T.C.
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ISI İLETİMLİ BİR TAM KARIŞTIRMALI AKIM TANKININ DİNAMİĞİ VE KONTROLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Araş. Gör. Ö. METE KOÇKAR
Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi
Kimya Mühendisliği Bölümü

ESKİŞEHİR, 1983

Yüksek Lisans çalışmam sırasında yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen Hocam Doç. Dr. Mustafa ALPBAZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarımda büyük destek olan ve yakın alaka gösteren Dekanımız Hocam Prof.Dr. Musa ŞENEL'e, Bilgisayar çalışmalarım esnasında yardımcı olan Anadolu Üniversitesi Bilgi İşlem Merkezi personeli'ne ve yardımlarını gördüğüm değerli arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunmak isterim.

ÖZET

Bu çalışmada, tam karıştırmalı bir tankın dinamiği ve geri beslemeli kontrolu incelenmiştir.

Dışarıdan ceketle soğutulan tam karıştırmalı bir tankın matematiksel modeli geliştirilmiş ve bu modeller su ile gliserinin karıştırıldığı bir sisteme uygulanmıştır. Tankın dinamik özellikleri, besleme ve soğutma suyuna kademe değişimi (step change) verilmesiyle incelenmiştir. Geliştirilen modeller doğrusallaştırılarak, laplace dönüşümü ve sayısal bilgisayarda matris kullanımı ile çözülmüşlerdir. Bunun yanısıra modeller, doğrusallaştırma yapılmadan Runge-Kutta yöntemi ile bilgisayarda çözülmüşlerdir. Kontrol çalışmaları için tanka üç terimli geri beslemeli kontrol sistemi ilave edilmiştir. Tankın ölçülen çıkış sıcaklığının istenen değere yaklaşımı doğrusallaştırılan modeller ile sayısal bilgisayarda matris kullanımı ve Laplace dönüşümü ile hesaplanmış; ayrıca modeller, aynı amaç için doğrusallaştırılmadan sayısal bilgisayarda çözülmüştür. Kararlılık analizleri yapılarak kontrol parametrelerinin uygun değerleri seçilmiştir.

ABSTRACT

In this work, the dynamics and control of ~~the~~ a well stirred tank were are investigated.

The mathematical model of a well stirred tank cooled by jacked ed was ~~are~~ developed and this model~~s~~ was are applied to the system in which water and gliserin are mixed. The dynamic proporties of the tank are investigated with the step change given to the feed and cooling flowrates. The developed models are linearized and then solved with Laplace transform and digital computer with the aid of matrisis. Beside of them, related models without linearization are solved with the Runge-Kutta integration method. Three actions of feedback control system was included to the tank for the control work. The aproaches of the measured output temperature to the desired value is calculated with the Laplace transform and digital computer with the linearized models also for the same parpuse models are solved without linearization on the digital computer. The suitable control parameters are selected with the aid of stability analysis.

İ Ç İ N D E K İ L E R

Sayfa

SEMBOLLER

$F(t)$	F-diyagramı
$I(t)$	I-diyagramı
$E(t)$	E-diyagramı
V	Tank hacmi (cm^3)
V_1	Besleme akış hızı ($\frac{cm^3}{sn}$)
C_1	Tank çıkış derişimi ($\frac{g}{cm^3}$)
M'	Giriş akımının tam karışma bölgesine giren kesri
M	Durgun bölge
P	Kontrol çıkış basıncı
K_c	Oransal kontrol sabiti
T_R	İntegral hareket zamanı (Sn)
T_D	Türevsel hareket zamanı (sn)
e	Hata
Q	Sisteme verilen ısı ($\frac{Cal}{sn}$)
M_P	Besleme kütlesel akış hızı ($\frac{g}{sn}$)
C_P	Besleme öz ısısı ($\frac{Cal}{g^oC}$)
T_{P_i}	Besleme giriş sıcaklığı (^oC)
T_{P_0}	Besleme çıkış sıcaklığı (^oC)
T_{C_0}	Soğutma suyu çıkış sıcaklığı (^oC)
U	Isı transfer katsayısı ($\frac{Cal}{sn\,^oC\ cm^2}$)
A	Isı transfer yüzeyi (cm^2)
M_V	Tanktaki toplam besleme kütlesi (g)
M_j	Ceketteki toplam soğutma suyu kütlesi (g)

M_C	Soğutma suyu kütlesel akış hızı $(\frac{g}{sn})$
C_c	Soğutma suyu öz ısısı $(\frac{Cal}{g^oC})$
M_{PG}	Besleme gliserin kütlesel akış hızı $(\frac{g}{sn})$
M_{PS}	Besleme su kütlesel akış hızı $(\frac{g}{sn})$
$T_{PİG}$	Besleme gliserin giriş sıcaklığı (^oC)
$T_{PİS}$	Besleme su giriş sıcaklığı (^oC)
$\underline{X}$	Hal vektörü
$\underline{A}$	Sistem matrisi
$\underline{B}$	Kontrol vektör
U	Kontrol edici terim
K	Kontrol sabiti
$\underline{k}$	Geri besleme kontrol katsayısı
$\underline{C}$	Çıkış vektör
$\underline{Y}$	Sistem ölçüm değeri
$\underline{A}^{-1}$	$\underline{A}$ matrisinin tersi
λ_i	Matris öz değerleri
$\emptyset(t)$	Hal geçiş matrisi (State Transition Matrix)
$\emptyset(s)$	Çözüm matrisi (Resolvent matrix)
ρ	Soğutma suyu yoğunluğu $(\frac{g}{cm^3})$
d	Besleme gliserin yoğunluğu $(\frac{g}{cm^3})$
V_c	Ceket hacmi (cm^3)
S	Laplace oparatörü

k_1, k_2, k_3, k_4	Runge-Kutta sabitleri
t	Zaman (sn)
T	Sıcaklık (^oC)
h	İntegrasyon zaman artışı (sn)
K_i	İntegral kontrol sabiti
K_d	Türevsel kontrol sabiti

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Kimya endüstrisinde tam karıştırmalı akım reaktörlerine çok raslanmaktadır. İyi bir üretim için bu tankların en iyi verimde çalışması gerekir. Bu nedenle, bu sistemin dinamik modellenmesi ve otomatik kontrolu önem kazanmaktadır. Literatürde karıştırma tanklarının dinamiği ve kontrolu üzerinde birçok araştırmaya rastlanır.

Ercüment {1}' in karıştırmalı bir tank için yaptığı kuramsal çalışmalardan bu araştırma için yararlanılmıştır. Kontrol çalışmaları için önce sistemin dinamik özelliklerinin bilinmesi gerekir. Dinamik özellikler ise herhangi bir giriş değişkenine, kademe (step) etkisi ile belirlenebilir. Bu araştırmada, dışardan ceketle soğutulan tam karıştırmalı bir tankın, besleme ve soğutma suyu akım miktarlarına çeşitli kademe değişimleri verilerek, dinamik özellikleri incelenmiştir. Bu işlem için bir kademeli-parametreli model dizisi geliştirilmiştir. Doğrusallaştırılmış modeller, Laplace dönüşümü ve sayısal bilgisayarda matris kullanımı ile çözülmüşlerdir. Ayrıca modeller doğrusallaştırma yapılmadan Runge-Kutta yöntemiyle sayısal bilgisayarda çözülmüştür. Dinamik çalışmalar da bu üç yöntemin sonuçlarının birbirleri ile uygunlukları araştırılmıştır.

Kontrol çalışmaları için sistemin dinamik özelliklerinden yararlanarak, geri beslemeli kontrol sistemlerinin etkinliği üzerinde çalışılmıştır. Temel olarak kontrol sistemleri oransal, türevsel ve integral olarak üç elemandan oluşmaktadır. Çıkış değişkenlerinin kontrolu için bu üç terimin sabitlerinin uygun seçilmesi gerekir. Bu nedenle, kontrol sistemlerinin kararlılık göstermesi için bazı çalışmalarda Routh kararlılık analizi uygulanmıştır. Karıştırma tankının besleme veya soğutma suyundaki kademe değişimlerinin etkisi altında, üç terimli kontrol sisteminin ilavesi ile yatışkın olmayan hal denklemlerinin Runge-Kutta, Laplace dönüşümü ve matris yöntemleri ile kontrolu yapılmıştır.

?

BÖLÜM 2

TEORİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, yapılan araştırma için yararlı olan bazı temel kuramsal kavramlar verilmiştir. Ayrıca kademeli-parametreli sistemler ve karıştırma tankları ile ilgili araştırmalar üzerinde durulmuştur.

2.1. Kademeli-Parametreli Sistemler

Kademeli-parametreli sistemlerde, bağımlı değişken ile birçok fiziksel özellikler,kademeler içinde homogen olarak dağılırlar. Kademeli-parametreli sistemlerin matematiksel çözüm yöntemleri, dağılımlı-parametreli sistemlerden daha kolay olduğundan, dağılımlı-parametreli sistemlere, eşit kademelere bölme yöntemi ile yaklaşılır. Buna örnek olarak piston akışlı reaktörlere n-tam karıştırmalı akım reaktörleri ile yaklaşım verilebilir.

Himmelblau ve Bischoff {2}, dağılımlı-parametreli sistemlerin dinamiğinin belli olması halinde, bu sistemlere özdeş kademeli-parametreli sistemleri kontrol etmenin daha kolay olduğunu belirtmişlerdir.

2.2. Karıştırma Prosesleri

Kararlı akım reaktörleri, tam karıştırmalı ve borusal olarak sınıflandırılırlar. Tam karıştırmalı reaktörlerde giren maddeler,tanka girdikten hemen sonra ürünlerle tamamıyle karışırlar. Bu nedenle sıcaklık ve derişim, reaktörün her noktasında aynıdır. Buna karşı borusal reaktörlerde sıcaklık ve derişim, reaktör boyunca değişiklik gösterir. Birçok çalışmalarda bu iki tip reaktör arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Borusal reaktörler ile tam karıştırmalı kararlı akım reaktörleri arasındaki seçim Denbingh {3} tarafından incelenmiş ve ayrıca bu reaktörlerin verimi üzerine çalışmalar Cholette ve Cloutier {4,5} tarafından ele alınmıştır. Kimya endüstrisinde akım reaktörlerinin iki ideal haline de rastlanmaz. Bir reaktörün kesin tanımını yapabilmek için, onun akım karakterini incelemek gerekir. Tam karıştırmalı reaktör geometrisinde, durgun bölgeler ve reaktörden karışmadan çıkan akım gibi ideallikten sapmalar vardır. Benzer şekilde, endüstride kullanılan borusal reaktörlerde de ideallikten sapmalar geri karışma şeklinde olur. Bir reaktördeki geri karışmaların derecesi reaktör tipini belirler. Bir reaktördeki geri karışmalar üzerinde zaman dağılım analizi ile çalışmalar yapılarak reaktör tipi tanımlanabilir. Bu analiz için üç farklı dağılım fonksiyonu oluşturulur.

i. Nokta dağılım fonksiyonu (E-diyagramı)

ii. Toplam dağılım fonksiyonu (F-diyagramı)

iii. Giriş zaman dağılım fonksiyonu (I-diyagramı)

E(t), t ve (t + dt) arasındaki bir zamanda, reaktörde kalan ve çıkan akımdaki madde kesridir. Böylece, F(t) ve I(t) fonksiyonları aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$F(t) = \int_{0}^{t} E(t)\, dt \qquad (2.1)$$

$$I(t) = \frac{V_1}{V} [1-F(t)dt] \qquad (2.2)$$

Bu fonksiyonlar deneysel olarak, giriş besleme derişimine, kademe değişimi verilerek hesaplanabilir. Genelde, giriş değişkenlerine kademe, impulse, random veya sinüs şeklinde etkiler verilebilir. Bu dört farklı giriş etkisi ve sistemden çıktılar Şekil 2.1. de gösterilmiştir.

Bir karıştırma tankı için, kademe etkisi ve F(t) diyagramı aşağıda verildiği şekilde hesaplanır.

Bir karıştırma prosesinde, besleme derişimine kademe değişimi verilmesi, besleme derişimini bir yatışkın durumdan diğerine ani olarak değiştirmekle yapılır ve çıkış derişimi olan C_1 zamanın bir fonksiyonu olarak elde edilir.

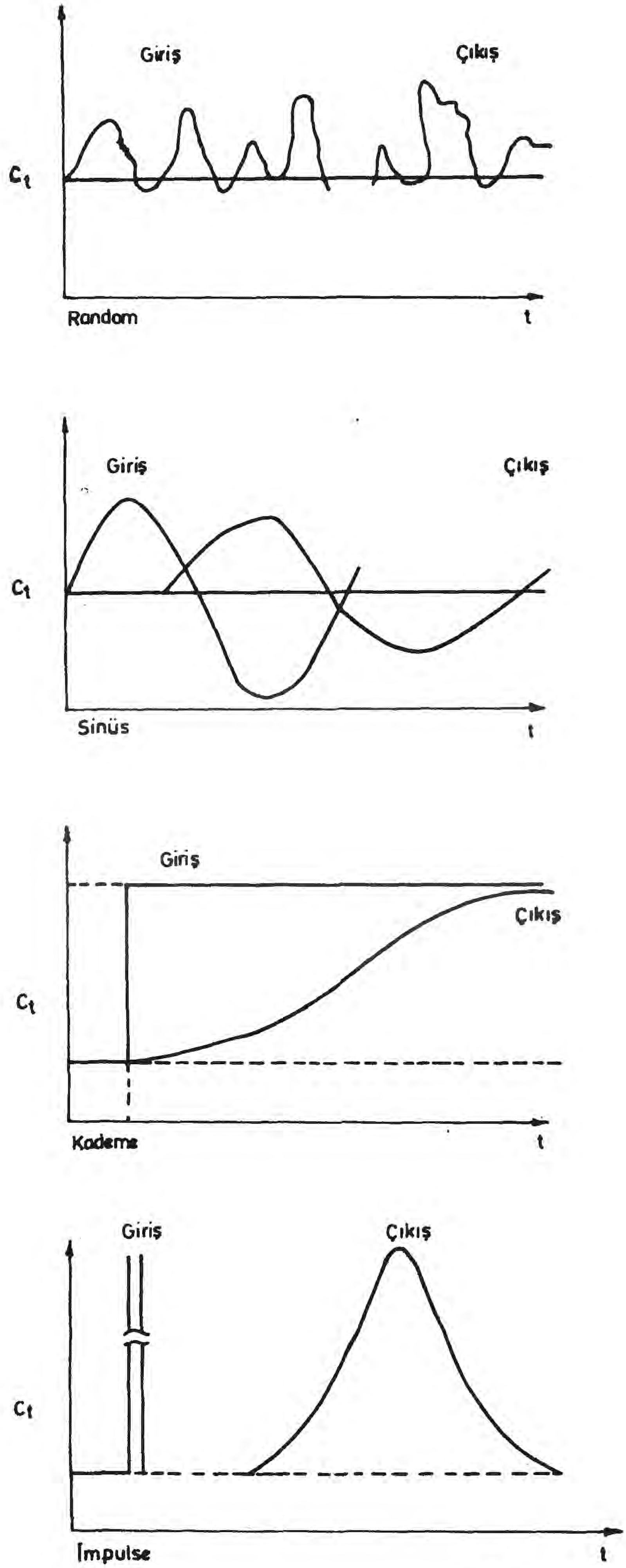
Karıştırma tankının hacmi V ve beslemedeki maddenin derişimindeki kademe değişimi C_0 ise, C_1 çıkış derişimi, yatışkın olmayan hal için, aşağıda gösterildiği gibi adi türevli differansiyel denklem şeklinde verilir.

$$V_1 C_1 + V \frac{dC_1}{dt} = V_1 C_0 \qquad (2.3)$$

Laplace dönüşümü alınırsa;

$$V_1 C_1(s) + V [SC_1(s) - C_1^o] = V_1 \frac{C_0}{S} \qquad (2.4)$$

$$C_1^o = 0$$



Şekil 2.1. Giriş etkileri ve çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimleri.

$$\frac{C_1}{C_0} = 1 - e^{-\frac{V_1 t}{V}} \tag{2.5}$$

F(t) diyagramı :

$$F(t) = \frac{C_1}{C_0} = 1 - e^{-\frac{V_1 t}{V}} \tag{2.6}$$

Beslemedeki maddenin derişimi C_0 değerinden sıfıra düşürülürse (2.3) denkleminden,

Laplace dönüşümü;

$$V_1 C_1(s) + V\,[\,sC_1(s) - C_0\,] = 0 \tag{2.7}$$

$$(Vs + V_1)\,C_1(s) = VC_0 \tag{2.8}$$

$$\frac{C_1}{C_0} = e^{-\frac{V_1 t}{V}} \tag{2.9}$$

ve mol kesri özelliğinden,

$$X_1 = \frac{C_0 - C_1}{C_0} = 1 - \frac{C_1}{C_0} \tag{2.10}$$

F(t) diyagramı;

$$F(t) = 1 - \frac{C_1}{C_0} = 1 - e^{-\frac{V_1 t}{V}} \tag{2.11}$$

F(t) diyagramına diğer bir yaklaşım ise, toplam hacmin m' miktar kesrinin tam karıştığı durumudur. Giriş akımının m' kesri tam karışma bölgesine girdiğinde, 1-m' ise hiç karışmadan reaktörden çıkar.

Yukarıda verilen açıklamalar ışığında besleme derişimine negatif kademe değişimi verildiğinde,

F(t) diyagramı;

$$F(t) = 1 - \frac{C_1}{C_0} = 1-m' e^{-\frac{m' V_1 t}{mV}} \quad \text{olur.} \qquad (2.12)$$

Şekil 2.2. ve 2.3. de F(t) diyagramlarında $Ln \frac{C_1}{C_0}$ a karşılık $\frac{V_1 t}{V}$ çizilerek m' ve m parametrelerinin etkisi gösterilmiştir.

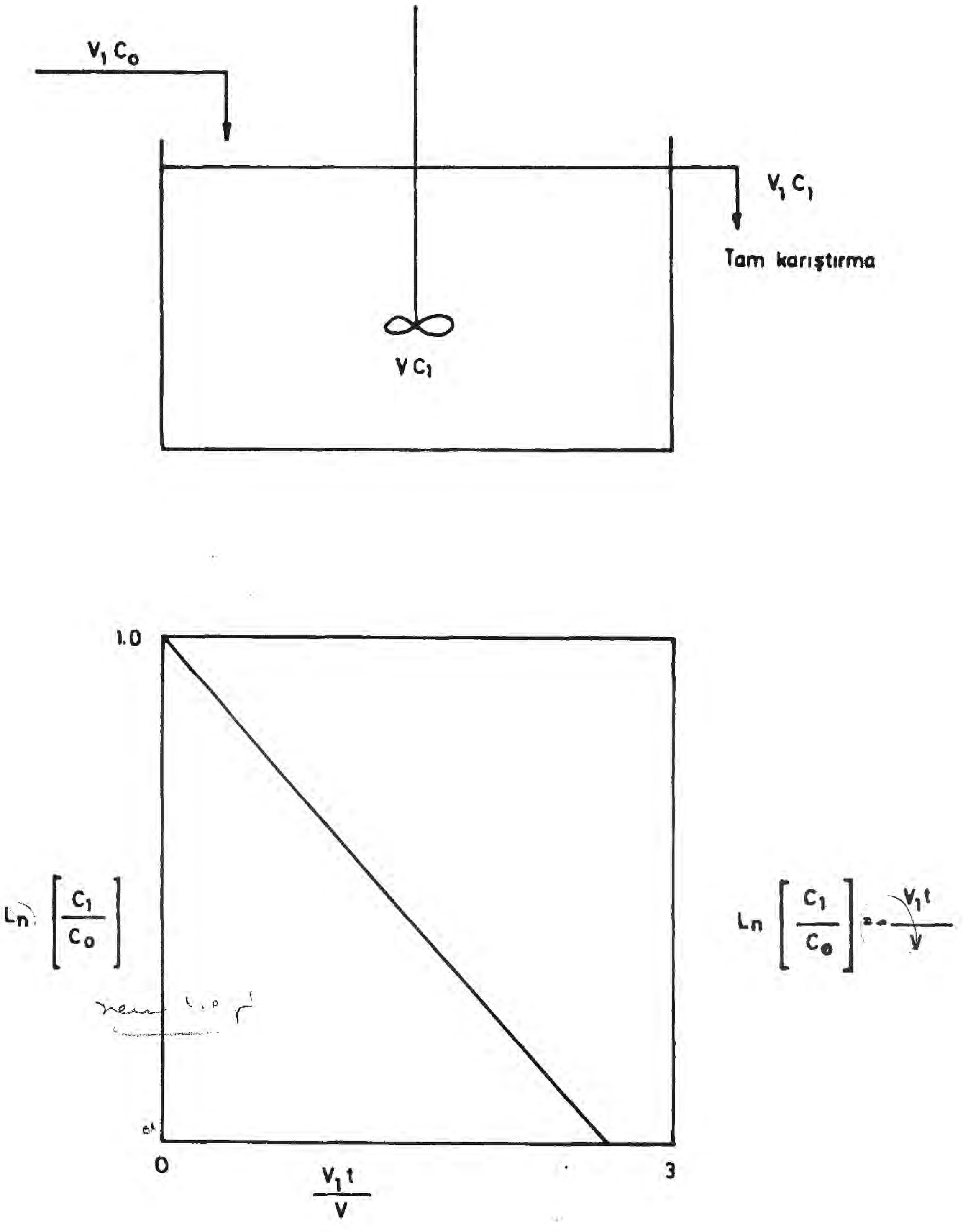
2.3. Geri Beslemeli Kontrol

Temel olarak geri beslemeli kontrol sistemlerinde, kontrolu istenen çıkış değişkeninden ölçüm alınır ve istenilen değer ile karşılaştırılarak, aradaki fark hata olarak kontrol mekanizmasına gönderilir. Kontrol mekanizması, bu hata ile orantılı olan bir sinyali kontrol vanasına göndererek çıkış değişkenini istenilen değere getirecek diğer bir değişkeni değiştirir. Şekil 2.4.

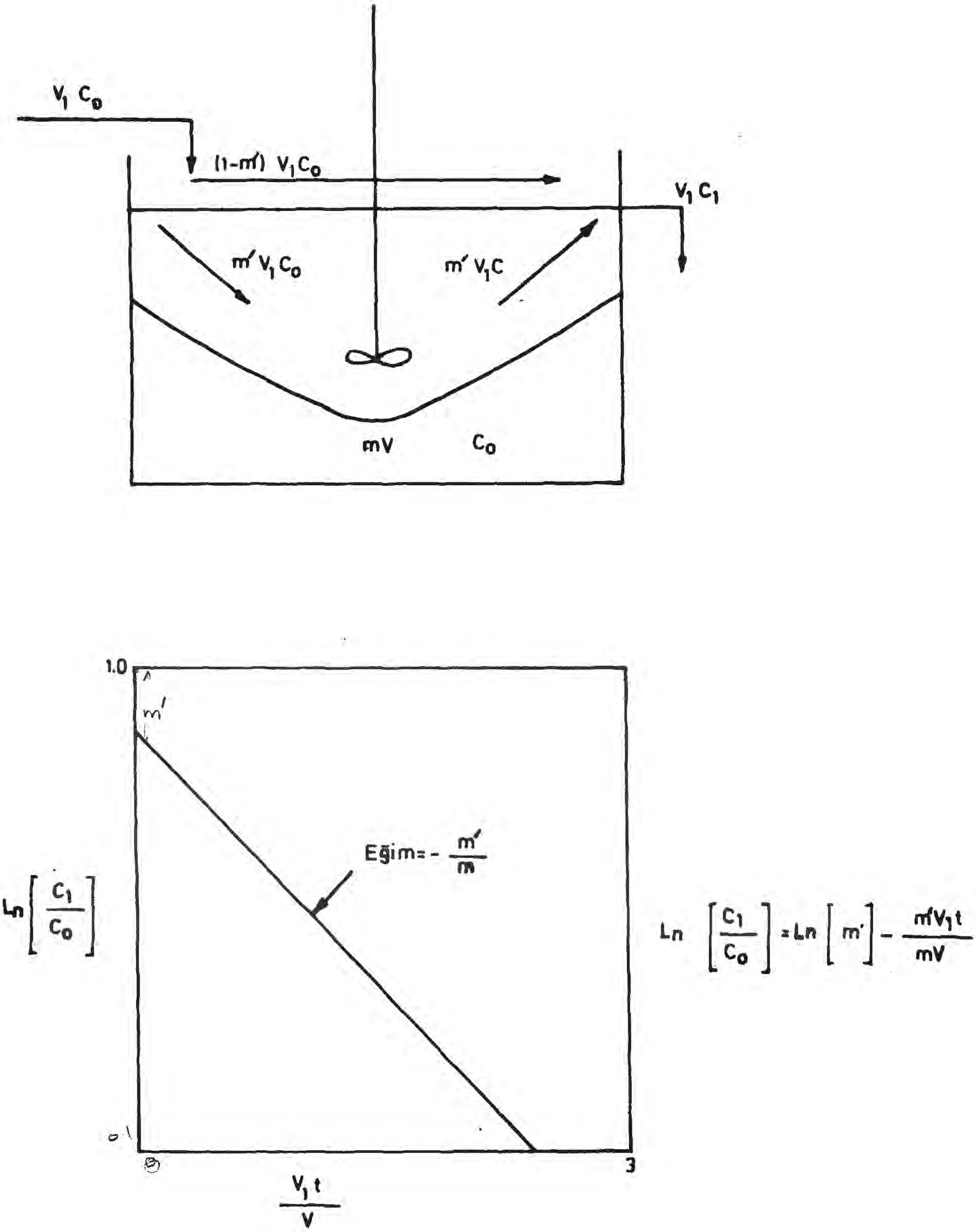
Geri beslemeli kontrol sistemlerinde oransal, integral ve türevsel olmak üzere üç çeşit kontrol elemanı bulunur.

Oransal kontrol elemanı, hata sinyali ile orantılı, P, çıkış basınç sinyali üretir.

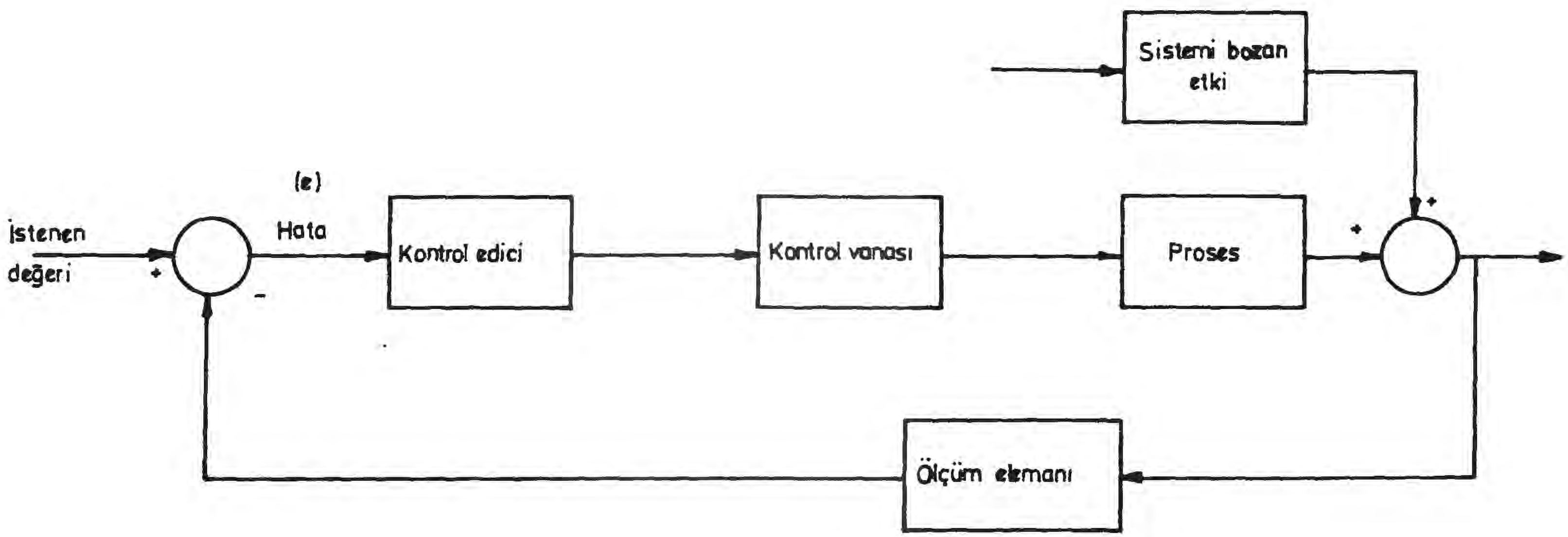
$$P = K_c e \qquad (2.13)$$



Şekil 2.2. İdeal tam karıştırmalı tank ve F(t) diyağramı



Şekil 2.3. İdeal olmıyan bir karıştırma tankı ve F(t) diyağramı



Şekil 2.4. Geri beslemeli kontrol sistemi.

K_c : Oransal kontrol sabiti

e : İstenen değer-ölçüm değeri (Hata)

İntegral kontrol elemanı, hata sinyalini integre ederek çıkış, P, basıncını verir.

$$P = \frac{K_c}{T_R} \int_0^t e\,dt \qquad (2.14)$$

T_R : İntegral hareket zamanı ? nedir

Türevsel kontrolde, türevsel kontrol elemanı hatanın değişim hızını hesaplayarak aşağıda verilen çıkış,P, basıncını üretir.

$$P = K_c T_D \frac{de}{dt} \qquad (2.15)$$

T_D : Türevsel hareket zamanı ? nedir

İdeal bir kontrol için üç eleman birlikte düşünülürse;

$$P = K_c\left(e + \frac{1}{T_R}\int_0^t e\,dt + T_D \frac{de}{dt}\right) \text{ olur.} \qquad (2.16)$$

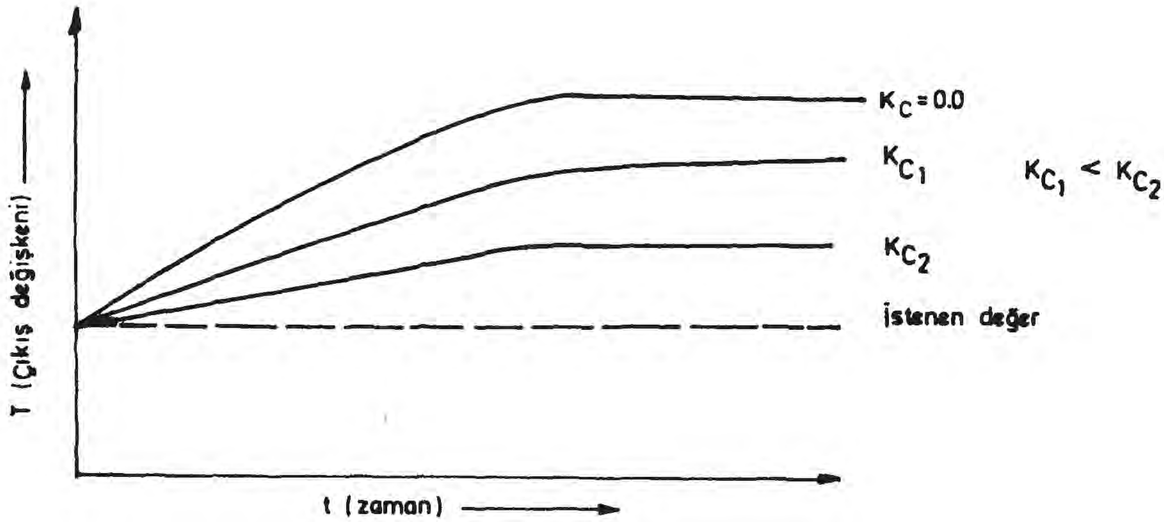
Genellikle bir kademe değişimi etkisi altında kalan bir sistemin oransal kontrol elemanı ile kontrolunda, çıkış değişkeni istenen değere dinamik halden daha çok yaklaşır. Bu yaklaşım, oransal kontrol sabiti, K_c nin değişimi ile etkilenir. K_c nin büyümesi ile çıkış değişkeni istenen değere yaklaşır. Fakat K_c nin sınırsız büyümesi, sistemi kararsız hale getirebilir. Bu nedenle K_c uygun bir değerde seçilmelidir. Şekil 2.5.

Oransal ve İntegral kontrol elemanları beraberce kullanıldığında çıkış değişkeni istenen değere ulaşır. Buna karşı üç kontrol elemanı kullanıldığında,çıkış değişkeni istenen değere daha çabuk gelir. K_c, T_R,T_D nin farklı değerleri ile farklı kontrol şartları elde edilir. Şekil 2.6. integral hareket zamanı, T_R nin çıkış değişkeni üzerine etkisini göstermektedir.

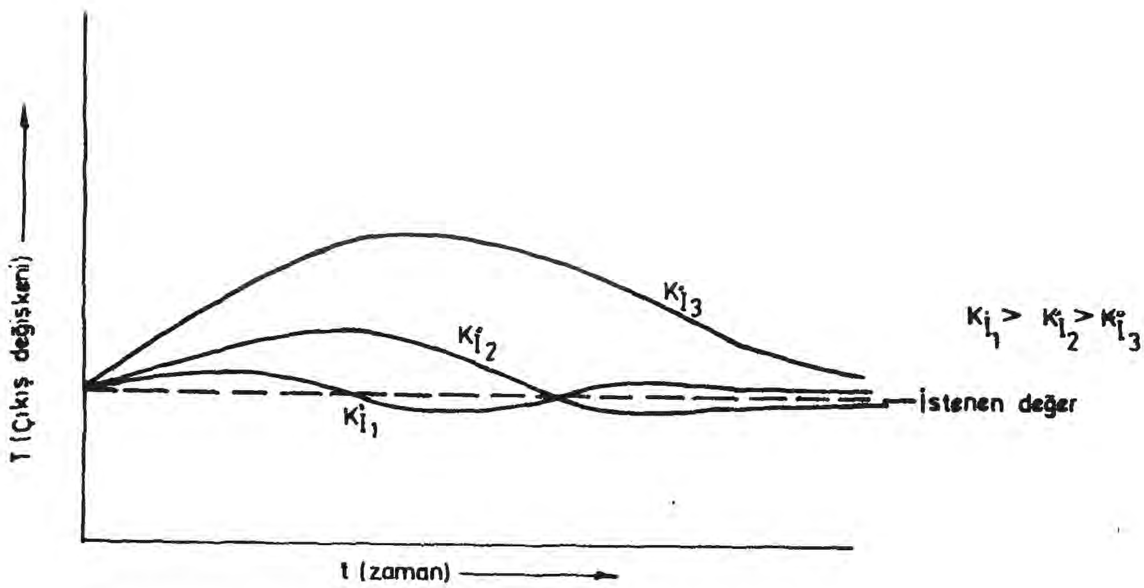
Geri beslemeli kontrol sistemlerinin iki istenmiyen özelliği vardır. Bunlardan birincisi, sistemi bozan etkenlerin, çıkış değişkenini istenen değerden saptırıncaya kadar,kontrol sisteminin bu etkenleri fark etmemesidir. Bunun sonucu olarak ikinci özellik bu bozan etkenleri yok edecek değişimleri daha geç oluşturmasıdır. Ancak birçok proses kontrol uygulamalarında bu iki istenmiyen durum kabul edilebilir niteliktedir.

2.4. Karıştırma Proseslerinin Dinamiği ve Kontrolu Üzerine Yapılan Araştırmalar

Kimyasal endüstride karıştırma prosesleri,kullanılan en önemli cihazlardan biridir. Kuramsal ve deneysel olarak literatürde,ısı iletimli karıştırma proseslerinin modellenmesi ve dinamiği üzerine birçok araştırmaya raslanmaktadır. Bunlardan konu ile ilgili olanları aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.5. Kontrol edilen çıkış değişkenine K_C, oransal kontrol sabitinin etkisi.



Şekil 2.6. Kontrol edilen çıkış değişkenine K_C oransal ve K_i integral kontrol sabitlerinin etkisi

Paynter ve Takahashi {6}, çift borulu ısı değiştirici üzerine çalışmalar yapmışlar ve ısı değiştiricisine verilen kademe değişimlerinin etkisini,deneysel olarak incelemişlerdir. Aynı sistem için geliştirilen matematiksel modeli analitik yolla çözerek deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır.
Sonuç nedir ?

Cohen ve Johnson {7},bir çift borulu ısı değiştiricisine kademeli-parametreli sistem yaklaşımı yapmışlardır. Giriş akımı sıcaklığına sinüs etkisini deneysel olarak incelemişler, yapılan kademeli-parametreli sistem varsayımının tüm şartlar için geçerli olmadığını göstermişlerdir. açıkla

Kalman ve Koppel {8}, bir ısı değiştiricisine verilen kademe değişimlerini,deneysel olarak incelemişlerdir. Bu sistem için geliştirdikleri matematiksel modeli,tam ve doğrusallaştırma yöntemleriyle ayrı ayrı çözmüşler ve tam çözümün deneysel sonuçlara daha yakın olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca doğrusal çözüm sonuçlarının büyük kademe değişimlerinde,tam çözüm sonuçlarından büyük farklılık gösterdiğini bulmuşlardır. açıkla

Alpbaz {9}, beş tam karıştırmalı kararlı akım reaktörü için F(t) diyağramlarının teorik hesaplarını yaparak deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır. Kullandığı beş reaktörün ideale yakın olduklarını saptamıştır.

Melsa ve Jones {10}, doğrusal kontrol sistemleri için bilgisayar programları geliştirmişler ve bu programların geçerliliğini örneklerle göstermişlerdir.

Ercüment {1}, dışardan ceketle soğutulan bir karıştırma tankının dinamiği ve kontrolu için matematiksel model geliştirmiştir. Çeşitli giriş değişkenleri için bu modelleri Laplace, Melsa ve Jones {10}'un önerdiği bilgisayar yöntemleriyle iki ayrı şekilde çözerek, bu programların geçerliliğini göstermiştir.

Franks {11}, karıştırmalı kaplar için geliştirilen matematiksel modellerin, bilgisayar ile çözüm yöntemlerini vermiştir.

Hiçşaşmaz {12}, karıştırmalı, yalıtılmış bir tankın dinamiğini pulse etkisi ile araştırmıştır. Uygun pulse özellikleri ile en uygun kontrol ayarlama değişkenlerini saptamış ayrıca kullandığı matematiksel modelin geçerliliğini göstermiştir.

Moraes {13}, bir çokgeçişli ısı değiştiricisini Honeywell-316 bilgisayarına bağlayarak sistemin dinamik özelliklerini incelemiş ve aynı bilgisayarla kontrol etmiştir. Sistemin modelini beş tane tam karıştırmalı akım tankları dizisi şeklinde ifade ederek, differansiyel denklemleri dördüncü dereceden Runge-Kutta yöntemiyle çözmüştür.

Son yıllarda, karıştırma prosesleri üzerine araştırmalar, optimal kontrol çalışmalarına yönelmiştir {14,15}.

BÖLÜM 3

MATEMATİK MODELLEME

Bu bölümde, bir önceki bölümde verilen temel kuramsal kavramlardan yararlanılarak, bu araştırmada kullanılan sistemin matematiksel modeli üzerinde durulacaktır. Yüceer {16}. Üzerinde çalışılan sistem için, matematik modellerin çıkarılmasında bir takım varsayımlar yapılmıştır. Bu varsayımlar aşağıda verilmiştir.

1. Tank içerisinde sıcaklık ve derişim dağılımı aynıdır.
2. Tüm fiziksel özellikler sabittir.
3. Çevreye ısı kayıpları ihmal edilebilir düzeydedir.
4. Soğutma suyu akışı turbülent akımdır.

Tam karıştırmalı tank bir kademeli-parametreli model olduğundan matematiksel modeli adi türevli differansiyel denklemlerle ifade edilir.

Matematiksel model sisteme yalnızca gliserin ve gliserinle birlikte suyunda girdiği iki ayrı durum için verilmiştir.

