

**T. C.
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİNÜS ETKİSİNDE KADEMELİ REAKTÖRLERİN
DİNAMİĞİ ve KONTROLU**

Yüksek Lisans Tezi

A Y Ş E S E L E K

**Mühendislik - Mimarlık Fakültesi
Kimya Mühendisliği Bölümü**

ESKİŞEHİR, 1983

T E Ş E K K Ü R

Yüksek Lisans çalışmamın oluşmasında en büyük desteğini gördüğüm Sayın Doçent Dr. Mustafa Albaz'a,

Çalışmam için olanak sağlayan ve yardımcı olan Sayın Prof. Dr. Musa Şenel'e,

Bilgisayar çalışmalarım esnasında bilgilerirden yararlandığım Sayın Nimetullah Burnak ve diğer arkadaşlara,

Yüksek Lisans arkadaşlarım olan Süleyman Kaytakoğlu ve Mete Koçkar'a,

Şekillerin çiziminde yardımcı olan Babam'a ve hakkını ödeyemeyeceğim Annem'e teşekkürlerimi sunarım.

Ö Z E T

Bu çalışmada, beş tam karıştırmalı akım reaktörleri dizisinin besleme akış hızında verilen kademe ve sinüs değişimlerinin çıkış değişkenleri üzerindeki etkileri kuramsal olarak incelenmiştir. Ayrıca aynı sistem benzer etkiler altında iken, ileri ve geri beslemeli kontrol mekanizmalarının etkileri araştırılmıştır.

Alpbaz(1), yukarıda belirtilen sistemin ve kontrol mekanizmalarının matematik modellerini geliştirerek kademe değişimlerinin çıkış değişkenine etkilerini kuramsal olarak çözmüş, sonuçları deneysel verilerle karşılaştırmıştır.

Beş tam karıştırmalı akım reaktörleri kademeli-parametrelili sistem özelliği göstererek bir dağılımlı-parametrelili sistem olan borusal akım reaktörüne yaklaşım sağlarlar. Genel olarak dinamik çalışmalar ile bu yaklaşımın geçerliliği gösterilir.

Çeşitli frekanslarda sinüs değişimleri besleme akımına verilerek, bu değişimin sistem ve kontrol mekanizmaları üzerindeki etkileri sayısal bilgisayarda çözülmüştür.

Çözüm sonuçlarında, faz-düzlem analizi yönteminin yardımı ile sistemin kararlılığı incelenmiştir, ayrıca birinci ve beşinci tanklar için Laplace dönüşümü yapılarak ilgili transfer fonksiyonları hesaplanmıştır. Bu fonksiyonlar yardımı ile aynı tanklar için Bode ve Nyquist diyagramları çizilmiştir.

III

A B S T R A C T

In this work, the effects of the step and the sinus changes given to the flowrate of the Cascade of five continuous flow stirred tank reactors to the output variables are investigated theoretically. In addition, the feedback and feedforward control of the same Cascade under the similar changes are investigated.

Alpbaz(1), has developed the mathematical models of Cascade and control systems and then calculated theoretically the effects of the step changes to the output variables; the theoretical results were compared with experimental data.

The plug-flow reactor defined as an distributed-parameter system can be approximated by the five flow stirred tank reactors having lumped-parameter nature. Generally, validity of this approach is shown with the dynamic studies.

The sinus changes of different frequencies are given to the flowrate of the feed and the effects of these changes to the Cascade and control systems are solved on a digital computer.

From the results of calculations, the stability of the system are examined with the Phase-plane analysis. Laplace transformations of the first and fifth tanks are derived and then related transfer functions are calculated, Bode and Nyquist diagrams are given for the same tanks with the aid of these functions.

İ Ç İ N D E K İ L E R

TEŞEKKÜR	I	
ÖZET	II	
ABSTRACT	III	
İÇİNDEKİLER	IV	
SEMBOLLER	VI	
GİRİŞ	VIII	
<u>BÖLÜM 1</u>	<u>GENEL BİLGİLER</u>	1
1.1	Tam karıştırmalı ve borusal akım reaktörleri üzerinde yapılan çalışmalar	1
1.2	Dağılımlı-parametrelili sistemler	2
1.3	Kademeli-parametrelili sistemler	2
1.4	Dağılımlı ve kademeli-parametrelili sistemlerin sinüs etkisinde dinamiği	2
1.5	Dağılımlı ve kademeli-parametrelili sistemlerin kontrolü	5
1.5.1	Geri beslemeli kontrol	5
1.5.2	İleri beslemeli kontrol	7
1.5.3	Geri ve ileri beslemeli kontrol	7
<u>BÖLÜM 2</u>	<u>MATEMATİK MODELLEME</u>	10
2.1	Tam karıştırmalı akım reaktörlerinin kararlı ve kararsız-hal denklemleri	10
2.2	Borusal akım reaktörlerinin kararlı ve kararsız-hal denklemleri	12
<u>BÖLÜM 3</u>	<u>MATEMATİK MODELİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ</u>	14
3.1	Analitik çözüm yöntemleri	14
3.1.1	Laplace dönüşümleri ve transfer fonksiyonları	14
3.1.2	Bode diyagramları	20
3.1.3	Enerji ve kütle denkliklerinin Laplace dönüşümleri ve ilgili Bode diyagramlarının hesaplanması	22
3.1.4	Nyquist diyagramları	28
3.1.5	Sistem belirleme yöntemleri	29
3.1.6	Sinüs değişimlerinin zamana göre dönüşümleri	32
3.2	Sayısal bilgisayar ile çözüm	35

3.2.1	Kararlı-hal çözümü	35
3.2.2	Kararsız-hal çözümü	38
3.2.3	Kontrol çözümü	39
3.3	Kararlılık testleri	41
3.3.1	Faz-düzlem analizi yöntemi	42
<u>BÖLÜM 4</u>	<u>SAYISAL BİLGİSAYAR ÇÖZÜMLERİNDEN ELDE</u>	
	<u>EDİLEN KURAMSAL SONUÇLAR</u>	46
4.1	Sayısal bilgisayar çözümlerinde kullanılan parametrelerin değerleri	46
4.2	Sayısal bilgisayar ile elde edilen çözüm sonuçları	48
4.2.1	Kararlı-hal sonuçları	48
4.2.2	Kararsız-hal sonuçları	48
4.2.3	Kontrol sonuçları	49
<u>BÖLÜM 5</u>	<u>TARTIŞMA ve SONUÇ</u>	89
EKLER		
EK 1	Bode diyagramları için yapılan sayısal çözümler	91
EK 2	Soğutma suyu için enerji denkliği	95
EK 3	Kararlı-hal denklemlerinin sayısal bilgisayar ile çözümleri	97
EK 4	Kararsız-hal denklemlerinin sayısal bilgisayar ile çözümleri	102
EK 5	Kontrol hesapları için sayısal bilgisiyar çözümleri	106
REFERANSLAR		113

S E M B O L L E R

A	Isı transfer yüzeyi(cm^2)
A_c	Reaktör kesiti(cm^2)
A_s	Soğutma yüzeyi(cm^2)
A_3	Soğutma kesiti(cm^2)
c_o	Besleme giriş derişimi(mol/lt)
c_n	n.Tankın çıkış derişimi(mol/lt)
c_{p_1}	Besleme özgül ısısı($\text{cal/g } ^\circ\text{C}$)
c_{p_2}	Soğutma suyu özgül ısısı($\text{cal/g } ^\circ\text{C}$)
D	Difüzyon katsayısı
e	Hata
E	Aktivasyon enerjisi
h	İntegrasyon zaman artışı
ΔH	Reaksiyon ısısı(cal/mol)
$k(T)$	Reaksiyon hız sabiti($1/\text{sn}$)
$k_{11}, k_{21}, k_{31}, k_{41}$	Runge-kutta sabitleri
K_c	Oransal kontrol sabiti
K_v	Vana sabiti
L	Zaman sabiti(sn)
LMTD	Logaritmik ortalama sıcaklık farkı
M_c	Ceket içindeki suyun toplam kütlesi(g)
$M(Z)$	Reaktörün dZ kesitindeki ortalama doğrusal akışkan hızı
n	İterasyon sayısı
N	Başlangıç kararlı-hal değerleri

P	Çıkış sinyali
R	İdeal gaz sabiti(cal/mol $^{\circ}\text{K}$)
s	Laplace operatörü
t	Zaman(sn)
T	Borusal akım reaktörünün çıkış sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)
T_o	Besleme giriş sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)
T_n	n.Tankın çıkış sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)
T_{c_1}	Hesaplanan yüksek sıcaklık limiti($^{\circ}\text{C}$)
T_{c_2}	Hesaplanan düşük sıcaklık limiti($^{\circ}\text{C}$)
T_{Ger}	Sıcaklığın gerçek değeri($^{\circ}\text{C}$)
TEMPA	En düşük sıcaklık limiti($^{\circ}\text{C}$)
TEMPB	En yüksek sıcaklık limiti($^{\circ}\text{C}$)
T_D	Türevsel hareket zamanı
T_R	İntegral hareket zamanı
U	Isı transfer katsayısı(cal/cm ² sn $^{\circ}\text{C}$)
V	Bir tankın hacmi(cm ³)
V_1	Reaktörün içindeki akışkan hızı(lt/dak)
V_2	Soğutma suyu akış hızı(lt/dak)
Z	Reaktör girişinden olan uzaklık
θ	Borusal akım reaktörü için t zamanında soğutma suyu sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)
θ_o	Soğutma suyu giriş sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)
θ_n	n.Tanktaki soğutma suyu sıcaklığı($^{\circ}\text{C}$)
ρ_1	Besleme yoğunluğu(g/cm ³)
ρ_2	Soğutma suyu yoğunluğu(g/cm ³)
w	Sinüs fonksiyonunun frekans değeri(radyan)
w_n	Ağırlıklı sıcaklık ölçüm katsayıları
x	Sistemin bağımlı değişkeni(sıcaklık veya derişim)

G İ R İ Ő

Kimya endüstrisinde, genellikle tam karıştırmalı ve borusal akım reaktörleri kullanılır. Bilindiği gibi tam karıştırmalı akım reaktörleri, kademeli-parametre özelliği gösterirken borusal akım reaktörleri ise dağılımlı-parametreli sistem olarak tanımlanırlar. Literatürde, dağılımlı ve kademeli-parametreli sistemlerin dinamiği ve kontrolü üzerinde kuramsal ve deneysel olarak birçok araştırma yapılmıştır(1,2,3,4,5,6). Bu araştırmalarda, bir sistemin kontrolü için yapılan hesaplamalarda, aynı sistemin dinamiği üzerinde durulması gerektiği ve geri beslemeli kontrol sistemlerinde ölçüm yapılan yerlerin önemi belirtilmiştir.

Kademeli-parametreli sistemlerin matematiksel olarak çözümü, dağılımlı-parametreli sistemlerden daha kolay olduğundan bazı çalışmalarda eşit kademelere bölme yöntemi ile dağılımlı-parametreli sistemler kademeli hale dönüştürülerek çözülürler.

Bu çalışmada, beş tam karıştırmalı akım reaktörleri dizisinin besleme akış hızında verilen kademe ve sinüs değişimlerinin çıkış değişkenleri üzerindeki etkileri kuramsal olarak incelenmiştir. Ayrıca aynı sistem, benzer etkiler altında iken ileri ve geri beslemeli kontrol mekanizmalarının etkileri araştırılmıştır.

Dinamik çalışmalarda, sinüs etkileri sistemlere kararsızlık (unstability) verdiğiinden, bu etki sistem kararlılığı için iyi bir test yöntemidir. Sistemlere çeşitli frekanslarda sinüs değişimi verilerek ilgili transfer fonksiyonları bulunabilir. Bu fonksiyonlardan yararlanarak Bode, Nyquist diyagramları çizilip kararlılık testleri yapılabilir. Ayrıca sinüs değişimlerinin yardımı ile kompleks proseslerin transfer fonksiyonları ile belirsiz birçok proses parametreleri tahmin edilebilir. Dinamik çalışmalarda bu tip işlemlere, sistem belirlenmesi (identification) ve tahmin etme (estimation) denir.

Bölüm 2 de bu çalışmada kullanılan tam karıştırmalı ve borusal akım reaktörlerinin enerji ve kütle denklikleri için kararlı ve kararsız-hal (steady and unsteady state) denklemleri verilmiştir.

Bölüm 3 de bir önceki bölümde geliştirilen modellerin analitik ve sayısal bilgisayarda çözüm yöntemleri önerilmiştir.

Bölüm 4 de yapılan çözüm sonuçları verilmiş, Bode, Nyquist ve Faz-düzlem eğrileri çizilerek kararlılık analizleri yapılmıştır.

Bölüm 5 de çalışma sonunda elde edilen sonuçlar ve ileri çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

B Ö L Ü M 1

G E N E L B İ L G İ L E R

Bu bölümde yapılan çalışma ile ilgili literatürde verilen araştırmalar ile dağılımlı ve kademeli-parametrelili sistemlerin dinamiği ve kontrolü üzerine kuramsal açıklamalar verilmiştir.

1.1 Tam karıştırmalı ve borusal akım reaktörleri üzerinde yapılan çalışmalar

Buxton(7), bir tam karıştırmalı akım reaktöründe ileri ve geri beslemeli kontrol sistemlerinin etkilerini incelemiştir.

Chao(8), yukarıda incelenen sisteme optimal kontrol mekanizmalarını ilave ederek sistem dinamiği ve kontrolünü araştırmıştır.

Franks(9), tam karıştırmalı akım reaktörlerinin dinamik ve kontrol çalışmaları için bilgisayar programları önermiştir.

Baker ve Walter(10), tam karıştırmalı kaplar içinde yer alan yarı kesikli prosesler için bir ısı iletim modeli üzerinde çalışmışlardır. Tahmini başlangıç şartlar ile oluşturulan differansiyel denklemler dizisini çözmüşlerdir. Çözüm sonuçlarını deneysel verilerle karşılaştırarak, differansiyel denklemin parametrelerinin gerçek değerlerini saptamışlardır. Bu çalışmada dene-bul yöntemi kullanmışlar ve ısı transfer katsayısını hesaplamışlardır.

Son yıllarda karıştırma kaplarının parametre tahminleri, optimal ve istatistiksel yöntemler kullanılması ile yapılmıştır (11,12,13).

Alpbaz,(1) bu çalışmada kullanılan beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinde ideale yakın tam karıştırmanın mümkün olduğunu göstermiştir.

Guy(14), tank tipi reaktörlerin ceket ile ısıtılması veya soğutulmasında, ceket için geliştirilen matematik modelin yapısının sistem dinamiğine etkisini incelemiştir.

1.2 Dağılımlı-parametreli sistemler

Kimya Mühendisliğinde proseslerin bir kısmı dağılımlı-parametreli sistem özelliği gösterirler. Bu tip proseslere örnek olarak zaman ve uzaysal değişim gösteren bir boru içinde akan akışkanın davranışını verebiliriz;

$$-D \frac{\partial^2 X}{\partial Z^2} + M(Z) \frac{\partial X}{\partial Z} + \frac{\partial X}{\partial t} = f(t) \quad (1.1)$$

Denklemler(1.1) deki difüzyon terimi ihmal edilirse:

$$M(Z) \frac{\partial X}{\partial Z} + \frac{\partial X}{\partial t} = f(t) \quad (1.2)$$

Denklemler(1.2) nin türbülent akımlı proseslerde kullanılabilmesi için piston akış, fiziksel özelliklerin değişmediği, eş sıcaklık ve boyuna karışım olmadığı yaklaşımlarını yapmak gerekir.

1.3 Kademeli-parametreli sistemler

Kademeli-parametreli sistemlerde uzaysal değişim olmadığından bir dizi adi türevli differansiyel denklem ile ifade edilirler. Kademeli-parametreli sistemlerin dağılımlı-parametreli sistemlere göre çözümü daha kolaydır. Bu nedenle dağılımlı-parametreli sistemler eşit kademelere bölünerek hesaplamalar yapılır.

1.4 Dağılımlı ve kademeli-parametreli sistemlerin sinüs etkisinde dinamiği

Dinamik ve kontrol çalışmalarında, kararlılık testleri için sinüs değişimleri çok fazla kullanılmaktadır. Kimya Mühendisliğinde bu tip değişimler akış hızlarında veya sıcaklık etkileri olarak verilebilir.

Bir sinüs girişi matematiksel olarak aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned} t=0 & \quad f(t)=0 \\ t=t & \quad f(t)= A \sin \omega t \end{aligned} \quad (1.3)$$

A genliğinde, w frekansında bir sinüs değişimini Şekil 1.1 de verilmiştir.

Bir sinüs değişiminin Laplace dönüşümü:

$$L \left\{ f(t) \right\} = \frac{w.A}{s^2 + w^2} \quad (1.4)$$

Literatürde kuramsal hesaplamalar için birçok yayına rastlanır(15,16,17,18)..

Sinüs değişimlerinin proseslerdeki etkileri üzerinde araştırmalara çok fazla rastlanmaktadır.

Konu ile ilgili bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

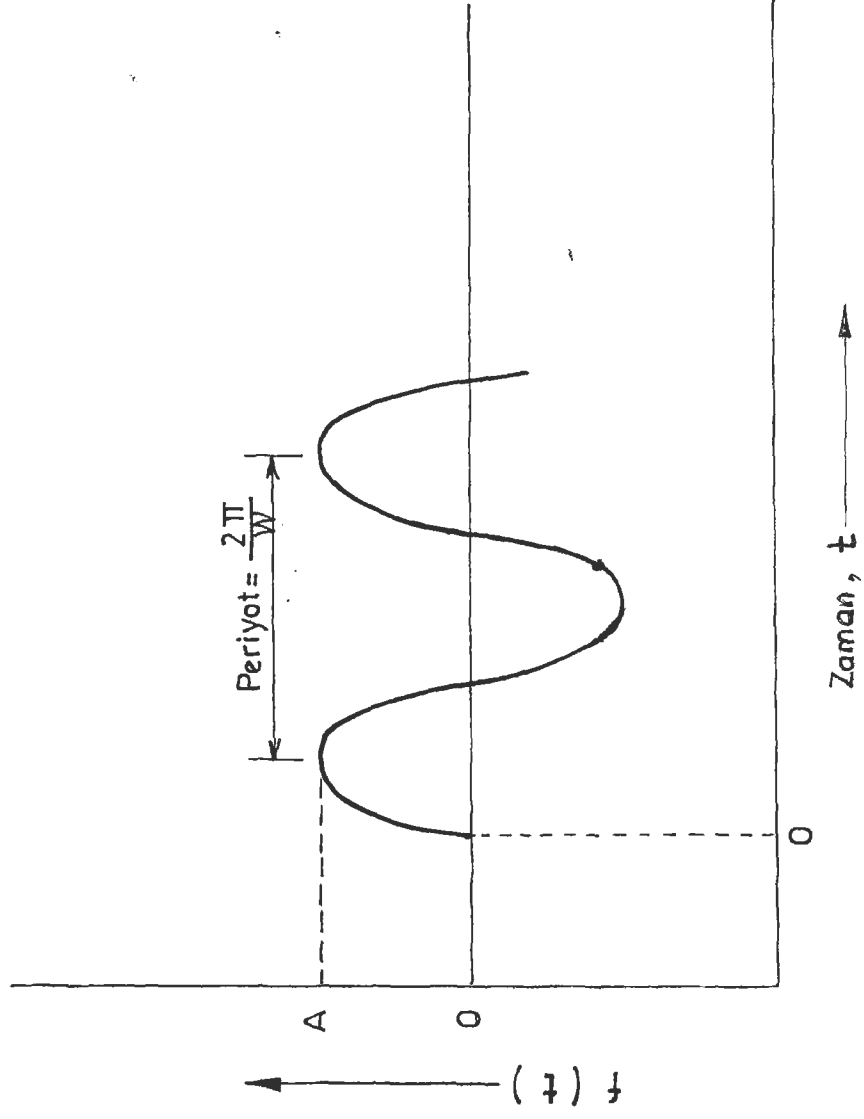
Luyben(16), sinüs değişimlerinin prosesler üzerindeki etkileri üzerinde yapılan hesaplamalar için bilgisayar programları önermiştir. Kademeli damıtma kolonları için "stiff" tekniğinin sinüs etkilerinde yararlı olacağını göstermiştir.

Gutierrez(19,20), çok geçişli bir ısı değiştiricisinde giriş akış hızına verilen sinüs değişiminin çıkış sıcaklığı üzerindeki etkisini incelemiştir. Isı iletim katsayısının korelasyon yoluyla hesapları, deneysel sonuçlarla uygunluk göstermiştir.

Rake(21), doğrusal sistemler için sinüs etkilerinin bir özetini yapmıştır. Ayrıca aynı etkilerin çok değişkenli sistemlerde parametre tahmini için kullanılabileceğini göstermiştir.

Paynter ve Takahashi(22), sinüs değişimlerinin çift borulu ısı değiştiricisi üzerindeki etkilerini analitik yoldan çözerek kademe etkisi ile hesapladığı sonuçlar ile karşılaştırmışlardır.

Cohen ve Johnson(23), kademeli-parametrelili sistem ile ifade ettiği çift borulu ısı değiştiricisinin giriş akış hızına verilen sinüs değişiminin çıkış sıcaklığına etkilerini incelemişlerdir.



Şekil 1.1 A genliğinde ve W frekansında bir sinüs değişimi .

1.5 Dağılımlı ve kademeli-parametrelı sistemlerin kontrolu

Bu kısımda kontrol sistemlerinin temel kuramsal açıklamaları yapılmış ve ilave olarak ilgili literatür verilmiştir.

1.5.1 Geri beslemeli kontrol

Otomatik kontrol amacı için kullanılan geri beslemeli kontrol sistemi Şekil 1.2 de verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere ölçüm elemanı, kontrolü istenen sinyalin ölçümünü yaparak ilgili sinyali kontrol sistemine iletir. Gelen ölçüm sinyali, istenen değer ile karşılaştırılarak hata hesaplanır. Kontrol elemanı, hata ile orantılı bir sinyali üreterek kontrol vanasına gönderir. Kontrol vanası, çıkış değişkenini değiştiren bir girdiyi değiştirerek istenen değere ulaşmasını sağlar.

Genel olarak kontrol sistemleri üç kısımdan meydana gelmektedir:

a. Oransal kontrol,

$$p = K_c \cdot e \quad (1.5)$$

b. Türevsel kontrol,

$$p = K_c \cdot T_D \cdot \frac{de}{dt} \quad (1.6)$$

c. İntegral kontrol,

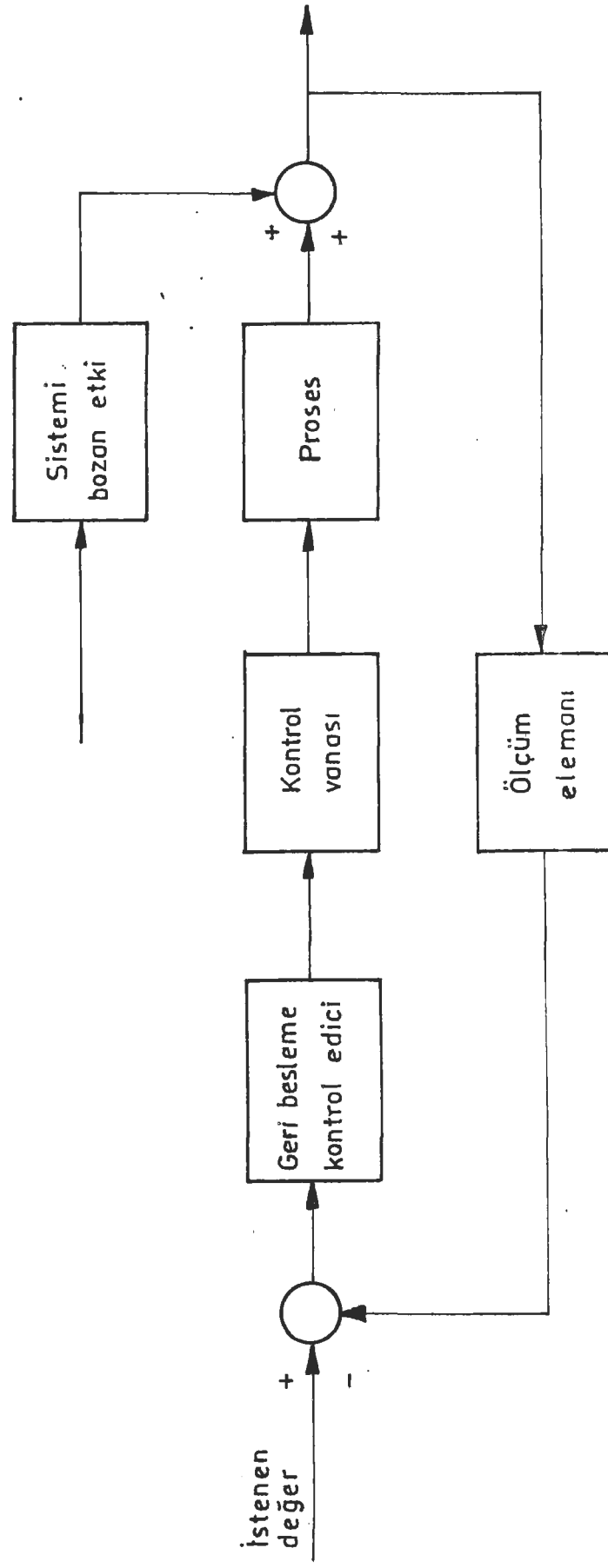
$$p = \frac{K_c}{T_R} \int_0^t e \, dt \quad (1.7)$$

Üç terimli kontrol,

$$p = K_c \left(e + T_D \frac{de}{dt} + \frac{1}{T_R} \int_0^t e \, dt \right) \quad (1.8)$$

Geri beslemeli kontrol sistemlerinin işlevlerini iyi yapabilmesi için kontrol parametrelerinin uygun seçilmesi gerekir.

Bu seçim için birçok yöntem önerilmiştir. Sinüs



Şekil 1.2 Geri beslemeli kontrol sisteminin blok diyagramı.

değişimlerinin sistemler üzerine etkisinden, uygun seçimler yapılabilir. Prosesler kademe değişimlerinin etkisi altında kararlı (stabil) olmalarına karşın sinüs değişimlerinde kararsızlık gösterebilirler. Bu nedenle, kullanılacak kontrol sistemi parametrelerinin kararsızlığı giderecek şekilde seçilmesi gerekir. Bode, Nyquist ve Nichols diyagramları bu tip seçimler için çok uygundur.

Bu araştırmada yukarıda verilen ilk iki diyagram yardımıyla kararlılık testleri yapılmıştır.

1.5.2 İleri beslemeli kontrol

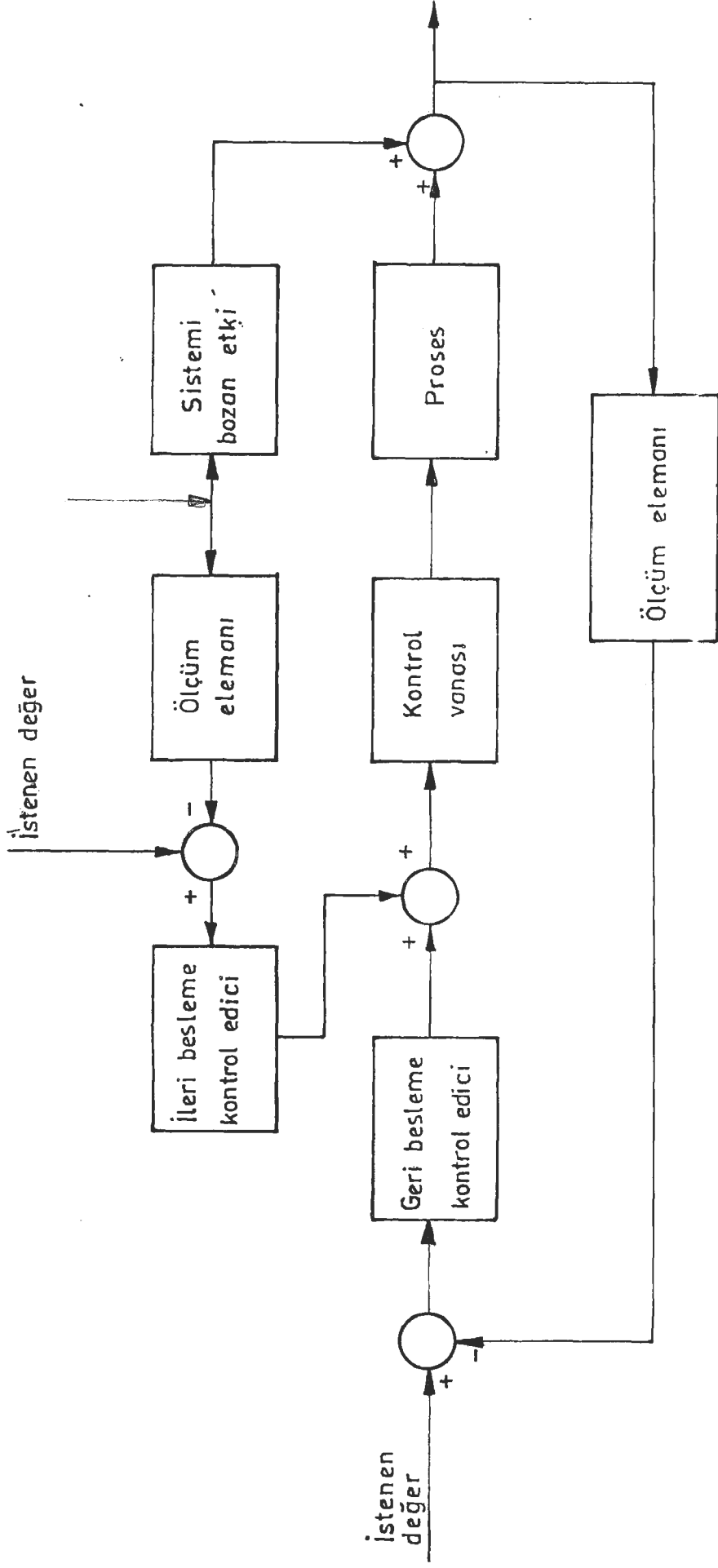
Geri beslemeli kontrol sistemlerinde görülen aksamaları gidermek için ileri beslemeli kontrol sistemleri kullanılır. İleri beslemeli kontrol sistemleri, prosese etkiyen değişimleri önceden farkederek gerekli önlemleri alır. Örnek olarak bir proses girdisi olan hammaddenin akış hızında görülen azalma veya çoğalmayı ölçüp, proses etkilenmeden diğer bir girdiyi değiştirerek çıkış değişkeninin istenen değerde tutulmasını sağlar. Görüleceği üzere etkin bir kontrol sistemidir.

1.5.3 Geri ve ileri beslemeli kontrol

İleri beslemeli kontrol sistemleri çok girdili bir proses için fazla masraflı olabilir. Çünkü her girdiye bir kontrol sistemi koymak gerekir. Bu nedenle, değişim olasılığının en büyük olduğu girdi değişkenine bir kontrol sistemi konulup geri beslemeli kontrol elemanı da aynı prosese ilave edilerek daha iyi ve ucuz bir otomatik kontrol sistemi oluşturulur. Bu tip bir kontrol sistemi Şekil 1.3 de verilmiştir. Her iki kontrol elemanı için üç ayrı kontrol terimi kullanılabilir.

Coughanowr, Vichnevesky(24), kontrol sisteminin bir modelini kompleks bir kimyasal reaksiyonun olduğu borusal akım reaktörü için TAI HYDAC 2400 hibrid sayısal-analog bilgisayarında elde etmişlerdir.

Mc Cann(25), borusal akım reaktörünün tam karıştırmalı akım reaktörüne yaklaşmasında, kademe sayısını



Şekil 1.3 İleri ve geri beslemeli kontrol sistemlerinin blok diyagramı.

hesaplamak ve ölçme elemanının yerini en iyi şekilde bulmak için dağılımlı-parametreli bir modeli ayrıntılı şekilde incelemiştir.

Mutharason ve Coughanowr(26), adaptive kontrol için sayısal bilgisayarın analog bilgisayar gibi doğrudan doğruya kullanılabileceğini, yaptıkları son yayınlarında açıklamışlardır.

Dyring ve Kummel(27), dağılımlı-parametreli sistemlerin kademeli model çözümü için analog bilgisayar kullanmanın sayısal bilgisayar kullanmaktan daha uygun olduğunu göstermişlerdir.

Alpbaz(1), madde akış hızına kademe değişimi vererek beş tam karıştırmalı akım reaktörünün çıkış sıcaklığını ileri ve geri beslemeli kontrol sistemleri kullanarak kontrol etmiştir.

Çınar(28), katalitik ve ekzotermik gaz fazı reaksiyonun gerçekleştirildiği sabit yataklı borusal bir reaktörde çıkış sıcaklık kontrolleri yapmıştır.

B Ö L Ü M 2

MATEMATİK MODELLEME

Bölüm 1 de verilen bulgulardan yararlanarak tam karıştırmalı ve borusal akım reaktörleri için bu araştırmada kullanılan kararlı ve kararsız-hal denklemleri verilmiştir.

Denklemlerin daha basit ve kullanışlı olabilmesi için bir takım varsayımlar gereklidir:

1. Sistemde birinci mertebeden ekzotermik bir reaksiyon oluşmaktadır.
2. Çevreye olan ısı kayıpları ihmal edilebilecek düzeydedir.
3. Sistemde yoğunluk, özgül ısı, hacim gibi fiziksel özellikler sabittir.
4. Isı transfer katsayısı, soğutma suyunun akış hızı ile değişmektedir.

2.1 Tam karıştırmalı akım reaktörlerinin kararlı ve kararsız-hal denklemleri

Bu varsayım ve açıklamalara ek olarak, kullanılan tam karıştırmalı akım reaktörlerinin tüm tanklarının çok iyi karıştırıldığı ve böylece her tank için sıcaklık ve derişim dağılımının aynı olduğu kabul edilerek, birinci mertebe reaksiyonu için tam karıştırmalı akım reaktörlerinin matematik modeli aşağıda verilmiştir. Şekil 2.1

a. Tam karıştırmalı akım reaktörü kütle denkliği

Kararsız-hal:

$$\frac{dc_1}{dt} = \frac{V_1}{V} (c_0 - c_1) - k(T_1)c_1 \quad (2.1)$$

Kararlı-hal:

$$\frac{dc_1}{dt} = 0 \quad \text{ve} \quad c_1 = c_1^0 \quad (2.2)$$

$$\text{buradan} \quad c_1^0 = \frac{c_0}{1 + \frac{k(T_1^0)V}{V_1}} \quad (2.3)$$

b.Enerji denkliği

Kararsız-hal:

$$V_1 \rho_1 c_{p1} T_o = V_1 \rho_1 c_{p1} T_1 + V_2 \rho_2 c_{p2} (\theta_5 - \theta_4) - k(T_1) V c_1 (-\Delta H) + \rho_1 V c_{p1} \frac{dT_1}{dt} \quad (2.4)$$

veya

$$\frac{dT_1}{dt} = \frac{V_1}{V} (T_o - T_1) - \frac{V_2 \rho_2 c_{p2}}{\rho_1 V c_{p1}} (\theta_5 - \theta_4) - \frac{\Delta H c_1}{\rho_1 c_{p1}} k(T_1) \quad (2.5)$$

Kararlı-hal:

$$\frac{dT_1}{dt} = 0 \quad \text{ve} \quad T_1 = T_1^o \quad (2.6)$$

buradan

$$T_1^o = T_o - \frac{V_2 \rho_2 c_{p2}}{\rho_1 V c_{p1}} (\theta_5^o - \theta_4^o) - \frac{k(T_1^o) V \Delta H c_1}{\rho_1 V_1 c_{p1}} \quad (2.7)$$

veya

$$T_1^o = T_o - \frac{V_2 \rho_2 c_{p2}}{V_1 \rho_1 c_{p1}} (\theta_5^o - \theta_4^o) - \frac{k(T_1^o) V \Delta H c_o}{\rho_1 V_1 c_{p1} (1 + \frac{k(T_1^o) V}{V_1})} \quad (2.8)$$

c.Ceket içindeki akışkan için enerji denkliği

Kararsız-hal:

$$V_2 \rho_2 c_{p2} \theta_4 + UA(T_1 - \theta_5) = V_2 \rho_2 c_{p2} \theta_5 + M c_c \frac{d\theta_5}{dt} \quad (2.9)$$

Kararlı-hal:

Denklemler(2.9) un zaman sabiti çok küçüktür, bu nedenle birikim terimi ihmal edilmiştir. Bununla ilgili açıklamalar EK 2 de verilmiştir.

$$\theta_4 = T_1 - (T_1 - \theta_5) \exp (UA/V_2 \rho_2 c_{p2}) \quad (2.10)$$

2.2 Borusal akım reaktörlerinin kararlı ve kararsız-hal denklemleri

Borusal akım reaktörünün matematik modeli aşağıda verilmiştir. Şekil 2.1

a. Borusal akım reaktörü için kütle denkliği

Kararsız-hal:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{V_1}{A_c} \frac{\partial c}{\partial Z} + k(T) c = 0 \quad (2.11)$$

Kararlı-hal:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial c}{\partial Z} + \frac{A_c k(T)}{V_1} c = 0 \quad (2.12)$$

b. Enerji denkliği

Kararsız-hal:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{V_1}{A_c} \frac{\partial T}{\partial Z} + \frac{UA_s}{\rho_1 c_{p1} A_c} (T - \theta) + \frac{k(T) \Delta H_c}{\rho_1 c_{p1}} = 0 \quad (2.13)$$

Kararlı-hal:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial Z} + \frac{k(T) A_c \Delta H_c}{\rho_1 V_1 c_{p1}} + \frac{UA_s}{\rho_1 V_1 c_{p1}} (T - \theta) = 0 \quad (2.14)$$

c. Çekit içindeki akışkan için enerji denkliği

Kararsız-hal:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} - \frac{V_2}{A_3} \frac{\partial \theta}{\partial Z} = \frac{UA_s}{\rho_2 c_{p2} A_3} (T - \theta) \quad (2.15)$$

B Ö L Ü M 3

MATEMATİK MODELİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Bu bölümde yapılan çalışma ile ilgili geliştirilen modellerin çeşitli çözüm yöntemleri önerilmiştir.

3.1 Analitik çözüm yöntemleri

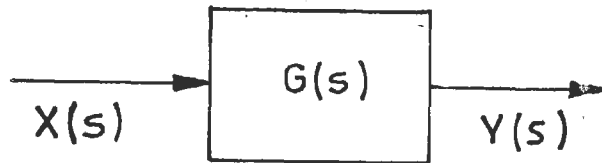
Analitik çözüm yöntemlerinden kontrol çalışmalarında en çok kullanılanı Laplace dönüşümleridir. Bu yöntem doğrusal dif. denklemlerin çözümleri için uygundur. Doğrusal olmayan denklemler için doğrusallaştırma yapılarak ve sonra dönüşüm uygulanarak çözülebilirler.

Sinüs değişimlerinin prosesler üzerindeki etkileri Laplace dönüşümleri yardımı ile çözülebilirler. Bu çözümlerde birçok analiz yönteminden yararlanılabilir. Bunlardan birkaçı aşağıda verilmiştir.

3.1.1 Laplace dönüşümleri ve transfer fonksiyonları

Bu kısımda sinüs değişiminin sistemler üzerindeki etkilerinin hesaplanmasında kullanılan transfer fonksiyonları ve ilgili bazı kuramsal kavramlar verilmiştir. Bunlara ilaveten bir örnek ile bu kavramlar açıklanmıştır.

Kontrol ve dinamik çalışmalarda, proseslerin açıklanmalarında ve hesaplamalarda kolaylık sağlaması nedeni ile transfer fonksiyonları çok kullanılır. Kısaca transfer fonksiyonu, çıkış ve giriş değişkenlerinin Laplace dönüşümlerinin oranı olarak tanımlanabilir. Şekil 3.1.



$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$$

$X(s)$: Giriş değişkeninin Laplace dönüşümü.

$Y(s)$: Çıkış değişkeninin Laplace dönüşümü.

$G(s)$: Transfer fonksiyonu.

Şekil: 3.1 Transfer fonksiyonu.

İlgili kuramsal kavramları açıklamak için bir sinüs değişiminin T parametrelili birinci mertebeden bir sisteme etkisini görelim:

$$\theta_1 = A \sin \omega t \quad (3.1)$$

$$T \frac{d\theta_2}{dt} + \theta_2 = \theta_1 \quad (3.2)$$

Başlangıç şartları,

$$\theta_2 = 0$$

Laplace dönüşümleri uygulanır ve transfer fonksiyonu yazılırsa,

$$\frac{\theta_2(s)}{\theta_1(s)} = \frac{1}{Ts+1} \quad (3.3)$$

$$\theta_1(s) = \frac{A \cdot \omega}{s^2 + \omega^2} \quad (3.4)$$

$$\theta_2(s) = \frac{A \cdot \omega}{(Ts+1)(s^2 + \omega^2)} \quad (3.5)$$

Denklem (3.5) kısmi çarpanlarına ayrılırsa,

$$\frac{A \cdot \omega}{(Ts+1)(s^2 + \omega^2)} = A \frac{N_1}{Ts+1} + \frac{N_2}{s^2 + \omega^2} \quad (3.6)$$

N_1 ve N_2 sabitleri aşağıdaki gibi bulunur:

$$N_1 = \left. \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} \right|_{Ts+1=0} = \frac{\omega}{\left(-\frac{1}{T}\right)^2 + \omega^2} = \frac{\omega T^2}{1 + \omega^2 T^2} \quad (3.7)$$

$$N_2 = \left. \frac{\omega}{Ts+1} \right|_{s^2 + \omega^2 = 0} = \left. \frac{\omega(Ts-1)}{T^2 s^2 - 1} \right|_{s^2 = -\omega^2} \quad (3.8)$$

$$N_2 = \frac{-w(Ts-1)}{w^2T^2+1} = \frac{w-wTs}{w^2T^2+1} \quad (3.9)$$

N_1 ve N_2 nin değerleri yerine yazılırsa,

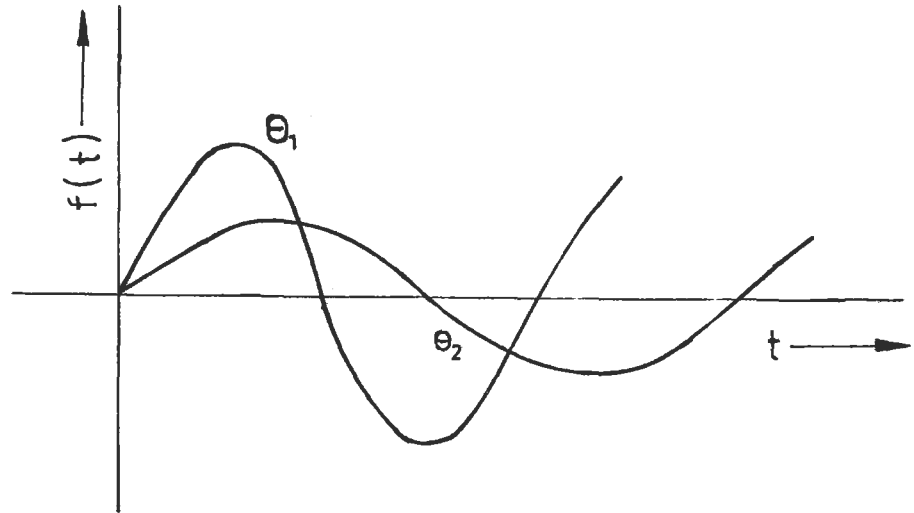
$$\theta_2(s) = \frac{[AwT^2/(1+w^2T^2)]}{Ts+1} + \frac{[A(w-wTs)/(1+w^2T^2)]}{s^2+w^2} \quad (3.10)$$

$$\theta_2(s) = \left(\frac{A}{1+w^2T^2} \right) \left[\frac{\frac{wT}{1} + s}{\frac{1}{T} + s} + \frac{w}{s^2+w^2} - \frac{wTs}{s^2+w^2} \right] \quad (3.11)$$

Ters laplası alınırsa,

$$\theta_2(t) = \left(\frac{A}{1+w^2T^2} \right) (wT \exp(-\frac{t}{T}) + \sin wt - wT \cos wT) \quad (3.12)$$

Şekil 3.2 de çözüm sonucu verilmiştir.



Şekil: 3.2 Birinci mertebeden bir sisteme sinüs değişiminin etkisi.

Denklem (3.12), periyodik fonksiyonların bazı özelliklerinden yararlanarak daha kısa şekilde yazılır.

$$R \sin(wt - \varphi) = R \sin wt \cos \varphi - R \cos wt \sin \varphi \quad (3.13)$$

Denklem(3.13) yukarıda söylenen özelliği verir ve denklem (3.12) ye uygulanırsa,

$$R \sin \varphi = wT \quad (3.14)$$

$$R \cos \varphi = 1 \quad (3.15)$$

$$\varphi = \tan^{-1} wt \quad (3.16)$$

$$R = (1 + w^2 T^2)^{1/2} \quad (3.17)$$

$$\theta(t) = \left[\frac{A}{(1 + w^2 T^2)^{1/2}} \right] \sin (wt - \varphi) \quad (3.18)$$

Denklem (3.18) kararlı-hali gösterir. Üstel terimin ilavesi ile,

$$\theta(t) = A \left[\frac{wT}{1 + w^2 T^2} \exp\left(-\frac{t}{T}\right) + \frac{1}{(1 + w^2 T^2)^{1/2}} \sin(wt - \varphi) \right] \quad (3.19)$$

Genlik oranı tersi α_w ;

$$\alpha_w = \frac{\text{Giriş genliği}}{\text{Çıkış genliği}} \quad (3.20)$$

Denklem(3.19) için

$$\alpha_w = (1 + w^2 T^2)^{1/2} \quad (3.21)$$

Genlik oranı R_w ;

$$R_w = \frac{\text{Çıkış genliği}}{\text{Giriş genliği}} \quad (3.22)$$

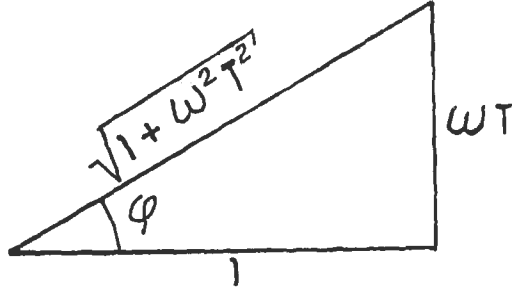
Denklem (3.19) için

$$R_w = \frac{1}{(1+\omega^2 T^2)^{1/2}} \quad (3.23)$$

Faz gecikimi φ ;

$$\varphi = -\tan^{-1} \omega T \quad (3.24)$$

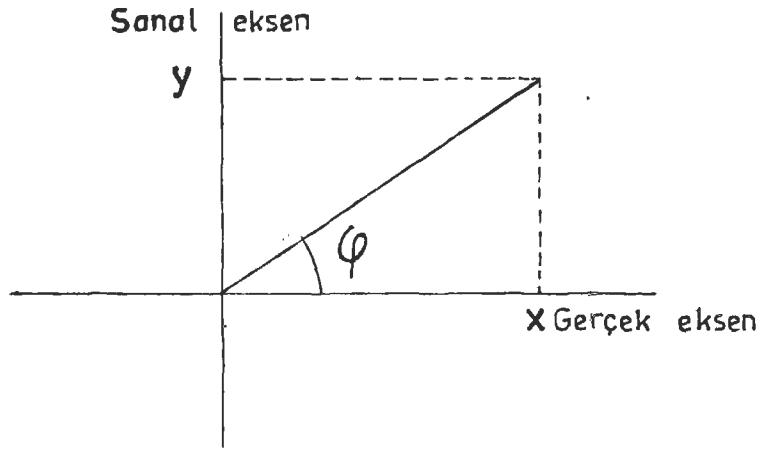
İlgili kuramsal açıklamalara kolaylık getirmesi açısından üçgen yöntemi çok kullanılır. Şekil 3.3



$$R = \sqrt{1 + \omega^2 T^2} ; \quad \varphi = \tan^{-1} \omega T$$

Şekil 3.3 Üçgen yöntemi.

Kompleks sayılar, sinüs değişimlerinin prosesler üzerindeki etkilerinde çok kullanılan diğer bir yöntemdir. Şekil 3.4



Şekil: 3.4 Kompleks sayılar.

Şekil 3.4 de verilen bir kompleks sayı aşağıda gösterildiği gibi verilir.

$$z = |z| \angle \varphi \quad (3.25)$$

$$|z| = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (3.26)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{y}{x} \quad (3.27)$$

Üstel olarak,

$$z = |z| e^{i\varphi} \quad (3.28)$$

Bir sinüs değişiminin birinci mertebeden bir sisteme etkisini kompleks sayılar yardımıyla daha kolay hesaplayabiliriz. Bu işlem için transfer fonksiyonunda $s=i\omega$ koymak yeterlidir.

$$\frac{\theta_2(s)}{\theta_1(s)} = \frac{1}{Ts+1} \quad (3.3)$$

$$s = iw$$

$$\frac{\theta_2(s)}{\theta_1(s)} = \frac{1}{Tiw+1} \quad (3.29)$$

Denklem(3.29) eşleniği ile çarpılırsa,

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{1}{1+iwT} \cdot \frac{1-iwT}{1-iwT} \quad (3.30)$$

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{1}{1+w^2T^2} - \frac{iwT}{1+w^2T^2} \quad (3.31)$$

Denklem(3.31) bir kompleks sayıdır.

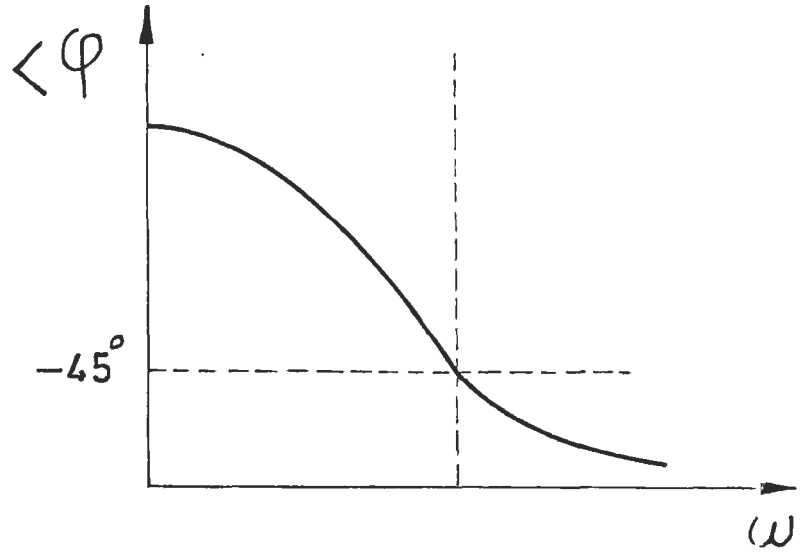
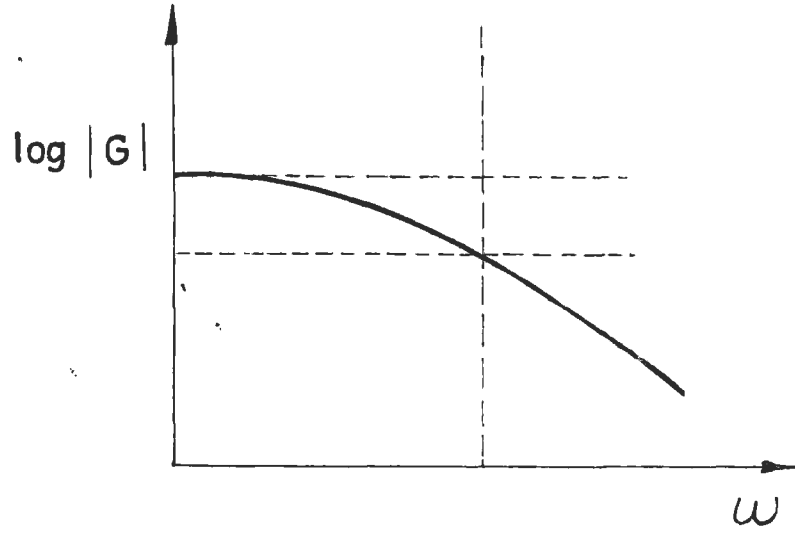
$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = \frac{1}{(1+w^2T^2)^{1/2}} < -\tan^{-1}wt \quad (3.32)$$

Denklem(3.32) bir üst kısımda verilen (3.18) denkleminin aynısıdır.

Yukarıda verilen kuramsal açıklamalar ve örnekler yardımıyla sinüs etkilerinin incelenmesi için bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan birkaçı aşağıda verilmiştir.

