

## EĞİTİM

**Deney seti için gerekli olan gerilim standard bir PC gerilim kaynağı kullanarak elde edilmektedir. PC gerilim diğer gerilim kaynaklarına oranla oldukça ucuz olup deney seti için gerekli olan gerilim ve akımı sağlayabilir. Deney seti için önemli olan, ısıtıcıyı çalıştırabilecek, yani 12V ve 10A akım sağlayabilecek bir gerilim kaynağının kullanılmış olmasıdır. Bunun yanında, mikrokontrolleri çalıştırmak için gerekli olan +5V, 100mA akım yine aynı güç kaynağı ile sağlanabilir.**

### 1. GİRİŞ

Otomatik kontrol eğitimi mühendislik alanında çok önemli bir konu olup hemen her mühendis öğrenci Üniversite yıllarında otomatik kontrol eğitimi görür. Otomatik kontrol yoğun matematik içeren ve teorik bir dal olup öğrenciler bu konuda deney yapmakta genellikle zorlanır. Ayrıca, otomatik kontrol üzerine basit ve öğretici deney seti bulmak hem zor ve hem de mevcut deney setleri oldukça pahalıdır. Örneğin, basit bir motor kontrol deney setinin fiyatı 3 bin dolar civarındadır.

sayısal bir şekilde sıcaklığını kontrol etmek üzerine olup deney hakkında geniş bilgi aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

### 2. SICAKLIK KONTROL DENEY SETİ

Yakın Doğu Üniversitesinde geliştirilmiş olan sıcaklık kontrol deney setinin blok şeması **Şekil 1**'de gösterilmiştir. Şekilde de görüleceği gibi, bir kap içerisindeki su 12V'luk küçük bir elektrik ısıtıcı ile ısıtılmaktadır. Yine aynı kap içerisinde bulunan ve bir analog sıcaklık sensörü tarafından algılanan sı-

## Otomatik Kontrol Eğitimi İçin Ucuz Deney Seti Tasarımı

**Prof. Dr. Doğan İBRAHİM**

(Yakın Doğu Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Lefkoşa KKTC) e-mail: doğan@neu.edu.tr

Otomatik kontrol eğitimi Yakın Doğu Üniversitesinde bilgisayar mühendisliği ve elektrik/elektronik mühendisliği öğrencileri tarafından alınmaktadır. Haftada 4 saat olan ders programı normal olarak teorik olup öğrenciler özellikle klasik kontrol konularını ve bunun yanında modern kontrol konularını da görmektedir. Halen, pratik olmayan otomatik kontrol eğitiminde MATLAB<sup>1</sup> kontrol paket programı da geniş olarak öğretilmektedir. Otomatik kontrol alanında çeşitli deney setleri geliştirmek için Üniversitede halen çalışmalar yapılmaktadır.

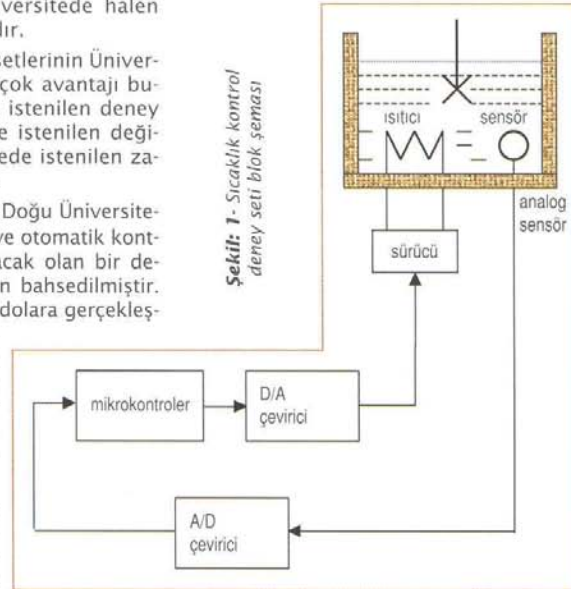
Laboratuvar deney setlerinin Üniversitede yapılmasının birçok avantajı bulunmaktadır. Örneğin, istenilen deney seti çok daha ucuz ve istenilen değişiklik de yine üniversitede istenilen zaman yapılabilir.

