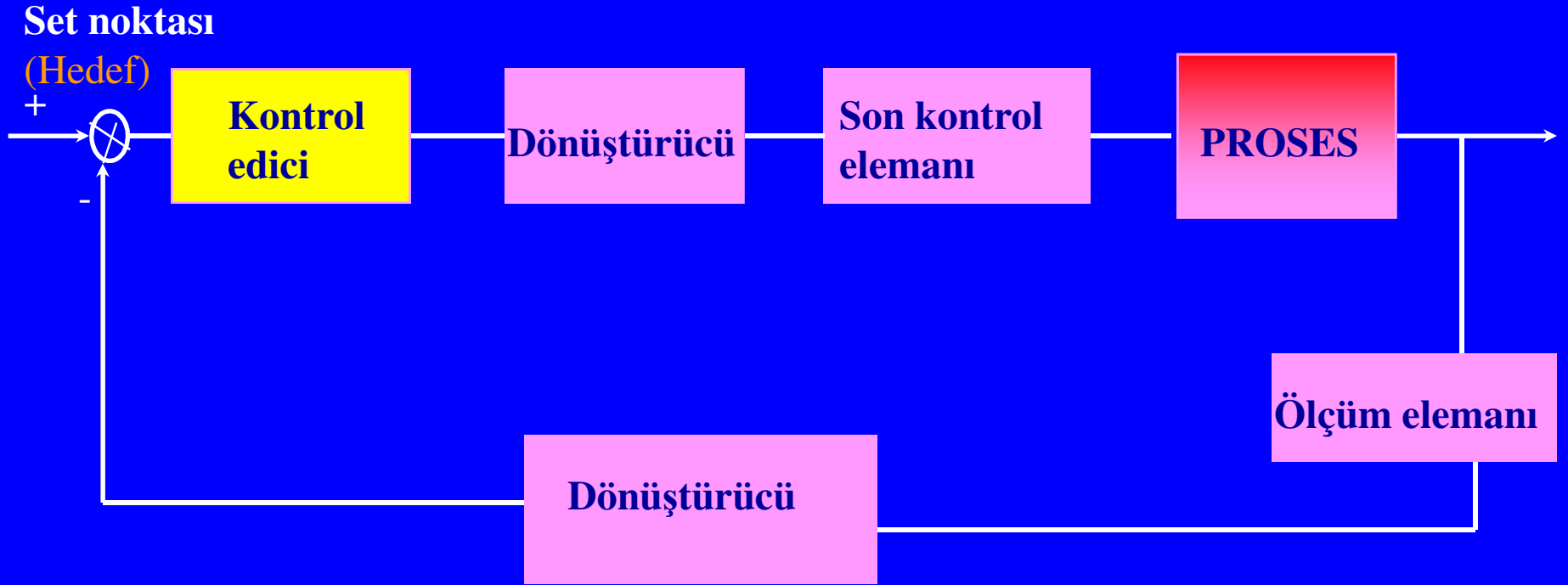


# OTOMATİK KONTROL



Geri Beslemeli(*feedback*) Kontrol Sistemi Kapalı Devre Blok Diyagramı

# SON KONTROL ELEMANI

## (Final Control Element)

---

- Bir proses kontrol sisteminde, prosesden hemen önce yer alan ekipman
- Kontrol ediciden aldığı emri, prosesin ayar değişkenine uygulayabilen alet
- Actuator- eylemi yapan
- Pompa, vana vb. gibi
- Pnömatik (basınç sinyali) çalışabilir
- Elektrik sinyali ile çalışabilir.
- Kontrol edici ile son kontrol elemanı aynı dilde konuşmalı...

# SON KONTROL ELEMANI (KONTROL VANASI)

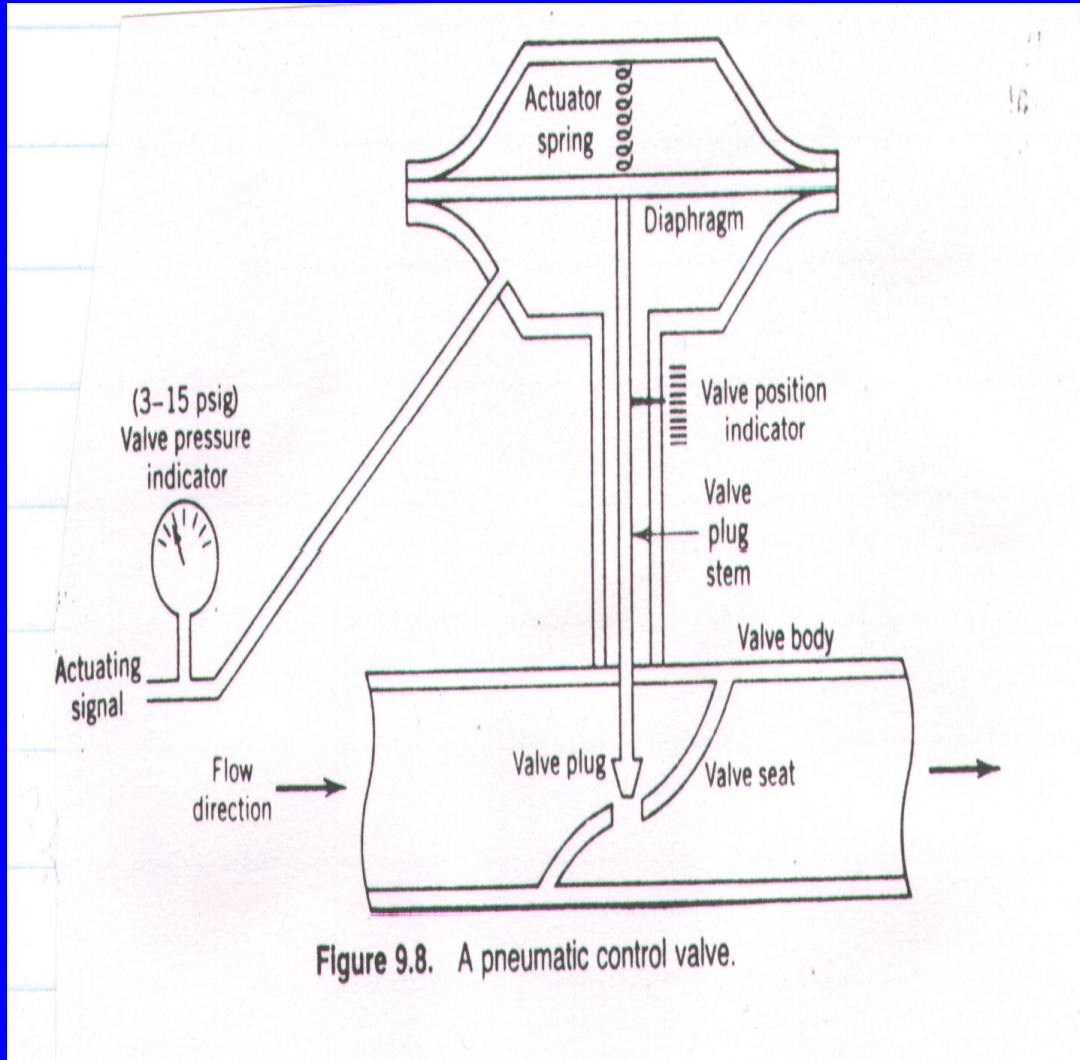
---



- ◆ Globe
- ◆ Butterfly
- ◆ Ball
- ◆ Disk

VS

# SON KONTROL ELEMANI (KONTROL VANASI)



Akışkanın hızı milin konumuna göre değişir.

Mil tamamen aşağı inince delik kapanır (akış yok) - %0 akış

Mil tamamen yukarıdayken delik açık (akış var)- %100 akış

Akış %0-100 arasında değiştirilebilir.

