

**BULANIK MANTIK DENETİMLİ  
TERMÖELEKTRİK BEYİN SOĞUTUCUSU**

**ABDULLAH HAKAN YAVUZ**

**DOKTORA TEZİ  
ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2009**

**ANKARA**

Abdullah Hakan YAVUZ tarafından hazırlanan BULANIK MANTIK DENETİMLİ TERMOELEKTRİK BEYİN SOĞUTUCUSU adlı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Raşit AHISKA

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Elektronik Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. Çetin ELMAS

Üye : Prof.Dr. İnan GÜLER

Üye : Prof.Dr. Raşit AHISKA

Üye : Prof.Dr. Ö. Faruk BAY

Üye : Yrd. Doç.Dr. Hamit ERDEM

Tarih : .../.../...

Bu Tez, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Abdullah Hakan YAVUZ

**BULANIK MANTIK DENETİMLİ  
TERMÖELEKTRİK BEYİN SOĞUTUCUSU**

**(Doktora Tezi)**

**Abdullah Hakan YAVUZ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**

**BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2009**

**ÖZET**

Dünyada trafik kazaları sonucunda insanların ölmesi ve sakatlanması büyük sorun oluşturmaktadır. Kalp krizi esnasında beynin korunması da en önemli problemlerden biridir. Ayrıca açık kalp ameliyatları sırasında iskemik hasara en yatkın olan organ beyin olduğu için beynin korunması gerekmektedir. Dünyada beyin tedavisi ve korunması için Kranio-Serebral Hipotermiya (KSH) yöntemi uygulanmaktadır. Hipotermiya dokuların oksijen tüketimini azaltarak organizmayı ve özellikle beyni hipoksinin ölümcül etkisinden korumaktadır. Beyni dışarıdan soğutarak gerçekleştirilen hipotermiya tekniklerine bakıldığında, vücudu soğuk suyun içine daldırma veya kafaya buz koyma gibi çok ilkel ve pratik olmayan yöntemler kullanıldığını görmekteyiz. Bu çalışmada beyin hipotermiyasını sağlamak amacıyla termoelektrik modüllerden oluşan bir kask tasarlandı. Kontrolü yapay zeka kontrol tekniklerinden biri olan bulanık mantık ile yapıldı. Termoelektrik soğutma sistemleri hiçbir zararlı gaz içermeyen, doğru akımla çalışan ve elektronik olarak kontrol imkanı sağlayan bir teknolojidir. Akımın yönünü değiştirmek suretiyle soğutma ve ısıtma rejimleri arasında kolayca geçiş yapılabilmektedir.

Kaskın akım kontrolü tam köprü sürücü devresi ile yapıldı. IGBT anahtarlama elemanları kullanılarak tasarlanan sürücü devresi kontrolü için PIC 18F4520 mikrodenetleyicisi kullanıldı. Mikrodenetleyicinin darbe genişlik modülasyonu(DGM) çıkışları kullanılarak sürücü devresi kontrol edildi. Ölçülen sıcaklıklar, akım ve gerilim değerleri seri port üzerinde bilgisayarda Visual Basic programı ile tasarlanan bir ara yüze aktarıldı ve veri tabanına kaydedildi. Mikrodenetleyici içerisindeki yazılım CCS C programlama dili ile yazıldı.

Tasarlanan sistem ile kaskın sıcaklığı çok hızlı ve doğru bir şekilde istenilen sıcaklığa getirildi. Pratik olmayan ve ilkel metotlara göre çok daha iyi sonuçlar elde edildi.

**Bilim Kodu** : 702.03.013  
**Anahtar Kelime** : Travma, termoelektrik, beyin soğutma, hipotermiya, bulanık mantık, kontrol.  
**Sayfa Adedi** : 160  
**Tez Yöneticisi** : Prof.Dr. Raşit AHISKA

**FUZZY LOGIC CONTROLLED  
THERMOELECTRIC BRAIN COOLER**

**(Doctorate Thesis)**

**Abdullah Hakan YAVUZ**

**GAZİ UNIVERSITY**

**INFORMATICS INSTITUTE**

**OCTOBER 2009**

**ABSTRACT**

Death and disability caused by traffic accidents is a major problem all over the world. To protect brain during a heart attack is one of the major problems as well. It is also important to protect the brain during open heart surgery as the brain is very likely to have the ischemic damage. Cranial-Cerebral Hypothermia(CCH) is commonly used for protection and the therapy of the brain. Hypothermia reduces oxygen consumption of tissues and hence protects organism and especially the brain against deathly effect of hypoxic. The traditional methods to generate hypothermia by cooling the head externally such as placing the head inside cold water, or placing ice on head are quite primitive, unpractical and inefficient. In this study, performance of a recently designed thermoelectric helmet was designed which consists of thermoelectric modules in order to supply brain hypothermia. It was checked by the method of fuzzy logic which is one of the control techniques of artificial intelligence. Thermoelectric cooling systems is a technology which do not contain harmful gases. Which operates by direct current and provides the opportunity of electronical control. By changing direction of the current it can easily shift between heating and cooling regimes.

The current control of the helmet was built by full bridge circuit. PIC 18F4520 microcontroller was used for the control of driver circuit which was designed with IGBT switching elements. It was checked using the outputs of the pulse width modulation of the microcontroller(PWM).The measured tempratures, current and voltage values on serial port, Were transfarred to a interface which was designed with Visual Basic program and recorded on database. The software in microcontroller was written by CCS C.

With the designed system, the temprature of the helmet was brought to desired level very fast and correctly. Much better results were obtained when compared to those primitive and unpractical methods.

**Science Code** : 702.03.013  
**Key Words** : Trauma, thermeoelectricity, brain cooling, hypothermia, fuzzy logic, control.  
**Pages** : 160  
**Thesis Manager** : Prof. Dr.Raşit AHISKA

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Prof. Dr. Raşit AHISKA'ya, tez izleme komitesinde bana sabır gösteren değerli öğretim üyeleri Prof.Dr. İnan GÜLER ve Prof.Dr. Çetin ELMAS'a, yine kıymetli desteklerini esirgemeyen mesai arkadaşlarıma, Yrd. Doç.Dr. Mahmut HEKİM'e ve bütün çalışma sürecimde beni yalnız bırakmayan aileme teőekkürü bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xviii
1.GİRİŞ .....	1
2.TERMoeLEKTRİK SİSTEMLER .....	11
2.1. Elektrik, Termoelektrik Olaylar ve Termoelektrik Elemanlar .....	11
2.1.2. Joule olayı .....	11
2.1.3 Termoelektrik olaylar .....	11
2.2. Termoelektrik Modül .....	14
2.2.1. Termoelektrik yarıiletkenler .....	14
2.2.2. Termoelektrik modülün yapısı .....	14
2.2.3.Termoelektrik Modül .....	16
2.2.4. Termoelektrik modülün avantajları ve uygulama alanları.....	17
2.2.5. Termoelektrik sistemlerin tıp alanında kullanılması .....	18

**Sayfa**

2.3. Termoelektrik Modülün Parametrelerinin Elde Etme Yöntemleri .....	21
2.3.1. Klasik yöntem .....	21
2.3.2. Yeni yöntem .....	22
2.4. Termoelektrik Modülün Parametrelerinin Ölçülmesi .....	26
2.5. Termoelektrik Beyin Soğutucusu .....	35
2.5.1. Termoelektrik kask .....	35
2.5.2. Anahtarlama güç kaynakları .....	38
2.5.3. Su Dolaşım Sistemi .....	40
3. YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ .....	42
3.1. Bulanık Mantık .....	44
3.2. Bulanık Küme Teorisi .....	45
3.2.1. Üyelik fonksiyonları .....	46
3.2.2. Dilsel Değişkenler .....	47
3.3. Bulanık Mantık Denetleyicinin Genel Yapısı .....	49
3.3.2. Bilgi tabanı .....	50
3.3.3. Karar verme birimi .....	51
3.3.4. Durulama Birimi .....	56
4. MATERYAL VE METOT .....	58
4.1. Tasarlanan Devreler .....	60
4.1.1. Sıcaklık, akım ve gerilim ölçüm devresi .....	60
4.1.2. Su dolaşım sistemi kontrol devresi .....	64
4.1.3. Sürücü Devre .....	65
4.1.4. Mikrodenetleyicili kontrol devresi .....	72

**Sayfa**

4.2. Bulanık Mantık Denetleyicinin Sisteme Uygulanması .....	72
4.2.1. Bulanık Mantık Denetleyici Ünitesinin tasarlanması .....	74
4.3. Geliştirilen Yazılımlar .....	81
4.3.1. Kontrol devresi yazılımı .....	81
4.3.2. PC tabanlı kontrol arayüzü .....	83
5. ARAŞTIRMA BULGULARI .....	88
5.1. Deney Sonuçları ve Grafikselleştirme .....	89
5.2. Beyin Soğutucunun Model Uygulaması .....	95
5.3. Tasarlanan Cihazın Standartlara Göre Değerlendirilmesi .....	100
5.3.1. Vücuda yerleştirilebilir aktif tıbbi cihaz tasarımı .....	101
5.3.2. Tıbbi cihazların sınıflandırılması .....	101
6. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	106
KAYNAKLAR .....	108
EKLER .....	115
EK-1. Kontrol Devresinde Kullanılan Mikrodenetleyici Yazılımı .....	116
EK-2. PC Yazılımı .....	123
ÖZGEÇMİŞ .....	160

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. $T_H=15$ °C için ölçüm sonuçları.....	30
Çizelge 2.2. $T_H=25$ °C için ölçüm sonuçları.....	31
Çizelge 2.3. $T_H=35$ °C için ölçüm sonuçları.....	31
Çizelge 4.1. Bulanık kural tablosu.....	78
Çizelge 5.1. Kask manyetik alan değerleri .....	100

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Seebeck olayını açıklayan devre.....	12
Şekil 2.2. Peltier olayını açıklayan devre .....	13
Şekil 2.3. Thomson olayını açıklayan devre.....	13
Şekil 2.4. Soğuyan levhanın üzerindeki ısı-akım değişimi. ....	16
Şekil 2.5. Termoelektrik modülün yapısı. ....	17
Şekil 2.6. Modül Araştırma Setinin Kesiti. ....	27
Şekil 2.7. Deney setinin prensip şeması. ....	28
Şekil 2.8. $T_H=15^\circ\text{C}$ için emk-soğuk yüzey sıcaklığının akıma göre değişimi. 32	
Şekil 2.9. $T_H=25^\circ\text{C}$ için emk-soğuk yüzey sıcaklığının akıma göre değişimi. 32	
Şekil 2.10. $T_H=35^\circ\text{C}$ için emk ve soğuk yüzey sıcaklığının akıma göre değişimi. ....	32
Şekil 2.11. $T_H=15^\circ\text{C}$ için emk ve $T_C$ akım grafiklerinin üzerindeki $Q_C$ 'nin etkisi. ....	33
Şekil 2.12. $T_H=25^\circ\text{C}$ için emk ve $T_C$ akım grafiklerinin üzerindeki $Q_C$ 'nin etkisi. ....	33
Şekil 2.13. $T_H=35^\circ\text{C}$ için emk ve $T_C$ akım grafiklerinin üzerindeki $Q_C$ 'nin etkisi. ....	34
Şekil 2.14. Termoelementin $T_H$ karakteristikleri.....	34
Şekil 2.15. Değişik kask tasarımları. ....	36
Şekil 2.16. Esnek termoelektrik modülün yapısı. ....	36
Şekil 2.17. Termoelektrik başlık .....	37

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.18. Doğrusal gerilim regülatörü blok şeması .....	38
Şekil 2.19. Anahtarlamalı güç kaynağının blok şeması.....	39
Şekil 2.20. LC 200 su soğutucusu.....	40
Şekil 2.21. LC 200'ün su devir daim sistemlerinde kullanılması.....	41
Şekil 3.1. Bulanık küme ile klasik kümenin karşılaştırılması .....	46
Şekil 3.2. Farklı tipteki üyelik fonksiyonları.....	47
Şekil 3.3. Hız değerlerine ait dilsel değişkenlerin bulanık kümedeki gösterimi. .....	48
Şekil 3.4. Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı.....	50
Şekil 3.5. Mamdani metot kullanılan 3 kurallı bulanık çıkarım sistemi.....	52
Şekil 3.6. Lusing Larson metot kullanılan 3 kurallı bulanık çıkarım sistemi..	54
Şekil 3.7. Sıfır derece Sugeno metot kullanan 3 kurallı bulanık çıkarım sistemi. ....	55
Şekil 3.8. Maksimum üyelik yöntemi grafiği. ....	57
Şekil 3.9. Ağırlık ortalamasını alma yöntemi. ....	57
Şekil 4.1. Sistemin blok diyagramı. ....	58
Şekil 4.2. K tipi direkt temaslı sıcaklık probu .....	61
Şekil 4.3. Tipik uygulama devresi.....	62
Şekil 4.4. Uygulama devresi. ....	62
Şekil 4.5. Akım izleme modülü ve bağlantı şeması. ....	63
Şekil 4.6. Voltaj izleme modülü ve bağlantı şeması. ....	64

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.7. PID 110 Sıcaklık Kontrol Cihazı .....	64
Şekil 4.8. Bağlantı şeması. ....	65
Şekil 4.9. Sürücü kontrol devresi.....	66
Şekil 4.10. H köprü sürücü devresi. ....	67
Şekil 4.11. H köprü sürme sistemi PWM sinyalleri a.Soğutma b. Isıtma .....	67
Şekil 4.12. IGBT modül ve iç yapısı a. IGBT modül b. Modül iç yapısı .....	69
Şekil 4.13. PWM Sinyalleri(mikrodenetleyici çıkışı).....	69
Şekil 4.14. PWM Sinyali(Sürücü çıkışı).....	70
Şekil 4.15. EXB840 sürücü devresi.....	70
Şekil 4.16. LM2576 tipik test devresi.....	71
Şekil 4.17. BMD ünitesinin prensip şeması .....	75
Şekil 4.18. E ve CE üyelik fonksiyonları .....	76
Şekil 4.19. Çıkış üyelik fonksiyonları .....	77
Şekil 4.20. BMD'nin MATLAB'te oluşturulması .....	78
Şekil 4.21. MATLAB ortamında çıkış değerinin elde edilmesi.....	79
Şekil 4.22. Bulanık kontrol yüzeyi .....	80
Şekil 4.23. Kontrol ve ölçüm sistemi için hazırlanan yazılımın akış diyagramı. .....	82
Şekil 4.24. PC yazılımının akış diyagramı.....	86
Şekil 5.1. Farklı DGM oranları için akım değerleri.....	89

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.2. 37 A için kaskın iç, dış sıcaklıklarının zamana göre değişim grafiği. .....	90
Şekil 5.3. 23 A için kaskın iç, dış sıcaklıklarının zamana göre değişim grafiği. .....	90
Şekil 5.4. 15 A için kaskın iç, dış sıcaklıklarının zamana göre değişim grafiği. .....	90
Şekil 5.5. 10 A için kaskın iç, dış sıcaklıklarının zamana göre değişim grafiği. .....	91
Şekil 5.6. 5 A için kaskın iç, dış sıcaklıklarının zamana göre değişim grafiği. .....	91
Şekil 5.7. $\Delta T$ -Akım grafiği .....	91
Şekil 5.8. Uygulanan akımlara göre oluşan iç yüzey sıcaklıkları. ....	92
Şekil 5.9. Termoelektrik kaskın QC-Akım karakteristiği .....	93
Şekil 5.10. -1 °C ayarlı sıcaklık değişim grafiği. ....	94
Şekil 5.11. -30 °C ayarlı sıcaklık değişim grafiği. ....	95
Şekil 5.12. Sağ taraf zaman sıcaklık değişim grafiği .....	97
Şekil 5.13. Sol taraf zaman sıcaklık değişim grafiği .....	97
Şekil 5.14. Sağ taraf sıcaklık değişim grafiği.....	98
Şekil 5.15. Sol taraf sıcaklık değişim grafiği .....	98
Şekil 5.16. Yüklü ısıtma modu karateristikleri.....	99



**RESİMLERİN LİSTESİ**

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 4.1. H köprü devresi.....	68
Resim 4.2. IGBT sürücü devresi ve güç kaynakları. ....	71
Resim 4.3. Mikrodenetleyicili kontrol devresi .....	72
Resim 4.4. Ana ekran görünümü .....	84
Resim 4.5. Parametre giriş ekranı.....	84
Resim 4.6. Bulanık mantık parametre giriş ve izleme ekranı .....	85
Resim 5.1. Termoelektrik beyin soğutucunun dış görünüşü. ....	88
Resim 5.2. Beyin soğutucu model uygulama .....	96
Resim 5.3. Deney düzeneği.....	96

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamalar ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>A</b>	Amper
<b>a</b>	Alan
<b>°C</b>	Santigrad Derece
<b>CE</b>	Hata Değişimi
<b>COP</b>	Performans Katsayısı
<b>E</b>	Elektromotor Kuvveti
<b>E</b>	Hata
<b>h</b>	Yükseklik
<b>I</b>	Akım
<b>°K</b>	Kelvin Derece
<b>K</b>	İletkenlik
<b>P</b>	Güç
<b>Q<sub>C</sub></b>	Soğuk Yüzeyin Isıl Yüğü
<b>Q<sub>conv</sub></b>	Konveksiyon Dış Isıl Yüğü
<b>Q<sub>H</sub></b>	Sıcak Yüzeyin Isıl Yüğü
<b>Q<sub>j</sub></b>	Joule Isıl Gücü
<b>Q<sub>L</sub></b>	Dış Isıl Yüğü
<b>Q<sub>p</sub></b>	Peltier Isıl Gücü
<b>Q<sub>rad</sub></b>	Radyasyon Dış Isıl Yüğü

**Simgeler****Açıklama** $Q_T$ 

Thomson Isısı

 $R$ 

Direnç

 $T$ 

Mutlak Sıcaklık

 $T_C$ 

Soğuk Yüzey Sıcaklığı

 $T_H$ 

Sıcak Yüzey Sıcaklığı

 $T_o$ 

Ortalama Sıcaklık

 $T_{ref}$ 

Ayar Sıcaklığı

 $\Delta T$ 

Sıcaklık Farkı

 $V$ 

Volt

 $\Delta V$ 

Potansiyel Farkı

 $Z$ 

Kalite Katsayısı

 $\alpha$ 

Seebeck Katsayısı

 $\pi$ 

Peltier Katsayısı

 $\sigma$ 

Stefan Boltsman Sabiti

 $\wedge$ 

Minumum Operatörü

**Kısaltmalar****Açıklama****AA**

Alternatif Akım

**ATP**

AdenosineTriphosphate

**BMD**

Bulanık Mantık Denetleyici

**DA**

Doğru Akım

**DGM**

Darbe Genişlik Modülasyonu

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>EMK</b>	Elektromotor Kuvveti
<b>FLC</b>	Fuzzy Logic Controller
<b>IGBT</b>	Insulated Gate Bipolar Transistor
<b>KSH</b>	Kranioserebral Hipotermiya
<b>MOSFET</b>	Metal oksit alan etkili transistör
<b>N</b>	Negatif
<b>NB</b>	Negatif Büyük
<b>NK</b>	Negatif Küçük
<b>P</b>	Pozitif
<b>PB</b>	Pozitif Büyük
<b>PC</b>	Kişisel Bilgisayar
<b>PIC</b>	Çevresel Arabirim Denetleyicisi
<b>PK</b>	Pozitif Küçük
<b>S</b>	Sıfır
<b>SMPS</b>	Anahtarlama modlu güç kaynağı
<b>TE</b>	Termoelektrik

## 1. GİRİŞ

1950'lerden bu yana, canlılar üzerindeki çeşitli parametrelerin algılanması ve değerlendirilmesi konusundaki çalışmalar hız kazanmıştır. Bu alandaki çalışmalar vücut fonksiyonlarının daha iyi anlaşılmasını amaçlamaktadır ve araştırmaya dönüktür. Bu çalışmalar genellikle çeşitli ölçümlerin yapılması ve elde edilen verilerin ileri matematik yöntemleriyle değerlendirilmesi şeklindedir. Canlıları oluşturan organlar çeşitli fonksiyonlarını gerçekleştirirken bazı işaretler üretirler. Vücut içindeki çeşitli olayların anlaşılabilmesi için bu işaretlerin kaynağı olan fizyolojik yapının çok iyi bilinmesi gereklidir. Ayrıca, işaretlerin değişimlerinin ve birbirleriyle olan ilişkilerin de incelenmesi gerekmektedir [1].

İnsan beyni 1,5 kilogramlık bir mucizedir. Vücudumuza giren oksijenin %25'ini ve glikozun çoğunu kullanır. Fakat vücutta işgal ettiği ağırlık %2'dir. %2'lik beyin %25'lik enerji tüketiyor. Düşüncenin, duyguların, davranışların, yönetildiği beyin özel bir organdır. İnsan vücudunun ürettiği ısının %70'i kafatasından açığa çıkar. Değerlendirmelere göre sağlıklı erişkin bir insanın kafatasından çıkan ısı miktarı 120 watt civarındadır. Beyindeki biyolojik anormalliklerin ortaya konulması karışık ve uzun bir iştir. Hastalık tanısında, tedavisinde ve hastalığın seyrinde bazı yöntemlerle sonuçlar alınabilmektedir. Beynimizin ürettiği sinyallerin bilgisayar teknolojisinin çok ilerlemesi ile sayabilmemiz bize bu kolaylığı sağladı. Kişinin başına geçirilen bir başlıkla vücuda herhangi bir madde vermeden beyin ürettiği sinyallerin ölçülmesi ve bunun bilgisayarda kayıtlı veri tabanındaki değerlerle test edilmesi o kişinin beyninin biyoelektrik faaliyetlerini gösterir.

İnsan vücut sıcaklığı normal seviyenin üzerine çıktığı zaman hipertermiya meydana gelir. Vücut sıcaklığı normalin altına düştüğünde hipotermiya meydana gelir. Her iki durumda da beyin korunması gerekir.

Hipotermiya vücut merkezi ısısının 35 °C'nin altına düşmesi durumudur. Hafif hipotermiya, vücut merkez ısısının 32 °C ve 35 °C arasında, yüzey

hipotermiya, vücut merkez ısısının 28 °C ve 32 °C arasında, derin hipotermiya vücut merkez ısısının 28 °C altında olduğu durumdur [2-31].

Hipotermiya kontrolsüz bir durumda gerçekleştiğinde istenmeyen bir durum olmasına rağmen kontrollü bir şekilde gerçekleştirildiğinde tedavi amaçlı kullanılan bir yöntemdir. Beynin korunması amacıyla beyin sıcaklığını düşürme yeni bir tedavi yöntemi değildir. Soğukun bilimsel olarak beyin üzerindeki koruyucu etkileri 50'li yıllardan bu yana keşfedilmiştir. Ancak o yıllarda beyin sıcaklığının düşürme yöntemlerindeki problemler ve hücre araştırmalarındaki yetersizlik bu yönteminin kullanılmasını kısıtlamıştır. Bu koşullarda sıcaklık değişimini kesin olarak kontrol etmek imkânsızdır. Kontrolsüz sıcaklık değişimi hastanın diğer organları için risk oluşturmaktaydı. Ancak elektronikteki ve hücre bilimindeki gelişmeler 2000'li yıllarda bu yöntemin tekrar gündeme gelmesini sağladı.

Kafa travmalarında ve açık kalp ameliyatları esnasında beynin korunması en önemli problemlerden biridir. Beynin korunması amacıyla hipotermiya yöntemi yıllardan beri kullanılmaktadır. Hipotermiya dokuların oksijen tüketimini azaltarak organizmayı ve özellikle beyni hipoksinin ölümcül etkisinden korumaktadır. Beyin sıcaklığındaki her 1 °C'lik düşüş beyin oksijen ihtiyacını %10 azaltmakta, metabolizmayı ise % 5-7 oranında yavaşlatmaktadır. Hipotermiyanın beyni koruyucu etkisi bilindiği için daha birçok endikasyonda kullanılması gerekmektedir. Örneğin inmelerde, kafa travmalarında, nöroleptik malign sendromunda, ani kalp durmalarında (cardiac arrest).

Kalp atışları durduğunda kan dolaşmadığından organlar oksijensiz kalır. Böbrek gibi bazı organlar oksijenden mahrum kaldığında çok az zarar görmesine rağmen beyin oksijensizlikten çok çabuk etkilenmektedir. Beyin hücrelerinde oksijensiz kaldıktan 5 dakika sonra apoptoz adı verilen intihar süreci başlamaktadır. Bu süreci durdurmak çok önemlidir. Hemen durdurulmadığı takdirde lezyonlar ortaya çıkmaktadır. Daha da kötüsü kalp yeniden çalışsa bile hücreler kendi kendini yok etmeye devam etmektedir.

Böylece beyinde ikinci ölümcül darbe meydana gelmektedir. Bu beyin ve insan ölümünün en başlıca nedenidir. Nedeni ise aniden akan eden kanın oksijen yokluğunda ortaya çıkan enflamatuvar moleküllerle yüklenmesidir. Soğuk, hücrelerin aktivitesini durduran güçlü bir frenleyici olarak etki etmektedir. Vücut sıcaklığının altındaki her santigrat metabolizmayı % 5-7 oranlarında daraltmaktadır. Hipotermiya bazı tahrip edici biyokimyasal reaksiyonların oluşumunu da engellemektedir. Bu nedenle bu intiharların en kısa sürede önlenmesi zorunludur.

Beyin travması gibi durumlarda bu mekanizmada meydana gelebilecek istenmeyen durumlar için dışarıdan bir müdahale gerekir. Bunlardan en önemlisi beyin dıştan doğrudan soğutulması olan kranioserebral hipotermiyadır. Çünkü bu durumda soğuk, travmaya uğramış beyne doğrudan ve başka organların faaliyetlerini bozmadan etkilemektedir. Beyin travmalarında kranioserebral hipotermiyanın kullanılmasının bir avantajı da bu yöntemin çok basit ve narkoz gerektirmediği için klinik koşullarda kullanışlı olmasıdır. Bu şekilde beyin kendini korumaya alır.

İnsan beyni 30-32 °C' ye kadar soğutulduğu zaman; beyin kansız, oksijensiz ve glikozsuz yaşayabilmektedir. Kalbin durduğu zaman da bile 45-60 dakika beyin yaşayabilmektedir. Beyin sıcaklığı istenilen sıcaklığa düşürüldüğünde ki bu sıcaklık 30-32 °C, yani vücut sıcaklığının 5 - 7 °C daha altında, kalp dursa bile beyin daha iyi durumda olması sağlanır. Amaç travma esnasında veya kalp krizi esnasında hastalardaki nörolojik komplikasyonları sınırlamaktır. Aksi takdirde bu tip durumlardan kurtulanlarda bellek, konuşma, hareketlerde sıkıntı gibi sayısız nörolojik hasar meydana gelmektedir. Bundan dolayı beyin hipotermiyasının önemi anlaşılmış ve kullanılmaya başlanmıştır [2-31].

Beyni soğutmanın yararı yerine, hangi yöntemle nasıl soğutulmalı ve soğutma hızı ve yeterliliği tartışma konusudur. Beyin hipotermiyası için halen kullanılmakta olan yöntemler dıştan ve içten soğutma yöntemleridir. Organizmayı dışarıdan soğutarak hipotermiyayı gerçekleştiren tekniklere

baktığımızda, vücudu soğuk suyun içine daldırma veya kafaya buz koyma gibi çok ilkel ve pratik olmayan yöntemler kullanıldığını görmekteyiz. Günümüzde beyin hipotermiya işlemi, tüm vücudu soğuk suyun içine daldırarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemle beyin sıcaklığının çabucak istenilen sıcaklığa kadar düşürülmesi mümkün değildir. Çünkü beyni gereken sıcaklığa kadar düşürmek için vücudun uzun süre soğuk suyun içinde tutulması gerekmektedir. Bu durumda kalp yüklenmektedir ve tehlikeli komplikasyonlar meydana gelmektedir. Bu nedenle bölgesel serebral hipotermiya yöntemi ile beyni soğutmak çok önemlidir. Diğer taraftan kafaya buz koyarak yapılan bölgesel hipotermiyada ise istenen soğutma hızı ve sıcaklık düşüşü sağlanamamaktadır. Bu sebeple, dünyada hiçbir komplikasyon meydana getirmeyen ve çok pratik olan beynin dıştan soğutmak anlamına gelen bölgesel serebral hipotermiya teknik ve yöntemleri üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. İçten soğutma hastanın midesinin soğuk su ile yıkanması ve suni kan dolaşımı aparatı ile hastanın kanının soğutulması ile yapılmaktadır. İçten soğutma yöntemi sinir sistemini etkilediği için organizmaya ait ısı düzenleme sisteminin bozulmasına yol açarak hastanın reaksiyonunu değiştirebilmektedir. Kontrolsüz olduğu için ise tehlikeli durumlar ortaya çıkabilmektedir [2-31].

Beynin soğutulmasıyla korunması;

1. Normalde kan nöronları beslemektedir. Kan nöronlara mitokondriyalar tarafından ATP üretilmesini sağlayan glikoz ve oksijeni ulaştırır. ATP kalsiyum, glutamat naklini sağlayan hücre yakıtıdır.
2. Kalbin durması nöronları oksijenden mahrum bırakır. Bunlar kendi kendini yok eder. Beş dakika boyunca oksijensiz ve glikozsuz kaldığında, hücre paralyze olur. Glutamat ve kalsiyum tehlikeli bir biçimde birikir, serbest radikaller (hücre zehri) ortaya çıkar. Hücre enflamatuvar reaksiyon ve intihar etmesine yol açan enzimle karşı karşıya kalır.



3. Zamanında soğutulan nöronlar kurtulur. Vücut sıcaklığı istenilen değere düşürüldüğünde toksik reaksiyonlar engellenir. En az etkilenen hücreler yeniden faaliyete geçer.

Dünya çapında her yıl 1 milyon kişide ani kalp durması olmaktadır. Bunların yaklaşık 150 000'i hayata döndürülebilmektedir. Bu hastaların %60'ı taburcu olmadan ölmekte, %28'inde beyin hasarı oluşmaktadır. Sadece %12'si beyin hasarsız olarak iyileşebilmektedir. Hayata döndürülenlerde taburcu edilme oranını yükseltmek ve beyin hasarı oluşmasını engellemek için dünyaca tanınmış International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR), American Heart Assosiasitin (AHA), European Resuscitation Council (ERC) gibi organizasyonlar aşağıdaki temel öneriyi yapmaktadırlar:

“Ventriküler fibrilasyonu başlangıç ritmi gösteren, hastane dışı ani kalp durması sonucu spontane dolaşimli bilinçsiz yetişkin hastalar 32 °C ile 34 °C' de 12 saat 24 saat arası soğutulmalıdır.”

Böyle bir soğutma yöntemi başka ritim bozukluklarında ve hastane için ani kalp durmalarında da yararlı olabilmektedir. Serebral korumanın hipotermiya ile mümkün olduğu bilindiği için hipotermiya yapmak için yüzeysel soğutma (blanketler ve buz torbalarıyla), lavaj gibi yöntemler kullanılmaktadır. Fakat bunlar yeteri kadar etkin değildirler ve düzgün bir ısı yönetim protokolü uygulamak mümkün olmamaktadır [6].

Beynin soğutulması sırasında sıcaklığın düşüş hızı önemlidir. Sıcaklık düşüşünün beynin her tarafında aynı derecede olması gerekmektedir. Hastalar hipotermiyaya başlandıktan sonra 10 °C' den fazla olmayan bir ısı gradienti ile yavaş olarak soğutulmalıdır. Hastalarda soğutma yavaş yapıldığı takdirde rektal 22-24 °C' ye kadar kalbin fibrilasyona girmediği klinik olarak ispatlanmıştır. Soğutma hızının fazla olması kalbin aşırı yüklenmesine ve fibrilasyona girmesine neden olmaktadır [23,24].

Bu konudaki yayınlar incelendiğinde araştırmalar hipotermiya teknikleri ve hipotermiyanın ister genel ister bölgesel olsun tedavi amaçlı kullanılması ile ilgili klinik deneyler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Yayınlar tedavi açısından incelendiğinde beynin korunması için genellikle genel hipotermiya yöntemi üzerinde durulduğu ve uygulandığı görölmektedir. Fakat bu yöntemin riskli ve tehlikeli olduğu da açıkça belirtilmektedir. Bölgesel serebral hipotermiyanın daha güvenilir bir teknik olduğu bilimsel olarak kabul edilmiştir. Bunun nedeni geleneksel soğutma sistemlerinin beyni hızlı bir şekilde istenilen sıcaklığa kadar soğutamaması ve kontrol edilememesidir.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen temel problemlerin çözümü için yeni bir yöntem kullanıldı. Termoelektrik soğutma oldukça düşük sıcaklıklara kadar gerekli ve ayarlanabilir hızla soğutulabilme, gerektiğinde ısıtılabilme ve istenilen sıcaklıkta tutulabilme kapasitesine sahiptir. Dolayısıyla bu yeni tekniğin avantajları onu, bölgesel serebral hipotermiya teknikleri için uygun bir aday yapmaktadır. Bu nedenlerden dolayı yarıiletken teknolojiye dayanan esnek termoelementler kullanılarak başlık tasarımı yapıldı. Termoelektrik başlık termoelementler elektriksel olarak seri termal olarak paralel bağlanması ile elde edildi. 70 tane esnek termoelementler kullanıldı. Kask iki bölümlü olarak tasarlanmış olup, gerektiğinde bir bütün olarakta kullanılabilir. Tasarlanan sistemin sıcaklık kontrolü çok hızlı ve kararlı bir şekilde yapılabilir. Sessiz alışması, uzun süre bakım gerektirmemesi, tasarruflu olması ve hiçbir yan etkisinin olmaması diğer avantajlarıdır [25-30].

Termoelektrik modüllerin girişi akım ve gerilim iken çıkışı sıcaklıktır. Bu ilişki incelendiğinde sistemin doğrusal olmadığı görölmektedir. Bir termoelektrik modül termoelektrik yarı iletkenlerden meydana gelmektedir. Termoelektrik yarı iletkenlerin Seebeck katsayısı, termal iletkenlik katsayısı, özdirenci gibi parametreler katalog bilgilerinden alınmakta ve sistem çalışmazken hesaplanmaktadır. Bu ısı parametreleri bilinen birçok yöntemle hesaplanmaktadır. Ancak alışan bir sistemin ısı parametrelerinin bu

yöntemlerle değerlendirilmesi hatalara yol açmaktadır. Çalışır durumdaki bir modülün ısı parametrelerinin ölçülmesi etkin bir kontrol sistemi tasarlamak açısından önemlidir. Termoelektrik modüllerin lehimleme teknikleri ve iletkenler dahi performansı üzerinde etkili olmaktadır. Tasarlanan iki bölümlü termoelektrik kaskın 70 tane termoelementten oluşturulması ve her bir termoelementin dolayısıyla kaskın tümünün yukarıda bahsedilen faktörlere göre değişmektedir. Kaskın tasarlanma amacı hastanın beyinin soğutulması veya ısıtılarak sıcaklığının sabit tutulmasıdır. Kaskın hastanın kafasına takılmasından itibaren hasta ile kask tek bir sistem olarak düşünülmelidir. Dolayısıyla kaskın kontrollü olarak çalıştırılması için veya beyin soğutması esnasında kaskın parametrelerinin araştırılması için hastadan kaynaklanan dış faktörleri de hesaba katmak zorundayız. Hasta-Kask sisteminde beyin soğutucuyu etkileyen faktörlere bakıldığında, sadece yüklü termoelektrik elementlerin parametreleri değil sırasıyla, çevre şartlarının, ısınan yüzeyin sıcaklığının, termoelementleri oluşturan öğelerin, hastanın kafa derisinin, bu deriyi besleyen kılcal damarların ve damarlarda dolaşan kanın, kafatası kemiğinin, beyin içerisindeki gri beyaz maddelerin, buradaki fonksiyonel merkezlerin, çeşitli kılcal ve diğer damarlardaki kanın, hastanın kilosunun, yaşının, fizyolojik ve psikolojik durumunun, vaka çeşidinin, kalp damar sisteminin ve diğer organların fonksiyonel durumunun ve buna benzer faktörlerin etkili olduğu görülmektedir [50]. Buna göre bir termoelektrik beyin soğutucuyu tasarlarken bütün bu faktörleri hesaba katmak gerekmektedir. Bunun ise mümkün olmadığı açıktır. Bu temel sorunu çözmek için bütün bu faktörlerin sonucu ortaya çıkan özel deneysel parametrelerin ölçülmesine dayanan yeni ölçüm ve test yöntem geliştirilmiştir [32-35]. Termoelektrik modüllerin lehimleme teknikleri ve iletkenler dahi performansı üzerinde etkili olmaktadır. Sistemin hem doğrusal olmaması hem de kontrolü etkileyecek parametre sayısının fazla olması nedeniyle denetleyici tasarımı lineer olmayan sistemler için iyi sonuçlar veren ve uzman bilgisine dayalı kontrol imkanı sağlayan bulanık mantık ile yapıldı. Çünkü P, PI, PID gibi kontrol teknikleri doğrusal olan sistemler için tasarlanmış olan geleneksel kontrol teknikleridir. Başlığın akım kontrolü tam köprü devresi kullanılarak yapıldı. H

köprü devresi PWM işaretin görev süresi değiştirilmek suretiyle çıkış akım şiddetini ayarlayabilmektedir. PWM üretici olarak PIC 18F4520 mikrodenetleyicisi kullanıldı. Termokupl kullanılarak ölçülen sıcaklıklar, akım ve gerilim değerleri RS232 port kullanılarak dizüstü bilgisayara aktarıldı. Bu amaçla RS232-USB port dönüştürücüsü kullanıldı. Dizüstü bilgisayarda ölçülen bu büyüklükler veri tabanına kaydedilebilmekte ve online olarak takip edilebilmektedir.

Cihaz akım kontrollü olarak çalışmakta ve bilgisayar tarafından kumanda edilmektedir. Başlığın sıcak tarafından ısıyı atabilmek için tasarlanan su sirkülasyon sistemi bağımsız çalışmaktadır. Cihaza enerji verildiğinde su soğutma işlemi set edilen değere getirilmek üzere otomatik olarak çalışmaya başlamaktadır. Bu cihazın en önemli bölümlerinden biridir. Soğutulan suyun termoelektrik başlığın dış yüzeyinden dolaşması için kasanın ön panelinde bulunan anahtarın on konumuna getirilmesi gerekmektedir. Kasanın ön panelinde dört adet anahtar bulunmakta bu anahtarlar birbirlerine seri olarak bağlanmıştır. İkinci anahtar ölçüm sistemini devreye almaktadır. Üçüncü anahtar ise güç kaynaklarını devreye almaktadır. Yani su sirkülasyon sistemi devreye girmeden başlığa akım uygulanmamaktadır. Cihaza başlık için set edilen değer girilip kontrol butonuna basıldığında başlığa akım uygulanmaya başlamaktadır. Başlığın sıcaklığı istenen seviyeye getirildiğinde kontrollü bir şekilde bu sıcaklıkta tutulmaktadır.

Hipotermiya konusunda son yıllarda oldukça fazla makale yayınlanmaktadır. Endikasyon alanları gitgide artmaktadır. Sebebi bilinmeyen ve ilaçla düşürülemeyen yüksek ateş düşürülerek hasta tedavi edilmektedir. Bazı durumlarda da hasta ısısı istenmediği halde düşmekte ve hastanın normotermide ( $36,5^{\circ}\text{C}$ ) tutulması için ısıtılması gerekmektedir. Bu durumların başında kalp makinesine bağlanmadan gerçekleştirilen açık kalp ameliyatları, yanık cerrahisinde yanmış ölü derinin kazınması söylenebilir. Derinin önemli görevi vücut ısını muhafaza etmektir. Deri yanarak öldüğünde vücut hızla soğumaya başlar. Kontrolsüz hızla soğuma da ölüm demektir. Yanan derileri

uzaklaştırırken hastanın başlık kullanarak normotermide tutulması çok kolaydır.

Bu tezin amacı, beyin hipotermiyasını sağlamak üzere esnek termoelektrik modüllerden oluşan bir başlık tasarlamak, bu başlık için etkin bir sıcaklık denetleyicisi tasarlamak, sistemin testini kritik sıcaklıklar için yaparak beyin hipotermiyası için kullanılabilirliğini göstermektir.

Tezin ikinci bölümünde termoelektrik sistemler ele alınmıştır. Joule ve termoelektrik olaylar ve termoelektrik elemanlar tanımlanmıştır. Termoelektrik yarıiletkenler ve bunlardan yapılan termoelementler ve modüller genel olarak incelenmiştir ve termoelektrik modüllerin avantajları açıklanmıştır. Yine bu bölümde termoelektrik modülün parametreleri tanımlanmış ve bu parametrelerin elde edilmesi için klasik ve yeni yöntemler ayrıntılı bir biçimde incelenmiştir. Ayrıca yeni yöntemi kullanarak termoelektrik başlığın temelini oluşturan termoelementlerin tüm termoelektrik parametrelerinin ölçülmesi ile ilgili deney düzeneği ve elde edilen bilimsel bulguları açıklanmıştır.

Üçüncü bölümde yapay zeka teknikleri ile ilgili genel bilgiler sunulmuştur. Burada ağırlıklı olarak tezde kullanılan yapay zeka kontrol tekniklerinden biri olan bulanık mantık konusu ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bulanık mantık incelendikten sonra bulanık mantık denetleyici ve birimleri ile ilgili olarak bilgilere yer verilmiştir.

Dördüncü bölümde tasarlanan beyin soğutucunun donanımı, bulanık mantık denetleyici tasarımı ve bu devreler için hazırlanan yazılımlar hakkında bilgi verilmiştir. Donanım kısmında beyin soğutucuyu oluşturan tüm donanım birimleri hakkında teknik bilgilere yer verilmiştir. Donanım kısmı için hazırlanan tüm devrelerle ilgili şema ve şekillere yer verilmiştir. Yazılım kısmında kontrol devresi için hazırlanan yazılım, sıcaklık, akım ve gerilim ölçüm devresi için hazırlanan yazılım ve PC tabanlı kontrol arayüz yazılımı ve kullanımı ile ilgili ayrıntılı açıklamalara yer verilmiştir. Bulanık mantık denetleyici tasarım kısmında ise giriş ve çıkış parametrelerinin tanımlanması,

bulanık kontrol kural tablosunun oluşturulması, dilsel değişkenlerin tanımlanması ve çıkış değerlerinin hesaplanması ilgili bilgiler ve kullanılan yöntemler yer almaktadır.

Beşinci bölümde termoelektrik beyin soğutucu ile ilgili yapılan testler yer almaktadır. Değişik akım ve gerilimler için termoelektrik beyin soğutucunun sıcaklık ölçümleri yapıp grafikleri çizilmiştir. Sistemin farklı sıcaklıklara ayarı yapılarak kontrol sistemi test edilmiş elde edilen veriler tablo ve grafik halinde sunulmuştur.

Altıncı bölümde ise çalışmanın sonuçları değerlendirilerek tasarlanan sistemin kullanım alanları hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Tasarlanan sistemin avantajları ve dezavantajları kısaca değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmanın dünya literatüründeki yeri konusunda bilgiler verilmiştir. Tasarlanan cihazın tıp alanındaki avantajlarına değinilmiştir.

## 2. TERMOELEKTRİK SİSTEMLER

### 2.1. Elektrik, Termoelektrik Olaylar ve Termoelektrik Elemanlar

Herhangi bir maddeyi karakterize eden, uygulama açısından da önemli olan, maddenin elektriksel özellikleridir. Elektriksel özellikleri karakterize eden Joule ve termoelektrik olaylarıdır.

#### 2.1.2. Joule olayı

James Prescott Joule'un elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşümünü ifade eden ve kendi adı ile isimlendirilen kanununa göre, akım taşıyan bir iletken, direnci ve içinden geçen akımın karesiyle orantılı olarak ısını artırır. Bir elektrik devresinde birim zamanda ortaya çıkan Joule ısı miktarı (Watt olarak) Eş. 2.1 ile ifade edilir.

$$Q_j = I^2 \cdot R \quad (2.1)$$

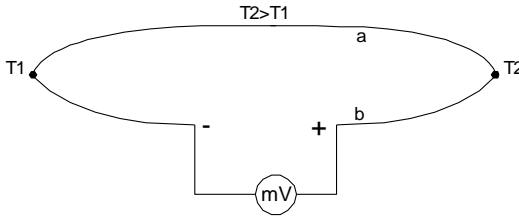
Burada  $Q_j$ , devreden geçen  $I$  akımının etkisi ile ortaya çıkan toplam Joule ısı yükünü,  $I$  devreden geçen akım miktarını,  $R$  ise devrenin elektrik akımına gösterdiği toplam direnç miktarını ifade etmektedir.

#### 2.1.3 Termoelektrik olaylar

Isı enerjisi ile elektrik enerjisinin birbirlerine doğrudan dönüşümü termoelektrik olayını tanımlar. Bu tanım, İngiliz fizikçi James P. Joule'un tanımladığı geri dönüşümü olmayan elektrik-ısı dönüşümü ile Seebeck, Peltier ve Thomson tarafından keşfedilen ve kendi adlarıyla anılan üç tersine çevrilebilir etkiyi kapsar.

Seebeck Etkisi: Alman fizikçi Thomas J. Seebeck 1820'de, farklı metallere yapılmış iki tel parçasının uçlarını birleştirerek bir kapalı devre meydana getirildiğinde ve metallere birleşim noktaları arasında bir sıcaklık farkı oluşturulduğunda, sıcaklık farkıyla doğru orantılı bir gerilim meydana geldiğini

bulmuştur. Böyle bir devre “termokupl” olarak adlandırılır. Şekil 2.1’ de gösterildiği üzere a ve b gibi farklı maddelerden oluşan ve temas uçları arasında sıcaklık farkı ( $\Delta T = T_2 - T_1$ ) meydana getirildiğinde bu uçlar arasında potansiyel farkı ( $\Delta V$ ) meydana gelir.



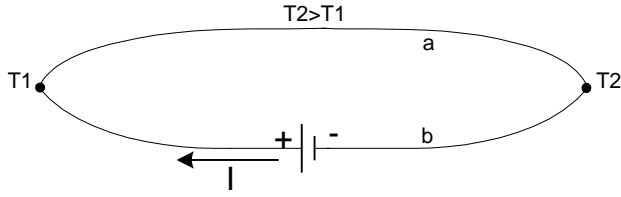
Şekil 2.1. Seebeck olayını açıklayan devre.

$$\Delta V = \alpha \cdot \Delta T \quad (2.2)$$

Burada  $\alpha$  Seebeck katsayısını veya termoemk'yi ifade eder. Birimi  $V / ^\circ C$  'dir.  $\alpha$ 'nın değeri devreyi oluşturan maddelerin özelliklerine bağlıdır. Örneğin bakır konstantan'dan yapılan bir termokupl için  $\alpha = 40 \mu V / ^\circ C$ 'dir. Yani her  $1^\circ C$  sıcaklık farkı için  $40 \mu V$ 'luk bir emk üretir. Yarıiletkenlerde bu değerler çok daha yüksektir.  $\alpha$ 'nın değeri  $100 \mu V / ^\circ C$ 'den büyük olan yarıiletkenlere termoelektrik yarıiletkenler denir. Yarıiletkenlerin tipine göre  $\alpha$ 'nın işareti değişmektedir. N tipi yarıiletkenler için  $\alpha$  negatif, P tipi yarıiletkenler için ise pozitifdir. Metallerde Seebeck olayı, termokupl veya ısı algılayıcısı gibi, termoelektrik yarıiletkenlerde ise jeneratör gibi kullanılır.

