

LabVIEW ve Mikro-denetleyici Tabanlı Sıcaklık Kontrol Sistemi TasarımıSaid Mahmut ÇINAR^{1*}, Murat FİDAN², Mustafa DEMİRCİ², İsmail YABANOVA³

ÖZET: Sıcaklık kontrol uygulamaları günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır ve kontrol sistemleri içerisinde önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada bir süreç odasının sıcaklığını kontrol etmek üzere kolay temin edilebilir ve ucuz malzemeler kullanılarak bir sıcaklık kontrol sisteminin tasarımı ve testi gerçekleştirilmiştir. Sistemde süreç odasını ısıtmak ve soğutmak için sırasıyla lamba ve fan kullanılmıştır. Kontrol sisteminin ısıtıcı ve soğutucu çıkışlarını kontrol etmek ve süreç odası sıcaklığını ölçmek için Arduino UNO mikro-denetleyici kartı kullanılmıştır. Mikro-denetleyici seri haberleşme terminali üzerinden bilgisayara bağlanmış ve LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Electronic Workbench) platformunda hazırlanmış bir arayüzle kontrol edilmiştir. Mikro-denetleyicide işletilen aygıt yazılımından alınan veriler arayüz üzerinde görüntülenmiş ve arayüz üzerinden girilen süreç odası referans değeri, uygulanacak kontrol yöntemi tipi ve kontrolör parametreleri aygıt yazılımına gönderilmiştir. Tasarlanan sıcaklık kontrol sistemi kara kutu yöntemiyle birinci dereceden zaman gecikmeli olarak modellenmiş ve üretilen model parametreleriyle ayarlanan Aç-Kapa ve PID (Proportional Integral Derivative) kontrolörler sisteme uygulanmıştır. PID kontrolör parametreleri üretilen modele göre Zeigler-Nichols yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Aç-Kapa ve PID kontrolörlerle gerçekleştirilen ısıtma ve soğutma deneylerinde süreç odası sıcaklığının istenilen sıcaklık değerin etrafında yaklaşık 1 °C salınımla kontrol edilebildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sıcaklık kontrolü, LabVIEW, süreç kontrolü, PID kontrolör, aç-kapa kontrolör, kara kutu modelleme.

Designing Temperature Control System based on LabVIEW and Microcontroller

ABSTRACT: In the control applications, temperature control systems are very important role. In this study, a temperature control system realized by inexpensive and easily provided materials was designed and tested. In the temperature control system, it was used lamp and fan for heating and cooling of process room. The Arduino Uno micro-controller board was selected to drive the heating and cooling outputs of the control system and measuring the process room temperature. The micro-controller was connected to the computer via the serial communication terminal and controlled by an interface prepared in the LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Electronic Workbench) platform. The data received from the firmware operated on the micro-controller was displayed on the interface and the reference value of process room, control method and controller parameters entered by the user were sent to the firmware. Using the black-box modelling method, the temperature control system was modeled as a first-order time delayed system, and the On-Off and Proportional Integral Derivative (PID) controllers were applied to the system. PID controller parameters were determined using the Zeigler-Nichols method according to the model parameters. The heating and cooling tests were carried out with On-Off and PID controllers. It was seen that the process room temperature can be controlled by about 1 °C oscillation around the desired temperature.

Keywords: Temperature control; LabVIEW; process control; PID controller; on-off controller; black box modelling

¹ Said Mahmut ÇINAR (Orcid ID: 0000-0002-8683-3884), Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Afyon, Türkiye

² Murat FİDAN (Orcid ID: 0000-0001-8653-940X), Mustafa DEMİRCİ (Orcid ID: 0000-0002-5254-2990), Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, Türkiye

³ İsmail YABANOVA (Orcid ID: 0000-0001-8075-3579), Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Afyon, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Said Mahmut ÇINAR, e-mail: smcinar@aku.edu.tr

GİRİŞ

Otomatik kontrol sistemleri endüstride çok önemli bir yere sahiptir. Bir sistemde önceden belirlenen kontrol parametrelerinin insan girişimi olmadan belli sınırlar içerisinde tutulması otomatik kontrolün amacı olarak değerlendirilmektedir (Yersel, 2007). Otomatik kontrol sistemlerinin ilk örnekleri, mekanik tetiklemeli mekanizmalarla tasarlanırken gelişmiş kontrol sistemleri günümüzde programlanabilir yapılarla (mikro-denetleyiciler, sayısal işaret işleyiciler, programlanabilir mantık denetleyicileri, bilgisayarlar vb.) tasarlanmaktadır. Sıcaklık kontrolü, endüstride kullanılan otomatik kontrol sistemleri içerisinde yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle kapalı bir ortamın sıcaklığının kontrolü endüstride sık karşılaşılan bir kontrol problemidir. Literatürde bu probleme çözüm üretmek için yapılmış farklı sıcaklık kontrolü uygulamaları içeren çalışmalar yer almaktadır. Aşağıda bu çalışmaların bazılarında oluşan bir literatür özeti sunulmuştur.