# SON KONTROL ELEMANI (KONTROL VANASI)

•Pnömatik bir diyaframla hareket sağlanır. Basınç sinyalinin nereden verildiğine göre 2 çeşit.

A-O : Air to open

A-C : Air to close

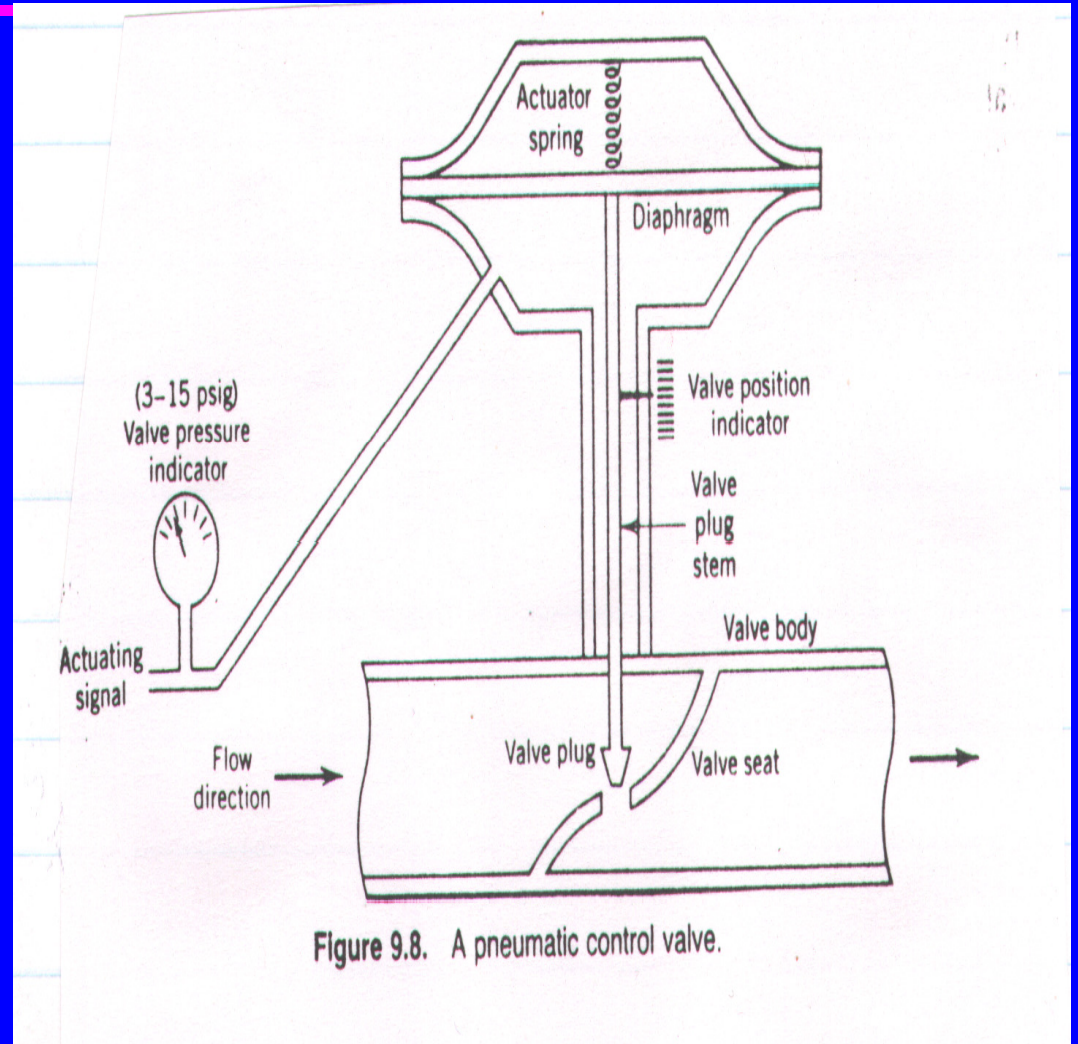
•Akış hızı ( $q$ ) ile vana mili açıklılığının boyutu olan yükselme  $l$  ( $0 < l < 1$ ) arasındaki bağıntı:

$$q = C_v f(l) \sqrt{\frac{\Delta P_v}{\rho}}$$

$C_v$  : Vana katsayısı

(büyüklük ve kapasiteye bağlı)

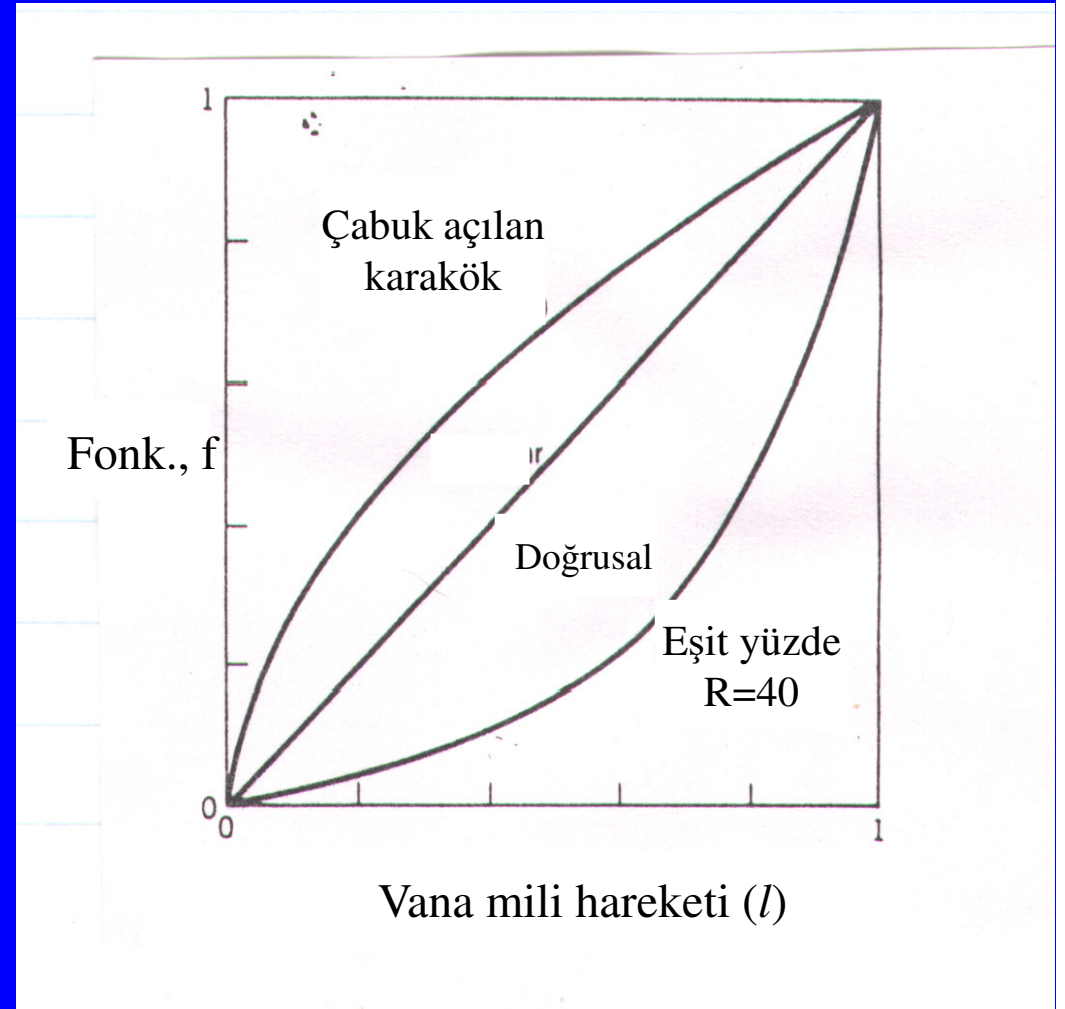
$f$  :  $l$  ye bağlı bir fonksiyon



# Kontrol Vanası Karakteristikleri

- ◆ Doğrusal :  $f = l$
- ◆ Çabuk açılan (karekök) :  $f = \sqrt{l}$
- ◆ Eşit yüzde :  $f = R^{l-1}$

