

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



SICAKLIK VE NEMİN BULANIK MANTIK
YÖNTEMİYLE KONTROLU

Ali Osman ÖZKAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELK. ELT. ANABİLİM DALI
1997

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SICAKLIK VE NEMİN BULANIK MANTIK YÖNTEMİYLE
KONTROLÜ

Ali Osman ÖZKAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK -ELEKTRONİK ANABİLİM DALI

67374

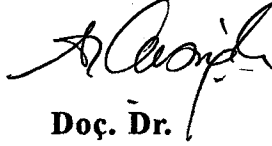
Bu tez 26 / 09 / 1997 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir



Doç. Dr.

Novruz ALLAHVERDİ

(Danışman)



Doç. Dr.

Abdullah ÇAVUŞOĞLU

(Üye)



Doç. Dr.

Şirzat KAHRAMANLI

(Yedek Üye)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SICAKLIK VE NEMİN BULANIK MANTIK YÖNTEMİYLE KONTROLÜ

Ali Osman ÖZKAN

Selçuk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Novruz ALLAHVERDİ

1997, 109 Sayfa

Jüri: Doç. Dr. Novruz ALLAHVERDİ

Doç. Dr. Abdullah ÇAVUŞOĞLU

Doç. Dr. Şirzat KAHRAMANLI

Bu çalışmada bulanık mantık yöntemi kullanılarak sıcaklık ve nemin kontrol edilmesi gerçekleştirilmiştir.

Tezde bulanık koşullu çıkarım mekanizması kullanılmış, bu yöntemin çeşitli parametreleri daha esnek olarak kontrol edebildiği gösterilmiştir. Tasarlanan sistem donanım olarak kişisel bilgisayar, analog-digital dönüştürücü kartı ve dış parametreleri (sıcaklık ve nem) algılama kartından oluşmaktadır. Kontrol programı QBASIC dilinde yazılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bulanık mantık, Sıcaklık, Nem, Kontrol, Koşullu bulanık çıkarım mekanizması.

ABSTRACT
Master Thesis
CONTROL OF TEMPERATURE AND HUMIDITY BY FUZZY LOGIC
METHOD

Ali Osman ÖZKAN
Selçuk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electricity-Electronics Eng. Dept.
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ
1997, 109 Page
Jury : Assoc. Prof. Dr. Novruz ALLAHVERDİ
Assoc. Prof. Dr. Abdullah ÇAVUŞOĞLU
Assoc. Prof. Dr. Şirzat KAHRAMANLI

In this study, fuzzy logic method has been used to control the humidity and the temperature.

In the thesis an inference mechanism based on fuzzy conditionals has been used and it has been shown that this method is more flexible for controlling various parameters. The system hardware consists of; a personal computer, an A/D converter card, and a sensor card to read the external parameters(i.e. temperature and humidity). The control program has been developed in QBASIC programming language.

Keywords: Fuzzy logic, Temperature, Humidity, Control, Conditioned fuzzy inference mechanism.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmalarım sırasında değerli fikirleri ile bana yol göstererek başarıya ulaşmamı sağlayan S. Ü. Müh. Mim. Fak. Elektrik-Elektronik Müh. Bölüm Başkanı Prof. Dr. Mehmet BAYRAK'a, çalışmalarım esnasında benimle birlikte emek sarf eden ve her türlü yardım ve destekte bulunan danışmanım Doç. Dr. Novruz ALLAHVERDİ'ye, yardımlarını esirgemeyen diğer mesai arkadaşlarıma, ayrıca çalışmalarım sırasında verdiğim sıkıntılara katlanan ve yardımcı olan aileme teşekkürü borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
1. GİRİŞ	1
2. BULANIK MANTIK YÖNTEMİ VE KONTROLDA KULLANILMASI	3
2.1. Bulanık Mantık Yöntemi	3
2.2. Bulanık Küme Teorisi	4
2.3. Bulanık Kümeler	7
2.4. Bulanık Kontrol	9
2.5. Kontrol Sistemleri	10
2.5.1. Açık çevrim kontrol sistemleri	10
2.5.2. Kapalı çevrim kontrol sistemleri	10
2.6. Bulanık Kontrol Sistemleri	11
2.7. Bulanık Mantık Uygulama Alanları	12
2.8. Bulanık Mantığın Avantaj ve Dezavantajları	16
3. BULANIK KOŞULLU ÇIKARIM MEKANİZMASI	18
3.1. Bulanık Koşullu Çıkarım Kuralları	18
3.2. Koşullu Bulanık Mantık Kriterleri	21
3.3. Z_1 Bulanık Mantığının Özellikleri	29
3.4. Koşullu P_1 Önermesi İçin Bulanık Koşullu Çıkarım Kuralının Formalleştirilmesi	31

4.KOŞULLU BULANIK MANTIK YÖNTEMİYLE SICAKLIK VE NEMİN KONTROL EDİLMESİ	33
4.1. Sıcaklık ve Nemin Kontrolünün Formalleştirilmesi	33
4.2. Sıcaklık ve Nemin Kontrol Edilmesinin Hesaplanması Algoritması	39
5. SİSTEMİN TASARIMI	40
5.1. Analog Kartın Tasarımı	41
5.1.1. Sıcaklık ölçüm devresi tasarımı	42
5.1.2. Nem ölçüm devresi tasarımı	44
5.1.3. Çıkışın simülasyonu için paralel portun kullanılması	48
5.2. Analog-Dijital Dönüştürücü Kartı	50
5.2.1. A/D kartının özellikleri	50
5.2.2. Donanım konfigürasyonu	51
5.2.3. I/O port adresi	52
5.2.4. D tipi pin bağlantısı	53
5.2.5. Unipolar/Bipolar ve voltaj kademesi seçimi	54
5.2.6. VR Ayarlaması	55
5.2.7. MS/DOS altında programlama tekniği	56
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
6.1. Sonuç	57
6.2. Öneriler	58
KAYNAKLAR	59
EKLER	62
EK-1. Programın Algoritması	63
EK-2. QBASIC'te Yazılan Programın Listesi	84

EK-3. Program Çıktısının Ekran Görüntüsü	91
EK-4. Sıcaklık Kartının Baskı Devre Şeması	93
EK-5. Nem Kartının Baskı Devre Şeması	94
EK-6. LM335 Sıcaklık Sensörü	95
EK-7. LM336 2.5 Volt Referans Diyotu	99
EK-8. LM308 İşlemsel Yükselteç	102
EK-9. CD4040 12 Durumlu Binary Sayıcı	105
EK-10. CD4069 Evirici	106
EK-11. CD4093 2 Girişli NAND Schmitt Tetikleyici	108



BÖLÜM I

1.GİRİŞ

Bulanık Mantık tekniğinin bir çok parametrelerin kontrol edilmesinde kullanılması 70'li yılların sonlarında başlamış ve günümüze kadar yaygın bir şekilde devam etmiştir. Günümüzde ev eşyalarına kadar uygulama alanı bulan Bulanık mantık yönteminin diğer yapay zeka yöntemleriyle birleştirilerek daha da verimli kontrol sistemleri oluşturulması gündemdedir. Soft Computing olarak adlandırılan (Yager 1994, Zurada 1994, Pearson 1995, Aliyev 1996, Aliyev 1997) bu yöntem bir taraftan yapay sinir ağları, genetik algoritmaları, kaos teorisi vs. gibi teorilerle bulanık mantığın kombinasyonlarını kullanarak melez yapay sistemleri oluşturmakla daha esnek kontrol sistemleri tasarlamaya imkan vermektedir.

Görüldüğü gibi bulanık mantık ister yapay zeka ile ilgili araştırmalarda, isterse esnek kontrol sistemleri tasarımında geniş bir alan bulmakta ve bulmaya da devam etmektedir. Şimdiye kadar yapılan araştırma ve uygulamalarda bu yöntemin bütün özelliklerinin kullanılmış olduğunu söylemek oldukça zordur. Diğer taraftan Türkiye'mizde araştırmacılar gün geçtikçe daha çok bu alana yönelmektedir.

Bu çalışmada bulanık mantık yöntemiyle iki parametre (sıcaklık ve nem) kontrol edilmektedir. Bulanık mantıkla ilgili işlerde son zamanlarda Bulanık Koşullu Çıkarım Mekanizması (*Fuzzy Conditional Rules Inference*) olarak adlandırılan kurallar kullanılmaktadır. Bu yöntem EĞER ... O HALDE kurallarına dayanarak bulanık kavram içeren sebep ve sonuçlardan oluşan sonuç çıkarma elde edilmesiyle ilgilidir.

Bulanık koşullu çıkarım mekanizması tezin III. Bölümünde anlatılmaktadır. Tezin II. Bölümünde ise bulanık mantık yöntemi anlatılmakta ve onun kontrolde kullanılmasına ait bazı örnekler verilmiştir. IV. Bölümde somut olarak seçilmiş olan parametrelerin (sıcaklık ve nem) bulanık koşullu çıkarım mekanizması kullanarak nasıl hesaplanabileceği gösterilmektedir..

Sıcaklığın ve nemin algılanması ve kişisel bilgisayara dahil edilmesi için tasarlanmış devrenin genel blok şeması ve ayrı ayrı kısımların açıklanması V. Bölümde gösterilmiştir.

Sıcaklık ve nemin bulanık koşullu çıkarım mekanizmasıyla kontrol edilmesinin algoritması Ek-1’de, bu algoritmaya dayanan QBASIC programı Ek-2’de ve programın çalışmasını gösteren ekran görüntü şekilleri de Ek-3’de verilmiştir.

Ek-4 ve Ek-5’te uygun olarak sıcaklık ve nem kartlarının baskı devre şeması, Ek-6,7,8,9,10,11’de ise projede kullandığımız malzemelerin katalog bilgileri sunulmuştur.

Böylece, tezde bir kişisel bilgisayarın yardımıyla (bu bir mikroişlemcide olabilir) sıcaklığın kontrol edilmesi ve nemin göstergelenmesi için bulanık mantık yönteminin kullanılması işlenmiştir. Sıcaklık ve nem aralıkları onbir kısma bölünmüştür. Bu sayı değişik de olabilir. Sayı arttıkça kontrolün hassasiyetinin artacağı muhakkaktır. Sıcaklık “çok soğuktan”, “çok sıcağa” kadar dilsel değişkenlerle ifade edilmekte ve değişkenlere uygun olarak da “ısıtıcıyı maksimum aç” ve “soğutucuyu maksimum aç” gibi dilsel çıkışlar elde edilmektedir. Benzer değerler nem için de yapılmaktadır. Böylece sistem ısı ve nem sensörlerinden gelen değerleri algılayıp ekranda görüntülemekte ve programı çalıştırmaktadır. Daha sonra program sayesinde yapılması gereken çıkış işlemi ekranda gösterilmektedir. Giriş değişkenleri değiştiği takdirde, yeni denetim komutları ekrana yansımaktadır.

BÖLÜM II

2. BULANIK MANTIK YÖNTEMİ VE KONTROLDA KULLANILMASI

2.1. Bulanık Mantık Yöntemi

Bulanık Mantık (*Fuzzy Logic*) kavramı ilk kez 1965 yılında Kaliforniya Berkeley Üniversitesinden Profesör Lotfi A. Zadeh'in konu üzerinde ilk makalelerini yayınlamasıyla duyuldu. O tarihten sonra önemi gittikçe artarak günümüze kadar geldi. Bulanık Mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışılabilmesi için kurulmuş katı bir matematik düzen olarak tanımlanabilir.

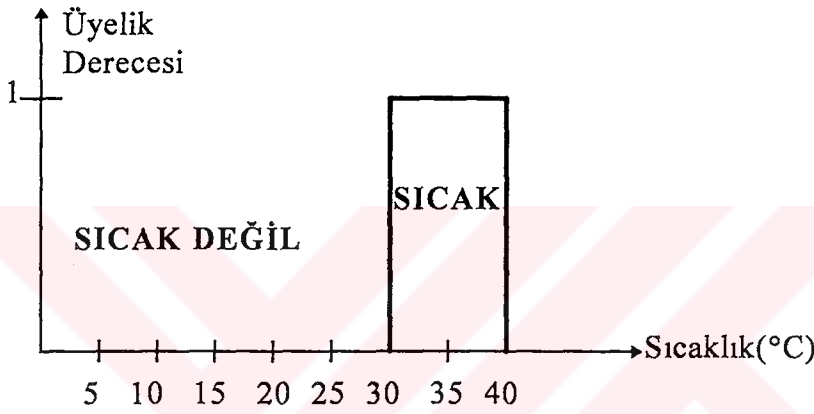
Bilindiği gibi İstatistikte ve Olasılık kuramında belirsizliklerle değil kesinliklerle çalışılır, ama insanın yaşadığı ortam daha çok belirsizliklerle doludur. Bu yüzden insanoğlunun “Sonuç Çıkarabilme Yeteneğini” anlayabilmek için belirsizliklerle çalışmak gereklidir. İnsan beyni sayısal bir işlemi birkaç dakikada yapmasına rağmen, idrak etmeye ait olayları birkaç saniyede çözebilecek kadar hızlıdır. Bilgisayarlar ise çok karmaşık sayısal işlemleri birkaç saniyede yapabilmelerine rağmen, idrak etmeye ve deneyimlerle kazanılmış bilgiye ait konularda yetersiz ve yavaşırlar.

Bulanık Mantık, gelişmekte olan uzman denetim sistemleri için başarılı sonuçları veren yöntemleri içerir. Özellikle bilgisayar destekli tasarımlarda pahalı ve çok zaman alan projeler, bulanık mantığın uygulanmasıyla ucuza mal olmakta ve yapılan işlerde basitleşmektedir. Bulanık Mantık için, matematiğin gerçek dünyaya uyarlanması diyebiliriz. Çünkü dünyada her an değişen durumlardan değişik sonuçlar çıkabilir ve deneyimlerden yararlanmak gerekir. Bulanık Mantık, bir kişinin diğeri ile konuşması veya diğeri açıklama yapmasına benzer olarak “soğuk”, “sıcak”, “yüksek”, “alçak” gibi dilsel değişkenleri kullanır. İkili durumları kullanan (sıcak-soğuk gibi) ikili mantıktan

farklı olarak bulanık mantık, değişkenleri için ara durumları da (az sıcak - az soğuk gibi) kullanır [Başbuğ 1994].

2.2. Bulanık Küme Teorisi

Klasik küme teorisinde bir eleman o kümenin ya elemanıdır yada değildir. Kısmi üyelik mümkün değildir. Şekil 2.1’de bu durum gösterilmiştir.

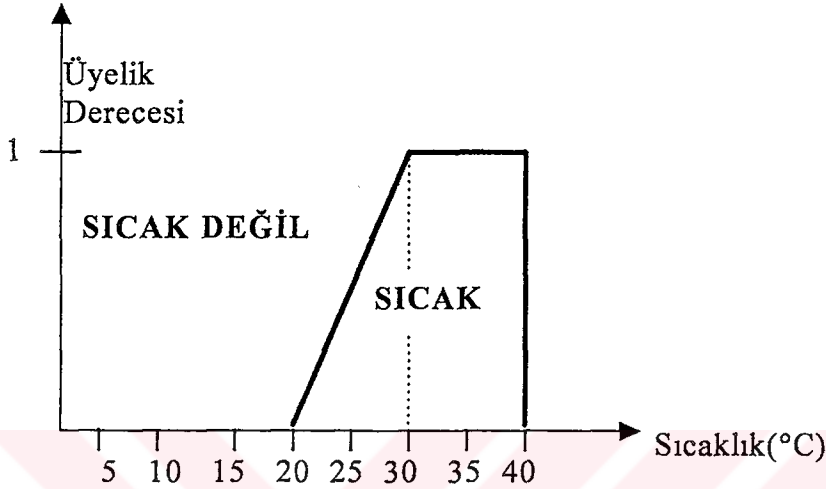


Şekil 2.1 Klasik küme teorisi

Eğer sıcaklık 30 derecenin altına düşerse sıcak değildir. Yani klasik mantık teorisine göre 29.5 derece sıcak değildir. Doğal olarak bu mantığın hiçbir esnekliği yoktur. Gerçek dünyada ise sınırlar bu kadar keskin değildir. Tam tersine, olayların belli bir esneklikte olması istenir. Bulanık mantık soğuk-sıcak, yavaş-hızlı, alçak-yüksek gibi ikili değişkenlerden oluşan keskin dünyayı, az soğuk-az sıcak, az yavaş-az hızlı, az alçak- az yüksek gibi esnek niteleyicilerle yumuşatarak gerçek dünyaya benzetir.

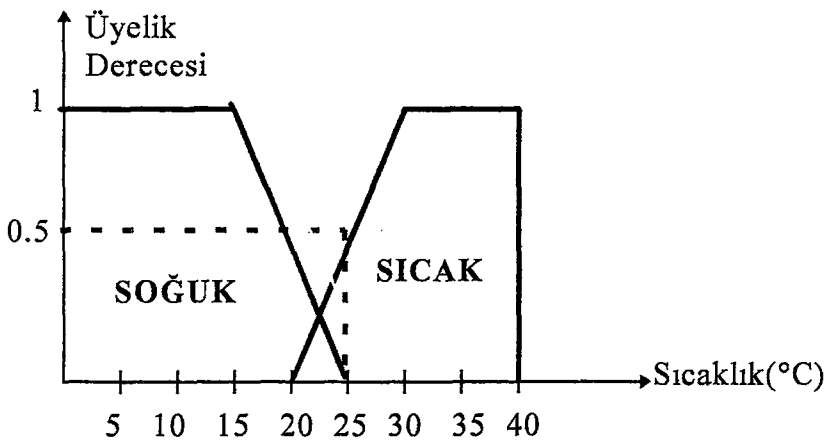
Şekil 2.2, sıcaklık gibi değişkenleri, gerçekte gözlenen değerine daha yakın veren bulanık küme teorisini göstermektedir. Şekle bakıldığında, 20 derece ile 40 derece arasındaki değerlerin, sıcak bulanık küme üyelik derecesi ortaya çıkmış olur. Burada sıcak bulanık küme üyelik derecesinde, 30 derecede 1'e karşı düşen maksimumdan, 20 derecede 0'a karşı düşen

minimumuna doğru kademelendirilmiş bir azalma vardır. Sıcaklık azaldığında daha az sıcak durum ortaya çıkacaktır, yani 25 derecelik sıcaklık az sıcak olarak nitelenirken, 30 derecelik sıcaklık çok sıcak olarak nitelenecek ve 20 derecelik sıcaklık sıcak olarak sayılmayacak; dolayısıyla 20 derecelik sıcaklık, sıcak bulanık kümenin elemanı olmayacaktır.



Şekil 2.2 Bulanık küme teorisini anlatan bir örnek

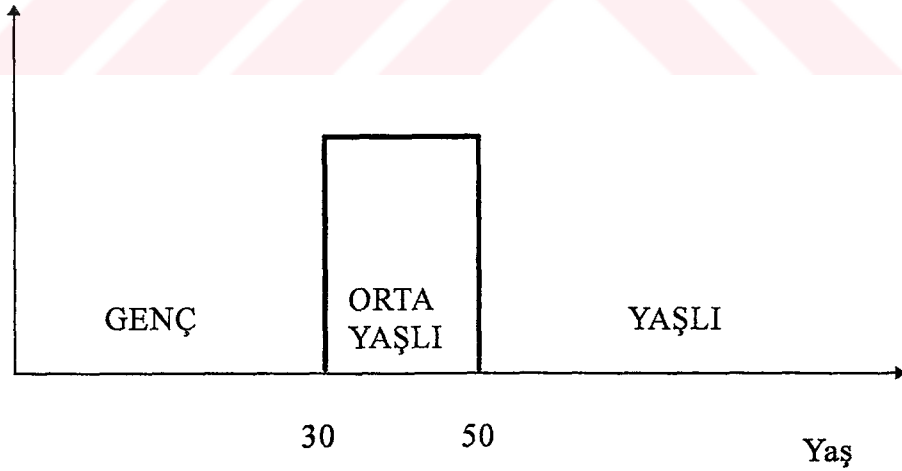
Şekil 2.3'te ise bulanık mantık teorisinin bir adım daha ileri safhası görülmektedir.



Şekil 2.3 Bulanık kümede örtüşüm

Şekilden de görüldüğü gibi, sıcak bulanık küme üyelik derecesi, 0.5’de soğuk bulanık küme üyeliğini kazanır. Soğuk bulanık küme üyeliğinin derecesi, sıcaklık azaldığında artar. Buna göre 0’dan 15 dereceye kadar olan sıcaklık oldukça soğuk sayılır ve bu bölge soğuk bulanık küme tam üyeliğine sahiptir. 15 derece ile 25 derece arasında ise soğuk bulanık küme dereceli üyeliği vardır. 20 derece ile 25 derece arasında ise bulanık kümelerin birbirlerini kestiği durum olan örtüşüm vardır. Bu bölge hem sıcak hem soğuk olarak ele alınabilir. Bu örnekler bulanık olmayan girişler için geçerli olmasına rağmen, bulanık mantık teorisinde bazen girişler de bulanık olabilir. Bu durumda bulanık küme üyelik derecesi, bulanık küme ve bulanık giriş değeri arasındaki kesişim bölgesinden belirlenir.

Klasik mantığa bir başka örnek olarak yaş kavramını verebiliriz. Eğer 40 yaşını orta yaş kabul edecek olursak geleneksel kümelendirmede; 30 yaşın altındakiler “GENÇ”, yaşı 30-50 arasında olanlar “ORTA YAŞLI” ve 50’nin üzerinde olanlar “YAŞLI” kümelerine dahil edilebilir. Dolayısıyla 29.5 yaşındaki biri “genç” iken 30.5 yaşında olan biri “orta yaşlı” olarak kabul edilecektir [Kaynak 1992]. Şekil 2.4’de bu durum gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Klasik mantıkta keskin kümeler

2.3. Bulanık Kümeler

Daha önce belirtildiği gibi, klasik küme teorisinde evrensel kümenin elemanlarına “0” veya “1” değeri atanmak suretiyle elemanların bir kümeye ait olup olmadıkları belirlenir. Halbuki bulanık küme teorisinde, tanımlanan üyelik fonksiyonları sayesinde evrensel kümenin elemanlarına $[0,1]$ kapalı aralığında reel değerler atanarak, elemanların o üyelik fonksiyonu ile tanımlanan bulanık kümeye üyelik dereceleri belirlenir [Etaner 1993].

Bulanık küme teorisinde de klasik küme teorisinde olduğu gibi kümeler üzerinde tanımlanmış birleşim, kesişim ve tümleme işlemleri vardır. Bu işlemlerin gerçekleştirilmesi için bir takım fonksiyonlar tanımlanır. Bir fonksiyonun bulanık birleşim, bulanık kesişim veya bir bulanık tümleme fonksiyonu olabilmesi için, bir takım aksiyomları gerçekleştirmesi gerekir. Her işlem için tanımlanmış bir aksiyomatik yapı vardır. Bu aksiyomatik yapı, mutlaka sağlanması gereken aksiyomlardan oluşur. Bu temel üç işlem için, aksiyomatik yapıyı oluşturan aksiyomlar dışında tanımlı bir grup aksiyom vardır ki bunların sağlanması zorunlu değildir. Her üç işlem içinde tanımlı tüm aksiyomları sağlayan fonksiyonlar da vardır. Bunlara örnek olarak bulanık küme teorisinin standart işlemleri verilebilir. Bunlar,

Bulanık Tümleme:

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2.1)$$

Bulanık Birleşim:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \text{Max} (\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2.2)$$

Bulanık Kesişim:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \text{Min} (\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2.3)$$

Her üç işlem için aksiyomatik yapıyı oluşturan aksiyomlar:

Bulanık Tümleme: Bir bulanık tümleme fonksiyonu,

$$c(\mu_A(x)), [0,1] \rightarrow [0,1] \quad (2.4)$$

şeklinde bir fonksiyondur. Bu fonksiyon, A bulanık kümesi ile temsil edilen kavramın değillemesi olan bir kavramı temsil eden bulanık kümenin üyelik fonksiyonudur.

a-) Aksiyom 1: $c(0) = 1$ ve $c(1) = 0$ olmalıdır. (Sınır şartları)

b-) Aksiyom 2: A bir bulanık küme, X evrensel küme, $(x, y \in X)$ ve $a = \mu_A(x)$ ve $b = \mu_A(y)$ ise $(\forall a, b \in [0,1])$ için $a < b$ ise $c(a) > c(b)$ olmalıdır. Yani c fonksiyonu monoton artmayan bir fonksiyondur.

Bulanık Birleşim : Bir bulanık birleşim fonksiyonu,

$$u : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1] \quad (2.5)$$

şeklinde bir fonksiyondur. Bu fonksiyon, evrensel kümenin elemanlarının A ve B bulanık kümelerinin birleşiminden oluşan bulanık kümeye üyelik derecelerini verir.

a-) Aksiyom 1: $u(0,0)=0$ ve $u(1,1)=u(0,1)=u(1,0)=1$ olmalıdır.

b-) Aksiyom 2: $a = \mu_A(x)$ ve $b = \mu_B(x)$ ise $u(a,b) = u(b,a)$ olmalıdır.

c-) Aksiyom 3: $a = \mu_A(x)$, $b = \mu_B(x)$, $c = \mu_A(y)$, $d = \mu_B(y)$ ve $a < c$ ve $b < d$ ise $u(a,b) < u(c,d)$ olmalıdır.

d-) Aksiyom 4: $x \in X$, $a = \mu_A(x)$, $b = \mu_B(x)$ ve $c = \mu_C(x)$ ise $u(u(a,b),c) = u(a,(b,c))$ olmalıdır.

Bulanık Kesişim: Bir bulanık kesişim fonksiyonu,

$$i : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1] \quad (2.6)$$

şeklinde bir fonksiyondur. Bu fonksiyon, evrensel kümenin elemanlarının A ve B bulanık kümelerinin kesişimin den oluşan bulanık kümeye üyelik derecelerini verir.

a-) Aksiyom 1: $i(1,1) = 1$ ve $i(0,0) = i(0,1) = i(1,0) = 0$ olmalıdır.

b-) Aksiyom 2: $a=\mu_A(x)$ ve $b=\mu_B(x)$ ise $i(a,b) = i(b,a)$ olmalıdır.

c-) Aksiyom 3: $a=\mu_A(x)$, $b=\mu_B(x)$, $c=\mu_A(y)$, $d=\mu_B(y)$ ve $a < c$ ve $b < d$ ise $i(a,b) < i(c,d)$ olmalıdır.

d-) Aksiyom 4: $x \in X$, $a=\mu_A(x)$, $b=\mu_B(x)$ ve $c=\mu_C(x)$ ise $i(i(a,b), c) = i(a, i(b,c))$ olmalıdır.

Yukarıda tanımlanan bulanık birleşim ve bulanık kesişim işlemleri ikili işlemlerdir. Bulanık kümeler üzerinde n’li işlemlerde tanımlanabilir.

2.4. Bulanık Kontrol

Otomatik kontrolün amacı, bir sistem veya işlemin bazı durum değişkenlerini ve çıkışlarını gözlemek ve gerekli kontrolleri uygulamak suretiyle istenen bir duruma ulaşılması veya içinde bulunulan durumun korunmasıdır. Otomatik kontrolün pek çok kullanım alanı vardır. İyi bir denetleyici tasarlamak için sistemin veya işlemin kesin bir matematik modelinin oluşturulması gerekir. Fakat sistemin çok karmaşık olduğu durumlarda, yeterli ölçüm değerlerinin alınamadığı veya bozucu etkilerin çok fazla olduğu ortamlarda işleme ait matematik modeli elde etmek mümkün olmayabilir. Kesin modeli oluşturulamayan sistemlerin kontrolünde klasik kontrol yöntemlerinin uygulanmasında bazı zorluklar ortaya çıkacak, optimum bir kontrol sağlanamayacaktır.

Klasik kontrol teorisi, transfer fonksiyonları veya diferansiyel denklemler ile ifade edilir. Modern kontrol teorisi ise durum uzayı metoduyla birinci dereceden vektör matris diferansiyel eşitlikler ile tanımlanır. Bu yaklaşımda denetleyici tasarımcısının otomatik kontrol sistemini ve özellikle bu konuyla ilgili matematiği çok iyi bilmesi gerekir. Fakat sistemin başına konulacak bir uzman insan operatörün, sistemi çok iyi tanıdığı ve uzun zamandır bu işi yaparak deneyim kazandığı için ve çoğu zaman da içgüdülerine dayanarak kontrol işlemlerini yürüttüğü için sistemin kesin matematiksel modelini bilmesine gerek yoktur. Bu uzman operatörün yerine aynı kontrol işlemlerini aynı şekilde görebilecek bir kontrol sistemi yerleştirilmek

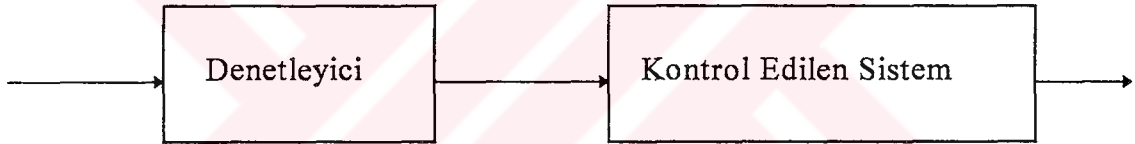
istendiğinde, bu sistemin geliştirilmesinde bulanık mantık yaklaşımının kullanılması iyi bir çözüm olabilir [Etaner 1993].

2.5. Kontrol Sistemleri

Klasik otomatik kontrol sistemi kontrol edilecek sistem, denetleyici ve bir takım fiziksel elemanlardan oluşur. Klasik kontrol sistemleri; Açık çevrim kontrol sistemleri ve kapalı çevrim kontrol sistemleri olmak üzere ikiye ayrılır.

2.5.1. Açık çevrim kontrol sistemleri

Şekil 2.5'te blok olarak gösterilen açık çevrim kontrol sistemlerinde, denetleyici çıkışındaki kontrol işareti kontrol edilen sistemin durumundan bağımsızdır. Yani sistemden bir geri besleme almaz.

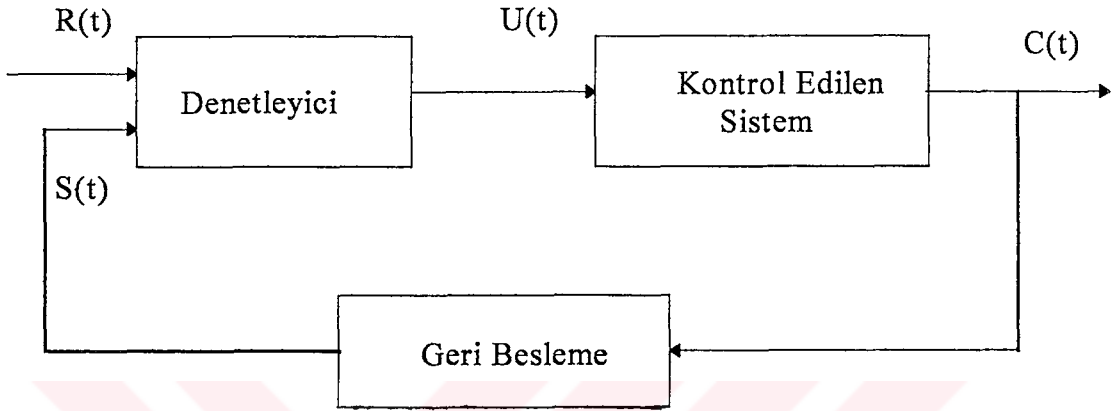


Şekil 2.5 Açık çevrim kontrol sistemi

2.5.2. Kapalı çevrim kontrol sistemleri

Şekil 2.6'da blok olarak gösterilen kapalı çevrim kontrol sistemlerinde denetleyici çıkışındaki kontrol işareti geri beslemeden dolayı sistemin içinde bulunduğu duruma bağlıdır. Burada sistemin kontrol değişkeninin aldığı değer geri besleme yolu ile denetleyicinin girişine verilir. Denetleyici, set değeri ile ölçülen değeri karşılaştıran ve kontrol sinyalini üreten kısımdır. Geri besleme bloğu ile sistemden alınan işaretin, referans değeri ile karşılaştırılıp farkı alındıktan sonra elde edilen hata sinyaline göre uygun kontrol algoritması uygulanarak çıkış sinyali üretilir. Kapalı çevrim kontrol sistemleri çeşitli şekilde sınıflandırılabilir. Kontrol sisteminde kullanılan elemanlara göre

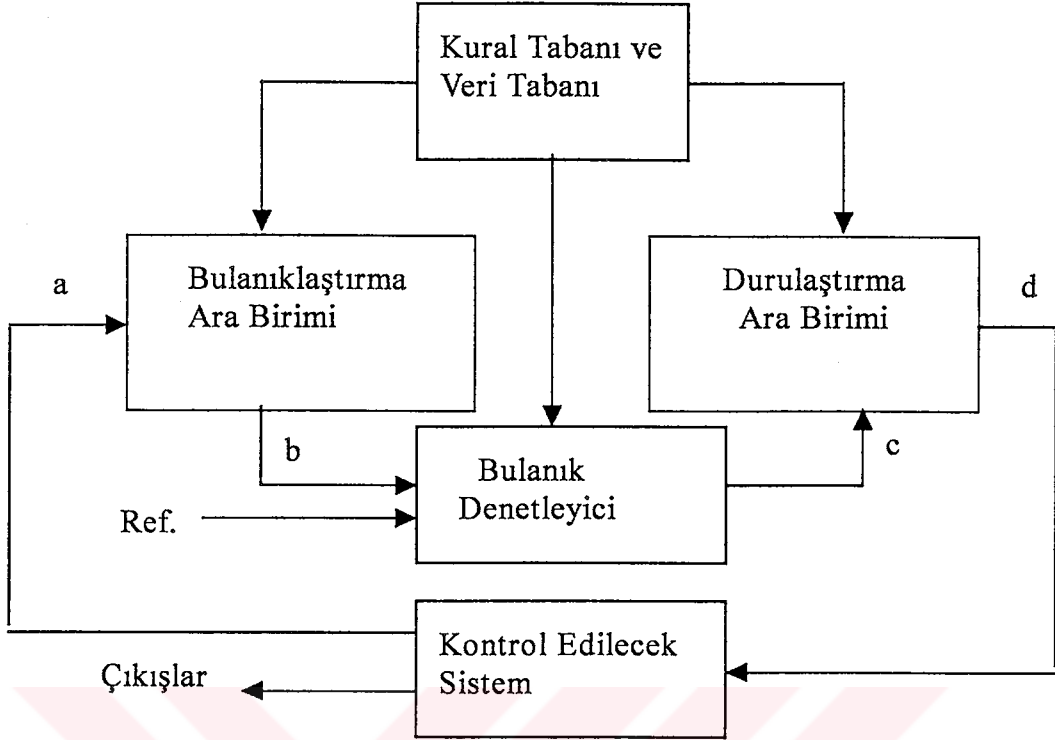
sınıflandırma yapılacak olursa bilgisayarlı kontrol sistemleri, elektromekanik kontrol sistemleri, biyolojik kontrol sistemleri, hidrolik kontrol sistemleri, pnömatik kontrol sistemleri sayılabilir. Sınıflandırma kontrol sisteminin amacına göre yapılırsa; hız kontrolü, konum kontrolü, sıcaklık kontrolü, gerilim kontrolü ve akım kontrolü sayılabilir.