**Peltier Etkisi:** 1834'de Fransız fizikçi Jean C. A. Peltier (1785–1845), Seebeck etkisinin tersi bir durum keşfetti. Eğer termokupl içerisinde bir akım geçerse, Joule ısı ile birlikte bir eklem noktasından ötekisine ısı transferi sağlayacak şekilde bir ucun sıcaklığı düşerken ötekisinin sıcaklığı yükselir. Joule ısından farklı olarak ortaya çıkan bu ısıya Peltier ısı denir. Açığa çıkan ısı miktarı, uygulanan akım şiddetiyle orantılıdır ve yönü akım yönünün değiştirilmesi ile değişir. Peltier olayını açıklayan devre Şekil 2.2'de gösterilmiştir.





Şekil 2.2. Peltier olayını açıklayan devre

Birim zamanda üretilen Peltier Isısı (Watt olarak) Eş. 2.3 ile ifade edilir.

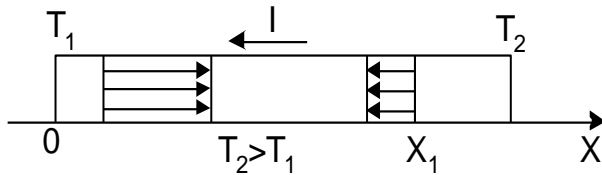
$$Q_p = \pi \cdot I \quad (2.3)$$

Burada  $\pi$ , Peltier katsayısını ifade eder.

Thomson Etkisi: İskoç bilim adamı William Thomson (daha sonraları Lord Kelvin olarak anılacaktır), 1856'da termoemk  $\alpha$  ile Peltier katsayısı  $\pi$  arasındaki bağıntıyı kaydetmiştir (Eş. 2.4).

$$\alpha = \frac{\pi}{T \cdot (^{\circ}\text{K})} \quad (2.4)$$

Buna ek olarak kendi ismini taşıyacak olan yeni bir olayın hipotezini ortaya atmıştır. Bu olay 1867'de Leru tarafından deneysel olarak kanıtlanmıştır. Thomson olayı şöyle açıklanabilir. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi, akım taşıyan bir iletkenin herhangi iki noktası arasında bir sıcaklık farkı varsa akım yönüne göre iletkende Joule ısısına ek olarak Thomson ısı ( $Q_T$ ) açığa çıkmaktadır.



Şekil 2.3. Thomson olayını açıklayan devre.

Birim zamanda ortaya çıkan Thomson ısı, akım şiddeti ( $I$ ), sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) doğru orantılıdır.

$$Q_T = I \cdot \alpha \cdot \Delta T = \alpha_T \cdot (T_2 - T_1) \quad (2.5)$$

İki farklı metalden oluşan bir devre için Thomson termoemk'ları arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntıda ifade edilmiştir.

$$\alpha_T = (\alpha_{Ta} - \alpha_{Tb}) \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_2} \quad (2.6)$$

Buradaki  $\alpha_T$  Thomson olayında meydana gelen termoemk'dır. Formüldeki  $\alpha_{Ta}$  ve  $\alpha_{Tb}$  sayıları farklı maddelerden oluşan devreyi ifade etmek için kullanılmaktadır. Termoelektrik olaylar oluşan devrelerde Thomson olayını yok etmek için  $\alpha_T$  değerleri eşit olan malzemeler seçilmelidir.

## 2.2. Termoelektrik Modül

### 2.2.1. Termoelektrik yarıiletkenler

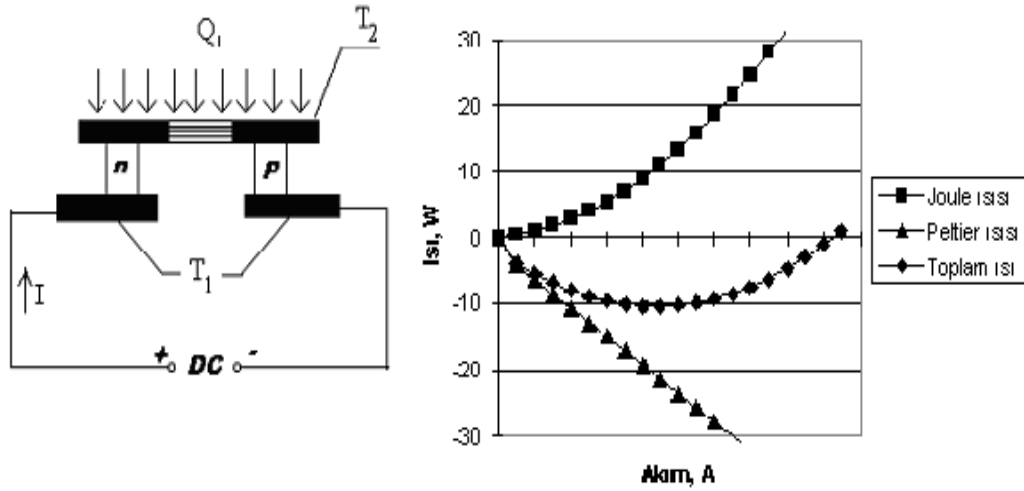
Bilindiği gibi yarıiletken teknolojiler 21. asrın en önemli teknolojilerinin başında bulunmaktadır. Yarıiletkenlerin elde edilmesinden başlamak üzere bunların özelliklerinin araştırılması ve özelliklerini kullanarak cihaz ve sistemlerin yapılması ve geliştirilmesine ve bu sistemlerin sanayiye kazandırılmasına kadar uzanan birçok teknolojileri içeren yarıiletken teknolojileri üzerinde dünyada geniş çapta araştırmalar yapılmaktadır. Yarıiletkenlerin çok fazla çeşitleri vardır. Bunların kullanım alanları o kadar geniştir ki yarıiletkenlerin kullanılmadığı alan kalmamış sayılabilir. Termoelektrik yarıiletkenler şu anda bile en çok kullanım alanına sahip olup, ileride de bu malzemelerin daha çok kullanılacağı bilinmektedir. Buna göre bugünkü araştırmalar termoelektrik teknolojileri üzerinde yoğunlaşmış durumdadır.

### 2.2.2. Termoelektrik modülün yapısı

Herhangi bir termoelektrik cihazın veya devrenin temelinde termoelementlerden oluşan bir modül bulunmaktadır. Bir termoelement;

birbirine iletkenle seri bağlanmış n ve p tipi termoelektrik yarıiletkenlerden oluşur. Bunlar termoelementin negatif ve pozitif kollarıdır. Termoelementler de birbirine seri bağlanarak bir modülü oluştururlar. Bundan dolayı bir termoelektrik cihazı veya devreyi tasarlamak için kullanılacak olan modüllerin tüm parametrelerinin önceden hesaplanması gerekir. Eğer termoelemente Şekil 2.4'deki gibi DC bir gerilim uygulanırsa, yük taşıyıcıları, enerji seviyesi düşük olan üstteki bakırdan yarıiletkenine geçerler. Böylece üstteki bakırın sıcaklığı düşecektir. Alttaki bakıra gelince, yüksek enerji seviyesinden düşük enerji seviyesine geçen yük taşıyıcıları sahip oldukları fazla enerjiyi alttaki iletkenine aktararak ısınmasına neden olacaktır. Bu geçiş sırasında soğuyan yüzeyden ısı emilirken soğuk yüzeyin sıcaklığı düşecek, ısının pompalandığı sıcak yüzeyin sıcaklığı ise artacaktır. Devreye uygulanan akımın yönü değiştirilirse soğuyan yüzey ısınır ısınan yüzey soğur. Eğer çalışan bir termoelementin sıcak yüzeyinde açığa çıkan ısıyı herhangi bir ısı transfer sistemiyle çevreye yayarak  $T_1$  sıcaklığı sabit tutulursa devreden geçen I akım şiddetine bağlı olarak soğuk yüzey sıcaklığı belli bir  $T_2$  değerine kadar düşer. Bir termoelement üzerinden geçen akım şiddeti sabit tutulduğunda  $T_2$  sıcaklığının değeri soğuk yüzeye gelen ve emilen ısı yüküne bağlıdır. Bu ısı yükü çevreden ve sıcak levhadan soğuk levhaya ısı iletiminden dolayı gelen ve termoelement devresinden geçen akım şiddeti etkisi ile açığa çıkan Joule ısısından oluşur. Şekil 2.4'de bir termoelementin soğuyan levhasına düşen Joule ve Peltier ısılarını ve bu ısıların toplamının akım şiddetine (I) göre değişim grafikleri gösterilmiştir. Toplam ısının minimuma ulaştığı akım şiddetine maksimum akım ( $I_{max}$ ) denir. Bir termoelemente maksimum akım uygulandığında soğuyan levha üzerindeki sıcaklık düşümü maksimum olur. Bir termoelementin veya termoelementlerden oluşan bir modülün maksimum akım şiddetinin değeri termoelementin üretiminde kullanılan termoelektrik yarıiletkenlerin kalitesine, boyutlarına ve yapısal özelliklerine göre değişir. Bir termoelemente uygulanan akım şiddeti,  $I_{max}$ 'dan büyük olduğunda Joule ısısı Peltier ısısından fazla olur. Bu nedenle soğuma etkisi azalır ve akımı maksimum akımın iki katına ( $I=2I_{max}$ )'a ulaştığında soğutma gerçekleşmez. Bu durumda Peltier ısısı Joule ısısını dengeler. Akım değeri daha da

arttığında, yani  $I > 2I_{\max}$  olduğunda ısısal denge bozulur. Joule ısısı Peltier ısısından daha fazla olur ve termoelement soğutma özelliğini kaybeder. Bu durumda termoelement bir rezistans gibi davranır ve ısınır.



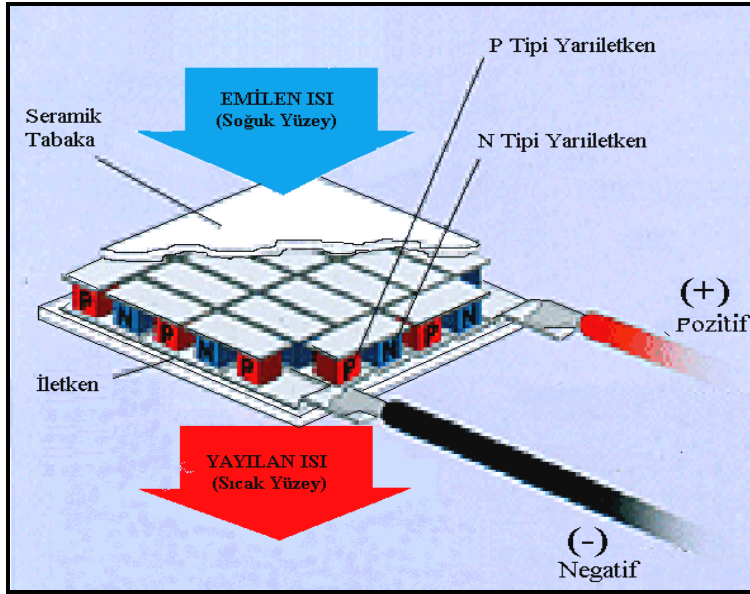
Şekil 2.4. Soğuyan levhanın üzerindeki ısı-akım değişimi.

Bilinen birçok yöntemle bir yarıiletkenin mikro parametreleri ve bir modülün özdirenci, Seebeck katsayısı, ısı iletkenliği ve kalite katsayısı değerleri ölçülebilir [32-35].

Bu parametreleri kullanarak gerektiği takdirde bir modülün ısı parametreleri elde edilebilmektedir. Ancak bunlar modül çalışmazken hesaplanır. Bu yöntemlerle, çalışan bir modülün ısı parametrelerinin değerlendirilmesi hatalara yol açabilir. Çalışır haldeki bir modülün çıkış parametrelerinin elde edilmesi için modül çalışırken yarıiletkenlerin parametrelerinin bulunması gerekir. Ancak çalışan bir modülün içindeki yarıiletkenlerin parametrelerinin bulunması çok zordur.

### 2.2.3. Termoelektrik Modül

Onlarca termoelement, elektriksel olarak seri termal olarak paralel bağlanarak çeşitli amaçlar için çeşitli büyüklüklerde termoelektrik modüller elde edilmektedir. Şekil 2.5'de termoelektrik modülün yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Termoelektrik modülün yapısı.

#### 2.2.4. Termoelektrik modülün avantajları ve uygulama alanları

Elektrik enerjisi üretimi, soğutma ve ısıtma gibi amaçlar için kullanılan termoelektrik modül birçok avantaja sahiptir. Bu avantajlar maddeler halinde şu şekilde sıralanabilir:

- Küçük, hafif ve basit yapıdadırlar.
- Termoelektrik modüller yarıiletkenlerden yapıldığından, hareketli parçaları yoktur. Bu nedenle sessiz, sarsıntısız ve güvenilir bir şekilde çalışmaktadırlar.
- Herhangi bir yönde çalışabilmektedirler.
- Ortalama ömürleri 200 000 saat kadardır. Bu süre yaklaşık olarak 25 yıl kadardır. Bir defa montaj edildikten sonra uzun süre bakım gerektirmemektedir.
- Sıcaklık kontrolleri kolaylıkla yapılabilmektedir.
- Elektriksel ve elektromanyetik gürültüleri minimum seviyededir.
- Yerçekimi olmayan yerlerde veya dünya yerçekimi kuvvetinin birkaç katında çalışabilmektedirler.
- Termoelektrik modüller DA gerilim esasına göre çalışmaktadır.

- Uygulanan akım yönü değiştirilerek, modüldeki ısınma ve soğuma yüzeyleri yer değiştirilebilir.

Termoelektrik modüller bu özelliklerden dolayı birçok alanda, değişik amaçlara yönelik uygulamalar için rahatlıkla kullanılabilir. Termoelektrik modüllerin jeneratör olarak kullanılmasıyla, termal bölgelerde şebeke gerilimi olmadan günlük ihtiyaçlarımızda kullanacağımız elektrik enerjisinin elde edilmesi mümkündür. Dolayısıyla deniz, çöl, uzay gibi şebeke gerilimi olmayan yerlerde de elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Termoelektrik modüller ulaşım araçlarında, ilaç muhafazalarında ve elektrik donanımlarında soğutucu olarak kullanılmaktadır. Termoelektrik modüllerin klima gibi ısıtıcı ve soğutucu olarak kullanıldığı alanlar da mevcuttur.

#### **2.2.5. Termoelektrik sistemlerin tıp alanında kullanılması**

Termoelektrik modüllerden yapılan cihazlar medikal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle kan, aşı, serum, ilaç v.b. tıbbi malzemelerin bozulmadan saklanabilmesi için belirli sıcaklık koşullarında tutulması gerekmektedir. Bu amaca yönelik geliştirilmiş olan taşınabilir termoelektrik tıp kitleri bulunmaktadır [36-39]. Termoelektrik soğutma veya ısıtma tedavi ya da ağrı giderici olarak kullanılan terapi pedlerinde de kullanılmaktadır. Katı tabanlı modüllerden oluşan sıvı soğutucular içerisinden geçirilen su bir pad içinde dolaştırılarak padin sıcaklığı ayarlanmaktadır. Burada suyu soğutmak ya da ısıtmak amacıyla termoelektrik modüller kullanılmaktadır [40]. Termoelektrik sistemlerin tıp alanında kullanılmasının başka bir örneği ise renal hipotermiya uygulamasıdır [41].

Tüm dünyada Hipotermiya araştırmaları için milyonlarca dolar ayrılmaktadır. Üniversitelerin araştırma geliştirme bölümlerinde bu iş için yüzlerce araştırmacı çalışmaktadır [42-44]. Beyin hipotermiyası için ratların beynini soğutmak için ratın tümünü soğuk suya daldırılarak beyin soğutulması yapılıyor ısıtılması ise lamba ışınıyla yapılmaktadır [9,10]. Termoelektrik

yöntemle ratların beyninin soğutulması içinde rat termohipoterm geliştirilmiştir [45].

Piyasada üretilen modüller katı tabanlı modüllerdir. Bu modüllerle kask tasarımı yapmak oldukça güçtür. Çünkü beyin soğutmada en önemli unsur beynin her tarafında aynı oranda olacak şekilde soğutulmasıdır. Modüllerin kafaya temas yüzeylerinin fazla olması gerekmektedir. Katı tabanlı modüllerle ki bunlar 4\*4 cm boyutunda olan modüllerdir, temas yüzeylerinde sınırlamalar olmaktadır. Modül boyutlarının temas yüzeyleri artacak şekilde üretilmesi ise modüllerin gücünü düşürmekte ve gerekli soğutma sağlanamamaktadır. Bu nedenle kullanımında kısıtlamalar mevcuttur. Katı tabanlı modüller yerine esnek termoelektrik modüllerin elde edilmesi bu problemi ortadan kaldıracak bir gelişmedir. Esnek termoelektrik modüller kullanarak modülün soğutma performansı düşürülmeden temas yüzeyi artırılabilir. Akımında bir sınırlama olmamaktadır. Ayrıca tezde su soğutma amacıyla TETECH firması tarafından üretilen bir cihaz kullanılmıştır. Bu cihazın ısı transfer sistemi oldukça hantal olup toplam ağırlığı 5 kg. civarındadır. Bu uygulamada göstermektedir ki katı tabanlı modüllerle yapılan cihazların boyutları oldukça büyük olmaktadır. Mevcut olan termoelektrik modüllerin beyin soğutmada kullanılmasını zorlaştırılmaktadır. Bu sonuçlar sadece literatürdeki araştırmalarla değil AR-GE de yapılan çalışmalarda da görülmüştür. 30 seneyi aşkın bir süredir kullanılan bu teknoloji günden güne gelişmesine rağmen bu zorluklardan dolayı beyin soğutmada kullanılmamaktadır. Bu yeni esnek termoelektrik modüller bu teknolojinin bu alanda kullanılmasının önünü açmıştır.

İnsan beyninin soğutulması amacıyla, insanın soğuk su içine daldırılması, hastanın kafasına buz torbası konulması, hastanın kafasına soğuk hava üflenmesi, hastanın kafasına takılan bir kask içerisinde soğuk su dolaştırılması literatürde bilinen soğutma yöntemleridir ve patent girişimleri mevcuttur [46,47]. Termoelektrik teknoloji kullanarak beyin soğutmayla ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bir motosiklet kaskının içerisine yerleştirilen bir

modül vasıtasıyla kaskın içindeki suyun soğultması vasıtasıyla beyin soğutma işlemi ile ilgili çalışmalar vardır [48,49]. Beyin hipotermiyasında termoelektrik teknolojinin bizim tarafımızdan ilk kullanılması bu tezde geliştirilen termoelektrik beyin soğutucusunun ilk modelleri ile olmuştur [50]. Bu termoelektrik beyin soğutucusunu kullanarak yurt dışında 1000 kişi üzerinde uygulaması yapılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiş ki bu sonuçlar Almanya'daki uluslar arası fuarda değerlendirilip, cihaz iki altın madalya almıştır. Ayrıca beyin soğutucusunun ambulanslarda kullanılması için Mercedes Benz firmasının talip olduğu bilinmektedir. Bu modelde lineer güç kaynağı kullanılmış ve soğutma kontrolsüz yapılmış ve kask tek bir soğutucu olarak tasarlanmıştır. Türkiye'de ise bu sistemin 1994 modeli Ege Üniversitesi'nde beyin cerrahisi bölümünde 7 hasta üzerinde kullanılmış ve olumlu sonuçlar alınarak yurt dışında yapılan uluslar arası kongrede yayınlanmıştır [25,26]. Bu modelde lineer güç kaynağı kullanılmış ve kontrol on/off şeklinde yapılmış ve kask tek parça halinde kullanılmıştır. Türkiye'de geliştirilen esnek termoelektrik beyin soğutucusunun 1994 yılında yapılan modeli için Avrupa patenti alınmıştır [51]. Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Bilgisayar Eğitimi Bölümü AR-GE laboratuvarında beyin soğutucu başlığın 2005 modeli gerçekleştirilmiş, bu modelin özellikleri araştırılmış ve sonuçlar doktora tezi ve makaleler olarak yayınlanmıştır [52,53]. 2005 modelin özelliklerine baktığımızda kask yine tek parçadır. Güç kaynağı olarak SMPS modlu güç kaynağı kullanılmış ve bu güç kaynağının ayarlı kılınması ise MOSFET'li H köprü devresi ile yapılmıştır. Kontrolü ise mikrodenetleyici sistemle yapılmıştır.

Bu tezde geliştirilen 2009 model beyin soğutucu sadece tek parçalı olarak değil sağ ve sol olmak üzere ayrı ayrı kontrol edilebilmektedir. Termoelektrik modüllerin performansı açısından besleme voltajının kalitesi önemlidir. Bu nedenle SMPS modlu güç kaynağı kullanılmıştır. Her birimin beslemesi için SMPS modlu güç kaynağı kullanılmış olup, güç kaynağının ayarlı kılınması için IGBT modüllerle tasarlanmış H köprü devresi kullanılmış ve PWM sinyalinin görev süresi ayarlanarak kontrol edilmiştir. Kontrol metodu olarak



bulanık mantık kullanılmıştır. PC ile kontrol edilebilme, her hastaya ait kayıtları veri tabanına aktarabilme özelliğine sahiptir [27,30].

### 2.3. Termoelektrik Modülün Parametrelerinin Elde Etme Yöntemleri

#### 2.3.1. Klasik yöntem

Bir TE modülün soğuyan ve ısınan yüzeylerindeki ısı denge denklemleri Eş. 2.7a ve Eş. 2.7b ile ifade edilir.

$$Q_C = \alpha \cdot I \cdot T_C - 0,5 \cdot I^2 \cdot R - K \cdot (T_H - T_C) - Q_L \quad (2.7a)$$

$$Q_H = \alpha \cdot I \cdot T_H + 0,5 \cdot I^2 \cdot R - K \cdot (T_H - T_C) - Q_L \quad (2.7b)$$

Burada,  $Q_C$  modülün soğuk yüzeyine gelen toplam ısı yükü (Watt),  $Q_H$  modülün ısınan yüzeyinde açığa çıkan toplam ısı miktarı (Watt),  $I$  modüle uygulanan akım şiddeti (Amper),  $R$  termoelementin direnci ( $\Omega$ ) (Eş. 2.8),  $K$  termoelementin ısı iletkenlik katsayısı (Eş. 2.9),  $\alpha_n$ ,  $\sigma_n$ ,  $\lambda_n$  n tipi yarıiletkenin seebeck, iletkenlik, ısı iletkenliği katsayısı,  $\alpha_p$ ,  $\sigma_p$ ,  $\lambda_p$  p tipi yarıiletkenin seebeck, iletkenlik, ısı iletkenliği katsayısı,  $h$ , yarıiletkenin yüksekliği,  $a$ , kesit alanı,  $\alpha = (|\alpha_p + \alpha_n|)$  ise termoelementin toplam seebeck katsayısı,  $\Delta T = T_H - T_C$ , yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı,  $T_C$ , soğuyan yüzeyin sıcaklığı,  $T_H$ , ısınan yüzeyin sıcaklığı,  $Q_L = Q_{rad} + Q_{conv}$  watt olarak alınan toplam dış ısı yükü,  $Q_{rad}$ , watt olarak toplam radyasyon dış ısı yükü,  $Q_{conv}$ , watt olarak toplam konveksiyon dış ısı yüküdür.

$$R = \left( \frac{1}{\sigma_n} + \frac{1}{\sigma_p} \right) \cdot \frac{h}{a} \quad (2.8)$$

$$K = (\lambda_n + \lambda_p) \cdot \frac{a}{h} \quad (2.9)$$

Bir TE modülün tükettiği güç, Eş. 2.10'daki gibidir.

$$P = I^2 \cdot R + \alpha \cdot (T_H - T_C) \cdot I \quad (2.10)$$

Herhangi bir TE modülün ısı özelliklerini,  $Q_C$ 'nin yanı sıra COP (performans katsayısı) da karakterize etmektedir. Bir modülün COP değeri Eş. 2.11'deki gibi verilir.

$$\text{COP} = \frac{Q_C}{P} \quad (2.11)$$

Bir TE modülün soğutma performansı Z-kalite katsayısı (figure of merit) ise Eş. 2.12 ile ifade edilmektedir.

$$Z = \frac{\alpha^2}{R.K} \quad (2.12)$$

Elde edilen bu denklemler bir TE modül ya da sistemin ısı parametrelerinin hesaplanmasının temelini oluşturmaktadır. Bu formülleri kullanarak yapılan hesaplamalar çok büyük hatalara yol açmaktadır. Çünkü elde edilen parametreler çalışır haldeki bir modülün gerçek şartlardaki parametreleri değildir. Çalışan bir modülün çıkış parametrelerinin bu yöntemle göre değerlendirilmesi daha abartılı olup gerçek değerlerden farklıdır. Bunun nedeni,  $\alpha$ ,  $\sigma$ ,  $\lambda$ ,  $z$  gibi parametrelerin sadece sıcaklığa göre değil yarıiletkenin yüksekliğine göre de değişebilmektedir. Buna ilaveten bu formüllerde gerçek bir modülün yapısal ve teknolojik faktörlerinin hesaba katılmamış olması kullanılan yöntemi yetersiz kılmaktadır [33-35].

### 2.3.2.Yeni yöntem

Yeni yöntemin temelini Eş. 2.12 oluşturmaktadır. Bu denklemler eşdeğer değişikliklere uğratarak TE modüllerin tüm ısı parametreleri, sadece uygulanan I akımı, V gerilimi ve üretilen E termoemk değerinin ölçülmesiyle belirlenebilmektedir. Burada akım ve termoemk çok büyük bir hassasiyetle ve kolaylıkla ölçülmektedir.

Bilindiği gibi yüksüz çalışan bir ideal TE modül için toplam ısı yük  $Q_L = 0$  iken  $Q_C = 0$  olur. Sıcaklık farkı  $\Delta T_{\max}$ ' a ve soğuk yüzeyin sıcaklığı da

$T_{Cmin}$  eşit olacaktır. Bu durumda modülün çektiği akım  $I_{max}$ , modülün üzerindeki gerilim  $V_{max}$  ve modülün ürettiği termoeemk  $E_{max}$ 'tır. Burada,

$$V_{max} = \alpha \cdot T_H \quad (2.13)$$

iken diğer taraftan maksimum gerilim Eş. 2.14'teki gibidir.

$$V_{max} = I_{max} \cdot R + \alpha \cdot \Delta T_{max} = I_{max} \cdot R + E_{max} \quad (2.14)$$

$$\alpha \cdot \Delta T_{max} = \alpha \cdot (T_H - T_{Cmin}) = E_{max} \quad (2.15)$$

dir. Böylece, R Eş. 2.16 ile ifade edilebilir.

$$R = \frac{V_{max} - E_{max}}{I_{max}} \quad (2.16) \text{Bu}$$

şartlar için ısı denge denklemi, Eş. 2.17'deki gibi yazılabilir.

$$\alpha \cdot I_{max} \cdot T_{Cmin} - 0,5 \cdot I_{max}^2 - K \cdot \Delta T_{max} = 0 \quad (2.17)$$

Ayrıca Eş. 2.15 kullanılarak,

$$T_{Cmin} = T_H - \frac{E_{max}}{\alpha} \quad (2.18)$$

olarak bulunur. Elde edilen Eş. 2.16 ve Eş. 2.18 ifadeleri Eş. 2.17'de yerine konulursa,

$$(V_{max} - E_{max}) \cdot I_{max} - 0,5 \cdot (V_{max} - E_{max}) \cdot I_{max} = \left( \frac{K \cdot E_{max}}{\alpha} \right) \quad (2.19)$$

denklemi bulunur ve buradan da K,

$$K = \frac{0,5 \cdot \alpha \cdot (V_{max} - E_{max}) \cdot I_{max}}{E_{max}} = \frac{0,5 \cdot (V_{max} - E_{max}) \cdot I_{max}}{T_H E_{max}} \quad (2.20)$$

şeklinde yazılabilir. Elde edilen Eş. 2.16, Eş. 2.20, Eş. 2.7'de yerine yazılırsa ve  $Q_L = 0$  kabul edilirse modülün  $Q_C$  değeri Eş. 2.21'deki gibi elde edilir.

$$Q_C = \alpha \cdot I \cdot T_C - \frac{0,5 \cdot I^2 \cdot (V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - \frac{\alpha \cdot \Delta T \cdot (V_{\max} - E_{\max}) \cdot I_{\max}}{E_{\max}} \quad (2.21)$$

Modülün termoemk değeri Eş. 2.22 ile verildiğinden soğuk yüzey sıcaklığı Eş. 2.23'teki gibi elde edilir.

$$E = \alpha \cdot \Delta T = \alpha \cdot (T_H - T_C) \quad (2.22)$$

$$T_C = T_H - \frac{E}{\alpha} \quad (2.23)$$

Eş. 2.21 ve Eş. 2.23'ten  $Q_C$ ,

$$Q_C = \alpha \cdot \left( T_H - \frac{E}{\alpha} \right) \cdot I - \frac{0,5 \cdot I^2 \cdot (V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - \frac{E \cdot (V_{\max} - E_{\max}) \cdot I_{\max}}{E_{\max}} \quad (2.24)$$

olarak bulunur. Bilindiği gibi modülün ısınan yüzeyinin sıcaklığı ( $T_H$ ), bu yüzeyden ısıyı atan ısı transfer sistemine bağlıdır ve genelde sabit tutulmaktadır. Çalışan gerçek bir modülün ısınan yüzeyinin sıcaklığı, daima yaklaşık olarak ısı transfer sisteminde kullanılan maddenin sıcaklığına eşittir. Modüle uygulanan akım şiddeti ( $I$ ) ve ısı yük ( $Q_C$ ) değerindeki değişimler  $T_H$ 'nin değerini çok az etkilediği için, ilk yaklaşım olarak  $I_{\max}$  için kullanılan Eş. 2.13, Eş. 2.24'de kullanılabilir. Bu durumda

$$Q_C = V_{\max} \cdot I - \frac{0,5 \cdot I^2 \cdot (V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - \left( I + \frac{0,5 \cdot (V_{\max} - E_{\max}) \cdot I_{\max}}{E_{\max}} \right) \cdot E \quad (2.25)$$

$$Q_H = V_{\max} \cdot I + \frac{0,5 \cdot I^2 \cdot (V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - \left( \frac{0,5 \cdot (V_{\max} - E_{\max}) \cdot I_{\max}}{E_{\max}} \right) \cdot E \quad (2.26)$$

şeklinde yazılabilir. Aynı şekilde modülün tükettiği güç Eş. 2.27 ile ifade edilir.

$$P = \frac{I^2 \cdot (V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} + E \cdot I \quad (2.27)$$

Bu durumda TE modülün verimi yani performans katsayısı(COP) Eş. 2.28'deki gibi elde edilir.

$$\text{COP} = \frac{Q_C}{P}$$

$$\text{COP} = \frac{V_{\max} \cdot I - \frac{0,5 \cdot I^2 \cdot (V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - \left( I + \frac{0,5 \cdot (V_{\max} - E_{\max}) \cdot I_{\max}}{E_{\max}} \right) \cdot E}{\frac{I^2 \cdot (V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} + E \cdot I} \quad (2.28)$$

Bunlara ek olarak TE modülün Z parametresi Eş. 2.13, Eş. 2.16 ve Eş. 2.20'ye göre,

$$Z = \frac{V_{\max} \cdot E_{\max}}{0,5 \cdot (V_{\max} - E_{\max})^2 \cdot T_H} \quad (2.29)$$

şeklinde yazılabilir. Bilindiği gibi bir TE modülün herhangi bir yüzeyindeki sıcaklığın ölçülmesi, özellikle modül bir sistemin parçası olup kapalı bir konumda bulunuyorsa çok zordur. Bunun için her bir yüzeyin üzerine termokuplun konulması ve çıkışlarının dışarıya çıkarılması gerekmektedir. Fakat TE modülün ısınan yüzeyi dışarıda olduğu için bu yüzeyin  $T_H$  sıcaklığı kolayca ölçülebilir.

TE modülün sıcak yüzeyindeki sıcaklık  $T_H$ , soğuk yüzeyindeki sıcaklık  $T_C$  ise, Eş. 2.13 ve Eş. 2.18 eşitliklerine göre,

$$T_C = T_H \left( 1 - \frac{E}{V_{\max}} \right) \quad (2.30)$$

yazılabilir. Bu ifadeye göre  $T_C$  sıcaklığı doğrudan ölçülmeden, sadece  $T_H$  ve  $E$  değeri ölçülerek de bulunabilir. Aynı denklemden  $T_C$  ve  $E$  değerleri yardımıyla  $T_H$  değeri de bulunabilir.

$$T_H = \frac{T_C}{\left( 1 - \frac{E}{V_{\max}} \right)} \quad (2.31)$$

Termoemk ( $E$ ) değerinin farklı akımlardaki  $Q_C$  değerine göre değişimi ise,

$$E = \frac{V_{\max} \cdot I - \frac{0,5 \cdot I^2 \cdot (V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - Q_C}{I + \frac{0,5 \cdot (V_{\max} - E_{\max}) \cdot I_{\max}}{E_{\max}}} \quad (2.32)$$

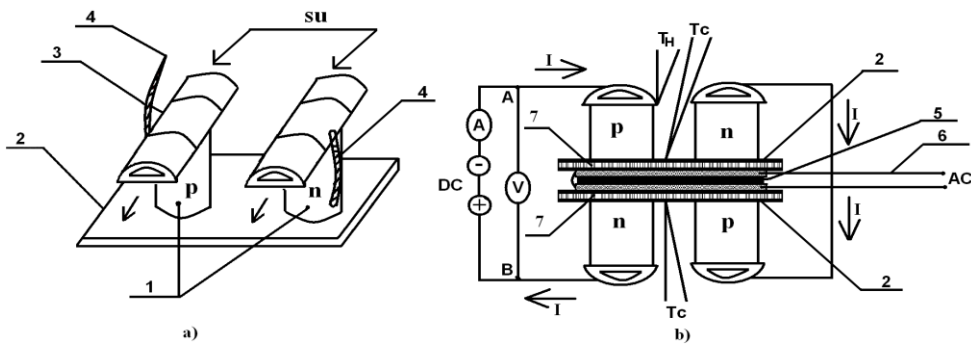
formülü ile ifade edilebilmektedir. Elde edilen Eş.2.16, Eş. 2.20, Eş. 2.21, Eş. 2.25- Eş. 2.31 eşitlikleri, çalışma anında modüle ait tüm parametreleri vermektedir. Bu denklemleri kullanmak için  $I_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $E_{\max}$  değerlerinin bulunması gerekmektedir. Bu değerler her bir modül için farklı olup modülün deneysel parametreleri olarak adlandırılabilirler. Ayrıca bu denklemleri kullanmak için  $T_C$  veya  $T_H$  sıcaklıklardan birini doğrudan ölçmek gerekir. Burada  $V_{\max}$  ve  $E_{\max}$  modülü oluşturan TE yarıiletkenleri karakterize ettiği için bu parametreler yarıiletkenlerin geometrik özelliklerine bağlı değildir ve modülün makro büyüklüklerini oluştururlar. Bu nicelikler çok büyük hassasiyetle kolayca ölçülebilirler [33,35].

#### 2.4. Termoelektrik Modülün Parametrelerinin Ölçülmesi

Yeni yöntem kullanılarak termoelektrik kaskın temelini oluşturan termoelementin tüm ısıl parametreleri ölçülmüştür. Bunun için 4 adet termoelementten meydana gelen özel bir ölçüm seti geliştirilmiştir. Deney setini oluşturan 4 adet termoelementler birbiriyle elektriksel olarak seri termal

olarak ta paralel bağlandı. Modüllerin soğuk yüzeyleri yüz yüze olup aralarında ısı yüklerini oluşturan bir ısıtıcı bulunmaktadır. Modüllerin soğuk yüzeyleri ile ısıtıcının arasına elektriği geçirmeyen anodiroze edilmiş levhalar konuldu. Bu levhalar modülleri elektriksel olarak ısıtıcıdan yalıtılmaktadır. Bununla beraber buradan gelen ısıyı dengeli olarak dağıtmak için ince bakır levhalar kullanıldı. Soğuk ve sıcak yüzeydeki sıcaklıkları direkt ölçmek için çift termokuplu CIE 307 model dijital termometre kullanıldı. Termoelektrik modüllere uygulanan akım Fluke 380 model multimetre ile ölçüldü. Aynı modelde ikinci multimetre modüller üzerindeki voltajı ve bunların ürettiği termoemk'yi ölçmek için kullanıldı. Ayrıca modülleri çalıştırmak için DA 0 – 50A'lık bir güç kaynağı kullanılırken ısıtıcıyı çalıştırmak için bir varyak kullanıldı.

Modüllerin ısınan yüzeylerini soğutmak için paralel olarak birbirleriyle bağlanmış su kanallardan geçen sudan faydalandı. Su üstteki modüllerin su kanallarına paralel girip alttakilerden paralel olarak çıkmaktadır. Şekil 2.6'da kesit görüntüsü verilen deney düzeneği kullanarak modüllerin dinamik özelliklerinin araştırması önce yüksüz daha sonra ısıtıcıyı çalıştırarak yüklü yapıldı. Yüklü deney modüller arasına yerleştirilen ısıtıcı kullanılarak yapıldı. Ölçümler esnasında ortam sıcaklığı da ayrı bir termometre kullanılarak kayıt edildi.

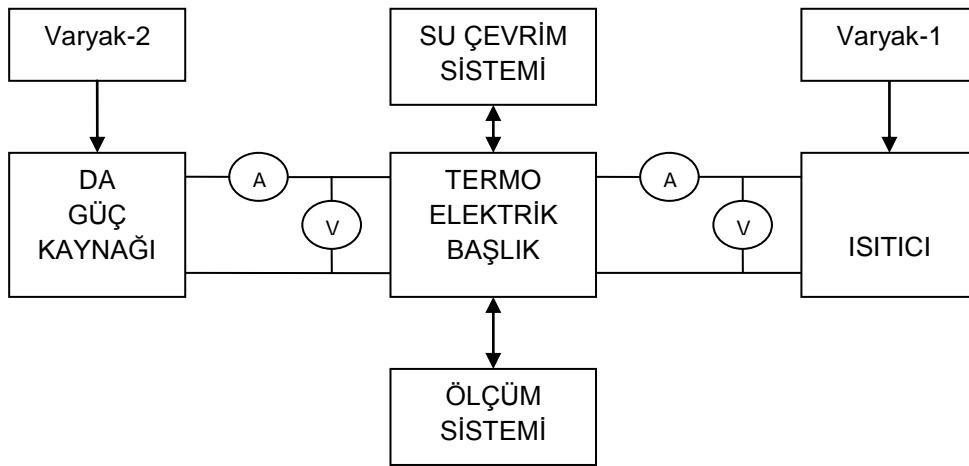


Şekil 2.6. Modül Araştırma Setinin Kesiti.

Burada a) tek bir modülün yapısını b) ise 4 modülden oluşan deney setini göstermektedir. Ayrıca 1 – p ve n-tipi yarıiletkenler, 2 – bakır levhalardan

yapılmış modüllerin soğuk yüzeyleri, 3 - bakır borulardan yapılmış modüllerin sıcak yüzeyleri, 4 - modülün voltaj girişi için kullanılan çok telli bakır kabloyu, 5 – üzerine ısıtıcı telinin sarıldığı anodiroze edilmiş alüminyum levha, 6 - ısı yükü oluşturmak için ısıtıcının çıkışlarını, 7 – ısıyı dengeli dağıtan ince bakır levhayı,  $T_C$  ve  $T_H$  - soğuk yüzeyin ve sıcak yüzeyin sıcaklığını ölçmek için K tipi termokuplları, A ve V – ampermetre ve voltmetreyi göstermektedir.

Oluşturulan deney düzeneği Şekil 2.7’de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.7. Deney setinin prensip şeması.

*Su Sebili ve Su Çevrim Sistemi:* Termoelektrik modüllerin sıcak taraflarındaki sıcaklığı sabitlemek için kullanılan suyun iklimlendirildiği ve su pompası vasıtasıyla dolaştırıldığı bölümdür.

*Varyak 1:* Varyak-1 sistemin yüklü çalışmasını incelemek üzere yapılan deneyde modüle ısı yükleri vermek için kullanıldı. Ohmmetre ile yapılan ölçümlerde modüllerin toplam elektriksel direnci 163 ohm olarak ölçüldü. Verilen ısıtıcı yükleri bu direnç değerine göre belirlendi. Uygulanan akım ve gerilim değerlerini ölçmek üzere bir ampermetre ve voltmetre bağlandı.

*Varyak 2:* Varyak-2 termoelektrik modüllere verilen akım şiddetini ayarlamak için kullanıldı. DA güç kaynağının giriş voltajı değiştirilmek suretiyle çıkış



akımı ayarlandı. Çıkış akımının yüksek olması nedeniyle akım ölçmek için manyetik olarak akım ölçebilen Fluke marka digital göstergeli ölçü aleti kullanıldı. Voltaj ölçmek için ise voltmetre kullanıldı.

Termometre: Soğuk yüzey sıcaklığını ölçmek için CIE 307 digital termometre kullanıldı. Ölçümler için K tipi termocouple kullanıldı. Modül üzerindeki bir komitatör anahtar kullanılmak suretiyle aynı termometreyle diğer soğuk yüzey sıcaklığı da ölçüldü.

DA güç kaynağı: modülleri çalıştırmak için 0-50 A güç kaynağı kullanıldı. Çıkış akımını ayarlamak için ise varyak-2 kullanılarak giriş voltajı değiştirildi.

Deneyin yapılışı: Deney aynı su sıcaklığında yüklü ve yüksüz olarak yapıldı.

Su devir daim sistemi sırasıyla 15 °C, 25 °C, 35 °C ayarlanarak bu üç sıcaklık için ölçümler yapıldı. Suyun sıcaklığı bu sıcaklıklardan birine geldiğinde su sirkülasyon pompası çalıştırıldı ve modüllerin sıcak taraflarındaki sıcaklık sabitlendi.  $T_H$  sabit olduğundan sadece  $T_{C1}$  ve  $T_{C2}$  sıcaklıkları ölçüldü. Tek termometre ile deney düzeneği üzerindeki bir komitatör anahtar kullanılarak bu ölçümler yapıldı. Her sıcaklık değeri için 10, 20, 30 ve 40 Amperler için ölçüm yapıldı. Varyak vasıtasıyla ayarlanan akım değerleri için her 5 dakikada bir soğuk yüzey sıcaklıkları ölçüldü ve kaydedildi. Aynı zamanda sistemin enerjisi tamamen kesilerek modüllerin ucunda indüklenen termoemk değeri ölçülüp kaydedildi. Ayrıca her ölçüm sıcaklığı için çevre sıcaklığı da harici bir termometre ile ölçülüp kaydedildi. Her amper için soğuk yüzeyin sıcaklığı sabitlenene kadar ölçüme devam edildi.

Sıcaklık sabitlendikten sonra sistem üzerindeki anahtar açılarak ısıtıcı çalıştırıldı. Varyak -1 kullanılarak yavaş yavaş sisteme ısı yükü uygulandı ve uygulanan ısı yükü için sıcaklık sabitlenene kadar ölçüme devam edildi. Isıl yük kademe kademe artırılarak sıcaklıklar ve termoemk ölçüldü. Termoemk

sıfır oluncaya kadar ısı yük artırılmaya devam edildi. Bu işlemler bütün sıcaklıklarda ve akım değerleri için yapıldı, ölçüldü ve kaydedildi.

Çizelge 2.1'de iki farklı rejimlerde çalışan ideal modülün farklı akımlardaki ölçüm sonuçları verilmiştir. Çizelgedeki ölçüm sonuçları  $T_H=15^\circ\text{C}$  içindir.

Çizelge 2.2'de iki farklı rejimlerde çalışan ideal modülün farklı akımlardaki ölçüm sonuçları verilmiştir. Çizelgedeki ölçüm sonuçları  $T_H=25^\circ\text{C}$  içindir.

Çizelge 2.3'de iki farklı rejimlerde çalışan ideal modülün farklı akımlardaki ölçüm sonuçları verilmiştir. Çizelgedeki ölçüm sonuçları  $T_H=35^\circ\text{C}$  içindir.

Bu üç tablodan görüldüğü gibi, sıcak tarafın sıcaklığı modüllerin performansı üzerinde doğrudan etkilidir. Sıcak yüzey sıcaklığı  $T_H$ 'lerin değişmesi soğuk yüzey sıcaklığı  $T_C$ 'nin minimum değerlerini değiştirmektedir. Bununla birlikte modül performansını etkileyen en önemli unsur akımdır. Uygulanan akım, soğuk yüzeye etki eden ısı yük ve sıcak taraf sıcaklığı modülün iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkını belirlemektedir. Sıcaklık farkı arttığında ise modül üzerinde indüklenen termoemk artmaktadır.