Doğan (2002), PIC16F877 mikro-denetleyicisi ile LM35 sıcaklık algılayıcı kullanarak basit ve ucuz bir kontrol deney seti geliştirmiştir. Ayrıca bu deney setinde Zeigler–Nichols yöntemiyle parametreleri ayarlanmış olan PI (Proportional Integral) kontrolör içeren sıcaklık kontrolünü gerçekleştirmiştir. Berber (2008), PIC16F877A mikro-denetleyicisi, DS18B20 model sıcaklık algılayıcı ve J tipi ısı çifti kullanarak Aç–Kapa kontrolörle ortam sıcaklığını kontrol etmiş ve ortalama sıcaklık grafiklerini LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Electronic Workbench) platformunda hazırlanmış bir arayüz üzerinden izlemiştir. Bir başka çalışmada, Yılmaz (2009), iklimlendirme sistemi modelini MATLAB/Simulink ortamında tasarlamış, bulanık mantık ve PI kontrolörlerle sistemin sıcaklık ve nem kontrolünü gerçekleştirmiştir. Sitem üzerinde yapılan testlerde belirlenen referans değerlerin başarıyla kontrol edilebildiği belirtilmiştir (Yılmaz, 2009). Yükselten (2009), rezistans ve ısı çifti ile asimetrik bir sistemin ısıtma ve soğutma kontrolünü PID (Proportional Integral Derivative) kontrolör üzerinde bazı iyileştirmeler yaparak gerçekleştirmiştir. Söz konusu iyileştirmeler için röle, Zeigler–Nichols ve elle ayarlama yöntemlerini kullanmıştır (Yükselten, 2009). Yüce (2011), ise bir tank içerisindeki suyun sıcaklık kontrolünü LabVIEW ortamında hazırlanmış ara–yüze gömülmüş bir PID kontrolörle sağlamış ve sistemden toplanan verileri ara–yüz ile gözlemlenmiştir. Aldemir ve Hapoğlu (2016), yaptıkları çalışmada kablosuz bir sıcaklık kontrol sistemi üzerinde farklı PID ayarlama yöntemlerini incelemişlerdir. Cohen–Coon ve Zeigler–Nichols yöntemlerini uygulayarak 1 °C sapmayla sıcaklığı kontrol edebilmişlerdir (Aldemir ve Hapoğlu 2016).

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde genellikle sıcaklık kontrol sistemlerinde ısıtıcı kullanılmakla birlikte cebri olarak bir düzeneğe soğutmanın yerine doğal soğutmanın tercih edildiği görülmüştür. Bu makalede gerçekleştirilen çalışmada ise hem ısıtma hem de soğutma için iki ayrı düzeneğe kullanılmış, böylece sistemin referans sıcaklık noktasına oturma zamanı önemli ölçüde kısaltılabilmektedir. Bu çalışmanın bir önemli katkısı da kendini geliştirmek isteyen kişilere, kolay ve ucuza temin edilebilir malzemelerle bir sıcaklık kontrol sisteminin tasarlanabileceğini göstermesidir.

Bu çalışmada gerçekleştirilen sıcaklık kontrol sisteminin genel yapısı, güç ve kontrol sisteminin donanım ve yazılım altyapısı ayrıntılarıyla materyal ve metot bölümünde verilmiştir. Ardından sistemde uygulanan Aç–Kapa ve PID kontrolörlerin yapıları, kontrolör parametrelerinin ayarlanmasında kullanılan yöntemler ve sıcaklık kontrol sisteminde her bir kontrolör için elde edilen sonuçlar bulgular bölümünde verilmiştir. Son olarak elde edilen sonuçlar ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar üzerine değerlendirmeler sonuç bölümünde sunulmuştur.

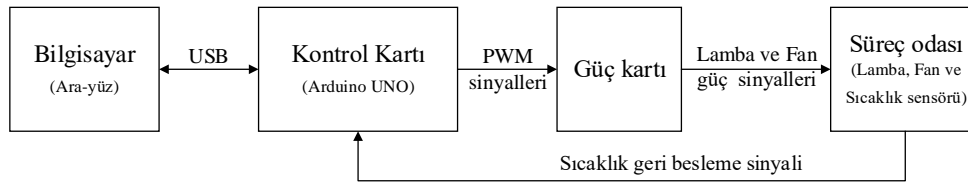
MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde tasarlanan sıcaklık kontrol sistemi; sistemin bileşenlerinin özellikleri ayrıntılarıyla “Sıcaklık kontrol sisteminin genel yapısı” başlığı altında verilmiştir. Ardından “Güç ve kontrol sisteminin

donanım bileşenleri” başlığı altında ısıtma ve soğutma çıkışlarını sürmekte kullanılan güç devresi özellikleri ile bu çıkışları sürmek, algılayıcıyla sıcaklık ölçümü yapmak ve bilgisayarla iletişim kurmak gibi görevleri yerine getiren kontrol devresi özellikleri ayrıntılarıyla verilmiştir. Son olarak “Güç ve kontrol sisteminin yazılım altyapısı” başlığı altında verilen “Mikro-denetleyici aygıt yazılımı” ve “Bilgisayar ara yüz yazılımı” alt başlıkları altında tasarlanan yazılımların yapı ve özellikleri ayrıntılı bir biçimde sunulmuştur.

Sıcaklık kontrol sistemin genel yapısı

Sıcaklık kontrol sistemi; süreç odası, güç kartı, kontrol kartı ve ara yüz programı bileşenlerinden oluşmaktadır (Şekil 1). Süreç odası üzerinde ısıtıcı lamba, soğutucu fan ve sıcaklık algılayıcı bulunmaktadır. Güç kartı, ısıtıcı lambayı ve soğutma fanını beslemekte kullanılan gücü kontrol etmektedir. Kontrol kartı güç kartı için gerekli kontrol işaretlerini üretmekte ve sıcaklık algılayıcıdan sıcaklık değerini okumaktadır. Ayrıca üzerinde bulunan haberleşme terminali sayesinde arayüz ile iletişim sağlamaktadır. Arayüz programının sistemden toplanan verileri görüntülemek ve kontrolörler (Aç-Kapa ve PID) için kontrol işaretleri üretmek gibi iki ana görevi bulunmaktadır.



Şekil 1. Sıcaklık kontrol sisteminin blok şeması.

Süreç odası 8 mm kalınlığında ahşap malzemeden ve 10 x 12 x 13 cm ebatlarında tasarlanmış ve içi alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Isıtıcı lamba ısı dağılımının daha iyi olması için odanın ortasında zemine sabitlenmiştir. Odanın dışa bakan duvarına pencere açılarak 9 x 9 cm boyutlarında fan monte edilmiştir. Ayrıca yan duvarlarda ikişer adet 7 mm çapında hava tahliye deliği açılmıştır. Dallas firmasının DS18B20 model sıcaklık algılayıcısı odanın tavanına monte edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Sıcaklık kontrol sisteminin genel görünümü.