R: Vana tasarım parametresi



---

# KONTROL EDİCİLER

# KONTROL EDİCİLER

## **On/Off (Aç/Kapa) Kontrol:**

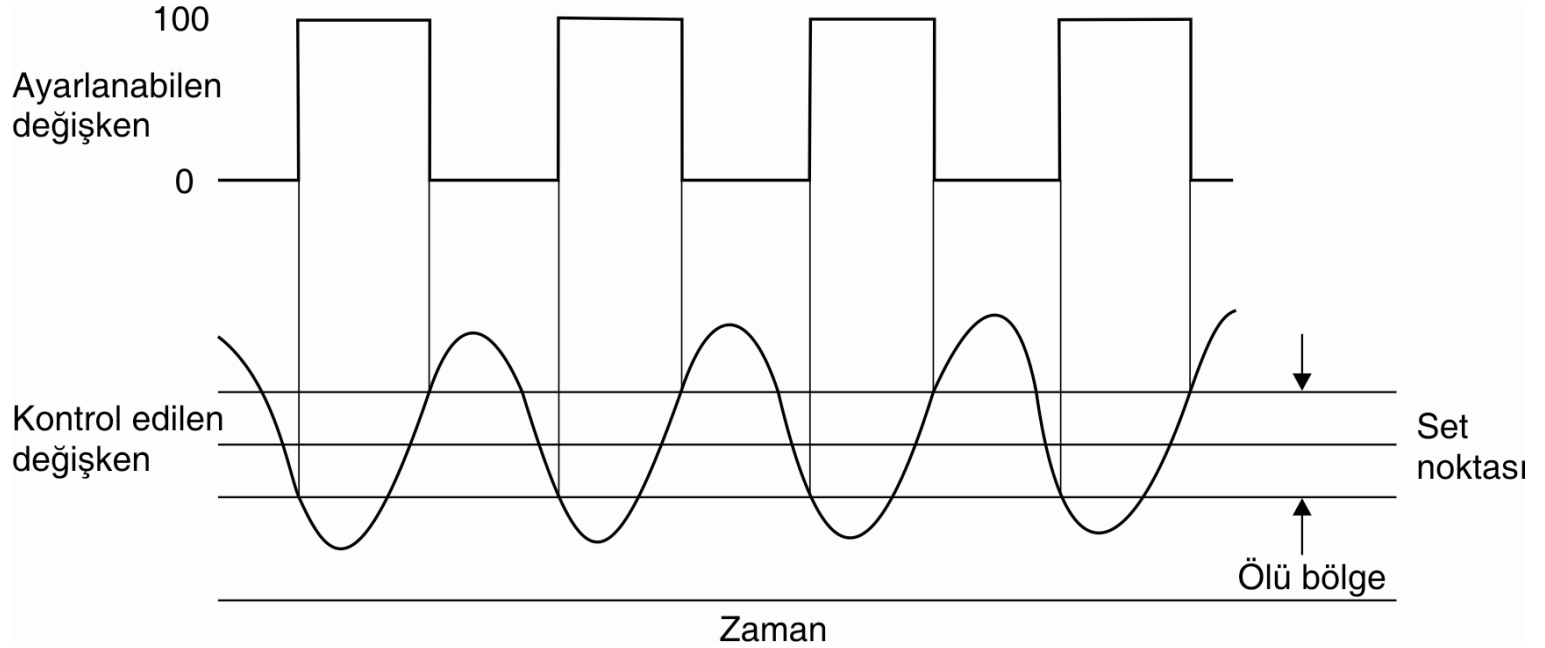
- En basit kontrol ediciler
- Ev ısıtma sistemlerinde, kritik olmayan endüstriyel uygulamalarda kullanılır.
- Yeteri kadar etkili değil ve çok amaçlı kullanıma müsait değil.
- Osilasyona sebep olur



# KONTROL EDİCİLER

## On/Off (Aç/Kapa) Kontrol:

Örn:ev ısıtma



On/off kontrol: osilasyona (dalgalanmaya) sebep olur

## GERİ BESLEMELİ KONTROL SİSTEMİ (FEEDBACK CONTROL)



Bir kontrol edicinin blok diyagramı ile gösterimi

Kontrol edicinin girdisi: hata sinyali (set noktası ile ölçülen değer arasındaki fark)  
(ölçülen oda sıcaklığı ile set noktası arasındaki fark)

$$\theta_e(s)$$

Kontrol edicinin çıkış değişkeni çıkmaktadır.  
(yakıt miktarının alması gereken değer hesaplanıyor)

$$\theta_o(s)$$

## Kontrol edicinin içinde neler oluyor?

$$\theta_o = k_1 \theta_e + k_2 \int_0^t \theta_e dt + k_3 \frac{d\theta_e}{dt}$$

**Oransal Kontrol (P)**  
(Proportional)

$$\theta_o = k_1 \theta_e$$

**İntegral Kontrol (I)**  
(Integral)

$$\theta_o = k_2 \int_0^t \theta_e dt$$

**Türevsel Kontrol (D)**  
(Derivative)

$$\theta_o = k_3 \frac{d\theta_e}{dt}$$

• Kontrol ediciye giren hata bilgisi bazı matematiksel denklemlerde kullanılarak çıkış değişkeni hesaplanır.

• Kontrol edicide üç farklı terim olabilir.

• Bir terim, iki terim veya üç terim olabilir.

• P, PI, PD, PID olabilir

➤ Bu sistemin İletim fonksiyonunu bulalım.

$$\theta_o = k_1 \left[ \theta_e + \frac{k_2}{k_1} \int_0^t \theta_e dt + \frac{k_3}{k_1} \frac{d\theta_e}{dt} \right]$$

$$\theta_o = k_1 \left[ \theta_e + \frac{1}{\tau_R} \int_0^t \theta_e dt + \tau_D \frac{d\theta_e}{dt} \right]$$

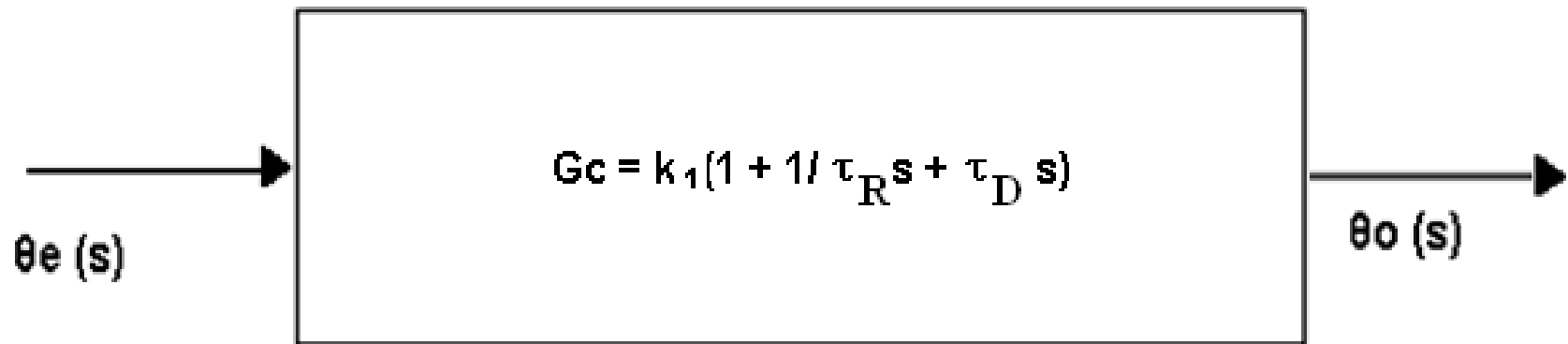
integral zaman sabiti

türevsel zaman sabiti

➤ Laplace dönüşümü alınırsa;

$$\theta_o(s) = k_1 \left( 1 + \frac{1}{\tau_R s} + \tau_D s \right) \theta_e(s)$$

$$G_c = \frac{\theta_o(s)}{\theta_e(s)} \rightarrow G_c = k_1 \left( 1 + \frac{1}{\tau_R s} + \tau_D s \right)$$