3.1.2 Bode diyagramları

Bu tip diyagramlar faz gecikimi(ϕ) ve genlik oranı $|G|$ yi ayrı ayrı çeşitli frekans değerlerine karşı çizilerek bulunur Şekil 3.5



Şekil 3.5 Birinci mertebeden bir sistem için Bode diyagramları.

Şekil 3.5, birinci mertebeden bir sisteme sinüs değişiminin etkisini gösteren bir Bode diyagramıdır. Çeşitli mertebeden sistemler için Bode diyagramları çizilebilir. Bode kararlılık kuralına göre $\phi = -180^\circ$ değerinde iken $|G|$, 1 değerinden küçük olmalıdır.

3.1.3 Enerji ve kütle denkliklerinin Laplace dönüşümleri ve ilgili Bode diyagramlarının hesaplanması

Beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin sinüs değişiminde dinamiğinin incelenmesi için bu kısımda ilgili denklemlerin Laplace dönüşümleri alınarak transfer fonksiyonları bulunmuştur. Bu fonksiyonlarda $s=i\omega$ yardımı ile çözüm yapılarak Bölüm 4 de Bode diyagramları çizilmiştir. Ayrıca sayısal çözümler EK 1 de verilmiştir.

Birinci tank için kararlı-hal kütle denkliği,

$$V_1^0 c_0 = V_1^0 c_1 + V k(T_1^0) c_1^0 \quad (2.3)$$

Birinci tank için kararsız-hal kütle denkliği,

$$V_1 c_0 = V_1 c_1 + V k(T_1) c_1 + V \frac{dc_1}{dt} \quad (2.1)$$

Birinci tank için kararlı-hal enerji denkliği,

$$V_1^0 \rho_1 c_{p1} T_0 = V_1^0 \rho_1 c_{p1} T_1^0 + \Delta H V k(T_1^0) c_1^0 + UA(T_1^0 - \theta_5^0) \quad (2.4)$$

Birinci tank için kararsız-hal enerji denkliği,

$$V_1 \rho_1 c_{p1} T_0 = V_1 \rho_1 c_{p1} T_1 + \Delta H V k(T_1) c_1 + UA(T_1 - \theta_5) + V \rho_1 c_{p1} \frac{dT_1}{dt} \quad (2.5)$$

Denklem (2.1) den (2.3) çıkarılıp sapma değişkenleri cinsinden yazılırsa,

$$c_0 v_1' = v_1 c_1 - v_1^0 c_1^0 + v k(T_1) c_1 - v k(T_1^0) c_1^0 + \frac{v d(c_1 - c_1^0)}{dt} \quad (3.33)$$

Doğrusal olmayan $v_1 c_1$ ve $k(T_1) c_1$ terimleri Taylor açılımı ile doğrusallaştırılırsa,

$$v_1 c_1 = v_1^0 c_1^0 + \left(\frac{\partial (v_1 c_1)}{\partial c_1} \right)_{t=0} (c_1 - c_1^0) + \left(\frac{\partial (v_1 c_1)}{\partial v_1} \right)_{t=0} (v_1 - v_1^0) \quad (3.34)$$

$$v_1 c_1 = v_1^0 c_1^0 + v_1^0 c_1' + c_1^0 v_1' \quad (3.35)$$

$$k(T_1) c_1 = k(T_1^0) c_1^0 + \left(\frac{\partial (k(T_1) c_1)}{\partial c_1} \right)_{t=0} (c_1 - c_1^0) + \left(\frac{\partial (k(T_1) c_1)}{\partial T_1} \right)_{t=0} (T_1 - T_1^0) \quad (3.36)$$

$$k(T_1) c_1 = k(T_1^0) c_1^0 + k(T_1^0) c_1' + c_1^0 (e^{36.49 - 12100/T_1} - e^{36.49 - 12100/T_1^0}) T_1' \quad (3.37)$$

Denklem (3.33) de $v \frac{dc_1'}{dt}$ yalnız bırakılır ve doğru-

sallaştırılmış terimler yerlerine konursa,

$$\frac{v dc_1'}{dt} = c_0 v_1' - v_1^0 c_1' - c_1^0 v_1' - v k(T_1^0) c_1' - (v c_1^0 e^{36.49 - 12100/T_1} - e^{36.49 - 12100/T_1^0}) T_1' \quad (3.38)$$

Denklem (3.38) de eşitliğin her iki tarafı $(V_1^0 + V_k(T_1^0))$ ifadesine bölünürse,

$$\left(\frac{V}{V_1^0 + V_k(T_1^0)} \right) \cdot \frac{dc_1'}{dt} = \left(\frac{c_0 - c_1^0}{V_1^0 + V_k(T_1^0)} \right) V_1' - c_1' - \left(\frac{V c_1^0 e^{36.49 - 12100/T_1^0} - 12100/T_1^{02}}{V_1^0 + V_k(T_1^0)} \right) T_1' \quad (3.39)$$

$$K \frac{dc_1'}{dt} = L V_1' - c_1' - M T_1' \quad (3.40)$$

Denklem(3.40) da Laplace dönüşümü yapılırsa,

$$Ks c_1'(s) = L V_1'(s) - c_1'(s) - M T_1'(s) \quad (3.41)$$

$$c_1'(s) = \frac{L}{Ks+1} V_1'(s) - \frac{M}{Ks+1} T_1'(s) \quad (3.42)$$

İşlemler T_1 sıcaklığı için tekrarlanır ve denklem (2.5) den (2.4) çıkarılır ve sonra sapma değişkenleri cinsinden yazılırsa,

$$\begin{aligned} \rho_1 c_{p_1} T_0 V_1' &= \rho_1 c_{p_1} (V_1 T_1 - V_1^0 T_1^0) + \Delta H V \left[k(T_1) c_1 - k(T_1^0) c_1^0 \right] \\ &+ U A T_1' - U A \theta_5' + V \rho_1 c_{p_1} \frac{dT_1'}{dt} \end{aligned} \quad (3.43)$$

Doğrusal olmayan $V_1 T_1$ ve $k(T_1) c_1$ terimleri Taylor açılımı ile doğrusallaştırılırsa,

$$V g_1 c_{p_1} \frac{dT_1'}{dt} = V_1' (g_1 c_{p_1} T_0 - g_1 c_{p_1} T_1^0) - \left[g_1 c_{p_1} V_1^0 + \Delta H V \right. \\ \left. 12100/T_1^{02} e_1^0 e^{36.49-12100/T_1^0 + UA} \right] T_1' + UA \theta_5' - (\Delta H V k(T_1^0)) c_1' \quad (3.44)$$

$$F = g_1 c_{p_1} V_1^0 + \Delta H V c_1^0 12100/T_1^{02} e^{36.49-12100/T_1^0 + UA} \quad (3.45)$$

Denklem (3.44) ün her iki tarafı F ye bölünürse,

$$N_1 \frac{dT_1'}{dt} = N_2 V_1' - T_1' + N_3 \theta_5' - N_4 c_1' \quad (3.46)$$

Yukarıdaki denklemin Laplace dönüşümü yapılırsa,

$$N_1 s T_1'(s) = N_2 V_1'(s) - T_1'(s) + N_3 \theta_5'(s) - N_4 c_1'(s) \quad (3.47)$$

$$T_1'(s) = \frac{N_2}{N_1 s + 1} V_1'(s) + \frac{N_3}{N_1 s + 1} \theta_5'(s) - \frac{N_4}{N_1 s + 1} c_1'(s) \quad (3.48)$$

Birinci tank soğutma suyu için kararlı-hal enerji denkliği

$$V_2 \rho_2 c_{p2} \theta_4^0 + UA(T_1^0 - \theta_5^0) = V_2 \rho_2 c_{p2} \theta_5^0 \quad (3.49)$$

Birinci tank soğutma suyu için kararsız-hal enerji denkliği,

$$V_2 \rho_2 c_{p2} \theta_4 + UA(T_1 - \theta_5) = V_2 \rho_2 c_{p2} \theta_5 + M_c c_{p2} \frac{d\theta_5}{dt} \quad (3.50)$$

V_2 ve θ_4 sabit olarak alınır ve sonra sapma değişkenleri cinsinden yazılırsa,

$$V_2 \rho_2 c_{p2} \theta_4 + UA T_1^r - UA \theta_5^r = V_2 \rho_2 c_{p2} \theta_5^r + M_c c_{p2} \frac{d\theta_5^r}{dt} \quad (3.51)$$

$\frac{d\theta_5^r}{dt}$ yalnız bırakılırsa,

$$\frac{M_c c_{p2}}{UA + V_2 \rho_2 c_{p2}} \cdot \frac{d\theta_5^r}{dt} = \frac{UA}{UA + V_2 \rho_2 c_{p2}} T_1^r - \theta_5^r \quad (3.52)$$

Laplace dönüşümü yapılırsa,

$$R_1 s \theta_5^r(s) = R_2 T_1^r(s) - \theta_5^r(s) \quad (3.53)$$

$$\theta_5^r(s) = \frac{R_2}{R_1 s + 1} T_1^r(s) \quad (3.54)$$

Buradan,

$$R_1 = \frac{M_c c_{p2}}{UA + V_2 \rho_2 c_{p2}} = 1.071 \times 10^{-1} \quad (3.55)$$

$$R_2 = \frac{UA}{UA + V_2 \rho_2 c_{p2}} = 8.571 \times 10^{-1} \quad (3.56)$$

Soğutma suyu sıcaklığı değişimi gözönüne alınır ve denklem (3.48) de yerine konursa,

$$T'_1(s) = \frac{N_2(R_1 s + 1)}{(N_1 s + 1)(R_1 s + 1) - N_3 R_2} V'_1(s) - \frac{N_4(R_1 s + 1)}{(N_1 s + 1)(R_1 s + 1) - N_3 R_2} c'_1(s) \quad (3.57)$$

$$c'_1(s) = \frac{L(N_1 s + 1)(R_1 s + 1) - LN_3 R_2 - MN_2(R_1 s + 1)}{(Ks + 1)(N_1 s + 1)(R_1 s + 1) - N_3 R_2(Ks + 1) - MN_4(R_1 s + 1)} V'_1(s) \quad (3.58)$$

$$\frac{c'_1(s)}{V'_1(s)} = \frac{L(N_1 s + 1)(R_1 s + 1) - LN_3 R_2 - MN_2(R_1 s + 1)}{(Ks + 1)(N_1 s + 1)(R_1 s + 1) - N_3 R_2(Ks + 1) - MN_4(R_1 s + 1)} \quad (3.59)$$

Denklem(3.59), Bölüm 4 de verilen Bode diyagramlarını elde etmek için çözülür. Sayısal hesaplamalar EK 1 de verilmiştir.

3.1.5 Sistem belirleme(identification) yöntemleri

Luyben (16), sistem belirlemesi için birtakım yöntemler vermiştir. Bunlardan bir kısmı aşağıda verilmiştir.

a. Kademe değişimi yöntemi,

Sistemlere kademe değişimleri verilerek çıkış değişimlerinin zamana göre çözüm sonuçları deneysel verilerle karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonunda sistemin gerçek parametreleri bulunabilir.

Sistemin bilinmeyen bir parametresinin, hacim gibi, ön bir tahmini yapılarak ilgili differansiyel denklemde yerine konarak çözüm yapılır ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılır. Uygunluk sağlanırsa tahmin edilen parametre gerçek sistemin o parametresinin değerini verir. Uygunluk sağlanmazsa tahmini parametre değeri değiştirilerek deney sonuçlarının kuramsal sonuçlar ile uygunluğu araştırılır. Uygunluk sağlandığında gerçek parametre değeri saptanmış olur. Örnek olarak n mertebeli sistemin bir K_p parametresini bulmak istediğimizde ve sistemin bir D zaman gecikimi varsa sistemin Laplace dönüşümü,

$$G(s) = K \frac{Z(s) e^{-Ds}}{P(s)} \quad (3.60)$$

$$G(s) = K_p \frac{(T_{z1}s+1)(T_{z2}s+1)\dots(T_{zm}s+1)e^{-Ds}}{(T_{p1}s+1)(T_{p2}s+1)\dots(T_{zm}s+1)} \quad (3.61)$$

Denklem (3.61) de çeşitli K_p değerleri için ters Laplace dönüşümü yapılarak dene-bul yöntemi ile gerçek K_p değeri hesaplanır.

b.Sinüs değişimi yöntemi

Sinüs değişimlerinin proseslerin çıkış değişkenlerine etkisi kuramsal olarak çözölür. Ayrıca aynı işlem deneysel olarak yapılır. Çeşitli ω değerleri için uygulanan kuramsal ve deneysel sonuçlar Bode diyagramına geçirilir ve a şikkına benzer şekilde grafikler arası uygunluk araştırılır. Grafiklerin yaklaşımı aranan uygun parametre değerlerini verir.

c.Pulse değişimi yöntemi

Deneysel olarak çeşitli ω değerlerinde sinüs değişiminin etkisini incelemek hem pahalı ve hem de masraflı bir işlemdir. Bu nedenle pulse değişimi kullanılarak bu dezavantaj giderilir. Deneysel olarak sisteme uygun bir pulse değişimi verilir. Çıkış değişkeninin zamana göre değişimi elde edilir. Çıkış ve giriş değişkenlerinin verilerinden Fourier dönüşümleri yapılarak o sistemin transfer fonksiyonları ve Bode diyagramları bulunur. Aynı işlem kuramsal olarak da çözölür, transfer fonksiyonları ve Bode diyagramları hesaplanır. Deneysel ve kuramsal olarak elde edilen Bode diyagramları karşılaştırılarak sistem parametreleri tahmin edilirler. Ayrıca bu yöntemle kuramsal olarak transfer fonksiyonları hesabedilemeyen sistemler için deneysel çalışmalar ile uygun transfer fonksiyonları tahmin edilebilir.

d.Kademe testleri

Kademe testleri genelde çok yavaş yürüyen deneysel çalışmalardır. Bu nedenle kademe değişimleri sinüs değişimlerine çevrilerek daha hızlı ve kolay çözüm sonuçları alınır.

Bir prosesin transfer fonksiyonu

$$G(s) = \frac{X(s)}{Q(s)} \quad (3.62)$$

Her iki taraf s ile çarpılır ve türevsel olarak yazılırsa,

$$G(s) = \frac{sX(s)}{sQ(s)} = \frac{\int_0^{\infty} \left(\frac{dX}{dt}\right) e^{-st} dt}{\int_0^{\infty} \left(\frac{dQ}{dt}\right) e^{-st} dt} \quad (3.63)$$

$$G(j\omega) = \frac{\int_0^{\infty} \left(\frac{dX}{dt}\right) e^{-i\omega t} dt}{\int_0^{\infty} \left(\frac{dQ}{dt}\right) e^{-i\omega t} dt} \quad (3.64)$$

$Q(t)$ ve $X(t)$ için sapma değişkenleri yazılırsa,

$$^*Q(t) = \bar{Q} - Q(t)$$

$$^*X(t) = \bar{X} - X(t) \quad (3.65)$$

$\bar{Q}$ = Son değer

$\bar{X}$ = Son değer

$$\frac{dQ}{dt} = - \frac{dQ}{dt}^*$$

$$\frac{dX}{dt} = - \frac{dX}{dt}^* \quad (3.66)$$

Denklem(3.64),

$$G(j\omega) = \frac{- \int_0^{\infty} \left(\frac{dX}{dt}\right)^* e^{-i\omega t} dt}{- \int_0^{\infty} \left(\frac{dQ}{dt}\right)^* e^{-i\omega t} dt} \quad (3.67)$$

İntegrasyon işlemi yapılırsa,

$$U = e^{-i\omega t} \quad dV = \frac{dX^*}{dt} dt$$

$$dU = -i\omega e^{-i\omega t} dt \quad V = X^*$$

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} \left(\frac{dX^*}{dt} \right) e^{-i\omega t} dt &= \left[X^* e^{-i\omega t} \right]_0^{\infty} + i\omega \int_0^{\infty} X^* e^{-i\omega t} dt \\ &= -X^*_{(0)} + i\omega \int_0^{\infty} X^* e^{-i\omega t} dt \\ &= -\bar{X} + i\omega \int_0^{\infty} X^* e^{-i\omega t} dt \\ G(i\omega) &= \frac{-\bar{X} - i\omega \int_0^{\infty} X^* e^{-i\omega t} dt}{-\bar{Q} - i\omega \int_0^{\infty} Q^* e^{-i\omega t} dt} \end{aligned} \quad (3.68)$$

Denklemler (3.68), transfer fonksiyonundaki integraller için Fourier dönüşümleri yapılarak pulse değişimi yönteminde olduğu gibi çözüm yapılır.

3.1.6 Sinüs değişimlerinin zamana göre dönüşümleri

$g(t)$ olarak tarif edilen kararlı bir sistemin "impulse" yanıtını bulunmak istenir ve bu sistemin frekans yanıtı $G(i\omega)$ olarak verilirse, birim fonksiyonun Laplace dönüşümü alınır,

$$g(t) = L^{-1} [G(s)] \quad (3.69)$$

Dönüşüm formülü kullanılırsa,

$$g(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{a-i\infty}^{a+i\infty} e^{st} G(s) ds \quad (3.70)$$

$s=iw$ konursa,

$$g(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{-i\infty}^{i\infty} G(iw) e^{iwt} d(iw) \quad (3.71)$$

$$\begin{aligned} g(t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} (\operatorname{Re}G + i\operatorname{Im}G)(\cos wt + i\sin wt) dw \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} [\operatorname{Re}(G) \cos wt - \operatorname{Im}(G) \sin wt] dw \\ &\quad + \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} [\operatorname{Re}(G) \sin wt + \operatorname{Im}(G) \cos wt] dw \quad (3.72) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ve buradan, } \operatorname{Re}G &= |G| \cos(\arg G) \\ \operatorname{Im}G &= |G| \sin(\arg G) \end{aligned}$$

$\operatorname{Re}(G)\cos wt$ ve $\operatorname{Im}(G)\sin wt$, çift fonksiyon

$\operatorname{Re}(G)\sin wt$ ve $\operatorname{Im}(G)\cos wt$, tek fonksiyon

lardır. Çift bir fonksiyon $(-\infty)$ dan $(+\infty)$ a kadar integre edildiğinde, sıfırdan $(+\infty)$ a kadar integrasyonu alınır ve sonuç 2 ile çarpılır.

$$\int_{-\infty}^{\infty} (\text{çift fonksiyon}) dt = 2 \int_0^{\infty} (\text{çift fonk.}) dt \quad (3.73)$$

Tek bir fonksiyon $(-\infty)$ dan $(+\infty)$ a kadar integrale e-
dildiğinde sonuç sıfırdır.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} (\text{tek fonk.}) dt = 0 \quad (3.74)$$

Denklem(3.72) şu şekli alır,

$$g(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} [\text{Re}(G) \cos wt - \text{Im}(G) \sin wt] dw \quad (3.75)$$

$g(t)$ fonksiyonunun integrali, t nin negatif değ-
leri için sıfır olmalıdır.

$$\text{Re}(G) \cos(-wt) - \text{Im}(G) \sin(-wt) = 0$$

$$\text{Re}(G) \cos wt + \text{Im}(G) \sin wt = 0$$

$$\text{Re}(G) \cos wt = -\text{Im}(G) \sin wt \quad (3.76)$$

Denklem(3.75), bu sonuçlara göre iki şekilde yazı-
labılır.

$$g(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \text{Re}(G(iw)) \cos wt dw$$

$$g(t) = -\frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \text{Im}(G(iw)) \sin wt dw \quad (3.77)$$

Impulse yanıtının zamana göre değişimi, denklem
(3.77) deki $G(iw)$ ve iki integralden birini çözüm yönte-
miyle bulunur.

3.2 Sayısal bilgisayar ile çözüm

Tam karıştırmalı akım reaktörlerinin geliştirilen model denklemleri kararlı, kararlı ve kontrol şartları için sayısal bilgisayarda çözülmüştür. Bu şartlar için çözüm yöntemleri aşağıda sırasıyla verilmiştir.

3.2.1 Kararlı-hal çözümü

Kararsız-hal denklemlerinin çözümü için başlangıç şartları gerekmektedir. Tam karıştırmalı akım reaktörlerinin kararlı-hal denklemleri çözülerek, kararsız-halin integrasyonu için başlangıç şartları elde edilir. Bu işlemde tüm giriş şartlarının belli olması gerekir. Sistemde soğutma suyu ters yönde girmesinden dolayı birinci tanktan çıkan soğutma suyu sıcaklığı belli değildir. Kararlı-hal denklemlerinin çözümü için çıkış soğutma suyu sıcaklığının bilinmesi gerekir. Bu sıcaklığın ve başlangıç şartlarının hesaplanması için Newton-Raphson iterasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem için soğutma suyunun birinci tanktan çıkış sıcaklığının tahmini değeri Golden-Section Search yöntemi ile yapılmıştır. Bu iki yöntem aşağıda sırasıyla verilmiştir. Kararlı-hal denklemleri aşağıda tekrar sırasıyla verilirse,

$$c_1^0 = \frac{c_0}{1 + \frac{k(T_1^0)V}{V_1}} \quad (2.3)$$

$$T_1^0 = T_0 - \frac{V_2 \rho_2 c_{p2}}{V_1 \rho_1 c_{p1}} (\theta_5^0 - \theta_4^0) - \frac{k(T_1^0)VAHc_0}{V_1 \rho_1 c_{p1} \left(1 + \frac{k(T_1^0)V}{V_1}\right)} \quad (2.8)$$

veya

$$T_1^0 = T_0 - \frac{V_2 \rho_2 c_{p2} (\theta_5^0 - \theta_4^0)}{V_1 \rho_1 c_{p1}} - \frac{k(T_1^0) V \Delta H c_1}{V_1 \rho_1 c_{p1}} \quad (2.7)$$

$$\theta_4 = T_1 - (T_1 - \theta_5) \exp (UA / V_2 \rho_2 c_{p2}) \quad (2.10)$$

Newton-Raphson yöntemi,

Reaktörden çıkan akım sıcaklığının hesaplanması için kullanılır. Birinci tankın çıkış sıcaklığı için yazılırsa,

$$T_1^{(n+1)} = T_1^n - f(T_1^n) / f'(T_1^n) \quad (3.78)$$

$$f(T_1) = -T_1 + T_0 - \frac{V_2 \rho_2 c_{p2} (\theta_5 - \theta_4)}{V_1 \rho_1 c_{p1}} - \frac{k(T_1) V \Delta H c_1}{V_1 \rho_1 c_{p1}} \quad (3.79)$$

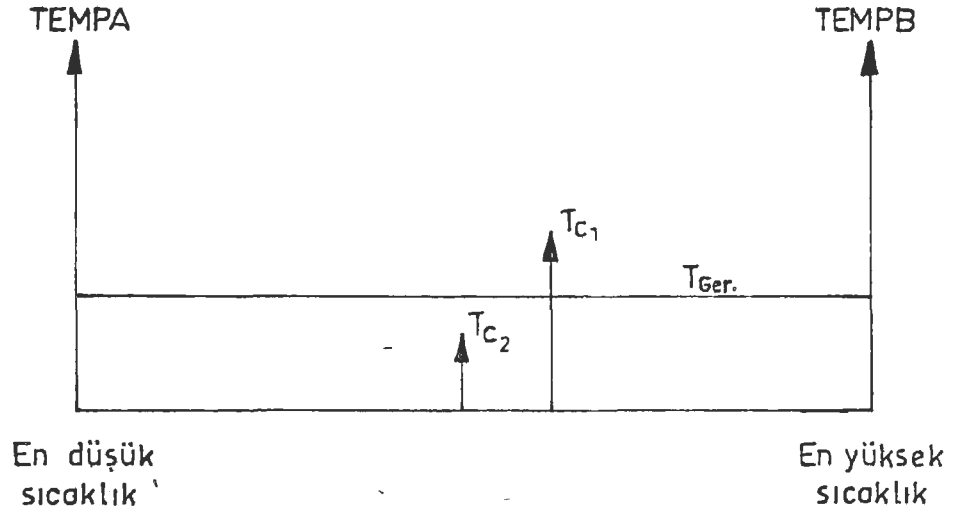
$$f'(T_1) = -1 - \frac{V \Delta H c_1}{V_1 \rho_1 c_{p1}} \cdot \frac{dk(T_1)}{dT} \quad (3.80)$$

$T_1^{(n+1)}$, denklem(3.78) yardımı ile hesaplanır.

Golden-Section Search yöntemi,

Birinci tanktan çıkan soğutma suyunun sıcaklığını tahmin etmek için kullanılır. Bu yöntemde, verilen iki limit değeri arasında çalışılarak soğutma suyu sıcaklığı için en uygun değer aşağıdaki eşitlikten faydalanarak bulunur.

$$\text{Hesaplanan değer} = \text{Alt limit} + \frac{T_{c1} - T_{c2}}{1.618} \quad (3.81)$$



Şekil: 3.7 Golden-section Search yöntemi.

Başlangıç şartlarının hesaplanmasında kullanılan işlem sırası aşağıda verilmiştir.

1. Soğutma suyu çıkış sıcaklığı (θ_5)'in Golden-Section Search yöntemiyle ön tahmini yapılır.
2. θ_5 değerine uygun olarak birinci kademe çıkış sıcaklığı (T_1^0) için de varsayım yapılır.
3. Denklem(2.10) dan birinci kademeye giren soğutma suyu sıcaklığı (θ_4) hesaplanır.
4. Denklem(2.8) den T_1^0 hesaplanır.
5. Hesaplanan reaktör çıkış sıcaklığı değeri, varsayım değerine istenilen yakınlıkta ise ikinci tank hesaplarına geçilir, değilse hesaplanan T_1^0 değeri ile iterasyon işleminin başına dönülür.
6. Bu işlemler kalan dört tank için de tekrarlanır.
7. Son tanka giren soğutma suyunun (θ_0), hesaplanan ve gerçek değerleri karşılaştırılır. Uygunluk yoksa birinci adıma dönülür, varsa iterasyon işlemi bitirilerek kararlı-hal başlangıç şartları hesaplanmış olur.

Kararlı-hal için sayısal bilgisayar çözümü ve listesi EK 3 de verilmiştir.

3.2.2 Kararsız-hal çözümü

Sayısal bilgisayar ile kararsız-hal denklemlerinin çözümünde dördüncü dereceden Runge-Kutta yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem için gerekli olan başlangıç şartları kararlı-hal sayısal bilgisayar çözümünden elde edilmiştir.

Dördüncü dereceden Runge-Kutta eşitlikleri:

$$x_n = x_n^0 + \frac{1}{6} (k_{11} + 2k_{21} + 2k_{31} + k_{41}) \quad (3.82)$$

ve

$$k_{11} = hf \left[(x_n^0), t_n \right]$$

$$k_{21} = hf \left[\left(x_n^0 + \frac{k_{11}}{2} \right), t_n \right]$$

$$k_{31} = hf \left[\left(x_n^0 + \frac{k_{21}}{2} \right), t_n \right]$$

$$k_{41} = hf \left[(x_n^0 + k_{31}), t_n \right]$$

Çözümü istenen denklemler Runge-Kutta yöntemine uygun şekilde aşağıda düzenlenmiş olarak yeniden verilmiştir.

$$\frac{dc_1}{dt} = \frac{V_1}{V} (c_0 - c_1) - k(T_1) c_1$$

$$\frac{dT_1}{dt} = \frac{V_1}{V} (T_0 - T_1) - \frac{V_2 \rho_2 c_{p2}}{V_1 \rho_1 c_{p1}} (\theta_5 - \theta_4) + \frac{k(T_1) c_1 (-\Delta H)}{\rho_1 c_{p1}}$$

Bilgisayar çözümleri ve listesi EK 4 de verilmiştir. Soğutma suyu enerji denkleminde zaman sabiti değeri çok küçük olduğundan diğer terimler yanında ihmal edilmiştir. İlgili hesaplamalar EK 2 de verilmiştir.

3.2.3 Kontrol çözümü

Kullanılan beş tam karıştırmalı akım reaktörünün geri ve ileri beslemeli kontrolü şekil 3.8 de gösterilmiştir. Kontrol programının çözümünde dinamik hesaplamalar Düzeltilmiş Euler yöntemi ile yapılmıştır.

Düzeltilmiş Euler eşitlikleri,

$$x_n = x_{n-1}^0 + hf(t_{n-1}, x_{n-1})$$

$$x_{n+1} = x_n^0 + hf(t_n, x_n) \quad (3.83)$$

Reaktörün çıkış sıcaklığını kontrol etmek için, ileri ve geri beslemeli kontrol kullanılmıştır.

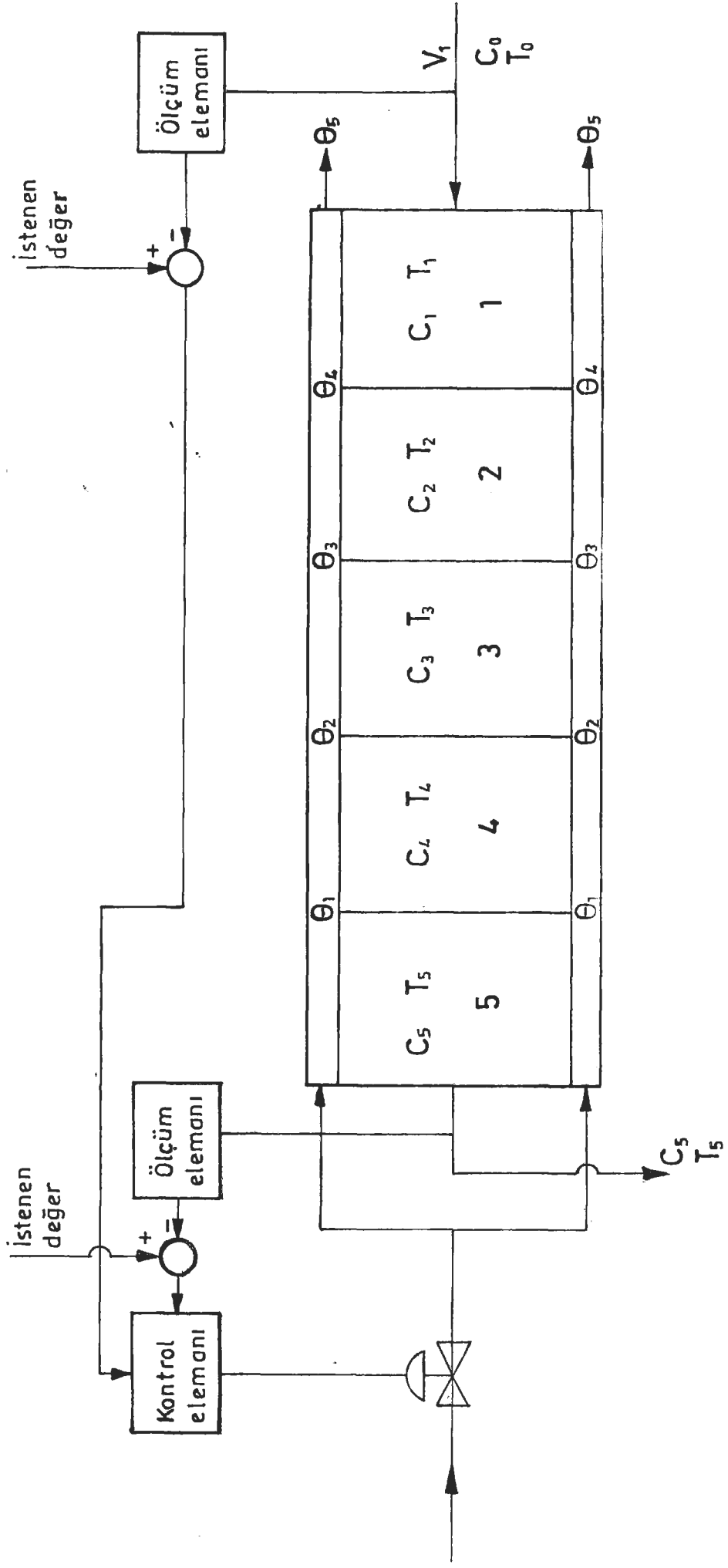
Hesaplanan çıkış sıcaklığını altprogram (MEAA), sistem gecikmelerini de gözönüne alarak ölçüm sinyali olarak verir.

Altprogram (CNTRIA), ölçüm sinyalini alarak istenilen değerle karşılaştırdıktan sonra kontrol sinyali haline çevirir.

Altprogram (VALVEA), kontrol sistemlerinden gelen sinyalleri toplar ve soğutma suyu akış hızını ayarlar.

İleri beslemeli kontrol altprogramı (FFCB), sistemin giriş değişkeninde meydana gelen değişmeyi anında ölçerek ileri beslemeli kontrol sinyali olarak altprogram (VALVEA) ya gönderir.

Kontrol hesaplamaları ile ilgili tüm bilgisayar çözümleri ve listesi EK 5 de verilmiştir.



Şekil: 3.8 Beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin ileri ve geri beslemeli kontrolü.

3.3 Kararlılık testleri

Kararlılık testleri genel olarak doğrusal ve doğrusal olmayan differansiyel denklemler için uygulanırlar.

Doğrusal olmayan differansiyel denklemlerin kararlılığının hesabı için genel bir çözüm yöntemi olmamakla beraber, özel birtakım yöntemler geliştirilmiştir.

a. Doğrusallaştırma yöntemi

Bu metotta doğrusal olmayan differansiyel denklemler Taylor serisine açılarak doğrusallaştırılır. Reaktörün kararlı-halden uzaklaşması küçük sınırlar içinde kaldığı takdirde, reaktör model denklemlerindeki doğrusal olmayan terimlerin kararlı-hal etrafında doğrusallaştırılması, modelin çözümlenmesini ve model ile yapılacak hesaplamaları kolaylaştıracaktır. Doğrusallaştırma işlemi, sözkonusu terimleri kararlı-hal etrafında Taylor serisi açılımı biçiminde yazıp, birinci dereceden yüksek terimler ihmal edilerek yapılır.

b. Faz-düzlemi ile çözüm yöntemi

Bu çözüm yönteminde durum değişkenlerinin yardımı ile zaman elimine edilir. Faz düzlemi kullanılarak denklemlerin çözüm ve analizleri analog, hibrid ve sayısal bilgisayarlar ile yapılır.

c. Liapunov'un dolaylı ve dolaysız çözüm yöntemi

Liapunov'un kararlılık ilkesine göre, $V(x_1, x_2)$ fonksiyonu merkezin tek bir nokta (singular) olması, aşağıda verilen şartları sağlaması koşulu halinde kararlıdır denir.

Liapunov'un kararlılık şartları:

1. $V(x_1, x_2)$, x_1 ve x_2 nin her değerinde sıfır veya pozitiftir.
2. $\frac{dV}{dt}$ hiç bir zaman pozitif olamaz. Eğer fonksiyon

orijin haricinde sıfır değilse, asimtotik kararlıdır denir.

d. Tanım fonksiyonu(Describing function)ile analiz yöntemi

Periyodik ve sinüs girdileri için bu yöntem daha uygundur.

e. Doğrusal ve doğrusal olmayan kontrol sistemleri için geliştirilen teknikler:

Bu teknikler aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

1. Kök geometrisi(Root Locus) yöntemi,

2. Sıklık kuramı ve yöntemi,

3. Routh ve Hurwitz yöntemi.

Yukarıda verilen tüm yöntemler literatürden detaylı olarak bulunabilir(18,28,29,30,31).

3.3.1 Faz-düzlem analizi yöntemi

Doğrusal olmayan differansiyel denklemlerin kararlılık testleri için kullanılır.Bu yöntem için gerekli kuramsal açıklamalar aşağıda verilmiştir.

n Mertebeli doğrusal olmayan bir differansiyel denklemi gözönüne alalım:

$$\frac{d^n x}{dt^n} = f\left(x, \frac{dx}{dt}, \frac{d^2 x}{dt^2}, \dots, \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}}, t\right) \quad (3.84)$$

Yeni n tane değişkeni aşağıdaki gibi tanımlarsak:

$$x_1 = x$$

$$x_2 = \frac{dx}{dt}$$

$$x_3 = \frac{d^2 x}{dt^2}$$

.....

$$x_n = \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} \quad (3.85)$$

Bu tanım yardımı ile differansiyel denklemi tekrar yazarsak,

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2$$

$$\frac{dx_2}{dt} = x_3$$

....

$$\frac{dx_{n-1}}{dt^{n-1}} = x_n$$

$$\frac{dx_n}{dt} = f(x_1, x_2, \dots, x_n, t) \quad (3.86)$$

Bu sistem faz-düzlemi olarak tanımlanabilir. $x_1, x_2, \dots, x_n$ ise bu düzlemin koordinatlarıdır.

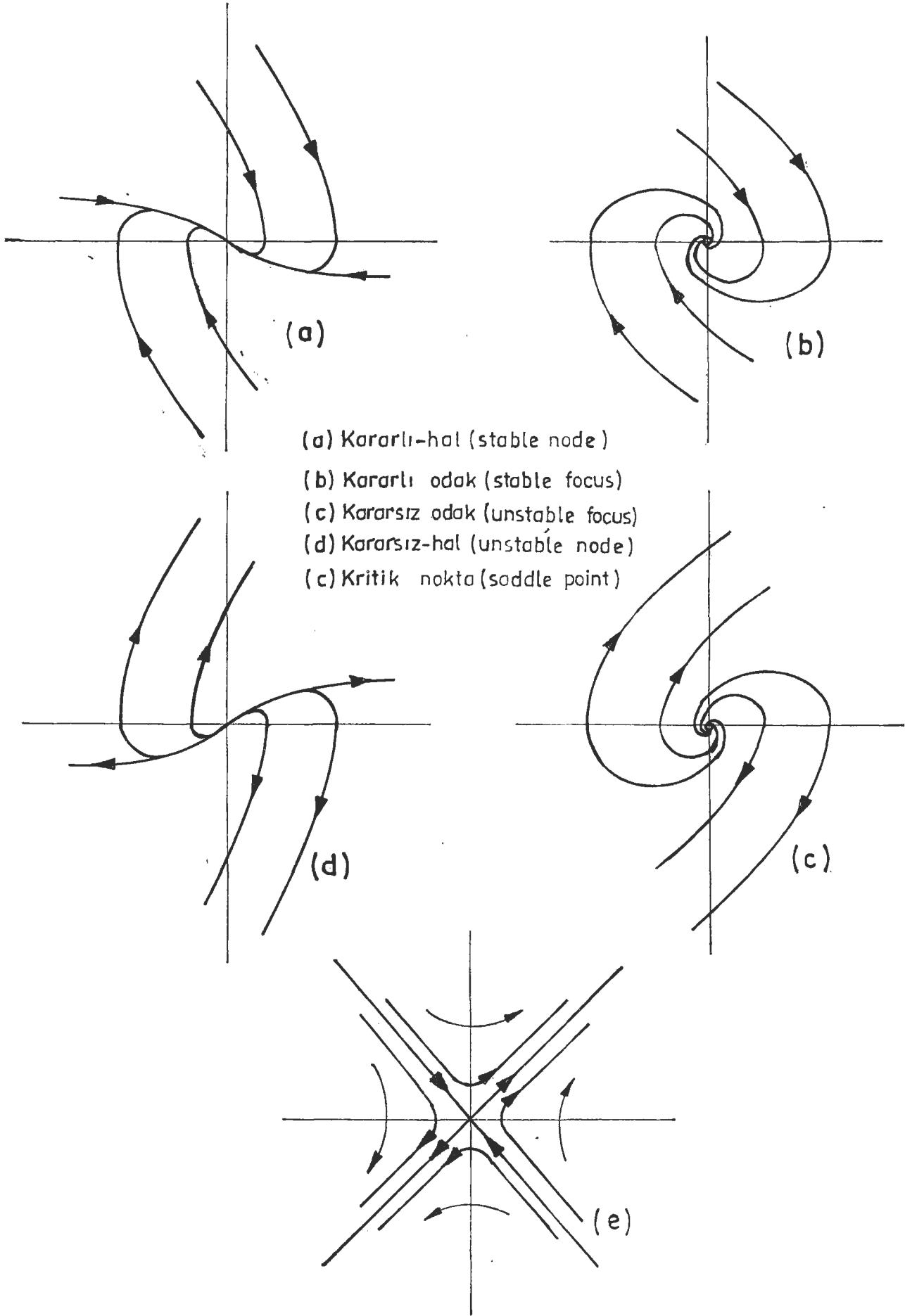
Faz-düzlem analizinde, bu koordinatları grafiğe geçirmek suretiyle yapılır. Bu tip çizimler "trajectory" şeklinde adlandırılırlar. Örnek olarak ikinci mertebeden bir sistemin faz-düzlem analizini x_1 ve x_2 koordinatları ile göstererek yapabiliriz. Tablo 3.1 kritik noktaların sınıflandırılmasını ve Şekil 3.9 ilgili faz-düzlem grafiklerini göstermektedir.

Bu çalışma ile ilgili faz-düzlem analizi ve ilgili diyagramlar Bölüm 4 de verilmiştir.

Şekil 3.9 dan görüleceği üzere okların yönleri kararlılığı göstermektedir.

Kritik nokta tipi	Karakteristik denklem	p değerleri	Köklerin durumu	Köklerin işareti
Kararlı-hal (stable node)	$r^2 s^2 + 2pr s + 1 = 0$	$p > 1$	Gerçek	Her ikisi de -
Kararlı odak (stable focus)	$r^2 s^2 + 2pr s + 1 = 0$	$0 < p < 1$	Kompleks	Gerçek kısmın her ikisi de -
Kararsız odak (unstable focus)	$r^2 s^2 + 2pr s + 1 = 0$	$1 < p < 0$	Kompleks	Gerçek kısmın her ikisi de +
Kararsız-hal (unstable node)	$r^2 s^2 + 2pr s + 1 = 0$	$p < -1$	Gerçek	Her ikisi de +
Kritik nokta (saddle point)	$r^2 s^2 + 2pr s + 1 = 0$	Hepsi	Gerçek	Biri + , biri -

Tablo 3.1 İkinci mertebeden bir sistemin kritik noktalarının sınıflandırılması.



Şekil 3.9 İkinci mertebeden bir sistemin faz-düzlem analizi.

B Ö L Ü M 4

SAYISAL BİLGİSAYAR ÇÖZÜMLERİNDEN ELDE EDİLEN
KURAMSAL SONUÇLAR

Bu bölümde beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin besleme akış hızında kademe ve sinüs değişimlerinin çıkış sıcaklığına etkileri incelenmiştir. Alpbaz (1), aynı sistemin akış hızındaki kademe değişiminin etkisine ilave olarak geri ve ileri beslemeli kontrol sistemlerinin aynı değişime karşı davranışlarını incelemiştir. Bu araştırmada önce sistemin kararlı-halleri, kademe değişimi altında dinamiği ve ilave edilen ileri ve geri beslemeli kontrol sistemlerinin etkinliği üzerinde durulmuştur. Bu bilgilerin ışığı altında sinüs değişiminin sisteme etkisi incelenmiştir. İleri ve geri beslemeli kontrol sistemlerinin, bu etki altındaki reaktörlerin çıkış sıcaklıklarını nasıl değiştirdiği hesaplanmıştır.

4.1 Sayısal bilgisayar çözümlerinde kullanılan parametrelerin değerleri

Sayısal bilgisayar çözümlerinde kullanılan parametrelerin değerleri aşağıda verilmiştir:

1. Reaksiyon hız sabiti,

$A \xrightarrow{k} B$ şeklinde birinci mertebeden tek yönlü ve ekzotermik bir reaksiyon seçilmiştir. Sıcaklığın bir fonksiyonu olan (k) reaksiyon hız sabitinin aşağıdaki gibi olduğu kabul edilmiştir:

$$k = Z e^{-E/RT} \quad (4.1)$$

Z ve E değerleri Aris ve Amundson'ın (32), bir araştırmasından alınmıştır.

$$Z = 6.3 \times 10^{15} \quad , \quad E = 24000 \text{ cal/mol}$$

(k) reaksiyon hız sabitinin sayısal bilgisayar programlarında kullanılabilmesi için aşağıdaki şekle dönüş-

türülmüştür:

$$k = \exp (36.49 - 12100/T) \quad (4.2)$$

2. Reaksiyon ısısı,

Bilgisayar çözümlerinde reaksiyon ısısı aşağıdaki gibi alınmıştır:

$$\Delta H = -18600 \text{ cal/mol.}$$

3. Besleme akımının derişimi ve sıcaklığı,

Bütün çalışmalarda besleme akımı giriş şartları olarak

$T_o = 23^\circ\text{C}$, $c_o = 0.5 \text{ mol/lt}$. alınmıştır. Soğutma suyu sıcaklığı $\theta_o = 5^\circ\text{C}$ dir.

4. Akış hızları,

Reaktör içinde durgun ve karışmayan bölgelerin oluşumunu önlemek için besleme akışı 1 ve 2 lt/dak. hızlarında gönderilir. Soğutma suyu kararlı-haller için 4-20 lt/dak. hızla girer.

5. Tek bir kademenin hacmi,

Bu araştırmada kullanılan bir tek reaktörün hacmi, $V = 3200 \text{ cm}^3$ olarak alınmıştır. Böylece beş tankın hacmi toplam olarak 16000 cm^3 dür.

6. Reaktör soğutma ceketinin hacmi,

$V_c = 240 \text{ cm}^3$. , soğutma yüzeyi ise $A_2 = 300 \text{ cm}^2$ dir.

7. Isı transfer katsayısı,

Isı transfer katsayısı U nun soğutma suyu akış hızı ile değişimi şekil 4.1 de verilmiştir.

Kullanılan akışkanın ve soğutma suyunun özellikleri aşağıdaki gibidir.

Özgöl ısı, $c_p = 1.0 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}$

Yoğunluk , $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$

4.2 Sayısal bilgisayar ile elde edilen çözüm sonuçları

4.2.1 Kararlı-hal sonuçları

Tablo 4.1 de gösterildiği şekilde giriş şartları alınarak beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin kararlı-hal denklemleri sayısal bilgisayarda çözülerek hesaplanmıştır. Bu kısımda çözüm sonuçları verilmiştir.

İlk ve son kararlı-hal şartları Tablo 4.1, sayısal bilgisayar çözüm sonuçları Şekil 4.2-4.7 de gösterilmiştir.

4.2.2 Kararsız-hal sonuçları

Beş tam karıştırmalı akım reaktörleri, besleme akış hızındaki kademe ve sinüs etkisinde olmak üzere iki ayrı hal için sayısal bilgisayarda çözülmüştür. Aşağıda bu çözümler sırasıyla verilmiştir.

4.2.2.1 Kademe etkisinde

Sistem, Tablo 4.1 ve Şekil 4.2, 4.4, 4.5 de verilen şartlarda kararlı-halde iken besleme akış hızında yapılan kademe değişimi ile ($V_1 = 1$ lt/dak dan $V_1 = 2$ lt/dak) kararsız-hale geçer. Sistemin bütün kademelerinden çıkış sıcaklık ve derişimlerinin ikinci kararlı-hale geçişleri sayısal bilgisayarda hesaplanmıştır. Birinci ve beşinci tank için hesaplanan sonuçlar Şekil 4.8-4.11 de gösterilmiştir. Tüm sistem yaklaşık 840 sn. sürede Tablo 4.1 de gösterilen ikinci kararlı-hale gelmektedir.

Bu kısımda elde edilen sonuçlara göre sistem, bir önceki kısımda verilen kararlı-hal şartlarında ve dinamik özelliklerinde kararlılık (stability) göstermektedir.

4.2.2.2 Sinüs etkisinde

Bu kısımda besleme akış hızına çeşitli frekanslarda sinüs etkileri verilerek çıkış sıcaklık ve derişimlerinin zamana göre değişimleri incelenmiştir.

Kısım 5.2.1 de verilen birinci çalışma şartlarında beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin besleme akış hızında sinüs etkileri ($w = \pi t/360, 2\pi t/360, 4\pi t/360, 6\pi t/360$)

altında çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimleri, kararsız-hal sayısal bilgisayar çözüm sonuçları olarak Şekil 4.12,- 4.35 de verilmiştir.

Kararlılık testleri için bir evvelki bölümde bahsedilen Bode,Faz-düzlem,Nyquist diyagramları aşağıda aynı çalışma şartları için verilmiştir.

Bode diyagramları, kararlılık analizi için önemli bir kriterdir.İlgili diyagramlar Şekil 4.36-4.37 de verilmiştir.Kararlılık kuralına göre $\varphi = -180^\circ$ değerinde $|G|$ birden küçük olduğundan sistem kararlıdır.

Faz-düzlem analizinde,kademe değişimi ve tüm sinüs etkileri için ($\omega = \pi t/360, 2\pi t/360, 4\pi t/360, 6\pi t/360$) ilgili diyagramlar Şekil 4.38-4.47 de verilmiştir.Ok-ların yönünden anlaşılacağı üzere verilen sinüs etkilerinde sistem kararlılık göstermektedir.

Nyquist diyagramı da, diğer bir kararlılık analizi olarak incelenmiş ve Şekil 4.48-4.49 da gösterilmiştir.Bu yöntemde de yukarıda verilen şartlar kullanılmıştır.Şekillerden görüldüğü gibi eğriler (-1) değerini aşmadığından Nyquist testine göre sistem kararlıdır.

Yapılan dinamik çalışmalar sonunda sistemin verilen sinüs etkilerinde çıkış değişkenleri zamana göre kararlılık göstermektedir.Elde edilen bu sonuçlar yardımı ile sistemin bu etkiler altında kontrol edilebileceği anlaşılmıştır.

4.2.3 Kontrol sonuçları

Beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin kademe ve sinüs etkilerinde ileri ve geri beslemeli kontrol sistemleri ile çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimleri incelenmiştir.

4.2.3.1 Kademe etkisinde

Bu kısımda,ileri ve geri beslemeli kontrol sistemlerinin beşinci tank çıkış sıcaklığına etkileri incelenmiştir.Geri beslemeli kontrol için üç kontrol ele-

manı (P,I,D) ve bunların değişik durumları kullanılmıştır.Sayısal bilgisayar ile hesaplama sonuçları Şekil 4.50-4.53 de verilmiştir.Çıkış değişkeni istenen değere 1200 sn. sürede gelmektedir.

4.2.3.2 Sinüs etkisinde

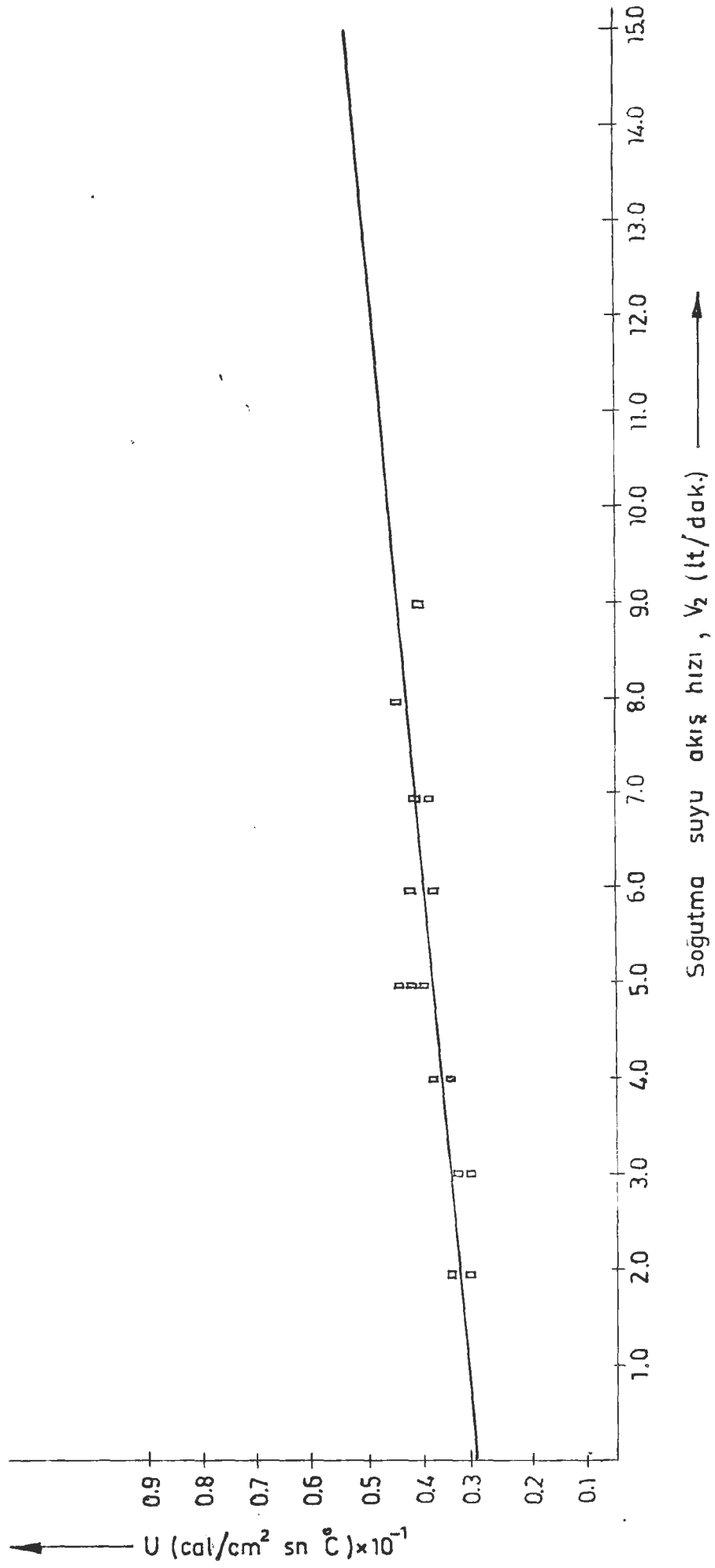
Aynı reaktör sisteminin akış hızına verilen çeşitli frekanslarda ($w=\pi t/360, 2\pi t/360, 4\pi t/360, 6\pi t/360$) sinüs değişimleriyle ileri ve geri beslemeli kontrol sistemlerinin çıkış sıcaklığına etkileri bu kısımda incelenmiştir.

