

## Soru

Aşağıda durum denklemleri verilen sistemde  $r(t)=10$ ,  $u_1=100$ ,  $u_2=0$ ,  $dt=0.01$ ,  $t_{end}=1$ ,  $t_0=0$ , ve  $x_0(1) = x_0(2) = 0$  alarak, bu sistemin simülasyonunu

- Denetimsiz ve
- 9 kurallı kural tablosunu kullanarak bulanık denetimle yapınız.
- 25 kurallı kural tablosunu kullanarak bulanık denetimle yapınız.

Durum denklemi

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4 & -3 \\ 1 & -8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

Çıkış denklemi

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

## Cevap

a şıkkı çözümü için önce denetimsiz yöntemle simülasyon oluşturalım.

```
clc; clear all;
import runge.*
import limiter.*

% Sistem parametreleri
dt = 0.01;
tend = 1;
t0 = 0;
x0 = [0; 0];
U = [100; 0];

% Durum uzay modeli
A = [-4, 3; 1, -8];
B = [1, 0; 0, 1];
C = [0, 1];
D = [0];

% Başlangıç değerleri
k = 1;
t = t0:dt:tend;
N = length(t);
x = zeros(2, N);

% Runge-Kutta yöntemi ile sistem simülasyonu
for i = 1:N
    x(:,i) = runge(A, B, U, x0, dt);
    x0 = x(:,i);
end

% Çıktı y(t)
y = C * x;

% Grafikler
```

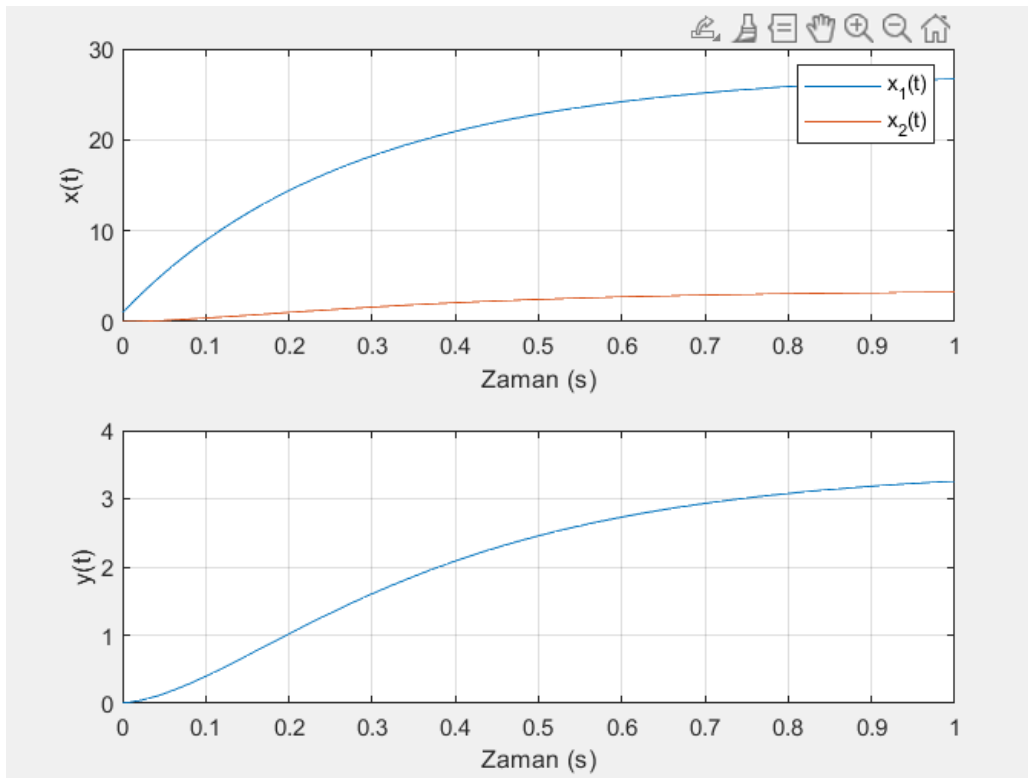
```

figure;
subplot(211);
plot(t, x(1,:), t, x(2,:));
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('x(t)');
legend('x_1(t)', 'x_2(t)');
grid on;

subplot(212);
plot(t, y);
xlabel('Zaman (s)');
ylabel('y(t)');
grid on;

```

Grafik çıktıların aşağıdaki resimden inceleyebilirsiniz.



Denetimsiz sistem simülasyonu için sistem parametreleri ve durum uzayı sağlanmıştı. Burada sistem sadece runge-kutta yöntemi ile çözülüp her adımda bulunan değerler grafikte çizdirilerek simüle edilmiştir. Yukarıdaki kod çıktısının grafiğinde de görüldüğü üzere çıkış değeri  $y(t)$  zamanla 3 değerine yakın bir değere oturmuştur.

