'nı oluşturacak hassas bir dirençsel gerilim bölücü cihazının tasarımı ve gerçekleştirilmesidir. Cihazda ölçüm belirsizliğine neden olan etkenleri denetim altında tutarak ölçüm doğruluğunu daha da arttırmak mümkündür. Dirençlerin ısınması, belirsizliğe etki eden en büyük parametredir. Bu nedenle dirençlerin sıcaklık katsayıları oldukça küçültülmeli ve sıcaklık belirli sabit bir değerde çok kararlı tutulmalıdır ( Wu and Schon, 1987). Buna ek olarak, doğal taşınım nedeniyle zaman içinde çevredeki ısının alt dirençlerden üst dirençlere doğru yükselmesi, gerilim bölücü sistemi boyunca direnç değerlerinin farklı değişmesine ve ölçüm belirsizliğinin artmasına neden olmaktadır. Benzer şekilde, giriş gerilimindeki küçük dalgalanmalar, elektrik alanı, korona ve kaçak akımlar ölçüm belirsizliğini etkilemektedir.

Bu çalışmada, Yüksek Gerilim Bölücü cihazlarında, sıcaklıktan ve düzensiz ısı dağılımından kaynaklanan belirsizlikleri incelemek ve azaltmak için sıcaklığı ve ısı dağılımındaki değişimi denetlenen 5 kV'luk Dirençsel Yüksek Doğru Gerilim Bölücü Düzeneği gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık denetim yöntemi olarak PID denetime ek olarak bulanık mantık denetimi ve yapay sinir ağları (YSA) denetim yöntemleri de kullanılmış aralarında başarımlarını karşılaştırması yapılmıştır.

Bulanık mantık denetimi ve YSA ile denetim yöntemleri, belirli kabuller yapılmadan modellenmesi oldukça güç olan bu gibi karmaşık sistemlerde, tam ve kesin olmayan bilgiler ışığında oldukça tutarlı sonuçlar elde ettiği için son yıllarda mevcut denetim yöntemlerine tercih edilmeye başlanmıştır ( Kosko 1992).

Kullandığımız yeni denetim yöntemleri, çok girişli çok çıkışlı denetime izin vermesi nedeniyle, yazılımda yapılacak ufak değişikliklerle kaynak gerilimindeki

dalgalanmalar, giren akım-çıkan akım farkı, elektrik alanındaki düzensizlikler gibi diğer etkenlerin de hesaba katılarak bunlardan kaynaklanan belirsizliklerin azaltmasına olanak sağlayacak şekilde denetimin geliştirilmesine açık olacaktır.

Gerçekleştirilen düzenek, ısı denetimli 100 kV'luk DA YGB Standardı için ilk örnek teşkil edecektir. Bu nedenle Bölüm 2'de, bu düzeneği hazırlarken temel alınan DA YGB Standartları açıklanmış ve hazırlanmakta olan 100 kV'luk YGB Standardının tasarımı ve tasarım sırasında kaçak akım ve koronadan kaynaklanan ölçüm belirsizliklerini en aza indirmek için göz önünde bulundurulması gereken ölçütlere yer verilmiştir. Bölüm 3'te gerçekleştirilen 5 kV'luk YGB ilk örneğinin donanım özellikleri açıklanmış ve tezin ekinde verilen fiziksel özelliklerinden yola çıkarak ısı dağılım (iletim ve taşınım) modeli çıkarılıp durum denklemleri ile ifade edilmiştir. Tezde bütünlüğü sağlamak için Bölüm 4'te ilk örnek düzeneğinde kullanılan denetim yöntemlerinin dayandığı kuramlara kısaca değinilmiş ve bu kuramlardan yola çıkarak denetim için gerekli olan denetim algoritmalarının hazırlanma aşamaları açıklanmıştır. Bölüm 5'te deneysel gözlemlerden yararlanarak sistemin karakteristiği çıkarılmıştır ve bulanık mantık denetim ve YSA ile denetim için gerekli bilgi tabanını oluşturacak veriler elde edilmiştir. Bölüm 6'da 3 farklı denetim yöntemi için hazırlanan denetim programlarının sistemde uygulanması, elde edilen denetim sonuçları ve bu sonuçların yorumlanmasına yer verilmiştir. Bölüm 7'de deney sonuçları değerlendirilerek denetim yöntemleri arasında başarımların karşılaştırması yapılmıştır. Gelecek çalışmalarda sistemin başarımlarını arttırmak için önermelerde bulunulmuştur. PID denetim, bulanık denetim, YSA eğitimi ve YSA ile denetim programları, Delphi 5.0 görsel programlama dilinde hazırlanmıştır. Programların akış çizelgeleri ayrıntılı olarak ekte verilmiştir.

## BÖLÜM 2. YÜKSEK GERİLİM ÖLÇÜM STANDARTLARI

### 2.1. Yüksek Gerilimde Ölçme

10 V'un üzerindeki DA gerilimlerin hemen hemen hepsinde hatasız ölçüm için kullanılacak neredeyse tek yöntem, yüksek bir  $R_1$  direnci ve ona seri bağlı düşük bir  $R_2$  direncinden oluşan dirençsel gerilim bölme ilkesiyle ölçme yöntemidir. Ölçülecek gerilim  $R_2$  üzerinden alınır. Genelde  $R_2/(R_1+R_2)$  bölme oranı,  $R_2$  üzerinde 1 V düşecek şekilde seçilir, böylece çıkış gerilimi sayısal voltmetre kullanarak doğrudan veya sıfır potansiyometresi aracılığıyla hassas bir referans gerilim kaynağıyla karşılaştırılarak ölçülebilir. Bu, yaygın olarak bilinen "gerilim kutusu" yöntemidir ve 1500V'a kadar olan ölçümlerde halen kullanılmaktadır. Bu yöntemin genişletilerek daha yüksek gerilimlerde uygulanmasında karşılaşılan tek problem, gerilime bağlı olarak değeri değişmeyen yüksek gerilim dirençleri tasarlama güçlüğüdür (J.H. Park, 1961). Gerilimle dirençlerin değişmesi aşağıdaki üç etkenin tek başına veya birlikte etkisinden kaynaklanır:

- (1) Direncin  $I^2R$  kayıp güç etkisiyle ısınması. Dirençteki değişimin miktarı direncin ısıl katsayısına bağlıdır;
- (2) Gerilim bölücüdeki yalıtkan yüzeyler üzerinden akan kaçak akımlar ( $I_k=U/R_{yüzey}$ ). Bu gibi kaçaklar genellikle gerilimdeki artışla birlikte artar ve dirençlere etkisi, dirençlerden geçen akımı azaltma yönünde olur.
- (3) Gerilim arttırıldığında, dirençlerin bağlantı iletkenleri gibi eğrilik yarıçapı küçük olan iletkenlerde elektriksel alan şiddeti arttığından arasındaki gerilim farkı arttığından korona boşalmaları oluşabilir. Böylece dirençlerdeki akımın bir kısmı korona kaybı olarak toprağa kaçar.

Dirençlerin ısıl katsayıları çok küçük olmadığı müddetçe 1. etken olan ısınma etkisi oldukça önemli bir sorun olacaktır. Yüksek gerilim dirençleri seri bağlanmış çok sayıda 1 M $\Omega$  'luk dirençten oluşur. Bu nedenle zıt işaretli sıcaklık katsayılarına sahip direnç çiftleri seçilerek toplam sıcaklık katsayısı azaltılabilir. 2. ve 3. etkenlerden

kaynaklanan hatalar, bu gibi yöntemlerle kolayca ölçülüp düşük değerlere indirilemez. Bu nedenle tasarımdaki birincil sorun bu kaçakları ve korona etkilerini mümkün olduğu kadar düşük tutmaktır. Buna ek olarak dirençlere tam gerilim uygulandığında bu etkileri gözlemlenmek için bazı deneysel yöntemler geliştirilmelidir.

### **2.1.1. Yüksek gerilim bölücü cihazların kalibrasyonu**

Yüksek gerilim bölücüler, direnç ölçümü yöntemiyle veya başka bir gerilim standardıyla karşılaştırılarak kalibre edilir.

#### **2.1.1.1. Direnç ölçme yöntemi**

B tipi ölçüm belirsizliği olarak adlandırılan ve ölçümdeki kaymalar, sıcaklık ve diğer pek çok fiziksel etkinin yol açtığı belirsizlikler direnç ölçme yöntemi ile uzun süreli olarak gözlenir. Çok sayıda veri alınır. Bu veriler bir Gauss dağılımı gösterirler ve merkez bir nokta etrafında toplanırlar. Bu dağılım göz önüne alınarak sistemde düzeltme yapılır ve gerilim bölücü kalibre edilir. Bu yöntemde, uygulanan gerilimle ortaya çıkan ısınma ve ortamdaki nem gibi etkenlerin dirençlerde meydana gelen değişimler ve bu değişimlerin gerilim bölme oranlarına etkisi 4 aylık periyotlarla 3 yıl boyunca gözlemlenir (Kim et al 1997). Her bir direnç, bir Wheastone Köprüsünün direnç ölçme koluna yerleştirilerek ölçülür. Diğer kollar,  $0.01\Omega$ 'luk adımlarla ayarlanabilen NBS tipi standart dirençlerdir.

#### **2.1.1.2. Gerilim standardıyla karşılaştırma yöntemi**

Direnç ölçme yöntemi oldukça uzun zaman alır ve gerilim verilen dirençlerden akan akımın etkisi gözlenemediği için doğru sonucu yeterince yansıtmaz. Gerilim karşılaştırma metodunda, yüksek gerilim bölücü daha yüksek doğruluğa sahip başka bir gerilim bölücüyle karşılaştırılır. Bu yöntemde, A tipi belirsizlikler olarak adlandırılan, ölçüm cihazlarından kaynaklanan belirsizlikler gözlenir.

### **2.1.2. YG sistemlerinde ölçüm belirsizliği**

Bir ölçüm belirsizliğinin en önemli nedeni izlenebilirliğin olmayışıdır. Tüm ölçüm sistemleri, ölçülen büyüklükle doğrudan ilişkili olmayan bir takım etkenlerden etkilenir. Etkileri bilinen ve sabit olan bazı etkenlerin neden olduğu belirsizlikler



için düzeltmeler yapılabilir. Ölçümler aynı koşullar altında tekrarlanırsa dahi gözlemlenen sonuçlar farklılık gösterebilir. Testler bir çok kez tekrarlanırsa sonuçların merkez bir nokta etrafında gauss dağılımı gösterdiği gözlenir.

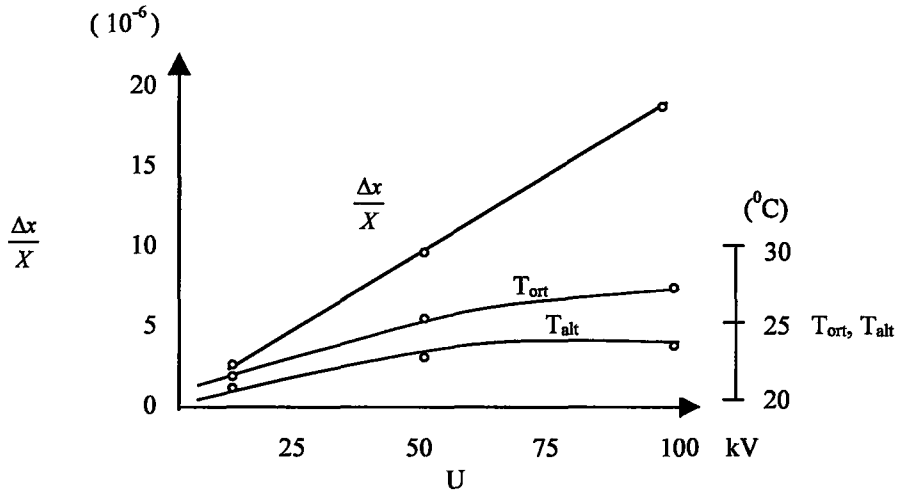
Bazı YG testleri, gerilimin yalnızca tek veya az sayıda ölçümü ile karakterize edilebilir. Bir çok ölçümde toplam belirsizlik, sistematik belirsizliğin ve rastgele belirsizliğin katkılarından hesaplanır. Belirsizliğe katkıların aritmetik toplamı, gerçeği yansıtmayan sonuçlar verir. Bu nedenle daha gerçekçi bir yöntem olarak belirsizlik terimlerinin kareleri toplamının karekökü kullanılır. Kalibrasyon belirsizlikleri ve cihazın ölçüm faktöründeki hatalardan kaynaklanan belirsizlikler sistematik belirsizlikler olup A sınıfı belirsizlikler olarak da adlandırılmaktadır. Küçük atlama aralıklarındaki boşalmaların ölçümleri, yakınlık etkisi, gerilimin şekli, analog ölçek üzerindeki işaretli noktalar arasındaki etkileşim, sayısallaştırma hatası, girişim, hava sıcaklığı, nem gibi etkenlerde meydana gelen dalgalanmalar rastgele veya B sınıfı olarak adlandırdığımız belirsizliklere neden olurlar. Test laboratuvarlarında yapılan ölçümlerde toplam belirsizlik ulusal standartlar için %1'den küçük olmalıdır. Genel kural olarak metroloji enstitülerinin belirsizliği test laboratuvarlarının belirsizliğinden en az 3-4 kat daha iyi olmalıdır.

### **2.1.3. Dirençlerdeki ısınmanın ölçüm belirsizliğine etkileri**

Standart gerilim bölücülerin DA gerilimleri yüksek doğrulukla ölçebilmesi ve diğer gerilim bölücülerini kalibre edebilmesi için gerilim bölme oranlarının çok kesin olarak bilinmesi ve bu oranın istenen ölçüm belirsizliği sınırları içinde zamandan, gerilimden ve sıcaklıktan etkilenmemesi gerekir. Ölçüm odasındaki ortam sıcaklığında meydana gelen değişim ve dirençlerde harcanan güç nedeniyle ortaya çıkan ısınma yüksek gerilim bölücülerde, sıcaklığın neden olduğu iki hata kaynağıdır. Gerilim bölücü dirençlerin sıcaklık katsayıları küçük sıfır olsaydı, her iki sıcaklık etkisi de ihmal edilebilirdi fakat uygulamada bu durum neredeyse imkansızdır. Hassas DA gerilim bölücülerde, sıcaklık katsayıları birbirine çok yakın fakat sıfır olmayan dirençler kullanılır. Bu gerilim bölücülerin bölme oranları ortam sıcaklığından oldukça az etkilenir. Fakat dirençlerin ısınma etkisi ve direnç sütunu boyunca oluşan sıcaklık farkı belirsizliği etkilemeye devam eder. Bu nedenle, örneğin dirençlerin sıcaklık katsayıları  $1.5 \cdot 10^{-6}$  (1/K) gibi küçük bir değere olmasına

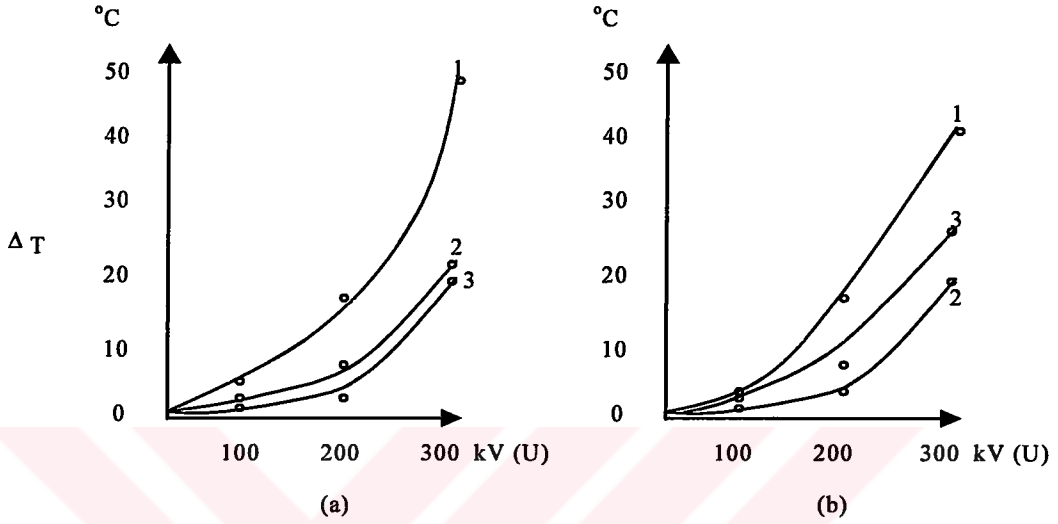
karşın 100 kV uygulanan 1GΩ'luk bir standardın gerilim bölme oranı değeri 2 saat içinde bağıl olarak 18. 10<sup>-6</sup> oranında değişir. Daha küçük direnç değerlerine sahip, daha yüksek güç harcayan düşük maliyetli gerilim bölücülerde gerilim bölme oranındaki bu değişme daha da fazla olacaktır. Bu nedenle uygulanan gerilimin dirençlerde meydana getirdiği ısınma, hassas ölçümlerde belirsizliği etkileyen en büyük hata kaynağıdır (W.S.L, K. Schon,1987). Gerilim bölme oranı, uygulanan gerilim ve uygulama süresine bağıl olarak sıcaklıkla değişir. Dirençlerdeki ısınmanın gerilim bölücülere olan etkisi üzerindeki teorik ve deneysel hesaplamalar verilmiştir.

Şekil 2.1'de Avrupa Birliği içindeki beş metroloji laboratuvarı arasında karşılaştırmalı ölçüm için dolaştırılan, kuru hava ile yalıtılmış, 1 GΩ 'luk standart gerilim bölücünden elde edilen sonuçlar görülmektedir. Teorik hesaplamalara göre, dirençlerin kalıcı durum sıcaklıkları, uygulanan gerilime göre gerilim bölücünün altında ve üstünde artmaktadır. Çıkışın alındığı alçak gerilim direnci, T<sub>alt</sub> sıcaklığı olarak adlandıracağımız alttaki sıcaklığa maruz kalırken yüksek gerilim dirençlerinin T<sub>ort</sub>=(T<sub>üst</sub>+T<sub>alt</sub>)/2 ortalama sıcaklığında kaldıkları kabul edilmektedir. Ortam sıcaklığı 20 °C iken 100 kV'ta T<sub>ort</sub>=27 °C ve T<sub>alt</sub>=23.7 °C olmaktadır. Aradaki bu sıcaklık farkı ve dirençlerin tahmin edilen sıcaklık katsayıları göz önüne alınarak gerilime göre gerilim bölme oranındaki bağıl değişme ( $\frac{\Delta x}{X}$ ) hesaplanır. Hesaplanan değerler, deneysel sonuçlarla uymakta ve gerilim bölme oranındaki artış açıkça görülmektedir (W.S.L, K. Schon,1987) .



**Şekil 2.1.** T<sub>ort</sub>, T<sub>alt</sub> ve  $\frac{\Delta x}{X}$ 'in Uygulanan Gerilime Göre Değişimi  
'o': Deneysel Ölçüm Değerleri (W.S.L, K. Schon,1987).

Şekil 2.2'de 300 kV, 600 M $\Omega$  'luk bir gerilim bölücünün sıcaklığının uygulanan gerilime göre nasıl değiştiği görülmektedir. Normal çalışma şartları altında, dirençler transformatör yağı içine yerleştirilmiştir ve yağ devir daim yapılmaktadır. Yağ değişimleri sırasında dirençlerin sıcaklığı kuru hava ortamında da ölçülebilmektedir.

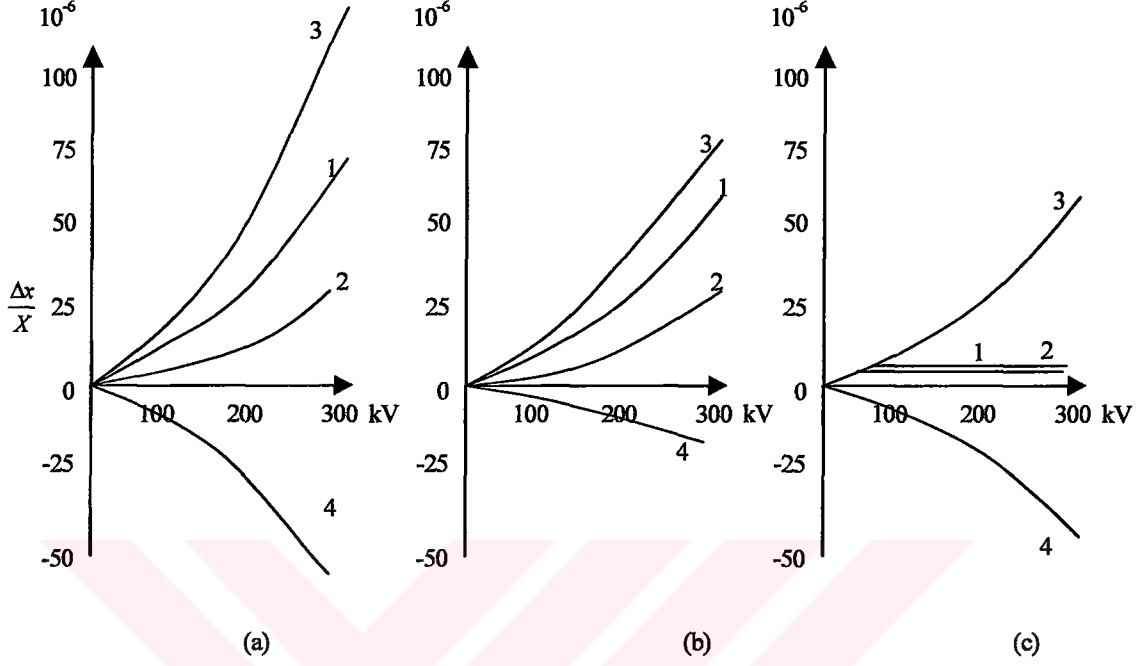


**Şekil 2.2.** Sıcaklık Değişimi  $\Delta T$  'nin Uygulanan Gerilime Göre Değişimi (W.S.L, K. Schon,1987).

Uygulanan gerilime göre alt direncin sıcaklığındaki değişim Şekil 2.2.a'da, üst direncin sıcaklığındaki değişim Şekil.2.2.b'de gösterilmiştir. 1. eğri hava ortamındaki, 2. eğri yağ ortamındaki, 3. eğri, devir daim yapan yağ ortamındaki hesaplanan sıcaklık değişimlerini göstermektedir. 3. eğride hesaplanan değerlerle ölçüm değerleri arasında farklılıklar ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni, deneysel çalışmada yağın bir motor aracılığıyla devir daim yaptırılması dolayısıyla ısı iletiminin zorlamalı taşınımıyla sağlanması buna karşılık hesaplamada kullanılan denklemlerin doğal taşınımıyla ısı iletimi için olmasıdır.

Şekil 2.3.a, b ve c hava, yağ ve devir daim yaptırılan yağ ortamlarında gerilime bağlı olarak gerilim bölme oranındaki bağlı değişmeyi göstermektedir. Gerilim bölme oranları, değişen direnç değerlerinden yola çıkarak, Şekil 2.2.a ve b'deki sıcaklık değerleri kullanılarak hesaplanır. Yüksek gerilimde farklı  $\alpha_{ort}$  sıcaklık katsayısına, düşük gerilimde ise farklı  $\alpha_{alt}$  sıcaklık katsayısına sahip bir çok direnç için gerilim bölme oranları bulunmuş ve grafik olarak çizdirilmiştir (W.S.L, K. Schon,1987). Sonuçlar, şu şekilde özetlenebilir.  $\alpha_{alt} = \alpha_{ort}$  olduğu zaman, sıcaklık katsayısı ne

kadar büyük olursa gerilim bölme oranındaki değişim de, 1. ve 2. eğrilerden karşılaştırılabileceği gibi, o kadar büyük olmaktadır.



**Şekil 2.3.** Farklı  $\alpha_{ort}/\alpha_{alt}$  Sıcaklık Katsayı Oranları İçin  $\frac{\Delta x}{X}$  'in Gerilime Göre Değişimi (W.S.L, K. Schon,1987).

- a) Dirençler Hava Ortamında  
b) Yağ Ortamında  
c) Devir Daim Yapan Yağ Ortamında

1. eğri:  $\alpha_{ort}/\alpha_{alt} = 10/10 \cdot 10^{-6}$   
2. eğri:  $\alpha_{ort}/\alpha_{alt} = 5/5 \cdot 10^{-6}$   
3. eğri:  $\alpha_{ort}/\alpha_{alt} = 6/4 \cdot 10^{-6}$   
4. eğri:  $\alpha_{ort}/\alpha_{alt} = 4/6 \cdot 10^{-6}$

Bununla birlikte  $\alpha_{alt}$  ve  $\alpha_{ort}$  sıcaklık katsayıları ne kadar küçük olursa olsun değerleri birbirlerinden biraz farklı olduğu takdirde bölme oranlarındaki değişim hızla artmaktadır.  $\alpha_{ort} > \alpha_{alt}$  ise bu artış 3. eğride görüldüğü gibi pozitif yönde, tersi olduğunda ise 4. eğride görüldüğü gibi negatif yönde olur. Şekil 2.3.c'de görüldüğü gibi, yağın devir daim yapıldığı ortamda, sıcaklık katsayıları 1. eğri ve 2. eğride verildiği şekilde eşit seçilirse, dirençlerin ısınması gerilim bölme oranını fazla etkilemeyecektir. Dirençlerin sıcaklıkları her yerde yaklaşık eşit olacaktır. Sıcaklık katsayıları farklı olduğunda, uygulanan gerilimle sıcaklık arttığı için direnç değerleri farklı oranlarda değişecektir. Dolayısıyla uygulanan gerilimle, gerilim bölme oranındaki değişim 3. ve 4. eğrilerde görüldüğü gibi artacaktır. Bunun önüne uygun soğutma ve sıcaklık denetim yöntemleriyle sıcaklığın artması önlenerek geçilebilir.

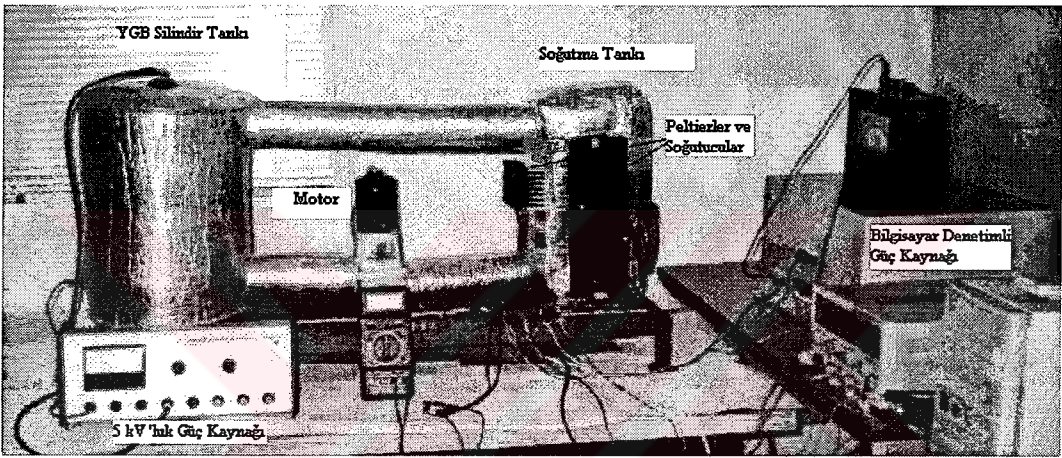
## **2.2. Dirençsel Yüksek Gerilim Bölücü Standartları**

Dirençsel yüksek gerilim bölücü standartlarının ve tasarlanan 100 kV'luk DA YG bölücü standardının özellikleri, bu standartlarda ölçüm belirsizliğini azaltmak için yapılan çalışmalar, bu çalışmalarda dikkat çekilen eksiklikler ve yapılan tez çalışmasına kaynaklık eden öneriler ekte verilmiştir.

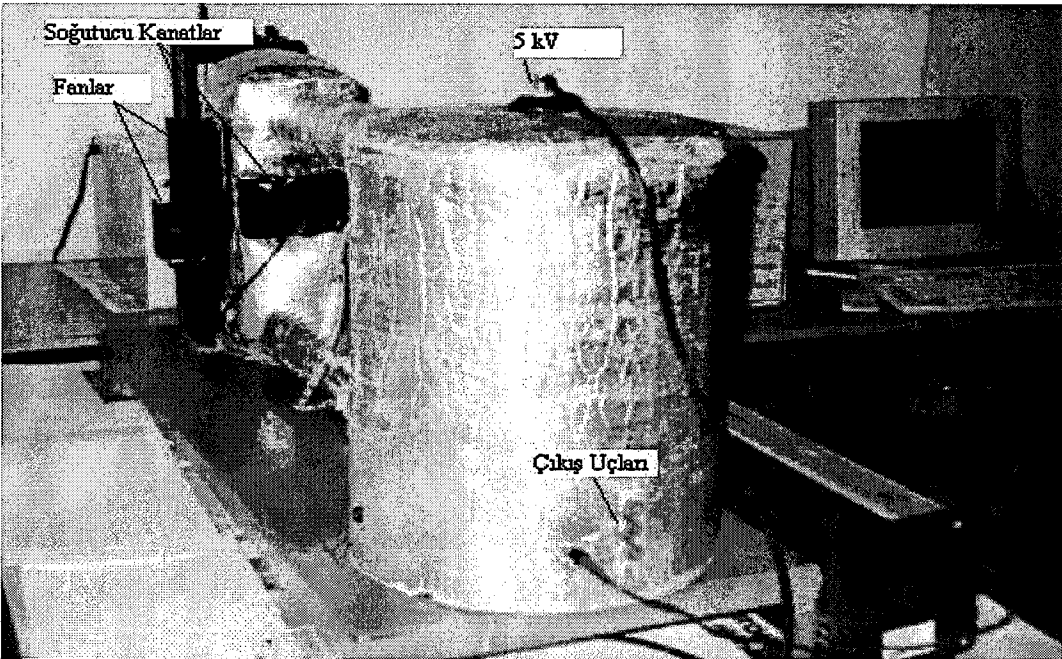


### BÖLÜM 3. 5 kV'LUK DA YÜKSEK GERİLİM BÖLÜCÜ İLK ÖRNEĞİ

100 kV'luk DA YGB Standardının yapımına başlamadan önce, sıcaklık denetiminin ölçüm belirsizliğine etkilerini deneysel olarak gözlemlemek, tasarım, yöntem, cihaz seçimi ve yazılımdan kaynaklanabilecek eksiklikleri değerlendirebilmek için öncelikle 5 kV'luk bir ilk örnek hazırlanmıştır. Sistem, YG Bölücü ve Sıcaklık Denetim kısmı olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır (Şekil 3.1, Şekil 3.2).

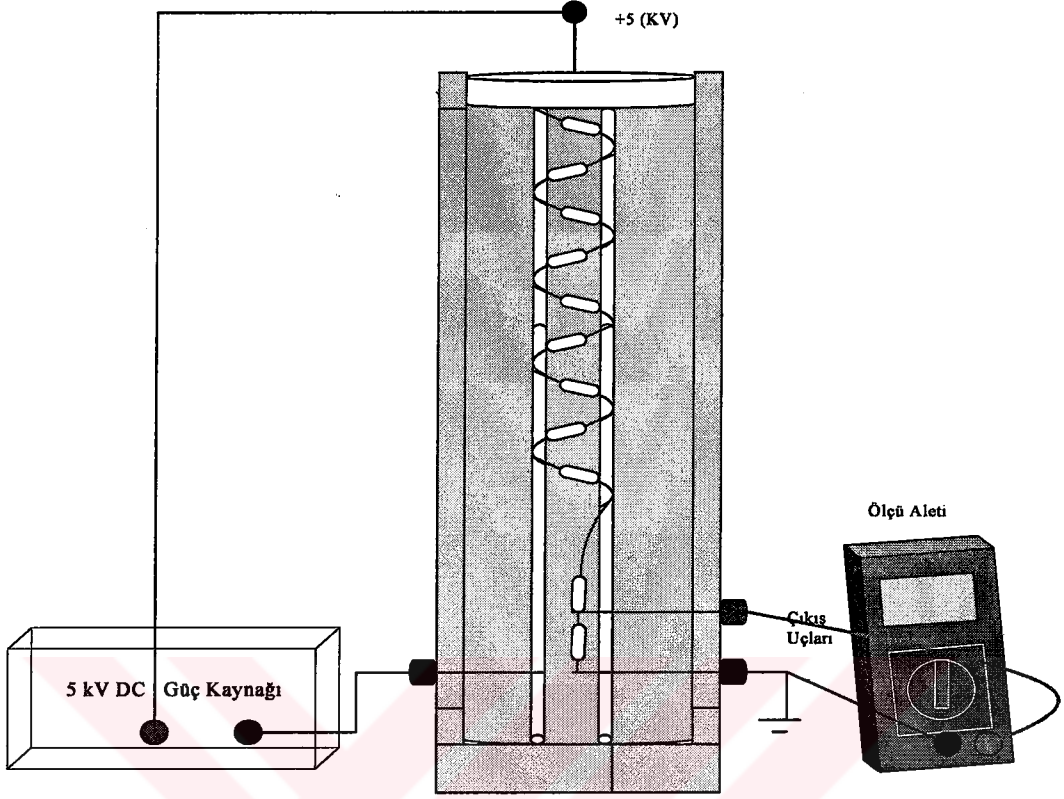


Şekil 3.1. Sıcaklık Denetimli 5 kV'luk DA YG Bölücü Düzenegi



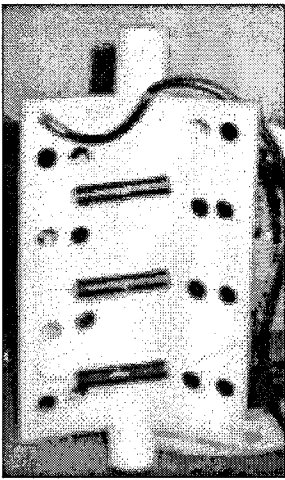
Şekil 3.2. Düzenegin Yandan Görünüşü

### 3.1. 5 kV DA YG Dirençsel Bölücü Düzeneği

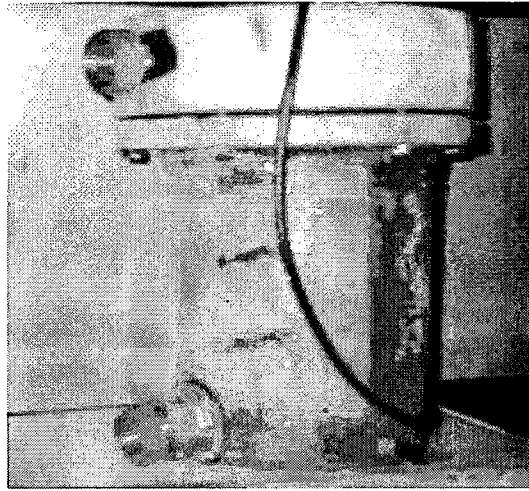


Şekil 3.3. Gerilim Bölücü Düzeneği

Gerilim Bölücü Düzeneği, 5 kV'luk DA bir gerilim kaynağı ve dirençsel bölücüdür (Şekil 3.3). Gerilim bölücünün çıkışları hassas bir voltmetre ile ölçülür.



(a)



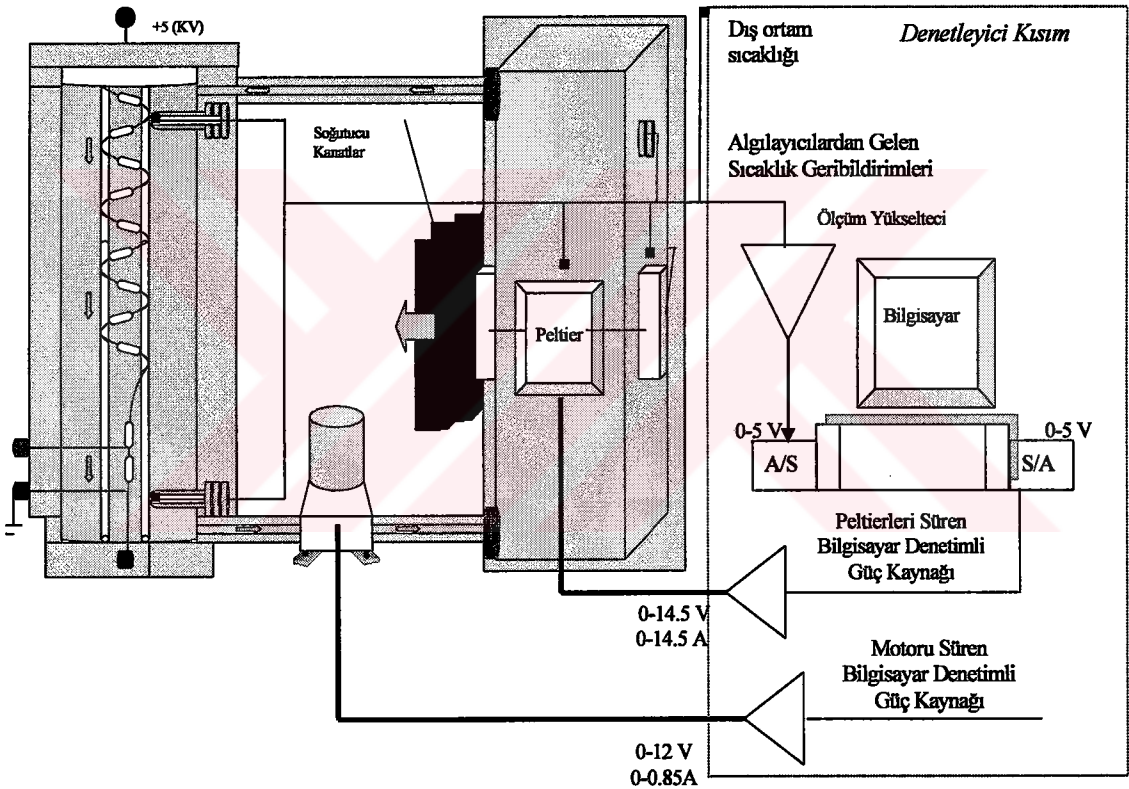
(b)

Şekil 3.4. a) Dirençlerin Yerleştirildiği "Park Tipi" Sarmal Formdaki Düzenek  
b) Dirençlerin Gerilim Bölücü Haznesindeki Görünümü

Dirençsel bölücü, 10 adet 1 Mohm'luk hassas direnç ve bir adet 10 k $\Omega$ 'luk hassas metal film çıkış direncinden oluşmaktadır (Şekil 3.4).

### 3.2. Sıcaklık Denetim Sistemi

Yüksek Gerilim Bölücü Sistemi'nde sıcaklık denetimi için iki tanktan meydana gelen kapalı bir düzenek oluşturulmuştur. Şekil 3.5'te verilen sistemin sol tarafında ısı üreten gerilim bölücü dirençlerin yerleştirildiği, dış yüzeyi yalıtılmış bir polyemit tank bulunmaktadır. Sağ tarafta ise dirençlerin ürettiği ısıyı iki adet peltier etkili ısı pompası aracılığıyla sistemden uzaklaştıran alüminyum soğutma tankı vardır.



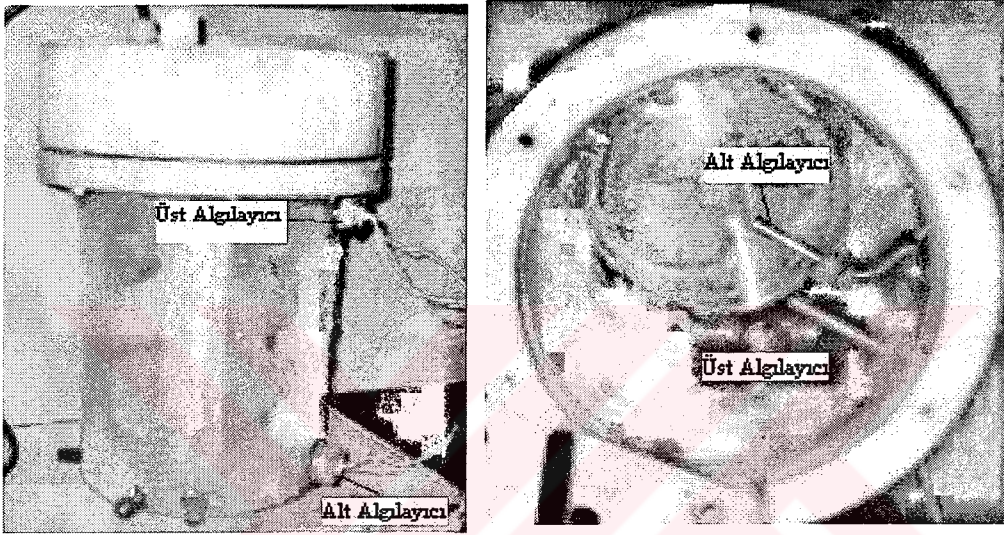
Şekil 3.5. Sıcaklık Denetimli YG Bölücü Düzeneği

Tankların ve boruların dış yüzeyi yalıtımlıdır. İçeride bulunan trafo izolasyon yağı, bir devir daim motoru aracılığı ile iki tank arasında ısı iletimini sağlar. İletim borularının hacimleri ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Peltier elemanlarının bir yüzeyinden alınan ısı diğer yüzeyindeki soğutucu kanatlar ve kanatlar üzerlerine monte edilmiş soğutma fanları aracılığıyla dış ortama iletilmektedir. Isı, kanatların yüzeyinden dış ortam olan havaya zorlamalı taşınım ile aktarılmakta ve uzaklaştırılmaktadır.

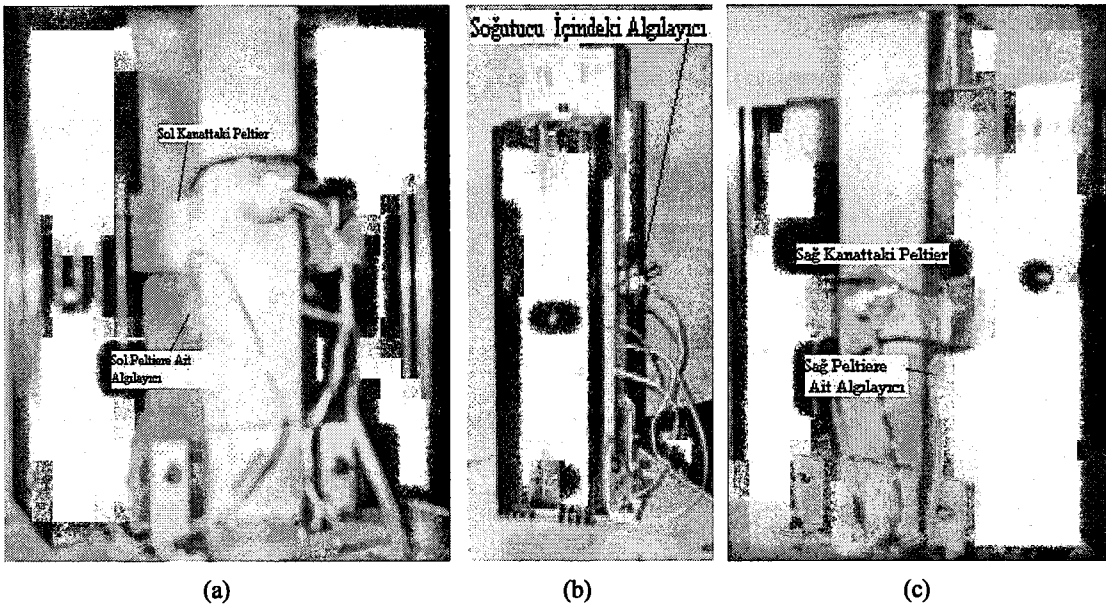


### 3.2.1. Sıcaklık denetim sisteminin giriş bölümü

Giriş kısmı, sıcaklık algılayıcıları, ölçüm yükselteçleri ve analog/sayısal dönüştürücülerden oluşmaktadır. Sıcaklık algılayıcıları olarak oldukça doğrusal olan ve derece başına 10mV gerilim üreten 6 adet LM35 kullanılmıştır. Yağdan etkilenmemeleri için koruyucu metal problemlerin içine yerleştirilmişlerdir (Şekil 3.6). YG Bölücünün bulunduğu ısı üretilen tankın üst ve alt kısmında yağa daldırılmış iki adet sıcaklık algılayıcı prob bulunmaktadır.



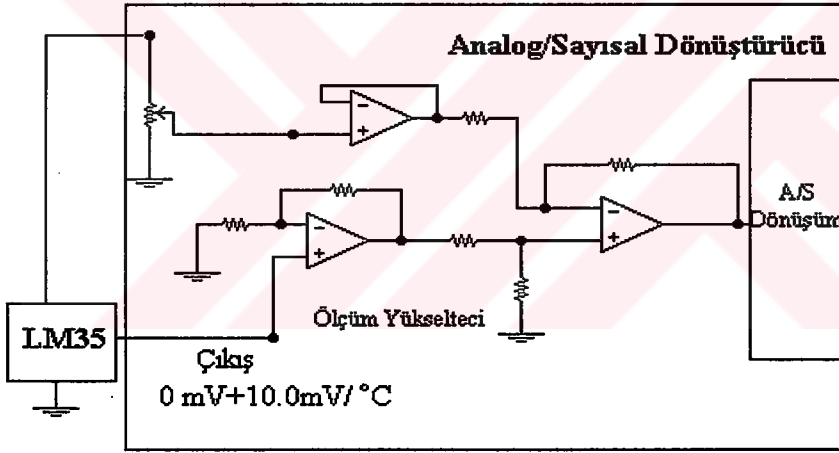
Şekil 3.6. Isı Üretilen Tankta Bulunan Algılayıcılar



Şekil 3.7. (a) Sol Kanattaki Peltiere Ait Algılayıcı (b) Soğutma Tankının İçindeki Algılayıcı (c) Sağ Kanattaki Peltiere Ait Algılayıcı

Bunlardan gelen sıcaklık değerlerinin ortalaması, gerilim bölücünün bulunduğu tankın sıcaklığı olarak alınır. Benzer şekilde, Şekil 3.7’de görüldüğü gibi soğutucu tankın içine daldırılmış bir sıcaklık algılayıcısı vardır. Bunlara ek olarak soğutucu tankın yüzeylerindeki sağ ve sol kanatlarda bulunan peltierlerin sıcaklığını ölçen birer sıcaklık algılayıcısı bulunmaktadır. Soğutucu tankta bulunan algılayıcıların değerleri, sıcaklık denetimi boyunca kaydedilir ve grafik olarak çizdirilir. Denetim sistemindeki eksikliklerin nereden kaynaklandığının tespiti, ısı üretimi, taşınımı ve sıcaklık değişimleri arasındaki bağıntıları belirlenmesi için birer gözlem noktası olarak kullanılırlar.

İşaret dönüştürücü olarak 12 bitlik PCL 812PG analog giriş-çıkış kartı kullanılmıştır. Sıcaklık bilgilerine karşılık gelen  $\pm 625$  mV arasındaki giriş gerilimleri kartın içinde bulunan ölçüm yükselteçleri tarafından  $\pm 5$ V’a yükseltilir. İşaret dönüştürücü  $\pm 5$ V’u 0-4095 arasında sayısal veriye dönüştürür (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Denetim Sisteminin Giriş Katı

### 3.2.2. Sıcaklık denetim sisteminin denetleyici bölümü

Sayısal verilere dönüştürülen sıcaklık bilgileri, bilgisayarda denetim programı tarafından işlenir ve elde edilen denetim işaretleri işaret dönüştürücüye aktarılır. PID, Bulanık Mantık veya YSA ile denetim yöntemlerinden biri kullanılarak sistemin sıcaklığını ve gerilim bölücü boyunca oluşan sıcaklık değişimini denetlemektedir.

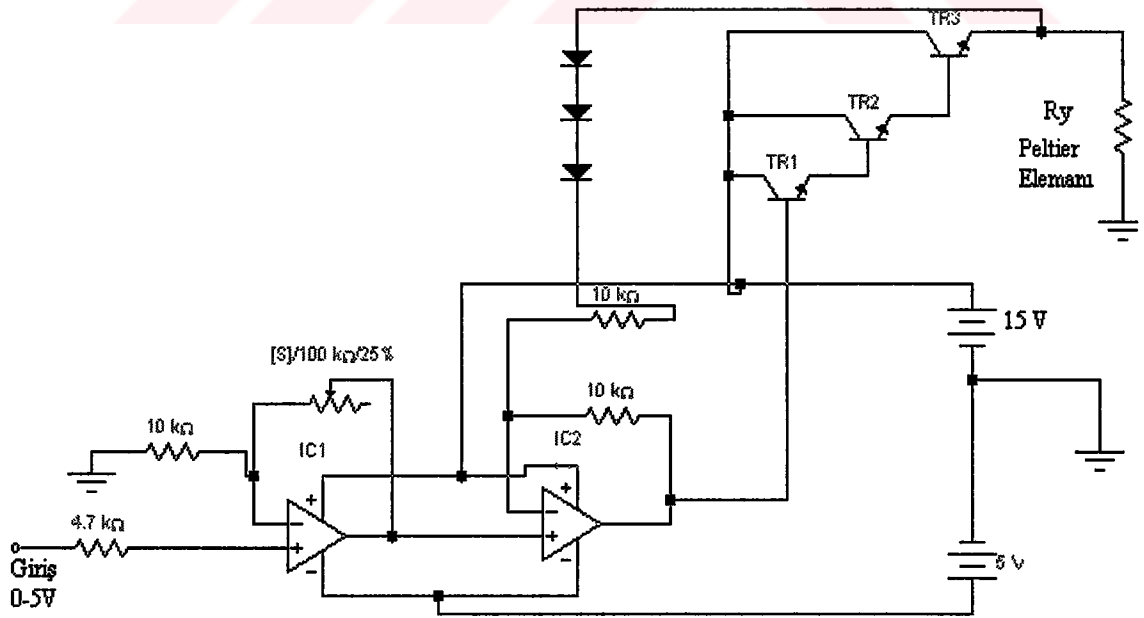
### 3.2.3. Sıcaklık denetim sisteminin çıkış bölümü

PCL812 PG analog giriş/çıkış kartına ait iki adet sayısal/analog dönüştürücü, çıkış olarak kullanılır. 12 bitlik olan dönüştürücüler, 0-4095 arasındaki sayısal veriyi

Şekil 3.5'te görüldüğü gibi 0-5V arasında gerilime dönüştürürler. Bunlardan birincisi peltier elemanlarının soğutma oranını belirleyen 0-14.5V (0-14.5A)'lık bilgisayar denetimli güç kaynağını sürer. Diğeri ise devir daim motorunun hızını belirleyen 0-12V (0-0.85A)'luk diğeri güç kaynağını denetler.

Şekil 3.9'da görüldüğü gibi, bilgisayarın sayısal/analog kartı çıkışında bulunan 0-5V arasındaki gerilim, kazancı 3 olan ve aynı zamanda kart ile güç kaynağı arasında tampon görevi gören IC1 evirmeyen işlemsel yükselteciye uygulanarak çıkışında 0-15V elde edilir. Bu gerilim, IC2 işlemsel yükseltecinin evirmeyen girişine uygulanır. Aynı yükseltecin eviren girişine ise, diyotlar aracılığıyla, bu gerilimin 2.1V eksikliği uygulanır. Yükselteç böylece, referans gerilimi olan giriş gerilimi ile devrenin çıkış gerilimini karşılaştırır, çıkış geriliminin referans geriliminde sabit kalmasını sağlar.

TR1, TR2 ve TR3, 2N3055 güç transistörleridir ve darlington bağlı olduklarından dolayı akım kazancı sağlarlar. Bağlantı telleri düşük dirence sahip de olsalar yüksek akım aktığı için teller üzerinde gerilim kayıpları oluşmaktadır ve peltierlere yaklaşık 14.5V ulaşmaktadır. Motor sürücü devresinin çalışma prensibi aynıdır. 0-5V giriş karşılık 0-12V çıkış elde edilecek şekilde kazancı ayarlanmıştır.



Şekil 3.9. Bilgisayar Denetimli Güç Kaynağı Devresi

### 3.3. Sıcaklık Denetimli 5 kV YG Bölücü Sisteminin Isı İletim Modeli

#### 3.3.1. Isı iletimi ve enerji denklemleri

Sıcaklığı denetlenecek olan süreçte ısının üretildiği tanktaki dirençlerde üretilen yaklaşık 2,5W'lık ısının çok küçük bir kısmı dirençler üzerinde depolandıktan sonra dirençlerden, akışkana geçmektedir (Bkz. Şekil 3.10). Dış ortamın sıcaklığı daha düşük olduğu durumlarda bu ısının bir kısmı ısı üretilen tankın yanal yüzeylerinden dışarı çıkmaktadır, bir kısmı akışkan ve ısı üretilen tank üzerinde sıcaklık artışına neden olacak şekilde depolanmaktadır. Geri kalanı ise yağ devir daim motoru aracılığıyla soğutucu tanka aktarılmaktadır. Soğutucu tanka gelen ısının bir kısmı buradaki akışkan ve soğutucu tankın gövdesinde ısınmaya neden olacak şekilde depolanmaktadır. Geri kalan kısmı peltier ısı pompaları tarafından sistemden uzaklaştırılmaktadır. Sıcaklıklar aşağıda verilmiştir;

$T_{TD}$  : Dirençlerin iç sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ),

$T_{S1}$  : Dirençlerin yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ),

$T_{sy}$ : Isı üretilen tankta bulunan yağın sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ),

$T_{S2}$  : Isı üretilen tankın iç yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ),

$T_p$  : Isı üretilen tankın polyemit gövdesinin sıcaklık ( $^{\circ}C$ ),

$T_{S3}$  : Isı üretilen tankın dış yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ),

$T_g$  : Isı üretilen tanka gelen akışkanın giriş sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ),

$T_{\check{c}}$  : Isı üretilen tanktan çıkan akışkanın çıkış sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ),

$T_{sty}$  : Soğutma tankındaki yağın sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ),

$T_{S4}$  : Soğutma tankının iç yüzeyinin sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ),

$T_{st}$  : Soğutma tankının içindeki sıcaklık ( $^{\circ}C$ ),

$T_{\infty}$  : Dış ortamın sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ),

$T_{gt}$  : Soğutma tankına gelen akışkanın giriş sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ),

$T_{\check{c}t}$  : Soğutma tankından çıkan akışkanın çıkış sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ),

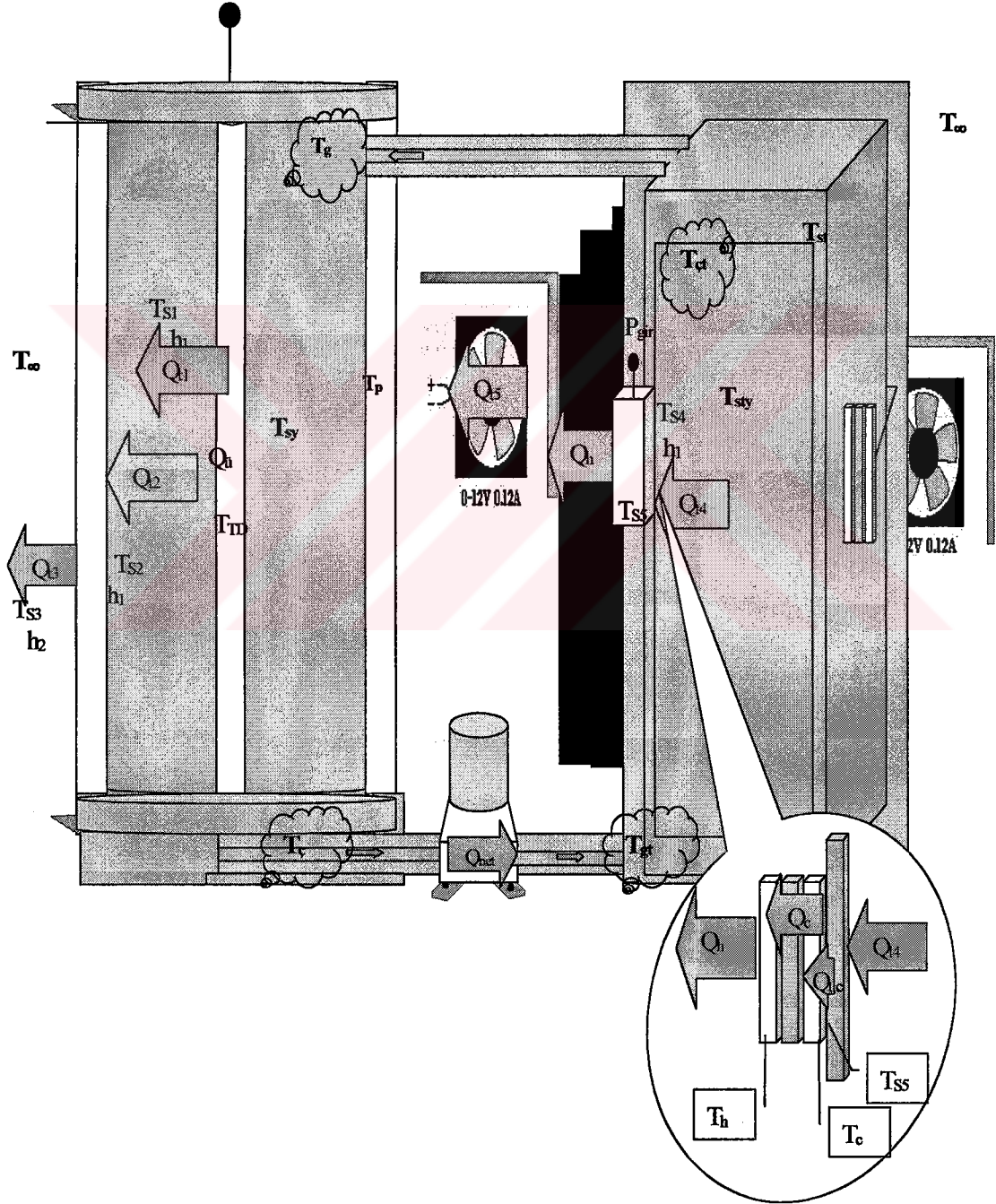
$T_{S5}$  : Soğutma tankının dış yüzeyinin sıcaklığı ( $^{\circ}C$ );

$T_c$  : Peltierin soğuk yüzeyinin sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$T_h$  : Peltierin sıcak yüzeyinin sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

$T_k$  : Soğutucu Kanatçığın sıcaklığı ( $^{\circ}C$ )

Sıcaklık denetimli 5 kV YG Bölücü Sisteminde ısı iletimi ve sıcaklıklar Şekil 3.10'da görüldüğü gibidir.



Şekil 3.10. Sıcaklık Denetimli 5 kV YG Bölücü Sisteminde Isı Dağılımı

Genel ısı denklemine göre;

$$E_d = E_g - E_ç + E_u \quad (3.1)$$

idi. Burada;

$E_d$ : Sistemde depolanan ısı enerjisi;

$E_g$ : Sisteme giren ısı enerjisi;

$E_o$ : Sistemden çıkan ısı enerjisi;

$E_u$ : Sistem içinde üretilen ısı enerjisidir.

### 3.3.1.1. Isı üretilen tankta ısının dağılımı :

Bu bölümdeki tüm ısı ifadeleri birim zamandaki ısı miktarını ifade eder ve birimi Watt'tır. Enerjinin korunumu yasasına göre;

- Dirençler üzerinde depolanan ısı;

$$C_{TD} \frac{dT_{TD}}{dt} = Q_u - Q_{l1} \quad (3.2)$$

Burada;

$Q_u$  : Üretilen ısı  $\cong 2,5$  W ve

$Q_{l1} = \frac{T_{S1} - T_{sy}}{R_1}$  : Dirençlerden akışkana taşınımıyla geçen ısıdır (W).

- Isı üretilen tank içindeki akışkanda depolanan ısı;

$$C_{sy} \frac{dT_{sy}}{dt} = Q_{l1} - Q_{l2} + Q_g - Q_ç \quad (3.3)$$

Burada;

$$Q_{t2} = \frac{T_{sy} - T_{S2}}{R_2} : \text{Akışkandan Isı üretilen tanka taşınımıyla geçen ısıdır (W).}$$

$$Q_g = m c_y T_g : \text{Isı üretilen tanka giren ısı (W)}$$

$$Q_{\phi} = m c_y T_{\phi} : \text{Isı üretilen tanktan çıkan ısı (W)}$$

m: Kütleli akış hızıdır (kg/sn) ve değeri 0 ile 0.152 kg/sn arasındadır (Johnson Pump, 1999).

Görüldüğü gibi ısı üretilen tankın içindeki yağda depolanan ısı, ısı üretilen tanka giren ısı ve dirençlerden yağa taşınımıyla geçen ısı ile ısı üretilen tanktan çıkan ısı ve yağdan ısı üretilen tankın yan yüzlerine taşınımıyla kaybedilen ısı arasındaki farka eşittir.  $\Delta T = T_g - T_{\phi}$  olarak ifade edilirse ;

$$Q_{net} = m c_y \Delta T : \text{Isı üretilen tanktan zorlamalı taşınımıyla uzaklaştırılan net ısı (W)}$$

olur.  $T_g < T_{\phi}$  olduğundan işareti (-) olarak alınabilir , bu durumda ısı üretilen tanktan ısı çekileceği görülmektedir. Böylece Denklem 3.3 ;

$$C_{sy} \frac{dT_{sy}}{dt} = Q_{t1} - Q_{t2} - Q_{net} \quad (3.4)$$

şeklini alır.

- Isı üretilen tankın yan duvarlarında depolanan ısı;

$$C_{ps} \frac{dT_p}{dt} = Q_{t2} - Q_{t3} \quad (3.5)$$

Burada;

$$Q_{t3} = \frac{T_{S3} - T_{\infty}}{R_3} : \text{Isı üretilen tanktan çıkan ısıdır (W).}$$

### 3.3.1.2. Soğutucu tank kısmında ısının dağılımı :

- Soğutucu tank içindeki akışkanda depolanan ısı;

$$C_{sty} \frac{dT_{sty}}{dt} = Q_{gt} - Q_{çt} - Q_{t4} \quad (3.6)$$

Burada;

$$Q_{t4} = \frac{T_{sty} - T_{S4}}{R_4} : \text{Soğutma tankındaki akışkandan soğutma tankına taşınım ile geçen ısıdır (W).}$$

$$Q_{gt} = m c_y T_{gt} : \text{Soğutma tankındaki akışkana giren ısı (W)}$$

$$Q_{çt} = m c_y T_{çt} : \text{Soğutma tankındaki akışkandan çıkan ısı (W)}$$

$\Delta T_t = T_{gt} - T_{çt}$  olarak ifade edilirse,  $T_{gt} > T_{çt}$  olduğundan işareti (+) olacaktır. Buradan soğutma tankına dışarıdan ısı geçişi olduğu görülmektedir. Isı geçişinin olduğu borularda dışarıya ısı kaybı olmadığından  $T_{gt} \cong T_{çt}$ ,  $T_{çt} \cong T_g$  ve  $\Delta T_t = -\Delta T$  kabul edilebilir. Bu durumda soğutma tankına giren net ısı, ısı üretilen tanktan zorlamalı taşınım ile uzaklaştırılan net ısıya eşit olacaktır ;

$$Q_{netst} = -Q_{net} = -m c_y \Delta T \quad (W) \quad (3.7)$$

Böylece Denklem 3.6 ;

$$C_{sty} \frac{dT_{sty}}{dt} = Q_{net} - Q_{t4} \quad (3.8)$$

şekline dönüşür.



- Soğutucu tankın gövdesinde depolanan ısı 3.8 denlemiyle ifade edilir;

$$C_{st} \frac{dT_{st}}{dt} = Q_{t4} - Q_{t,c} \quad (3.9)$$

Burada;

$$Q_{t,c} = \frac{T_{S5} - T_C}{R_{2t,c}} : \text{Soğutma tankının dış yüzeyinden, peltierin temas eden soğuk yüzeyine geçen ısıdır (W).}$$

$R_{t,c}$  çok düşük olduğundan  $T_{S5} \cong T_C$  'dir. Soğutma tankının dış yüzeyindeki ısının tamamı peltierin soğuk yüzeyinden peltierin sıcak yüzeyine aktarılır. Bu nedenle  $Q_{t,c}$  yerine doğrudan peltier tarafından sistemden çekilen ısı yük olan  $Q_C$  kullanılabilir. Peltier tarafından yüzeyden çekilen ısı yük peltierin katalog bilgilerinden bulunur (W) ;

$$Q_C = Q_{enb} \left( 1 - \frac{T_h - T_c}{\Delta T_{enb}} \right) \quad (3.10)$$

Böylece denklem 3.9'un yeniden düzenlenmiş hali aşağıdaki gibi olur;

$$C_{st} \frac{dT_{st}}{dt} = Q_{t4} - Q_C \quad (3.11)$$

- Soğutucu kanatçıklarda depolanan ısı;

$$C_k \frac{dT_k}{dt} = Q_h - Q_{t5} \quad (3.12)$$

Burada,

$Q_h = P_{gir} + Q_C$  : Peltierin sıcak yüzeyine geçen toplam ısıdır.

$Q_{t5} = \frac{T_k - T_\infty}{R_k}$  : Kanatçıktan ortama taşınan toplam ısıdır (W);

### 3.3.2. Isı geçişlerinin durum denklemleri cinsinden ifadesi

Isı üretilen tank için ;

$$\frac{dT_{TD}}{dt} = \frac{Q_a}{C_{TD}} - \left( \frac{T_{S1} - T_{sy}}{R_1 C_{TD}} \right) \quad (3.13)$$

$$\frac{dT_{sy}}{dt} = \left( \frac{T_{S1} - T_{sy}}{R_1 C_{sy}} \right) - \left( \frac{T_{sy} - T_{S2}}{R_2 C_{sy}} \right) - \frac{m c_y (T_g - T_\varphi)}{C_{sy}} \quad (3.14)$$

$$\frac{dT_p}{dt} = \left( \frac{T_{sy} - T_{S2}}{R_2 C_{ps}} \right) - \left( \frac{T_{S3} - T_\infty}{R_3 C_{ps}} \right) \quad (3.15)$$

Soğutma Tankı;

$$\frac{dT_{sty}}{dt} = \frac{m c_y (T_g - T_\varphi)}{C_{sty}} - \left( \frac{T_{sty} - T_{S4}}{R_4 C_{sty}} \right) \quad (3.16)$$

$$\frac{dT_{st}}{dt} = \left( \frac{T_{sty} - T_{S4}}{R_4 C_{st}} \right) - \frac{Q_{enb}}{C_{st}} \left( 1 - \frac{T_h - T_c}{\Delta T_{enb}} \right) \quad (3.17)$$

$$\frac{dT_k}{dt} = \frac{P_{gir}}{C_k} + \frac{Q_{enb}}{C_k} \left( 1 - \frac{T_h - T_c}{\Delta T_{enb}} \right) - \left( \frac{T_k - T_\infty}{C_k R_k} \right) \quad (3.18)$$

Burada;

$$x_1 = T_{TD} \cong T_{S1},$$

$$x_2 = T_{sy} = T_{\zeta} = T_{alt},$$

$$x_3 = T_p \cong T_{S2} \cong T_{S3},$$

$$x_4 = T_{sty} = T_g = T_{üst}$$

$$x_5 = T_{st} \cong T_{S4} \cong T_{S5} \cong T_c$$

$$x_6 = T_h \cong T_k$$

$$x_7 = T_{\infty}$$

durum değişkenleri olarak düşünülürse ısı üretilen tanka ait denklemler ;

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{Q_u}{C_{TD}} - \frac{x_1}{R_1 C_{TD}} + \frac{x_2}{R_1 C_{TD}} \quad (3.19)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = \frac{x_1}{R_1 C_{sy}} - \frac{x_2}{R_1 C_{sy}} - \frac{x_2}{R_2 C_{sy}} + \frac{x_3}{R_2 C_{sy}} - \frac{m c_y (x_4 - x_2)}{C_{sy}} \quad (3.20)$$

$$\frac{dx_3}{dt} = \frac{x_2}{R_2 C_{ps}} - \frac{x_3}{R_2 C_{ps}} - \frac{x_3}{R_3 C_{ps}} + \frac{T_{\infty}}{R_3 C_{ps}} \quad (3.21)$$

ve Soğutma Tankına ait denklemler ;

$$\frac{dx_4}{dt} = \frac{m c_y (x_4 - x_2)}{C_{sty}} - \frac{x_4}{R_4 C_{sty}} + \frac{x_5}{R_4 C_{sty}} \quad (3.22)$$

$$\frac{dx_5}{dt} = \frac{x_4}{R_4 C_{st}} - \frac{x_5}{R_4 C_{st}} - \frac{Q_{enb}}{C_{st}} \left( 1 - \frac{x_6 - x_5}{\Delta T_{enb}} \right) \quad (3.23)$$

$$\frac{dx_6}{dt} = \frac{P_{gir}}{C_k} + \frac{Q_{enb}}{C_k} \left( 1 - \frac{x_6 - x_5}{\Delta T_{enb}} \right) - \left( \frac{x_6 - T_\infty}{C_k R_k} \right) \quad (3.24)$$

şeklini alır. Denklemlerin düzenlenmiş hali aşağıdaki gibidir;

Isı Üretilen Tank;

$$\dot{x}_1 = \left( \frac{1}{C_{TD}} \right) Q_{\bar{a}} - \left( \frac{1}{R_1 C_{TD}} \right) x_1 + \left( \frac{1}{R_1 C_{TD}} \right) x_2 \quad (3.25)$$

$$\dot{x}_2 = \left( \frac{1}{R_1 C_{sy}} \right) x_1 - \left( \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} - m c_y \right) \frac{1}{C_{sy}} \right) x_2 + \left( \frac{1}{R_2 C_{sy}} \right) x_3 - \left( \frac{m c_y}{C_{sy}} \right) (x_4) \quad (3.26)$$

$$\dot{x}_3 = \left( \frac{1}{R_2 C_{ps}} \right) x_2 - \left( \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \frac{1}{C_{ps}} \right) x_3 + \left( \frac{1}{R_3 C_{ps}} \right) T_\infty \quad (3.27)$$

Soğutma Tankı;

$$\dot{x}_4 = \left( \left( m c_y - \frac{1}{R_4} \right) \frac{1}{C_{sty}} \right) x_4 - \left( \frac{m c_y}{C_{sty}} \right) x_2 + \left( \frac{1}{R_4 C_{sty}} \right) x_5 \quad (3.28)$$

$$\dot{x}_5 = \left( \frac{1}{R_4 C_{st}} \right) x_4 - \left( \left( \frac{1}{R_4} + \frac{Q_{enb}}{\Delta T_{enb}} \right) \frac{1}{C_{st}} \right) x_5 + \left( \frac{Q_{enb}}{\Delta T_{enb} C_{st}} \right) x_6 - \frac{Q_{enb}}{C_{st}} \quad (3.29)$$

$$\dot{x}_6 = \left( \frac{Q_{enb}}{\Delta T_{enb} C_k} \right) x_5 - \left( \left( \frac{Q_{enb}}{\Delta T_{enb}} + \frac{1}{R_k} \right) \frac{1}{C_k} \right) x_6 + \left( \frac{1}{C_k R_k} \right) T_\infty + \left( \frac{1}{C_k} \right) P_{gir} + \frac{Q_{enb}}{C_k} \quad (3.30)$$

Sistemin dinamik denklemlerinin genel ifadesi

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (3.31)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t)$$

olmak üzere burada;

- A matrisi :

$$A = \begin{bmatrix} \frac{-1}{R_1 C_{TD}} & \frac{1}{R_1 C_{TD}} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{R_1 C_{sy}} & \frac{mc_y R_1 R_2 - R_1 - R_2}{R_1 R_2 C_{sy}} & \frac{1}{R_2 C_{sy}} & \frac{-mc_y}{C_{sy}} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{R_2 C_{ps}} & \frac{-R_2 - R_3}{R_2 R_3 C_{ps}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-mc_y}{C_{sty}} & 0 & \frac{mc_y R_4 - 1}{R_4 C_{sty}} & \frac{1}{R_4 C_{sty}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{R_4 C_{st}} & \frac{-\Delta T_{enb} - Q_{enb} R_4}{\Delta T_{enb} R_4 C_{st}} & \frac{Q_{enb}}{\Delta T_{enb} C_{st}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{Q_{enb}}{\Delta T_{enb} C_k} & \frac{-Q_{enb} R_k - \Delta T_{enb}}{\Delta T_{enb} R_k C_k} \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

- B matrisi;

$$B = \begin{bmatrix} \frac{Q_d}{C_{TD}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{R_3 C_{ps}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{-Q_{enb}}{C_{st}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{C_k R_k} & 0 & \frac{Q_{enb}}{C_k} & \frac{1}{C_k} \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

- C matrisi;

$$C = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0] \quad (3.34)$$

- D matrisi;

$$D = 0 \quad (3.35)$$

- $x(t)$  durum vektörü

$$x(t) = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

- $u(t)$  giriş vektörü :

$$u(t) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ T_\infty \\ 0 \\ 1 \\ P_{gir} \end{bmatrix} \quad (3.37)$$

şeklindedir. 3.31 ifadesinin Laplace karşılığı ve transfer ilişkisi;

$$X(s) = (sI - A)^{-1} BU(s) \quad (3.38)$$

$$Y(s) = C (sI - A)^{-1} BU(s)$$

şeklindedir.

### 3.3.3. Sistemin Simulink Eşdeğer Blok Modeli

Sistemin durum denklemleri düzenlenerek aşağıdaki ısı modeli oluşturulur.

$$\dot{x}_1 = \frac{1}{C_{TD}} \left[ Q_u - \frac{1}{R_1} (x_1 - x_2) \right] \quad (3.39)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{1}{C_{sy}} \left[ \frac{1}{R_1} (x_1 - x_2) - \frac{1}{R_2} (x_2 - x_3) - m c_y (x_4 - x_2) \right] \quad (3.40)$$

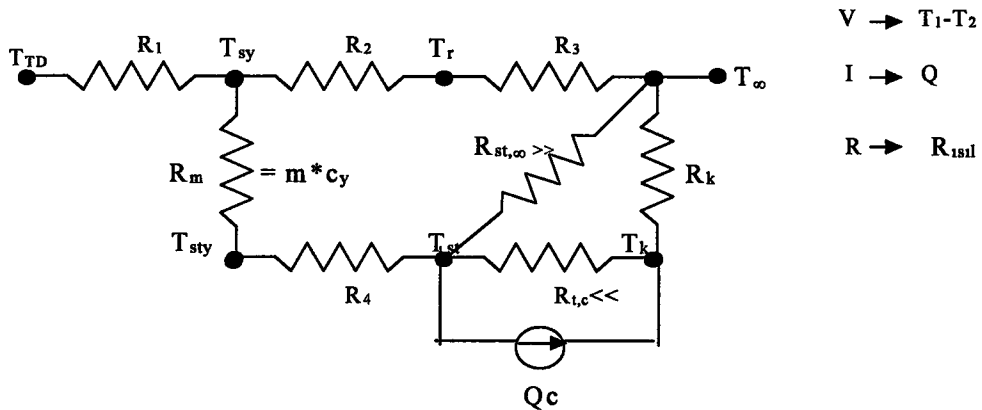
$$\dot{x}_3 = \frac{1}{C_{ps}} \left[ \frac{1}{R_2} (x_2 - x_3) + \frac{1}{R_3} (x_7 - x_3) \right] \quad (3.41)$$

$$\dot{x}_4 = -\frac{1}{C_{sty}} \left[ \frac{1}{R_4} (x_4 - x_5) - m c_y (x_4 - x_2) \right] \quad (3.42)$$

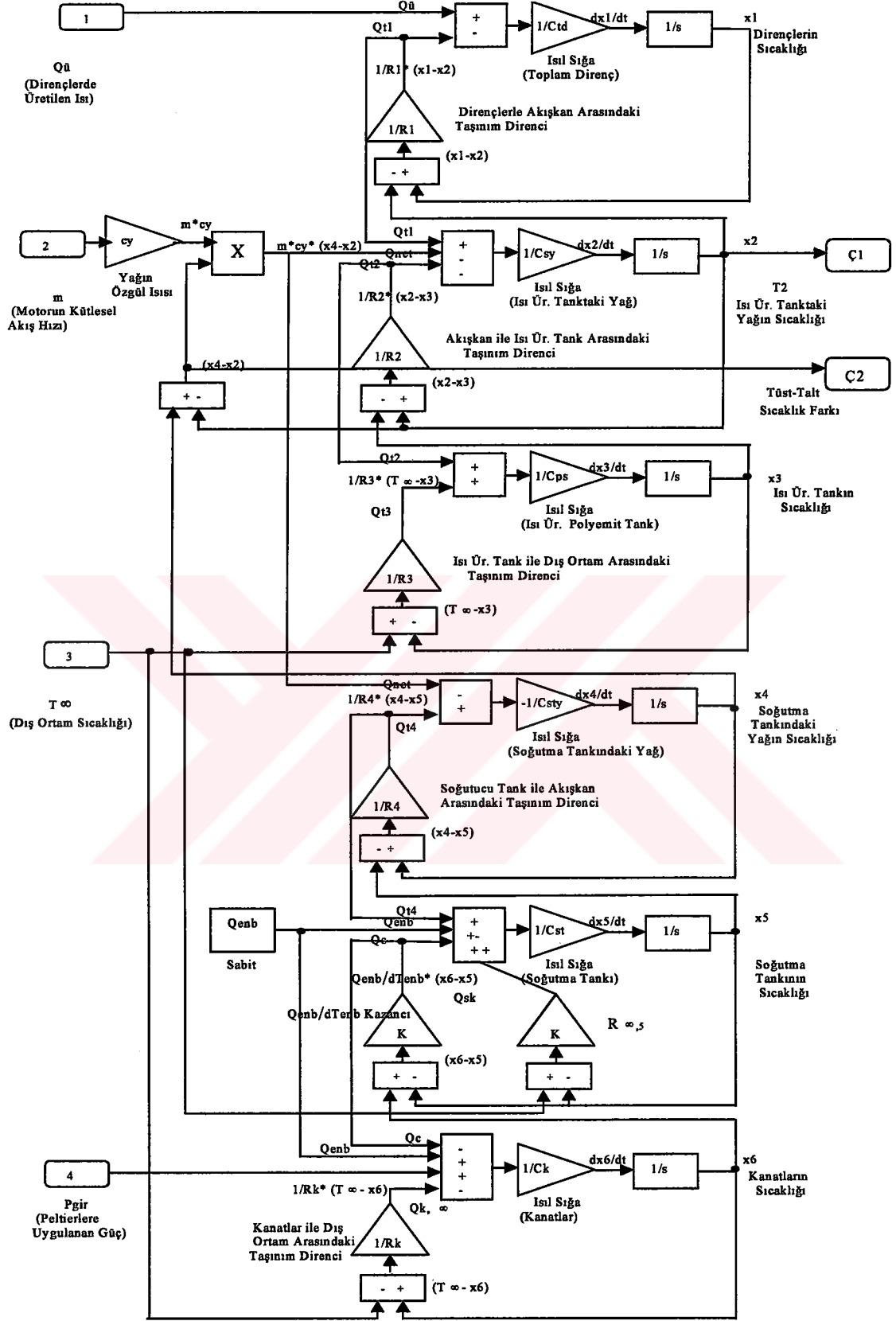
$$\dot{x}_5 = \frac{1}{C_{st}} \left[ -Q_{enb} + \frac{1}{R_4} (x_4 - x_5) + \frac{Q_{enb}}{\Delta T_{enb}} (x_6 - x_5) \right] \quad (3.43)$$

$$\dot{x}_6 = \frac{1}{C_k} \left[ \frac{-Q_{enb}}{\Delta T_{enb}} (x_6 - x_5) + \frac{1}{R_k} (T_\infty - x_6) + P_{gir} + Q_{enb} \right] \quad (3.44)$$

Peltierlere uygulanan  $P_{gir}$  gücü ve motorun kütleli akış hızı  $m$ , giriş değişkenleri olarak, dış ortam sıcaklığı  $T_\infty$  ve dirençlerde üretilen ısı  $Q_u$  sabit girişler olarak alınmıştır. Çıkış olarak ise dirençlerin bulunduğu ısı üretilen tanktaki yağın sıcaklığı  $T_2$  ve dirençler boyunca oluşan sıcaklık farkı  $T_{üst} - T_{alt}$  alınmıştır. Sistemin basitleştirilmiş elektriksel eşdeğeri Şekil 3.11’de, Simulink eşdeğer blok modeli ise Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Sistemin ısı iletim modelinin basitleştirilmiş elektriksel eşdeğeri



Şekil 3.12. Sıcaklığı Denetlenen Sistemin Eşdeğer Blok Modeli



## BÖLÜM 4. DENETİM YÖNTEMLERİ

### 4.1. PID Denetim Yöntemi

Günümüzde, denetim sistemlerinin tasarımına ilişkin çok sayıda çözüm yöntemleri sunulmasına karşın, PID (Oransal, integral, türev) denetleyiciler hala endüstriyel denetim sistemlerinde en yaygın kullanılan denetleyici türüdür (Kurtulan 2001). Bunun nedeni bu denetleyicilerin endüstriyel denetim sistemlerinin büyük çoğunluğunu oluşturan bir girişli ve bir çıkışlı sistemler için çoğu kez yeterli çözümler vermesidir.

PID denetleyici ile hata, hatanın zamana bağlı integrali ve hatanın değişimine bağlı olarak bir denetim işareti üretilir. Bu tür bir denetleyiciye ilişkin matematiksel ifade genel olarak;

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (4.1)$$

biçiminde veya endüstriyel uygulamalarda genel olarak

$$u(t) = K_C \left( e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t) dt + T_D \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (4.2)$$

biçiminde verilir. Burada

$K_P$  : Oransal katsayı ,  $K_I$  : İntegral katsayısı ,  $K_D$  : Türev katsayısı

$K_C$  : Toplam denetleyici kazancı ,  $T_I$  : İntegral zamanı ,  $T_D$  : Türev zamanı

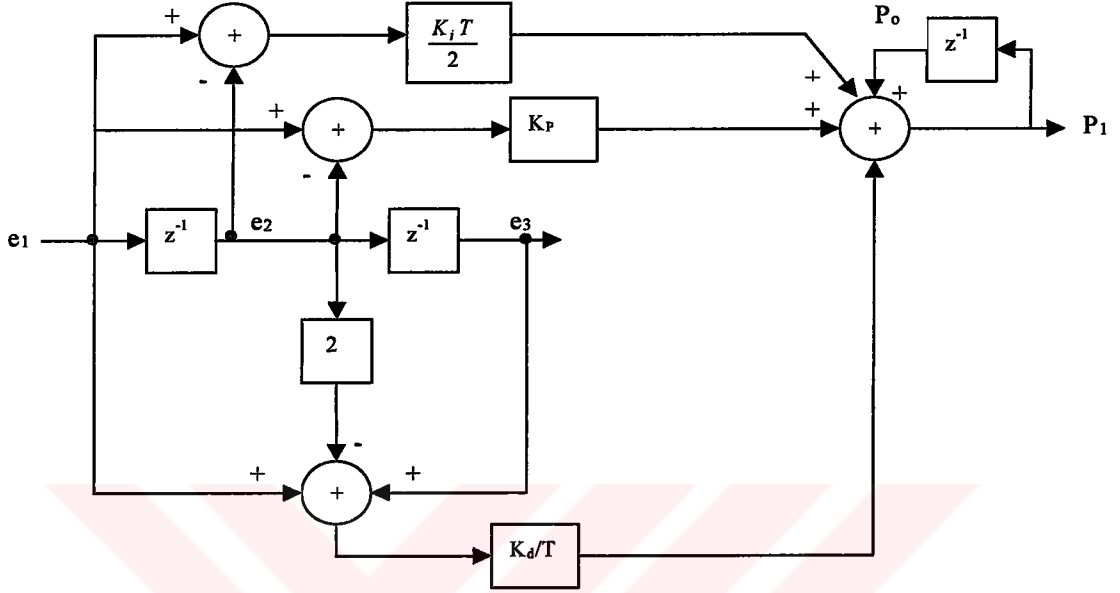
$e(t)$  : Hata işareti ,  $u(t)$  : Denetim işareti

olarak tanımlanır.

#### 4.1.1. Sayısal PID denetleyici :

PID denetimi, (4.1) veya (4.2) ifadelerinin sayısal çözümleri ile gerçekleşir. Bu ifadelerin sayısal olarak gerçekleşmesi için genel sayısal çözümleme yöntemleri ya

da denetim kuramında bilinen z-tanım bölgesi transfer işlevi ve fark denklemleri kavramlarından yararlanır (Tombaloğlu 2001). Yaklaşık trapezoidal integrasyon ve türev kullanılarak Şekil 4.1 'deki PID algoritması elde edilebilir.



**Şekil 4.1.** Gerçeklenen PID Denetleyicinin Yapısı

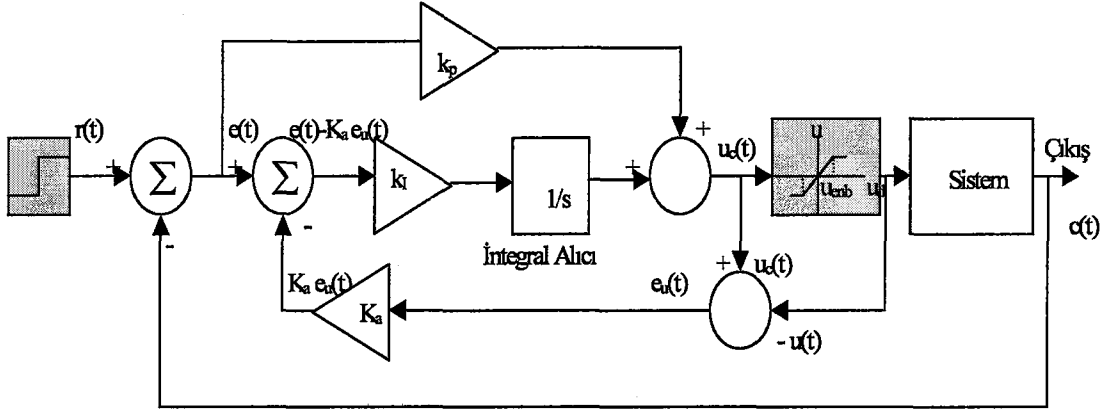
Programda kullanılacak denetim denklemi aşağıdaki gibi düzenlenir.

$$Y(t)=Y(t-1)+K_p* [e(t) - e(t-1)]+K_i*[ e(t) + e(t-1)]+K_d*[ e(t) - 2e(t-1) + e(t-2)] \quad (4.3)$$

#### 4.1.2. Integral yığılmasının önlenmesi

Herhangi bir gerçek denetim sisteminin çalışma sınırları kısıtlı olduğundan, bu sistemin etkiyen organının çıkışı belirli bir değerden sonra doyuma gider (Franklin et al 2001). Örneğin bir valf tamamen açıldığında veya kapandığında doyuma girer. Havadaki bir uçağın konumu sınırlı açılar arasında denetlenebilir. Bir etki organı doyuma girdiğinde, sürece gelen denetim işaretindeki değişim durur ve geribildirim yolu tamamen açılır, açık çevrim oluşur. Bu koşullar altında, integral alıcı girişine hata işareti uygulanmaya devam ederse hata işaret değiştirip entegrasyon bitene kadar, integral alıcının depoladığı değer yığılarak büyür (windup). Hatayı azaltmak için çıkış işareti de büyür ve büyük bir aşma meydana gelir. Integral alıcı açık çevrimde kararsız bir eleman haline gelir. Bu nedenle doyum oluştuğu durumlarda

kararlı hale getirilmesi gerekir. Şekil 4.2'deki geri bildirimli sistemde, verilen referans işareti, etki organının çıkışını  $u_{enb}$ 'de doyuma ulaştıracak şekilde seçilmiştir.