3.1. Karıştırma Tankının Yatışkın ve Yatışkın Olmayan Hal Denklemleri

i. Sisteme yalnız gliserin girdiği durum

Bu durum için enerji dengesi yazılırsa; Şekil 3.1. Karıştırma tankı içindeki akışkan için;

fiziksel özellikleri sıcaklıkla değişimi nasıl olur.

a. Yatışkın olmayan hal

$$Q+M_pC_pT^o_{p_i} = M_pC_pT_{p_0} + UA\left[T_{p_0} - \left(\frac{T_{c_0} + T^o_{c_i}}{2}\right)\right] + M_vC_p \frac{dT_{p_0}}{dt} \quad (3.1)$$

nedir?

b. Yatışkın hal

$$Q + M^o_pC_pT^o_{p_i} = M^o_pC_pT^o_{p_0} + UA\left[T^o_{p_0} - \left(\frac{T^o_{c_0} + T^o_{c_i}}{2}\right)\right] \quad (3.2)$$

Ceketteki soğutma suyu için;

a. Yatışkın olmayan hal

$$M_cC_cT^o_{c_i} = M_cC_cT_{c_0} - UA\left[T_{p_0} - \left(\frac{T_{c_0} + T^o_{c_i}}{2}\right)\right] + M_jC_c \frac{dT_{c_0}}{dt} \quad (3.3)$$

b. Yatışkın hal

$$M^o_cC_cT^o_{c_i} = M^o_cC_cT^o_{c_0} - UA\left[T^o_{p_0} - \left(\frac{T^o_{c_0} + T^o_{c_i}}{2}\right)\right] \quad (3.4)$$

ii. Sisteme gliserinle birlikte suyunda girdiği durumdaki çalışmalar için enerji dengesi yazılırsa; Şekil 3.2. Karıştırma tankı içindeki akışkan için;

a. Yatışkın olmayan hal

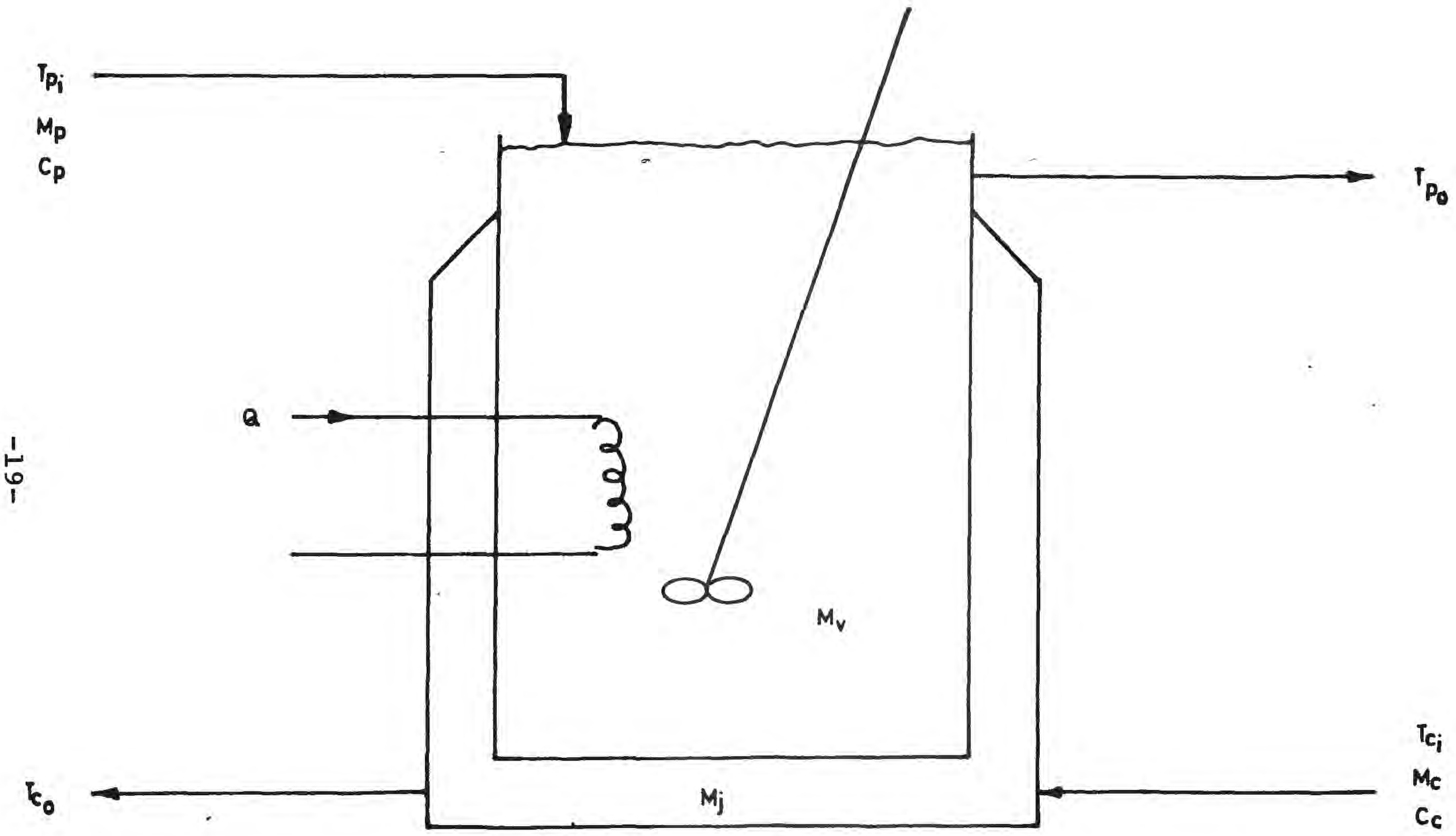
$$Q + (M_pC_p)_G T^o_{PİG} + (M_pC_p)_S T^o_{PİS} = (M_pC_p)_{GL} T_{p_0} + UA\left[T_{p_0} - \left(\frac{T_{c_0} + T^o_{c_i}}{2}\right)\right] + M_vC_p \frac{dT_{p_0}}{dt} \quad (3.5)$$

b. Yatışkın hal

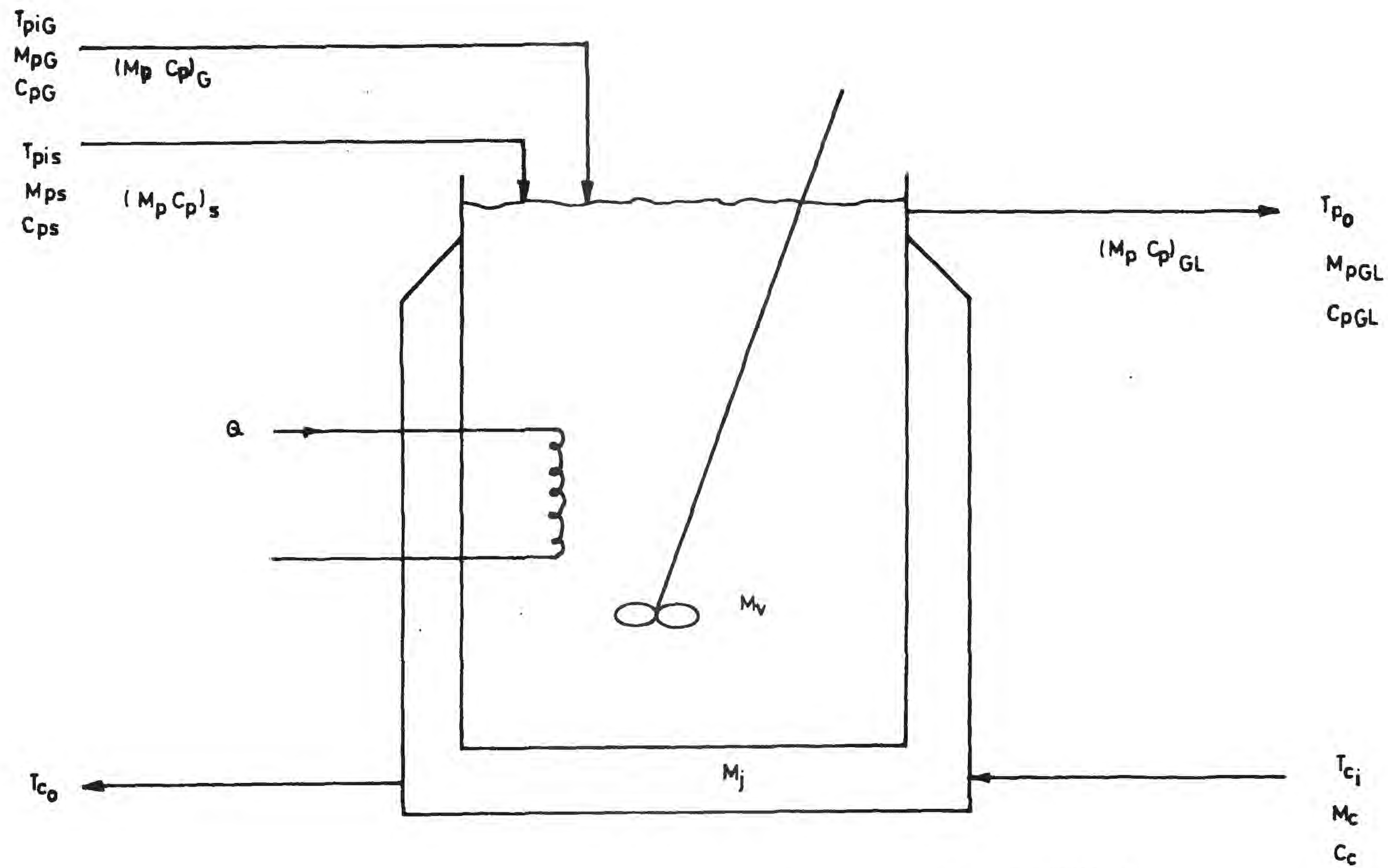
$$Q + (M_pC_p)^o_G T^o_{PİG} + (M_pC_p)^o_S T^o_{PİS} = (M_pC_p)^o_{GL} T^o_{p_0} + UA\left[T^o_{p_0} - \left(\frac{T^o_{c_0} + T^o_{c_i}}{2}\right)\right] \quad (3.6)$$

ceketteki soğutma suyu için;

Bu durum için, yatışkın olmayan ve yatışkın hal denklemleri Denklem (3.3) ve (3.4) ün aynısıdır.



Şekil 3.1. Sisteme yalnız gliserin girdiği durum.



Şekil 3.2. Sisteme gliserinle birlikte suyunda girdiği durum

BÖLÜM 4

MATEMATİK MODELİN ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Bu bölümde, karıştırma prosesinin dinamik modeli ve kontrolu için analitik ve bilgisayar çözüm yöntemleri önerilmiştir. Bu önerilerden Laplace dönüşümü ve sayısal bilgisayarla çözümler yapılmıştır.

4.1. Analitik Çözüm Yöntemi

Fiziksel sistemlerin dinamik özelliklerini veren differansiyel denklemler, doğrusal ve doğrusal olmıyan şekilde ikiyė ayrılmışlardır. Birçok analitik çözüm yöntemleri bu iki grup için geliştirilmiştir. Aşağıda bu yöntemlerden Laplace dönüşüm yöntemi verilmiştir.

Laplace dönüşümü, kontrol ve dinamik çalışmalarda çok kullanılan bir yöntemdir. İlk önce differansiyel denklemin Laplace dönüşümü elde edilir ve bir takım cebrik işlemlerden sonra çözüm için ters Laplace dönüşümü yapılır.

Doğrusal olmıyan differansiyel denklemlerin genel bir çözüm yöntemi yoktur. Buna rağmen geliştirilen bir takım özel yöntemlerle doğrusal hale getirilerek çözülürler.

Kullanılan modellerin Laplace dönüşümü yöntemi ile dinamik çözümü ve kontrolu için, denklemlerin doğrusallaştırılması ve sapma değişkenli olarak düzenlenmesi gerekir.

i. Sisteme yalnız gliserin girdiği durum

a. Tank için;

$$Q+M_p^o C_p T_{p_i}^o = M_p^o C_p T_{p_0}^o + UA\left[T_{p_0}^o - \left(\frac{T_{c_0}^o + T_{c_i}^o}{2}\right)\right] \quad (3.2)$$

$$Q + M_p C_p T_{p_i}^o = M_p C_p T_{p_0} + UA\left[T_{p_0} - \left(\frac{T_{c_0} + T_{c_i}^o}{2}\right)\right] + M_v C_p \frac{dT_{p_0}}{dt} \quad (3.1)$$

Sapma değişkenleri cinsinden yazılırsa ;

$$(M_p - M_p^o) C_p T_{p_i}^o = C_p (M_p T_{p_0} - M_p^o T_{p_0}^o) + \left[UA \left[T_{p_0} - \left(\frac{T_{c_0} + T_{c_i}^o}{2}\right)\right]\right.$$

$$\left. -UA\left[T_{p_0}^o - \left(\frac{T_{c_0}^o + T_{c_i}^o}{2}\right)\right]\right] + M_v C_p \frac{dT_{p_0}}{dt} \quad (4.1)$$

$$(M_p - M_p^o) C_p T_{p_i}^o = T_{p_0}(M_p C_p + UA) - T_{p_0}^o (UA + M_p^o C_p) - UA\left(\frac{T_{c_0} - T_{c_0}^o}{2}\right)$$

$$+ M_v C_p \frac{dT_{p_0}}{dt} \quad (4.2)$$

Yukarıdaki denklemde $M_p T_{p_0}$ doğrusal olmıyan terimdir. Bu nedenle Laplace dönüşümü yönteminin kullanılabilmesi için, doğrusallaştırma işlemi yapılması gerekir. "Taylor serisi ile doğrusallaştırma" yönteminin kullanılmasıyla elde edilen çözüm sonuçlarının, istenilen değerden farklı olmasından dolayı aşağıdaki yöntem kullanılmıştır. Bu çözüm yöntemi Yüceer{16}' ın çalışmasından alınmıştır.

Denklem (4.2) de sağ taraf $T_{p_0}^o (M_p C_p + UA)$ ile toplanıp çıkarılırsa;

$$(M_p - M_p^o) C_p T_{p_i}^o = T_{p_0}(M_p C_p + UA) - T_{p_0}^o (UA + M_p^o C_p) - UA\left(\frac{T_{c_0} - T_{c_0}^o}{2}\right)$$

$$+ M_v C_p \frac{dT_{p_0}}{dt} + T_{p_0}^o (M_p C_p + UA) - T_{p_0}^o (M_p C_p + UA) \tag{4.3}$$

Düzenlenirse;

$$(M_p - M_p^o) C_p T_{p_i}^o = (M_p C_p + UA)(T_{p_0} - T_{p_0}^o) + T_{p_0}^o C_p (M_p - M_p^o) - T_{p_0}^o UA$$

$$+ T_{p_0}^o UA - UA\left(\frac{T_{c_0} - T_{c_0}^o}{2}\right) + M_v C_p \frac{dT_{p_0}}{dt} \tag{4.4}$$

$$M_p - M_p^o = M'_p$$

$$T_{p_0} - T_{p_0}^o = T'_{p_0}$$

$$T_{c_0} - T_{c_0}^o = T'_{c_0}$$

$$M'_p (T_{p_i}^o C_p - T_{p_0}^o C_p) = (M_p C_p + UA) T'_{p_0} - UA\frac{T'_{c_0}}{2} + M_v C_p \frac{dT'_{p_0}}{dt} \tag{4.5}$$

Sonuç olarak

$$\frac{dT'_{p_0}}{dt} = \left(\frac{T_{p_i}^o - T_{p_0}^o}{M_v}\right) M'_p - \left(\frac{UA + M_p C_p}{M_v C_p}\right) T'_{p_0} + \left(\frac{UA}{2M_v C_p}\right) T'_{c_0} \tag{4.6}$$

b. Ceket için;

$$M_c^o C_c T_{c_i}^o = M_c^o C_c T_{c_0}^o - UA \left[T_{p_0}^o - \left(\frac{T_{c_0}^o + T_{c_i}^o}{2}\right) \right] \tag{3.4}$$

$$M_cC_cT^o_{c_i} = M_cC_cT_{c_0} - UA\,[\,T_{p_0} - (\frac{T_{c_0} + T^o_{c_i}}{2})] + M_jC_c \frac{dT_{c_0}}{dt} \qquad (3.3)$$

Sapma değişkenleri cinsinden yazılırsa;

$$T^o_{c_i} C_c(M_c - M^o_c) = (M_cT_{c_0} - M^o_cT^o_{c_0})C_c - UA\,[\,T_{p_0} - (\frac{T_{c_0} + T^o_{c_i}}{2})\,]$$

$$-UA\,[\,T^o_{p_0} - (\frac{T^o_{c_0} + T^o_{c_i}}{2})] + M_jC_c \frac{dT_{c_0}}{dt} \qquad (4.7)$$

$$T^o_{c_i} C_c(M_c - M^o_c) = T_{c_0}(M_cC_c + \frac{UA}{2}) - T^o_{c_0}(M^o_cC_c + \frac{UA}{2}) - UA(T_{p_0} - T^o_{p_0})$$

$$+ M_jC_c \frac{dT_{c_0}}{dt} \qquad (4.8)$$

Tank içindeki akışkan için yazılan matematiksel modelin doğrusallaştırılmasında kullanılan yöntem aynen izlenir.

Denklem (4.8) de sağ taraf $T^o_{c_0}(M_cC_c + \frac{UA}{2})$ ile toplanıp çıkarılırsa;

$$T^o_{c_i} C_c(M_c - M^o_c) = T_{c_0}(M_cC_c + \frac{UA}{2}) - T^o_{c_0}(M^o_cC_c + \frac{UA}{2}) - UA(T_{p_0} - T^o_{p_0})$$

$$+ M_jC_c \frac{dT_{c_0}}{dt} + (M_cC_c + \frac{UA}{2})T^o_{c_0} - (M_cC_c + \frac{UA}{2})T^o_{c_0} \qquad (4.9)$$

$$T^o_{c_i} C_c(M_c - M^o_c) = (M_cC_c + \frac{UA}{2})(T_{c_0} - T^o_{c_0}) + T^o_{c_0}C_c(M_c - M^o_c) - UA(T_{p_0} - T^o_{p_0})$$

$$+ M_jC_c \frac{dT_{c_0}}{dt} \qquad (4.10)$$

$$M_c - M_c^o = M'_c$$

$$T_{c_0} - T^o_{c_0} = T'_{c_0}$$

$$T_{p_0} - T^o_{p_0} = T'_{p_0}$$

$$T^o_{c_i} C_c M'_c = (M_c C_c + \frac{UA}{2}) T'_{c_0} + T^o_{c_0} C_c M'_c - UA\, T'_{p_0} + M_j C_c \frac{dT'_{c_0}}{dt} \quad (4.11)$$

$$C_c = 1.0 \ \frac{Cal}{g^oC}$$

Sonuç olarak;

$$\frac{dT'_{c_0}}{dt} = \left(\frac{T^o_{c_i} - T^o_{c_0}}{M_j C_c}\right) M'_c - \left(\frac{M_c C_c + \frac{UA}{2}}{M_j\, C_c}\right) T'_{c_0} + \left(\frac{UA}{M_j C_c}\right) T'_{p_0} \quad (4.12)$$

ii. Sisteme gliserinle birlikte suyun girdiği durum

a. Tank için;

$$Q + (M_p C_p)^o_G T^o_{PiG} + (M_p C_p)^o_S T^o_{PiS} = (M_p C_p)^o_{GL} T^o_{p_0} + UA\left[T^o_{p_0} - \left(\frac{T^o_{c_0} + T^o_{c_i}}{2}\right)\right]$$

(3.6)

$$Q + (M_p C_p)_G T^o_{PiG} + (M_p C_p)_S T^o_{PiS} = (M_p C_p)_{GL} T_{p_0} + UA\left[T_{p_0} - \left(\frac{T_{c_0} + T^o_{c_i}}{2}\right)\right]$$

$$+ \ M_v C_p \frac{dT_{p_0}}{dt} \quad (3.5)$$

Sapma değişkenleri cinsinden yazılırsa;

$$[(M_pC_p)_G-(M_pC_p)^o_G]\,T^o_{PiG}+[(M_pC_p)_S-(M_pC_p)^o_S]\,T^o_{PiS}=[(M_pC_p)_{GL}T_{p_0}$$

$$-(M_pC_p)^o_{GL}\,T^o_{p_0}]+UA\,[T_{p_0}-(\frac{T_{c_0}+T^o_{c_i}}{2})]\;-UA\,[T^o_{p_0}-(\frac{T^o_{c_0}+T^o_{c_i}}{2})]$$

$$+\;M_vC_p\,\frac{dT_{p_0}}{dt} \qquad (4.13)$$

$$[(M_pC_p)_G-(M_pC_p)^o_G]\;T^o_{PiG}+[(M_pC_p)_S-(M_pC_p)^o_S]\;T^o_{PiS}=T_{p_0}[(M_pC_p)_{GL}$$

$$+UA]\;-T^o_{p_0}[(M_pC_p)^o_{GL}+UA]\;-UA(\frac{T_{c_0}-T^o_{c_0}}{2})+M_vC_p\,\frac{dT_{p_0}}{dt} \qquad (4.14)$$

Denklem (4.14)de sağ taraf $T^o_{p_0}\,[(M_pC_p)_{GL}+UA]$ ile toplanıp çıkarılırsa;

$$[(M_pC_p)_G-(M_pC_p)^o_G]\;T^o_{PiG}\;+[(M_pC_p)_S-(M_pC_p)^o_S]\;T^o_{PiS}=T_{p_0}\,[(M_pC_p)_{GL}$$

$$+UA]\;-T^o_{p_0}\,[(M_pC_p)^o_{GL}+UA]\;-UA(\frac{T_{c_0}-T^o_{c_0}}{2})+M_vC_p\,\frac{dT_{p_0}}{dt}$$

$$+\,T^o_{p_0}\,[(M_pC_p)_{GL}+UA]\;-T^o_{p_0}\,[(M_pC_p)_{GL}+UA] \qquad (4.15)$$

Düzenlenirse;

$$[(M_pC_p)_G-(M_pC_p)_G^o]\;T_{PİG}^o+[(M_pC_p)_S-(M_pC_p)_S^o]\;T_{PİS}^o=[(M_pC_p)_{GL}$$

$$+UA](T_{p_0}-T_{p_0}^o)+T_{p_0}^o\;[(M_pC_p)_{GL}-(M_pC_p)_{GL}^o]-T_{p_0}^o\,UA+T_{p_0}^o\,UA$$

$$-UA\left(\frac{T_{c_0}-T_{c_0}^o}{2}\right)+M_vC_p\frac{dT_{p_0}}{dt} \qquad (4.16)$$

$$(M_pC_p)_G-(M_pC_p)_G^o=(M_pC_p)'_G$$

$$(M_pC_p)_S-(M_pC_p)_S^o=(M_pC_p)'_S$$

$$(M_pC_p)_{GL}-(M_pC_p)_{GL}^o=(M_pC_p)'_{GL}$$

$$T_{p_0}-T_{p_0}^o=T'_{p_0}$$

$$T_{c_0}-T_{c_0}^o=T'_{c_0}$$

$$T_{PİG}^o(M_pC_p)'_G+T_{PİS}^o(M_pC_p)'_S=[(M_pC_p)_{GL}+UA]\,T'_{p_0}+T_{p_0}^o(M_pC_p)'_{GL}$$

$$-UA\,\frac{T'_{c_0}}{2}+M_vC_p\frac{dT'_{p_0}}{dt} \qquad (4.17)$$

Sonuçta;

$$\frac{dT'_{p_0}}{dt}=\left(\frac{T_{PİG}^o}{M_vC_p}\right)(M_pC_p)'_G+\left(\frac{T_{PİS}^o}{M_vC_p}\right)(M_pC_p)'_S-\left[\frac{(M_pC_p)_{GL}+UA}{M_vC_p}\right]T'_{p_0}$$

$$-\left(\frac{T_{p_0}^o}{M_vC_p}\right)(M_pC_p)'_{GL}+\left(\frac{UA}{2M_vC_p}\right)T'_{c_0} \qquad (4.18)$$

b. Ceket için;

$$M^{o}_{c}C_{c}T^{o}_{c_i} = M^{o}_{c}C_{c}T^{o}_{c_0} - UA\,[\,T^{o}_{p_0} - (\frac{T^{o}_{c_0} + T^{o}_{c_i}}{2})\,] \qquad (3.4)$$

$$M_{c}C_{c}T^{o}_{c_i} = M_{c}C_{c}T_{c_0} - UA\,[\,T_{p_0} - (\frac{T_{c_0} + T^{o}_{c_i}}{2})] + M_{v}C_{p}\frac{dT_{p_0}}{dt} \qquad (3.3)$$

Sisteme yalnız gliserin girdiği durumda ceket için kullanılan yöntem aynen izlenerek

$$\frac{dT'_{c_0}}{dt} = (\frac{T^{o}_{c_i} - T^{o}_{c_0}}{M_jC_c})M'_c - (\frac{M_cC_c + \frac{UA}{2}}{M_jC_c})T'_{c_0} + (\frac{UA}{M_jC_c})T'_{p_0} \qquad (4.19)$$

Denklemlerle ilgili dinamik hesaplamalar Ek-1'de, kontrol hesaplamaları Ek-2'de verilmiştir.

4.2. Anolog Bilgisayar ile Çözüm

Karıştırma prosesinin dinamik davranışlarını belirleyen modellerin (3.1, 3.3, 3.5) çözümleri anolog bilgisayarlada yapılabilir.

Anelog bilgisayar yardımı ile çözümler hakkında bilgiler birçok ders kitaplarından elde edilebilir {17,18,19}.

Anolog bilgisayar ile çözümün, sayısal bilgisayardan daha hızlı olması bir avantajdır. Kademeli sistemlerde, kademe sayısının artması, kullanılan integre edicilerin sayısının büyümesine neden olacağından, çok büyük bir anoloğ bilgisayarına ihtiyaç gösterir. Bu ise istenmeyen bir durumdur.

4.3. Sayısal Bilgisayar ile Çözüm

Karıştırma prosesinde, sisteme yalnız gliserin ve gliserinle birlikte suyun girdiği durumlar için gösterilen modeller, adi türevli differansiyel denklemlerle ifade edilmişlerdir. Model denklemler, yatışkın olmayan hal ve kontrol şartları için sayısal bilgisayarda çözülmüştür. Hesaplamalar aşağıda verilen iki ayrı yöntemle yapılmıştır.

4.3.1. Sayısal Bilgisayarda Yatışkın Olmayan Hal Denklemlerinin Çözümü ve Kontrolu

Bu yöntemde kontrol ve dinamik çözümler ayrı ayrı incelenmiştir.

4.3.1.1. Sayısal Bilgisayarda Yatışkın Olmayan Hal Denklemlerinin Çözümü

Denklemlerin (3.1, 3.3, 3.5) çözümleri için dördüncü dereceden Runge-Kutta yöntemi kullanılmıştır. Çözümü istenen denklemler, yönteme uygun şekilde tekrar aşağıda yazılmıştır.

Sisteme yalnız gliserinin girdiği durum :

$$\frac{dT_{p_0}}{dt} = \frac{Q}{M_v C_p} + \frac{M_p C_p}{M_v C_p} (T^o_{p_i} - T_{p_0}) - \frac{UA}{M_v C_p} \left[T_{p_0} - \left(\frac{T_{c_0} + T^o_{c_i}}{2} \right) \right] \quad (4.20)$$

$$\frac{dT_{c_0}}{dt} = \frac{M_c C_c}{M_j C_c} (T^o_{c_i} - T_{c_0}) + \frac{UA}{M_j C_c} \left[T_{p_0} - \left(\frac{T_{c_0} + T^o_{c_i}}{2} \right) \right] \quad (4.21)$$

Sisteme gliserinle birlikte suyunda girdiği durum :

$$\frac{dT_{p_0}}{dt} = \frac{Q}{M_v\, C_p} + \frac{(M_pC_p)_G}{M_vC_p} T^o_{pİG} + \frac{(M_pC_p)_S}{M_v\, C_p} T^o_{pİS} - \frac{(M_pC_p)_{GL}}{M_v\, C_p} T_{p_0}$$

$$- \frac{UA}{M_vC_p} \left[T_{p_0} - \left(\frac{T_{c_0} + T^o_{c_i}}{2}\right) \right] \tag{4.22}$$

$$\frac{dT_{c_0}}{dt} = \frac{M_cC_c}{M_jC_c}(T^o_c - T_{c_0}) + \frac{UA}{M_jC_c}\left[T_{p_0} - \left(\frac{T_{c_0} + T^o_{c_i}}{2}\right)\right] \tag{4.23}$$

Dördüncü dereceden Runge-Kutta eşitlikleri ise;

$$X_n = X^o_n + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \tag{4.24}$$

$$k_1 = hf(t^o_n, X^o_n)$$

$$k_2 = hf(t^o_n + \frac{h}{2}, X^o_n + \frac{k_1}{2})$$

$$k_3 = hf(t^o_n + \frac{h}{2}, X^o_n + \frac{k_2}{2})$$

$$k_4 = hf(t^o_n + h, X^o_n + k_3)$$

Bilgisayar çözümleri ve listesi Ek-3'de verilmiştir.

4.3.1.2. Sayısal Bilgisayarda Yatışkın Olmayan Hal Denklemlerinin Kontrolu

Bu hesaplamalarda izlenen sıra aşağıda verilmiştir. Başlangıç şartları belli olduğundan (3.1, 3.3, 3.5) denklemlerinden gliserin çıkış sıcaklığı aşağıda verilen düzeltilmiş Euler eşitlikleri yardımıyla hesaplanır.

Düzeltilmiş Euler eşitlikleri

$$X_n = X_{n-1} + hf(t_{n-1}, X_{n-1}) \tag{4.25}$$

$$X'_n = X_{n-1} + h\,\frac{f(t_{n-1}, X_{n-1}) + f(t_n, X_n)}{2}$$

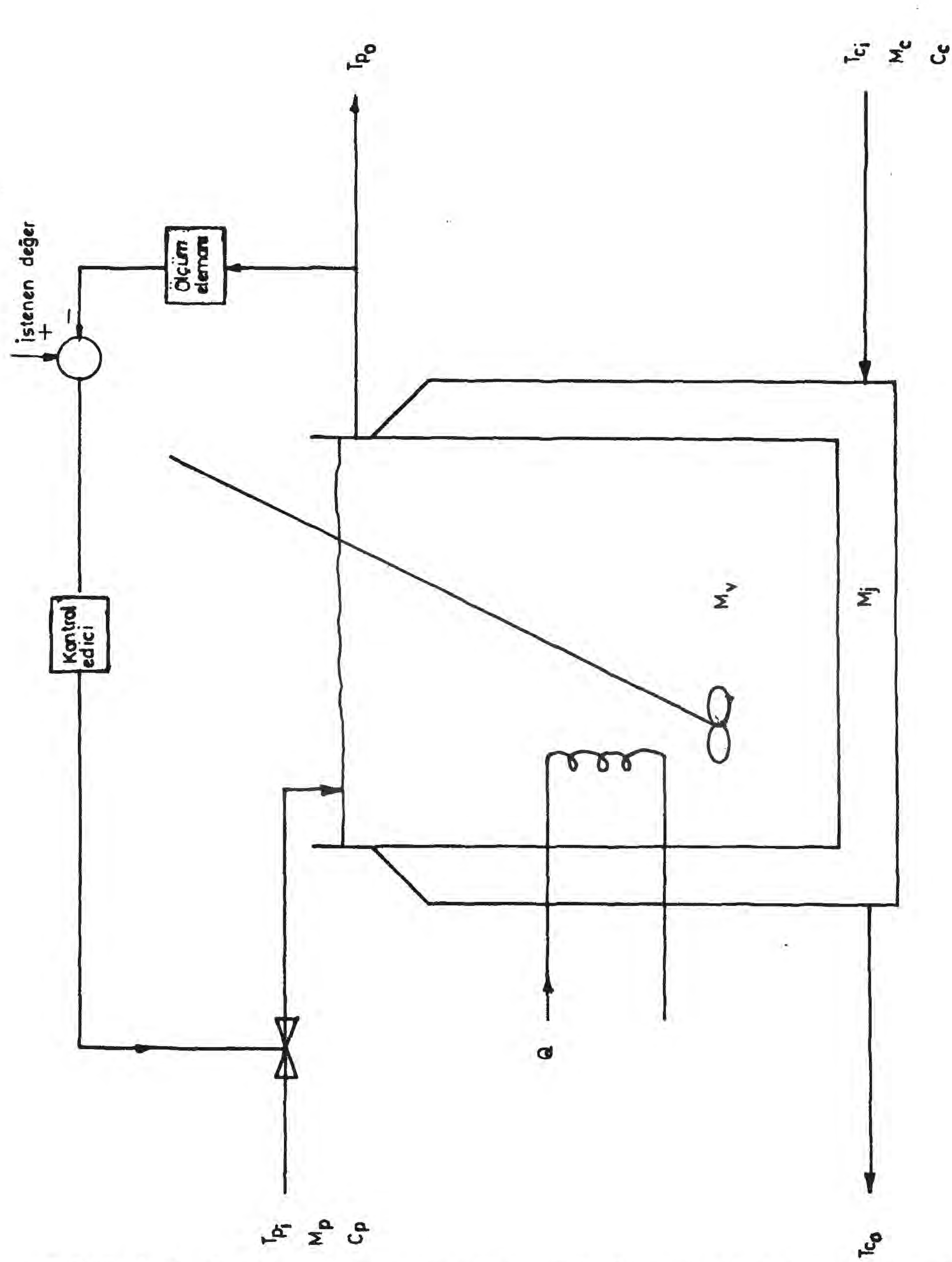
Hesaplanan çıkış sıcaklığını, geliştirilen bir alt program (MEAA), zaman gecikmelerini dikkate alarak ölçüm sinyaline çevirir.

Ölçüm Sinyali, (CNTRLA) altprogramı yardımıyla kontrol çıkış sinyali haline çevrilir.

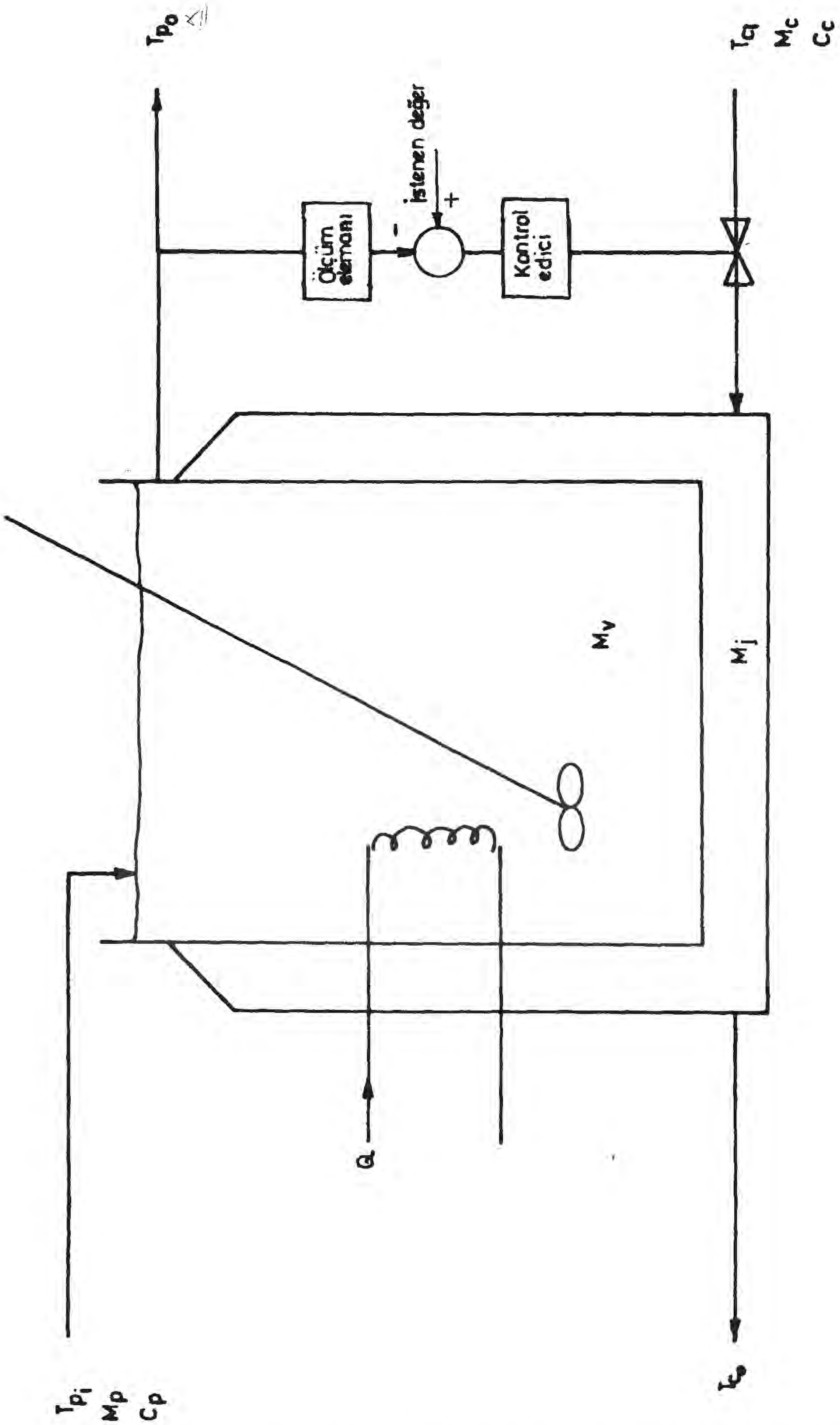
Hesaplanan kontrol çıkış sinyali (VALVEA) altprogramı ile vanayı kontrol eder.

Karıştırma tankına giren soğutmasuyu ve besleme akış hızlarına kademe etkisi verilmesi durumunda geri beslemeli kontrol sistemleri Şekil 4.1. ve Şekil 4.2. de gösterilmiştir.

Bilgisayar çözümleri ve listesi Ek-4'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Soğutma suyu akış hızına kademe etkisi verilmesi durumu için geri beslemeli kontrol



Şekil 4.2. Besleme akış hızına kademe etkisi verilmesi durumu için geri beslemeli kontrol

4.3.2. Sayısal Bilgisayarda Yatışkın Olmayan Hal Denklemlerinin Matris Kullanımı ile Çözümü ve Kontrolu

Sayısal bilgisayarda differansiyel denklem sistemlerinin çözümünde ve kontrol çalışmalarında en kullanışlı yöntemlerden biride, doğrusal differansiyel denklemlerinin matris haline getirilmeleridir. Model denklemlerin hal vektörü aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\dot{\underline{X}}(t) = \underline{A}\,\underline{X}(t) + \underline{B}\,U(t) \qquad (4.26)$$

$$U(t) = K\,[\,r(t) - \underline{k}\,\underline{X}(t)] \qquad (4.27)$$

$$\underline{Y}(t) = \underline{C}\,\underline{X}(t) \qquad (4.28)$$

Burada;

$\underline{A}$:	Sistem matrisi
$\underline{B}$:	Kontrol vektör
$U(t)$:	Kontrol edici terim
K :	Kontrol sabiti
$r(t)$:	istenen değer fonksiyonu (set-point)
$\underline{k}$:	Geri besleme kontrol katsayısı
$\underline{C}$:	Çıkış vektörü
$\underline{X}$:	Sistem hal değişkenleri (hal vektörü)
$\underline{Y}$:	Sistem ölçüm değişkenleri

Bu çalışma için geliştirilen matematiksel model denklemler (4.6), (4.12) hal vektörü olarak gösterilirse;

$$\frac{dT'_{p_0}}{dt} = \left(\frac{T^o_{p_i} - T^o_{p_0}}{M_v}\right) M'_p - \left(\frac{UA + M_p C_p}{M_v C_p}\right) T'_{p_0} + \left(\frac{UA}{2M_v C_p}\right) T'_{c_0} \qquad (4.6)$$

$$\frac{dT'_{c_0}}{dt} = \left(\frac{T^o_{c_i} - T^o_{c_0}}{M_j C_c}\right) M'_c - \left(\frac{M_c C_c + \frac{UA}{2}}{M_j C_c}\right) T'_{c_0} + \left(\frac{UA}{M_j C_c}\right) T'_{p_0} \qquad (4.12)$$

$$\begin{bmatrix} \dot{T}'_{p_0} \\ \\ \dot{T}'_{c_0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dfrac{UA + M_p C_p}{M_v C_p} & \dfrac{UA}{2M_v C_p} \\ \\ \dfrac{UA}{M_j C_c} & -\dfrac{M_c C_c + \frac{UA}{2}}{M_j C_c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T'_{p_0} \\ \\ T'_{c_0} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dfrac{T^o_{p_i} - T^o_{p_0}}{M_v} & 0 \\ \\ 0 & \dfrac{T^o_{c_i} - T^o_{c_0}}{M_j C_c} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M'_p \\ \\ M'_c \end{bmatrix}$$

(4.29)

Gliserin akış hızına M_p kademe etkisi verildiğinde hal vektörü aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\begin{bmatrix} \dot{T}'_{p_0} \\ \\ \dot{T}'_{c_0} \\ \\ \dot{M}'_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dfrac{UA + M_p C_p}{M_v C_p} & \dfrac{UA}{2M_v C_p} & \dfrac{T^o_{p_i} - T^o_{p_0}}{M_v} \\ \\ \dfrac{UA}{M_j C_c} & -\dfrac{M_c C_c + \frac{UA}{2}}{M_j C_c} & 0 \\ \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T'_{p_0} \\ \\ T'_{c_0} \\ \\ M'_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \\ \dfrac{T^o_{c_i} - T^o_{c_0}}{M_j C_c} \\ \\ 0 \end{bmatrix} M'_c$$

(4.30)

Denklem (4.27) örnek olarak oransal kontrol için verilirse;

$$M'_c := K \left[r(t) - \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T'_{p_0} \\ T'_{c_0} \\ M'_p \end{bmatrix} \right] \qquad (4.31)$$

İki çıkış değişkeni ve akış hızının ölçüldüğü yaklaşımı yapıldığında;

$$\underset{\sim}{Y}(t) = [1 \quad 1 \quad 1] \begin{bmatrix} T'_{p_0} \\ T'_{c_0} \\ M'_p \end{bmatrix} \qquad (4.32)$$

Sistemin dinamik davranışlarının ve geri beslemeli kontrolunun incelenmesinde, kare matris haline getirilmiş doğrusallaştırılan differansiyel denklemlerin hal geçiş matrisi (State transition matrix) sayısal bilgisayarda hesaplanır. Elde edilen hal geçiş matrisinden bir takım düzenlemelerle çıkış değişkenlerinin zamana göre değişimleri bulunur.

Dinamik ve kontrol çalışmalarında kullanılan BASMAT (Basıc Matrix) ve RTRESP (Rational Time Response) programlarının her ikisinde de hal geçiş matrisi altprogram STMST ile hesaplanır. Bu altprogram Sylvester Expansion Teoremini {20, 21, 22} kullanır. Ancak bu yöntem,sistem matrisinin farklı özdeğerleri olması halinde kullanılabilir. Tekrarlanan özdeğerlerin bulunması halinde BASMAT ve RTRESP programları kullanılmaz.

Ayrıca bu yöntem aynı anda birden fazla farklı şartlardaki hal vektörlerini çözmesi bakımından bir üstünlük sağlamaktadır.

Bu yöntemle yapılan dinamik ve kontrol çalışmaları ayrı ayrı incelenmiştir.

4.3.2.1. Sayısal Bilgisayarda Yatışkın Olmayan Hal Denklemlerinin Matris Kullanımı ile Çözümü

Dinamik çalışmalarda (4.26) denklemindeki, U(t), kontrol edici terim gözönüne alınmazsa, n sayıda birinci mertebeden adi türevli differansiyel denklemlerin hal vektörü aşağıda verildiği gibi düzenlenir.

$$\underline{\dot{X}}(t) = \underline{A}\,\underline{X}\,(t) \qquad (4.33)$$

ve çözüm aşağıdaki şekildedir.

$$\underline{X}(t) = e^{A(t)}\,\underline{X}(0) \qquad (4.34)$$

$$X(t) = \emptyset(t) \quad X(0) \qquad (4.35)$$

Yukarıda bahsedildiği gibi geliştirilen modellerin dinamik hesaplamaları için denklem (4.30) daki U(t), kontrol terimi sıfır alınır.

$$M'_c = 0$$

$$\begin{bmatrix} \dot{T}'_{p_0} \\ \dot{T}'_{c_0} \\ \dot{M}'_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dfrac{UA + M_pC_p}{M_vC_p} & \dfrac{UA}{2M_vC_p} & \dfrac{T^o_{p_i} - T^o_{p_0}}{M_v} \\ \dfrac{UA}{M_jC_c} & -\dfrac{M_cC_c + \frac{UA}{2}}{M_jC_c} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T'_{p_0} \\ T'_{c_0} \\ M'_p \end{bmatrix} \qquad (4.36)$$

Denklem (4.36)'nın çözümü için gerekli başlangıç şartları ve besleme akış hızına verilen A değerinde kademe değişimi aşağıda verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} T'_{p_0}(0) \\ T'_{c_0}(0) \\ M'_p(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ A \end{bmatrix} \tag{4.37}$$

Sayısal bilgisayarda (4.33) denkleminin çözümü için kullanılan BASMAT (Basıc Matrix) programı, $\underline{A}$ matrisinin determinantını (det $\underline{A}$), tersini $\underline{A}^{-1}$, karakteristik polinomunu det(SI-$\underline{A}$), çözüm matrisini (Resoluent Matrix) $\emptyset(S) = (SI-\underline{A})^{-1}$, öz değerlerini λ_i ve hal geçiş matrisini $\emptyset(t) = \exp(\underline{A}t)$ hesaplar.

Yatışkın olmayan hal denklemlerinin matris kullanımı ile çözüm proğramı akış şeması, listesi ve ilgili hesaplamalar Ek-5'de verilmiştir.

4.3.2.2. <u>Sayısal Bilgisayarda Yatışkın Olmayan Hal Denklemlerinin Matris Kullanımı ile Kontrolu</u>

Bir önceki kısımlarda bahsedildiği şekilde geri beslemeli kontrol sistemlerinin, üç kontrol teriminde hal vektörleri şeklinde gösterilmesi gerekir.

Denklem (4.30)'un geri beslemli kontrolu aşağıdaki şekilde yapılır.

a. Oransal Kontrol

Kısım 4.3.2. de (4.31) denklemi ile verilmiştir.

b. Oransal + İntegral Kontrol

$$M'_c = -K \left[T'_{p_0} + \frac{K_i}{K} \int_0^t T'_{p_0} \, dt \right] \tag{4.38}$$

Yeni bir hal değişkeni tanımlanırsa;

$$T'_I = \int_0^t T'_{p_0} \, dt \tag{4.39}$$

$$\dot{T}'_I = T'_{p_0} \tag{4.40}$$

şeklinde olur. Böylece;

$$\frac{dT'_{p_0}}{dt} = \left(\frac{T^o_{p_i} - T^o_{p_0}}{M_v}\right) M'_p - \left(\frac{UA + M_p C_p}{M_v C_p}\right) T'_{p_0} + \left(\frac{UA}{2M_v C_p}\right) T'_{c_0} \tag{4.6}$$

$$\frac{dT'_{c_0}}{dt} = \left(\frac{T^o_{c_i} - T^o_{c_0}}{M_j C_c}\right) M'_c - \left(\frac{M_c C_c + \frac{UA}{2}}{M_j C_c}\right) T'_{c_0} + \left(\frac{UA}{M_j C_c}\right) T'_{p_0} \tag{4.12}$$

$$\frac{dT'_I}{dt} = T'_{p_0} \tag{4.40}$$

Gliserin akış hızına M'_p değerinde kademe değişimi verildiğinde;

$$\begin{bmatrix} \dot{T}'_{p_0} \\ \dot{T}'_{c_0} \\ \dot{M}'_p \\ \dot{T}'_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{UA+M_pC_p}{M_vC_p} & \frac{UA}{2M_vC_p} & \frac{T^o_{p_i}-T^o_{p_0}}{M_v} & 0 \\ \frac{UA}{M_jC_c} & -\frac{M_cC_c+\frac{UA}{2}}{M_jC_c} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T'_{p_0} \\ T'_{c_0} \\ M'_p \\ T'_I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{T^o_{c_i}-T^o_{c_0}}{M_jC_c} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} M'_c \tag{4.41}$$

$$M'_c = -K\left[\,1 \quad 0 \quad 0 \quad \frac{K_i}{K}\,\right] \begin{bmatrix} T'_{p_0} \\ T'_{c_0} \\ M'_p \\ T'_I \end{bmatrix} \tag{4.42}$$

c. Oransal + Türevsel + İntegral Kontrol

$$M'_c = -K\left[\,T'_{p_0} + \frac{K_d}{K}\,\dot{T}'_{p_0} + \frac{K_i}{K}\,T'_i\,\right] \tag{4.43}$$

Denklem (4.43) deki $\dot{T}'_{p_0}$ değeri yerine konursa;

$$M'_c = -K\left[T'_{p_0} + \frac{K_d}{K}\left[\left(\frac{T^o_{p_i}-T^o_{p_0}}{M_v}\right)M'_p - \left(\frac{UA+M_pC_p}{M_vC_p}\right)T'_{p_0} + \left(\frac{UA}{2M_vC_p}\right)T'_{c_0}\right] + \frac{K_i}{K}T'_I\right] \tag{4.44}$$

$$M'_c = -K \left[\left(1 - \frac{UA + M_p C_p}{M_v C_p} \frac{K_d}{K}\right) \left(\frac{UA}{2M_v C_p} \frac{K_d}{K}\right) \left(\frac{T^o_{p_i} - T^o_{p_0}}{M_v} \frac{K_d}{K}\right) \left(\frac{K_i}{K}\right) \right] \begin{bmatrix} T'_{p_0} \\ T'_{c_0} \\ M'_p \\ T'_i \end{bmatrix}$$

(4.45)

Hesaplamalar için (4.41) denklemi aynen kullanılır.