Güç kartı üzerinde L298N motor sürücü tüm devresi bulunmakta ve iki adet motorun sayısal (Aç-Kapa) veya oransal kontrolünü sağlayabilecek biçimde işletilebilmektedir. Sıcaklık kontrol

sisteminde ısıtıcı lamba ve soğutucu fanın gücü kartın iki çıkışı ile sağlanmıştır. Bu çıkışlar Aç-Kapa ve PID kontrolörler için sırasıyla sayısal ve oransal durumda çalıştırılmıştır.

Kontrol kartı olarak düşük maliyetli ve kolay temin edilebilen Arduino UNO mikro-denetleyici kartı tercih edilmiştir. Kontrol kartının, ısıtıcı lamba ve soğutucu fanın güç kontrolünde kullanılan sayısal ve oransal çıkışların üretilmesi için iki darbe genişlik modülasyon (Pulse Width Modulation-PWM) çıkışı, sıcaklık algılayıcı ile ölçülen süreç odası sıcaklığının okunması için seri ara yüz sağlayıcı (Serial Provider Interface-SPI) haberleşme terminali ve bilgisayar ara yüz programıyla kontrol kartının arasındaki veri alış verişinin sağlanması için genel amaçlı seri haberleşme (Universal Synchronous-Asynchronous Teceiver-Transmitter-USART) terminali kullanılmıştır.

Güç ve kontrol sisteminin donanım bileşenleri

Sıcaklık kontrol sisteminde Aç-Kapa ve PID kontrol yöntemlerinin uygulanması düşünülmüştür. Aç-Kapa kontrol yönteminde, ısıtıcı lamba ve soğutma fanı çıkışları sayısal (0-1) olarak kontrol edilmektedir. PID kontrol yönteminde ise söz konusu çıkışların oransal olarak kontrolü gerekmektedir. Isıtıcı lamba ve soğutma fanının oransal kontrolü PWM tekniği ile gerçekleştirilebilir. PWM tekniğinde darbeleme oranı (Duty cycle-D) kontrol edilerek yüke uygulanan gerilimin değeri oransal olarak değiştirilmesi sağlanmaktadır.

Isıtıcı lamba ve soğutma fanının oransal kontrolü için Arduino UNO kontrol kartının PWM çıkışları kullanılmıştır. Kontrol kartı ile üretilen PWM çıkışları güç kontrol devresine bağlanmıştır. L298N tüm devresine sahip güç kontrol kartında maksimum 24V gerilim altında ve 2 A akım çekilebilen iki kanal bulunmaktadır. Sistemde kullanılan ısıtıcı lamba 12 V gerilimde maksimum 1.5 A akım çekebilen kızaran telli bir lambayken soğutucu fan 12V gerilimde maksimum 150 mA akım çekebilen 120 x 120 mm boyutlarında bir fanıdır.

Sıcaklık algılayıcısı kontrol kartına SPI haberleşme terminali üzerinden bağlanmıştır. Mikro-denetleyici, algılayıcının dönüştürdüğü ve dâhili belleğinde sakladığı süreç odası sıcaklığı değerlerini SPI terminali üzerinden tek kablo (1-Wire) protokolü kullanarak almaktadır.

Güç ve kontrol sisteminin yazılım altyapısı

Gerçekleştirilen sıcaklık kontrol sisteminin yazılımsal yapısı iki ana parçadan oluşmaktadır. Bunlardan ilki Arduino UNO mikro-denetleyici kartı üzerinde çalışan aygıt yazılımıdır (firmware). İkinci yazılım ise bilgisayar üzerinde çalışan ve LabVIEW ortamında tasarlanan ara-yüzdür.

Mikro-denetleyici aygıt yazılımı:

Mikro-denetleyicide çalışan aygıt yazılımı ısıtıcı lamba ve soğutucu fanın kontrol işaretlerinin üretilmesi, sıcaklık algılayıcıdan süreç odası sıcaklığının okunması, bilgisayar ara-yüzü ile veri alış verişinin gerçekleştirilmesi ve ara-yüzden seçilen kontrol yöntemine göre Aç-Kapa veya PID kontrolörlerin işletilmesi görevlerini yerine getirmektedir.

