

OTOMATİK KONTROL SİSTEMLERİ

Otomatik Kontrol
Sistemleri-Giriş

Doç. Dr. Volkan Sezer

AMAC

Kontrol sistemlerinin nasıl modelleneceğini
ayrıntısıyla göstermek!!!

Verilen bir sistem için differansiyel denklem
takımlarının ve transfer fonksiyonlarının
bulunma yöntemlerini detaylarıyla anlatmak!!!

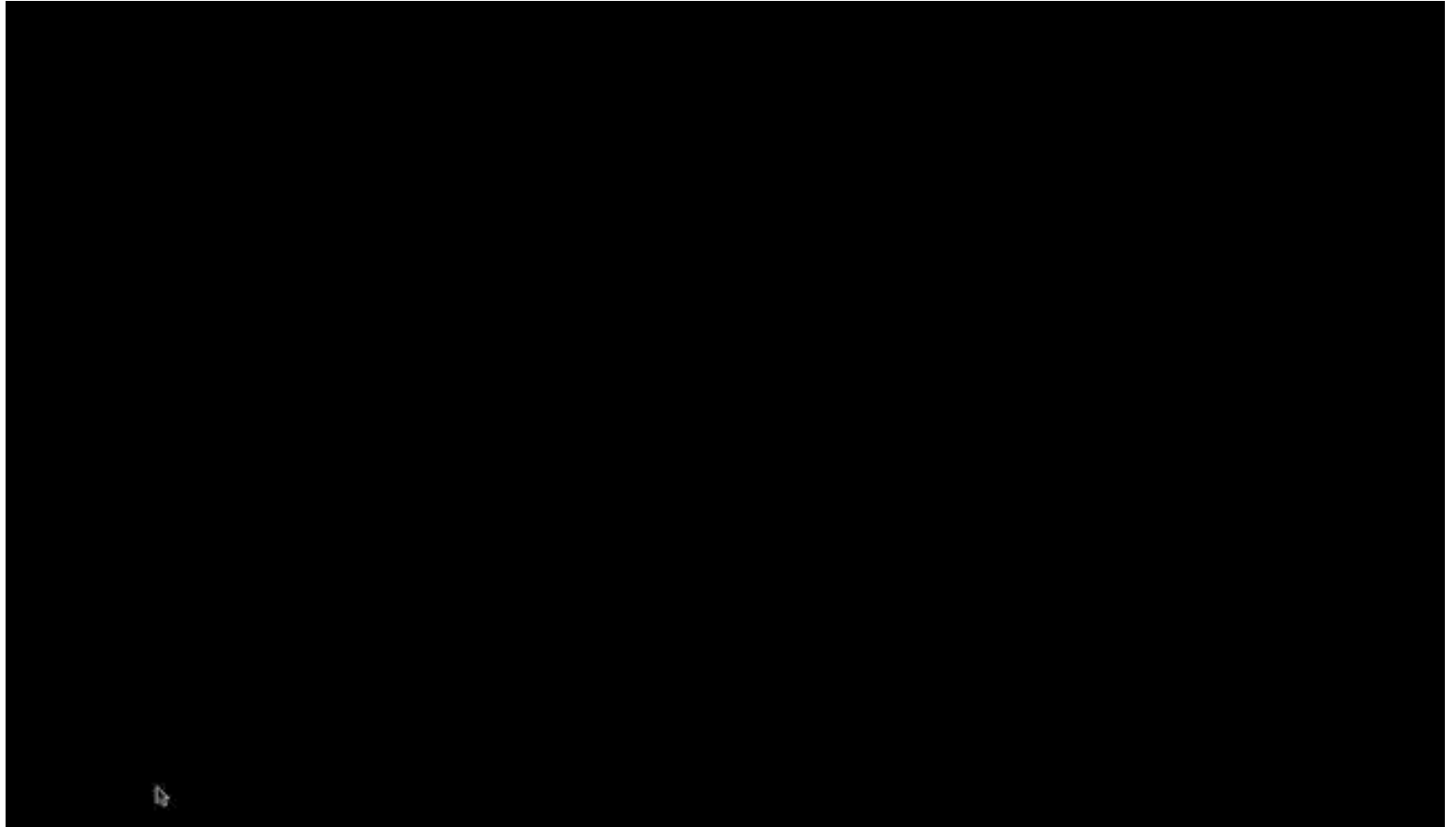
AMAC₃

Kontrol sistemleri üzerine bir takım temel kavramları anlamak

Kontrol sistemlerinde modellemenin yerini kavramak.

Kontrol sistemleri konusunda ufkumuzu genişletmek.

KONTROL NEDİR – KONTROL SİSTEMİ NEDİR?



KONTROL NEDİR – KONTROL SİSTEMİ NEDİR?



Tanım:

Bir sistemin davranışının istenildiği şekilde değiştirilmesine yönelik çalışmalara **kontrol** denir.

Davranışları kontrol edilen sistemler kontrol sistemidir.

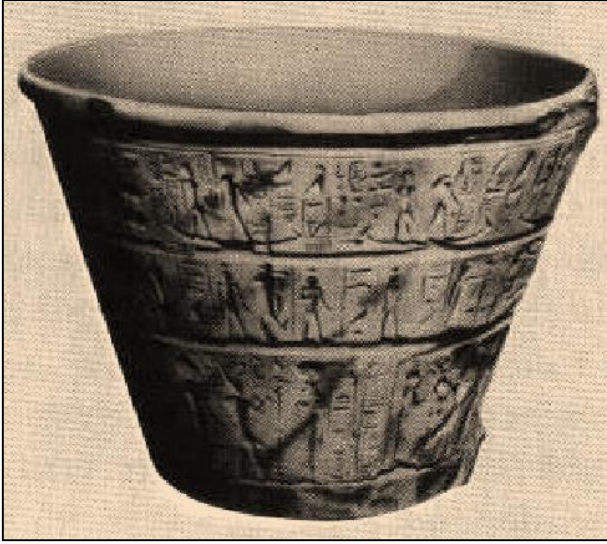
Tanım:

En genel anlamda, hedeflere ulaşmak için stratejiler içeren sistemlere **kontrol sistemleri** denir.

TARİHÇE

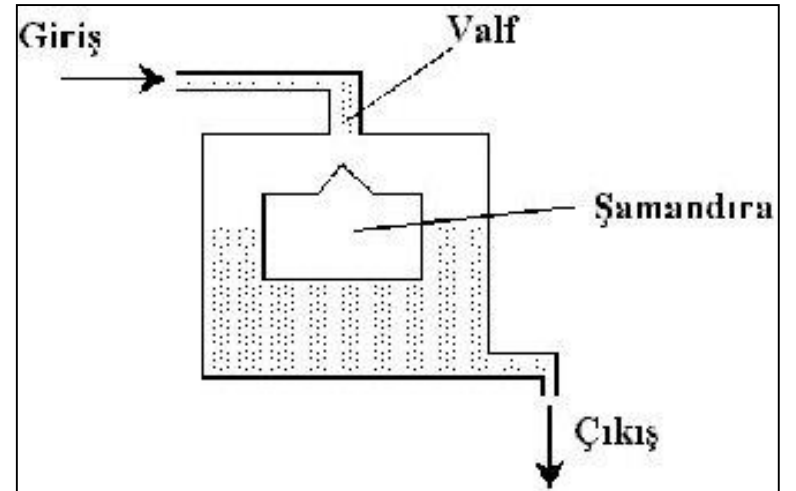
- Dinamik sistemlerin temelini oluşturan **geribesleme kavramının** bilincine çok yakın zamanlarda varılmış olmasına rağmen (19. yüzyıl sonu), bu düşüncenin eski çağlardan beri algılandığı ve başarı ile uygulandığı bilinmektedir.