Şekil 4.2. Bir PI Denetleyici için Integral Yığılma Önleyici Devre (Franklin et al 2001)

İntegral alıcı  $e$  hatasını entegre etmeye devam etmektedir ve  $u$  denetim işareti büyümektedir. Bununla birlikte, sistemin girişi en büyük değer olan  $u = u_{enb}$ 'de sınırlandırılmıştır. Sistemin çıkışı referans değerini geçip, hata işaret değiştirene kadar, hata büyümeye devam edecektir.  $u_c$ 'deki değişim etkili olamamaktadır çünkü,  $u_c$  artsa bile sistemin girişi değişmemektedir. Üstelik bu artan değerden, denetimin doyumda olmadığı doğrusal band içindeki bir değere tekrar düşürebilmek için ters işaretli oldukça büyük bir  $e$  hata işareti olması gerekir.

Bu problemin çözümü, etki organı doyuma girdiğinde, integral işlemi "kapatan" bir integral yığılması önleyici (integrator anti-windup) devresidir. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi, etkiyen organ doyuma girince, integral alıcının çevresindeki geribildirim döngüsü, aktif hale gelir ve integral alıcının girişine gelen hata işaretini azaltıcı yönde etki eder. İntegral alıcı, bu sırada birinci dereceden faz gerilemeli denetleyiciye dönüşür. İntegral yığılmasını önleyici kazancı  $K_a$ , bütün hata durumlarında, integral alıcının girişini yeterince küçük tutabilecek şekilde seçilir. Programda kullanılacak olan 4.3 denklemi,

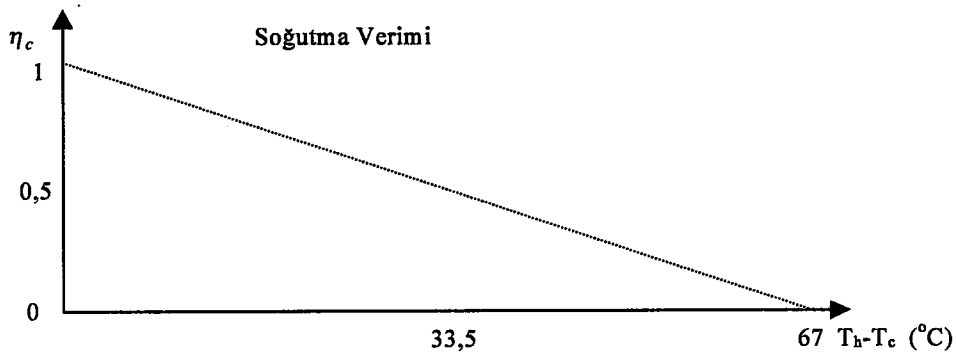
$$c(t) = c(t-1) + K_p * [e(t) - e(t-1)] + K_i * [e(t) + e(t-1) - K_a * e_u] + K_d * [e(t) - 2e(t-1) + e(t-2)] \quad (4.4)$$

şekline dönüşür. Denetim işareti, istenen doyum değerinin altında olduğu sürece  $e_u$  integral yığılması düzeltme işareti sıfır alınır ve böylece düzeltme işareti devreye

girmez, doyum değerine ulaşıncaya,  $e_u$  ,  $K_a$  kazancıyla orantılı olarak, integral yığılmasını azaltıcı yönde iş yapar.

#### 4.1.3. Uygulama için gerekli PID denetleyici algoritmasının oluşturulması

Sıcaklık denetleyicisinin tasarlanması: PID sıcaklık denetim uygulamasında, peltier elemanlarına uygulanacak gerilimin denetimi için 4. bölümde açıklanan ve genel yapısı verilen (Bkz. Şekil 4.1) sayısal PID denetleyici kullanılmıştır. Sistem sıcaklığı yavaş değiştiği için denetleyicinin PI denetim kısmı kullanılmıştır, bu nedenle türev katsayısı 0 alınmıştır. Uygulama sırasında, sistem sıcaklığının yavaş değişmesinden dolayı denetleyiciyi temsil eden eşitlikteki (Bkz. Eşitlik 4.3) integral kısmına ait toplam teriminden dolayı, buradaki düzeltme teriminin sürekli olarak büyüdüğü ve eşitlikten de görülebileceği gibi, bir süre sonra çıkış gerilimini, en büyük gerilim olan 10V'a çıkararak doyuma girdiği görülmüştür. Bunun üzerine, şekilde (Bkz. Şekil.4.2) gösterilen integral denetimli geribesleme kullanılarak integral yığılmasının önüne geçilmiştir. Uygulamada kullanılan denetleyiciyi temsil eden ifade, bir önceki kısımda açıklanan ve buradaki eşitlik ile (Bkz. Denk. 4.4) ile temsil edilen integral yığılmasını önleyen PID denetim denklemi olarak yeniden düzenlenmiştir. Bu eşitlik, uygulanan gerilimle soğutmanın doğrusal olarak değiştiği ideal durumlar için yeterli çözüm olmakla birlikte, peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının soğutma verimine etkisi göz önüne alınmadığından dolayı denetim için yetersizdir. Peltier elemanı katalog bilgilerinde verilen denkleme göre (Bkz. Denklem 3.10), soğutma verimi Şekil 4.3'te görüldüğü gibi değişmektedir. Peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı büyüdükçe soğutma verimi düşer ve sıcaklık farkı kritik  $\Delta T_{enb}=67^\circ\text{C}$  değerine ulaşınca sıfır olur.



**Şekil 4.3.** Soğutma Veriminin Peltier Yüzeyleri Arasındaki Sıcaklık Farkına Göre Değişimi .

Bu durumda, verim düştüğünde aynı soğutmayı elde edebilmek için eşitlik (Bkz. Denklem 4.4) yeniden düzenlenir ve soğutma verimi, bir düzeltme faktörü olarak denetim ifadesine Eşitlik 4.5'te görüldüğü gibi eklenir.

Paralel bağlı iki peltier elemanın direnci  $R_{peltier} \cong 1,087 \Omega$  olduğu için peltier elemanlarına uygulanan güç ( $P_{gir} = V_p^2 / R_{peltier} \cong V_p^2$ ) peltier elemanlarına uygulanan gerilimin yaklaşık olarak karesidir. Bu nedenle soğutma verimi ile peltier gerilimi arasında doğrusal değil karesel bir ilişki vardır. Verim ifadesi göz önüne alındığında (Bkz. Eşitlik 4.6), paydada bulunan verim terimi, sisteme uygulanacak toplam güç üzerinde etkili olacağından, gerilim ifadesinin tümünün paydasında olması daha uygun görülmektedir. Fakat tüm gerilim ifadesini verime bölmek, gürültü veya algılamada meydana gelen hatalar nedeniyle paydadaki çarpanın sistem çıkışında büyük ve ani değişimler yapmasına neden olmuştur. Bu nedenle bir önceki çıkış gerilim bilgisi korunurken verim, bu bilgiye eklenecek düzeltme faktörüne etki eder.

$$Y(t) = Y(t-1) + \frac{Kp * [e(t) - e(t-1)] + Ki * [e(t) + e(t-1) - Ka * eu] + Kd * [e(t) - 2e(t-1) + e(t-2)]}{\sqrt{\eta_c}} \quad (4.5)$$

Burada ;

$$\eta_c = \frac{Q_c}{P_{gir}} = \left(1 - \frac{T_h - T_c}{\Delta T_{enb}}\right) \cong \frac{Q_c}{Y^2} \quad (4.6)$$

$$e(t) = \frac{Q_{toplam}}{m * c_p} \quad (4.7)$$

dir. Şayet,  $e(t)$  hata işareti sadece ısının üretildiği tank içindeki yağın istenen değeriyle gerçek değeri arasındaki sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) olsaydı,  $Q_{toplam}$ , sıcaklığı gerçek değerden istenen değere düşürmek için akışkandan uzaklaştırılması gereken ısı olurdu ve " $m c_p \Delta T$ " ifadesinden bulunabilirdi. Fakat sıcaklığı istenen değere düşürebilmek için daha önce dirençlerin ürettiği ısıya ( $Q_u$ ) ve motorun sürtünme ısısına ( $Q_m$ ) karşı iş yapılması gerekmektedir. Bunlar yenildikten sonra soğutmaya geçilebilir. Bu nedenle

$$Q_{toplam} = Q_{soğutma} + Q_u + Q_m \quad (4.8)$$

olur. Burada

$$Q_{sogutma} = m c_p \Delta T \quad (4.9)$$

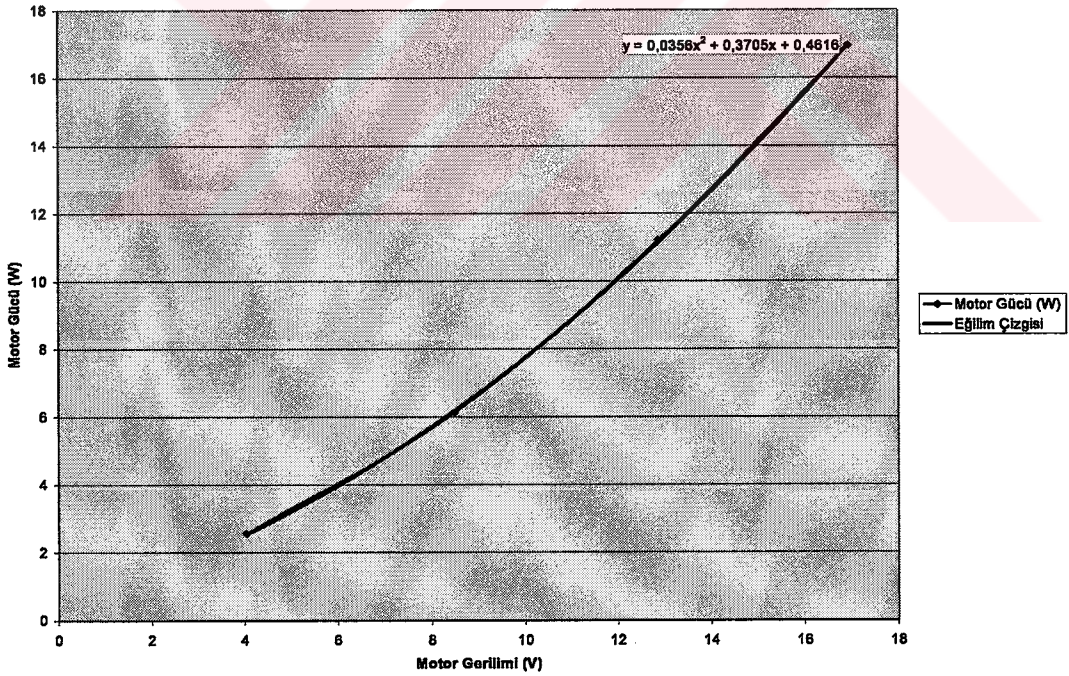
5KV'luk kaynak için

$$Q_u = \frac{V^2}{R} = \frac{(5 \cdot 10^3)^2}{10 \cdot 10^6} = 2,5 \text{ W} \quad (4.10)$$

bulunur. Motorun sürtünme ısısı ise

$$Q_m \cong 0,51 \cdot (P_m) = 0,51 \cdot (V_m \cdot I_m) \quad (4.11)$$

formülünden hesaplanır. Motor gücü ( $P_m$ ) ile motor gerilimi arasında hatırlanacağı gibi karesel bir ilişki vardı (Bkz. Tablo 5.1). Tablodaki değerler grafik olarak çizdirilir ve bir eğri uydurulursa aradaki ilişki Şekil 4.4'de görüldüğü gibi olur.



Şekil 4.4. Motora Uygulanan Gerilim ile Motor Gücü Arasındaki İlişki.

Bulunan karesel bağıntı, Eşitlik 4.12'de yerine konulursa;

$$Q_m \cong 0,51 \cdot (0,0356 V_m^2 + 0,3705 V_m + 0,4616) = 0,0181 V_m^2 + 0,189 V_m + 0,235416 \quad (4.12)$$

bulunur. Dolayısıyla 4.7 eşitliğindeki e(t) ifadesi;

$$e(t) = \Delta T + \frac{2,5 + 0,0181V_m^2 + 0,189 V_m + 0,235416}{m * c_p} \quad (4.13)$$

şeklini alır.  $T_{üst} - T_{alt}$  sıcaklık farkı denetleyicisinin tasarlanması: Motor hız denetimi uygulaması için ise , Bölüm'ün başında verilen PID denetleyici kullanılmıştır (Bkz. Şekil 4.1). Motorun denetim aralığı 4V ile 8V arasındadır. Bu bölge içinde,  $T_{üst} - T_{alt}$  sıcaklık farkına bağlı olarak motor hızı, bu farkı azaltıcı yönde ayarlanmaktadır.

Sıcaklık ve motor hız denetimi için PID denetleyicilerin kullanıldığı denetim programını açıklayan algoritma Ek-A'da verilmiştir.

## 4.2. Bulanık Küme Kuramı

Bulanık küme kuramından önce modern denetim metodlarında giriş ve çıkışlar arasındaki ilişkiler, ister kuramsal olsun ister sayısal, kesin tanımlamalara gereksinim duymakta idi. Bulanık mantık, giriş ve çıkışlar arasındaki ilişkiyi kesin matematiksel bir formül yerine kurallar adını verdiğimiz bir dizi eğer / o halde ifadesiyle tanımlamaktadır. Bu dilsel ifadeler insan bilgi ve tecrübelerine dayanmaktadır. Kuralların “eğer ” kısmında sistemin olası koşulları “o halde ” kısmında ise sistemin bu koşullara karşı düşen yaklaşık tepkisi ifade edilmektedir.

### 4.2.1. Uygulama için gerekli bulanık denetleyici algoritmasının oluşturulması

Bu uygulamada bulanık denetleyiciler, PID denetim kısmında olduğu gibi, peltier elemanlarını süren DC güç kaynağının akımını ve motoru süren DC güç kaynağının gerilimini denetler. İlk bulanık denetleyici, peltier elemanlarının soğutma oranını ayarlayarak sistemin sıcaklığını sabit tutmayı sağlar. İkinci denetleyici ise motorun hızını ayarlayarak, gerilim bölücü dirençler boyunca oluşan  $T_{üst} - T_{alt}$  sıcaklık farkını en aza indirir.

- Sıcaklık denetleyicisinin tasarlanması

Sistemin sıcaklığı algılanır ve istenen değerle karşılaştırılır. Dirençlerin ve motorun ürettiği ısının yol açtığı hataların katkısı, istenen değerle gerçek sıcaklık arasındaki

hataya eklenir ve bir önceki kısımda bulunan (Bkz. Denklem 4.7) eşitlik elde edilir. Adı geçen eşitlik “Hata” veya “Fark” olarak adlandırılır. Bu fark sistemin temel bulanık dilsel kurallarını belirler. Kurallar aşağıdaki gibidir:

"Eğer Hata çok büyükse sistemi daha çok soğut"

“Eğer Hata sıfır civarındaysa soğutma ”

Sıcaklık denetimi için bu kurallar tek başına yetersizdir. Bulanık denetimde işlemler “Hata” değişkenine ve “Soğutma Verimi” değişkenine bağlı kurallara dayanarak yapılmalıdır. Bu bize soğutma oranını hassas biçimde ayarlayabilme olanağı sağlar. Kurallar şu şekle dönüşür;

"Eğer Hata çok büyükse VE Verim çok düşükse Peltier Gerilimini çok arttır"

.....

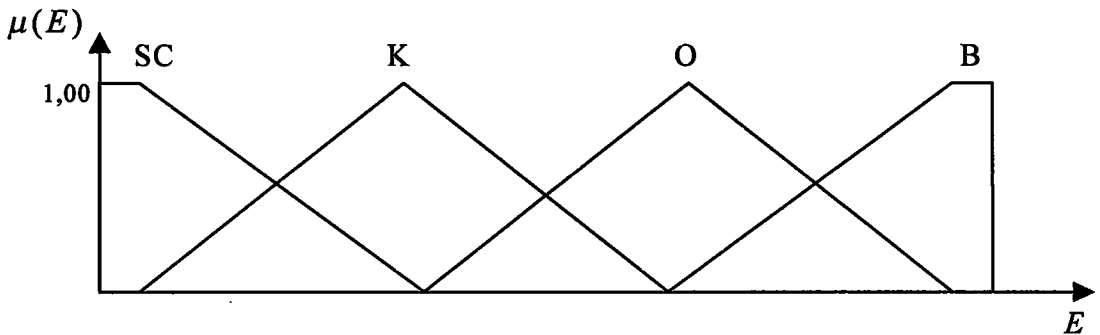
“Eğer Hata sıfır civarındaysa VE Verim çok büyükse Peltiere Gerilim verme”

.....

gibi

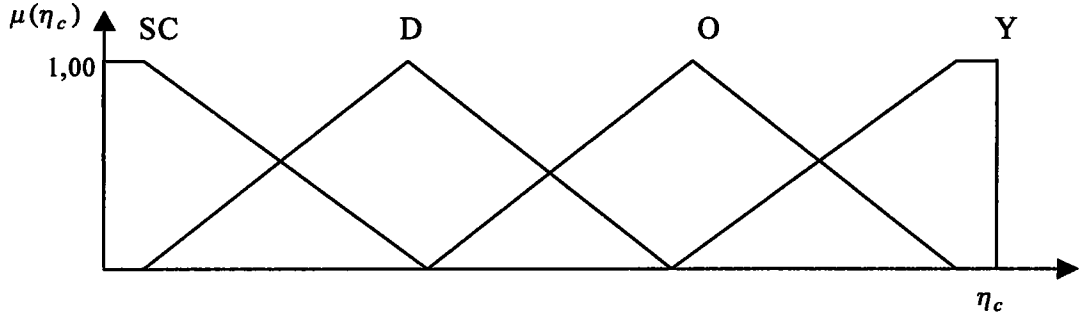
Denetleyiciye ait bu iki giriş değişkeninden Hata, E simgesi ile, Soğutma Verimi ise  $\eta_c$  simgesi ile temsil edilmektedir. Çıkış değişkeni olan Peltier Gerilimi ise  $\dot{Q}_V$  simgesi ile temsil edilmiştir.

Sıcaklık denetiminde kullanılacak üyelik işlevleri: Burada Hata (E), Soğutma Verimi ( $\eta_c$ ) için koşul üyelik işlevleri ve denetleyici çıkışı için ( $\dot{Q}_V$ ) sonuç üyelik işlevleri incelenmiştir.

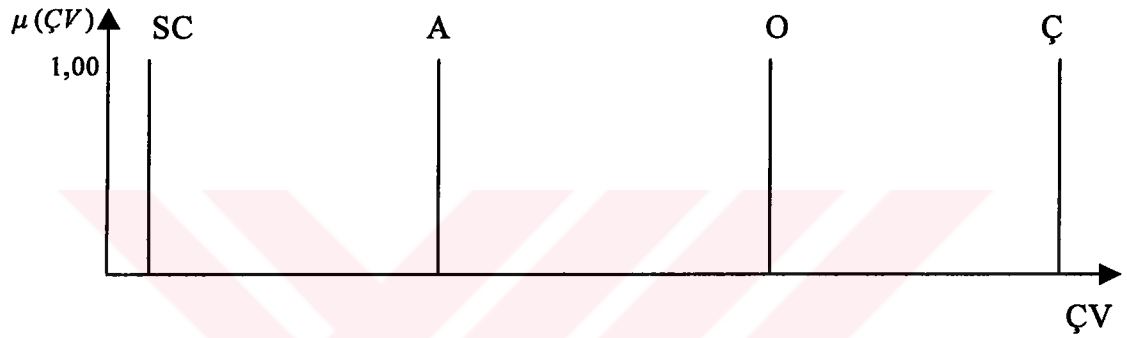


Şekil 4.5. Hata Değişkenine Ait Üyelik İşlevleri





Şekil 4.6. Soğutma Verimi Değişkenine Ait Üyelik İşlevleri



Şekil 4.7. Çıkışı Ayarlayan Değişkene Ait Üyelik İşlevleri

Sıcaklık denetim kurallarının oluşturulması ve ifade edilmesi: Kurallar, sistem ile ilgili bilgi ve geçmiş tecrübelerimizin günlük dilde kullandığımız ifadelerle düzenlenmesi ile oluşturulur. Bu ifadelerin düzenlenmesi için aşağıdaki yol izlenebilir.

Tablo 4.1. Sıcaklık denetim kuralların düzenlenmesi

E	← Eşit Gibi →		← İstenen Değerden Büyük →			
	SC		K		O	B
Verim Yüksek	Y	Soğutma 1	Az Soğut 5	Orta Soğut 9	Çok Soğut 13	
	O	Soğutma 2	Az Soğut 6	Orta Soğut 10	Çok Soğut 14	
Verim Düşük	D	Soğutma 3	Az Soğut 7	Orta Soğut 11	Çok Soğut 15	
	SC	Az Soğut 4	Orta Soğut 8	Çok Soğut 12	Çok Soğut 16	

Simgelere dönüştürme: Bu kısımda Giriş verisi, çıkış verisi ve yukarıdaki tablodaki ifadeler Tablo 4.2’de görüldüğü gibi simgelere dönüştürülür.

- Giriş verisi

Hata : E

Soğutma Verimi:  $\eta_c$

- Çıkış verisi:

Peltierlerin Soğutma Oranının

Ayarlanması:  $\text{ÇV}$

**Tablo 4.2** Kural Tabanı ( $\text{ÇV} =$ )

E	SC	K	O	B
$\eta_c$				
Y	S	A	O	Ç
O	S	A	O	Ç
D	S	A	O	Ç
SC	A	O	Ç	Ç

Sıcaklık denetimini ifade eden simgelerin Eğer/O halde kurallarına dönüştürülmesi: Tablo 4.2’deki simgeler bilgisayara girilecek eğer/o halde önermelerine dönüştürülür (Tablo 4.3).

**Tablo 4.3.** Sıcaklık denetimi için oluşturulan Eğer/O halde kuralları

1	Eğer E = SC VE $\eta_c = Y$ O halde $\text{ÇV} = S$
2	Eğer E = SC VE $\eta_c = O$ O halde $\text{ÇV} = S$
3	Eğer E = SC VE $\eta_c = D$ O halde $\text{ÇV} = S$
4	Eğer E = SC VE $\eta_c = SC$ O halde $\text{ÇV} = A$
5	Eğer E = K VE $\eta_c = Y$ O halde $\text{ÇV} = A$
6	Eğer E = K VE $\eta_c = O$ O halde $\text{ÇV} = A$
7	Eğer E = K VE $\eta_c = D$ O halde $\text{ÇV} = A$
8	Eğer E = K VE $\eta_c = SC$ O halde $\text{ÇV} = O$
9	Eğer E = O VE $\eta_c = Y$ O halde $\text{ÇV} = O$
10	Eğer E = O VE $\eta_c = O$ O halde $\text{ÇV} = O$
11	Eğer E = O VE $\eta_c = D$ O halde $\text{ÇV} = O$
12	Eğer E = O VE $\eta_c = SC$ O halde $\text{ÇV} = \text{Ç}$
13	Eğer E = B VE $\eta_c = Y$ O halde $\text{ÇV} = \text{Ç}$
14	Eğer E = B VE $\eta_c = O$ O halde $\text{ÇV} = \text{Ç}$
15	Eğer E = B VE $\eta_c = D$ O halde $\text{ÇV} = \text{Ç}$
16	Eğer E = B VE $\eta_c = SC$ O halde $\text{ÇV} = \text{Ç}$

Soğutma verimi  $\eta_c$ , ölçerek doğrudan sayısal değerini bulabildiğimiz bir giriş değişkeni değildir. PID denetimde olduğu gibi, ideal şartlar kabul edilip Denklem 3.10’dan  $\eta_c$ ’nin  $T_h - T_c$ ’ye göre değişimi hesaplanabilir. Fakat gerçekte soğutma

verimi'nin  $T_h-T_c$ 'ye göre değişimi doğrusal olmadığı gibi, motor hızına da bağlıdır (Bkz. Şekil 5.14). Doğrusal olmayan bu değişim Tablo 4.4'te görüldüğü gibi yine bulanık mantık kurallarıyla ifade edilebilir. Kurallar, Şekil 5.14'te sonuçları görülen deneysel gözlemlerden yararlanılarak, verimin motor gerilimine ve  $T_h-T_c$  sıcaklık farkına göre değişiminden türetilir. Burada  $T_h-T_c$  simgesi, peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkını,  $V_m$  simgesi, motora uygulanan gerilimi temsil eder. Motora uygulanan gerilim düşük (D simgesi) ya da yüksek (Y simgesi) olabilir.

**Tablo 4.4.** Soğutma verimi ile  $V_m$  ve  $T_h-T_c$  ilişkisini ifade eden kurallar

1	Eğer $V_m = D$ VE $T_h-T_c = SC$ O halde $\eta_c = Y$
2	Eğer $V_m = D$ VE $T_h-T_c = D$ O halde $\eta_c = Y$
3	Eğer $V_m = D$ VE $T_h-T_c = O$ O halde $\eta_c = O$
4	Eğer $V_m = D$ VE $T_h-T_c = B$ O halde $\eta_c = D$
5	Eğer $V_m = Y$ VE $T_h-T_c = SC$ O halde $\eta_c = SC$
6	Eğer $V_m = Y$ VE $T_h-T_c = D$ O halde $\eta_c = Y$
7	Eğer $V_m = Y$ VE $T_h-T_c = O$ O halde $\eta_c = O$
8	Eğer $V_m = Y$ VE $T_h-T_c = B$ O halde $\eta_c = D$

$T_h-T_c$  sıcaklık farkı, sıfır civarında (SC simgesi), düşük (D simgesi), orta (O simgesi) veya büyük (B simgesi) olabilir.  $\eta_c$ 'nin çıkış olarak hesaplandığı kuralları,  $\eta_c$ 'nin giriş olarak verildiği kurallarda yerine koyarsak, girişlerden biri olan verimin yerini  $T_h-T_c$  ve  $V_m$  girişleri alır (Tablo 4.5) ;

**Tablo 4.5.**  $V_m$  ve  $T_h-T_c$  girişleri eklenen, yeni sıcaklık denetim kuralları

1	Eğer $E = SC$ VE $\eta_c = Y$ ( $V_m = D$ VE $T_h-T_c = SC$ ) O halde $\zeta V = S$
2	Eğer $E = SC$ VE $\eta_c = Y$ ( $V_m = D$ VE $T_h-T_c = D$ ) O halde $\zeta V = S$
3	Eğer $E = SC$ VE $\eta_c = Y$ ( $V_m = Y$ VE $T_h-T_c = D$ ) O halde $\zeta V = S$
4	Eğer $E = SC$ VE $\eta_c = O$ ( $V_m = D$ VE $T_h-T_c = O$ ) O halde $\zeta V = S$
5	Eğer $E = SC$ VE $\eta_c = O$ ( $V_m = Y$ VE $T_h-T_c = O$ ) O halde $\zeta V = S$
6	Eğer $E = SC$ VE $\eta_c = D$ ( $V_m = D$ VE $T_h-T_c = B$ ) O halde $\zeta V = S$
7	Eğer $E = SC$ VE $\eta_c = D$ ( $V_m = Y$ VE $T_h-T_c = B$ ) O halde $\zeta V = S$
8	Eğer $E = SC$ VE $\eta_c = SC$ ( $V_m = Y$ VE $T_h-T_c = SC$ ) O halde $\zeta V = A$
9	Eğer $E = K$ VE $\eta_c = Y$ ( $V_m = D$ VE $T_h-T_c = SC$ ) O halde $\zeta V = A$
10	Eğer $E = K$ VE $\eta_c = Y$ ( $V_m = D$ VE $T_h-T_c = D$ ) O halde $\zeta V = A$
11	Eğer $E = K$ VE $\eta_c = Y$ ( $V_m = Y$ VE $T_h-T_c = D$ ) O halde $\zeta V = A$
12	Eğer $E = K$ VE $\eta_c = O$ ( $V_m = D$ VE $T_h-T_c = O$ ) O halde $\zeta V = A$
13	Eğer $E = K$ VE $\eta_c = O$ ( $V_m = Y$ VE $T_h-T_c = O$ ) O halde $\zeta V = A$

**Tablo 4.5. (Devam)  $V_m$  ve  $T_h-T_c$  girişleri eklenen, yeni sıcaklık denetim kuralları**

14	Eğer $E = K$ VE $\eta_c = D$ ( $V_m = D$ VE $T_h - T_c = B$ ) O halde $\mathcal{C}V = A$
15	Eğer $E = K$ VE $\eta_c = D$ ( $V_m = Y$ VE $T_h - T_c = B$ ) O halde $\mathcal{C}V = A$
16	Eğer $E = K$ VE $\eta_c = SC$ ( $V_m = Y$ VE $T_h - T_c = SC$ ) O halde $\mathcal{C}V = O$
17	Eğer $E = O$ VE $\eta_c = Y$ ( $V_m = D$ VE $T_h - T_c = SC$ ) O halde $\mathcal{C}V = O$
18	Eğer $E = O$ VE $\eta_c = Y$ ( $V_m = D$ VE $T_h - T_c = D$ ) O halde $\mathcal{C}V = O$
19	Eğer $E = O$ VE $\eta_c = Y$ ( $V_m = Y$ VE $T_h - T_c = D$ ) O halde $\mathcal{C}V = O$
20	Eğer $E = O$ VE $\eta_c = O$ ( $V_m = D$ VE $T_h - T_c = O$ ) O halde $\mathcal{C}V = O$
21	Eğer $E = O$ VE $\eta_c = O$ ( $V_m = Y$ VE $T_h - T_c = O$ ) O halde $\mathcal{C}V = O$
22	Eğer $E = O$ VE $\eta_c = D$ ( $V_m = D$ VE $T_h - T_c = B$ ) O halde $\mathcal{C}V = O$
23	Eğer $E = O$ VE $\eta_c = D$ ( $V_m = Y$ VE $T_h - T_c = B$ ) O halde $\mathcal{C}V = O$
24	Eğer $E = O$ VE $\eta_c = SC$ ( $V_m = Y$ VE $T_h - T_c = SC$ ) O halde $\mathcal{C}V = \mathcal{C}$
25	Eğer $E = B$ VE $\eta_c = Y$ ( $V_m = D$ VE $T_h - T_c = SC$ ) O halde $\mathcal{C}V = \mathcal{C}$
26	Eğer $E = B$ VE $\eta_c = Y$ ( $V_m = D$ VE $T_h - T_c = D$ ) O halde $\mathcal{C}V = \mathcal{C}$
27	Eğer $E = B$ VE $\eta_c = Y$ ( $V_m = Y$ VE $T_h - T_c = D$ ) O halde $\mathcal{C}V = \mathcal{C}$
28	Eğer $E = B$ VE $\eta_c = O$ ( $V_m = D$ VE $T_h - T_c = O$ ) O halde $\mathcal{C}V = \mathcal{C}$
29	Eğer $E = B$ VE $\eta_c = O$ ( $V_m = Y$ VE $T_h - T_c = O$ ) O halde $\mathcal{C}V = \mathcal{C}$
30	Eğer $E = B$ VE $\eta_c = D$ ( $V_m = D$ VE $T_h - T_c = B$ ) O halde $\mathcal{C}V = \mathcal{C}$
31	Eğer $E = B$ VE $\eta_c = D$ ( $V_m = Y$ VE $T_h - T_c = B$ ) O halde $\mathcal{C}V = \mathcal{C}$
32	Eğer $E = B$ VE $\eta_c = SC$ ( $V_m = Y$ VE $T_h - T_c = SC$ ) O halde $\mathcal{C}V = \mathcal{C}$

Kurallar yeni sırasına göre yeniden düzenlenirse son hali Tablo 4.6'daki gibi olur.

**Tablo 4.6.  $E$ ,  $V_m$  ve  $T_h-T_c$  girişleri ve  $\mathcal{C}V$  çıkışı için düzenlenen sıcaklık denetim kuralları**

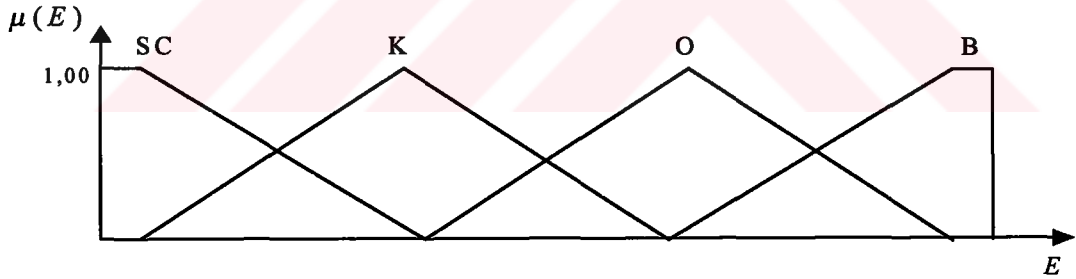
1	Eğer $E = SC$ VE $V_m = D$ VE $T_h - T_c = SC$ O halde $\mathcal{C}V = S$
2	Eğer $E = SC$ VE $V_m = D$ VE $T_h - T_c = D$ O halde $\mathcal{C}V = S$
3	Eğer $E = SC$ VE $V_m = D$ VE $T_h - T_c = O$ O halde $\mathcal{C}V = S$
4	Eğer $E = SC$ VE $V_m = D$ VE $T_h - T_c = B$ O halde $\mathcal{C}V = S$
5	Eğer $E = SC$ VE $V_m = Y$ VE $T_h - T_c = SC$ O halde $\mathcal{C}V = A$
6	Eğer $E = SC$ VE $V_m = Y$ VE $T_h - T_c = D$ O halde $\mathcal{C}V = S$
7	Eğer $E = SC$ VE $V_m = Y$ VE $T_h - T_c = O$ O halde $\mathcal{C}V = S$
8	Eğer $E = SC$ VE $V_m = Y$ VE $T_h - T_c = B$ O halde $\mathcal{C}V = S$
9	Eğer $E = K$ VE $V_m = D$ VE $T_h - T_c = SC$ O halde $\mathcal{C}V = A$
10	Eğer $E = K$ VE $V_m = D$ VE $T_h - T_c = D$ O halde $\mathcal{C}V = A$
11	Eğer $E = K$ VE $V_m = D$ VE $T_h - T_c = O$ O halde $\mathcal{C}V = A$
12	Eğer $E = K$ VE $V_m = D$ VE $T_h - T_c = B$ O halde $\mathcal{C}V = A$
13	Eğer $E = K$ VE $V_m = Y$ VE $T_h - T_c = SC$ O halde $\mathcal{C}V = O$
14	Eğer $E = K$ VE $V_m = Y$ VE $T_h - T_c = D$ O halde $\mathcal{C}V = A$
15	Eğer $E = K$ VE $V_m = Y$ VE $T_h - T_c = O$ O halde $\mathcal{C}V = A$
16	Eğer $E = K$ VE $V_m = Y$ VE $T_h - T_c = B$ O halde $\mathcal{C}V = A$
17	Eğer $E = O$ VE $V_m = D$ VE $T_h - T_c = SC$ O halde $\mathcal{C}V = O$

**Tablo 4.6.** ( Devam) E, Vm ve  $T_h-T_c$  girişleri ve ÇV çıkışı için düzenlenen sıcaklık denetim kuralları

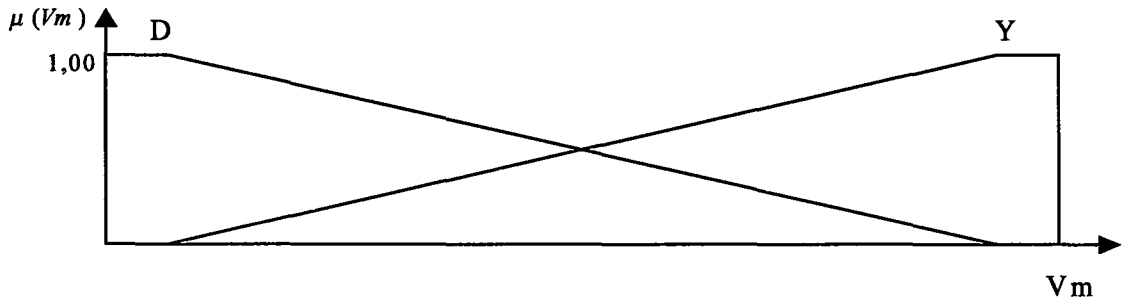
18	Eğer E = O VE Vm=D VE $T_h-T_c=D$ O halde ÇV = O
19	Eğer E = O VE Vm=D VE $T_h-T_c=O$ O halde ÇV = O
20	Eğer E = O VE Vm=D VE $T_h-T_c=B$ O halde ÇV = O
21	Eğer E = O VE Vm=Y VE $T_h-T_c=SC$ O halde ÇV = Ç
22	Eğer E = O VE Vm=Y VE $T_h-T_c=D$ O halde ÇV = O
23	Eğer E = O VE Vm=Y VE $T_h-T_c=O$ O halde ÇV = O
24	Eğer E = O VE Vm=Y VE $T_h-T_c=B$ O halde ÇV = O
25	Eğer E = B VE Vm=D VE $T_h-T_c=SC$ O halde ÇV = Ç
26	Eğer E = B VE Vm=D VE $T_h-T_c=D$ O halde ÇV = Ç
27	Eğer E = B VE Vm=D VE $T_h-T_c=O$ O halde ÇV = Ç
28	Eğer E = B VE Vm=D VE $T_h-T_c=B$ O halde ÇV = Ç
29	Eğer E = B VE Vm=Y VE $T_h-T_c=SC$ O halde ÇV = Ç
30	Eğer E = B VE Vm=Y VE $T_h-T_c=D$ O halde ÇV = Ç
31	Eğer E = B VE Vm=Y VE $T_h-T_c=O$ O halde ÇV = Ç
32	Eğer E = B VE Vm=Y VE $T_h-T_c=B$ O halde ÇV = Ç

Sıcaklık denetiminde kullanılan üyelik işlevleri de şu şekilde düzenlenir (Şekil 4.8, Şekil 4.9, Şekil 4.10 ve 4.11) ;

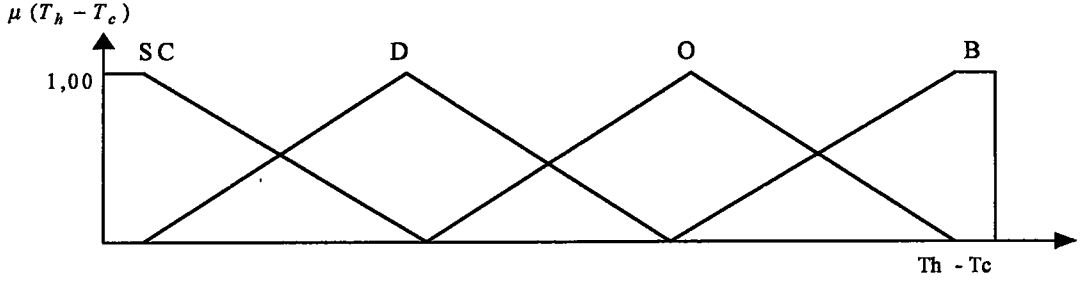
Sıcaklık denetimine ait giriş değişkenleri



**Şekil 4.8.** Hata Değişkenine Ait Üyelik İşlevleri

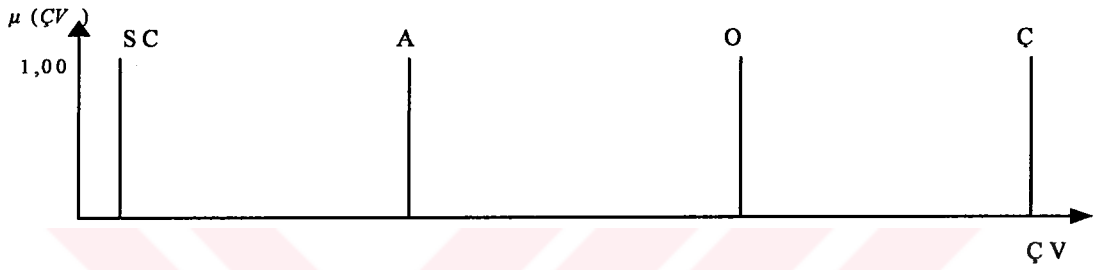


**Şekil 4.9.** Motor Gerilimi Değişkenine Ait Üyelik İşlevleri



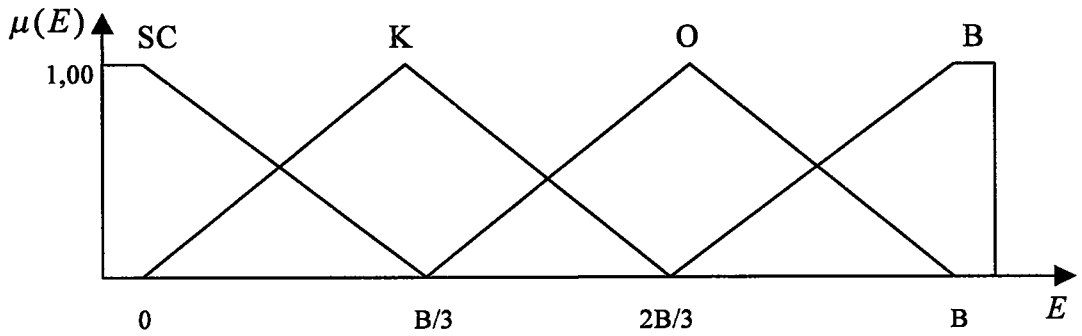
**Şekil 4.10.**  $T_h-T_c$  Değişkenine Ait Üyelik İşlevleri

Sıcaklık denetimine ait çıkış değişkeni



**Şekil 4.11.** Çıkışı Ayarlayan Değişkene Ait Üyelik İşlevleri

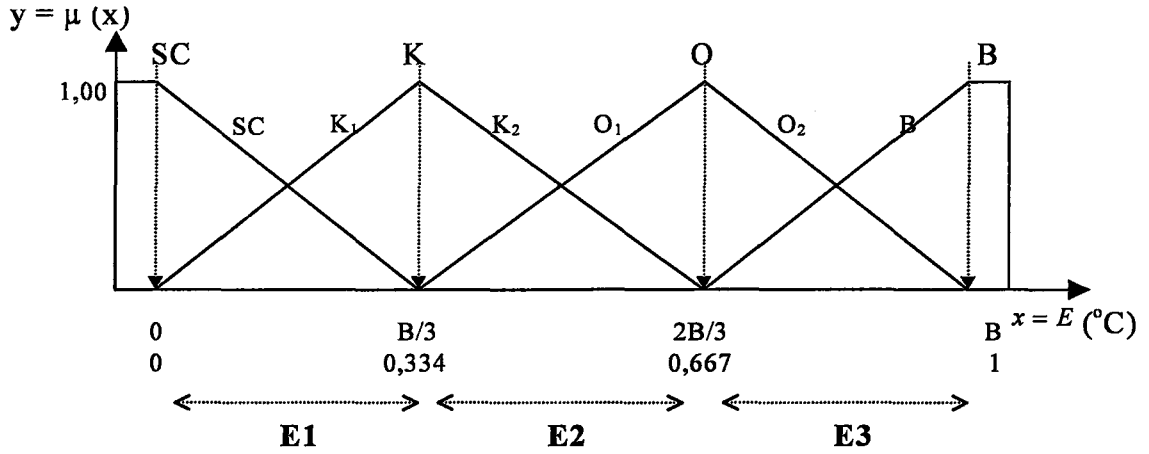
Hata (E) değişkenine ait üyelik işlevlerinin ve sınırlarının belirlenmesi: Bulanık Denetleyici, istenen bir hata bandı (B) içinde çalışır. Bu sınırların dışında PID denetleyicide olduğu gibi açık-kapalı çalışır. Denetim bandı içindeki bölüm eşit aralıklı üç bölgeye ve iç içe geçmiş dört üyelik işlevine ayrılmıştır.



**Şekil 4.12.** Hata Değişkeninin (E) Hesaplanması

Bu bölgeler sırasıyla E1, E2 ve E3 simgeleriyle temsil edilirler. Bu simgeler denetim programında, hatanın düştüğü aralığa göre geçerli üyelik işlevlerini

hesaplayan yordamların yerini belirtir (Tablo 4.7). Örneğin 1°C'lik bir bant için Şekil 4.13'te görüldüğü gibi 0,334 °C'lik üç bölge ayrılmıştır ;



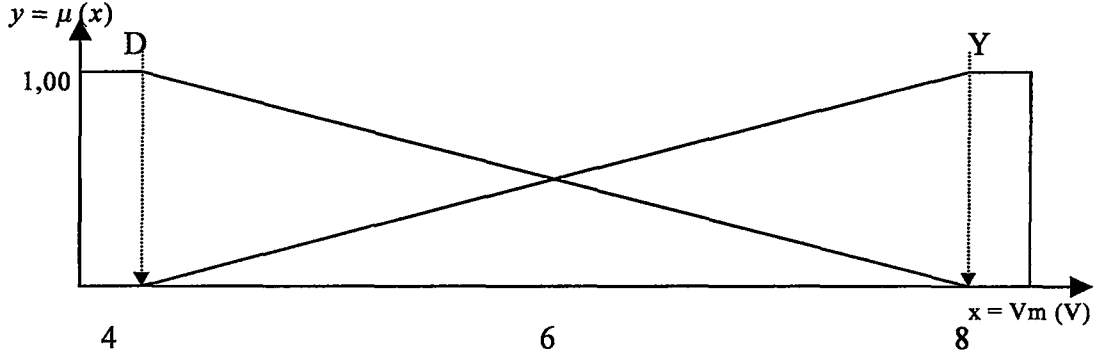
Şekil 4.13. Hata (E) Değişkeninin Bulunduğu Aralığa Göre Hesaplanacak İşlev Çiftleri

K ve O üyelik işlevleri, eğimleri zıt işaretli olan ikişer doğrusal denklemden, SC ve B işlevleri ise birer doğrusal denklemden oluşmuştur.

Tablo 4.7. Hata (E) değişkeninin bulunduğu aralığa göre hesaplanacak işlev çiftleri

İşlevler	Geçerli olduğu aralık (x=E)	Programda geçerli aralığı temsil eden yordam
$y_1 = E_{SC} = 1 - \frac{3x}{B}$ $y_2 = E_{K1} = \frac{3x}{B}$	0 : B/3	E1
$y_3 = E_{K2} = 2 - \frac{3x}{B}$ $y_4 = E_{O1} = \frac{3x}{B} - 1$	B/3 : 2B/3	E2
$y_5 = E_{O2} = 3 - \frac{3x}{B}$ $y_6 = E_B = \frac{3x}{B} - 2$	2B/3 : B	E3

Motor gerilimi ( $V_m$ ) değişkenine ait üyelik işlevlerinin ve sınırlarının belirlenmesi : Deneysel çözümler sonucunda, motora uygulanan gerilimin uygun değişim bölgesi 4V ile 8V aralığı olarak seçilmiştir (Bkz. Şekil 5.49). Bu bölge iki üyelik işlevine ayrılmıştır.



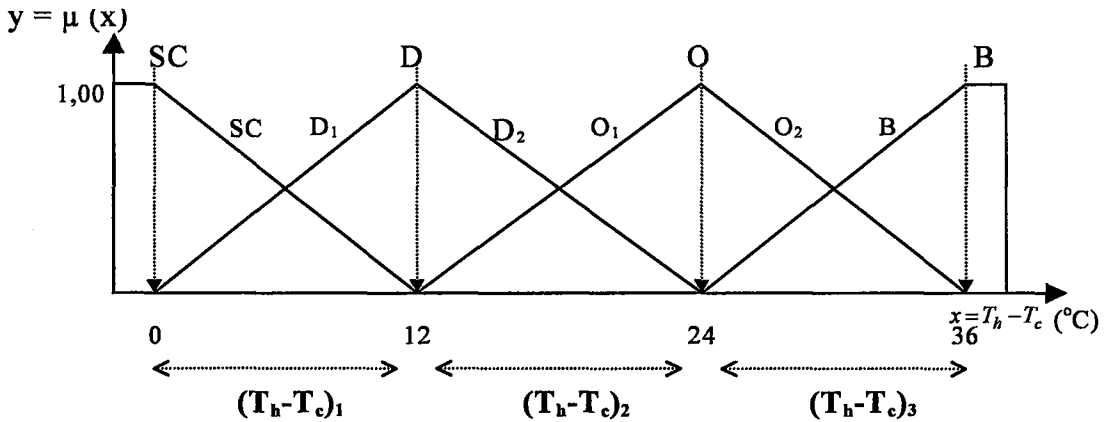
Şekil 4.14. Motor Gerilimi Giriş Değişkeni İçin Hesaplanacak İşlevler

Motor gerilimi değişkeninin giriş değerine karşılık düşen ağırlıkları Tablo 4.8’de verilen üyelik işlevlerinden hesaplanır. D ve Y üyelik işlevleri, birer doğrusal denklemden oluşmuştur.

Tablo 4.8. Motor gerilimi ( $V_m$ ) değişkeni için hesaplanacak işlevler

İşlevler	Geçerli olduğu aralık ( $x=V_m$ )
$y_1 = V_{mD} = 2 - \frac{x}{4}$	4 : 8
$y_2 = V_{mY} = \frac{x}{4} - 1$	

Peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ( $T_h - T_c$ ) değişkenine ait üyelik işlevlerinin ve sınırlarının belirlenmesi : Peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının  $36^\circ\text{C}$ 'ye kadar çıktığı gözlenmiştir. Sıcaklık farkı üç bölgeye ve iç içe geçmiş dört üyelik işlevine ayrılmıştır.



Şekil 4.15.  $T_h - T_c$  Değişkeninin Bulunduğu Aralığa Göre Hesaplanacak İşlev Çiftleri

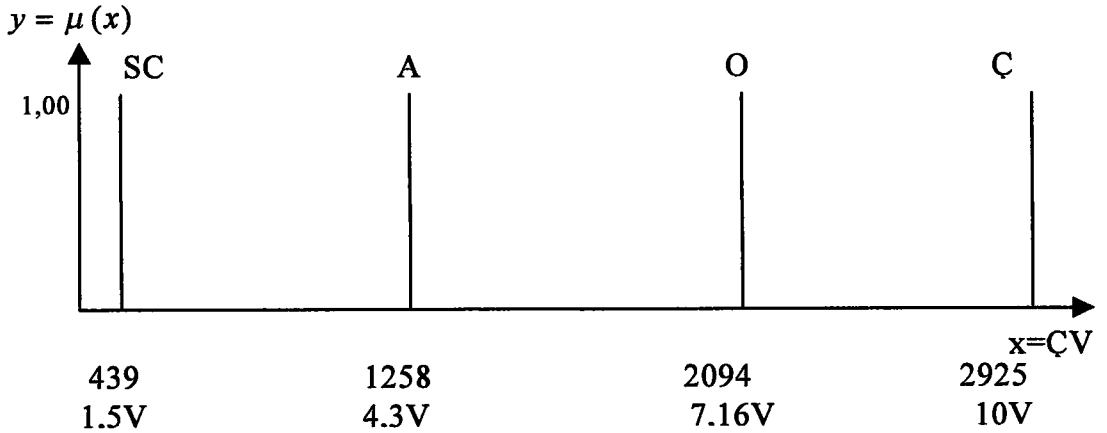


D ve O üyelik işlevleri, eğimleri zıt işaretli olan ikişer doğrusal denklemden, SC ve B işlevleri ise birer doğrusal denklemden oluşmuştur.

**Tablo 4.9.**  $T_h-T_c$  değişkeninin bulunduğu aralığa göre hesaplanacak işlev çiftleri

İşlevler	Geçerli olduğu aralık ( $x = T_h - T_c$ )	Programda geçerli aralığı temsil eden yordam
$y_1 = (T_h - T_c)_{SC} = 1 - \frac{x}{12}$ $y_2 = (T_h - T_c)_{D1} = \frac{x}{12}$	0 : 12	$(T_h - T_c)_1$
$y_3 = (T_h - T_c)_{D2} = 2 - \frac{x}{12}$ $y_4 = (T_h - T_c)_{O1} = \frac{x}{12} - 1$	12 : 24	$(T_h - T_c)_2$
$y_5 = (T_h - T_c)_{O2} = 3 - \frac{x}{12}$ $y_6 = (T_h - T_c)_B = \frac{x}{12} - 2$	24 : 36	$(T_h - T_c)_3$

Sıcaklık denetleyici çıkışına ait üyelik işlevlerinin ve sınırların belirlenmesi: Analog çıkış birimi 0 ile 5V arası çıkış gerilimi vermektedir. Buna karşılık, peltier elemanlarını süren güç kaynağının çıkışı 0 ile 13,95 V arasında gerilim vermektedir. Bu da 0 ile 4095 ikili bilgisine karşılık gelmektedir. Denetim çıkışı 1,5V (ikili 439) ile 10V (ikili 2925) arasında sınırlandırılmıştır. Bu bölge Şekil 4.16'da görüldüğü gibi 4 ayrı singletone üyelik işlevine ayrılır.



**Şekil 4.16.** Sıcaklık Denetimi Çıkışını Ayarlayan Değişkene Ait Üyelik İşlevleri

Burada üyelik işlevleri sabit değerlerdir. Değerleri buldukları konumu temsil eder ve çıkış değişkeninin dayanak noktaları olarak adlandırılırlar (Tablo 4.10).

**Tablo. 4.10.** Çıkış değişkeni ÇV'nin dayanak noktaları olan işlevler.

İşlevler
$y_1 = SC = 439$
$y_2 = A = 1258$
$y_3 = O = 2094$
$y_4 = Ç = 2925$

Sıcaklık bulanık denetleyicisi, istenen sıcaklık değeriyle gerçek değer arasındaki hatayı, peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının ve motor geriliminin soğutma verimine gerçek etkisini göz önüne alarak denetim çıkışını belirlemektedir. PID denetleyicide hatanın, motorun ve yüzeyler arasındaki sıcaklık farkının etkileri kuramsal olarak hesaplanmış, buna dirençlerin ürettiği ısının etkisi ilave edilmiştir (Bkz. Şekil 4.3, Denklem 4.12 ve Ek-A). Benzer şekilde bulanık denetleyici durulaştırma çıkışına da Denklem 4.14'te görüldüğü gibi dirençlerin ürettiği 2,5W ısıyı ortadan kaldıracak bir düzeltme gerilimi eklenmelidir. Bu durumda peltier elemanlarına uygulanacak gerilimi belirleyen dönüştürücü kartına yollanan gerçek çıkış verisi;

$$Y = ÇV + \frac{2,5}{m * c_p} \quad (4.14)$$

şekline dönüşür.

- $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı denetleyicisinin tasarlanması

Gerilim bölücü dirençlerin bulunduğu tankta meydana gelen  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkını en aza indirebilmek için motor hızı denetlenmelidir. Bu fark sistemin temel bulanık dilsel kurallarını belirler. Kurallar aşağıdaki gibidir:

"Eğer Fark çok büyükse motoru hızlandır"

"Eğer Fark sıfır civarındaysa motoru yavaşlat "

Motor gerilimi denetlenirken, salımlara engel olabilmek için bu sıcaklık farkının değişim hızı da göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle bulanık denetimde kurallar  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı ve bu farkın türevine göre belirlenmelidir. Kurallar şu şekle dönüşür;

"Eğer  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı çok büyükse VE bu Fark artıyorsa motoru hızlandır"  
.....

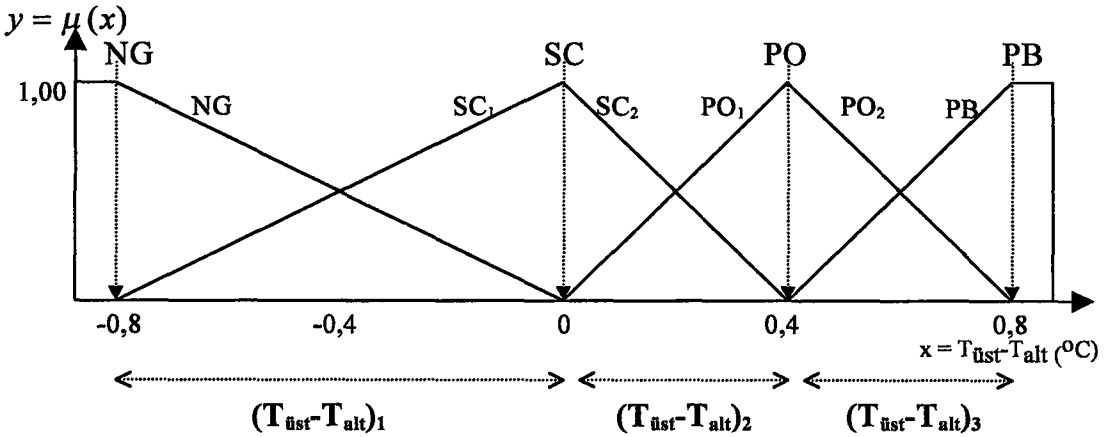
"Eğer  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı sıfır civarındaysa VE bu Fark değişmiyorsa motoru yavaşlat"  
.....

gibi. Denetleyiciye ait bu iki giriş değişkeninden sıcaklık farkı,  $T_{üst}-T_{alt}$  simgesi ile, sıcaklık farkındaki değişim ise  $\frac{d}{dt}(T_{üst}-T_{alt})$  veya kısaca  $\Delta(T_{üst}-T_{alt})$  simgesi ile temsil edilir. Çıkış değişkeni olan motor gerilimi ise  $V_m$  simgesi ile temsil edilir.

$T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı denetiminde kullanılacak üyelik işlevleri : Burada sıcaklık farkı ( $T_{üst}-T_{alt}$ ), farkın değişimi ( $\Delta(T_{üst}-T_{alt})$ ) için koşul üyelik işlevleri ve denetleyici çıkışı için ( $V_m$ ) sonuç üyelik işlevleri incelenmiştir.

Sıcaklık Farkı ( $T_{üst}-T_{alt}$ ) değişkenine ait üyelik işlev ve sınırlarının belirlenmesi :  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı değişkeninin  $+0,8$  ile  $-0,8$  aralığında seçilmesi uygun olacaktır (Bkz. Şekil 5.32 ve Şekil 6.15). Sıcaklığın negatif olduğu bölgede motorun yavaş çalışması yeterlidir. Bu aralıkta hassas bir denetime gerek yoktur.

Motor, bu sınırların altında  $4V$ 'ta üstünde ise  $8V$ 'ta çalışır. Denetim bandı içindeki bölüm Şekil 4.17'de görüldüğü gibi üç bölgeye ve iç içe geçmiş dört üyelik işlevine ayrılmıştır.



Şekil 4.17.  $T_{üst}-T_{alt}$  Değişkenine Ait Üyelik İşlevleri ve Geçerli Oldukları Bölgeler

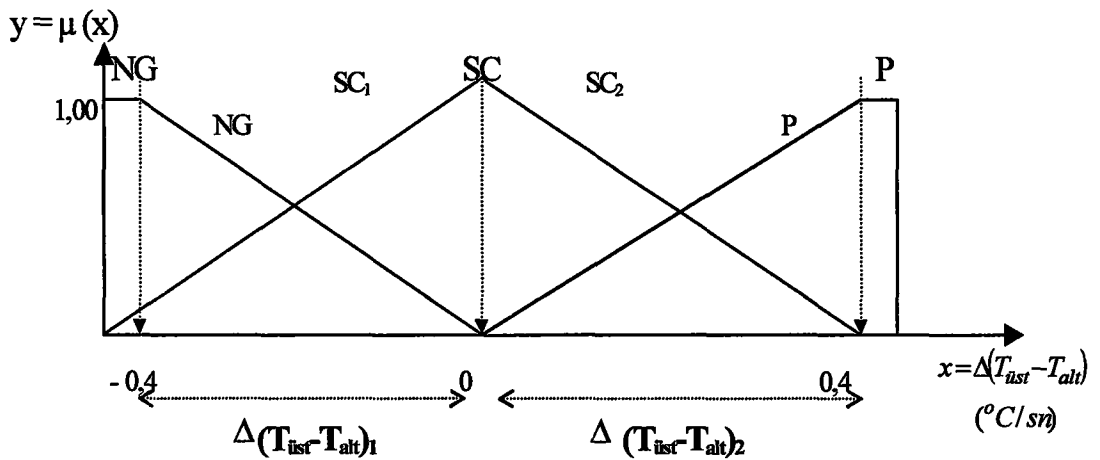
Üyelik işlevlerini temsil eden denklemler ve geçerli oldukları bölgeler Tablo 4.11'de verilmiştir.

**Tablo 4.11.**  $T_{üst}-T_{alt}$  değişkeninin bulunduğu aralığa göre hesaplanacak işlev çiftleri

İşlevler	Geçerli olduğu aralık ( $x = T_{üst}-T_{alt}$ )	Programda geçerli aralığı temsil eden yordam
$y_1 = (T_{üst}-T_{alt})_{NG} = -\frac{x}{0,8}$ $y_2 = (T_{üst}-T_{alt})_{SC1} = \frac{x}{0,8} + 1$	-0,8 : 0	$(T_{üst}-T_{alt})_1$
$y_3 = (T_{üst}-T_{alt})_{SC2} = 1 - \frac{x}{0,4}$ $y_4 = (T_{üst}-T_{alt})_{PO1} = \frac{x}{0,4}$	0 : 0,4	$(T_{üst}-T_{alt})_2$
$y_5 = (T_{üst}-T_{alt})_{PO2} = 2 - \frac{x}{0,4}$ $y_6 = (T_{üst}-T_{alt})_{PB} = \frac{x}{0,4} - 1$	0,4 : 0,8	$(T_{üst}-T_{alt})_3$

Farkın değişimi (  $\Delta(T_{üst}-T_{alt})$  ) değişkenine ait üyelik işlevlerinin ve sınırların belirlenmesi : Örnekleme zamanına bağlı olarak,  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkındaki değişim en çok  $\mp 0,4^\circ\text{C}$  aralığında olabilir. Denetim bandı içindeki bölüm Şekil 4.18'de görüldüğü gibi iki bölgeye ve üç üyelik işlevine ayrılmıştır.

Burada NG (negatif) üyelik işlevi mevcut  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkının bir önceki sıcaklık farkına göre azalma eğiliminde olduğu  $\Delta(T_{üst}-T_{alt})_1$  bölgesinde, P (pozitif) üyelik işlevi ise



**Şekil 4.18.**  $\Delta(T_{üst} - T_{alt})$  Değişkeninin Bulunduğu Aralığa Göre Hesaplanan İşlev Çiftleri

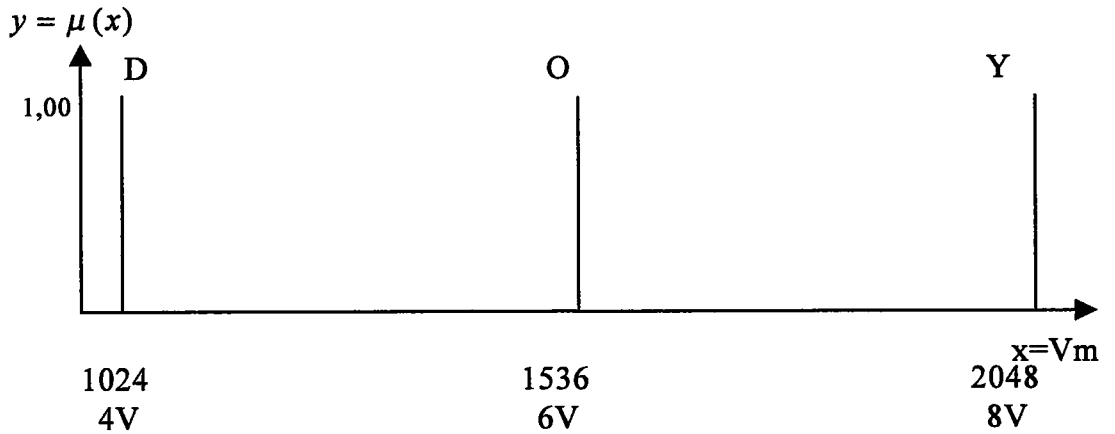
bu farkın artmakta olduğu  $\Delta(T_{üst}-T_{alt})_2$  bölgesinde tanımlıdır. SC üyelik işlevi ise her iki bölgede de tanımlıdır. Üyelik işlevlerini temsil eden denklemler ve geçerli oldukları bölgeler Tablo 4.12’de verilmiştir.

**Tablo 4.12.**  $\Delta(T_{üst}-T_{alt})$  değişkeninin bulunduğu aralığa göre hesaplanacak işlev çiftleri

İşlevler	Geçerli Olduğu Aralık ( $\Delta(T_{üst}-T_{alt})$ )	Programda Geçerli Aralığı Temsil Eden Yordam
$y_1 = \Delta(T_{üst}-T_{alt})_{NG} = -\frac{x}{0,4}$	-0,4 : 0	$\Delta(T_{üst}-T_{alt})_1$
$y_2 = \Delta(T_{üst}-T_{alt})_{SC1} = \frac{x}{0,4} + 1$		
$y_3 = \Delta(T_{üst}-T_{alt})_{SC2} = 1 - \frac{x}{0,4}$	0 : 0,4	$\Delta(T_{üst}-T_{alt})_2$
$y_4 = \Delta(T_{üst}-T_{alt})_{PB} = \frac{x}{0,4}$		

$T_{üst}-T_{alt}$  Sıcaklık Farkı denetleyici çıkışına ait üyelik işlevlerinin ve sınırların belirlenmesi : Analog çıkış birimi 0 ile 5V arası çıkış gerilimi vermektedir. Buna karşılık, motoru süren bilgisayar denetimli güç kaynağının çıkışı 0 ile 16 V arasında gerilim vermektedir. Bu da 0 ile 4095 ikili bilgisine karşılık gelmektedir.

Denetim çıkışı 4V (ikili 1024) ile 8V (ikili 2048) arasında sınırlandırılmıştır. Bu bölge Şekil 4.19’da görüldüğü gibi düşük (D simgesi), orta (O simgesi) ve yüksek (Y simgesi) olmak üzere 3 ayrı singletone üyelik işlevine ayrılır.



**Şekil 4.19.**  $T_{üst}-T_{alt}$  Sıcaklık Farkı Denetim Çıkışını Ayarlayan Motor Gerilimi Değişkenine Ait Üyelik İşlevleri

Burada üyelik işlevleri sabit değerlerdir. Değerleri buldukları konumu temsil eder ve çıkış değişkeninin dayanak noktaları olarak adlandırılırlar (Tablo 4.13). Durulaştırma sonunda elde edilen denetim çıkışı bu noktaların ağırlıklarına bağlı olarak bulunan, bunların arasında bir değerdir.

**Tablo 4.13.** Vm denetim çıkışı değişkeni'nin dayanak noktaları olan işlevler.

İşlevler
$y_1 = D = 1024$
$y_2 = O = 1536$
$y_3 = Y = 2048$

$T_{üst}-T_{alt}$  Sıcaklık Farkı denetim kurallarının oluşturulması ve ifade edilmesi: Sıcaklık farkını istenen değer sınırları içinde tutmak için,  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı ve sıcaklık farkındaki değişim göz önüne alınarak motora uygulanacak gerilimi belirleyen kurallar Tablo 4.14'deki dilsel ifadelerle düzenlenir.

**Tablo 4.14.**  $T_{üst}-T_{alt}$  Sıcaklık Farkı denetim kurallarının düzenlenmesi

$T_{üst}-T_{alt}$	S.F. Negatif		Sıfır Civarı		Pozitif	
$\Delta(T_{üst}-T_{alt})$	NG		SC		PB	
Fark Azalıyor	NG	Motoru Düşük Hızda Çalıştır 1	Düşük Hızda Çalıştır 4	Düşük Hızda Çalıştır 7		Orta Hızda Çalıştır 10
	SC	Düşük Hızda Çalıştır 2	Düşük Hızda Çalıştır 5	Orta Hızda Çalıştır 8		Yüksek Hızda Çalıştır 11
Artıyor	P	Düşük Hızda Çalıştır 3	Orta Hızda Çalıştır 6	Orta Hızda Çalıştır 9		Yüksek Hızda Çalıştır 12

Simgelere dönüştürme: Tablo 4.15'de, giriş, çıkış verileri ve kurallar simgelere dönüştürülmüştür.

- Giriş verisi

Sıcaklık Farkı :  $T_{üst}-T_{alt}$

Farkın değişimi:  $\Delta(T_{üst}-T_{alt})$

- Çıkış verisi:

Motor Hızını

Belirleyen Gerilim: Vm

**Tablo 4.15** Kural Tabanı (Vm = )

$T_{üst}-T_{alt}$	NG	SC	PO	PB
$\Delta(T_{üst}-T_{alt})$				
NG	D	D	D	O
SC	D	D	O	Y
P	D	O	O	Y

Tüst-Talt sıcaklık farkı denetimini ifade eden simgelerin Eğer/O halde kurallarına dönüştürülmesi: Tablo 4.15'deki simgeler bilgisayara girilecek eğer/o halde önermelerine dönüştürülür (Tablo 4.16).

**Tablo 4.16.** Sıcaklık farkı denetimi için oluşturulan Eğer/O halde kuralları

1	Eğer $T_{üst}-T_{alt}=NG$ VE $\Delta(T_{üst}-T_{alt}) = NG$ O halde $V_m = D$
2	Eğer $T_{üst}-T_{alt}=NG$ VE $\Delta(T_{üst}-T_{alt}) = SC$ O halde $V_m = D$
3	Eğer $T_{üst}-T_{alt}=NG$ VE $\Delta(T_{üst}-T_{alt}) = P$ O halde $V_m = D$
4	Eğer $T_{üst}-T_{alt}=SC$ VE $\Delta(T_{üst}-T_{alt}) = NG$ O halde $V_m = D$
5	Eğer $T_{üst}-T_{alt}=SC$ VE $\Delta(T_{üst}-T_{alt}) = SC$ O halde $V_m = D$
6	Eğer $T_{üst}-T_{alt}=SC$ VE $\Delta(T_{üst}-T_{alt}) = P$ O halde $V_m = O$
7	Eğer $T_{üst}-T_{alt}=PO$ VE $\Delta(T_{üst}-T_{alt}) = NG$ O halde $V_m = D$
8	Eğer $T_{üst}-T_{alt}=PO$ VE $\Delta(T_{üst}-T_{alt}) = SC$ O halde $V_m = O$
9	Eğer $T_{üst}-T_{alt}=PO$ VE $\Delta(T_{üst}-T_{alt}) = P$ O halde $V_m = O$
10	Eğer $T_{üst}-T_{alt}=PB$ VE $\Delta(T_{üst}-T_{alt}) = NG$ O halde $V_m = O$
11	Eğer $T_{üst}-T_{alt}=PB$ VE $\Delta(T_{üst}-T_{alt}) = SC$ O halde $V_m = Y$
12	Eğer $T_{üst}-T_{alt}=PB$ VE $\Delta(T_{üst}-T_{alt}) = P$ O halde $V_m = Y$

Sıcaklığa göre peltier elemanlarının soğutma miktarını ve  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkına göre motor hızını ayarlamak için hazırlanan denetim programını açıklayan akış diyagramı Ek-B'de verilmiştir.

### 4.3. Yapay Sinir Ağları ile Denetim

Yapay sinir ağları, biyolojik sinir ağlarının matematiksel modelinden yola çıkılarak geliştirilmiş, belirli bir öğrenme performansı gösterebilen bilgi işleme sistemleridir. Nöral ağlar ya da Yapay Sinir Ağları (YSA), birbirlerine bağlanarak paralel bir biçimde çalışan işlem birimlerinden oluşur. Nöron adı verilen bu işlem birimleri ağ içerisinde katmanlar halinde düzenlenebilir ve her katmandaki nöronlarla bağlantı yapabilirler.

YSA'lar, belirli giriş değerlerine karşılık gelen çıkış değerlerinin eşlendirilmesiyle eğitilirler. Bazı uygulamalarda bir çıkış değeri bulunmaz. Giriş değerleri arasındaki benzerliklere göre yapılan gruplamalar ağ tarafından kendiliğinden ortaya çıkarılıyor.

YSA'larda bilgi, nöronlar arasındaki bağlantıların kuvvetleri ile temsil ediliyor ve YSA'ların eğitilmesi, bu bağlantı kuvvetlerinin değiştirilmesi ile sağlanıyor.

#### 4.3.1. Hata geriye yayma yöntemi ile parametre güncelleme

Yapay sinir ağlarının parametrelerinin güncellenmesi için literatürde en çok kullanılan yöntem hata geriye yayma yöntemidir. Ses tanıma problemlerinden lineer olmayan sistem tanılama ve denetimi problemlerine kadar, yapay sinir ağları ile çözüm üretilen bir çok alanda başarı ile kullanılan bu yöntem karesel bir maliyet işlevinin zaman içerisinde, ağ parametrelerinin uyarlanması ile en küçültmesine dayanmaktadır.

#### 4.3.2. Yöntemin dayandığı yöntem bilim

Hatayı geriye yayma yönteminin temel prensibi, eğim düşümü yöntemi yani (4.15) denklemi ile verilen tek parametrelili ( $\phi$ ) bir maliyet işlevinin en küçük değerini aldığı noktanın (4.16) bağıntısıyla verilen kural ile özyineli olarak bulunabilmesine dayalıdır.

Bunu açıklayabilmek için (4.15) denkleminde verilen işlev ile (4.16) denkleminde görülen kısmi türev aynı eksenler üzerinde Şekil 4.20'de gösterildiği üzere çizdirilsin. Her bir özyinelemede işlevin minimum noktasına daha çok yaklaşacağı bu şekilde kolayca görülebilmektedir.

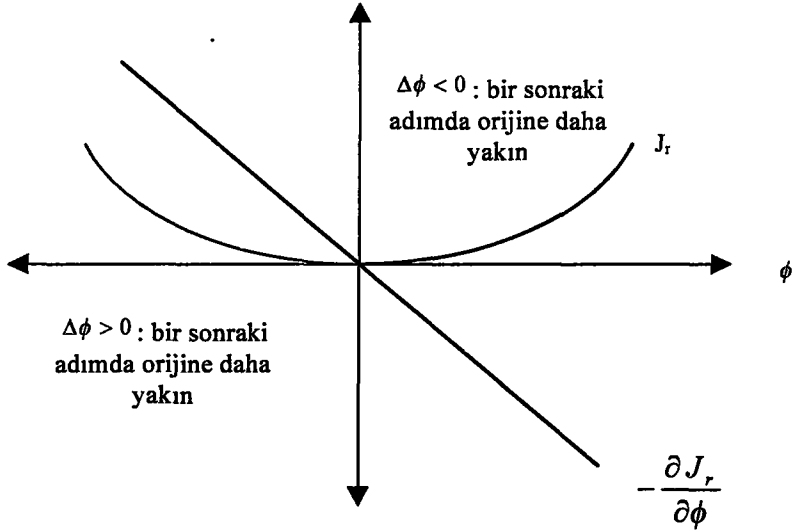
$$J_r = \frac{1}{2} \phi^2 \quad (4.15)$$

$$\Delta \phi = -\eta \frac{\partial J_r}{\partial \phi} \quad (4.16)$$

Şekilde parametrenin negatif olduğu bölgede sağa, pozitif olduğu bölgede sola doğru bir hareket söz konusudur. Burada önem kazanan bir nokta,  $\eta$  değişkeninin değeridir. Pratikte öğrenme katsayısı ya da adım büyüklüğü olarak bilinen bu değer çok küçük ise, hata uzunca bir süre içerisinde orijine doğru yakınsarken, büyük bir değer orijinin etrafında salınımlara hatta ıraksamaya neden olabilir.



Örneğin orijine soldan yaklaşırken verilen değişim miktarı, parametreyi sağ tarafa geçiriyorsa ve yeni değer tekrar sol tarafa döndürüyorsa bir salınım söz konusudur.



**Şekil 4.20.** Eğim Düşümü Yönteminin Grafikselleştirilmesi

Katman ve nöron sayısı gibi adım büyüklüğünün seçimi de bir çok uygulamada, deneme yanılma yolu ile yapılır. Bazı çalışmalarda adım büyüklüğü uyarlanabilir olarak tasarlanmıştır.

#### 4.3.3. Matematiksel türetim ve çözümlenme

Hata geriye yayma yönteminin türetimi için (4.17) ile verilen maliyet işlevi minimize edilmelidir. Bu amaçla (4.18) bağıntısı ile verilen parametre güncelleme formülü kullanılacaktır. (4.18) denkleminde  $\nabla_w$  sembolü,  $w$  parametresine göre kısmi türevi göstermektedir. Yöntemin türetimi, çıkış katmanındaki nöronların parametreleri için farklı, gizli katmanlardaki nöronların parametreleri için farklı bir formülasyon ortaya çıkarır. Bu nedenle aşağıda bu iki durum birbirinden ayrı olarak ele alınmıştır. Türetim için Şekil 4.21 ile verilen çıkış katmanı göz önüne alınsın. Bu katmanın  $k+1$ 'nci katman olduğu ve  $n_{k+1}$  sayıda nöron içerdiği varsayılır ve türetim esnasında aşağıdaki değişkenler kullanılır.

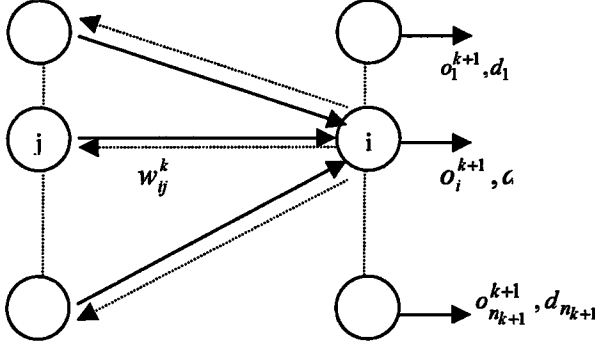
$J_r$  : Maliyet İşlevi

$d_i$  : Ağın  $i$ . çıkışı için istenen çıkış değeri

$o_i^{k+1}$  : k+1. katmanın i.nöronunun çıkışında gözlenen değer

$w_{ij}^k$  : k+1. katmanın i. nöron ile k. katmandaki j. nöronu birleştiren ağırlık

$S_i^{k+1}$  : k+1. katmanın i. nöronunun girişinde oluşan net toplam



**Şekil 4.21.** Çıkış Katmanında Hatanın Geriye Yayılması

$$J_r = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n_{k+1}} (d_i - o_i)^2 \quad (4.17)$$

$$\Delta w = -\eta \nabla_w J_r \quad (4.18)$$

Yukarıdaki türev, zincir kuralının kullanımıyla (4.18) denkleminde verildiği üzere üç çarpandan oluşacak şekilde açılabilir. Bu çarpanların açılımı sırasıyla (4.19) ve (4.20) denklemleriyle verilmiştir.

$$\frac{\partial J_r}{\partial w_{ij}^k} = \frac{\partial J_r}{\partial o_i^{k+1}} \frac{\partial o_i^{k+1}}{\partial S_i^{k+1}} \frac{\partial S_i^{k+1}}{\partial w_{ij}^k} \quad (4.19)$$

$$\frac{\partial J_r}{\partial o_i^{k+1}} = -(d_i - o_i^{k+1}) \quad (4.20)$$

$$\frac{\partial o_i^{k+1}}{\partial S_i^{k+1}} = \frac{d\Psi(S_i^{k+1})}{dS_i^{k+1}} = \Psi'(S_i^{k+1}) \quad (4.21)$$

$$\frac{\partial S_i^{k+1}}{\partial w_{ij}^k} = \frac{\partial}{\partial w_{ij}^k} \left[ \sum_{j=1}^{n_k} w_{ij}^k o_j^k \right] = o_j^k \quad (4.22)$$

Eğer (4.23) ile verilecek kısmi türev, delta değeri olarak tanımlanırsa, çıkış katmanındaki nöronlar için delta değerinin genel hali (4.24) denkleminde verilen biçimde, parametredeki değişim miktarı ise (4.25) denkleminde verilen biçimde olacaktır.

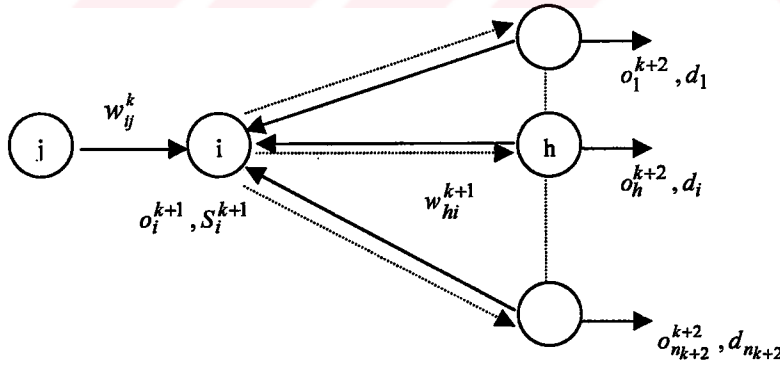
$$\delta_i^{k+1} = -\frac{\partial J_r}{\partial S_i^{k+1}} \quad (4.23)$$

$$\delta_i^{k+1} = (d_i - o_i^{k+1}) \psi'(S_i^{k+1}) \quad \text{:Çıkış katmanı için} \quad (4.24)$$

$$\Delta w_{ij}^k = \eta \delta_i^{k+1} o_j^k \quad (4.25)$$

Yukarıdaki parametre güncelleme kuralı her bir çıkış nöronundan gelen hata bilgisini kullanarak bu hataların toplamından oluşan maliyeti, uyarlanabilir parametreleri güncelleyerek minimize etmeyi amaçlamaktadır. Gizli katmanlardaki nöronların parametrelerinin nasıl güncellenmesi gerektiğini gösterebilmek için (4.19) denklemini (4.26) denklemini olarak tekrar ele alınsın.

$$\frac{\partial J_r}{\partial w_{ij}^k} = \frac{\partial J_r}{\partial o_i^{k+1}} \frac{\partial o_i^{k+1}}{\partial S_i^{k+1}} \frac{\partial S_i^{k+1}}{\partial w_{ij}^k} \quad (4.26)$$



**Şekil 4.22.** Gizli Katmanlar Boyunca Hatanın Yayılımı

(4.26) kısmi türevini oluşturan terimler, Şekil 4.22'de gösterildiği gibi, değişik yollardan gelebilirler. Bu durum (4.26) denklemindeki zincir kuralının ilk teriminin açık hali olan (4.27) denkleminde görülmektedir. Aynı terimin daha açık ifadeleri (4.28) ve (4.29) denklemlerinde de verilmiştir.

$$\frac{\partial J_r}{\partial o_i^{k+1}} = \sum_{h=1}^{n_{k+2}} \frac{\partial J_r}{\partial S_h^{k+2}} \frac{\partial S_h^{k+2}}{\partial o_i^{k+1}} \quad (4.27)$$

$$\frac{\partial J_r}{\partial o_i^{k+1}} = \sum_{h=1}^{n_{k+2}} \left[ \frac{\partial J_r}{\partial S_h^{k+2}} \frac{\partial}{\partial o_i^{k+1}} \left( \sum_{i=1}^{n_{k+1}} w_{hi}^{k+1} o_i^{k+1} \right) \right] \quad (4.28)$$

$$\frac{\partial J_r}{\partial o_i^{k+1}} = \sum_{h=1}^{n_{k+2}} \frac{\partial J_r}{\partial S_h^{k+2}} w_{hi}^{k+1} \quad (4.29)$$

Çıkış katmanı için yapıldığı gibi, gizli katman için de (4.30)'da verilen delta değerleri tanımlanabilir.

$$\delta_i^{k+1} = - \frac{\partial J_r}{\partial S_i^{k+1}} \quad (4.30)$$

Bu tanımın kullanılması ile (4.26) denkleminin ilk terimi, (4.31) denkleminde gösterilen biçimde yazılabilir. (4.32) ve (4.34) denklemleri ise, (4.26) denkleminde görülen ikinci ve üçüncü terimlerin daha açık ifade edilmiş durumlarıdır. Elde edilen terimler birleştirilirse, (4.33)'teki delta değerlerine ve (4.35)'deki parametre güncelleme kuralına ulaşılır.

$$\frac{\partial J_r}{\partial o_i^{k+1}} = - \sum_{h=1}^{n_{k+2}} \delta_h^{k+2} w_{hi}^{k+1} \quad (4.31)$$

$$\frac{\partial o_i^{k+1}}{\partial S_i^{k+1}} = \frac{d\Psi(S_i^{k+1})}{dS_i^{k+1}} = \Psi'(S_i^{k+1}) \quad (4.32)$$

$$\delta_i^{k+1} = \left( - \sum_{h=1}^{n_{k+2}} \delta_h^{k+2} w_{hi}^{k+1} \right) \Psi'(S_i^{k+1}) \quad \text{Gizli katman için} \quad (4.33)$$

$$\frac{\partial S_i^{k+1}}{\partial w_{ij}^k} = o_j^k \quad (4.34)$$

$$\Delta w_{ij}^k = \eta \delta_i^{k+1} o_j^k \quad (4.35)$$

#### 4.3.4. Hata geriye yayma yönteminin sorunları ve çözümleri

Hata geriye yayma yöntemi geniş çapta uygulama alanı bulmasına rağmen yöntemin uygulamadaki başarımı ve güvenilirliği konusunda bazı sorunlar vardır. İlk olarak öğrenme hızına değinmek gerekir. Bir eşleştirmeyi gerçekleştirmek üzere ele alınan bir sinir ağı yapısı, öğrenme süreci boyunca,  $N$  değişkenli bir yüzey üzerinde gezen bir noktanın, maliyeti en aza indiren noktayı aramasını gerektirmektedir. Burada değinilen yüzeyin her bir uyarlanabilir parametre yönünde kısmi türevleri hesaplanmakta ve daha önce belirtilen parametre güncelleme işlemi yapılmaktadır. Bu işlem parametre vektörünün bulunduğu noktayı, yüzey üzerinde bir başka noktaya kaydırmaktadır. Eğer parametreye göre alınan kısmi türevler çok küçük genlikte ve parametre vektörü en iyi noktaya çok uzakta ise öğrenme işlemi çok uzun zaman alacaktır. Dolayısıyla veri kümesindeki tüm elemanlar göz önüne alındığında bu bölgelerde büyük bir maliyet ile karşılaşılacaktır. Uygulanabilecek bir yöntem, maliyet işlevindeki değişime göre adım büyüklüğünün (4.37) denklemi ile verilen biçimde değiştirilmesidir.

$$E = \sum J_r \quad (4.36)$$

$$\Delta\eta = \begin{cases} +\gamma & \Delta E < 0 \\ -\beta & \Delta E > 0 \\ 0 & \Delta E = 0 \end{cases} \quad (4.37)$$

(4.38) ile verilen adım büyüklüğü uyarlaması, parametre vektörünün en iyi noktaya yaklaştığı durumlarda türev genliklerinin küçülmesinden kaynaklanan yavaşlamayı da engelleyecektir.

$$\eta(k+1) = \eta(k) + \Delta\eta \quad (4.38)$$

Hata geriye yayma yönteminin ikinci önemli sorunu anlık sıçramalardır. Parametre uzayında oluşan yüzey, eğitim çiftlerinde bulunabilecek gürültüden, sayısal hassasiyetin birkaç ondalık ile sınırlı bulunduğu durumlardan ya da başka çevresel etkilerden dolayı küçük genlikli iniş çıkışlar içerebilir. Bu iniş çıkışlar, bir önceki bölümde gösterildiği üzere kısmi türevlerin anlık değerlerinin hesaplanması dolayısıyla parametre vektörünün en iyi noktaya çok yakın olduğu durumlarda dahi türev değerlerinin yüksek genliklere ulaşmasına neden olabilirler. Bu tür ani

sıçramalar, güncelleme kuralında momentum terimi olarak bilinen bir terimin kullanılması ile önlenebilir. Bu durumda parametre güncelleme kuralı aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\Delta w_{ij}^k(K+1) = \mu \Delta w_{ij}^k(K) + \eta \delta_i^{k+1} o_j^k \quad (4.39)$$

Burada  $\mu$ , momentum katsayısı olup (0,+1) aralığından seçilen gerçel bir sayıdır. Momentum terimi bir önceki parametre değişimini de gerektirdiğinden bellek gereksinimini arttırıcı yönde bir donanım maliyetine neden olur.