Şekil 2.6 Kapalı çevrim kontrol sistemi

2.6. Bulanık Kontrol Sistemleri

Şekil 2.7'deki gibi bir yapıya sahip olan bulanık kontrol sistemleri, bir bulanık denetleyici, kontrol edilecek bir sistem, veri ve kural tabanı, bulanıklaştırma ve durulaştırma arabirimlerinden oluşur. Şekilde belirtilen bazı noktalardaki işaretler incelenecek olursa; a noktasında, kontrol edilen sistemden geri besleme yolu ile alınan duru işaret bulunmaktadır. Bu işaret, bulanıklaştırma ara birimine girerek bulanık işarete dönüştürülür. Bulanıklaştırma ara biriminden çıkan bu bulanık işaret, b noktasındaki işarettir ve bulanık denetleyiciye gider. Bulanık denetleyicide, gelen bulanık işaretin ve referans işaretinin değerlerine göre bir kontrol işlemi uygulayarak bulanık kontrol işareti üretilir, bu işaret denetleyici çıkışındaki, yani c noktasındaki işarettir. Bu işaret durulaştırma arabirimine gönderilerek d noktasında kontrol edilecek sisteme uygulanacak olan duru işaret elde edilmiş olur [Etaner 1993].



Şekil 2.7 Bulanık Kontrol Sistemi

2.7. Bulanık Mantık Uygulama Alanları

Daha önce de belirtildiği gibi 1965'te University of California at Berkeley'de Elektrik Mühendisliği Bölüm Başkanı olan Lotfi A. Zadeh bu alana adını veren "Bulanık Kümeler" adlı ilk makalesini yayınladı. Fakat 1970'li yılların ortalarına kadar Londra'daki Queen Mary College'den Prof. Ebrahim H. Mamdani'nin buhar makinesi için bulanık mantıkla çalışan bir denetleyici tasarlayıncaya kadar kullanım alanı bulamadı.

Bulanık mantığın ilk uygulama alanları endüstriyel alanda, çimento sanayinde ve su arıtma sistemlerinde olmuştur. Daha sonra nükleer reaktör, asansör ve vinç denetimi gibi değişik alanlarda da bulanık mantıktan yararlanılmıştır. Aşağıda bulanık mantığın geçirdiği önemli aşamalar tarih sırasına göre verilmiştir [Kaynak 1992].

Bulanık Mantık kuramının geçirdiği önemli aşamalar:

- 1965 Bulanık Küme Kuramı (*Prof. Lotfi A.Zadeh, California*)
- 1966 Bulanık Mantık (*Dr. Peter N.Marinis, Bell Laboratuvarı*)
- 1972 Buhar türbini denetiminde bulanık mantık uygulaması (*Prof. E.H. Mamdani, Queen Mary College, University of London*)
- 1980 Çimento sanayinde uygulama (*F.L. Smith, Kopenhag*)
- 1987 Sendai metrosunda otomatik tren denetimi (*Hitachi*)
- 1988 Hisse senedi portföyü için uzman sistemler (*Yamaichi Sequirity*)
- 1989 Japonya'da LIFE (*Laboratory for International Fuzzy Engineering*) Laboratuvarının kurulması

Bulanık Mantık kuramının ilk önemli uygulaması çimento sanayiinde olmuştur. Bu sanayide değirmen içerisindeki sıcaklık ve oksijen oranı kaliteli ürün elde edebilmek için son derece önemlidir. Isı ve karbonmonoksit oranı gibi bilgilerin doğruluğu iyi bir çalışma düzeni elde edilebilmesi için gereklidir. Operatörlerin bu konuda uzmanlık kazanabilmeleri için yıllar geçmesi gerekir. Fakat kişiler ve uzmanlık düzeyleri de farklı olacağından, üretilen çimentoda farklılık gösterecektir. Kuşkusuz aynı kalitede çimento üretimi de mümkün olmayacaktır. Bu nedenlerden dolayı 1980 yılında Danimarka'da bir firma geleneksel denetleyici yerine bir bulanık mantık denetleyici kullanmış ve çok başarılı sonuçlar veren bir uzman sistem geliştirmiştir.

İkinci önemli bulanık kontrol uygulaması 1987 yılında Japonya'da taşımacılık alanında gerçekleştirilmiştir. Bu Sendai'de kullanılan, gerek insan sürücüler, gerekse geleneksel otomatik denetleyicilerden daha iyi çalışan metro treni kontrolüdür. Geleneksel (PID temelli) denetleyicilerden trenin istasyondan ne uzaklıkta olduğunu gösteren konum işaretlerine göre treni çalıştırır ya da durdururlar. Denetleyiciler çok kesin programlanmış oldukları için yolculuk rahat olmayabilir. Hitachi firması metro trenlerini deneyimli bir insan sürücüden daha da yumuşak biçimde hızlandırmak,

yavaşlatmak ve durdurmak için bulanık kurallar kullandılar. Bu kurallar trenin çalışması ile ilgili olarak her an hızının ne sıklıkta değiştiği, maksimum hıza ne kadar yaklaştığı gibi geniş bir değişkenler dizisini kapsamaktadır. Sürücüye sadece kapıları kapatmak ve başlama düğmesine basmak gibi işler kalmıştır. Böylece bulanık denetleyici benzeşim denemelerinde yolcuların rahatı, kısalan yolculuk süresi gibi konularda otomatik denetleyiciyi geçmiş, ayrıca trenin istenilen konumda durması üç kat iyileşmiş ve enerji tüketimi % 10 oranında azalmıştır.

Bulanık mantık denetleyiciler konusunda teorik çalışmaların devam etmesi insanların günlük yaşamında söz sahibi olacak kadar girmesine engel olamamıştır. Özellikle Japonya’da bulanık denetimin kullanıldığı ev aletleri ve elektronik ürünler yaşamın bir parçası oldular. Aşağıda bulanık denetim uygulamalarından bazıları çizelge 2.1’de tablo halinde verilmiştir.

Asansör Denetimi	Fujitec/ Toshiba	Yolcu trafiğini değerlendirir, böylece bekleme zamanını azaltır
SLR Fotoğraf Makinası	Sanyo-Fisher	Ekranda birkaç nesne olması durumunda en iyi fokusu ve aydınlatmayı belirler
Video Kayıt Cihazı	Panasonic	Cihazın elle tutulması nedeni ile çekim sırasında oluşan sarsıntıları ortadan kaldırır
Çamaşır Makinası	Matsushita	Çamaşırın kirliliğini, ağırlığını, kumaş cinsini sezer ona göre yıkama programını seçer
Elektrikli Süpürge	Matsushita	Yerin durumunu ve kirliliğini sezer ve motor gücünü ayarlar
Su Isıtıcısı	Matsushita	Isıtmayı, suyun miktar ve sıcaklığına göre yapar
Klima Cihazı	Mitsubishi	Ortam şartlarına göre en iyi çalışma durumunu seçer

Otomobil Aktarma Organı	Subaru-Nissan	Araba kullanım stilini ve motor yüküne göre en iyi dişli oranını seçer
ABS Fren Sistemi	Nissan	Tekerleklerin kilitlenmeden frenlenmesini sağlar
Sendai Metro Sistemi	Hitachi	Hızlanma ve yavaşlamayı ayarlayarak rahat bir yolculuk sağlar
Çimento Sanayii	Mitsubishi Chem.	Değirmende ısı ve oksijen oranını ayarlar
Tansiyon Aleti	Omron	Tansiyon ölçer
Isı Denetleyicisi	Omron	Bir PID denetleyici ile hibrid çalışır, ani değişikliklerde PID denetleyicinin yerini alır
PLC	Omron	Fabrikalarda işlem kontrolunda kullanılır
Televizyon	Sony	Ekran netliğini, parlaklığını ve rengini ayarlar
Hisse Seneti Alım Satım Programı	Yamaichi- Securities	Hisse senedi portföyü idare eder
El Bilgisayarı	Sony	El yazısı ile veri ve komut girişine olanak tanır
Petrol Rafinerisi	Azerbeycan Devlet Petrol Akademisi	Rafinerinin kontrolunda kullanılır.

Çizelge 2.1: Bulanık Denetim Uygulamaları

Son zamanlarda ülkemizde de bulanık mantık konusundaki çalışmalar hızla artmaktadır. Bulanık mantık bugün endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde bu konuda yapılan bazı çalışmalar [Gürleyek 1995, Kılıç 1996, Çaşkurlu 1996, Taşkın 1996, Çetiner 1997] sayılabilir.

2.8. Bulanık Mantığın Avantaj Ve Dezavantajları

Hayatımızda karşımıza çıkan kontrol problemlerinin büyük bir kısmı sözel olarak iyi bir şekilde açıklanabilir. Aynı zamanda denetiminde çok hassas olmasına gerek yoktur. Bu tür matematiksel problemlerde bulanık kontrol insanların düşünüş tarzına uygun düştüğü için belirgin bir avantaja sahiptir.

Bulanık denetimin en iyi uygulama alanları doğrusal olmayan iyi tanımlanmamış zamanla değişen sistemlerdir. Bu tür sistemlerin denetimine kolay anlaşılır bir çözüm getirmektedir. Eğer sistem basit bir matematiksel eşitlik ile tanımlanabilirse bu durumda geleneksel kontrol sistemleri yeterli olabilecektir. Fakat sistem karmaşıktıkça geleneksel veya modern denetim kuramlarının uygulanması o derece zorlaşır ki bulanık kontrole yönelmek ekonomik bir alternatif olarak ortaya çıkar.

Bulanık denetim genellikle daha küçük bir yazılımla daha hızlı şekilde sonuca ulaşır. Bunun nedeni bulanık mantıkta işaretlerin bir ön işlemeye tabi tutulmaları ve geniş bir alana yayılmış değerlerin sınırlı sayıdaki üyelik fonksiyonlarına dönüştürülmeleridir. Bu az sayıdaki değerler üzerine uygulanacak kural sayısının da az olması dolayısıyla sonuca ulaşması da daha az zamanda gerçekleşir. Özel geliştirilmiş donanımlarla bu hız daha da arttırılabilir. Bulanık mantığın kullanılması ile programlar daha hızlı olmalarının yanında geleneksel uygulamalara kıyasla daha az bellek kullanmaktadır.

Bulanık kontrolün diğer bir avantajı doğrudan kullanıcı girişlerine, kullanıcının deneyimlerinden yararlanabilmesine olanak sağlamasıdır. Bu sayede bulanık kontrol sistemi, bir uzmanın çeşitli durumlardaki davranışını öğrenerek üyelik işlevlerini bu bilgilere göre ayarlayabilmektedir. Bulanık denetim sistemleri eksik veri ile, değişen şartlarda ve bozucu etkilerin olduğu ortamlarda çalışabilirler. Bunun yanında sistem oldukça esnek ve değişen koşullarda en az değişikliklerle çalışabilir.

Bulanık denetleyici ile klasik denetleyicilerin karşılaştırılması çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Klasik Denetleyici	Bulanık Denetleyici
Kontrol sisteminin matematiksel modeline ihtiyaç duyarlar.	Kontrol için uzman tecrübelerine ihtiyaç duyarlar.
Proses değişkenlerinin ölçümleri doğru ve kesin olmalıdır.	Kesin olmayan bilgileri kullanabilir.
Karmaşık sistemlerde, denetleyicide karmaşık olacağından uygulamaya geçirilişi ekonomik olmayabilir.	Ucuz algılayıcılar sayesinde proses ölçümünde esneklik kazandırır. Hızlıdır, uygulamaya geçirilişi kolaydır.

Çizelge 2.2. Klasik ve bulanık denetleyicilerin karşılaştırılması

Yukarıda açıklanan yararlar bulanık denetimi endüstriyel uygulamalar için uygun bir aday konumuna sokmuştur. Bununla birlikte uygulamada karşılaşılan bazı dezavantajları da vardır.

Bulanık denetimde kullanılan kurallar tecrübeye çok bağlıdır.

Üyelik fonksiyonlarının seçiminde belirli bir yöntem yoktur. En uygun üyelik işlevi deneme yolu ile bulunur. Bu uzun zaman alabilir.

Denetlenen sistemin nasıl cevap vereceği önceden kestirilemez, sistemin kararlılık analizi yapılamaz. Yapılacak tek şey benzetim çalışmasıdır.

Yukarıda belirtilen ikinci dezavantaj konusunda son zamanlarda bazı aşamalar kaydedilmiştir. Yapay sinir ağları ile bulanık mantık kuramının birleşimi (*Neuro-Fuzzy Systems*) önerilmiş ve üyelik işlevlerinin bu tür bir yaklaşımla otomatik olarak öğrenilmesi önerilmiştir.

BÖLÜM III

3. BULANIK KOŞULLU ÇIKARIM MEKANİZMASI

3.1. Bulanık Koşullu Çıkarım Kuralları

Son zamanlarda bulanık mantıkla ilgili araştırmalarda Bulanık Koşullu Çıkarım Mekanizması (*Fuzzy Conditional Inference Rules*) olarak adlandırılan kurallar kullanılmaktadır. Bu normal olarak dilimizde belirli sayıda bulanık kavramların mevcut olması ve bunlara dayanarak bulanık kavram içeren sebep ve sonuçlardan oluşan mantıksal sonuç çıkarma elde edilmesiyle ilgilidir. Pratikte bulanık çıkarım için sonuçların formelleştirilmesi (matematikleştirilmesi) çok çeşitli olabileceği gözlemlenmiştir [Aliyev 1995, Çiftçi 1996]. Fakat böyle bir formelleştirme yalnız klasik Boole Cebri prensiplerine uymakla elde edilebilmektedir. Diğer bir ifadeyle; böyle bir formelleştirmeyi yapabilmek için çok değerli (*multivalues*) mantıktan faydalanmak gerekmektedir.

Bulanık koşullu çıkarım mekanizmasının kuralları aşağıda üç tip koşullu cümleyi içermektedir.

P1= Eğer x A ise, o halde y B dir.

P2= Eğer x A ise, o halde y B dir, aksi halde y C dir.

P3= Eğer x_1 A_1 ise ve x_2 A_2 ise ve ve x_n A_n ise , o halde y B dir.

Bulanık koşullu çıkarım mekanizması kurallarının formelleştirilmesinin temelini “ayrılma” (*modus ponens*) kuralı teşkil eder. Bu kural “Eğer ($\alpha \rightarrow \beta$) doğru ise ve α doğru ise o halde β doğrudur” şeklindedir. Başka bir ifadeyle sonuçlanma kuralının birinci formu olarak adlandırılır. Bu öylesine bir tümdengelim sonuç çıkarmasıdır ki, bir önerme iki diğer önermenin gerekli sonucudur.

Böyle bir formalleştiririnin metodik temelini [Zadeh 1975] vermiştir. Daha sonra [Mamdani 1977] tarafından diğer çıkarım kuralları teklif edilmiştir. Bunların her ikisi P1 diye adlanan kuralla ilgilidir.

Önerme 1: Eğer $x \in A$ ise, o halde $y \in B$ dir.

Önerme 2: $x \in A'$ dir. (3.1)

Sonuç: $y \in B'$ dir.

Burada A ve A' bir U evrenindeki (*universe*) bulanık kümeler şeklinde sunulmuş bulanık kavramlardır. B bir V evrenindeki bulanık kümedir. B' de V evreninde bulanık küme şeklinde sunulan sonuçtur. Bulanık koşullu çıkarım mekanizmasının yardımıyla B' mantıksal sonucunu elde etmek için yukarıdaki 1 ve 2 önermeleri $R(A_1(x), A_2(y))$ şeklindeki ikili ve $R(A_1(x))$ şeklindeki birli bulanık ilişkilerine getirilir. $A_1(x)$ ve $A_2(y)$ kümeleri uygun olarak U ve V evrenlerinden değerler alan x ve y ile belirlenirler. Bu durumda,

$$R(A_1(x)) = A' \quad (3.2)$$

ve $R(A_1(x), A_2(y))$ Zadeh -Mamdani çıkarım kurallarına dayanarak aşağıdaki gibi belirlenir:

1.) Koşullu cümleinin maksimum kuralı:

$$R_m(A_1(x), A_2(y)) = (A \times B) \cup (\neg A \times V) \quad (3.3)$$

Burada $\times$, $\cup$ ve $\neg$ sırasıyla kartezyen çarpım, birleşim ve invers sembolleridir.

2.) Koşullu cümleinin aritmetik kuralı:

$$R_a(A_1(x), A_2(y)) = (\neg A \times V) \oplus (U \times B) \quad (3.4)$$

Burada $\oplus$ “kısıtlı toplam” sembolüdür.

3.) Koşullu cümlemin mini-fonksiyonel kuralı:

$$R_c(A_1(x), A_2(y)) = A \times B. \quad (3.5)$$

Böylece, [Zadeh 1975, Mamdani 1977] (3.1) de B' olarak verilmiş mantıksal sonuç $R(A_2(y))$ ' yi (3.2) de dikkate alarak aşağıdaki şekilde yazmak mümkündür:

$$R(A_2(y)) = A' \circ [(A \times B) \cup (\neg A \times U)],$$

$$R(A_2(y)) = A' \circ [(\neg A \times V) \oplus (U \times B)], \text{ veya}$$

$$R(A_2(y)) = A' \circ (A \times B)$$

Burada $\circ$ - bulanık kümelerin maksimum-minimum kompozisyon işlemi sembolüdür.

Bu kuralları kullanarak P2 şeklindeki koşullu cümleler için aşağıdaki ifadeler alınmıştır [Baldwin 1979]:

$$4.) R_4(A_1(x), A_2(y)) = [(\neg A \times V) \oplus (U \times B)] \cap [(A \times V) \oplus (U \times C)]; \quad (3.6)$$

$$5.) R_5(A_1(x), A_2(y)) = [(\neg A \times V) \cup (U \times B)] \cap [(A \times V) \cup (U \times C)]; \quad (3.7)$$

$$6.) R_6(A_1(x), A_2(y)) = (A \times B) \cup (\neg A \times C). \quad (3.8)$$

Burada $\cap$ kesişim işlemi sembolüdür.

[Baldwin 1979] P3 tipli cümleler için aşağıdaki kuralları geliştirmiştir.

$$7.) R_7(A_1(x), A_2(y)) = \left[\bigcap_{i=1,n} (\neg A_i \times V) \right] \oplus [(U \times B)]; \quad (3.9)$$

$$8.) R_8(A_1(x), A_2(y)) = \left[\bigcap_{i=1,n} (\neg A_i \times V) \right] \cup [(U \times B)]; \quad (3.10)$$

$$9.) \quad R_9(A_1(x), A_2(y)) = \left[\bigcap_{i=1, n} A_i \right] \times B. \quad (3.11)$$

3.2. Koşullu Bulanık Mantık Kriterleri

Teklif edilen bu kuralların bulanık mantığı ne kadar içerdiğini görmek için [Fukami 1980, Mizumoto 1982] aşağıdaki kriterleri teklif etmişlerdir.

Kriter 1: Önerme 1: Eğer x A ise, o halde y B dir.

Önerme 2: x A dır.

Sonuç: y B dir.

Kriter 2-1: Önerme 1: Eğer x A ise, o halde y B dir.

Önerme 2: x çok A dır.

Sonuç: y çok B dir.

Kriter 2-2: Önerme 1: Eğer x A ise, o halde y B dir.

Önerme 2: x çok A dır.

Sonuç: y B dir.

Kriter 3: Önerme 1: Eğer x A ise, o halde y B dir.

Önerme 2: x az veya çok A dır.

Sonuç: y az veya çok B dir.

Kriter 4-1: Önerme 1: Eğer x A ise, o halde y B dir.

Önerme 2: $x \in A$ değildir.

Sonuç: y belli değildir.

Kriter 4-2: Önerme 1: Eğer $x \in A$ ise, o halde $y \in B$ dir.

Önerme 2: $x \in A$ değildir.

Sonuç: $y \in B$ değildir.

[Fukami 1980], (3.3) - (3.5) kurallarının bu kriterlere her zaman uymadığını göstermiştir. Maks-min kuralı, yani R_m için $A = A'$ olduğunda aşağıdaki ifadeler alınmıştır.

$$\begin{aligned}
 B'_m &= A \circ [(A \times B) \cup (\neg A \times V)] = \\
 &= \int_U \mu_A(u) / u \circ \int_{UXV} (\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)) \vee (1 - \mu_A(u)) / (u, v) = \\
 &= \int_V \bigvee_{u \in U} [\mu_A(u) \wedge ((\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)) \vee (1 - \mu_A(u)))] / v.
 \end{aligned}$$

Aşağıdaki işaretleme kabul edelim:

$$S_m(\mu_A(u)) = \mu_A(u) \wedge ((\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)) \vee (1 - \mu_A(u))).$$

$u \in U$ için $\mu_A(u)$ $[0,1]$ aralığından değerler aldığı için,

$$\bigvee_{u \in U} S_m(\mu_A(u)) = \begin{cases} \mu_B(v), & \mu_B(v) \geq 0.5 ; \\ 0.5, & \mu_B(v) \leq 0.5 . \end{cases}$$

Buradan:

$$B'_m = \int_V \bigvee_{u \in U} S_m(\mu_A(u)) / v . \text{ ifadesi alınır.}$$

Buradan $B'_m \neq B_m$ olmadığı, yani kriter 1'in sağlanmadığı görülmektedir. Diğer taraftan $A' = A^2$ (Çok A) durumu için;

$$S'_m(\mu_A(u)) = \mu_A^2(u) \wedge [(\mu_A(u) \wedge \mu_B(v)) \vee (1 - \mu_A(u))]. \text{ Buradan}$$

$$\bigvee_{u \in U} S'_m(\mu_A(u)) = \begin{cases} \mu_B(v), & \mu_B(v) \geq (3 - \sqrt{5})/2; \\ (3 - \sqrt{5})/2, & \mu_B(v) \leq (3 - \sqrt{5})/2, \end{cases}$$

yani $B'_m \neq B$ veya 2-1 ve 2-2 kriterlerinin de sağlanmadığı görülmektedir. A' az veya çok A dır durumu için de kriter 3'ün de sağlanmadığı görülmektedir, fakat kriter 4-1 sağlanmaktadır.

R_a aritmetik kuralı için $B'_a = A^a \circ [(\neg A \times V) \oplus (U \times B)]$, aşağıdakiler elde edilebilir.

a) $A' = A$ için

$$\bigvee_{u \in U} S_a(\mu_A(u), 1) = [1 + \mu_B(v)]/2, \quad \text{veya}$$

$$B'_a = \int_V \bigvee_{u \in U} S_a(\mu_A(u), 1) / v = \int_V \{[1 + \mu_B(v)]/2\} / v, \text{ yani } B'_a \neq B \text{ veya kriter}$$

1'i sağlamadığı görülmektedir.

b) $A' = A^2$ (Çok A)

$$B'_a = \int_V \{[3 + 2\mu_B(v) - \sqrt{5 + 4\mu_B(v)}]/2\} / v,$$

fakat, çok $B = \int_V \mu_B^2(v) / v$.

Böylece $B'_a \neq$ çok B , yani kriter 2-1'i de sağlamamaktadır. $B = \int_V \mu_B(v) / v$

olduğunda da $B'_a \neq B$, yani kriter 2-2'ninde sağlanmadığı görülür.

c) $A' = A^{0.5}$ (az veya çok A) olduğunda

$$B'_a = \int_V \left\{ \left[-1 + \sqrt{5 + 4\mu_B(v)} \right] / 2 \right\} / v \neq \int_V \mu_B^{0.5}(v) / v = \quad (\text{az veya çok } B).$$

Başka bir ifadeyle kriter 3 sağlanmamakta, kriter 4-1 ise sağlanmaktadır.

R_c kuralı için kriter 1 ve kriter 2-2'nin sağlandığı; kriter 2-1 ve kriter 3'ün sağlanmadığı görülür. Bu durumda, eğer $A' = A$ değil ise, o halde

$$B'_c(-A) \circ (A \times B) = \begin{cases} \int_V 0.5 / v, & \mu_B(v) \geq 0.5; \\ \int_V \mu_B(v) / v, & \mu_B(v) \leq 0.5, \end{cases}$$

yani kriter 4-1 ve 4-2 sağlanmamaktadır. Burada gösterilen bu tip kurallar için mantıksal sonuçlar bizim sezgilerimizi her zaman müspet olarak desteklemediği görülmektedir. Böylece (3.6) - (3.11) kuralları Zadeh-Mamdani kurallarının P_2 , P_3 koşullu cümlelerine uygulanış değişikliğidir. Bu yüzden onlar her zaman kriter 1 ve 4'ü karşılamayabilir.

[Fukami 1980] tarafından yukarıda gösterilen bulanık koşullu çıkarım kurallarını iyileştirmeye yönelmiş ve önemli genelleştirmeler yapmıştır. Özellikle P_1 tipi önermesi için Zadeh tarafından belirlenmiş (3.4) aritmetik kuralı bulanık ilişkiler diline geçerken aşağıdaki şekli alır.

$$R_a(A_1(x), A_2(y)) = (-A \times V) \oplus (U \times B) = \int_{U \times V} 1 \wedge (1 - \mu_A(u) + \mu_B(v)) / (u, v).$$

Bu bulanık ilişkide aitlik fonksiyonu $1 \wedge (1 - \mu_A(u) + \mu_B(v))$, şeklinde olduğu görülmektedir. Bu Lukasiewicz'in ℓ bulanık mantık işlemine karşılık gelmektedir. Yani;

$$v(P \xrightarrow{\ell} Q) = 1 \wedge (1 - v(P) + v(Q)), \quad (3.12)$$

Burada $v(P \xrightarrow{t} Q)$, $v(P)$ ve $v(Q)$ sırasıyla $P \xrightarrow{t} Q$, P ve Q mantıksal önermeleri için doğruluk değerleridir. Diğer bir ifadeyle (3.12) ifadesi ℓ mantığının koşullu önermeye uygunlaştırılmasıdır. Bunu dikkate alarak $R_a(A_1(x), A_2(y))$ için aşağıdaki ifade alınmıştır.

$$\begin{aligned}
 R_a(A_1(x), A_2(y)) &= (\neg A \times V) \oplus (U \times V) = \\
 &= \int_{UXV} 1 \wedge (1 - \mu_A(u) + \mu_B(v)) / (u, v) = \\
 &= \int_{UXV} (\mu_A(u) \xrightarrow{t} \mu_B(v)) / (u, v) = (A \times V) \xrightarrow{t} (U \times B). \quad (3.13)
 \end{aligned}$$

(3.13) ifadesi ℓ bulanık mantığından başka diğer mantıkta da gösterilebilir. Bunun için aşağıdakileri yapalım. U 'dan A ; V 'den B bulanık kümeler aşağıdaki gibi verilmiş olsun

$$A = \int_U \mu_A(u) / u, \quad B = \int_V \mu_B(v) / v,$$

O zaman yukarıda da gösterildiği gibi P_1 koşullu önermesi implifikasyon (implication) işleminin " $\rightarrow$ " bulanık mantığa uygunlaştırılması yoluyla $R(A_1(x), A_2(y))$ ikili bulanık ilişkisine getirilebilmektedir.

$$R(A_1(x), A_2(y)) = A \times V \rightarrow U \times B = \int_{UXV} (\mu_A(u) \rightarrow \mu_B(v)) / (u, v), \quad (3.14)$$

Burada $\mu_A(u) \rightarrow \mu_B(v)$ değeri seçilmiş mantığa bağlı olarak belirlenir.

$R(A_1(x)) = A$ yaparak $R(A_1(x))$ ve $R(A_1(x), A_2(y))$ için koşullu çıkarım mekanizmasını kullanarak $R(A_2(y))$ için mantıksal çıkarım elde etmek mümkündür. Buradan (3.14)'ü dikkate almakla:

$$\begin{aligned}
R(A_2(y)) &= A \circ R(A_1(x), A_2(y)) = \int_U \mu_A(u) / u \circ \\
\int_{UXV} (\mu_A(u) \rightarrow \mu_B(v)) / (u, v) &= \\
= \int_V \bigvee_{u \in U} [\mu_A(u) \wedge (\mu_A(u) \rightarrow \mu_B(v))] / v. & \quad (3.15)
\end{aligned}$$

(3.15) ifadesinde kriter 1'in sağlanması için $R(A_2(y)) = B$ veya

$$\bigvee_{u \in U} [\mu_A(u) \wedge (\mu_A(u) \rightarrow \mu_B(v))] = \mu_B(v), \quad \text{veya aşağıdaki eşitsizliğin}$$

sağlanması gerekmektedir.

$$\mu_A(u) \wedge (\mu_A(u) \rightarrow \mu_B(v)) \leq \mu_B(v), \quad (3.16)$$

Bu eşitlik ve eşitlikler keyfi $u \in U$ ve $v \in V'$ veya $v(P \wedge (P \rightarrow Q)) \leq v(Q)$ doğruluk değerleri teriminde yer almaktadır. Bunlara dayanarak bulanık koşullu çıkarım kurallarının formelleştirilmesi için gereken iki temel ifadeyi şöyle gösterebiliriz. Bu koşul:

- 1) Kriter 1 ve 4'e cevap vermeli
- 2) (3.16) eşitsizliğini sağlamalı

Buna bağlı olarak iyileştirilmiş bulanık koşullu çıkarım kurallarının formelleştirilmesinin öylesine bir çok değerli, yani bulanık mantığın aranmasına getirmelidir ki bu mantık yukarıda gösterdiğimiz 1-2 maddelerini sağlasın. Bunun için kısaca mevcut bulanık mantıkların analizini yapalım.

Böyle mantıklar geniş olarak ilk defa [Rescher 1969]'da gösterilmiş ve onlardan altısının mukayeseli analizini [Bandler, Kohout 1980] yapmıştır.

- 1) $S^\#$ mantığı

$$a \xrightarrow{S^\#} b = \begin{cases} 1, & \text{eğer } a \neq 1 \text{ veya } b = 1; \\ 0 & \text{aksi durumda.} \end{cases}$$

- 2) S mantığı (*Standard sequence*)

$$a \xrightarrow{S} b = \begin{cases} 1, & \text{eğer } a \leq b; \\ 0, & \text{aksi durumda.} \end{cases}$$

3) G mantığı (*Gödelian sequence*)

$$a \xrightarrow{g} b = \begin{cases} 1, & \text{eğer } a \leq b; \\ 0 & \text{aksi durumda.} \end{cases}$$

4) G43 mantığı (Gaines tarafından teklif edilmiştir)

$a = 0$ olduğunda $a \xrightarrow{g43} b = \min(1, b / a)$ 1'e eşit götürülür.

5) ℓ mantığı (*Lukasiewicz*)

$$a \xrightarrow{\ell} b = \min(1, 1 - a + b)$$

6) CD mantığı

$$a \xrightarrow{CD} b = (1 - a) \vee b = \max(1 - a, b).$$

$$7) \quad a \xrightarrow{\neg} b = (a \wedge b) \vee (1 - a) = (a \xrightarrow{CD} b) \wedge k_a$$

burada $k_a = \max(a, 1 - a)$

$$8) \quad a \xrightarrow{g} b = (a \wedge b) \vee ([1 - a] \wedge [1 - b]) \vee ([1 - b] \vee (b \vee [1 - a])) = \\ = (a \xrightarrow{CD} b) \wedge k_a \wedge k_b.$$

İmplifikasyon işleminin bu gösterilen bulanık mantıklarda analizi yalnızca S ve G mantıkları 1 ve 2 maddelerini sağladığı gözükmemektedir. Böylece bulanık koşullu çıkarım kurallarının iyileştirilmesi için bir formül olanağı doğmaktadır. Bu formüller aşağıdaki gibi olmaktadır.

1) $R(A_2(y)) = R(A_1(x)) \circ R_s(A_1(x), A_2(y))$. Burada;

$$\begin{aligned}
 R_s(A_1(x), A_2(y)) &= A \times V \xrightarrow{S} U \times B = \int_{UXV} \mu_A(u) / (u, v) \xrightarrow{S} \int_{UXV} \mu_B(v) / (u, v) = \\
 &= \int \mu_A(u) / (u, v) \xrightarrow{S} \int \mu_B(v) / (u, v) =; \\
 &= \int_{UXV} (\mu_A(u) \xrightarrow{S} \mu_B(v)) / (u, v), \text{ Burada;} \\
 \mu_A(u) \xrightarrow{S} \mu_B(v) &= \begin{cases} 1, & \text{eğer } \mu_A(u) \leq \mu_B(v); \\ 0 & \text{aksi durumda.} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Bu tanım S mantığında implifikasyon işlemine esaslanmaktadır. Yani,

$$v(P \rightarrow Q) = \begin{cases} 1, & \text{eğer } v(P) \leq v(Q); \\ 0, & \text{eğer } v(P) > v(Q). \end{cases}$$

2) $R(A_2(y)) = R(A_1(x)) \circ R_g(A_1(x), A_2(y))$, Burada

$$\begin{aligned}
 R_g(A_1(x), A_2(y)) &= A \times V \xrightarrow{g} U \times B = \int_{UXV} (\mu_A(u) \xrightarrow{g} \mu_B(v)) / (u, v), \text{ bu eşitlikte;} \\
 \mu_A(u) \xrightarrow{g} \mu_B(v) &= \begin{cases} 1, & \text{eğer } v(P) \leq v(Q); \\ v(Q), & \text{eğer } v(P) > v(Q). \end{cases}
 \end{aligned}$$

uygun gelmektedir.

Yukarıda verdiğimiz sonuçlar bulanık koşullu çıkarım kurallarının formalleştirilmesi alanında bir dizi eksikliklerin olduğunu göstermektedir. Bu eksiklikler,

1) Zadeh-Mamdani fikirlerini temel alan bulanık koşullu çıkarım kuralları

(3.16) eşitsizliğini ve 1 ile 4 kriterlerini sağlamamaktadır.

2) S ve G mantıkları da iyileştirilmiş bulanık koşullu çıkarım kurallarını yalnızca P_1 tipli koşullu mantıksal önerme için geçerli olmaktadır.

3) Bulanık mantık S mantığında implifikasyon değeri pratik olarak klasik Boole Cebiri prensibiyle belirlenebilir. 1 veya 0 olabilir. Bu da onun uygulama

alanını çok daraltmaktadır. Bu durumda giriş ve çıkış değerlerinin bulanık olması dikkate alınmamaktadır. Aynı prensiple G mantığında giriş değerlerinin bulanık olması dikkate alınmamaktadır.

3.3. Z_1 Bulanık Mantığının Özellikleri

A ve B mantıksal önermelerinin doğruluk derecelerini $T(A)=a$ ve $T(B)=b$ olarak gösterelim. Bu durumda belirli Boole Fonksiyonları aşağıdaki gibi değişecektir:

$$1) \text{ Toplama} \quad A \overset{1}{\vee} B = \begin{cases} a, & a+b > 1 \\ 1, & a+b = 1 \\ b, & a+b < 1 \end{cases}$$

$$2) \text{ Çarpma} \quad A \overset{1}{\wedge} B = \begin{cases} a, & a+b < 1 \\ 0, & a+b = 1 \\ b, & a+b > 1 \end{cases}$$

$$3) \text{ İnvrs} \quad \neg A = (1-a)$$

$$4) \text{ Zıtlık} \quad \overset{0}{A} = 0$$

$$5) \text{ Tautoloji} \quad A' = 1$$

$$6) \text{ Eşdeğerlik} \quad A \overset{1}{\longleftrightarrow} B = \begin{cases} 1-k_a, & a < b \\ 1, & a = b \\ 1-k_b, & a > b \end{cases}$$

$$7) \text{ Sheffer Fonksiyonu} \quad A \overset{1}{\uparrow} B = \begin{cases} 1-a, & a+b < 1 \\ 1, & a+b = 1 \\ 1-b, & a+b > 1 \end{cases}$$

$$8) \text{ Pierce Fonksiyonu} \quad A \overset{1}{\downarrow} B = \begin{cases} 1-a, & a+b > 1 \\ 0, & a+b = 1 \\ 1-b, & a+b < 1 \end{cases}$$

Buradan; $T(\neg \tilde{A}) = 1 - T(\tilde{A})$; $T(\tilde{A}) = T(A \wedge_1 \neg A)$;

ve $T(\tilde{A}) = T(A \vee_1 \neg A)$ olduğu görülmektedir.