Üç terimli bir kontrol sisteminin blok diyagramı ile gösterimi

## a- Oransal Kontrol (P)

$$\theta_0(t) = k_1 \theta_e(t)$$

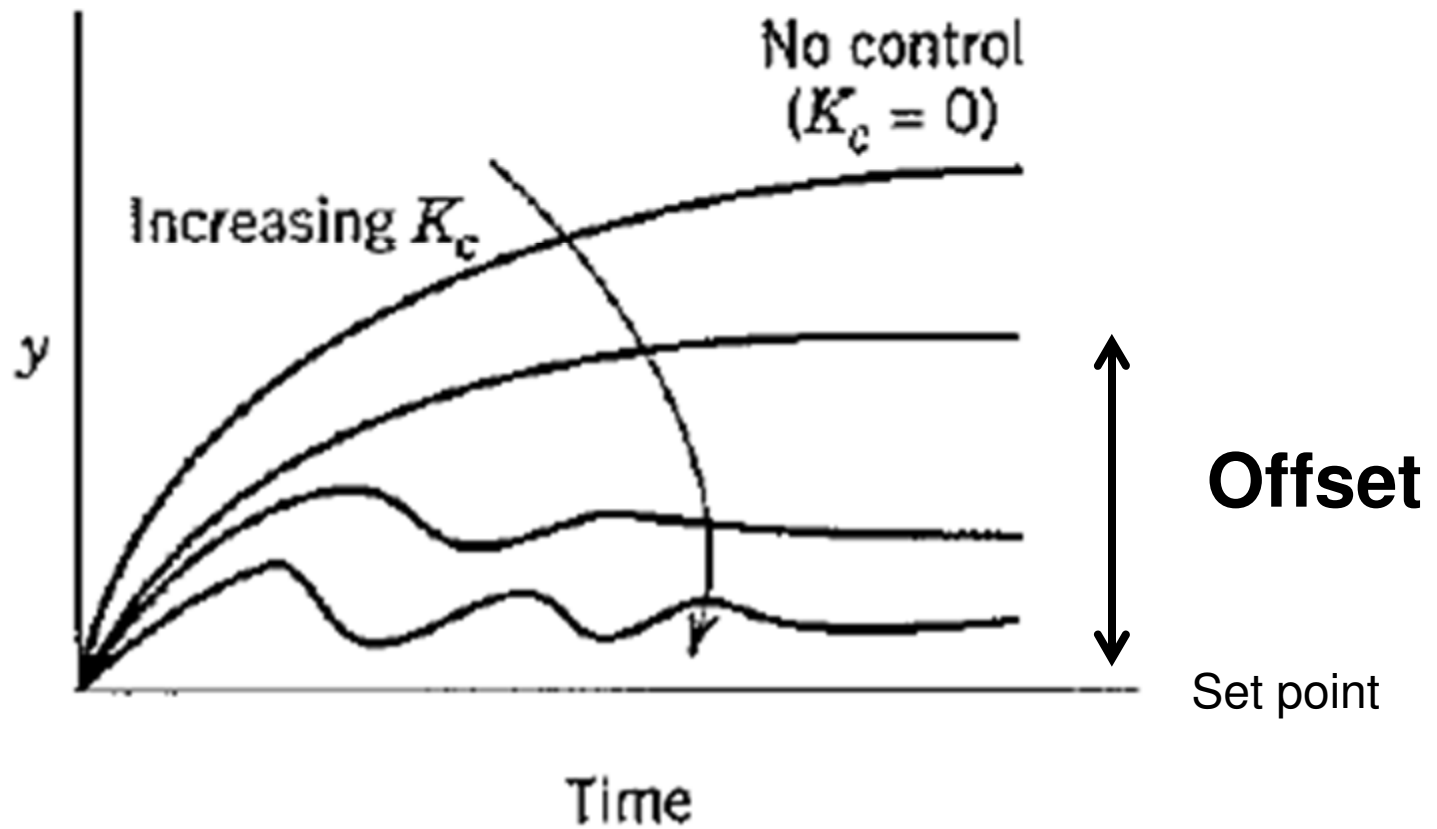
Laplace alınırsa  $\longrightarrow \theta_0(s) = k_1 \theta_e(s)$

$$G_c = k_1 = K_C$$

$k_1 = K_C =$  oransal kazanç = kontrol edici kazancı

En basit kontrol modudur. On/off kontroldaki osilasyonu yok eder. Çıkış değişkeni set noktasına yaklaşırken ayar değişkeninin genliği azalır. Oransal kontrol edicinin cevabı set noktasından sapmaya gösterir. Set noktası ile kontrol edilen değişkenin bu değeri arasındaki fark **offset** olarak isimlendirilir ve oransal kontrolün karakteristik bir özelliğidir.

# Oransal Kontrol (P)



## b- Oransal + İntegral Kontrol : (P+I)

$$G_c = \frac{\theta_o(s)}{\theta_e(s)} \rightarrow G_c = k_1 \left( 1 + \frac{1}{\tau_R s} + \tau_D s \right)$$