#### 4.3.5. YSA denetim uygulaması için gerekli algoritmaların oluşturulması

Denetim algoritması, her iki YSA'nın eğitimi ve eğitilmiş YSA'ların denetleyici olarak kullanılması olmak üzere iki ayrı kısımdan oluşmaktadır. Eğitim programı, örnek girişler ve bu girişler karşısında olması beklenen örnek denetim çıkışlarından oluşan eğitim çiftlerinden yararlanarak denetleyicinin girişlerle çıkış arasında bir bağıntı oluşturmasını sağlar. Eğitim sonunda denetleyiciye ait uygun ağ parametreleri bir kez bulunduktan sonra, denetim sırasında kullanılmak üzere kaydedilir ve eğitim programı sonlandırılır. Denetim sırasında denetim programı bu parametreleri kullanarak, girişler karşısında en uygun denetim çıkışlarını verir.

##### 4.3.5.1. Eğitim algoritmasının oluşturulması

- Sıcaklık denetleyicisine ait giriş-çıkış eğitim çiftlerinin belirlenmesi

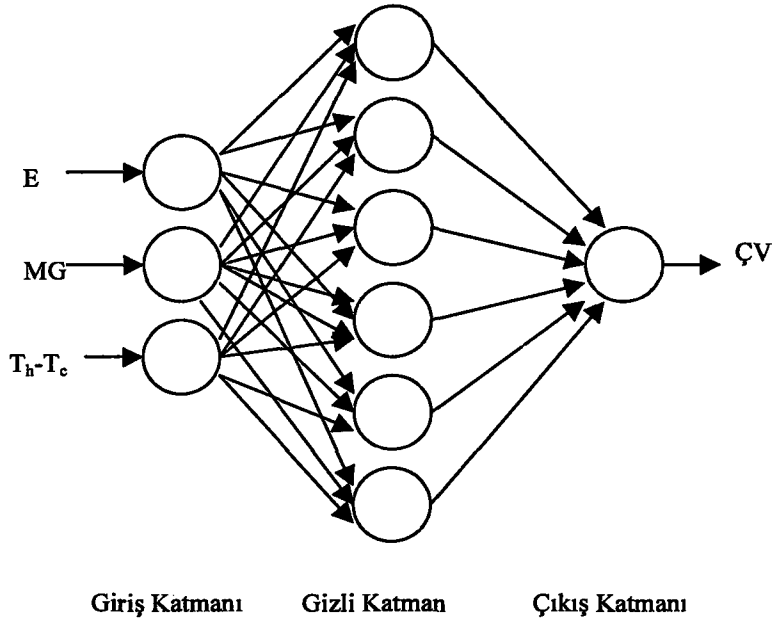
YSA ile eğitilecek olan sıcaklık denetleyicinin denetim girişleri ve denetim çıkışı bulanık denetleyicinin denetim girişleri olan hata (E), peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ( $T_h - T_c$ ), motor gerilimi ( $V_m$ ) ve denetim çıkışı olan peltier gerilimi ( $\dot{Q}_V$ ) ile aynıdır. Girişler ile çıkış arasındaki bağıntıyı oluşturacak eğitim çiftlerinin değerleri belirlenirken, bulanık denetleyicideki kuralların (Bkz. Tablo 4.6) belirlenmesinde olduğu gibi yine deneysel gözlemlerin sonuçlarından yararlanır (Bkz. Şekil 5.14, 5.15 ve 5.18).

Eğitimde kullanılacak eğitim çiftleri aşağıdaki gibi seçilir. Eğitim kümesi 32 adet giriş-çıkış eğitim çiftinden oluşmuştur.

**Tablo 4.17. Sıcaklık denetleyici eğitim kümesi**

Eğitim Çifti Numarası	Girişler			Çıkış
	E (°C)	V <sub>m</sub> (V)	T <sub>h</sub> _T <sub>c</sub> (°C)	ÇV (V)
1	0	4	0	1,5
2	0	4	12	1,8
3	0	4	24	2,3
4	0	4	36	3
5	0	8	0	2,7
6	0	8	12	3
7	0	8	24	3,5
8	0	8	36	4,4
9	B/3 (B=1 için 0,334)	4	0	4,3
10	B/3 (B=1 için 0,334)	4	12	4,6
11	B/3 (B=1 için 0,334)	4	24	5,1
12	B/3 (B=1 için 0,334)	4	36	5,8
13	B/3 (B=1 için 0,334)	8	0	5,5
14	B/3 (B=1 için 0,334)	8	12	5,8
15	B/3 (B=1 için 0,334)	8	24	6,3
16	B/3 (B=1 için 0,334)	8	36	7,2
17	2B/3 (B=1 için 0,667)	4	0	7,16
18	2B/3 (B=1 için 0,667)	4	12	7,5
19	2B/3 (B=1 için 0,667)	4	24	8
20	2B/3 (B=1 için 0,667)	4	36	8,7
21	2B/3 (B=1 için 0,667)	8	0	8
22	2B/3 (B=1 için 0,667)	8	12	8,3
23	2B/3 (B=1 için 0,667)	8	24	8,8
24	2B/3 (B=1 için 0,667)	8	36	9,5
25	B (B=1 için 1 )	4	0	9
26	B (B=1 için 1 )	4	12	9,3
27	B (B=1 için 1 )	4	24	9,8
28	B (B=1 için 1 )	4	36	10
29	B (B=1 için 1 )	8	0	9,6
30	B (B=1 için 1 )	8	12	9,9
31	B (B=1 için 1 )	8	24	10
32	B (B=1 için 1 )	8	36	10

Sistemde 3 giriş, 1 çıkış olduğu için, ağı yapısı (3x6x1) biçiminde seçilmiştir. Giriş katmanında 3 nöron çıkış katmanında 1 nöron, gizli katmanda  $2*(giriş*çıkış)= 6$  nöron kullanılmıştır (Şekil 4.23).



**Şekil 4.23.** Sıcaklık Denetiminde Kullanılan YSA'nın Yapısı

- $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı denetleyicisine ait giriş-çıkış eğitim çiftlerinin belirlenmesi

Benzer şekilde YSA ile eğitilecek olan  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı denetleyicinin denetim girişleri ve denetim çıkışı  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı bulanık denetim girişleri “üst ve alt algılayıcılar arası sıcaklık farkı” ( $T_{üst}-T_{alt}$ ), “farkın değişimi” ( $\Delta(T_{üst}-T_{alt})$ ) ve denetim çıkışı olan “motor hızını belirleyen gerilim” ( $V_m$ ) ile aynıdır.

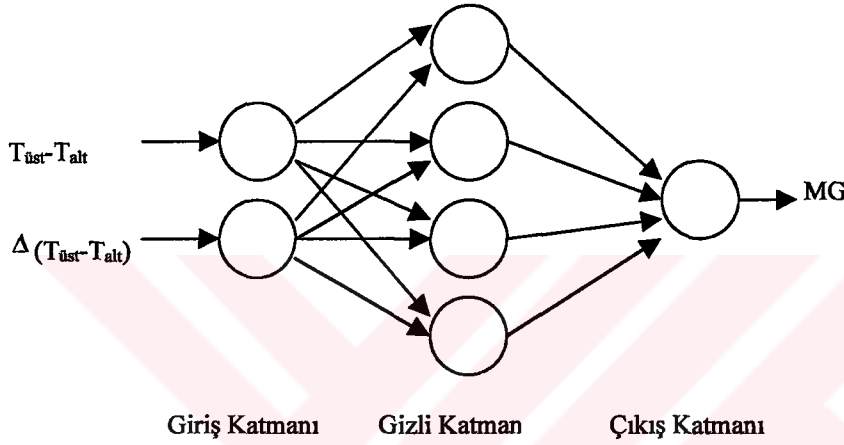
**Tablo 4.18.**  $T_{üst}-T_{alt}$  denetleyici eğitim kümesi

Eğitim Çifti Numarası	Girişler		Çıkış
	$T_{üst}-T_{alt} (^{\circ}C)$	$\Delta(T_{üst}-T_{alt}) (^{\circ}C/s)$	$V_m (V)$
1	-0,8	-0,4	4
2	-0,8	0	4
3	-0,8	0,4	4,1
4	0	-0,4	4
5	0	0	4,3
6	0	0,4	5
7	0,4	-0,4	4,5
8	0,4	0	5
9	0,4	0,4	5,5
10	0,8	-0,4	4,8
11	0,8	0	7
12	0,8	0,4	8



Girişler ile çıkış arasındaki bağıntıyı oluşturacak eğitim çiftlerinin değerleri belirlenirken, bulanık denetleyicideki kurallardaki (Bkz. Tablo 4.16) girişler ve çıkışlar arasındaki bağıntılardan yararlanılmıştır. Eğitimde kullanılacak eğitim çiftleri aşağıdaki gibi seçilir. Eğitim kümesi 12 giriş-çıkış eğitim çiftinden oluşur.

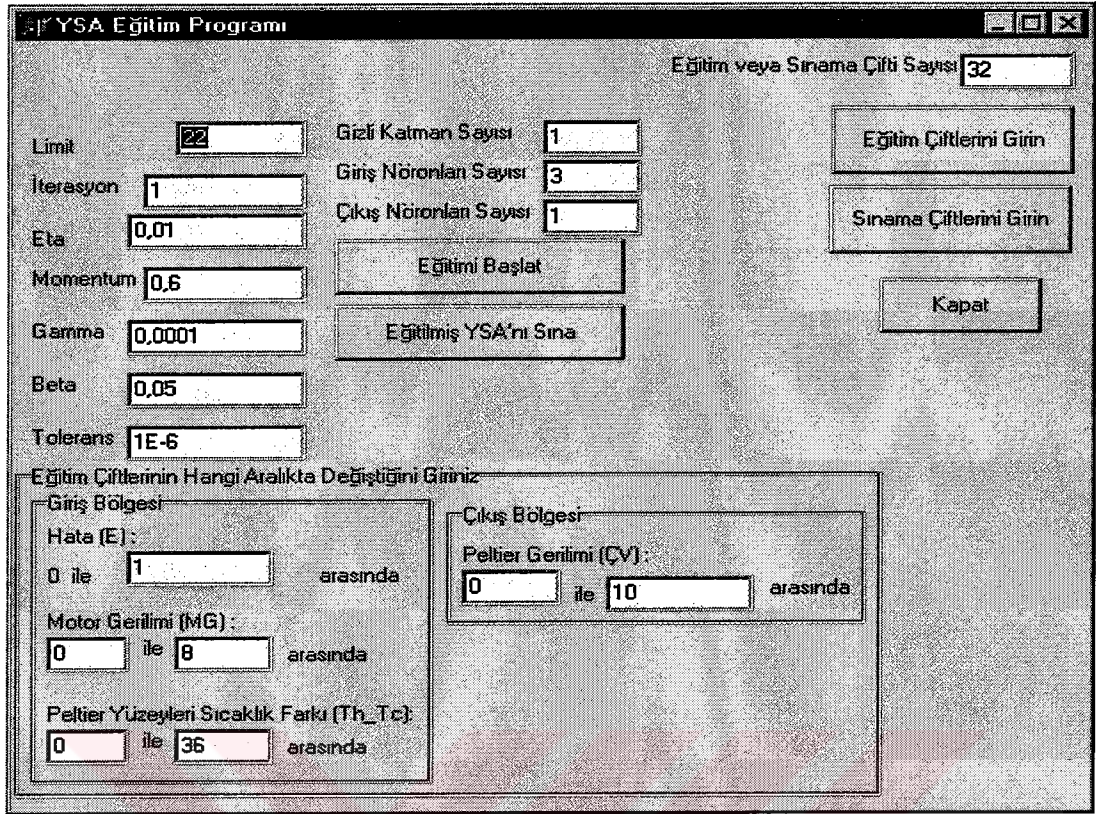
Sistemde 2 giriş, 1 çıkış olduğu için, ağıın yapısı (2x4x1) biçiminde seçilmiştir. Giriş katmanında 2 nöron çıkış katmanında 1 nöron, gizli katmanda 2\*(giriş\*çıkış)= 4 nöron kullanılmıştır (Şekil 4.24).



**Şekil 4.24**  $T_{üst}-T_{alt}$  Sıcaklık Farkı Denetiminde Kullanılan YSA'nın Yapısı

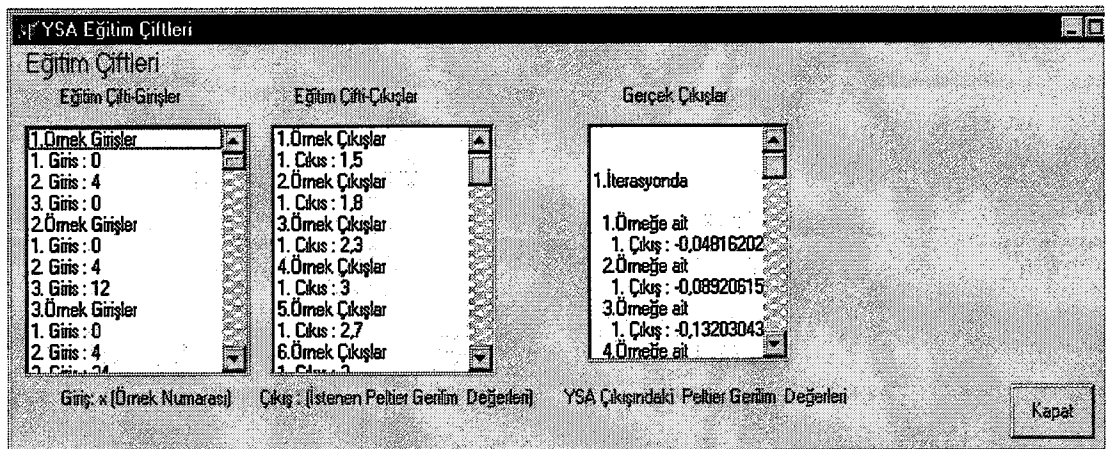
- YSA eğitim programının sıcaklık ve Tüst-Talt sıcaklık farkı denetimi uygulaması için uyarlanması ve alınan denetim sonuçları:

Hazırlanan eğitim ve uygulama algoritmaları hatasız çalıştığına göre sistemimize uygun ufak değişiklikler yapıldıktan sonra program Tablo. 4.17'deki eğitim çiftlerine göre yeniden eğitilerek sıcaklık denetiminde ve Tablo 4.18'deki eğitim çiftlerine göre yeniden eğitilerek de Tüst-Talt sıcaklık farkı denetimde kullanılabilir (Şekil 4.25). Eğitim için kullanılan girişler, değişim gösterdiği aralığa bölünür ve giriş katmanına 0 ile 1 aralığına normalize edilerek girilir. Tüm değişkenlerin eşit ve küçük bir aralıkta değişmesi hatanın sifıra yakınsanmasını çabuklaştırır. Bununla birlikte, eğitim çiftlerinin tümünün değişim aralığı sıfırdan başlamamasına rağmen, başlangıç noktası sıfır seçilerek değişim alanı çok az da olsa geniş tutulmasının bir sakıncası yoktur. Örneğin çıkış grafiği çizdirilirken, peltier gerilimi ekseninin 1,5V yerine 0V'dan başlaması, 1,5V'un daha net görülmesini sağlar.

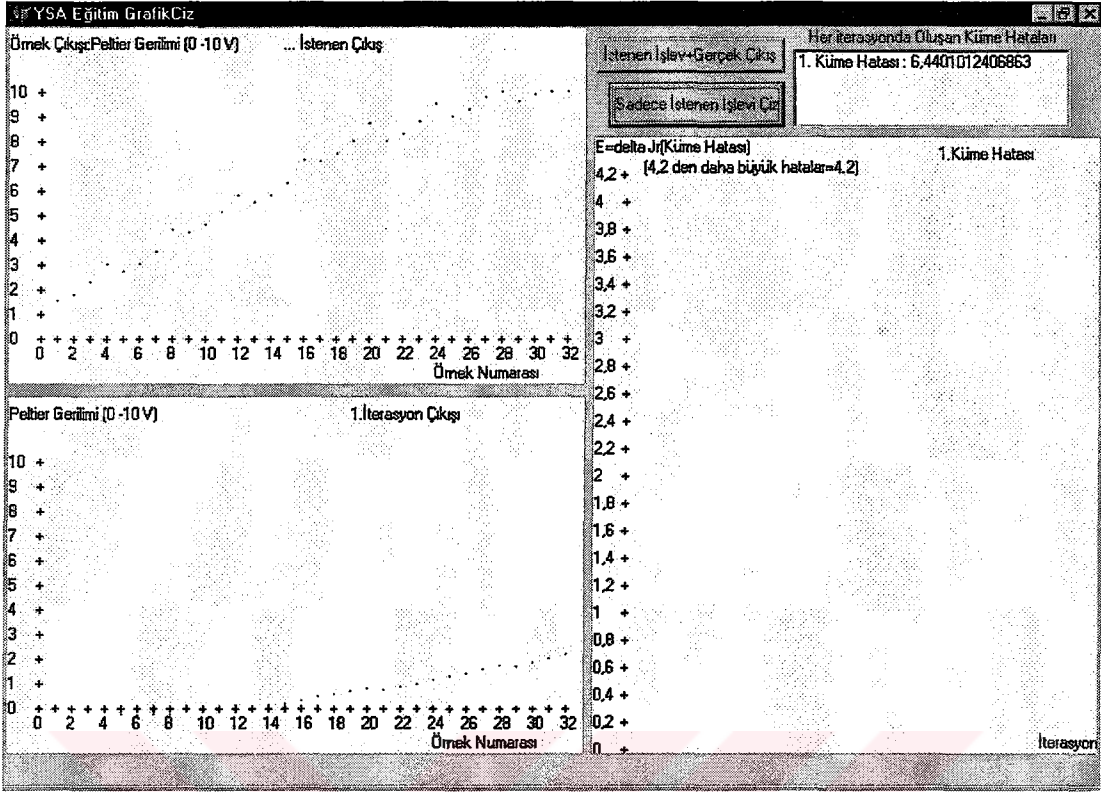


Şekil 4.25. Sıcaklık Denetimi İçin Düzenlenmiş Eğitim Programı Ana Menü

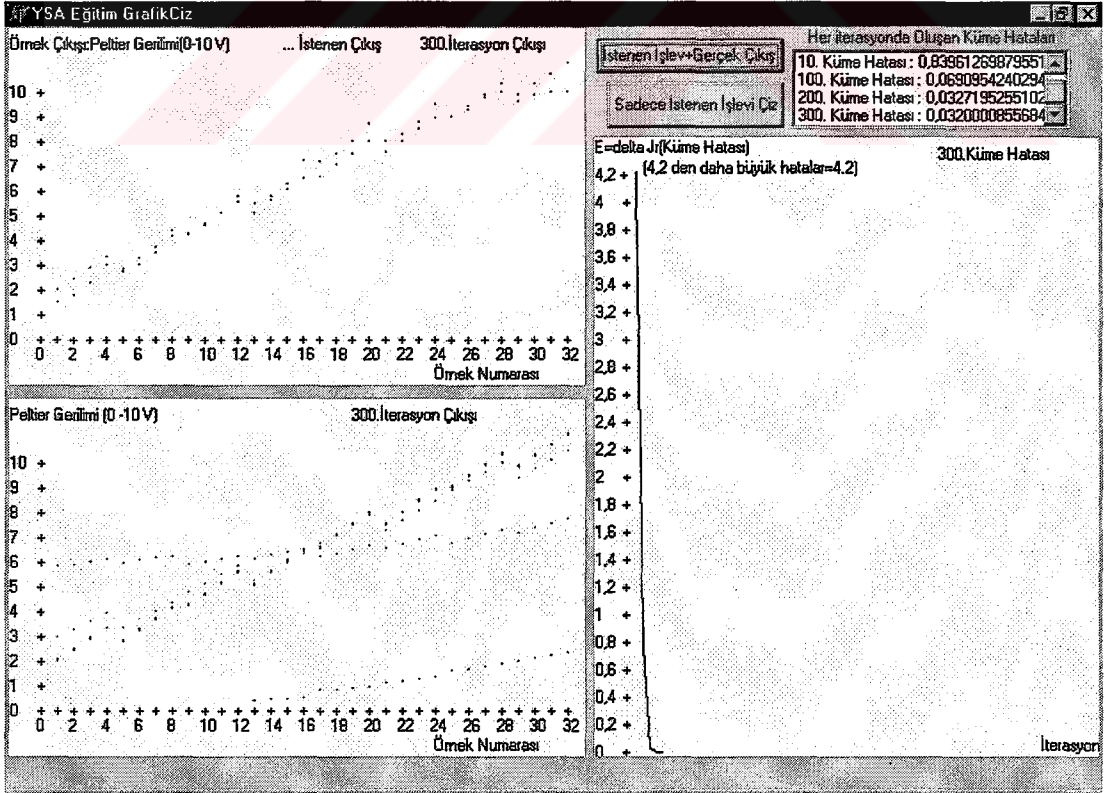
Sıcaklık denetimi için YSA'nın eğitiminde 6 nörondan oluşan bir gizli katman kullanılmıştır. Tablo 4.17'deki eğitim çiftleri ağı girilmiştir (Şekil 4.26). Şekil 4.27'de sol üstte, istenen eğitim çıkışları, eğitim çifti sırasına göre çizdirilmiştir. Sol altta ise 1. iterasyon için ağı çıkışları görülmektedir. Diğer iterasyonlar için eğitim adımları Şekil 4.27'nin devamında sırasıyla verilmiştir.



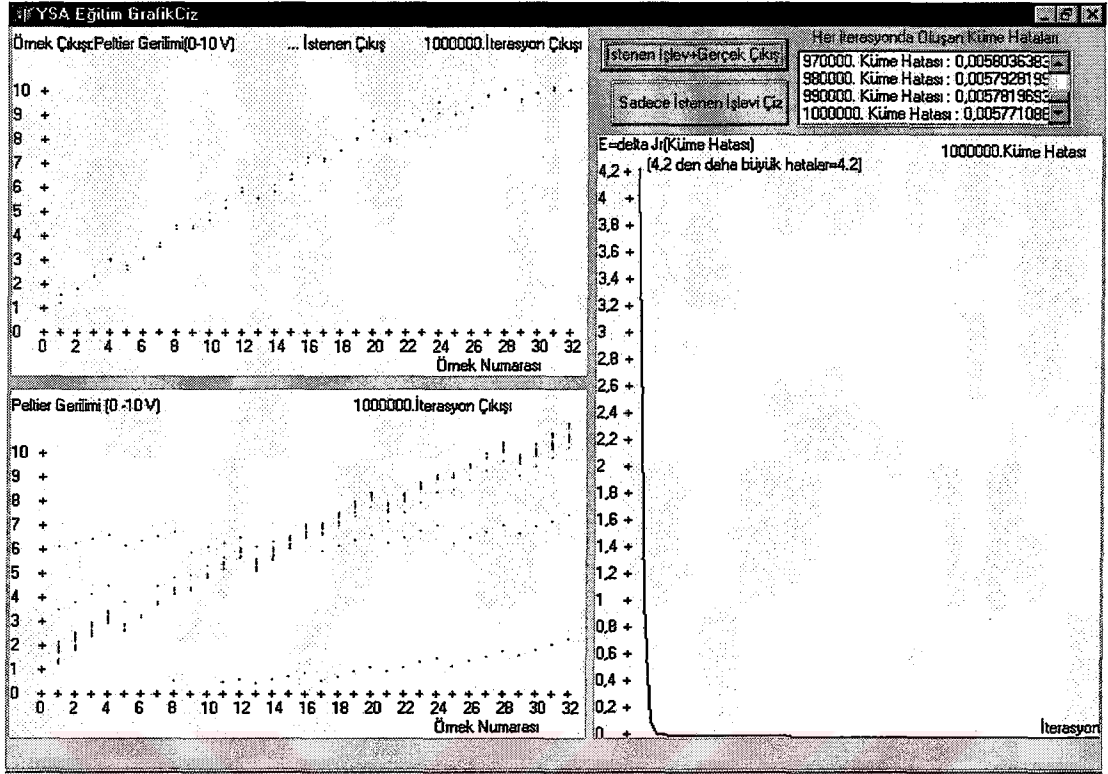
Şekil 4.26. Sıcaklık Eğitiminde YSA'na Girilen Eğt. Çiftleri ve Ağın Cevapları



Şekil 4.27. Sıcaklık Denetimi İçin YSA Eğitim Grafikleri



Şekil 4.27. (Devam) Sıcaklık Denetimi İçin YSA Eğitim Grafikleri



**Şekil 4.27. (Devam) Sıcaklık Denetimi İçin YSA Eğitim Grafikleri**

Eğitilmiş ağ parametreleri, biri Tablo 4.17’de kullanılan eğitim kümesinin kendisi, diğeri ise Tablo 4.19’da verilen bir sınama çifti kümesi olmak üzere, iki farklı sınama kümesi tarafından ayrı ayrı test edilmiştir.

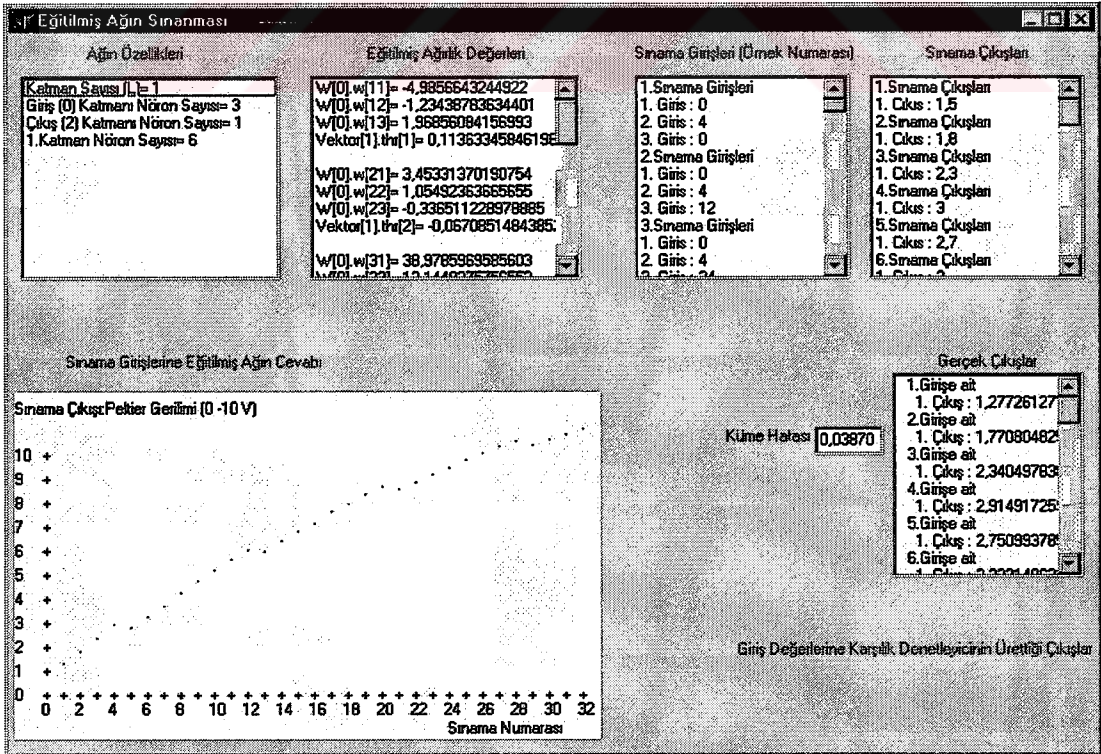
**Tablo 4.19. Sıcaklık denetimi için hazırlanan sınama kümesi**

Sınama Çifti Numarası	Girişler			Çıkış
	E (°C)	V <sub>m</sub> (V)	T <sub>b</sub> _T <sub>c</sub> (°C)	ÇV (V)
1	0,167	4	0	2,9
2	0,167	4	12	3,05
3	0,167	4	24	3,7
4	0,167	4	36	4,4
5	0,167	8	0	4,1
6	0,167	8	12	4,4
7	0,167	8	24	4,9
8	0,167	8	36	5,8
9	B/3 (B=1 için 0,5)	4	0	5,73
10	B/3 (B=1 için 0,5)	4	12	6,05
11	B/3 (B=1 için 0,5)	4	24	6,55
12	B/3 (B=1 için 0,5)	4	36	7,25
13	B/3 (B=1 için 0,5)	8	0	6,75
14	B/3 (B=1 için 0,5)	8	12	7,05

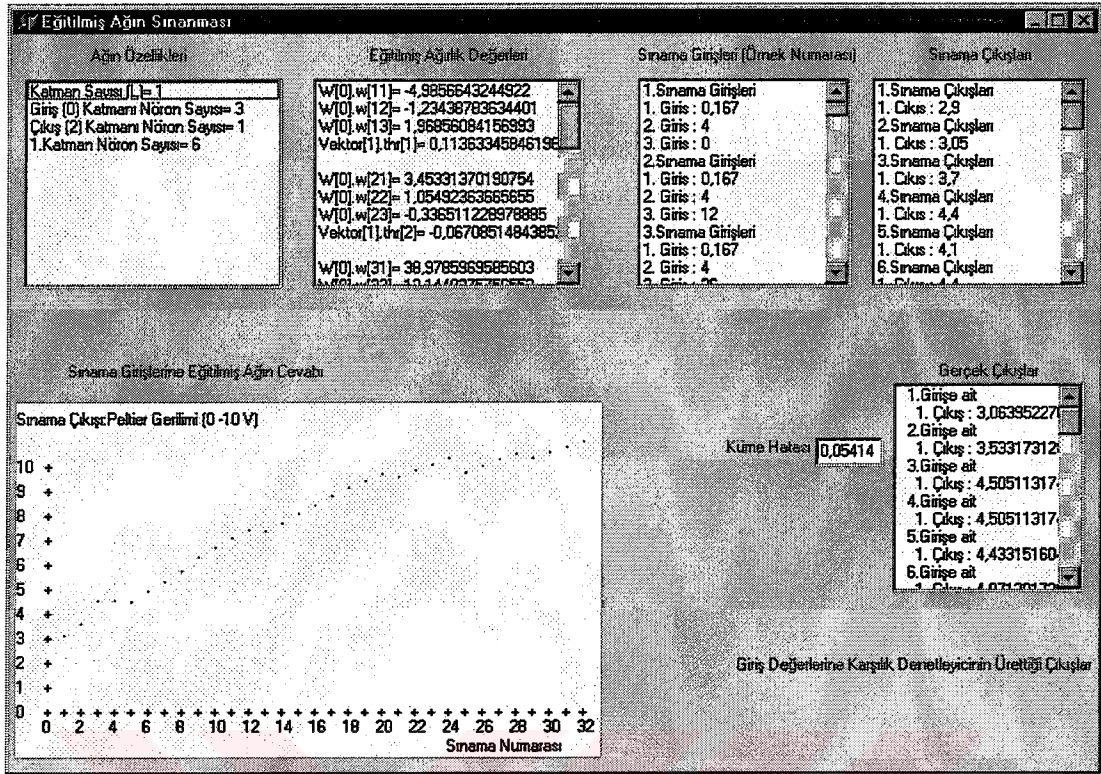
**Tablo 4.19. (Devam) Sıcaklık denetimi için hazırlanan sınaama kümesi**

15	B/3 (B=1 için 0,5)	8	24	7,55
16	B/3 (B=1 için 0,5)	8	36	8,35
17	2B/3 (B=1 için 0,8335)	4	0	8,08
18	2B/3 (B=1 için 0,8335)	4	12	8,4
19	2B/3 (B=1 için 0,8335)	4	24	8,9
20	2B/3 (B=1 için 0,8335)	4	36	9,35
21	2B/3 (B=1 için 0,8335)	8	0	8,8
22	2B/3 (B=1 için 0,8335)	8	12	9,1
23	2B/3 (B=1 için 0,8335)	8	24	9,4
24	2B/3 (B=1 için 0,8335)	8	36	9,75
25	B (B=1 için 0,99)	4	0	8,99
26	B (B=1 için 0,99)	4	12	9,29
27	B (B=1 için 0,99)	4	24	9,79
28	B (B=1 için 0,99)	4	36	9,99
29	B (B=1 için 0,99)	8	0	9,59
30	B (B=1 için 0,99)	8	12	9,89
31	B (B=1 için 0,99)	8	24	9,99
32	B (B=1 için 0,99)	8	36	9,99

Sınama girişlerine karşılık YSA'nın gerçek çıkışlarının istenen çıkışlara yakın olduğu görülmektedir. Çıkış grafiklerinin şeklinden ve küme hatasının düşüklüğünden ağın yeterince eğitilmiş olduğu anlaşılır (Şekil 4.28).



**Şekil 4.28. Sıcaklık Denetimi İçin YSA Sınama Grafikleri**

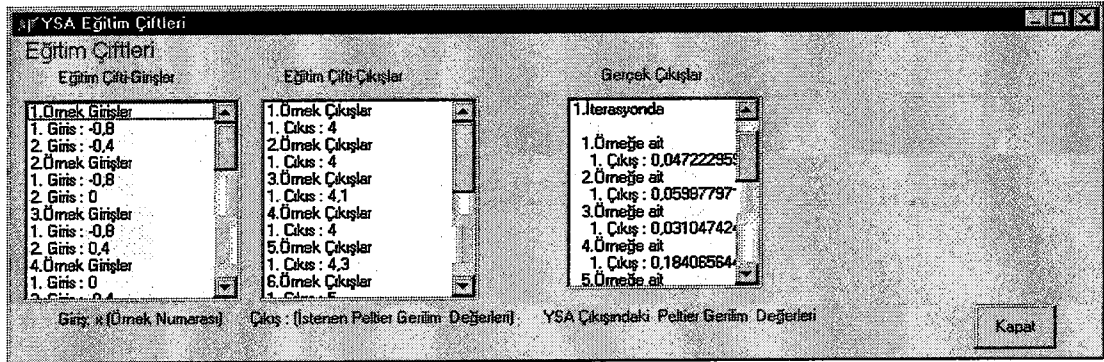


Şekil 4.28. (Devam) Sıcaklık Denetimi İçin YSA Sınama Grafikleri

Benzer şekilde Şekil 4.29’da görülen  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı denetleyicisinin eğitimi için Şekil 4.30’daki eğitim çiftleri kullanılır (Bkz. Tablo 4.18).

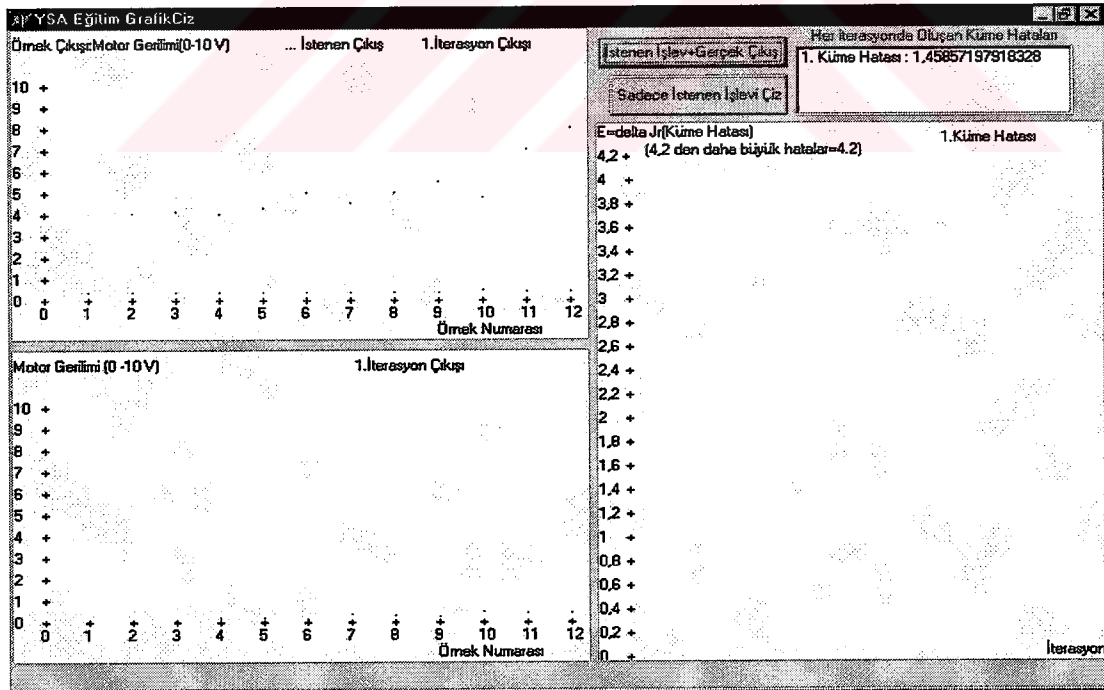
Şekil 4.29.  $T_{üst}-T_{alt}$  Sıcaklık Farkı Denetimi İçin Gerekli Eğitim Programı Menüsü

$T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı denetimi için YSA'nın eğitiminde 4 nörondan oluşan bir gizli katman kullanılmıştır.

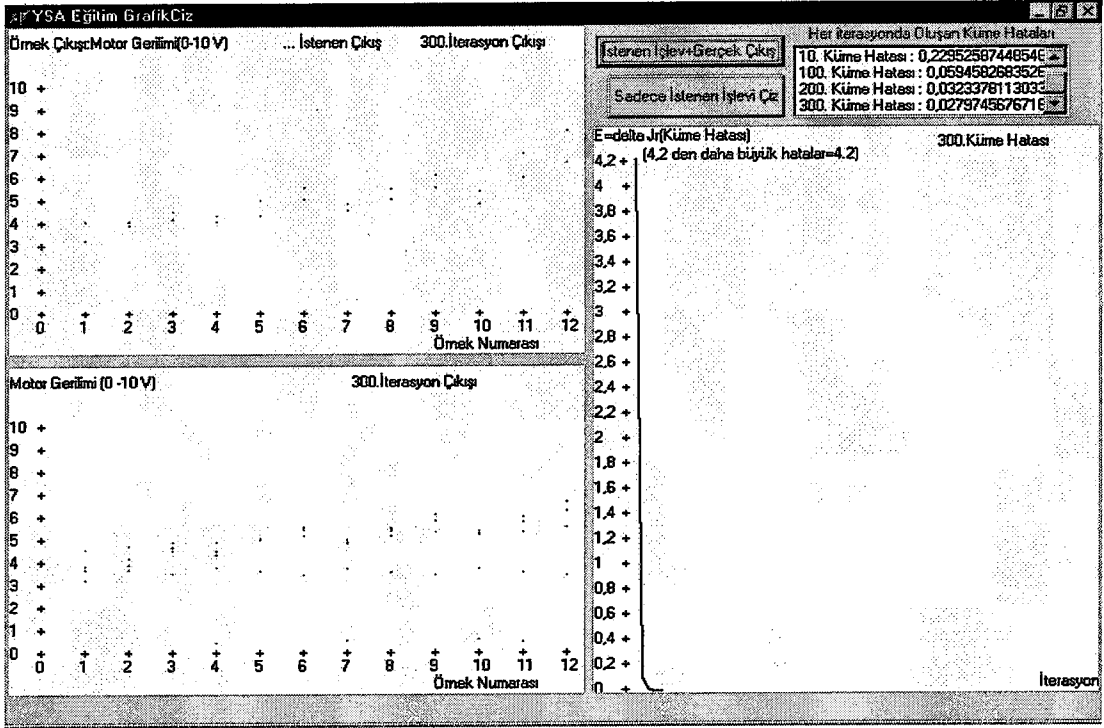


**Şekil 4.30.**  $T_{üst}-T_{alt}$  Sıcaklık Farkı Eğitimi Sırasında YSA'na Girilen Eğitim Çiftleri ve Ağın Verdiği Cevaplar

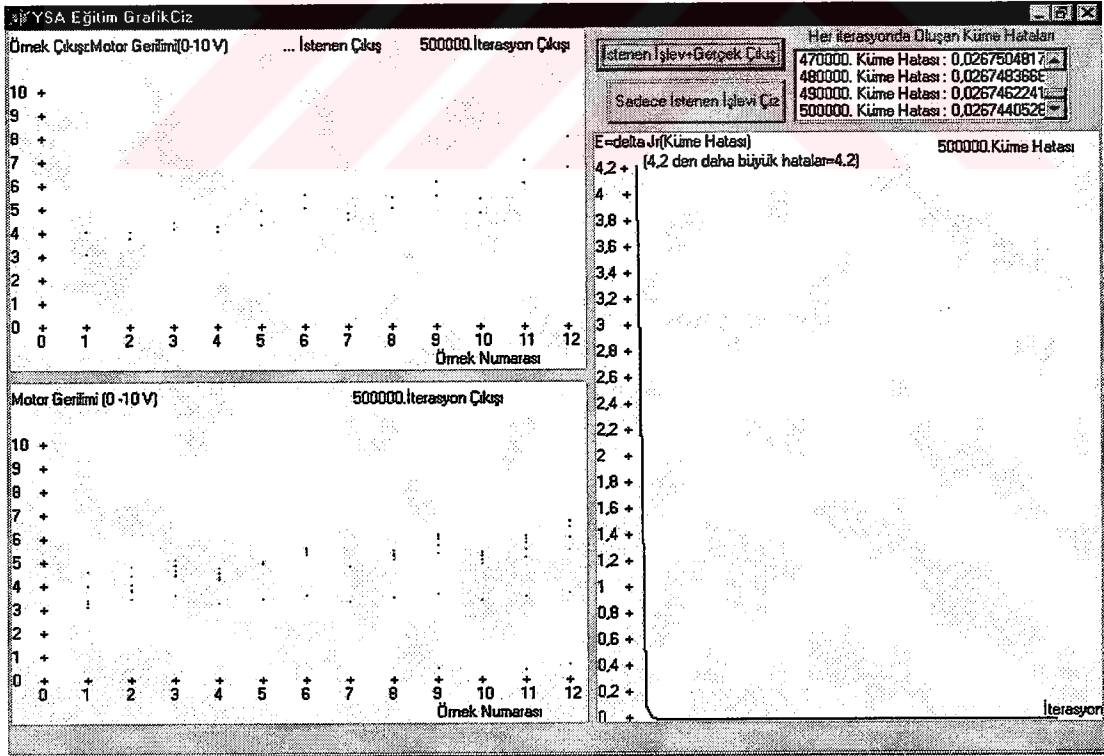
Şekil 4.31'de sol üstte, istenen eğitim çıkışları , eğitim çifti sırasına göre çizdirilmiştir. Sol altta ise 1. iterasyon için ağın çıkışları görülmektedir. Diğer iterasyonlar için eğitim adımları Şekil 4.31'in devamında sırasıyla verilmiştir.



**Şekil 4.31.**  $T_{üst}-T_{alt}$  Sıcaklık Farkı Denetimi İçin YSA Eğitim Grafikleri



Şekil 4.31. (Devam)  $T_{üst}-T_{alt}$  Sıcaklık Farkı Denetimi İçin YSA Eğitim Grafikleri



Şekil 4.31. (Devam)  $T_{üst}-T_{alt}$  Sıcaklık Farkı Denetimi İçin YSA Eğitim Grafikleri

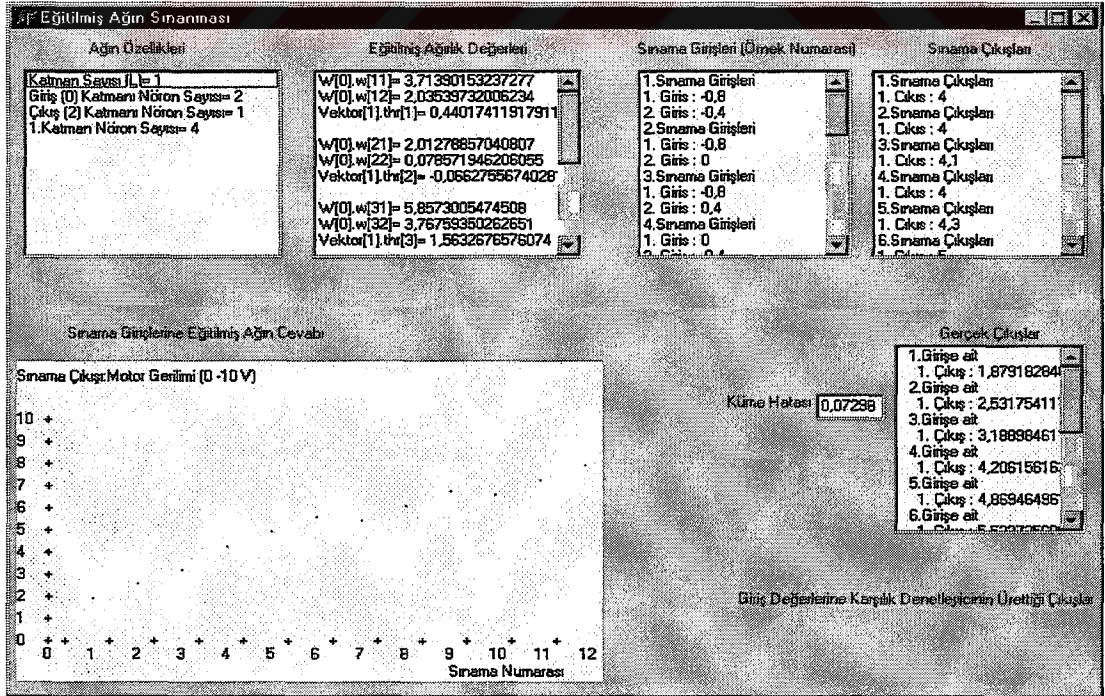


Eğitilmiş ağ parametreleri, biri Tablo 4.18’de kullanılan eğitim kümesinin kendisi, diğeri ise Tablo 4.20’de verilen bir sına ma çifti kümesi olmak üzere, iki farklı sına ma kümesi tarafından ayrı ayrı test edilmiştir.

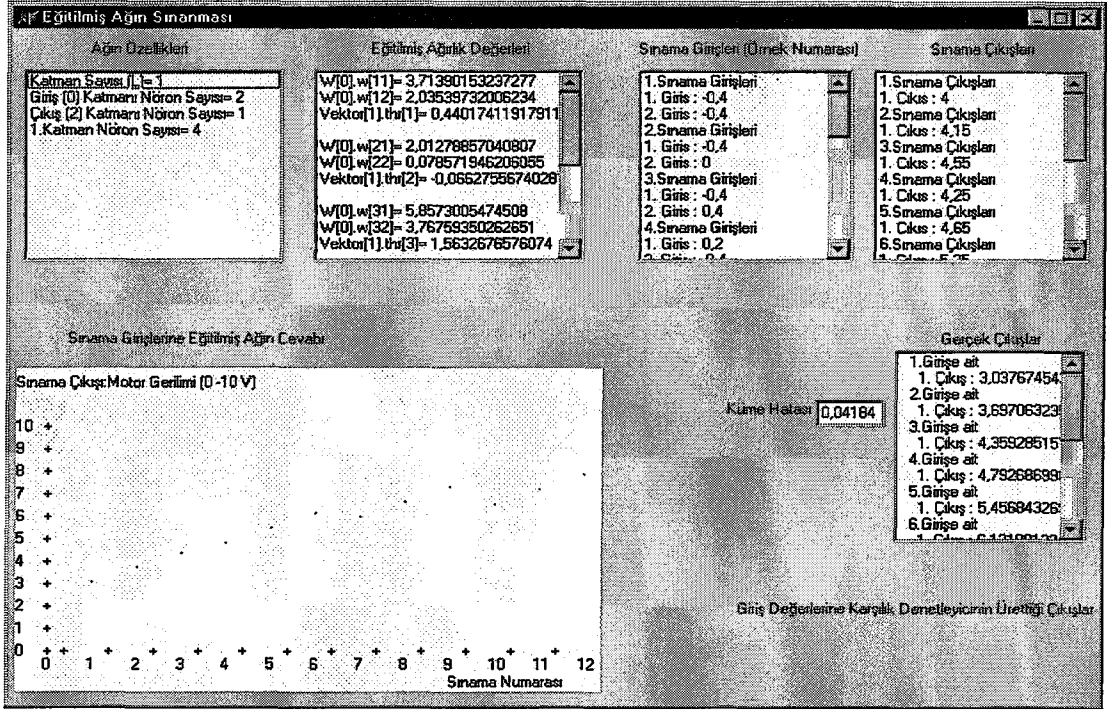
**Tablo 4.20.**  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı denetimi için hazırlanan sına ma kümesi

Sına ma Çifti Numarası	Girişler		Çıkış
	$T_{üst}-T_{alt} (^{\circ}C)$	$\Delta (T_{üst}-T_{alt}) (^{\circ}C/s)$	$V_m (V)$
1	-0,4	-0,4	4
2	-0,4	0	4,15
3	-0,4	0,4	4,55
4	0,2	-0,4	4,25
5	0,2	0	4,65
6	0,2	0,4	5,25
7	0,6	-0,4	4,65
8	0,6	0	6
9	0,6	0,4	6,75
10	0,79	-0,4	4,79
11	0,79	0	6,99
12	0,79	0,4	7,99

Sına ma girişlerine karşılık YSA’nın gerçek çıkışlarının istenen çıkışlara yakın olduğu görülmektedir (Şekil 4.32 ).



**Şekil 4.32.**  $T_{üst}-T_{alt}$  Sıcaklık Farkı Denetimi İçin YSA Sına ma Grafikleri



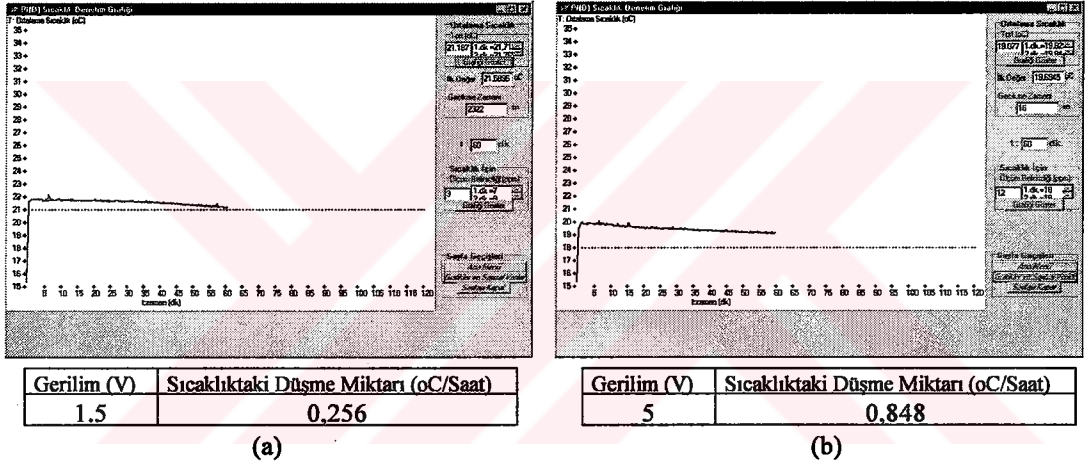
Şekil 4.32. (Devam)  $T_{üst}-T_{alt}$  Sıcaklık Farkı Denetimi İçin YSA Sınama Grafikleri

#### 4.3.5.2. Denetim algoritmasının oluşturulması

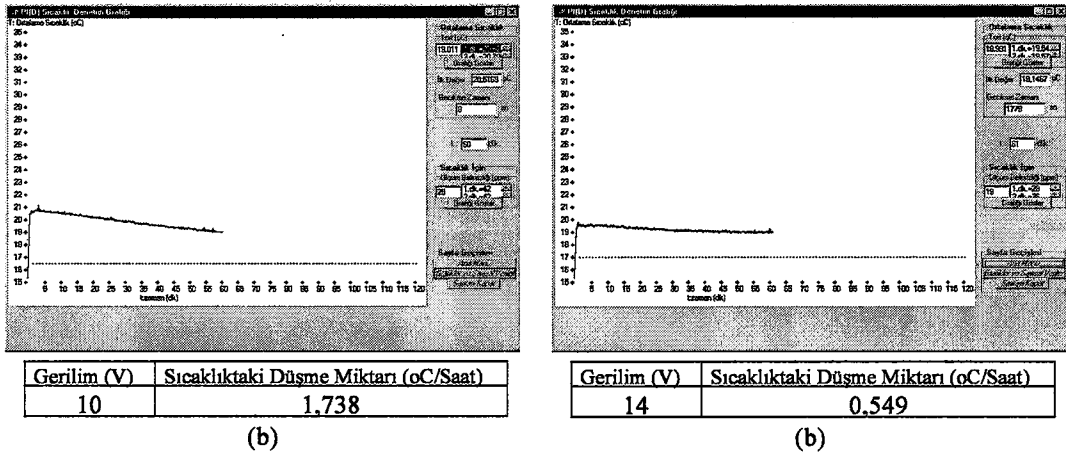
Sıcaklığa göre peltier elemanlarının soğutma miktarını ve  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkına göre motor hızını denetleyen programına ait akış diyagramı Ek-D'de verilmiştir.

## BÖLÜM 5. DENEYSEL GÖZLEMLERDEN YARARLANARAK SİSTEMİN ISIL DAVRANIŞININ ÇÖZÜMLENMESİ

Yüksek gerilim dirençsel bölücü sisteminin ısıl davranışını gözlemlemek ve sıcaklık denetim sisteminin soğutma kapasitesini belirlemek için KOÜ EHSAM Laboratuvarı'nda birbirine yakın ortam koşullarında peltier elemanlarına 1,5V ile 14V arasında, 0,5V'luk adımlarla değişen 26 farklı gerilim 1'er saat süreyle verilerek soğutma işlemi yapılmış, sıcaklıkta meydana gelen değişiklikler gözlenmiştir. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de soğutma işlemlerinden 4 tanesinin sonuçları örnek verilmiştir.

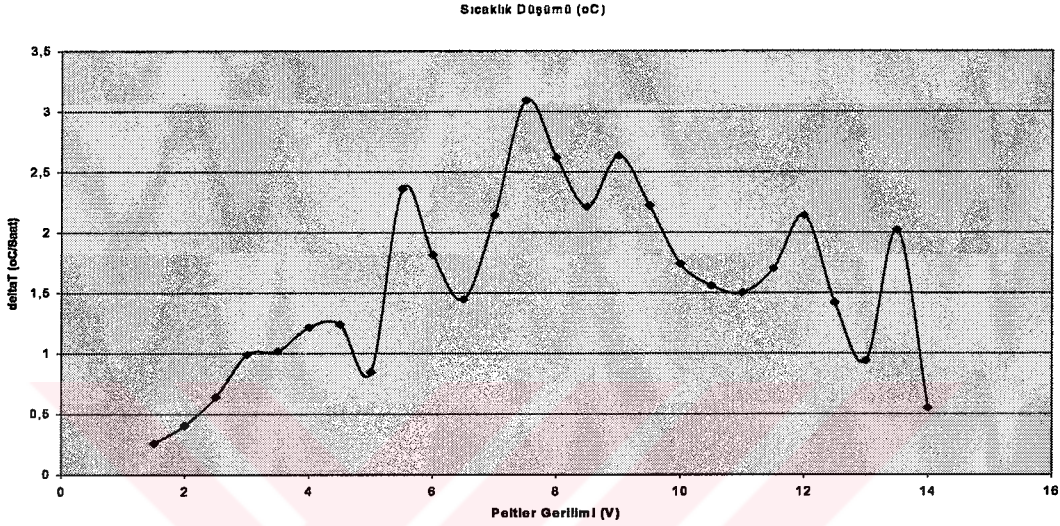


Şekil 5.1. a) Peltier elemanlarına uygulanan 1,5V'luk gerilime ait soğutma grafiği.  
b) 5V'luk gerilime ait soğutma grafiği.



Şekil 5.2. a) Peltier elemanlarına uygulanan 10V'luk gerilime ait soğutma grafiği.  
b) 14V'luk gerilime ait soğutma grafiği.

Grafiklerden, 1 saat içinde sistemde 3 °C'ye kadar sıcaklık düşümünü sağlayabilecek bir soğutmanın yapılabildiği görülmektedir. Uygulanan sabit bir gerilimde soğutma tüm zaman boyunca doğrusala yakındır. Fakat Şekil 5.3'te görüldüğü gibi peltier elemanlarına uygulanan gerilimdeki artışla soğutma miktarındaki artış arasında doğrusal bir bağıntı yoktur. Ortalama  $T_{ort}(ilk)-T_{ort}(son)$  sıcaklık farkları, belirli bir gerilim değerine kadar artma eğilimindeyken daha sonra düşüşe geçmiştir.



**Şekil 5.3.** Deney sırasında peltier elemanlarına uygulanan gerilimlere karşılık ısı üretilen tankta meydana gelen ortalama  $T_{ort}(ilk)-T_{ort}(son)$  sıcaklık farkları

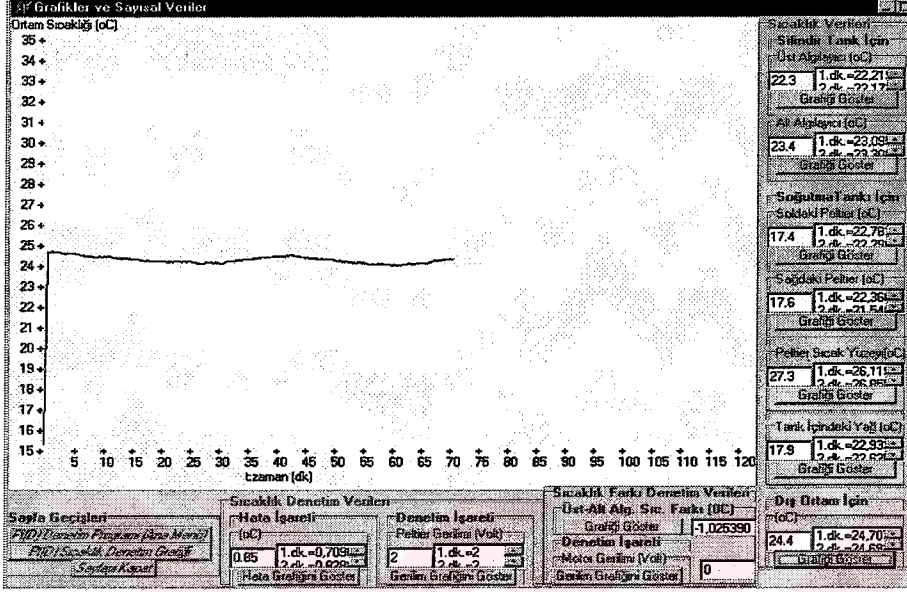
Buradan soğutma miktarına, uygulanan gerilimin dışındaki değişkenlerin de önemli ölçüde etki ettiği görülmektedir. Bu değişkenlerin sisteme etkileri gözlemlenmeli ve denetim sürecinde hesaba katılmalıdır.

### 5.1. Soğutma Miktarına Etki Eden Etkenlerin İncelenmesi

Peltier elemanlarının soğutma miktarının, ideal şartlarda uygulanan güçle doğru orantılı olması beklenir. Fakat, peltier elemanlarının sıcak yüzeyi  $T_h$  ile soğuk yüzeyi  $T_c$  arasındaki sıcaklık farkında meydana gelen artışla orantılı olarak, soğutma verimi düşmektedir (Bkz. Denklem 3.10).  $T_h-T_c$  sıcaklık farkı, dış ortam sıcaklığından, motorun ürettiği ısıdan, motorun birim zamanda aktardığı akışkan miktarından, peltier elemanlarına uygulanan güçten ve dirençlerin ürettiği ısı yükten etkilenmektedir. Bu da soğutma verimini doğrudan etkilemektedir. Bu değişkenlerin soğutma verimine etkileri deneysel olarak gözlenmiştir. Dirençlerin ürettiği ısı karşısında soğutmanın etkin bir şekilde yapılarak sistemin sıcaklığının istenen sıcaklık değerine getirilmesi ölçüm belirsizliğini oldukça düşürecektir.

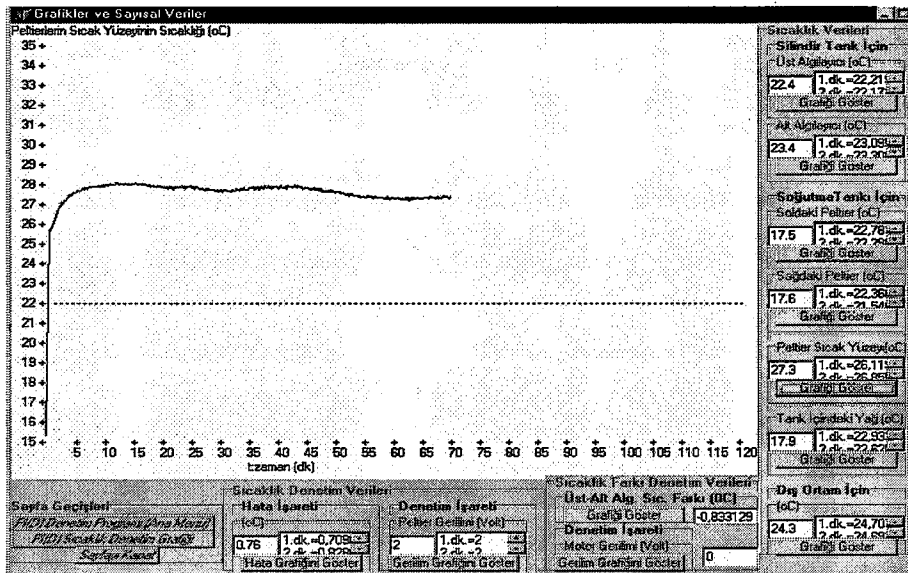
### 5.1.1. Dış ortam sıcaklığının soğutma miktarına etkileri

Dış ortam sıcaklığı,  $T_h$  değerini dolayısıyla  $T_h - T_c$  sıcaklık farkını doğrudan etkilemektedir.



Şekil 5.4. Dış ortam sıcaklığının zamana göre değişimi.

Örneğin Şekil 5.4.'te ortam sıcaklığında meydana gelen değişimin Şekil 5.5.'te peltier elemanlarının sıcak yüzeyine aynı miktarda yansıdığı görülmektedir.



Şekil 5.5.  $T_h$  değerinin zamana göre değişimi.

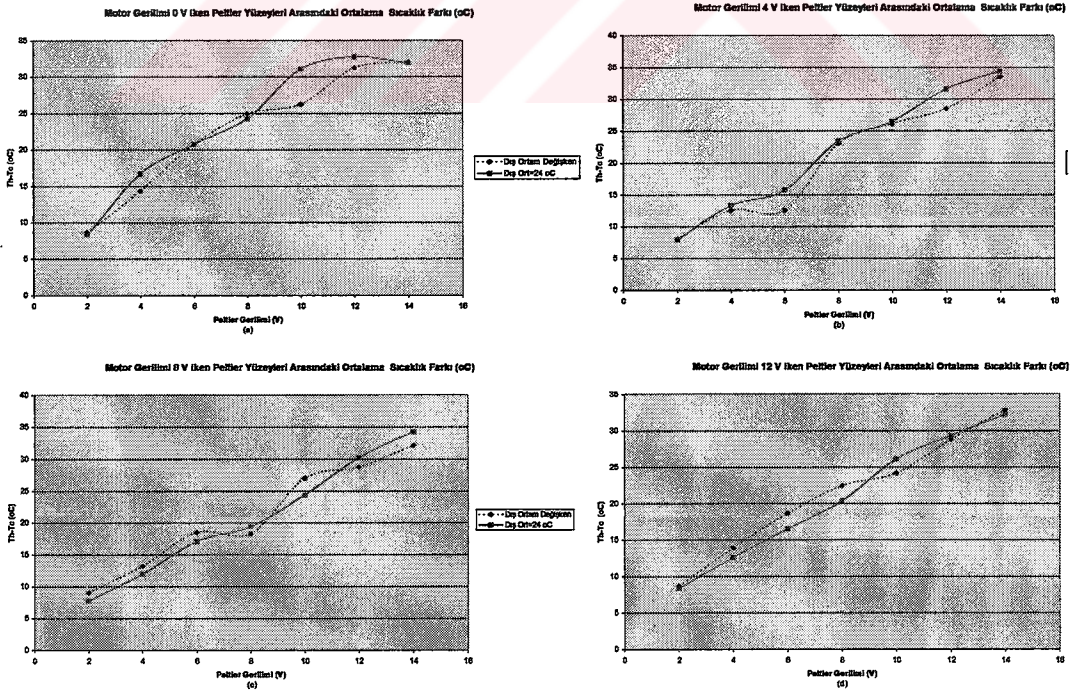
Gerilim verildikten sonra peltier elemanlarının sıcak yüzeyinin sıcaklığı geçici bir süre için gittikçe artarak sürekli bir sıcaklık değerine ulaşır. Sürekli durumda dış ortamdaki artış ya da azalmalar,  $T_h$  'da, aynı değerde dalgalanmalara neden olur.

### 5.1.2. Soğutma için peltier elemanlarına uygulanan gerilimin sisteme etkileri

Aşağıdaki deneylerde, farklı peltier gerilimlerinin, soğutma miktarına ve soğutma verimine etkileri incelenmiştir. Aynı işlemler farklı motor hızları için tekrarlanmış, soğutma miktarına ve verimine etkileri kaydedilmiştir.

#### 5.1.2.1. Peltier elemanlarına uygulanan gerilimin yüzeyler arası sıcaklık farkına etkisi

Aşağıdaki grafiklerde, farklı motor hızlarında peltier elemanlarına uygulanan gerilimlerin,  $T_h - T_c$  sıcaklık farkını, dolayısıyla soğutma verimini nasıl etkilediği görülmektedir. Dış ortam sıcaklığı  $24^{\circ}\text{C}$ 'de sabit kabul edilmiştir. Ölçümler sırasında dış ortam sıcaklığı değişebildiği için, sıcaklık değerindeki sapma, düzeltme faktörü olarak  $T_h$  değerine doğrudan yansıtılmıştır.



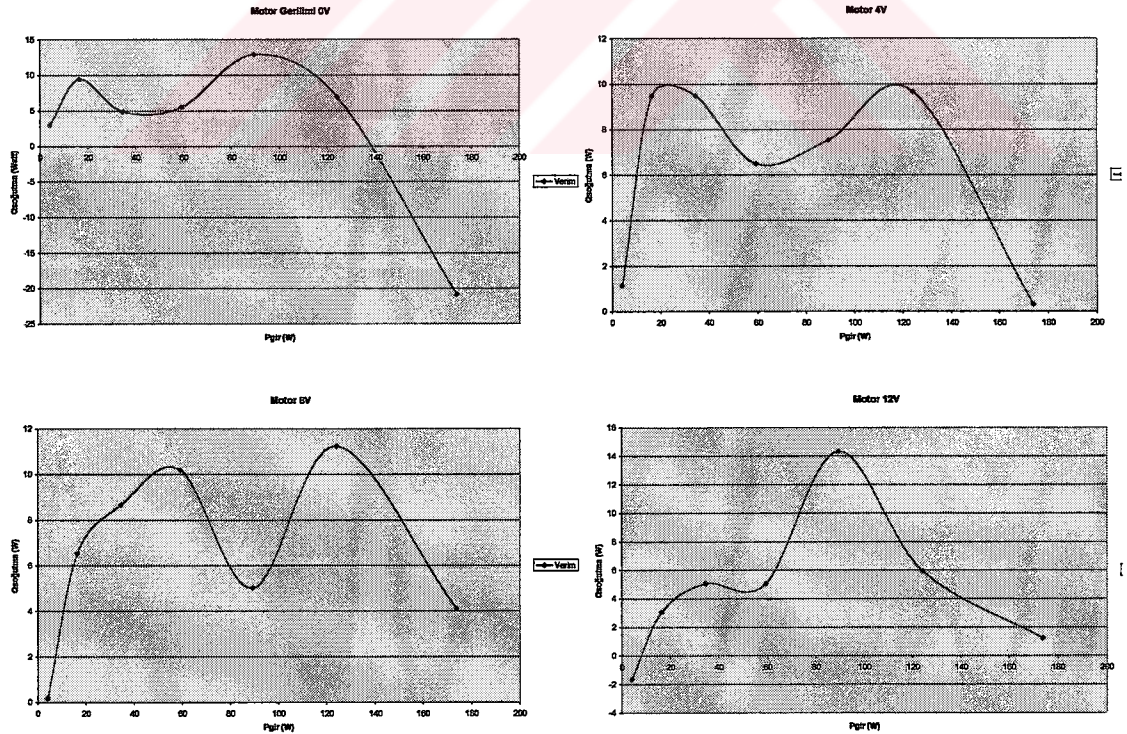
**Şekil 5.6.** Peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının peltier elemanlarına uygulanan gerilime göre değişimi ( $T_h - T_c = f(V_p, V_m, T_\infty) \Big|_{V_m = sbt}$ ).

Şekil 5.6'da görüldüğü gibi, peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı, peltier elemanlarına uygulanan gerilimle orantılı olarak artmaktadır.

### 5.1.2.2. Peltier elemanlarına uygulanan gerilimin soğutma miktarına etkisi

Soğutma miktarının idealde, peltier elemanlarına uygulanan giriş gücü ile orantılı olarak artması gerekir. Fakat peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı soğutma verimini düşürdüğünden, soğutma miktarını etkileyen ikinci bir faktör olarak ortaya çıkar. Peltier elemanlarının giriş gücü arttıkça, bir yandan aktarabileceği ısı miktarı artarken, diğer yandan  $T_h$  yüzeyine aktarılan ısı miktarındaki bu artış, Şekil 5.6'da görüldüğü gibi,  $T_h - T_c$  sıcaklık farkının da istenmeden artmasına neden olur. Peltier elemanlarına uygulanan gerilimin soğutma miktarlarına etkisini görebilmek için dış ortam sıcaklığının ve motora uygulanan gerilimlerin sabit durumda olması gerekir.

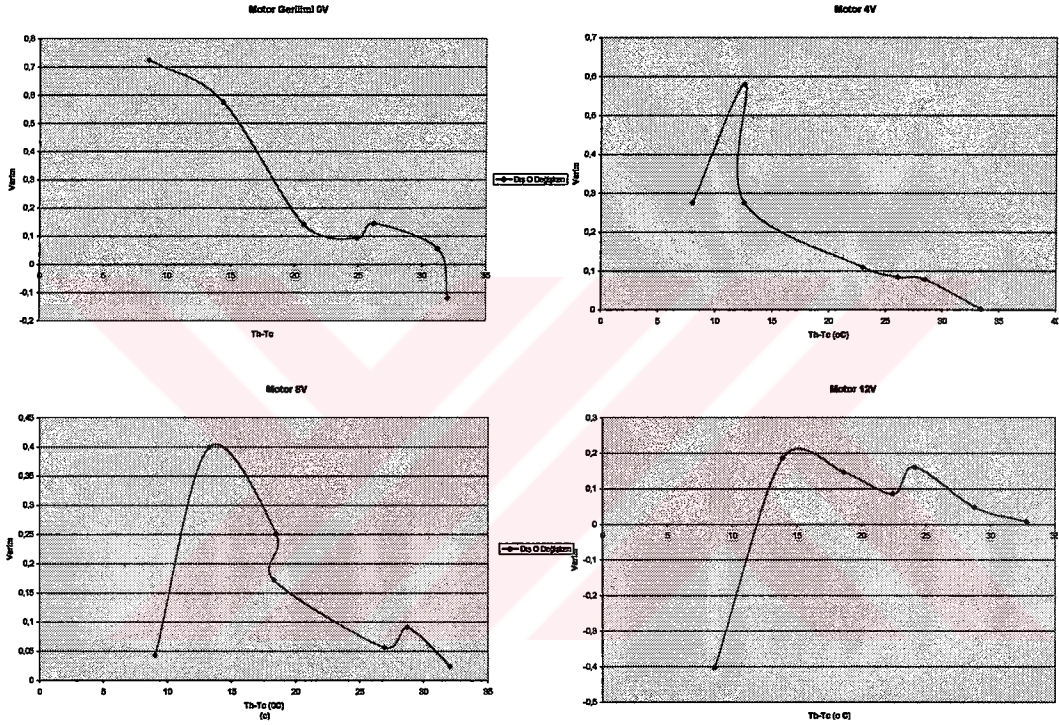
Sabit dış ortam sıcaklığı sağlanamadığından, dış ortam sıcaklığında  $24\text{ }^\circ\text{C}$ 'den sapma olduğunda bu değer, düzeltme faktörü olarak soğutma eğrisine eklenmiştir.



Şekil 5.7. Peltier elemanlarının giriş gücüyle soğutma miktarı arasındaki ilişkiler ( $Q_{soğutma} = f(P_{gir}, V_m, T_\infty) \Big|_{V_m = sbt}$ ).

Düzeltilme faktörünün hesaplanmasında ilk adım olarak dış ortam sıcaklığı değişken iken peltier elemanlarına uygulanan güç ile meydana getirdikleri soğutma miktarından, yaklaşık soğutma verimleri elde edilmiştir.

Peltier elemanlarının giriş gücüyle soğutma miktarının doğrusal olarak artmamasının nedeni, yüzeyler arasındaki sıcaklık farkının soğutma verimini etkilemesidir. Soğutma verimiyle sıcaklık farkı arasındaki bağıntılar Şekil 5.8’de verilmiştir.

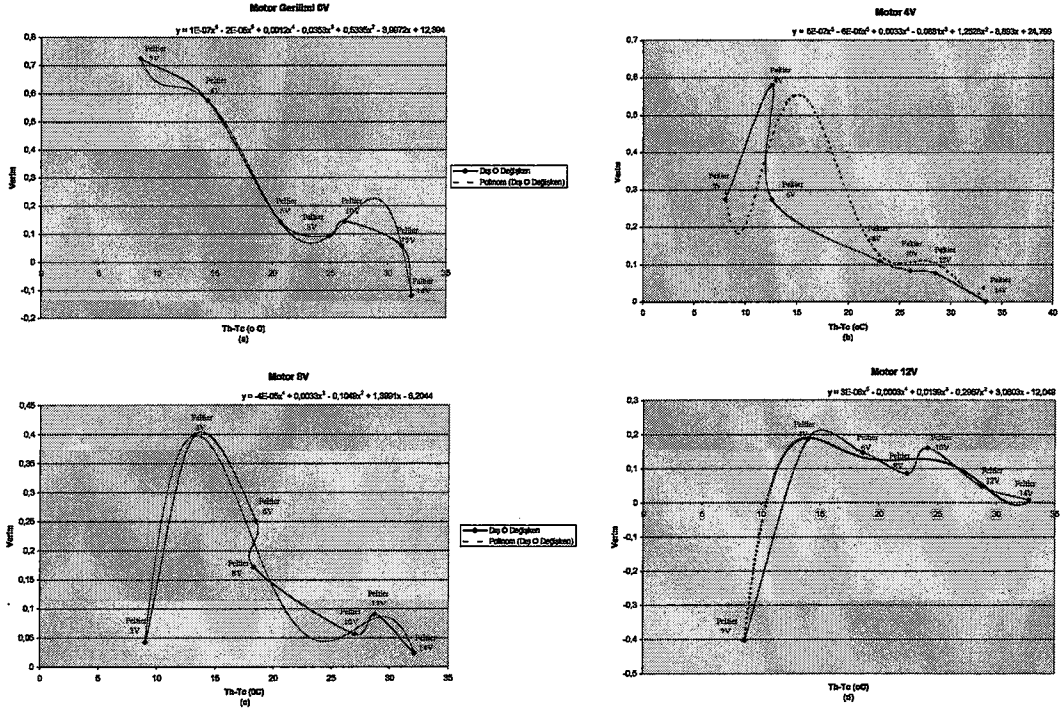


**Şekil 5.8.** Soğutma veriminin peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkına göre değişimi ( Ortam sıcaklığı değişken,  $\eta_c = f(T_h - T_c, V_m, T_\infty) \Big|_{V_m = sbt}$  ).

Görüldüğü gibi, sıcaklık farkının artmasıyla soğutma verimi düşme eğilimindedir. Sadece peltier elemanlarına 2V gerilim verildiğinde, motorun sürtünmeden dolayı ürettiği ısı nedeniyle verim düşük veya negatif çıkmıştır. Dış ortam sabitken bu ilişki daha net görülecektir.

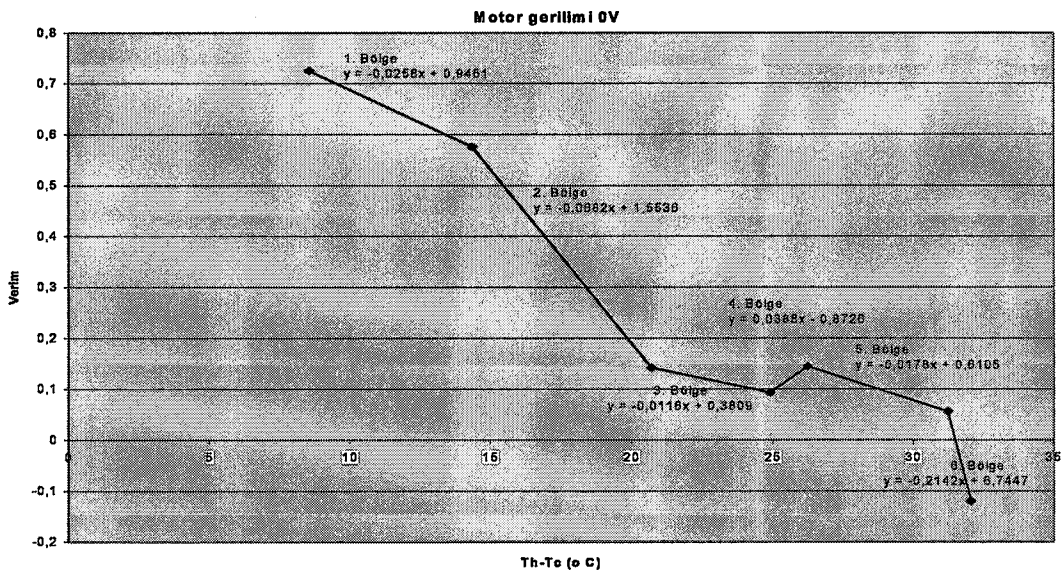
Bunun için her bir verim-sıcaklık farkı eğrisi, yüksek dereceli bir işlev olarak tanımlanır ve dış ortam sabit 24°C için düzeltilmiş yeni Th-Tc sıcaklık farkı değerleri işlevde yerlerine konularak verim-sıcaklık farkı eğrileri yeniden çizdirilir.





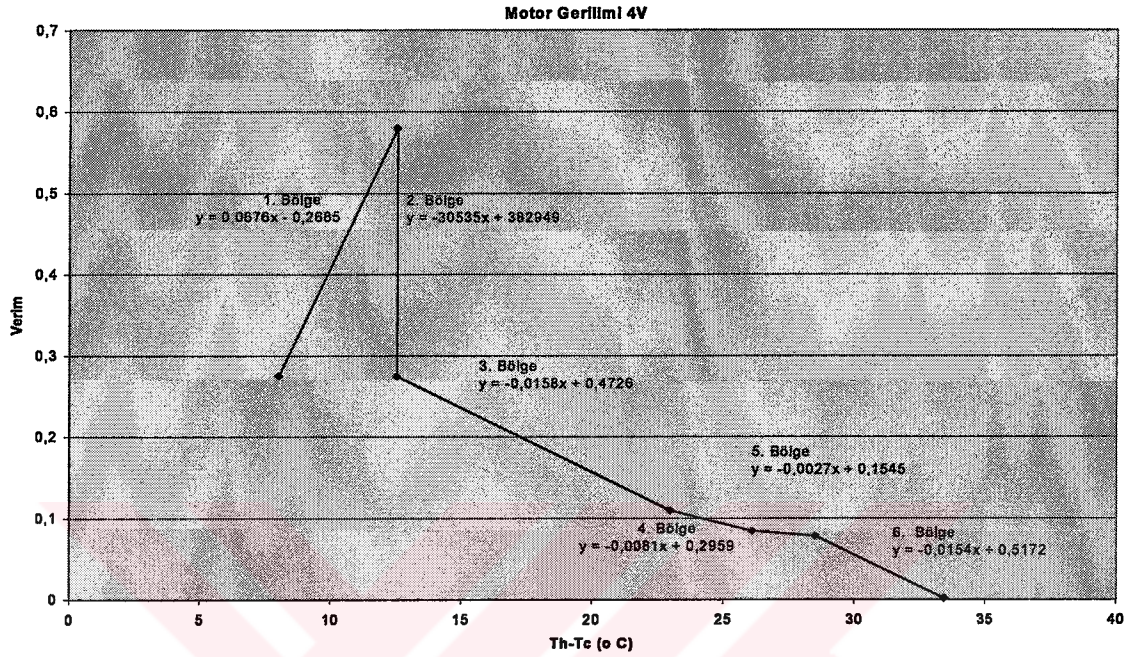
Şekil 5.9. Verim-Sıcaklık Farkı grafiklerine uydurulan işlevler.

Şekil 5.9’da verilen işlevler, Verim-Sıcaklık Farkı eğrilerini bazı noktalarda yeterli doğrulukta temsil edememektedir. Bu nedenle doğruluğu arttırmak için eğriler bölgelere ayrılıp ayrı ayrı işlevler uydurulmuştur. Örneğin, Şekil 5.10’da, 1. bölge sınırları içinde, sıcaklık arttıkça, verim, derece başına  $-0,0258$  birim azalmaktadır.

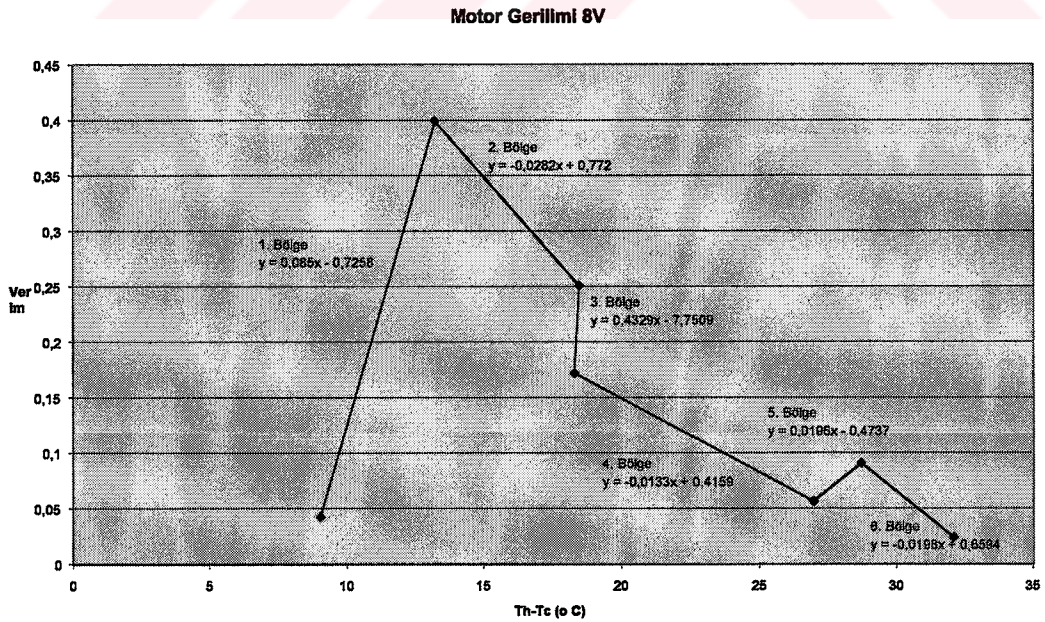


Şekil 5.10. Motora gerilim uygulanmadığı durumda soğutma verimi eğrisini temsil eden ayırık doğrusal işlevler ve tanımlı oldukları bölgeler.

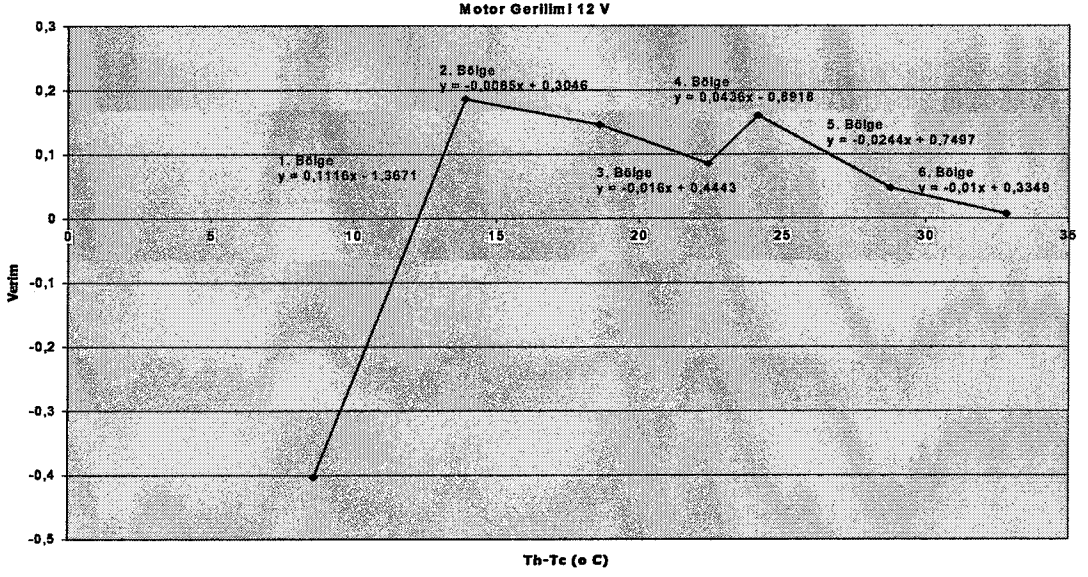
Peltier gerilimi 2V iken, Th-Tc sıcaklığı, 8,572048611 °C yerine dış ortamın 24°C'de sabit olduğu düzeltilmiş Th-Tc sıcaklığı olan 8,27127231 °C kullanılırsa, sıcaklık farkı daha düşük olacağı için, verim daha yüksek çıkmıştır .