Çeşitli kontrol parametrelerinin etkisinde yukarıdaki şartları içeren sinüs değişimlerinde beşinci tankın çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi Şekil 4.54-4.63 de verilmiştir.

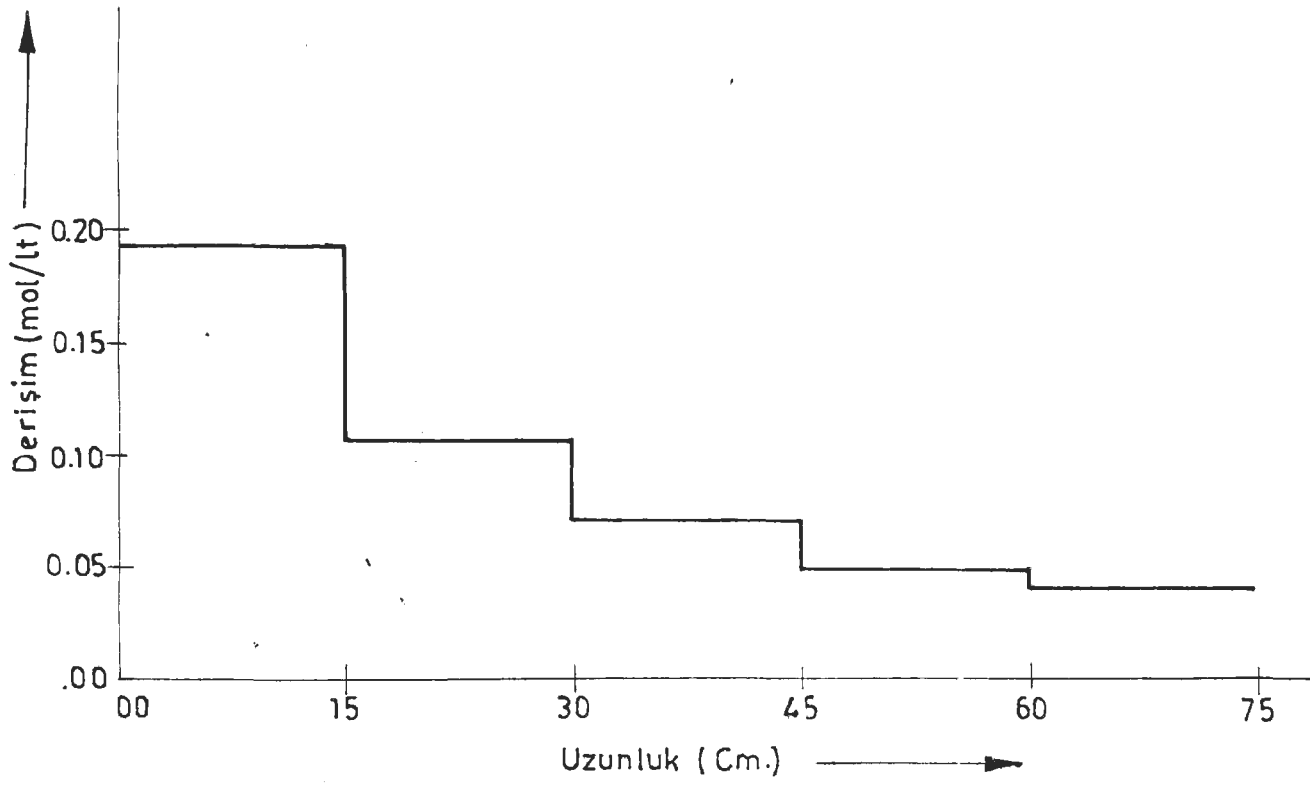
Faz-düzlem diyagramları,kontrol işlemleri için çizilerek kararlılık gözlenmiştir.İlgili diyagramlar Şekil 4.64-4.73 de verilmiştir.Okların yönünden görüleceği üzere sistem kontrol etkisinde de kararlılık göstermektedir.

Çalışma No.	V_1 lt/dak.	V_2 lt/dak.	C_0 mol/lt	θ_0 °C	T_0 °C	Şekil No.
1	1.0	6.0	0.5	5.0	23.0	4.2, 4.3, 4.4
2	2.0	6.0	0.5	5.0	23.0	4.5, 4.6, 4.7

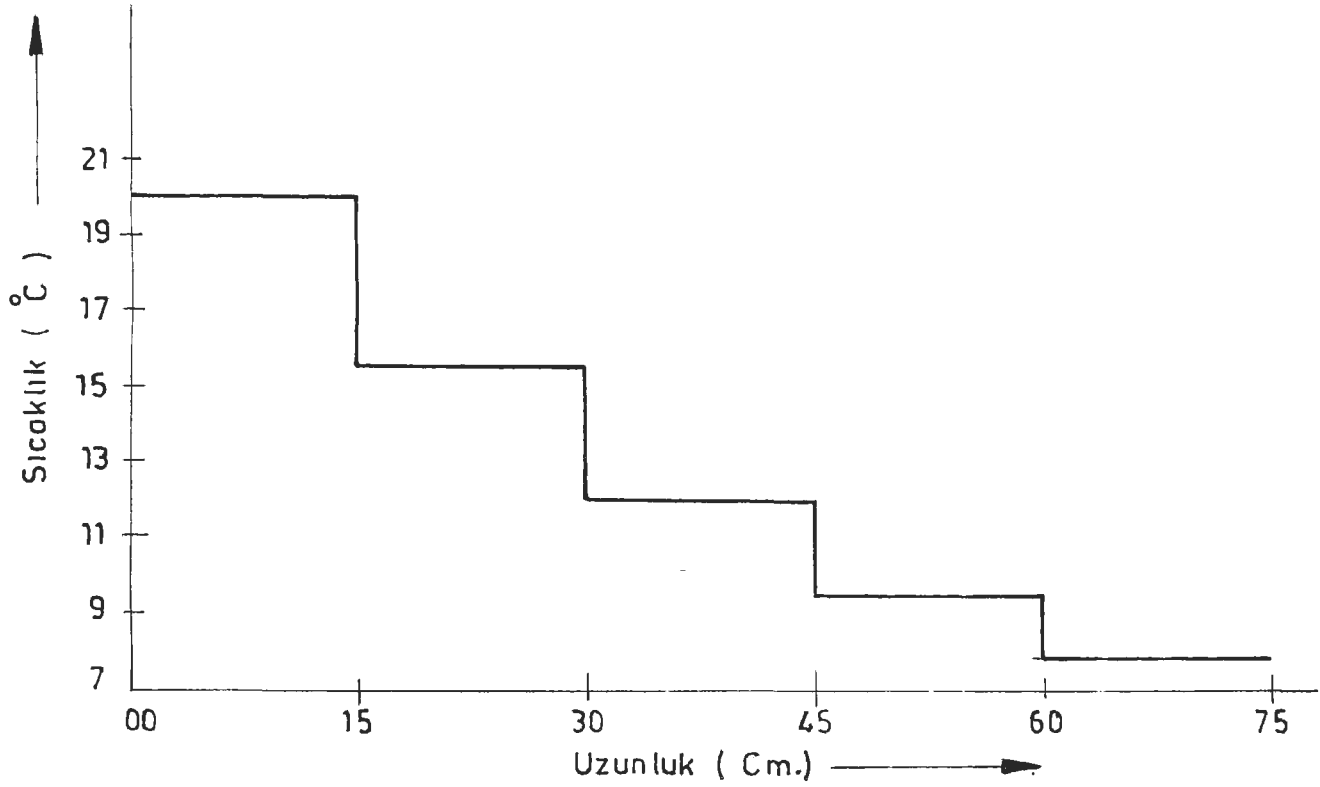
Tablo 4.1 Kararlı – halde beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin çalışma şartları.



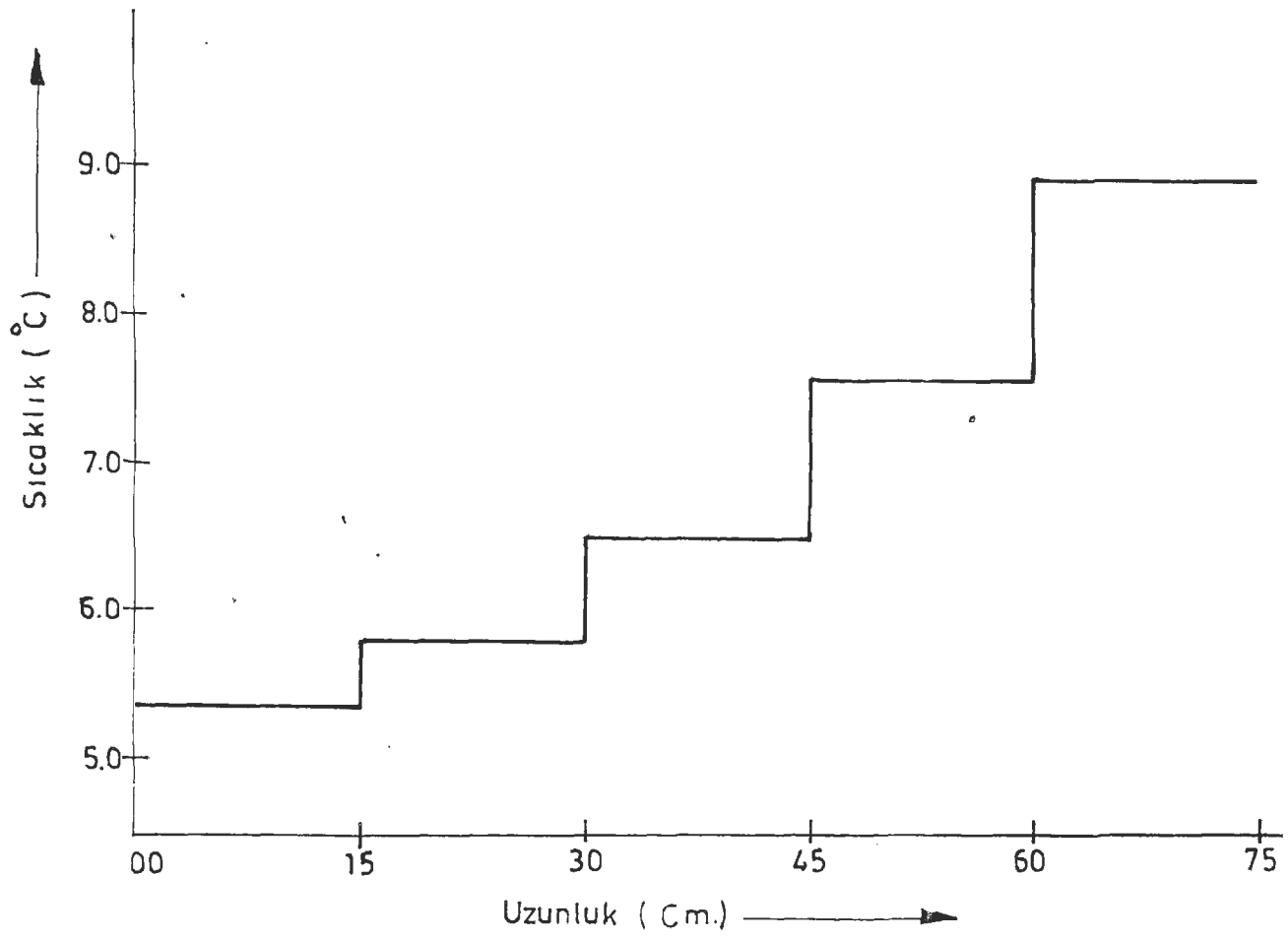
Şekil: 4.1 ısı transfer katsayısının soğutma suyu akış hızı ile değişimi



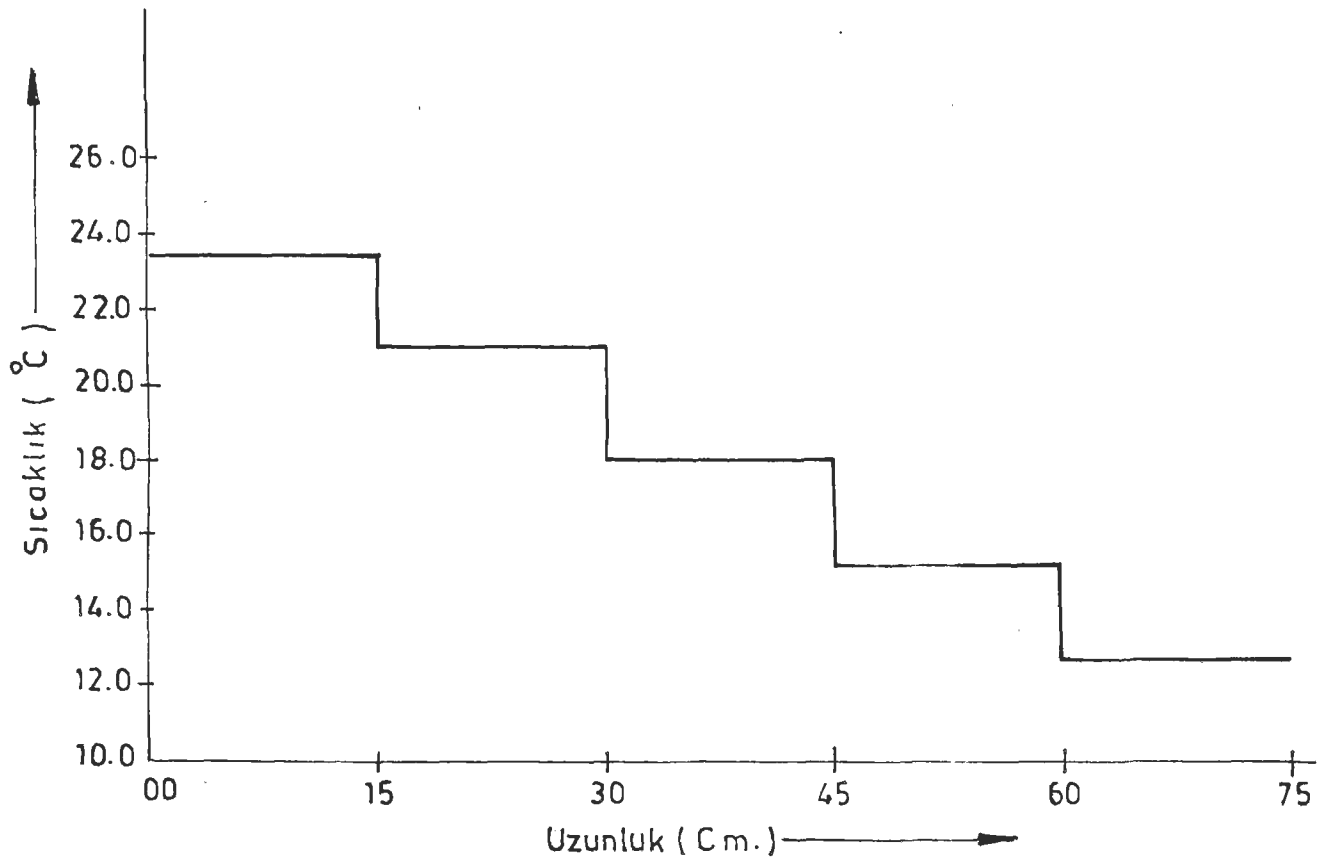
Şekil: 4.2 Kararlı – halde beş tam karıştırmalı akım reaktörünün derişim profili



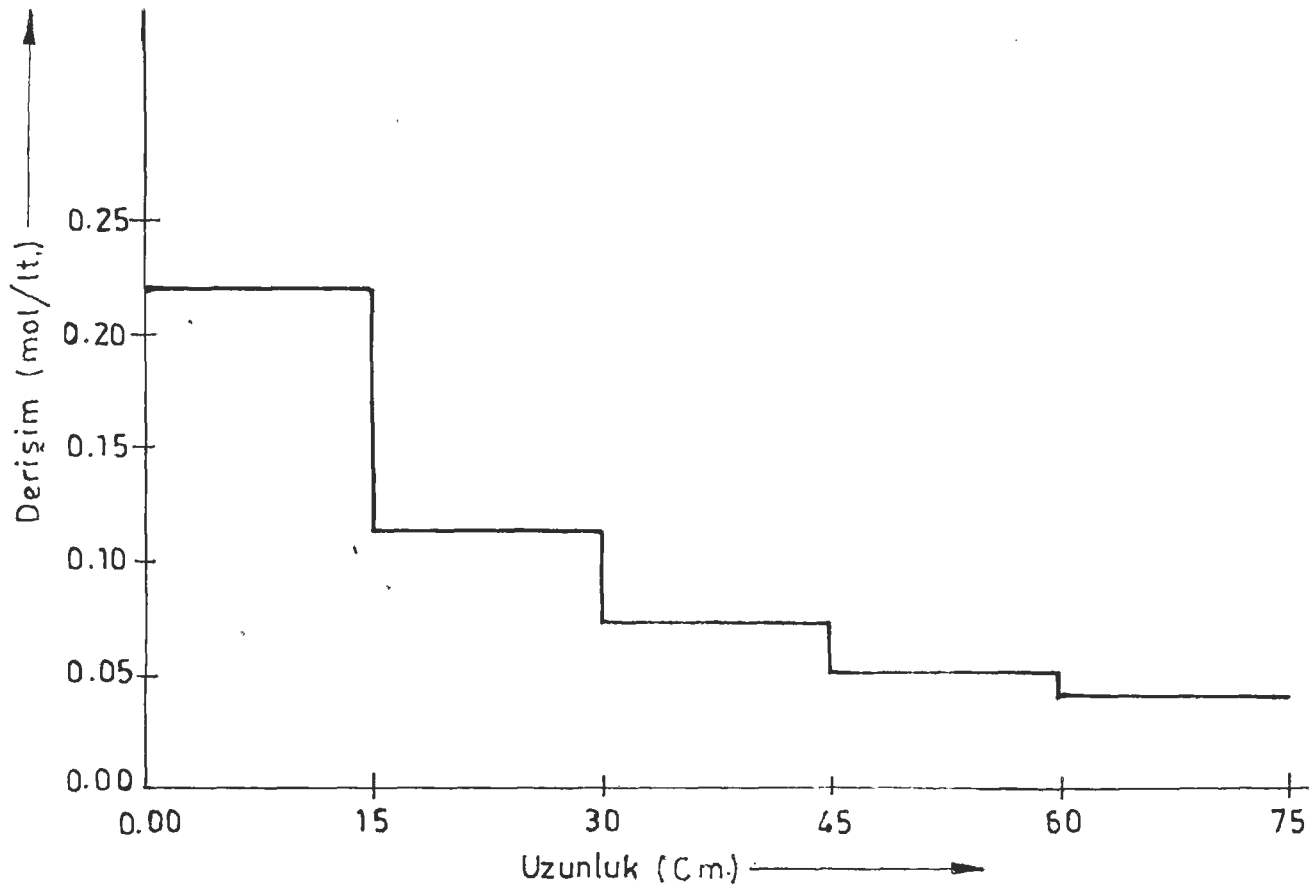
Şekil: 4.3 Kararlı – halde beş tam karıştırmalı akım reaktörünün sıcaklık profili



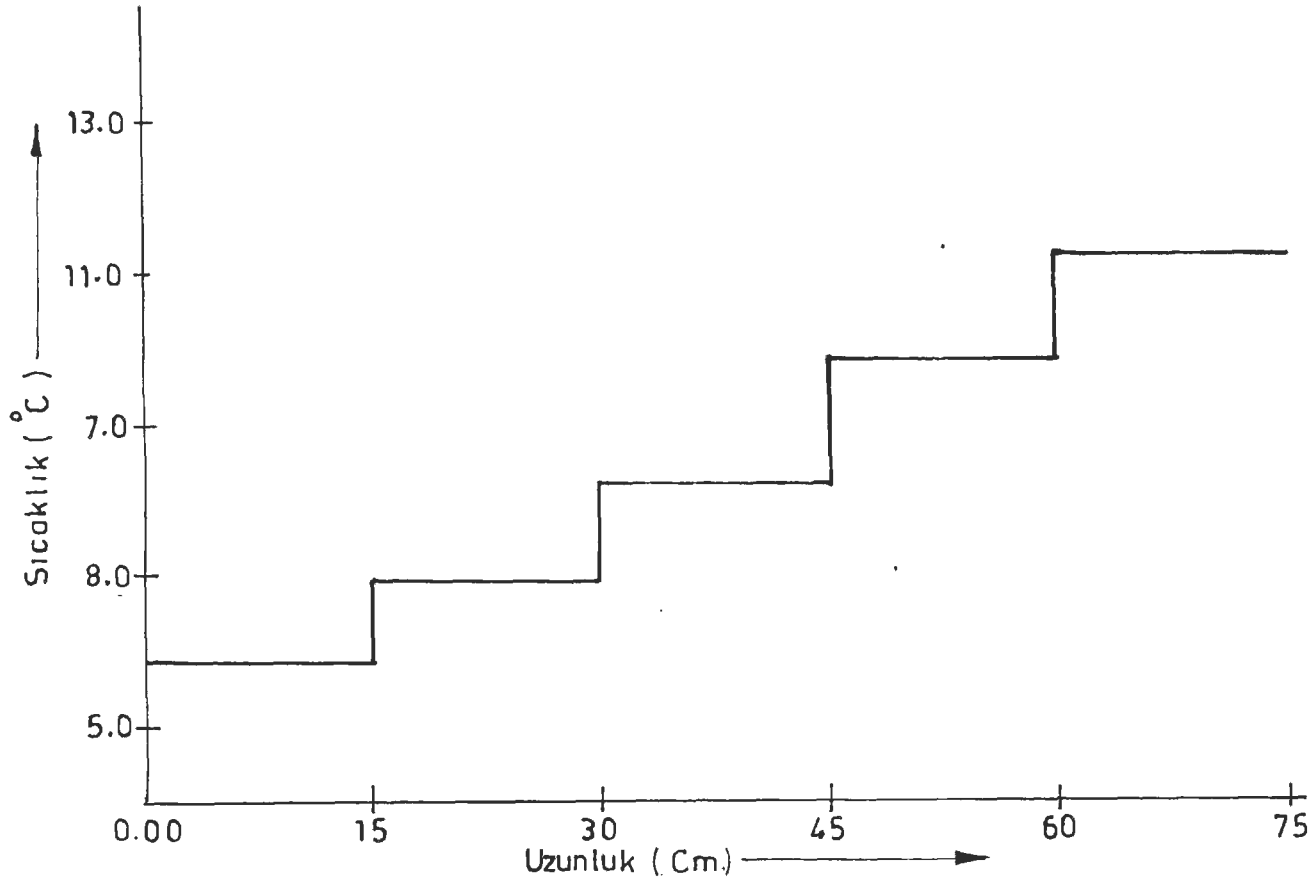
Şekil: 4.4 Kararlı-halde tam karıştırmalı akım reaktör-
ünün soğutma suyu sıcaklığı profili



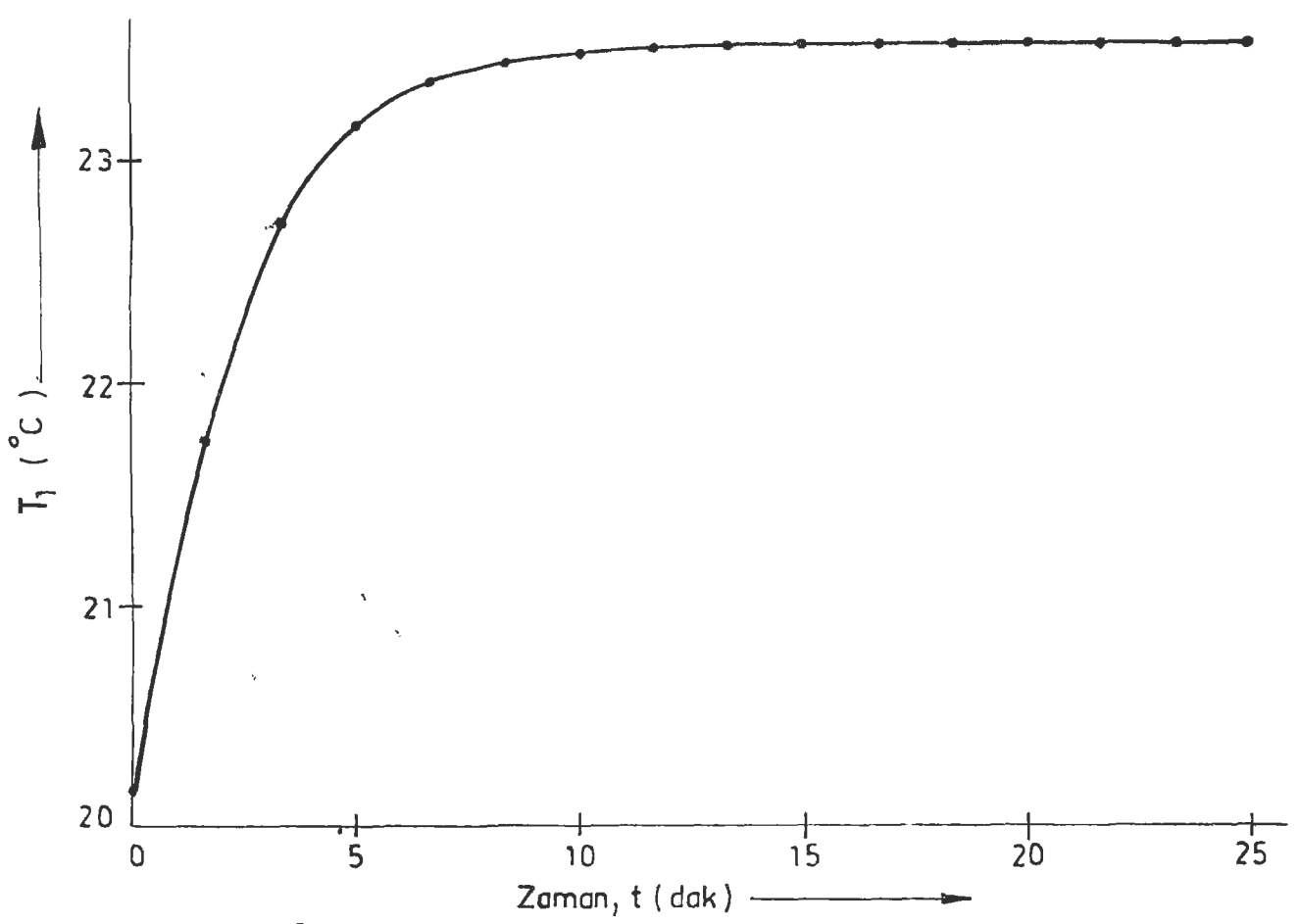
Şekil: 4.5 İkinci kararlı-halde beş tam karıştırmalı
akım reaktörünün sıcaklık profili



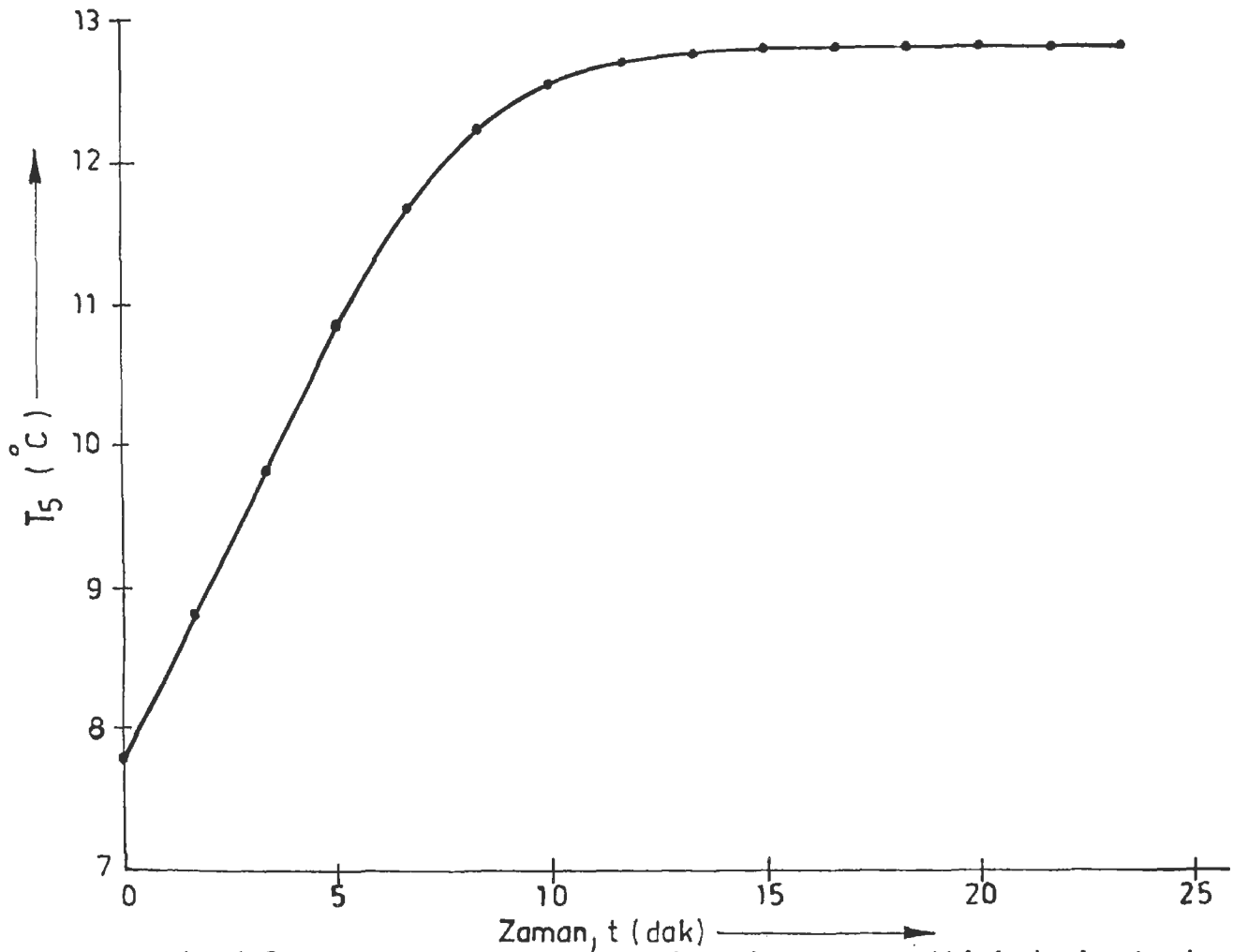
Şekil: 4.6 İkinci kararlı - halde beş tam karıştırmalı akım reaktörünün derişim profili.



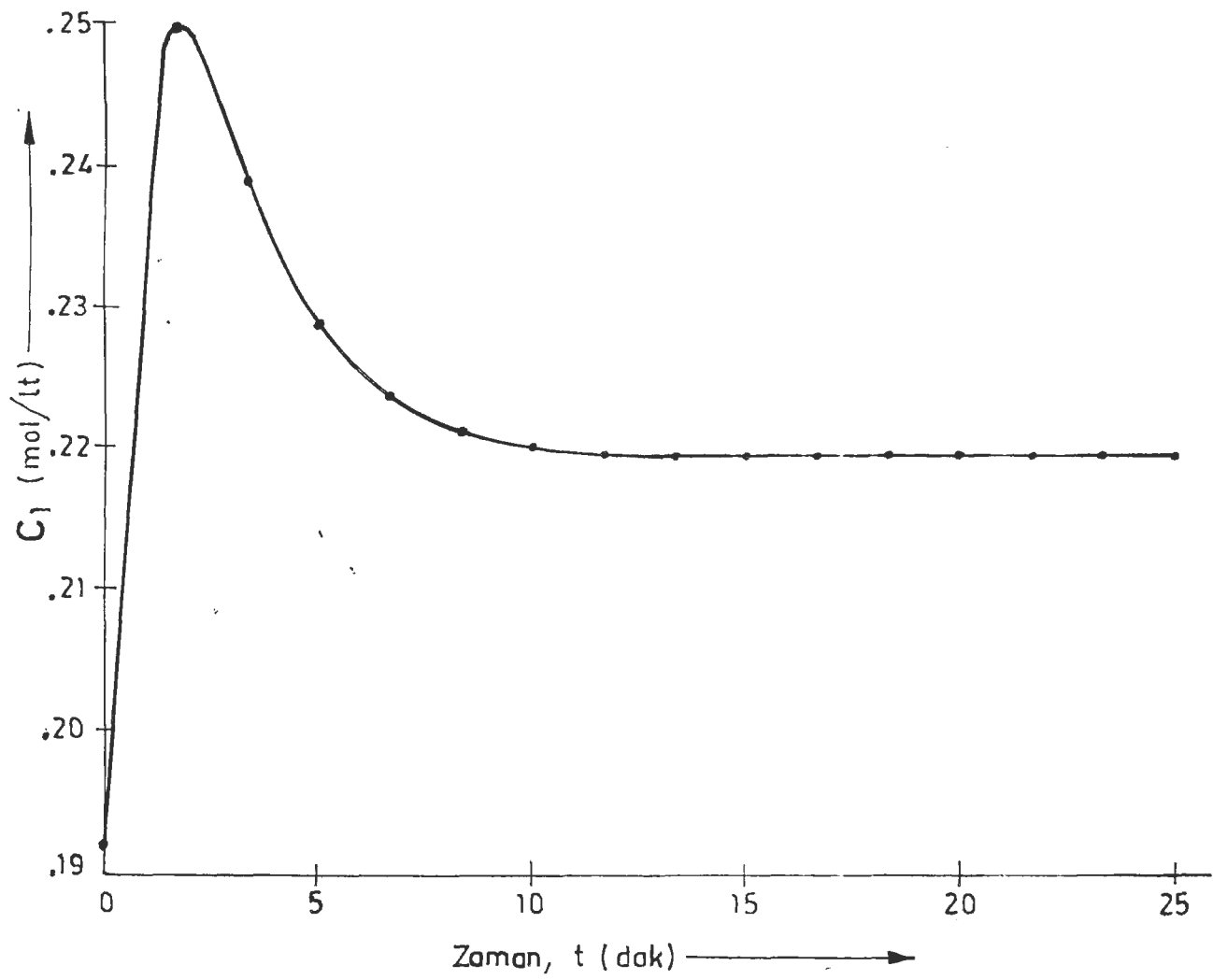
Şekil: 4.7 İkinci kararlı-halde beş tam karıştırmalı akım reaktörünün soğutma suyu sıcaklığı profili



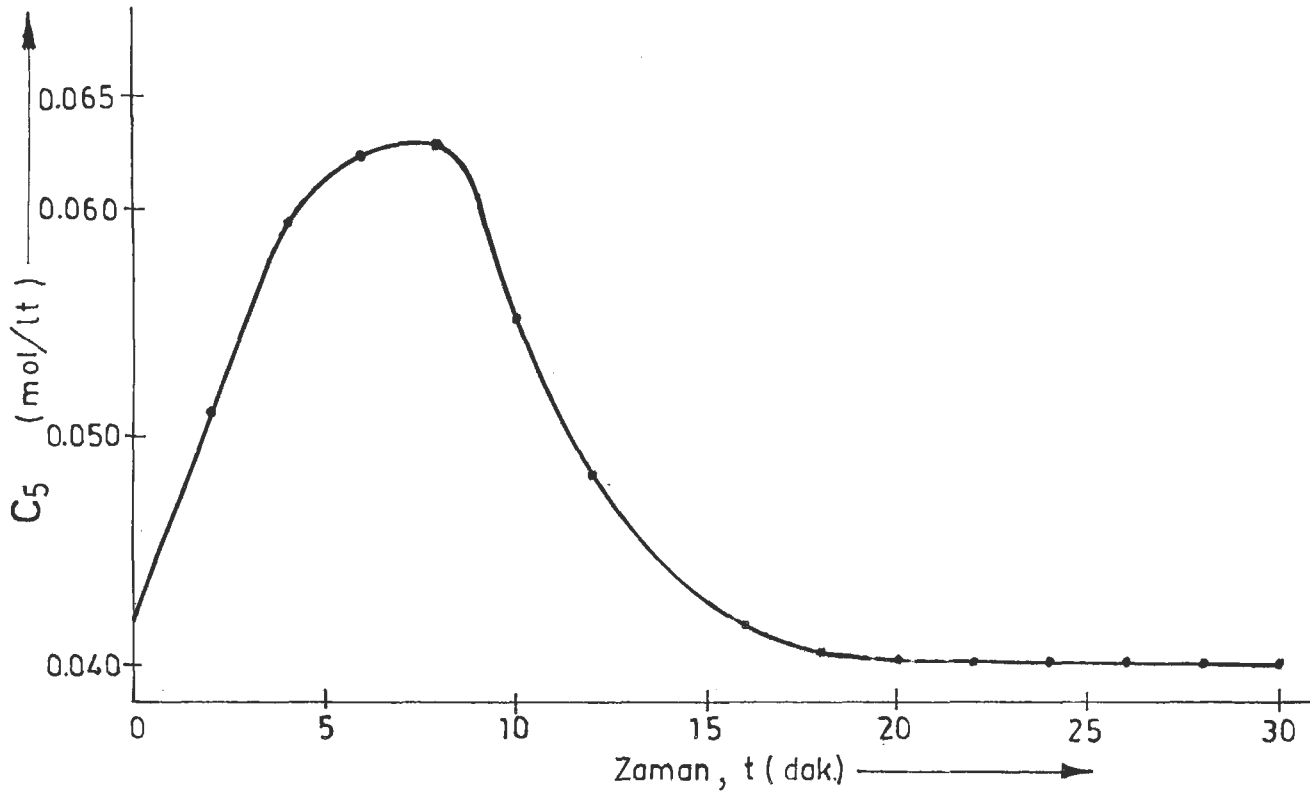
Şekil: 4.8 Besleme akış hızındaki kademe etkisinde, birinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi.



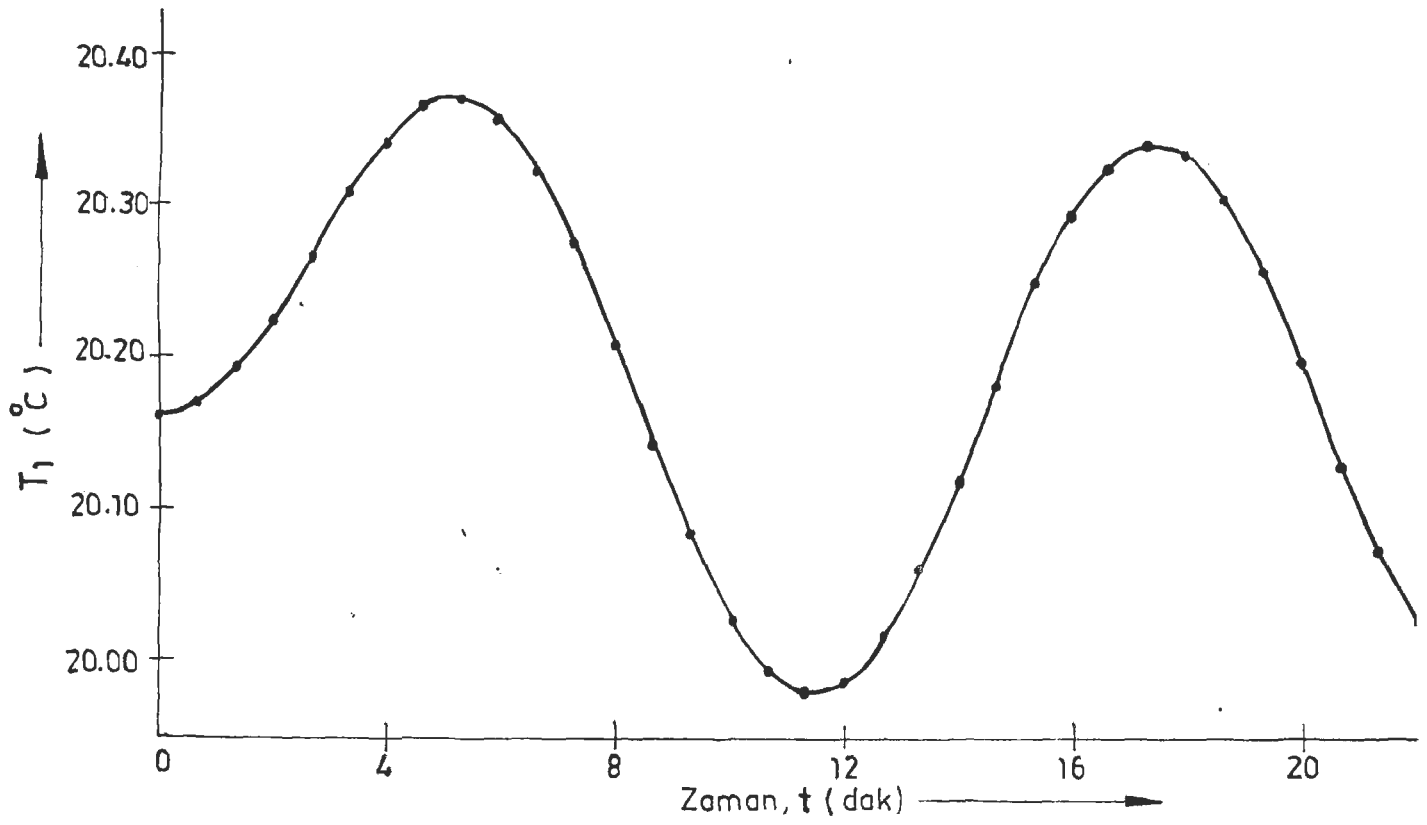
Şekil: 4.9 Besleme akış hızındaki kademe etkisinde, beşinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi.



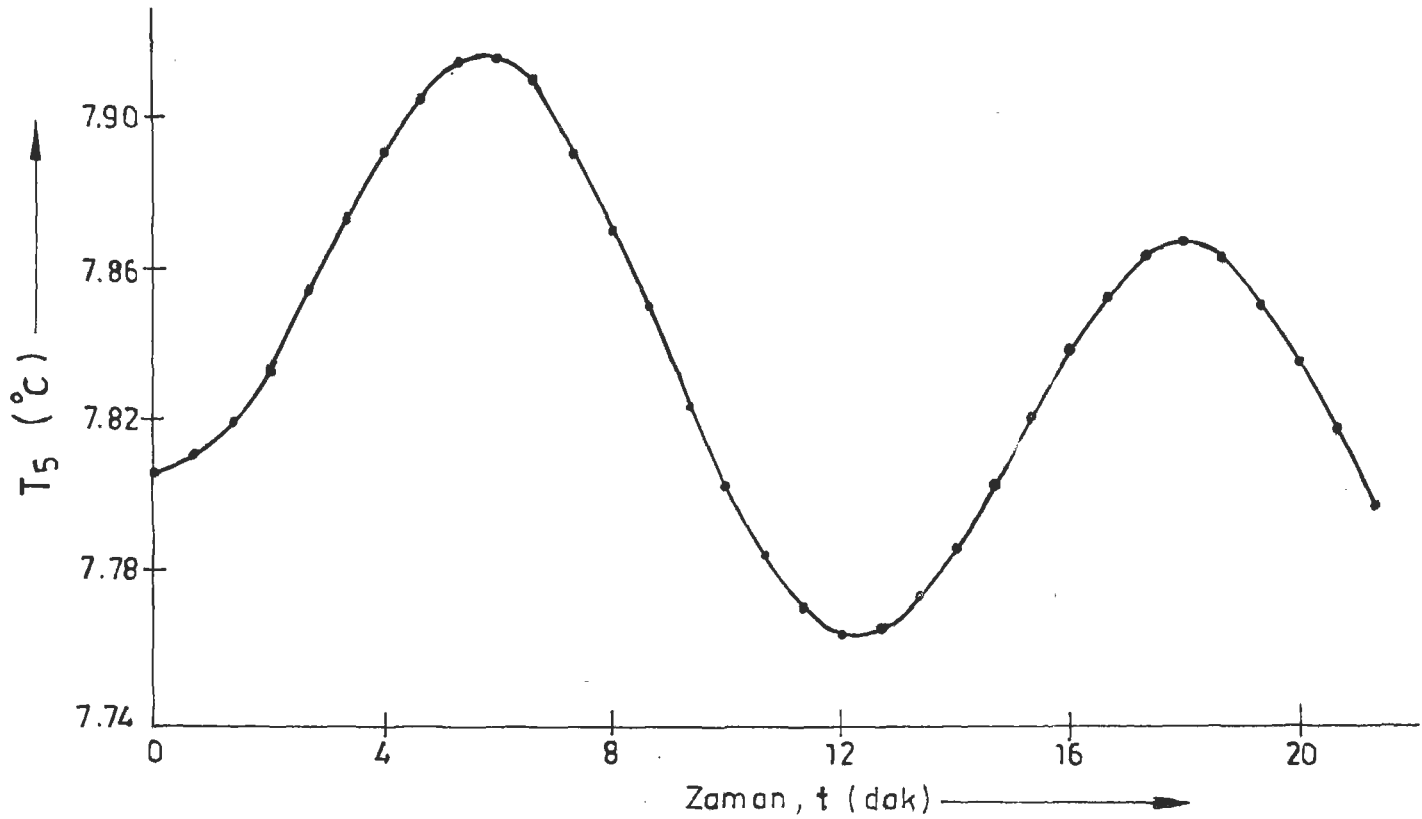
Şekil: 4.10 Besleme akış hızındaki kademe etkisinde birinci tank çıkış derişiminin zamana göre değışimi.



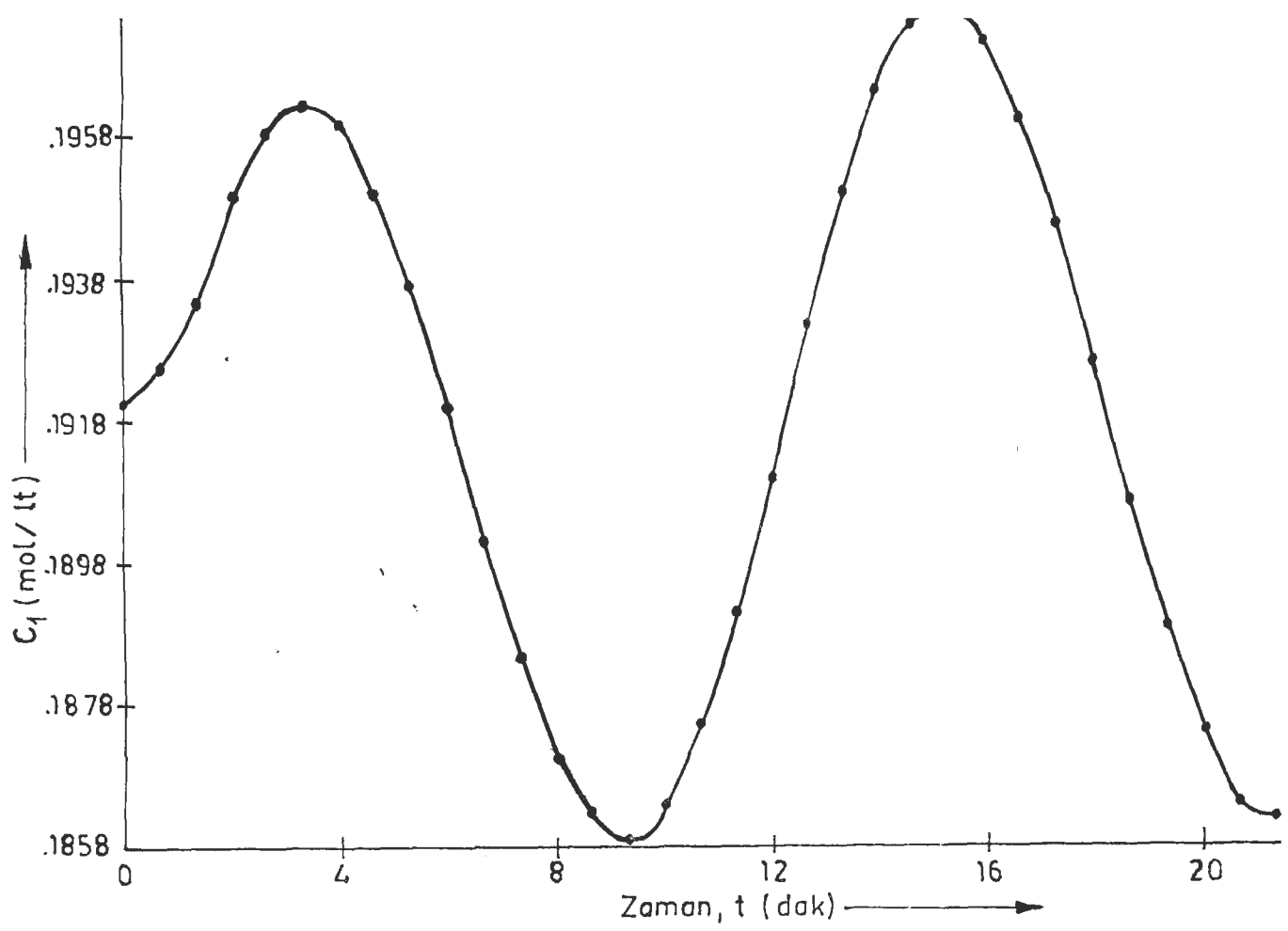
Şekil: 4.11 Besleme akış hızındaki kademe etkisinde beşinci tank çıkış derişiminin zamana göre değışimi.



