

**T.C.
TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**LABVIEW TABANLI BİR ANI SU ISITICI
SİSTEMİNİN TASARLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serkan ERKAN

Anabilim Dalı: Elektrik - Elektronik Mühendisliği

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Ömer ÇELİK**

TEMMUZ-2012

T.C.
TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LABVIEW TABANLI BİR ANI SU ISITICI
SİSTEMİNİN TASARLANMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serkan ERKAN
0921031012

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 13 TEMMUZ 2012

Tezin Savunulduğu Tarih: 13 AĞUSTOS 2012

Tez Danışmanı :Yrd. Doç. Dr. Ömer ÇELİK (T.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri :Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ERİŞTİ (T.Ü.)

:Yrd. Doç. Dr. Bilal ALATAŞ (T.Ü.)

TEMMUZ-2012

Serkan ERKAN tarafından hazırlanan LABVIEW TABANLI BİR ANI SU ISITICI SİSTEMİNİN TASARLANMASI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Ömer ÇELİK
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. Bu tez, Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Ömer ÇELİK (T.Ü.)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ERİŞTİ (T.Ü.)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bilal ALATAŞ (T.Ü.)

Tarih : 13 AĞUSTOS 2012

ÖNSÖZ

Yüksek lisansım boyunca tez danışmanlığımı üstlenerek araştırma konusunun seçimi, yürütülmesinde ve sonuçlandırılıp değerlendirilmesinde yardımını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ömer ÇELİK'e, bilimsel görüşlerinden yararlandığım ve manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim Yrd. Doç. Dr. Oğuz TEKELİOĞLU'na bana her zaman maddi ve manevi destek olan çok kıymetli aileme ve emeği geçen herkese en içten teşekkürlerimi sunarım.

Konuyla ilgilenen herkese yardımcı olabilmesi dileğiyle...

Serkan ERKAN
TUNCELİ- 2012

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	XI
SİMGELER DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Sıcaklık.....	2
1.1.1. Sıcaklık Sensör Tipleri ve Teknolojileri.....	3
1.1.1.1. Thermokupl (Isıl çift).....	3
1.1.1.2. Termistörler.....	4
1.1.1.2.1. PTC.....	6
1.1.1.2.2. NTC.....	6
1.1.1.3. RTD (Dirençsel Sıcaklık Sensörleri).....	7
1.1.1.4. Entegre Devre Sıcaklık Sensörleri.....	8
1.1.1.5. Pirometre.....	11
1.1.2. Sıcaklık Algılayıcılarının Karşılaştırılması.....	12
1.2. Data Kazanım Sistemine Genel Bir Bakış.....	13
1.2.1. Transdüserler.....	15
1.2.1.1. Sensitivity (Duyarlılık).....	15
1.2.1.2. Responsiveness (Cevap Verebilirlik).....	16
1.2.1.3. Accuracy (Doğruluk).....	16
1.2.1.4. Frekans Cevabı ve Bant Genişliği.....	17

1.2.1.5. Histerezis	17
1.3. Kontrol Sistemleri.....	18
1.3.1. Açık Çevrim (Open-Loop) Kontrol Sistemleri.....	19
1.3.2. Kapalı Çevrim (Open-Loop) Kontrol Sistemleri	20
1.3.3. Kontrol Sistemlerinde Kararlılığın İncelenmesi	21
1.3.3.1. s-Domeni Yaklaşımı.....	21
1.3.3.2. Zaman Domeni Yaklaşımı	22
1.3.3.3. Frekans Domeni Yaklaşımı.....	25
1.4. PID Kontrol Sistemi.....	25
1.4.1. Orantı (P) Kontrol	28
1.4.2. Oransal ve İntegral (PI) Kontrol	29
1.4.3. Oransal ve Türevsel (PD) Kontrol	30
1.4.4. Oransal, İntegral ve Türevsel (PID) Kontrol	32
1.4.5. PID Tasarımında İzlenecek Yol.....	35
1.4.5.1. Ziegler – Nichols Metodu.....	36
1.5. Bir Kontrol Sisteminde Aranılan Özellikler	38
1.6. LabVIEW.....	38
1.6.1. LabVIEW Yazılım Arayüzü.....	40
1.6.1.1. Blok Diyagram.....	41
1.6.1.2. LabVIEW Araç Çubukları	41
1.6.1.3. LabVIEW Paletleri.....	44
2. MATERYAL VE METOT	2
2.1. Güç Kontrol Ünitesi	50
2.2. Algılama Birimleri	52
2.3. LabVIEW Ortamında Hazırlanmış VI	53
3. BULGULAR.....	58

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	68
5. ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	75

ÖZET

Tez çalışmasında ani su ısıtıcısında mevcut olan farklı güçlerdeki rezistanslarla ve tasarlanan kontrol sistemiyle istenilen su sıcaklığına en kısa zamanda ulaştırabilmek ve o sıcaklıkta sabit tutabilmek amaçlanmıştır. Böylelikle en az enerji kullanımıyla ideal su sıcaklığı yakalanarak kullanım açısından en uygun seviye yakalanması hedeflendi. Bu çalışma için su sıcaklığını kontrol edebilen bir güç kontrol ünitesi geliştirilmiştir. Su ısıtıcısı 3kW, 4kW ve 7 kW güçlerinde çalışabilmektedir. Yapılan kontrol işlemindeki programda sıcaklık ölçülmekte ve bu işlem NI cDAQ-9281 hardware, NI 9211 termokupl modül aracılığı ile LabVIEW'de yazılan programa bağlı olarak değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen donanım sayesinde PID (Proportional-Integral-Derivative) kontrolörde üretilen hesaplamalar doğrultusunda ısıtıcı sisteme PWM (Pulse Width Modulation) sinyallerle iletilmektedir. PID parametreleri farklı şekillerde girilerek farklı sonuçlar elde edilmiştir. PID kontrolör tasarımı konusunda çok farklı yöntemler olacaktır. Dolayısıyla özellikle su sıcaklığını kontrolünde kullanılan PID tasarım konusu halen aktif bir çalışma konusudur. Deneylerimizde geliştirilen yöntemin bundan sonraki çalışmalarda kullanılma potansiyeli çok yüksektir.

Anahtar Kelimeler: LabVIEW, PID, Su Sıcaklık Kontrolü, Su Sıcaklık Ölçme,
Veri İşleme

SUMMARY

Main objective of this study, on instant water heater with different power resistant and proposed control system, is to reach desired water temperature at the earliest time and to keep that in the same temperature. Therefore, with minimum energy usage to catch ideal water temperature, optimum level has been targeted for using purpose. In this study, a power control unit was developed to control water temperature. Water heater can work at 3kW, 4kW and 7kW levels. On the control program, temperature was being measured by NI cDAQ-9281 hardware and NI 9211 termokupl modül and then evaluated in LabVIEW environment. By means of developed hardware, with the help of calculations produced by PID (Proportional-Integral-Derivative) controller, PWM (Pulse Width Modulation) signals are transmitted to the heating system. Different results have been obtained with trying different PID input parameters. There will be many different methods on PID controller design. Therefore, PID design subject is still an active study topic especially on water temperature controlling. The method used in our experiments, has a big using potential on the next researches.

Key Words: LabVIEW, PID, Water Temperature Control, Water Temperature measurement, Data Processing

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Termokuplun yapısı.....	4
Şekil 1.2. Termistör.....	5
Şekil 1.3. a) Çeşitli PTC'ler, b)Karakteristiği, c)Sembolü	6
Şekil 1.4. a) Çeşitli NTC'ler, b)Karakteristiği, c)Sembolü.....	7
Şekil 1.5. RTD	7
Şekil 1.6. LM35 entegeresi.....	9
Şekil 1.7. LM34/LM35 entegresi ve test edilmesi (URL-2, 2011).....	9
Şekil 1.8. TO-220 transistör paketi (URL-5, 2011).....	10
Şekil 1.9. Pirometrenin çalışma prensibi (URL-6, 2011).....	11
Şekil 1.10. Sıcaklık algılayıcılarının doğrusallık karşılaştırmaları.....	13
Şekil 1.11. Ölçme ve kontrol sisteminin blok diyagramı (Jacob, 1988).....	14
Şekil 1.12. Bir transdüserin örnek frekans cevap eğrisi (Carstens, 1989).	17
Şekil 1.13. Termokupl çeşitlerinin sıcaklık ölçüm aralığı (Uytun, 2006).....	18
Şekil 1.14. Açık çevrim kontrol sistemi blok diyagramı	19
Şekil 1.15. Kapalı çevrim kontrol sistemi blok diyagramı.....	20
Şekil 1.16. Köklerin s-düzlemindeki yerlerine göre değişen ani darbe cevap eğrileri	22
Şekil 1.17. Lineer kontrol sisteminin birim basamak cevabı	23
Şekil 1.18. PID blok şeması	26
Şekil 1.19. Adaptif bir kontrolörün basit şematik gösterimi	27
Şekil 1.20. Birim basamak cevapları	29
Şekil 1.21. PI kontrolör sistemin şematik yapısı	30
Şekil 1.22. PD kontrolör sistemin şematik yapısı.....	31
Şekil 1.23. PID kontrolör sistemin şematik yapısı	33
Şekil 1.24. PID terimi seçme diyagramı	34

Şekil 1.25. Ziegler - Nichols reaksiyon eğrisi	37
Şekil 1.26. Blok diyagram, front panel ve kontrol paleti	39
Şekil 1.27. LabVIEW ön paneli.....	40
Şekil 1.28. LabVIEW blok diyagramı	41
Şekil 1.29. Ön panel araç çubuğu	42
Şekil 1.30. Blok diyagram araç çubuğu	43
Şekil 1.31. LabVIEW ana menüsünde “View” sekmesi.....	44
Şekil 1.32. Ön panel üstünde araç paleti.....	45
Şekil 1.33. Kontrol paleti	46
Şekil 1.34. Fonksiyon paleti	47
Şekil 2.1. Sistemin genel bağlantı şekli	2
Şekil 2.2. Güç kontrol ünitesi	50
Şekil 2.3. Triyak tetikleme devresi	51
Şekil 2.4. Kullanılan triyak ve triyak tetikleme devresinin panodan görünümü	52
Şekil 2.5. NI cDAQ-9281 şase, NI 9211 termokupl modül ve buna bağlı iki adet termokupl	53
Şekil 2.6. LabVIEW ortamında hazırlanmış VI' in ön paneli.....	54
Şekil 2.7. LabVIEW ortamında hazırlanmış VI' in arka paneli	55
Şekil 2.8. LabVIEW PID algoritmasını içeren blok diyagramı.....	56
Şekil 3.1.a $P=6$, $I=0,05$ $D=0,001$ parametreleri için elde edilen sonuçlar grafiği Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Şekil 3.1.b Şekil 3.1.a'da $P=6$, $I=0,05$ $D=0,001$ parametreleri için elde edilen çıkış gücü yüzdesi grafiği	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 3.2.a $P=5$, $I=0,05$ $D=0,001$ parametreleri için elde edilen sonuçlar grafiği Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	
Şekil 3.2.b Şekil 3.2.a'da $P=5$, $I=0,05$ $D=0,001$ parametreleri için elde edilen çıkış gücü yüzdesi grafiği	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 3.3.a $P=4$, $I=1,1$ $D=0,001$ parametreleri için elde edilen sonuçlar grafiği Hata! Yer işareti tanımlanmamış.	

Şekil 3.3.b Şekil 3.3.a'da $P=4$, $I=1,1$ $D=0,001$ parametreleri için elde edilen çıkış gücü yüzdesi grafiği **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Termistörün sıcaklığa bağlı olarak değişim tablosu.....	6
Tablo 1.2. Sıcaklık algılayıcılarının karşılaştırılması	13
Tablo 1.3. PID parametrelerinin etkisi	36
Tablo 1.4. Ziegler – Nichols frekans yanıtı metodu katsayıları.....	37
Tablo 1.5. Ziegler – Nichols reaksiyon eğrisi metodu katsayıları	38

SİMGELER DİZİNİ

A/D	Analog / Dijital
ADC	Analog Dijital Konvertör
CISC	Complex Instruction Set Computer
D/A	Digital to Analogue Converter
DAQ	Data Acquisition
DOS	Disk Operating System
DSR	Data Set Ready
DTR	Data Terminal Ready
EEPROM	Electrically Erasable PROM
EMK	Elektrik Motor Kuvveti
GND	Ground
I/O	Giriş / Çıkış
LCD	Liquid Crystal Display
Mbps	Mega bit per second
MCLR	Master Clear Reset MHz
MHz	Mega Hertz
NTC	Negative Temperature Coefficient
PC	Personal Computer
PTC	Positive Temperature Coefficient
PIC	Programmable Interface Controller
T/C	Termokupl
PWM	Pulse Width Modulation
RAM	Random Access Memory
R/W	Read/Write
RISC	Reduced Instruction Set Computer
ROM	Read Only Memory
VDD	Positive Supply Voltage

1. GİRİŞ

Günümüzde kullanılan teknoloji ile birlikte sıcaklık kontrol sistemlerinin kullanım alanları artmıştır. Uygulama alanına göre sıcaklık seviyesi, ortamın fiziksel ve kimyasal yapısı, hassasiyet, okuma doğruluğu ve hızı, güvenlik ve kontrol çıkışının tipi gibi uygulanan teknikler ve donanımlara bağlı olarak değişmektedir. Sıcaklık verilerinin elektriksel verilere dönüştürülmesinde günümüzde çoğunlukla RTD (Dirençsel Sıcaklık Sensörü), termokupl, termistör, yarıiletken tabanlı sıcaklık algılayıcıları ve pirometre elemanlarından faydalanılmaktadır. Elektriksel veri elde edildikten sonra sayısal veya analog kontrol devreleri ile uygun kontrol yöntemleri uygulanır (Berber, 2008).

Sinyallerin toplanması ve işlenmesi, ölçme yaparken uygulanan en önemli aşamadır. Bu aşamaları en az hata ile en istenen şekilde oluşturabilmek için ölçme yapan kişiler azami çaba sarf etmelidirler. Veri toplama sistemleri çeşitli işaretlerin ölçülmesi, işlenmesi, iletilmesi ve kaydedilmesi için gelişen teknolojiyle beraber günümüzde yaygınlaşarak kullanılmaktadır (Abbasoğlu ve Pastacı, 1996).

Sıcaklık birimleri ölçeklendirmelerinin tarihsel gelişimine kısaca bakacak olursak ilk sıcaklık ölçümü Galileo'nun 1592'de içine renkli alkol doldurulmuş cam bir tüpü ısıtıp soğutmasıyla sıvı seviyesinin yükselip alçalması ilkesine göre yapılmıştır. Daha sonra düzgün bir şekilde ölçeklendirilmiş Florentin termometresinin oluşturulmasıyla hassas sıcaklık ölçümü konusundaki çalışmalar hız kazanmış ve gelişen süreç içerisinde pek çok termometrik gösterge geliştirilmiştir. Alman bilim adamı Gabriel Fahrenheit tarafından öne sürülen 1700'lere kadar uluslararası olarak tanınmayan ve civalı termometreyi geliştiren Fahrenheit skalası bunlardan birisidir. Fahrenheit ulaşabildiği en düşük sıcaklık olan buzlu su ve tuz karışımıyla göstergenin alt sınırını belirledi ve bunu 0 olarak kabul etti. İnsan kanının sıcaklığı olan 96'yı ise göstergenin üst sınırı olarak kabul etti. Diğer göstergelerle uyumlu olması ve hassasiyetini arttırmak için kendi göstergesini 96'ya böldü. Hassasiyeti ve gerçekleştirilebilirliği ile bu gösterge popülerite kazandı. 1742'lere geldiğimizde ise Andeer Celcius suyun kaynama noktasının ve buzun erime noktasının, göstergenin alt ve üst sınırı olarak alınmasını önerdi. Alt sınırı 0, üst sınırı ise 100 olarak kabul edildi. Böylece oluşturulan Santigrat göstergesi 1948'de resmi olarak Celcius Skalası olarak değiştirildi.

Gazların genleşme katsayılarına dayanan bir göstergeyi ise William Thomson (Lord Kelvin) geliştirdi. Bu göstergeyi 1800'lü yılların başında geliştiren Kelvin "mutlak sıfır" kavramını buldu ve bu gösterge tüm modern termometreler için bir standart oldu. Bu göstergeler arasındaki bağıntı formül 1.1'deki gibidir.

$$C / 100 = (F - 32) / 180 = (K - 273) / 100 \quad (1.1)$$

1.1. Sıcaklık

Sıcaklık ısının ölçüm tanımlamasını yapan bir birim olarak ifade edebiliriz. Bir başka ifadeyle sıcaklık ortamdaki ortalama moleküler hareketin bir ölçüsüdür. Bu sebeple ısı enerjisi doğrudan moleküler enerji (bir molekül içerisindeki parçacıkların titreşim, sürtünme ve salınma hareketleri) ile ilişkilidir. Isı enerjisi yüksek ise moleküler enerji de yüksektir diyebiliriz.

Sıcaklık kontrol ve otomasyonda, tüketici eşyalarında ve imalat endüstrisinde uzun yıllardır en önemli işlem değişkenlerinden biri olarak görüldü. Dirençli termometreler ve termokupullarla sıcaklığın ölçümü, 100 yıldan daha eskidir. İşlemlerin en uygun şekilde sokma çabaları termometrelerden daha yüksek beklentilerin gerçekleşmesine yol açtı.

Wilson'a (2005) göre sıcaklık sensörleri bir sıcaklık değişimine karşılık gelen ve fiziksel bir parametre olan direnç veya çıkış voltajının değişimini algılayıcı ve temelde iki tip sıcaklık algılayıcı eleman çeşidi vardır.

Temas yoluyla sıcaklığın ölçülmesi; temas yoluyla cevap veren sıcaklık algılayıcılarda sensör sıcaklığı algılanacak ortam veya nesne ile doğrudan fiziksel olarak temas halinde olmalıdır, bu metotla katıların, sıvıların ve gazların oldukça geniş bir genlikte sıcaklıkları ölçülebilir.

Dirençsel termometreler bir elektriksel iletkenin sıcaklıkla direncinin değişimi ilkesi ile çalışırlar. Genellikle sıcaklıkla elektriksel direncin değişimi doğrusal olmayıp, yüksek dereceli bir polinomla verilir (Nau, 2002).

Dokunmaksızın sıcaklığın ölçülmesi; dokunmaksızın sıcaklık ölçen sensörler kaynaktan yayılan ısı enerjisini ölçerler. Bu yöntemle yansımanın olmadığı katı ve sıvıların sıcaklıklarını ölçülebiliriz, fakat doğal olarak şeffaf olan gazlarda sıcaklık ölçümü için uygun değildir (Wilson, 2005).

Bu sensörlerle hareketli nesnelerin ve ulaşılamayan nesnelerin sıcaklığı ölçülür. Örneğin metal fırındaki bir maddenin sıcaklığının uzak bir yerden ölçümü, bu durumda ölçülen nesnedeki ısı radyasyonu ölçülen değer olarak kullanılır. Pirometre olarak adlandırılan uzaktan sıcaklık ölçüm aletlerinin temel prensibi, sıcak bir cisimden yayılan ısı radyasyonunun bir optik sistemle termokupla ulaşması prensibiyle açıklanır.

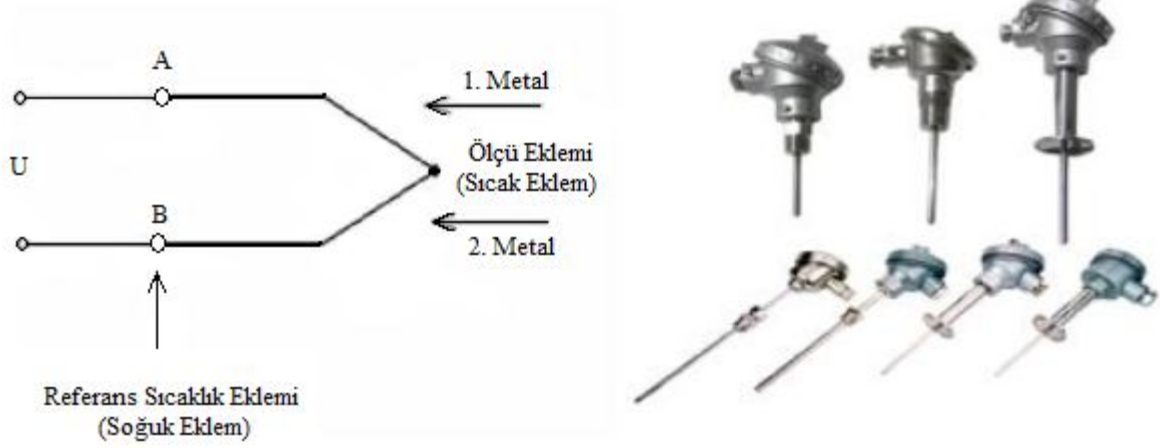
1.1.1. Sıcaklık Sensör Tipleri ve Teknolojileri

Sıcaklık sensörlerini elektromekanik, elektronik ve dirençli sensörler şeklinde üç guruba ayırmak mümkündür (Wilson, 2005).

1.1.1.1. Termokupl (Isıl çift)

Bilinen ilk termokupl Estonya'lı bir bilim adamı olan Thomas Seeback tarafından 1822 yılında galvanik düzen üzerine ısı etkisiyi araştırırken rastlantısal bir şekilde bulunmuştur. Seeback, bakır ve bizmuttan oluşan iki yarım halkayı birleştirmiş ve bunun yanında bulunan bir pusulanın saptığını tespit etmiştir. Bu deneyi farklı metallerle farklı sıcaklıklarda denemiş ve hep aynı sonuca ulaşmıştır. Başlangıçta bir akımın aktığına inanmayıp bu etkiyi "termomagnetizm" olarak tanımlayan Seeback, daha sonraki araştırmalarında Seeback etkisi diye adlandırılan olayın tamamen elektriksel bir olay olduğunu göstermiştir.

Bir elektrik devresi tamamen metal iletkenlerden oluşmuşsa ve devrenin tümü aynı sıcaklıkta ve devrede EMK yok ise bu durumda devreden hiçbir akım akmayacaktır. Bununla birlikte devre birden fazla metalden oluşmuş ve bu iki telin eklemleri farklı sıcaklıklarda ise devrede bir EMK oluşacak ve devreden akım akacaktır. İşte bu ısıtılan ekleme termokupl denir. Termokuplun yapısı Şekil 1.1.'de görülmektedir.



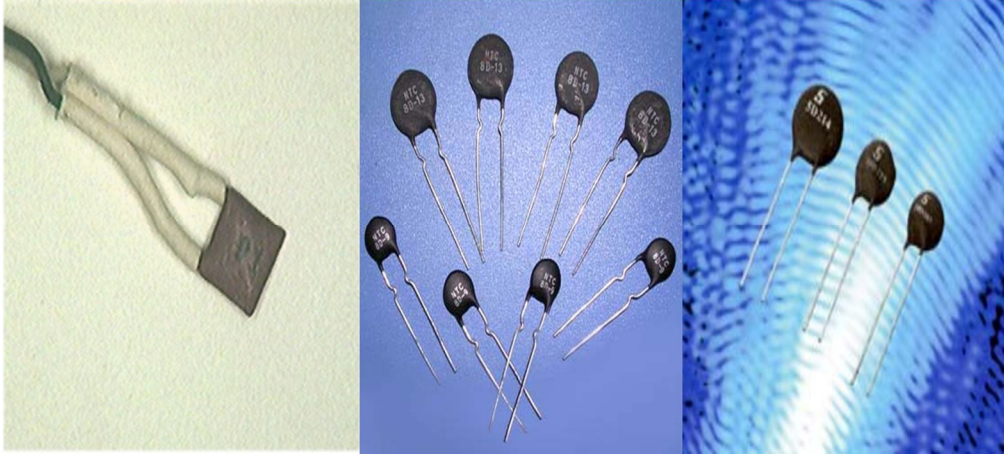
Şekil 1.1. Termokuplun yapısı.

Bir termokupl iki farklı metalin birleştirilmesiyle oluşur. Eğer doğru metal alaşımlarla oluşturulursa ölçülebilir ve kestirilebilir bir sıcaklık-gerilim ilişkisi elde edilir. Çıkış gerilimi termokuplarda iki metalin birleşim noktasında değil, bimetale üzerinde uzunlamasına sıcaklık değişim yönünde oluşur. Termokupl da üretilen gerilim, seçilen metallerin cihaz bağlantı noktasında var olan termoelektrik enerjilerin farkıdır. Bu kestirilebilir gerilim, gerçek işlem sıcaklığıyla ilişkilendirilebilir.

Termokupllar $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+2300\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında çalışabildiklerinden endüstride en çok tercih edilen algılayıcıdır. Çoğunlukla endüstri tesislerindeki yüksek sıcaklıkta çalışan kazanların ısı kontrolünde kullanılmaktadır (MEGEP, 2007).

1.1.1.2. Termistörler

Termistörler veya ısıya duyarlı dirençler, elektrik akımına gösterilen zorluk olarak adlandırılan dirençleri, sıcaklıkla değişen elemanlardır. Sıcaklık ile direnci değişen elektronik malzemelere term (sıcaklık) rezistör (direnç) kelimelerinin birleşimi olan termistör denilmektedir. Termistörler genellikle yarı iletken malzemelerden imal edilmektedir. Termistör yapımında çoğunlukla oksitlenmiş manganez, nikel, bakır veya kobaltın karışımı kullanılır ve birçok çeşidi mevcuttur (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Termistör.

Bir termistörün sıcaklığa bağlı olarak direnç değişimini aşağıdaki formülden hesaplayabiliriz.

$$1/T = A + B \cdot \ln(R) + C \cdot (\ln(R))^3, R(\Omega, \text{Ohm}), T(^{\circ}\text{K}, \text{Kelvin}) \quad (1.2)$$

Burada herhangi bir termistörün sıcaklığa bağlı olarak değişim grafiğine bakarsak (Tablo 1.1);

Tablo 1.1. Termistörün sıcaklığa bağlı olarak değişim tablosu

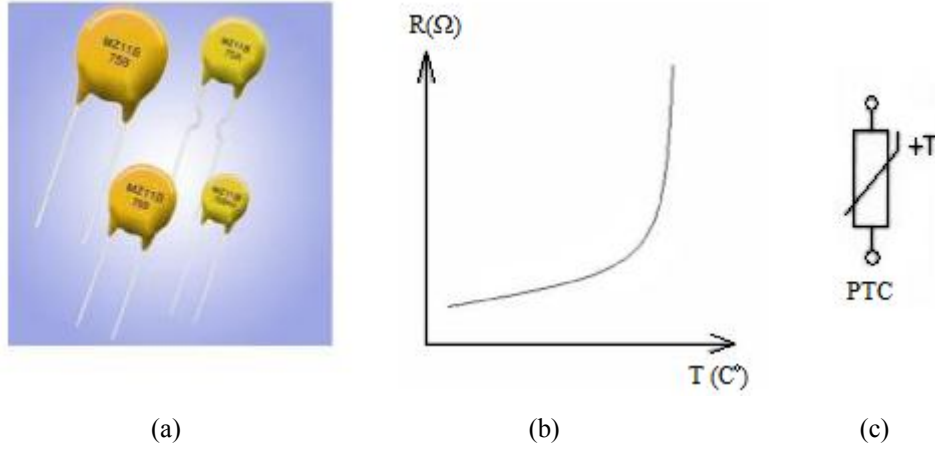
T (°C)	R (Ω, Ohm)
0	16,33
25	5000
50	1801

Böylece bu değerleri kullanarak, bu termistörün sıcaklığa bağlı direncini belirleyebiliriz.

Termistörler ikiye ayrılır sıcaklıkla direnci artan termistöre PTC, sıcaklıkla direnci azalan elemana da NTC denir.

1.1.1.2.1. PTC

Bulunduğu ortamın veya temas ettiği yüzeyin sıcaklığı arttıkça elektriksel direnci artan devre elemanıdır. Çeşitli PTC'leri, karakteristiğini ve sembolünü Şekil 1.3'te görebiliriz.