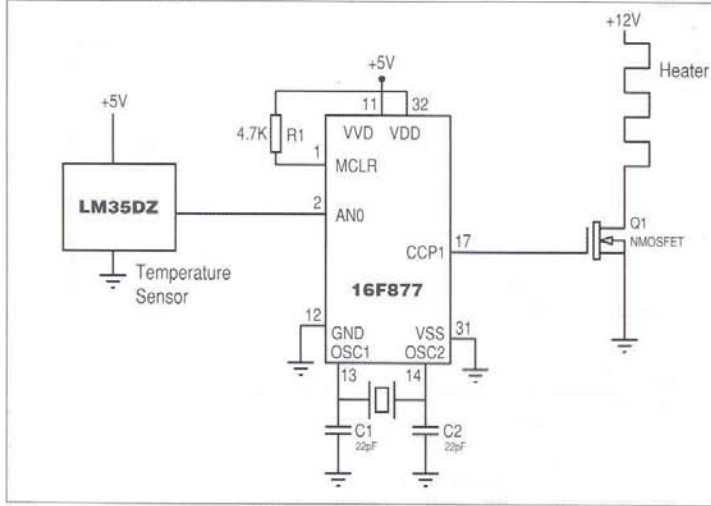
Bu yazımızda, Yakın Doğu Üniversitesi'nde<sup>2</sup> gerçekleştirilen ve otomatik kontrol derslerinde kullanılacak olan bir deney setinin tasarımından bahsedilmiştir. Normal olarak 200-300 dolara gerçekleştirilmiş olan bu deney setinin piyasa fiyatı 3 bin dolar civarındadır. Bu durumda, deney seti Üniversitede piyasadan çok çok daha ucuz yapılmış oldu.

Gerçekleştirilmiş deney seti, bir kap içerisindeki suyun mikrokontroller kullanarak

caklık PIC3 modeli bir mikrokontrollerin analog-sayısal çevirici girişine verilmektedir. Mikrokontroller, istenilen sıcaklık ve kap içerisindeki mevcut sıcaklık arasındaki farka bağlı olarak bir PID (Orantı-Integral-Türev) kontroler algoritması uygulayarak kap içerisindeki su sıcaklığını istenilen değerde tutar.

Deney setinin elektronik şeması **Şekil 2**'de gösterilmiştir. Kullanılan çeşitli parçalar hakkında daha geniş bilgi aşağıdaki bölümlerde verilmiştir. ➔





Şekil 2- Sıcaklık kontrol deney seti elektronik şeması

### 2.1 Su ısıtıcısı

Deney setinde, hem ucuz oluşu ve hem de elektrik açısından daha emniyetli olması için küçük 12 voltluk elektrik su ısıtıcısı kullanılmıştır. Bu ısıtıcı 120W gücünde olup 10 Amper kadar bir elektrik akımı harcamaktadır. Kap içerisine yerleştirilen bu ısıtıcıya elektrik akımı bir MOSFET güç devresi ve 12 voltluk, 10 Amperlik bir güç kaynağı tarafından sağlanmaktadır.

### 2.2 Sıcaklık sensörü

Sıcaklık sensörü olarak çok geniş bir seçenek bulunmaktadır. Burada, analog veya sayısal çıkış veren sensör kullanmak mümkündür. Analog çıkışlı sensör olarak thermocouple, RTD, termistör, veya entegre devre kullanılabilir. Sayısal çıkışlı sıcaklık sensörleri ise genellikle entegre devre olarak bulunur.

Tasarımı yapılan deney setinde, hem ucuz hem de lineer olmasından dolayı LM35 modeli analog çıkış veren entegre devre sıcaklık sensörü kullanılmıştır. 3 bacaklı olan bu sensörün bir bacağı +5 volt gerilime ve diğer bacağı ise toprağa bağlanır. Üçüncü bacağı ise sıcaklık çıkışı olup bu bacakta +10mV/°C gibi bir gerilim mevcuttur. Bu durumda, örneğin, 10°C bir sıcaklıkta LM35 sensörün çıkışı 100mV kadardır. Sensörün çıkış bacağı PIC16F877<sup>3</sup> modeli bir PIC mikrokontrolerin analog-sayısal çevirici girişine bağlanmıştır.

### 2.3 Mikrokontroler

Kontrol uygulamalarında kullanılacak çok çeşitli mikrokontroler bulunmaktadır. Burada, deney setinin fiyatını ucuz tutmak ve tasarımı da basitleştirmek için analog-sayısal çevirici girişi olan bir mikrokontroler seçmek gerekiyordu. Bu uygulama için, PIC16F877 modeli bir mikrokontroler seçilmiştir.

