ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SÜREKLİ KARIŞTIRMALI REAKTÖRDE "FUZZY" KONTROLÜN SABUNLAŞMA REAKSİYONUNA UYGULANMASI

FUNDA KILIÇ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2007

Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SÜREKLİ KARIŞTIRMALI REAKTÖRDE "FUZZY" KONTROLÜN SABUNLAŞMA REAKSİYONUNA UYGULANMASI

Funda KILIÇ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Hale HAPOĞLU

Bu çalışmada sabunlaşma reaksiyonun sodyum hidroksit dönüşümü sürekli karıştırmalı bir reaktörde "fuzzy" algoritma kullanılarak kontrol edilmiştir. İki seviyeli faktöriyel deneysel tasarım metodu, optimum işletme koşullarını bulmak için kullanılmıştır. Maksimum sodyum hidroksit dönüşümü elde etmek için, maksimum başlangıç etil asetat derişimi, minumum sodyum hidroksit derişimi, maksimum sıcaklık, maksimum karıştırma hızı kullanılması gerektiği bulunmuştur. İlgili model en küçük kareler metodu kullanılarak tanımlanmıştır. Sistem gürültüsü birinci derece filtre polinomu kullanılarak azaltılmıştır. En iyi kesikli zaman doğrusal sistem modeli, kare dalga etki ile elde edilen deneysel veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Doğrusal sistem modeli (ARMAX) parametreleri, yinelemeli en küçük kareler algoritması ile hesaplanmıştır. "Fuzzy" kontrol parametreleri, genetik algoritma ve ARMAX sistem modeli kullanılarak bulunmuştur. Çözelti iletkenliği kontrol edilen değişken olarak seçilmiştir. Giriş sodyum hidroksit akış hızı ayarlanabilen değişken olarak seçilmiştir."Fuzzy" kontrol set noktası değişimlerinde ve etil asetat akış hızına verilen pozitif ve negatif basamak etki değişimlerinde başarı ile uygulanmıştır.

2007, 186 sayfa

Anahtar Kelimeler: "Fuzzy" kontrol, sabunlaşma tepkimesi, sürekli karıştırmalı reaktör, genetik algoritma

ABSTRACT

MASTER THESIS

APPLICATION OF FUZZY CONTROL TO SAPONIFICATION IN A CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR

Funda KILIÇ

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Chemical Engineering Department

Advisor: Prof. Dr. Hale HAPOĞLU

In this work, sodium hydroxide conversion of saponificaiton reaction in a continuous stirred tank reactor is controlled by using fuzzy algorithm. The two level factorial experimental design method is used to find the optimal operating conditions. It is noted that maximum initial ethyl acetate concentration, minumum sodium hydroxide concentration, maximum agitation rate and maximum temperature level must be used to obtain maximum sodium hydroxide conversion. A related model identified by using the least square method. The noise of the system is reduced by utilizing first order filter polynomial. The best discrete-time linear system model is obtained by using experimental data for square wave input signal. The linear system model (ARMAX) parameters are evaluated by using the recursive least square algorithm. Fuzzy control parameters are found by using genetic algorithm and ARMAX system model. Solution conductivity is chosen as controllled variable and incoming sodium hydroxide flow rate is chosen as manipulating variable. Fuzzy control is applied successfully in the face of set point changes and pozitive and negative step changes given to ethyl acetate flow rate.

2007, 186 pages

Key Words: Fuzzy Control, Saponification, Continuous Stirred Tank Reactor, Genetic Algorithm

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Hale HAPOĞLU'na ve değerli hocam Prof. Dr. Mustafa ALPBAZ'a teşekkür ederim. Bilgilerini benimle paylaşan ve destek olan Yrd. Doç. Dr. Ayla ALTINTEN'e teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca sonsuz yardımda bulunan hocalarım Doç. Dr. Bülent AKAY'a, Araş. Gör. Dr. Suna ERTUNÇ'a teşekkür ederim. Bilgi aktarmaya ve her konuda yardımcı olmaya, daima hazır olan Kimya Yüksek Mühendisi Havva BOYACIOĞLU'na teşekkür ederim.

Yoğun temposuna rağmen ne zaman ihtiyacım olsa yanımda olan, yardımlarını esirgemeyen Kimya Yüksek Mühendisi S. Suna AHİOĞLU'na teşekkür ederim. Grup arkadaşım Deniz BOZOĞLU'na yardımcı olduğu için teşekkür ederim.

Sevgili aileme, her zaman yanımda oldukları, beni daima yüreklendirdikleri için teşekkür ederim. İyi ki varsınız.

Funda Kılıç
Ankara, Mayıs 2007

İÇİNDEKİLER

ÖZET…….....i
ABSTRACT.....ii
TEŞEKKÜR.....iii
SİMGELER DİZİNİ.....viii
ŞEKİLLER DİZİNİ……xi
ÇİZELGELER DİZİNİ…….xx
1. GİRİŞ……1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI……..……..3
3. KURAMSAL TEMELLER……..10
3.1 Kimyasal Proseslerin Sistem Modelleri……...……...……...10
3.1.1 Teknolojik süreçlerin sistem modellemeleri……..…….……10
3.1.2 İstatistiksel modelleme yöntemleri ve regresyon analizi genel kavramları…….12
3.1.2.1 Etkili deneyleme metotları……..……...……14
3.1.2.1.1 İki seviyeli faktöriyel deneysel tasarımlar…….……...14
3.1.2.2 En küçük kareler yöntemine göre katsayıların tahmini…….……...17
3.1.2.3 İstatistiksel metotlarla modelin test edilmesi…….…….……18
3.2 Sistem Tanımlama..…….…….……...20
3.2.1 Sistem tanımlamada kullanılan sinyaller…….……..23
3.2.2 Sistem modelleri……...…….……23
3.2.2.1 Sinyal modelleri…….…….……...23
3.2.3 Model parametrelerinin hesaplanması……..……..……...28
3.2.3.1. En Küçük Kareler Yöntemi (EKK)……...…….……...28
3.2.3.2. Yinelemeli En Küçük Kareler Yöntemi (YEKK)…….....31
3.3 Filtreleme……..……36
4. GENETİK ALGORİTMA…….……...38
4.1 Genetik Algoritmanın Tanımı ……...……38
4.2 Temel Yapısı ve İşleyişi……...40
4.3 Kontrol Uygulamalarında Genetik Algoritmalar…….45
5. KULLANILAN KONTROL YÖNTEMLERİ……46

5.1 PID Kontrol…….....46
5.2 "FUZZY" Kontrol……...…48
5.2.1 "Fuzzy" Kontrolün Genel Yapısı ve İşleyişi……...48
5.2.1.1 "Fuzzy" üyelik fonksiyonları…….……...50
5.2.1.2 Kural temeli..…….……..……52
5.2.1.3 "Fuzzyleştirme"…….……..……..53
5.2.1.4 Ters "fuzzyleştirme"……..…….……..…….54
5.2.2 Modele dayalı "fuzzy" kontrol…….…….…….…….55
5.2.2.1 "Fuzzy" model belirlemesi…….…….……..……56
6. MATERYAL ve METOD …….……..58
6.1 Deney Sistemi……..…...……..58
6.2 Kesikli Tepkime Kabında Sabunlaşma Reaksiyonunun En İyi İşletim Parametrelerinin Belirlenmesi…….……..59
6.3 Sürekli Karıştırmalı Tepkime Kabında Sabunlaşma Reaksiyonu Dinamik Deneylerin Yapılışı…….……..……60
6.3.1 VISIDAQ paket programı…….……..….60
6.3.2 Filtre Zaman Sabiti Belirleme Deneyleri……61
6.4 Yinelemeli En Küçük Kareler Yöntemi İle Parametrik Modelin Belirlenmesi……..63
6.5 Kontrol Deneyleri…….……...63
6.5.1 PID kontrol deneyi……64
6.5.2 "Fuzzy" kontrol deneyleri……65
7. DENEY BULGULARI……..66
7.1 Kesikli Reaktör İşletim Koşullarının İstatistiksel Olarak Bulunması……66
7.1.1 Kesikli reaktörde kalibrasyon çalışmaları…….…….....66
7.1.2 İletkenlik-volt ilişkisi……68
7.1.3 Model tanımı…..……...70
7.1.4 Deneysel tasarım matrisinin oluşturulması……70
7.1.5 Deneysel verilerin analizi……72
7.1.5.1 Grafiksel olarak……...……..72
7.1.5.2 Faktör etkilerinin hesaplanması……...……75
7.1.5.3 Deneysel verilerin istatistiksel olarak analizi……..77

7.1.6 Merkez Nokta Deney Sonuçları……..……..78
7.2 Sürekli Karıştırmalı Reaktör Deneyleri…….…..……...101
7.2.1 Pompa kalibrasyonları……...……..……..101
7.2.2 Farklı başlangıç koşullarda dinamik deney sonuçları……102
7.2.3 Filtreleme İşlemi…….……..…..104
7.2.4 Sürekli Reaktörde İletkenlik ve Derişim Arasındaki İlişki……108
7.2.5 Sürekli karıştırmalı reaktör sistem dinamiği…….……..112
7.3 Yinelemeli En Küçük Kareler Yöntemi İle Parametrik Modelin Belirlenmesi……..……115
7.4 PID Kontrol Sonuçları……..116
7.5 "Fuzzy" Kontrol Sonuçları……...121
7.5.1 Parametre seçimi ve teorik kontrol ile ilgili sonuçlar…….122
7.5.1.1 Genetik algoritma parametrelerinin seçimi ile ilgili sonuçları……...122
7.5.1.2 "Fuzzy" kontrol parametrelerinin bulunmasıyla ilgili sonuçlar……....122
8. DEĞERLENDİRMELER……...…...130
KAYNAKLAR…….……...……..134
EKLER…….……...……...…137
EK 1 Sabunlaşma Reaksiyonu……138
EK 2 Sodyum Asetatın Kullanım Alanları……139
EK 3 İletkenlik…….140
EK 4 İletkenliğin Birim……...142
EK 5 İletkenlik Ölçümü……...…143
EK 6 İletkenlik Ölçümü İle Sabunlaşma Reaksiyonunun İzlenmesi……..145
EK 7 Kesikli Reaktörün Matematiksel Modeli…….148
EK 8 Sürekli Karıştırmalı Tank Reaktör Matematiksel Modeli……149
EK 9 Kare Dalga Sinyal……..153
EK 10 PID Kontrol Parametrelerinin Belirlenmesi…….155
EK 11 Dinamik Deney için Visual Basic Programı……..157
EK 12 Sistem Tanımlama için Visual Basic Programı…….158
EK 13 Visual Basic Dilinde Yazılan PID Kontrol Programı……...163
EK 14 Dönüşüm Kontrolu için Genetik Algoritma ile Teorik "Fuzzy" Kontrol Programı…….164

EK 15 Dönüşüm Kontrolu için Visual Basic Dilinde Yazılan Deneysel "Fuzzy" Kontrol Programı……..181
ÖZGEÇMİŞ……..……186

SİMGELER DİZİNİ

b	Regresyon modeli katsayısı
b_0	Faktörlerin etkilerinin sıfır olması durumunda sabit katsayı
B	Regresyon modeli katsayılarının matrisi
B	Katsayılar matrisi
C_i	i bileşeni derişimi (mol/L)
C_{Astok}	Besleme tankında ki sodyum hidroksit derişimi,mol/L
C_{Bstok}	Besleme tankında ki sodyum hidroksit derişimi,mol/L
d	Ofset tipi yük etkisi
e	Beyaz gürültü
e(t)	Sistemin ölçülen çıktısını bozan bütün rastgele düzensizlikler
f	Serbestlik derecesi
k	Reaksiyon hız sabiti (L/mol.s)
κ	İyonik iletkenlik değeri (Siemens)
K_∞	$t\rightarrow\infty$ daki iletkenlik değeri
K_0	t=0 daki iletkenlik değeri
K_t	t=t deki iletkenlik değeri
K_c	Oransal sabit
l	Orta noktada gerçekleştirilen deney sayısı
S_b	Regresyon modeli katsayılarının standart sapması
S_e	Hataların kareleri ortalaması
S_r	Residual mean square
α	Büyüklük derecesi
λ	Ağırlık faktörü
ϕ	Yalancı-çıktı
L	İkili dizi uzunluğu
M_i	i. ilgili kümenin alan merkezi
N	Yığın boyutu (popülasyon sayısı)
n	Bağımsız değişken ya da parametre sayısı
N	Karıştırma hızı (rpm)
Q	Reaktöre beslenen çözelti hacimsel akış hızı (L/dk)

Q_e	Hata sinyali
Q_0	Kontrol çıkış sinyali
p_c	Çaprazlama olasılığı
p_m	Mutasyon olasılığı
R	İlişki matrisi
$R(t)=r_0$	Sabit offset durumu
T	Reaktör içi sıcaklığı (^oC)
t	Zaman (s)
u	Ayarlanabilen değişken
U_i	ayarlanabilen değişken için üyelik değeri
$U_{(k-d)}$	(k-d). zamanda ayarlanabilen proses girdi değişkeni
V	Çalışma hacmi (L)
$v(t)$	Sistem çıktısını etkileyen, ölçülebilen ancak kontrol edilemeyen bir sinyal
X_0	NaOH başlangıç derişimi
X_A	NaOH t anındaki derişimi
X_i	Parametrelerin kodlanmış değerleri
$X_i X_j$	X_i ve X_j faktörlerinin olabilecek etkileşim etkisi
X	Bağımsız değişkenler metrisi
$X^{'}$	Bağımsız değişkenler matrisinin transpozu
Y	Gözlem matrisi
Y_k	k. zamanda proses çıktı değişkeni
Y_{k-1}	(k-1). zamanda proses çıktı değişkeni
y_i	Deneysel olarak elde edilmiş olan bağımlı değişken değeri
$\hat{y}_i$	Modelden hesaplanmış olan bağımlı değişken değeri
l	Regresyon eşitliğindeki katsayıların sayısı
N	Deney sayısı
y_i	Deneyden elde edilen bağımlı değişken değeri
y	Modelden hesaplanan bağımlı değişken değeri
u(t)	Giriş değişkeni
y(t)	Çıkış değişkeni
$\hat{\theta}$	Tahmin edilen parametreler
$\|.\|$	Öklid vektörü

CVm(s)	Ölçülen değeri
CVf(s)	Filtrelenmiş değeri

Yunan Harfleri

μ	Mikroorganizma özgül çoğalma hızı (st^{-1})
τ	zaman sabiti
τ_f	Filtre zaman sabiti
τ_I	İntegral zaman sabiti
τ_d	Türevsel zaman sabiti
$\mu_A(x)$	A parametresinin "fuzzy" üyelik fonksiyonu
ρ	Reaktör içi çözelti yoğunluğu (g/cm^3)

Kısaltmalar

A	NaOH
B	$CH_3COOC_2H_5$
C	C_2H_5OH
D	CH_3COONa
EtOAc	Etil asetat
NaOH	Sodyum hidroksit
CARMA	Sistem modeli (Controlled Autoregressive Moving Average)
ARMAX	Öz bağlanımlı yürüyen ortalamalı (Auto Regressive Avarage With Exogeous)
ISE	Hataların karelerinin integrali (Integral Square Error)
IAE	Hata mutlak değeri integrali
PID	Oransal-integral-türevsel kontrol
PRBS	İkili yalancı gelişigüzel sinyal (Pseudo Random Binary Sequence)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1 Teknolojik süreçlerin sistem modelleri……..……..….12
Şekil 3.2 t anında giriş değişkeni $u(t)$, çıkış değişkeni $y(t)$ ve gürültü $e(t)$ içeren bir dinamik sistem…….……..…..20
Şekil 3.3 Sistem tanımlama akış diyagramı……..……..……22
Şekil 3.4 Sistem çıktısının şekline göre kare dalga peryodu ve genliğinin seçimi……..……..26
Şekil 3.5 Genel bir adaptif kontrol şeması…….……..32
Şekil 3.6 Yinelemeli parametre hesaplama yönteminin şematik gösterimi……32
Şekil 4.1 Kapalı kutu örneği…….…….……..39
Şekil 4.2 Genetik algoritma için genel şema……...40
Şekil 5.1 "Fuzzy" mantık prosesi…….……...48
Şekil 5.2 "Fuzzy" kümesi gösterimi……50
Şekil 5.3 "Fuzzy" kontrol kapalı devre blok diyagramı……..52
Şekil 5.4 Proses değişkenleri için "fuzzy" üyelik fonksiyonları…….....54
Şekil 5.5 "Fuzzy" modele dayalı kontrol.....55
Şekil 6.1 Deney sistemi……...58
Şekil 6.2 Visidaq paket programı Display Designer penceresi…….. ……....61
Şekil 6.3 Visidaq paket programı Task Designer penceresi…….……...61
Şekil 7.1 Kesikli reaktörün karıştırıcı hız kalibrasyonu; karıştırıcı anahtar konumlarının artan değerlerine karşı karıştırıcının dönüş hızı…….....66
Şekil 7.2 Kesikli reaktörün karıştırıcı hız kalibrasyonu; karıştırıcı anahtar konumlarının azalan değerlerine karşı karıştırıcının dönüş hızı…… ……..67
Şekil 7.3 Kesikli reaktörün sıcaklık kalibrasyonu; sıcaklık anahtar konumlarının artan değerlerine karşı reaktör içi sıcaklık değerleri...…….67
Şekil 7.4 Kesikli reaktörün sıcaklık kalibrasyonu; sıcaklık anahtar konumlarının azalan değerlerine karşı reaktör içi sıcaklık değerleri…..…….....68
Şekil 7.5 İletken ölçer ile avometre analog çıkış ilişkisi (anahtar m_1 konumunda) …….....69
Şekil 7.6 İletken ölçer ile avometre analog çıkış ilişkisi (m_2 konumu) ……..70
Şekil 7.7 Sıralandırılmış veri grafiği……73

Şekil 7.8 Verilerin dağılımı grafiği…….…….....74
Şekil 7.9 Dex ortalama grafiği……..……...74
Şekil 7.10 Kesikli reaktörde C_{A0}=C_{B0}=0.055 M, T=30°C, N=100 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi……..…..……78
Şekil 7.11 Kesikli reaktörde C_{A0}=C_{B0}=0.055 M, T=30°C, N=100 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi……..…..79
Şekil 7.12 Kesikli reaktörde C_{A0}=C_{B0}=0.055 M T=30°C N=100 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi……..…….....79
Şekil 7.13 Kesikli reaktörde C_{A0}=C_{B0}=0.055 M, T=30 °C,N=100 rpm koşullarında gerçekleşen deneyde k sabitin tespiti……....…79
Şekil 7.14 Kesikli reaktörde C_{A0}=C_{B0}=0.055 M T=30°C N=100 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi……..80
Şekil 7.15 Kesikli reaktörde C_{A0}=C_{B0}=0.055 M T=30°C N=100 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi……80
Şekil 7.16 Kesikli reaktörde C_{A0}=C_{B0}=0.055 M T=30°C N=100 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi……80
Şekil 7.17 Kesikli reaktörde C_{A0}=C_{B0}=0.055 M, T=30°C, N=100 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi…….……..81
Şekil 7.18 Kesikli reaktörde C_{A0}=C_{B0}=0.055 M, T=30°C, N=100 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi……..……...81
Şekil 7.19 Kesikli reaktörde C_{A0}=C_{B0}=0.055 M, T=30°C, N=100 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi……81
Şekil 7.20 Kesikli reaktörde C_{A0}=C_{B0}=0.01 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi……..……..82
Şekil 7.21 Kesikli reaktörde C_{A0}=C_{B0}=0.01 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi…….....……...82
Şekil 7.22 C_{A0}=C_{B0}=0.01 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi……..……82
Şekil 7.23 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01, M T=20°C, N=50 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi…….……..83
Şekil 7.24 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=20°C, N=50rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi……..…..83

Şekil 7.25 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi……...……83
Şekil 7.26 Kesikli reaktörde C_{A0}=C_{B0}=0.01 M T=40°C N=50 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi…….....84
Şekil 7.27 Kesikli reaktörde C_{A0}=C_{B0}=0.01 M T=40°C N=50 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi……..……...84
Şekil 7.28 Kesikli reaktörde C_{A0}=C_{B0}=0.01 M T=40°C N=50 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi……..……..84
Şekil 7.29 Kesikli reaktörde C_{A0}=C_{B0}=0.01 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi……....85
Şekil 7.30 Kesikli reaktörde C_{A0}=C_{B0}=0.01 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında derişimin zamanla değişimi…….....85
Şekil 7.31 Kesikli reaktörde C_{A0}=C_{B0}=0.01 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi……...85
Şekil 7.32 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi……..…….……86
Şekil 7.33 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında derişimin zamanla değişimi……..……..……86
Şekil 7.34 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi……..……..……86
Şekil 7.35 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=20°C, N=250 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi…..……...…87
Şekil 7.36 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=20°C, N=250 rpm koşullarında derişimin zamanla değişimi…….……..87
Şekil 7.37 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=20°C, N=250 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi……...……..…..87
Şekil 7.38 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=40°C, N=50 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi…….……...……88
Şekil 7.39 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=40°C, N=50 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi…..……..88

Şekil 7.40 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=40°C, N=50 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi……88
Şekil 7.41 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi…….....89
Şekil 7.42 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında derişimin zamanla değişimi……..……..89
Şekil 7.43 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi……89
Şekil 7.44 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi….……...90
Şekil 7.45 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında derişimin zamanla değişimi……...90
Şekil 7.46 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi……...90
Şekil 7.47 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=250 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi…….……..91
Şekil 7.48 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=250 rpm koşullarında NaOH derişimin zamanla değişimi……..…...…..91
Şekil 7.49 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=250 rpm koşullarında NaOH dönüşümünün zamanla değişimi….……....91
Şekil 7.50 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=50 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi……...……..…92
Şekil 7.51 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=50 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi……92
Şekil 7.52 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=50 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi……...92
Şekil 7.53 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi…….....93
Şekil 7.54 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi……..…….....93
Şekil 7.55 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında NaOH dönüşümünün zamanla değişimi. ……93

Şekil 7.56 Kesikli reaktörde C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi……..94
Şekil 7.57 Kesikli reaktörde C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi……..……..94
Şekil 7.58 Kesikli reaktörde C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=50rpm koşullarında NaOH dönüşümünün zamanla değişimi……..... 94
Şekil 7.59 Kesikli reaktörde C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=250 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi……95
Şekil 7.60 Kesikli reaktörde C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=250 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi…..……..……95
Şekil 7.61 Kesikli reaktörde C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=250 rpm koşullarında NaOH dönüşümünün zamanla değişimi…….……. 95
Şekil 7.62 Kesikli reaktörde C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=50 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi……. ……..96
Şekil 7.63 Kesikli reaktörde C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=50 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi…….……96
Şekil 7.64 Kesikli reaktörde C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=50 rpm koşullarında NaOH dönüşümün zamanla değişimi……...96
Şekil 7.65 Kesikli reaktörde C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi…….....97
Şekil 7.66 Kesikli reaktörde C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi……97
Şekil 7.67 Kesikli reaktörde C_{A0} C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi…….....97
Şekil 7.68 Kesikli tepkime kabında farklı başlangıç NaOH derişimlerine karşılık ölçülen K_0'ların değişimi……..…….....98
Şekil 7.69 Kesikli tepkime kabında farklı başlangıç derişimlerinde gerçekleşen reaksiyonlar tamamlandığında ulaşılan iletkenlik değerlerinin (K_∞) C_A ile değişimi……...99
Şekil 7.70 (12) nolu peristaltik pompa gösterge değerine karşı akış hızı değişimi..…101
Şekil 7.71 (10) nolu peristatik pompada gösterge değerine karşı akış hızı değişimi…101

Şekil 7.72 Sürekli reaktörde sodyum hidroksit akış hızına 0.05 L/dk'dan 0.095 L/dk'ye pozitif basamak etki verilmesi (C_{A0}= 0.01 M, C_{B0}= 0.1 M, Q_{B0}=0.05 L/dk) ……..…..102
Şekil 7.73 Sodyum hidroksit akış hızına 0.05 L/dk'dan 0.095L/dk'ye pozitif basamak etki verilmesi (C_{A0}=C_{B0}= 0.01 M, Q_{B0}=0.05 L/dk) ……103
Şekil 7.74 Sodyum hidroksit akış hızına 0.05 L/dk'dan 0.095 L/dk'ya basamak etki verilmesi (C_{A0}=C_{B0}= 0.05 M,Q_{B0}=0,05 L/dk) ……..……103
Şekil 7.75 Sürekli karıştırmalı reaktörde, Q_A=0.05 L/dk iletkenliğin zamanla değişimi (C_{A0}=C_{B0}= 0.1 M, Q_{B0}=0,05 L/dk) …….....103
Şekil 7.76 Sürekli karıştırmalı reaktörde(C_{A0}= 0.01 M, C_{B0}= 0.1 M ve Q_{A0}=Q_{B0}=0,05 L/dk), filtresiz durumda iletkenliğin zamanla değişimi ……104
Şekil 7.77 Sürekli karıştırmalı reaktörde (C_{A0}= 0.01 M, C_{B0}= 0.1 M, Q_{A0}=Q_{B0}=0,05 L/dk), filtre zaman sabiti 80 iken iletkenliğin zamanla değişimi…….105
Şekil 7.78 Sürekli karıştırmalı reaktörde (C_{A0}= 0.01 M, C_{B0}= 0.1 M, Q_{A0}=Q_{B0}=0,05 L/dk), filtre zaman sabiti 40 iken iletkenliğin zamanla değişimi ……..……105
Şekil 7.79 Sürekli karıştırmalı reaktörde(C_{A0}= 0.01 M, C_{B0}= 0.1 M ve Q_{A0}=Q_{B0}=0,05 L/dk), filtre zaman sabiti 20 iken iletkenliğin zamanla değişimi……..…105
Şekil 7.80 Sürekli karıştırmalı reaktörde(C_{A0}= 0.01 M, C_{B0}= 0.1 M ve Q_{A0}=Q_{B0}=0,05 L/dk) filtre zaman sabiti 10 iken iletkenliğin zamanla değişimi……..106
Şekil 7.81 Sürekli karıştırmalı reaktörde (C_{A0}= 0.01 M, C_{B0}= 0.1 M, Q_{A0}=Q_{B0}=0,05 L/dk) filtre zaman sabiti 1 iken iletkenliğin zamanla değişimi ……..……...106
Şekil 7.82 Sürekli karıştırmalı reaktörde (C_{A0}= 0.01 M, C_{B0}= 0.1 M, Q_{A0}=Q_{B0}=0,05 L/dk), filtre zaman sabitinin 5 iken iletkenliğin zamanla değişimi ……..…….……106

Şekil 7.83 NaOH'in besleneceği pompanın bilgisayar üzerinden verilen değerine karşı pompanın akış hızı…….……107
Şekil 7.84 Etil asetatın besleneceği pompanın bilgisayar üzerinden verilen değerine karşı pompanın akış hız……..108
Şekil 7.85 Sürekli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}=0.05$ M $Q_A=Q_B=0.05$ L/dk pozitif basamak etki altında iletkenliğin zamanla değişimi……..109
Şekil 7.86 Sürekli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}=0.05$ M $Q_A=Q_B=0.05$ L/dk iken pozitif basamak etki altında titrasyon verileriyle hesaplanan C_{At}'nin zamanla değişimi…….....110
Şekil 7.87 Sürekli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}=0.05$ M, $Q_A=Q_B=0.05$ L/dk sürekli reaktörde pozitif basamak etki altında iletkenliğin, titrasyonla hesaplanan C_{At} 'nin, kesikli reaktör için verilen C_A-K bağıntısından hesaplanan $C_{Aİ}$'nin ve zamanla değişimleri……110
Şekil 7.88 $C_{A0}=C_{B0}=0.05$ M, $Q_A=Q_B=0.05$ L/dk sürekli reaktörde pozitif basamak etki altında titrasyonla hesaplanan C_{At} 'nin, kesikli reaktör için verilen C_A-K bağıntısından hesaplanan $C_{Aİ}$'nin ve CSTR'de C_A-K ilişkisinden tespit edilen C_{Ai}'nin iletkenlikle değişimleri……..……..……111
Şekil 7.89 Sürekli reaktörde iletkenlik dönüşüm ilişkisi……...112
Şekil 7.90 Sürekli reaktörde NaOH akış hızına verilen pozitif ve negatif basamak etki altında iletkenliğin zamanla değişimi……..……112
Şekil 7.91 Sürekli karıştırmalı reaktöre sodyum hidroksit ve etil asetatın beslenmeye başlanmasıyla- start-up zamanı- ile yatışkın hale gelinceye dek iletkenliğin değişimi……...113
Şekil 7.92 Sürekli reaktörde NaOH akış hızına 52ml/dk'dan 156 ml/dk'ya verilen pozitif basamak etki yanıtımı……...114
Şekil 7.93 Sürekli reaktörde NaOH akış hızına verilen 104 mL/dk 'lık negatif basamak etki sistem yanıtımı (156 mL/dk'dan 52 mL/dk'ya azaltılmıştır) ……..……..114
Şekil 7.94 Sürekli reaktörde NaOH akış hızının 52 mL/dk'dan 130 mL/dk'ya getirilmesiyle 78 mL/dk'lık ikinci bir pozitif basamak etkiye karşı sistemin yanıtımı…..……..115

Şekil 7.95 Deneysel sistem tanımlamada kare dalga etkisi……...116
Şekil 7.96 Deneysel sistem tanımlamada model parametreleri……116
Şekil 7.97 Sürekli reaktörde proses reaksiyon eğrisi……..……...117
Şekil 7.98 Sürekli karıştırmalı reaktörde set noktası=1.3, t=4400.s'de set noktası=1.1, t=5950.s'de 0.9, t=7400.s'de set noktası=1.4 iken PID kontrol……117
Şekil 7.99 Sürekli reaktörde ayar değişkeni olan NaOH akış hızının zamanla değişimi……..…..118
Şekil 7.100 Sürekli reaktörde set noktasında PID kontrol (K=1.3); ölçülebilen değişken iletkenliğin zamanla değişimi……..118
Şekil 7.101 Sürekli reaktörde PID kontrol sırasında karıştırıcının aniden durmasıyla oluşan yük etki altında iletkenliğin zamanla değişimi……...……...118
Şekil 7.102 Sürekli reaktörde set noktasına negatif basamak etki verildiğinde PID kontrol; K=1.3'den 1.1'e değiştirildiğinde iletkenliğin zamanla değişimi…….....119
Şekil 7.103 Sürekli reaktörde set noktası değişiminde PID kontrol; set noktası K=1.1'den 0.9'a değiştirildiğinde iletkenliğin zamanla değişimi…….....119
Şekil 7.104 Sürekli reaktörde Set noktası K=0.9'dan 1.3'e değiştirildiğinde PID kontrol sırasında ölçülebilen değişken iletkenliğin zamanla değişimi…….....119
Şekil 7.105 Sürekli reaktörde Sabit set noktasında (K=1.3) PID kontrol sırasında ayar değişkeni sodyum hidroksit akış hızının zamanla değişimi……120
Şekil 7.106 Sürekli reaktörde karıştırıcının aniden durmasıyla oluşan yük etki altında (K=1.3 iken) PID Kontrol; NaOH akış hızının zamanla değişimi…….....120
Şekil 7.107 Set noktasına negatif basamak etki verilerek K=1.3'den 1.1'e değiştirildiğinde PID kontrol; sodyum hidroksit akış hızının değişimi zamanla değişimi…….....120

Şekil 7.108 Sürekli reaktörde set noktasına negatif basamak etki verildiğinde; K=1.1'den 0.9'a değiştirildiğinde PID kontrol; sodyum hidroksit akış hızının zamanla değişimi. …….....121
Şekil 7.109 Sürekli reaktörde set noktasına pozitif basamak etki verildiğinde; K=0.9'dan 1.3'e değiştirildiğinde PID kontrol; NaOH akış hızının zamanla değişimi…….……...121
Şekil 7.110 Q hata değişimleri için üyelik fonksiyonları…….…….……123
Şekil 7.111 İletkenlik hata değişimleri için üyelik fonksiyonları……..……...123
Şekil 7.112 "Fuzzy" ilişki matrisi……..124
Şekil 7.113 Sürekli reaktörde teorik "fuzzy" kontrol……125
Şekil 7.114 Sürekli reaktörde t=0 anından itibaren "fuzzy" kontrol (start-up anından itibaren) ……..….125
Şekil 7.115 Sürekli reaktörde yatışkın koşulda (K=0.7), set noktasında (K=0.8), pozitif (Q_B=54 ml/dk)ve negatif yük etki altında (Q_B=36 ml/dk) "fuzzy" kontrol……..…126
Şekil 7.116 Sürekli reaktörde set noktası değişiminde"fuzzy" kontrol (K=0.7'den 0.8'e getirilmiştir) …….....127
Şekil 7.117 Sürekli reaktörde Yük etki altında "fuzzy" kontrol; Q_B=50 ml/dk'dan 54 ml/dk'ya pozitif etki ve Q_B=50 ml/dk'dan 36ml/dk'ya negatif etki verilir…….....……..127
Şekil 7.118 Sürekli reaktörde yatışkın koşulda (K=0.7), set noktasında (K=0.8), pozitif (Q_B=54 ml/dk)ve negatif yük etki altında (Q_B=36 ml/dk) "fuzzy" kontrol…….....128
Şekil 7.119 Sürekli reaktörde yatışkın koşulda (K=0.7), set noktasında (K=0.8), pozitif (Q_B=54 ml/dk) ve negatif yük etki altında (Q_B=36 ml/dk) "fuzzy" kontrol……128
Şekil 7.120 Set noktası değişiminde "fuzzy" kontrol (K=0.7'den K=0.8'e)…….….129
Şekil 7.121 Yük etki altında "fuzzy" kontrol; Q_B=50 ml/dk'dan 46 ml/dk'ya negatif etki ve Q_B=50 ml/dk'dan 64 ml/dk'ya pozitif etki verilir……...129

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Üç faktör için 2^n faktöriyel deneyleme tasarım matrisi……16
Çizelge 4.1 Uniform çaprazlama örneği……..44
Çizelge 4.2 Genetik algoritma için literatürde seçilmiş bazı parametreler……..45
Çizelge 5.1. Dilbilimsel kural kümesi……..53
Çizelge 7.1 EMAF iletken ölçer cihazı ile yapılan gösterge ölçümü - analog çıkış ilişkisi deney sonuçları…….69
Çizelge 7.2 Bağımsız değişkenlerin maksimum, minimum seviyeleri seviyeleri……...71
Çizelge 7.3 Deneysel tasarım matrisi……...71
Çizelge 7.4 Katsayılar için t değerleri…….72
Çizelge 7.5 Faktörlerin set değerleri……73
Çizelge 7.6 Faktörlerin min ve max konumları……...…74
Çizelge 7.7 Deneysel verilerin standart sıralamaya göre sıralanışı…….76
Çizelge 7.8 Faktör etkileri ve kareleri toplamı……....76
Çizelge 7.9 Varyans analizi……77
Çizelge 7.10 Kesikli tepkime kabında istatistiksel deney tasarım matrisine göre gerçekleştirilen deneylerden elde edilen Ko, K∞ değerleri……...98
Çizelge 7.11 Seçilen faktörler, faktörlerin gerçek değerleri ve kodlanmış değerleri…..99
Çizelge 7.12 Bağımlı değişkenin deney tasarımı sonucu değerleri……...100
Çizelge 7.13 Deneysel hatanın bulunması için gerçekleştirilen merkez nokta deneyleri……...100
Çizelge 7.14 Pozitif basamak etki altında işletilen sistemin üç farklı yolla hesaplanan derişimleri……..109
Çizelge 7.15 Genetik algoritma ve "Fuzzy" Kontrol ayar parametreleri……..123

1.GİRİŞ

Kimyasal maddelerin başka kimyasal maddelere dönüştürüldüğü proseslerde genellikle yüksek dönüşüm istenmektedir. Dönüşüm sıcaklık ve derişim gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle kimyasal proseslerde optimum işletim koşullarının belirlenmesi ve belirlenmiş olan optimum koşullarda işletim gerekli olmaktadır.

Bu çalışmada ilk olarak; kesikli işletilen karıştırmalı bir tepkime kabında sodyum hidroksit ve etil asetatın sabunlaşma reaksiyonu gerçekleştirilmiştir. Bu proseste maksimum sodyum hidroksit dönüşümü elde etmek amacıyla, girdilerin başlangıç derişimleri, sıcaklık ve karıştırma hızının optimum değerleri belirlenmiştir.

En iyi işletim koşullarının belirlenmesi amacıyla iki seviyeli tam faktöriyel istatistiksel deney tasarım yöntemi kullanılmıştır. Bağımlı değişken sodyum hidroksit dönüşümü, bağımsız değişkenler; girdilerin başlangıç derişimleri, sıcaklık ve karıştırma hızı olarak seçilmiştir. Bağımsız değişkenlerin birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü dereceden etkileşim terimlerini içeren bir lineer regresyon eşitliği kullanılarak bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında ilişki ifade edilmiştir. Bu eşitliğin deneysel olarak tanımlanması amacıyla istatistiksel deneysel tasarım metotları kullanılmıştır. Deneysel veriler kullanılarak en küçük kareler yöntemine göre regresyon eşitliği tanımlanmıştır.

Bu çalışmada, istenen sodyum hidroksit dönüşümüne ulaşmak amacıyla girdilerden sodyum hidroksit akış hızı “Fuzzy” kontrol yöntemiyle ayarlanmıştır. “Fuzzy” mantık endüstriyel kontrolde çok geniş bir alanda gittikçe artan talepte kullanılmaktadır. Elektronik kontrolde yeni bir teknolojidir. Genellikle tüketici elektroniklerinde sıkça kullanılmaktadır. İnsan davranışlarına benzer kararlar vererek çalışır. “Fuzzy” mantıkla bu yetenek bilgisayar donanımına verilmeye çalışılır. “Fuzzy” mantığı ile ilgili ilk çalışma, 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından yapılmıştır; “tamamen doğru” ve “tamamen yanlış” doğruluk değerleri arasında “kısmi doğruluk” yaklaşımını getirmiştir.

“Fuzzy” kontrol, sistemi kolayca kullanan uzmanın bilgilerini, üyelik fonksiyonlarını ve IF-THEN kurallarını kullanarak birleştirebilir. “Fuzzy” kontroldeki IF-THEN kuralları,

giriş ve çıkış değişkenleri arasındaki ilişkiyi dilbilimsel olarak ifade eder, üyelik fonksiyonları ise dilbilimsel terimleri sayısal değerlere çevirir. Birçok "fuzzy" kontrol uygulamasında, kontrol kurallarının oluşturulması sırasında uzman deneyimi ya da "fuzzy" kontrol kurallarının ve üyelik fonksiyonlarının oluşturulması için çok fazla etkili olmayan deneme-yanılma metodu kullanılmıştır. Bu nedenle son yıllarda "fuzzy" kontrol kurallarının ve üyelik fonksiyonlarının oluşturulması amacıyla bir optimizasyon yöntemi olan Genetik Algoritma'dan (GA) yararlanılmaktadır (Zhou *et al*. 2000).

Genetik algoritma, doğadaki evrim sürecinden esinlenerek geliştirilmiş doğal seçim ve genetik kurallara yani en iyi bireylerin yaşamını devam ettirebilmesi temeline dayanan bir optimizasyon yöntemidir. GA'nın optimizasyon sürecinde, bireyler değişim boyunca, yeni üretilecek nesillere kendi özelliklerini aktararak, yeni neslin daha uyumlu bireylerden oluşma olasılığını artırır. GA, parametrelerin kendisi yerine kodlanmasıyla oluşturulan bireylerle, çözüme çok noktadan yaklaşır. Bu özelliğinden dolayı, GA optimizasyon problemlerinin çözümünde etkin olarak kullanılmaktadır. GA ile sistem kontrolünde, sistemin matematiksel modelinin bilinmesine ve yoğun tasarım probleminin çözümüne gereksinim duyulmaz (Gökbulut *et al.* 2000).

Sürekli karıştırmalı reaktörde sabunlaşma reaksiyonunda dönüşümü kontrol etmek amacıyla birinci dereceden bir modele sahip olan "fuzzy" kontrol yöntemi kullanılmıştır. "Fuzzy" kontrol yönteminde kuralların ve üyelik fonksiyonlarının oluşturulması amacıyla da GA'dan faydalanılmıştır. Sisteme uygulanan "fuzzy" kontrol sonuçları PID kontrol sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Terry and Streghtz (1927), sabunlaşma reaksiyonu hız sabitini belirlemek amacıyla yapmış oldukları çalışmada 0.01 N sodyum hidroksit ve etil asetat çözeltileri ile reaksiyonu gerçekleştirmişlerdir. Bimoleküler eşitlik kullanarak 25 °C sıcaklıkta gerçekleşen deneyde reaksiyon sabitini 6.76 L/mol.dk olarak belirlemişlerdir.

Karr *et al*. (1990), "Fuzzy logic" kontrol ediciler pek çok fiziksel sistemin kontrolü için başarıyla kullanılmaktadır. Bununla birlikte kabul edilebilir üyelik fonksiyonu seçimi genellikle kişisel bir kararla yapılmaktadır. Bu makalede yüksek performanslı "fuzzy" üyelik fonksiyonları arama tekniği, doğal genetik mekanizmasına dayanan genetik algoritma kullanılarak öğrenilmiştir. Genetik algoritmayla belirlenen üyelik fonksiyonları, düşünülen sıvı seviye sistemi için araştırmacı tarafından seçilen üyelik fonksiyonundan daha etkin bir "fuzzy logic" kontrol edici için şarttır. Genetik algoritma temelli "fuzzy logic" kontrol edici sıvı seviye üzerinde gösterilmiştir.

Kural temelli sistemler yapay zeka uygulamalarında popüler hale gelmiştir. Bu sistemler problem çözümünün çevresinde etkin karar vermeyi gösteren uzman bir kişiden elde edilen problem bilgisini tanımlarlar. İnsanlar proses kontrol problemlerinin çoğunu çözmede kişisel yorumlarını gerektiren terimleri kullanırlar ve böylece kontrol değişkenlerinin değerlendirilmesindeki belirsizlik dağılır.

Michels (1997), sistemi olabildiğince az bilgiyle kontrol etmeye olanak sağlayan bir yöntem olan, "fuzzy" model temelli bir kontrol edici üzerinde çalışmıştır. Sistemin "fuzzy" modeli ölçülen verilere dayanarak türetilir. Michels böyle bir çalışmayı yapmak için ilk olarak sistemin tanımlanması daha sonrada bu ilişkiyi kullanarak kesikli hal uzayının herhangi bir noktasında orjine olan yörüngeleri bulmak gerektiğini düşünmüştür. Sonuçlanan "fuzzy" kontrol sistemi, hal uzayında daha sonra gelecek noktayı belirler ve ilişki matrisinden uygun değişken değerini seçer. Bu çalışma, birinci dereceden iki girdi ve çıktılı, ikinci dereceden bir sistem için geçekleştirilmiştir. Her iki sistem için de kontrol sağlanabilmiştir. Michels olabildiğince az bilgi, tarihsel kural temeline gerek kalmadan sistemin kontrolünün mümkün olduğunu göstermeye

çalışmıştır. Son olarak "fuzzy" modelin; sayısal kararsızlıklardan kaynaklanabilecek hatalardan kaçındığını ve doğrusal olmayan sistemler için olduğu kadar doğrusal sistemler için de kullanılabileceğini belirtmiştir.

Erdemir (1999), çalışmada girdileri sodyum hidroksit ve etil asetat olan ikinci mertebe reaksiyonun gerçekleştiği, sürekli karıştırmalı reaktörün dinamiği ve kontrolünü incelemiş; açık hat ve kapalı hat simülasyonunu gerçekleştirmiştir. Deneysel ve teorik sonuçlar karşılaştırılarak matematiksel modelin sistemi iyi temsil ettiği anlaşılmıştır. Çalışmada ayarlanabilen değişken sodyum hidroksit besleme akış hızı, kontrol edilen değişken sodyum hidroksit derişimi olarak seçilmiştir. Genelleştirilmiş Minimum Değişmeli Kontrol (GMV) yöntemi uygulanmıştır. Giriş değişkeni olan sodyum hidroksit akış hızı ile çıkış değişkeni sodyum hidroksit derişimi arasındaki ilişki, polinom tipi ARMAX model ile tanımlanmıştır. ARMAX model parametrelerinin hesaplanmasında yalancı ikili gelişigüzel sinyal (PRSB) özelliklerinin etkisi incelenmiş, daha sonra ARMAX model mertebesinin seçimi için birtakım performans kriterleri oluşturulmuştur. Çeşitli çalışmalar sonunda en iyi GMV kontrol etkinliğini elde edebilmek için en uygun ARMAX model mertebesi ve ileri beslemeli fonksiyon seçimi yapılmıştır.

İleri kontrol stratejilerinden biri olan GMV kontrolun önemini ve etkinliğini açıkça gösterebilmek amacıyla parametreleri Cohen-Coon yöntemiyle bulunan PID kontrol sistemi de kontrol amacıyla kullanılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda ileri kontrol stratejilerinin gerekliliği ortaya konulmuştur.

Gürocak (1999), çalışmasında FLK ("Fuzzy Logic" Kontrol) tipi kontrol edicinin kural temelinin ayarlanmasında GA temeline dayanan bir metod kullanmış, ikinci dereceden bir sistemin seviye kontrolü ve ters sarkaçın kontrolü, FLK ile yapılmaya çalışılmıştır. Bu sistemlerde ilk önce kontrolsüz durum ve daha sonrada FLK kontrolü altındaki durum incelenmiştir. Böylece kullanılan algoritmanın kullanılabilirliği test edilmeye çalışılmıştır. İlk sistemde yani ikinci dereceden bir prosesin seviyesinin kontrol edildiği bir sistemde popülasyon sayısı 20, nesil sayısı 30 ve mutasyon oranı %2 dir. Bu sistemde kontrol olmadığı durumda aşma, salınımlı bir cevap ve büyük bir yatışkın hal

hatası gözlenmiştir. Kontrollü durumda ise sistem biraz daha yavaş cevap vermiştir ancak aşma yoktur ve yatışkın hal kazancı da oldukça düşüktür. İncelenen ikinci sistemde popülasyon sayısı 20, nesil sayısı 40 ve mutasyon oranı da %1.5 olarak seçilmiştir. Yine aynı şekilde sistemde kontrolsüz durumda aşma, küçük bir yatışkın hal hatası ve salınım gözlenmiş, ancak kontrol altında aşma, yatışkın hal hatası ve salınım yok olurken sistemin cevap süresi biraz yavaşlamıştır. Gürocak (2000) metodun performansındaki limitin, başlangıçta kullanılan kural temelinin daha sonra geliştirilerek kullanılması olduğunu düşünmektedir. Bu metodun kullanılmasında ayar aralığının seçimi, deneysel olarak belirlenen GA parametrelerinin değeri FLK de sistemi direkt olarak etkilediğinden tarafından önemli olarak gösterilmiştir (Gürocak 2000).

Martinez *et al.* (1999), çalışmalarında şarap üretim proseslerinde kullanılmak üzere yeni bir kontrol stratejisi geliştirmişlerdir. Kontrolün amacı, yüksek fermentasyon hızının şıra lezzetinin daha fazla kaybolmasına yol açması sebebiyle, fermentasyon hızının belli bir değerden düşük tutulmasıdır. Çalışmada fermentasyon hızı, sıcaklığın ve fermentasyonun durumuna bakarak karar veren bir fermentasyon simülatörü vasıtasıyla belirlenmiştir. Kontrol edilen değişken fermentasyon hızı, giriş değişkeni sıcaklık, çıkış değişkeni soğutma hareketi olarak belirlenmiştir. İki girişli, tek çıkışlı "fuzzy" kontrol edici kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada belli bir sıcaklık aralığında sistem kontrol edilmeye çalışılarak, izotermal olarak işletilen bir reaktörle sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak fermentasyon hızı belli bir değerden düşük tutulmuş ve belli bir sıcaklık aralığında kontrol edilerek %30 enerji ve %20 zaman kazancı elde edilmiştir.

Gökbulut vd. (2000), bu çalışmada endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılan PID denetleyici parametrelerinin genetik algoritma (GA) ile bulunması gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Herhangi bir sistemin GA-PID ile denetimi için, rastgele PID parametreleri oluşturulmuş ve belirlenen uygunluk fonksiyonuna göre sistemden en iyi cevabı alacak şekilde PID parametreleri GA ile uyarlanmıştır. Benzetim sonuçlarına bakılarak, diğer PID ayarlama yöntemlerine göre GA'nın kolay uygulanabilir ve etkin olduğu görülmüştür. Denemeler sırasında birinci ve ikinci dereceden olmak üzere iki farklı sistem kullanılmıştır. Çalışmalar sonunda, pratik

açıdan sistemlerin matematik modeline ve yoğun hesaplamalara gerek duyulmadan, GA ile PID denetleyici tasarımı başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Guan- Yu Liu *et al.* (2000), "Fuzzy logic" kontrol edici tasarımı için; birbirlerine bağlı olan üyelik fonksiyonları ve "fuzzy" kontrol kurallarının eş zamanlı bulunabildiği genetik algoritma temelli bir yaklaşım önerilmiştir. Üçgensel tip üyelik fonksiyonları ile bu fonksiyonların sol ve sağ genişlikleri, piklerin konumu ve girdi dilbilimsel değişkenlerin her bir mümkün kombinasyonuna karşılık gelen "fuzzy" kontrol kuralları, optimize edilecek parametreler olarak seçilmiştir. Oransal ölçekleme metodu kullanılarak bu parametreler; sıra-temelli yeniden üretim, konveks çaprazlama ve "nonuniform" mutasyonla üretilen döllerin üzerinden gerçek kodlanmış kromozomlara dönüştürülmüştür. Tanımlanan uygunluk fonksiyonunun, daha fazla başlangıç koşulu içermesi durumunda FLK'nın daha iyi performansa sahip olacağı sonucuna varılmıştır.

Honda *et al.* (2000), çalışmalarında "Fuzzy" kontrolün kullanıldığı endüstriyel prosesler hakkında bilgi vermişlerdir. Honda ve arkadaşlarının üzerinde çalıştıkları sistemler, provastatin belirteci, vitamin B_2 üretimi prosesleridir. Çalışmacılar ilk önce "fuzzy" kontrolü doğrudan ve dolaylı kontrol olmak üzere ikiye ayırmışlar; birincisi proses değişkenlerinin direkt olarak kontrol edildiği (yarı kesikli şeker besleme hızı gibi) doğrudan kontrol, ikincisi ise öncelikli olarak proses değişkenleriyle faz doğrulamanın yapıldığı "fuzzy" sonuç çıkarma şeklinde olan kontroldür. Sonuç olarak fazın, yetiştirme sırasında belirlenmesinin sistemin kolayca kontrol edilmesine yardımcı olacağını söylemişlerdir. Ayrıca son zamanlardaki yeni sistemlerin "fuzzy" sonuç çıkarmayı kullanarak kurulduğu ve biyoproses kontrol sistemlerinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Zhou *et al.* (2000), çalışmalarında Genetik Algoritma (GA) yardımıyla bir "fuzzy" kontrol edici tasarımı yapmışlardır. Burada GA yardımıyla "fuzzy" kontrol parametreleri olan, kontrol kuralları ve üyelik fonksiyonları bulunmaya çalışılmıştır. Kullandıkları sistem için tasarladıkları kontrol edici "Fuzzy"-PID kontrol edicidir. Burada çalışmacılar PID'yi temel, "fuzzy"yi ise PID nin etkinliğini artırmak için yardımcı kontrol edici olarak seçmişlerdir. Bu sistem için popülasyon sayısı 20, nesil

sayısı ise 50 olarak belirlenmiştir. Kullanılan PID kontrol edicinin parametreleri Ziegler-Nichols yöntemiyle bulunmuştur. Sonuç olarak böyle bir sistemde varsayılan metodun etkili olduğu, sistemde birkaç "fuzzy" değişkeninin yeterli olduğu ve fazladan profesyonel uzmanlık ve matematiksel analizlere gerek olmadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Altınten (2001), GA'yı çok iyi anlaşılmamış, düzensiz ve kompleks üyelik fonksiyon uzayını araştırmak için "fuzzy" kontrol tasarımında kullanmış ve böylece, genetik algoritmanın öğrenme yeteneği ile "fuzzy" kontrolun proses kontrol yeteneğini birleştirmiştir. Tasarımı yapılan bu sistemi, stirenin serbest radikalik polimerizasyon reaksiyonunun gerçekleştiği soğutma ceketli kesikli bir reaktörün sıcaklık kontrolunda kullanmıştır. Kontrol değişkeni olarak reaktör içi sıcaklığını ve ayarlanabilen değişken olarak sisteme verilen ısı seçilmiştir. GA için uygunluk fonksiyonu olarak farkların mutlak değerleri toplamını (IAE) alınmıştır. Seçilen sabit sıcaklık ve optimal sıcaklık profili işletim koşullarında, teorik olarak GA ile oluşturulan "fuzzy" üyelik fonksiyon kümeleri ve bunlara bağlı olarak ilişki matrisini kullanarak, polimerizasyon deneylerini yapmış, "fuzzy" kontrol yönteminin reaktör içi sıcaklığını istenen set noktasında tutabildiğini belirtmiştir.

O'Connor *et al*. (2002), çalışmada bira fermentasyon prosesiyle "fuzzy" mantık birleştirilmiş. Çalışma sırasında fermentasyon tankının optimizasyonu da eşanlı olarak devam ettirilmiştir. Değişik giriş parametrelerinin (sıcaklık, basınç, fermentasyon süresi ve maya sayımı) prosesi nasıl etkilediğini ve bu parametrelerle çıkış değişkenleri (alkol içeriği, pH, renk, anlık ağırlık) arasındaki ilişkiyi veren, modele dayalı "fuzzy" mantığını geliştirmek üzere bu çalışma yapılmıştır. Prosesin optimizasyonu için 6 farklı fermentörde çalışma yapılmış. Bu reaktörler, ceketinde glikol olan ve soğutma sistemi otomatik olarak çalışan reaktörlerdir. Proses iki girdili-tek çıktılı değişkeni bir sistemdir. Giriş değişkenleri; sıcaklık, çıkış değişkeni olarak ise soğutma işlemi seçilmiştir.

Kayacan vd. (2003), tornalama işlemlerinde takım aşınması esas alınarak ekonomik takım kullanımı için bulanık mantık programlama yöntemi kullanılarak genel bir

“fuzzy” model kurulmuştur. Kesilecek malzemenin sertliği ve kullanılan kesici takımın cinsine göre ekonomik takım aşınması için en uygun kesme hızı, ilerleme oranı ve talaş derinliklerini belirleyebilen bulanık mantık çözüm modeli oluşturulmuştur. Bulanık mantık kullanılarak oluşturulan modelde giriş parametreleri ve çıkış parametrelerinin üyelik fonksiyonları, ayak genişlikleri ve üyelik fonksiyonları arasındaki ilişkiler kullanılarak oluşturulan kural tabanında bu zamana kadar yapılan deneysel çalışmalardan ve uzman görüşlerden yararlanılmıştır.

Üretim sürecinde aynı kalitede ürün üretebilmek için imalatın eş zamanlı denetlenmesi gerektiği, üretimde standardı bozan en önemli ve etkili faktörlerden birisi takım aşınması olduğu, etkili bir üretimde kalite, verimlilik ve ekonomikliliğin beraber düşünülmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Deneysel çalışmalardaki ideal şartların her çalışmada korunması pek mümkün olmamaktadır. İş parçası ve kesici takım özellikleri ile birlikte kesme parametreleri olan kesme hızı, ilerleme oranı, kesme derinliği, çalışma sıcaklığı gibi etkenler takım aşınma miktarını belirleyen ideal şartları oluşturmaktadır. Bulanık mantık kullanılarak oluşturulan çözüm modelinde her parametrenin diğerleri ile aralarındaki ilişkiler ve hedef fonksiyona olan etkileri görülebilmektedir.

Bu çalışma sonucunda talaşlı üretimde ekonomik tornalama için en uygun takım aşınmasının oluşacağı işleme parametreleri çok kolaylıkla kısa sürede belirlenebilmiştir. Değişen kesici takım performanslarına, takım tezgahlarına ve akademik çalışmalar sonucu elde edilen olumlu kazanımlara göre kural tabanı, üyelik fonksiyonları ve ayak genişlikleri tekrar kısa sürede düzenlenerek yeni kesme şartları belirlenebilmektedir. Bunun yanı sıra oluşturulan model, elektronik üretim sürecinde takım aşınmasının eş zamanlı denetlenebilmesi için kesme şartlarının kontrol altında tutulması amacıyla da kullanılabileceği belirtilmiştir.

Ahioğlu (2005), çalışmada havalı koşullarda *S.cerevisiae* mikroorganizmasının çoğaltıldığı bir biyoreaktörün çoğalma ortamı sıcaklığı “Fuzzy” kontrol yöntemi ile kontrol edilmiştir. Sistemde çıkış değişkeni olarak biyoreaktör sıcaklığı, ayarlanabilen

değişken olarak ise biyoreaktöre dalgıç ısıtıcıdan verilen ısı ve soğutma suyu akış hızı seçilmiştir. Kontrol çalışmalarına geçmeden önce biyoreaktörün açık hat işletimi gerçekleştirilerek mikroorganizma çoğalması sırasındaki dinamik davranışı incelenmiştir. Öncelikle ayarlanabilen değişken olarak seçilen soğutma suyu akış hızı ve biyoreaktöre dalgıç ısıtıcıdan verilen ısıya, pozitif ve negatif basamak etkiler verilmesi sonucu çıkış değişkeni olan biyoreaktör sıcaklığının değişimi verileri elde edilmiştir. Sistemdeki sensör ölçümlerine etki eden gürültüyü azaltmak için birinci mertebeden filtre tasarımı yapılmıştır.

Kontrol çalışmalarında öncelikli olarak "fuzzy" kontrol yöntemi teorik olarak uygulandıktan sonra biyoreaktör sıcaklığı "fuzzy" kontrol yöntemi ile başarılı bir şekilde kontrol edilmiştir. "Fuzzy" kontrol parametrelerini bulmak için kullanılan optimizasyon yöntemi olan genetik algoritmanın parametreleri olan çaprazlama oranı (pc), mutasyon oranı (pm) ve yığın boyutu (N) teorik olarak belirlenmiştir. Kontrol sonuçları GA ile "Fuzzy" Kontrol ayar parametrelerinin seçiminin etkili olduğunu göstermektedir.

Altınten vd. (2006), çalışmada stiren polimerizasyon tepkimesinin gerçekleştiği kesikli reaktörde, izotermal koşullarda, ceket sıcaklığı sabit set noktasında "fuzzy" yöntemiyle kontrol edilmiştir. Ayarlanabilen değişken ısıtıcıdan verilen ısı, kontrol edici değişken reaktör sıcaklığı seçilmiştir.

Kontrol parametreleri GA ile bulunmuştur. GA için uygunluk fonksiyonu farkların mutlak değerleri toplamı olan (IAE) seçilmiş, durdurma kriteri nesil sayısı olarak belirlenmiştir. "Fuzzy"-GA kontrol edicinin performansı teorik ve deneysel veriler karşılaştırılarak incelenmiştir.

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1 Kimyasal Proseslerin Sistem Modelleri

Proseslerin optimizasyonu ve kontrolunun başarısı öncelikle modelin sistemi ne kadar iyi tanımladığına bağlıdır. Bu bölümde proses modelinin elde edilmesi için izlenecek yöntemlerden kısaca bahsedilmiştir. Bu yöntemlerden istatistiksel modelleme yöntemleri optimum işletim koşullarının bulunmasında, analitik modeleme kesikli ve sürekli işletilen reaktörün dinamik davranışının benzetimi amacıyla kullanılmıştır.

3.1.1 Teknolojik süreçlerin sistem modellemeleri

Teknolojik süreçlerin matematiksel modellenmesi birkaç yöntemle yapılır. Bunlar;

a. Analitik modelleme yöntemi
b. İstatistiksel modelleme
c. Alternatif modelleme teknikleri

a. Analitik modelleme yöntemi

Bu yöntemde bir sürecin modellenmesi, sistemli analiz yaklaşımına göre, hiyerarşik bir yapıda ve birkaç aşamadan oluşur. İşlem süreçlerinin matematiksel modellerinin bulunması ilk aşamayı oluşturur. Bu aynı zamanda analitik modelleme yönteminin temelini teşkil eder. İkinci aşamada, sistem parametrelerinin matematiksel modelleri elde edilir. Son aşamada ise sistem süreçlerinin ve parametrelerinin matematiksel modellerinden yararlanılarak sistemin dinamik modeli elde edilir.

b. İstatistiksel modelleme yöntemleri

Genel olarak deneylerin istatistiksel planlanmasında matematiksel modellerin kuruluşu ve doğrusal olmayan regresyon denklemleri şeklinde çoğu zaman birinci ve ikinci dereceden polinomlarla ifade edilir.
Doğrusal olmayan model;

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^{n} b_i X_i + \sum_{\substack{j=1 \\ i<j}}^{n} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^{n} b_{ii} x_i^2 \quad (3.1)$$

Doğrusal model ise;

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^{n} b_i X_i + \sum_{\substack{j=1 \\ i<j}}^{n} b_{ij} x_i x_j \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir.