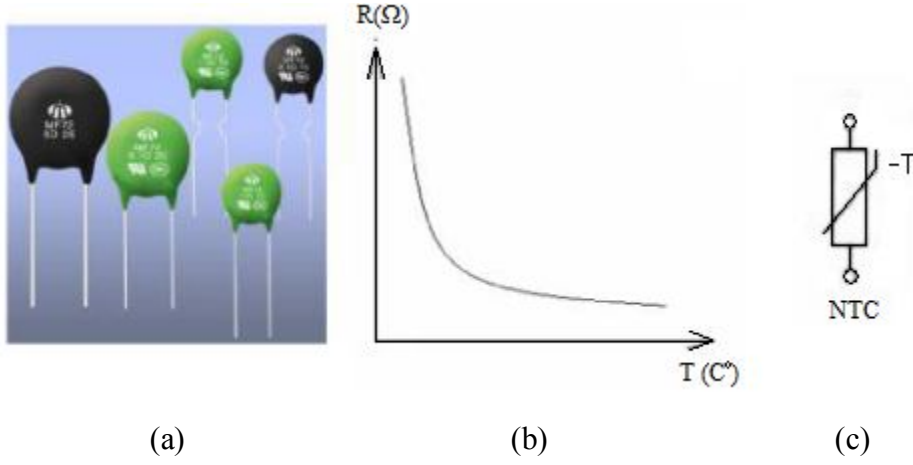


Şekil 1.3. a) Çeşitli PTC'ler, b) Karakteristiği, c) Sembolü

PTC'ler $-60^{\circ}C$ ile $+150^{\circ}C$ arasındaki çalışma sıcaklıklarında kararlı bir şekilde çalışmasıyla beraber, $0.1^{\circ}C$ 'ye kadar duyarlılıkta olanları da mevcuttur. Daha çok elektrik motorlarını fazla ısınmaya karşı korumak için tasarlanan devrelerde kullanılır. Ayrıca ısı seviyesini belirli bir değer aralığında tutulması gereken tüm işlemlerde kullanılabilir.

1.1.1.2.2. NTC

Bulunduğu ortamın veya temas ettiği yüzeyin sıcaklığı arttıkça elektriksel direnci azalan devre elemanıdır. Çeşitli NTC'leri, karakteristiğini ve sembolünü Şekil 1.4.'te görebiliriz.



Şekil 1.4. a) Çeşitli NTC'ler, b) Karakteristiği, c) Sembolü

NTC'ler $-300^{\circ}C$ ile $+50^{\circ}C$ arasındaki sıcaklıklar da kararlı bir şekilde çalışırlar. $0.1^{\circ}C$ 'ye kadar duyarlılıkta olanları vardır. Daha çok elektronik termometrelerde, arabaların radyatörlerin de, amplifikatörlerin çıkış güç katlarında, ısı denetimli havyalarda kullanılırlar. PTC'lere göre kullanım alanları daha fazladır.

1.1.1.3. RTD (Dirençsel Sıcaklık Sensörleri)

RTD'ler, termistörler gibi sıcaklığı ölçmek veya kontrol etmek için elektriksel direncin değişimini kullanırlar (Şekil 1.5). RTD'ler bir algılayıcı eleman, eleman ve ölçme cihazı arasında bağlantıyı sağlayan teller ve elemanı işlemde monte etmek için gerekli bir destek kısmına sahiptirler (Wilson, 2005).



Şekil 1.5. RTD

Metallerin birçoğunda sıcaklık ile dirençleri arasında doğrusala yakın bir şekilde artan bir bağıntı vardır. Bu esastan faydalanılarak RTD'ler üretilmiştir. Üç çeşit RTD vardır; platin dirençli, nikel dirençli ve bakır dirençli. RTD'ler hassas sıcaklık algılayıcılarıdır ve çok geniş bir sıcaklık aralığında çalışma yapmaya imkan verirler. Hassaslık, eleman doğrusallığı ve uzun süreli elektriksel direnç kararlılığı gibi özellikler isteyen uygulamalarda kullanılırlar (Yüklü, 2006).

RTD'lerde bulunan sensör elemanı genellikle bir platin tel sargısı veya seramiğe uygulanmış ince bir metalik tabakadan oluşmaktadır. Günümüzde 0,0025 derece kararlılığa sahip hassas termometre üretilebilmektedir. Platin ve bakır elemanlara sahip RTD'ler T/C'lere ve pek çok termistöre göre daha doğrusal bir davranış gösterirler. T/C'den farklı olarak bir RTD cihaz bağlantıları için bakır kullanılır ve dolayısıyla soğuk birleşim kompanzasyonu gerektirmez. Bu da sistem maliyetinin düşmesini sağlar.

RTD'nin dezavantajlarına bakacak olursak daha yavaş tepki vermesi, şok ve vibrasyona duyarlı olması, sıcaklık değişimlerinde küçük direnç değişimi göstermesi ve düşük taban direncine sahip olmasıdır. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için 3 veya 4 kablolu devreler kullanılır. Bu yöntem sıcaklığa bağlı direnç değişimlerini ölçmede bir çeşit köprü devresi özelliği oluşturur. Tel uzunluğuna bağlı hatalar da en aza indirilir; çünkü direnç değişimi RTD algılama noktasında oluşur. Ölçümün hassaslığı öncelikle kontrol veya ölçüm cihazındaki sinyal koşullama devresine bağlıdır. Nokta ölçümler genel olarak rağbet görse de hatalara sebep olmaktadır.

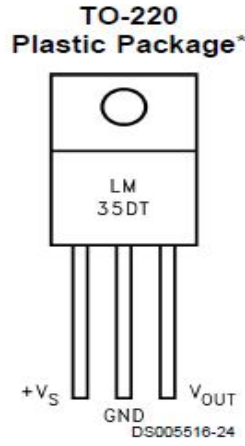
RTD'ler geniş bir alana yayılarak pek çok noktadan ölçüm alıp bunların ortalamasını vererek daha az hatalı sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. T/C'lerle bunun uygulanması pek mümkün değildir. RTD'ler kullanım alanlarına göre özel kılıf sistemi ile korunur ve monte edilirler. Kılıflar ortamın kimyasal, mekanik ve yıpranma şartlarına göre belirlenir (Berber, 2008).

1.1.1.4. Entegre Devre Sıcaklık Sensörleri

Yarı iletken bütünleşmiş devrelerin gelişmesi ile beraber tüm devre sıcaklık algılayıcıları ortaya çıkmıştır. Germanyum ve silisyum içerisine karıştırılan kristaller ile üretilen sıcaklık algılayıcıları kullanılmaktadır. Şekil 1.6.'da LM35 entegresi görülmektedir.

LM35 serisi çıkış voltajı Santigrad sıcaklıkla lineer olarak orantılı olan entegre devre sıcaklık sensörleridir. LM35 Kelvin olarak kalibrasyon yapılan lineer sıcaklık sensörlerine göre avantajlıdır, çünkü kullanıcının uygun Santigrat skalası elde etmesi için, çıkıştan büyük bir sabit voltaj değeri çıkarması gerekmemektedir. LM35 oda sıcaklığında $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$ 'lik, -55 ile $+150^{\circ}\text{C}$ sıcaklık genliğinde ise $\pm 3/4^{\circ}\text{C}$ 'lik tipik doğruluk değerleri sağlaması için harici bir kalibrasyona gereksinim duymaz (National Semiconductor Corp., 2000).

LM35 ucuz oluşu, imalat aşaması ile ilgilidir. LM35 alçak bir çıkış empedansına sahip olup, lineer çıkışı ve doğruluklu ölçümlere ile sıcaklığın doğrudan okunması için arabirimleşmede veya kontrol devresi ile kullanımda kolaylık sağlar. Kaynaktan yalnızca $60\ \mu\text{A}$ gibi küçük bir akım çektiğinden, hava içerisinde 0.1°C 'den daha küçük elemandan kaynaklanan ısınma değerine sahiptir. LM35 -55° ile $+150^{\circ}\text{C}$ 'lik bir anma sıcaklık genliğinde çalışacak şekilde olmasına karşılık, LM35C -40° ile $+110^{\circ}\text{C}$ 'lik bir anma sıcaklık genliğinde çalışacak şekilde tasarlanmıştır.



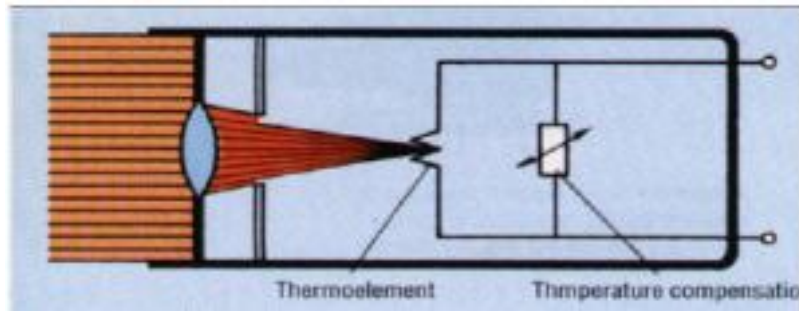
Şekil 1.8. TO-220 transistör paketi (URL-5, 2011).

LM35 serisi TO-46 transistor paketi tipinde imal edilmekle birlikte, LM35C, LM35CA ve LM35D plastik TO-92 transistor paketi tipinde de imal edilmektedir (Şekil 1.8). LM35D 8 – uçlu küçük yüzey montajı paketi şeklinde ve plastik TO-220 paketi şeklinde imal edilmektedir (National Semiconductor Corp., 2000).

1.1.1.5. Pirometre

Genel pirometre yapısı Şekil 1.9’da görüldüğü gibi çok basit bir alet olup burada sıcaklığı ölçülmek istenen cismin yaydığı ışınım (radyasyon) mercekler tarafından termo elemanın üzerine düşürülür. Odaklanan sıcaklık yükselmiş olur. Cismin sıcaklığı algılayıcıdan elde edilerek klasik yöntemlerle elektriksel sinyallere dönüştürülür.

Bu aletlerde kullanılan termo elemanlar seri bağlanmış onlarca termokupl ve RTD olabilir.



Şekil 1.9. Pirometrenin çalışma prensibi (URL-6, 2011).

Avantajlarına bir göz atacak olursak;

- Yüzey ile doğrudan teması olmadığı için paslı bölgelerden ve özelliklede yüksek ısıdan korumak amacı ile pirometreyi koruyucu kılıf içine alma gerekliliğinin ortadan kalkması.
- Özellikle hareketli cisimler için önemli olan kısa sürede okuma özelliği.
- Hareketli cisimlerin ölçümünde ek bir sürtünme ısısının gerekmemesi.
- Bulunan ortamın sıcaklığının ölçümü yapılacak cismi etkilememesi.

Bir IR (infrared) cihazı nesne tarafından yayılan enerjinin bir kısmını toplar ve onu nesnenin bilinmeyen sıcaklığı ile ilişkilendirir. IR algılayıcılar birçok avantaja sahiptirler ve temaslı algılayıcıların uygun olmadığı her yerde kullanılabilirler (Berber, 2008).

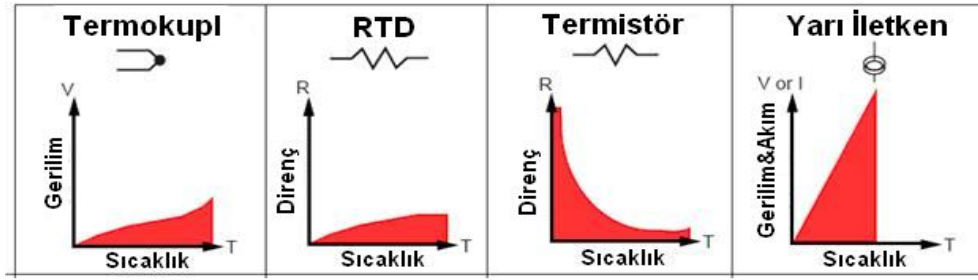
1.1.2. Sıcaklık Algılayıcılarının Karşılaştırılması

Yarı iletken sıcaklık sensörleri dışındaki diğer tüm sensörlerin çıkışları doğrusal olmayan formdadır ve çıkış değişkenleri küçüktür. Bu sebeple bu tür sensörler çıkışlarının doğrusallaştırılmasına ve yükseltilmesine ihtiyaç duyarlar. Çıkışı doğrusallaştırmak analog olarak bir hayli karmaşık olmasına karşın, termokuplun doğrusal olmayan modeli matematiksel olarak modellendiğinden mikrodenetleyicili sistemlerde bu sorun kolaylıkla çözülebilir. Çıkış gerilimleri milivolt seviyesinde olduğu için ofset hatası en aza indirilmiş, gürültüye bağımsız, yüksek giriş dirençli ve ısıl sürüklenmesi düşük olan özel kuvvetlendiriciler kullanılmalıdır. Tablo 1.2’de sıcaklık algılayıcıları arasında yapılan karşılaştırma verilmiştir.

Tablo 1.2. Sıcaklık algılayıcılarının karşılaştırılması

	Termokupl	RTD	Termistör	Yarı iletken
Ölçme aralığı	-270/1800 °C	-250/900 °C	-100/450 °C	-55/150 °C
Hassasiyet	7-62µV/°C	0.00385 Ω/Ω/°C	X Ω/Ω/°C	2/10mV/°C
Hata	±0.5 °C	±0.01°C	±0.1 °C	±1 °C
Doğrusallık	4. dereceden polinom veya tablo gerektirir.	2. dereceden polinom veya tablo gerektirir.	3. dereceden polinom veya tablo gerektirir.	Doğrusallaştırma gerektirmez.
Yanıt Verme Zamanı	1 saniyeden az	1-10 saniye arası	1-5 saniye arası	0.5-60 saniye arası
Uyarım	Gerektirmez	Akım kaynağı	Gerilim kaynağı	Besleme gerilimi
Çıkış Türü	Gerilim	Direnç	Direnç	Gerilim akım veya sayısal
Tipik Boyut	0.35/2mm yarıçap	0.25x0.25 inç	0.1x0.1 inç	Transistör veya DIP kılıf
Kullanım Alanı	Yüksek sıcaklık ölçümü, biyofizik, metal işleme, içten yanmalı motorlar	T/C soğuk birleşim kompanzasyonun kalibrasyonu ve proses kontrolü	T/C soğuk birleşim kompanzasyonu ve pirometre kalibrasyonu, vakum manometreleri	T/C soğuk birleşim kompanzasyonu kalibrasyonu, ofis elektroniği, mobil telefonlar, kişisel bilgisayarlar

Sıcaklık sensörlerinden beklenen bir diğer özellik de çıkış değişkeninin doğrusala yakın olmasıdır. Şekil 1.10'da çeşitli sıcaklık algılayıcılarının çıkış değişkenlerinin sıcaklıkla değişimi görülmektedir. Bu şekilden de görüleceği üzere ek doğrusallaştırma devreleri içeren yarı iletken sıcaklık sensörleri haricinde diğer sıcaklık sensörleri doğrusal olmayan davranış göstermektedirler (URL-7, 2011).

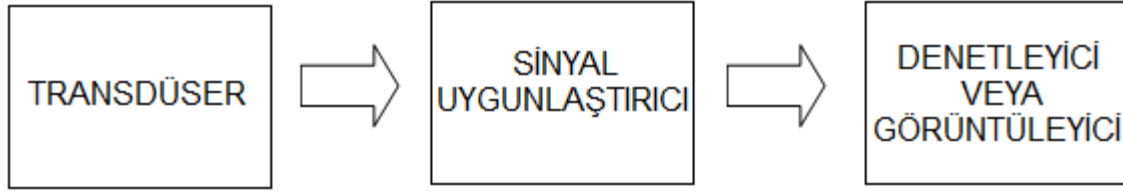


Şekil 1.10. Sıcaklık algılayıcılarının doğrusallık karşılaştırmaları

1.2. Data Kazanım Sistemine Genel Bir Bakış

Bir sistemle ilgili teferruatlı bilgi edinmek için öncelikle bilginin uygun formlarda toplanması, daha sonra ise istenilen bilginin çeşidine göre analizinin gerçekleştirilmesi gerekir. Başlangıçta istenen veri fiziksel ortamdan toplanır ve analiz ortamında rahat çalışabilmesi için, veri üzerinde koşullama işlemleri gerçekleştirilir. Çeviriciler yardımıyla veri sayısal formata dönüştürülür ve sanal ortama aktarılır. Uygulama yazılımı aracılığıyla gereken analizler gerçekleştirilir. Veri toplama sistemleri, PC teknolojilerinin avantajlarından dolayı çok geniş bir esnekliğe sahiptirler. Testler, deneyler, ölçümler ve kontrol uygulamalarının data toplama sistemlerinde tercih edilen veri yolları arasında; VME, GPIB, PXI, Compact PCI, PCMCIA, USB, Firewire, paralel ve seri port sayılabilir. Bu gibi uygulamaların çok azında plug-in cihazlar kullanırken, birçoğunda ise DAQ donanımı ile birlikte kullanılmaktadır (Kangal, 2008).

Ölçme kontrol sistemlerini genel olarak gösterilen blok diyagramı Şekil 1.11'da görülmektedir.



Şekil 1.11. Ölçme ve kontrol sisteminin blok diyagramı (Jacob, 1988).

Data toplama, işleme ve izleme, ölçme işlemi yapılırken uygulanan en önemli adımlardır. Bu aşamaları en az hata ile ve istenen şekilde yapabilmek için ölçme yapan kişiler azami çaba göstermektedir. Data toplama sistemleri, çeşitli işaretlerin ölçülmesi, işlenmesi, iletilmesi ve kaydedilmesi için günümüzde yaygınlaşarak kullanılmaktadır (Abbasoğlu ve Pastacı, 1996).

Son zamanlarda birçok teknik mühendislik dersleri (Matematik, Sayısal Tasarım, Kontrol, PLC, Mikroişlemciler vb.) artık sanal ortamda, bilgisayar başında gerçekleştirilmekte ve hatta ders içerikleri simülatörler aracılığıyla öğrencilere ulaştırılmakta ve öğrencinin kendi kendine tecrübe kazanması sağlanmaktadır. Mathematica, MatLAB, MathCAD, LabVIEW gibi programlar bu tür sanal ders malzemeleri arasında en çok tercih edilenleridir (Uyanık vd., 2003).

Günümüzde endüstride test veya ölçümler, genellikle osiloskop, sinyal analizörü vb. cihazları kullanılarak yapılmaktadır. Fakat cihazların herhangi bir ihtiyaca göre değişiklik yapılması gerektiğinde, üretici firmaya bağlı kalmak ve donanımsal uyumsuzluk gibi birçok sorunla karşılaşılmaktadır. Bu yüzden değişikliklerin yapılması ekonomik olmamaktadır. Bütün bu problemleri ortadan kaldırmak için, günümüzde bilgisayar tabanlı ölçme sistemleri ortaya çıkmaktadır. LabVIEW programı, bilgisayar tabanlı testlerde ve ölçümlerde yeni bir kavram ortaya çıkarmıştır. Bu yeni kavram VI (sanal enstrüman) olarak adlandırılmıştır. Bu şekilde bilgisayar, yazılım kullanılarak istenilen test ve ölçüm enstrümanına dönüştürülebilmektedir. Bunu yaparken kullanılacak fonksiyonları, ölçme alanını ve donanım çeşitliliği tamamen kullanıcı tarafından belirlenir. Ortaya çıkarılan oluşum gerçek bir cihazın tüm işlevlerini hatta daha fazlasını yerine getirmektedir. Ürünün aynı zamanda bir yazılım olduğu için ihtiyaca göre yazılım üzerinde değişiklik yapılması çok daha kolay olmaktadır.

LabVIEW, mühendislik ve bilim çevrelerine yönelik, daha çok veri toplama ve işlemeye yönelmiş grafiksel bir arayüze sahip bir platformdur. Programcı uygulamasını,

fonksiyonlara karşılık gelen grafikleri birleştirerek oluşturur. LabVIEW'ın kullandığı dil G dili olarak adlandırılmaktadır. LabVIEW bazı kısıtlamalar dışında, C ve PASCAL gibi dillerle yapılabilecek hemen hemen her türlü bilimsel uygulamaya açıktır. C ve PASCAL gibi yazı tabanlı programlama dilleri kullanılarak uzun zamanda gerçekleştirilen uygulamalar, LabVIEW'in grafiksel arayüzü sayesinde çok daha kısa sürede tamamlanabilmektedir (Uyanık vd., 2003).

Şekil 1.11'de verilen blok diyagram çerçevesinde önemli yer teşkil eden transdüserleri inceleyelim.

1.2.1. Transdüserler

Isı, ışık, basınç ve ses gibi fiziksel ortam değişikliklerini algılayan cihazlara algılayıcı, algıladığı bilgiyi elektrik enerjisine çeviren cihazlara da transdüser denilmektedir. Transdüserler çok değişik şekillere sahiptirler ve çok sayıda fiziksel niceliği elektrik akımına dönüştürebilirler. Ayrıca aynı parametreyi ölçen farklı ölçü aletlerinde farklı transdüser çeşitleri kullanılabilir (Carstens, 1993). Transdüser ve sensörleri (algılayıcıları) keskin hatlarla birbirinden ayırmak zordur. Örneğin mikrofon sesi algılayan bir algılayıcı olmasının yanında içerisinde mevcut olan bobin sayesinde sesi elektrik akımına dönüştürdüğü için bir transdüserdir (URL-9, 2012).

Transdüser teknolojisi çeşitli kısıtlardan oluşmaktadır ve transdüser seçiminde bu kısıtlar dikkate alınmaktadır.

1.2.1.1. Sensitivity (Duyarlılık)

Duyarlılık, giriş değişkenine karşılık çıkış değişkeninin değişim miktarıdır. Transdüserin duyarlılığı ise ölçüm anında verilen değişime gösterdiği çıkış tepkisidir (Carstens, 1993).

Bu özelliği matematiksel olarak ifade etmek gerekirse;

$$S = \frac{O_v}{I_v} \quad (1.3)$$

S: Duyarlılık, O_v: Çıkıştaki sinyal değişim miktarı, I_v: Giriş değişkenindeki sinyal değişimidir.

1.2.1.2. Responsiveness (Cevap Verebilirlik)

Transdüserlerde cevap verilirliği, hedeflenen çıkış değerini yakalamak için çevrilen değer ölçülen değere oranıdır (Carstens, 1993).

$$R_{sp} = \frac{C_{mq}}{M_q} * 100 \quad (1.4)$$

R_{ps}: Cevap verilebilirlik, C_{m_q}: Hedeflenen çıkış değerini elde etmek için çevrilen değer, M_q: Ölçülen değerdir.

1.2.1.3. Accuracy (Doğruluk)

Doğruluk değeri transdüserden ölçülen değer gerçek değere oranıdır. Ölçmedeki en önemli parametrelerdendir. Hatanın en yaygın ifadelerinden biride değer dikkate alınmaksızın ±0.2mm veya ±0.2°C gibi ifade edilebilir. Hatayı yüzde olarak ifadesi ise bir değişkenin gerçek değerinin bir yüzdesi veya ölçme cihazının tam gösterge değerinin yüzdesi (f.s.d) olarak tanımlanır ve ±0.2f.s.d. şeklinde gösterilir (Carstens, 1993).

Bunları formülle ifade etmek gerekirse;

$$\%A = \frac{M_v - T_v}{T_v} * 100 \quad (1.5)$$

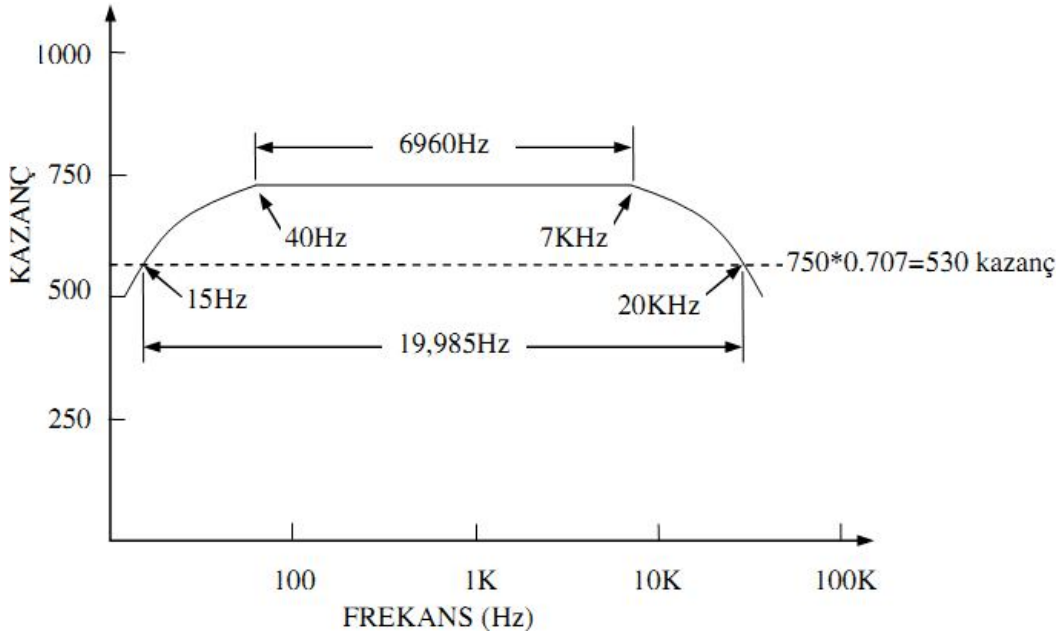
%A: Doğruluk, M_v: Ölçülen değer, T_v: Gerçek değer.

$$\%f.s.d. = \frac{FSO}{MaxS_v} * M \quad (1.6)$$

%f.s.d.: Tam gösterge (Full scale), FSO: En büyük ölçülecek değer, M: Ölçümdür.

1.2.1.4. Frekans Cevabı ve Bant Genişliği

Transdüserlerin giriş değişimlerine verdiği cevap, frekans cevabı olarak tanımlanabilir (Carstens, 1993). Giriş değişkeni bir sinusoidal sinyal olan transdüserin kazanç değişimi, frekans cevabı değerleri ve bant genişliği aşağıdaki frekans cevap eğrisinde örnek olarak verilmiştir (şekil1.12).



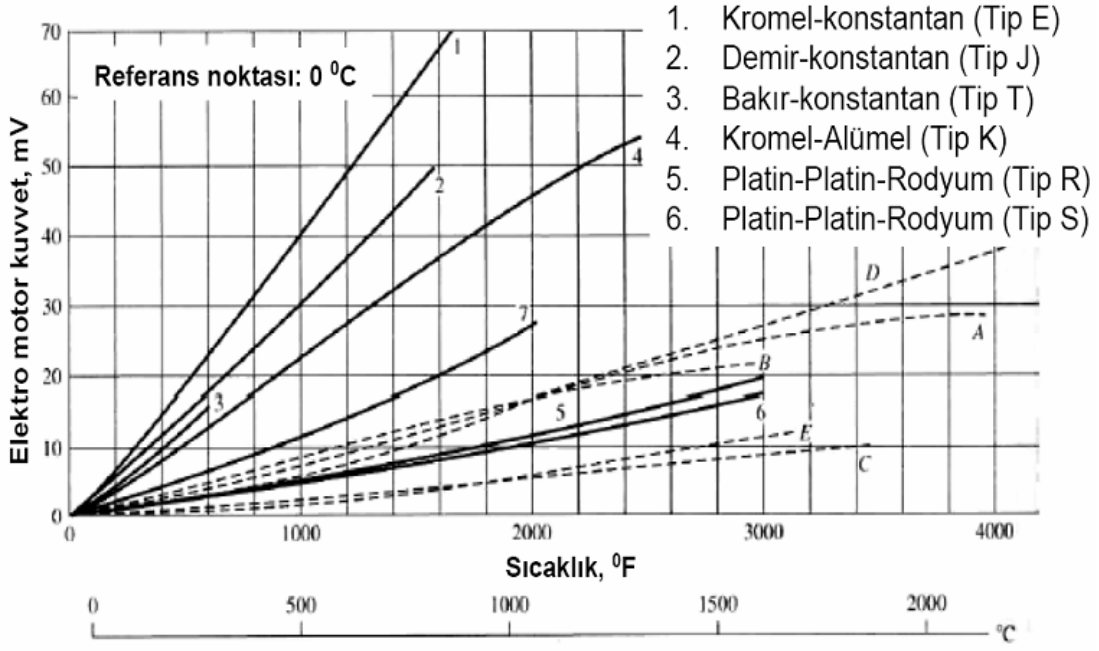
şekil 1.12. Bir transdüserin örnek frekans cevap eğrisi (Carstens, 1989).