Aygıt yazılımı Şekil 3'te verilen akış şemasında görüldüğü gibi sonlu durum makinası olarak tasarlanmış ve hem başta hem de sonda durum kontrolleri yapılarak bilgisayardan gelen veriye göre ilgili kontrol yönteminin istenilen anda seçilebilmesi sağlanmıştır. Ayrıca ısıtıcı lamba ve soğutucu fana aynı anda PWM işareti uygulanmamış, yalnızca hatanın yönüne göre, yani ısıtma veya soğuma durumuna göre, ilgili eleman devreye alınarak PID veya Aç-Kapa kontrol uygulanmıştır. Sistemin Aç-Kapa ve PID kontrolör için yazılmış program kodlarının bir kısmı aşağıda verilmiştir.

```

//Aç-Kapa kontrol alt programı
Histeresiz_min = referans_sicaklik - 2;
Histeresiz_max = referans_sicaklik + 2;

if(sicaklik < Histeresiz_min){
    analog_cikis(lamba_cikisi,max_PWM);
    analog_cikis(fan_cikisi,0);
}
if(sicaklik > Histeresiz_max){
    analog_cikis(fan_cikisi,max_PWM)
    analog_cikis(lamba_cikisi,0);
}

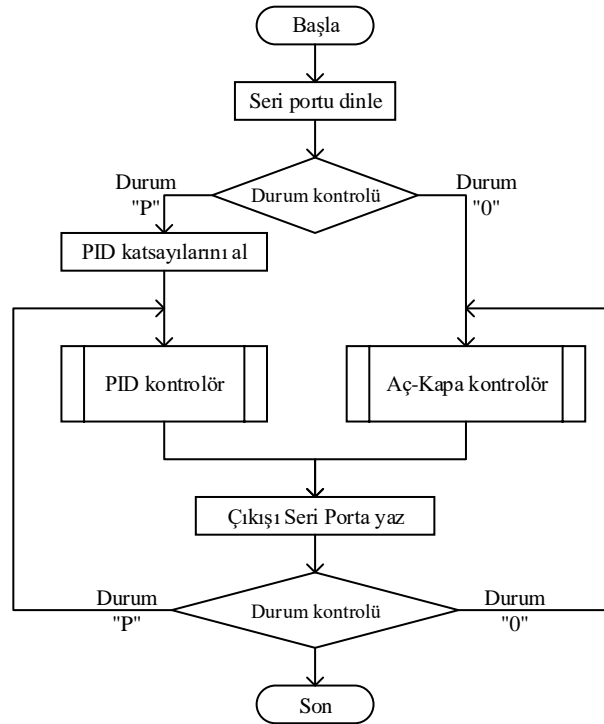
//PID kontrol alt programı
Hata = sicaklik - referans_sicaklik;
if(hata == 0)
    integral = 0;
else
    integral = integral;
integral = integral + hata;
PID = Kp*hata + Kd*(hata - son_hata) + Ki*integral;
if(integral > esik_deger)
    integral = esik_deger;
else if (integral < esik_deger)
    integral = (-1)*esik_deger;
else if (integral == esik_deger)
    integral = integral;
son_hata = hata;
if(PID > 0){
    if(PID > PID_esik_degeri)
        PID = PID_esik_degeri;
        PWM_1 = PID/2;
        PWM_2 = 0;
    }
}
else {
    if(PID <= PID_esik_degeri){
        PID = (-1)*PID_esik_degeri;
        PWM_2 = (-1)*(PID/2);
        PWM_1 = 0;
    }
}
}
analog_cikis(lamba_cikisi,PWM_2);
analog_cikis(fan_cikisi,PWM_1);

```

Verilen kodlarda görüldüğü gibi Aç-Kapa kontrolörde, referans sıcaklığın süreç odası sıcaklığından düşük olduğu durumda ısıtıcı lambayı maksimum güçte çalıştırıp soğutucu fanı durdurulurken referans sıcaklığın süreç odası sıcaklığından yüksek olduğu durumda ise soğutucu fanı maksimum devirde çalıştırıp ısıtıcı lambayı söndürülmektedir.

PID kontrol yönteminde öncelikle referans sıcaklık ile süreç odası sıcaklığının farkı alınarak hata elde edilmiştir. Ardından P, I ve D katsayılarına bağlı olarak kontrolör çıkışı hesaplanmıştır. İntegralin toplama etkisinden dolayı eşik değer sorgulaması yapılmış, böylece hata değerinin fazla büyüyerek referans etrafında oluşabilecek olan dalgalanmanın ve integral yığılması etkisinin önüne geçilmiştir (Yersel, 2007). Toplam PID değeri hesaplandıktan sonra bu değer ikiye bölünerek ısıtma ve soğutma elemanlarına ilgili PWM değerleri atanmıştır. Ancak iki çıkışın aynı anda devreye girmesi istenmediğinden PID değeri pozitif ise PWM_1 sinyali soğutucu fana uygulanıp ısıtıcı lamba

durdurulurken, PID değeri negatif ise PWM_2 sinyali ısıtıcı lambaya uygulanıp soğutucu fan durdurulmaktadır. Bu durum sistemin oturma süresinin kısalmasını beraberinde getirmiştir.



Şekil 3. Aygıt yazılımı akış şeması.

Bilgisayar arayüz yazılımı:

Arayüz yazılımı; sıcaklık kontrol sisteminin başlatılıp durdurulması, kontrol yönteminin (Aç-Kapa veya PID) seçilmesi ve süreç odası sıcaklığının görüntülenmesi gibi görevleri yerine getirmektedir. Arayüz yazılımı LabVIEW programlama ortamında hazırlanmıştır (Şekil 4). Arayüz yazılımının akış şeması mikro-denetleyici aygıt yazılımı akış şeması ile birlikte Şekil 3'te verilmiştir.

Arayüz üzerinde, kontrol kartıyla haberleşmenin yapılandırılması ve haberleşmenin başlatılıp durdurulabildiği, kontrol yönteminin seçilebildiği, PID kontrol yöntemi için PID kontrolör parametrelerinin girilebildiği, süreç odası referans sıcaklık değerinin girilebildiği, süreç odası sıcaklığının izlenebildiği çeşitli kontrol ve görüntüleme bileşenleri yer almaktadır.