Deneysel tasarım yöntemine göre modellerin parametrelerinin değerlendirilmesi, optimal plan matrislerinin oluşturulmasından elde edilir (Box 1978).

c. Alternatif modelleme teknikleri

Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmenin sonucu olarak süreç endüstrisinde istenilen giriş ve çıkış özelliklerine sahip en önemli alternatif modelleme teknikleri olan yapay sinir ağları ve bulanık mantık sistemleri oluşturularak geniş alanlarda kullanılmaktadır.

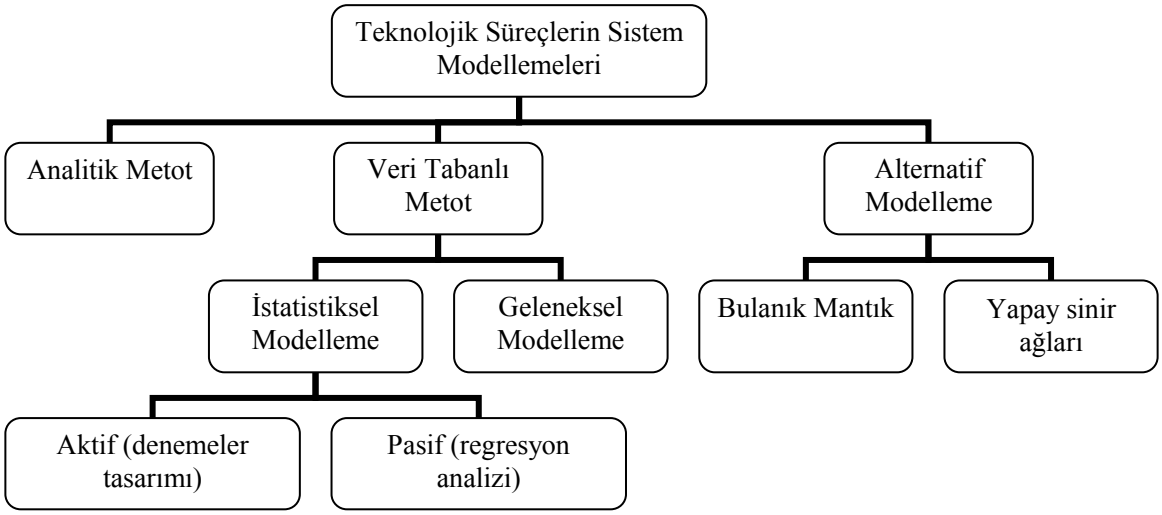
i. Yapay sinir ağları

Yapay sinir ağları, koşut çalışabilen çok sayıda basit işlem birimi ve onların birbirine bağlanmaları ile oluşur. Girdinin ve yapılacak işin bu ağ üzerinde paylaştırılabilmesi, işlemcilerin koşutluğu sayesinde hem hızı, hem de sistemin hataya ve gürültüye dayanıklılığını artırır. Özellikle eksik, belirsiz, karmaşık ve bulanık bilgileri kullanmasındaki başarıları nedeniyle, birçok endüstriyel prosese uygulanabilmektedir.

ii. Bulanık mantık

Zadeh L.A., 1965 yılında dünya literatüründe ilk olarak klasik çokluklar teorisini genelleştirerek, “Fuzzy” ‘sets’ belirsiz, bulanık bozulmuş çokluklar anlayışını ileri sürmüş ve böylelikle sosyal hayatın, teknik ve teknolojilerin her türlü belirsiz ve

sezgisel hadiselerin niceliklerini belirlemek amacıyla onların matematiksel ifadesi bakımından formülleştirilmesi imkanını elde etmiştir. Bulanık mantık teorisi, gerçek dünyanın yaygın izi ve klasik matematiğin kesinliği arasında bir basamak yaklaşımıdır.



Şekil 3.1 Teknolojik süreçlerin sistem modelleri

3.1.2 İstatistiksel modelleme yöntemleri ve regresyon analizi genel kavramları

İstatistiksel modelleme yöntemlerine aynı zamanda regresyon analizi ve deney tasarımı da denir. Bir deneyde bir veya birden çok proses değişkeni (faktör) değiştirilerek bu değişimlerin prosesin bir çıktısı veya çıktıları üzerindeki olabilecek etkileri gözlenir.

İstatistiksel deneysel tasarım metodları 1925 yılında Fisher tarafından başlatılmış daha sonra geliştirilmiştir. Deneylerin Tasarımı (Design of Experiments, DOE); en az deney yaparak maksimum bilgiye ulaşılmasını sağlayacak şekilde deneylerin planlanması, deneylerin bu plana göre yerine getirilmesi ve eldeki deneysel verilerin anlamlı sonuçlar içerecek şekilde istatistiksel metotlarla analiz edilmesidir. Tasarımı en iyi şekilde yapılmış olan bir deney ile sonuçta elde edilecek bilgi kazanımı maksimum yapılmış olur.

Mühendislik çalışmalarının model belirtilmesinde ve optimal tasarımda temel olarak regresyon analizinden çokça yararlanılır. Regresyon analizinde pasif denemelerin sonuçlarından faydalanılarak matematik modelin tasarımı yapılır ve onun istatistiksel

uygunluğu değerlendirilir. Böylece herhangi bir proses modeli regresyon denklemi ile ifade edilebilir, bunun sonucunda çıkış sinyali y ile giriş değişkeni x arasındaki bağımlılık sürekli olur ve aralarındaki bağıntı şu şekilde gösterilir;

$$y = v + \varepsilon = f(x) + \varepsilon \qquad (3.3)$$

Burada ε normal koşullarda ölçülemeyen rastgele bir gürültü sinyalidir. f(x) çıkışın girişe olan bağımlılığını tayin eden ve belli olmayan bir operatördür.

Mühendislik çalışmalarındaki bu problem çerçevesinde herhangi bir sistemin regresyon analizinden yararlanarak sistemin girişi ve çıkışı arasındaki ilişkiyi gösteren İkinci dereceden (karesel) deneysel bir regresyon denklem, proses çıktısının olabilecek değerini ifade etmek üzere Eşitlik 3.1' de verildiği gibidir. Deneysel verilerin analiz edilmesi sonucu faktörlerin katsayıları olan "b" değerleri tahmin edilir.

Deneysel tasarım metodları aşağıda kısaca verildiği gibi pek çok amaç için kullanılabilir.

1. Elimizdeki mevcut seçenekler arasından seçim yapılması
2. Proses çıktısı üzerinde etkili proses değişkenlerinin tespit edilmesi
3. Tepki yüzeyinin belirlenmesi
4. Regresyon modellemesi

Bir deneysel tasarım çalışmasında aşağıda belirlenmiş olan basamakların sırasıyla yerine getirilmesi gereklidir;

1. Amaçlar belirlenir
2. Proses değişkenleri seçilir
3. Deneysel tasarım matrisi belirlenir.
4. Belirlenmiş olan deneysel tasarıma göre deneyler yapılır.
5. Deneysel verilerin varsayımlar ile uyumlu olup olmadığı kontrol edilir.
6. Sonuçlar analiz edilir ve yorumlanır.
7. Sonuçlar anlaşılır bir şekilde sunulur ve gerekiyor ise yeni bir deneysel tasarım matrisi oluşturulur.

Deneysel tasarımlarda; belirlenmiş olan tepkilerin ölçümü için mevcut ölçüm sistemlerinin yeterliliği, tepkilerin basit polinomlarla iyi bir şekilde ifade edilmesi, prosesin stabilitesi, gerçek deneysel gözlemler ile modelden tahmin edilmiş olan veriler arasındaki fark olarak ifade edilen artıkların davranışları belli başlı önemli unsurlardandır.

Deneylerin kararlı bir proseste gerçekleştiriliyor olması önemlidir. Deney prosesinde deney süresince değişimler veya sürüklenmeler olmamalıdır, eğer var ise model içinde bu değişimler ifade edilmelidir.

3.1.2.1 Etkili deneyleme metotları

Bir proses için deneysel olarak model tanımlanmak istendiğinde öncelikle deneylerin tasarımı yapılmalıdır. Belirlenen çalışma doğrultusunda ve kabul edilen statik modele dayanarak uygulanabilecek çok sayıda etkili deneyleme metodu vardır. Bunlar **faktöriyel deneysel tasarım** olarak adlandırılır. Faktöriyel tasarımlardan bazıları; tam faktöriyel deneysel tasarım, iki seviyeli faktöriyel tasarım, kısmi faktöriyel tasarım, çok faktörlü tasarımlar ve karmaşık tasarımlardır. Bu deneysel metotlar seçilirken öncelikle belirlenen optimizasyon kriteri üzerinde etkili olan faktörlerin belirlenmesi gereklidir. Daha sonra belirlenmiş olan statik modeli en iyi şekilde tanımlayacak olan deneysel tasarım belirlenmelidir. Faktöriyel deneylerde n tane faktör (değişken) için belirli seviyeler seçilir ve bunların bütün olabilecek bileşimlerinde deneyler gerçekleştirilir. Eğer 1. değişken için I_1 seviyeleri, 2. değişken için I_2 seviyeleri ve n. Değişken için I_n seviyeleri varsa , toplam deney sayısı $I_1*I_2*\ldots\ldots*I_N$ dır. Bu ise faktöriyel tasarım olarak adlandırılır (Alpbaz 1997).

3.1.2.1.1 İki seviyeli faktöriyel deneysel tasarımlar

Bu yüksek lisans çalışmasında sabunlaşma reaksiyonun gerçekleştiği, kesikli reaktörde işletim koşullarının optimizasyon, iki seviyeli faktöriyel deneysel tasarım matrisine göre deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımda “n” adet değişken (faktör) söz konusudur ve bu faktörler iki farklı seviyesinde kontrol edilir. Bu iki seviye, faktörlerin maksimum ve

minimum seviyeleridir. Faktör seviyeleri proses üzerinde araştırmalar yapılarak belirlenir (Alpbaz 1997).

Bu tip araştırmalarda boyutsuz koordinat sisteminde çalışılır ve aşağıdaki tanımlamalar yapılır;

$$X_i = \frac{U_i - U_i^0}{\Delta U_i} \tag{3.4}$$

$$\Delta U_i = \frac{U_i^{max} - U_i^{min}}{2} \tag{3.5}$$

$$U_i^0 = \frac{U_i^{max} + U_i^{min}}{2} \tag{3.6}$$

Boyutsuz koordinat sisteminde en yüksek seviye +1, en düşük seviye -1, merkez nokta ise sıfırdır.

Böyle bir tasarımda yapılması gereken deney sayısı 2^n dir. Tasarım matrisi ise genel olarak Çizelge 3.1'de verildiği şekilde düzenlenir. X_0 "Dummy Değişkeni" olarak adlandırılır. Bu tablo oluşturulurken ilk kolonda yer alan birinci faktör için 2^{n-1} adet pozitif ve 2^{n-1} adet negatif seviyeler belirlenir. Daha sonraki kolonlar ise sırasıyla bir önceki kolonda yer alan pozitif seviyelerin yarısı kadar pozitif ve negatif seviyelerinde yine yarısı kadar negatif terim ilave edilerek oluşturulur (Alpbaz 1997).

Çizelge 3.1 Üç faktör için 2^n faktöriyel deneyleme tasarım matrisi (+1 maksimum değer, -1 minumum değeri göstermektedir)

Gözlem sayısı	X_0	X_1	X_2	X_3
1	+1	+1	+1	+1
2	+1	+1	+1	-1
3	+1	+1	-1	+1
4	+1	+1	-1	-1
5	+1	-1	+1	+1
6	+1	-1	+1	-1
7	+1	-1	-1	+1
8	+1	-1	-1	-1

Çizelge 3.1' de verilmiş olan tasarım matrisi aşağıdaki özelliklere sahiptir;

$$\sum_{i=1}^{N} X_{ui} X_{ji} = 0 \qquad u \neq j \quad \text{u , j =0,1,.....,n} \qquad (3.7)$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_{ji} = 0 \qquad j \neq 0 \quad \text{j=1,2,.....,n} \qquad (3.8)$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_{ij}^2 = 0 \qquad j \neq 0 \quad \text{j=1,2,.....,n} \qquad (3.9)$$

Eşitlik 3.7 ile verilmiş olan özellik ortagonolite özelliği olarak adlandırılmaktadır. Tasarım matrisinin böyle bir özelliğe sahip olması regresyon eşitliği katsayılarının en küçük kareler yöntemine göre yapılan tahminini kolaylaştırmaktadır.

Bu tip tasarım sadece esas etkileri değil aynı zamanda etkileşimleri de maksimum doğrulukta tahmin eder ve kolayca karmaşık tasarıma genişletilebilir.

3.1.2.2 En küçük kareler yöntemine göre katsayıların tahmini

Aşağıda verildiği şekilde genel bir regresyon eşitliği kabul edilmiş ise, bu eşitlikte yer alan katsayılar en küçük kareler yöntemine göre tahmin edilebilir.

$$y = b_0X_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + ...+ b_nX_n \quad (3.10)$$

En küçük kareler yöntemine göre;

$$S = \sum_{i=1}^{N} (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3.11)$$

eşitliğinin minimum olması istenir.

Katsayıların tahmin edilmesi için ilk olarak normal eşitlikler seti;

$$\frac{dS}{db_0} = 0, \frac{dS}{db_1} = 0, \ldots\ldots\ldots, \frac{dS}{db_n} = 0 \quad (3.12)$$

şartlarında elde edilir ve bu normal eşitlikler seti matris formunda yazılırsa;

$$X'*X*B=X'*Y \quad (3.13)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlikte ;

$$X = \begin{bmatrix} X_{01}X_{11}.....X_{n1} \\ X_{02}X_{12}.....X_{n2} \\ ..... \\ X_{0N}X_{1N}.....X_{nN} \end{bmatrix} \qquad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ ..... \\ y_N \end{bmatrix} \qquad B = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ ..... \\ b_n \end{bmatrix}$$

Katsayılar matrisi;

$$B=(X'*X)^{-1}\ \mathbf{X'}*Y \quad (3.14)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanır (Alpbaz 1997)

Tasarım matrisinin ortagonal olmasından dolayı korelasyon matrisi;

$$(X'*X)^{-1} = \begin{bmatrix} 1/N..... \\ .....1/N..... \\ ..... \\ .....1/N \end{bmatrix}$$

yapısında olmasından dolayı regresyon eşitliğindeki herhangi bir katsayı, aralarında korelasyon olmadan kolayca aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_{ji} y_i}{\sum_{i=1}^{N} X_{ji}^2} \qquad (3.15)$$

Eğer X_{ij}'ler +1 veya -1 ise eşitlik 3.15'de paydanın değeri N olur ve eşitlik 3.16 elde edilir.

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_{ji} y_i}{\sqrt{N}} \qquad (3.16)$$

3.1.2.3 İstatistiksel metotlarla modelin test edilmesi

Tasarımı yapılmış olan herhangi bir deney için korelasyon matrisi olarak adlandırılan $(X'*X)^{-1}$ matrisinin diagonal elementleri;

$$(X'*X)^{-1} = \begin{bmatrix} 1/N..... \\ .....1/N..... \\ ..... \\ .....1/N \end{bmatrix}$$

yapısında olduğu durumda regresyon eşitliğinde yer alan katsayıların birbirinden bağımsız tahminleri yapılır ve regresyon eşitliğinde yer alan her bir katsayı aynı doğrulukta belirlenir; belirlenmiş olan büyüklük seviyesinde **Student t** testi kullanılarak katsayıların büyüklüğü test edilir (Bursali 1997).

$$t_i = \frac{|b_j|}{S_{bj}} \qquad (3.17)$$

Katsayı varyansları;

$$S_{bj}^2 = \frac{S_e^2}{\sum_{i=1}^{N} X_{ij}^2} \tag{3.18}$$

eşitliği kullanılarak hesaplanır. Bu eşitlikte;

$$S_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_0} (y_i^0 - y^0)}{n_0 - 1} \tag{3.19}$$

Belli bir p büyüklük seviyesinde ve f serbestlik derecesinde tablo halinde verilmiş olan $t_p(f)$ değeri tablolardan bulunur ve her bir katsayı için hesaplanmış olan t değerleri bu değer ile karşılaştırılır. Hesaplanan t değeri tablodan belirlenen değerden küçük ise bu katsayılar denklemden çıkartılır.

Büyüklüğü önemsiz olarak belirlenen katsayılar denklemden uzaklaştırıldıktan sonra oluşan denklemin gözlemlere uygunluğunu test etmek için **Fisher'in F** testi kullanılır.

$$F = \frac{S_r^2}{S_e^2} \tag{3.20}$$

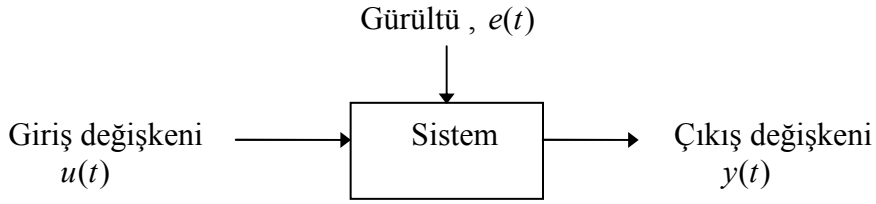
$$S_r^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} (y_i - y)}{N - l} \tag{3.21}$$

F değeri hesaplandıktan sonra, belirlenmiş olan büyüklük seviyesinde ve f_1, f_2 serbestlik dereceleri için tablo halinde verilmiş olan F_p (f_1, f_2) değeri tablodan okunur ve hesaplanmış olan değer ile karşılaştırılır. Hesaplanan F değeri tablodan okunan değerden küçük olduğu durumda eşitliğin yeterli olduğu kabul edilir (Bursali 1997).

3.2 Sistem Tanımlama

Sistem tanımlama (System identification) kontrol algoritmasında yer alan oldukça önemli ve zaman alan bir işlevdir. Şekil 3.2'deki gibi verilen bir dinamik sistem

deneysel verilerden yararlanılarak modellenir. Sistemin fiziksel özelliklerini en iyi yansıtan matematiksel model bulunmaya çalışılır.



Şekil 3.2 t anında giriş değişkeni $u(t)$, çıkış değişkeni $y(t)$ ve gürültü $e(t)$ içeren bir dinamik sistem

Sistemlerin modellenmesi değişik yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Giriş değişkenine birim basamak etki verildiğinde elde edilecek çıkış değişkeni değerlerinin grafiksel olarak değerlendirilmesi buna bir örnektir. Diğer bir yol matematiksel modeller kullanmaktır. Bunun için diferansiyel ve fark eşitliklerinden yararlanılır. Bu tür modeller sistemin dinamik davranışını yeterince tanımlamaktadır. Matematiksel modeller birçok alanda ve uygulamada oldukça yararlıdır. Matematiksel model oluşturmanın basitçe iki yolu vardır.

1. Modelleme: Bu bir analitik yaklaşımdır. Basit fizik kanunları, kütle - enerji dengeleri bir prosesi tanımlamak için kullanılır.

2. Sistem tanımlama: Bu bir deneysel yaklaşımdır. Sistemde bazı deneyler gerçekleştirilir. Kaydedilen veriler kullanılarak modelin deneysel verilerle uygunluğu araştırılır.

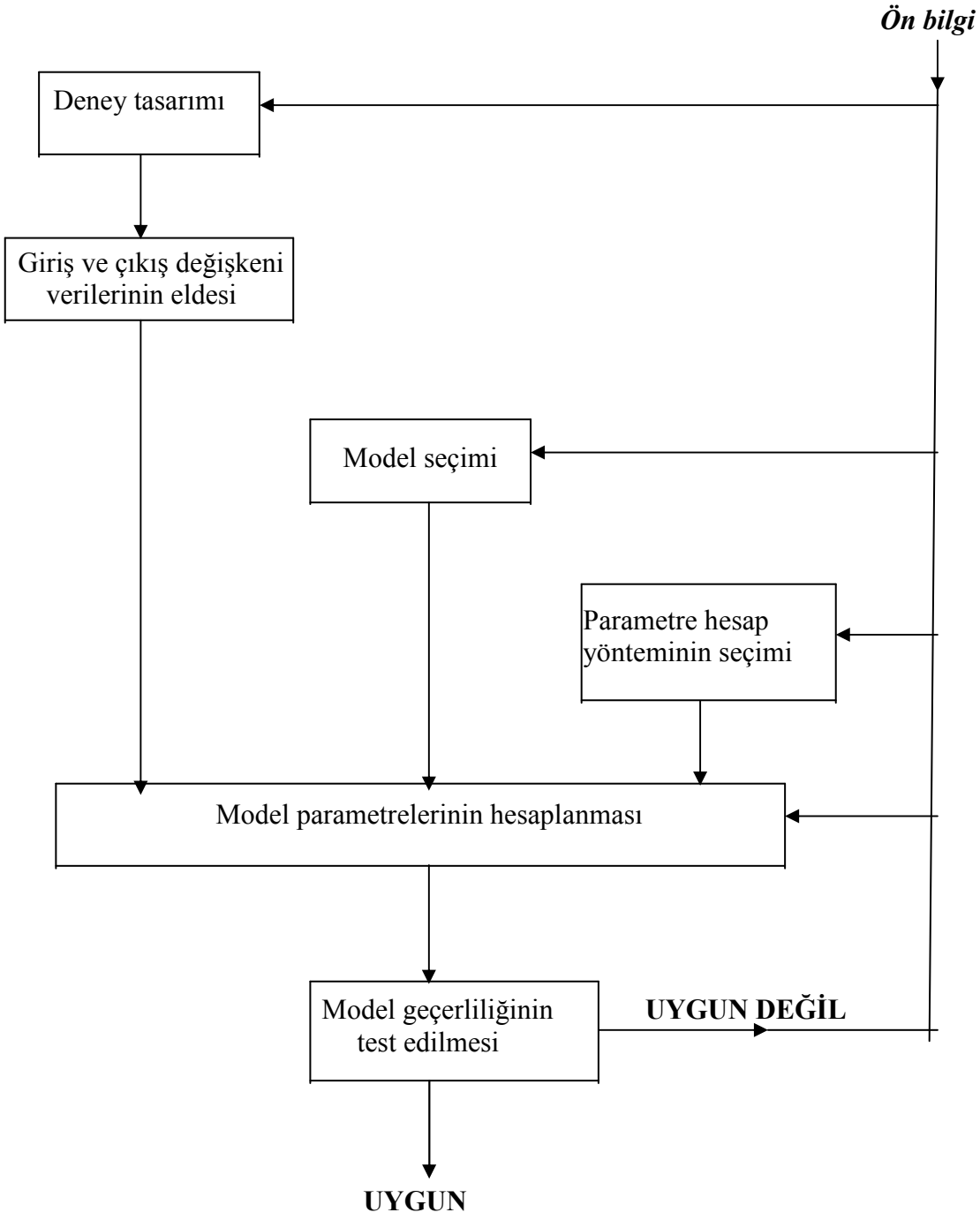
Birçok durumda prosesler oldukça karmaşıktır. Klasik fizik kanunları, madde-enerji dengeleri vb. ifadeler, kullanılabilir bir modelin elde edilmesi için yeterli olmayabilir. Bu gibi durumlarda sistem tanımlama yöntemleri uygulanır. Yüksek dereceli sistemlerin modelleri, fizik yasaları kullanılarak bulunan modellere göre daha kolay elde edilebilir.

Sistem tanımlamanın uygulanması:

Tanımlama ile ilgili uygulamalar sisteme bir etki verilmesi (girdi sinyali olarak basamak, kare, sinüsoidal veya rastgele sinyal (PRBS) kullanılarak) ve belli zaman aralıklarında çıkış değişkeni verilerinin elde edilmesiyle gerçekleştirilir. Kaydedilen giriş-çıkış değişkeni verileri kullanılarak prosesin parametrik modeli önerilir. Modeldeki bilinmeyen parametreler bulunur. Pratikte bu parametreler iterasyon yapılarak tahmin edilir. Daha sonra elde edilen model test edilir. Bu yöntem Şekil 3.3'de verilmiştir.

Sistem tanımlama için kullanılan parametrik yöntemler:

Sisteme uygulanan girdi sinyalleri sonucunda oluşan çıkış değişkeni verileri kullanılarak, seçilen deney şartlarındaki sistemin dinamik davranışına ilişkin modelin parametrelerinin bulunması sağlanır. Yinelemeli En Küçük Kareler Yöntemi (recursive least square estimation, RLS) bu yöntemlerden birisidir.



Şekil 3.3 Sistem tanımlama akış diyagramı (Bakay 1998)

3.2.1 Sistem tanımlamada kullanılan sinyaller

Sistem tanımlamanın ilk aşaması sistemi etkileyecek girdi sinyallerinin seçilmesidir. Basamak girdi (step function), kare dalga (square wave), sinus dalga (sinusoidal wave) sahte rastgele ikili ardışık etki (pseudo random binary sequence, PRBS), bunlardan bazılarıdır.

Çoğu zaman sistemi tanımlamak için kesikli zaman modeller kullanılır. Bu amaçla giriş ve çıkış değişkeni sinyalleri kesikli zamanda kaydedilir. Bu çalışmada girdi sinyali olarak kare dalga seçilmiştir (Ek 9) (Söderstrom and Stoica 1989, Bakay 1998).

3.2.2 Sistem modelleri

Matematiksel modellerin, modelleme ve tanımlama olmak üzere iki yoldan elde edilebildiği önceki bölümde belirtilmişti. Modellemede kütle ve enerji dengeleri kullanılmakta, tanımlamada ise deneysel olarak elde edilen verilere uygun modelin bulunmasına çalışılmaktadır. Daha sonra elde edilen model sınama testlerinden geçirilmektedir.

3.3.2.1 Sinyal Modelleri

Kendinden ayarlamalı sistemlerde karşılaşılabilen değişik sinyalleri $s(t)$ iki grupta toplayabiliriz.

1. Tanımlı (deterministic) sinyaller
2. Rastgele (random) sinyaller

Tanımlı (deterministic) sinyaller

a) *Ofset:* Sinyallerin en basitidir. Offset'li bir sistem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$s(t)=r_o \tag{3.22}$$

Kontrol sistemlerinde offset geri beslemeli kontrol içindeki integral işlemi ile yok edilebilir.

b) ***Zamanla değişen offset***: Sabit offsetin genelleştirilmiş şeklidir. Burada offset zamana bağlı olarak bir polinom şeklinde verilir.

$$s(t) = R(t) = r_0 + r_1 t + \ldots\ldots\ldots + r_{nr} t^{nr} \tag{3.23}$$

c) ***Ölçülebilen sinyal:*** Ölçülebilen bir kaynaktan gelen sinyal $v(t)$, kesikli zaman aktarım fonksiyonu şeklinde aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$s(t) = \frac{D}{A} v(t) \tag{3.24}$$

Burada;

$$D = d_0 + d_1 q^{-1} + \ldots\ldots\ldots + d_{nd} q^{-nd}$$

$$A = 1 + a_1 q^{-1} + \ldots\ldots\ldots + a_{na} q^{-na}$$

Sistem ve sinyal modellerinin birleştirilmesi

Genel olarak bir rastgele sinyal kaynağı aşağıdaki gibi gösterilir.

$$s(t) = \frac{C}{A} e(t) \tag{3.25}$$

Eşitlik 3.25'da verilen sistem modeli birçok kontrol işlemi için oldukça uygundur. Sistem ve sinyal modellerinin birleştirilmesi ile proses çıktısı elde edilir (Şekil 3.5).

$$x(t) = \frac{B}{A} u(t) \tag{3.26}$$

Burada; $A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + \ldots\ldots\ldots + a_{na} q^{-na}$ ve $B(q^{-1}) = b + b_1 q^{-1} + \ldots\ldots\ldots + b_{nb} q^{-nb}$ olarak verilmiştir.

$$y(t) = x(t) + s(t)$$

$$y(t) = \frac{B}{A}u(t-1) + \frac{R(t)}{A} + \frac{D}{A}v(t) + \frac{C}{A}e(t) \tag{3.27}$$

Çok ender olmakla birlikte bu terimlerin tümü modelde yer alabilir. Bu terimlerin oluşmasındaki temel nedenler aşağıdadır.

i) $R(t) = r_0$: Sabit offset durumu prosesin kendi yapısından veya ölçüm cihazlarından kaynaklanabilmektedir. Kontrol sistemlerinde yaygın olarak gözlenmektedir.

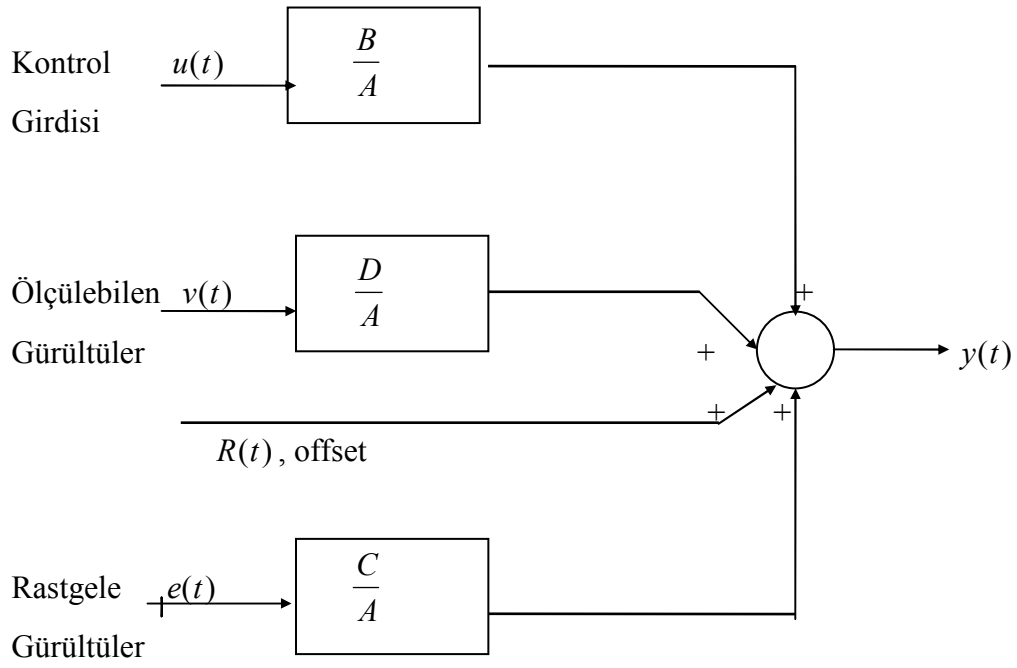
ii) $v(t)$: Sistem çıktısını etkileyen, ölçülebilen ancak kontrol edilemeyen bir sinyaldir. İleri beslemeli kontrol ile üstesinden gelinebilir.

iii) $e(t)$: Sistemin ölçülen çıktısını bozan bütün rastgele düzensizliklerdir.

Son durum için model yapısı Eşitlik 3.28 ile verilmektedir.

$$y(t) = \frac{B}{A}u(t-1) + \frac{C}{A}e(t) \tag{3.28}$$

Bu model ARMA tipi sinyale bir kontrol girdisi ilave edilerek elde edilmiştir.



Şekil 3.4 Bir sistemde bulunabilecek girdi ve gürültüler

Eşitlik 3.28 **ARMAX** (CARMA) model olarak isimlendirilir. Belli durumlarda daha iyi gürültü tanımlaması yapmak için integre edilmiş gürültü kullanılırsa Eşitlik 3.29 ile verilen **ARIMAX** (CARIMA) model elde edilir (Ljung 1987, Bakay 1998).

$$y(t) = \frac{B}{A}u(t-1) + \frac{C}{\Delta A}e(t) \tag{3.29}$$

Bu tip modeller rastgele gürültülerin olduğu bir sistemde yaygın olarak kullanılmaktadır.

ARMAX (CARMA) model (Auto Regressive Moving Avarage with eXegenous):

$$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1})u(t) + C(q^{-1})e(t) \tag{3.30}$$

tipi modellerdir. Eşitlik 3.30 ile gösterilen model fark eşitliği şeklinde yazılırsa Eşitlik 3.31 bulunur.

$$y(t) + a_1 y(t-1) + \ldots\ldots + a_{na} y(t-na) = b_1 u(t-1) + \ldots\ldots b_{nb} u(t-nb) + e(t) + c_1 e(t-1) + \ldots\ldots c_{nc} e(t-nc) \quad (3.31)$$

Eşitlik 3.31 düzenlenerek aşağıdaki model elde edilir.

$$y(t) = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} u(t) + \frac{C(q^{-1})}{A(q^{-1})} e(t) \quad (3.32)$$

$$G(q^{-1};\theta) = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} \quad \text{ve} \quad H(q^{-1};\theta) = \frac{C(q^{-1})}{A(q^{-1})} \quad (3.33)$$

Bu eşitlik matris şeklinde yazılacak olursa sırasıyla Eşitlik 3.34 ve 3.35 elde edilir.

$$\varphi^T = \left[-y(t-1) \ \ldots -y(t-na) \quad u(t-1) \ \ldots \ u(t-nb) \quad e(t-1) \ldots \quad e(t-nc) \right] \quad (3.34)$$

$$\theta^T = \left[a_1 \ldots a_{na} \ b_0 \ldots . b_{nb} \ c_1 \ldots . c_{nc} \right] \quad (3.35)$$

Böylece çıkış değişkenini veri ve parametre vektörüne bağlayan Eşitlik 3.36 elde edilir.

$$y(t) = \varphi^T(t)\theta + e(t) \quad (3.36)$$

Burada $\varphi^T(t)$ ile θ arasında doğrusal bir ilişki olduğundan parametreler bakımından doğrusal denir ve parametre hesaplama algoritmalarının başlangıç noktasıdır. ARMAX model, integrasyon ile yavaş düzensizliğe sahip sistemleri tanımlamak için yararlı bir model tipi olan ARIMAX tipi modele dönüşür. Bu durumda $y(t)$ yerine Eşitlik 3.37 kullanılacaktır.

$$\Delta y(t) = y(t) - y(t-1) \quad (3.37)$$

Parametrik proses modellerinin avantajı proses model parametrelerinin sonlu sayıda olması, kapalı döngüde parametre hesabının mümkün olması ve kontrol algoritmasının kolay olmasıdır (Bakay 1998).

3.2.3 Model parametrelerinin hesaplanması

3.2.3.1 En Küçük Kareler Yöntemi (EKK)

Eşitlik 3.37ile verilen parametreler bakımından doğrusal model ele alınarak ve ayrıca $y(1), y(2), \ldots\ldots y(N)$ ve $\varphi(1), \varphi(2), \ldots\ldots, \varphi(N)$ kadar N adet ölçüm değeri olduğu kabul edilsin. Bu durumda aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$\begin{aligned} y(1) &= \varphi^T(1)\theta + e(1) \\ y(2) &= \varphi^T(2)\theta + e(2) \\ &\vdots \\ y(N) &= \varphi^T(N)\theta + e(N) \end{aligned} \tag{3.38}$$

Yukarıdaki eşitlikleri vektörlerle ifade edilirse aşağıdaki görünüm elde edilir.

$$Y = \begin{bmatrix} y(1) \\ y(2) \\ . \\ . \\ y(N) \end{bmatrix}, \qquad \phi = \begin{bmatrix} \varphi^T(1) \\ \varphi^T(2) \\ . \\ . \\ \varphi^T(N) \end{bmatrix}, \qquad \mathrm{E} = \begin{bmatrix} e(1) \\ e(2) \\ . \\ . \\ e(N) \end{bmatrix} \tag{3.39}$$

$$Y = \phi\theta + \mathrm{E} \tag{3.40}$$

$\hat{\theta}$ tahmin edilen parametreler olsun. Modelden elde edilen çıkış değişkeni aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\hat{y}(t) = \varphi^T(t)\hat{\theta} \tag{3.41}$$

Tahmin hatası ($\varepsilon(t)$) sistemde ölçülen çıkış değeri ile modelden elde edilen çıkış değerinin farkı olduğundan aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\varepsilon(t) = y(t) - \hat{y}(t) = y(t) - \varphi^T(t)\hat{\theta} \tag{3.42}$$

N adet ölçüm için benzer yazılım yapılırsa Eşitlik 3.41 elde edilir.

$$\begin{aligned} \varepsilon(1) &= y(1) - \varphi^T(1)\hat{\theta} \\ \varepsilon(2) &= y(2) - \varphi^T(2)\hat{\theta} \\ &\vdots \\ \varepsilon(N) &= y(N) - \varphi^T(N)\hat{\theta} \end{aligned} \tag{3.43}$$

Matris formunda yazılırsa;

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon(1) \\ \varepsilon(2) \\ \vdots \\ \varepsilon(N) \end{bmatrix} \tag{3.44}$$

$$\varepsilon = Y - \phi\hat{\theta} \tag{3.45}$$

Burada θ'nın en küçük kareler yöntemiyle bulunması için aşağıdaki maliyet fonksiyonunun minimum yapılması gerekir. Bu durumda hesaplanan $\hat{\theta}$ değeridir (Söderström and Stoica 1989).

$$V = \sum_{t=1}^{N} \varepsilon^2(t) = \varepsilon^T\varepsilon = \|\varepsilon\|^2 \tag{3.46}$$

Burada $\|.\|$ öklid vektörüdür. Eşitlik 3.44, Eşitlik 3.46'de yerine yazılırsa aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$V = \left(Y - \phi\hat{\theta}\right)^T \left(Y - \phi\hat{\theta}\right)$$

$$= Y^T Y - \hat{\theta}^T \phi^T Y - Y^T \phi \hat{\theta} + \hat{\theta}^T \phi^T \phi \hat{\theta} \tag{3.47}$$

Bu eşitliği minimum yapan $\hat{\theta}$ değerini bulmak için türev alınır ve sıfıra eşitlenirse Eşitlik 3.48 bulunur.

$$\frac{\partial V}{\partial \hat{\theta}} = -2\phi^T Y + 2\phi^T \phi \hat{\theta} = 0$$

$$= -2\left(Y - \phi \hat{\theta} \right) \phi = 0 \tag{3.48}$$

Bu eşitlikten en küçük kareler ile hesaplanmış model parametre vektörü bulunur.

$$\hat{\theta} = \left(\phi^T \phi \right)^{-1} \phi^T Y \tag{3.49}$$

Eşitlik 3.49'u benzer şekilde aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\hat{\theta} = \left[\sum_{t=1}^{N} \varphi(t) \varphi^T(t) \right]^{-1} \sum_{t=1}^{N} \varphi(t) y(t) \tag{3.50}$$

En küçük kareler yöntemi çok kullanılan bir yöntemdir. Ancak adaptif ve öngörmeli kontrolda parametre hesabı yapılabilmesi için verilerin ve parametrelerin sürekli güncellendiği yinelemeli şekliyle kullanılmaktadır. Yani her adımda hesaplanan parametre ve yeni alınan veriler kullanılarak yeni bir parametre hesabı yapılmaktadır (Ljung 1987, Bakay 1998).

Yinelemeli parametre hesaplama yöntemleri aşağıdaki özelliklere sahiptir.

a) Adaptif kontrol sistemlerinin en önemli parçasıdır.
b) Çok fazla veri stoklanmadığından düşük bir hafıza hesaplama için yeterlidir.
c) Zamanla değişen model parametrelerin bulunması için oluşturulan gerçek zaman (real time) algoritmalara kolaylıkla modifiye edilebilir.

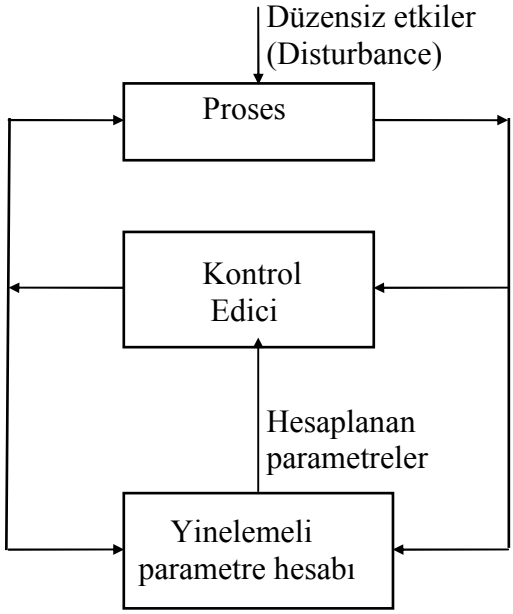
Birçok adaptif kontrol sistemleri (Şekil 3.6) yinelemeli parametre hesabına dayalıdır. Prosesin hesaplanan parametreleri içeren modeli tüm zamanlarda kullanılmaktadır (Söderström and Stoica 1989, Bakay 1998).

3.2.3.2 Yinelemeli En Küçük Kareler Yöntemi (YEKK)

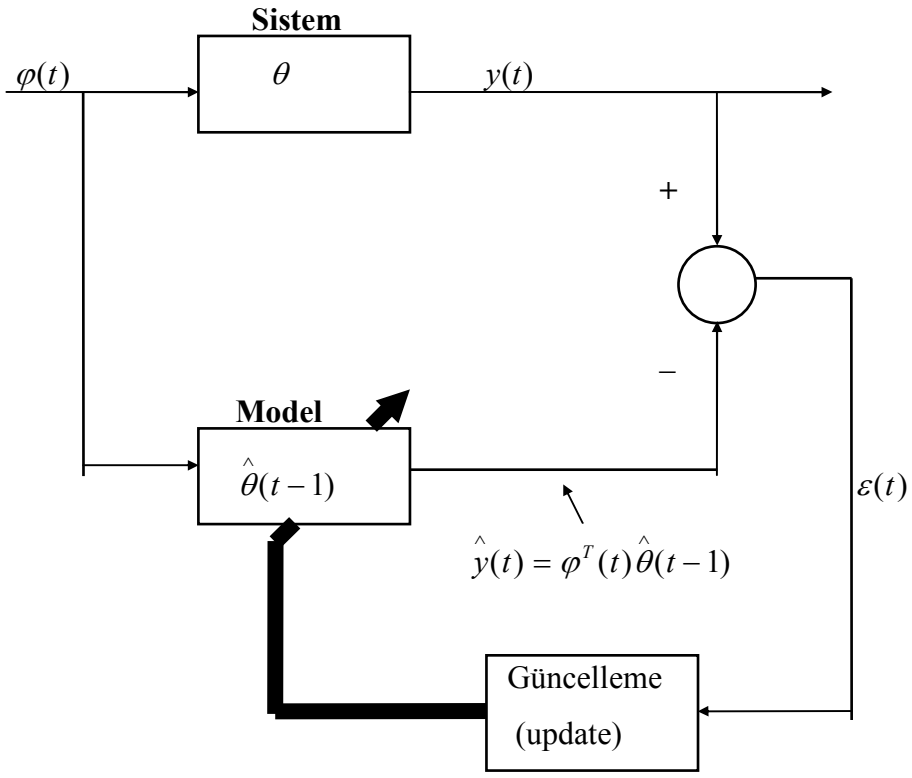
Kendinden ayarlamalı (Self-tuning) kontrol yöntemlerinde, hesaplanan sistem model parametreleri her örnekleme zamanında gelen yeni veriler ile güncelleştirilmektedir. Şekil 3.6'de verilen akış diyagramında gösterildiği gibi gelen yeni giriş ve çıkış değişkeni değerleri kullanılarak geçmiş verilere dayanan model parametreleri $\hat{\theta}(t-1)$, yeni çıkış değişkeni değerinin $(\hat{y}(t))$ hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu değer ölçülen $y(t)$ ile karşılaştırılır ve aradaki fark $\varepsilon(t)$ belirlenir. $\hat{\theta}(t-1)$ hesaplanan yeni $\hat{\theta}(t)$ ile güncelleştirilir. Bu yöntem yinelemeli parametre hesaplaması olarak isimlendirilir.

Herhangi bir t anındaki parametre hesabı Eşitlik 3.49'dan aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\hat{\theta}(t) = \left(\phi^T(t)\phi(t)\right)^{-1}\phi^T(t)Y(t) \tag{3.51}$$



Şekil 3.5 Genel bir adaptif kontrol şeması



Şekil 3.6 Yinelemeli parametre hesaplama yönteminin şematik gösterimi (Bakay 1998)

Burada;

$$Y(t)=\begin{bmatrix} y(1) \\ y(2) \\ . \\ . \\ y(t) \end{bmatrix} \quad , \qquad \phi(t)=\begin{bmatrix} \varphi^T(1) \\ \varphi^T(2) \\ . \\ . \\ \varphi^T(t) \end{bmatrix} \tag{3.52}$$

olarak verilmiştir. Bir sonraki zamanda $(t+1)$ parametre hesabı Eşitlik 4.31'de verildiği gibidir.

$$\hat{\theta}(t+1)=\left(\phi^T(t+1)\phi(t+1)\right)^{-1}\phi^T(t+1)Y(t+1) \tag{3.53}$$

Burada;

$$\phi(t+1)=\begin{bmatrix} \phi(t) \\ \varphi^T(t+1) \end{bmatrix} \quad , \qquad Y(t+1)=\begin{bmatrix} Y(t) \\ y(t+1) \end{bmatrix} \tag{3.54}$$

olarak verilmiştir. Yukarıdaki eşitlikler kullanılıp, düzenlenirse aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\begin{aligned} \phi^T(t+1)\phi(t+1) &= \begin{bmatrix} \phi^T(t) & \varphi(t+1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi(t) \\ \varphi^T(t+1) \end{bmatrix} \\ &= \phi^T(t)\phi(t)+\varphi(t+1)\varphi^T(t+1) \end{aligned} \tag{3.55}$$

Verilen $\varphi(t+1)$ ile yeni matris $\varphi(t+1)\,\varphi^T(t+1)$ 'i eski matrisler $\varphi(t)\varphi^T(t)$ 'den kolaylıkla güncellenir. Ancak her adımda matris tersini almak ve $\phi^T(t+1)Y(t+1)$ terimini güncelleştirmek gerekmektedir. Eşitlik 3.54'den Eşitlik 3.56 elde edilir.

$$\begin{aligned} \phi^T(t+1)Y(t+1) &= \begin{bmatrix} \phi^T(t) & \varphi(t+1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y(t) \\ y(t+1) \end{bmatrix} \\ &= \phi^T(t)Y(t)+\varphi(t+1)y(t+1) \end{aligned} \tag{3.56}$$

Kovaryans matris tanımlanırsa;

$$P(t) = \left[\phi^T(t)\phi(t)\right]^{-1} \tag{3.57}$$

ve (3.56)'ya uygulanırsa aşağıdaki eşitliğe ulaşılır.

$$P(t+1)^{-1} = P(t)^{-1} + \varphi(t+1)\varphi^T(t+1) \tag{3.58}$$

$P(t)$ tanımını kullanarak ve $\hat{\theta}(t+1)$ ile $\hat{\theta}(t)$'yi yazacak olursak Eşitlik 3.59 ve 3.60 elde edilir.

$$\hat{\theta}(t+1) = P(t+1)\phi^T(t+1)Y(t+1) \tag{3.59}$$

$$\hat{\theta}(t) = P(t)\phi^T(t)Y(t) \tag{3.60}$$

Eşitlik 3.56, Eşitlik 3.59'de yerine yazılırsa aşağıda verilen eşitlikler oluşturulabilir.

$$\hat{\theta}(t+1) = P(t+1)\left[\ \phi^T(t)Y(t) + \varphi(t+1)y(t+1)\ \right] \tag{3.61}$$

$$\hat{\theta}(t+1) = P(t+1)\phi^T(t)Y(t) + P(t+1)\varphi(t+1)y(t+1) \tag{3.62}$$

Eşitlik 3.60'den Eşitlik 3.63 bulunmaktadır.

$$\hat{\theta}(t)Y(t) = P^{-1}(t)\hat{\theta}(t) \tag{3.63}$$

Diğer taraftan Eşitlik 3.58'dan, Eşitlik 3.64 elde edilebilir.

$$\phi^T(t)Y(t) = P^{-1}(t+1)\hat{\theta}(t) - \varphi(t+1)\varphi^T(t+1)\hat{\theta}(t) \tag{3.64}$$

Eşitlik 3.64, 3.62'de yerine yazılırsa Eşitlik 3.65 elde edilir.

$$\hat{\theta}(t+1) = P(t+1)\left[P^{-1}(t+1)\hat{\theta}(t) - \varphi(t+1)\varphi^T(t+1)\hat{\theta}(t)\right] + P(t+1)\varphi(t+1)y(t+1)$$

$$= \hat{\theta}(t) - P(t+1)\varphi(t+1)\varphi^T(t+1)\hat{\theta}(t) + P(t+1)\varphi(t+1)y(t+1)$$

$$= \hat{\theta}(t) + P(t+1)\varphi(t+1)\left[y(t+1) - \varphi^T(t+1)\hat{\theta}(t) \right] \tag{3.65}$$

Yukarıdaki ifadede $(t+1)$ anındaki tahmin hatası (prediction error)

$$\varepsilon(t+1) = y(t+1) - \varphi^T(t+1)\hat{\theta}(t) \tag{3.66}$$

Şeklinde tanımlanırsa, $(t+1)$ anındaki hesaplanan parametre vektörü aşağıdaki gibi bulunur.

$$\hat{\theta}(t+1) = \hat{\theta}(t) + P(t+1)\varphi(t+1)\varepsilon(t+1) \tag{3.67}$$

$P(t+1)$ matrisini hesaplarken gerek duyulan matris tersi alma kuralı uygulanır.

$$(A + BCD)^{-1} = A^{-1} - A^{-1}B\left(C^{-1} + DA^{-1}B\right)^{-1}DA^{-1} \tag{3.69}$$

Eşitlik 3.59'da

$P^{-1}(t) = A$, $\varphi(t+1) = B$, $C = 1$ ve $\varphi^T(t+1) = D$ olarak alınırsa

$$P(t+1) = P(t) - P(t)\varphi(t+1)\left[1 + \varphi^T(t+1)P(t)\varphi(t+1)\right]^{-1}\varphi^T(t+1) \tag{3.70}$$

yazılabilir. Bu eşitlikte $\left[1 + \varphi^T(t+1)P(t)\varphi(t+1)\right]$ skalar bir değer olduğu için paydaya alınabilir.

$$P(t+1) = P(t) - \frac{P(t)\varphi(t+1)\varphi^T(t+1)P(t)}{1 + \varphi^T(t+1)P(t)\varphi(t+1)} \tag{3.71}$$

Elde edilen bu ifade ile kovaryans matrisin yeni değeri bulunur. Burada matris tersi alınmadığından işlemler kolaylaşır. Eşitlikler (3.67), (3.68) ve (3.71) aşağıda gösterilen yinelemeli en küçük kareler (YEKK) basamaklarını oluşturmaktadır.

i) Yeni veriler kullanılarak $\varphi(t+1)$ vektörü oluşturulur.

ii) Eşitlik 3.67'den $\varepsilon(t+1)$ hesaplanır.

iii) Eşitlik 3.71'den $P(t+1)$ hesaplanır.

iv) Eşitlik 3.68 kullanılarak parametre vektörü güncelleştirilir.

v) Bir sonraki zamana kadar beklenir ve ilk adıma dönülür.

3.3 Filtreleme

İletilen sinyal, başlıca prosese, kullanılan sensöre ve sinyallerin iletimine bağlı olabilen birçok etkinin sonucudur. Kontrol hesaplamaları, sadece ayarlanabilen değişken tarafından etkilenen sinyallere karşılık olmalıdır çünkü çok yüksek frekanslı bileşenler ayarlanabilen değişken üzerinde yüksek frekanstaki sapmalara neden olacaktır.

Elektriksel parazit ve mekaniksel titreşim gibi bazı gürültü bileşenleri proses yanıtından daha büyük frekanslara sahiptirler. Prosesteki değişikliklere bağlı olan iyi olmayan bir karıştırma; sıcaklık, akış hızı ve bileşimlerdeki değişimler gibi proses giriş değişkenlerindeki sapmalar kontrol döngüsünün kritik frekansına çok yakın olabilir.

Sinyaldeki çok yüksek frekanslı bileşenler, proses kontrol sistemi tarafından yok edilemezler ve bu bileşenler "gürültü" olarak hesaba katılırlar. Amaç istenmeyen bu bileşenlerin sinyalden uzaklaştırılmasıdır. Bu amaçla filtre geri besleme döngüsüne yerleştirilir ve dinamik filtre ile birlikte kullanılır. Bu olay kapalı döngü sistemin kararlılığını ve kontrol sisteminin performansını etkiler (Ahioğlu 2005).

Genellikle çalışılan kimyasal proses endüstrilerinde filtre hesaplamaları birinci dereceden bir transfer fonksiyonu vasıtasıyla ifade edilir.

$$CVf(s) = \frac{1}{\tau fs + 1} CVm(s) \tag{3.72}$$

Burada CVf(s) filtrelenmiş değeri, CVm(s) ölçülen değeri, τf ise filtre zaman sabitini ifade etmektedir.

Filtreleme işleminde en önemli nokta, filtrenin dijital uygulamaya uyarlanmasıdır. Dijital bir filtre, ilk olarak zaman temelinde diferansiyel bir eşitlik olarak sürekli bir filtre şeklinde ifade edilmektedir.

$$\tau f \frac{dCVf\ (t)}{dt} + CVf\ (t) = CVm\ (t) \tag{3.73}$$

Sürekli bir filtreyi ifade eden eşitlik çözülürse, birinci dereceden filtrenin dijital formu aşağıdaki eşitlikteki gibi olacaktır.

$$A = e^{-\Delta t / \tau_f} \tag{3.74}$$

$$(CVf)n = (A(CVf)n - 1) + (1 - A)(CVm)n \tag{3.75}$$

Filtre çalışmalarında dikkat edilecek nokta elde edilen filtre zaman sabitinin sistemin zaman sabitinin %5'inden küçük olmasıdır (Marlin 2000).

4. GENETİK ALGORİTMA

4.1 Genetik Algoritmanın Tanımı

Genetik algoritma, en genel anlamda doğadaki evrim sürecinden esinlenerek geliştirilmiş doğal seçim ve genetik kurallara yani en iyi bireylerin yaşamını devamına dayanan bir optimizasyon algoritmasıdır. Bireyler değişim boyunca, yeni üretilecek nesillere kendi özelliklerini aktararak, yeni neslin daha uyumlu bireylerden oluşma olasılığını artırır (Alli 2000).

İlk olarak 1975 yılında, Michigan Üniversitesi'nden John Holland ve arkadaşları tarafından, canlılardaki adaptasyonun yapısını anlamak, bu yapıdan yararlanarak, sistemlere uygulanabilecek algoritmayı bulmak amacıyla ortaya atılmıştır. Bugün pek çok GA kullanıcısı, Holland'ın orijinal genetik algoritmasının çok az değiştirilmiş versiyonlarını kullanarak oldukça kompleks gerçek dünya problemlerini çözmekte ve genetik terminolojinin çoğu halen kullanılmaktadır (Altınten 2001).

Doğal seçim ve genetik kurallardan yola çıkarak bulunan GA, günümüzde optimizasyon sorunlarının yaşandığı birçok alanda geliştirilerek yaygın olarak kullanılmaktadır. GA sistem kontrolünü, robotikler, nesne tanıma, parametre ve sistem tanıma, mühendislik tasarımı ve ekonomi alanları gibi değişik alanda uygulama yeri bulmuştur. Ayrıca, genel anlamda yine birer yapay zeka uygulaması olan yapay sinir ağları ve bulanık mantık sistemlerinin çeşitli parametrelerinin optimizasyon işlemlerinde de kullanılmaktadır.

Genetik algoritmalardaki araştırmaların temel ilgi noktası değişen ortam şartlarına uyum sağlayabilen yapıyı oluşturabilmesidir. İleri derecede adaptif sistemler oluşturulabilirse, pahalıya mal olan yeniden tasarım problemleri azaltılabilir, hata ortadan kaldırılabilir. Eldeki mevcut sistemler adaptif bir kontrol ile değişen şartlarda yeniden kullanılabilir ve görevlerini daha iyi ve daha uzun süre yerine getirebilir (Gökbulut *et al.* 2000).

GA, parametrelerin kendisi yerine kodlanmasıyla oluşturulan bireylerle, çözüme çok noktadan yaklaşır. Bu özelliğinden dolayı, GA optimizasyon problemlerinin çözümünde

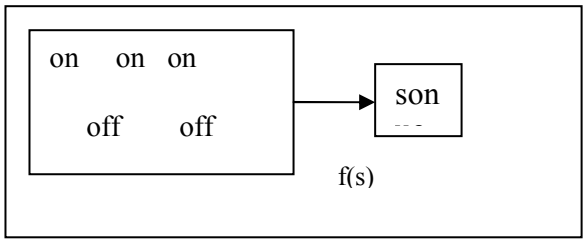
etkin olarak kullanılmaktadır. GA ile sistem kontrolünde, sistemin matematiksel modelinin bilinmesine ve yoğun tasarım probleminin çözümüne gereksinim duyulmaz. Genetik algoritmalarda olasılığın rolü olmasına karşın, rasgele bir arama metodu değildir. Etkinliği tabiattaki canlıların evriminden görülebilir (Alli 2000).

Genetik algoritmalar, basit hesaplamalar gerektirir ancak işlemlerin basitliği etkinliğini azaltmaz. Diğer pek çok en iyiyi arama yönteminde (optimizasyon) görülen, süreklilik, türevlerin var olması, tek model olma gibi kabuller bu yöntem için gerekli değildir.

Genetik algoritmaların diğer en iyiyi arama yöntemlerinden farklılıklarını aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

1. Genetik algoritma (GA) parametrelerin kodlanmış halleriyle çalışır, parametrelerin kendisiyle değil,
2. GA tek bir nokta yerine noktalar topluluğundan hareket eder,
3. GA türev ve daha farklı bilgileri değil sadece amaç fonksiyon değerlerini kullanır,
4. GA deterministik değil, olası kurallara dayanır.

Genetik algoritmayı bir örnek üzerinde incelemek istersek;



Şekil 4.1 Kapalı kutu örneği (Ahioğlu 2005)

Kapalı kutu örneğinde beş adet giriş düğmesi ve bir adet cıkış sinyali bulunmaktadır. Amaç fonksiyonu matematiksel olarak, s belli bir düğme kombinasyonu olmak üzere f=f(s) şeklinde yazılabilir. Problemin amacı, bu beş anahtarın mümkün olan en yüksek f değerini elde edecek şekilde uygun birleşimi bulmasıdır. Diğer optimizasyon yöntemleri düğmelerin durumları ve bir durumda diğer duruma nasıl geçileceğini araştırırken,

genetik algoritmalarda önce düğmelerin durumları kodlanır. Bu kodlama bu örnek için beş bitlik sayı dizileriyle yapılmıştır.

Tek bir nokta ele alınıp, bu noktadan diğer bir noktaya belli bir kural kullanarak geçmek yanlış bir yerel en iyi noktaya yerleşmeye sebep olabilir. GA, tek bir nokta yerine, bir noktalar topluluğundan yararlandığı için, yapılacak ikinci adım bu noktalar topluluğunu belirlemektir. Böylece global en iyi noktaya yakınsama şansı artacaktır. GA'da nesil adı verilen bu noktalar topluluğundan, yeni bir nesil yani yeni bir noktalar topluluğu elde edilebilir. Örnekte verilen kapalı kutuda birey sayısı n=4 olarak alınmıştır.

01101

11000

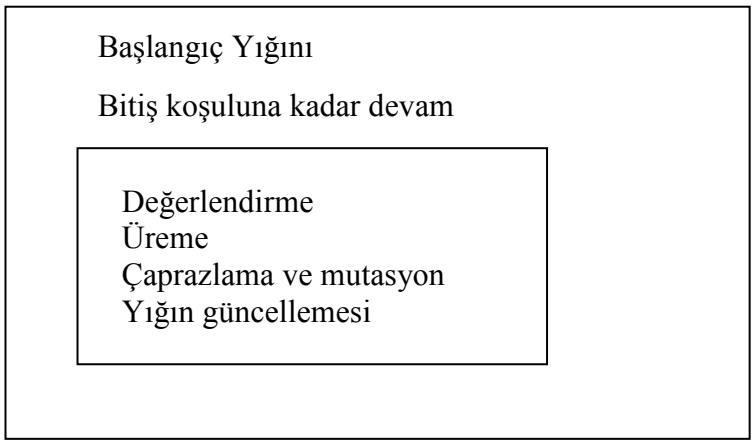
01000

10011

Bu dört noktadan hareketle GA kullanılarak yeni nesiller bulunur (Goldberg 1989, Ahioğlu 2005).

4.2 Temel Yapısı ve İşleyişi

Genetik algoritmaların mantığı, bit dizilerini kopyalamaya ve iki bit dizisinin bazı parçalarının yerlerini değiştirmeye dayanır. Uygulamasının kolaylığı ve etkinliği genetik algoritmalarla çözüm yaklaşımının en önemli iki üstünlüğüdür (Altınten 2001).



Şekil 4.2 Genetik algoritma için genel şema (Gallagher and Sambridge 1994, Altınten 2001)

Genetik algoritma terminolojisinde başlangıç nesili aileye karşılık gelir, yeni nesil ise döllerdir ve her bir iterasyon başarılı bir nesili temsil eder. Genetik algoritmalar dizilerin değişimi sayesinde en iyiyi bulmak için araştırma yapar. İlk önce dizilerin bir başlangıç yığını rastgele seçilir. Daha sonra yığındaki dizilerin herbiri uygunlukları aracılığıyla değerlendirilir. Daha sonra mevcut yığındaki yüksek uygunluklu diziler seçilir daha büyük bir değişim verilerek dizilerin yeni bir yığını oluşturulur. Eğer verilen durdurma kriteri (genellikle nesil sayısıdır) karşılanmamışsa, genetik gibi bazı spesifik operasyonlar yeni yığın dizileri üzerinde uygulanır. Bu operasyonlar yeni diziler üretir. Tüm proses verilen durdurma kriteri sağlanıncaya kadar tekrarlanır (Goldberg 1989).