1.2.1.5. Histerezis

Transdüserlerin tekrarlana ölçümlerde doğru ve güvenilir sonuçlar elde edememe karakterine histerezis diyebiliriz (Uytun 2006). Histerezis cihazın önceki ölçümden etkilenmesinden dolayı doğru değerden sapıp hatalı bir değer göstermesine sebebiyet verir.

1.2.1.6. Range (Çalışma Aralığı)

Transdüserlerin kararlı olarak çalışabileceği alt ve üst limitlerin göstergesidir. Bir termokupl üzerinden örnek verecek olursak T tipi bir termokupl -160 °C ile 400 °C arasında ölçme yapabilir (şekil 1.13).



Şekil 1.13. Termokupl çeşitlerinin sıcaklık ölçüm aralığı (Uytun, 2006).

1.3. Kontrol Sistemleri

Belirli bir amaca yönelik bir sistemi kumanda etmek yönlendirmek veya ayarlamak üzere birleştirilen fiziksel organlar kümesine kontrol sistemi diyebiliriz (Ogata, 1990). Dinamik sistemlerinin temelini meydana getiren geri besleme kavramı 19. yüzyılın sonlarında fark edilse de eski çağlardan beri kullanıldığı bilinmektedir (Kuo, 1995). Modern kontrol sistemlerinde ise enerjinin mümkün olabilecek en verimli şekilde kullanmak, üretim sürecini geliştirmek ve tüm mühendislik alanlarına yönelik kontrol tasarım stratejileri geliştirmek hedeflenmiştir.

Kontrol sistemlerinin çeşitli kombinasyonlara sahip yaygın iki sınıfı vardır. Bunlar lojik ya da ardışık kontrol ve geri beslemeli ya da lineer kontroldür (Ogata, 1990). Bununla beraber lineer kontrolün avantajlarıyla lojik tasarım kolaylığını birleştirmeye çalışan bulanık lojik kontrolde mevcuttur (D'Azzo vd., 1988). Kontrol sistemleri kontrol edilen sisteme ve amaca bağlı olarak da farklı şekillerde sınıflandırabiliriz. Analiz ve tasarım yöntemleri açısından bakıldığında doğrusal ve doğrusal olmayan, zamanla değişen veya zamanla değişmeyen sistemler olarak gruplandırabiliriz. Yine sistemler kullanılan işaret türleri bakımından ise sürekli verili ve ayrık verili sistemler olarak sınıflandırılabilir. Sürekli verili sistem, sistemin farklı noktalarındaki işaretlerin tümü sürekli zaman (t)

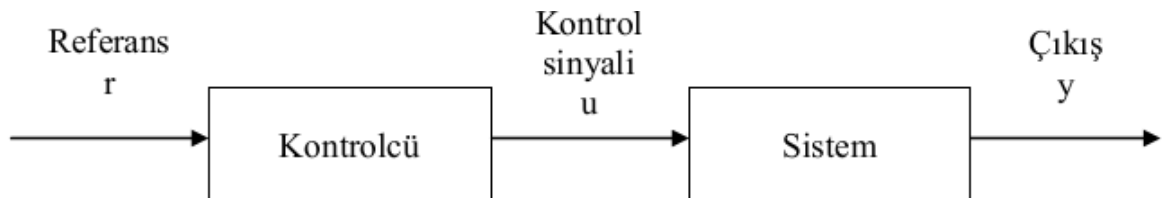
değişkeninin fonksiyonu olan bir sistemdir. Ayrık verili kontrol sistemi ise sürekli verili kontrol sistemlerinin bir veya birden çok noktasından alınan işaretlerin bir darbe dizisi veya sayısal kodlanmış biçimde oluşmuş bir sistemdir (Akay, 2006).

Denetim etkisine göre kontrol sistemleri kapalı çevrim ve açık çevrim kontrol sistemleri olmak üzere ikiye ayrılır (Kaynak ve Cerid). Açık çevrim kontrol sisteminde referans değerine bağlı olarak bir kontrol sinyali üretilmekte ve sisteme uygulanmaktadır. Böylece sistem çıkışı önceden belirlenen seviyelerde tutulmaya çalışılmaktadır. Ancak açık çevrim kontrol sisteminde çıkış bilgileri tekrar işlenip kontrol sistemine ulaştırılmaz. Kapalı çevrim kontrol sisteminde ise sistemin çıkış bilgileri geriye beslenmekte ve referans değeri ile karşılaştırılmaktadır. Aradaki farka göre kontrol sinyali üretilmekte ve sisteme uygulanmaktadır (Boz, 2012). Böylece daha anlamlı ve doğru neticeler elde edilmektedir.

Kontrol gerektiren sistemlerde kontrolünün sağlanması gereken birçok değişken olabilmektedir. Kontrol gerektiren bu değişkenlerin belirli sınırlar arasında sabit tutulması istenir. Sistemdeki bozucu girişlerden dolayı sistemdeki çıkışında meydana gelen bozulmalar kontrol sistemleri yardımıyla istenen sınırlar arasına sokulmaya çalışılır.

1.3.1. Açık Çevrim (Open-Loop) Kontrol Sistemleri

Girişindeki kontrol sinyali çıkış sinyalinden bağımsız olan kontrol sistemine açık çevrim kontrol sistemi (Şekil 1.14), girişindeki kontrol sinyali çıkış sinyaliyle veya çıkış sinyalinden üretilen bir sinyalle referans işareti arasındaki farka veya toplamına bağlı olan kontrol sistemine de kapalı çevrim kontrol sistemi denir (Boz, 2012). Açık çevrim kontrol sisteminde, sistemde olan değişiklikler veya sisteme etki eden bozucu faktörler nedeni ile sistemin çıkışında oluşabilecek etkileri düzeltmez.

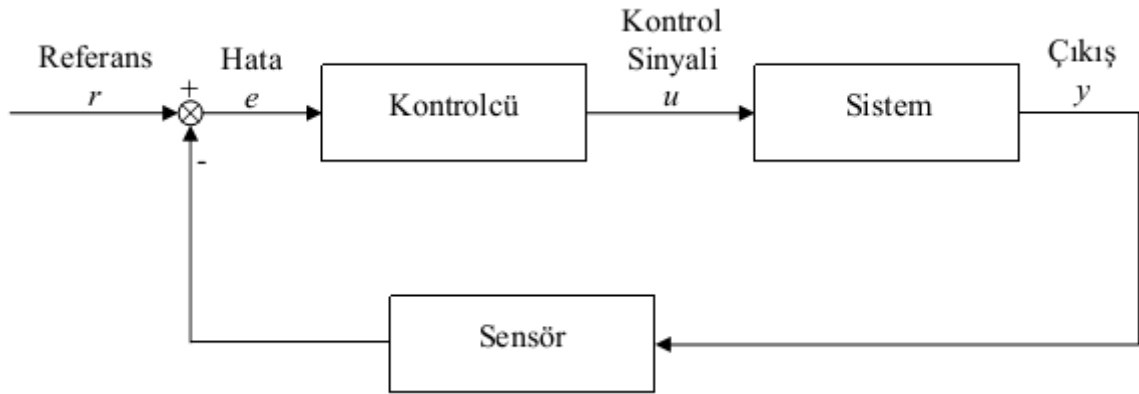


Şekil 1.14. Açık çevrim kontrol sistemi blok diyagramı

Açık çevrim kontrol sistemleri uygulamada giriş-çıkış bağlantıları önceden belli olan ve bozucu girişlere çok fazla maruz kalmayan sistemlerde kullanılır. Açık çevrim kontrol sistemlerini basit yapısı ve ekonomik oluşundan dolayı karmaşık olmayan birçok uygulamalarda görmek mümkündür.

1.3.2. Kapalı Çevrim (Open-Loop) Kontrol Sistemleri

Sisteme etkiyen kontrol işaretinin, sistem çıkışındaki işaret dikkate alınarak üretilen kontrol sistemlerine kapalı çevrim (geri beslemeli) kontrol sistemleri denir. Çıkışı ise aşağıda görüldüğü gibi sistem girişini etkilemesine ise geri besleme (feedback) denir (Şekil 1.15).



Şekil 1.15. Kapalı çevrim kontrol sistemi blok diyagramı

Kapalı çevrimli sistemler referans değer ile sistemin çıkışından alınan değer arasındaki farkları tespit edecek ek ölçüm imkanları sunmaktadır. Ölçülen çıkış değeri geri besleme işareti (feedback) olarak adlandırılmaktadır. Kapalı çevrim kontrol sistemi çoğunlukla süreci kontrol edebilmek amacıyla, çıkış ile referans giriş arasında ilişkilendirilmiş fonksiyon kullanılır. Geri besleme kararlılık, bant genişliği, toplam kazanç ve duyarlılık gibi sistem davranış karakteristiklerine de etki etmektedir (Thaler ve Brown, 1960).

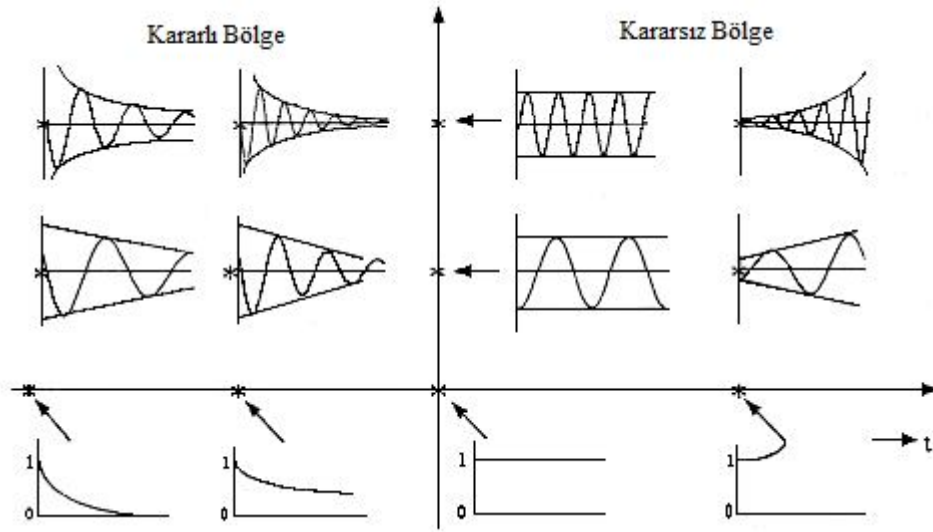
1.3.3. Kontrol Sistemlerinde Kararlılığın İncelenmesi

Kontrol sistemi tasarımında kullanılan pek çok davranış ölçütü arasında, en önemli koşul sistemin kararlı olmasıdır. Zamanla değişen ve zamanla değişmeyen, doğrusal ve doğrusal olmayan tüm sistemler göz önünde bulundurulduğunda kararlılık tanımı çok farklı şekillerde ifade edilebilir. Genel bir ifadeyle kararlı bir sistem, sınırlı bir cevaba sahip olan sistemden denebilir. Sistemin kararlı olabilmesi için bozucu girişler karşısında geçici durum davranışı gösterdikten sonra tekrar denge konumuna geçmelidir. Doğrusal denetim sistemlerinin kararlılığı, kapalı çevrimli transfer fonksiyonunun kutuplarından yararlanılarak elde edilebilir. Bir kontrol sistemin kararlı olup olmadığı o sistemin kendisiyle ilgili olup sistemin girişinden bağımsızdır. Analiz ve tasarım amacıyla kararlılık kavramını mutlak kararlılık ve bağıl kararlılık olarak sınıflandırabiliriz. Mutlak kararlılıkta sistemin kararlı veya kararlı olmayan durumu, evet ya da hayır cevabı ile cevaplandıktan sonra eğer sistem kararlı bulunmuş ise sistemin ne kadar kararlı olduğunun ölçüsü bağıl kararlılık ile belirlenir (Kuo, 2002)

1.3.3.1. s-Domeni Yaklaşımı

Kapalı döngü bir kontrol sisteminde kararlılığı, transfer fonksiyonunun paydası olan karakteristik denklemin kökleri olarak bulunan transfer fonksiyon kutuplarının karmaşık düzlemdeki yerine göre belirlenebilir. Bir sistemin kararlı olabilmesi için tüm bu kutupların sol yarı s-düzlemde yer alması gerekmektedir. Dolayısıyla kutupların bir tanesinin bile sağ yarı düzlemde olması sistemi kararlı yapar.

Kapalı çevrim bir sistemde kararlılığın belirlenmesi için öncelikle transfer fonksiyonunun paydası olan karakteristik denklemin köklerinin belirlenmesi gerekmektedir. 's'in bir polinomu olan karakteristik denklemin derecesi küçük ise kökler kolayca bulunabilir fakat polinomun derecesi büyüdükçe köklerin bulunması zorlaşır. Eğer sadece sistemin kararlı olup olmadığının bulunması istendiğinde karakteristik denklem köklerin yerlerinin belirleyebilecek kadar bilgi sağlayabilir. Böylece köklerin hesaplanmasına gerek kalmadan sistemin kararlılığı belirlenebilir. s-düzleminde köklerin bulunmasına gerek kalmadan kararlılığın incelenmesi Routh-Hurwitz kararlılık ölçütü ile mümkündür (Yağsan 2006).

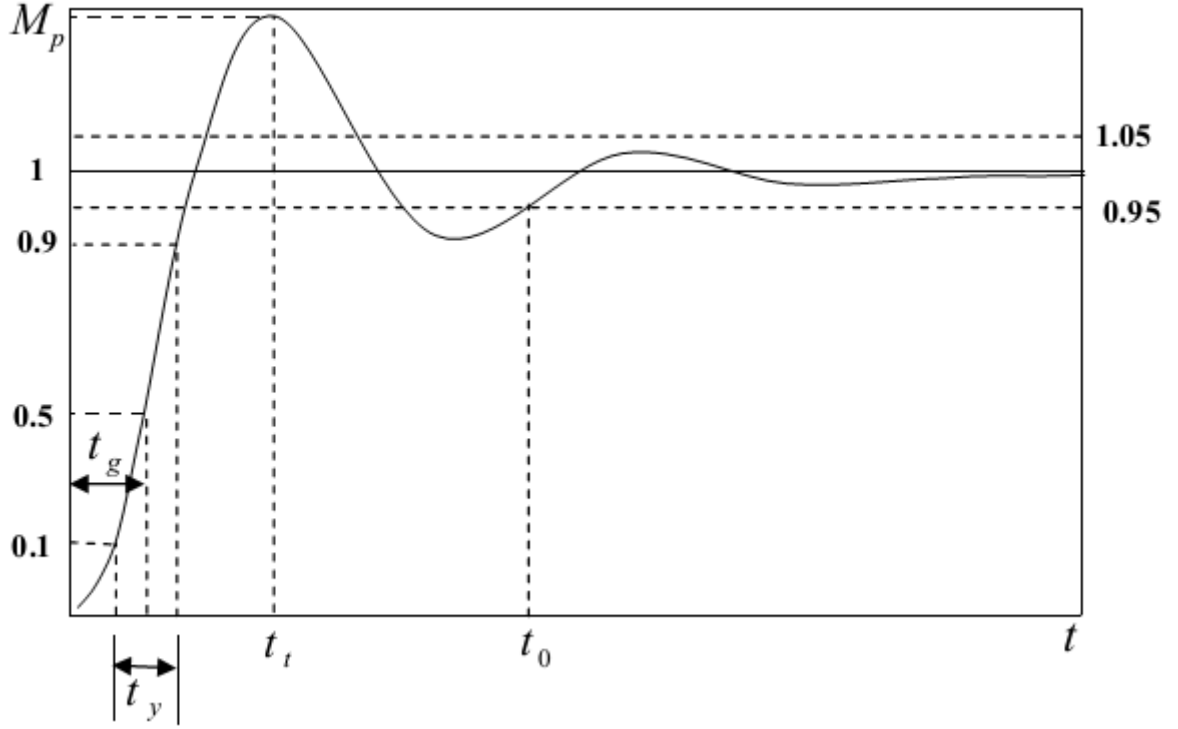


Şekil 1.16. Köklerin s-düzlemindeki yerlerine göre değişen ani darbe cevap eğrileri

1.3.3.2. Zaman Domeni Yaklaşımı

Denetim sistemlerinin test edilebilmesi amacıyla bazı önemli giriş fonksiyonları tanımlanmıştır. Bu tanımlanan giriş fonksiyonları vasıtasıyla matematiksel çözümler oluşturulabilir. Zaman tanım bölgesi davranışı birim basamak cevabına göre incelemek mümkündür. İkinci dereceden birim geri beslemeli bir sistemin zaman tanım bölgesi cevabının tipik ifadesi ve grafiği;

$$c(t) = 1 - \frac{1}{1 - \zeta^2} e^{-\zeta \omega_n t} \sin\left(\sqrt{1 - \zeta^2} \omega_n t + \cos^{-1} \zeta\right) \quad (1.6)$$



Şekil 1.17. Lineer kontrol sisteminin birim basamak cevabı

şeklinde olacaktır.

Grafik üzerindeki bu parametreleri kısaca özetlersek:

- Gecikme Zamanı (t_g): Sistem cevabının nihai değerinin yarısına ilk defa ulaşması için geçen zamandır.
- Yükselme Zamanı (t_y): Sistem cevabının nihai değerinin %10'undan %90'nına, %5'inden %95'ine veya %0'ından %100'üne kadar ulaşması için geçen zamandır. Aşırı sönümlü birinci mertebeden sistemler için %0-100 yükselme zamanı kullanılır. Titreşimli sönümlü sistemlerde ise çoğunlukla %10-90 yükselme zamanı kullanılır.

$$t_y = \frac{\pi - \arctan\left(\frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{-\zeta}\right)}{w_d} \quad (1.7)$$

- Tepe Zamanı (t_t): Sistem cevabının nihai değerini ilk defa aşarak en yüksek tepe değerine ulaşması için gereken zamandır.

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d} = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}} \quad (1.8)$$

ω_d sönümlü doğal frekansı, ω_n doğal frekansı, ζ sönümlenme oranını göstermektedir.

- Maksimum Aşma (M_p): Dinamik sistem cevabının referans noktasına olan maksimum aşma değeridir. Maksimum aşmanın değeri doğrudan sistemin bağlı kararlılığını belirleyen bir etkidir. Birinci dereceden gecikmeli sistemlerde cevap eğrisi hiçbir zaman olması gerektiği nihai değeri geçemediğinden maksimum aşma belirlenemez ve sıfır kabul edilir. Aşma miktarı;

$$M_p = e^{-\zeta\pi/\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (1.9)$$

ile ifade edilir. Eğer cevabın nihai kalıcı durum değeri referans değerden farklıysa;

$$\text{Maksimum Aşım Yüzdesi} = \% \frac{c(tp) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100 \quad (1.10)$$

formülü ile tanımlanan maksimum aşmanın yüzde değeri kullanılır.

- Oturma Zamanı (t_o): Sistem cevap eğrisinde titreşim genliklerinin müsaade edilebilir tolerans değeri sınırlarına girmesi için geçen süredir. Müsaade edilebilir tolerans değeri ise genellikle nihai değerinin %5 veya %2'lik aşma değeri olarak tanımlanır. Birinci mertebeden gecikmeli sistemlerde oturma zamanı yükselme zamanına eşittir.

Tanımlanan bu özellikler sistemin uygun cevap hızlarına göre tasarımlarına büyük önem arz etmektedir. Eğer bu değerler belirlenebilirse sistemin cevap eğrisinin biçimi hemen hemen belirlenebilir. Yine burada belirlenen özelliklerin herhangi biri uygulanması gerekliliği yoktur. Mesela aşırı sönümlü ikinci derece ve birinci derece sistemler için tepe zamanı ve maksimum aşma tanımları uygulanmaz (Sarioğlu, 1985).

Bir kontrol sisteminde zaman domeninde $c(t)$ çıkışının; yükselme süresi, gecikme zamanı, yerleşme zamanı ve maksimum aşım değerinin küçük olması beklenir. Bunun

yanında kalıcı hal hatasının küçük kalması da kontrol sisteminden beklenen en büyük özelliklerden bir tanesidir. Giriş ile kalıcı hal çıkışı arasındaki bu küçük farka kalıcı veya sürekli hal hatası denir ve e_{ss} ile gösterilir. Girişi $r(t)$ ve çıkışı da $y(t)$ olarak tanımlarsak;

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (1.11)$$

olarak ifade edilebilir. Sürekli hal hatası son değer teoreminden faydalanarak;

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow \infty} E(s) \quad (1.12)$$

şeklinde tanımlanır (Ogata, 1994; Nise, 2010).

Kontrol sisteminin optimum kontrol sistemi olarak tanımlanma bilmesi için sistem parametreleri ve performans indeksi genellikle en uygun değer olan minimum değerleri almalıdırlar. İndeks her zaman pozitif veya sıfır bir sayıdır (Dorf ve Bishop, 2010).

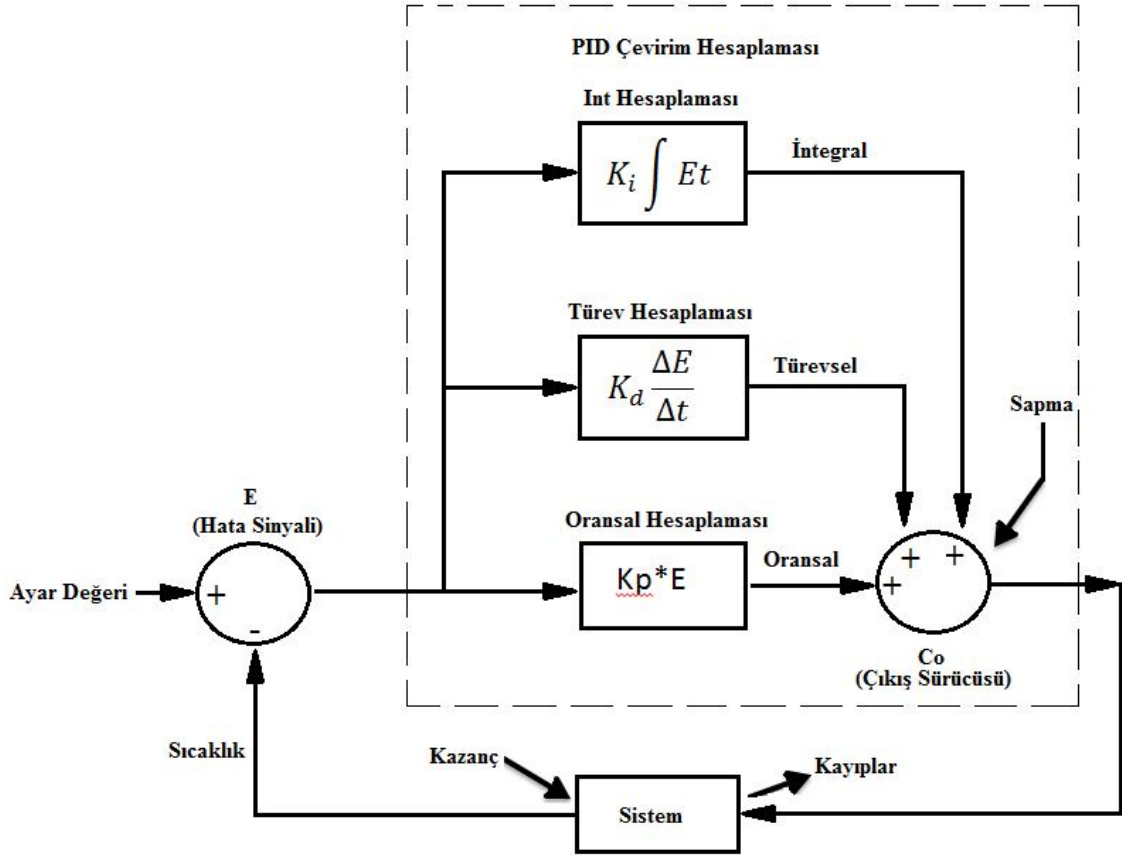
1.3.3.3. Frekans Domeni Yaklaşımı

Frekans domeninde sistem cevapları Nichols grafikleri; Bode ve Nyquist diyagramları ve ile bulunabilir (Bağış, 2008). Bu yöntemle transfer fonksiyonunda ki 's' yerine 'j ω ' koyarak sürekli hal transfer fonksiyonu elde edilebilir. Elde edilen bu transfer fonksiyonunun hem faz açısı hem de büyüklük olmak üzere iki unsuru vardır. Frekans cevabının hem s-domeni hem de zaman domeni yaklaşımına göre üstünlükleri mevcuttur., Sistem parametre değerinin değişim etkilerini belirlemek zaman domeninde çok zor iken buna karşın frekans domeninde kolay olması ve Nyquist kararlılık yoluyla bağlı kararlılığında incelenebilmesi frekans domeni yaklaşımının üstünlüklerinden bir kaçıdır. Geçici durum cevabı ile frekans cevabının bazı parametreleri arasındaki dolaylı ilişki biliniyorsa frekans cevabı tercih edilebilir (Muzoğlu, 2005).

1.4. PID Kontrol Sistemi

PID (Proportional-Integral-Derivative) günümüzde en çok kullanılan kontrol yöntemlerinden biridir. PID tipi kontrol, üçterimli kontrol (three term control) olarak da isimlendirilir. P oransal denetleyiciyi, I integral denetleyiciyi ve D ise türevsel

denetleyiciyi temsil etmektedir. PID (oransal-integral-türevsel) kontrolör ayrı ayrı üç kontrol elemanı içerdiğinden bunların tüm özelliğini de kapsamaktadır (Şekil 1.18).



Şekil 1.18. PID blok şeması

Çok geniş bir uygulama alanına sahip olmasına rağmen PID kontrol uygulamaları için standart bir tanımlama yoktur. Fakat en yaygın kullanılan PID algoritması;

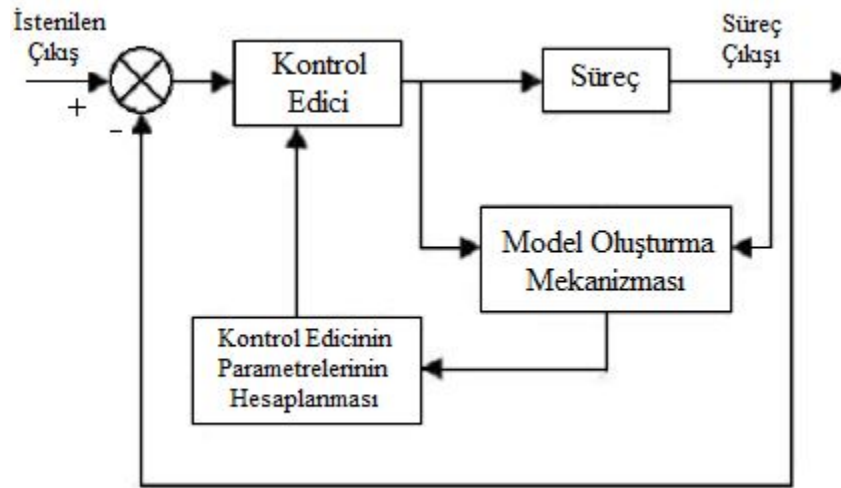
$$u(t) = K \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) d(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1.13)$$

gibidir (Aström ve Hagglund, 1995). Burada e(t) hata işareti, K oran sabiti T_i integral veya reset zamanı (sn) ve T_d türev veya hız zamanı ile integral ve türev işlemine tabi tutularak u(t) kontrol veya sürme işareti elde edilebilmek mümkündür. Bu formülü biraz daha basite indirgeyecek olursak genel olarak u(t) denetleyici çıkışı;

$$u(t)=P(t)+I(t)+D(t) \quad (1.14)$$

olarak tanımlayabiliriz (Yersel, 2007).