Bu tür bulanık mantık da aşağıdaki özellikler mevcuttur.

1) Değişme özelliği yoktur.

$$a \vee_1 b \neq b \vee_1 a \quad \text{ve} \quad a \wedge_1 b \neq a \wedge_1 b$$

Bu özellik sebep-sonuç ilişkilerini kullanmak için çok önemlidir. Bir sürecin fiziğini bilmeden, onun sebep-sonuç ilişkilerini mantık seviyesinde bulmaya imkan verir. Z_1 bulanık mantığının aşağıdaki şekilde invers kullandığı takdirde değişme özelliğinin olduğunu gösterelim.

$$\neg A = \begin{cases} 1, & a = 0 \\ 0, & a \neq 0 \end{cases}$$

2) Birleşme özelliği yoktur.

$$a \wedge_1 (b \wedge_1 c) \neq (a \wedge_1 b) \wedge_1 c \quad \text{ve} \quad a \vee_1 (b \vee_1 c) \neq (a \vee_1 b) \vee_1 c$$

3) Dağılma özelliği yoktur.

$$(a \vee_1 b) \wedge_1 c \neq (a \wedge_1 c) \vee_1 (b \wedge_1 c) \quad \text{ve} \quad (a \wedge_1 b) \vee_1 c \neq (a \vee_1 c) \wedge_1 (b \vee_1 c)$$

4) De Morgan teoremi sağlanmaktadır.

$$\overline{a \wedge_1 b} = \overline{a} \vee_1 \overline{b} \quad \overline{a \vee_1 b} = \overline{a} \wedge_1 \overline{b}$$

Z_1 bulanık mantığı için aşağıdaki dört özellik de verilebilir.

$$\begin{aligned} 1) \quad a \wedge_1 0 &= \begin{cases} a, & a \neq 1 \\ 0, & a = 1 \end{cases} & 2) \quad a \vee_1 1 &= \begin{cases} 1, & a \leq 0 \\ a, & a > 0 \end{cases} & 3) \quad (a) &= a \\ 4) \quad a \wedge_1 a &= \begin{cases} a, & a \neq 0.5 \\ 0, & a = 0.5 \end{cases} & a \vee_1 a &= \begin{cases} 1, & a = 0.5 \\ a, & a \neq 0.5 \end{cases} \end{aligned}$$

Bundan başka diğer bulanık mantıklar da mevcuttur. Mesela Z_2, Z_3, Z_4

[Aliyev 1995 ,Aliyev 1997]. Biz araştırmamızda ileride de görüleceği gibi Z_1 mantığını kullandık ve Z_1 mantığı kriter 1 ve 4'ü sağlamaktadır. Bu da bulanık koşullu çıkarım kurallarını kullanmaya imkan vermektedir.

3.4. Koşullu P_1 Önermesi İçin Bulanık Koşullu Çıkarım Kuralının Formalleştirilmesi

P_1 = Eğer $x \in A$ ise; o halde $y \in B$ dir.

P_2 = Eğer $x \in A$ ise; o halde $y \in B$ dir, aksi halde C dir.

P_3 = Eğer $x_1 \in A_1$ ise ve $x_2 \in A_2$ ise ve ... ve $x_n \in A_n$ ise, o halde $y \in B$ dir.

Yukarıda da verildiği gibi P_1 koşullu önermesi için bulanık koşullu çıkarım kuralı aşağıdaki gibidir.

Önerme 1: Eğer $x \in A$ ise, o halde $y \in B$ dir.

Önerme 2: $x \in A'$ dır.

Sonuç: $y \in B'$ dır.

Burada A, B ve B' sırasıyla U, V ve V' evrenlerinde verilen ve 1, 2-1, 3 ve 4-1 kriterlerini sağlayan bulanık kümeler şeklinde bulanık kavramlardır. Burada Önerme 2 $R(A_1(x)) = A'$ şeklindeki birli (unar) bulanık ilişkiye ve Önerme 1 $R(A_1(x), A_2(y))$ ikili (binar) bulanık ilişkisine bağlanırsa bu durumda $R(A_2(y))$ çıkarımı aşağıdaki bulanık koşullu çıkarım kuralına uygun olarak elde edilebilir.

$$R(A_2(y)) = R(A_1(x)) \circ R(A_1(x), A_2(y)). \quad (3.3.2)$$

Bu ifade de $R(A_2(y))$, (3.3.1) eşitliğindeki B' 'ne eşit olmaktadır.

Bununla birlikte aşağıdaki teorem ispatlanabilir [Aliyev 1995]:

Teorem: Eğer $A \subseteq U$ ve $B \subseteq V$ bulanık kümeleri

$$A = \int_U \mu_A(u) / u, \quad B = \int_V \mu_B(v) / v \quad (3.3.3)$$

şeklinde verilmişse ve $R(A_1(x), A_2(y))$ ikili ilişkisi Z_1 bulanık mantık sisteminde aşağıdaki gibi belirlenmişse,

$$\begin{aligned} R(A_1(x), A_2(y)) &= A \times V \xrightarrow{-1} U \times B = \int_{UXV} \mu_A(u) / (u, v) \xrightarrow{-1} \int_{UXV} \mu_B(v) / (u, v) = \\ &= \int_{UXV} (\mu_A(u) \xrightarrow{-1} \mu_B(v)) / (u, v) \end{aligned} \quad (3.3.4)$$

Burada;

$$\mu_A(u) \xrightarrow{-1} \mu_B(v) = \begin{cases} 1 - \mu_A(u), & \text{eğer } \mu_A(u) < \mu_B(v) \\ 1, & \text{eğer } \mu_A(u) = \mu_B(v) \\ \mu_B(v), & \text{eğer } \mu_A(u) > \mu_B(v) \end{cases}$$

ise o zaman ikili ilişki kriter 1 ve 4'ü sağlamaktadır.

BÖLÜM IV

4. KOŞULLU BULANIK MANTIK YÖNTEMİYLE SICAKLIK VE NEMİN KONTROL EDİLMESİ

4.1. Sıcaklık Ve Nemin Kontrolünün Formalleştirilmesi

Bir ortamın sıcaklığına etki eden 2 parametre vardır. Bunlar;

$$X_1 = \text{Nem} \quad \text{ve} \quad X_2 = \text{Sıcaklık}$$

Bu parametrelerin $X_j \in [X_{j\min}, X_{j\max}]$, $j=1,2$ arasında olduğunu kabul edelim.

$X_{1\min}, X_{1\max}$ nemin minimum ve maksimum değerleri;

$X_{2\min}, X_{2\max}$ sıcaklığın minimum ve maksimum değerleridir.

X_1, X_2 giriş parametrelerini bulanık kümeler olarak aşağıdaki gibi gösterebiliriz.

$$X_j^0 = \{ \langle X_j^i, U_{X_j}, \tilde{X}_j \rangle \}, \quad X_j^i \in T_j^*(u), \quad j=1,2; i=0,1,\dots,10 \quad \text{Burada;}$$

$T_j^*(u) \rightarrow \langle \langle \text{Parametre } j \rangle \rangle$ dilsel değişkeninin genişletilmiş terim kümesi

$X_j \rightarrow \mu_{X_j}: U_{X_j} \rightarrow [0,1]$; üyelik fonksiyonuyla verilen bulanık küme

$U_{X_j} = \{0,1,\dots,10\}$ şeklinde verilmiş sabit sayılardır.

$\langle \langle \text{Parametre } j \rangle \rangle$ dilsel değişkeninin değeri Çizelge 4.1 ve 4.2'de sıcaklık ve nem için gösterilmiştir.

$q_j: X_j \rightarrow U_{X_j}$, $j=1,2$ için aşağıdaki ifadeler yazılabilir.

$$u_i = \text{Ent} \left[\left(\text{Card}(U_{X_j}) - 1 \right) \left(\frac{X_j - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}} \right)^a \right], \quad j=1,2; i=0,1,\dots,10 \quad (4.1)$$

Bu denklemde;

$\text{Card}(U_{X_j}) \rightarrow U_{X_j} = \{0,1,\dots,10\}$ kümesinin maksimum gücüdür.

Yani $\text{Card}(U_{X_j}) - 1 = 10$; $X_j \rightarrow j$ 'inci değişkenin o andaki değeri ;
 α bir katsayıdır ve daima $(\alpha \geq 1)$ 'dir.

"Sıcaklık" Dilsel Değişkeninin Değeri	$u_i \in U_{X_j}$
Çok Soğuk	0
Soğuk	1
Soğuğa Yakın	2
Soğuk Gibi	3
Ortadan Düşük	4
Orta	5
Ortadan Yüksek	6
Sıcak Gibi	7
Sıcağa Yakın	8
Sıcak	9
Çok Sıcak	10

Çizelge 4.1 "Sıcaklık" dilsel değişkeninin değeri

X_j bulanık kümesi aşağıdaki gibidir.

$$\tilde{X}_j = \int_{U_{X_j}} \mu_{X_j}(u) / u, \quad j = 1, 2 \quad (4.2)$$

(4.2) denklemi $\mu_{X_j}(u_i) / (u_i)$, $i = 0, 1, \dots, 10$ şeklindedir.

Üyelik fonksiyonlarının bulunması için

$$\mu(u_i) = 1 - \frac{1}{(\text{Card}(U_{X_j}) - 1)} \left| u_i - \text{Ent} \left[\text{Card}(U_{X_j}) - 1 \left(\frac{X_j - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}} \right)^\alpha \right] \right| \quad (4.3)$$

$\text{Card}(U_{X_j}) - 1 = 10$, $i = 0, 1, \dots, 10$ ve $\alpha = 1$ 'dir.

$\forall_j = 1,2 :$ için aşağıdaki ifadeler alınır.

$$\mu(u_i) = 1 - \frac{1}{10} \left| u_i - \text{Ent} \left[10 \left(\frac{X_j - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}} \right) \right] \right|, \quad i=0,1,\dots,10 \quad (4.4)$$

“Nem” Dilsel Değişkeninin Değeri	$u_i \in U_{X_j}$
Çok Kuru	0
Kuru	1
Kuruya Yakın	2
Kuru Gibi	3
Ortadan Düşük	4
Orta	5
Ortadan Yüksek	6
Nemli Gibi	7
Nemliye Yakın	8
Nemli	9
Çok Nemli	10

Çizelge 4.2. “Nem” dilsel değişkeninin değeri

Çıkış parametresi olan Y Bulanık kümesi; dilsel değişkenleri oluşturan formlar aşağıdaki gibi verilebilir.

$$Y^0 = \{ \langle Y_l, V_Y, \tilde{Y} \rangle \}, \quad Y_l \in T^*(v), \quad i=0,1,\dots,10$$

$T^*(v) \rightarrow \langle\langle \text{Çıkış} \rangle\rangle$ dilsel değişkeninin genişletilmiş terim kümesidir.

$\tilde{Y} \rightarrow \mu_{\tilde{Y}}: V_Y \rightarrow [0,1]$; üyelik fonksiyonuyla verilen bulanık kümedir ve

$V_Y = \{0,1,\dots,10\}$ şeklindedir.

<< Çıkış >> dilsel değişkeninin değeri Çizelge 4.3’de verilmiştir
 Y bulanık kümesi aşağıdaki gibidir.

$$\tilde{Y} = \int_{V_Y} \mu(v) / v \quad (4.5)$$

Ölçülen giriş değerlerine uygun gelen o andaki çıkış değerini elde etmek için koşullu bulanık çıkarım kurallarından birini kullanırsak; (Bakınız 3.3.4)

$$R_1(A_1(x), A_2(y)) = \left(\left[\bigcap_i \tilde{X}_j \right] \times V_Y \xrightarrow{\quad} U_{X_j} \times \tilde{Y} \right) \cap \left(\neg \left[\bigcap_j \tilde{X}_j \right] \times \xrightarrow{\quad} U_{X_j} \times \neg \tilde{Y} \right),$$

$$j=1,2 \ ; \ (4.6)$$

veya üyelik fonksiyonları $\forall_j = 1,2$ için,

$$R_1(A_1(x), A_2(y)) = \int_{U_{X_j} \times V_Y} (\mu_{X_j}(u) \rightarrow \mu(v)) \wedge \left[(1 - \mu_{X_j}(u)) \xrightarrow{\quad} (1 - \mu(v)) \right] / (u, v) =$$

$$= \begin{cases} 1 - \mu(u), & \text{eğer } \mu_{X_j}(u) < \mu(v) \\ 1, & \text{eğer } \mu_{X_j}(u) = \mu(v) \\ \mu(v), & \text{eğer } \mu_{X_j}(u) > \mu(v) \end{cases} \quad (4.7)$$

“Çıkış” Dilsel Değişkeninin Değeri	$v_i \in V_Y$
Soğutucuyu Maksimum Aç	0
Soğutucuyu Aç	1
Soğutucuyu Çok Az Aç	2
Soğutucuyu Minimum Aç	3
Normal	4
Normal	5
Normal	6
Isıtıcıyı Minimum Aç	7
Isıtıcıyı Çok Az Aç	8
Isıtıcıyı Aç	9
Isıtıcıyı Maksimum Aç	10

Çizelge 4.2 : “Çıkış” dilsel değişkeninin değeri

Şimdi (4.7) denklemine uygun olarak bulanık binary matris bağıntısını elde edelim.

$u \backslash v$	0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	1
1	0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	1
.9	0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	1	0
.8	0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	.7	1	.1	0
.7	0	.1	.2	.3	.4	.5	.6	1	.2	.1	0
.6	0	.1	.2	.3	.4	.5	1	.3	.2	.1	0
$R_1(A_1(x), A_2(y)) = .5$	0	.1	.2	.3	.4	1	.4	.3	.2	.1	0
.4	0	.1	.2	.3	1	.5	.4	.3	.2	.1	0
.3	0	.1	.2	1	.6	.5	.4	.3	.2	.1	0
.2	0	.1	1	.7	.6	.5	.4	.3	.2	.1	0
.1	0	1	.8	.7	.6	.5	.4	.3	.2	.1	0
0	1	.9	.8	.7	.6	.5	.4	.3	.2	.1	0

X_1 ve X_2 giriş parametreleri teknolojik açıdan aynı öneme sahip değildir.

Yani ; ortamın sıcaklığı , ortamın neminden daha önemlidir. Bu yüzden (4.6)

ve (4.7) ifadelerindeki, $\mu(u) = \mu_{X_1}(u) \wedge \mu_{X_2}(u)$ üyelik fonksiyonu yerine;

daha önceden açıklanmış önemlilik sıralamasında “ayırma prensibine göre”

bulanık kümelerin “genişletilmesi” işlemini kullanırsak. (Yani giriş bulanık

kümesi, $\tilde{X} = \tilde{X}_1 \cap \text{DIL}(\tilde{X}_2)$ şeklinde yazılır.). Bu durumda üyelik

fonksiyonu ; $\mu(u) = \mu_{X_1}(u) \wedge [\mu_{X_2}(u)]^{0.5}$ (4.8)

$R_1(A_1(x), A_2(x))$ binary bağıntısını formelleştirmek için teknolojik özellikleri kullanarak bir uzman tarafından belirlenmiş aşağıdaki koşullu cümleleri kullanalım.

P_1 : Eğer $\tilde{X}_1$ “Çok Soğuk” ise o halde $\tilde{Y}$ “Isıtıcıyı maksimum aç”; aksi halde $\tilde{Y}$ “Soğutucuyu maksimum aç”

$\tilde{X}_1$ = “Çok Soğuk” bulanık kümesini kurmak için (4.1) denkleminde ve dilsel değişkenin “parametre j”= “Çok Soğuk” (Çizelge 4.1) değerine $u_i=0$ olmasından yararlanarak X_1 parametresinin uygun değerini bulalım.

$$\text{ent} \left[\left(\text{Card}(U_{X_1}) \left(\frac{X_1 - X_{1\min}}{X_{1\max} - X_{1\min}} \right) \right) \right] = 0 \quad \text{veya} \quad \text{ent} \left[10 \left(\frac{X_1 - X_{1\min}}{X_{1\max} - X_{1\min}} \right) \right] = 0$$

ve buradan $X_1 = X_{1\min}$ olduğu görülür.

Çizelge 4.3’den “Çıkış”= “Isıtıcıyı Maksimum Aç” dilsel değişken değerinin $u_i = 10$ olduğu görülür. Yine aynı şekilde (4.1) denkleminde yararlanarak,

$$\text{ent} \left[\left(\text{Card}(V_Y) - 1 \right) \left(\frac{Y_i - Y_{\min}}{Y_{\max} - Y_{\min}} \right) \right] = 10 \quad \text{veya} \quad \text{ent} \left[10 \left(\frac{Y_i - Y_{\min}}{Y_{\max} - Y_{\min}} \right) \right] = 10$$

ve buradan $Y_i = Y_{\max}$ olduğu görülür. Aynı işlemler nem içinde yapılabilir.

4.2. Sıcaklık Ve Nemin Kontrol Edilmesinin Hesaplanması Algoritması

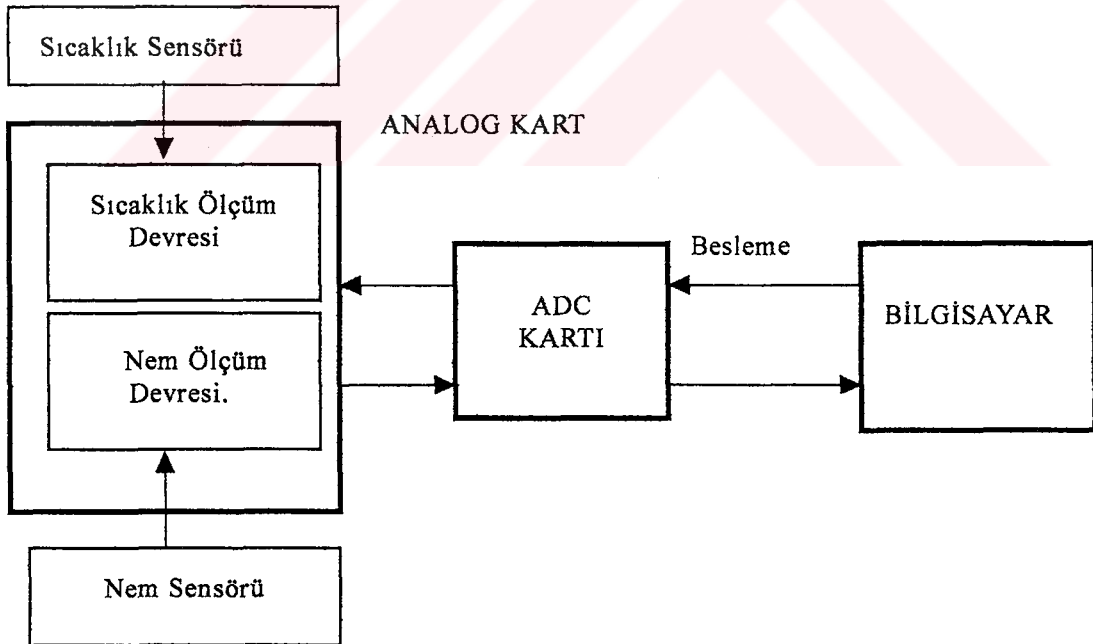
Bir önceki bölümde anlatılan yöntemden yararlanarak sıcaklık ve nemin bulanık mantık yöntemiyle kontrol edilmesi için bir algoritma yapılmıştır. Burada sıcaklık ve nemin sensörler tarafından algılanarak, analog-digital dönüştürücü kartı tarafından okunması ve okunan değerlerin ekrana yansıtılması, bulanık çıkış kontrol değerlerinin hesaplanması gösterilmiştir. Algoritma Ek-1’de, bu algoritmaya dayanarak QBASIC dilinde yazılmış program Ek-2’de ve programın çalışması sırasındaki ekran görüntü örnekleri ise Ek-3’de gösterilmiştir.



BÖLÜM V

5. SİSTEMİN TASARIMI

Bulanık mantık yoluyla belli parametreleri kontrol ederken, bu parametrelerin bilgisayara (veya mikroişlemciye) dahil edilmesi, kontrol değerlerinin hesaplanmasından sonra elde edilen sonuçlar dışarı, kontrol edilecek sisteme verilmelidir. Çalışmada kontrol edilen parametreler herhangi bir ortamın sıcaklığı ve nemi olduğundan dolayı bu parametreleri algılamak için sıcaklık ve nem sensörleri kullanılmalıdır. Bu yolla elde edilen parametreler analog değere sahip olduğundan, analog-dijital dönüştürücülerin kullanılması gerekmektedir. Bütün bunları dikkate alarak tasarladığımız devre 3 ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar analog kart (sıcaklık ve nemi ölçüldüğü devre), Analog-Dijital Dönüştürücü kartı (ADC) ve Bilgisayardır. Sistem blok olarak Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

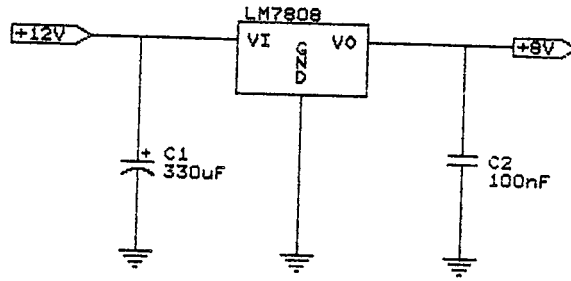


Şekil 5.1. Sistem blok diyagramı

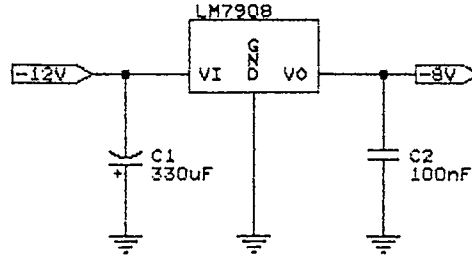
Blok diyagramından görüldüğü gibi sıcaklık ve nemin kontrol değerleri bilgisayar ekranına yansımakta ve dışarı verilmemektedir. Bunun nedeni sistemin karmaşıklığını arttırmamak, yalnızca koşullu bulanık mantık yardımıyla daha esnek kontrol parametrelerinin elde edilmesini göstermektedir.

5.1. Analog Kartın Tasarımı

Sistemin beslemesi bilgisayar tarafından sağlanmaktadır. Bilgisayardan +12 V ve -12 V alınarak 7808 ve 7908 voltaj regülatörleri vasıtasıyla +8 V, -8 V gerilimine regüle edilir. IC gerilim regülatörü, uçlardan birine uygulanan regülasyonsuz bir gerilimi (V_i) alır ve ikinci uçtan regülasyonlu bir çıkış gerilimi (V_o) verir ; üçüncü uç ise toprağa bağlıdır. IC gerilim regülatörü özellikleri verilirken bir gerilim aralığı belirtilir; giriş gerilimi, bu aralık içinde, belli bir yük akımı aralığında regülasyonlu çıkış gerilimi V_o korunacak şekilde değişebilir. IC'nin çalışması için bir çıkış gerilim farkının korunması gerekir. Dolayısıyla IC'nin regüle yapabilmesi için girişe uygulanması gereken minimum gerilim kataloglarda belirtilir. 7808 için minimum giriş gerilimi +10.5 V, 7908 için minimum giriş gerilimi -10.5 Volttur. Regülasyonsuz ± 12 Voltun regüleli ± 8 Volta çevrildiği devre şekil 5.2 ve şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. +8 Volt besleme devresi



Şekil 5.3. -8 Volt besleme devresi

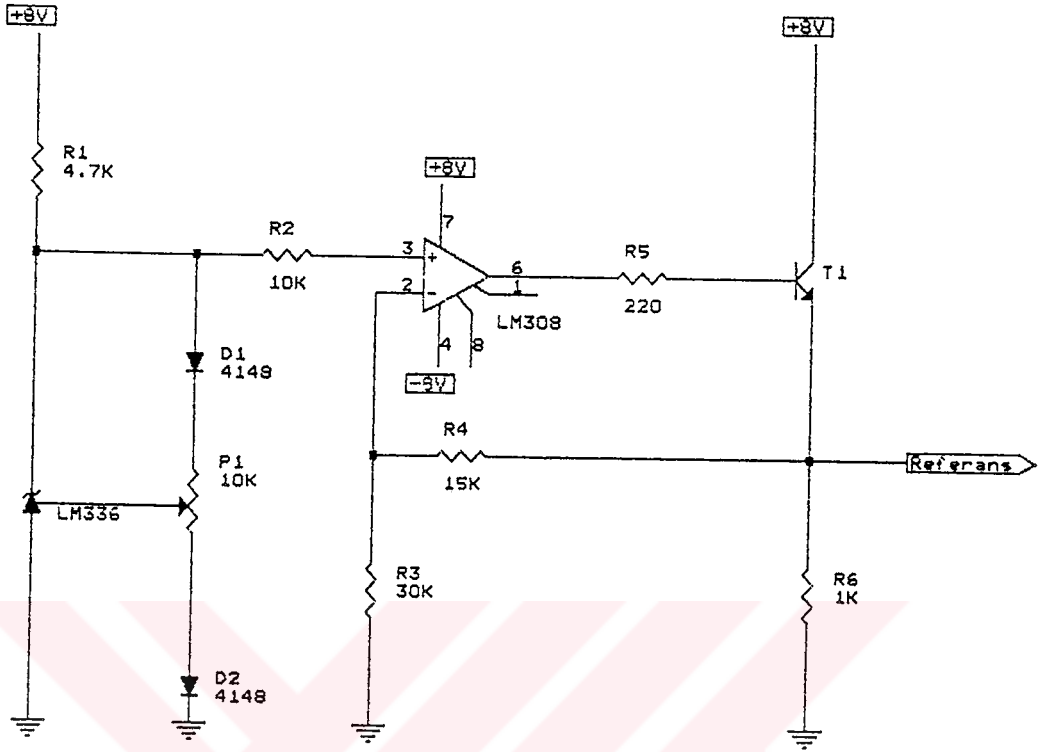
Giriş veya çıkışla toprak arasına bağlanan kondansatörler DC gerilim düzeyinin korunmasına ve ayrıca yüksek frekanslı gerilim değişimlerinin filtrelenmesi için konulmuştur. Elde edilen regüleli ± 8 Volt İşlemsel yükselteçlerin simetrik beslemesi içinde kullanılmıştır.

5.1.1. Sıcaklık ölçüm devresi tasarımı

Sensörler sistemin çıkışındaki değişimleri, gözlenebilir ve denetlenebilir bir biçimde sistem girişi ile aynı fiziksel büyüklüğe çevirirler. Sensör çıkışlarını sinyal düzeltici devrelerle lineerleştirme gerekebilir. Bu devreler aynı zamanda zayıf bir sinyal olan sensör çıkışlarını kuvvetlendirmek ve diğer devrelerle yapılacak bağlantılarda empedans uygunluğu sağlamak için kullanılırlar. Kontrol sisteminin hassasiyeti, ölçme sisteminin hassas olmasına bağlıdır.

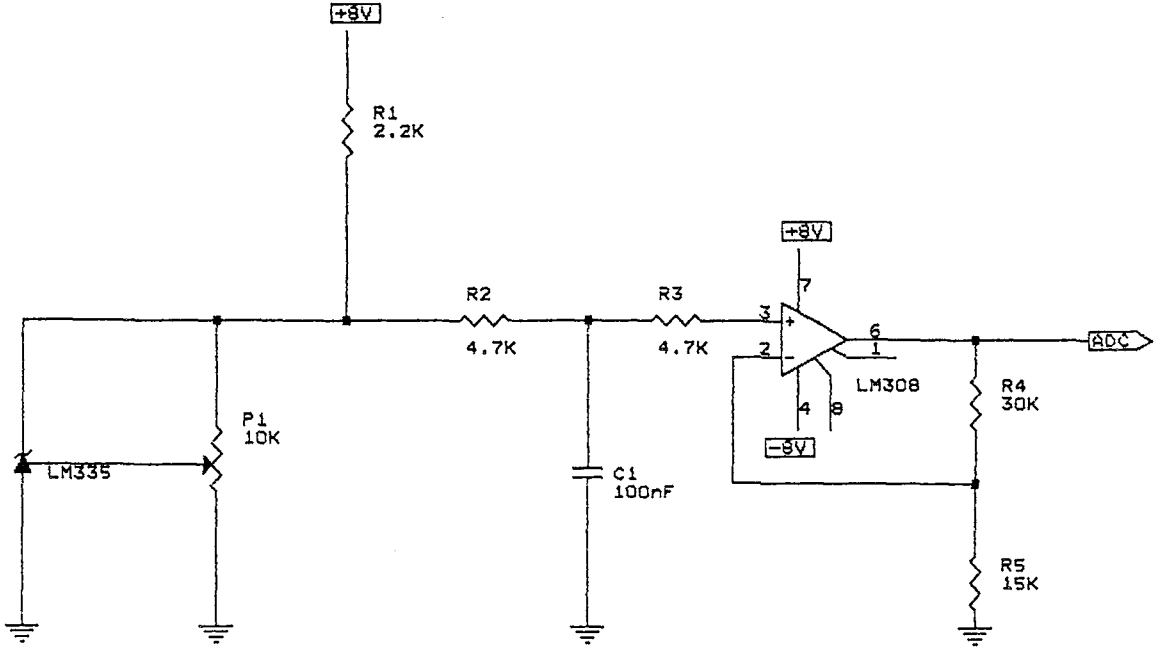
LM336 ile yapılan referans devresi şekil 5.4’de gösterilmiştir. LM336 yaklaşık 2.5 volt referans gerilimi veren paralel regülatör diyotudur.

LM336 referans diyotuyla $+25^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta yaklaşık 2490 mV gerilim elde edilinceye kadar 10 K’lık trimpotla ayarlama yapılır. Bu elde edilen gerilim uygun dirençler kullanılmak suretiyle LM308 işlemsel yükselteci ile yükseltilir, ve çıkışta yaklaşık 3735 mV gerilim elde edilir (Analog-digital dönüştürücü kartının üzerinde Kanal 10’dan 3735 mV okunacak şekilde VR3 trimpotundan ayarlama yapılır).



Şekil 5.4. LM336'lı referans devresi

Devremizde sıcaklık sensörü olarak LM335 kullanılmıştır. LM335 10 mV/ °K'lik doğrusal sıcaklık katsayısına sahip bir zener diyottur. LM335 ile yapılan sıcaklık ölçüm devresi şekil 5.5'de gösterilmiştir. Şekildeki devrede de LM308 işlemsel yükselteci ve uygun dirençlerle elde edilen gerilim 3'le çarpılarak analog- digital dönüştürücüye verilir. Analog-digital dönüştürücü kartımız 12 bitlik olduğundan yüksek bir çözünürlüğe sahiptir. İleride, kullandığımız analog-digital dönüştürücü kartının özellikleri anlatılacaktır. Kartın çözünürlüğü, $(2^{12}-1= 4096-1= 4095)$ yani bir giriş gerilimini 4096 mümkün kelimeden biri ile temsil edebilir demektir.



Şekil 5.5. LM335’li sıcaklık ölçüm devresi

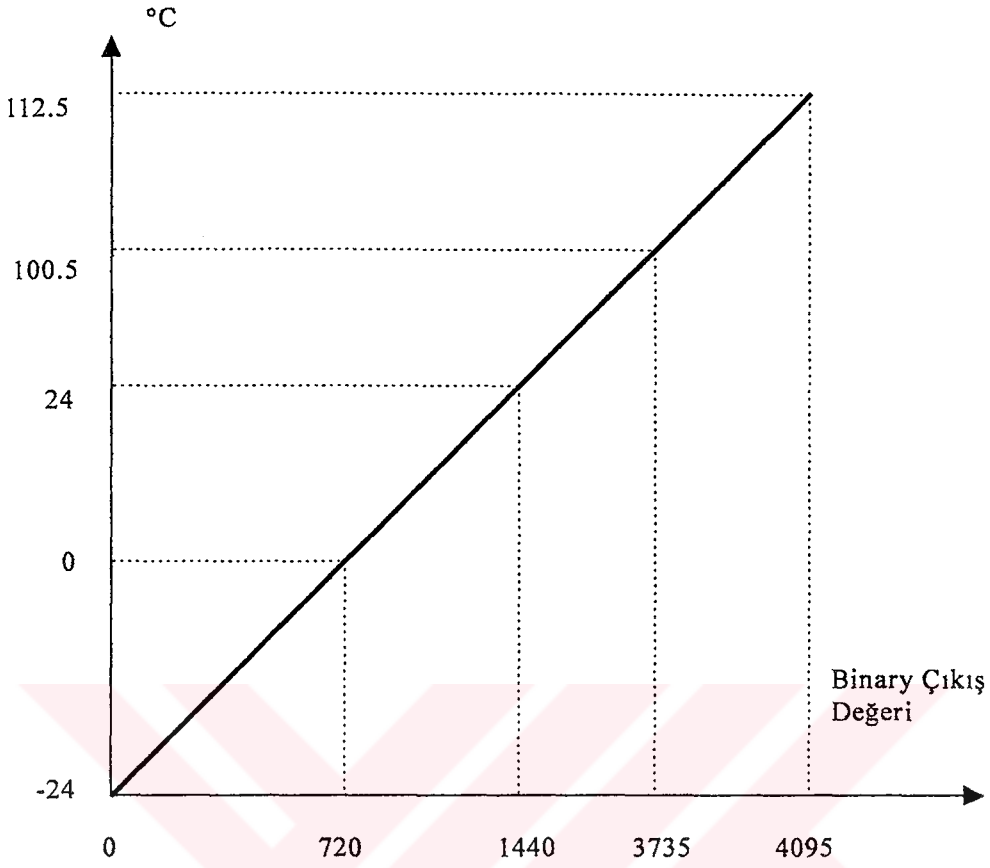
Yapılan ayarlamalarla LM335’in ölçüm aralığı (-24 °C ile +112.5 °C) arasını ölçebilecek şekilde, yani tam skala aralığı $112.5 - (-24) = 136.5$ °C’dir. Ayrıca her bit 1 mV’a karşılık gelmektedir. LM335 sıcaklık sensörünün herhangi bir sıcaklıkta vermiş olduğu gerilim değerine göre analog-digital dönüştürücünün vermiş olduğu bit değeri şu şekilde °C’ye çevrilir.

$$^{\circ}\text{C} = [(\text{Binary Çıkış Değeri} / 3 - 240) / 10]$$

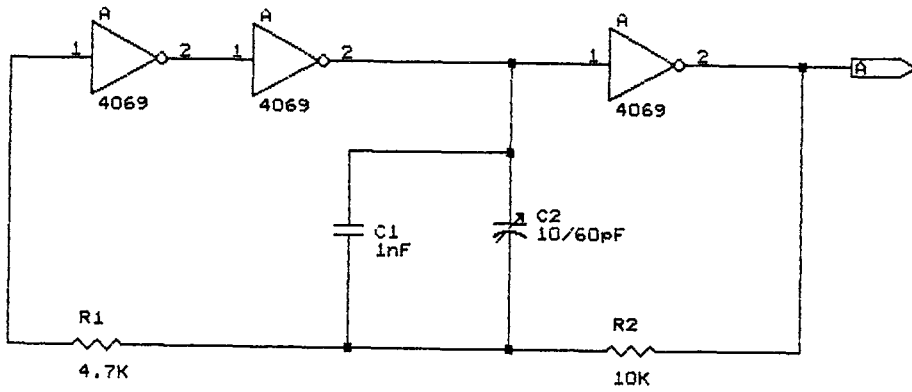
Binary çıkış değerine karşılık gelen sıcaklık değeri şekil 5.6’da gösterilmiştir.