PIC16F877 mikrokontroleri 40 bacaklı olup *Microchip*<sup>3</sup> firması tarafından üretilmektedir. Halen endüstride çok yaygın olarak kullanılan bu mikrokontrolerin başlıca özellikleri aşağıda verilmiştir:

- 20MHz kadar çalışabilme özelliği
- 8K x 14 program belleği (Flash)
- 368 x 8 bilgi belleği (RAM)
- 256 x 8 bilgi belleği (EEPROM)
- 2mA az çalışma akımı
- 3 tane zamanlayıcı (timer)
- 8 tane 10 bitlik analog-sayısal çevirici girişi
- PWM (pulse-width-modulation) çıkışı
- I2C ve SPI bus bağlantı özelliği
- 30 bit giriş-çıkış portu

16F877 mikrokontrolerin çalışması için osilatör devresine 2 tane kapasitör ve bir kristal, ve reset devresine ise sadece bir direnç bağlamak gerekir.

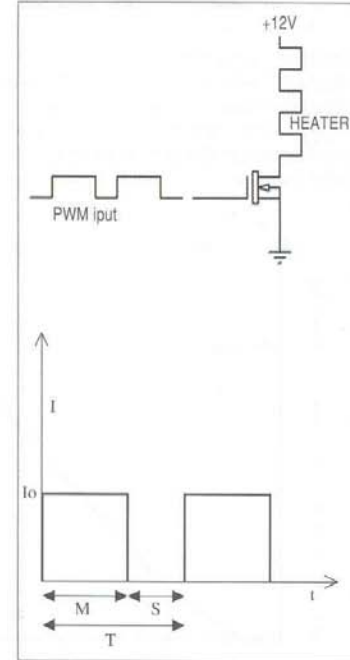
Şekil 2'de görüleceği gibi, LM35<sup>4</sup> sıcaklık sensörünün çıkışı

PIC16F877 mikrokontrolerin analog 0 (AN0) girişine bağlanmıştır. Mikrokontrolerin PWM çıkışı (CCP1 bacağı) ise ısıtıcı devresini kontrol etmektedir.

### 2.4 Isıtıcı sürücü devresi

Isıtıcıya giden akım, IRL1004 modeli, *International IOR Rectifier*<sup>5</sup> firması tarafından üretilen bir güç MOSFET transistörü kullanılarak kontrol edilmektedir. Oldukça yüksek *drain* akımı olan bu transistör 200W kadar güç harcayabilir. Isıtıcı transistörün *drain* bacağına ve +12V gerilime bağlanmıştır. Sviç olarak kullanılan bu transistörün *gate* bacağı ise mikrokontrolerin PWM çıkışı tarafından kontrol edilmektedir.

Isıtıcıyı kontrol etmek için PWM kullanılmasının amacı, ısıtıcıya verilen akım ve üretilen güç arasında lineer bir bağıntı sağlanmasıdır. Şekil 3'te bir PWM dalgası gösterilmiştir. Burada, dalganın periyodu (T=M+S) sabit tutulmakta ve dalganın ON zamanı (M) artırılarak ısıtıcıya giden ortalama güç de lineer olarak artmaktadır. MOSFET transistörün çok ısınmasını önlemek için transistör bir sıcaklık paneline (heatsink) bağlanmıştır.



Şekil 3- Isıtıcıya verilen PWM dalgası

## 2.5 Gerilim kaynağı

Deney seti için gerekli olan gerilim standard bir PC gerilim kaynağı kullanarak elde edilmektedir. PC gerilim kaynakları diğer gerilim kaynaklarına oranla oldukça ucuz olup deney seti için gerekli olan gerilim ve akımı sağlayabilir. Deney seti için önemli olan, ısıtıcıyı çalıştırabilecek, yani 12V ve 10A akım sağlayabilecek bir gerilim kaynağının kullanılmış olmasıdır. Bunun yanında, mikrokontroleri çalıştırmak için gerekli olan +5V, 100mA akım yine aynı güç kaynağı ile sağlanabilir.