Şimdi de b şıkkı için 9 kurallı bulanık denetleyici ile çözüm yapalım.

```
clc; clear all;
import runge.*
import limiter.*
% Sistem verileri
A = [-4, 3; 1, -8];
B = [1, 0; 0, 1];
C = [1, 0];
D = [0];
% Sistem parametreleri
dt = 0.01;
tend = 1;
t0 = 0;
x0 = [0; 0];
U = [100; 0];
% Referans giriş değeri
r0 = 10;

% Bulanık denetleyici girişleri
% e, de ve du kesin uzaylarının sınırları
EMAX = r0; EMIN = -EMAX;
DEMAX = EMAX/10; DEMIN = -DEMAX;
DUMAX = 5; DUMIN = -5;

% Üyelik fonksiyonları için veriler
NLe = EMIN; NTe = NLe; NRe = 0;
SLe = NTe; STe = 0; SRe = EMAX;
PLe = STe; PTe = EMAX; Pre = PTe;
NLde = DEMIN; NTde = NLde; NRde = 0;
SLde = NTde; STde = 0; SRde = DEMAX;
PLde = STde; PTde = DEMAX; PRde = PTde;
NLdu = DUMIN; NTdu = DUMIN; NRdu = 0;
SLdu = NTdu; STdu = 0; SRdu = DUMAX;
PLdu = STdu; PTdu = DUMAX; PRdu = PTdu;

% Membership matrix
DU = [NTdu NTdu STdu
      NTdu STdu PTdu
      STdu PTdu PTdu];

% Hata ve denetleyici için başlangıç değerleri
e0 = EMAX;
C = zeros(1, 1001); % Cumulative control action
ee = EMAX; dee = 0;

% Simülasyon döngüsü
k = 1;
while t0 < tend
    % Hata ve hata değişimi hesaplama
    E = limiter(EMIN, EMAX, ee); % limit E
    FSE = uyelik3([NLe NTe NRe], [SLe STe SRe], [PLe PTe Pre], E); % E için her
    bir kümedeki üyelik değeri bulunur
    DE = limiter(DEMIN, DEMAX, dee); % limit DE
    FSDE = uyelik3([NLde NTde NRde], [SLde STde SRde], [PLde PTde PRde], DE); % DE
    için her bir kümedeki üyelik değeri bulunur

    % Durulaştırma
    FSDU = min(FSE' * ones(1, 3), ones(3, 1) * FSDE);
```

```

DDU = FSDU .* DU;
DUTOP1 = sum(DDU(:));
DUTOP2 = sum(FSDU(:));
DV = (DUTOP1/DUTOP2);

% Kontrol işlemi
C(k+1) = C(k) + DV;
CC = limiter(0, 5, C(k+1));
UU0 = CC * U;

% Runge-Kutta ile durum denklemi çözümü
[x] = runge(A, B, UU0, x0, dt);
t(k) = t0 + dt; t0 = t(k);
r(k) = r0; y(k) = x0(1);
e(k) = r(k) - y(k); de(k) = e(k) - e0;
ee = e(k); dee = de(k); e0 = e(k);
x0 = x; % Bir sonraki adım için başlangıç değerlerini güncelle

k = k + 1;
end

% Grafikler
subplot(211)
plot(t, y, t, r); xlabel('Zaman (sn)'); ylabel('y'); grid
subplot(212)
plot(t, e); xlabel('Zaman (sn)'); ylabel('e'); grid

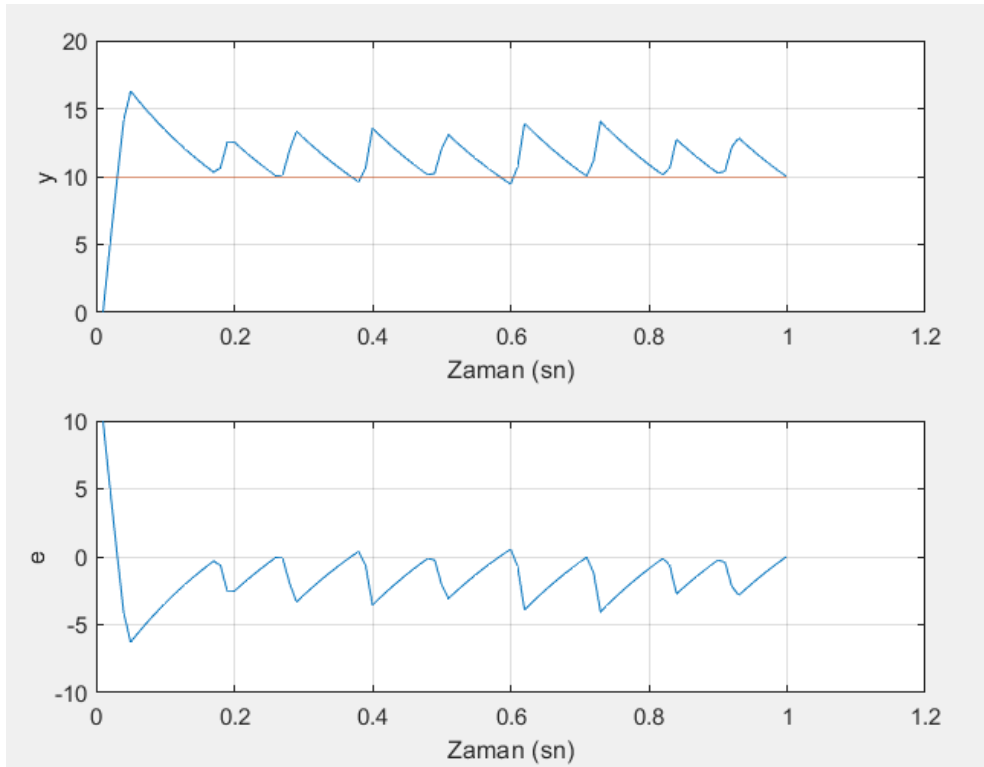
function FS = uyelik3(A, B, C, x)
    % A, B ve C üçgen üyelik fonksiyonları için üyelik değerlerini hesaplar
    FS = zeros(1, 3);
    FS(1) = calculateTriangleMembership(x, A);
    FS(2) = calculateTriangleMembership(x, B);
    FS(3) = calculateTriangleMembership(x, C);
end

function membership = calculateTriangleMembership(X, trianle)
    x1 = trianle(1);
    xT = trianle(2);
    x2 = trianle(3);

    a=(X-x1)/(xT-x1);
    b=(x2-X)/(x2-xT);
    c=0;
    membership =max(min(a,b),c);
    disp(membership);
    return
end