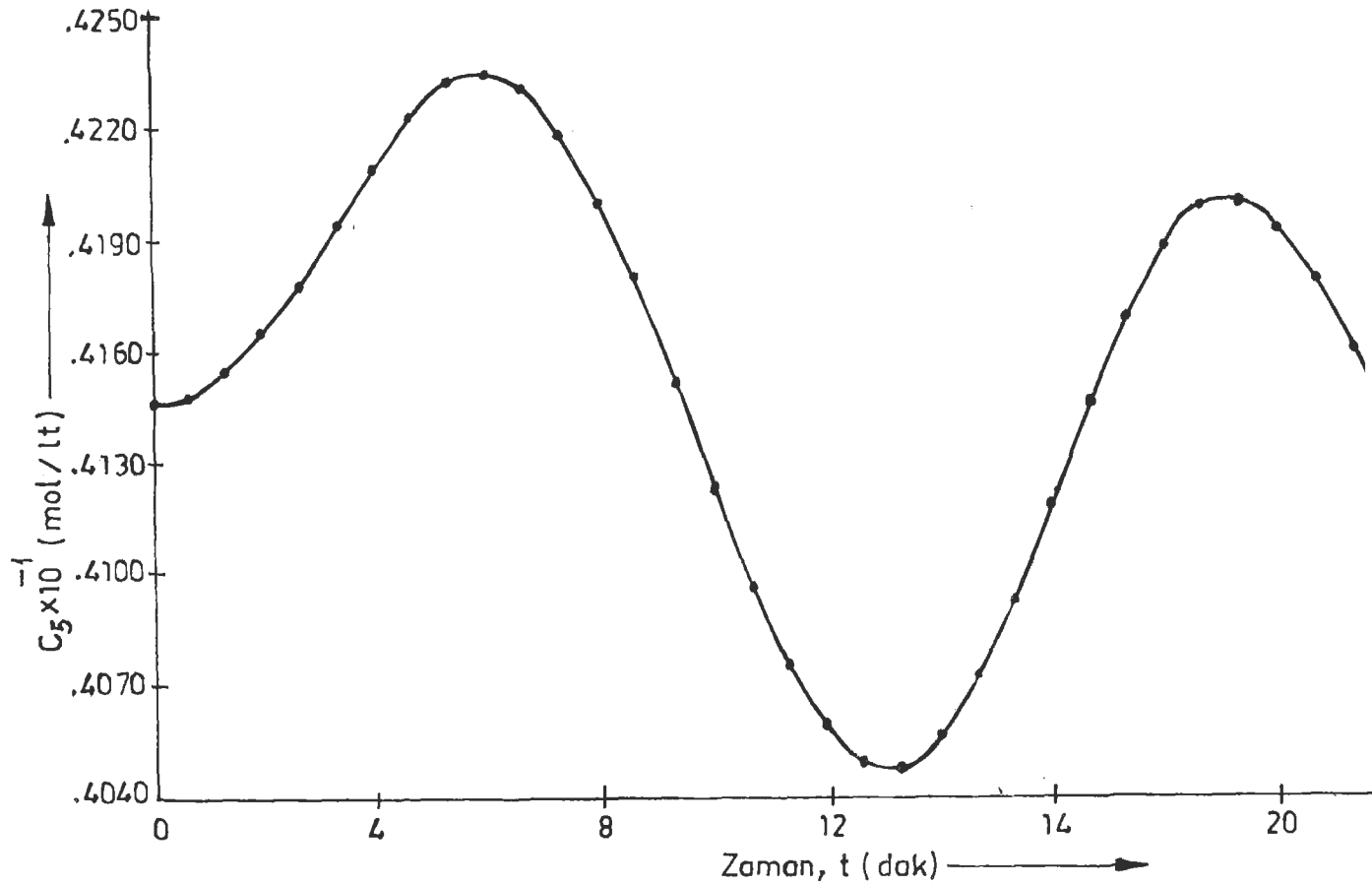
Şekil: 4.12 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, birinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi ($w = \pi t / 360$)



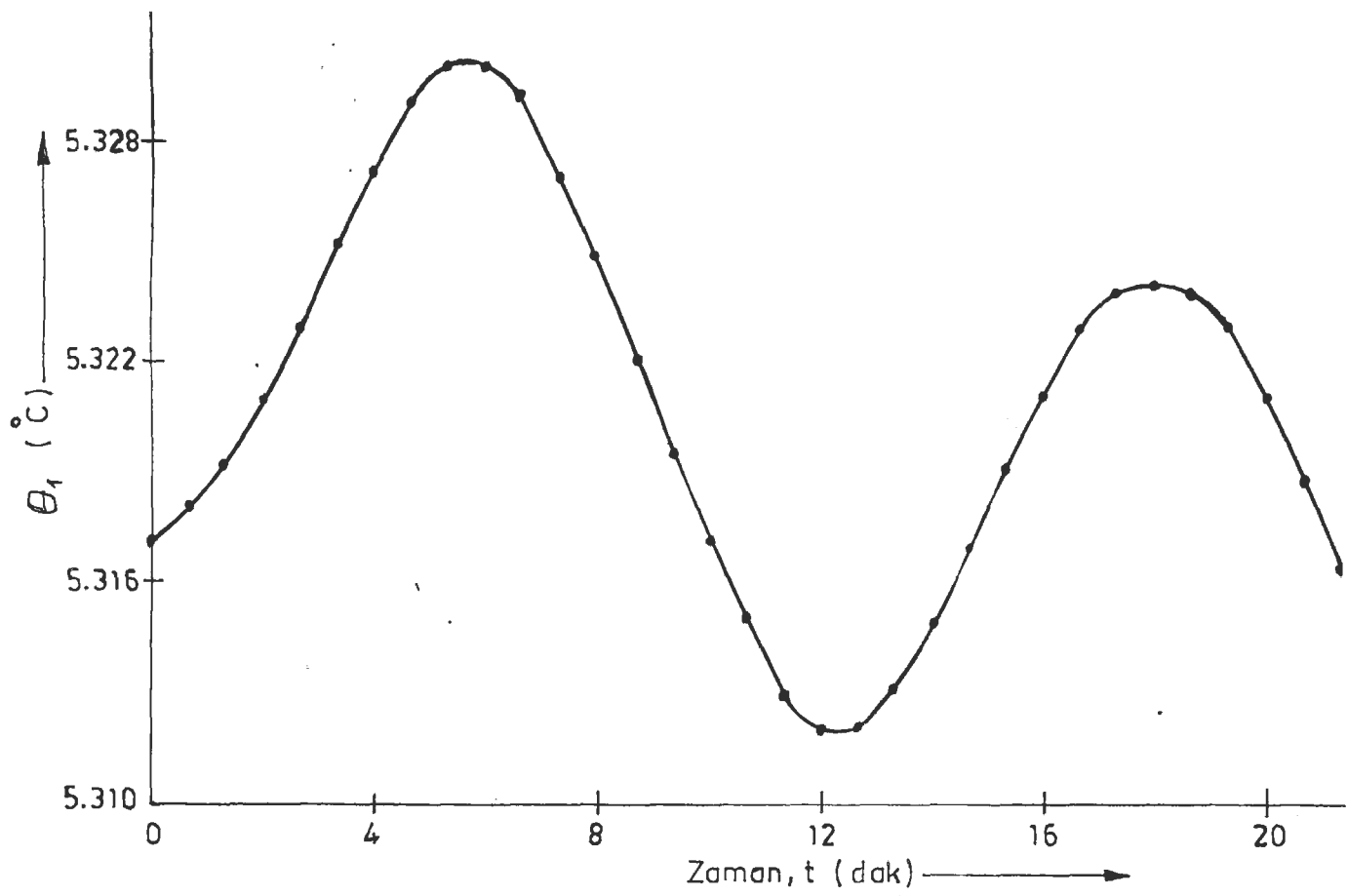
Şekil: 4.13 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, beşinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi ($w = \pi t / 360$)



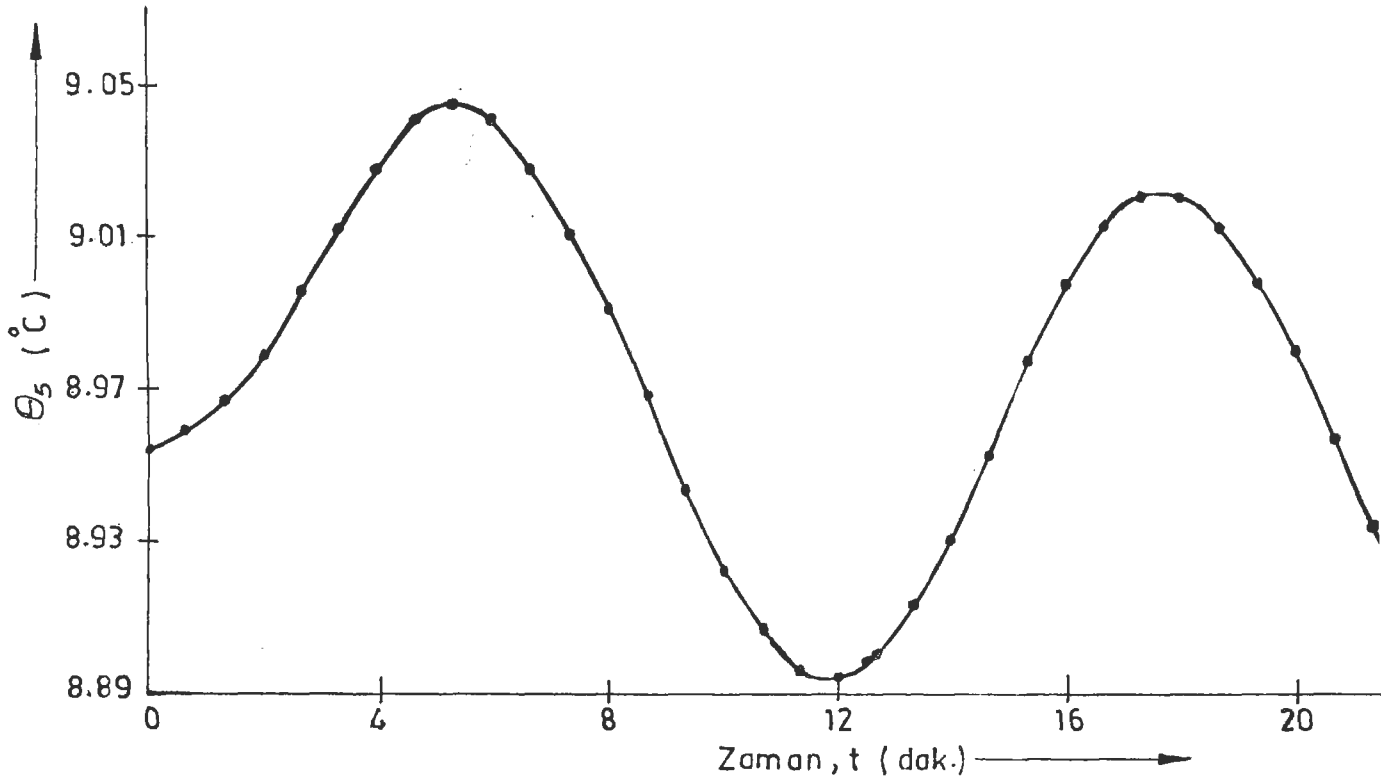
Şekil: 4.14 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, birinci tank çıkış derişiminin zamana göre değışimi ($w = \pi t / 360$)



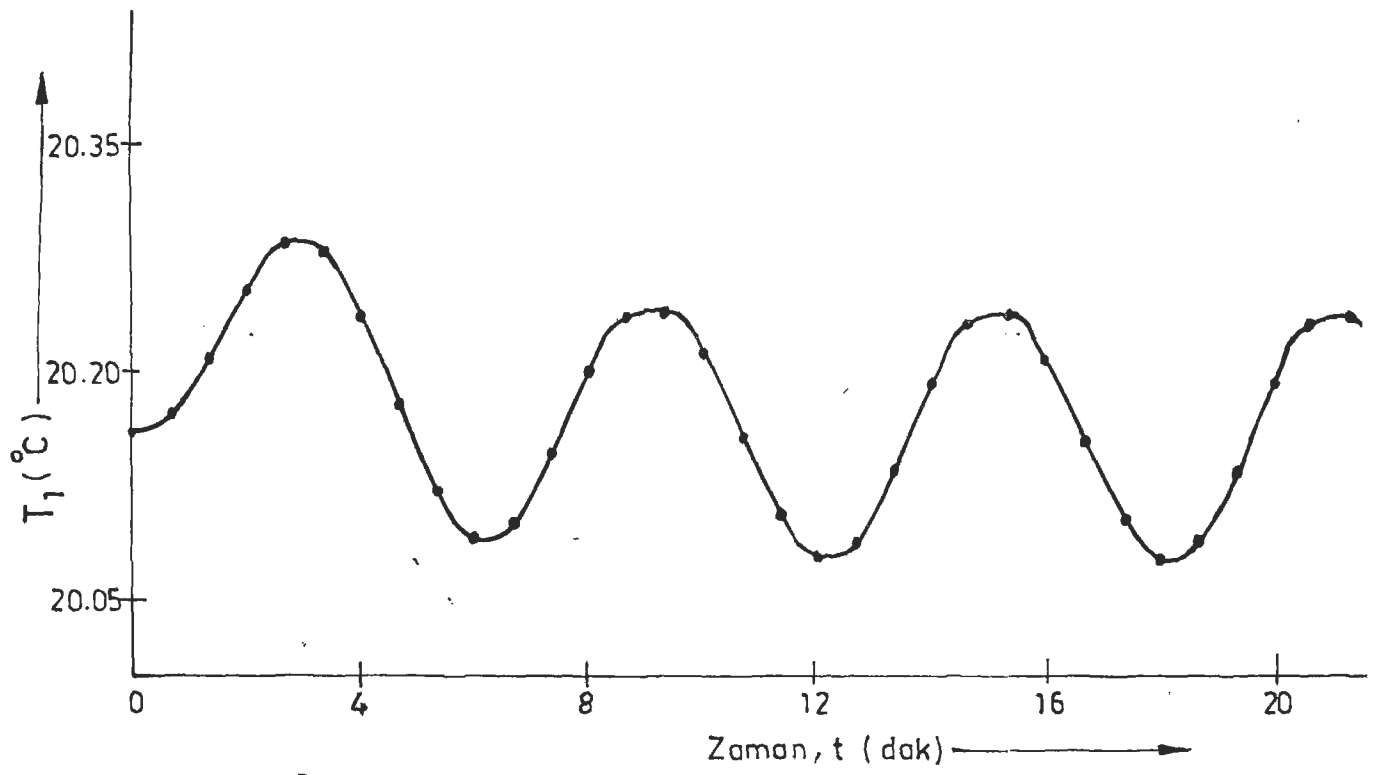
Şekil: 4.15 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, beşinci tank çıkış derişiminin zamana göre değışimi ($w = \pi t / 360$)



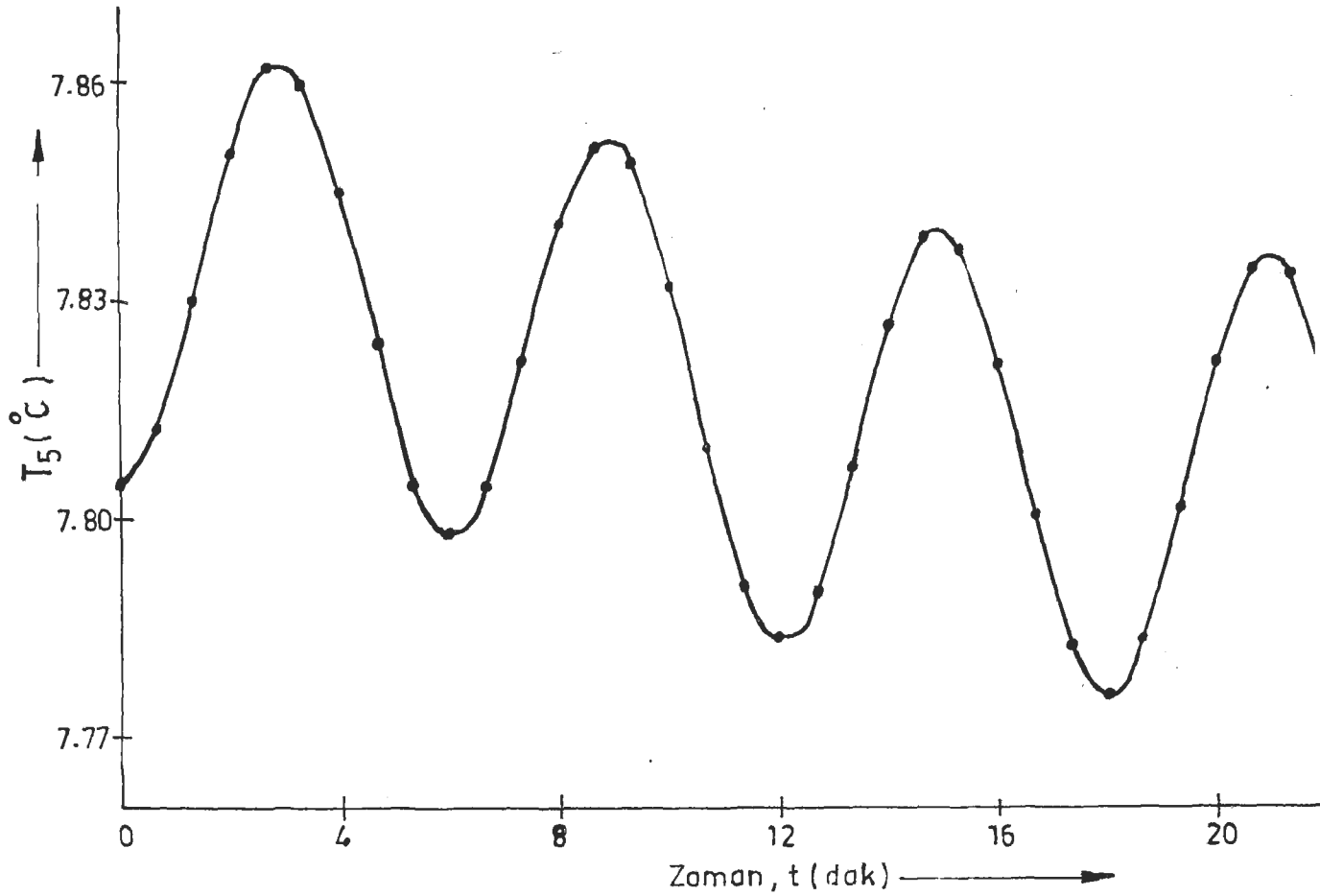
Şekil: 4.16 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, beşinci tank soğutma suyu çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi.
($w = \pi t / 360$)



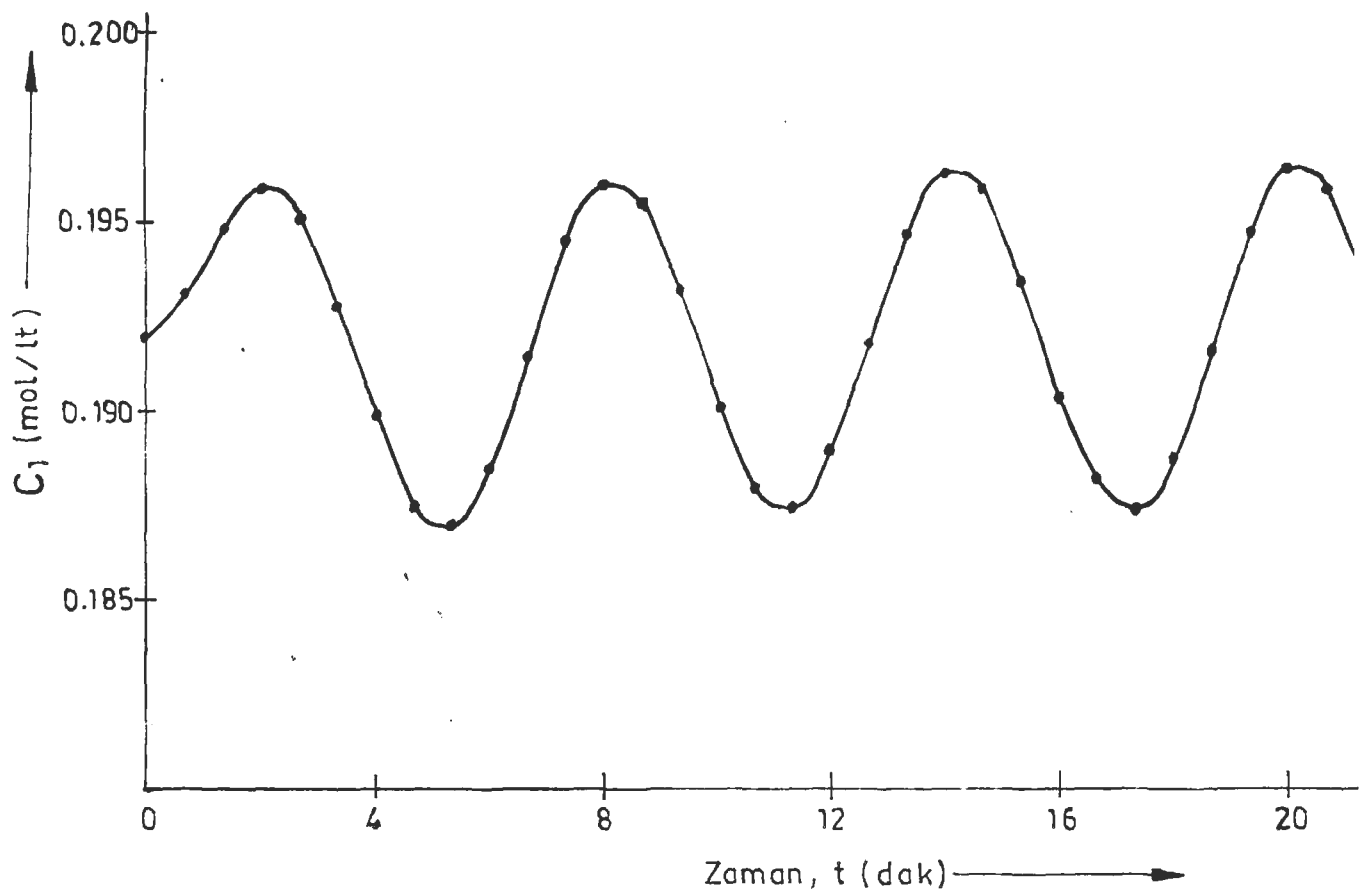
Şekil: 4.17 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, birinci tank soğutma suyu çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi.
($w = \pi t / 360$)



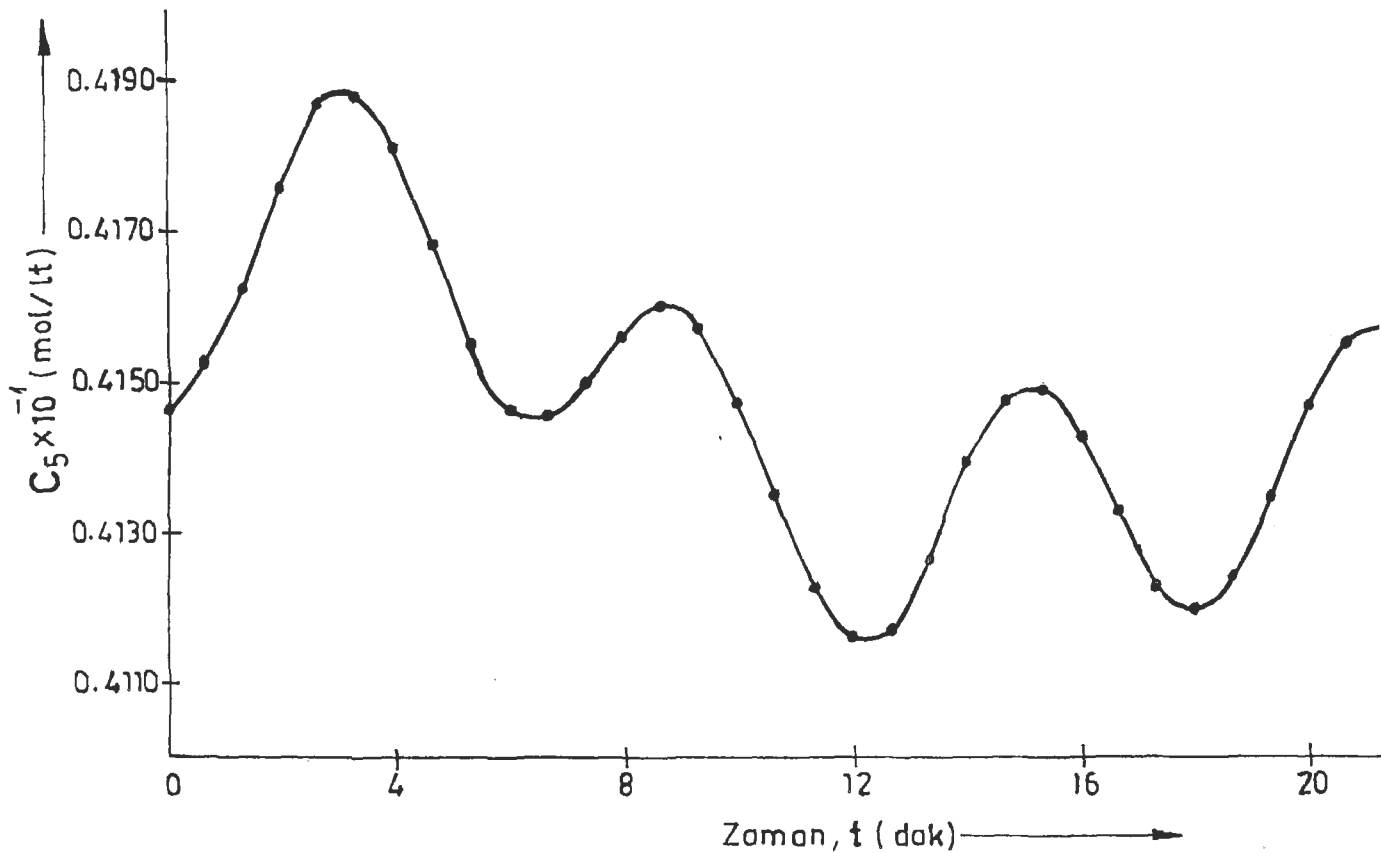
Şekil:4.18 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, birinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi. ($w = 2\pi t / 360$)



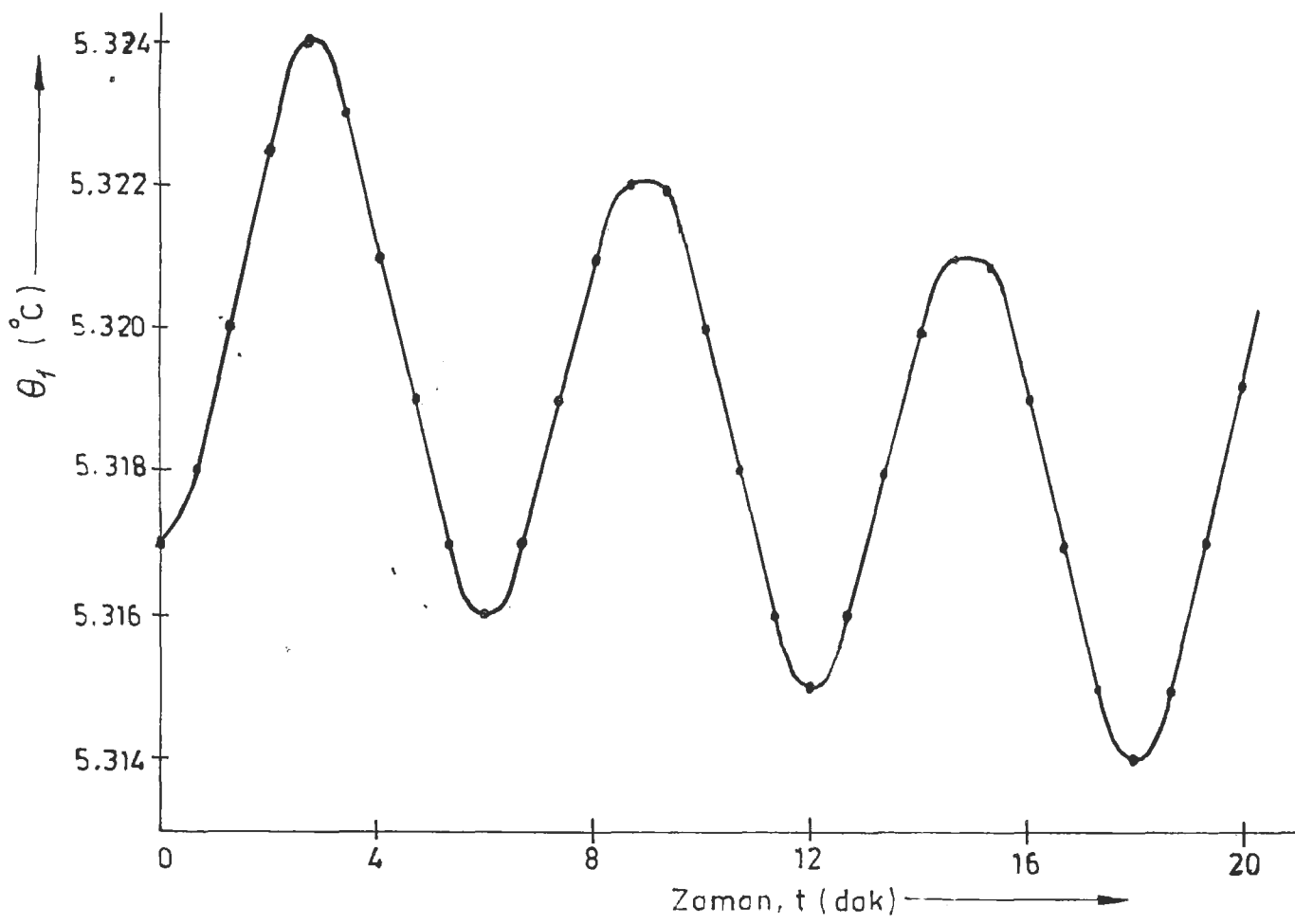
Şekil:4.19 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, beşinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi. ($w = 2\pi t / 360$)



Şekil: 4.20 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, birinci tank çıkış derişiminin zamana göre değışimi. ($w=2\pi t/360$)

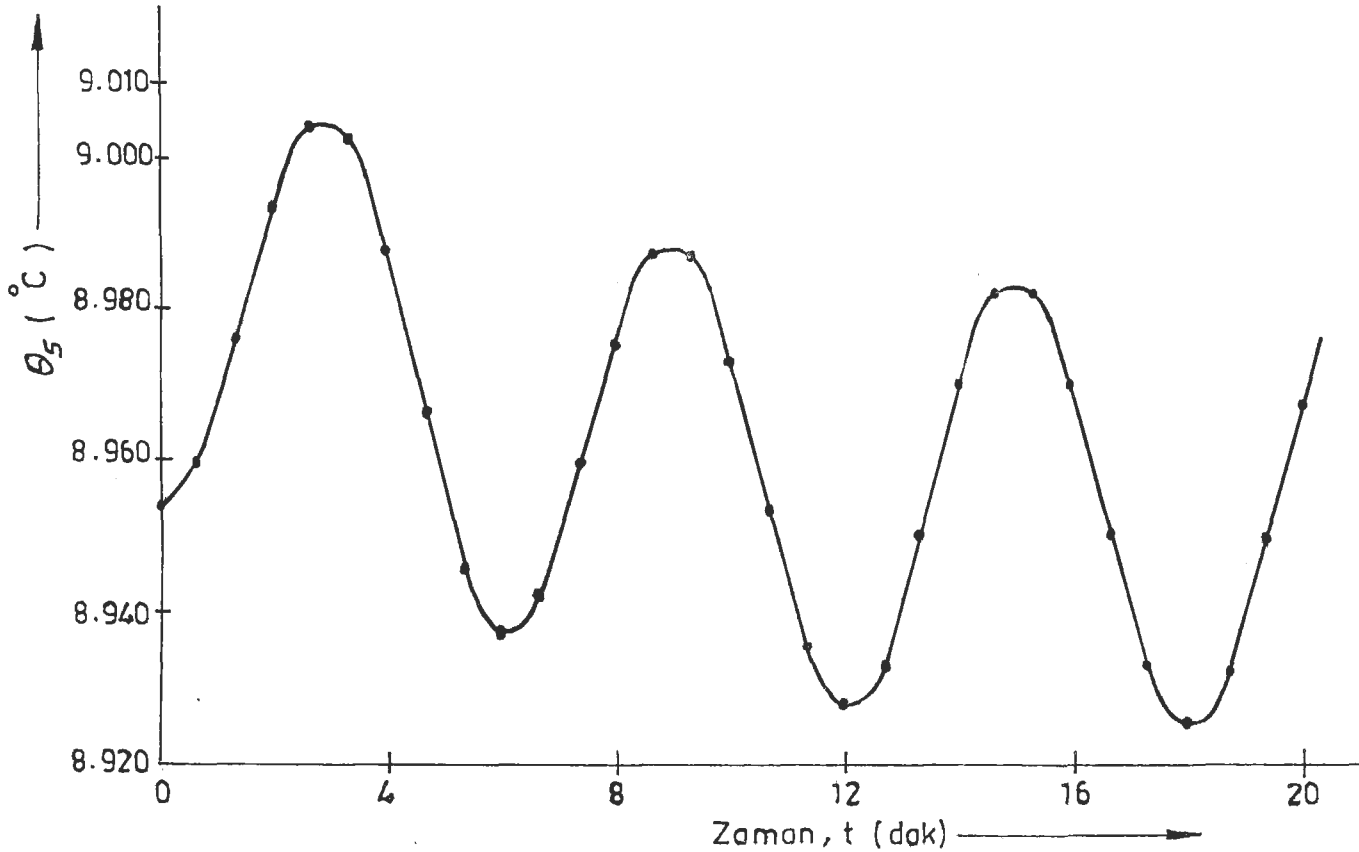


Şekil: 4.21 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, beşinci tank çıkış derişiminin zamana göre değışimi. ($w=2\pi t/360$)



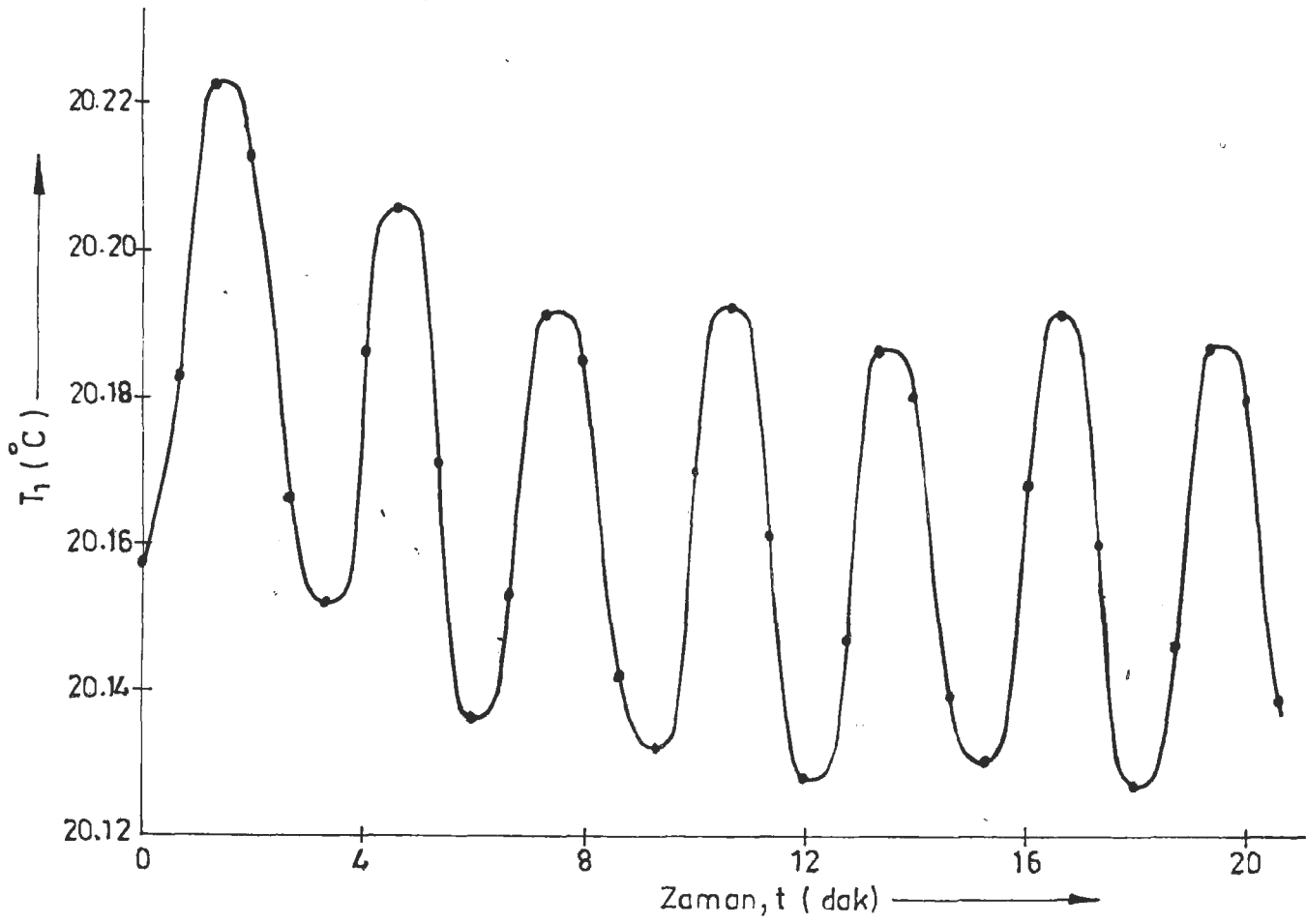
Şekil: 4.22 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, beşinci tank soğutma suyu çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi.

$$(w = 2\pi t / 360)$$

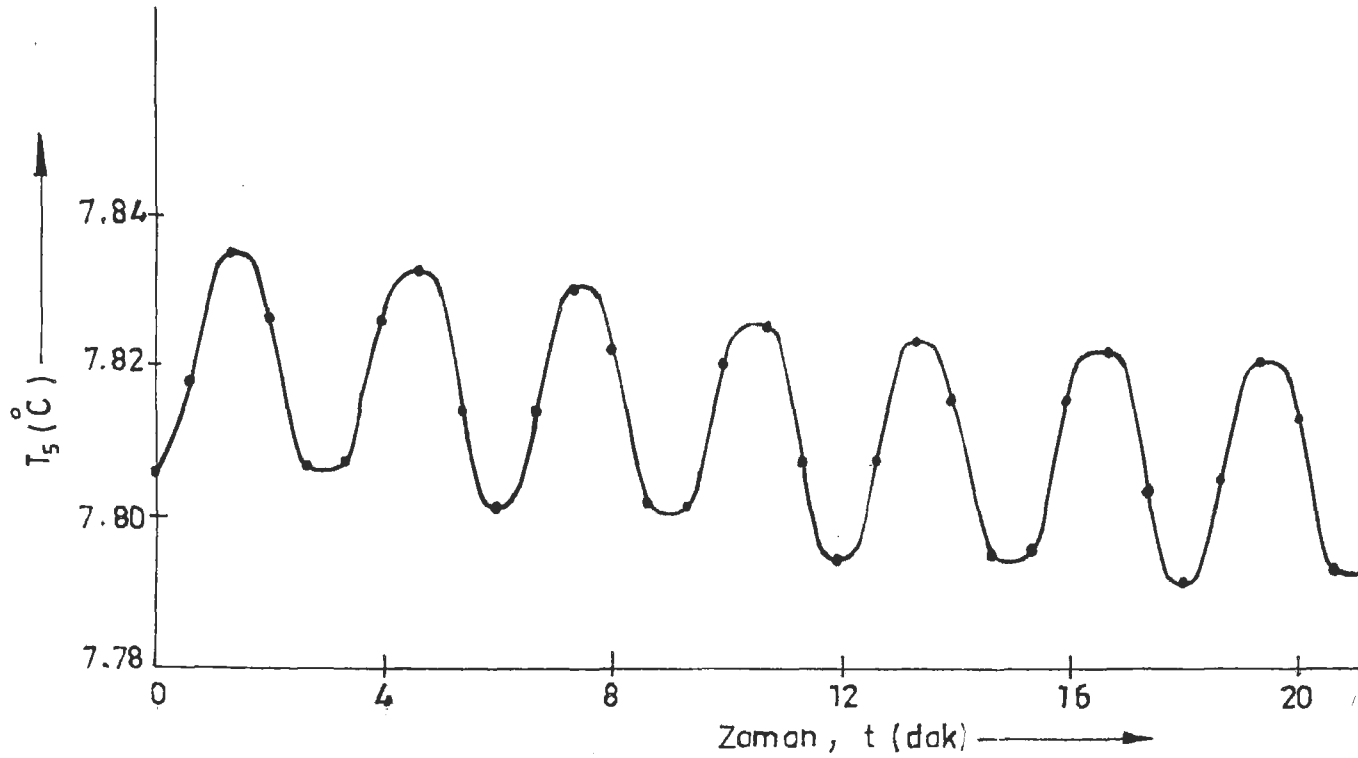


Şekil: 4.23 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, birinci tank soğutma suyu çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi.

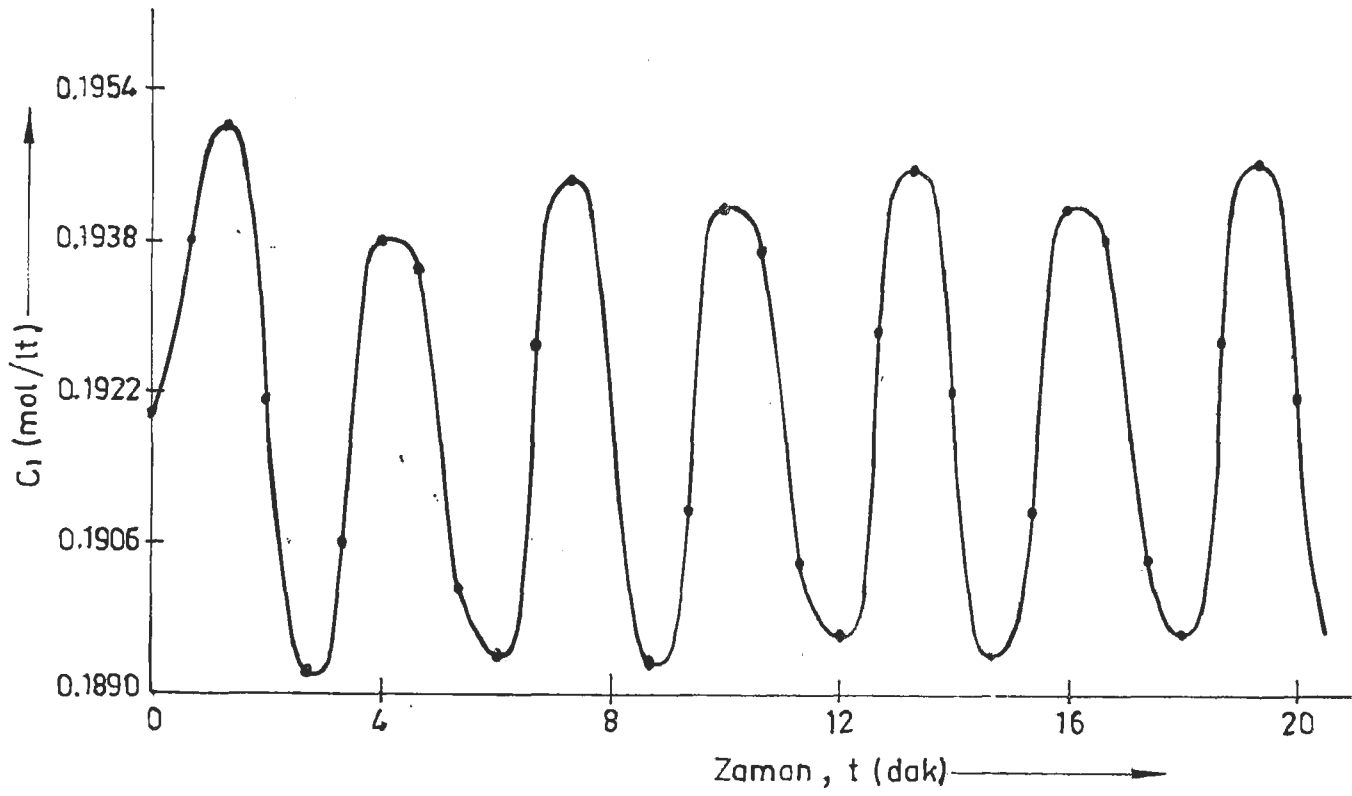
$$(w = 2\pi t / 360)$$



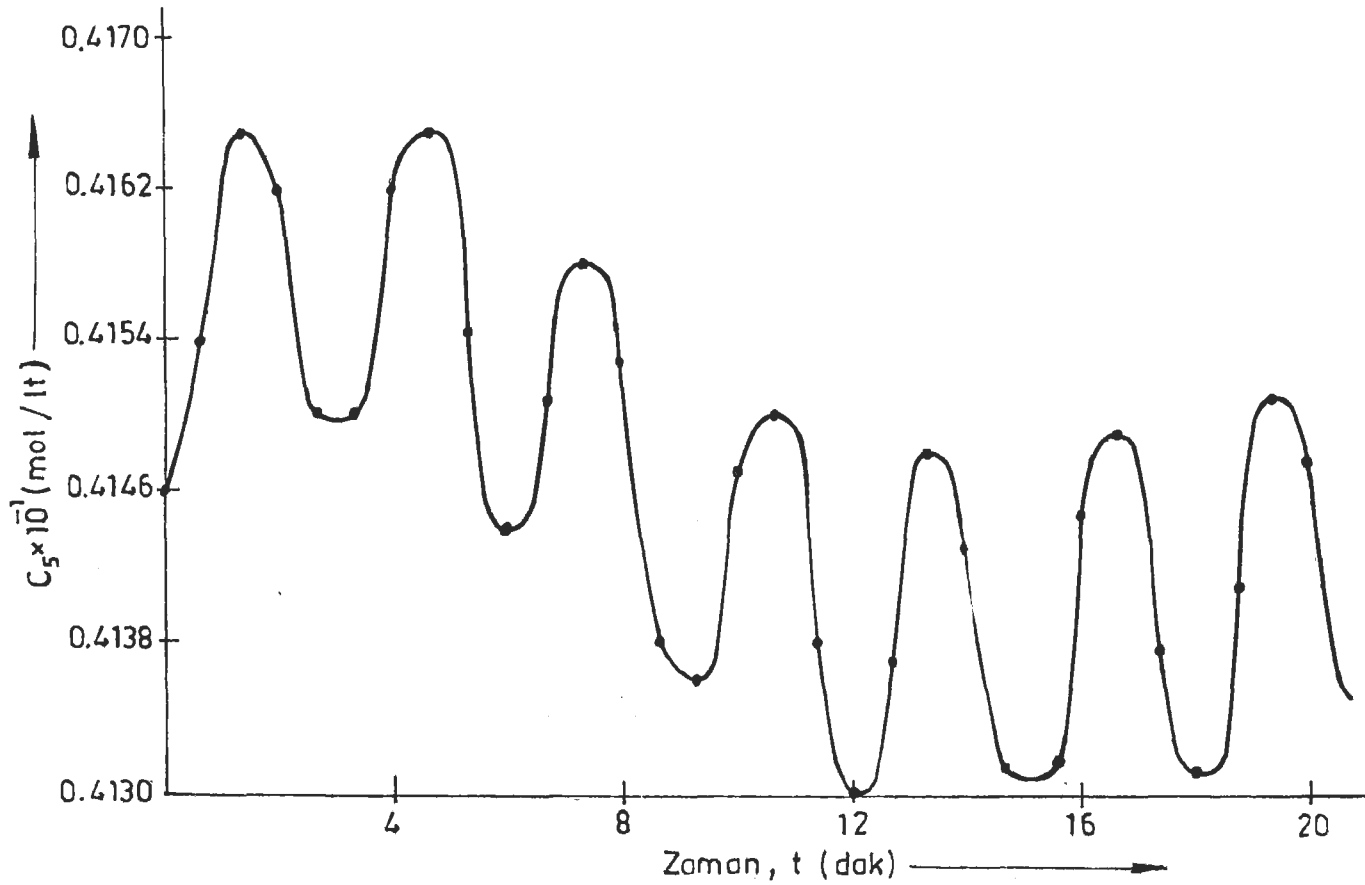
Şekil: 4.24 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, birinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi ($\omega = 4\pi t/360$)



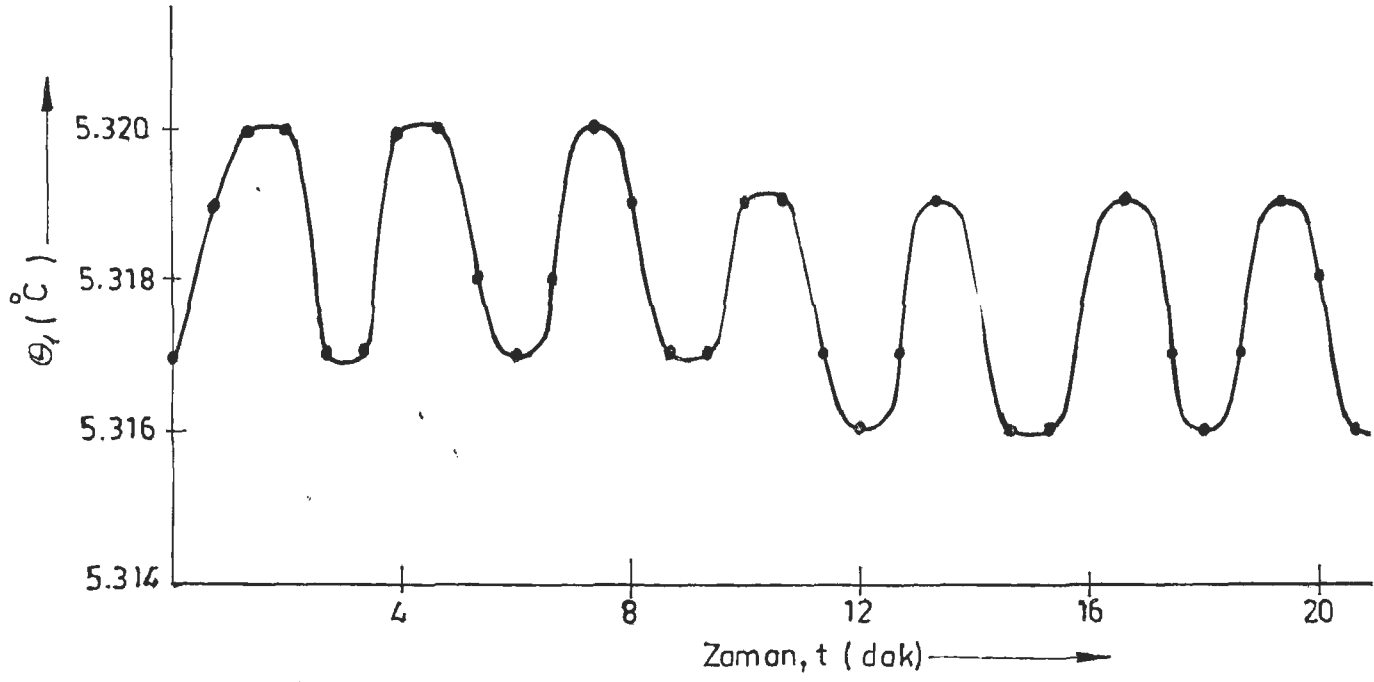
Şekil: 4.25 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, beşinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi. ($\omega = 4\pi t/360$)



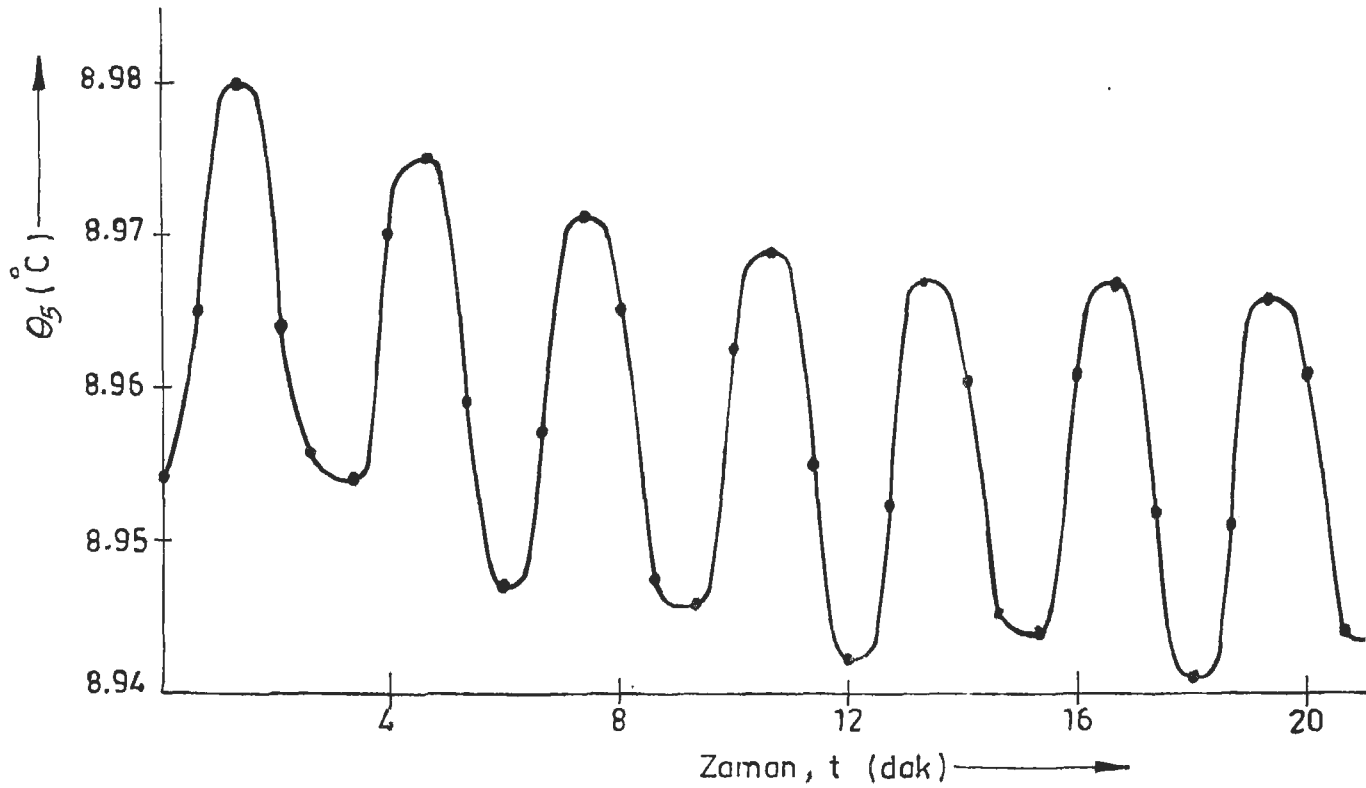
Şekil: 4.26 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, birinci tank çıkış derişiminin zamana göre değışimi ($\omega = 4\pi t/360$)