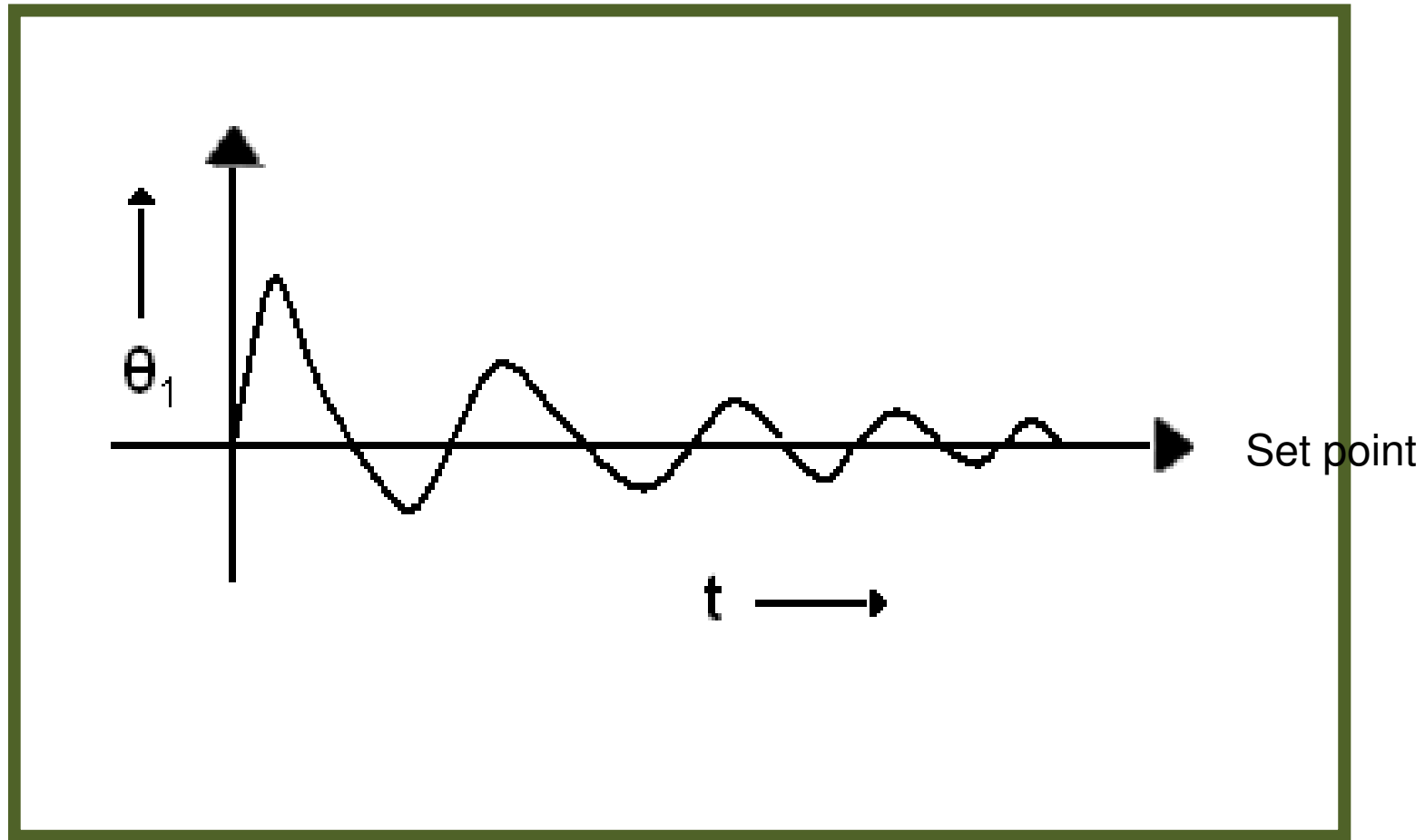
$$\tau_D = 0$$

$$G_c = k_1 \left[ 1 + \frac{1}{\tau_R s} \right] = \frac{k_1(1 + \tau_R s)}{\tau_R s}$$

İntegral eyleminin ilavesi kontrollu değişkendeki offseti yok eder. Daha uzun yanıt süresini beraberinde getirir. Oransal kontrolün yalnızkenkinden daha uzun osilasyon periyodu oluşur.



# Oransal + İntegral Kontrol : (P+I)



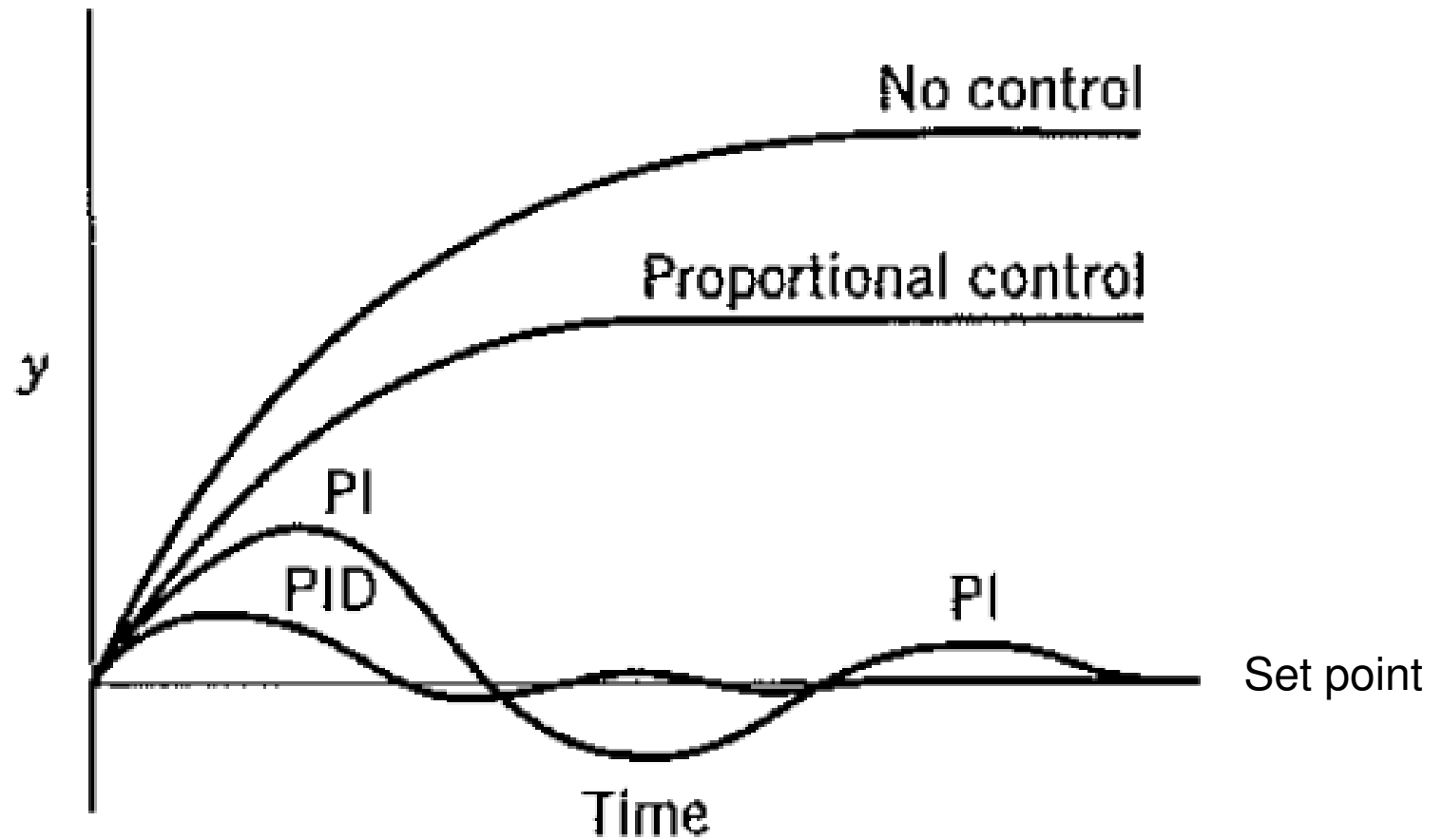
## C- Oransal + Integral+Türevsel Kontrol : (P+I+D)

$$\theta_0(s) = k_1 \left( 1 + \frac{1}{\tau_R s} + \tau_D s \right) \theta_e(s)$$

$$G_c = \frac{\theta_0(s)}{\theta_e(s)} \rightarrow G_c = k_1 \left( 1 + \frac{1}{\tau_R s} + \tau_D s \right)$$

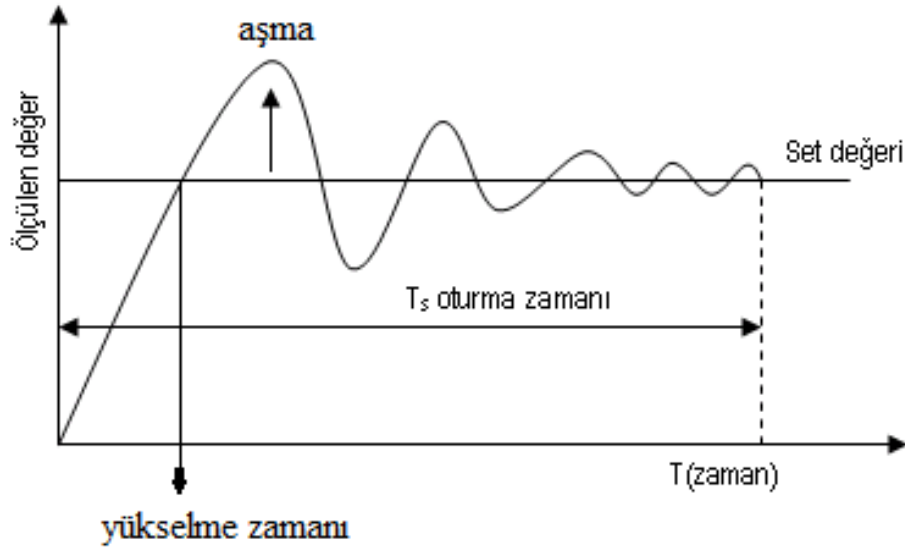
P+I kontrolün avantaj ve dezavantajlarına sahiptir. Integralin varlığıyla offset elimine edilir ve D'nin eklenmesi ile salınım derecesini ve yanıt zamanını düşürür. Daha pahalıdır.