Kısaca genetik algoritma şu basamaklardan oluşur;

1. Yığını oluşturacak bireylerin dizi olarak gösterimi
2. Başlangıç yığınının oluşturulması
3. Dizilerin uygunluğunun belirlenmesi için değerlendirme fonksiyonu
4. Üreme için seçim mekanizması
5. Yeni çözümlerin elde edilmesi için genetik operatörler (çaprazlama ve mutasyon) (Alli 2000)

1. Genetik algoritmayı diğer optimizasyon yöntemlerinden ayıran en önemli özellik parametrelerin kendisi yerine parametreleri temsil eden dizileri kullanmasıdır. Kodlama en basit şekilde ikili dijitler veya bit dizileriyle dizilerin tanımlanmasıdır. Ancak bunun yanında gerçel sayı kodlama, permutasyon kodlama, oluk tabanda kodlama veya logaritmik kodlama gibi pek çok kodlama türü vardır ve en iyi kodlama probleme özeldir.

2. Genetik algoritmanın diğer önemli bir özelliği, noktadan noktaya değil noktaların oluşturduğu bir yığın içinde aramayı gerçekleştirmesidir. Bir yığın her birinin uzunluğu L olan N tane diziden oluşur. Eğer yığın çözüme yaklaşık bir değerden başlatılırsa, çözüm süresi azalacaktır. Buradan yığın boyutunun genetik algoritma için seçilmesi gereken parametrelerden biri

olduğu ortaya çıkıyor. Yığın boyutu N optimizasyon probleminin karmaşıklığına göre seçilir.

3. Başlangıç yığını bir kez oluşturulduktan sonra genetik değişim başlar. Bireyler çevre koşullarına uyum ve iyi özelliklerine göre ayrılırlar. Uygunluk, yığındaki bireylerin, problemin çözümüne sağladıkları katkılar açısından iyi bir ölçüdür. Her iterasyonda, yığındaki dizilerin bir değerlendirme fonksiyonu yardımıyla uygunluk değeri hesaplanır. Uygunluk değeri, bir sonraki yığını oluşturacak yeni aday çözümlerin elde edilmesi için mevcut yığından hangi aday çözümlerin kullanılacağının belirlenmesinde rol oynamaktadır.

4. Üreme genetik algoritmanın üç operatöründen biridir (çaprazlama, mutasyon, üreme). Üreme işlemi sırasında, sayıları (noktaları) temsil eden bit dizileri, amaç fonksiyon değerlerine göre kopyalanırlar. Amaç fonksiyon değerleri ise, minimize (veya maksimize) edilecek fonksiyonun o noktadaki değeridir. Bir diziyi amaç fonksiyonuna göre kopyalamak demek, minimizasyon yapılırken amaç fonksiyonunda düşük bir değer alan diziyi sonraki nesillere daha yüksek bir olasılıkla kopyalamak demektir. Doğada bu operatör gerçek anlamda bulunmamakla beraber, canlıların ortama uyum sağlayabilmeleri, üreme ve neslini devam ettirme başarımları üreme operatörüne denk olaylardır. Ortama uyum sağlayan (amaç fonksiyon değeri yüksek olan nokta) neslini devam ettirir.Bu operatör genetik algoritmada pek çok değişik biçimde kullanılır. Literatürde karşılaşılan üreme seçim metodları (Altınten 2001);

    - Rulet çemberi metodu
    - *Turnuva seçim metodu*
    - Orantılı seçim metodu
    - Elitist seçim metodu
    - Niche-sharing seçim metodu

Bu çalışmada kullanılan seçim metodu Turnuva Seçim yöntemidir. Bu metod uygunluğun mutlak değeri yerine göreceli sıralamaya dayanır. N adet dizinin bulunduğu bir yığından iki dizi rasgele seçilir ve 0 ile 1 arasında rastgele bir sayı türetilir. Eğer türetilen rasgele sayı, belirlenen turnuva başarı olasılık değerinden daha büyük ise daha yüksek uygunluk değerine sahip olan dizi bir sonraki yığına geçer. Aksi takdirde daha düşük uygunluk değerine sahip dizi seçilir. Yığın boyutuna ulaşıncaya kadar bu işleme devam edilir.

5. Üreme işleminden sonra diğer genetik operatörlerden biri olan çaprazlama uygulanır. Bu işlem iki kademede gerçekleştirilir. İlk olarak işlem havuzundaki diziler rasgele olarak ikişer ikişer eşleştirilir. Sonra çiftlerde, rasgele seçilmiş bir yerden sonraki bitler değiş tokuş edilir. Örneğin A_1 ve A_2 dizileri ele alınsın (Goldberg 1989).

$A_1 = 0110/1$

$A_2 = 1100/0$

Bu dizilerde "/" işareti kesim yerini belirtsin. Kesim işlemi, bu işaretten sonraki bir bit için uygulanacaktır. Bu işlemden sonra elde edilecek yeni diziler:

$A'_1 = 01100$

$A'_2 = 11001$

Çaprazlama operatörü başka şekillerde de uygulanabilir. Örneğin tek bir kesim yeri yerine iki yer belirlenir ve sadece bu iki yerin arasında kalan bitler değiş-tokuş edilir. Veya bu çalışmada da kullanılan "Uniform" Çaprazlamada olduğu gibi dizi parçaları yerine dizi bitleri sabit bir olasılıkla yer değiştirir. "Uniform" çaprazlamada öncelikli olarak ikili düzende bir dizi oluşturulur. Bu dizide, bit değerleri önceden belirlenen bir olasılık değerine göre belirlenir. Bu dizideki 1 değerleri, birinci yeni dizide seçilen birinci eski dizinin elemanlarının, ikinci yeni dizide ise seçilen ikinci eski dizin elemanlarını kullanılacağını gösterir. 0

değerleri ise birinci yeni dizide seçilen ikinci eski dizi elemanlarının, ikinci yeni dizide seçilen birinci eski dizinin elemanlarının kullanılacağını gösterir.

Çizelge 4.1 Uniform çaprazlama örneği

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eski dizi1:	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1
Eski dizi2:	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0
Geçici dizi:	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0
Yeni dizi1:	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0
Yeni dizi2:	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1

Mutasyon operatörü ise, dizilerin rasgele seçilmiş bitlerdeki "1" leri "0", "0" ları "1" yapar. Genetik algoritmaların şans faktörüne en fazla bağlı işlemidir. Eğer mutasyon olasılığı yüksek tutulursa, arama rasgele bir şekil alır ki istenen bu değildir. Mutasyon uygulanmaz ise, o zaman sonuç bir yerel en iyiye takılabilir. Örneğin, en iyi netice için bir dizinin en son bitinin "1" olası gerekir ve o andaki elde olan dizilerin hiç birinde son bit "1" olmaz ise en iyi sonuca ulaşmak mümkün olmaz. İşte bu son biti "0" dan "1" yapacak olan operatör mutasyondur. Bu nedenle, her ne kadar aramaya rasgelelik kazandırsa da mutasyon gereklidir. Ancak çaprazlama operatörünün olasılığına göre çok daha küçük bir olasılık verilir. Bu operatörün aynısı doğada da mevcuttur (Zhou 2000).

Genetik algoritma parametrelerinin literatürde seçilmiş bazı örnekleri Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 Genetik algoritma için literatürde seçilmiş bazı parametreler

	Yığın boyutu (N)	Maximum nesil sayısı (M)	Çaprazlama olasılığı (pc)	Mutasyon olasılığı (pm)
Wang ve Kwok, 1994	*30*	*50*	*0.9*	*0.1*
Buckley ve Hayashi, 1994	*100*	*10000*	*0.6*	*0.03*
Li ve Shieh , 2000	*60*	*-*	*0.8*	*0.005*
Zhou ve Lai,2000	*20*	*50*	*-*	*-*
Silva ve Biscaia, 2003	*50*	*500*	*0.75*	*0.05*

4.3 Kontrol Uygulamalarında Genetik Algoritmalar

Günümüzde tasarımı yapılan kontrol sistemleri artık kompleks bir sistemin dinamiğini tanımlamak için geleneksel kontrol teorilerini kullanmıyorlar. Problem çevresel belirsizlik etrafında odaklanıyor ve insan gibi geçmiş deneyimlerinden öğrenilen karar verme yeteneği aranıyor. İnsan bilgi ve deneyimlerini matematiksel olarak ifade ederek etkin kontrol sağlamak son yıllarda çok ilgi çekici bulunmaktadır. Sıradan optimizasyon araçlarında farklı olmasından dolayı genetik algoritmalara ilgi artmıştır. Doğrusal olmayan çok amaçlı optimizasyon problemleri için önemli matematiksel yöntemlerdendir.

GA ve diğer rastgele araştırma metodları için teorik kontrol tasarımlarında kullanımının daha iyi olacağı düşünülmektedir. On-line durumlarda bu değerlendirme mümkün olmayabilir. Ancak bu genetik algoritmaların on-line kontrolde asla kullanılamayacağı nalamına gelmez. Eğer nesillerin değişimi sınırlanır ve optimizasyon için küçük bir adım uzunluğu kullanılırsa, genetik algoritmalar kendinden-ayarlamalı kontrolde on-line olarak kullanılabilir (Altınten 2001).

5. KULLANILAN KONTROL YÖNTEMLERİ

5.1 PID Kontrol

Geri beslemeli kontrolun amacı set noktası ile kontrol edilen değer arasındaki farkı yok ederek, kontrol edilen değişkeni istenen değerde tutmaktır. Sabit parametreli PID en çok kullanılan geri beslemeli kontrol yöntemlerinden biridir.

Geri beslemeli kontrol sistemi; kontrol edilecek çıkış değişkeninden sinyali alarak, kontrol ediciye iletir, burada istenen set noktası ile karşılaştırılarak hesaplanan hata sinyalini, proses girdisinin son kontrol elemanı ile ayarlaması işlemidir.

Kontrol bloğuna hata sinyali (Qe) girmekte ve kontrol çıkış değişkeni (Q_0) çıkmaktadır. $Q_0(s)$ kontrol edici çıktısı olmak üzere üç temel yapı;

i) Oransal kontrol (P): $Q_0(s)=K_cQ_e(t)$ (5.1)

ii) İntegral kontrol (I): $Q_0(s)=K_c/\tau_I \int Q_e(t)dt$ (5.2)

iii) Türevsel kontrol (D): $Q_0(s)=K_c\ \tau_d\ (d\ Q_e(t)/dt)$ (5.3)

uygulamada oransal kontrol edici tek başına kullanılabilirken diğerleri oransal-integral, oransal-türevsel ve oransal-integral-türevsel şeklinde kullanılmaktadır.

PID kontrol'un çıkışı;

$$Q_o(t) = K_cQ_e(t) + K_I\int_o^t Q_e(t)dt + K_D\frac{dQ_e(t)}{dt} \quad (5.4)$$

$$Q_o(t) = K_c\left[Q_e(t) + \frac{1}{\tau_I}\int_o^t Q_e(t)dt + \tau_D\frac{dQ_e(t)}{dt}\right] \quad (5.5)$$

Eşitlik 5.5'in Laplace dönüşümü alınırsa;

$$Q_o(s) = K_c\left[1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D Q_e(s)\right] \quad (5.6)$$

$$G_c(s) = \frac{Q_o(s)}{Q_e(s)} \quad (5.7)$$

$$G_c(s) = K_c\left(1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s\right) \quad (5.8)$$

Eşitlik 5.8 geri beslemeli bir kontrol sisteminin PID Kontrolu'nun Laplace dönüşümü ile iletim fonksiyonun gösterimidir.

PID parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan yöntem EK 10'da verilmiştir.

5.2 "FUZZY" Kontrol

5.2.1 "Fuzzy" Kontrolün Genel Yapısı ve İşleyişi

"Fuzzy" mantık insan davranışlarına benzer kararlar vererek çalışır. İnsanlar kararlarını çok girdili değişkenler üzerinden verirler. Bu kararlar zor ve hızlı eşitlikler üzerinden alınmazlar. İnsanlar birçok girdiyi alırlar, bu girdilerin her birinin bağıl önemine dayanarak belli koşullarda karar verirler. Örneğin sıcak kahve dolu bir bardak taşınırken, insan bu bardağı hangi hızda taşıyacağını, nasıl bir köşeden döneceğini, nasıl merdiven çıkacağını, nasıl ani duruş yapacağını, hepsini ayarlayabilir, çok ani bir şekilde, kolayca yeni duruma adapte olabilirler. "Fuzzy" mantıkla bu yetenek bilgisayar donanımına verilmeye çalışılır (Stenerson 1999).

Bir başka örnek ise video kameradır. Bazı kameralar istenmeyen görüntüleri elimine edebilmektedir. Bu gerçekten çözülmesi zor bir problemdir. Kameranın bu özelliğinin sebebi "fuzzy" mantığın kullanılmasıdır. Video kamera "fuzzy" mantık sayesinde istenen ve istenmeyen hareketleri ayırt edebilir, istenmeyen hareketleri elimine eder. Kameranın belli bir konumda tutulma zorunluluğu ortadan kalkar(Newell and Lee 1989)

“Fuzzy” mantık endüstriyel kontrolde çok geniş bir alanda gittikçe artan talepte kullanılmaktadır. Elektronik kontrolde yeni bir teknolojidir. Genellikle tüketici elektroniklerinde sıkça kullanılmaktadır (Stenerson 1999).

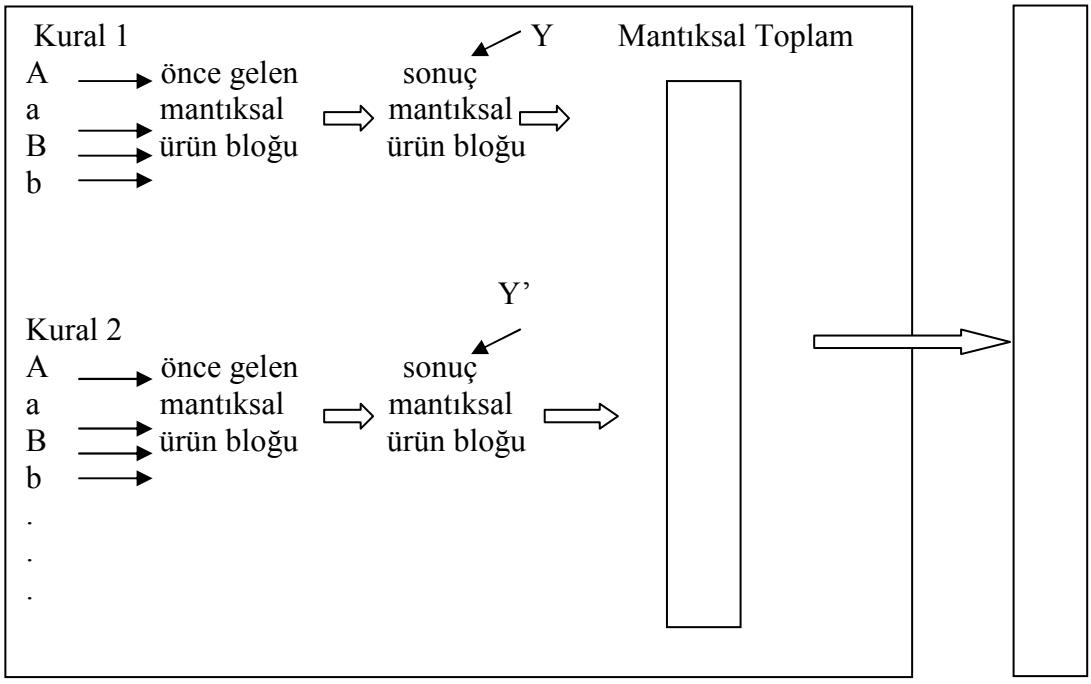
Endüstride karar verme iki boyutlu mantık temeline dayanır; örneğin sıcaklık ya doğrudur ya yanlış, cihaz ya açık konumdadır ya da kapalı konumdadır. Motor açık ya da kapalıdır (Stenerson 1999).

“Fuzzy” mantığı, klasik Boole mantığının bir üst uygulamasıdır. “Fuzzy” mantığı, “tamamen doğru” ve “tamamen yanlış” doğruluk değerleri arasında “kısmi doğruluk” yaklaşımını getirmiştir. “Fuzzy” mantığı ile ilgili ilk çalışma, 1965 yılında Lotfi A. Zadeh tarafından yapılmıştır.

Fuzzy mantığın getirdiği kısmi doğruluk, “doğru” olarak adlandırılan fuzzy alt kümeye, kısmi yanlışlık ise “yanlış” olarak adlandırılan alt kümeye ait olmanın bir derecesidir.

“Fuzzy” mantık prosesi iki fonksiyona bölünebilir:

1. Sonuç (İnference)
2. Karar verme (Conclusion) “tersfuzzyleştirme”



Şekil 5.1 Temel “Fuzzy” mantık prosesi (Stenerson 1999)

“Fuzzy” kontrolde her bir karar bir kural olarak adlandırılır. Her bir kural analiz edilir ve karar verilir. Kişisel kurallar temeline dayanan bu kararlar toplanarak mantıksal toplam (logical sum) elde edilir. Bu toplam matematiksel olarak “tersfuzzyleştirilir”. Daha sonra elde edilen sonuç kontrol cihazının çıkış değişkenini hesaplamasında kullanılır (Stenerson 1999).

Her bir kural bağımsızdır. Kuralların analizi bağımsız olarak yapılır. Kurallar mantıksal toplamda bir araya getirilmeden önce ayrı ayrıdırlar. Bu olay tek ve basit bir formülün bütün kuralları kontrol etmeden daha iyi bir sonuç çıkarır. Basit kararların bu bileşimi daha karmaşık kararların oluşturulmasında kullanılır. Bu kurallar paralel olarak analizlenir.

“Fuzzy” mantık avantajı; sistemlerin matematiksel modellerinden daha esnek olmalarıdır. Problemin çözümüne yardımcı olurlar. PID bir matematiksel modeldir. Endüstriyel sistemlerin ve çalışma koşulların çok çeşitli olması; endüstriyel sistemler için matematiksel modellemelerin hatasız yapılabilmesini oldukça zor kılmaktadır.

1970’lerden bu yana Japonya, Avrupa ve Çin’de kullanılmaktadır. Olumlu sonuçlar vermeye başlamıştır. “Fuzzy” teknolojisi yazılımda veya mikro proseslerde uygulanmaktadır. Esnek ve kolay kullanımından dolay 21. yüzyılın kontrol ve bilgi işlem teknolojisinde temel olacaktır.

“Fuzzy” mantığın uygulama alanlarından bazıları;

- Lineer olmayan sistemlerin proses kontrolünde, voltaj kontrolünde kullanılır.
- Büyük sapmaların olduğu sistemler
- İnsan yargısına ve etkisine ihtiyaç duyulan kontrol edilmesi zor sistemler
- Değişen çevre ve proses koşullarının üstesinden gelmek için adaptif sinyal sistemine ihtiyaç duyulan sistemler
- Çoklu girdileri dengelemek zorunda olan prosesler veya anlaşılamayan kısıtlamaları olan sistemlerde kullanılır.

“Fuzzy” kontrol literatürde değişik şekillerde uygulanmıştır. Bunlar (Kesmen 1999);

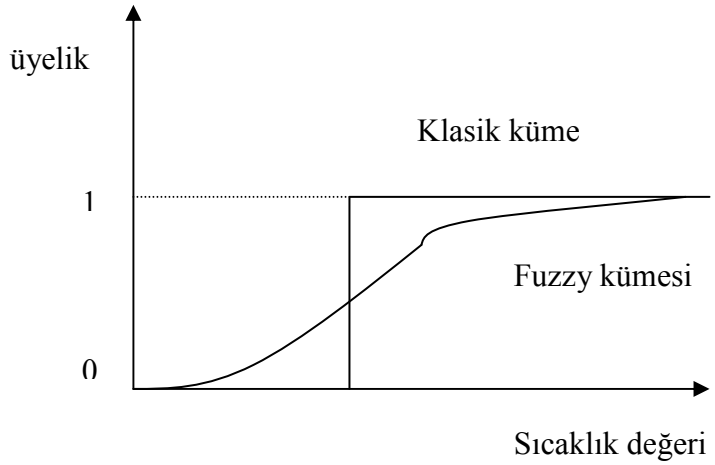
1. Saf “Fuzzy” Sistemleri
2. Takagi-Sugeno- Kang “Fuzzy” Sistemleri
3. Ters “Fuzzyleştirmeli” ve “Fuzzyleştirmeli” “Fuzzy” Sistemleri

    3.1. Modele Dayalı “Fuzzy “Kontrol

Bu çalışmada Modele Dayalı “Fuzzy” kontrol incelenmiştir.

5.2.1.1 “Fuzzy” üyelik fonksiyonları

Bir “fuzzy” değişkeninin, bulanık bir kümeye ait olmasının derecesini belirleyen fonksiyonlara “üyelik fonksiyonları”, bu fonksiyonun tanımladığı değere de “doğruluk veya üyelik” değeri denir. “Fuzzy” mantığında geçen üyelik fonksiyonu kavramı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Erol 2001).



Şekil 5.2 “Fuzzy” kümesi gösterimi (Altınten 2001)

Sıcaklık gibi bulanık bir değişken olan X’in “sıcak olma” gibi bir μ_1 “fuzzy” kümesine ait olma derecesi, $\mu_1(x_1), x_1 \in X$ şeklinde gösterilebilir. μ_1 kümesi sıcak olmayı, μ_2 kümesi soğuk olmayı temsil ederse, bir x sıcaklık “fuzzy” değişkeninin μ_1 kümesine göre 1 değerini alması, X’in bu küme ile tanımlanan sıcaklık değerinde olduğunu, bütün 1’den küçük bir değer alması ise X’in μ_1 ve μ_2 ile tanımlanan sıcaklıklar arasında olduğunu gösterir. Eşitlik veya eşitsizlik, “fuzzy” mantıkta [0,1] aralığında bir üyelik değeri ile temsil edilir. Bu değerlendirme şekli “fuzzy” mantığın başarısındaki önemli

bir etkendir çünkü “doğru” ve “yanlış” arasında sonsuz sayıda “kısmi doğru veya yanlış” değerini de içerir ve değerlendirmeye alır.

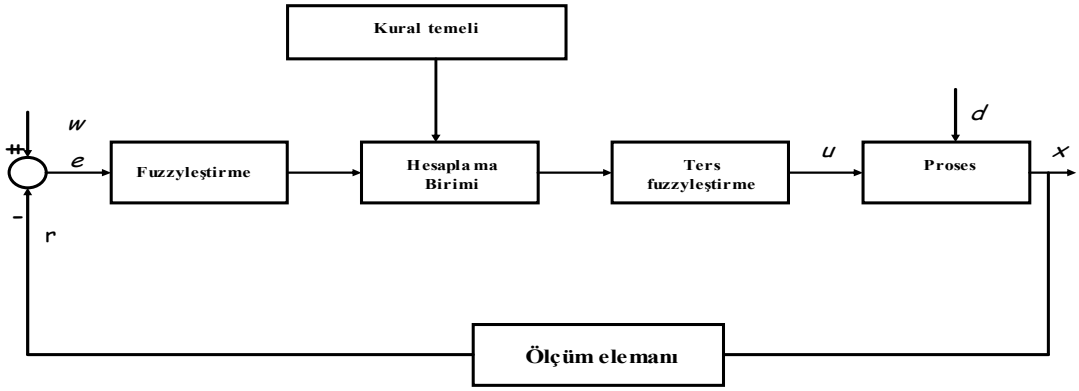
“X sıcaktır” biçiminde tanımlanan cümlelere “önerme “ adı verilir. Önermeler tek bir değişkene bağlı olabileceği gibi birden fazla sayıda değişkene ve kümeye sahip olabilir. Örnek olarak “su sıcaklığı yüksek ve hava sıcaklığı yüksek “ ifadesi iki bulanık değişken ve bir bulanık kümeyi içermektedir. Kural tabanlı “fuzzy” sistemlerinde, sistemin modeli veya değişkenler arasındaki ilişki “fuzzy” EĞER – O HALDE kuralları ile ifade edilir.

EĞER öncül önerme O HALDE sonuç önerme (5.17)

Önermeler “fuzzy” kontrolün esasını teşkil etmektedir. Bu kurallar, o sistemi daha önce kullanmış bir insanın deney ve tecrübelerine dayanır. Bir insanın bir aracı veya bir sistemi kullanması için o sistemin matematiksel modelini bilmesi gerekmez. Sistem, klasik kontrol yöntemleri ile çok zor kontrol edilebilen bir sistem olabilir. Bu durumda onu başarıyla kullanan bir insanın tecrübesinden yararlanmak kaçınılmaz olur (Zhou 2000).

Ancak bu kurallar da kişiden kişiye değişebilir. Bu nedenle kontrol kuralları oluşturulurken birden fazla insanın deneyimleri beraber ele alınabilir.

Ayrıca bir sistemin “fuzzy” kontrolünü yapabilmek için elde yeter sayıda mantık önermeleri bulunmalıdır. Bu önermelerin sayısı bazı hallerde onlarla ifade edilebilir. Bir diğer önemli zorluk kontrol edilecek olan sistemin veya ona benzer başka sistemlerin daha önceden bir insan tarafından kullanılmasının gerekliliğidir. Ancak yine de bu zorluklara rağmen bu önermeler oluşturulabiliyorsa, ondan sonra kontrol için sistemin yapısını bilme zorunluluğundan kurtulma önemli bir avantaj sayılabilir (Erol 1995).



Şekil 5.3 “Fuzzy” kontrol kapalı devre blok diyagramı

Eşitlik 5.17’de verildiği şekilde sistemle ilgili tüm önermeler tanımlandıktan sonra, kontrol sistemi tüm önermeleri taramakla başlar. Daha sonra sonuçlar, tanımlanan mümkün kontrol çıktılarının bir “fuzzy” kümesi bir araya getirilir. Bu hesaplar bir hesaplama birimi kullanılarak yapılır. Sonrasında hesaplama biriminden çıkan kontrol edici çıktısı, “fuzzy” kümesini en iyi temsil eden tek bir değere dönüştürülmek üzere ters “fuzzyleştirme” birimine girer.

5.2.1.2 Kural temeli

Kural temeli, “fuzzy” kurallarını bir seti, karar tablosu ya da ilişki matrisi olabilir ve “fuzzy” model yapısını oluşturur. Kural temelinin değişik gösterim şekilleri vardır

1. Kural temeli “fuzzy” kuralarının bir seti ile gösterilebilir. “Fuzzy” EĞER- O HALDE yapısı ile kontrol hareketlerini ayarlamak için “fuzzy” kümelerine e ve Δe’nin üyelik derecesiyle ilişkili bazı “fuzzy” kontrol kararları tanımlanır.

Çizelge 5.1 Dilbilimsel kural kümesi (Qi and Chin 1997)

Δe/e	*NB*	*NK*	*S*	*PK*	*PB*
NB	*PB*	*PB*	*PK*	*PK*	*S*
NK	*PO*	*PO*	*S*	*S*	*NK*
S	*PK*	*S*	*S*	*S*	*NK*
PK	*PK*	*S*	*S*	*NO*	*NO*
PB	*S*	*NK*	*NK*	*NB*	*NB*

PB : Pozitif Büyük NB : Negatif Büyük S : Sıfır
PO : Pozitif Orta NO : Negatif Orta
PK : Pozitif Küçük NK : Negatif Küçük

3. Kural temeli karar tablosu ile de gösterilebilir.

4. Kural temeli bu çalışmada da olduğu gibi bir **ilişki matrisi** ile de verilebilir. Aşağıda tek girdili- tek çıktılı bir sistem için ilişki matrisine bir örnek verilmiştir. Burada giriş ve çıkış değişkenleri "fuzzyleştirilmiş" olarak kullanılır (Michels 1997).

$$R= \begin{pmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0.1 \\ 0.1 & 0.4 & 0.6 & 0.8 \\ 0.7 & 0.5 & 0.2 & 1.0 \\ 0.9 & 0.6 & 0.1 & 0.3 \end{pmatrix} \quad (5.18)$$

5.2.1.3 "Fuzzyleştirme"

Klasik ölçüm değerleri tek bir değere sahiptir. Bu değerde her bir "fuzzy" referans kümesi için üyelik fonksiyon değerini belirleyecektir. "Fuzzyleştirme" basamağında ek bir değere sahip olan ölçüm değeri çeşitli matematiksel ifadeler kullanılarak kontrol sisteminin anlayacağı girdi vektörüne dönüştürülür. Bu matematiksel ifadelerin çeşitli şekilleri vardır. Bunlar (Kesmen 1999);

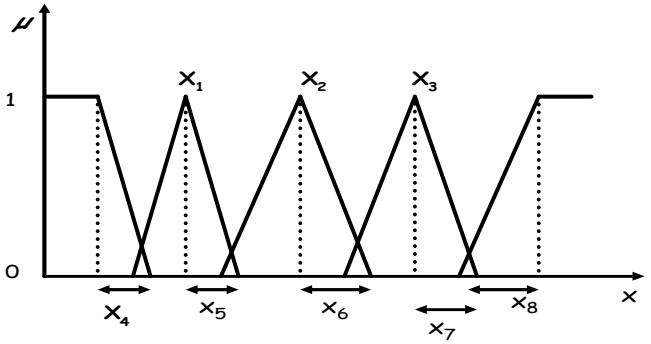
1. Singleton “Fuzzyleştirici”
2. Gaussian “Fuzzyleştirici”
3. *Üçgensel “Fuzzyleştirici”*

Bu çalışmada aşağıda matematiksel ifadesi verilen *üçgensel “fuzzyleştirici”* kullanılmıştır.

$$\mu A(x)=(1-/x1-x1^*/b1)^*\ldots^* (1-/xn-xn^*/bn) \quad (5.19)$$

$$\text{Eğer } /xi-xi^*/\leq bi \qquad i=1,2,\ldots,n \quad (5.20)$$

$$\mu A(x)=0 \quad (5.21)$$



Şekil 5.4 Proses değişkenleri için “fuzzy” üyelik fonksiyonları

Bu üçgenlerin ayak açıklıkları, merkez noktaları ve ilişki matrisi “fuzzy” kontrolün belirlenmesi gereken parametreleridir. Bu parametreler diğer bölümde anlatılacak olan, bir optimizasyon yöntemi olan genetik algoritma yardımıyla bulunur.

5.2.1.4 Ters “fuzzyleştirme”

Ters “fuzzy” işleminde amaç, daha sonra kontrol sinyali olarak kullanılacak olan “fuzzy” çıktısını “fuzzy” kümesini en iyi temsil edecek tek bir değere dönüştürmektir. Ters “fuzzyleştirme” işlemi için literatürde karşılaşılan üç farklı yöntem vardır Bunlar;

1. *Alan Merkezi Yöntemi*
2. Maksimum Ortalama Yöntemi

3. Maksimum Ortalaması Yöntemi

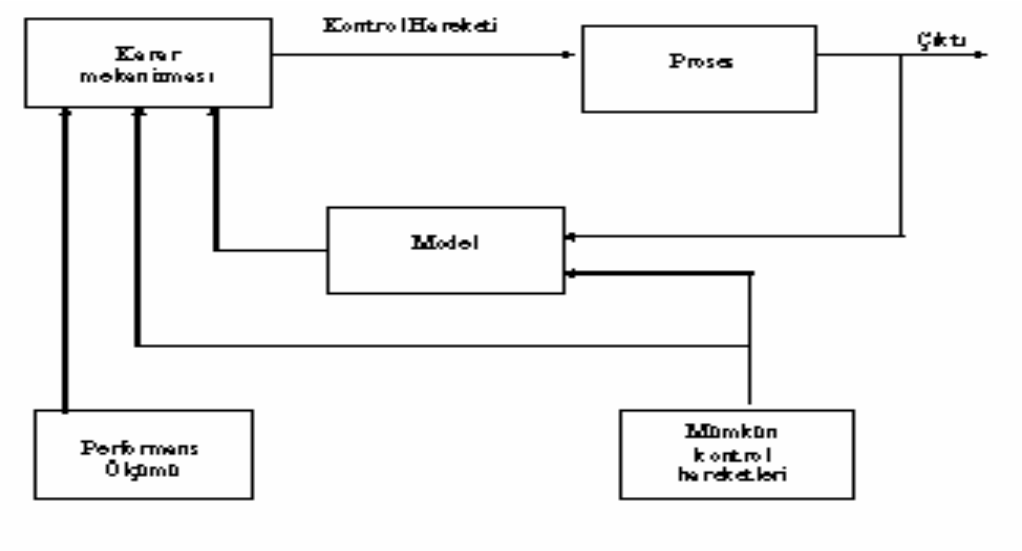
Bu çalışmada *alan merkezi yöntemi* kullanılmıştır. Bu yönteme göre "fuzzy" kümesi üyelik fonksiyonlarıyla tanımlanan eğrinin altındaki alanın merkezine uygun elemanı seçer (Altınten 2001).

$$U_C = \sum U_i M_i / \sum M_i \qquad (5.22)$$

5.2.2 Modele dayalı "fuzzy" kontrol

Bir sistemin "fuzzy" kontrolünün yapılabilmesi için yeterli sayıda mantık önermesinin olması gerekir. Eğer bu mantık önermeleri sürekli olarak oluşturulamıyorsa, bu sistemin "fuzzy" modeli kurulmalıdır. "Fuzzy" model bu kapsamda kullanılan sistemde operatörün girdi/çıktı kontrol bilgilerini tanımlamasına yardımcı olur. Böylece kontrol kuralları teorik olarak türetilmiş olur.

"Fuzzy" modele dayalı kontrolün genel yapısı aşağıda verilmiştir. Burada seçilen mümkün kontrol hareketlerinin kümesi belirlenmiştir. Model bu hareketlerin her biri için çıktının ne olduğunu bulmada kullanılır. Daha sonra kontrol çıktısının değerini karar mekanizması en uygun şekilde seçer. Daha sonra seçilen kontrol hareketi sisteme uygulanır (Newell and Lee 1989).



Şekil 5.5 "Fuzzy" modele dayalı kontrol (Newell and Lee 1989).

5.2.2.1 "Fuzzy" model belirlemesi

Tek girdi-tek çıktılı bir sistem için, 1. mertebeden bir sistem için "fuzzy" model genel formu şu şekilde verilebilir (Newell and Lee 1989) ;

$$Yk = Y_{k-1} \text{ o } U_{k-d} \text{ o } R \qquad (5.23)$$

Burada Y ve U model için giriş ve çıkış değişkenlerinin olasılık vektörlerini, R model ilişki matrisidir. "o" vektörel çarpımı, indis olan k şimdiki zamanı, k-1 geçmişteki bir örnekleme zamanını ve k-d geçmişteki d ölü zamanlı örnekleme periyodunu ifade etmektedir.

Model belirleme yöntemi aşağıda verilmiştir.

1. Model için ölü zaman ve model tipi seçilir.
2. Giriş ve çıkış için "fuzzy" referans kümeleri seçilir.
3. Prosesten uygun giriş ve çıkış verileri toplanır.
4. Aşağıda gösterilen model ilişki matrisinin değerlendirilesi ile ilgili belirleme algoritması uygulanır.

Model ilişki matrisi belirleme algoritması;

1. Bir başlangıç matrisi alınır. Bu matris boş olabildiği gibi, bir başlangıç noktası olarak operatörün veya mühendisin bilgilerini içerebilir.
2. Bir y_k ,y_{k-1} ve u_{k-d} veri seti alınır.
3. Elde edilen veriler "fuzzyleştirilerek" Y_k, Y_{k-1} ve U_{k-d} olasılık vektörlerine dönüştürülür.
4. Bir ilişki matrisi oluşturulur.
   $$R' = U_{k-d} \text{ x } Y_{k-1} \text{ x } Y_k \qquad (5.24)$$
5. U_{k-d} ve Y_{k-1} olasılık vektörleri içindeki i* ve j* ile gösterilen maksimum üyelik değerinin pozisyonu belirlenir.
6. R' ilişki matrisi R ye çevrilir.
   $$R(i^*, j^*, k) = a \,.R'(i^*, j^*, k) + (1-a) \,.R(i^*, j^*, k) \quad k= 1,N \qquad (5.25)$$

$$R(i, j, k) = \max (R'(i, j, k), R(i, j, k)) \quad i=i^*, j=j^* \text{ hariç, tüm i,j,k için} \qquad (5.26)$$

7. Daha fazla veri varsa ikinci adıma geri dönülür.

Modele dayalı "fuzzy" kontrolün üç temel elemanı vardır. Bunlar "fuzzyleştime", hesaplama birimi ve ters "fuzzy" işlemidir.

6. MATERYAL METOD

6.1 Deney Sistemi



Şekil 6.1 Deney sistemi

Düzenek, tek parça ana iskelet üstünde olup arka kısmında iki bölüme ayrılmış tank ve bu tanka bağlanmış akış vanalarından oluşmaktadır. Diyafram pompası her bir tankın bir yönünden sıvıyı çekerek ön paneldeki iki tane akış ölçere besleme yapılmaktadır. Çekilen sıvının fazlası ise tanka sabit by-pass dönüş borularından verilmektedir. Her akış ölçer, sıvının kimyasal reaktör tankına gönderilmesini sağlayan akış kontrol vanalarına bağlıdır.

Reaktör sistemi büyük ölçekteki reaktörlerin etkilerinin gözlenip bir yandan da işletimlerinin gerçekleştirebilmesini sağlayabilecek büyüklükte tasarlanmıştır. Reaktör kesikli ya da sürekli olarak çalıştırılabilmekte, endotermik ve egzotermik reaksiyonların gerçekleştirilebilmesi için ısıtılıp soğutulabilmektedir. Yapı için seçilen malzemeler birçok maddeye karşı dayanıklıdır.

Reaktör içindeki sıvılar hızı ayarlanabilen bir karıştırıcı vasıtasıyla karıştırılmaktadır. Reaktör sıcaklığı ise kontrol panelindeki sıcaklık kontrol edici birimi ile önceden belirlenmektedir. Reaktörün içine daldırılmış olan termoçift sıvının sıcaklığını ölçerek

kontrol ediciye göndermektedir. Soğutma ve ısıtma amacıyla kullanılan su, reaktörün içine yerleştirilmiş olan ince boru vasıtasıyla sirküle edilmektedir. Su ısı tankına selenoid vana aracılığıyla girmektedir. Gerekli olan vana yüksekliği sağlanınca selenoid vana yüzen anahtar sayesinde kapanarak ısı tankının seviyesi ayarlanmaktadır. Su daha sonra içerdeki ısıtıcı eleman aracılığıyla ısıtılarak reaktör tankına pompa ile gönderilmekte ve dönüş borusundan tanka geri dönmektedir. Bu durum ölçülen sıcaklık set noktasının altında ise geçerlidir. Sıcaklık kontrol edici soğutma moduna çevrildiği zaman selenoid vana açılarak, soğuk su direkt olarak reaktöre pompalanmaktadır. Reaktör içinde bulunan helezondan geçerek fazla akış borusu ile dışarı atılır. Bu yüzden fazla akış borusu sadece soğutma modunda çalışmaktadır.

Reaktör sıvı seviyesi boyu ayarlanabilir bir taşıma borusu ile sağlanmaktadır. Reaktörün altında bulunan vana kimyasal analiz için örneklerin alınmasını sağlar. Reaktör atıkları sistemin altında bulunan atık tepesinde bulunmaktadır.

Sürekli işletime geçildiğinde sodyum hidroksit ve etil asetat çözeltilerini stok kaplarından alıp reaktöre besleyen iki pompa bulunmaktadır.

On-line veri alabilmek için modüller ve bilgisayar bağlantıları Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

6.2 Kesikli Tepkime Kabında Sabunlaşma Reaksiyonunun En İyi İşletim Parametrelerinin Belirlenmesi

- 4 değişken (faktör) için oluşturulan iki-seviyeli tam faktöriyel deneysel tasarım matrisinde belirtilen sıraya göre deney koşulları belirlenir. (C_{A0}, C_{B0}, N, T)
- Belirtilen derişimlerde sodyum hidroksit (C_A) ve etil asetatın (C_B) stok çözeltileri hazırlanır.
- Deney koşulunda belirtilen sıcaklık ve karıştırıcı hızı sistem üzerindeki panodan ilgili anahtar konumu değiştirilerek ayarlanır.
- Çalışma hacmi 1,5 L olarak belirlendiğinden taşma borusu konumu ile sıvı seviye yüksekliği sabitlenir.
- Reaktöre önce sodyum hidroksit daha sonra etil asetat olmak üzere hızlıca boşaltılır.

- Belirli aralıklarla (2 dk.) alınan örneğe daldırılan iletken ölçer yardımıyla iletkenlik değeri okunur.
- Ölçülen iletkenlik değeri sabit kalıncaya dek örnek almaya devam edilir.
- Ortamda sodyum hidroksit kalmayıp tamamı ürüne dönüştüğünde yani iletkenlik değeri sabit kaldığında sistem kapatılır
- İletkenlik verilerini desteklemek amacıyla titrasyonla derişim tayini yapılabilir.

6.3 Sürekli Karıştırmalı Tepkime Kabında Sabunlaşma Reaksiyonu Dinamik Deneylerin Yapılışı

i) 0.2 M EtOAc ve 0.02 M NaOH stok derişimlerinde çözeltiler; NaOH'ın beslendiği pompa on-line bağlanarak, diğer pompa üzerindeki göstergeden 18.6'ya ayarlanarak 0.05 L/dk akış hızlarında, 2 s örnekleme zamanı sürekli karıştırmalı reaktöre beslenirler.

ii) Reaktöre daldırılan iletken ölçer aracılığıyla zamanla iletkenliğin değişimi kaydedilir. Ölçülen iletkenlik değeri sabit oluncaya dek (yatışkın hal) sistem başlangıç koşullarında çalıştırılır.

iii) Ayarlanabilen değişken olan NaOH akış hızı 50 ml/dk'dan 91 ml/dk'ya, 50 ml/dk'dan 156 ml/dk'ya, 156 ml/dk'dan 50 ml/dk'ya, 50 ml/dk'dan 130ml/dk'ya getirilerek pozitif ve negatif basamak etkiler verilmiştir. Çıkış değişkeni olan iletkenliğin zamanla değişimi kaydedilmiştir.

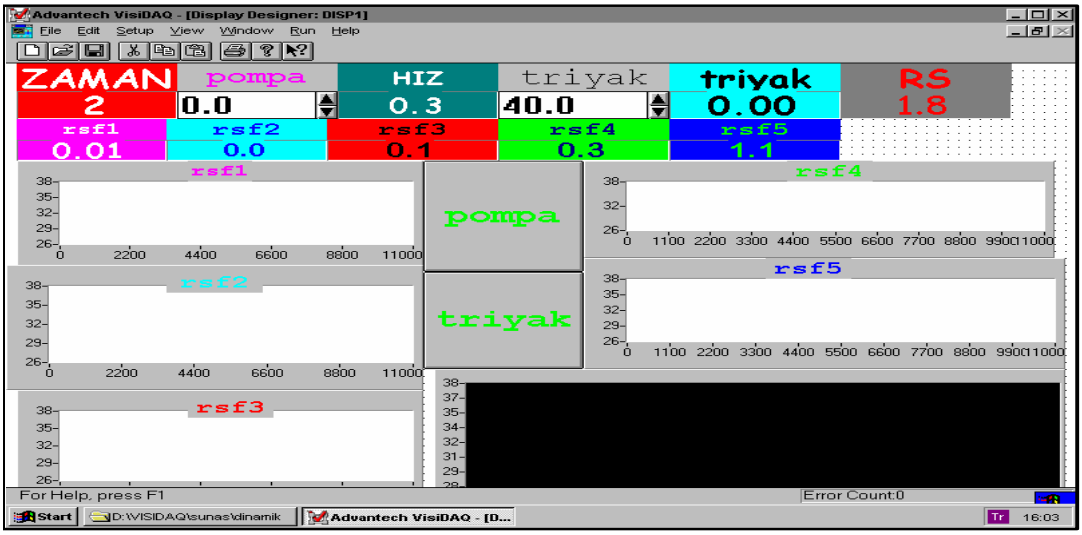
iv) Her bir basamak etki sonrası iletkenliğin ikinci yatışkın koşula gelmesi beklenir.

v) Böylece farklı büyüklükteki basamak etkiler için dinamik deneyler yapılarak sistem yanıtımı incelenmiş olur.

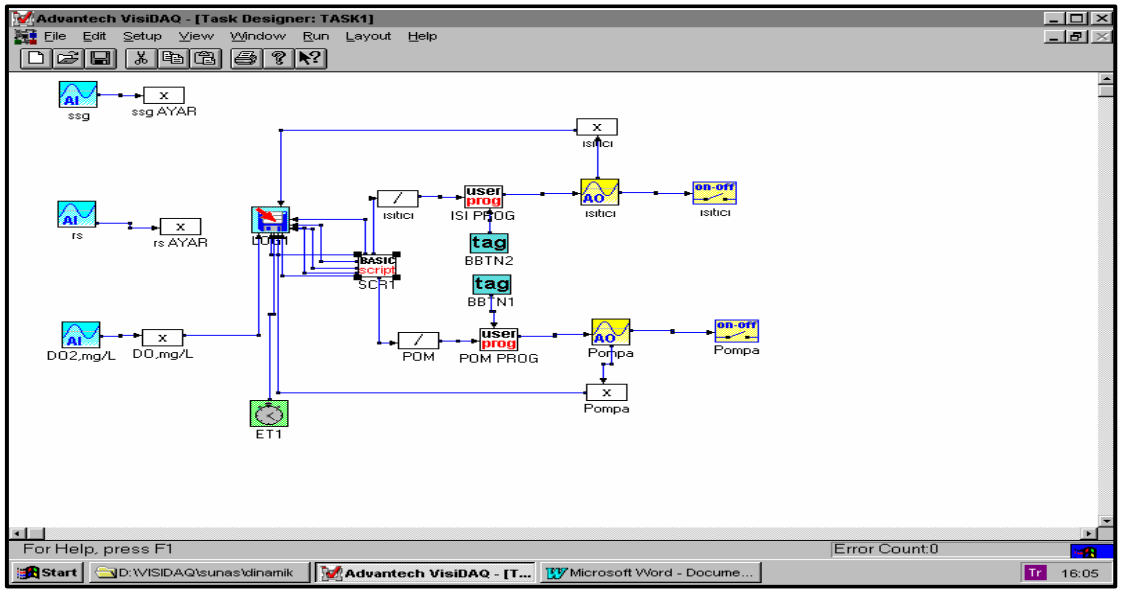
6.3.1 VISIDAQ paket programı

Deneysel çalışmalarda, sisteme on-line bağlı bilgisayarda kontrol amacıyla ADVANTECH firmasının bir ürünü olan VISIDAQ paket programı kullanılmıştır. Visidaq veri toplama ve kontrol için geliştirilmiş çok yönlü bir uygulamadır. Görev Tasarımcısı (Task Designer) ve Gösteri Tasarımcısı (Display Designer) olmak üzere iki

pencereden oluşmaktadır. “Task Designer” ve “Display Designer” için oluşturulmuş pencerelere örnek Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’de sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 6.2 Visidaq paket programı Display Designer penceresi



Şekil 6.3 Visidaq paket programı Task Designer penceresi

Görev Tasarımcısı (Task Designer)

Yapılan uygulamanın tasarımının yapıldığı penceredir. Bu pencerede bulunan AI kutucukları sisteme giren sinyalleri, AO kutucukları sistemden çıkan sinyalleri

simgelemektedir. Giriş ve çıkış sinyalleri ile ilgili olarak düzenleme yapma imkanı sağlayan SOC kutucukları, deney süresini veya deney saatini izlemek ve / veya kaydetmek amacıyla ET kutucuğu yine bu pencerede bulunmaktadır. Yapılan uygulama boyunca elde edilen giriş ve çıkış verileri kaydedilmek isteniyorsa her bir veri için LOG kutucuğuna bağlantı yapılmalıdır. Uygulamada kontrol algoritması Visual Basic dilinde yazılarak bu penceredeki Basic Script içine yerleştirilir.

Gösteri Tasarımcısı (Display Designer)

Uygulamada giriş ve çıkış değişkenlerinin değerlerinin grafiksel veya rakamsal olarak izlenmesi ve tuşlar yardımıyla çıktılara müdahale edilmesi gibi işlemlerin gerçekleştirildiği penceredir. Grafiksel olarak izlemeyi sağlamak amacıyla bu pencerede pek çok grafik nesneleri vardır. Visidaq ile çalışırken dikkat edilmesi gereken birkaç nokta vardır. Bunlar;

- Task Designer ve Display Designer pencereleri oluşturulurken giriş ve çıkış değişkenlerinin kanalları doğru tanımlanmalıdır
- Basic Script içinde algoritmaların yazımı sırasında kullanılan PUBLIC, SET gibi deyimlere dikkat edilmelidir. Yanlış deyim kullanılması programın çalışmasını engelleyebilmekte veya yanlış sonuçların alınmasına sebep olmaktadır.
- Kontrol algoritmasının yazıldığı Basic Script kutucuğundan LOG kutucuğuna kaydedilmek üzere iletkenlik ve akış hızı değerleriyle birlikte ancak yedi farklı değişken tanımlanabilir. Eğer daha fazla veri kaydedilmek isteniyorsa “Basic Script” içine başka bir dosya açılmalıdır.
- LOG kutucuğunda kayıt işleminin yapılması amacıyla bir veri dosyası açılmalıdır.

6.3.2 Filtre zaman sabiti belirleme deneyleri

Sürekli karıştırmalı reaktörde yapılan dinamik deneyler sırasında çok fazla gürültü sinyalleri olduğu gözlenmiş ve filtreleme işlemi uygun görülmüştür. Bu gürültüyü ortadan

kaldırmak amacıyla sisteme birinci derecede bir filtre uygulanmıştır. Uygulanan birinci dereceden filtrenin zaman sabitini bulmak amacıyla varsayılan bazı filtre zaman sabitleri için deneyler yapılmıştır. Proses reaksiyon eğrisinden hesaplanan sistem zaman sabiti yaklaşık değerinin %5 inden küçük olmak şartıyla filtre zaman sabitleri varsayılır (bir tanesi bu değerden büyük alındı) visidaq içerisindeki basic script'te filtre programı yazılır. 1 s, 5 s, 10 s, 20 s, 40 s ve 80 s olarak varsayılan filtre zaman sabitleri için; pompa akış hızları 50 ml/dk, stok çözeltiler 0.02 M, 8 L NaOH ve 0.2 M, 8 L EtOAc olarak hazırlanıp sistem çalıştırıldı. 20 dk sonra yatışkın hal gözlendi, 40. dk'da sistem kapatılıp, verilerin alınmasıyla deney sonlandırılır.

6.4 Yinelemeli En Küçük Kareler Yöntemi İle Parametrik Modelin Belirlenmesi

Kontrol deneylerine başlamadan önce sistemi tanımlayan modeli bulmak amacıyla bu deney yapılmıştır. Modelin belirlenmesinde kare dalga sinyal tercih edilmiştir.

VISIDAQ paket programındaki Visual Basic dilinde yazılmış olan programda belirli zaman adımlarında, ayar değişkeni NaOH akış hızının alması gereken pozitif ve negatif basamak etki değerleri kare dalga sinyal prensibine göre yazılmıştır. 0.02 M NaOH ve 0.2 M EtOAc çözeltileri, EtOAc'nin beslendiği pompa manuel olarak 18.6'ya ayarlanarak 50 ml/dk akış hızlarında sürekli karıştırmalı reaktöre beslenir. NaOH'ın beslendiği pompa on-line bağlıdır. Sistemin yatışkın hale gelmesiyle program işletime alınır. Programın hesaplamış olduğu a_1, a_2, b_0, b_1, b_2 katsayıları ARMAX modelin parametrelerini oluşturur.

6.5 Kontrol Deneyleri

Çalışmada amaçlanan dönüşüm kontrolu, PID ve "fuzzy" kontrol olmak üzere iki farklı kontrol yöntemiyle denenmiştir. Her iki yöntemde de ölçülebilen değişken iletkenlik, ayar değişkeni sodyum hidroksit akış hızı seçilmiştir.

6.5.1 PID kontrol deneyi

PID kontrol parametreleri, Cohen-Coon parametre hesaplama yöntemiyle bulunmuştur. Bu yöntem ile ilgili ayrıntılar EK 10 'da verilmiştir.

Dinamik deneylerin hemen ardından kontrol programına geçilerek NaOH dönüşümünün karşılığı olan sistemdeki ölçülebilen değişken iletkenlik değeri sisteme set noktası olarak verilmiştir. Burada önemli olan aynı başlangıç koşullarında set noktası olarak verilen iletkenlik değerinin, her zaman yaklaşık olarak aynı dönüşüme eşit olmasıdır.

Bölüm 6.3'de ayrıntılı olarak verilen dinamik deneylerin hemen ardından PID kontrol programı çalıştırılmıştır. Bu nedenle en son verilen pozitif basamak etki (NaOH akış hızının 130 ml/dk) sonrası sistemin yatışkın hale gelmesiyle dinamik deney sonlandırılmasıyla; yatışkın koşuldaki iletkenlik değeri K=1.3 set noktası olarak seçilip, PID kontrol başlatılmıştır. Örnekleme zamanı olan her 2 s bir alınan iletkenlik değeri visidaq paket programında ki algoritmaya göre çıkış değişkeni hesaplanarak tekrar sisteme gönderilmiştir. On-line olarak veriler kaydedilmiştir**.** Farklı set noktalarında kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bunlar;

t=4400. s'de set noktası K=1.1 S
t=5950 s' de set noktası K= 0.9 S
t=7400 s'de K=1.3 S

olarak değiştirilerek PID kontrol gerçekleştirilmiştir.

On-line kontrol

On-line iletkenlik ölçümü reaktör içine daldırılmış olan iletkenölçerin modülle ve bilgisayarla bağlantısı sağlanarak gerçekleşir. Sisteme on-line bağlı bilgisayar tarafından kullanılabilir hale gelen sinyaller, taşıyıcı (bus) modül aracılığıyla bilgisayardaki I/O kartına ulaşmaktadır. Alınan sinyallere göre VISIDAQ paket programındaki Visual Basic dilinde yazılmış olan algoritma da sisteme gönderilmesi

gereken sodyum hidroksit akış hızı belirlenmektedir. Bu değer taşıyıcı modülde yer alan DC pompa modülü yardımıyla reaktörün sodyum hidroksit besleyen pompaya ulaşır. Bu sinyale göre değişen pompa devri ile ilgili olarak NAOH akış hızı değişmiş olur.

6.5.2 "Fuzzy" kontrol deneyleri

Parametreleri genetik algoritma ile teorik olarak belirlenen "Fuzzy" kontrol ile dönüşüm kontrolu gerçekleştirilmiştir.

0.02 M NaOH ve 0.2 M EtOAc çözeltileri reaktör hacmi (2 L), karıştırma hızı (250 rpm), sıcaklığı (20°C) sabit olan sisteme biri manuel, diğeri on-line bağlı pompalar yardımıyla gönderilir. "Dinamik" program çalıştırılır. Yatışkın halin gözlenmesiyle "dinamik" program durdurulur. "Fuzzy" kontrol programı çalıştırılır. İletkenlikle ilişkilendirilen dönüşüm için set noktası belirlenerek, iletkenliğin set noktasını takibi sağlanmıştır.

Fortran dilinde yazılan program, Visidaq paket programı kullanılarak Visual Basic dilinde de yazılarak deney sistemine uyarlanmıştır. (EK 14, EK 15)

"Fuzzy" kontrol algoritması kullanılarak üç koşul için kontrol deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bunlar;

i) Yatışkın koşulda (K=0.7)
ii) Set noktası değişiminde (K=0.8)
iii) Yük etki altında (K=0.8)
- Pozitif yük etki altında (Q_B; 50 ml/dk'dan 54 ml/dk'ya getirilir.)
- Negatif yük etki altında (Q_B; 50 ml/dk'dan 36 ml/dk'ya getirilir.)

kontrol şeklinde gerçekleştirilmiştir.

7. DENEY BULGULARI

7.1 Kesikli Reaktör İşletim Koşullarının İstatistiksel Olarak Bulunması

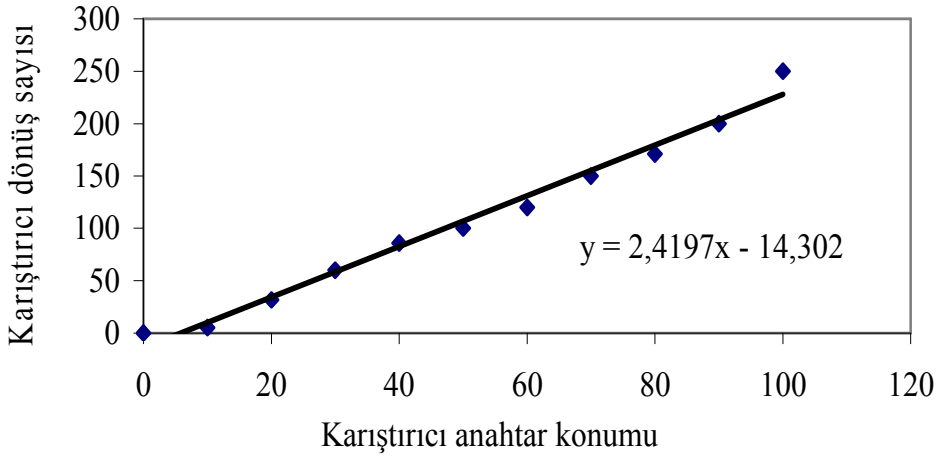
Bu çalışmada amacımız seçilmiş olan kimyasal proseste, proses çıktısı üzerinde etkili olan proses girdilerini belirlemek ve işletim parametrelerini önemli olandan en az önemli olana doğru sıralandırmak, dönüşümü maksimum yapacak işletim koşullarını belirlemek ve önemli olan faktörler ile proses çıktısı arasında matematiksel bir model kurulmasıdır.

7.1.1 Kesikli reaktörde kalibrasyon çalışmaları

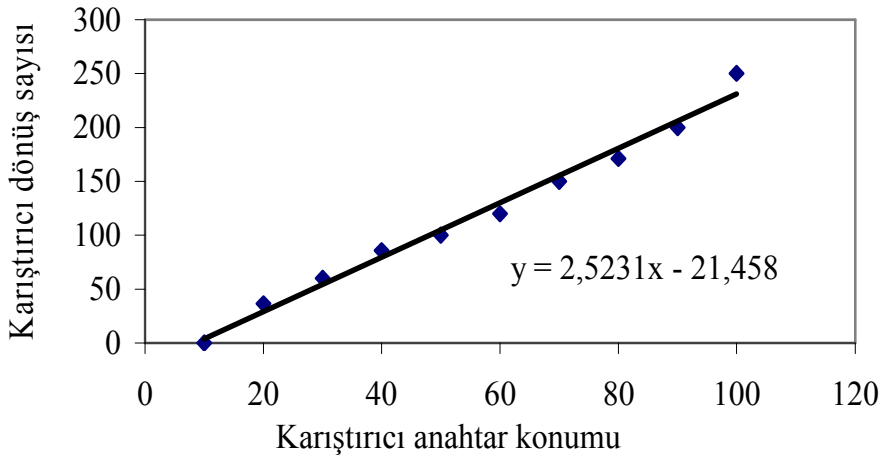
Deneylere başlamadan önce, sistem üzerindeki karıştırıcı hızı ve sıcaklık anahtar konumlarının reaktöre etkisini tespit etmek için çeşitli kalibrasyonların yapılması uygun görülmüştür.

a. Karıştırıcı kalibrasyonu

Sistemdeki panodan ayarlanan karıştırıcı konumu ile reaktörün karıştırma hızının doğruluğunu tespit etmek amacıyla anahtar konumunun artan ve azalan değerlerine karşı karıştırıcı dönüş sayısı belirlenmiştir.