Elde edilen ölçüm sonuçları grafiksel olarak sıcak taraf sıcaklıkları  $15^\circ\text{C}$ ,  $25^\circ\text{C}$  ve  $35^\circ\text{C}$ 'lerde, 10, 20, 30, 40 amper değerleri için Şekil 2.8- Şekil 2.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 2.1.  $T_H=15^\circ\text{C}$  için ölçüm sonuçları

Akım,A	$T_c,^\circ\text{C}$	E,mv	$T_h,^\circ\text{C}$	$\Delta T,^\circ\text{C}$	Qc,W
I=10 A, $T_{cmin}$	-8,1	32	15	23,1	0
I=10 A, $Q_{cmax}$	15,2	0	15	0	5
I=20 A, $T_{cmin}$	-26,7	58	15	41,7	0
I=20 A, $Q_{cmax}$	15,4	0	15	0	10
I=30 A, $T_{cmin}$	-33,7	68	15	48,7	0
I=30 A, $Q_{cmax}$	14,7	0	15	0	12
I=40 A, $T_{cmin}$	-37	71	15	52	0
I=40 A, $Q_{cmax}$	14,8	0	15	0	12,5

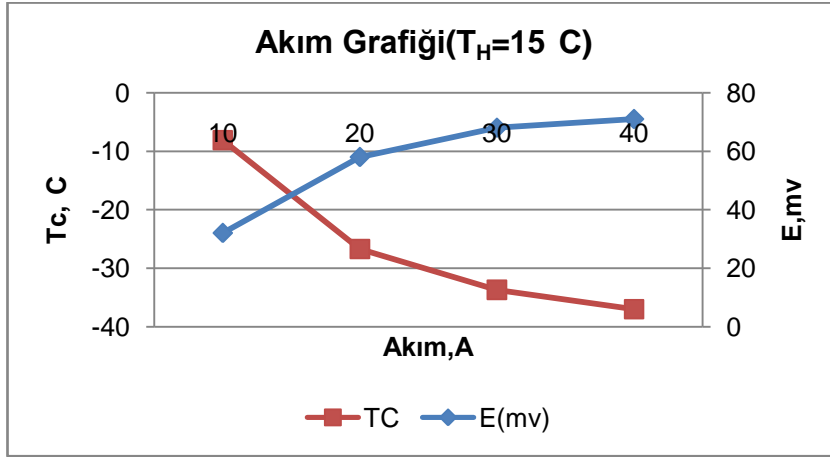
Çizelge 2.2.  $T_H=25\text{ }^\circ\text{C}$  için ölçüm sonuçları

Akım,A	$T_c,^\circ\text{C}$	E,mv	$T_H,^\circ\text{C}$	$\Delta T,^\circ\text{C}$	$Q_c,W$
I=10 A, $T_{cmin}$	1,4	32	25	23,6	0
I=10 A, $Q_{cmax}$	24,9	0	25	0	10
I=20 A, $T_{cmin}$	-16,6	56	25	41,6	0
I=20 A, $Q_{cmax}$	25,2	0	25	0	11
I=30 A, $T_{cmin}$	-24,9	67	25	49,9	0
I=30 A, $Q_{cmax}$	25,2	0	25	0	12,5
I=40 A, $T_{cmin}$	29,8	73	25	54,8	0
I=40 A, $Q_{cmax}$	25,1	0	25	0	15

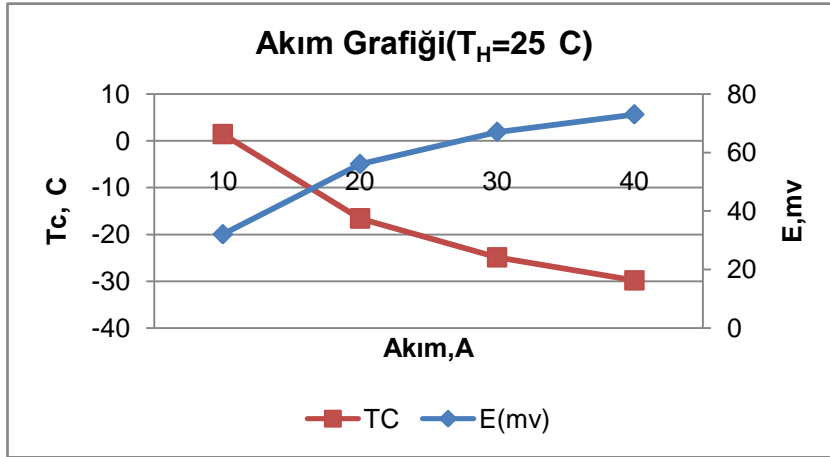
Çizelge 2.3.  $T_H=35\text{ }^\circ\text{C}$  için ölçüm sonuçları

Akım,A	$T_c,^\circ\text{C}$	E,mv	$T_H,^\circ\text{C}$	$\Delta T,^\circ\text{C}$	$Q_c,W$
I=10 A, $T_{cmin}$	8,8	35	35	26,2	0
I=10 A, $Q_{cmax}$	35,1	0	35	0	6
I=20 A, $T_{cmin}$	-7,2	55	35	42,2	0
I=20 A, $Q_{cmax}$	35,8	0	35	0	11
I=30 A, $T_{cmin}$	-17,7	69	35	52,7	0
I=30 A, $Q_{cmax}$	35,7	0	35	0	15
I=40 A, $T_{cmin}$	-25,8	77	35	60,8	0
I=40 A, $Q_{cmax}$	35,3	0	35	0	17

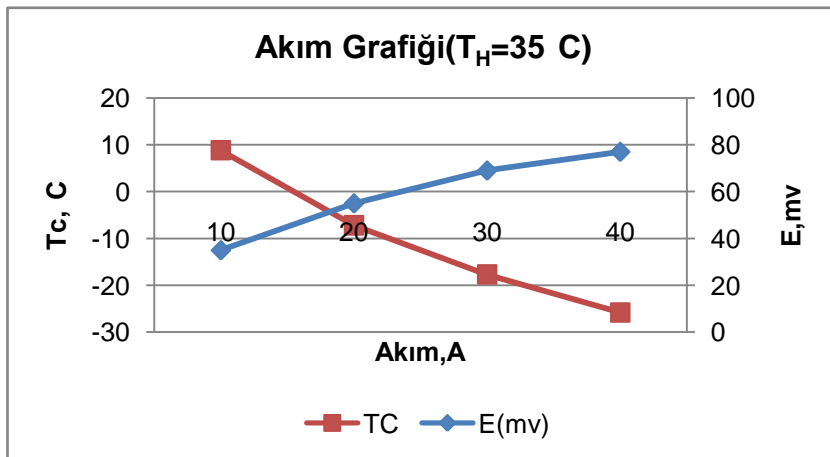
Grafikler incelendiğinde termoelektrik modüllerin ilk 5 dakika içinde çok yüksek oranda soğutma gücüne sahip olduğu görülmektedir. Çevre sıcaklığı modüllerin soğutma performansı açısından önemli bir parametredir. Deney düzeneğine 10 Amper akım uygulandığında  $T_H$  sıcaklığı su devir daim sistemi ile  $15\text{ }^\circ\text{C}$ 'de sabitlendiğinde ilk 5 dakikadaki soğutma performansı  $4,34\text{ }^\circ\text{C/dakika}$  iken  $25\text{ }^\circ\text{C}$  için  $3,46\text{ }^\circ\text{C/dakika}$  ve  $35\text{ }^\circ\text{C}$  için  $2,08\text{ }^\circ\text{C/dakika}$  olarak ölçüldü. Termoelektrik modüllere uygulanan akım değeri artırıldığında ise soğutma performansının daha da arttığı görüldü. 40 Amper için yapılan ölçümlere göre soğutma performansı  $10,74\text{ }^\circ\text{C/dakikaya}$  kadar yükseldiği görüldü. Ölçüm sonuçları yüklü olarak yapılan ölçümler açısından incelendiğinde ise  $Q_c$  ısıl yükün emk ve  $T_c$  sıcaklıkları üzerindeki etkileri Şekil 2.11- Şekil 2.13'deki gibi olmaktadır.



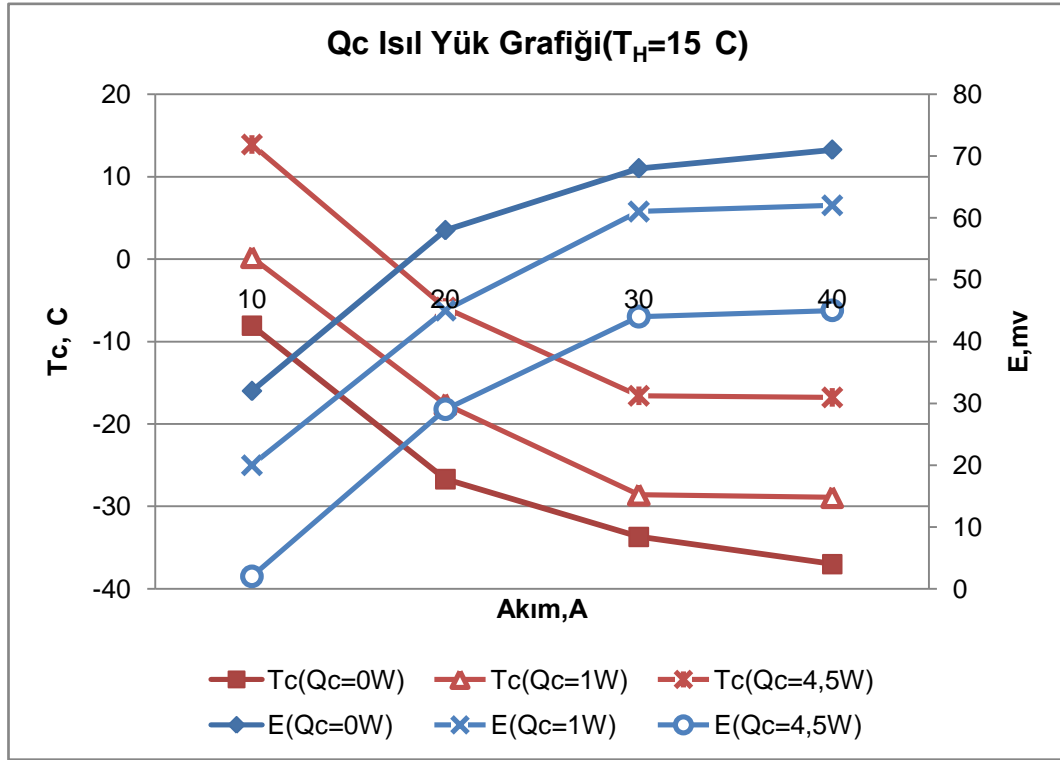
Şekil 2.8.  $T_H=15^\circ\text{C}$  için emk-soğuk yüzey sıcaklığının akıma göre değişimi.



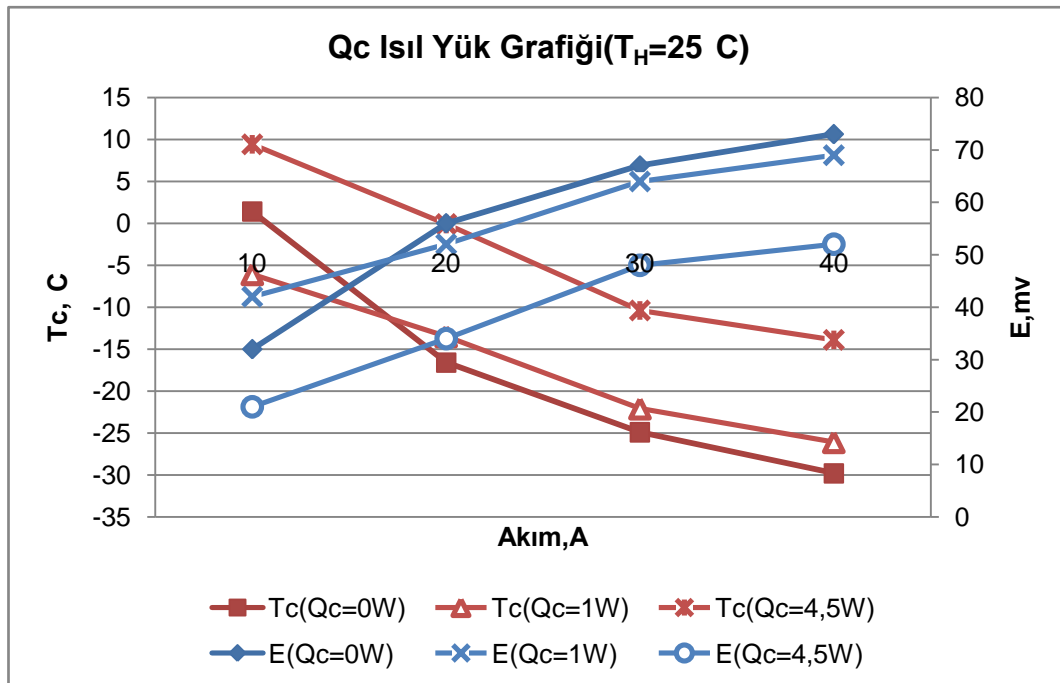
Şekil 2.9.  $T_H=25^\circ\text{C}$  için emk-soğuk yüzey sıcaklığının akıma göre değişimi.



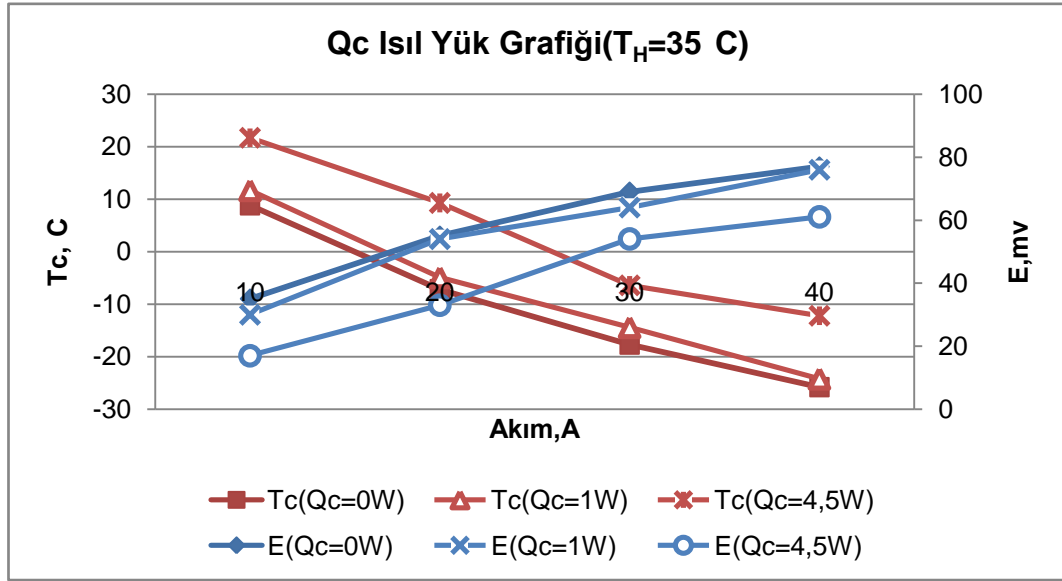
Şekil 2.10.  $T_H=35^\circ\text{C}$  için emk ve soğuk yüzey sıcaklığının akıma göre değişimi.



Şekil 2.11.  $T_H=15^\circ\text{C}$  için emk ve  $T_c$  akım grafiklerinin üzerindeki  $Q_c$ 'nin etkisi.



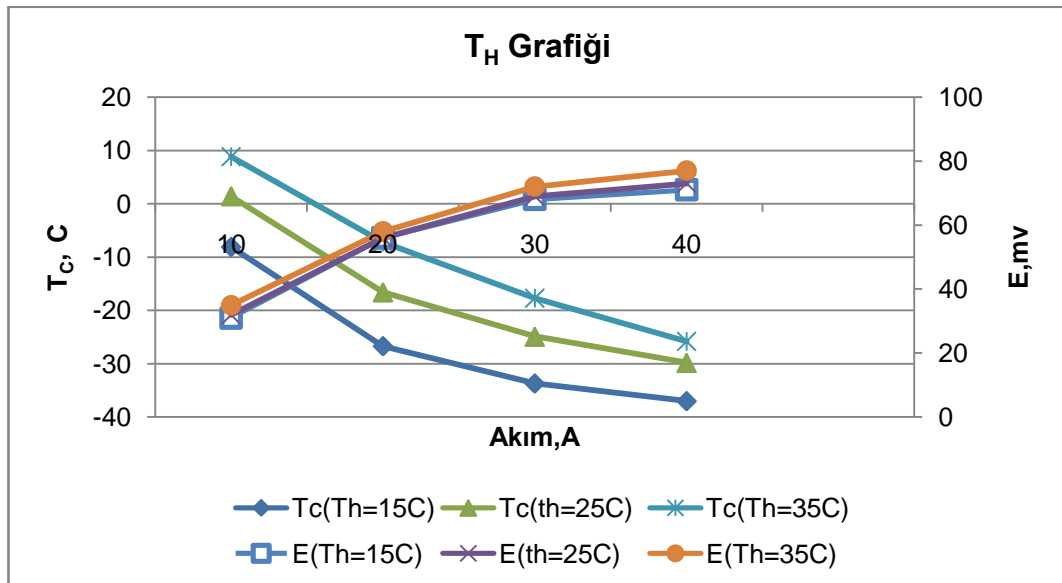
Şekil 2.12.  $T_H=25^\circ\text{C}$  için emk ve  $T_c$  akım grafiklerinin üzerindeki  $Q_c$ 'nin etkisi.



Şekil 2.13.  $T_H=35^\circ\text{C}$  için emk ve  $T_c$  akım grafiklerinin üzerindeki  $Q_c$ 'nin etkisi.

Bu grafiklerden de görüldüğü gibi yükün değişimi  $E(I)$  ve  $T_c(I)$  fonksiyonlarının şekillerini değiştirmektedir. Grafikte değişik akımlarda  $Q_c=1\text{ W}$  ve  $Q_c=4,5\text{ W}$  için  $E(I)$  ve  $T_c(I)$  grafikleri gösterilmektedir.

$T_H$ 'nin akım grafiklere etkisi ise Şekil 2.14'de gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Termoelementin  $T_H$  karakteristikleri.

Grafik incelendiğinde eğriler üzerinde  $T_H$ 'nin etkisi görülmektedir. Modülün ısınan yüzeyinin sıcaklığına bu açıdan bakıldığında  $T_H$ 'deki bir artış modül üzerinde "iç ısı yük" etkisini meydana getirmektedir.  $T_H$  sıcaklığı ısı transfer sistemleri kullanılarak mümkün olduğu kadar düşük sıcaklıklarda tutulduğu takdirde soğutma performansı da artmaktadır.

## 2.5. Termoelektrik Beyin Soğutucusu

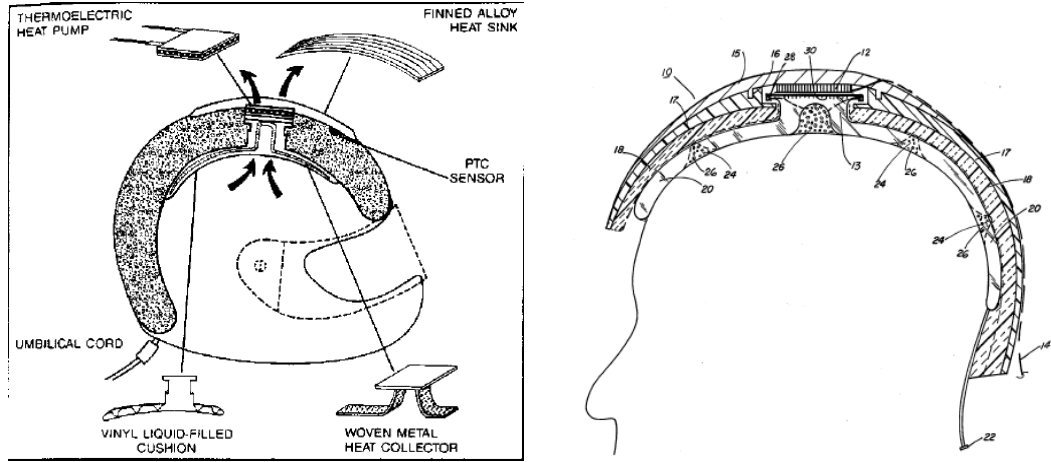
Tasarlanan cihaz, aşağıda belirtilen bölümlerden oluşmaktadır. Sistemin parçaları aşağıdaki sıraya göre birleştirilerek ve ayrı ayrı test edilerek gerçekleştirilmiştir.

- Termoelektrik kask
- Anahtarlamalı güç kaynakları
- Su dolaşım sistemi

### 2.5.1. Termoelektrik kask

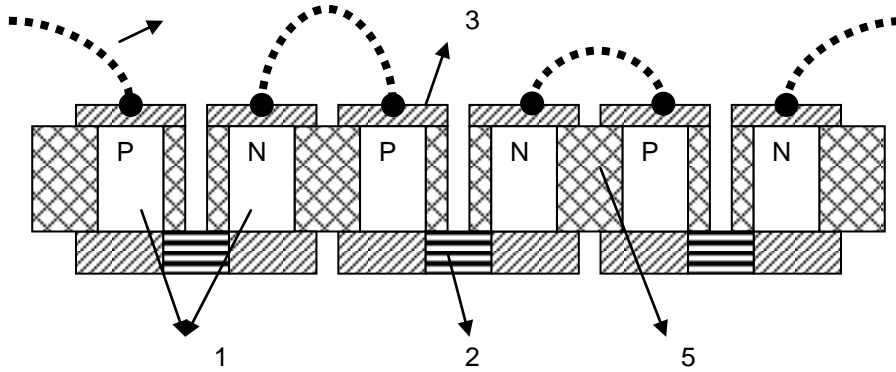
Beynin soğutulması sırasında sıcaklığın düşüş hızı önemlidir. Sıcaklık düşüşünün her tarafta aynı olacak şekilde olması gerekmektedir. Hastalar hipotermiyaya başlandıktan sonra 10 °C' den fazla olmayan bir ısı gradienti ile yavaş olarak soğutulmalıdır. Hastalarda soğutma yavaş yapıldığı takdirde rektal 22-24 °C' ye kadar kalbin fibrilasyona girmediği klinik olarak ispatlanmıştır. Soğutma hızının fazla olması kalbin aşırı yüklenmesine ve fibrilasyona girmesine neden olmaktadır [23,24]. Kaskın esnek termoelektrik modüllerden yapılması soğutmanın dengeli dağılması açısından çok önemlidir. 70 adet esnek termoelektrik modüllerden oluşturulan kask kafatasının 70 farklı noktasından soğutma yapabilmektedir ki bu sayede dengeli bir soğutma gerçekleşmektedir.

Dünyada patent taraması yapıldığında termoelektrik kask şeklinde birkaç tasarıma rastlamak mümkündür. Bu tasarımlar incelendiğinde katı tabanlı modüller kullanılarak tasarlandıkları görülmektedir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Değişik kask tasarımları.

Tasarlanan termoelektrik beyin soğutucusunda birbirleriyle elektriksel olarak seri termal olarak paralel bağlanmış 70 tane termoelektrik modül bulunmaktadır. Bu modüllerin çalışma gerilimleri 0,1 V ve çektikleri optimum akım 40 amperdir. Modüllerin seri bağlandığı tüm alt birimleri sürebilmek için 7 V DA gerilime ihtiyaç vardır. Beyin soğutucusunun tasarımında esnek termoelektrik modül kullanılmıştır. Esnek birleşim tekniği sıcaklık farkının meydana getirdiği termo-mekanik gerilmeleri sıfıra indirerek termoelektrik modülün sağlamlığını ve garantili çalışma süresinin artırılmasını sağlamaktadır. Esnek termoelektrik modülün tıpta kullanılmasının önemli avantajı da ayrı ayrı esnek modüllerden oluşması dolayısıyla soğutulacak alanın şekline kolayca getirilebilmesidir.

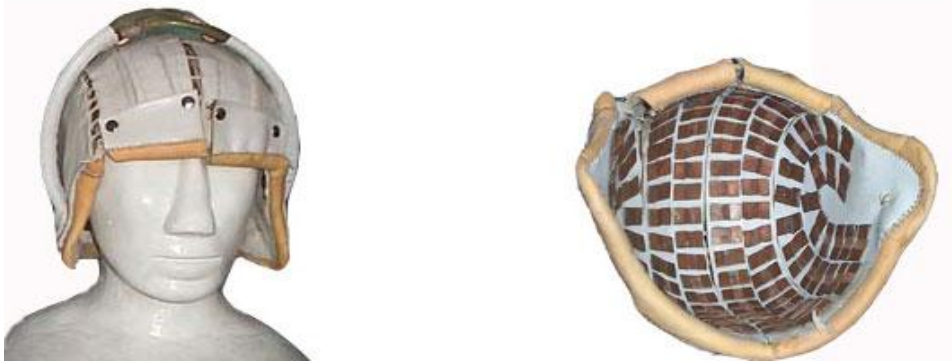


Şekil 2.16. Esnek termoelektrik modülün yapısı.



Burada 1. N ve P tipi malzemeyi, 2. Soğuk tarafın esnek bağlantısını, 3. Sıcak tarafın radyatörünü, 4. Esnek çok telli kabloyu, 5. Esnek temel bloğu temsil etmektedir.

Başlığın yapısı, kullanım şekli ve canlı organizmanın fizyolojik özelliklerinden dolayı beyinden kaska gelen ısı yükü direkt ölçmek oldukça zordur. Çünkü bunun için her bir modüle gelen ısı yükünün ölçülmesi gerekir. Ancak termoelektrik modüllerin kafayla temasları farklı olduğundan ve deri üzerindeki kan damarlarının soğuğa gösterdikleri tepkilerin farklılığından dolayı her bir modülle gelen ısı yükü farklıdır. Bu sorunu çözebilmek için modüllerin çalışırken ölçülen değerlerine bağlı olarak geliştirilen yeni yöntem kontrol aşamasında kullanılmıştır. Termoelektrik beyin soğutucusu için 4 noktada ölçüm yapıldı.

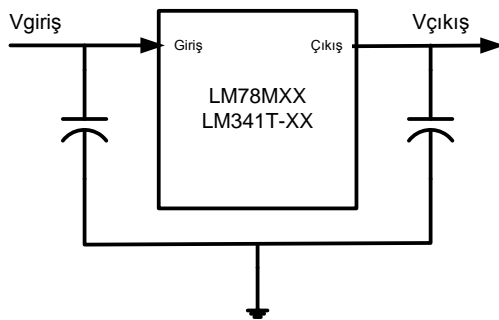


Şekil 2.17. Termoelektrik başlık

Kask temelde iki parçadan oluşmaktadır. Her bölüm 35 adet termoelektrik esnek termoelementten meydana gelmektedir. Birleşim noktasında p-n-p-n bağlantısının devam edebilmesi için uygun bağlantı yapılmıştır. Elektriksel olarak birbirinden ayrılabilen bu bölümler gerektiğinde ayrı gerektiğinde bir bütün olarak kontrol edilmektedir. Kaskın her bir bölümü için ayrı bir güç kaynağı ve sürücü devre tasarlanmıştır. Bu bölümler bağımsız olarak ısıtma veya soğutma modunda çalışabilmektedir. Bir taraf soğutulurken bir taraf ısıtılabilir.

### 2.5.2. Anahtarlama güç kaynakları

TE beyin soğutucusunun etkin olarak kullanılması için boyutlarının küçük ve hafif olmasıdır. Bu da, doğrusal güç kaynağı yerine, bir anahtarlama güç kaynağı kullanmakla mümkün olur. Doğrusal regülâtörlü güç kaynaklarına göre anahtarlama tip güç kaynaklarının temel avantajları, verimlerinin yüksek olması, boyutlarının küçük olması, yüksek güçlerde maliyetlerinin düşük olmasıdır. Bunun yanında olumsuzlukları; yüksek gürültü ve dalgalanma oranı, yük değişmelerine yavaş tepki, ekranlama ve özel filtreler kullanım gerekliliği, yapısal olarak daha karmaşık olmasıdır. Doğrusal güç kaynağında, giriş gerilimi transformatör tarafından istenilen seviyeye düşürülür, düşürülen bu gerilim doğrultucu tarafından doğrultulur ve filtre kondansatörüne uygulanır. Şekil 2.18'deki doğrusal gerilim regülâtörünün birinci sakıncası burada oluşur. Bu durumda filtre kondansatörünün depo ettiği enerji, yük akımını beslemek zorundadır ve yük akımı arttığında filtre kondansatörünün değeri de büyütülmelidir. Gerilim regülâtörlerinde, değişik yüklerde çıkış geriliminin sabit kalması istenir, bu da seri ve paralel regülâtörlerle sağlanır. Seri ve paralel kullanılan eleman genellikle değişken bir direnç olan güç transistördür. Transistor devamlı iletimde olacağı için gücün yaklaşık yarısı bu eleman üzerinde ısı şeklinde kaydedilir ve verim %50'lere kadar düşer.

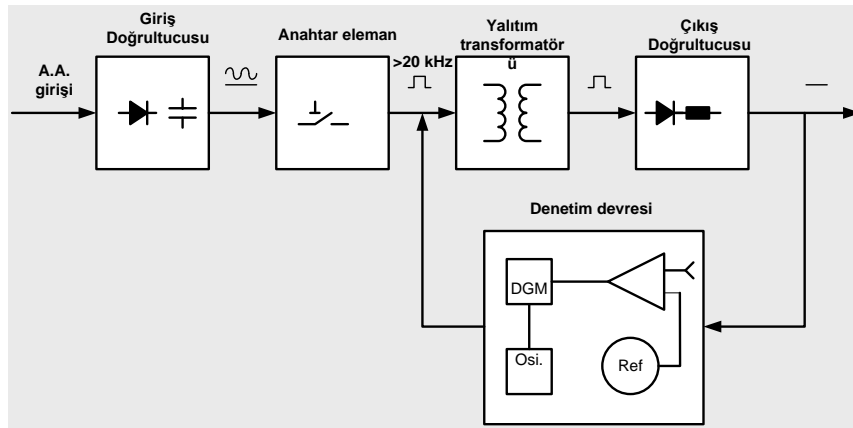


Şekil 2.18. Doğrusal gerilim regülâtörü blok şeması

Diğer bir sakıncada kullanılan transformatörün kaynak frekansında (50Hz) çalışması nedeniyle boyutlarının oldukça büyük olmasıdır. Bütün bu sebepler

doğrusal güç kaynaklarının maliyetini, boyutlarını ve ağırlıklarını arttırmaktadır.

Doğrusal güç kaynaklarının olumsuzluklarını gidermek için ilk defa 1960'lı yıllarda NASA tarafından Anahtarlama Güç Kaynakları (Switched Mode Power Supply-SMPS) geliştirilmiştir. Anahtarlama güç kaynaklarında çıkışın denetlenmesini sağlayan transistor ya iletimde ya da yalıtımda tutulur. Bu sebepten üzerindeki güç kaybı en az düzeyde tutulur ve verim % 90'lara kadar çıkarılır. Gerilimi düşürmek veya azaltmak için kullanılan transformatör yüksek frekansta kullanıldığı için boyutları küçülür. Şekil 2.19'da anahtarlama güç kaynağının blok diyagramı verilmiştir [54-56].



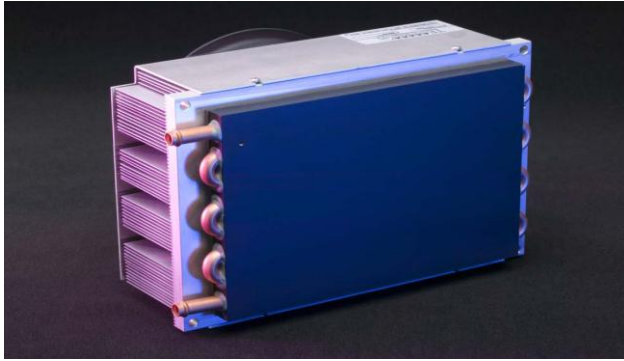
Şekil 2.19. Anahtarlama güç kaynağının blok şeması.

Kask iki bölüm halinde tasarlandı ve her bir termoelement 0,1 volt ve deneysel çalışmalar sonucunda optimum 40 amper akım çekmektedir. Dolayısıyla her bölüm için 3,5 volt 40 amper akım verebilen iki güç kaynağına ihtiyaç vardır.

Anahtarlama modlu güç kaynağı olarak MeanWell firmasına ait güç kaynağı kullanılmıştır. PSP\_600 güç kaynağı 12 volt ve 50 amper çıkışa sahip 600 watt bir güç kaynağıdır. Güç kaynağının çıkışındaki trimpot ile çıkış gerilimi 10 volta düşürülebilmektedir. Kaskı beslemek için bu voltaj değeri 7 volta düşürülmüştür. Tam yükte çalıştırıldığında gerilim düşümleri ile birlikte kaskın bir bölümüne 3,5 volt gerilim uygulanmaktadır.

### 2.5.3. Su Dolaşım Sistemi

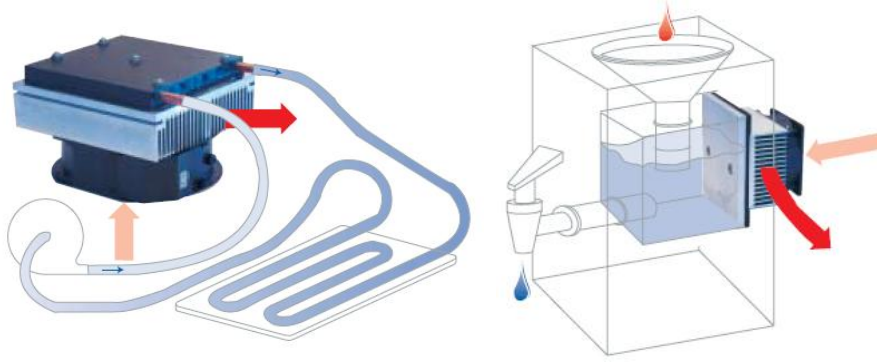
Termoelektrik soğutma sistemlerinde sıcak ve soğuk yüzeyler arasındaki sıcaklık farkının artırılması için sıcak yüzeydeki ısının bir ısı transfer sistemi ile uzaklaştırılması gerekmektedir. Sıcak yüzeydeki ısının sabitlenmesi amacıyla su dolaşım sistemi tasarlanmıştır. Bu amaçla TETECH firması tarafından üretilen LC-200 Liquid Cooler kullanılmıştır (Şekil 2.20). LC 200 su soğutucusu 200 watt soğutma kapasitesine sahiptir. 6 adet termoelektrik modülden oluşan cihaz laboratuvar ölçümlerinde, lazer diyot soğutucularında, medikal ürünlerde, su çevrim sistemlerinde ve sıcaklık banyosu uygulamalarında kullanılmaktadır.



Şekil 2.20. LC 200 su soğutucusu

Medikal uygulamalarda, kompakt yapısı, yüksek yoğunluklu ısı kanalları, 6 termoelektrik modül ile yüksek kapasitesi nedeniyle su dolaşım sistemlerinde tercih edilen bir cihazdır.

Şekil 2.21 TETECH firması tarafından üretilen LC200'ün farklı kullanım alanlarından örnekler göstermektedir. BU çalışmada 3 litrelik paslanmaz çelikten bir su deposu yaptırılmıştır. Depolanan su bir su pompası vasıtasıyla önce LC 200'ün su kanallarından ve daha sonra kasktan dolaştırıldıktan sonra tekrar deponun içerisine geri dönmektedir. Bu şekilde Şekil 2.21'de gösterilen her iki uygulamanın avantajlarından da yararlanılmıştır.



Şekil 2.21. LC 200'ün su devir daim sistemlerinde kullanılması.



Resim 2. 1. Su devir daim sistemi.

### 3. YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ

Yapay zeka için, herkesin üzerinde hem fikir olduğu bir tanım ortaya koymak mümkün değildir. Çünkü yapay zeka, psikolojiden bilgisayar mühendisliğine birçok disiplin ile ilişki halindedir. Standart bir tanım olmamakla birlikte yapılan tanımların ortak yönleri vardır. Yapay zeka bir bilgisayar bilim dalıdır. Yapay zeka bilgi ve davranışa dayalı sistemler oluşturur. Yapay zeka zeki davranışlar üzerine araştırmalar yapar [57].

Zeki davranışların tanımlanması, yapay zekanın tanımlanması için oldukça önemli bir konudur. Dolayısıyla bilgi ve onun işlenmesi sonucu zeki davranışların ortaya çıktığı yapay zekanın kabullerinin temelini teşkil eder. Bununla birlikte zeki davranış ile belirtilmek istenen ise, oluşturulacak sistemlerin aşağıdaki özelliklerden bazılarını sergileyebilmeleri konusunda bilim adamları arasında bir fikir birliği vardır.

- Bilginin organizasyonu
- Algılama
- Çıkarım, muhakeme, problem çözme
- Karar verme
- Teorem ispatlama
- Öğrenme
- Şekil ve resim tanıma
- Doğal dil anlama vs.

Yapay sinir ağları, insanlar tarafından gerçekleştirilmiş, örnekleri (gerçek beyin fonksiyonlarının ürünü olan örnekleri) kullanarak olayları öğrenebilen, çevreden gelen olaylara karşı nasıl tepkiler üreteceğini belirleyebilen bilgisayar sistemleridir [57]. İnsan beyninin fonksiyonel özelliklerine benzer şekilde, öğrenme, ilişkilendirme, sınıflandırma, genelleme, özellik belirleme ve eniyileme gibi konularda başarılı bir şekilde uygulanmaktadırlar. Örneklerden elde ettikleri bilgiler ile kendi deneyimlerini oluşturur ve daha sonra, benzer konularda benzer kararlar verirler.

Yapay zeka programları, problemleri çözerken belirli bir algoritma yerine sembolik ve sezgisel kuralları kullanırlar. Genellikle tam olarak ve matematiksel olarak formülize edilemeyen problemlerin çözülmesinde kullanılırlar. Problemleri çözdükçe tecrübe kazanarak olayları öğrenebilirler. Bu sistemler tamamen bilgiyi kullandıklarından, en fazla o bilgiyi sağlayan şahıs veya şahıslar kadar zeki olabilirler. Geleneksel programlardan en önemli farklılıklarından birisi de bu sistemlerin yanlış yapabilme olasılıklarının olmasıdır. Eğer saklanan bilgi doğru değilse, yanlış bilgiyi kullanarak yanlış çözümler üretmeleri de söz konusu olabilir.

Bu sistemlerin bir diğer özelliği ise, belirsiz, eksik veya tamamı bilinmeyen bilgiler altında da karar verebilmeleridir. Uzman sistemler, yapay zeka biliminin en çok üzerinde çalışılan ve en çok uygulama alanı olan koludur. Günümüzde uzman sistemlerle yapılmış sayısız başarılı uygulama örnekleri vardır. Süreç ve ürün tasarımı, montaj, süreç seçimi, kalite kontrol, süreç planlama, üretim çizelgeleme, üretim kontrolü, stok kontrolü, imalat izleme ve kontrol, imalat benzetimi, robotik uygulamaları, ses işleme, görüntü tanıma, enerji yönetimi, vb, gibi çeşitli alanlarda uygulamalara rastlanmaktadır.

Uzman sistemler, belirli bir alanda sadece o alan ile ilgili bilgilerle donatılmış ve problemlere o alanda uzman bir kişinin getirdiği şekilde çözümler getirebilen bilgisayar programlarıdır. Buradaki zeki davranış, ilgili uzmanın probleme yaklaşırken oluşturduğu çözüm mekanizmasında yatar. Bir uzman sistem genel olarak iki ana elmandan oluşur. Bunlardan birisi bilgi tabanı, diğeri ise çıkarım birimidir. Bilgi tabanı ilgili alan bilgisini içerir. Genel olarak bu bilgiler; EĞER... ÖYLE İSE .... (IF.... THEN.....) şeklinde kurallar halinde toplanır. Bu toplanmış ve hafızada saklanmakta olan bilgileri kullanarak, problemlere çözümler üreten ise çıkarım mekanizmasıdır [56].

Genetik algoritmalar karmaşık eniyileme problemlerinin çözülmesinde kullanılan bir teknolojidir. Bir problemi çözebilmek için öncelikle rastgele başlangıç çözümleri belirlenmektedir. Daha sonra bu çözümler birbirleri ile eşleştirilerek daha iyi çözümler üretilmektedir. Bu şekilde sürekli çözümler

birleştirilerek yeni çözümler aranmaktadır. Bu arama en iyi sonuç üretilinceye kadar devam etmektedir. Genetik algoritmalar ile problemlerin çözülmesinde arzu edilen sonuçları üretecek özelliklerin, kalıtım yolu ile başlangıç çözümlerinden elde edilen yeni çözümlere, onlardan da daha sonraki çözümlere geçtiği kabul edilmektedir.

Termoelektrik beyin soğutucunun kontrolünde yapay zeka tekniklerinden bulanık mantık tercih edildi. Bu yüzden bu yapay zeka tekniği daha kapsamlı olarak ele alınmıştır.

### **3.1.Bulanık Mantık**

Bulanık mantığın ve bu mantık kurallarını kullanan bulanık küme teorisinin Lotfi A. Zadeh tarafından geliştirilip 1965 tarihli orijinal makalesinde yayınlanmasından sonra belirsizlik içeren sistemlerin incelenmesi yeni bir boyut kazanmıştır. 1965'de ortaya atılmasına rağmen, bulanık küme kavramı ancak 1970'li yılların ikinci yarısından sonra kullanılmaya başlanmıştır. Bunda özellikle Zadeh'in 1965'deki ilk makalesinden daha fazla etkili olan ve bulanık mantığın belirsizlik içeren sistemlere uygulanabilirliğini açıklayan makaleleri etkili olmuştur. 1980'li yılların ikinci yarısından sonra Japonların ürünlerinde bulanık mantığı kullanmalarıyla da hız kazanarak, günümüzdeki doruk noktasına gelmiştir. Artık hemen her alanda bulanık mantık uygulamalarına rastlamak mümkündür [58-59].

Bulanık mantık ile klasik mantık arasındaki temel fark bilinen anlamda matematiğin sadece aşırı uç değerlerine izin vermesidir. Klasik matematiksel yöntemlerle karmaşık sistemleri modellemek ve kontrol etmek işte bu yüzden zordur, çünkü veriler tam olmalıdır. Bulanık mantık kişiyi bu zorunluluktan kurtarır ve daha niteliksel bir tanımlama olanağı sağlar. Bir kişi için 38,5 yaşında demektense sadece orta yaşlı demek birçok uygulama için yeterli bir veridir. Böylece azımsanamayacak ölçüde bir bilgi indirgenmesi söz konusu olacak ve matematiksel bir tanımlama yerine daha kolay anlaşılabilen niteliksel bir tanımlama yapılabilecektir. Dilsel (linguistik) değişken



kavramıdır. Dilsel değişken "sıcak" veya "soğuk" gibi kelimeler ve ifadelerle tanımlanabilen değişkenlerdir. Bir dilsel değişkenin değerleri bulanık kümeler ile ifade edilir. Örneğin oda sıcaklığı dilsel değişken için "sıcak", "soğuk" ve "çok sıcak" ifadelerini alabilir. Bu üç ifadenin her biri ayrı ayrı bulanık kümeleri ile modellenir [60-61].

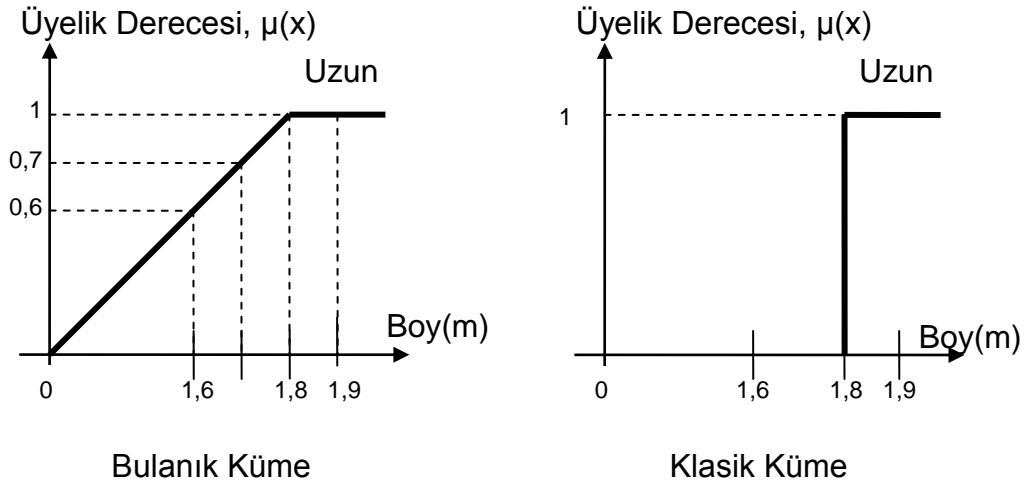
### 3.2.Bulanık Küme Teorisi

Bulanık mantık, adından anlaşılabilceği gibi mantık kurallarının esnek ve bulanık bir şekilde uygulanmasıdır. Klasik (boolean) mantıkta bildiğiniz gibi, "doğru" ve "yanlış" ya da "1" ve "0"lar vardır, oysa bulanık mantıkta, ikisinin arasında bir yerde olan önermeler ve ifadelere izin verilebilir ki, gerçek hayata baktığımızda hemen hemen hiçbir şey kesinlikle doğru veya kesinlikle yanlış değildir. Gerçek hayatta önermeler genelde kısmen doğru veya belli bir olasılıkla doğru şeklinde değerlendirilir. Bulanık mantığa da zaten klasik mantığın gerçek dünya problemleri için yeterli olmadığı durumlar dolayısıyla ihtiyaç duyulmuştur.

Bulanık mantığın sistemi şu şekildedir. Bir ifade tamamen yanlış ise klasik mantıkta olduğu gibi 0 değerindedir, yok eğer tamamen doğru ise 1 değerindedir. (Ancak bulanık mantık uygulamalarının çoğu bir ifadenin 0 veya 1 değerini almasına izin vermezler veya sadece çok özel durumlarda izin verirler.) Bunların dışında tüm ifadeler 0'dan büyük 1'den küçük reel değerler alırlar. Yani değeri 0,32 olan bir ifadenin anlamı % 32 doğru % 68 yanlış demektir.

Örneğin "Uzun boylu kime denir?" sorusuna cevap verecek olan bir UZUN alt kümesini her iki mantığa göre tanımlayalım. Şekil 3.1'de de görüldüğü gibi klasik küme mantığına göre 160 cm. boyundaki bir kişi uzun boylu insanlar kümesi içinde değildir. Hatta 169 cm. boyundaki bir kişi uzun boylu insanlar kümesi içinde değildir. Oysa bulanık mantığa göre 160 cm. boyundaki kişiye kısa denilmez. Çünkü kısmen de olsa uzun boylu insanlar kümesi içindedir. Bulanık mantıkta 160 cm boyundaki biri 0,6 üyelik derecesiyle, 170 cm.

boyundaki biri 0,7 üyelik derecesiyle, 180 cm. boyundaki biri de 1,0 üyelik derecesiyle uzun boylu olabilir.