**Şekil 5.11.** Motora uygulanan gerilimin 4V olduğu durumda soğutma verimi eğrisini temsil eden ayırık doğrusal işlevler ve tanımlı oldukları bölgeler.

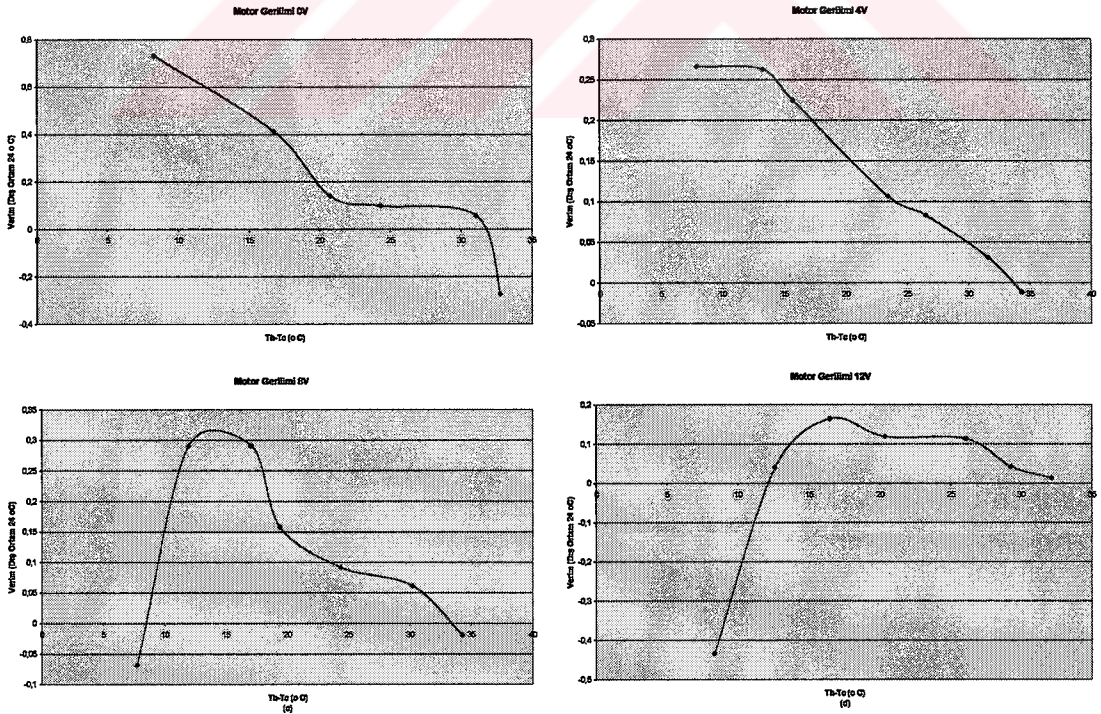


**Şekil 5.12.** Motora uygulanan gerilimin 8V olduğu durumda soğutma verimi eğrisini temsil eden ayırık doğrusal işlevler ve tanımlı oldukları bölgeler.



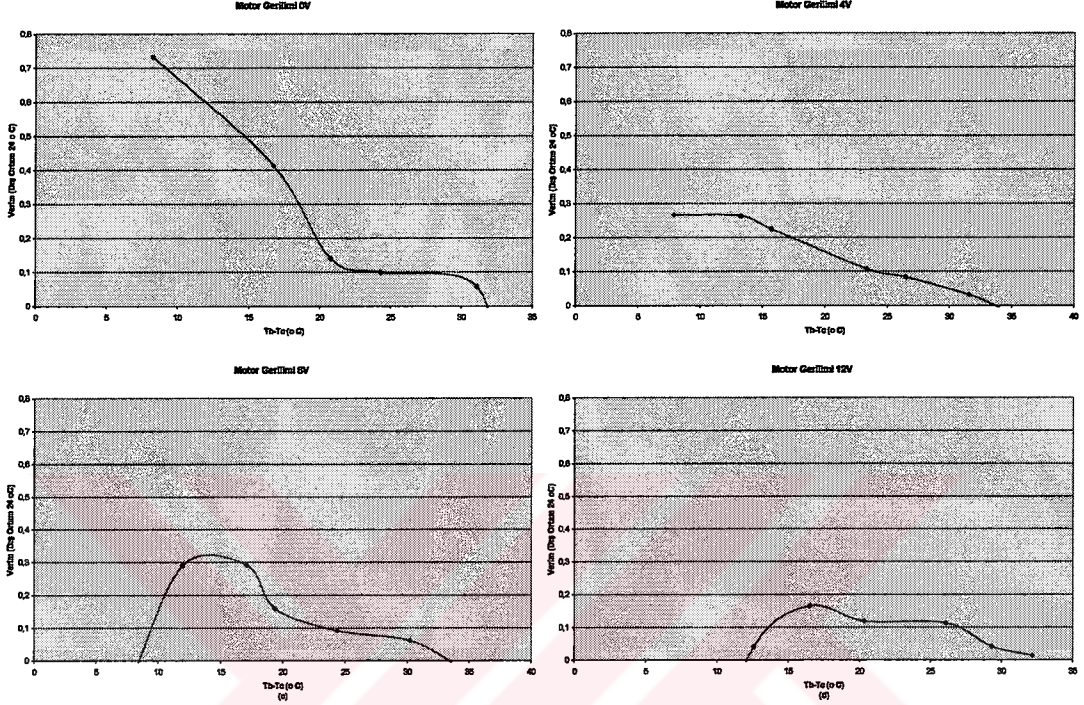
**Şekil 5.13.** Motora uygulanan gerilimin 12V olduğu durumda soğutma verimi eğrisini temsil eden ayrı doğrusal işlevler ve tanımlı oldukları bölgeler.

Dış ortam sıcaklığı 24 °C olacak şekilde değerleri düzeltilmiş  $T_h - T_c$  değerleri, içinde buldukları bölgeyi temsil eden işlevlerde yerlerine konularak Şekil 5.14'te görüldüğü gibi düzeltilmiş verim eğrileri elde edilir.



**Şekil 5.14.** Soğutma veriminin peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkına göre değişimi ( $\eta_c = f(T_h - T_c, V_m, T_\infty) \Big|_{V_m = sbt, T_\infty = sbt}$ )

Soğutma verimi ile peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı arasındaki bağıntılar, daha rahat karşılaştırma yapılabilecek şekilde ortak bir bölge için Şekil 5.15'te yeniden verilmiştir.



**Şekil 5.15.** Soğutma veriminin peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkına göre değişimi ( $0 < \eta_c < 0,8$ )

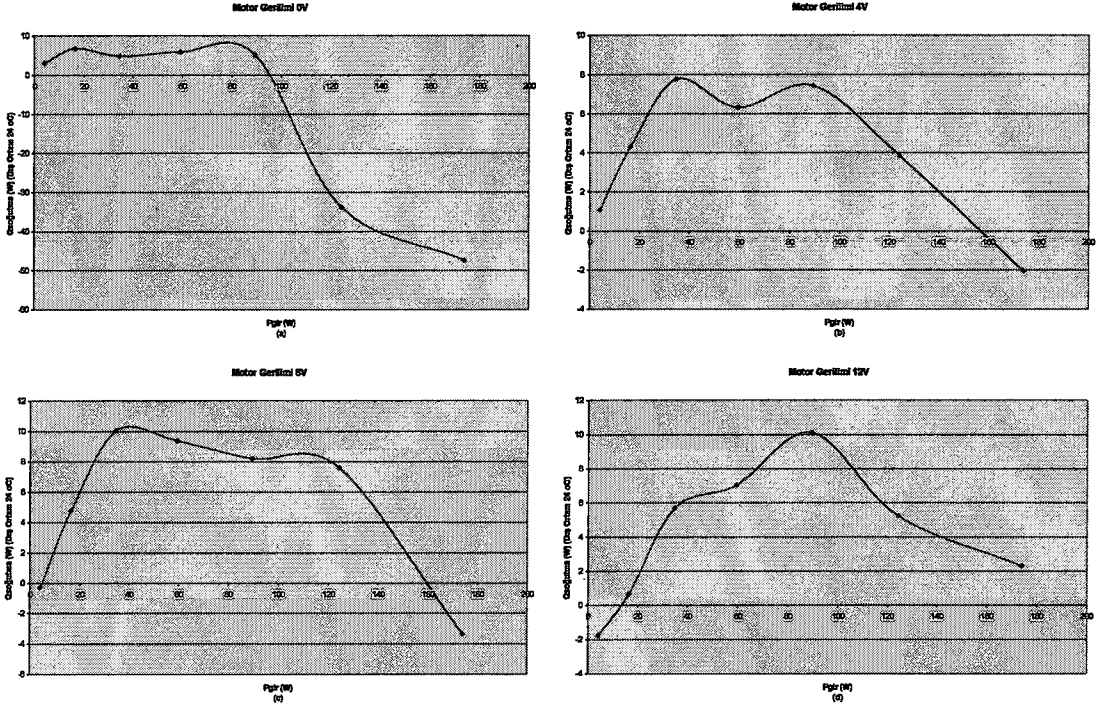
Peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkıyla soğutma verimi arasındaki bağıntı, 3.10 bağıntısında ideal olarak verildiği gibi doğrusal çıkmamıştır.

Elde edilen düzeltilmiş verim eğrileri,  $\eta_c$ , karşı düştükleri peltier elemanı giriş güçleriyle çarpılarak Eşitlik 5.1'deki gibi düzeltilmiş soğutma miktarları bulunabilir.

$$Q_C = \eta_c * P_{gir} \quad (5.1)$$

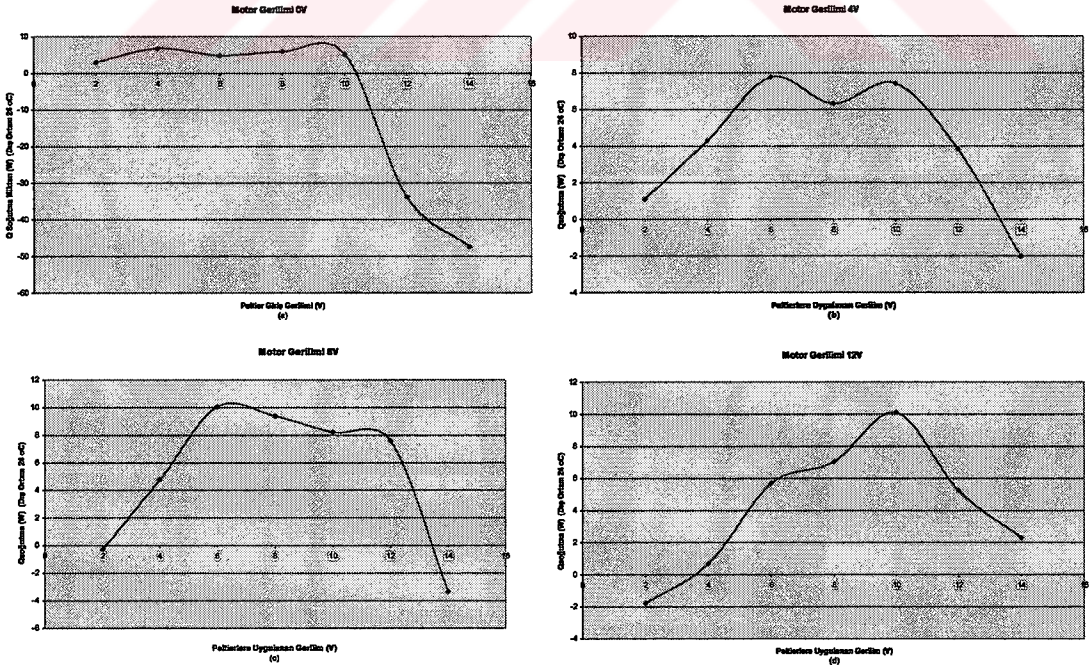
Dış ortam sıcaklığı 24 °C için, düzeltilmiş soğutma verimi-peltier elemanı giriş gücü grafikleri Şekil 5.16'da görüldüğü gibidir.

**İ.C. YÜZER İNŞAAT VE  
DONDURMA TİCARET VE SANAYİ**



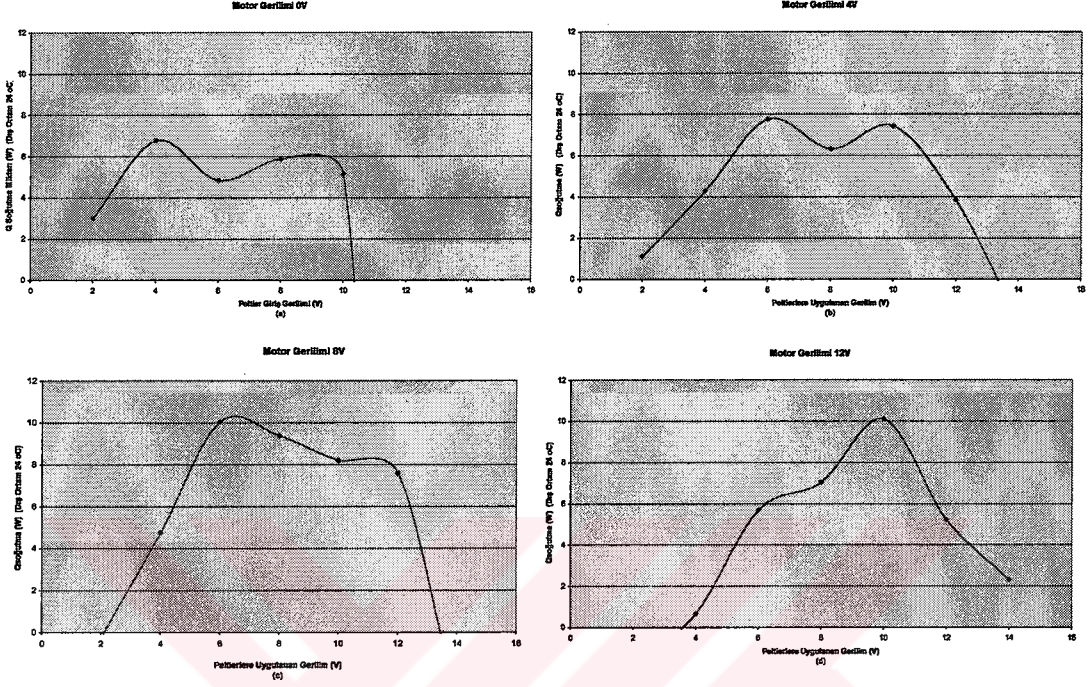
Şekil 5.16. Peltier elemanlarının giriş gücüyle soğutma miktarı arasındaki ilişkiler ( $Q_{\text{soğutma}} = f(P_{\text{gir}}, V_m, T_{\infty}) \Big|_{V_m = \text{sbt}, T_{\infty} = \text{sbt}}$ ).

Benzer şekilde, farklı motor gerilimleri için peltier elemanlarına uygulanan gerilimle soğutma miktarı arasındaki bağıntılar Şekil 5.17’de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.17. Peltier elemanlarına uygulanan gerilime göre soğutma miktarının değişimi ( $Q_{\text{soğutma}} = f(V_p, V_m, T_{\infty}) \Big|_{V_m = \text{sbt}, T_{\infty} = \text{sbt}}$ ).

Soğutmanın yapılabileceği bölgeler, 0 ile 12W arasındadır. Karşılaştırma yapabilmek için Soğutma Miktarı-Peltier Elemanı Gerilimi grafikleri, bu bölgeler içinde yeniden verilmiştir (Şekil 5.18).

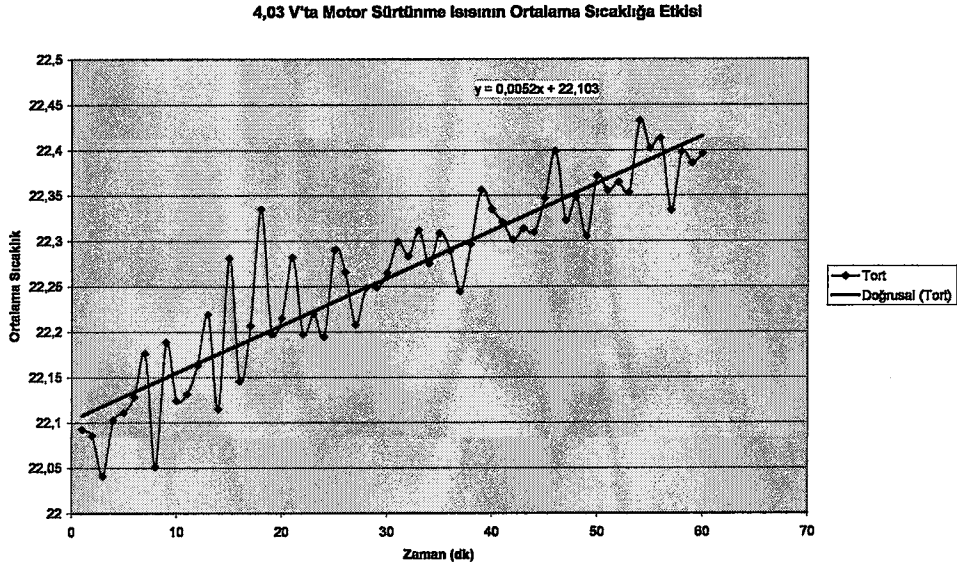


**Şekil 5.18.** Peltier elemanlarına uygulanan gerilime göre soğutma miktarının değişimi (  $0 < Q_{\text{soğutma}} < 12$  )

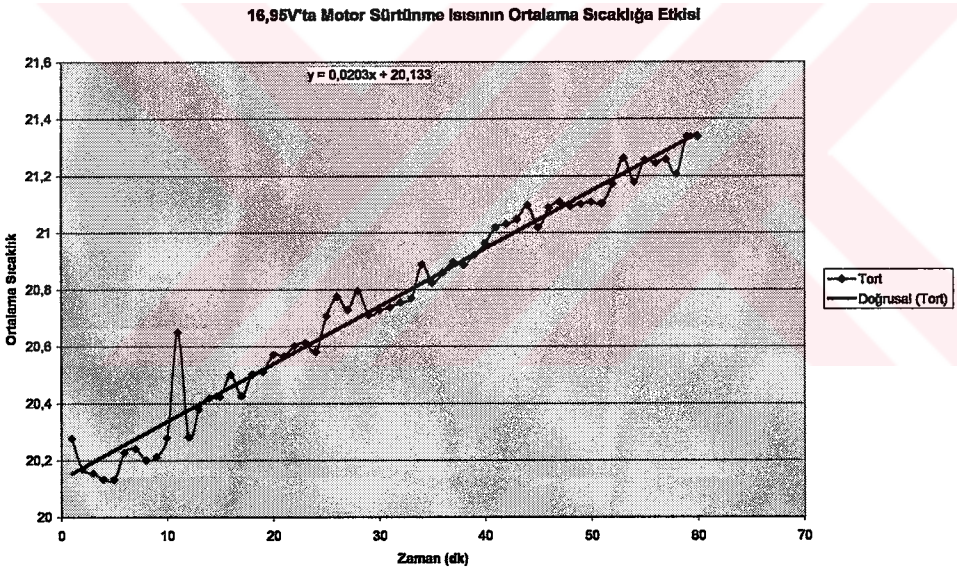
### 5.1.3. Devir daim motorunun soğutma miktarına etkisi

Motor, sisteme verdiği ek sürtünme ısısı nedeniyle soğutma miktarını azaltmaktadır. Buna karşılık  $T_c$  yüzeyinde birikerek  $T_h - T_c$  sıcaklık farkının artmasına neden olan soğumuş akışkanı uzaklaştırdığı için soğutma verimini arttırmaktadır. Motor hızının artırılması, ısı üreten tanka ait  $T_{\text{üst}} - T_{\text{alt}}$  sıcaklık farkının büyümesini de önler. Peltier elemanlarının giriş gücüne bağlı olarak, motor hızı, soğutmaya katkıda bulunabilir veya olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle soğutma için seçilen peltier elemanlarının gücüne bağlı olarak uygun motor hızı da belirlenmelidir.

Öncelikle, çeşitli motor gerilimlerinde, sisteme ne kadar ısı verildiği belirlenmiştir. Bu amaçla motora 4V, 8V, 12V ve 16V civarında 4 farklı gerilim, birer saat süreyle uygulanmış ve akışkanda meydana getirdikleri ısınma gözlenmiştir (Şekil 5.19 ve Şekil 5.20 )



**Şekil 5.19.** Motora 4,03V uygulandığında sistemin ortalama sıcaklığının değişimi.

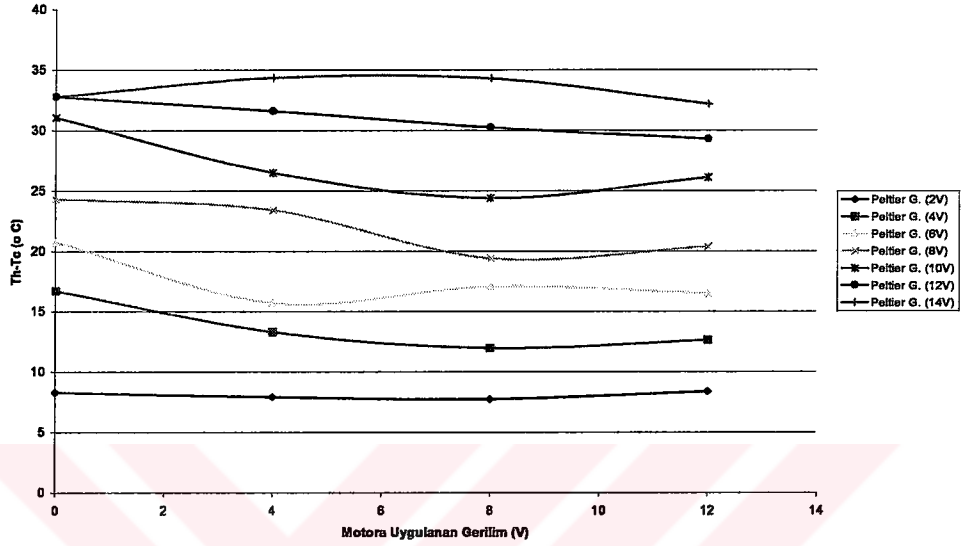


**Şekil 5.20.** Motora 16,95V uygulandığında sistemin ortalama sıcaklığının değişimi.

**Tablo 5.1.** Motor gücü ile sürtünme ısısı arasındaki ilişki.

Motor Gerilimi (V)-Akımı (A)	Motor Gücü (Watt)	Ürettiği Isı (Watt)	Sürtünme Isısı /Uygulanan Giriş Gücü Oranı
4,03V-0,51A	2,0553	1,959322	0,9532
8,49V-0,72A	6,1128	2,8682855	0,4692
12,88V-0,87A	11,2056	5,735202	0,511
16,95V-1 A	16,95	8,6897	0,51266

Motor gücünün ortalama olarak yaklaşık % 50'si akışkan ile düzeneğin iç çeperleri arasındaki sürtünmeden dolayı ısıya dönüşmektedir. Sabit dış ortam sıcaklığı ve sabit peltier gerilimleri için, motor hızına göre peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının değişimi aşağıdaki gibidir.



**Şekil 5.21.** Motora uygulanan gerilime göre peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının değişimi (  $T_h - T_c = f(V_p, V_m, T_\infty) \Big|_{V_p = sbt, T_\infty = sbt}$  )

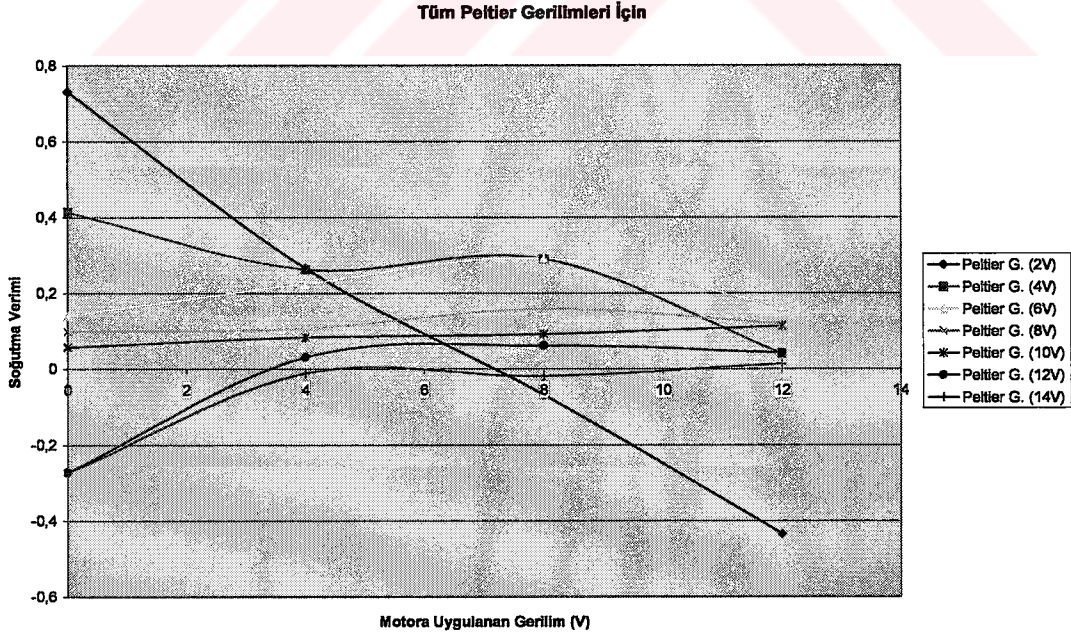
Burada peltier gerilimleri sabit iken peltier elemanlarına uygulanan güç ve aktarılan ısı idealde aynı olması beklenir. Bunun sonucu olarak peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı da aynı olmalıdır. Dış ortam sıcaklığı sabit olacak şekilde düzeltildiği için,  $T_h$  değerleri de aynı olur.  $T_h - T_c$  sıcaklık farkını etkileyecek tek faktör  $T_c$  değeridir. Diğer etkenler sabitken  $T_c$  değeri, sadece motor hızından etkilenir.

- Peltier Gerilimi 2V iken:  $T_h - T_c$  farkı, motor hızından fazla etkilenmemiştir.
- Peltier Gerilimi 4V iken: Motor çalışmazken  $T_c$  değeri daha fazla düşmektedir.  $T_h - T_c$  farkını büyötmektedir. Motora uygulanan gerilim 4V iken, peltier soğuk yüzeyinde biriken düşük ısı akışkan motor tarafından uzaklaştırılır,  $T_h - T_c$  farkı azalır, peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkındaki artış önlenir. Motora uygulanan gerilim 8V iken,  $T_h - T_c$  farkı en aza indirilmiştir. Motora uygulanan gerilim 12V iken sıcaklık farkı nispeten artmıştır. Buna rağmen bu sıcaklık farkı motora uygulanan 4V'luk gerilimdeki sıcaklık farkına göre daha düşüktür.



- Peltier Gerilimi 6V : Sıcaklık farkını en düşük yapan motor gerilimi 4V civarındır.
- Peltier Gerilimi 8V : Sıcaklık farkını en düşük yapan motor gerilimi 8V civarındır.
- Peltier Gerilimi 10V: Sıcaklık farkını en düşük yapan motor gerilimi 8V civarındır.
- Peltier Gerilimi 12V: Sıcaklık farkını en düşük yapan motor gerilimi 12V civarındır.
- Peltier Gerilimi 14V : Sıcaklık farkını en düşük yapan motor gerilimi 12V civarındır.

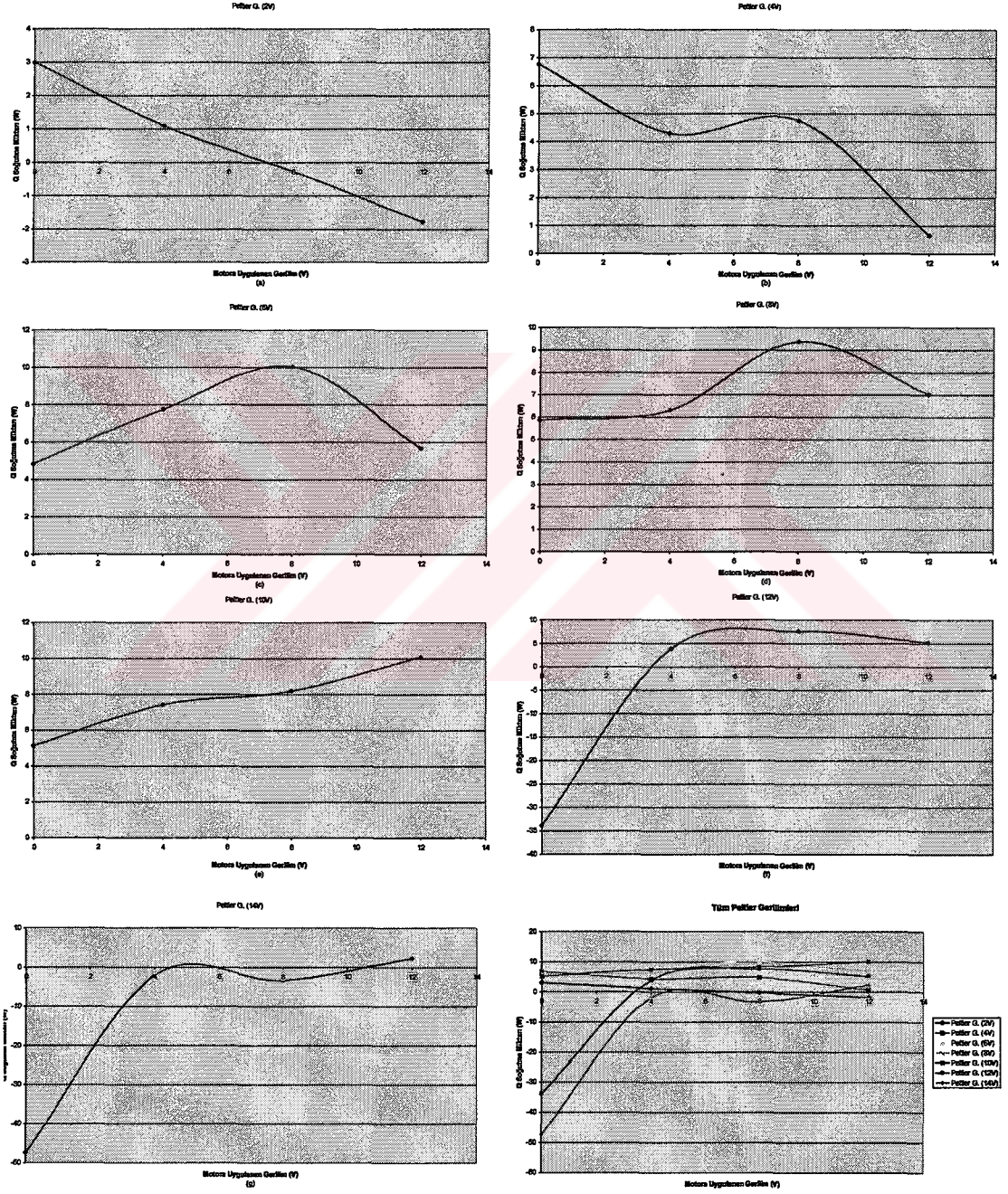
Bu bilgiler göz önüne alınarak doğrudan uygun motor hızı seçimi yapılabilir veya mevcut motor hızına bu bilgiler ışığında bir düzeltme faktörü eklenebilir. Peltier geriliminin 10V'un üzerinde çıkması durumunda soğutma verimi düşmektedir. Bu nedenle peltier elemanlarına 12V, 14V gibi yüksek gerilimler uygulanmadığı takdirde, geriye kalan peltier gerilimleri için motora uygulanabilecek uygun gerilim aralığı 4 ile 8V aralığıdır. Şekil 5.22'de diğer değişkenler sabitken, soğutma veriminin motora uygulanan gerilime göre değişimi görülmektedir. Motora uygulanan gerilimdeki artış, düşük peltier gerilimlerinde verimin düşmesine neden olurken, yüksek peltier geriliminde de artmasına neden olmaktadır.



**Şekil 5.22.** Motora uygulanan gerilimle soğutma veriminin değişimi

$$(\eta_c = f(V_p, V_m, T_\infty) \Big|_{V_p=sbt, T_\infty=sbt})$$

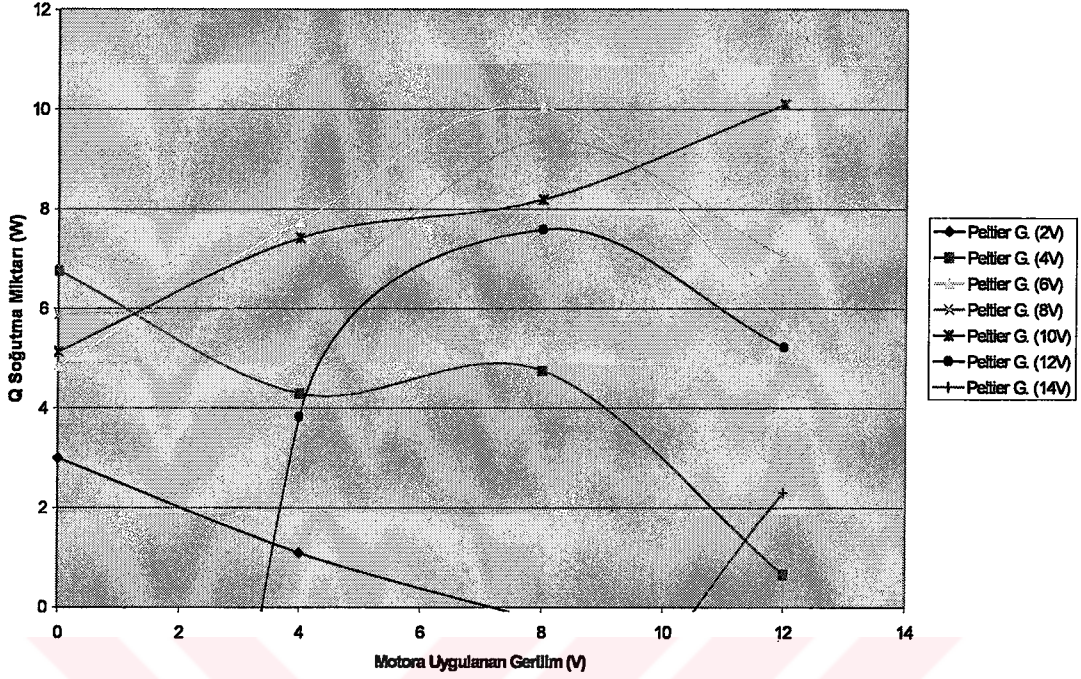
Şekil 5.23'teki soğutma miktarı-motor gerilimi grafiklerinden uygulanan her peltier gerilimi için, soğutma miktarını en yüksek yapan uygun motor gerilimleri görülebilmektedir. Daha rahat karşılaştırma yapabilmek için, soğutmanın yapılabileceği 0-12W bölgesi için tüm peltier gerilimlerine ait soğutma miktarı -motor gerilimi grafikleri Şekil 5.24'te verilmiştir.



Şekil 5.23. Motora uygulanan gerilime göre soğutma miktarının değişimi

$$( Q_{\text{soğutma}} = f(V_p, V_m, T_{\infty}) \Big|_{V_p = sbt, T_{\infty} = sbt} )$$

### Tüm Peltier Gerilimleri İçin



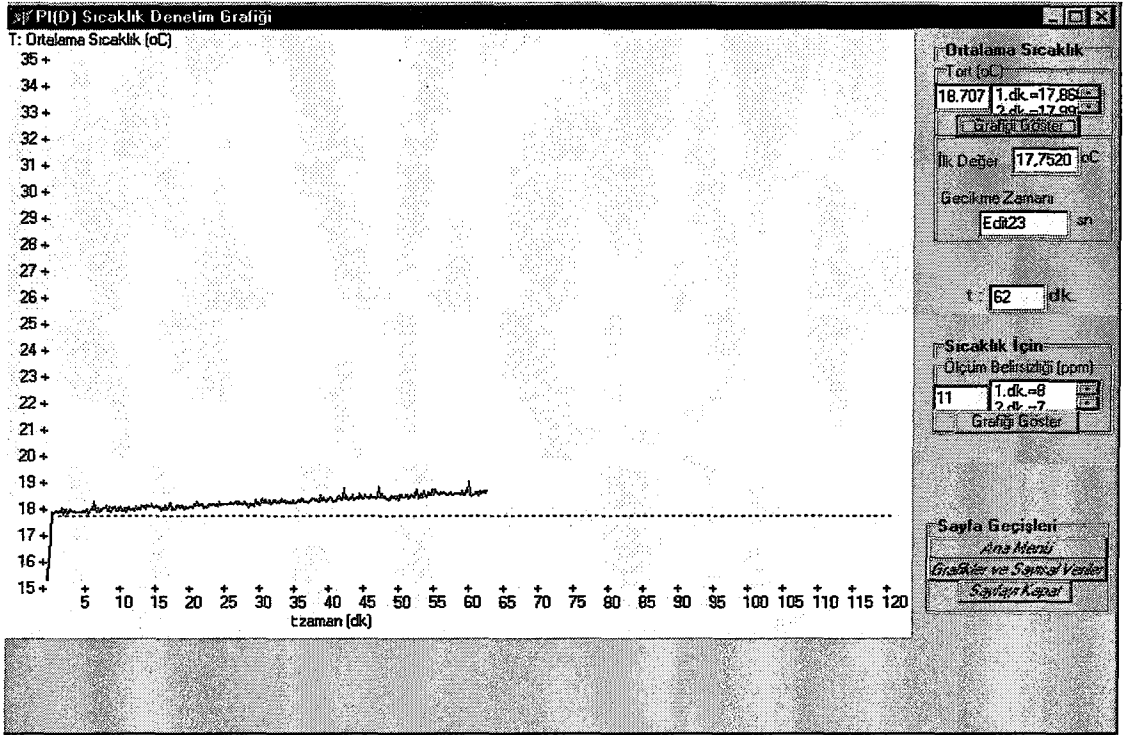
Şekil 5.24. Motora uygulanan gerilime göre soğutma miktarının değişimi ( $0 < Q_{\text{soğutma}} < 12$ )

#### 5.1.4. Gerilim bölücü dirençlerde meydana gelen ısınmanın sisteme etkileri

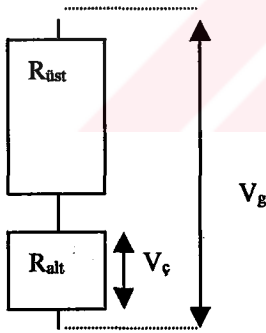
##### 5.1.4.1. 5 kV'luk gerilim bölücünün üreteceği ısının sisteme etkileri

Yüksek gerilim bölücü dirençlerde üretilen 2,5W civarındaki ısı ve 4V gerilim uygulanan motorun ürettiği 2-2,5W civarındaki sürtünme ısısı akışkanın ortalama sıcaklığında artışa neden olur.

Şekil 5.25'te ısınmaya yol açan gerilim bölücü dirençlerin bulunduğu tankta yapılan ölçümler sonucunda buradaki akışkanın ortalama sıcaklığında gözlenen artış görülmektedir. Deneme aşamalarında, benzer bir sıcaklık artışını gözlemlemek için, 5 kV'luk gerilim kaynağını çalıştırmak yerine ona özdeş ısı veren, 2,5W'lık bir rezistans kullanılmıştır.



Şekil 5.25. 2,5W için ısının üretildiği tanktaki yağın ortalama sıcaklığı.



Şekil 5.26. Dirençlerde gerilim bölme oranı

Sıcaklıktaki değişimin etkisiyle gerilim bölme oranında meydana gelen sapma;

$$\frac{\Delta X}{\Delta T} = \frac{d\left(\frac{V_{\text{ç}}}{V_g}\right)}{dT} = \left[ \frac{(R_{\text{alt}} + R_{\text{üst}}) \frac{\partial R_{\text{alt}}}{\partial T} - \left(\frac{\partial(R_{\text{alt}} + R_{\text{üst}})}{\partial T}\right) R_{\text{üst}}}{(R_{\text{alt}} + R_{\text{üst}})^2} \right] \quad (5.2)$$

ile ifade edilir. Buradan, sıcaklıkla, gerilim bölme oranında meydana gelen bağıl değişim, bize bağıl hatayı yani sıcaklıktan kaynaklanan ölçüm belirsizliğini verir;

$$W\left(\frac{\Delta X}{X}\right) = \frac{\Delta\left(\frac{V_\xi}{V_g}\right)}{\frac{V_\xi}{V_g}} = \left[ \frac{1}{R_{üst}} \frac{\partial R_{üst}}{\partial T} - \frac{1}{R_{alt} + R_{üst}} \left( \frac{\partial(R_{alt})}{\partial T} + \frac{\partial(R_{üst})}{\partial T} \right) \right] \Delta T \quad (5.3)$$

Meydana gelen ısınma, (sıcaklık katsayısını aşmayacak şekilde) direnç değerlerinde farklı değişimlere, buradan da gerilim bölme oranında belirsizliğe neden olur. Benzer şekilde ısınan tankın üstünde ve altında sıcaklıkların farklı olması uç noktadaki dirençlerde en büyük olmak üzere, dirençlerin farklı değişimine yol açarak gerilim bölme oranında ikinci bir belirsizlik kaynağı oluşturur.

$$\Delta T = \sqrt{(T_{son} - T_{ilk})^2 + (T_{üst} - T_{alt})^2} \quad (5.4)$$

olmak üzere, gerilim bölme oranındaki toplam değişim, bu iki belirsizliğin karesel ortalamasıdır (Denklem 5.5).

$$W\left(\frac{\Delta X}{X}\right) = \sqrt{(W(T_{ort} - T_{istenen}))^2 + (W(T_{üst} - T_{alt}))^2} = \left( \sqrt{(T_{son} - T_{ilk})^2 + (T_{üst} - T_{alt})^2} \right) * \alpha_d \quad (5.5)$$

Burada ;

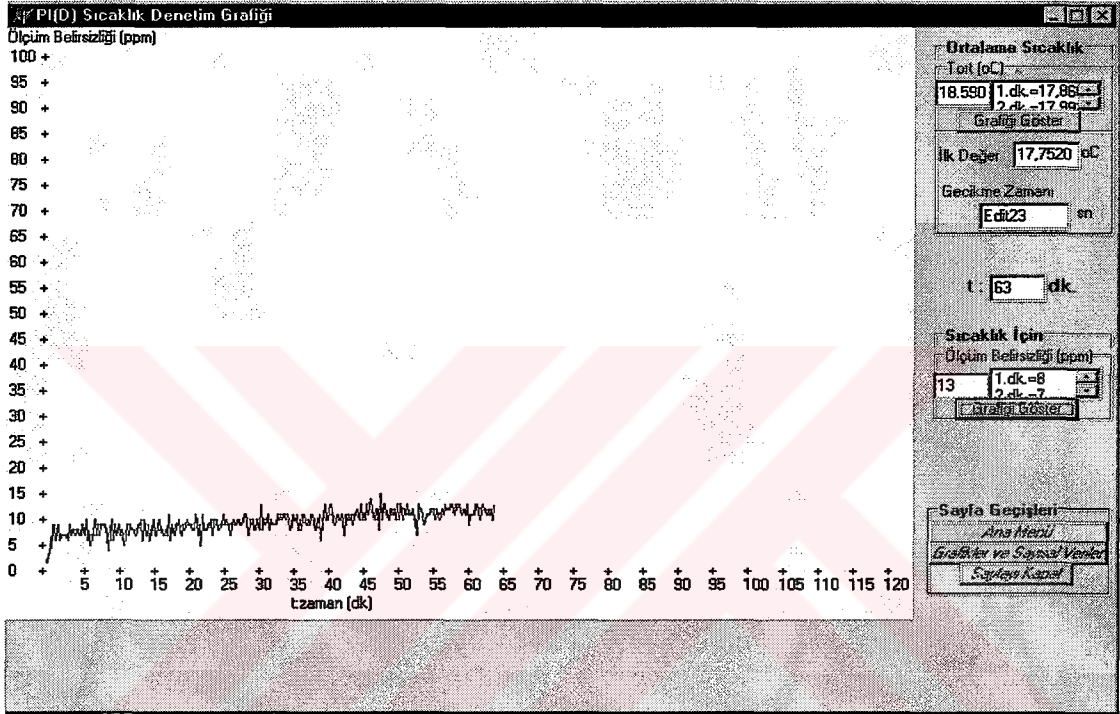
$W\left(\frac{\Delta X}{X}\right)$  : Gerilim bölme oranındaki değişimin oluşturduğu ölçüm belirsizliği

$W(T_{ort} - T_{istenen})$  : Akışkandaki sıcaklık artışının direnç değerlerini farklı değiştirmesinden kaynaklanan belirsizlik

$(W(T_{üst} - T_{alt}))$  : Yüksek gerilim bölücü boyunca oluşan sıcaklık farkının direnç değerlerini farklı oranlarda değiştirmesinden kaynaklanan belirsizlik ve

$\alpha_d$  : Dirençlerin sıcaklık katsayısıdır (10 ppm/K)

Ölçüm belirsizliğini tam olarak hesaplamak için gerilim bölme oranları, farklı metroloji laboratuvarlarında birkaç ay süreyle tekrarlamalı olarak ölçülür, sonuçlar karşılaştırılır. Ortalamadan sapma miktarı belirlenir. Fakat sıcaklıktan kaynaklanabilecek yaklaşık ölçüm belirsizliği, sıcaklıktaki artışın ve  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkının bir işlevi olarak hesaplanabilir (Denklem 5.5). 1 saat içinde sıcaklıktan dolayı, bölme oranında 13 ppm'lik bir belirsizlik meydana gelmiştir (Şekil 5.27).



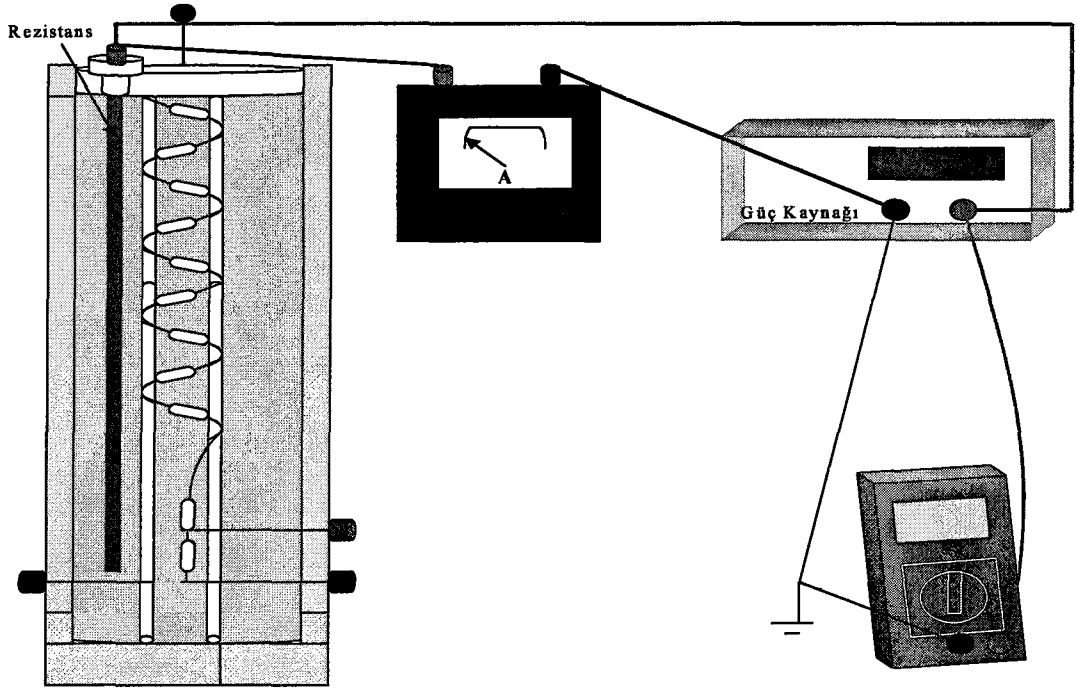
Şekil 5.27. 2,5W için sisteme ait sıcaklıktan kaynaklanan ölçüm belirsizliği.

#### 5.1.4.2. Tasarlanan 100 KV'luk gerilim bölücünün üreteceği ısının etkileri

100 KV'a kadar DC gerilim veren kaynak elimizde bulunmadığı için, bu gerilim bölücünde kullanılacak toplam 100 M $\Omega$ 'luk dirençler üzerinde oluşması beklenen 100W'lık ısıya eşdeğer ısı veren bir rezistans çubuk hazırlanmış ve yüksek gerilim bölücü dirençlere paralel bir hat üzerinde sisteme yerleştirilmiştir (Şekil 5.28). 100W üretmek için rezistansa uygulanan gerilim ve akım bilgileri Tablo 5.2'de verilmiştir.

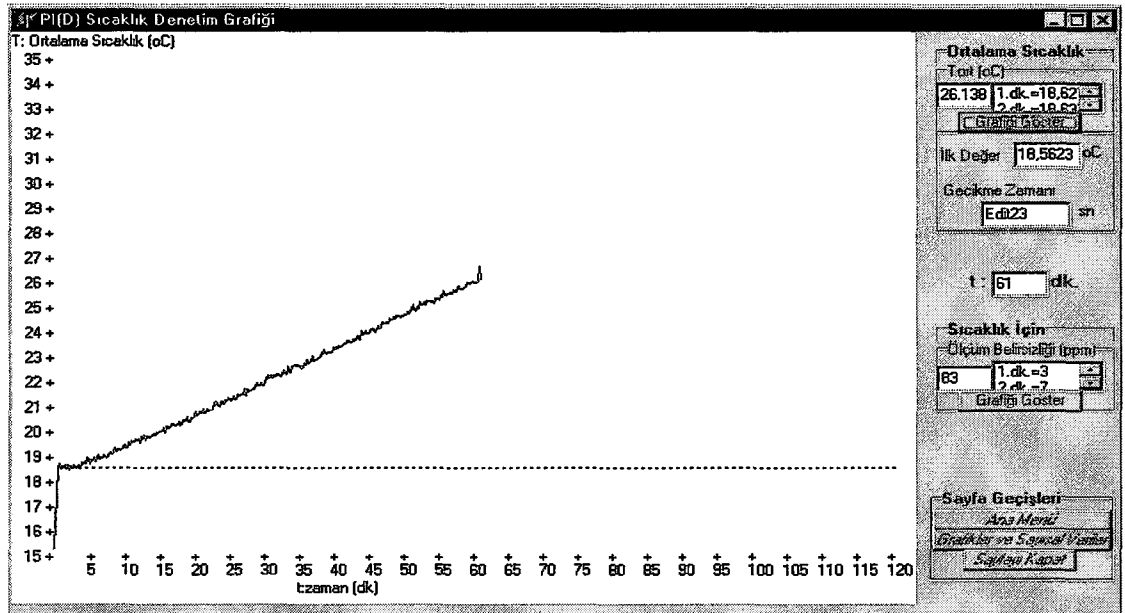
Tablo 5.2. 100W üreten rezistans ile ilgili büyüklükler

Isı Rezistansının Direnci ( $\Omega$ )	Uygulanan Gerilim (V)	Üzerinden Geçen Akım (A)
8	28,28	3,535



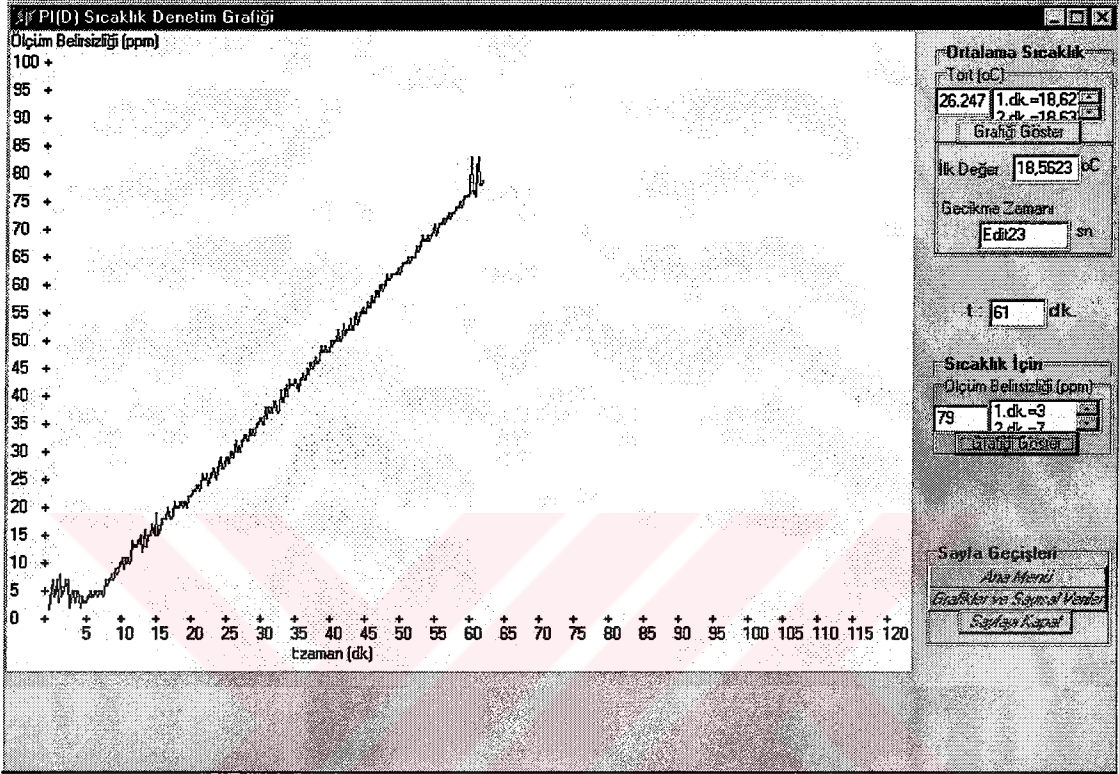
Şekil 5.28. Sisteme, 100 KV'luk kaynağa özdeş ısı vermek için hazırlanan düzenek.

Yüksek gerilim bölücü dirençlerde üretilecek 100W civarındaki ısı ve 4V gerilim uygulanan motorun ürettiği 2W civarındaki sürtünme ısısı akışkanın ortalama sıcaklığında 1 saat içinde yaklaşık 9 °C'lik artışa neden olur. Şekil 5.29'da gerilim bölücü dirençlerin bulunduğu ısı üreten tankta yapılan ölçümler sonucunda buradaki akışkanın ortalama sıcaklığında gözlenen artış görülmektedir.



Şekil 5.29. 100W için ısı üreten tanktaki yağın ortalama sıcaklığı.

100 KV'a kadar olan ölçümlerde, ölçüm belirsizliği, 1 saat içinde 79 ppm'e kadar artmaktadır (Şekil 5.30) . Bu durumda daha düşük gerilimlerin ölçümü sırasında bu belirsizlik, sistemin ürettiği ısı ile orantılı olarak daha düşük çıkacaktır.



Şekil 5.30. 100W için sistemde sıcaklıktan kaynaklanan ölçüm belirsizliği.

## 5.2. Dirençler Boyunca Oluşan Sıcaklık Farkına Etki Eden Değişkenlerin İncelenmesi

Gerilim bölücü dirençler boyunca oluşan ve ölçüm belirsizliğine yol açan sıcaklık farkı, dirençlerin bulunduğu ısı üreten tankın üst ve alt bölümlerine yerleştirilmiş algılayıcılarla belirlenmektedir.  $T_{üst}-T_{alt}$  simgesiyle ifade edilen sıcaklık farkı, motor hızından, peltier elemanlarının soğutma miktarından ve dirençlerin ısıtma miktarından etkilenir.

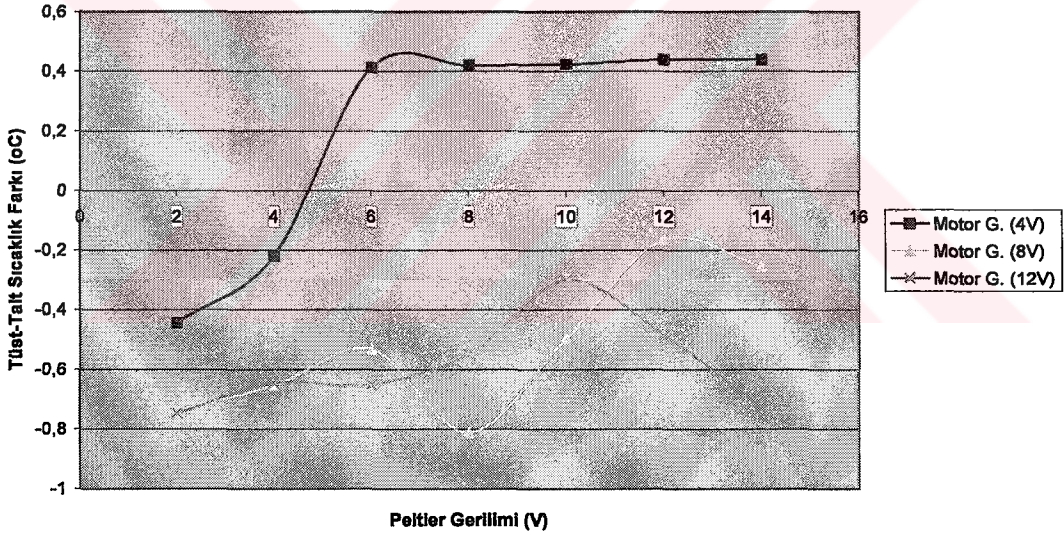
Genel olarak, ideal koşullarda peltier elemanlarına uygulanan gerilim arttıkça, soğutucu tankta bulunan yağın daha fazla soğuması gerekir. Motorun devir daim yönü göz önüne alınırsa, bu soğumuş akışkan kütleyle ilk karşılaşan algılayıcı  $T_{üst}$  olacağından tankın üst kısmının bağıl olarak daha soğuk olması, aynı şekilde



dirençlerin yaydığı ısının tanktan uzaklaştırıldığı alt bölgede sıcaklığın bağıl olarak daha yüksek olması ve bu yönde bulunan  $T_{alt}$  algılayıcısının daha yüksek sıcaklık değeri göstermesi gerekir. Bu nedenle dirençlerin ürettiği ısı arttıkça  $T_{alt}$  değerinin artması, buna karşılık peltier elemanlarının soğutma miktarları artırıldıkça da  $T_{üst}$  değerinin azalması ve böylece  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkının negatif yönde giderek artması beklenir. Bu kutuplaşmanın önlenmesi veya azaltılabilmesi için sıcaklık farkının büyüklüğüne göre motor hızı artırılarak sistemin sıcaklık dağılımının daha homojen olması sağlanabilir.

### 5.2.1. Peltier elemanlarına uygulanan gerilimin $T_{üst}-T_{alt}$ sıcaklık farkına etkisi

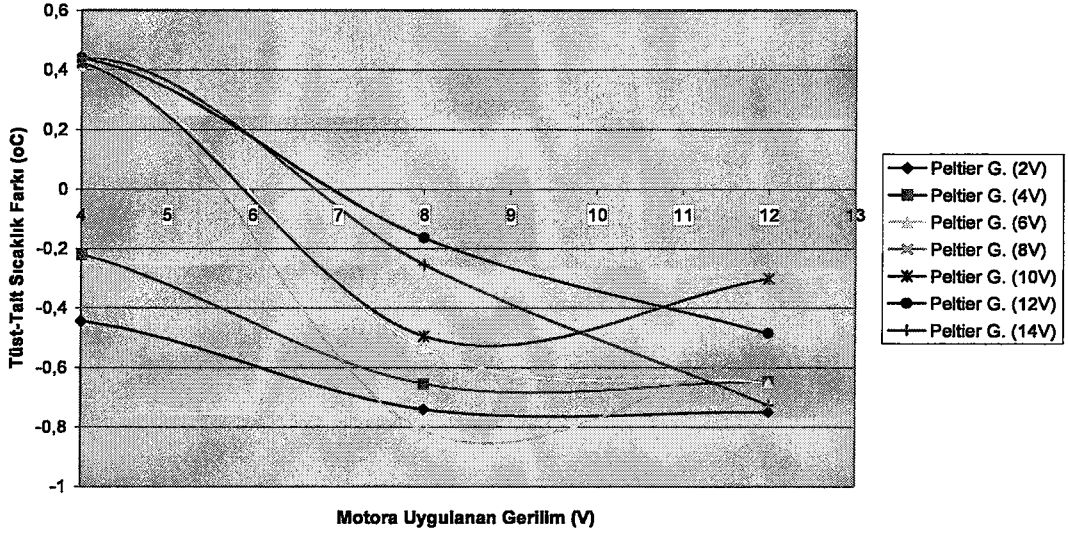
Şekil 5.31’de sabit motor gerilimleri için peltier elemanlarına uygulanan gerilimle  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkının değişimi görülmektedir.



Şekil 5.31. Peltier elemanlarına uygulanan gerilimle  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkının değişimi ( $T_{üst}-T_{alt}=f(V_m, V_p, T_{\infty}) \Big|_{V_m=sbt, T_{\infty=sbt}$ ).

### 5.2.2. Motora uygulanan gerilimin $T_{üst}-T_{alt}$ sıcaklık farkına etkisi

Şekil 5.32’de görüldüğü gibi, sabit peltier geriliminde, motor hızı arttıkça  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı pozitiften negatife doğru bir geçiş yapmakta veya negatifte ise negatif yönde büyümeye devam etmektedir. Bunun nedeni  $T_{üst}$ ’ün sıcaklığının  $T_{alt}$ ’a göre bağıl olarak azalmasıdır.



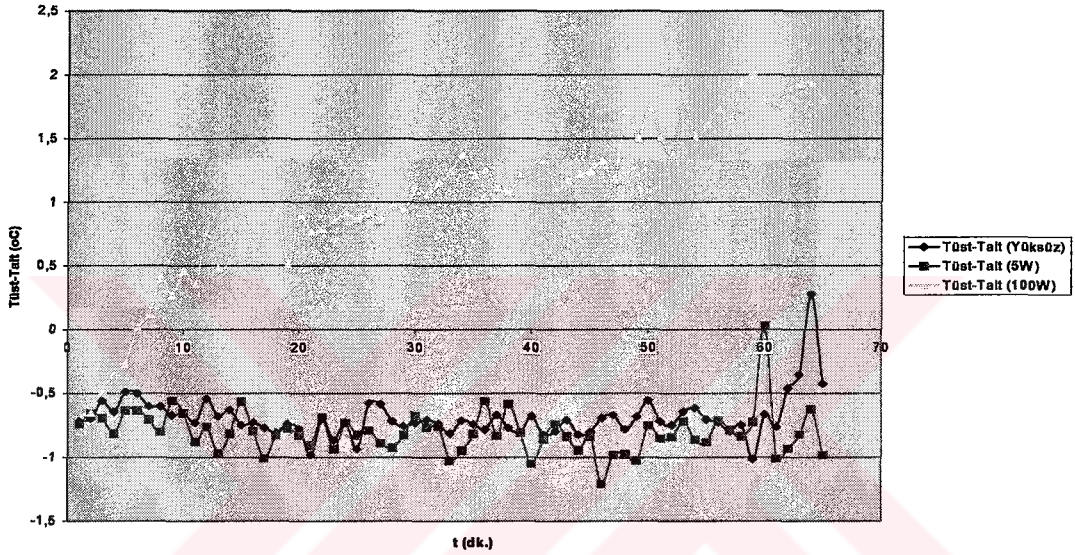
**Şekil 5.32.** Sabit peltier gerilimlerinde  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkının motora uygulanan gerilime göre değişimi ( $T_{üst}-T_{alt}=f(V_m, V_p, T_{\infty}) \Big|_{V_p=sbt, T_{\infty=sbt}$ ).

Soğutma için peltier elemanlarına uygulanan gerilimin 2V ve 4V gibi düşük olduğu durumlarda, sıcaklık farkını sifira en yakın tutan motor gerilimi 4V ve civarındadır. Daha yüksek peltier gerilimlerinde sifira en yakın sıcaklık farkları eğrilerin pozitiften negatife geçtikleri bölge olan, motor geriliminin 4V ile 8V arasında olduğu aralıktır. Sezgisel olarak, motor gerilimi 0V iken veya doğal taşınımına karşı yeterince iş yapamadığı düşük gerilimler civarında iken silindirin üst kısmı alt kısmına göre daha sıcak olması beklenir. Çünkü ısınma nedeniyle doğal taşınımın yönü aşağıdan yukarıya doğrudur.

Motor geriliminin orta seviyelerde olduğu belirli bir bölgede sıcaklık farkı sifira yakın olacaktır. Çünkü dirençler tarafından üretilen ısının doğal taşınım ile taşındığı yüksek sıcaklığa sahip akışkan ile bu taşınım ters yönde motor tarafından zorlamalı taşınım ile taşınan peltier elemanlarının soğuttuğu düşük ısı akışkan kütlesi karşılaşır türbülans oluşturacaklar ve ısı üreten tankiçinde homojen bir sıcaklık oluşturmak üzere birbirlerine karışacaklardır. Dirençlerin ürettiği ısıyla, peltier elemanlarının soğutma miktarı arasındaki sıcaklık farkındaki artışla bağıntılı olarak sıcaklık farkını en aza indirmek için gerekli olan motor gerilimi bu bölge içinde değişmektedir. Motorun çok hızlı olduğu durumlarda ise üst kısımda girişte karşılaşılan soğumuş akışkan daha fazladır. Alt kısım da sıcak akışkana daha fazla maruz kalmaktadır. Bu durumda artan motor hızıyla  $T_{üst}-T_{alt}$  farkı bu kez negatif yönde artmaktadır.

### 5.2.3. Dirençlerin ürettiği ısının $T_{üst}-T_{alt}$ sıcaklık farkına etkisi

Dirençlere gerilim verilmeden yapılan sıcaklık ölçümlerinde  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkının ortalama değeri  $-0,6896$  °C çıkmıştır.  $2,5W$ 'lık ısının yol açtığı sıcaklık farkının ortalama değeri  $-0,80454$  °C'dir.  $100 W$ 'lık ısının yol açtığı sıcaklık farkının ortalama değeri ise  $1,027316$  °C'dir. Şekil 5.33 incelendiğinde,  $100W$ 'lık ısının zaman içinde, sıcaklık farkının pozitif yönde artarak  $-$ den  $+$ 'ya geçtiği ve artmaya devam ettiği görülmektedir.



Şekil 5.33. Dirençlerin ürettiği farklı ısı değerleri için  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkının zamana göre değişimi (Motora uygulanan gerilim 4V).

### 5.3. Gerilim Bölücünün Soğutma Düzenine Tasarımı

Dirençlerin oluşturduğu tank, elektriksel ve ısı yalıtkan malzemeden, soğutma tankı ise iç bölgedeki ısı direnci küçük olabilmesi için alüminyum malzemeden seçilmiştir. Soğutma tankı, peltier elemanlarının kolayca yerleştirmesine olanak sağlamalıdır. Akışkan pompası, soğutucu akışkanın taşınımını sağlamaktadır. Gerilim bölücüde, soğutma için kullanılacak akışkanın miktarı, tankların hacimleri ve gerekli peltier elemanının en uygun soğutma gücü ve sayısı şu şekilde belirlenir.

- Sistemde birim zamanda oluşan ısı güç;

$$P_y = P_{GB} + P_m \quad (5.6)$$

Burada  $P_{GB}$ , dirençlerde oluşan ısı güç,  $P_m$ , akışkanın sürtünme gücüdür.  $\Delta t$  zaman aralığında bu ısı gücünden oluşan ısı enerjisi;

$$Q_y = P_y \Delta t \quad (5.7)$$

Oluşan ısı enerjisini aktarmak için akışkan kullanılır. Akışkanın soğutma enerjisi;

$$Q_a = m_t c_y \Delta T \quad (5.8)$$

Burada  $m_t$ , toplam akışkan kütlesi ve  $\Delta T$ , ısıdan dolayı oluşan sıcaklık farkıdır. Yalıtımın iyi olmamasından dolayı oluşan ısı kaybı  $Q_k$  olsun . Soğutucu akışkanın net ısı enerjisi;

$$Q_{net} = Q_a - Q_k \quad (5.9)$$

Soğutmanın yapılabilmesi için

$$Q_{net} = Q_y \quad (5.10)$$

olmalıdır. Buradan

$$Q_a = Q_y + Q_k \quad (5.11)$$

elde edilir.

$$m_t c_y \Delta T = P_y \Delta t + Q_k \quad (5.12)$$

$$m_t = \frac{P_y \Delta t + Q_k}{c_y \Delta T} \quad (5.13)$$

Denklem 5.13'ten istenen zamanda istenen soğutmayı sağlayacak akışkanın toplam kütlesi elde edilebilir. Akışkanın hacmine göre, ısı üretilen tankın ve soğutucu tankın hacmi belirlenebilir. Soğutucu tankın ısı kaybını

$$P_k = k P_a \quad (\text{veya} \quad Q_k = k Q_a) \quad (5.14)$$

şeklinde verebiliriz. Burada  $k$ ; soğutucu tankın ısı kayıp katsayısıdır. Denk. 5.12'den;

$$Q_a = \frac{Q_y}{1 - k} \quad (5.15)$$

$Q_a$ 'nın Denk. 5.8'deki değerini Denk. 5.15'te kullanırsak;

$$m_t = \frac{Q_a}{c_y \Delta T} = \frac{P_y \Delta t}{(1 - k) c_y \Delta T} \quad (5.16)$$

elde edilir.

- Gerekli ısı pompası gücü;

Isı pompası olarak peltier elemanları kullanılmıştır. Gerekli ısı gücü Denk.5.11 'den bulunabilir. Peltier elemanında ısı pompası gücü Denk 3.10'da verilmiştir. Peltier elemanının sıcak yüzeyindeki ısı enerjisinin yeterince atılamamasından dolayı, peltier soğutma verimi düşmektedir.

$$P_I = v_p P_C \quad (5.17)$$

$v_p$  : Peltierin sıcak yüzeyindeki ısı iyi atılamamasından dolayı oluşan verim.

Soğutma için  $P_I = P_a$  olmalıdır. Denklem 3.10 ve Denklem 5.17'den ;

$$P_{emb} = \frac{P_a}{v_p \left(1 - \frac{T_h - T_c}{\Delta T_{emb}}\right)} \quad (5.18)$$

Buradan peltier ısı pompasının gücü elde edilir.

- 5 KV'luk Gerilim Bölücü Sisteminin tasarımı;

$$P_{GB} = 2,5W, P_m \approx 2,3W, k = 0,67, \Delta T = 2^\circ C, \Delta t = 1 \text{ saat}$$

$$m_t = 0,156 M_{sy} = \frac{1}{6,41} M_{sy}, T_h - T_c = 36^\circ C, \Delta T_{emb} = 67^\circ C, v_p = \frac{100W}{225W} = \frac{1}{2,25} \text{ için,}$$

$$m_t = \frac{P_y \Delta t}{(1-k) c_y \Delta T} = \frac{(2,5+2,3) * 3600}{(1-0,67) * 2307 * 2} = 11,3488 \text{ kg. Buradan,}$$

$M_{sy} = 1,77 \text{ kg}$  ve soğutucu tankın hacmi;

$$V_{sy} = \frac{1,77}{829} = 2,1356 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

Buradan ısının üretildiği tanktaki yağ miktarı 9,578 kg ve hacmi 0,01155 m<sup>3</sup> bulunur.

$$P_{emb} = \frac{P_a}{\frac{1}{2,25} \left(1 - \frac{36}{67}\right)} = \frac{P_a}{0,2056} = \frac{1}{0,2056} \frac{P_y}{1-k} = 4,8629 * \frac{P_y}{0,33} = 14,73 * P_y = 14,73 * 4,8 = 70,73W$$

Peltier elemanları 51.4W'lık olduğundan 2 peltier elemanı sistem için yeterlidir.

## BÖLÜM 6. DENEYSEL DENETİM UYGULAMALARI

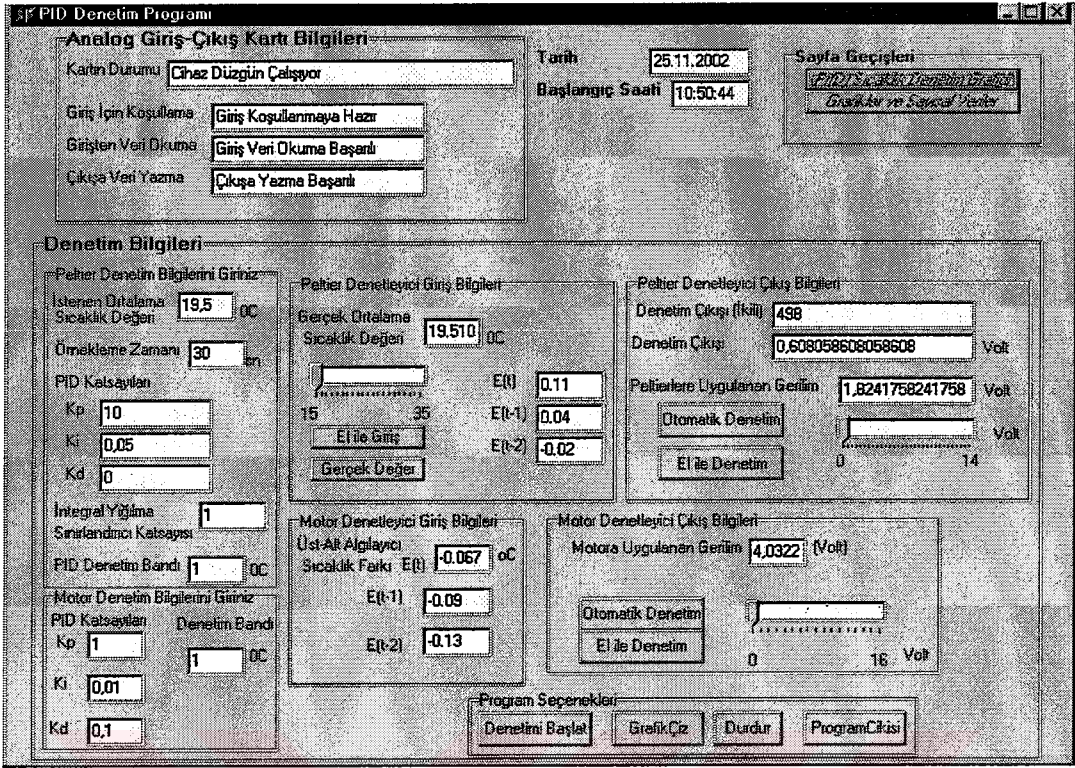
Motor hangi hızda çalışırsa çalışsın, peltier elemanlarına uygulanan gerilim 10V'un üzerinde çıkınca birim zamandaki soğutma miktarı düşmektedir (Bkz. Şekil 5.18). Örneğin 12V ve 14V'ta peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı (Bkz. Şekil 5.14), verimi daha düşük peltier gerilimlerindeki soğutma miktarlarının altına düşürecek kadar artmaktadır.

Ayrıca deneysel gözlemler, 1V ve altındaki peltier gerilimlerin soğutmaya katkısının olmadığını göstermiştir. Bu nedenle sıcaklık denetiminin, daha doğrusal kabul edebileceğimiz bir bölge olan 1,5-10V aralığındaki peltier gerilimleriyle yapılması uygun olacaktır. Bu aralık içinde, gerilimde yapılacak bir artış,  $T_h-T_c$  sıcaklık farkının artmasına ve soğutma veriminin düşmesine neden olsa da, soğutma miktarının artmasına engel olabilecek bir büyüklüğe ulaşmamaktadır. Bölüm 5'te, gerek gerilim bölücü dirençler boyunca oluşan sıcaklık dağılımı gerekse soğutma verimi ve sürtünme sıcaklıkları göz önüne alındığında motora uygulanacak gerilimin 4V ile 8V aralığında sınırlandırılmasının uygun olacağı görülmüştür. Dolayısıyla motor denetimi de bu aralık içinde yapılmalıdır.

### 6.1. PID denetim programının çalıştırılması ve elde edilen denetim sonuçları

Şekil 6.1'de PID denetim programının ana menü ara yüzü görülmektedir. Menüün, "Analog-Giriş Çıkış Kartı Bilgileri" bölümünde, işaret dönüştürücü kartının çalışması hakkında rapor verilmektedir. Tarih bilgileri bölümünde, deneyin yapıldığı tarih ve deneyin başlangıç saati verilmektedir. "Sayfa Geçişleri" bölümünde ise diğer menülere geçiş için gerekli sekmeler bulunmaktadır. "Denetim Bilgileri" bölümünde, peltier elemanlarıyla soğutma ve motorla  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı denetimi için gerekli bilgiler bulunmaktadır.

Dış ortam sıcaklığı 20.4 °C civarındadır. Sıcaklığı denetlenmek istenen ısı üreten tankta yağın ortalama sıcaklığının ilk değeri 20.8 °C civarındadır ve bu ortalama sıcaklık bu deneyde 19,5 °C'ye düşürülmek istenmektedir.



Şekil 6.1. PID denetim programı giriş arayüzü.

Bu nedenle 'Peltier Denetim Bilgileri'nin girildiği alt bölümde, PID katsayıları olan  $K_{P1}=10$ ,  $K_{I1}=0,05$ ,  $K_{D1}=0$  ve örnekleme zamanı=30 sn, deneme yanılma yoluyla seçilmiştir. İntegral yığılmasını azaltıcı yönde iş yapan geribildirim kazancı  $K_a=1$  seçilmiştir. Peltier elemanlarını süren PID Denetleyici, denetimin gözlenmek istediği 20,5-19,5<sup>0</sup>C aralığını kapsayan 1<sup>0</sup>C'lik bir band içinde çalışmaktadır. Bunun altında ve üstünde denetleyici kapalı-açık çalışmaktadır.

Isının üretildiği tankta ortalama sıcaklığı belirleyen alt ve üst algılayıcılar bulunmaktadır. Bu algılayıcılar arasındaki  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı, devir daim motorunun hızı artırılarak ya da azaltılarak en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Benzer şekilde 'Motor Denetim Bilgileri'nin girildiği alt bölümde, aradaki sıcaklık farkını azaltmak için gerekli PID denetim katsayıları bulunmaktadır. Burada deneme yanılma yoluyla  $K_{P2}=1$ ,  $K_{I2}=0,01$ ,  $K_{D2}=0,1$  seçilmiştir.

'Peltier Denetleyici Giriş Bilgileri' bölümünde, istenen ortalama sıcaklığa getirilmek istenen gerçek ortalama sıcaklık algılayıcılardan doğrudan okunabilir. Bu bilgiler, istenilen durumlarda denetleyicilerin cevabını hızlı bir şekilde görebilmek için deneme amaçlı olarak 15 ile 35 derece arasında dışarıdan el ile girilebilir. Aynı

bölümde, denetleyiciye ait giriş bilgilerini temsil eden ilgili çevrime ait hata, bir önceki hata ve iki önceki hata bilgileri gösterilmektedir.

'Peltier Denetleyici Çıkış Bilgileri' bölümünde, işaret dönüştürücü kartının çıkışı, gerek 0 ile 4095 arasında ikili olarak, gerekse 0 ile 5V arasında gerilim değeri olarak verilmektedir. Aynı bölümde, peltier elemanlarını süren güç kaynağının çıkışı 0 ile 13.95V arasında gerilim değeri olarak verilmektedir. Denetleyiciden bağımsız olarak, peltier elemanlarına el ile denetim amaçlı 0 ile 13.95V arasında gerilim verilebilir.

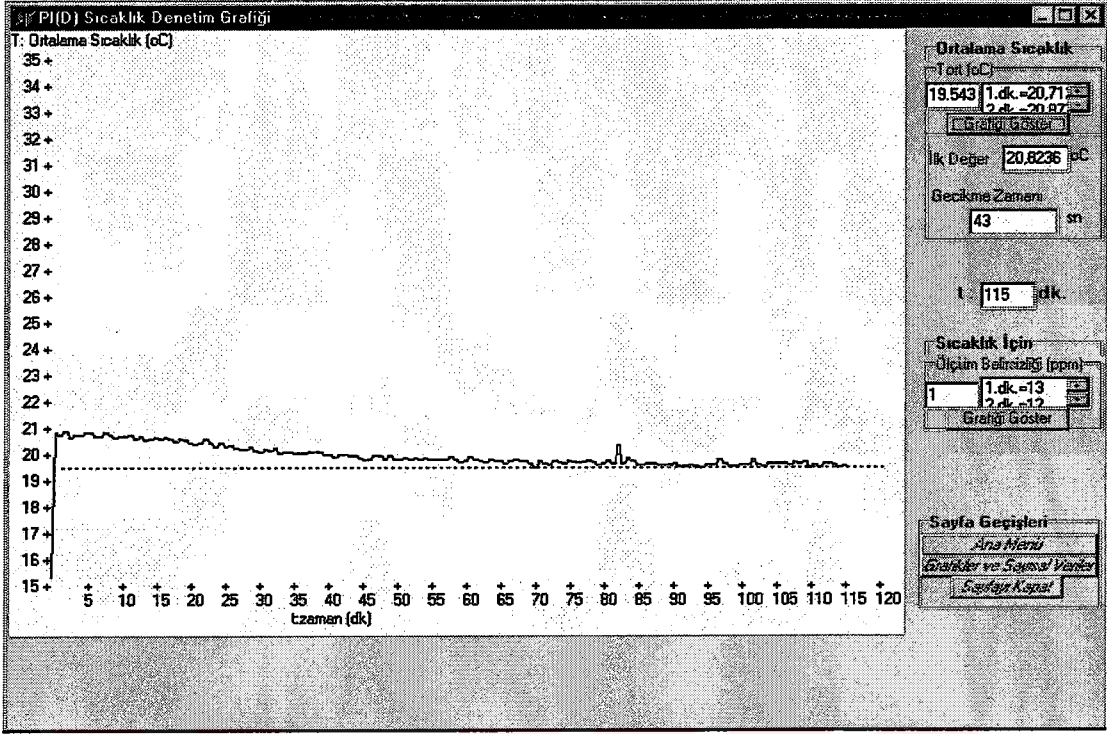
'Motor Denetleyici Giriş Bilgileri' bölümünde ilgili çevrim için, üst ve alt algılayıcılar arasındaki  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı, bir önceki sıcaklık farkı ve iki önceki sıcaklık farkı verilmektedir. 'Motor Denetleyici Çıkış Bilgileri' bölümünde motora 0 ile 16V arasındaki denetim gerilimi verilebilmektedir. Bu gerilim deneme amaçlı olarak el ile de verilebilir. Denetimin başlatılması, denetimle ilgili grafiklerin çizdirilmesi, programdan çıkılması gibi temel seçenekler ise 'Program Seçenekleri' bölümünde bulunmaktadır. Programın "Grafikler ve Sayısal Veriler" sayfasında, çeşitli noktalara yerleştirilmiş algılayıcılardan alınan sıcaklık bilgilerinin, sıcaklık ve  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı denetim verilerinin zamana göre değişiminin, sayısal ve grafik karşılıkları yardımcı bilgiler olarak verilmiştir.

### 6.1.1. Denetim sonuçları

Şekil 6.2'de görülen PID Sıcaklık Denetim Grafiği, denetlemek istediğimiz ortalama sıcaklığın zamana göre değişimini vermektedir. Kesikli çizgiler, istenen sıcaklık değerini göstermektedir. 'Ortalama Sıcaklık' bölümünde, sol kutucukta, ortalama sıcaklığın o örnekleme anındaki değeri verilmektedir. Sağ kutucukta ise ortalama sıcaklığın geçmiş değerleri birer dakika aralıklarla saklanmaktadır. Bu bilgiler program çıkışında bir dosyaya kaydedilmektedir. Peltierlere ilk gerilimin verildiği başlangıç anındaki ortalama sıcaklık değeri, 'ilk değer' kutucuğunda görülmektedir. Soğutucu tank kısmından verilen gerilimin, ısının üretildiği tanktaki algılayıcılar tarafından algılanmasına kadar geçen süre 'gecikme zamanı' kutusunda verilmiştir.

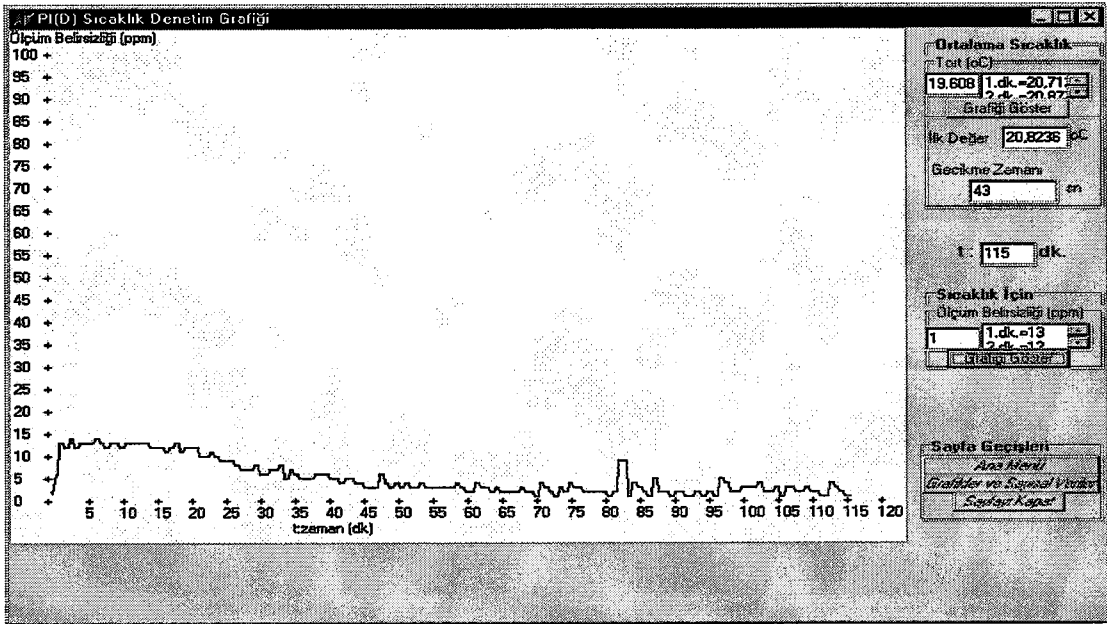
- Sistemde en büyük aşım  $MO = 20.34-19.5 = 0.84$  °C'dir (KUO, B.C.,2002).
- Gecikme zamanı, başlangıç sıcaklık değeriyle istenilen değer ortalamasına ulaşmak için geçen süre olarak alınmıştır. Buradan  $t_d = t(20.2\text{ °C})=27$  dk. bulunur.





