

## GİRİŞ

Kontrol işlemlerine günlük hayatın hemen her anında rastlanır. Bilinçli ya da bilinçsiz olarak kontrol işlemleri uygular, kontrol işlemleri içinde davranırız. Kontrol işlemlerinin birçoğu **otomatik** olarak insan girişimi olmadan gerçekleştirilir. Örneğin merdiven otomatığı, ilgili alanlardaki aydınlatma sisteminin çalışmasını ve belli bir süre sonra kendi kendine kapanmasını sağlar. Termosifon, şofben ya da fırın sıcaklığının belirli bir değer etrafında tutulması, su basıncının hidrofor sistemleri yardımıyla ayarlanması ve yine depo seviyelerinin şamandıralı açma-kapama vanaları ile kontrolü günlük hayatta her zaman çevremizde görebileceğimiz benzer uygulamalardır.

İnsan bedeninde ise fazla miktarda, daha karmaşık ve oldukça hassas kontrol işlemleri gerçekleşmektedir. Fizyolojik kontrol olarak ta adlandırılabilir bu işlemlerden ilk akla gelenleri belirtmek gerekirse :

Kandaki şeker konsantrasyonunun sağlıklı insanlarda her zaman sabit belli bir değerde tutulması ( ki bu sistemin bozulması diyabet olarak adlandırılmaktadır). Vücut sıcaklığı çevre sıcaklığının artması durumunda terleme ( sıvı buharlaşmasının soğutma etkisiyle ) yoluyla, çevre sıcaklığı azaldığı zaman ise kıl dibi kaslarının kasılması (ürperme) daha da ötede kasların titremesi vasıtasıyla vücutta üretilen ısı ile çevre sıcaklığının değişmelerine karşı kontrol edilir. Göze giren ışık şiddetinin göz bebeğinin (pupilla) açılıp kapanması ile ayarlanır. Acı duyulduğu zaman geri çekilme refleksi, göz kas koordinasyonu (yazı yazma ), uyuma ve uyanık kalma süreleri (biyolojik saat), hareket miktarı ile kalp atışlarının doğru orantılı olması, insan vücudunda örnek verilebilecek başlıca fizyolojik kontrol örnekleridir.

Toplumsal yaşamı doğrudan etkileyen konularda da kontrol uygulamalarına rastlanır:

Fiyat artışları (enflasyon), pazardaki talebin azaltılması veya paranın değerinin artırılması ile kontrol edilebilir. Para değerini artırmak için piyasadaki para miktarı ve kontrol edilebilen harcamalar azaltılabilir. Talebi azaltmak için ise kişilerin harcama güçleri kısıllanabilir (sıkı para politikası). Bir diğer örnek; bir bölgenin ekonomik gelişmesinin kontrolü için verilebilir. Ekonomik gelişmeyi hızlandırmak için, o bölgeye yatırım ve nitelikli insan gücü akışını sağlamak gerekir. Bu da, özendirici (teşvik, prim, yan ödenek gibi) ya da zorlayıcı (rotasyon, mecburi hizmet gibi) önlemlerle sağlanabilir.

Kontrol işlemlerinin yukarıdaki örneklerdeki benzer yanlarından faydalanarak **kontrol** ve **otomatik kontrol** kavramları için şu genel tanımlamalar yapılabilir:

**Kontrol** : İncelenen davranışların belirli istenen değerler etrafında tutulması veya istenen değişimleri göstermesi için yapılanlar, genel anlamda kontrol işlemini tanımlarlar.

**Otomatik Kontrol** : Kontrol işlemlerinin, kontrol edilmek istenen olay etrafında kurulmuş bir karar mekanizması tarafından, doğrudan insan girişimi olmaksızın gerçekleştirilebilmesidir.

Kontrol işlemlerinin belirlenmesi ve otomatik kontrol mekanizmalarının kurulması, öncelikle bu işlemleri gerektiren amaçların ve istenen davranışların kesin biçimde tanımlanmasını, buna bağlı olarak ta, olayların oluştuğu ortamın, olayların **sebep-sonuç** ilişkilerinin ve **davranış özelliklerinin** incelenmesini gerektirir.