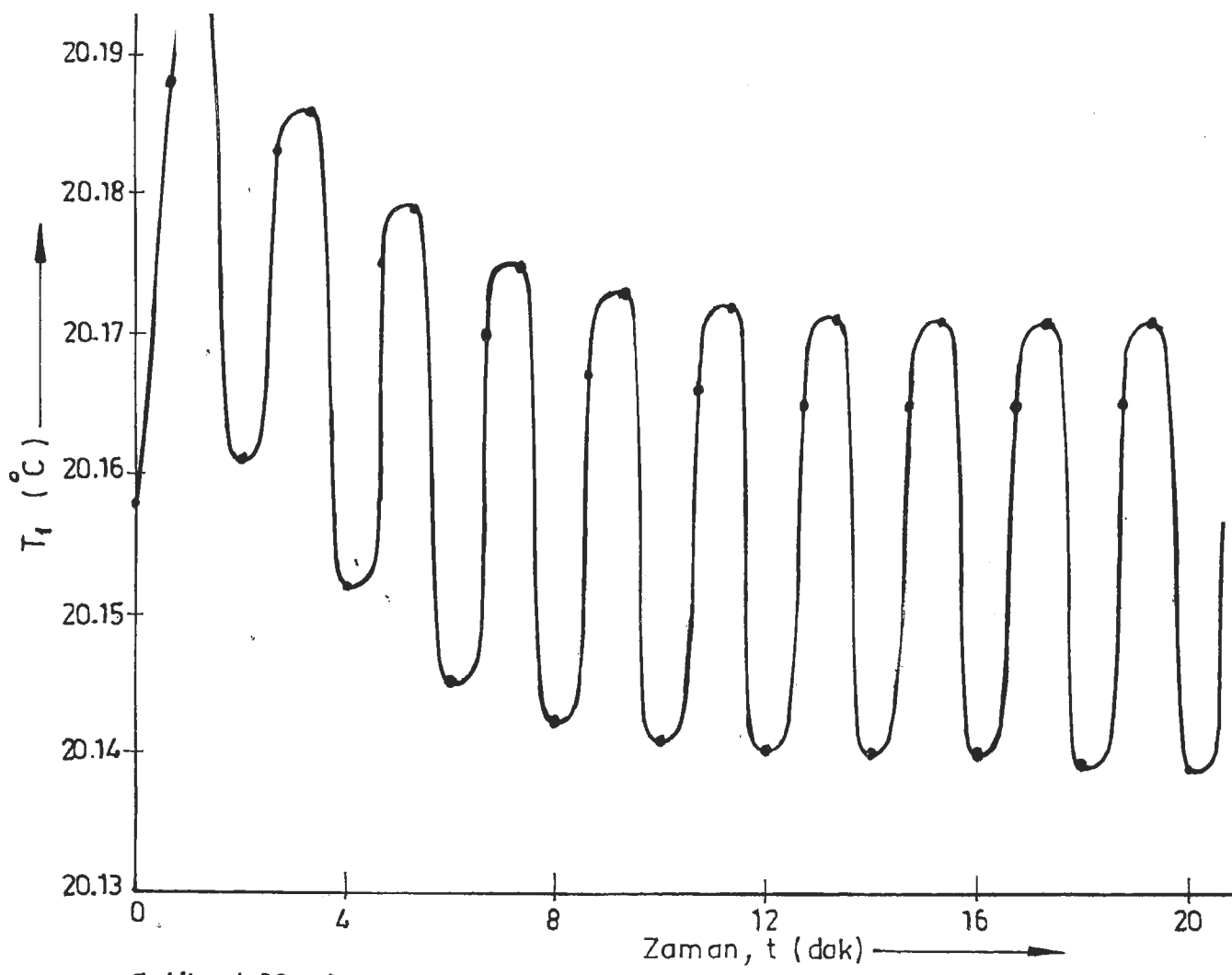
Şekil: 4.27 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, beşinci tank çıkış derişiminin zamana göre değışimi ($\omega = 4\pi t/360$)



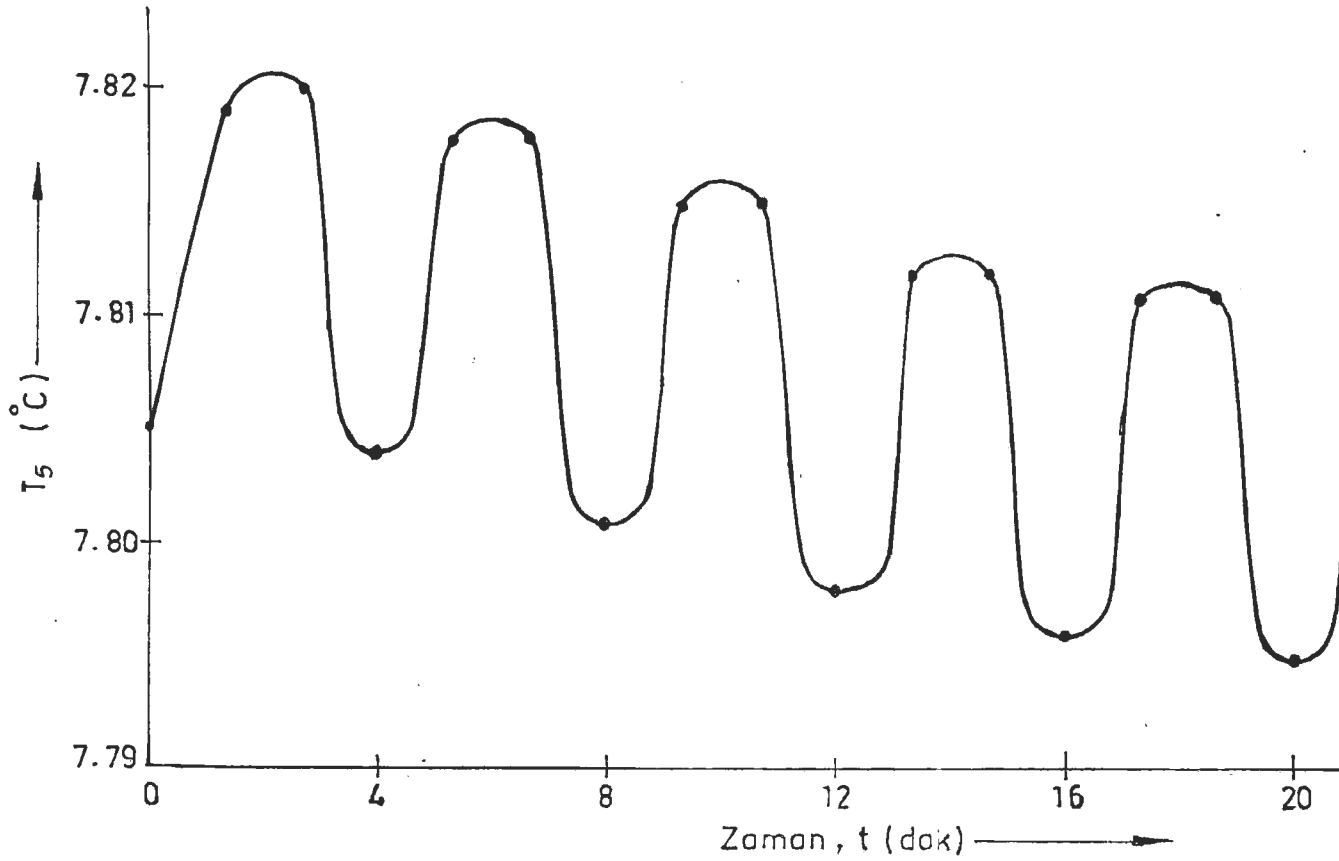
Şekil: 4.28 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, beşinci tank soğutma suyu çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi ($\omega = 4\pi t/360$)



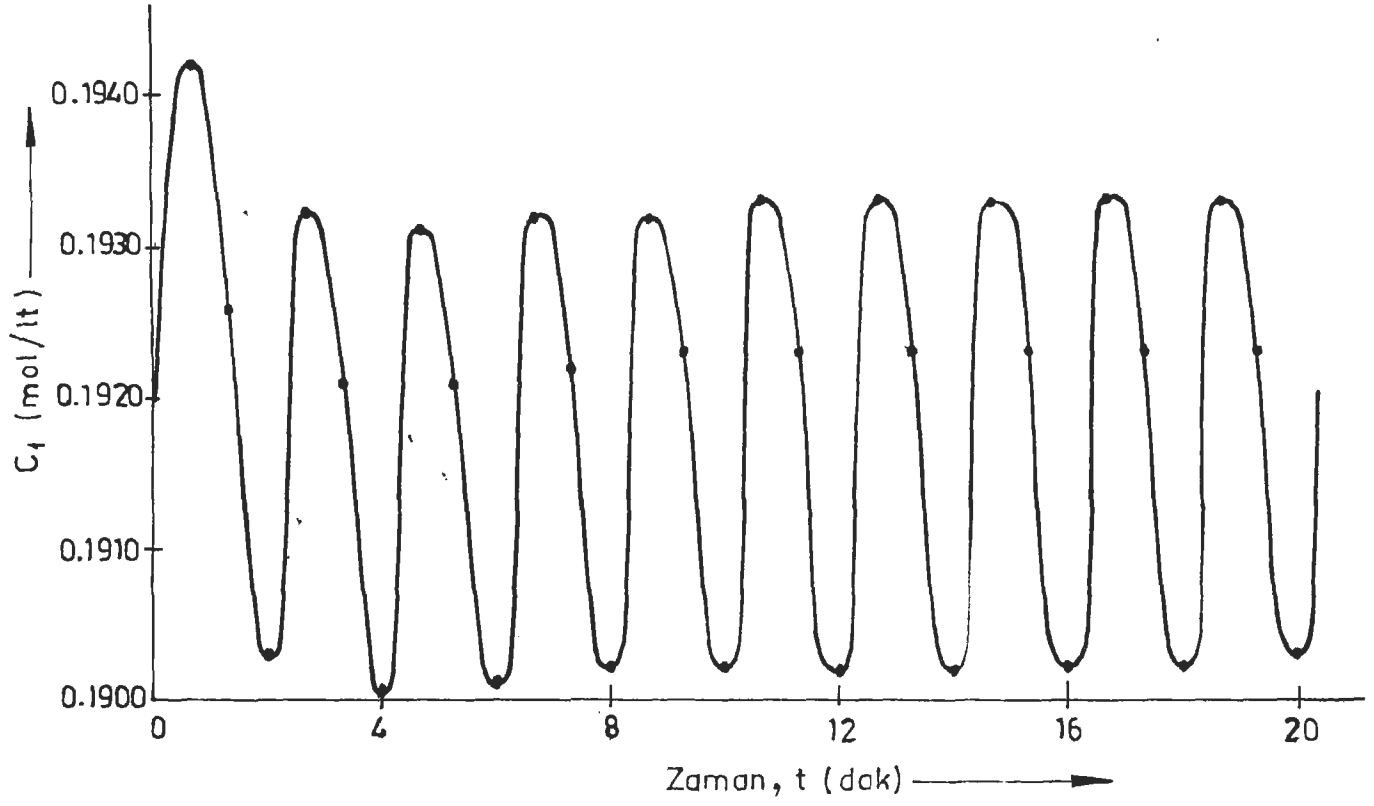
Şekil: 4.29 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, birinci tank soğutma suyu çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi ($\omega = 4\pi t/360$)



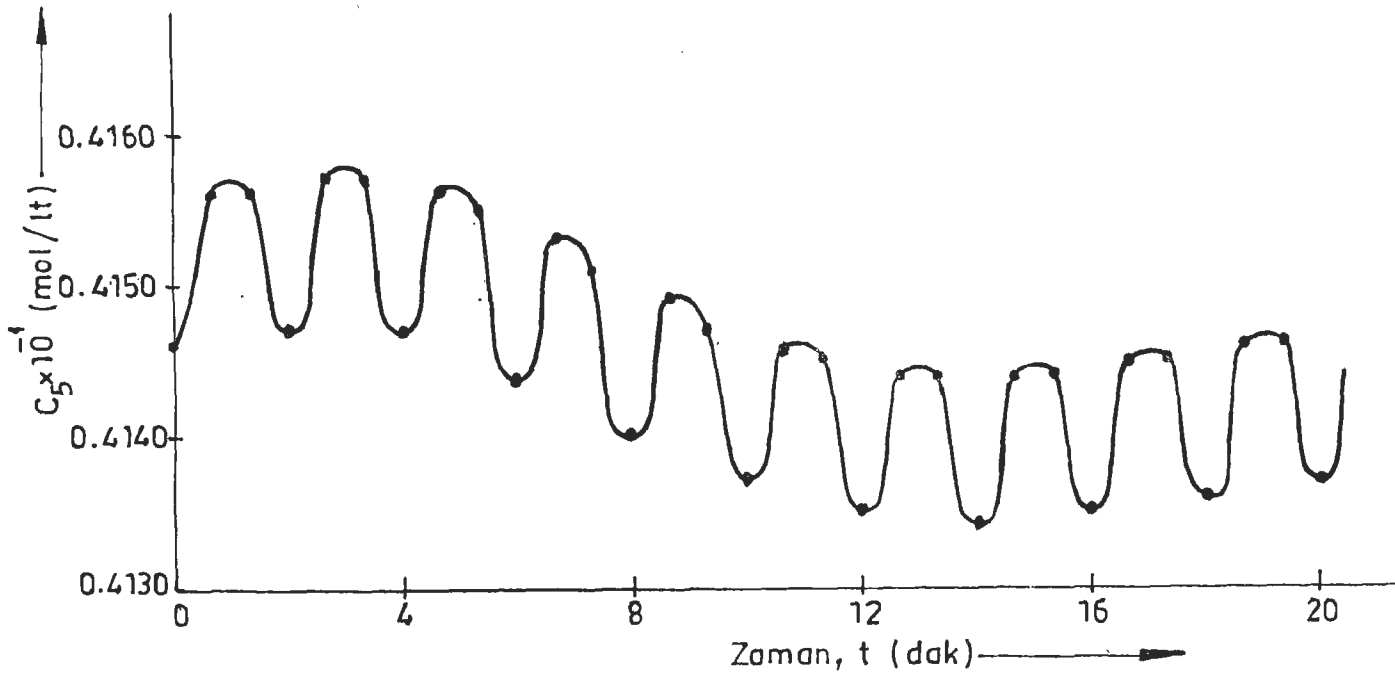
Şekil: 4.30 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, birinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi ($\omega = 6\pi t/360$)



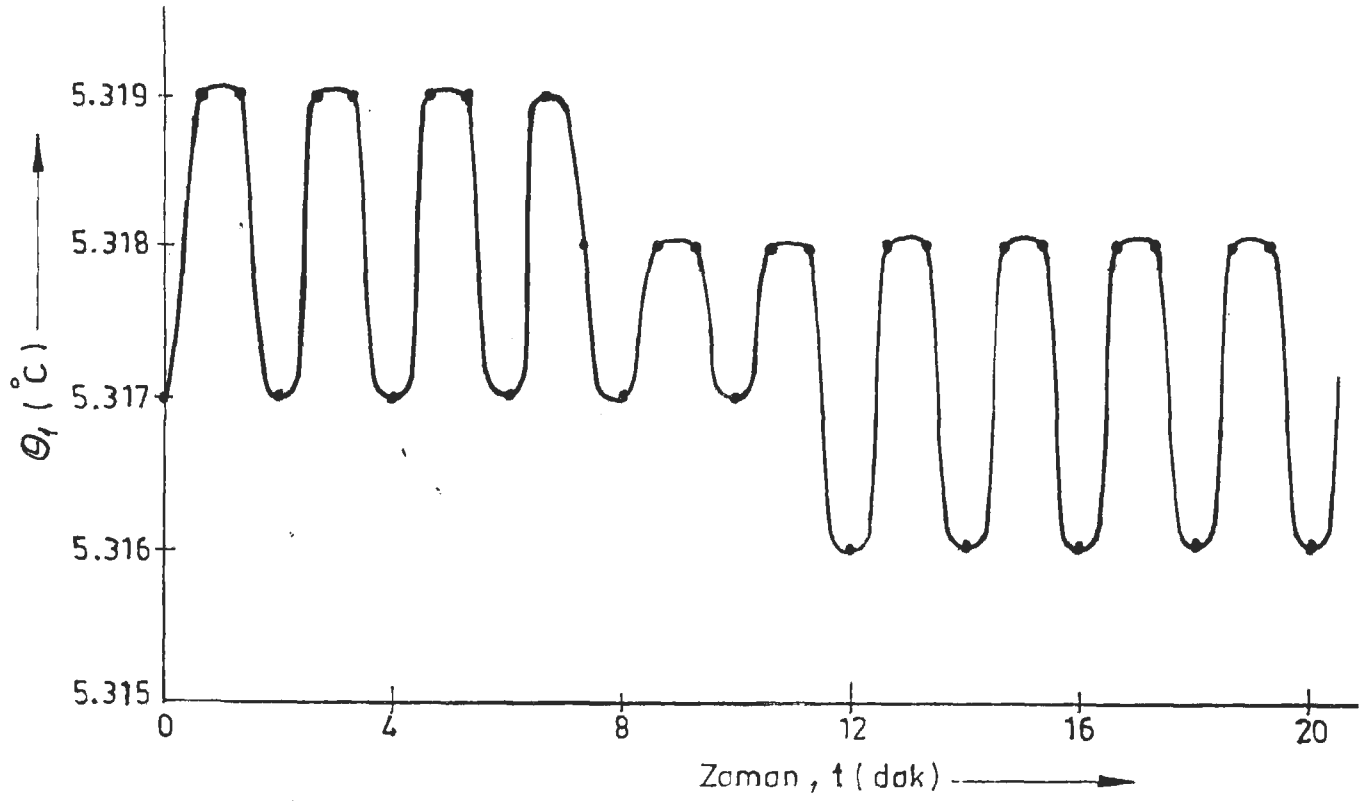
Şekil: 4.31 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, beşinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi ($\omega = 6\pi t/360$)



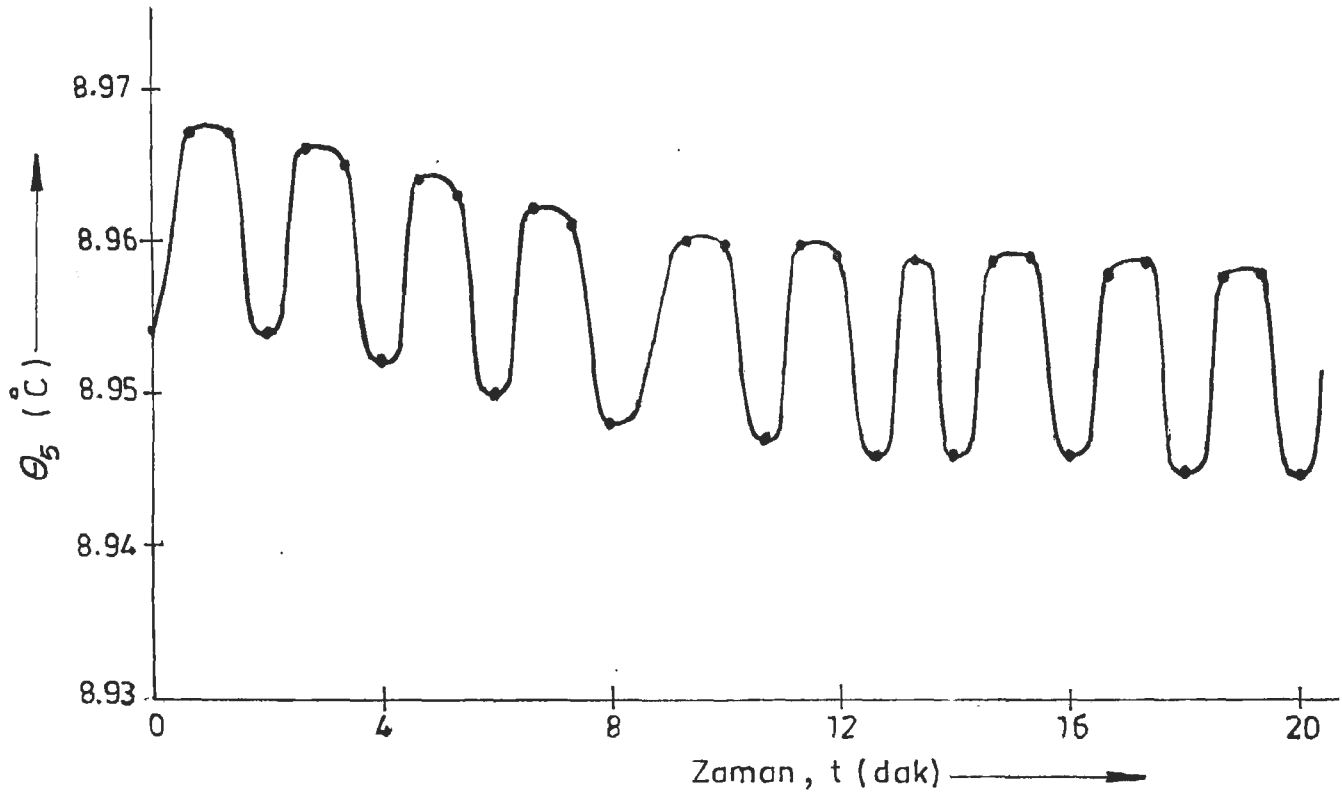
Şekil: 4.32 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, birinci tank çıkış derişimi zamana göre değışimi ($\omega = 6 \pi t / 360$)



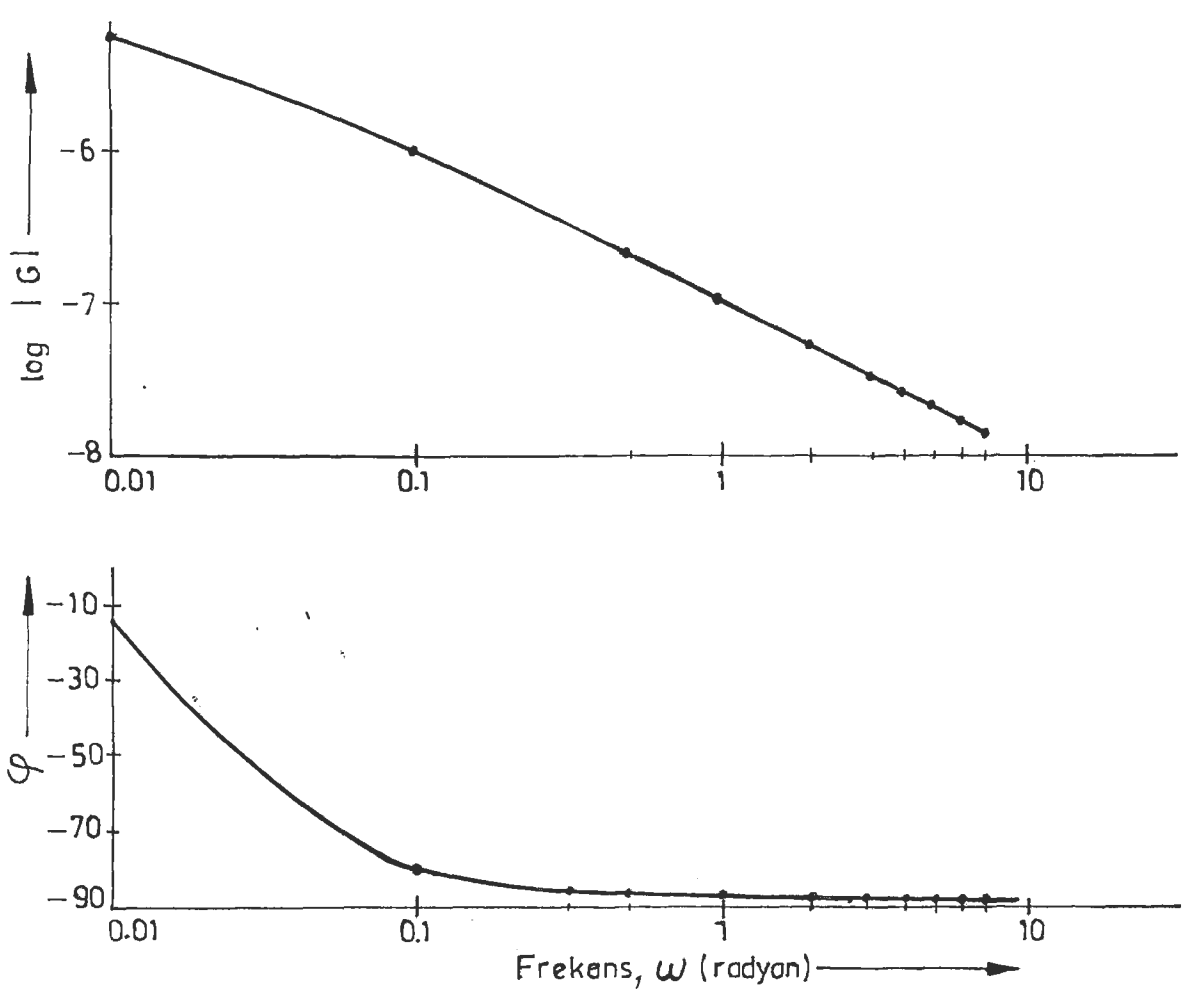
Şekil: 4.33 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde beşinci tank çıkış derişiminin zamana göre değışimi ($\omega = 6 \pi t / 360$)



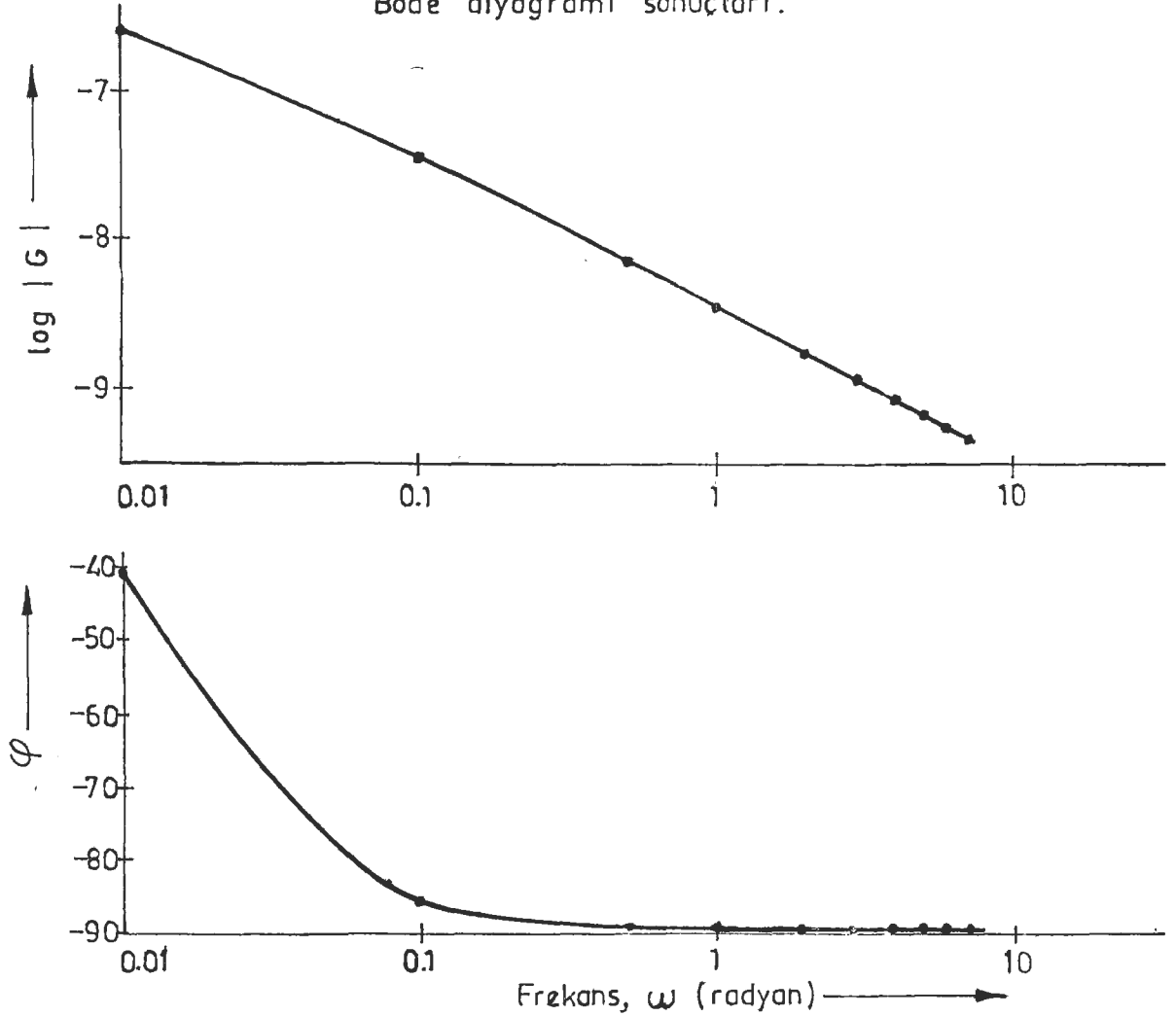
Şekil: 4.34 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, beşinci tank soğutma su çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi ($\omega = 6 \pi t / 360$)



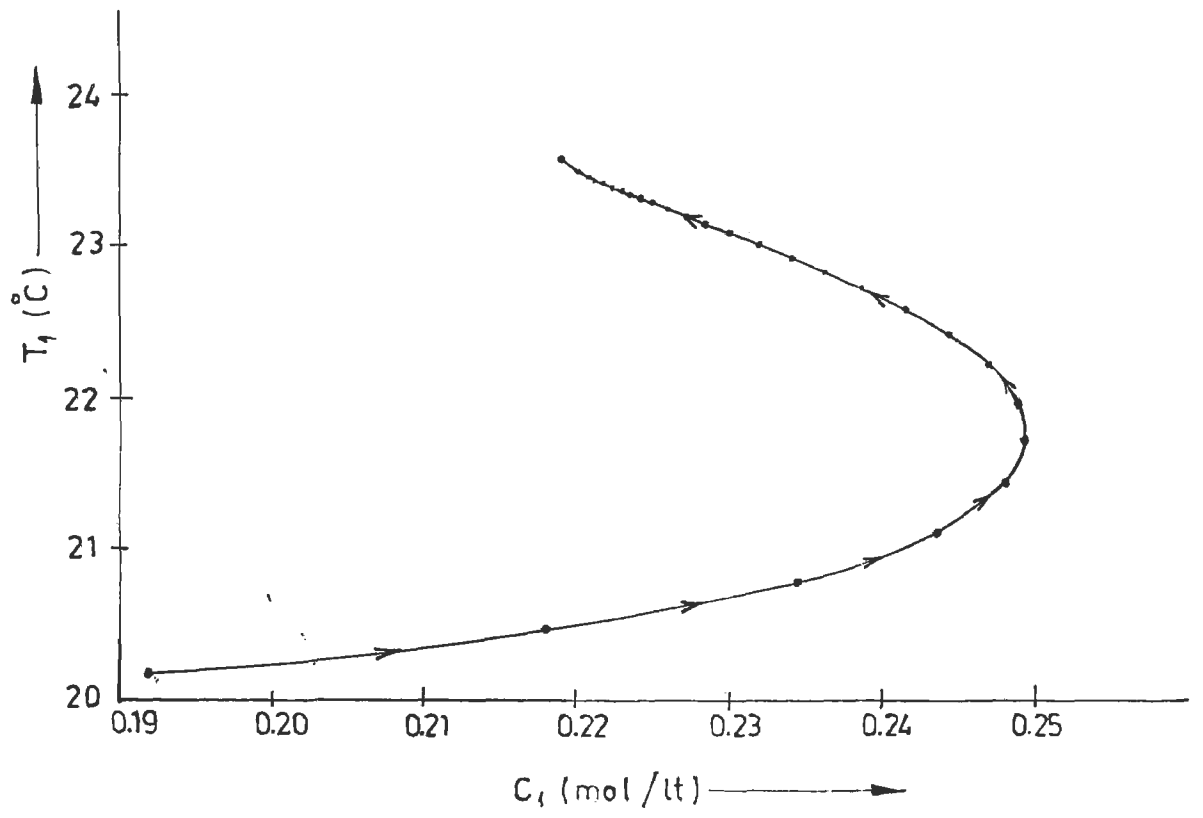
Şekil: 4.35 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, birinci tank soğutma su çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi ($\omega = 6 \pi t / 360$)



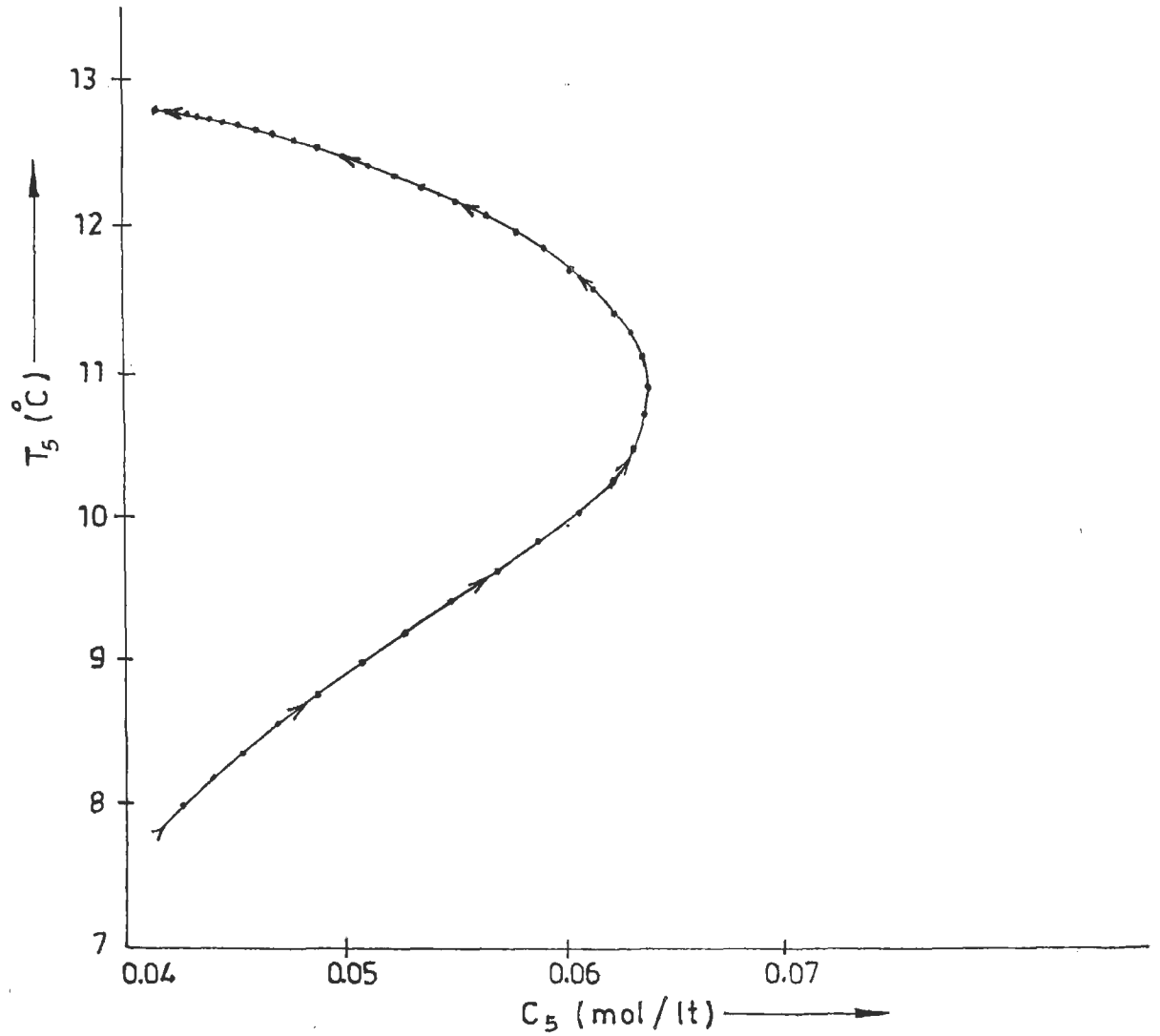
Şekil: 4.36 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, birinci tank için Bode diyagramı sonuçları.



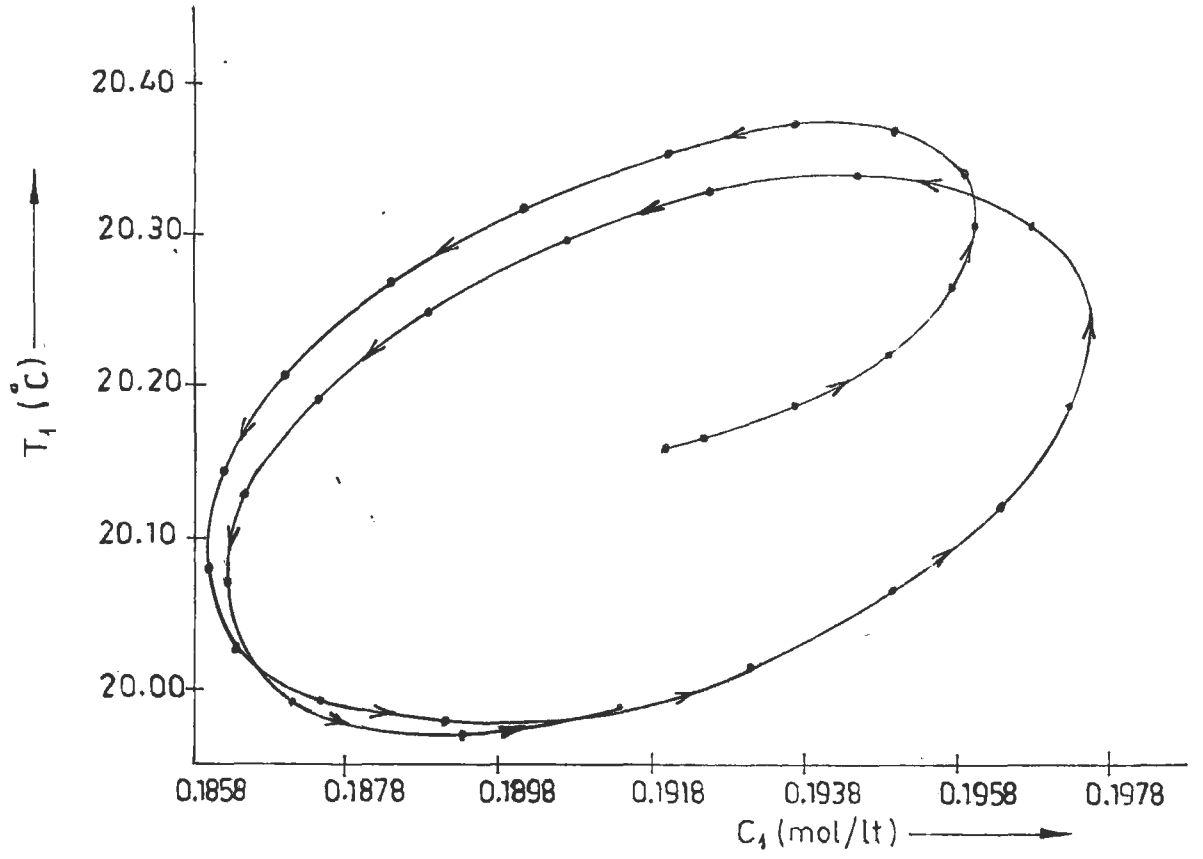
Şekil: 4.37 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, beşinci tank için Bode diyagramı sonuçları.



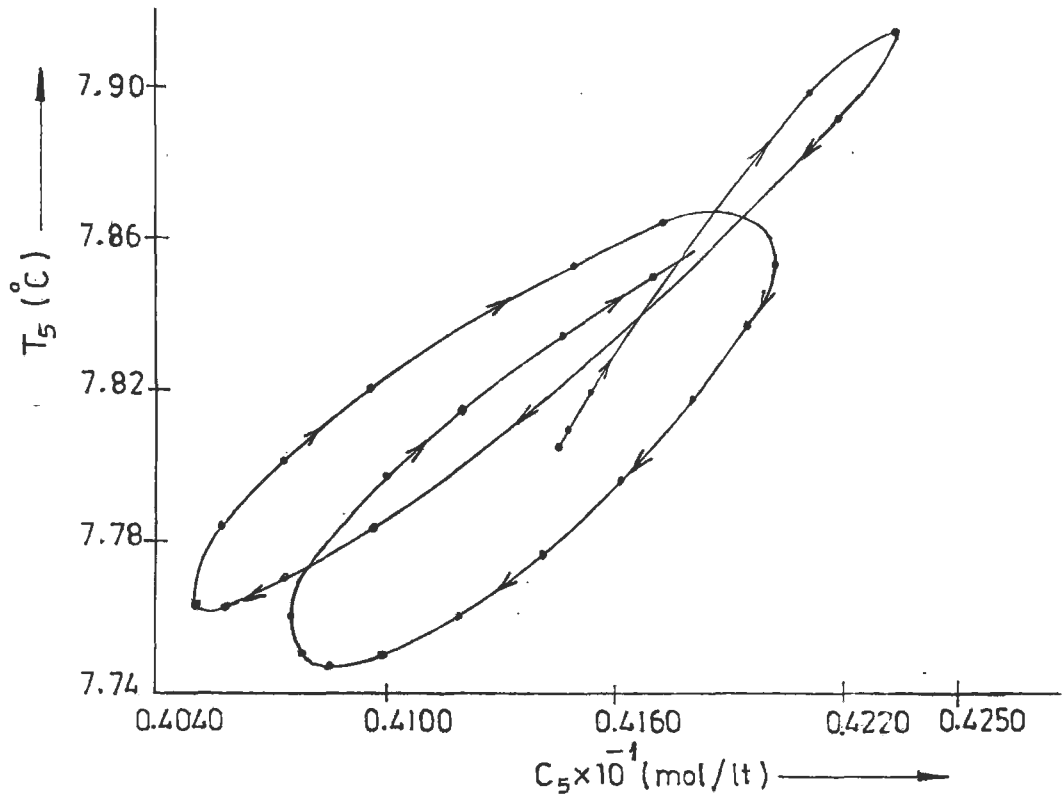
Şekil: 4.38 Besleme akış hızındaki kademe etkisinde, birinci tank için faz-düzlem diyagramı



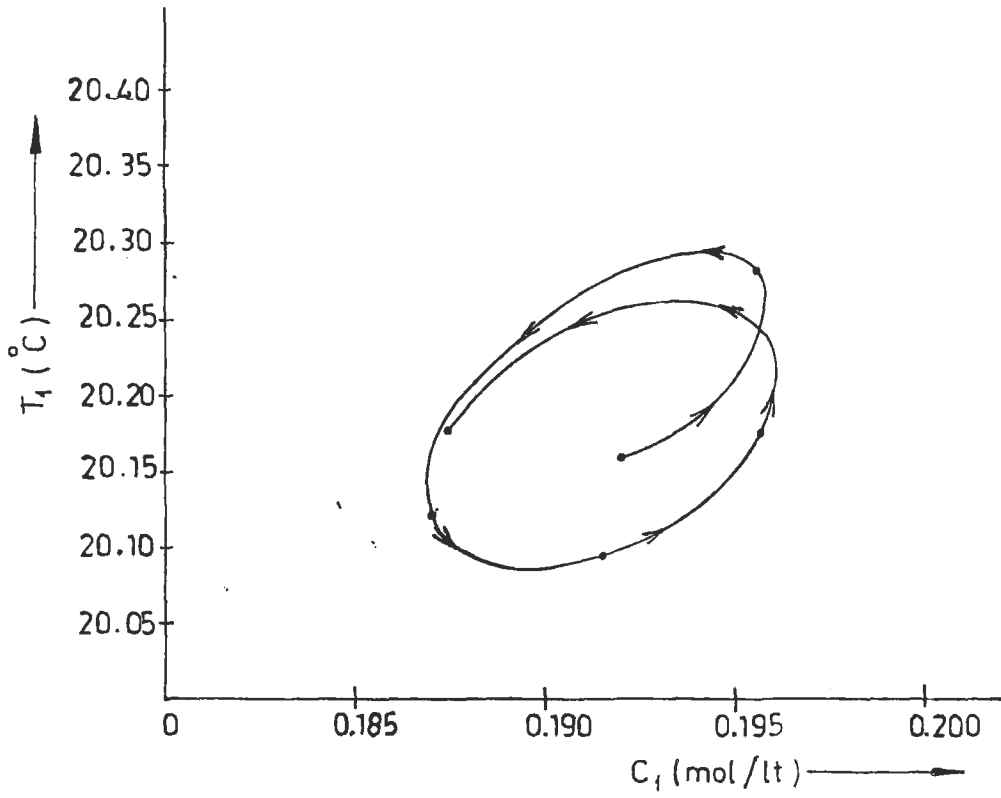
Şekil: 4.39 Besleme akış hızındaki kademe etkisinde beşinci tank için faz-düzlem diyagramı.



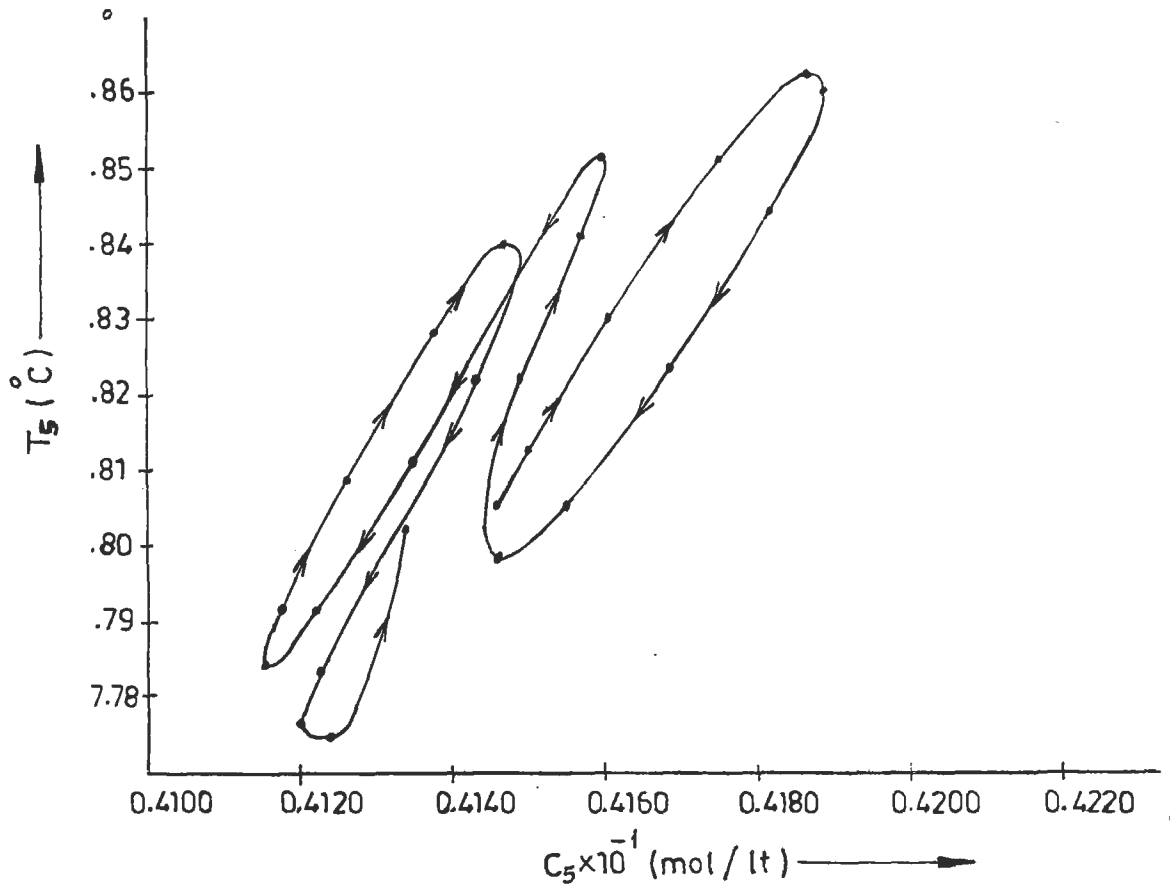
Şekil: 4.40 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, birinci tank için faz-düzlem diyagramı ($\omega = \pi t/360$)



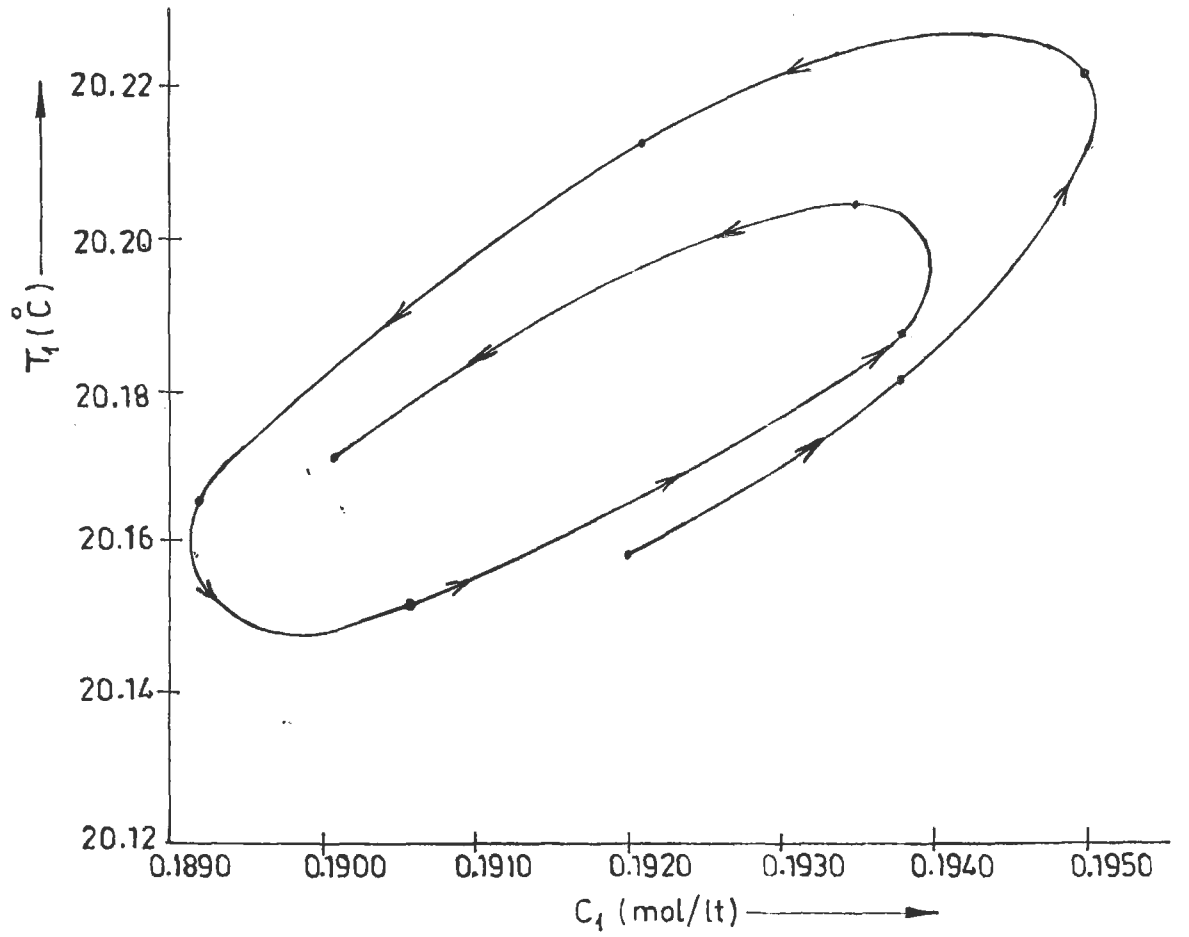
Şekil: 4.41 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, beşinci tank için faz-düzlem diyagramı ($\omega = \pi t/360$)