5.1.2. Nem ölçüm devresi tasarımı

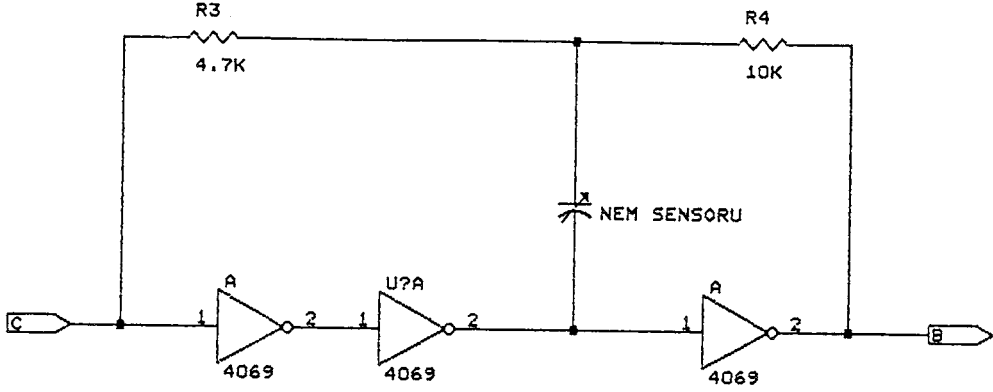
Nem sensörü kapasitif bir sensördür, yani sensörün bulunduğu ortamın nemi arttığında sensörün uçlarındaki kapasite de artmaktadır. Nemin ölçülebilmesi için iki osilatör devresi kullanılmıştır. Bunlar referans osilatörü ve sensör osilatörüdür. Osilatörler tek bir CD4069 evirici entegresiyle yapılmıştır. Aynı şekilde işlemsel yükselteçlerin beslemesi için ± 8 volt kullanılmıştır. Nemin ölçülmesi için tasarlanan referans ve sensör osilatör şeması şekil 5.7’de ve 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Binary çıkış değerine karşılık gelen sıcaklık değeri



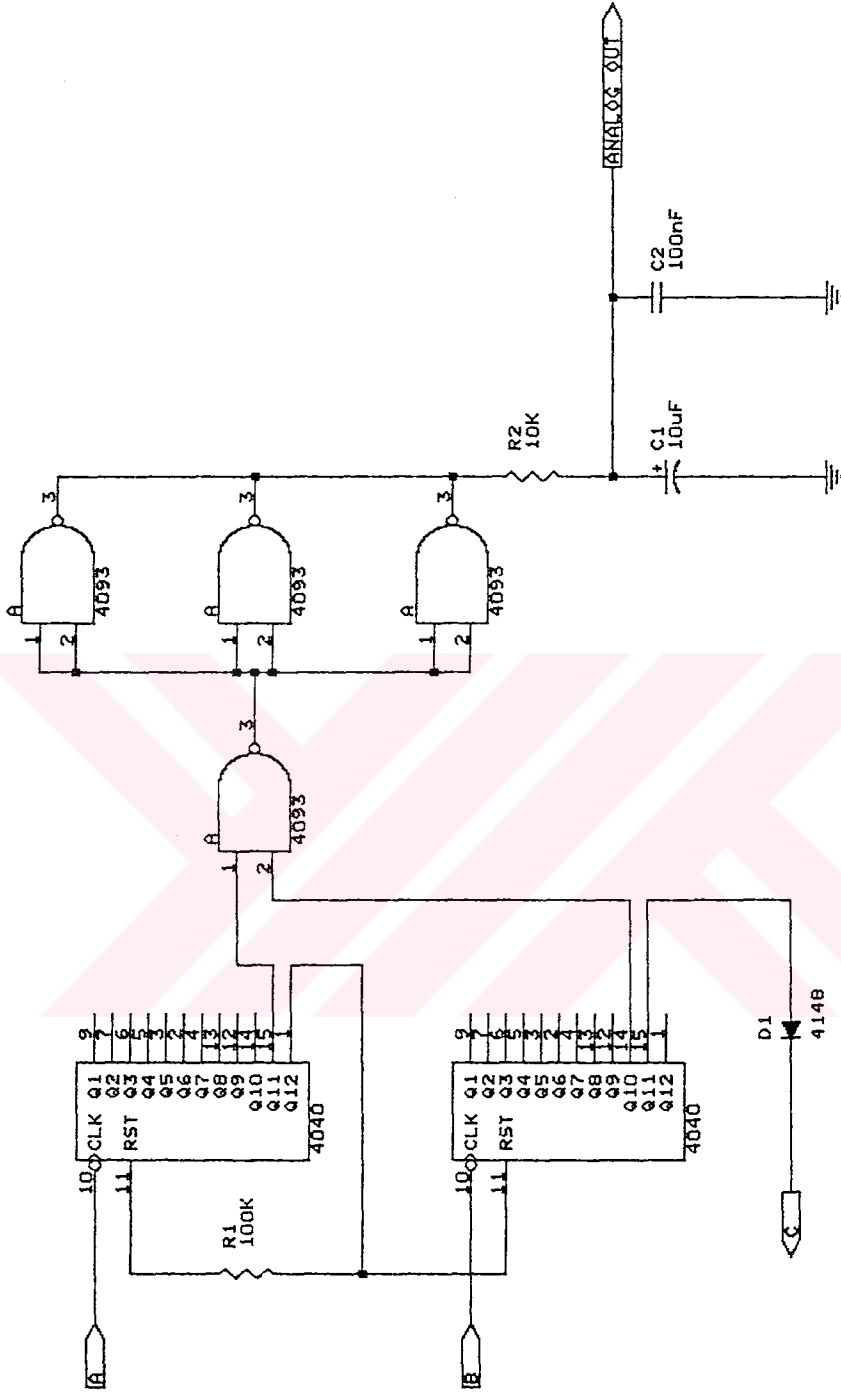
Şekil 5.7 Referans osilatör devresi



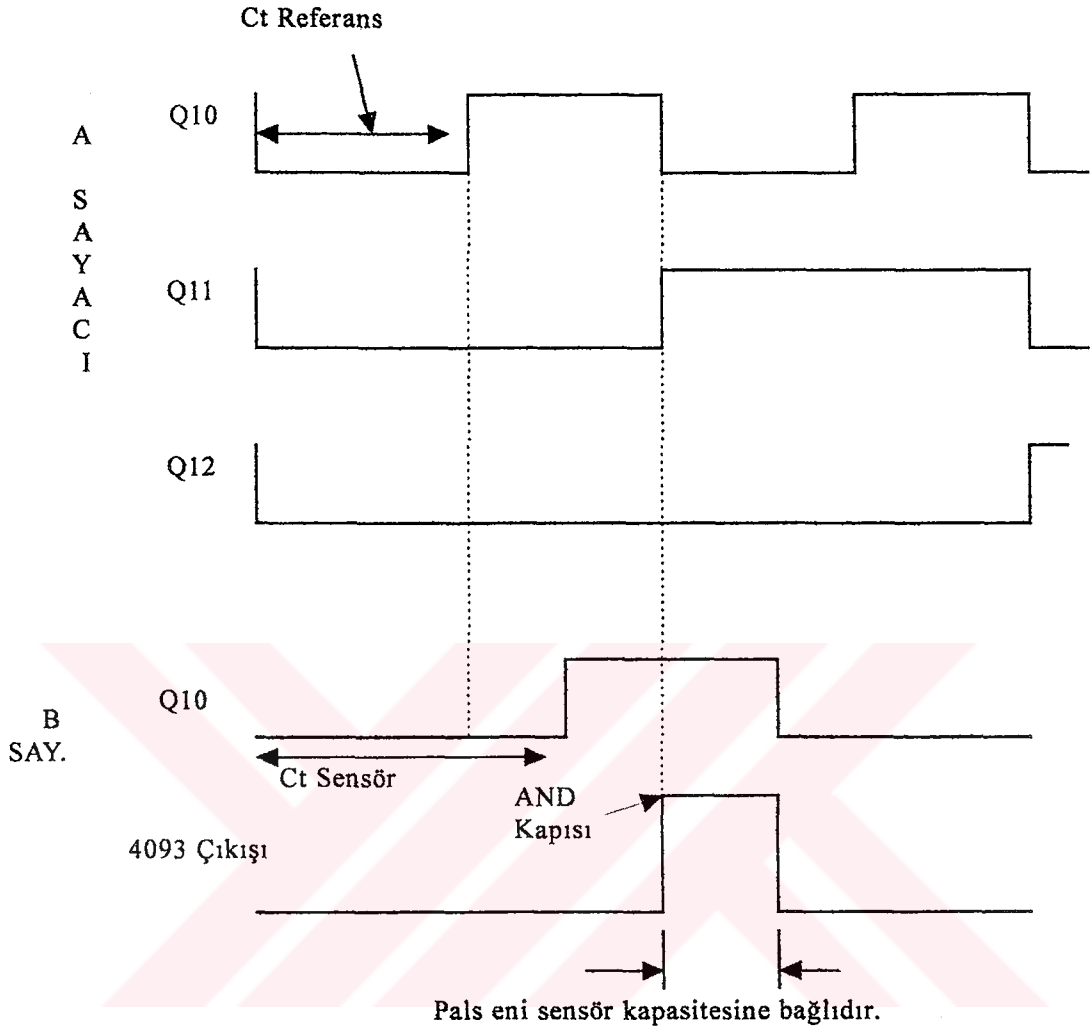
Şekil 5.8 Nem sensörü osilatör devresi

Referans osilatörünün frekansı ayarlı kondansatörler sayesinde ayarlanabilmektedir. Sensör osilatörünün frekansı ise nem sensörünün kapasitesine bağlıdır. Her iki osilatörde elde edilen sinyaller ayrı ayrı CD4040 sayıcı entegresine gönderilir. Nem sensörünün kapasitesi, ortamın nemi değiştiği zaman artacağından osilatörün frekansı değişir. Bu değişen sinyalle, referans osilatörünün verdiği sinyal CD4093 iki girişli NAND kapılarından oluşan AND kapı devresine uygulanır. Sayıcı ve AND devresi şekil 5.9’da gösterilmiştir.

Sayıcıların çıkışındaki sinyaller ve AND kapı devresinin işlevi şekil 5.10’da gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, maksimum pals süresi $\frac{1}{4}$ olacağı için 8 volt beslemede yaklaşık 2 volt çıkış elde edilir. Bu çıkışı arttırmak için işlemsel yükselteçle ikiye çarpılır. Dolayısıyla çıkışta ortalama 4 volt elde edilir, yine bu çıkışta analog-digital dönüştürücüye gönderilir.



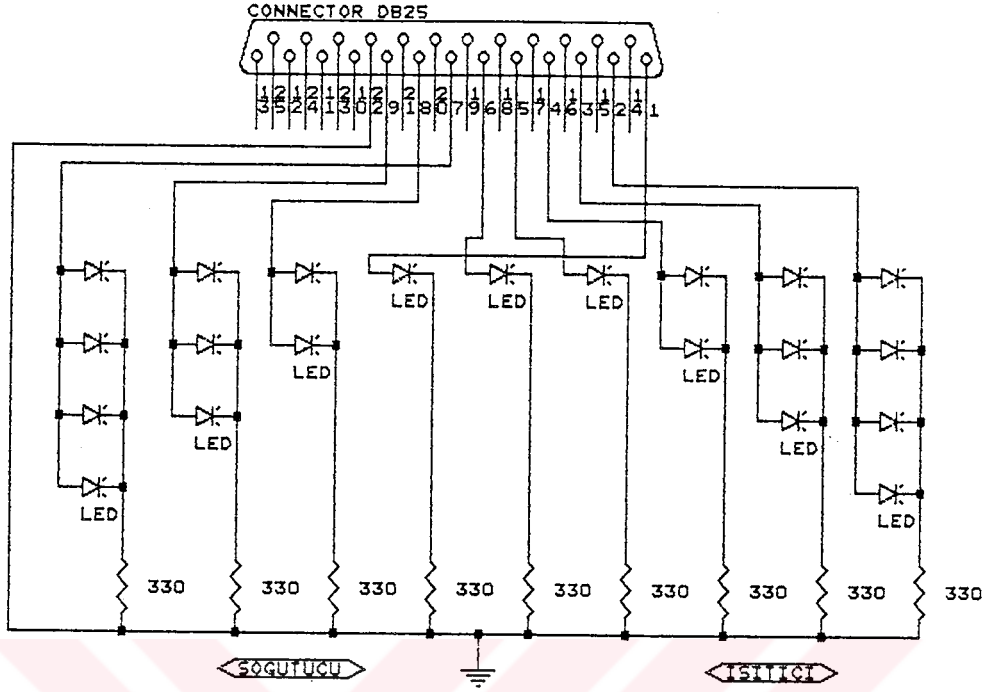
Şekil 5.9 Sayıcı ve AND devresi



Şekil 5.10 Sayıcıların çıkış sinyalleri ve AND devresinin işlevi

5.1.3. Çıkışın simülasyonu için paralel portun kullanılması

Yazılan programın çıktılarını led'ler aracılığıyla göstermek için paralel portun 378H ve 37AH adresleri kullanılmıştır. OUT komutuyla paralel porta gönderilen sayısal bilgilerle led'ler yakılır. Mantıksal 1 gelen led'e +5 volt uygular. Led'leri korumak amacıyla, led'e seri bir direnç bağlanmıştır. Devre bağlantısı şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 Çıkış simülasyon devresi

Örneğin; QBASIC’de yazılmış olan programda çıkış “Normal” çıktısını verdiği zaman 378H adresine OUT komutuyla ondalık 32 sayısı gönderilerek, bu sayının binary karşılığı 00010000 elde edilir. Böylece sadece 5.bit’in mantıksal 1 olması sağlanır, ve dolayısıyla “Normal” led’inin yanması sağlanmış olur. Led’lerden biride 37AH adresine bağlanmıştır. 378H adresine bilgi gönderildiği zaman 37AH adresine OUT komutuyla sıfır sayısı gönderilir. Çizelge 5.1’de program çıktısına göre paralel porta gönderilen ondalık sayılar yer almaktadır.

Çıkış	378H	37AH
Isıtıcıyı Maksimum Aç	1	1
Isıtıcıyı Biraz Aç	2	1
Isıtıcıyı Çok Az Aç	4	1
Isıtıcıyı Minimum Aç	8	1
Normal	16	1
Soğutucuyu Minimum Aç	32	1
Soğutucuyu Çok Az Aç	64	1
Soğutucuyu Biraz Aç	128	1
Soğutucuyu Maksimum Aç	0	2

Çizelge 5.1 Program çıktısına göre paralel porta gönderilen ondalık sayılar

5.2. Analog- Digital Dönüştürücü Kartı

Bir sıcaklık veya nem sensörü gibi bir algılayıcının veri çıkışını bir bellekte saklamak için, genellikle verilerin analog şekilden, belleğin kabul edebileceği sayısal (0,1) şekle çevrilmesi gerekir. Bu çevrimi yapmak için bir analogtan - digitale (A/D) çevirici kullanılır. Bir analog miktar, bir aralıktaki herhangi bir değeri alabilir. Bir A/D çeviricinin tersi, digitalden-analoga (D/A) çeviricidir. D/A çevirici, girişine uygulanan ikili (binary) kelimenin büyüklüğü ile orantılı bir çıkış akımı veya gerilimi üretir.

5.2.1. A/D Kartının Özellikleri

12 bitlik A/D – D/A kartı PC/XT, PC/AT veya uyumlu bilgisayarlar için çok hassasiyetli veri dönüştürmesi yapan bir sistemdir. Bipolar veya unipolar formatlı olarak giriş voltaj aralığı seçilebilir. A/D kartının özellikleri şu şekildedir.

◆ Çözünürlük:

12 bit.

◆ Giriş voltaj aralığı:

Unipolar ve Bipolar seçilebilir.

1. Unipolar (Tekkutup) giriş:

0 / 2.5 v , 0 / 5 v , 0 / 10 v.

2. Bipolar (Çiftkutup) giriş:

-2.5 v / 2.5 v , -5 v / 5 v , -10 v / 10 v.

◆ Dönüştürme zamanı:

28 µsn'den daha az. (Her kanal için)

◆ Doğruluk:

½ LSB

◆ Çıkış kodu:

Binary (İkili)

◆ Maksimum hasarsız giriş gerilimi:

+ 12 v.

◆ Kanal sayısı:

1. 16 kanal: tek uçlu giriş

2. 8 kanal: farklı giriş

◆ Sıcaklık katsayısı:

88 ppm/ °c

Not: I/O port adresi seçilebilir.

5.2.2. Donanım konfigürasyonu

12 bit A/D – D/A kartını kullanmadan önce port adresinin bağlantısının doğru bir şekilde ayarlanması gerekir.

5.2.3. I / O port adresi

I/O port adresi &H170 – 17F ve &H160 – 16F seçilebilir. I/O port adresini seçmek için JP8 kullanılır.

JP8	ADRES
Kısa	&H170- 17F
Açık	&H160- 16F *

I/O adres haritası aşağıda gösterilmiştir.

Port/Durum	Durum 1	Durum 2 *
Port 0	170	160
Port 1	171	161
Port 2	172	162
Port 3	173	163
Port 4	174	164
Port 5	175	165
Port 6	176	166
Port 7	177	167
Port 8	17A	16A
Port 9	17C	16C

Port 0 : A/D çıkış kanal numarası (Düşük Bit)

Port 1 : A/D yazmacını temizleme

Port 2 : A/D düşük bit veri girişi (8 bit)

Port 3 : A/D yüksek bit veri girişi (4 bit)

Port 4 : D/A düşük bit veri çıkışı (Kanal 1- 8 bit)

Port 5 : D/A yüksek bit veri çıkışı (Kanal 1- 4 bit)

Port 6 : D/A düşük bit veri çıkışı (Kanal 2- 8 bit)

Port 7 : D/A yüksek bit veri çıkışı (Kanal 2- 4 bit)

Port 8 : A/D çevirim döngüsü (Düşük)

Port 9 : A/D çevirim döngüsü (Yüksek)

5.2.4. D tipi pin bağlantısı

JP7'nin 1 numaralı ucu kısa devre edilerek tek uçlu mod seçilir. Pin (bacak) numaraları ve fonksiyonları aşağıdaki gibidir.

Pin No	Fonksiyonu	Pin No	Fonksiyonu
1	+ 12 v	14	- 12 v
2	D/A - CH2 Çıkış	15	D/A - CH1 Çıkış
3	GND	16	A/D - CH15
4	A/D - CH14	17	A/D - CH13
5	A/D - CH12	18	A/D - CH11
6	A/D - CH10	19	A/D - CH9
7	A/D - CH8	20	A/D - CH7
8	A/D - CH6	21	A/D - CH5
9	A/D - CH4	22	A/D - CH3
10	A/D - CH2	23	A/D - CH1
11	A/D - CH0	24	GND
12	GND	25	- 5 v
13	+ 5 v		

5.2.5. Unipolar/ Bipolar ve voltaj kademesi seçimi

Unipolar/Bipolar (Tekkutup/Çiftkutup) ve voltaj kademesini seçmek için JP1'den JP6'ya kadar olan jumper'lar kullanılır. Seçim işlemi aşağıda belirtilmiştir.

1-) A/D giriş kutbu ve voltaj kademesi seçimi.

JP3-1	JP3-2	Kutup
Kısa	Açık	Bipolar(Çiftkutup)
Açık	Kısa	Unipolar(Tekkutup) *

JP6-1	JP6-2	JP6-3	Voltaj Kademesi
Kısa	Açık	Açık	2.5 v
Açık	Kısa	Açık	5 v *
Açık	Açık	Kısa	10 v

2-) D/A Kanal 1 çıkış kutbu ve voltaj kademesi seçimi

JP1-1	JP1-2	Kutup
Kısa	Açık	Bipolar(Çiftkutup)
Açık	Kısa	Unipolar(Tekkutup) *

JP5-1	JP5-2	JP5-3	Voltaj kademesi
Kısa	Açık	Açık	2.5 v
Açık	Kısa	Açık	5 v *
Açık	Açık	Kısa	10 v

3-) D/A Kanal 2 çıkış kutbu ve voltaj kademesi seçimi

JP2-1	JP2-2	Kutup
Kısa	Açık	Bipolar(Çiftkutup)
Açık	Kısa	Unipolar(Tekkutup) *

JP4-1	JP4-2	JP4-3	Voltaj kademesi
Kısa	Açık	Açık	2.5 v
Açık	Kısa	Açık	5 v *
Açık	Açık	Kısa	10 v

Not:

- 1-) Voltaj kademe aralığı bipolar seçildiği zaman negatif voltajdan pozitif voltaja doğrudur. Unipolar seçildiği zaman ise sıfırdan pozitif voltaja doğrudur.
- 2-) Tam voltaj kademe aralığı seçimimize bağlı olan en yüksek voltajdır.
- 3-) Unipolar voltaj kademesi aralığı 10 voltur.

5.2.6. VR ayarlaması

VR1,VR2 ve VR3 A/D ve D/A kanalının referans voltajının ayarlanmasında kullanılır. VR saat yönüne doğru çevrilirse referans voltajı yükselir, saat yönünün tersine çevrilirse referans voltajı azalır.

VR No.	Port
VR1	D/A Kanal 2
VR2	D/A Kanal 1
VR3	A/D Kanalı

5.2.7. MS/DOS altında programlama tekniği

1. Port çıkış kanal numarası

OUT port , kanal

2. Yazmacı temizleme

OUT (port +1) , 0

3. Çevirme işlemini başlatma

FOR I = 1 TO 6

A = INP (port + 12)

NEXT I

FOR I = 1 TO 8

A = INP (port + 8)

NEXT I

4. Yüksek biti okuma (4 bit)

C = INP (port + 3)

HB = (C / 16 - INT (C / 16)) * 16

5. Düşük biti okuma

LB = INP (port + 2)

6. Veri

A / D = HB * 256 + LB

Not : 12 bit A/D - D/A kartının tüm ayarlamaları yapıldıktan sonra bilgisayarın herhangi bir boş slotuna takılarak kullanılabilir duruma getirilir.

BÖLÜM VI

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuç

Bulanık mantık eksik ve belirsiz bilgilerden kesin sonuçlar elde etmekte kullanılan en iyi yöntemlerden biridir. Çalışmamızda herhangi bir ortamın sıcaklığını ve nemini kontrol etmek için bulanık koşullu çıkarım mekanizması ele alınarak incelenmiş ve bu mekanizma işletilmeye çalışılmıştır.

Çalışmada elde edilen sonuçları kısaca aşağıdaki gibi açıklayabiliriz.

- Bulanık mantık yöntemi genel olarak anlatılmış, bulanık küme teorisinden bahsedilmiş ve bulanık işlemler gösterilmiştir;

- Bulanık mantığın kontrol süreçlerinde kullanılması problemlerine değinilmiş, böyle kontrol sistemlerine kısaca örnekler verilmiştir. Ayrıca bulanık mantığın uygulama alanları, bu yöntemin avantaj ve dezavantajları verilmiştir;

- Bulanık koşullu çıkarım mekanizması anlatılmış, mevcut çıkarım kuralları verilmiş, koşullu bulanık mantık kriterleri gösterilmiştir;

- Kontrol sistemlerinde kullanılabilecek ve çalışmada da kullandığımız Z_1 bulanık mantığının özellikleri anlatılmış, koşullu bir önerme için bulanık koşullu çıkarım kuralının formalleştirilmesi gösterilmiştir.

- Kontrol edilecek parametreleride (sıcaklık ve nem) dikkate alarak koşullu bulanık mantık yöntemiyle hesaplanması için gereken prosedürler belirlenmiştir;

- Bu prosedürlere dayanarak program yapabilmek için algoritma düzenlenmiş ve onun blok şeması gösterilmiştir.

- Bilgisayara sıcaklık ve nemin algılanması ve kontrol edilen parametrelerin ekrana yansması için gereken donanımın blok şeması verilmiştir. Bu donanımlara analog kartı, analog- digital dönüştürücü kartı ve PC bilgisayar dahildir.

- QBASIC'te yazılmış olan program çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

6.2. Öneriler

Çalışmada sunulan tasarımı yapılan programla birlikte çeşitli alanlarda uygulanabileceği muhakkaktır. Fakat bu alanları göstermeden önce, bu çalışmada durulaştırma (*defuzzification*) işinin yapılmadığını belirtelim.

Yapılan çalışmanın uygulanabileceği alanlar şunlardır:

- Oda sıcaklığı ve neminin kontrol edildiği bürolarda;
- Klimalarda;
- Sanayide hassas düzenleme isteyen yani sıcaklığın ve nemin üretime zarar vereceği fabrika ve atölyelerde (Örneğin; tekstil fabrikalarında) kullanılır.

KAYNAKLAR

- Aliyev, R. A. 1987. Production Control on the Basis of Fuzzy Models. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol:22, No:1, pp. 43-56.
- Aliyev, R. A., Mamedova, G. A. 1990. Analysis of Fuzzy Models of Industrial Processes. *Fuzzy Sets and Systems*, Vol:37, No:1, pp. 13-21.
- Aliyev, R. A., Mamedova, G. A., Aliyev, R. R. 1993. *Fuzzy Sets Theory and its Application*. Tabriz University, Tabriz, 224 p.
- Aliyev, R. A. 1994. Soft Computing. Fuzzy Logic, Neural Networks and Distributed Artificial Intelligence. Aminzadeh, F. (ed.), *PTR Prentice Hall*, Enlewood Cliffs, New Jersey, 301 p.
- Aliyev, R. A. 1995. Bulanık Bilgi Tabanlı Zeki Robotlar. Moskova, *Radio i Svyaz*, 176 s.
- Aliyev, R. A., Aliyev, R. R. 1996. Soft Computing. 1.Kısım. Bulanık Kümeler ve Sistemler. Bakü, *Azərbaycan Dövlət Petrol Akademisi*, 181 s.
- Aliyev, R.A., Aliyev, R.R. 1997. Soft Computing. 3. Kısım. Hibrit Zeki Sistemler. Bakü, *Azərbaycan Dövlət Petrol Akademisi* 348 s.
- Baldwin J. F., Pilsworth B. W.1979. A model of fuzzy reasoning through multi-valued logic and set theory. *Int. J. Man.-Machine Studies*. Vol.11-pp.351-380.
- Baldwin J. F.1979. Fuzzy logic and approximate reasoning for mixed input arguments. *Int. J. Man-Machine Studies*. Vol.11.-pp 381-396.
- Bandler W., Kohout L. 1980. Fuzzy power sets & fuzzy implication operators. *Fuzzy Sets & Systems*. Vol. 4.-pp. 381-396.
- Başbuğ A.1994. Bulanık teknoloji. *Byte Dergisi*, Şubat : s. 147-152.
- Çaşkurlu A.1996. Doğru Akım motorları sürücü düzeneklerinde bulanık mantık kullanarak hız denetiminin yapılması. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, 28-29 Mart, İstanbul, s. 183-190.
- Çetiner B. G. 1997. Doğru Akım fan motorunun bulanık kontrolü. *Otomatik kontrol toplantısı*, 20-21 Şubat, İstanbul, s.43-48.

- Çiftçi T. 1996. Bulanık kontrol sistemlerinin önermeler mantığı ile modellenmesi. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, 28-29 Mart, İstanbul, s. 163-174.
- Etaner Ş. 1993. Bulanık kontrol. *Otomasyon Dergisi*, Şubat: s. 107-112.
- Fukami S., Mizumoto M., Tanaka K. 1980. Some consideration on fuzzy conditional inference. *Fuzzy sets and Systems*. Vol.4-pp. 243-273.
- Gürleyek S. S. 1995. Hız ölçmeksizin sürekli mıknatıslı doğru akım motorunun yük kestirimi ve bulanık denetimi. *Otomasyon Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, İstanbul, s. 335-344.
- Kaynak O., Armağan G. 1992. Süreç denetiminde yeni bir yaklaşım: Bulanık mantık. *Otomasyon Dergisi*, Temmuz-Ağustos: s.74-82
- Kepez N., 1995. Elektrik makineleri kontrolünde bulanık mantığın kullanılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İ.T.Ü, İstanbul.
- Kılıç E. 1996. Bulanık mantık denetimli fırçasız doğru akım motoru. *4.Bilgisayar-Haberleşme Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Bursa, s.210-214.
- Mamdani E. H. 1977. Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic systems. *IEEE Trans. Comput.* Vol.26-pp. 1181-1191.
- Mizumoto M., Zimmerman H. J. 1982. Comparison of fuzzy reasoning methods. *Fuzzy sets and Systems*. pp. 253-283.
- Pearson, D. W., Steele, N. C. 1995. Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms. Albrecht, R. F.(ed.). *Proc of the Inter Conference in Ales*, France, 552 p.
- Rescher. 1969. Many-Valued Logic. *Mc. Graw-Hill*. New-York. 250 p.
- Taşkın H. 1996. Trafik akış sistemlerinde bulanık denetim ve bir uygulama. *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı*, 28-29 Mart, İstanbul, s. 175-182.
- Yager, R. R. 1994. Fuzzy Sets, Neural Networks and Soft Computing. Zadeh, L. A.(ed.). *VAN Nostrand Reinhold*, New York, 440 p.
- Zadeh L. A. 1975. Fuzzy logic and approximate reasoning. *Synthese*. Vol.80-pp.407-428.

Zurada, Y. M., Marks, R. J. 1994. Computational Imitating Life. Piscataway, NJ: IEEE Press, 448 p.

National Semiconductor. *CMOS Logic Databook*, 1988 Edition.

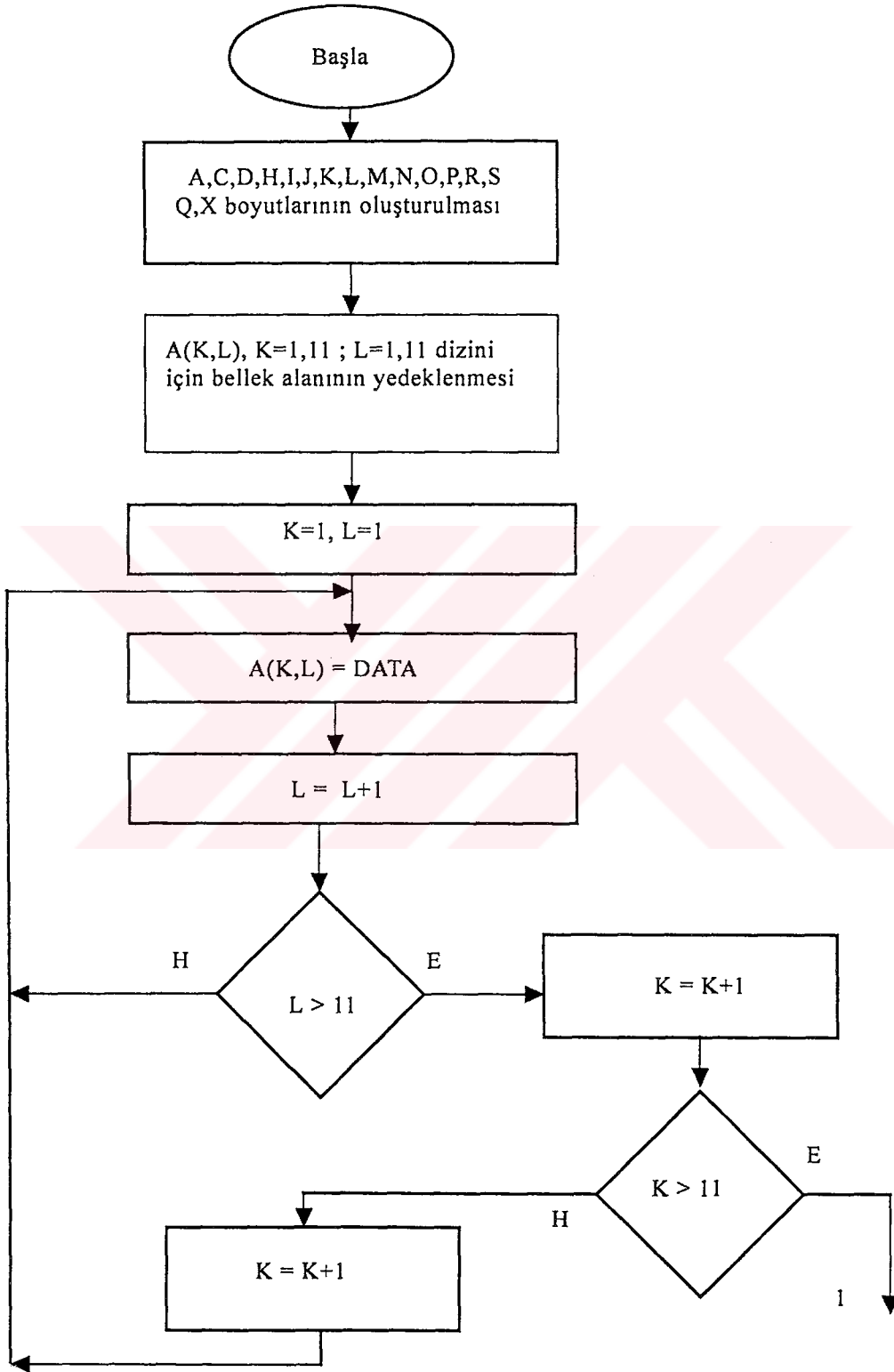
National Semiconductor. *Linear Databook 1-2*, 1988 Edition.