Şekil 6.2. Isı üretilen tankta ortalama sıcaklık değerinin zamana göre değişimi.

- Yükselme zamanı, başlangıç değeriyle istenilen değer arası sıcaklık farkının %10 değerinden %90 değerine ulaşma zamanıdır.  $t_r = t(19.64^{\circ}\text{C}) - t(20.76^{\circ}\text{C}) = 59 - 11 = 48$  dk.
- Yerleşme zamanı, hatanın  $0.2^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar azalması ve bu bandın içinde kalması için geçen süredir.  $t_s = t(19.5 \pm 0.2^{\circ}\text{C}) = t(19.7^{\circ}\text{C}) = 56$  dk. bulunur.



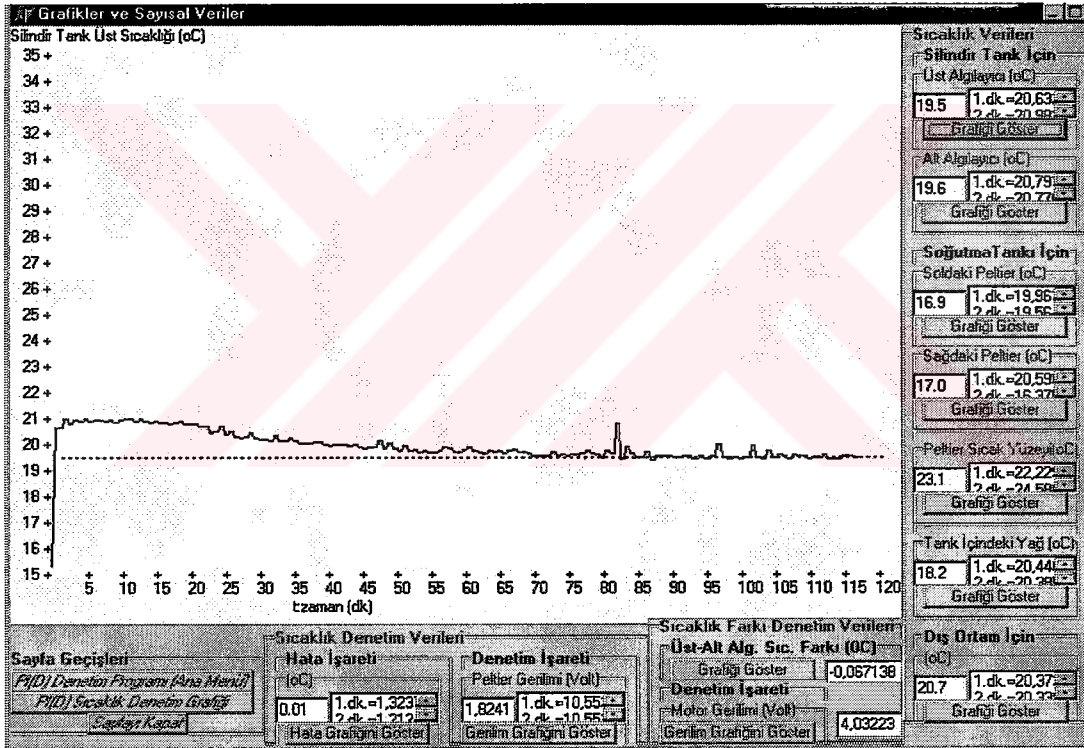
Şekil 6.3. Sıcaklıktan kaynaklanan ölçüm belirsizliğinin zamana göre değişimi.

Sıcaklıktan kaynaklanan toplam ölçüm belirsizliği değişim grafiği sayısal değerleriyle verilmiştir (Şekil 6.3).

Başlangıçta 13 ppm civarında olan belirsizlik, bir süre sonra 5 ppm'in altına düşmüştür ve bu bandı bir daha aşmamış hatta zaman zaman 1 ppm'e kadar inmiştir.

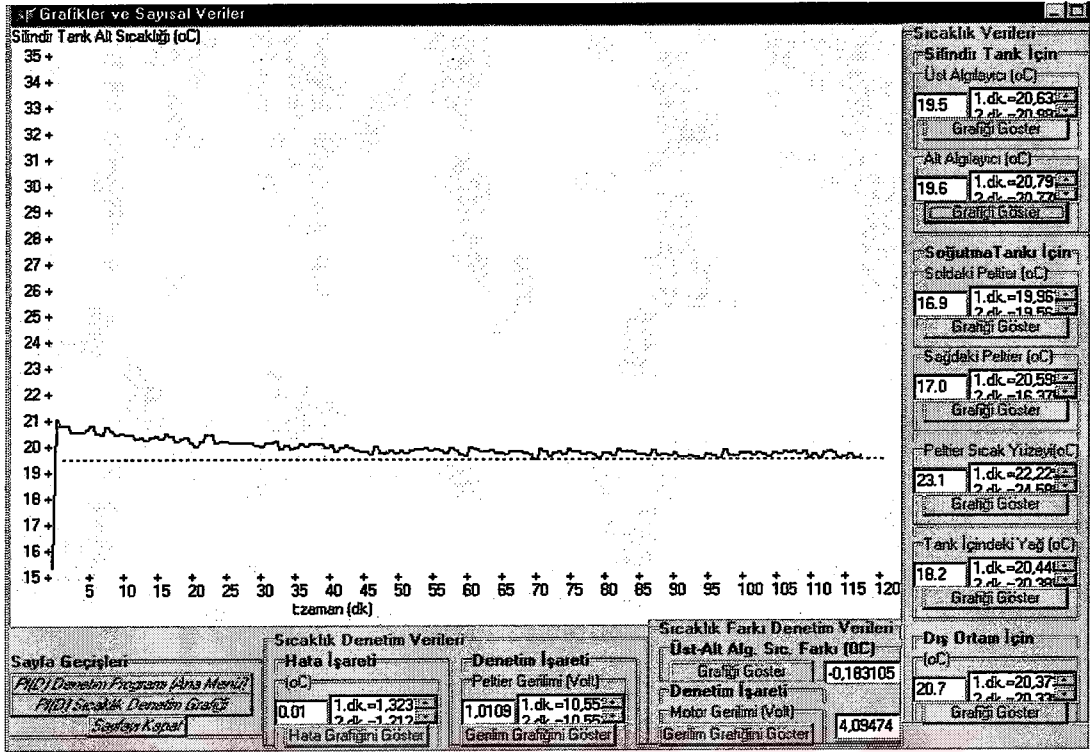
### 6.1.2. Sıcaklık bilgileri ile ilgili grafikler ve sayısal veriler

Bu kısımda dirençlerin bulunduğu, ısının üretildiği tanka ait üst ve alt algılayıcılardan gelen sıcaklık bilgileri ilk iki şekilde sayısal ve grafiksel olarak verilmiştir. Şekil 6.4'te verilen üst algılayıcıya ait sıcaklık grafiğinde dalgalanmaların, Şekil 6.5.'teki alt algılayıcının göre daha fazla olduğu görülür.



Şekil 6.4. Isının üretildiği tanka ait üst algılayıcıdan gelen sıcaklık bilgileri

Bunun nedeni üst algılayıcının, soğutucu tanktan gelen akışkanla dirençlerden taşınım ile yükselen akışkanın karşılaştığı, turbülansın başladığı noktada bulunmasıdır. Bilindiği gibi peltier elemanlarının ısınan ve soğuyan yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ( $T_h - T_c$ ), soğutma verimini etkilediği için, denetim işaretinin belirlenmesinde hesaba katılmaktadır.

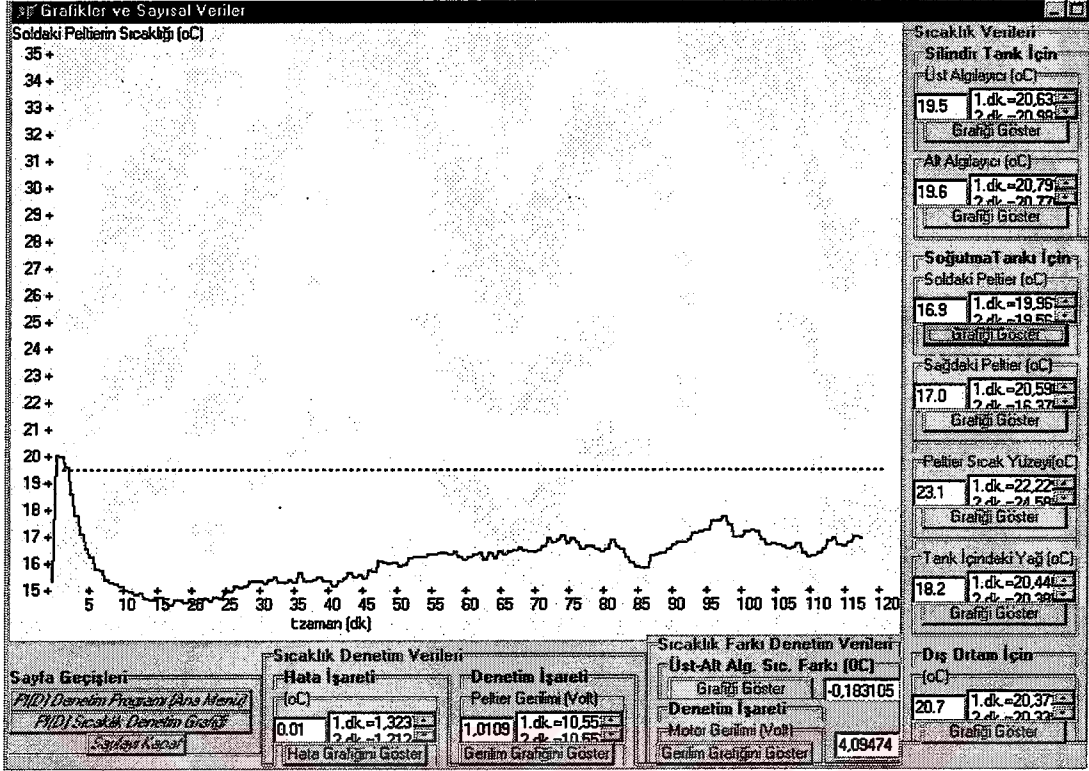


Şekil 6.5. Isının üretildiği tanka ait alt algılayıcıdan gelen sıcaklık bilgileri.

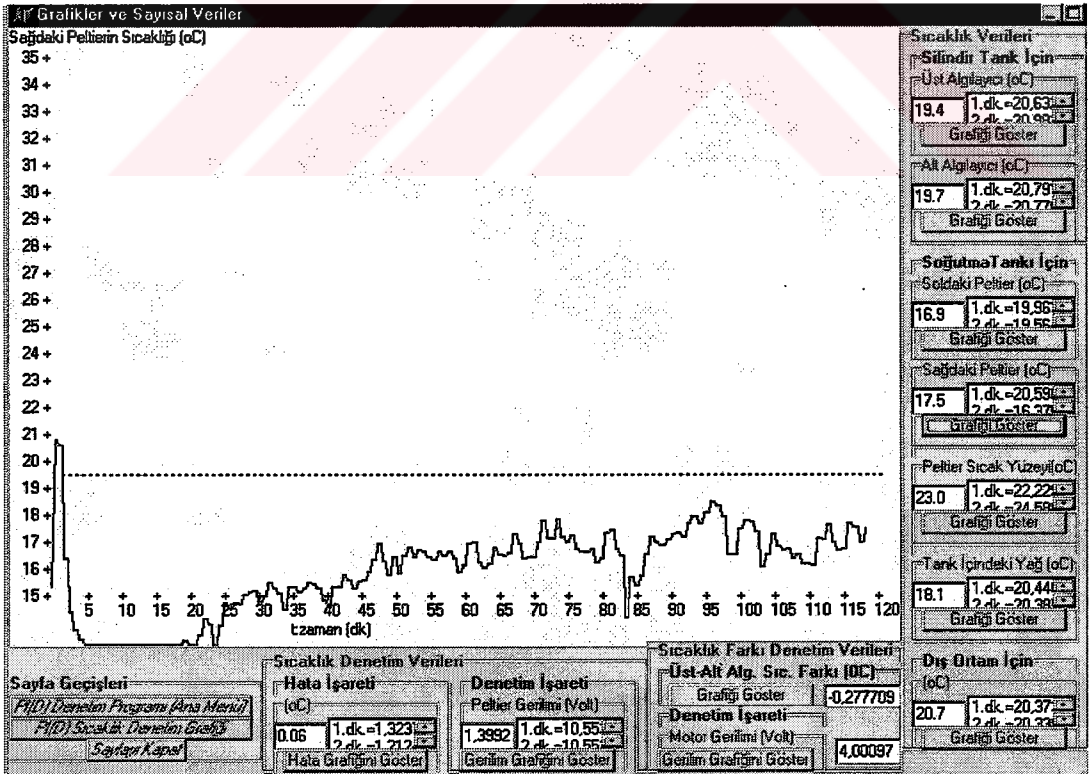
Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de, sırasıyla soğutma tankının solunda ve sağında bulunan peltier elemanının soğuyan yüzeylerinde bulunan algılayıcılardan gelen sıcaklık bilgileri görülmektedir.

Isı önce tüm alüminyum tankı hızla soğutur. Bu nedenle grafiklerin her ikisinde de başlangıçta hızlı bir sıcaklık düşüşü görülmektedir. Bu soğuma, buradan akışkana nüfuz etmeye başlar. Akışkan ile arasındaki sıcaklık farkına bağlı olarak, soğuk yüzeyin sıcaklığı belirli bir dengeye ulaşmak üzere yükselmeye başlar.

Denge durumundan sonra, peltier soğuk yüzeyinin sıcaklığı denetim gerilimine bağlı olarak değişir ve akışkanın sıcaklığını sürekli olarak istenen değere yönlendirmeye çalışır.



Şekil 6.6. Sol peltierin soğuk yüzeyine ait sıcaklık bilgileri



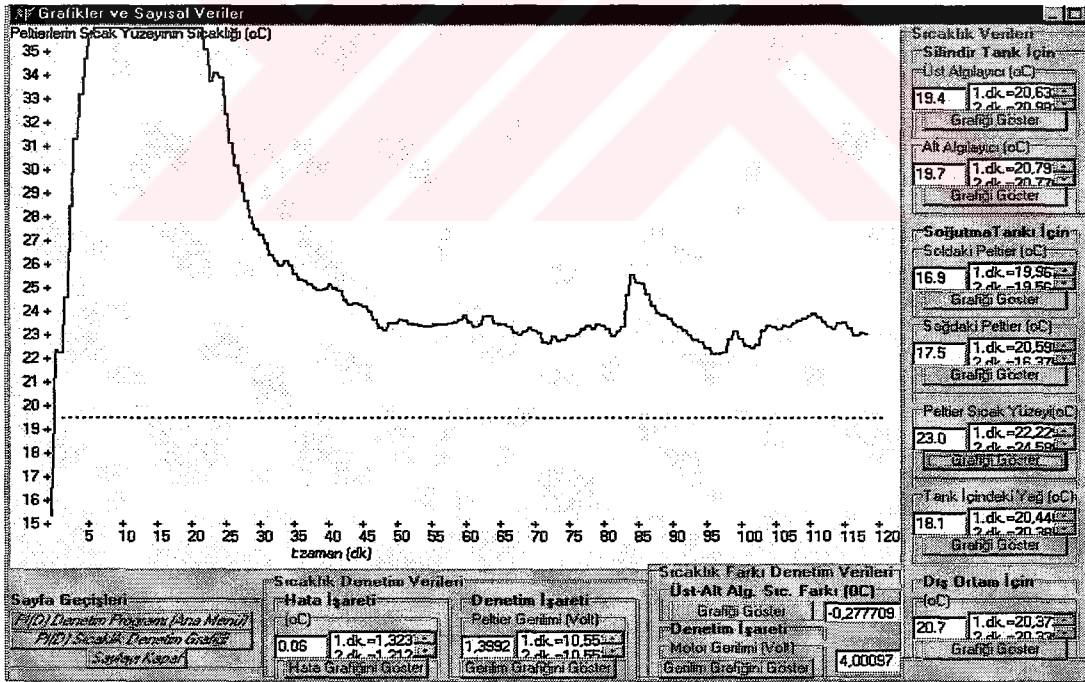
Şekil 6.7. Sağ peltierin soğuk yüzeyine ait sıcaklık bilgileri

Şekil 6.8’de soğutma tankının solunda bulunan peltierin sıcak yüzeyine ait algılayıcıdan gelen sıcaklık bilgileri görülmektedir. İşaret dönüşüm kartının girişleri sınırlı olduğundan , benzer bir sıcaklık değişimi beklenen sağ peltier sıcak yüzeyine algılayıcı yerleştirilmemiştir.

Sol peltierden okunan sıcaklık, peltierlerin ısınan yüzeylerinin ortalama sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, soğuyan yüzeyden aktarılan ısı, ısınan yüzeyde sıcaklık artışına neden olmuştur.

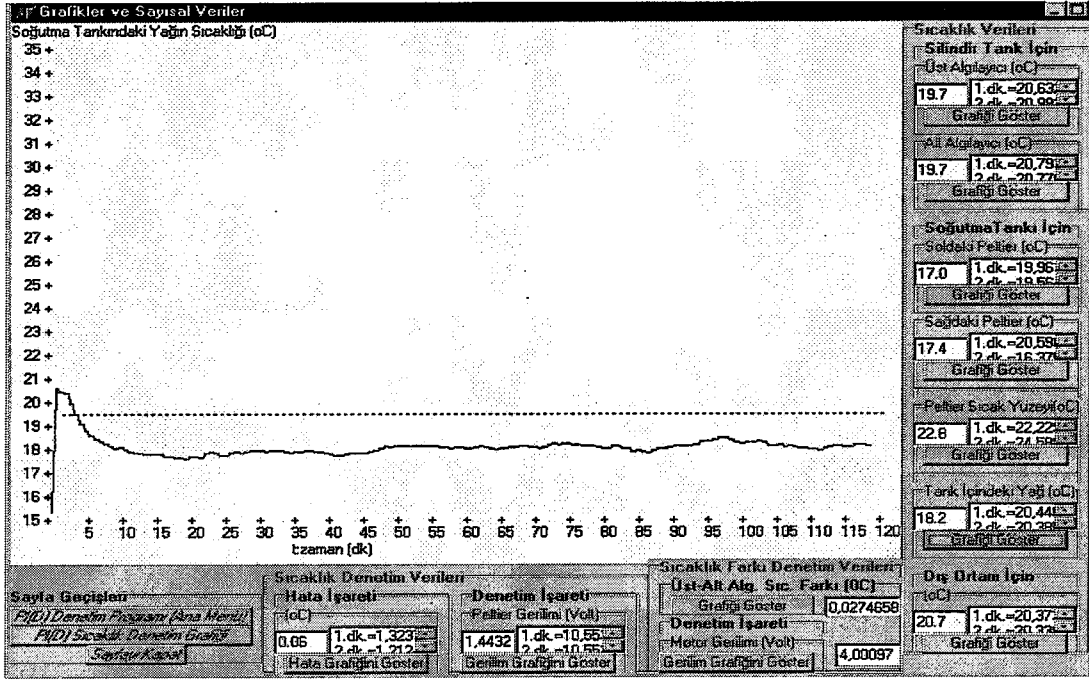
Akışkan sıcaklığı istenen değere yaklaştıkça, hata azalır, peltier elemanlarına uygulanması gereken denetim gerilimi ve sistemden uzaklaştırılması gereken ısı miktarı düşer. Bu düşüş, peltier sıcak yüzeyinin sıcaklığına da yansımıştır.

Şekil 6.9’da soğutma tankındaki yağın içinde bulunan algılayıcıdan gelen sıcaklık bilgileri görülmektedir. Buranın sıcaklığı, tahmin edileceği gibi, görel olarak ısının üretildiği tanktan daha düşüktür.



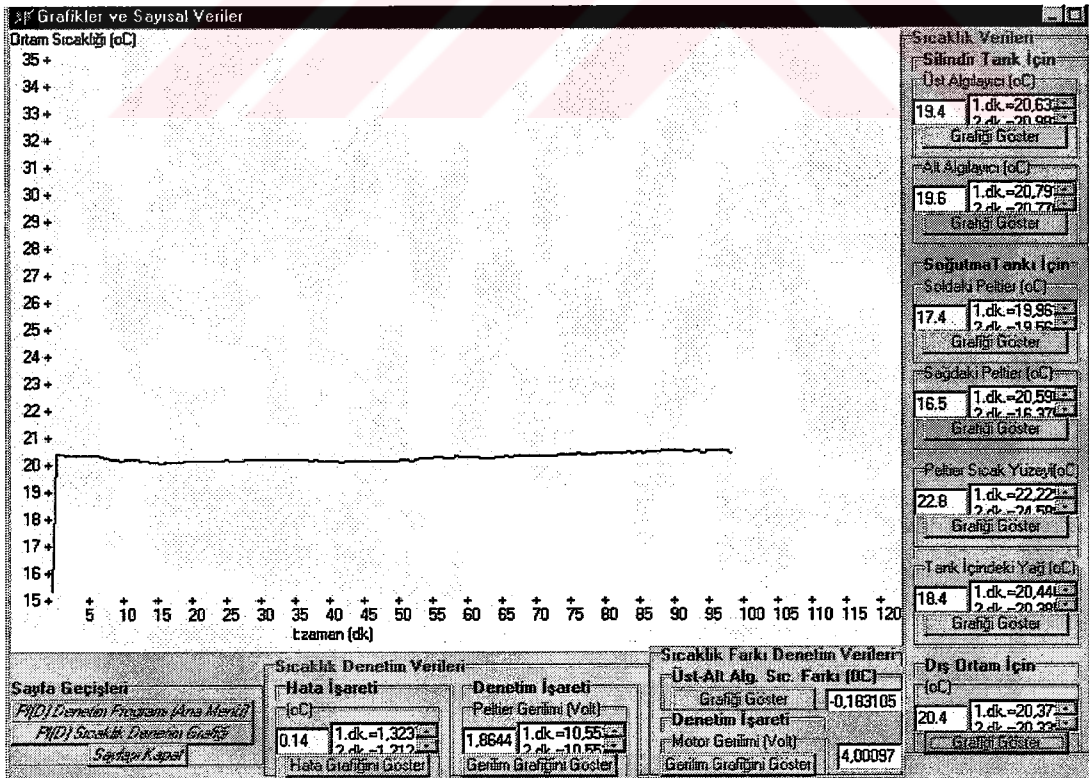
Şekil 6.8. Sol peltierin sıcak yüzeyine ait sıcaklık bilgileri

Soğutma tankında bulunan akışkanın sıcaklığı, akışkanın kütlesi oranında, tüm sistemin ortalama sıcaklığına etki eder.



Şekil 6.9. Soğutma tankındaki yağın sıcaklık bilgileri.

Şekil 6.10, dış ortam sıcaklığı algılayıcısından gelen sıcaklık bilgilerini göstermektedir. Ölçüm boyunca dış ortam sıcaklığının fazla değişmediği görülür.

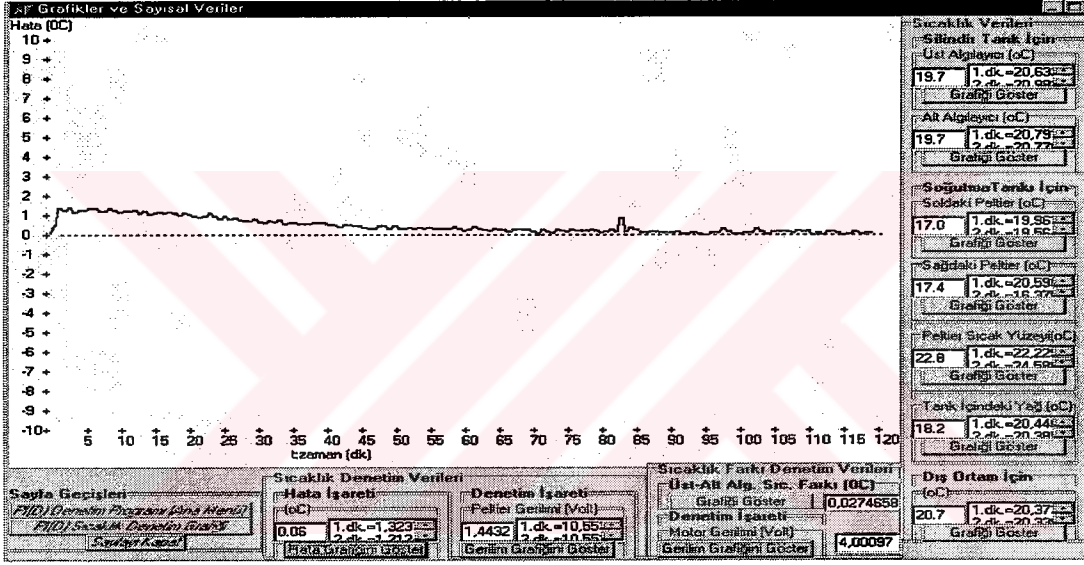


Şekil 6.10. Dış ortam sıcaklığı algılayıcısından gelen sıcaklık bilgileri.

### 6.1.3. Denetim ile ilgili grafikler ve sayısal veriler

Daha önceki grafiklerde görülmekte olan sıcaklık bilgilerinden yararlanılarak denetimde kullanılacak giriş bilgileri türetilir. Bunlara denetim çıkışında karşılık düşen çıkış bilgileri belirlenir. Bu bilgilere ait sayısal veriler ve grafikler, bu kısmın devamında verilmiştir.

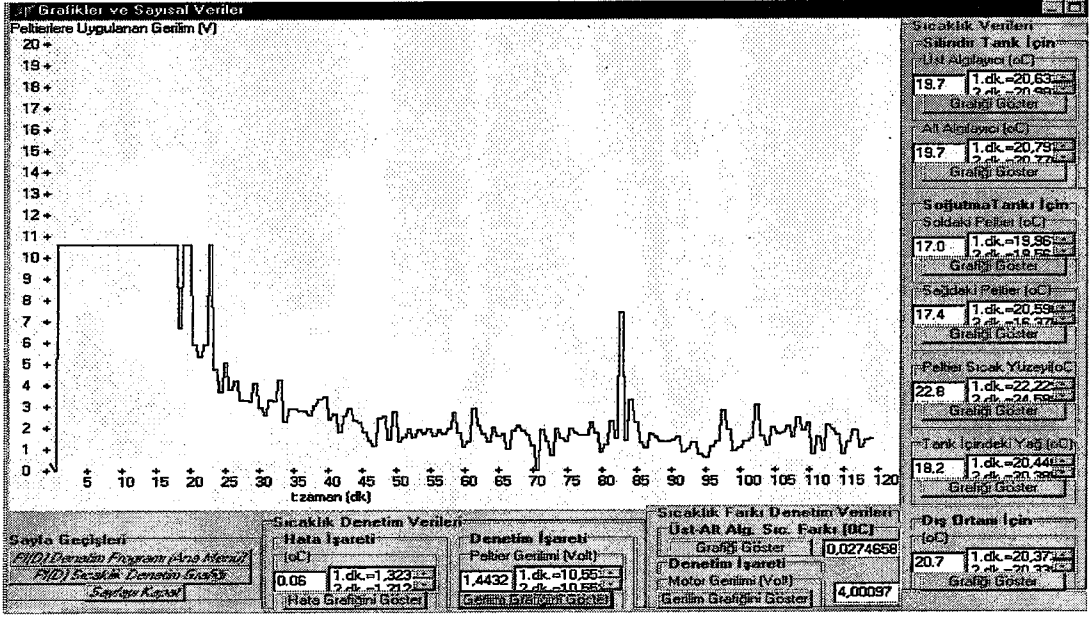
Şekil 6.11'de ısının üretildiği tank içindeki akışkan sıcaklığının istenen değeriyle gerçek değeri arasındaki sıcaklık farkının zamana göre değişimi görülmektedir. Aradaki hata 0,06 °C'ye kadar düşmüştür.



Şekil 6.11. İstenen değerle gerçek değer arasındaki sıcaklık farkı.

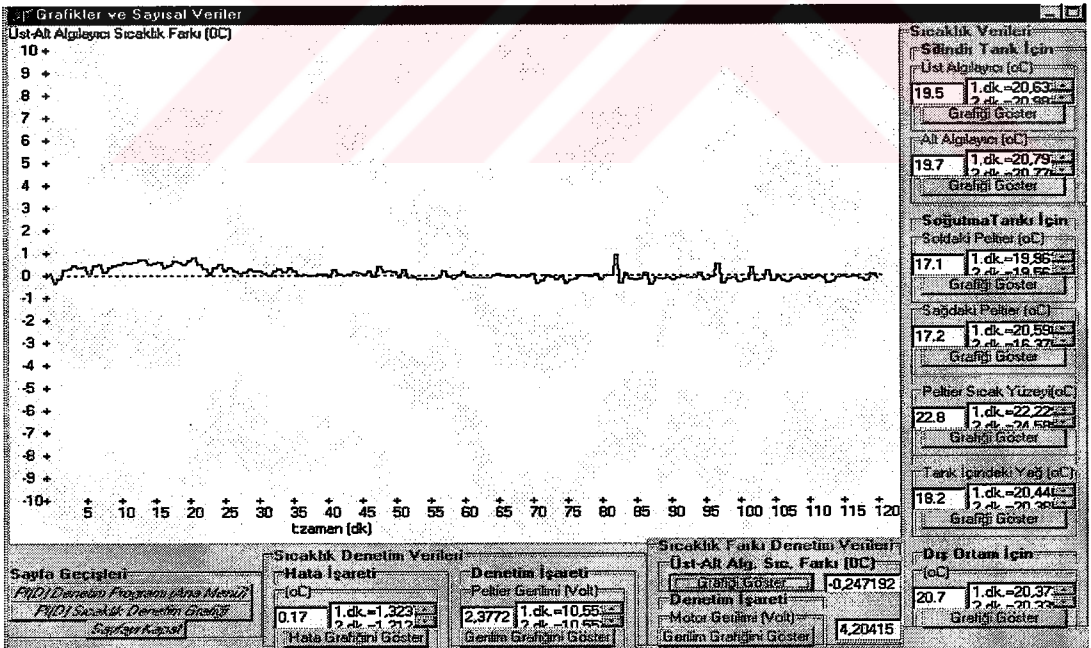
Şekil 6.12'de peltier geriliminin zamana göre değişimi görülmektedir. Hata denetim bandının dışındayken süreç açık-kapalı çalışmıştır. Yükselme zamanı boyunca, soğutma verimindeki değişimler ve integral etkisiyle dalgalanmalar görülse de, denetim gerilimi azalan hataya paralel olarak düşmüştür.

Üretilen ısı, hatayı tekrar arttırma yönünde baskın hale geldiği durumlarda, denetleyicinin peltier gerilimini uygun değerlere sürekli olarak ayarladığı 70. dakika ve sonrasında daha açık görülmektedir.



Şekil 6.12. Peltier elemanlarına uygulanan denetim gerilimi.

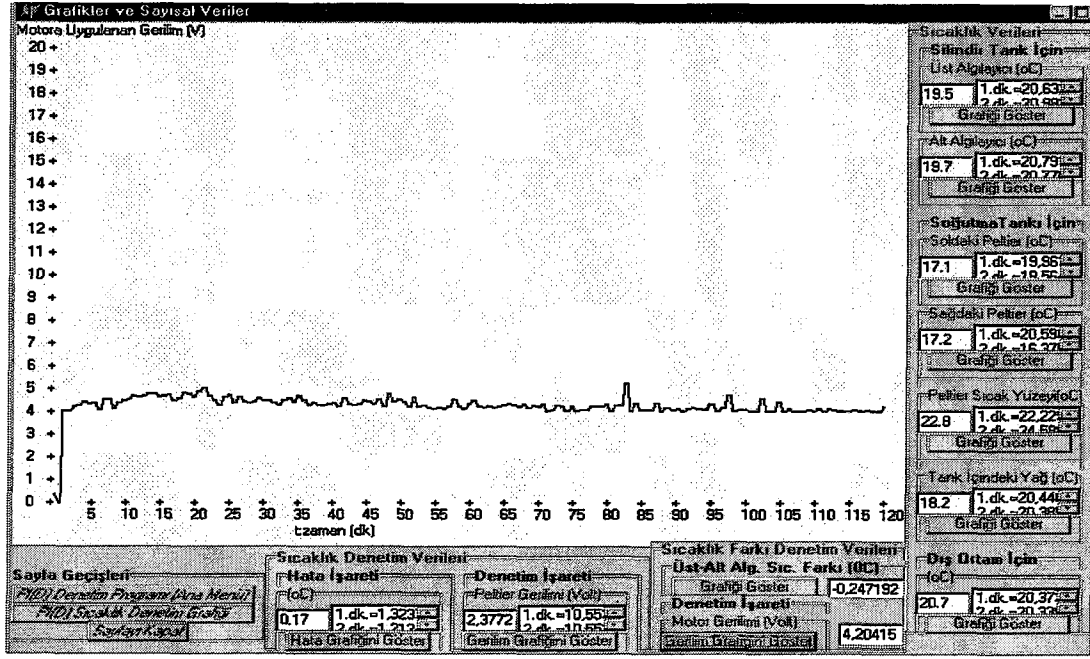
Şekil 6.13'te  $T_{üst}-T_{alt}$ 'ın zamana göre değişimi görülmektedir. İlk dakikalarda, sıcaklık farkında pozitif yönde bir aşma oluşmuştur. Motor gerilimi Şekil 6.14'te



Şekil 6.13. Üst ve alt algılayıcılar arasındaki sıcaklık farkı.

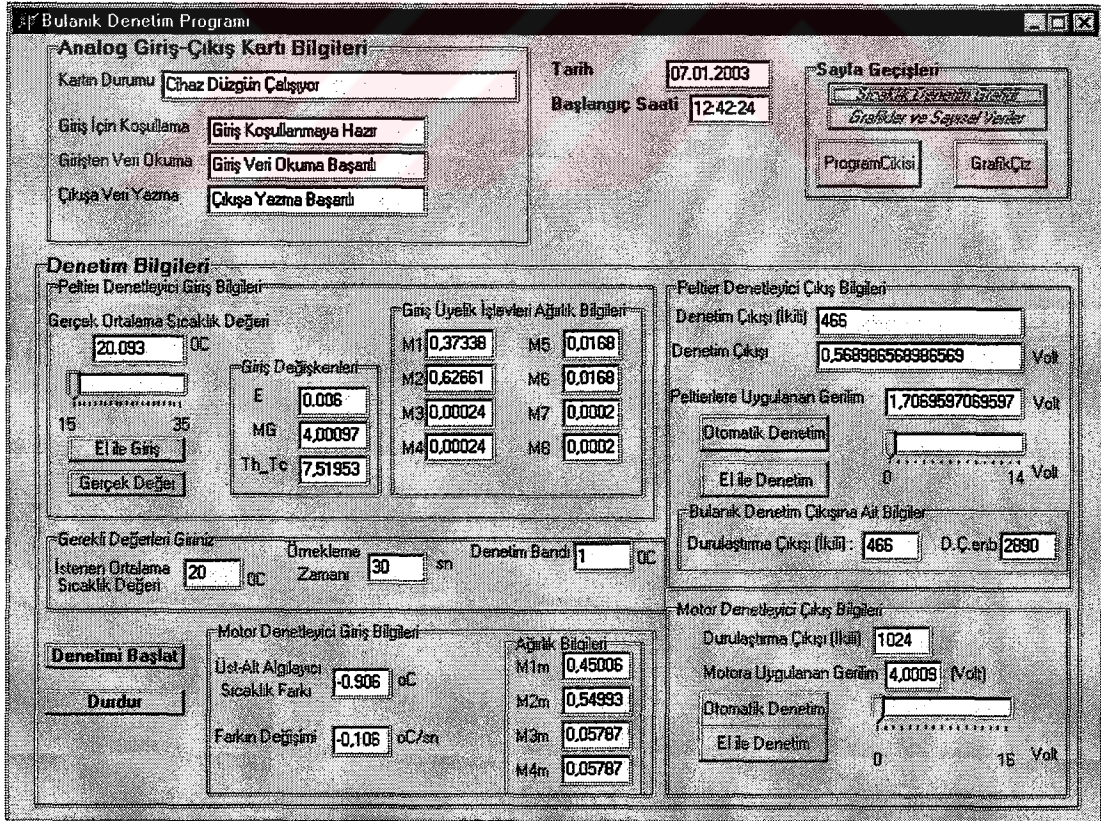
görüldüğü gibi artarak doğal taşınımın etkisini ortadan kaldırmıştır ve motor hızını ayarlayarak  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkının artmasını her iki yönde de engellemiştir.





Şekil 6.14. Denetim için motora uygulanan gerilim.

## 6.2. Bulanık denetim programının çalıştırılması ve alınan denetim sonuçları

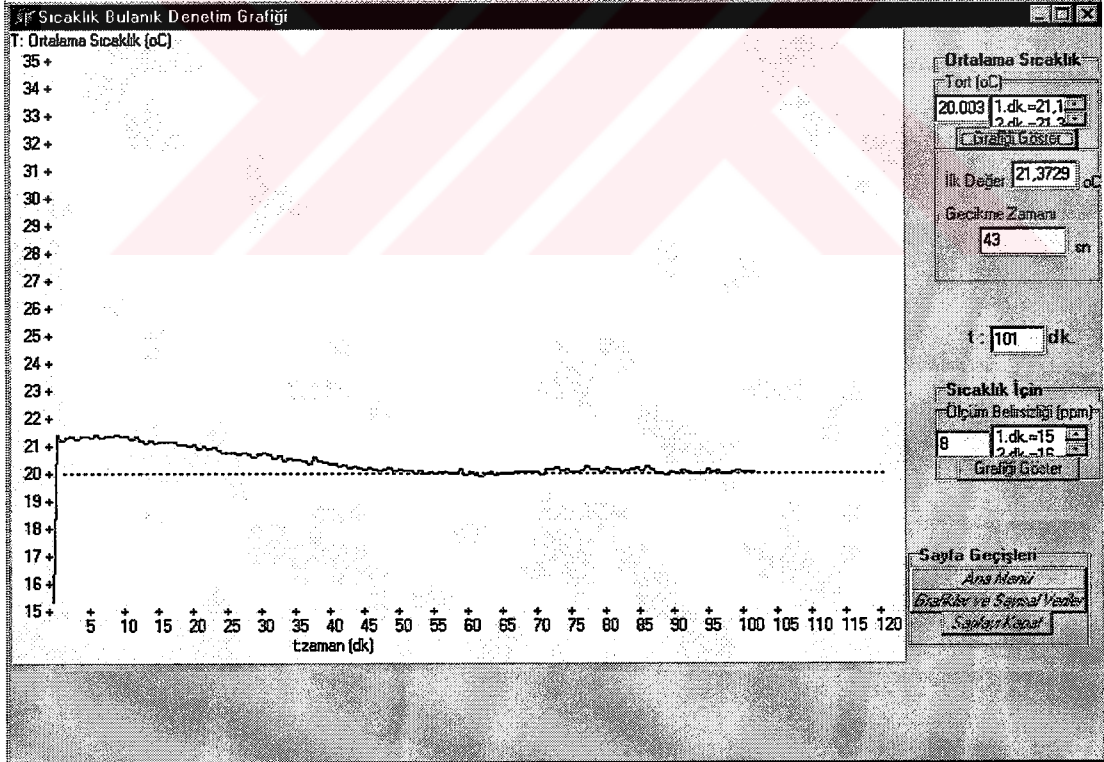


Şekil 6.15. Bulanık denetim programı giriş arayüzü.

Hazırlanan bulanık denetim yazılımı, karar verme yöntemi olarak Sum-min yöntemini, durulaştırma için ise Ağırlık Merkezi yöntemini kullanmaktadır. Şekil 6.15'te bulanık denetim programının ana menü ara yüzü görülmektedir. "Denetim Bilgileri" bölümünde, PID denetleyici ana menüsünden farklı olarak bulanık denetleyicide denetim girişinde kullanılan değişkenlere ait giriş bilgileri ve üyelik işlevlerine ait anlık en küçük ağırlık bilgileri bulunmaktadır. Peltier bulanık denetleyicisinde aynı anda 8 kural, Motor bulanık denetleyicisinde aynı anda 4 kural etkin olur. Bu ağırlıklar, aynı anda etkin olan her bir kuralın hangi ağırlıklarla durulaştırma çıkışına etki edeceğini gösterir.

### 6.2.1. Denetim sonuçları

Bulanık denetleyici programında da aynı sıcaklık denetim grafikleri kullanılmıştır. Şekil 6.16'da denetlemek istediğimiz ortalama sıcaklığın zamana göre değişimi görülmektedir.

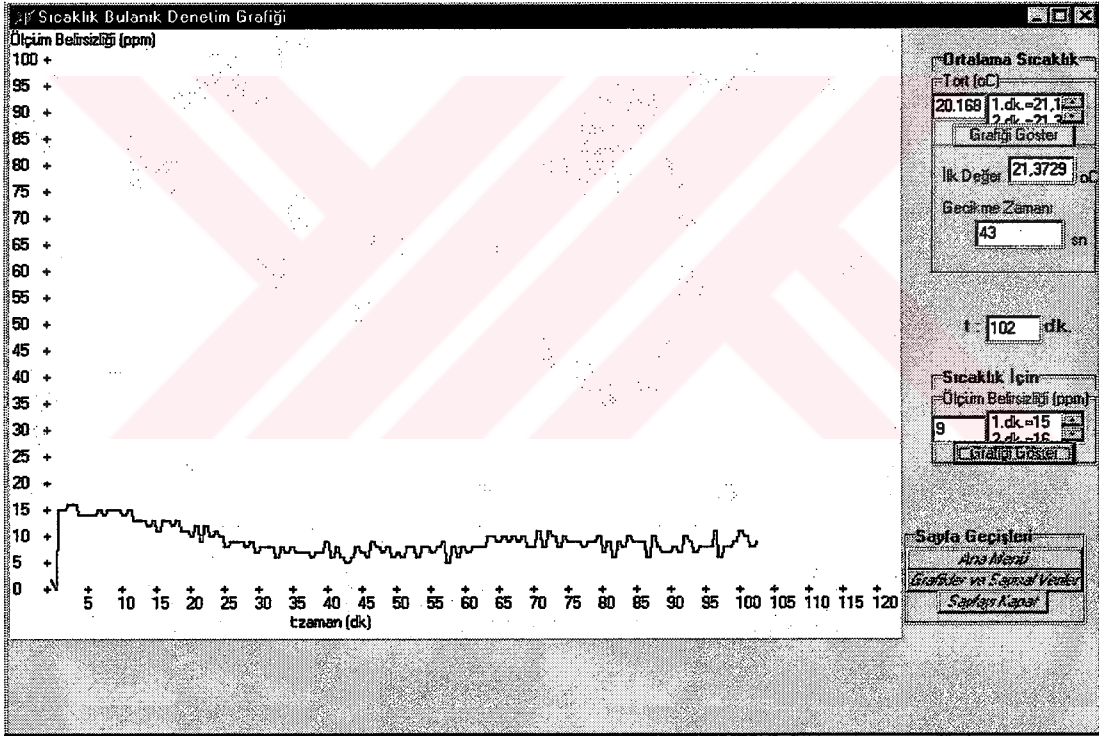


Şekil 6.16. Isı üretilen tankta ortalama sıcaklık değerinin zamana göre değişimi.

- Sistemde en büyük aşım  $MO = 20.24 - 20 = 0.24$  °C'dir.

- Gecikme zamanı  $t_d = t(20.67^\circ\text{C}) = 27$  dk.'dır.
- Yükselme zamanı  $t_r = t(21.26^\circ\text{C}) - t(20.14^\circ\text{C}) = 45 - 14 = 31$  dk. bulunur.
- Yerleşme zamanı  $t_s = t(20 \pm 0.2^\circ\text{C}) = t(20.27^\circ\text{C}) = 43$  dk. bulunur.

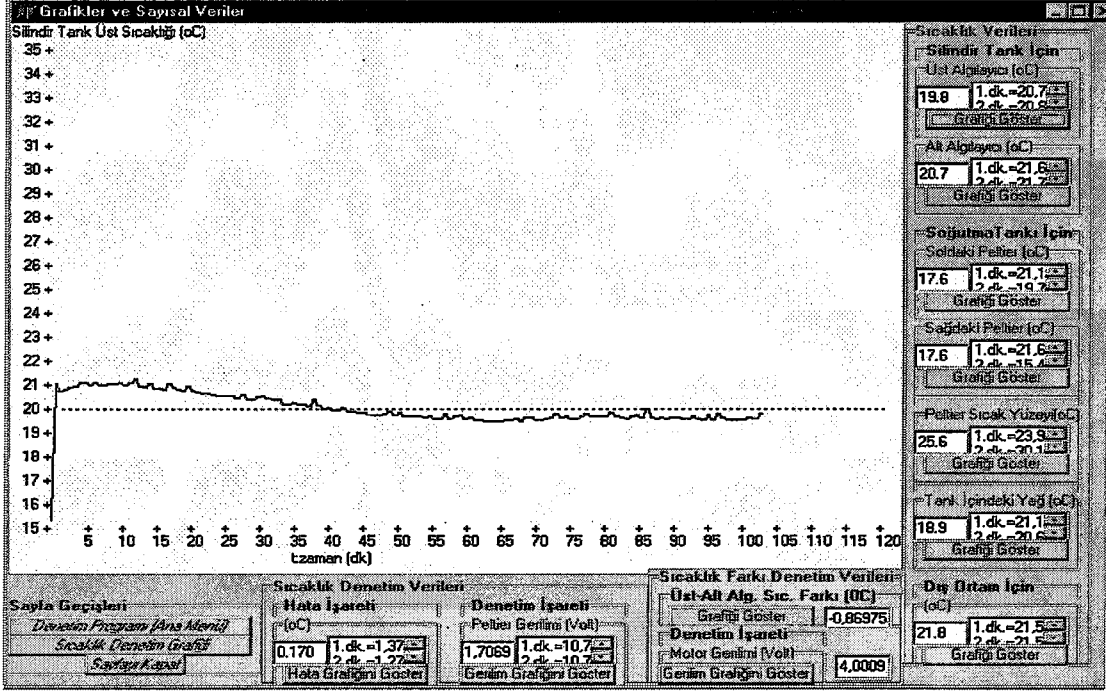
Sıcaklıktan kaynaklanan toplam ölçüm belirsizliğinin değişim grafiği Şekil 6.17'de sayısal değerleriyle birlikte verilmiştir. Başlangıçta 15 ppm civarında olan, sıcaklıktan kaynaklanan ölçüm belirsizliği, bir süre sonra 11 ppm'in altına düşmüştür ve bu bandı bir daha aşmamıştır. Sıcaklığın istenen değere ulaşmasına rağmen toplam belirsizlikte yeterince azalma olmamasının nedeni ikinci bulanık denetleyicinin denetlediği motorun  $T_{üst} - T_{alt}$  sıcaklık farkını yeterince azaltamamasıdır.



Şekil 6.17. Sıcaklıktan kaynaklanan toplam ölçüm belirsizliğinin zamana göre değişimi.

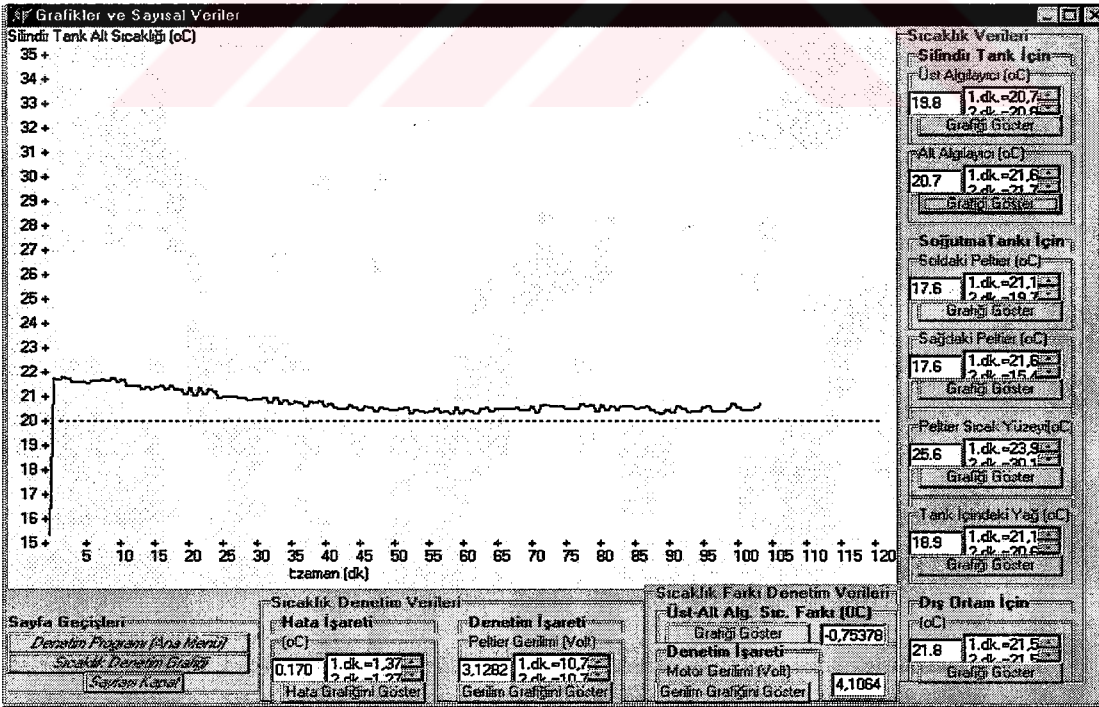
## 6.2.2. Sıcaklık bilgileri ile ilgili grafikler ve sayısal veriler

Isının üretildiği hazneye ait üst ve alt algılayıcılardan gelen sıcaklık bilgileri sırasıyla Şekil 6.18'de ve 6.19'da verilmiştir.



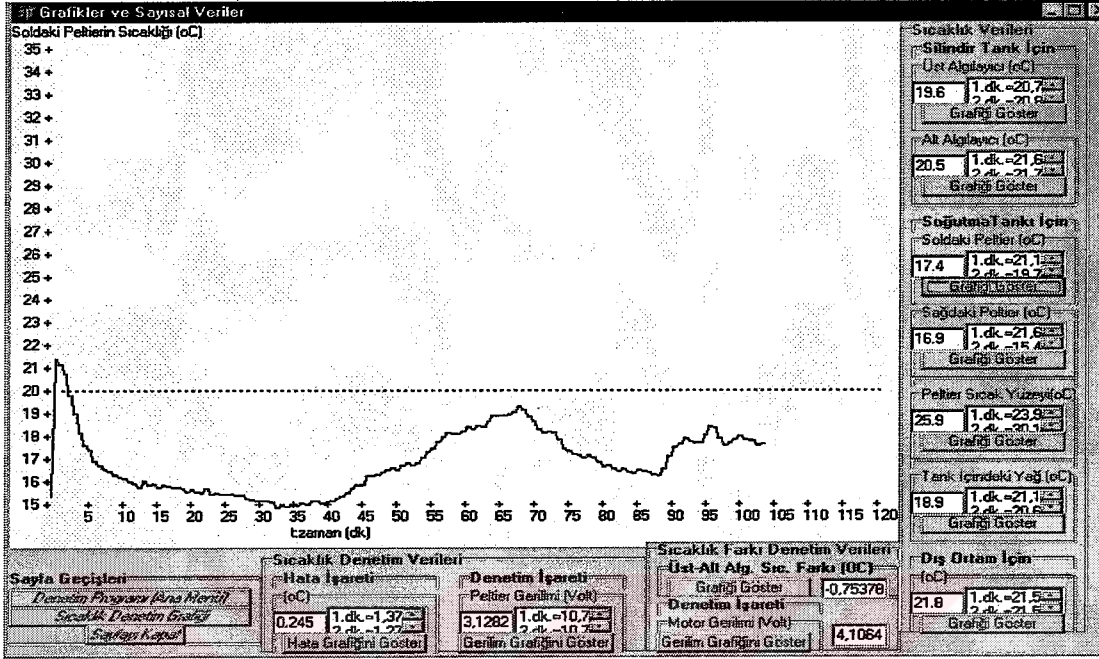
Şekil 6.18. Isı üretilen tanka ait üst algılayıcısından gelen sıcaklık bilgileri

40. dakikadan sonra üst algılayıcı istenen değerin altında alt algılayıcı ise istenen değerin üstünde yer almaktadır.

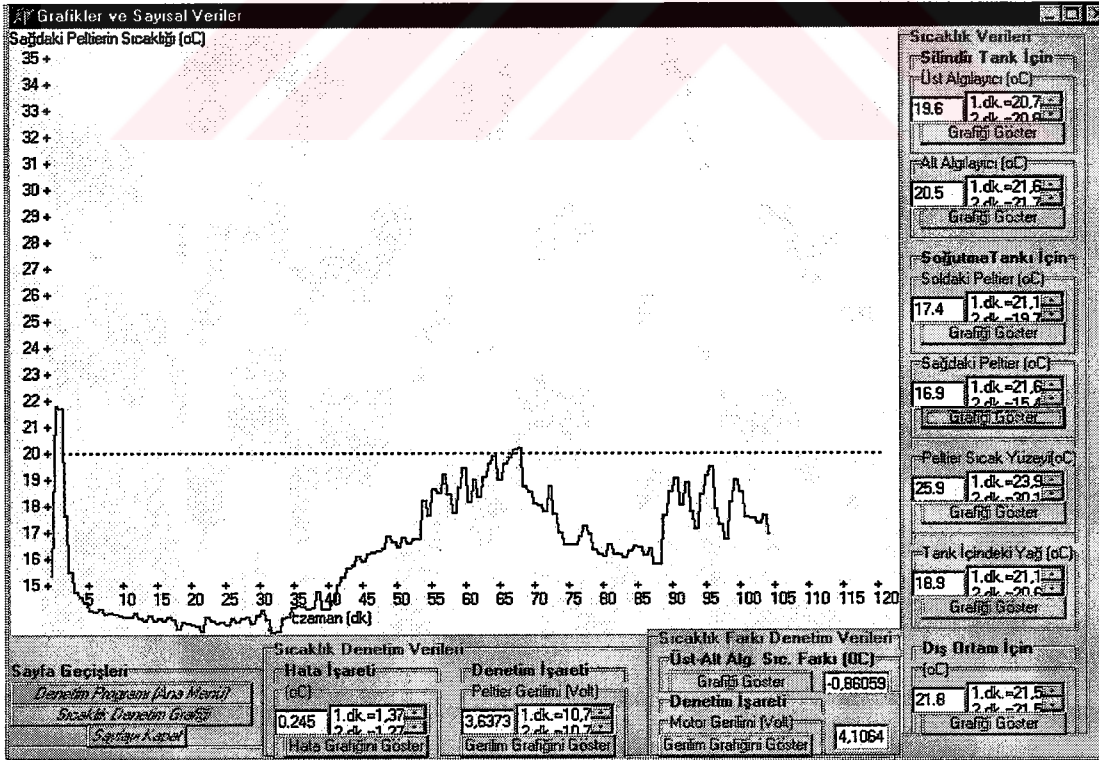


Şekil 6.19. Isı üretilen tanka ait alt algılayıcıdan gelen sıcaklık bilgileri.

Şekil 6.20 ve Şekil 6.21’de, soğutma tankının solunda ve sağında bulunan peltierlerin soğuyan yüzeylerine ait sıcaklık bilgileri görülmektedir.

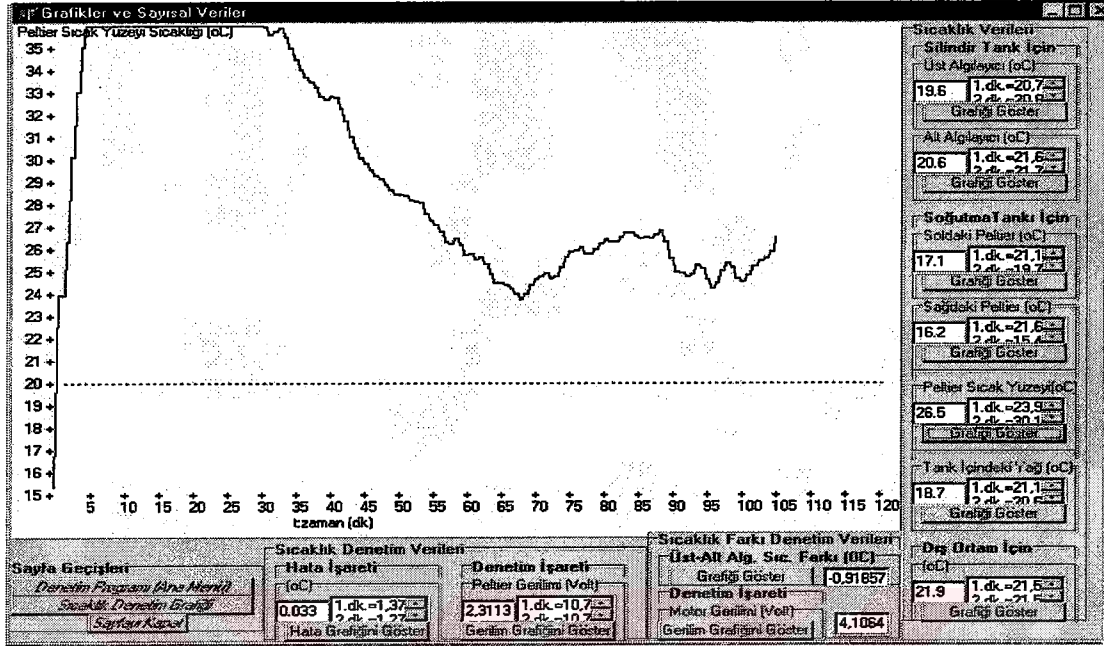


Şekil 6.20. Soğutma tankının solunda bulunan peltierin soğuk yüzeyi.



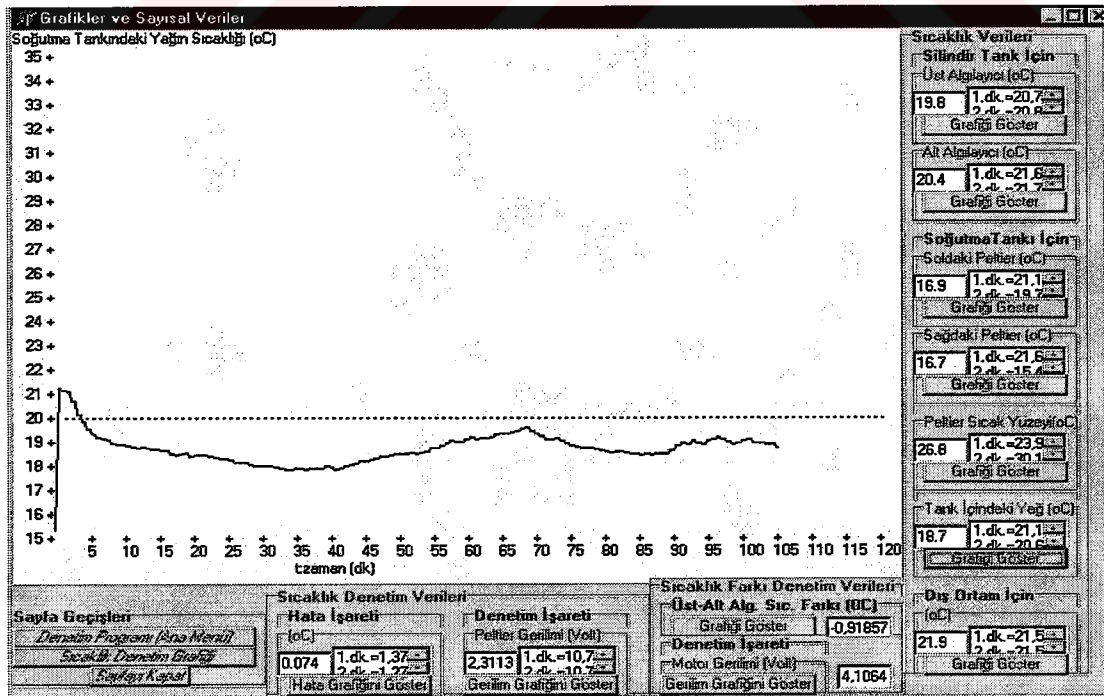
Şekil 6.21. Sağ peltierin soğuk yüzeyine ait sıcaklık bilgileri

Denge durumundan sonra, peltier soğuk yüzeyinin sıcaklığı peltier denetim gerilimini izlediği görülmektedir.

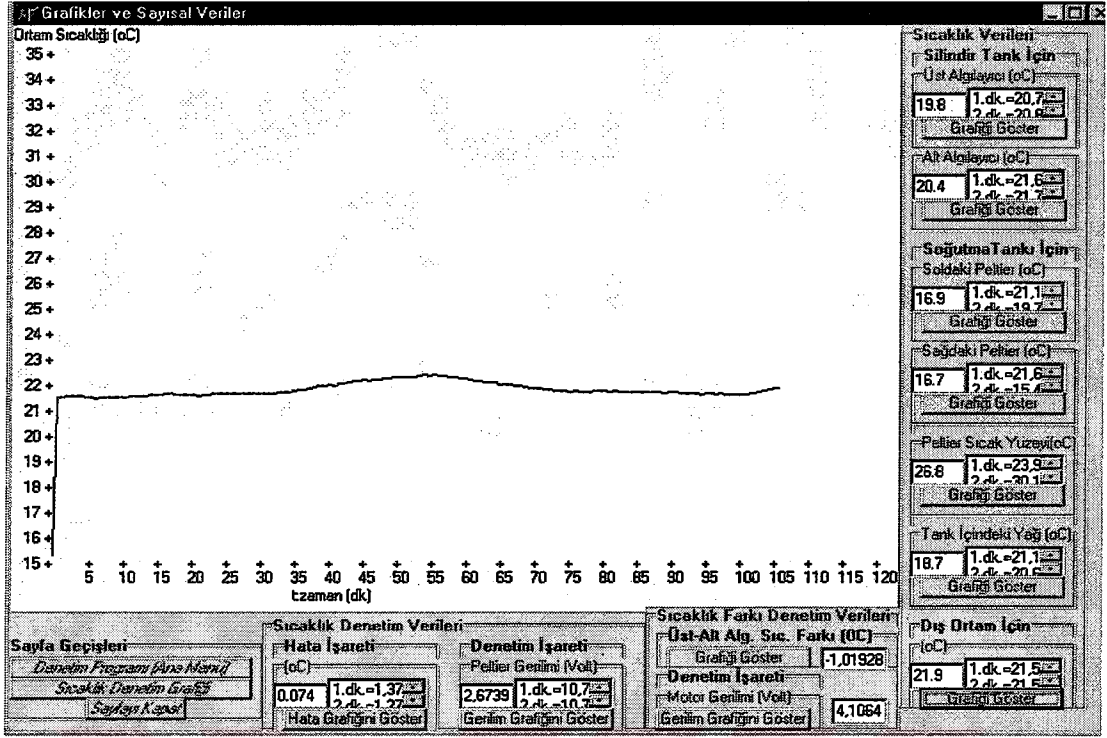


Şekil 6.22. Sol peltierin sıcak yüzeyine ait sıcaklık bilgileri.

Şekil 6.22'de sol peltierin sıcak yüzeyine ait sıcaklık, Şekil 6.23'te soğutma tankındaki yağ içinde bulunan algılayıcıdan gelen sıcaklık bilgileri görülmektedir.



Şekil 6.23. Soğutma tankındaki yağın sıcaklık bilgileri



Şekil 6.24. Dış ortam sıcaklığı algılayıcısından gelen sıcaklık bilgileri.

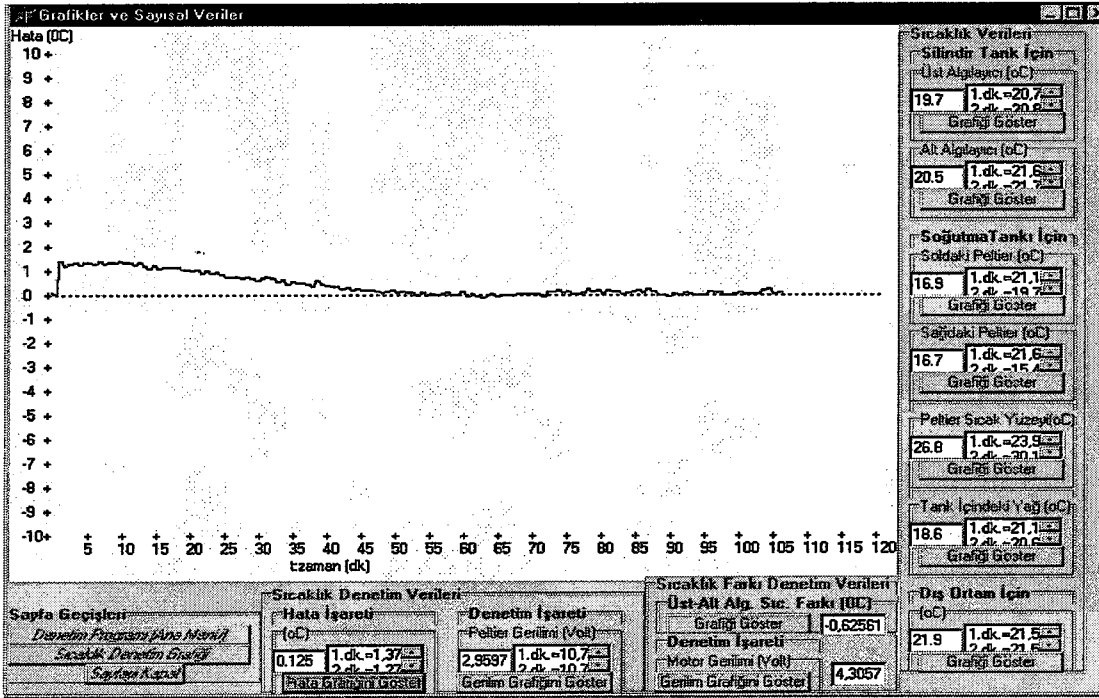
Şekil 6.24, dış ortam sıcaklığı algılayıcısından gelen sıcaklık bilgilerini göstermektedir. Gözlenen dış ortam sıcaklığının PID denetimin yapıldığı deney şartlarına göre biraz daha değişken olduğu görülmektedir.

### 6.2.3. Denetim ile ilgili grafikler ve sayısal veriler

Daha önceki grafiklerde görülmekte olan sıcaklık bilgilerinden yararlanılarak denetimde kullanılacak giriş bilgileri türetilir. Bunlara denetim çıkışında karşılık düşen çıkış bilgileri belirlenir. Bu bilgilere ait sayısal veriler ve grafikler, bu kısmın devamında verilmiştir.

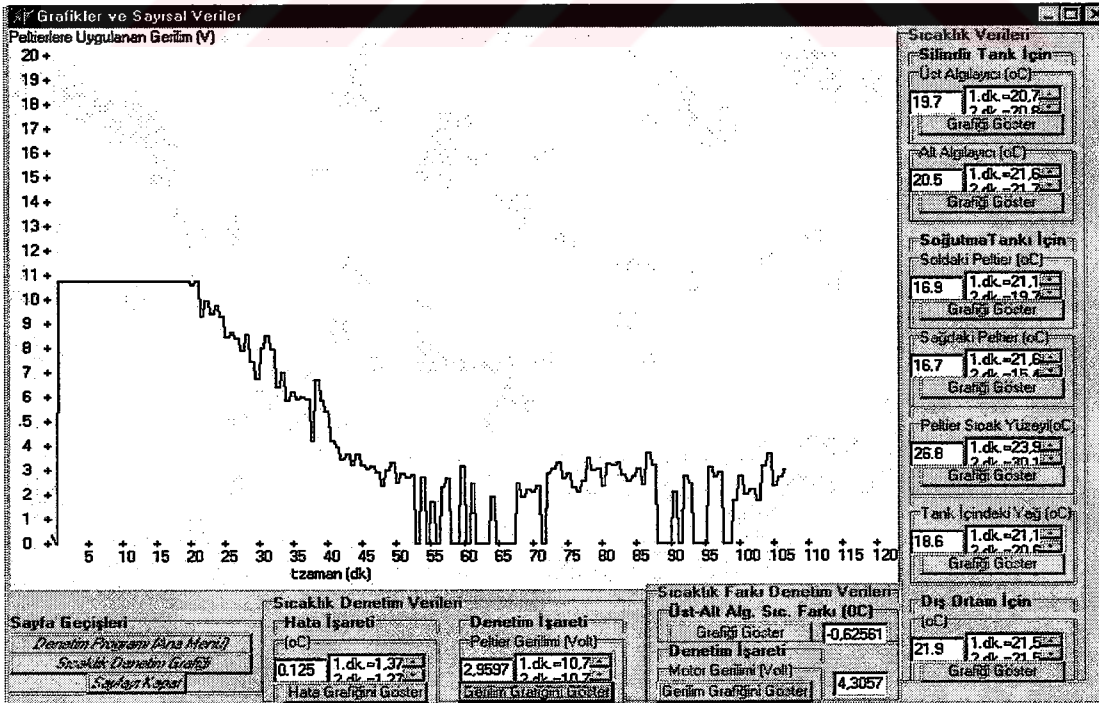
Şekil 6.25'te ısının üretildiği tank içindeki akışkan sıcaklığının istenen değeriyle gerçek değeri arasındaki sıcaklık farkının zamana göre değişimi görülmektedir. Aradaki hata 0,004 °C'ye kadar düşmüştür. Gözlenen son değer 0.125 °C'dir.

Şekil 6.26'da peltier geriliminin zamana göre değişimi görülmektedir. Hata denetim bandının dışındayken süreç açık-kapalı kipte çalışmıştır. Soğutma verimindeki değişimlerin etkileri gözardı edilirse, yükselme zamanı boyunca, denetim gerilimi diğer değişkenlere ve azalan hataya paralel olarak düşmüştür.



Şekil 6.25. İstenen değerle gerçek değer arasındaki sıcaklık farkı.

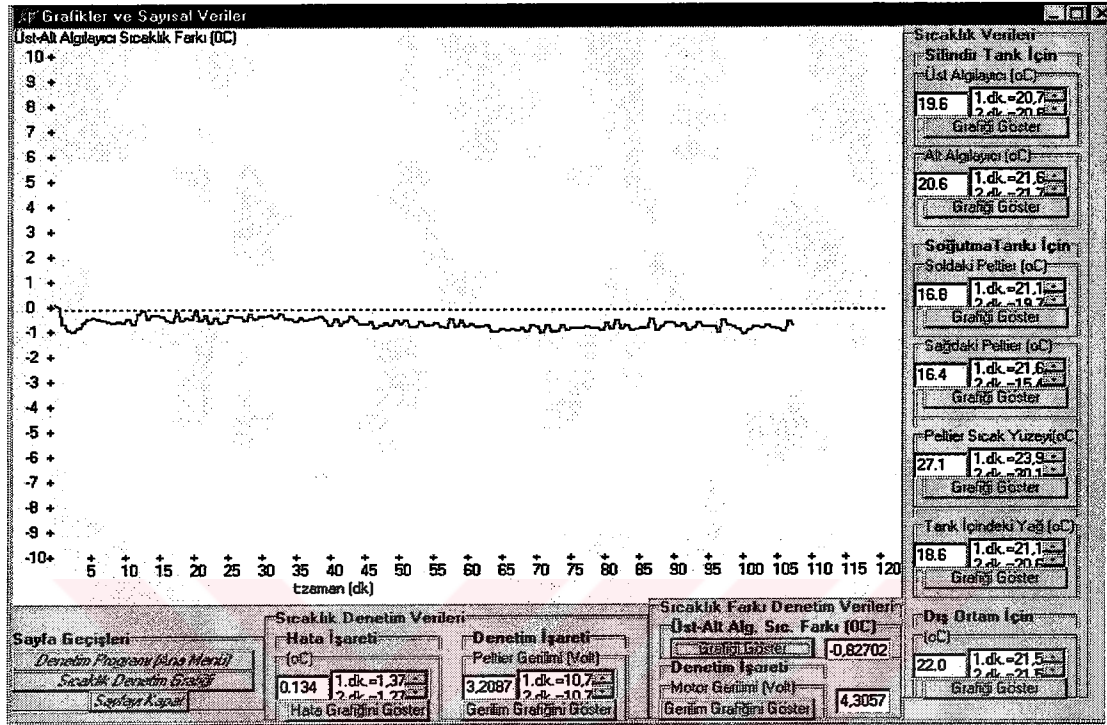
Uygun denetim gerilimi, farklı değişkenler göz önüne alarak hazırlanan bulanık denetim kuralları tarafından belirlendiği için, peltier geriliminde doğrusal olmayan geçişler görülmektedir.



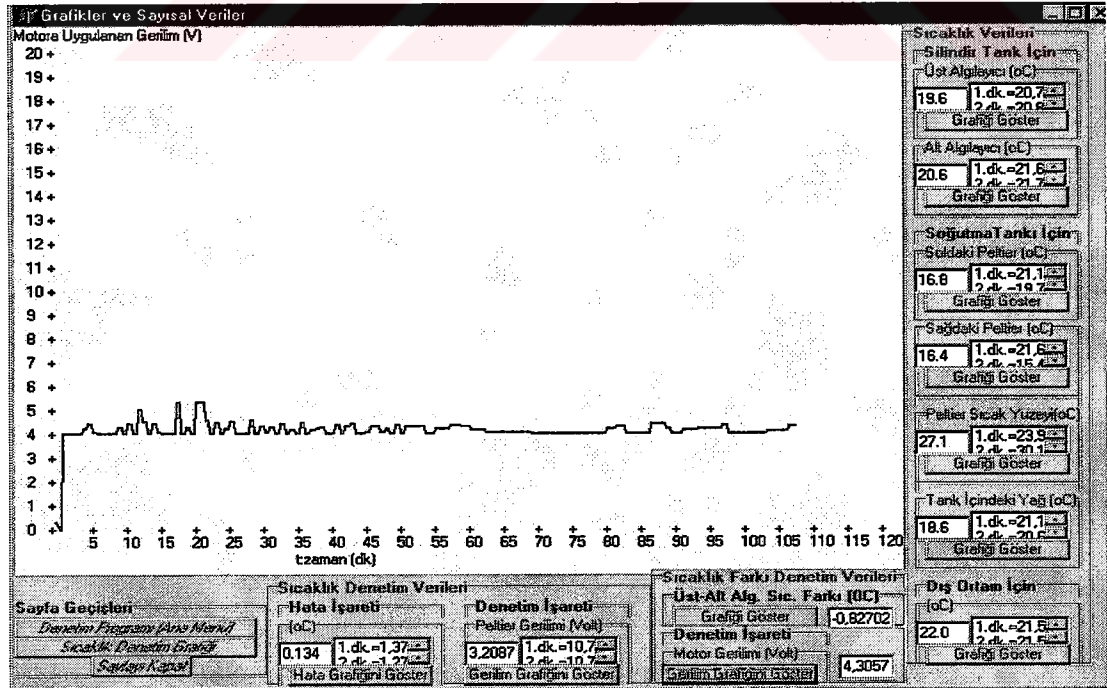
Şekil 6.26. Peltier elemanlarına uygulanan denetim gerilimi.



$T_{üst} - T_{alt}$  farkı, genelde PID denetime göre negatif yönde daha büyük kalmıştır, bazen  $1^{\circ}C$ 'ya kadar artarak ölçüm belirsizliğini arttırmıştır (Şekil 6.27).



Şekil 6.27. Isının üretildiği tanka ait üst ve alt algılayıcılar arasındaki sıcaklık farkı.



Şekil 6.28. Denetim için motora uygulanan gerilim.

Bu farkı azaltmak için motor denetim gerilimi Şekil 6.28’de görüldüğü gibi değişmektedir.

### 6.3. YSA denetim programının çalıştırılması ve alınan denetim sonuçları

Bu uygulamada YSA ile eğitilen denetleyiciler, diğer iki denetim yönteminde olduğu gibi, peltier elemanlarını süren DC güç kaynağının akımını ve motoru süren DC güç kaynağının gerilimini denetler. YSA’nın, sistemimizin giriş ve çıkışlarından alınan örnek eğitim çiftleri ile eğitimi Bölüm 4’te verilmiştir. Deneysel uygulama sırasında, eğitmiş olduğumuz ağ parametreleri kullanarak sıcaklık ve  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı denetimi yapılmıştır.

Ek-D’deki algoritmaya göre hazırlanan YSA denetim programının ana menüsü Şekil 6.29’da görülmektedir. “Denetim Bilgileri” bölümünde, sıcaklık ve  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı denetim girişinde kullanılan değişkenlere ait giriş bilgileri ve her iki denetleyicide kullanılan eğitilmiş YSA’larına ait yapısal bilgiler bulunmaktadır. Sağ kısımda ise denetim sonuçlarına ait bilgilere yer verilmiştir.

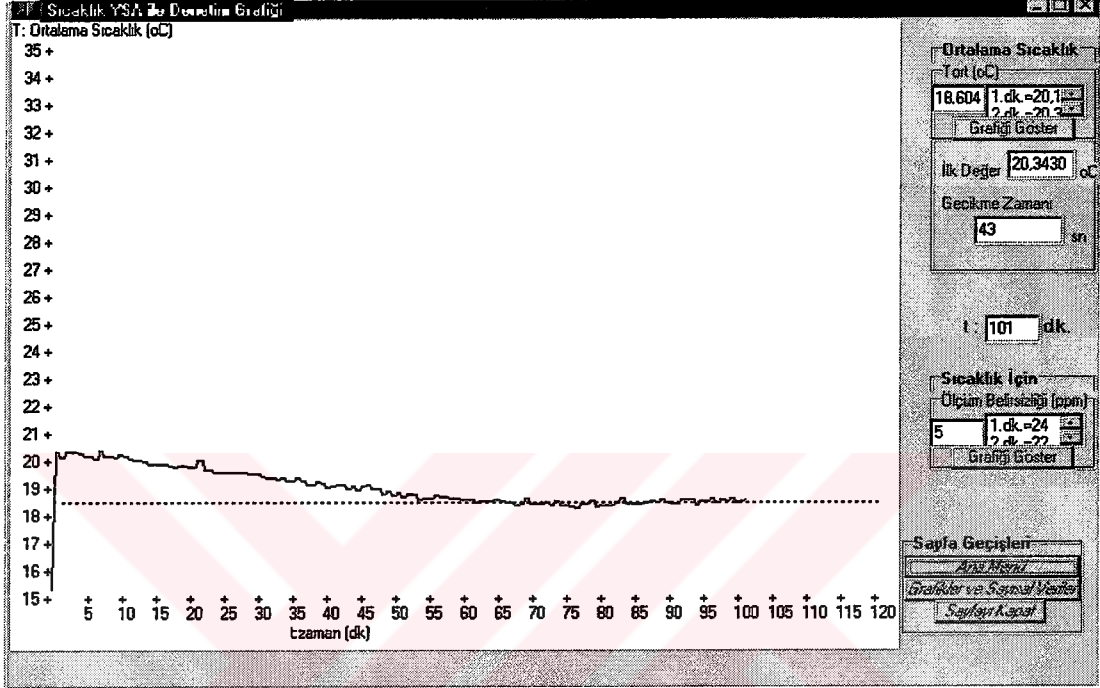
The screenshot displays the 'YSA ile Denetim Programı' interface. It is divided into several sections:

- Analog Giriş-Çıkış Kartı Bilgileri:** Shows the card status as 'Cihaz Düğün Çalışıyor'. It includes buttons for 'Giriş İçin Koşullama', 'Giriş Veri Okuma', and 'Çıkış Veri Yazma', with corresponding status indicators like 'Giriş Koşullanmaya Hazır', 'Giriş Veri Okuma Başarılı', and 'Çıkış Yazma Başarılı'.
- Denetim Bilgileri:** This central section contains:
  - Peltier Denetleyici Giriş Bilgileri:** Real-time average temperature: 18.745 °C. Includes 'El ile Giriş' and 'Gerçek Değer' buttons.
  - Ağın Özellikleri:** Layer count (L)=1, Input (I) layer neuron count=3, Output (O) layer neuron count=1, Total neuron count=6.
  - Eğitilmiş Ağılık Değerleri:** Weights for input nodes: W[0].w[11]=-37.4903283930372, W[0].w[12]=-11.3075044987758, W[0].w[13]=-4.61290042548107.
  - Peltier Denetleyici Çıkış Bilgileri:** Control output (Ikkli): 955. Control output: 1.16605616605617 Volt. Applied voltage: 3.4981684981685 Volt. Control mode: 'Otomatik Denetim'.
  - Genel Değerler:** Target temperature: 18.5 °C, Sampling time: 30 sn, Control error: 1 °C.
  - Motor Denetleyici Giriş Bilgileri:** Layer count (L)=1, Input (I) layer neuron count=2, Output (O) layer neuron count=1, Total neuron count=4.
  - Eğitilmiş Ağılık Değerleri:** Weights for motor input nodes: W[motor][0].w[11]=3.713901532372, W[motor][0].w[12]=2.036397320062, Vektormotor[1].thr[1]=0.440174115, W[motor][0].w[21]=2.012788570408.
  - Motor Denetleyici Çıkış Bilgileri:** Control output (Ikkli): 1024. Applied voltage: 4.0009 (Volt). Control mode: 'Otomatik Denetim'.
- Üst-Alt Algılayıcı Sıcaklık Farkı:** -0.397 °C, Difference change: -0.048 °C/sn.
- Diğer Özellikler:** Date: 19.02.2003, Start time: 10:28:45. Buttons for 'Denetimi Başlat', 'Program Çıkışı', 'Durdur', and 'Grafik Çiz'.

Şekil 6.29. YSA denetim programı giriş arayüzü.

### 6.3.1. Denetim sonuçları

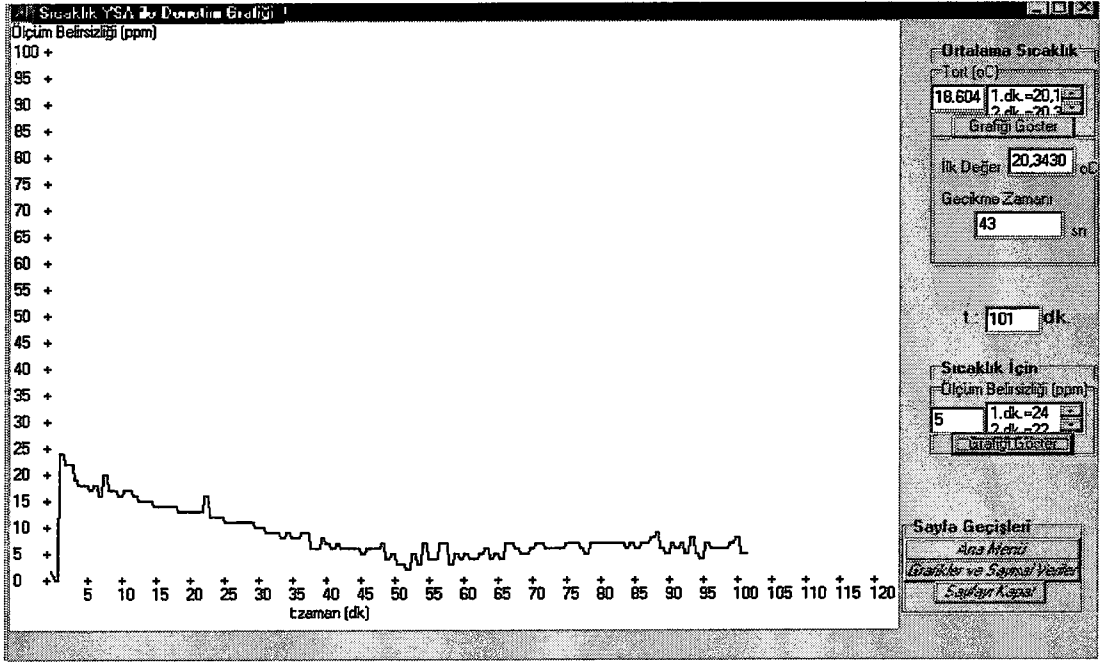
Kullanılan sıcaklık denetim grafikleri, YSA denetim programında da aynıdır. Şekil 6.30'da denetlenen ortalama sıcaklığın zamanla değişimi görülmektedir.



Şekil 6.30. Isı üretilen tankta ortalama sıcaklık değerinin zamana göre değişimi.

- Sistemde en büyük aşım  $MO = 18.66 - 18.5 = 0.16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir.
- Gecikme zamanı  $t_d = t(19.41 \text{ }^{\circ}\text{C}) = 30,5 \text{ dk.}$ 'dir.
- Yükselme zamanı  $t_r = t(18.682^{\circ}\text{C}) - t(20.138^{\circ}\text{C}) = 55 - 9 = 46 \text{ dk.}$  bulunur.
- Yerleşme zamanı  $t_s = t(18.5 \pm 0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}) = t(18.7 \text{ }^{\circ}\text{C}) = 59 \text{ dk.}$  bulunur.

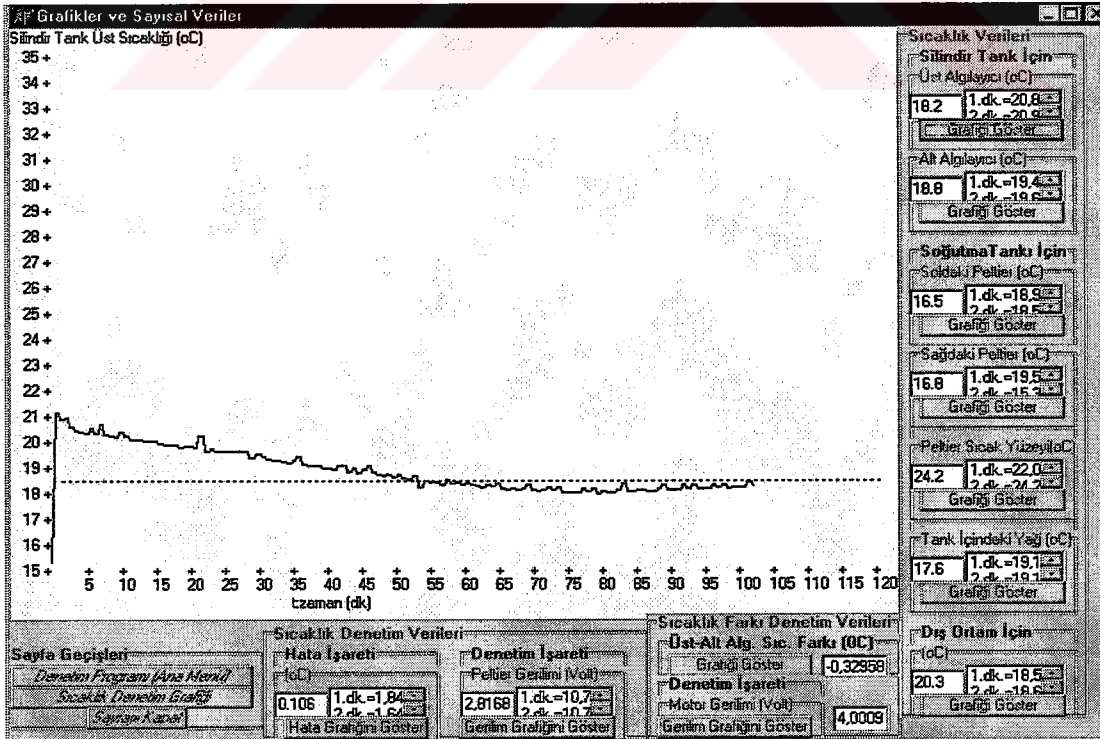
Sıcaklıktan kaynaklanan toplam ölçüm belirsizliği Şekil 6.31'de verilmiştir. Değeri başlangıçta 25 ppm civarındadır. Bir süre sonra 8 ppm'in altına düşmüş ve daha sonra bu değeri aşmamıştır.