Birinci dereceden doğrusal zamanla değişmeyen sistemler için PI (oransal + integral) kontrolör, ikinci dereceden doğrusal zamanla değişmeyen sistemler için PID (oransal + integral + türevsel) kontrolör optimum çözüm sunmaktadır. Buna rağmen pratikteki sistemler çoğu zaman doğrusal değildir ve zamanla süreç karakteristikleri değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla doğrusal bir model için seçilmiş başlangıç kontrol edici sistemin zaman içerisinde farklı bir bölgede işlemeye başladığında o kontrol sistemi uygulanabilirlikten uzaklaşacaktır. Bu probleme çözüm olarak birden fazla kontrol edici tanımlamalarının daha önceden kaydedilmesi ve süreç çalışma bölgesini değiştirdikçe buna uygun kontrol edicinin devreye girmesinin sağlanması düşünülebilir. Çalışma bölgesinin değiştiği süreçlerde oldukça yaygın bir kullanım alanı bulan bu yöntem, parametrik veya kazanç tarifli kontrol olarak adlandırılır. Buna alternatif diğer bir yöntem ise kontrolörü adaptif bir şekilde ayarlamaktır. Bu şekilde doğrusal bir modelin parametreleri o anki sürecin karakteristiklerine bağlı olarak sürekli güncellenecektir.



Şekil 1.19. Adaptif bir kontrolörün basit şematik gösterimi

Bu yöntemde kontrolör ayarı sürekli olarak kontrol edilen sistemdeki değişikliklere bakarak güncellenmektedir (Şekil 1.19). Bu gibi yapılar genelde adaptif, otomatik ayarlı veya kendinden ayarlı gibi tanımlamalar ile nitelendirilir.

Endüstriyel kontrol sistemlerinde genellikle orantılı denetim etkisi, integral denetim etkisi ve türev denetim etkisi olmak üzere üç denetimin etkisi görülmektedir. Bu etkilerin bir arada kullanılmasıyla PD, PI ve PID tipi denetim sistemleri oluşmaktadır (Savaşçihabeş, 2008).

1.4.1. Orantı (P) Kontrol

Oransal kontrolcüler basit olduğu için endüstride çok fazla uygulama alanı bulmuştur. Bu kontrol yöntemi oluşan hatayı bir oransal sabitle çarparak kontrolcü sinyali (u) oluşturur ve formül 1.15 şeklinde gösterilir.

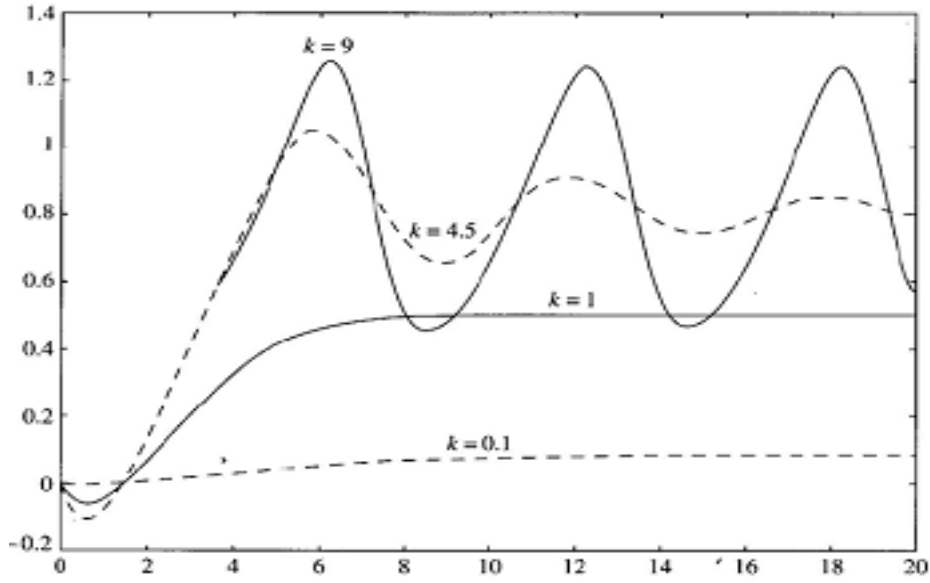
$$u(t) = K_p * e(t) \quad (1.15)$$

Burada sabit bir değer olan K_p oransal kazanç olarak ifade edilmektedir. Oransal kontrolcüde sinyalin büyüklüğü hatanın büyüklüğüne bağlıdır. Bundan dolayı P kontrolör hatanın çok küçük olduğu değerlerde yeteri kadar sinyal üretemez ve kalıcı durum hatasına sebebiyet verir (Çelikel, 2006). Kalıcı durum hatası K_p değerinin artırılmasıyla azaltılabilir fakat bu kez de maksimum aşma artacaktır. Yani oransal denetleyicideki K_p katsayısı yükselme zamanını ve kalıcı durum hatasını düşürmekte maksimum aşmayı artırmaktadır. Oransal kontrolün en önemli üstünlüğü yapısının basit oluşudur. Örneğin basit bir kuvvetlendirici yardımıyla dahi orantı etkide çalışan kontrol organı gerçekleştirilebilir (Çolakoğlu, 2007).

Lineer olmayan bazı sistemler için, sadece orantısal kontrol kullanarak iyi sonuçlar alabilmek mümkün olabilir.

$$G(s) = \frac{-s+1}{(5s+1)(s+1)} \quad (1.16)$$

Eşitlik 1.16'daki transfer fonksiyonuna sahip birim geri beslemeli bir sisteme bakıldığında, $K_p=1, 1, 4.5$ ve 9 değerlerini aldığı anda sistemin birim basamak cevapları Şekil 1.20'deki gibi olacaktır.



Şekil 1.20. Birim basamak cevapları

Burada birim basamak referans girişleri için farklı K_p değerlerinde farklı çıkışların elde edildiği görülmektedir. Şekil 1.20’de görüldüğü üzere K_p arttıkça cevabın daha hızlandığı ancak salınımın arttığı görülmektedir. Bu örnek için eğer K_p değeri 9’den büyük olsaydı cevap aşırı osilasyonlu olup sistem kararsız hale gelecektir. Birim basamak cevabı bir sabite yakınsamayan, kararsız olarak tanımlanan ve lineer olmayan bir sistem düşünüldüğünde sistemin kararsız hale geldiği en küçük K_p nihai kazanç (ultimate gain) olarak adlandırılmaktadır (Savaşçihabeş, 2009).

1.4.2. Oransal ve Integral (PI) Kontrol

Oransal kontrolcüde meydana gelen kalıcı durum hatasını giderme yollarından biride kontrolcüye hatanın integrali ile orantılı bir denetim etkisi ilave etmektir. İntegral etkinin çıkışı hatanın birikimi ile orantılıdır. Yani hatanın integrali büyük olursa büyük düzeltme etki edecektir. Uygulamalarda integral kontrolcüler genellikle tek başlarına kullanılmayıp daha çok oransal etki ile birlikte kullanılırlar. PI kontrolcüler için kontrolcü sinyali formül 1.17 deki gibi ifade edilir.

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int_0^t e(t) dt \right) \quad (1.17)$$

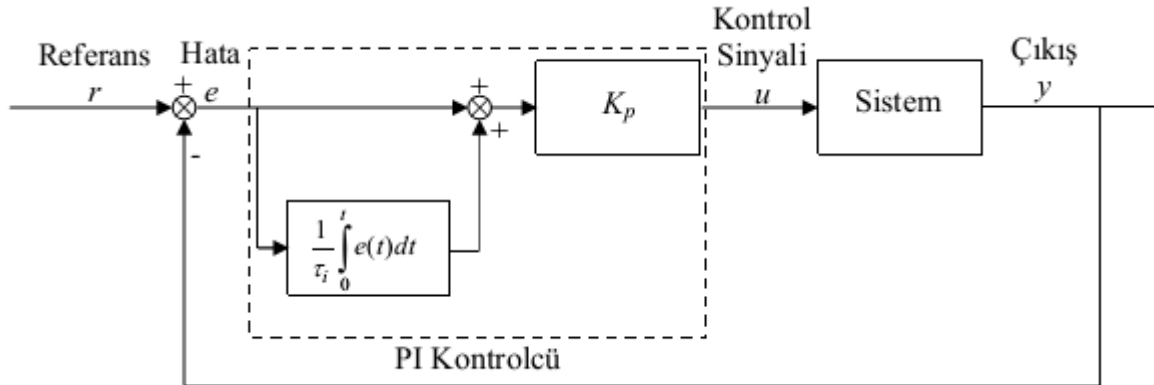
Burada τ_i integral katsayısıdır. İntegral etkinin transfer fonksiyonu;

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad \text{veya} \quad \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{1}{T_i s} \quad (1.18)$$

olarak ifade etmek mümkündür. K_i integral kazancı T_i integral zaman sabitidir. $K_i = 1/T_i$ olarak bilinmektedir. Kontrolör çıkışı ise;

$$u(t) = K_p \left\{ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right\} \quad (1.19)$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 1.21. PI kontrolör sistemin şematik yapısı

1.4.3. Oransal ve Türevsel (PD) Kontrol

Türev etki sistemde büyük bir hata çıkmadan önce kestirmesi ve düzeltme etkisi sağlamaktadır. Aynı zamanda sistemin tepki süresini arttırmada önemli pay sahibidir. Önceden algılama etkisi olarak ta bilinen türev hata başlar başlamaz harekete geçecektir. Bir sabitin türevi sıfır olduğundan türevsel kontrol zamanla değişmeyen sabit hata üzerinde etkisi olmayacaktır. Bu sebeple kontrol sistemlerinde tek başlarına kullanılmazlar. Türev kontrolün transfer fonksiyonu;

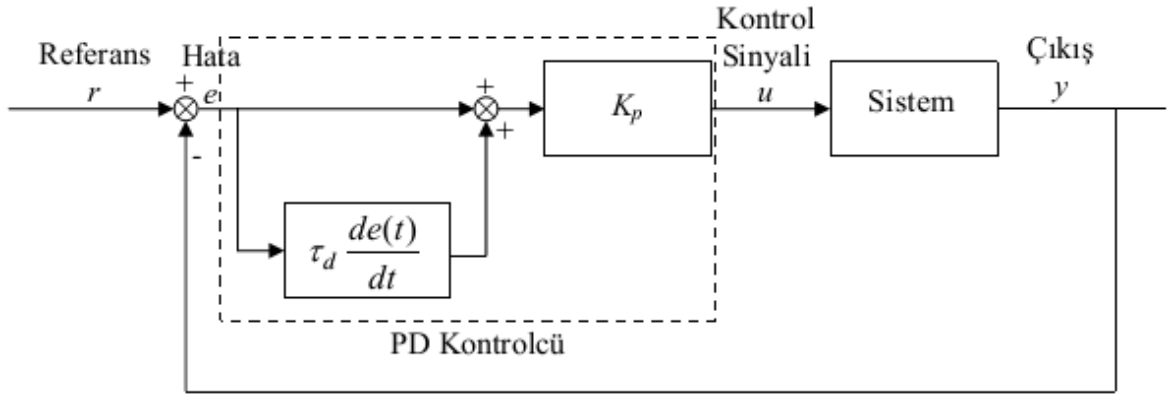
$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_d s \quad \text{veya} \quad \frac{U(s)}{E(s)} = T_d s \quad (1.20)$$

şeklindedir. Burada K_d türev kontrolör kazancı veya T_d türev zaman sabiti adını almaktadır. Orantısal ve türevsel kontrol birleşiminden meydana gelmiş olup bu kontrol

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s) \quad (1.21)$$

olarak ifade edilir. Burada T_d türev zaman sabitidir (Dumanay, 2009). Oransal etki ve türev etkisiyle birleştirilirse sistem çıkışı formül 1.22 deki gibi olacaktır.

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \tau_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1.22)$$



Şekil 1.22. PD kontrolör sistemin şematik yapısı

Oransal etki hatadaki değişimlere hızlı tepki göstermekle birlikte hatanın değişim hızına duyarlı kalmaktadır ki bu durumda hatanın değişim hızına duyarlı olan türev etkisinin ilavesi uygun olacaktır. Türev etkinin sistemin kalıcı durum hatası üzerinde pek etkisi yoktur. Sadece sistemin cevap hızını artırır ve mekanik sistemlerde uygulanan kontrol yöntemlerindeki sönümlemeyi kolaylaştırmaktadır. PD kontrolör ayrıca geri beslemeli sistemlerin kararlılığını da artırmaktadır (Mohan ve Patel, 2002).

1.4.4. Oransal, İntegral ve Türevsel (PID) Kontrol

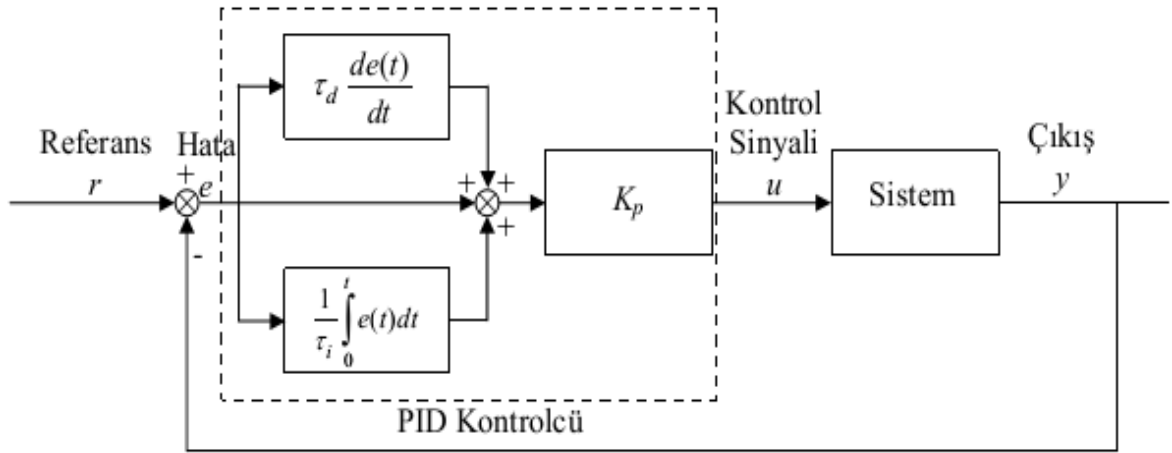
PID kontrol üç temel kontrol etkisinin birleşiminden meydana gelmiştir. İntegral kontrol sistemde ortaya çıkabilecek kalıcı durum hatalarını düzeltirken türev kontrol ise yalnızca PI kontrol etkisi kullanılması haline göre sistemin aynı bağıl kararlılığı için cevap hızını artırmaktadır. Böylelikle PID kontrolör sisteme sıfır kalıcı durum hatalı olan hızlı bir cevap sağlayacaktır. PID nin transfer fonksiyonu

$$G(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (1.23)$$

olarak yazılır. Burada K_p oransal, K_i integral, K_d türev kazançlarıdır. $U(s)$ kontrol edicinin çıkışı, $E(s)$ de hata sinyali ve kontrol edicinin girişidir. İstenilen giriş değeri ile çıkış değeri arasındaki farkı değişken izleme hatasını gösterir. Bu hata sinyali PID denetleyiciye gönderilir ve denetleyici bu hata sinyalinin hem türevini hem de integralini hesaplar. Denetleyicinin ürettiği sinyal, oransal kazanç (K_p) ile hata değeri, integral kazancı (K_i) ile hatanın integrali, türevsel kazanç (K_d) ile hatanın türevi çarpımlarının toplamına eşittir. Bu sinyal denetlenen sisteme gönderilir ve yeni çıkış elde edilmiş olur. Bu çıkış sinyali algılayıcıya geri gönderilerek yeni hata sinyali bulunmuş olur. Denetleyici yeni hata sinyaline aynı işlemleri uygular ve bu işlem böylece devam edecektir. Kontrolcünün ürettiği kuvvet zamana bağlı olup formül 1.24 gibi ifade edilmektedir.

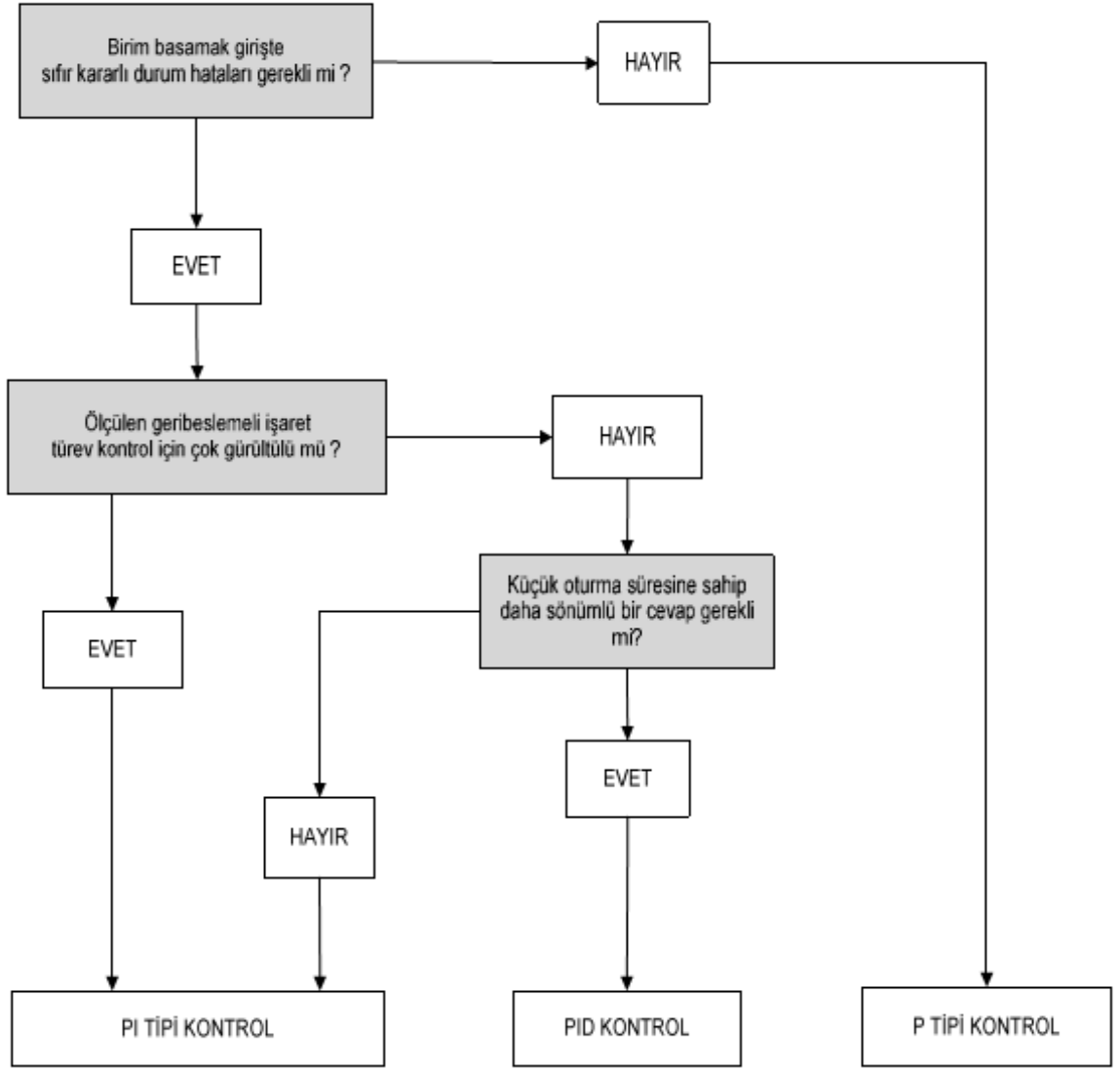
$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int_0^t e(t) dt + \tau_d \frac{de(t)}{dt} \right) \quad (1.24)$$

PID yapıları, kontrolör girişinde sadece (e) hata işareti kullanılmak üzere tek girişli, (e) ile birlikte (ė) hatanın türevi kullanılarak iki girişli ve (e), (ė) ile beraber (eġ) işareti de kullanılarak üç girişli olarak oluşturulabilmektedir (Chen vd, 1993). Fakat üç girişli PID kontrolörde (eġ) bilgisiyle kontrol kuralları oluşturmak zor olduğundan hatanın integrali yerine (ë), hatanın ikinci türevi bilgisi de kullanılabilir (Peng vd, 1988; Maeda ve Murakami, 1992).



Şekil 1.23. PID kontrolör sistemin şematik yapısı

PID kontrolör sistemin blok diyagramındaki K_p oransal sabit, τ_i integral sabiti, τ_d türev sabitidir (Şekil 1.23). Bu sabitlerin bulunmasında Ziegler – Nicols yöntemi kullanılabilir. Böylelikle PID kontrol metodu sistemde sistemde sıfır kalıcı durum hatası barındıran, sistemin hızlı ve kararlı cevap vermesini sağlayan P, PI ve PD kontrol etkilerinin üçünün de avantajlarını bir arada sunan etkin ve en çok tercih edilen kontrol uygulamasıdır.



Şekil 1.24. PID terimi seçme diyagramı

Kontrol uzmanının, sürekli kararlı durum hatalarını yok etmek için integral işlemini seçtiği ve aynı zamanda kapalı çevrim sistem cevabını da hızlandırmak istediği düşünülürse, Şekil 1.24'ten, K_p 'nin artmasının sadece bu etkiyi sağladığı görülmektedir. Dolayısıyla P ve I işlemlerinin her ikisinin birden seçilmesi gerektiği, yani PI tipi denetleyici çözümünün gerektiği açıktır (Johnson ve Moradi, 2005).

1.4.5. PID Tasarımında İzlenecek Yol

PID kontrolörü tasarlarken istenilen tepkiyi elde etmek için bazı adımları izlemek kolaylık sağlayacaktır.

- Sistemin açık çevrim transfer fonksiyonunun belirlenmesi ve nelerin geliştirilmesi gerektiği kararlaştırılır.
- Tasarlanan sistemin yükselme zamanını iyileştirmek için oransal denetleyici eklenir.
- Tasarlanan sistemin vereceği ani tepkinin (maksimum aşma) azaltılması için türevsel denetleyici eklenir.
- Kararlı hal hatasını azaltmak için integral denetleyici eklenir.
- Amaçlanan davranış elde edilene kadar K_p , K_i , K_d , katsayıları Tablo 1.3'ten yardım alınarak ayarlanır.
- Kontrol sistemi mümkün olduğu kadar basit tasarlanmalı eğer PI denetleyici istenilen davranışı sağlıyorsa sisteme türevsel denetleyici eklenerek sistem karmaşık hale getirilmemelidir (Doyle vd., 1990).

Oransal kontrolörün yükselme zamanına azaltma yönünde etkisi olmasına rağmen kararlı hal hatasını yok edemez. İntegral denetleyici ise kararlı hal hatasının azaltılmasına doğrudan etkisi vardır fakat bu kez geçici davranış kötüleşebilir. Türevsel denetleyicinin sistemin kararlılığının artmasında etkisi vardır maksimum aşmayı azaltır ve geçici tepkiyi düzeltir ancak oturma zamanını artırabilir. Denetleyici parametrelerinin artışına bağlı olarak geçici durum parametrelerindeki değişim Tablo 1.3'te verilmektedir (Bağış, 2008).

Tablo 1.3. PID parametrelerinin etkisi

Kapalı Çevrim Cevabı	Yükselme Zamanı (Rise Time)	Üst Aşım (Overshoot)	Oturma Zamanı (Settling Time)	Kalıcı Durum Hatası (Steady-State Error)
K_p	Azalır	Artar	Az Değişir	Azalır
K_i	Azalır	Artar	Artar	Yok Olur
K_d	Az Değişir	Azalır	Azalır	Az Değişir

PID parametreleri birbirine bağılı olduğundan tabloda verilen düzeltmeler tam olarak geçerli değildir. Parametrelerden birinin değişimi diğer ikisini de etkilediğinden tablodaki değerlendirmeler parametreleri belirlerken sadece referans teşkil etmektedir (Küçük, 2011).

1.4.5.1. Ziegler – Nichols Metodu

Kontrol sisteminin istenilen davranışı gösterebilmesi için PID parametrelerinin ayarlanması gerekir. PID parametrelerinin belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılsa da en yaygın olanı 1940 yılından kalma Ziegler - Nichols metodu olarak anılan tasarım yöntemidir. Metot denetleyici parametrelerini çok basit formüllere dayanarak hesaplamaya imkan verdiği için uygulamalarda sıklıkla kullanılmaktadır. Fakat bu hesap kolaylığı metodun her zaman en uygun çözümü vereceğini göstermez. Metot yinede kontrol parametreleri hakkında fikir edinmek için kullanılabilir (Dumanay, 2009).

İki farklı Ziegler – Nichols metodu vardır. Bunlardan ilki osilasyon (frekans yanıtı metodu) metodudur ve kontrol edilen sistem salınıma girebiliyorsa uygulanır. Sistemi tam salınıma sokabilmek için K_p katsayısı mümkün olduğunca küçük olan bir P denetleyiciyle başlanır. Sistem osilasyona girinceye kadar K_p değeri küçük adımlar ile artırılır. Sistem osilasyona girince K_u (osilasyondaki K_p katsayısı) ve P_c (osilasyondaki sistemin periyodu) parametreleri not edilir. K_u , P_c değerlerini Tablo 1.4'te yerine yazarak PID parametreleri hesaplanır (Yılmaz, 2008).

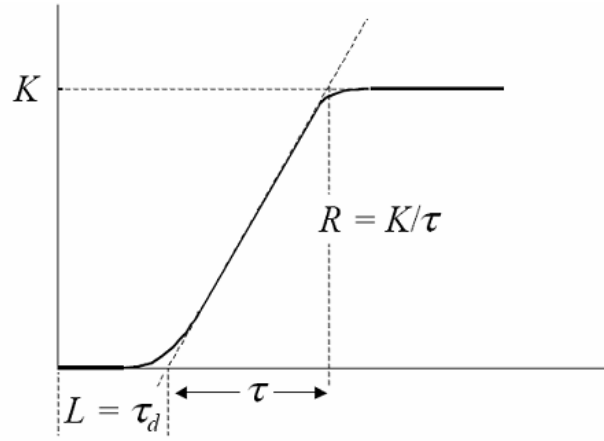
Tablo 1.4. Ziegler – Nichols frekans yanıtı metodu katsayıları

	K_p	T_i	T_d
P	$0,5.K_u$	-	-
PI	$0,45.K_u$	$0,833.P_c$	-
PID	$0,6.K_u$	$0,5.P_c$	$0,125.P_c$

Bu yöntem sistemi osilasyona götürmek için sürekli artan giriş değeri vermek sisteme zarar verebileceğinden günümüzde pek tercih edilmemektedir.

Ziegler – Nichols’un ikinci metodu ise reaksiyon eğrisi metodu olarak anılmaktadır. Sistemin açık çevrim fonksiyonunun birim basamak fonksiyonuna verdiği cevap Şekil 1.25’de grafik üzerine yerleştirilerek gösterilen değerler bulunur. Bu cevap formül 1.25’deki gibi birinci dereceden zaman gecikmeli bir fonksiyonun birim basamak fonksiyonuna verdiği cevaba denk düşmektedir.

$$G(s) = \frac{K.e^{-\tau_d s}}{\tau.s + 1} \quad (1.25)$$



Şekil 1.25. Ziegler - Nichols reaksiyon eğrisi

Elde edilen bu değerler Tablo 1.5’teki formüller kullanılarak ideal PID katsayıları elde edilir. Burada “ τ ” saniye cinsinden zaman sabiti τ_d ise yine saniye cinsinden zaman gecikmesidir.