## C- Oransal + Integral+Türevsel Kontrol : (P+I+D)



Tablo 1. Kontrol sabitlerinin etkileri

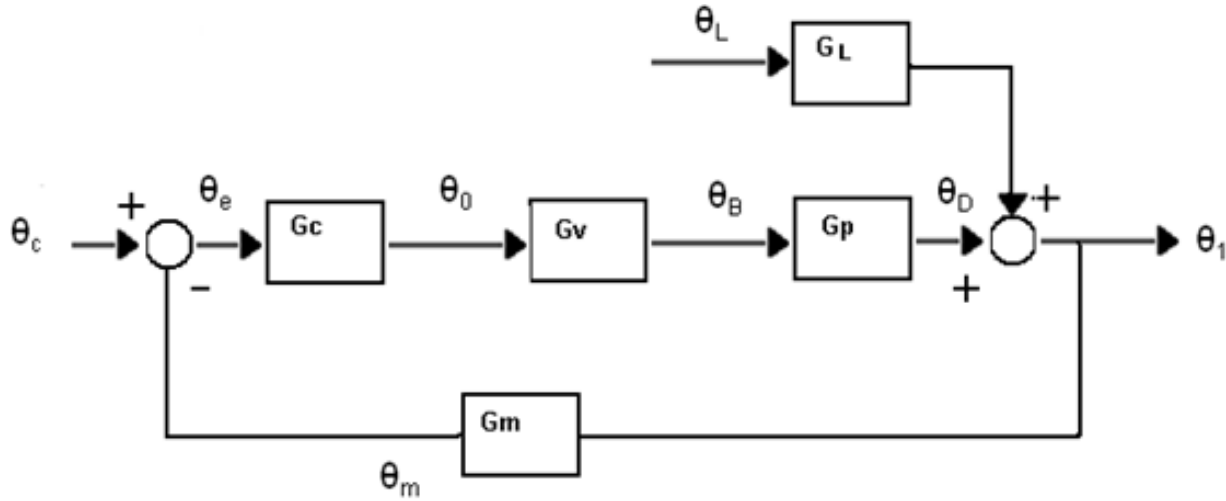
Kontrol Terimi	Yükselme Zamanı	Aşma	Oturma Zamanı	Offset
$K_C$	Azaltır	Artırır	Az Değiştirir	Azaltır
$\tau_R$	Azaltır	Artırır	Artırır	Yok eder
$\tau_D$	Az Değiştirir	Azaltır	Azaltır	Az Değiştirir



## Kontrol edicinin iki önemli özelliği

- Düzensizlikleri giderir (Regulatory control)
- Set noktası değişimlerini takip eder (Servo control)
  
- Bir kontrol sisteminde çıkış değişkeni hem düzensizliklerden hem de set noktasındaki değişimlerden etkilenir.

## GERİ BESLEMELİ KONTROL SİSTEMİ



❖ Sistemde iki giriş değişkeni;  $\theta_L$  ,  $\theta_c$  bir çıkış değişkeni  $\theta_1$  bulunmaktadır.

**Şekil 8.3** Bir geri beslemeli kontrol sisteminin iletim fonksiyonları cinsinden blok diyagramı ile gösterimi

- $\theta_L$  → Sistemi yük değişkeni olarak etkileyen ve bir girdi değişkeninin değişmesi ile meydana gelen haldir. (Sisteme giren sıvı akış hızı veya sıvı derişimi gibi).
- $\theta_c$  → Kontrol sisteminin istenilen değeri üzerinde yapılan değişimdir.

➤ *Bu iki değişkenin etkisi ile blok diyagramında gösterilen kontrol sistemi çalışarak çıkış değişkeni olan  $\theta_1$  'i istenilen değere getirmeye çalışır.*

Geri beslemeli kontrol sistemi iletim fonksiyonu;

$$\theta_e = \theta_c - \theta_m$$

$$\theta_D = G_p G_v G_c \theta_e = G \theta_e$$

$$G_p G_v G_c = \frac{\theta_D}{\theta_e} = \frac{\theta_D}{\theta_B} \frac{\theta_B}{\theta_0} \frac{\theta_0}{\theta_e} = \frac{\theta_D}{\theta_e}$$

$$\theta_e = \theta_c - \theta_1 G_m$$

$$\theta_1 = \theta_D + G_L \theta_L$$

$$\theta_1 = \frac{G_L}{1 + G G_m} \theta_L + \frac{G}{1 + G G_m} \theta_c$$

I. Terim

II. Terim

- *Yük değişkenine bir etki verilecek olursa, denkleminin I. terimi, (Regulatory)*
- *İstenen değere bir etki verilirse, denklemin II. terimi kullanılır. (Servo)*

## BİRİNCİ MERTEBEDEN BİR SİSTEMİN ORANSAL (P) KONTROLU

- İletim fonksiyonları yerlerine koyularak  $\theta_1$  için çözüm yapılır.

$$G_c = k_1$$

Oransal Kontrol

$$G_v = K_v$$

Vana

$$G_m = K_m$$

Ölçüm elemanı

$$G_p = \frac{K_p}{LS + 1}$$

Proses

$$G_L = \frac{K_L}{LS + 1}$$

Bozan etken (yük etkisi)

$$G = G_c G_v G_p$$

$$G = \frac{k_1 K_v K_p}{LS + 1}$$



Yük etkisi olarak kademe değişimi verilecek olursa;

$$\frac{\theta_1(s)}{\theta_L(s)} = \frac{G_L}{1 + GG_m}$$

$$\frac{\theta_1(s)}{\theta_L(s)} = \frac{K_L/(Ls + 1)}{1 + \boxed{k_1 K_v K_p K_m / (Ls + 1)}}$$

↓  
 $K$

$$\frac{\theta_1(s)}{\theta_L(s)} = \frac{K_L/(Ls + 1)}{1 + \frac{K}{Ls + 1}} = \frac{K_L}{(Ls + 1) + K}$$

Yük etkisi basmak etki ise

$$\theta_L(s) = F/s$$

$$\theta_1(s) = \frac{F}{s} \frac{K_L}{1+K} \left[ \frac{1}{(L/K + 1)s + 1} \right]$$