Otomatik kontrol, özellikle mühendislik sistemlerinde giderek daha çok önem kazanmaktadır. Bunun nedenleri şöyle sıralanabilir :

1 Otomatik kontrol, insanları monoton tekrarlı işlerden kurtararak zeka ve düşünebilme yeteneklerini daha iyi kullanabilecekleri işlere yönelmelerini sağlar. 2 Otomatik kontrol, insanın fizyolojik yeteneklerini aşan( çok hızlı, çok hassas, yüksek kuvvetler gerektiren ve tehlikeli gibi ) uygulamalarda insanın hakimiyetini kolaylaştırır. 3 Otomatik kontrolün mühendislik sistemlerinde kullanılması, gerek teorik tasarım gerekse gerçekleştirme ve uygulama bakımından daha sade, daha esnek, kolayca ayarlanabilen ve yüksek verimli çözümlere imkan vermektedir. 4 Bilgisayarların mühendislik uygulamalarında yaygın biçimde kullanılması, kontrol yöntemlerinin daha etkin olarak uygulanmasına yolaçmıştır.

Günümüzde en basit uygulama alanlarından en karmaşık endüstriyel tesis uygulamalarına kadar her yerde yaygın olarak kullanılan otomatik kontrol sistemleri; temelde tüm fiziksel ve kimyasal değişkenlerin insan gücüne bağlı olmaksızın denetlenmesi ve kontrol altında tutulması amacıyla hizmet eder .

Domestik veya Endüstriyel ortamda gerçekleştirilmiş bir otomatik kontrol sisteminden;

- Sistemin güvenliği ve kararlılığını sağlaması
- Kolay anlaşılır, tamir edilebilir ve değiştirilebilir olması
- Sistemin performansını istenen düzeye çıkarması

-Yatırım ve işletme maliyeti açısından ucuz olması istenir.

Sistem elemanlarının seçimi ve ayarı bu ilkeler doğrultusunda yapılır . Yukarıda da belirtildiği gibi bu koşulların gerçekleştirilmesi için kontrol edilecek sistemin yapısının ve dinamik özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekir .

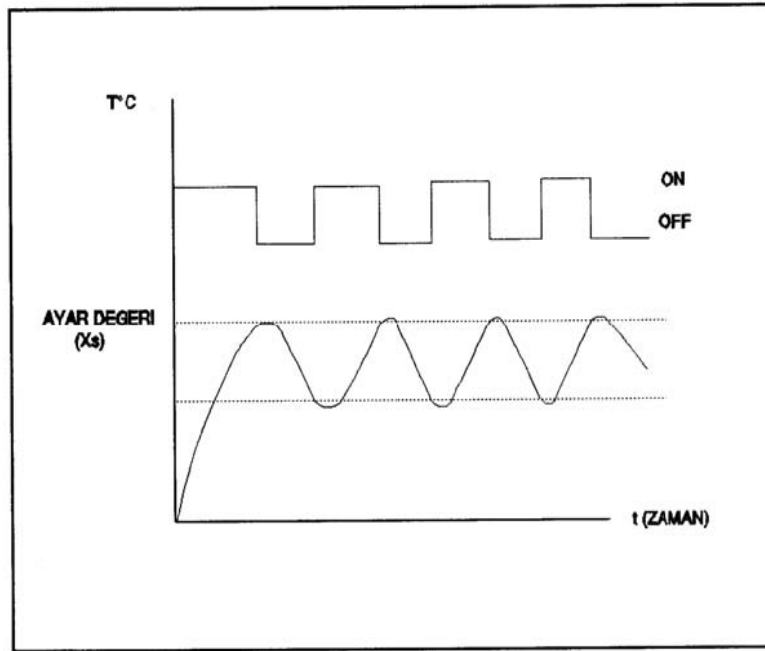
## 1.1.0 OTOMATİK KONTROL TÜRLERİ

Otomatik kontrol döngüsünde kontrol edici blok (karşılaştırma ve kontrol elemanı) yerine yerleştirilecek herhangi bir kontrol cihazı, kontrol noktası (ayar değeri) etrafında çalışılması gereken hassasiyette sistemi kontrol etmelidir . Prosesin gerektirdiği hassasiyette çalışacak, hatayı gereken oranda minimuma indirecek çeşitli kontrol türleri mevcuttur .