Tablo 1.5. Ziegler – Nichols reaksiyon eğrisi metodu katsayıları

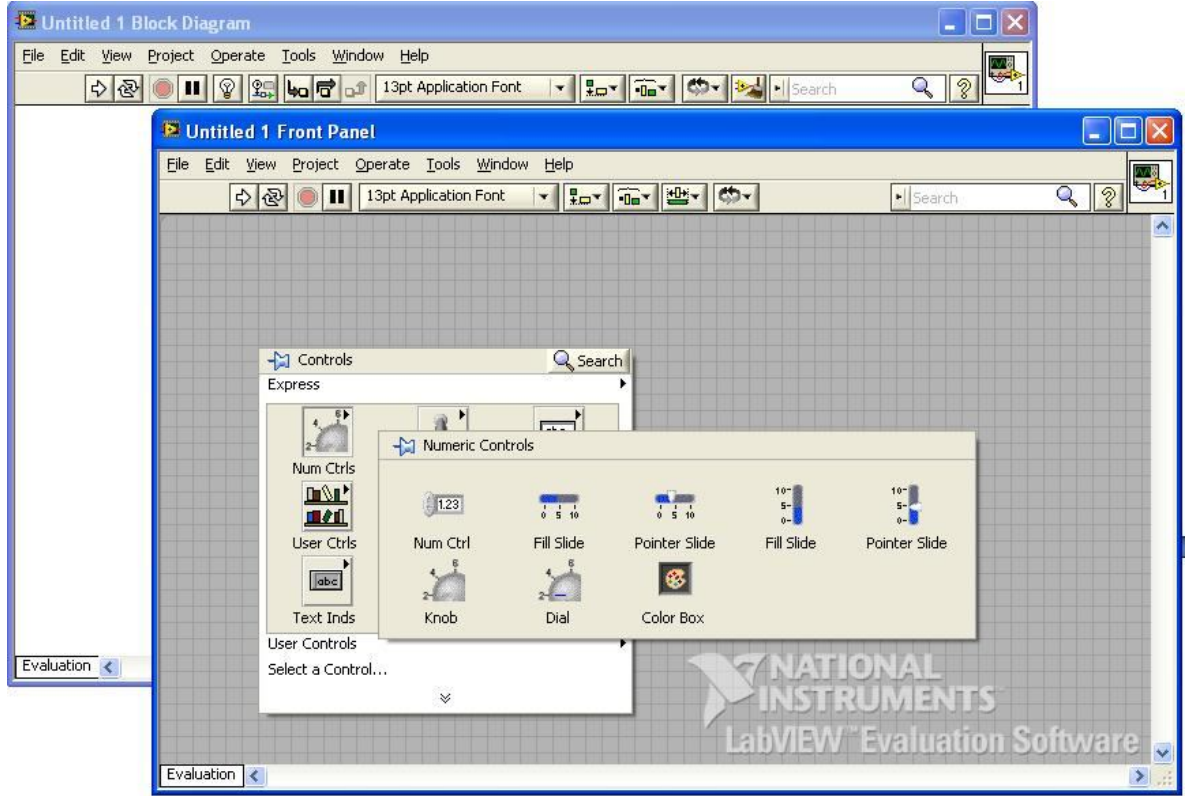
	K_p	T_i	T_d
P	$\tau/K\tau_d$	∞	0
PI	$0,9.(\tau/K\tau_d)$	$3.\tau_d$	0
PID	$1,2.(\tau/K\tau_d)$	$2.\tau_d$	$0,5.\tau_d$

1.5. Bir Kontrol Sisteminde Aranılan Özellikler

Bir kontrol sisteminde sistemin kararlı, hassas ve hızlı cevap verebilmesi istenir. Kontrol sistemlerinde sistem çıkışı referans değışimleri ve/veya bozucu girişler sebebiyle sürekli rejim değerinden saparsa, kararlı bir geçiş rejimiyle beraber mümkün olan en kısa zamanda yeniden sürekli rejim değerine erişmesi gerekir. Sürekli rejim çalışmada sistem çıkış değeri referans değerine eşitse hassasiyet çok yüksek demektir. Çoğu zaman sıfır hata yani çıkış değerinin referans değere eşit olma durumu maliyeti artırdığından maliyet ile hassasiyet arasında optimum bir nokta tesbit edilerek çıkışın belli toleranslar arasında kalması tercih edilebilir. Buna karşın kontrol sistemlerinin çok kararlı, hızlı ve hassas çalışması istendiğinde çoğunlukla çok kararlı sistemler yavaş olmaya, çok hızlı ve çok hassas sistemler ise kararsız çalışmaya mahkum olmuştur (Dinibütün,1980).

1.6. LabVIEW

Elektronik dünyasının önde gelen firmalarından biri olan NationalInstrument firmasına ait olan LabVIEW yazılımı adı Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench cümlesinin kısaltmasıdır. C ve Basic gibi LabVIEW de bilgisayar üzerinde çalışan güçlü ve esnek bir entümantasyon ve analiz yazılımıdır. Ölçüm, test veri oluşturma, analiz, işleme ve takibinde kullanılan program, grafiksel arayüzü aracılığıyla şekillerin ekranda birbirlerine bağlanması şeklinde kullanılır. LabVIEW uygulama oluşturmak için komut satırlarının yerine şekillerin kullanıldığı grafiksel bir programlama dilidir. Komut satırları tabanlı programlama dillerindeki bilgi tespit yöntemlerine karşın, LabVIEW veri tespit yöntemi olarak veri akış yöntemini kullanır. Kolay anlaşılır güçlü bir grafik program geliştirme ortamıdır. Program kaynak kodu problemleri çözmek için şematik ve akış diyagramına benzeyen sezgisel bir blok diyagram yöntemi kullanılır (Şekil 1.26). LabVIEW programı esnek, güçlü, kullanımı ve uygulaması rahat ve öğrenilmesi kolay olan bir programdır (URL-3, 2012).



Şekil 1.26. Blok diyagram, front panel ve kontrol paleti

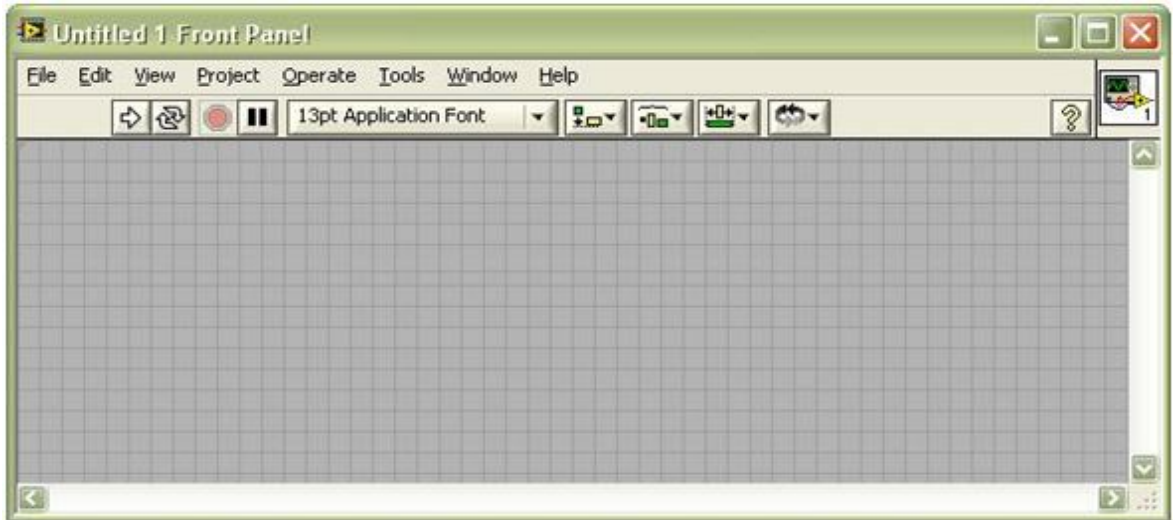
LabVIEW, geliştirmeye harcanan zamanı azaltarak üretkenliği arttırmakta bilgisayar ve ölçme ve kontrol donanımına yapılan parasal yatırımı korumaktadır (URL-10, 2012). Ayrıca daha geniş kullanıcı kitlesini yetkilendirerek kendi çözümlerini geliştirebilmelerine olanak sağlar. Uzmanlaşmış kontrol algoritmaları, gelişmiş sinyal işleme veya veri kayıt gerektiren bazı uygulamalarda LabVIEW kullanarak, NI veya üçüncü parti gereçlerle meydana getirilmiş özel kontrol kodu uygulanabilir, lokal veya uzaktan veri kaydedilebilir (Ömeroğlu, 2012). Esnekliği sayesinde daha karmaşık geliştirme araçlarına gerek kalmadan bütün işlemleri tamamlayabilmeyi mümkün kılar. Ölçme ve veri izleme istenen her yerde LabVIEW çok rahatlıkla kullanılabilir. Gerçek zamanlı Data Logging and Supervisory Control, Vision Development, Motion Control, Sound and Vibration, FPGA, Embedded, Mobile, Statechart, Simulation gibi ek modülleri mevcuttur (URL-8, 2012). Endüstride elektrik ve elektronik teknolojisinden otomotiv sektörüne, enerji sektöründen, uzay çalışmaları ve hatta su altı çalışmalarına kadar birçok alanda çözümler sunarken hemen her sektörden birçok firma üretimlerinde ve arge çalışmalarında bu programdan yararlanmaktadır (Tunçalp ve Güner, 2004).

1.6.1. LabVIEW Yazılım Arayüzü

LabVIEW programı kullanımı rahat, esnek, güçlü ve öğrenilmesi kolay olan bir bilgisayar programıdır. Program içeriğinde bulunan kontrol ve ölçme devre elemanları fonksiyonlarının arayüzde birbirlerine bağlanması şeklinde kullanılır. Geleneksel programlama dillerindeki komut veya değişkenlerin satırlarca yazılması yerine, yapılmak istenen işlem için arayüzdeki blok diyagrama yerleştirilip, gerekli bağlantılar oldukça kolay bir şekilde yapılabilir. LabVIEW Ön Panel ve Blok Diyagram olmak üzere iki kısımdan oluşur. Ön panel kullanıcı arayüzüdür. Arayüz ile oluşturulacak uygulamayı kullanıcının sisteme değerler girmesine, giriş ve çıkışları görmesine, kontrol işlemlerinin gerçekleştirilip gerektiğinde müdahaleye imkan vermede yardımcı olur. Blok diyagram ise programın yazıldığı yerdir. Ön panelde bir taraftan kontrol sağlanırken, diğer taraftan blok diyagramda VI çalışmaktadır. Yazılan bu programlarla ise NI firmasının geliştirdiği donanımlar ve gerçek sistemleri Kontrol etmek mümkün olmaktadır.

Azami yürütme performansı alabilmek için LabVIEW 32 bit derleyici içermektedir. Böylece LabVIEW sanal enstrümanları C veya C++ ile oluşan programlar kadar hızlı çalışır. LabVIEW ile kendi başına çalışan programlar da oluşturabilirsiniz. LabVIEW programının yazıldığı dil G olarak anılmaktadır (National Instruments Corp., 2000).

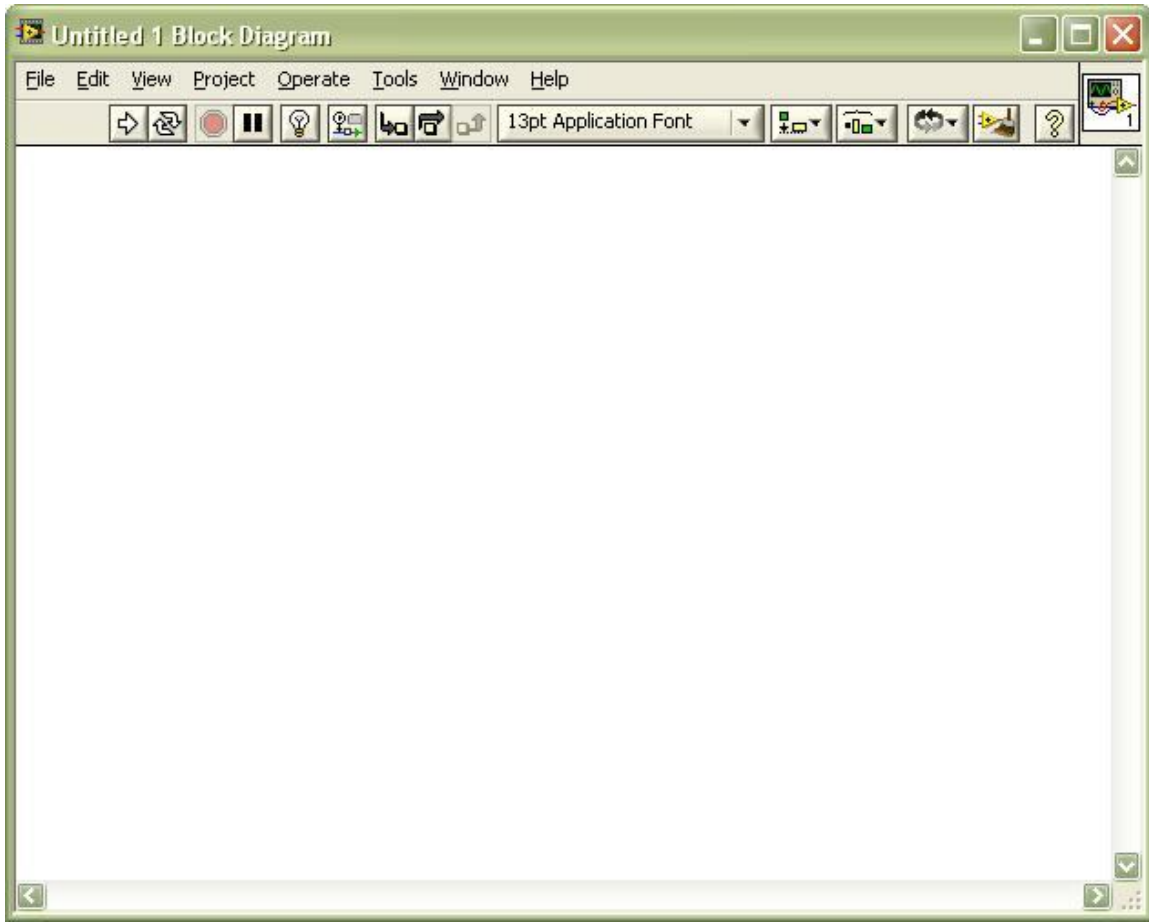
Giriş çıkış terminallerini, sanal enstrümanların etkileşimini, göstergeleri ve kumanda cihazlarını içerir ve/veya bunları taklit eder. Bilgisayarın giriş üniteleri kullanılarak bilgiler girilmekte ve sonuçlar monitörden izlenebilmektedir. Şekil 1.27'de boş bir front panel (ön panel) görülmektedir.



Şekil 1.27. LabVIEW ön paneli

1.6.1.1. Blok Diyagram

Ön panelde oluşturduğumuz nesnelimizi kontrol etmek için fonksiyonlarımızın grafiksel ifadelerini kullanarak kodlar ekleyebileceğimiz yerdir. Grafiksel programlama dili olan G diliyle oluşturulmuş sanal entrümanların kodlarını içerir. Şekil 1.28’de boş bir blok diyagram görülmektedir (URL-4, 2012).



Şekil 1.28. LabVIEW blok diyagramı


1.6.1.2. LabVIEW Araç Çubukları


Temel olarak araç çubukları blok diyagramın ve ön panelin üst kısımda yer alan araç çubuklarıdır. Bu araç çubuklarının görevlerine bakacak olursak.




Şekil 1.29. Ön panel araç çubuğu


Şekil 1.29'da LabVIEW ön panelinin araç çubuğu görülmektedir. Buradaki çubuğun üzerindeki simgelerin görevleri aşağıdaki gibidir.


 Çalıştır butonu yazılan programı çalıştırmak için kullanılır.


 Yazılan program çalışırken çalıştır butonunun görünüşü.


 Sürekli çalıştır butonu program durdurulana kadar çalışmaya devam eder.


 Yazılan program çalışır haldeyken durdurmak amacıyla kullanılır.


 Duraklatma butonu program çalışırken duraklatmaya yarar. Duraklatılan yer blok diyagramdan görülebilir. İkinci kez basıldığında ise kaldığı yerden çalışmaya devam eder.


 Kullanılan yazıların özelliklerini ayarlamak amacıyla kullanılır.

 Hizalama düğmesi nesnelerin üst, alt, sağ, sol kenarlarının aynı hizaya getirilmesi için kullanılır.

 Düzgün dağıt düğmesi nesneler arasındaki boşlukların eşit şekilde dağıtılması için kullanılır.

 Yeniden boyutlandırma düğmesi ise nesnelerin aynı boyuta getirilmesini sağlar.


 Yeniden düzenleme düğmesi de üst üste gelen nesnelerin düzenlenmesi içindir.


 Yardım penceresinin çıkmasını sağlar. Bu butona tıklandıktan sonra herhangi bir nesne üzerine gelerek o nesne hakkında küçük bir yardım penceresinin çıkması sağlanır.


Blok diyagram araç çubuğunda da ön paneldekiyle aynı göreve sahip düğmeler vardır. Bunun dışındakilerin anlamları da aşağıdaki gibidir. Şekil 1.30'da blok diyagram araç çubuğu görülmektedir (URL-4).





Şekil 1.30. Blok diyagram araç çubuğu


 Vurgulama düğmesine tıklandığında programın işleyişi otomatik çıkan yönlendirme işaretleri sayesinde takip edilebilir. Tekrar tıklandığında ise bu özellik kapanır.

 Elemanlar arasındaki bağlantı teli üzerine bir prob yerleştirir ve tel üzerinden geçen son bilgiyi üzerinde tutar.

 İçine gir düğmesi sayesinde düğüm açılır ve çalışma durur. Programın adım adım yürütülmesini sağlar.

 Üzerinden atla düğmesinde bir düğüm çalışma olur ve sonraki çalışma durdurulur. Bu özellik sayesinde döngü veya alt programlar atlanarak sonraki düğümden devam edilebilir.

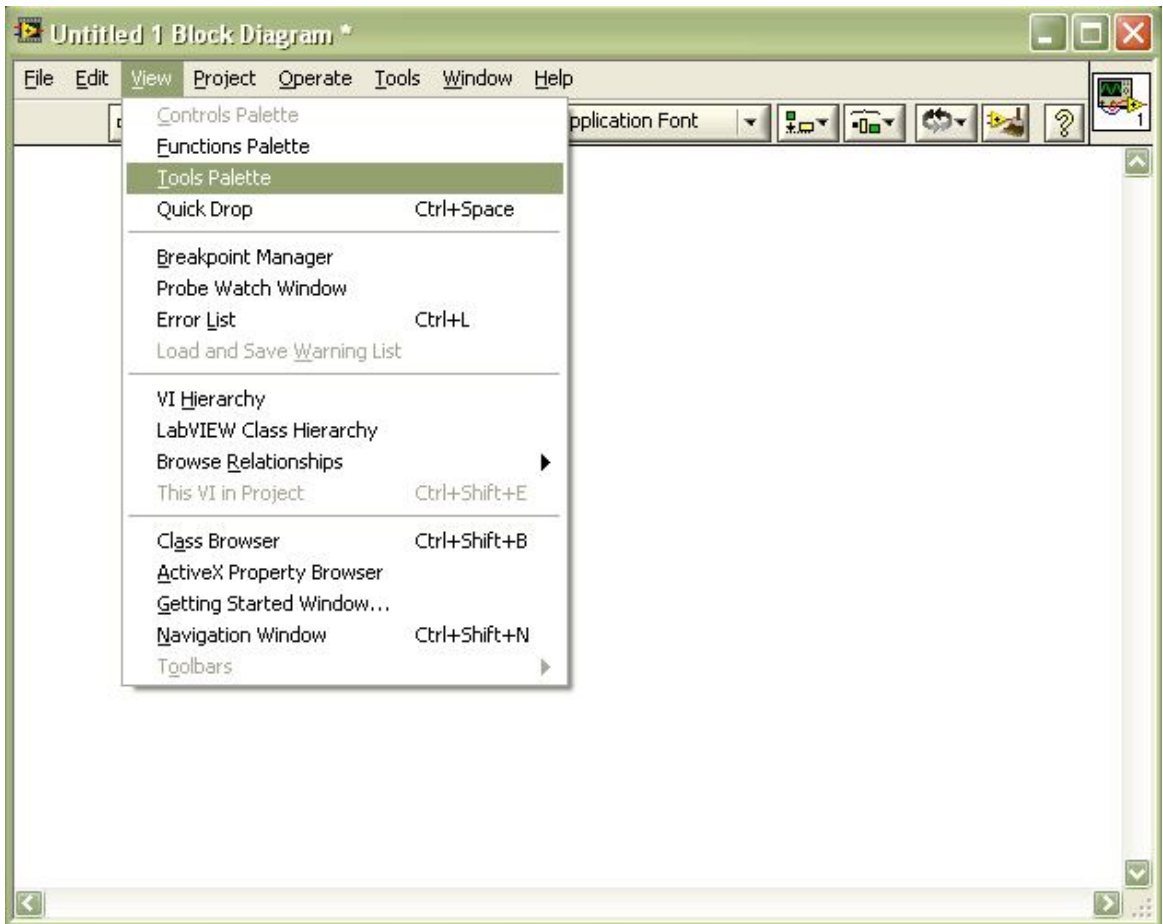
 İçinden çık düğmesi ise geçerli düğümü çalıştırır ve sonraki düğümde çalışma durmaktadır. Çalışma durduğunda düğme soluk şekilde görülür.

 Tüm nesnelere bir sütun şeklinde dizmeye yarar.

1.6.1.3. LabVIEW Paletleri

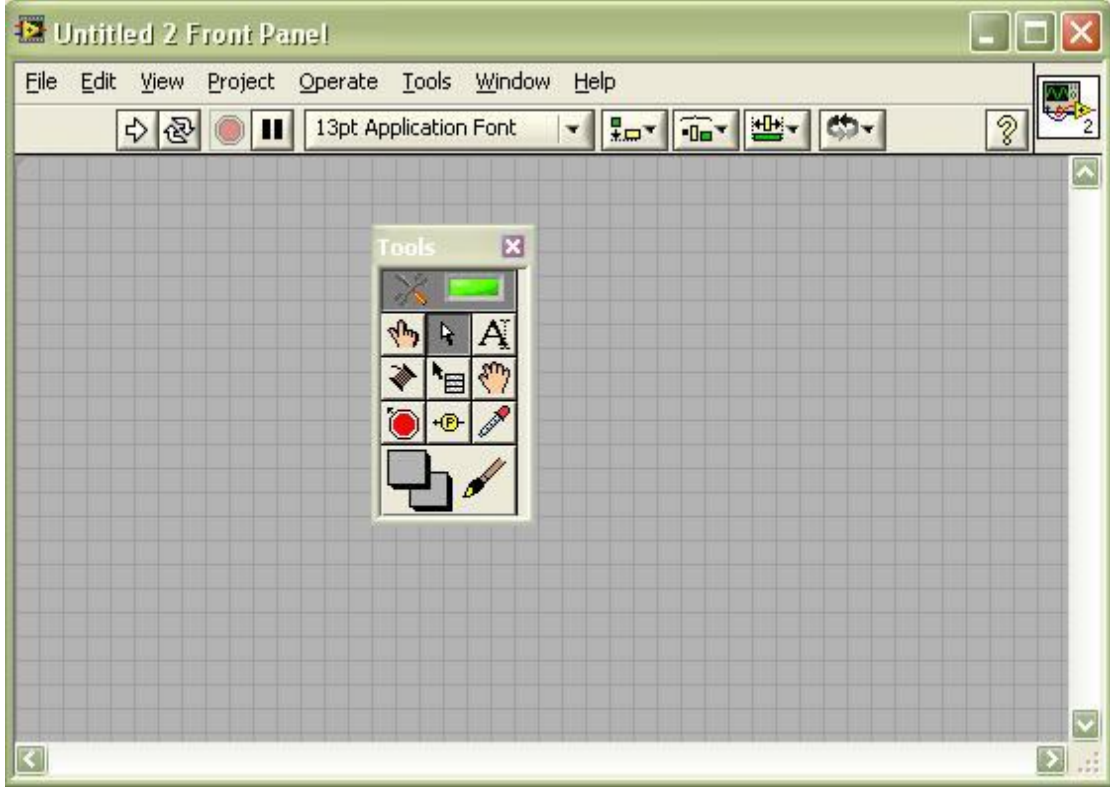
Yazılımda program yazarken kullanacağımız paletler de mevcuttur. Bunları araç paleti, kontrol paleti, fonksiyon paleti adını almaktadır. Paletler birçok özellik barındırmaktadır fakat LabVIEW'e sonradan da paletlere özellik eklemek mümkün olmaktadır.

Şekil 1.31'de da görüldüğü gibi blok diyagramda "View" sekmesinin altında "Tools Palette" seçeneğiyle araç paletimizi açabiliriz.









Şekil 1.31. LabVIEW ana menüsünde "View" sekmesi


Araç paleti ön panel ve blok diyagramdaki elemanların düzenlenmesinde kullanılır. Araç paletinin üst kısmındaki otomatik araç seçim seçeneği aktifse program gerektiği yerlerde imleci gereken özelliğe yükler. Eğer yazılım istenen özelliği belirleyemezse kullanıcı paleti kullanarak imlece o özelliği yükler. Şekil 1.32'de araç paleti görülmektedir.





Şekil 1.32. Ön panel üstünde araç paleti


Araç paletindeki bazı özellikler aşağıdaki gibidir.

-  İşletim düğmesi bir kontrolün içindeki yazıyı ve kontrolün değerini değiştirmek amaçlı kullanılır.
-  Konumlandırma düğmesi seçim, boyutlandırma, taşıma işlemleri yapılabilir.
-  Etiket aracı yeni etiketler oluşturmak ve yazıları düzenlemede kullanılır.
-  Bağlantı aracı blok diyagramda nesnelere birbirine bağlamada kullanılır.
-  Nesne kısa yol düğmesi nesnelere araçlarına erişmek için kullanılır.
-  Kaydırma aracı üzerinde çalışılan alanı kaydırmaya yarar.

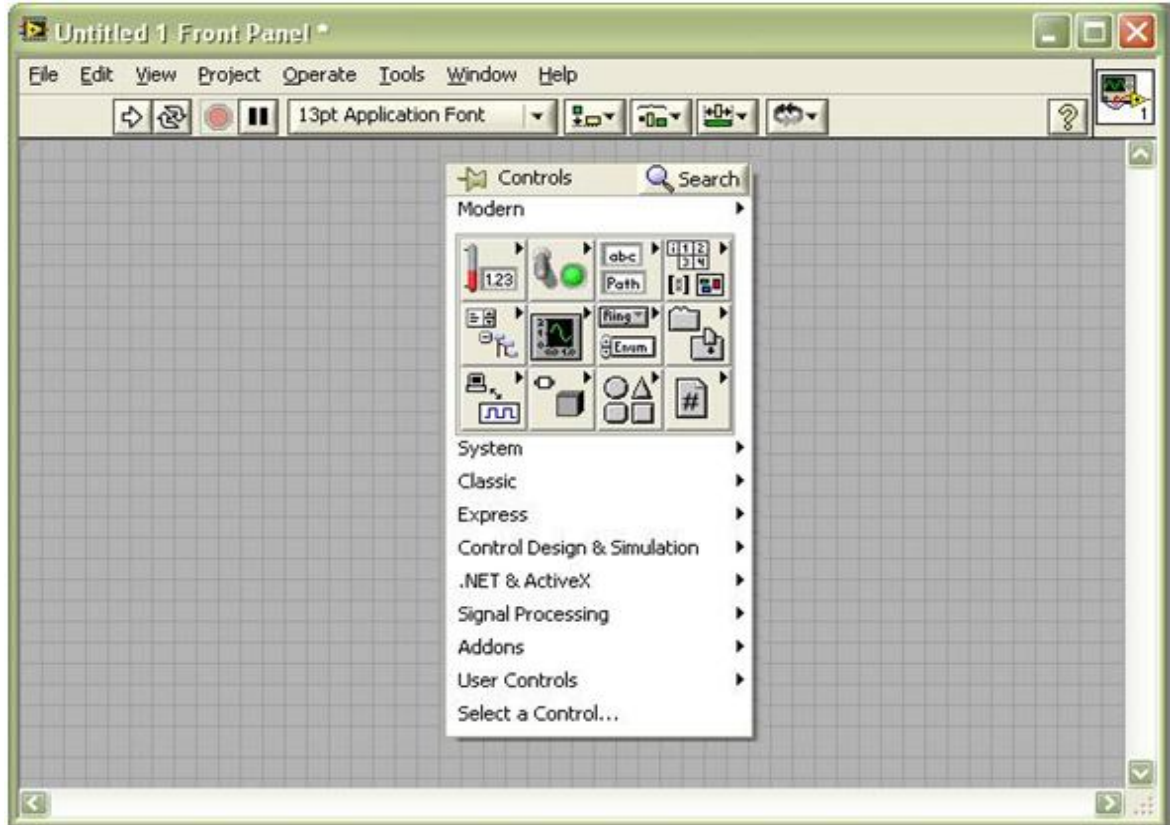
 Durma noktası eklemeye veya kaldırmak amacıyla kullanılır.