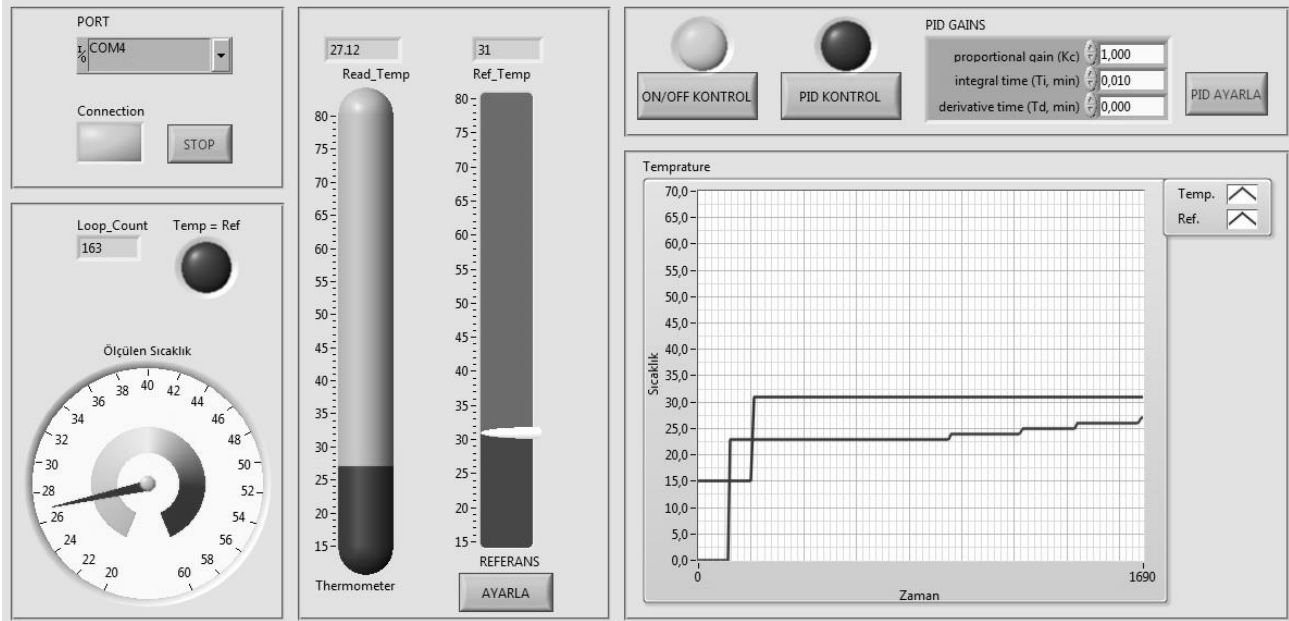
BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde tasarlanan sıcaklık kontrol sisteminde uygulanan kontrol yöntemleri ile elde edilen sonuçlar sunulmuştur. İlk olarak sisteme Aç-kapa kontrol yöntemi uygulanmıştır. Ardından 2 °C histerezis uygulanarak Aç-Kapa kontrol yöntemi tekrar uygulanmıştır. Son olarak sıcaklık kontrol sistemine PID kontrol yöntemi uygulanmıştır. PID kontrol yönteminde kontrolör parametrelerini ayarlayabilmek için kontrol sistemine birim basamak işareti uygulanarak sistemin cevabı alınmış ve bu adım cevabı üzerinden kara-kutu modelleme yöntemiyle PID kontrolör parametreleri belirlenmiştir.

Aç-kapa Kontrol Uygulaması ve Histerezis

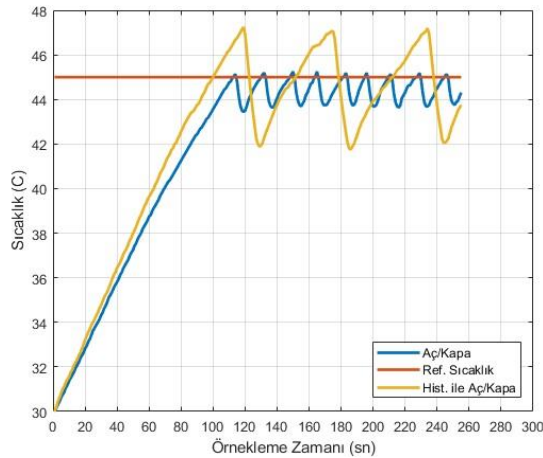
Aç-Kapa kontrol yönteminin ilk uygulaması olarak herhangi bir sistem tanıma işlemi yapılmadan sadece referans değeri üzerinden bir kontrol uygulanmıştır. Süreç odası sıcaklığı 100 saniyede 30 °C sıcaklıktan 45 °C sıcaklığa çıkartılmış (Şekil 5).

Aç-Kapa kontrolörün çok fazla açma ve kapatma yaptığı görülmüş ve bunu önlemek için bir histerezis aralığı belirlenmiştir. Burada amaç kontrol işareti uygulanan aralığı daraltarak kontrolcü elemanların verimini arttırmak ve enerji tüketimini azaltmaktır. Bu sebeple Aç-Kapa kontrol yöntemi ± 2 °C histerezis oluşturularak tekrar uygulanmıştır.



Şekil 4. Sıcaklık kontrol sistemi ara-yüzü.

Şekil 5’de verilen adım cevabı incelendiğinde sistem çıkışının referans sıcaklığı yaklaşık 1 °C aralıkta başarıyla izleyebildiği görülmektedir. Aç-Kapa kontrolör için histerezis aralığı olarak ± 2 °C belirlendiğinden ısıtma ve soğutma çıkışlarının açma/kapama sıklığı azaltılabilmiş ancak referans sıcaklık üzerindeki dalgalanmanın genliği artış göstermiştir. Ancak bu kontrol yönteminde çıkışların sürekli olarak açma/kapama yapması durumunda hem yüksek güç tüketimi olacağı hem de kullanılan devre elemanlarının ömürlerinin kısılacığından dolayı PID veya bulanık mantık gibi gelişmiş kontrol yöntemlerinin kullanımının uygun olduğu değerlendirilmektedir.



Şekil 5. Sistemin Aç/Kapa kontrol cevap eğrisi.