### 1.1.1 İKİ KONUMLU KONTROL (ON-OFF)

İki konumlu kontrol türünde; son kontrol elemanı bir konumdan değerine geçiş anı dışında ya tam açık veya tam kapalı konumdadır . Kontrol edilen değişken, kontrol noktasına geldiğinde son kontrol elemanı belirlenmiş bir konuma (tam açık veya tam kapalı) gelir ve kontrol edilen değişken değişmediği sürece bu konumda kalır . Kontrol edilen değişken, kontrol noktasından belirli bir düzeyde uzaklaşınca son kontrol elemanı ikinci konumunu alır . Son kontrol elemanının hareketsiz kaldığı bu iki nokta arasındaki değere **fark aralığı** denir . Kontrol edilen değişken, fark aralığının iki sınır değerinden birine erişmediği sürece son kontrol elemanı hareket ettirilmez.

İki konumlu kontrol cihazı ile kontrol edilen bir sistemin kontrol edilen değişken - zaman eğrisi aşağıda verilmiştir .



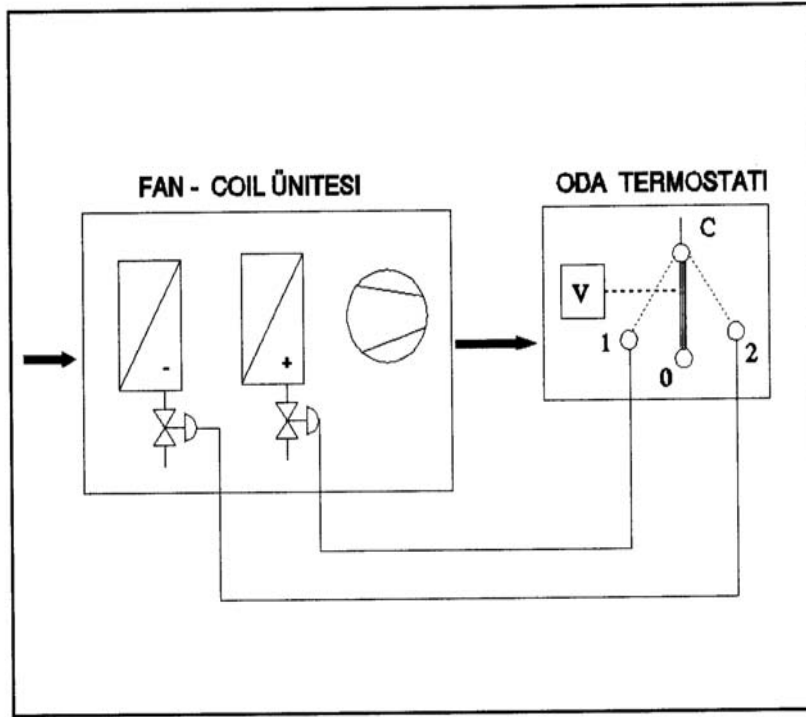
Bu kontrol çeşidini bir örnek ile açıklarsak; bir mahalde 20 °C sıcaklık kontrolü yapan bir oda termostatu (iki konumlu) ile mahalin ısınmasını sağlayan ısıtma apareyi arasındaki ilişkiyi ele alalım. Oda termostatının fark aralığını  $\Delta t=2^{\circ}\text{C}$  ve ayar değerinin ( $X_s$ ) altında yer aldığını kabul edelim. Ayrıca oda termostatının normalde kapalı (NC) bir anahtara (kontakt) sahip olduğunu ve ısıtma apareyinin elektrik enerjisi ile çalıştığını düşünelim. Oda sıcaklığı 20°C'ye gelinceye kadar ısıtma apareyi açık (yani ısıtma yapma çalışması) konumdadır. Oda sıcaklığı 20°C'yi bulduğunda, ısıtma apareyi kapalı konuma gelir ve oda sıcaklığı  $X_s-\Delta t$  (20-2)=18°C'ye düşene kadar bu konumunu değiştirmez. Oda sıcaklığı 18°C'nin altına düştüğünde ısıtma apareyi tekrar açık konuma gelir ve bu hareket şekli sistem çalışma periyodu içinde aynı şekilde tekrar eder .