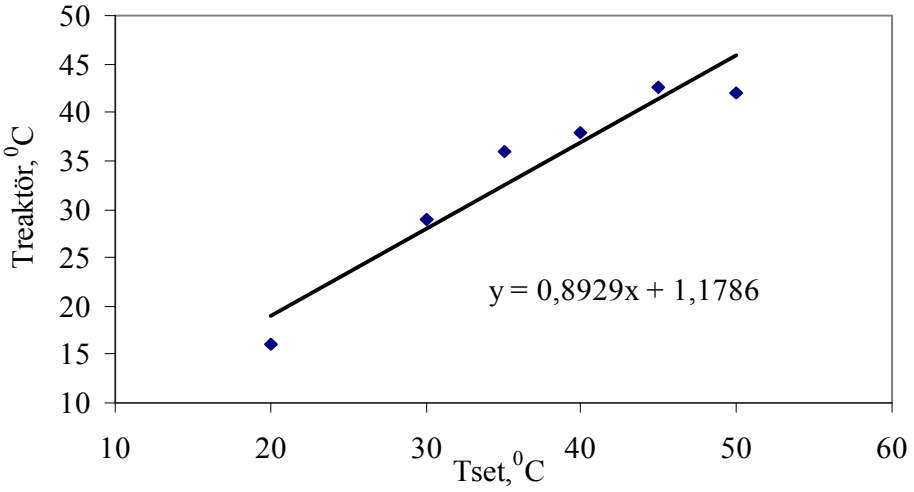
Şekil 7.1 Kesikli reaktörün karıştırıcı hız kalibrasyonu; karıştırıcı anahtar konumlarının artan değerlerine karşı karıştırıcının dönüş hızı



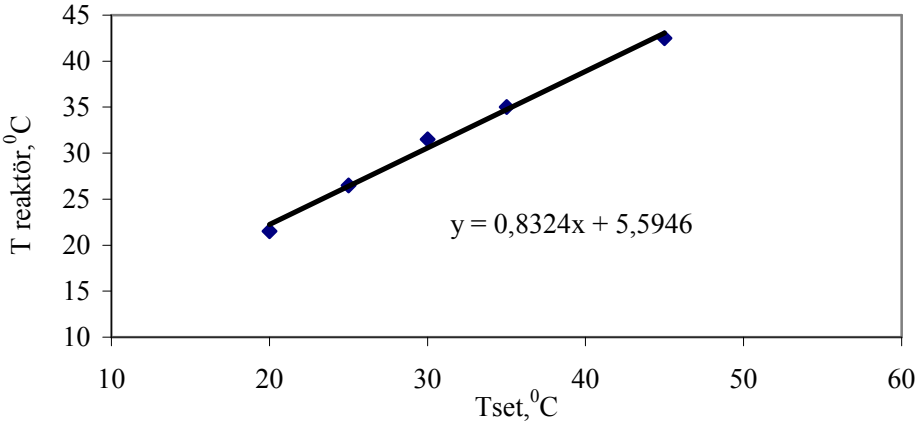
Şekil 7.2 Kesikli reaktörün karıştırıcı hız kalibrasyonu; karıştırıcı anahtar konumlarının azalan değerlerine karşı karıştırıcının dönüş hızı

b. Sıcaklık kalibrasyonu

İzoterm çalışma özelliğine sahip sistemde, panodan ayarlanan sıcaklık değeri ile reaktördeki çözelti sıcaklığının karşılaştırmasını yapabilmek için; reaktöre daldırılan termometre yardımıyla ölçülen reaktör sıcaklığı ve anahtar konumu değerleri belirlenmiştir.



Şekil 7.3 Kesikli reaktörün sıcaklık kalibrasyonu; sıcaklık anahtar konumlarının artan değerlerine karşı reaktör içi sıcaklık değerleri



Şekil 7.4 Kesikli reaktörün sıcaklık kalibrasyonu; sıcaklık anahtar konumlarının azalan değerlerine karşı reaktör içi sıcaklık değerleri

7.1.2 İletkenlik-volt ilişkisi

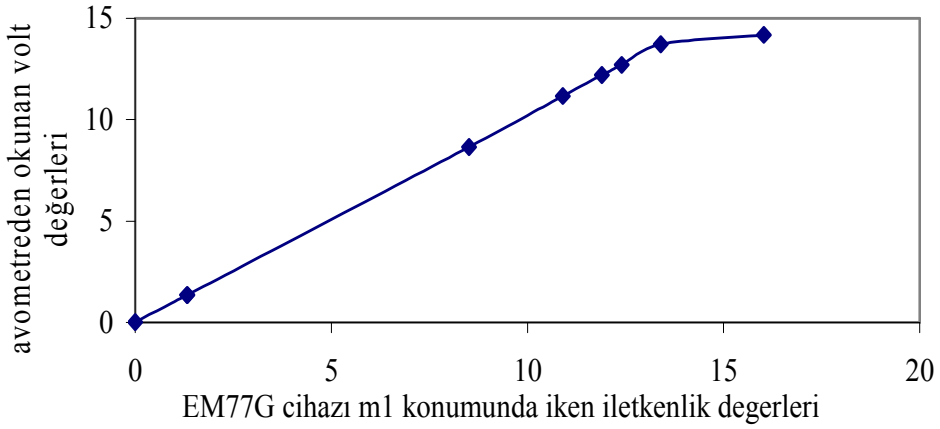
Çalışmalarda EMAF EM77G iletkenlik ölçüm cihazı kullanılmıştır. İletkenlik ölçümünün dayandığı prensiple ilgili bilgi Bölüm 3.2'de verilmiştir.

Cihaz m_1, m_2, μ_1, μ_2 konumlarında iken gösterge değeri ve avometreden okunan analog çıkış değerleri tespit edilmiştir. Bu işlem saf su, standart çözelti ve farklı NaOH derişimlerinde ki çözeltilere iletken ölçer probunun daldırılıp, dört farklı iletken ölçer konumunda, avometre ve cihaz göstergesinden okunan değerlerin kaydedilmesiyle gerçekleştirilmiştir.

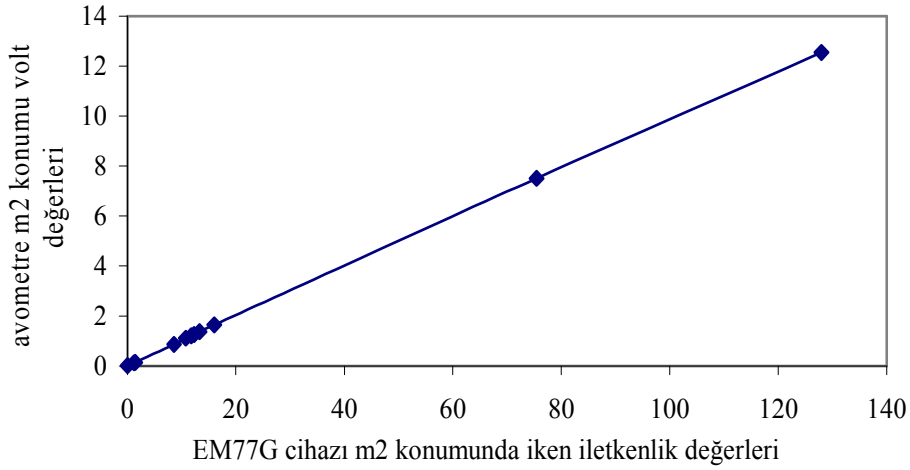
Çizelge 7.1 EMAF iletken ölçer cihazı ile yapılan gösterge ölçümü - analog çıkış ilişkisi deney sonuçları

	EM77G				***AVOMETRE***			
	EM77G Anahtar Konumu				***EM77G Anahtar Konumu***			
	M		***μ***		***m***		***μ***	
	m_1	***M_2***	***m_1***	***m_2***	***M_1***	***m_2***	***M_1***	***m_2***
Su	0.0	0.0	14	15.1	0.01	0.01	0.14	1.55
0.01	1.32	1.4	1320	-	1.35	0.14	13.44	14.1
standart	1.33	1.2	1332	-	1.35	0.13	13.55	14.04
0.05	8.51	8.6	-	-	8.65	0.86	14.14	14.03
0.062	10.9	10.8	-	-	11.17	1.11	14.20	14.13
0.07	11.9	11.8	-	-	12.20	1.21	14.21	14.13
0.08	12.4	12.3	-	-	12.70	1.26	14.22	14.15
0.09	13.4	13.3	-	-	13.72	1.37	14.21	14.14
0.1	16.03	16.0	-	--	14.18	1.64	14.18	14.08
0.5	-	75.4	-	-	14.21	7.51	14.16	14.10
1	-	128	-	-	14.12	12.55	14.16	14.10

m_1 cihaz gösterge değerine karşı m_1 analog çıkış değeri grafiğinden değişimlerin orantılı olarak değiştiği görülmektedir (Şekil 7.5). 0-0.1 mol/L derişim aralığında 0-14 volt analog çıkış üretmesi ve doğrusal değişmesi bu cihazın on-line çalışmalarında rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir.



Şekil 7.5 İletken ölçer ile avometre analog çıkış ilişkisi (anahtar m_1 konumu)



Şekil 7.6 İletken ölçer ile avometre analog çıkış ilişkisi (m_2 konumu)

7.1.3 Model tanımı

Bu çalışmada optimizasyon kriteri olarak girdilerden NaOH dönüşümü seçilmiştir. Optimizasyon kriteri üzerinde etkili olan faktörler yani bağımsız değişkenler olarak; karıştırma hızı, sıcaklık, sodyum hidroksit başlangıç derişimi ve etil asetat başlangıç derişimi seçilmiştir. Optimizasyon kriteri ile bağımsız değişkenler arasındaki bağlantı; birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü dereceden etkileşim terimlerini içeren lineer bir regresyon eşitliği ile ifade edilmiştir.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{14}X_1X_4 + b_{23}X_2X_3 + b_{24}X_2X_4 + b_{34}X_3X_4 + b_{123}X_1X_2X_3 + b_{234}X_2X_3X_4 + b_{134}X_1X_3X_4 + b_{124}X_1X_2X_4 + b_{1234}X_1X_2X_3X_4 \quad (7.1)$$

7.1.4 Deneysel tasarım matrisinin oluşturulması

Proses için belirlenmiş olan statik eşitliğin deneysel olarak tanımlanması amacıyla; etkili deneyleme metotlarından olan iki seviyeli faktöriyel deneysel tasarım yöntemi kullanılarak deneysel tasarım matrisi oluşturulur. Çizelge 7.2' de bağımsız değişkenlerin literatür araştırmalarına dayanarak belirlenmiş olan maksimum, minimum seviyeleri ve bu seviyelerde hesaplanan merkez noktaları verilmiştir.

Çizelge 7.2 Bağımsız değişkenlerin maksimum, minimum seviyeleri seviyeleri

Kodlanmış değerler	T, ^{0}C	N , rpm	NaOH derişimi, mol/L	Etil Asetat derişimi, mol/L
+1	40	250	0,1	0,1
-1	20	50	0,01	0,01
0	30	150	0,055	0,055

İki seviyeli faktöriyel deneysel tasarım yöntemine göre oluşturulmuş olan deneysel tasarım matrisi Çizelge 7.3'de verilmiştir.

Çizelge 7.3 Deneysel tasarım matrisi

X_1: Sıcaklık, **X_2:** Karıştırma Hızı, **X_3:** NaOH derişimi, **X_4**: Etil Asetat derişimi				
Deney sayısı	**X_1**	**X_2**	**X_3**	**X_4**
1	+1	+1	+1	+1
2	+1	+1	+1	-1
3	+1	+1	-1	+1
4	+1	+1	-1	-1
5	+1	-1	+1	+1
6	+1	-1	+1	-1
7	+1	-1	-1	+1
8	+1	-1	-1	-1
9	-1	+1	+1	+1
10	-1	+1	+1	-1
11	-1	+1	-1	+1
12	-1	+1	-1	-1
13	-1	-1	+1	+1
14	-1	-1	+1	-1
15	-1	-1	-1	+1
16	-1	-1	-1	-1

Deneyler oluşturulan bu tasarım matrisine göre yapılarak optimizasyon kriterinin değeri belirlenmiştir. Bu deneysel veriler kullanılarak en küçük kareler yöntemine göre modeldeki kat sayılar hesaplanmış ve model aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$y = 0.586 + 0.0672X_1 + 0.0265X_2 - 0.1072X_3 + 0.3335X_4 + 0.0003X_1X_2 - 0.036X_1X_3 - 0.0428X_1X_4 - 0.0103X_2X_3 + 0.0015X_2X_4 + 0.0702X_3X_4 + 0.0135X_1X_2X_3 + 0.0127X_1X_2X_4 + 0.0397X_2X_3X_4 + 0.04X_1X_3X_4 - 0.024X_1X_2X_3X_4 \quad (7.2)$$

Bu modeldeki katsayılar için t değerleri hesaplanmış ve Çizelge 7.4 de verilmiştir.

Çizelge 7.4 Katsayılar için t değerleri

Katsayı	b_0	b_1	B_2	B_3	b_4	b_{12}	b_{13}	b_{14}	b_{23}	b_{24}	b_{34}	b_{123}	b_{124}	b_{234}	b_{134}	b_{1234}
t değeri	8.757	1.004	0.396	1.602	4.98	0.004	0.538	0.64	0.154	0.022	1.049	0.2	0.2	0.593	0.732	0.359

Hesaplanan bu t değerleri tablodan okunan değer (1.06) değeri ile karşılaştırılarak küçük olanlar modelden çıkarılmıştır. Kalan model ise aşağıdaki gibidir.

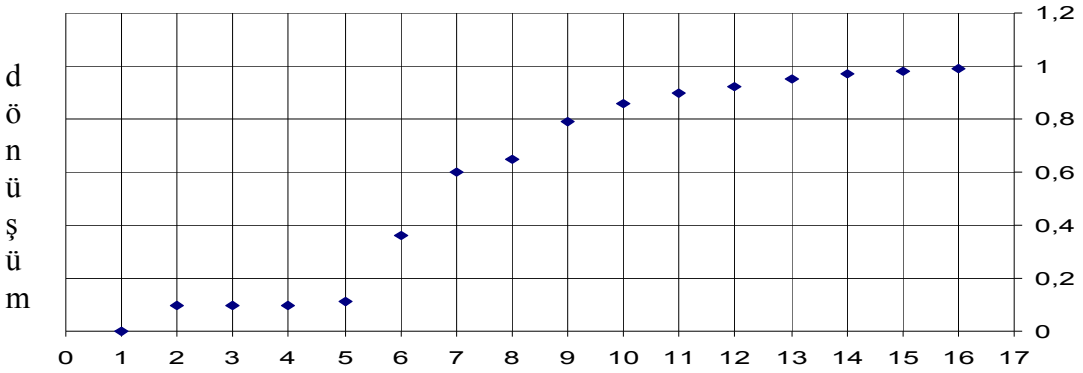
$$\mathbf{y = 0.586 + 0.0672X_1 - 0.1072X_3 + 0.3335X_4 + 0.0702X_3X_4} \quad (7.3)$$

Bulunan modelin gözlemlere uygunluğunu test etmek için F testi kullanılmış modelin yeterliliğine karar verilmiştir.

7.1.5 Deneysel verilerin analizi

7.1.5.1 Grafiksel olarak

Bu çalışmada faktörlerin önem sırasına göre sıralandırmak ve verileri grafiksel olarak incelemek amacıyla grafiksel veri analizi tekniklerinden bazıları kullanılmıştır.

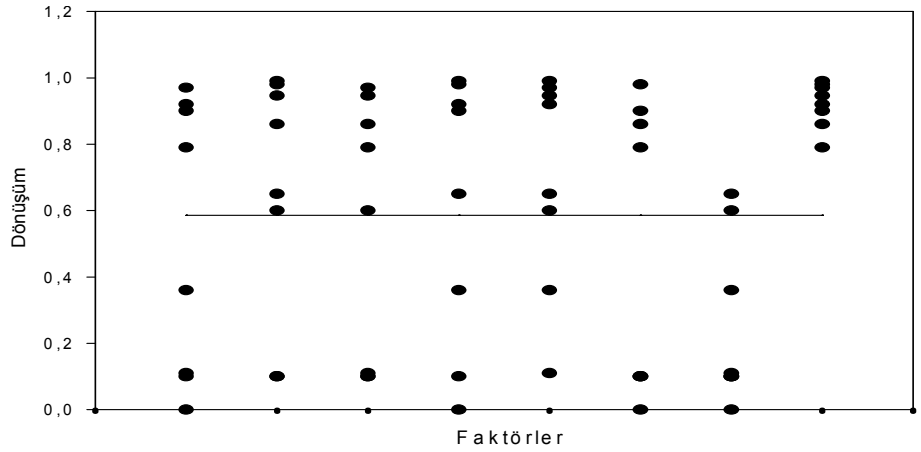


Şekil 7.7 Sıralandırılmış veri grafiği

Çizelge 7.5 Faktörlerin set değerleri

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
X_1	-	-	+	+	-	-	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+
X_2	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-	+	+	-	-	+	+
X_3	+	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+	-
X_4	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+

Bu grafik analiz edildiğinde X_4 faktörünün en önemli faktör olduğu çünkü en yüksek dönüşümlerin X_4 ün (+) seviyesinde elde edildiği ve en düşük dönüşümlerin ise X_4' ün (-) seviyesinde elde edildiği görülmektedir.

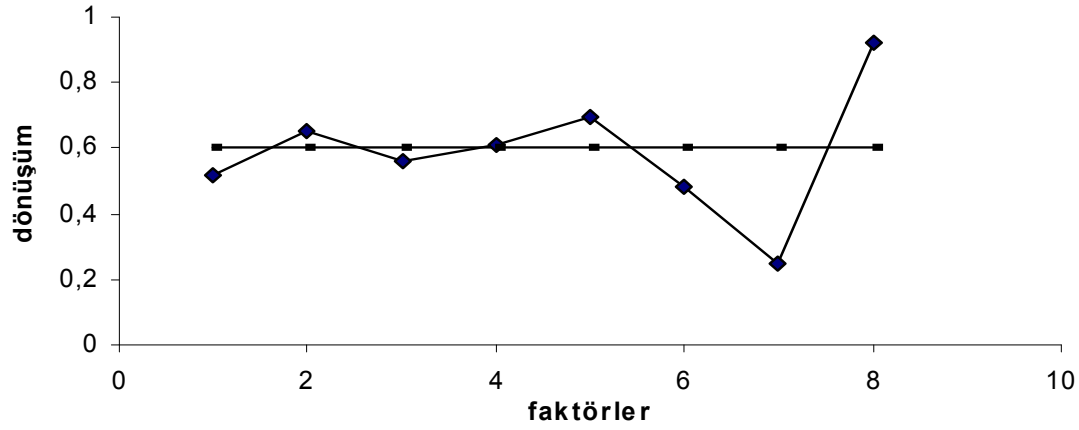


Şekil 7.8 Verilerin dağılımı grafiği

Çizelge 7.6 Faktörlerin min ve max konumları

1	2	3	4	5	6	7	8
$X_1(-)$	$X_1(+)$	$X_2(-)$	$X_2(+)$	$X_3(-)$	$X_3(+)$	$X_4(-)$	$X_4(+)$

Bu çalışmada maksimum dönüşüme ulaşılması istenmekte ve buna ulaşmak için olması gereken faktörlerin set değerlerinde bulmak istiyoruz Bu açıdan grafik incelendiğinde X_4 ün yine en önemli faktör olduğu görülür.



1	2	3	4	5	6	7	8
$X_1(-)$	$X_1(+)$	$X_2(-)$	$X_2(+)$	$X_3(-)$	$X_3(+)$	$X_4(-)$	$X_4(+)$

Şekil 7.9 Dex ortalama grafiği

Bu grafiklerin değerlendirilmesi sonucunda X_4 faktörünün proses çıktısı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

Faktörlerin önem sıralamasının ise;
X_4, X_3, X_1 ve X_2 şeklinde olduğu görülür. Maksimum dönüşümü elde etmek için faktörlerin set değerleri (+, -,+,+) olarak verilebilir.

Bu grafiklere göre faktörlerin önem sırası etil asetat başlangıç derişimi, sodyum hidroksit başlangıç derişimi, karıştırma hızı ve sıcaklık olarak bulunmuştur. Maksimum sodyum hidroksit dönüşümü için bu faktörlerin (+, -, +, +) seviyelerinde çalışılması uygun görülmüştür. Buna göre faktörlerin optimum değerleri 250 rpm karıştırma hızında, 40°C sıcaklıkta, 0.1 M etil asetat başlangıç derişimi ve 0.01 sodyum hidroksit başlangıç derişimi olarak bulunmuştur.

7.1.5.2 Faktör etkilerinin hesaplanması

İlk olarak deneysel sonuçlar standart sıralamaya göre yazılır Çizelge 7.7'de deneysel verilerin Standard sıralamaya göre düzenlenmiş deney matrisine yerleştirilmiş şekli verilmiştir. (Çizelge 7.7'de y kolonu yerine elde edilen ölçümler yazılır.)

Çizelge 7.7 Deneysel verilerin standart sıralamaya göre sıralanışı

	X_1	X_2	X_3	X_4	tepki (y)	(+) seviyedeki faktör bileşimleri
1	-1	-1	-1	-1	0.11	(1)
2	1	-1	-1	-1	0.6	X_1
3	-1	1	-1	-1	0.36	X_2
4	1	1	-1	-1	0.65	X_1X_2
5	-1	-1	1	-1	0.1	X_3
6	1	-1	1	-1	0.1	X_1X_3
7	-1	1	1	-1	0.0	X_2X_3
8	1	1	1	-1	0.1	$X_1X_2X_3$
9	-1	-1	-1	1	0.97	X_4
10	1	-1	-1	1	0.946	X_1X_4
11	-1	1	-1	1	0.92	X_2X_4
12	1	1	-1	1	0.99	$X_1X_2X_4$
13	-1	-1	1	1	0.79	X_3X_4
14	1	-1	1	1	0.86	$X_1X_3X_4$
15	-1	1	1	1	0.9	$X_2X_3X_4$
16	1	1	1	1	0.98	$X_1X_2X_3X_4$

Çizelge 7.7 kullanılarak her bir faktörün esas etkileri ve var olan etkileşim etkileri ve bunların kareleri toplamı hesaplanmış Çizelge 7.8'de verilmiştir.

Çizelge 7.8 Faktör etkileri ve kareleri toplamı

Faktörler	Hesaplanan etki değerleri	Her bir faktörün kareleri toplamı
X_1	0.134	0.0725
X_2	0.054	0.0115
X_1X_2	5.10^{-4}	1.10^{-6}
X_3	-0.21	0.1825
X_1X_3	-0.072	0.02
X_2X_3	0.029	$1.8.10^{-3}$
$X_1X_2X_3$	0.027	$2.93.10^{-3}$
X_4	0.67	1.77
X_1X_4	-0.086	0.03
X_2X_4	$3.75.10^{-3}$	$5.62.10^{-5}$
$X_1X_2X_4$	0.026	$2.6.10^{-3}$
X_3X_4	0.14	0.08
$X_1X_3X_4$	0.098	0.039
$X_2X_3X_4$	0.079	0.025
$X_1X_2X_3X_4$	-0.048	$9.18.10^{-3}$

Merkez noktada yapılan deneylerden deneysel hata aşağıda verildiği şekilde hesaplanmıştır.

$y_{mer.ort}$ =0.847+0.847+0.67/3 =0.788 (7.4)

Hataların kareleri toplamı;

$SS_E = (0.847-0.788)^2 + (0.847-0.788)^2 + (0.67 - 0.788)^2 = 0.021$ (7.5)

7.1.5.3 Deneysel verilerin istatistiksel olarak analizi

Deneysel verilerin istatistiksel metotlarla analizi (ANOVA) yapılmış bu aşamada hesaplanan etkilerin büyüklüğü deneysel hata ile kıyaslanmıştır. Bu testte "büyüklük seviyesi, α" 0.1 olarak seçilmiştir.

Çizelge 7.9 Varyans analizi

Değişim kaynağı	karelerin toplamı	serbestlik derecesi	hataların kareleri ortalaması	F
X_1	0.0725	1	0.0725	6.9
X_2	0.0115	1	0.0115	1.1
X_3	0.1825	1	0.1825	17.38
X_4	1.77	1	1.77	**168.6**
X_1X_2	1.10^{-6}	1	1.10^{-6}	$9.52.10^{-5}$
X_1X_3	0.02	1	0.02	1.9
X_1X_4	0.03	1	0.03	2.85
X_2X_3	$1.8.10^{-3}$	1	$1.8.10^{-3}$	0.17
X_2X_4	$5.62.10^{-5}$	1	$5.62.10^{-5}$	$5.35.10^{-3}$
X_3X_4	0.08	1	0.08	7.6
$X_1X_2X_3$	$2.53.10^{-3}$	1	$2.53.10^{-3}$	0.24
$X_1X_2X_4$	$2.6.10^{-3}$	1	$2.6.10^{-3}$	0.248
$X_2X_3X_4$	0.025	1	0.025	2.38
$X_1X_3X_4$	0.039	1	0.039	3.71
$X_1X_2X_3X_4$	$9.18.10^{-3}$	1	$9.18.10^{-3}$	0.87
CURVATURE	0.103	1	0.103	9.8
HATA	0.021	2		
TOPLAM		18		

Seçilmiş olan büyüklük seviyesinde (α =0.1 seviyesi) hesaplanan F değerleri Tablo F değerleri ile kıyaslandığında X_4 faktörü X_3 faktörü ve curvature (eğrilik) etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir. Diğer faktörlerin etkisinin önemsiz olduğu söylenir.

Eğer (α =0.01 seviyesi olarak seçilmiş olsa idi bu durumda sadece X_4 faktörünün proses çıktısı olarak belirlenen dönüşüm üzerinde etkili olduğu söylenebilir.)

7.1.6 Merkez nokta deney sonuçları

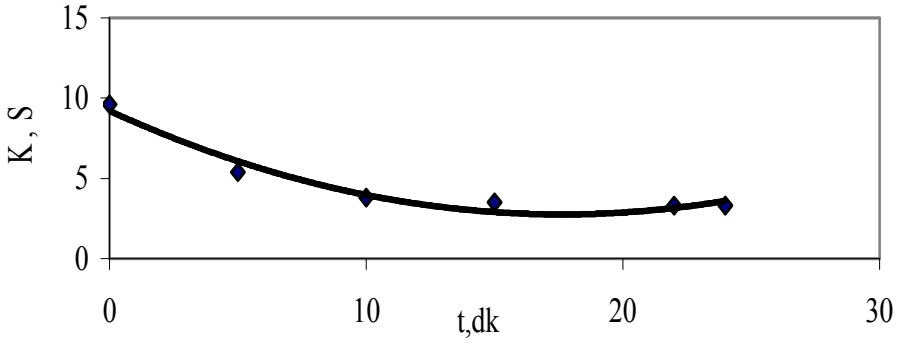
Kesikli tepkime kabında, Çizelge 7.3' de verilen deney tasarım matrisine göre 16 deney ve bunların yanı sıra üç merkez nokta gerçekleştirilmiştir. Bunlardan öncelikle merkez nokta deney grafikleri, daha sonra deney tasarım matrisinde ki deneylerin grafikleri aşağıda gösterilmektedir.

Merkez nokta deneyleri sırasında tespit edilen başlangıç ve tepkimenin sonunda ölçülen iletkenlik değerleri;

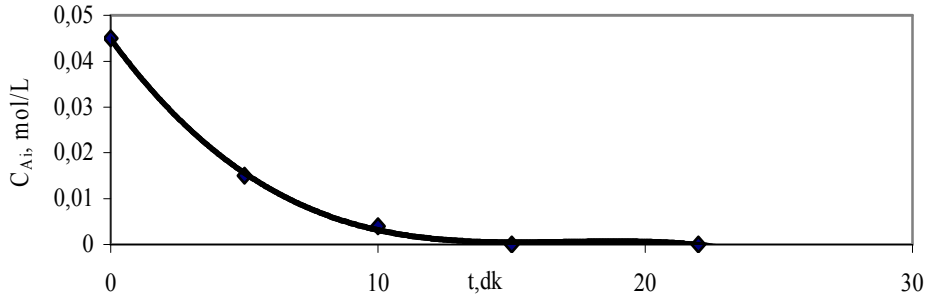
t= 0 anında $K_0=9{,}6*10^3$ S

$t \longrightarrow \infty$ $K_\infty=3{,}7*10^3$ S

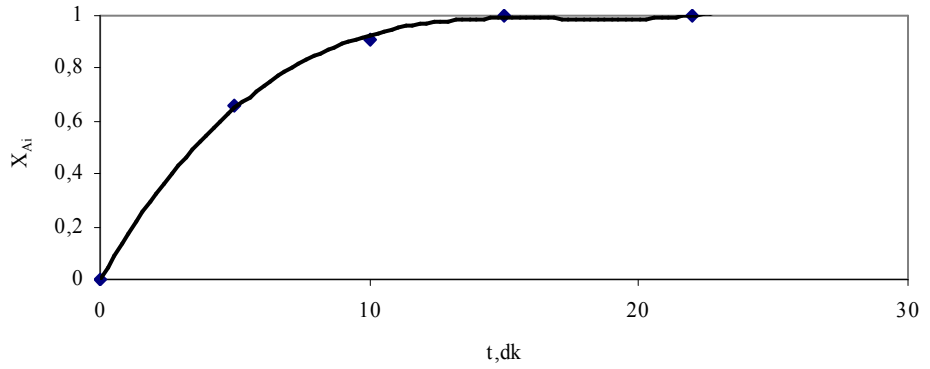
2. merkez deneyi



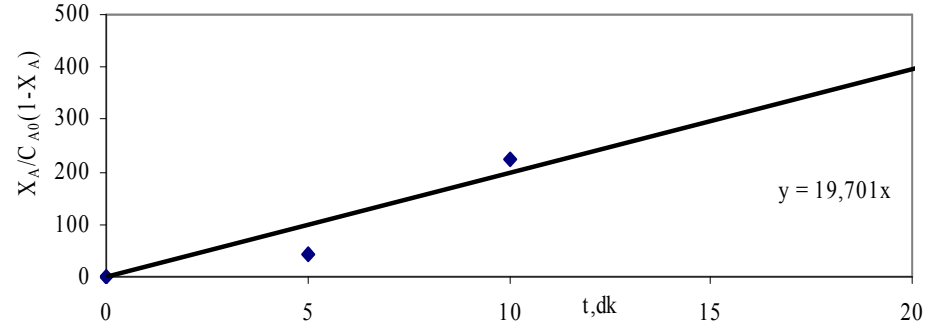
Şekil 7.10 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}$=0.055 M, T=30°C, N=100 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi



Şekil 7.11 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}=0.055$ M, T=30°C, N=100 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi

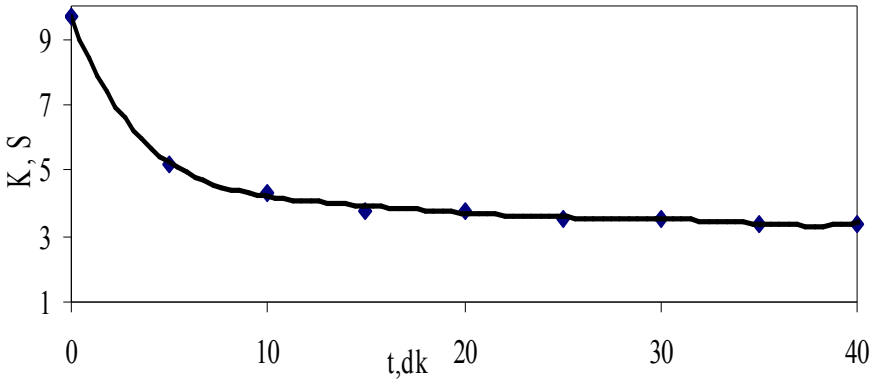


Şekil 7.12 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}=0.055$ M T=30°C N=100 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

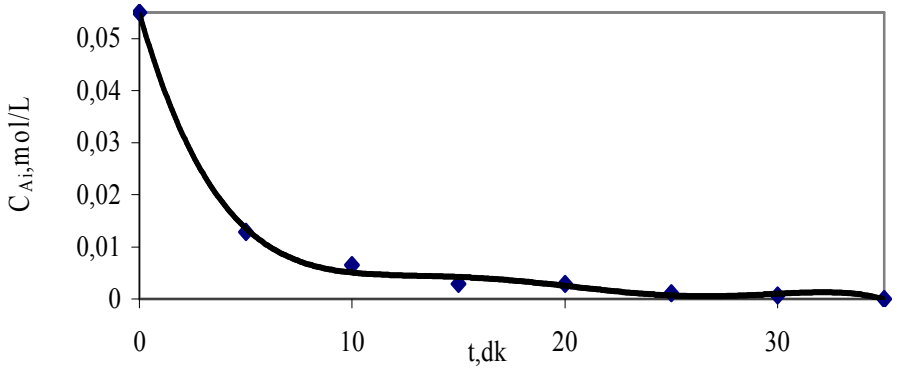


Şekil 7.13 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}=0.055$ M, T=30 °C,N=100 rpm koşullarında gerçekleşen deneyde eğim değerinden k sabitin tespiti

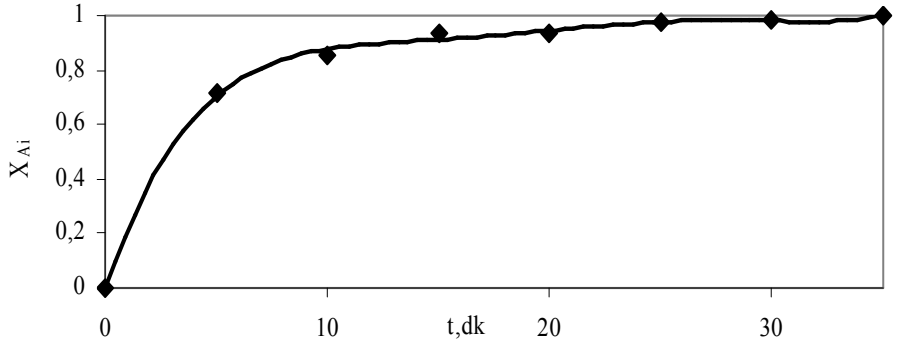
1.merkez deneyi



Şekil 7.14 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}$=0.055 M T=30°C N=100 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi

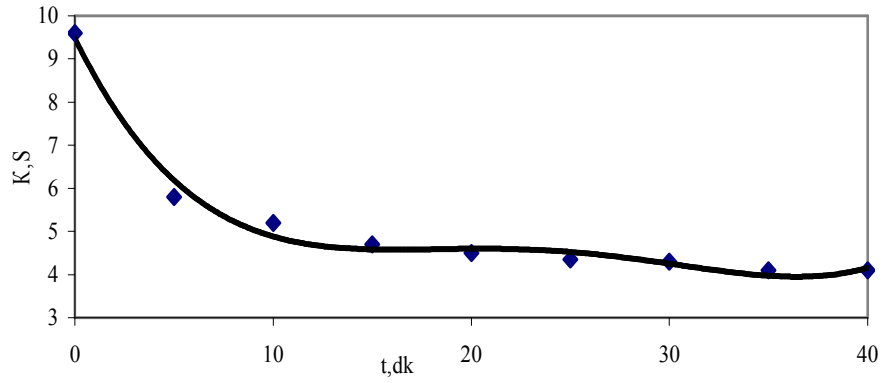


Şekil 7.15 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}$=0.055 M T=30°C N=100 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi

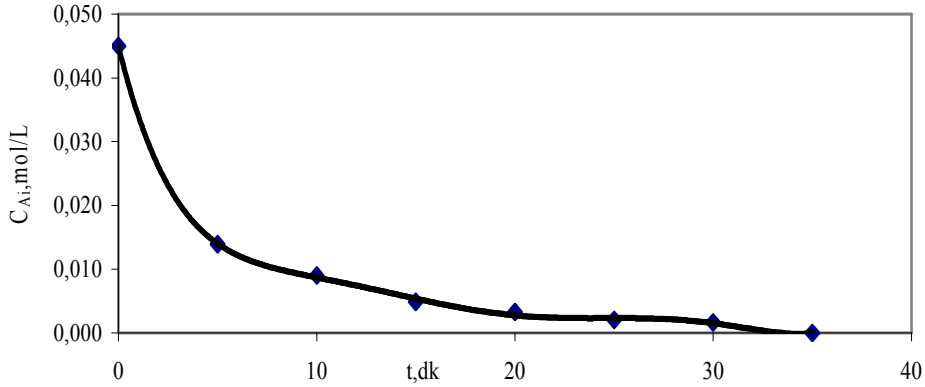


Şekil 7.16 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}$=0.055 M T=30°C N=100 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

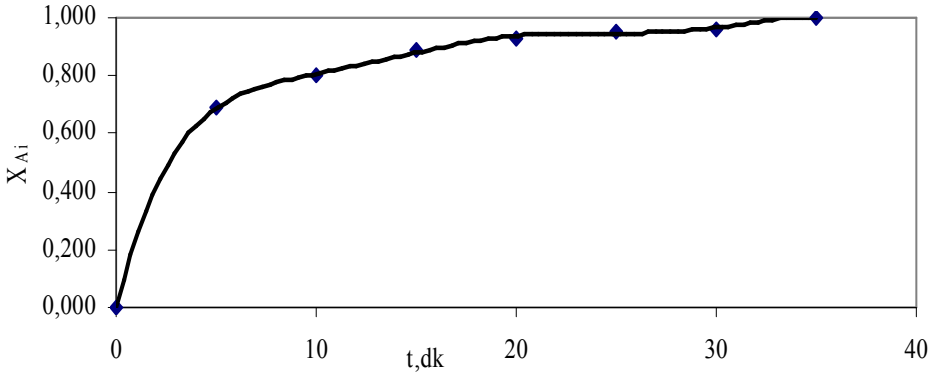
3. merkez deneyi



Şekil 7.17 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}=0.055$ M, T=30°C, N=100 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi

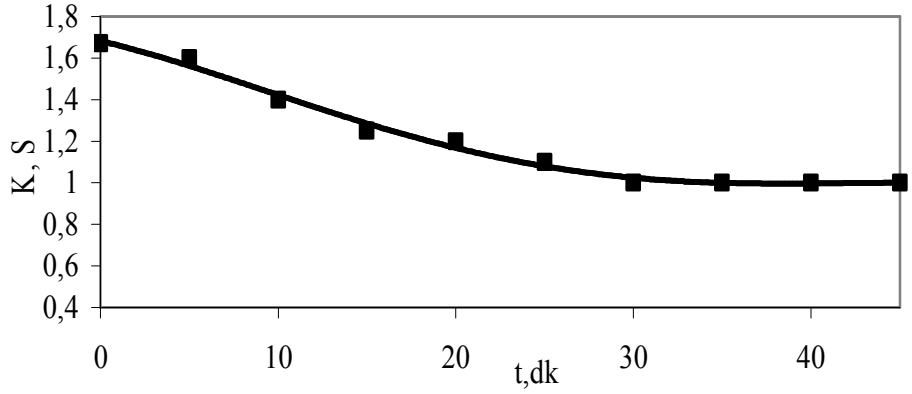


Şekil 7.18 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}=0.055$ M, T=30°C, N=100 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi

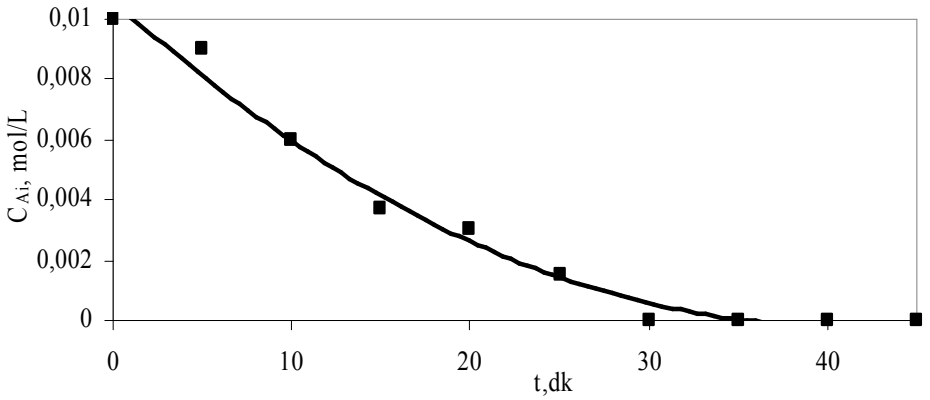


Şekil 7.19 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}=0.055$ M, T=30°C, N=100 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

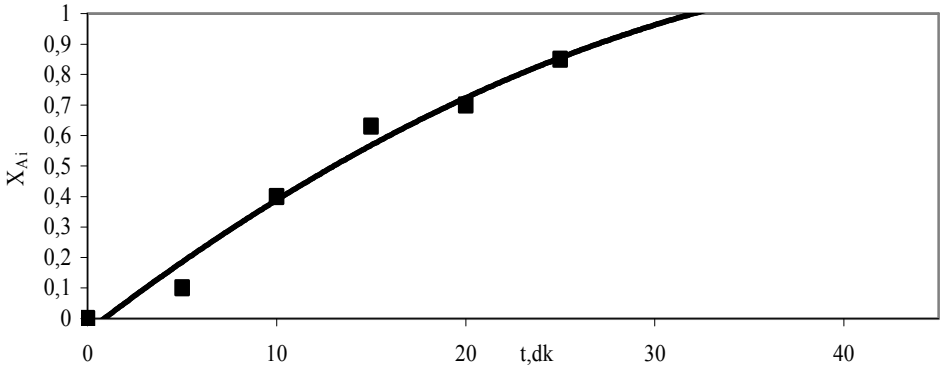
1 nolu deney



Şekil 7.20 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}=0.01$ M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi

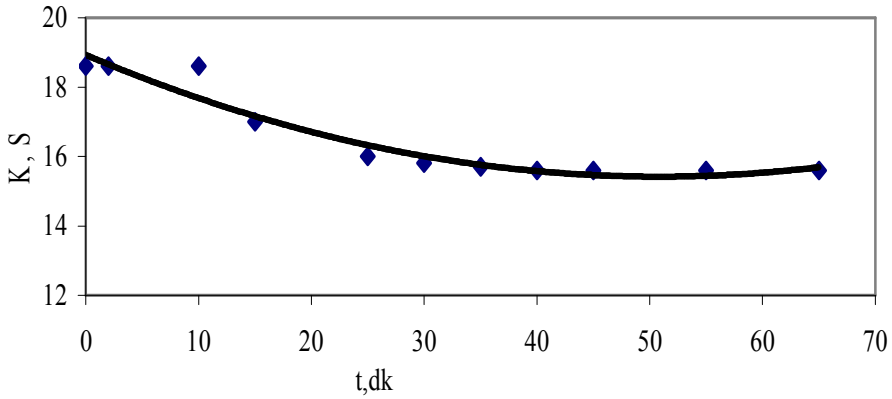


Şekil 7.21 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}=0.01$ M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında derişimin zamanla değişimi

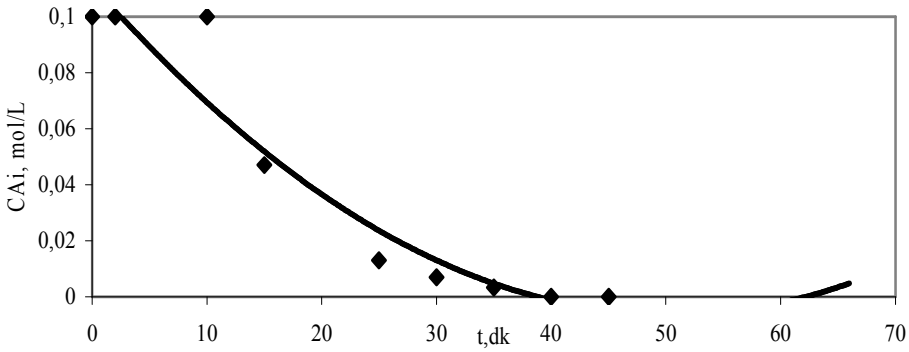


Şekil 7.22 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}=0.01$ M T=20°C N=50 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

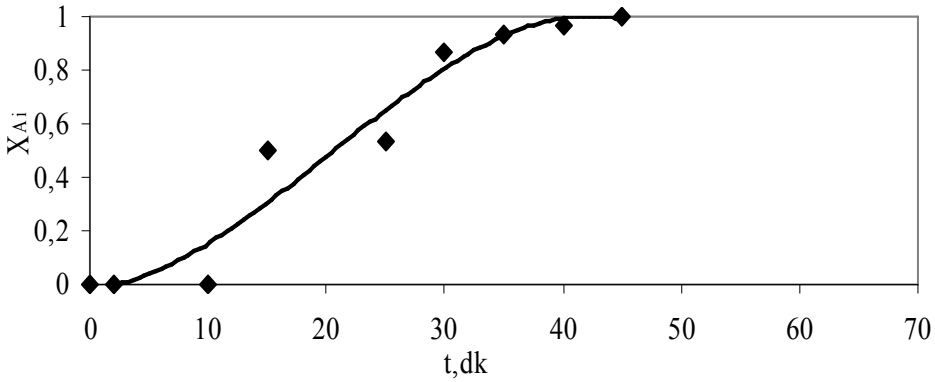
2 nolu deney



Şekil 7.23 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01, M T=20°C, N=50 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi

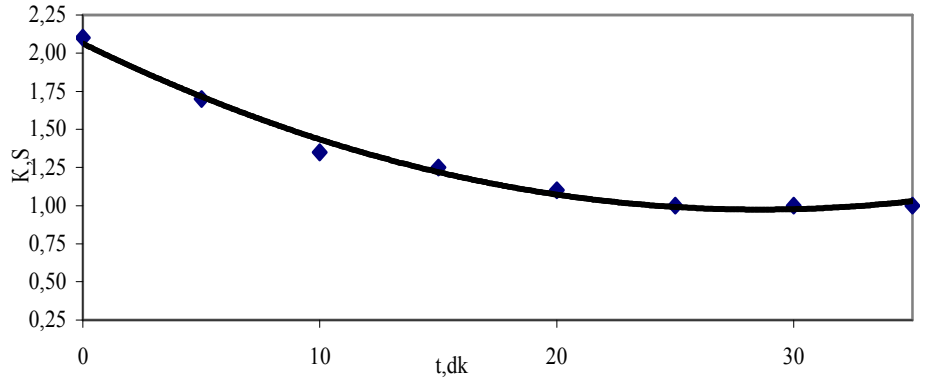


Şekil 7.24 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=20°C, N=50rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi

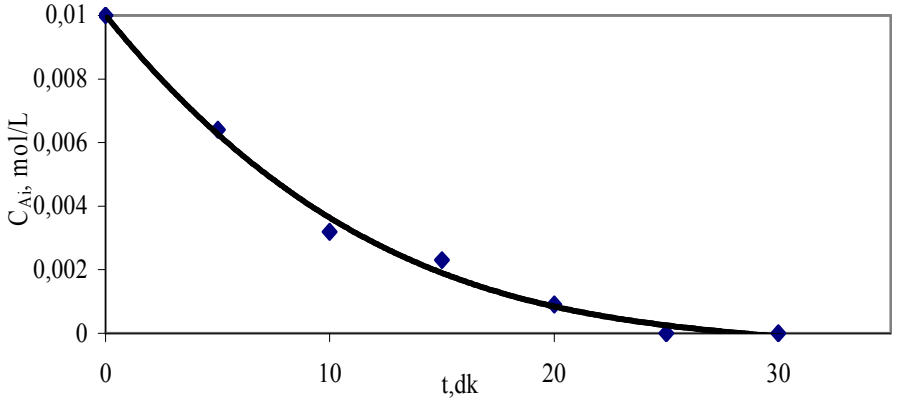


Şekil 7.25 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

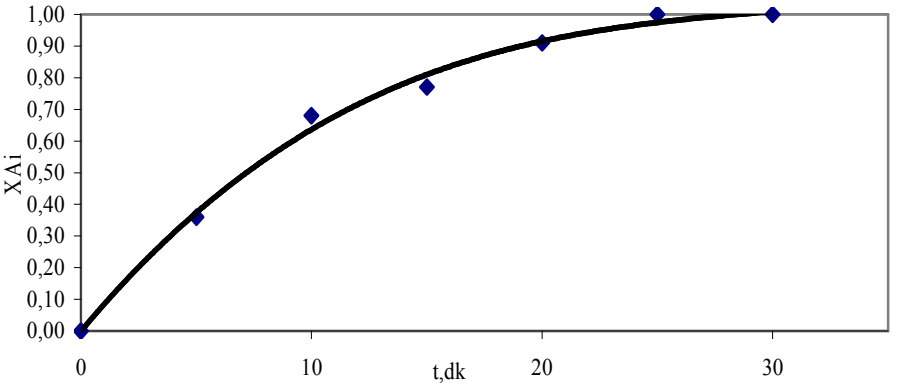
3 nolu deney



Şekil 7.26 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}$=0.01 M T=40°C N=50 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi

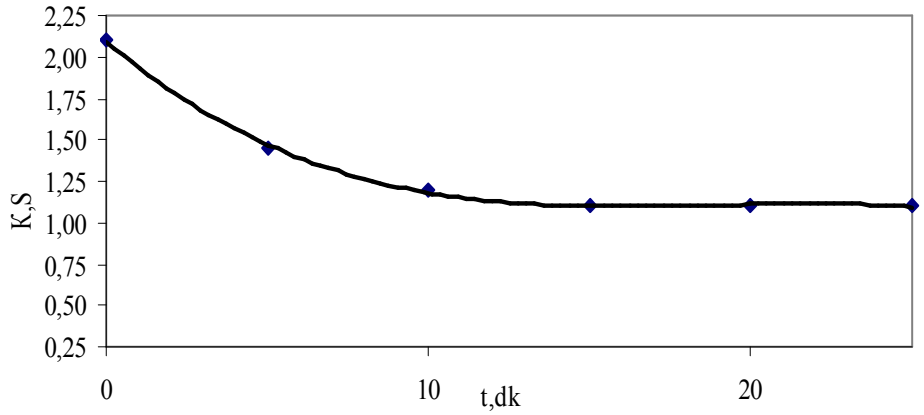


Şekil 7.27 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}$=0.01 M T=40°C N=50 rpm koşullarında derişimin zamanla değişimi

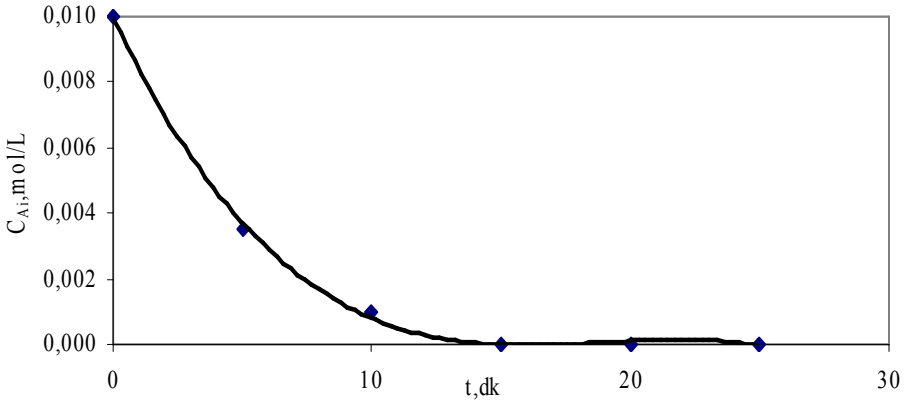


Şekil 7.28 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}$=0.01 M T=40°C N=50 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

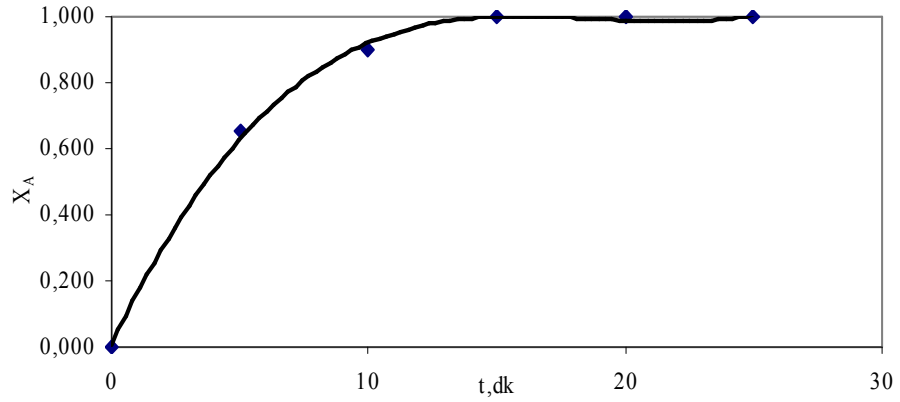
4 nolu deney



Şekil 7.29 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}$=0.01 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi

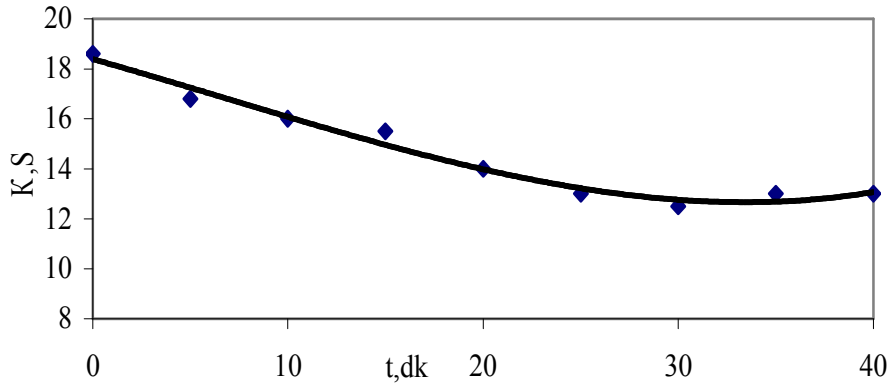


Şekil 7.30 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}$=0.01 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında derişimin zamanla değişimi

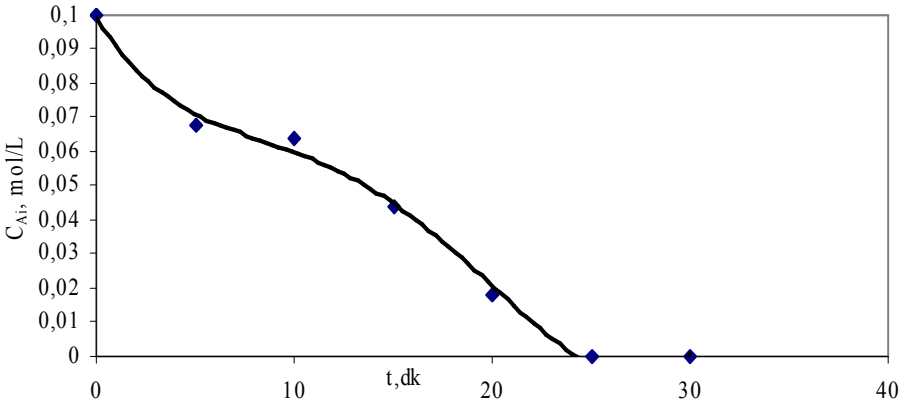


Şekil 7.31 Kesikli reaktörde $C_{A0}=C_{B0}$=0.01 M T=40°C N=250 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

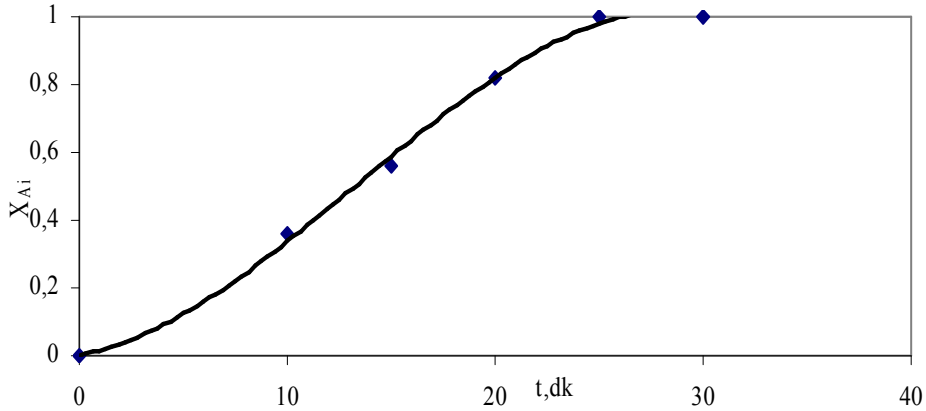
5 nolu deney



Şekil 7.32 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi

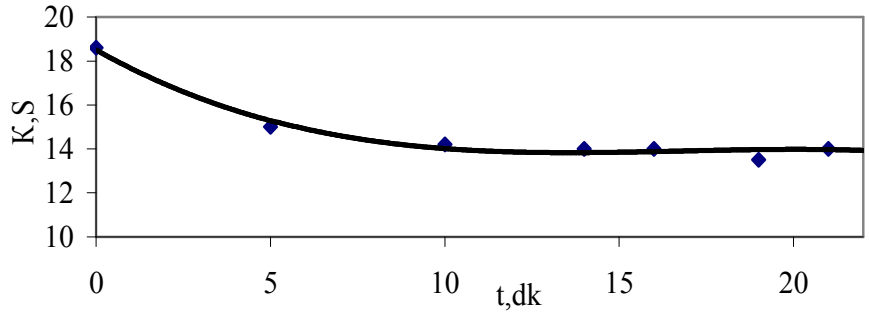


Şekil 7.33 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M T=20°C N=50 rpm koşullarında derişimin zamanla değişimi

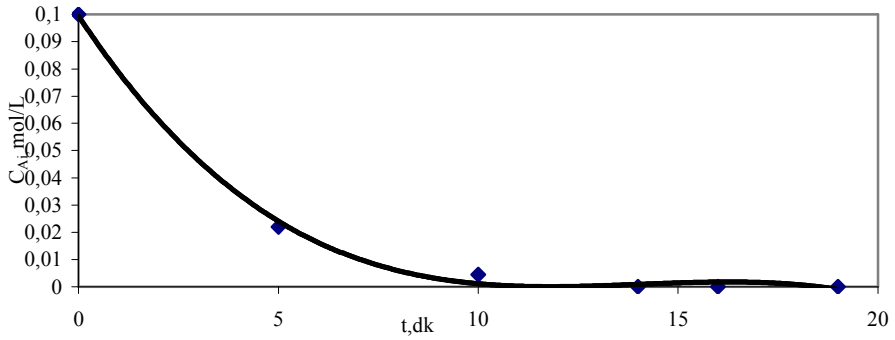


Şekil 7.34 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M T=20°C N=50 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

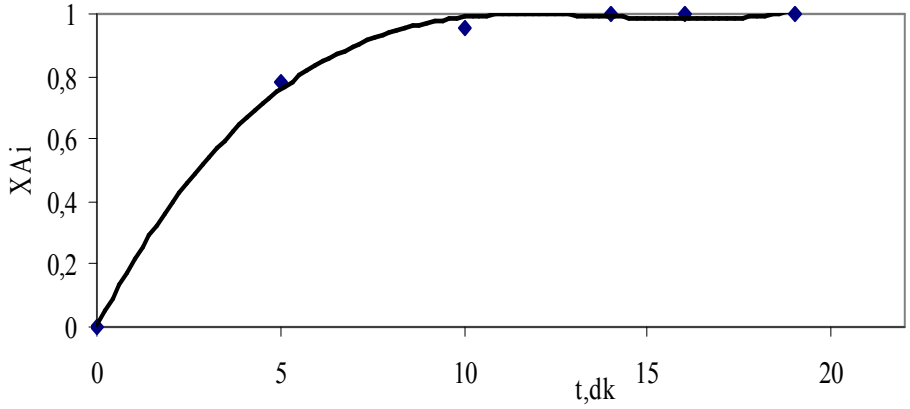
6 nolu deney



Şekil 7.35 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=20°C, N=250 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi

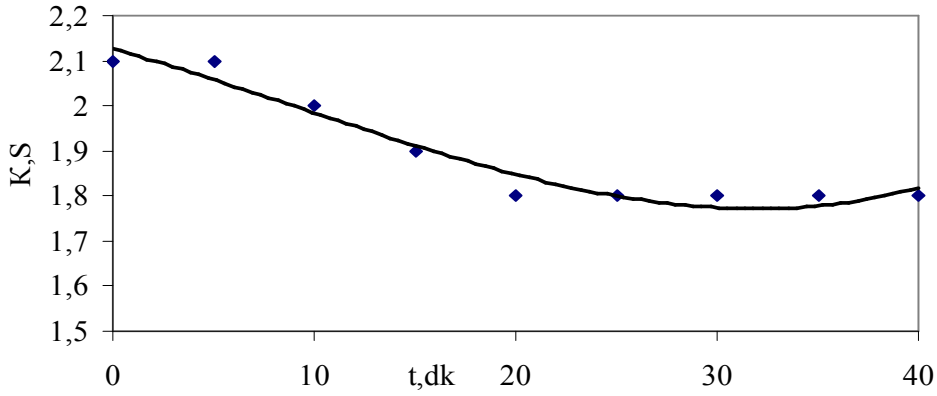


Şekil 7.36 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=20°C, N=250 rpm koşullarında derişimin zamanla değişimi

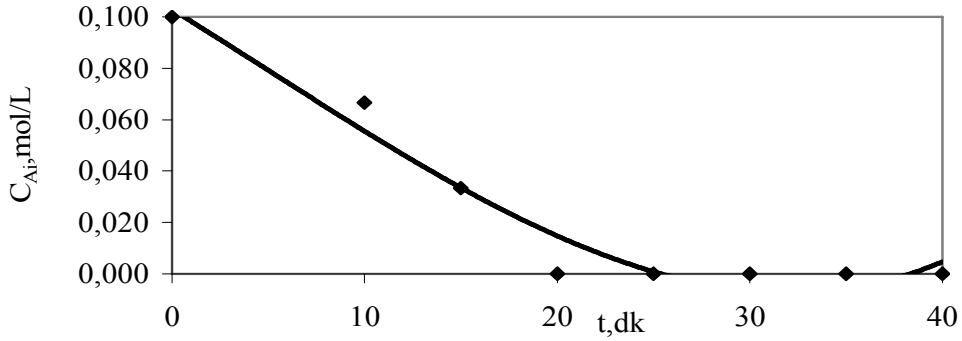


Şekil 7.37 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=20°C, N=250 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