Kontrol çalışmalarında model denklemlerini ifade eden hal vektörlerinin (4.26, 4.27, 4.28) sayısal bilgisayar çözümlerinde kullanılan RTRESP (Rational Time Response) programı istenen değer fonksiyonundaki (Set-Point) değişime ve başlangıç şartları X(0)'a bağlı olarak, sistemin kontrol edilecek çıkış değişkeninin zamana göre değişimini hesaplar. Ayrıca hesaplamalar'da istenen değer fonksiyonunun r(t), Laplace dönüşümünün bilinmesi gerekir.

Bu çalışmada, sistemin kontrolu giriş şartlarındaki değişmeye bağlı olarak hesaplandığından proğramların kullanılması için r(t) = 0.0 alınıp, sistemin hal denklemlerinin matris haline getirilmesinde değişiklik yapılmıştır.

Yatışkın olmayan hal denklemlerinin matris kullanımı ile kontrolunun programı, akış şeması ve listesi Ek-6'da verilmiştir.

4.4. Kararlılık Analizi

Bu bölümde, kontrol çalışmalarında çok sık karşılaşılan kararsızlık problemlerinin üzerinde durulacaktır.

Bir sistemin dinamiğinin incelenmesi ile çıkış değişkenlerinin kontrol edilebilecek kararlılıkta olduğu anlaşılırsa, sistem çıkış değişkenleri geri beslemeli kontrol altında istenen değere getirilebilir. Ancak bu durumda geri beslemeli kontrol parametrelerinin bazı değerlerinde, çıkış değişkenlerinde kararsızlık görülür. Bu nedenle aynı parametrelerin uygun seçimi için kararlılık analizi yapılarak sistemin kararsızlığı giderilir.

Bu çalışmada doğrusallaştırılmış matematiksel modellerin kararlılık analizlerinde çok uygulanan Routh yöntemi kullanılmıştır. Yöntem uygulanmadan önce, doğrusallaştırılmış matematiksel modelin karakteristik denkleminin tüm katsayıları pozitif değilse sistem kararsızdır denir. Eğer tüm katsayılar pozitif ise sistem kararlı veya kararsız olabilir. Bu durumda Routh yönteminin kullanılmasıyla sistemin kararlılığı araştırılabilir.

Routh yöntemi hakkındaki bilgi birçok ders kitaplarından elde edilebilir {23}.

Sisteme yalnız gliserin girdiği durumda besleme akış hızına verilen negatif kademe değişimi etkisi altındaki çalışma için uygulanan Routh yöntemi Ek-7'de verilmiştir.

BÖLÜM 5

MATEMATİK MODELİN ÇÖZÜM SONUÇLARI

Bu bölümde, karıştırma tankının dinamiği ve kontrolunun analitik ve sayısal bilgisayar ile çözüm sonuçları karşılaştırılarak uygunlukları araştırılmıştır.

Çalışmalar sisteme yalnız gliserin ve gliserinle birlikte suyun girdiği şartlar için iki ayrı grupta yapılmıştır.

Bu çözümler için kullanılan parametre değerleri aşağıda verilmiştir. Yüceer {16}.

Soğutma suyu yoğunluğu $\rho = 1.0 \frac{g}{cm^3}$

Gliserinin öz ısısı $C_p = 0.66 \frac{Cal}{g^oC}$

Karıştırma tankı hacmi $V = 26500\ cm^3$

Ceket hacmi $V_c = 4922.8\ cm^3$

Karıştırma tankına verilen ısı $Q = 318.97 \frac{Cal}{sn}$

Sisteme yalnız gliserin girdiği durumdaki tüm çalışmalarda, gliserin yoğunluğu $d = 1.23 \frac{g}{cm^3}$

5.1. Dinamik sonuçlar

Üzerinde çalışılan karıştırma prosesinin çalışma şartları kısaca özetlenirse;

Besleme ve soğutma suyunun belli sıcaklık ve miktarları için tank birinci yatışkın hale gelir ve sonra besleme veya soğutma suyunun giriş akış hızlarına kademe değişimi verilerek, çıkış sıcaklıklarının ikinci yatışkın hale gelişi hesaplanır.

Bu dinamik çalışma, sisteme yalnız gliserin ve gliserinle birlikte suyun girdiği iki ayrı şartlar için incelenmiştir.

i. Sisteme yalnız gliserin besleme çözeltisi olarak girdiği durum;

Sistem besleme çözeltisi gliserin ile soğutma suyunun girdiği durumda yatışkın halde iken, gliserin akış hızına ve giriş soğutma suyu miktarına kademe değişimleri verilerek çıkış sıcaklıklarının ikinci yatışkın hale gelişi incelenmiştir. Bu grup çalışmalar da UA sistem şartlarına göre her çalışma için değişmektedir. Bu kısımla ilgili tüm çalışma şartları ve UA çarpımı değerleri Tablo 5.1. de gösterilmiştir.

İlk çalışmada, ($M_p^o = 8.61 \frac{g}{sn}$) besleme akımı ($T_{p_i}^o = 54^oC$) da tanka gönderilirken ($M_c^o = 17 \frac{g}{sn}$) soğutma suyuda ($T_{c_i}^o = 17^oC$) da tanka girmektedir. Tank bu şartlarda yatışkın halde iken, soğutma suyunun akış hızında yapılan pozitif kademe değişimi ($M_c = 89 \frac{g}{sn}$) ile yatışkın olmayan hale geçer. Bu durumla ilgili sonuçlar Şekil 5.1. de gösterilmiştir. (T_{p_0}) çıkış sıcaklığı 6500 sn de ikinci yatışkın hale ulaşırken, soğutma suyu için 750 sn gözlenmiştir. Doğrusallaştırma yöntemi uygulanan Laplace dönüşümü ve sayısal bilgisayarda matris kullanımı ile çözüm sonuçları birbirinin aynı olmasına rağmen, differansiyel denklemlerin Runge-Kutta Yöntemi ile sayısal bilgisayar çözümlerinde tank çıkış sıcaklığında bir miktar farklılık görülmektedir.

İkinci çalışmada , benzer şekilde, farklı şartlarda, soğutma suyu akış hızına pozitif kademe etkisi verilmesi ile yapılmıştır. İlk yatışkın halde tanka(M_p^o =5.23 $\frac{g}{sn}$) besleme akımı ($T_{p_i}^o$ = 66.5^{o}C) da girerken (M_c^o =17 $\frac{g}{sn}$) soğutma suyuda ($T_{c_i}^o$ = 15^{o}C) da verilmektedir. Bu durumda soğutma suyu akış hızına (M_c= 73.0 $\frac{g}{sn}$) kademe etkisi verilerek, tank yatışkın olmayan hale geçirilir ve ikinci yatışkın hale gelişi hesaplanır. Bu hesaplama analitik ve sayısal bilgisayar yöntemleriyle yapılmıştır. Sonuçta ilk çalışmada olduğu gibi Laplace dönüşüm yöntemi ve matris kullanımı çözüm yöntemlerinin sonuçları birbirinin aynısı olduğu görülmüştür. Sayısal bilgisayarda Runge-Kutta yöntemi ile differansiyel denklem çözüm sonucunda ise, soğutma suyu çıkış sıcaklığında biraz farklılık gözlenmiştir. Bu çalışmada, besleme akımı çıkış sıcaklığı yaklaşık 7000 saniyede ikinci yatışkın hale gelmekte buna karşın soğutma suyu çıkış akım sıcaklığı 1000 saniyede ikinci yatışkın hale gelmektedir. Çalışma ile ilgili sonuçlar Şekil 5.2. de gösterilmiştir.

Üçüncü çalışmada, (M_p^o= 5.22 $\frac{g}{sn}$) ve($T_{p_i}^o$ = 64.0^{o}C) da besleme akımı tanka girmekte, soğutma suyu ise (M_c^o= 17.0 $\frac{g}{sn}$) ve ($T_{c_i}^o$ = 17^{o}C) da verilmektedir. Bu ilk yatışkın hal şartlarındaki tanka (M_p = 8.20 $\frac{g}{sn}$) pozitif kademe etkisi verilmekte ve ikinci yatışkın hali hesaplanmaktadır. Şekil 5.3. Görüldüğü gibi, Runge-Kutta yöntemi ile sayısal bilgisayar çözüm sonuçlarında, Laplace dönüşümü ve sayısal bilgisayarda matris kullanımı sonuçlarına göre farklılık gözlenmiştir. Sonuçta besleme akımı 6000 saniyede yatışkın hale gelmekte, soğutma suyu çıkış sıcaklığı ise 4500 saniyede yatışkın hale gelmektedir.

Dördüncü çalışmada, giren besleme akış hızına pozitif kademe etkisi verilmiştir. İlk yatışkın halde tanka (M_p^o =5.22 $\frac{g}{sn}$) besleme akımı ($T_{p_i}^o$ = 66.0°C) da girerken (M_c^o = 17 $\frac{g}{sn}$) soğutma suyuda ($T_{c_i}^o$ = 16.0°C) da girmektedir. Giren besleme akış hızına (M_p = 8.61 $\frac{g}{sn}$) kademe değişimi verilir ve yatışkın olmayan hale gelen tankın ikinci yatışkın hali hesaplanır. Şekil 5.4. gösterildiği gibi besleme akımı çıkış sıcaklığı 3000 saniyede ikinci yatışkın hale gelirken, soğutma suyu için 1000 saniye gözlenmiştir. Önceki çalışmalarda olduğu gibi Laplace dönüşümü ve sayısal bilgisayarda matris kullanımı ile çözüm sonuçları birbirinin aynı olmasına rağmen, Runge-Kutta yöntemi ile diferansiyel denklemlerin sayısal bilgisayar çözümlerinde bir miktar farklılık görülmektedir.

Beşinci çalışmada, (M_p^o = 8.20 $\frac{g}{sn}$) ve ($T_{p_i}^o$ = 71.5°C) da besleme akımı tanka girmekte, soğutma suyu ise (M_c^o = 17 $\frac{g}{sn}$) ve ($T_{c_i}^o$ = 17°C) da verilmektedir. Bu ilk yatışkın hal şartlarındaki tanka (M_p = 5.22 $\frac{g}{sn}$) negatif kademe etkisi verilerek yatışkın olmayan hale geçirilerek, ikinci yatışkın hale geçişi hesaplanmaktadır. Şekil 5.5. sonuçta besleme akımı 7500 saniyede yatışkın hale gelirken, soğutma suyu çıkış sıcaklığı ise 4500 saniyede gelmektedir. Tüm hesaplama yöntem sonuçları arasında uygunluk olduğu görülmektedir.

ii. Sisteme besleme çözeltisi olarak gliserinle birlikte suyun girdiği durum;

Bu durumda belli akış hızları ve sıcaklıklarında gliserin, su ve soğutma suyu girdiğinde, tank yatışkın halde iken belli bir ısı iletim katsayısına sahiptir. Soğutma suyuna verilen kademe değişimlerinin etkisinde,çıkış sıcaklıklarının ikinci yatışkın hale geçişi hesaplanır. Her bir çalışma için değişik derişimde besleme gliserin akımı kullanıldığından, ısı iletim katsayılarıda her şart için farklı değerlere sahiptir. Tüm çalışma şartları ve UA nın değerleri Tablo 5.2. de gösterilmiştir. Çalışma şartlarına göre su-gileserinin hesaplanan yoğunluk değerleri Tablo 5.3. de verilmiştir.

Birinci çalışmada $\{(M_p)^o_G = 8.61 \frac{g}{sn}\}$ ve $(T^o_{PİG} = 50.5^oC)$ gliserin ile $\{(M_p)^o_S = 0.83 \frac{g}{sn}\}$, $(T^o_{PİS} = 57^oC)$ su besleme akımları olarak tanka gönderilirken $(M^o_c = 17 \frac{g}{sn})$, $(T^o_{c_i} = 29.5^oC)$ soğutma suyuda verilir.Bu şartlarda sistem belli bir ısı iletim katsayısı değerine sahip olarak yatışkın haldedir. Soğutma suyunun akım hızına verilen kademe değişimi ile $(M_c = 72.5 \frac{g}{sn})$ yatışkın olmayan hale geçirilir. Çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimleri hesaplanır. (S. 60) Şekil 5.6. da doğrusallaştırılmış denklemlerin Laplace dönüşümü, matris çözümleri ve Runge-Kutta yöntemi ile sayısal bilgisayar sonuçları verilmiştir. Görüldüğü gibi, Laplace ve matris çözümleri bir uyum içinde iken Runge-Kutta yöntemi ile çözümde farklılık görülmüştür.

Bu durumdaki diğer çalışmalar aynı tip şartları içerir. Yatışkın hal dataları Tablo 5.2. ve sonuçlar sırasıyla Şekil 5.7.-5.11. de gösterilmiştir.

5.2. Kontrol Sonuçları

Bir önceki kısımda tam karıştırma tankının çıkış değişkenlerinde kademe değişimlerinin etkisi altında, birinci yatışkın halden ikinci yatışkın hale geçişi ve süresi hesaplanmış ve bu değişkenler kontrol edilebilecek kararlılıkta (Stabilite) olduğu görülmüştür. Ölçülen çıkış değişkenlerinin istenen değere gelmesi için, geri beslemeli kontrol sistemleri karıştırma tankına ilave edilmiştir.

Bu kısımda, yukarıda söylenen dinamik çalışmalardan elde edilen bulgular yardımı ile karıştırma tankının geri beslemeli kontrol altındaki davranışı; Laplace dönüşümü, sayısal bilgisayarda yatışkın olmayan hal denklemlerinin kontrolu ve sayısal bilgisayarda yatışkın olmıyan hal denklemlerinin matris kullanımı ile kontrolu olmak üzere üç ayrı yöntemle incelenmiştir.

Birinci çalışmada, sistem Tablo 5.4. deki (1) nolu çalışma şartlarında yatışkın halde iken, verilen negatif kademe değişimi ile, ilave edilen geri beslemeli kontrol sisteminin etkisi incelenmiştir. Yalnız oransal kontrolun etkileri (S.66) Şekil 5.12. de gösterilmiştir. K_c değerleri büyüdükçe ölçülen değişken istenen değere yaklaşmaktadır. Ancak, diğer iki kontrol terimlerinin ilavesi bu yaklaşımı bozmakta ve kararsızlığa neden olmaktadır. Kontrol katsayılarının çıkış değişkenlerinin kararsızlığı üzerine etkileri Şekil (S.66) 5.13. de verilmiştir. Görüleceği üzere, sistem çıkış değişkenleri üç kontrol teriminin bazı değerlerinde kararsız olmaktadır. Kontrol sabitlerinin seçimi Bölüm 4'de bahsedildiği şekilde Routh yöntemiyle yapılarak kararlılık elde edilmiştir. Ek-7. Sayısal bilgisayarda yatışkın olmayan hal denklemlerinin kontrolu Şekil 5.14., Laplace dönüşümü Şekil 5.15. ve sayısal bilgisayarda yatışkın olmayan hal denklemlerinin matris kullanımı ile kontrolu Şekil 5.16. yöntemlerini kullanarak, uygun oransal, integral, türevsel kontrol sabitlerinin seçimi ile çıkış değişkenlerinin ölçülen değeri istenen değere yaklaşmaktadır. Laplace dönüşümü ve matris kullanımı ile kontrol sonuçlarında tam bir uygunluk olmasına karşı, yatışkın olmayan hal denklemlerinin sayısal bilgisayarda kontrolu yönteminde birmiktar farklılık gözlenmiştir.

İkinci çalışmada soğutma suyu akış hızına verilen pozitif, kademe değişimi ile geri beslemeli kontrol sistemlerinin çıkış değişkenleri üzerine etkinliği araştırılmıştır. Aynı kararlılık test yöntemi kullanılarak, uygun seçilen oransal, integral, türevsel katsayıları ile çıkış değişkeninin kontrolu her üç yöntemle yapılmıştır. Şekil 5.17. Şekil 5.18, Şekil 5.19 sırasıyla, sayısal bilgisayarda yatışkın olmayan hal denklemlerinin kontrolu, sayısal bilgisayarda yatışkın olmayan hal denklemlerinin matris kullanımı ile kontrolu ve Laplace dönüşümü ile kontrol sonuçlarını göstermektedir. Bu çalışmada da, ilk çalışmada olduğu gibi Laplace dönüşümü ve matris kullanımı ile kontrol sonuçlarında tam bir uygunluk vardır. Buna karşı sayısal bilgisayarda yatışkın olmayan hal denklemlerinin kontrolu yönteminde bir miktar farklılık gözlenmiştir.

Sonuç olarak, dinamik ve kontrol çalışmalarında uygulanan üç yöntemin birbiri ile uygunluğu gözlenmiştir. Çalışmalarda Laplace dönüşümü ve matris yöntemleri çözüm sonuçları tam bir uyum göstermiştir, buna karşı bazı çalışmalarda Runge-Kutta yönteminden elde edilen sonuçlarda bir miktar sapmalar görülmüştür.

Çalışma No	Mp $\left(\frac{g}{sn}\right)$	Mc $\left(\frac{g}{sn}\right)$	Tp_i (C°)	Tc_i (C°)	UA $\left(\frac{Cal}{SA\ C°}\right)$
1	8.61	17.0	54.0	17.0	6.06
	8.61	89.0	54.0	17.0	6.06
2	5.23	17.0	66.5	15.0	6.42
	5.23	73.0	66.5	15.0	6.42
3	5.22	17.0	64.0	17.0	6.00
	8.20	17.0	64.0	17.0	6.00
4	5.22	17.0	66.0	16.0	7.42
	8.61	17.0	66.0	16.0	7.42
5	8.20	17.0	71.5	17.0	6.00
	5.22	17.0	71.5	17.0	6.00

Tablo 5.1.: Sisteme yalnız gliserin girdiği durumdaki çalışmaların şartları

Çalışma no	M_{PG} $\left(\frac{g}{sn}\right)$	M_{PS} $\left(\frac{g}{sn}\right)$	M_c $\left(\frac{g}{sn}\right)$	T_{PiG} (C°)	T_{PiS} (C°)	T_{C_i} (C°)	UA $\left(\frac{cal}{snC°}\right)$	C %
1	8.61	0.83	17.0	50.5	57.0	29.5	11.80	80
	8.61	0.83	72.5	50.5	57.0	29.5	11.80	80
2	8.61	5.47	17.0	64.0	54.0	19.0	13.24	60
	8.61	5.47	69.7	64.0	54.0	19.0	13.24	60
3	12.43	3.07	17.0	54.0	50.5	18.0	15.74	50
	12.43	3.07	69.7	54.0	50.5	18.0	15.74	50
4	11.30	4.59	17.0	56.0	56.0	20.0	16.08	40
	11.30	4.59	69.7	56.0	56.0	20.0	16.08	40
5	10.50	5.66	17.0	56.0	56.0	20.0	17.24	30
	10.50	5.66	69.7	56.0	56.0	20.0	17.24	30
6	10.52	4.16	17.0	57.0	57.0	22.0	19.14	25
	10.52	4.16	69.7	57.0	57.0	22.0	19.14	25

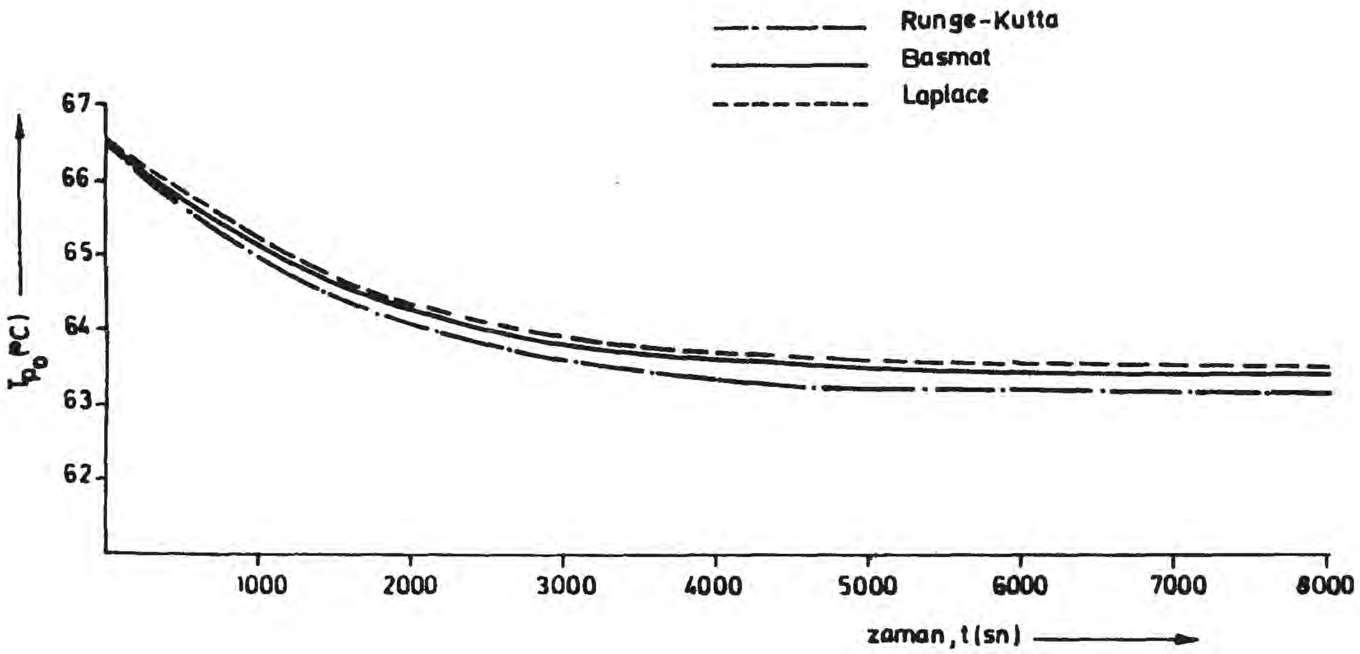
Tablo 5.2.: Sisteme gliserinle birlikte suyun girdiği durumdaki çalışmaların şartları.

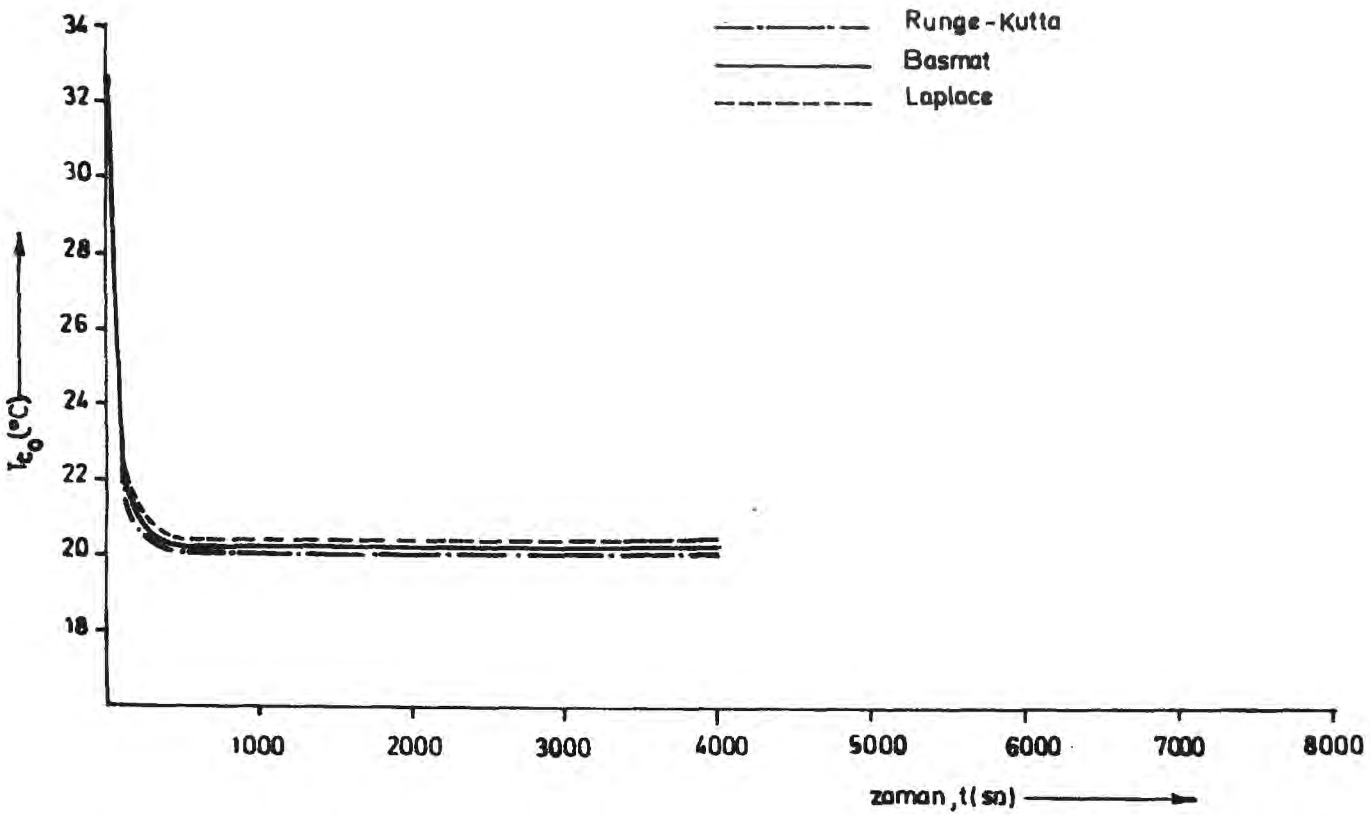
CALIŞMA No	1	2	3	4	5	6
SİSTEME GİREN GLİSERIN YOĞULUĞU, d $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$	1.23	1.23	1.13	1.13	1.06	1.05
SİSTEMDEN ÇIKAN GLİSERİN YOĞUNLUĞU, d $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$	1.19	1.13	1.106	1.078	1.05	1.04

Tablo 5.3.: Su-gliserin sistemi yoğunluk değerleri.

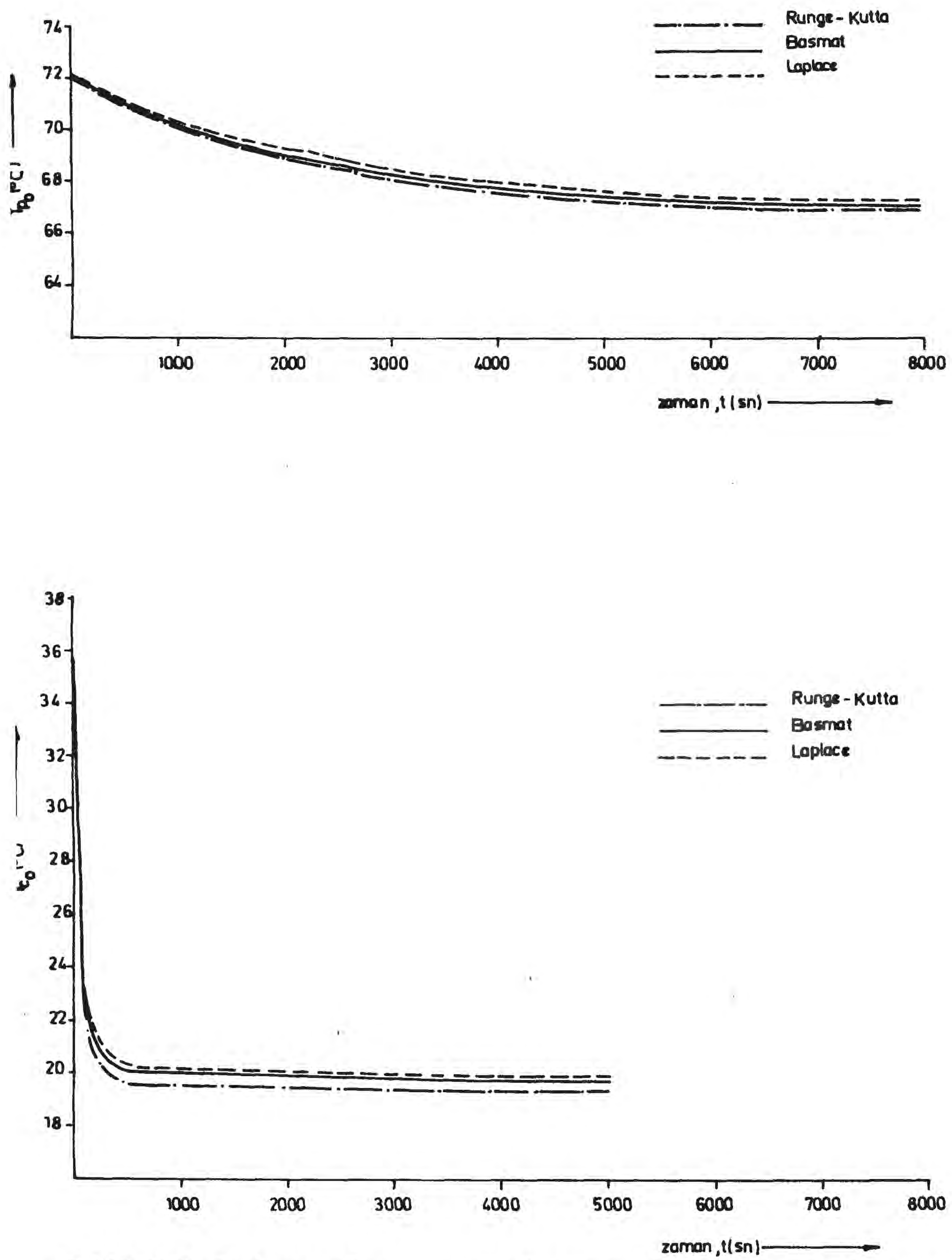
Çalışma No	Mp $\left(\frac{g}{sn}\right)$	Mc $\left(\frac{g}{sn}\right)$	Tp_i (C°)	Tc_i (C°)	UA $\left(\frac{Cal}{snc°}\right)$	K_c	K_i	K_d
1	8.20	17.0	64.0	17.0	6.00	-5	—	—
						-5	-0.02	—
	5.22	17.0	64.0	17.0	6.00	-5	-0.02	-0.02
2	8.61	17.0	54.0	17.0	6.06	-5	—	—
						-5	-0.02	—
	8.61	89.6	54.0	17.0	6.06	-5	-0.02	-0.02

Tablo 5.4.: Geri beslemeli kontrol çalışmalarının şartları

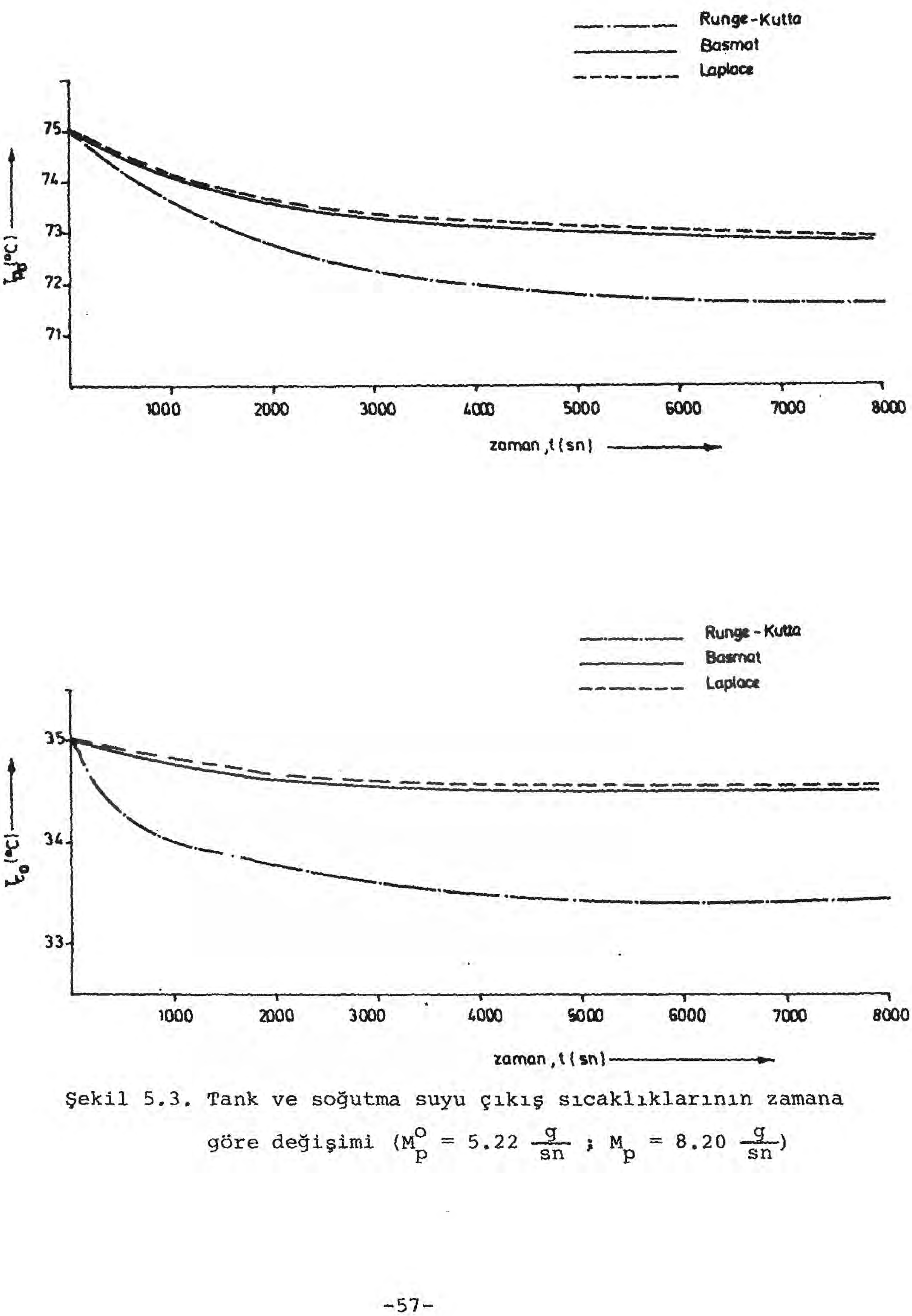




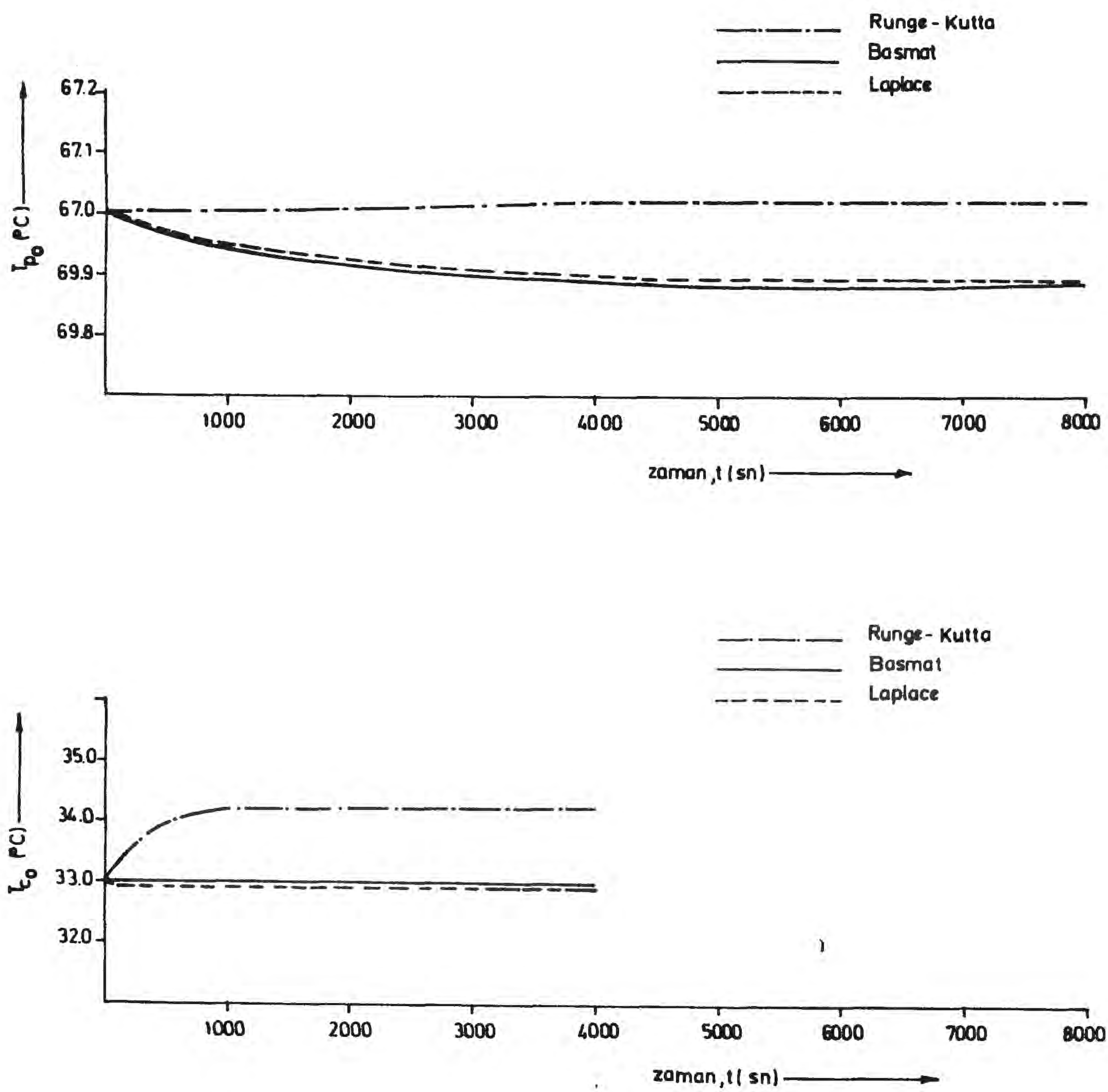
Şekil 5.1. Tank ve soğutma suyu çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi ($M_c^o = 17.0 \frac{g}{sn}$; $M_c = 89.0 \frac{g}{sn}$)



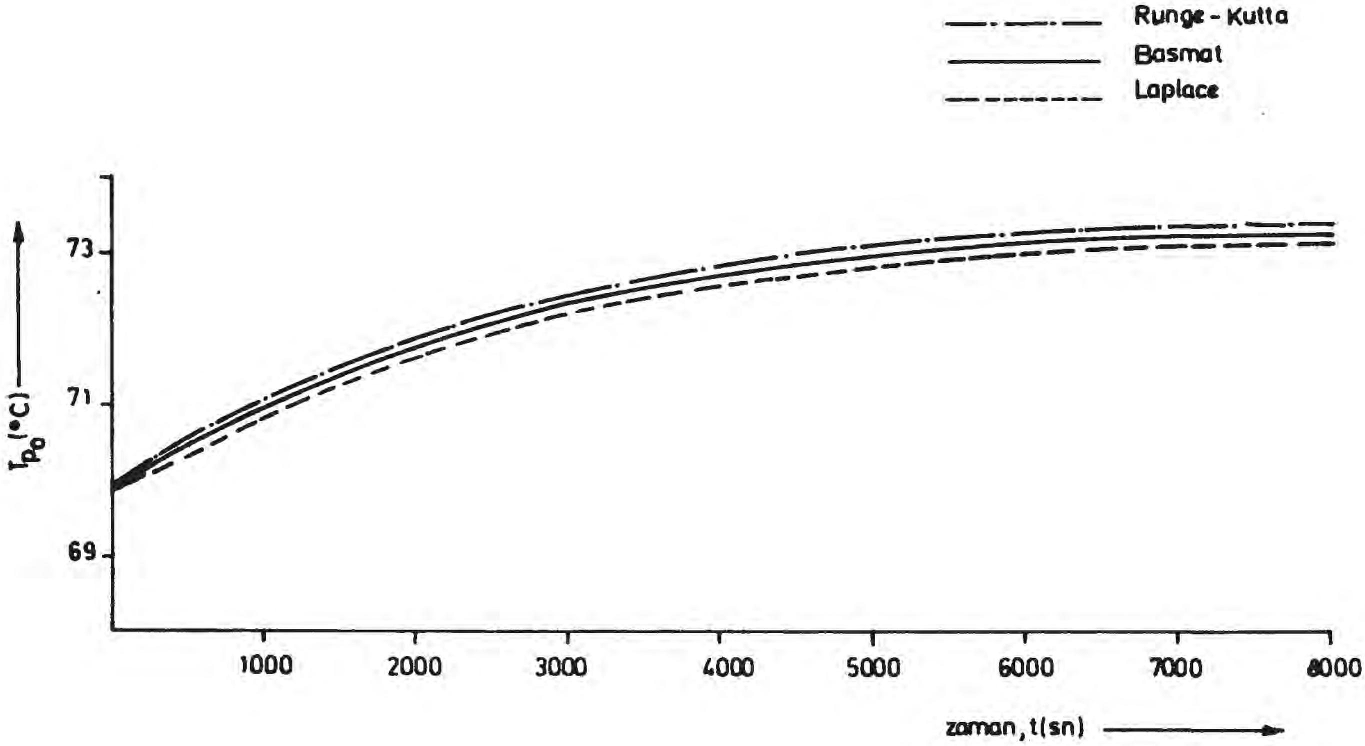
Şekil 5.2. Tank ve soğutma suyu çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi ($M_c^o = 17.0 \frac{g}{sn}$; $M_c = 73.0 \frac{g}{sn}$)

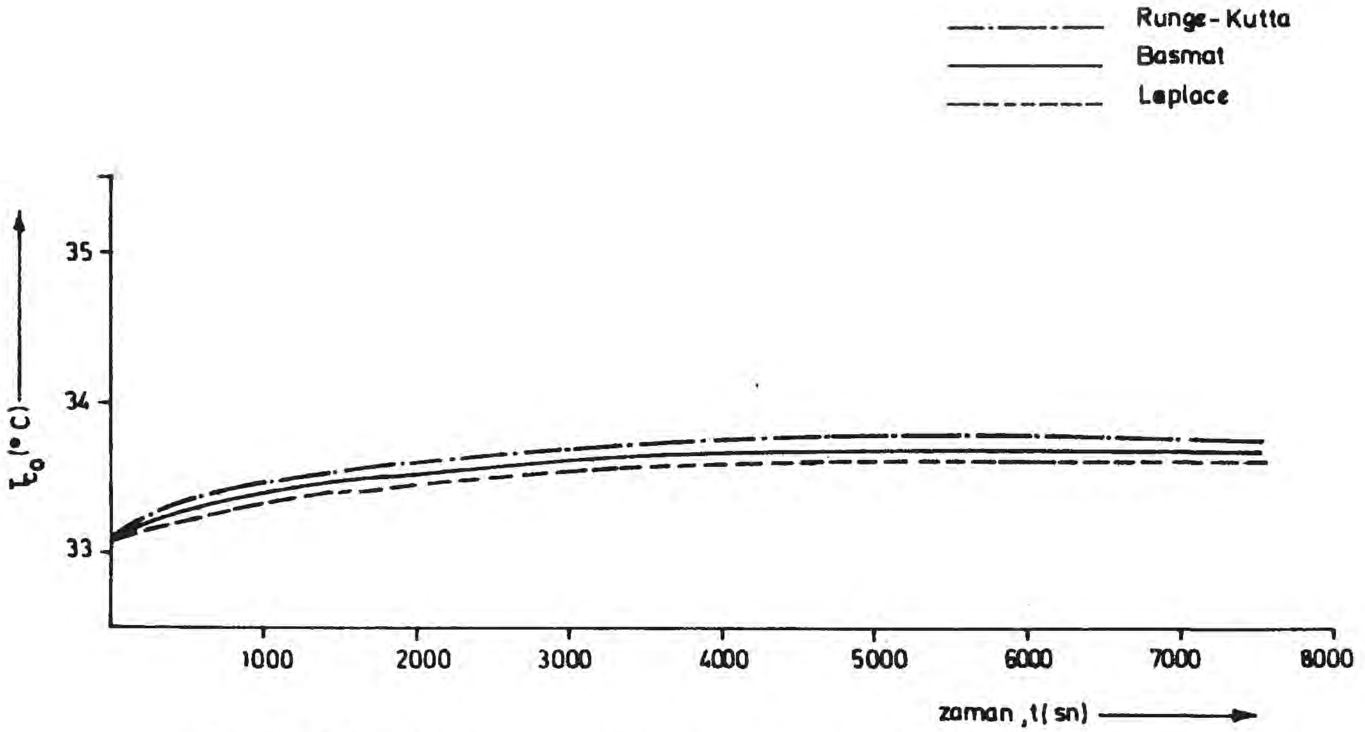


Şekil 5.3. Tank ve soğutma suyu çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi ($M_p^o = 5.22 \frac{g}{sn}$; $M_p = 8.20 \frac{g}{sn}$)