Sistem Tanıma ve PID Kontrol uygulaması

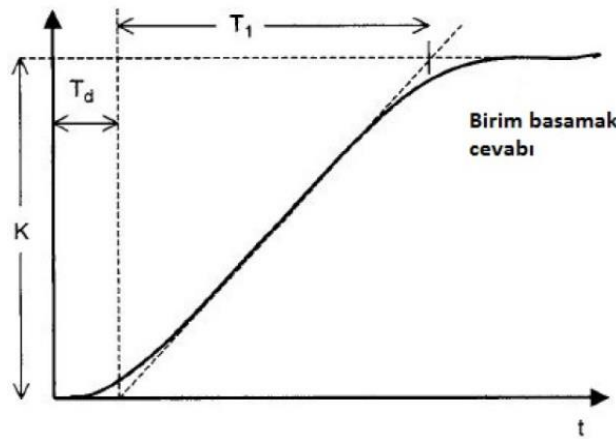
PID kontrol yönteminde kontrolörün performansı kontrolör parametrelerinin doğru bir biçimde belirlenebilmesine bağlıdır. PID parametrelerinin belirlenmesi için literatürde çok sayıda yöntem bulunmaktadır (Aldemir, 2016). Bunlardan öne çıkanlar röle yöntemi, Cohen-Coon yöntemi ve

Zeigler–Nichols yöntemleridir. Bu çalışmada pratik olarak uygulanması daha kolay olan Zeigler–Nichols yöntemi ve açık çevrim birim basamak yöntemi ya da diğer adıyla reaksiyon eğrisi kullanılmıştır. Reaksiyon eğrisi yönteminde sisteme bir test işareti verilerek sistemin kararlı hale gelmesi beklenir ve sistem kararlı hale geldikten sonra meydana gelen cevap eğrisinden ölü zaman ve eğim değerleri hesaplanır (Yazıcı et al. 2002).

Sıcaklık kontrol sistemleri genellikle birinci derece zaman gecikmeli sistemler olarak modellenirler. Bu sistemlere ölü zamanlı sistemler de denir ve bu tip sistemlerin kontrolünde kontrol edilecek sisteme özel uygulamalar gerekli olmaktadır (Aktaş et al. 2011). Ölü zamanlı sistemler Zeigler–Nichols metoduyla sisteme uygun bir biçimde doğru parametre tespitiyle kolayca kontrol edilebilirler (Aström and Hagglund 2004). Bu tür sistemlerde bir gecikme zaman katsayısı (T_d), sistemin zaman sabiti (T_1) ve DC kazanç (K) parametreleri bulunmaktadır (Sağlam, 2013). Ölü zamanlı sistemlerin genel transfer fonksiyonu denklem 1’de verilmektedir.

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

İdeal bir birim basamak cevabında T_d , T_1 ve K katsayıların grafiksel olarak tespiti Şekil 6’da görülmektedir (Doğan 2002).

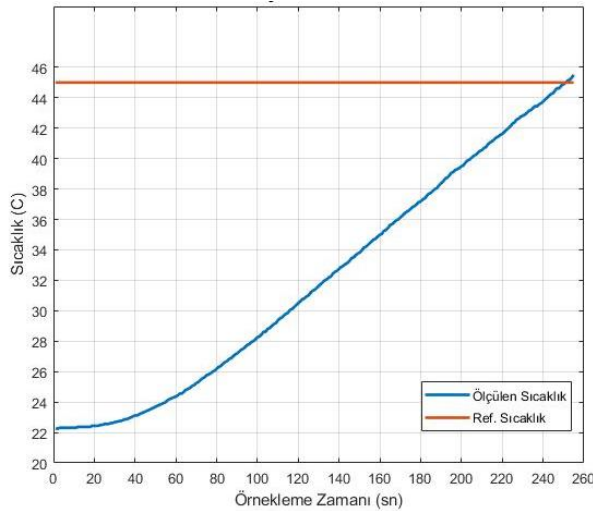


Şekil 6. İdeal birim basamak cevap eğrisi.

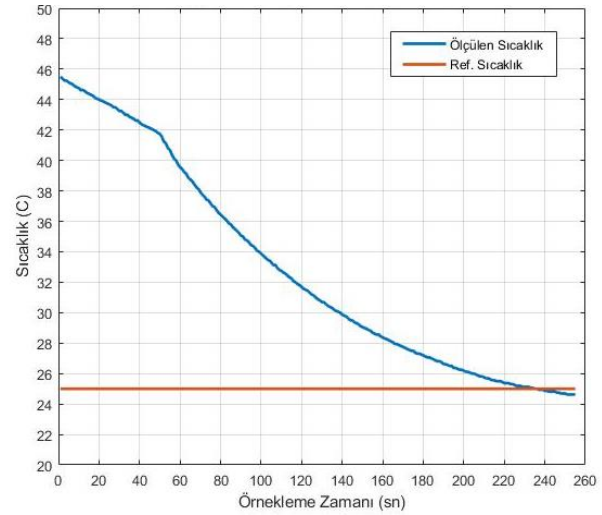
Açık Çevrim Basamak Tepkisi:

Gerçekleştirilen uygulamada sıcaklık kontrol sisteminde ısıtma ve soğutma çıkışlarında birim basamak sinyali uygulanmıştır. Sıcaklık kontrol sisteminde elde edilen ısıtma ve soğutma birim basamak cevapları sırasıyla Şekil 7-a ve b’de verilmiştir.

Şekil 6’da grafiksel olarak verilen yöntem Şekil 7-a ve b’deki birim basamak cevaplarına uygulanarak K , T_d ve T_1 parametreleri hesaplanmış ve Çizelge 1’de verilmiştir. Burada ısıtma ve soğutma çıkışları için K , T_d ve T_1 parametreleri birbirine çok yakın bulunduğundan dolayı sadece tek hesaplamının sonucu verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 7. Isıtma (a) ve soğutma (b) çıkışları için birim basamak cevapları.

Çizelge 1. Birim basamak cevabı parametreleri

K	T_d	T_I
23	30 s	230 s

K , T_d ve T_I parametrelerinin elde edilmesinden sonra PID kontrolörün oransal (K_P), integral (T_i) ve türevsel (T_D) katsayıları Zeigler–Nichols yöntemine göre Çizelge 2’deki gibi hesaplanmıştır (Berber,2008, Yükselten,2010).