Şekil 3.1. Bulanık küme ile klasik kümenin karşılaştırılması

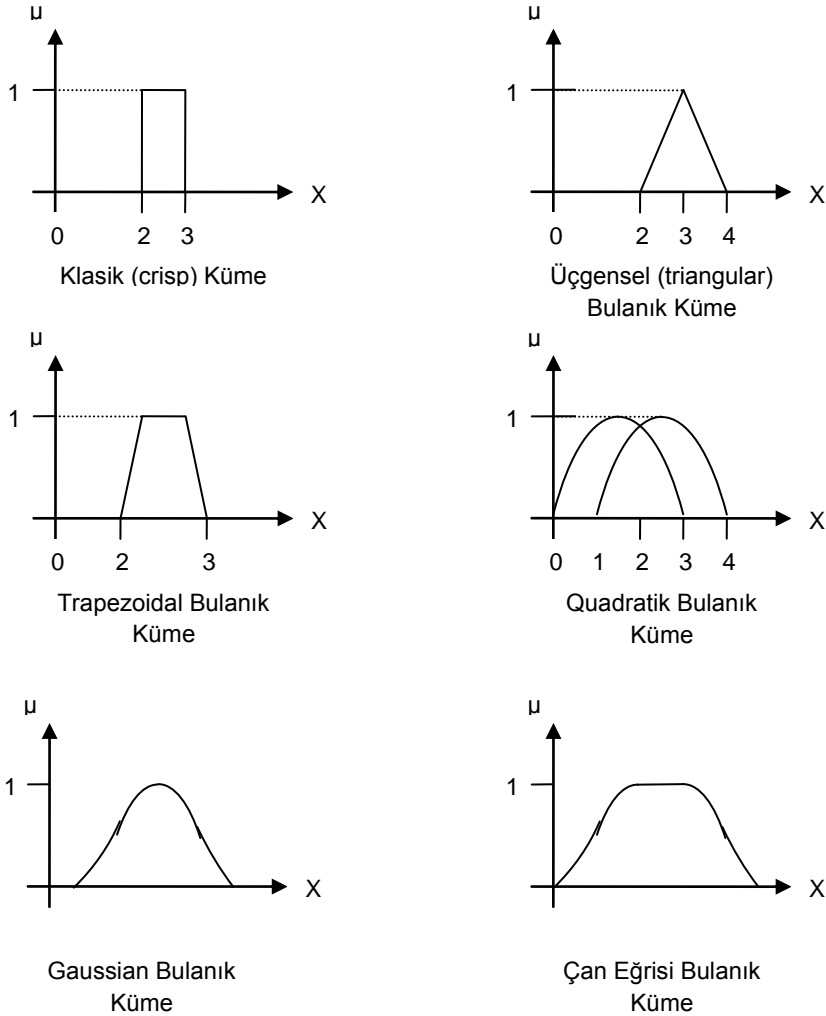
Bunun gibi bir insanın uzun boylu olması, bulanık küme mantığında derecelerine ayrılabilir. Büyük üyelik dereceleri az bulanık kabul edilirken, küçük üyelik dereceleri daha bulanık olarak kabul edilir.

### 3.2.1. Üyelik fonksiyonları

Uygulamaların birçoğunda üyelik fonksiyonu, örnekte verilen UZUN gibi basit bir şekilde olmayacaktır. Üyelik fonksiyonlarının alabileceği muhtemel temel şekiller Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Konuşma dilinde kullanılan her bir nitelikli tanımlamalar bir üyelik fonksiyonu olarak yazılırlar. Her noktada ve uygulanan sınırlarda üyelik sınıfları belirlenir. Bulanık mantıkta, dilsel ifade kolaylığı sağlayacak bölgelerin sınırlarını belirtmede ve algılayıcı bilgilerine (gerçek bilgiler) ait üyelik ağırlıklarının tespit edilmesinde kullanılmak üzere uygun üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi gerekir.

Üyelik fonksiyonları, sistem parametrelerini tanımlar. Üyelik fonksiyonlarının sayısına ve şekline ait hiçbir kısıtlama yoktur. Tamamıyla tasarımcının istek ve tecrübesine bağlıdır. Bu zamana kadar olan çalışmalarda en çok üçgen, yamuk, çan eğrisi şeklinde üyelik fonksiyonları kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 3.2. Farklı tipteki üyelik fonksiyonları.

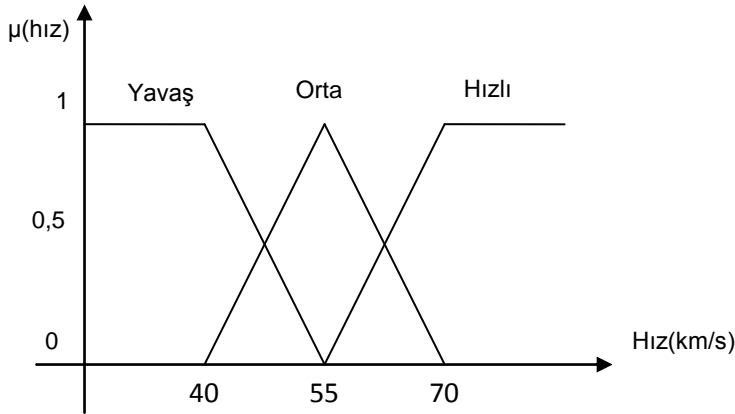
### 3.2.2. Dilsel Değişkenler

Bulanık mantığı oluşturan temel yapı taşlarından biri de dilsel değişkenlerdir. Dilsel bir değişken hem değeri bulanık bir sayı olan bir değişken hem de değerleri dilsel terimlerle tanımlanan bir değişken olarak kabul edilir. Örneğin,

hız bir dilsel değişken gibi gösterilirse, bu durumda  $T(\text{hız})$  terim kümesi şöyle olabilir;

$T(\text{hız}) = \{\text{yavaş, orta (makul), hızlı, çok yavaş, çok veya az hızlı, ...}\}$

Burada  $T(\text{hız})$ 'daki her terim  $U = [0, 100]$  örnek uzayındaki bulanık küme ile karakterize edilir. Burada "yavaş" 40 km/h' in altında bir hız, "orta" terimini 55 km/h'e yakın bir hız, "hızlı" ise 70 km/h'den fazla bir hız olarak tanımlayabiliriz. Bu terimlerin üyelik fonksiyonu Şekil 3.3'de gösterilen bulanık küme olarak karakterize edebiliriz.



Şekil 3.3. Hız değerlerine ait dilsel değişkenlerin bulanık kümedeki gösterimi.

Bu örnekte de görüldüğü gibi, tanımlar tamamıyla insanların söylemlerine göre geliştirilmiştir. Bu tanımlara ise dilsel terimler denir ve bir dilsel değişkenin muhtemel değerlerini sergilerler. Dilsel değişkenler, gerçek değerleri dilsel değerlere dönüştürürler. Bunların işlevsel olarak elde edilmesi ve uygulama aşamasına getirilmeleri büyük ölçüde sistemde daha önce elde edilmiş deneyimlere bağlıdır ve bu deneyimlere dayalı olarak kurulan sistemlere ise uzman sistem adı verilmektedir.

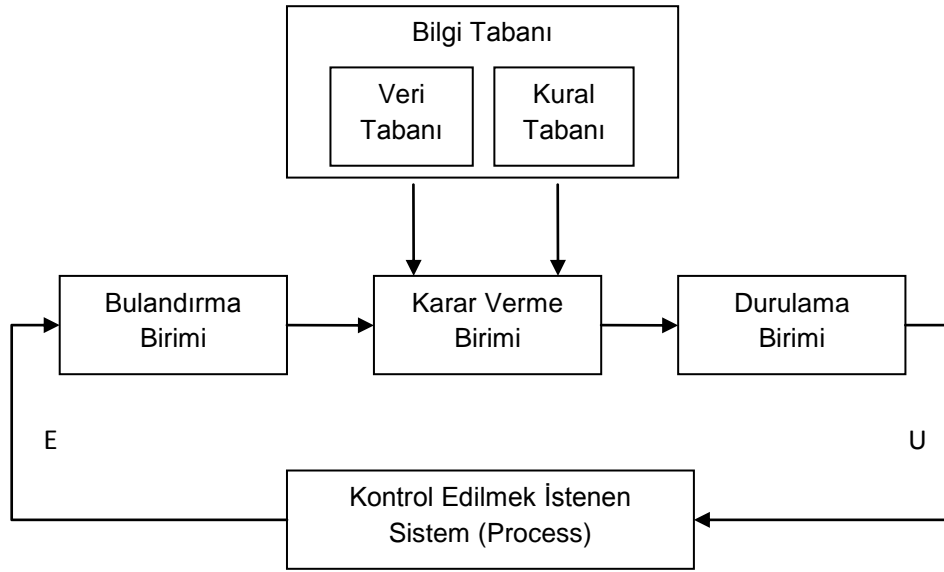
### 3.3. Bulanık Mantık Denetleyicinin Genel Yapısı

Bulanık mantık denetleyiciler son yıllarda kontrol uygulamalarında gittikçe artarak yoğun bir şekilde kullanılmakta ve başarılı sonuçlar alınmaktadır. A.Lütfi ZADEH tarafından 1965 yılında ortaya atılmasından [57] bu yana bulanık mantık denetleyiciler ekonomi, yönetim, tıp ve işlem kontrol sistemlerinde başta olmak üzere birçok alanda uygulanmıştır [62-63]. Bulanık mantık denetleyici bir uzman kişinin bilgi ve tecrübelerinden yararlanılarak oluşturulur. Böylece uzman operatör dilsel niteleyiciler olarak bilinen; çok artır, biraz artır, çok fazla, çok az... gibi günlük hayatta sıkça kullandığımız kelimeler doğrultusunda esnek bir kontrol metodu geliştirilebilir.

Bulanık mantık denetleyicinin temeli bu tür sözlü ifadeler ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler üzerine kurulmuştur [51]. Bulanık mantık insanın düşünüş yapısına ve dilsel ifadelerine geleneksel mantık sistemlerinden daha çok benzemektedir. Bulanık mantık denetleyici uzman bilgilerine dayanan dilsel ifadeler kullanarak kontrol işlemini yapmaktadır. Bulanık mantık denetleyici geliştirmek matematiksel ifadeler gerekmediği için kolaydır. Bu yüzden bulanık mantık denetleyici modellenemeyen veya doğrusal olmayan karmaşık sistemlerde kolaylıkla uygulanabilmektedir [64,65]. Bulanık mantık denetleyici sayısal bilgileri dilsel ifadelere dönüştürme, karar sistemi için dilsel çıkarım ve sayısal kontrol bilgisi için dilsel sonuçları sayısal sonuçlara dönüştürme olmak üzere üç ana özelliğe sahiptir [65-66].

Bulanık mantık denetleyicinin yapısı (BMD, Fuzzy Logic Controller-FLC) temel olarak Şekil 3.4'de gösterildiği gibidir. Şekil 3.4'de görüldüğü gibi bulanık mantık denetleyici dört temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar; Bulandırma birimi, bilgi tabanı, karar verme ve durulama birimleridir.

Sistem deüişkenleri, denetlenen sistemden ölçülen E giriş deüişkeni ile sistem denetimi için kullanılan ve bulanık mantık denetleyici tarafından üretilen U çıkış deüişkenidir.



Şekil 3.4. Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı.

Bulandırma, sistemden alınan denetim giriş bilgilerini dilsel niteliyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işlemidir. Üyelik işlevinden faydalanılarak giriş bilgilerinin ait olduğu bulanık kümeyi ve üyelik derecesini tespit edip, girilen sayısal değere dilsel değişkenler atar. Sistemin verimli çalışmasını sağlamak amacıyla değişik şekillerde bulanık kümeler seçilir.

### 3.3.2.Bilgi tabanı

Karar verme biriminin kural tabanında kullandığı bilgileri aldığı veri tabanı (data base) ve denetim amaçlarına uygun dilsel denetim kurallarının olduğu kural tabanı (rule base) olmak üzere iki kısma ayrılır. Genel olarak uygulama dönemindeki bilgilerden ve denetim amaçlarından oluşur. Dilsel denetim kurallarının tanımlanmasında ve BMD'deki bulanık bilgi işleme süresince yararlanır. Kurallar kümesi denetim amaçlarını ve denetim stratejisini belirler.

### 3.3.3.Karar verme birimi

Bulanık mantık denetleyici (BMD) 'nin esasıdır. Bulanık kavramlara dayanan insani karar vermeyi simüle etme ve bulanık kapalı ifade ile işlem yapan bulanık kontrol faaliyetlerinde çıkarsama yapma kabiliyetine sahiptir. Burada birçok bulanık gerçekleştirme yapılır. Yani insan beyninin bir benzetimi yapılmaya çalışılır.

Bulandırma işlemi ile sayısal değerlerden, sembolik değerler çıkarılmıştır. Bulanık denetimde ise denetimi yapılan sistemi kullanan uzman operatörün kullandığı dilsel niteleyiciler ve kurallar kullanılarak sembolik sonuç elde edilir. Bulanık mantık denetiminin beyni bulanık çıkarımdır. Burada veri tabanı ve karar verme mantığı kullanılmaktadır. Veri tabanı bulanık kümelerin giriş-çıkış değişkenleri ile üyelik işlevini, kural tabanı ise bulanık kural cümlelerini içerir. Bulanık çıkarım için çok farklı yapılar mevcuttur. Bu tezde en çok kullanılan üç yapı incelenmiştir.

#### Mamdani tip

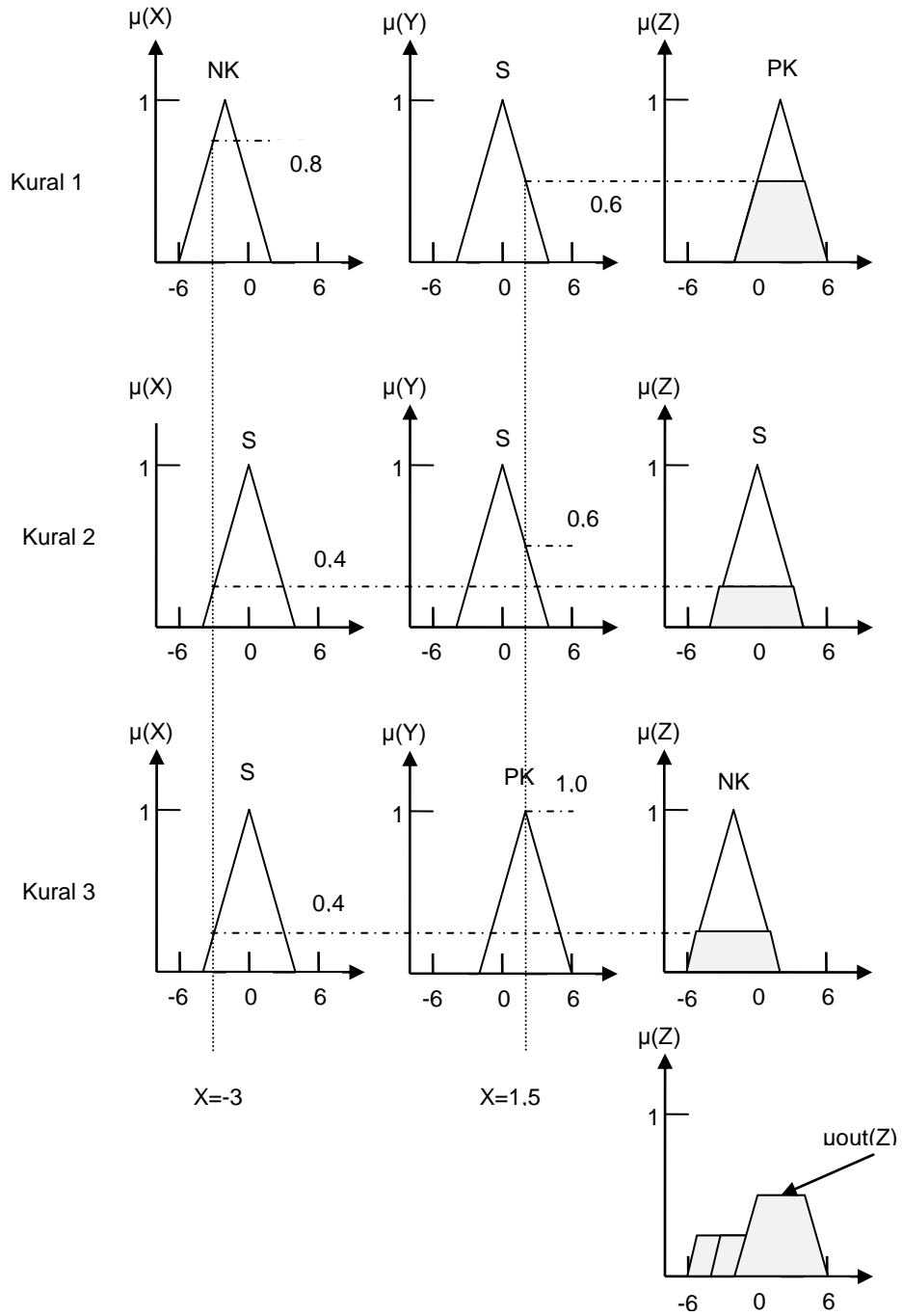
Mamdani bulanık mantık kontrol sistemlerinde kullanılan en yaygın metotlardan biridir. Bir bulanık sistemde 3 adet kural aşağıdaki gibi tanımlı olduğunu varsayalım.

Kural 1: Eğer X negatif küçük (NK) ve Y sıfır (S) ise Z pozitif küçük (PK)'dir.

Kural 2: Eğer X sıfır (S) ve Y sıfır (S) ise Z sıfır (S)'dir.

Kural 3: Eğer X sıfır (S) ve Y sıfır (S) ise Z sıfır (S)'dir.

Burada X ve Y giriş değişkenleri Z ise çıkış değişkenidir. NK, S ve PK tanımlanan bulanık kümelerdir. Şekil 3.5  $X=-3$  ve  $Y=-1,5$  için mamdani metodu ile yapılan bulanık çıkarımı göstermektedir. Tüm kurallarda "VE" operatörü kullanılmıştır. Kural 1'in çıkış üyelik derecesi eşitlik 3.1'deki gibi bulunur.



Şekil 3.5. Mamdani metot kullanılan 3 kurallı bulanık çıkarım sistemi.

$$DOF1 = \mu_{NK}(X) \wedge \mu_S(Y) = 0,8 \wedge 0,6 = 0,6 \quad (3.1)$$

Burada  $\wedge$  minimum işlemi ve  $\mu_{NK}(X)$  ve  $\mu_S(Y)$  X ve Y giriş değişkenlerinin üyelik dereceleridir. Kural 1'in çıkışı "PK" olarak tespit edilmiştir. Benzer bir işlem kural 2 ve 3 içinde yazılabilir.



$$\text{DOF2}=\mu_S(X) \wedge \mu_S(Y)=0,4 \wedge 0,6=0,4 \quad (3.2)$$

$$\text{DOF3}=\mu_S(X) \wedge \mu_{PK}(Y)=0,4 \wedge 1,0=0,4 \quad (3.3)$$

Karşılık gelen bulanık çıkışlar sırasıyla “S” ve “NK”dır. Toplam bulanık çıkış değeri ise “OR” operatörüyle bağlanmıştır ve eşitlik 3.4’deki gibi elde edilir.

$$\mu_{out}(Z)=\mu_{PK}(Z) \vee \mu_S(Z) \vee \mu_{NK}(Z) \quad (3.4)$$

#### Lusing Larson tip

Bu metot Şekil 3.6’da gösterildiği gibi çıkış üyelik fonksiyonları tepesini kesmek yerine tepe noktasına göre ölçeklendirilir. Bu durumda  $X = -3$  ve  $Y = 1,5$  için aynı 3 kural aynı şekilde işletilir ve çıkışlar tepe noktalarına göre belirlenir. Toplam çıkış üyeliği eşitlik 3.4 ile elde edilir.

#### Sugeno tip

Sugeno veya Takagi-Sugeno-Kang çıkarım metodu ilk 1985’te geliştirildi. Mamdani ve Lusing Larson metotlarından farkı çıkış üyelik fonksiyonlarının girişlerle ilişkisinin lineer veya sabit olmasıdır. Sabit çıkış üyelik fonksiyonları sıfır derece Sugeno metot olarak bilinirken, lineer ilişki söz konusu olduğunda birinci derece Sugeno metot olarak adlandırılır. Şekil 3.7 sıfır derece Sugeno metot kullanılan 3 kurallı sistemi göstermektedir.

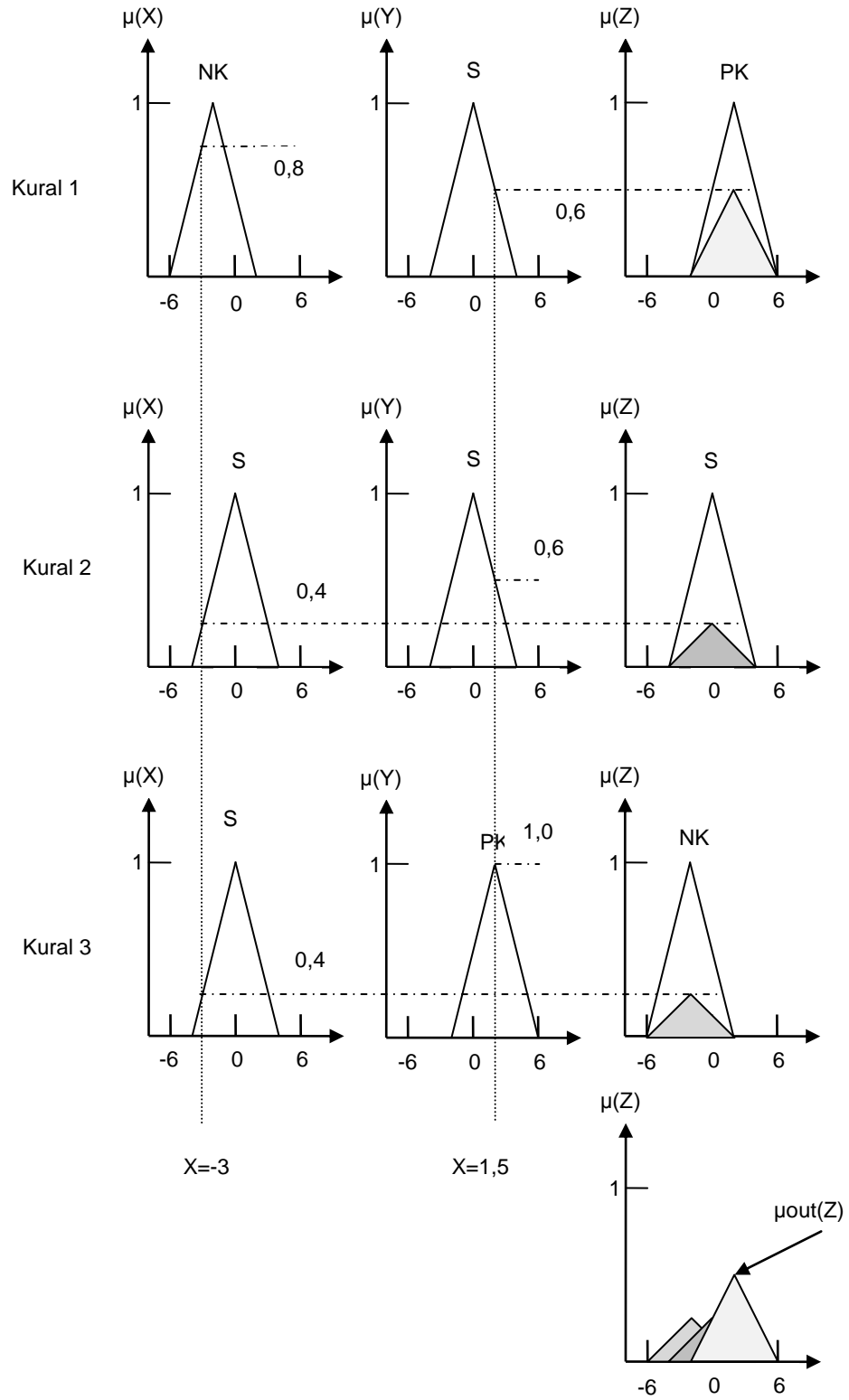
Burada kurallar aşağıdaki gibi tanımlanır.

Kural 1: Eğer X negatif küçük (NK) ve Y sıfır (S) ise  $Z = K_1$ .

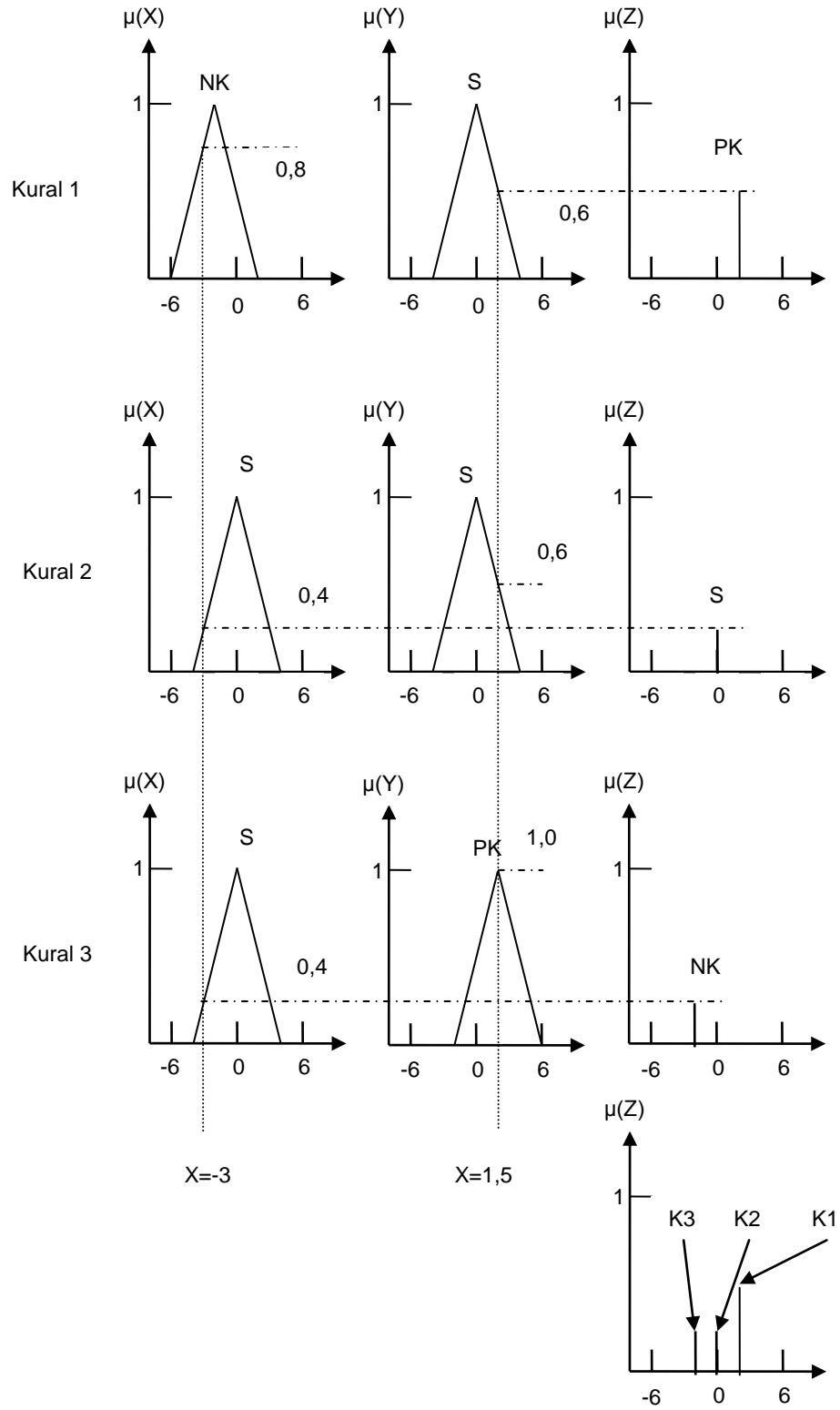
Kural 2: Eğer X sıfır (S) ve Y sıfır (S) ise  $Z = K_2$ .

Kural 3: Eğer X sıfır (S) ve Y sıfır (S) ise  $Z = K_3$ .

$K_1$ ,  $K_2$  ve  $K_3$  sabitleri ayrıık olarak tanımlanmış sabitlerdir. Her bir kurala göre tanımlanmış ayrıık bir sabit söz konusudur.



Şekil 3.6. Lusing Larson metot kullanılan 3 kurallı bulanık çıkarım sistemi.



Şekil 3.7. Sıfır derece Sugeno metot kullanan 3 kurallı bulanık çıkarım sistemi.

### 3.3.4.Durulama Birimi

Bulanık çıkarımın sonucu bulanık bir kümedir. Bu sonucun tekrar sisteme uygulanması giriş değeri gibi sayısal değere dönüştürülmesi gerekir. Bu işlem durulama olarak adlandırılır. Durulama birimi karar verme biriminden gelen bulanık bir bilgiden bulanık olmayan ve uygulamada kullanılacak gerçek değerlerin elde edilmesini sağlar.

Çıkarım ünitesi bulanıklaştırma arabiriminden gelen bulanık girişleri kural tabanındaki kurallar altında değerlendirir ve bulanık çıkış değerlerini oluşturur. Bu bulanık değerler kontrol edilecek sisteme verilmeden önce durulama arabiriminde ölçeklenir ve gerçek sayılara dönüştürülür. Yani

$$Z_o = \text{Durulama (Z)} \quad (3.5)$$

Burada  $Z_o$  bulanık olmayan bir kontrol çıkışı ve netleştirici, bir durulama operatörüdür. Bu tezde en çok kullanılan durulama yöntemleri incelenmiştir.

#### Maksimum üyelik yöntemi

Bulanık küme içinde en büyük değere sahip eleman “kesin değer” olarak alınır(Şekil 3.8). Fakat birden fazla maksimum değeri olması halinde bu algoritma ile karar vermek oldukça güçleşir. Ayrıca konveks olmayan bulanık kümelerde yanlış sonuçlar çıkabilmektedir.

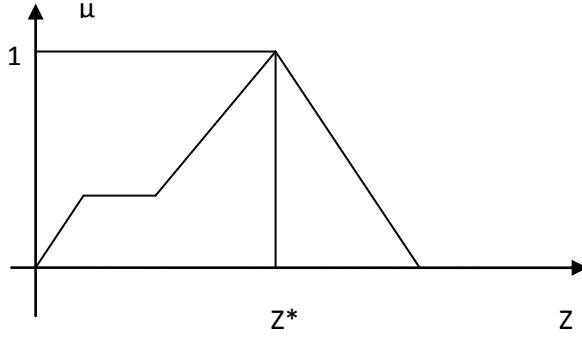
$$\mu_A(z^*) \geq \mu_A(z) \quad (3.6)$$

#### Ağırlık ortalamasını yöntemi

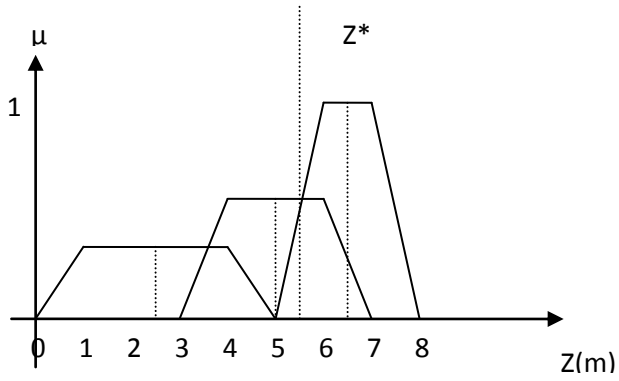
Birden fazla maksimum noktası olması halinde çözüm üreten bir yöntemdir. Maksimum değerlerin ortalaması “kesin değer” olarak alınır. Bu netleştirme metodunda;

$$Z^* = \sum_{j=1}^n \frac{Z_j}{n} \quad (3.7)$$

Formülünden yararlanılır. Şekil 3.9'da gösterildiği gibi bulanık çıkış kümelerinin ağırlık ortalaması metoduna göre netleştirilmiş çıkış değerleri grafiksel olarak gösterilmiştir.



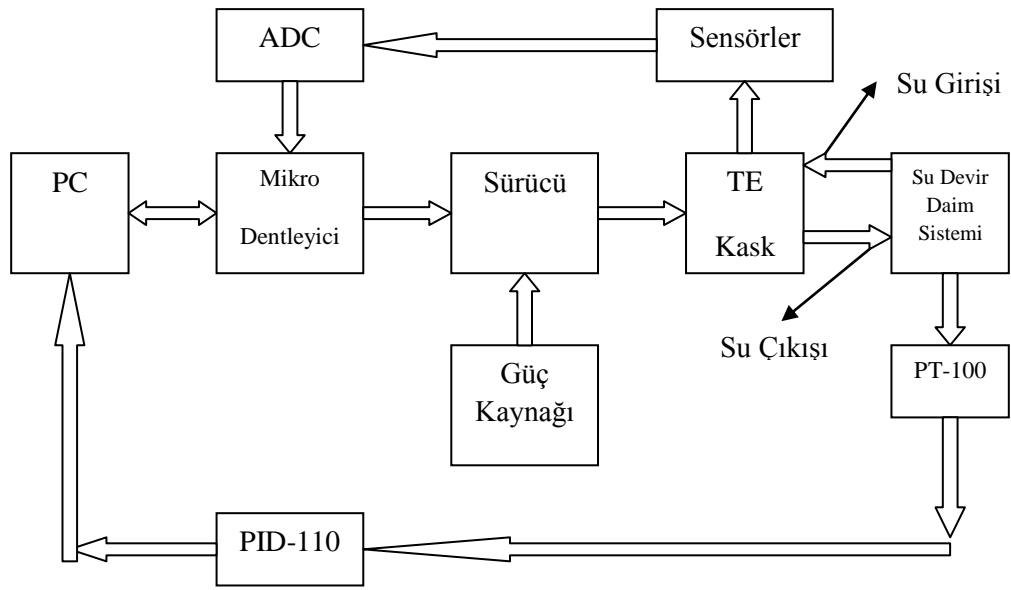
Şekil 3.8. Maksimum üyelik yöntemi grafiği.



Şekil 3.9. Ağırlık ortalamasını alma yöntemi.

#### 4. MATERYAL VE METOT

Termoelektrik beyin soğutucusu birçok devre ve yazılımdan meydana gelmektedir. Termoelektrik beyin soğutucusunun blok diyagramı Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Sistemin blok diyagramı

Tasarlanan TE beyin soğutucu başlık, RS232 veya USB portu kullanılarak bir PC ile kontrol edilmektedir. PC vasıtasıyla çıkış limitleri, alarm değerleri ve parametreler girilebilmektedir. PC aynı zamanda ölçülen ve hesaplanan değişkenleri bir veri tabanına kaydetme, online olarak izleyebilme ve grafiksel olarak değerlendirme imkanı tanımaktadır. Ayrıca kolay parametre girme ve kumanda imkanı sağlamaktadır. TE başlığa uygulanan akım, PWM sinyalinin görev süresi değiştirilerek hem ısıtma hem de soğutma modunda sürekli olarak ayarlanmaktadır. PWM sinyallerini üretmek ve sıcaklık akım ve gerilim gibi değişkenleri ölçüp PC'ye iletmek üzere bir mikrodenetleyici kullanılmaktadır. PC ölçülen ve set edilen değerlere göre gerekli

hesaplamaları yaparak PWM görev süresini mikrodenetleyiciye gönderip sinyalin üretilmesini sağlamaktadır.

Sistem temelde TE beyin soğutucusunun iç yüzey sıcaklığını ayarlamaktadır. TE beyin soğutucusun dış yüzeyi sıcaklığı, su dolaşım sistemi tarafından iklimlendirilen su dolaştırılarak sabitlenmektedir. Su dolaşım sisteminin sıcaklık kontrolü bağımsız olarak PID 110 sıcaklık kontrol cihazı tarafından yapılmaktadır. Sıcaklıklar PIC 18F4520 mikrodenetleyici kullanılarak 10 bit çözünürlükte elde edilip bilgisayara aktarılmaktadır. Kaskın sol ve sağ tarafları için ayrı kontrol devreleri tasarlanmıştır. IGBT modüllerle tasarlanan tam köprü sürücü devrelerinin girişine 7 volt 50 amper anahtarlama güç kaynağı bağlanmıştır. Tam köprü sürücü devresi darbe genişlik modülasyonlu işaretin görev süresi ile kontrol edilmektedir. PC üzerinde visual basic programlama dili ile yazılan bir program ölçülen ve ayarlanan değer arasındaki farka göre bir PWM görev süresi hesaplar. 4 adet PWM çıkışına sahip PIC 18F4520 mikrodenetleyicisini kullanarak gerekli PWM sinyalleri sürücü devresine uygulanır.

TE beyin soğutucusunun beslenmesinde daha kaliteli bir çıkış verebilen SMPS modlu güç kaynakları kullanılmaktadır. Sürücü devresinde ise dört adet IGBT'den oluşan tam köprü devreleri oluşturulmuştur. IGBT'ler BJT ve MOSFET'lerin avantajlarını içerdiği için tercih edilmiştir.

TE beyin soğutucusu 70 adet esnek termoelektrik modülün termal olarak paralel elektriksel olarak seri bağlanmasıyla motosiklet kaskı şeklinde tasarlanmıştır. Kask iki parçadan meydana gelmektedir. Her bir tarafta 35 adet esnek termoelement bulunmaktadır. İstenildiğinde kask tek parça halinde de kullanılabilir. İç yüzeyi ısı iletkenliği yüksek elektriksel iletkenliği düşük bir malzeme ile kaplanmıştır. Dış yüzeyleri ise su dolaşım sistemi tarafından dolaştırılan su için su kanalları ile donatılmıştır. Esnek termoelektrik modüllerin yapısından dolayı insan kafasına kolayca adapte edilebilmektedir. PC kontrol yazılımında TE beyin soğutucusuna uygulanacak olan akımı ayarlamak için bulanık mantık kullanılmaktadır. Yazılım aynı

zamanda istenilen aralıklarda TE beyin soğutucusuna uygulanan akım, gerilim değerlerini ve su dolaşım sistemi tarafından dolaştırılan suyun, TE beyin soğutucusunun iç ve dış sıcaklık değerlerini veri tabanına kayıt etmektedir. Bu değerleri ise online olarak ekranda göstermektedir.

#### **4.1. Tasarlanan Devreler**

##### **4.1.1. Sıcaklık, akım ve gerilim ölçüm devresi**

Tasarlanan cihazda en önemli bölümlerden birisi sıcaklık ölçüm birimidir. Termoelektrik beyin soğutucusunun girişi akım ve gerilim iken çıkışı parametresi sıcaklıktır. Termoelektrik sistemlerde modülün sıcak ve soğuk yüzeylerindeki sıcaklıkların düzgün bir şekilde ölçülmesi önemlidir. Cihazımızda sıcak taraf sıcaklığını sabitlemek için kapalı su çevrim sistemi kullanılmaktadır. Bu nedenle su sıcaklığı ölçüldüğünde sıcak taraf sıcaklığı da ölçülmüş olmaktadır. Tasarlanmış olan kaskın her bölümüne su paralel olarak girip paralel olarak çıkmaktadır. Her bölümün dış yüzey sıcaklığı aynı olmasına rağmen fizyolojik yapıdan dolayı iç yüzey sıcaklıkları farklı olabilmektedir. Bu nedenle dört farklı noktada sıcaklıklar ölçülmektedir.

Sıcaklık ölçümleri giderek artan oranda önemli bir konu haline gelmiştir. Sıcaklık tamamen fizik ile ilgili temel bir konudur. Çok çeşitli fiziksel özellikleri etkileyen bir parametre olması nedeniyle ölçülmesi gereken önemli bir değişkendir. Sıcaklık ölçümü için çok çeşitli yöntemler vardır. Bunlar içinde elektronik dünyasının en çok kullandığı sensörlerden birisi termokupldur. Termokupllar kullanılarak -200 °C'den 2320 °C'ye kadar ölçüm yapılabilir. En çok kullanılan temel metal termokupl tipleri E, J, K ve T tipleridir. Bunlardan J ve K en kullanışlı olanlarıdır. Bunların emk çıkışları yüksektir, K tipi aşınma ve çürümeye karşı oldukça dirençlidir. T tipinin az bir avantajı vardır, sıcaklık ölçme noktalarının cihazlardan uzak olduğu yerlerde, bağlantı sağlayan iletken bakır ise devrenin toplam direnci diğer tiplerden daha düşük olabilir [67-69].



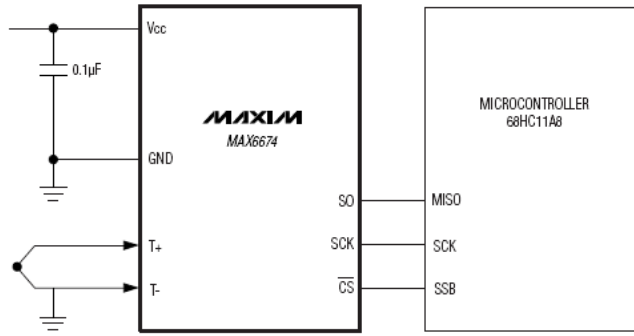
Termokupl olarak K Tipi yüzey temaslı sıcaklık probu kullanılmıştır. Bu prob aynı zamanda hava, sıvı ve gaz maddelerin sıcaklık ölçümlerinde kullanılmaktadır. Beş adet TPK-01 model termokupl kullanılmıştır (Şekil 4.2).



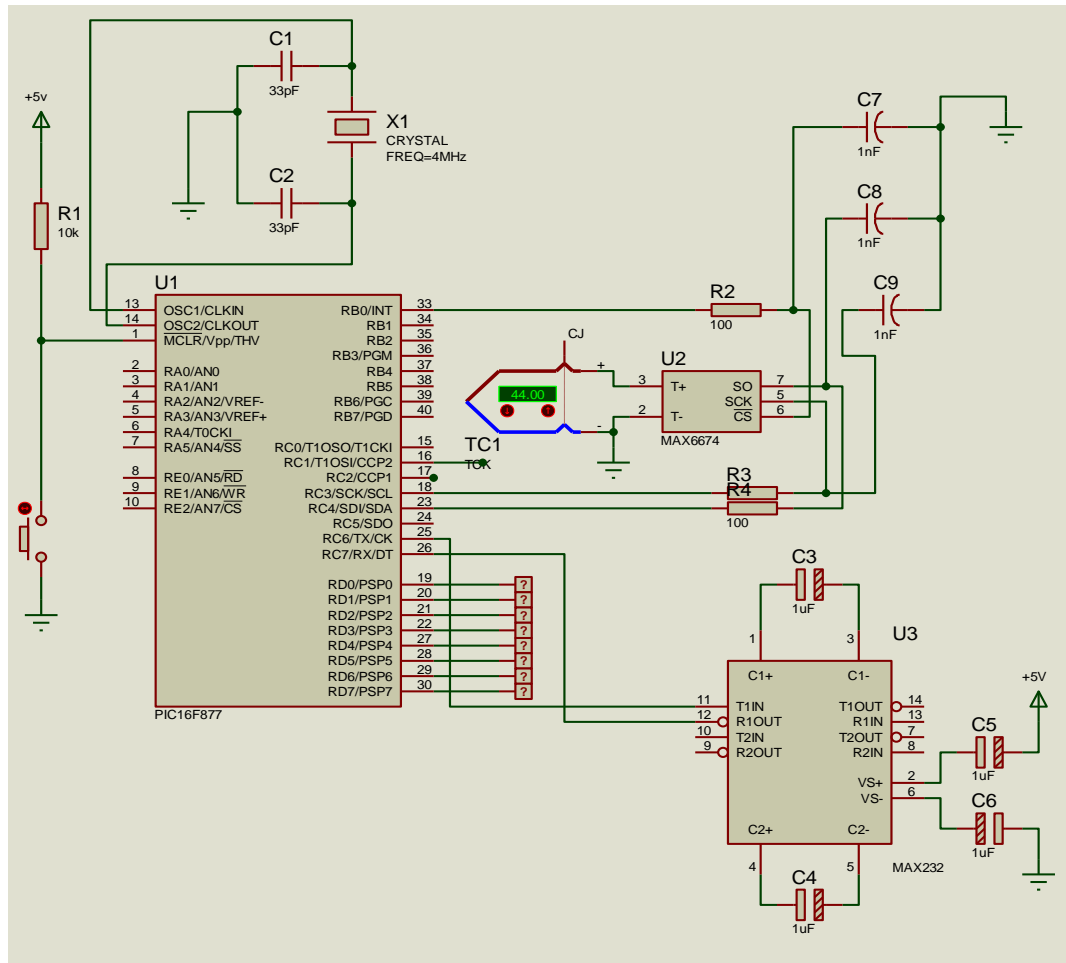
Şekil 4.2. K tipi direkt temaslı sıcaklık probu

Bu projede sıcaklıkları ölçmek için soğuk nokta kompanzasyonlu termokupl-dijital dönüştürücü entegresi olan MAX6674 kullanıldı. MAX6674 K tipi termokupl çıkışlarını 10 bit çözünürlükle sıcaklığa çevirebilen bir entegredir. Bu entegre ile  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve  $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$  arasındaki sıcaklıklar  $0,125\text{ }^{\circ}\text{C}$  aralıklarla ve % 99 doğruluk ile ölçülebilmektedir. MAX6674 termokupl voltajını dijital formata çevirir. Beş noktada  $5 \times 0,15 = 0,75$  saniye zaman almaktadır. Bu dijital format seri arabirim vasıtasıyla mikrodenetleyiciye alınır. ADC portu kullanılarak sıcaklık bilgisinin okunup seri port kullanılarak bilgisayara aktarılması  $100\text{ }\mu\text{s}$  civarındadır. 5 noktada sıcaklık ölçümü yapıldığından  $500\text{ }\mu\text{s}$ 'de sıcaklık bilgileri bilgisayara aktarılmış olacaktır. Akım ve gerilim bilgileri ile beraber  $700\text{ }\mu\text{s}$  bir zaman gerekmektedir. Bu bilgilerin bilgisayarda hazırlanan yazılım tarafından değerlendirilip PWM görev süresinin hesaplanarak PIC'e aktarılması ise  $200\text{ ms}$  gibi bir zaman gerekmektedir. Sıcaklığa göre akımın ayarlanması  $0,25$  saniye zaman gerektirmektedir. Toplamda ise  $1$  saniye civarında bir değişim hızına sahiptir. Şekil 4.3'de tipik bir uygulama devresi gösterilmektedir. Bu tezde mikrodenetleyici olarak PIC18F4520 entegresi kullanıldı. PIC18F4520, uygulama geliştirme açısından diğer mikrodenetleyicilerden farkı, H-köprü yönteminde kullanılması için 4 tane PWM çıkışının olması ve PIC çıkışlarını kendisine verilen komutlar sayesinde ayarlamasıdır. 5 adet MAX6674 entegre çıkışı mikrodenetleyici girişlerine uygulanarak mikrodenetleyici içerisine yazılan yazılım ile sıcaklık bilgisine çevrilmektedir. Uygulama devresi Şekil 4.4'de gösterilmektedir.

Bu entegre ile sıcaklıkların algılanması ve PWM sinyalinin üretilmesi için hazırlanan ve PIC 18F4520 mikrodenetleyicisine CCS C dili ile yazılan yazılım Ek-1'de verilmiştir.