 Ölçüm noktası blok diyagramdaki kabloları üzerinde ölçüm noktası belirleyerek bu noktadaki ara değerleri almada kullanılır.

 Renk kopyalama aracı çalışma alanında herhangi bir yerdeki rengi üzerine tıkladığımızda o rengi seçerek başka bir yerde kullanmamızı sağlar.

 Boyama aracı arka plan rengini ve elemanları boyamada kullanılır.

Şekil 1.33'te görülen kontrol paletinde ise ara yüz hazırlamada kullandığımız elemanlar bulunmaktadır ve sadece ön panelden ulaşılabilir. Ön panelden faremizden sağ tıklayarak ulaşabileceğimiz kontrol paletinde birçok kontroller ve göstergeler içermektedir.



Şekil 1.33. Kontrol paleti

Kontrol paletindeki birçok nesneden modern başlığı altındaki bazı nesnelere örnek vermek gerekirse;

Numeric: Numericindicator ve numerik control gibi giriş ve çıkış alabileceğimiz nesnelere bulunduğu sekmedir.

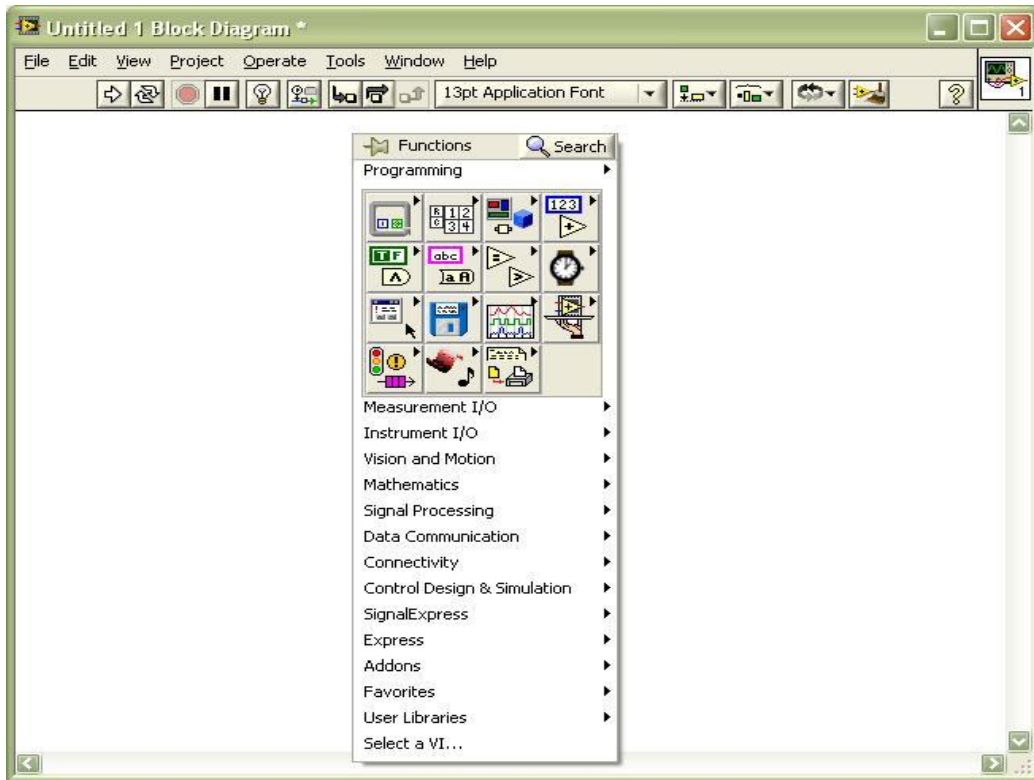
Boolean: On-off, çıkış, iptal benzeri anahtarları ara yüze eklememizi sağlayan nesnelere bulunduğu sekmedir.

String: String ifadelerin giriş ve çıkış alabileceğimiz nesnelere bulunduğu sekmedir.

Graph: Osilaskop benzeri sinyallerin incelenmesi amacıyla iki veya üç boyutlu çıkışları gösteren nesnelere bulunduğu sekmedir.

şeklinde verilebilir.

Şekil 1.34'te görülen Fonksiyon paletinde de grafiksel programımızı hazırlamada kullandığımız elemanlar bulunmaktadır ve sadece blok diyagramdan ulaşılabilir. Blok diyagramdan fareye sağ tıklayarak ulaşabileceğimiz fonksiyon paletinde birçok araç içermektedir. Blok diyagrama alınan nesnelere bağlantıları gerçekleştirilerek programın akışı sağlanır.



Şekil 1.34. Fonksiyon paleti

Fonksiyon paletindeki bazı başlıklar şunlardır;

Programming: While, for gibi döngüler program akış pencereleri, lojik kapılar, dataların bilgisayara kaydedilmesi gibi birçok araç bulunmaktadır.

Mathematics: Matematik değerlere göre sinyaller üzerinde filtrelemelerin, formül uygulamalarının gerçekleştirildiği birçok aracı barındıran bir sekmedir.

Signal Processing: Sinyal üreteçleri, filtreler, sinyal dönüştürücü gibi araçlar bulunmaktadır.

Signal Express: Sinyal değerlendirmede kullanılan nesnelerin kolay kullanımı için paket araçların bulunduğu yerdir.

Express: Ölçme kullanılacak araçların kısa sürede program oluşturmada kullanılan basit kolay ve kullanışlı bir şekilde getirilmiş paket halinde sunulduğu araçlar mevcuttur.

Örneklere de görüldüğü üzere bir nesne, kullanım sıklık ve/veya ilişkilerine göre birkaç ayrı sekme altında ulaşmak mümkün olmaktadır. Bu paletlerde birçok araç bulunduğundan bazen istenilen aracı bulmada zorluk çekildiğinde paletin üst kısmında bulunan arama çubuğuna aracın adı yazılarak bulma imkanı da vardır (Artuğ, 2010).

2. MATERYAL VE METOT

LabVIEW programı kullanılarak bir güç kontrol panosu aracılığıyla 7 kW ile sınırlı üç kademeli (3kW – 4kW – 7kW) bir ani su ısıtıcıdan çıkan suyun sabit sıcaklıkta elde edilmesini sağlayacak bir sistemin tasarlanması ve kullanılan ölçüm yöntemlerinin öğrenilmesi amaçlanmıştır.

Sistem üç kısımdan oluşmaktadır bunlar;

- Güç kontrol ünitesi
- Su ısıtıcısı
- LabVIEW ortamında hazırlanmış VI
- Algılayıcı birimler

Sistemin çalışması en genel haliyle şöyledir: Bilgisayarda kurulu olan LabVIEW programıyla oluşturulan VI (Virtual Instrument) üzerinden girilen kontrol parametreleri LabVIEW programı aracılığıyla düzenlenerek istenilen sıcaklığı sağlayacak olan güç miktarı güç kontrol panosu üzerinden ani su ısıtıcısı girişine uygulanmaktadır. Ani su ısıtıcısının giriş ve çıkışına bağlanan iki adet k tipi termokupl National Instruments firmasınınca üretilen NI-9211 termokupl analog girişi ve bu modüle bağlı NI cDAQ-9174 şasesine USB hattı üzerinden bilgisayara bağlanmaktadır. Sistemin temsili bağlantısı Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Sistemin genel bağlantı şekli

2.1. Güç Kontrol Ünitesi

Güç kontrol ünitesi ana elemanları Ludre VTK-4 marka röle, güç ünitesi, triyaka enerji gönderecek kontaktör röle, triyak tetikleme devresi ve tetikleme devresince sürülen triyaktan oluşmaktadır. Sistem ana elemanlarının yanı sıra koruyucu elemanlar olan sigorta (25 Amper) kaçak akım rölesi, acil durdurma düğmesinin yanı sıra pano üzerinde kablo bağlantılarının yapıldığı klemensler bulunmaktadır. Hazırlanan güç kontrol ünitesi Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

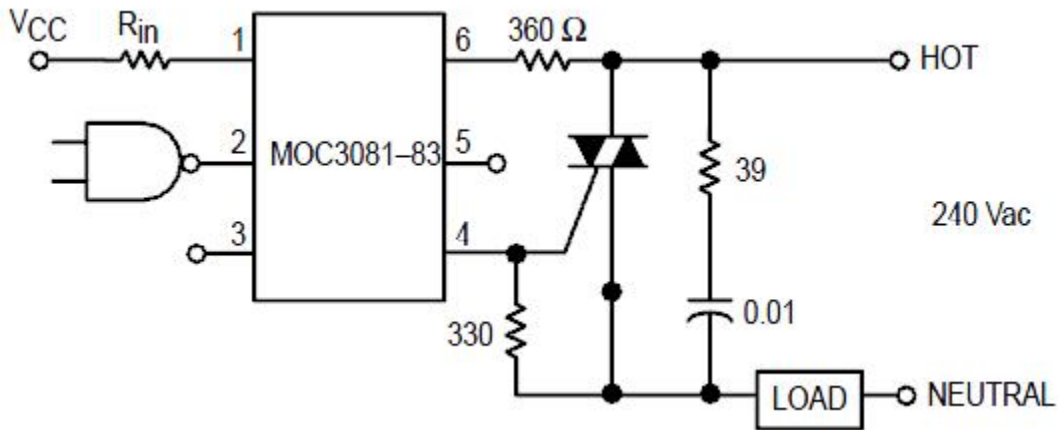


Şekil 2.2. Güç kontrol ünitesi

Şekil 2.2’deki güç kontrol panosunun güç bağlantısı pano üzerinden çıkan kablo üzerinden şebekeye bağlıdır. Şebekeden alınan enerji kablosunun belirlenen faz ucunun

mutlaka şebekenin fazına bağlanması gerekir. Şebeke fazından alınan enerji pano üzerindeki güç sistemi üzerinden tristör tetikleme devresine aktarılır. Tristör devresinin çıkışında bulunan yükü ani su ısıtıcı sistem temsil etmektedir. Sistemde kullanılan ani su ısıtıcısı üç kademelidir (3kW – 4kW – 7kW). Triyak devresinin nominal akım değerlerini en iyi ikinci kademe sağlamaktadır. Oluşturulan sistem iki adet USB kablo bağlantısı içermektedir. Bu kablolardan biri güç kontrol panosu üzerindeki ludre dtk4 röle ile bağlı olup LabVIEW üzerinden programlanan VI kontrolü bu bağlantı üzerinden yapmaktadır. Diğer USB bağlantısı ise National Instruments firması tarafından geliştirilen LabVIEW ile uyumlu NI 9211 termokupl modülünün yerleştirildiği NI cDAQ-9281 şasesi üzerinden VI (Virtual Instruments) LabVIEW program arayüzüne bağlıdır.

Güç kontrol ünitesi kontrolü ludre dtk4 röle üzerinden LabVIEW programı ile oluşturulmuş olan VI üzerinden kontrol edilmektedir. VI üzerinden ayarlanan sıcaklık ve PID katsayıları değerlerine göre ludre dtk4 röle üzerinden güç ünitesi kontaktörü enerjilendirilerek ısıtıcıya gidecek olan enerjinin önünü açmakta aynı zamanda triyak tetikleme devresi üzerinden sisteme sağlanacak olan enerjinin miktarı ayarlanmaktadır. Isıtıcıya giden enerji miktarını ayarlayan triyak tetikleme devresinin devre şeması şekil 2.3'teki gibidir.



Şekil 2.3. Triyak tetikleme devresi

Devredeki MOC3082 entegresi aralarında optik bağlantı olan diyot ile şebeke sinyalinin çift yönlü sıfır geçiş noktasını belirleyen bir algılayıcıdan oluşmaktadır. Yükün bağlı olduğu kısım şekilde triyakin nötr ucunun bağlı olduğu tarafa bağlanmıştır fakat yük doğrudan hat üzerinden bağlanarak da sistem sürülebilir. Ani su ısıtıcıya uygulanan enerjinin miktarı tristör tetikleme devresinin sağladığı PWM palsleri ile sağlanmaktadır. Kullanılan triyak STMicroelectronics marka BTA40 modelidir ve triyak tetikleme devresi ile beraber 220V şebeke geriliminde rezistif yüklerde kullanım için tasarlanmış olup nominal çalışma akımları 24 Amper, sınır akımları ise 50 Amperdir. Şekil 2.4'te kullanılan güç triyağı, triyak tetikleme devresinin bulunduğu modül gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Kullanılan triyak ve triyak tetikleme devresinin panodan görünümü

2.2. Algılama Birimleri

Algılama birimleri olarak adlandırılabilir kısımlar National Instruments firmasınınca üretilen NI cDAQ-9281 olarak adlandırılan şase kısımları ve bu şaseye monte edilebilen NI

9211 termokupl modül ve bu modüle bağlanan iki adet k tipi termokupldan oluşmaktadır. Şekil 2.5'te hazırlanan algılama biriminin resmi gösterilmektedir.



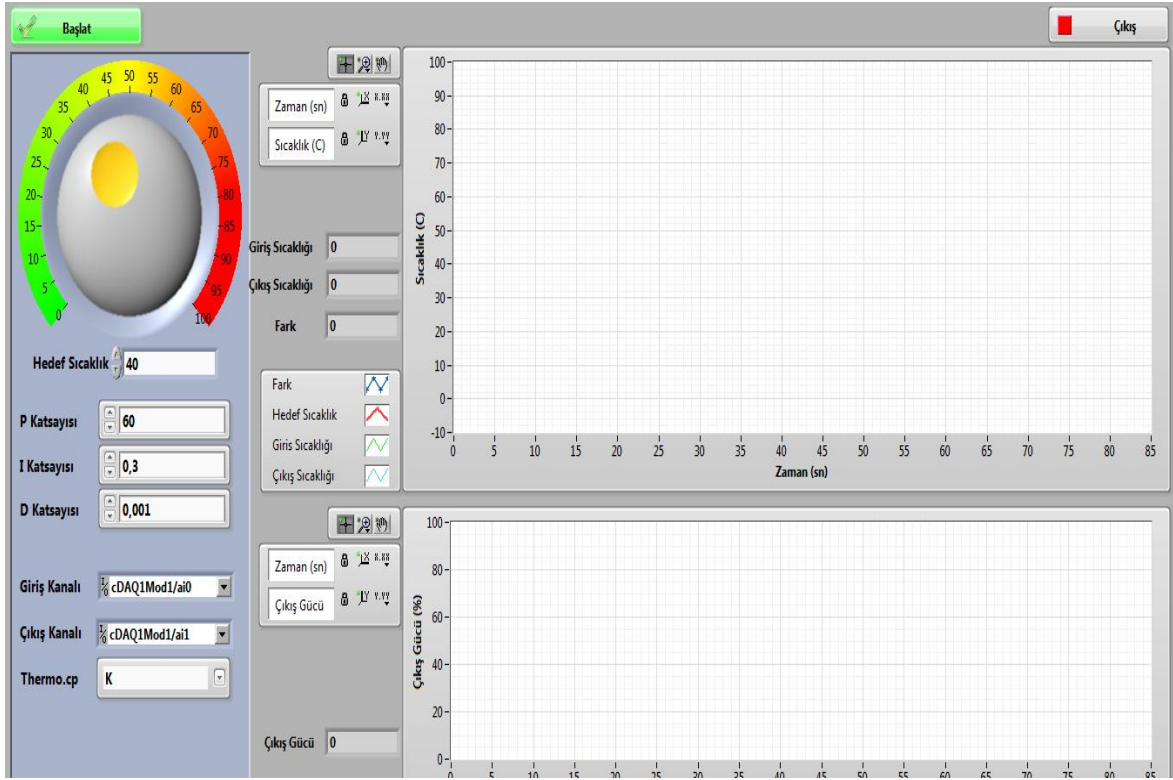
Şekil 2.5. NI cDAQ-9281 şase, NI 9211 termokupl modül ve buna bağlı iki adet termokupl

NI cDAQ-9281 şasenin dört adet girişi bulunmaktadır. Bu girişlerden çeşitli ölçüm modülleri (NI C serisi giriş/çıkış modülleri) bağlanarak farklı ölçüme dayalı işlemler (analog giriş, analog çıkış, dijital giriş/çıkış ve counter/timer ölçüm sistemi) yapılabilmektedir.

NI 9211 termokupl modül cDAQ ve cRIO tip şaselerle uyumlu çalışabilmektedir. 24 bit çözünürlüklü olması ve 50/60 Hz lik gürültü çözünürlüğü ile oldukça düşük hatalı ölçümler yapmaya imkan sağlamaktadır.

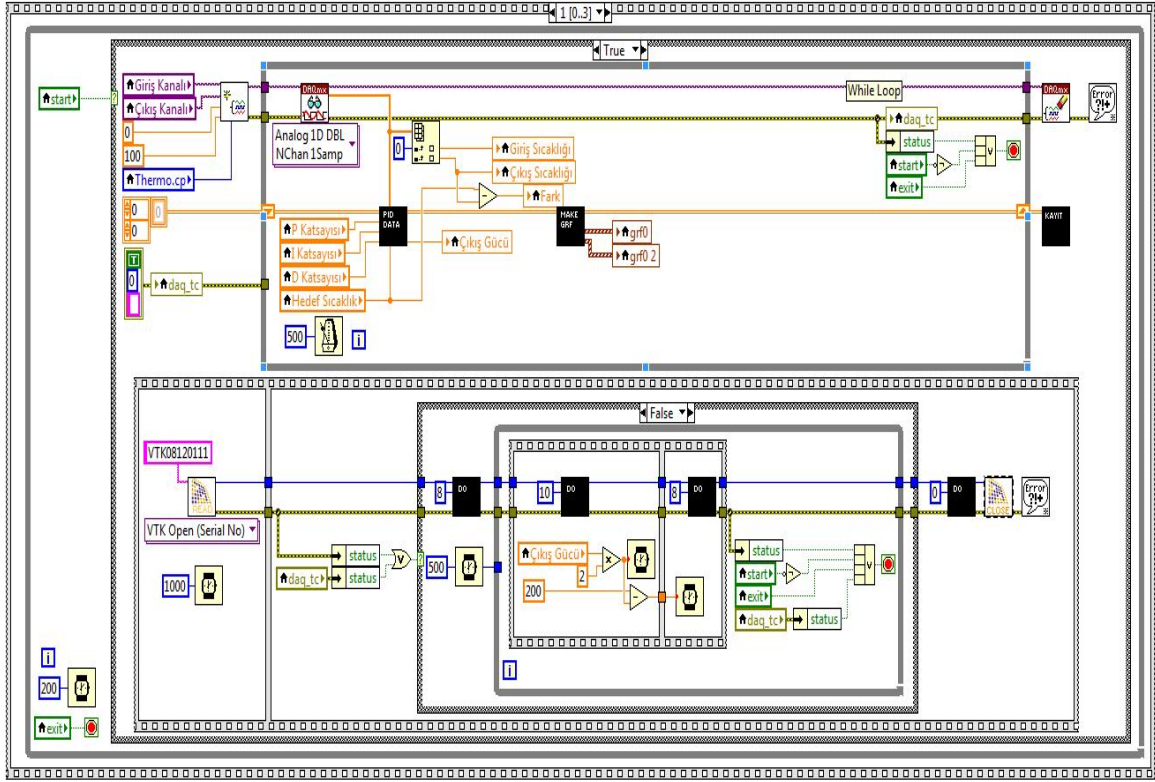
2.3. LabVIEW Ortamında Hazırlanmış VI

LabVIEW Academic Suite ortamında hazırlanmış VI (Virtual Instrument) ön paneli Şekil 2.6'da ana arka panel ise Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Şekil 2.8'de PID blok diyagramı gösterilmektedir.



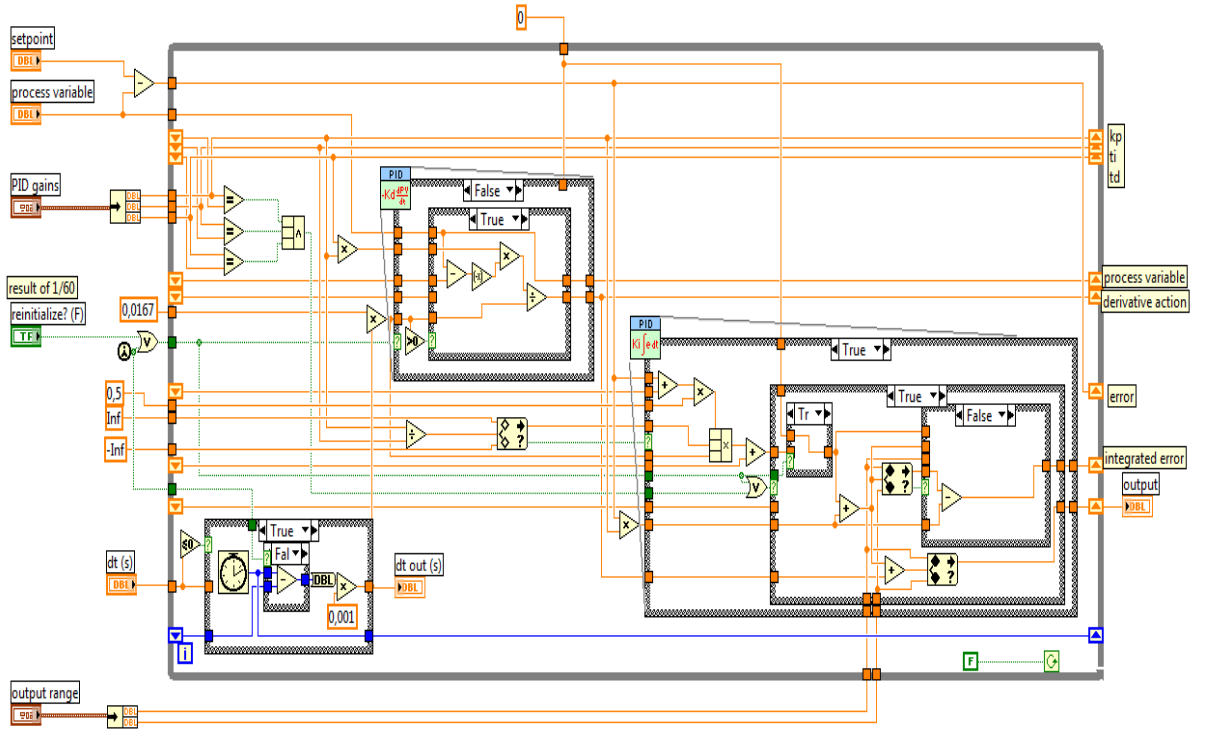
Şekil 2.6. LabVIEW ortamında hazırlanmış VI' in ön paneli

Arka ana panel çeşitli alt VI'lar içermektedir. Hazırlanan VI'in çalışabilmesi için sisteme bağlantılı olan ludrevtk 4 röle, NI cDAQ-9281 şase ile NI 9211 termokupl modüllerinin sürücü programlarının program çalıştırılmadan önce bilgisayara tanıtılmış olması gerekir. Sistemde sıcaklık kontrolü PID yöntemine göre gerçekleştirilmekte olup uygun amacına uygun PID katsayılarının bulunması için deneme yanılma yoluyla elde edilen çıkarımlardan faydalanılmıştır. LabVIEW PID klasik işleyiş tarzını barındıran algoritmalarını kullanıcıya hazır olarak sunmaktadır. Yazılan program içerisinde iç içe programlar mevcuttur. Özellikle siyah gözükten kutular içerisinde bir başka paket programı olduğunun göstergesidir. LabVIEW' programlar böylelikle üst üste bina edilerek yazılım geliştirilmeye devam edilir.



Şekil 2.7. LabVIEW ortamında hazırlanmış VI' in arka paneli

Ön panelin sol alt köşesinde bulunan termokupl modülün giriş ve çıkış bağlantılarının yerinin ve kullanılan termokupl cinsini belirten kısımlarda uygun olan seçenekler işaretlenmelidir. Bu işlemler yapıldıktan sonra programın çalıştırılmasıyla VI aktifleştirilmiş olur. Su ısıtıcısının rezistans ayar anahtarının uygun konuma alınarak ısıtıcıdan geçen suyun debisinin ısıtıcıyı aktive edecek seviyeye alınmasından sonra başlat butonuna basılmasıyla sistem ayarlanan sıcaklığa ayarlanan PID parametreleri doğrultusunda sabit sıcaklığı yakalamaya çalışacaktır.

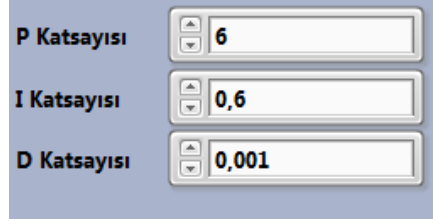


Şekil 2.8. LabVIEW PID algoritmasını içeren blok diyagramı

Şekil 2.8’de görülen LabVIEW PID algoritmasını içeren blok diyagramının bir de kullanıcı arayüzüne yansıyan boyutu vardır. Kullanıcı arayüzünde bu blok diyagramının içerisinde formülize edilmiş PID kontrolörün parametre katsayılarının girildiği kutucuklar mevcuttur. Böylelikle PID kontrolör bu parametre kutucuklarına yazılan katsayılarla tasarım gerçekleştirilmiştir.

2.4. PID Kontrolörün Tasarlanması

PID kontrolörün Tasarlanmasında LabVIEW’in VI’larından faydalanılmıştır. LabVIEW’in arayüzünde PID kontrolör parametreleri için girişler oluşturulmuştur (Şekil 2.9). Arayüzde ki bu girişlerden PID denetleyici parametreleri hesap edilerek yazılmış ve deneyler gerçekleştirilmiştir.



The image shows a LabVIEW control panel for PID parameters. It consists of three vertically stacked input fields, each with a label on the left and a numeric input box on the right. The first field is labeled 'P Katsayısı' and contains the value '6'. The second field is labeled 'I Katsayısı' and contains the value '0,6'. The third field is labeled 'D Katsayısı' and contains the value '0,001'. Each input box has small up and down arrow icons on its left side, indicating it is a numeric control.

P Katsayısı	6
I Katsayısı	0,6
D Katsayısı	0,001

Şekil 2.9. LabVIEW arayüzünde PID katsayılarının girildiği bölüm

PID katsayıları belirlenirken birçok yöntemin yanında ağırlıklı olarak Ziegler - Nichols metodundan faydalanılmıştır. Parametre tespit yöntemi tam olarak doğru katsayıları veremediği için deneme yanılma yöntemiyle de hassas ayarlar yapılmaya çalışılmış ve böylelikle sürekli akışını devam ettiren suyun sıcaklığını en kısa sürede istenen sıcaklığa getirip o sıcaklıkta kararlı bir şekilde sabitlenmeye çalışılmıştır.