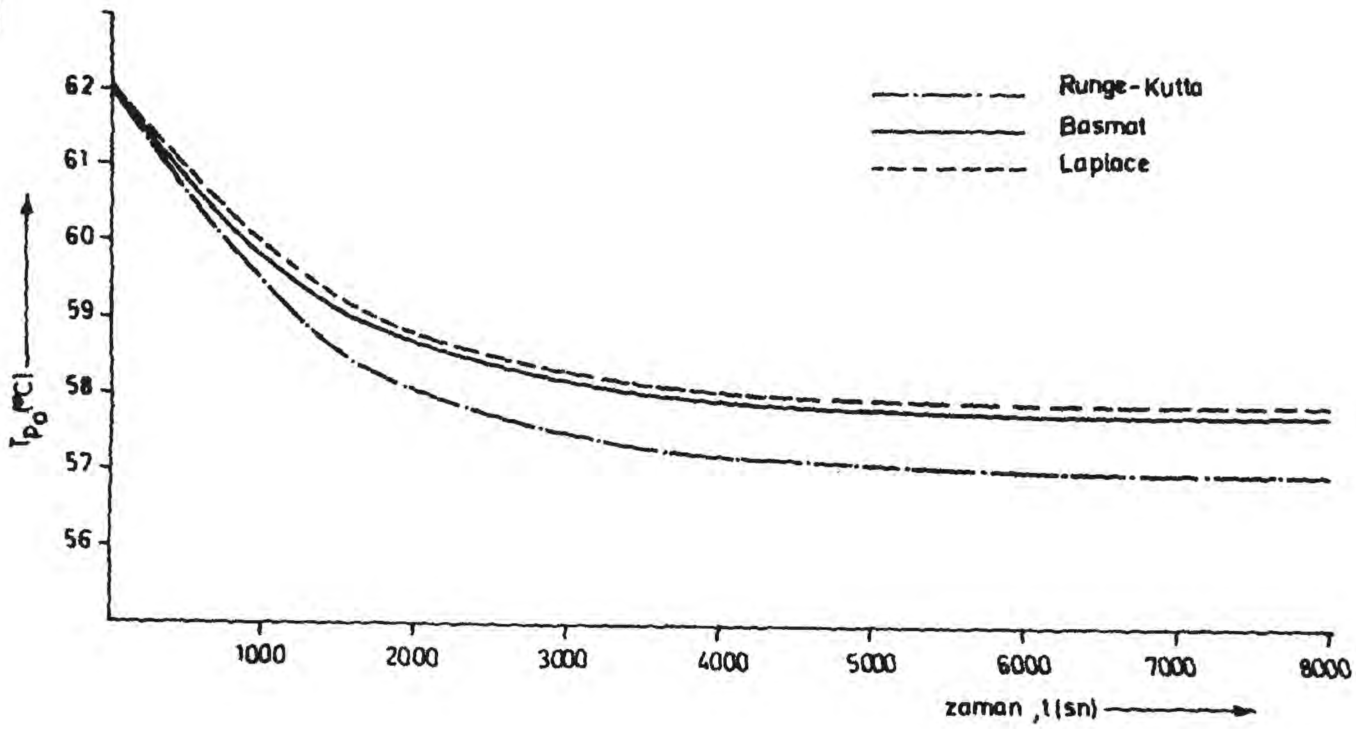


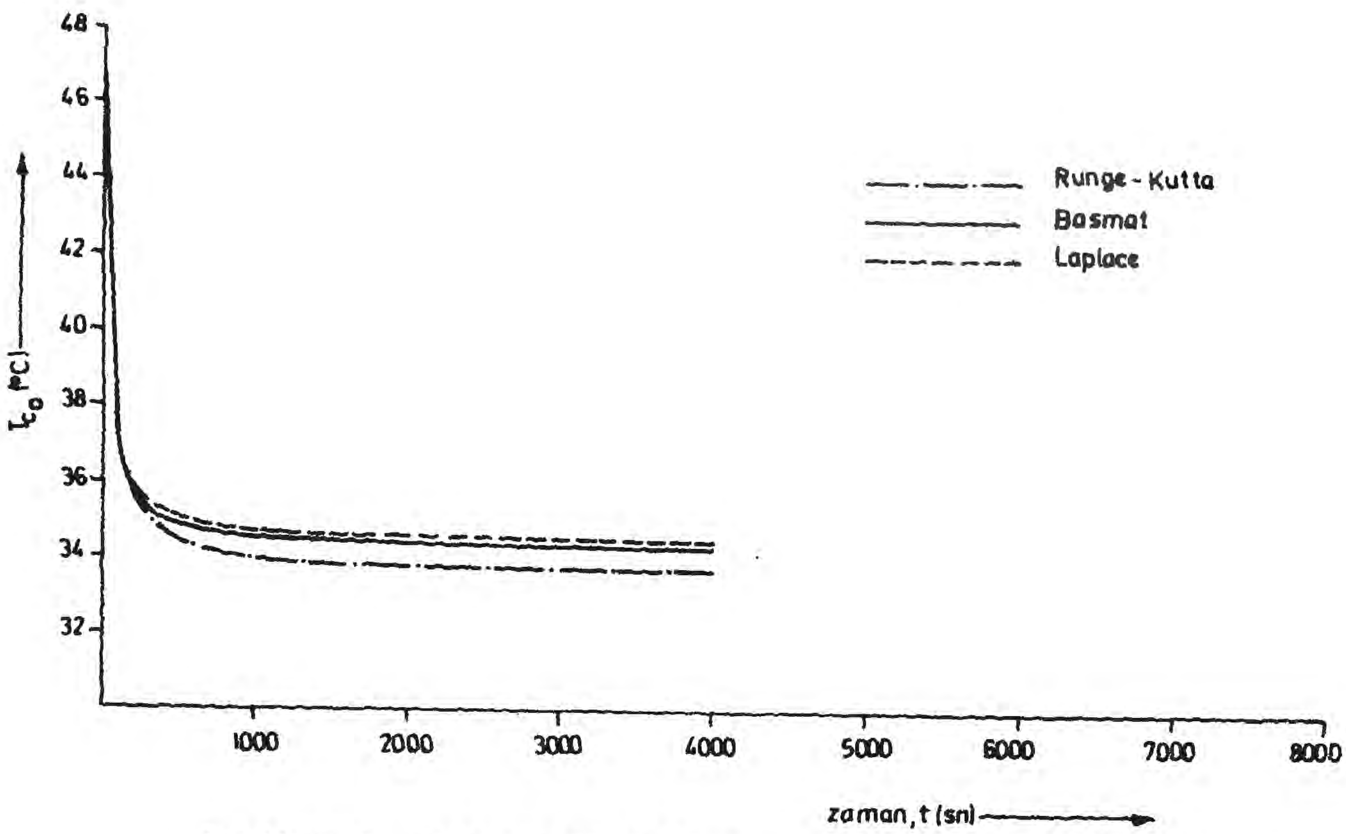
Şekil 5.4. Tank ve soğutma suyu çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi ($M_p^o = 5.22 \frac{g}{sn}$; $M_p = 8.61 \frac{g}{sn}$)



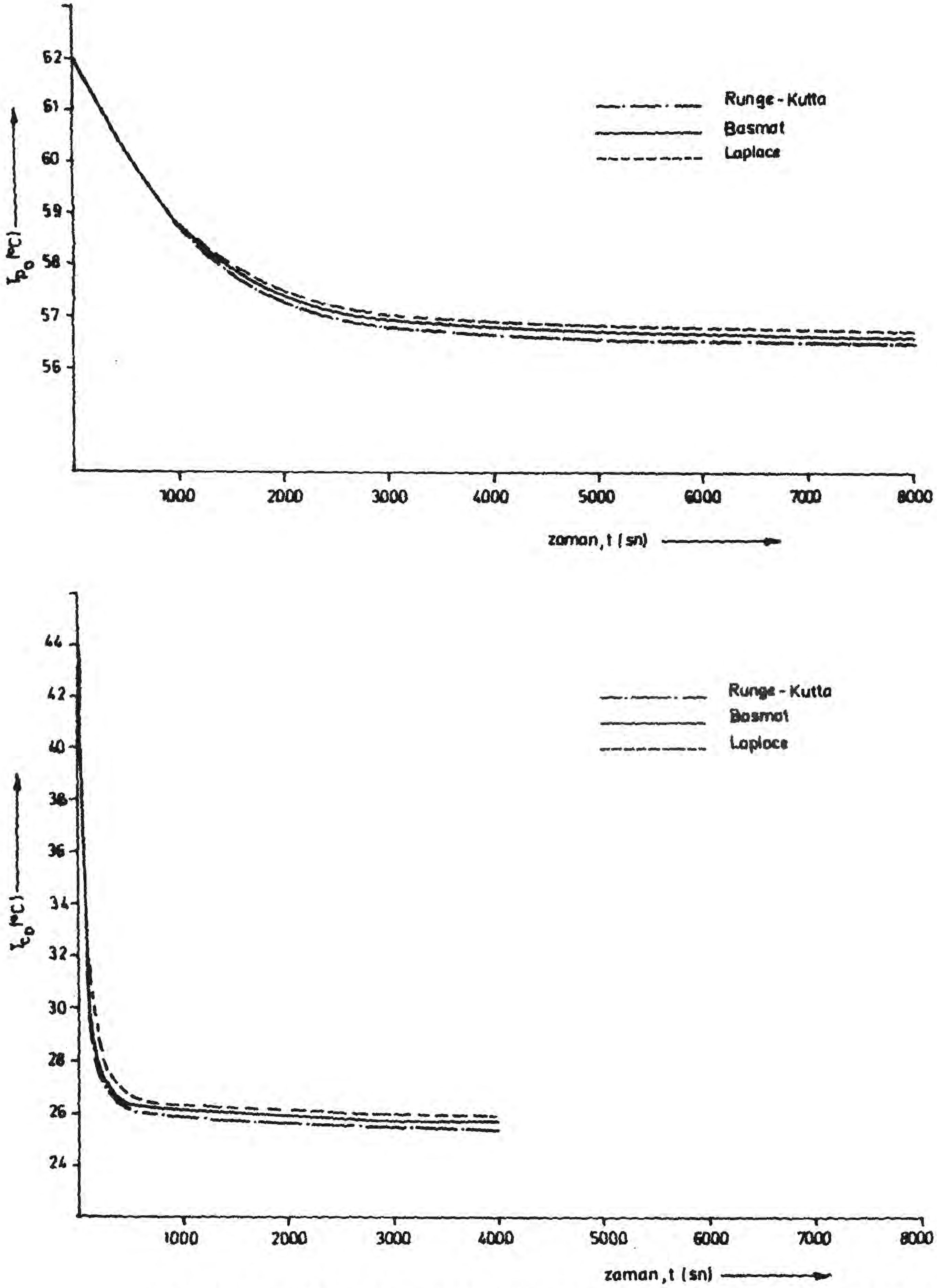


Şekil 5.5. Tank ve soğutma suyu sıcaklıklarının zamana göre değişimi ($M_p^o = 8.20\ \frac{g}{sn}$; $M_p = 5.22\ \frac{g}{sn}$)

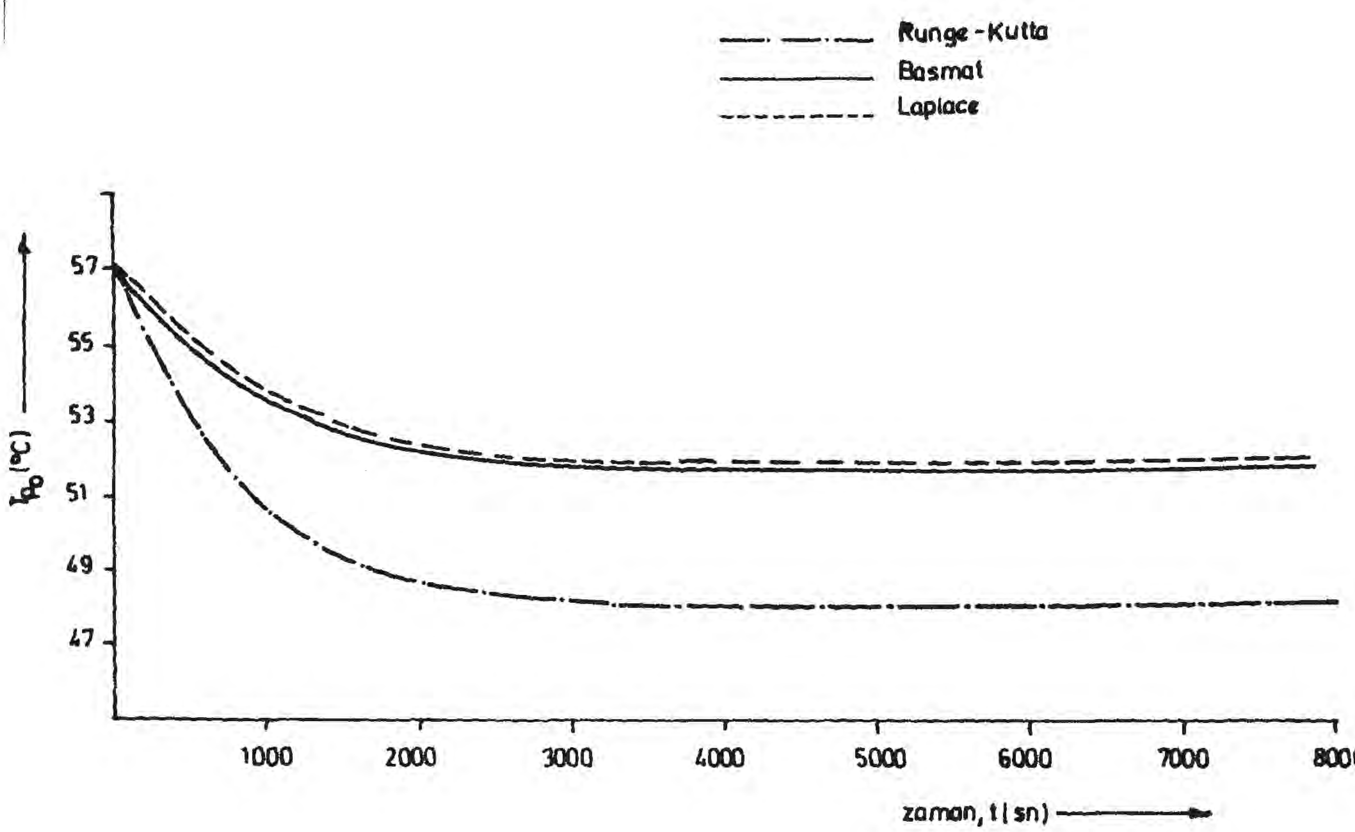


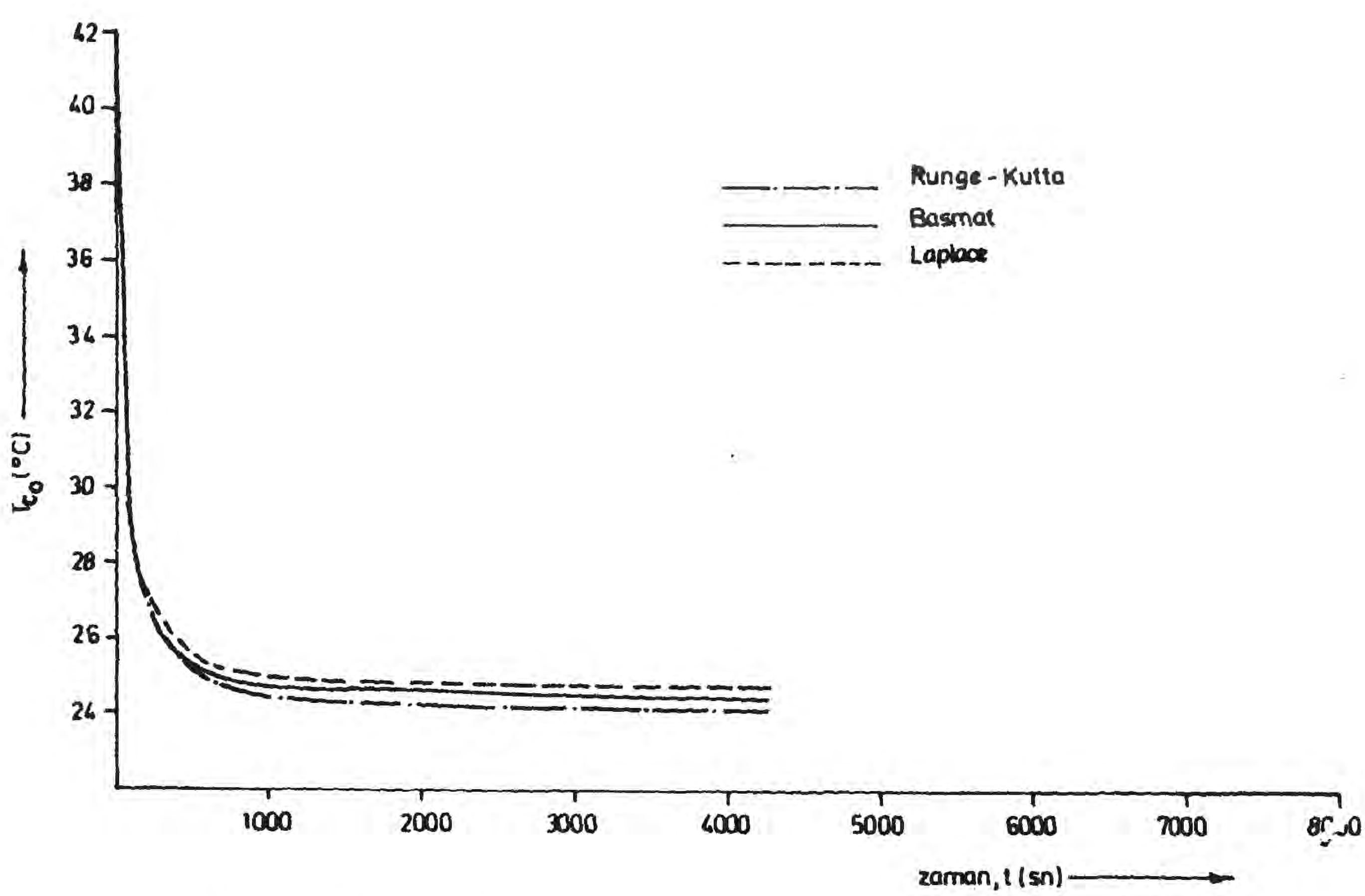


Şekil 5.6. Tank ve soğutma suyu çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi ($M_c^o = 17.0\ \frac{g}{sn}$; $M_c = 72.5\ \frac{g}{sn}$)

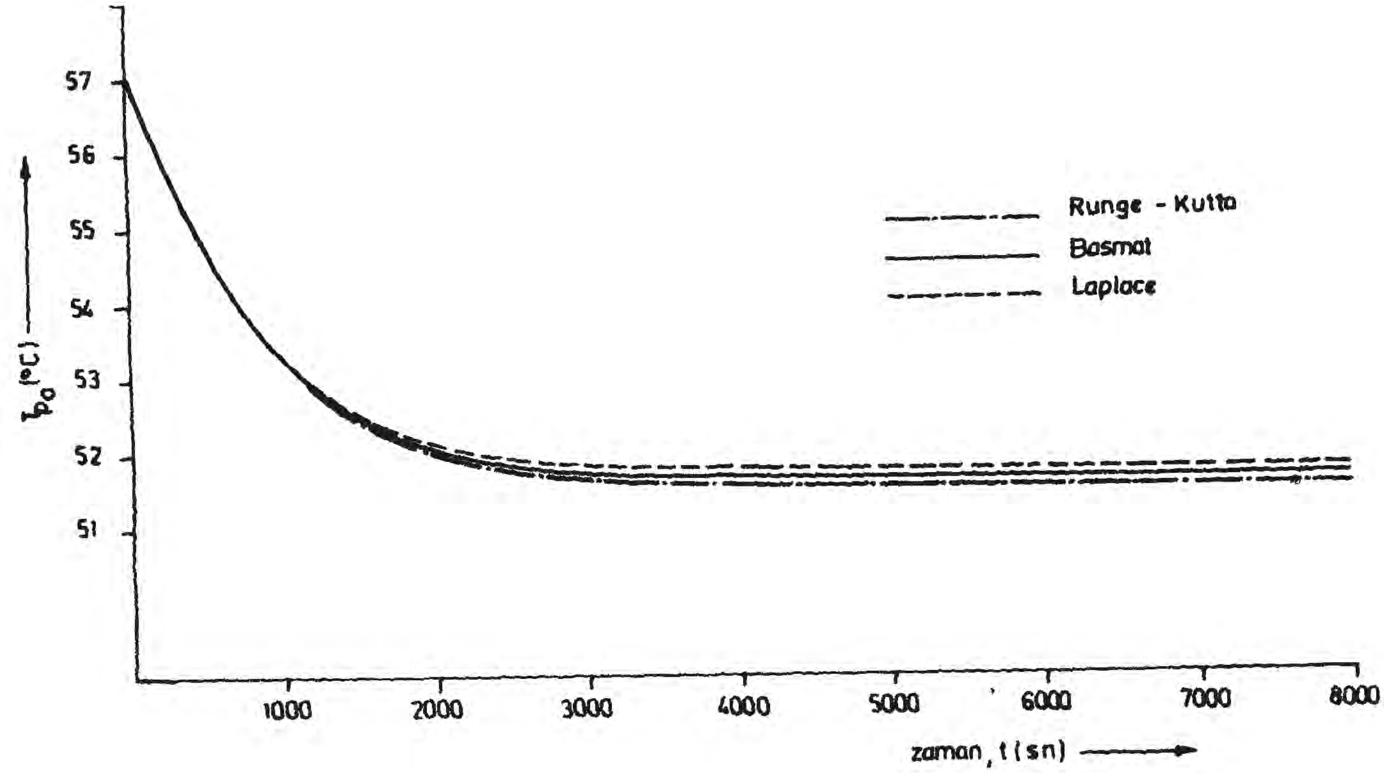


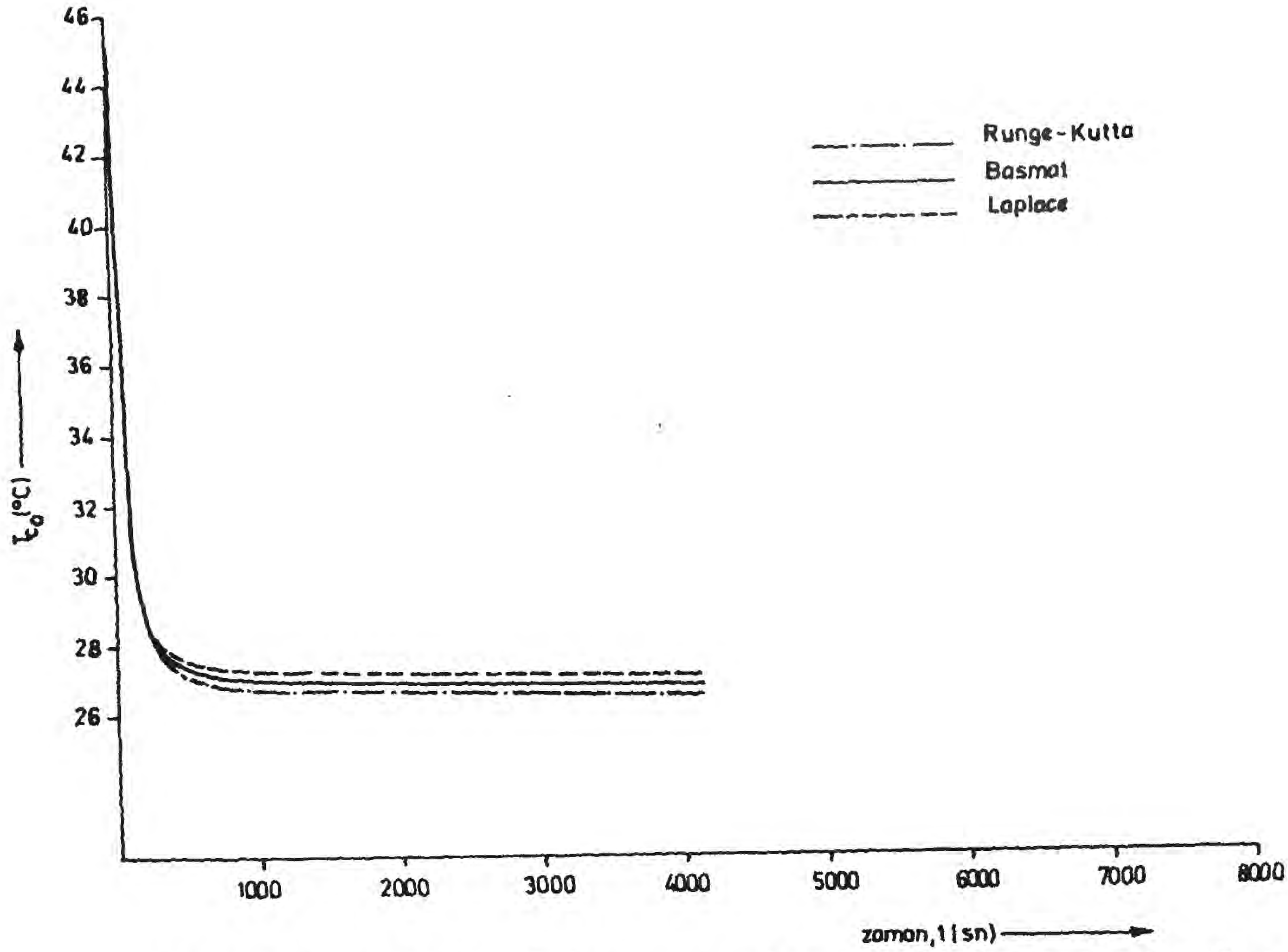
Şekil 5.7. Tank ve soğutma suyu çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi ($M_c^o = 17.0 \frac{g}{sn}$; $M_c = 697 \frac{g}{sn}$)



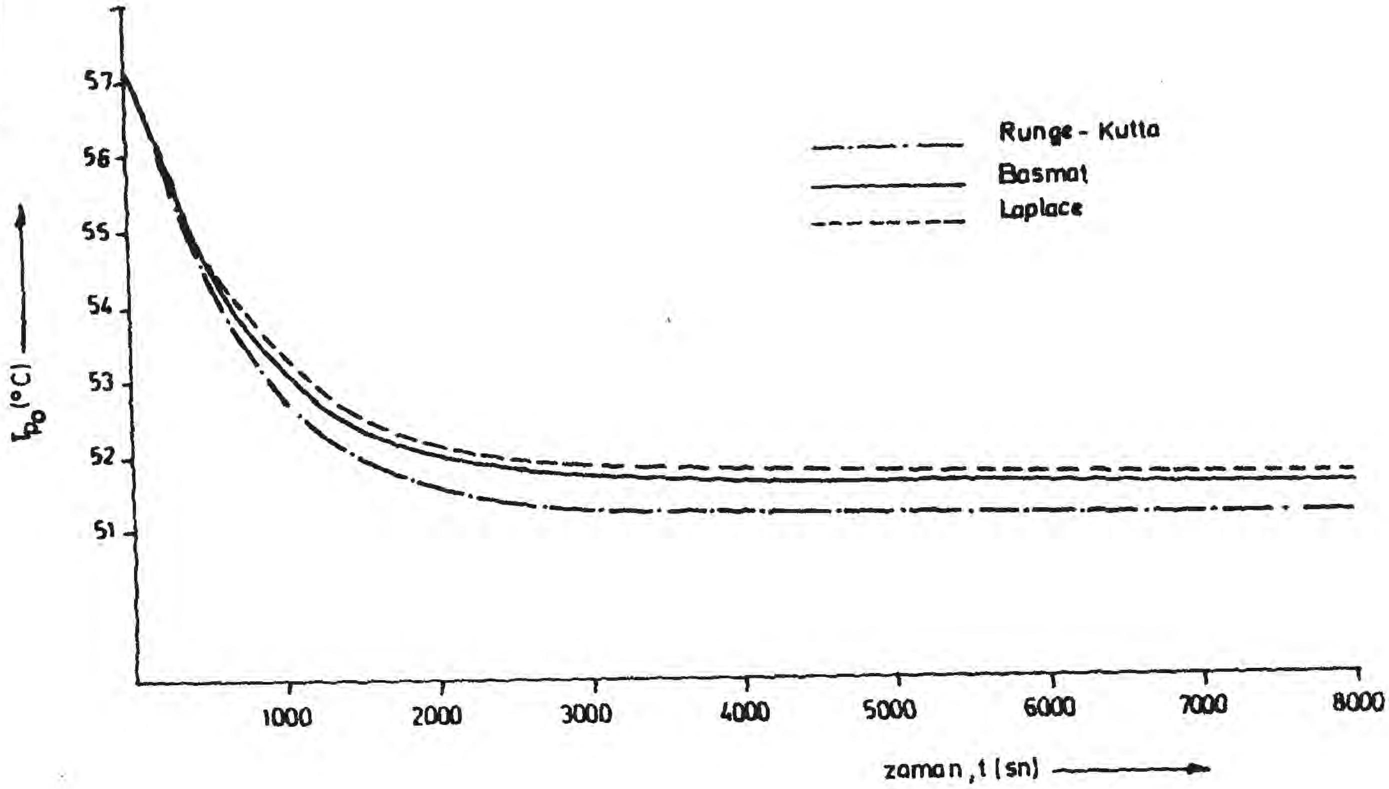


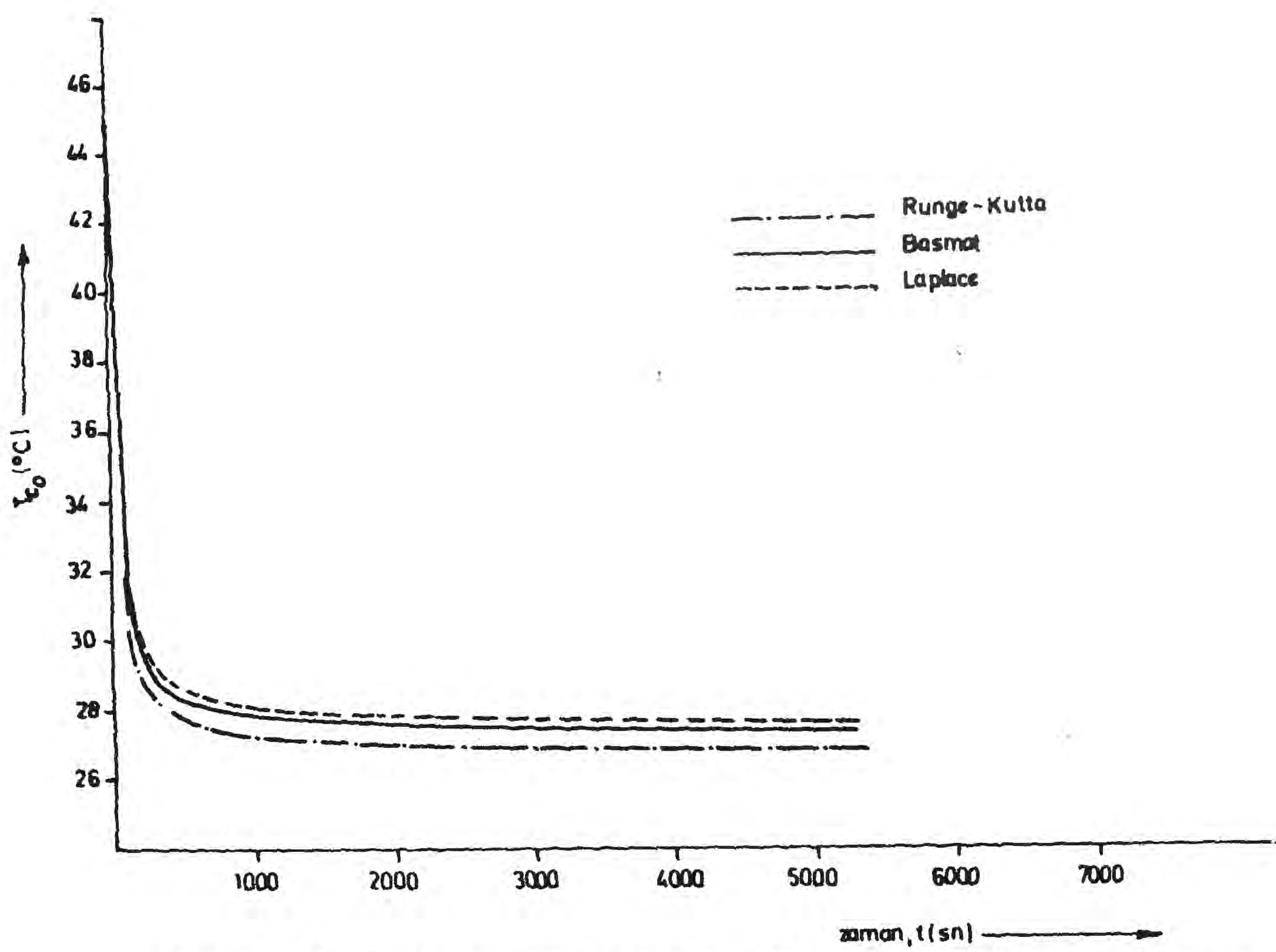
Şekil 5.8. Tank ve soğutma suyu çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi ($M_c^o = 17.0 \frac{g}{sn}$; $M_c = 69.7 \frac{g}{sn}$)



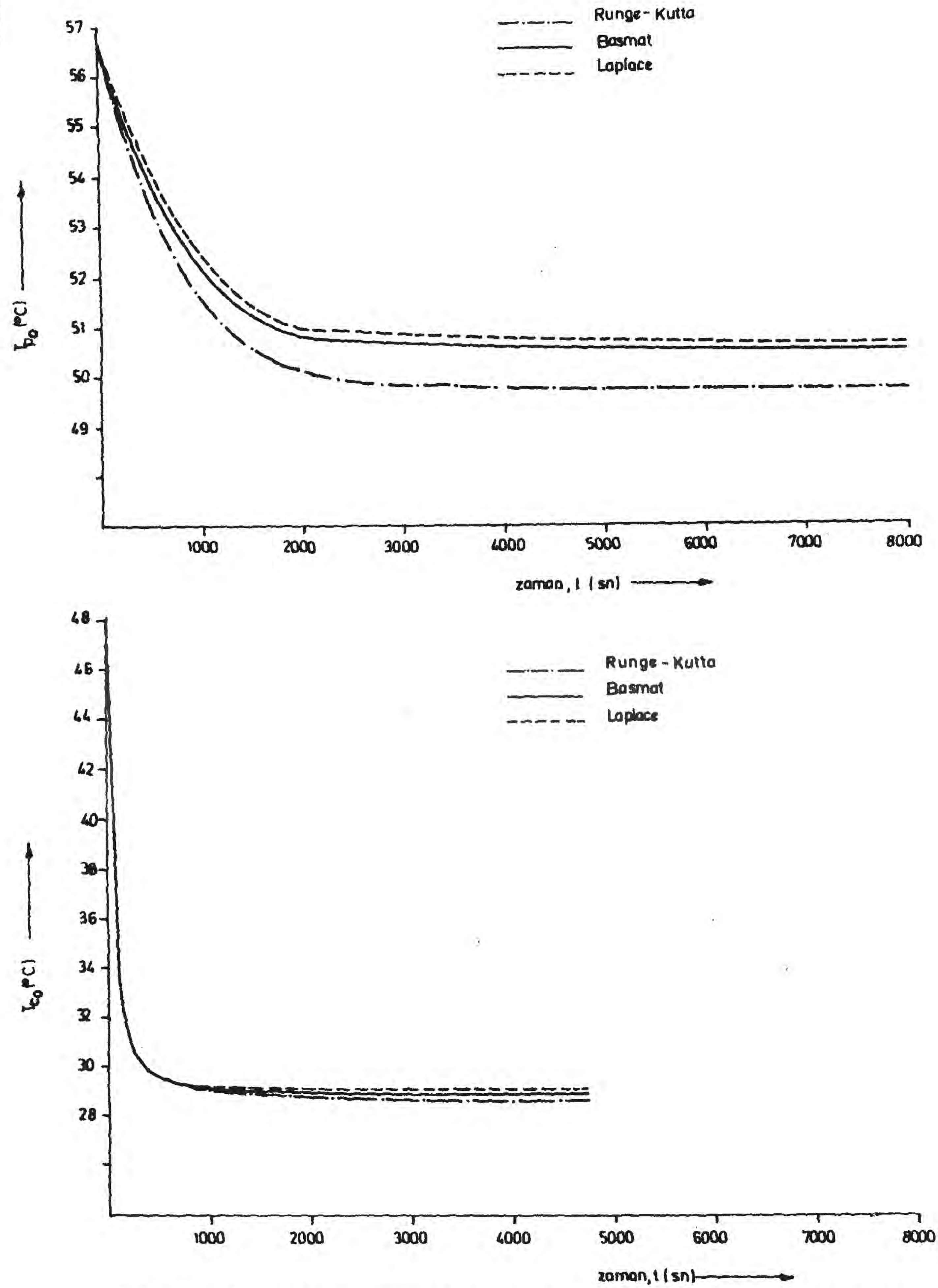


Şekil 5.9. Tank ve soğutma suyu çıkış sıcaklığının zamana göre değişimi ($\dot{M}_c^o = 17.0 \frac{g}{sn}$; $\dot{M}_c = 69.7 \frac{g}{sn}$)

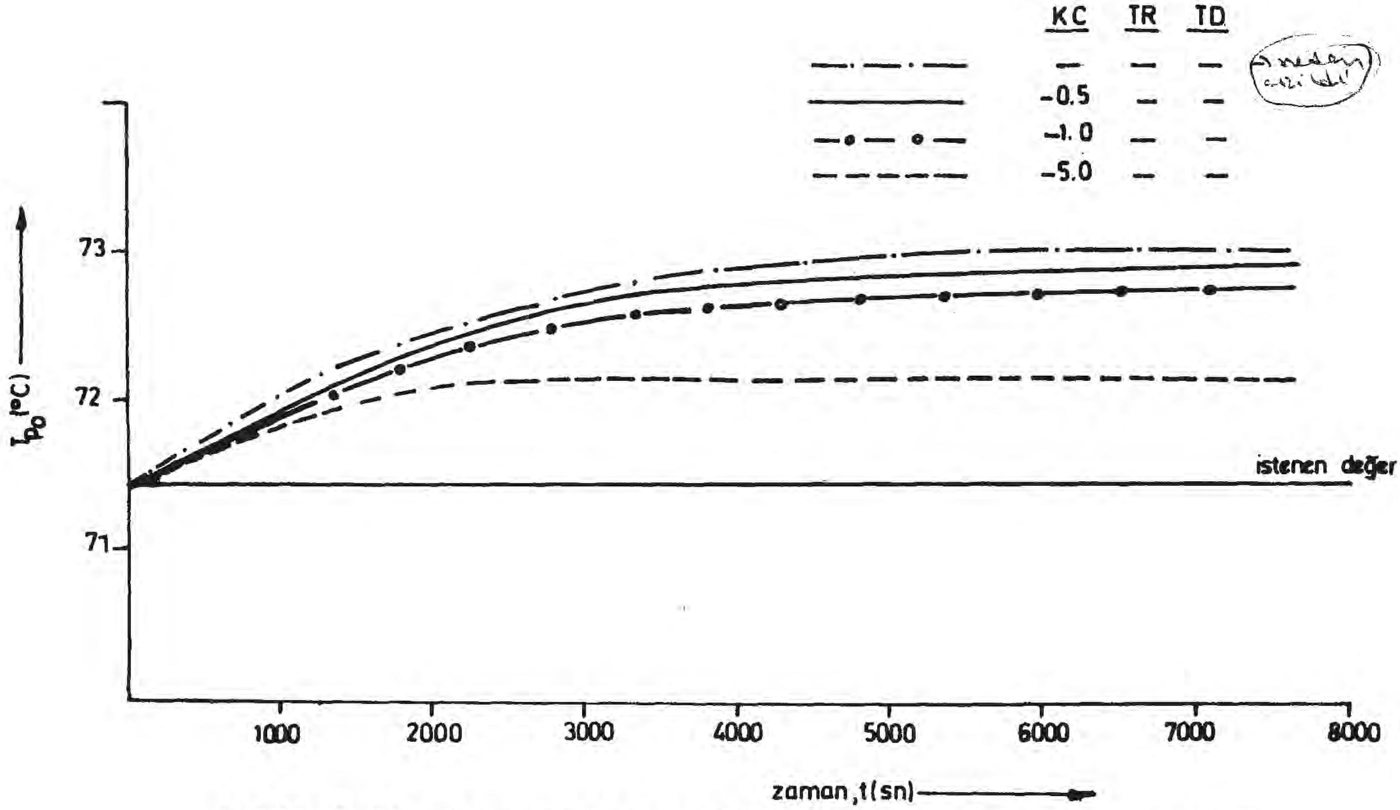




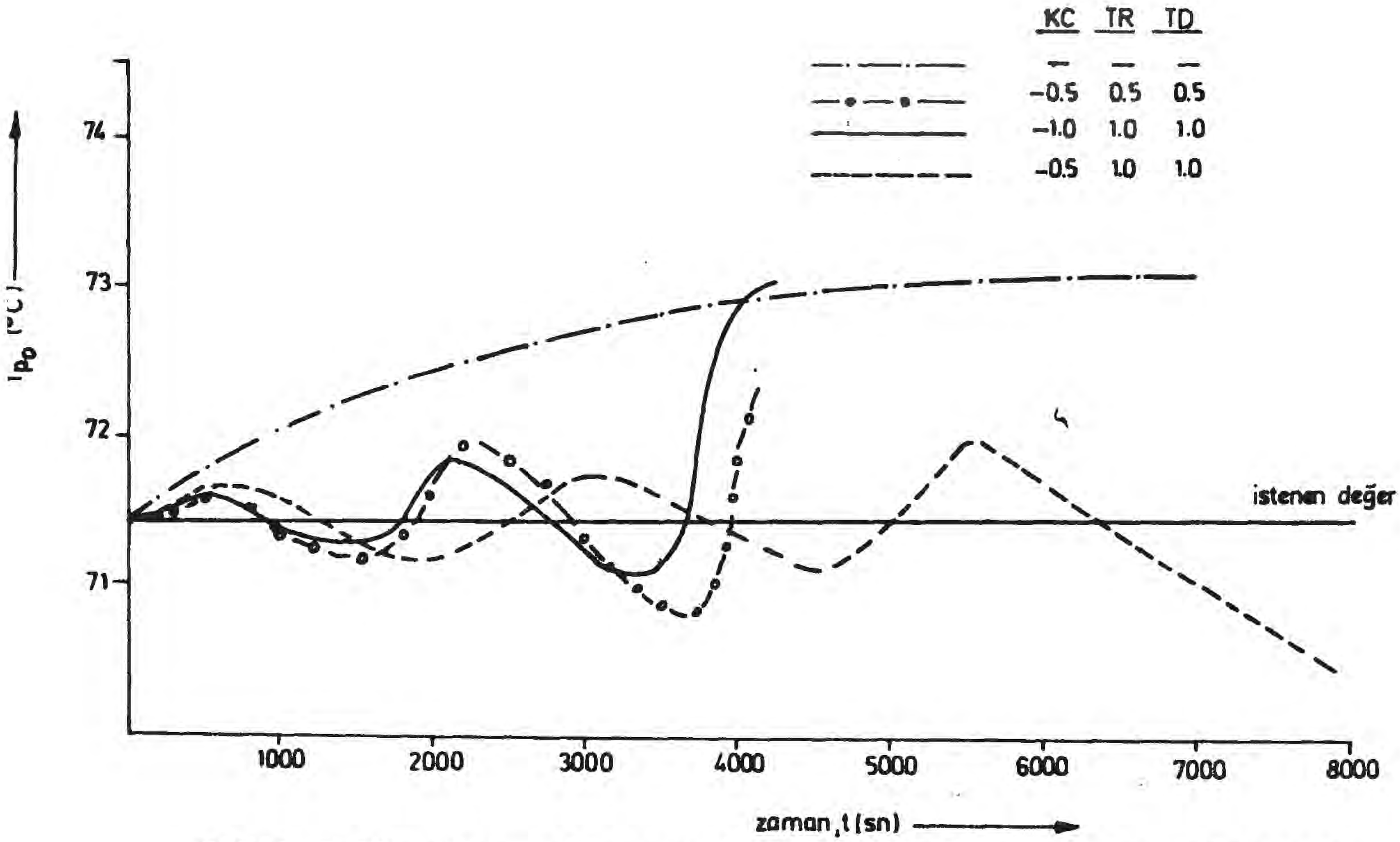
Şekil 5.10. Tank ve soğutma suyu çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi ($M_c^o = 17.0 \frac{g}{sn}$; $M_c = 69.7 \frac{g}{sn}$)