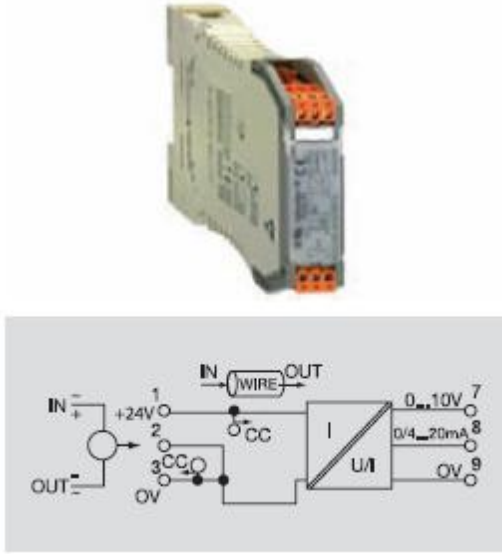


Şekil 4.3. Tipik uygulama devresi.



Şekil 4.4. Uygulama devresi.

Termoelektrik beyin soğutucuya uygulanan akım ve gerilim değerlerini ölçmek için Hall-Effect etkisiyle akım ve gerilim ölçme özelliğine sahip Weidmuller firmasına ait akım ve gerilim izleme modülleri kullanılmıştır. Kullanılan akım izleme modülü Şekil 4.5'de gösterilmektedir.

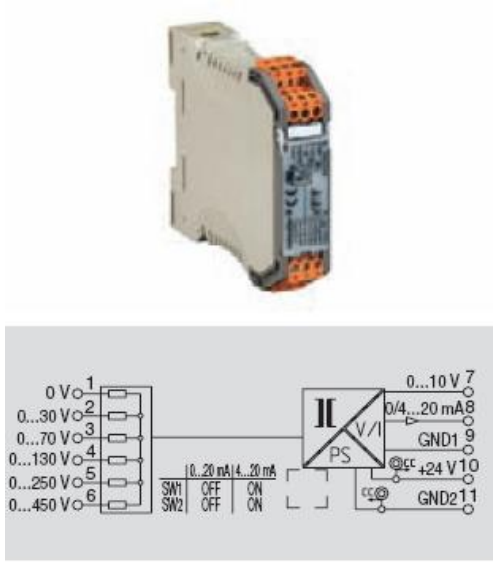


Şekil 4.5. Akım izleme modülü ve bağlantı şeması.

Bu modül 24 VDA ile beslenmekte olup akım ölçmek için kullanılan iki adet çıkışı vardır. 60 ampere kadar AA ve DA ölçebilmektedir. Çıkış istenirse 0-10 volt olarak istenirse 0-20ma çıkışlarından alınabilmektedir. Bu çıkışlardan voltaj çıkışı ölçüm sisteminde kullanılan PIC mikrodenetleyicisine uygulanarak voltaja dönüştürülmüştür.

Voltaj izleme modülü de akım izleme modülünde olduğu gibi iki adet çıkışa sahiptir. Uygulamada 0-10 volt çıkışı kullanılmıştır. Voltaj izleme modülü ve bağlantı şeması Şekil 4.6'da gösterilmektedir.

Akım ve gerilim değerleri mikrodenetleyicinin ADC portuna uygulanarak alınmaktadır. Ek-1'de verilen yazılım aynı zamanda akım ve gerilim değerlerini algılamak içinde kullanılmaktadır.



Şekil 4.6. Voltaj izleme modülü ve bağlantı şeması.

#### 4.1.2. Su dolaşım sistemi kontrol devresi

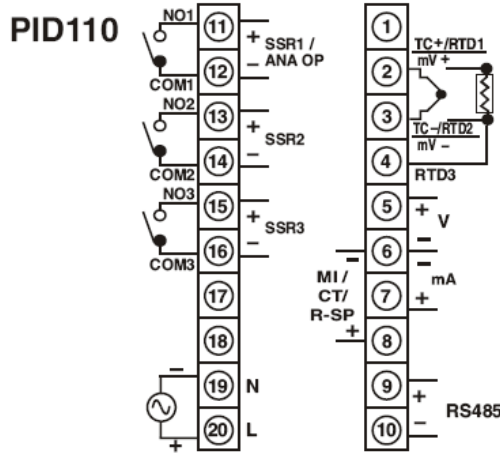
LC 200 Liquid Cooler 24 VDA ve 16,8 amper akım çekmektedir. Bunun için Meanwell firmasına ait 24 VDA ve 20 amper çıkış gücüne sahip anahtarlama güç kaynağı alınmıştır. Kontrol cihazı olarak ise PID 110 marka sıcaklık kontrol cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.7. PID 110 Sıcaklık Kontrol Cihazı

PID 110 sıcaklık kontrolörünün iki adet çıkış rölesi vardır. Çıkış röleleri termoelektrik su soğutucusunu beslemek için yeterli değildir. Çünkü LC-200 Su soğutucusu 24 VDA ve 16,8 A girişe sahiptir. Bu nedenle birisi açma birisi kapama olmak üzere 2 adet kontaktör kullanılmıştır. Çift kontaklı kontaktörleri sürmek için PID 110 cihazının çıkış röleleri kullanılmıştır. Çıkış röleleri Şekil

4.8'de gösterildiği gibi 11-12 ve 13-14 nolu bacaklardır. Kontaktörlerin girişine ise 24 VDA ve 16,8 A akıma sahip bir DA güç kaynağı bağlanmıştır.

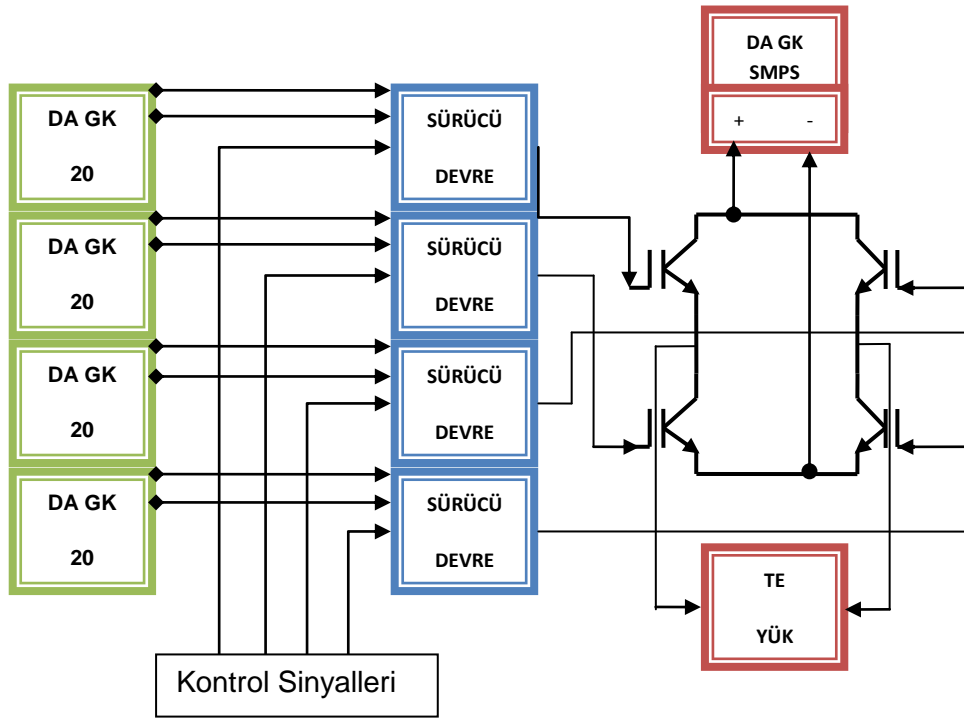


Şekil 4.8. Bağlantı şeması.

PID 110 sıcaklık kontrol cihazının programlanması esnasında istenilen sıcaklığın alt ve üst değeri cihazın üstündeki tuşlar kullanılarak girilmektedir. Cihazın çıkış röleleri yüksek akımda kullanılmadığı için 2 adet harici kontaktör kullanılmıştır. Çıkış röleleri bu kontaktörleri tetiklemek için kullanılmaktadır. Set değerleri  $set_1$  ve  $set_2$  0,1 °C hassasiyete sahiptir. Kontaktörlerden biri soğutma diğeri ısıtma işlemi esnasında ilettime girmektedir. Ölçülen sıcaklık değerine göre bu kontaktörlerden birisi aktif iken diğeri pasif durumdadır. Kontaktörler 63 amper akıma dayanabilmektedir.

#### 4.1.3. Sürücü Devre

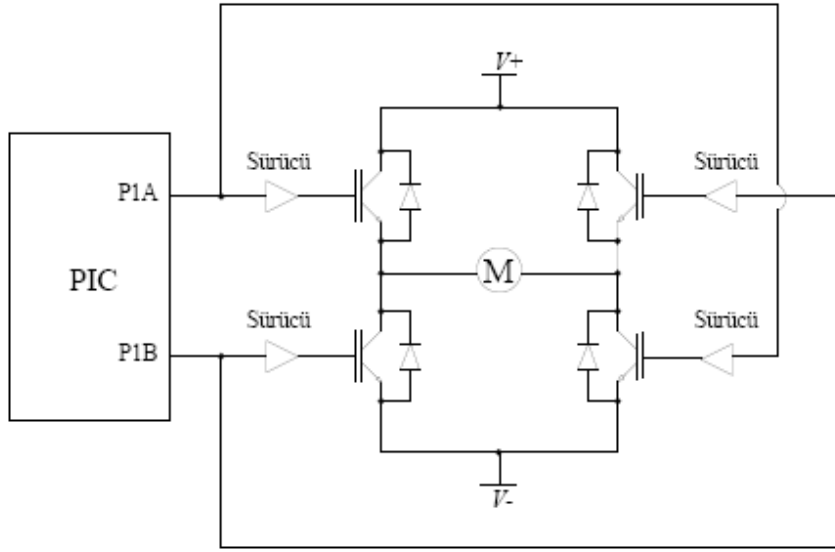
Sürücü devre olarak H köprü olarak bilinen tam köprü devresi kullanılmıştır. Tam köprü devresinde ise anahtarlama elemanı olarak IGBT kullanılmıştır. IGBT'leri sürmek için ise EXB 840 sürücü entegresi kullanılmıştır. Her IGBT için ayrı bir sürücü devresi her sürücü için ise şaseleri bağımsız güç kaynakları tasarlanmış. Sürücü devresinin blok diyagramı Şekil 4.9'da gösterilmektedir. Tasarlanan bu devre kaskın her iki bölümü içinde ayrı olarak tasarlanmıştır.



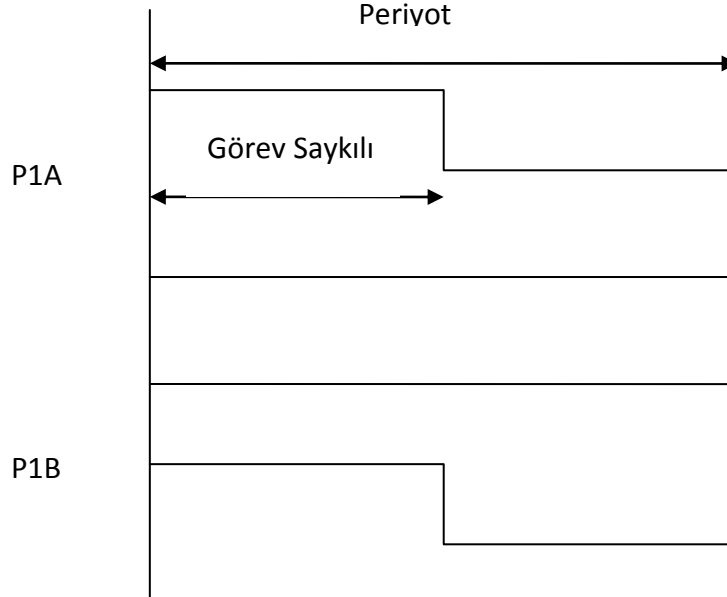
Şekil 4.9. Sürücü kontrol devresi

Bunlar transistör kullanarak, MOSFET kullanarak, IGBT kullanarak ve entegre devre kullanarak yapılabilir. Transistör ve MOSFET arasındaki fark akımdır. Çok düşük akımlarda transistör kullanmak yeterli iken birkaç amperden fazla akım çeken sistemlerde MOSFET, akım değeri 100 A civarında ve üzeri seviyelerinde ise IGBT kullanmak gerekir. IGBT MOSFET ve BJT transistörlerin her ikisinin avantajlarını da üzerinde taşımaktadır.

TE beyin soğutucusunun ısıtma ve soğutma modları gerilim yönüne bağlıdır. Mod değiştirmek için ise TE beyin soğutucusuna uygulanan gerilimin yönünü değiştirmek gereklidir. Bunun içinde genellikle H köprüsü diye bilinen devreler kullanılmaktadır. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de H-köprü devresinin çalışma prensibi gösterilmiştir. H köprü devresi IGBT'leri çapraz sürmek suretiyle akım yönünü kontrol etmektedir. Kontrol sinyalleri kullanılan IGBT modüllere uygun olarak seçilen sürücü entegreler tarafından üretilmektedir. Sürücü entegreler ise mikrodenetleyici tarafından üretilen PWM sinyalleri ile kontrol edilmektedir. Bu yöntem DA motorlarının dört bölge kontrol uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.



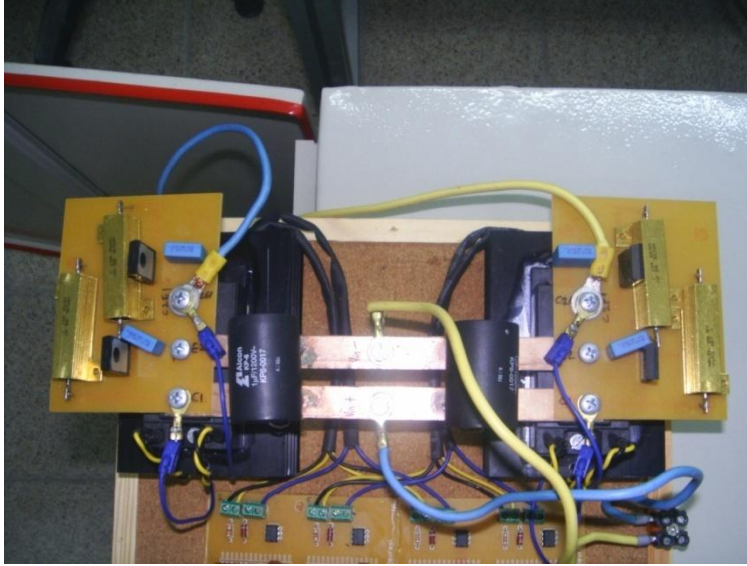
Şekil 4.10. H köprü sürücü devresi.



Şekil 4.11. H köprü sürme sistemi PWM sinyalleri a. Soğutma b. Isıtma

PWM metodu fazın genişliğini kontrol ederek akımı ayarlamaktadır. PWM yöntemi tamamen dijital bit metottur. PWM ile fazın 1 ya da 0 olma durumları

kontrol edilir ve çok kullanışlı bir metottur. Tasarlanan H köprü devresi Resim 4.1'de gösterilmiştir.



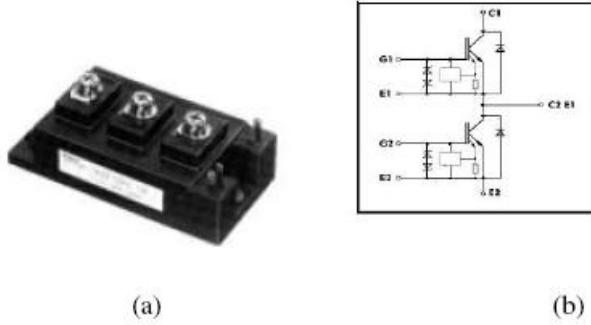
Resim 4.1. H köprü devresi

#### IGBT anahtarlama elemanı

Uygulamada IGBT olarak Mitsubishi firması tarafından üretilen 2MBI150N-60 modül kullanılmıştır. Her modül kendi içerisinde yarım köprü bağlantı oluşturacak şekilde iki IGBT'den oluşmaktadır. Çalışmada H köprü kullanıldığı için sürücüde iki adet modül kullanılmıştır. Kask iki kısımdan oluştuğu için aynı tasarım kaskın diğer bölümü içinde gerçekleştirilmiştir. Sekil 4.12'de IGBT modül ve iç bağlantı seması gösterilmiştir. Her IGBT'nin kendisine ait çok hızlı kendini yenileyebilen by-pass diyodu bulunmaktadır.

Üzerinden 150 amper kadar akım geçirilebilmektedir. Tutma gerilimi 400 volttur. Her anahtarlama esnasında IGBT'lerin kesime veya iletme gitme durumları oluşmaktadır. İletim ve kesim anı için yarı iletkenlerin korunması gerekmektedir. Bunun için IGBT'ye ait snubber devreleri mevcuttur.

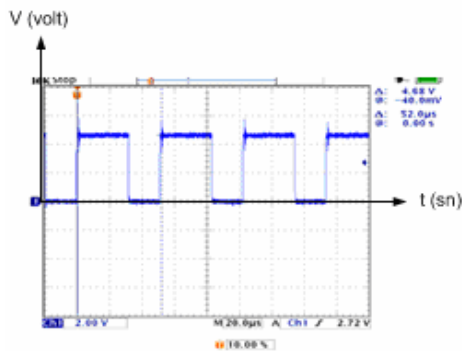




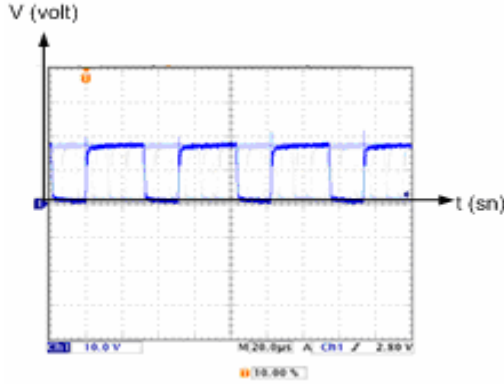
Şekil 4.12. IGBT modül ve iç yapısı a. IGBT modül b. Modül iç yapısı

### IGBT sürücü devresi

Kontrol devresindeki IGBT'lerin çalışabilmesi için sürücü devreye ihtiyaç vardır. Her IGBT elemanını yalıtılmış kaynaktan sürmek gerekmektedir. Aksi takdirde DA gerilim sürücüler üzerinden kısa devre olmaktadır. Bu sakıncayı gidermek amacıyla her IGBT elemanı için yalıtılmış besleme kaynağı kullanılması gerekmektedir. Bu işlem için Mitsubishi firması tarafından üretilen EXB840 sürücü devresi kullanıldı. Bu devre 20 V DA gerilimle beslenmekte ve çıkışta IGBT sürücüsünün çalışmasını sağlayacak sürme sinyalini vermektedir. Şekil 4.13 ve 4.14'de mikrodenetleyici tarafından üretilen PWM sinyali ve IGBT sürme devresinin çıkışından alınan IGBT sürme sinyali görülmektedir. Mikrodenetleyici çıkış sinyali 5 volt seviyesinde iken, IGBT sürücü devresi çıkış 18 volt seviyesinde olduğu görülmektedir.

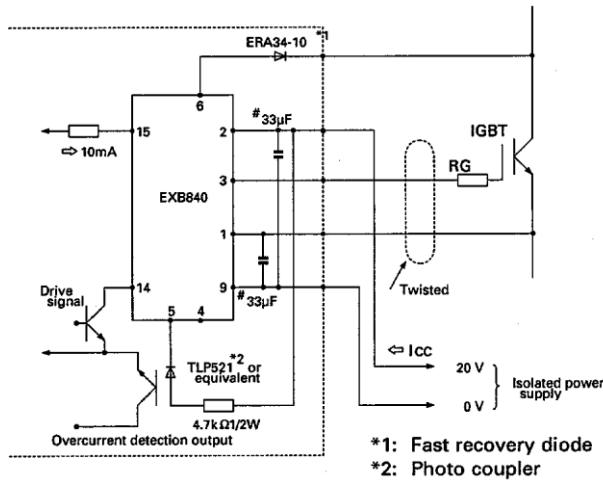


Şekil 4.13. PWM Sinyalleri(mikrodenetleyici çıkışı)



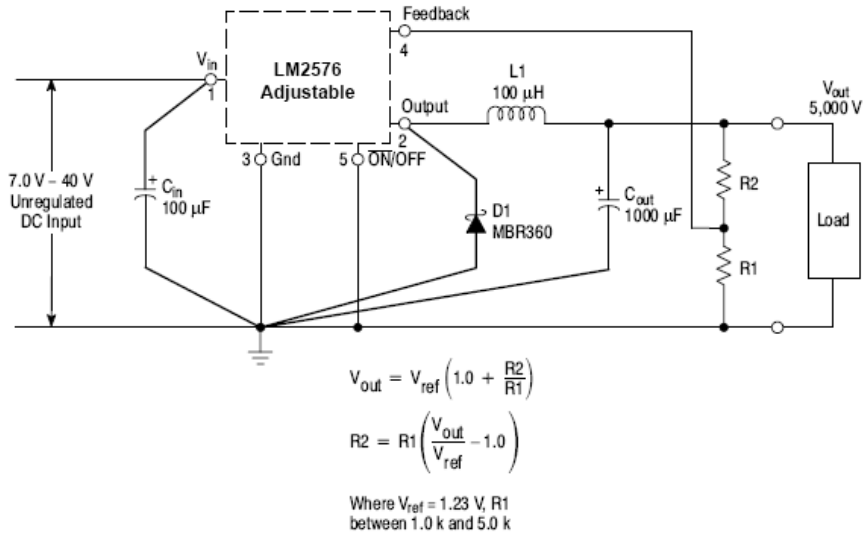
Şekil 4.14. PWM Sinyali(Sürücü çıkışı)

Sürücü entegresi içine yerleştirilen opto izolatör ile giriş çıkış birbirinden yalıtılmıştır. Yarıiletken anahtarlama elemanlarına PWM sinyalleri direkt uygulanamaz. Bu işlem için bir sürücü devresine ihtiyaç vardır( EXB840). EXB840 sürücüsünün bağlantı seması Şekil 4.15'de verilmiştir.



Şekil 4.15. EXB840 sürücü devresi

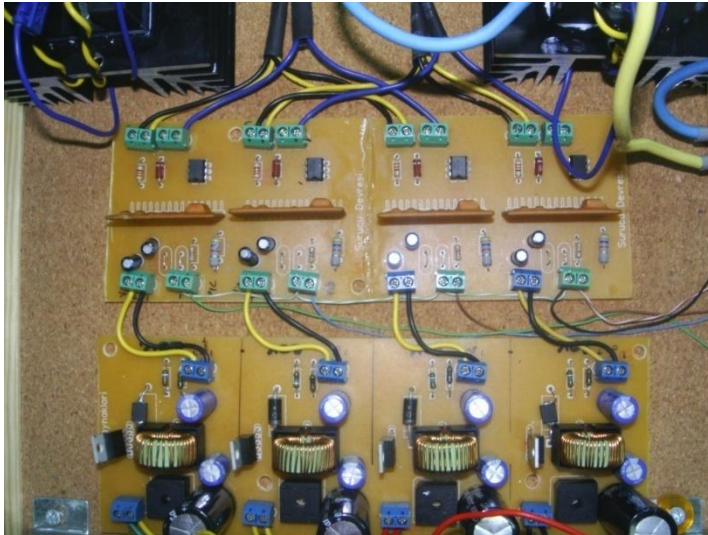
EXB sürücüler bağımsız kaynaklardan beslenmelidir. Bu sürücüler 20 volt DA ile çalışmaktadır. Her bir modülü süren sürücü devresi için 4 adet DA güç kaynağı tasarlanmıştır. Bu güç kaynaklarının şaseleri birbirinden farklıdır. Güç kaynaklarının tasarımında LM2576 entegresi kullanılmaktadır. Tasarlanan güç kaynaklarının prensip şeması Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. LM2576 tipik test devresi

Şekil 4.16'da verilen bağlantı şeması üzerinde  $R_1$  ve  $R_2$  dirençlerini ayarlamak suretiyle çıkış istenilen seviyede tutulabilmektedir. Uygulamada  $R_1 = 1,96 \text{ K}$   $R_2 = 30 \text{ K}$  seçilerek çıkışta 20 volt gerilim elde edilmiştir.

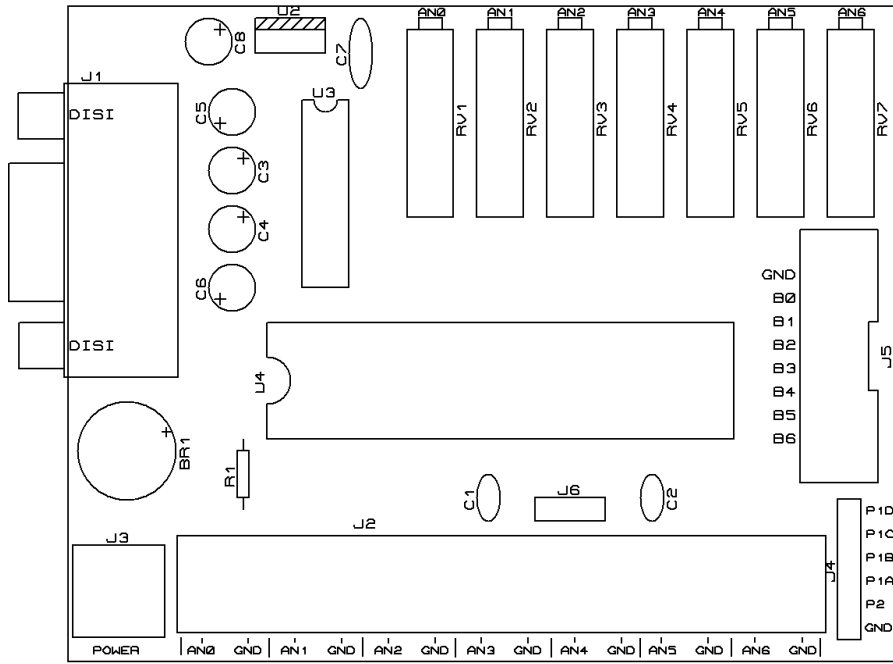
Tasarlanan devrenin Resim 4.2'de gösterilmektedir.



Resim 4.2. IGBT sürücü devresi ve güç kaynakları.

#### 4.1.4. Mikrodenetleyicili kontrol devresi

Sistemde akım, gerilim, sıcaklık bilgilerini ölçerek bilgisayara aktarmak, bilgisayardan gelen bilgilere göre PWM sinyali üretmek amacıyla PIC18F4520 mikrodenetleyicisi kullanılmıştır. Tasarımı yapılan devre Resim 4.3'de gösterilmektedir.



Resim 4.3. Mikrodenetleyicili kontrol devresi

#### 4.2. Bulanık Mantık Denetleyicinin Sisteme Uygulanması

Termoelektrik soğutucunun akımını çok farklı şekillerde kontrol etmek mümkündür. Günümüzde özellikle klasik kontrol ve bir uygulaması olan PID kontrol yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat lineer olan bu kontrol teknikleri lineer olmayan sistemlerde kötü performans sergilediklerinden yeni arayışlar içine girilmiştir. Yapay zeka tekniklerinin ortaya çıkması ile birlikte insan düşüncesinin mantıksal ve sezgisel ya da objektif taraflarını kullanan metotlar geliştirildi. Bu tekniklerden biri olan bulanık mantık birçok alanda kullanıldığı gibi lineer olmayan sistemlerin etkili bir şekilde kontrolüne de imkan tanımaktadır. Bulanık mantığın bir diğer üstünlüğü de sistemin matematiksel modelinin kurulmasının imkânsız olduğu durumlarda bile

performansı değişim göstermez. Günümüzde mikroişlemci teknolojisinin gelişimi ile birlikte de ucuza mal edilen kolay bir kontrolcü tasarımına imkan sunmaktadır.

Termoelektrik modüllerin girişı akım ve gerilim iken çıkışı sıcaklıktır. Özellikle 2.bölümde termoelektrik modüllerin akım sıcaklık eğrisi incelendiğinde eğrinin lineer olmadığı görülmektedir. P, PI ve PID gibi geleneksel kontrol teknikleri lineer sistemler için tasarlanan kontrol teknikleridir. PID kontrol en iyi sonuç veren kontrolör olmasına rağmen kontrol işleminde esnasında sistem için en uygun kazanç parametrelerinin ayrı bir önem kazanmaktadır. Belirli bir ayarlama kriterine göre kontrol parametrelerinin seçimi PID kontrollerin en önemli problemleridir [64]. Tasarım esnasında bu parametrelerin hesaplanıp sisteme uygulandığı PID kontroller, sistem parametrelerinin değişmesi sonucunda, sistemi etkin bir biçimde kontrol edemez ve ayarlanmaya ihtiyaç duyar. TE başlık çok sayıda termoelektrik modüllerden meydana gelmektedir. Bir termoelektrik modülün performansı yarıiletken malzemenin kalitesine, boyutlarına, seebeck katsayısına, iletkenlik direncine, öz direncine, modüllerin bir araya getirilmesi için kullanılan lehimlere, n ve p tipi yarıiletkenleri seri olarak bağlamak için kullanılan iletkenlere, çevre şartlarına ve uygulanan yüke göre değişmektedir. Sistemin içerisine beyin fizyolojik yapısını, hastalıklar esnasında meydana gelen değişiklikleri ve kılcal damarları dahil ettiğimizde komplike bir sistem karşımıza çıkmaktadır. Bu değişkenlerin hepsi bir bütün olarak hesaba katılmalıdır. Parametre sayısının çok fazla olması PID kontrollerdeki tuning probleminin artmasına neden olmaktadır. Online olarak ayarlanabilen PID kontroller olmasına rağmen bu parametrelerin ayarlanması için bu kategoride yapay sinir ağları, bulanık mantık ve genetik algoritma gibi yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır [70-73].

Bu tez çalışmasında, TE başlığın kontrolünde yukarıdaki nedenlerden dolayı bulanık mantık kullanılmıştır. Bulanık mantık kurallarının oluşturulması ve giriş ve çıkış üyelik fonksiyonlarının tespit edilmesi amacıyla TE başlığın yapımında kullanılan termoelektrik modüllerin davranışları deneysel olarak

incelenmiştir. Bu veriler bölüm 2’de verilmiştir. Bu veriler sistem çalışır haldeyken elde edilmiştir. Bu şekilde her modülün ayrı ayrı etkisini incelemek yerine sistemi bir bütün olarak ele alıp elektronik olarak hassas bir biçimde ölçülebilen değişkenler hesaba katılarak daha kesin ve doğru bilgiler elde edilmiştir.

Bulanık mantık denetleyici ünitesinin amacı kaskın iç noktasındaki sıcaklığı istenilen seviyeye getirmek ve bu seviyede kontrollü bir şekilde tutmaktır. Bu işlemi de geleneksel kontrol sistemlerin sık kullandığı hata ve hata değişim oranları adı verilen bilgilerin kullanılmasıyla gerçekleştirmektedir.

#### **4.2.1. Bulanık Mantık Denetleyici Ünitesinin tasarlanması**

TE başlık SMPS modlu güç kaynağı ile beslenmektedir. Bu güç kaynağını ayarlı kılmak üzere H köprü devresi kullanılmaktadır. H köprü çıkış gerilimini ve akımını PWM sinyalinin görev süresini değiştirerek ayarlamaktadır. Bulanık mantık denetleyici, mikrodenetleyici çıkışından alınan PWM sinyalinin görev süresini ayarlamak için kullanılmıştır. BMD ünitesi giriş ve çıkış değişkenleri, bulandırma, bulanık çıkarım ve durulama birimlerinden meydana gelmektedir.

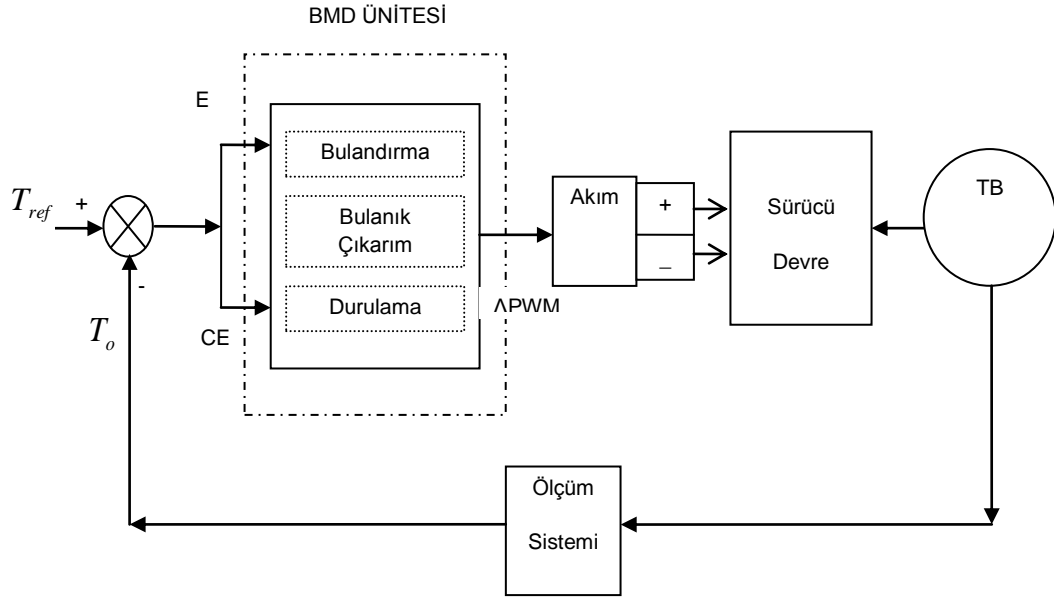
##### BMD ünitesinin giriş ve çıkış değişkenlerinin tanımlanması

Tasarlanan bulanık mantık denetleyici ünitesinin giriş değişkenleri; Sıcaklık hatası  $E(^{\circ}C)$  ve Sıcaklık hata değişimi  $CE(^{\circ}C)$ , çıkış değişkenleri ise DGM görev süresindeki düzeltmedir. Burada  $E$  referans sıcaklık ile ölçülen sıcaklık arasındaki fark,  $CE$  ise o anki hata ile bir önceki hata arasındaki farktır.

$$E=T_{ref}-T_o, CE=E(k)-E(k-1) \quad (4.1)$$

Bulanık mantık denetleyicinin çıkışı ise PWM sinyalinin görev süresinin değişimi ( $\Delta PWM$ ) değeridir. Denetleyici TE başlıktan sıcaklık bilgilerini ölçmekte referans sıcaklıkla karşılaştırmakta ve hata ve hata değişimi değerini hesaplamaktadır. Bu değerlere göre bulandırma işlemini yapar,

belirlenen dilsel ifadelerle göre uygulanacak bulanık kural ve kontrol değerini belirler ve ağırlık ortalaması metodu ile  $\Delta$ PWM ve PWM değerini hesaplayıp sisteme uygular. Blok diyagramı Şekil 4.17'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.17. BMD nitesinin prensip Şeması

### Bulandırma

Hazırlanan bulanık mantık denetleyici programının hızlı çalışması için gerekli olan en önemli noktalar kural sayısı ve üyelik fonksiyonlarının Őeklidir. Bu yüzden doğrusal özelliğe sahip olan ve üyelik değerinin en kısa sürede elde edildiği üçgen üyelik fonksiyonları seçilmiştir. yelik fonksiyonlarının sayısı en aza indirgenmelidir.

Bulandırma işleminde, sayısal giriş ve çıkış değişkenleri sembolik değerlere dönüştürülmektedir. Dilsel değişkenler giriş ve çıkış değişkenleri için aşağıdaki gibi tanımlandı.

NB : Negatif Büyük

NK : Negatif Küçük

S : Sıfır

PK : Pozitif Küçük

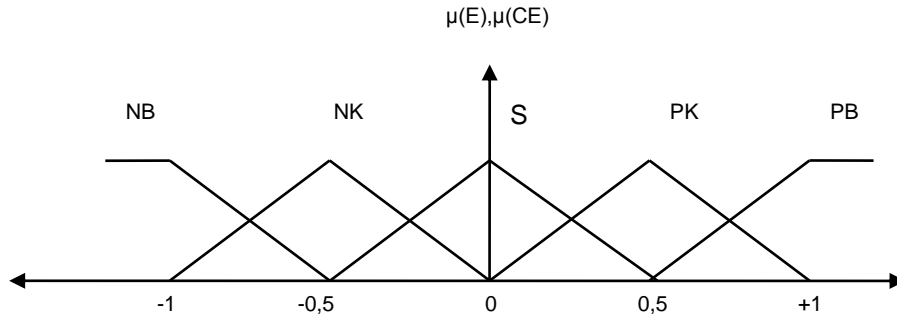
PB : Pozitif Büyük

Kural yapısında ise and operatörü kullanıldı. Kural yapısı aşağıda gösterilmektedir.

Kural 1: Eğer hata(E) NB ve hata değişimi (CE) NB ise  $\Delta$ DGM NB olmalıdır.

### Bulanık küme tanımları

BMD ünitesinin giriş değişkenleri olan E, CE değişkenleri için 5 adet bulanık küme tanımlandı. Bu kümelerin etiketleri ve değişim aralıkları Şekil 4.18'de gösterilmektedir. Üyelik fonksiyonları üçgen tip olarak belirlendi. Tasarlanan sistemdeki hata payı  $\pm 0,5$  °C'dir. Sıfır üyelik fonksiyonu bu nedenle -0,5 ve +0,5 arasında tanımlanmıştır.



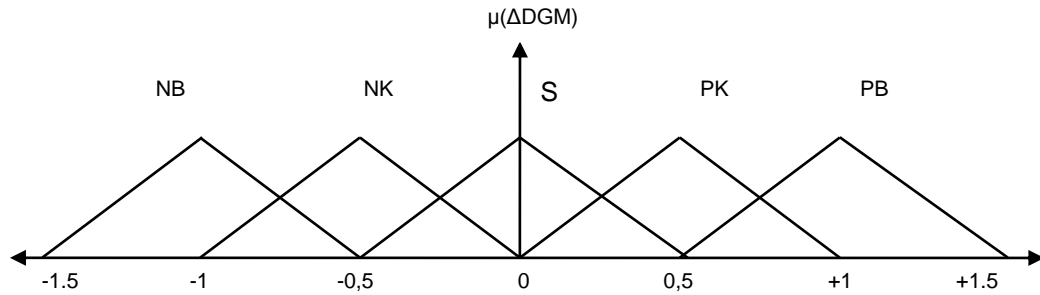
Şekil 4.18. E ve CE üyelik fonksiyonları

BMD ünitesinin çıkış değişkeni için ise; Beyin soğutucusunda kullanılan termoelektrik modüllerin maksimum akımları katalog değerlerine göre 40 amperdir. Termoelektrik modüller soğutma ve ısıtma modunda çift yönlü olarak çalıştırılabildiklerinden akım kontrol aralığı -40 amper ile +40 amper arasındadır. Burada negatiflik termoelektrik başlığın soğutma modunda çalıştığı durumu, pozitiflik ise ısıtma modunda çalıştığı durumu ifade



etmektedir. Akım miktarı PWM görev süresi ile ayarlanmaktadır. Hesaplanan I değerinin elde edilmesi için gerekli olan PWM değeri mikrodenetleyici tarafından üretilmektedir. Çıkış için de üçgen tip üyelik fonksiyonları kullanıldı. Aralıklar ve üyelik fonksiyonları Şekil 4.19'da gösterilmektedir.

Yazılım sıcaklık bilgisi PWM görev oranını bulmaktadır. Bu oranı mikrodenetleyiciye göndermekte ve mikrodenetleyicinin PWM çıkışlarında bu oran elde edilmektedir. Bu işaretler sürücü devresinin girişlerini teşkil etmektedir.



Şekil 4.19. Çıkış üyelik fonksiyonları

### Bulanık çıkarım

Bulanık kurallar üzerine bulanık mantık uygulanarak elde edilen ifadelere bulanık çıkarım denir. BMD ünitesinin en önemli bölümü bulanık çıkarım bölümüdür. Çünkü bu bölümde bilgi tabanı ve karar verme mantığı kullanılmaktadır. Tasarımı yapılan BMD ünitesinde kullanılan bulanık denetim kuralları toplamı 25 adettir ve bulanık kural tablosu aşağıda gösterilmektedir.

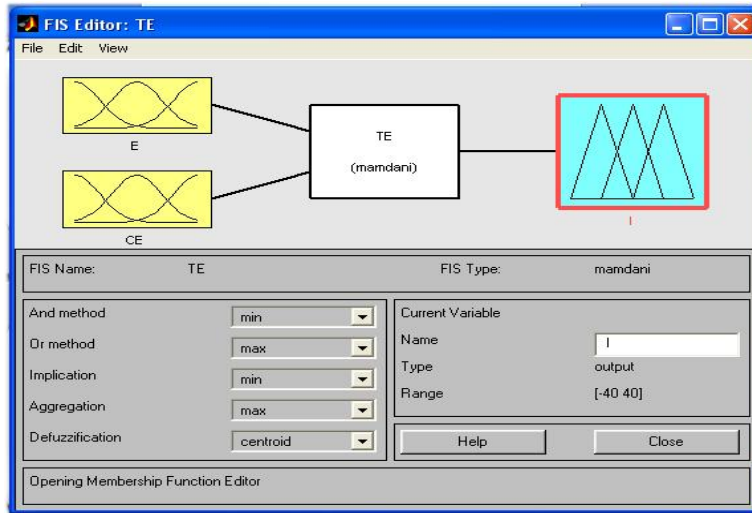
Kural tablosunda hatanın negatif olması, sistemin soğutulması, hatanın pozitif olması sistemin ısıtılması gerektiği anlamına gelmektedir. Hata değişiminin negatif olması hatanın azaldığı, pozitif olması ise hatanın arttığı anlamına gelmektedir. Hata NB iken hata değişiminin de NB olması veya hata PB iken hata değişiminin NB olması hatanın hızla azaldığı anlamına gelir ki bu durumda bulanık mantık denetleyici PWM görev süresini değiştirmeyerek  $\Delta PWM$  süresi "S" olacaktır. Hatanın NB olması hata

değişiminin ise NK olması durumunda hatayı dahada hızlı azaltmak için PWM görev süresi biraz daha artırılarak sisteme uygulanmaya devam edilecektir. Bu bilgiler doğrultusunda kurallar hazırlanmıştır.

Çizelge 4.1. Bulanık kural tablosu

		Temperature Error(E)				
		NB	NK	S	PK	PB
Temperature Error Variation(CE)	NB	S	PK	PB	PB	PB
	NK	NK	S	PK	PK	PB
	S	NK	NK	S	PK	PK
	PK	NB	NK	NK	S	PK
	PB	NB	NB	NB	NK	S

Sistem 2 girişli (E,CE), 1 çıkışlı ( $\Delta$ PWM) Mamdani tip ve 25 adet kuraldan oluşmaktadır. Kurallar arasında “ve” operatörü ve min-max bulanık çıkarım metodu kullanılmaktadır.



Şekil 4.20. BMD'nin MATLAB'te oluşturulması

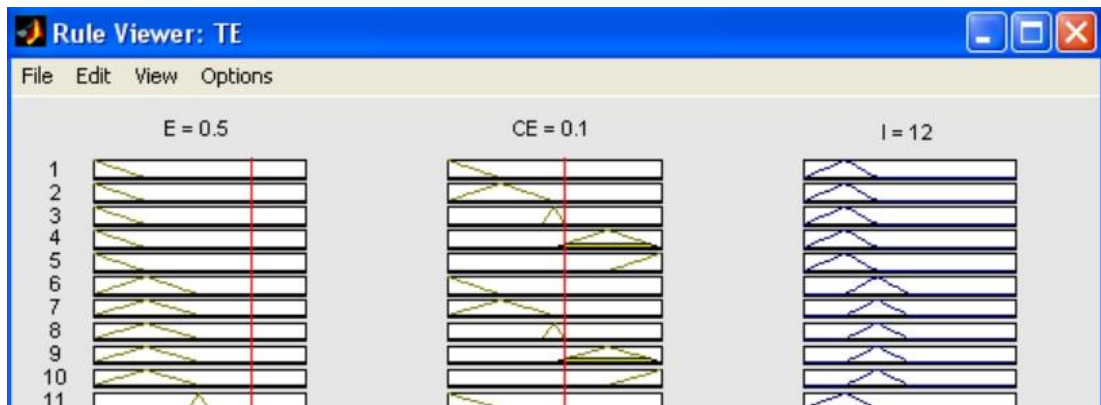
## Durulama

BMD ünitesinin çıkışından alınan bilgi bulanık bir bilgidir. Bu bulanık bilgiyi sayısal değere dönüştürmek için netleştirme işleminden geçirilmesi gerekmektedir. Durulama işleminde her kural için E ve CE giriş değişkenlerinin üyelik ağırlık değerleri bulunarak, bu iki değer minimum üyelik ağırlığı ve buna göre çıkış üyelik değerleri tespit edilir. Tasarlanan BMD ünitesinde durulama işlemi için en çok kullanılan metotlardan ağırlık merkezi metodu kullanıldı ve durulanmış çıkış değeri Eş. 4.3 ile hesaplanır.

$$Z^* = \sum_{j=1}^n \frac{\mu_Z(w_j) \cdot w_j}{\mu_Z(w_j)} \quad (4.3)$$

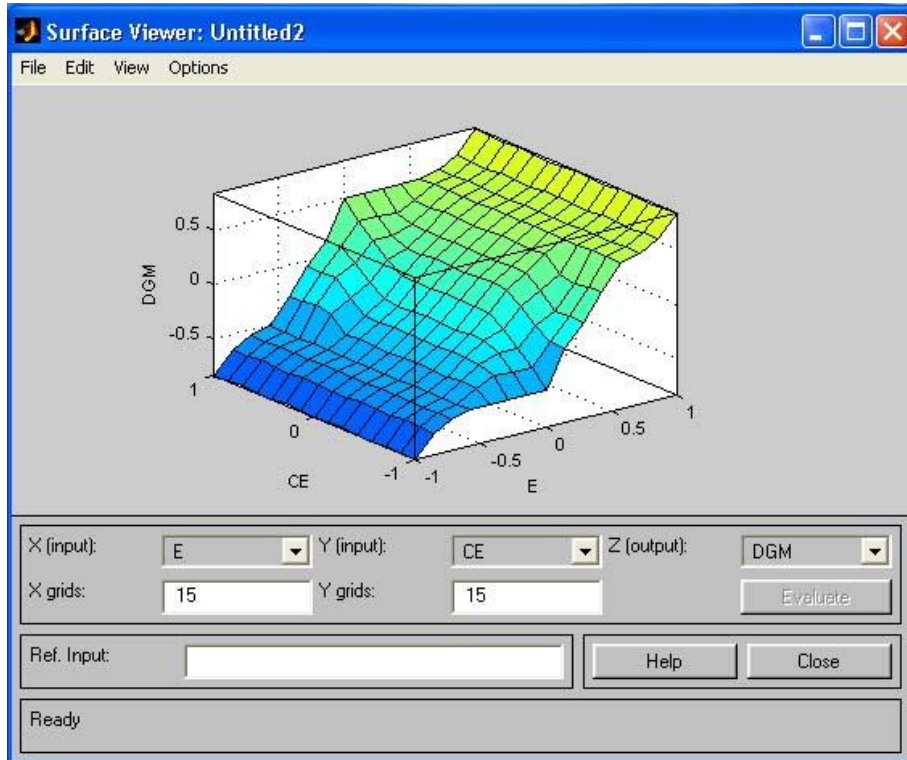
Bulanık sıcaklık kontrol algoritması aşağıdaki gibi çalışmaktadır. Kontrol yüzeyi sıcaklığı ( $T_o$ ) ölçülür. Tref sıcaklığına göre E ve CE değeri hesaplanır ve normalize edilir. Normalize edilen E ve CE değerleri için kural tablosu işletilerek etkin olan kurallar tespit edilir. Üyelik dereceleri hesaplanır. Etkin olan her kural için minimum değerler alınarak üyelik fonksiyonları üzerinde işaretlenir. Elde edilen bu değerler kullanılarak ağırlık merkezi metoduna göre çıkış akım değeri tespit edilir. Bu değer bir önceki PWM değerine eklenerek yeni PWM görev süresi tespit edilir.

$$PWM = PWM + \Delta PWM \quad (4.4)$$



Şekil 4.21. MATLAB ortamında çıkış değerinin elde edilmesi.