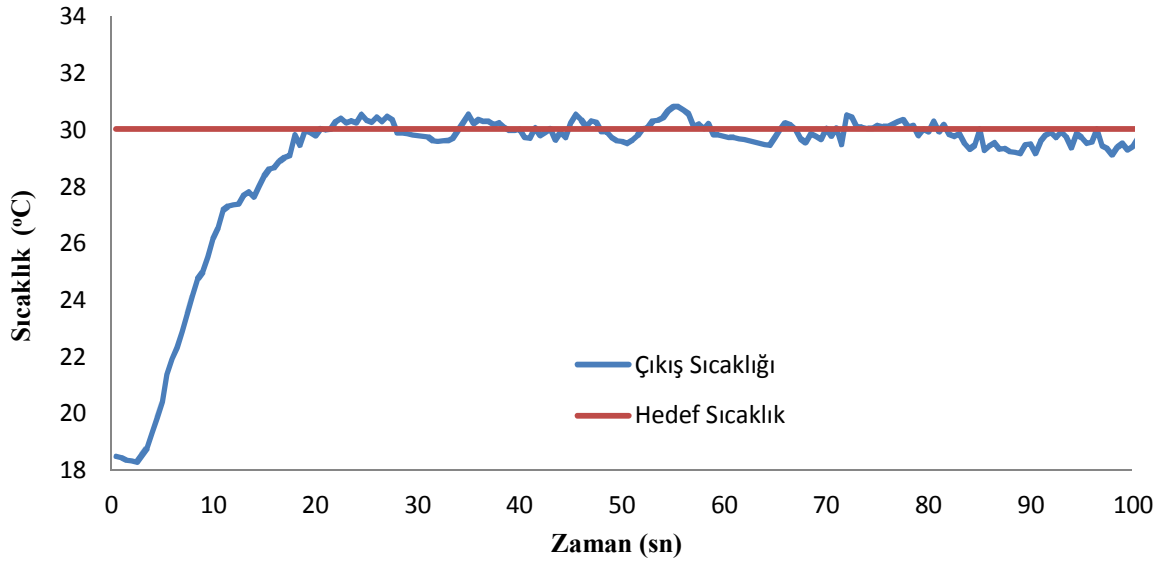
3. BULGULAR

LabVIEW ortamında oluşturulan VI çalıştırılmaya başlandığı andan itibaren belirlenen PID parametreleri ve hedeflenen sıcaklık değerine göre bilgisayar, pano üzerinden ısıtıcıya belli oranda güç vermekte, bu verilen güç oranı ile ısıtıcıya giren ve çıkan suyun sıcaklık değerleri VI'in ön paneli üzerindeki grafik ekranda 0,5 sn'lik aralıklarla görüntülenmektedir.

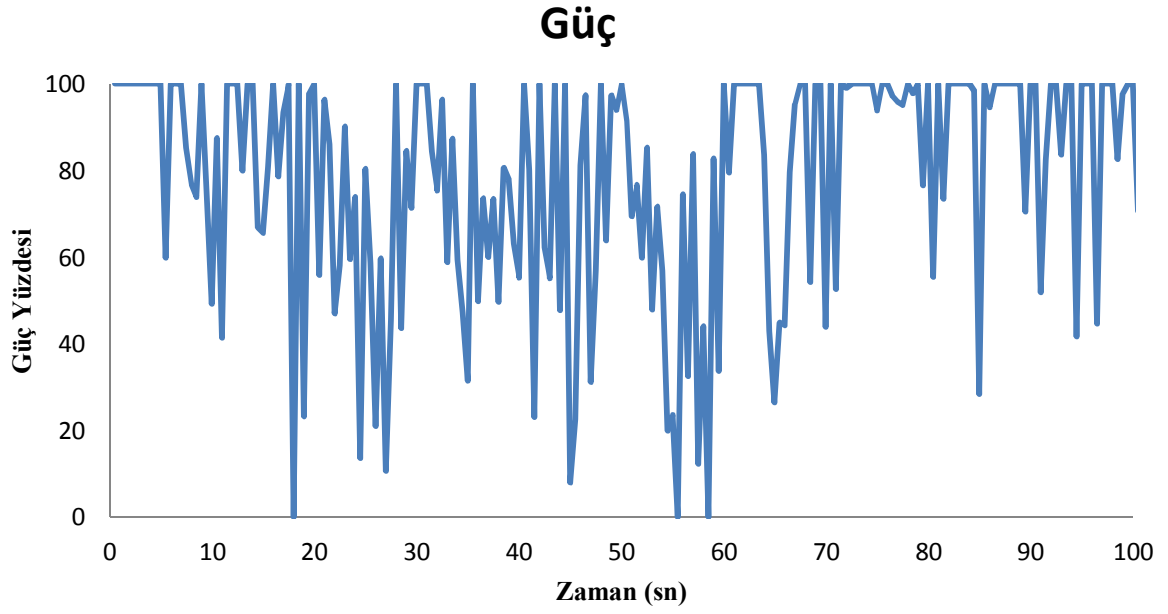
Hazırlanan sistemden elde edilen bulgular farklı PID değerlerine göre güç yüzdesi ve sıcaklık grafiklerinden elde edilmiştir. Sistem çalışması farklı PID kontrol parametre değerleri, farklı resistans güçleri ve farklı hedef sıcaklıklar denenerak test edilmiştir. Bu farklı değerleri hedef sıcaklığın yakalama süresi ve hedef sıcaklık etrafındaki dalgalanma oranları dikkate alınarak seçilmiştir. Hedef sıcaklık her üç rezistans çeşidi için (3000W, 4000W, 7000W) 30,35,40 olarak seçilmiştir.

3.1. 3000 Wattlık Rezistansla Yapılan Deneyler

3000 wattlık rezistansla bir çok deney yapılmış ve bunların içerisinde en iyi sonucu veren $P=32$, $I=0,04$, $D=0,06$ katsayılarıyla üç hedef sıcaklık (30°C , 35°C , 40°C) denemeleri teze eklenmiştir.

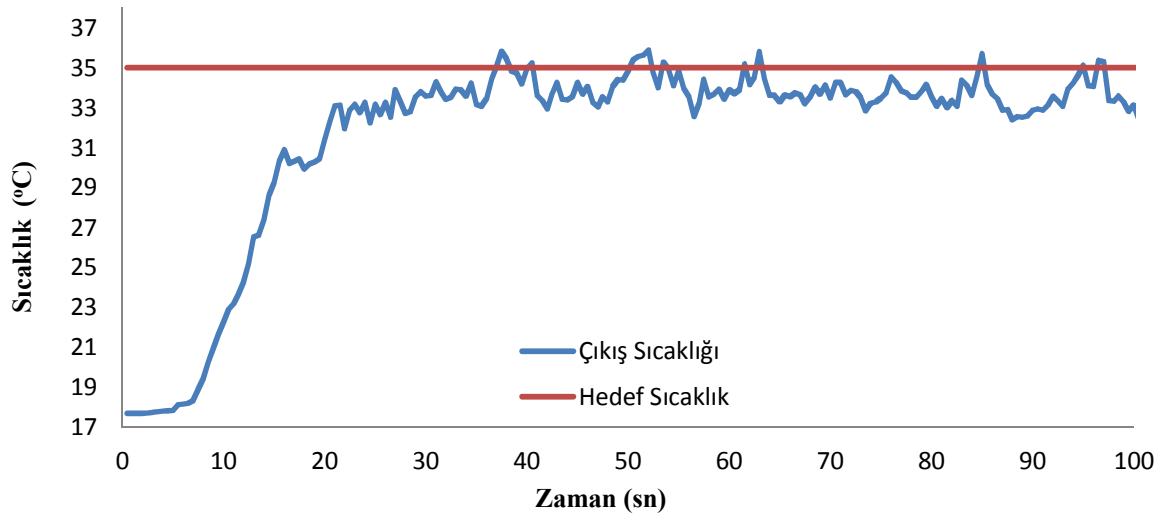


Şekil 3.1.a. $P=32$, $I=0,04$, $D=0,06$ parametreleri ve 30°C hedef sıcaklık için 3000 wattlık rezistans ile yapılan deney sonucu

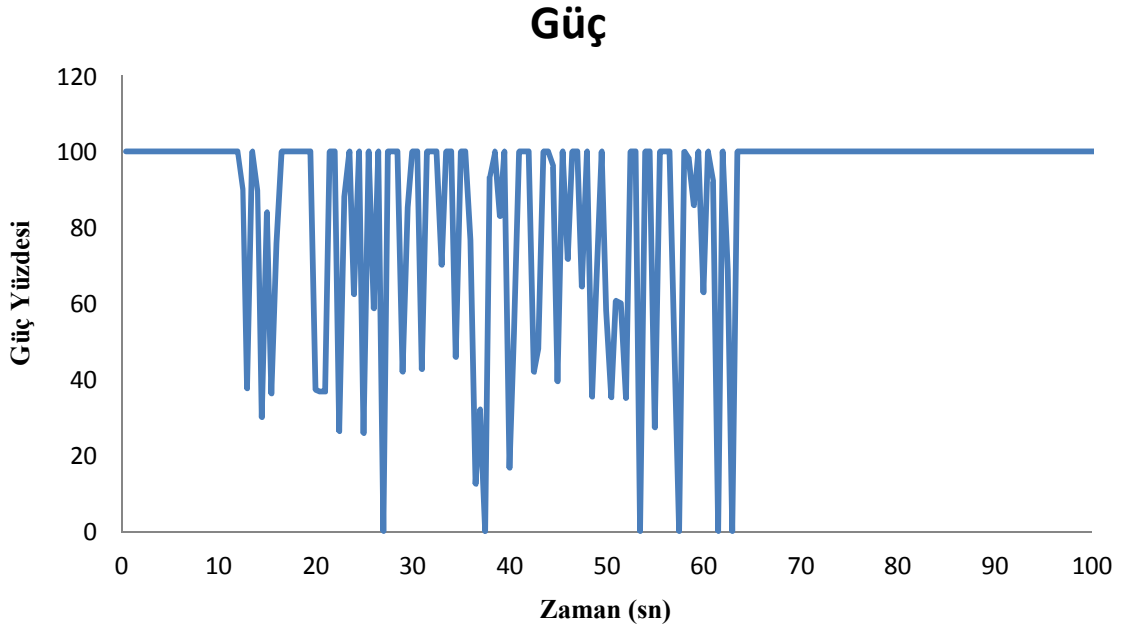


Şekil 3.1.b. $P=32$, $I=0,04$, $D=0,06$ parametreleri ve 30°C hedef sıcaklık için 3000 wattlık rezistans ile yapılan deneyde çıkış gücünün yüzdelerik grafiği

Şekil 3.1.a.'da grafiği görülen deneyde hedeflenen sıcaklık 18 sn yakalanıyor ve daha sonrasında kabul edilebilir olan 1°C lik hatalarla referans değere oturmuştur. Bu zaman diliminde çıkış gücü grafiğinde ise büyük salımlar görülmüştür. Çekilen çıkış gücüne bakıldığında 3000 wattlık rezistansın 30°C 'lik referans sıcaklığı yakalamakta zorlandığı gözükmemektedir.

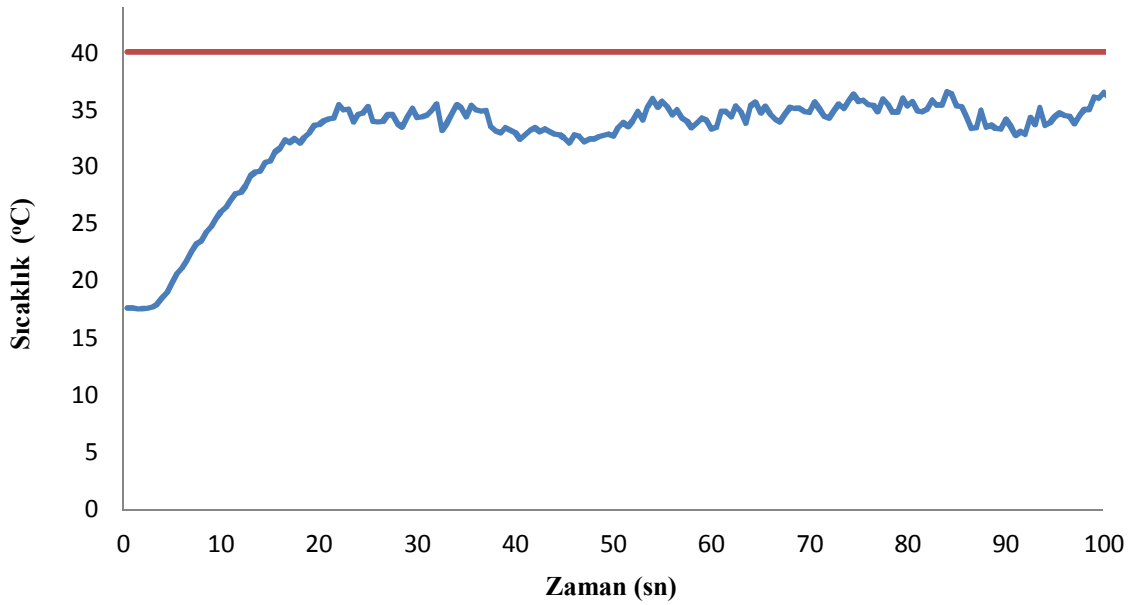


Şekil 3.2.a. $P=32$, $I=0,04$, $D=0,06$ parametreleri ve 35°C hedef sıcaklık için 3000 wattlık rezistans ile yapılan deney sonucu

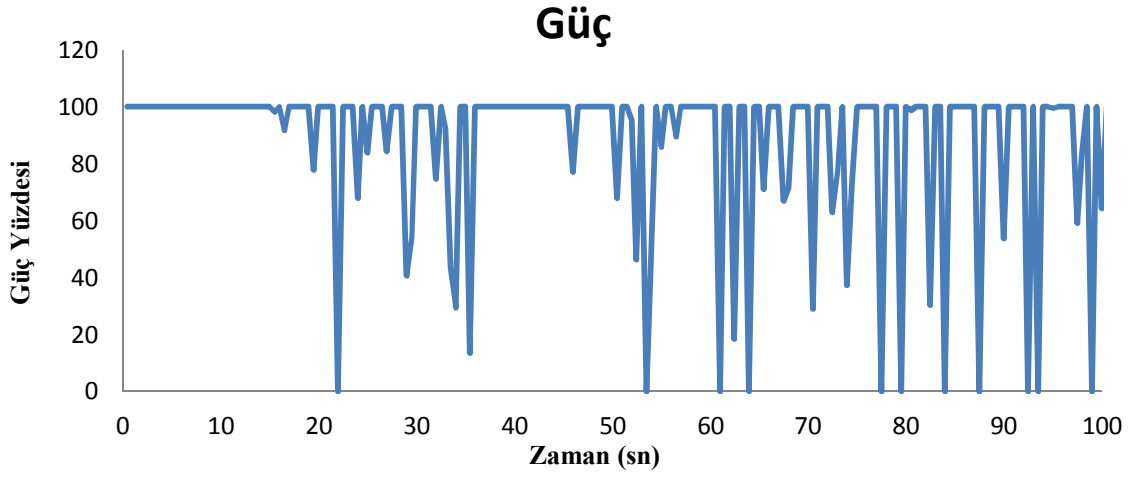


Şekil 3.2.b. $P=32$, $I=0,04$, $D=0,06$ parametreleri ve 35°C hedef sıcaklık için 3000 wattlık rezistans ile yapılan deneyde çıkış gücünün yüzdelerik grafiği

Şekil 3.2a'daki deneyde referans değere 30 saniyede varılıyor buna müteakip sıcaklık 2°C 'lik salınlar yapmaya devam ediyor. 3000 wattlık rezistansımız sıcaklığı referans değere çıkmakta yetersiz kalıyor.



Şekil 3.3.a. $P=32$, $I=0,04$, $D=0,06$ parametreleri ve 40°C hedef sıcaklık için 3000 wattlık rezistans ile yapılan deney sonucu

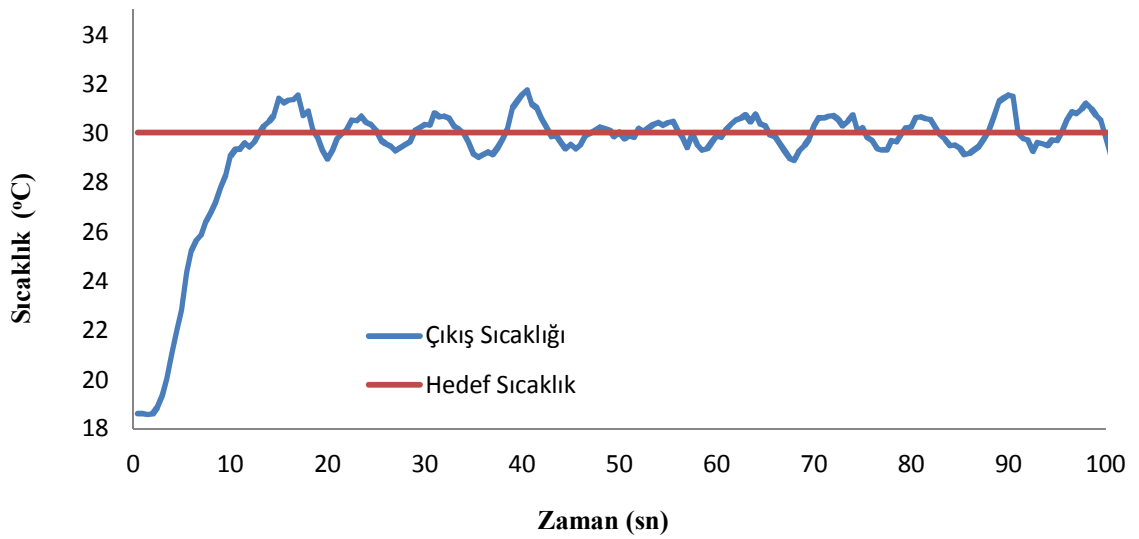


Şekil 3.3.b. $P=32$, $I=0,04$, $D=0,06$ parametreleri ve 40°C hedef sıcaklık için 3000 wattlık rezistans ile yapılan deneyde çıkış gücünün yüzdelerik grafiği

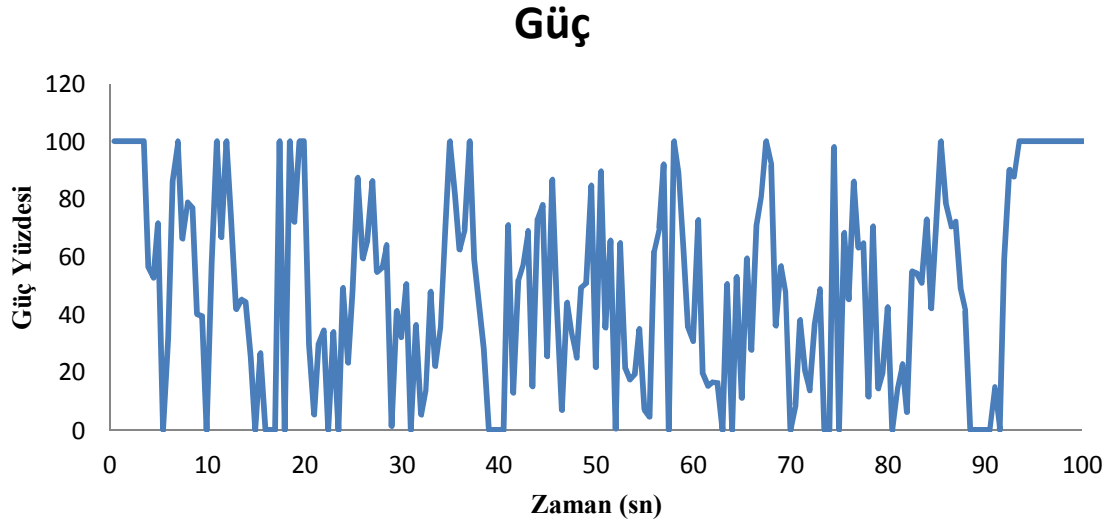
Şekil 3.3.a'daki deneyimizde ise 3000 wattlık rezistansımızın 40°C 'ye ulaşmakta yetersiz kalıyor.

3.1. 4000 Wattlık Rezistansla Yapılan Deneyler

4000 wattlık rezistansla bir çok deney yapılmış ve bunların içerisinde en iyi sonucu veren $P= 32$, $I=0,04$, $D=0,06$ katsayılarıyla üç hedef sıcaklık (30°C , 35°C , 40°C) denemeleri teze eklenmiştir.

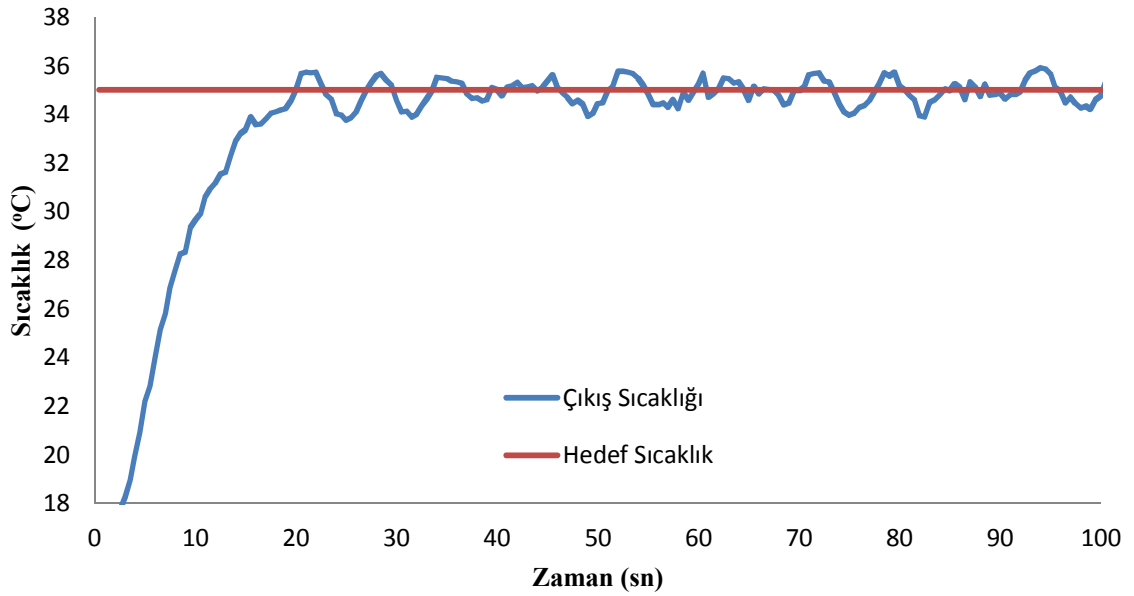


Şekil 3.4.a. $P=32$, $I=0,04$, $D=0,06$ parametreleri ve 30°C hedef sıcaklık için 4000 wattlık rezistans ile yapılan deney sonucu

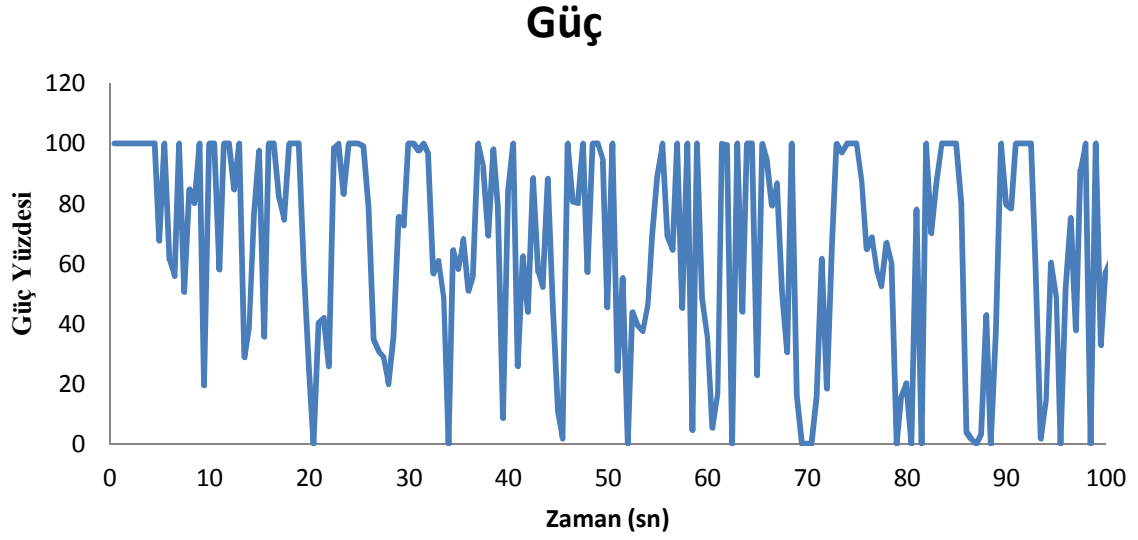


Şekil 3.4.b. $P=32$, $I=0,04$, $D=0,06$ parametreleri ve 30°C hedef sıcaklık için 4000 wattlık rezistans ile yapılan deneyde çıkış gücünün yüzdelerik grafiği

4000 wattlık rezistansımızla yaptığımız Şekil 3.4.a'daki deneyde referans değeri 10 sn gibi kısa bir sürede yakalanıyor. Referans değer yakalandıktan sonra gerçekleşen salınımlarda genellikle 1°C 'lik tolerans değerinin aşılmadığı görülüyor. Ayrıca ortalama güç tüketiminin de çok yüksek olmadığı dikkat çekici.

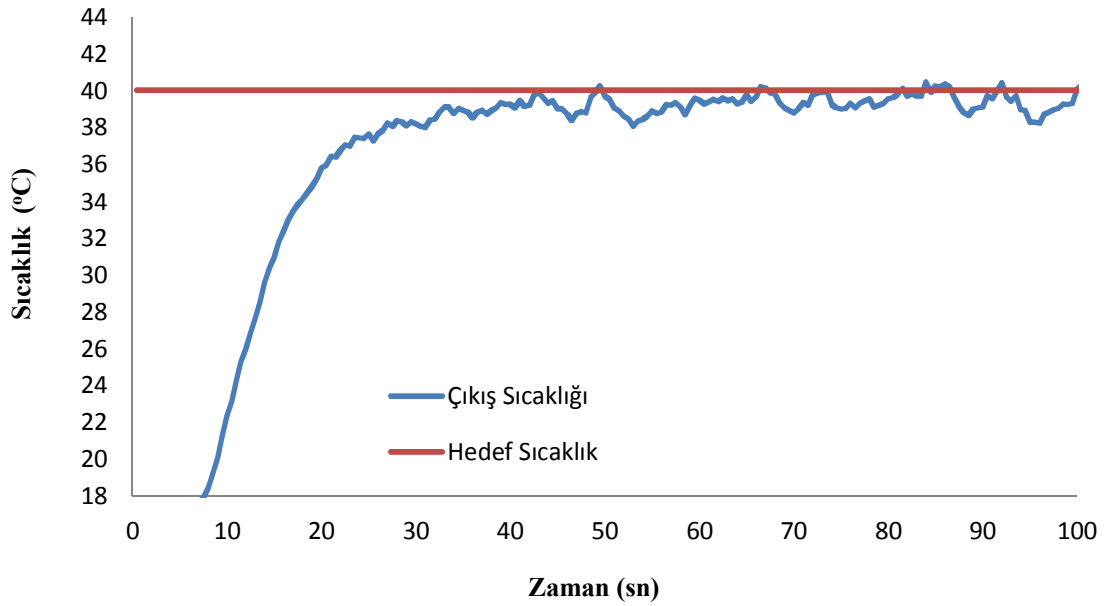


Şekil 3.5.a. $P=32$, $I=0,04$, $D=0,06$ parametreleri ve 35°C hedef sıcaklık için 4000 wattlık rezistans ile yapılan deney sonucu

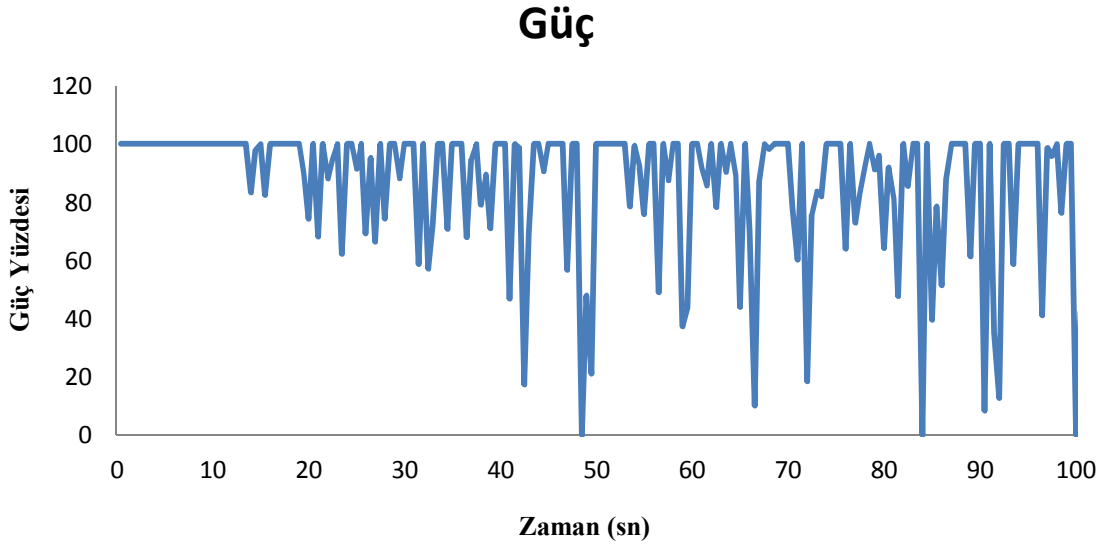


Şekil 3.5.b. $P=32$, $I=0,04$, $D=0,06$ parametreleri ve 35°C hedef sıcaklık için 4000 wattlık rezistans ile yapılan deneyde çıkış gücünün yüzdelerik grafiği

Şekil 3.5.a'daki deneyimizde 1°C 'lik tolerans değeri bandına 17. saniyede girerek tolerans bandından çıkmıyor. Ortalama güç tüketiminin de % 50'nin biraz üzerinde seyrettiği gözleniyor.