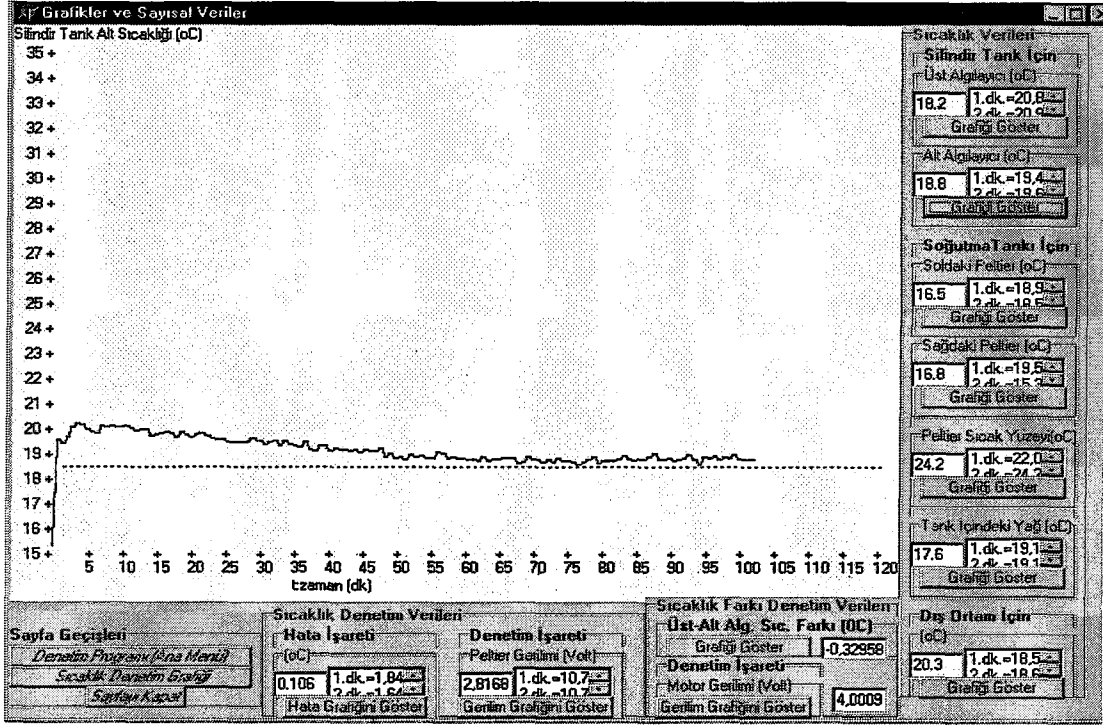
Şekil 6.31. Sıcaklıktan kaynaklanan toplam ölçüm belirsizliğinin zamana göre değişimi.

### 6.3.2. Sıcaklık bilgileri ile ilgili grafikler ve sayısal veriler

Üst ve alt algılayıcı sıcaklık bilgileri sırasıyla Şekil 6.32’de ve 6.33’te verilmiştir.

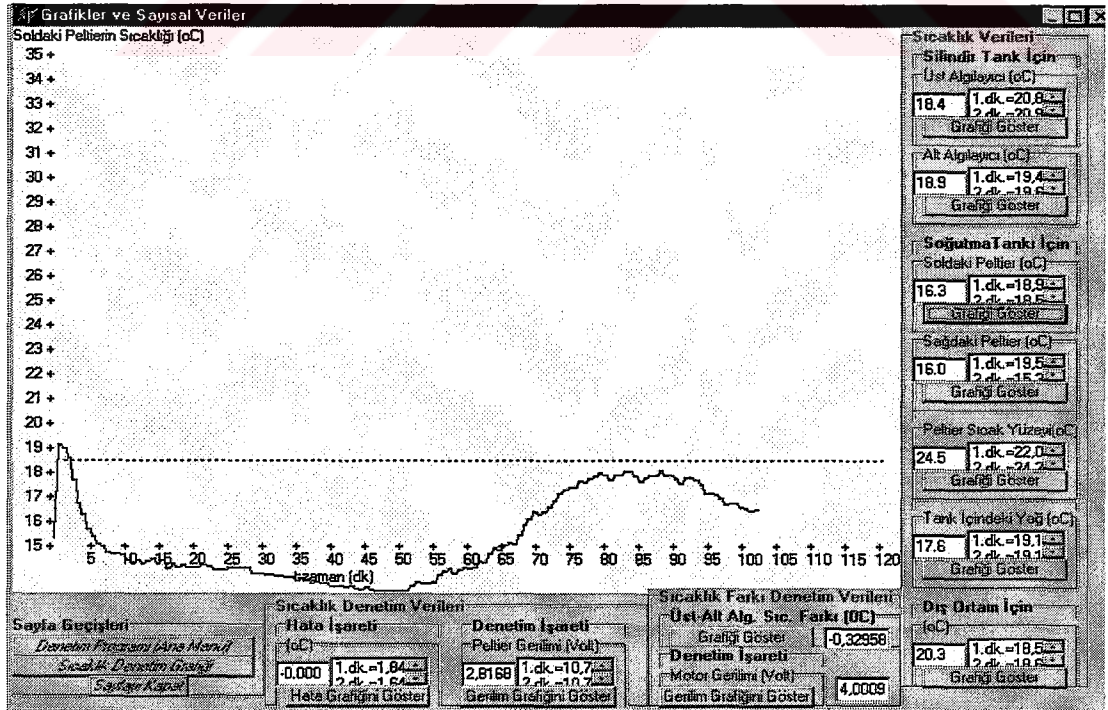


Şekil 6.32. Isının üretildiği tanka ait üst algılayıcısından gelen sıcaklık bilgileri

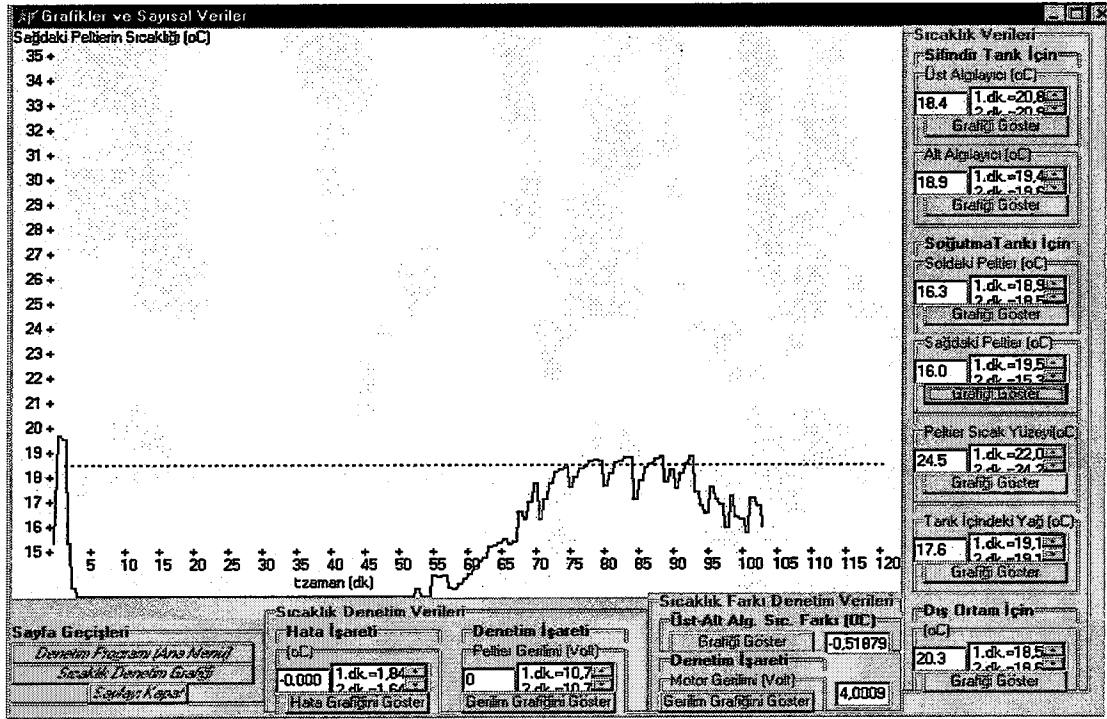


Şekil 6.33. Isının üretildiği tanka ait alt algılayıcıdan gelen sıcaklık bilgileri.

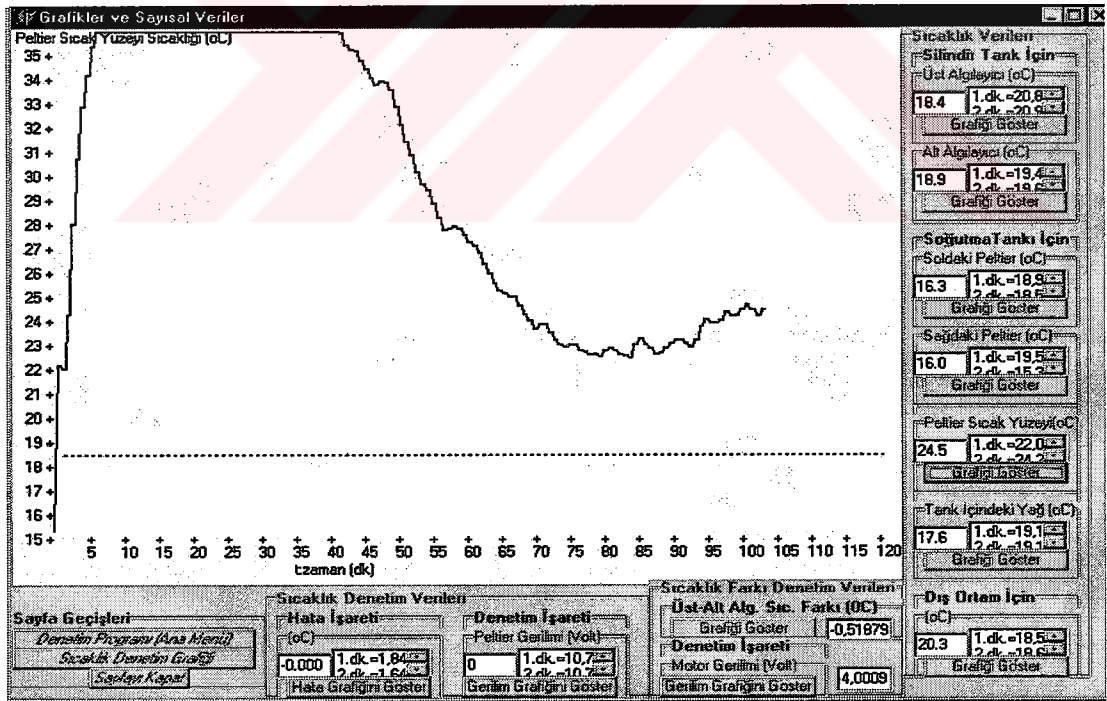
Şekil 6.34 ve Şekil 6.35'te, peltier elemanlarının soğuyan yüzeylerine ait sıcaklık bilgileri verilmiştir.



Şekil 6.34. Soğutma tankının solunda bulunan peltierin soğuk yüzeyi.



Şekil 6.35. Sağ peltierin soğuk yüzeyine ait algılayıcıdan gelen sıcaklık bilgileri.



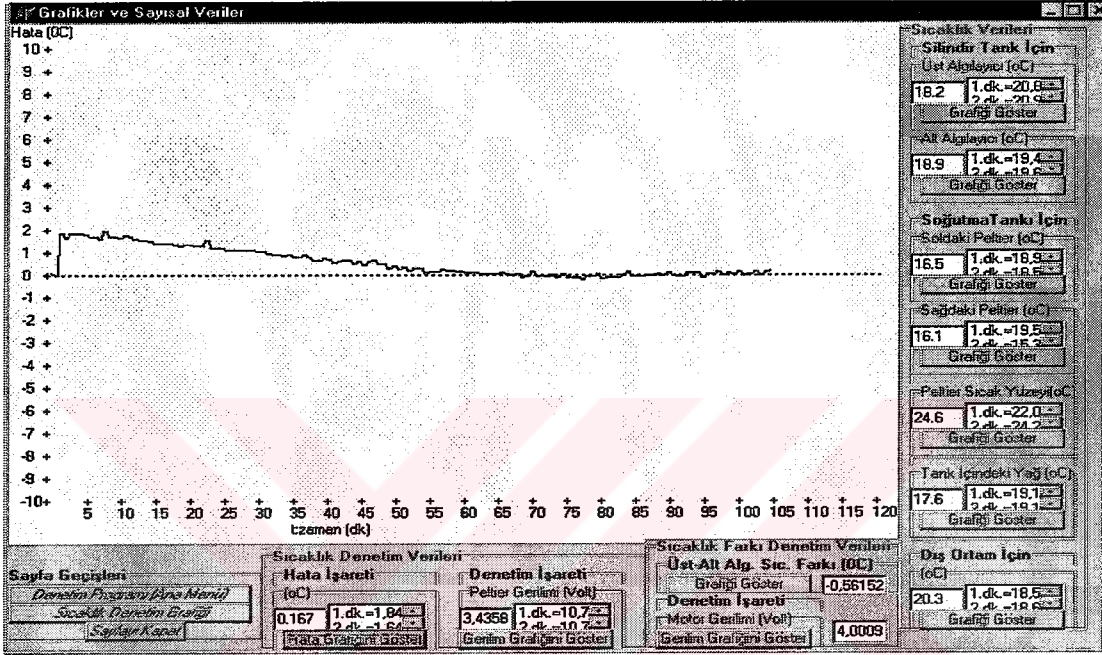
Şekil 6.36. Sol peltierin sıcak yüzeyine ait sıcaklık bilgileri.

Şekil 6.36'da sol peltierin sıcak yüzeyine ait sıcaklık, Şekil 6.37'de soğutma tankındaki yağın içinde bulunan algılayıcıdan gelen sıcaklık bilgileri görülmektedir.

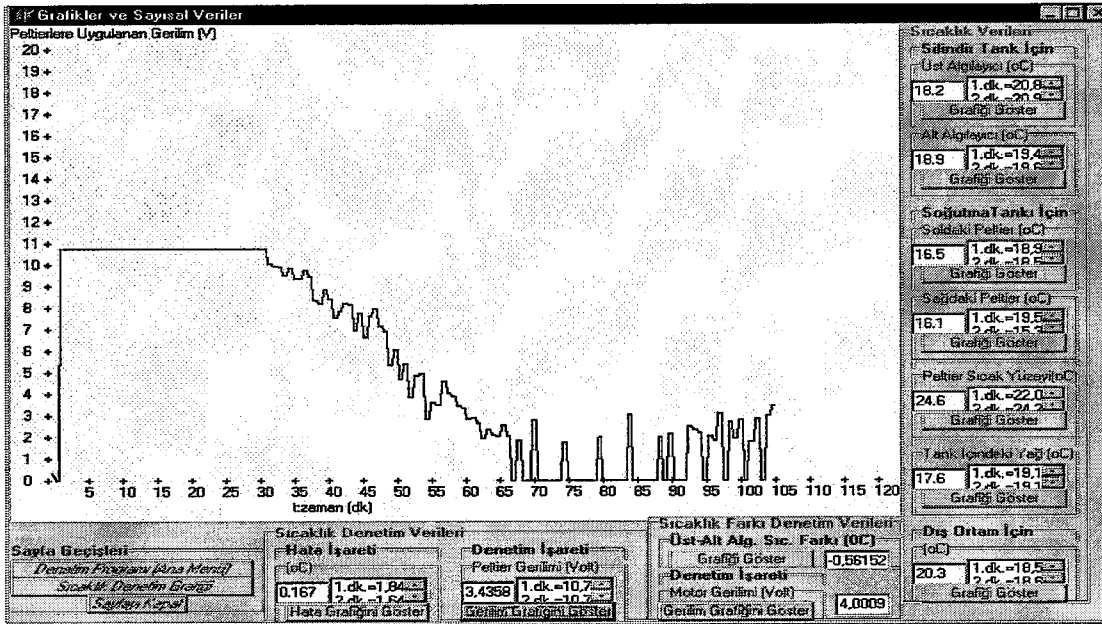


### 6.3.3. Denetim ile ilgili grafikler ve sayısal veriler

YSA ile denetimde kullanılacak giriş ve çıkışlara ait sayısal veriler ve grafikler, bu kısmın devamında verilmiştir. Şekil 6.39'da ısının üretildiği tank içindeki akışkan sıcaklığının istenen değeriyle gerçek değeri arasındaki sıcaklık farkının zamana göre değişimi görülmektedir. Gözlenen son değer  $0.167^{\circ}\text{C}$ 'dir.



Şekil 6.39. İstenen değerle gerçek değer arasındaki sıcaklık farkı.



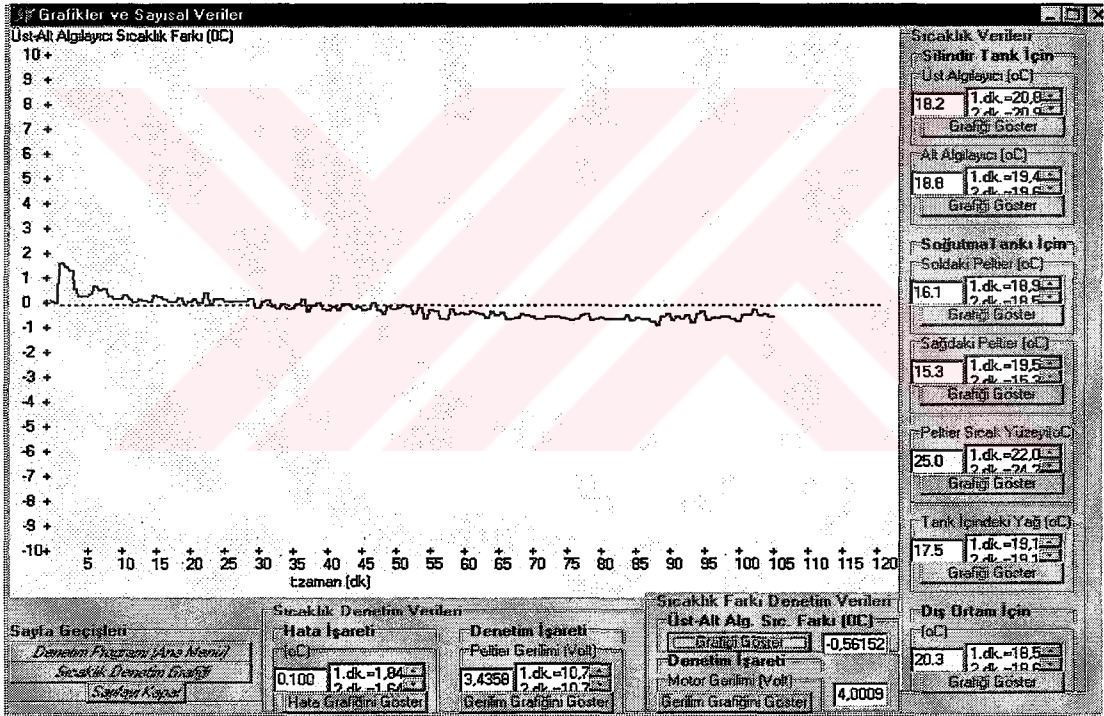
Şekil 6.40. Peltier elemanlarına uygulanan denetim gerilimi.



Şekil 6.40'ta peltier geriliminin zamana göre değişimi görülmektedir. Soğutma verimindeki değişimlerin etkileri gözardı edilirse, yükselme zamanı boyunca, denetim gerilimi diğer değişkenlere ve azalan hataya paralel olarak düşmüştür.

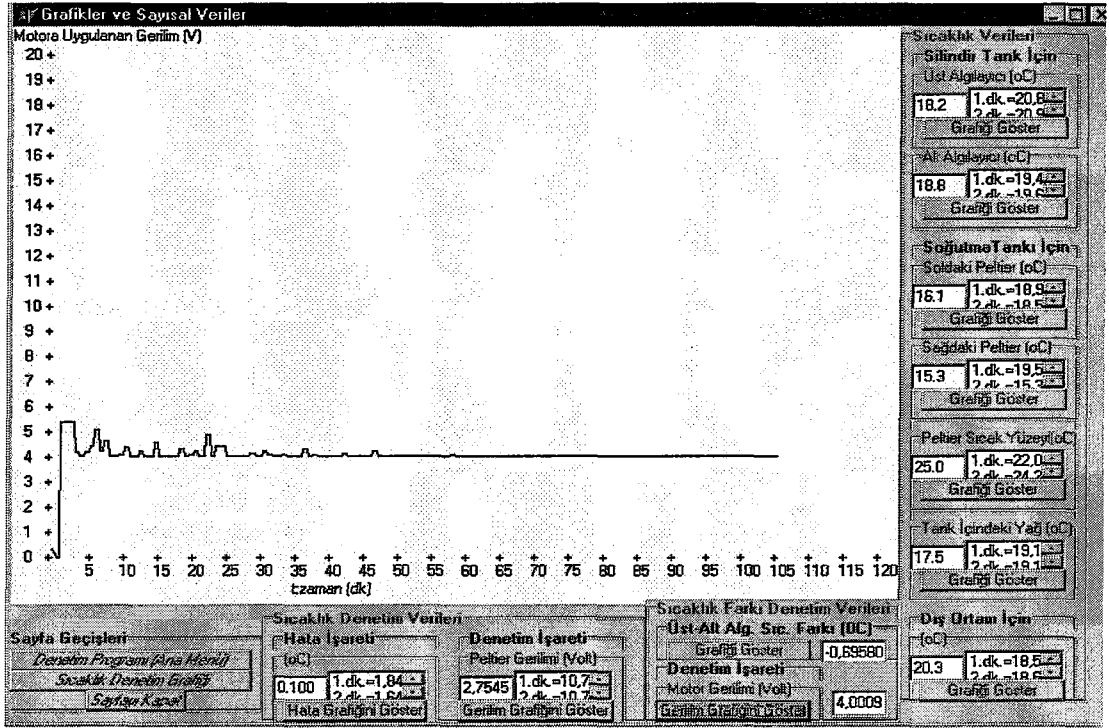
Uygun denetim gerilimi, farklı giriş değişkenleri göz önüne alınarak eğitilen YSA denetim parametreleri tarafından belirlendiği için, peltier geriliminde doğrusal olmayan geçişler görülmektedir.

Şekil 6.41'de  $T_{üst}-T_{alt}$ 'ın zamana göre değişimi görülmektedir. Bu fark, genelde PID denetime göre negatif yönde daha büyük, bulanık denetleyiciye göre daha küçük kalmıştır. Bazen  $0,5^{\circ}\text{C}$ 'ya kadar artmıştır.



Şekil 6.41. Üst ve alt algılayıcılar arasındaki sıcaklık farkı.

Bu farkı azaltmak için motor denetim gerilimi Şekil 6.42'de görüldüğü gibi değişmektedir. Farkın negatif olduğu durumlarda, YSA ile eğitilen denetleyici, eğitim çiftlerinde kendisine verildiği gibi motoru en düşük hızında çalıştırmıştır.



Şekil 6.42. Denetim için motora uygulanan gerilim.

## BÖLÜM 7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Yüksek gerilim ölçüm laboratuvarlarına izlenebilirlik verebilmek amacıyla ölçüm sistemlerinin oluşturulması için Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde başlatılan çalışmalardan biri de doğruluğu oldukça yüksek olan, DA 100 kV'a kadar ölçüm yapabilen dirençsel gerilim bölücü standardının tasarımı ve gerilim bölücü standardının ölçüm hassasiyetinin yeni denetim yöntemleriyle iyileştirilmesidir. 100 kV'luk gerilim bölücü standardında sıcaklık etkisiyle oluşan ölçüm belirsizliğinin 30 ppm'in altında tutulabilmesi ve ölçümdeki toplam belirsizliğin ise 60 ppm'i geçmemesi amaçlanmaktadır .

Bu çalışmada, sıcaklığın etkisini gözlemlemek ve dirençsel yüksek gerilim bölücülerin ölçümlerinde oluşturduğu hataları en aza indirmek için 100 kV'luk standarda ilk örnek teşkil edecek 5 kV'luk bir deneme düzeneği gerçekleştirilmiştir. Bu düzenekte PID denetleyici, bulanık denetleyici ve YSA denetleyiciler ile sıcaklık ve gerilim bölücü boyunca oluşan ısıl farklılık istenen değerler arasında tutulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, gerçekleştirilen 5KV'luk YGB ilk örneğinin donanım özellikleri Bölüm 3.'te açıklanmıştır. Fiziksel özelliklerinden yola çıkarak denetim sisteminin dayanacağı ısı dağılım (iletim ve taşınım) modeli oluşturulmuştur. Denetim için gerekli girişler, çıkışlar ve durum değişkenleri belirlenmiştir.

Ayrıca, deneysel gözlemlerden yararlanarak sistemin çıkış-giriş özeğrisi çıkarılıp, bulanık mantık denetim ve YSA ile denetim için gerekli bilgi tabanını oluşturacak veriler elde edilmiştir. Burada göze çarpan en önemli sonuçlar, peltier elemanlarının uygulanan gerilimle doğrusal bir soğutma yapamamasıdır. Soğutma verimine dolayısıyla soğutma miktarına, peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı, akışkanın taşınım hızı gibi bazı değişkenlerin etki ettiği gözlemlenmiştir. Bu değişkenler göz önüne alındığında, peltier elemanlarının belirli bir aralığın altında veya üstünde çok düşük verimle çalıştığı ve soğutmada etkisiz olduğu, bu aralık içinde ise doğrusal olarak değişmediği görülmüştür. Bunun başlıca nedeni peltier elemanlarının sıcak yüzeylerindeki ısının yeterince hızlı atılamamasıdır. Benzer şekilde motor

geriliminin de sistemdeki koşullar altında en iyi çalışma aralığı deneysel gözlemler sonucunda belirlenmiştir. PID denetleyicilerde bu aralık, doğrusal kabul edilmiştir. Diğer denetleyicilerde temel yaklaşım olarak deneysel gözlemler sonucunda elde edilen verilere dayanarak, çıkışlarla girişler arasında bir ilişki belirlenmiştir. Bulanık denetleyicilerde bu ilişkiyi kural tabanı, YSA ile denetleyicilerde, örnek eğitim çiftleri belirlenmektedir. Bölüm.6'da 3 farklı denetim yönteminin sisteme uygulanması ve elde edilen denetim sonuçlarının değerlendirilmesine yer verilmiştir. Deneysel sonuçları karşılaştırılmalı olarak yorumlanırsa şu sonuçlar elde edilir :

Sistemin sıcaklığı yavaş değiştiği için, PID denetimde, ısı üretilen tankın ortalama sıcaklığını denetleyen denetleyicinin PI denetim kısmı kullanılması daha uygundur. Türev katsayısı 0 alınmıştır. PID katsayıları deneme yanılma yolu ile bulunmuştur. Tüm denetleyicilerde giriş ve çıkış değişkenlerinin alt ve üst sınırları, bulanık denetleyicide üyelik işlevlerinin ve kuralların sayısı, YSA'da en uygun eğitim çiftleri deneysel gözlemlerden yararlanılarak belirlenmiştir. Bütün denetleyicilerde, istenen değerle gerçek değer arasındaki sıcaklık farkı aynı noktadan başlatılmaya ve dış ortam sıcaklığı aynı tutulmaya çalışılmasına rağmen her deneyde özdeş koşullar sağlanamamıştır. Dış evre sıcaklığının yüksek olması, Laboratuvarın ısı yalıtımının iyi olmamasından dolayı dış ortam sıcaklığı değiştiğinde, klima kullanılmasına rağmen iç ortam sıcaklığının her zaman sabit bir değerde tutulamaması hatalara neden olmuştur. Fakat, peltierlerle sıcaklık denetiminde en büyük aşım, yerleşme zamanı gibi ölçütler için genel bir değerlendirme verilmiştir :

- PID denetimde en büyük aşım (MO),  $0.84 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bu değer, bulanık denetimde  $0.24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , YSA ile denetimde ise  $0.16 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Üç denetleyici arasında en az aşım YSA ile sıcaklık denetiminde olmuştur.
- Gecikme zamanı, başlangıç sıcaklık değeriyle istenilen değerin ortalamasına ulaşmak için geçen süre kabul edilmiştir. PID denetim ve bulanık denetimde gecikme zamanı ( $t_d$ ) aynıdır ve 27 dk. olarak belirlenmiştir. YSA'da ise  $t_d = 30,5$  dk.'dır. Bunun nedeni, YSA'nın başlangıç sıcaklık değeri ile istenilen değer arasındaki sıcaklık farkının biraz daha büyük bir değerden başlamasından kaynaklanır. En düşük gecikme PID ve bulanık denetim sırasında olmuştur.

- Yükselme zamanı ( $t_r$ ), PID denetimde 48 dk., bulanık denetimde 31 dk., YSA ile denetimde 46 dk. olarak belirlenmiştir. En kısa yükselme zamanı bulanık denetimde olmuştur.
- Yerleşme zamanı ( $t_s$ ), PID denetimde 56 dk., bulanık denetimde 43 dk. YSA ile denetimde ise 59 dk.'dır. En kısa yerleşme zamanı bulanık denetimde olmuştur.

Sıcaklıktan kaynaklanan toplam ölçüm belirsizliği PID denetimde, başlangıçta 13 ppm civarındadır. Bir süre sonra 5 ppm'in altına düşmüştür ve bu bandı bir daha aşmamış hatta zaman zaman 1 ppm'e kadar inmiştir. Bulanık denetimde, başlangıçta 15 ppm civarında olan, sıcaklıktan kaynaklanan ölçüm belirsizliği, bir süre sonra 11 ppm'in altına düşmüştür ve bu bandı bir daha aşmamıştır. Bulanık denetimde, sıcaklığın istenen değere ulaşmasına rağmen toplam belirsizlikte yeterince azalma olmamasının nedeni ikinci bulanık denetleyicinin denetlediği motorun  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkını (Bkz. Şekil 6.27) diğer denetleyicilere göre (Bkz. Şekil 6.13 ve Şekil 6.41) yeterince azaltamamasıdır. YSA denetim programında, sıcaklıktan kaynaklanan toplam ölçüm belirsizliği başlangıçta 25 ppm civarındadır. Bir süre sonra 8 ppm'in altına düşmüş ve daha sonra bu değeri aşmamıştır. Peltier ile sıcaklık denetimine ait geçici hal yanıtlarında, bazı denetim ölçütleri diğerlerinden daha iyi olmamasına rağmen, motor ile sıcaklık farkı denetimini daha iyi sağlayan PID denetleyici, sıcaklıktan kaynaklanan toplam ölçüm belirsizliğini en aza indirmiştir.

Sıcaklık değişimlerini gözlemek için önemli noktalara yerleştirilen algılayıcılardan elde edilen diğer sonuçlar, tüm denetim yöntemlerinde birbirine benzer davranışlar gösterirler ;

Dirençlerin bulunduğu silindir haznedeki üst algılayıcıya ait sıcaklık grafiklerinde dalgalanmaların, alt algılayıcıya ait sıcaklık grafiklerine göre daha fazla olduğu görülmüştür. Bunun nedeni üst algılayıcının, soğutucu tanktan gelen akışkanla dirençlerden taşınım ile yükselen akışkanın karşılaştığı, turbülansın başladığı noktada bulunmasıdır.

Peltier elemanlarının ısınan ve soğuyan yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ( $T_h-T_c$ ), soğutma verimini etkilediğinden, denetim işaretinin belirlenmesinde hesaba katılmaktadır. Bu sıcaklıkları görebilmek için, soğutma tankının solunda ve sağında

bulunan peltierin soğuyan yüzeylerine ve peltierlerden birinin ısınan yüzeyine birer algılayıcı yerleştirilmiştir. Isı önce tüm alüminyum tankı hızla soğutur. Bu nedenle soğuyan yüzeylere ait grafiklerin her ikisinde de başlangıçta hızlı bir sıcaklık düşüşü görülmüştür. Daha sonra bu soğumanın, buradan akışkana nüfuz etmeye başladığı, akışkan ile arasındaki sıcaklık farkına bağlı olarak, soğuk yüzeyin sıcaklığının belirli bir dengeye ulaşmak üzere yükselmeye başladığı görülmüştür. Denge durumundan sonra peltier soğuk yüzeyinin sıcaklığı, denetim gerilimine bağlı olarak değişmekte olduğu ve akışkanın sıcaklığını sürekli olarak istenen değere yönlendirmeye çalıştığı gözlenmiştir. Son olarak soğutma tankının solunda bulunan peltierin sıcak yüzeyine ait algılayıcıdan gelen sıcaklık bilgileri gözlenmiştir. İşaret dönüşüm kartının girişleri sınırlı olduğundan , benzer bir sıcaklık değişimi beklenen sağ peltier sıcak yüzeyine algılayıcı yerleştirilmemiştir. Sol peltierden okunan sıcaklık, peltierlerin ısınan yüzeylerinin ortalama sıcaklığı olarak kabul edilmiştir. Grafikten, soğuyan yüzeyden aktarılan ısının, ısınan yüzeyde ne kadar sıcaklık artışına neden olduğu gözlenmiştir. Akışkan sıcaklığı istenen değere yaklaştıkça, hata azaldığından, peltierlere uygulanması gereken denetim gerilimi ve sistemden uzaklaştırılması gereken ısı miktarı düşmüştür. Bu düşüş, peltier sıcak yüzeyinin sıcaklığına da yansımıştır.

Soğutma tankındaki yağın içinde bulunan algılayıcıdan gelen sıcaklık bilgilerinden, buranın sıcaklığının, tahmin edileceği gibi, silindir tank sıcaklığına göre daha düşük olduğu görülmüştür. Soğutma tankında bulunan akışkanın sıcaklığı, akışkanın kütlesi oranında, tüm sistemin ortalama sıcaklığına etkilemektedir.

Isı üretilen tanktaki ortalama sıcaklığın denetimi ve  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı denetiminde kullanılan girişler ve denetim çıkışları ilgili sonuçlar şu şekildedir ;

Isı üretilen tank içindeki akışkan sıcaklığının istenen değeriyle gerçek değeri arasındaki sıcaklık farkı, peltier yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ve motorun akışkanı taşıma hızına göre denetleyicilerin soğutma için peltiere vereceği gerilim gözlenmiştir. Tüm denetleyiciler, hata denetim bandının dışındayken açık-kapalı kipinde çalışmıştır. PID denetleyicide, yükselme zamanı boyunca, soğutma verimindeki değişimler ve integral etkisiyle dalgalanmalar görülse de, denetim gerilimi azalan hataya paralel olarak düşmüştür. Üretilen ısı, hatayı tekrar arttırma yönünde baskın hale geldiği durumlarda, PID denetleyicinin peltier gerilimini uygun

değerlere sürekli olarak ayarladığı 70. dakika ve sonrasında daha açık görülmektedir. Bulanık denetleyicide, soğutma verimindeki değişimlerin etkileri gözardı edilirse, yükselme zamanı boyunca, peltierlere uygulanan denetim geriliminin yine diğer değişkenlere ve azalan hataya paralel olarak düştüğü görülmüştür. Fakat burada, uygun denetim gerilimi, farklı değişkenler göz önüne alarak hazırlanan bulanık denetim kuralları tarafından belirlendiği için, peltier geriliminde doğrusal olmayan geçişler görülmektedir. Benzer şekilde,soğutma verimindeki değişimlerin etkileri gözardı edilirse, yükselme zamanı boyunca, burada da denetim gerilimi beklendiği gibi, diğer değişkenleri de göz önünde bulundurarak hatayı giderek azalmıştır. Uygun denetim gerilimi, farklı giriş değişkenleri göz önüne alınarak eğitilen YSA ile denetim parametreleri tarafından belirlendiği için, peltier geriliminde, bulanık denetleyici çıkış gerilimine benzer şekilde, doğrusal olmayan geçişler görülmektedir.

Isının üretildiği tank boyunca oluşan sıcaklık farkını gösteren tüm  $T_{üst}-T_{alt}$  grafiklerinde ilk dakikalarda pozitif yönde bir aşma oluşmuştur. Bu durumda tüm denetleyicilerde motor gerilimi artarak doğal taşınımın etkisini ortadan kaldırmıştır. PID denetleyici motor hızını ayarlayarak sıcaklık farkının artmasını her iki yönde de engellemiştir. Fark  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altına düşmüştür. Bulanık denetleyicide,  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı, PID denetime göre negatif yönde daha büyük kalmıştır, bazen  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ya kadar artarak ölçüm belirsizliğini arttırmıştır. YSA ile denetimde bu fark, genelde PID denetime göre negatif yönde daha büyük , bulanık denetleyiciye göre daha küçük kalmıştır. Bazen  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ya kadar artmıştır. Farkın negatif olduğu durumlarda, YSA ile eğitilen denetleyici, eğitim çiftlerinde kendisine verildiği gibi motoru en düşük hızında çalıştırmıştır.

Dirençsel yüksek gerilim bölücülerde tasarım problemleri ortadan kaldırıldıktan sonra, ölçüm belirsizliğinde birincil olarak dikkat çekilen problem dirençlerin ısınmasıdır. Bu konuda sıcaklık denetimiyle ilgili yapılan çalışmalar yazın incelemesi kısmında verilmiştir. Bu çalışmalarda denetim yöntemleri üzerinde fazla durulmadığı görülmektedir. Ayrıca, ölçüm belirsizliğine etkileri sürekli vurgulanmasına rağmen, dirençler boyunca oluşan sıcaklık farkını herhangi bir yöntemle azaltma veya denetim altına alma yoluna gidilmemiştir.

Yapılan çalışmada, dirençsel yüksek gerilim bölücü düzenekleri için sıcaklık denetimli ve  $T_{üst}-T_{alt}$  sıcaklık farkı denetimli yeni bir tasarım önerilmektedir. Ölçüm standartlarında, milyonda onlar mertebesinde olan ve giderek daha aşağıya çekilmek istenen ölçüm hassasiyetleri aranmaktadır. Çok küçük sıcaklık farklılıkları belirsizlikleri önemli ölçüde arttırmaktadır. Bu durumda sıcaklık denetim yöntemleri giderek daha çok ön plana çıkmaktadır. Klasik denetim ve yeni denetim yöntemlerinin olumlu ve olumsuz yönlerinin karşılaştırması hatta birleştirilmeleri, daha hassas denetim yöntemleri için yol gösterici olacaktır.

Deneylein uzun zaman alması nedeniyle denetleyicilerde en iyileştirme kısıtlı sayıda, deneme yanılma yoluyla yapılmıştır. PID denetleyicilerinde daha uygun parametreler, bulanık denetleyiciye ait kural tabanında daha uygun kurallar, sayıca ve işlevce daha uygun üyelik işlevleri, denetimde etkili olabilecek daha fazla değişken kullanmak, YSA ile denetimde daha uygun eğitim çiftleri kullanılarak bir en iyileştirme yapmak ve denetleyicilerin birbirine göre başarımını daha fazla arttırmak mümkün olabilir.

Peltier soğutma elemanları pahalı malzemeler olduğu için kısıtlı sayıda kullanılabilmiştir. Çok sayıda peltierin daha düşük gerilimlerde paralel çalıştırılması, toplam soğutma miktarını arttıracığı gibi, ısınmadan kaynaklanan verim düşüklüğünü de azaltacaktır. Sistemin sıcaklık denetimine çabuk tepki vererek hızlı soğuması, denetleyiciler arasında daha sağlıklı karşılaştırma yapma olanağı sağlar.

Kullandığımız yeni denetim yöntemleri, çok girişli çok çıkışlı denetime izin vermesi nedeniyle, yazılımda yapılacak ufak değişikliklerle nem, kaynak gerilimindeki dalgalanmalar, giren akım-çıkan akım farkı, elektrik alanındaki düzensizlikler gibi diğer etkenlerin de hesaba katılarak bunlardan kaynaklanan belirsizliklerin azaltmasına olanak sağlayacak şekilde denetimin geliştirilmesine açık olacaktır. LM35 sıcaklık algılayıcıları, milivoltlar seviyesinde gerilim ürettikleri için, 5 kV'luk gerilimin oluşturduğu elektrik alandan etkilenmektedir. Gürültüye karşı algılayıcıların ekranlanması gibi önlemler alınabilir. Sıcaklık bilgisi için, DS 1820 gibi sayısal işaret üreten algılayıcılar kullanılmalıdır. Hassas ölçüm için kalibrasyonu yapılmış ve karakteristiği belirlenmiş NTC 1sı algılayıcılarından yararlanılabilir.



Doğal taşınım bırakıldığında ısı iletimi çok düşük olduğundan, soğutucu kanatçıkların yüzeyindeki ısı, fanlar tarafından zorlamalı taşınım ile uzaklaştırılmaktadır. Buna rağmen peltierlerin soğuk yüzeyi 12 °C civarına kadar düşerken sıcak yüzeyinin ısı 48 °C gibi yüksek sıcaklıklara çıkabilmekte ve aradaki sıcaklık farkı peltierin soğutma verimini oldukça düşürmektedir. Bunun nedeni taşınım için kötü bir iletken olan havanın kullanılmasıdır. Kanatçık yüzeylerindeki ısı, termodinamikte yaygın olarak kullanılan sıvı taşınımı ile taşınırsa soğutma verimi oldukça yükselecektir.

Gerilim bölücü dirençlerin bulunduğu haznenin sıcaklığını denetlemek için haznenin üst ve altına yerleştirilmiş iki algılayıcıdan alınan sıcaklık bilgisinin ortalaması, bu bölgenin sıcaklığı olarak alınmıştır. Noktasal ölçüm almak hataları arttırabilecek bir kabullenmedir. Haznenin üstünden altına doğru ve merkezinden çeperlerine doğru ısı dizini adını verdiğimiz çok sayıda algılayıcı yerleştirilerek dirençler boyunca oluşan ısı dağılımı silindirik koordinatlarda üç boyutlu olarak belirlenebilir. Isı dizinleri yerine istenilen koordinatlarda fiber optik ısı algılayıcı kablolar yerleştirilerek çok daha sık aralıklarla sıcaklık ölçümü alınabilir. Bu fiber optik kablolar uçlarına yerleştirilmiş fosfor gibi ısıya duyarlı bir maddenin maruz kaldığı sıcaklığa bağlı olarak gecikme zamanını belirleyen ışımaya ömründeki değişimden yola çıkarak ölçüm yaparlar (Stokes,J., 2002). Isı dağılımının üç boyutlu olarak gözlemlenebilmesi, bu dağılımı denetim sırasında istenen sıcaklık değerinde en düzgün yapacak uygun peltier ve motor gerilimlerinin seçilmesini sağlayacaktır.

Sıcaklıktan kaynaklanan ölçüm belirsizliklerin azaltılabilmesi için öneriler aşağıdaki şekilde özetlenebilir :

- a) Tüm sistem ısı yünden çok iyi şekilde yalıtılmalıdır. Özellikle soğutucu tankın iyi yalıtılmaması soğutma sisteminin kayıplarını oldukça fazla etkilemektedir.
- b) Ölçüm odası yalıtılmalı ve sıcaklığı sabit tutulmalıdır.
- c) Peltier kapasitesi ve devir daim pompasının gücü uygun seçilmelidir.
- d) Soğutma kanatlarının ısı direnci düşürülmeli, peltier elemanlarının sistemden çektiği ısı iyi bir şekilde peltierin ısınan yüzeyinden uzaklaştırılmalıdır.
- e) Sıcaklık dalgalanmalarını azaltarak ısı kararlılığı arttırmak için akışkanın miktarı büyük seçilmelidir.

## KAYNAKLAR

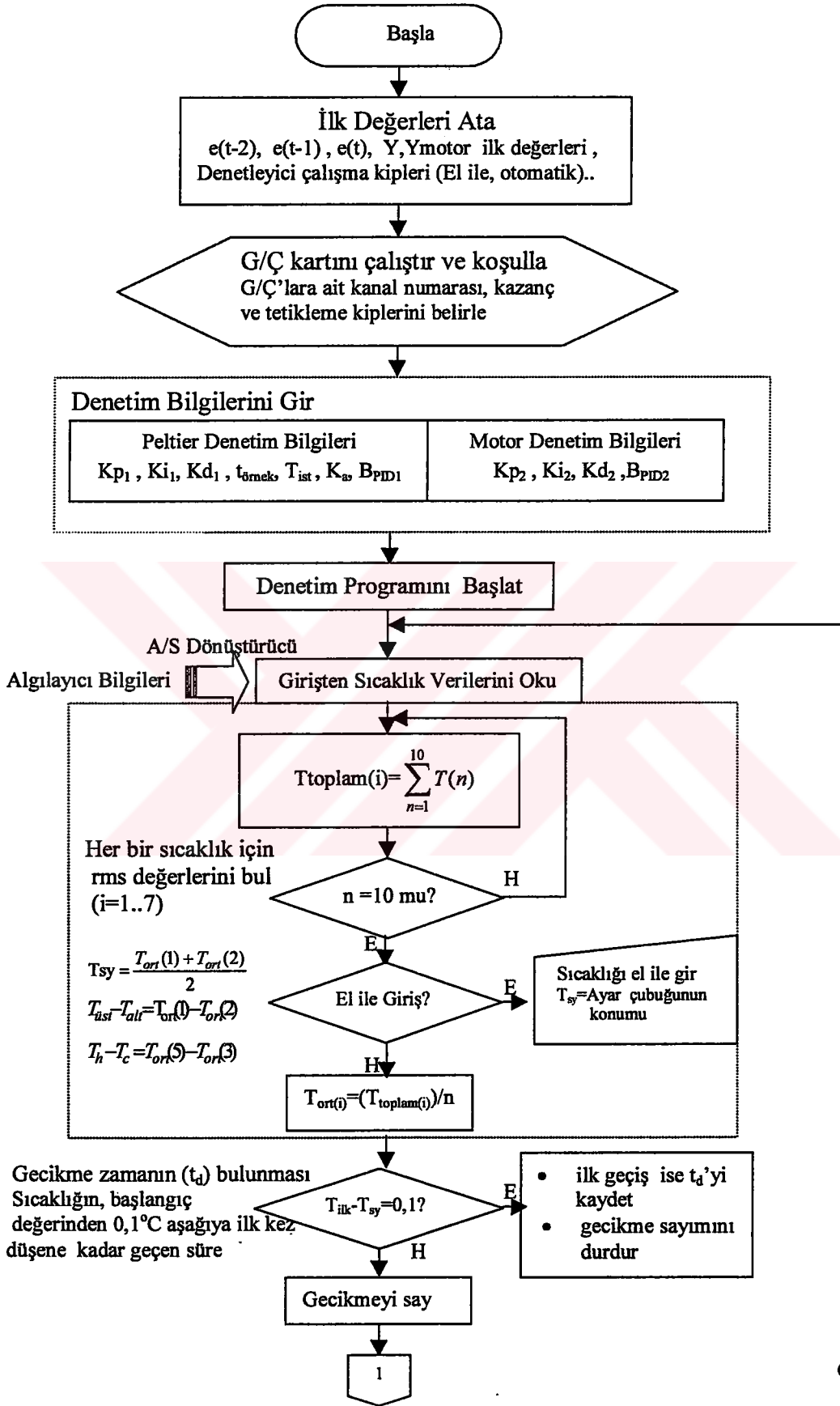
1. PARK, J.H., 1962. Special Shielded Resistor for High-Voltage D-C Measurements. Journal of Research of the National Bureau of Standards-C. Engineering and Instrumentation, Vol. 66C, No.1, 19-24.
2. ZIEGLER, N.F., 1970. Dual Highly Stable 150-kV Divider. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. IM-19, No:4, 281-285.
3. CHILDERS, C.B., DZIUBA, R. and LEE, L., 1976. A Resistive Ratio Standard for Measuring Direct Voltages to 10 kV. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. IM-25, No.4, 505-508.
4. PEIER, D. and GRAETSCH, V., 1979. A 300 KV DC Measuring Device with High Accuracy. Third International Symposium on High Voltage Engineering, 43.08, 1-4, Milan.
5. D'EMILIO, S., GABBANA, F., LA PAGLIA, G., NEGRO, M. and RUA, G., 1985. Calibration of DC Voltage Dividers up to 100 kV. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. IM-34, No.2, 224-227.
6. DEACON, T.A., 1985. Intercomparison Measurement of The Ratios of a 100 Kilovolt DC Voltage Divider. BCR Information Applied Metrology, EUR10178EN,1-23.
7. MARX, R. und SCHON, K., 1986. Internationale Vergleichsmessungen an einem Gleichspannungsteiler bis 100 kV. PTB-Mitteilungen 96, No:3/86, 165-168.
8. WU, S.L. and SCHON K., 1987. Investigation into The Self-Heating Effect of HV DC Dividers. Fifth International Symposium on High Voltage Engineering, 73.05, 1-4, Braunschweig.
9. KIM, K., PARK, S. I., CHO, Y. M. and KWON, S., 1997. Common Error Sources in Using a Series-Resistors-Type Voltage Divider Below the Level of 0.01 ppm. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol.46, No.4, 776-780.
10. SHIMIZU, K., INOUE T., SHISHIDO K., MIYAKODA M., YONESU K., NAGAI K. and HIRAYAMA, H., 1999. Development of HV DC Standard in the JEMIC. International Symposium on High Voltage Engineering, 1-7, Tokyo.
11. LI, Y., RUNGIS, J., KIM, K., CHO, Y. M., MCCOMB, T.R., DUNN, J.G., VAN DER ZWAN, L. and HOFFMAN, D., 1999. Interlaboratory Comparison of High

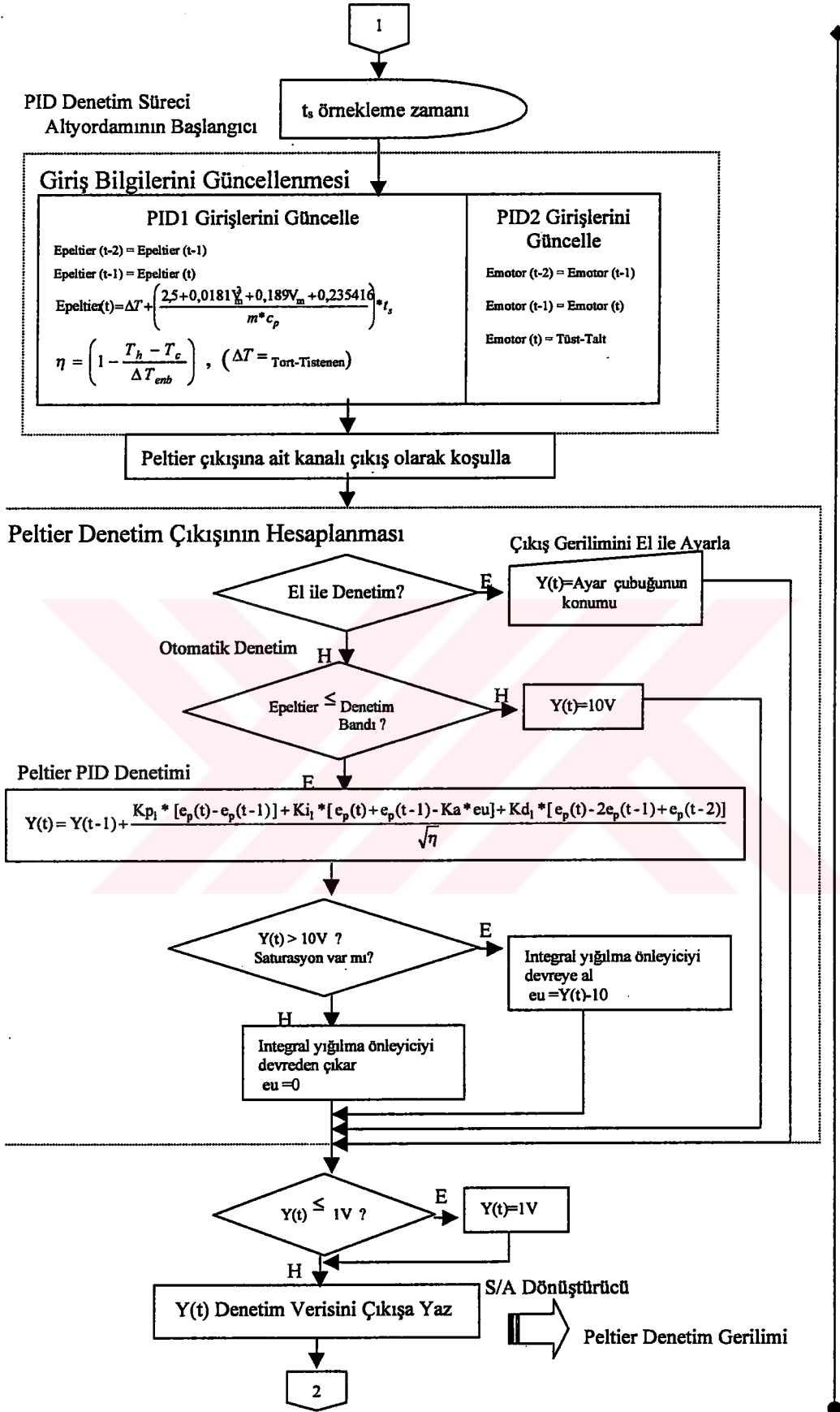
- Direct Voltage Resistor Dividers. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol.48, No.2, 158-161.
12. MARX, R., 2000. 100 kV DC Voltage Standard Divider of Shielded Type. Report of Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig.
  13. YILMAZ, O., 2002. 300 kV Ölçüm Sistemi. TÜBİTAK-UME Raporu (yayınlanmamış), Gebze.
  14. VARGHA, BALAZS, ZOLTAN, ISTVAN, 2001. Calibration Algorithm for Current-Output R-2R Ladders. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 50, No.5, 1216-1221.
  15. ZHANG, X., QIE, J., ZHANG, L. and SHAO, H., 2002. High Precision Measurement of DC Voltage Ratios From 20V/10V to 1000V/10V. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 51, No.1, 59-63.
  16. YILMAZ, S., NİL, M., DİNÇER, H., and İSMAİLOĞLU, H., 2001. Neuro Fuzzy Control Approach for Development of a Stable HV Standard Resistive Divider. SCI-2001, The ISS 5<sup>th</sup> World Multiconference on Systematics, Cybernetics and Informatics, Proceedings , Vol.IX, 376-381, Orlando.
  17. Peltier Effect Heat Pumps, 1988. RS Data Library, F9192.
  18. <http://www.tellurex.com/resource/txfaqc.htm> , 2001.
  19. MILLS, A.F., 1998. Basic Heat and Mass Transfer. 2<sup>nd</sup> Edition, Prentice Hall Company, 56-61, Sydney.
  20. INCROPERA, F. P. and DEWITT, D. P., 2001. Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri. 4. Basımdan Çeviri, Literatür Yayınları, 1-369, İstanbul.
  21. DISTEFANO, J. J., STUBERRUD, A.R., WILLIAMS, I. J, 1967. Feedback and Control Systems with Applications to the Engineering, Physical and Life Sciences, Schaum Outline Series Mc Graw-Hill Book Company, 86-350, New York.
  22. CHEN, C.T, 1984. Linear System Theory and Design, Holt, Rinehart and Winston Inc., 70-125, New York.
  23. FRANKLIN, G. F., POWELL, J. D., EMAMI, A., 2001. Feedback Control of Dynamic Systems. International Edition, ISBN.0-13-032393-4, 221-231.
  24. KURTULAN, S., 2001. PLC ile Endüstriyel Otomasyon. Birsen Yayınevi, 305-327, İstanbul.
  25. GÜVEN, E. M., MARTI, İ. B., COŞKUN, İ., 1999. Elektroteknik. Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları, 27-50, İstanbul.

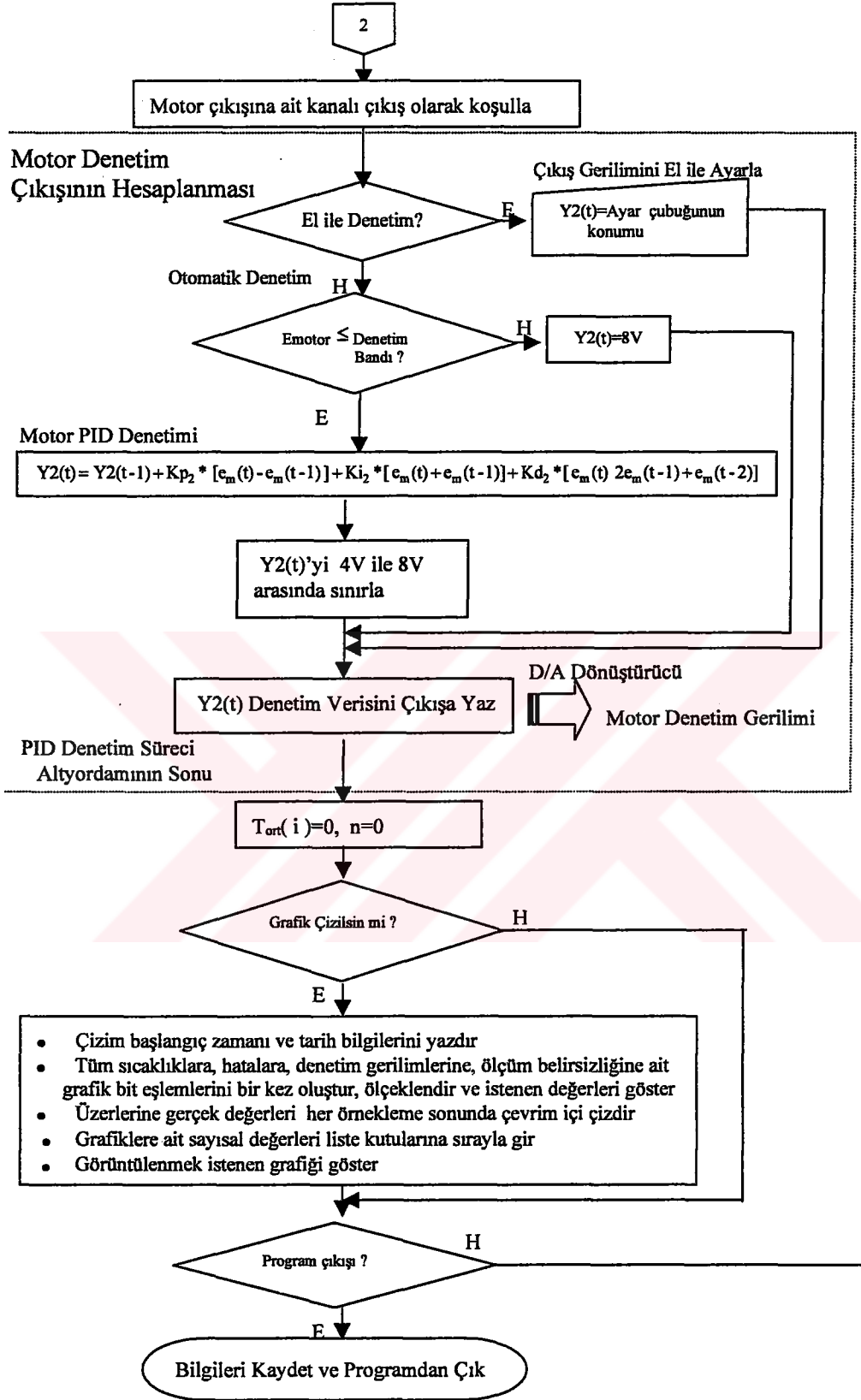
26. EFE, M. Ö. ve KAYNAK, O., 2000. Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları. Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, 1-141, İstanbul.
27. BOSE, N. K., LIANG, P., 1996. Neural Network Fundamentals with Graphs, Algorithms and Applications. Mc Graw-Hill International Editions, 61-108, Singapore.
28. BOTHA, E.C., BARNARD, E., BARNARD, C.J., 1996. Feature-Based Classification of Aerospace Radar Targets Using Neural Networks. Pergamon Neural Networks, Vol.9, No.1, 129-142.
29. ROSS, T. J., 1995. Fuzzy Logic with Engineering Applications. Mc Graw-Hill International Editions, 87-147, New York.
30. CALVER, C., 1997. Delphi Unleashed. Sams Publishing / Sistem Yayıncılık, 1-230, İstanbul.
31. MUDI, R. K., PAL, N.R., 1999. A Robust Self-Tuning Scheme for PI- and PD-Type Fuzzy Controllers. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol.7, No.1, 2-16.
32. WANG, W. J., LIN, H.R., 1999. Fuzzy Control Design for the Trajectory Tracking on Uncertain Nonlinear Systems. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol.7, No.1, 53-62.
33. TEPE, C., 1999. Aktif Mikrodalga Devrelerde Yapay Sinir Ağı ile Modelleme ve Optimizasyon. Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 34-48, İstanbul
34. YILDIRIM, M., 1998. Bulanık Mantıklı Yapay Sinir Ağı ile Doğrusal Olmayan Sistem Modelleme. Y. Lisans Tezi, KOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 40-53, Kocaeli
35. İNAL, M., 1996. İTÜ Triga Mark-II Reaktörünün Yapay Sinir Ağıyla Kontrolü. Y. Lisans Tezi, KOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 64-73, Kocaeli
36. DURU, N., 1997. Bulanık Mantık Temelli Gürültü Azaltma Sistemi. Doktora Tezi, KOÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 9-43, Kocaeli
37. TOMBALOĞLU, B., 2001. PIC 16F877 ile Sıcaklık Denetimi. Lisans Tezi, KOÜ Mühendislik Fakültesi, 18-36, Kocaeli
38. KOSKO, B., 1992. Neural Networks and Fuzzy Systems. Prentice-Hall International Editions, 407-416, London.
39. RUSSO, M., 1998. FuGeNeSys- A Fuzzy Genetic Neural System for Fuzzy Modelling. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol. 6, No.3, 373-388.
40. ETXEBARRIA, V., 1994. Adaptive Control Of Discrete Systems Using Neural Networks. IEE Proceedings, Control Theory and Applications Vol. 141, No.4, 209-215.

41. STOKES, J., 2002. A Fiber Optic Temperature Sensor. Sensors Expo and Conference, <http://www.sensorsmag.com/articles/0802/28/main.shtml>.
42. ZEIGLER, J., NICHOLS, N.B., 1942. Optimum Settings of Automatic Controllers. Trans. Asme, 759-768.
43. PCL 812 PG Enhanced Multi-Lab Card, 1996. PC-Lab Card User's Manual. Advantech Co. Ltd., 1-48, Taiwan.
44. BOLOGNANI, S., ZIGLIOTTO, M., 1998. Hardware and Software Effective Configurations for Multi-Input Fuzzy Logic Controllers. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol.6, No.1, 173-179.
45. COX, E., 1993. Adaptive Fuzzy Systems. IEEE Spectrum, February, 27-31.
46. SIMULINK, 1999. Dynamic System Simulation for Matlab, The Mathworks Inc.
47. Fuzzy Logic Toolbox, 1995. User's Guide for use with Matlab, The Mathworks Inc.
48. Water Pressure System for Boats and Recreation Vehicles, 1999. User's Guide, Johnson Pump AB.

## EK-A PID DENETİM ALGORİTMASI

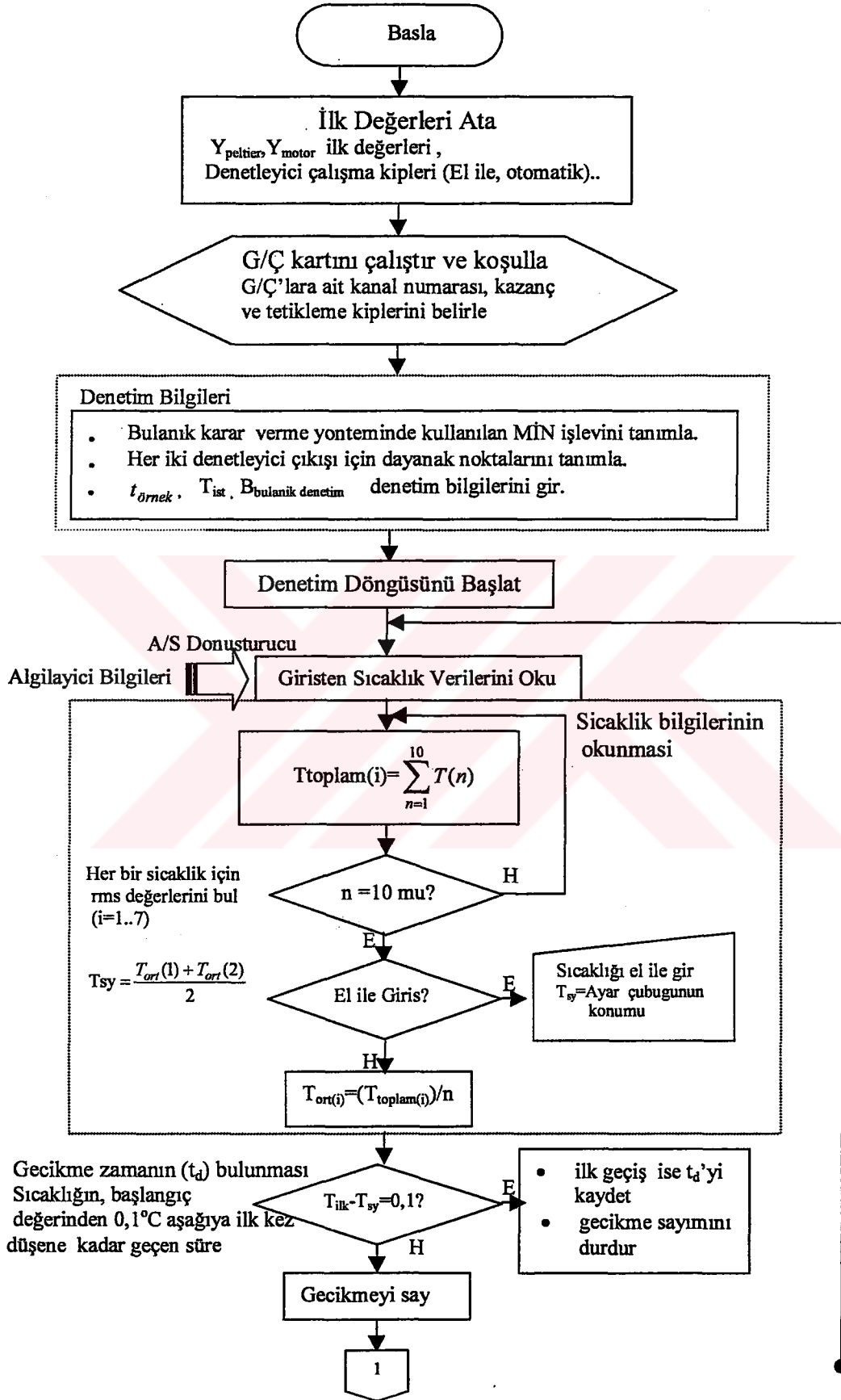


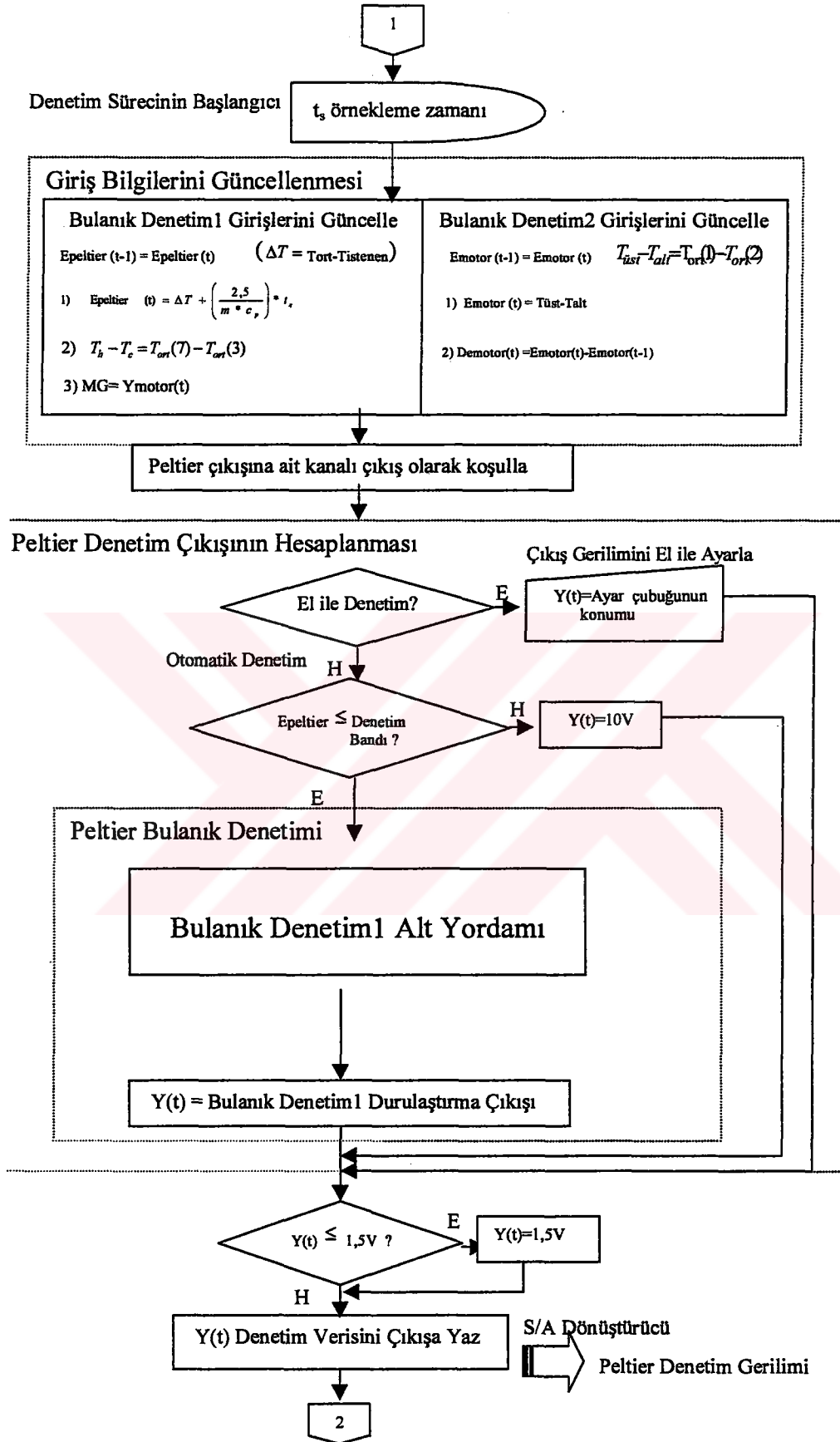


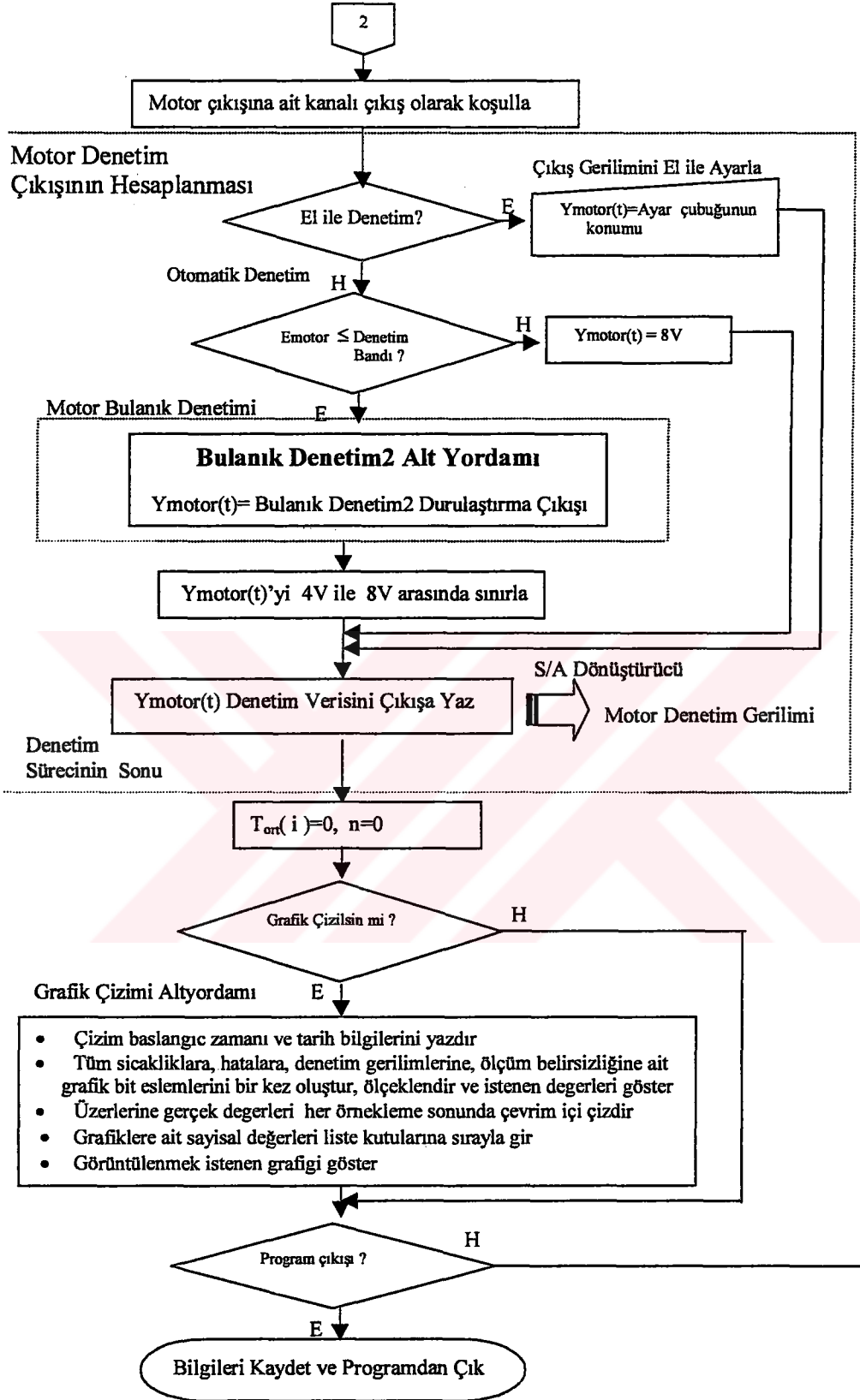




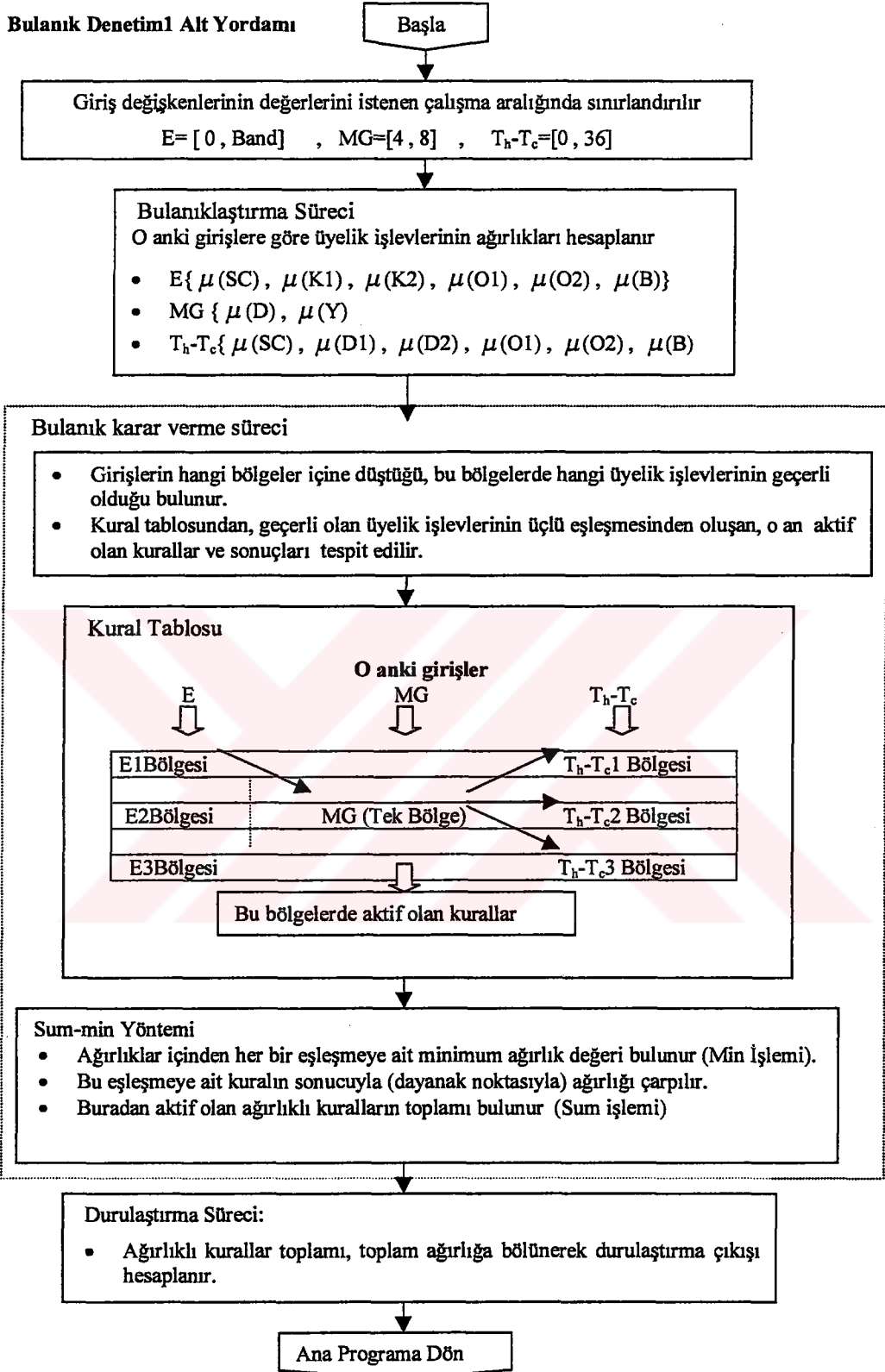
## EK-B BULANIK DENETİM ALGORİTMASI



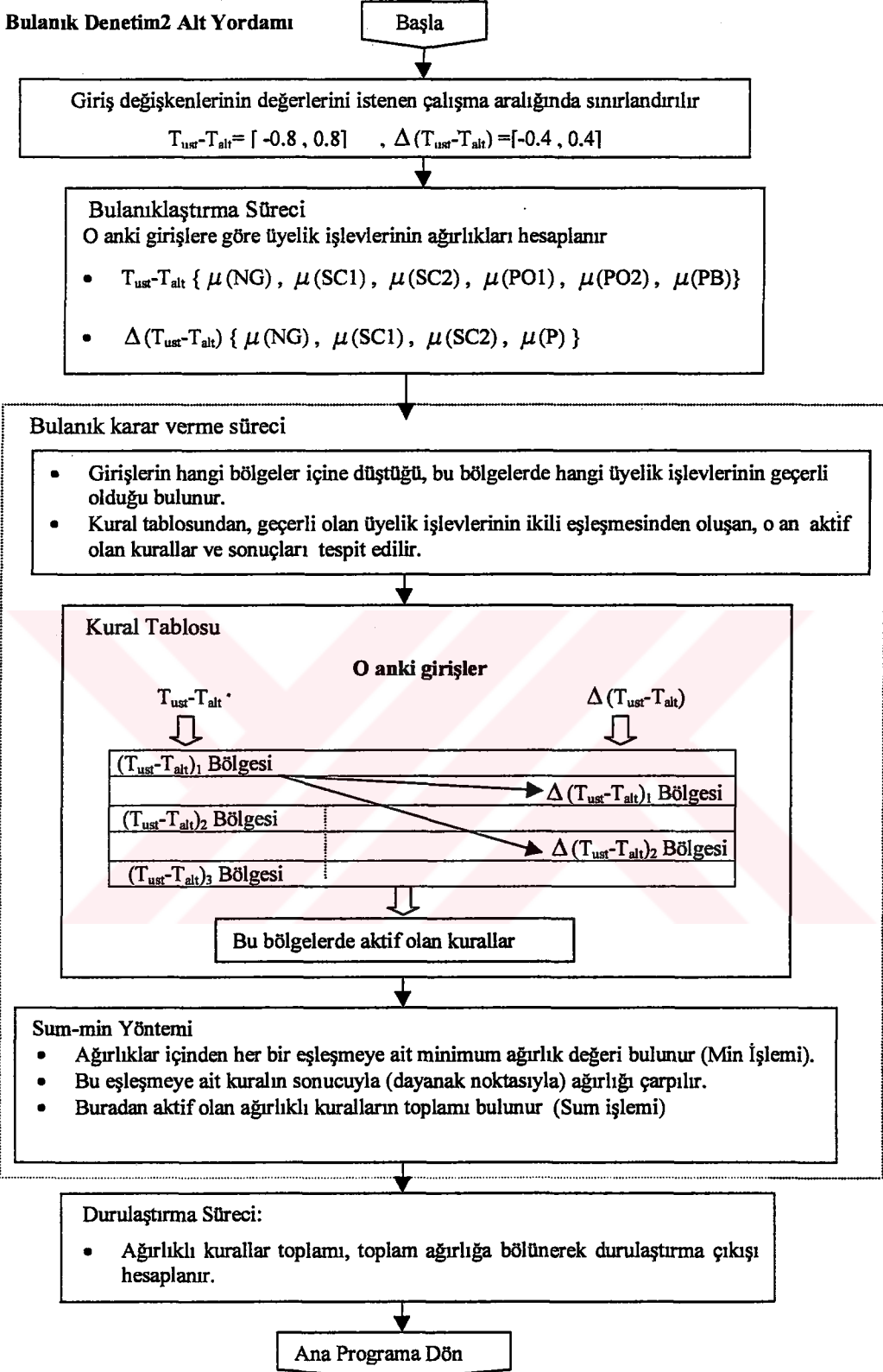




## Bulanık Denetim1 Alt Yordamı



## Bulanık Denetim2 Alt Yordamı



## EK-C YSA EĞİTİM ALGORİTMASI

Ağ parametrelerinin eğitim adımları her iki denetleyicide de aşağıdaki gibidir;

1. Önce sabitler tanımlanır.

Limit =22 : Bir katmanda en fazla 22 nöron olabilir.  
İterasyon =  $10^6$  : Sistem, her defasında “çiftler” tane eğitim çifti kullanılarak, toplam  $10^6$  adımda eğitiliyor. Her iterasyon sonunda öğrenme adımının büyüklüğü tekrar ayarlanıyor. Küme hatası, “Eski Küme Hatası” adıyla güncelleniyor.

Eta= 0.01 :  $\eta$ , öğrenme adım büyüklüğü

Momentum=0,6 :  $\mu$ , ani sıçramaları önlemek için bir önceki ağırlık değişimleri ( $\Delta w_{ij}(k)$ ), bu katsayıyla çarpılarak parametre güncelleme terimine  $\Delta w_{ij}(k+1)$  eklenir.

Gamma= 0,01 :  $\gamma$ , maliyet işlevindeki değişim negatif çıkarsa (azalırsa), adım büyüklüğündeki değişim  $\Delta \eta$ , 0,01 olacaktır.

Beta=0,05 : ( $-\beta \eta$ , maliyet fonksiyonu artıyorsa (değişim pozitif çıkıyorsa) öğrenme adımındaki değişim  $\Delta \eta = -0,05 * 0,01$  olacak ve böylece öğrenme adımı küçülecektir.

Tolerans=0,00001 : Hata bu değer altına düşene kadar veya eğitim adımlarının sonuna kadar, eğitim süreci devam ediyor.

Ciftler : Eğitim çifti sayısı. Her iterasyonda çiftler sayısı kadar eğitim yapılır.

2. Global değişkenler tanımlanır

❖ Kayıt tipi değişkenler

W : TAğırlıklar Tipi. Ardarda iki katmanda bulunan herhangi iki nöron arasındaki ağırlık değerleri  
 $w[i,j]$ : Şu anki ağırlık değeri  
 $w1[i,j]$ : Bir önceki ağırlık değeri,  
 $w2[i,j]$ : İki önceki ağırlık değeri

Vektör :Tvektor Tipi. Bir katmandaki i. nörona ait bilgiler (i=[1..Limit])

Out[i]: Çıkış değeri

Delta[i]: Delta değeri

Thr[i]: Eşik değeri

SumJ[i]: Nörona gelen girişlerin net toplamı

EğitimÇiftleri : Tgecici Tipi. Eğitimde kullanmak için girişe verdiğimiz girişler ve bunlara karşılık çıkıştan almak istediğimiz çıkış değerleri

X[i,j] : j. eğitim çifti için ilk katmandaki i. nöronun girişi

D[i,j] : j. eğitim çifti için son katmandaki i. nörondan istenen çıkış

#### ❖ Değişkenler

L : Gizli Katman Numarası

Katman[i] : i. Katmandaki Nöron Sayısı

Katman[0] : Giriş Katmanındaki Nöron Sayısı

Katman[L+1] : Çıkış Katmanındaki Nöron Sayısı

Sayıcılarla ilgili değişkenler :

Sayac : 0'dan iterasyon sayısına( $10^6$ ) kadar her eğitim çifti kümesinin bitiminde bir artan sayıcı

Örnek : Eğitim çiftlerinden örnek alınması sırasında o an kaçınıcı örnekte olduğumuzu gösteren ve 1'den eğitim çifti sayısına kadar birer artan sayıcı

Hata ile ilgili değişkenler:

Ornek\_Hata :  $J_r = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{katman(L+1)} (d_i - y_i)^2$  bireysel hatası. Her eğitimde, o örnek

çifti için çıkış katmanındaki (L+1. Katman) nöronların hatalarının toplamıdır. Böylece o eğitim için çıkış nöronlarına ait toplam hata bulunur. Örnek=Çiftler olana kadar her örnekte( her eğitim çiftinde) sıfırlanıyor.

Küme Hatası :  $E = \sum J_r = \sum_{i=0}^{çiftler} Ornek\_hata(i)$  toplumsal hatası. çiftler adet

örnek çifte ait örnek hatalar bulunup toplanıyor. Her iterasyonda o eğitim çifti kümesi için toplam hata, yani maliyet ( $\sum J_r$ ) hesaplanıyor. Maliyet istediğimiz toleransın altına düşmemiş ise veya iterasyon  $10^6$ 'ya ulaşmamışsa bir sonraki iterasyonla eğitime devam edilir. Küme hatası her iterasyonun sonunda eski küme hatasını güncellendikten sonra sıfırlanır.