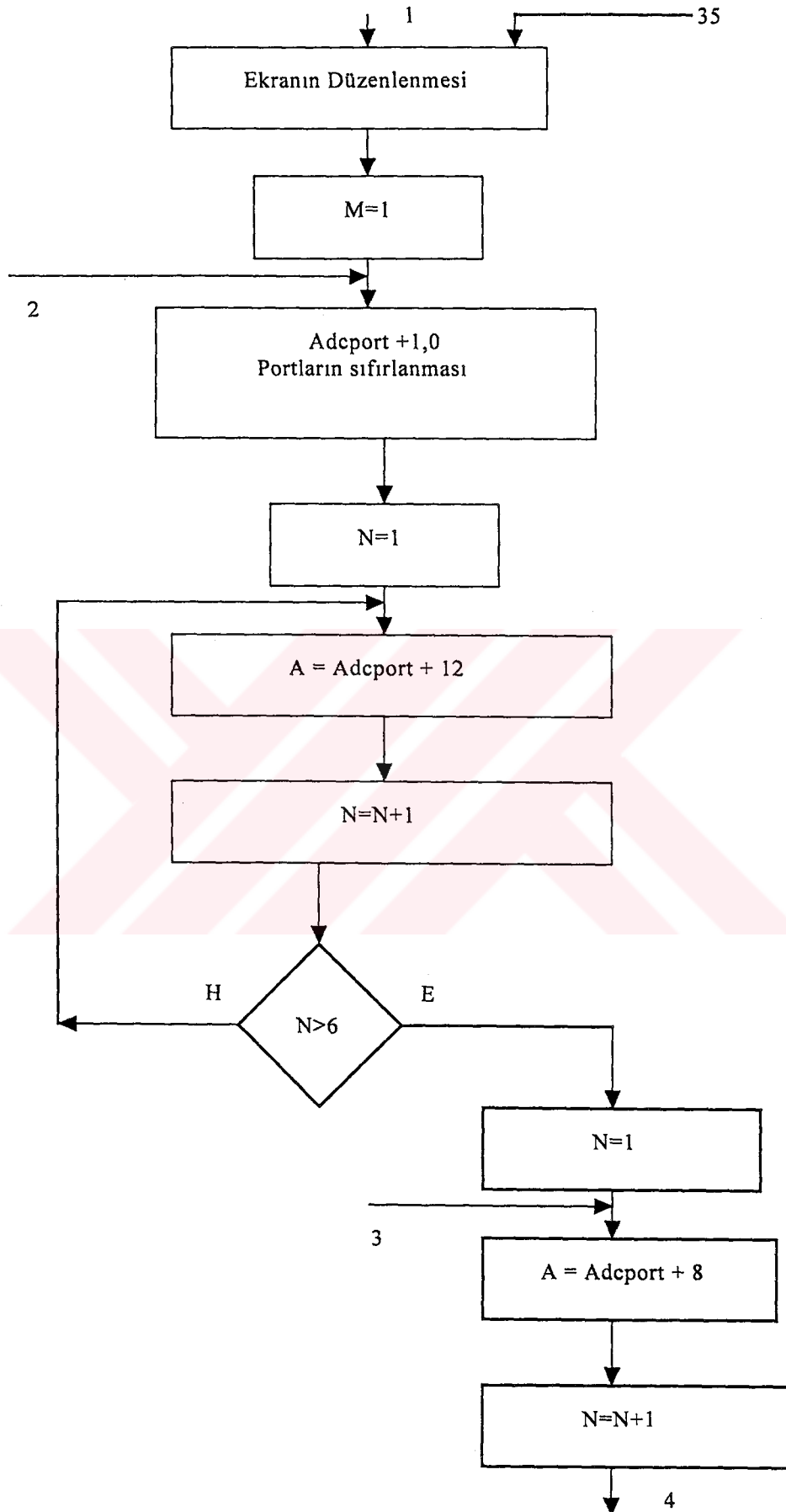
EKLER

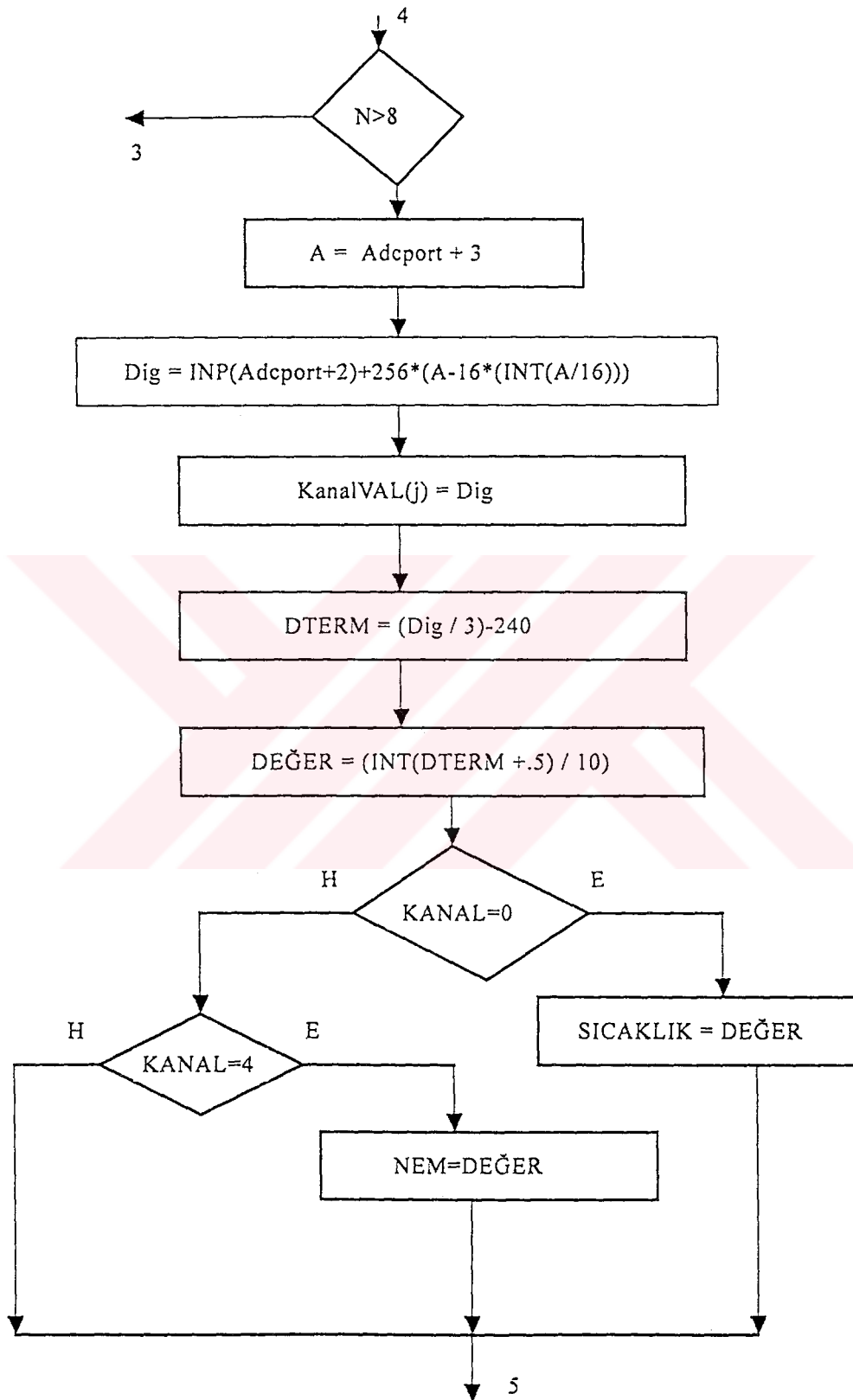
EK-1. PROGRAMIN ALGORİTMASI	63
EK-2. QBASIC'TE YAZILAN PROGRAM LİSTESİ	84
EK-3. PROGRAM ÇIKTISININ EKRAN GÖRÜNTÜSÜ	91
EK-4. SICAKLIK KARTININ BASKI DEVRE ŞEMASI	93
EK-5. NEM KARTININ BASKI DEVRE ŞEMASI	94
EK-6. LM335 SICAKLIK SENSÖRÜ	95
EK-7. LM336 2.5 VOLT REFERANS DİYOTU	99
EK-8. LM308 İŞLEMSEL YÜKSELTECİ	102
EK-9. CD4040 12 DURUMLU BİNARY SAYICI	105
EK-10. CD4069 EVİRİCİ	106
EK-11. CD4093 2 GİRİŞLİ NAND SCHMITT TETİKLEYİCİ	108

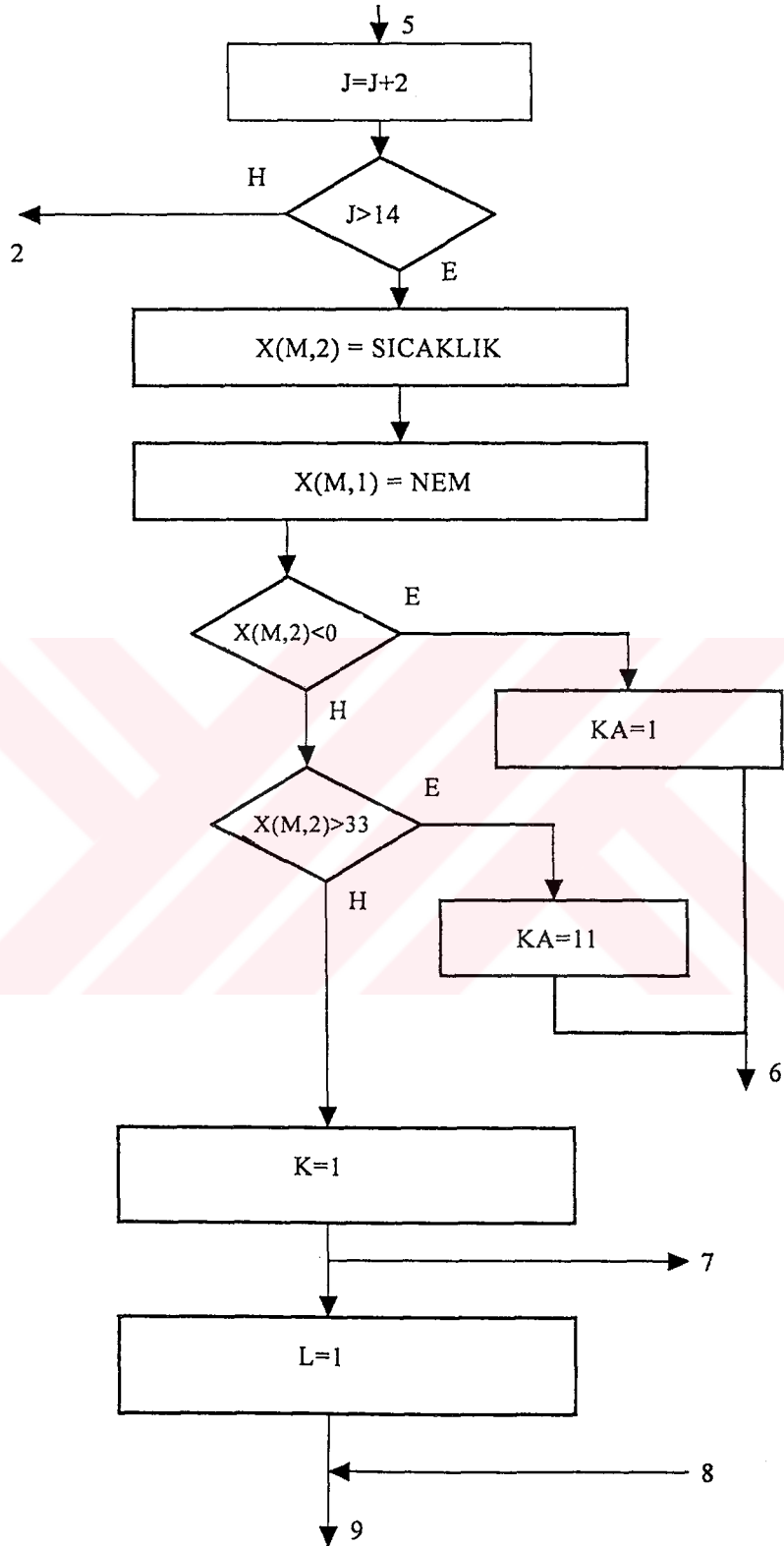
EK-1. PROGRAMIN ALGORİTMASI

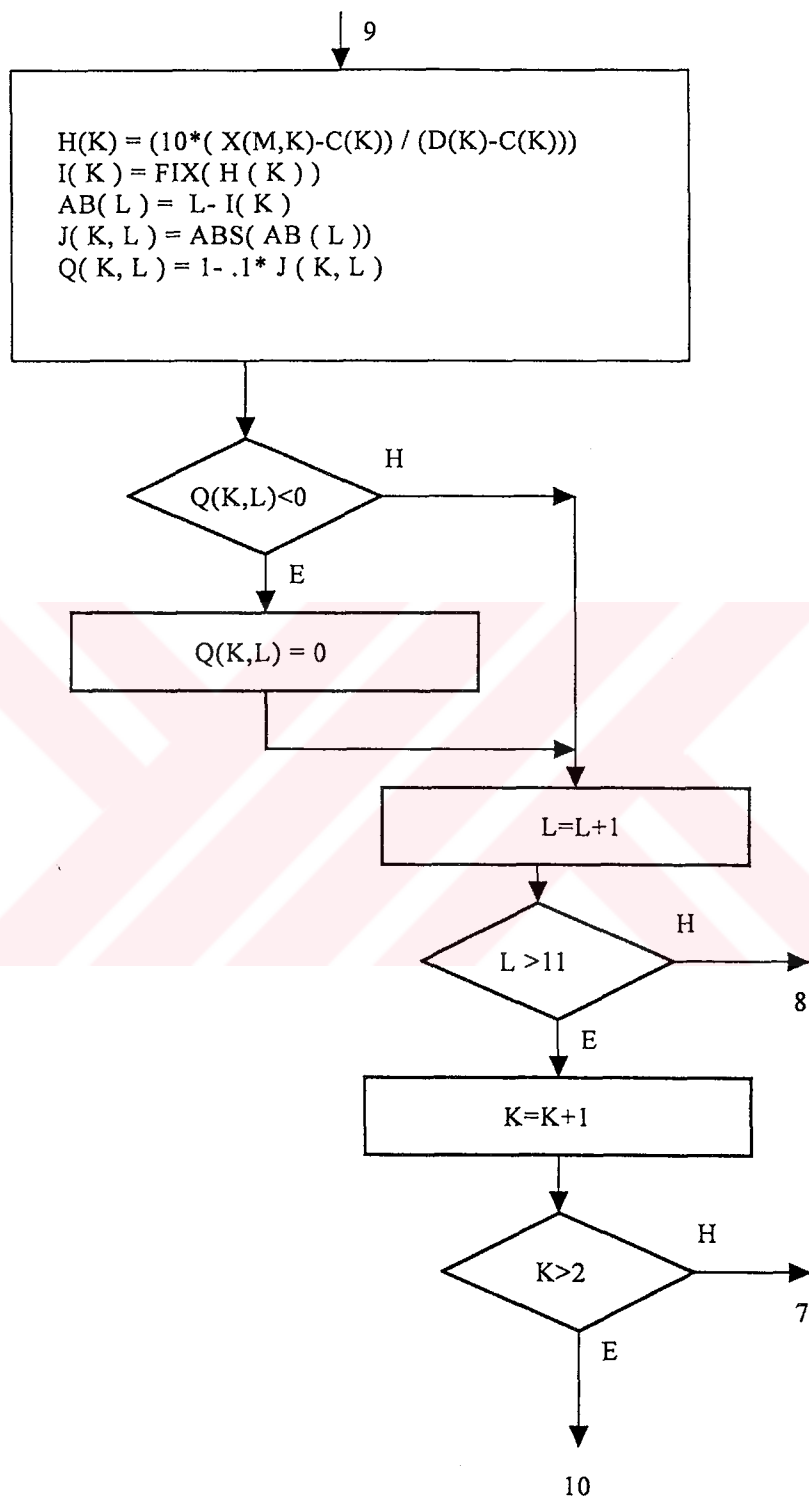


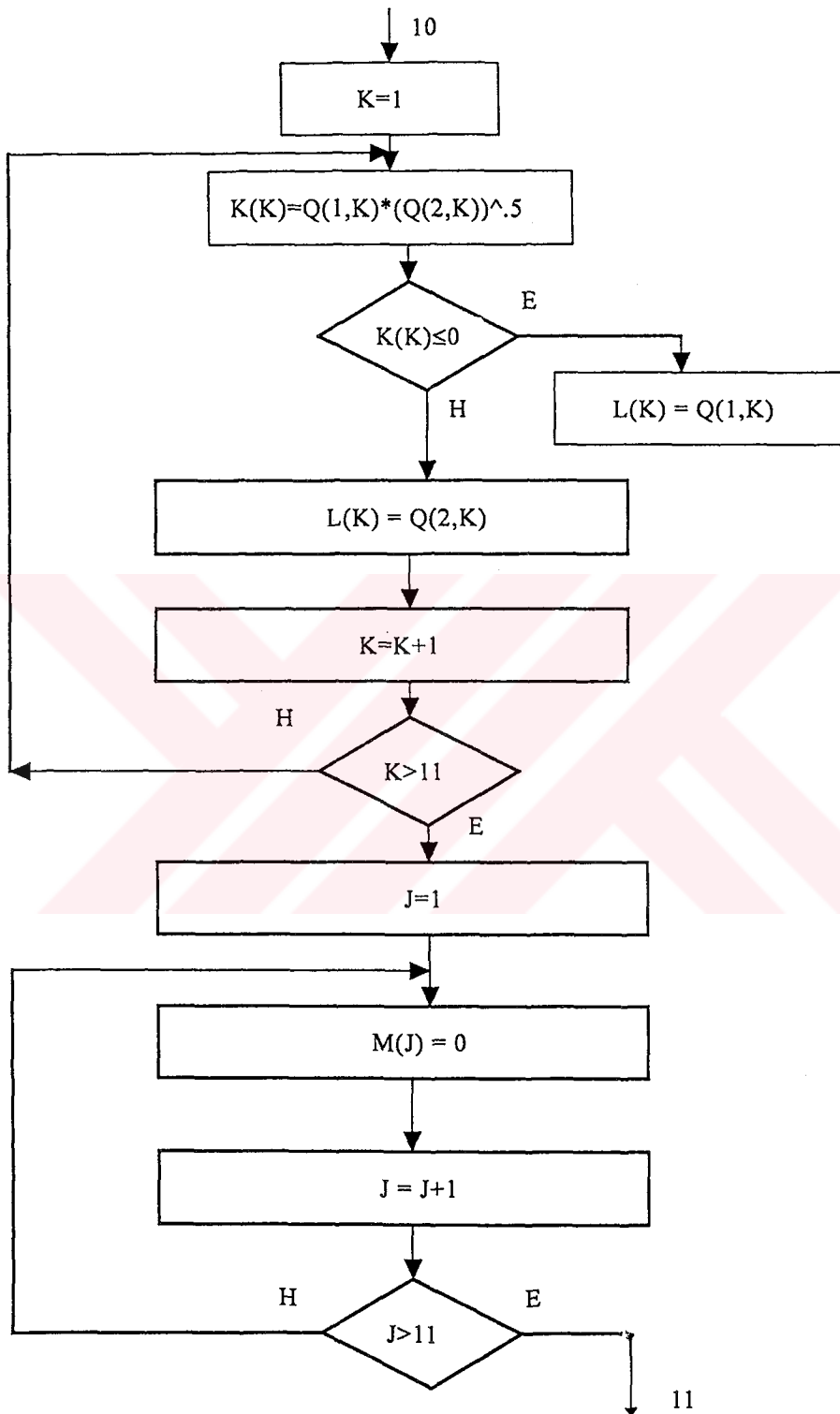
Şekil Ek-1. Kontrol değerlerinin algılanması, hesaplanması ve görüntülenmesi algoritması blok şeması