Şekil 3.6.a. $P=32$, $I=0,04$, $D=0,06$ parametreleri ve 40°C hedef sıcaklık için 4000 wattlık rezistans ile yapılan deney sonucu

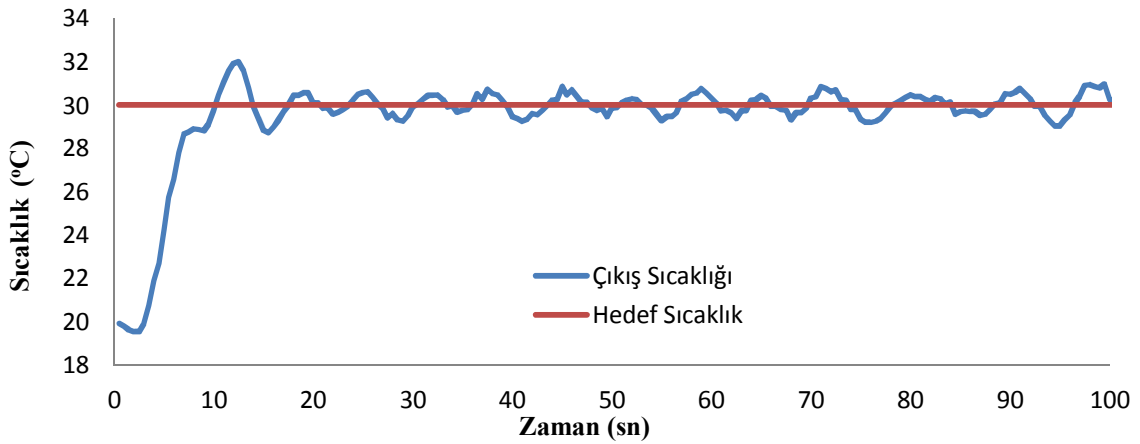


Şekil 3.6.b. $P=32$, $I=0,04$, $D=0,06$ parametreleri ve 40°C hedef sıcaklık için 4000 wattlık rezistans ile yapılan deneyde çıkış gücünün yüzdelerik grafiği

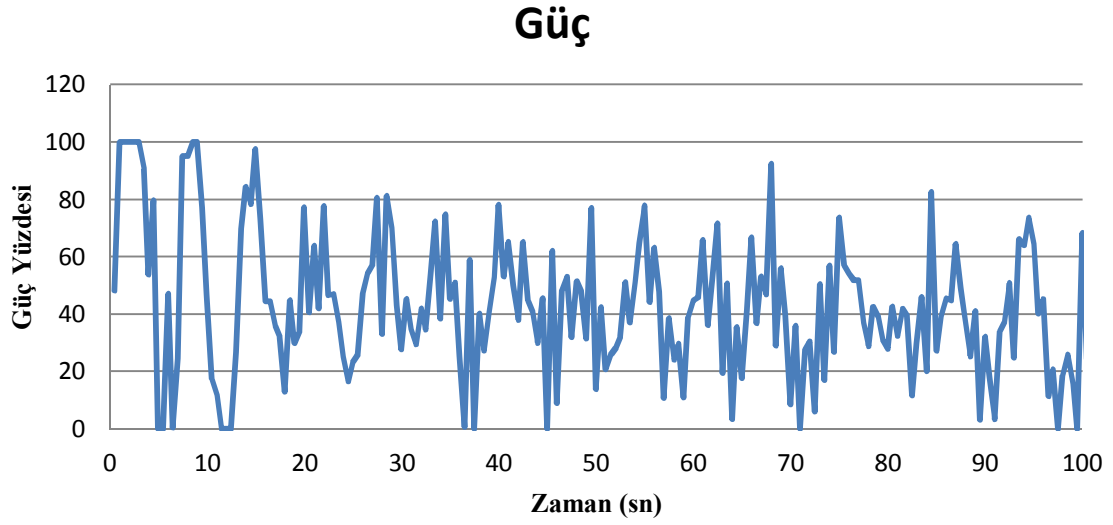
Hedeflenen sıcaklık değerimizin 40°C olan Şekil 3.6.a'daki deneyimizde ise referans değeri 37. saniyede yakalıyor. 40°C denemesinde 3000 wattlık rezistansa oranla 4000 wattlık rezistansdaha iyi performans göstermektedir.

3.1. 7000 Wattlık Rezistansla Yapılan Deneyler

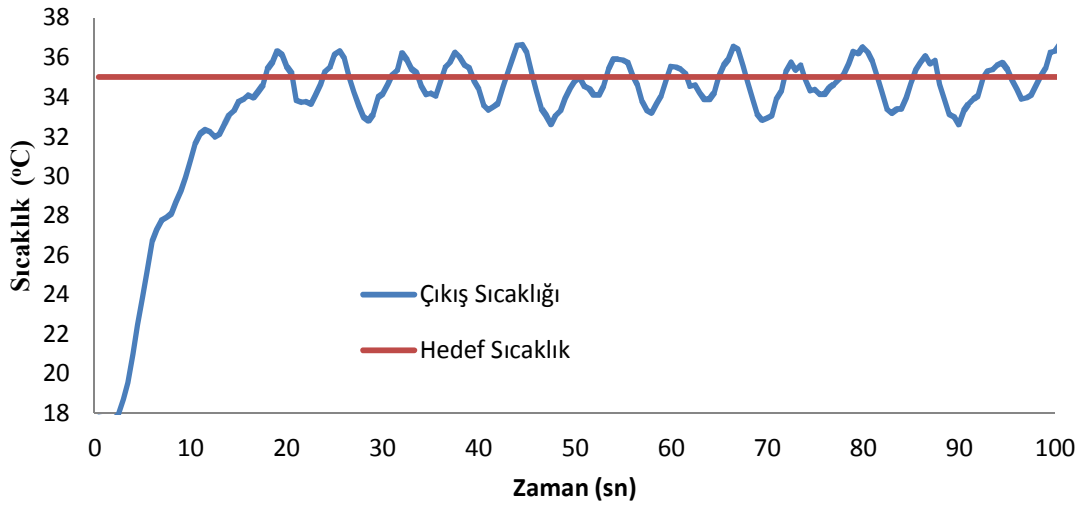
İki rezistansımızın (3000W ve 4000W) aynı anda kullanıldığı 7000 wattlık ısıtıcımız daha güçlü olduğu için parametremizdeki P değerini düşürüyoruz ve $P=20$, $I=0,04$, $D=0,06$ Parametreleri kullanılmıştır.



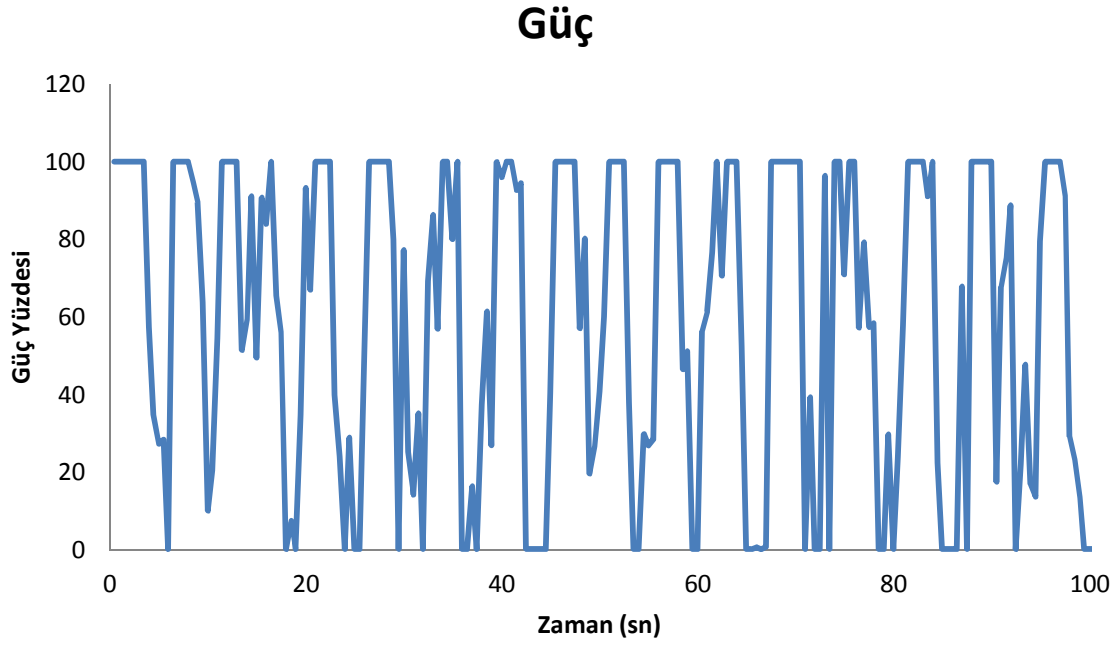
Şekil 3.7.a. $P=20$, $I=0,04$, $D=0,06$ parametreleri ve 30°C hedef sıcaklık için 7000 wattlık rezistans ile yapılan deney sonucu



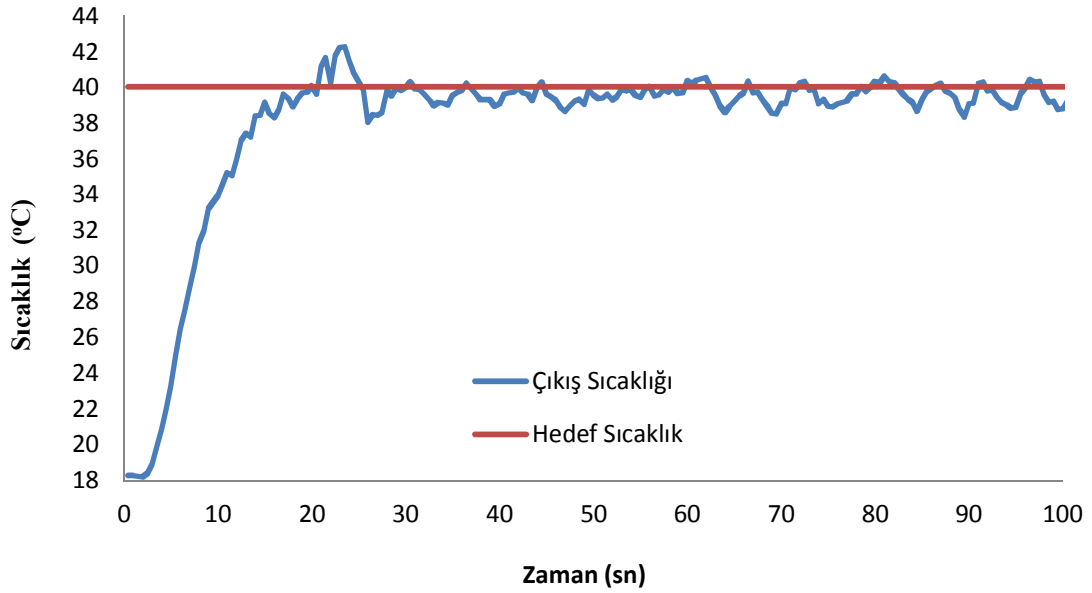
Şekil 3.7.b. $P=20$, $I=0,04$, $D=0,06$ parametreleri ve 30°C hedef sıcaklık için 7000 wattlık rezistans ile yapılan deneyde çıkış gücünün yüzdelerik grafiği



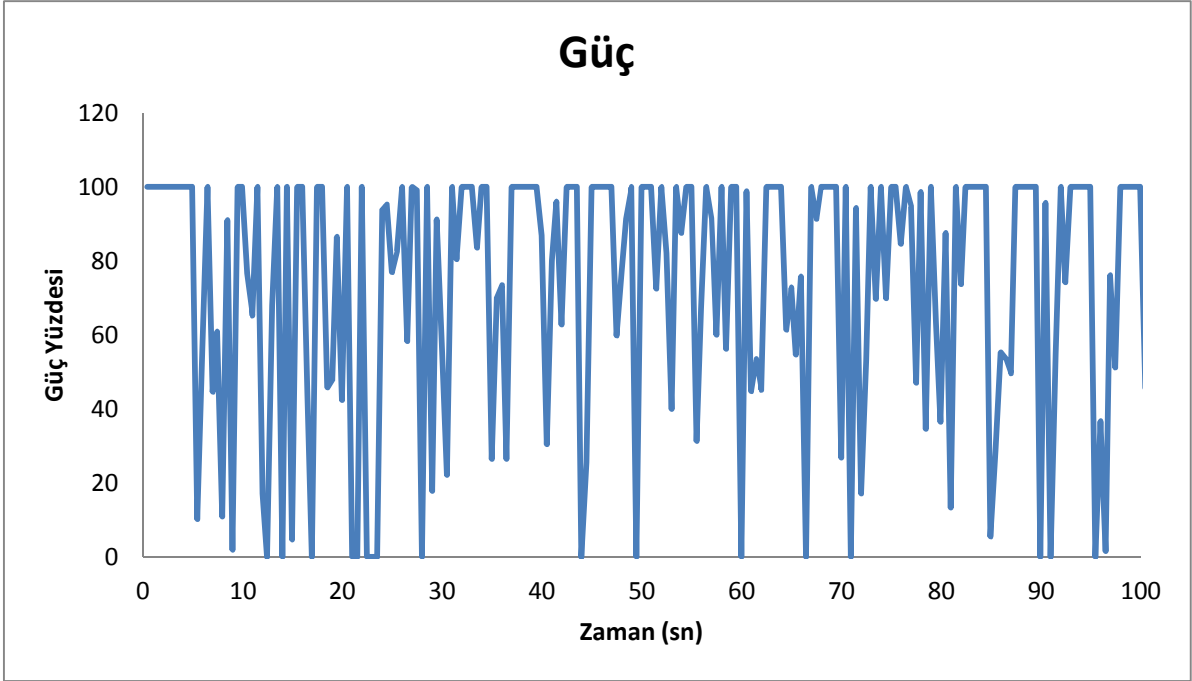
Şekil 3.8.a. $P=20$, $I=0,04$, $D=0,06$ parametreleri ve 35°C hedef sıcaklık için 7000 wattlık rezistans ile yapılan deney sonucu



Şekil 3.8.b. $P=20$, $I=0,04$, $D=0,06$ parametreleri ve 35°C hedef sıcaklık için 7000 wattlık rezistans ile yapılan deneyde çıkış gücünün yüzdelerik grafiği



Şekil 3.9.a. $P=20$, $I=0,04$, $D=0,06$ parametreleri ve 40°C hedef sıcaklık için 7000 wattlık rezistans ile yapılan deney sonucu



Şekil 3.9.b. $P=20$, $I=0,04$, $D=0,06$ parametreleri ve 40°C hedef sıcaklık için 7000 wattlık rezistans ile yapılan deneyde çıkış gücünün yüzdeleri grafiği

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

LabVIEW ortamında hazırlanan VI üzerinden kontrol edilen sistem sağladığı orantılı güç ile ani su ısıtıcının çıkışından sabit sıcaklıkta suyun çıkışını sağlamaktadır. LabVIEW ortamında hazırlanan VI' in ani su ısıtıcıya sağladığı bu orantılı güç kontrolünü PID yöntemi ile sağlamıştır. VI üzerinde bulunana bu üç parametrenin katsayıları sistemi farklı şekillerde etkilediği ve birbirlerinden bağımsız olmadığı ayrı ayrı anlam yüklenemeyeceği görülmektedir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar doğrultusunda katsayıların genel yapıları hakkında şu yargılara varılmaktadır;

- P katsayısı (Gain) ; Hedef ile oluşan değer arasındaki farkın hangi oranda çıkışa yansıtılacağı katsayıdır.
- I katsayısı (Integral Time) ; Hedefe ulaşma süresi ile ilişkilidir. Ancak hızlı hedefe ulaşmaya çalışmak da hedef değer üzerinde dalgalanmaya neden olur.
- D katsayısı (Derivative Time) ; Hedefe ulaşırken değişime karşılık gelen sıcaklık değerinin eğimine karşılık tepki ile ilgili katsayıdır.

LabVIEW ortamında yapıla gelmiş çalışmalardan konumuz ile alakalı çalışmalar mevcuttur. Özellikle iklimlendirme üzerine yapıla gelmiş olan çalışmalar yüksek lisans tezi ile benzerlikler göstermektedir. Benzer çalışmalara örnek olarak N. Tuğrul ARTUĞ' un hazırladığı “LabVIEW ile Mikrodenetleyicili Bir Endüstriyel Otomatik Sıcaklık Kontrol Sistemi” isimli yüksek lisans tezi verilebilir. Bu tez çalışmasında LabVIEW kontrolünde bir mikrodenetleyici üzerinde dışarıdaki sıcaklığa göre dış ortama açılan bir kontak ucu ile tepki veren bir sistem ele alınmıştır. Çalışmamızdaki pano ünitesi, bu ünite üzerindeki kontrol elemanları ve bu elemanların kontrolünde ele alınan yol bu çalışmanın devamı niteliğindedir. Ayrıca VI üzerindeki grafik düzenlemeleri ile sistem tasarımı oldukça zenginleştirilmiştir.

5. ÖNERİLER

Hazırlanan VI üzerinden girilen PID parametrelerinin kontrolünde sistemin hedeflenen sıcaklığı yakalama süresi ve hedef sıcaklığa eriştikten sonraki kararlılığı üzerinde farklı etkileri vardır. Ani su ısıtıcı bir sistemden en beklenen çalışma şekli en kısa sürede hedef sıcaklığa ulaşabilmesi ve kararlılığın yüksek olmasıdır. PID parametreleri işletilirken belirlenen hedef sıcaklığa erişme zamanı ile hedef sıcaklığa eriştikten sonraki dalgalanma arasında ters bir ilişki olduğu sonucu göze çarpmaktadır.

KAYNAKLAR

- Abbasoğlu, H. İ. ve Pastacı H.**,1996.Dijital Ölçmeler, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Akay, R.**, 2006. Memetik Algoritma Kullanarak PID Denetleyici Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Artuğ, N. T.**, 2010. LabVIEW ile mikrodenetleyicili bir endüstriyel otomatik sıcaklık kontrol sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aström, K. J. ve Hagglund, T.**, 1995. PID Controllers, International Society for Measurement and Control, 343 pages.
- Baba, A. F.**,1989. Bilgisayar Destekli PID Kontrol, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı, İstanbul.
- Bağış, A.**, 2008. Otomatik Kontrol - PID Kontrol, Ders Notu, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Berber, E.**, 2008, Mikrodenetleyicili Endüstriyel Otomatik Sıcaklık Ölçüm Ve Kontrol Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Brown, T.**, Analysis and Desing of Feedback Control System, McGraw-Hill, International Student Edition.
- Boz, A. F.**, 2012. Otomatik Kontrol Sistemleri,
<http://web.sakarya.edu.tr/~afboz/control/bolum1.html>, 2 Haziran 2012.
- Carstens, J. R.**, 1989. Automatic Control Systemsand Components, PrenticeHall, Englewoodcliffs, 34-42.
- Carstens, J. R.**, 1993. ElectricalSensorsandTransducers, PrenticeHall, Englewoodcliffs, 34-42.
- Çelikel, H. K.**, 2006. Taşıt Süspansiyon Sistemlerinin Bulanık Mantık Ayarlı PID Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

- Chen, C.L., Chen, P. C. ve Chen, C.K.**, 1993. Analysis and Desing of Fuzzy Control Systems, Fuzzy Sets and Systems, 57, 125-140.
- Çolakoğlu, İ.**, 2007. Süreç Kontrol, Ders Notları, Mersin Üniversitesi, Mersin.
- D’Azzo, J. J., Houpis C. H. ve Sheldon, S. N.**, 1988. Linear Control System Analysis and Desing: Conventional and Modern (fifty edition), McGraw-Hill, U.S.A.
- Dinibütün, A.T.**, 1980. Otomatik Kontrol, İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Fakültesi Ofset Atölyesi, İstanbul.
- Dorf, R.C. ve Bishop, R.H.**, 2010. Modern Control Systems, Prentice Hall, 12 edition 1104 pages.
- Doyle, J., Francis, B. ve Tannenbaum A.**, 1990. Feedback Control Theory, Macmillan Publishing Co.
- Dumanay, A. B.**, 2009. PID, Bulanık Mantık ve Kayan Kip Kontrol Yöntemleri ile İnternet Üzerinden DC Motor Hız Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Esim, E.**, 2010. Süspansiyon Sistemlerinin PID ile Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.
- Jacob, J.M.**, 1988. Industrialcontrolelectronics, PrenticeHall, Englewoodcliffs 60–300.
- Johnson, A. M. ve Moradi M. H.**, 2005. New Identification and Design Methods, Springer Verlag.
- Kangal, H.**, 2008. Fotovoltatik Sistem Analizi ve LabVIEW Tabanlı MPPT Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kaynak, O. ve Cerid, Ö.**, 1985. Mikroişlemcilerle Denetim, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul.
- Kuo, B. C.**, 1995. Automatic Control Systems (seventh ed.), Prentice Hall.
- Kuo, B. C.**, 2002. Otomatik Kontrol Sistemleri, Çevirmen Prof. Dr. Atilla Bir, Literatür Yayınları

- Küçük, S.**, 2011. Mikrodenetleyiciler, Ders Notu, Kocaeli Üniversitesi Teknik eğitim Fakültesi, Kocaeli.
- Madea, M. ve Murakami S.**, 1992. Fuzzy Gain Scheduling of PID Controllers, Fuzzy Sets and System, 51,29-40.
- MEGEP**, 2007. “Sensörler ve Transdüserler”. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, MEGEP (Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi), Ankara.
- Mohan, B. M. ve Patel A. V.**, 2002. Analytical Structures and Analysis of the Simplest Fuzzy PD Controllers, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part B, 32 (2), 239-248.
- Muzoğlu N.**, 2005. Genetic Algorithm + Data Structures = Evolution Programs, Springer-Verlag.
- National Instruments Corp.** (2000), Getting Started with LabVIEW, July 2000, Part Number 321527D-01, Teksas, ABD.
- NationalSemiconductorCorp.** (2000), LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors Datasheet, www.national.com.
- Nau, M.**, 2002.
ElectricalTemperatureMeasurementwiththermocouplesandResistanceTermometers, M. K. Juchheim, Fulda, p. 7 – 62.
- Nise, N.S.**, 2010. Control Systems Engineering, Wiley 6 edition 926 pages.
- Ogata, K.**, 1990. Modern Control Engineering (second ed.), Prentice-Hall, Inc., USA.
- Ogata, K.**, 1994. Designing Linear Control Systems With Matlab, Prentice Hall.
- Ömeroğlu, S.S.**, 2012. PAC: Yeni nesil PLC,
<http://www.google.com.tr/search?q=LabVIEW+donan%C4%B1m%C4%B1&ie=utf-8&oe=utf-8&aq=t&rls=org.mozilla:tr:official&client=firefox-a>, 14 Haziran2012.
- Peng, X. T., Liu, S. M., Yamakawa, T., Wang, P. ve Liu, X.**, 1988. Self Regulating PID Controllers and Their Applications to a Temperature Controlling Process, Fuzzy Computing; Theory, Elsevier, 355-364, Amsterdam.

Tunçalp, K. ve Güner, Y., 2004, LabVIEW Bilgisayar Programının Uzaktan Eğitimi, IV. Uluslararası Eğitim Teknolojileri Sempozyumu, Kasım 2004, Sakarya.

URL-1, 2011. Sıcaklık Sensörleri ,
http://www.robotiksystem.com/sensor_cesitleri_sicaklik_sensorleri.html, 11 Mayıs 2011.

URL-2, 2011. Electronic Thermometers, <http://hbd.org/mtippin/thermometer.html>, 2 Haziran 2011

URL-3, 2012. www.ni.com, 28 Nisan 2012.

URL-4, 2012. Learn NI LabVIEW Basics,
<http://www.ni.com/gettingstarted/LabVIEWbasics/>, 20 Mart 2012.

URL-5, 2011. 7 Segmentli Dijital Saat, <http://www.mcu-turkey.com/?p=11360>, 5 Haziran 2011.

URL-6, 2011. Pirometrenin Çalışma Prensipleri,
<http://elektroteknoloji.com/blog/pirometrenin-calisma-prensipleri/>, 20 Mayıs 2011.

URL-7, 2011.Measurement& Control Products , <http://www.omega.com>, 10 Mayıs 2011

URL-8, 2012. LabVIEW, <http://tr.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>, 4 Mayıs 2012.

URL-9, 2012. Algılayıcı ve Transdüserler, <http://www.uslanmam.com/makina-amp-otomotiv/706317-sensor-ve-transduser.html>, 14 Mayıs 2012.

URL-10, 2012. LabVIEW Temel Yazılım Eğitimi,
<http://e3tamnew.e3tam.com/frmProductsDetails.aspx?Id=323>, 8 Haziran 2012.

Uyanık, H., Demirel, H. ve Tunç, E., 2003. LabVIEW ile Simülasyon ve Eğitim Amaçlı Kullanılması, Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü, İstanbul.

Uytun, E., 2006. Genel Amaçlı Veri Alışveriş Kartı Tasarımı ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Sağlam, G., 2007. Hiyerarşik Bulanık Mantık PID Kontrolörleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

- Sarioğlu, M.K.**, 1985. Otomatik Kontrol I-II, İTÜ Baskı Atölyesi, 2-12,199, İstanbul.
- Savaşçihabeş, A.**, 2008. Yapay Zeka Yöntemleri Kullanılarak PID Denetleyici Parametrelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.
- Thaler, G. J. ve Brown, R. G.**, 1960. Analysis and Desing of Feedback Control Systems: formerly, Servomechanism analysis, Michigan Üniversitesi, McGraw-Hill Electrical and Electronic Engineering series.
- Wilson, J. S.**, 2005. Sensor Technology Handbook, Elsevier Inc, UK, p. 531-561.
- Yağsan, O.**, 2006. Bir Operatörsüz Vinç İçin PID ve Genetik Algoritma Temelli Minimum Salımlı Konum Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Yersel, M. A.**, 2007. PID Yönteminin PLC'de Yazılarak Gerçeklenmesi: Çift Cidarlı Reaktör Tank Sıcaklık Kontrolü Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Yıkan, F.**, 2005. Dayanıklı PID Kontrolör Tasarım Metotlarının Araştırılması ve Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı, Malatya.
- Yılmaz, İ.**, 2008. PID Kontrolör ile Servopnömatik Konum Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Yüklü, N.**,2006, PIC Mikrodenetleyici ile Kapalı Ortamda Sıcaklık ve Nem Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği ABD., Malatya.

ÖZGEÇMİŞ

Serkan ERKAN, 1980 yılında Elazığ'da doğdu. Lise öğrenimini Elazığ Gazi Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümünde tamamlamıştır. Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü Eletronik Öğretmenliği Programını 2007'de tamamladıktan sonra Keban Çok Programlı Lisesi'nde ve Elazığ Doğukent İlköğretim Okulu'nda ücretli öğretmenlik yapmıştır. 2008 yılında vatani görevini Kars'ta tamamlamıştır. 2010 yılında Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. Yüksek lisansına devam derken TÜBİTAK tarafından desteklenen TOGAV-108-O-773 numaralı "Toprak Parçacık Büyüklüğü Tayininde Hidrometre Yöntemine Alternatif Sürekli Ölçüm Yapabilen Bir Tekniğin Geliştirilmesi" başlıklı projede bilgisayar kontrol uzmanı olarak görev almıştır.