### 1.1.2. YÜZER KONTROL (FLOATING)

İki konumlu kontrol ile oransal kontrol arasında bulunan bu kontrol türü, üç konumlu (yüzer) olarak ta bilinmektedir. İki konumlu kontrolden farklı olarak son kontrol elemanına üç türlü kumanda uygulanabilir; açsabit kal-kapa . Bu kontrol şeklinde sistemde istenen ayar değeri yakalandığına, servomotor o anda bulunduğu konumda hareketsizdir. İstenen ayar değerlerinin belli bir miktar dışına çıktığında ise servomotor oluşan farkı düzeltmek üzere açma ya da kapama yönünde hareket eder. Yavaş hareket eden bir servomotor kullanılması ile sistemin herhangi bir kısmı yükte çalıştırılması mümkün olmaktadır. Bu sayede iki konumlu kontrolde oluşan salınımlar çok daha aza indirgenmiştir. Servomotorun hızı önmlidir. Çok yavaş bir servomotor ile sistemdeki ani değişikliklere uyum sağlama şansı kalmayacaktır. Servomotorun çok hızlı olması ise, iki konumlu kontrole yol açar, yani kısmi yüklerde çalışma mümkün olmaz. Bu tip kontrolün daha gelişmiş bir çeşidi ise şu şekilde çalışmaktadır. Servomotorun hareket hızı istenen ayar değerinden uzaklaştıkça artmaktadır. Özellikle hızlı tepki veren sistemlere uygun bu uygulamada çok hassas bir kontrol sağlamak mümkün olmamaktadır.

Bu kontrol türünü daha iyi anlatabilmek için; ısıtma ve soğutma serpantini ele alınarak, bu serpantin girişlerinde ayrı ayrı on-off selenoid vanaları olan bir fan-coil ünitesi incelenecektir .

Kontrol elemanı olarak oda termostatu nihai kontrol elemanı için ise iki adet selenoid vananın bir bütün olduğu kabul edilerek ömek incelenmiştir .



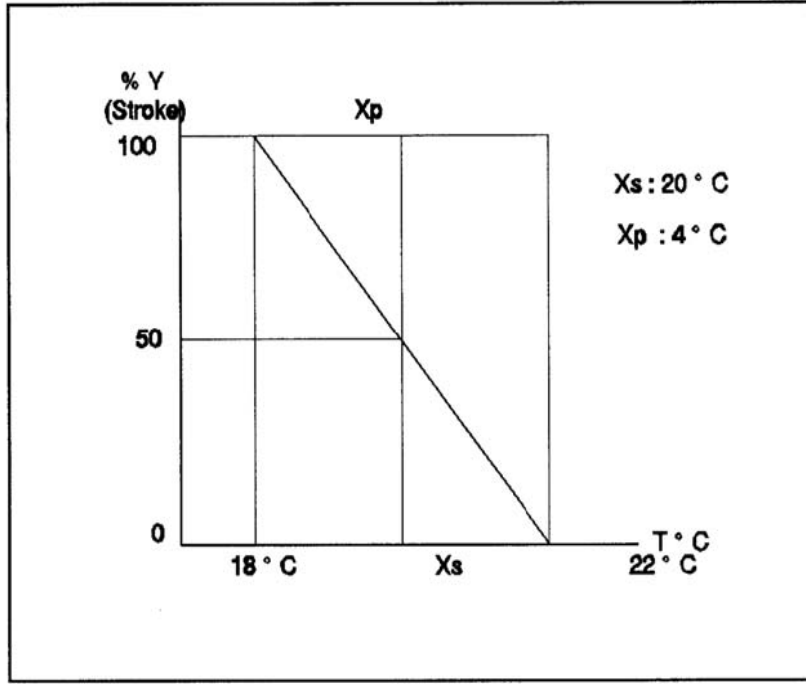
Oda termostatının ayar değerinin ( $X_s$ )  $20^{\circ}\text{C}$  ve fark aralığının ( $\Delta t$ )  $2^{\circ}\text{C}$  olduğunu kabul edelim. Oda sıcaklığı  $18^{\circ}\text{C}$ 'ye gelene kadar oda termostatu kontağı C- 1 konumunda kalır ve ısıtıcı selenoid vanası (S1) açık konumunu sürdürerek mahal havası sıcaklığını artırma yönünde davranır.