Ters laplace'ı alınırsa

$$\theta_1(t) = \frac{FK_L}{1+K} (1 - \exp(-t(1+K)/L))$$

$$\theta_1(t)_{\infty} = \frac{FK_L}{1+K}$$

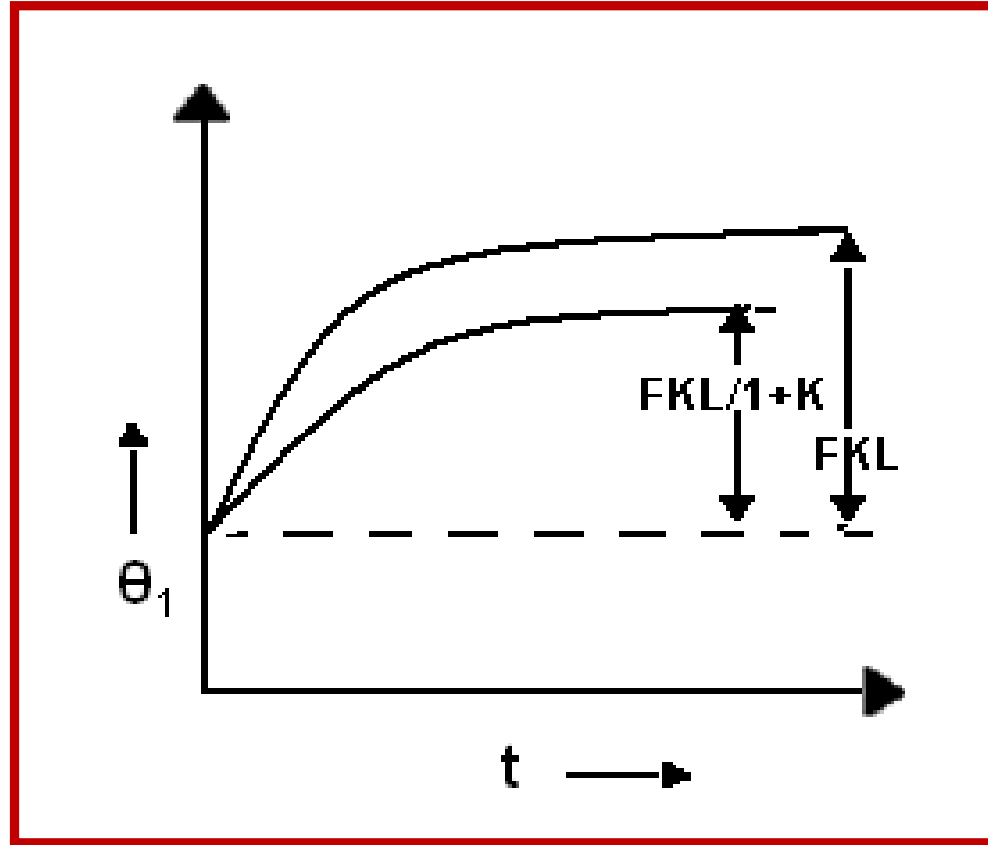
---

□ *Birinci mertebeden bir sisteme, Oransal kontrol olmadan bir kademe etkisi verilseydi ;*

$$\theta_1(t) = FK_L (1 - \exp(-t/L))$$

$$\theta_1(t)_{\infty} = FK_L$$

- Oransal kontrol çıkış değişkeni  $\theta_1$ 'i set noktasına daha fazla yaklaştırır.



**Şekil 8.5** Birinci mertebeden bir sistemin oransal kontrolü ve dinamik yanıtı

# BİRİNCİ MERTEBEDEN BİR SİSTEMİN ORANSAL+TÜREVSEL (PD) KONTROLÜ

- İletim fonksiyonları yerlerine koyularak  $\theta_1$  için çözüm yapılır.

$$G_c = K_1(1 + \tau_D s) \quad \text{PD Kontrol}$$

$$\frac{\theta_1(s)}{\theta_L(s)} = \frac{G_L}{1 + GG_m}$$

$$G_v = K_v \quad \text{Vana}$$

$$G_m = K_m \quad \text{Ölçüm elemanı}$$

$$\theta_1(s) = \frac{\frac{K_L}{Ls + 1} \theta_L(s)}{1 + \frac{K(1 + \tau_D s)}{Ls + 1}}$$

$$G_p = \frac{K_p}{Ls + 1} \quad \text{Proses}$$

$$\theta_L(s) = F/s$$

$$G_L = \frac{K_L}{Ls + 1} \quad \text{Bozan etken (yük etkisi)}$$

$$\theta_1(s) = \frac{FK_L}{1 + K} \left[ \frac{1}{s \left( \frac{L + K\tau_D}{1 + K} s + 1 \right)} \right]$$

$$G = G_c G_v G_p$$

$$GG_m = \frac{K_m K_1 K_v K_p (1 + \tau_D s)}{Ls + 1}$$

$$\theta_1(t) = \frac{FK_L}{1 + K} (1 - \exp(-(1 + K)/(L + K\tau_D)t))$$

□ **Oransal+Türevsel (PD) kontrol altındaki birinci mertebeden bir sistemde yük etkisinde basamak değışim**

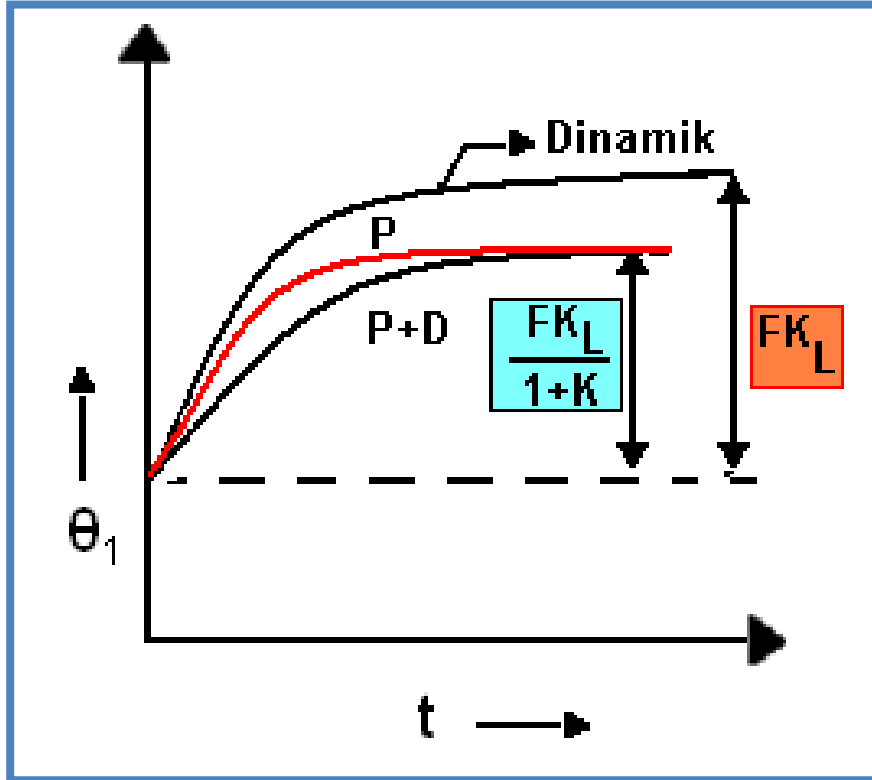
$$\theta_1(t) = \frac{FK_L}{1+K} (1 - \exp(-(1+K)/(L+K\tau_D)t))$$

□ **Oransal (P) kontrol altındaki birinci mertebeden bir sistemde yük etkisinde basamak değışim**

$$\theta_1(t) = \frac{FK_L}{1+K} (1 - \exp(-t(1+K)/L))$$

□ **Birinci mertebeden bir sisteme, kontrol olmadan bir kademe etkisi verilseydi ;**

$$\theta_1(t) = FK_L(1 - \exp(-t/L))$$



✓ **Oransal + Türevsel Kontrol, Dinamik sonuca nazaran  $\theta_1$  değerini aşağıya çektiği gibi, bu çekimi sistemi oransal kontrole nazaran daha yumuşak yapar.**

Şekil 8.6 P, P+D kontrol sistemlerinin sonuçlarının dinamik sonuçlarla karşılaştırılması