```

Kodun çıktısını aşağıdaki resimde verilmiştir.



### runge.m içindeki kodlar

```
function [x]=runge(A,B,U,X0,dt)
%*****
% Runge-Kutta yöntemi ile dif. denklem çözümü.
% Copyright - Ismail H. Altas, 2002
% A : (n,n) durum matrisi
% B : (n,n) giriş katsayı vektörü
% U : (n,1) giriş vektörü
% X0 : başlangıç değerleri
% dt : zamana verilen artım
%*****
BOY=size(A); LS=BOY(1); LK=BOY(2);
for n=1:LS
    x0(n)=X0(n);
    AA1(n)=0;
end
for n=1:LS
    for m=1:LK
        AA(n,m)=A(n,m)*x0(m);
        BB(n)=B(n,n)*U(n);
    end
end
for q=1:LS
    AA1(q)=AA1(q)+ dt*(sum(AA(q,:))+sum(BB(q)));
end
%-----
for n=1:LS
    x0(n)=X0(n)+AA1(n)/2;
    BB1(n)=0;
end
```

```

end
for n=1:LS
    for m=1:LK
        AA(n,m)=A(n,m)*x0(m);
        BB(n)=B(n,n)*U(n);
    end
end
for q=1:LS
    BB1(q)=BB1(q)+ dt*(sum(AA(q,:))+sum(BB(q)));
end
%-----
for n=1:LS
    x0(n)=X0(n)+BB1(n)/2;
    CC1(n)=0;
end
for n=1:LS
    for m=1:LK
        AA(n,m)=A(n,m)*x0(m);
        BB(n)=B(n,n)*U(n);
    end
end
for q=1:LS
    CC1(q)=CC1(q)+ dt*(sum(AA(q,:))+sum(BB(q)));
end
%-----
for n=1:LS
    x0(n)=X0(n)+CC1(n);
    DD1(n)=0;
end
for n=1:LS
    for m=1:LK
        AA(n,m)=A(n,m)*x0(m);
        BB(n)=B(n,n)*U(n);
    end
end
for q=1:LS
    DD1(q)=DD1(q)+ dt*(sum(AA(q,:))+sum(BB(q)));
end
%-----
for n=1:LS
    x(n)=X0(n)+(AA1(n)+2*BB1(n)+2*CC1(n)+DD1(n))/6;
end

```

### limiter.m içindeki kodlar

```

function y=limiter(alt,ust,x)
% C(2001) - Doç. Dr. İsmail H. ALTAŞ
% Bir değişkenin alt ve üst sınırları
% arasında kalmasını sağlar
if x <= alt
    y=alt;
elseif x>= ust
    y=ust;
else
    y=x;
end

```