TARİHÇE



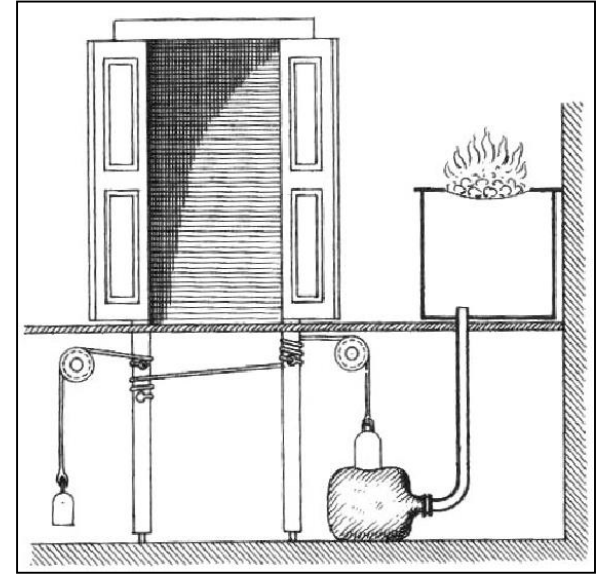
- MISIR SU SAATİ (M.Ö 1400)

- DEBİ REGÜLATÖRÜ
(Ktesibios, M.Ö. III. Yüzyıl)



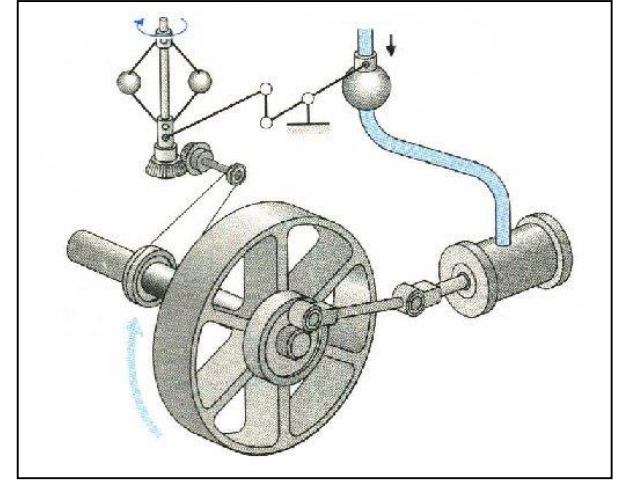
TARİHÇE

- TAPINAK KAPILARININ OTOMATİK AÇILMASI (İSKENDERİYE'Lİ HERON, M.S 1.yy)



TARİHÇE

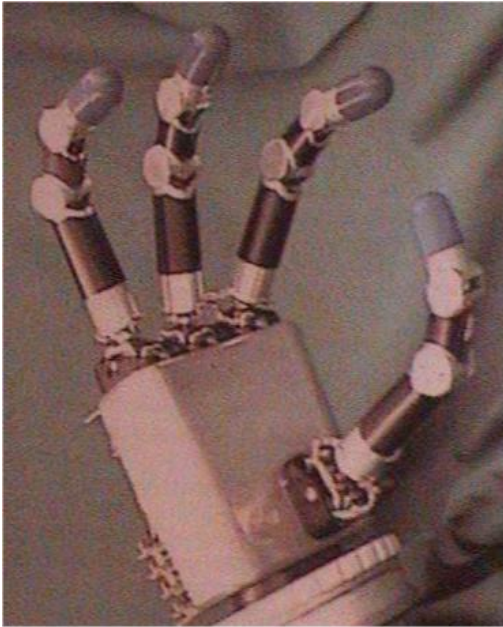
- WATT'IN MAKİNASINDAKİ DEBİ KONTROLU (BUHAR MAKİNASI, 1820)



- ENDÜSTRİYEL KONTROL
(19.yy sonundan itibaren)

TARİHÇE

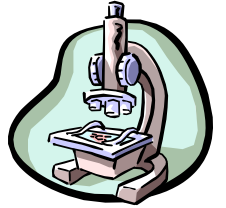
- UÇAK KONTROL SİSTEMLERİ
(20. yy ORTALARI)



- DOĞADAKİ CANLILARI
TAKLİT EDEN ROBOTLAR

KONTROL SİSTEMİNİN TEMEL ÖĞELERİ?

Bir kontrol sistemi genelde üç temel öğeden oluşur:



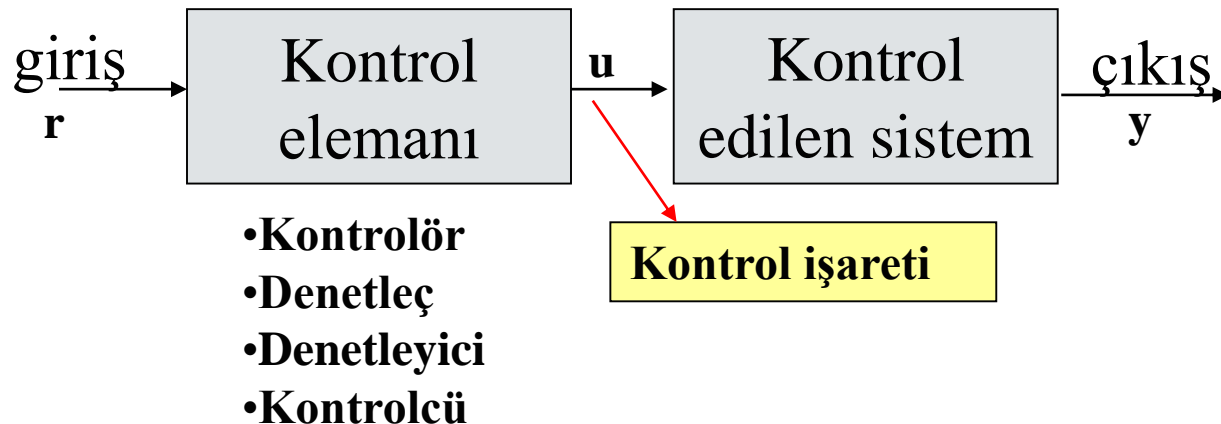
- 1) Kontrolün amacı (giriş, referans)
- 2) Kontrol sisteminin elemanları
- 3) Sonuç veya çıkış



KONTROL SİSTEMİ

Kontrol sistemleri genelde iki kısımdan oluşur:

- 1) **Kontrol edilen sistem:** Çıkışları kontrol edilmek istenen sistem.
- 2) **Kontrol elemanı:** Kontrol edilen **sistem**in verilen amaca yönelik çıkışları üretmesi için gerekli olan kontrol **işaret**lerini üreten elemanlar topluluğu (Genelde elektronik bir devre ya da bir program olarak ortaya çıkar).



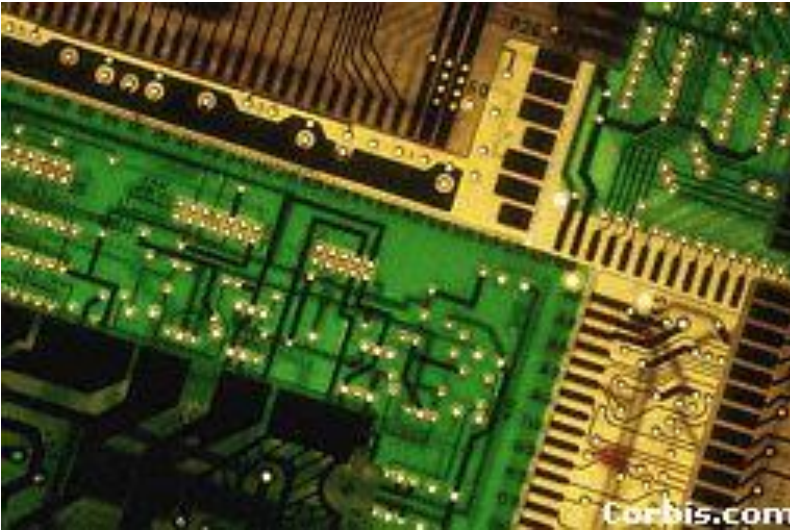
SİSTEM NEDİR? İŞARET NEDİR?

Sistem: Özel bir görevi yapmak üzere, aralarında belirli ilişkiler ve etkileşimler bulunan nesneler ve donanımların bir bütün oluşturacak biçimde bütünleşik kombinezonu.

İşaret: Sistem elemanlarının ve sistemlerin birbirleriyle etkileşmesini sağlayan her türlü ölçülebilir büyüklük.



ÖRNEK – ELEKTRİKSEL SİSTEMLER



Sistem: Bir elektrik devresi

Olası işaretler:

- gerilim,
- akım



ÖRNEK – MEKANİK SİSTEMLER



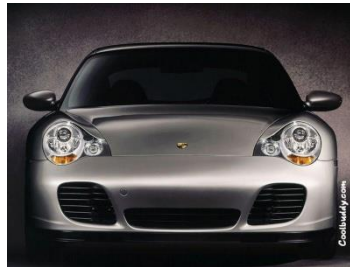
Örnek Sistem: Araba

Olası İşaretler:

- Arabanın konum, açısı ve hızı
- Direksiyonun konumu
- Fren, gaz pedallarının konumu
- Vites konumu

Ayrıca

- Balatalara uygulanan fren darbeleri (ABS fren sistemi)
- Tekerleklerin kayma miktarı



ÖRNEK – AERODİNAMİK SİSTEMLER



- Örnek Sistem: Uçak
- Olası İşaretler:
 - Üç boyutta konum, hız ve ivme
- Ayrıca
 - Tekerleklerin konumu
 - Kabin basıncı
 - Motor hızı

ÖRNEK – AERODİNAMİK SİSTEMLER



Örnek Sistem: Füze

Olası İşaretler:

- Hedefe olan uzaklık,
- vuruş açısı



ÖRNEK – ELEKTROMEKANİK SİST.