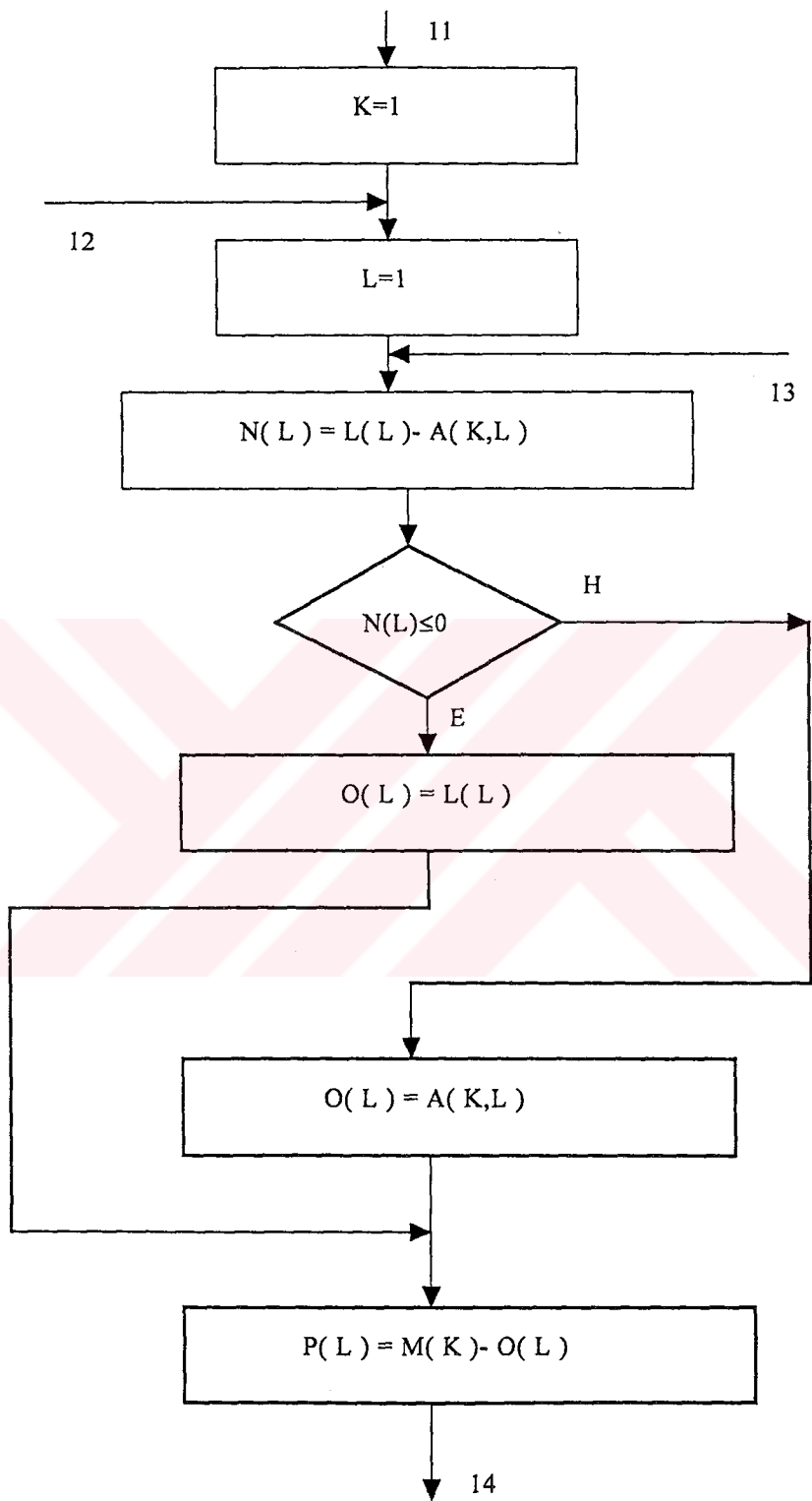


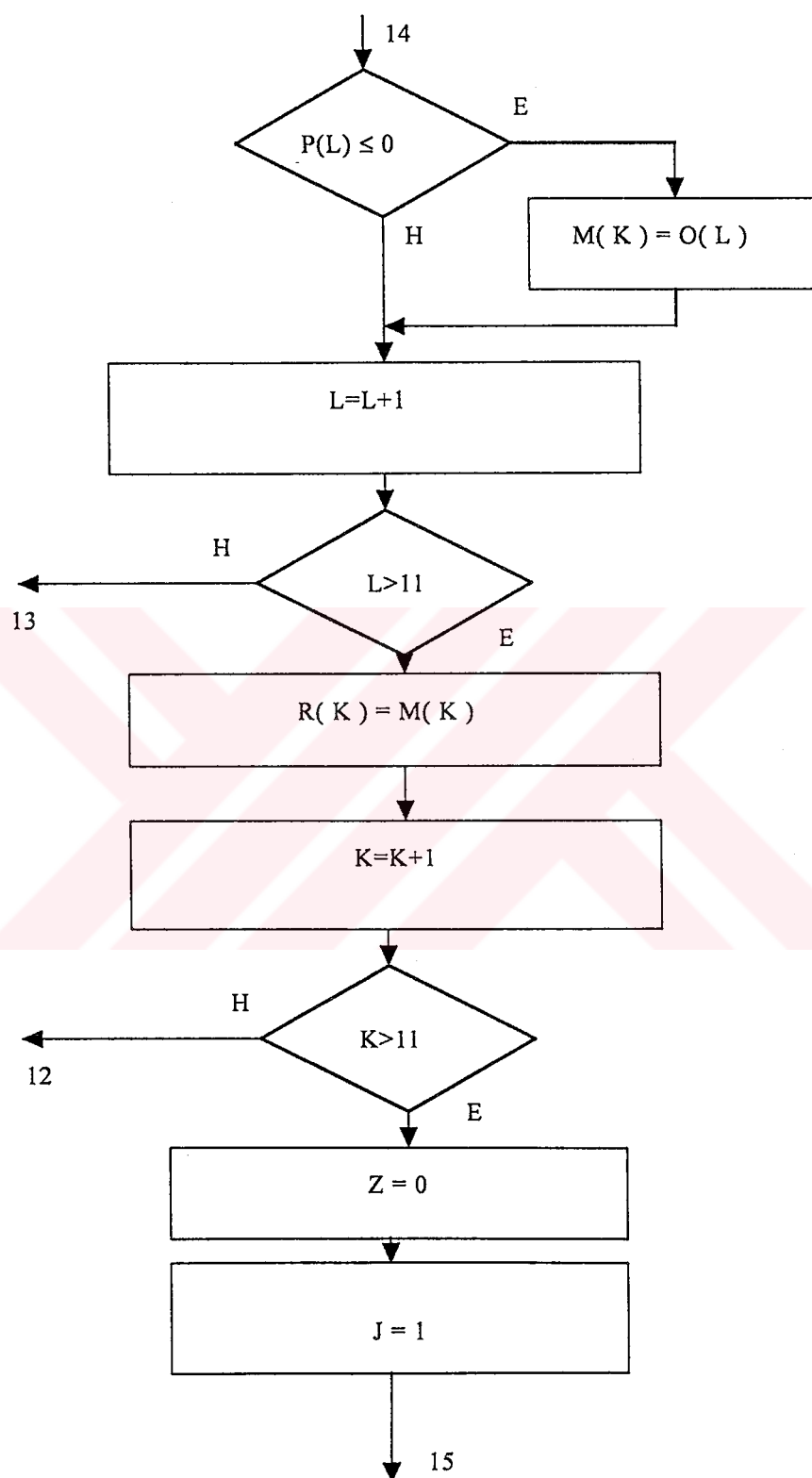


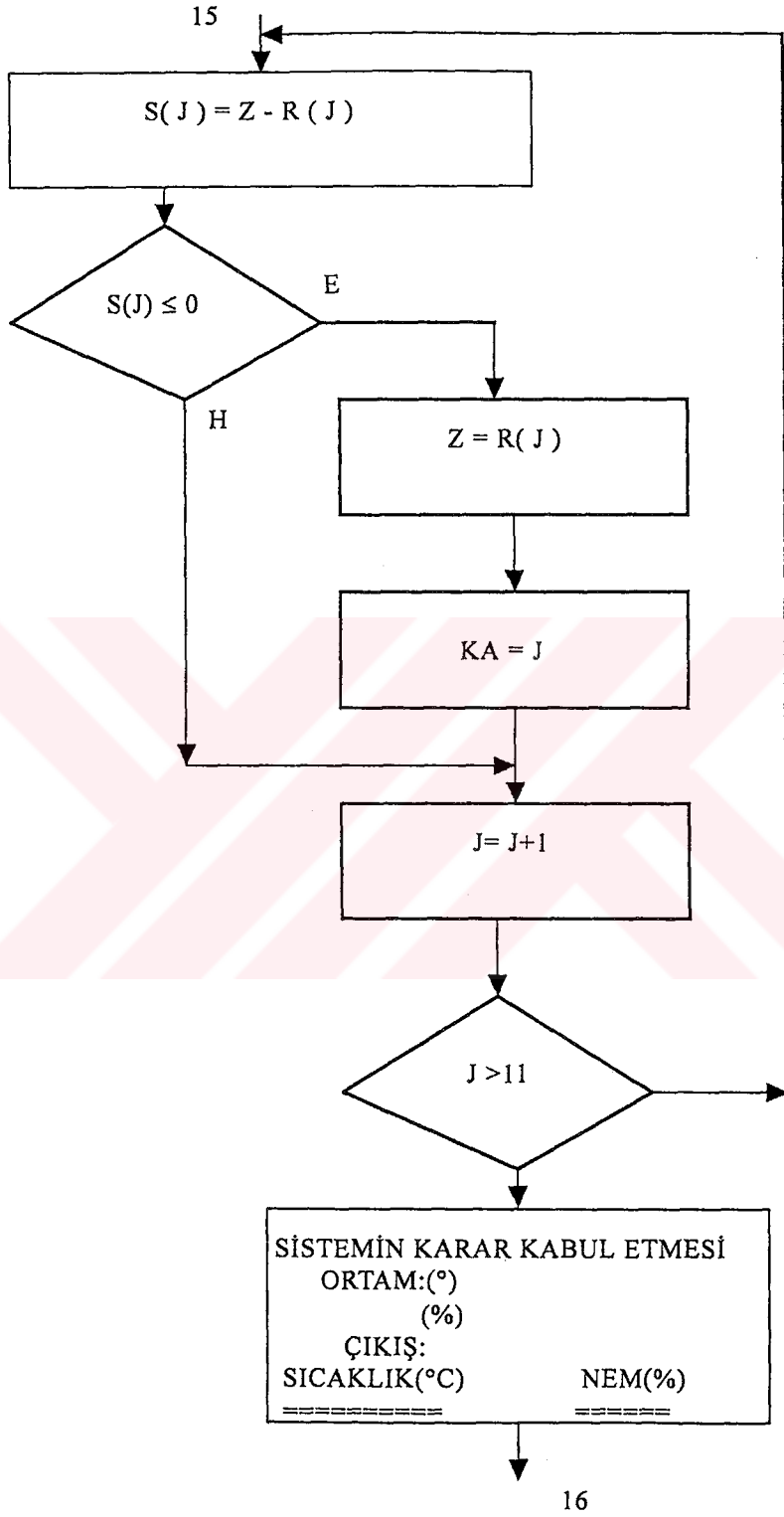


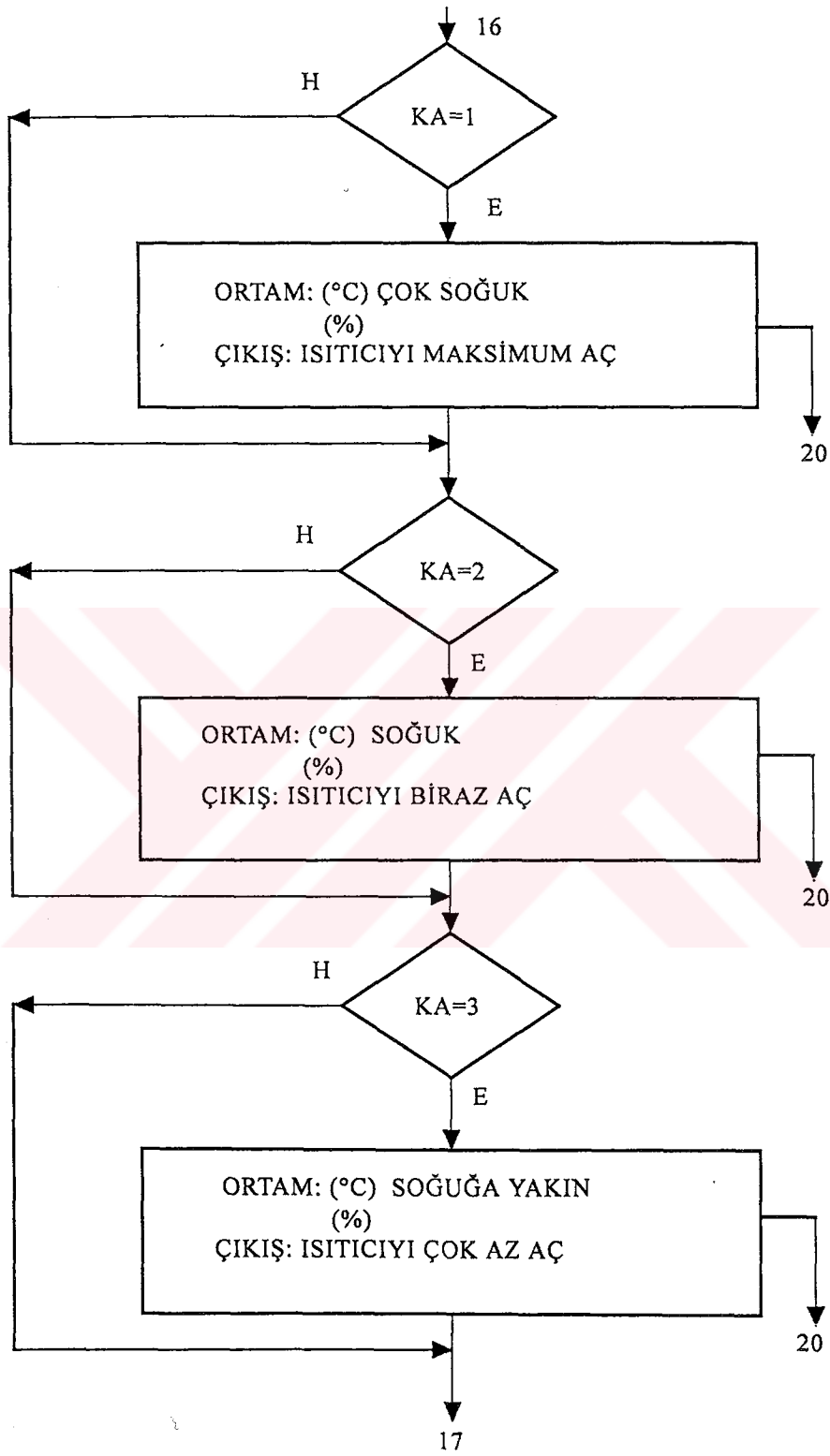


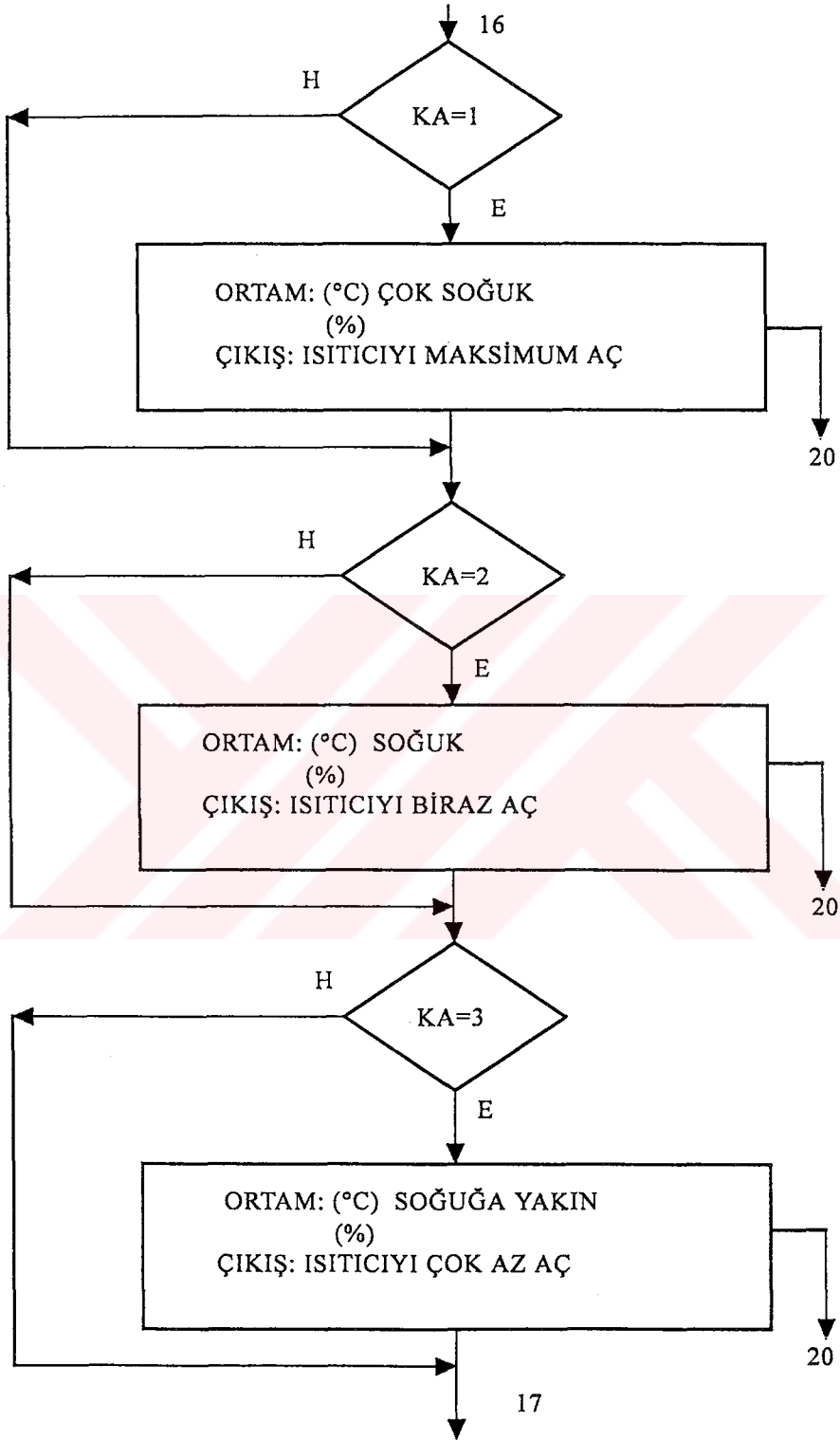


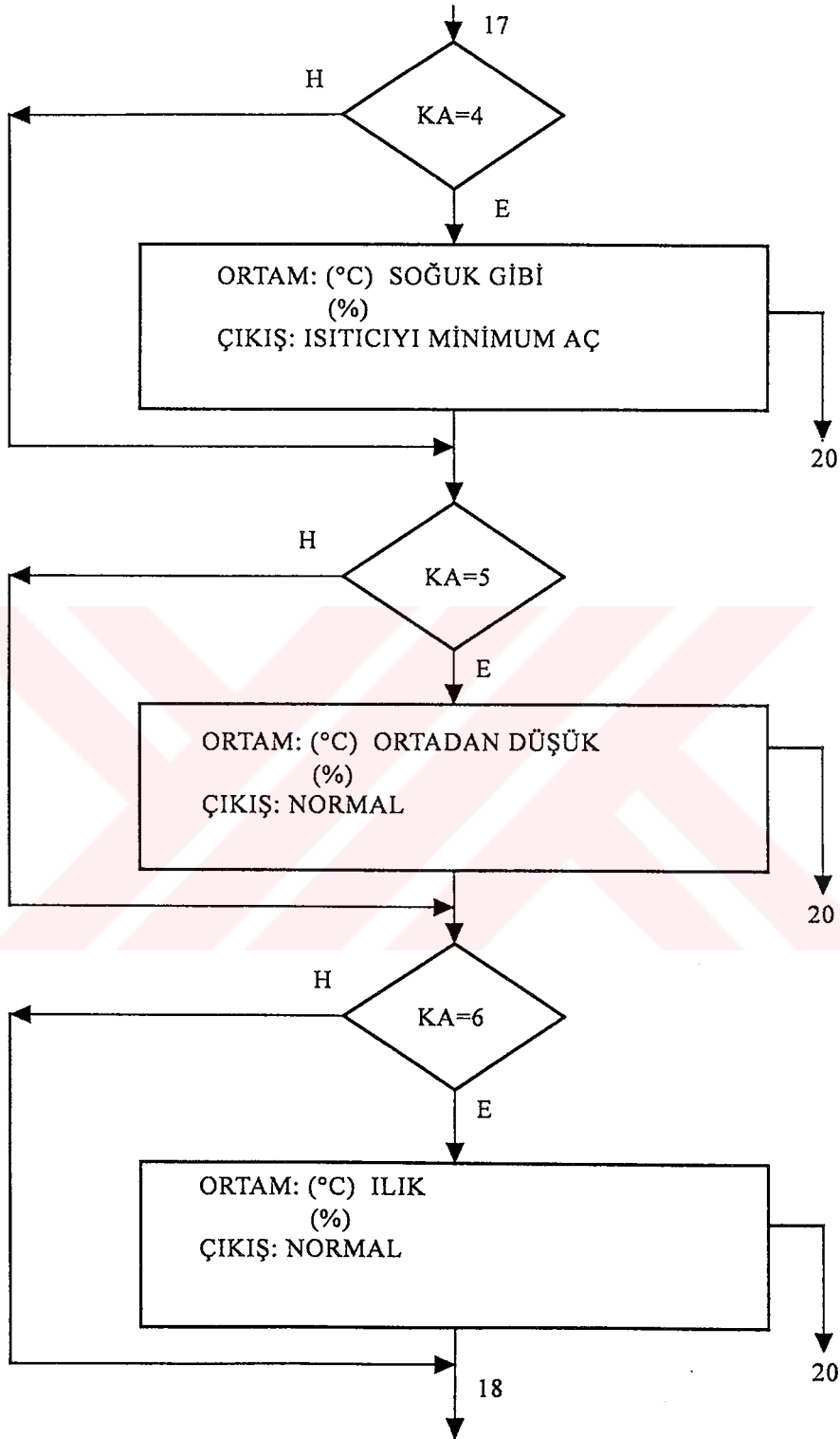


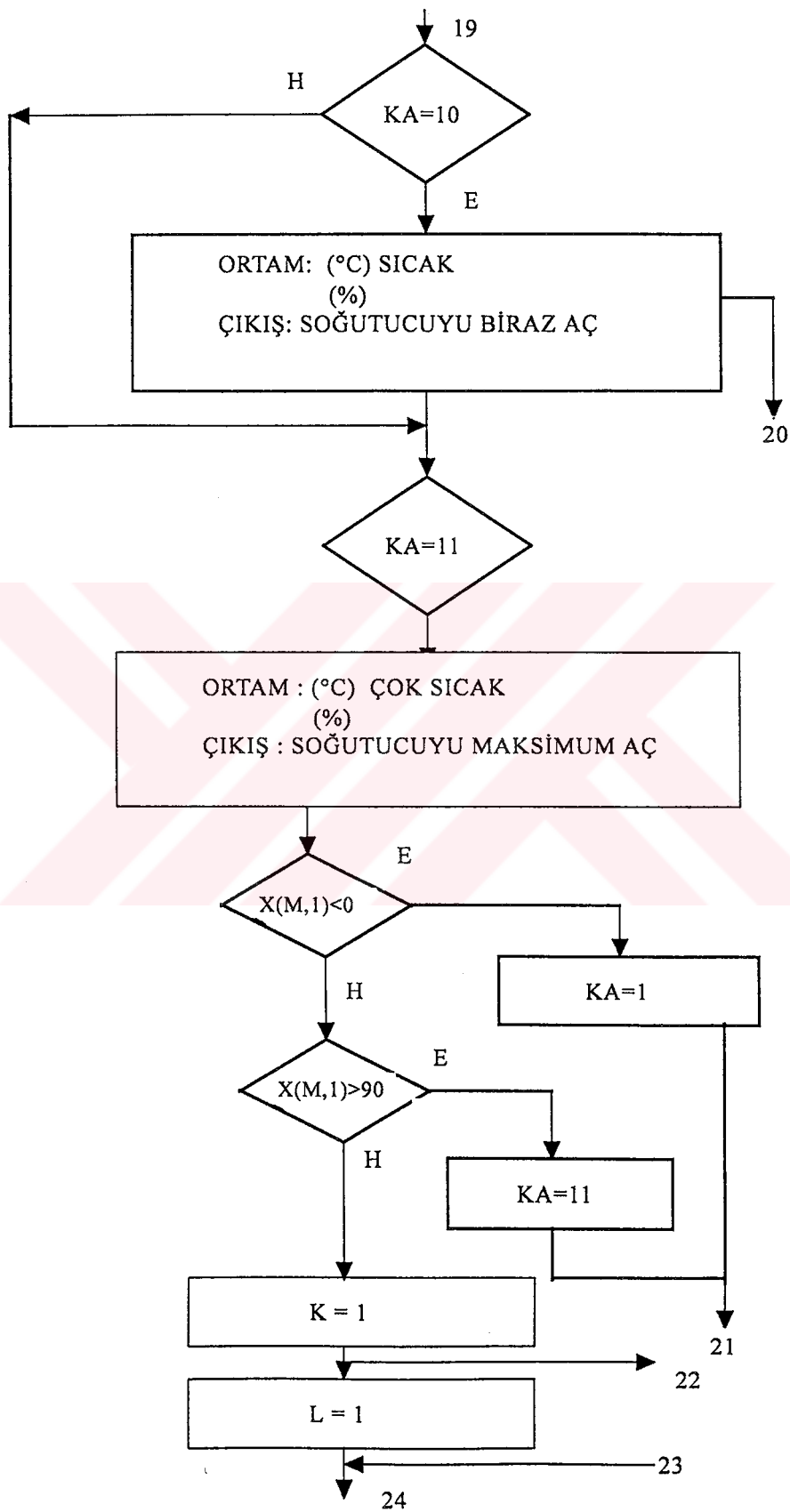


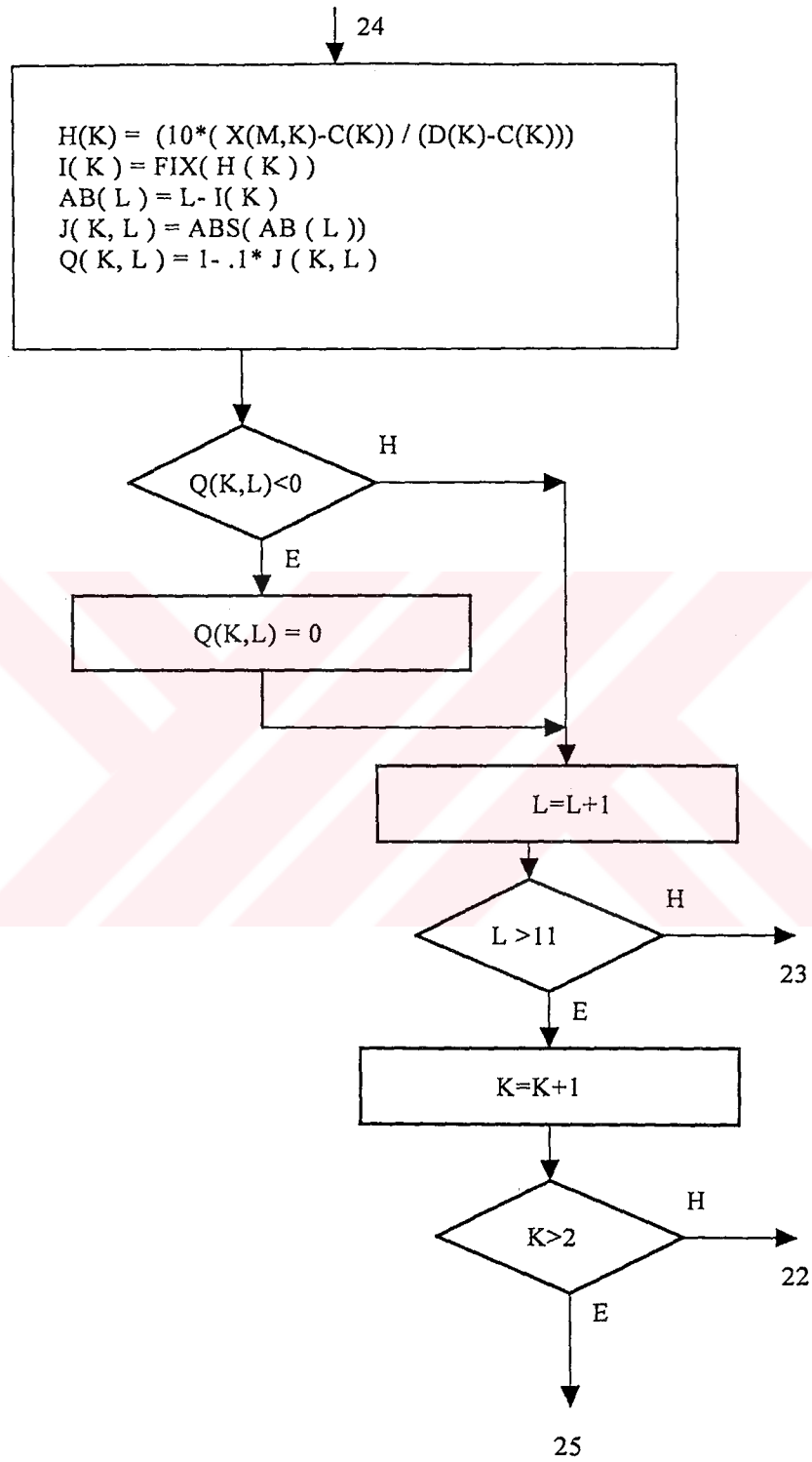


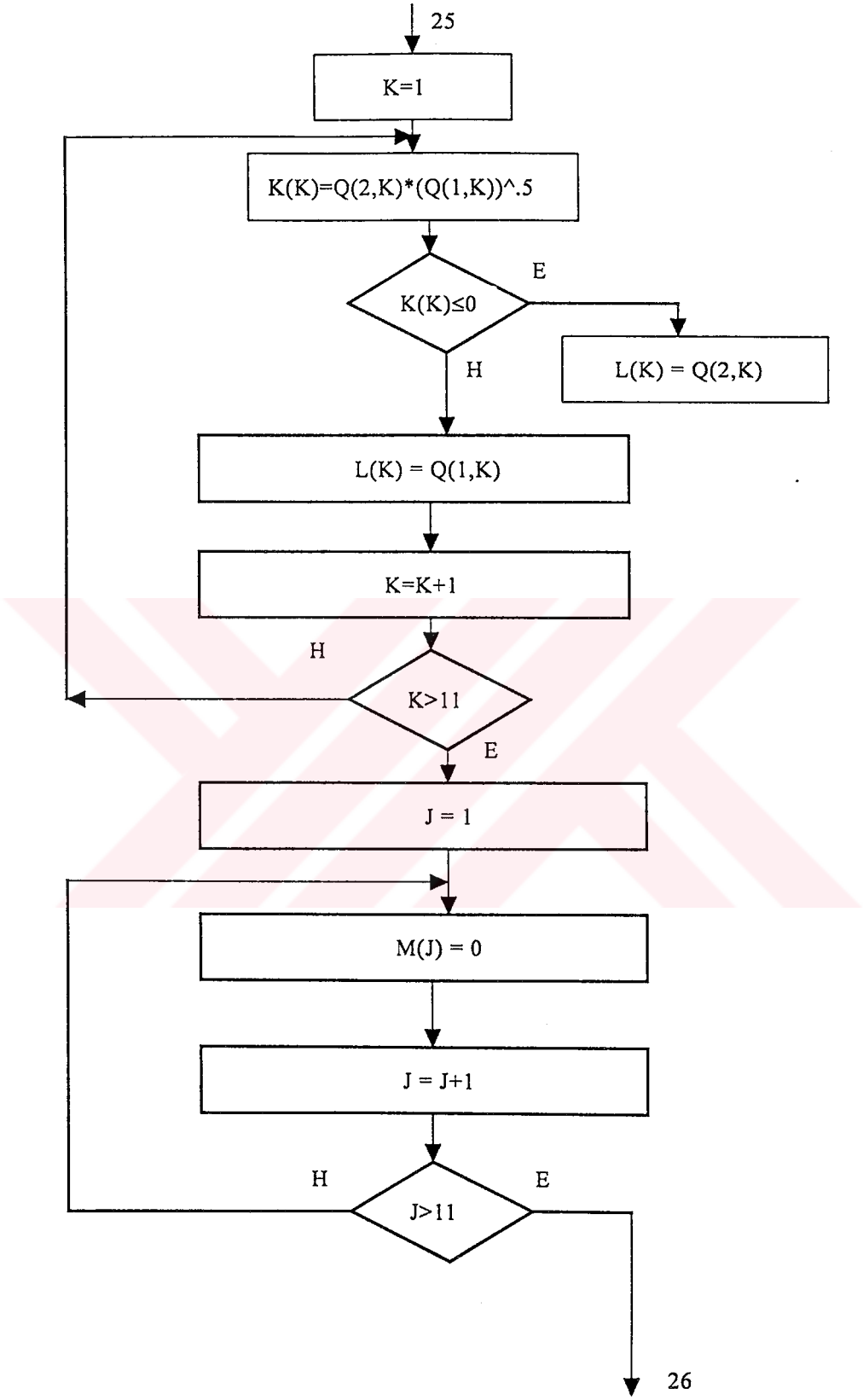


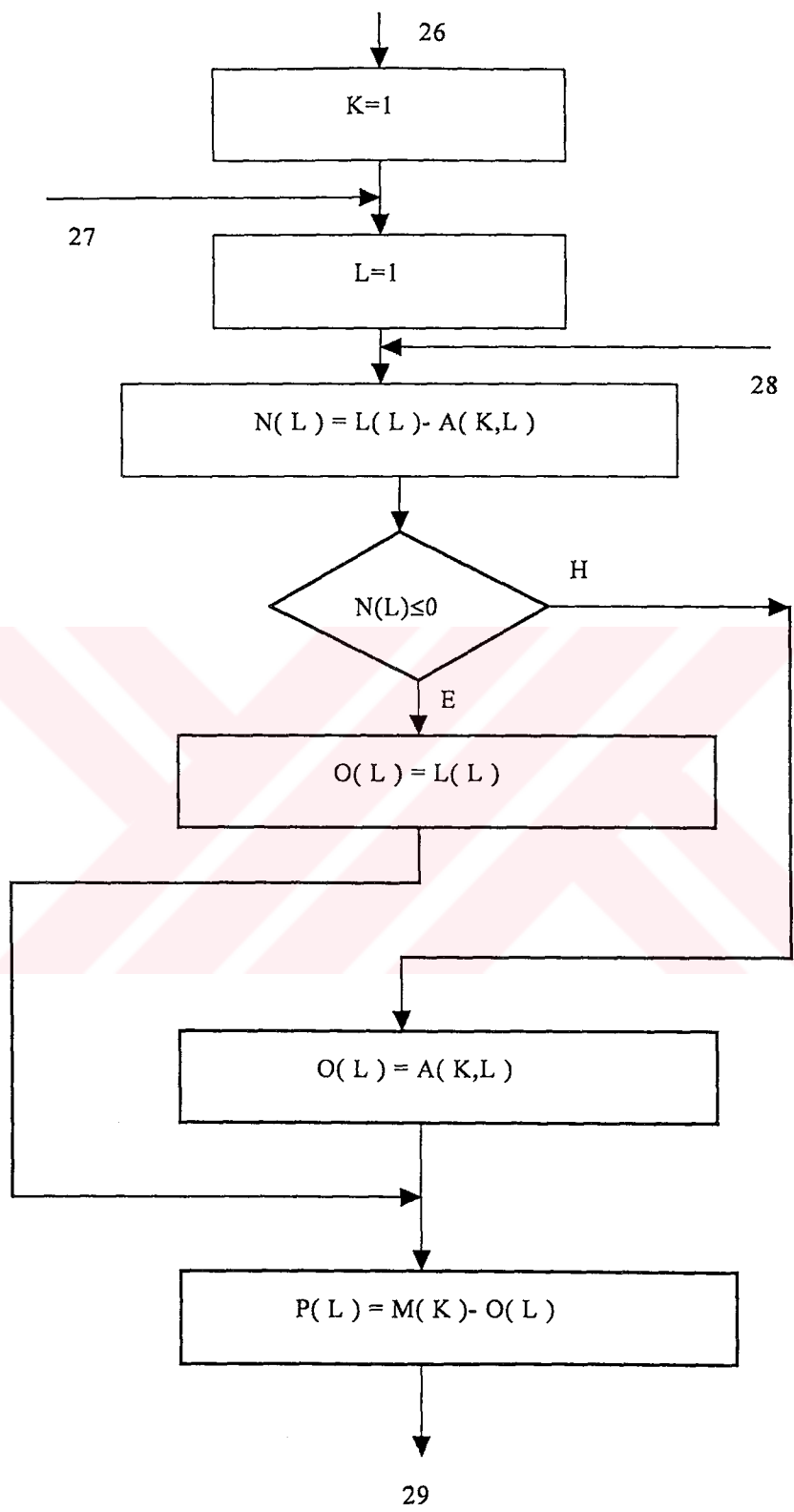


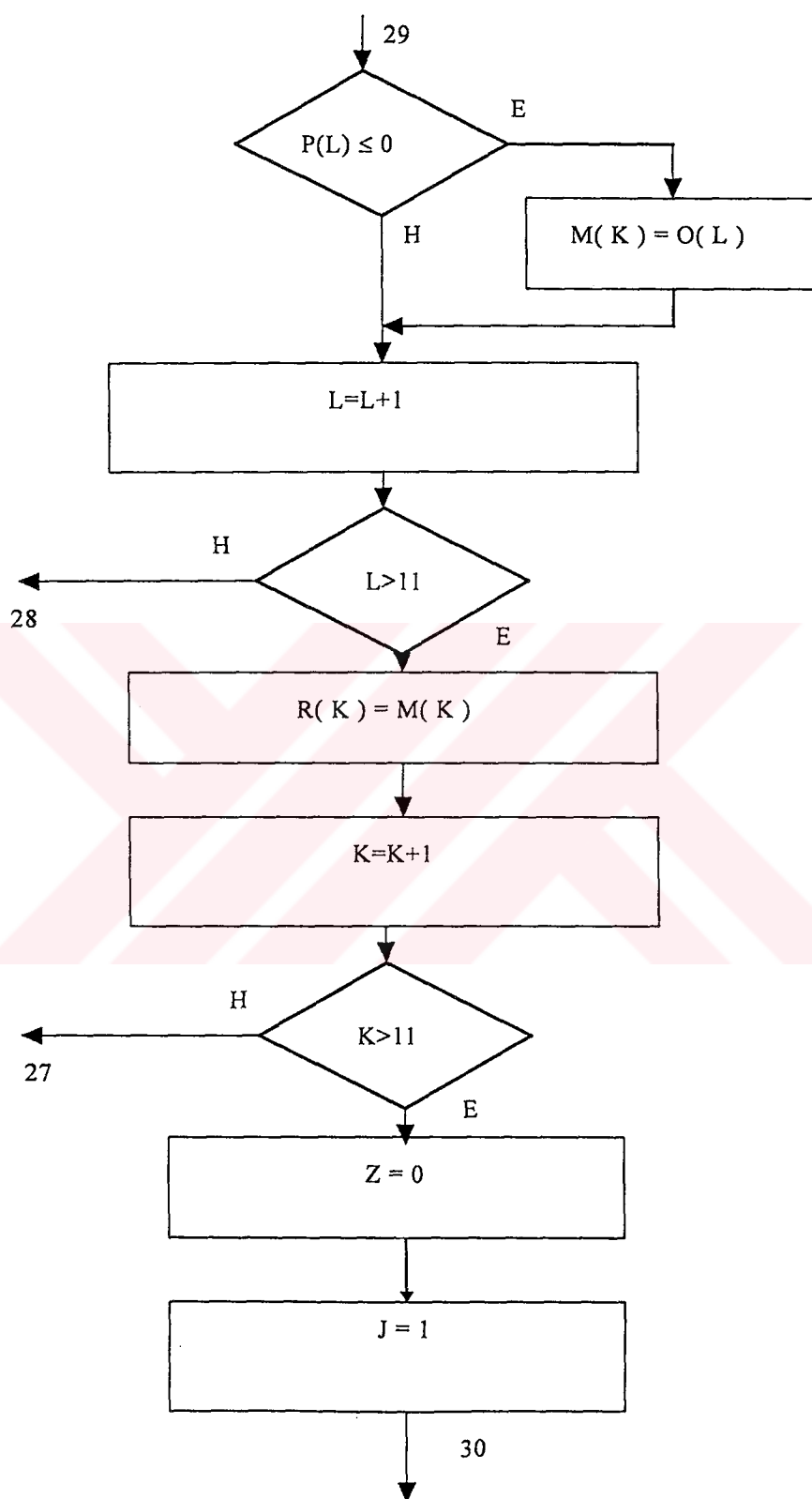


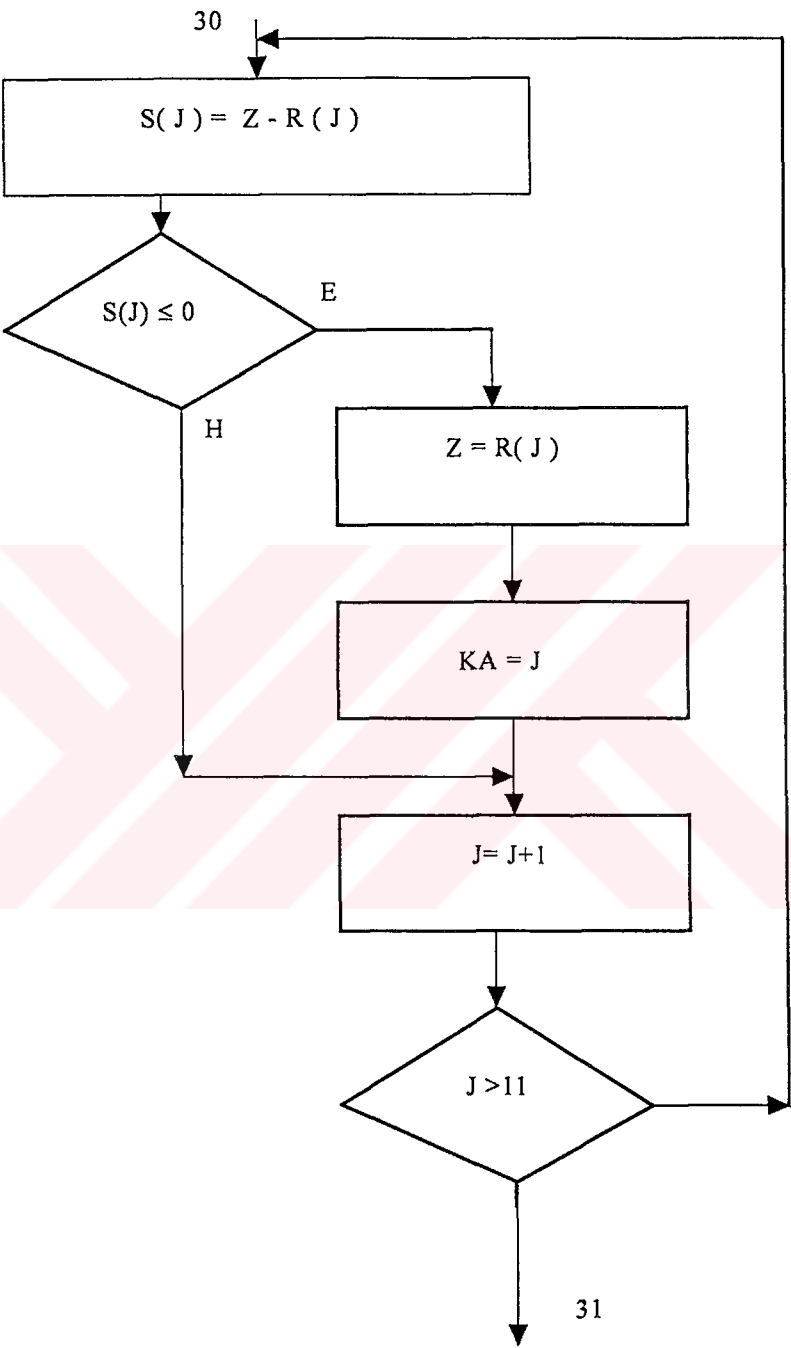


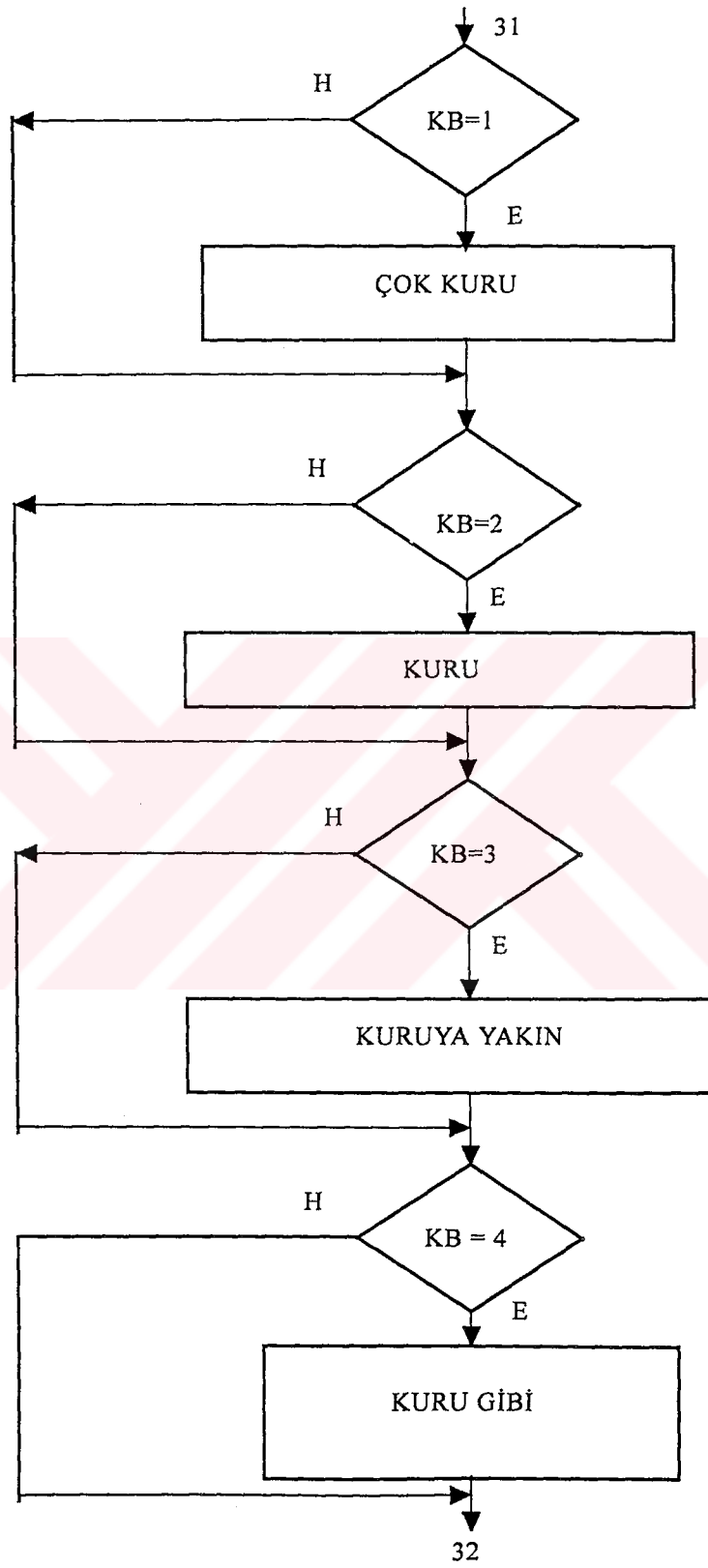


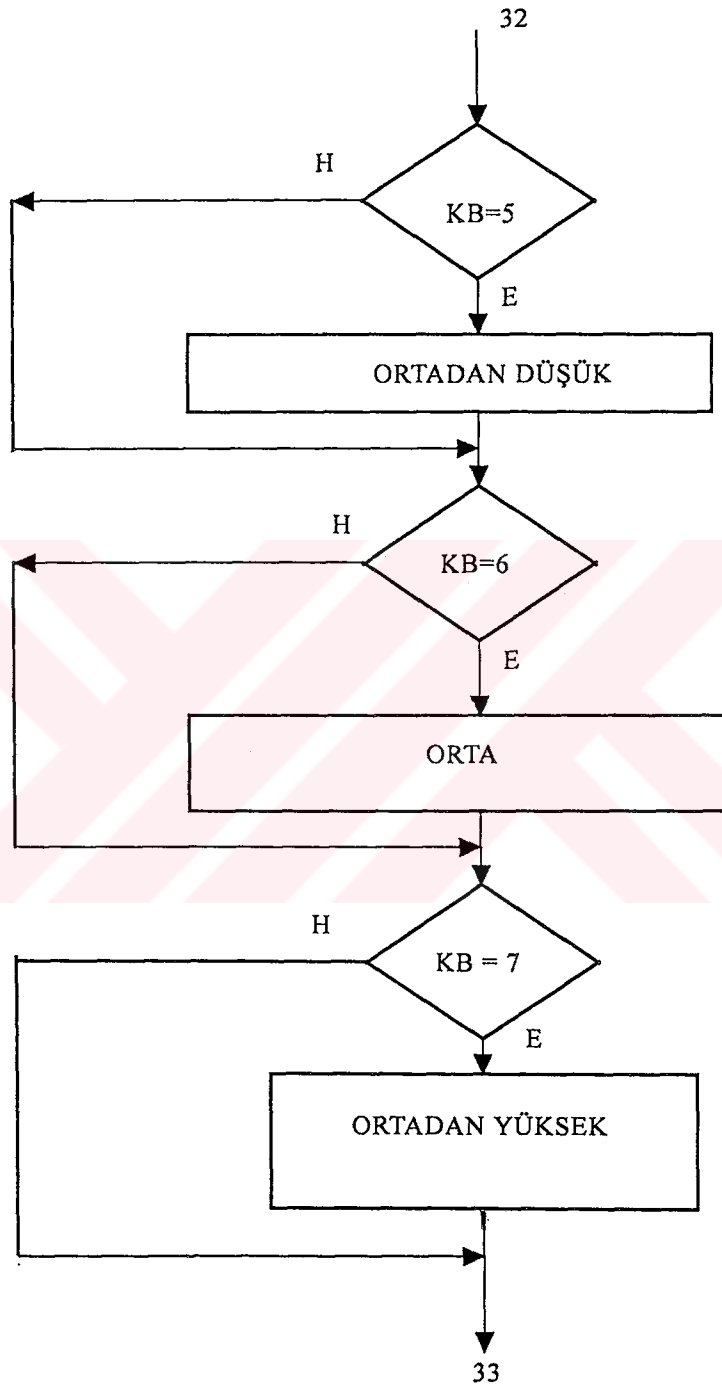


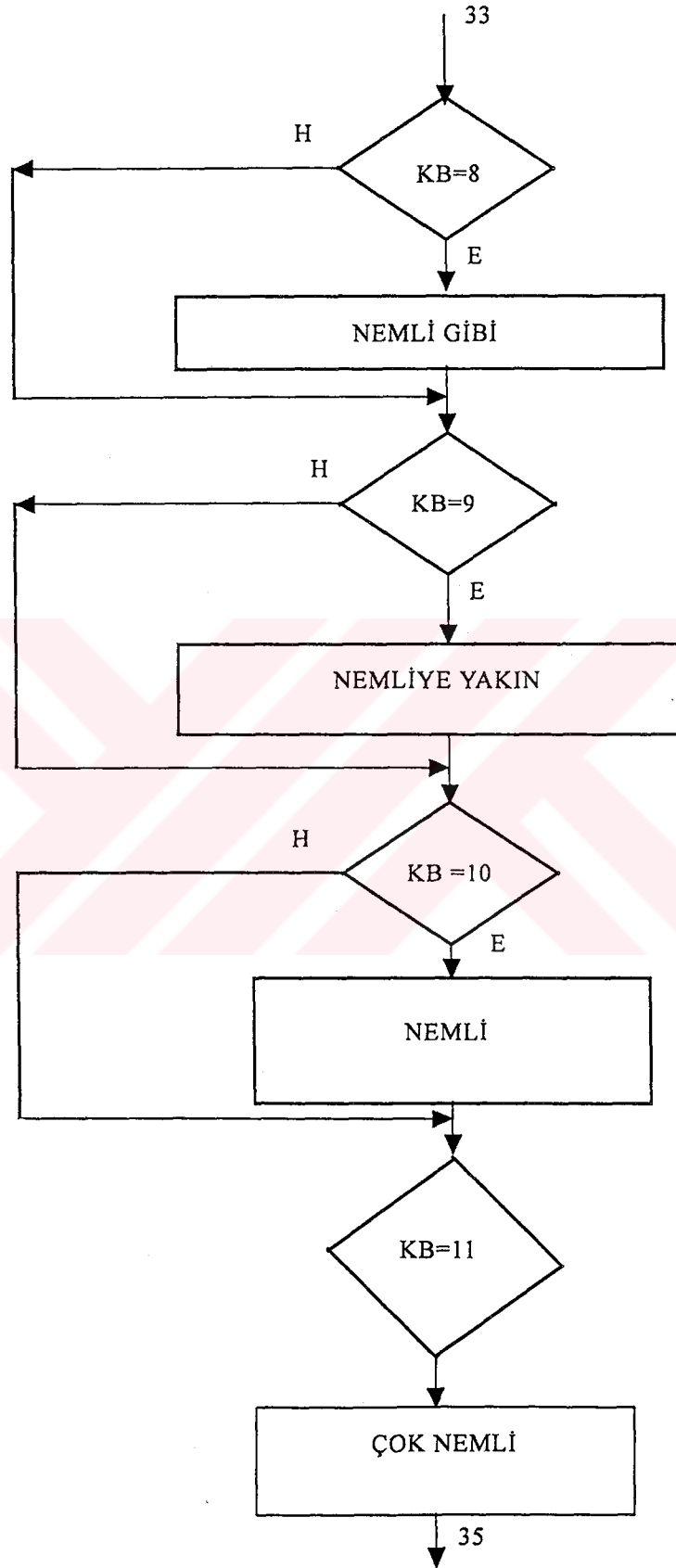












EK-2. QBASIC'TE YAZILAN PROGRAM LİSTESİ

REM SICAKLIK VE NEM PROGRAMI

REM YAZAN Ali Osman ÖZKAN

REM DANIŞMAN Doç. Dr. Novruz ALLAHVERDİ

CONST adcport = &H160 'A/D çeviricinin adresi

DIM A(11,11), C(2), D(2), H(2), I(2), J(2,11) , K(11), L(11), M(11), N(11)