Kullanılan PC gerilim kaynağının en az şu özellikleri olması gerekir:

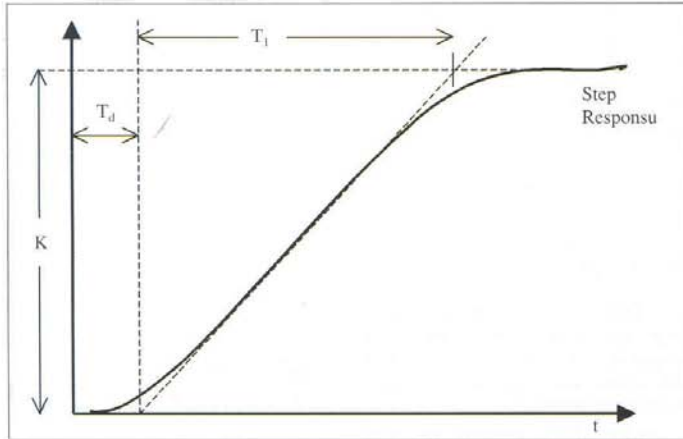
- +5V 10mA
- +12V 10A

## 3. SİSTEM MODELİ

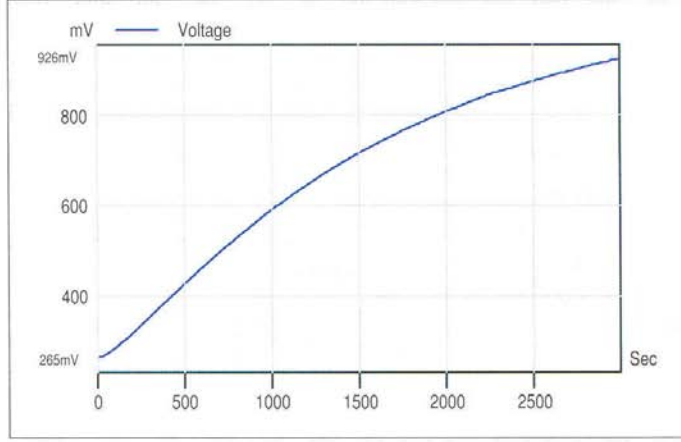
Sıcaklık kontrol sistemleri genellikle birinci derece sistemler olup bu tür sistemlerin bir gecikme zaman katsayısı ( $T_d$ ), sistem zaman sabiti ( $T_1$ ), ve d.c. kazanç (K) parametreleri vardır. Sistem genel olarak aşağıdaki transfer fonksiyonu ile gösterilebilir:

$$G(s) = \frac{K e^{-T_d s}}{1 + T_1 s} \quad (1)$$

K,  $T_d$ , ve  $T_1$  parametrelerini bulmak için deney setinde Ziegler-Nichols<sup>6</sup> metodu kullanılmıştır. Bu metodu uygulamak için sistemin açık devre step responsu ölçülür ve katsayılar Şekil 4'te gösterildiği gibi bulunur.



Şekil: 4- Ziegler-Nichols metodu



Şekil: 5- Deney seti step responsu

Deney setinin step responsunu bulmak için PWM çıkışı step olarak 200'den 1000'e çıkarıldı ve sıcaklık sensörünün gerilimi her saniye ölçülerek Şekil 5'teki grafik elde edildi. Daha sonra, bu grafiği kullanarak deney setinin transfer fonksiyonu şu şekilde bulunmuştur:

$$T_d = 180$$

$$T_1 = 1800$$

$$K = (926 - 265) / (1000 - 200) = 0.826$$

Bu durumda,

$$G(s) = \frac{0.826 e^{-180s}}{1 + 1800s} \quad (2)$$

## 4. PID KONTROLER TASARIMI

Bir PID kontrolerin çıkışı genel olarak şu şekilde gösterilmektedir:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3)$$

burada  $e(t)$  istenilen ve gerçek çıkış arasındaki hatadır. 3 numaralı formülü Laplace transform olarak gösterirsek,

$$U(s) = E(s) K_p \left[ 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right] \quad (4)$$

4 numaralı formülün bilgisayarda kullanımı için bu formülü aşağıdaki z-transform ile gösterebiliriz:

$$U(z) = E(z) K_p \left[ 1 + \frac{T}{T_i (1 - z^{-1})} + T_d \frac{(1 - z^{-1})}{T} \right] \quad (5)$$

yukarıdaki formülde T sampling zamanı olup bu formül daha uygun olarak genellikle aşağıda gösterildiği gibi yazılır:

$$\frac{U(z)}{E(z)} = a + \frac{b}{1 - z^{-1}} + c(1 - z^{-1}) \quad (6)$$

ve burada:

$$a = K_p, \quad b = \frac{K_p T}{T_i}, \quad c = \frac{K_p T_d}{T}$$

olur.