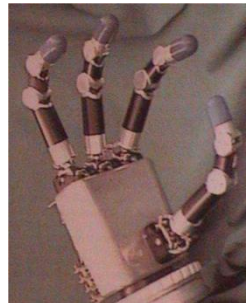
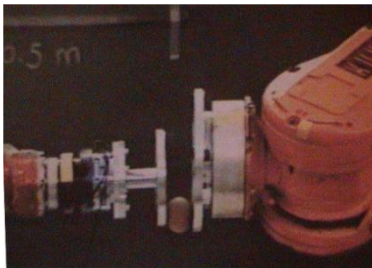
Örnek sistem: Elektrik motoru

Olası işaretler:

- Armatür gerilimi,
- armatür akımı,
- motor milinin açısı,
- açısal hız



ÖRNEK – ELEKTROMEKANİK SİST.



- Örnek Sistem: Robot Kol
- Olası İşaretler:
 - Her bir eklemin konum,
 - hız
 - ve açısı
 - Motorlara uygulanan gerilimler

ÖRNEK – UZAKTAN KONTROL SİS.



Örnek Sistem: İnternet üzerinden cerrahi operasyon yapan bir robot.

Olası işaretler:

- Hastanın konumu
- Cerrahin el hareketleri
- Robot elinin konumu



ÖRNEK – KAĞIT MAKİNASI



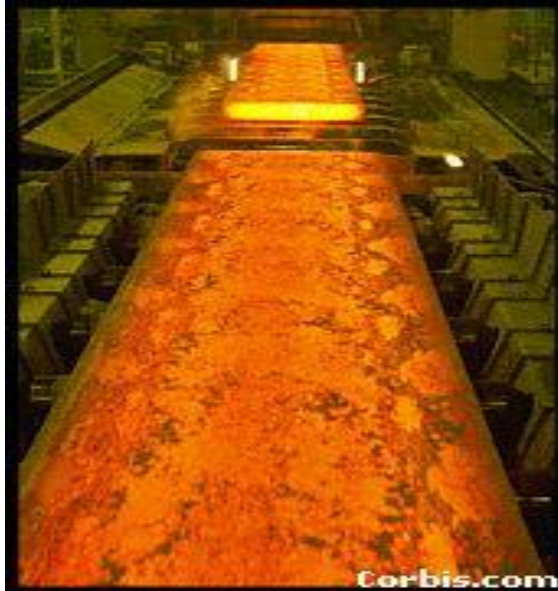
Örnek Sistem: Kağıt makinası

Olası İşaretler:

- Kağıt inceliği
- Ham madde akış hızı
- Kağıt parlaklığı



ÖRNEK – ÇELİK ÜRETİMİ



Örnek Sistem: Çelik levha üretim bandı

Olası İşaretler:

- Levha kalınlığı
- Akan ham madde yoğunluğu
- Demir oranı



ÖRNEK – ISIL SİSTEMLER



Örnek sistem: Bir oda

Olası işaretler:

- Sıcaklık
- Nem
- Radyatör vanasının konumu



ÖRNEK – FOTO-ELEKTRİK SİSTEMLER



Örnek Sistem: Güneş paneli

Olası İşaretler:

- Güneş ışınlarının gelme açısı
- Üretilen elektrik enerjisi



ÖRNEK – AKIŞKAN SİSTEMLER



Örnek sistem: Bir sıvı tankı

Olası işaretler:

- Tanktaki sıvı seviyesi,
- sıvı basıncı,
- debi



ÖRNEK – ELEKTROMANYETİK SİST.



Örnek Sistem:
Elektromanyetik askı
sistemi

Olası işaretler:

- Topun konumu
- Sargı akımı

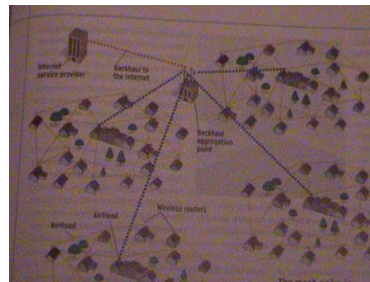
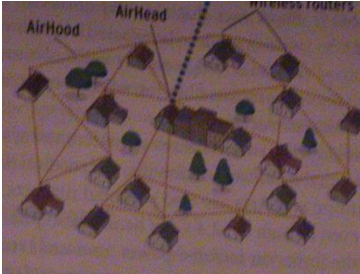
ÖRNEK – BİLGİ İLETİM SİSTEMLERİ



Örnek Sistem: Internet

Olası işaretler:

- ortalama veri akış hızı,
- bağlantı için bekleme süresi



ÖRNEK – TRAFİK YOĞUNLUĞU



- Sistem: Şehir trafiği
- Olası İşaretler:
 - Bir bölgede kırmızı ışıktaki bekleyen araba sayısı
 - Bir sokaktaki ortalama araç hızı
 - Bir noktada kırmızı ışık yanma süresi



ÖRNEK – SOSYAL SİSTEMLER



Örnek sistem: Toplum

Olası işaretler:

- Birey sayısı,
- nüfus artışı



ÖRNEK – EKONOMİK SİSTEMLER



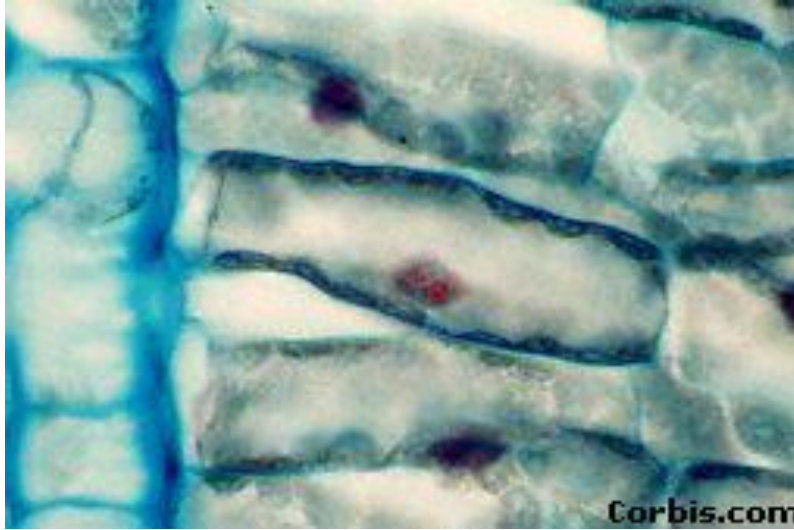
Örnek Sistem: Bir ülkenin ekonomisi

Olası İşaretler:

- enflasyon,
- ekonomik büyüme,
- vergi oranları



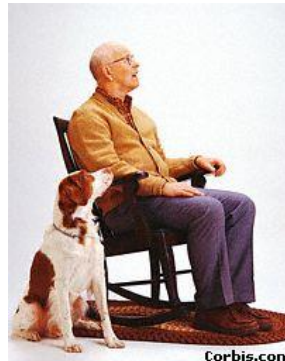
ÖRNEK – BİYOLOJİK SİSTEMLER



Örnek sistem: insan vücudu

Olası işaretler:

- nabız,
- tansiyon,
- kan şekeri düzeyi,
- enjekte edilen insülin dozu



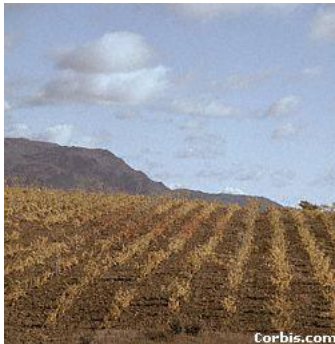
ÖRNEK – TARIM ENDÜSTRİSİ



Örnek sistem: Tarla

Olası işaretler:

- Kullanılan gübre
- Sulama sıklığı
- Elde edilen ürün miktarı



ÖRNEK – EKOLOJİK SİSTEMLER



Örnek sistem: Bir petro-kimya tesisinin çevresi

Olası işaretler:

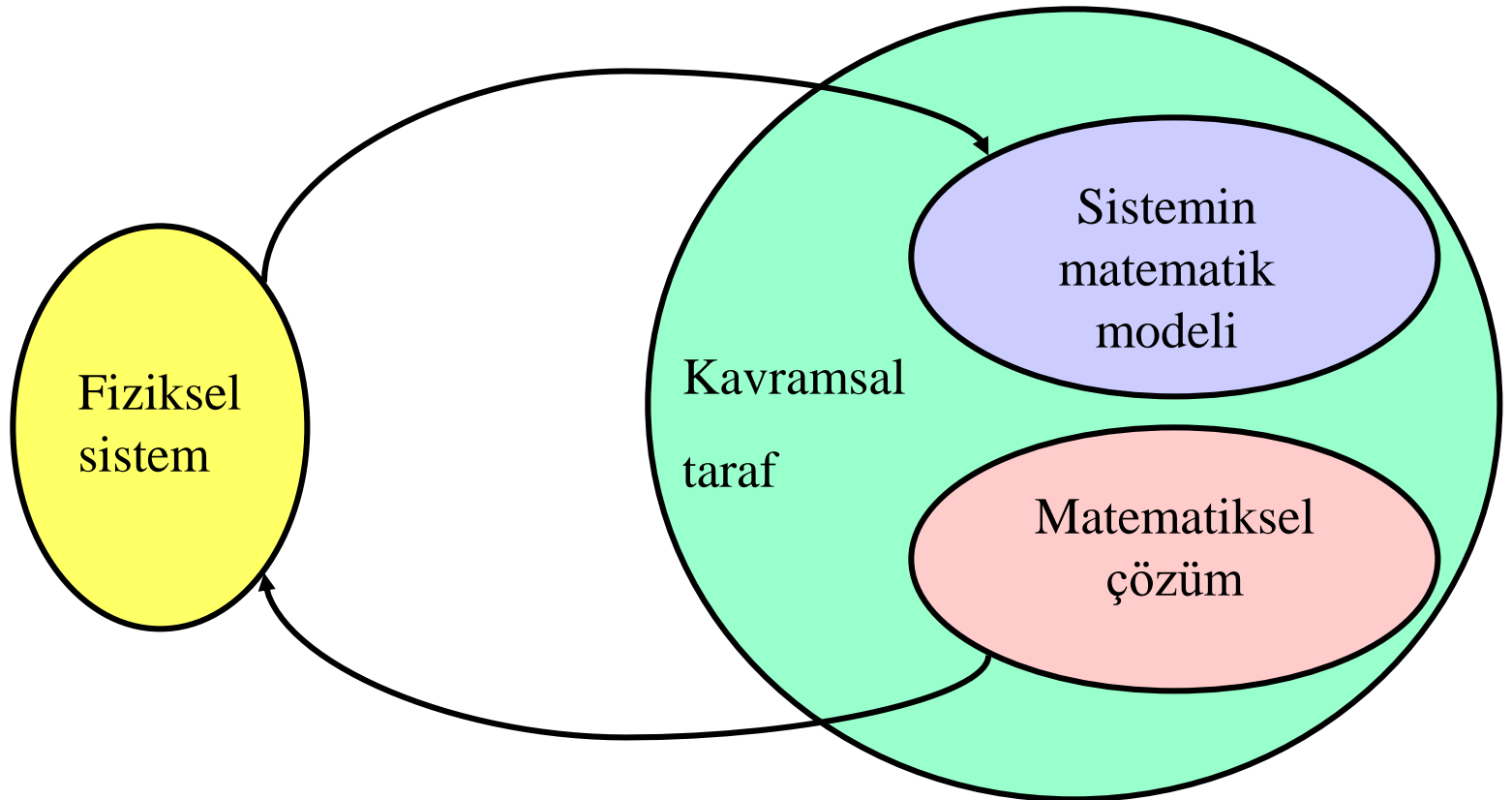
- Çevreye salınan zehirli madde miktarı
- İşlenen ham madde miktarı
- Arıtma tesisleri için harcanan para



ORTAK NOKTA!

Tüm bu sistemlerin ortak noktası
davranışlarının matematiksel ifadelerinin
birbirlerine benzemesidir.

ÇÖZÜM YAKLAŞIMI



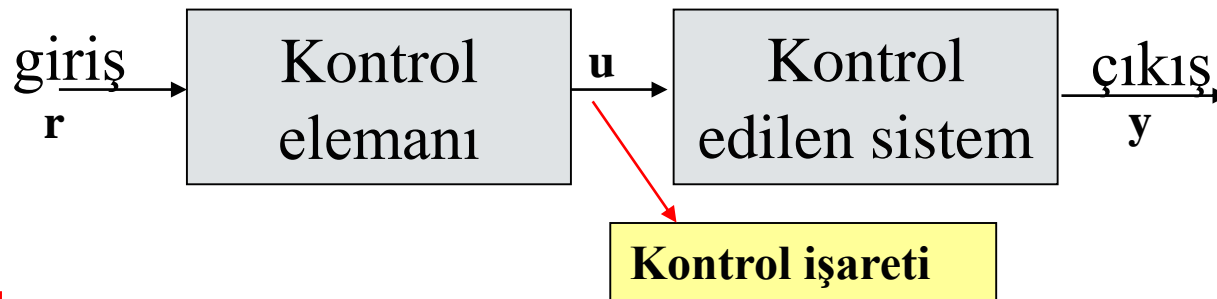
KONTROL YÖNTEMLERİ

Matematik modelini belirlediğimiz bir sistemi kontrol etmek için kullanılabilecek kontrol yöntemleri iki ana gruba ayrılabilir:

- 1. Açık çevrim kontrol yöntemleri**
- 2. Kapalı çevrim kontrol yöntemleri**

AÇIK ÇEVİRİM KONTROL

Blok diyagramı şu şekilde verilen sistemlere açık çevrim kontrol sistemleri denir.



Tanım:

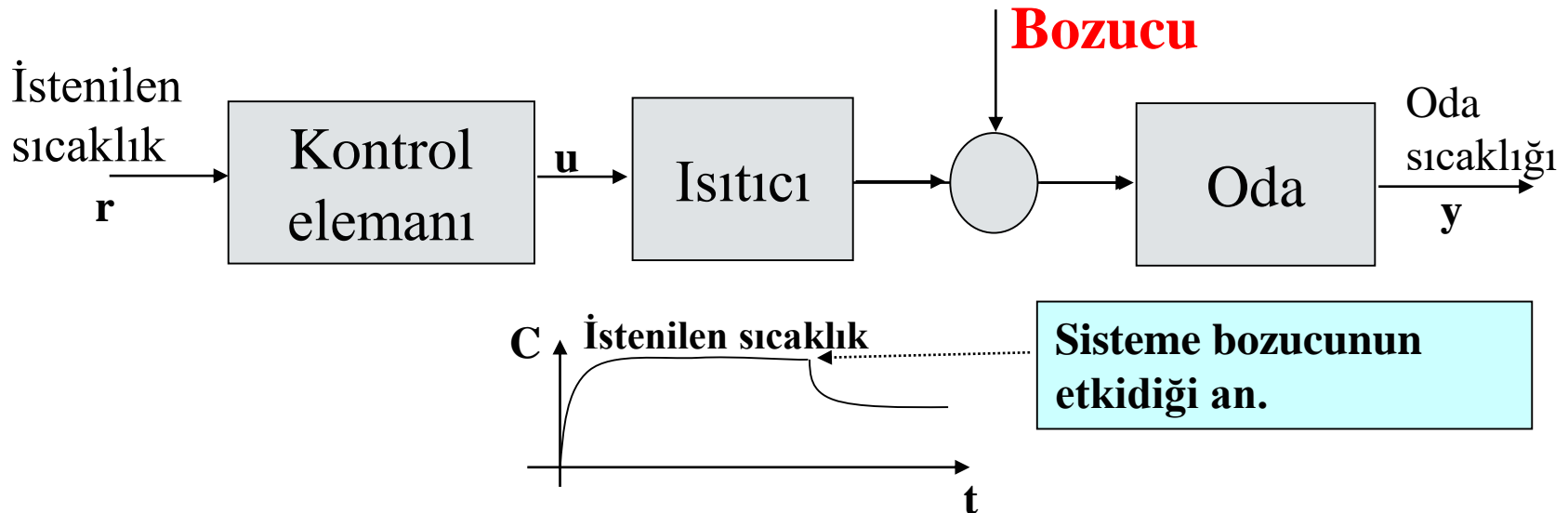
Kontrol işareti çıkış işaretinden etkilenmeyen sistemlere açık çevrim kontrol sistemleri denir.

Örnekler: Çamaşır makinesi, ekmek kızartma makinesi, trafik ışıkları

AÇIK ÇEVİRİM KONTROL

Bir açık çevrim kontrol sistemi sistem **parametre**lerindeki **değişiklik**ler ya da sisteme etkiyen **bozucular** nedeniyle sistem çıkışında oluşabilecek olan değişiklikleri düzeltemez!