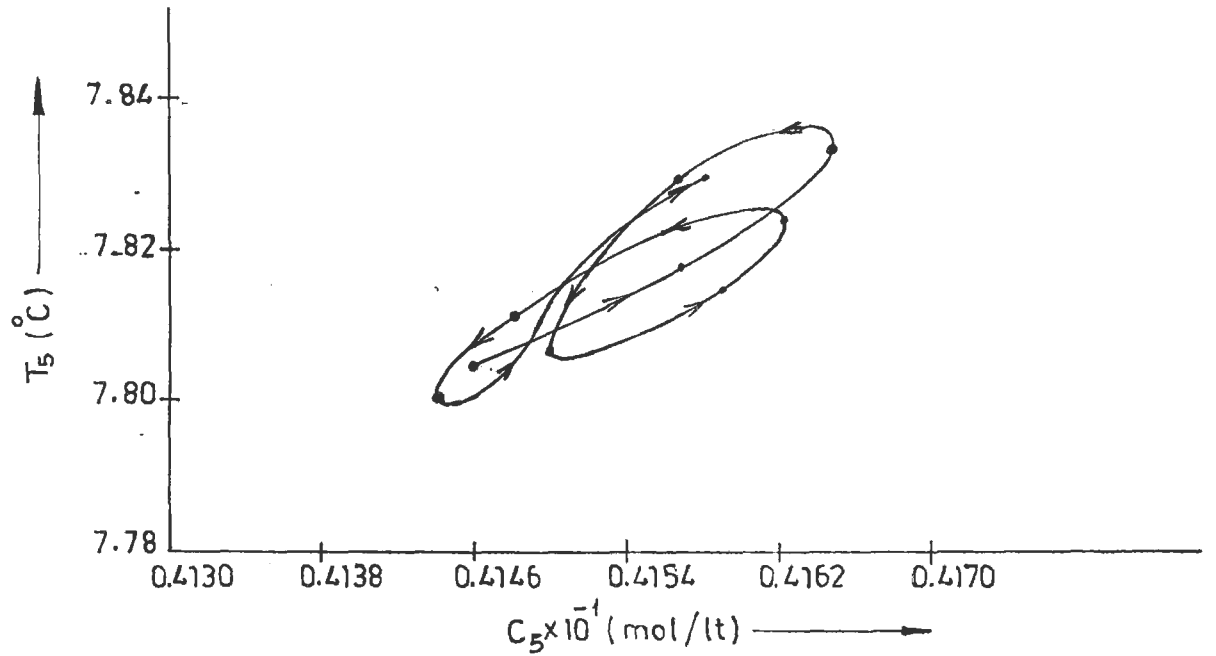
Şekil:4.42 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, birinci tank için faz-düzlem diyagramı ($\omega = 2 \pi t / 360$)



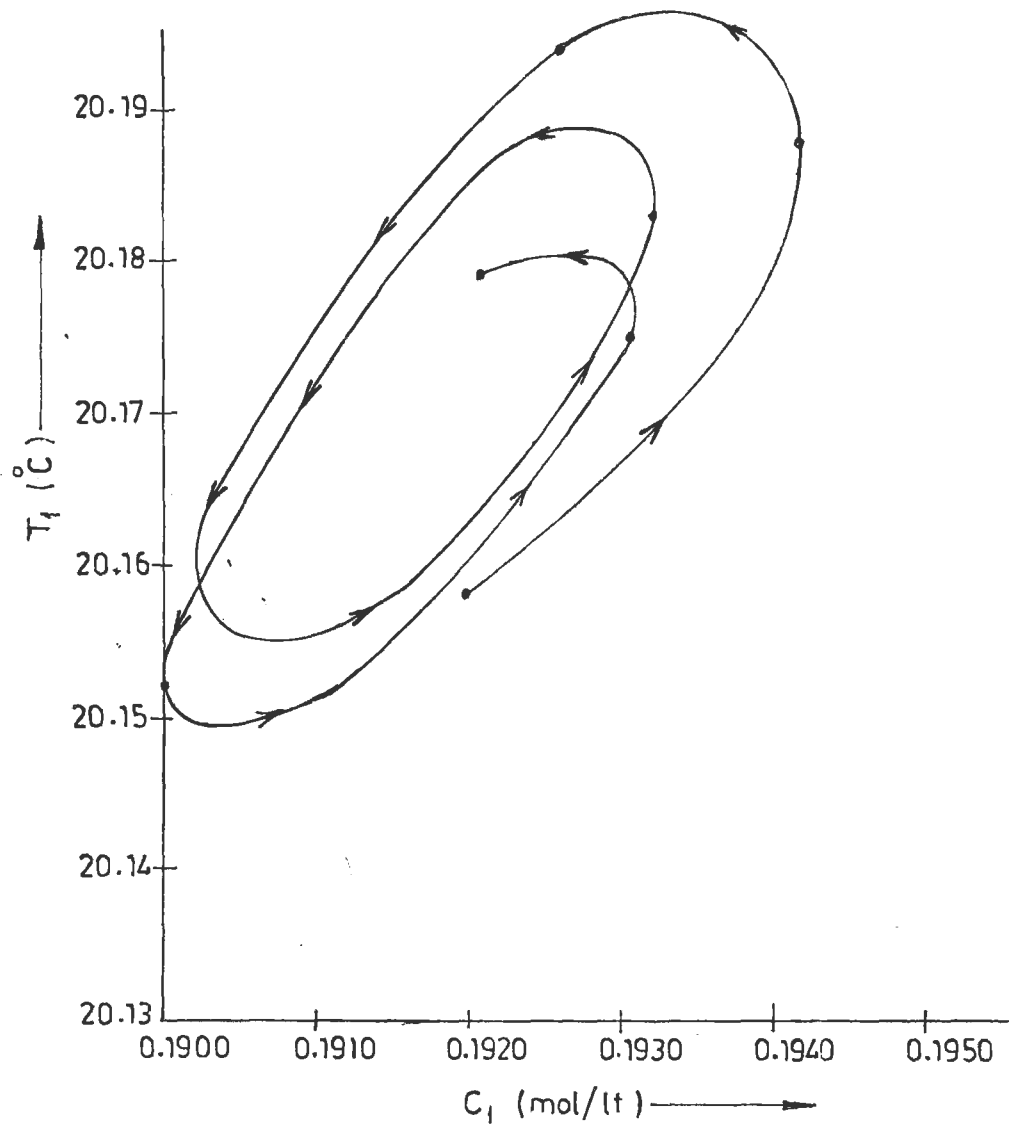
Şekil: 4.43 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, beşinci tank için faz-düzlem diyagramı ($\omega = 2 \pi t / 360$)



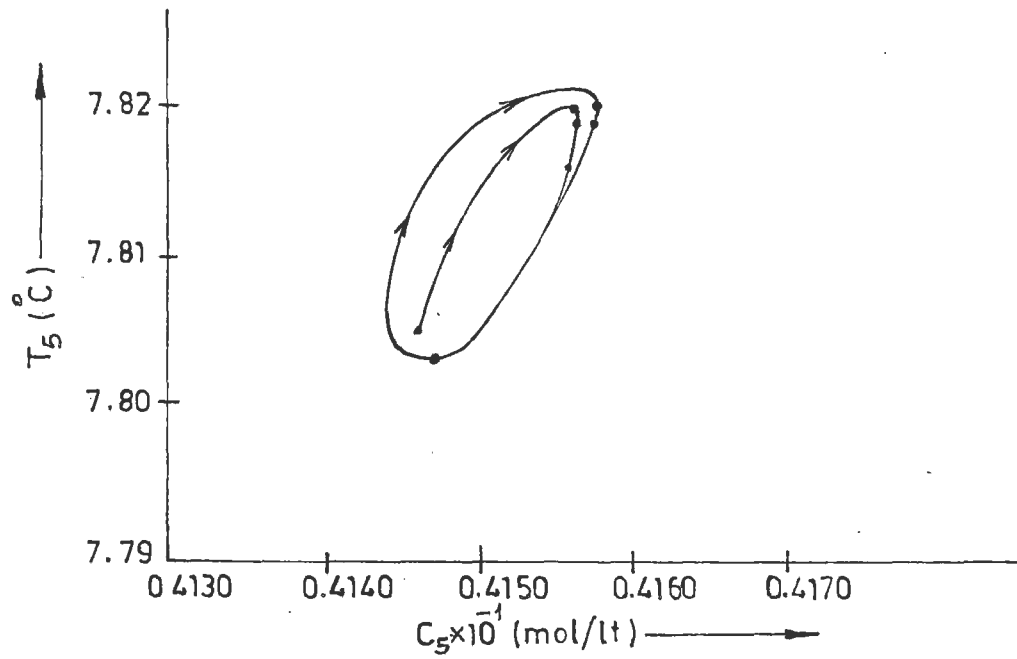
Şekil:4.44 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, birinci tank için faz-düzlem diyagramı ($\omega = 4\pi t/360$)



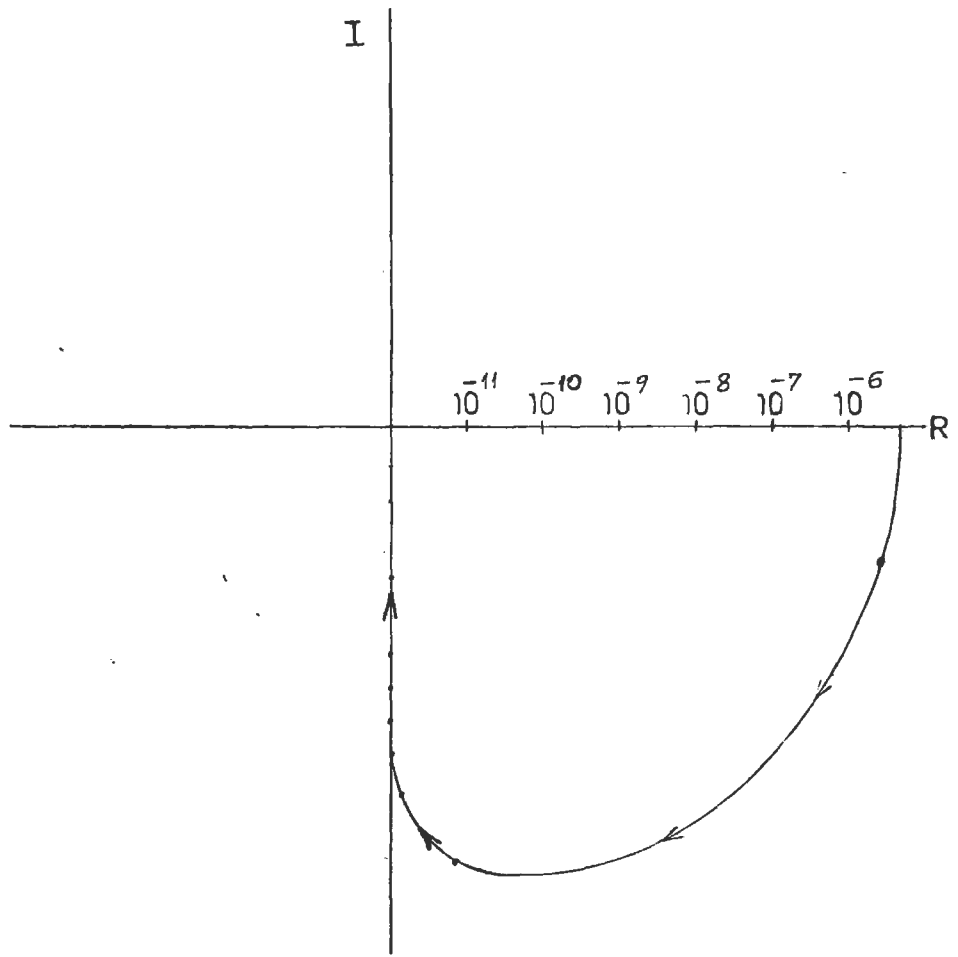
Şekil:4.45 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde, beşinci tank için faz-düzlem diyagramı ($\omega = 4\pi t/360$)



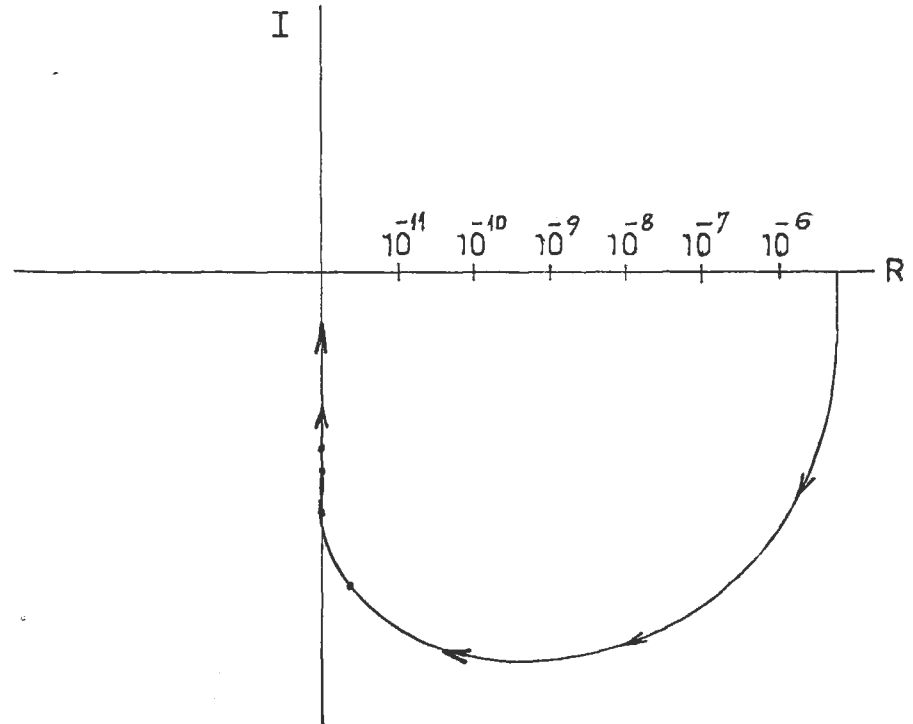
Şekil: 4.46 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde birinci tank için faz-düzlem diyogramı ($\omega = 6\pi t/360$)



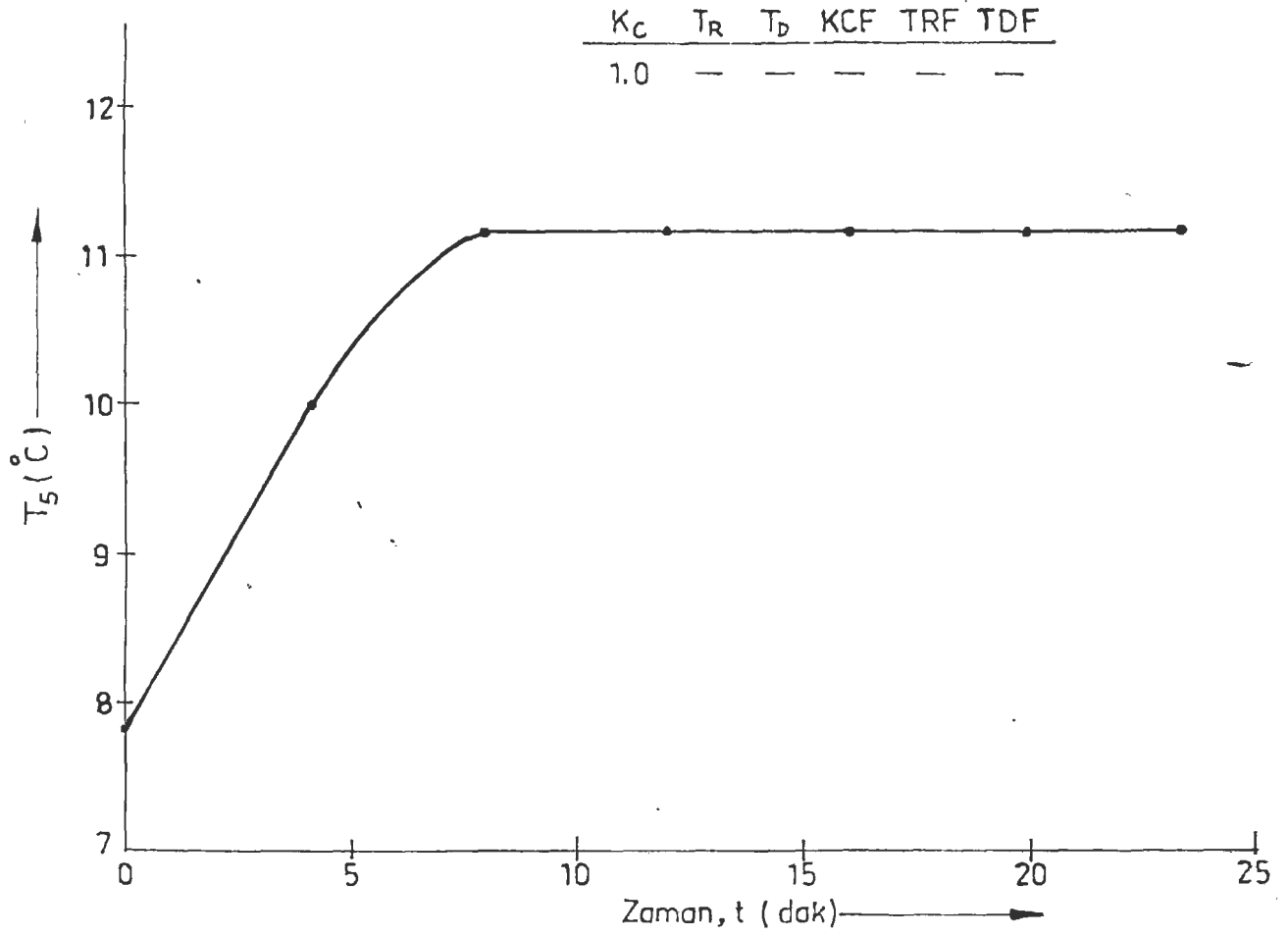
Şekil: 4.47 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde beşinci tank için faz-düzlem diyogramı ($\omega = 6\pi t/360$)



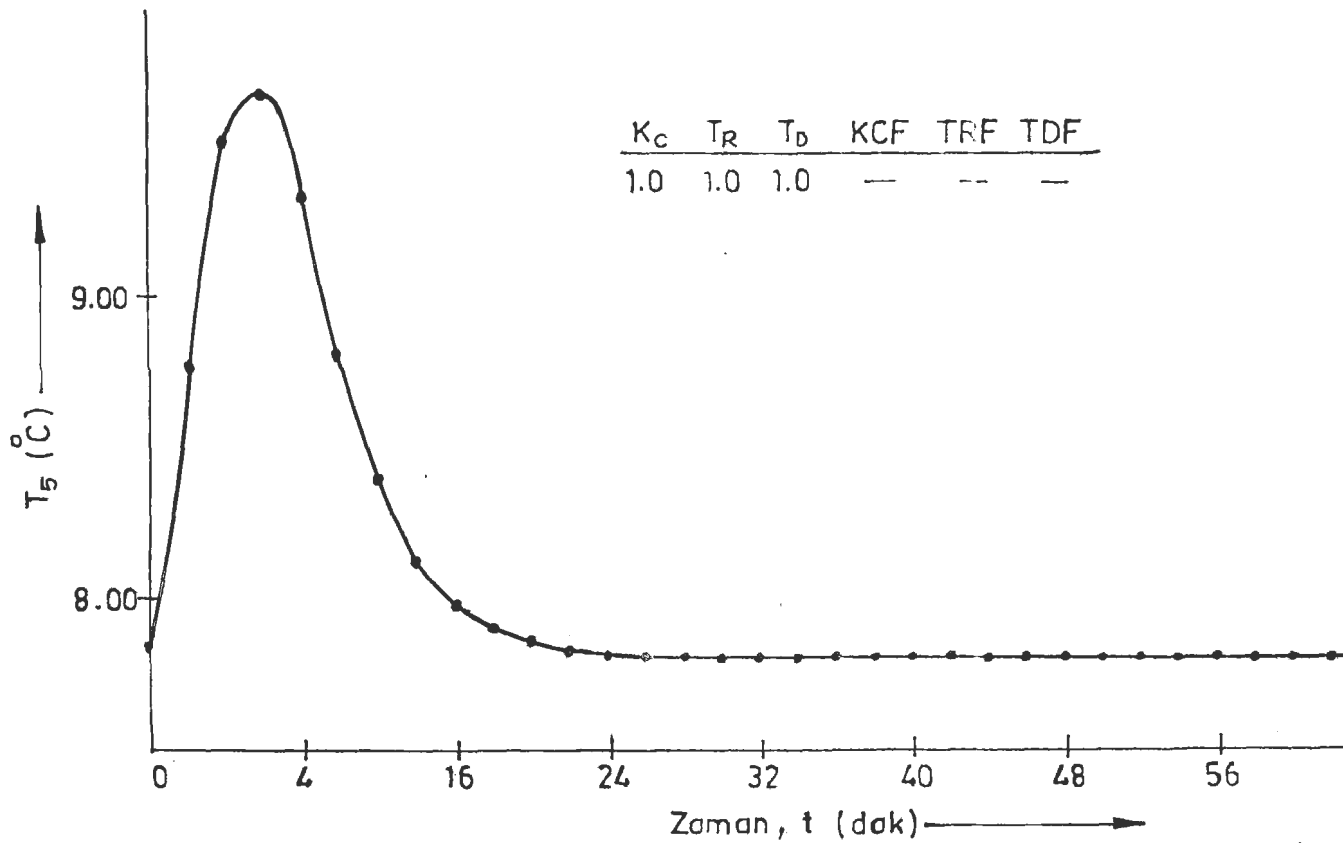
Şekil:4.48 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde birinci tank için Nyquist diyogramı.



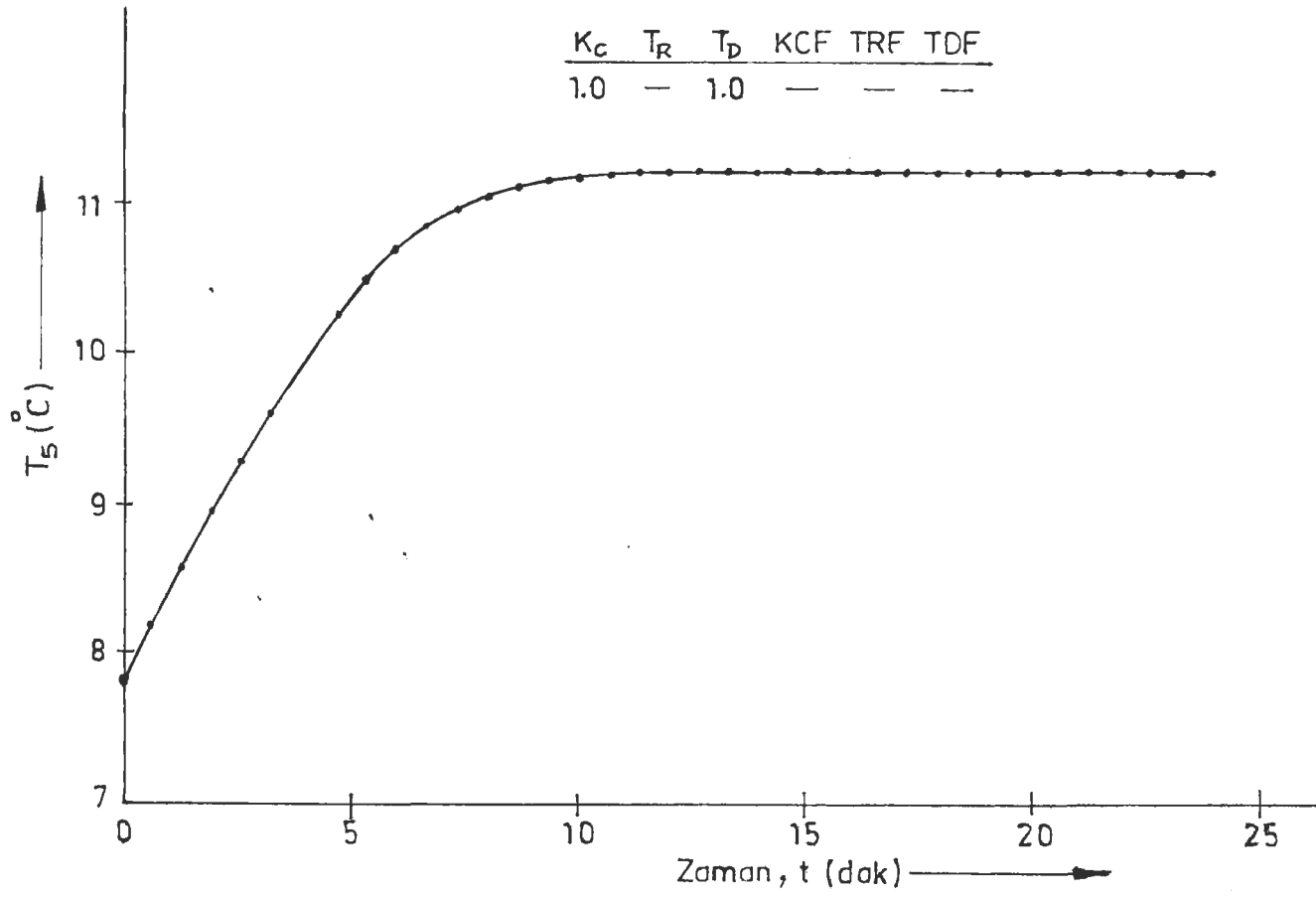
Şekil:4.49 Besleme akış hızındaki sinüs etkisinde beşinci tank için Nyquist diyogramı.



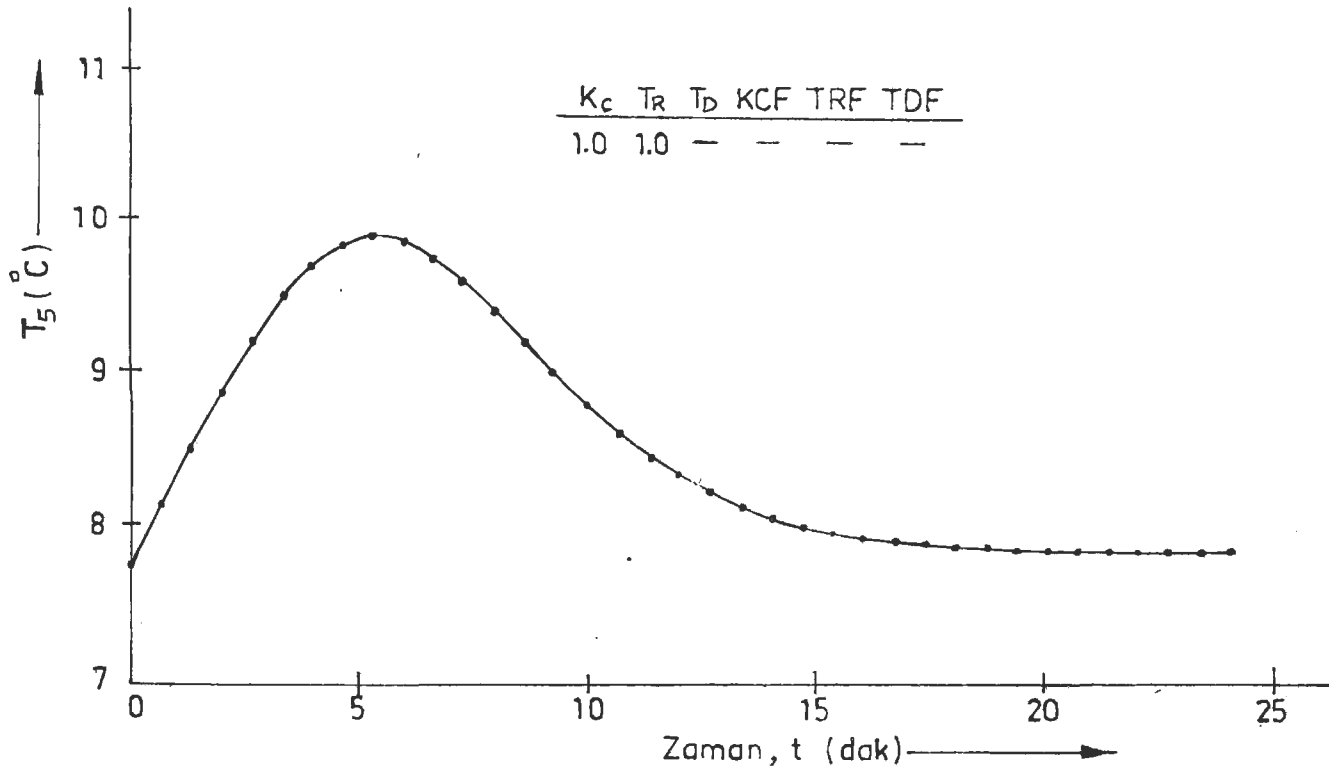
Şekil: 4.50 Kademe etkisinde geri beslemeli kontrol sistemi ile beşinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi.



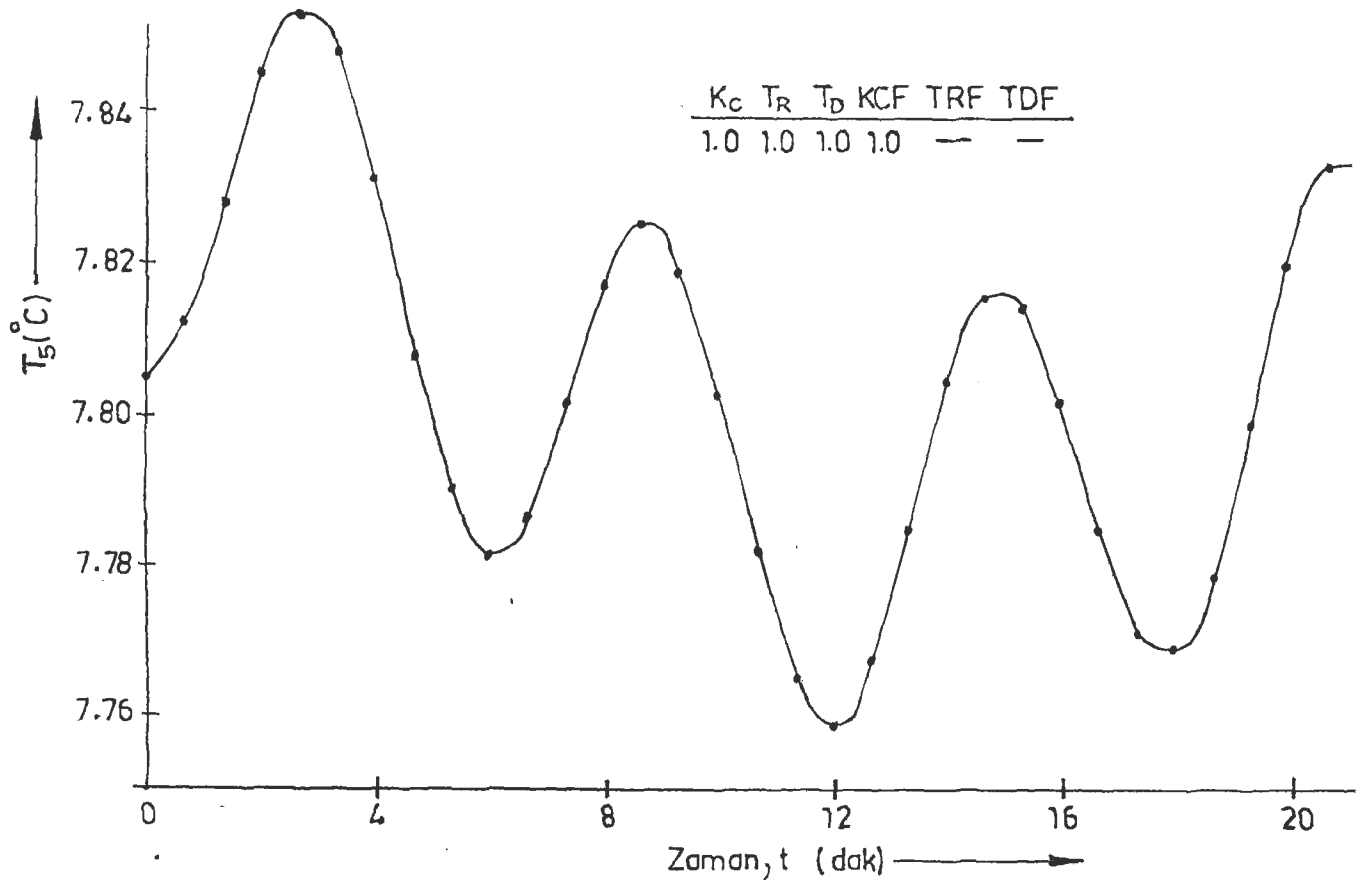
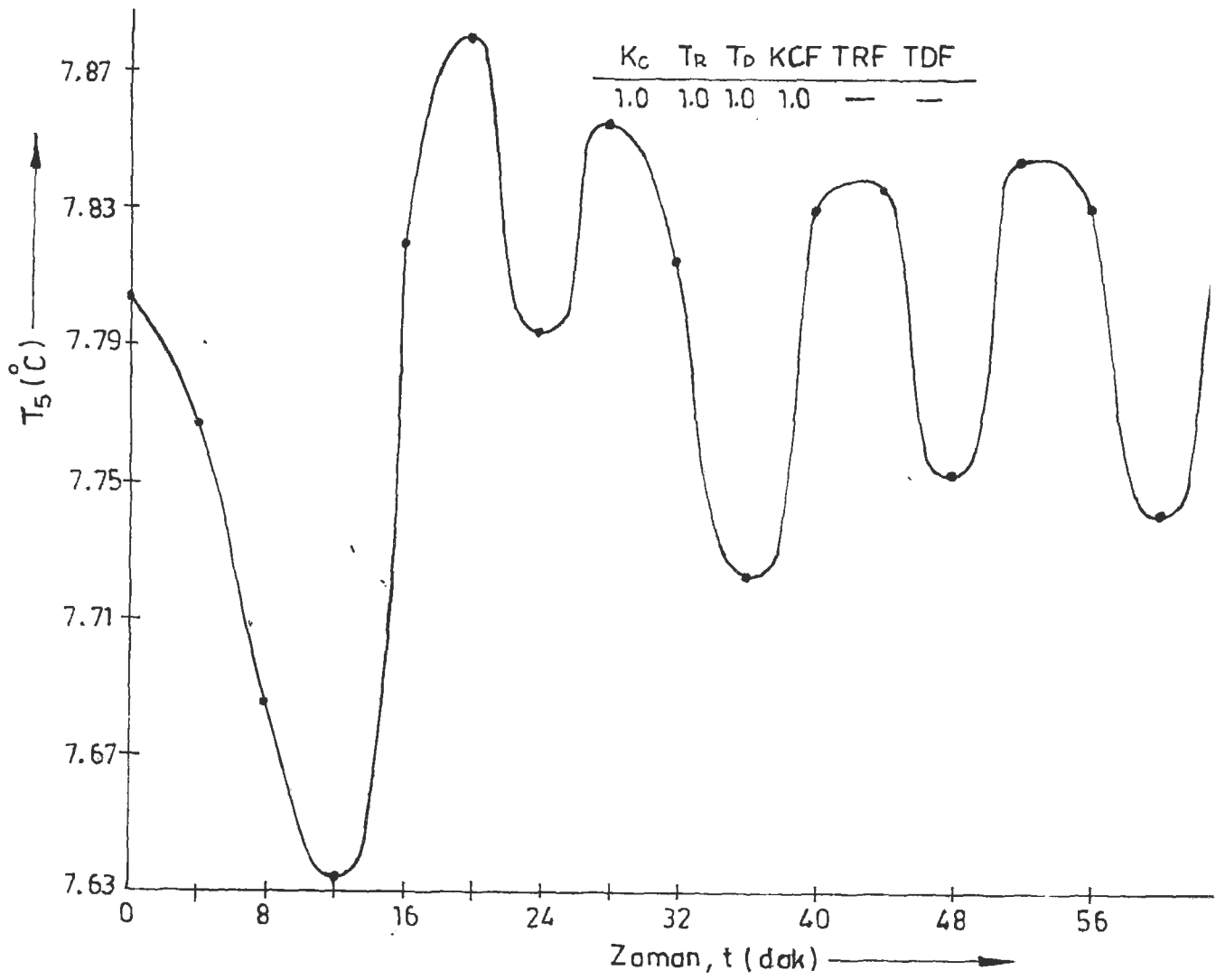
Şekil: 4.51 Kademe etkisinde geri beslemeli kontrol sistemi ile beşinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi.

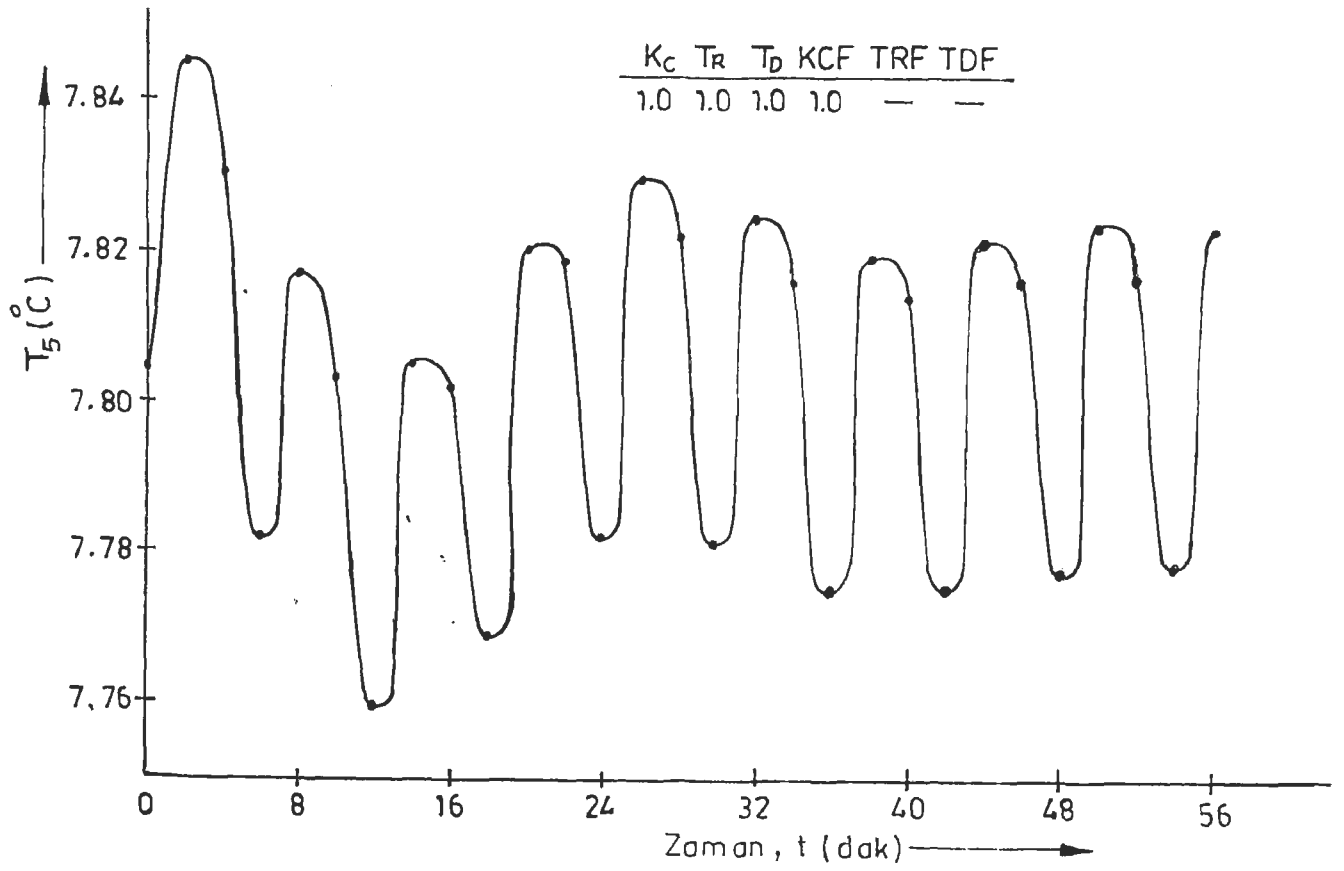


Şekil: 4.52 Kademe etkisinde geri beslemeli kontrol sistemi ile beşinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi.

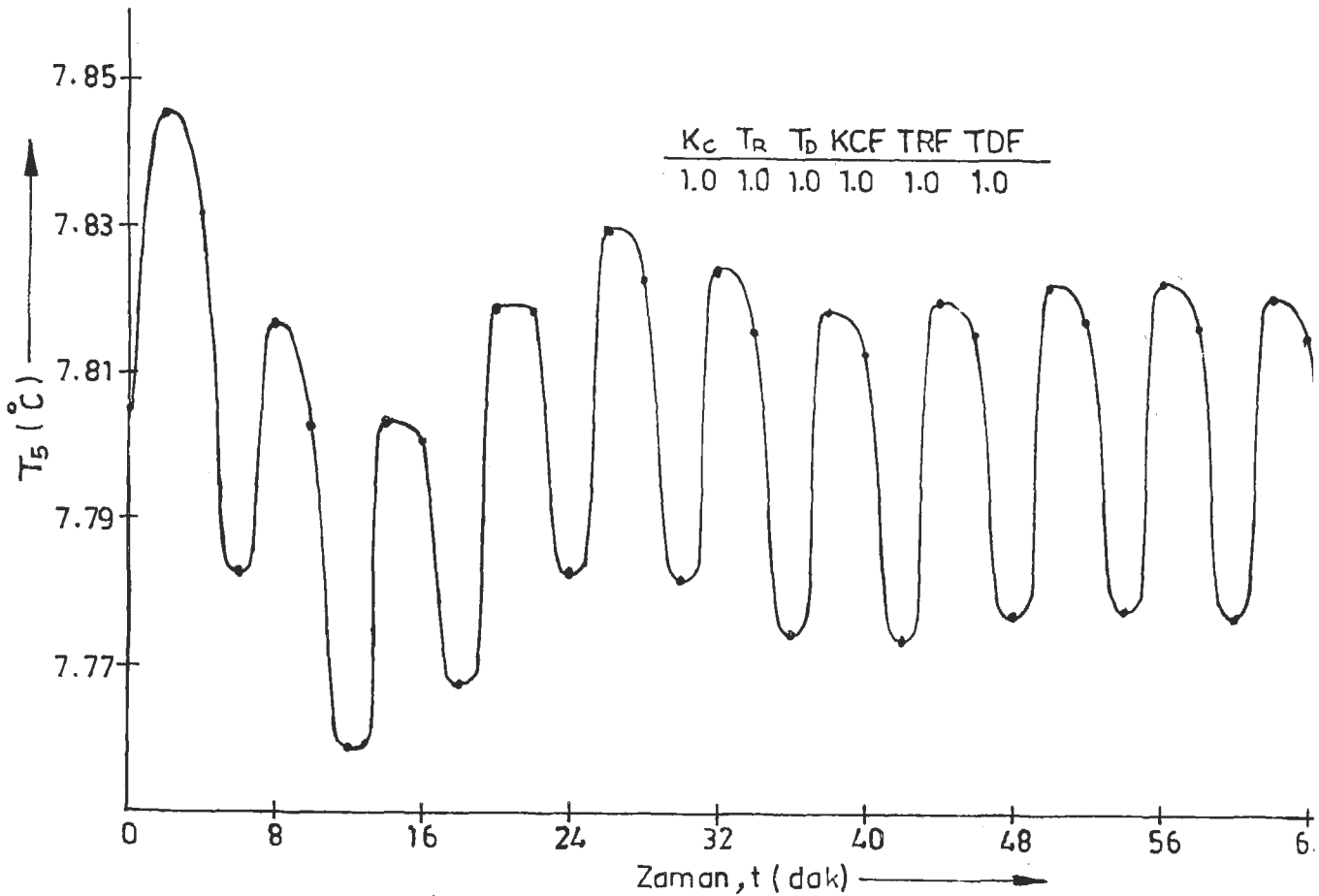


Şekil: 4.53 Kademe etkisinde geri beslemeli kontrol sistemi ile beşinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi.

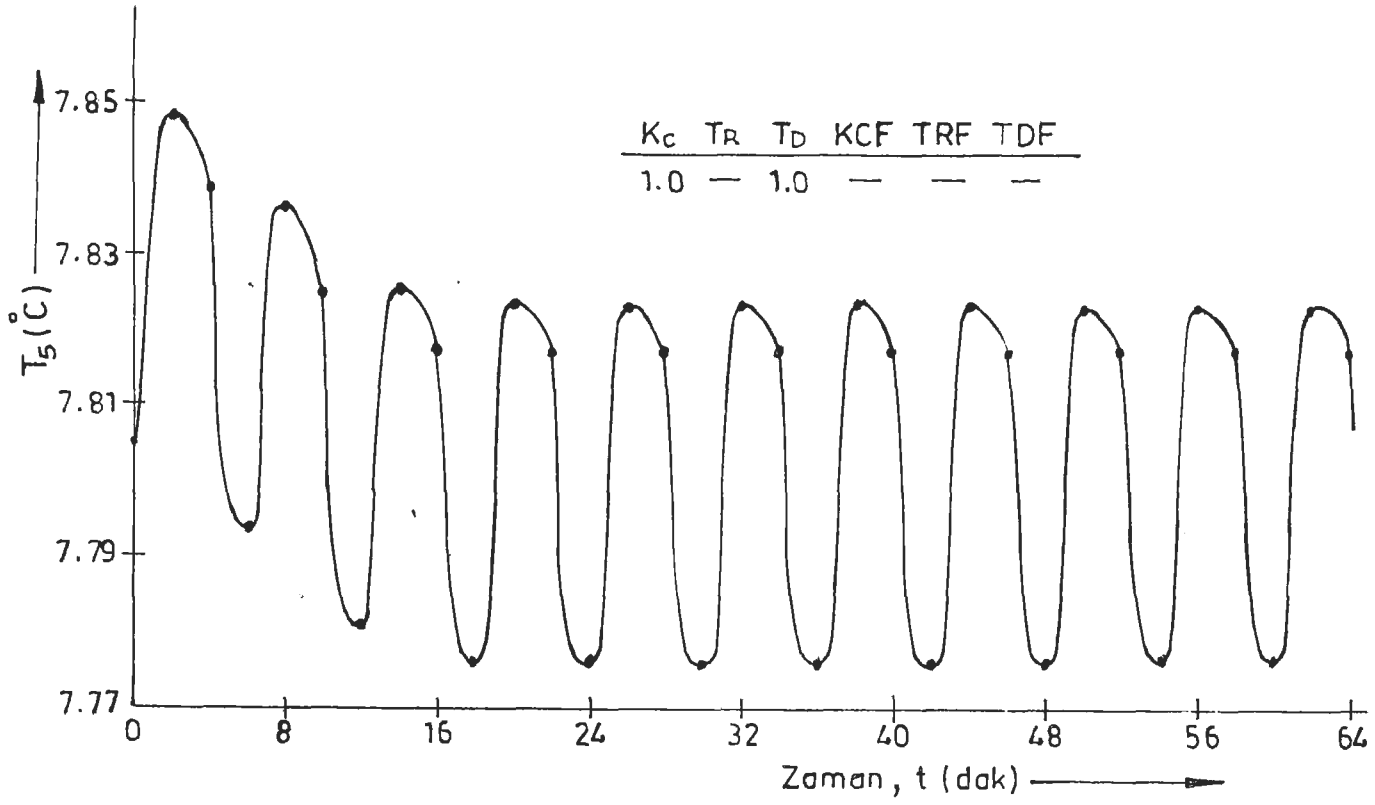




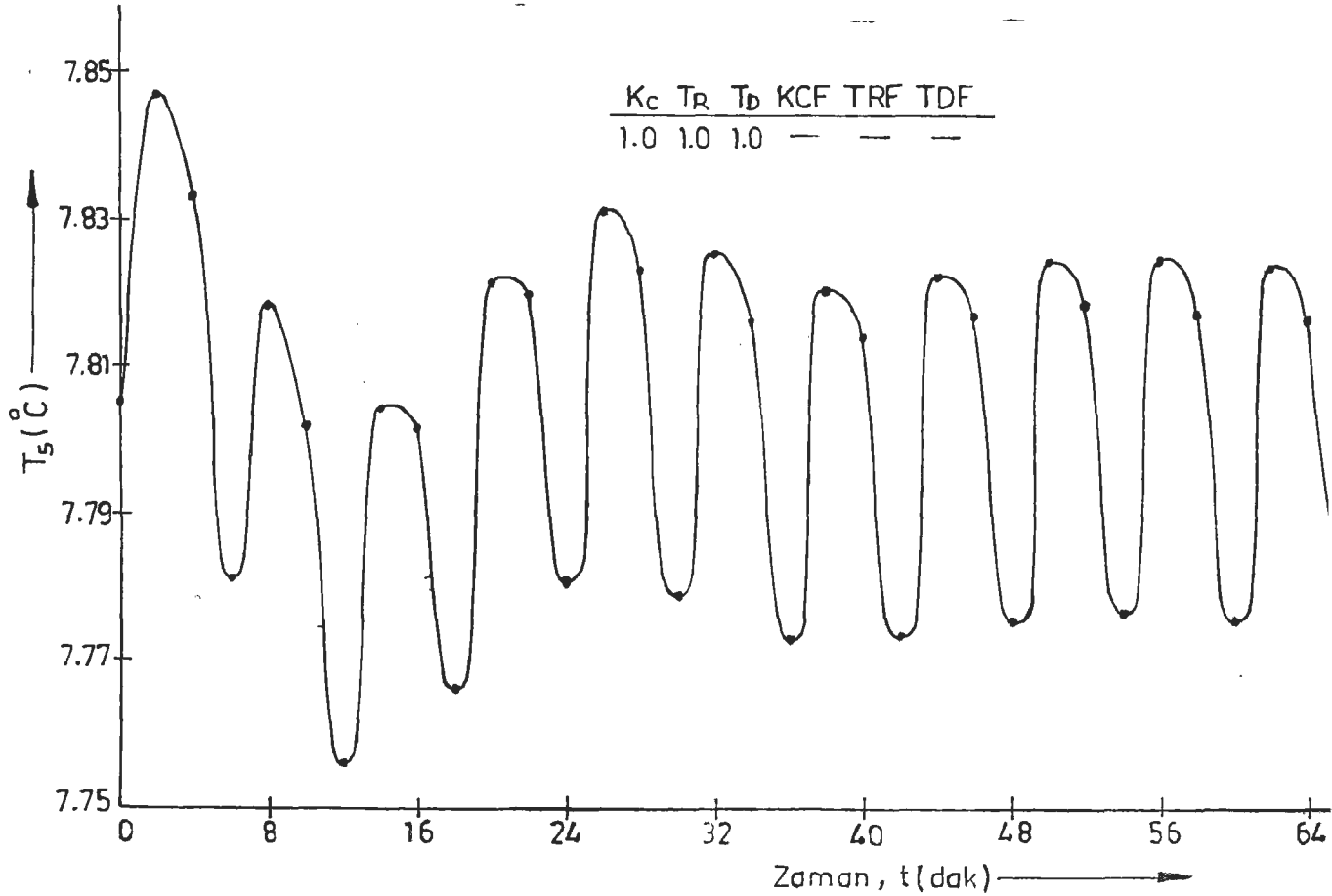
Şekil:4.56 Sinüs etkisinde geri ve ileri beslemeli kontrol sistemleri ile beşinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi ($\omega = 2\pi t/360$)



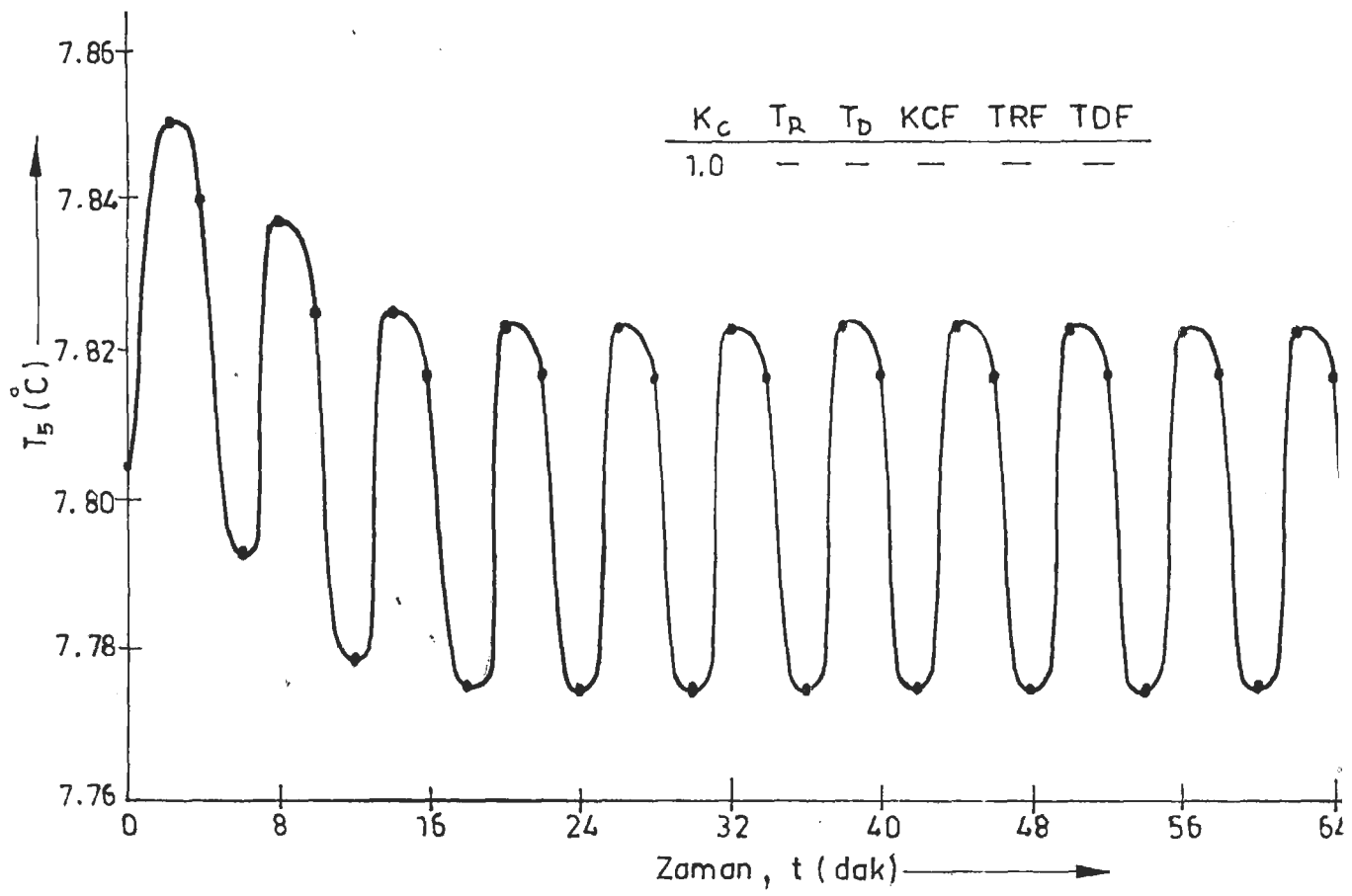
Şekil:4.57 Sinüs etkisinde geri ve ileri beslemeli kontrol sistemleri ile beşinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi ($\omega = 2\pi t/360$)