Mahal sıcaklığı değeri  $18^{\circ}\text{C}$ 'ye eriştiğinde, termostat kontağı C-O konumuna gelir ve bu konumda S1 ısıtıcı selenoid vanası kapalı konuma gelir . Sistem yüzüne bağlı olarak mahal havası sıcaklığı artarak  $21^{\circ}\text{C}$ 'ye eriştiğinde termostatın kontağı C-2 konumuna gelir ve bu konumda S2 soğutucu selenoid vanası açık konuma gelerek mahal havası sıcaklığını düşürme yönünde davranır . Bu hareket şekli sistem çalışma periyodu içinde aynı şekilde tekrar eder .

Oda termostatu kontağının C-O konumunun olduğu süreç ölü bölge olarak tanımlanır. Ayar değeri ( $X_s$ ) genellikle bu ölü bölge ortasında yer alırken, fark aralığı ( $\Delta t$ ) ölü bölge altında ve üstünde yer alır.

### 1.1.3. ORANSAL KONTROL-P (PROPORTIONAL)

Oransal kontrolde; nihai kontrol elemanı, kontrol edilen değişkenin değişim miktarına bağlı olarak konumlanır . Kontrol elemanının oransal bandı ( $X_p$  ) içinde kontrol edilen değişkenin her değerine karşılık nihai kontrol elemanının bir tek konumu vardır. Başka bir deyişle kontrol edilen değişken ile nihai kontrol elemanı arasında doğrusal bir bağlantı kurularak gereksinim duyulan enerji ile sunulan enerji arasında bir denge oluşturulur.



Nihai kontrol elemanının hareket boyunu (stroke) değiştirerek kullanılan enerjinin %0'dan %100'e kadar ayarlanabilmesi için gerekli kontrol edilen değişkendeki (sıcaklık, basınç vb.) sapma miktarı **Oransal band** olarak tanımlanır. Genel olarak oransal band kontrol cihazının kontrol skalası (span) değerinin bir yüzdesi olarak tanımlanır ve set değeri ( $X_s$ ) etrafında eşit olarak yayılır.

Yukarıda şematik olarak gösterilmiş transfer eğrisi üzerinden, ayar değerinin ( $X_s$ ) 20°C ve oransal band ( $X_p$ ) değerinin 4°C olduğu ters hareketli bir oransal kontrol sistemini inceleyelim. Sıcaklık değerinin 18°C olduğu noktada nihai kontrol elemanı konumu %100 pozisyonundadır. Nihai kontrol elemanı, sıcaklık değerinin ayar değeri ile eşit olduğu noktada %50 pozisyonundadır. Sıcaklık değerinin 22°C olduğu noktada ise nihai kontrol elemanı %0 pozisyonuna gelir. Bir oransal kontrol cihazının fonksiyonunu;