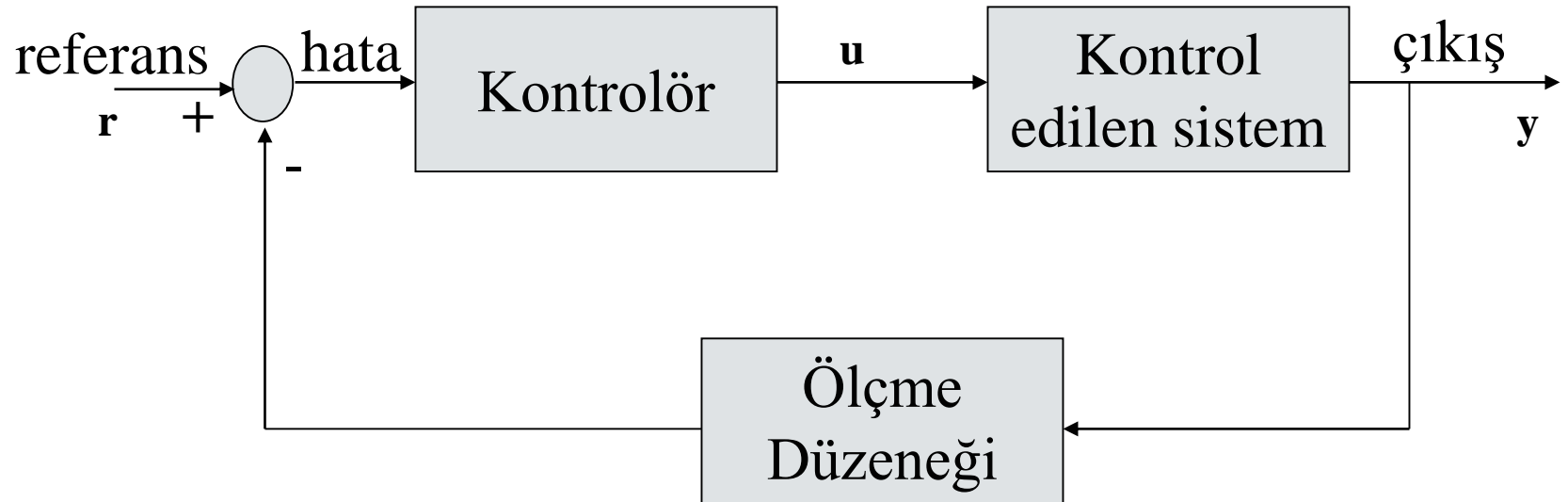
Örnek: Bir odada sıcaklık kontrolü.



KAPALI ÇEVİRİM KONTROL

Tanım:

Sisteme etkiyen kontrol işaretinin sistem çıkışının da göz önüne alınarak üretildiği kontrol sistemlerine kapalı çevrim (**geri beslemeli**) kontrol sistemleri denir.

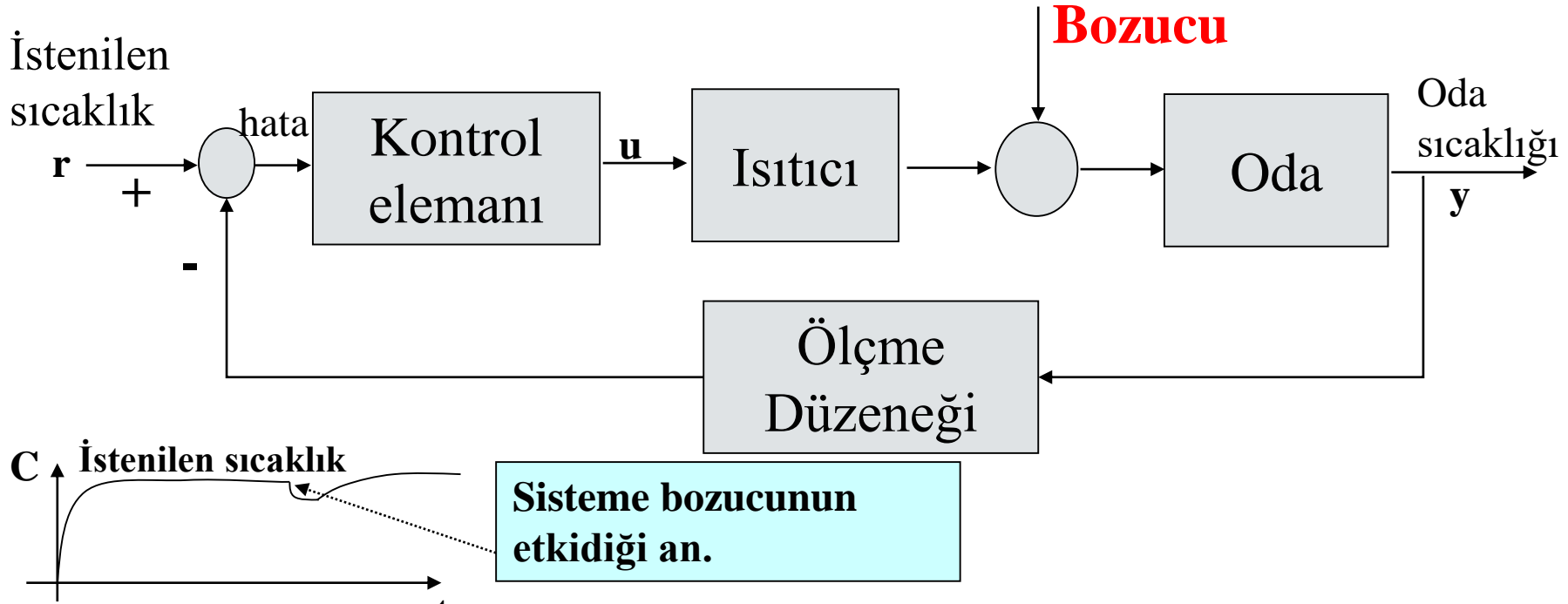


Tanım: Çıkışın bu şekilde sistem girişine yansıtılması işlemine **geri besleme** denir.

KAPALI ÇEVİRİM KONTROL

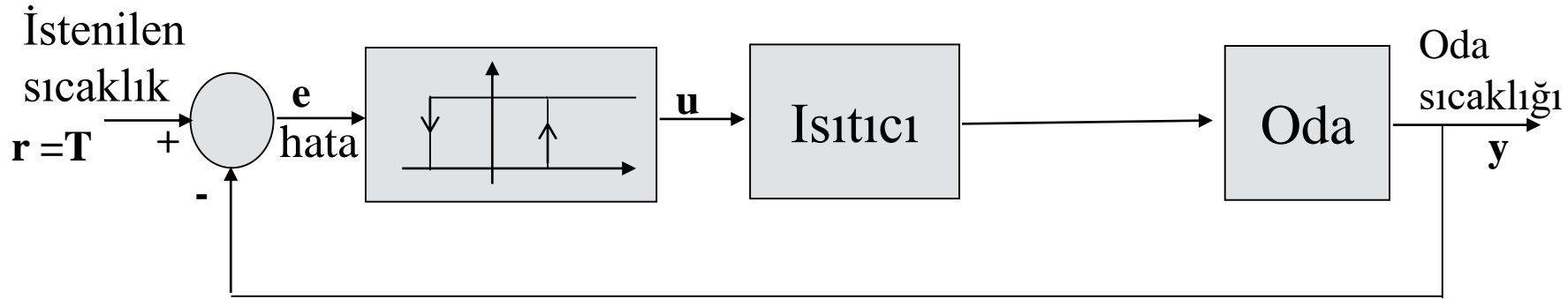
Bir kapalı çevrim kontrol sistemi sistem parametrelerindeki **değişiklikler** ya da sisteme etkiyen **bozucular** nedeniyle sistem çıkışında oluşabilecek olan değişiklikleri düzeltebilir!

Örnek: Bir odada sıcaklık kontrolü.