MATLAB programı içerisinde yer alan fuzzy toolbox kullanılarak sistem gerçekleştirildi. Mamdani tip, 2 giriş ve 1 çıkış değişkenine sahip 25 bulanık kurala sahip, giriş ve çıkış değişkenleri üçgen tip üyelik fonksiyonları ile tanımlanmış bir model üretilmiştir. Bulanık kontrol yüzeyi aşağıdaki Şekil 4.22'deki gibidir.



Şekil 4.22. Bulanık kontrol yüzeyi

Sistemin modellenmesi MATLAB programı üzerinde yapıldıktan sonra, C programlama dili kullanılarak bir program yazılmıştır. Bu program yukarıda belirtilen üyelik fonksiyonları, üyelik fonksiyonlarının değişim aralıklarına göre çıkışı tespit etmektedir. Bu programın sonuçları MATLAB programı tarafından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılarak kontrolü yapılmıştır. Bu program yazılım içerisinde alt program olarak kullanılarak PWM değeri elde etmek için kullanılmaktadır.

### 4.3. Geliştirilen Yazılımlar

Termoelektrik beyin soğutucusunun çalışabilmesi için programlanabilir elemanlardan oluşan devreler tasarlanmış ve kontrol için PC'de visual basic programlama dili kullanılarak bir program hazırlanmıştır.

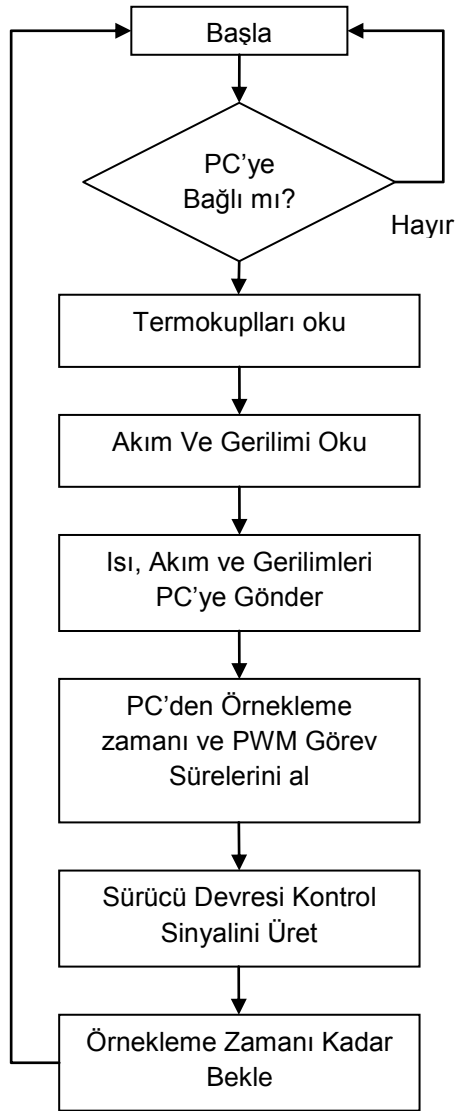
#### 4.3.1. Kontrol devresi yazılımı

Kontrol devresinde mikrodenetleyici olarak PIC18F4520 kullanılmıştır. Mikrodenetleyici 4 noktadan sıcaklık, akım, gerilim değerlerini alıp PC'ye aktarmak ve PC'den gelen değerlere göre PWM sinyali üretmekle görevlidir.

Bu mikrodenetleyici için CCS C derleyicisi ile program yazılmıştır. Ölçülen değerler RS232 portu kullanılarak bilgisayara aktarılmaktadır. Dizüstü bilgisayara aktarmak için RS232-USB dönüştürücü kullanılmıştır. PIC 18F4520 mikrodenetleyicisinin 2 adet PWM çıkışı bulunmaktadır. Kontrol devresi PC'den kendisine gönderilen PWM görev süresine (0% - 100%) bağlı olarak PWM sinyallerini üretmektedir. Programın akış şeması Şekil 4.17'de, kodları ise EK-1 'de gösterilmiştir. Bu program PC'de visual basic programlama dilinde yazılmış bir program ile koordineli olarak çalışmaktadır.

Kontrol ve ölçüm devresi seri portu kullanarak bilgisayar ile bağlantı kurmaktadır. Bağlantı sağlandıktan 1. termokupl bilgisini okumakta 10 bit uzunluktaki bu bilgi 2 byte halinde bilgisayara gönderilmektedir. Her byte arasına "." karakteri yazılmaktadır. Sırasıyla aynı işlemler kalan 4 termokupl içinde yapılmaktadır. Akım ve gerilim ölçümü mikrodenetleyicinin ADC portu kullanılarak yapılmaktadır. Bu amaçla kullanılan Hall-Effect algılayıcılar ADC portu girişine analog 0-5 V arasında bir sinyal uygulamaktadır. Mikrodenetleyici bu sinyali okuyup 10 bit dijital sinyale çevirmekte ve yine 2 byte halinde PC'ye iletmektedir. Byte'lar arasına "." karakteri yine yazılmaktadır. 5 adet ısı ve 2 adet akım ve gerilim sinyali olmak üzere toplam 14 byte'lık veri bilgisayara aktarılmakta, çevrimin devam edebilmesi için PC'den gelen örnekleme zamanı kadar beklenmekte ve tekrar başa

dönülerek aynı işlemler yinelenmektedir. Her defasında PC ile bağlantı sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Eğer bağlantı varsa okuma işlemlerine geçilmektedir. Bu işlem teorik olarak 0,5 saniyede gerçekleşmektedir.



Şekil 4.23. Kontrol ve ölçüm sistemi için hazırlanan yazılımın akış diyagramı.

PC mikrodenetleyiciye beş bilgi göndermektedir. Kask üzerinde 4 bölgeden ölçüm alınmaktadır. Kask iki bölümden oluştuğu için, her bölüm için iç ve dış sıcaklıklar ölçülmektedir. Her bölüm için bir set değeri vardır. PC'deki yazılım

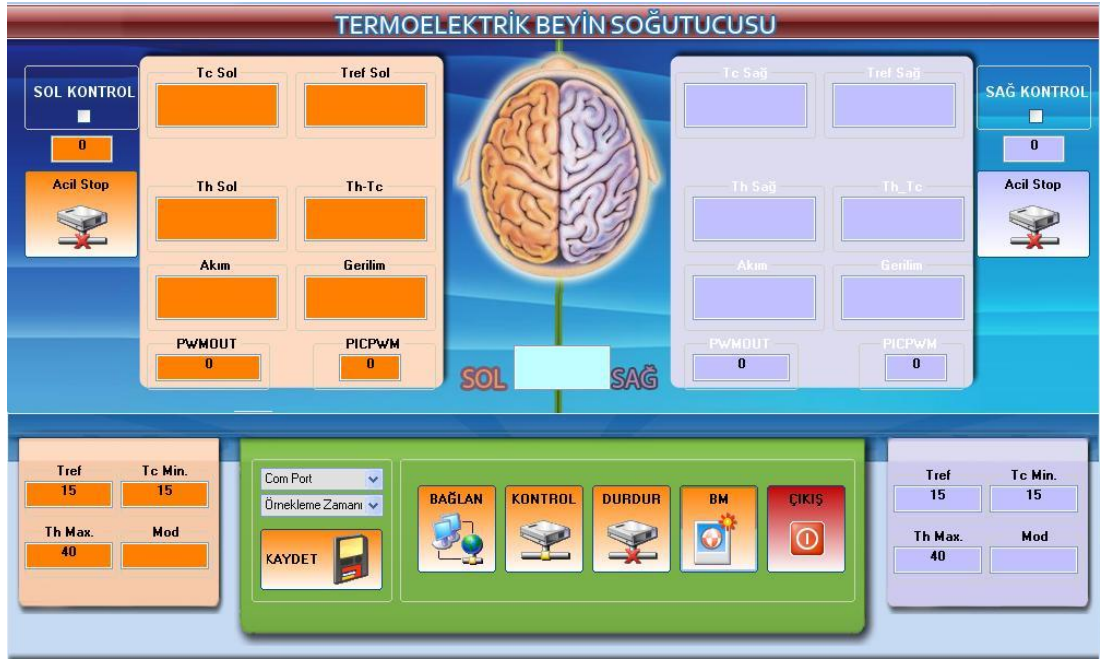
her bölümün kontrolü için bir PWM sinyali görev süresi hesaplamakta ve mikrodenetleyiciye gönderilmektedir.

#### **4.3.2. PC tabanlı kontrol arayüzü**

Kontrol devresi, analog sinyalleri algılayıp dijital bilgilere dönüştürerek PC'ye aktarma işlemini gerçekleştirmektedir. PC'de visual basic programlama dili ile yazılan bir program ile bu bilgiler alınmakta, görsel bir ara yüzde gösterilmektedir. Bilgisayar program aynı zamanda bulanık mantık yazılımını da içermektedir. Ayar değerleri, yüksek ve düşük alarm bilgileri, bulanık mantık giriş parametreleri, kural tablosu bu program içerisinde yer almaktadır.

Geliştirilen bu program bölüm 2'de anlatılan deneyler ve deney sonuçlarına dayanarak elde edilen bilgiler ve uzman bilgisine göre geliştirildi. Yazılım, termoelektrik beyin soğutucusunun sıcaklığını istenilen değere getirmek ve bu seviyede sabit tutmak için sistemin çalışacağı akım ve gerilim değerini BMD ünitesi ile tespit etmektedir. Akım ve gerilim değerlerinin elde edilebilmesi için gerekli PWM sinyallerinin görev süresindeki değişimi belirlemekte, yeni görev süresini hesaplamakta, mikrodenetleyiciye iletmekte ve uygulanan akım ve gerilim değerlerini ölçerek ekranda göstermektedir. Program kodları Ek-2'de gösterilmektedir.

Program ilk çalıştırıldığında Resim 4.4'deki ekran ile karşılaşılmaktadır. Programda sol ve sağ taraf için kullanılan iki ayrı bölüm mevcuttur. Sağ ve sol taraflara ait referans sıcaklıklar,  $T_C$ 'nin minimum değerleri,  $T_H$ 'nin maksimum değerleri girilmektedir. Kontrol arktı ile PC arasında bağlantı sağlanacak com port numarası ve kaç saniyede bir örnek alacağını gösteren örnekleme aralığı bilgisi girilmektedir. Kaydet butonuna tıkladığında bu bilgiler sisteme aktarılmaktadır. Bu bölümde sistemin kontrolünü sağlayan butonlar yer almaktadır (Resim 4.5). Sağ ve sol taraflar için acil stop butonları yer almaktadır. Bu butonlar kullanılarak sorgulama yapılmaksızın sağ ve sol tarafa uygulanan akım anında kesilebilmektedir.



Resim 4.4. Ana ekran görünümü



Resim 4.5. Parametre giriş ekranı

Bağlan butonu PC ile kontrol devresi arasındaki bağlantıyı gerçekleştirmektedir. Girilen port numarasını kullanarak kontrol devresine bağlanmakta ve okunan değerleri ekranda göstermektedir. Termoelektrik beyin soğutucusunun 2 adet sol 2 adet sağ olmak üzere 4 farklı noktadan ısı değerlerini okumaktadır. 5. termokupl ile kaskın dış yüzeyinde dolaşacak suyun sıcaklığı ölçülmekte ve ekrana yazdırılmaktadır. Suyun ısı kontrolün başlayıp başlamayacağını belirleyen en önemli unsurlardan birisidir. Bağlan butonu ile sisteme bağlanıp sıcaklık akım ve gerilim değerleri ekranda gösterilmeye başlandığında bu işlem sadece gösterim amaçlıdır. Bu değerler kullanılarak kaskın kontrolü henüz başlamamaktadır.

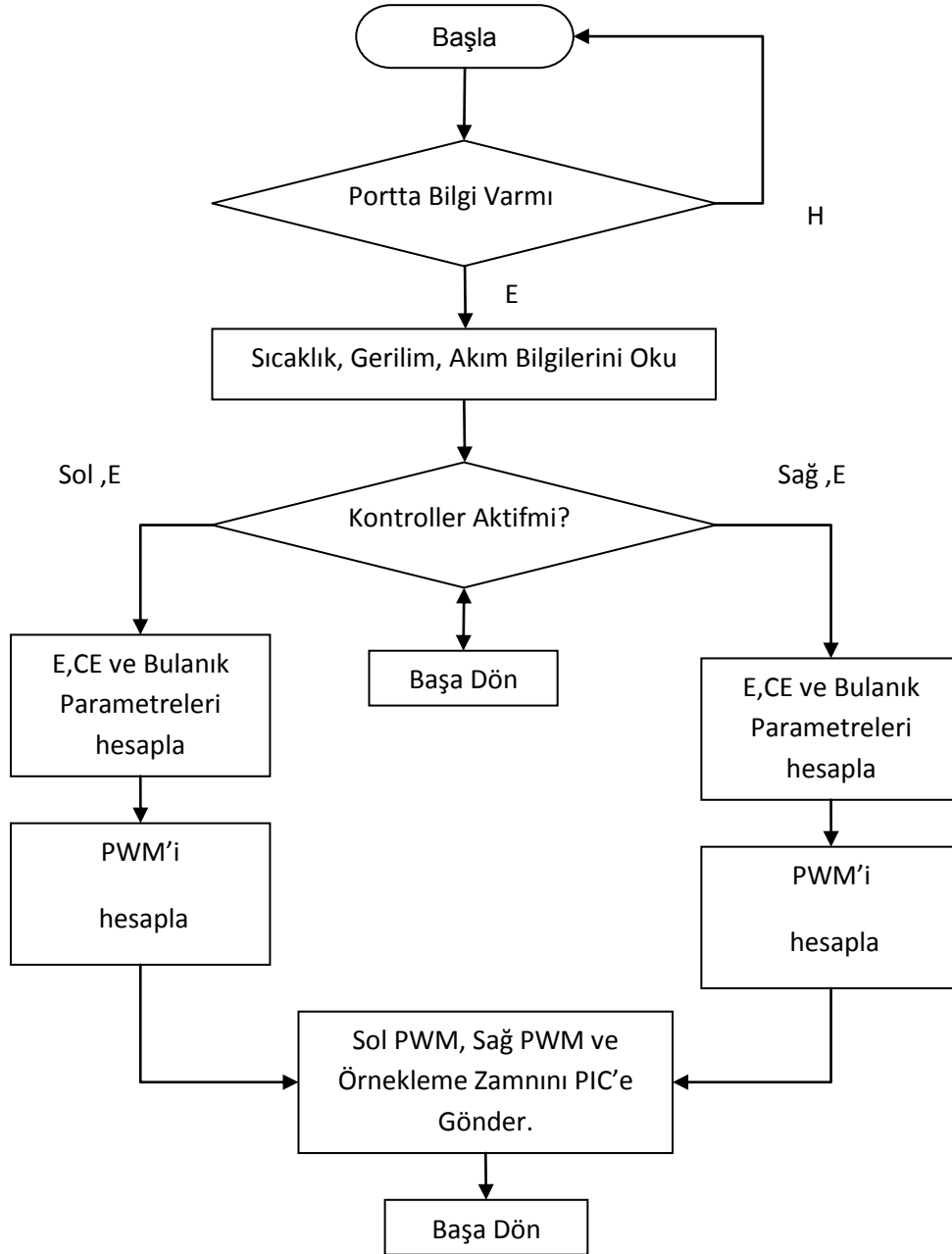


Program iki adet veritabanına sahiptir. Birinci veri tabanı 4 adet tablo içermektedir ki, bu tablolar bulanık mantık parametrelerinin girişi için kullanılmaktadır. Bunlar hata(E), hata değişimi(CE), çıkış(out) üyelik fonksiyonları ve kural tablosunu içeren tablolardır (Resim 4.6). Veri tabanı dosyasına kaydedilen bu bilgiler BMD ünitesinin çıkarım ve netleştirme birimleri tarafından kullanılmaktadır. Programın çalışması esnasında değişiklikler yapılabilmektedir. Bu bölüm programın çalışması esnasında hesaplanan bulanık mantık parametrelerinin görüntülediği bölümdür. Programın çalışması sırasında BM butonuna tıklandığında bu bölüm ekrana gelmektedir. Bulanık mantık parametreleri bölümünde BMD ünitesinin çalışması esnasında hesaplanan ve elde edilen parametreler de görüntülenmektedir. Kapat butonuna tıklamak suretiyle ana ekrana geri dönülmektedir. İkinci veri tabanı ise ölçülen değerlerin kaydedildiği veri tabanıdır. Bu veri tabanına kaskın sol ve sağ taraflarından ölçülen sıcaklık, akım ve gerilim değerleri ile beraber, hesaplanan sıcaklık farkı gibi parametrelerde kaydedilmektedir.



Resim 4.6. Bulanık mantık parametre giriş ve izleme ekranı

Programın kontrol işlemine başlayabilmesi için kontrol butonuna tıklanması gerekmektedir. Programın akış diyagramı Şekil 4.24'te gösterilmektedir.



Şekil 4.24. PC yazılımı akış şeması

Kontrol işlemi başlatılsa bile herhangi bir nedenle su ısısında bir anormallik olduğunda ya da kaskın ısı değeri sınır değerlerinin üstüne çıktığında ya da altına düştüğünde veya operatör tarafından durdur butonuna basıldığında kaska uygulanan akım otomatik olarak kesilmektedir. Tekrar kontrol butonuna basıncaya kadar sistem sadece okuma modunda çalışmaya devam etmektedir.

Program, istenirse kayıt işlemi de yapabilmektedir. Hata, hata değişimi, DGM görev süresi, kaska uygulanan akım ve gerilim, sıcak yüzey sıcaklığı, soğuk yüzey sıcaklığı, sıcaklık farkı gibi parametrelerin istenildiğinde ikinci bir veri tabanına kaydedilebilmektedir.

## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Termoelektrik beyin soğutucunun dış görünüşü Resim 5.1'de gösterilmiştir.



Resim 5.1. Termoelektrik beyin soğutucunun dış görünüşü.

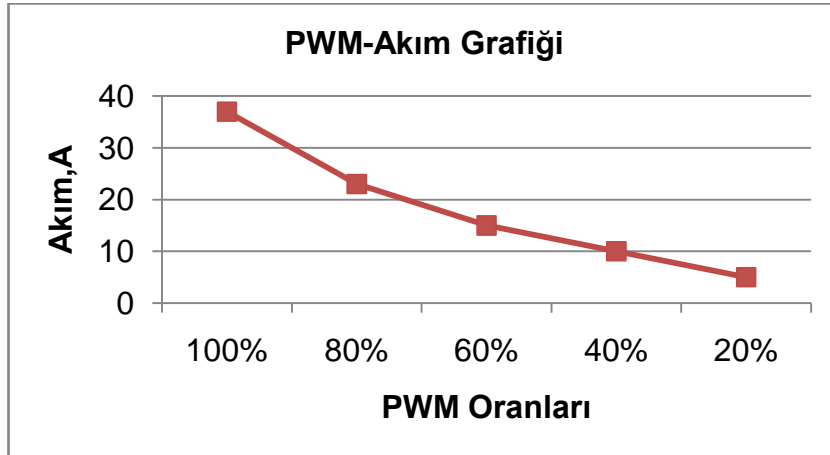
Kasa içerisinde üç raf bulunmaktadır. Kasa kolay taşınabilmesi için tekerlekli olarak tasarlanmıştır. Kasanın içerisindeki sıcaklığın dışarıya atılması için sağ ve sol tarafına birisi fanlı olmak üzere iki adet ızgara yapılmıştır. Ayrıca kasanın alt kısmında dört tarafında da içerideki sıcaklığı dışarı atmak üzere ızgara sistemi oluşturulmuştur. Kasa üzerinden termoelektrik beyin soğutucuya su, termokupllar ve güç kabloları bağlanmaktadır. Bu nedenle güç ve su çıkışları ve termokupl çıkışları hep aynı tarafta olacak şekilde yapılmıştır. Kasa hem ön taraftan hem de arka taraftan kapaklı olup içerisindeki raflar kızaklı bir şekilde çekilebilmektedir.

Kasanın ön panelinde su dolaşım sistemi sıcaklık göstergesi ve sistem kontrolü için anahtarlar bulunmaktadır. Termoelektrik beyin soğutucu kask

için en önemli güvenlik önlemi kaskın dış yüzeyinde dolaşan sudur. Sistemin ana anahtarı açıldığında su dolaşım sistemi otomatik olarak çalışmakta ve suyu soğutmaya başlamaktadır. Anahtarlar seri olarak birbirine bağlanmıştır. Yani pompa çalışmadan ölçüm sistemi ve kontrol devresi çalışmamakta ve termoelektrik beyin soğutucusuna akım uygulanamamaktadır.

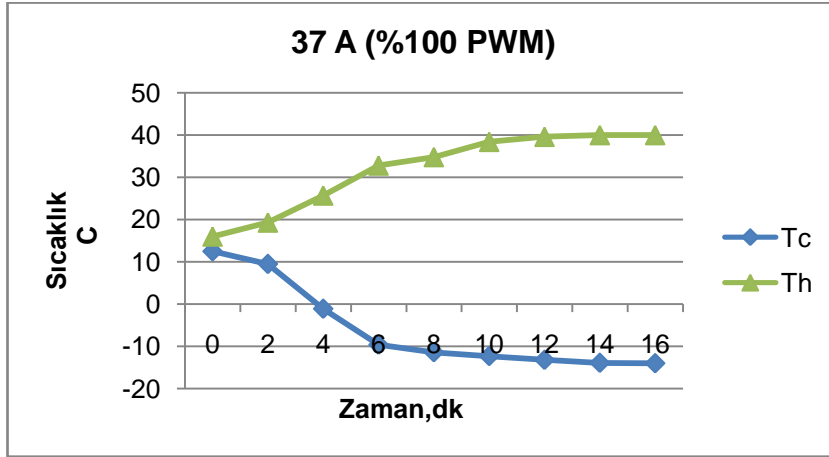
### 5.1. Deney Sonuçları ve Grafikselle Analiz

Kullanılan termoelektrik teknolojinin ve tasarlanan termoelektrik beyin soğutucusunun en belirgin özelliği ve avantajı beyin soğutmasının sadece hızlı olması değil aynı zamanda kontrollü yapılabilmesidir. Kaskın iç yüzeyindeki sıcaklığın kontrolü uygulanan akıma bağlıdır. Uygulanan akımın ayarlı kılınması PWM yöntemi ile yapılmaktadır. Şekil 5.1'de kontrol sisteminin PWM oranı-akım karakteristiği verilmiştir. Bu değerler kask tek bir parça halinde çalıştırılarak elde edilmiştir. Bunun için sistemde mevcut olan iki güç kaynağından biri by-pass edilmiş ve çıkış gerilimi 12 volta ayarlanarak yapılmıştır.

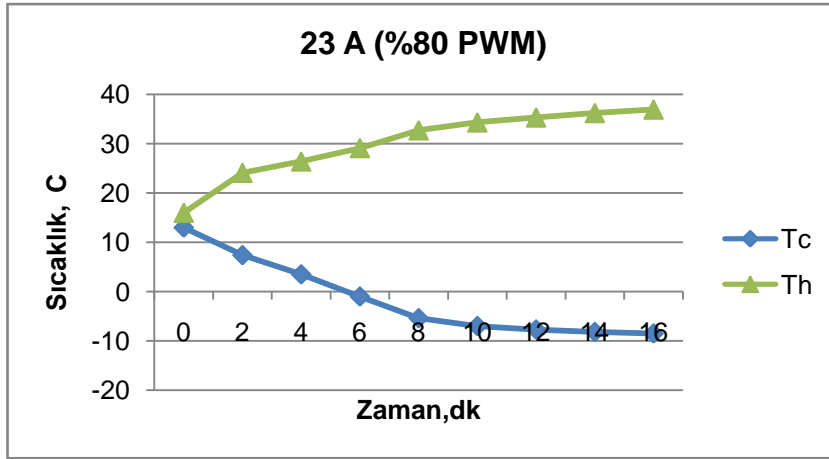


Şekil 5.1. Farklı DGM oranları için akım değerleri

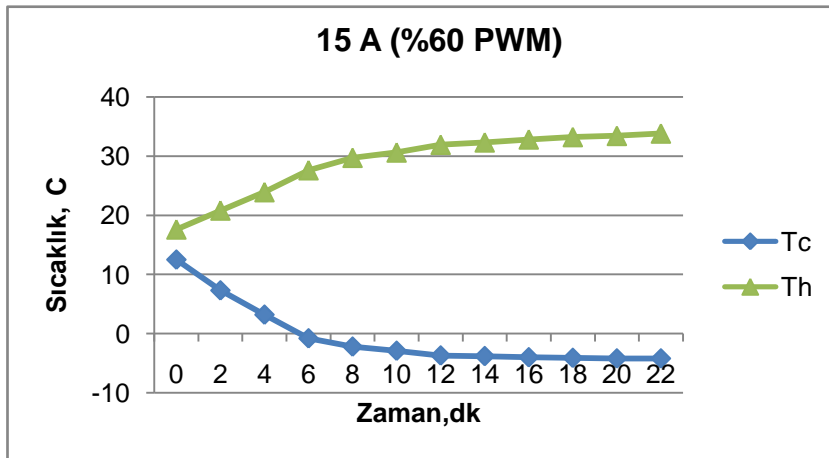
Termoelektrik beyin soğutucu başlık için değişik PWM oranları için iç yüzey ve dış yüzey sıcaklıkları ölçüldü ve kaydedildi. Sonuçlar Şekil 5.2- Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



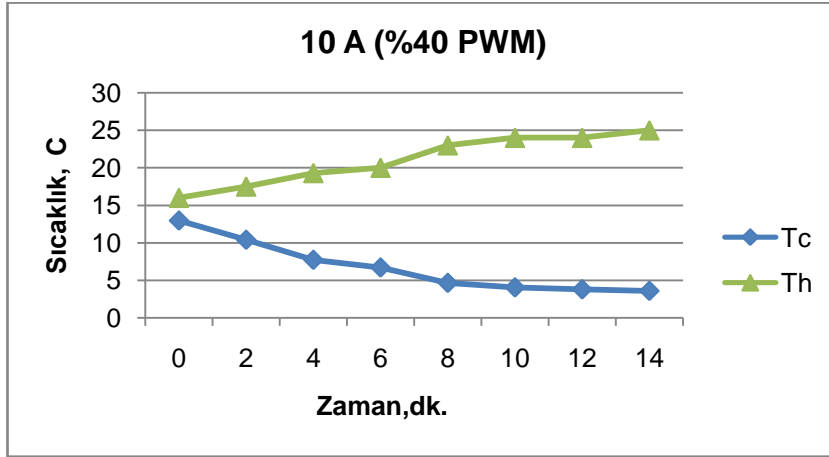
Şekil 5.2. 37 A için kaskın iç, dış sıcaklıklarının zamana göre değişim grafiği.



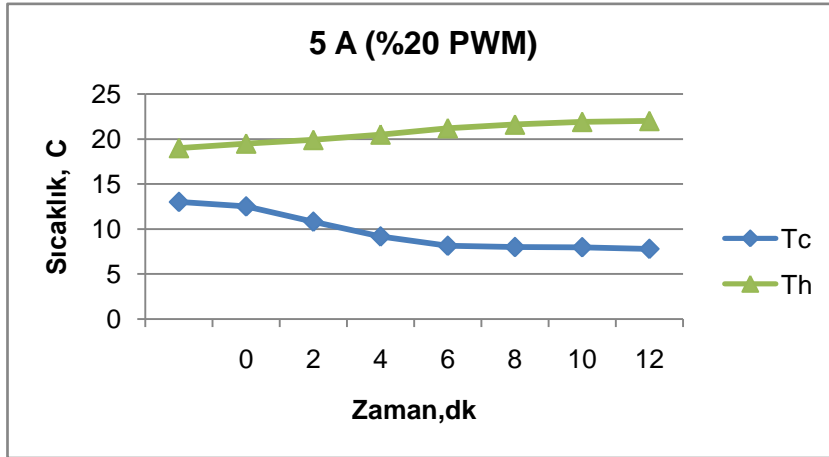
Şekil 5.3. 23 A için kaskın iç, dış sıcaklıklarının zamana göre değişim grafiği.



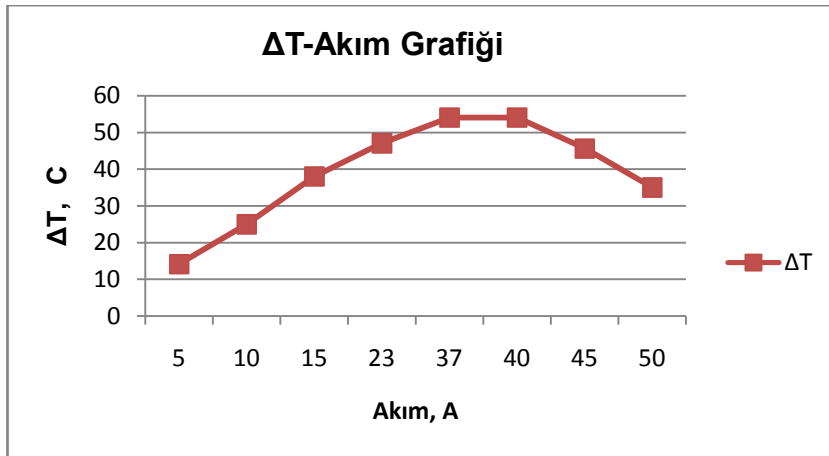
Şekil 5.4. 15 A için kaskın iç, dış sıcaklıklarının zamana göre değişim grafiği.



Şekil 5.5. 10 A için kaskın iç, dış sıcaklıklarının zamana göre değişim grafiği.

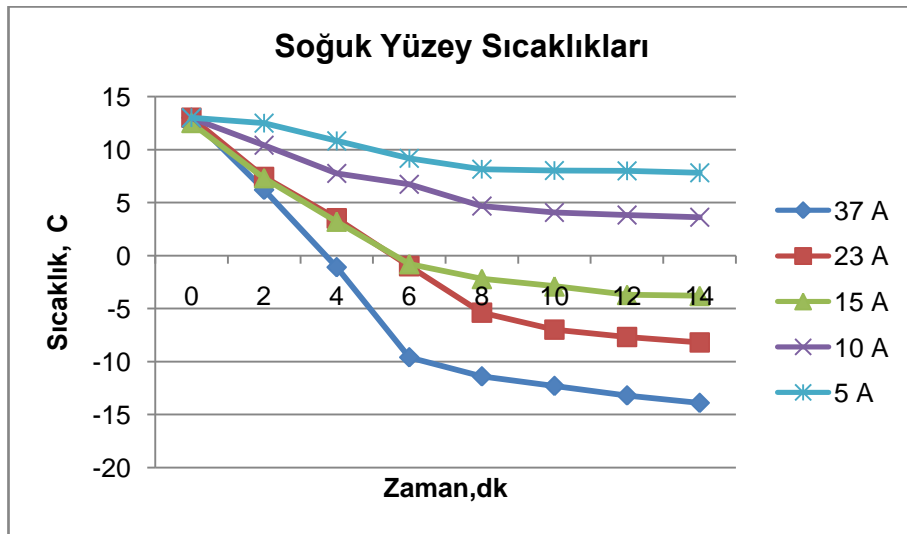


Şekil 5.6. 5 A için kaskın iç, dış sıcaklıklarının zamana göre değişim grafiği.



Şekil 5.7.  $\Delta T$ -Akım grafiği

Şekil 5.2 - Şekil 5.7'de verilen grafiklerde gösterilen ve deneysel olarak elde edilen bilimsel verilere göre termoelektrik beyin soğutucusunun en büyük sıcaklık farkı 40 A'de elde edilmekte ve  $\Delta T=54$  °C'dir. Minimum sıcaklık farkı ise 5 A uygulandığında meydana gelmekte ve  $\Delta T=14,2$  °C'dir. Termoelektrik kaskın maksimum akımı  $I_{max}$  ise grafikler incelendiğinde 40 A civarında olduğu görülmektedir. Bu akımın üzerinde uygulanan akımlar  $\Delta T$ -akım eğrisini tersine çevirecektir. Bu durumda maksimum soğutma performansı elde edebilmek için termoelektrik beyin soğutucusuna  $I_{max}$  değerini uygulamak gerekmektedir. Termoelektrik kaskın iç yüzey sıcaklığı en önemli parametredir. Şekil 5.8'de değişik akım değerleri için iç yüzey sıcaklıklarını göstermektedir. Bu grafikten de maksimum soğutma performansı uygulanan akımlar için 40 A olduğu görülmektedir.

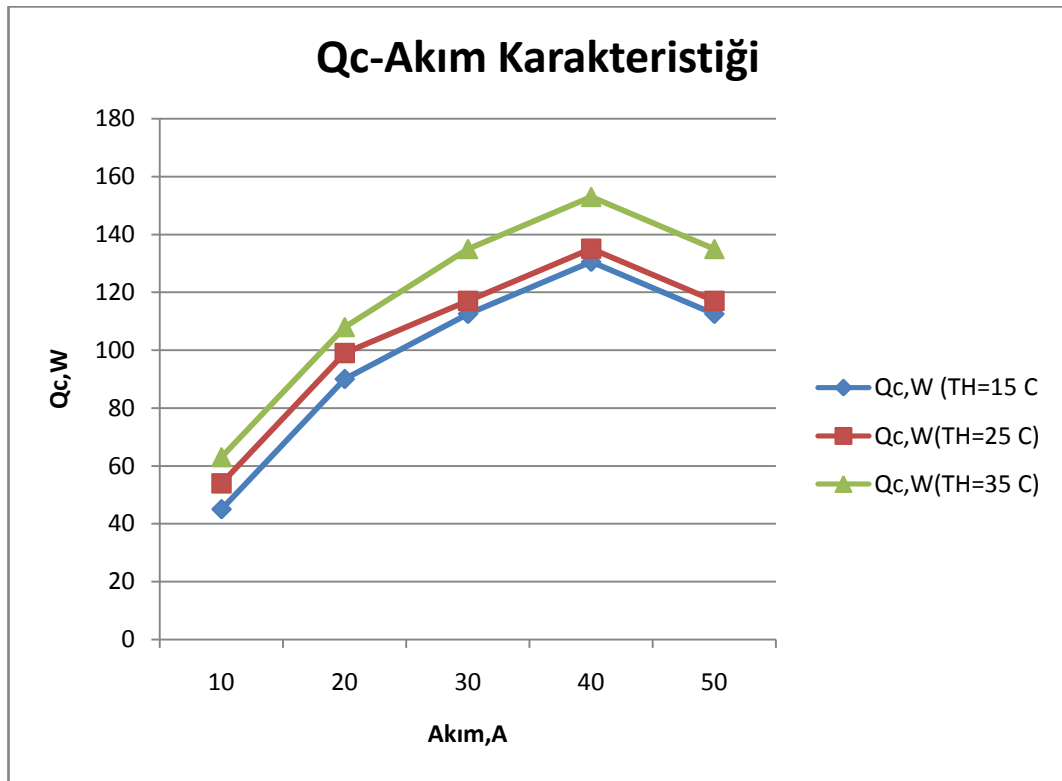


Şekil 5.8. Uygulanan akımlara göre oluşan iç yüzey sıcaklıkları.

Bir modül dış ısı yüküne maruz kaldığında performansı değişmektedir. Şekil 5.9 uygulanan değişik akımlara göre  $Q_C$ 'nin değişimini göstermektedir. Bu grafikteki değerler her akım için  $\Delta T$  değerini sıfır yapacak ısıtıcı güçler bulunarak hesaplanmıştır. Grafik incelendiğinde akım arttığında  $Q_{Cmax}$  değerinin arttığı görülmektedir. Maksimum akım değerinin üzerine çıkıldığında ise  $Q_{Cmax}$  eğrisi tersine dönmektedir.  $Q_{Cmax}$  değeri  $T_H$ 'ye göre de değişmektedir. Maksimum akımda (40 A)  $T_H=15$ °C iken  $Q_{Cmax}$  değeri 130,5 W



iken  $T_H=35^\circ\text{C}$  iken  $Q_{C\text{max}}$  değeri 153 W olmaktadır. Eğer modülün çektiği akım  $I \neq I_{\text{max}}$  ise,  $Q_C$  değeri herhangi bir  $I$  akımı için kaskın potansiyel soğutma gücünü verecektir. Birinci bölümde belirtildiği üzere insan beyni üzerinden yaklaşık olarak 120 W civarında ısı açığa çıkmaktadır. Termoelektrik kaskın bu ısıyı karşılayabilecek güç kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Kaskın soğuk yüzey sıcaklığı  $26^\circ\text{C}$ 'den  $-15^\circ\text{C}$ 'ye 14 dakikada getirilmektedir. Kask  $3^\circ\text{C}/\text{dk.}$  soğutma hızına sahiptir.

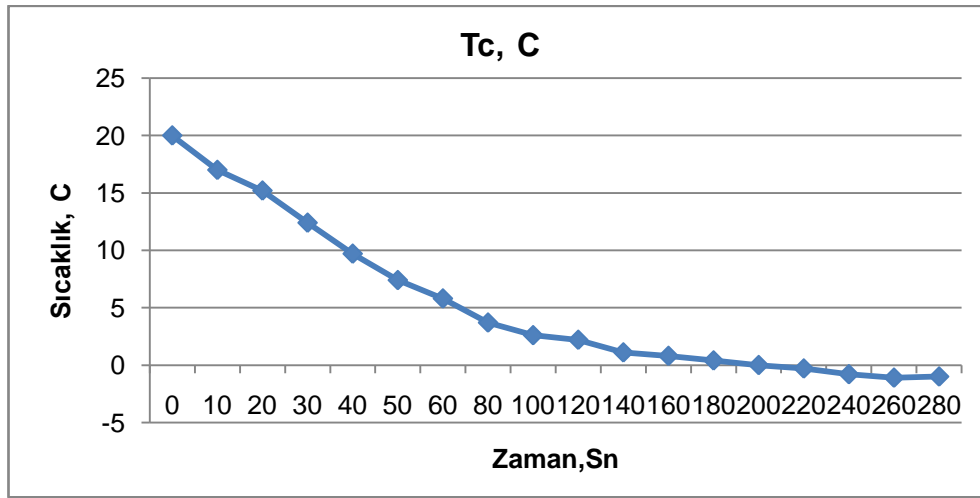


Şekil 5.9. Termoelektrik kaskın QC-Akım karakteristiği

Termoelektrik beyin soğutucu hasta tedavisinde kullanılacağı için iki hususa dikkat etmek gerekmektedir. Kaskın hastanın kafasına takıldığında soğutma veya ısıtmadan dolayı kafa derisinin zarar görmemesi ve hipotermiya esnasında beyin iç sıcaklığının  $28^\circ\text{C}$ 'nin altına düşmemesidir. Zaten beyin iç sıcaklığının  $30^\circ\text{C}$  olduğunda hipotermiyanın maksimum koruyucu etkisi bilinmektedir. Bilimsel araştırmalar ve klinik uygulamalara göre insan derisi  $-2^\circ\text{C}$ 'ye kadar soğutulduğunda hasar görmemektedir. Bu sıcaklığın altına düşüldüğünde deride soğuk yanmalar meydana gelmektedir[2-17]. Tehlikesi

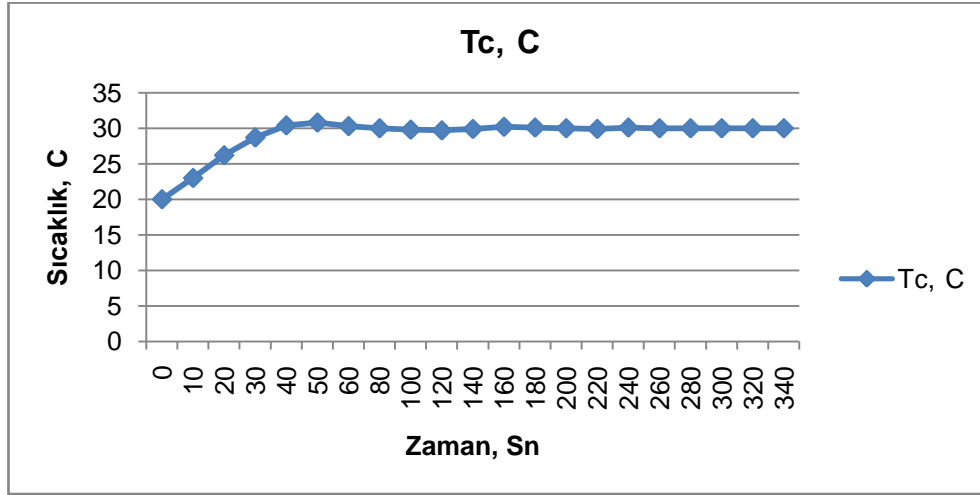
olmamasına rağmen bu kısıtlamaları dikkate alarak beyin soğutucunun çalışması ile ilgili testlerden ilki  $-1$  °C sıcaklık değeri için yapılmıştır. Yapılan testte termokuplların termoelektrik kaskın deri ile teması dikkate alınarak yapılmıştır. İkinci test ise  $30$  °C için yapılmıştır. Bu test ise termokuplların beyin içinde olduğu varsayılarak yapılmıştır. Ölçümler esnasında ortam sıcaklığı ayrı bir termometre ile kaydedildi. Termoelektrik beyin soğutucu üzerindeki sıcaklıklar bilgisayara aktarıldığı gibi Fluke marka kalibre cihazı ile haricen ölçülerek kaydedilmiş ve bilgisayara aktarılan sıcaklıklarla karşılaştırılmıştır. Sıcaklık ölçümleri her 10 saniyede bir kaydedildi ve her ölçüm on defa yapılmak suretiyle ortaya çıkabilecek hatalar önlenmiştir.

Termoelektrik beyin soğutucunun  $-1$  °C'ye ayarlandığı ilk uygulamada alınan ölçüm sonuçları Şekil 5. 10'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10.  $-1$  °C ayarlı sıcaklık değişim grafiği.

Kontrol sisteminin kaskı ısıtma modunda çalıştırabildiğini ve seçilen sıcaklıkta sabit tutulabildiğini test etmek için  $T_c=30$  °C için yapılan uygulamanın sonuçları Şekil 5.11'de gösterilmiştir.

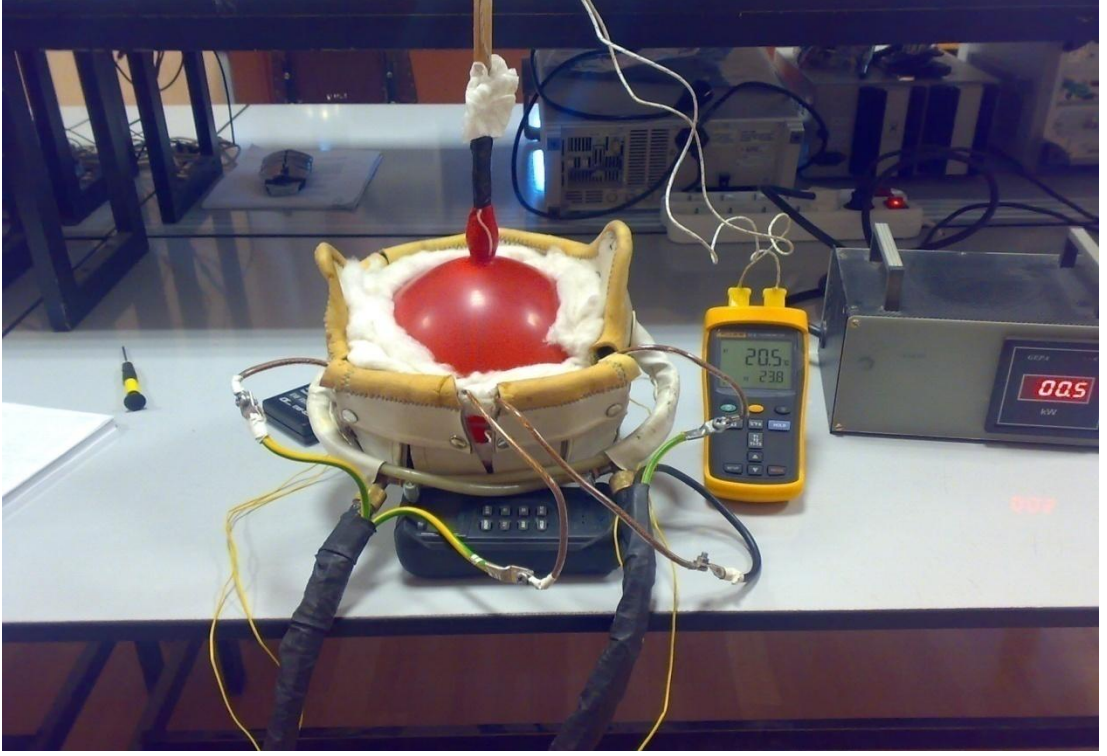


Şekil 5.11. -30 °C ayarlı sıcaklık değişim grafiği.