Çizelge 2. PID Parametrelerinin Zeigler-Nichols yöntemiyle bulunması

Kontrolör	K_P	T_i	T_D
Oransal	$\frac{T_1}{K \cdot T_d}$	∞	0
Oransal+İntegral	$\frac{0.9 \cdot T_1}{K \cdot T_d}$	$3.3 \cdot T_d$	0
Oransal+İntegral+Türevsel	$\frac{1.2 \cdot T_1}{T_d}$	$2 \cdot T_d$	$0.5 \cdot T_d$

PID kontrolör için Çizelge 2’ye göre hesaplanan K_P , T_i ve T_D katsayılarının yuvarlanmış değerleri Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Zeigler–Nichols yöntemine göre hesaplanmış PID parametreleri

K_P	T_i	T_D
9.20	60	15

Hesaplanan T_i ve T_D katsayılarını sürekli zamanlı olarak elde edilmiştir. Bu katsayıları ayrık zamanda ifade edebilmek için örnekleme zamanına göre tekrar düzenleme yapılması gerekmektedir. Gerçekleştirilen sıcaklık kontrol uygulamasında örnekleme zamanı 1 saniye olduğu için T_i ve T_D katsayıları tekrar hesaplandığında Çizelge 4’deki değerler bulunmuştur.

Çizelge 4. Ayırık zamanlı hesaplanmış PID parametreleri

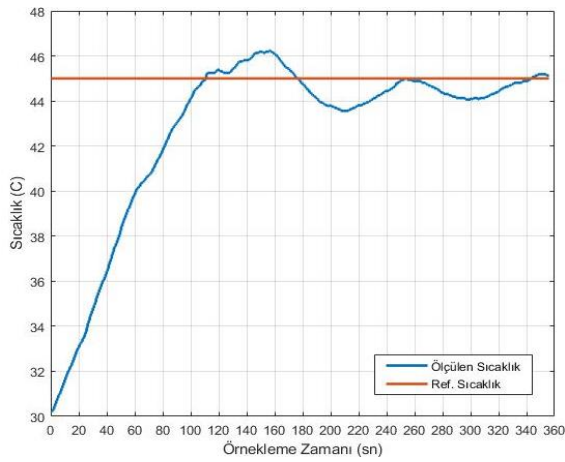
T_i	T_D
0.16	0.65

Hesaplanan K_P , T_i ve T_D katsayıları mikro-denetleyici üzerinde işletilen aygıt yazılımında test edilmiş ve bilgisayar ara yüzü üzerinden kontrol gerçekleştirilmiştir.

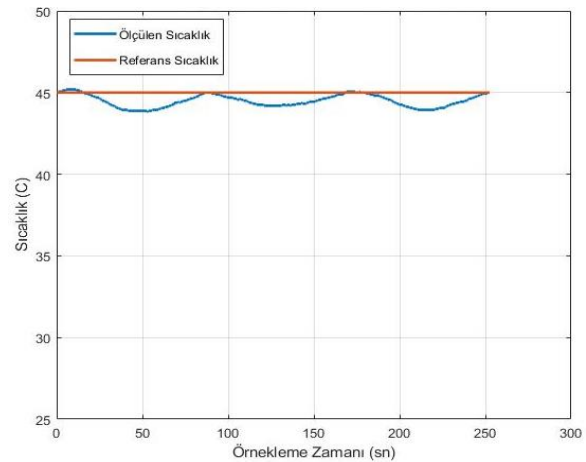
Sıcaklık kontrol deneyleri:

Sıcaklık kontrol sisteminde 25 °C dış ortam sıcaklığında belirlenen katsayılar ile sıcaklık kontrolü yapılmıştır. Sıcaklık kontrol sisteminde kullanılan ısıtma ve soğutma PID kontrolörlerini test etmek amacıyla ısıtma ve soğutma deneyleri olmak üzere iki deney gerçekleştirilmiştir.

–Isıtma deneyi: Gerçekleştirilen ısıtma deneyinde süreç odası sıcaklığı 30 °C den 45 °C'ye çıkartılmış olup sistemin cevap eğrisi Şekil 8-a'daki gibi bulunmuştur. Süreç odası sıcaklığının hedef değere ulaştıktan sonraki kalıcı durum hatası ise Şekil 8-b'de görülmektedir.



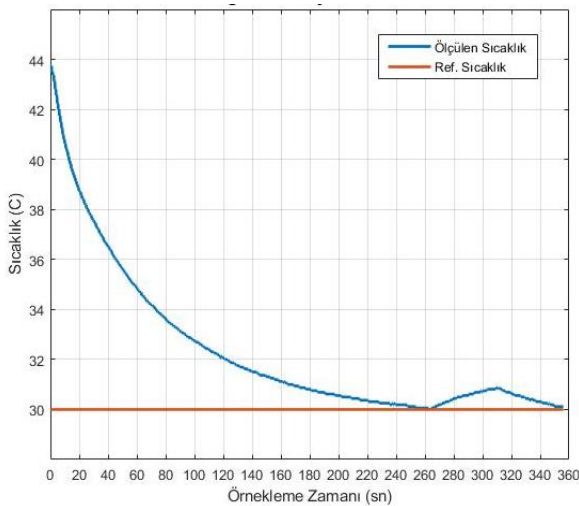
(a)



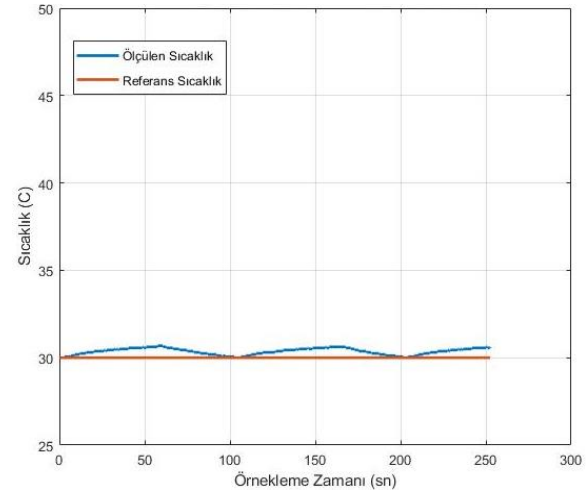
(b)

Şekil 8. PID kontrolörle ısıtma sistemi (a) cevap eğrisi ve (b) kalıcı durum hatası.