DIM O(11), P(11), R(11), S(11), Q(2,11), X(2,2)

FOR K=1 TO 11

FOR L= 1 TO 11

READ A(K,L)

NEXT L

NEXT K

DATA 0,.1,.2,.3,.4,.5,.6,.7,.8,.9,1,0,.1,.2,.3,.4,.5,.6,.7,.8,1,0

DATA 0,.1,.2,.3,.4,.5,.6,.7,1,.1,0,0,.1,.2,.3,.4,.5,.6,1,.2,.1,0

DATA 0,.1,.2,.3,.4,.5,1,.3,.2,.1,0,0,.1,.2,.3,.4,1,.4,.3,.2,.1,0

DATA 0,.1,.2,.3,1,.5,.4,.3,.2,.1,0,0,.1,.2,1,.6,.5,.4,.3,.2,.1,0

DATA 0,.1,1,.7,.6,.5,.4,.3,.2,.1,0,0,1,.8,.7,.6,.5,.4,.3,.2,.1,0

DATA 1,.9,.8,.7,.6,.5,.4,.3,.2,.1,0

FOR K=1 TO 2

READ C(K)

NEXT K

DATA 0,0

FOR L=1 TO 2

READ D(L)

NEXT L

DATA 100,30

1 SCREEN 2

LINE (0,0) - (600,190) , 7 , B

2 LOCATE 5,25 : PRINT " SİSTEMİN KARAR KABUL ETMESİ"

```

3 LOCATE 9,27 : PRINT " ORTAM : ( °C)"
4 LOCATE 11,35 : PRINT "(%)"
5 LOCATE 13,27 : PRINT "ÇIKIŞ :"
6 LOCATE 16,17 : PRINT "SICAKLIK ( °C)"
7 LOCATE 16,53 : PRINT "NEM (%)"
8 LOCATE 17,17 : PRINT "=====
9 LOCATE 17,53 : PRINT "=====
M=1
GOTO 500
allADC12oku: 'A/D çevirici 8 kanal 12 bit olarak okunur
FOR KANAL = 0 TO 14 STEP 2
GOSUB ADCONV
DTERM = ( dig / 3 ) - 240 ' digital değer santigrat dereceye çevriliyor
DEĞER = ( INT ( DTERM + .5 / 10)
IF KANAL = 0 THEN SICAKLIK = DEĞER
IF KANAL = 4 THEN NEM = DEĞER
NEXT
RETURN
ADCONV : ' ADC kartının çevrim programı. Her çevrim bir kanala ait
          ' 0 - 4095 arası dig isimli değişkeni oluşturur.
OUT adcport +1, 0
OUT adcport, KANAL
GOSUB BEKLE : GOSUB BEKLE
FOR N = 1 TO 6: A= INP(adcport +12) : GOSUB BEKLE : NEXT
FOR N = 1 TO 8: A= INP(adcport +8) : GOSUB BEKLE : NEXT
A= INP( adcport +3)
GOSUB BEKLE
dig= INP( adcport +2) + 256 * ( A - 16 * ( INT ( A / 16 )))
BEKLE :
FOR J = 1 TO 1000 : NEXT

```

```

RETURN
500 GOSUB allADC12oku
X ( M,2 ) = SICAKLIK : X ( M,1 ) = NEM
IF X ( M,2 ) < 0 THEN 10 ELSE 11
10 KA = 1 : GOTO 31
11 IF X ( M,2 ) > 33 THEN 12 ELSE 13
12 KA = 11 : GOTO 31
13 FOR K = 1 TO 2
FOR L = 1 TO 11
H (K) = ( 10 * ( X (M,K) - C (K) ) / ( D (K) - C (K) ) )
I(K) = FIX ( H (K) )
S (L) = L - I(K)
J (K,L) = ABS ( S (L) )
Q (K,L) = 1 - .1 * J (K,L)
IF Q (K,L) < 0 THEN 14 ELSE 15
14 Q (K,L) = 0
15 NEXT L
NEXT K
FOR K = 1 TO 11
K(K) = Q (1,K) * ( Q (2,K) ) ^ .5
IF K(K) <= 0 THEN 16 ELSE 18
16 L(K) = Q(1,K)
GOTO 18
17 L(K) = ( Q(2,K) )
18 NEXT K
FOR J = 1 TO 11
M ( J ) = 0
NEXT J
FOR K = 1 TO 11
FOR L = 1 TO 11

```

```

N (L) = L (L) -A (K,L)
IF N (L) <=0 THEN 19 ELSE 21
19 O (L) = L (L)
GOTO 20
21 O (L) = A (K,L)
20 P (L) = M (K) - O (L)
IF P (L) <=0 THEN 22 ELSE 23
22 M (K) = O (L)
23 NEXT L
R (K) = M (K)
NEXT K
Z = 0
FOR J = 1 TO 11
S (J) = Z - R (J)
IF S (J) <=0 THEN 24 ELSE 26
24 Z = R (J)
25 KA = J
26 NEXT J
31 IF KA=1 THEN A$= "ÇOK SOĞUK" :B$= "İSİTİCİYİ MAKSİMUM
    AÇ" : OUT &H378, (1) : OUT &H37A, (1) : GOTO 300
32 IF KA=2 THEN A$= "SOĞUK" : B$= "İSİTİCİYİ BİRAZ AÇ":
    OUT &H378, (2) : OUT &H37A, (1) : GOTO 300
33 IF KA=3 THEN A$= "SOĞUĞA YAKIN" : B$= "İSİTİCİYİ ÇOK AZ
    AÇ" : OUT &H378, (4) : OUT &H37A, (1) : GOTO 300
34 IF KA=4 THEN A$= "SOĞUK GİBİ" : B$= "İSİTİCİYİ MİNİMUM
    AÇ" : OUT &H378, (8) : OUT &H37A, (1) : GOTO 300
35 IF KA=5 THEN A$= "ORTADAN DÜŞÜK" : B$= "NORMAL" :
    OUT &H378, (16) : OUT &H37A, (1) : GOTO 300
36 IF KA=6 THEN A$= "ILIK" : B$= "NORMAL" : OUT &H378, (16) :
    OUT &H37A, (1) : GOTO 300

```

```

37 IF KA=7 THEN A$= "ORTADAN YÜKSEK" : B$= "NORMAL" :
    OUT &H378, (16) : OUT &H37A, (1) : GOTO 300
38 IF KA=8 THEN A$= "SICAK GİBİ" : B$= "SOĞUTUCUYU MİNİMUM
    AÇ" : OUT &H378, (32) : OUT &H37A, (1) : GOTO 300
39 IF KA=9 THEN A$= "SICAĞA YAKIN" : B$= "SOĞUTUCUYU ÇOK
    AZ AÇ" : OUT &H378, (64) : OUT &H37A, (1) : GOTO 300
40 IF KA=10 THEN A$= "SICAK" : B$= "SOĞUTUCUYU BİRAZ AÇ" :
    OUT &H378, (128) : OUT &H37A, (1) : GOTO 300
41 IF KA=11 THEN A$= "ÇOK SICAK" : B$= "SOĞUTUCUYU
    MAKSİMUM AÇ" : OUT &H37A, (2) : OUT &H378, (0) : GOTO 300
300 IF X(M,1) < 0 THEN 51 ELSE 52
51 KB=1 : GOTO 71
52 IF X(M,1) > 90 THEN 53 ELSE 54
53 KB=11 : GOTO 71
54 FOR K=1 TO 11
H (K) = ( 10 * ( X (M,K) - C (K) ) / ( D (K) - C (K) ) )
I(K) = FIX ( H (K) )
S (L) = L - I(K)
J (K,L) = ABS ( S (L) )
Q (K,L) = 1 - .1 * J (K,L)
IF Q (K,L) < 0 THEN 55 ELSE 56
55 Q (K,L) = 0
56 NEXT L
NEXT K
FOR K = 1 TO 11
K(K) = Q (2,K) * ( Q (1,K) ) ^ .5
IF K(K) <= 0 THEN 57 ELSE 59
57 L(K) = Q(2,K)
GOTO 58
59 L(K) = ( Q(2,K) )

```

```

58 NEXT K
FOR J = 1 TO 11
M ( J ) = 0
NEXT J
FOR K = 1 TO 11
FOR L = 1 TO 11
N ( L ) = L ( L ) - A ( K , L )
IF N ( L ) <= 0 THEN 60 ELSE 62
60 O ( L ) = L ( L )
GOTO 61
62 O ( L ) = A ( K , L )
61 P ( L ) = M ( K ) - O ( L )
IF P ( L ) <= 0 THEN 63 ELSE 64
63 M ( K ) = O ( L )
64 NEXT L
R ( K ) = M ( K )
NEXT K
Z = 0
FOR J = 1 TO 11
S ( J ) = Z - R ( J )
IF S ( J ) <= 0 THEN 65 ELSE 67
65 Z = R ( J )
66 KB = J
67 NEXT J
71 IF KB=1 THEN C$ = "ÇOK KURU" : GOTO 600
72 IF KB=2 THEN C$ = "KURU" : GOTO 600
73 IF KB=3 THEN C$ = "KURUYA YAKIN" : GOTO 600
74 IF KB=4 THEN C$ = "KURU GİBİ" : GOTO 600
75 IF KB=5 THEN C$ = "ORTADAN DÜŞÜK" : GOTO 600
76 IF KB=6 THEN C$ = "ORTA" : GOTO 600

```

```
77 IF KB=7 THEN C$ = "ORTADAN YÜKSEK" : GOTO 600
78 IF KB=8 THEN C$ = "NEMLİ GİBİ" : GOTO 600
79 IF KB=9 THEN C$ = "NEMLİYE YAKIN" : GOTO 600
80 IF KB=10 THEN C$ = "NEMLİ" : GOTO 600
81 IF KB=11 THEN C$ = "ÇOK NEMLİ" : GOTO 600
600 LOCATE 9,41 : PRINT A$ : LOCATE 11,41 : PRINT C$
    LOCATE 13,39 : PRINT B$
601 LOCATE 19,21 : PRINT X(M,2) : LOCATE 19,55 : PRINT X(M,1)
FOR S=1 TO 150000 : NEXT : CLS
GOTO 1
```



EK-3. PROGRAM ÇIKTISININ EKRAN GÖRÜNTÜSÜ

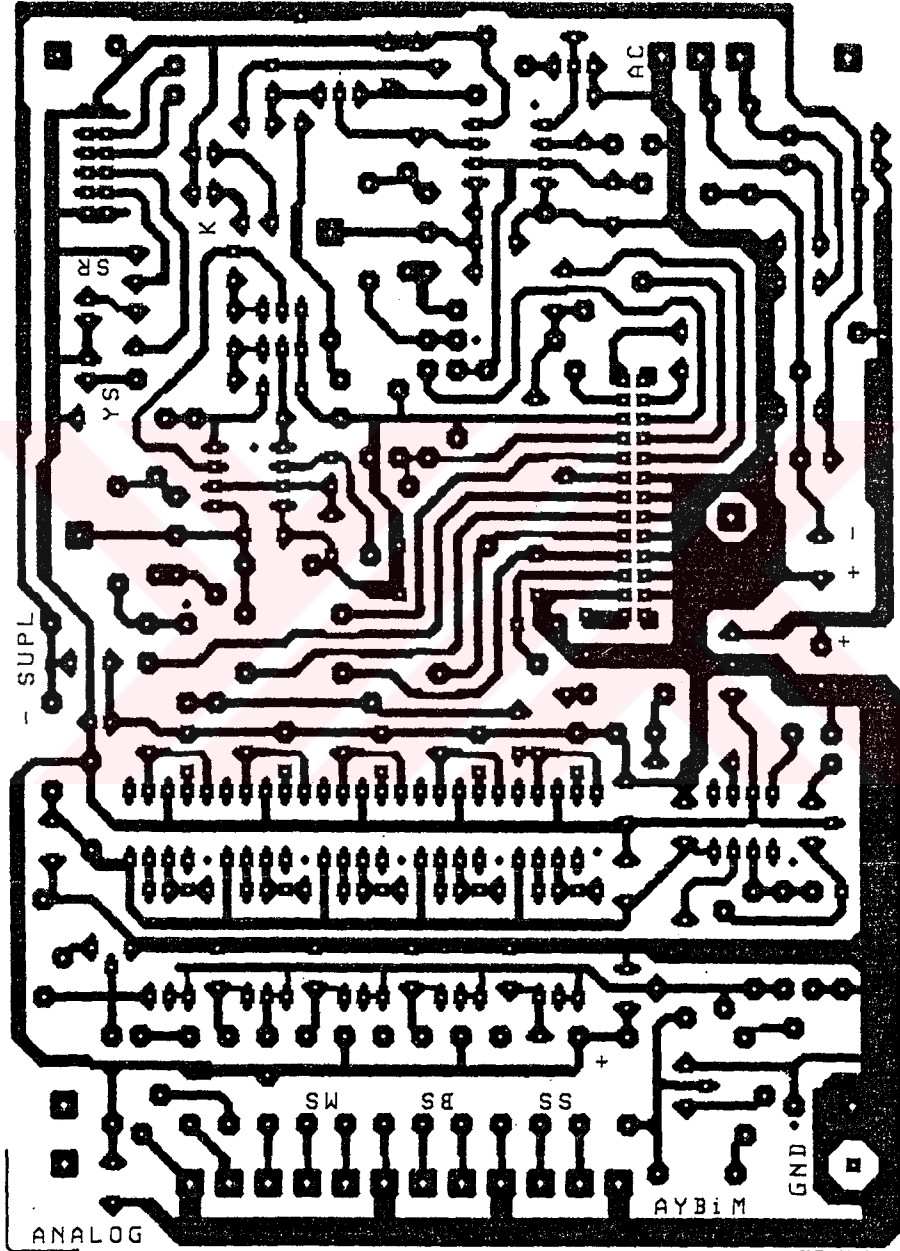
SİSTEMİN KARAR KABUL ETMESİ	
ORTAM : (°C) ÇOK SOĞUK	
(%) NEMLİ	
ÇIKIŞ : ISITICIYI MAKSİMUM AÇ	
SICAKLIK (°C)	NEM (%)
=====	=====
5.6	70.4

SİSTEMİN KARAR KABUL ETMESİ	
ORTAM : (°C) SICAK	
(%) KURU	
ÇIKIŞ : SOĞUTUCUYU BİRAZ AÇ	
SICAKLIK (°C)	NEM (%)
=====	=====
30.7	17.8

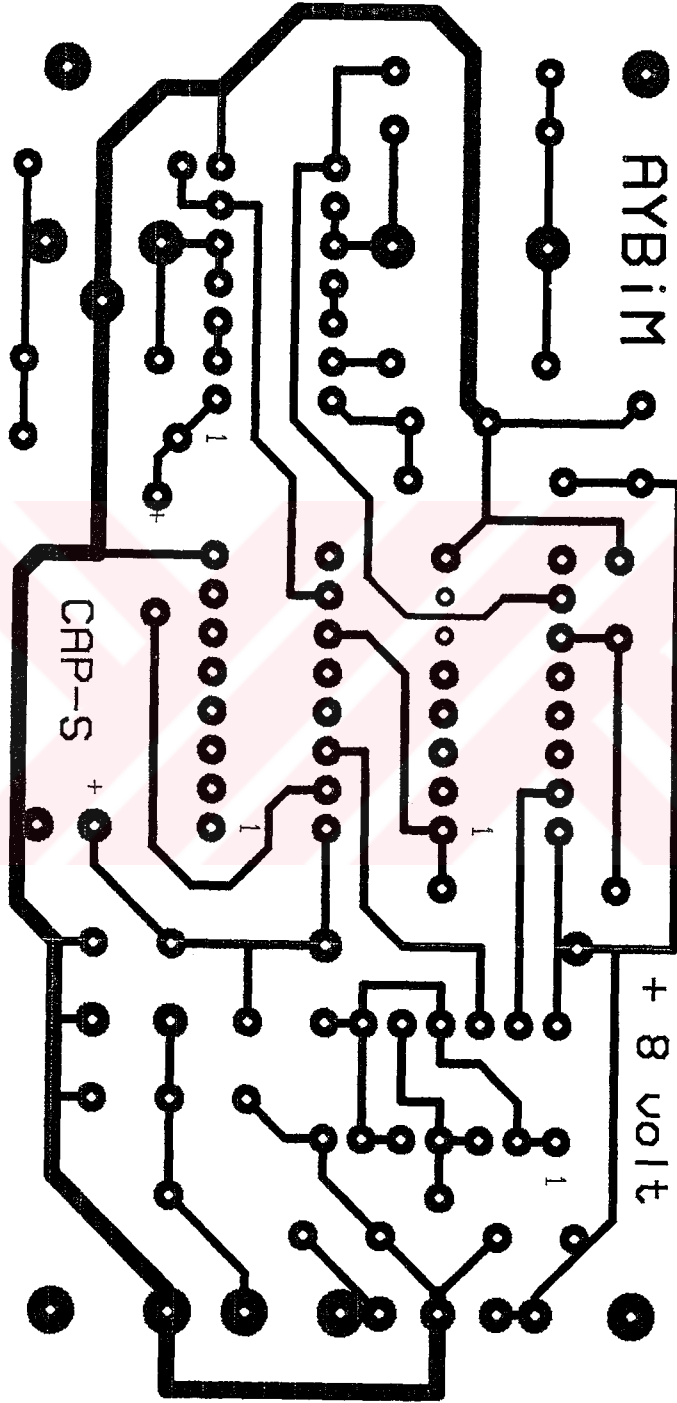
SİSTEMİN KARAR KABUL ETMESİ	
ORTAM : (°C) ILIK	
(%) KURU GİBİ	
ÇIKIŞ : NORMAL	
SICAKLIK (°C)	NEM (%)
=====	=====
19.2	33.3

SİSTEMİN KARAR KABUL ETMESİ	
ORTAM : (°C) ÇOK SICAK	
(%) ORTADAN DÜŞÜK	
ÇIKIŞ : SOĞUTUCUYU MAKSİMUM AÇ	
SICAKLIK (°C)	NEM (%)
=====	=====
35.2	40.1

EK-4. SICAKLIK KARTININ BASKI DEVRE ŞEMASI



EK-5. NEM KARTININ BASKI DEVRE ŞEMASI



EK-6. LM335 SICAKLIK SENSÖRÜ



LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A
Precision Temperature Sensors

General Description

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at +10 mV/°K. With less than 1Ω dynamic impedance the device operates over a current range of 400 μA to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors the LM135 has a linear output.

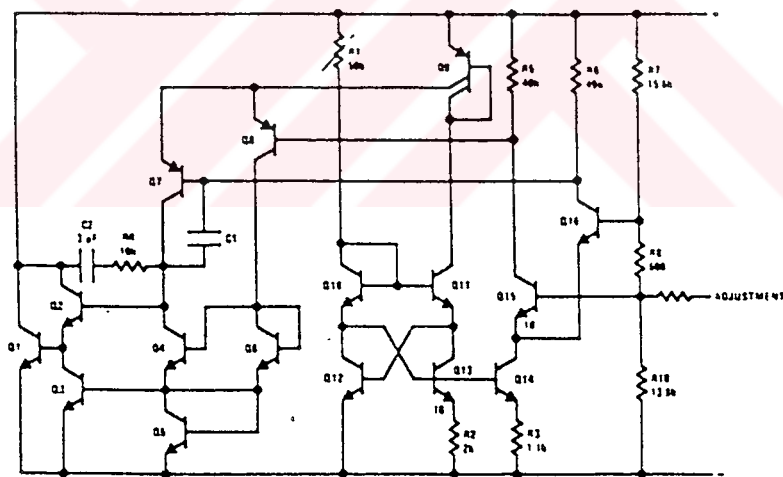
Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55°C to +150°C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry especially easy.

The LM135 operates over a -55°C to +150°C temperature range while the LM235 operates over a -40°C to +125°C temperature range. The LM335 operates from -40°C to +100°C. The LM135/LM235/LM335 are available packaged in hermetic TO-46 transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

Features

- Directly calibrated in °Kelvin
- 1°C initial accuracy available
- Operates from 400 μA to 5 mA
- Less than 1Ω dynamic impedance
- Easily calibrated
- Wide operating temperature range
- 200°C overrange
- Low cost

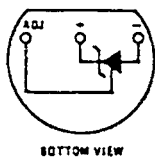
Schematic Diagram



TL/H/5698-1

Connection Diagrams

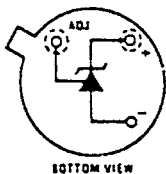
TO-92
Plastic Package



BOTTOM VIEW

Order Number LM335Z or LM335AZ
See NS Package Number Z03A

TO-46
Metal Can Package*



BOTTOM VIEW

TL/H/5698-8

*Case is connected to negative pin
Order Number LM135H, LM235H,
LM335H, LM135AH, LM235AH or LM335AH
See NS Package Number H03H

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.
(Note 4)

Reverse Current	15 mA
Forward Current	10 mA
Storage Temperature	
TO-46 Package	-60°C to +180°C
TO-92 Package	-60°C to +150°C

Specified Operating Temp. Range

	Continuous	Intermittent (Note 2)
LM135, LM135A	-55°C to +150°C	150°C to 200°C
LM235, LM235A	-40°C to +125°C	125°C to 150°C
LM335, LM335A	-40°C to +100°C	100°C to 125°C
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)		
TO-92 Package:		260°C
TO-46 Package:		300°C

Temperature Accuracy LM135/LM235, LM135A/LM235A (Note 1)

Parameter	Conditions	LM135A/LM235A			LM135/LM235			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$	2.97	2.98	2.99	2.95	2.98	3.01	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	3	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}$, $I_R = 1\text{ mA}$		1.3	2.7		2	5	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}$, $I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1		0.5	1.5	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	0.5		0.3	1	°C

Temperature Accuracy LM335, LM335A (Note 1)

Parameter	Conditions	LM335A			LM335			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$		1	3		2	6	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}$, $I_R = 1\text{ mA}$		2	5		4	9	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}$, $I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	2	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1.5		0.3	1.5	°C

Electrical Characteristics (Note 1)

Parameter	Conditions	LM135/LM235 LM135A/LM235A			LM335 LM335A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage Change with Current	$400\text{ }\mu\text{A} \leq I_R \leq 5\text{ mA}$ At Constant Temperature		2.5	10		3	14	mV
Dynamic Impedance	$I_R = 1\text{ mA}$		0.5			0.6		Ω
Output Voltage Temperature Coefficient			+10			+10		mV/°C
Time Constant	Still Air		80			80		sec
	100 ft/Min Air		10			10		sec
	Stirred Oil		1			1		*sec
Time Stability	$T_C = 125^\circ\text{C}$		0.2			0.2		°C/chr

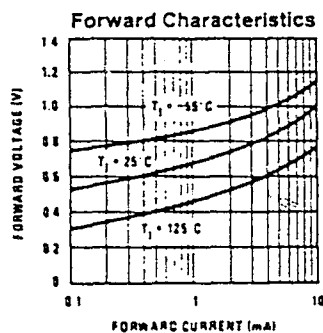
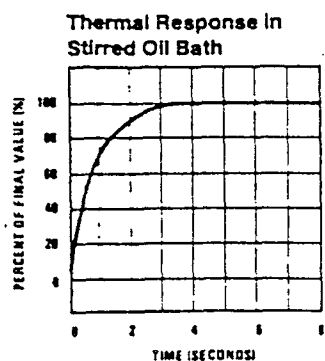
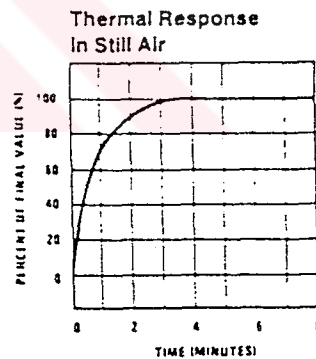
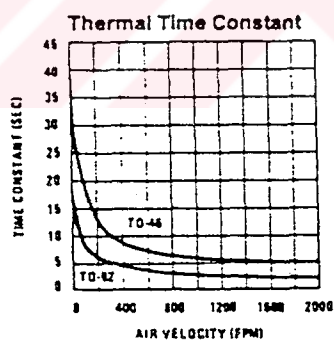
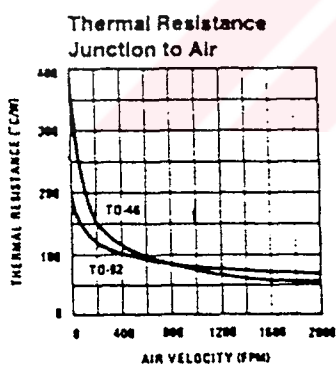
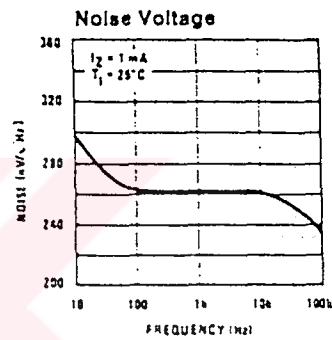
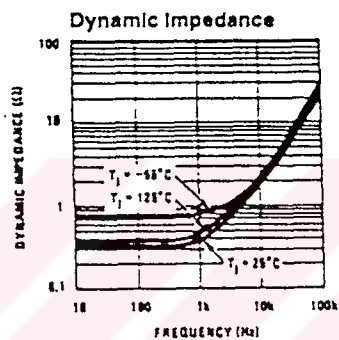
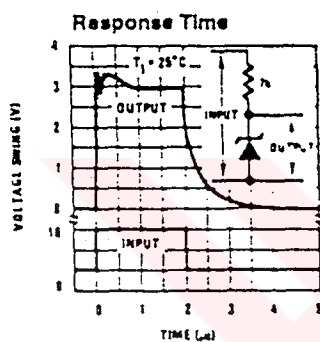
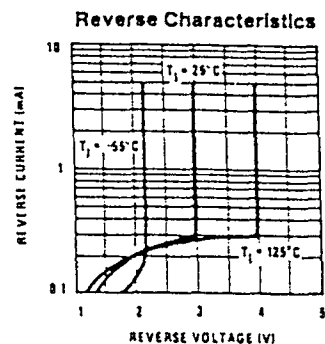
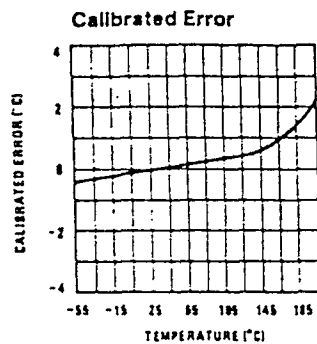
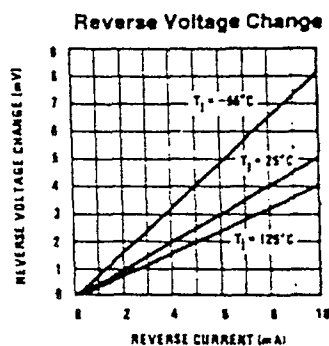
Note 1: Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self heating must be considered.

Note 2: Continuous operation at these temperatures for 10,000 hours for H package and 5,000 hours for Z package may decrease life expectancy of the device.

Note 3: Thermal Resistance
 θ_{JA} (junction to ambient) TO-92 TO-46
 θ_{JC} (junction to case) 202°C/W 400°C/W
 170°C/W N/A

Note 4: Refer to RETS135H for military specifications.

Typical Performance Characteristics



Application Hints

CALIBRATING THE LM135

Included on the LM135 chip is an easy method of calibrating the device for higher accuracies. A pot connected across the LM135 with the arm tied to the adjustment terminal allows a 1-point calibration of the sensor that corrects for inaccuracy over the full temperature range.

This single point calibration works because the output of the LM135 is proportional to absolute temperature with the extrapolated output of sensor going to 0V output at 0°K (-273.15°C). Errors in output voltage versus temperature are only slope (or scale factor) errors so a slope calibration at one temperature corrects at all temperatures.

The output of the device (calibrated or uncalibrated) can be expressed as:

$$V_{OUT_T} = V_{OUT_{T_0}} \times \frac{T}{T_0}$$

where T is the unknown temperature and T₀ is a reference temperature, both expressed in degrees Kelvin. By calibrating the output to read correctly at one temperature the output at all temperatures is correct. Nominally the output is calibrated at 10 mV/°K.

To insure good sensing accuracy several precautions must be taken. Like any temperature sensing device, self heating can reduce accuracy. The LM135 should be operated at the lowest current suitable for the application. Sufficient current, of course, must be available to drive both the sensor and the calibration pot at the maximum operating temperature as well as any external loads.

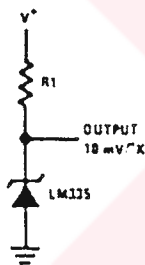
If the sensor is used in an ambient where the thermal resistance is constant, self heating errors can be calibrated out. This is possible if the device is run with a temperature stable current. Heating will then be proportional to zener voltage and therefore temperature. This makes the self heating error proportional to absolute temperature the same as scale factor errors.

WATERPROOFING SENSORS

Meltable inner core heat shrinkable tubing such as manufactured by Raychem can be used to make low-cost waterproof sensors. The LM335 is inserted into the tubing about 1/2" from the end and the tubing heated above the melting point of the core. The unfilled 1/2" end melts and provides a seal over the device.

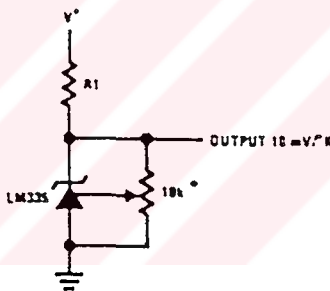
Typical Applications

Basic Temperature Sensor



TL/H/5698-2

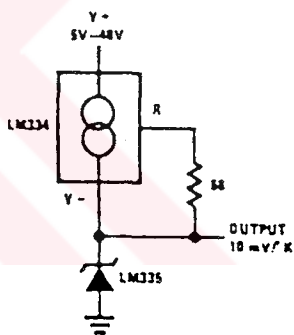
Calibrated Sensor



TL/H/5698-9

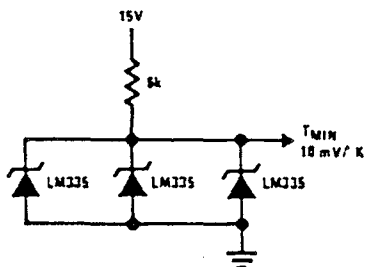
*Calibrate for 2.982V at 25°C

Wide Operating Supply



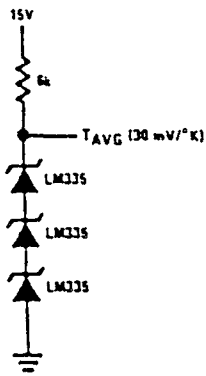
TL/H/5698-10

Minimum Temperature Sensing



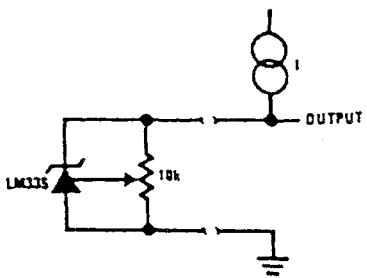
TL/H/5698-4

Average Temperature Sensing



TL/H/5698-18

Remote Temperature Sensing



TL/H/5698-19

Wire length for 1°C error due to wire drop

	I _R = 1 mA	I _R = 0.5 mA*
AWG	FEET	FEET
14	4000	8000
16	2500	5000
18	1600	3200
20	1000	2000
22	625	1250
24	400	800

*For I_R = 0.5 mA, the trim pot must be deleted

EK-7. LM336 2.5 VOLT REFERANS DİYOTU



LM136-2.5/LM236-2.5/LM336-2.5V Reference Diode

General Description

The LM136-2.5/LM236-2.5 and LM336-2.5 integrated circuits are precision 2.5V shunt regulator diodes. These monolithic IC voltage references operate as a low-temperature-coefficient 2.5V zener with 0.2Ω dynamic impedance. A third terminal on the LM136-2.5 allows the reference voltage and temperature coefficient to be trimmed easily.

The LM136-2.5 series is useful as a precision 2.5V low voltage reference for digital voltmeters, power supplies or op amp circuitry. The 2.5V make it convenient to obtain a stable reference from 5V logic supplies. Further, since the LM136-2.5 operates as a shunt regulator, it can be used as either a positive or negative voltage reference.

The LM136-2.5 is rated for operation over -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ while the LM236-2.5 is rated over a -25°C to $+85^{\circ}\text{C}$ temperature range.