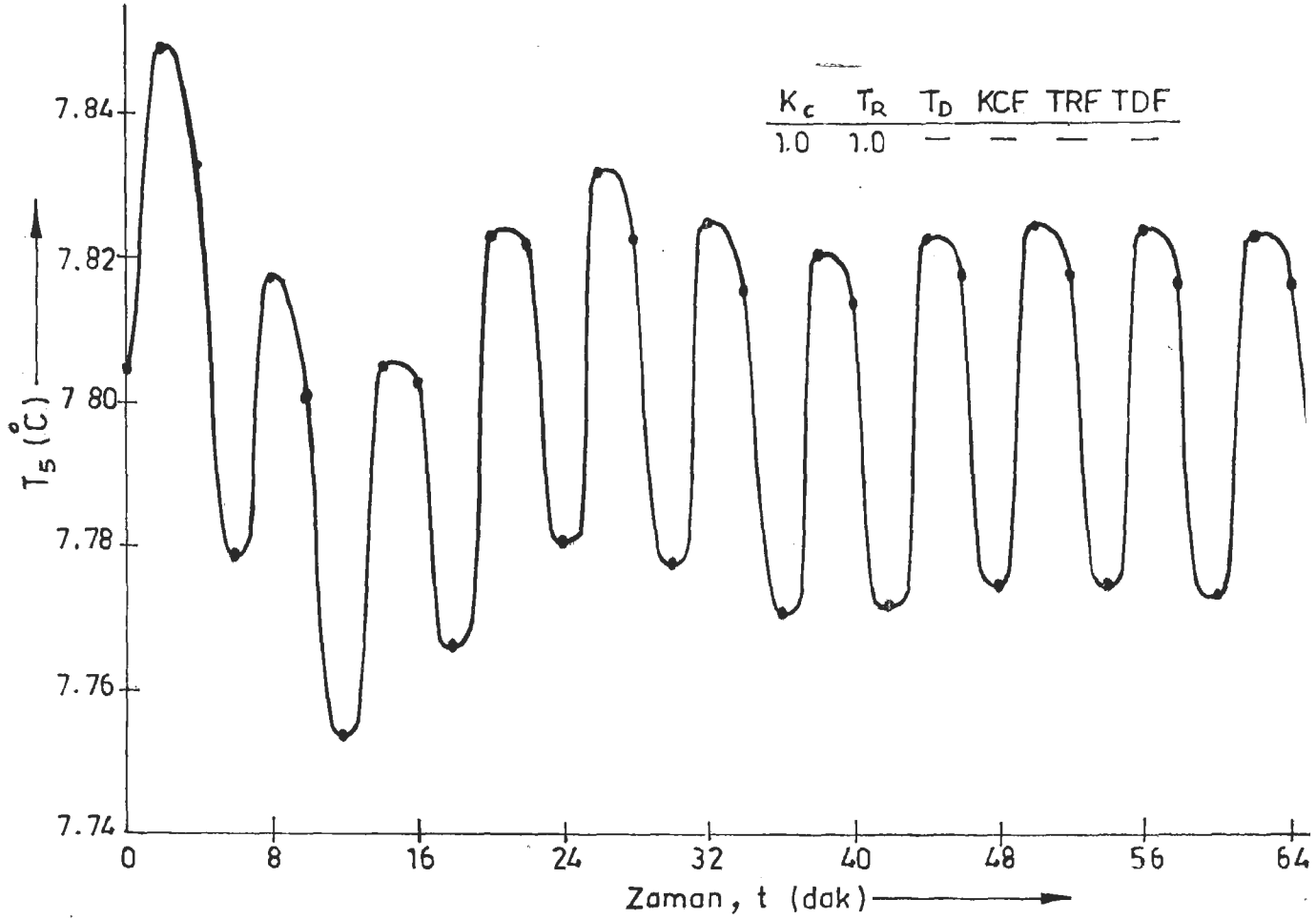
Şekil:4.58 Sinüs etkisinde geri beslemeli kontrol sistemi ile beşinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi ($\omega = 2\pi t/360$)



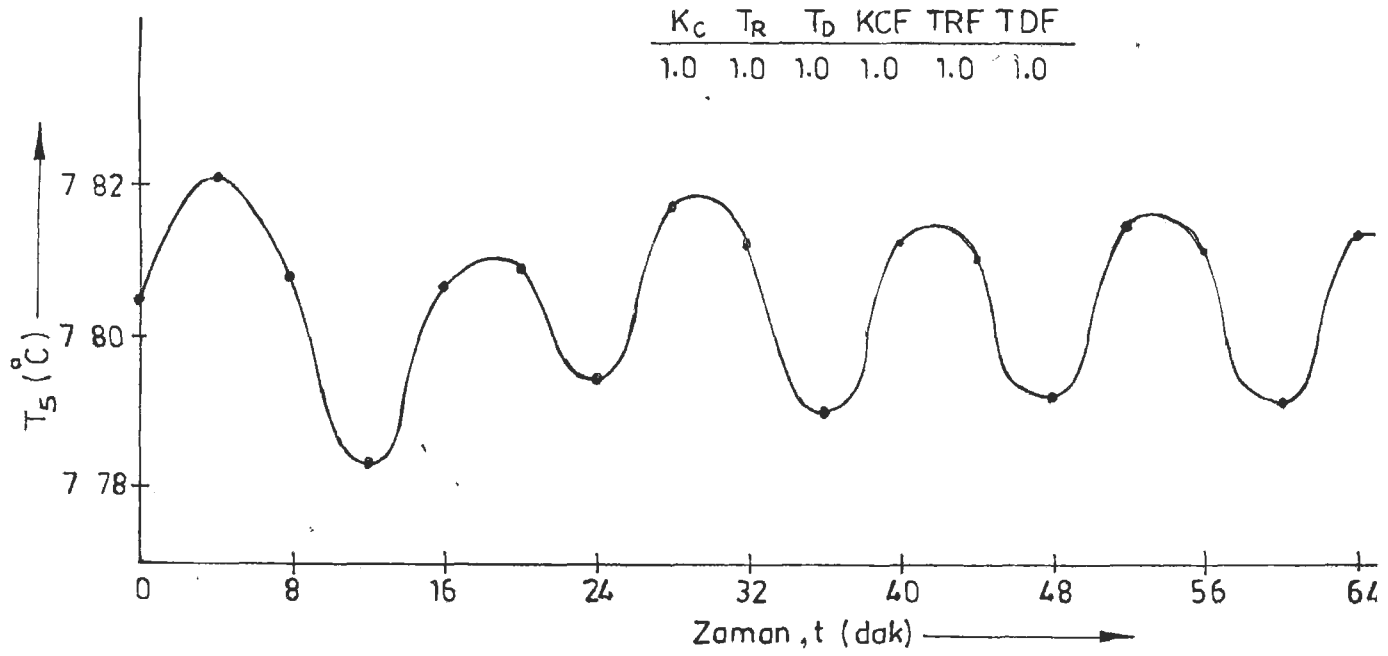
Şekil:4.59 Sinüs etkisinde geri beslemeli kontrol sistemi ile beşinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi ($\omega = 2\pi t/360$)



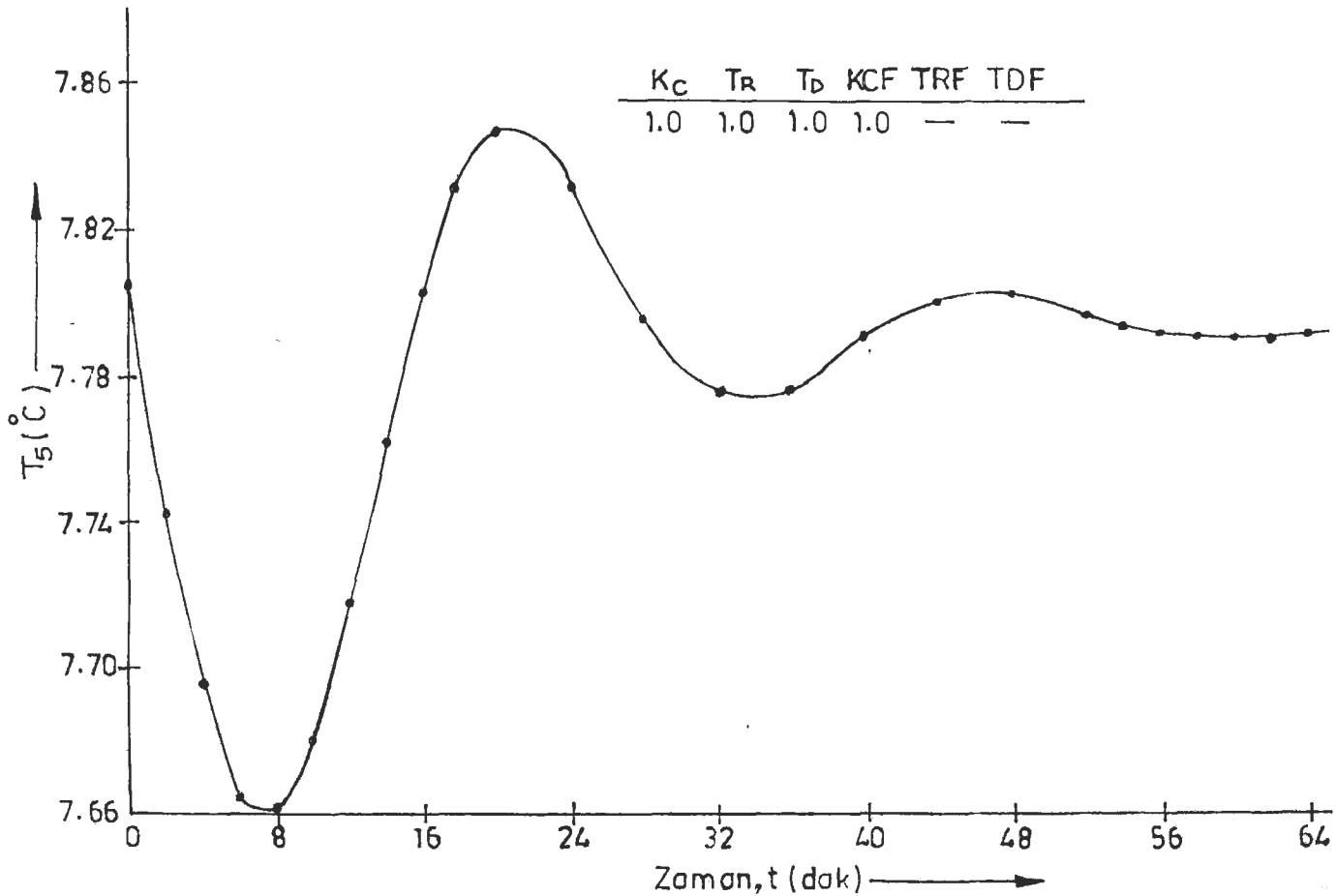
Şekil:4.60 Sinüs etkisinde geri beslemeli kontrol sistemi ile beşinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi ($\omega = 2\pi t/360$)



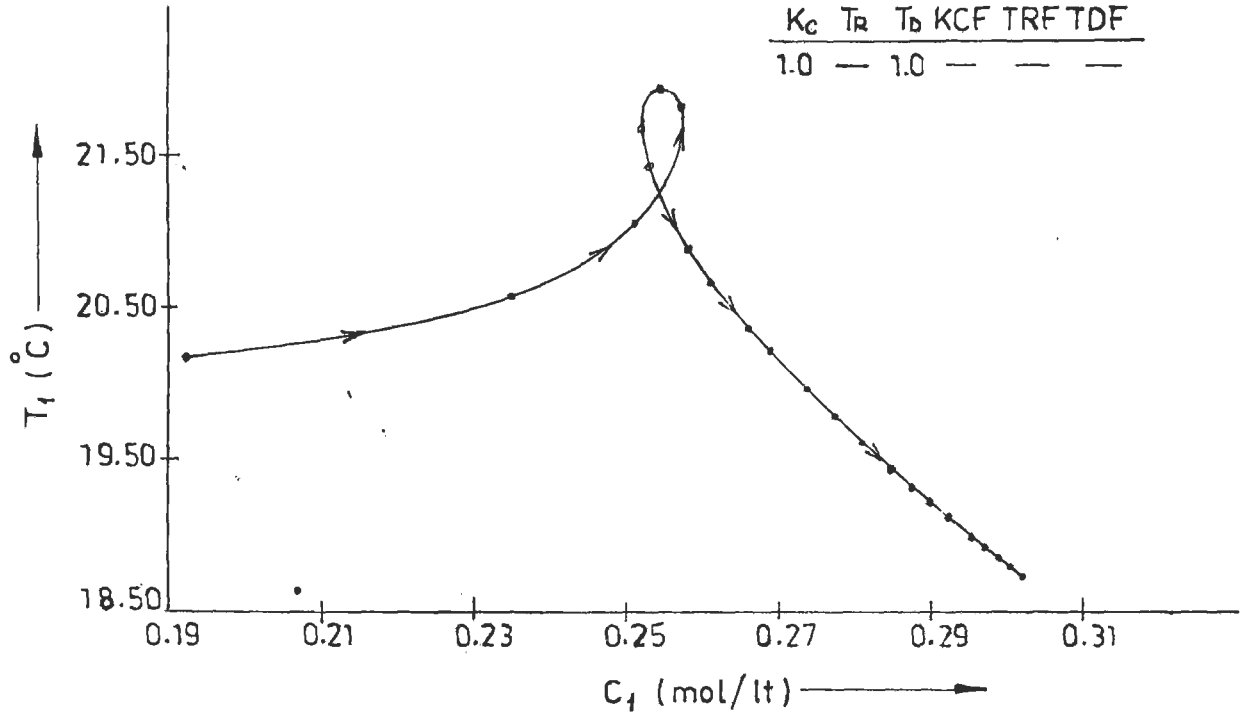
Şekil:4.61 Sinüs etkisinde geri beslemeli kontrol sistemi ile beşinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi ($\omega = 2\pi t/360$)



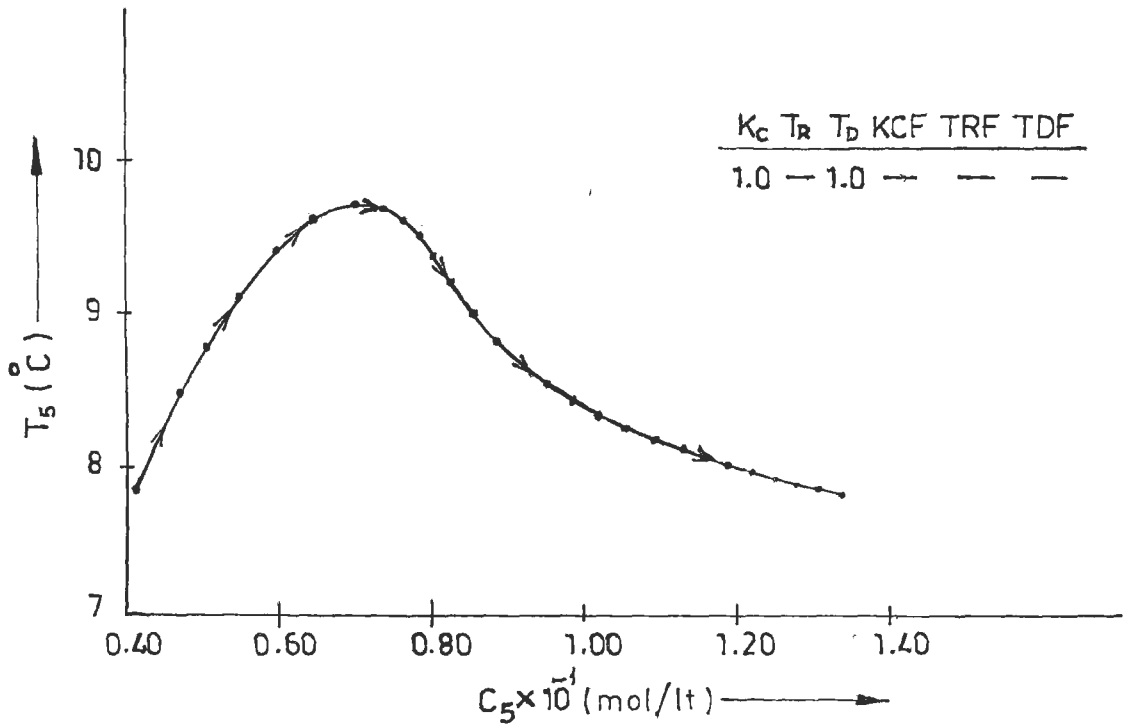
Şekil:4.62 Sinüs etkisinde geri ve ileribeslemeli kontrol sistemleri ile beşinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi ($\omega = 4\pi t / 360$)



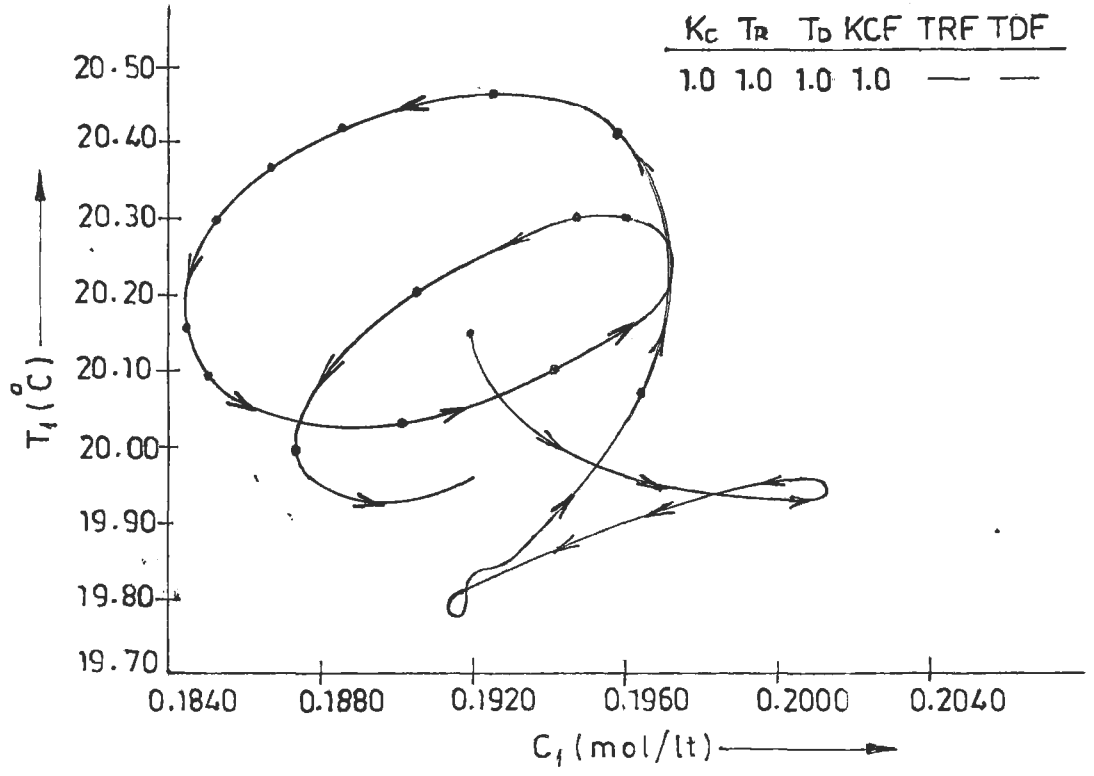
Şekil:4.63 Sinüs etkisinde geri ve ileribeslemeli kontrol sistemleri ile beşinci tank çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi ($\omega = 6\pi t / 360$)



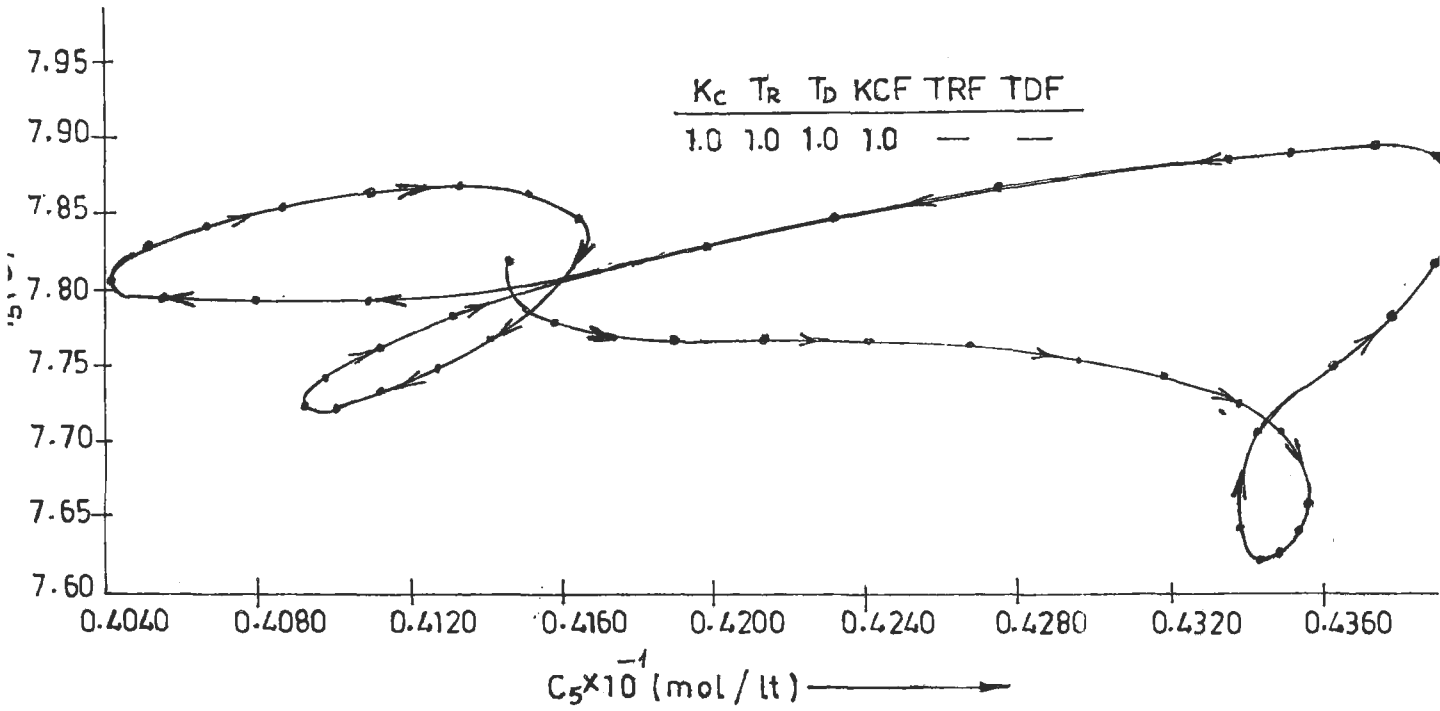
Şekil: 4.64 Kodeme etkisinde geri beslemeli kontrol sistemi ile birinci tank için faz-düzlem diyagramı.



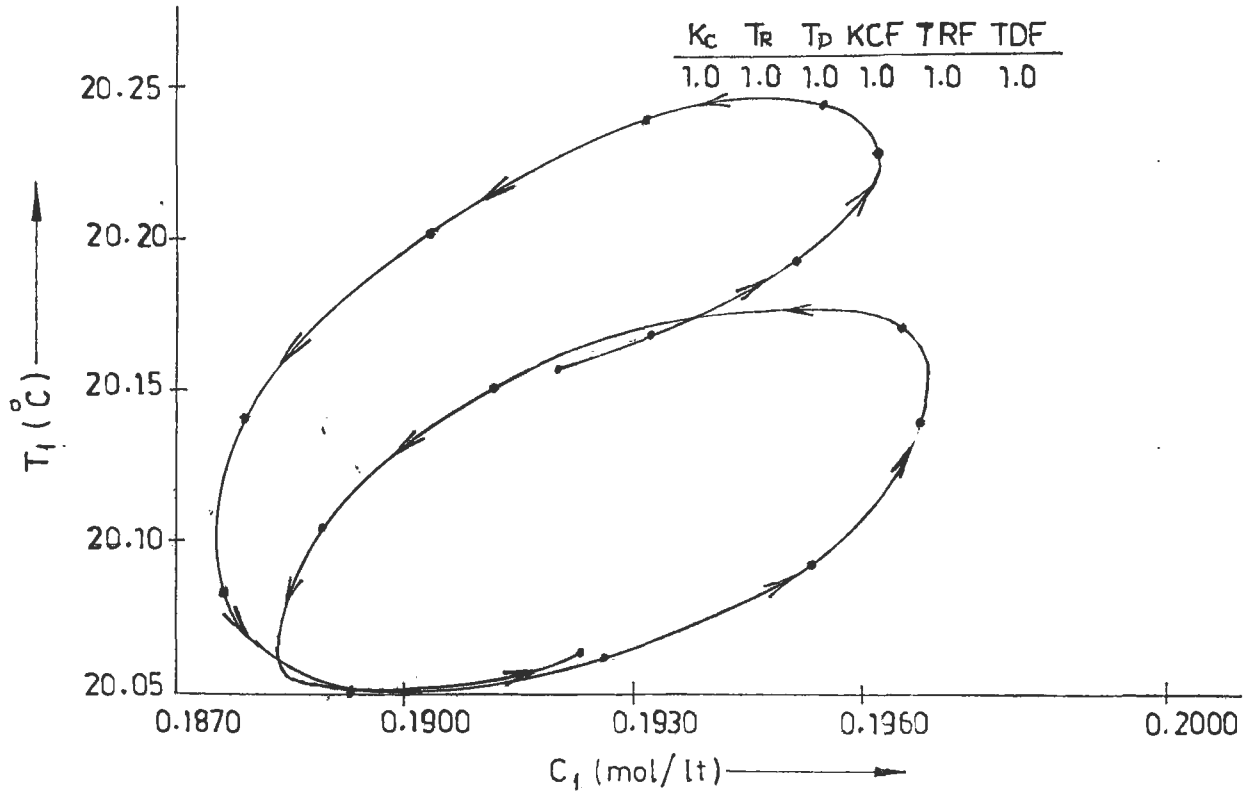
Şekil: 4.65 Kodeme etkisinde geri beslemeli kontrol sistemi ile beşinci tank için faz-düzlem diyagramı.



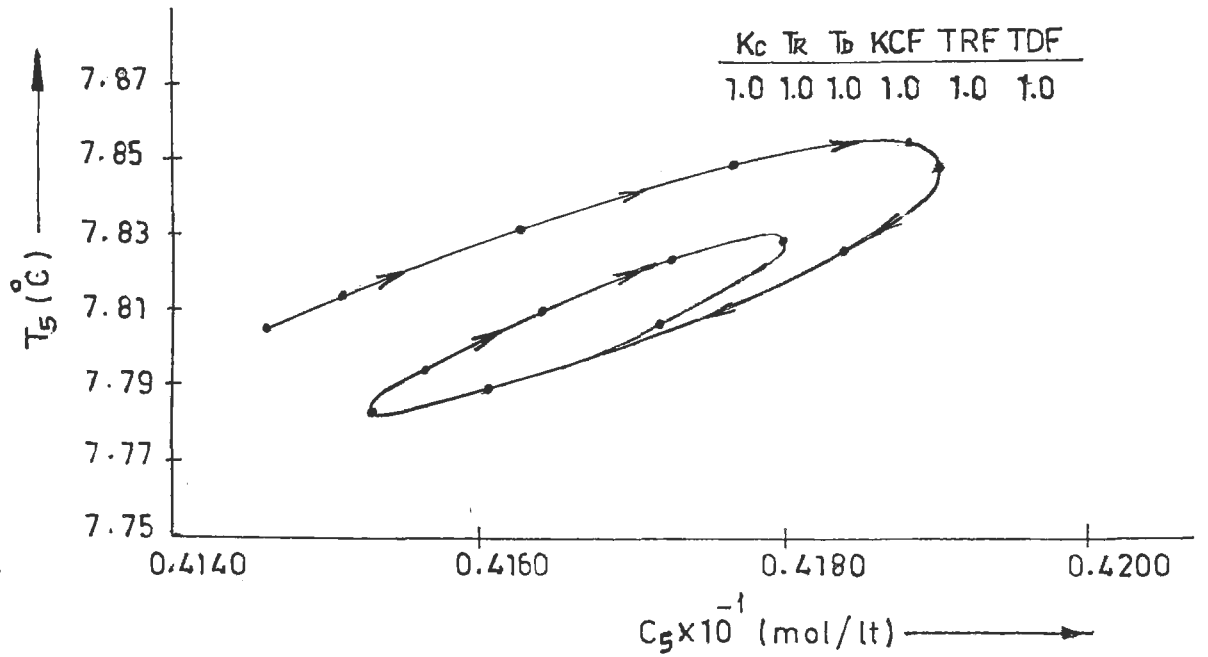
Şekil: 4.66 Sinüs etkisinde geri ve ileri beslemeli kontrol sistemleri ile birinci tank için faz-düzlem diyagramı ($\omega = \pi t / 360$)



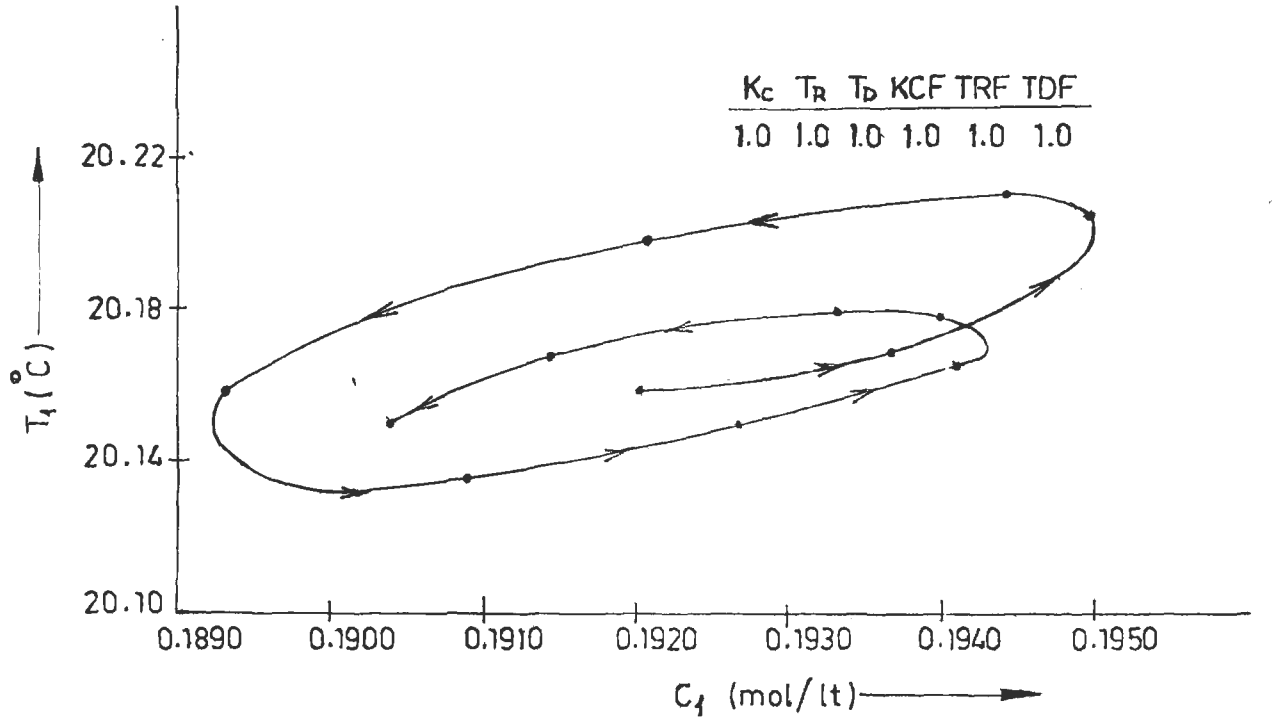
Şekil: 4.67 Sinüs etkisinde geri ve ileri beslemeli kontrol sistemleri ile beşinci tank için faz-düzlem diyagramı ($\omega = \pi t / 360$)



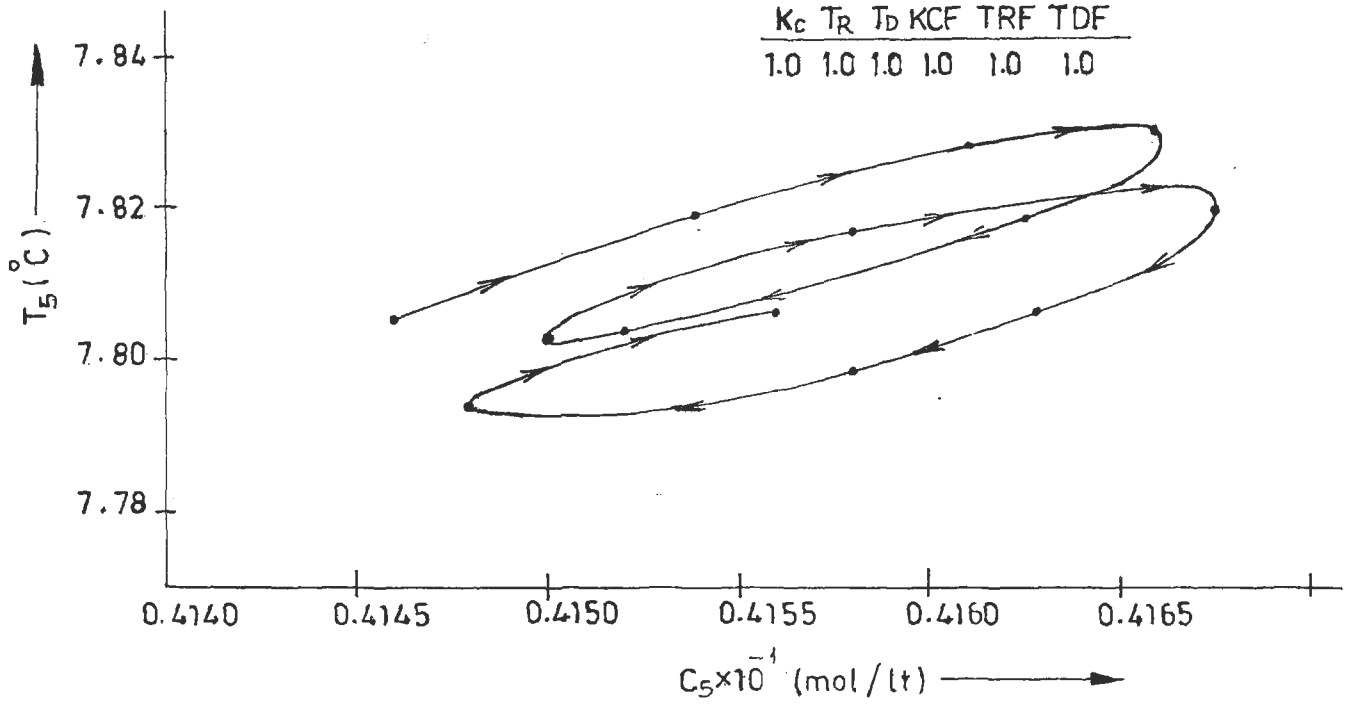
Şekil: 4.68 Sinüs etkisinde geri ve ileri beslemeli kontrol sistemleri ile birinci tank için faz-düzlem diyagramı ($\omega = 2\pi t/360$)



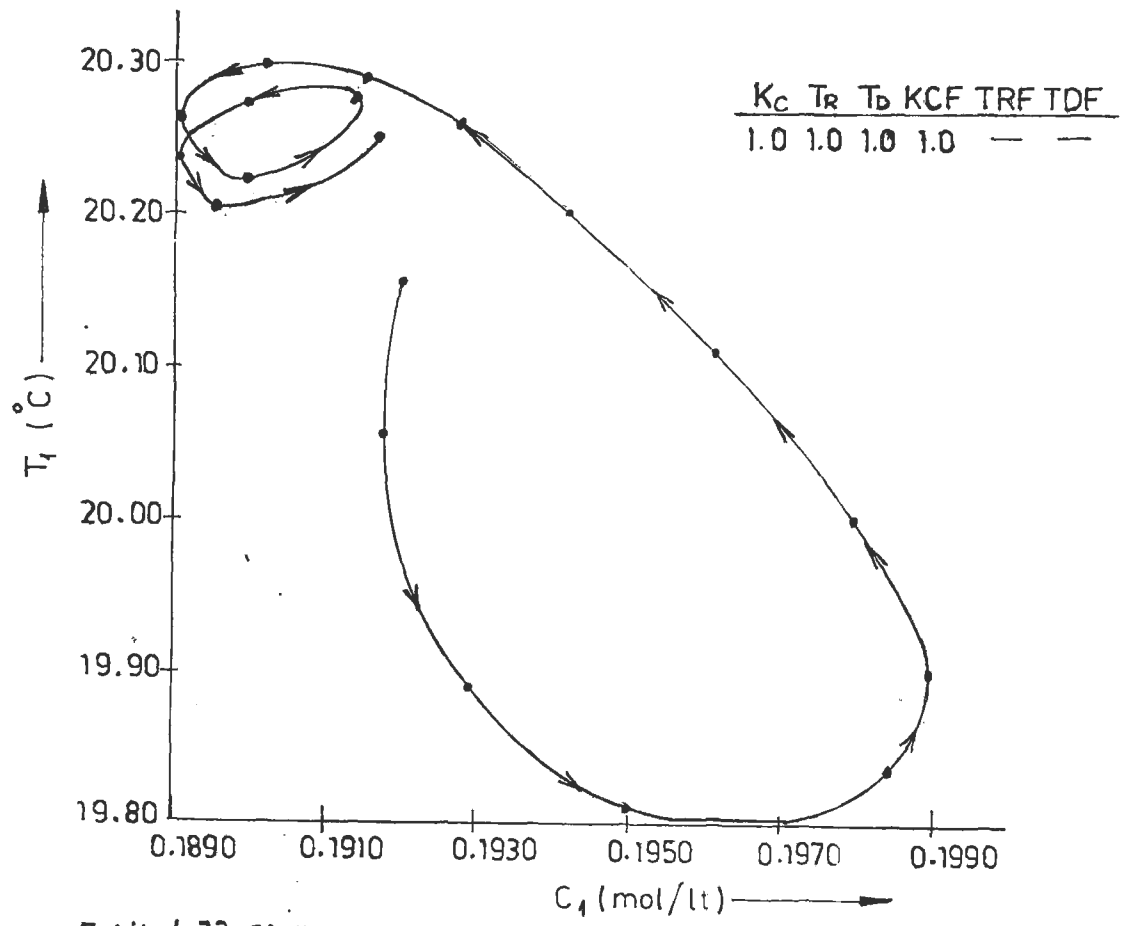
Şekil: 4.69 Sinüs etkisinde geri ve ileri beslemeli kontrol sistemleri ile besinci tank için faz - düzlem diyagramı ($\omega = 2\pi t/360$)



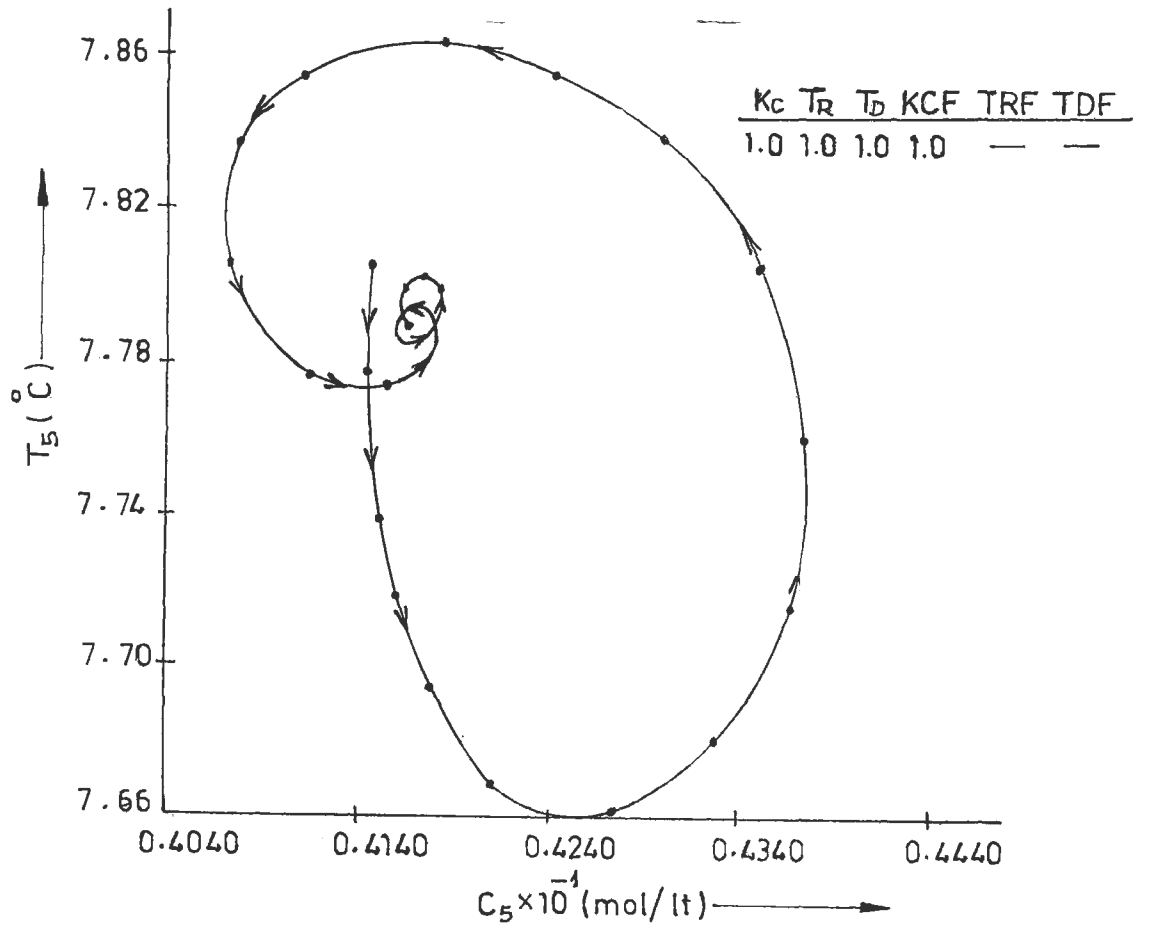
Şekil: 4.70 Sinüs etkisinde geri ve ileri beslemeli kontrol sistemleri ile birinci tank için faz-düzlem diyogramı ($\omega = 4\pi t/360$)



Şekil: 4.71 Sinüs etkisinde geri ve ileri beslemeli kontrol sistemleri ile beşinci tank için faz-düzlem diyogramı ($\omega = 4\pi t/360$)



Şekil: 4.72 Sinüs etkisinde geri ve ileri beslemeli kontrol sistemleri ile birinci tank için faz-düzlem diyagramı ($\omega = 6\pi t/360$)



Şekil: 4.73 Sinüs etkisinde geri ve ileri beslemeli kontrol sistemleri ile beşinci tank için faz-düzlem diyagramı ($\omega = 6\pi t/360$)

B Ö L Ü M 5

T A R T I Ş M A ve S O N U Ç

Alpbaz(1), yaptığı çalışmada karalı-halde bilgisayar çözümlü ile beş kademeli reaktör sisteminin aynı şartlarda borusal akım reaktörünü temsil ettiğini göstermiştir. Bu bulgular dan yararlanarak beş kademeli reaktör sistemin e giriş akış hızında verilen sinüs etkilerinin benzer şartlarda yaklaşık olarak borusal akım reaktörlerinde de aynı etkileri vereceği kabul edilebilir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Beş tam karıştırmalı akım reaktörlerinin giriş akış hızında verilen sinüs etkileri ile çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimlerinde kararlılık görülmüştür.
2. Laplace dönüşümleri yöntemiyle bir ve beşinci tanklar için Bode ve Nyquist diyagramları çizilmiş ve sistemin kararlılığı bu diyagramlarla da gösterilmiştir.
3. Kararsız-hal denklemleri hesaplanmasında Runge-Kutta yaklaşık yöntemi kullanılmış, zaman artış aralığı $H=1.0$, en uygun değer olarak alınmıştır.
4. Kontrol ve dinamik çalışmalarda ısı transfer katsayısının soğutma suyu akış hızı ile olan değişimi doğrusal bir denklem halinde ifade edilmiştir.
5. Kontrol çalışmalarında sinüs etkisinin ileri ve geri kontrol mekanizmaları ile çıkış değişkeni T_5 in kontrol edilebildiği görülmüştür.
6. Kontrol ve dinamik kararlılık testi olarak faz-düzlem diyagram yöntemi kullanılmış ve bu yöntemde de kararlılık gözlenmiştir.
7. Beş tam karıştırmalı akım reaktöründe besleme akımı ile soğutma suyu ters yönlerde girdiğinden sistemin transfer fonksiyonu tam olarak hesaplanamamıştır.
8. Bölüm 3 de verilen tüm varsayımların da bu hesaplamalar için geçerli olduğu görülmüştür.

Bu sonuçların yardımıyla verilen ileri çalışmalar için öneriler aşağıda gösterilmiştir:

1. Sistemin akış hızına verilen "pulse" etkileriyle beş tam karıştırmalı akım reaktörünün transfer fonksiyonu hesaplanabilir.
2. Aynı değişimin etkisinde ,UA, ısı transfer katsayısı için daha sağlıklı değerler hesaplanabilir.
3. Sinüs etkilerinden elde edilen bulgular yardımı ile "impulse" etkileri de incelenebilir.
4. Besleme akış hızına verilen sinüs etkileri, daha değişik tipte kontrol mekanizmaları ile kontrol edilebilirler.
5. Duvarın ısı kapasitesi adi türevli differansiyel denklemlerle ifade edilerek sinüs etkileri incelenebilir.

BODE DİYAGRAMLARI İÇİN YAPILAN SAYISAL ÇÖZÜMLER

Sinus değişimlerinin sistemlerin dinamiğine etkilerini incelemek için genlik oranı ve faz gecikiminin değişimini bilmek gerekir. Bu çalışmada, Bölüm 4 de verilen ve sapma değişkenleri cinsinden yazılmış olan birinci kademe çıkış derişiminin besleme akış hızına olan oranı ile transfer fonksiyonları oluşturulmuştur. Bunun için Laplace dönüşümleri kullanılmış ve $s=i\omega$ değeri konularak kompleks sayılar elde edilmiştir. Paydadaki ifadeyi kompleks sayıdan kurtarmak için eşleniği ile çarpılarak $(x+iy)$ şekline getirilmiştir. Buradan da genlik oranı $\sqrt{x^2+y^2}$ ve faz açısı $(-\frac{y}{x})$ olarak hesaplanmıştır.

a. Birinci tank için Bode diyagramının hesabı:

Birinci tank çıkış derişimi için Bölüm 3 de gösterildiği gibi Laplace dönüşümünden elde edilen denklem,

$$c_1'(s) = \frac{9.625 \times 10^{-8} s^2 + 1.125 \times 10^{-7} s + 2.549 \times 10^{-10}}{s^3 + 1.180 s^2 + 2.100 \times 10^{-2} s + 1.098 \times 10^{-4}} v_1'(s) \quad (E 1.1)$$

Transfer fonksiyonu oluşturulur ve $s=i\omega$ değeri yerine konarak eşleniği ile çarpılırsa genlik oranı:

$$|G| = \frac{\sqrt{(1.048 \times 10^{-9} \omega^4 + 2.053 \times 10^{-9} \omega^2 + 2.801 \times 10^{-14})^2 + \omega^6 + 1.351 \omega^4 + 1.818 \times 10^{-4} \omega^2 + 1.207 \times 10^{-8} + (-9.625 \times 10^{-8} \omega^5 - 1.305 \times 10^{-7} \omega^3 + 7.012 \times 10^{-12} \omega)^2}}{\omega^6 + 1.351 \omega^4 + 1.818 \times 10^{-4} \omega^2 + 1.207 \times 10^{-8}} \quad (E 1.2)$$

Faz açısı ise:

$$\tan \phi = \frac{-9.625 \times 10^{-8} \omega^5 - 1.305 \times 10^{-7} \omega^3 + 7.012 \times 10^{-12} \omega}{1.048 \times 10^{-9} \omega^4 + 2.053 \times 10^{-9} \omega^2 + 2.802 \times 10^{-14}} \quad (E 1.3)$$

Sonuçlar Tablo E 1.1 de verilmiştir.

b. Beşinci tank için Bode diyagramının hesabı

Birinci tank için yapılan çözüm yöntemi beşinci tank için uygulanırsa, soğutma suyu sıcaklığı şöyle olacaktır.

$$\theta_1'(s) = \frac{R_2}{R_1 s + 1} T_5'(s) \quad (E 1.4)$$

Derişim ve sıcaklık için kararlı ve kararsız-hal denklemleri oluşturulup Laplace dönüşümleri yapılırsa,

$$c_5'(s) = \frac{A_2}{A_1 s + 1} c_4'(s) + \frac{A_3}{A_1 s + 1} V_1'(s) - \frac{A_4}{A_1 s + 1} T_5'(s) \quad (E 1.5)$$

$$T_5'(s) = \frac{B_2}{B_1 s + 1} V_1'(s) + \frac{B_3}{B_1 s + 1} T_4'(s) - \frac{B_4}{B_1 s + 1} c_5'(s) + \frac{B_5}{B_1 s + 1} \theta_1'(s) \quad (E 1.6)$$

Denklem(E 1.6) ve (E 1.5) ortak olarak çözülüp $c_4'(s)$ ve $T_4'(s)$ terimleri ihmal edilirse,

$$c_5'(s) = \frac{A_3(B_1 s + 1)(R_1 s + 1) - A_3 B_5 R_2 - A_4 B_2 (R_1 s + 1)}{(A_1 s + 1)(B_1 s + 1)(R_1 s + 1) - B_5 R_2 (A_1 s + 1) - A_4 B_4 (R_1 s + 1)} V_1'(s) \quad (E 1.7)$$

Transfer fonksiyonu oluşturulur ve $s=iw$ değeri yerine konarak eşleniği ile çarpılırsa genlik değeri:

$$|G| = \frac{\sqrt{(2.680 \times 10^{-11} w^4 + 3.837 \times 10^{-11} w^2 + 1.792 \times 10^{-15})^2}}{\sqrt{\frac{w^6 + 1.343 w^4 + 1.707 \times 10^{-4} w^2 + 4.171 \times 10^{-9}}{+ (-3.381 \times 10^{-9} w^5 - 4.604 \times 10^{-9} w^3 - 2.426 \times 10^{-13} w)^2}}}} \quad (E 1.8)$$

Faz açısı,

$$\tan \varphi = \frac{-3.381 \times 10^{-9} w^5 - 4.604 \times 10^{-9} w^3 - 2.426 \times 10^{-13} w}{2.680 \times 10^{-11} w^4 + 3.837 \times 10^{-11} w^2 + 1.792 \times 10^{-15}} \quad (\text{E 1.9})$$

Sonuçlar Tablo E 1.1 de verilmiştir.