$$V_p = K_p \cdot e + V_o \quad V_p = \text{Kontrol cihazı çıkışı}$$

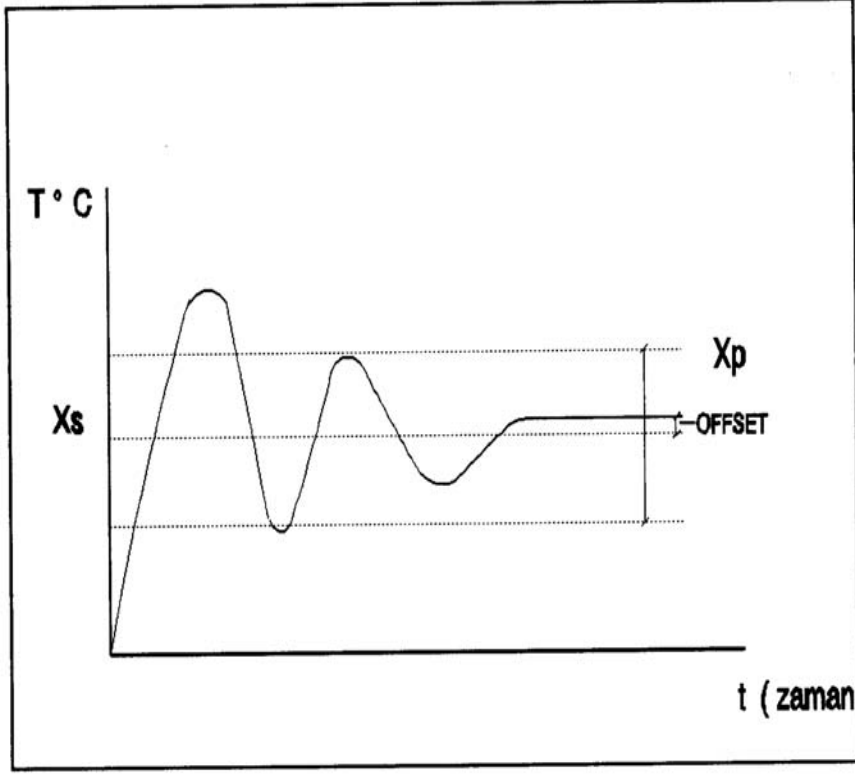
$$K_p = \text{Oransal kazanç}$$

$$e = \text{Hata sinyali veya offset} \quad V_o =$$

Offset düzeltme parametresi

formülüyle de ifade edilebilir.

Aşağıda sembolize edilen oransal kontrol reaksiyon eğrisinden de gözüktüğü gibi; set değeri ile sistemin oturduğu ve sabit kaldığı değer arasındaki farka **sapma (off-set)** denir. Sapma'yı azaltmak için oransal band küçültülebilir. Ancak oransal band küçüldükçe, iki konumlu (on-off) kontrole yaklaşıldığı için set değeri etrafında salınımlar artabilir ve sistem dengeye oturamaz.



Geniş oransal bant seçeneğinde ise sapma'nın daha büyük olacağı düşünülürse; oransal bant seçiminin kullanıldığı prosesin şartlarına uygun olarak seçilmesi gerekmektedir . Oransal bant bir çok proseste tam skala değerinin bir yüzdesi olarak tanımlanıp yaygın olarak kullanılıyorsa da yine bazı proseslerde **kazanç** tanımı kullanılmaktadır.

Oransal band ve kazanç arasındaki bağlantı;

$$\text{Kazanç} = \%100 / \% \text{ oransal band}$$

olarak ifade edebiliriz. Yukarıdaki formülden görüldüğü gibi oransal bant daraldıkça kazanç artmaktadır .

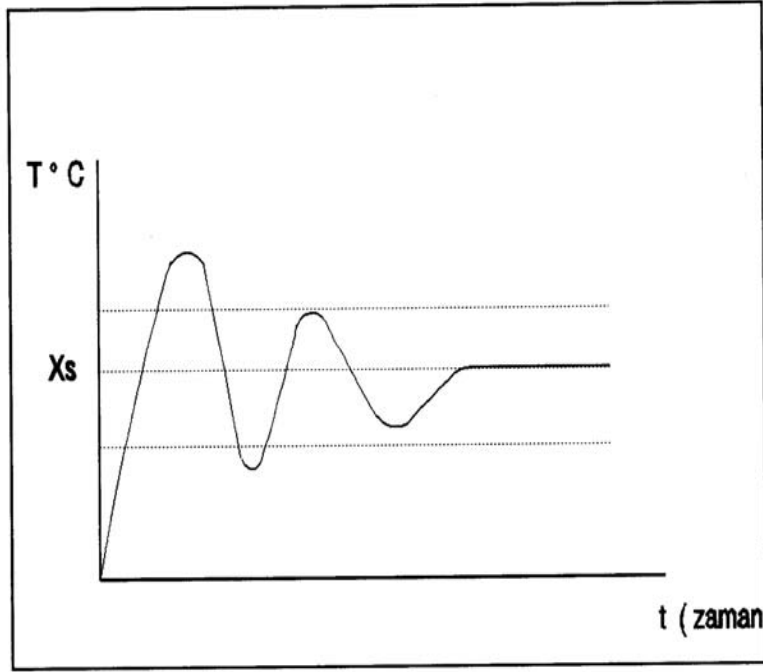
#### 1.1.4. ORANSAL+INTEGRAL KONTROL - PI (PROPORTIONAL + INTEGRAL)

Oransal kontrolde oluşan sapma'yı azaltmak veya ortadan kaldırmak için kontrol cihazı integratör (integral alıcı devre ) kullanır . Ölçülen değer ile set edilen değer arasındaki fark sinyalinin zamana göre integrali alınır. Bu integral değeri, fark değeri ile toplanır ve oransal bant kaydırılmış olur.