Eski Küme Hatası : Her iterasyon sonunda küme hatası buraya aktarılır. Böylece bir önceki iterasyondaki küme hatasıyla karşılaştırarak, eğitim sonunda elde edilen hatada artış ya da azalma olup olmadığını anlaşılır ve buna göre eğitim adımının yönü ve büyüklüğü yeniden belirlenir.

#### ❖ Yordamlar

Eğitim Çiftlerini Kaydet : Eğitimde kullanılacak *çiftler* adet eğitim çiftini bularak "Eğitim Çifti Dosyası"na kaydeder.

İleri Yönde Hesaplama İşlemleri:

Yapısal Bilgileri Al : Eğitim çiftlerinin tutulduğu dosyanın adı, gizli katman sayısı, giriş nöronlarının kaç adet, çıkış nöronlarının kaç adet olacağı, aynı şekilde her bir gizli katmanda kaç adet nöron olacağı gibi önceden tanımladığımız sabitler giriliyor.

İlk Değerleri Ata : Her katmandaki, her bir önceki katman (k. katman) nöronu (j. nöron) ile her bir sonraki katman (k+1. katman) nöronu (i. nöron) arasındaki ağırlıklar ( $W(k).w(ij)$ ) rastgele olarak atanır.

Eğitim Çiftlerini Yükle : İlk katmandaki giriş veya girişler ( $x[i j]$ ) ile bunlara karşılık son katmanda istenen çıkış veya çıkışlar ( $d[i j]$ ) eğitim çiftlerinin tutulduğu dosyadan sırayla hafızaya yüklenir.

Eğitim Çiftlerini Göster : Eğitim çiftlerini aynı sırayla ekrana yazdırır.



İleri Yön Değerlerini Hesapla: i) Her bir nöron için önce net toplam bulunur ( $S = \sum_j w_{ij} o_j - thr(i)$ ). Yukarıda belirlediğimiz ağırlıklar ( $W(k).w(ij)$ ), bir önceki katmandaki ilgili nöron çıkışıyla ( $o_j = \psi(S) = \text{Vektor}[k].out[j]$ ) çarpılır. Bütün ağırlıklı çıkışlar toplanır. Eşik seviyesi de eklenerek bir sonraki katmanın i. nöronuna ait net toplam giriş ( $S = \text{Vektör}[k+1].\text{SumJ}[i]$ ) bulunur.

ii) Daha sonra, nöronun bulunduğu katman gizli katmansa ( $k < L+1$ ) nonlineer geçiş işlevinden geçirilir ( $y = \psi(s) = \tanh(S)$ ). Son katmansa ( $k = L+1$ ), lineer geçiş işlevinden geçirilir. ( $y = \psi(s) = S$ ). Böylece çıkışlar bulunur.

**Çıkışları Göster** : 'İleri yön değerlerini hesapla' yordamında hesaplanan çıkışlardan son katmana ait çıkışlar ( $\text{Vektor}[L+1].out[j]$ ) ekrana yazdırılır. Grafik olarak çizdirilir. Aynı işlem, her eğitim çifti için tekrarlanır.

İleri Yönde Hesaplama İşlemlerinin Sonu.

**Hata Geriye Yayma İşlemleri:**

**Çıkış Delta Değerlerini Hesapla** :  $\delta_i^{k+1} = (d_i - o_i^{k+1})\psi'(S_i^{k+1})$ , çıkış katmanındaki her bir nöronun delta değeri hesaplanır. Yani maliyet işlevinin ilgili nöronun çıkışına; ilgili nöronun çıkışının girişindeki net toplama göre değişimi hesaplanır. Böylece maliyet işlevinin girişteki net toplama göre değişimi bulunur. j: çıkış katmanındaki kaçınıcı nöron olduğunu gösterir. Çıkış nöronlarında geçiş işlevi lineer olduğundan türevi  $\psi'(S_i^{k+1}) = 1$  dir. Bu nedenle yazmaya gerek yoktur. Hata=istenen çıkış - gerçek çıkış  $\rightarrow e = d - y$  idi.

$$\Rightarrow \text{Vektor}[L+1].\text{delta}[j] = (d(j, \text{örnek}) - \text{Vektor}[L+1].out[j])$$

**Gizli Delta Değerlerini Hesapla** :  $\delta_i^{k+1} = \left( \sum_{h=1}^{n_{k+2}} \delta_h^{k+2} w_{hi}^{k+1} \right) \psi'(S_i^{k+1})$ , her bir gizli

katmandaki (k: katman sırası, j: ilgili katmanda kaçınıcı nöron olduğunu gösterir) her bir nöronun delta değeri hesaplanır.  $\Rightarrow$

$$\text{Toplam} = \text{Toplam} + \text{Vektor}[k+1].\text{delta}[h] (\text{bir sonraki katmanın deltası}) * W[k].w[h j]$$

Aynı zamanda geçiş işlevinin türevi alınır,  $\psi'(S_i^{k+1})$  ve gizli delta değeri o nöron için hesaplanır.  $\Rightarrow$

Vektor[k].delta[j] {Bir önceki katmanın deltası}=Toplam\*Türev

Her iterasyon başlangıcında Toplam sıfırlanmalıdır.

Parametreleri Güncelle :  $\Delta w_{ij}^k(k+1) = \mu \Delta w_{ij}^k(k) + \eta \delta_i^{k+1} o_j^k = \text{MomentA} + \text{DIFF}$

Yukarıdaki parametre güncelleme kuralı uygulanır. İlk katmandan son katmana kadar, katmanlar arasındaki ağırlık matrisini (önceki katmanla sonraki katman arasındaki her bir j. nöronla i. nöron arasındaki ağırlığı) tarar ve düzeltir. kk+1: Bir sonraki katman, kk: k. katman  $\Rightarrow$

DIFF= eta\*Vektor[kk+1].delta[i]\*Vektor[kk].out[j]

W[kk].w2[i,j]:=W[kk].w1[i,j]; (bir önceki  $\rightarrow$  iki öncekine atılır)

W[kk].w1[i,j]:=W[kk].w[i,j]; (şu anki  $\rightarrow$  bir öncekine atılır)

$\Delta w_{ij}^k(k) = \text{şu anki-bir önceki} = W[kk].w1[i,j] - W[kk].w2[i,j]; \Rightarrow$

MOMENTA:=Momentum\*(W[kk].w1[i,j]-W[kk].w2[i,j]);  $\Rightarrow$

$\Delta w_{ij}^k(k+1) = \text{DIFF} + \text{MOMENTA}$  idi. Bu artım değerini ekleyerek şu anki ağırlığımızı güncellersek;

W[kk].w[i,j]:=W[kk].w[i,j]+DIFF+MOMENTA olur.

Benzer şekilde eşik seviyeleri de güncellenir; eşik: nöron girişi

$(o_j^k) = -1$  olan bir giriş kabul edilir.

Vektor[kk+1].thr[i]:= Vektor[kk+1].thr[i]+  $\underbrace{\text{eta} * \text{Vektor[kk+1].delta[i]} * (-1)}_{\Delta \theta = \text{DIFF} = \eta \delta o_j}$ ,

Hata Geriye Yayma İşlemlerinin Sonu.

Eğitilmiş Ağ Parametrelerini Kaydet: Eğitilmiş ağ parametreleri, kacıncı iterasyonda olduğunu belirten sayac bilgisiyle birlikte bir dosyaya kaydedilir. Şayet iterasyon bitmeden küme hatası istenen tolerans değerine ulaşırsa bilgiler kaydedilir ve sayac iterasyon sonu olan  $10^6$ ya ulaşmadan eğitim durdurulur programdan çıkarılır.

Bu dosyada gizli katman sayısı, giriş ve çıkış vektörü boyutları, her bir gizli katmanda bulunan nöron sayıları rapor edilir. Daha sonra eğitilmiş ağ parametreleri (her katmandaki her bir nöron ile bir sonraki katmandaki her bir nöron arasındaki ağırlıklar) sırayla kaydedilir.

**Eğitilmiş YSA'nı Sına** : Daha önce eğitim sırasında kullanılmamış olan test çiftleri oluşturulur ve Sınama Çiftleri adı altında kaydedilir. Bu yordam eğitilmiş ağ parametrelerini yükler, istenen sınama verileri ile ağı test eder. Ağın bilmediği girişler için doğru çıkışları sağlayıp sağlayamadığı gözler. Başarım ölçütü olarak küme hatası ekrana yazdırılır.

**SinamaCiftleriniYukleVeGoster: Giriş Katmanı ve Çıkış Katmanındaki nöronlarda** sınama için kullanılacak değerler sırayla hafızaya yüklenir.

**SinamaCikislariniGoster: Eğitilmiş Ağın Sınama girişleri, buna karşılık olması gereken çıkışlar ve Eğitilmiş ağın verdiği gerçek çıkışlar ekrana yazdırılır. Sınama girişlerine eğitilmiş ağın cevabı çizdirilir.**

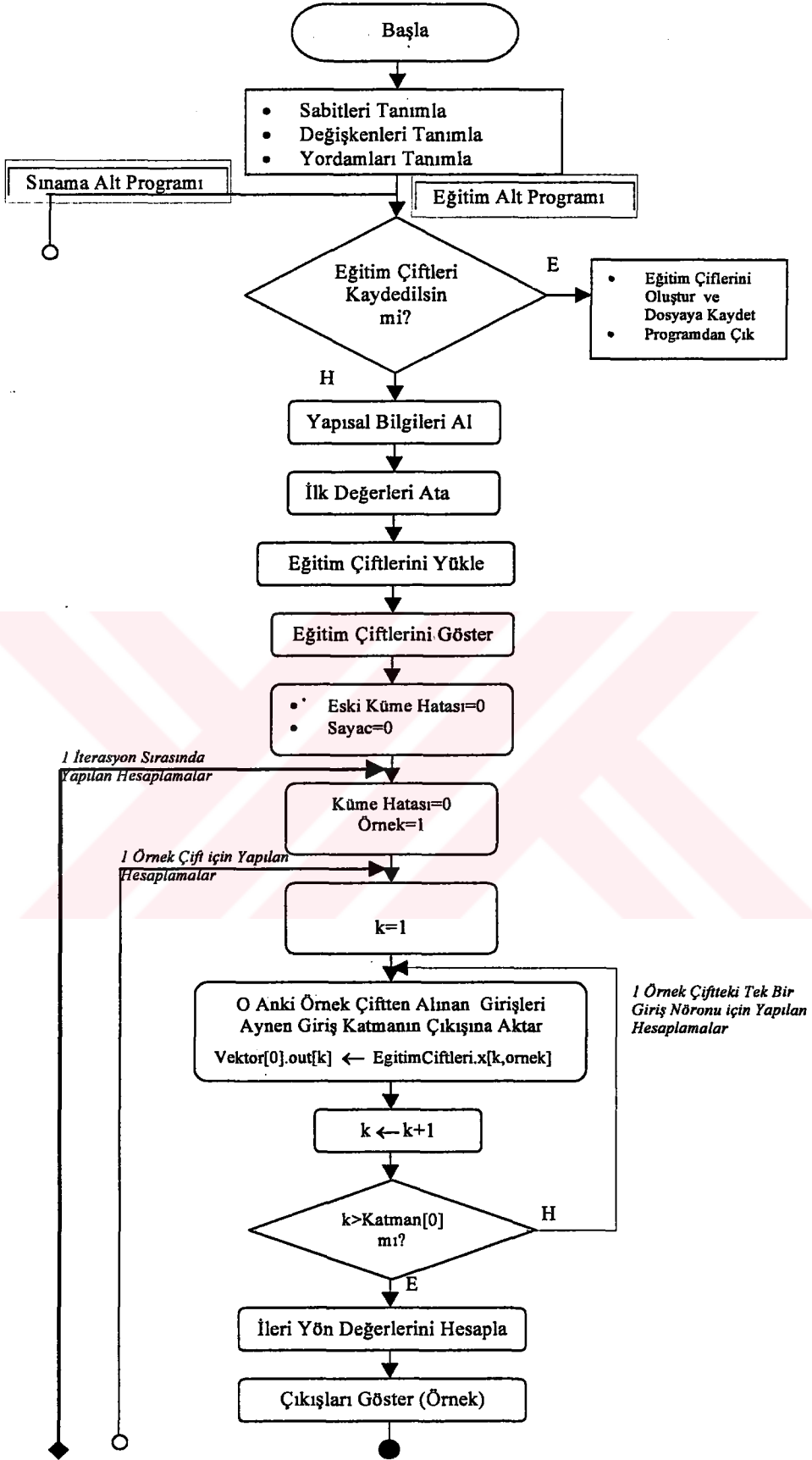
#### ❖ İşlevler

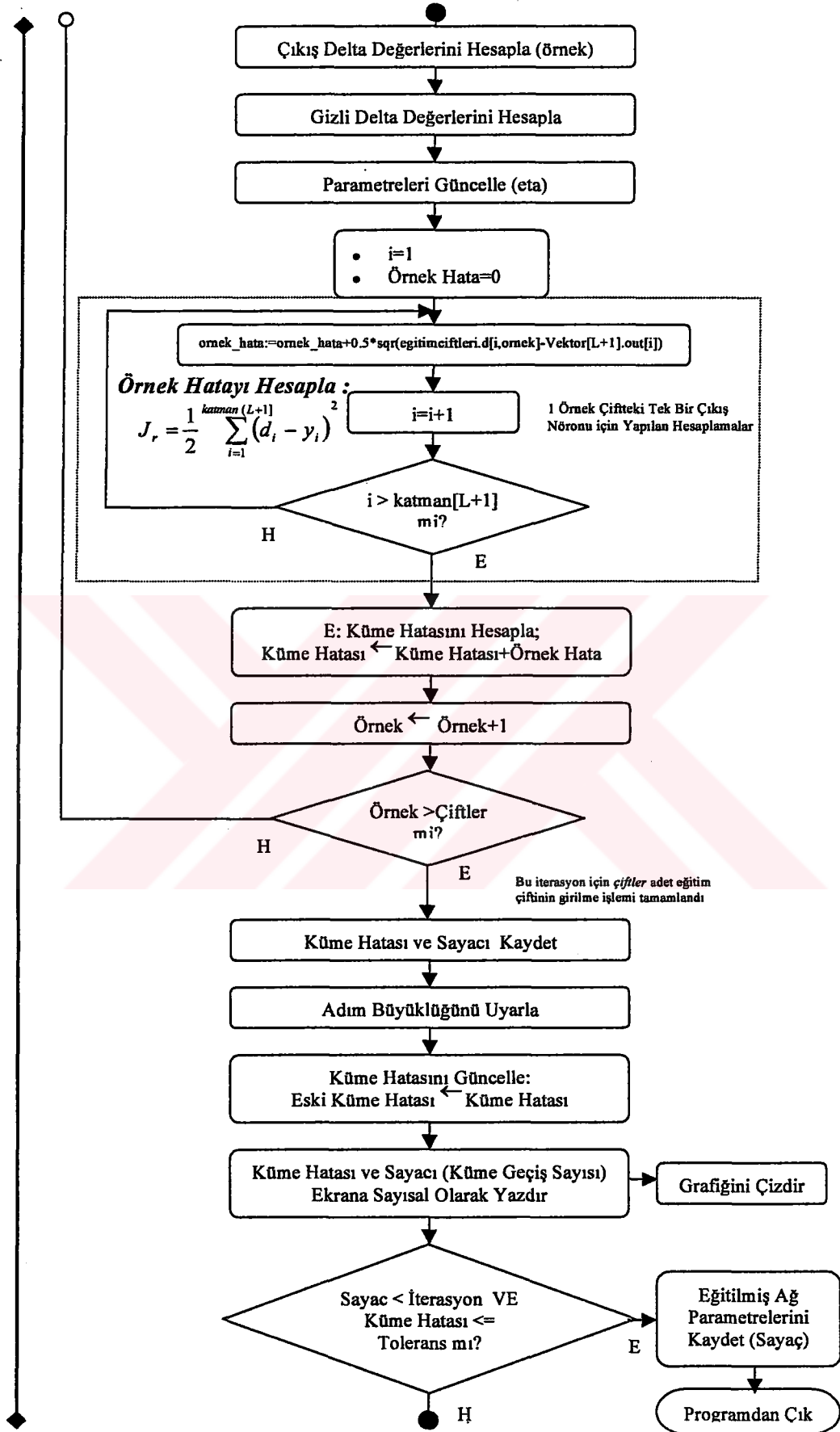
**Nonlinear İşlev(Toplama, eşik)** : “İleri Yön Değerlerini Hesapla” yordamında kullanılan bu işlev gizli katmanlardaki aktivasyon fonksiyonlarını hesaplar.

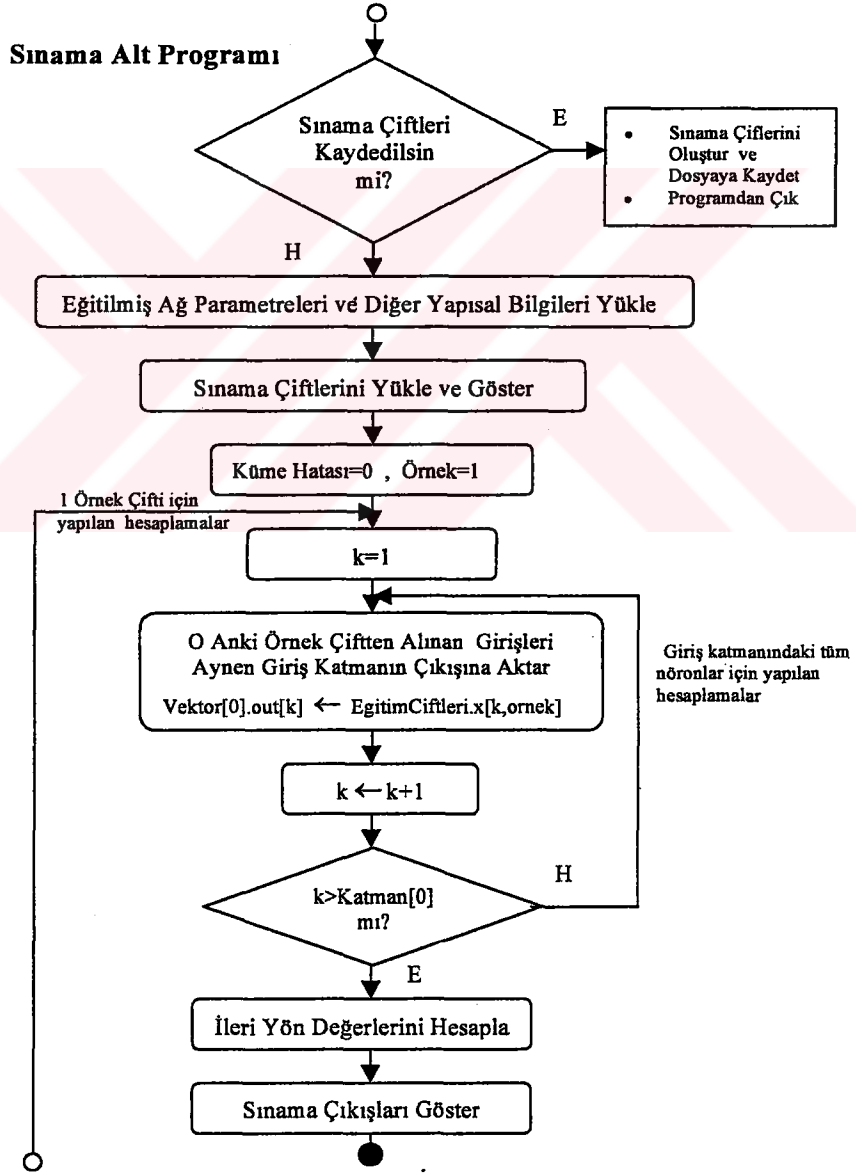
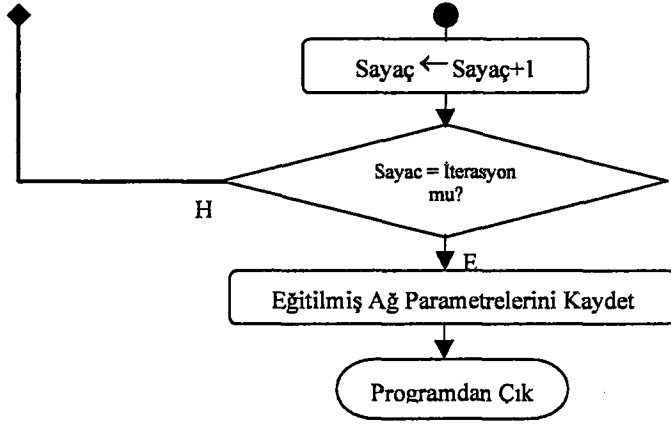
$$\psi(s) = \tanh(S) = \tanh\left(\sum w_{ij} o_j\right) - thr(i) = \tanh(\text{toplama} - \text{esik})$$

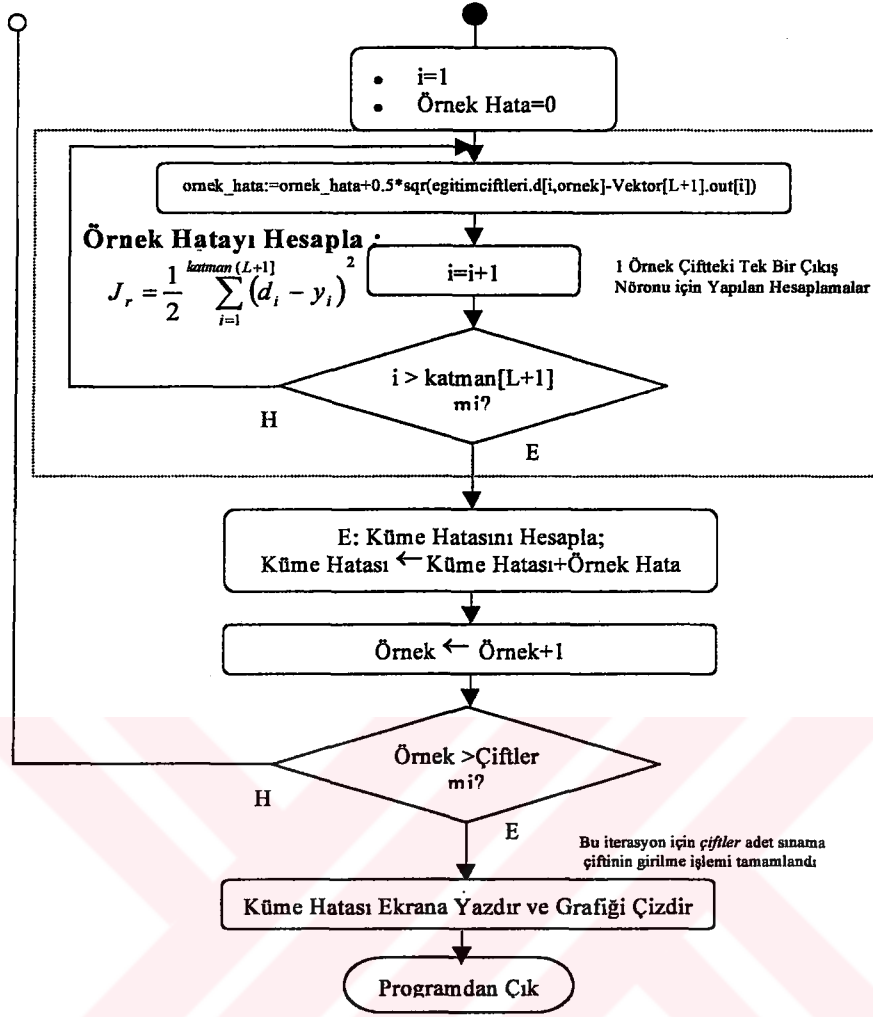
**Nonlinear İşlev Türevi(Toplama)** : “Gizli Delta Değerlerini Hesapla” yordamında kullanılan bu işlev gizli katmanlardaki aktivasyon işlevlerinin türevlerini hesaplar.

$$\text{Türev} = \psi'(S) = 1 - \text{toplama}^2$$

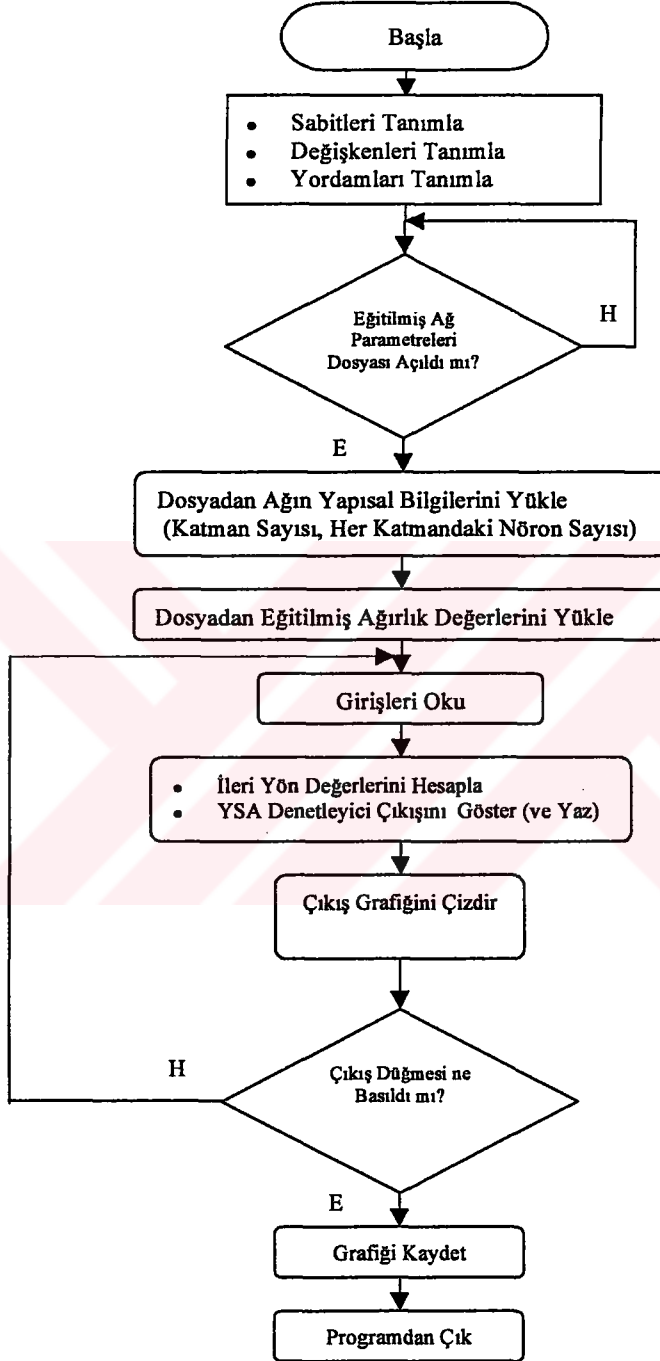






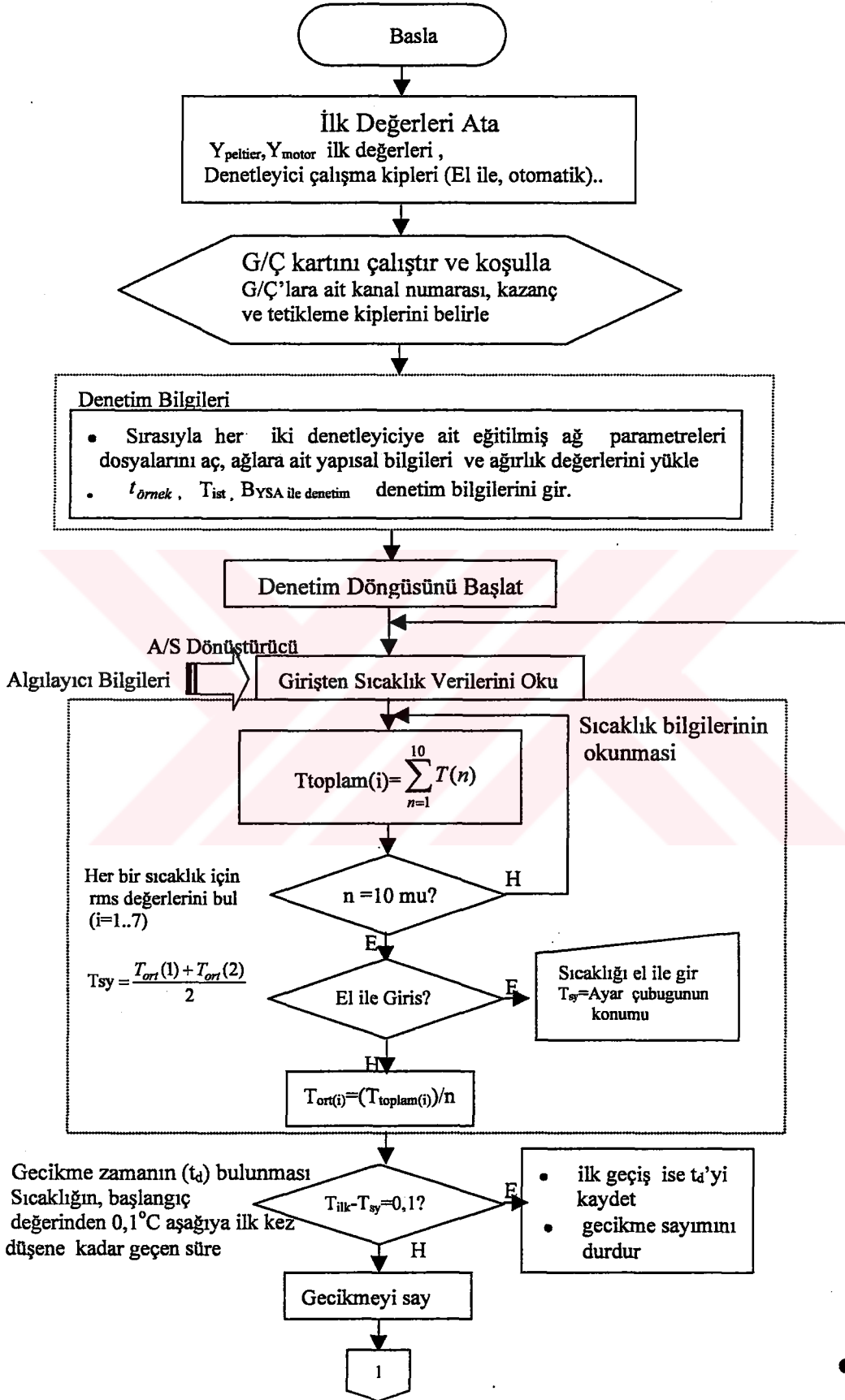


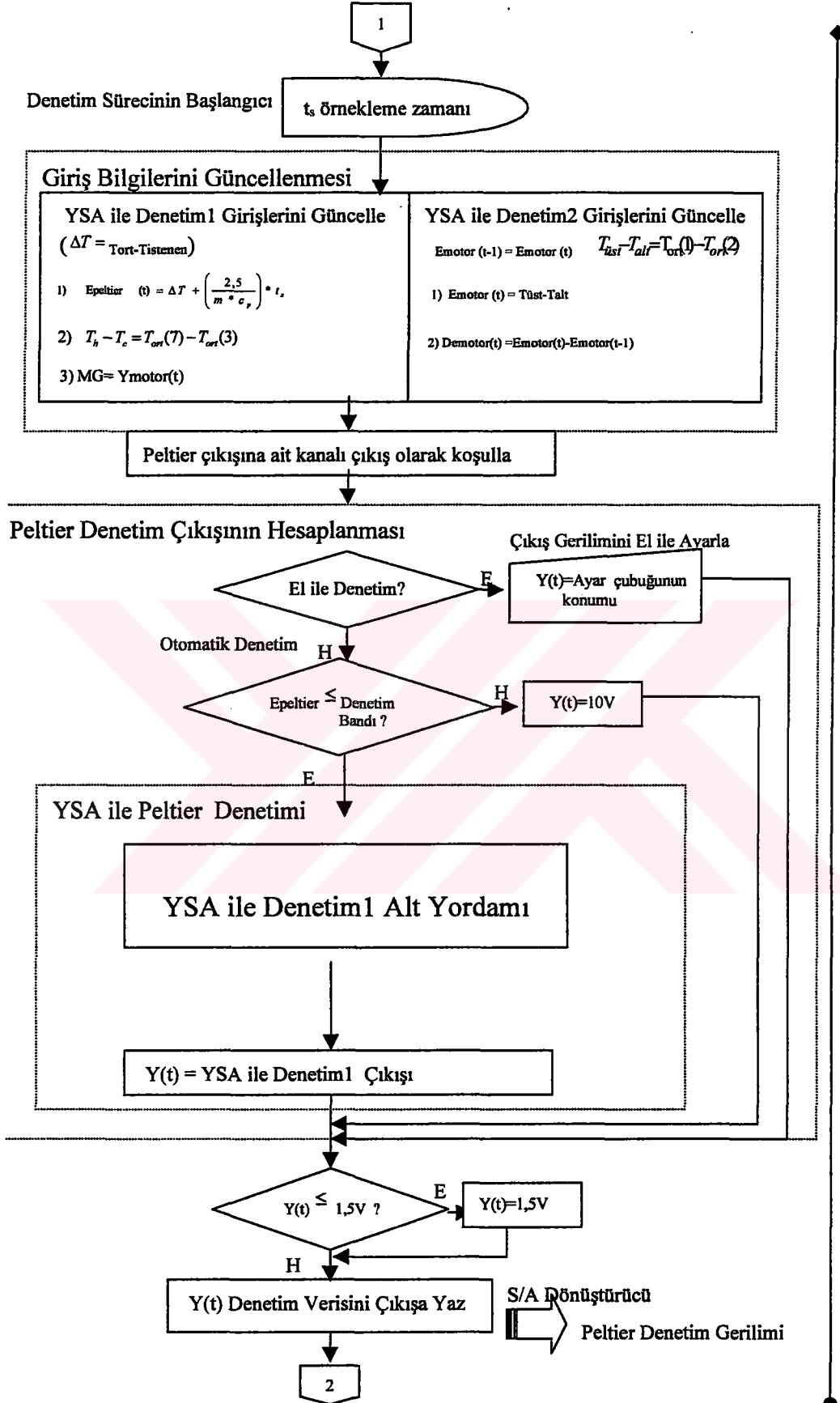
## EK-Ç YSA UYGULAMA ALTYORDAMI

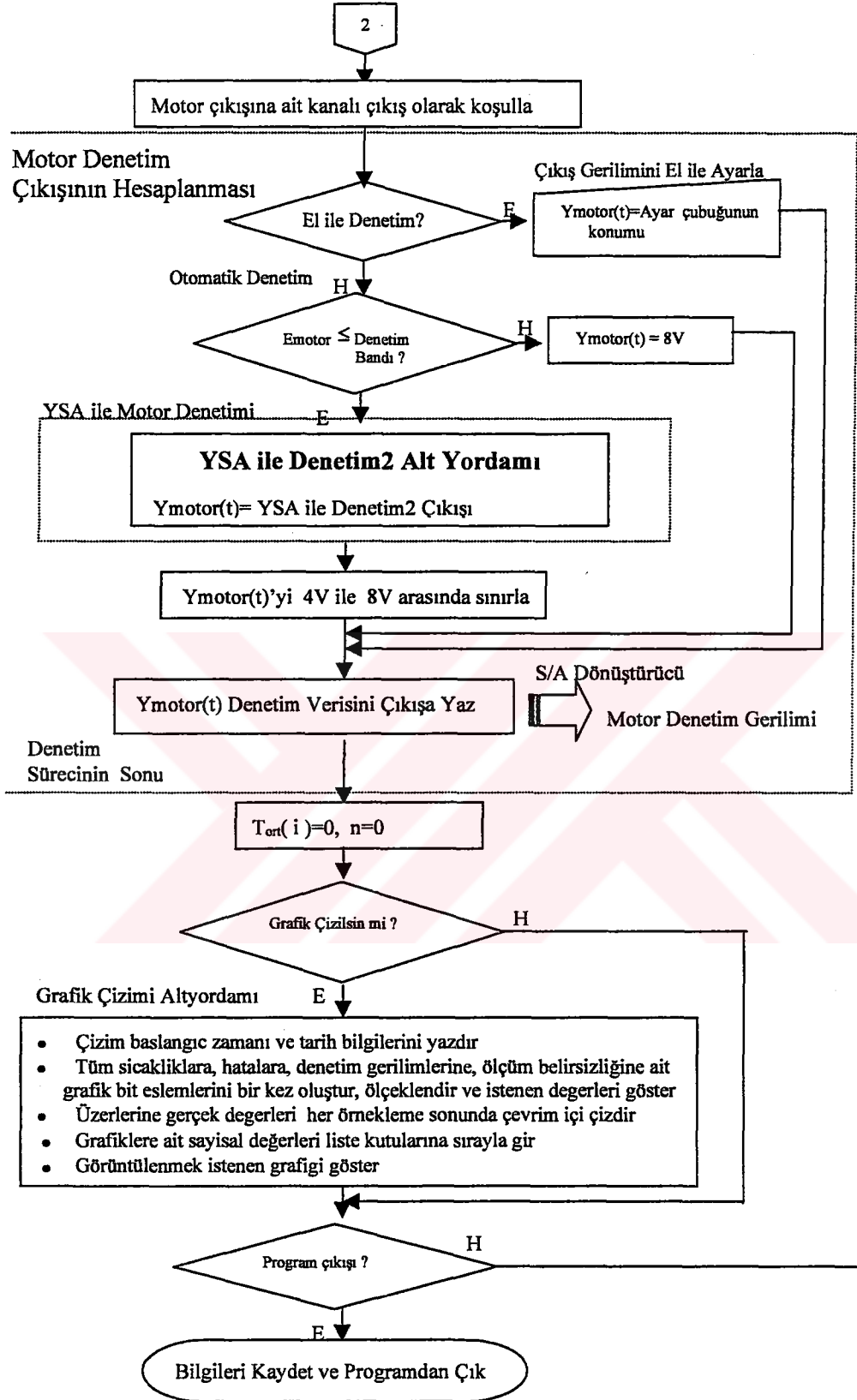




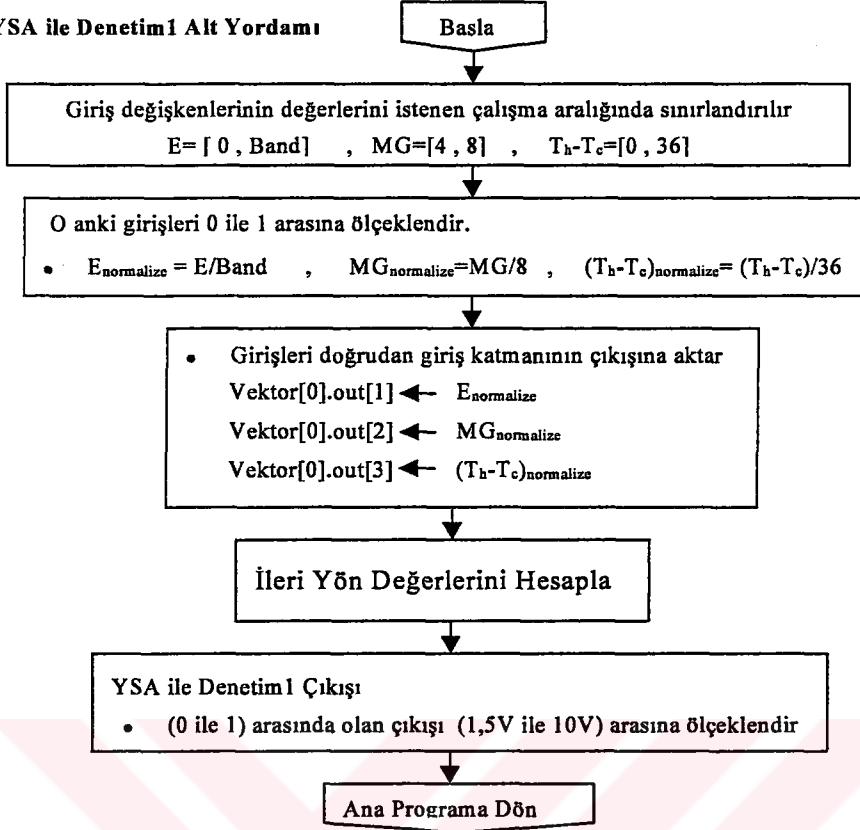
## EK-D YSA DENETİM ALGORİTMASI



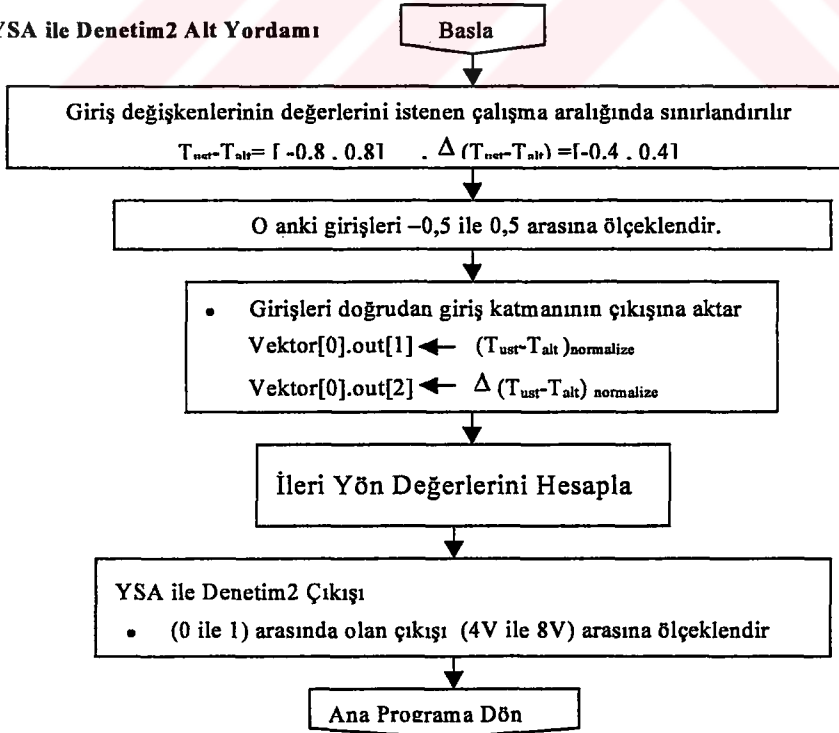




### YSA ile Denetim1 Alt Yordamı



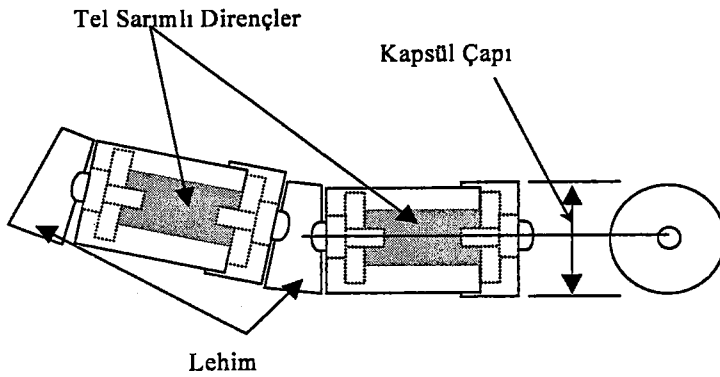
### YSA ile Denetim2 Alt Yordamı



## EK-E DİRENÇSEL YÜKSEK GERİLİM BÖLÜCÜ STANDARTLARI

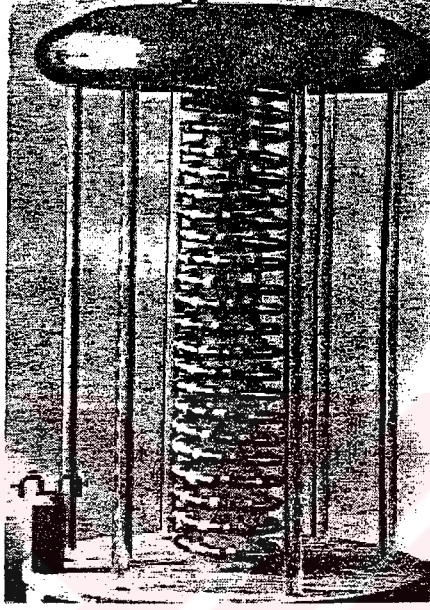
### E.1. Dirençsel Yüksek Gerilim Bölücü Standartları

1 M $\Omega$ 'luk dirençler kullanılarak korona etkilerini en aza indiren özel bir sarmal tasarım ilk olarak 1955'te geliştirilmiştir. 200 adet 1 megaohm'luk tel sarımlı dirençten meydana gelmiştir. Her bir birim, birbirine vidalanmış ¾ inç çapında 1¼ inç uzunluğunda silindirik makaralara sarılmış telden oluşmaktadır. Dışlarını kaplayan koruyucu pirinç kapsül ve arasında bulunan yalıtkan şeridin vida uçlarına tutturulması Şekil E.1'de görülmektedir. İç içe geçen bir gövde ve kapaktan oluşan bu pirinç kapsüller, birim etrafında gerilim yönünden tam bir koruma oluşturur ve tel direnç çevresindeki alan dağılımını düzeltirler. Böylece alan dağılımları sadece iki kapsül arasındaki I\*R potansiyel farkından dolayı oluşan gerilim düşüşleri tarafından belirlenebilir. Böylece dirençler ve koruyucular üzerindeki gerilim, toprağa göre ne kadar büyük olursa olsun, dirençleri çevreleyen havada ani korona oluşma olasılığı da ortadan kalkmış olur. Korumalı direnç birimleri sarmal oluşturacak şekilde lehim dirsekleri ile birbirine lehimlenir. Bu şekilde 4 inç çapında ve 39 inç boyunda bir tüpün çevresine Şekil E.2'de görüldüğü gibi sarılır. Bu dairesel sarmal şekli, tüp boyunca her bir dönüş başına düzgün bir gerilim düşümü oluşmasını sağlar. Böylece her bir direnç kapsülünün dış yüzeyindeki gradyen tepeye yakın kısımlarda da, tabana yakın kısımlarda da birbirine yakın olur ve bu kapsüllerden korona oluşma olasılığı büyük oranda azaltılır veya ortadan kaldırılır (Park 1955).



Şekil E.1. Koruyucu Kapsüller İçine Monte Edilen 1 Megaohm'luk Dirençler

Direncin herhangi bir noktasından kaçak akım veya korona boşalması olduğunda alçak voltaj ucundan çıkan akım yüksek gerilim elektrotuna giren akımdan daha küçük olur. Bu da direnç değerlerinde değişime, dolayısıyla gerilim ölçümü sırasında hataya neden olur.

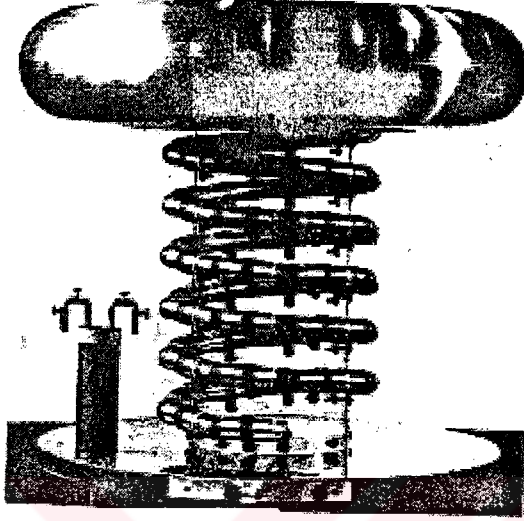


Şekil E.2. Sarmal Direnç İlk Modeli (Park 1955)

Yalıtkan elemanlar üzerinden geçen kaçak akımlar da benzer şekilde hataya neden olurlar. Bu gibi hataları deneysel olarak bulmak için kullanılan en yüksek gerilime kadar çeşitli gerilimler uygulanarak tek tek giriş ve çıkış akımları ölçülebilir. Uygulanacak gerilim sabit bir değere ayarlanır ve giriş-çıkış akımları ölçülür.

Gerilim bölme oranında, kaçak akımlar, sıcaklık ve diğer etkenlerden kaynaklanan belirsizlikler 50 kV'a kadar yapılan ölçümlerde 10 ppm'in üstüne çıkmadığı görülmüştür (Park 1955). 100 kV'ta 40 ppm ölçüm belirsizliğine sahip olan bu gerilim standardı uzun yıllar diğer gerilim bölücülerini kalibre etmek için referans olarak kullanılmıştır. Zamanla atomik ve nükleer sabitlerin hassas ölçülmesini gerektiren deneylerin başlamasıyla daha düşük sıcaklık katsayılı dirençlerden oluşan yeni gerilim bölücü standart yapılması kararlaştırılmıştır.

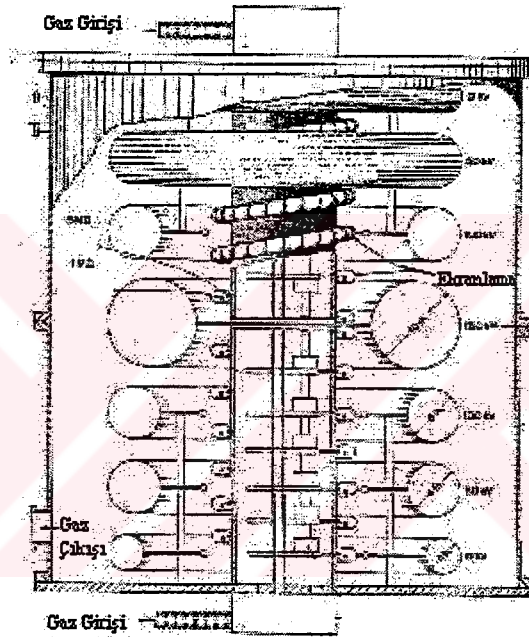
1961 yılında, direnç sarma tekniklerindeki gelişmelerden de yararlanılarak daha hassas iki adet standart yapılmıştır (Şekil E.3). Kullanılan dirençlerde, 20 ile 44 °C arasında ölçümler yapılarak sıcaklık katsayıları tespit edilmeye çalışılmıştır.



Şekil E.3. Geliştirilmiş Sarmal Direnç Modeli (Park 1961)

Gerilim bölücüler zıt işaretli sıcaklık katsayılarına sahip direnç çiftlerinden oluşturulmuştur ve toplam sıcaklık katsayısı bu nedenle sıfıra yakındır. Standartlar, üst üste seri olarak bağlanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu şekilde 200 kV'a kadar hassas ölçüm yapılabilmektedir. Potansiyometre, standart piller ve standart dirençlerden kaynaklanan sabit ölçüm hataları yeni ölçme teknikleriyle ortadan kaldırılmıştır. Isıl emk etkileri azaltılarak, daha hassas galvanometreler kullanılarak, DA gerilim kaynağının kararlılığı artırılarak ölçüm belirsizliği azaltılmıştır. Korona ve kaçak akımlardan kaynaklanan ölçüm belirsizliği 20 ppm'i geçmemektedir. Isınmadan kaynaklanan hatalar da her bir dirençte ortalama olarak derece başına  $\pm 3$  ppm'dir. Zıt işaretli dirençler seri bağlandığında dirençlerin toplam belirsizliği derece başına yaklaşık 0.4 ppm'dir. Standart, 2 saat çalıştırdıktan sonra dirençler yaklaşık olarak 90 °C ısınmış ve direnç değerlerinde toplam 270 ppm'lik değişim olmuştur. Fakat zıt işaretli sıcaklık katsayılı dirençlerden dolayı dirençsel bölücünün toplam belirsizliğinin sadece 36 ppm olduğu tahmin edilmektedir. Bununla birlikte sürekli çalıştırmada oldukça büyük bir ısınma meydana geleceğinden, standart ölçüm için 30 dakika çalıştırılıp 30 dakika soğuması için bekletilmektedir.

Ziegler ve arkadaşları, Park'ın çalışmasında dirençlerin ısınması, kaçak akımlar ve koronanın belirsizliğe neden olduğuna dikkat çekerek gerilim bölücünün kararlılığını ölçmek istemişler ve karşılaştıracak bir referans bulunmadığı için 150 kV 'luk iki gerilim bölücü yapmışlardır. Her bir bölücünün yüksek gerilim kısmı 150 adet 1 M $\Omega$ 'luk dirençten oluşmaktadır. Bölücüler korumalı bir Wheatstone köprüsü devresi ile karşılaştırılmıştır. 150 kV'ta oldukça kararlı olduğu görülmüştür. Her bir gerilim bölücü, sıcaklığı gaz ile denetlenen silindir tanklara Şekil E.4'te görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



**Şekil E.4.** 150 kV'luk Gerilim Bölücü Standardı (Ziegler 1970)

Doğruluğu oldukça yüksek olan 1 M $\Omega$ 'luk yüksek gerilim dirençlerinin her birinin çevresinde , 1500V'luk atlama aralığı, 5 M $\Omega$ 'luk koruma dirençleri ve ekranlama vardır. Yüksek gerilim farklarına karşı yalıtımın güvenliğini arttırmak için, sarmal ile silindir tankın duvarları arasında korona halkaları yerleştirilmiştir (Ziegler et al, 1970).

Gaz sıcaklığı, termistörler ve algılayıcılar aracılığıyla denetlenmektedir. Sıcaklık en fazla 0.1  $^{\circ}$ C değişmektedir. Sisteme giren sıcaklık ile çıkan sıcaklık arasındaki sıcaklık farkı 6  $^{\circ}$ C'den aşağıya düşmemektedir. 1 watt harcayan, gaz içindeki bir direncin sıcaklığı 15  $^{\circ}$ C kadar artmaktadır. Direnç sıcaklığının denetlenmesi ve birbirine yakın sıcaklık katsayılı dirençlerin seçilmesi, dirençlerin ısınmasından

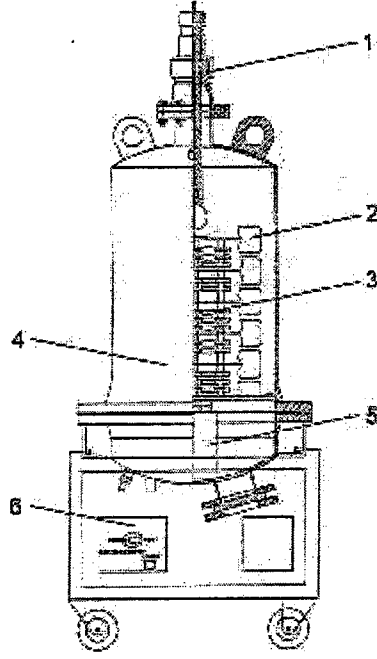


kaynaklanan etkileri oldukça azaltmıştır. Kaçak akımlar, ekranlama yoluyla, korona etkileri ise tanktaki alan şiddeti azaltılarak ve yalıtkan bir gaz kullanılarak azaltılmıştır. Buradaki gerilim bölücüler, karmaşık biyomoleküllerdeki belirli atomların bulunması ve teşhisi için kullanılan bir elektron mikroskobunun 100-500 kV aralığında çalışan ivmelendirme gerilim kaynağının geribesleme elemanı olarak kullanılmaktadır.  $1.0 \text{ \AA}$  'lük çözünürlüğe ulaşabilmek için, görüntünün incelenme ve kayıt süresi olan 2 dakika boyunca, ivmelendirme geriliminin  $\mp 1$  ppm hassasiyetle sabit kalması gerekir. Isı denetimi ve dirençlerin oldukça dikkatli seçilmesi nedeniyle, gerilim bölücünün kısa süreli ölçüm belirsizliği  $\mp 1$  ppm'i geçmemektedir. 100 kV'a kadar olan DA gerilimlerin yüksek doğrulukta ölçümü için geliştirilmiş ısı denetimli, ekranlanmış bir yüksek gerilim bölücü standardının tasarımı (R. Marx, 2000) tarafından yapılmıştır (Şekil E.5).

**Tablo E.1. Ölçüm Belirsizliğinin Kaynaklara Göre Dağılımı**

Ölçüm Belirsizliği Kaynakları	Ölçüm Belirsizliği
Düşük Gerilimde Ölçekleme Faktörü	$6 \cdot 10^{-7}$
Yüksek Gerilimde Ölçekleme Faktörü	$5 \cdot 10^{-7}$
Dirençlerin Isınması	$1 \cdot 10^{-6}$
Kaçak Akımlar	$1 \cdot 10^{-7}$
Korona	$1 \cdot 10^{-7}$
Dış Etkiler	$1 \cdot 10^{-8}$
Dirençler Arasındaki Sıcaklık Farkı ( $\pm 0,15 \text{ K}$ )	$1 \cdot 10^{-7}$
Basınç Etkisi	$1 \cdot 10^{-8}$
Olabilecek En Büyük Toplam Belirsizlik	$2 \cdot 10^{-6}$

Ölçüm cihazında, toplam direnci  $1 \text{ G}\Omega$  olan 101 adet yüksek doğrulukta düşük toleranslı direnç bulunmaktadır. Dirençler, içinde sıkıştırılmış SF<sub>6</sub> (sülfür heksaflorid) gazı bulunan bir hazneye yerleştirilmiştir. Ölçüm cihazı gerilim kontrollü, homojen elektrik dağılımlı ve peltier elemanlarıyla sıcaklığı denetlenen bir düzenek içindedir. Peltier elemanları gerilim bölücünün çalışma sıcaklığını  $26 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de sabit tutarlar, içerdeki sıcaklık en fazla  $0,2 \text{ }^\circ\text{C}$  değişir. Tüm gerilim bölücü sınırları boyunca sıcaklık farkı  $\pm 0,15 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ni aşmaz (Tablo E.1).



**Şekil E.5.** 100 kV'luk Ekranlanmış YG Bölücü Standardı (Marx 2000)  
1. Yüksek Gerilim Elektrotu, 2. Denetim Elektrotları, 3. Dirençsel Bölücü  
4. Metal Muhafaza, 5. Sıcaklık Ayarlayıcı, 6. Peltier Denetleyici

Nominal ölçekleme faktörleri 100:1 ve 10000:1'dir. Sıcaklık denetimiyle toplam belirsizlik 2 ppm'e düşürülmüştür. Belirsizliğin kaynaklara göre dağılımı aşağıdaki gibidir.

## E.2. Tasarlanan 100 kV'luk DA YG Bölücü Standardı

Tübitak- UME'de yapılması planlanan 100 kV'luk DA gerilim bölücü için Alman Ulusal Metroloji Enstitüsü PTB'de 1979'da yapılmış olan 300 kV'luk ve 100 kV'luk dirençsel gerilim bölücüler örnek alınmıştır. Bu gerilim bölücüler, diğer ölçüm cihazlarını ve gerilim bölücülerini kalibre etmek amacıyla yapılmıştır. 300 kV'luk gerilim bölücünün içinde sarmal biçimde yerleştirilmiş 300 adet 2M $\Omega$ 'luk Megatron marka 9070 model tel sarımlı hassas direnç vardır. Bu dirençler yalıtkan silindir bir gövde üzerinde 50 tur atacak şekilde sıralanmışlardır. Bölüm oranı 300:1'dir. Soğutma ve yalıtım SF<sub>6</sub> gazı ile sağlanmıştır. İlk uygulamalarda soğutma ve yalıtım kullanılmamıştır. Daha sonraki aşamalarda transformatör yağı kullanılmıştır. Amaç ısının her noktaya eşit dağılmasını sağlamaktır. Bir sonraki aşamada ise transformatör yağının bir motor yardımıyla devir daim yapması sağlanmıştır. Bu sistemde devir daim iyi şekilde yapılıyorsa dirençlerin tümü aynı sıcaklıkta çalışır.

Ancak çalışma sıcaklığı dirençlerde harcanan güce bağlı olarak çevre sıcaklığından etkilenir. Ortalama güçte, 4 saat içinde sıcaklık artışı 20 K'dir. Daha sonraki aşamada içine transformatör yağı yerine SF<sub>6</sub> gazı konulmuştur. Görüldüğü üzere dirençsel bölücülerin en önemli sorunu ısınma etkisidir. Dirençsel bölücüde kullanılan dirençler 2 W seçilmiştir. Çünkü düşük belirsizlikli bir bölücü yapabilmek için sıcaklık artışını en aza indirmek gerekir. Gerilim bölücünün toplam belirsizliği  $\pm 28 \text{ ppm}$ 'dir.

Gerilim bölücünün kuruluş aşamasından önce dirençler tek tek elektriksel işlemlere tabi tutulur. Öncelikle dirençler, sıcaklık katsayıları birbirini telafi edecek şekilde seçilir. PTB'de 25 adet direncin ısıl katsayıları ölçülmüş, geriye kalan dirençler için yaklaşım alınmıştır.



**Şekil E.6.** Zıt Sıcaklık Katsayılı Direnç Çiftlerinin Birleştirilmesi

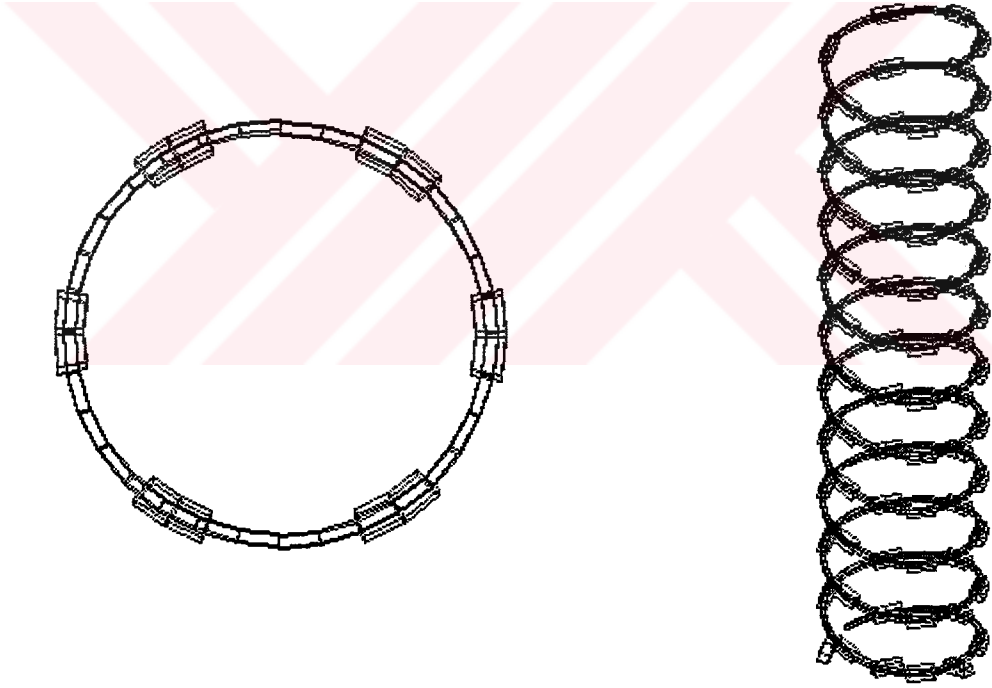
Direnç çiftleri, lehimleme noktasında direnç değerlerinin değişmemesi için herhangi bir lehimleme işlemi olmadan düşük sıcaklıkta konnektörler ile bağlanmıştır. Aynı zamanda bu dirençler kararlılıklarının artırılması için ısıl işleme tabi tutulmuşlardır. Isıl işlem 140<sup>0</sup> C'de yapılmıştır. Yaşlandırma adı da verilen bu işlem sırasında malzemenin atom yapısındaki düzensizlikler ortadan kaldırılarak malzemenin daha düşük sıcaklıklarda daha kararlı hale gelmesi sağlanmaktadır.

DA dirençsel gerilim bölücülerde gerilim testleri yapılırken 2 aşama söz konusudur. İlki 5 kV'a kadar yapılan işlemler ve diğeri daha yüksek gerilimler uygulanarak yapılan işlemlerdir. Eğer kararlı bir DA yüksek gerilim kaynağı yok ise 5 kV'a kadar olan işlemler tamamlanır. Geri kalan ölçümler için kestirimden gelecek bir belirsizlik hatası eklenerek tahminde bulunulur.

### E.2.1. Tasarlanan 100 KV'luk DA YG bölücü standardının fiziksel özellikleri

Direnç Özellikleri: Yapılması tasarlanan gerilim bölücü 100kV 'luk olup her biri 1 Mohm'luk seri bağlı 100 dirençten oluşacaktır. Orta noktası toprak potansiyeli olarak alınıp, ilk 50 dirence 100 kV, son 50 dirence -100 kV uygulanarak 200 kV'luk gerilim bölücü olarak kullanılabilir. Yüksek gerilim kolunda 99 adet tel sarım Megatron 9070 marka, 2W:1000V'luk dirençler bulunacaktır. Dirençler 60 mm boyunda, 12 mm enindedir ve iletken çapı 0,81 mm'dir. Sıcaklık katsayıları yaklaşık 10ppm/K'dir. 20°C-125 °C aralığında 0,5% toleransa, 1µH endüktansa , 1pC sığaya sahiptir.

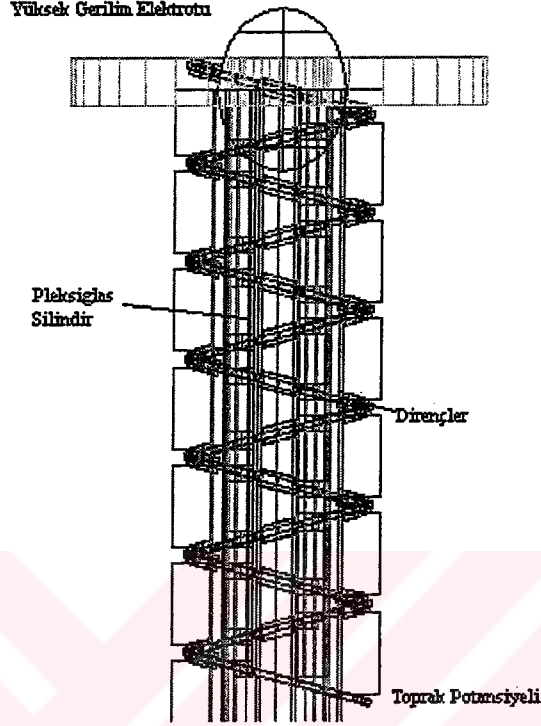
Alçak gerilim kolunda toplam direnci 1 MΩ olan, değerleri daha sonra belirlenecek elde sarılmış isaohm tel sarım dirençler kullanılacaktır.



Şekil E.7. Sarmal Yapıda Dizilmiş Dirençler

Gerilim bölücü üzerinde elektriksel boşalma olmadan düzgün bir elektrostatik alan dağılımını sağlamak için en uygun yapı, sarmal formunda seri bağlı dirençlerden oluşan "Park Tipi" gerilim bölücü modelidir. Bu tasarım, elektrik alanın yatay bileşenlerinden gelen katkıyı ihmal edilecek kadar azaltarak, bölücü boyunca düzgün

bir elektrik alan dağılımı elde edilebilmesini sağlar. Dirençler 17 sarımlı bir sarmal formunda pleksiglas silindirden bir gövde üzerine sarılacaktır.



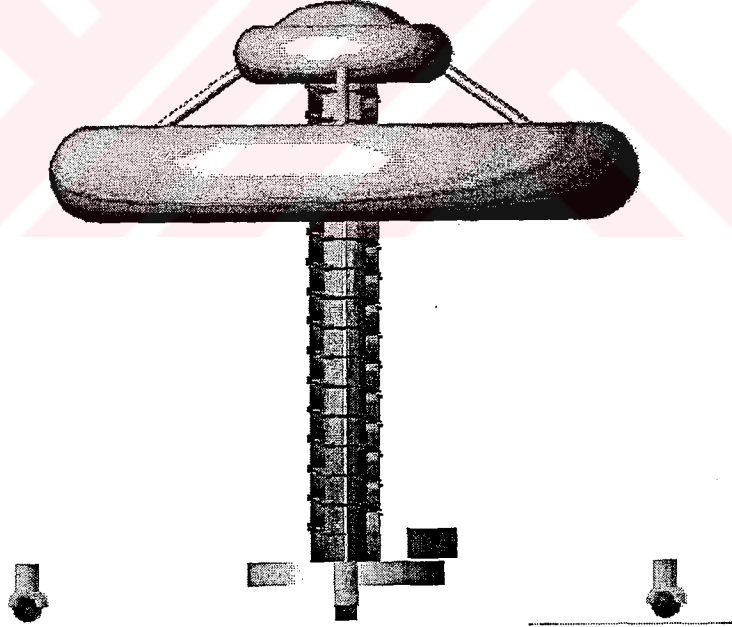
**Şekil E.8.** Yapılması Tasarlanan “Park Tipi” Gerilim Bölücü

Elektrik Alan Dağılımı ve Direnç Adımları Arası Adım Mesafesinin Hesaplanması: Korona boşalmalarının önlenmesi için elektrik alanının düzgün bir dağılım göstermesi, uygulanan gerilimin yüksek gerilim elektrotundan eşit gradyanlarla azalarak toprak potansiyeline ulaşması gerekir. Yüksek gerilim elektrodunun etrafında oluşan elektrik alan dirençler üzerindeki gerilimleri etkilemektedir. Yüksek gerilim elektrotu ile toprak arasındaki elektrostatik alan teorik olarak hesaplanmıştır. Gerilim bölücü boyunca düzgün bir alan dağılımı beklenmektedir.

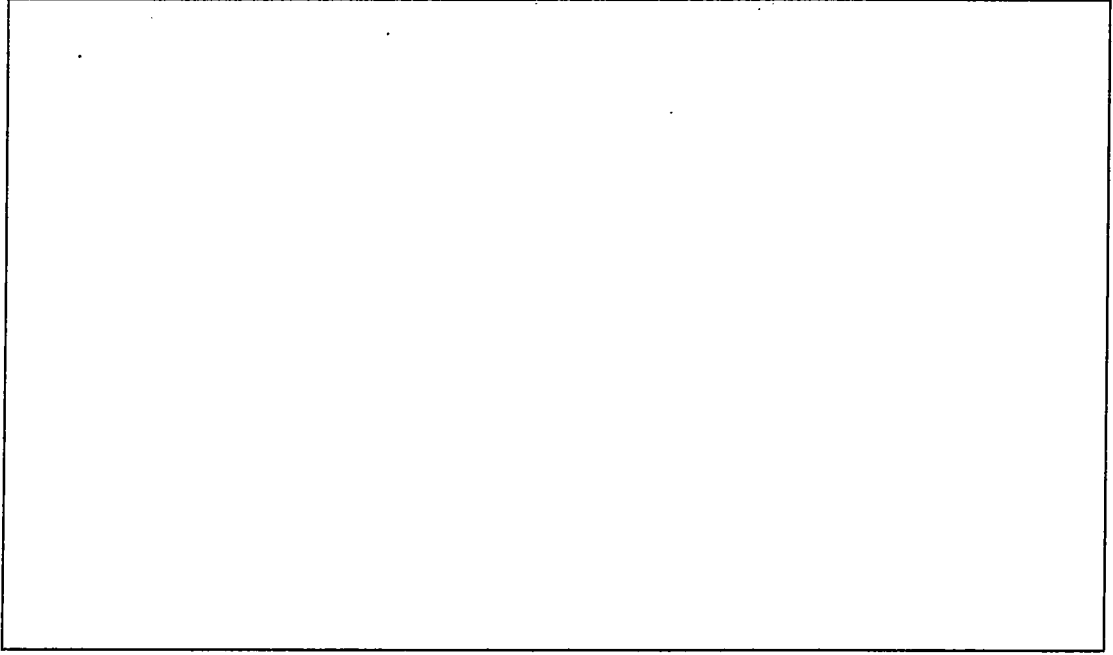
Yüksek gerilim elektrotunun oluşturduğu elektrik alan çizgilerine yakın noktalarda bulunan metal bir korona başlığı, korona etkilerini azaltacaktır.

**Şekil E.9.** Korona Başlığının Üstten Görünüşü (Yılmaz,O., 2002)

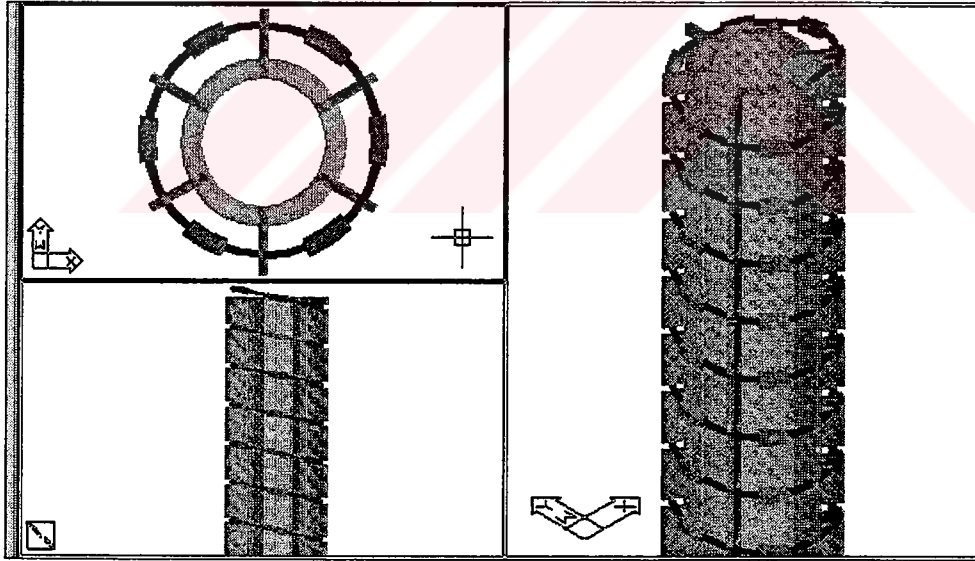
Şekil E.10, Şekil E.11, ve Şekil E.12'de yapılması tasarlanan 100 kV DA YG Bölücü'ye ait çizimler görülmektedir.



**Şekil E.10.** Tasarlanan 100 kV DA YG Bölücünün Yandan Görünüşü (Yılmaz,O., 2002)



**Şekil E.11.** Tasarlanan Gerilim Bölücünün Farklı Açılardan Görünüşü (Yılmaz,O., 2002)



**Şekil E.12.** Direnç Bloğunun Çeşitli Açılardan Görünüşü (Yılmaz,O., 2002)

Dirençlere Yapılan Isıl İşlemler: Rastgele seçilen 24 direnç 4 gruba ayrılmıştır ve bu gruplar sırasıyla 2, 4, 6 ve 8 defa 23°C'ten 140°C'ye ve 140°C'den 0°C'ye ısıl işleme tabi tutuldu. Direnç değerleri direnç laboratuvarındaki 4220A Düşük Isı Matris Tarayıcısı ve HP3458A için yazılan C programı aracılığıyla ölçülmüştür. Dirençlerin sıcaklık katsayılarının belirlenebilmesi için 13 °C, 23 °C ve 33 °C'de direnç

değerleri ölçülmüştür. Birbirlerine yakın + ve – katsayılı dirençlerden oluşan ikili gruplar oluşturulacaktır ve bu 50 grup seri bağlanarak toplam sıcaklık katsayısı 10ppm/K'den daha iyi bir değer çekilmeye çalışılacaktır. Gerilim bölücünün sıcaklığı denetlenecek olmasına karşın, gerilim bölücünün toplam sıcaklık katsayısının düşük olması ölçüm belirsizliğinin azaltılmasına katkıda bulunacaktır.

Sıcaklık Denetimi: Gerilim bölücü izolasyon yağı doldurulmuş bir silindir kabın içine yerleştirilecektir. Bu kabın içindeki yağın sıcaklığı, peltier ısı elemanları tarafından sıcaklığı belirlenen bir yağ soğutma deposu aracılığıyla denetlenecektir. Bir pompa aracılığıyla yağ devir daimi sağlanacak ve gerilim bölücü boyunca sıcaklık değişimi en aza indirilecektir.

#### E.2.2. 100 KV'luk DA YG bölücü standardının hata kaynakları

Gerçekleştirilecek gerilim bölücüde beklenen ölçüm belirsizliğin kaynaklara göre dağılımı Tablo E.2'de verilmiştir.

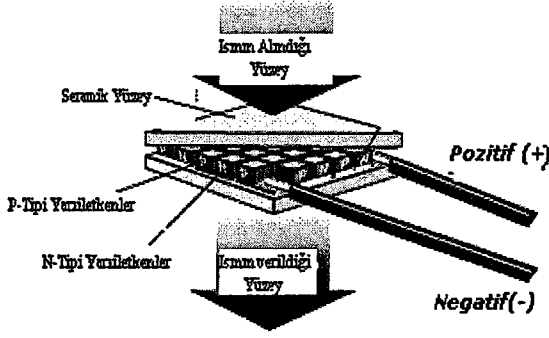
**Tablo E.2. Ölçüm Belirsizliğinin Kaynaklara Göre Dağılımı (Yılmaz,O., 2002 )**

Çıkış geriliminin DA standart ile karşılaştırılmasından gelen belirsizlik	50 ppm
Alçak gerilimde ölçekleme faktörünün tespitinden gelen belirsizlik	25 ppm
Alçak gerilim kolu ile yüksek gerilim kolundaki dirençler arasındaki sıcaklık katsayısı farkından dolayı ısınmanın etkisi	20 ppm
Sıcaklık katsayısı tespitindeki belirsizlik	5 ppm
Yağın bölücü boyunca taşınım nedeniyle oluşturacağı $T_{üst}-T_{alt}$ sıcaklık farkı	5 ppm
Gerilim Katsayısı	5 ppm
Kaçak Akım	5 ppm
Korona	Beklenmiyor
Yükleme akımları	Beklenmiyor
Yüksek gerilim kaynağının kararlılığı	10 ppm
<b>TOPLAM (karesel ortalama)</b>	<b>60 ppm</b>



## EK-F 5 KV'LUK YG BÖLÜCÜ DÜZENEĞİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

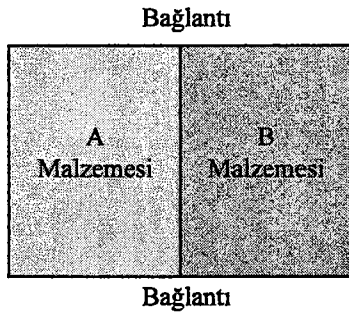
### F.1. Peltier Etkili Isı Pompaları



Peltier elemanları yarıiletken termoelektrik cihazlardır. Uygun bir elektrik akımında ısıtma veya soğutma yapabilirler. Isı cihazın bir yüzeyi tarafından emilir ve diğer yüzeyinden atılır. Böylece birinci yüzey soğurken ikinci yüzey ısınır (Peltier Effect Heat Pumps 1988).

Şekil F.1. Bir Peltier Elemanının Yapısı

Peltier Etkisi, ilk olarak 1834'te Fransız fizikçi Jean Charles Athanese Peltier tarafından ortaya atılmıştır. Bu etki, elektrik akımı, birbirine iki eklem ile bağlanmış farklı iki malzemenin içinden geçirildiğinde ortaya çıkar. Malzemeler arasındaki eklemlerden biri ısınırken diğeri soğur. Peltierin bir yüzeyinden diğeryüzeyine, miktarı uygulanan elektrikle belirlenen bir ısı transferi olur. Bu transfer, diğeryüzeyi suyun donma sıcaklığının çok altına düşürebilir. Peltierin temel yapısı Şekil F.2 ile temsil edilebilir.



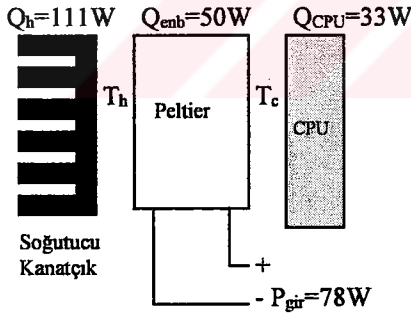
Şekil F.2. Temel Peltier Birimi

A ve B iki farklı iletken malzemedir. Peltier etkisinin oluşabilmesi için farklı elektron yoğunluklarına sahip olmaları gerekir. Elektriksel iletken bir malzeme ile birbirlerine bağlandıklarında, serbest elektronlar arasında yeni bir denge kurulmuş

olacaktır. Potansiyel elektron göçü, elektrik alanı meydana getirir. Peltier birimi içinde akım akmaya zorlandıkça, elektronlar dengeyi yeniden kurabilmek için bir bağlantıdan enerji soğururken diğer bağlantıdan enerjiyi serbest bırakırlar. Örneğin elektronlar, elektron yönünden fakir olan P tipi malzemeden, elektron fazlalığı olan N tipi malzemelere geçerken bağlantıdan enerji alırlar. N'den P'ye geçerken bağlantıda enerji bırakırlar. Bu enerji ısı şeklinde alınır verilir ve N'den P'ye geçişin olduğu bağlantı giderek soğur.

### F.1.1. Peltier iki yüzeyindeki ısı dirençlerin ısı pompalama gücüne etkisi

Peltierlerin soğutma veya ısıtma güçleri Watt olarak verilir. Şekil F.3'te görüldüğü gibi soğutulmak istenen bir ısı kaynağı ve peltier birlikte bir toplam ısı yükü oluşturmaktadır. Bağlıntıların daha kolay anlaşılabilmesi için örnek olarak sayısal değerler verilmiştir. Örneğimizde ısı kaynağı, 33 W'lık ısı veren bir CPU'dur. Peltier, birim zamanda 50W'lık ısıyı bir yüzeyden diğer yüzeye aktarabilmektedir. Verimi yaklaşık olarak % 55 ile %65 arasındadır. Bunun için peltierin girişine yaklaşık 78W (14 V-5.6 A) bir güç uygulanması gerekir. Böylece, yüksüz durumdayken iki yüzey arasında 67<sup>0</sup>C'lik bir sıcaklık farkı meydana gelir.



Şekil F.3. Peltier ile Isı Uygulama Örneği

Peltierlere ait değerler,  $Q_{emb}$ ,  $V_{emb}$ ,  $I_{emb}$  ve  $\Delta T_{emb}$  olmak üzere dört tanedir ve değerleri üretici tarafından belirlenir (www.tellurex.com, 2001). Burada;

$Q_{emb}$  : Peltierin bir yüzeyinden diğer yüzeyine aktarabileceği en büyük ısı yüküdür.

$V_{emb}$  : Peltiere verilebilecek en büyük gerilimdir.

$I_{emb}$  : Peltiere verilebilecek en büyük akımdır.

$\Delta T_{emb}$  : Yüksüzken iki yüzey arasındaki en büyük sıcaklık farkıdır.

Isı, güç ve sıcaklık bağıntıları F.1, F.2, F.3 ve F.4 denklemleri ile verilmiştir;

$$T_h = T_\infty + R_k Q_h \quad (\text{F.1})$$

$$Q_h = P_{\text{gir}} + Q_C \quad (\text{F.2})$$

$$\Delta T = T_h - T_c \quad (\text{F.3})$$

$$\Delta T = \left( 1 - \left( \frac{Q_C}{Q_{\text{enb}}} \right) \right) \Delta T_{\text{enb}} \quad (\text{F.4})$$

Burada

$T_h$  : Peltier'in sıcak yüzeyinin sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_c$  : Peltier'in soğuk yüzeyinin sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_\infty$  : Ortam sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$R_k$  : Soğutucu kanatçığın ısıl direnci ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )

$Q_h$  : Soğutucu kanatçığın toplam yükü

$P_{\text{gir}}$  : Peltierin giriş gücü (W)

$Q_C$  : Peltierin Yüzeyler Arasında Birim Zamanda Aktardığı Isı Miktarı (W)

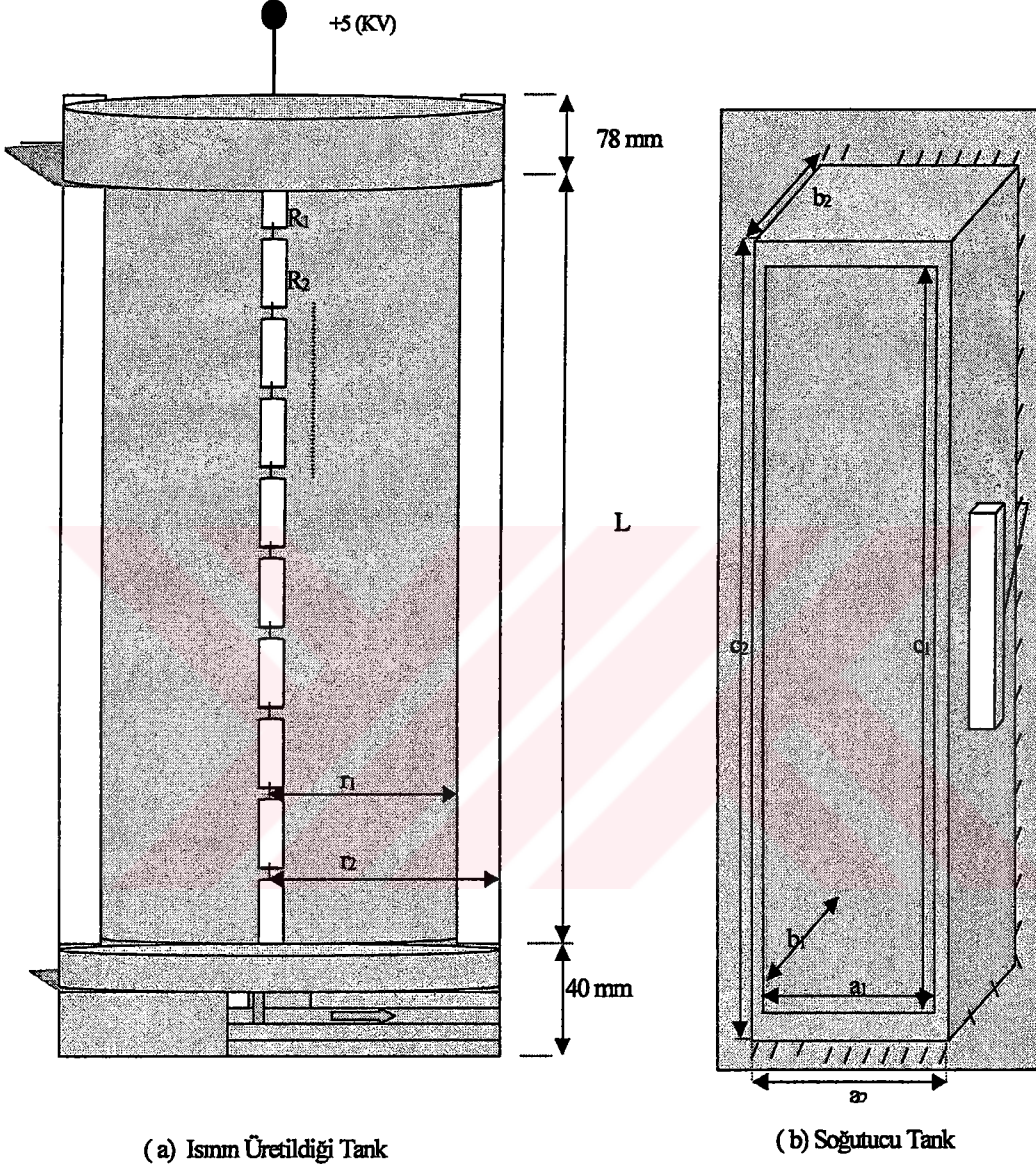
$\Delta T$  : Peltierin soğuk yüzeyi ile sıcak yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_h$ , aynı zamanda soğutucu kanatçığın sıcaklığıdır ve sistemin soğutma başarımını etkileyen en kritik etkendir. Ortam sıcaklığı  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $P_{\text{gir}} = 67\text{W}$ ,  $Q_C = 33\text{W}$  ve soğutucu kanatçığın ısıl direnci  $0.5^{\circ}\text{C}/\text{W}$  olduğu kabul edilirse,  $T_h$  bağıntısının bütün terimleri yerine konulduğunda;

$$T_h = 25 + (0.5) (67 + 33) = 75^{\circ}\text{C}$$

bulunur. Bu durumda soğutucu kanatçığın sıcaklığı  $75^{\circ}\text{C}$  olacaktır. Bu değer, ısının sıcak yüzeyde biriktiğini ve yüzeyden yeterince atılmadığını, dolayısıyla soğuk yüzeyin de sıcaklığının artacağını ifade eder.