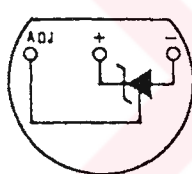
Both are packaged in a TO-46 package. The LM336-2.5 is rated for operation over a 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$ temperature range and is available in a TO-92 plastic package.

Features

- Low temperature coefficient
- Wide operating current of $400\mu\text{A}$ to 10mA
- 0.2Ω dynamic impedance
- $\pm 1\%$ initial tolerance available
- Guaranteed temperature stability
- Easily trimmed for minimum temperature drift
- Fast turn-on
- Three lead transistor package

Connection Diagrams

TO-92
Plastic Package

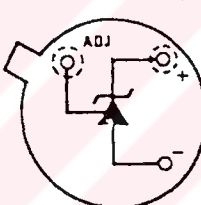


TL/H/5715-8

Bottom View

Order Number LM336Z-2.5
or LM336BZ-2.5
See NS Package Number Z03A

TO-46
Metal Can Package

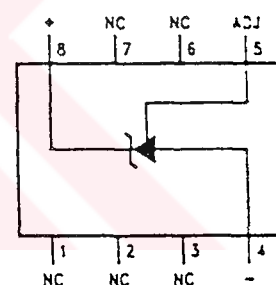


TL/H/5715-20

Bottom View

Order Number LM136H-2.5,
LM236H-2.5, LM336H-2.5,
LM136AH-2.5 or LM236AH-2.5
See NS Package Number H03H

SO Package



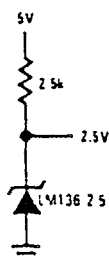
TL/H/5715-12

Top View

Order Number LM336M-2.5
or LM336BM-2.5
See NS Package Number M08A

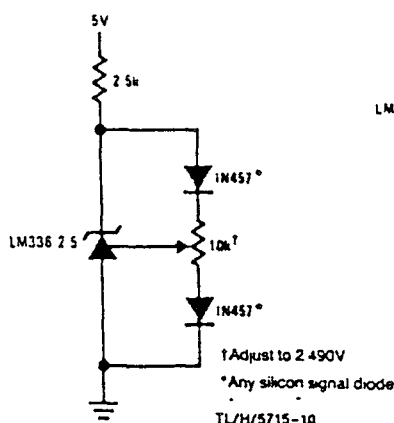
Typical Applications

2.5V Reference



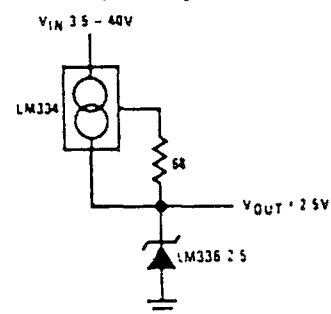
TL/H/5715-9

2.5V Reference with Minimum
Temperature Coefficient



TL/H/5715-10

Wide Input Range Reference



TL/H/5715-11

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Reverse Current	15 mA
Forward Current	10 mA
Storage Temperature	-60°C to +150°C
Operating Temperature Range	
LM136	-55°C to +150°C
LM236	-25°C to +85°C
LM336	0°C to +70°C

Soldering Information

TO-92 Package (10 sec.)	260°C
TO-46 Package (10 sec.)	300°C
SO Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" (Appendix D) for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics (Note 1)

Parameter	Conditions	LM136A-2.5/LM236A-2.5 LM136-2.5/LM236-2.5			LM336B-2.5 LM336-2.5			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Reverse Breakdown Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$	2.440	2.490	2.540	2.390	2.490	2.590	V
	LM136/LM236/LM336 LM136A/LM236A, LM336B	2.465	2.490	2.515	2.440	2.490	2.540	V
Reverse Breakdown Change With Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $400\text{ }\mu\text{A} \leq I_R \leq 10\text{ mA}$		2.6	6		2.6	10	mV
Reverse Dynamic Impedance	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$		0.2	0.6		0.2	1	Ω
Temperature Stability (Note 2)	V_R Adjusted to 2.490V $I_R = 1\text{ mA}$, (Figure 2) $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq 70^\circ\text{C}$ (LM336)					1.8	6	mV
	$-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ (LM236)		3.5	9				mV
	$-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ (LM136)		12	18				mV
Reverse Breakdown Change With Current	$400\text{ }\mu\text{A} \leq I_R \leq 10\text{ mA}$		3	10		3	12	mV
Reverse Dynamic Impedance	$I_R = 1\text{ mA}$		0.4	1		0.4	1.4	Ω
Long Term Stability	$T_A = 25^\circ\text{C} \pm 0.1^\circ\text{C}$, $I_R = 1\text{ mA}$		20			20		ppm

Note 1: Unless otherwise specified, the LM136-2.5 is specified from $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$, the LM236-2.5 from $-25^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$ and the LM336-2.5 from $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$.

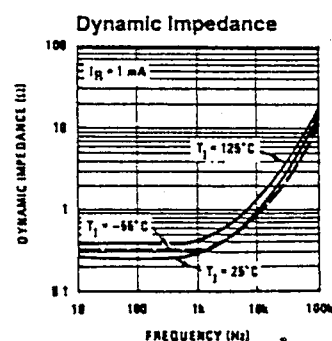
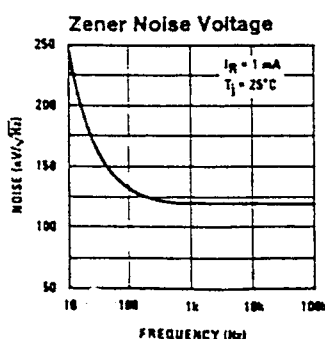
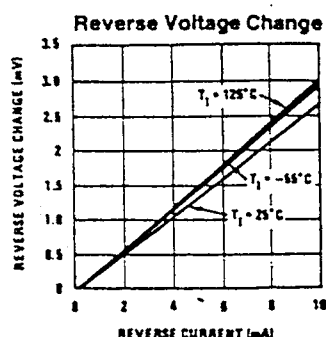
Note 2: Temperature stability for the LM336 and LM236 family is guaranteed by design. Design limits are guaranteed (but not 100% production tested) over the indicated temperature and supply voltage ranges. These limits are not used to calculate outgoing quality levels. Stability is defined as the maximum change in V_{REF} from 25°C to T_A (min) or T_A (max).

Note 3: For elevated temperature operation, T_1 max is:

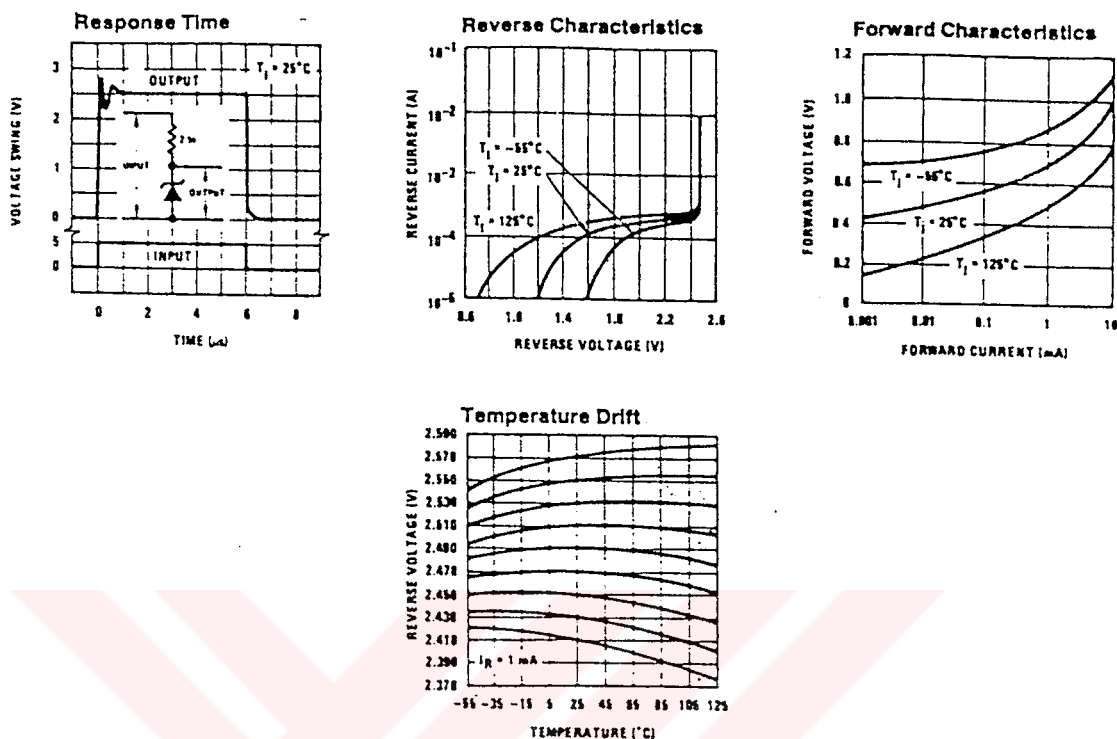
LM136	150°C
LM236	125°C
LM336	100°C

Thermal Resistance	TO-92	TO-46	SO-8
θ_{JA} (Junction to Ambient)	180°C/W (0.4" leads) 170°C/W (0.125" lead)	440°C/W	165°C/W
θ_{JC} (Junction to Case)	n/a	80°C/W	n/a

Typical Performance Characteristics



Typical Performance Characteristics (Continued)



TL/H/5715-3

Application Hints

The LM136 series voltage references are much easier to use than ordinary zener diodes. Their low impedance and wide operating current range simplify biasing in almost any circuit. Further, either the breakdown voltage or the temperature coefficient can be adjusted to optimize circuit performance.

Figure 1 shows an LM136 with a 10k potentiometer for adjusting the reverse breakdown voltage. With the addition of R1 the breakdown voltage can be adjusted without affecting the temperature coefficient of the device. The adjustment range is usually sufficient to adjust for both the initial device tolerance and inaccuracies in buffer circuitry.

If minimum temperature coefficient is desired, two diodes can be added in series with the adjustment potentiometer as shown in Figure 2. When the device is adjusted to 2.490V the temperature coefficient is minimized. Almost any silicon signal diode can be used for this purpose such as a 1N914, 1N4148 or a 1N457. For proper temperature compensation the diodes should be in the same thermal environment as the LM136. It is usually sufficient to mount the diodes near the LM136 on the printed circuit board. The absolute resistance of R1 is not critical and any value from 2k to 20k will work.

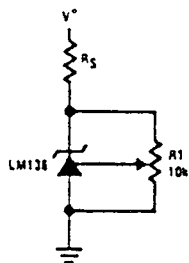


FIGURE 1. LM136 With Pot for Adjustment of Breakdown Voltage
(Trim Range = $\pm 120\text{ mV}$ typical)

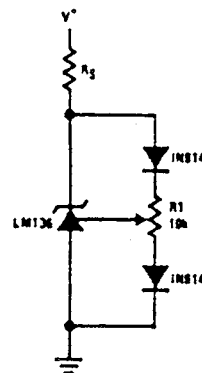


FIGURE 2. Temperature Coefficient Adjustment
(Trim Range = $\pm 70\text{ mV}$ typical)

TL/H/5715-4

EK-8. LM308 İŞLEMSEL YÜKSELTECİ



LM108/LM208/LM308 Operational Amplifiers

General Description

The LM108 series are precision operational amplifiers having specifications a factor of ten better than FET amplifiers over a -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ temperature range.

The devices operate with supply voltages from $\pm 2\text{V}$ to $\pm 20\text{V}$ and have sufficient supply rejection to use unregulated supplies. Although the circuit is interchangeable with and uses the same compensation as the LM101A, an alternate compensation scheme can be used to make it particularly insensitive to power supply noise and to make supply bypass capacitors unnecessary.

The low current error of the LM108 series makes possible many designs that are not practical with conventional amplifiers. In fact, it operates from $10\text{ M}\Omega$ source resistances,

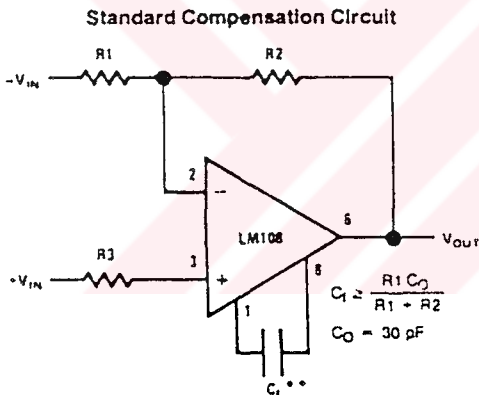
introducing less error than devices like the 709 with $10\text{ k}\Omega$ sources. Integrators with drifts less than $500\text{ }\mu\text{V/sec}$ and analog time delays in excess of one hour can be made using capacitors no larger than $1\text{ }\mu\text{F}$.

The LM108 is guaranteed from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$, the LM208 from -25°C to $+85^{\circ}\text{C}$, and the LM308 from 0°C to $+70^{\circ}\text{C}$.

Features

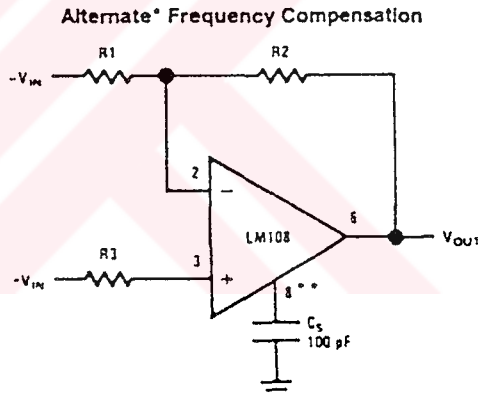
- Maximum input bias current of 3.0 nA over temperature
- Offset current less than 400 pA over temperature
- Supply current of only $300\text{ }\mu\text{A}$, even in saturation
- Guaranteed drift characteristics

Compensation Circuits



TL/H/7758-1

**Bandwidth and slew rate are proportional to $1/C_1$

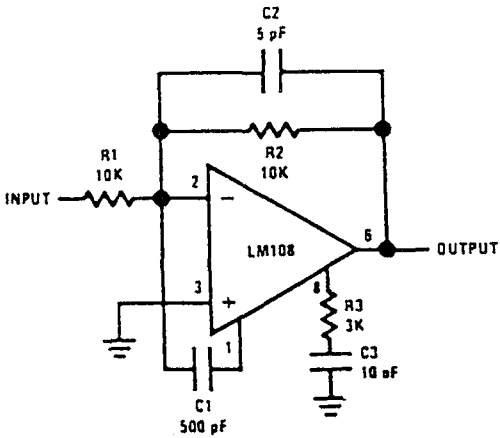


TL/H/7758-2

*Improves rejection of power supply noise by a factor of ten.

**Bandwidth and slew rate are proportional to $1/C_2$

Feedforward Compensation



TL/H/7758-3

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

(Note 5)

	LM108/LM208	LM308
Supply Voltage	$\pm 20V$	$\pm 18V$
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW
Differential Input Current (Note 2)	$\pm 10\text{ mA}$	$\pm 10\text{ mA}$
Input Voltage (Note 3)	$\pm 15V$	$\pm 15V$
Output Short-Circuit Duration	Indefinite	Indefinite
Operating Temperature Range (LM108)	-55°C to $+125^{\circ}\text{C}$	0°C to $+70^{\circ}\text{C}$
(LM208)	-25°C to $+85^{\circ}\text{C}$	
Storage Temperature Range	-65°C to $+150^{\circ}\text{C}$	-65°C to $+150^{\circ}\text{C}$
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	260°C	260°C
DIP	300°C	300°C
H Package Lead Temp		
(Soldering 10 seconds)		
Soldering Information		
Dual-In-Line Package		
Soldering (10 seconds)	260°C	
Small Outline Package		
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	
Infrared (15 seconds)	220°C	
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
ESD rating to be determined.		

Electrical Characteristics (Note 4)

Parameter	Condition	LM108/LM208			LM308			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$		0.7	2.0		2.0	7.5	mV
Input Offset Current	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$		0.05	0.2		0.2	1	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$		0.8	2.0		1.5	7	nA
Input Resistance	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$	30	70		10	40		M Ω
Supply Current	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$		0.3	0.6		0.3	0.8	mA
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^{\circ}\text{C}$, $V_S = \pm 15V$ $V_{OUT} = \pm 10V$, $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	50	300		25	300		V/mV
Input Offset Voltage				3.0			10	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage			3.0	15		6.0	30	$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
Input Offset Current				0.4			1.5	nA
Average Temperature Coefficient of Input Offset Current			0.5	2.5		2.0	10	$\text{pA}/^{\circ}\text{C}$
Input Bias Current				3.0			10	nA
Supply Current	$T_A = +125^{\circ}\text{C}$		0.15	0.4				mA
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15V$, $V_{OUT} = \pm 10V$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	25			15			V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15V$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$	± 13	± 14		± 13	± 14		V

Electrical Characteristics (Note 4) (Continued)

Parameter	Condition	LM108/LM208			LM308			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Voltage Range	$V_S = \pm 15V$	± 13.5			± 14			V
Common Mode Rejection Ratio		85	100		80	100		dB
Supply Voltage Rejection Ratio		80	96		80	96		dB

Note 1: The maximum junction temperature of the LM108 is 150°C, for the LM208, 100°C and for the LM308, 85°C. For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient, or 45°C/W, junction to case. The thermal resistance of the dual-in-line package is 100°C/W, junction to ambient.

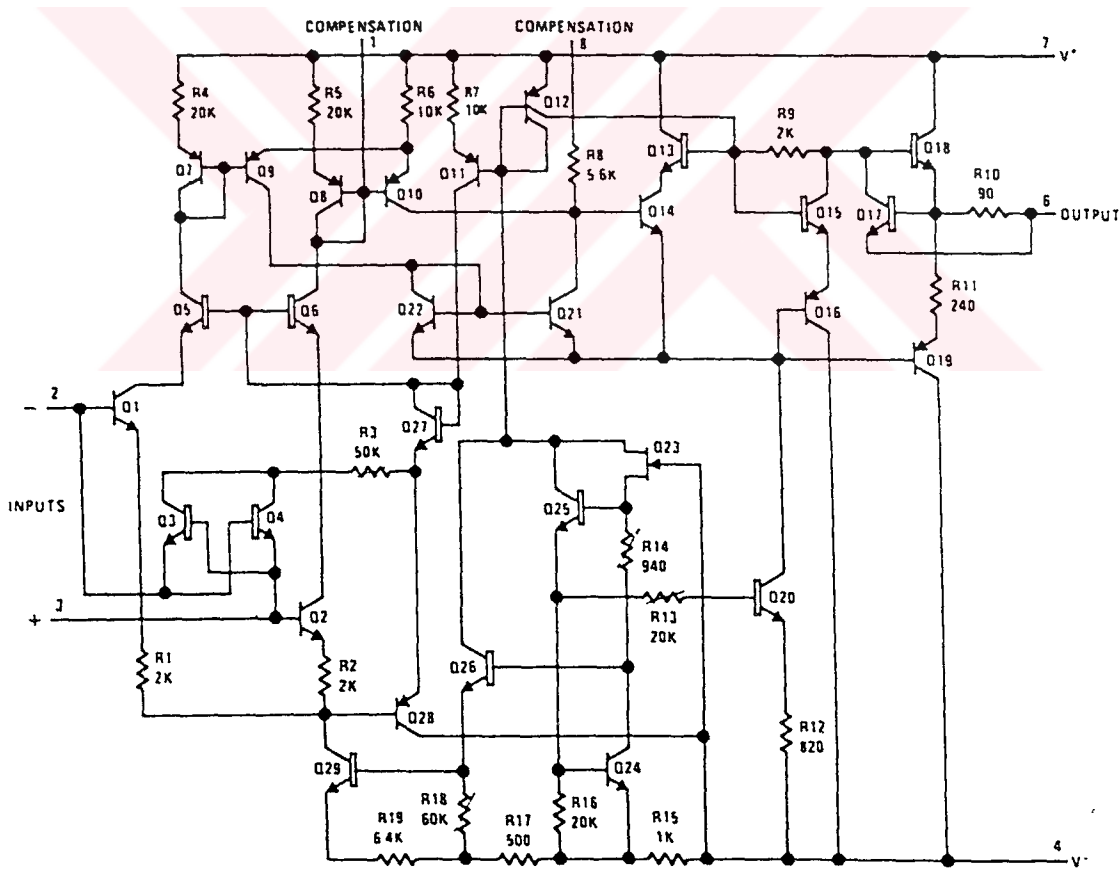
Note 2: The inputs are shunted with back-to-back diodes for overvoltage protection. Therefore, excessive current will flow if a differential input voltage in excess of V_S is applied between the inputs unless some limiting resistance is used.

Note 3: For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 4: These specifications apply for $\pm 5V \leq V_S \leq +20V$ and $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$, unless otherwise specified. With the LM208, however, all temperature specifications are limited to $-25^\circ C \leq T_A \leq 85^\circ C$, and for the LM308 they are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$.

Note 5: Refer to RETS108X for LM108 military specifications.

Schematic Diagram



EK-9. CD4040 12 DURUMLU BİNARY SAYICI



CD4020BM/CD4020BC
14-Stage Ripple Carry Binary Counters
CD4040BM/CD4040BC
12-Stage Ripple Carry Binary Counters
CD4060BM/CD4060BC
14-Stage Ripple Carry Binary Counters

General Description

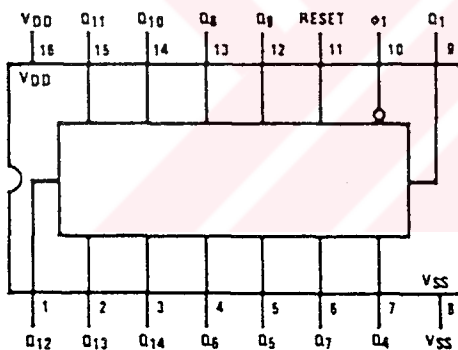
The CD4020BM/CD4020BC, CD4060BM/CD4060BC are 14-stage ripple carry binary counters, and the CD4040BM/CD4040BC is a 12-stage ripple carry binary counter. The counters are advanced one count on the negative transition of each clock pulse. The counters are reset to the zero state by a logical "1" at the reset input independent of clock.

Features

- Wide supply voltage range 1.0V to 15V
- High noise immunity 0.45 V_{DD} (typ.)
- Low power TTL compatibility Fan out of 2 driving 74L or 1 driving 74LS
- Medium speed operation 8 MHz typ. at $V_{DD} = 10V$
- Schmitt trigger clock input

Connection Diagrams

Dual-In-Line Package
 CD4020BM/CD4020BC



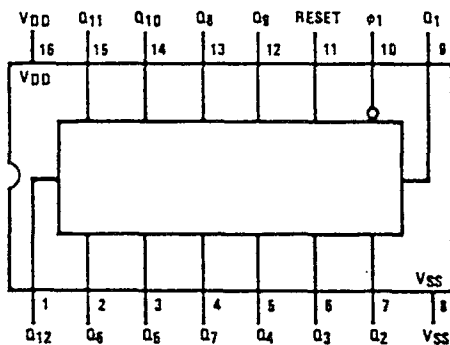
Top View

TL/F/5953-1

Order Number CD4020B*, CD4040B* or CD4060B*

*Please look into Section B, Appendix D for availability of various package types

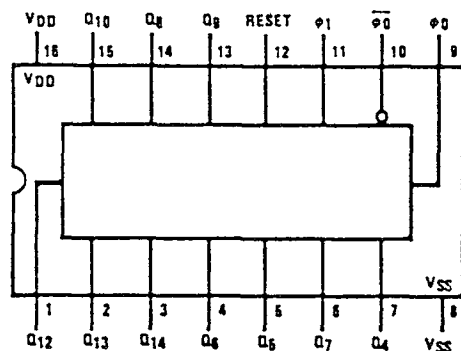
Dual-In-Line Package
 CD4040BM/CD4040BC



Top View

TL/F/5953-2

Dual-In-Line Package
 CD4060BM/CD4060BC



Top View

TL/F/5953-3

EK-10. CD4069 EVİRİCİ



CD4069UBM/CD4069UBC Inverter Circuits

General Description

The CD4069UB consists of six inverter circuits and is manufactured using complementary MOS (CMOS) to achieve wide power supply operating range, low power consumption, high noise immunity, and symmetric controlled rise and fall times.

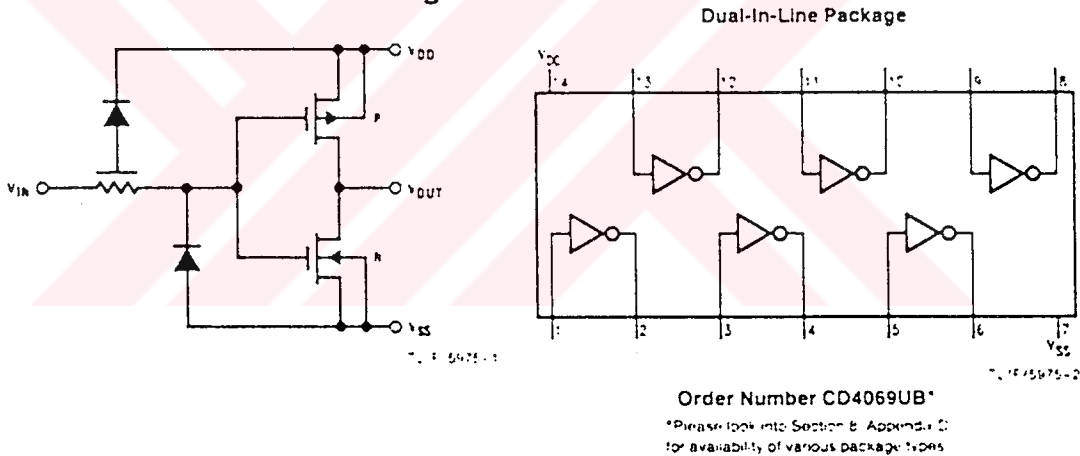
This device is intended for all general purpose inverter applications where the special characteristics of the MM74C901, MM74C903, MM74C907, and CD4049A Hex Inverter/Bufferers are not required. In those applications requiring larger noise immunity the MM74C14 or MM74C914 Hex Schmitt Trigger is suggested.

All inputs are protected from damage due to static discharge by diode clamps to V_{DD} and V_{SS} .

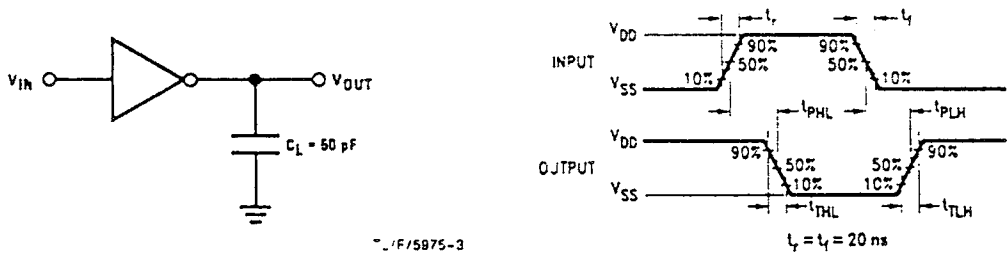
Features

- Wide supply voltage range 3.0V to 15V
- High noise immunity 0.45 V_{DD} typ.
- Low power TTL compatibility Fan out of 2 driving 74L or 1 driving 74LS
- Equivalent to MM54C04/MM74C04

Schematic and Connection Diagram



AC Test Circuits and Switching Time Waveforms



Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

DC Supply Voltage (V_{DD})	-0.5V to +18 V_{DC}
Input Voltage (V_{IN})	-0.5V to V_{DD} + 0.5 V_{DC}
Storage Temperature Range (T_S)	-65°C to +150°C
Power Dissipation (P_D)	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temperature (T_L)	
(Soldering, 10 seconds)	260°C

Recommended Operating Conditions (Note 2)

DC Supply Voltage (V_{DD})	3V to 15 V_{DC}
Input Voltage (V_{IN})	0V to V_{DD} V_{DC}
Operating Temperature Range (T_A)	
CD4069UBM	-55°C to +125°C
CD4069UBC	-40°C to +85°C

DC Electrical Characteristics CD4069UBM (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-55°C		+25°C			+125°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I_{DD}	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V,$ $V_{IN} = V_{DD}$ or V_{SS}		0.25			0.25		7.5	μA
		$V_{DD} = 10V,$ $V_{IN} = V_{DD}$ or V_{SS}		0.5			0.5		15	μA
		$V_{DD} = 15V,$ $V_{IN} = V_{DD}$ or V_{SS}		1.0			1.0		30	μA
V_{OL}	Low Level Output Voltage	$ I_O < 1 \mu A$ $V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 10V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 15V$		0.05		0	0.05		0.05	V
V_{OH}	High Level Output Voltage	$ I_O < 1 \mu A$ $V_{DD} = 5V$	4.95		4.95	5		4.95		V
		$V_{DD} = 10V$	9.95		9.95	10		9.95		V
		$V_{DD} = 15V$	14.95		14.95	15		14.95		V
V_{IL}	Low Level Input Voltage	$ I_O < 1 \mu A$ $V_{DD} = 5V, V_O = 4.5V$		1.0			1.0		1.0	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9V$		2.0			2.0		2.0	V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$		3.0			3.0		3.0	V
V_{IH}	High Level Input Voltage	$ I_O < 1 \mu A$ $V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$	4.0		4.0			4.0		V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$	8.0		8.0			8.0		V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	12.0		12.0			12.0		V
I_{OL}	Low Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$	0.64		0.51	0.88		0.36		mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$	1.6		1.3	2.25		0.9		mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	4.2		3.4	8.8		2.4		mA
I_{OH}	High Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V$	-0.64		-0.51	-0.88		-0.36		mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$	-1.6		-1.3	-2.25		-0.9		mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$	-4.2		-3.4	-8.8		-2.4		mA
I_{IN}	Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$		-0.10		-10 ⁻⁵	-0.10		-1.0	μA
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.10		10 ⁻⁵	0.10		1.0	μA

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2: $V_{SS} = 0V$ unless otherwise specified.

Note 3: I_{OH} and I_{OL} are tested one output at a time.

EK-11. CD4093 2-GİRİŞLİ NAND SCHMITT TETİKLEYİCİ



CD4093BM/CD4093BC Quad
2-Input NAND Schmitt Trigger

General Description

The CD4093B consists of four Schmitt-trigger circuits. Each circuit functions as a 2-input NAND gate with Schmitt-trigger action on both inputs. The gate switches at different points for positive and negative-going signals. The difference between the positive (V_{T+}) and the negative voltage (V_{T-}) is defined as hysteresis voltage (V_H).

All outputs have equal source and sink currents and conform to standard B-series output drive (see Static Electrical Characteristics).

Features

- Wide supply voltage range
- Schmitt-trigger on each input with no external components
- Noise immunity greater than 50%

3.0V to 15V

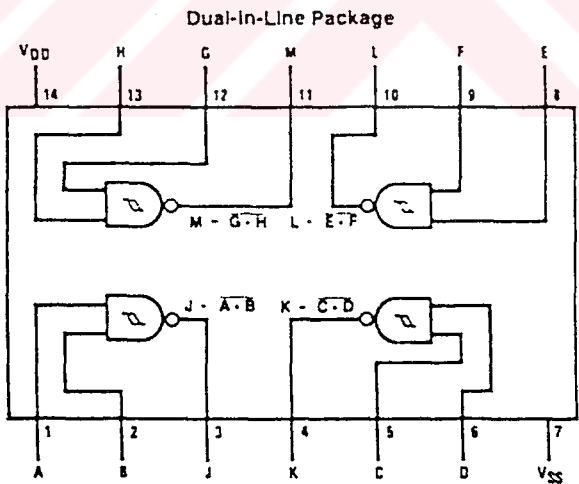
- Equal source and sink currents
- No limit on input rise and fall time
- Standard B-series output drive
- Hysteresis voltage (any input) $T_A = 25^{\circ}\text{C}$

Typical	$V_{DD} = 5.0\text{V}$	$V_H \approx 1.5\text{V}$
	$V_{DD} = 10\text{V}$	$V_H \approx 2.2\text{V}$
	$V_{DD} = 15\text{V}$	$V_H \approx 2.7\text{V}$
Guaranteed		$V_H = 0.1 V_{DD}$

Applications

- Wave and pulse shapers
- High-noise-environment systems
- Monostable multivibrators
- Astable multivibrators
- NAND logic

Connection Diagram



TL/T/5962-1

Top View
Order Number CD4093B*

*Please look into Section 8, Appendix D for availability of various package types

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

DC Supply Voltage (V_{DD})	-0.5 to +18 V_{DC}
Input Voltage (V_{IN})	-0.5 to V_{DD} + 0.5 V_{DC}
Storage Temperature Range (T_S)	-65°C to +150°C
Power Dissipation (P_D)	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temperature (T_L)	
(Soldering, 10 seconds)	260°C

Recommended Operating Conditions (Note 2)

DC Supply Voltage (V_{DD})	3 to 15 V_{DC}
Input Voltage (V_{IN})	0 to V_{DD} V_{DC}
Operating Temperature Range (T_A)	
CD4093BM	-55°C to +125°C
CD4093BC	-40°C to +85°C

DC Electrical Characteristics CD4093BM (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-55°C		+25°C			+125°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I_{DD}	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$		0.25			0.25		7.5	μA
		$V_{DD} = 10V$		0.5			0.5		15.0	μA
		$V_{DD} = 15V$		1.0			1.0		30.0	μA
V_{OL}	Low Level Output Voltage	$V_{IN} = V_{DD}, I_{O1} < 1 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 10V$		0.05		0	0.05		0.05	V
V_{OH}	High Level Output Voltage	$V_{IN} = V_{SS}, I_{O1} < 1 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$	4.95		4.95	5		4.95		V
		$V_{DD} = 10V$	9.95		9.95	10		9.95		V
V_T	Negative-Going Threshold Voltage (Any Input)	$ I_{O1} < 1 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V, V_O = 4.5V$	1.3	2.25	1.5	1.8	2.25	1.5	2.3	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9V$	2.85	4.5	3.0	4.1	4.5	3.0	4.65	V
V_T^+	Positive-Going Threshold Voltage (Any Input)	$ I_{O1} < 1 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$	2.75	3.65	2.75	3.3	3.5	2.65	3.5	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$	5.5	7.15	5.5	6.2	7.0	5.35	7.0	V
V_H	Hysteresis ($V_T^+ - V_T^-$) (Any Input)	$V_{DD} = 5V$	0.5	2.35	0.5	1.5	2.0	0.35	2.0	V
		$V_{DD} = 10V$	1.0	4.30	1.0	2.2	4.0	0.70	4.0	V
		$V_{DD} = 15V$	1.5	6.30	1.5	2.7	6.0	1.20	6.0	V
I_{OL}	Low Level Output Current (Note 3)	$V_{IN} = V_{DD}$								
		$V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$	0.64		0.51	0.88		0.36		mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$	1.6		1.3	2.25		0.9		mA
I_{OH}	High Level Output Current (Note 3)	$V_{IN} = V_{SS}$								
		$V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V$	-0.64		0.51	-0.88		-0.36		mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$	-1.6		-1.3	-2.25		-0.9		mA
I_{IN}	Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$		-0.1		-10 ⁻⁵	-0.1		-1.0	μA
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.1		10 ⁻⁵	0.1		1.0	μA

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed; they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2: $V_{SS} = 0V$ unless otherwise specified.

Note 3: I_{OH} and I_{OL} are tested one output at a time.