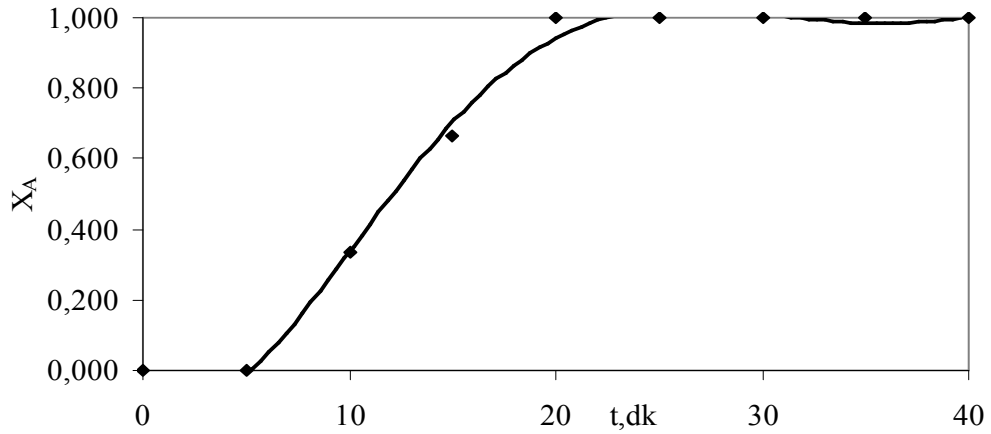
7 nolu deney



Şekil 7.38 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=40°C, N=50 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi

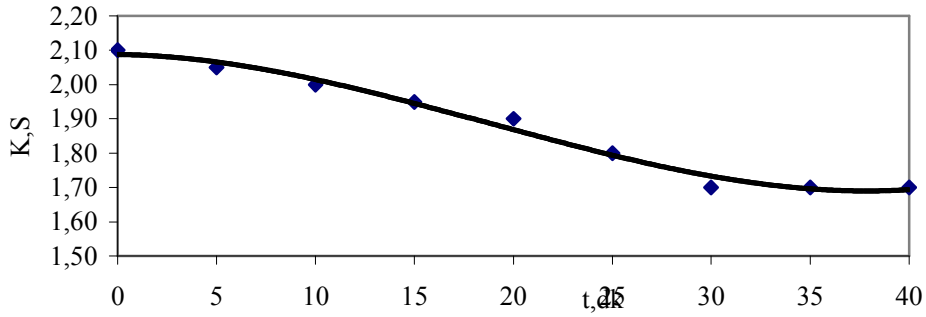


Şekil 7.39 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=40°C, N=50 rpm koşullarında derişimin zamanla değişimi

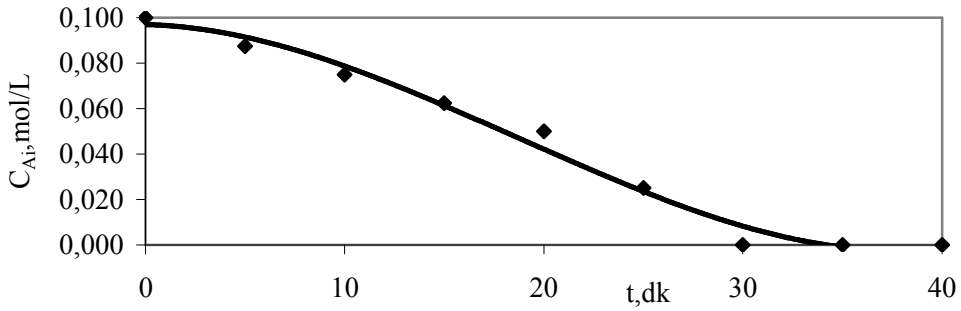


Şekil 7.40 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=40°C, N=50 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

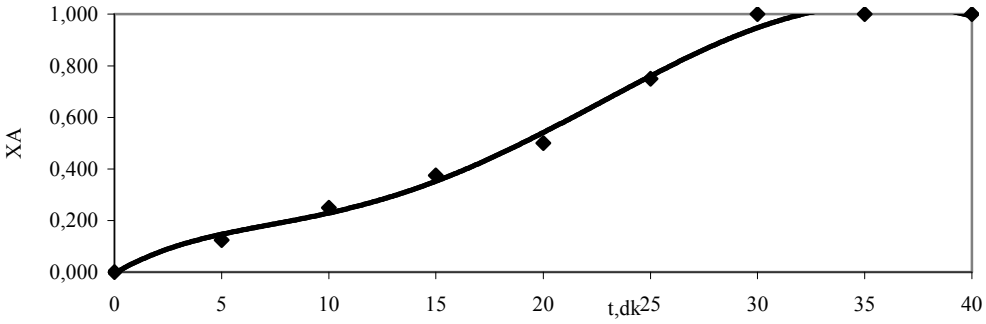
8 nolu deney



Şekil 7.41 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi

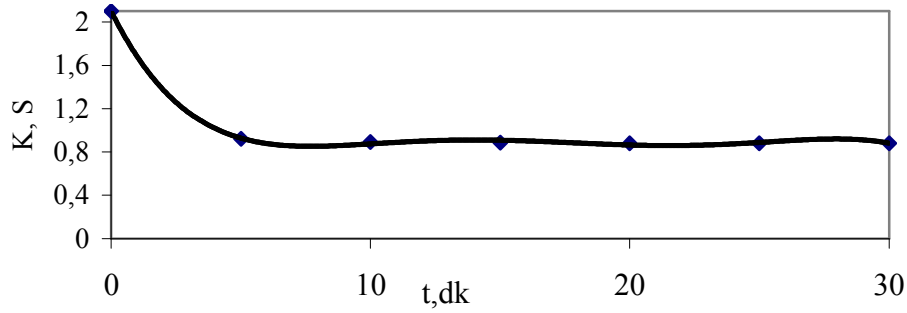


Şekil 7.42 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında derişimin zamanla değişimi

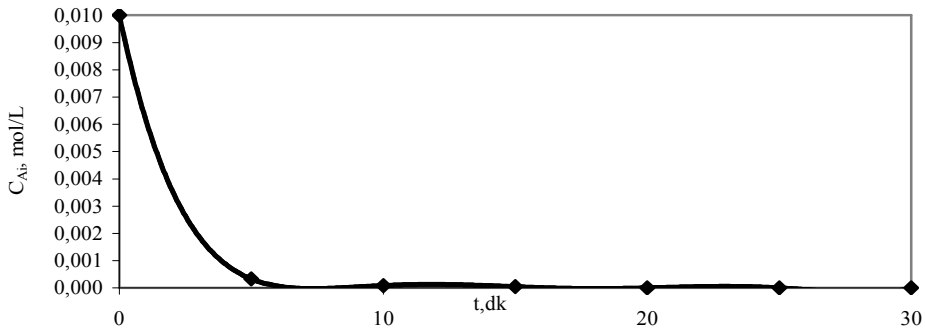


Şekil 7.43 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.1 M, C_{B0}=0.01 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

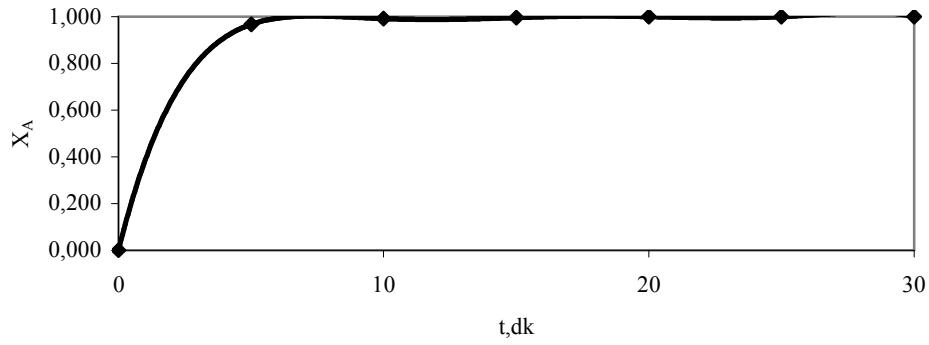
9 nolu deney



Şekil 7.44 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi

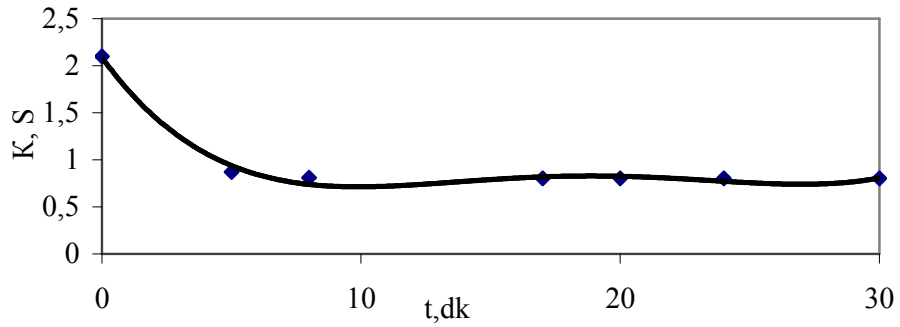


Şekil 7.45 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında derişimin zamanla değişimi

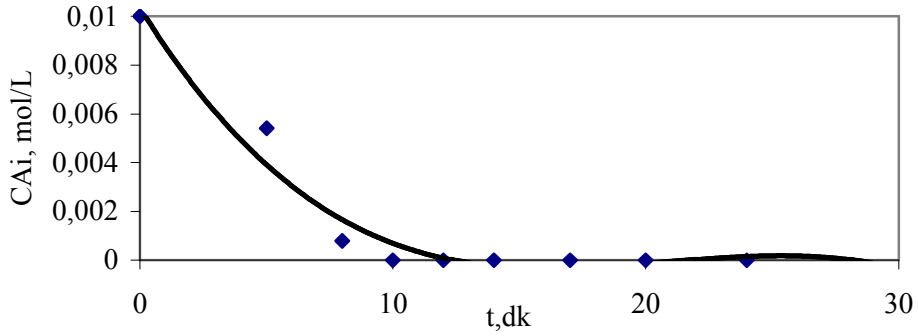


Şekil 7.46 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

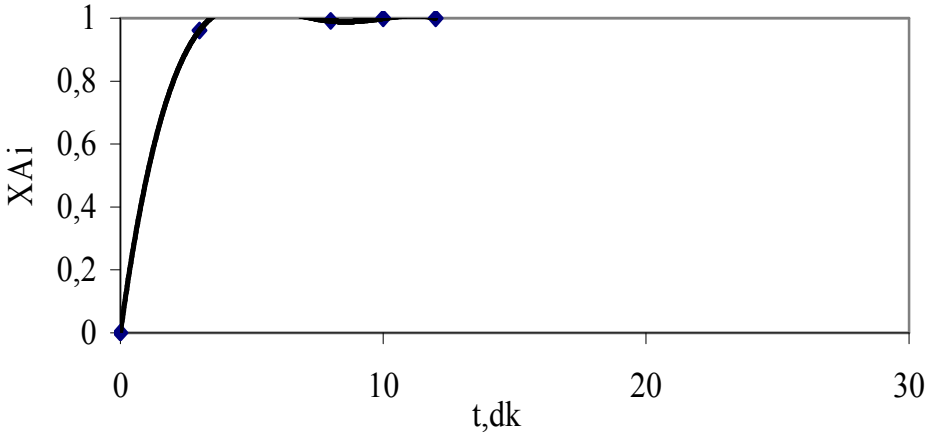
10 nolu deney



Şekil 7.47 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=250 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi

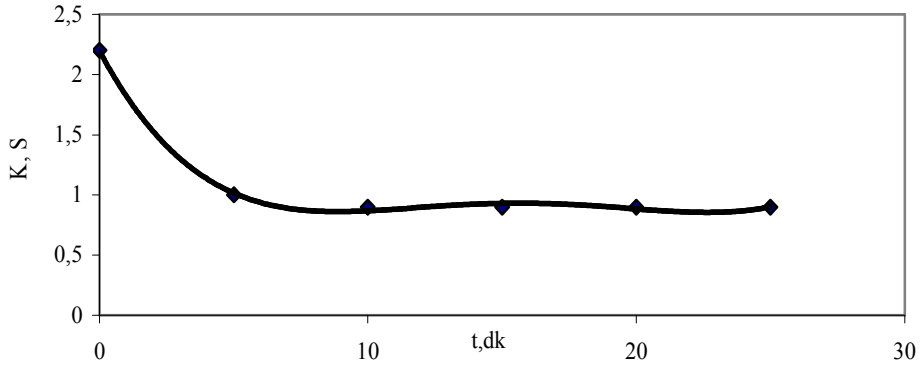


Şekil 7.48 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=250 rpm koşullarında derişimin zamanla değişimi

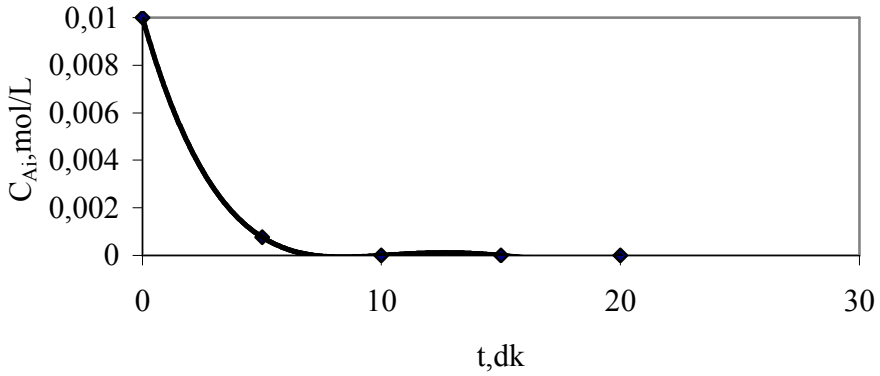


Şekil 7.49 Kesikli reaktörde C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

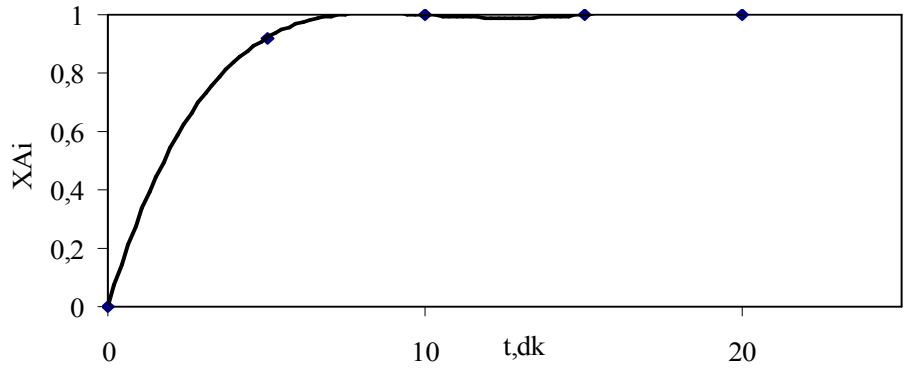
11 nolu deney



Şekil 7.50 Kesikli reaktörde, C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=50 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi

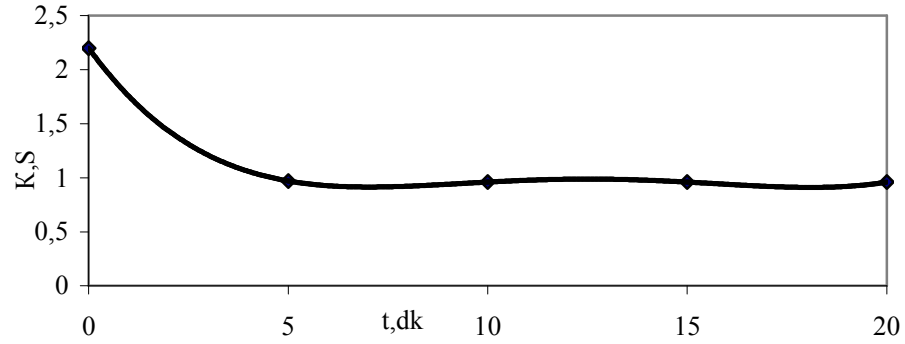


Şekil 7.51 Kesikli reaktörde, C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=50 rpm koşullarında derişimin zamanla değişimi

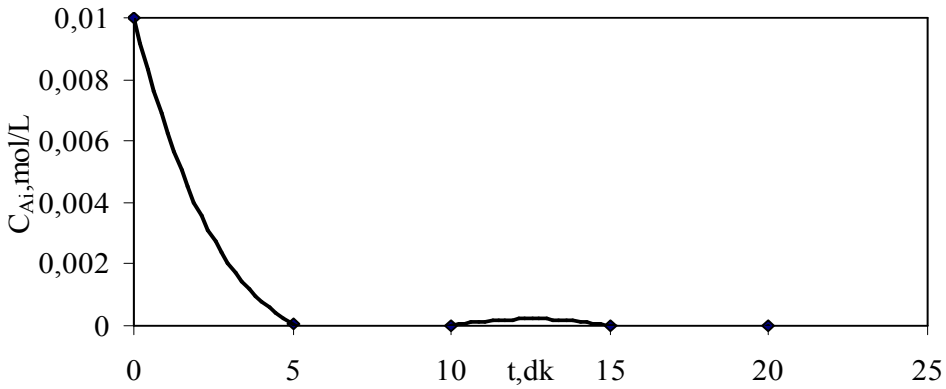


Şekil 7.52 Kesikli reaktörde, C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=50 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

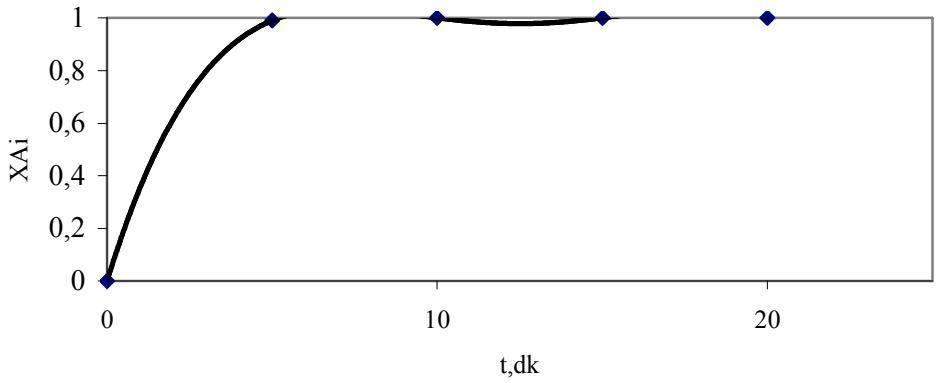
12 nolu deney



Şekil 7.53 Kesikli reaktörde, C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi

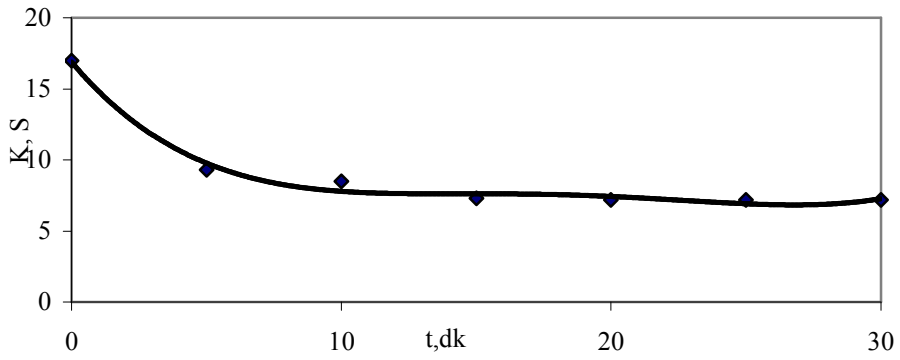


Şekil 7.54 Kesikli reaktörde, C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi

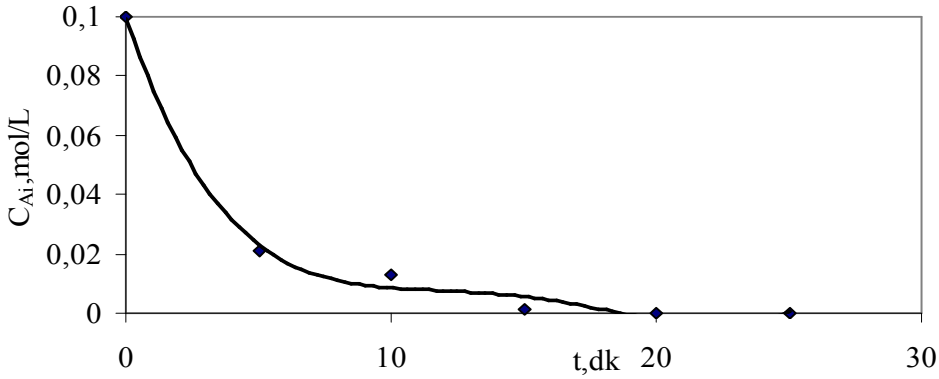


Şekil 7.55 Kesikli reaktörde, C_{A0}=0.01 M, C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

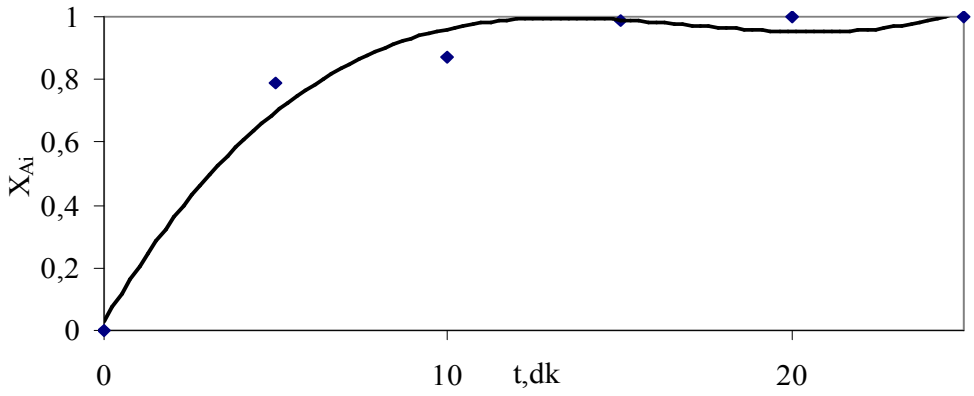
13 nolu deney



Şekil 7.56 Kesikli reaktörde, C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi

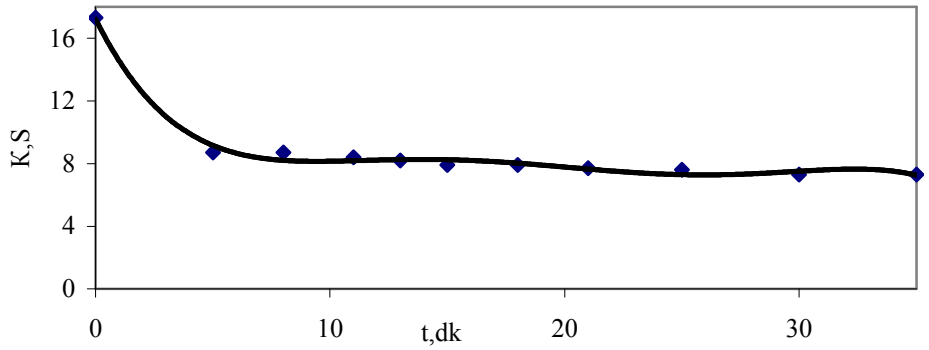


Şekil 7.57 Kesikli reaktörde, C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi

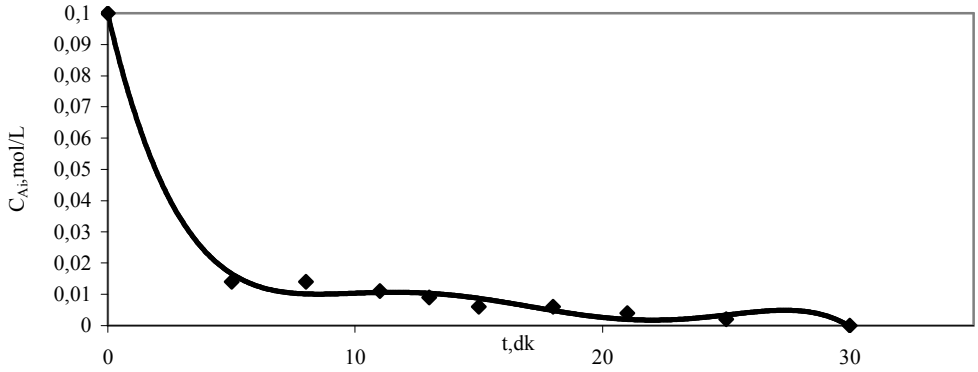


Şekil 7.58 Kesikli reaktörde, C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=50 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

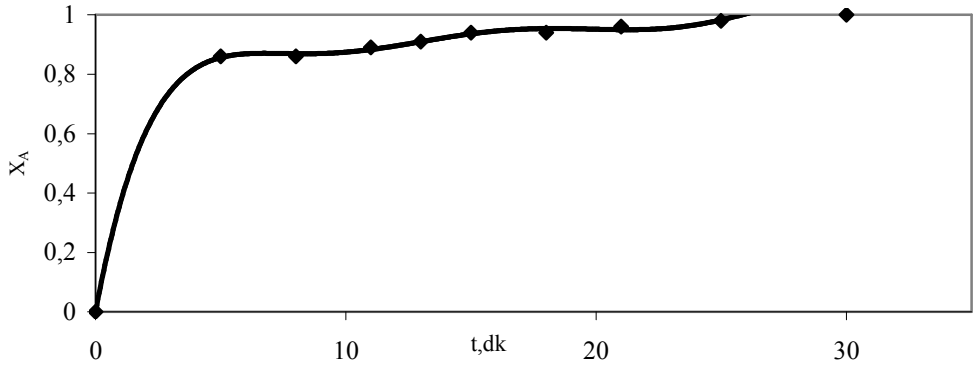
14 nolu deney



Şekil 7.59 Kesikli reaktörde, C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=250 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi

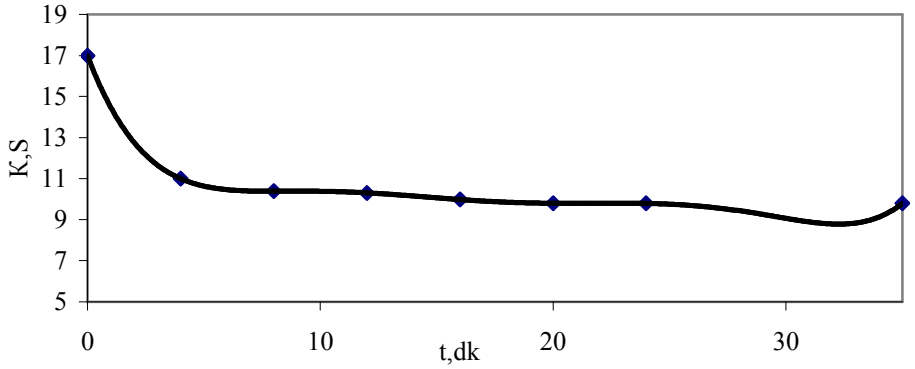


Şekil 7.60 Kesikli reaktörde, C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=250 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi

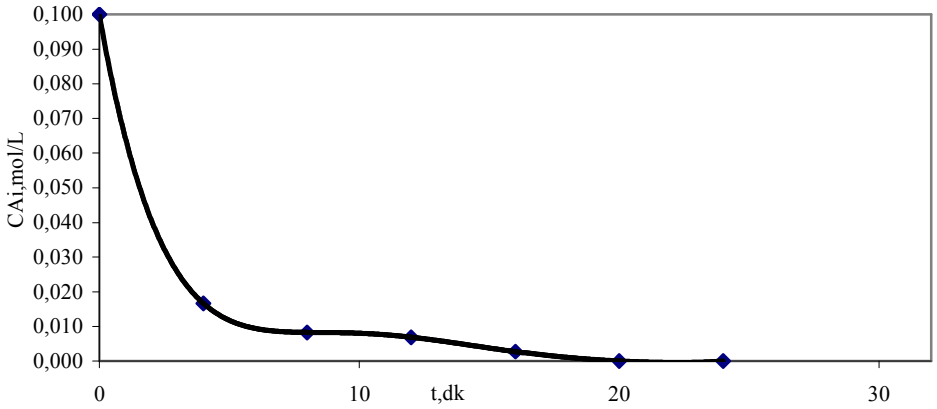


Şekil 7.61 Kesikli reaktörde, C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=20°C, N=250 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

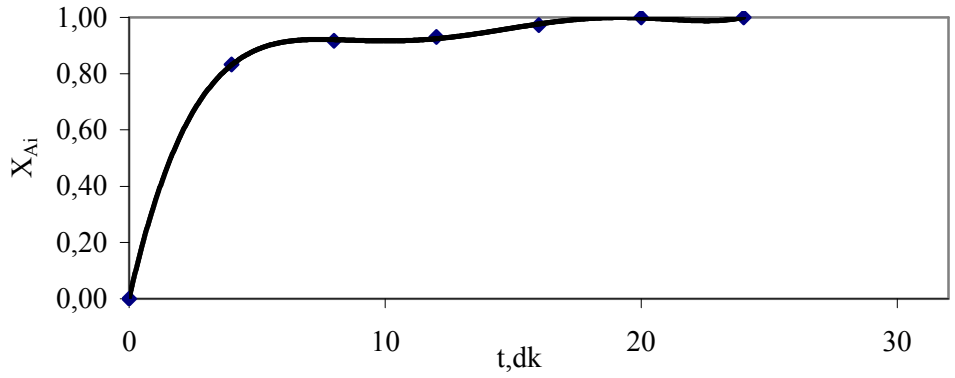
15 nolu deney



Şekil 7.62 Kesikli reaktörde, C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=50 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi

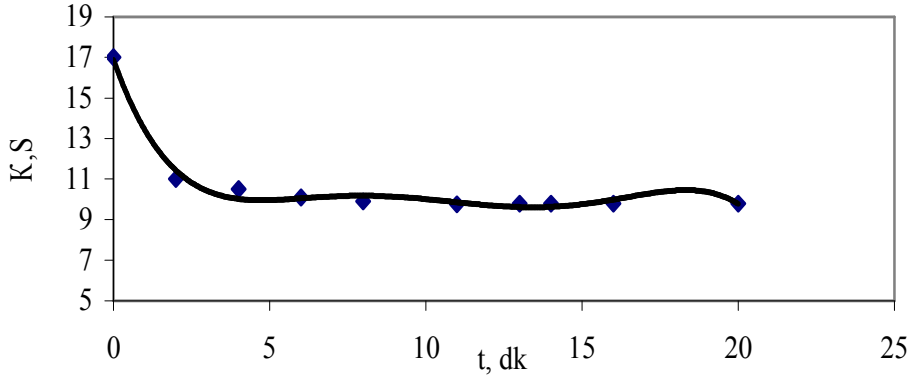


Şekil 7.63 Kesikli reaktörde, C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=50 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi

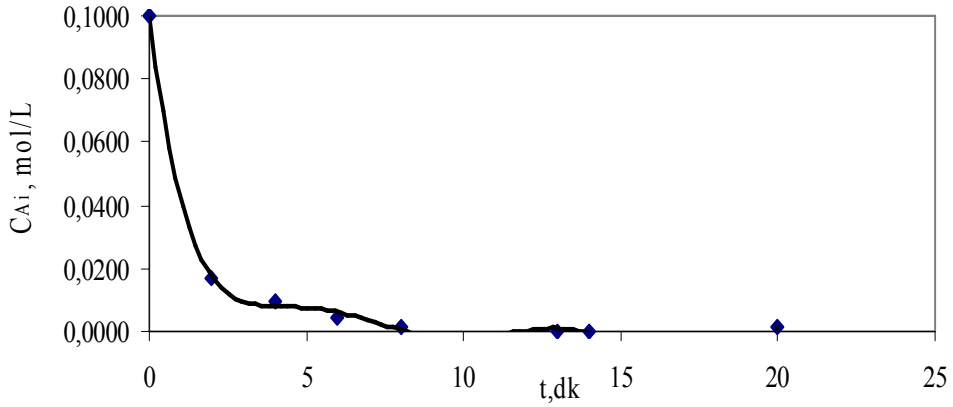


Şekil 7.64 Kesikli reaktörde, C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=50 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

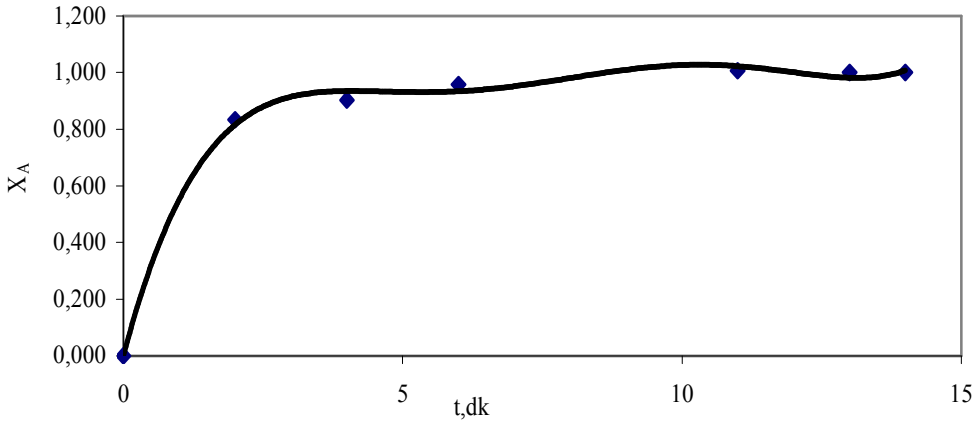
16 nolu deney



Şekil 7.65 Kesikli reaktörde, C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında iletkenliğin zamanla değişimi



Şekil 7.66 Kesikli reaktörde, C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında NaOH derişiminin zamanla değişimi

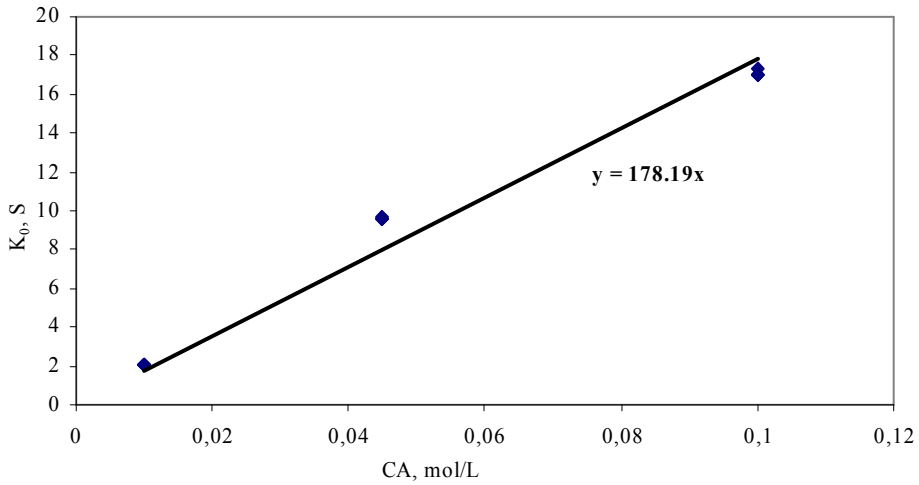


Şekil 7.67 Kesikli reaktörde, C_{A0}= C_{B0}=0.1 M, T=40°C, N=250 rpm koşullarında dönüşümün zamanla değişimi

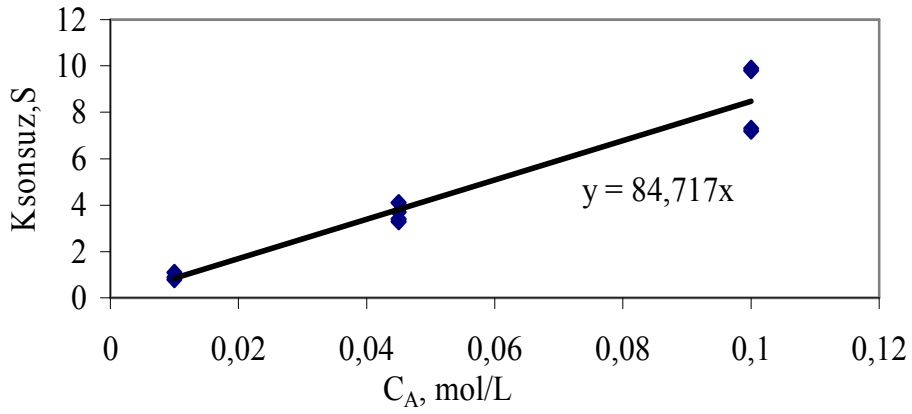
Çizelge 7.10 Kesikli tepkime kabında istatistiksel deney tasarım matrisine göre gerçekleştirilen deneylerden elde edilen Ko, K∞ değerleri

T,°C	N,rpm	C_A,M	C_B,M	K_0, S	K_∞, S
30	150	0,055	0,055	9,62	3,63
40	250	0,1	0,1	17	9,9
40	50	0,1	0,1	17	9,8
20	250	0,1	0,1	17,3	7,3
20	50	0,1	0,1	17	7,2
40	250	0,01	0,01	2,1	1,1
20	50	0,01	0,01	1,67	0,75
40	50	0,01	0,01	2,1	1
20	250	0,01	0,1	2,1	0,8
40	50	0,01	0,1	2,2	0,9
40	250	0,01	0,1	2,2	0,96
50	50	0,01	0,1	2,1	0,88

Çizelge 7.10'da verilen değerlere göre Ko ve K_∞'un C_{A0} 'la değişim grafikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 7.68 Kesikli tepkime kabında farklı başlangıç NaOH derişimlerine karşılık ölçülen K_0'ların değişimi



Şekil 7.69 Kesikli tepkime kabında farklı başlangıç derişimlerinde gerçekleşen reaksiyonlar tamamlandığında ulaşılan iletkenlik değerlerinin (K_∞) C_A ile değişimi

Çizelge 7.11 Seçilen faktörler, faktörlerin gerçek değerleri ve kodlanmış değerleri

Faktörler		**Gerçek değerler**			**Kodlanmış değerler**		
		Max.	Min.	Orta	Max.	Min.	Orta
X_1	Karıştırma hızı	250	50	150	+1	-1	0
X_2	Sıcaklık	40	20	30	+1	-1	0
X_3	NaOH baş. derişimi	0.1	0.01	0.055	+1	-1	0
X_4	EtOAc baş. derişimi	0.1	0.01	0.055	+1	-1	0

Deney tasarım matrisindeki (Çizelge 7.3) deneyler gerçekleştirilmiş ve bağımlı değişken olan X_A'ların değerleri Y sütununa yazılmıştır.

Çizelge 7.12 Kesikli reaktörde, bağımlı değişkenin deney tasarımı sonucu değerleri

Deney No	**X_1**	**X_2**	**X_3**	**X_4**	**Y**
1	-1	-1	-1	-1	0.11
2	1	-1	-1	-1	0.60
3	-1	1	-1	-1	0.36
4	1	1	-1	-1	0.65
5	-1	-1	1	-1	0.10
6	1	-1	1	-1	0.10
7	-1	1	1	-1	0.0
8	1	1	1	-1	0.10
9	-1	-1	-1	1	0.97
10	1	-1	-1	1	0.95
11	-1	1	-1	1	0.92
12	1	1	-1	1	0.99
13	-1	-1	1	1	0.79
14	1	-1	1	1	0.86
15	-1	1	1	1	0.90
16	1	1	1	1	0.98

Çizelge 7.13 Deneysel hatanın bulunması için gerçekleştirilen merkez nokta deneyleri

Deney no	**X_1**	**X_2**	**X_3**	**X_4**	**Y**
1	0	0	0	0	0,847
2	0	0	0	0	0,847
3	0	0	0	0	0,670

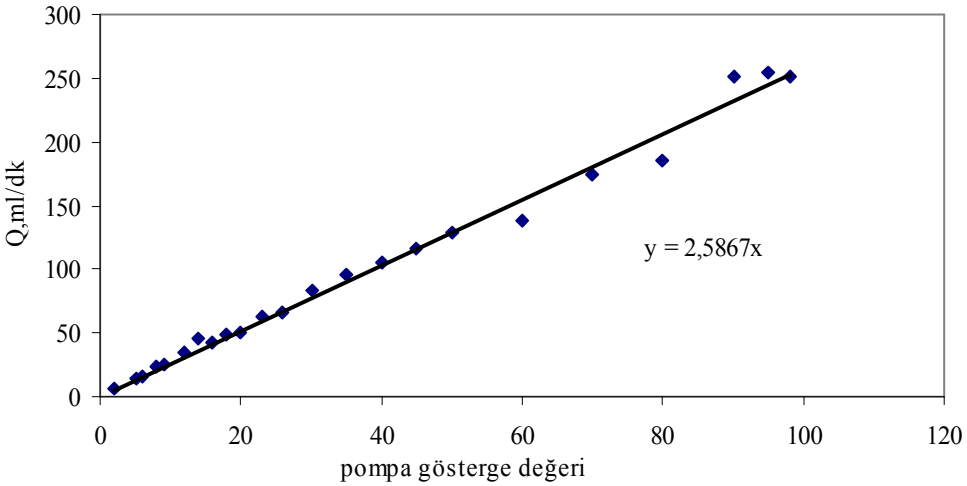
Deneysel veriler kullanılarak en küçük kareler yöntemine göre katsayılar hesaplanmıştır.

$$y=0.586 + 0.0672*X_1 + 0.0265*X_2 - 0.1072 *X_3 + 0.3335* X_4 + 0.0003*X_1X_2 - 0.036 *X_1X_3 - 0.0428*X_1X_4 -0.0103*X_2X_3 + 0.0015*X_2X_4 + 0.0702*X_3X_4+0.0135*X_1X_2X_3+0.0127*X_1X_2X_4+0.0397*X_2X_3X_4 + 0.04*X_1X_3X_4 - 0.024*X_1X_2X_3X_4 \quad (7.68)$$

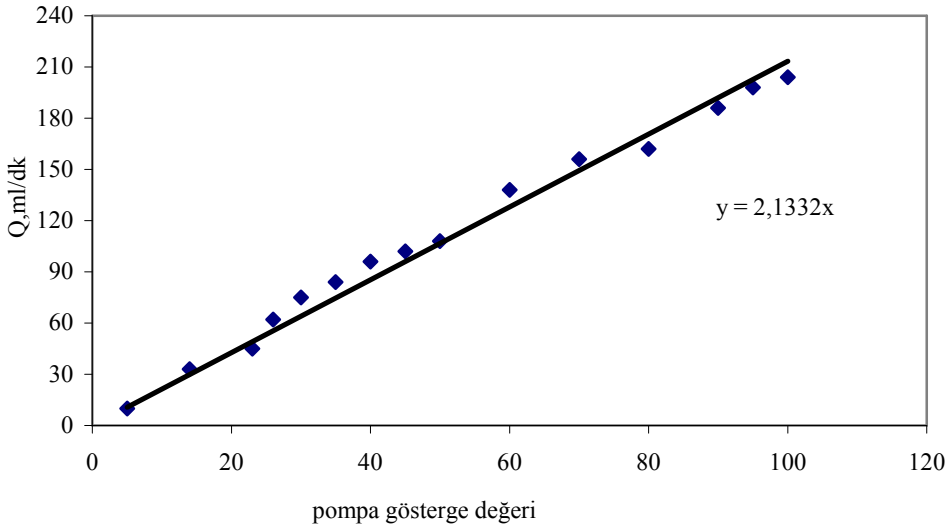
7.2 Sürekli Karıştırmalı Reaktör Deneyleri

Sürekli işletimde, dinamik deneylere başlamadan önce girdileri reaktöre besleyen pompaların set edilen değere karşı akış hızları ölçülerek kalibrasyonları yapılmıştır.

7.2.1 Pompa kalibrasyonları



Şekil 7.70 (12) nolu peristaltik pompa gösrege değerine karşı akış hızı değişimi



Şekil 7.71 (10) nolu peristatik pompa gösterge değerine karşı akış hızı değişimi

7.2.2 Farklı başlangıç koşullarda dinamik deney sonuçları

Derişim alt ve üst sınırları arasında (0.01-0.1 M), giriş değişkeni NaOH akış hızına aynı büyüklükte basamak etki verilerek sistem dinamiği incelenmiştir. Böylece hangi başlangıç koşulunda sistem dinamiğinin inceleneceğine de karar verilmiştir. Bu amaçla yapılan deney koşulları aşağıda belirtilmiştir.

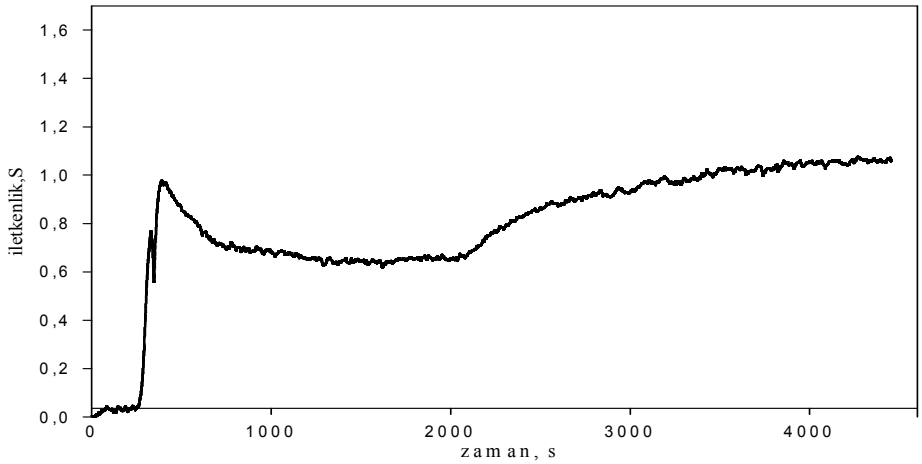
1) C_{A0}= 0.01 M ve C_{B0}= 0.1 M, Q_{A0}= Q_{B0}=0.05 L/dk

2) C_{A0}=C_{B0}= 0.01 M, Q_{A0}=Q_{B0}=0.05 L/dk

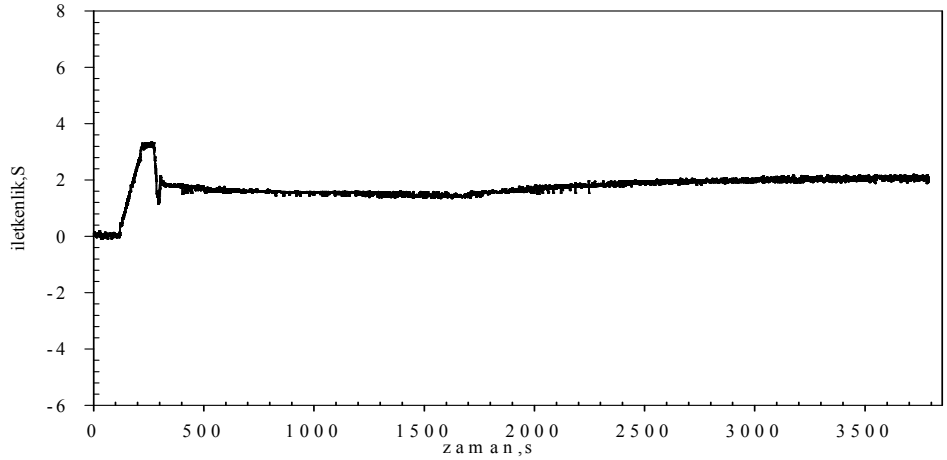
3) C_{A0}=C_{B0}= 0.05 M, Q_{A0}=Q_{B0}=0.05 L/dk

4) C_{A0}=C_{B0}= 0.1 M, Q_{A0}=Q_{B0}=0.05 L/dk

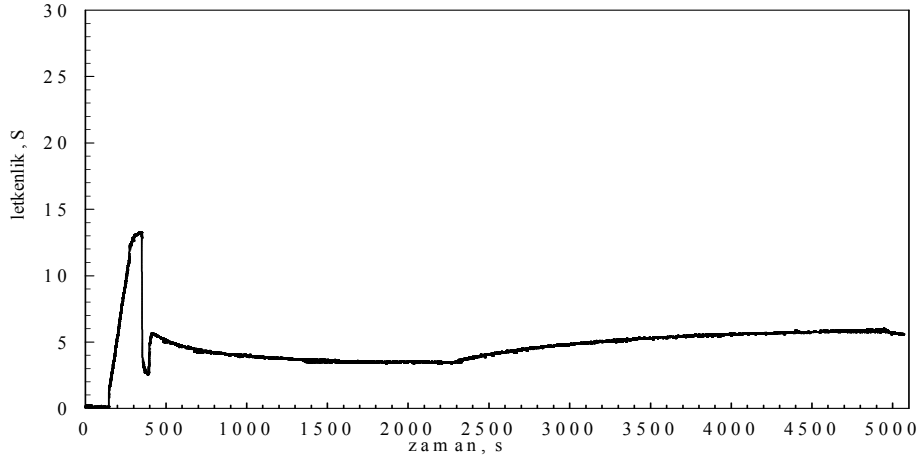
K_∞, kesikli reaktörde gerçekleşen sabunlaşma reaksiyonu tamamlandığında yani iletkenlik değerinin sabit kaldığı değer olarak tanımlanmıştır. Sürekli reaktörde ise yatışkın hale ulaşıldığı anda ki iletkenliğin K_∞ olarak kabul edilip edilemeyeceğini tespit etmek için dinamik deney verilerinden yararlanılmıştır. Buna göre yeni K_∞'un kesikli rektörde tespit edilenden farklı olduğu (büyük) görülmüş, kesikli reaktör K_∞ değerleri esas alınarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Bu deneylerin ilgili grafikleri aşağıda verilmiştir.



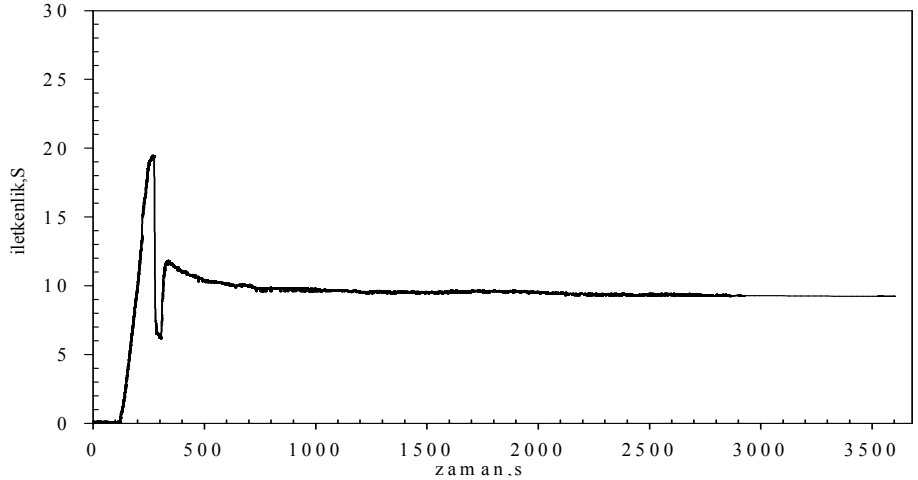
Şekil 7.72 Sürekli reaktörde, sodyum hidroksit akış hızına 0.05 L/dk'dan 0.095 L/dk'ye pozitif basamak etki verilmesi (C_{A0}= 0.01 M, C_{B0}= 0.1 M Q_{B0}=0.05 L/dk)



Şekil 7.73 Sürekli reaktörde, sodyum hidroksit akış hızına 0.05 L/dk'dan 0.095L/dk'ye pozitif basamak etki verilmesi (C_{A0}=C_{B0}= 0.01 M, Q_{B0}=0.05 L/dk)



Şekil 7.74 Sürekli reaktörde, sodyum hidroksit akış hızına 0.05 L/dk'dan 0.095 L/dk'ya basamak etki verilmesi (C_{A0}=C_{B0}= 0.05 M,Q_{B0}=0,05 L/dk)



Şekil 7.75 Sürekli karıştırmalı reaktörde, Q_A=0.05 L/dk iletkenliğin zamanla değişimi (C_{A0}=C_{B0}= 0.1 M, Q_{B0}=0,05 L/dk)

Dinamik deneylerin grafikleri incelenirken sistemde çok fazla gürültü sinyalleri olduğu gözlenmiş ve filtreleme işlemi uygun görülmüştür.

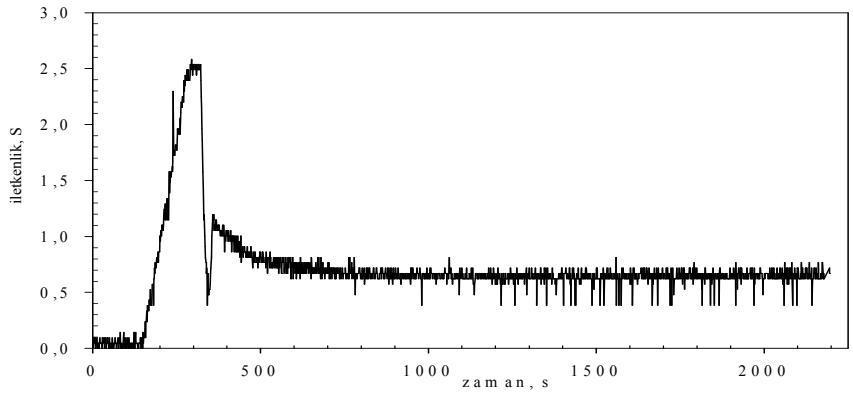
7.2.3 Filtreleme İşlemi

Sürekli karıştırmalı reaktörde sodyum hidroksit akış hızına verilen etkinin sonucu çıkış değişkeninin cevabı incelendiğine cevabın (iletkenliğin) çok gürültülü olduğu görülmüştür. Bu gürültüyü ortadan kaldırmak amacıyla sisteme birinci derecede bir filtre uygulanmıştır. Uygulanan birinci dereceden filtrenin zaman sabitini bulmak amacıyla deneyler yapılmıştır.

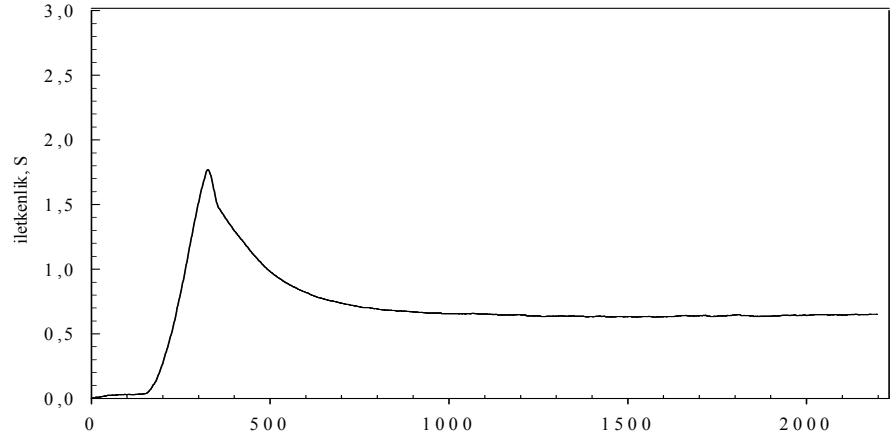
Filtre zaman sabiti, sistemin zaman sabitinin %5'inden küçük olması koşulu göz önünde bulundurularak 6 farklı değer için denenmiştir. Belirlenen filtre zaman sabitleri;

1. Filtre zaman sabiti= 80
2. Filtre zaman sabiti= 40
3. Filtre zaman sabiti= 20
4. Filtre zaman sabiti= 10
5. Filtre zaman sabiti= 5
6. Filtre zaman sabiti= 1

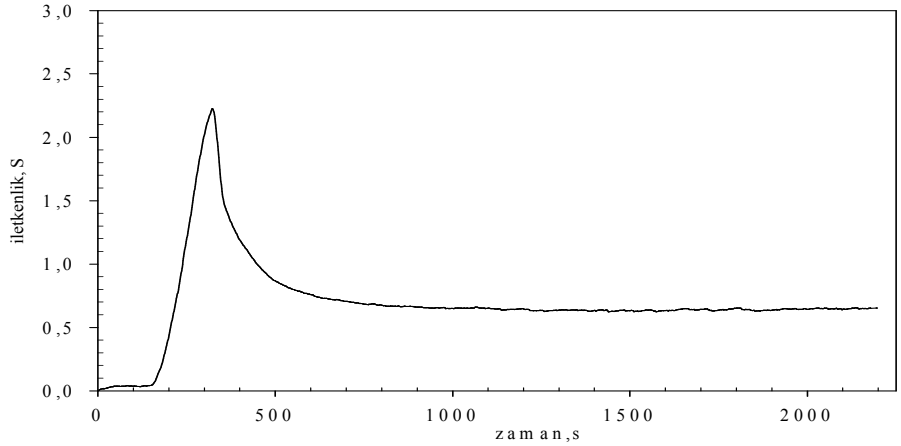
Farklı filtre zaman sabitlerinde gerçekleşen deneylerin grafikleri aşağıda belirtilmiştir.