Matematiksel olarak formülize edersek;

$$V_p = K_p \cdot e + K_i \cdot \int e \cdot t + V_o \quad V_p = \text{Kontrol cihazı çıkışı} \quad K_i = \frac{\text{Integral kazanç}}{t = \text{Zaman}}$$

Bu şekilde sisteme verilen enerji otomatik olarak artırılır veya azaltılır ve proses değişkeni set değerine oturtulur . İntegratör devresi, gerekli enerji değişkenliğine set değeri ile ölçülen değer arasındaki fark kalmayınca kadar devam eder . Fark sinyali sıfır olduğu anda artık integratör devresinin integralini alacağı bir sinyal söz konusu değildir. herhangi bir şekilde sistem dengesi bozulup, proses değişkeni değeri set değerinden uzaklaşacak olursa tekrar fark sinyali oluşur ve integratör devresi düzeltici etkisini gösterir .



Yukarıdaki şemada, sapsması kalkmış bir oransal + integral kontrol reaksiyon eğrisinden de görüleceği gibi; Oransal + İntegral kontrolün en belirgin özelliği sistemin başlangıcında proses değişkeni değeri, set değerini önemli bir miktarda ki bu ilk yükselme noktası **üst tepe değeri** (overshoot) olarak tanımlanır. Üst tepe değerini alt tepe değeri izler (undershoot). Set değeri etrafında sistem yük değerine bağlı olarak birkaç kere salınım yaptıktan sonra, set değerine oturur. Sistem reaksiyon eğrisinde başlangıçtan itibaren olmak üzere eğrinin set değeri etrafındaki tolerans bandına (bir daha çıkmamak üzere) giriş yaptığı noktaya kadar geçen zaman, sistemin kararlı (dengeye oturmuş) rejim süresidir. Başlangıçtan itibaren bu noktaya kadar geçen zaman aralığında sistem set değeri etrafında salınım yapar ve kararsız bir davranış sergiler (kararsız rejim). Otomatik kontrol sistemlerinde amaç salınımları oldukça azaltıp sistemi kararlı rejime oturtmaktır. Kararlı rejim süresi sistemin zaman sabiti ile doğru orantılıdır. Pratik olarak sistemler, üç zaman sabiti süre toplamı sonunda %66 oranında kararlı hale geçerler. Dört zaman sabiti süre toplamı sonunda ise sistem %98 oranında kararlı rejime geçmiş demektir. Her sistemin ve onu oluşturan alt sistemlerin farklı zaman sabitleri vardır.

### 1.1.5. ORANSAL+ TÜREVSEL KONTROL - PD (PROPORTIONAL + DERIVATIVE)

Oransal kontrolde oluşan offset, oransal + türevsel kontrol ile de azaltılabilir.

Oransal + Türevsel kontrolde set değeri ile ölçülen değer arasındaki fark sinyalinin türevi alınır. Türevi alınan fark sinyali, tekrar fark sinyali ile toplanır ve oransal devreden geçer. Bu şekilde düzeltme yapılmış olur.

Ancak türevsel etkinin asıl fonksiyonu overshoot-undershoot'ları azaltmak içindir. Overshoot ve Undershoot'ları azaltırken bir miktar sapma kalabilir.

Türevsel etki, düzeltici etkisini hızlı bir şekilde gösterdiği için hızlı değişimlerin olduğu kısa süreli proseslerde

kullanılması uygundur. Sürekli tip uzun süreli proseslerde ve sapma istenmeyen durumlarda PI veya PID tip seçilebilir.

### 1.1.6. ORANSAL + INTEGRAL + TÜREVSEL KONTROL - PID (PROPORTIONAL + INTEGRAL + DERIVATIVE)

Kontrolü güç, diğer kontrol türlerinin yeterli olmadığı proseslerde tercih edilen bu kontrol türünde; oransal kontrolde oluşan sapma, integral fonksiyonu ile giderilir. Meydana gelen overshoot'larundershoot'lar bu kontrole türevsel etkisinde eklenmesi ile minimum seviyeye indirilir veya tamamen ortadan kaldırılır.