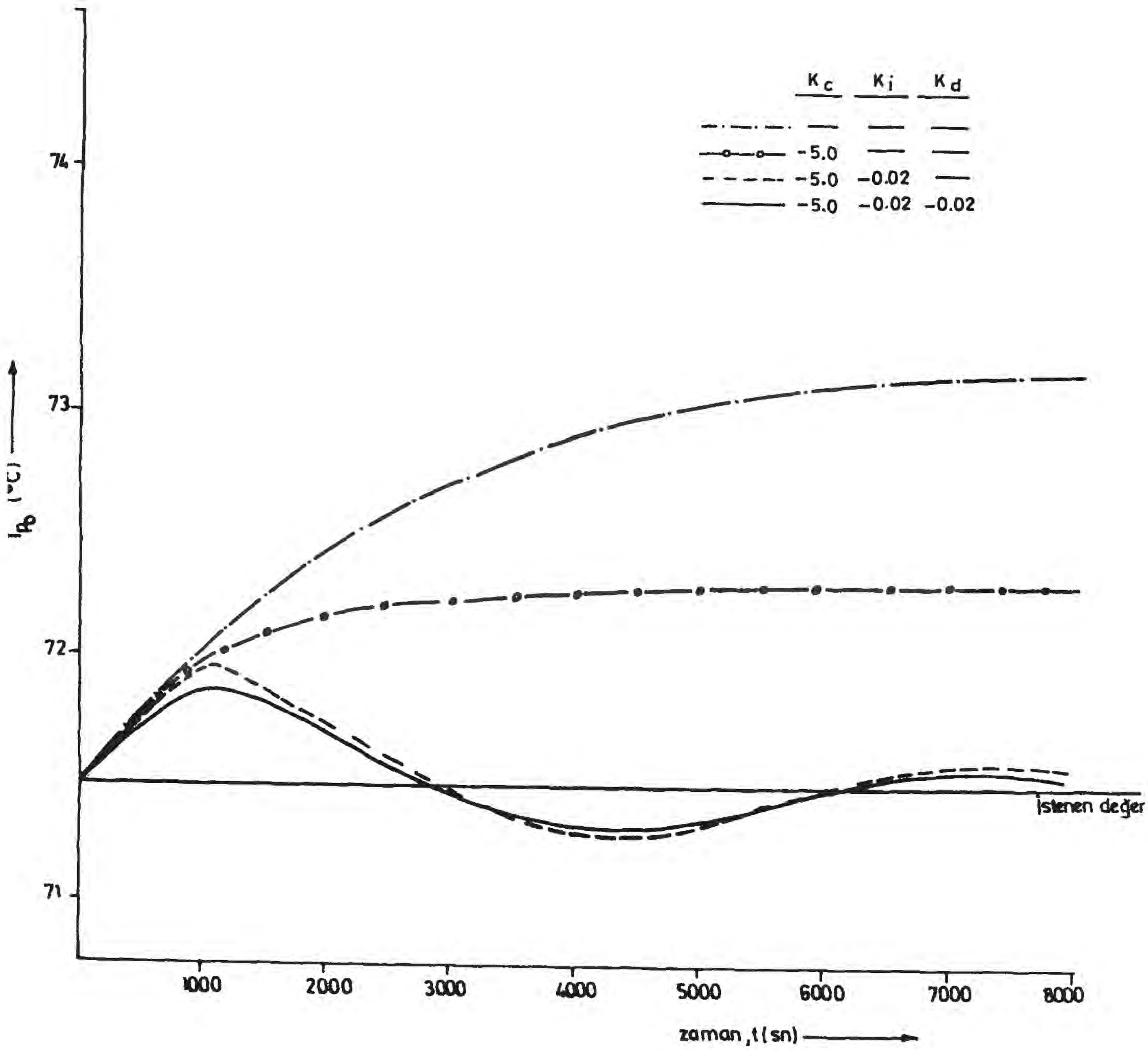
Şekil 5.11. Tank ve soğutma suyu çıkış sıcaklıklarının zamana göre değişimi ($M_c^o = 17.0 \frac{g}{sn}$; $M_c = 69.7 \frac{g}{sn}$)



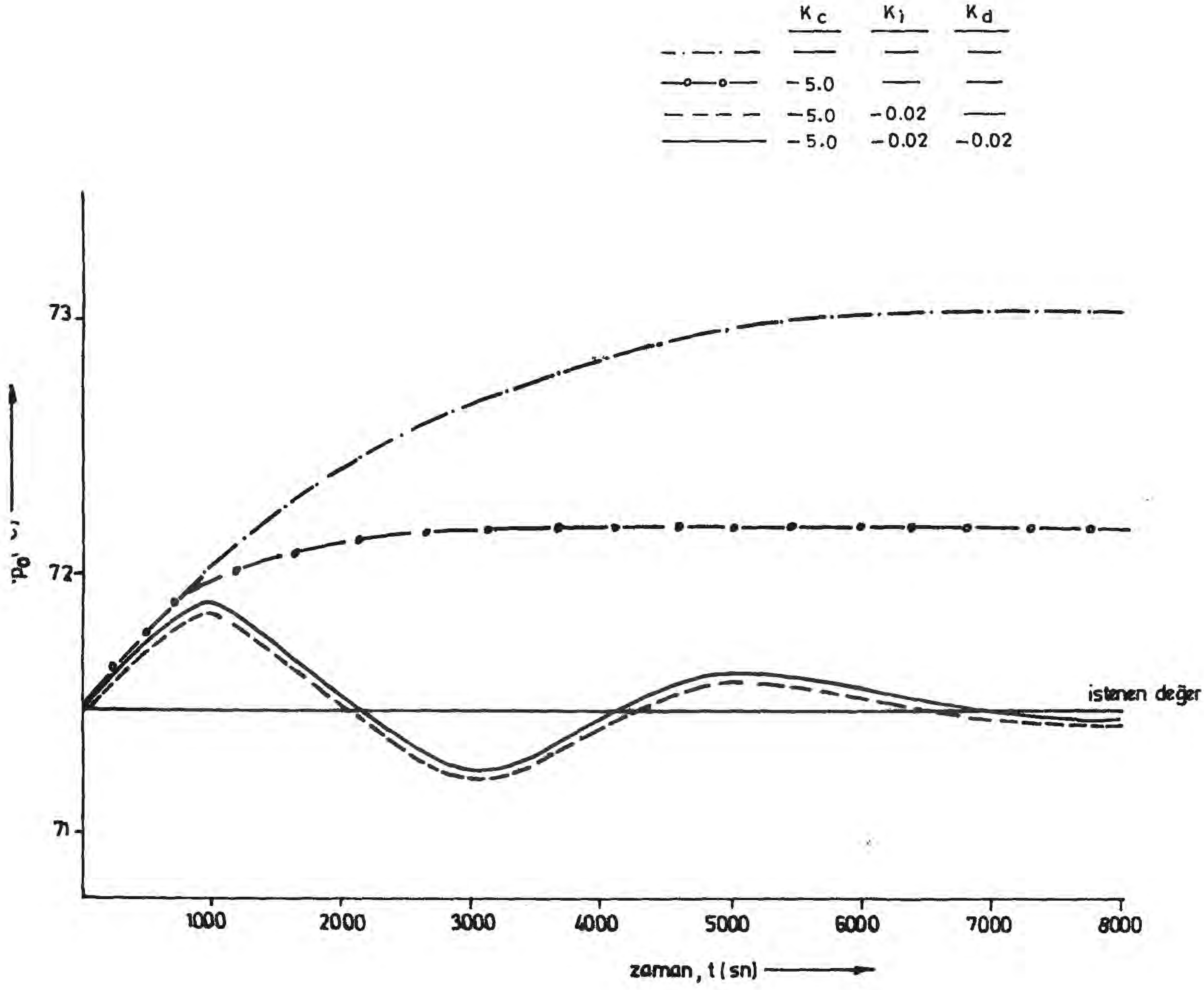
Şekil 5.12. Tank çıkış sıcaklığına K_c, oransal kontrol sabitinin etkisi.



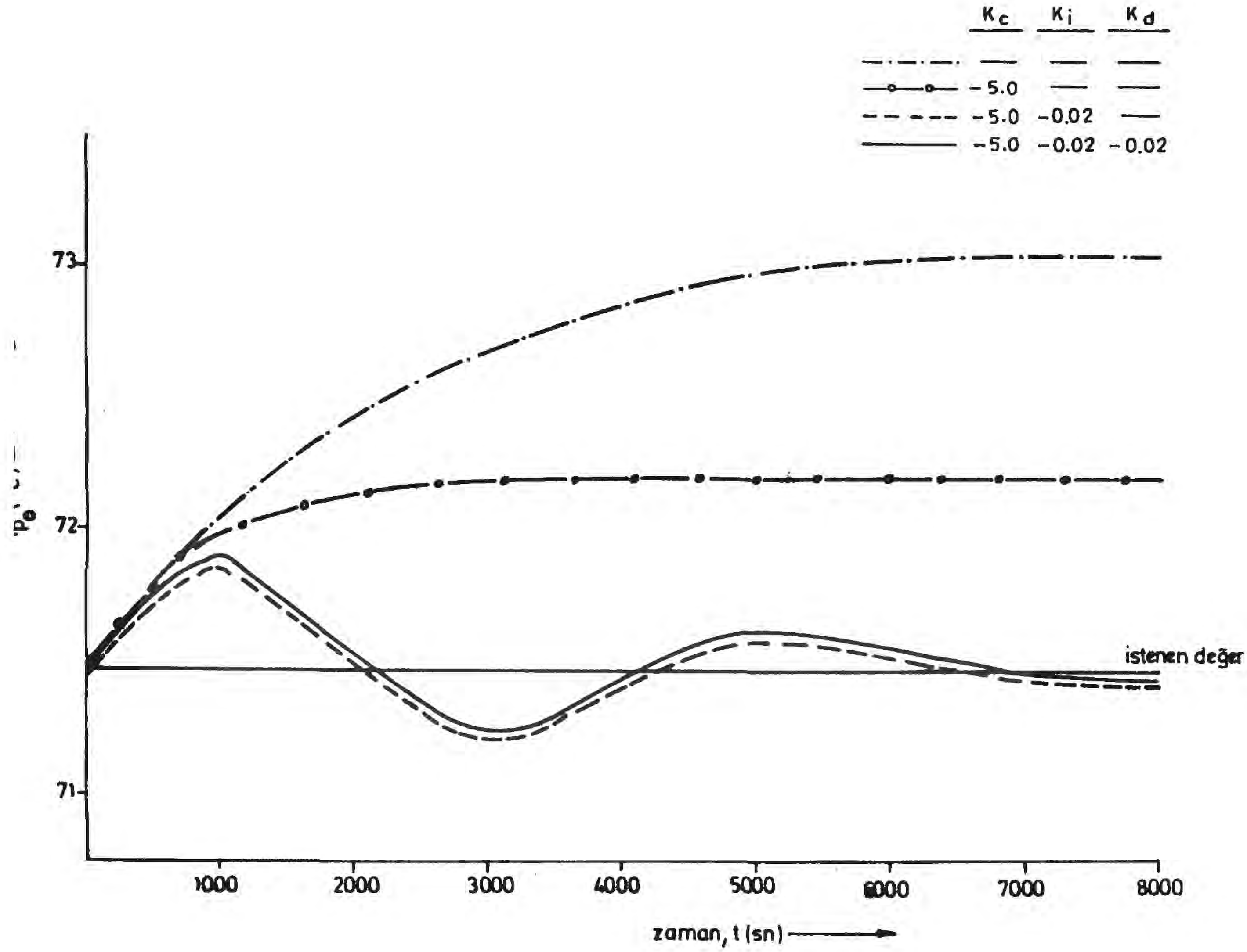
Şekil 5.13. Tank çıkış sıcaklığına kontrol parametrelerinin etkisi ve kararsızlık.



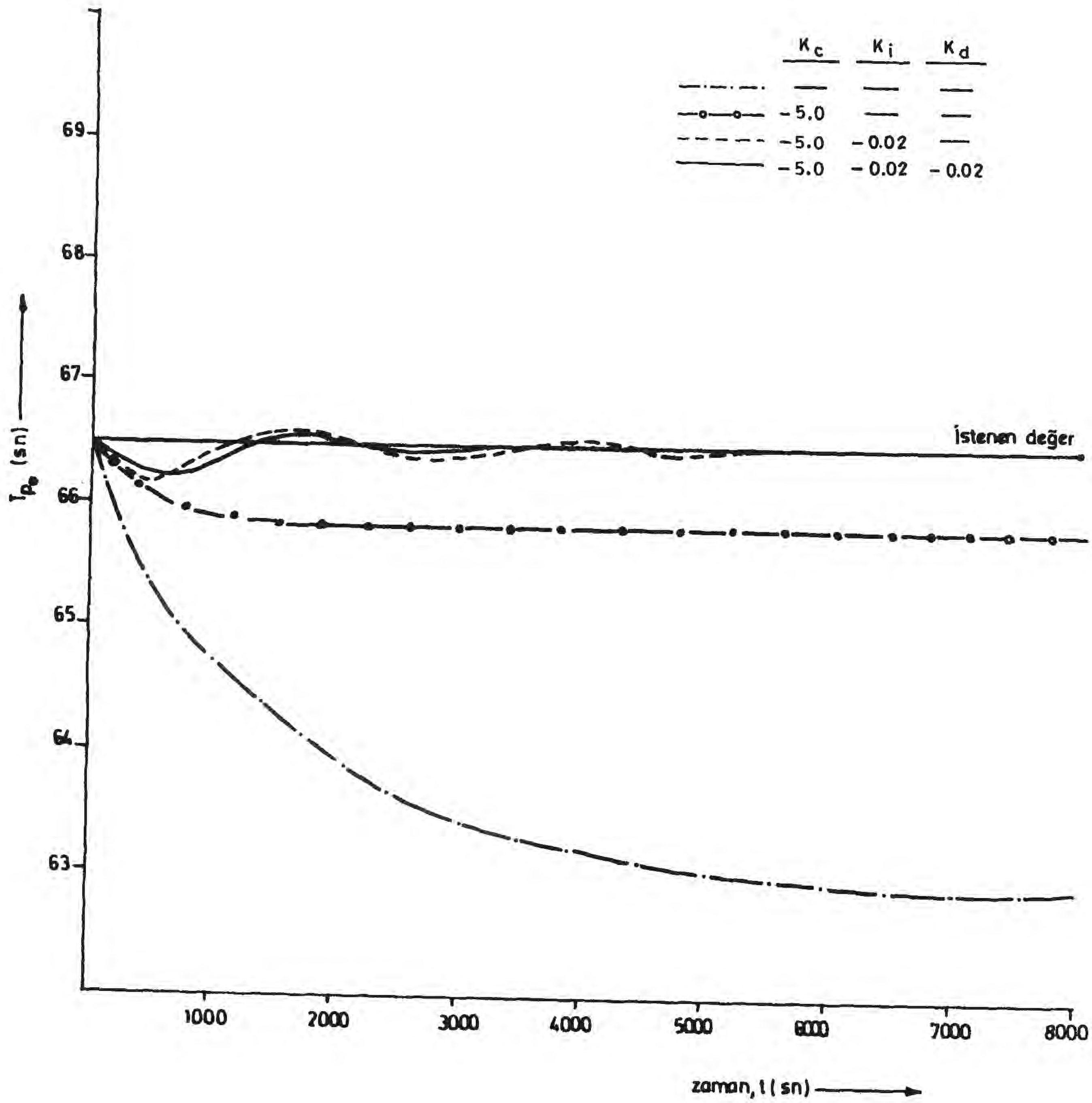
Şekil 5.14. Tank çıkış sıcaklığının, geri beslemeli kontrol altında zamana göre değişiminin, Runge-Kutta yöntemi ile hesap sonuçları ($M_p^o = 8.20 \frac{g}{sn}$; $M_p = 5.22 \frac{g}{sn}$)



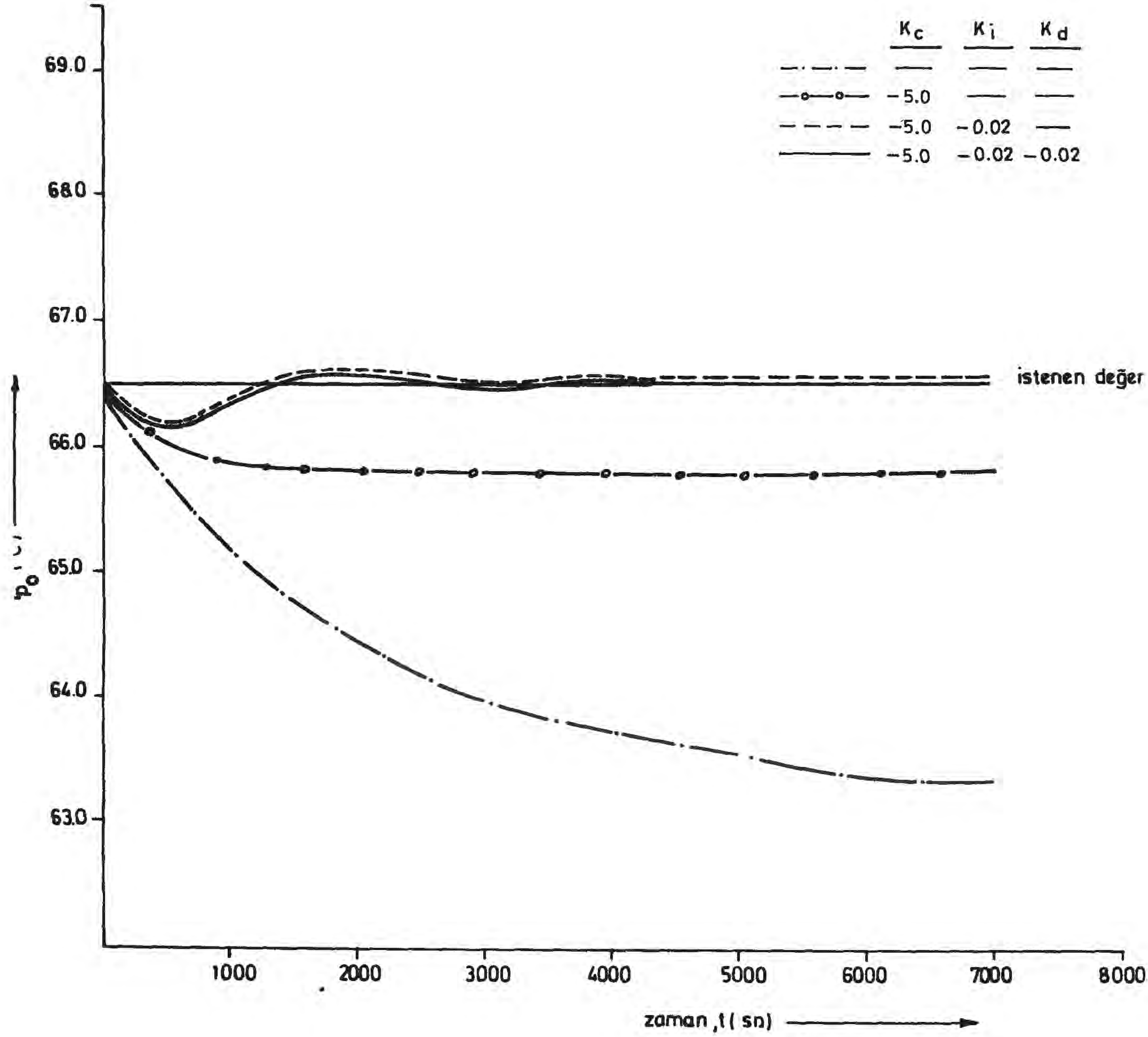
Şekil 5.15. Tank çıkış sıcaklığının geri beslemeli kontrol altındaki davranışının Laplace dönüşümü yöntemi ile hesap sonuçları ($M_p^o = 8.20 \frac{g}{sn}$; $M_p = 5.22 \frac{g}{sn}$)



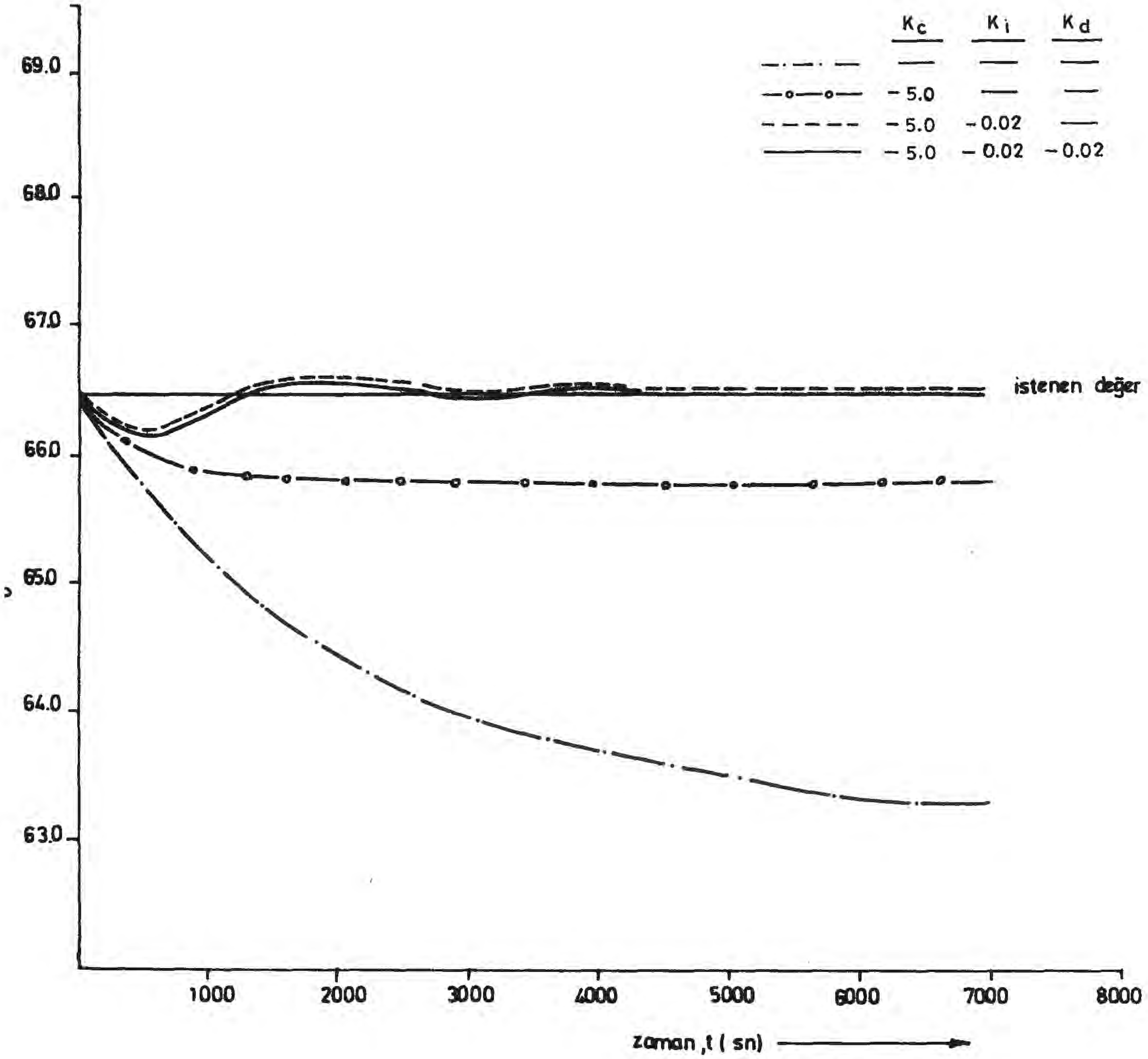
Şekil 5.16. Tank çıkış sıcaklığının geri beslemeli kontrol altındaki davranışının sayısal bilgisayarda matris kullanımı yöntemi ile hesap sonuçları ($M_p^o = 8.20 \frac{g}{sn}$; $M_p = 5.22 \frac{g}{sn}$)



Şekil 5.17. Tank çıkış sıcaklığının geri beslemeli kontrol altında, zamana göre değişiminin Runge-Kutta yöntemiyle hesap sonuçları (M_c^o = 17.0 $\frac{g}{sn}$; M_c = 89.6 $\frac{g}{sn}$)



Şekil 5.18. Tank çıkış sıcaklığının geri beslemeli kontrol altındaki davranışının sayısal bilgisayarda matris kullanımı yöntemi ile hesap sonuçları ($M_c^o = 17.0 \frac{g}{sn}$; $M_c = 89.6 \frac{g}{sn}$)



Şekil 5.19. Tank çıkış sıcaklığının geri beslemeli kontrol altındaki davranışının Laplace dönüşümü yöntemi ile hesap sonuçları ($M_c^o = 17.0 \frac{g}{sn}$; $M_c = 89.6 \frac{g}{sn}$)

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde, yapılan araştırmadan elde edilen sonuçlar ve ileri çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

6.1. Sonuçlar

Tam karıştırmalı tankın dinamiği ve kontrolu üzerinde yapılan kuramsal çalışmaların sonuçları aşağıda verilmiştir.

1. Doğrusallaştırılmış matematiksel modelin çözümü için kullanılan Laplace dönüşümü ve matris çözüm yöntemleri sonuçları arasında tam bir uygunluk bulunmuştur. Modellerin çözümü için iki yöntemden biri kullanılabilir.

2. Runge-Kutta yöntemi ile sayısal bilgisayarda hesaplanan,doğrusallaştırılmamış differansiyel denklemlerin çözüm sonuçları,yukarıdaki yöntemler ile elde edilen sonuçlardan biraz farklı olduğu görülmüştür.

3. İlk iki şıktan görüleceği gibi üç yöntemden herhangi biri diğerleri yerine kullanılabileceği anlaşılmıştır.

4. Kontrol çalışmalarında,kontrol edicinin üç elemanının bazı değerlerinde,tankın çıkış sıcaklığında kararsızlık gözlenmiştir. Bu kararsızlığı gidermek için Routh tekniği kullanılarak,üç elemanın uygun değerleri seçilmiştir.

5. Bilgisayar çalışmaları Anadolu Üniversitesi ICL-2903 sisteminde 10-15 dakikada sonuçlanmıştır. Ayrıca hesaplamaların bir kısmı,Fırat Üniversitesi bilgisayar merkezinde IBM bilgisayarı ile yapılmıştır.

6. Karıştırmalı kapta tam karışma varsayımı yapılarak durgun bölgeler ihmal edilmiştir.

7. Bölüm 3 de verilen tüm varsayımlarında bu hesaplamalar için geçerli olduğu görülmüştür.

8. Doğrusallaştırılmış matematiksel modellerin sayısal bilgisayarla çözümünde kullanılan BASMAT programı, ICL 2903 sisteminde hesaplama işlemleri için Melsa-Jones in programlarında bazı değişiklikler yapılmıştır. Bunlar Ek-5'de verilmiştir.

6.2. İleri Çalışmalar İçin Öneriler

Yapılan çalışmalar ile elde edilen sonuçların yardımı ile,ileri çalışmalar için öneriler aşağıda verilmiştir.

1. Kısım 6.1. de belirtilen model ve çözüm yöntemleri, hertürlü karıştırma tankının dinamiği ve kontrolu için kullanılabilir.

2. Durgun bölgeleri bulunan karıştırmalı tanklar için ilave bazı modellerin bilgisayar çözümlerine eklenerek alt programlarla hesaplanması gerekir.

3. Dinamik çalışmalar için sisteme verilen kademe değişimi yerine;ramp, sinüs, pulse gibi bozan etkenlerde verilebilir.

4. Kontrol çalışmalarında cascade ve ileri beslemeli kontrol sistemleride denenebilir.

5. Gerçek bir karıştırmalı tanka on-line sayısal bilgisayar bağlanarak, kontrol hesaplarının geçerliliği daha kolay görülebilir.

6. Bu modeller için optimal kontrol teorileri uygulanabilir.

7. Karıştırma tankının ceketindeki metal cidarın ısı değişimi, adi türevli veya kısmi türevli differansiyel denklemlerlede ifade edilebilir.

EK-1

LAPLACE DÖNÜŞÜMÜ YÖNTEMİYLE ÇÖZÜM SONUÇLARI

Burada, sisteme yalnız gliserin ve gliserinle birlikte suyun girdiği durumlar için ayrı çözümler yapılmıştır.

E1.1. Sisteme yalnız gliserin girdiği durum

E1.1.1. Soğutma suyu akış hızına kademe verilmesi

$$(M_c^o = 17 \frac{g}{sn}, \; M_c = 89 \frac{g}{sn})$$

Denklem (4.6) ve (4.12) den;

$$\frac{dT'_{p_0}}{dt} = \left(\frac{54-66.5}{32595}\right) M'_p - \left(\frac{6.06 + 5.6826}{21512.7}\right) T'_{p_0} + \left(\frac{6.06}{(2)(21512.7)}\right) T'_{c_0} \quad \text{(E1.1)}$$

$$\frac{dT'_{c_0}}{dt} = \left(\frac{17-32.5}{4922.8}\right) M'_c - \left(\frac{89 + \frac{6.06}{2}}{4922.8}\right) T'_{c_0} + \left(\frac{6.06}{4922.8}\right) T'_{p_0} \quad \text{(E1.2)}$$

$$M'_p = 0$$

$$\frac{dT'_{p_0}}{dt} = -(5.458 \times 10^{-4}) T'_{p_0} + (1.408 \times 10^{-4}) T'_{c_0} \quad \text{(E1.3)}$$

$$\frac{dT'_{c_0}}{dt} = -(3.148 \times 10^{-3}) M'_c - (0.0186) T'_{c_0} + (1.231 \times 10^{-3}) T'_{p_0} \quad \text{(E1.4)}$$

Laplace dönüşümleri alınırsa;

$$\bar{T}'_{p_0} = \left(\frac{1.408 \times 10^{-4}}{S + 5.458 \times 10^{-4}}\right) \bar{T}'_{c_0} \quad \text{(E1.5)}$$

$$\bar{T}'_{c_0} = -\left(\frac{3.148 \times 10^{-3}}{S + 0.0186}\right) \bar{M}'_c + \left(\frac{1.231 \times 10^{-3}}{S + 0.0186}\right) \bar{T}'_{p_0} \quad \text{(E1.6)}$$

i. Gliserin çıkış sıcaklığı için çözüm

Denklem (El.6), (El.5) de yerine konur,

$$\bar{T}'_{p_0} = \left(\frac{1.408\times10^{-4}}{S + 5.458\times10^{-4}}\right) \left[-\left(\frac{3.148\times10^{-3}}{S + 0.0186}\right)\bar{M}'_c + \left(\frac{1.231\times10^{-3}}{S + 0.0186}\right)\bar{T}'_{p_0} \right] \qquad \text{(El.7)}$$

Buradan;

$$\bar{T}'_{p_0} = -\left[\frac{4.434\times10^{-7}}{S^2 + 0.0192\,S + 1.003\times10^{-5}} \right] \bar{M}'_c \qquad \text{(El.8)}$$

Soğutma suyu akış hızına 72 $\frac{g}{sn}$ değerinde bir kademe değişimi verildiğinden,

$$\bar{M}'_c = \frac{72}{S}$$ yerine konursa;

$$\bar{T}'_{p_0} = \left[-\frac{3.18}{S} - \frac{0.0939}{S + 0.0187} + \frac{3.277}{S + 5.362\times10^{-4}} \right] \qquad \text{(El.9)}$$

Ters Laplace dönüşümü alınırsa;

$$T'_{p_0} = -3.18 - 0.0939\, e^{-0.0187t} + 3.277\, e^{-5.362\times10^{-4}t} \qquad \text{(El.10)}$$

Tank çıkış sıcaklığının sapma değişkeni cinsinden zamana göre değişimi bulunur.

ii. Soğutma suyu çıkış sıcaklığı için çözüm

Denklem (El.5), (El.6) da yerine konur,

$$\bar{T}'_{c_0} = -\left(\frac{3.148\times10^{-3}}{S + 0.0186}\right)\bar{M}'_c + \left(\frac{1.231\times10^{-3}}{S + 0.0186}\right)\left(\frac{1.408\times10^{-4}}{S + 5.458\times10^{-4}}\right)\bar{T}'_{c_0} \qquad \text{(El.11)}$$

Buradan;

$$\bar{T}'_{c_0} = -(3.148\times10^{-3}) \left[\frac{S + 5.458\times10^{-4}}{S^2 + 0.0192\ S + 1.003\times10^{-5}} \right] \bar{M}'_c \quad (El.12)$$

$\bar{M}'_c = \frac{72}{S}$ konursa;

$$\bar{T}'_{c_0} = -(0.2266) \left[\frac{54.403}{S} - \frac{53.710}{S + 0.0187} - \frac{0.995}{S + 5.364\times10^{-4}} \right] \quad (El.13)$$

Ters Laplace dönüşümü alınırsa;

$$T'_{c_0} = -(0.2266) \left[54.403-53.710\ e^{-0.0187t} - 0.995\ e^{-5.364\times10^{-4}} \right] \quad (El.14)$$

Soğutma suyu çıkış sıcaklığının sapma değişkeni cinsinden zamana göre değişimi bulunur.

El.1.2. Gliserin akış hızına kademe verilmesi

$(M_p^o = 5.22 \frac{g}{sn}\ ,\ M_p = 8.20 \frac{g}{sn})$

(4.6) ve (4.12) denklemlerinden,

$$\frac{dT'_{p_0}}{dt} = \left(\frac{64-75}{32595}\right) M'_p - \left(\frac{6 + 5.4147}{21512.7}\right) T'_{p_0} + \left(\frac{6}{(2)(21512.7)}\right) T'_{c_0} \quad (El.15)$$

$$\frac{dT'_{c_0}}{dt} = -\left(\frac{17 + \frac{6}{2}}{4922.8}\right) T'_{c_0} + \left(\frac{6}{4922.8}\right) T'_{p_0} + \left(\frac{17-35.0}{4922.8}\right) M'_c \quad (El.16)$$

$M'_c = 0$

$$\frac{dT'_{p_0}}{dt} = -(3.374\times10^{-4}) M'_p - (5.306\times10^{-4}) T'_{p_0} + (1.394\times1^{-4}) T'_{c_0} \quad (El.17)$$

$$\frac{dT'_{c_0}}{dt} = -(4.062\times10^{-3}) T'_{c_0} + (1.218\times10^{-3}) T'_{p_0} \quad (El.18)$$

Laplace dönüşümleri alınırsa;

$$\bar{T}'_{p_0} = -\left(\frac{3.374x10^{-4}}{S + 5.306x10^{-4}}\right)\bar{M}'_p + \left(\frac{1.394x10^{-4}}{S + 5.306x10^{-4}}\right)\bar{T}'_{c_0} \quad \text{(El.19)}$$

$$\bar{T}'_{c_0} = \left(\frac{1.218x10^{-3}}{S + 4.062x10^{-3}}\right)\bar{T}'_{p_0} \quad \text{(El.20)}$$

i. Gliserin çıkış sıcaklığı için çözüm

Denklem (El.20), (El.19) da yerine konur,

$$\bar{T}'_{p_0} = -\left(\frac{3.374x10^{-4}}{S + 5.306x10^{-4}}\right)\bar{M}'_p + \left(\frac{1.394x10^{-4}}{S + 5.306x10^{-4}}\right)\left(\frac{1.218x10^{-3}}{S + 4.062x10^{-3}}\right)\bar{T}'_{p_0}$$

(El.21)

Buradan;

$$\bar{T}'_{p_0} \doteq -(3.374x10^{-4})\left[\frac{S + 4.062x10^{-3}}{S^2 + 4.592x10^{-3}S + 1.985x10^{-6}}\right]\bar{M}'_p \quad \text{(El.22)}$$

Gliserin akış hızına 2.98 $\frac{g}{sn}$ değerinde bir kademe etkisi verilir.

$$\bar{M}'_p = \frac{2.98}{S}$$

$$\bar{T}'_{p_0} = -(1.00x10^{-3})\left[\frac{2045.87}{S} - \frac{3.180}{S + 4.109x10^{-3}} - \frac{2042.69}{S + 4.831x10^{-4}}\right]$$

(El.23)

ters Laplace dönüşümü alınırsa;

$$T'_{p_0} = -(1.00x10^{-3})\left[2045.87 - 3.180\, e^{-4.109x10^{-3}t} - 2042.69e^{-4.831x10^{-4}t}\right]$$

(El.24)

Gliserin çıkış sıcaklığının sapma değişkeni cinsinden zamana göre değişimi bulunur.

ii. Soğutma suyu çıkış sıcaklığı için çözüm

Denklem (El.19), (El.20) de yerine konur,

$$\bar{T}'_{c_0} = \left(\frac{1.218x10^{-3}}{s+4.062x10^{-3}}\right)\left[-\left(\frac{3.374x10^{-4}}{s+5.306x10^{-4}}\right)\bar{M}'_p + \left(\frac{1.394x10^{-4}}{s+5.306x10^{-4}}\right)\bar{T}'_{c_0}\right]$$

(El.25)

Buradan;

$$\bar{T}'_{c_0} = -\left[\frac{4.113x10^{-7}}{s^2 + 4.592x10^{-3}\ s + 1.985x10^{-6}}\right]\bar{M}'_p \qquad \text{(El.26)}$$

$$\bar{M}'_p = \frac{2.98}{s}$$

$$\bar{T}'_{c_0} = \left[-\frac{0.6164}{s} - \frac{0.0818}{s + 4.109x10^{-3}} + \frac{0.698}{s + 4.831x10^{-4}}\right] \qquad \text{(El.27)}$$

Ters Laplace dönüşümü alınırsa;

$$T'_{c_0} = -0.6164 - 0.0.818^{-4.109x10^{-3}t} + 0.698\ e^{-4.831x10^{-4}t}$$

(El.28)

Soğutma suyu çıkış sıcaklığının sapma değişkeni cinsinden zamana göre değişimi bulunur.

El.2. Sisteme gliserinle birlikte suyun girdiği durum

E.1.2.1. Soğutma suyu akış hızına kademe verilmesi

$$(M^o_c = 17\ \frac{g}{sn}\ ,\ M_c = 72.5\ \frac{g}{sn})$$

$$(M_pC_p)'_G = 0$$

$$(M_pC_p)'_S = 0$$

$$(M_pC_p)'_{GL} = 0$$

Denklem (4.18) ve (4.12) den,

$$\frac{dT'_{p_0}}{dt} = -\left(\frac{6.1426 + 11.8}{21512.7}\right)T'_{p_0} + \left(\frac{11.8}{(21512.7)(2)}\right)T'_{c_0} \qquad (El.29)$$

$$\frac{dT'_{c_0}}{dt} = \left(\frac{29.5 - 46.5}{4922.8}\right)M'_c - \left(\frac{72.5 + \frac{11.8}{2}}{4922.8}\right)T'_{c_0} + \left(\frac{11.8}{4922.8}\right)T'_{p_0} \qquad (El.30)$$

$$\frac{dT'_{p_0}}{dt} = -(8.363x10^{-4})T'_{p_0} + (2.742x10^{-4})T'_{c_0} \qquad (El.31)$$

$$\frac{dT'_{c_0}}{dt} = -(3.453x10^{-3})M'_c - (0.01592)T'_{c_0} + (2.397x10^{-3})T'_{p_0} \qquad (El.32)$$

Laplace dönüşümü alınırsa;

$$\bar{T}'_{p_0} = \left(\frac{2.742x10^{-4}}{S + 8.363x10^{-4}}\right)\bar{T}'_{c_0} \qquad (El.33)$$

$$\bar{T}'_{c_0} = -\left(\frac{3.453x10^{-3}}{S + 0.01592}\right)\bar{M}'_c + \left(\frac{2.397x10^{-3}}{S + 0.01592}\right)\bar{T}'_{p_0} \qquad (El.34)$$

i. Gliserin çıkış sıcaklığı için çözüm

Denklem (El.34), (El.33) de yerine konur.

$$\bar{T}'_{p_0} = \left(\frac{2.742x10^{-4}}{S + 8.363x10^{-4}}\right)\left[-\left(\frac{3.453x10^{-3}}{S + 0.01592}\right)\bar{M}'_c + \left(\frac{2.397x10^{-3}}{S + 0.01592}\right)\bar{T}'_{p_0}\right]$$

(El.35)

$$\bar{T}'_{p_0} = -\left[\frac{9.740x10^{-7}}{S^2 + 0.01675\,S + 1.262x10^{-5}}\right]\bar{M}'_c \qquad (El.36)$$

$$\bar{M}'_c = \frac{55.5}{S}$$

$$\bar{T}'_{p_0} = -\frac{4.36}{S} - \frac{0.225}{S + 0.01675} + \frac{4.52}{S + 7.538x10^{-4}} \qquad (El.37)$$

$$T'_{p_0} = -4.36 - 0.225\, e^{-0.01675t} + 4.52e^{-7.538x10^{-4}t} \qquad (El.38)$$

Gliserin çıkış sıcaklığının sapma değişkeni cinsinden zamana göre değişimi bulunur.

ii. Soğutma suyu çıkış sıcaklığı için çözüm

Denklem(El.33), (El.34) de yerine konur.

$$\bar{T}'_{p_0} = -\left(\frac{3.453x10^{-3}}{S+0.01592}\right)\bar{M}'_c + \left(\frac{2.397x10^{-3}}{S+0.01592}\right)\left(\frac{2.742x10^{-4}}{S+8.343x10^{-4}}\right)\bar{T}'_{c_0} \qquad (El.39)$$

$$\bar{T}'_{c_0} = -(3.453x10^{-3})\left[\frac{S + 8.343x10^{-4}}{S^2 + 0.01675\, S + 1.262x10^{-5}}\right]\bar{M}'_c \qquad (El.40)$$

$$\bar{M}'_c = \frac{55.5}{S}$$

$$\bar{T}'_{c_0} = -(0.1916)\left[\frac{66.11}{S} - \frac{62.47}{S + 0.01596} - \frac{3.635}{S + 7.907x10^{-4}}\right]$$

(El.41)

Ters Laplace dönüşümü alınırsa;

$$T'_{c_0} = -(0.1916)\left[66.11-62.47e^{-0.01596t}-3.635e^{-7.907x10^{-4}t}\right]$$

(El.42)

Soğutma suyu çıkış sıcaklığının sapma değişkeni cinsinden zamana göre değişimi bulunur.