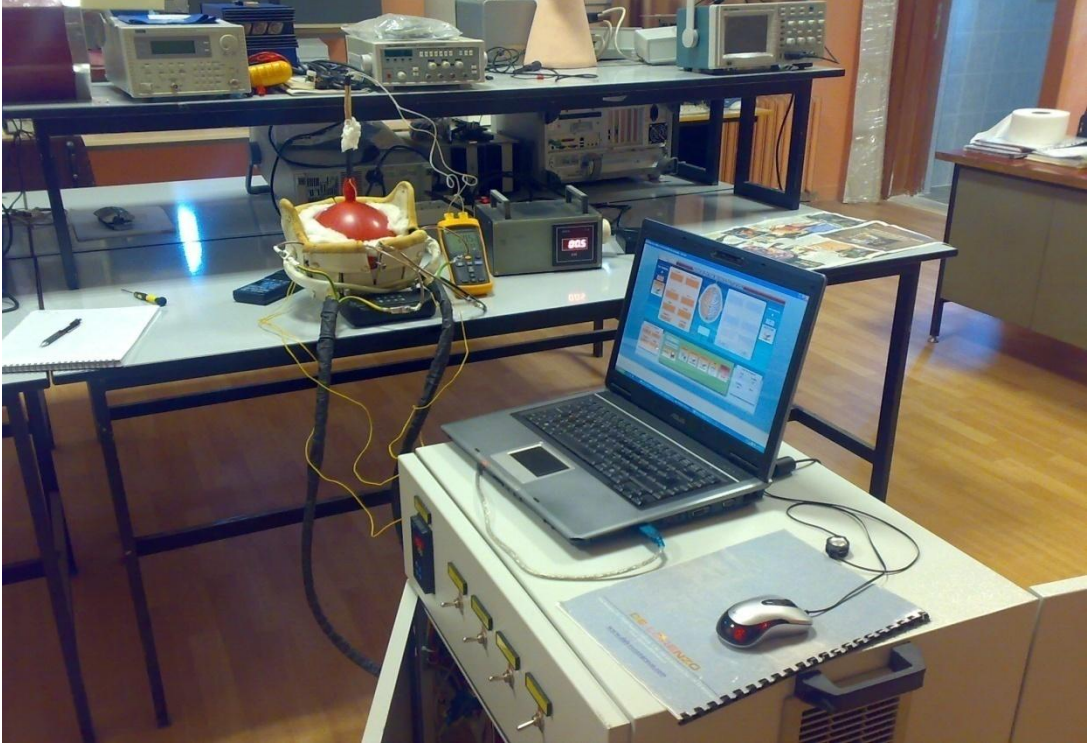
Termoelektrik beyin soğutucusu ayar yapılan sıcaklığa çok kısa sürede ulaşmakta ve bu sıcaklıkta kararlı bir şekilde uzun süre tutulabilmektedir. Bu özelliği bu teknolojiyi beyin hipotermiyasını sağlamada mükemmel kılmaktadır. İster soğutma modunda ister ısıtma modunda olsun bu kararlılık sağlanabilmektedir. Termoelektrik beyin soğutucunun iç yüzey sıcaklığı 20 °C'den -1 °C'ye 4 dakika, 30 °C'ye ise 1 dakika gibi kısa bir sürede düşürülebilmektedir.

## 5.2. Beyin Soğutucunun Model Uygulaması

Beyin soğutucu cihazın klinik uygulamalardan önce laboratuvarında model uygulaması yapılmıştır. Beynin % 78'i su olduğundan lastik bir balona 2 litre su doldurularak kaskın içerisine yerleştirilmiştir (Resim 5.2- Resim 5.3) [74]. Balonun içerisine aralarında 5 cm mesafe bulunan sabit termokuplların olduğu bir çubuk yerleştirilmiştir. Termokupllardan biri yüzeydeki diğeri ise 5 cm derinlikteki sıcaklığı göstermektedir. Bu mesafe hipofiz ve termoregülasyon merkezinin yüzeyden yaklaşık 5 cm derinde olmasından dolayı seçilmiştir. Bu sıcaklıkları ölçmek için çift termokupllu Fluke 52 II dijital termometre kullanılmıştır. Böylece modelleme yapılarak sistemin yüklü karakteristikleri elde edilmiştir.

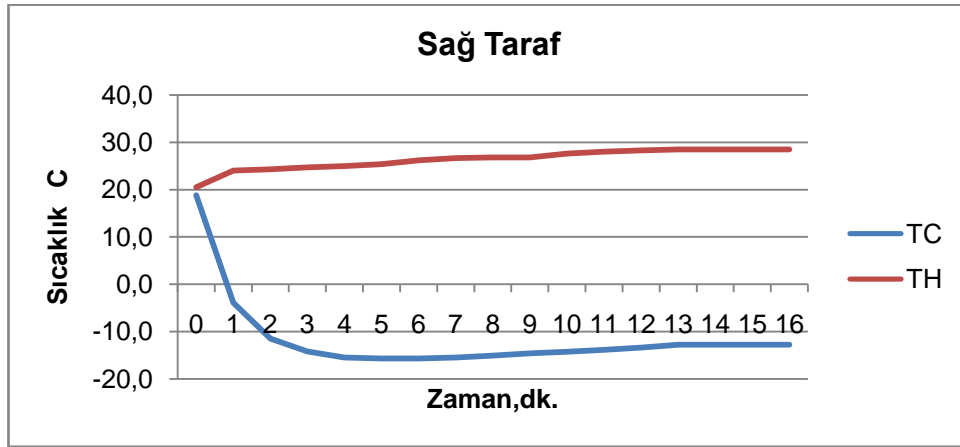


Resim 5.2. Beyin soğutucu model uygulama

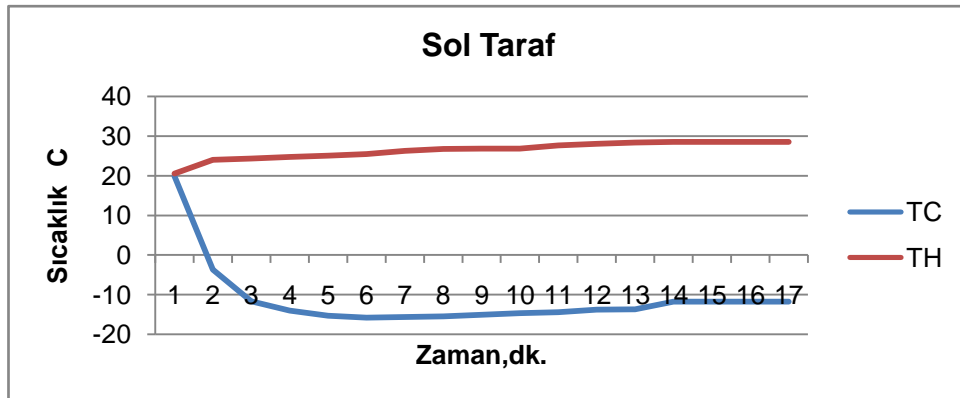


Resim 5.3. Deney düzeneği

Bu deney düzeneği kullanılarak üç adet uygulama yapılmıştır. Birinci uygulamada balon kaskın içerisine yerleştirilmeden önce sağ ve sol taraf yüksüz olarak soğutma modunda tam kapasite ile çalıştırılmıştır. Girişe bağlanan bir wattmetre ile sistemden çektiği güç kaydedilmiş ve kaska enerji vermeden sistemden çektiği gücün 0,5 kw olduğu görülmüştür. Sistem tam kapasite ile çalıştığında ise wattmetreden 1,2 kw okunmuştur. Deney 23 °C'lik oda sıcaklığında yapılmıştır. Bu deneyden elde edilen sonuçlar Şekil 5.12 ve Şekil 5.13 'de gösterilmiştir.



Şekil 5.12. Sağ taraf zaman sıcaklık değişim grafiği

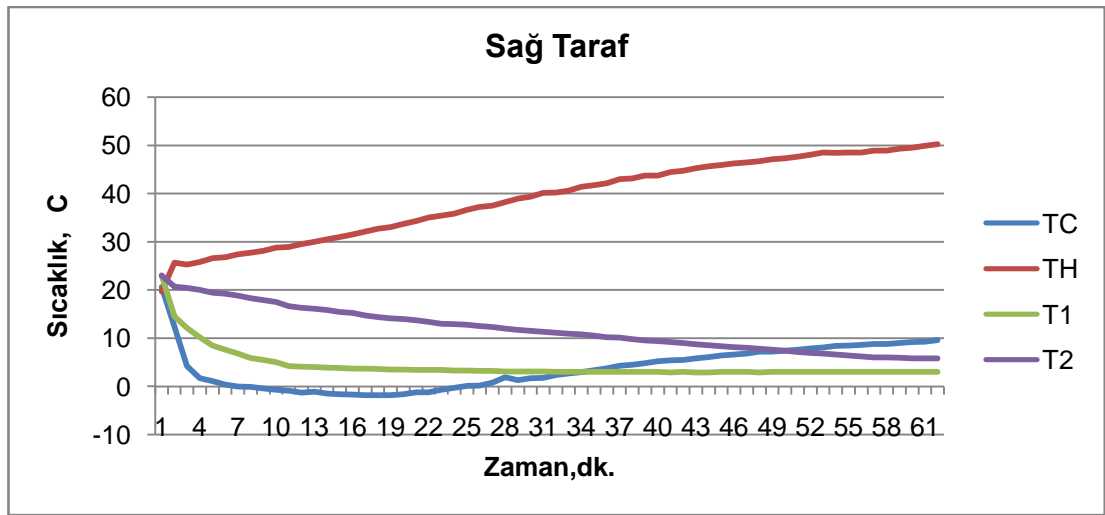


Şekil 5.13. Sol taraf zaman sıcaklık değişim grafiği

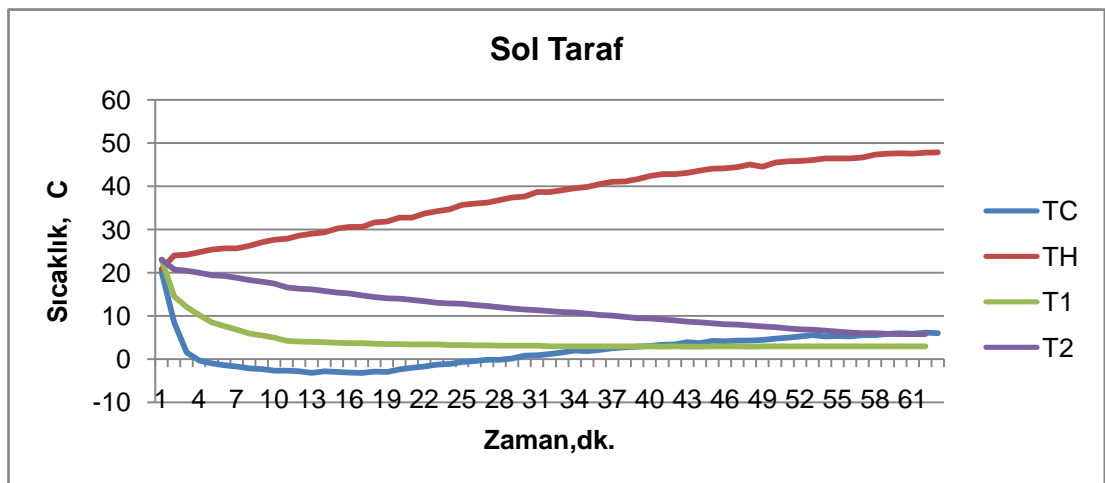
Birinci uygulama sonucu elde edilen bilgilere göre yüksüz kaskın soğutma hızı = sıcaklık farkı / zaman olup sağ ve sol için 0,5 °C/dk olarak

bulunmuştur. 0,5 °C/dk hızla sıcaklıklar 20 °C'den -13 °C'ye kadar düştüğü görülmüştür. Termoelektrik kaskın çektiği toplam güç 243 watt olmuştur.

İkinci uygulamada ise balon kaskın içerisine yerleştirildikten sonra kaskın sağ ve sol tarafı tam soğutma kapasite çalıştırılıp, bilgisayar yazılımı ile sağ ve sol taraf  $T_C$ ,  $T_H$ , akım, gerilim,  $\Delta T$  değerleri veritabanına kaydedilmiştir. Balonun içerisine 5 cm ara ile yerleştirilen termokuplların sıcaklıkları 1 dakika aralıklarla okunarak kaydedilmiştir. Elde edilen veriler grafiksel olarak Şekil 5.14 ve Şekil 15'te gösterilmiştir.



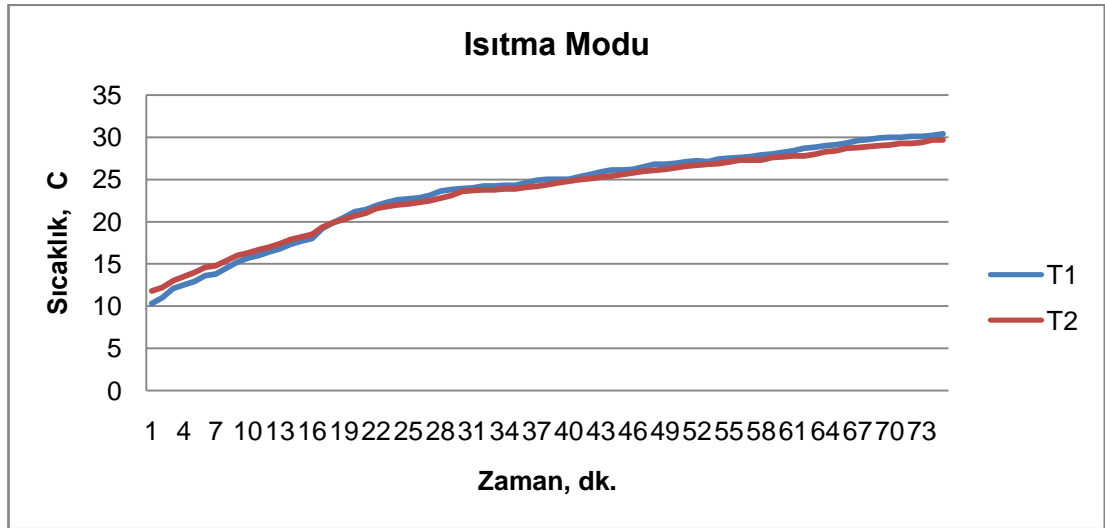
Şekil 5.14. Sağ taraf sıcaklık değişim grafiği



Şekil 5.15. Sol taraf sıcaklık değişim grafiği

İkinci uygulama sonucu elde edilen bilgilere göre yüklü kaskın soğutma hızı yaklaşık olarak 0,4 °C/dk olmuştur. Balonun içerisindeki suyun sıcaklığı 20 °C'den 3 °C'ye kadar 0,4 °C/dk hızla düşürülmüştür. Termoelektrik kaskın çektiği toplam güç 240 watt olmuştur.

Üçüncü uygulama balon kaskın içerisinde iken sağ ve sol taraf ısıtma modunda çalıştırılarak yapılmıştır. Bu uygulama neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



Şekil 5.16. Yüklü ısıtma modu karakteristikleri

Üçüncü uygulama sonucu elde edilen bilgilere göre yüklü kaskın ısıtma hızı yaklaşık olarak 0,3 °C/dk olmuştur. Balonun içerisindeki suyun sıcaklığı 10 °C'den 30 °C'ye kadar 0,3 °C/dk hızla çıkartılmıştır. Termoelektrik kaskın çektiği toplam güç yine 240 watt olarak ölçülmüştür.

Kaskı tek bir parça olarak değerlendirerek termoelektrik özellikleri elde edilmiştir. Kaskın içine konulan 6 litre suyun kütlesi  $m = 6$  kg, suyun öz ısı  $C = 4180$  j/kg.°C olup,  $t = 1$  saat = 3600 sn içerisinde  $\Delta T = 20$  °C'lik sıcaklık farkı meydana geldiğinden kask tarafından emilen watt olarak ısı güç  $Q_C = C \cdot m \cdot \Delta T / t$  formülüne göre hesaplanabilir. Kaskın soğutma kapasitesi bu formüle yaklaşık  $Q_C = 140$  watt olarak bulunur. Kaskın çektiği güç  $P = 240$  w olduğuna göre kaskın verimi  $COP = Q_C / P = 140 / 240 = 0,6$  olarak

bulunmuştur. Dolayısıyla kaskın soğutma kapasitesi ise 140 verimi ise % 60'tır.

Ayrıca kaskın içinde, dışında ve kablolarda meydana gelen manyetik alanın tespiti yapılmıştır. Bu ölçümler Lutron EMF-323 model ölçü aleti ile yapılmıştır. Değerler Çizelge 5.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. Kask manyetik alan değerleri

Kask İçi	10,5-11,2 $\mu$ T
Kask Dışı	10,5-17,5 $\mu$ T
Kablolar	60 $\mu$ T

### 5.3. Tasarlanan Cihazın Standartlara Göre Değerlendirilmesi

Tıbbi cihazların standartları ile ilgili kurum Türk Standartları Enstitüsü'dür. Standardizasyonla ilgili olan yürürlükte olan yüzlerce farklı standart bulunmaktadır. Standardizasyon işleminde en önemli kısım sınıflandırmadır. Bu bölümde TSE standartlarına göre termoelektrik beyin soğutucunun değerlendirilmesi yapıp, sınıflandırması yapılmıştır.

Tıbbi cihaz, İnsanda kullanıldıklarında aslî fonksiyonunu farmakolojik, immünolojik veya metabolik etkiler ile sağlamayan, fakat fonksiyonunu yerine getirirken bu etkiler tarafından desteklenebilen ve insan üzerinde:

1. Hastalığın tanısı, önlenmesi, izlenmesi, tedavisi veya hafifletilmesi,
2. Yaralanma veya sakatlığın tanısı, izlenmesi, tedavisi, hafifletilmesi veya mağduriyetin giderilmesi,
3. Anatomik veya fizyolojik bir işlevin araştırılması, değiştirilmesi veya yerine başka bir şey konulması,
4. Doğum kontrolü veya sadece ilaç uygulamak, amacıyla imal edilmiş, tek başına veya birlikte kullanılabilen, amaçlanan işlevini yerine getirebilmesi için



gerekiyorsa bilgisayar yazılımı ile de kullanılan ve cansız hayvanların dokularından da elde edilen ürünler dahil olmak üzere, her türlü araç, alet, cihaz, aksesuar veya diğer malzemeleri ifade eder (örn. muayene/cerrahi eldiveni, yara kapama malzemeleri, tıbbi ve cerrahi el aletleri, sterilizatörler, röntgen cihazı vb.).

### **5.2.1.Vücuda yerleştirilebilir aktif tıbbi cihaztanımı**

Tamamı veya bir kısmı, tıbbi veya cerrahi bir müdahale ile insan vücuduna, doğal bir vücut girişine veya boşluğuna yerleştirilen ve yerleştirildiği yerde kalması gereken aktif tıbbi cihazları ifade eder (kalp pili, internal işitme cihazı vb.).

### **5.2.2.Tıbbi cihazların sınıflandırılması**

Tıbbi Cihaz Direktifine göre tıbbi cihazlar 4 sınıfa ayrılmakta olup, risk seviyelerine göre aşağıdaki şekilde gruplandırılmaktadırlar.

- a. Sınıf I Düşük Risk
- b. Sınıf IIa Orta Risk
- c. Sınıf IIb Orta Risk
- d. Sınıf III Yüksek Risk

Sınıflandırma Tıbbi Cihaz Yönetmeliği EK IX Sınıflandırma kurallarına göre yapılmaktadır. Cihazın vücut ile temas süresi ve temas şekli bu sınıflandırmada esas alınmaktadır.

#### **I. Kullanım Süresine Göre;**

Geçici süreli: Normalde 60 dakikadan az bir sürede ve devamlı kullanılması amaçlanan cihazlar.

Kısa süreli: Normalde 30 günden az ve sürekli kullanılması amaçlanan cihazlar.

Uzun süreli: Normalde 30 günden fazla ve sürekli kullanılması amaçlanan cihazlar.

II. İnvaziv Olmasına Göre;

İnvaziv olmayan cihazlar,

İnvaziv cihazlar.

III. Ölçme fonksiyonlu olmasına göre

Bir cihazın ölçme fonksiyonlu olması için aşağıdaki kriterlerin varlığı doğrulanmalıdır.

Bir fizyolojik veya anatomik parametrenin niceliksel ölçümünü yapmak ya da insan vücuduna verilen veya vücuttan atılan maddelerin veya enerjinin miktar veya değiştirilebilir karakteristiklerini ölçmek için cihazın kullanılacağı imalatçı tarafından beyan edilmelidir.

Ölçme işleminin sonucu yasal birimlerle veya AB Komisyonunca yayımlanan 80/181/ECC Direktif kapsamında kabul edilebilir birimlerle verilmelidir ya da yasal birimlerle veya değindiğimiz Direktifle uyumlu kabul edilebilir birimlerle gösterilir en azından bir referans noktasıyla kıyaslanabilmelidir.

Doğrudan açıkça veya dolaylı şekilde beyan edilen amaç, hastanın sağlığında veya emniyetinde/güvenliğinde dikkate değer bir yan etki doğurabileceği belirtilen nicelikleri hedeflenen doğrulukla uyuşmayacak durumlarda ölçme doğruluğunu vurgular.

IV. Aktif Olmasına Göre;

Herhangi bir enerji kaynağından (elektrik, akü, pil, v.b.) güç alarak çalışan tıbbî cihazlara aktif tıbbî cihaz denir.

Yukarıda TSE'den alınmış bilgiler verilmiştir. Bu bilgiler ışığında cihaz "Tıbbi Cihaz" statüsüne girmektedir. Aşağıdaki gibi değerlendirilmelidir.

### **Cihazın Tanımı**

Beyin Sıcaklığını Dışarıdan Etkilemek için Bilgisayar Kontrollü Termoelektrik (Yarı İletken) Beyin Soğutucu Başlık

Beyin ameliyatlarında, açık kalp ameliyatlarında, beyin travmalarında, ağır hipoksi durumlarında beyin ödemlerini ve tümörlerini önlemek amacıyla yapılan reanimasyon işleminde ve ateşi ilaçla düşürülemeyen hastaların ateşini düşürmek amacıyla beyni dışarıdan soğutmak ya da ısıtmak amacıyla kullanılacaktır.

### **Takım Tertibi**

Termoelektrik başlık,

Kontrol paneli.

### **Teknik Özellikler**

Gerilim	: 220 V
Frekans	: 50 HZ
Şebekeden çektiği güç	: 1,2 kw
Akım (max)	: 40 A
Güç (max)	: 140 W
Max. Sıcaklık farkı	: 54 °C

Max.Sıcaklık Düşüşü	: 15 °C
Çıkış potansiyel farkı	: 7 V
COP	: 0,6
Manyetik alan	: 10,5 µT
Soğutma hızı	: 0,4 °C/dk
Isıtma hızı	: 0,3 °C/dk
Kontrol yöntemi	: Bulanık mantık

### **Boyutlar**

#### **Başlık Boyutları**

Kafanın soğutulan genel sahası	: 650 cm
Başlığın efektif sathı	: 463 cm
Ağırlık	: 1,2 kg

#### **Kontrol Paneli Boyutları**

Kontrol paneli	: 70*60*70 cm
Ağırlık	: 50 kg
PC	: Dizüstü

### **Cihazın Sınıflandırılması**

Uzun süreli,  
İnvaziv olmayan,

Ölçme fonksiyonlu,

Aktif.

Cihazın bu özellikleri belirlendikten sonra hangi yönetmeliğe tabi olduğu tespit edilmelidir. Cihaz vücuda yerleştirilebilir aktif tıbbi cihaz yönetmeliğinde orta riskli sınıf IIA grubuna girmektedir.

## 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, başta nöroloji, kardiyoloji ve anestezi vakaları olmak üzere birçok hastalıklarda hastanın beyninin korunması için kullanılan beyin hipotermiyasını sağlamak için kullanılmak üzere termoelektrik modüllerden oluşan bir kask tasarımı yapılmıştır. Kaskın sıcaklık kontrolü yapay zeka tekniklerinden biri olan bulanık mantık ile yapılmıştır.

Bu çalışmada tasarlanan termoelektrik beyin soğutucusunun en önemli özelliklerinden birisi DA gerilimle çalışmasıdır. Beyin travması geçiren insanların büyük çoğunluğunun nakil sırasında hayatını kaybetmesi gerçeği göz önüne alındığında cihazın önemi bir kat daha artmaktadır. Özellikle hasta nakil araçlarında rahatlıkla kullanılacak bu cihaz nakil esnasında tedaviye başlanmasının önünü açacaktır. Bu cihaz ile ister hasta nakil araçlarında ister hastanelerde olsun beyin soğutma işlemi rahatlıkla gerçekleştirilebilir. Tasarlanan cihaz şu an itibarıyla AC gerilime ihtiyaç duymasına rağmen küçük değişiklikler ile ambulanslarda kullanılabilir hale getirilebilecektir.

Hipotermiya yapılırken beynin sıcaklığı her tarafta eşit büyüklükte ve kontrollü bir şekilde düşürülmelidir. Tasarlanan termoelektrik beyin soğutucu kaskın en önemli özelliklerinden birisi de budur. Çünkü çok sayıda esnek termoelektrik modüllerden meydana geldiği için kafaya olan temas yüzeyi fazladır. Bu özellik ise eşit dağılımlı bir soğutma için olmazsa olmaz şarttır. Yapılan uygulamalarda beyin soğutucusunun sıcaklığı istenilen seviyeye getirilip bu sıcaklıkta tutulabildiği görülmüştür. İki kritik sıcaklık değeri için yapılan uygulamalar sistemin soğutma ve ısıtma rejiminde kullanılabilirliğini göstermiştir. Bilgisayar kontrollü olarak yapılan bu işlem bu cihaz ile beyin hipotermiyasının yapılabilirliğini gösterilmiştir. Beyin hipotermiyası uygulanan hastalardaki en önemli problemlerden biri beynin tekrar eski sıcaklığına kontrollü bir şekilde getirilmesidir. Tasarlanan hipotermiya sisteminin bir diğer önemli avantajı da budur. Çünkü sadece polariteyi değiştirmek suretiyle kask ısıtma modunda çalıştırılabilmekte ve beyin tekrar eski sıcaklığına getirilebilmektedir. Bu işlem aynı soğutmada olduğu gibi eşit dağılımlı bir

şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Geliştirilen 2009 model beyin soğutma cihazı daha önceki modellerden farklı olarak sadece tek parça kontrol edilebildiği gibi birbirinden bağımsız iki bölüm halinde de kullanılabilir. Bu modelin daha önceki modellerden farkı kontrol sisteminin bulanık mantık yöntemi ile çalıştırılmasıdır.

Termoelektrik kaskın kontrol sistemi yapay zeka tekniklerinden biri olan bulanık mantık yöntemi ile yapılmıştır. Bu yöntemin diğer yöntemlere göre daha hızlı ve pratik olduğu bilinmektedir. Cihazın güvenliği hem yazılım hem de donanım olarak sağlanmıştır. Cihazda aşırı akım koruma rölesi kullanılmıştır. Herhangi bir nedenle sistemde ani akım yükselmesi söz konusu olduğunda sistem otomatik olarak kendini kapatmaktadır. Bilgisayar yazılımı ile alt ve üst sıcaklık limitleri girilebilmekte ve bu değerler aşıldığında termoelektrik beyin soğutucusuna uygulanan akım otomatik olarak kesilmektedir. Cihazın en önemli bölümlerinden birisi kaskın dış yüzeyinde dolaşan su dolaşım sistemidir. Su sıcaklığı termoelektrik beyin soğutucusuna uygulanacak akım belirlenirken her seferinde kontrol edilmekte ve belirlenen sınırların dışına çıkıldığında otomatik olarak sistem kapatılmaktadır.

Beyin soğutma sisteminin çektiği güç 1,2 kw, soğutma kapasitesi 140 w'tır. Ki bu gerekli olan 120 w'ın üzerindedir. COP 0,6 civarında olup soğutma ve ısıtma hızı kontrollü olup 0,5 °C/dk'yı aşmamaktadır. Kaskın etrafında meydana gelen manyetik alan 11 µT civarındadır. Sistem bulanık mantık yöntemi ile çalışmaktadır ve sistemi çalıştırmak için Visual Basic programlama dilinde özel bir program hazırlanmıştır.

Bu cihaz ile beyin hipotermiyasını sağlayan, nakil araçlarında kullanılabilecek, elektronik olarak kontrol edilebilen, hiçbir zararlı soğutucu gaz içermeyen, ısıtma ve soğutmayı istenilen seviyede ve kararlı bir şekilde yapabilen bir sistem meydana getirilmiştir. Beyin soğutucu kask iki bölümlü olup sonraki çalışmalarda beynin her bir loku için farklı bir bölüm oluşturularak birbirinden bağımsız olarak ısıtılıp soğutulabilecektir.

## KAYNAKLAR

1. Yazgan, E., "Tıp Elektroniği", **İstanbul Teknik Üniversitesi Rektörlüğü Yayınları**, İstanbul, 490-506 (1996).
2. Kwon, B. K., Mann, C., Sohn, M. H., "Hypothermia for spinal cord injury", **The Spine Journal**, 8(2): 859-874 (2008).
3. Kiyatkin, E. A., Sharma H. S., "Permeability of the blood-brain barrier depends on brain temperature", **Journal Of Neuroscience**, 10(1): 10-16 (2009).
4. Arrica, M., Bissonette, B., "Therapeutic hypothermia", **Seminars in Cardiothoracic and Vascular Anesthesia**, 11(1): 6-15 (2007).
5. Inamasu, J., Ichikizaki, K., "Mild hypothermia in neurologic emergency: an update", **Annals of Emergency Medicine**, 40(3): 220-230 (2002).
6. İnternet: Medikal Teknik Dergisi "Serabral koruma - terapötik hipotermi" [http://www.medikalteknik.com.tr/web/haber\\_goster.asp?id=966](http://www.medikalteknik.com.tr/web/haber_goster.asp?id=966) (2008).
7. Katz, L. M., Younga, A.S., Franka, J.E., Wanga, Y., Park, K., "Regulated hypothermia reduces brain oxidative stress after hypoxic-ischemia", **Brain Research**, 1017(1): 85-91 (2004).
8. Gal, R., Cundrle, I., Zimova, I., Smrcka, M., "Mild hypothermia therapy for patients with severe brain injury", **Clinical Neurology and Neurosurgery** 104: 318-321 (2002).
9. Clifton, G.L., "Hypothermia and severe brain injury", **Journal of Neurosurgery**, 93(4): 718-719 (2000).
10. Clifton, G.L., Steven. A., Berry, J., Koch, S., M., "Systemic hypothermia in treatment of brain injury", **Journal of Neurotrauma**, 9(2): 487-495 (1992).
11. Pekka, M., "Changes in Human Intracerebral Temperature in Response to Different Methods of Brain Cooling", **Neurosurgery**, 31(4):671-677 (1992).
12. Croughwell, N., Smith L. R., "The effect of temperature on cerebral metabolism and blood flow in adults during cardiopulmonary bypass", **The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery**, 3:102-107 (1992).



13. Mellergard, P., Nordström, C., "Intracerebral temperature in Neurosurgical patients", **Journal of Neurosurgery**, 28(5): 709-713 (1991).
14. Ohta, T., Sakaguchi, I., "Selective cooling of brain using profound hemodilution in dogs", **Journal of Neurosurgery**, 31(6): 1049-1055 (1992).
15. DeBow, S., Colbourne, F., "Brain temperature measurement and regulation in awake and freely moving rodents", **Journal of Methods**, 30(3): 167-171 (2003).
16. Taltavull, J. F., Chefer, V. I., Shippenberg, T. S., Kiyatkin, E. A., "Severe brain hypothermia as a factor underlying behavioral immobility during cold-water forced swim", **Brain Research**, 975(2) : 244-247 (2003).
17. Moon, A. H., Tanimoto, J. K., Sakanashi, H., "Jugular vein temperature reflects brain temperature during hypothermia", **Journal of Resuscitation**, 45(1) : 111-118 (2000).
18. Jordan, D. J., Carhuapoma, J. R., "Hypothermia: Comparing technology", **Journal of the Neurological Sciences**, 261(4): 35-38 (2007).
19. Campos, J. M., Paniagua, P., "Hypothermia during cardiac surgery", **Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology**, 22(4): 695-709, (2008).
20. Holzer, M., Behringer, W., "Therapeutic hypothermia after cardiac arrest and myocardial infarction", **Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology**, 22(4): 711-728 (2008).
21. Kimberger, O., Kurz, A., "Thermoregulatory management for mild therapeutic hypothermia", **Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology**, 22(4): 729-744 (2008).
22. Gonzalez, F., Ferriero, M., "Therapeutic for neonatal brain injury", **Pharmacology & Therapeutics**, 120(4): 43-53 (2008).
23. Büket, S., Özbaran, M., Alayunt, A., "Aort cerrahisinde derin hipotermik total sirkulatuvar arrest uygulaması", **Türk Göğüs Kalp Damar Cerrahisi Dergisi**, 2(1): 91-94 (1994).
24. Dönmez, A., Torgay, A., "Açık kalp cerrahisinde serebral koruma", **Anestezi Dergisi**, 24(3): 157-164 (2005).

25. Ovul, I., Nadirzade, R.S., Oner, K., Nadirzade, S.M., "A method for monitoring intracerebral temperature in neurosurgical patients", **Technology-Surgical Approaches**, 3(2): 354 (1997).
26. Ovul, I., Nadirzade, R.S., Oner, K., Nadirzade, S.M., "A new technique for brain hypothermia", **Technology-Surgical Approaches**, 3(3):353 (1997).
27. Ahıska, R., Güler, İ., Kaymaz, M., Yavuz, A.H., "Control of a thermoelectric brain cooler by adaptive neuro-fuzzy inference system", **Instrumentation Science and Technology**, 36(3): 636-655 (2008).
28. Ahıska, R., Güler, İ., Yavuz, A. H., Toprak, A., "Neuro-Fuzzy Inference System For Control Of A Thermoelectric Brain Cooler", **Journal of Thermoelectricity**, Ukrayna, 4(2): 64-70 (2008).
29. Yavuz, A. H., Ahıska, R., "Bulanık mantık kontrollü termoelektrik beyin soğutucusu", **ELECO'2006 5. Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı**, Bursa (2006).
30. Yavuz, A. H., Ahıska, R., "Modelling of a thermoelectric brain cooler by adaptive neuro-fuzzy inference system", **ELECO'2007 5th International Conference on Electrical and Electronics**, Bursa (2007).
31. Steven, B., Michael, D., Darwin, G., Sandra, R., "Rapid (0.5°C/min) minimally invasive induction of hypothermia using cold perfluorochemical lung lavage in dogs", **Journal of Resuscitation** 50(3): 189–204 (2001).
32. Ahıska, R., "A New Test Method And System For The Measurement Of Z-Parameter Of Standard Peltier Modules", **J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.**, 19(2): 467-473 (2004).
33. Ahıska, R., "The Study of Thermoemf Effect on Exit Parameters of Thermoelectric Modules", **International Conference "Fizika – 2005"**, 7-9 June, Baku, Azerbaijan, 33(3): 144-148 (2005).
34. Ahıska, R., "New Method for Investigation of Dynamic Parameters of Thermoelectric Modules", Turkey J. Elec. Engin., **TUBİTAK**, 15(2): 51-65 (2007).
35. Ahıska, R., "New Method For Study Dynamic Exit Properties Of Thermoelectric Modules", **J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.**, 22(3): 709-716 (2007).

36. Güler, N.F., Ahıska, R., “Design and testing of a microprocessor-controlled portable thermoelectric medical cooling kit”, **Applied Thermal Engineering**, 22(1): 1271-1276 (2002).
37. Shields, C.E., McPeak, D.W., Rothwell, J.C., “Investigation of materials and methods for air delivery of whole blood and blood products”, **Military Medicine**. 133(3): 614–621 (1968).
38. Haynes, D.H., Monaghan, W.P., “Blood storage and transport in the field using a portable thermoelectric refrigerator: assessment of potential use”, **Military Medicine**, 149(3): 184–188 (1984).
39. Standards for Blood Banks and Transfusion Services, 11th ed., “Prepared by the Committee on Standards”, **American Association of Blood Banks**, Washington, DC (1984).
40. İnternet: TETECH ,“Custom and standart thermoelectric applications” <http://www.tetech.com> (2009).
41. Ahıska, R., Ahıska, G., Ahıska, K., “Analysis of a new method for measurement of parameters of real thermoelectric module employed in medical cooler for renal hypothermia”, **Instrumentation Science and Technology**,37(1) : 102-123 (2009).
42. İnternet: Dukehealth Web Sitesi “Hypothermia Studied as Treatment for Brain Injury” <http://www.dukehealth.org/HealthLibrary/News/5866> (2004).
43. İnternet: LeiomyoSarcoma Web Sitesi “Hyperthermia” <http://www.leiomyosarcoma.info/hyperthermia.htm> (2009).
44. İnternet: MEQL Web Sitesi “Hypothermia and Hypothermia” <http://www.meql.com/results.tpl?cart=125249170872691&catsuid=24> (2009).
45. Ahıska, R., Demirel, H., and Erkal, B., “Post traumatic protection of brain in rats using rat termohypotherm device”, **Journal of Science**, 17(4): 29–38 (2004).
46. Walter, Henry j., **Patent**, European Patent, A61, F7/00, 07.09.1978.
47. Kramer, Robert W., **Patent**, European Patent, A61, F7/00, 25.03.1985.
48. Buist, R.J., Streitwieser, G.D., “The thermoelectrically cooled helmet”, **Proceeding of the Seventeenth International Thermoelectric Conference**, Texas, 88–94 (1988).

49. Buist, R.J., Streitwieser, G.D., "An electronic temperature for thermoelectric with variable heat sink resistance", **Proceeding of the Seventeenth International Thermoelectric Conference**, Texas, 110–114 (1988).
50. Nadirzade, S.M., "Ussledavanie teplavih prossesov razrabatka kompleksa gibkih termoelektricskih ahladiteley de medisini", **Avtoref. Dis. Kard. Teknik. Navk**, Aşgalabad, (1980).
51. Ahıska, R., **Patent**, EP, A61, F7/00, 18 October, 1993.
52. Kapıdere, M., "Mikrodenetleyicili Termohipoterm Tıp Cihazı Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi". Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 40-50 2005
53. Kapıdere, M., Ahıska, R., Güler. İ., "A New Microcontroller-Based Human Brain Hypothermia System", **Journal of Medical Systems**, 29(5) : 501-513 (2005).
54. Pressman, A. I., "Switching and Linear Power Converter Design", **Haydan Rochelle Park**, N. J., 32-78 (1977).
55. Pelegrí, J., Ramírez, D., Sanchis, E., Navarro, A. E., Casans, S., "Giant Magnetoresistive Sensor in Conductance Control of Switching Regulators", **IEEE Transactions on Magnetics**, 36(5):3578-3580 (2000).
56. Chryssis, G., "High Frequency Switching Power Supplies", **McGraw-Hill Inc.**, New York, 116-122 (1989).
57. Zadeh, L.A., "Fuzzy sets", **Information and Control** 8, 338-353 (1965).
58. Zadeh, L.A., "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes", **IEEE Transactions on Systems, man, and Cybernetics**, 3(1): 28-44 (1973).
59. Zadeh, L.A., "The concept of linguistic variable and its application to approximate reasoning", **Information Sciences**, 8(1): 199-249, 8(2): 301-357-, 9(1): 43-80 (1975).
60. Brubaker, D.I., "Fuzzy-Logic basics:intuitive rules replace complex math", **EDN-Design Feature**, 111-116 (1992).
61. Elmas, Ç., "Bulanık Mantık Denetleyiciler", **Seçkin Yayıncılık San.ve Tic.A.Ş.**, Ankara, 24-99 (2003).

62. Kosko, B., "Neural networks and fuzzy systems", **Prentice Hall**, Tokyo 120-135 (1992).
63. Hellendorn, H., Thomas, C., "Defuzzification in fuzzy controllers", **Intelligent and Fuzzy Systems**, 1(1): 109-123 (1993).
64. Lee, C.C., "Fuzzy logic in control system: fuzzy logic controller", **IEEE Trans. on Systems Man and Cybernetics**, 20(2): 404-435 (1990).
65. Mamdani, E.H., "Application of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic systems", **IEEE Trans. on Comput.**, 26(2): 1182-1191 (1977).
66. Akcayol, M.A., Cetin, A., Elmas, C., "An educational tool for fuzzy logic controlled BDCM", **IEEE Trans. on Ed.**, 45(1):33-42 (2002).
67. Andreuccetti, D., Marco, G. B., et al., "EMI-Immune Thermocouple Thermometry in RF Hypothermia Systems", **IEEE Transaction on Electromagnetic Compatibility**, 33(4): 384-389 (1989).
68. Ruppel, F.R., "Modeling a Self-Calibrating Thermocouple for Use in a Smart Temperature Measurement System", **IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement**, 39(6): 898-901 (1990).
69. Cao, H., Vorperian, V. R., Tsai, J. Z., Tungjitkusolmun, S., Woo, E. J., Webster, J. G., "Temperature Measurement within Myocardium During In Vitro RF Catheter Ablation", **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, 47(11): 1518-1524 (2000).
70. Aydoğdu, Ö., "Optimal-Tuning of PID Controller Gains Using Genetic Algorithms", **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 131-135 (2005).
71. Dalcı, K.B., "Bulanık kazanç ayarlamalı nonlineer PI kontrolörün kalıcı mıknatıslı doğru akım motor-dinamo sistemine uygulanması", **Doğuş Üniversitesi Dergisi**, 71-88 (2004).
72. Jianghui, W.X.D., Debao, C., "PID self-tuning control based on evolutionary programming", **Proceedings of the 4 World Congress on Intelligent Control and Automation, IEEE**, 9(7): 3132-3135 (2002).
73. Mitsukura, Y., Yamamoto, T., Kaneda, M., "A genetic tuning algorithm of PID parameters", **Systems, Man and Cybernetics IEEE International Conference**, Tokyo, 923-928 (1997).

74. İnternet: Kişisel Gelişim Merkezi Web Sitesi “Beyin kullanma klavuzu”  
[http://www.kigem.com/beyin/beyin\\_kullanma.pdf](http://www.kigem.com/beyin/beyin_kullanma.pdf) (2009).

**EKLER**

### EK-1. Kontrol Devresinde Kullanılan Mikrodenetleyici Yazılımı

```

#include <18F4520.h>
#define adc=10          //10 bit adc kullanılacak.
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#define FUSES NOWDT, XT, NOPUT, PROTECT, NOBROWNOUT, NOLVP,
NOCPD, NOWRT, NODEBUG, NOPUT, NODEBUG
#define delay(clock=4000000)
#define rs232 (baud=9600, xmit=pin_C6, rcv=pin_C7, parity=N, stop=1)
#define fast_io(a)
#define fast_io(b)
#define fast_io(c)
#define fast_io(d)
byte veri_a,veri_b;
int say1,say2,say3,say4;
int del_ay;    //0 ile 65535 arası değer alır.
unsigned long int adc0,adc1,adc2,adc3,adc4,adc5,adc6;
char klavye[20];
#define int_rda
void serihaberlesme_kesmesi ()
{
    disable_interrupts(int_rda);

    gets(klavye);
    say1=atoi(klavye)*2;    //setup_timer_2 200 olduğu için 2 ile arpıldı.

    gets(klavye);
    say2=atoi(klavye)*2;

    gets(klavye);

```



```
del_ay=atoi(klavye)*2; //Örnekleme zamanı

gets(klavye);
say3=atoi(klavye)*2;

gets(klavye);
say4=atoi(klavye)*2;

if (say1!=0)
{
setup_ccp1(0x4c);
output_low(PIN_D7);
output_low(PIN_C2);
output_high(PIN_D6);
set_pwm1_duty(say1);
}
else if (say2!=0)
{
setup_ccp1(0xcc);
output_low(PIN_D6);
output_low(PIN_D5);
output_high(PIN_D7);
set_pwm1_duty(say2);
}
else
{
output_low(PIN_D6);
set_pwm1_duty(0);
output_low(PIN_D7);

}
```

```
if (say3!=0)
{
output_high(PIN_B0);
output_low(PIN_B1);
set_pwm2_duty(say3);
}
else if (say4!=0)
{
output_high(PIN_B1);
output_low(PIN_B0);
set_pwm2_duty(say4);
}
else
{
output_low(PIN_B0);
output_low(PIN_B1);
set_pwm2_duty(say3);
}
clear_interrupt(int_rda);
enable_interrupts(int_rda);
}
void main()
{
setup_adc_ports(ALL_ANALOG); //Tüm girişler analog giriş yapıldı.
setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_32); //ADC clock sinyali 32 ye bölünecek.
setup_psp(PSP_DISABLED);
setup_spi(SPI_MASTER|SPI_L_TO_H|SPI_CLK_DIV_4);

setup_timer_0(RTCC_EXT_L_TO_H|RTCC_DIV_2);
setup_timer_1(T1_DISABLED);
setup_ccp1(CCP_PWM);
setup_ccp2(CCP_PWM);
```

```

setup_timer_2(T2_DIV_BY_16,255,1);
set_pwm1_duty(0);      //Başlangıç anında pwm1=0
set_pwm2_duty(0);      //Başlangıç anında pwm2=0
enable_interrupts(int_rda);
enable_interrupts(GLOBAL);

veri_a=0xf0;
veri_b=0x0f;
set_tris_a(0xFF);      //A portu giriş yap.
set_tris_b(0x00);
set_tris_c(0x90);
set_tris_d(0x00);
output_d(0x00);
output_b(0xFF);
del_ay=2000;           //Örnekleme zamanı başlangıçta 2 sn.
delay_ms(500);

basla:
    set_adc_channel(0);      //RA0/AN0 ucundaki analog sinyal 10 bit A/D
işlemine tabii tutulacak.
    delay_us(20);           //Kanal seçiminden sonra mutlaka 20us
beklenmeli.
    adc0=read_adc();        //AN0 girişindeki analog sinyal okunup dijitale
çevrildi. adc0 isimli değişkene atıldı.
    //akim=(0.0048828125*adc0); //10 bit çevrim yapıldığı için 2^10=1024 tür.
    //akim=(akim*60)/5;
    veri_a=make8(adc0,0);    //Okunan analog sinyalin ilk8 biti i
değişkenine aktarıldı.
    veri_b=make8(adc0,1);    //Okunan analog sinyalin 9. ve 10. bitleri j
değişkenine aktarıldı.
    printf("%.%c.%.%c",veri_a,veri_b);

```

```

    set_adc_channel(1);          //RA0/AN0 ucundaki analog sinyal 10 bit A/D
işlemine tabii tutulacak.
    delay_us(20);                //Kanal seçiminden sonra mutlaka 20us
beklenmeli.
    adc1=read_adc();            //AN0 girişindeki analog sinyal okunup dijitale
çevrildi. adc0 isimli değişkene atıldı.
    //gerilim=(0.0048828125*adc1); //10 bit çevrim yapıldığı için 2^10=1024
tür.
    //gerilim=(gerilim*250)/5;
    veri_a=make8(adc1,0);        //Okunan analog sinyalin ilk8 biti i
değişkenine aktarıldı.
    veri_b=make8(adc1,1);        //Okunan analog sinyalin 9. ve 10. bitleri j
değişkenine aktarıldı.
    printf("%.%c.%.%c",veri_a,veri_b);

    set_adc_channel(2);          //RA0/AN0 ucundaki analog sinyal 10 bit A/D
işlemine tabii tutulacak.
    delay_us(20);                //Kanal seçiminden sonra mutlaka 20us
beklenmeli.
    adc2=read_adc();            //AN0 girişindeki analog sinyal okunup dijitale
çevrildi. adc0 isimli değişkene atıldı.
    //akim=(0.0048828125*adc0); //10 bit çevrim yapıldığı için 2^10=1024 tür.
    //akim=(akim*60)/5;
    veri_a=make8(adc2,0);        //Okunan analog sinyalin ilk8 biti i
değişkenine aktarıldı.
    veri_b=make8(adc2,1);        //Okunan analog sinyalin 9. ve 10. bitleri j
değişkenine aktarıldı.
    printf("%.%c.%.%c",veri_a,veri_b);

    set_adc_channel(3);          //RA0/AN0 ucundaki analog sinyal 10 bit A/D
işlemine tabii tutulacak.