Deney setinde sıcaklık kontrolü için PI çeşidi kontroler kullanılmıştır. Bu kontroler için Ziegler-Nichols PI parametreleri şu şekilde hesaplanabilir:



$$K_p = \frac{0.9T_i}{KT_d} \quad T_i = 3.3T_d \quad (7)$$

7 numaralı formülü kullanarak gerekli PI kontroler parametrelerini bulabiliriz:

$$K_p = \frac{0.9 \times 1800}{0.826 \times 180} = 10.9 \quad \text{ve}$$

$$T_i = 3.3 \times 180 = 594 \text{ olur}$$

Sampling zamanını 20 saniye olarak kabul edersek, PI kontrolerin a ve b katsayılarını şu şekilde hesaplayabiliriz:

$$a = 10.9 \quad b = \frac{10.9 \times 20}{594} = 0.37$$

### 5. PI PROGRAM ALGORİTMASI

PI kontroler algoritması PIC16F877 mikrokontrolerde C dilinde yazılmış bir programla uygulanmıştır. Program algoritması aşağıda verilmiştir:

#### BEGIN

*PI kontrolerin a ve b katsayılarını oku*  
*Analog-sayısal çeviriciyi hazırla*

#### DO FOREVER

*Istenilen sıcaklığı oku:*  $r(kT)$   
*Su sıcaklığını sensörden oku:*  $y(kT)$   
*Hatayı hesapla:*  $e(kT) = r(kT) - y(kT)$   
*Integral terimini hesapla:*  $p(kT) = be(kT) + p(kT-T)$   
*PI kontroler çıkışını hesapla:*  $u(kT) = p(kT) + ae(kT)$   
*Isıtıcıya u(kT) çıkışını gönder*  
*Parametreleri bir sonra için sakla:*  $p(kT-T) = p(kT)$   
 $e(kT-T) = e(kT)$

*Bir sonraki T zamanını bekle*

#### ENDDO

#### END

Geliştirilmiş olan PI kontrolerin tam program listesi **Şekil 6**'da verilmiştir. Program, *Forest Electronics*' C derleyicisi (FED C) kullanılarak yazılmıştır. Programın başında programda kullanılan çeşitli değişkenler ve PI katsayıları tanımlanmıştır. İstenilen sıcaklık 300mV (30°C) olarak verilmiştir. While döngüsü ile başlayan program her 20 saniyede bu döngüyü tamamlar. Döngü içerisinde sıcaklık A/D çevirici tarafından sayısal olarak dönüştürülür, kontrol hatası hesaplanır, ve PI kontrolerin çıkışı hesaplanarak ısıtıcıya verilir. Burada, integral teriminin çıkışı maximum ve minimum arasında kısıtlanmıştır. Programda CCP1CON ve CCP1L registerleri PWM çıkışını kontrol eden registerlerdir.

```

/*****
*
* Proje: PI Kontroler
* Mikrokontroler: PIC16F877
* Derleyici: FED C

```

```

*
* PI Kontroler program listesi
*
*
* PI katsayıları:      a = 10.9
*                    b = 0.37
*                    T = 20 saniye
*
*****/
#include <P16F877.h>
#include <delays.h>

void main( )
{
    float a,b,set_point,rkt,LSB,ekt,pkt,qkt,ykt,ukt;
    float MAX,MIN,pkt_1,ekt_1;
    int control;

    LSB=5000.0/1024.0;
    MIN=0.0;
    MAX=1000.0;
    pkt_1=0.0;
    ekt_1=0.0;

    /* PI katsayılarını tanımla */
    a=10.9;
    b=0.37;

    /* İstenilen sıcaklık (10mV/C) */
    set_point=300.0;

    /* PWM peryodunu tanımla */
    PR2=249;          //PWM period=1ms
    CCP1CON=0x3C;    //enable PWM mode
    T2CON=5;         //Timer2 on with multiplier=4

    /* PI PROGRAM BASLANGICI
    ===== */
    while(1)
    {
        /* A/D çeviriciyi tanımla */
        ADCON1=0x80; //6 MSB bits to zero
        ADCON0=0x41; //set A/D oscillator

        /* A/D çeviriciyi başlat */
        ADCON0=0x45;
        while((ADCON0 & 4) != 0); //wait for conversion

        /* A/D çıkışını oku */
        ykt=256.0*(float)ADRESH+(float)ADRESL;
        ykt=ykt*LSB; //sensor output in mV

        rkt=set_point;

        /* Hatayı hesapla */
        ekt=rkt-ykt;