EK-2

LAPLACE DÖNÜŞÜMÜ YÖNTEMİYLE KONTROL SONUÇLARI

Burada, Laplace dönüşüm yönteminin uygulandığı iki çalışmadan, gliserin akış hızına negatif kademe etkisi verilmesi (M_p^o = 8.20 $\frac{g}{sn}$, M_p = 5.22 $\frac{g}{sn}$) hali için çözüm yapılmıştır. Yapılan çözümde; oransal, oransal + integral, oransal + integral + türevsel kontrol şartları ayrı ayrı incelenmiştir.

i. Oransal Kontrol

$$\bar{T}'_{c_0} = -\left(\frac{3.292x10^{-3}}{S + 4.062x10^{-3}}\right)\bar{M}'_c + \left(\frac{1.218x10^{-3}}{S + 4.062x10^{-3}}\right)\bar{T}'_{p_0} \quad \text{(E2.1)}$$

$$\bar{T}'_{p_0} = -\left(\frac{2.297x10^{-4}}{S + 4.392x10^{-4}}\right)\bar{M}'_p + \left(\frac{1.394x10^{-4}}{S + 4.392x10^{-4}}\right)\bar{T}'_{c_0} \quad \text{(E2.2)}$$

$$\bar{M}_c = -K\bar{T}'_{p_0} \quad \text{(E2.3)}$$

$$\bar{M}_c = 5\,\bar{T}'_{p_0} \quad \text{(E2.4)}$$

$$\bar{T}'_{c_0} = -\left(\frac{0.01524}{S + 4.062x10^{-3}}\right)\bar{T}'_{p_0} \quad \text{(E2.5)}$$

$$\bar{T}'_{p_0} = -\left(\frac{2.297x10^{-4}}{S + 4.392x10^{-4}}\right)\bar{M}'_p - \left[\frac{2.125x10^{-6}}{(S + 4.392x10^{-4})(S + 4.062x10^{-3})}\right]\bar{T}'_{p_0}$$

(E2.6)

$\overline{M}'_p = -\frac{2.98}{S}$ yerine konursa;

$$\overline{T}'_{p_0} = (6.846x10^{-4})[\frac{S + 4.062x10^{-3}}{S(S + 1.175x10^{-3})(S + 3.325x10^{-3})}] \quad (E2.7)$$

$$T'_{p_0} = 0.7105-0.78\ e^{-1.175x10^{-3}t} + 0.0704\ e^{-3.325x10^{-3}t} \quad (E2.8)$$

Tank çıkış sıcaklığının oransal kontrol altında zamana göre değişimi bulunur.

ii. Oransal + İntegral Kontrol

$$M_c = [5 + 0.02\ \frac{1}{S}]\overline{T}'_{p_0} \quad (E2.9)$$

Denklem (E2.1) de yerine konursa;

$$T'_{c_0} = -(\frac{3.292x10^{-3}}{S + 4.062x10^{-3}})\cdot[5 + 0.02\ \frac{1}{S}]\overline{T}'_{p_0} + (\frac{1.218x10^{-3}}{S + 4.062x10^{-3}})\overline{T}'_{p_0}$$

(E2.10)

$$T'_{c_0} = [\frac{-6.585x10^{-5}-0.01542\ S}{S(S + 4.062x10^{-3})}]\ \overline{T}'_{p_0} \quad (E2.11)$$

Denklem (E2.11), (E2.2) de yerine konur,

$$\overline{T}'_{p_0} = -(\frac{2.297x10^{-4}}{S + 4.392x10^{-4}})\overline{M}'_p + [\frac{-9.183x10^{-9}-2.150x10^{-6}S}{S(S + 4.392x10^{-4})(S + 4.062x10^{-3})}]T'_{p_0}$$

(E2.12)

$$\overline{M}'_p = -\frac{2.98}{S}$$

$$\overline{T}'_{p_0} = (6.8396x10^{-4})[\frac{S + 4.062x10^{-3}}{S^3 + 4.5012x10^{-3}\ S^2 + 3.934x10^{-6}S + 9.183x10^{-9}}]$$

(E2.13)

$$\bar{T}'_{p_0} = \frac{(6.8396x10^{-4})(S + 4.062x10^{-3})}{(S+4.096x10^{-3})(S+2.035x10^{-4}+1.492x10^{-3}J)(S+2.035x10^{-4} -1.492x10^{-3}j)}$$

(E2.14)

Euler dönüşümleri ve düzenlemeler yapıldığında ;

$$T'_{p_0} = -1.275x10^{-3}\ e^{-4.09x10^{-3}t} + 1.275x10^{-3}\ e^{-2.035x10^{-4}t}$$

$$\cos 1.492x10^{-3}t + 0.458\ e^{-2.035x10^{-4}t} \sin 1.492x10^{-3}t$$

(E2.15)

Tank çıkış sıcaklığının oransal + integral kontrol altındaki zamana göre değişimi bulunur.

iii. Oransal + İntegral +Türevsel Kontrol

$$\bar{M}'_c = [5 + 0.02\ S + 0.02\ \frac{1}{S}]\ \bar{T}'_{p_0} \qquad (E2.16)$$

$$T'_{c_0} = -(\frac{3.292x10^{-3}}{S + 4.062x10^{-3}})[5 + 0.025 + 0.02\ \frac{1}{S}]T'_{p_0} + (\frac{1.218x10^{-3}}{S + 4.062x10^{-3}})T'_{p_0} \qquad (E2.17)$$

$$\bar{M}'_p = -\frac{2.98}{S}$$

Denklem (E2.17), (E2.2) denkleminde yerine konarak oransal +integral çözümünde kullanılan yöntem aynen izlenerek;

$$T'_{p_0} = -1.276x10^{-3}\ e^{-4.09}\ e^{-3t} + 1.28x10^{-3}\ e^{-2.035x10^{-4t}}$$

$$\cos 1.492x10^{-3}t + 0.459\ e^{-2.035x10^{-4t}} \sin 1.492x10^{-3t}$$

(E2.18)

Tank çıkış sıcaklığının oransal + integral + türevsel kontrol altında zamana göre değişimi bulunur.

EK-3

SAYISAL BİLGİSAYARDA YATIŞKIN OLMAYAN HAL DENKLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ

Sayısal bilgisayarda yatışkın olmayan hal denklemlerinin çözümü için geliştirilen program, bir ana ve iki altprogramdan oluşmuştur. Ana program ve aşağıda verilen altprogramları içeren tüm programın akış şeması Şekil E3.1. ve listesi Tablo E3.1 ve E3.2 de verilmiştir.

i. Altprogram RUKU4

Bu altprogramda, Bölüm 4' de anlatılan dördüncü dereceden Runge-Kutta yöntemi kullanılmıştır. Hesaplamalar için öncelikle Runge-Kutta eşitlikleri kurulmalıdır.

ii. Altprogram EQNS

Runge-Kutta eşitliklerinin kurulabilmesi için altprogram EQNS den yararlanılır. Burada differansiyel denklemlerin türevleri FUN(2), FUN(3) olarak gösterilmiştir. Çözümler için bazı sabit katsayılar programda indisli A parametreleri şeklinde verilmiştir.

a. Sisteme yalnız gliserin girdiği durum

$$FUN(2) = \frac{Q}{M_v C_p} + \frac{M_p C_p}{M_v C_p}(T^o_{p_i} - T_{p_0}) - \frac{UA}{M_v C_p}\left[T_{p_0} - \left(\frac{T_{c_0} + T^o_{c_i}}{2}\right)\right] \quad (4.20)$$

$$FUN(3) = \frac{M_c C_c}{M_j C_c}(T^o_{c_i} - T_{c_0}) + \frac{UA}{M_j C_c}\left[T_{p_0} - \left(\frac{T_{c_0} + T^o_{c_i}}{2}\right)\right] \qquad (4.21)$$

$$A(1) = \frac{M_p C_p}{M_v C_p} ; \quad A(2) = \frac{UA}{M_v C_p} ; \quad A(3) = \frac{M_c C_c}{M_j C_c} ; \quad A(4) = \frac{UA}{M_j C_c} ;$$

$$A(5) = \frac{Q}{M_v C_p}$$

Hal değişkenleride aşağıdaki şekilde belirlenirse;

$$T^o_{p_i} = X(1) ; \quad T_{p_0} = X(2) ; \quad T^o_{c_i} = X(3) ; \quad T_{c_0} = X(4)$$

FUN(2) = A(5) + A(1) * (X(1)-X(2))-A(2) * (X(2)-(X(3) + X(4))/2.)

(E3.1)

FUN(3) = A(3) * (X(4) -X(3)) + A(4) * (X(2)-(X(3) + X(4))/2.)

(E3.2)

Şeklinde tanımlanır.

b. Sisteme gliserinle birlikte suyun girdiği durum:

$$FUN(2) = \frac{Q}{M_v C_p} + \frac{(M_p C_p)_G}{M_v C_p} T^o_{PİG} + \frac{(M_p C_p)_S}{M_v C_p} T^o_{PİS} - \frac{(M_p C_p)_{GL}}{M_v C_p} T_{P_0}$$

$$- \frac{UA}{M_v C_p}\left[T_{p_0} - \left(\frac{T_{c_0} + T^o_{c_i}}{2}\right)\right] \qquad (4.22)$$

$$FUN(3) = \frac{M_c C_c}{M_j C_c} (T^o_{c_i} - T_{c_0}) + \frac{UA}{M_j C_c}\left[T_{p_0} - \left(\frac{T_{c_0} + T^o_{c_i}}{2}\right)\right] \qquad (4.23)$$

Bir önceki kısımda olduğu gibi simgeleme işlemi yapılırsa;

$$A(6) = \frac{(M_pC_p)_G}{M_vC_p} \;;\; A(7) = \frac{(M_pC_p)_S}{M_vC_p} \;;\; A(8) = \frac{(M_pC_p)_{GL}}{M_vC_p} \;;$$

$$A(2) = \frac{UA}{M_vC_p} \;;\; A(4) = \frac{UA}{M_jC_c} \;;\; A(5) = \frac{Q}{M_vC_p} \;;\; A(3) = \frac{M_cC_c}{M_jC_c}$$

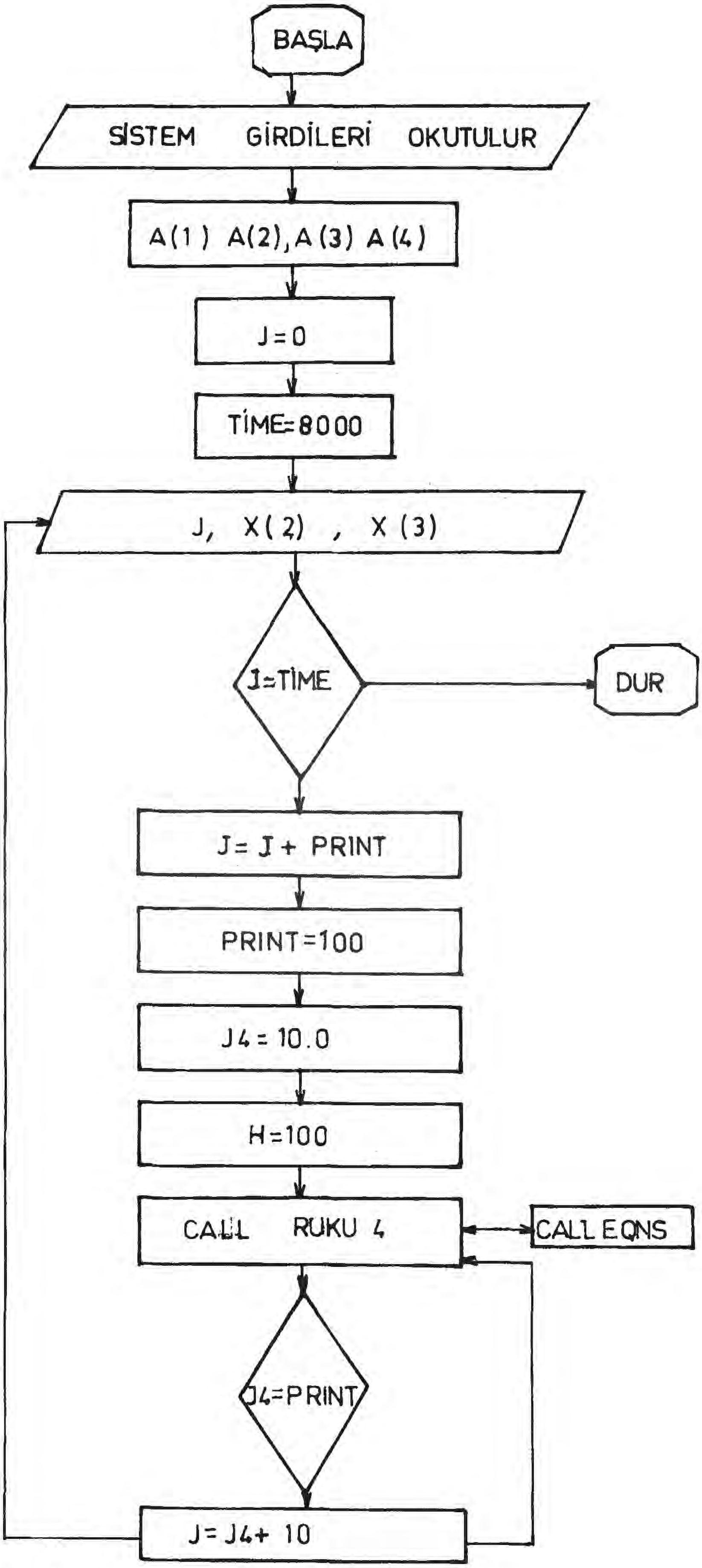
$$T^o_{PiG} = X(1) \;;\; T^o_{PiS} = X(5) \;;\; T_{P_0} = X(2) \;;\; T^o_{c_i} = X(3) \;;\; T_{c_0} = X(4)$$

olarak tanımlanır.

FUN(2) = A(5) + A(6) * X(1) + A(7) * X(5)-A(8) * X(2)-A(2)
*(X(2)-(X(3) + X(4))/2) (E3.3)

FUN(3) = A(3) * (X(3)-X(4)) + A(4) * (X(2)-(X(3) + X(4))/2)
(E3.4)

şeklinde düzenlenir.



Şekil E3.1.:Yatışkın olmayan hal denklemlerinin sayısal bilgisayar çözüm programı akış şeması

TABLO E3.1: Sisteme Yalnız Gliserin Girdiği Durumda Yatışkın olmayan Hal Denklemlerinin sayısal Bilgisayarda çözümü Fortran Programı

```
      INTEGER TIME
      METE KOCKAR  KIMYA MUH.BOLUMU,MUH-MIM FAKULTESI
      ANADOLU UNIVERSITESI ESKISEHIR
      SISTEME YALNIZ GLISERIN GIRDIGI DURUMDA
      KARARSIZ-HAL DENKLEMLERININ SAYISAL BILGISAYARDA COZUMLERI
      SEMBOLLER:
      MPCP      :KARISTIRMA TANKINA GIREN-CIKAN ISI MIKTARI
      MCCC      :SOGUTMA CEKETINE GIREN-CIKAN ISI MIKTARI
      MVCP      :KARISTIRMA TANKINDAKI ISI MIKTARI
      MJCC      :SOGUTMA CEKETINDEKI ISI MIKTARI
      UA        :ISI TRANSFER KATSAYISI
      Q         :KARISTIRMA TANKINA VERILEN ELEKTRIK ENERJISI MIKTARI
      X(1)      :KARISTIRMA TANKINA GIREN GLISERIN SICAKLIGI
      X(2)      :KARISTIRMA TANKINDAN CIKAN GLISERIN SICAKLIGI
      X(3)      :SOGUTMA SUYU GIRIS SICAKLIGI
      X(4)      :SOGUTMA SUYU CIKIS SICAKLIGI
      REAL MCCC,MPCP,MVCP,MJCC
      COMMON/BLOCK1/X(100)/BLOCK3/A(100)
      READ(5,10) MPCP,MVCP,MJCC,MCCC,UA
   10 FORMAT(5F0.0)
      N=4
      READ(5,20) (X(I),I=1,N)
   20 FORMAT(2F0.0)
      Q=318 .97
      TIME=10000
      A(1)=MPCP/MVCP
      A(2)=UA/MVCP
      A(3)=MCCC/MJCC
      A(4)=UA/MJCC
      A(5)=Q/MVCP
      J=0
      WRITE(6,30)
   30 FORMAT(80X,6HOUTLET,12X,6HOUTLET)
      WRITE(6,40)
   40 FORMAT(79X,8HREACTANT,11X,7HCOOLANT)
      WRITE(6,50)
   50 FORMAT(77X,11HTEMPARATURE,10X,11HTEMPARATURE)
      WRITE(6,60)
   60 FORMAT(80X,9HDEGREES C,9X,9HDEGREES C)
      WRITE(6,70)
   70 FORMAT(//120(1H-)//)
  200 WRITE(6,80) J,X(2),X(3)
   80 FORMAT(30X,27HTEMPARATURE PROFILES AFTER ,I5,2X,7HSECONDS,12X,F8.4
     *,12X,F8.4)
      IF(J.EQ.TIME) GO TO 100
      J=J+100
      PRINT=10
      J4=1
      H=10.0
  300 CALL RUKU4(H)
      IF(J4.EQ.PRINT)GO TO 200
      J4=J4+1
      GO TO 300
  100 STOP
      END
      SUBROUTINE RUKU4(H)
      REALK
```

```
      DIMENSION K(4,100),Y(100)
      COMMON/BLOCK1/X(100)/BLOCK2/FUN(100)
      Y(2)=X(2)
      Y(3)=X(3)
      DO 101 I=1,4
      CALL EQNS
      K(I,2)=H*FUN(2)
      K(I,3)=H*FUN(3)
      GO TO (103,103,104,105),I
  103 X(2)=Y(2)+K(I,2)/2.
      X(3)=Y(3)+K(I,3)/2.
      GO TO 101
  104 X(2)=Y(2)+K(I,2)
      X(3)=Y(3)+K(I,3)
      GO TO 101
  105 X(2)=Y(2)+(K(1,2)+2.*K(2,2)+2.*K(3,2)+K(4,2))/6.
      X(3)=Y(3)+(K(1,3)+2.*K(2,3)+2.*K(3,3)+K(4,3))/6.
  101 CONTINUE
      RETURN
      END
      SUBROUTINE EQNS
      COMMON/BLOCK1/X(100)/BLOCK2/FUN(100)/BLOCK3/A(100)
      FUN(2)=A(5)+A(1)*(X(1)-X(2))-A(2)*(X(2)-(X(3)+X(4))/2.)
      FUN(3)=A(3)*(X(4)-X(3))+A(4)*(X(2)-(X(3)+X(4))/2.)
      RETURN
      END
```

TABLO E3.2: Sisteme Gliserinle Birlikte Suyun Girdiği Durumda Yatışkın olmayan Hal Denklemlerinin sayısal Bilgisayarda çözümü Fortran Programı

```
      INTEGER TIME
C     METE KOCKAR  KIMYA MUH.BOLUMU,MUH-MIM FAKULTESI
C     ANADOLU UNIVERSITESI ESKISEHIR
C     SISTEME GLISERINLE BIRLIKTE SUYUN GIRDIGI DURUMDA
C     KARARSIZ-HAL DENKLEMLERININ SAYISAL BILGISAYARDA COZUMLERI
C     SEMBOLLER:
C     MPCPG     :KARISTIRMA TANKINA GLISERINLE GIREN ISI MIKTARI
C     MPCPS     :KARISTIRMA TANKINA SU ILE GIREN ISI MIKTARI
C     MPCPGL    :KARISTIRMA TANKINDAN GLISERINLE CIKAN ISI MIKTARI
C     MCCC      :SOGUTMA CEKETINE GIREN-CIKAN ISI MIKTARI
C     MVCP      :KARISTIRMA TANKINDAKI ISI MIKTARI
C     MJCC      :SOGUTMA CEKETINDEKI ISI MIKTARI
C     UA        :ISI TRANSFER KATSAYISI
C     Q         :KARISTIRMA TANKINA VERILEN ELEKTRIK ENERJISI MIKTARI
C     X(1)      :KARISTIRMA TANKINA GIREN GLISERIN SICAKLIGI
C     X(2)      :KARISTIRMA TANKINDAN CIKAN GLISERIN SICAKLIGI
C     X(3)      :SOGUTMA SUYU GIRIS SICAKLIGI
C     X(4)      :SOGUTMA SUYU CIKIS SICAKLIGI
C     X(5)      :KARISTIRMA TANKINA GIREN SUYUN SICAKLIGI
      REAL MPCPG,MPCPS,MPCPGL,MVCP,MJCC,MCCC
      COMMON/BLOCK1/X(100)/BLOCK3/A(100)
      READ(5,10) MPCPG,MPCPS,MPCPGL,MVCP,MJCC,MCCC,UA
   10 FORMAT(7F0.0)
      N=5
      READ(5,20) (X(I),I=1,N)
   20 FORMAT(5F0.0)
      Q=318.97
      TIME=10000
      MCCC=69.7
      A(6)=MPCPG/MVCP
      A(7)=MPCPS/MVCP
      A(8)=MPCPGL/MVCP
      A(2)=UA/MVCP
      A(3)=MCCC/MJCC
      A(4)=UA/MJCC
      A(5)=Q/MVCP
      J=0
      WRITE(6,30)
   30 FORMAT(80X,6HOUTLET,12X,6HOUTLET)
      WRITE(6,40)
   40 FORMAT(79X,8HREACTANT,11X,7HCOOLANT)
      WRITE(6,50)
   50 FORMAT(77X,11HTEMPARATURE,10X,11HTEMPARATURE)
      WRITE(6,60)
   60 FORMAT(80X,9HDEGREES C,9X,9HDEGREES C)
      WRITE(6,70)
   70 FORMAT(//120(1H-)//)
  200 WRITE(6,80) J,X(2),X(3)
   80 FORMAT(30X,27HTEMPARATURE PROFILES AFTER I5,2X,7HSECONDS,12X,F8.4
     *,12X,F8.4)
      IF(J.EQ.TIME) GO TO 100
      J=J+100
      PRINT=10
      J4=1
      H=10.0
  300 CALL RUKU4(H)
      IF(J4.EQ.PRINT) GO TO 200
      J4=J4+1
      GO TO 300
```

```
100 STOP
    END
    SUBROUTINE RUKU4(H)
    REALK
    DIMENSION K(4,100),Y(100)
    COMMON/BLOCK1/X(100)/BLOCK2/FUN(100)
    Y(2)=X(2)
    Y(3)=X(3)
    DO 101 I=1,4
    CALL EQNS
    K(I,2)=H*FUN(2)
    K(I,3)=H*FUN(3)
    GO TO (103,103,104,105),I
103 X(2)=Y(2)+K(I,2)/2.
    X(3)=Y(3)+K(I,3)/2.
    GO TO 101
104 X(2)=Y(2)+K(I,2)
    X(3)=Y(3)+K(I,3)
    GO TO 101
105 X(2)=Y(2)+(K(1,2)+2.*K(2,2)+2.*K(3,2)+K(4,2))/6.
    X(3)=Y(3)+(K(1,3)+2.*K(2,3)+2.*K(3,3)+K(4,3))/6.
101 CONTINUE
    RETURN
    END
    SUBROUTINE EQNS
    COMMON/BLOCK1/X(100)/BLOCK2/FUN(100)/BLOCK3/A(100)
    FUN(2)=A(5)+A(6)*X(1)+A(7)*X(5)-A(8)*X(2)-A(2)*(X(2)-(X(3)+X(4))/2
   *.)
    FUN(3)=A(3)*(X(4)-X(3))+A(4)*(X(2)-(X(3)+X(4))/2.)
    RETURN
    END
```

EK-4

SAYISAL BİLGİSAYARDA YATIŞKIN OLMAYAN HAL DENKLEMLERİNİN KONTROLU

Karıştırma prosesinin kontrolu için,yatışkın olmayan hal denklemelerinin sayısal bilgisayar çözüm programı aşağıda verilen dört altprogram ilavesi ile geliştirilmiştir. Program akış şeması Şekil E4.1. ve tüm program Tablo E4.1.de verilmiştir.

i. Altprogram CNTRLA

Bu altprogram, geri beslemeli kontrol mekanizmasını uygular ve oransal, integral, türevsel kontrol elemanlarının tümünü kapsar. İntegral kontrol için simpson kuralı {24} kullanılmıştır. Türevsel kontrol ise euler yönteminin {24} kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

ii. Altprogram FFCB

Bu altprogramda ileri beslemeli kontrol mekanizması yalnız oransal kontrol elemanı için gerçekleştirilmiştir.

iii. Altprogram VALVEA

Bu altprogram geri ve ileri beslemeli kontrol altprogramlarından gelen sinyalleri değerlendirerek, vananın açılmasına veya kapanmasına karar verir. Bu altprogramda vana sabiti K_v vananın karakterini belirler ve aşağıdaki denklemle verilir.

$$K_v = \frac{V_2}{C_{op}}$$

Burada;

V_2 : Akış hızı

C_{op} : Kontrol çıkış basıncıdır.

Bu çalışmada $K_v = 1.0$ olarak alınmıştır.

iv. Altprogram MEAA

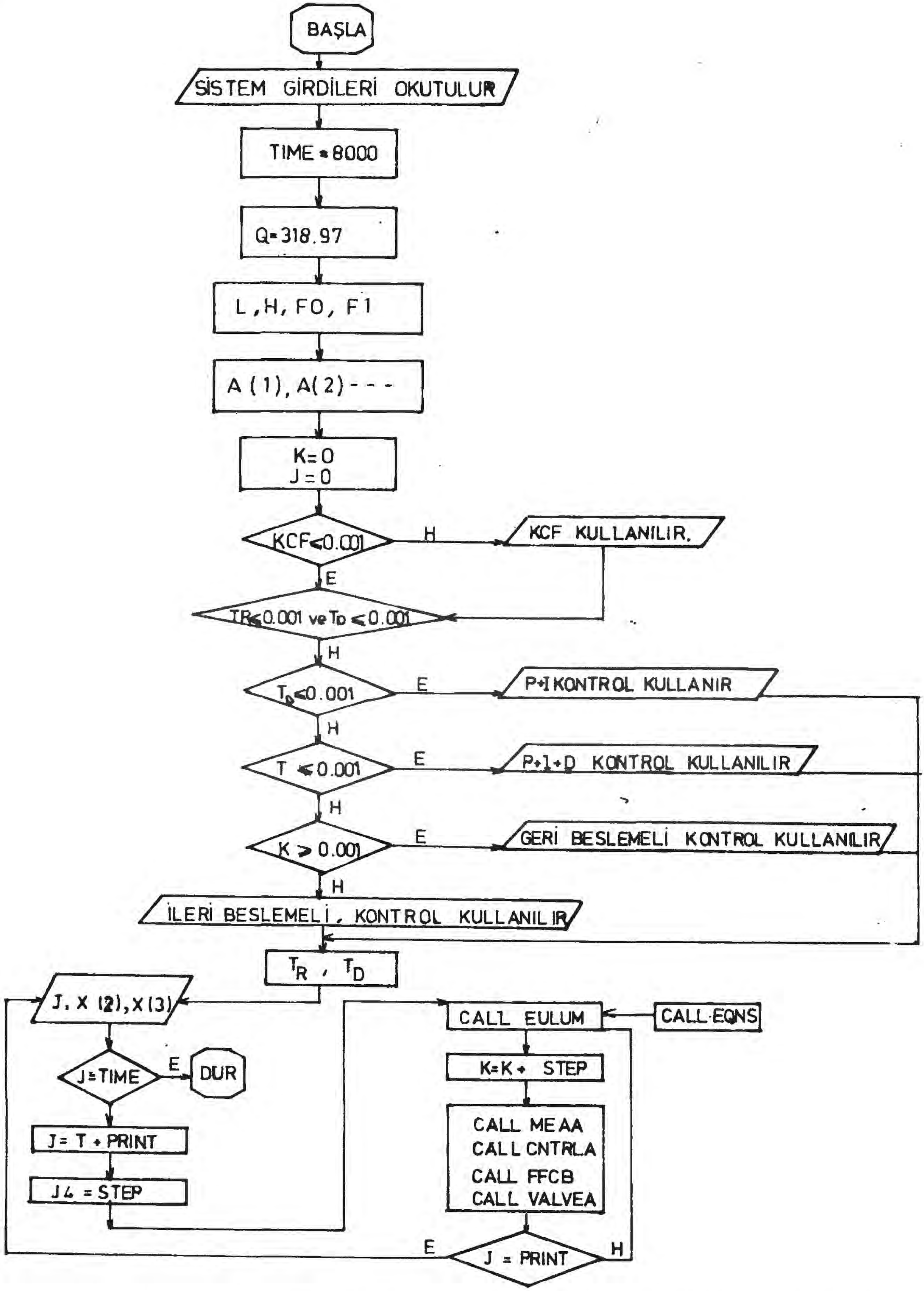
Bu altprogram kontrol edilmesi istenen değişkenin ölçülmesinde kullanılır.

v. Altprogram EULM

Bölüm 4'de anlatılan düzeltilmiş euler yöntemini kullanarak differansiyel denklemi çözen altprogramdır.

vi. Altprogram EQNS

Bu altprogramda,Ek-3'de anlatıldığı şekilde differansiyel denklemler ifade edilir ve altprogram EULM de kullanılır.



Şekil E4.1. Yatışkın olmayan hal denklemlerinin sayısal bilgisayar kontrol programı akış şeması

TABLO E4.1: Yatışkın Olmayan Hal Denklemlerinin Sayısal Bilgisayarda Kontrolu Fortran Programı

```
      MASTER PROG
      INTEGER TIME,PRINT,STEP
C     METE KOCKAR  KIMYA MUH.BOLUMU,MUH-MIM FAKULTESI
C     ANADOLU UNIVERSITESI ESKISEHIR
C     SISTEME YALNIZ GLISERIN GIRDIGI DURUMDA
C     KARARSIZ-HAL DENKLEMLERININ SAYISAL BILGISAYARDA KONTROLU
C     MPCP      :KARISTIRMA TANKINA GIREN-CIKAN ISI MIKTARI
C     MCCC      :SOGUTMA CEKETINE GIREN-CIKAN ISI MIKTARI
C     MVCP      :KARISTIRMA TANKINDAKI ISI MIKTARI
C     MJCC      :SOGUTMA CEKETINDEKI ISI MIKTARI
C     UA        :ISI TRANSFER KATSAYISI
C     SPNT      :AYAR  NOKTASI
C     KC        :ORANSAL KONTROL SABITI
C     TR        :INTEGRAL HAREKET ZAMANI
C     TD        :TUREVSEL HAREKET ZAMANI
C     SPNTF     :ILERI BESLEME KONTROL AYAR NOKTASI
C     KCF       :ILERI BESLEME KONTROL SABITI
C     KV        :VANA SABITI
C     MSIG      :OLCUM SINYALI
C     CSIG      :KONTROL SINYALI
C     LAGM      :OLCUM GECIKMESI
C     LAGV      :VANA  GECIKMESI
      REAL MCCC,MPCP,MVCP,MJCC,KC,MSIG,KV,KCF,L,M
      COMMON/BLOCK1/X(93)/BLOCK2/FUN(93)/BLOCK3/A(93)
     */BLOCK5/SPNT,KC,TR,TD/BLOCK6/KV,FO,F1,VSI
     */BLOCK4/LAGM,LAGV
     */BLOCK7/MCCC,MJCC,UA/BLOK/TEMP(10,10)
     */BLOK3/STEP/BLOK4/L,M
     */BLOK6/SPNTF,MPCP1,KCF
      READ(5,11) LAGM,LAGV
   11 FORMAT(2I0)
      READ(5,11) STEP,PRINT
      READ(5,13) SPNT,KC,KV,TD
   13 FORMAT(4F0.0)
      READ(5,14) TR,KCF
   14 FORMAT(2F0.0)
      READ(5,15) MPCP,MVCP,MJCC,MCCC,UA
   15 FORMAT(5F0.0)
      N=4
      READ(5,16) (X(I),I=1,N)
   16 FORMAT(4F0.0)
      Q=318.97
      PRINT=100
      TIME=8000
      MPCP=3.4501
      SPNTF=5.4147
      KC=5.0
      TR=250.0
      TD=0.0
      KCF=0.0
      MPCP1=MPCP
      STEP=10.0
      L=FLOAT(STEP)
      H=L
      FO=MCCC*6./100.
      F1=FO
      A(1)=MPCP/MVCP
      A(2)=UA/MVCP
      A(3)=MCCC/MJCC
```

```
      A(4)=UA/MJCC
      A(5)=Q/MVCP
      K=0
      J=0
      IF(KCF.LF..001)GO TO 58
      WRITE(6,59)
   59 FORMAT(//,5X,43H ILERI BESLEMELI ORANSAL KONTROL KULLANILIR//)
   58 IF(TR.LE..001.AND.TD.LE..001)GO TO 68
      IF(TD.LE..001) GOTO 66
      IF(TR.LF..001) GOTO 64
      WRITE(6,63)
   63 FORMAT(//52H ORANSAL+INTEGRAL+TUREVSEL HAREKET ZAMANI KULLANILIR//
     1)
      GOTO 70
   68 IF(KC.GE..001)GO TO 78
      WRITE(6,77)
   77 FORMAT(//,5X,42H SADECE ILERI BESLEMELI KONTROL KULLANILIR//)
      GO TO 70
   78 WRITE(6,69)
   69 FORMAT(//,5X,56H SADECE GERI BESLEMELI ORANSAL HAREKET ZAMANI KULL
     1ANILIR//)
      GOTO 70
   66 WRITE(6,67)
   67 FORMAT(1H,57HGERI BESLEMELI ORANSAL+INTEGRAL HAREKET ZAMANI KULLAN
     1ILIR//)
      GOTO 70
   64 WRITE(6,65)
   65 FORMAT(//,43H ORANSAL+TUREVSEL HAREKET ZAMANI KULLANILIR//)
   70 WRITE(6,71) KC
   71 FORMAT(30H ORANSAL HAREKET SABITI DEGERI,F7.2)
      WRITE(6,72) TR
   72 FORMAT(24H INTEGRAL HAREKET ZAMANI,6X,F7.2)
      WRITE(6,73) TD
   73 FORMAT(24H TUREVSEL HAREKET ZAMANI,6X,F7.2)
      WRITE(6,76) KCF
   76 FORMAT(1H,40H ILERI BESLEMELI DOGRUSAL HAREKET SABITI,F7.2)
      WRITE(6,725)SPNT
  725 FORMAT(//,10X,5HSPNT=,F10.4)
      WRITE(6,727) L,M
  727 FORMAT(1H0,2HL=,F10.4,10X,2HM=,F10.4)
      WRITE(6,30)
   30 FORMAT(80X,5HMADDE,12X,12HSOGUTMA SUYU)
      WRITE(6,40)
   40 FORMAT(79X,5HCIKIS,11X,5HCIKIS)
      WRITE(6,50)
   50 FORMAT(77X,8HSICAKLIK,10X,8HSICAKLIK)
      WRITE(6,60)
   60 FORMAT(80X,8HDERECE C,9X,8HDERECE C)
      WRITE(6,700)
  700 FORMAT(//120(1H-)//)
      WRITE(6,723) TR,TD
  723 FORMAT(1H0,3HTR=,F10.3,10X,3HTD=,F10.3)
   35 WRITE(6,722) MSIG
  722 FORMAT(1H0,9HRESPONSE=,F10.3,5X,9HDEGREES C)
      WRITE(6,720) VSI,F1
  720 FORMAT(1H0,5HVSIG=,F8.4,11HLITRES/MIN,/,5HMCCC=,F8.4//)
  200 WRITE(6,80) J,X(2),X(3)
   80 FORMAT(30X,15HSICAKLIK DEGERI,I5,8HSANIYEDE,20X,F8.4,12X,F8.4)
      WRITE(6,700)
```

```
      IF(J.EQ.TIME) STOP
      J=J+PRINT
      J4=STEP
   49 CALL FULM(H)
      K=K+STEP
      CALL MEAA(K,MSIG)
      CALL CNTRLA(MSIG,CSIG,K)
      CALL FECB(AMSIG)
      CALL VALVEA(CSIG,AMSIG)
      IF(J4.EQ.PRINT) GOTO 35
       J4=J4+STEP
      GOTO 49
      END
       SUBROUTINE FULM(H)
       REAL K
       COMMON/BLOCK1/X(93)/BLOCK2/FUN(93)
       DIMENSION K(93),Y(93)
       Y(2)=X(2)
       Y(3)=X(3)
       CALL EQNS
       K(2)=FUN(2)
       K(3)=FUN(3)
       X(2)=Y(2)+H*K(2)
       X(3)=Y(3)+H*K(3)
       CALL EQNS
       X(2)=Y(2)+((H/2.)*(K(2)+FUN(2)))
       X(3)=Y(3)+((H/2.)*(K(3)+FUN(3)))
       RETURN
       END
       SUBROUTINE EQNS
       COMMON/BLOCK1/X(93)/BLOCK2/FUN(93)/BLOCK3/A(93)
       FUN(2)=A(5)+A(1)*(X(1)-X(2))-A(2)*(X(2)-(X(3)+X(4))/2.)
       FUN(3)=A(3)*(X(4)-X(3))+A(4)*(X(2)-(X(3)+X(4))/2.)
       RETURN
       END
       SUBROUTINE MEAA(JA,MSIG)
       REAL MSIG,KC
       INTEGER STEP
       COMMON/BLOCK1/X(93)/BLOCK4/LAGM,LAGV/BLOCK5/SPNT,KC,TR,TD
      */BLOK/TEMP(10,10)
      */BLOK3/STEP
       LAG=(LAGV+LAGM)/STEP
       J=JA/STEP
       IF(J.GT.1)GO TO 31
       N=0
       TEMP(1,1)=X(2)
   31  IF(J.LE.9) GOTO 40
       N=10
       GOTO 41
   40  N=N+1
        IF(J.EQ.1)GO TO600
   41  TEMP(1,N)=X(2)
       IF(J.LE.LAG) GOTO 600
       MSIG=TEMP(1,N-LAG)
       IF(J.LE.9) RETURN
       DO 84 K=2,10
   84  TEMP(1,K-1)=TEMP(1,K)
       RETURN
  600  MSIG=SPNT
       RETURN
       END
```

```
      SUBROUTINE CNTRLA(MSIG,CSIG,JA)
      REAL MSIG,KC,L,M,INT
      INTEGER STEP
      DIMENSION ERROR(10)
      COMMON/BLOCK5/SPNT,KC,TR,TD
     */BLOK4/L,M/BLOK3/STEP
      J=(JA/STEP)+1
      IF(J.EQ.2) ERROR(1)=0.
      IF(J.LE.10)GO TO 705
      J=10
  705 ERROR(J)=MSIG-SPNT
      IF(TR.LE..001) GOTO 701
      IF(J.EQ.2)INT=0.0
      IF(J.EQ.3)GO TO 703
      IF(J.LT.4)GO TO 700
      IF(KOUNT.EQ.2)GO TO 702
       INT=INT+L*(ERROR(J)+ERROR(J-1))/2.0
      KOUNT=2
      GOTO 700
  703 INT=L*(ERROR(1)+ERROR(2)*4.0+ERROR(3))/3.0
      KOUNT=1
      GO TO 700
  702 INT=INT+L*(ERROR(J)+2.5*ERROR(J-1)-0.5*ERROR(J-2))/3.0
      KOUNT=1
  700 CSIG=KC*(ERROR(J)+(INT/TR)+(TD/L)*(ERROR(J)-ERROR(J-1)))
      IF(J.EQ.10)GO TO 707
      RETURN
  701 CSIG=KC*(ERROR(J)+(TD/L)*(ERROR(J)-ERROR(J-1)))
      IF(J.EQ.10)GO TO 707
      RETURN
  707 DO 708 K=2,10
  708 ERROR(K-1)=ERROR(K)
      RETURN
      END


      SUBROUTINE FFCB(AMSIG)
      REAL KCF,MPCP1
      COMMON/BLOCK6/SPNTF,MPCP1,KCF
      ERROR=SPNTF-MPCP1
      AMSIG=KCF*ERROR
      RETURN
      END


      SUBROUTINE VALVEA(CSIG,AMSIG)
      REAL KV,L,M,MCCC,MJCC,UA
      COMMON/BLOCK6/KV,F0,F1,VSI/BLOCK7/MCCC,MJCC,UA/BLOCK3/A(93)
      VSIG=(CSIG+AMSIG)*KV
      VSI=VSIG*6./100.
      IF(VSI.GT.(1000.-F0))VSIG=(1000.-F0)*100./6.
      MCCC=VSIG+F0*100./6.
      F1=MCCC*6./100.
      IF(MCCC.GT.0.0) GO TO 710
      MCCC=0.0
       A(3)=0.0
      A(4)=0.0
       F1=0.0
      A(2)=0.0
      RETURN
  710 A(3)=MCCC/MJCC
      A(4)=UA/MJCC
      RETURN
      END
```

EK-5

SAYISAL BİLGİSAYARDA YATIŞKIN OLMAYAN HAL DENKLEMLERİNİN MATRİS KULLANIMI İLE ÇÖZÜMÜ

Doğrusallaştırılmış yatışkın olmayan hal denklemlerinin matris kullanımı ile çözümlerinde, BASMAT programı kullanılmıştır. Bu program, verilen bir matrisin determinantını, tersini, karakteristik polinomunu, çözüm (Resolvent matrix) matrisini, öz değerlerini ve hal geçiş matrisini (state transition matrix) hesaplar. BASMAT programı bir ana ve altı alt programdan oluşmuştur. Giriş formatı Tablo E5.1. sisteme yalnız gliserin ve gliserinle birlikte suyun girdiği durumdaki çalışmalar için matrislerin oluşturulması E5.1. ve E5.2. de, program akış şeması Şekil E5.1. de, tüm program ve sisteme yalnız gliserin girdiği durumda soğutma suyuna kademe değişimi ($M_c^o = 17 \frac{g}{sn}$, $M_c = 89 \frac{g}{sn}$) verilmesi çalışması için çıktılar Tablo E5.2. de, çıktıların düzenlenmesi E5.3. de verilmiştir.

i. Altprogram DET

Bu altprogram, Gauss elemine yöntemini {25} kullanarak matrisin determinantını hesaplar.

ii. Altprogram CHREQ

Matrisin karakteristik polinomunu det(SI-A) ve çözüm matrisini $(SI-A)^{-1}$ hesaplayan altprogramdır. Çözüm matrisi Leverrier algoritmasının {26} yardımı ile hesaplanır.

iii. Altprogram PROOT

Bairstow yöntemini {25} kullanarak polinomun köklerini bulur.

iv. Altprogram SIMEQ

Bu altprogram AX = XDOT şeklinde gösterilmiş doğrusal denklèm sisteminin çözümünde ve A matrisinin tersinin hesaplanmasında kullanılır. Bu altprogram hesaplamalarda Gauss elemine yöntemini kullanır.

v. Altprogram STMST

Geçiş hal matrisini Sylvester Expansion Teoremine göre {20,21,22} hesaplayan alt programdır.

vi. Altprogram CHQREA

Matrisin karakteristik polinomunu hesaplayan altprogramdır.

Bu çalışma için, Melsa-Jones tarafından önerilen BASMAT programında bazı değişiklikler yapılmıştır. Bu değişiklikler aşağıda verilmiştir.

1. Programın okutma ve yazdırma komutlarında değişiklik yapılmış ve READ 2002 şeklindeki okutma, PRINT 2006 şeklindeki yazdırma komutları; READ (5,2002) ve WRITE (6,2006) şekline getirilmiştir.

2. 10 tane matrisi aynı anda çözmek amacıyla verilen 4 READ (5,2001, END = 10) komutundaki END = 10 değimi çıkarılmış ve bunun yerine; 4 READ (5,2001),NSØN = 1 tanımlan-

mıştır, programın sonuna konulan IF (NSØN.EQ.10) GØ TØ 10 NSØN = NSØN + 1 komutlarıyla aynı anda 10 tane matrisin çözümü yapılmıştır.