```

```

delay_us(20); //Kanal seçiminden sonra mutlaka 20us
beklenmeli.
adc3=read_adc(); //AN0 girişindeki analog sinyal okunup dijitale
çevrildi. adc0 isimli değişkene atıldı.
//akim=(0.0048828125*adc0); //10 bit çevrim yapıldığı için 2^10=1024 tür.
//akim=(akim*60)/5;
veri_a=make8(adc3,0); //Okunan analog sinyalin ilk8 biti i
değişkenine aktarıldı.
veri_b=make8(adc3,1); //Okunan analog sinyalin 9. ve 10. bitleri j
değişkenine aktarıldı.
printf("%.%c.%c",veri_a,veri_b);

set_adc_channel(4); //RA0/AN0 ucundaki analog sinyal 10 bit A/D
işlemine tabii tutulacak.
delay_us(20); //Kanal seçiminden sonra mutlaka 20us
beklenmeli.
adc4=read_adc(); //AN0 girişindeki analog sinyal okunup dijitale
çevrildi. adc0 isimli değişkene atıldı.
//akim=(0.0048828125*adc0); //10 bit çevrim yapıldığı için 2^10=1024 tür.
//akim=(akim*60)/5;
veri_a=make8(adc4,0); //Okunan analog sinyalin ilk8 biti i
değişkenine aktarıldı.
veri_b=make8(adc4,1); //Okunan analog sinyalin 9. ve 10. bitleri j
değişkenine aktarıldı.
printf("%.%c.%c",veri_a,veri_b);

set_adc_channel(5); //RA0/AN0 ucundaki analog sinyal 10 bit A/D
işlemine tabii tutulacak.
delay_us(20); //Kanal seçiminden sonra mutlaka 20us
beklenmeli.
adc5=read_adc(); //AN0 girişindeki analog sinyal okunup dijitale
çevrildi. adc0 isimli değişkene atıldı.

```

```

//akim=(0.0048828125*adc0); //10 bit çevrim yapıldığı için 2^10=1024 tür.
//akim=(akim*60)/5;
veri_a=make8(adc5,0); //Okunan analog sinyalin ilk8 biti i
değişkenine aktarıldı.
veri_b=make8(adc5,1); //Okunan analog sinyalin 9. ve 10. bitleri j
değişkenine aktarıldı.
printf("%.%c.%c",veri_a,veri_b);

set_adc_channel(6); //RA0/AN0 ucundaki analog sinyal 10 bit A/D
işlemine tabii tutulacak.
delay_us(20); //Kanal seçiminden sonra mutlaka 20us
beklenmeli.
adc6=read_adc(); //AN0 girişindeki analog sinyal okunup dijitale
çevrildi. adc0 isimli değişkene atıldı.
//akim=(0.0048828125*adc0); //10 bit çevrim yapıldığı için 2^10=1024 tür.
//akim=(akim*60)/5;
veri_a=make8(adc6,0); //Okunan analog sinyalin ilk8 biti i
değişkenine aktarıldı.
veri_b=make8(adc6,1); //Okunan analog sinyalin 9. ve 10. bitleri j
değişkenine aktarıldı.
printf("%.%c.%c",veri_a,veri_b);

delay_ms(del_ay); //PC den gelen örnekleme zamanı kadar bekle.

goto basla;

}

```

## EK-2. PC Yazılımı

Dim kayıtbasla As Integer

Dim hasta As String

Dim basla As String

Dim basla1 As Integer

Dim x0, x1, x2, x3, y0, y1, y2, y3 As Double

'E için Tanımlamalar

Dim ederece1, ederece2 As Double

Dim esonuc1, esonuc2 As String

Dim PWM, PWM1, E, E1, CE, enb1, enb2, enb3, enk1, enk2, enk3, es1, es2, ES3, EPK1, EPK2, EPK3, EPB1, EPB2, EPB3, outnb, outnk, outs, outpb, outpk, m1, m2, m3, m4 As Single

'CE için Tanımlamalar

Dim cederece1, cederece2 As Double

Dim cesonuc1, cesonuc2 As String

Dim cenb1, cenb2, cenb3, cenk1, cenk2, cenk3, ces1, ces2, cES3, cEPK1, cEPK2, cEPK3, cEPB1, cEPB2, cEPB3 As Single

'Çıkış için tanımlamalar

Dim cik(5, 5) As String

'Isı ölçümü için yapılan tanımlamalar

Dim t(14), durum(5), p, p1, p2, p3 As String

Dim isi(5), dd(14), tc(14), akim, gerilim, adc\_0, adc\_1, ppwwmm, ornek As Single

Dim xx, yy

```
Private Sub bar_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, x As  
Single, y As Single)  
If Button = 1 Then  
xx = x  
yy = y  
End If  
End Sub
```

```
Private Sub bar_MouseMove(Button As Integer, Shift As Integer, x As  
Single, y As Single)  
If (Button = 1) And (Me.WindowState <> 2) Then  
Screen.ActiveForm.Left = Screen.ActiveForm.Left + x - xx  
Screen.ActiveForm.Top = Screen.ActiveForm.Top + y - yy  
End If  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Activate()  
Form1.Left = MDIForm1.Width / 2 - Form1.Width / 2  
Form1.Top = MDIForm1.Height / 2 - Form1.Height / 2 - 1000  
  
End Sub
```

```
Private Sub FWButton1_Click()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()  
For k = 1 To 10  
ornekzamani_text.ItemsAdd k & "000"  
port_text.ItemsAdd k
```



```
Next k
kayitbasla = 0
PWM = 0
PWM1 = 0
End Sub
```

```
Private Sub FWRealButton1_Click()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub MSComm1_OnComm()
```

```
If MSComm1.CommEvent <> 2 Then
```

```
    GoTo cik
```

```
End If
```

```
Dim a, b, c As String
```

```
Dim i, j, k As Byte
```

```
t(1) = ""
```

```
t(2) = ""
```

```
t(3) = ""
```

```
t(4) = ""
```

```
t(5) = ""
```

```
t(6) = ""
```

```
t(7) = ""
```

```
t(8) = ""
```

```
t(9) = ""
```

```
t(10) = ""
```

```
t(11) = ""
```

```
t(12) = ""
```

```
t(13) = ""
```

```
t(14) = ""
```

```
j = 0
```

```
While (MSComm1.InBufferCount < 28) '4 TERMOKUPL TAKILI OLDUĞU  
İÇİN 16.
```

```
'5 TERMO TAKILI İSE 20 YAPILACAK
```

```
Wend
```

```
a = MSComm1.Input
```

```
For i = 1 To Len(a)
```

```
  If Mid(a, i, 1) = "." Then
```

```
    j = j + 1
```

```
  Else
```

```
    t(j) = Str(Asc(Mid(a, i, 1)))
```

```
    On Error Resume Next
```

```
  End If
```

```
Next i
```

```
j = 0
```

```
For i = 1 To 14
```

```
  dd(i) = Val(t(i))
```

```
  tc(i) = dd(i)
```

```
Next i
```

```
Select Case tc(2)
```

```
Case 0
```

```
  adc_0 = tc(1)
```

```
Case 1
```

```
  adc_0 = tc(1) + 256
```

```
Case 2
```

```
    adc_0 = tc(1) + 512
Case 3
    adc_0 = tc(1) + 768
End Select

isi(1) = Round((0.0048828125 * adc_0), 2)
If isi(1) <= 1.43 Then
isi(1) = Round(((isi(1)) * 130 / 5 - 30), 1)
Else
isi(1) = Round(isi(1) * 8.8, 1)
End If
XPText1(1).Text = isi(1)
XPText1(1).Text = XPText1(1).Text + " " + Chr(176) + "C"

Select Case tc(4)
Case 0
    adc_1 = tc(3)
Case 1
    adc_1 = tc(3) + 256
Case 2
    adc_1 = tc(3) + 512
Case 3
    adc_1 = tc(3) + 768
End Select

isi(2) = Round((0.0048828125 * adc_1), 2)
If isi(2) <= 1.43 Then
isi(2) = Round((isi(2) * 130 / 5 - 30), 1)
Else
isi(2) = Round((isi(2) * 8.8), 1)
End If
XPText1(2).Text = isi(2)
```

```
XPText1(2).Text = XPText1(2).Text + " " + Chr(176) + "C"
```

```
Select Case tc(6)
```

```
Case 0
```

```
    adc_2 = tc(5)
```

```
Case 1
```

```
    adc_2 = tc(5) + 256
```

```
Case 2
```

```
    adc_2 = tc(5) + 512
```

```
Case 3
```

```
    adc_2 = tc(5) + 768
```

```
End Select
```

```
isi(3) = Round((0.0048828125 * adc_2), 2)
```

```
If isi(3) <= 1.43 Then
```

```
    isi(3) = Round(isi(3) * 21.3 - 30, 1)
```

```
Else
```

```
    isi(3) = Round(isi(3) * 8.7, 1)
```

```
End If
```

```
XPText1(3).Text = isi(3)
```

```
XPText1(3).Text = XPText1(3).Text + " " + Chr(176) + "C"
```

```
Select Case tc(8)
```

```
Case 0
```

```
    adc_3 = tc(7)
```

```
Case 1
```

```
    adc_3 = tc(7) + 256
```

```
Case 2
```

```
    adc_3 = tc(7) + 512
```

```
Case 3
```

```
    adc_3 = tc(7) + 768
```

```
End Select
isi(4) = Round((0.0048828125 * adc_3), 2)
If isi(4) <= 1.43 Then
isi(4) = Round(isi(4) * 26 - 30, 1)
Else
isi(4) = Round(isi(4) * 8.8, 1)
End If
XPText1(4).Text = isi(4)
XPText1(4).Text = XPText1(4).Text + " " + Chr(176) + "C"
```

```
Select Case tc(10)
Case 0
    adc_4 = tc(9)
Case 1
    adc_4 = tc(9) + 256
Case 2
    adc_4 = tc(9) + 512
Case 3
    adc_4 = tc(9) + 768
End Select
isi(5) = 0.0048828125 * adc_4
'isi(5) = Round(isi(5) * 26 - 30, 1)
'XPText1(5).Text = (isi(2) + isi(4)) / 2
'XPText1(5).Text = XPText1(5).Text + " " + Chr(176) + "C"
```

```
Select Case tc(12)
Case 0
    adc_5 = tc(11)
Case 1
    adc_5 = tc(11) + 256
Case 2
```

```
    adc_5 = tc(11) + 512
Case 3
    adc_5 = tc(11) + 768
End Select
akim = 0.0048828125 * adc_5
akim = Round(((akim * 60) / 5), 1)
'XPText10.Text = akim
```

```
Select Case tc(14)
Case 0
    adc_7 = tc(13)
Case 1
    adc_7 = tc(13) + 256
Case 2
    adc_7 = tc(13) + 512
Case 3
    adc_7 = tc(13) + 768
End Select
gerilim = Round((akim * 0.09), 1)
```

```
'Sol Taraf
```

```
If XPText4.Text = "x" Then GoTo son
```

```
E = (Val(XPText1(0).Text) - isi(1)) / 5: edeger = Str(E)
CE = E - E1: cedeger = Str(CE): E1 = E
XPText2.Text = E: XPText3.Text = CE
```

```
If XPText4.Text = "" Then
If ((Val(XPText1(1).Text) < Val(XPText22.Text)) Or (Val(XPText1(2).Text)
> Val(XPText17.Text))) Then
XPText4.Text = "x"
cik1 = MsgBox("Sol Taraf Sınır Değerleri Aşıldı! Yüke Akım
Uygulanamaz", 16, "UYARI")
GoTo son
End If
End If
```

```
If (Val(XPText1(2).Text) > Val(XPText17.Text)) Then
XPText4.Text = "x"
cik1 = MsgBox("Sol Taraf Th degeri istenilen seviyede degil! Yüke Akım
Uygulanamaz", 16, "UYARI")
GoTo son
End If
```

```
enb1 = Val(Text26(0).Text)
enb2 = Val(Text26(1).Text)
enb3 = Val(Text26(2).Text)
enk1 = Val(Text26(3).Text)
enk2 = Val(Text26(4).Text)
enk3 = Val(Text26(5).Text)
es1 = Val(Text26(6).Text)
es2 = Val(Text26(7).Text)
ES3 = Val(Text26(8).Text)
EPK1 = Val(Text26(9).Text)
EPK2 = Val(Text26(10).Text)
EPK3 = Val(Text26(11).Text)
EPB1 = Val(Text26(12).Text)
EPB2 = Val(Text26(13).Text)
EPB3 = Val(Text26(14).Text)
```

cenb1 = Val(Text26(29).Text)  
cenb2 = Val(Text26(28).Text)  
cenb3 = Val(Text26(27).Text)  
cenk1 = Val(Text26(26).Text)  
cenk2 = Val(Text26(25).Text)  
cenk3 = Val(Text26(24).Text)  
ces1 = Val(Text26(23).Text)  
ces2 = Val(Text26(22).Text)  
cES3 = Val(Text26(21).Text)  
cEPK1 = Val(Text26(20).Text)  
cEPK2 = Val(Text26(19).Text)  
cEPK3 = Val(Text26(18).Text)  
cEPB1 = Val(Text26(17).Text)  
cEPB2 = Val(Text26(16).Text)  
cEPB3 = Val(Text26(15).Text)

outnb = Val(Text26(43).Text)  
outnk = Val(Text26(40).Text)  
outs = Val(Text26(37).Text)  
outpk = Val(Text26(34).Text)  
outpb = Val(Text26(31).Text)

cik(1, 1) = Text27(1).Text  
cik(1, 2) = Text27(0).Text  
cik(1, 3) = Text27(2).Text  
cik(1, 4) = Text27(3).Text  
cik(1, 5) = Text27(4).Text

cik(2, 1) = Text27(5).Text  
cik(2, 2) = Text27(6).Text  
cik(2, 3) = Text27(7).Text



cik(2, 4) = Text27(8).Text

cik(2, 5) = Text27(9).Text

cik(3, 1) = Text27(10).Text

cik(3, 2) = Text27(11).Text

cik(3, 3) = Text27(12).Text

cik(3, 4) = Text27(13).Text

cik(3, 5) = Text27(14).Text

cik(4, 1) = Text27(15).Text

cik(4, 2) = Text27(16).Text

cik(4, 3) = Text27(17).Text

cik(4, 4) = Text27(18).Text

cik(4, 5) = Text27(19).Text

cik(5, 1) = Text27(20).Text

cik(5, 2) = Text27(21).Text

cik(5, 3) = Text27(22).Text

cik(5, 4) = Text27(23).Text

cik(5, 5) = Text27(24).Text

'SOL BEYİN KAYIT KOD BAŞLANGICI

sol\_db.Recordset.AddNew

sol\_db.Recordset.Fields("Time") = Date & "-" & Time

sol\_db.Recordset.Fields("TCref") = XPText1(0).Text

sol\_db.Recordset.Fields("TC") = XPText1(1).Text

sol\_db.Recordset.Fields("TH") = XPText1(2).Text

sol\_db.Recordset.Fields("AKIM") = XPText1(8).Text

sol\_db.Recordset.Fields("GERILIM") = XPText1(9).Text

```

sol_db.Recordset.Fields("DT") = XPText1(7).Text
sol_db.Recordset.Update
sol_db.Refresh

```

'SOL BEYİN KAYIT KOD BİTİŞİ

### E İÇİN HESAPLAMA PROSEDÜRÜ

```
'E = Val(edeger.Text)
```

```
If E <= enb2 And E >= enb1 Then
```

```
    ederece1 = 1
```

```
    esonuc1 = "ENB"
```

```
    es1 = 1
```

```
    ederece2 = 0
```

```
    esonuc2 = "ENK"
```

```
    es2 = 2
```

```
Elsif E > enb2 And E <= enk2 Then
```

```

    x0 = enb2: y0 = 1: x1 = enk2: y1 = 0: x2 = enk2: y2 = 1: x3 = enk1: y3
= 0

```

```
    esonuc1 = "ENB"
```

```
    es1 = 1
```

```
    ederece1 = ((E - x0) * (y1 - y0) / (x1 - x0)) + y0
```

```
    esonuc2 = "ENK"
```

```
    es2 = 2
```

$$\text{ederece2} = ((E - x2) * (y3 - y2) / (x3 - x2)) + y2$$

Elseif E > es1 And E <= es2 Then

$$x0 = \text{es1}: y0 = 1: x1 = \text{es2}: y1 = 0: x2 = \text{es1}: y2 = 0: x3 = \text{es2}: y3 = 1$$

esonuc1 = "ENK"

$$\text{es1} = 2$$

$$\text{ederece1} = ((E - x0) * (y1 - y0) / (x1 - x0)) + y0$$

esonuc2 = "ES"

$$\text{es2} = 3$$

$$\text{ederece2} = ((E - x2) * (y3 - y2) / (x3 - x2)) + y2$$

'222

Elseif E > es2 And E <= ES3 Then

$$x0 = \text{es2}: y0 = 1: x1 = \text{ES3}: y1 = 0: x2 = \text{EPK1}: y2 = 0: x3 = \text{EPK2}: y3 = 1$$

esonuc1 = "ES"

$$\text{es1} = 3$$

$$\text{ederece1} = ((E - x0) * (y1 - y0) / (x1 - x0)) + y0$$

esonuc2 = "EPK"

$$\text{es2} = 4$$

$$\text{ederece2} = ((E - x2) * (y3 - y2) / (x3 - x2)) + y2$$

Elseif E > ES3 And E <= EPK3 Then

$$x0 = \text{EPK2}: y0 = 1: x1 = \text{EPK3}: y1 = 0: x2 = \text{EPB1}: y2 = 0: x3 = \text{EPB2}: y3 = 1$$

esonuc1 = "EPK"

$$\text{es1} = 4$$

$$\text{ederece1} = ((E - x0) * (y1 - y0) / (x1 - x0)) + y0$$

```

esonuc2 = "EPB"
es2 = 5
ederece2 = ((E - x2) * (y3 - y2) / (x3 - x2)) + y2

```

Elsif E > EPB2 And E <= EPB3 Then

```

esonuc1 = "EPB"
es1 = 5
ederece1 = 1
esonuc2 = "EPK"
es2 = 4
ederece2 = 0

```

End If

```

XPText18(1).Text = esonuc1: XPText19(0).Text = ederece1:
XPText28.Text = esonuc2: XPText29(0).Text = ederece2

```

```

'           CE İÇİN HESAPLAMA PROSÖDÜRÜ
'CE = Val(cedeger.Text)

```

If CE <= cenb2 And CE >= cenb1 Then

```

cesonuc1 = "CENB"
ces1 = 1
cederece1 = 1
cesonuc2 = "CENK"
ces2 = 2
cederece2 = 0

```

Elsif CE >= cenb2 And CE <= cenb3 Then

x0 = cenb2: y0 = 1: x1 = cenb3: y1 = 0: x2 = cenk2: y2 = 1: x3 =  
cenk1: y3 = 0

cesonuc1 = "CENB"

ces1 = 1

cederece1 = ((CE - x0) \* (y1 - y0) / (x1 - x0)) + y0

cesonuc2 = "CENK"

ces2 = 2

cederece2 = ((CE - x2) \* (y3 - y2) / (x3 - x2)) + y2

Elseif CE > cenb3 And CE <= cenk3 Then

x0 = ces1: y0 = 1: x1 = ces2: y1 = 0: x2 = cenk2: y2 = 0: x3 = cenk3:  
y3 = 1

cesonuc1 = "CENK"

ces1 = 2

cederece1 = ((CE - x0) \* (y1 - y0) / (x1 - x0)) + y0

cesonuc2 = "CES"

ces2 = 3

cederece2 = ((CE - x2) \* (y3 - y2) / (x3 - x2)) + y2

Elseif CE >= ces2 And CE <= cES3 Then

x0 = ces2: y0 = 1: x1 = cES3: y1 = 0: x2 = cEPK1: y2 = 0: x3 =  
cEPK2: y3 = 1

cesonuc1 = "CES"

ces1 = 3

cederece1 = ((CE - x0) \* (y1 - y0) / (x1 - x0)) + y0

cesonuc2 = "CEPK"

ces2 = 4

$$\text{cederece2} = ((\text{CE} - \text{x2}) * (\text{y3} - \text{y2}) / (\text{x3} - \text{x2})) + \text{y2}$$

Elseif CE >= cES3 And CE <= cEPK3 Then

x0 = cEPK2: y0 = 1: x1 = cEPK3: y1 = 0: x2 = cEPB1: y2 = 0: x3 =  
cEPB2: y3 = 1

cesonuc1 = "CEPK"

ces1 = 4

$$\text{cederece1} = ((\text{CE} - \text{x0}) * (\text{y1} - \text{y0}) / (\text{x1} - \text{x0})) + \text{y0}$$

cesonuc2 = "CEPB"

ces2 = 5

$$\text{cederece2} = ((\text{CE} - \text{x2}) * (\text{y3} - \text{y2}) / (\text{x3} - \text{x2})) + \text{y2}$$

Elseif CE >= cEPB2 And CE <= cEPB3 Then

cesonuc1 = "CEPB"

ces1 = 5

cederece1 = 1

cesonuc2 = "CEPK"

ces2 = 4

cederece2 = 0

End If

XPText30.Text = cesonuc1: XPText31.Text = cederece1: XPText32.Text =  
cesonuc2: XPText33.Text = cederece2

If cederece1 < ederece1 Then

outderece1 = cederece1

Else

outderece1 = ederece1

End If

XPText34.Text = Str(outderece1)

If cederece1 < ederece2 Then

outderece2 = cederece1

Else

outderece2 = ederece2

End If

XPText36.Text = Str(outderece2)

If cederece2 < ederece1 Then

outderece3 = cederece2

Else

outderece3 = ederece1

End If

XPText43.Text = Str(outderece3)

If cederece2 < ederece2 Then

outderece4 = cederece2

Else

outderece4 = ederece2

End If

XPText41.Text = Str(outderece4)

outsonuc1 = cik(ces1, es1): XPText35.Text = outsonuc1

outsonuc2 = cik(ces1, es2): XPText37.Text = outsonuc2

outsonuc3 = cik(ces2, es1): XPText42.Text = outsonuc3

outsonuc4 = cik(ces2, es2): XPText40.Text = outsonuc4

If outsonuc1 = "NB" Then

m1 = outnb

Elsif outsonuc1 = "NK" Then

```
m1 = outnk  
Elseif outsonuc1 = "S" Then  
m1 = outs  
Elseif outsonuc1 = "PK" Then  
m1 = outpk  
Elseif outsonuc1 = "PB" Then  
m1 = outpb  
End If
```

```
If outsonuc2 = "NB" Then  
m2 = outnb  
Elseif outsonuc2 = "NK" Then  
m2 = outnk  
Elseif outsonuc2 = "S" Then  
m2 = outs  
Elseif outsonuc2 = "PK" Then  
m2 = outpk  
Elseif outsonuc2 = "PB" Then  
m2 = outpb  
End If
```

```
If outsonuc3 = "NB" Then  
m3 = outnb  
Elseif outsonuc3 = "NK" Then  
m3 = outnk  
Elseif outsonuc3 = "S" Then  
m3 = outs  
Elseif outsonuc3 = "PK" Then  
m3 = outpk  
Elseif outsonuc3 = "PB" Then  
m3 = outpb  
End If
```



```

If outsonuc4 = "NB" Then
m4 = outnb
Elseif outsonuc4 = "NK" Then
m4 = outnk
Elseif outsonuc4 = "S" Then
m4 = outs
Elseif outsonuc4 = "PK" Then
m4 = outpk
Elseif outsonuc4 = "PB" Then
m4 = outpb
End If

```

```

PWM = PWM + (m1 * outderece1 + m2 * outderece2 + m3 * outderece3 +
m4 * outderece4) / (outderece1 + outderece2 + outderece3 + outderece4)
If PWM < -1 Then PWM = -1
If PWM > 1 Then PWM = 1
XPText38.Text = "    % " + Left(Str(PWM * 100), 5)
p = Left(Str(PWM * 100), 5)
ppwwmm = Val(p)
XPText25.Text = XPText38.Text

```

```

If ppwwmm < 0 Then
XPText20.Text = "SOĞUTMA"
Elseif ppwwmm > 0 Then
XPText20.Text = "ISITMA"
Else
XPText20.Text = "BOŞTA"
End If

```

```

If (Sgn(ppwwmm)) >= 0 Then

```

ppwwmm = Int(ppwwmm) 'PWM değerini yuvarlıyoruz. Kesirli kısımdan kurtuluyoruz.

XPText59.Text = ppwwmm

p1 = XPText59.Text + Chr\$(13) 'pozitif pwm sinyali seri porttan gönderiliyor.

XPText59.Text = p1

MSComm1.Output = p1

p2 = Str(0) + Chr\$(13) 'negatif pwm sinyali 0 değeriyle gönderiliyor.

MSComm1.Output = p2

MSComm1.Output = ornekzamani\_text.Text + Chr\$(13) 'Örnekleme zamanı msn cinsinden gönderiliyor.

XPText26.Text = XPText59.Text

Else

ppwwmm = Int(Abs(ppwwmm)) 'PWM değerini yuvarlıyoruz. Kesirli kısımdan kurtuluyoruz.

p1 = Str(0) + Chr\$(13) 'pozitif pwm sinyali 0 değeriyle gönderiliyor.

MSComm1.Output = p1

XPText59.Text = ppwwmm

p2 = XPText59.Text + Chr\$(13) 'negatif pwm sinyali seri porttan gönderiliyor.

XPText59.Text = p2

MSComm1.Output = p2

MSComm1.Output = ornekzamani\_text.Text + Chr\$(13) 'Örnekleme zamanı msn cinsinden gönderiliyor.

XPText26.Text = XPText59.Text

End If

GoTo son1

son:

```

ppwwmm = 0
ppwwmm = Int(Abs(ppwwmm)) 'PWM değerini yuvarlıyoruz. Kesirli
kısmıdan kurtuluyoruz.
p1 = Str(0) + Chr$(13) 'pozitif pwm sinyali 0 değeriyle gönderiliyor.
MSComm1.Output = p1
XPText59.Text = 0
p2 = XPText59.Text + Chr$(13) 'negatif pwm sinyali seri porttan
gönderiliyor.
XPText59.Text = p2
MSComm1.Output = p2
XPText38.Text = "0"
MSComm1.Output = ornekzamani_text.Text + Chr$(13)
XPText26.Text = XPText59.Text

```

son1:

'Sağ taraf

If XPText11.Text = "x" Then GoTo son2

E = (Val(XPText1(6).Text) - isi(3)): edeger = Str(E)

CE = E - E1: cedeger = Str(CE): E1 = E

XPText2.Text = E: XPText3.Text = CE

If XPText11.Text = "" Then

If ((Val(XPText1(3).Text) < Val(XPText5.Text)) Or (Val(XPText1(4).Text) >  
Val(XPText7.Text))) Then

XPText11.Text = "x"

cik1 = MsgBox("Sağ Taraf Sınır Değerleri Aşıldı! Yüke Akım  
Uygulanamaz", 16, "UYARI")

GoTo son2

End If

End If

If (Val(XPText1(4).Text) > Val(XPText7.Text)) Then

XPText11.Text = "x"

cik1 = MsgBox("Sağ Taraf Th degeri istenilen seviyede degil! Yüke Akim

Uygulanamaz", 16, "UYARI")

GoTo son2

End If

enb1 = Val(Text26(0).Text)

enb2 = Val(Text26(1).Text)

enb3 = Val(Text26(2).Text)

enk1 = Val(Text26(3).Text)

enk2 = Val(Text26(4).Text)

enk3 = Val(Text26(5).Text)

es1 = Val(Text26(6).Text)

es2 = Val(Text26(7).Text)

ES3 = Val(Text26(8).Text)

EPK1 = Val(Text26(9).Text)

EPK2 = Val(Text26(10).Text)

EPK3 = Val(Text26(11).Text)

EPB1 = Val(Text26(12).Text)

EPB2 = Val(Text26(13).Text)

EPB3 = Val(Text26(14).Text)

cenb1 = Val(Text26(29).Text)

cenb2 = Val(Text26(28).Text)

cenb3 = Val(Text26(27).Text)

cenk1 = Val(Text26(26).Text)

cenk2 = Val(Text26(25).Text)

cenk3 = Val(Text26(24).Text)

ces1 = Val(Text26(23).Text)  
ces2 = Val(Text26(22).Text)  
cES3 = Val(Text26(21).Text)  
cEPK1 = Val(Text26(20).Text)  
cEPK2 = Val(Text26(19).Text)  
cEPK3 = Val(Text26(18).Text)  
cEPB1 = Val(Text26(17).Text)  
cEPB2 = Val(Text26(16).Text)  
cEPB3 = Val(Text26(15).Text)

outnb = Val(Text26(43).Text)  
outnk = Val(Text26(40).Text)  
outs = Val(Text26(37).Text)  
outpk = Val(Text26(34).Text)  
outpb = Val(Text26(31).Text)

cik(1, 1) = Text27(1).Text  
cik(1, 2) = Text27(0).Text  
cik(1, 3) = Text27(2).Text  
cik(1, 4) = Text27(3).Text  
cik(1, 5) = Text27(4).Text

cik(2, 1) = Text27(5).Text  
cik(2, 2) = Text27(6).Text  
cik(2, 3) = Text27(7).Text  
cik(2, 4) = Text27(8).Text  
cik(2, 5) = Text27(9).Text

cik(3, 1) = Text27(10).Text  
cik(3, 2) = Text27(11).Text  
cik(3, 3) = Text27(12).Text  
cik(3, 4) = Text27(13).Text

cik(3, 5) = Text27(14).Text

cik(4, 1) = Text27(15).Text

cik(4, 2) = Text27(16).Text

cik(4, 3) = Text27(17).Text

cik(4, 4) = Text27(18).Text

cik(4, 5) = Text27(19).Text

cik(5, 1) = Text27(20).Text

cik(5, 2) = Text27(21).Text

cik(5, 3) = Text27(22).Text

cik(5, 4) = Text27(23).Text

cik(5, 5) = Text27(24).Text

'SAĞ BEYİN KAYIT KOD BAŞLANGICI

sag\_db.Recordset.AddNew

sag\_db.Recordset.Fields("Time") = Date & "-" & Time

sag\_db.Recordset.Fields("TCref") = XPText1(0).Text

sag\_db.Recordset.Fields("TC") = XPText1(1).Text

sag\_db.Recordset.Fields("TH") = XPText1(2).Text

sag\_db.Recordset.Fields("AKIM") = XPText1(8).Text

sag\_db.Recordset.Fields("GERILIM") = XPText1(9).Text

sag\_db.Recordset.Fields("DT") = XPText1(7).Text

sag\_db.Recordset.Update

sag\_db.Refresh

'SAĞ BEYİN KAYIT KOD BİTİŞİ

'

E İÇİN HESAPLAMA PROSEDÜRÜ

'E = Val(edeger.Text)

If E <= enb2 And E >= enb1 Then

ederece1 = 1

esonuc1 = "ENB"

es1 = 1

ederece2 = 0

esonuc2 = "ENK"

es2 = 2

Elseif E > enb2 And E <= enk2 Then

x0 = enb2: y0 = 1: x1 = enk2: y1 = 0: x2 = enk2: y2 = 1: x3 = enk1: y3  
= 0

esonuc1 = "ENB"

es1 = 1

ederece1 = ((E - x0) \* (y1 - y0) / (x1 - x0)) + y0

esonuc2 = "ENK"

es2 = 2

ederece2 = ((E - x2) \* (y3 - y2) / (x3 - x2)) + y2

Elseif E > es1 And E <= es2 Then

x0 = es1: y0 = 1: x1 = es2: y1 = 0: x2 = es1: y2 = 0: x3 = es2: y3 = 1

esonuc1 = "ENK"

es1 = 2

ederece1 = ((E - x0) \* (y1 - y0) / (x1 - x0)) + y0

esonuc2 = "ES"

es2 = 3

ederece2 = ((E - x2) \* (y3 - y2) / (x3 - x2)) + y2

'222

Elseif E > es2 And E <= ES3 Then

x0 = es2: y0 = 1: x1 = ES3: y1 = 0: x2 = EPK1: y2 = 0: x3 = EPK2: y3 = 1

esonuc1 = "ES"

es1 = 3

ederece1 = ((E - x0) \* (y1 - y0) / (x1 - x0)) + y0

esonuc2 = "EPK"

es2 = 4

ederece2 = ((E - x2) \* (y3 - y2) / (x3 - x2)) + y2

Elseif E > ES3 And E <= EPK3 Then

x0 = EPK2: y0 = 1: x1 = EPK3: y1 = 0: x2 = EPB1: y2 = 0: x3 = EPB2: y3 = 1

esonuc1 = "EPK"

es1 = 4

ederece1 = ((E - x0) \* (y1 - y0) / (x1 - x0)) + y0

esonuc2 = "EPB"

es2 = 5

ederece2 = ((E - x2) \* (y3 - y2) / (x3 - x2)) + y2

Elseif E > EPB2 And E <= EPB3 Then

esonuc1 = "EPB"

es1 = 5

ederece1 = 1

esonuc2 = "EPK"

es2 = 4



ederece2 = 0

End If

XPText18(1).Text = esonuc1: XPText19(0).Text = ederece1:  
 XPText28.Text = esonuc2: XPText29(0).Text = ederece2

' CE İÇİN HESAPLAMA PROSÖDÜRÜ

'CE = Val(cedeger.Text)

If CE <= cenb2 And CE >= cenb1 Then

cesonuc1 = "CENB"

ces1 = 1

cederece1 = 1

cesonuc2 = "CENK"

ces2 = 2

cederece2 = 0

Elseif CE >= cenb2 And CE <= cenb3 Then

x0 = cenb2: y0 = 1: x1 = cenb3: y1 = 0: x2 = cenk2: y2 = 1: x3 =  
 cenk1: y3 = 0

cesonuc1 = "CENB"

ces1 = 1

cederece1 = ((CE - x0) \* (y1 - y0) / (x1 - x0)) + y0

cesonuc2 = "CENK"

ces2 = 2

cederece2 = ((CE - x2) \* (y3 - y2) / (x3 - x2)) + y2

Elseif CE > cenb3 And CE <= cenk3 Then

$x_0 = ces_1$ :  $y_0 = 1$ :  $x_1 = ces_2$ :  $y_1 = 0$ :  $x_2 = cenk_2$ :  $y_2 = 0$ :  $x_3 = cenk_3$ :  
 $y_3 = 1$   
 $cesonuc_1 = "CENK"$   
 $ces_1 = 2$   
 $cederece_1 = ((CE - x_0) * (y_1 - y_0) / (x_1 - x_0)) + y_0$   
 $cesonuc_2 = "CES"$   
 $ces_2 = 3$   
 $cederece_2 = ((CE - x_2) * (y_3 - y_2) / (x_3 - x_2)) + y_2$

Elsif  $CE \geq ces_2$  And  $CE \leq cES_3$  Then

$x_0 = ces_2$ :  $y_0 = 1$ :  $x_1 = cES_3$ :  $y_1 = 0$ :  $x_2 = cEPK_1$ :  $y_2 = 0$ :  $x_3 =$   
 $cEPK_2$ :  $y_3 = 1$   
 $cesonuc_1 = "CES"$   
 $ces_1 = 3$   
 $cederece_1 = ((CE - x_0) * (y_1 - y_0) / (x_1 - x_0)) + y_0$   
 $cesonuc_2 = "CEPK"$   
 $ces_2 = 4$   
 $cederece_2 = ((CE - x_2) * (y_3 - y_2) / (x_3 - x_2)) + y_2$

Elsif  $CE \geq cES_3$  And  $CE \leq cEPK_3$  Then

$x_0 = cEPK_2$ :  $y_0 = 1$ :  $x_1 = cEPK_3$ :  $y_1 = 0$ :  $x_2 = cEPB_1$ :  $y_2 = 0$ :  $x_3 =$   
 $cEPB_2$ :  $y_3 = 1$   
 $cesonuc_1 = "CEPK"$   
 $ces_1 = 4$   
 $cederece_1 = ((CE - x_0) * (y_1 - y_0) / (x_1 - x_0)) + y_0$   
 $cesonuc_2 = "CEPB"$   
 $ces_2 = 5$   
 $cederece_2 = ((CE - x_2) * (y_3 - y_2) / (x_3 - x_2)) + y_2$

Elseif CE >= cEPB2 And CE <= cEPB3 Then

    cesonuc1 = "CEPB"

    ces1 = 5

    cederece1 = 1

    cesonuc2 = "CEPK"

    ces2 = 4

    cederece2 = 0

End If

XPText30.Text = cesonuc1: XPText31.Text = cederece1: XPText32.Text =  
cesonuc2: XPText33.Text = cederece2

If cederece1 < ederece1 Then

    outderece1 = cederece1

Else

    outderece1 = ederece1

End If

XPText34.Text = Str(outderece1)

If cederece1 < ederece2 Then

    outderece2 = cederece1

Else

    outderece2 = ederece2

End If

XPText36.Text = Str(outderece2)

If cederece2 < ederece1 Then

    outderece3 = cederece2

Else

```
outderece3 = ederece1
End If
XPText43.Text = Str(outderece3)
```

```
If cederece2 < ederece2 Then
outderece4 = cederece2
Else
outderece4 = ederece2
End If
XPText41.Text = Str(outderece4)
```

```
outsonuc1 = cik(ces1, es1): XPText35.Text = outsonuc1
outsonuc2 = cik(ces1, es2): XPText37.Text = outsonuc2
outsonuc3 = cik(ces2, es1): XPText42.Text = outsonuc3
outsonuc4 = cik(ces2, es2): XPText40.Text = outsonuc4
```

```
If outsonuc1 = "NB" Then
m1 = outnb
Elseif outsonuc1 = "NK" Then
m1 = outnk
Elseif outsonuc1 = "S" Then
m1 = outs
Elseif outsonuc1 = "PK" Then
m1 = outpk
Elseif outsonuc1 = "PB" Then
m1 = outpb
End If
```

```
If outsonuc2 = "NB" Then
m2 = outnb
Elseif outsonuc2 = "NK" Then
```

```
m2 = outnk  
Elsif outsonuc2 = "S" Then  
m2 = outs  
Elsif outsonuc2 = "PK" Then  
m2 = outpk  
Elsif outsonuc2 = "PB" Then  
m2 = outpb  
End If
```

```
If outsonuc3 = "NB" Then  
m3 = outnb  
Elsif outsonuc3 = "NK" Then  
m3 = outnk  
Elsif outsonuc3 = "S" Then  
m3 = outs  
Elsif outsonuc3 = "PK" Then  
m3 = outpk  
Elsif outsonuc3 = "PB" Then  
m3 = outpb  
End If
```

```
If outsonuc4 = "NB" Then  
m4 = outnb  
Elsif outsonuc4 = "NK" Then  
m4 = outnk  
Elsif outsonuc4 = "S" Then  
m4 = outs  
Elsif outsonuc4 = "PK" Then  
m4 = outpk  
Elsif outsonuc4 = "PB" Then  
m4 = outpb  
End If
```

```
PWM1 = PWM1 + (m1 * outderece1 + m2 * outderece2 + m3 * outderece3
+ m4 * outderece4) / (outderece1 + outderece2 + outderece3 +
outderece4)
```

```
If PWM1 < -1 Then PWM1 = -1
```

```
If PWM1 > 1 Then PWM1 = 1
```

```
XPText13.Text = "    % " + Left(Str(PWM1 * 100), 5)
```

```
p = Left(Str(PWM1 * 100), 5)
```

```
ppwwmm = Val(p)
```

```
XPText9.Text = XPText13.Text
```

```
If ppwwmm < 0 Then
```

```
XPText8.Text = "SOĞUTMA"
```

```
Elseif ppwwmm > 0 Then
```

```
XPText8.Text = "ISITMA"
```

```
Else
```

```
XPText8.Text = "BOŞTA"
```

```
End If
```

```
If (Sgn(ppwwmm)) >= 0 Then
```

```
    ppwwmm = Int(ppwwmm) 'PWM değerini yuvarlıyoruz. Kesirli kısımdan
    kurtuluyoruz.
```

```
    XPText12.Text = ppwwmm
```

```
    p1 = XPText12.Text + Chr$(13) 'pozitif pwm sinyali seri porttan
    gönderiliyor.
```

```
    XPText12.Text = p1
```

```
    MSComm1.Output = p1
```

```
    p2 = Str(0) + Chr$(13) 'negatif pwm sinyali 0 değeriyle gönderiliyor.
```

```
    MSComm1.Output = p2
```

```
    XPText10.Text = XPText12.Text
```

Else

ppwwmm = Int(Abs(ppwwmm)) 'PWM değerini yuvarlıyoruz. Kesirli kısımdan kurtuluyoruz.

p1 = Str(0) + Chr\$(13) 'pozitif pwm sinyali 0 değeriyle gönderiliyor.

MSComm1.Output = p1

XPText12.Text = ppwwmm

p2 = XPText12.Text + Chr\$(13) 'negatif pwm sinyali seri porttan gönderiliyor.

XPText12.Text = p2

MSComm1.Output = p2

XPText10.Text = XPText12.Text

End If

GoTo son3

son2:

ppwwmm = 0

ppwwmm = Int(Abs(ppwwmm)) 'PWM değerini yuvarlıyoruz. Kesirli kısımdan kurtuluyoruz.

p1 = Str(0) + Chr\$(13) 'pozitif pwm sinyali 0 değeriyle gönderiliyor.

MSComm1.Output = p1

XPText12.Text = 0

p2 = XPText12.Text + Chr\$(13) 'negatif pwm sinyali seri porttan gönderiliyor.

XPText12.Text = p2

MSComm1.Output = p2

XPText13.Text = "0"

XPText10.Text = XPText12.Text

son3:

cik:

End Sub

Private Sub Text1\_Change()

End Sub

Private Sub XPButton1\_Click()

If UserControl11.Visible = False Then

UserControl11.Visible = True

Elseif UserControl11.Visible = True Then

UserControl11.Visible = False

End If

End Sub

Private Sub XPButton10\_Click()

Picture8.Visible = False

End Sub

Private Sub XPButton17\_Click()

End Sub

Private Sub XPButton11\_Click()

XPText11.Text = "x"

End Sub

Private Sub XPButton2\_Click()

XPText4.Text = "x"

End Sub

Private Sub XPButton3\_Click()



```
Picture8.Visible = True  
End Sub
```

```
Private Sub XPButton4_Click()  
Picture8.Visible = False  
End Sub
```

```
Private Sub XPButton5_Click()  
If UserControl11.Visible = False Then  
UserControl11.Visible = True  
Elseif UserControl11.Visible = True Then  
UserControl11.Visible = False  
End If
```

```
If XPCheck1 = Checked Then  
cik1 = MsgBox("Sol Tarafın Akımını Kesmek İstiyormusunuz ?", 20,  
"ÇIKIŞ")  
If cik1 = vbYes Then  
XPText4.Text = "x"  
XPCheck1.Value = Unchecked  
End If  
End If
```

```
If XPCheck2 = Checked Then  
cik1 = MsgBox("Sağ Tarafın Akımını Kesmek İstiyormusunuz ?", 20,  
"ÇIKIŞ")  
If cik1 = vbYes Then  
XPText11.Text = "x"  
XPCheck2.Value = Unchecked  
End If  
End If
```

End Sub

Private Sub XPButton6\_Click()

XPText1(0).Text = XPText16.Text + Chr(176) + "C"

XPText1(6).Text = XPText6.Text + Chr(176) + "C"

End Sub

Private Sub XPButton7\_Click()

If MSComm1.PortOpen = False Then

XPText4.Text = "x"

XPText11.Text = "x"

MSComm1.CommPort = port\_text.Text

MSComm1.Settings = "9600,N,8,1"

MSComm1.PortOpen = True

XPButton7.Caption = "Bağ.Kes"

Else

kes = MsgBox("Bağlantıyı Kesmek İstiyormusunuz?", 20, "DİKKAT")

If kes = vbYes Then

XPButton7.Caption = "Bağlan"

MSComm1.PortOpen = False

XPText4.Text = ""

XPText11.Text = ""

End If

End If

End Sub

Private Sub XPButton8\_Click()

```
If UserControl11.Visible = False Then
UserControl11.Visible = True
Elseif UserControl11.Visible = True Then
UserControl11.Visible = False
End If
If XPCheck1 = Checked Then XPText4.Text = ""
If XPCheck2 = Checked Then XPText11.Text = ""

End Sub
```

```
Private Sub XPButton9_Click()
```

```
If XPText4.Text = "" Then
cik1 = MsgBox("Akım Uygulanırken Programı Sonlandıramazsınız!?", 16,
"DİKKAT")
Else
cik1 = MsgBox("Programdan Çıkmak İstiyormusunuz ?", 20, "ÇIKIŞ")
If cik1 = vbYes Then
End
End If
End If
End Sub
```

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : YAVUZ A.HAKAN  
 Uyuğu : T.C  
 Doğum tarihi ve yeri : 10.04.1975 NİKSAR  
 Medeni Hali : EVLİ  
 E-mail : hakyav@yahoo.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniv/Elektrik Elekt. Müh.	2000
Lisans	Erciyes Üniv./Elektronik Müh.	1996

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
1998-2009	Gaziosmanpaşa Üniv.	Öğr.Gör.

### Yabancı Dil

İngilizce

### Hobiler

Futbol, Bilgisayar, Doğa yürüyüşleri.

### Yayınlar

- Ahiska, R., Güler, İ., Kaymaz, M., Yavuz, A.H., Control of a thermoelectric brain cooler by adaptive neuro-fuzzy inference system, **Instrumentation Science and Technology**, 36(3), 636-655, (2008).
- Ahiska, R., Güler, İ., Yavuz, A.H., Toprak, A. Neuro-Fuzzy Inference System For Control Of A Thermoelectric Brain Cooler, **Journal of Thermoelectricity**, Ukrayna, 4(2), 64-70, (2008).
- Yavuz, A.H., Ahiska, R., "Bulanık mantık kontrollü termoelektrik beyin soğutucusu", **ELECO'2006 5. Elektrik Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı**, Bursa, (2006).
- Yavuz, A.H., Ahiska, R., "Modelling of a thermoelectric brain cooler by adaptive neuro-fuzzy inference system", **ELECO'2007 5th International Conference on Electrical and Electronics**, Bursa, (2007).