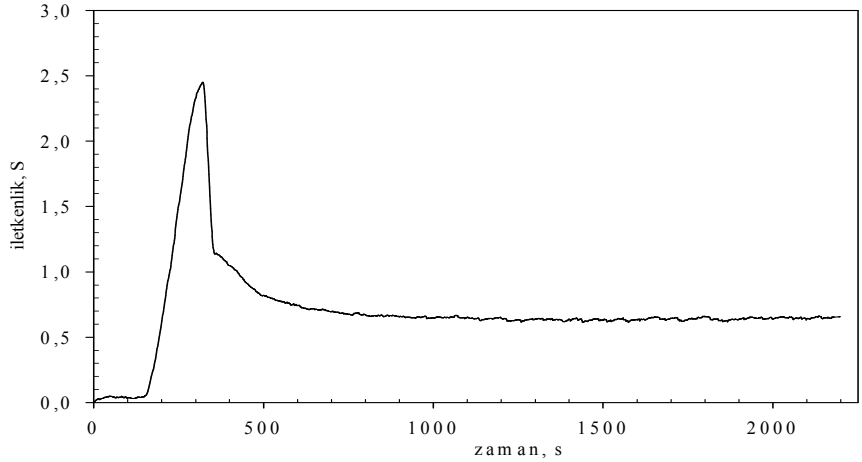
Şekil 7.76 Sürekli karıştırmalı reaktörde, filtresiz durumda iletkenliğin zamanla değişimi (C_{A0}= 0.01 M, C_{B0}= 0.1 M ve Q_{A0}=Q_{B0}=0,05 L/dk)



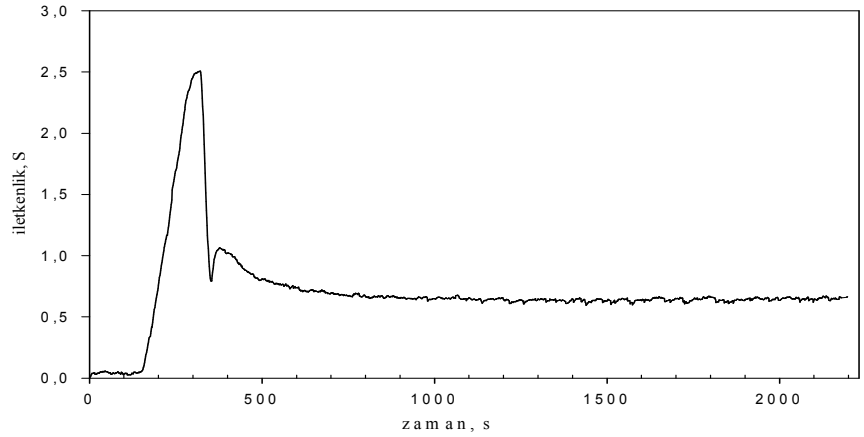
Şekil 7.77 Sürekli karıştırmalı reaktörde, filtre zaman sabiti 80 iken iletkenliğin zamanla değişimi (C_{A0}= 0.01 M, C_{B0}= 0.1 M, Q_{A0}=Q_{B0}=0,05 L/dk)



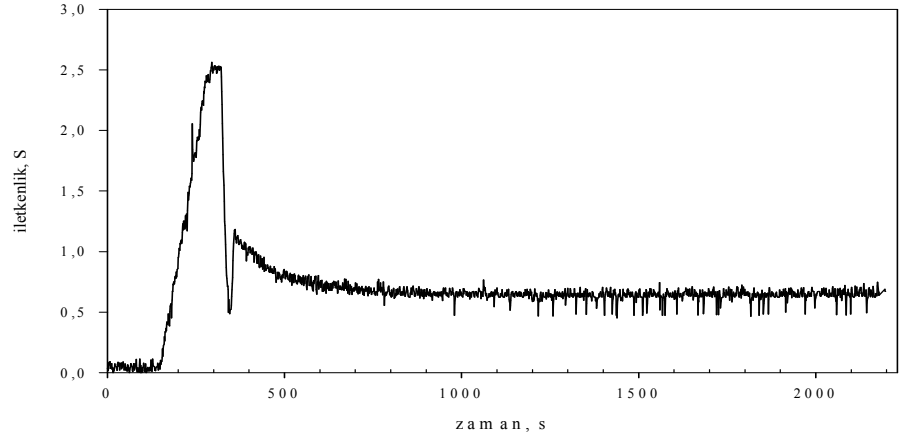
Şekil 7.78 Sürekli karıştırmalı reaktörde, filtre zaman sabiti 40 iken iletkenliğin zamanla değişimi (C_{A0}= 0.01 M, C_{B0}= 0.1 M, Q_{A0}=Q_{B0}=0,05 L/dk)



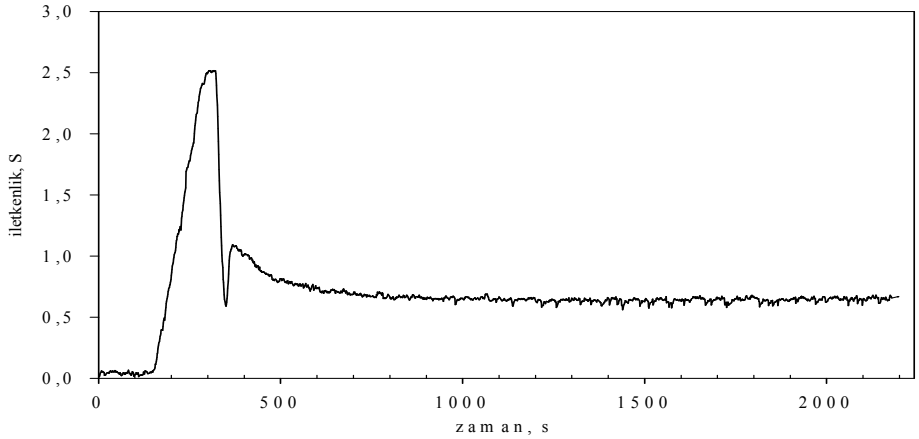
Şekil 7.79 Sürekli karıştırmalı reaktörde filtre zaman sabiti 20 iken iletkenliğin zamanla değişimi (C_{A0}= 0.01 M, C_{B0}= 0.1 M ve Q_{A0}=Q_{B0}=0,05 L/dk)



Şekil 7.80 Sürekli karıştırmalı reaktörde filtre zaman sabiti 10 iken iletkenliğin zamanla değişimi (C_{A0}= 0.01 M, C_{B0}= 0.1 M ve Q_{A0}=Q_{B0}=0,05 L/dk)



Şekil 7.81 Sürekli karıştırmalı reaktörde filtre zaman sabiti 1 iken iletkenliğin zamanla değişimi (C_{A0}= 0.01 M, C_{B0}= 0.1 M, Q_{A0}=Q_{B0}=0,05 L/dk)



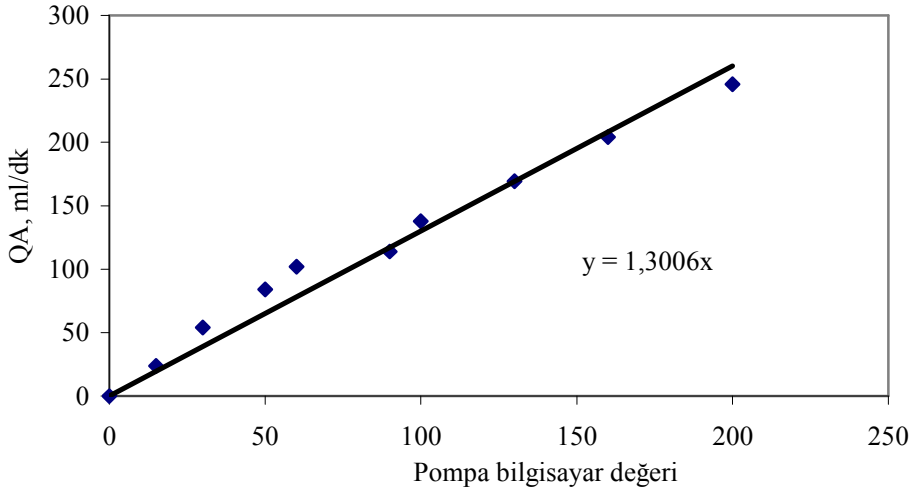
Şekil 7.82 Sürekli karıştırmalı reaktörde, filtre zaman sabitinin 5 iken iletkenliğin zamanla değişimi (C_{A0}= 0.01 M, C_{B0}= 0.1 M, Q_{A0}=Q_{B0}=0,05 L/dk)

Grafikler incelendiğinde; filtre zaman sabitinin 80 ve 40 olduğu durumlarda yatışkın halin dümdüz çizgi şeklindedir. Ancak bu durumlarda basamak etki yanıtımının hassas gözlenemeyeceği düşünüldüğünden bu değerler seçilmemiştir. uygun olan filtre zaman sabitinin 20 olduğu sonucuna En uygun filtre zaman sabitinin 20 olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sabit Visidaq paket programında Visual Basic dilinde yazılmış olan algoritmaya eklenmiştir.

Dinamik deney öncesi pompa kalibrasyonları

a) Sisteme on-line bağlı pompa kalibrasyonu

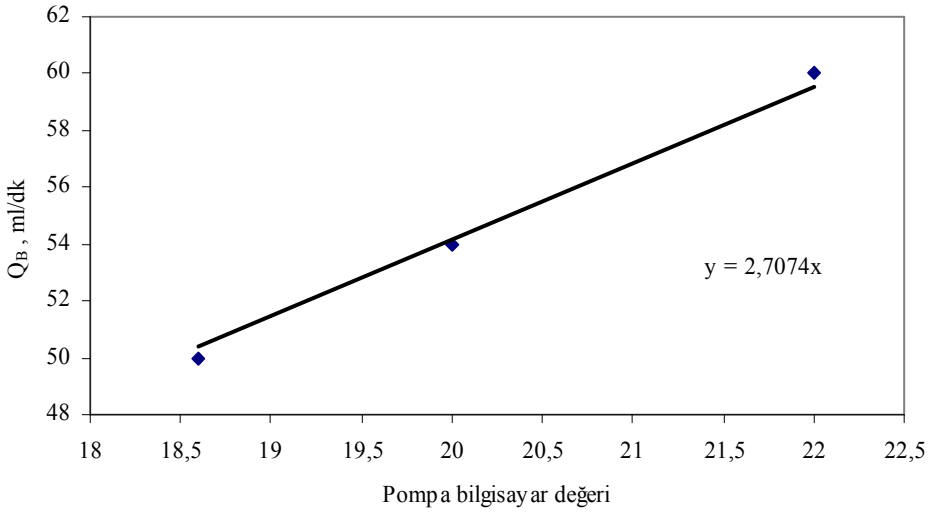
Bilgisayar VİSİDAQ programı içindeki basic script üzerinden NaOH akış hızına verilen değerlere karşılık pompanın üzerinden okunan değer ve pompa akış hızları ilgili deney verileri kullanılarak grafiğe geçirilmiştir.



Şekil 7.83 NaOH'in besleneceği pompanın bilgisayar üzerinden verilen değerine karşı pompanın akış hızı

b) Etil asetatın beslendiği manuel pompa kalibrasyonu

Sabunlaşma reaksiyonunun bir diğer girdisi olan etil asetat reaktöre manuel olarak beslenmektedir. Pompa gösterge değeri değiştirilerek, pompanın akış hızı mezürle ölçülmüş ve kalibrasyonu yapılmıştır. Grafik Şekil7.84'de gösterilmiştir.



Şekil 7.84 Etil asetatın besleneceği pompanın bilgisayar üzerinden verilen değerine karşı pompanın akış hız

7.2.4 Sürekli reaktörde iletkenlik ve derişim arasındaki ilişki

Daha önce kesikli reaktördeki deneylerde iletkenlikle derişimi ilişkilendiren, dönüşüm hesaplanmıştı. Aynı ilişki sürekli karıştırmalı reaktör için de University of Alberta**,** Department of Chemical and Materials Engineering, CH E 454 Chemical Engineering Project Laboratory ve Reaction Kinetics Chapter 10 kaynaklarından bulunan bir bağıntı lar kullanılarak bulunmuştur.

0.1 M NaOH ve 0.1 M EtOAc stok derişimlerinde, 0.05 L/dk başlangıç akış hızlarında, 2 L hacmindeki sürekli karıştırmalı reaktöre beslenmiş, gerçekleşen sabunlaşma reaksiyonu iletkenlik ölçümüyle izlenmiştir. Sürekli reaktör için iletkenlik-derişim bağıntısından hesaplanan C_A değerleri ile titrasyonla bulunan C_A değerlerinin karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma ile kesikli reaktör için C_A-K bağıntısının basamak etki altında iken geçerli olup olmadığına bakılmıştır. Yaklaşık 5'er dk aralıklarla alınan örneklerden t anındaki C_A;

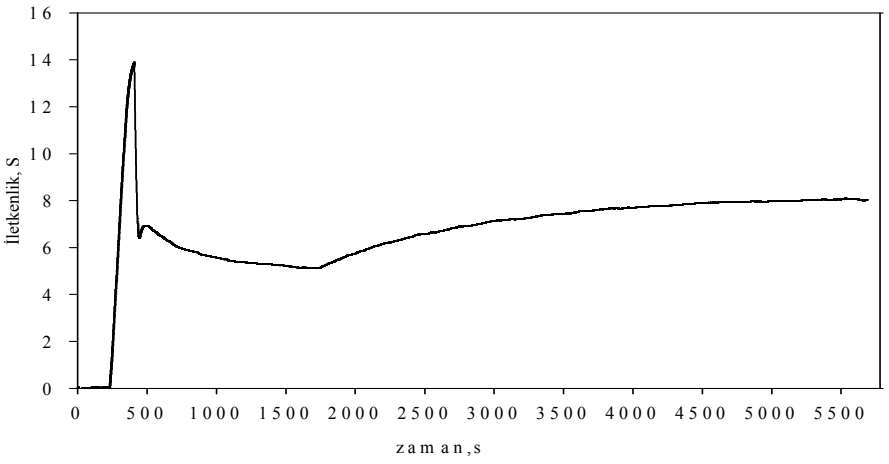
* Titrasyon yöntemiyle,
* Kesikli reaktörler için C_A-K ilişkisinden,
* Sürekli reaktör için C_A-K ilişkisinden

hesaplanmıştır (Çizelge 7.14).

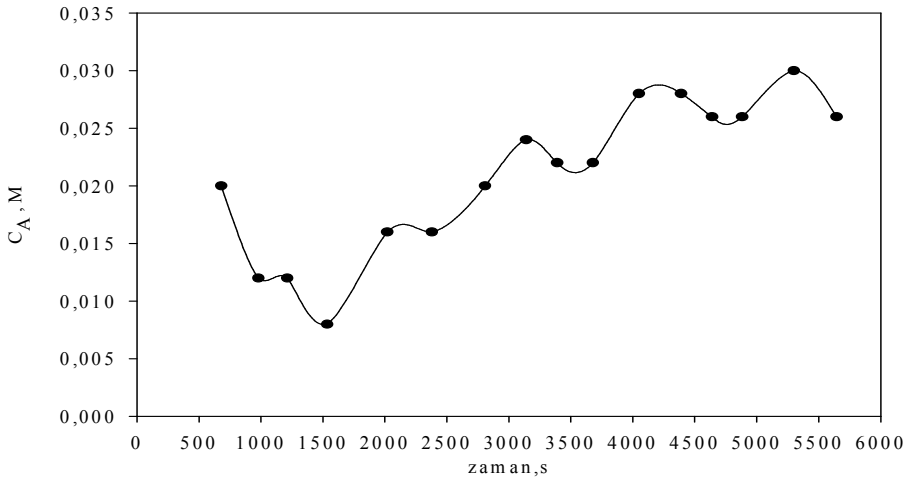
Çizelge 7.14 Pozitif basamak etki altında işletilen sistemin üç farklı yolla hesaplanan derişimleri

Zaman,s	İletkenlik,S	**KT**, C_A-K'dan C_{Ai},M	C_{At}, M	**CSTR**, C_A-K'dan C_{Ai}
680	6.160	0.0227	0.0227	0.0200
980	5.602	0.0183	0.0183	0.0155
1212	5.559	0.0164	0.0164	0.0152
1534	5.194	0.0150	0.0150	0.0122
2020	5.815	0.0200	0.0160	0.0172
2380	6.428	0.0248	0.0160	0.0220
2809	6.926	0.0288	0.0200	0.0260
3140	7.200	0.0310	0.0240	0.0284
3390	7.390	0.0325	0.0220	0.0299
3678	7.557	0.0338	0.0220	0.0312
4050	7.722	0.0351	0.0280	0.0326
4390	7.855	0.0362	0.0280	-
4640	7.956	0.0370	0.0260	-
4883	7.971	0.0371	0.0260	-
5300	8.044	0.0377	0.0300	0.0352
5645	8.025	0.0350	0.0260	0.0350

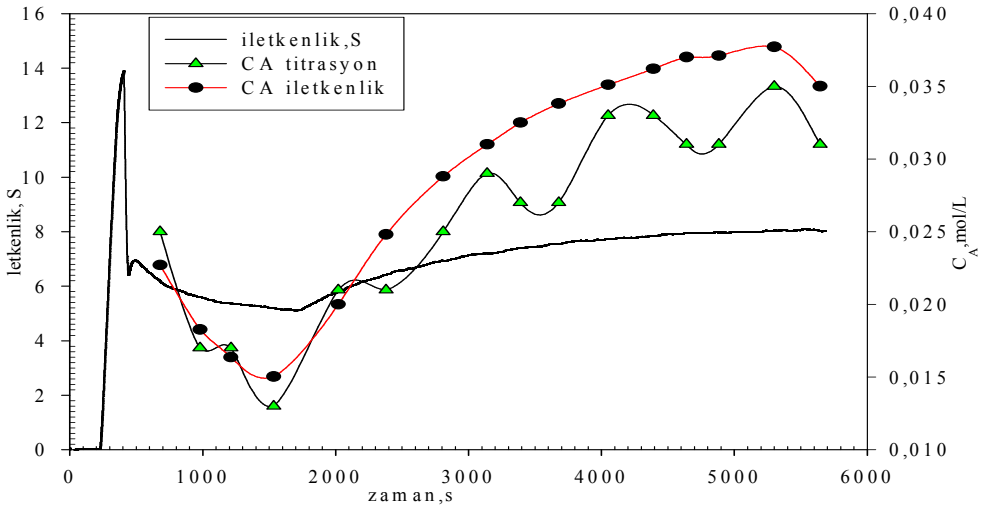
Bu veriler ışığında çizilen grafikler aşağıda verilmiştir.



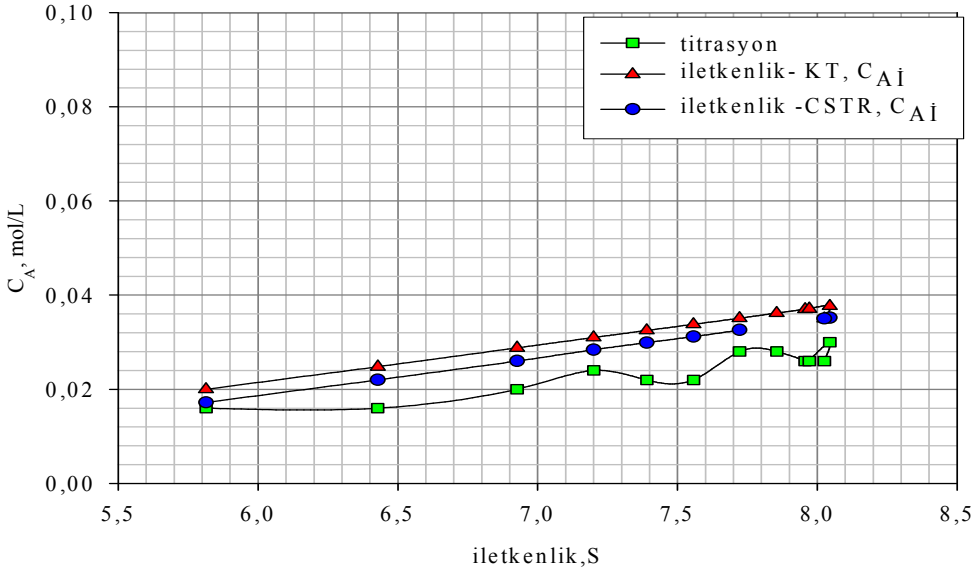
Şekil 7.85 Sürekli reaktörde, $C_{A0}=C_{B0}=0.05$ M $Q_A=Q_B=0.05$ L/dk iken pozitif basamak etki altında iletkenliğin zamanla değişimi



Şekil 7.86 Sürekli reaktörde, $C_{A0}=C_{B0}=0.05$ M $Q_A=Q_B=0.05$ L/dk pozitif basamak etki altında titrasyon verileriyle hesaplanan C_{At}'nin zamanla değişimi



Şekil 7.87 Sürekli reaktörde, $C_{A0}=C_{B0}=0.05$ M, $Q_A=Q_B=0.05$ L/dk pozitif basamak etki altında iletkenliğin, titrasyonla hesaplanan C_{At} 'nin, kesikli reaktör için verilen C_A-K bağıntısından hesaplanan $C_{Aİ}$'nin ve zamanla değişimleri



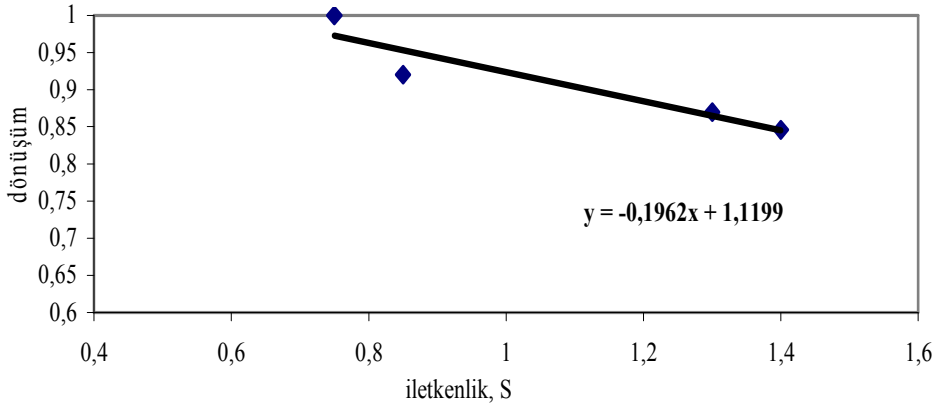
Şekil 7.88 Sürekli reaktörde, $C_{A0}=C_{B0}=0.05$ M, $Q_A=Q_B=0.05$ L/dk pozitif basamak etki altında titrasyonla hesaplanan C_{At} 'nin, kesikli reaktör için verilen C_A-K bağıntısından hesaplanan $C_{Aİ}$'nin ve CSTR'de C_A-K ilişkisinden tespit edilen C_{Ai}'nin iletkenlikle değişimleri

Sonuç olarak; iletkenlikten bulunan derişim değerleri hem sürekli hem kesikli reaktör için titrasyonla doğrulanmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda sürekli reaktör için verilen eşitliğin dönüşümün bulunmasında kullanılabileceği kararlaştırılmıştır.

Set noktası seçimi:

Sürekli reaktörde gerçekleşen sabunlaşma reaksiyonunun izlenebilmesi için internet aracılığıyla bulunan eşitlikten yararlanarak, herhangi bir andaki iletkenlik değerinden derişim dolayısıyla dönüşüm bulunabilmektedir. 0.05 L/dk akış hızlarında, 0.02 M NaOH, 0.2 M EtOAc stok derişimlerinde ki çözeltiler ile gerçekleştirilen üç basamak etki verilerek gerçekleştirilen dinamik deney verileri (biri ilk yatışkın koşul değeri olmak üzere basamak etki sonunda ki yatışkın koşulda iletkenlik değerlerine karışılık hesaplanan dönüşümler) kullanılarak grafiğe geçirilmiştir.

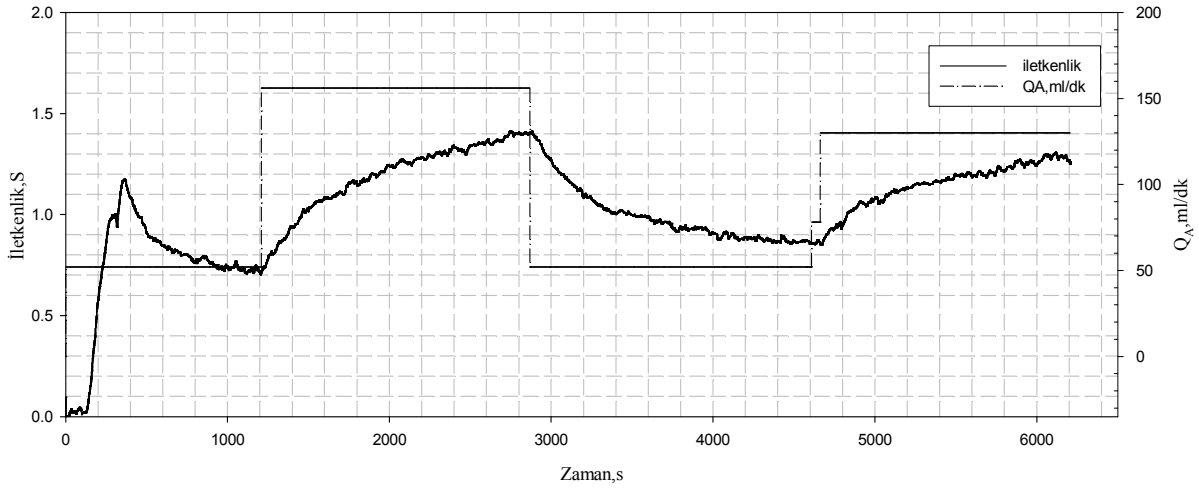


Şekil 7.89 Sürekli karıştırmalı reaktörde C_{A0}=0.02 M,C_{B0}=0.2 M, Q_A=Q_B=0.05 L/dk iken basamak etki altında iletkenlik dönüşüm ilişkisi

Dönüşümün 0.96 olması için iletkenliğin olması gereken değer 0.8 (yukarıda belirtilen eşitlikten) olarak hesaplanmıştır.

7.2.5 Sürekli karıştırmalı reaktör sistem dinamiği

Sürekli karıştırmalı reaktörde PID kontrola geçmeden önce sistemin tanımlanması için dinamiği incelenmiştir. Bu amaçla ayar değişkeni olan NaOH besleme akış hızına pozitif ve negatif basamak etkiler verilmiştir. Sistemin yanıtımı Şekil 7.90'da toplu olarak gösterilmiştir.



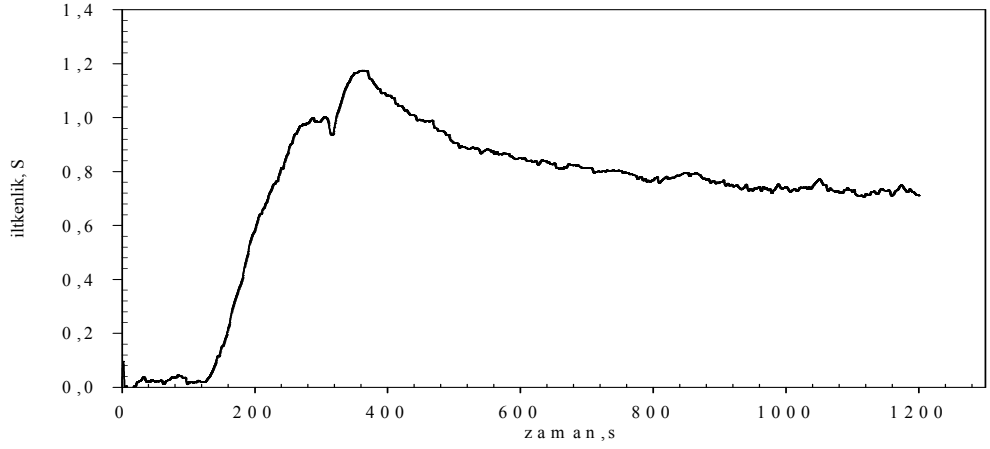
Şekil 7.90 Sürekli reaktörde sodyum hidroksit akış hızına verilen pozitif ve negatif basamak etkiler altında iletkenliğin zamanla değişimi

C_{Astok}, mol/L	C_{Bstok}, mol/L	T, °C	N, rpm	Q_{A0}, L/dk	Q_{B0}, L/dk
0.02	0.2	20	250	0.05	0.05

Grafik dört bölümde incelenecek olursa;

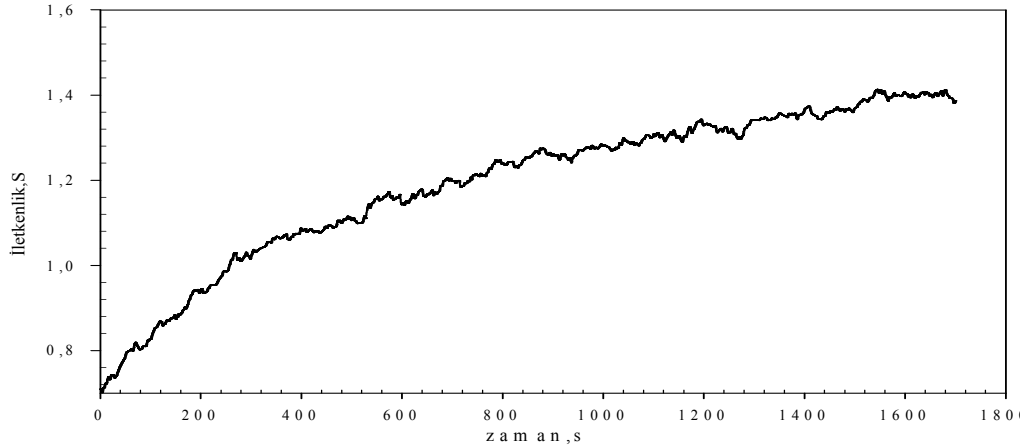
İlk kısımda sistemin işletmeye alınıp yatışkın hale gelmesi, ikinci kısımda ayar değişkeni NaOH akış hızına verilen pozitif basamak etkinin yanıtımı, üçüncü kısımda negatif basamak etki yanıtımı, son olarak ilkinden daha düşük bir artışla ikinci pozitif basamak etki yanıtımı görülmektedir.

Bu grafiklerden ilki Şekil 7.91' de görülmektedir. Sistem işletime alındığında; iletken ölçer probunun reaktör tabanına tam ulaşmaması nedeniyle yaklaşık 200 s'lik zaman gecikmesiyle ölçüm alınabilmektedir. t=1200. s' de iletkenliğin artık değişmediği sistemin yatışkın hale geldiği görülmektedir.



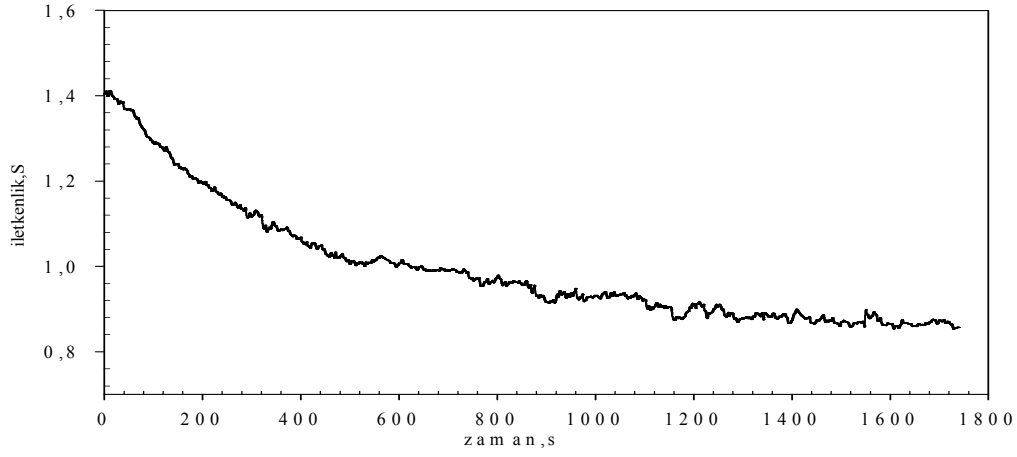
Şekil 7.91 Sürekli karıştırmalı reaktörde sodyum hidroksit ve etil asetatın beslenmeye başlanmasıyla- start-up zamanı- ile yatışkın hale gelinceye dek iletkenliğin değişimi

Sistem yatışkın hale gelince NaOH akış hızı 52ml/dk'dan 156 ml/dk'ya (pompa bilgisayar değeri 40'dan 120'ye) getirilerek pozitif basamak etki altında sistem dinamiği incelenmiştir. (Şekil 7.92)

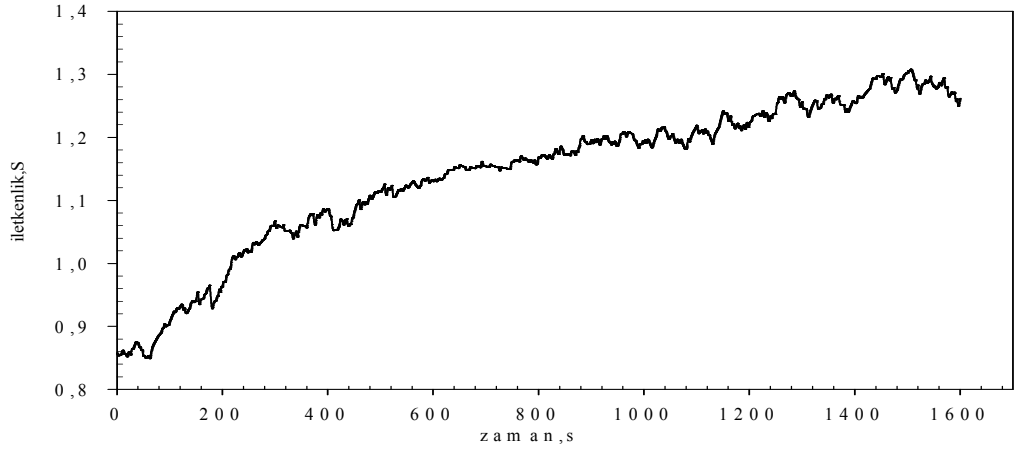


Şekil 7.92 Sürekli karıştırımalı reaktörde NaOH akış hızına 52ml/dk'dan 156 ml/dk'ya verilen pozitif basamak etki yanıtımı

Sistemin negatif basamak etkiye cevabı Şekil 7.93'de çizilen grafikte görülmektedir. NaOH akış hızındaki azalma reaktöre birim zamanda giren molekül sayısını azalttığından iletkenlik zamanla azalmıştır**.**



Şekil 7.93 Sürekli karıştırımalı reaktörde NaOH akış hızına verilen 104 mL/dk 'lık negatif basamak etki sistem yanıtımı (156 mL/dk'dan 52 mL/dk'ya azaltılmıştır)



Şekil 7.94 Sürekli karıştırımalı reaktörde, NaOH akış hızının 52 mL/dk'dan 130 mL/dk'ya getirilmesiyle 78 mL/dk'lık ikinci bir pozitif basamak etkiye karşı sistem yanıtımı (Pompa BD 40'dan 100'e getirilmiştir)

Sodyum hidroksit akış hızına verilen basamak etki sonucu; oluşan ortamda ki iyonların iletkenlik değerlerindeki değişimi ölçülerek sistem dinamiği incelenmiştir.

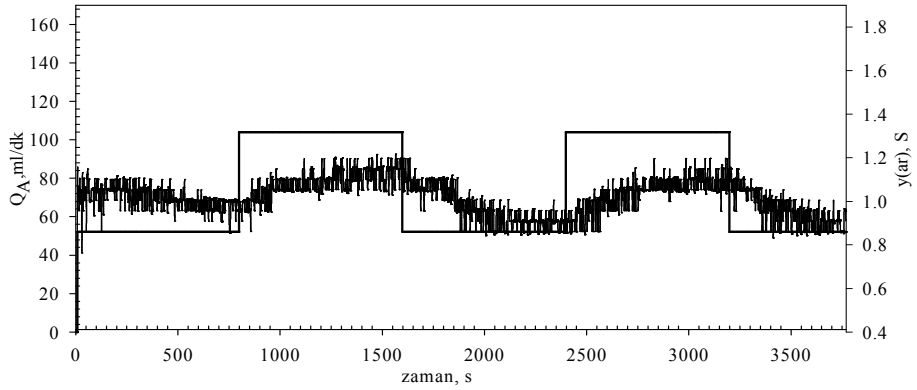
7.3 Yinelemeli En Küçük Kareler Yöntemi İle Parametrik Modelin Belirlenmesi

Sistemi tanımlayan polinom tipli modelin parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için ayarlanabilen değişken olan sodyum hidroksit akış hızına basamak etkiler verilmiştir. Daha önce dinamiği incelenen sistemin birinci mertebeden bir modele sahip olduğu bilindiğinden ARMAX tipli modelin aşağıdaki olmasına karar verilmiştir.

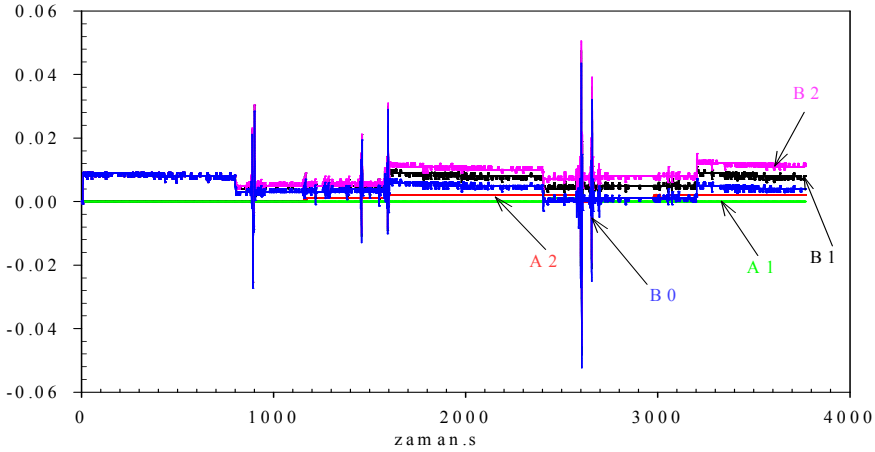
Modelin parametreleri sodyum hidroksit akış hızına kare dalga etki verilerek bulunmuştur. Basamak etkiler 800 s aralıklarda verilmiş, sistem yanıtımı kaydedilmiştir. YEKK yöntemi kullanılarak birinci. mertebe ARMAX tipli modelin parametreleri bulunmuştur. Parametreler ve denklem aşağıda belirtilmiştir.

a_1=0.001, a_2=0.002, b_0=0.006, b_1=0.009, b_2= 0.011

$$y(t)=(0.006(u(t-1))+0.009(u(t-2))+0.011)/(1+0.001(y(t-1))+0.002(y(t-2))) \quad (7.69)$$



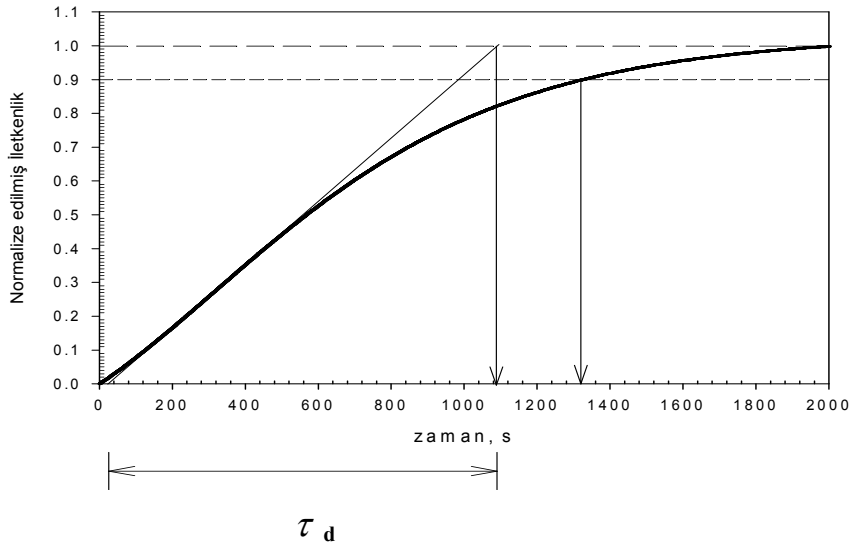
Şekil 7.95 Deneysel sistem tanımlamada kare dalga etkisi



Şekil 7.96 Deneysel sistem tanımlamada model parametreleri

7.4 PID Kontrol Sonuçları

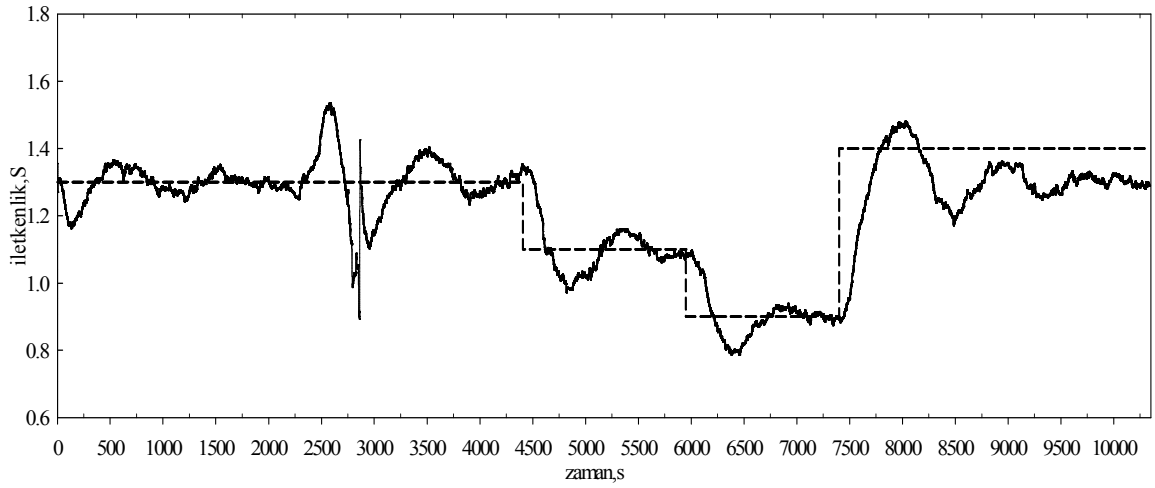
PID kontrole geçmeden önce basamak etki deney sonuçları kullanılarak Şekil 7.97'de verilen proses rekaiyon eğrisi çizilerek Cohen Coon parametre hesaplama yöntemiyle kontrol parametrelerinin hesaplanmıştır. Şekil 7.90' da gösterilen basamak etki yanıtımlarından, ilk pozitif basamak etki yanıtımının değerlendirilmiştir.



Şekil 7.97 Proses reaksiyon eğrisi

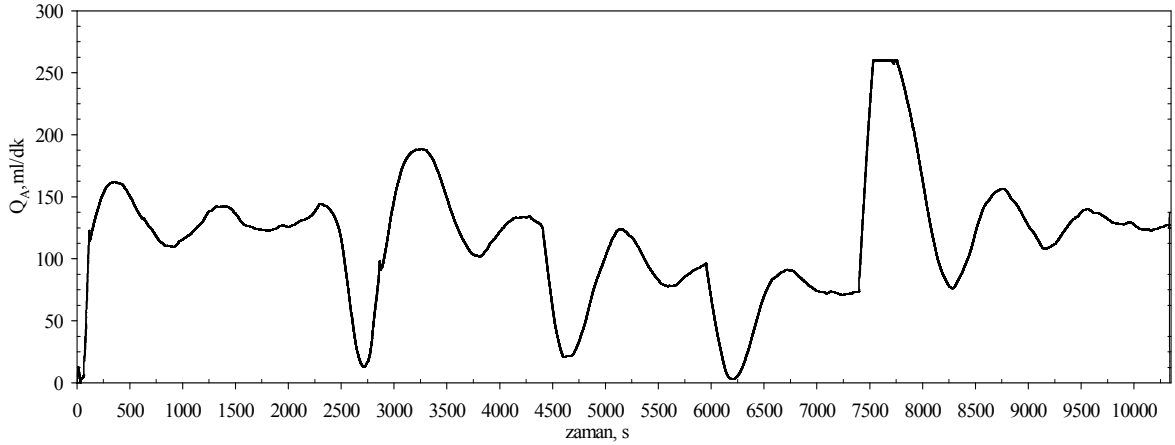
Sistem dinamiği verileri ve Cohen Coon parametre hesaplama yöntemiyle PID kontrol parametreleri şöyledir; K=9.611, t_d=25 s, τ=1065 s, Kc=5.9, τ_I=60.928, τ_D=9.052

Cohen Coon parametre hesaplama yöntemiyle bulunan PID kontrol parametrelerine (Kc=5.9, τ_I=60.928, τ_D=9.052) göre çalıştırılan kontrol sonuçları aşağıdaki gibidir:

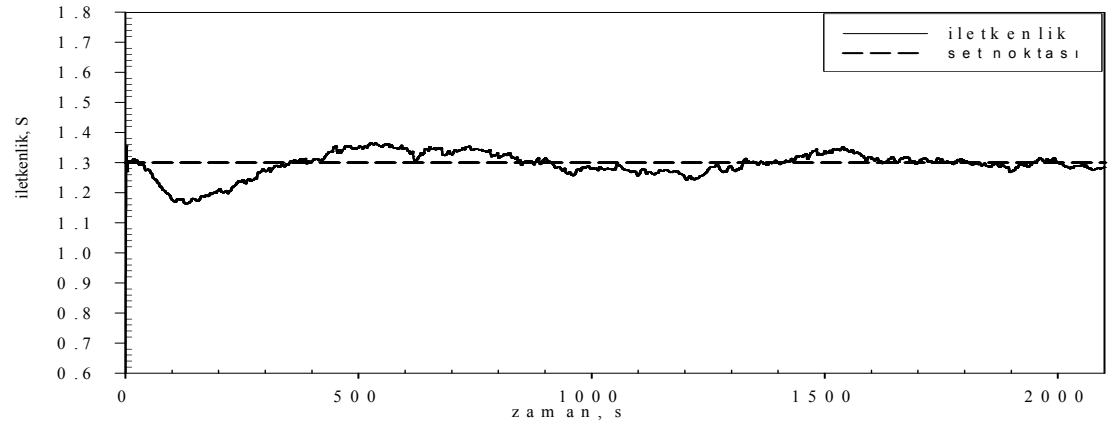


C_{Astok}, mol/L	C_{Bstok}, mol/L	T, °C	N, rpm	Q_{A0}, L/dk	Q_{B0}, L/dk
0.02	0.2	20	250	-	0.05

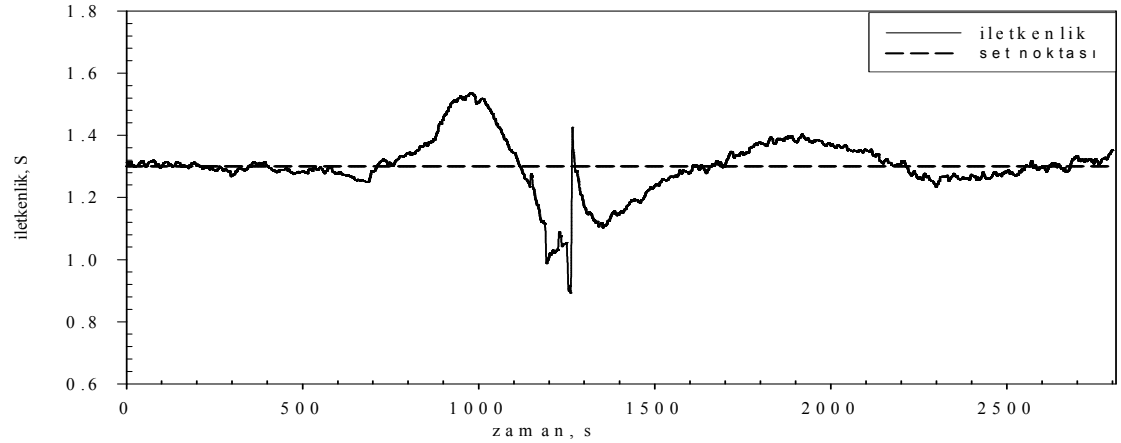
Şekil 7.98 Sürekli karıştırmalı reaktörde set noktası=1.3, t=4400.s'de set noktası=1.1, t=5950.s'de 0.9, t=7400.s'de set noktası=1.4 iken PID kontrol



Şekil 7.99 Sürekli reaktörde ayar değişkeni olan NaOH akış hızının zamanla değişimi

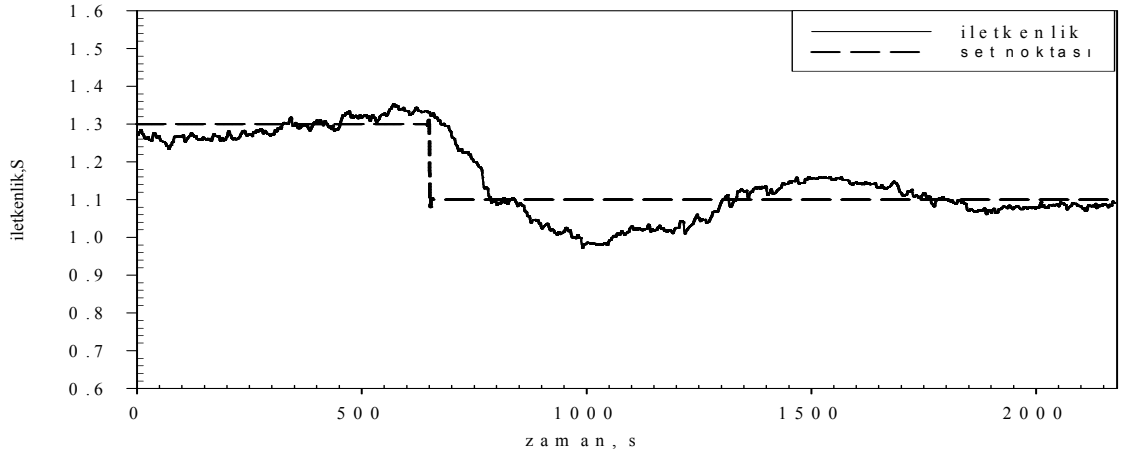


Şekil 7.100 Sürekli reaktörde set noktasında PID kontrol (K=1.3); ölçülebilen değişken iletkenliğin zamanla değişimi

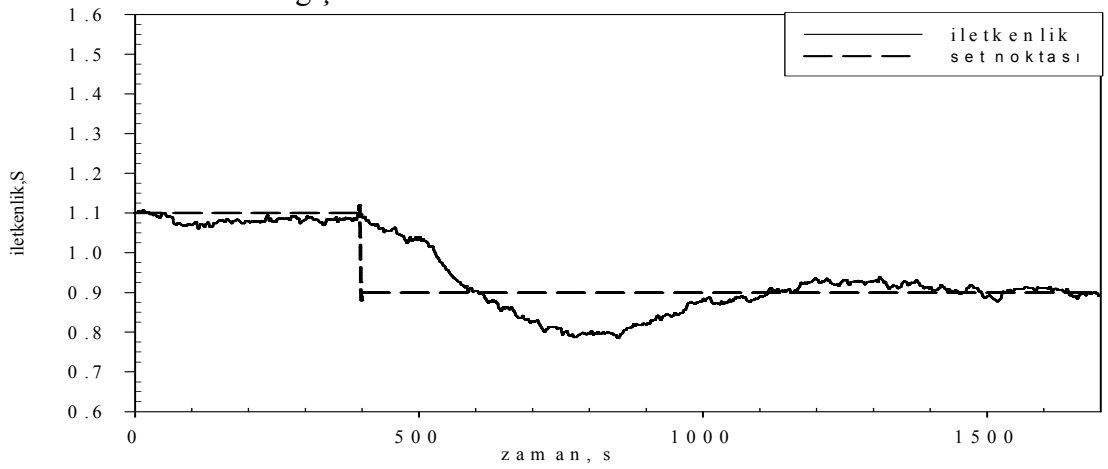


Şekil 7.101 Sürekli reaktörde PID kontrol sırasında karıştırıcının aniden durmasıyla oluşan yük etki altında ölçülebilen değişken iletkenliğin zamanla değişimi

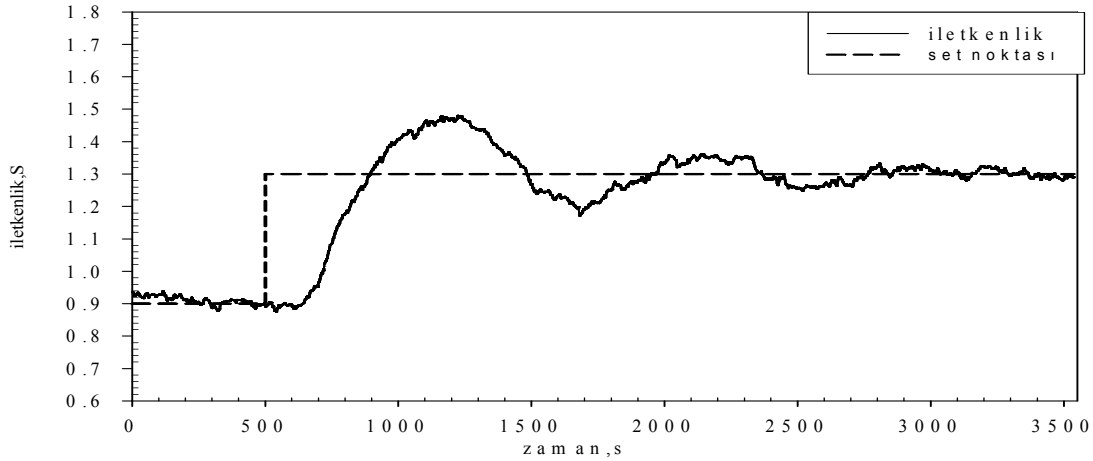
Karıştırıcının tamir işlemi (2650.s-2900.s aralığında) 250 s sürdükten sonra kontrol işlemine devam edilmiştir.



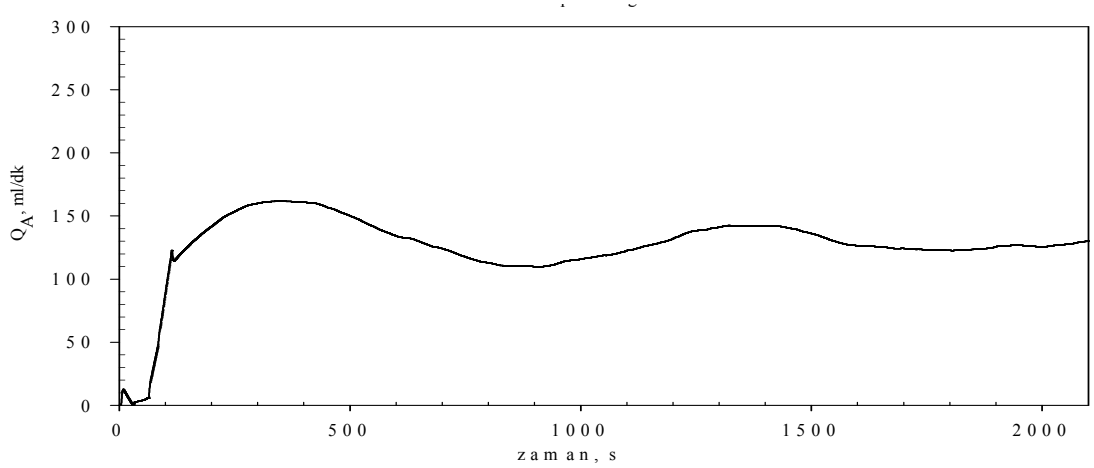
Şekil 7.102 Sürekli reaktörde set noktasına negatif basamak etki verildiğinde PID kontrol; K=1.3'den 1.1'e değiştirildiğinde ölçülebilen değişken iletkenliğin zamanla değişimi



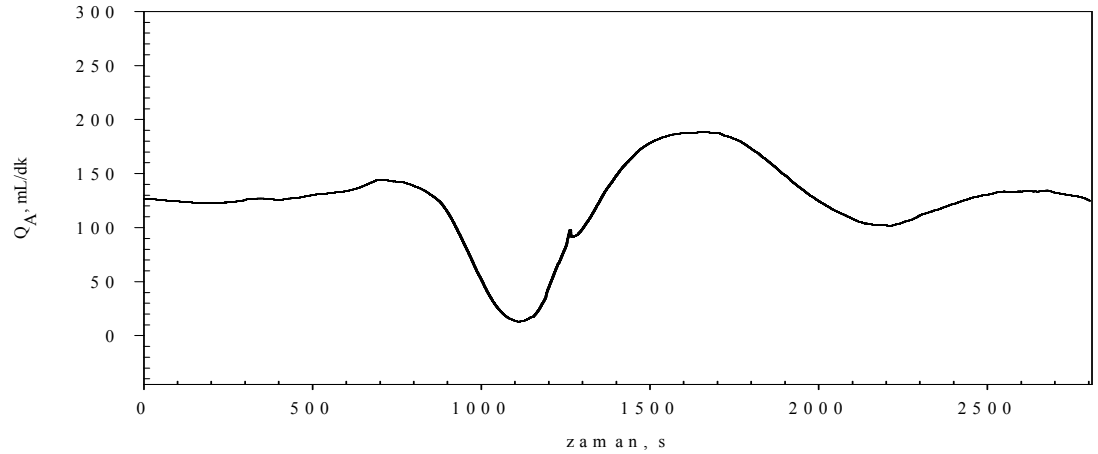
Şekil 7.103 Sürekli reaktörde PID kontrol sırasında set noktasına negatif basamak etki verildiğinde; K=1.1'den 0.9'a değiştirildiğinde ölçülebilen değişken iletkenliğin zamanla değişimi



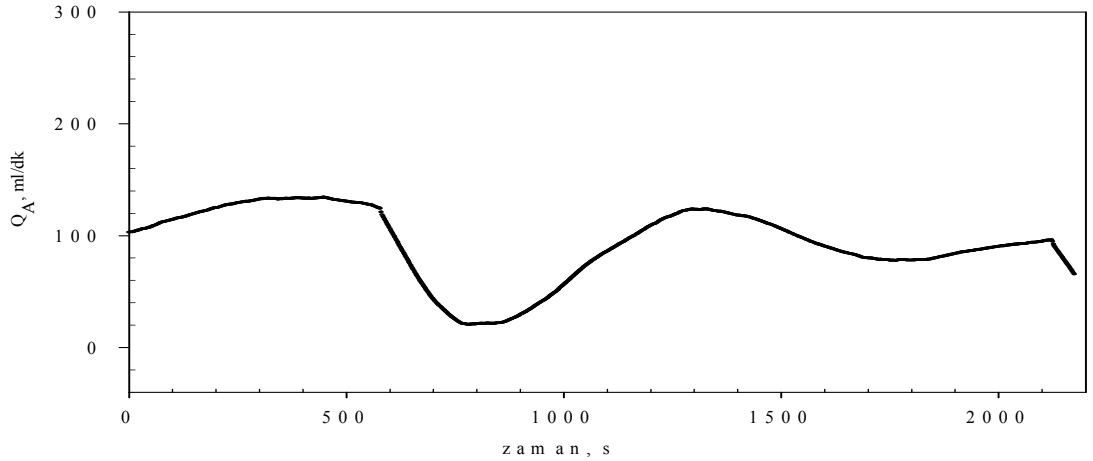
Şekil 7.104 Sürekli reaktörde set noktası K=0.9'dan 1.3'e değiştirildiğinde PID kontrol Sırasında ölçülebilen değişken iletkenliğin zamanla değişimi



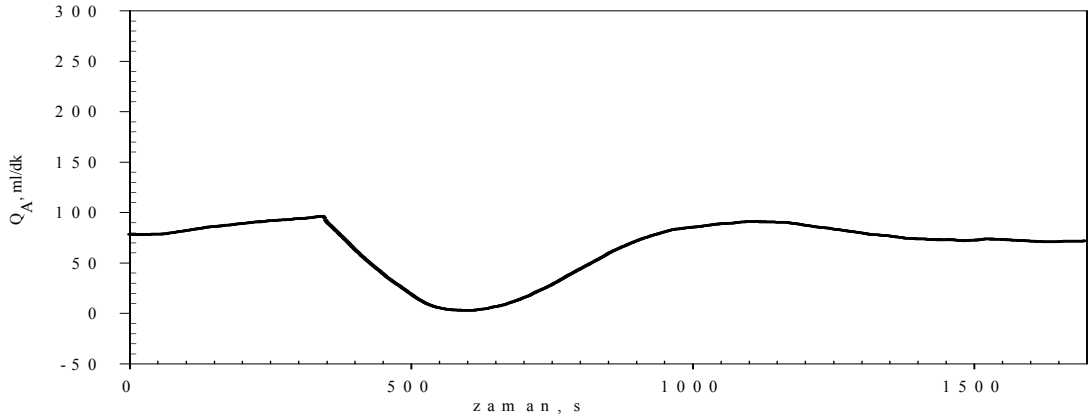
Şekil 7.105 Sürekli reaktörde sabit set noktasında (K=1.3) PID kontrol sırasında ayar değişkeni sodyum hidroksit akış hızının zamanla değişimi



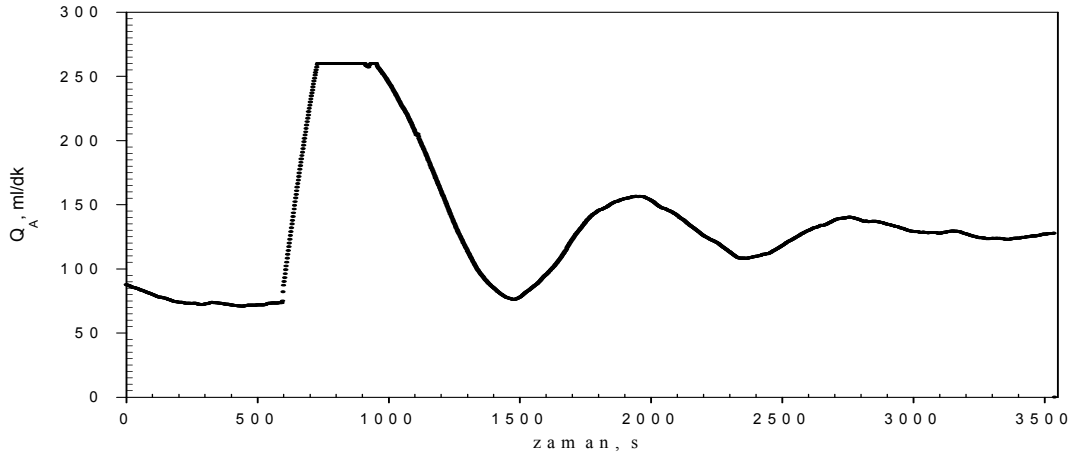
Şekil 7.106 Sürekli reaktörde karıştırıcının aniden durmasıyla oluşan yük etki altında (K=1.3 iken) PID kontrol; ayar değişkeni sodyum hidroksit akış hızının zamanla değişimi



Şekil 7.107 Sürekli reakörde, set noktasına negatif basamak etki verilerek K=1.3'den 1.1'e değiştirildiğinde PID kontrol; NaOH akış hızının zamanla değişimi



Şekil 7.108 Sürekli reakörde set noktasına negatif basamak etki verildiğinde; K=1.1'den 0.9'a değiştirildiğinde PID kontrol; ayar değişkeni sodyum hidroksit akış hızının zamanla değişimi



Şekil 7.109 Sürekli reakörde set noktasına pozitif basamak etki verildiğinde; K=0.9'dan 1.3'e değiştirildiğinde PID kontrol; ayar değişkeni sodyum hidroksit akış hızının zamanla değişimi

İstenen set noktasında ayar değişkeni NaOH akış hızı ile PID kontrol sırasında salınım gözlenmiştir.

7.5 "Fuzzy" Kontrol Sonuçları

Yüksek lisans çalışmasının son kısmında sürekli karıştırmalı reaktörde sabunlaşma reaksiyonunda dönüşüm kontrolü "Fuzzy" kontrol çalışmaları ile de gerçekleştirilmiştir. İşletim şartları belirlenmiş olan reaktörde, sodyum hidroksit akış hızı ayarlanabilen değişken olarak seçilmiştir. Kontrol yöntemi deneysel ve teorik olarak

gerçekleştirilmiştir. Fortran 6.0 dilinde yazılmış olan teorik kontrol programı EK 14'de, deneysel çalışmalarda kullanılan Visual Basic dilinde yazılmış kontrol algoritması EK 15'de verilmiştir.