## F.2. Sıcaklık Denetimli 5 kV YG Bölücü Sisteminin Fiziksel Özellikleri



Şekil F.4. Sıcaklık Denetim Düzenineğinin Boyutları

Sıcaklık denetimli gerilim bölücü sisteminin modellenebilmesi için fiziksel özelliklerinin bilinmesi gerekir. Sistemin boyutları ve sisteme ait gerekli diğer bilgiler sırasıyla Şekil.F.4.'te ve Tablo F.1, Tablo F.2, Tablo F.3, Tablo F.4, Tablo F.5, Tablo F.6'da verilmiştir.

**Tablo F.1. Dirençlerin Özellikleri**

<b>Boyutları</b>	<b>Birim</b>	<b>Termofiziksel Özellikleri</b>	<b>Birim</b>
Bir Direncin Yarıçapı ( $r_{\text{direnç}}$ ) = $6 \cdot 10^{-3}$	m	Dirençler ısı geçirenliği yüksek bir kılıfla kaplı, sarılmış tel dirençlerdir. Direnç kılıfının ısı geçirenliği ( $k_d=99.2$ )	J/mKs
Bir Direncin Yüksekliği ( $L_{\text{direnç}}$ )=0.06	m	Direnç kılıfının Özgül Isısı ( $c_d$ ) = 835	J/kg.K
		Direnç kılıfının yoğunluğu ( $\rho_p$ ) =2225	kg/m <sup>3</sup>

**Tablo F.2. Isının Üretildiği Silindir Tankın Özellikleri**

<b>Boyutları</b>	<b>Birim</b>	<b>Termofiziksel Özellikleri</b>	<b>Birim</b>
Isı üretilen tankın İç Yarıçapı ( $r_1$ ) = 0.096	m	Polyemit'in Isıl Geçirenliği ( $k_p$ ) = 0.62	J/mKs
Isı Üretilen Tankın Dış Yarıçap ( $r_2$ ) = 0.126	m	Polyemit'in Özgül Isısı ( $c_p$ ) = 520.8	J/kg.K
Isı Üretilen Tankın Yüksekliği ( $L$ ) = 0.270	m	Polyemit'in yoğunluğu ( $\rho_p$ ) =1078	kg/m <sup>3</sup>

**Tablo F.3. Soğutma Tankının Özellikleri**

<b>Boyutları</b>	<b>Birim</b>	<b>Termofiziksel Özellikleri</b>	<b>Birim</b>
Tankın İç Eni ( $a_1$ ) = 0.096	m	Alüminyumun Isıl Geçirenliği ( $k_a$ )=237	J/mKs
Tankın Dış Eni ( $a_2$ ) = 0.100			
Tankın İç Genişliği ( $b_1$ ) = 0.056	m	Alüminyumun Özgül Isısı ( $c_a$ ) = 903	J/kg.K
Tankın Dış Genişliği ( $b_2$ ) = 0.060			
Tankın İç Yüksekliği ( $c_1$ ) = 0.376	m	Alüminyumun Yoğunluğu ( $\rho_a$ ) = 2702	kg/m <sup>3</sup>
Tankın Dış Genişliği ( $c_2$ ) = 0.380			

**Tablo F.4. Yağın Özellikleri**

<i>Boyutları</i>	<i>Birim</i>	<i>Termofiziksel Özellikleri</i>	<i>Birim</i>
Yağın toplam hacmi her iki tankın iç hacimleri toplamına eşit kabul edilmiştir. İletim borularının hacmi ihmal edilmiştir.		Yağın Isıl Geçirgenliği ( $k_y$ ) = 0.135	J/mKs
		Yağın Özgül Isısı ( $c_y$ ) = 2307	J/kg.K
		Yağın Yoğunluğu ( $\rho_y$ ) = 829	kg/m <sup>3</sup>

**Tablo F.5. Peltierlerin Özellikleri**

<i>Modeli</i>	51.4 W	<i>Sayısı</i>	2 adet
<i>Boyutları</i>	<i>Birim</i>	<i>Termofiziksel Özellikleri</i>	<i>Birim</i>
Bir Peltierin Eni ( $w$ ) = 0.04	m	Yüksüzken İki Yüzey Arası En Büyük Sıcaklık Farkı ( $\Delta T_{emb}$ ) = 67	K
Genişliği ( $l$ ) = 0.04	m	Kullandığı En Büyük Akım ( $I_{emb}$ ) = 6.0	A
Yüksekliği ( $H$ ) = 0.038	m	Kullandığı En Büyük Gerilim ( $V_{emb}$ ) = 15.4	V
Peltierin Giriş Gücü ( $P_{gir}$ )	W	Isı Kapasitesi, Peltierin Soğuk Yüzeyinden Sıcak Yüzeyine Aktarabildiği En Büyük Isı Yüklü ( $Q_{emb}$ ) = 51.4 * 2 peltier için, $Q_{emb} = 2 * 51.4 = 102.8$	W

**Tablo F.6. Soğutma Kanatlarının Özellikleri**

<i>Boyutları</i>	<i>Birim</i>	<i>Termofiziksel Özellikleri</i>	<i>Birim</i>
Kanat Tabanının Eni ( $a_k$ ) = 0.077	m	Alüminyumun Isıl Geçirgenliği ( $k_a$ ) = 237	J/mKs
Kanat Tabanının Boyu ( $b_k$ ) = 0.126	m	Alüminyumun Özgül Isısı ( $c_a$ ) = 903	J/kg.K
Kanat Tabanının Yüksekliği ( $c_k$ ) = 0.010	m	Alüminyumun Yoğunluğu ( $\rho_a$ ) = 2702	kg/m <sup>3</sup>
Her Bir Kanatçığın Boyu ( $L_k$ ) = 0.030	m	Kanadın Kütlesi ( $m_k$ ) = 0.190	kg
Her Bir Kanatçığın Eni ( $w_k = b_k$ ) = 0.126	m		
Her Bir Kanatçığın Genişliği ( $t$ ) = 0.002	m		

### F.2.1. Yüzey alanların hesaplanması :

- Her bir direncin yanal alanı;

$$A_{direnc} = 2\pi r_{direnc} * L_{direnc} \quad (F.5)$$

bağıntısından

$$A_{direnc} = 2\pi * 6 * 10^{-3} * 6 * 10^{-2} \cong 226 * 10^{-5} m^2 \text{ olarak bulunur.}$$

- Aynı boyutlu 9 direnc ve küçük boyutlu iki çıkış direncini özdeş 10 direnc olarak kabul edersek dirençlerin toplam yanal alanı;

$$A_{TD} = 10 * A_{direnc} = 226 * 10^{-4} m^2 \text{ olarak bulunur.}$$

- Isı üretilen tankın iç ve dış yanal alanları denklem F.6'da görüldüğü gibidir;

$$A_1 = 2\pi r_1 L \quad \text{ve} \quad A_2 = 2\pi r_2 L \quad (F.6)$$

Buradan

$$A_1 = 2\pi * 0.096 * 0.4 \cong 0,241 m^2 \quad \text{ve} \quad A_2 = 2\pi * 0.126 * 0.4 \cong 0,316 m^2$$

bulunur.

- Soğutma tankının iç yüzeyinin alanı;

$$A_3 = 2 * (a_1 * b_1 + a_1 * c_1 + b_1 * c_1) \quad (F.7)$$

Buradan

$$A_3 = 2 * (0.096 * 0.056 + 0.096 * 0.376 + 0.056 * 0.0376) = 0,0912 m^2 \text{ bulunur.}$$

- Peltierin soğutma tankının dış yüzeyiyle temas ettiği alan;

$$A_4 = w * l \quad (F.8)$$

Buradan

$$A_4 = 0,04 * 0,04 = 0,0016 m^2 \text{ bulunur.}$$

## F.2.2. Hacimlerin hesaplanması :

- Her bir direncin hacmi;

$$V_{direnç} = \pi r_{direnç}^2 L_{direnç} \quad (F.9)$$

$$V_{direnç} = \pi * (6 * 10^{-3})^2 * 6 * 10^{-2} = 6,785 * 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ 'tür.}$$

Dirençlerin toplam hacmi;

$$V_{TD} = 10 * V_{direnç} = 10 * 6,785 * 10^{-6} = 6,785 * 10^{-5} \text{ m}^3 \text{ 'tür.}$$

- Isı üretilen tankın polyemit gövdesinin hacmi;

$$V_{ps} \cong L\pi(r_2^2 - r_1^2) + (78 + 40) * \pi r_2^2 \quad (F.10)$$

$$V_{ps} \cong 0.270 * \pi * ((0.126)^2 - (0.096)^2) + (118) * \pi * 126^2 = 9,852 * 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ olarak bulunur.}$$

- Isı üretilen tankta bulunan yağın hacmi;

$$V_{sy} \cong L\pi(r_1^2) - V_{TD} \quad (F.11)$$

$$V_{sy} \cong 0.270 * \pi * (0.096^2) - 6,785 * 10^{-5} \cong 0,01158117 - 6,785 * 10^{-5} \cong 0,01151332 \text{ m}^3 \text{ 'tür.}$$

- Soğutma Tankında bulunan yağın hacmi;

$$V_{sty} = a_1 * b_1 * c_1 \text{ 'dir} \quad (F.12)$$

$$V_{sty} = 0.096 * 0.056 * 0.376 = 0,00212889 \text{ m}^3 \text{ bulunur.}$$

- Alüminyum Soğutma Tankının hacmi;

$$V_{st} = a_2 * b_2 * c_2 - V_{sty} \text{ 'dir} \quad (F.13)$$

$$V_{st} = 0.100 * 0.060 * 0.380 - 0,002128896 = 0,0002711 \text{ m}^3 \text{ bulunur.}$$



### F.2.3. Kütlelerin hesaplanması :

- Her bir direncin kütlesi;

$$M_d = \rho_d V_{direnç} \quad (F.14)$$

$$M_d = 2225 * 6,785 * 10^{-6} = 0,015096625 \text{ kg}$$

bulunur. Dirençlerin toplam kütlesi;

$$M_{TD} = 10 * M_d = 10 * 0,015096625 = 0,15096625 \text{ kg 'dır.}$$

- Denklem F.14'ten yararlanarak ısı üretilen tankın polyemit gövdesinin kütlesi;

$$M_{ps} = \rho_p V_{ps} = 1078 * 9,852 * 10^{-4} = 1,0620456 \text{ kg bulunur.}$$

- Benzer şekilde ısı üretilen tankta bulunan yağın kütlesi;

$$M_{sy} = \rho_y V_{sy} = 829 * 0,01151332 = 9,54454228 \text{ kg bulunur.}$$

- Soğutma Tankında bulunan yağın kütlesi;

$$M_{sty} = \rho_y V_{sty} = 829 * 0,002128896 = 1,764854784 \text{ kg bulunur.}$$

- Alüminyum Soğutma Tankının kütlesi;

$$M_{st} = \rho_a V_{st} = 2702 * 0,000271104 = 0,732523 \text{ kg bulunur.}$$

- Kanatların Toplam kütlesi;

$$m_k = 3 * 0,190 = 0,57 \text{ kg bulunur.}$$

#### F.2.4. Isıl kapasitelerin hesaplanması :

- Dirençlerin ısı kapasitesi;

$$C_d = \frac{\Delta Q}{\Delta T} = c_d M_d \quad (\text{F.15})$$

$$C_d = 835 * 0,0150966256 = 12,606 \text{ J/K} \quad \text{bulunur.}$$

ve dirençlerin toplam ısı kapasitesi;

$$C_{TD} = 10 * 12,606 = 126,06 \text{ J/K 'dir.}$$

- Benzer şekilde ısı üretilen tankın polyemit gövdesinin ısı kapasitesi denklem F.15'deki bağıntıdan yararlanarak;

$$C_{ps} = c_p M_{ps} = 520.8 * 1,0620456 = 553,113 \text{ J/K} \quad \text{olarak bulunur.}$$

- Isı üretilen tankta bulunan yağın ısı kapasitesi;

$$C_{sy} = c_y M_{sy} = 2307 * 9,54454228 \cong 22019,26 \text{ J/K} \quad \text{olarak bulunur.}$$

- Soğutma Tankında bulunan yağın ısı kapasitesi;

$$C_{sty} = c_y M_{sty} = 2307 * 1,764854784 \cong 4071,52 \text{ J/K 'dir.}$$

- Alüminyum Soğutma Tankının ısı kapasitesi;

$$C_{st} = c_a M_{st} = 903 * 0,732523 \cong 661,47 \text{ J/K 'dir.}$$

- Kanatların ısı kapasitesi ;

$$C_k = c_a m_k = 903 * 0.57 = 514,71 \text{ J / K} \quad \text{olarak bulunur.}$$

### F.2.5. Isıl eşdeğer dirençlerin hesaplanması :

- Toplam direnç yüzeyi ile akışkan arasında oluşan taşınım direnci;

$$R_1 = \frac{1}{h_1 A_{TD}} \quad (F.16)$$

olarak verilir. Burada;

$h_1 = 100 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  : Akışkanın taşınım katsayısıdır (Incropera and Dewitt 2001).  
Buradan;

$$R_1 = \frac{1}{100 * 226 * 10^{-4}} = 0,44248 \text{ K/W} \quad \text{bulunur.}$$

- Denklem F.16'daki bağıntıya benzer şekilde akışkan ile Isı üretilen tankın iç yüzeyi arasında oluşan taşınım direnci;

$$R_2 = \frac{1}{h_1 A_1} = \frac{1}{100 * 0,241} = 0,0415 \text{ K/W} \quad \text{bulunur.}$$

- $h_2 = 5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  : Havanın taşınım katsayısı olmak üzere ısının üretildiği tankın dış yüzeyi ile hava arasında oluşan taşınım direnci;

$$R_3 = \frac{1}{h_2 A_2} = \frac{1}{5 * 0,251} = 0,797 \text{ K/W} \quad \text{olarak bulunur.}$$

- Soğutucu tankın iç yüzeyi ile akışkan arasında oluşan taşınım direnci;

$$R_4 = \frac{1}{h_1 A_3} = \frac{1}{100 * 0,0912} = 0,1096 \text{ K/W} \quad \text{olarak bulunur.}$$

- Soğutucu tankın dış yüzeyi ile peltierin soğuk yüzeyi arasında oluşan temas direnci;

$$R_{t,c} = \frac{T_{SS} - T_C}{Q_{t,c}} \text{ K/W} \quad (F.17)$$

bağıntısı ile temsil edilir. Temas direnci tahmini için teoriler geliştirilmiş olmakla beraber en güvenilir sonuçlar deneysel olarak elde edilmiş olanlardır. Isıl temas dirençleri ile ilgili sonuçlar ve modellerin geniş incelemesi Snaith, Madhusudana ve Fletcher (Mills 1998) tarafından verilmiştir. Bu sonuçlardan yola çıkarak peltierle soğutucu alüminyum tank arasındaki ısıl temas direnci bulunur. Katı/katı arayüzlerin ısıl dirençleri için oluşturulan tablodan (Mills 1998) en yakın direnç değeri alınmıştır.

Birim Isıl Direnç;

$$R_{t,c}'' = 0.04 * 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W} \text{ 'tır.}$$

Buradan Isıl Direnç;

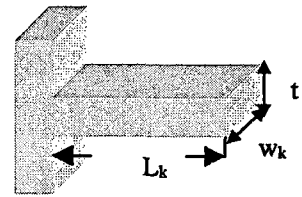
$$R_{t,c} = A_4 * R_{t,c}'' = 0.0016 * 0.04 * 10^{-4} = 6,4 * 10^{-9} \text{ K} / \text{W} \text{ olarak bulunur.}$$

İki peltier kullanıldığı için toplam temas direnci;

$$R_{3t,c} = 2 * R_{t,c} = 1,92 * 10^{-8} \text{ K} / \text{W} \text{ olarak hesaplanır.}$$

- Soğutucu Kanadın dış yüzeyi ile dış ortamdaki hava arasındaki direnç ;

Bunun için genişletilmiş yüzeylerde ısı geçişi hesapları kullanılır. Genişletilmiş yüzeyler tanımı genellikle sınırları içinde iletimle ısı geçişi, sınırları ile çevresi arasında ise taşınım ile ısı geçişi olan bir katı için kullanılır. Taşınım ve iletimin birlikte gerçekleştirildiği bir çok farklı durum olmakla birlikte en sık karşılaşılan uygulamalardan bir katı ve çevresindeki akışkan arasında ısı geçişini arttırmak için kullanılan genişletilmiş yüzeylerdir. Bu tür yüzeylere kanat adı verilir.



**Sekil F.5. Kanadın Boyutları**

Burada kanadın temas yüzeyi;

$$A_f \cong 2 w_k L_c \tag{F.18}$$

olarak verilmiştir.

Buradan,

$$A_f \cong 2 * 0.126 * (0.030 + 0.002 / 2) = 7.8 * 10^{-3} m^2 \quad \text{bulunur.}$$

Ücundan ısı kaybı olan düz dikdörtgen bir kanattan ısı geçişini veren bağıntının kullanımı oldukça zordur.

$$L_c = L_k + (t / 2) \quad (F.19)$$

biçiminde düzeltilmiş kanat yüksekliği tanımları yapılarak, taşınım uçlu gerçek kanattan ısı geçişi ile adyabatik uçlu daha uzun bir kanadın eşdeğer davranış gösterdiği varsayılır. Buradan ;

$$L_c = 0.031 m \quad \text{bulunur.}$$

Kanat verimi ise;

$$\eta_f = \frac{\tanh (m_k L_c)}{m_k L_c} \quad (F.20)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Buradan;

$$\eta_f = \frac{\tanh(0.190 * 0.031)}{0.190 * 0.031} = 0.999 \quad \text{bulunur.}$$

N adet kanatçıktan oluşan kanat dizisinin toplam yüzey verimi;

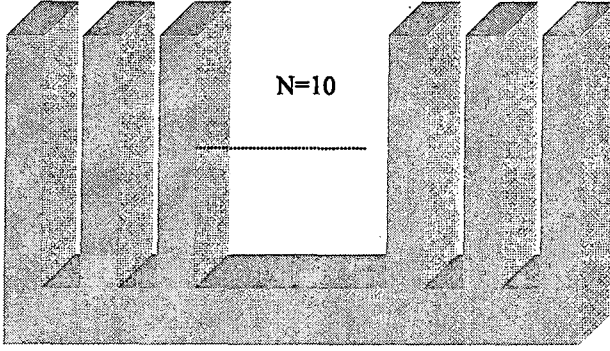
$$\eta_o = 1 - \frac{N A_f}{A_t} (1 - \eta_f) \quad (F.21)$$

ifadesi ile verilir. Burada  $A_t$ , kanatların ve üzerine yerleştikleri yüzeyin (asal yüzey) toplam alanıdır.

$$A_b = 2*(a_k*b_k + a_k*c_k + b_k*c_k) \quad (F.22)$$

Buradan;

$$A_b = 2*(0.077*0.126 + 0.077*0.010 + 0.126*0.010) = 0,023464 \text{ m}^2 \quad \text{bulunur.}$$



Şekil F.6. Toplam Yüzey

2 kanat kullanıldığı için toplam yüzey ;

$$A_t = 2*(N A_f + A_b) = 2*(10*7,8*10^{-3} + 0,023464) = 0,320388 \text{ m}^2 \quad \text{bulunur.}$$

Böylece toplam yüzey verimi;

$$\eta_o = 1 - \frac{10*7,8*10^{-3}}{0,320388} (1 - 0.999) = 0.99927 \quad \text{olarak bulunur.}$$

Kanatların yüzeyine monte edilmiş soğutma fanları ile ısınan hava zorlamalı taşınım ile yüzeyden uzaklaştırıldığı için, havanın taşınım katsayısı  $h_3=25 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 'dir.

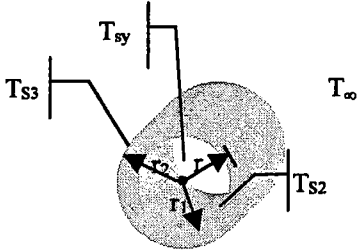
Buradan kanat ısı direnci;

$$R_k = \frac{1}{\eta_o h_3 A_t} = \frac{1}{0.99927 * 25 * 0,320388} = 0.1248 \text{ K/W}$$

bulunur.

- Isı üretilen tankın sıcaklığının bulunması;

Isı üretilen tankın sıcaklığı iç yüzeyden dış yüzeye doğru denklem F.23'de verildiği gibi logaritmik olarak değişmektedir (Şekil F.7).



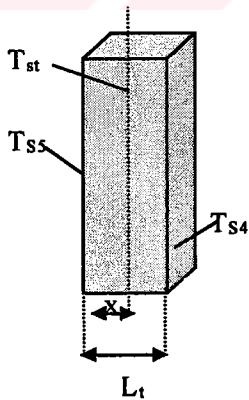
**Şekil F.7.** Silindirik Yapılarda Isı Dağılımı

$$T_p(r) = \frac{T_{S2} - T_{S3}}{\ln(r_1/r_2)} \ln(r/r_2) + T_{S3} \quad (\text{F.23})$$

Isı üretilen tankın iki yüzeyinin tam ortasında sıcaklık;

$$T_p(0.111) = \frac{T_{S2} - T_{S3}}{\ln(0.096/0.126)} \ln(0.111/0.126) + T_{S3} = 0.4948 T_{S2} + 0.5052 T_{S3} \quad \text{olacaktır.}$$

- Alüminyum Soğutma Tankının Sıcaklığının Bulunması;



**Şekil F.8.** Düzlemsel Yapılarda Isı Dağılımı

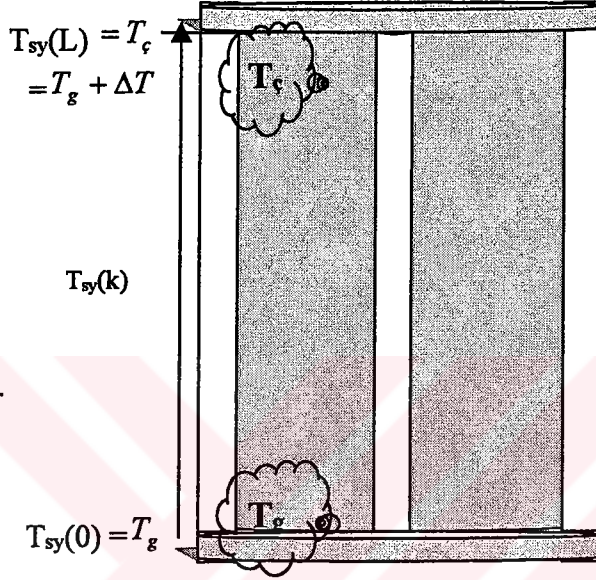
Soğutma tankının sıcaklığı iç yüzeyden dış yüzeye doğru doğrusal olarak değişmektedir.

$$T_{st}(x) = T_{S4} - (T_{S4} - T_{S5}) \frac{x}{L_t} \quad (\text{F.24})$$

İki yüzeyin tam ortasındaki sıcaklık tahmin edileceği gibi;

$$T_{st}(0.002) = T_{S4} - (T_{S4} - T_{S5}) \frac{0.002}{0.004} = \frac{(T_{S4} + T_{S5})}{2} \quad \text{olur.}$$

- Isı Üretilen Tankta Bulunan Yağın Sıcaklığının Hesaplanması;



Şekil F.9. Silindir Tank Boyunca Isı Dağılımı

Soğutma tankının girişi ile çıkışı arasında ortadan tamamen kaldıramadığımız çok küçük bir sıcaklık farkı vardır. Yağın sıcaklığının girişten çıkışa doğru doğrusal olarak değiştiği kabul edilmektedir. Denklem F.24'deki doğrusal değişen ısı denklemini burada da geçerlidir.

$$T_{sy}(k) = T_g + k \frac{(T_f - T_g)}{L} \quad k=[0..L] \quad (F.25)$$

Orta noktadaki sıcaklık ısı üretilen tanktaki yağın ortalama sıcaklığına eşit olmalıdır. Buradan;

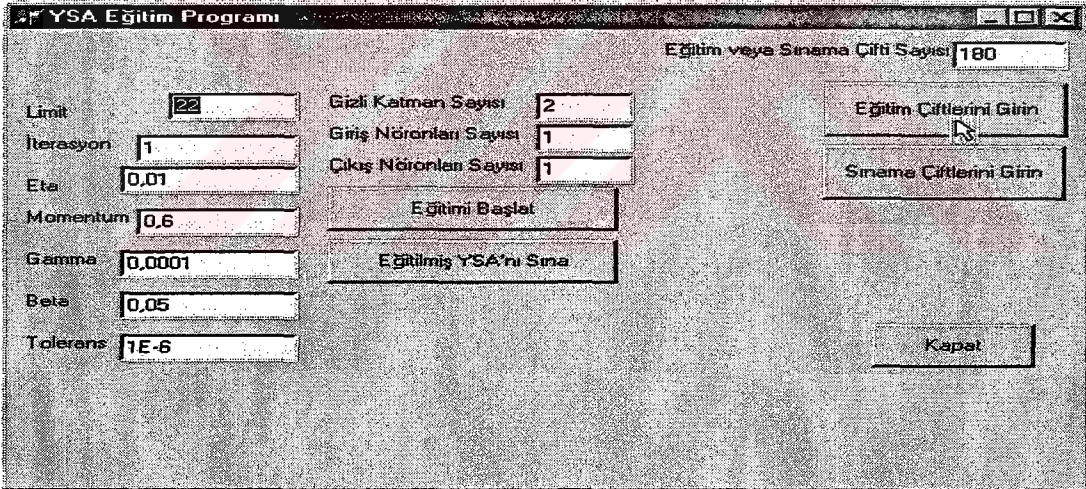
$$T_{sy} \cong T_{sy}(L/2) = T_g + \frac{(T_f - T_g)}{2} = \frac{(T_f + T_g)}{2} \quad \text{bulunur.}$$



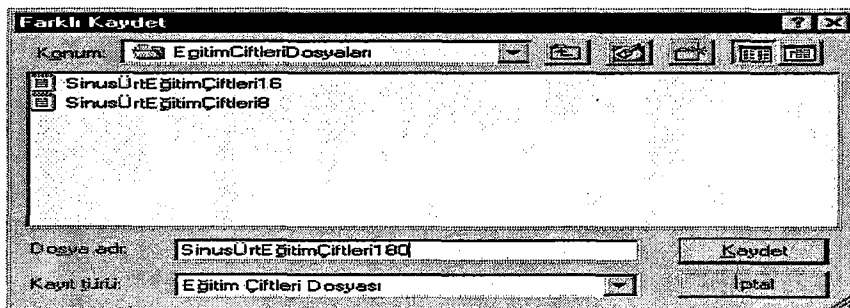
## EK-G YSA EĞİTİM PROGRAMININ TEK GİRİŞLİ TEK ÇIKIŞLI BİR İŞLEVLE SINANMASI

Hazırlanan eğitim programının doğru eğitim yapıp yapmadığını sınavabilmek için öncelikle sonuçları bilinen basit bir işlev ağa öğretilmeye çalışılmış ve sonuçları gözlenmiştir. Böylece tek girişli tek çıkışlı bir örnek üzerinde programdaki eğitim adımları da açıklanmıştır. Örnekte, YSA'na sinüs işlevi öğretilmeye çalışılmıştır. Eğitim çiftleri, sinüs işlevinin girişindeki örnek açılı değerleri ile çıkışında olmasını istediğimiz örnek genlik değerlerinden oluşmaktadır. Eğitim sonunda ağın, verdiğimiz bu örnek eğitim kümesinin dışındaki açılı değerleri için de doğru genlik değerlerini bulması beklenir.

- YSA'nın örnek sinüs işlevi için eğitilmesi
- ✓ Önce "Eğitim Çiftlerini Girin" düğmesi ile ağı eğitecek eğitim çiftlerini oluşturan yordam etkinleştirilir.



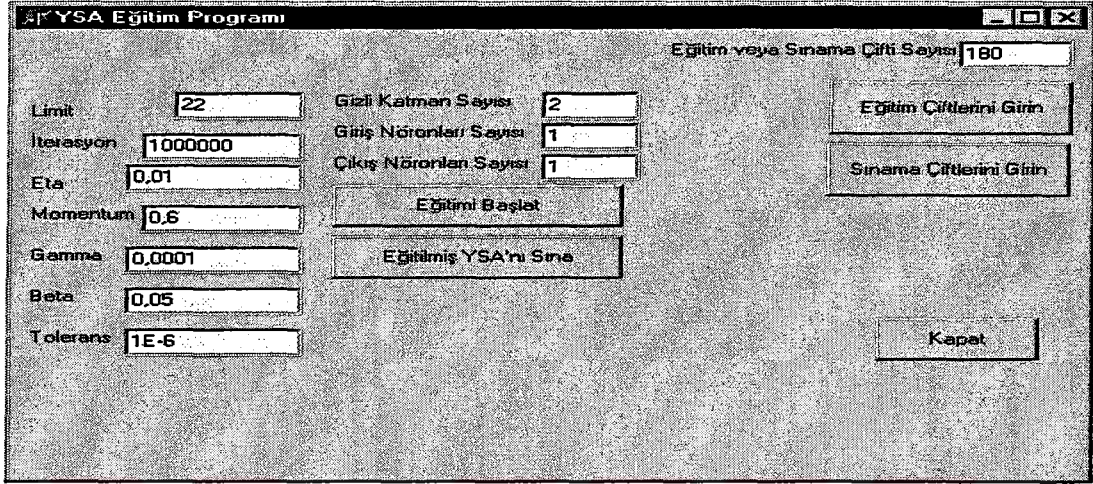
Şekil G.1. Eğitim çiftlerinin oluşturulması



Şekil G.2. Eğitim çiftlerinin oluşturulması ve kaydedilmesi

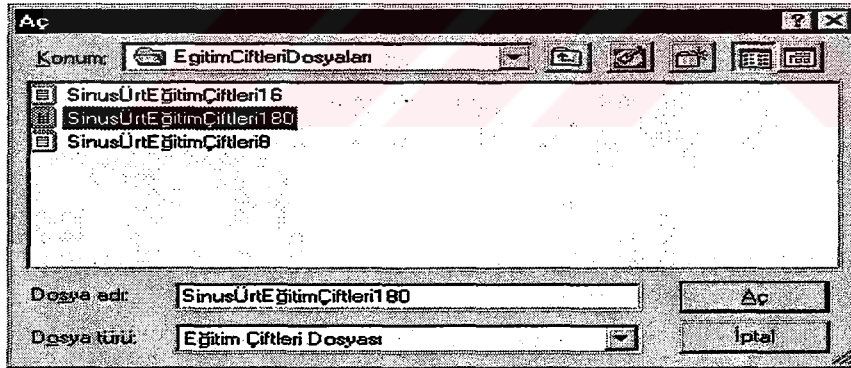
Bu örnek için 0-360 arasında 180 adet örnek eğitim çifti üretilmiş ve kaydedilmiştir.

- ✓ Ağla ilgili yapısal bilgiler Şekil. G.3.'teki menüde görüldüğü gibi programa girilir. Program başlatılır.



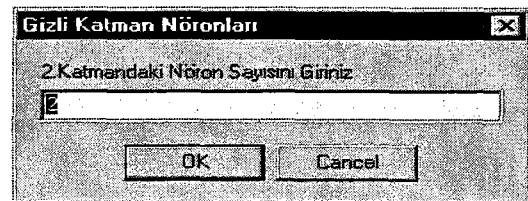
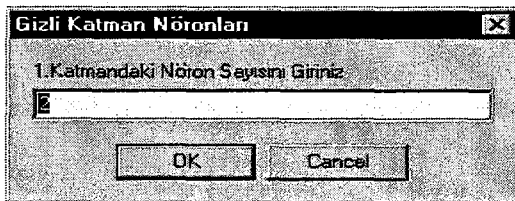
Şekil G.3. YSA Eğitim Programı Ana Menü

- ✓ Eğitimi yapacak eğitim çifti kümesi dosyadan yüklenir.



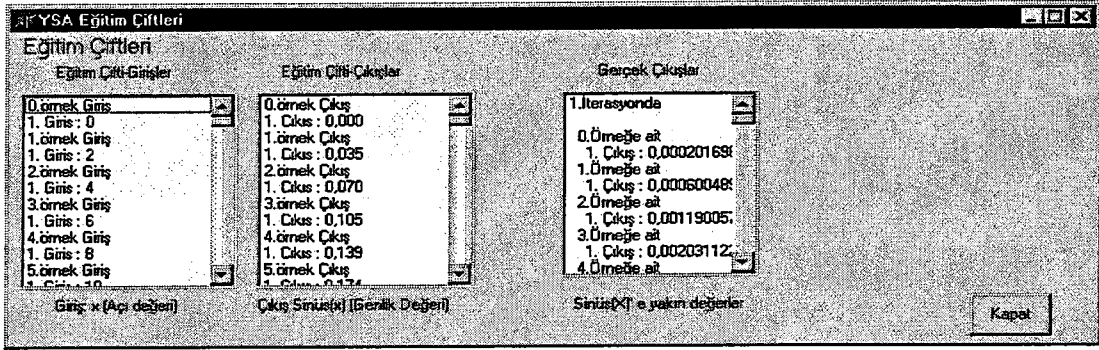
Şekil G.4. Eğitim çiftleri dosyası

- ✓ Gizli katmanlarda kaçar adet nöron olacağı sırayla girilir.



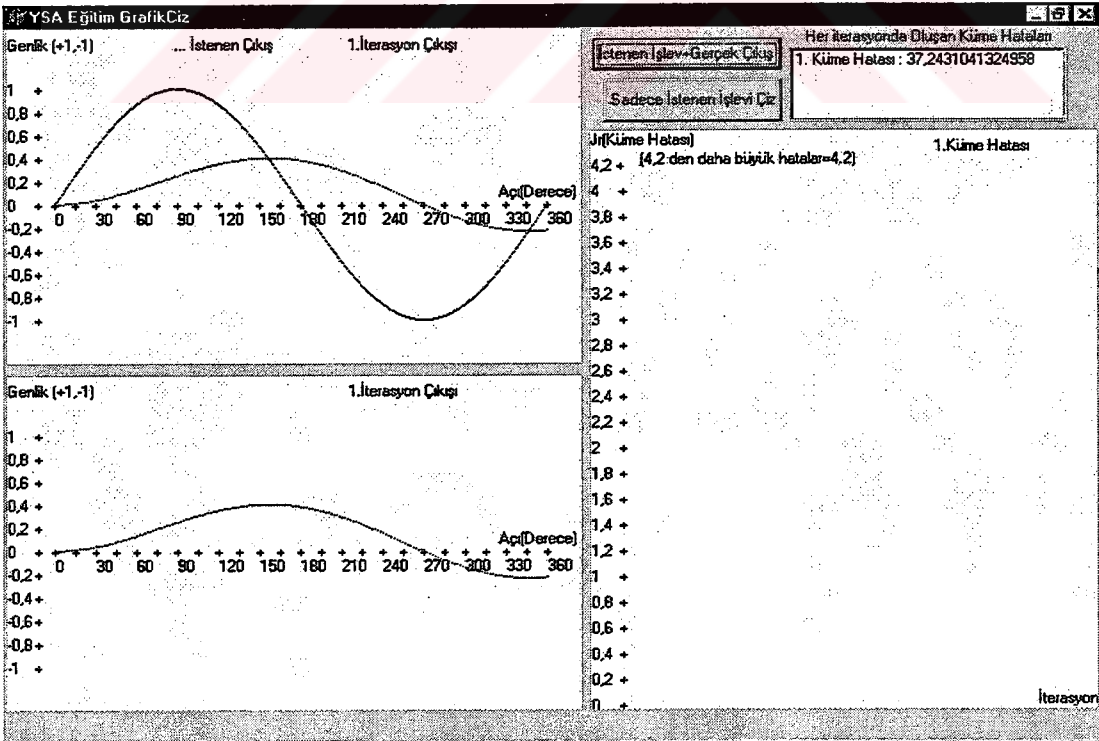
Şekil G.5. Gizli katman nöron sayıları

- ✓ Ağın eğitimi başlatılır. Şekil G.6'da her iterasyon için yapay sinir ağına verilen girişler, üretmesini istediğimiz çıkışlar ve ağın ürettiği gerçek çıkışlar görülmektedir. Aşağıdaki örnekte, ağa sinüs işlevi öğretilmektedir.

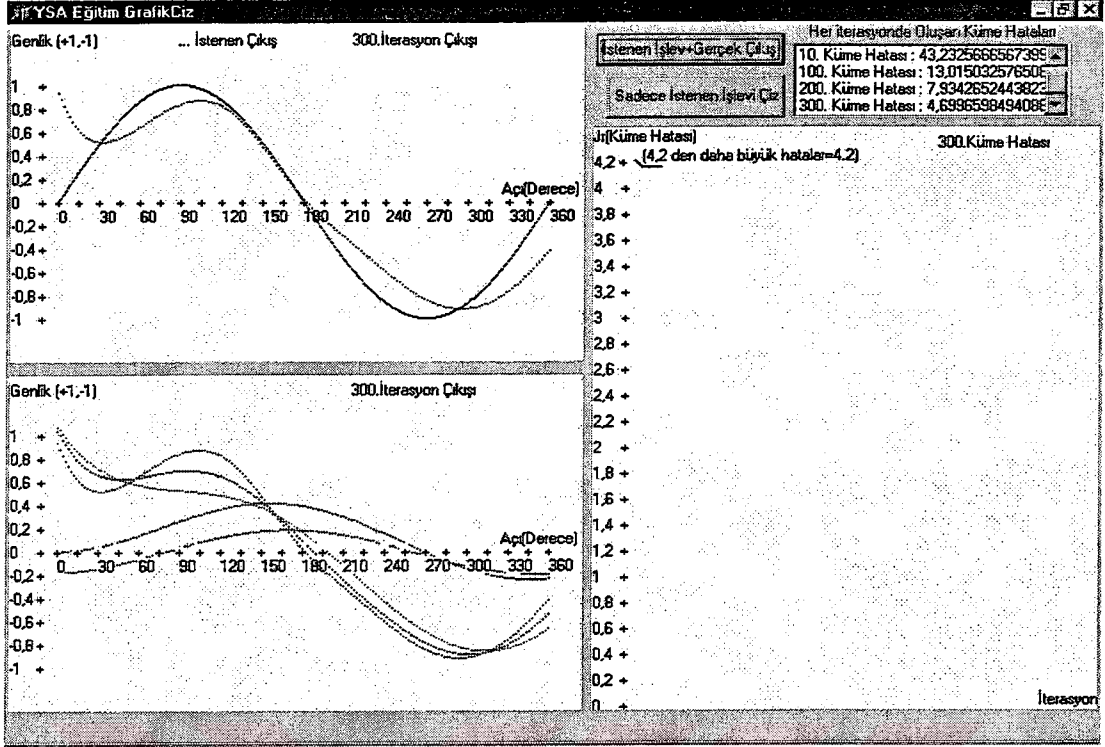


Şekil G.6. YSA'na girilen eğitim çiftleri ve ağın verdiği cevaplar

Şekil G.7'de belirli eğitim adımlarında, ağın cevabının ne şekilde değiştiği görülmektedir. Sol üstteki grafikte, ağın öğrenmesi istenilen işlev, tek başına ya da son eğitimde ağın verdiği gerçek çıkışlarla birlikte çizilir. Sol altta ise gerçek çıkışlar eğitimin belirli adımlarında çizdirilerek ağın cevabındaki iyileşme gözlemlenir.

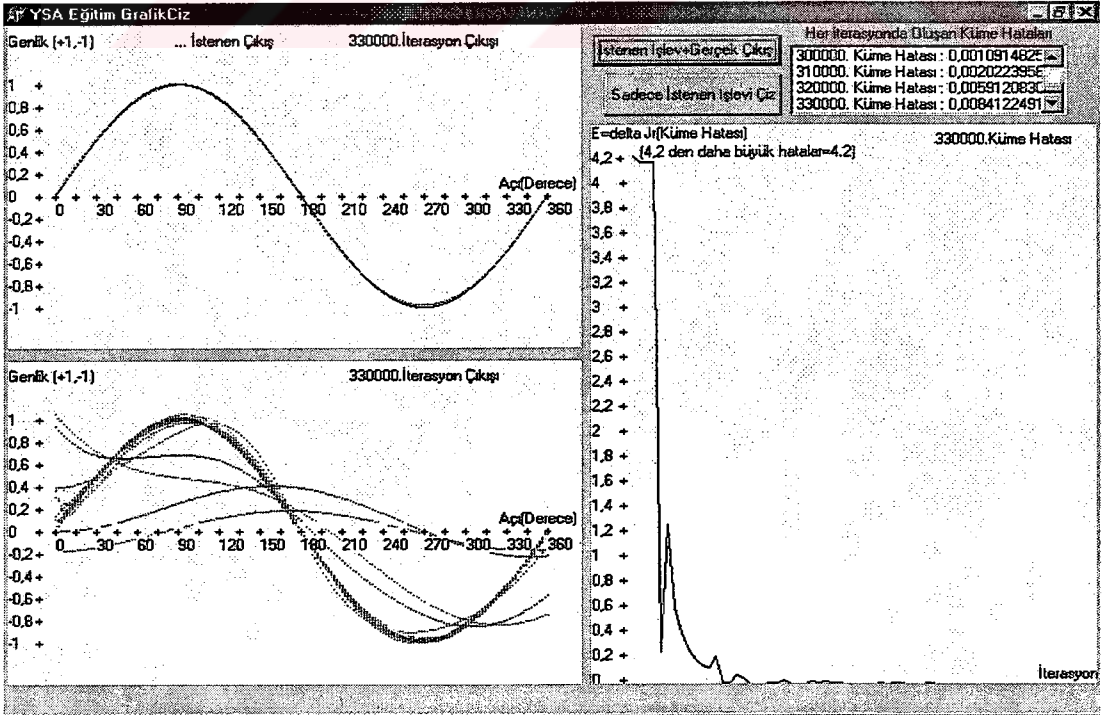


Şekil G.7. YSA eğitim grafikleri

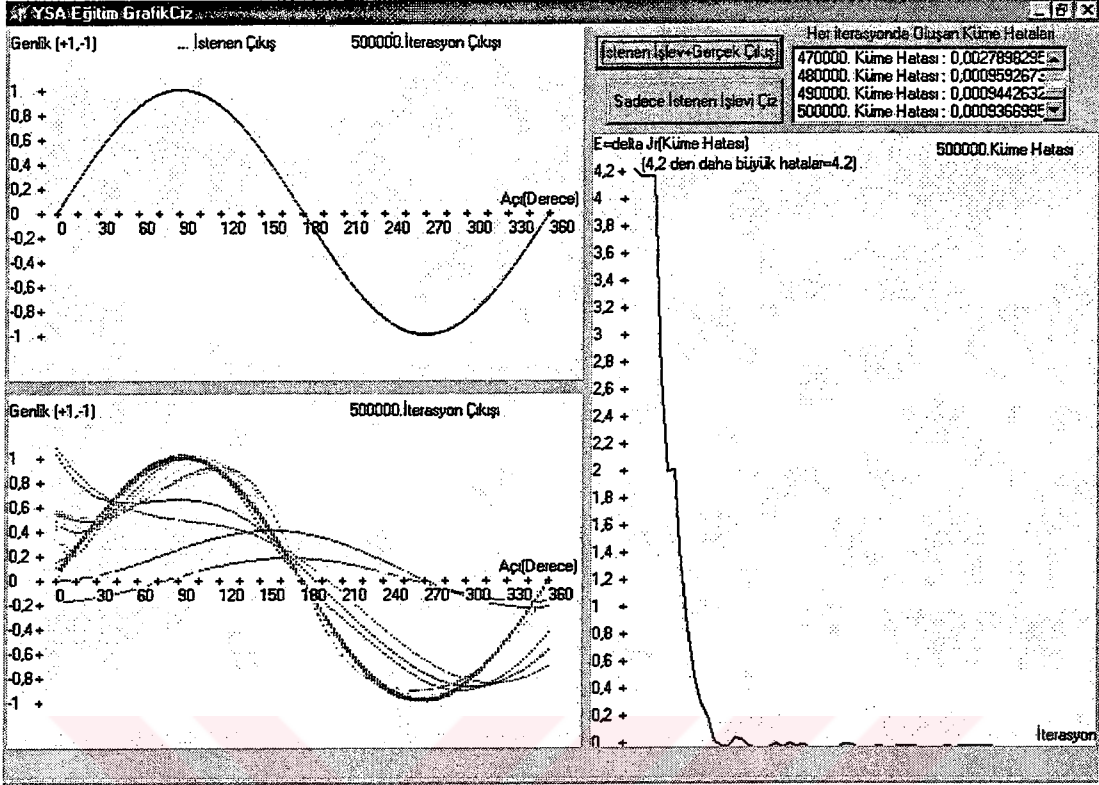


Şekil G.7. (Devam)YSA eğitim grafikleri

Sağ tarafta, küme hatasının her iterasyonda ne kadar değiştiği görülmektedir. Görüldüğü gibi, hata 0'a oldukça yaklaşmaktadır.

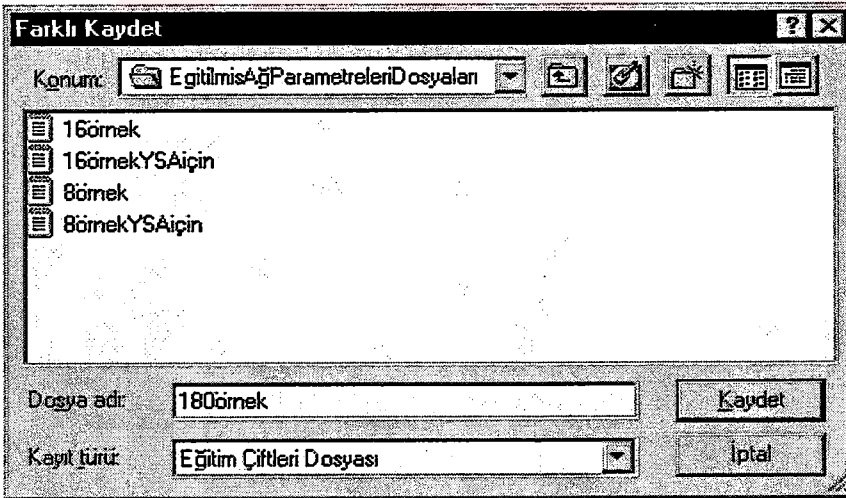


Şekil G.7. (Devam)YSA eğitim grafikleri



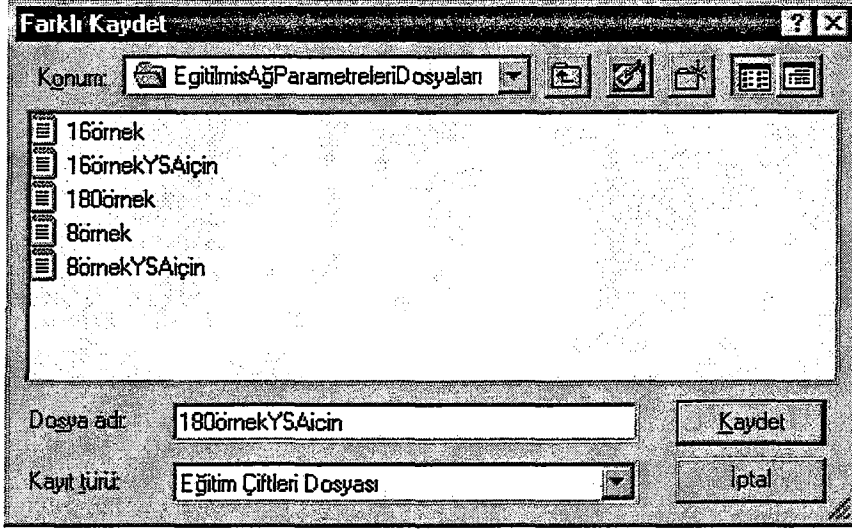
Şekil G.7. (Devam) YSA eğitim grafikleri

Eğitilmiş ağ parametreleri, kullanıcının açtığında rahat biçimde okuyup bilgi alabilmesi için açıklamalı bir rapor şeklinde düzenlenerek bir dosyaya kaydedilir.



Şekil G.8. Eğitilmiş ağ parametrelerinin kaydedilmesi

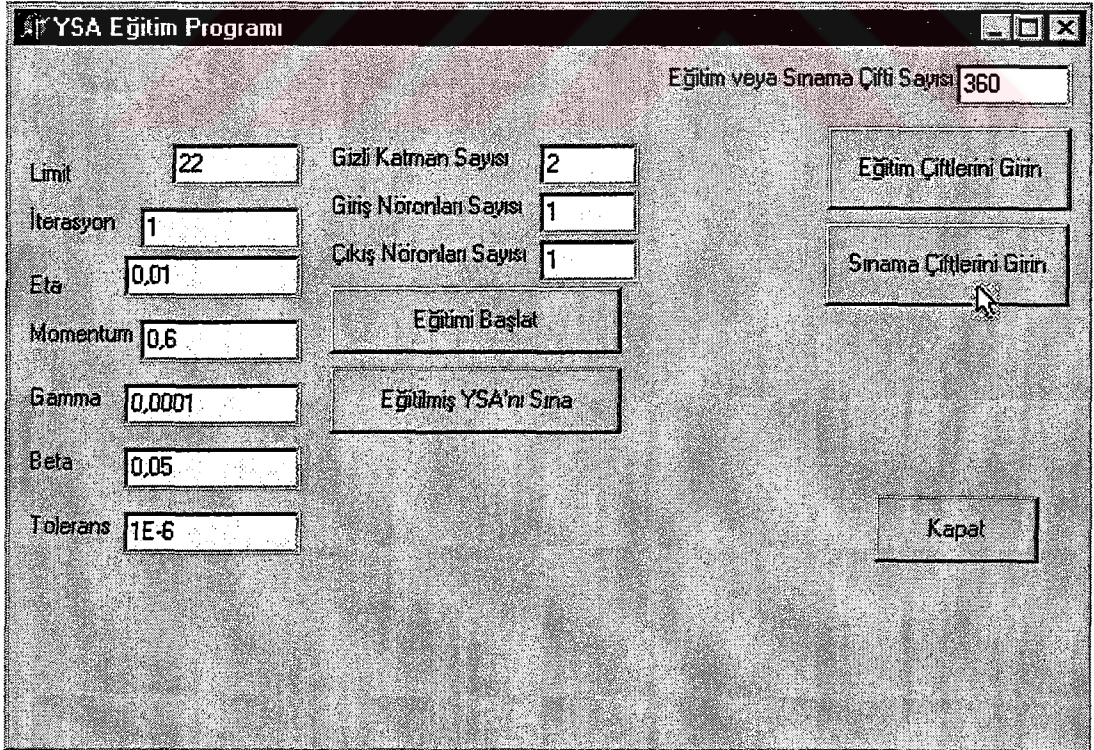
Daha sonra aynı parametreler, YSA denetim programı tarafından yüklenebilecek şekilde sıralı olarak başka bir dosyaya kaydedilir.



Şekil G.9. Eğitilmiş ağ parametrelerinin kaydedilmesi

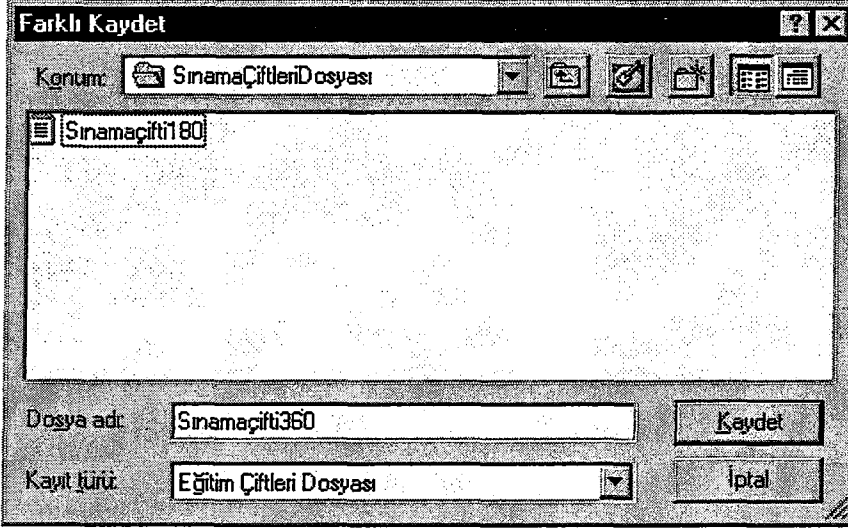
- Eğitilmiş YSA parametrelerinin sınanması

Eğitim sonunda YSA'nın başarımını gözlemlemek için eğitim sırasında kullanılan eğitim çiftleri dışında örneklerin de bulunduğu, sınama çiftleri adını verdiğimiz test verileri ağa girilir.

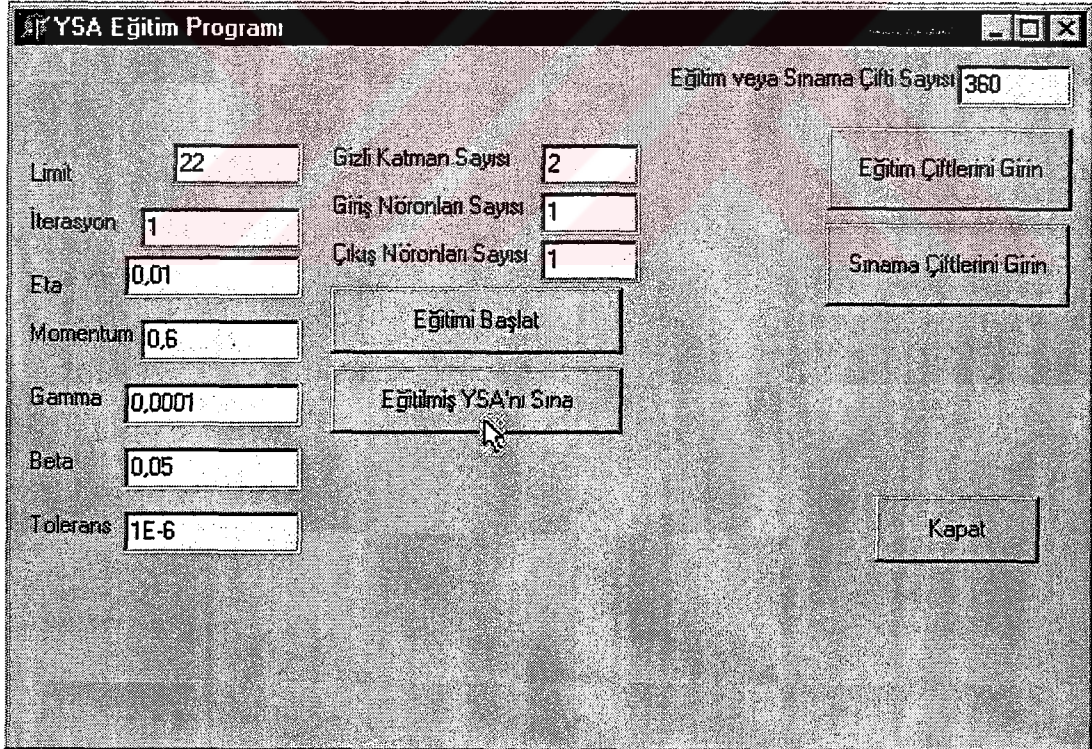


Şekil G.10. Sınama çiftlerinin oluşturulması

Bu veriler önceden oluşturulup bir dosyaya kaydedilir. Bu örnek için 360 adet sınamacı çifti oluşturulmuştur.

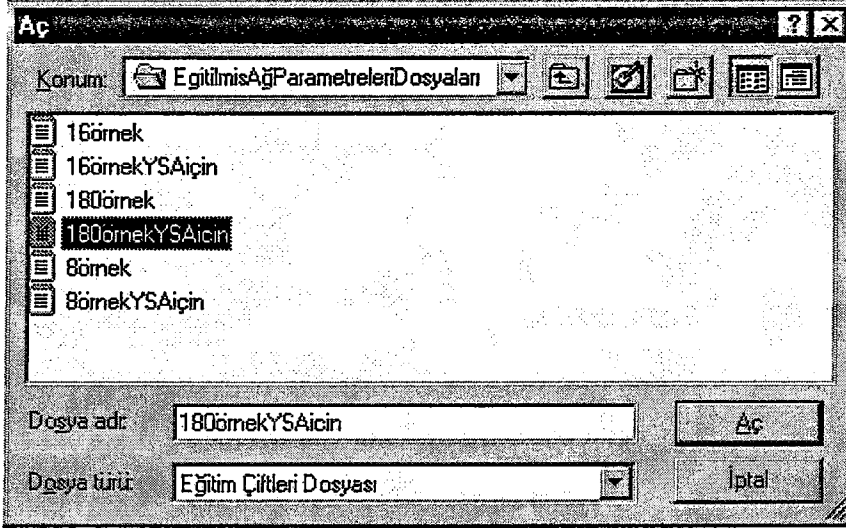


Şekil G.11. Sınama çiftlerinin kaydedilmesi



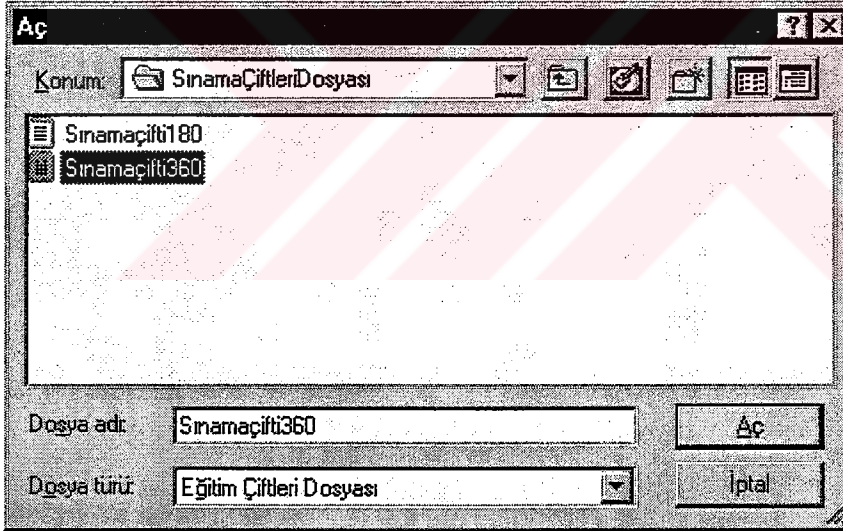
Şekil G.12. Sınama yordamının çalıştırılması

Öncelikle sınanacak YSA, dosyadan yüklenir.



Şekil G.13. Eğitilmiş ağ parametrelerinin yüklenmesi

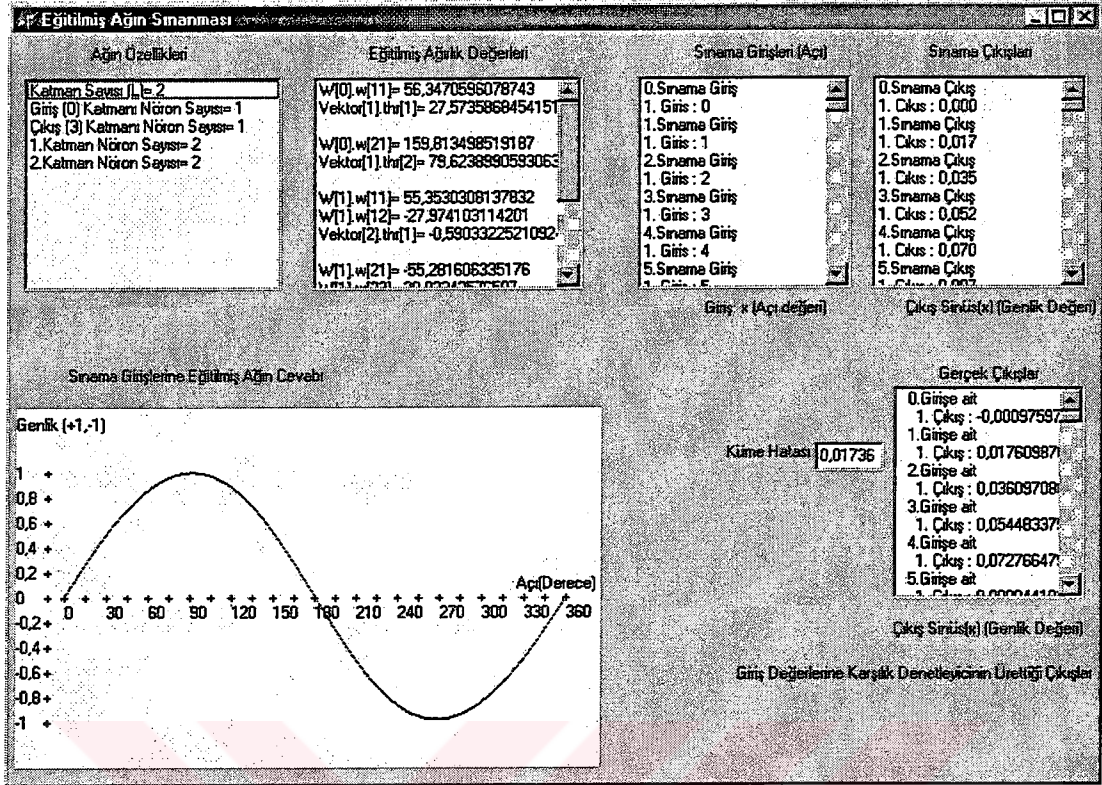
Daha sonra sınama çiftleri yüklenir.



Şekil G.14. Sınama çiftlerinin yüklenmesi

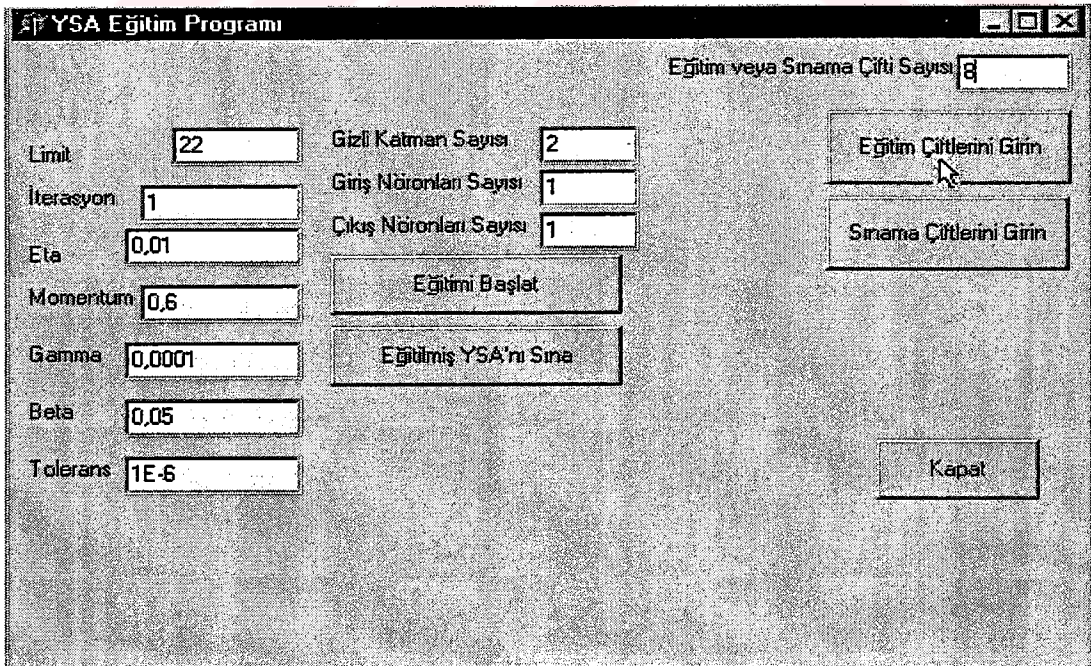
Programın sınama arayüzünde, kullandığımız yapay sinir ağına ait yapısal bilgiler, eğitilmiş parametrelerin değerleri rapor edilir. Sınama girişleri, bu girişlere karşılık olması istenen çıkışlar, ağın gerçek çıkışları ve istenen çıkışlarla gerçek çıkışlar arasındaki toplam küme hatası ekrana yazdırılır. Sınama girişlerine ağın gerçek cevabı grafiksel olarak çizdirilir.





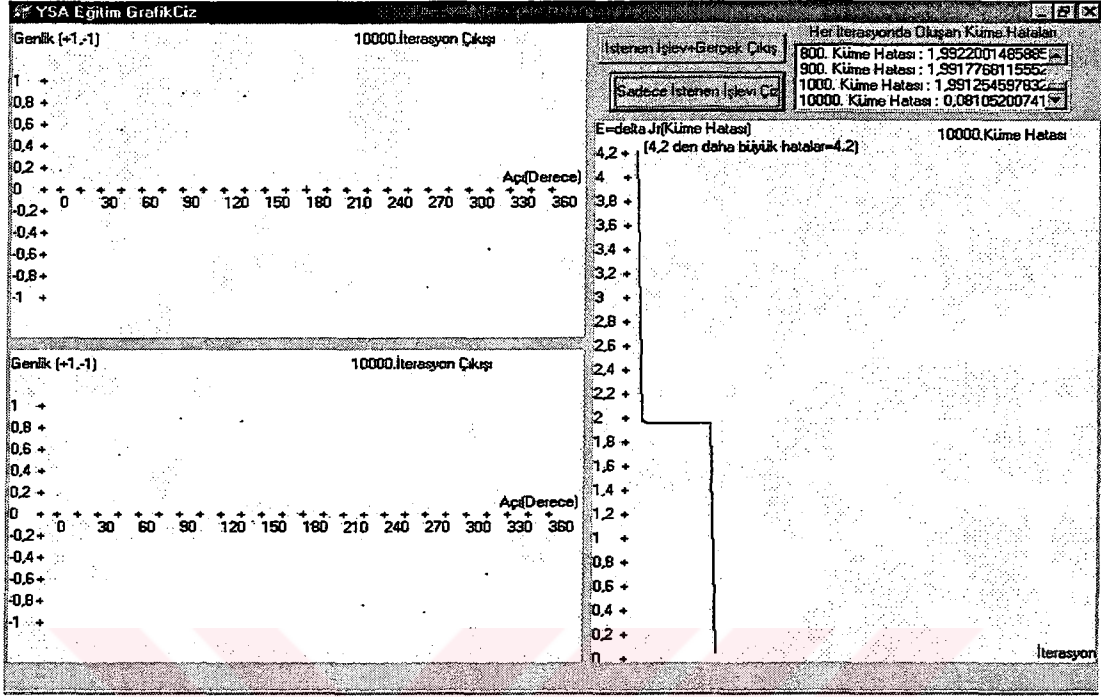
Şekil G.15. Eğitilmiş YSA'nın sınav sonuçları

Benzer bir eğitim ve sınav denemesini elimizde eğiteceğimiz sisteme ait çok daha az sayıda veri olduğunu varsayarak yapılırsa:



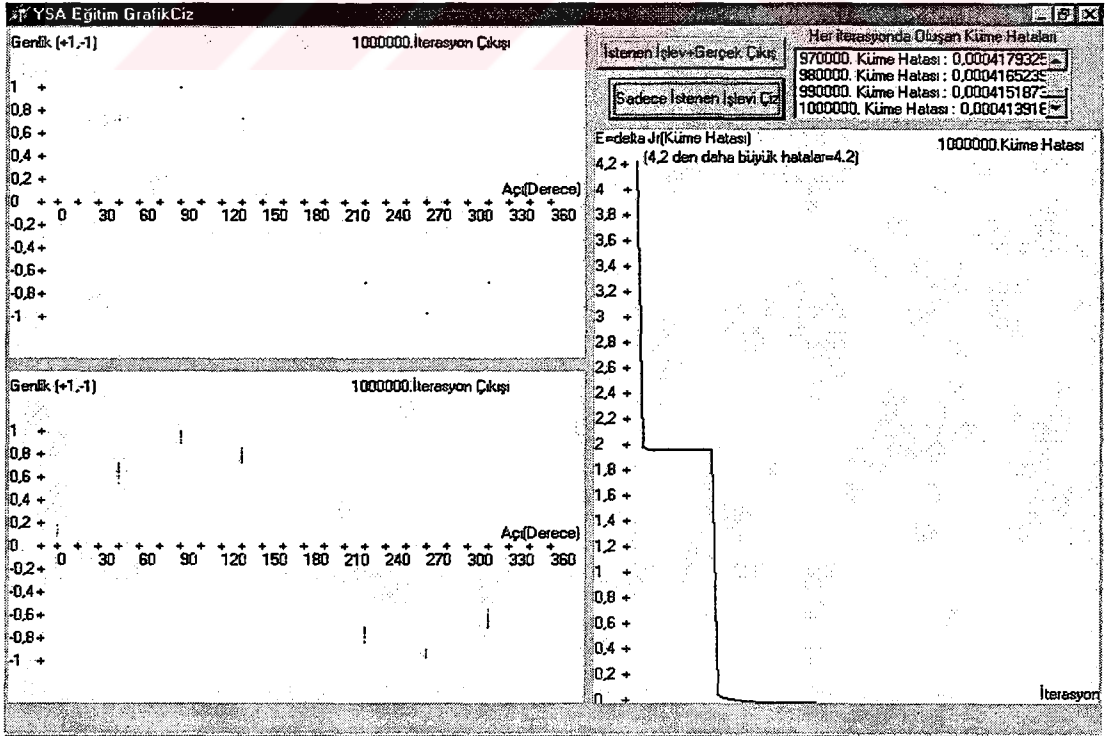
Şekil G.16. 8 örnekten oluşan eğitim çiftlerinin oluşturulması

Benzer şekilde işlevin bildiğimiz 8 noktasına ait açı ve genlik bilgileriyle ağ eğitilir.



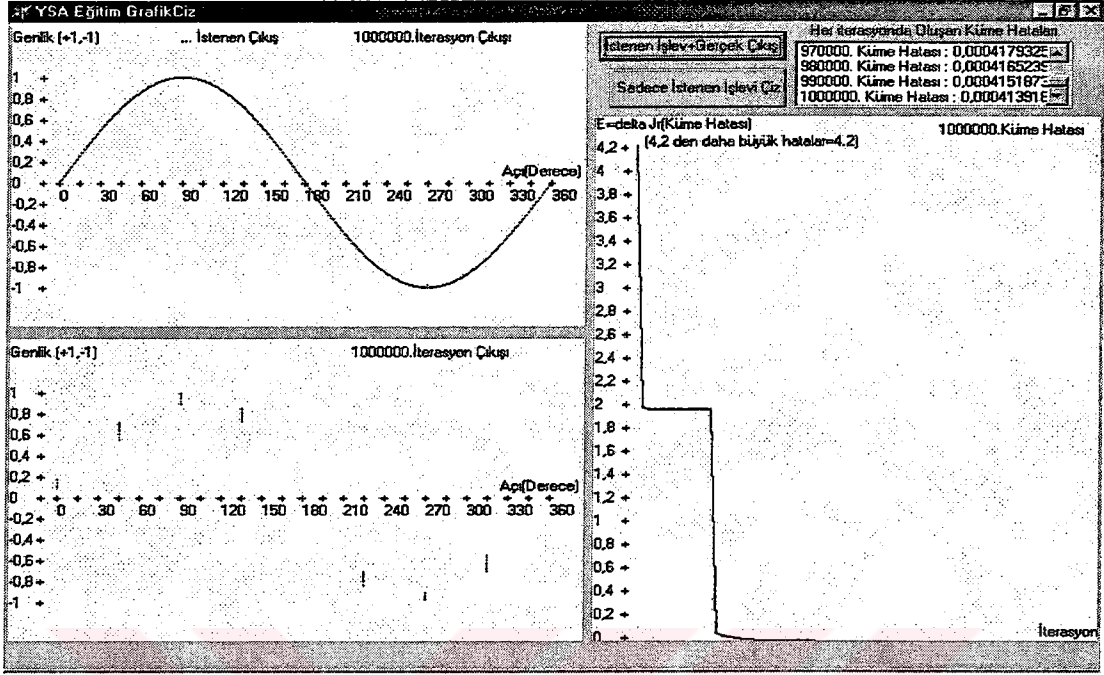
Şekil G.17. 8 örnek ile YSA eğitim adımları

Eğitim sonunda 8 noktanın da istenen konuma geldiği görülmektedir.



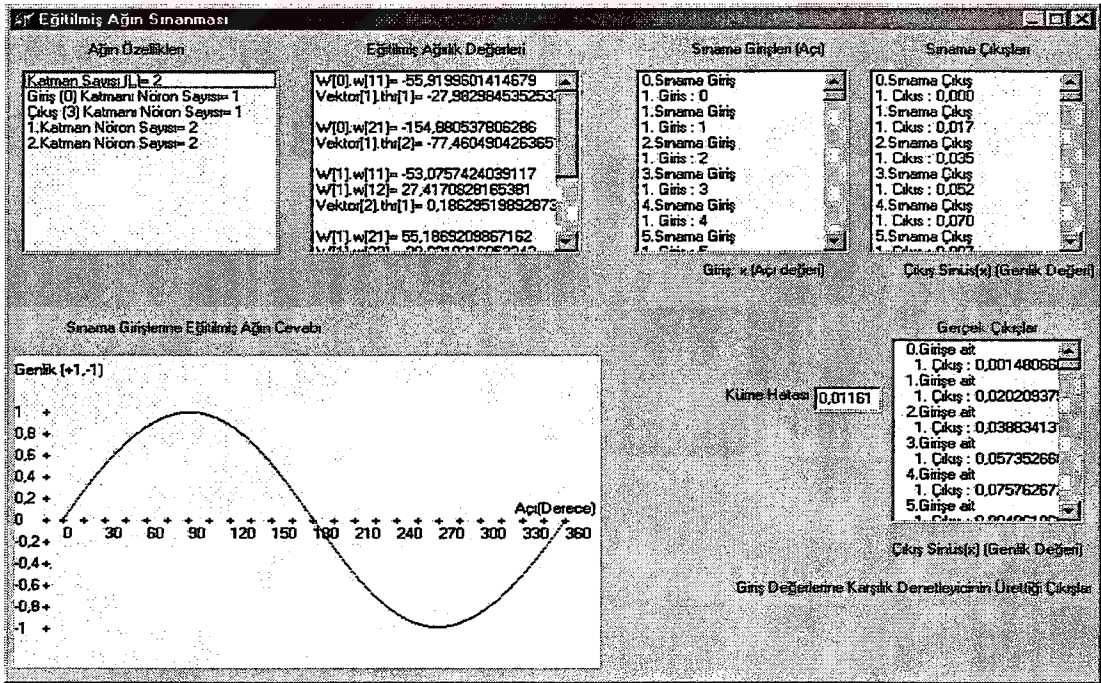
Şekil G.17. (Devam) 8 örnek ile YSA eğitim adımları

İstenen sinüs işlevi aşağıda görüldüğü gibi bu noktalardan geçmektedir.



Şekil G.17. (Devam) 8 örnek ile YSA eğitim adımları

Aşağıdaki şekilde 8 örnekle eğitilmiş ağın 0 ile 360 derece arasındaki sınamaya girişlerine cevabı görülmektedir.



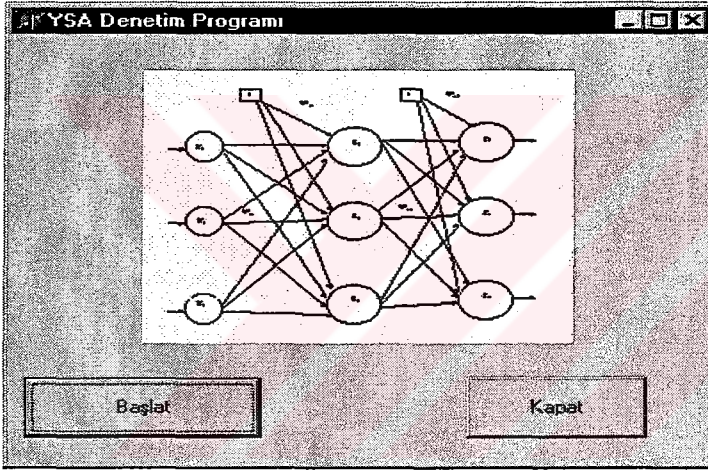
Şekil G.18. Eğitilmiş YSA'nın sınamaya sonuçları

- Uygulama altyordamının oluşturulması

Eğitilmiş ağ parametreleri, uygulama sırasında saklandığı dosyadan yüklenerek denetim amacıyla kullanılır. Denetim sırasında YSA'da geriye doğru bir öğrenme yapılmaz. O anki girişlere ve eğilmiş ağırlıklara göre nöron çıkışları ileri yönde hesaplanır ve denetim çıkışı her iki denetleyici için de bulunur (Bkz. Ek-Ç).

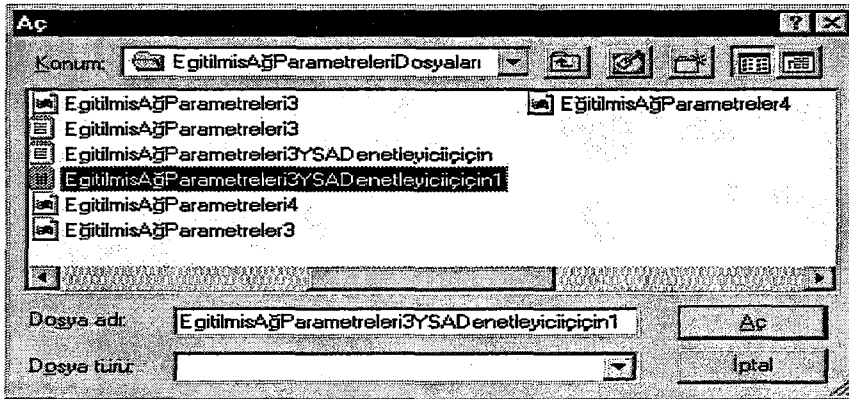
YSA uygulama altyordamının örnek sinüs işlevi girişlerine cevabı : Denetim alt yordamı, sınama alt yordamında olduğu gibi sonuçlarını bildiğimiz bir işlev aracılığıyla sınanır.

- ✓ “Başlat” düğmesi ile eğitilmiş ağ parametrelerinin bulunduğu dosya açılır.



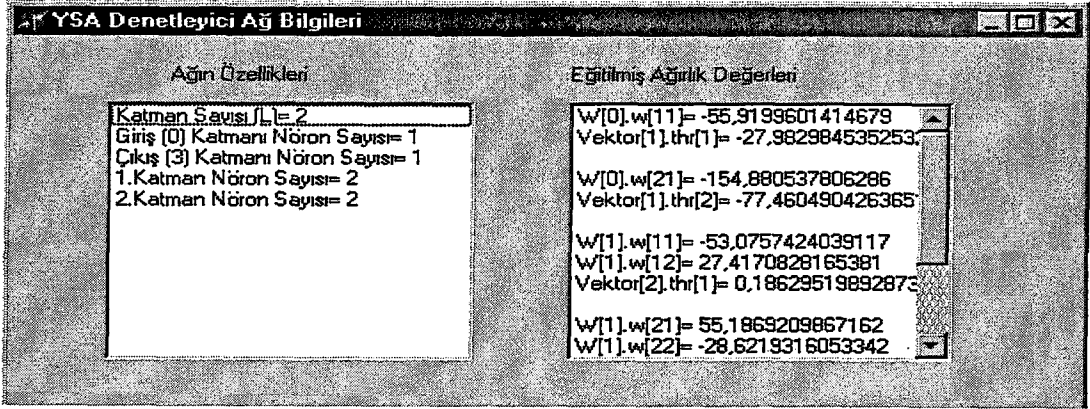
Şekil G.19. YSA denetleyici uygulama başlangıç menüsü

- ✓ Dosyadan, katman sayısı, katmanlardaki nöron sayıları gibi ağa ait yapısal bilgiler ve eğitilmiş ağırlık değerleri yüklenir.

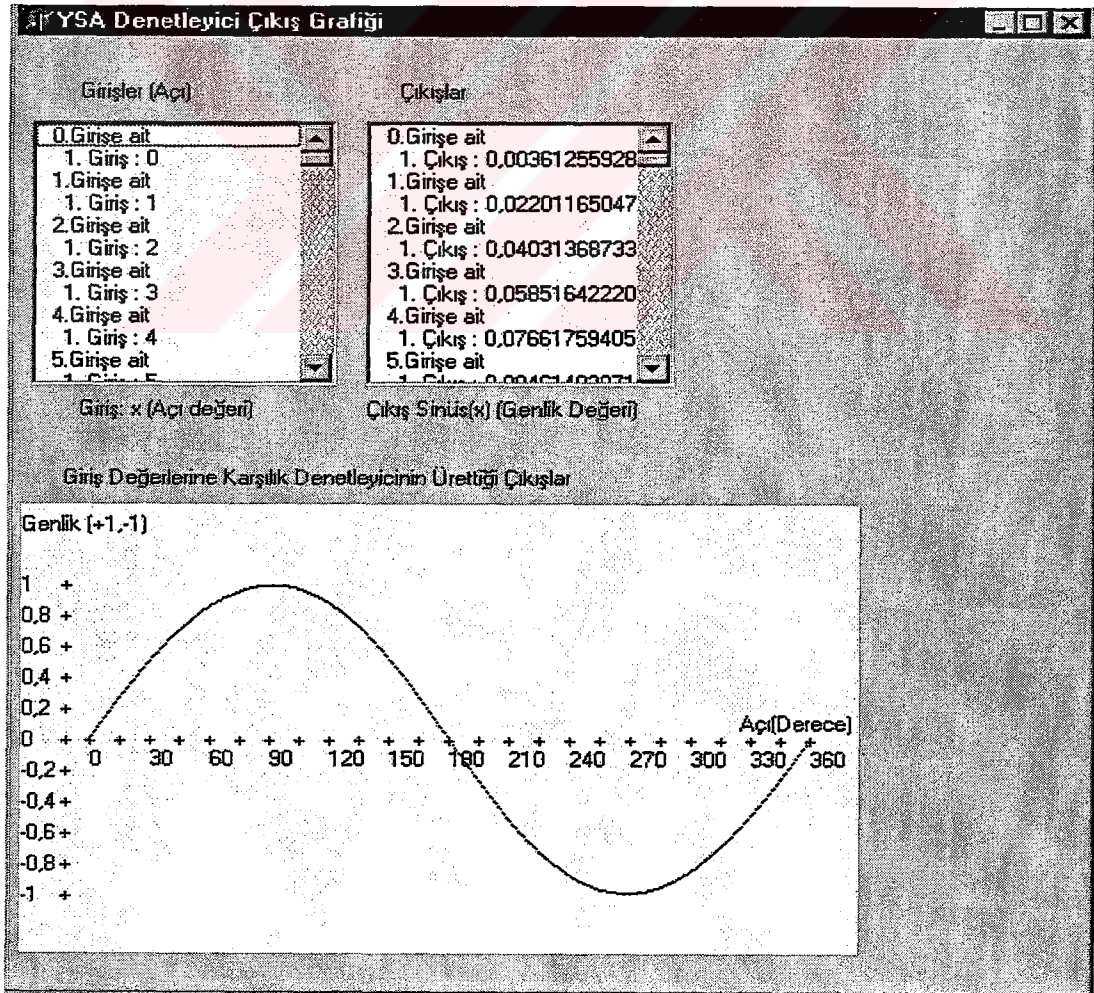


Şekil G.20. Eğitilmiş ağ parametrelerinin bulunduğu dosya

- ✓ Okunan giriş değerlerine karşılık, ağırlık ileri yönde çıkış değerleri hesaplanır, denetleyicinin çıkışları ekrana yazdırılır ve grafik olarak çizdirilir (Şekil G.22) Uygulama altyordamı giriş değerlerine karşılık doğru çıkış değerleri vermektedir.



Şekil G.21. Kullanılan YSA denetleyicinin özellikleri



Şekil G.22. Giriş değerlerine karşılık denetleyicinin ürettiği çıkışlar

## KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

1. YILMAZ, S., NİL, M., DİNÇER, H., GEDİK, A., 2001. Stabilisation Methods for Reducing Uncertainty of a HV Standard Resistive Divider. NEU-CEE 2001 Electrical, Electronic & Computer Engineering Symposium, Proceedings, 268-271, Lefkoşa.
2. YILMAZ, S., NİL, M., DİNÇER, H., 2001. Adaptive Fuzzy Control Approach for Development of a Stable HV Standard Resistive Divider. ICPR-16, The 16<sup>th</sup> International Conference on Production Research, Proceedings, Vol.2, 41, Prague.
3. YILMAZ, S., NİL, M., DİNÇER, H., and İSMAİLOĞLU, H., 2001. Neurofuzzy Control Approach for Development of a Stable HV Standard Resistive Divider. SCI-2001, The ISS 5<sup>th</sup> World Multiconference on Systematics, Cybernetics and Informatics, Proceedings , Vol.IX, 376-381, Orlando.
4. YILMAZ, S., NİL, M., DİNÇER, H., 2001. Dirençsel Yüksek Gerilim Bölücülerde Isınmayı Denetleyerek Ölçüm Belirsizliğinin Azaltılması. Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi, Bildiriler Kitabı, 525-528, Kocaeli.
5. YILMAZ, S., TOMBALOĞLU, B., KARABULUTLU, K., GÜMÜŞ, Y., DİNÇER, H., 2001. Temperature Control Applications by Means of a PIC16f877 Microcontroller. ELECO'2001- International Conference on Electrical and Electronics Engineering , Proceedings, 353-357, Bursa.
6. YILMAZ, S., DİNÇER, H., HACİVELİOĞLU, İ., 2002. DC Yüksek Gerilim Bölücülerde Dirençsel Isınmanın Ölçüm Belirsizliğine Etkileri. ELECO'2002 Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 221-225, Kocaeli.

## ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Anamur'da doğdu. İlk öğrenimini Anamur'da, orta ve lise öğrenimini Isparta'da tamamladı. 1991 yılında girdiği Y.Ü. Kocaeli Müh. Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nden 1995 yılında mezun oldu. 1998 yılında KOÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 1998 yılında aynı ana bilim dalında Doktora öğrenimine başladı.

1995 yılından bu yana KOÜ Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.