```

```

/* Integral terimini hesapla */
pkt=b*ekt+pkt_1;

/* PI çıkışı hesapla */
ukt=pkt+a*ekt;

if(ukt > MAX)
{
    pkt=pkt_1;
    ukt=MAX;
}
else if(ukt < MIN)
{
    pkt=pkt_1;
    ukt=MIN;
}

/* Isıtıcıya sinyal gönder */
ukt=ukt-3.0;
ukt=ukt/4.0;
control=ukt;
CCPR1L=control;

/* Parametreleri bir sonrası için sakla */
pkt_1=pkt;
ekt_1=ekt;

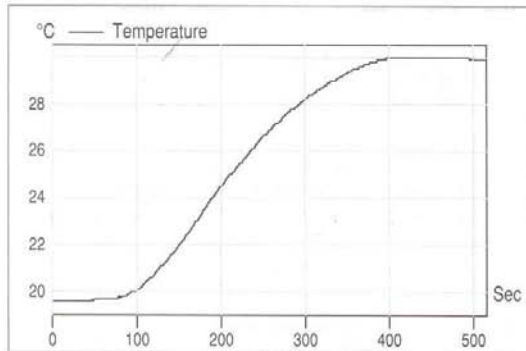
/* 20 saniye bekle */
Wait(20000);
}

```

Şekil 6- PI kontroler program listesi

## 6.NETİCELER

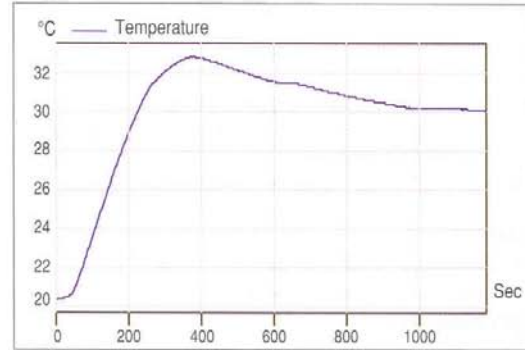
Şekil 7'de sistemin çıkış responsu gösterilmiştir. Burada sıcaklığın 30°C da olması istenmiş olup görüldüğü gibi sıcaklık istenilen değerde stabilize olmuştur.



Şekil 7- Deney seti PI kontroler responsu

Integral katsayısını artırarak sistemin responsunu hızlandırmak mümkündür. Şekil 8'de integral katsayısı 0.37 den 0.74'e çıkarılmıştır. Görüldüğü gibi, sistemin responsu hızlanmış fakat küçük bir overshoot meydana gelmiştir. Orantı ve integral katsayılarını değiştirerek optimum response elde etmek mümkündür.

Ziegler-Nichols metodunun en önemli özelliği, sistem modelini tam olarak bilmeye gerek olmadan iyi bir kontroler tasarımı yapılabilmesidir. Ziegler-Nichols metodunu kapalı devre sistemlere uygulamak da mümkündür. Bu konuda daha geniş bilgi 6 numaralı kaynakçadan elde edilebilir.



Şekil 8- Integral katsayısı artırılınca sistem responsu

## 7.SONUÇ

Bu yazımızda, Yakın Doğu Üniversitesi'nde geliştirilen ve otomatik kontrol eğitiminde kullanılacak olan bir sıcaklık kontrol deney setinden bahsedilmiştir. Tasarımı yapılan bu deney setinin en önemli özelliği mal oluş fiyatının çok düşük oluşu ve 12 Volt ile çalışmasından dolayı emniyetli oluşudur. Sistem üniversitede elektrik/elektronik mühendisliği ve bilgisayar mühendisliği öğrencileri tarafından teorik dersleri desteklemek amacıyla kullanılacaktır.

Tasarımı yapılmış olan deney seti, otomatik kontrol eğitimine ilaveten öğrencilerin mikrokontroler sistemleri hakkında da bilgi edinmelerine ve mikrokontroler programlamayı öğrenmelerine yardımcı olacaktır.

Sıcaklık kontrol deney seti, kit olarak ve kullanım kılavuzu da dahil, Yakın Doğu Üniversitesi tarafından ilgilenen üniversitelere veya kolejlere gönderilebilir. Bu konuda daha fazla bilgi için yazara e-mail gönderilebilir.

## 8. KAYNAKÇA

- [1] Matlab web-site: <http://www.mathworks.com>
- [2] Near East University web-site: <http://www.neu.edu.tr>
- [3] Microchip web-site: <http://www.microchip.com>
- [4] National Inc. web-site: <http://www.national.com>
- [5] IOR web-site: <http://www.irf.com>
- [6] Controller tutorial web-site: <http://www.controleng.com/tutorial/default.asp>
- [7] Forest Electronics web-site: <http://www.fored.co.uk>