7.5.1 Parametre seçimi ve teorik kontrol ile ilgili sonuçlar

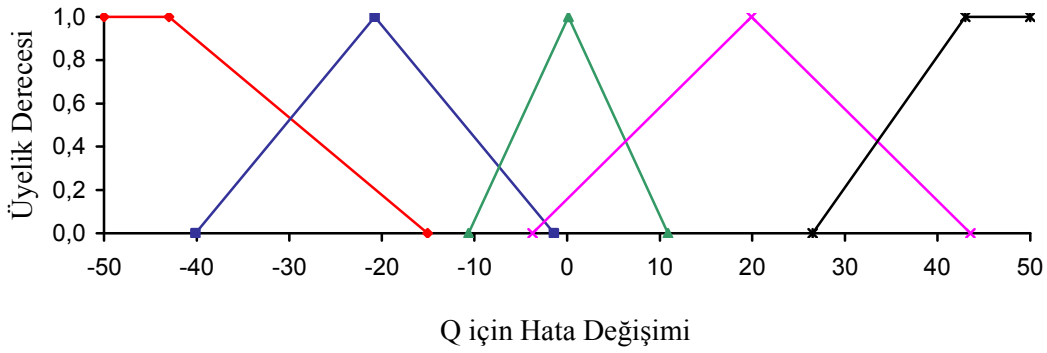
"Fuzzy" kontrol parametreleri genetik algoritma ile belirlenmiştir. Bu parametreler ilişki matrisi ve üçgensel "fuzzy"leştiricinin ayak açıklıklarıdır. "Fuzzy" kontrol parametreleri belirlenmeden önce genetik algoritma parametreleri olan popülasyon sayısı, çaprazlama olasılığı ve mutasyon olasılığı bulunmuştur. Parametrelerin belirlenmesi sırasında Fortran 6.0 dilinde ki kontrol programı çalıştırılmıştır. Kontrol performans kriteri olan IAE'nin en küçük olduğu durumdaki parametreler "fuzzy" kontrol ayar parametreleri olarak seçilmiştir.

7.5.1.1 Genetik algoritma parametrelerinin seçimi ile ilgili sonuçlar

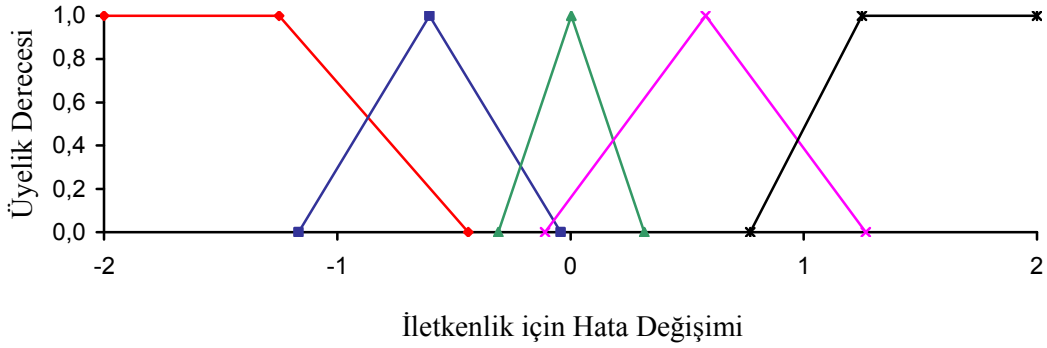
Genetik algoritma parametrelerinin bulunmasıyla ilgili literatürde bir yönteme rastlanmamaktadır. Bu parametreler genellikle deneme–yanılma yoluyla bulunmaktadır. 2003 yılında Silva ve arkadaşlarının çalışmalarında, genetik algoritma parametrelerini bulmak amacıyla geliştirdikleri grafiksel yöntemden yararlanılmıştır. Popülasyon sayısının belirlenmesi için IAE, çaprazlama ve mutasyon olasılığının seçimi için de nesil sayısı bir kriter olarak alınmıştır.

7.5.1.2 "Fuzzy" kontrol parametrelerinin bulunmasıyla ilgili sonuçlar

"Fuzzy" kontrol parametreleri olan üyelik fonksiyonları ve ilişki matrisi genetik algoritma yardımıyla Fortran 6.0 dilinde yazılan algoritma yardımıyla bulunmuştur. Parametrelerin belirlenmesi sırasında Fortran 6.0 dilinde yazılmış olan kontrol programı çalıştırılmış; kontrol performans kriteri olan IAE'nin en küçük olduğu durumdaki parametreler "Fuzzy" Kontrol ayar parametreleri olarak seçilmiştir. Bulunan sonuçlar Şekil 7.110 ve Şekil 7.111'de verilmiştir.



Şekil 7.110 Q hata değişimleri için üyelik fonksiyonları



Şekil 7.111 İletkenlik hata değişimleri için üyelik fonksiyonları

Yapılan çalışmada ayar değişkeni için belirlenen genetik algoritma ve "Fuzzy" kontrol ayar parametreleri toplu olarak Çizelge 7.15'de verilmiştir.

Çizelge 7.15 Genetik algoritma ve "Fuzzy" Kontrol ayar parametreleri

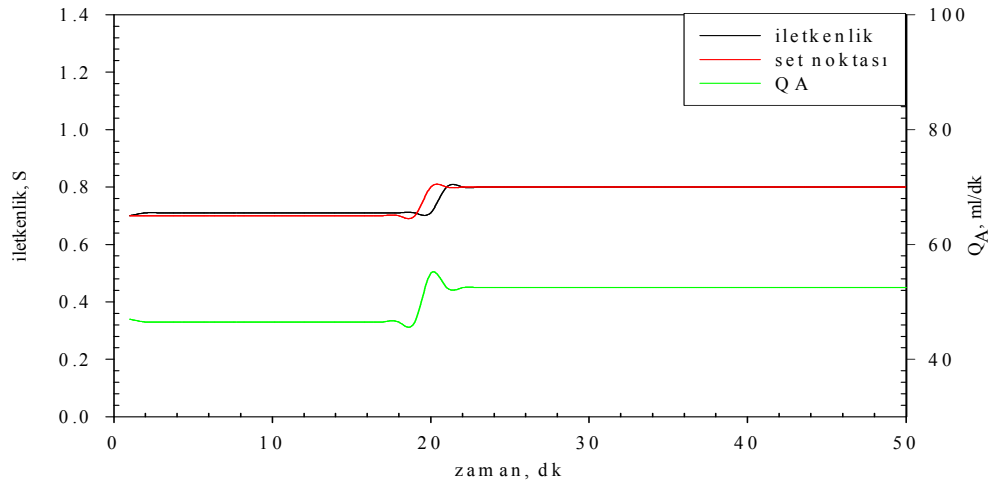
Ayar Değişkeni	**Genetik Algoritma Parametreleri**			**"Fuzzy" Kontrol Parametreleri**							
	N	Pc	Pm	Merkez 2	Merkez 3	Merkez 4	Sağ 1	Sağ/sol 2	Sağ/sol 3	Sağ/sol 4	Sol 5
NaOH aış hızı	50	0.85	0.02	-0.490	-0.050	0.523	0.417	0.583	0.317	0.617	0.750

İlişki matrisi Şekil 7.112'de verilmiştir. İlişki matrislerinin oluşturulması, sistemi ifade eden kuralların oluşturulması temeline dayanmaktadır. Bu çalışmada kural temelli olan ilişki matrisi, sistemin ARMAX modeli Euler yöntemiyle çözülmesi sonucu genetik algoritma kullanılarak oluşturulmuştur.

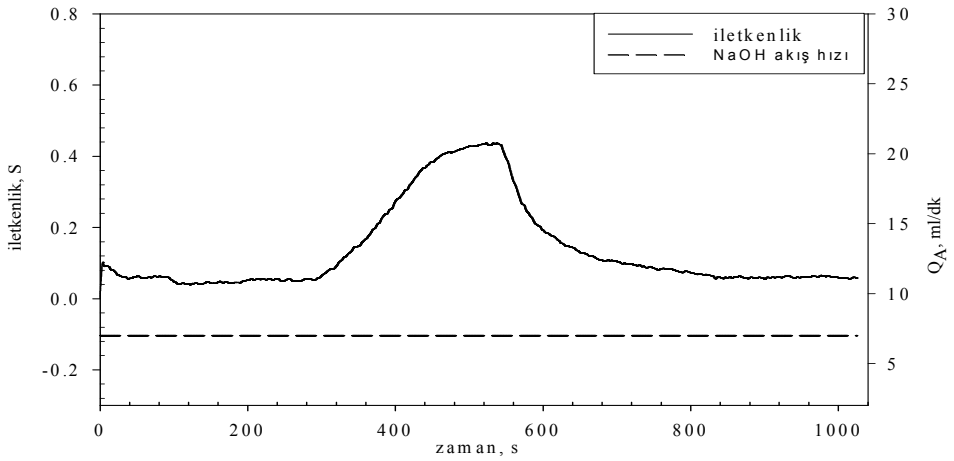
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.14548	0.26785	0.26785	0.00000	0.00264
0.09563	0.26785	0.37120	0.00000	0.00000
0.24925	0.00000	0.00000	0.24925	0.00000
0.48933	0.31259	0.00000	0.00000	0.30911
0.24023	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.16164	0.26785	0.26785	0.00000	0.26384
0.00096	0.02506	0.03436	0.00000	0.00000
0.54327	0.00000	0.00000	0.08167	0.08167
0.08167	0.00028	0.00000	0.08167	0.08167
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.42094	0.09563	0.00000	0.00000
0.00000	0.17085	0.13022	0.00000	0.00000
0.25014	0.00000	0.00000	0.66674	0.25014
0.26576	0.00000	0.00000	0.02251	0.06083
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.48646	0.48515	0.00331	0.19205	0.19205
0.49631	0.26787	0.33061	0.00022	0.00000
0.34883	0.09150	0.09571	0.34883	0.34883
0.48116	0.00000	0.00000	0.03331	0.05001
0.16708	0.68331	0.00000	0.10598	0.10598
0.03368	0.05260	0.00000	0.30217	0.49776
0.00000	0.26785	0.37120	0.00000	0.00000
0.00000	0.09150	0.09571	0.34884	0.34887
0.00000	0.00000	0.00000	0.34883	0.53429

Şekil 7.112 “Fuzzy” ilişki matrisi

Genetik ve “fuzzy” parametrelerin belirlenmesinden sonra Fortran 6.0 dilinde yazılan kontrol algoritmaları kullanılarak, dönüşümü verilen set noktalarında tutmak üzere “Fuzzy” kontrol yöntemleri teorik olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 7.113’de gösterilmektedir.



Şekil 7.113 Sürekli karıştırmalı reaktörde set noktasına basamak etki verilmesi halinde dönüşümün teorik "fuzzy" kontrolü



Şekil 7.114 Sürekli karıştırmalı reaktörde t=0 anından itibaren "fuzzy" kontrol (start-up anından itibaren)

Sabunlaşma reaksiyonunda dönüşüm start-up anından itibaren kontrol edilmek istenmiştir. "Fuzzy" kontrol algoritması çalıştırılmış, set noktası olarak iletkenliğin yatışkın hal değeri verilmiştir. Ancak kontrol başarılı olmamıştır. Ayar değişkeninin değişen iletkenlik koşulundan etkilenmediği gözlenmiştir**.** Bunun da t = 0 anında henüz ortam bileşenlerinin karışmaması ve stok çözeltiden gelen NaOH derişiminin yüksek olması nedeniyle kontrol algoritmasının set noktası ile ölçülen iletkenlik değeri arasındaki hatanın çok büyük olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Bunun üzerine sistem yatışkın hale getirildikten sonra "fuzzy" kontrol çalıştırılmıştır.

NaOH dönüşümü 0.96 değerinde kontrol edilmek istenmiş, bu nedenle ölçülebilen değişken olan iletkenliğin set değeri 0.8 S seçilmiştir. Kontrole başlamadan önce açık hat işletimle yatışkın hale getirilen sistemin yatışkın hal iletkenlik değeri 0.7 S'dir. "Fuzzy" kontrol üç koşul için incelenmiştir;

a) Yatışkın koşulda; set noktası=0.7

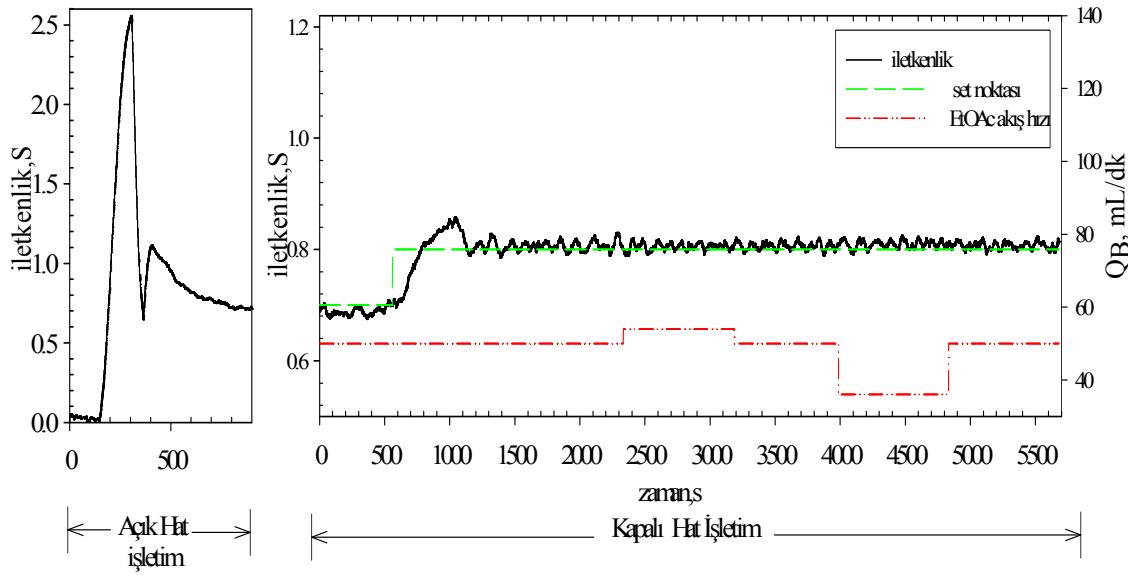
b) Farklı bir set noktasında; set nok.=0.8

c) Yük etki altında

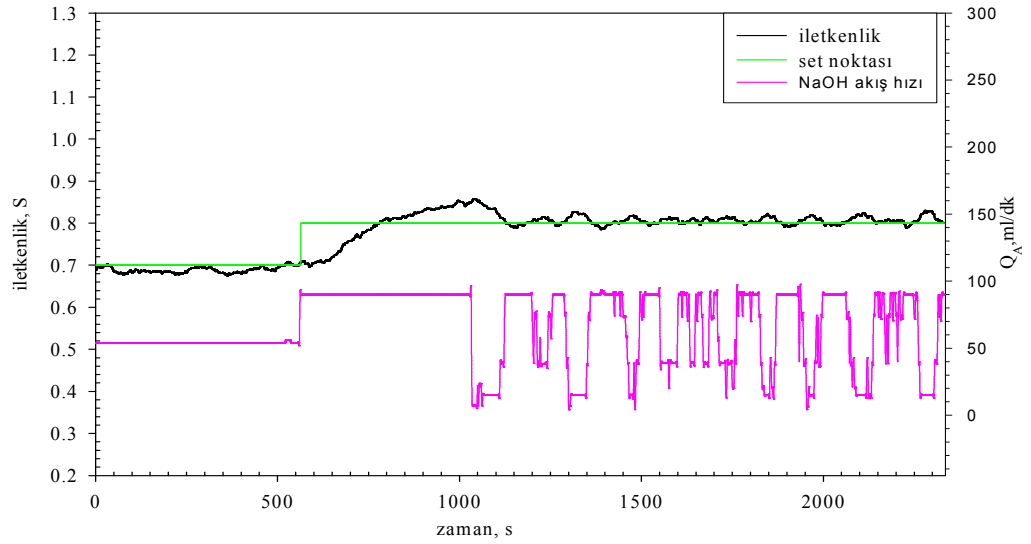
i) Pozitif yük etki altında(Q_B; 50 ml/dk'dan 54 ml/dk'ya getiriliyor)

ii) Negatif yük etki altında (Q_B; 50 ml/dk'dan 36 ml/dk'ya getiriliyor)

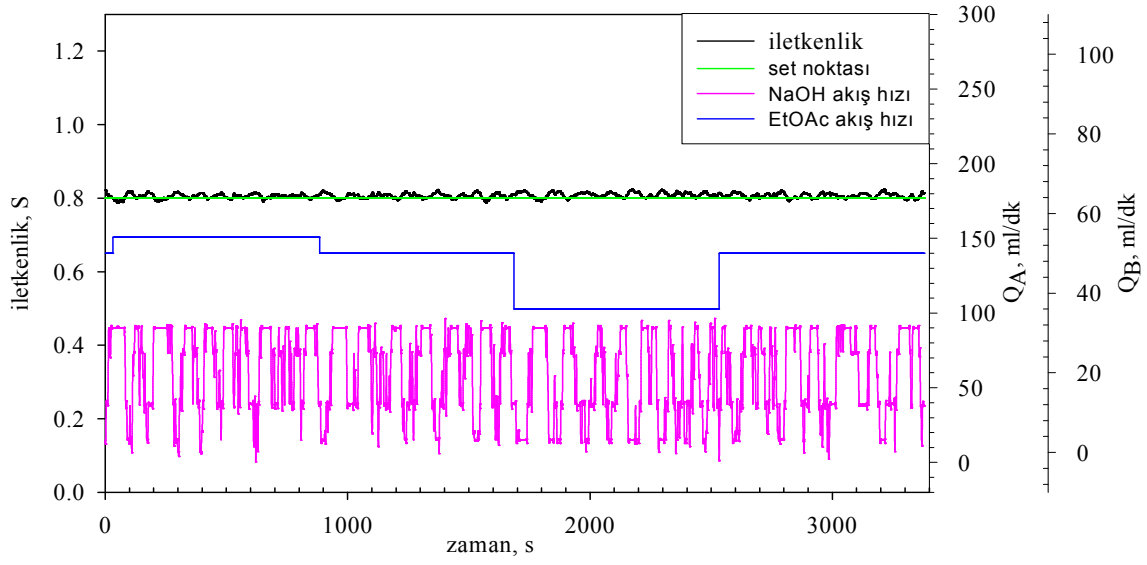
kontrol gerçekleştirilmiştir. Kontrol grafikleri aşağıda Şekil 7.115'de belirtilmiştir.



Şekil 7.115 Sürekli karıştırmalı reaktörde yatışkın koşulda (K=0.7), set noktasında (K=0.8), pozitif (Q_B=54 ml/dk)ve negatif yük etki altında (Q_B=36 ml/dk) "fuzzy"kontrol

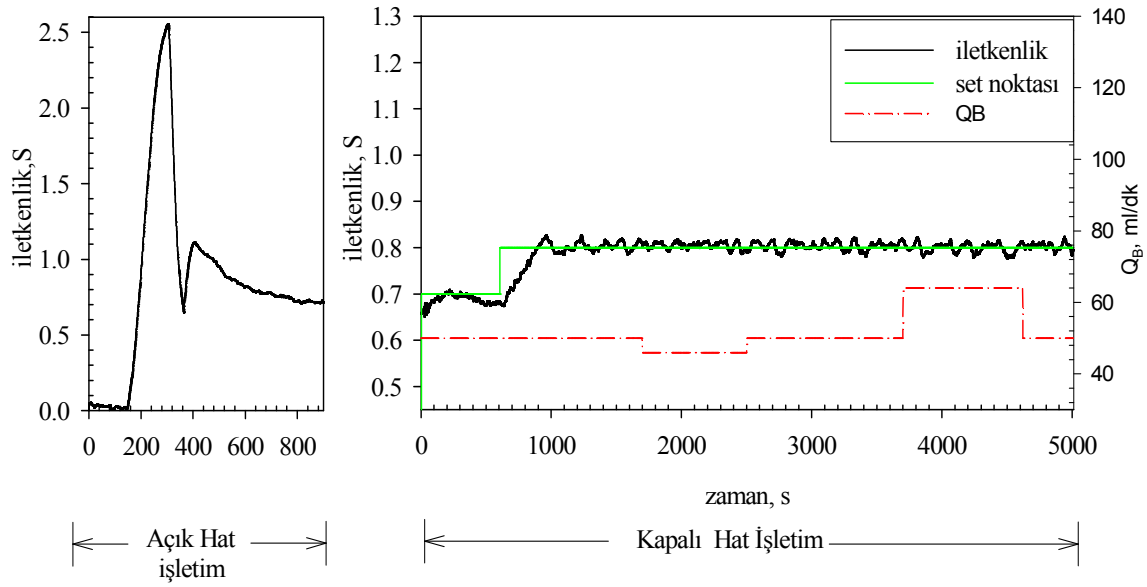


Şekil 7.116 Sürekli karıştırmalı reaktörde set noktası değişiminde "fuzzy"kontrol (K=0.7'den 0.8'e getirilmştir)

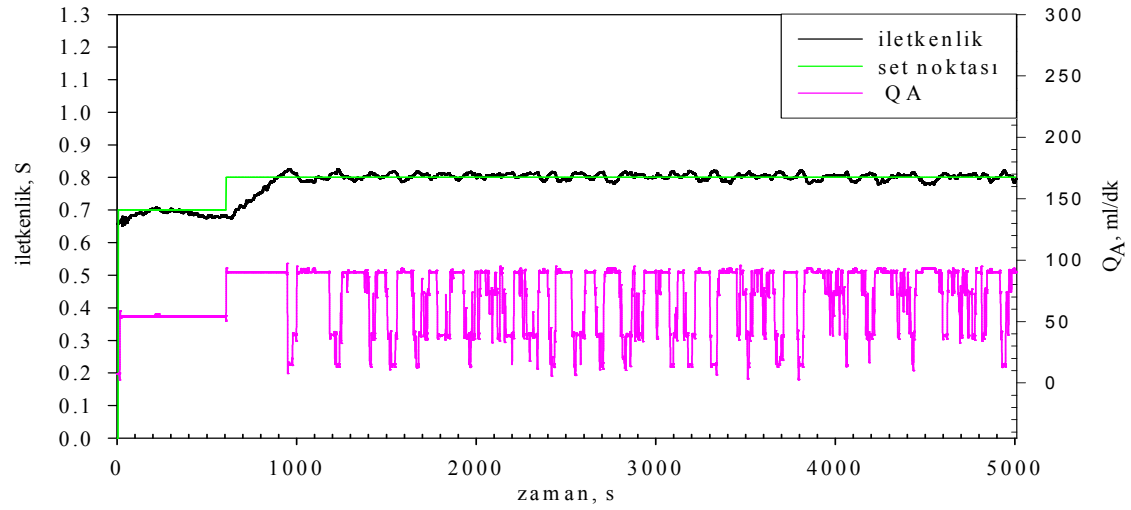


Şekil 7.117 Sürekli karıştırmalı reaktörde yük etki altında "fuzzy" kontrol; Q_B=50 ml/dk'dan 54 ml/dk'ya pozitif etki ve Q_B=50 ml/dk'dan 36 ml/dk'ya negatif etki verilir

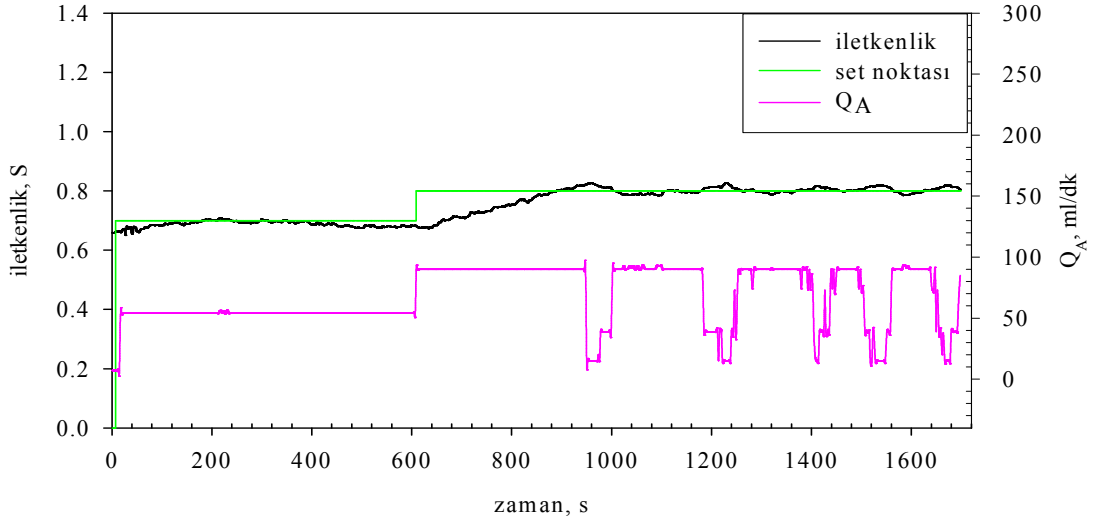
"Fuzzy" kontrol bu kez de Q_B'ye az önce verilen etkilerin simetriği verilmiştir. Pozitif etki daha büyük, negatif etki daha düşük verilerek farklı yük etkiler altında incelenmiştir. İlgili grafikler aşağıda belirtilmiştir.



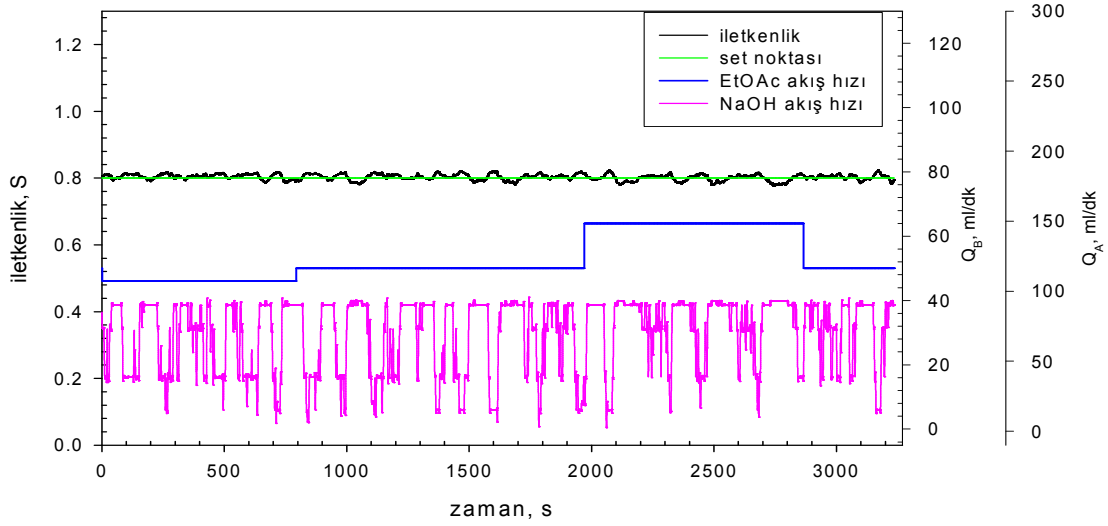
Şekil 7.118 Yatışkın koşulda (K=0.7), set noktasında (K=0.8), pozitif (Q_B=54 ml/dk)ve negatif yük etki altında (Q_B=36 ml/dk) kontrol



Şekil 7.119 Sürekli karıştırmalı reaktörde yatışkın koşulda (K=0.7), set noktasında (K=0.8), pozitif (Q_B=54 ml/dk)ve negatif yük etki altında (Q_B=36 ml/dk) "fuzzy" kontrol sırasında ayar değişkeni değişimi



Şekil 7.120 Sürekli karıştırmalı reaktörde set noktası değişiminde "fuzzy" kontrol (K=0.7'den K=0.8'eyükseltilmiştir)



Şekil 7.121 Sürekli karıştırmalı reaktörde yük etki altında "fuzzy" kontrol; Q_B=50 ml/dk'dan 46 ml/dk'ya negatif etki ve Q_B=50 ml/dk'dan 64 ml/dk'ya pozitif etki verilir

8. DEĞERLENDİRME

"İki-seviyeli tam faktöriyel deneysel tasarım" metoduna göre deneysel tasarımı yapılarak, elde edilen deneysel verilerin grafiksel ve istatistiksel olarak analizi sonucunda; X_4 faktörünün önemli bir işletim faktörü olduğu görülmüştür. X_4 faktörünün + seviyesinde maksimum dönüşüm oranı 0.99 değerine ulaşılmıştır. Optimum işletim koşulları;

X_4: +1 (0.1 mol/L), X_3: -1 (0.01 mol/L), X1:+1 (250 rpm) ve X_2 +1 (40 ^{0}C)

olarak belirlenmiştir. Matematiksel modeli ise;

$y=0.585+(0.67/2)*X_4$ olarak tanımlamak mümkündür. (α =0.01) (8.1)

α =0.1 seçilmesi halinde X_4 ve X_3, eğrilik (curvature) önem kazanmakta. Bu durumda "central composite" deneysel tasarım yapılarak bu faktörlerin optimum değerleri 2.dereceden bir polinom ile tanımlanır. İkinci dereceden bir denklem;

$$y=bo+b_{11}X_1^2+b_{22}X_2^2+b_{12}X_1X_2 \quad (8.2)$$

şeklinde olacaktır. Çalışmada dönüşümün 1 olarak elde edildiği görülmektedir. Bu nedenle X_3 ve X_4 için yeniden bir çalışma aralığı belirlenmesi veya bu yönde yeni bir çalışma yapılmasının gerekli olduğu düşünülmemektedir. Çünkü zaten dönüşüm faktörlerin seçilmiş olan çalışma aralığında ulaşabileceği maksimum seviyeye ulaşmıştır. Dolayısıyla iki seviyeli tam faktöriyel deneysel tasarım X_3 ve X_4 için genişletilerek "central composite" tasarım elde edilir. Bunun sonucunda çok daha doğru bir optimum nokta tayini yapılabilir.

İstatistiksel deney tasarımı yapıldıktan sonra sürekli karıştırmalı reaktörde kontrol deneylerine geçmek üzere ön denemeler yapılmıştır. Bu dinamik deneyler sırasında sistemde gürültü gözlenmesi üzerine birinci dereceden filtreleme işlemi uygulanmış, en uygun filtre zaman sabiti 20 s olarak tespit edilmiştir.

Kesikli reaktördeki çalışmalar tamamlandıktan sonra sürekli karıştırmalı reaktörde dönüşümü hesaplamak üzere; iletkenlikle dönüşüm arasında internetten bir bağıntı bulunmuştur. Her iki bağıntı ve titrasyonla hesaplanan dönüşüm değerlerleri kıyaslandığında üç değerin birbirine yakın olduğu ve süreli reaktör için bulunan bağıntının dinamik deneylerde rahatlıkla kullanılabileceğine karar verilmiştir. Ölçülebilen değişken iletkenlikle set noktası arasındaki ilişki;

$$y=-0.1962X+1.1199 \qquad (8.3)$$

Kontrol çalışmalarına geçmeden önce sistemin dinamiği incelenmiştir. Bu inceleme kapsamında sistemin giriş değişkenlerine pozitif ve negatif basamak etkileri verilerek yanıtımları gözlenmiştir. NaOH akış hızına 52ml/dk'dan 156 ml/dk'ya pozitif basamak etki verildiğinde iletkenlik 0.7 S'den 1.4 S'e yükselmiş, 156ml/dk'dan 52 ml/dk'ya negatif basamak etki verildiğinde iletkenlik 1.4 S'den 0.86 S'e düşmüş, 52 ml/dk'dan 130 ml/dk'ya getirilerek ikinci bir pozitif basamak etki verildiğinde ise 0.86 S'den 1.3 S'e yükseldiği gözlenmiştir. Bu sonuçlar sodyum hidroksit akış hızının ayar değişkeni olarak seçiminin doğruluğunu kesinleştirmiştir.

"Fuzzy" teorik kontrolde kolaylık sağlaması açısından, kütle korunum denklemi yerine sistemi tanımlayan birinci mertebe ARMAX tipli modelin bulunmuştur.

$$y(t)=(0.006\,(u(t-1)) +0.009\,(u(t-2))+0.011) / (1+0.001(y(t-1))+0.002\,(y(t-2))) \qquad (8.4)$$

"Fuzzy" kontrolün etkinliğini kıyaslamak amacıyla dönüşüm kontrolu, PID kontrol yöntemi ile de gerçekleştirilmiştir. PID kontrol parametreleri, Cohen-Coon parametre hesaplama yöntemiyle bulunmuştur. Bulunan parametre değerleri; τ_I=60.928 s, Kc=5.9, τ_D=9.052 s olarak bulunmuştur. Sisteme on-line bağlı bilgisayarda Visual Basic dilinde yazılmış olan algoritmaya ile dönüşüm farklı set noktalarında kontrol edilmiştir.

Çalışmada dönüşüm kontrolü amaçlanmıştır. Bunun için daha önce araştırma grubunda incelenmiş olan ve kolay ulaşılabilir girdilere sahip sabunlaşma reaksiyonu uygun

görülmüş. Bileşenlerin 0.1 M derişimdeki iletkenlikleri; etil asetat'ın 9 S, sodyum hidroksit'in 20000 S, etil alkol'ün 5.9 S ve sodyum asetat'ın 7900 S olduğundan; ayarlanabilen değişken olarak ortamdaki iletkenliğe en çok katkıda bulunan sodyum hidroksit akış hızı seçilmiştir.

"Fuzzy" kontrol, çalışılacak prosesi tanıyan uzmanlar tarafından oluşturulacak kurallar üzerinden yürüyen bir kontrol yöntemidir. Bu kurallar çalışılan proses için ya uzmanlar tarafında oluşturulur ya da prosesi ifade edebilen matematiksel modeller vasıtasıyla oluşturulur. Doğal seçime dayalı adaptif bir arama işlemi olan ve en etkili kural setinin bulmaya yarayan bir optimizasyon yöntemi olan genetik algoritma ile "fuzzy" kontrol parametreleri belirlenmiştir. GA'lar karmaşık matematiksel modeller yerine sadece giriş-çıkış bilgilerine ihtiyaç duyarlar. Uygun performans kriterleri seçimi ile kararlı bir sistem davranışı elde edilebilir. "Fuzzy" üyelik fonksiyonları genellikle deneme-yanılma ile elde edilirler. Bu oldukça zaman alıcıdır. GA lar üyelik fonksiyon uzayını araştırmak için oldukça uygun görülmektedir. Yapılan çalışmada "fuzzy" üyelik fonksiyon sayısı beş ve fonksiyon çeşidi üçgensel tip olarak seçilmiştir. GA ile bulunacak parametreler; her bir üyelik fonksiyonu için sol/sağ genişlik ve pikin konumu seçilmiştir. GA'nın arama etkinliğini düşürmemek için üçgen üyelik fonksiyonlarının simetrik olduğu kabul edilmiştir. Sistemin uygunluk fonksiyonu için hatanın mutlak değeri (IAE) seçilmiştir. Genetik algoritmanın parametreleri olan çaprazlama oranı (pc), mutasyon oranı (pm) ve yığın boyutu (N) teorik olarak belirlenmiştir; çaprazlama oranı 0.65, mutasyon oranı 0.03 ve durdurma kriteri olarak da yığın boyutu (nesil sayısı) 70 olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada kurallar, prosesi ifade eden matematiksel modeller Fortran 6.0'da yazılmış bir algoritma ile bulunmuştur. Elde edilen "fuzzy" kontrol parametreleri olan ikinci pikin konumu (merkez nokta) -0.490, üçüncü pikin konumu (merkez nokta) -0.050, dördüncü pikin konumu (merkez nokta) 0.523, üçgensel üyelik fonksiyonunda ilk üçgenin sağ ayak açıklığı 0.417, ikinci üçgenin sağ ve sol ayak açıklığı 0.583, üçüncü üçgenin sağ ve sol ayak açıklığı 0.317, dördüncü üçgenin sağ ve sol ayak açıklığı 0.617, beşinci üçgenin sol ayak açıklığı 0. 750 olarak bulunmuştur.

GA ile en iyi kontrolü sağlayan ayarlanabilen değişken (Q_A için hata değişimi) ile ölçülebilen değişken (iletkenlik için hata değişimi) için "fuzzy" üyelik fonksiyon kümeleri ve ilişki matrisi belirlenmiştir. Belirlenen parametreler ve ilişki matrisi veri toplama ve kontrol için geliştirilmiş bir uygulama olan VisiDAQ programında uygun algoritmayla yazılarak deneysel sisteme uyarlanmıştır. Teorik çalışmalarda kütle denklikleri yerine ARMAX parametrik model tercih edilmiştir. Dönüşümün deneysel "fuzzy" kontrolü 0.96 ve 0.98 değerlerinde başarıyla gerçekleştirilmiştir. Dönüşümün 0.98 değerindeki kontrolünde, iletkenliği sodyum hidroksite göre oldukça düşük olan bir diğer giriş değişkeni etil asetat akış hızına pozitif ve negatif yük etki uygulanarak, sistemin yük etki altında iken de set noktasında tutulabildiği görülmüştür.

Kontrol sonuçları GA ile "Fuzzy" kontrol ayar parametrelerinin seçiminin etkili olduğunu göstermektedir. "Fuzzy" kontrolun dönüşümü, PID kontrol yönteminden daha iyi bir performans ile kontrol ettiği görülmüştür.

Yapılan çalışmalar kapsamında öneriler aşağıda verilmiştir.

1. Kontrol parametleri başka bir yöntemle belirlenerek "Fuzzy" kontrol denenebilir
2. "Fuzzy" üyelik fonksiyonları Gaussian üyelik fonksiyonları seçilebilir.
3. "Fuzzy" kontrol parametreleri genetik algoritma yoluyla online olarak belirlenebilir.

KAYNAKLAR

Akay, B. 1998. Karıştırmalı Kesikli Bir Biyoreaktörde Optimum Sıcaklığın Doğrusal Olmayan Model Öngörmeli Kontrolu, Doktora Tezi, , A.Ü.F.B.E

Alli, H.ve Kaya M. 2000. PID Kontrol Parametrelerinin Belirlenebilmesi için bir Genetik Algoritma Yaklaşımı, TOK'2000 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, p:43-47

Alpbaz, M., Bursalı, N., Ertunç, S. and Akay, B. 1997. Application of a Statistical Technique to the Production of *Saccharomyces cerevisiae* (baker's yeast), Biotechonol. Appl. Biochem, 26; 91-96

Altınten, A. 2001. Genetik Algoritma Kullanılarak Fuzzy Kontrol Yöntemi ile Bir Stiren Polimerizasyon Reaktörünün Kontrolü. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara

Altınten, A. Erdoğan, S., Hapoğlu, H., Aliev, F. and Alpbaz, M. 2006. Application of Fuzzy Control Method with Genetic Algorithm to Polymerization Reactor at Constant Set Point, Chemical Engineering, Research and Design, 84 (A11):1012-1018

Ahioğlu, S.S. 2005. Kesikli Bir Biyoreaktörde Genetik Algoritma ile "Fuzzy" Kontrol, Yüksek Lisans Tezi, A.Ü.F.B.E

Anonymous. 2005. Web Sitesi: http://www.itl.nist.gov/div898/handbook Erişim Tarihi: Ekim 2005

Anonymous. 2006. Web Sitesi: http://uni-resenburg.de/Fakultaeten/nat-Fak-IV/Organische-Chemie/Didaktik/Keusch/Downloads/est.2.0-e.pdf Erişim Tarihi:Nisan 2006

Bursali, N. 1997. Kesikli Bir Biyoreaktörde Optimum Adaptif Genelleştirilmiş Prediktif Kontrol Metodunun Uygulanması, Doktora Tezi, A.Ü.F.B.E.

Box, G. P., Hunter, W. G. and Hunter, J. S. 1978. Statistics for Expermenters, John, Wiley&Sons, New York.

Erdemir, S. 1999. Genelleştirilmiş Minimum Değişmeli Kontrol Stratejisinin Sürekli Karıştırmalı Bir Reaktöre Uygulanması ve Optimum İşletme Parametrelerinin Bulunması, Yüksek Lisans Tezi, A.Ü.F.B.E

Erol, O.K. 1995. Bulanık Kontrolör Karar Tablosunun Genetik Algoritma ile Oluşturulması. Y.Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Erol, O.K. 2001. Doğrusal Olmayan Sistemlerin Bulanık Modellenmesi ve Yeni Bir Genetik Algoritma ile En İyi Kontrolör Tasarımı. Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gallagher, K. and Sambridge, M. 1994. Genetic Algorithms: a Powerful Tool for Large-Scale Nonlineaar Optimization Problems, Computers&Geosciences, Vol.20, No.7/8, p:1229-1236

Goldberg, D.E. 1989. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison And Wesley, Reading M.A.

Gökbulut, M., Dandıl, B. ve Ata, F. 2000. Genetik Algoritma ile PID Denetleyici Tasarımı. TOK'2000 Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı.

Gürocak, H. B. 1999. A Genetic- Algorithm-Based Method for Tuning Fuzzy Logic Controllers. Fuzzy Sets And Systems, 108; 39-47

Guan, Y. L. and Chia, J. W. 2000. A Genetic Approach for Simultaneous Design of Membership Functions Control Rules, Journal of Intellegent and Robotic Systems, V:28, 195-211

Honda, H. and Kobayashi, T. 2000. Fuzzy Control of Bioproces, Journal of Bioscience and Bioengineering, 89 (5); 401-408.

Kayacan, M. C., Çelik, Ş.A.ve Salman Ö. 2003. Tornalama İşlemlerinde Kesici Takım Aşınmasının Bulanık Mantık ile Modellenmesi, Selçuk Üniversitesi CAD/CAM Araş. Uyg. Merkezi., II.Makina Tasarımı ve İmalat Teknolojileri Kongresi

Karr, C. L., Meredith, D.L. and Stanley, D. A. 1990. Fuzzy Process Control With a Genetic Algorithm, Mineral and Metallurgical Processing, 90; 53-60

O'Connor, B., Riverol, C., Kelleher P., Plant, N., Bevan, R., Hinchy, E. and D'Arcy J. 2002. Integration Of Fuzzy Logic Based Control Procedures İn Brewing. Food Control, 13; 23-31.

Kesmen, N.Ü. 1999. Fuzzy Modelling And Control of a Bioreactor. Y.Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Marlin, E.T. 2000. Process Control: Designing Processes and Control Systems for Dynamic Performance, Mc Graw Hill

Martinez, G., Lopez, A., Eşnoz, A., Virseda, P. and İberrola, J. 1999. A New Fuzzy Control System For Wine Fermentation, Food Control, V:10 p:175-180

Michels, K. 1997. A model-based fuzzy controller. Fuzzy Sets and Systems, 85;223-232

Miskiewicz, T. and Kasperski, A. 2000. A Fuzzy Logic Controller to Control Nutrient Dosage in A Fed-batch Baker's Yeast Process. Biotechnology Letters, 22; 1685-1691.

Newell, R.B. and Lee, P.L. 1989 Applied Process Control, Prentice Hall, p:97-111

Park, K. and Reardon K.F., 1996, Medium Optimization for recombinant protein production by *Bacillus subtilis*, Biotechnology Letters, Vol 18, 737-740.

Qi, X. M. and Chin, T. C. 1997. Genetic Algorithms Based on Fuzzy Controller for High Order Systems, Fuzzy Sets and Systems, 91, p: 279-284

Stat-Ease®, 2003 (DESIGN EXPERT)

Stenerson, J. 1999. Fundamentals of Programmable Logic Controllers, Sensors and Communications, 2nd Edition, 217, 294-302

Soderström, T. and Stoica, P. 1989. System Identification. Prentice Hall Ltd., New York.

Terry, E. M. and Stieglitz, J. 1927. The Coeeficient of Saponification of Ethyl Acetate by Sodium Hydroxide. Journal of American Chem.Soc., 49, 2216-2222

Guan, Y. and Chia, J. 2000. A Genetic Approach For Simultaneous Design of Membership Functions Control Rules. Journal Of İntellegent And Robotic Systems V:28, 195-211

Wang, P. and Kwok, D.P. 1994. Optimal Design of PID Process Controllers Based on Genetic Algorithms

Zadeh, L. A., 1965, Fuzzy Sets, Information and Control, 8, 338-353

Zhou, Y. and Lai, L. 2000. Optimal Design for Fuzzy Controllers by Genetic Algorithms. IEEE Transactions on Industry Applications, 36(1); 93-97.

University of Alberta**,** Department of Chemical and Materials Engineering, CHE 454 Chemical Engineering Project Laboratory

EKLER

EK 1 Sabunlaşma Reaksiyonu

EK 2 Sodyum Asetatın Kullanım Alanları

EK 3 İletkenlik

EK 4 İletkenliğin Birimi

EK 5 İletkenlik Ölçümü

EK 6 İletkenlik Ölçümü İle Sabunlaşma Reaksiyonunun İzlenmesi

EK 7 Kesikli Reaktörün Matematiksel Modeli

EK 8 Sürekli Karıştırmalı Tank Reaktör Matematiksel Modeli

EK 9 Kare Dalga Sinyal

EK 10 PID Kontrol Parametrelerinin Belirlenmesi

EK 11 Dinamik Deney için Visual Basic Programı

EK 12 Sistem Tanımlama için Visual Basic Programı

EK 13 Visual Basic Dilinde Yazılan PID Kontrol Programı

EK 14 Dönüşüm Kontrolu için Genetik Algoritma ile Teorik "Fuzzy" Kontrol Programı

EK 15 Dönüşüm Kontrolu için Visual Basic Dilinde Yazılan Deneysel "Fuzzy" Kontrol Programı

EK 1 Sabunlaşma Reaksiyonu

Esterlerin bazik hidrolizi sabunlaşma reaksiyonu olarak bilinir. Sabunlaşma reaksiyonu ile güçlü nükleofil olan hidroksil iyonları, esterin karbonil grubuna katılarak, karboksilik asit tuzu ve alkolat oluşur. Oluşan kararsız mono-ortoester anyonundan, alkoksit anyonunun ayrılmasıyla karboksilik asit meydana gelir. Karboksilik asit, alkolden daha güçlü asit olduğundan, alkolat ile aralarında proton geçişmesi olur. Sonunda karboksilat anyonu ile alkol meydana gelir.

Esterlerin alkol, su ve benzeri çözücülerde çözünmemesine rağmen bazik hidrolizi ile oluşan tuz bu çözücülerde çözünebilmektedir. Bu özellik sabunlaşma reaksiyonu ile elde edilen karboksilik asit tuzunun kullanım alanları açısından önem kazanmaktadır.

Reaksiyon kinetiği; bir tepkimenin parmak izi niteliğinde olup, reaksiyonun gerçekleşeceği reaktörün tasarımı tüm endüstriyel ürünlerin üretimi için anahtar bilgi niteliğindedir. Tepkime kinetiği tepkime hızının ilgili değişkenlere bağlılığını ifade eder. Kinetik model olarak da adlandırılan bu denklemlerin matematiksel yapısı deneysel verilerle belirlenir. Literatürde etil asetat ile sodyum hidroksitin sabunlaşma tepkimesi için kinetik model ve stokiyometrik denklem Eşitlik 1.1'de verildiği gibi sunulmaktadır.

$$CH_3COOC_2H_5 + NaOH \rightarrow CH_3COONa + C_2H_5OH$$

$$-r_A = k_1 * C_A * C_B - k_2 * C_C * C_D \qquad (1.1)$$

Reaksiyon 2. mertebe ve $(k_1 / k_2) \longrightarrow \infty$ olduğundan tersinmezdir.

EK 2 Sodyum Asetatın Kullanım Alanları

Sodyum asetat beyaz kristal yapıda, molekül ağırlığı 82.04, özgül ağırlığı 1.528 g/cm^3, kırılma indisi 1.464 ve erime noktası 324°C dir. Aşağıda sodyum asetatın endüstriyel kullanım alanları sıralanmıştır.

- Gıda endüstrisinde, petrol ürünlerinde, hemodiyalizde ve kozmetikte tampon
- Plastik endüstrisinde bazı elastomerlerin üretiminde geciktirici,
- Mineral asitlerin nötralizasyonu için en iyi araç,
- Deri endüstrisinde pürüzsüz ve hızlı tabakalama sağlayıcı,
- Boya endüstrisinde renk pekiştirici,
- Tekstil endüstrisinde çözünmeyen kalsiyum tuzlarının uzaklaştırılmasına yardım ederek giysi kalitesini artırmada,
- Atık su denitrifikasyonunda zararlı metanolün uzaklaştırılmasında karbon kaynağı,

olarak kullanılmaktadır.

EK 3 İletkenlik

Dirençliliğin tersi iletkenlik olarak tanımlanmaktadır. Element ya da alaşım halindeki metaller, elektrolit çözeltileri, iyonlaşmış gazlar, yarı iletkenler ve seramik türünden bazı maddeler elektriği iletmektedirler.

a. Elektronik (metalik) iletkenlik

Bir elektrik akımı elektrik yükünün hareketidir. Metallerde bu yük elektronlar tarafından taşındığından, bu tür elektrik iletme olgusuna "metalik iletkenlik" adı verilir. Metal içindeki elektrik iletkenliğine karşı direnç, metal iyonlarının titreşimi ile elektron hareketinin engellenmesinden kaynaklanmaktadır. Metalik iletkenlik yükselen sıcaklıkla düşer. Sıcaklık yükseldikçe daha etkin hale gelen kristal örgü noktalarındaki atomların termal titreşimleri elektronların metal içindeki hareketini engellemektedir.

b. Elektrolitik iletkenlik

Elektrolitik iletkenlik, elektrik akımının yüklü iyonlar tarafından taşınmasıdır. Çözeltideki iyonlar hareket etmedikçe elektrolitik iletkenlik gözlenmez. Çözeltilerin elektriksel iletkenliği, içerdikleri iyonların nitelik ve niceliklerine bağlı olarak değişir. Saf su çok az iyonlaştığından çok zayıf iletkendir. İyonlaşarak çözünen maddelere elektriği ileten çözeltilere "elektrolit" adı verilir. Elektrolitlerde elektriksel iletkenliği sağlayan yüklü taneciklere "iyon"; (+) yüklü iyonlara "katyon", (-) yüklü iyonlara "anyon" denir.

Kovalent bağlı polar maddeler moleküler olarak (iyonlaşmadan) çözündüklerinden, bu maddelerin çözeltileri elektriği iletmezler. Kuvvetli elektrolitler çözeltide tümüyle iyonlaştıkları halde, polar kovalent bağları olan zayıf elektrolitler çözeltide kısmen iyonlaşırlar moleküllerin bir kısmı iyonlaşmamış halde bulunurlar.

Elektrolitik iletkenlik iyonların hareketinden kaynaklandığından dolayı bu hareketleri engelleyici bir etki, akıma karşı direncin doğmasına yol açar.

Elektrolit çözeltilerin elektriksel iletkenliği; çözünen-çözünen etkileşmesi, çözünen-çözücü etkileşmesi ve çözücü-çözücü etkileşmesi dışında, iyonlar arası etkileşmeler, iyonların çözünmesine ve çözücünün viskozitesine bağlı olarak değişir. Sıcaklık yükseldikçe çözünen iyonların ortalama kinetik enerjilerinin artmasıyla, direnç düşerken iletkenlik yükselecektir. Çözünmenin azalması ve viskozitenin düşmesi iyonların daha hızlı hareket etmesine yol açmaktadır.

EK 4 İletkenliğin birimi

Direncin tersi olarak tanımlanan iletkenliğin birimi de direnç biriminin tersi yani ohm^{-1} dir. Bu iletkenlik birimi *siemens* olarak adlandırılır ve $S \equiv \Omega^{-1}$ şeklinde simgelenir.
Ohm yasası olarak bilinen eşitlik:

direnç = potansiyel fark / akım ($R=V/I$) (1)

Bir örneğin direnci, ℓ uzunluğu ile doğru orantılı, A kesiti ile ters orantılı olarak değiştiğinden ρ bir orantı katsayısı olmak üzere

$$R= \rho (\ell /A) \quad (2)$$

eşitliği yazılabilir. Buradaki ρ orantı katsayısına **dirençlilik** ya da **özdirenç** adı verilmektedir. Dirençliliğin tersi iletkenlik olarak tanımlanmaktadır. Öz iletkenlik adı da verilen iletkenlik için son bağıntıdan

$$K= 1/RA \quad (3)$$

eşitliği yazılabilir. Buna göre iletkenlik Sm^{-1} ya da Scm^{-1} birimleri ile verilir.

EK 5 İletkenlik ölçümü

İletkenlik ölçümü ister elektronik ister elektrolitik olsun, direnç ölçümüne, direnç ölçümü de " ohm yasası" na dayanmaktadır.

Belli bir A kesitine sahip elektrolit çözeltisinin R direnci ölçülerek Ek 4'de verilen Eşitlik (2) bağıntısı yardımıyla öz iletkenliğe geçilir. İki ucu platinle kaplanmış elektrotlar çözeltiye daldırılarak ölçülür. Elektrot tepkimelerinin etkisini en aza indirmek için iletkenlik ölçmeleri hızlı bir şekilde alternatif akımla yapılır. Alternatif akım kullanıldığında, belli zaman aralıklarında akımın yönü ile birlikte elektrotların işareti de değişeceğinden net bir kimyasal değişme olamaz. Böylece çözeltinin bileşimi de değişmeden kalır.

Bir çözeltinin iletkenliği çeşitli şekillerde tasarlanmış iletkenlik hücreleri kullanılarak ölçülür.

İyonların yükü çözelti içinde taşınan akım üzerinde etkili olduğundan, çözeltilerin iletkenlikleri kıyaslanırken derişim birimi olarak normalite kullanılır.

İletkenlik uzunluğu 1 m, kesiti 1 m^2 yani hacmi 1 m^3 olan bir çözeltinin elektrik iletimini karakterize etmektedir. v cm^3 hacminde derişimi

$$c=n/v \qquad (1)$$

olan elektrolitlik çözeltinin toplam iletkenliği;

$$Kv = Kn/c \qquad (2)$$

olmaktadır. Aralarındaki uzaklık 1 m olan iki elektrot arasında bulunan ve hacmi ne olursa olsun n=1 mol elektrolit içeren çözeltinin iletkenliği **molar iletkenlik** olarak tanımlanır.

$$A=K/c \qquad (3)$$

şeklinde gösterilmiştir. Birimi Sm^2mol^{-1} olan molar iletkenlik bir elektrolitin akım taşıyabilme gücünün ölçüsüdür.

Bir çözeltinin elektrolitik iletkenliği ölçülerek içerdiği bileşenler belirlenemez. Ancak yaklaşık olarak çözünmüş tuzların miktarı belirlenebilir. İletkenlik değeri iyonik hareket, tuz derişimi ve iyonların kinetik enerjilerini pozitif yönde etkileyen sıcaklıktan etkilenir. Özellikle kimyasal yolla su arıtımında iletkenlik ölçümü önemlidir. Diğer taraftan sıvıların elektriksel iletkenliği kalite ve proses kontrolde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ölçümlerin güvenilirliği doğrudan ürün kalitesini ve güvenliği etkilemesi sebebiyle oldukça önemlidir. İletkenlik ölçümü ile etil asetatın sodyum hidroksit ile sabunlaşma reaksiyonu boyunca reaksiyon karışımının iletkenlik değeri değişimi on-line olarak izlenebilmektedir.

EK 6 İletkenlik Ölçümü İle Sabunlaşma Reaksiyonunun İzlenmesi

a) Kesikli reaktörde gerçekleşen deneyler için iletkenlik dönüşüm ilişkisi

Sabunlaşma reaksiyonunda, tepkime karışımının iletkenlik ölçülebilmeltedir. İletkenliğe en çok katkıda bulunan iyonun derişimi ilgili bagıntı kullanılarak Eşitlik (7) belirlenebilmektedir.

Reaksiyon karışımının iletkenliğini, ortamda bulunan iyonların iletkenlikleri belirler. K iyonların molar iletkenlikleri ve molar derişimleri cinsinden ifade edilirse;

$$\kappa = \lambda_{OH} C_{OH} + \lambda_{A} C_{Ac} + \lambda_{Na} C_{Na} \qquad (1)$$

Hidroksil iyonlarının derişimi (C_{OH}) X, başlangıç hidroksil iyonu derişimi X_0 ile gösterilecek olursa ortamda bulunan karboksilik asit anyonu derişimi (C_{Ac}), tepkime stokiyometrisi gereği şöyle ifade edilebilir;

$$C_{Ac} = X_0 - X \qquad (2)$$

ile verilir. Buna göre (1) denklemi düzenlenir;

$$\kappa = (\lambda_{OH} - \lambda_{Ac}) X + \lambda_{Na} C_{Na} + \lambda_{Ac} X_0 \qquad (3)$$

A ve B sabitleri kullanılarak,

$$A = (\lambda_{OH} - \lambda_{Ac}) \quad \text{ve} \quad B = \lambda_{Na} C_{Na} + \lambda_{Ac} X_0 \qquad (4)$$

$$\kappa = AX + B \quad \text{ya da} \quad X = \frac{\kappa - B}{A} \qquad (5)$$

halini alır. Başlangıçta karışımın iletkenliği K_0 olduğundan;

$$\kappa_0 = AX_0 + B \quad \text{ya da} \quad X_0 = \frac{\kappa_0 - B}{A} \qquad (6)$$

$$\frac{X_0}{X} = \frac{\kappa_0 - B}{\kappa - B} \qquad (7)$$

http://www-oc.chemie.uni-regensburg.de/index

Reaksiyon tamamlandığında yani ortamdaki hidroksil iyonlarının tamamı harcandığında hidroksil iyonu derişimi;

$$t \longrightarrow \infty \quad \text{iken} \quad X = 0$$

olur. (7) nolu eşitliğe göre

$$B = \kappa_{\infty} \tag{8}$$

olur. Eşitlik (8) nolu eşitlik (7) de yerine yazılırsa eşitlik (9) bulunur.

$$\frac{X_0}{X} = \frac{\kappa_0 - \kappa_{\infty}}{\kappa - \kappa_{\infty}} \tag{9}$$

Eşitlik (9) kullanılarak kesikli reaktörde herhangi bir andaki iletkenlik ölçümünden hidroksil iyonları, başka bir deyişle ortamda kalan sodyum hidroksit derişimi belirlenebilir.

b) Sürekli reaktörde gerçekleşen deneyler için iletkenlik ve dönüşüm ilişkisi

Sabunlaşma reaksiyonunda çözelti iletkenliğinin zamanla değişimi ölçülebilmektedir. Reaksiyonu sırasında ortamda bulunan sodyum hidroksit, etilasetat, sodyum asetat ve etil alkol bileşenlerinden iletkenliğe en çok katkıda bulunan sodyum hidroksittir. İletkenliğin zamanla değişimi sürekli reaktörler için dönüşümle ilişkilendirilmiştir.

Reaktöre beslenen sodyum hidroksit ve etil asetatın stok tanklardaki derişimleri ve besleme akış hızları kullanılarak reaktör içindeki derişimleri eşitlik (10)'da verilmiştir.

$$C_{A0} = \frac{Q_A}{Q_A + Q_B} C_{Astok1} \qquad C_{B0} = \frac{Q_B}{Q_A + Q_B} C_{B\,stok\,2} \tag{10}$$

t= ∞' da etil asetatın başlangıç derişiminin sodyum hidroksit başlangıç derişiminden büyük ya da küçük olmasına göre C_{∞} belirlenir;

$C_{B0} < C_{A0}$ için $C_{\infty} = C_{B0}$ (11)

$C_{B0} \geq C_{A0}$ için $C_{\infty} = C_{A0}$ (12)

T ≥ 294 K için bileşenlerin iletkenlikleri, sıcaklık ve derişimlerine bağlı olarak eşitlik (13) ve (14)'e göre hesaplanır.

$$\kappa_{c\infty} = 0.07 C_{\infty}\left[1 + 0.0284 (T - 294)\right] \quad (13)$$

$$\kappa_{CA0} = 0.195 C_{A0}\left[1 + 0.0184 (T - 294)\right] \quad (14)$$

Reaksiyon sonunda ürün alınamadığı varsayılırak Eşitlik Ek 6.15 yazılır;

C_0=0 ve $K_0 = K_{CA0}$ olur (15)

Reaksiyon sonunda sodyum hidroksitin derişimi;

$C_{A0} < C_{B0}$ için $C_{A\infty}$= 0 (16)

$C_{A0} \geq C_{B0}$ için $C_{A\infty} = C_{A0} - C_{B0}$ (17)

$C_{A0} \neq 0$ ise Eşitlik (14)'de C_{A0} yerine $C_{A\infty}$yazılır ve Eşitlik (18) elde edilir.

$$\kappa_{CA\infty} = 0.195\, C_{A\infty}\left[1 + 0.0184\ (T - 294)\right] \quad (18)$$

Eşitlik (13) ve Eşitlik (18)'den bulunan iletkenlik değerleri toplanır, t= ∞ daki iletkenlik değeri bulunur.

$$\kappa_{\infty} = \kappa_{C\infty} + \kappa_{CA\infty} \quad (19)$$

$$C_A = \left(C_{A\infty} - C_{A0}\right)\left(\frac{\kappa_0 - \kappa_1}{\kappa_1 - \kappa_{\infty}}\right) + C_{A0} \quad (20)$$

C_{C0}=0 için $C_C = C_{C\infty}\left(\frac{\kappa_0 - \kappa_1}{\kappa_1 - \kappa_{\infty}}\right)$ (21)

$$X_A = \frac{C_{A0} - C_A}{C_{A0}} \quad (22)$$

(University of Alberta**,** Department of Chemical and Materials Engineering, CH E 454 Chemical Engineering Project Laboratory)

EK 7 Kesikli Reaktörün Matematiksel Modeli

Sistem üzerinde etkili olan parametrelerin ve en iyi işletim koşullarının belirlenmesine ilişkin çalışmalar kesikli işletime sahip reaktörde gerçekleştirilmiştir. Tam karışmalıakış hidrodinamiği ve izoterm işletim koşulu varsayımıyla sabit hacimli kesikli tepkime kabı tasarım denklemi;

$$-r_A = -\frac{dC_A}{dt} \tag{1}$$

İkinci mertebeden tersinmez tepkime hız modeli

$$-r_A = kC_AC_B \tag{2}$$

$$r_A = dC_A / dt = -k\, C_A C_B \tag{3}$$

$$r_B = dC_B / dt = -k\, C_A C_B \tag{4}$$

$$r_C = dC_C / dt = k\, C_A C_B \tag{5}$$

$$r_D = dC_D / dt = k\, C_A C_B \tag{6}$$

İzoterm işletim sıcaklığında tepkime hız sabitini belirlemek üzere integral yöntemine göre analiz;

$$C_{A0}\frac{dX_A}{dt} = k(C_{A0} - C_{A0}X_A)(C_{B0} - C_{A0}X_A) \tag{7}$$

$$M = \frac{C_{B0}}{C_{A0}} \tag{8}$$

$$C_{A0}\frac{dX_A}{dt} = kC_{A0}^{\,2}(1 - X_A)(M - X_A) \tag{9}$$

$$\int_0^{X_A} \frac{dX_A}{(1 - X_A)(M - X_A)} = C_{A0}k\int_0^t dt \tag{10}$$

$$\ln\frac{M - X_A}{M(1 - X_A)} = C_{A0}(M - 1)kt \tag{11}$$

EK 8 Sürekli Karıştırmalı Tank Reaktör Matematiksel Modeli

Tam karışmalı akış hidrodinamiği ve izoterm işletim koşulu varsayımlarıyla sürekli karıştırmalı tank reaktörde kütle korunum denklemi aşağıda verilmiştir.