Kullanılan katsayıların değerleri:

$$k(T_5^0) = e^{36.49 - 12100/280.805} = 1.359 \times 10^{-3}$$

$$A_1 = \frac{V}{V_1^0 + V k(T_5^0)} = 152.249$$

$$A_2 = \frac{V_1^0}{V_1^0 + V k(T_5^0)} = 7.929 \times 10^{-1}$$

$$A_3 = \frac{c_4^0 - c_5^0}{V_1^0 + V k(T_5^0)} = 5.147 \times 10^{-7}$$

$$A_4 = \frac{V c_5^0 k(T_5^0) 12100 / T_5^{02}}{V_1^0 + V k(T_5^0)} = 1.317 \times 10^{-6}$$

$$B_1 = \frac{V \rho_1 c_{p1}}{Z} = 113.669$$

$$Z = \rho_1 c_{p1} V_1^0 + H V c_5^0 12100 / (T_5^0)^2 k(T_5^0) + UA$$

$$B_2 = \frac{\rho_1 c_{p1} (T_4^0 - T_5^0)}{Z} = 6.045 \times 10^{-2}$$

$$B_3 = \frac{\rho_1 c_{p1} V_1^0}{Z} = 5.92 \times 10^{-1}$$

$$B_4 = \frac{\Delta H V k(T_5^0)}{Z} = -2875.008$$

$$B_5 = \frac{UA}{Z} = 4.262 \times 10^{-1}$$

İlgili Bode diyagramları Bölüm 4 de verilmiştir.

ω	$\log G $	φ
0.01	-5.259	-14.524
0.1	-6.017	-81.025
0.5	-6.714	-88.284
1	-7.015	-89.216
2	-7.317	-89.652
3	-7.489	-89.779
4	-7.612	-89.819
5	-7.709	-89.849
6	-7.788	-89.870
7	-7.855	-89.909

ω	$\log G $	φ
0.01	-6.585	-40.231
0.1	-7.461	-85.239
0.5	-8.165	-89.046
1	-8.467	-89.530
2	-8.770	-89.769
3	-8.947	-89.801
4	-9.072	-89.855
5	-9.169	-89.882
6	-9.248	-89.906
7	-9.315	-89.935

Tablo E1.1 Birinci ve beşinci tanklar için hesaplanan Bode diyagramı sonuçları.

E K 2

SOĞUTMA SUYU İÇİN ENERJİ DENKLİĞİ

Bölüm 2 de verilen soğutma suyu kararsız-hal denkleminin sayısal bilgisayar çözümlerinde kullanılabilmesi için yapılan yaklaşım yöntemi aşağıda verilmiştir.

$$V_2 \rho_2 c_{p_2} \theta_4 + UA(T_1 - \theta_5) = V_2 \rho_2 c_{p_2} \theta_5 + M c_{p_2} \frac{d\theta_5}{dt} \quad (2.9)$$

$$V_2^0 \rho_2 c_{p_2} \theta_4 + (UA)_0 (T_1 - \theta_5^0) = V_2^0 \rho_2 c_{p_2} \theta_5^0 \quad (E 2.1)$$

Burada T_1 ve θ_4 sabit alınarak (E 2.1) denklemini, (3.9) dan çıkarılırsa:

$$V_2' (\rho_2 c_{p_2} \theta_4) + UA' (T_1) - UA' (\theta_5^0) - \theta_5' (UA)_0 = V_2' (\rho_2 c_{p_2} \theta_5^0) + \theta_5' (V_2 \rho_2 c_{p_2})_0 + M c_{p_2} \frac{d\theta_5'}{dt} \quad (E 2.2)$$

$$M c_{p_2} \frac{d\theta_5'}{dt} + ((V_2 \rho_2 c_{p_2})_0 + (UA)_0) \theta_5' = ((\rho_2 c_{p_2} \theta_4) - (\rho_2 c_{p_2} \theta_5^0)) V_2' + ((T_1) - (\theta_5^0)) UA' \quad (E 2.3)$$

$$\frac{M c_{p_2}}{((V_2 \rho_2 c_{p_2})_0 + (UA)_0)} \cdot \frac{d\theta_5'}{dt} + \theta_5' = \frac{(\rho_2 c_{p_2} \theta_4) - (\rho_2 c_{p_2} \theta_5^0)}{((V_2 \rho_2 c_{p_2})_0 + (UA)_0)} V_2' + \frac{(T_1)_0 - (\theta_5^0)_0}{((V_2 \rho_2 c_{p_2})_0 + (UA)_0)} UA' \quad (E 2.4)$$

$$\text{veya } L\theta_5' + \theta_5' = K_1 V_2' + K_2 UA' \quad (E 2.5)$$

$$\text{Burada } L \text{ zaman sabiti} = \frac{M_c c_{p_2}}{(V_2 \rho_2 c_{p_2})_0 + (UA)_0}$$

ve K_1, K_2 sistem kazançlarıdır.

Aşağıdaki sayısal değerler için:

$$M_c = 96.0 \text{ g.}, \quad c_{p_2} = 1.0 \text{ cal/g } ^\circ\text{C}, \quad \rho_2 = 1.0 \text{ g/cm}^3,$$

$$(UA)_0 = (0.04)(300) = 12 \text{ cal/}^\circ\text{C sn}, \quad V_2^0 = 6 \text{ lt/dak.},$$

$$L = 0.857 \text{ sn. olarak elde edilir.}$$

Zaman sabiti çok küçük olduğundan soğutma suyundaki birikme terimi ihmal edilir. (2.9) denkleminin düzenlenmesinden,

$$\begin{aligned} V_2 \rho_2 c_{p_2} (\theta_5 - \theta_4) &= UA (\text{LMTD}) \\ &= \frac{UA ((T_1 - \theta_5) - (T_1 - \theta_4))}{\ln \left(\frac{T_1 - \theta_5}{T_1 - \theta_4} \right)} \end{aligned} \quad (\text{E 2.6})$$

(E 2.6) denkleminde θ_4 çekilirse:

$$\theta_4 = T_1 - (T_1 - \theta_5) \exp (UA / V_2 \rho_2 c_{p_2}) \quad (\text{E 2.7})$$

Soğutma suyu için enerji denkliği elde edilir.

(E 2.7) denklemi sayısal bilgisayar çözümlerinde kullanılmıştır.

E K 3

KARARLI-HAL DENKLEMLERİNİN SAYISAL BİLGİSAYAR
İLE ÇÖZÜMLERİ

Sayısal bilgisayarda, kararsız-hal denklemlerinin çözümlerinde gerekli olan başlangıç şartlarını hesaplamak için kararlı-hal denklemlerinin çözüldüğü ve bu çözümde Newton-Raphson dene-bul ile Golden-Section Search yöntemlerinin kullanıldığı Bölüm 3 de anlaşılmıştır.

Bu çözüm için bir anaprogramın yanında, iki alt program kullanılmıştır.

a. Ana program

Ana program, kararlı-hal denklemlerinden faydalanarak reaktör çıkış sıcaklığı ile derişimini, soğutma suyu çıkış sıcaklığını ve her bir kademede açığa çıkan ısıyı hesaplar. Bu hesaplamalarda Newton-Raphson dene-bul yöntemi ile alt-program CONVERA ve GOLDA yı kullanır.

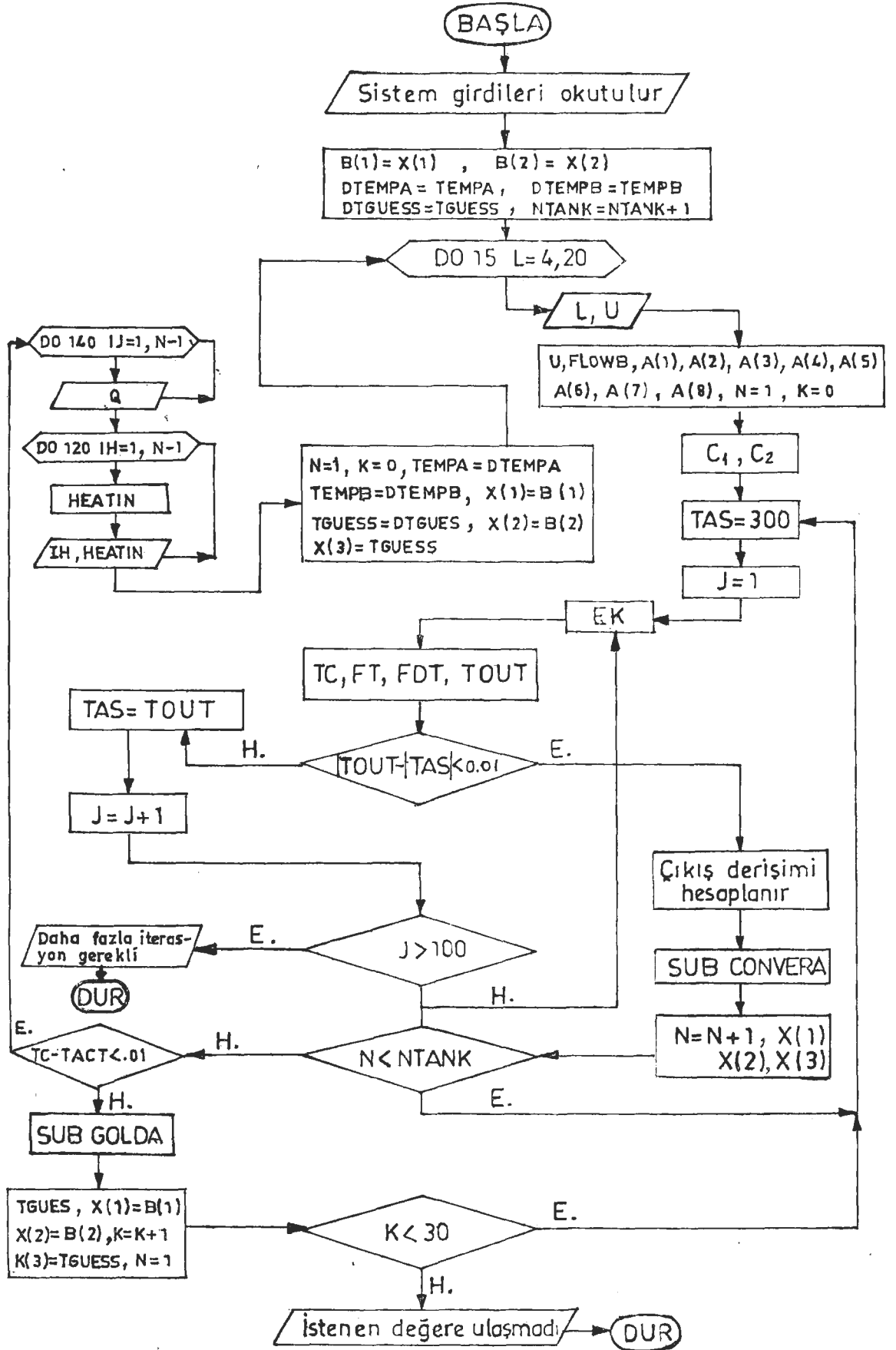
b. Altprogram CONVERA

Ana programa bağlı olarak çalışır ve burada elde edilen değerlerin birimlerini çevirmede kullanılır.

c. Altprogram GOLDA

Ana programa bağlı olarak çalışır ve Newton-Raphson yöntemine yardımcı olarak soğutma suyu çıkış sıcaklığı için Golden-Section Search yöntemini kullanarak seçilen iki sınır değeri arasında yeni tahmini değerler üretir.

Tüm çözüm programı Şekil E 3.1 ve listesi Tablo E 3.1 de verilmiştir.



Şekil: E3.1 Kararlı hal denklemlerinin sayısal bilgisayar çözüm programı
Akım şeması .

E 3.1 Kararlı-hal denklemlerinin sayısal bilgisayar çözümü Fortran proğr

```

1  LIST
2  SEND TO (SEMICOMPILED)
3  LIBRARY(SUBGROUPS2F7)
4  WORK(WORKFILE)
5  DUMP ON(PROGRAM FORT)
6  RUN
7  PROGRAM(XXXX)
8  INPUT1=024
9  OUTPUT2=103
10 END
11 MASTER PROG
12 DIMENSION B(10),A(20)
13 COMMON X(40),C(40,40),TOUT,CONC,TC,H,TEMPA,TEMPB,TGUESS,TACT
14 E(DUMMY)=EXP(26.40-(12100.0/DUMMY))
15 READ(1,10)VOL,FLOWA,DELT,RHOA,SPECA
16 FORMAT(5F0.1)
17 READ(1,11)WIDTH,SPECB,RHOB,H
18 READ(1,11) TEMPB,TACT,TGUESS
19 FORMAT(4F0.0)
20 READ(1,12) ITANK
21 FORMAT(I0)
22 READ(1,13) (X(I),I=1,3)
23 FORMAT(3F0.0)
24 WRITE(2,70)
25 FORMAT(26H CASCADE MODELIN KARARLI HAL ANALIZI)
26 WRITE(2,71)
27 FORMAT(//120(1H-)//)
28 B(1)=X(1)
29 B(2)=X(2)
30 DTEMPA=TEMPA
31 DTEMPB=TEMPB
32 DTGUESS=TGUESS
33 ITANK=ITANK+1
34 FLOWA=1
35 WRITE(2,80)FLOWA
36 FORMAT(//,17H MAUDE AKIS HIZI=,F5.2,5X,9H LITRE/DAK)
37 FLOWA=FLOWA+100./6.
38 WRITE(2,71)
39 DO 15 L=4,20
40 U=0.0018373337*J)+0.029
41 WRITE(2,95)U
42 FORMAT(24H SOGUTMA SUYU AKIS HIZI=,12,5X,9H LITRE/DAK//,2X,3H U=,
43 *4//)
44 FLOWB=FLOWA*(L)*100./6.
45 WRITE(2,72)
46 FORMAT(7(8X,5H GIRIS,14X,5H CIKIS,7X))
47 WRITE(2,73)
48 FORMAT(2(3X,14HKONSANTRASYONU,3X),2(8X,5H MAUDE,6X),2(7X,12H CAGU
49 1 SUYU))
50 WRITE(2,75)
51 FORMAT(2(4X,17HGM-MOL/LITRE ,3X),4(7X,30H DERECE C,5X))
52 A(1)=FLOWB*RHOB*SPECB
53 A(2)=RHOA*FLOWA*SPECA
54 A(3)=A(1)/A(2)
55 A(4)=VOL/FLOWA
56 A(5)=WIDTH*20.
57 A(6)=(H*A(5))/A(1)

```

```

8      A(7)=(VOL*DELH)/A(2)
9      A(8)=EXP(A(6))
10     N=1
11     K=0
12     C1=A(3)*(EXP(A(6))-1)
13     C2=12100.0*A(7)
14     25 TAS=300.
15     J=1
16     20 EK=E(TAS)
17     TC=TAS-(TAS-X(3))*A(8)
18     FT=-TAS+X(2)-C1*(TAS-X(3))-EK*A(7)*X(1)/(1.0+EK*VOL/FLOWA)
19     FDT=-1.-C1-C2*X(1)*EK/((TAS**2)*((1.+EK*VOL/FLOWA)**2))
20     TOUT=TAS-FT/FDT
21     IF(ABS(TOUT-TAS).LT..01) GOTO 21
22     TAS=TOUT
23     J=J+1
24     IF(J.GT.100) GOTO 22
25     GOTO 20
26     21 CONC=X(1)/(1+(E(TOUT)*A(4)))
27     CALL CONVERA
28     76 FORMAT(2(5X,E11.4,4X),4(6X,F7.3,7X))
29     N=N+1
30     X(1)=CONC
31     X(2)=TOUT
32     X(3)=TC
33     IF(N.LT.NTANK) GOTO 25
34     IF(ABS(TC-TACT).LT..01) GO TO 100
35     CALL GOLDA
36     TGUESA=TGUESS-273.
37     X(1)=B(1)
38     X(2)=B(2)
39     X(3)=TGUESS
40     K=K+1
41     N=1
42     IF(K.LT.30) GOTO 25
43     WRITE(2,44)
44     44 FORMAT(24H ISTENEN DEGERE ULASMADI)
45     STOP
46     22 WRITE(2,45)
47     45 FORMAT(29H DAHA FAZLA ITERASYON GEREKLI)
48     STOP
49     100 DO 140 IJ=1,N-1
50     WRITE(2,76)(Q(IJ,IK),IK=1,6)
51     140 CONTINUE
52     WRITE(2,77) TGUESA
53     77 FORMAT(/28H TAHMIN EDILEN YENI SICAKLIK,F9.3)
54     C TANKLARDA ACIGA CIKAN ISI MIKTARININ HESAPLANMASI
55     C
56     WRITE(2,110)
57     110 FORMAT(/,10X,8HTANK NO.,15X,15HACIGA CIKAN ISI,/)
58     DO 120 IH=1,N-1
59     HEATIN=F(Q(IH,4)+273.)*VOL*DELH*0.001*Q(IH,2)*4.18
60     WRITE(2,130)IH,HEATIN
61     130 FORMAT(12X,I2,20X,E12.4)
62     120 CONTINUE
63     N=1
64     K=0
65     TEMPA=DTEMPA
66     TEMPB=DTEMPB

```

```

17      TGUESS=DTGUES
18      X(1)=B(1)
19      X(2)=R(2)
20      X(3)=TGUESS
21      WRITE(2,71)
22      15 CONTINUE
23      STOP
24      END
25      SUBROUTINE CONVERA
26      COMMON X(40),Q(40,40),TOUT,CONC,TC,N,TEMPA,TEMPB,TGUESS,TACT
27      Q(N,1)=X(1)*1000.
28      Q(N,2)=CONC*1000.
29      Q(N,3)=X(2)-273.
30      Q(N,4)=TOUT-273.
31      Q(N,5)=TC-273.
32      Q(N,6)=X(3)-273.
33      RETURN
34      END
35      SUBROUTINE GOLDA
36      REAL INTVAL
37      COMMON X(40),Q(40,40),TOUT,CONC,TC,N,TEMPA,TEMPB,TGUESS,TACT
38      IF(X(3).GT.TACT) GOTO 300
39      TEMPA=TGUESS
40      GOTO 301
41      300 TEMPB=TGUESS
42      301 INTVAL=TEMPB-TEMPA
43      TGUESS=TEMPA+(INTVAL/1.618)
44      RETURN
45      END
46      FINISH

```

E K 4

KARARSIZ-HAL DENKLEMLERİNİN SAYISAL BİLGİSAYAR İLE ÇÖZÜMLERİ

Kararsız-hal programı, kararlı-hal çözüm sonuçları olan başlangıç şartları yardımı ile kararsız-hal denklemlerini çözerek tüm tanklar için çıkış sıcaklık, derişim ve soğutma suyu sıcaklıklarının zamana göre değişimlerini hesaplar. Bir ana ve üç altprogramdan oluşmuştur.

a. Altprogram RUKU

Bu altprogramda Bölüm 4 de bahsedilen bir nümerik çözüm metodu olan 4. dereceden Runge-Kutta yöntemi kullanılarak kararsız-hal denklemleri seri halde çözülmüştür. Hesaplamalardan önce kararsız-hal denklemleri, 4. dereceden Runge-Kutta yönteminde kullanılabilecek hale getirilmelidir.

b. Altprogram EQNS

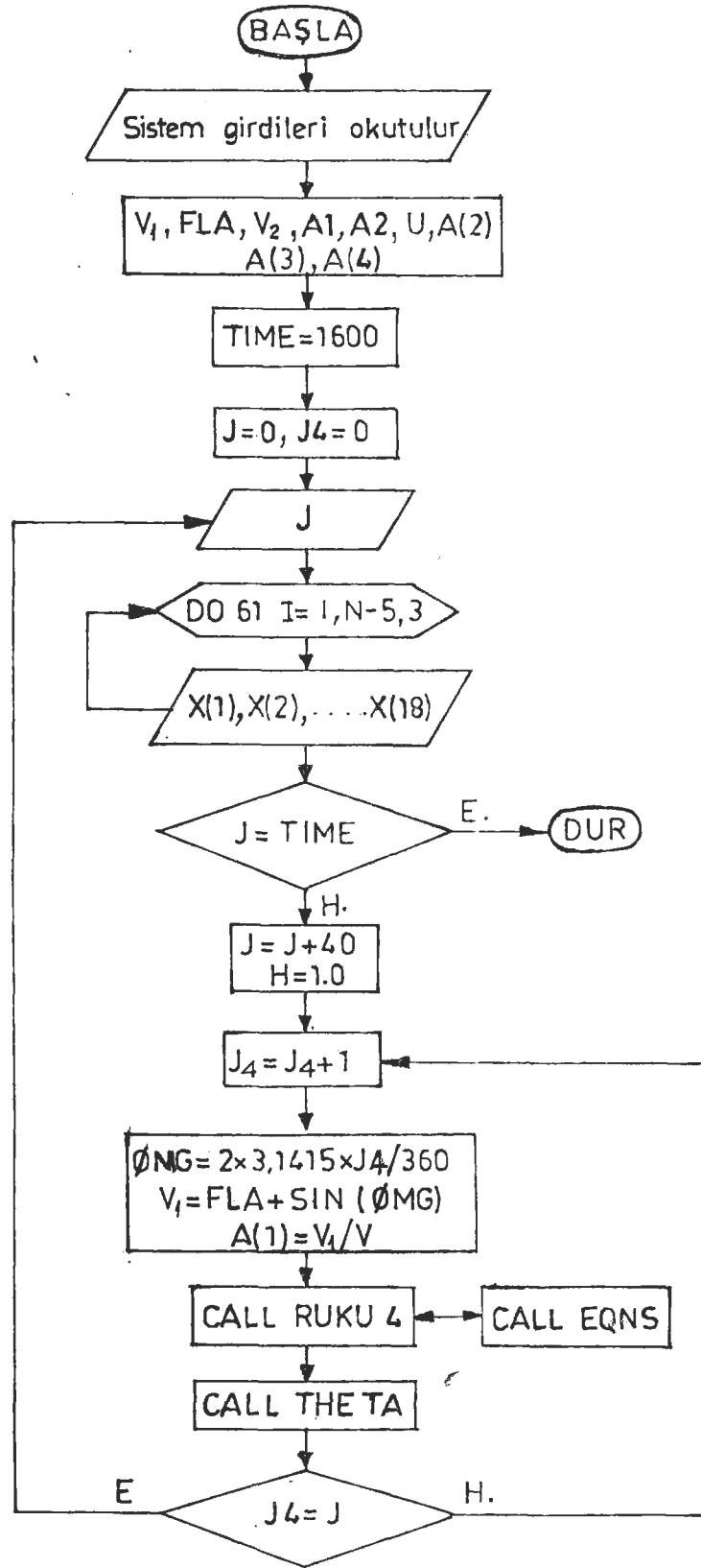
Kararsız-hal denklemlerinin Runge-Kutta yönteminde kullanılabilmesi için altprogram EQNS-dan yararlanılır. Altprogram EQNS da differansiyel denklemler, türevli ifade bir tarafta diğer terimler eşitliğin öbür tarafında olacak şekilde düzenlenerek türevli ifadeler FUN(J), FUN(J+1) ve değişkenlerin öndeki sabit katsayılar da A(1,2,3) indisli terimler şeklinde tanımlanmıştır.

c. Altprogram THETA

Bu altprogramda, (2.10) eşitliği kullanılarak soğutma suyu sıcaklıkları hesaplanır. Kullanılan eşitliğin bir benzeri aşağıdaki gibidir:

$$\theta_1 = T_5 - (T_5 - \theta_0) \exp(-UA/V_2 \rho_2 c_{p2})$$

Tüm çözüm prdgramı Şekil E 4.1 ve listesi Tablo E 4.1 de verilmiştir.



Şekil: E4.1 Kararsız hal denklemlerinin sayısal bilgisayar çözüm programı
Akım şeması

E4.1 Kararsız-hal denklemlerinin sayısal bilgisayar çözümü Fortran programı

```

MASTER PROG
REAL LENGTH,L,M
INTEGER PRINT,TIME
DIMENSION Q(20)
COMMON/BLOCK1/X(100)/BLOCK3/A(100)
READ(1,14) AREA3
14 FORMAT(F0.0)
READ(1,10) WIDTH,FLOWA,RHOA,LENGTH
READ(1,12) FLOWB,VOLA,DEFLH
10 FORMAT(4F0.0)
READ(1,11) NTANK,TIME
11 FORMAT(2I0)
N=12
READ(1,12) (X(I),I=1,N)
12 FORMAT(3F0.0)
READ(1,12) L,M,U
READ(1,12) SPECA,SPECB,RHOB
51 WRITE(2,51) MADDE AKIS HIZINA SINUZOIDAL DEGİSİM VEREREK CASCADE MO
10DEFLIN ACIK PAT YANITIMI//)
FLOWA=1.
FLOWA=FLOWA*100./A.
FLA=FLOWA
FLOWB=FLOWB*100./A.
AREA1=WIDTH*10.
AREA2=LENGTH*20.
A(2)=DEFLH/(RHOA*SPECA)
A(3)=(FLOWB*RHOB*SPECB)/(RHOA*VOLA*SPECA)
A(4)=(U*AREA2)/(FLOWB*SPECB*RHOB)
A(4)=-A(4)
TIME=1600
J=0
JA=1
35 WRITE(2,52)J
52 FORMAT(44U KONSANTRASYON VE SICAKLIĞIN ALDIĞI DEĞERLER,16,8H SANTI
*YE)
WRITE(2,53)
53 FORMAT(//120(1H-)//)
WRITE(2,54)
54 FORMAT(3(8X,5HGİRİS,14X,5HCİKİS,7X))
WRITE(2,55)
55 FORMAT(2(3X,14HKONSANTRASYONU,4X),5X,5HMADE,14X,5HMADE,12X,12HSG
1GUTMA SUYU,7X,12HSGUTMA SUYU)
WRITE(2,56)
56 FORMAT(1H,45X,9HSICAKLIĞI,10X,9HSICAKLIĞI,13X,9HSICAKLIĞI,10X,9HS
1ICAKLIĞI)
WRITE(2,57)
57 FORMAT(2(4X,12HGM-MOL/LITRE,5X),4X,8HDERECE C,11X,8HDERECE C,14X,8
1HDERECE C,11X,8HDERECE C)
WRITE(2,53)
DO 61 I=1,N-5,3
Q(1)=X(I)*1000.
Q(2)=X(I+3)*1000.
Q(3)=X(I+1)-273.
Q(4)=X(I+4)-273.
Q(5)=X(I+5)-273.
Q(6)=X(I+2)-273.
WRITE(2,60) Q(1),Q(2),Q(3),Q(4),Q(5),Q(6)
60. FORMAT(2(5X,E11.4,4X),4(6X,E7.3,7X))

```

```

61 CONTINUE
WRITE(2,53)
IF(J.EQ.TIME) STOP
J=J+40
H=1.0
49 J4=J4+1
OMG=2*3.1415*J4/360.
FLOWA=FLA+SIN(OMG)
A(1)=FLOWA/VOLA
CALL RUKU4(N,H)
CALL THETA(N)
IF(J4.EQ.J) GO TO 35
GO TO 49
STOP
END

SUBROUTINE RUKU4(N,H)
REAL K
DIMENSION K(4,100),W(100)
COMMON/BLOCK1/X(100)/BLOCK2/FUN(100)
DO 100 M=1,N
100 Y(M)=X(M)
DO 101 I=1,4
CALL EQNS(N)
DO 102 J=4,N-2,3
K(I,J)=H*FUN(J)
K(I,J+1)=H*FUN(J+1)
GO TO (103,103,104,105),I
103 X(J)=Y(J)+K(I,J)/2.
X(J+1)=Y(J+1)+K(I,J+1)/2.
GO TO 102
104 X(J)=Y(J)+K(I,J)
X(J+1)=Y(J+1)+K(I,J+1)
GO TO 102
105 X(J)=Y(J)+(K(1,J)+2.*K(2,J)+2.*K(3,J)+K(4,J))/6.
X(J+1)=Y(J+1)+(K(1,J+1)+2.*K(2,J+1)+2.*K(3,J+1)+K(4,J+1))/6.
102 CONTINUE
101 CONTINUE
RETURN
END

SUBROUTINE EQNS(N)
COMMON/BLOCK1/X(100)/BLOCK2/FUN(100)/BLOCK3/A(100)
E(DUMMY)=EXP(36.49-(12100./DUMMY))
DO 400 J=4,N-2,3
FUN(J)=A(1)*X(J-3)-A(1)*X(J)-E(X(J+1))*X(J)
FUN(J+1)=A(1)*X(J-2)-A(1)*X(J+1)-A(2)*E(X(J+1))*X(J)-A(3)*(X(J-1)-
1X(J+2))
400 CONTINUE
RETURN
END

SUBROUTINE THETA(N)
COMMON/BLOCK1/X(100)/BLOCK3/A(100)
IA=2
DO 53 I=2,N/3
X(N-IA)=X(N+2-IA)-((X(N+2-IA)-X(N+3-IA))*EXP(A(4)))
53 IA=IA+3
RETURN
END

```

E K 5

KONTROL HESAPLARI İÇİN SAYISAL BİLGİSAYAR ÇÖZÜMLERİ

Beş tam karıştırmalı akım reaktörünün kontrolü için kullanılan sayısal bilgisayar programı bir ana ve 7 altprogramdan oluşmuştur.

a. Altprogram CNTRLA

Geri beslemeli kontrol mekanizmasını oransal, türevsel, integral kontrol elemanlarının tümünü kullanarak uygulayan altprogramdır. Bu altprogramda integral kontrol için Simpson kuralı ve türevsel kontrol için Euler yöntemi kullanılmıştır.

b. Altprogram FFCB

Bu altprogram ileri beslemeli kontrol mekanizmasını oransal, integral, türevsel kontrol elemanlarının tümü için gerçekleştirir.

c. Altprogram MEAA

Kontrol edilmesi istenen değişkenin ölçülmesinde kullanılan altprogramdır.

d. Altprogram VALVEA

Geri ve ileri beslemeli kontrol altprogramlarından gelen sinyalleri değerlendirir ve vanayı kontrol eder.

Burada kullanılan vana sabiti deneysel olarak aşağıdaki denklemle belirlenir:

$$K_v = \frac{V_2}{COP}$$

V_2 : Akış hızı, COP: Kontrol çıkış basıncı

e. Altprogram EULM

Bu altprogram Düzeltilmiş Euler yöntemini kullanarak differansiyel denklem çözer.

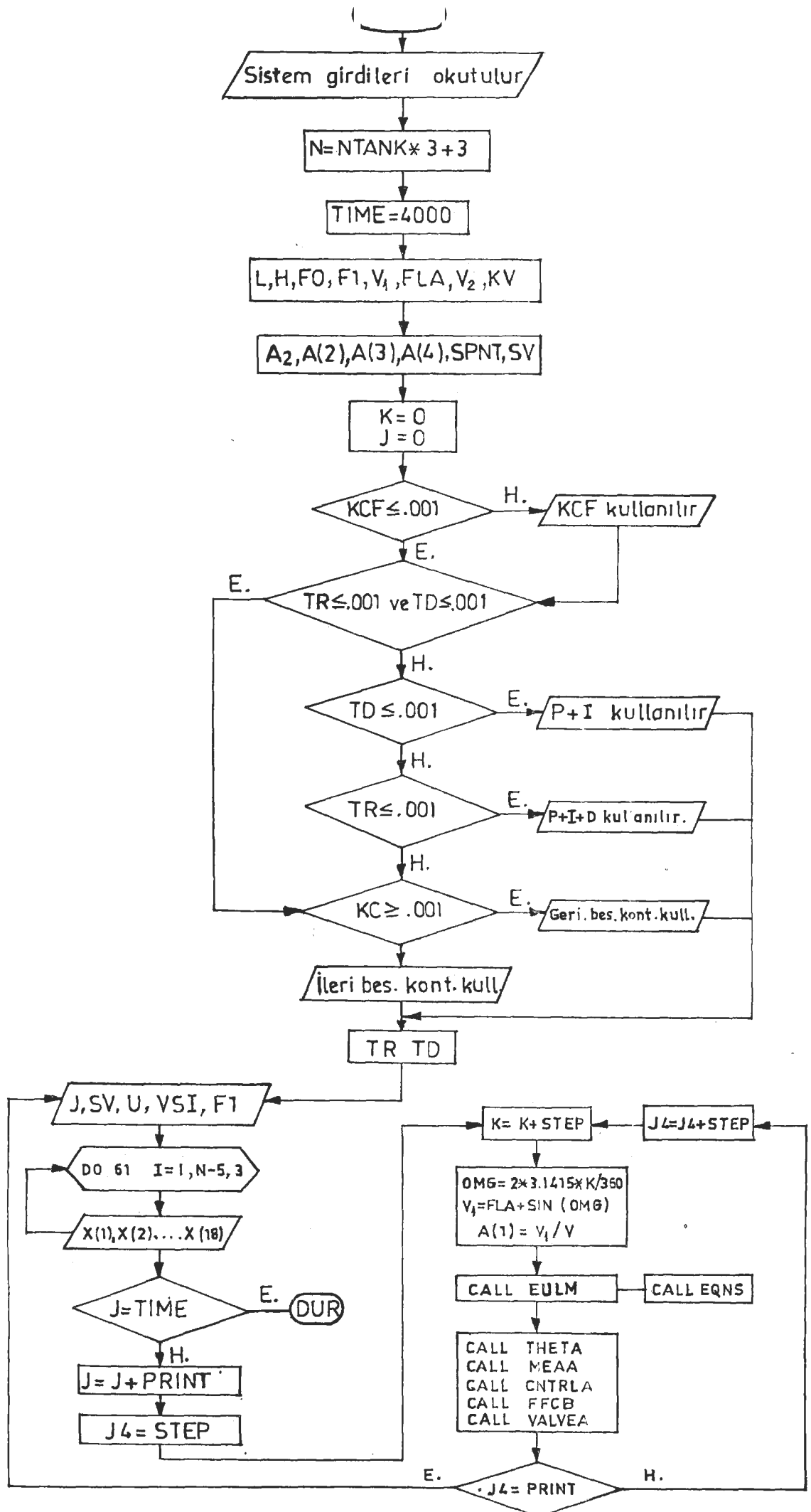
f. Altprogram EQNS

Burada altprogram EULM de kullanılacak differansiyel denklemler ifade edilir.

g. Altprogram THETA

Soğutma suyu sıcaklıklarını Bölüm 2 de verilen (2.10) eşitliğini kullanarak hesaplar.

Tüm çözüm programı Şekil E 5.1 ve listesi Tablo E 5.1 de verilmiştir.



Şekil: E5.1 Kontrol için sayısal bilgisayar çözüm programı akış şeması

E 5.1 Kontrol için sayısal bilgisayar çözümü Fortran programı

GENERAL LISTING (XRLP) 25/03/83

```

1      LIST
2      SEND TO (SEMICOMPILED)
3      LIBRARY(SUBGROUPS2F7)
4      WORK(WORKFILE)
5      DUMP ON(PROGRAM FORT)
6      RUN
7      PROGRAM(XXXX)
8      INPUT1=CR4
9      OUTPUT2=LP3
0      END
1      MASTER PROG
2      REAL L,M,LENGTH,KC,MSIG,KV,KCF
3      INTEGER PRINT,TIME,STEP
4      DIMENSION Q(20)
5      COMMON/BLOCK1/X(93)/BLOCK3/A(93)/BLOCK2/LAGM,LAGV
6      1/BLOCK5/SPNT,KC,TR,TD/BLOCK6/KV,F0,F1,VSI/BLOCK7/AREA3,SPECB,RH
7      2/BLOCK8/W1,W2,W3,W4,W5/BLOCK9/U/BLOCK/TEMP(10,10),SV
8      3/BLOCK/AREA2/BLOCK2/RHOA,VOLA,SPECA,FLOWB
9      4/BLOCK3/STEP/BLOCK4/L,M/BLOCK6/SPNTF,FLWA1,KCF
0      READ(1,11) LAGM,LAGV
1      READ(1,17)STEP,PRINT
2      17 FORMAT(2I0)
3      READ(1,14) AREA3
4      14 FORMAT(F0.0)
5      READ(1,12) SPECB,RHOB,SPECA
6      READ(1,10)SPNTF,FLWA,RHOA,LENGTH
7      READ(1,12) FLOWB,VOLA,DELH
8      10 FORMAT(4F0.0)
9      LENGTH=15.0
0      VOLA=3200.0
1      READ(1,11) NTANK,TIME
2      11 FORMAT(2I0)
3      NTANK=5
4      N=NTANK*3+3
5      READ(1,12) (X(I),I=1,N)
6      12 FORMAT(3F0.0)
7      READ(1,10) SPNT,KC,KV,TD
8      READ(1,12) TR,W1,W2,W3,W4,W5
9      READ(1,16)U,KCF
0      16 FORMAT(2F0.0)
1      SPNT=280.805
2      FLWA=1.
3      FLOWB=6
4      SPNTF=1.0
5      KV=1.0
6      KC=1.0
7      KCF=0.0
8      TD=1.0
9      TR=1.0
0      U=0.04
1      L=FLOAT(STEP)
2      H=L
3      FLWA1=FLWA
4      F0=FLOWB
5      F1=F0
6      FLWA=FLWA*100./6.
7      FLA=FLWA

```

```

18     FLOWB=FLOWB*100./6.
19     KV=KV*100./6.
20     WRITE(2,51)
21 51 FORMAT(/,81H MADDE AKIS HIZINA SINUZOIDAL DEGISIM VEREREK CASCA
22     1MODELIN KAPALI HAT YANITIMI/)
23     AREA2=LENGTH*20.
24     A(2)=DEIH/(RHOA*SPECA)
25     A(3)=(FLOWB*RHOB*SPECB)/(RHOA*VOLA*SPECA)
26     A(4)=-(U*AREA2)/(FLOWB*SPECB*RHOB)
27     SPNT=W1*X(5)+W2*X(8)+W3*X(11)+W4*X(14)+W5*X(17)
28     SV=SPNT-273.
29     K=0
30     J=0
31     IF(KCF.LE..001)GO TO 58
32     WRITE(2,59)
33 59 FORMAT(/,5X,43H ILERI BESLEMELI ORANSAL KONTROL KULLANILIR/)
34 58 IF(TR.LE..001.AND.TD.LE..001)GO TO 68
35     IF(TD.LE..001) GOTO 66
36     IF(TR.LE..001) GOTO 64
37     WRITE(2,63)
38 63 FORMAT(/,52H ORANSAL+INTEGRAL+TUREVSEL HAREKET ZAMANI KULLANILI
39     1)
40     GOTO 70
41 68 IF(KC.GE..001)GO TO 78
42     WRITE(2,77)
43 77 FORMAT(/,5X,42H SADECE ILERI BESLEMELI KONTROL KULLANILIR/)
44     GO TO 70
45 78 WRITE(2,69)
46 69 FORMAT(/,5X,56H SADECE GERI BESLEMELI ORANSAL HAREKET ZAMANI KI
47     1ANILIR/)
48     GOTO 70
49 66 WRITE(2,67)
50 67 FORMAT(1H,57HGERI BESLEMELI ORANSAL+INTEGRAL HAREKET ZAMANI KULLI
51     1ILIR/)
52     GOTO 70
53 64 WRITE(2,65)
54 70 WRITE(2,71) KC
55 65 FORMAT(/,43H ORANSAL+TUREVSEL HAREKET ZAMANI KULLANILIR/)
56 71 FORMAT(30H ORANSAL HAREKET SABITI DEGERI,F7.2)
57     WRITE(2,72) TR
58 72 FORMAT(24H INTEGRAL HAREKET ZAMANI,6X,F7.2)
59     WRITE(2,73) TD
60 73 FORMAT(24H TUREVSEL HAREKET ZAMANI,6X,F7.2)
61     WRITE(2,76)KCF
62 76 FORMAT(1H,40H ILERI BESLEMELI DOGRUSAL HAREKET SABITI,F7.2)
63     WRITE(2,725)SV,W1,W2,W3,W4,W5
64 725 FORMAT(/,10X,5HSPNT=,F10.4,/,5X,3HW1=,F5.3,5X,3HW2=,F5.3,5X,3H
65     1=,F5.3,5X,3HW4=,F5.3,5X,3HW5=,F5.3/)
66     WRITE(2,727)L,M,U
67 727 FORMAT(1H0,2H1=,F10.4,10X,2HM=,F10.4,10X,2HU=,F10.4/)
68     WRITE(2,53)
69 53 FORMAT(3(8X,5HGIRIS,14X,5HCTIKIS,7X))
70     WRITE(2,54)
71 54 FORMAT(2(3X,14HKONSANTRASYONU,4X),5X,5HMADE,14X,5HMADE,12X,12H
72     1GUTMA SUYU,7X,12HSOGUTMA SUYU)
73     WRITE(2,55)
74 55 FORMAT(1H ,45X,9HSICAKLIGI,10X,9HSICAKLIGI,13X,9HSICAKLIGI,10X,9
75     1ICAKLIGI)
76     WRITE(2,56)

```

```

7 56 FORMAT(2(4X,12HGM-MOL/LITRE,5X),4X,8HDERECE C,11X,8HDERECE C,14
8 1HDERECE C,11X,8HDERECE C)
9 WRITE(2,57)
0 57 FORMAT(//120(1H-)//)
1 TR=TR*60.
2 TD=TD*60.
3 WRITE(2,723)TR,TD
4 723 FORMAT(1H0,3HTR=,F10.3,10X,3HTD=,F10.3/)
5 35 WRITE(2,52) J
6 52 FORMAT(44H KONSANTRASYON VE SICAKLIĞIN ALDIĞI DEĞERLER,16,8H S
7 1YE)
8 WRITE(2,722)SV
9 722 FORMAT(1H0,9H YANITIM=,F10.3,5X,9H DERECE C)
0 WRITE(2,730)U,FLOWA1
1 730 FORMAT(4H U=,F7.4,/,8H FLOWA=,F8.4,9HLITRE/DAK)
2 WRITE(2,720)VSI,F1
3 720 FORMAT(7H VSI=,F8.4,9HLITRE/DAK,/,8H FLOWB=,F8.4,9HLITRE/DAK
4 DO 61 I=1,N-5,3
5 Q(1)=X(I)*1000.
6 Q(2)=X(I+3)*1000.
7 Q(3)=X(I+1)-273.
8 Q(4)=X(I+4)-273.
9 Q(5)=X(I+5)-273.
0 Q(6)=X(I+2)-273.
1 WRITE(2,60) Q(1),Q(2),Q(3),Q(4),Q(5),Q(6)
2 60 FORMAT(2(5X,F11.4,4X),4(6X,F7.3,7X))
3 61 CONTINUE
4 WRITE(2,57)
5 IF(J.EQ.TIME) STOP
6 J=J+PRINT
7 J4=STEP
8 49 K=K+STEP
9 OMG=2*3.1415*K/360.
0 FLOWA=FLA+SIN(OMG)
1 A(1)=FLOWA/VOIA
2 FLOWA1=FLOWA*6./100.
3 CALL EULM(N,H)
4 CALL THETA(N)
5 CALL MEAA(K,MSIG)
6 CALL CNTRLA(MSIG,CSIG,K)
7 CALL FECH(AMSIG)
8 CALL VALVEA(CSIG,AMSIG)
9 IF(J4.EQ.PRINT) GOTO 35
0 J4=J4+STEP
1 GOTO 49
2 END
3 SUBROUTINE EULM(N,H)
4 REAL K
5 DIMENSION K(93),Y(93)
6 COMMON/BLOCK1/X(93)/BLOCK2/FUN(93)
7 DO 100 M=1,N
8 100 Y(M)=X(M)
9 CALL EQNS(N)
0 DO 101 J=4,16,3
1 K(J)=FUN(J)
2 K(J+1)=FUN(J+1)
3 X(J)=Y(J)+H*K(J)
4 101 X(J+1)=Y(J+1)+H*K(J+1)
5 CALL EQNS(N)

```

```

16 DO 102 J=4,16,3
17 X(J)=Y(J)+((H/2.)*(K(J)+FUN(J)))
18 102 X(J+1)=Y(J+1)+((H/2.)*(K(J+1)+FUN(J+1)))
19 RETURN
20 END
21 SUBROUTINE EQNS(N)
22 COMMON/BLOCK1/X(93)/BLOCK2/FUN(93)/BLOCK3/A(93)
23 E(DUMMY)=EXP(36.49-(12100./DUMMY))
24 DO 400 J=4,N-2,3
25 FUN(J)=A(1)*X(J-3)-A(1)*X(J)-E(X(J+1))*X(J)
26 FUN(J+1)=A(1)*X(J-2)-A(1)*X(J+1)-A(2)*E(X(J+1))*X(J)-A(3)*(X(J-
27 1X(J+2))
28 400 CONTINUE
29 RETURN
30 END
31 SUBROUTINE THETA(N)
32 COMMON/BLOCK1/X(93)/BLOCK3/A(93)
33 IA=3
34 DO 53 I=2,N/3
35 X(N-IA)=X(N+2-IA)-((X(N+2-IA)-X(N+3-IA))*EXP(A(4)))
36 53 IA=IA+3
37 RETURN
38 END
39 SUBROUTINE MEAA(JA,MSIG)
40 REAL MSIG,KC
41 INTEGER STEP
42 COMMON/BLOCK1/X(93)/BLOCK2/LAGM,LAGV/BLOCK3/W1,W2,W3,W4,W5/BLOC
43 1TEMP(10,10),SV
44 2/BLOCK3/STEP
45 3/BLOCK5/SPNT,KC,TR,TD
46 LAG=(LAGV+LAGM)/STEP
47 J=JA/STEP
48 IF(J.GT.1)GO TO 31
49 N=0
50 IA=5
51 DO 30 I=1,5
52 TEMP(I,1)=X(IA)
53 30 IA=IA+3
54 31 IF(J.LE.9) GOTO 40
55 N=10
56 GOTO 41
57 40 N=N+1
58 IF(J.EQ.1)GO TO 600
59 41 IA=5
60 DO 29 I=1,5
61 TEMP(I,N)=X(IA)
62 29 IA=IA+3
63 IF(J.LE.LAG) GOTO 600
64 MSIG=(W1*TEMP(1,N-LAG)+W2*TEMP(2,N-LAG)+W3*TEMP(3,N-LAG)+W4*TEM
65 1,N-LAG)+W5*TEMP(5,N-LAG))/(W1+W2+W3+W4+W5)
66 SV=MSIG-273.
67 IF(J.LE.9) RETURN
68 DO 84 K=2,10
69 DO 84 I=1,5
70 84 TEMP(I,K-1)=TEMP(I,K)
71 RETURN
72 600 MSIG=SPNT
73 RETURN
74 END

```

```

236 REAL MSIG,KC,I,M,INT
237 INTEGER STEP
238 DIMENSION ERROR(10)
239 COMMON/BLOCK5/SPNT,KC,TR,TD
240 1/BLOCK4/L,M
241 2/BLOCK3/STEP
242 J=(JA/STEP)+1
243 IF(J.EQ.2) ERPOR(1)=0.
244 IF(J.LE.10)GO TO 705
245 J=10
246 705 ERROR(J)=MSIG-SPNT
247 IF(TR.LE..001) GOTO 701
248 IF(J.EQ.2)INT=0.0
249 IF(J.EQ.3)GO TO 703
250 IF(J.LT.4)GO TO 700
251 IF(KOUNT.EQ.2)GO TO 702
252 INT=INT+L*(ERROR(J)+ERROR(J-1))/2.0
253 KOUNT=2
254 GOTO 700
255 703 INT=L*(ERROR(1)+ERROR(2)*4.0+ERROR(3))/3.0
256 KOUNT=1
257 GO TO 700
258 702 INT=INT+L*(ERROR(J)+2.5*ERROR(J-1)-0.5*ERROR(J-2))/3.0
259 KOUNT=1
260 700 CSIG=KC*(ERROR(J)+(INT/TR)+(TD/L)*(ERROR(J)-ERROR(J-1)))
261 IF(J.EQ.10)GO TO 707
262 RETURN
263 701 CSIG=KC*(ERROR(J)+(TD/L)*(ERROR(J)-ERROR(J-1)))
264 IF(J.EQ.10)GO TO 707
265 RETURN
266 707 DO 708 K=2,10
267 708 ERROR(K-1)=ERROR(K)
268 RETURN
269 END
270 SUBROUTINE FFCB(AMSIG)
271 REAL KCF
272 COMMON/BLOCK6/SONTF,FLOWA1,KCF
273 ERROR=FLOWA1-SPNTF
274 AMSIG=KCF*ERROR
275 RETURN
276 END
277 SUBROUTINE VALVEA(CSIG,AMSIG)
278 REAL KV,L,M
279 COMMON/BLOCK6/KV,F0,F1,VSI/BLOCK7/AREA3,SPECB,RHOB/BLOCK3/A4
280 1./BLOCK9/U/BLOCK/AREA2/BLOCK2/RHOA,VOLA,SPECA,FLOWB
281 VSIG=(CSIG+AMSIG)*KV
282 VSI=VSIG*6./100.
283 IF(VSI.GT.(1000.-F0))VSI=(1000.-F0)*100./6.
284 FLOWB=VSIG+F0*100./6.
285 F1=FLOWB*6./100.
286 IF(FLOWB.GT.0.0)GO TO 710
287 FLOWB=0.0
288 A(3)=0.0
289 A(4)=0.0
290 F1=0.0
291 RETURN
292 710 A(3)=(FLOWB*RHOB*SPECB)/(RHOA*VOLA*SPECA)
293 U=0.001833333*F1+0.029
294 A(4)=-(U*AREA2)/(RHOB*FLOWB*SPECB)
295 RETURN
296 END
297 FINISH

```

R E F E R A N S L A R

1. ALPBAZ, M.
Ph.D. Thesis, University of Aston (1975).
2. LEE, H. H.
Ph.D. Thesis, Purdue University (1971).
3. LEE, H. H., KOPPEL, B. and LIM, H. C.
Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop. vol. 12, No. 1 (1973).
4. KOPPEL, L. B.
Ind. Eng. Chem. Fund. vol. 1, 131 (1962).
5. CAAN, M. J.
Ph.D. Thesis, Imperial College, London (1973).
6. ARMSTRONG, W. D., WILKINSON, W. L.
Trans. Inst. Chem. Eng. vol. 35, 352 (1957).
7. BUXTON, B.
Ph.D. Thesis, University of Aston (1971).
8. CHAO, Y. C.
Ph.D. Thesis, University of Aston (1972).
9. FRANKS, R. G.
Modelling and Simulation in Chemical Engineering
Wiley-Interscience (1972).
10. BAKER, C. K., WALTER, G. H.
Heat Transfer Eng. vol. 1, No. 2 (1979).
11. FARHADPOUR, F. A., GIBILARO, L. G.
Chem. Eng. Sci. vol. 36, 143 (1980).
12. WATANABE, N., ONOGI, K., MATSUBARA, M.
Chem. Eng. Sci. vol. 36, 809 (1981).
13. LIN, K. F., WU, L. L.
Chem. Eng. Sci. vol. 36, 435 (1980).

14. GUY, J.L.
Chem. Eng. June 28 (1982).
15. HIMMELBLAU and BISCHOFF.
Process Analysis and Simulation
Wiley Comp. (1968).
16. LUYBEN, W.L.
Process Modelling, Simulation and Control for Chemical
Engineers, Mc-Graw Hill, Kogakusha (1973).
17. GUY, J.L.
Chem. Eng. Nov. 16, 271 (1981).
18. COUGHANOWR, D.R., KOPPEL, L.B.
Process Systems Analysis and Control
Mc-Graw Hill Comp. Chem. Eng. Series (1965).
19. GUTIERREZ, H.J., and COOPER, A.R.
Chem. Eng. J. vol. 17, 13 (1979).
20. GUTIERREZ, H.J., and COOPER, A.R.
Chem. Eng. J. vol. 17, 19 (1979).
21. RAKE, H.
Automatica. vol. 16, 519 (1980).
22. PAYNTER, H.M., TAKAHASHI, Y.
Trans. ASME vol. 78, 749 (1956).
23. COHEN, W.C., JOHNSON, E.F.
Eng. Des. and Proc. Dev. vol. 48, 6 (1956).
24. COUGHANOWR, D.R., VISCNEVETSKY, R., LANDAUER, J. and
CARLSON, A.M.
Hybrid Computation Application Study 6.4.2.4.
25. MC CANN
Ph.D. Thesis, Imperial College London.

26. MUTHARASON, R. and COUGHANOWR, D. R.
Ind. Eng. Chem. Process Des. Develop. vol. 13, No. 2. 168 (1974).
27. DYRING, J. and KUMMEL, M.
Analog Simulation and Control of a Tubular Reactor (1969)
28. ÇINAR, A.
Doçentlik Tezi, Boğaziçi Üniversitesi (1981).
29. HARRIOT, P.
Process Control
Mc-Graw Hill Comp. (1964).
30. MURRILL, P.
Automatic Control of Processes
International Text Book Comp. (1967).
31. HARRISON, H. L. and BOLLINGER, J. G.
Introduction to Automatic Control
Intertext (1968).
32. ARIS, R. and AMUNDSON, N. R.
Chem. Eng. Sci. vol. 7, 121. (1953)