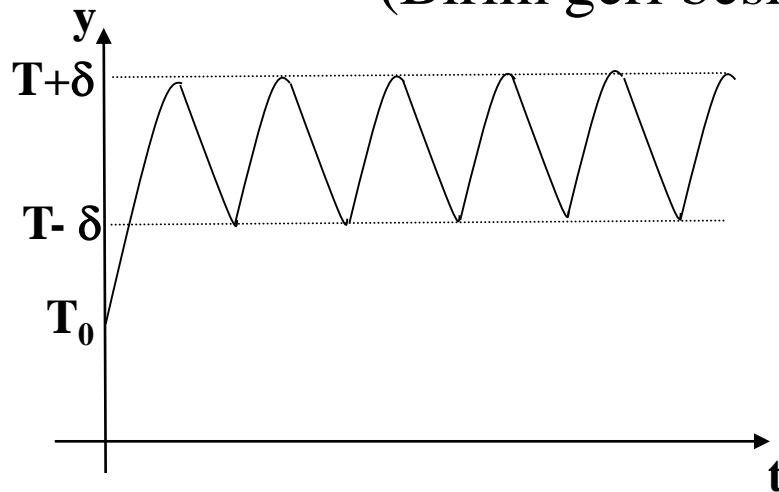


KAPALI ÇEVİRİM KONTROL

On/off kontrol ile oda sıcaklığı ayarı:



(Birim geri besleme)



SİSTEM MODELİNİN ÇIKARILMASI

Verilen bir sistemin matematik modelinin bulunması için kullanılan yöntemler iki kategoriye ayrılabilir:

1. Analitik Yöntemler
2. Sistem Tanıma Yöntemleri

ANALİTİK YÖNTEMLER

Burada sistemi oluşturan elemanlar, bu elemanların birbiriyle nasıl bağıntılı olduğu ve her bir elemana ilişkin denklemler bilinir.

Bilinen fizik, kimya vb kanunlar kullanılarak sistem içindeki işaretlerin birbirleriyle ilişkileri matematik olarak ifade edilir.

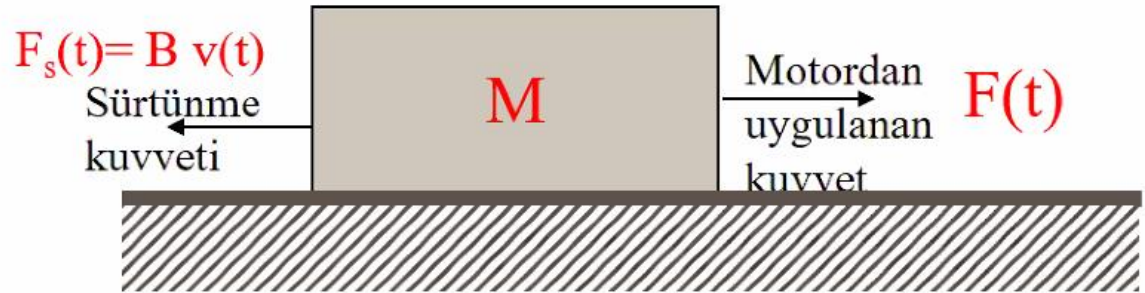
ANALİTİK YÖNTEMLER

Özellikle sistemin giriş işareti ile çıkış işareti arasındaki bağıntı bizim için özel bir anlam ifade etmektedir.
(Transfer fonksiyonu)



Birbirlerinden tamamen farklı gibi görünen sistemlerin matematiksel ifadeleri benzer olabilir!

Örnek – Arabada Hız Kontrolü



Sistemin girişi : $F(t)$

Sistemin çıkışı : $v(t)$

Newton Kanunu:

$$F(t) - F_s(t) = M a(t)$$

$$F(t) - Bv(t) = M \frac{dv(t)}{dt}$$

$$F(t) = M \frac{dv(t)}{dt} + Bv(t)$$

Örnek – Arabada Hız Kontrolü



$$F(t) = M \frac{dv(t)}{dt} + Bv(t)$$

$$v(t) = C e^{-\frac{Bt}{M}} + \frac{e^{-\frac{Bt}{M}} \int_0^t e^{\frac{B\tau}{M}} F(\tau) d\tau}{M}$$

İlk koşullara bağlı bir sabit.

Öyleyse verilen bir $F(t)$ kuvveti için arabanın nasıl hızlanacağı bulunabilir.

Örnek – Arabada Hız Kontrolü



Eğer $F(t)=F$ sabit ve $v(0)=0$ ise

$$v(t) = \frac{F}{B} (1 - e^{-\frac{B}{M}t})$$

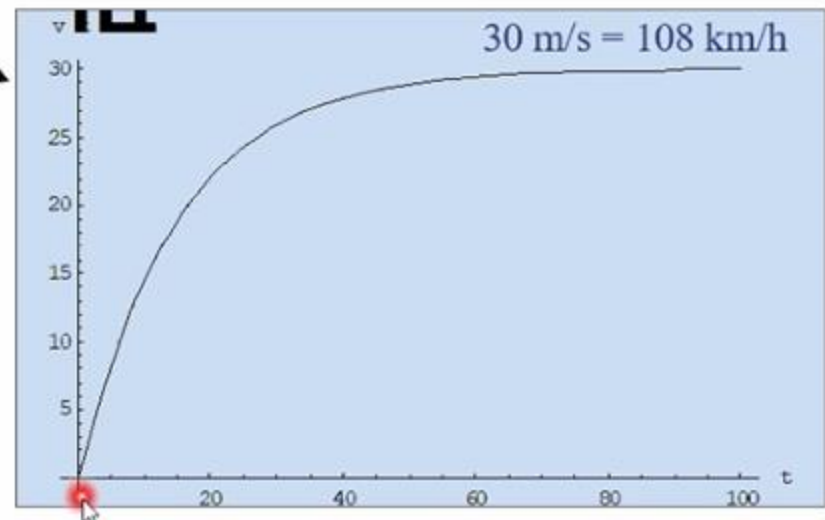
Örneğin

$M=1500$ kg

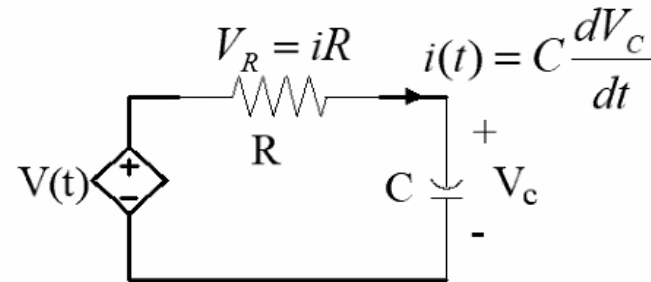
$B=100$ kg/s

$F=3000$ N

alınırsa:



Örnek – RC Devresi



Sistemin girişı : $V(t)$

Sistemin çıkışı : $V_c(t)$

Kirchoff Kanunu:

$$V(t) = V_R(t) + V_C(t)$$

$$V(t) = Ri(t) + V_C(t)$$

$$V(t) = RC \frac{dV_c(t)}{dt} + V_c(t)$$

Örnek – RC Devresi



Eğer $V(t)=V$ sabit ve $V_C(0)=0$ ise

$$v(t) = V(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

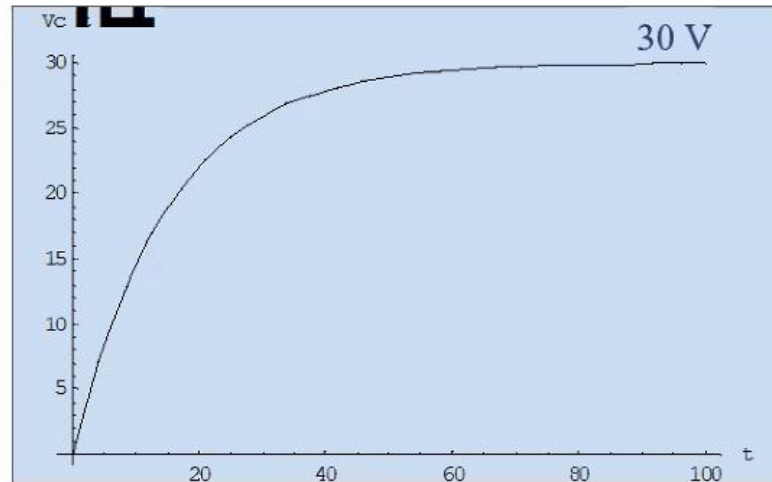
Örneğin

$$C=100 \mu\text{F}$$

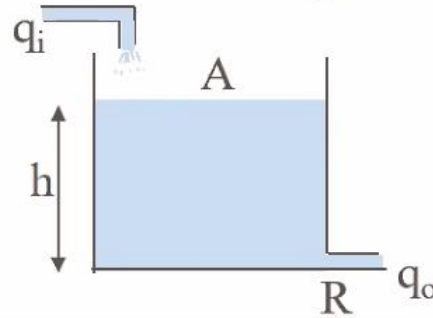
$$R=150 \text{ k}\Omega$$

$$V=30 \text{ V}$$

alınırsa:



Örnek – Sıvı Seviye Kontrolü



$$q_i(t) - q_o(t) = A \frac{dh(t)}{dt}$$

$$q_o(t) = \frac{h(t)}{R}$$

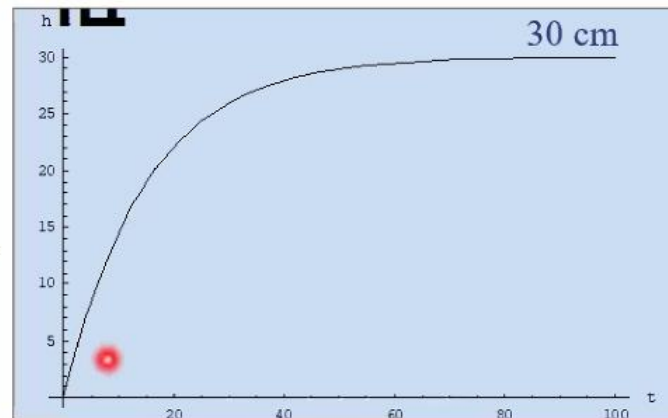
$$q_i(t) = A \frac{dh(t)}{dt} + \frac{1}{R} h(t)$$

Sistemin girişi : $q_i(t)$
Sistemin çıkışı : $h(t)$

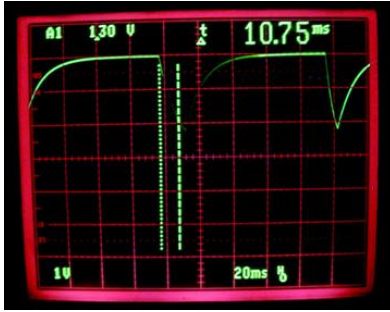
Eğer $q_i(t) = q$ sabit ve $h(0) = 0$ ise

$$h(t) = qR(1 - e^{-\frac{t}{AR}})$$

Örneğin
 $A = 15 \text{ cm}^2$
 $R = 1 \text{ s/cm}^2$
 $q = 30 \text{ cm}^3/\text{s}$
alınırsa:



SİSTEM TANIMA

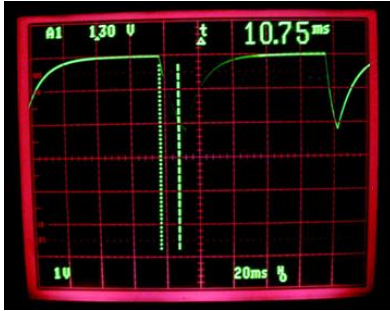


Bazı durumlarda sistemi oluşturan elemanlar tam olarak belli olmayabilir ya da bunlara ilişkin denklemlerden yola çıkarak sistemin modelini bulmak çok zor olabilir.

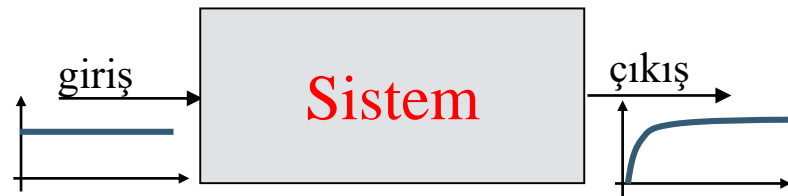
Böyle sistemler genelde içinde ne olduğu tam olarak bilinmeyen bir sistemi temsil eden kara kutu olarak ele alınır.



SİSTEM TANIMA



Bu durumda sistem girişine çeşitli test işaretleri uygulanarak sistem çıkışı gözlenir. Çıkış işaretlerine bakılarak sistemin modeli kestirilebilir.



İşte bu tip çalışmalara **sistem tanıma** adı verilir.



VIDEO

ÖZET

Kontrol sistemleri çok eski tarihlerden beri başarı ile uygulanmaktadır.

Açık çevrim ve kapalı çevrim olmak üzere iki temel kontrol stratejisi bulunmaktadır.

Birbirinden çok farklı gözüken sistemlerin matematik modelleri birbirine benzeyebilir.

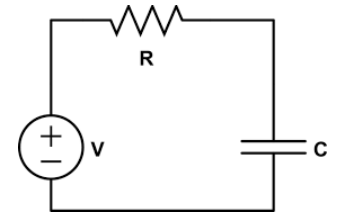
Sistem modellemede iki temel yöntem bulunur:

- Analitik yöntemler
- Sistem tanıma

SİSTEM ÇEŞİTLERİ

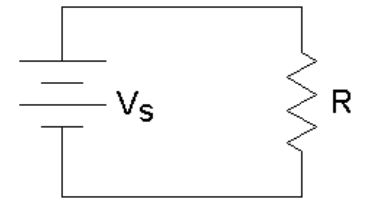
Dinamik Sistem: Herhangi bir andaki davranışı, o anda sisteme uygulanan girdi ile o andan önce sisteme uygulanan girdilerin bazılarına bağlı olan sistemlerdir.

- Belleği olan sistemleridir.
- Diferansiyel denklemlerle ifade edilirler.



Statik Sistem: Herhangi bir andaki davranışı, yalnızca o anda sisteme uygulanan girdi ile alakalıdır.

- Bellekleri yoktur.



SİSTEM ÇEŞİTLERİ

Örnek

Doğrusal (Lineer) Sistem: Bir sistemin x_1 girişine cevabı y_1 , x_2 girişine cevabı y_2 olsun. Aşağıdaki 2 özellik sağlanırsa sistem doğrusaldır.

- $x_1 + x_2$ girişine cevap $y_1 + y_2$ 'dir
- ax_1 girişine cevap ay_1 'dir.

Yukarıdaki 2 özelliği aynı anda sağlayıp sağlamadığı, aşağıdaki özelliğe bakarak test edilebilir:

$$a_1x_1 + a_2x_2 \rightarrow a_1y_1 + a_2y_2$$

$$y(t) = \int_0^t x(z) dz \quad \left(\begin{array}{l} \text{integral} \\ \text{alen bir} \\ \text{sistem} \end{array} \right)$$

$$x_1 \rightarrow y_1 = \int_0^t x_1(z) dz$$

$$x_2 \rightarrow y_2 = \int_0^t x_2(z) dz$$

$$a_1x_1 + a_2x_2 \rightarrow \int_0^t [a_1x_1(z) + a_2x_2(z)] dz$$

$$= \int_0^t a_1x_1(z) dz + \int_0^t a_2x_2(z) dz$$

$$= a_1y_1 + a_2y_2$$

Demek ki sistem doğrusaldır.

SİSTEM ÇEŞİTLERİ

Örnek

Doğrusal (Lineer) Sistem: Bir sistemin x_1 girişine cevabı y_1 , x_2 girişine cevabı y_2 olsun. Aşağıdaki 2 özellik sağlanırsa sistem doğrusaldır.

- $x_1 + x_2$ girişine cevap $y_1 + y_2$ 'dir
- ax_1 girişine cevap ay_1 'dir.

Yukarıdaki 2 özelliği aynı anda sağlayıp sağlamadığı, aşağıdaki özelliğe bakarak test edilebilir:

$$a_1x_1 + a_2x_2 \rightarrow a_1y_1 + a_2y_2$$

$y(t) = 2x(t) + 3$, girişi x çıktı y olan bu sistem lineer midir?

$$x_1 \rightarrow y_1 = 2x_1 + 3$$

$$x_2 \rightarrow y_2 = 2x_2 + 3$$

$$a_1x_1 + a_2x_2 \rightarrow 2(a_1x_1 + a_2x_2) + 3 \stackrel{?}{=} a_1y_1 + a_2y_2$$
$$= 2a_1x_1 + 2a_2x_2 + 3$$

$$\neq \underbrace{a_1(2x_1 + 3)}_{y_1} + \underbrace{a_2(2x_2 + 3)}_{y_2}$$

Demek ki sistem doğrusal değildir.

SİSTEM ÇEŞİTLERİ

Örnek

Zamanla Değişmeyen Sistem (Time Invariant, TI): Bir sistemin çıkışı, zamandan bağımsız olarak yalnızca girişe bağımlı ise, bu sistem zamanla değişmez.

Örnek

$$y(t) = 10 \cdot x(t)$$

Zamanla değişmez!

$t=1$ 'de $\left. \begin{array}{l} t=5 \end{array} \right\}$ her ikisinde de aynı, $10 \sin(t)$ dir.

$$y(t) = t \cdot x(t)$$

Zamanla değişir!

$t=1$ 'de $\sin(t)$ gireriz $y(t) = \sin(t)$
 $t=5$ 'de $\sin(t)$ gireriz $y(t) = 5 \sin(t)$

SİSTEM ÇEŞİTLERİ

Nedensel Sistem : Eğer bir sistemin herhangi bir zamandaki çıkışı sadece o zamandaki ve geçmiş zamanlardaki girdilere bağlıysa ve girdinin gelecekteki değene bağlı değilse buna nedensel sistem denir.