Amacımız kontrol edilen değişken X_A'yı ayarlanabilen değişken F_{Ao}'a bağlayan eşitliği elde etmek olduğundan aşağıdaki denklemler türetilmiştir;

$$F_{A1}-F_A+r_AV= d\,(V\,C_A)\,/dt \quad (1)$$

$$F_{A1}-[F_{A1}-F_{A1}X_A]-kC_AC_BV=dC_AV/dt \quad (2)$$

$$F_{A1}X_A-kC_{A1}^2(1-X_A)((C_{B2}/C_{A1})-X_A)V= -VC_{A1}dX_A/dt \quad (3)$$

$$Q_1C_{A1}X_A-kVC_{A1}^2(1-X_A)((C_{B2}/C_{A1})-X_A = -V\,C_{A1}\,dX_A/dt \quad (4)$$

Eşitlik (4)'ün her iki tarafı $-(C_{A1}\,V)$ile bölünürse

$$dX_A/dt= -(Q_1/V)\,X_A+k\,C_{A1}(1-X_A)\,((C_{B2}/C_{A1})-X_A) \quad (5)$$

Toplam kütle dengesi;

$$Q_1\rho_1+Q_2\rho_2-Q\rho=d(\rho V)/dt \quad (6)$$

Reaktöre giren ve çıkan akımların yoğunluğunun sabit olduğu kabulü ile;

$$Q_1+Q_2 =Q=dV/dt \quad (7)$$

yazılabilir. Sürekli karıştırmalı tank reaktör sabit hacimde işletildiğinden hacim değişimi terimi sıfır olacaktır (dV/dt=0).

$$Q_1+Q_2=Q \quad (8)$$

Bileşen Kütle Dengesi;

A Bileşeni için;

$$F_{A1}-F_A+r_AV = d(C_AV)/dt \quad (9)$$

$$Q_1C_{A1} - QC_A+r_AV = d(C_AV)/dt \quad (10)$$

$$d(C_AV)/dt = C_A\,dV/dt +VdC_A/dt \quad (11)$$

$$d(C_AV)/dt = VdC_A/dt+C_A(Q_1+Q_2 - Q) \quad (12)$$

Hacim sabit ise; ($Q_1+Q_2=Q$)

$Q_1C_{A1}-QC_A-kC_AC_B V = V\, dC_A/dt + C_A(Q_1+Q_2-Q)$ (13)

$Q_1C_{A1}-(Q_1+Q_2)C_A-k\,C_A\,C_B\,V = V\, dC_A/dt$ (14)

$Q_1C_{A1}-Q_1C_A-Q_2C_A-k\,C_A\,C_B\,V = V\, dCA/dt$ (15)

$(Q_1/V)(C_{A1}-C_A)-(Q_2/V)\,C_A-k\,C_A\,C_B = dC_A/dt$ (16)

Hacim sabit değilse; ($Q_1+Q_2\#Q$)

$Q_1C_{A1}-QC_A-k\,C_A\,C_B\,V=V\, dC_A/dt + C_A(Q_1+Q_2-Q)$ (17)

$Q_1C_{A1}-QC_A-k\,C_A\,C_B\,V=V\, dC_A/dt+Q_1\,C_A+Q_2\,C_A-QC_A$ (18)

$Q_1(C_{A1}-C_A)/V-(Q_2/V)C_A-k\,C_AC_B = dC_A/dt$ (19)

B Bileşeni için;

$F_{B2}-F_B+r_BV=d(C_BV)/dt$ (20)

$Q_2C_{B2}-QC_B-kC_AC_BV=d(C_BV)/dt$ (21)

Hacim sabit ise; ($Q_1+Q_2=Q$)

$Q_2C_{B2}-QC_B-kC_AC_BV=VdC_B/dt+C_BdV/dt$ (22)

$(Q_2/V)C_{B2}-(Q/V)C_B-kC_AC_B = dC_B/dt$ (23)

$(Q_2/V)C_{B2}-((Q_1+Q_2)/V)C_B-kC_AC_B=dC_B/dt$ (24)

$(Q_2/V)(C_{B2}-C_B)-(Q_1/V)C_B-kC_AC_B=dC_B/dt$ (25)

Hacim sabit değil ise; ($Q_1+Q_2\#Q$)

$Q_2C_{B2}-QC_B-kC_AC_BV=VdC_B/dt+C_B(Q_1+Q_2-Q)$ (26)

$(Q_2/V)C_{B2}-(Q/V)C_B-kC_AC_B=dC_B/dt+(C_B/V)(Q_1+Q_2-Q)$ (27)

$(Q_2/V)C_{B2}-(Q/V)C_B-kC_AC_B= dC_B/dt+(Q_1/V)C_B+(Q_2/V)C_B-(Q/V)C_B$ (28)

$(Q_2/V)(C_{B2}-C_B)-(Q_1/V)C_B-kC_AC_B=dC_B/dt$ (29)

C Bileşeni için;

$0-F_C+r_CV=d(C_CV)/dt$ (30)

$-QC_C+kC_AC_B=VdC_C/dt+C_CdV/dt$ (31)

Hacim sabit ise; ($Q_1+Q_2=Q$)

$-(Q_1+Q_2)C_C+kC_AC_BV=VdC_C/dt+C_C(Q_1+Q_2-Q)$ (32)

$-((Q_1+Q_2)/V)C_C + kC_AC_B=dC_C/dt$ (33)

Hacim sabit değil ise; ($Q_1+Q_2\#Q$)

$-QC_C+kC_AC_BV=VdC_C/dt+C_CdV/dt$ (34)

$-QC_C+QC_C-Q_1C_C-Q_2C_C+kC_AC_BV=VdC_C/dt$ (35)

$-(C_C/V)(Q_1+Q_2)+kC_AC_B=dC_C/dt$ (36)

D Bileşeni için;

$0-F_D+r_DV=d(C_DV)/dt$ (36)

$-QC_D+kC_AC_BV=VdC_D/dt+C_DdV/dt$

Hacim Sabit ise; ($Q_1+Q_2=Q$)

$-QC_D+kC_AC_BV=VdC_D/dt+C_D(Q_1+Q_2-Q)$ (37)

$-((Q_1+Q_2)/V)C_D+kC_AC_B=dC_D/dt$ (38)

Hacim Sabit Değil ise; (Q1+Q2#Q)

$-QC_D+kC_AC_BV=VdC_D/dt +C_DdV/dt$ (39)

$-QC_D+kC_AC_BV=VdC_D/dt+C_D(Q_1+Q_2-Q)$ (40)

$-QC_D+QC_D-Q_1C_D-Q_2C_D+kC_AC_BV=VdC_D/dt$ (41)

$-(C_D/V)(Q_1+Q_2)+ kC_AC_B=dC_D/dt$ (42)

Amacımız kontrol edilen değişken X_A'yı ayarlanabilen değişken F_{Ao}'a bağlayan fonksiyonu elde etmek olduğundan, aşağıdaki eşitliği elde ederiz.

$aA+bB \longrightarrow cC+dD$

$-r_A/a=-r_B/b=r_c/c=r_D/d$

$-r_A=-r_B=r_C=r_D$

$Q_1C_{A1}X_A -k\ V\ C_{A1}^2\ (1-X_A)\ ((C_{B2}/C_{A1})-X_A)= -V\ C_{A1}\ dX_A/dt$

Eşitliğin her iki tarafı $-(C_{A1}V)$ ile bölünürse;

$$dX_A/dt = -(Q_1/V)X_A + k\, C_{A1}(1-X_A)(\, C_{B2}/C_{A1}-X_A)$$

$$C_A = C_{A1}(1-X_A)$$

$$dC_A/dt = -C_{A1}\, dX_A/dt \qquad (3.43)$$

$$C_B = C_{B2}-C_{A1}\, dX_A/dt$$

$$dC_B/dt = -\, C_{A1}\, dX_A/dt \qquad (3.44)$$

$$C_C = (c/a)C_{A1}X_A$$

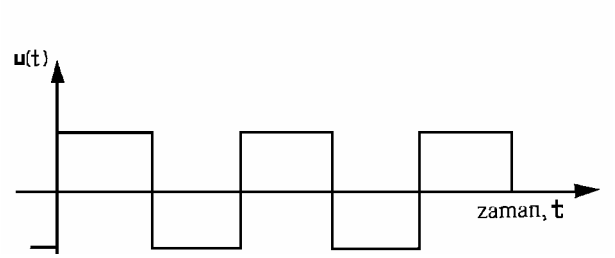
$$dC_C/dt = C_{A1}\, dX_A/dt \qquad (3.45)$$

$$C_D = (d/a)C_{A1}X_A$$

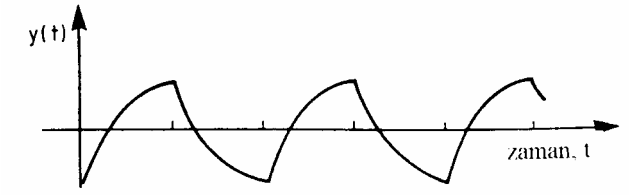
$$dC_D/dt = C_{A1}\, dX_A/dt \qquad (3.46)$$

EK 9 Kare Dalga Sinyal

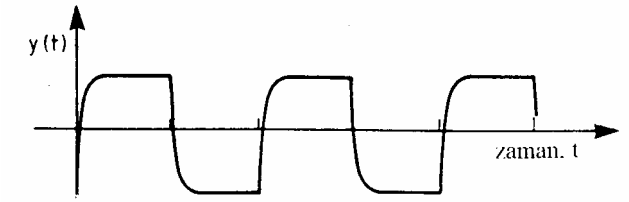
Kare dalga sinyali çok kolay oluşturulabilir ve sınırlı bir genlik aralığına sahiptir. Frekans seçiminde sistem dinamiği gözönünde bulundurulur. Kare dalganın periyodu (T_{SW}), sistemin zaman sabitinin yaklaşık altı katı olabilir. Ek 9 (Şekil 1) sistem çıkış değişkeni sinyalinin görüntüsüne göre kare dalganın kabul edilebilirliğine dair fikir vermektedir(Welstead and Zarrop 1991, Bakay 1998).



a) Kare dalga sinyal



b) Uygun bir sistem yanıtımı



c) Periyot açısından oldukça büyük değerde kare dalga seçiminde sistem yanıtımı



d) Genlik aşısından oldukça küçük değerde kare dalga seçiminde sistem yanıtımı

Ek 9 (Şekil 1) Sistem çıktısının şekline göre kare dalga peryodu ve genliğinin seçimi

EK 10 PID Kontrol Parametrelerinin Belirlenmesi

Geri beslemeli kontrolde, kontrol parametrelerinin optimum değerlerini hesaplamak üzere birçok yöntem kullanılmaktadır.

$$u(t) = K_c + \frac{K_c}{\tau_I}\int_0^t e(t)dt + K_c\tau_D \frac{de}{dt} \quad (1)$$

Cohen-Coon parametre ayarlama yönteminde sitem yanıtımı ölü zamanlı birinci mertebe iletim fonksiyonuna uyduğu kabul edilmektedir.

$$G(s)=Ke^{-tds}/\tau_s+1 \quad (2)$$

K: sabit kazanç

t_d: ölü zaman

τ=zaman sabiti

Kontrol edici ile son kontrol elemanı arasındaki bağlantı kesilip son kontrol elemanına basamak etki verilirse, ölü zamanlı birinci mertebeden sistemin verdiği yanıtım eğrisi yani "PROSES REAKSİYON EĞRİSİ" elde edilir.

Proses reaksiyon eğrisi kullanılarak sistemin K, τ , t_d model parametreleri hesaplanır. Proses reaksiyon eğrisinde maksimum yükselmenin olduğu noktadan teğet çizilerek; teğetin apsisi kestiği nokta ölü zaman, teğetin eğimi çıkış değişkenin normalize edilmiş son yatışkın hal değerinin sistem zaman sabitine oranını verir. Yatışkın hal kazancı (K) ayar değişkenine basamak etki verildiğinde çıkış değişkeninin ikinci yatışkın hal değerinin (B) girdiye (A) oranını vermektedir.

$$K=B/A \quad (3)$$

Optimum PID parametreleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak bulunur.

$$K_c = \frac{1}{K}\frac{\tau}{t_d}\left[\frac{4}{3} + \frac{t_d}{4\tau}\right] \tag{4}$$

$$\tau_I = t_d\left[\frac{32 + 6t_d / \tau}{13 + 8t_d / \tau}\right] \tag{5}$$

$$\tau_D = t_d\left[\frac{4}{11 + 2t_d / \tau}\right] \tag{6}$$

EK 11 Dinamik Deney için Visual Basic Programı

```
public incr as integer
public zaman as single
'public u as single
public Tf,tt as single
public A,kapaf as single

dim kapa as Tag
dim u as Tag

'değişkenlerin kesirli veya tamsayı olması durumu
dim kapaT as single
dim uT as single

Sub SCR1()

set kapa=GetTag("TASK1","SOC5")
set u=GetTag("DISP1","NCTL1")

kapa=kapa.Array(0)

tt=2
Tf=20
if incr<=2 then kapaf=kapa

A=exp(-tt/Tf)
kapaf=A*kapaf+(1-A)*kapa

incr=incr+1
zaman=incr*tt

if u<=0.0 then u=0
if u>=200.0 then u=200

ýsý=50
outputf 0, ýsý
outputf 1, u
outputf 2, kapa
'outputf 3, eskiu
'outputf 4, snok
'outputf 5, errm2
'outputf 6, deltau
outputf 7, kapaf

End Sub
```

EK 12 Sistem Tanımlama için Visual Basic Programı

```
public FNAOH,zaman as single
public F(10,10),FT(10,10),P(10,10),M(10,10) as single
public D(10,10),S(10,10), T(10,10),R(10,10),  V(10,10) as single
public C(10,10), O(10,10), Teta(10,10),Tetae(10,10),W(10,10),XF(10,10), H(10,10) as
single
public  forfac,  carpim, er,stt,pompaBD as single
public incr,ar,tt,L2,nA,nB,L,lA,lB,Tf,A,kapaf as single

dim kapa as Tag
dim kapaT as single

dim u(10000) as single
dim y(10000) as single
dim eps(10000) as single
dim E(10000) as single
dim payda(10000) as single
dim yk(10000) as single
dim A1(10000) as single
dim A2(10000) as single
dim B0(10000) as single
dim B1(10000) as single
dim B2(10000) as single

'değişkenlerin kesirli veya tamsayı olması durumu

Sub SCR2()
for I=1 To 5
for J=1 To 1
   Tetae(I,J)=0.001
Next J,I
End Sub

Sub SCR1()

'if       incr=0 then
'Open "C:\visidaq\funda\ekk\ekkden.txt" For Output Access Write As #1
'end if
for I=1 To 5
for J=1 To 5
    P(I,J)=0
Next J,I
    for I=1 To 5
       P(I,I)=1000.0
    Next I

forfac=1
```

```
nA=2
nB=3
L=5

'Teta(1,1)=-1.2
'Teta(2,1)=0.8
'Teta(3,1)=0.6
'Teta(4,1)=0.1
'Teta(5,1)=0.2
incr=incr+1
set kapa=GetTag("TASK1","SOC5")
kapa=kapa.Array(0)

'incr, iterasyon sayısını ifade eder. Ekrana ve diske verileri bu artırımlarda gosterir ve
kaydeder.
'Gercek zamani bulmak için ornekleme aralıklarıyla çarpmak gerekir
'tt=3
'Tf=20
'if incr<=2 then kapaf=kapa
'A=exp(-tt/Tf)
'kapaf=A*kapaf+(1-A)*kapa
ar=incr
'ar=incr/tt
'zaman=ar*tt

y(ar)=kapa

if ar<400 Then
u(ar)=40
elseif ar>=400 and ar<800 Then
u(ar)=80
elseif ar>=800 and ar<1200 Then
u(ar)=40
elseif ar>=1200 and ar<1600 Then
u(ar)=80
elseif ar>=1600 and ar<2000 Then
u(ar)=40
elseif ar>=2000 and ar<2400 Then
u(ar)=80
elseif ar>=2400 and ar<2800 Then
u(ar)=40
elseif ar>=2800 and ar<3200 Then
u(ar)=80
elseif ar>=3200  Then
u(ar)=40

end if
```

```
'y(ar)=kapa
if ar<5 Then GoTo zuhal
for I=1 To nA
for J=1 To 1
F(I,J)=(-1.0)*y(ar-I)
next J,I
for I=nA+1 To nA+nB
for J=1 To 1
F(I,J)=u(ar-(I-nA))
next J,I
     for I=1 To L
     for J=1 To 1
       FT(J,I)=F(I,J)
     next J,I
'for I=1 To 1
'for J=1 To 1
'M(I,J)=0
'for K=1 To L
'M(I,J)=M(I,J)+FT(I,K)*Teta(K,J)
'next K,J,I
'y(ar)=M(1,1)


for I=1 To 1
for J=1 To 1
D(I,J)=0
for K=1 To L
D(I,J)=D(I,J)+FT(I,K)*Tetae(K,J)
next K,J,I
E(ar)=D(1,1)

eps(ar)=y(ar)-E(ar)

for I=1 To L
for J=1 To 1
S(I,J)=0
for K=1 To L
S(I,J)=S(I,J)+P(I,K)*F(K,J)
next K,J,I
for I=1 To 1
for J=1 To L
T(I,J)=0
for K=1 To L
T(I,J)=T(I,J)+FT(I,K)*P(K,J)
next K,J,I

for I=1 To 1
 for J=1 To 1
```

```
 R(I,J)=0
 for K=1 To L
 R(I,J)=R(I,J)+FT(I,K)*S(K,J)
next K,J,I
payda(ar)=R(1,1)+forfac
for I=1 To L
 for J=1 To L
 V(I,J)=0
 for K=1 To 1
 V(I,J)=V(I,J)+S(I,K)*T(K,J)
next K,J,I
carpim=1/payda(ar)
for I=1 To L
 for J=1 To L
 W(I,J)=V(I,J)*carpim
 next J,I
for I=1 To L
 for J=1 To L
 W(I,J)=W(I,J)*(-1)
next J,I
for I=1 To L
 for J=1 To L
 C(I,J)=P(I,J)+W(I,J)
next J,I
for I=1 To L
 for J=1 To L
 P(I,J)=C(I,J)*(1.0/forfac)
next J,I

for I=1 To L
 for J=1 To 1
 XF(I,J)=0
for K=1 To L
 XF(I,J)=XF(I,J)+P(I,K)*F(K,J)
next K,J,I
for I=1 To L
 for J=1 To 1
 O(I,J)=XF(I,J)*eps(ar)
next J,I
for I=1 To L
for J=1 To 1
 Tetae(I,J)=Tetae(I,J)+O(I,J)
next J,I
A1(ar)=Tetae(1,1)
A2(ar)=Tetae(2,1)
B0(ar)=Tetae(3,1)
B1(ar)=Tetae(4,1)
B2(ar)=Tetae(5,1)
```

```
for I=1 To 1
for J=1 To 1
H(I,J)=0
for K=1 To L
H(I,J)=H(I,J)+FT(I,K)*Tetae(K,J)
next K,J,I
yk(ar)=H(1,1)

pompaBD=u(ar)

FNAOH=(pompaBD*1.3)

'if FNAOH<=0.0 then FNAOH=0.0
'if FNAOH>=246.0 then FNAOH=246.0

'Transducer 0-200 (0-10 volt) aralıklarında calışıyor. Guvenlik icin cok yuksek ve
'cok dusuk sinyalin transducera gitmemesi gerekir.
'if pompaBD<=0.0 then pompaBD=0
'if pompaBD>=200 then pompaBD=200
'Write #1,incr,ar,zaman
'close
outputf 0, yk(ar)
outputf 1, pompaBD
outputf 2, y(ar)
outputf 3, A1(ar)
outputf 4, A2(ar)
outputf 5, B0(ar)
outputf 6, B1(ar)
outputf 7, B2(ar)
zuhal:
'open "C:\visidaq\Funda\ekk\ekkden.txt" For Output Access Write As #1
'Write #1,incr,tt,zaman,y(ar)
'close
End Sub
```

EK 13 Visual Basic Dilinde Yazılan PID Kontrol Programı

```
public incr as integer
public er,errm1,errm2 as single
public KC,KI,KD,zaman as single
public u,deltau,eskiu as single
public Tf,tt as single
public A,kapaf as single

dim kapa as Tag
dim snok as Tag

dim kapaT as single
dim snokT as single

Sub SCR1()

set kapa=GetTag("TASK1","SOC5")
set snok=GetTag("DISP1","NCTL1")
kapa=kapa.Array(0)
eskiu=u
tt=2
Tf=20
if incr<=2 then kapaf=kapa
A=exp(-tt/Tf)
kapaf=A*kapaf+(1-A)*kapa
incr=incr+1
zaman=incr*tt
errm2=errm1
errm1=er
er=snok-kapaf
KC=10.88 'KC: Oransal  sabit
KI=4.83    'KI: Integral sabit
KD=0.72  'KD: Türevsel sabit
deltau=KC*(er-errm1)+((KC*tt/KI)*er)-((KC*KD/tt)*(er-(2*errm1)+errm2))
u=(eskiu)+(deltau)
if u<=0.0 then u=0
if u>=200.0 then u=200
ýsý=50
outputf 0, ýsý
outputf 1, u
outputf 2, kapa
outputf 3, eskiu
outputf 4, snok
outputf 5, errm2
outputf 6, deltau
outputf 7, kapaf
End Sub
```

EK 14 Dönüşüm Kontrolu için Genetik Algoritma ile Teorik "Fuzzy" Kontrol Programı

```
      implicit double precision (a-h,o-z)
      dimension parent(200,15),child(200,15)
      dimension fitnes(200),nposib(15)
      dimension iparen(200,120),ichild(200,120)
      dimension g0(15),g1(15),ig2(15)
      dimension params(15),ibest(120),eniyi(15)
      dimension parmax(15),parmin(15),pardel(15),parfaz(16)
      common / ga1   / npopsi,nparam,nchrom
      common / ga3   / parent,iparen
      common / ga4   / fitnes

      common / ga5   / g0,g1,ig2
      common / ga6   / parmax,parmin,pardel,nposib
      common / ga7   / child,ichild
      common /inputga/ pcross,pmutat,maxgen
      common / faz / parfaz,PARFA(5)

COMMON/FAZIL/RMKEZY(10),RMKEZU(10),SOLY(10),SOLU(10),SAGY(10),
     *SOYK(10),SOYK1(10),SONUCU(10),RSON(5,5,5),SAGU(10),N,NF,AFAF
      COMMON/CAG/Q,SPNT
C************  YENI KISIM1  ====================================
      OPEN(UNIT=10,FILE='RELATNN.DAT')
      OPEN(UNIT=28,FILE='CAGLAC.DAT')
c      OPEN(UNIT=3,FILE='gen-fit.DAT')
c      write(3,1080)
c1080  format('igenno',2x,'istrno',2x,'best')
      ISAYBU=1
      idum=-1000
      N=5
      NF=1
      NSAYI=20
      AFAF=0.9
      QO=0.0
      geri=0.
      call gafort(geri,ISAYBU)
      stop
      end
C     (GENETİK)
      subroutine gafort(geri,ISAYBU)
      implicit double precision (a-h,o-z)
      dimension parent(200,15),child(200,15)
      dimension fitnes(200),nposib(15)
      dimension iparen(200,120),ichild(200,120)
      dimension g0(15),g1(15),ig2(15)
```

```
      dimension params(15),ibest(120),eniyi(15)
      dimension parmax(15),parmin(15),pardel(15),parfaz(16)
      common / ga1   / npopsi,nparam,nchrom
      common / ga3   / parent,iparen
      common / ga4   / fitnes
      common / ga5   / g0,g1,ig2
      common / ga6   / parmax,parmin,pardel,nposib
      common / ga7   / child,ichild
      common /inputga/ pcross,pmutat,maxgen
      common / faz / parfaz,PARFA(5)
      COMMON/NEW/igenno,istrno
      LOGICAL*4 SYSTEMQQ[EXTERN]
      OPEN(UNIT=2,FILE='gen-fit.DAT')
      tsayac=0
      tt=-1000000000.
      idum=-1000
      npopsi=12
      pmutat=0.02
      maxgen=50
      pcross=0.85
      nparam=8
      iunifr=1
      parmin(1)=-0.55
      parmax(1)=-0.45
      parmin(2)=-0.05
      parmax(2)=0.05
      parmin(3)=0.45
      parmax(3)=0.55
      parmin(4)=0.25
      parmax(4)=0.75
      parmin(5)=0.25
      parmax(5)=0.75
      parmin(6)=0.25
      parmax(6)=0.75
      parmin(7)=0.25
      parmax(7)=0.75
      parmin(8)=0.25
      parmax(8)=0.75
      DO 2000 J=1,NPARAM
 2000 nposib(J)=16
      iyaz=0
C     iyaz  0-dosyaya yazma,1-dosyaya yaz
C     microga=0   ALINMIS
c==== CALL input INITIAL============
c     call initial(istart,npossu,ig2sum)
      do 3 i=1,nparam
        eniyi(i)=0.
        g0(i)=parmin(i)
```

```
      pardel(i)=parmax(i)-parmin(i)
      g1(i)=pardel(i)/dble(nposib(i)-1)
 3    continue
      do 6 i=1,nparam
       do 7 j=1,30
        n2j=2**j
        if (n2j.ge.nposib(i)) then
          ig2(i)=j
          goto 8
        endif
 7     continue
 8     continue
 6    continue
      nchrom=0
      npossu=0
      ig2sum=0
      do 9 i=1,nparam
       nchrom=nchrom+ig2(i)
       npossu=npossu+nposib(i)
       ig2sum=ig2sum+(2**ig2(i))
 9    continue
      call ran3(idum,rand)
      istart=1
      do 10 i=1,npopsi
       do 15 j=1,nchrom
        call ran3(1,rand)
        iparen(i,j)=1
        if(rand.lt.0.5) iparen(i,j)=0
 15     continue
 10   continue
      if (npossu.lt.ig2sum) call possib(parent,iparen)
      do 20 i=istart,maxgen+istart-1
       write (*,1111) i
       igenno=i
       if (iyaz.eq.1) then
         write (2,1111) i
       endif
c=====================  call evalout(0,0,ibest)
       fitsum=0.0
       best=-1.0d10
       do 29 n=1,nparam
        params(n)=0.0
 29     continue
c       parfaz(1)=.5
       do 30 j=1,npopsi
          istrno=j
        call decode(j,parent,iparen)
c==================== call func(j)
```

```
CCC          do 5930 jh=1,nparam
CCC            parfaz(jh+nparam)=parent(j,jh)
CCC5930      continue
         do 5930 jh=1,nparam
           parfaz(jh)=parent(j,jh)
5930       continue
       IF(ISAYBU.NE.1)GO TO 2008
         do 2007 jh=1,5
           parfa(jh)=parFAZ(jh)
2007       continue
2008     ISAYBU=ISAYBU+1
c       ilişki matrisi alt programı çağırıyor,ilişki matrisi belirleniyor
         CALL KATSAY(y4)
      FON=0.
c      kontrol prog. çağırılıyor, bulunan ilişki matrisi kontrolde deneniyor
         CALL CONTROL(y4,FON)
         tsayac=tsayac+1
         funcva=-fon
c         write(*,1076) fon,(parfaz(jr+nparam),jr=1,nparam)
         if(tt.lt.funcva) then
c           write(*,1076) fon,(parfaz(jr+nparam),jr=1,nparam)
           tt=funcva
           do 5932 ju=1,nparam
5932         eniyi(ju)=parfaz(ju)
      write(*,1077) tt,(eniyi(i1),i1=1,nparam)
      IF( SYSTEMQQ('COPY FUNDA1.OUT FUNDAS.OUT')) THEN
        TTTT=5
      ENDIF
         endif
c====================== end func
         fitnes(j)=funcva
         if (iyaz.eq.1) then
           write(2,1075) j,(iparen(j,k),k=1,nchrom)
           write(2,1076) (parent(j,kk),kk=1,nparam),fitnes(j)
         endif
         fitsum=fitsum+fitnes(j)
         do 22 n=1,nparam
           params(n)=params(n)+parent(j,n)
 22        continue
         if (fitnes(j).gt.best) then
           best=fitnes(j)
           jbest=j
           do 24 k=1,nchrom
             ibest(k)=iparen(j,k)
 24          continue
         endif
 30     continue
        fbar=fitsum/dble(npopsi)
```

```
      ncross=0
      ipick=npopsi
      do 45 j=1,npopsi
c==============selectn
        call select(mate1,ipick)
        call select(mate2,ipick)
        do 46 n=1,nchrom
          ichild(j,n)=iparen(mate1,n)
 46       continue
c=========== crosovr
        if (iunifr.eq.0) then

  call ran3(1,rand)
          if(rand.gt.pcross) goto 69
          ncross=ncross+1
          call ran3(1,rand)
          icross=2+dint(dble(nchrom-1)*rand)
          do 50 n=icross,nchrom
            ichild(j,n)=iparen(mate2,n)
 50         continue
        else

          do 60 n=1,nchrom
           call ran3(1,rand)
            if(rand.le.pcross) then
              ncross=ncross+1
              ichild(j,n)=iparen(mate2,n)
            endif
 60         continue
        endif
 69       continue
c==================
 45     continue
      write(2,1225)igenno,jbest,best
      call mutate
      call newgen(npossu,ig2sum,ibest)
c        write(*,1078) igenno,jbest,best
c     write(3,1078) igenno,jbest,best
c 1078 format(i5,2x,i5,2x,f10.5)
 20   continue
     write(*,*) 'funda'
 1075 format(i4,1x,100i1)
 1076 format(f10.5,8f10.6)
 1077 format(//'cost',f10.5,2x,'par.',8f9.3)
 1111 format('#################  Generation',i5,'  #################')
 1225 format(i5,2x,i5,2x,f10.5)
     geri=tt
     return
```

```
      end

      subroutine mutate
      implicit double precision (a-h,o-z)
      dimension child(200,15),ichild(200,120)
      common / ga1   / npopsi,nparam,nchrom
      common / ga7   / child,ichild
      common /inputga/ pcross,pmutat,maxgen
      nmutat=0
      do 70 j=1,npopsi
       do 75 k=1,nchrom
        call ran3(1,rand)
        if (rand.le.pmutat) then
         nmutat=nmutat+1
         if(ichild(j,k).eq.0) then
          ichild(j,k)=1
         else
          ichild(j,k)=0
         endif
        endif
75     continue
70    continue
      write(6,1250) nmutat
1250 format('  Number of Jump Mutations  =',i5)
      return
      end

      subroutine newgen(npossu,ig2sum,ibest)
      implicit double precision (a-h,o-z)
      dimension parent(200,15),child(200,15)
      dimension iparen(200,120),ichild(200,120)
      dimension ibest(120)
      common / ga1   / npopsi,nparam,nchrom
      common / ga3   / parent,iparen
      common / ga7   / child,ichild
      if (npossu.lt.ig2sum) call possib(child,ichild)
      kelite=0
      do 94 j=1,npopsi
       jelite=0
       do 95 n=1,nchrom
        iparen(j,n)=ichild(j,n)
        if (iparen(j,n).eq.ibest(n)) jelite=jelite+1
        if (jelite.eq.nchrom) kelite=1
95     continue
94    continue
      if (kelite.eq.0) then
       call ran3(1,rand)
       irand=1+dint(dble(npopsi)*rand)
```

```
      do 96 n=1,nchrom
        iparen(irand,n)=ibest(n)
96    continue
    endif
    return
    end


    subroutine select(mate,ipick)
    implicit double precision (a-h,o-z)
    common / ga1   / npopsi,nparam,nchrom
    common / ga3   / parent,iparen
    common / ga4   / fitnes
    dimension parent(200,15),iparen(200,120)
    dimension fitnes(200)
    if(ipick+1.gt.npopsi) call shuffl(ipick)
    ifirst=ipick
    isecon=ipick+1
    ipick=ipick+2
    if(fitnes(ifirst).gt.fitnes(isecon)) then
      mate=ifirst
    else
      mate=isecon
    endif
    return
    end

    subroutine shuffl(ipick)
    implicit double precision (a-h,o-z)
    common / ga1   / npopsi,nparam,nchrom
    common / ga3   / parent,iparen
    common / ga4   / fitnes
    dimension parent(200,15),iparen(200,120)
    dimension fitnes(200)
    ipick=1
    do 10 j=1,npopsi-1
      call ran3(1,rand)
      iother=j+1+dint(dble(npopsi-j)*rand)
      do 20 n=1,nchrom
        itemp=iparen(iother,n)
        iparen(iother,n)=iparen(j,n)
        iparen(j,n)=itemp
20    continue
      temp=fitnes(iother)
      fitnes(iother)=fitnes(j)
      fitnes(j)=temp
10  continue
    return
```

```
      end

      subroutine decode(i,array,iarray)
      implicit double precision (a-h,o-z)
      common / ga1   / npopsi,nparam,nchrom
      common / ga5   / g0,g1,ig2
      dimension array(200,15),iarray(200,120)
      dimension g0(15),g1(15),ig2(15)
      l=1
      do 10 k=1,nparam
       iparam=0
       m=l
       do 20 j=m,m+ig2(k)-1
        l=l+1
        iparam=iparam+iarray(i,j)*(2**(m+ig2(k)-1-j))
20     continue
       array(i,k)=g0(k)+g1(k)*dble(iparam)
10    continue
      return
      end

      subroutine code(j,k,array,iarray)
      implicit double precision (a-h,o-z)
      common / ga1   / npopsi,nparam,nchrom
      common / ga5   / g0,g1,ig2
      dimension array(200,15),iarray(200,120)
      dimension g0(15),g1(15),ig2(15)
      istart=1
      do 10 i=1,k-1
       istart=istart+ig2(i)
10    continue
      m=ig2(k)-1
      if (g1(k).eq.0.0) return
      iparam=nint((array(j,k)-g0(k))/g1(k))
      do 20 i=istart,istart+ig2(k)-1
       iarray(j,i)=0
       if ((iparam+1).gt.(2**m)) then
        iarray(j,i)=1
        iparam=iparam-2**m
       endif
       m=m-1
20    continue
      return
      end

      subroutine possib(array,iarray)
      implicit double precision (a-h,o-z)
      common / ga1   / npopsi,nparam,nchrom
```

```
      common / ga5   / g0,g1,ig2
      common / ga6   / parmax,parmin,pardel,nposib
      dimension array(200,15),iarray(200,120)
      dimension g0(15),g1(15),ig2(15),nposib(15)
      dimension parmax(15),parmin(15),pardel(15)
      do 10 i=1,npopsi
       call decode(i,array,iarray)
       do 20 j=1,nparam
        n2ig2j=2**ig2(j)
        if(nposib(j).ne.n2ig2j .and. array(i,j).gt.parmax(j)) then
         call ran3(1,rand)
         irand=dint(dble(nposib(j))*rand)
         array(i,j)=g0(j)+dble(irand)*g1(j)
         call code(i,j,array,iarray)
        endif
20     continue
10    continue
      return
      end

          subroutine ran3(idum,rand)
          implicit double precision (a-h,m,o-z)
          save
          parameter (mbig=4000000.,mseed=1618033.,mz=0.,fac=1./mbig)
          dimension ma(55)
          data iff /0/
          if (idum.lt.0 .or. iff.eq.0) then
            iff=1
            mj=mseed-dble(iabs(idum))
            mj=dmod(mj,mbig)
            ma(55)=mj
            mk=1
            do 11 i=1,54
                  ii=mod(21*i,55)
                  ma(ii)=mk
                  mk=mj-mk
                  if(mk.lt.mz) mk=mk+mbig
                  mj=ma(ii)
11        continue
            do 13 k=1,4
                  do 12 i=1,55
                    ma(i)=ma(i)-ma(1+mod(i+30,55))
                    if(ma(i).lt.mz) ma(i)=ma(i)+mbig
12          continue
13        continue
            inext=0
            inextp=31
            idum=1
```

```
      endif
      inext=inext+1
      if(inext.eq.56) inext=1
      inextp=inextp+1
      if(inextp.eq.56) inextp=1
      mj=ma(inext)-ma(inextp)
      if(mj.lt.mz) mj=mj+mbig
      ma(inext)=mj
      rand=mj*fac
      return
      end

c     genetik algoritmanın sonu

      SUBROUTINE KATSAY(y4)
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      DIMENSION PARFAZ(16),PARMIN(15),PARMAX(15),nposib(15),pardel(15)
      common / ga1   / npopsi,nparam,nchrom
      common / ga6   / parmax,parmin,pardel,nposib
      common / faz / parfaz,PARFA(5)

COMMON/FAZIL/RMKEZY(10),RMKEZU(10),SOLY(10),SOLU(10),SAGY(10),
     *SOYK(10),SOYK1(10),SONUCU(10),RSON(5,5,5),SAGU(10),N,NF,AFAF
      COMMON/CAG/Q,SPNT
c     altta DT var orası kapatılacakmı
      COMMON/CINT/TQ,DT
      COMMON  /FUNDA/A(5)
c       DATA F,P,M1,H1,V,TK,R,M2/0.2,1,32,0.03712,1.6,305,0.082,44/
c     DATA AKS,YIN,C0,CO20,YCO2,H2,YO2,KLA,KLAC/2.14,0.21,0.21,
c    +0.0003,3.7,125.7,2.3,0.25,0.25/
c     DATA H0/1.5/
       TQ=0
       DT=0.02
c      JS=1
c       JN=0
c       JS4=0
c       JS1=1
c       DO 1983 IUOF=1,50
c         DXA(IUOF)=0.
c         XA(IUOF)=0.
c 1983    CONTINUE
c       IOD=1
          NNN=4
      NM=10
      NF=1
      y4=0.76
      Q0=50.0
      Q=Q0
```

```
          Q1=Q
          Q2=Q
          Q3=Q
          Q4=Q
        SPNT=0.7

        USETT=50.0
        IPRSAY=0
        YSCAL=0.25
        USCAL=43.0
        RMKEZY(1)=-1.
        RMKEZY(2)=PARFAZ(1)
        RMKEZY(3)=PARFAZ(2)
        RMKEZY(4)=PARFAZ(3)
        RMKEZY(5)=1.
        SOLY(1)=4.5
        SOLY(2)=PARFAZ(5)
        SOLY(3)=PARFAZ(6)
        SOLY(4)=PARFAZ(7)
        SOLY(5)=PARFAZ(8)
        SAGY(1)=PARFAZ(4)
        SAGY(2)=PARFAZ(5)
        SAGY(3)=PARFAZ(6)
        SAGY(4)=PARFAZ(7)
        SAGY(5)=4.5
        DO 89885 I=1,N
         SOLU(I)=SOLY(I)
         SAGU(I)=SAGY(I)
         RMKEZU(I)=RMKEZY(I)
89885 CONTINUE
        DO 8988 I=1,N
         SOLY(I)=SOLY(I)*YSCAL
         SAGY(I)=SAGY(I)*YSCAL
         SOLU(I)=SOLU(I)*USCAL
         SAGU(I)=SAGU(I)*USCAL
         RMKEZY(I)=RMKEZY(I)*YSCAL
         RMKEZU(I)=RMKEZU(I)*USCAL
8988  CONTINUE
        ARTIS=1.9
        BBLA=(Q)*(2.0-ARTIS)
        BBLE=Q*ARTIS
        JKK=0

C       WRITE(*,*)'FUNDA1'
C       PAUSE

49        Q1=Q2
          Q2=Q3
```

```
          Q3=Q4
          Q4=Q
          y1=y2
          y2=y3
          y3=y4
          y4=(0.006*Q3+0.009*Q2+0.011)/(1+0.001*y3+0.002*y2)
      HA1=y4
          IF(JKK.LT.1000) THEN
          YSON=0.7
          YSETT=0.70
          ENDIF
          IF(JKK.GE.1000) THEN
          YSON=0.8
          YSETT=0.8
          ENDIF

C************
====================================
      IF (INT(JKK/100)*100.NE.JKK) GOTO 9595
       call ran3(1,rando)
9595  Q=BBLA+(BBLE-BBLA)*RANDO

      IF (NF.GT.1) GO TO 5291
      NF=2
      YK1=y4-YSETT
      UK=Q-USETT
      DO 5 I=1,N
        DO 5 J=1,N
          DO 5 K=1,N
             RSON(I,J,K)=0.
5     CONTINUE
      UK1=UK
      GO TO 49
5291  CONTINUE
889     YK=y4-YSETT
        UK=Q-USETT
        CALL FUZZY(UK1,RMKEZU,SOLU,SAGU,N,SONUCU)
        CALL FUZZY(YK1,RMKEZY,SOLY,SAGY,N,SOYK1)
        CALL FUZZY(YK,RMKEZY,SOLY,SAGY,N,SOYK)
        YK1=YK
        UK1=UK
        IYIL=1
        JYIL=1
        SU=SONUCU(1)
        SY=SOYK1(1)
        DO 20 IUI=1,N
          IF(SU.LT.SONUCU(IUI)) GO TO 8
           GO TO 9
```

```
8         SU=SONUCU(IUI)
         IYIL=IUI
9         CONTINUE
        IF(SY.LT.SOYK1(IUI)) GO TO 18
         GO TO 19
18         SY=SOYK1(IUI)
         JYIL=IUI
19         CONTINUE
20     CONTINUE
       DO 21 IA=1,N
       DO 21 JA=1,N
       DO 21 KA=1,N
        IF (IA.EQ.IYIL.AND.JA.EQ.JYIL) GOTO 24
         GOTO 25
24         RSON(IA,JA,KA)=AFAF*MIN(SONUCU(IA),SOYK1(JA),SOYK(KA))+
   *     (1.-AFAF)*RSON(IA,JA,KA)
         GOTO 21
25         RSON(IA,JA,KA)=MAX(MIN(SONUCU(IA),SOYK1(JA),SOYK(KA)),
   *     RSON(IA,JA,KA))
21     CONTINUE
C     WRITE(*,5002) (((RSON(ITQ,JTQ,KTQ),KTQ=1,N),JTQ=1,N),ITQ=1,N)
C       PAUSE
     WRWR=XCARP1(RSON,SOYK1,SONUCU,RMKEZY,N)
     WRW1=WRWR+YSETT
     YQ=YK+YSETT
     UUUUU=UK1+USETT
     JKK=JKK+1
c deney süremi yazcem 4000 in yerine
     IF(JKK.LT.2500) GOTO 49
5002  FORMAT(5X,5F10.5)
C567   CONTINUE
     OPEN(UNIT=10,FILE='RELATNN.DAT',STATUS='OLD')
     REWIND 10
     WRITE(10,5002) (((RSON(ITQ,JTQ,KTQ),KTQ=1,N),JTQ=1,N),ITQ=1,N)
     CLOSE(10)
C*********************
==============================
     RETURN
     END

     SUBROUTINE CONTROL(y4,FON)
     IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
     DIMENSION PARFAZ(16)
     common / ga1   / npopsi,nparam,nchrom
     common / faz / parfaz,parfa(5)

COMMON/FAZIL/RMKEZY(10),RMKEZU(10),SOLY(10),SOLU(10),SAGY(10),
    *SOYK(10),SOYK1(10),SONUCU(10),RSON(5,5,5),SAGU(10),N,NF,AFAF
```

```
      DIMENSION ULAR(90)
      COMMON/NEW/igenno,istrno
      COMMON/CAG/Q,SPNT
      COMMON  /FUNDA/A(5)
      DATA (ULAR(M),M=1,83)/7.,9.,10.5,12.,13.5,15.,16.5,18.,19.5,
     *21.,22.5,24.,25.5,27.,28.5,30.,31.5,33.,34.5,36.,37.5,39.,
     *40.5,41.,41.5,42.,42.5,43.,43.5,44.,44.5,45.,45.5,46.,46.5,
     *47.,47.5,48.,48.5,49.,49.5,50.,50.5,51.,51.5,52.,52.5,53.,53.5,
     *54.,54.5,55.,55.5,56.,56.5,57.,57.5,58.,58.5,59.,59.5,
     *61.,62.5,64.,65.5,67.,68.5,70.,71.5,73.,74.5,76.,77.5,
     *79.,80.5,82.,83.5,85.,86.5,88.,89.5,91.,93./


       DT=0.1
      NNN=4
      TOPISE=0.
      TOPIAE=0.
          TOPZAM=0.

c      YXS=0.75
C          write(*,*)yxs
           y1=0.76
           y2=0.76
           y3=0.76
           y4=0.76
      Q0=50.
      Q=Q0
           Q1=Q
           Q2=Q
           Q3=Q
           Q4=Q
      SPNT=0.7

      USETT=50.
      J=0
      YFUZZY=0
      OPEN(UNIT=25,FILE='FUNDA1.OUT',STATUS='OLD')
      REWIND 25
      write(25,105)igenno
          write(25,104)istrno
      write(25,106)
      write(25,107)(parfaz(i),i=1,nparam)
          WRITE(25,*)'RELATION MATRIS'
      WRITE(25,5002) (((RSON(ITQ,JTQ,KTQ),KTQ=1,N),JTQ=1,N),ITQ=1,N)
      write(25,100)
  100  format(//2x,'ZAMAN(d)',3x,'iletkenlik',3x,'SET NOK.',2x,'  Q  ',
     *4x,'TOPISE',6x,'TOPIAE')
  105  format(/1x,'generation number=',i5)
```

```
 104  format(/1x,'string number=',i5)
 106  format(/4x,'MERKEZ2',2x,'MERKEZ3',2x,'MERKEZ4',3x,'SAG1',3X,
    *'SAG/SOL2',1X,'SAG/SOL3',1X,'SAG/SOL4',3x,'SOL5')
 107  format(8f9.3/)
      write(*,*)'funda'
C************
 ====================================
c49    DBX=ANU*BX
c      DS=-ANU*BX/YXS
 49       Q1=Q2
          Q2=Q3
          Q3=Q4
          Q4=Q
          y1=y2
          y2=y3
          y3=y4
          y4=(0.006*Q3+0.009*Q2+0.011)/(1+0.001*y3+0.002*y2)

          TOPZAM=TOPZAM+DT
     HA1=y4
     IF(TOPZAM.LT.20) THEN
          YSON=0.7
          YSETT=0.70
          ENDIF
          IF(TOPZAM.GE.20) THEN
          YSON=0.8
          YSETT=0.8

          ENDIF

          YKESKI=y4-YSETT
     CALL FUZZY(YKESKI,RMKEZY,SOLY,SAGY,N,SOYK1)
C         WRITE(*,*)'SOYK1',SOYK1
C         PAUSE
     J=J+1
     UZAK=5000000.67
     DO 1246 IKRR=1,83
     Q=ULAR(IKRR)
     UK1=Q-USETT
     CALL FUZZY(UK1,RMKEZU,SOLU,SAGU,N,SONUCU)
     WRWR=XCARP1(RSON,SOYK1,SONUCU,RMKEZY,N)
     WRW1=WRWR+YSETT
     IF(UZAK.LT.ABS(WRW1-YSON)) GOTO 6431
      UZAK=ABS(WRW1-YSON)
      USAYI=UK1
      YFUZZY=WRW1
      UNO=IKRR
6431    CONTINUE
```

```
1246  CONTINUE
      UK1=USAYI+USETT
      YKEEE=YKESKI+YSETT
      Q=UK1
      HATA=y4-YSON
c         write(*,*)'HATA',HATA
c         pause
      AIAE=ABS(HATA)
      AISE=HATA**2
      TOPISE=TOPISE+AISE
      TOPIAE=TOPIAE+AIAE
      FON=TOPIAE
       if(J.eq.(10*int(J/10))) then
         write(25,101) TOPZAM,y4,YSON,Q,topise,topiae
       endif
cg      WRITE(*,*) J,YKEEE,YFUZZY,UK1,UZAK,UNO
      IF(TOPZAM.LT.50) GOTO 49
      CLOSE(25)
5002  FORMAT(5X,5F10.5)
 101  format(2x,F6.1,2x,f6.2,5x,f6.2,4x,f6.1,2x,f10.3,2x,f10.3,
     *3X,F8.3,4X,F7.3)
C     WRITE(19,5002) (((RSON(ITQ,JTQ,KTQ),ITQ=1,N),JTQ=1,N),KTQ=1,N)
C**********************YENI KISIM
SONU==============================
      RETURN
      END

      SUBROUTINE FUZZY(XE,RMKEZ,SOL,SAG,N,SONUC)
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      DIMENSION RMKEZ(10),SOL(10),SAG(10),SONUC(10)
      DO 501 JGL=1,N
501   SONUC(JGL)= FFF(XE,RMKEZ(JGL),SOL(JGL),SAG(JGL))
      RETURN
      END


      FUNCTION DFUZZY(SONUC,RMKEZ,N)
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      DIMENSION RMKEZ(10),SONUC(10)
      SS=0.
      SS1=0.
      DO 504 IGL=1,N
       SS1=SS1+SONUC(IGL)
504   SS=SS+SONUC(IGL)*RMKEZ(IGL)
      DFUZZY=0.
      IF(SS1.NE.0.) DFUZZY=SS/SS1
      RETURN
      END
```

```
      FUNCTION FFF(XE,AMER,ASOL,ASAG)
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      IF((XE.LE.(AMER-ASOL)).OR.(XE.GT.(AMER+ASAG))) GO TO 1111
      IF(XE.LE.AMER) GO TO 2111
      GOTO 3111
 1111 FFF=0.
      GO TO 4111
 2111 FFF=1.-(AMER-XE)/ASOL
      GO TO 4111
 3111 FFF=1.-(XE-AMER)/ASAG
 4111 RETURN
      END

      FUNCTION XCARP1(RSSS,ASS1,ASS2,RMKEZY,N)
      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      DIMENSION ASS1(10),ASS2(10),RSSS(N,N,N),AYYU(10),RMKEZY(10)
C       WRITE(*,*)N
C       PAUSE
      DO 1926 ITT=1,N
      SSDD=0.
      DO 19251 ITT1=1,N
      SSYEN=0
      DO 1925 ITT2=1,N
       TTIF=MIN(ASS2(ITT2),RSSS(ITT2,ITT1,ITT))
       IF(TTIF.GT.SSYEN) SSYEN=TTIF
 1925 CONTINUE
       TTIF=MIN(ASS1(ITT1),SSYEN)
       IF(TTIF.GT.SSDD) SSDD=TTIF
19251 CONTINUE
      AYYU(ITT)=SSDD
 1926 CONTINUE
      XCARP1=DFUZZY(AYYU,RMKEZY,N)
      RETURN
      END
```

EK 15 Dönüşüm Kontrolu için Visual Basic Dilinde Yazılan Deneysel "Fuzzy" Kontrol Programı

```
public INCR as integer
PUBLIC
RMKEZY(10),RMKEZU(10),SOLY(10),SOLU(10),SAGY(10),SAGU(10) AS
SINGLE
PUBLIC SOYK(10),SOYK1(10),SONUCU(10),RSON(5,5,5),ULAR(83),ANAKO AS
SINGLE
PUBLIC N AS INTEGER
PUBLIC
YKESKI,YSETT,USETT,UK1,WRWR,WRW1,UZAK,USAYI,YFUZZY,UNO,IKRR
AS SINGLE
PUBLIC SS,SS1,DFUZZY,XE,AMER,ASOL,ASAG,RSSS(5,5,5),ASS1(10),ASS2(10)
AS SINGLE
PUBLIC SSDD,SSYEN,TTIF,AYYU(10),XCARP1 AS SINGLE
PUBLIC ITQ,JTQ,KTQ,M,ITT,ITT1,ITT2,JGL,IGL,I AS INTEGER
PUBLIC RMKEZ(10),SOL(10),SAG(10),SONUC(10),USCAL AS SINGLE
public ISE,IAE,TOPIAE,TOPISE as single
PUBLIC ilfson,ilf,A AS SINGLE
PUBLIC QA AS INTEGER
'public YSON as single

dim ilet as Tag
dim sic as Tag
dim pomp as Tag
'dim YSON as Tag
dim YSCAL as Tag
dim YSON as Tag
'dim Tf as Tag
'değişkenlerin kesirli veya tamsayı olması durumu
dim iletT as single
dim sicT as single
dim pompT as single
'dim YSONT as single
dim YSCALT as single
dim YSONT as Tag

Sub SCR1()
'sistemden okunan ve hesaplanan verilerin kaydedilmesi içim dosya açılması
'if        INCR=0 then
'Open "C:\spadrv\havva\deneyler\pidkont\pidsu.txt" For Output Access Write As #1
'end if
INCR=INCR+1
TT=1
N=5
Tf=20.0
```

```
'IF ((INCR-1) mod TT)=0 then
IF INCR=1 THEN
  Open "c:\VISIDAQ\funda\fuzzy\rlts4502.DAT" For Input As #1
  Open "c:\VISIDAQ\funda\fuzzy\Us450.DAT" For Input As #2
  FOR M=1 TO 83
    INPUT #2,ULAR(M)
  NEXT M

  For itq = 1 To N
   For jtq = 1 To N
    For ktq = 1 To N
     INPUT #1,RSON(ITQ,JTQ,KTQ)
    Next ktq
   Next jtq
  Next itq
close #2
close #1
END IF

set ilet=GetTag("TASK1","SOC5")
set sic=GetTag("TASK1","SOC6")
'set Tf=GetTag("DISP1","NCTL2")
set pomp=GetTag("TASK1","SOC4")
'set YSON=GetTag("DISP1","NCTL1")
set YSCAL=GetTag("DISP1","NCTL1")
set YSON=GetTag("DISP1","NCTL2")

if INCR<=2 then ilf=ilet
st=1
A=exp(-st/Tf)
ilf=A*ilf+(1-A)*ilet
ilet=ilf

'MsgBox "ULAR(35)="&ULAR(35)
'MsgBox "RLTN(5,5,5)="&RSON(5,5,5)

YSETT=0.8  'set noktası üst sınır
USETT=50.0  'yatışkın hal u değeri
'YSON=0.8     'set noktası
'YSCAL=0.2 'parametre
USCAL=43.0 'umax-uyatışkın(uset karşılık geliyor)
YFUZZY=0.0
RMKEZY(1)=-1.0
RMKEZY(2)=-0.490
RMKEZY(3)=-0.050
RMKEZY(4)=0.523
RMKEZY(5)=1.0
SOLY(1)=4.5
```

```
SOLY(2)=0.583
SOLY(3)=0.317
SOLY(4)=0.617
SOLY(5)=0.750
SAGY(1)=0.417
SAGY(2)=0.583
SAGY(3)=0.317
SAGY(4)=0.617
SAGY(5)=4.5

FOR ITT=1 TO N
SOLU(ITT)=SOLY(ITT)
SAGU(ITT)=SAGY(ITT)
RMKEZU(ITT)=RMKEZY(ITT)
NEXT ITT

FOR ITT=1 TO N
SOLY(ITT)=SOLY(ITT)*YSCAL
SAGY(ITT)=SAGY(ITT)*YSCAL
SOLU(ITT)=SOLU(ITT)*USCAL
SAGU(ITT)=SAGU(ITT)*USCAL
RMKEZY(ITT)=RMKEZY(ITT)*YSCAL
RMKEZU(ITT)=RMKEZU(ITT)*USCAL
NEXT ITT

'YKESKI=T3(INCR)-YSETT
YKESKI=ilet-YSETT
'MsgBox "YKESKI="&YKESKI

'CALL FUZZY(YKESKI,RMKEZY,SOLY,SAGY,N,SOYK1)
FOR JGL=1 TO N
SOYK1(JGL)=FFF!(YKESKI,RMKEZY(JGL),SOLY(JGL),SAGY(JGL))
'MsgBox "FFF="&SOYK1(JGL)
NEXT JGL

UZAK=5000000
'MsgBox "ULAR1="&ULAR(1)

FOR IKRR=1 TO 83
ANAKO=ULAR(IKRR)
'MsgBox "ULAR2="&ANAKO
UK1=ANAKO-USETT
'CALL FUZZY(UK1,RMKEZU,SOLU,SAGU,N,SONUCU)

FOR JGL=1 TO N
SONUCU(JGL)=FFF!(UK1,RMKEZU(JGL),SOLU(JGL),SAGU(JGL))
'MsgBox "FFF="&SONUCU(JGL)
NEXT JGL
```

```
WRWR=XCARP1!(RSON(),SOYK1(),SONUCU(),RMKEZY(),N%)
'MsgBox "XCARP1="&XCARP1
WRWR=XCARP1
 'MsgBox "WRWR="&WRWR
WRW1=WRWR+YSETT
IF UZAK > ABS(WRW1-YSON) THEN
UZAK=ABS(WRW1-YSON)
USAYI=UK1
YFUZZY=WRW1
UNO=IKRR
ELSE
END IF

NEXT IKRR

UK1=USAYI+USETT
YKEEE=YKESKI+YSETT
ANAKO=UK1/1.3
if ANAKO<=7. then ANAKO=7.
pomp=ANAKO
QA=UK1
HATA=ilf-YSON
IAE=ABS(HATA)
ISE=(HATA)*(HATA)
TOPIAE=TOPIAE+IAE
TOPISE=TOPISE+ISE

'Sistemden okunan ve hesaplanan verilerin kaydedilmesi
'write #1,INCR,zaman,stt,er,ISE,IAE,ITAE,ITSE,att,attm1,attm2,a
outputf 0, QA
outputf 1, pomp
outputf 2, ilf
outputf 3, YSON
outputf 4, IAE
outputf 5, ISE
outputf 6, TOPIAE
outputf 7, YSCAL

End Sub

FUNCTION FFF!(XE,AMER,ASOL,ASAG)
IF (XE<=(AMER-ASOL)) OR (XE>(AMER+ASAG)) THEN
FFF!=0.
ELSEIF (XE <= AMER) THEN
FFF!=1.-( AMER-XE)/ASOL
ELSE
FFF!=1-(XE-AMER)/ASAG
END IF
```

```
END FUNCTION
FUNCTION  XCARP1!(RSSS(),ASS1(),ASS2(),RMKEZY(),N%)
FOR ITT=1 TO N
SSDD=0
FOR ITT1=1 TO N
SSYEN=0
FOR ITT2=1 TO N
'TTIF=MIN(ASS2(ITT2),RSSS(ITT2,ITT1,ITT))
IF (ASS2(ITT2)<= RSSS(ITT2,ITT1,ITT)) THEN
TTIF=ASS2(ITT2)
ELSE
TTIF=RSSS(ITT2,ITT1,ITT)
END IF
IF (TTIF > SSYEN) THEN SSYEN=TTIF
NEXT ITT2
'TTIF=MIN(ASS1(ITT1),SSYEN)
IF(ASS1(ITT1)<=SSYEN) THEN
TTIF=ASS1(ITT1)
ELSE
TTIF=SSYEN
END IF
IF TTIF > SSDD THEN SSDD=TTIF
NEXT ITT1
AYYU(ITT)=SSDD
NEXT ITT
"""XCARP1=DFUZZY(AYYU,RMKEZY,N)
CALL DFUZZY(AYYU,RMKEZY,N,DFUZZY)
XCARP1!=DFUZZY
'MSGBOX dfuzzy
END FUNCTION

SUB DFUZZY(SONUC(),RMKEZ(),N%,DFUZZY)
SS=0.0
SS1=0.0
FOR IGL=1 TO N
SS1=SS1+SONUC(IGL)
SS=SS+SONUC(IGL)*RMKEZ(IGL)
NEXT IGL
DFUZZY=0.0
IF(SS1 <> 0) THEN DFUZZY=SS/SS1
END SUB
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	:	FUNDA KILIÇ
Doğum Yeri	:	ANKARA
Doğum Tarihi	:	26/09/1979
Medeni Hali	:	BEKAR
Yabancı Dili	:	İNGİLİZCE

Eğitim Durumu

Lise	:	KURTULUŞ LİSESİ-1996
Lisans	:	ANKARA ÜNİVERSİTESİ -2001
Yüksek Lisans	:	ANKARA ÜNİVERSİTESİ -2007

Çalıştığı Kurum/Kurumlar

ORTAÇ BOYA SAN. LTD.ŞTİ.	2002-2005
SRS PETROL LTD. ŞTİ.	2005-2006
ORTAÇ BOYA SAN. LTD.ŞTİ.	2006-