E5.1. Sisteme Yalnız Gliserin Girdiği Durum

E5.1.1. Gliserin akış hızına kademe verilmesi

$$\frac{dT'_{p_0}}{dt} = -(3.3747x10^{-4})M'_p-(5.3060x10^{-4})T'_{p_0} + (1.3945x10^{-4})T'_{c_0} \tag{E5.1}$$

$$\frac{dT'_{c_0}}{dt} = -(3.6564x10^{-3})M'_c-(4.0627x10^{-3})T'_{c_0} + (1.2188x10^{-3})T'_{p_0} \tag{E5.2}$$

Denklemler, hal vektörü olarak $\underline{\dot{X}}(t) = \underline{\underline{A}}\underline{X}(t) + \underline{B}\ U(t)$ şeklinde düzenlenirse;

$$\begin{bmatrix} \dot{T}'_{p_0} \\ \\ \dot{T}'_{c_0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -5.3060x10^{-4} & 1.3945x10^{-4} \\ \\ 1.2188x10^{-3} & -4.0627x10^{-3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T'_{p_0} \\ \\ T'_{c_0} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -3.3747x10^{-4} & 0.0 \\ \\ 0.0 & -3.6564x10^{-3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M'_p \\ \\ M'_c \end{bmatrix} \tag{E5.3}$$

Gliserin akış hızına M_p kademe etkisi verildiğinden hal vektörü aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\begin{bmatrix} \dot{T}'_{p_0} \\ \dot{T}'_{c_0} \\ \dot{M}'_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.000530 & 0.0001394 & -0.000337 \\ 0.0012188 & -0.004062 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T'_{p_0} \\ T'_{c_0} \\ M'_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.0 \\ -0.003656 \\ 0.0 \end{bmatrix} M'_c$$

(E5.4)

Dinamik çalışmada hal vektöründeki, U(t), kontrol terimi olmadığından;

$M'_c = 0.0$

$$\begin{bmatrix} \dot{T}'_{p_0} \\ \dot{T}'_{c_0} \\ \dot{M}'_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.000530 & 0.0001394 & -0.000337 \\ 0.0012188 & -0.004062 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T'_{p_0} \\ T'_{c_0} \\ M'_p \end{bmatrix} \quad \text{(E5.5)}$$

$$\begin{bmatrix} T'_{p_0}(0) \\ T'_{c_0}(0) \\ M'_p(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0 \\ 0.0 \\ 2.98 \end{bmatrix} \quad \text{(E5.6)}$$

E5.1.2. Soğutma suyu akış hızına kademe verilmesi

$$\frac{dT'_{p_0}}{dt} = -(3.834\text{x}10^{-4})M'_p - (5.458\text{x}10^{-4})T'_{p_0} + (1.408\text{x}10^{-4})T'_{c_0} \qquad (E5.7)$$

$$\frac{dT'_{c_0}}{dt} = -(3.148\text{x}10^{-4})M'_c - (0.01869)T'_{c_0} + (1.231\text{x}10^{-3})T'_{p_0} \qquad (E5.8)$$

Bir önceki yöntem aynen izlenir,

$M'_p = 0.0$

$$\begin{bmatrix} \dot{T}'_{p_0} \\ \dot{T}'_{c_0} \\ \dot{M}'_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.0005458 & 0.0001408 & 0.0 \\ 0.001231 & -0.01869 & -0.000314 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T'_{p_0} \\ T'_{c_0} \\ M'_c \end{bmatrix} \qquad (E5.9)$$

$$\begin{bmatrix} T'_{p_0}(0) \\ T'_{c_0}(0) \\ M'_c(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 72 \end{bmatrix} \qquad (E5.10)$$

E5.2. Sisteme gliserinle birlikte suyun girdiği durum

E5.2.1. Soğutma suyu akış hızına kademe verilmesi

$$(M_pC_p)'_G = 0.0$$

$$(M_pC_p)'_S = 0.0$$

$$(M_pC_p)'_{GL} = 0.0$$

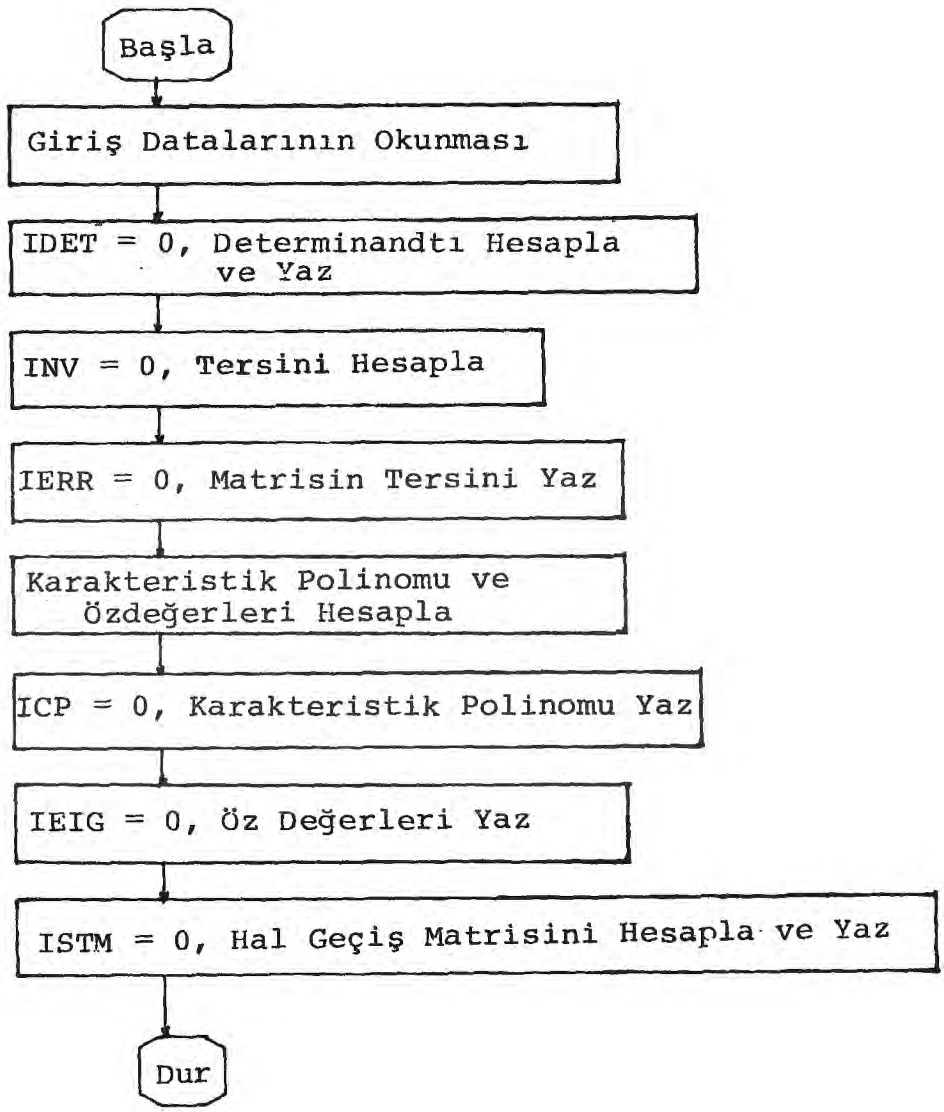
$$\frac{dT'_{p_0}}{dt} = -(8.363\text{x}10^{-4})T'_{p_0} + (2.742\text{x}10^{-4})T'_{c_0} \qquad \text{(E5.11)}$$

$$\frac{dT'_{c_0}}{dt} = -(3.453\text{x}10^{-3})M'_c - (0.015925)T'_{c_0} + (2.397\text{x}10^{-3})T'_{p_0}$$

(E5.12)

$$\begin{bmatrix} \dot{T}'_{p_0} \\ \dot{T}'_{c_0} \\ \dot{M}'_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.000836 & 0.0002742 & 0.0 \\ 0.002397 & -0.015925 & -0.003453 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T'_{p_0} \\ T'_{c_0} \\ M'_c \end{bmatrix} \qquad \text{(E5.13)}$$

$$\begin{bmatrix} T'_{p_0}(0) \\ T'_{c_0}(0) \\ M'_c\ (0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0 \\ 0.0 \\ 55.5 \end{bmatrix} \qquad \text{(E5.14)}$$



Şekil E5.1. BASMAT Programı Akış Şeması

TABLO E5.1: BASMAT Programı Giriş Formatı.

Kart Numarası	Kolon Numarası	Açıklama	Format
1	1 - 20	Problem tanımı	5 A4, I 2
	21 - 22	N = A Matrisinin boyutu < 10	
2	1 - 10	a_{11}	8E 10.5
	11 - 20	a_{12}	
	- - -	- - -	
3	1 - 10	a_{21}	8E 10.5
	11 - 20	a_{22}	
	- - -	- - -	
N+2	1	IDET $\neq$ 0 Determinant bulunmaz	6I 1
	2	INV $\neq$ 0 Tersi bulunmaz.	
	3	NMR $\neq$ 0 Çözüm matrisi bulunmaz	
	4	ICP $\neq$ 0 Karakteristik polinom bulunmaz.	
	5	IEIG $\neq$ 0 özdegerler bulunmaz.	
	6	ISIM $\neq$ 0 Hal geçiş matrisi bulunmaz.	

TABLO E5.2: BASMAT Programı Listesi

```
      MASTER PROG
C     BASIC MATRIX PROGRAM
C     SUBPROGRAMS USED:  CHREQ,  SIMEQ,  STMST,  PROOT,  DET.
      DIMENSION A(10,10),EIGR(10),EIGI(10),C(11),AINV(10,10),
     *    NAME(5)
 2001 FORMAT(5A4,I2)
 2002 FORMAT (8F10.5)
 2003 FORMAT (1P6F20.7)
 2004 FORMAT (1H0,5X,16HTHE A MATRIX     ,/)
 2005 FORMAT (1H0,5X,32HTHE CHARACTERISTIC POLYNOMIAL
     *   24HIN ASCENDING POWERS OF S    /)
 2006 FORMAT (1H0  ,5X,31HTHE EIGENVALUES OF THE A MATRIX)
 2007 FORMAT(9X,9HREAL PART,8X,14HIMAGINARY PART,/)
 2008 FORMAT (1H1,5X,20HBASIC MATRIX PROGRAM)
 2009 FORMAT (6X,23HPROBLEM IDENTIFICATION:,5X,5A4)
 2010 FORMAT (1H0,5X,29HTHE DETERMINANT OF THE MATRIX/)
 2011 FORMAT (1H0,5X,25HTHE INVERSE OF THE MATRIX/)
 2012 FORMAT (1H0,45(1H*))
 2013 FORMAT (6I1)
      NSON=1
    4 READ(5,2001)(NAME(I),I=1,5),N
      DO 1 I=1,N
    1 READ (5,2002) (A(I,K),K=1,N)
      READ(5,2013)IDET,INV,NRM,ICP,IEIG,ISTM
      WRITE(6,2008)
      WRITE(6,2009) (NAME(I),I=1,5)
      WRITE(6,2012)
      WRITE(6,2004)
      DO 2 I=1,N
    2 WRITE(6,2003) (A(I,K),K=1,N)
      IF (IDET.NE.0) GO TO 5
      D=DET(A,N)
      WRITE(6,2010)
      WRITE(6,2003) D
    5 IF (INV.NE.0) GO TO 15
      WRITE (6,2011)
      CALL SIMEQ(A,C,N,AINV,C,IERR)
      IF(IERR.EQ.0) GO TO 15
      DO 20 I=1,N
   20 WRITE(6,2003)(AINV(I,J),J=1,N)
   15 CALL CHREQ(A,N,C,NRM)
      CALL PROOT(N,C,EIGR,EIGI,+1)
      IF(ICP.NE.0) GO TO 30
      WRITE(6,2012)
      WRITE(6,2005)
      NN=N+1
      WRITE(6,2003)(C(I),I=1,NN)
   30 IF(IEIG.NE.0) GO TO 35
      WRITE(6,2012)
      WRITE(6,2006)
      WRITE(6,2007)
      DO 3 I=1,N
    3 WRITE(6,2003) EIGR(I),EIGI(I)
   35 IF (ISTM.NE.0) GO TO 25
      CALL STMST(N,A,EIGR,EIGI,ISTM)
      IF(NSON.EQ.2) GO TO 10
      NSON=NSON+1
   25 GO TO 4
   10 STOP
```

```
      FUNCTION DET(A,KC)
C     THIS FUNCTION SUBPROGRAM FINDS THE DETERMINANT OF A MATRIX
C     USING DIAGONALIZATION PROCEDURE
      DIMENSION A(10,10),B(10,10)
      IREV =0
      DO 1 I=1,KC
      DO 1 J=1,KC
    1 B(I,J)=A(I,J)
      DO 20 I=1,KC
      K=I
    9 IF(B(K,I))10,11,10
   11 K=K+1
      IF(K-KC)9,9,51
   10 IF(I-K) 12,14,51
   12 DO 13 M=1,KC
      TEMP=B(I,M)
      B(I,M)=B(K,M)
   13 B(K,M)=TEMP
      IREV=IREV+1
   14 II=I+1
      IF(II.GT.KC) GO TO 20
      DO 17 M=II,KC
   18 IF(B(M,I)) 19,17,19
   19 TEMP =B(M,I)/B(I,I)
      DO 16 N=I,KC
   16 B(M,N)=B(M,N)-B(I,N)*TEMP
   17 CONTINUE
   20 CONTINUE
      DET=1.
      DO 2 I=1,KC
    2 DET=DET*B(I,I)
      DET=(-1.)**IREV*DET
      RETURN
   51 DET=0
      RETURN
      END

END OF SEGMENT, LENGTH   231, NAME  DET
```

```
      SUBROUTINE CHREQ(A,N,C,NRM)
C     THIS SUBROUTINE FINDS THE COEFFICIENTS OF THE CHARACTERISTIC
C     POLYNOMIAL USING THE LEVERRIER ALGORITHM
      COMMON ZED(10,10,10)
      DIMENSION A(10,10),C(11),ATEMP(10,10),PROD(10,10)
      DATA ATEMP/100*0.0/
 1000 FORMAT (1H0,5X,31HTHE MATRIX COEFFICIENTS OF THE
     *    33HNUMARATOR OF THE RESOLVENT MATRIX   )
 1001 FORMAT (1H0,  5X,29HTHE MATRIX WEFFICIENT OF S**,I1/)
 1002 FORMAT (1P6E20.7)
 1003 FORMAT (1H0,45(1H*))
      CALL CHREQA(A,N,C)
      DO 65 I=1,N
   65 ATEMP(I,I)=1.0
   70 DO 80 I=1,N
      DO 80 J=1,N
   80 ZED(N,I,J)=ATEMP(I,J)
      IF (NRM.NE.0) GO TO 71
      WRITE (6,1000)  WRITE ( 6,1003 )
      M=N-1
      WRITE (6,1001) M
      DO 35 I=1,N
   35 WRITE (6,1002) (ATEMP(I,J),J=1,N)
   71 DO 40 I=1,N
      DO 40 J=1,N
   40 ATEMP(I,J)=A(I,J)
      DO 10 I=1,N
      NNN=N-I
      IF (I.EQ.1) GO TO 55
      IF (NRM.NE.0) GO TO 60
      WRITE (6,1001) NNN
      DO 45 J=1,N
   45 WRITE (6,1002)  (ATEMP(J,K),K=1,N)
   60 NP=NNN+1
      DO 90 II=1,N
      DO 90  J=1,N
   90 ZED(NP,II,J)=ATEMP(II,J)
      DO 15 J=1,N
      DO 15 K=1,N
      PROD(J,K)=0.0
      DO 15 L=1,N
   15 PROD(J,K)=PROD(J,K)+(A(J,L)*ATEMP(L,K))
      DO 13 J=1,N
      DO 13 K=1,N
   13 ATEMP(J,K)=PROD(J,K)
   55 DO 10 J=1,N
   10 ATEMP(J,J)=ATEMP(J,J)+C(N-I+1)
      RETURN
      END


END OF SEGMENT, LENGTH   394, NAME  CHREQ
```

```
      SUBROUTINE CHREGA(A,N,C)
      DIMENSION J(11),C(11),B(10,10),A(10,10),D(300)
      NN=N+1
      DO 20 I=1,NN
   20 C(I)=0.0
      C(NN)=1.0
      DO 14 M=1,N
      K=0
      L=1
      J(1)=1
      GO TO 2
    1 J(L)=J(L)+1
    2 IF(L-M)3,5,50
    3 MM=M-1
      DO 4 I=L,MM
      II=I+1
    4 J(II)=J(I)+1
    5 DO 10 I=1,M
      DO 10 KK=1,M
      NR=J(I)
      NC=J(KK)
   10 B(I,KK)=A(NR,NC)
      K=K+1
      D(K)=DET(B,M)
      DO 6 I=1,M
      L=M-I+1
      IF(J(L)-(N-M+L)) 1,6,50
    6 CONTINUE
      M1=N-M+1
      DO 14 I=1,K
   14 C(M1)=C(M1)+D(I)*(-1.0)**M
      RETURN
   50 WRITE(6,2000)
 2000 FORMAT(1H0,5X,15HERROR IN CHREGA)
      RETURN
      END

END OF SEGMENT, LENGTH   265, NAME  CHREGA
```

```
      SUBROUTINE PROOT(N,A,U,V,IR)
C     THIS SUBROUTINE USES A MODIFIED BARSTOW METHOD TO FIND THE ROOTS
C     OF A POLYNOMIAL
      DIMENSION A(20),U(20),V(20),H(21),B(21),C(21)
      IREV=IR
      NC=N+1
      DO 1 I=1,NC
    1 H(I)=A(I)
      P=0.
      Q=0.
      R=0.
    3 IF(H(1))4,2,4
    2 NC=NC-1
      V(NC)=0.
      U(NC)=0.
      DO 1002 I=1,NC
 1002 H(I)=H(I+1)
      GO TO 3
    4 IF(NC-1)5,100,5
    5 IF(NC-2)7,6,7
    6 R=-H(1)/H(2)
      GO TO 50
    7 IF(NC-3)9,8,9
    8 P=H(2)/H(3)
      Q=H(1)/H(3)
      GO TO 70
    9 IF(ABS (H(NC-1)/H(NC))-ABS (H(2)/H(1)))10,19,19
   10 IREV=-IREV
      M=NC/2
      DO 11 I=1,M
      NI =NC+1-I
      F=H(NI )
      H(NI )=H(I)
   11 H(I)=F
      IF(Q)13,12,13
   12 P=0.
      GO TO 15
   13 P=P/Q
      Q=1./Q
   15 IF(R)16,19,16
   16 R=1./R
   19 E=5.E-10
      B(NC)=H(NC)
      C(NC)=H(NC)
      B(NC+1)=0.
      C(NC+1)=0.
      NP=NC-1
   20 DO 49 J=1,1000
      DO 21 I1=1,NP
      I=NC-I1
      B(I)=H(I)+R*B(I+1)
   21 C(I)=B(I)+R*C(I+1)
      IF(ABS (B(1)/H(1))-E)50,50,24
   24 IF(C(2))23,22,23
   22 R=R+1
      GO TO 30
   23 R=R-B(1)/C(2)
   30 DO 37 I1=1,NP
      I=NC-I1
```

```
      B(I)=H(I)-P*B(I+1)-Q*B(I+2)
   37 C(I)=B(I)-P*C(I+1)-Q*C(I+2)
      IF(H(2))32,31,32
   31 IF(ABS (B(2)/H(1))-E)33,33,34
   32 IF(ABS(B(2)/H(2))-E)33,33,34
   33 IF(ABS (B(1)/H(1))-E)70,70,34
   34 CBAR=C(2)-B(2)
      D=C(3)**2-CBAR*C(4)
      IF(D)36,35,36
   35 P=P-2.
      Q=Q*(Q+1.)
      GO TO 49
   36 P=P+(B(2)*C(3)-B(1)*C(4))/D
      Q=Q+(-B(2)*CBAR+B(1)*C(3))/D
   49 CONTINUE
      E=E*10.
      GO TO 20
   50 NC=NC-1
      V(NC)=0.
      IF(IREV)51,52,52
   51 U(NC)=1./P
      GO TO 53
   52 U(NC)=R
   53 DO 54 I=1,NC
   54 H(I)=B(I+1)
      GO TO 4
   70 NC=NC-2
      IF(IREV)71,72,72
   71 QP=1./Q
      PP=P/(Q*2.0)
      GO TO 73
   72 QP=Q
      PP=P/2.0
   73 F=(PP)**2-QP
      IF(F)74,75,75
   74 U(NC+1)=-PP
      U(NC)=-PP
      V(NC+1)=SQRT (-F)
      V(NC)=-V(NC+1)
      GO TO 76
   75 IF(PP)81,80,81
   80 U(NC+1)=-SQRT(F)
      GO TO 82
   81 U(NC+1)=-(PP/ABS(PP))*(ABS (PP)+SQRT (F))
   82 CONTINUE
      V(NC+1)=0.
      U(NC)=QP/U(NC+1)
      V(NC)=0.
   76 DO 77 I=1,NC
   77 H(I)=B(I+2)
      GO TO 4
  100 RETURN
      END

END OF SEGMENT, LENGTH   998, NAME  PROOT
```

```
      SUBROUTINE SIMEQ (A,XDOT,KC,AINV,X,IERR)
C     THIS SUBROUTINE FINDS THE INVERSE OF THE MATRIX A USING
C     DIAGONALIZATION PROCEDURES
      DIMENSION A(10,10),B(10,10),XDOT(11),AINV(10,10),X(11)
      N=1
      IERR=1
      DO 1 I=1,KC
      DO 1 J=1,KC
      AINV(I,J)=0
    1 B(I,J)=A(I,J)
      DO 2 I=1,KC
      AINV(I,I)=1
    2 X(I)=XDOT(I)
      DO 3 I=1,KC
      COMP=0
      K=I
    6 IF(ABS (B(K,I))-ABS (COMP))5,5,4
    4 COMP=B(K,I)
      N=K
    5 K=K+1
      IF(K-KC)6,6,7
    7 IF(B(N,I))8,51,8
    8 IF(N-I)51,12,9
    9 DO 10 M=1,KC
      TEMP=B(I,M)
      B(I,M)=B(N,M)
      B(N,M)=TEMP
      TEMP=AINV(I,M)
      AINV(I,M)=AINV(N,M)
   10 AINV(N,M)=TEMP
      TEMP=X(I)
      X(I)=X(N)
      X(N)=TEMP
   12 X(I)=X(I)/B(I,I)
      TEMP = B(I,I)
      DO 13 M=1,KC
      AINV(I,M) = AINV(I,M)/TEMP
   13 B(I,M) = B(I,M)/TEMP
      DO 16 J=1,KC
      IF(J-I)14,16,14
   14 IF(B(J,I))15,16,15
   15 X(J)=X(J)-B(J,I)*X(I)
      TEMP=B(J,I)
      DO 17 N=1,KC
      AINV(J,N)=AINV(J,N)-TEMP*AINV(I,N)
   17 B(J,N)=B(J,N)-TEMP*B(I,N)
   16 CONTINUE
    3 CONTINUE
      RETURN
   51 WRITE(6,52)
   52 FORMAT (6X,22HTHE MATRIX IS SINGULAR)
      IERR=0
      RETURN
      END


END OF SEGMENT, LENGTH   432, NAME   SIMEQ
```

```
      SUBROUTINE STMST (N,A,EIGR,FIGI,IKNOW)
C     THIS SUBROUTINE DETERMINES  THE STATE TRANSITION MATRIX USING
C     SYLVESTER'S EXPANSION THEOREM.
      COMMON CHI(10,10,10)
      DIMENSION A(10,10),EIGR(10),EIGI(10),SPS(10,10)
      COMPLEX CA(10,10),CA1(10,10),CA2(10,10),TCA(10,10),
     *  DENOM(10),CEIG(10)
 1000 FORMAT(1H0,5X,25HTHE ELEMENTS OF THE STATE
     *      18H TRANSITION MATRIX      )
 1001 FORMAT(1H0,5X,25HTHE MATRIX COEFFICIENT OF
     *  5H EXP(,1PE13.6,7H)T*COS(,1PE13.6,2H)T/)
 1002 FORMAT(1P6E20.7)
 1003 FORMAT(1H0,5X,25HTHE MATRIX COEFFICIENT OF
     *  5H EXP(,1PE13.6,7H)T*SIN(,1PE13.6,2H)T/)
 1004 FORMAT(1H0, 5X,25HTHE MATRIX COEFFICIENT OF
     *                  5H EXP(,1PE13.6,2H)T/)
 1005 FORMAT (1H0,45(1H*))
      IF(IKNON.NE.0) GO TO 800
      WRITE(6,1005)
  800 DO 10 K=1,N
      CEIG(K)=CMPLX(EIGR(K),EIGI(K))
      DO 10 L=1,N
   10 CA(K,L)=CMPLX(A(K,L),0.0)
      I=1
      IF(IKNOW.NE.0) GO TO 700
      WRITE(6,1000)
  700 DO 15 K=1,N
   15 DENOM(K)=CEIG(I)-CEIG(K)
      DO 500 J=1,N
      IF (J-I) 100,500,200
  100 IF(J-1) 110,110,150
  200 IF(I-1) 300,300,400
  300 IF(J-I-1) 110,110,150
  400 IF(J-I-1) 110,150,150
  110 DO 5 K=1,N
      DO 5 L=1,N
    5 CA1(K,L)=CA(K,L)
      DO 20 K=1,N
      CA1(K,K)=CA(K,K)-CEIG(J)
      DO 20 L=1,N
   20 CA1(K,L)=CA1(K,L)/DENOM(J)
      GO TO 500
  150 DO 40 K=1,N
      DO 40 L=1,N
   40 CA2(K,L)=CA(K,L)
      DO 25 K=1,N
      CA2(K,K)=CA(K,K)-CEIG(J)
      DO 25 L=1,N
   25 CA2(K,L)=CA2(K,L)/DENOM(J)
      DO 30 K=1,N
      DO 30 L=1,N
      TCA(K,L)=(0.0,0.0)
      DO 30 M=1,N
   30 TCA(K,L)=TCA(K,L)+CA1(K,M)*CA2(M,L)
      DO 35 K=1,N
      DO 35 L=1,N
   35 CA1(K,L)=TCA(K,L)
  500 CONTINUE
      IF(AIMAG(CEIG(I))) 45,50,45
```

```
   45 IM=I
      I=I+1
      IF(IKNOW.NE.0) GO TO 801
      WRITE(6,1001) EIGR(I),EIGI(I)
  801 DO 65 K=1,N
      DO 65 L=1,N
   65 SPS(K,L)=REAL(CA1(K,L))*2.0
      DO 66 K=1,N
      DO 66 L=1,N
      CHI(IM,K,L)=SPS(K,L)
   66 CONTINUE
      IF(IKNOW.NE.0) GO TO 802
      DO 80 K=1,N
   80 WRITE(6,1002)(SPS(K,L),L=1,N)
      WRITE(6,1003) EIGR(I),EIGI(I)
  802 DO 55 K=1,N
      DO 55 L=1,N
   55 SPS(K,L)=AIMAG(CA1(K,L))*2.0
      DO 56 K=1,N
      DO 56 L=1,N
      CHI(I,K,L)=SPS(K,L)
   56 CONTINUE
      IF(IKNOW.NE.0) GO TO 600
      DO 85 K=1,N
   85 WRITE (6,1002) (SPS(K,L),L=1,N)
      GO TO 600
   50 IF(IKNOW.NE.0) GO TO 804
      WRITE(6,1004) EIGR(I)
  804 DO 60 K=1,N
      DO 60 L=1,N
   60 SPS(K,L)=REAL(CA1(K,L))
      DO 61 K=1,N
      DO 61 L=1,N
      CHI(I,K,L)=SPS(K,L)
   61 CONTINUE
      IF(IKNOW.NE.0) GO TO 600
      DO 75 K=1,N
   75 WRITE(6,1002)(SPS(K,L),L=1,N)
  600 IF(I.GE.N) RETURN
      I=I+1
      GO TO 700
      END


END OF SEGMENT, LENGTH   911, NAME  STMST
```

```
BASIC MATRIX PROGRAM
PROBLEM IDENTIFICATION:     BASMAT ORNEK    3

*********************************************

THE A MATRIX

-5.4500000E-04        1.4080000E-04        0.0000000E 00
 1.2310000E-03       -1.8690000E-02       -3.1480000E-03
 0.0000000E 00        0.0000000E 00        0.0000000E 00

THE DETERMINANT OF THE MATRIX

 0.0000000E 00

THE INVERSE OF THE MATRIX

THE MATRIX IS SINGULAR

THE MATRIX COEFFICIENTS OF THE NUMARATOR OF THE RESOLVENT MATRIX

THE MATRIX WEFFICIENT OF S**,2

 1.0000000E 00        0.0000000E 00        0.0000000E 00
 0.0000000E 00        1.0000000E 00        0.0000000E 00
 0.0000000E 00        0.0000000E 00        1.0000000E 00

THE MATRIX WEFFICIENT OF S**,1

 1.8690000E-02        1.4080000E-04        0.0000000E 00
 1.2310000E-03        5.4500000E-04       -3.1480000E-03
 0.0000000E 00        0.0000000E 00        1.9235000E-02

THE MATRIX WEFFICIENT OF S**,0

-1.1102230E-16        1.3877788E-17       -4.4323840E-07
 0.0000000E 00       -1.8873791E-15       -1.7156600E-06
 0.0000000E 00        0.0000000E 00        1.0012725E-05

*********************************************

THE CHARACTERISTIC POLYNOMIAL   IN ASCENDING POWERS OF S

 0.0000000E 00        1.0012725E-05        1.9235000E-02        1.00

*********************************************

THE EIGENVALUES OF THE A MATRIX
    REAL PART           IMAGINARY PART

-5.3545282E-04        0.0000000E 00
-1.8699547E-02        0.0000000E 00
 0.0000000E 00        0.0000000E 00

*********************************************

THE ELEMENTS OF THE STATE TRANSITION MATRIX

THE MATRIX COEFFICIENT OF EXP(-5.354528E-04)T

 9.9947439E-01        7.7515563E-03        4.5572455E-02
 6.7771064E-02        5.2560761E-04        3.0901180E-03
 0.0000000E 00        0.0000000E 00        0.0000000E 00
```

 exp(-1.8699547E-2)t .

5.2560748E-04	-7.7515563E-03	-1.3049460E-03
-6.7771064E-02	9.9047439E-01	1.6825784E-01
0.0000000E 00	0.0000000E 00	0.0000000E 00

THE MATRIX COEFFICIENT OF EXP(0.000000E 00)T

-7.5033313E-12	8.9883656E-13	-4.4267509E-02
2.9103830E-11	-1.2300916E-10	-1.7134796E-01
0.0000000E 00	0.0000000E 00	1.0000000E 00

E5.3. Bilgisayar program çıktılarının düzenlenmesi

Denklem (4.35) göre sistemin çözümü,

$\underline{X}(t) = \emptyset(t)\ \underline{X}(0)$ olarak verilmiştir.

Bu durumda;

$$\begin{bmatrix} T'_{p_0}(t) \\ T'_{c_0}(t) \\ M'_c(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \emptyset_{11}(t) & \emptyset_{12}(t) & \emptyset_{13}(t) \\ \emptyset_{21}(t) & \emptyset_{22}(t) & \emptyset_{23}(t) \\ \emptyset_{31}(t) & \emptyset_{32}(t) & \emptyset_{33}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T'_{p_0}(0) \\ T'_{c_0}(0) \\ M'_c(0) \end{bmatrix} \qquad \text{(E5.15)}$$

olur.

program çıktılarına göre hal geçiş matrisinin elemanları aşağıdaki gibi belirlenir;

$$\emptyset_{11}(t) = 0.9947\ e^{-5.35x10^{-4t}} + 5.256x10^{-4}\ e^{-1.869x10^{-2t}} -7.5x10^{-12}\ e^{-0t} \qquad \text{(E5.16)}$$

$$\emptyset_{12}(t) = 7.75x10^{-3}\ e^{-5.35x10^{-4t}} -7.75x10^{-3}\ e^{-1.869x10^{-2t}} + 8.98x10^{-13}\ e^{-0t} \qquad \text{(E5.17)}$$

$$\emptyset_{13}(t) = 4.55x10^{-2}\ e^{-5.35x10^{-4t}} -1.304x10^{-3}\ e^{-1.869x10^{-2t}} -4.42x10^{-2}\ e^{-0t} \qquad \text{(E5.18)}$$

$$\emptyset_{21}(t) = 6.77x10^{-2}\ e^{-5.35x10^{-4t}} -6.77x10^{-2t}\ e^{-1.869x10^{-2t}} + 2.911x10^{-11} e^{-0t} \qquad \text{(E5.19)}$$

$$\phi_{22}(t) = 5.25x10^{-4}\ e^{-5.35x10^{-4}t} + 9.99x10^{-1}\ e^{-1.869x10^{-2}t} - 1.230x10^{-1}\ e^{-0t} \quad (E5.20)$$

$$\phi_{23}(t) = 3.09x10^{-3}\ e^{-5.35x10^{-4}t} + 1.682x10^{-1}\ e^{-1.869x10^{-2}t} - 1.713x10^{-1} e^{-0t} \quad (E5.21)$$

$$\phi_{31}(t) = 0.0 \quad (E5.22)$$

$$\phi_{32}(t) = 0.0 \quad (E5.23)$$

$$\phi_{33}(t) = 1.0 \quad (E5.24)$$

soğutma suyuna kademe etkisi verildiğine göre ; Başlangıç şartları,

$T'_{p_0}(0) = 0.0$

$T'_{c_0}(0) = 0.0$

$M'_c(0) = 72.0$ olarak belirlenir.

Buradan;

$$\begin{bmatrix} T'_{p_0}(t) \\ T'_{c_0}(t) \\ M'_c(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{11}(t) & \phi_{12}(t) & \phi_{13}(t) \\ \phi_{21}(t) & \phi_{22}(t) & \phi_{23}(t) \\ \phi_{31}(t) & \phi_{32}(t) & \phi_{33}(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 72 \end{bmatrix}$$

Böylece;

$T'_{p_0}(t) = 72\ \phi_{13}(t)$

$T'_{c_0}(t) = 72\ \phi_{23}(t)$

$M'_c(t) = 72$

$$T'_{p_0}(t) = 72\,[\,4.55 \times 10^{-2}\, e^{-5.35 \times 10^{-4} t} - 1.304 \times 10^{-3}\, e^{-1.869 \times 10^{-2} t}$$

$$-4.42 \times 10^{-2}\, e^{-0t}\,] \qquad \text{(E5.25)}$$

$$T'_{c_0}(t) = 72\,[\,3.090 \times 10^{-3}\, e^{-5.35 \times 10^{-4} t} + 1.682 \times 10^{-1} e^{-1.869 \times 10^{-2} t}$$

$$1.713 \times 10^{-1}\, e^{-0t}\,] \qquad \text{(E5.26)}$$

EK-6

SAYISAL BİLGİSAYARDA YATIŞKIN OLMAYAN HAL DENKLEMLERİNİN MATRİS KULLANIMI İLE KONTROLU

Doğrusallaştırılmış yatışkın olmayan hal denklemlerinin matris kullanımı ile kontrolunda, RTRESP programı kullanılmıştır. Bu program bir ana ve beş alt programdan oluşmuştur. Giriş Formatı Tablo E6.1. akış şeması Şekil E6.1. ve tüm program listesi Tablo E6.2. de verilmiştir.

(1) Altprogram DET

(2) Altprogram CHREQA

(3) Altprogram PROOT

(4) Altprogram STMST

(5) Altprogram SEMBL

Bu altprogramlardan ilk dört tanesi Ek-5'de anlatılmıştır. Altprogram SEMBL ise bir polinomun katsayılarını hesaplamada kullanılır.

Burada RTRESP programının uygulandığı çalışmalardan gliserin akış hızına negatif kademe verilmesi ($M_p^o = 8.20 \frac{g}{sn}$, $M_p = 5.22 \frac{g}{sn}$) hali incelenmiştir.

Bu çalışmada sisteme; oransal, oransal + integral, oransal + integral + türevsel kontrollar uygulanmıştır. Sistemin model denklemleri;

$$\frac{dT'_{p_0}}{dt} = -(2.2978x10^{-4})M'_p - (4.3928x10^{-4})T'_{p_0} + (1.394x10^{-4})T'_{c_0}$$

(E6.1)

$$\frac{dT'_{c_0}}{dt} = -(4.062x10^{-3})T'_{c_0} + (1.218x10^{-3})T'_{p_0} - (3.292x10^{-3})M'_c$$

(E6.2)

Denklemler;

$\dot{\underline{X}}(t) = \underline{A}\ \underline{X}(t) + \underline{B}\ U(t)$ (4.26)

$U(t) = K[r(t) - \underline{k}\ \underline{X}(t)]$ (4.27)

$\underline{Y}(t) = \underline{C}\ \underline{X}(t)$ (4.28)

şeklinde düzenlenirse;

$$\begin{bmatrix} \dot{T}'_{p_0} \\ \dot{T}'_{c_0} \\ \dot{M}'_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.000439 & 0.0001394 & -0.000229 \\ 0.0012188 & -0.004062 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T'_{p_0} \\ T'_{c_0} \\ M'_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.0 \\ -0.00329 \\ 0 \end{bmatrix} M'_c$$

(E6.3)

i. Oransal Kontrol

Gliserin akış hızına kademe değişimi verildiğinden istenen değer fonksiyonu, $r(t) = 0.0$ ve Laplace dönüşümü, $R(s) = 0.0$ dır. Kontrol edilen çıkış değişkeni, T_{p_0}, çıkış sıcaklığıdır.

$M'_c = -K\ \underline{k}\ T'_{p_0}$ (E6.4)

oransal kontrolda

$\underline{k} = [1.0 \quad 0.0 \quad 0.0]$ (E6.5)

böylece;

$M'_c = -K(T'_{p_0})$ (E6.6)

Program giriş değerleri aşağıdaki gibi olur.

$$\underline{A} = \begin{bmatrix} -0.000439 & 0.0001394 & -0.000229 \\ 0.0012188 & -0.004062 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix} \quad \text{(E6.7)}$$

$\underline{B} = [0.0 \quad -0.00329 \quad 0.0]$ (E6.8)

$\underline{C} = [1.0 \quad 0.0 \quad 0.0]$ (E6.9)

$\underline{k} = [1.0 \quad 0.0 \quad 0.0]$ (E6.10)

$K = -5.0$

$\underline{X}(0) = [0.0 \quad 0.0 \quad -2.98]$ (E6.11)

$R(S) = 0.0$ (E6.12)

Polinom mertebesi = P 0.0

Polinom katsayıları = 0.0

Polinomun çarpanlarının metrebesi = F 0.0

Polinomun çarpanları = 0.0

ii. Oransal + İntegral Kontrol

Bu durumda kontrol vektörü;

$$M'_c = -K\left[T'_{p_0} + \frac{K_i}{K}\int_o^t T'_{p_0}\,dt \right] \qquad (E6.13)$$

Yeni bir hal değişkeni tanımlanırsa;

$$\dot{T}'_i = T'_{p_0} \qquad (4.40)$$

Böylece model denklemler;

$$\dot{T}'_{p_0} = -(2.2978x10^{-4})M'_p-(4.3928x10^{-4})T'_{p_0} + (1.3945x10^{-4})T'_{c_0}$$

(E6.1)

$$\dot{T}'_{c_0} = -(4.062x10^{-3})T'_{c_0} + (1.2188x10^{-3})T'_{p_0} -(3.292x10^{-3})M'_c$$

(E6.2)

$$\dot{T}'_i = T'_{p_0} \qquad (4.40)$$

Buradan;

$$\begin{bmatrix} \dot{T}'_{p_0} \\ \dot{T}'_{c_0} \\ \dot{M}'_p \\ \dot{T}'_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.000439 & 0.0001394 & -0.000229 & 0.0 \\ 0.0012188 & -0.004062 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \\ 1.0 & 0.0 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T'_{p_0} \\ T'_{c_0} \\ M'_p \\ T'_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0.0 \\ -0.00329 \\ 0.0 \\ 0.0 \end{bmatrix} M'_c \qquad (E6.14)$$

Sistemin geri besleme kontrol katsayısı (E6.13) denkleminden;

$$M'_c = -K \begin{bmatrix} 1 & \frac{K_i}{K} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T'_{p_0} \\ T'_i \end{bmatrix} \tag{E6.15}$$

$$\underline{k} = [\,1.0 \quad 0.0 \quad 0.0 \quad 0.004\,] \tag{E6.16}$$

iii. Oransal + İntegral + Türevsel Kontrol

Her üç kontrol elemanınında uygulanması ile;

$$M'_c = -K\,[\,T'_{p_0} + \frac{K_d}{K}\dot{T}'_{p_0} + \frac{K_i}{K}\int_0^t T'_{p_0}dt\,] \tag{E6.17}$$

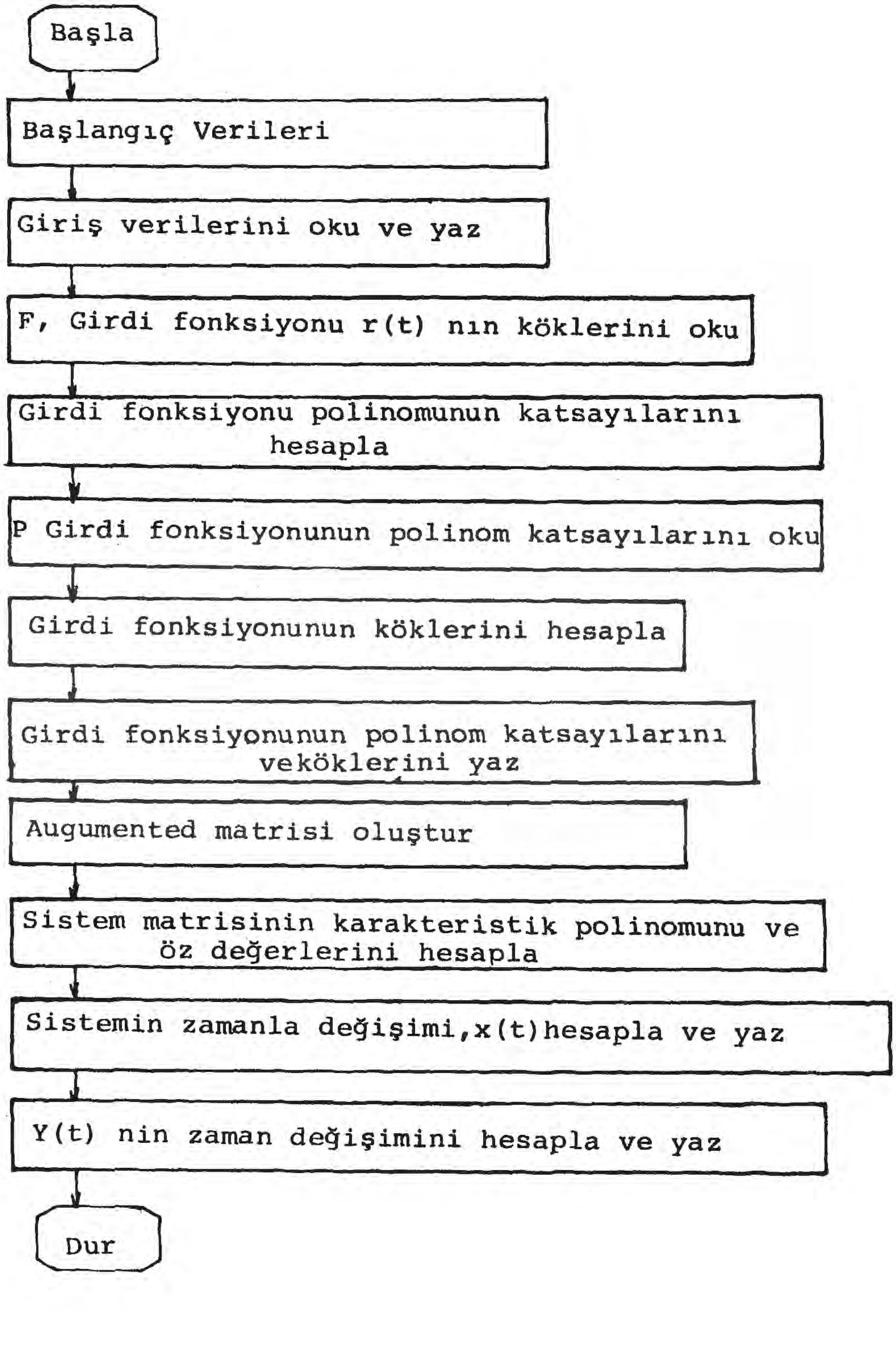
$$\dot{T}'_{p_0} = -(2.2978x10^{-4})M'_p - (4.3928x10^{-4})T'_{p_0} + (1.3945x10^{-4})T'_{c_0} \tag{E6.1}$$

$$M'_c = -K\,[\,T'_{p_0} + \frac{K_d}{K}(-2.2978x10^{-4}M'_p - 4.3928x10^{-4}T'_{p_0}$$

$$+ 1.3945x10^{-4}T'_{c_0}) + \frac{K_i}{K}T'_i\,] \tag{E6.18}$$

$$M'_c = -K[(1-0.0004392\frac{K_d}{K})(0.0001394\frac{K_d}{K})\ (0.0002297\frac{K_d}{K})(\frac{K_i}{K})] \begin{bmatrix} T'_{p_0} \\ T'_{c_0} \\ M'_p \\ T'_i \end{bmatrix} \tag{E6.19}$$

şeklinde düzenlenir. Diğer giriş dataları oransal + integral kontrol sisteminkinin aynıdır.