Örnek

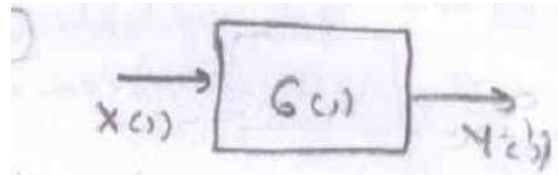
$$y(t) = 3 \cdot x(t-2) \longrightarrow \text{Nedensel}$$

$$y(t) = \frac{1}{c} \int_{-\infty}^t x(z) dz \longrightarrow \text{Nedensel}$$

$$y(t) = x(t+2) \longrightarrow \text{Nedensel değil (fiziksel olarak gerçekleşemez)}$$

TRANSFER FONKSİYONU

Doğrusal, zamanla değişmeyen (Linear Time Invariant, LTI) ve nedensel bir diferansiyel denklem sisteminin transfer fonksiyonu, başlangıç koşullarının sıfır olduğu varsayılarak; çıkışının Laplace dönüşümünün, girişinin Laplace dönüşümüne oranıdır.



A block diagram showing a system with input $x(t)$ entering a block labeled $G(s)$, and output $y(t)$ exiting the block.

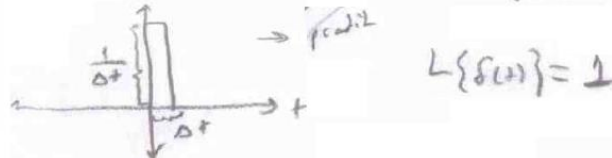
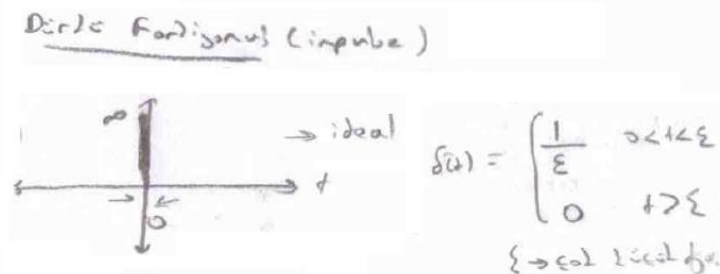
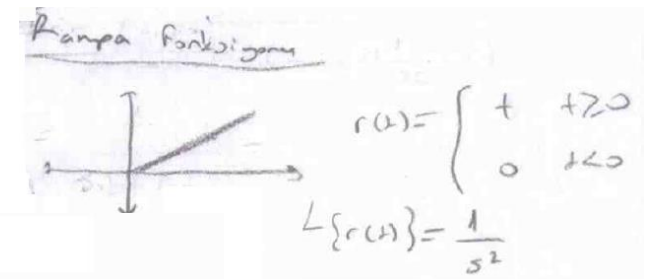
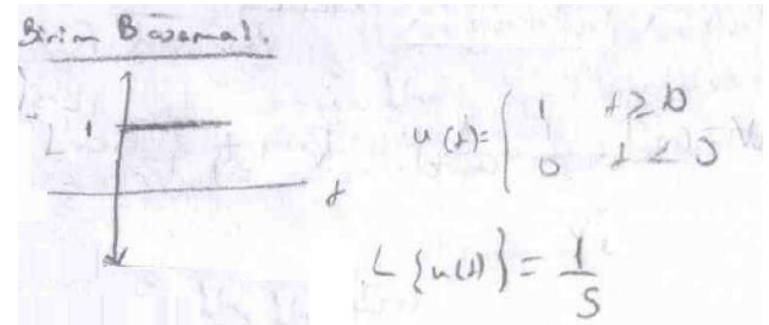
$$T.f = G(s) = \frac{L\{y(t)\}}{L\{x(t)\}} = \frac{Y(s)}{X(s)}$$

HATIRLATMA

Laplace dönüşümü tanımı: $\mathcal{L}[f(t)](s) \equiv \int_0^{\infty} f(t) e^{-st} dt,$

Bazı önemli fonksiyonların Laplace dönüşüm değerleri:

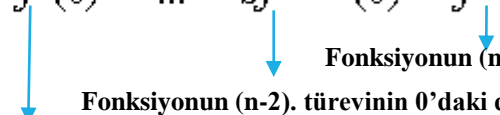
Function	Laplace Transform
1	$\frac{1}{s}$
e^{at}	$\frac{1}{s-a}$
t^n	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
$\cos at$	$\frac{s}{s^2 + a^2}$
$\sin at$	$\frac{a}{s^2 + a^2}$



HATIRLATMA

Bir fonksiyonun n. dereceden türevinin Laplace dönüşümü:

$$\mathcal{L}\left\{\frac{d^n f}{dx^n}\right\} = s^n F(s) - s^{n-1}f(0) - s^{n-2}f'(0) - \dots - sf^{(n-2)}(0) - f^{(n-1)}(0)$$


Fonksiyonun (n-2). türevinin 0'daki değeri Fonksiyonun (n-1). türevinin 0'daki değeri
Fonksiyonun türevinin 0'daki değeri

İlk koşullar 0 olursa:

$$\mathcal{L}[f^n(t)] = s^n \mathcal{L}[f(t)] = s^n F(s)$$

TRANSFER FONKSİYONU (DEVAM)

n. mertebeden doğrusal, zamanla değişmeyen bir diferansiyel denklem şu şekildedir:

$$a_0 y^{(n)} + a_1 y^{(n-1)} + \dots + a_{n-1} \dot{y} + a_n y = b_0 x^{(m)} + b_1 x^{(m-1)} + \dots + b_{m-1} \dot{x} + b_m x$$

Transfer fonksiyonu tanımında, başlangıç koşullarının 0 olduğunu söylemiştik:

$$a_0 s^n Y(s) + a_1 s^{n-1} Y(s) + \dots + a_{n-1} s Y(s) + a_n Y(s) = b_0 s^m X(s) + b_1 s^{m-1} X(s) + \dots + b_m X(s)$$

$$[a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n] Y(s) = [b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m] X(s)$$

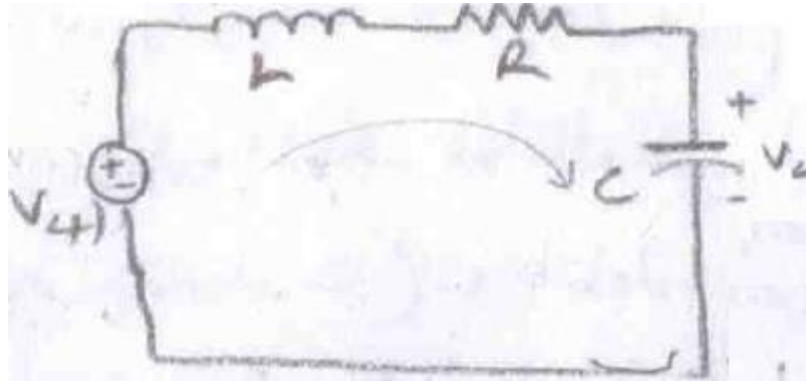
$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{b_0 s^m + b_1 s^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + \dots + a_n}$$

Payın kökleri: Sistem sıfırları (zeros)

Paydanın kökleri: Sistem kutupları (poles)

TRANSFER FONKSİYONU (DEVAM)

Örnek: Girişi $V(t)$, çıkışı $V_c(t)$ olan aşağıdaki devrenin transfer fonksiyonu nedir?



$$\frac{V_c}{V} = \frac{1}{s^2 LC + sRC + 1}$$

TRANSFER FONKSİYONU (DEVAM)

- Transfer fonksiyonu, sistemin kendisiyle ilgili bilgi verir. Giriş işaretinden bağımsızdır.
- Çıkışla giriş arasındaki ilişkiyi belirleyen diferansiyel denklemin özel bir gösterim biçimidir.
- Çıkış-giriş arasındaki ilişkiyi verdiği için, sistemin fiziksel yapısı hakkında bilgi içermez. Bir elektrik devresindeki çıkış akımı ve giriş gerilimi arasındaki transfer fonksiyonu ile, mekanik bir sisteme ait çıkış hızı ve giriş torku arasındaki transfer fonksiyonu aynı olabilir.
- Transfer fonksiyonu verilen bir sistemin, farklı girişlere nasıl tepkiler verebileceği kestirilebilir.
- Transfer fonksiyonları; deneysel ve analitik olmak üzere 2 farklı biçimde elde edilebilir.