–Soğutma deneyi: Gerçekleştirilen soğutma deneyinde yine 25 °C dış ortam sıcaklığında, süreç odası sıcaklığı 45 °C'den 30 °C'ye düşürülmüş ve cevap eğrisi Şekil 9-a'daki gibi bulunmuştur. Süreç odası sıcaklığının hedef değere ulaştıktan sonraki kalıcı durum hatası ise Şekil 9-b'de görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 11. PID kontrolörle soğutma sistemi (a) cevap eğrisi ve (b) kalıcı durum hatası.

Şekil 8 ve 9'de sırasıyla ısıtma ve soğutma deneyleri cevap eğrileri birlikte incelendiğinde soğutma deneyinde sistem kalıcı duruma geçtikten sonra kalıcı hal hatasının sıfıra inmemeşi dikkat çekicidir. Bu durumun sebebinin kontrol elemanlarının ortam sıcaklığını doğrudan kontrol etmemesi ve ampulün karakteristiğinden kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir.

Ayrıca süreç odası hava sıcaklığı ampulün yanmasıyla yükseldiği için hatanın sıfır olduğu noktada PID kontrolörün yapısı gereği ampul tamamen sönmekte ve bu andan itibaren sıcaklık hızla düşmektedir. Bu durum referans etrafında 1 °C'lik dalgalanmayı beraberinde getirmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmada mikro-denetleyici tabanlı ve bilgisayar ara yüzü üzerinden kontrol edilen bir sıcaklık kontrol sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık kontrol sisteminin donanımsal tasarımının ardından mikro-denetleyici aygıt yazılımı hazırlanmıştır. Daha sonra sistemin bilgisayardan kontrolüne ve izlenmesine imkân sağlayan ara yüz LabVIEW programlama ortamında tasarlanmış ve test deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan test deneylerinde ilk olarak normal ve histerezis ile Aç-Kapa kontrol yöntemi uygulanmış ikinci olarak PID kontrol yöntemi gerçekleştirilmiştir. PID kontrol yönteminde PID kontrolörün katsayıları Zeigler-Nichols birim basamak ve osilasyon yöntemleriyle belirlenmiş ve test edilmiştir. Gerçekleştirilen testlerden elde edilen sonuçlar sistemin doğru biçimde çalıştığını ve referans değeri yalnızca 1 °C hatayla izleyebildiği göstermiştir.

Tasarlanan sıcaklık kontrol sistemini mevcut sıcaklık kontrol sistemlerinden ayıran en önemli özellik, sıcaklık sistemlerindeki ölü zamanı azaltmak için ekstra soğutucu fan kullanılmasıdır. Bu sayede tasarlanan sıcaklık kontrol sisteminde PID kontrolör gibi gelişmiş kontrol yöntemleri başarıyla uygulanabilmiştir. Süreç odasındaki hava bir lamba ve fan vasıtasıyla dolaylı olarak kontrol edilmesine rağmen nispeten kısa bir oturma süresiyle kontrol gerçekleştirilebilmiştir. Ayrıca tasarlanan sıcaklık kontrol sistemi kolay temin edilebilir, basit ve ucuz malzemelerle gerçekleştirilebilmesi de oldukça önemlidir. Bununla birlikte çalışmanın hem mühendislik alanında hem de meslek yüksekokulu ve meslek lisesi gibi okullarda öğrencilere süreç kontrolü, mikro-denetleyiciler ve LabVIEW eğitimleri gibi alanlarda faydalı olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Aktaş F, Çeken C, Erkan K, Yıldırım M, 2011. Kablosuz Algılayıcı Ağlar Kullanılarak Birinci Dereceden Ölü Zamanlı Bir Sistemin Denetimi. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey, 252-256.
- Aldemir A, Hapoğlu H, 2016. Kablosuz Sıcaklık Kontrolü İçin PID Ayarlama Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Journal of Polytechnic, 19/1: 9-19.
- Aström KJ, Hagglund T, 2004. Revisiting the Ziegler-Nichols step response method for PID control. Journal of Process Control, 14: 635-650.
- Berber E, 2008. Mikrodenetleyicili Endüstriyel Otomatik Sıcaklık Ölçüm ve Kontrol Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 151.
- Doğan İ, 2002. Microcontroller Based Temperature Monitoring and Control. Elsevier Science & Technology Books, Chapter 9, Boston/USA, 201-219.
- Sağlam G, 2013. Pem Yakıt Pilli Bir Mikro-Kojenerasyon Sistemi İçin Kendi Kendini Ayarlayan PI Denetleyici, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 105.
- Yazıcı İ, Özdemir A, Vatansever F, 2002. Kendinden Ayarlamalı Sayısal PID Tasarımı. SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6/1: 73-75.
- Yersel MA, 2007. PID Yönteminin PLC'de Yazılarak Gerçeklenmesi: Çift Cidarlı Reaktör Tank Sıcaklık Kontrolü Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 73.

- Yılmaz S, 2009. Konut Dışı Binalarda Değişken Debili İklimlendirme Sisteminin Modellenmesi ve Bulanık Mantık kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 75.
- Yüce A, 2011. Labview ile Endüstriyel Sıcaklık Ölçme ve Kontrol Sistemi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 83.
- Yükselten MS, 2010. PID Controller Design For Asymmetrical Temperature Control, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 86.