Şekil E6.1. RTRESP Programı Akış Şeması

TABLO E6.1: RTRESP Programı Giriş Formatı

Kart Numarası	Kolon Numarası	A Ç I K L A M A	Format
1	1-20 21-22	Problem tanımı N: Sistemin mertebesi	5A4 I2
2	1-10 11-20 - - -	a_{11} a_{12} sistem matrisi - - -	8F10.2
3	1-10 11-20 - - -	a_{21} a_{22} - - -	
n+2	1-10 11-20 - - -	b_1 b_2 Kontrol vektörü - - -	8F10.2
n+3	1-10 11-20 - - -	c_1 c_2 Çıktı vektör - - -	8F10.2
n+4	1-10 11-20 - - -	k_1 k_2 Geri besleme katsayısı - - -	8F10.2
n+5	1-10	K Kontrol sabiti	8F10.2
n+6	1-10 11-20 - - -	X(o) X(o) Başlangıç şartları - - -	8F10.2
n+7	1-10	K_r Girdi sabiti	8F10.2
n+8	1 2-3	p k Pay polinomu mertebesi	A1 I2
n+9	1-10 11-20 - - -	n_1 n_2 Pay polinomu katsayıları - - -	8F10.2
n+10	1 2 3	F Payda polinomu mertebesi	A1 I2
n+11	1-10 11-20	D(s)nin ilk kökünün gerçek kısmı D(s)nin ilk kökünün Sanal kısmı	8F10.2
n+12	1-10 11-20	D(s)nin ikinci kökünün gerçeki kısmı D(s)nin ikinci kökünün sanal kısmı	8F10.2
- - -	- - -	- - -	- - -

TABLO E6.2: RTRESP Programı Listesi

```
      MASTER PROG.
C     RATIONAL TIME RESPONSE(RTRESP)
C     KULLANILAN ALT PROGRAMLAR :CHREQA,PROOT,SEMBL,STMST
      COMMAN CHI(10,10,10)
      DIMENSION A(10,10),B(10),FDBG(10),RNUM(10),RDEN(10),
     *PSI(10,10),C(10),COEFF(10),EIGR(10),EIGI(10),
     *X0(10),XPM(10),D(10),NAME(5),RTR(10),RTI(10),
     *CO(11)
      DATA IPP/1HP/
 1000 FORMAT (5A4,I2)
 1001 FORMAT (8F10.2)
 1002 FORMAT (1H0,5X,9(1PE13.6,4X))
 1003 FORMAT(1H0,5X,25HTHE VECTOR COEFFICIENT OF
     *5H EXP(,1PE13.6,7H)T*COS(,1PE12.6,2H)T)
 1004 FORMAT(1H0,5X,25HTHE VECTOR COEFFICIENT OF,
     *5H EXP(,1PE13.6,7H)T*SIN(,1PE12.6,2H)T)
 1005 FORMAT(1H0,5X,25HTHE VECTOR COEFFICIENT OF,
     *5H EXP(,1PE13.6,2H)T)
 1006 FORMAT (1H1,3X,24H RATIONAL TIME RESPONSE /
     *5X,25HPROBLEM IDENTIFICATION-  ,5A4)
 1007 FORMAT(1H0,5X,13HTHE A MATRIX /)
 1008 FORMAT(1H0,5X,13HTHE B MATRIX /)
 1009 FORMAT(1H0,5X,13HTHE C MATRIX /)
 1010 FORMAT(1H0,5X,15HFEEDBACK COEFF. /)
 1011 FORMAT(1H0,5X,26HINITIAL CONDITIONS - X(0)    /)
 1012 FORMAT(1H0,5X,28HNUMERATOR POLYNOMIAL OF R(S),
     *25H - ASCENDING POWERS OF S   )
 1013 FORMAT(1H3,5X,30HDENOMINATOR POLYNOMIAL OF R(S),
     *25H - ASCENDING POWERS OF S   )
 1014 FORMAT (1H0,45(1H*))
 1015 FORMAT (1H0,5X,7HGAIN=   ,1PE14.7)
 1017 FORMAT(1H0,5X,35HCHARACTERISTIC POLYNOMIAL OF SYSTEM,
     *25H - ASCENDING POWERS OF S   )
 1018 FORMAT(1H0,5X,35HTHE TIME RESPONSE OF THE STATE X(T))
 1019 FORMAT(1H0,5X,36HTHE TIME RESPONSE OF THE OUTPUT Y(T))
 1020 FORMAT(1H0,5X,18HTHE COEFFICIENT OF    ,
     *5HEXP(,1PE13.6,7H)T*COS(,1PE12.6,2H)T)
 1021 FORMAT(1H0,5X,18HTHE COEFFICIENT OF    ,
     *5HEXP(,1PE13.6,7H)T*SIN(,1PE12.6,2H)T)
 1022 FORMAT(1H0,5X,18HTHE COEFFICIENT OF    ,
     *5HEXP(,1PE13.6,2H)T)
 1023 FORMAT (A1,I2)
 1024 FORMAT (1H0,5X,8HRGAIN=   ,1PE14.7)
 1025 FORMAT(/6X,19HNUMERATOR ROOTS ARE/8X,REAL PART,
     *10HIMAG. PART)
 1027 FORMAT(/6X,21HDENOMINATOR ROOTS ARE/8X,9HREAL PART,
     *8X,10HIMAG. PART)
      NSON=1
  200 READ(5,1000) (NAME(I),I=1,5),NSYS
      DO 210 I=1,10
      B(I)=0.0
      FDBG(I)=0.0
      RNUM(I)=0.0
      RDEN(I)=0.0
      D(I)=0.0
      C(I)=0.0
      COEFF(I)=0.0
      EIGR(I)=0.0
      EIGI(I)=0.0
```

```
      XO(I)=0.0
      XPM(I)=0.0
      RTR(I)=0.0
      RTI(I)=0.0
      CO(I)=0.0
      DO 210 J=1,10
      A(I,J)=0.0
      PSI(1,J)=0.0
      DO 210 K=1,10
  210 CHI(I,J,K)=0.0
      WRITE(6,1006)(NAME(I),I=1,5)
      WRITE(6,1014)
      WRITE(6,1007)
      DO 100 I=1,NSYS
      READ(5,1001) (A(I,J),J=1,NSYS)
      WRITE(6,1002) (A(I,J),J=1,NSYS)
  100 CONTINUE
      READ(5,1001) (B(I),I=1,NSYS)
      WRITE(6,1008)
      WRITE(6,1002) (B(I),I=1,NSYS)
      READ(5,1001)  (C(I),I=1,NSYS)
      WRITE(6,1009)
      WRITE(6,1002)(C(I),I=1,NSYS)
      READ(5,1001) (FDBG(I),I=1,NSYS)
      WRITE(6,1010)
      WRITE(6,1002) (FDBG(I),I=1,NSYS)
      READ(5,1001)  GAIN
      WRITE(6,1015) GAIN
      WRITE(6,1014)
      READ(5,1001)(XO(I),I=1,NSYS)
      WRITE(6,1011)
      WRITE(6,1002)(XO(I),I=1,NSYS)
      READ(5,1001)  RGAIN
      WRITE(6,1024) RGAIN
      KOUNT=0
    1 KOUNT=KOUNT+1
      READ(5,1023) KEY,N
      NP=N+1
      IF(N.EQ.0) GO TO 5
      IF(KEY.EQ.IPP) GO TO 5
      I=0
    2 I=I+1
      READ(5,1001) RR,RI
      RTR(I)=-RR
      RTI(I)=RI
      IF(RI) 3,4,3
    3 I=I+1
      RTR(I)=-RR
      RTI(I)=-RI
    4 IF(I.LT.N) GO TO 2
      CALL SEMBL(N,RTR,RTI,CO)
      GO TO 7
    5 READ(5,1001)(CO(I),I=1,NP)
      CO(NP)=1.0
      IF(N) 7,7,6
    6 CALL PROOT (N,CO,RTR,RTI,+100)
    7 GO TO (80,90), KOUNT
   80 DO 81 I=1,NP
   81 RNUM(I)=CO(I)*RGAIN
```

```
      WRITE(6,1012)
      WRITE(6,1002)(CO(I),I=1,NP)
      IF(N.LE.0) GO TO 1
      WRITE(6,1025)
      DO 82 I=1,N
   82 WRITE(6,1002) RTR(I),RTI(I)
      GO TO 1
   90 DO 91 I=1,NP
   91 RDEN(I)=CO(I)
      LD=N
      LDR=NP
      WRITE(6,1013)
      WRITE(6,1002) (CO(I),I=1,NP)
      WRITE(6,1027)
      DO 92 I=1,N
   92 WRITE(6,1002) RTR(I),RTI(I)
      WRITE(6,1014)
      N=NSYS+LD
      DO 8 I=1,N
      DO 8 J=1,N
      PSI(I,J)=0.0
    8 CONTINUE
      DO 9 I=1,NSYS
      DO 9 J=1,NSYS
      PSI(I,J)=A(I,J)-B(I)*FDBG(J)*GAIN
    9 CONTINUE
      DO 10 I=1,NSYS
      DO 10 J=1,LD
      PSI(I,NSYS+J)=B(I)*RNUM(J)*GAIN
   10 CONTINUE
      NP1=NSYS+1
      NM1=N-1
      DO 11 I=NP1,NM1
      PSI(I,I+1)=1.
   11 CONTINUE
      DO 12 I=1,LD
      PSI(N,NSYS+I)=-RDEN(I)
   12 CONTINUE
      CALL CHRECA(PSI,NSYS,COEFF)
      CALL PROOT(NSYS,COEFF,EIGR,EIGI,+1)
      DO 95 I=NP1,N
      J=I-NSYS
      EIGR(I)=RTR(J)
   95 EIGI(I)=RTI(J)
      CALL STMST(N,PSI,EIGR,EIGI,1)
      DO 13 I=1,NSYS
      XPM(I)=XO(I)
   13 CONTINUE
      DO 14 I=NP1,N
      XPM(I)=0.0
   14 CONTINUE
      XPM(N)=1.
      DO 15 I=1,N
      DO 15 J=1,NSYS
      PSI(J,I)=0.0
      DO 15 K=1,N
      PSI(J,I)=PSI(J,I)+CHI(I,J,K)*XPM(K)
   15 CONTINUE
      I=1
```

```
      WRITE(6,1018)
  150 IF(EIGI(I)) 16,17,16
   16 IS=I
      I=I+1
      WRITE(6,1003) EIGR(I),EIGI(I)
      WRITE(6,1002) (PSI(K,IS),K=1,NSYS)
      WRITE(6,1004) EIGR(I),EIGI(I)
      WRITE(6,1002) (PSI(K,I),K=1,NSYS)
      GO TO 18
   17 WRITE(6,1005) EIGR(I)
      WRITE(6,1002) (PSI(K,I),K=1,NSYS)
   18 IF(I-N) 19,20,20
   19 I=I+1
      GO TO 150
   20 DO 21 I=1,N
      D(I)=0.0
      DO 21 J=1,NSYS
      D(I)=D(I)+PSI(J,I)*C(J)
   21 CONTINUE
      WRITE(6,1014)
      WRITE(6,1019)
      I=1
   22 IF(EIGI(I)) 23,24,23
   23 IS=I
      I=I+1
      WRITE(6,1020) EIGR(I),EIGI(I)
      WRITE(6,1002) D(IS)
      WRITE(6,1021) EIGR(I),EIGI(I)
      WRITE(6,1002) D(I)
      GO TO 25
   24 WRITE(6,1022) EIGR(I)
      WRITE(6,1002) D(I)
   25 IF(I-N) 26,27,27
   26 I=I+1
      GO TO 22
   27 WRITE(6,1014)
      IF(NSON.EQ.4) GO TO 300
      NSON=NSON+1
      GO TO 200
  300 STOP
      END
```

END OF SEGMENT, LENGTH 1371, NAME PROG

```
      SUBROUTINE SEMBL(N,RR,RI,CF)
C     THIS SUBROUTINE DETERMINES THE COEFFICIENTS OF A
C     POLYNOMIAL FROM ITS ROOTS
      COMPLEX R(10),C(11),PR,SUM
      DIMENSION RR(10),RI(10),J(11),CF(11)
      NN=N+1
      DO 10 I=1,N
   10 R(I)=CMPLX(RR(I),RI(I))
      CF(NN)=1.0
      DO 14 M=1,N
      SUM=CMPLX(0.0,0.0)
      L=1
      J(1)=1
      GO TO 2
    1 J(L)=J(L)+1
    2 IF(L-M) 3,5,50
    3 MM=M-1
      DO 4 I=L,MM
      II=I+1
    4 J(II)=J(I)+1
    5 PR=CMPLX(1.0,0.0)
      DO 7 I=1,M
      ICK=J(I)
    7 PR=-PR*R(ICK)
      SUM=SUM+PR
      DO 6 I=1,M
      L=M-I+1
      IF(J(L)-N+M-L) 1,6,50
    6 CONTINUE
      MP=N-M+1
   14 CF(MP)=REAL(SUM)
      RETURN
   50 WRITE(6,2000)
 2000 FORMAT(/,4X,14HERROR IN SEMBL)
      RETURN
      END

END OF SEGMENT, LENGTH   246, NAME  SEMBL
```

```
      SUBROUTINE PROOT(N,A,U,V,IR)
C     THIS SUBROUTINE USES A MODIFIED BARSTOW METHOD TO FIND THE ROOTS
C     OF A POLYNOMIAL
      DIMENSION A(20),U(20),V(20),H(21),B(21),C(21)
      IREV=IR
      NC=N+1
      DO 1 I=1,NC
    1 H(I)=A(I)
      P=0.
      Q=0.
      R=0.
    3 IF(H(1))4,2,4
    2 NC=NC-1
      V(NC)=0.
      U(NC)=0.
      DO 1002 I=1,NC
 1002 H(I)=H(I+1)
      GO TO 3
    4 IF(NC-1)5,100,5
    5 IF(NC-2)7,6,7
    6 R=-H(1)/H(2)
      GO TO 50
    7 IF(NC-3)9,8,9
    8 P=H(2)/H(3)
      Q=H(1)/H(3)
      GO TO 70
    9 IF(ABS (H(NC-1)/H(NC))-ABS (H(2)/H(1)))10,19,19
   10 IREV=-IREV
      M=NC/2
      DO 11 I=1,M
      NL=NC+1-I
      F=H(NL)
      H(NL)=H(I)
   11 H(I)=F
      IF(Q)13,12,13
   12 P=0.
      GO TO 15
   13 P=P/Q
      Q=1./Q
   15 IF(R)16,19,16
   16 R=1./R
   19 E=5.E-10
      B(NC)=H(NC)
      C(NC)=H(NC)
      B(NC+1)=0.
      C(NC+1)=0.
      NP=NC-1
   20 DO 49 J=1,1000
      DO 21 I1=1,NP
      I=NC-I1
      B(I)=H(I)+R*B(I+1)
   21 C(I)=B(I)+R*C(I+1)
      IF(ABS (B(1)/H(1))-E)50,50,24
   24 IF(C(2))23,22,23
   22 R=R+1
      GO TO 30
   23 R=R-B(1)/C(2)
   30 DO 37 I1=1,NP
      I=NC-I1
```

```
      B(I)=H(I)-P*B(I+1)-Q*B(I+2)
   37 C(I)=B(I)-P*C(I+1)-Q*C(I+2)
      IF(H(2))32,31,32
   31 IF(ABS (B(2)/H(1))-E)33,33,34
   32 IF(ABS(B(2)/H(2))-E)33,33,34
   33 IF(ABS (B(1)/H(1))-E)70,70,34
   34 CBAR=C(2)-B(2)
      D=C(3)**2-CBAR*C(4)
      IF(D)36,35,36
   35 P=P-2.
      Q=Q*(Q+1.)
      GO TO 49
   36 P=P+(B(2)*C(3)-B(1)*C(4))/D
      Q=Q+(-B(2)*CBAR+B(1)*C(3))/D
   49 CONTINUE
      E=E*10.
      GO TO 20
   50 NC=NC-1
      V(NC)=0.
      IF(IREV)51,52,52
   51 U(NC)=1./R
      GO TO 53
   52 U(NC)=R
   53 DO 54 I=1,NC
   54 H(I)=B(I+1)
      GO TO 4
   70 NC=NC-2
      IF(IREV)71,72,72
   71 QP=1./Q
      PP=P/(Q*2.0)
      GO TO 73
   72 QP=Q
      PP=P/2.0
   73 F=(PP)**2-QP
      IF(F)74,75,75
   74 U(NC+1)=-PP
      U(NC)=-PP
      V(NC+1)=SQRT (-F)
      V(NC)=-V(NC+1)
      GO TO 76
   75 IF(PP)81,80,81
   80 U(NC+1)=-SQRT(F)
      GO TO 82
   81 U(NC+1)=-(PP/ABS(PP))*(ABS (PP)+SQRT (F))
   82 CONTINUE
      V(NC+1)=0.
      U(NC)=QP/U(NC+1)
      V(NC)=0.
   76 DO 77 I=1,NC
   77 H(I)=B(I+2)
      GO TO 4
  100 RETURN
      END

END OF SEGMENT, LENGTH   998, NAME  PROOT
```

```
      SUBROUTINE STMST (N,A,EIGR,EIGI,IKNOW)
C     THIS SUBROUTINE DETERMINES  THE STATE TRANSITION MATRIX USING
C     SYLFVESTER'S EXPANSION THEOREM.
      COMMON CHI(10,10,10)
      DIMENSION A(10,10),EIGR(10),EIGI(10),SPS(10,10)
      COMPLEX CA(10,10),CA1(10,10),CA2(10,10),TCA(10,10),
     *  DENOM(10),CEIG(10)
 1000 FORMAT(1H0,5X,25HTHE ELEMENTS OF THE STATE
     *      18H TRANSITION MATRIX      )
 1001 FORMAT(1H0,5X,25HTHE MATRIX COEFFICIENT OF
     *  5H EXP(,1PE13.6,7H)T*COS(,1PE13.6,2H)T/)
 1002 FORMAT(1P6E20.7)
 1003 FORMAT(1H0,5X,25HTHE MATRIX COEFFICIENT OF
     *  5H EXP(,1PE13.6,7H)T*SIN(,1PE13.6,2H)T/)
 1004 FORMAT(1H0, 5X,25HTHE MATRIX COEFFICIENT OF
     *                5H EXP(,1PE13.6,2H)T/)
 1005 FORMAT (1H0,45(1H*))
      IF(IKNOW.NE.0) GO TO 800
      WRITE(6,1005)
  800 DO 10 K=1,N
      CEIG(K)=CMPLX(EIGR(K),EIGI(K))
      DO 10 L=1,N
   10 CA(K,L)=CMPLX(A(K,L),0.0)
      I=1
      IF(IKNOW.NE.0) GO TO 700
      WRITE(6,1000)
  700 DO 15 K=1,N
   15 DENOM(K)=CEIG(I)-CEIG(K)
      DO 500 J=1,N
      IF (J-I) 100,500,200
  100 IF(J-1) 110,110,150
  200 IF(I-1) 300,300,400
  300 IF(J-I-1) 110,110,150
  400 IF(J-I-1) 110,150,150
  110 DO 5 K=1,N
      DO 5 L=1,N
    5 CA1(K,L)=CA(K,L)
      DO 20 K=1,N
      CA1(K,K)=CA(K,K)-CEIG(J)
      DO 20 L=1,N
   20 CA1(K,L)=CA1(K,L)/DENOM(J)
      GO TO 500
  150 DO 40 K=1,N
      DO 40 L=1,N
   40 CA2(K,L)=CA(K,L)
      DO 25 K=1,N
      CA2(K,K)=CA(K,K)-CEIG(J)
      DO 25 L=1,N
   25 CA2(K,L)=CA2(K,L)/DENOM(J)
      DO 30 K=1,N
      DO 30 L=1,N
      TCA(K,L)=(0.0,0.0)
      DO 30 M=1,N
   30 TCA(K,L)=TCA(K,L)+CA1(K,M)*CA2(M,L)
      DO 35 K=1,N
      DO 35 L=1,N
   35 CA1(K,L)=TCA(K,L)
  500 CONTINUE
      IF(AIMAG(CEIG(I))) 45,50,45
```

```
   45 IM=I
      I=I+1
      IF(IKNOW.NE.0) GO TO 801
      WRITE(6,1001) EIGR(I),EIGI(I)
  801 DO 65 K=1,N
      DO 65 L=1,N
   65 SPS(K,L)=REAL(CA1(K,L))*2.0
      DO 66 K=1,N
      DO 66 L=1,N
      CHI(IM,K,L)=SPS(K,L)
   66 CONTINUE
      IF(IKNOW.NE.0) GO TO 802
      DO 80 K=1,N
   80 WRITE(6,1002)(SPS(K,L),L=1,N)
      WRITE(6,1003) EIGR(I),EIGI(I)
  802 DO 55 K=1,N
      DO 55 L=1,N
   55 SPS(K,L)=AIMAG(CA1(K,L))*2.0
      DO 56 K=1,N
      DO 56 L=1,N
      CHI(I,K,L)=SPS(K,L)
   56 CONTINUE
      IF(IKNOW.NE.0) GO TO 600
      DO 85 K=1,N
   85 WRITE (6,1002) (SPS(K,L),L=1,N)
      GO TO 600
   50 IF(IKNOW.NE.0) GO TO 804
      WRITE(6,1004) EIGR(I)
  804 DO 60 K=1,N
      DO 60 L=1,N
   60 SPS(K,L)=REAL(CA1(K,L))
      DO 61 K=1,N
      DO 61 L=1,N
      CHI(I,K,L)=SPS(K,L)
   61 CONTINUE
      IF(IKNOW.NE.0) GO TO 600
      DO 75 K=1,N
   75 WRITE(6,1002)(SPS(K,L),L=1,N)
  600 IF(I.GE.N) RETURN
      I=I+1
      GO TO 700
      END

END OF SEGMENT, LENGTH   911, NAME  STMST
```

```
      SUBROUTINE CHREQA(A,N,C)
      DIMENSION J(11),C(11),B(10,10),A(10,10),D(300)
      NN=N+1
      DO 20 I=1,NN
   20 C(I)=0.0
      C(NN)=1.0
      DO 14 M=1,N
      K=0
      L=1
      J(1)=1
      GO TO 2
    1 J(L)=J(L)+1
    2 IF(L-M)3,5,50
    3 MM=M-1
      DO 4 I=L,MM
      II=I+1
    4 J(II)=J(I)+1
    5 DO 10 I=1,M
      DO 10 KK=1,M
      NR=J(I)
      NC=J(KK)
   10 B(I,KK)=A(NR,NC)
      K=K+1
      D(K)=DET(B,M)
      DO 6 I=1,M
      L=M-I+1
      IF(J(L)-(N-M+L)) 1,6,50
    6 CONTINUE
      M1=N-M+1
      DO 14 I=1,K
   14 C(M1)=C(M1)+D(I)*(-1.0)**M
      RETURN
   50 WRITE(6,2000)
 2000 FORMAT(1H0,5X,15HERROR IN CHREQA)
      RETURN
      END

END OF SEGMENT, LENGTH   265, NAME  CHREQA
```

```
      FUNCTION DET(A,KC)
C     THIS FUNCTION SUBPROGRAM FINDS THE DETERMINANT OF A MATRIX
C     USING DIAGONALIZATION PROCEDURE
      DIMENSION A(10,10),B(10,10)
      IREV =0
      DO 1 I=1,KC
      DO 1 J=1,KC
    1 B(I,J)=A(I,J)
      DO 20 I=1,KC
      K=I
    9 IF(B(K,I))10,11,10
   11 K=K+1
      IF(K-KC)9,9,51
   10 IF(I-K) 12,14,51
   12 DO 13 M=1,KC
      TEMP=B(I,M)
      B(I,M)=B(K,M)
   13 B(K,M)=TEMP
      IREV=IREV+1
   14 II=I+1
      IF(II.GT.KC) GO TO 20
      DO 17 M=II,KC
   18 IF(B(M,I)) 19,17,19
   19 TEMP =B(M,I)/B(I,I)
      DO 16 N=I,KC
   16 B(M,N)=B(M,N)-B(I,N)*TEMP
   17 CONTINUE
   20 CONTINUE
      DET=1.
      DO 2 I=1,KC
    2 DET=DET*B(I,I)
      DET=(-1.)**IREV*DET
      RETURN
   51 DET=0
      RETURN
      END

END OF SEGMENT, LENGTH   231, NAME  DET
```

RATIONAL TIME RESPONSE
PROBLEM IDENTIFICATION- RTRESP EXAMPLE

****

THE A MATRIX

-4.390000E-04	1.394000E-04	-2.290000E-04
1.218800E-03	-4.062000E-03	0.000000E 00
0.000000E 00	0.000000E 00	0.000000E 00

THE B MATRIX

0.000000E 00	-3.292000E-03	0.000000E 00

THE C MATRIX

1.000000E 00	0.000000E 00	0.000000E 00

FEEDBACK COEFF.

1.000000E 00	0.000000E 00	0.000000E 00

GAIN= -5.0000000E 00

****

INITIAL CONDITIONS - X(0)

0.000000E 00	0.000000E 00	-2.980000E 00

RGAIN= 0.0000000E 00

NUMERATOR POLYNOMIAL OF R(S) - ASCENDING POWERS OF S

1.000000E 00

DENOMINATOR POLYNOMIAL OF R(S) - ASCENDING POWERS OF S

1.000000E 00

DENOMINATOR ROOTS ARE

REAL PART	IMAG. PART
0.000000E 00	0.000000E 00

****

****

THE TIME RESPONSE OF THE STATE X(T)

THE VECTOR COEFFICIENT OF EXP(-1.174903E-03)T

2.615865E-01   -1.380934E 00   0.000000E 00

THE VECTOR COEFFICIENT OF EXP(-3.326097E-03)T

-2.355275E-02   4.877981E-01   0.000000E 00

THE VECTOR COEFFICIENT OF EXP(0.000000E 00)T

-2.380337E-01   8.931363E-01   1.000000E 00

****

THE TIME RESPONSE OF THE OUTPUT Y(T)

THE COEFFICIENT OFEXP(,-1.174903E-03)T

2.615865E-01

THE COEFFICIENT OFEXP(,-3.326097E-03)T

-2.355275E-02

THE COEFFICIENT OFEXP(, 0.000000E 00)T

-2.380337E-01

****

RATIONAL TIME RESPONSE
PROBLEM IDENTIFICATION- RTRESP EXAMPLE

****

THE A MATRIX

-4.390000E-04	1.394000E-04	-2.290000E-04	0.000000E 00
1.218800E-03	-4.062000E-03	0.000000E 00	0.000000E 00
0.000000E 00	0.000000E 00	0.000000E 00	0.000000E 00
1.000000E 00	0.000000E 00	0.000000E 00	0.000000E 00

THE B MATRIX

0.000000E 00	-3.292000E-03	0.000000E 00	0.000000E 00

THE C MATRIX

1.000000E 00	0.000000E 00	0.000000E 00	0.000000E 00

FEEDBACK COEFF.

9.999982E-01	5.500000E-07	-9.000000E-07	4.000000E-03

GAIN= -5.0000000E 00

****

INITIAL CONDITIONS - X(0)

0.000000E 00	0.000000E 00	-2.980000E 00	0.000000E 00

RGAIN= 0.0000000E 00

NUMERATOR POLYNOMIAL OF R(S) - ASCENDING POWERS OF S

1.000000E 00

```
DENOMINATOR POLYNOMIAL OF R(S) - ASCENDING POWERS OF S

 1.000000E 00

DENOMINATOR ROOTS ARE
  REAL PART          IMAG. PART

 0.000000E 00      0.000000E 00

*********************************************************

*********************************************************

THE TIME RESPONSE OF THE STATE X(T)

THE VECTOR COEFFICIENT OF EXP(-2.034697E-04)T*COS(1.483375E-03)T

 1.791700E-03     4.848431E 00     0.000000E 00     -3.014600E 02

THE VECTOR COEFFICIENT OF EXP(-2.034697E-04)T*SIN(1.483375E-03)T

 4.553461E-01     7.502871E-01     0.000000E 00     -4.014242E 01

THE VECTOR COEFFICIENT OF EXP(-4.094070E-03)T

-1.791700E-03     4.697838E-02     0.000000E 00      4.376329E-01

THE VECTOR COEFFICIENT OF EXP( 0.000000E 00)T

-5.223342E-12    -4.895409E 00    -2.980000E 00      3.020223E 02

*********************************************************

THE TIME RESPONSE OF THE OUTPUT Y(T)

THE COEFFICIENT OFEXP(,-2.034697E-04)T*COS(1.483375E-03)T

 1.791700E-03

THE COEFFICIENT OFEXP(,-2.034697E-04)T*SIN(1.483375E-03)T

 4.553461E-01

THE COEFFICIENT OFEXP(,-4.094070E-03)T

-1.791700E-03

THE COEFFICIENT OFEXP(, 0.000000E 00)T

-5.223342E-12

*********************************************************
```

RATIONAL TIME RESPONSE
PROBLEM IDENTIFICATION- RTRESP EXAMPLE

****

THE A MATRIX

-4.390000E-04	1.394000E-04	-2.290000E-04	0.000000E 00
1.218800E-03	-4.062000E-03	0.000000E 00	0.000000E 00
0.000000E 00	0.000000E 00	0.000000E 00	0.000000E 00
1.000000E 00	0.000000E 00	0.000000E 00	0.000000E 00

THE B MATRIX

0.000000E 00	-7.292000E-03	0.000000E 00	0.000000E 00

THE C MATRIX

1.000000E 00	0.000000E 00	0.000000E 00	0.000000E 00

FEEDBACK COEFF.

1.000000E 00	0.000000E 00	0.000000E 00	4.000000E-03

GAIN= 0.0000000E 00

****

INITIAL CONDITIONS - X(0)

0.000000E 00	0.000000E 00	-2.980000E 00	0.000000E 00

RGAIN= 0.0000000E 00

NUMERATOR POLYNOMIAL OF R(S) - ASCENDING POWERS OF S

1.000000E 00

```
DENOMINATOR POLYNOMIAL OF R(S) - ASCENDING POWERS OF S

 1.000000E 00

DENOMINATOR ROOTS ARE
  REAL PART           IMAG. PART

 0.000000E 00      0.000000E 00

**********************************************

**********************************************

THE TIME RESPONSE OF THE STATE X(T)

THE VECTOR COEFFICIENT OF EXP(-2.034697E-04)T*COS(1.483375E-03)T

 1.791700E-03      4.848431E 00      0.000000E 00     -3.014600E 02

THE VECTOR COEFFICIENT OF EXP(-2.034697E-04)T*SIN(1.483375E-03)T

 4.553461E-01      7.502871E-01      0.000000E 00     -4.014242E 01

THE VECTOR COEFFICIENT OF EXP(-4.094070E-03)T

-1.791700E-03      4.697838E-02      0.000000E 00      4.376329E-01

THE VECTOR COEFFICIENT OF EXP( 0.000000E 00)T

-5.223342E-12     -4.895409E 00     -2.980000E 00      3.020223E 02

**********************************************

THE TIME RESPONSE OF THE OUTPUT Y(T)

THE COEFFICIENT OFEXP(,-2.034697E-04)T*COS(1.483375E-03)T

 1.791700E-03

THE COEFFICIENT OFEXP(,-2.034697E-04)T*SIN(1.483375E-03)T

 4.553461E-01

THE COEFFICIENT OFEXP(,-4.094070E-03)T

-1.791700E-03

THE COEFFICIENT OFEXP(, 0.000000E 00)T

-5.223342E-12

**********************************************
```

EK-7

KARARLILIK ANALİZİ

Bu kısımda,bir karıştırma tankı için kararlılık analizi yapılmıştır.

Yapılan analizde, kısım 4.1 de çıkarılan (4.6) ve (4.12) denklikleri düşünülmüş ve bu grupta yapılan gliserin akış hızına kademe verilmesi hali kullanılmıştır.

$$\frac{dT'_{p_0}}{dt} = \left(\frac{T^o_{p_i} - T^o_{p_0}}{M_v}\right) M'_p - \left(\frac{UA + M_p C_p}{M_v C_p}\right) T'_{p_0} + \left(\frac{UA}{2M_v C_p}\right) T'_{c_0} \qquad (4.6)$$

$$\frac{dT'_{c_0}}{dt} = \left(\frac{T^o_{c_i} - T^o_{c_0}}{M_j C_c}\right) M'_c - \left(\frac{M_c C_c + \frac{UA}{2}}{M_j C_c}\right) T'_{c_0} + \left(\frac{UA}{M_j C_c}\right) T'_{p_0} \qquad (4.12)$$

$$\frac{dT'_{p_0}}{dt} = \left(\frac{64-71.49}{32595}\right) M'_p - \left(\frac{6 + 3.45015}{21512.7}\right) T'_{p_0} + \left(\frac{6}{(2)(21512.7)}\right) T'_{c_0} \qquad (E7.1)$$

$$\frac{dT'_{c_0}}{dt} = \left(\frac{17-33.21}{4922.8}\right) M'_c - \left(\frac{17 + \frac{6}{2}}{4922.8}\right) T'_{c_0} + \left(\frac{6}{4922.8}\right) T'_{p_0} \qquad (E7.2)$$

$$\frac{dT'_{p_0}}{dt} = -(2.2978x10^{-4}) M'_p - (4.3928x10^{-4}) T'_{p_0} + (1.394x10^{-4}) T'_{c_0} \qquad (E7.3)$$

$$\frac{dT'_{c_0}}{dt} = -(4.062x10^{-3}) T'_{c_0} + (1.218x10^{-3}) T'_{p_0} - (3.292x10^{-3}) M'_c \qquad (E7.4)$$

Laplace dönüşümü alınırsa;

$$\bar{T}'_{p_0} = -\left(\frac{2.2978\text{x}10^{-4}}{S + 4.3928\text{x}10^{-4}}\right)\bar{M}'_p + \left(\frac{1.394\text{x}10^{-4}}{S + 4.3928\text{x}10^{-4}}\right)\bar{T}'_{c_0} \qquad (E7.5)$$

$$\bar{T}'_{c_0} = \left(\frac{1.218\text{x}10^{-3}}{S + 4.062\text{x}10^{-3}}\right)\bar{T}'_{p_0} - \left(\frac{3.292\text{x}10^{-3}}{S + 4.062\text{x}10^{-3}}\right)\bar{M}'_c \qquad (E7.6)$$

Her bir kontrol mekanizması ayrı ayrı incelenmiştir.

i. Oransal Kontrol

$$\bar{M}'_c = -K_c\bar{T}'_{p_0} \qquad (E7.7)$$

Denklem (E7.7), (E7.6) da yerine konulursa;

$$\bar{T}'_{c_0} = \left(\frac{1.218\text{x}10^{-3}}{S + 4.062\text{x}10^{-3}}\right)\bar{T}'_{p_0} - \left(\frac{3.292\text{x}10^{-3}}{S + 4.062\text{x}10^{-3}}\right)(-K_c\bar{T}'_{p_0}) \qquad (E7.8)$$

$$\bar{T}'_{c_0} = \left(\frac{3.292\text{x}10^{-3}\,K_c + 1.218\text{x}10^{-3}}{S + 4.062\text{x}10^{-3}}\right)\bar{T}'_{p_0} \qquad (E7.9)$$

(E7.9) denklemi (E7.5) de yerine konursa;

$$\bar{T}'_{p_0} = -\left(\frac{2.2978\text{x}10^{-4}}{S + 4.392\text{x}10^{-4}}\right)\bar{M}'_p + \left(\frac{1.394\text{x}10^{-4}}{S + 4.392\text{x}10^{-4}}\right)\left(\frac{3.292\text{x}10^{-3}K_c + 1.218\text{x}10^{-3}}{S + 4.062\text{x}10^{-3}}\right)\bar{T}'_{p_0} \qquad (E7.10)$$

$$\bar{T}'_{p_0} = -(2.297x10^{-4})[[\frac{S + 4.062x10^{-3}}{S^2 + 4.5012x10^{-3}S + 1.6143x10^{-6} - 4.5892x10^{-7}K_c}]\bar{M}'_p \qquad (E7.11)$$

Buradan karakteristik denklem,

$$S^2 + 4.5012x10^{-3}S + (1.6143x10^{-6} - 4.5892x10^{-7}\ K_c) = 0 \qquad (E7.12)$$

a. Sistemin kararlı olması için denklemin kökleri gerçek olmalı, Böylece;

$$(4.5012x10^{-3})^2 - 4(1.6143x10^{-6} - 4.5892x10^{-7}K_c) > 0 \qquad (E7.13)$$

$$1.3803x10^{-5} + 1.8356x10^{-6}K_c > 0$$

$K_c > -7.5$ olmalıdır.

b. Routh Test {23} uygulanmasıyla;

Bu teste göre, eğer ilk sütündaki terimlerden biri sıfır veya negatif ise sistem kararsızdır.

1	1	$1.6143x10^{-6} - 4.5892x10^{-7}\ K_c$
2	$4.5012x10^{-3}$	
3	$1.6143x10^{-6} - 4.5892x10^{-7}\ K_c$	

$K_c < 3.51$ olmalıdır.

ii. Oransal + İntegral Kontrol

$$\bar{M}'_c = -K_c(1 + \frac{K_i}{K_c}\frac{1}{S})\,\bar{T}'_{p_0} \qquad (E7.14)$$

(E7.6) denkleminde yerine konulursa;

$$\bar{T}'_{c_0} = (\frac{1.218x10^{-3}}{S + 4.062x10^{-3}})\bar{T}'_{p_0} - (\frac{3.292x10^{-3}}{S + 4.062x10^{-3}})$$
$$[-K_c\ (1 + \frac{K_i}{K_c}\ \frac{1}{S})]\,\bar{T}'_{p_0} \qquad (E7.15)$$

$$\bar{T}'_{c_0} = [\frac{(1.218x10^{-3} + 3.292x10^{-3}K_c)S + 3.292x10^{-3}K_i}{S(S + 4.062x10^{-3})}]\,\bar{T}'_{p_0} \qquad (E7.16)$$

(E7.16) denklemi (E7.5) de yerine konulursa;

$$\bar{T}'_{p_0} = -(\frac{2.297x10^{-4}}{S + 4.392x10^{-4}})\bar{M}'_p + (\frac{1.392x10^{-4}}{S + 4.392x10^{-4}})$$
$$[\frac{(1.218x10^{-3} + 3.292x10^{-3}K_c)S + 3.292x10^{-3}K_i}{S(S + 4.062x10^{-3})}]\,\bar{T}'_{p_0} \qquad (E7.17)$$

Karakteristik denklem,

$$S^3 + 4.5012x10^{-3}S^2 + (1.614x10^{-6} - 4.589x10^{-7}K_c)S - 4.589x10^{-7}K_i = 0 \qquad (E7.18)$$

Routh kararlılık testi uygulanırsa;

Kararlılık için; $(-4.589\times10^{-7}K_i)$ ve $(1.614\times10^{-6}-4.589\times10^{-7}K_c + 1.01\times10^{-4}K_i)$ pozitif olmalıdır. Bu durumda, $K_i < 0.0$ ve $T_R = \frac{K_c}{K_i}$ nin pozitif olabilmesi için $K_c < 0.0$ olmalıdır.

iii. Oransal + Türevsel + İntegral Kontrol

$$\bar{M}'_c = -K_c\left(1 + \frac{K_d}{K_c}S + \frac{K_i}{K_c}\frac{1}{S}\right)\bar{T}'_{p_0} \quad (E7.19)$$

Denklem (E7.6) da yerine konulursa;

$$\bar{T}'_{c_0} = \left(\frac{1.218\times10^{-3}}{S + 4.062\times10^{-3}}\right)\bar{T}'_{p_0} - \left(\frac{3.292\times10^{-3}}{S + 4.062\times10^{-3}}\right)$$

$$\left[-K_c\left(1 + \frac{K_d}{K_c}S + \frac{K_i}{K_c}\frac{1}{S}\right)\right]\bar{T}'_{p_0} \quad (E7.20)$$

$$\bar{T}'_{c_0} = \left[\frac{(1.218\times10^{-3} + 3.292\times10^{-3}K_c)S + 3.292\times10^{-3}K_d S^2 + 3.292\times10^{-3}K_i}{S(S + 4.062\times10^{-3})}\right] \quad (E7.21)$$

Denklem (E7.21), (E7.5) de yerine konulursa;

Karakteristik denklem;

$$S^3 + (4.501\times10^{-3} - 4.587\times10^{-7}K_d)S^2 + (1.614\times10^{-6} - 4.587\times10^{-7}K_c)S$$

$$-4.587\times10^{-7}K_i = 0 \quad (E7.25)$$

şeklinde olur.

Routh yönteminin uygulanmasıyla kararlılık için $(-4.587\times10^{-7}K_i)$ de, $K_i < 0.0$ olmalı. Buradan; $K_c < 0.0$ ve $T_D = \frac{K_d}{K_c}$ pozitif olacağından; $K_d < 0.0$ olmalıdır.

REFERANSLAR

1. ERCÜMENT, ~~A.~~
   MSc.Thesis, Aston University, England (1978).
2. HIMMELBLAU and BISCHOFF
   Procecess Analysis and Simulation
   Willey Comp. (1968)
3. DENBIGH, A.G.
   Chemical Reactor Theory
   Cambridge University Press, London (1965)
4. CHOLETTE, A., CLOUTIER, L.
   Can.J.of Chem.Eng. 37,105 (1959)
5. CHOLETTE, A., BLANCHET, J and CLOUTIER, L.
   Can.J.of Chem. Eng. 38,1 (1960)
6. PAYNTER, H.M., TAKAHASHİ, Y.
   Trans. ASME. 78,749 (1956)
7. COHEN, W.C., JOHNSON, E.F.
   IEC. Eng.Des.and Proc. Dev. 48,6 (1956)
8. KALMAN, D.T. and KOPPEL, L.B.
   Ind. Eng. Chem. Fund. 5,289 (1966)
9. ALPBAZ, M.
   Ph.D.Thesis, Aston University, England (1976)
10. MELSA, J.L., JONES, S.K.
    Computer Programs For Computational Asistace in The Study of Lineer Control Teory
    Mc Graw-Hill Comp. (1973).

11. FRANKS, R.G.
Modeling and Simulation in Chemical Engineering
Willey Interscience (1972).

12. HİÇŞAŞMAZ, Z.
MSc. Thesis, ODTÜ, Turkey (1982).

13. MORAES, S.
MSc. Thesis, Aston University, England (1981).

14. FARHADPOUR, F.A.
Chem. Eng. Sci. 36,143 (1980).

15. LINK, K.F., WU, L.L.
Chem. Eng. Sci. 36,435 (1980)

16. YÜCEER, S.
Özel Haberleşme

17. HYNDMAN, D.H.
Anolog and Hybrid Computing
Pergamon Press., Oxford (1979).

18. EAZ Anolog Computer Handbook (1966).

19. Advanced Technigues Manuel (Programming Manuel)
EAL Burgers Hill Sussex (1966)

20. SCHULTZ, D.G and MELSA, J.L.
State Functions and Lineer Control Systems
Mc Graw-Hill Comp. (1967).

21. LOUIS, A.P.
Applied Mathematics For Engineers and Physicists
Mc Graw-Hill Comp. (1950).

22. WYLIE, C.R.
Advanced Engineering Mathematics
Mc Graw-Hill Comp. (1966)

23. COUGHANOWR, D.R, KOPPEL, L.B.
Process Systems Analysis and Control
Mc Graw-Hill Comp. (1965).

24. WILLIAM, S.D. and DANIEL, D.M.
Numerical Methods with Fortran IV Case Studies
Willey comp. (1972).

25. HAMMING, R.W.
Numerical Methods for Scientists and Engineers
Mc Graw-Hill comp. (1962).

26. ZADEH, A.L. and DESOER, C.A.
Lineer System Theory
Mc Graw-Hill Comp. (1963).