PID kontrolü matematiksel olarak formüle edersek;

$$V_p = K_p \cdot e + K_i \int e \cdot \Delta t + K_d \Delta e / \Delta t + V_o$$

Kd : Türevsel Kazanç  $\Delta e / \Delta t$  :  
Hatanın Türevi

Esas amacı ayar değeri ile ölçüm değeri arasındaki hatayı sifira indirmek ve bu sayede istenilen değere ulaşmak olan tüm kontrol türlerinde; Oransal (P), integral (I), Türev (D) parametrelerinin uygun bir şekilde ayarlanmaları sayesinde kontrol edilen değişkenin ayar değerine;

- Minimum zamanda

- Minimum üst ve alt tepe (overshoot ve undershoot) değerlerinden geçerek ulaşmasını sağlarlar. İntegral ve türevsel parametrelerin söz konusu olmadığı ve sadece P tip kontrol cihazları ile kurulan sistemlerde de dengeye ulaşmak mümkündür . Ancak sadece P'nin aktif olduğu bu tür kontrol sistemlerinde az da olsa set değeri ile kontrol edilen değer arasında sıfırdan farklı + veya - değerde vede sifira indirilmeyen bir sapma mevcuttur. Sadece P ile kontrol edilen böyle bir sisteme I'nın ilavesi sapmayı ortadan kaldırmaya yöneliktir . Diğer bir deyişle P+I türündeki bir kontrol cihazı ile denetlenen bir proseste normal şartlar altında sistem dengeye oturduktan sonra sapma oluşması söz konusu değildir.İntegral etki sapmayı sifira indirirken sisteme faz gecikmesi katarak sistemin kararlılığını azaltır. Bununla beraber integral zamanın çok kısa olması prosesin osilasyona girmesine neden olabilir . P+I denetim mekanizmasına D ilavesi ise set değerine ulaşmak için geçen zamanı kısaltmaya yaramaktadır. Diferansiyel etki sisteme faz avansı getirir ve sistemin kararlı hale gelmesinde yardımcı olur. Böylece büyük orantı kazançları elde edilebilir. Fakat büyük nakil gecikmeleri olan sistemlerde diferansiyel etkinin önemi çok azalır.

## 1.2 KONTROL SİSTEMLERİ İÇİN ENERJİ KAYNAKLARI

Kontrol sistemleri; pnömatik,elektrik,elektronik,hava akımı,hidrolik,kendi kendine çalışabilen veya bunlardan bazılarının kombinasyonundan oluşur.

### 1.2.1. Pnömatik Sistemler

Pnömatik sistemler,kontrol ve hissedici sinyallerinin 20 psi'den daha düşük basınçlı hava ile oluşturulduğu sistemlerdir. Kontrolör çıkış basıncındaki değişiklikler, kontrol edilen son elemanda bu pozisyon değişikliğine karşılık gelen bir pozisyon yaratır.

### 1.2.2. Elektrikli Sistemler

Elektrikli sistemler, reosta veya köprü devrelerinin akım veya voltaj dengesinin değişmesi ile çalışan veya duran bir kontrol temin eder. Bu sistemler hat besleme voltajı olarak alternatif akım kullanır.

### 1.2.3. Elektronik Sistemler

Bu sistemler; kontrol ve hissedici sinyallerinin düşük akım veya voltaj ( 24V veya daha düşük) değerlerinde taşındığı,elektronik bir devre tarafından kuvvetlendirilerek son kontrol işlevini yapan servo mekanizmalara iletildiği sistemlerdir.

### 1.2.4. Hava Akımı Sistemleri

Hava akımı sistemleri,kontrol sinyali üreten mekanizmalar gibi davranan statik basınç sinyallerinin dışındaki hava akımı dinamiğini kullanır. Düşük güvenilirliği yüzünden kullanırlılığı kalmamıştır.

### 1.2.5. Hidrolik Sistemler

Bu sistemler, hava yerine sıvı veya yağ kullanan ve yapısı pnömatik sistemlerle benzer olan sistemlerdir. Hidrolik kontrol ve tahrik üniteleri günümüzde HVAC teknolojisinde kullanılmamaktadır.