# I. MERTEBEDEN SİSTEMLERİN ORANSAL + İNTEGRAL + TÜREVSEL

## (P+I+D) KONTROLU

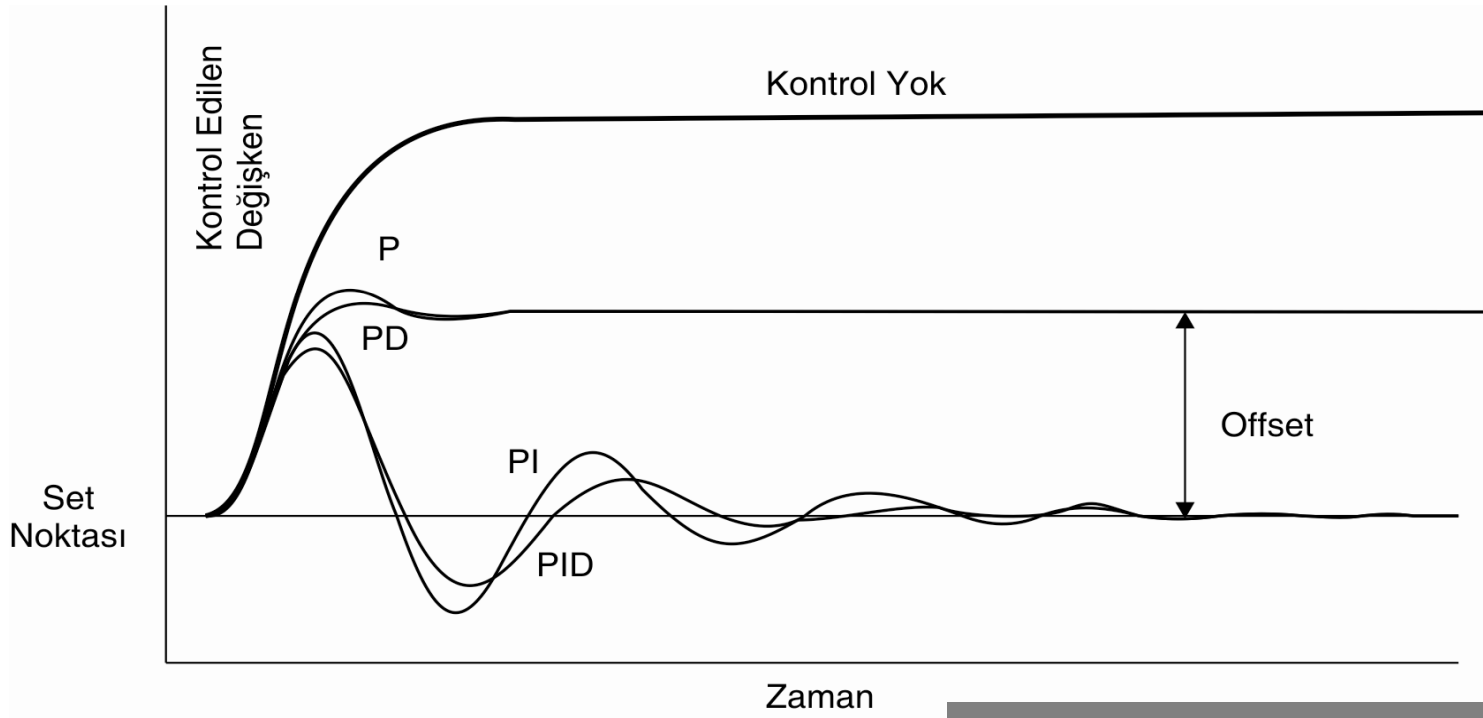
$$G_c = \frac{\theta_o(s)}{\theta_e(s)} \quad \rightarrow \quad G_c = k_1 \left( 1 + \frac{1}{\tau_R s} + \tau_D s \right)$$

$$G_c = k_1 (\tau_R \tau_D s^2 + \tau_R s + 1) / \tau_R s$$

$$1 + GG_m = 1 + \frac{K_m K_v K_p k_1 (\tau_R \tau_D s^2 + \tau_R s + 1)}{(Ls + 1) \tau_R s}$$

$$\frac{\theta_L(s)}{\theta_1(s)} = \frac{K_L \tau_R s}{\tau_R (L + K \tau_D) s^2 + \tau_R (1 + K) s + K}$$

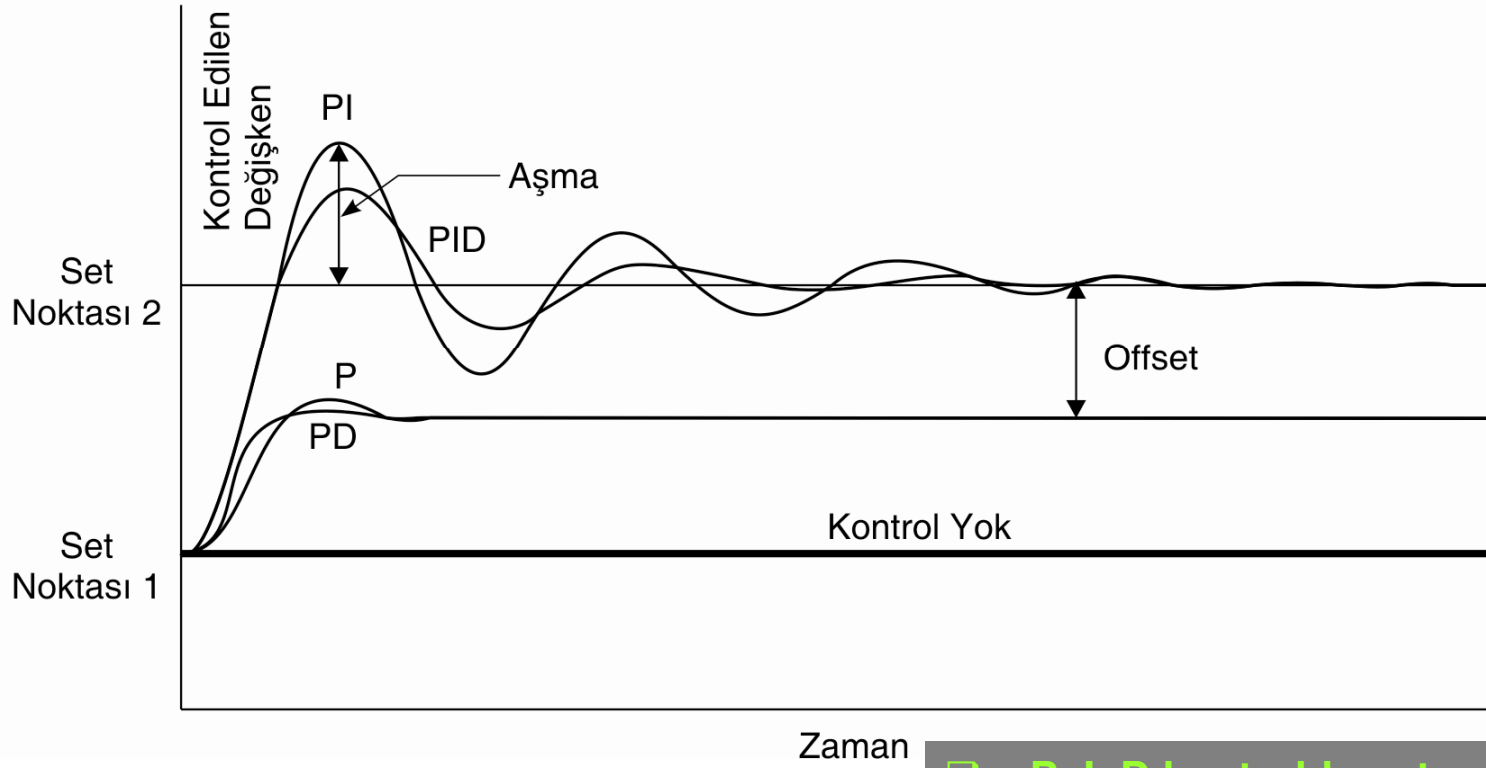
## Kontrol modlarının bozan etken değişimine etkileri.



□ P+I+D kontrolde set noktasına daha çabuk gelinir.

Şekil 8.7.a P+I+D Kontrolü (Bozan etken değişimi)

## Kontrol modlarının set noktası değişimine etkileri.



□ P+I+D kontrolde set noktasına daha çabuk gelinir.

Şekil 8.7.b P+I+D Kontrolü (set noktası değişimi)