

BOĞAZİÇİ ÜNİVERSİTESİ
Mühendislik Fakültesi
Nükleer Mühendislik Bölümü

**PLAKA YAKIT ELEMENLİ NÜKLEER REAKTÖR
GEÇİCİ ve SÜREKLİ REJİM
TERMOHİDROLİK ANALİZİ**

Dr. FAHİR BORAK

Bogazici University Library



39001100543886

Eylül 1979
İstanbul

Ö Z E T

Bu çalışmada, plakalı yakıt elemanı kullanan su soğutmalı bir nükleer reaktör kalbinde termohidrolik şartların hesaplanması amacıyla, güç üretimi, ısı transferi ve ısı taşınımı modelleri geliştirilmiş ve bu modellerden yararlanarak bir bilgisayar programı hazırlanmıştır.

Geliştirilen güç üretimi modelinde, reaktörün bir dikdörtgenler prizması şeklinde olduğu düşünülerek, güç üretiminin yanlarından kesilmiş kosinüs dağılımına sahip olduğu kabul edilmiştir. Bu kabul ile reaktör kalbinde hacimsel güç üretimi ve her yakıt plakasında üretilen güç hesaplanmaktadır.

Isı transferi modelinde toplu parametre tekniği kullanılmış ve soğutucu akış ekseninde, istenilen noktalarda yakıt özü ve zarf sıcaklıklarını hesaplamak üzere kullanılacak ifadeler bulunmuştur.

Isı taşınımı modelinde, bir kontrol hacmine kütle süreklilik, enerji ve hareket miktarı denklemleri uygulanmış ve basınç değişimi ile su sıcaklığını hesaplamak üzere kullanılacak ifadeler elde edilmiştir.

Bu modellerden yararlanarak meydana getirilen bilgisayar programında, plaka güç üretimleri için geliştirilen modelden elde edilen neticeler kullanılabilineceği gibi, plakaların güç üretimleri ve akış eksenı boyunca göreceli güç üretimi programa bir tablo halinde de verilebilir.

Bu çalışmada geliştirilen bilgisayar programında hesaplamalar evvela sürekli rejim için yapılır; sonra geçici rejim için, istenildiği takdirde soğutucu giriş miktarının, sıcaklığının ve güç üretiminin zamana göre değişimlerini dikkate alan hesaplamalara geçilir.

TESEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasında hiç bir desteği esirgemeyen Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanlığına, Nükleer Mühendislik Bölümü ve Kimya Mühendisliği Bölümü Başkanlarına ve öğretim elemanlarına teşekkürümü belirtmek isterim. Ayrıca çalışmanın gerektirdiği yoğun bilgisayar kullanımı sırasında değerli yardımlarını gördüğüm Y.Müh.Mehmet Yakut'a ve B.Ü.Bilgisayar Merkezi elemanlarına teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA</u>
Ö Z E T	i
TEŞEKKÜR	ii
TABLoların LİSTESİ	v
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	vi
KULLANILAN SİMGELER	vii
BÖLÖM 1 - G İ R İ Ş	1
1-A YAPILAN ÇALIŞMANIN TANIMI VE KAPSAMI	1
1-B NÖKLEER REAKTÖR TERMOHİDROLİĞİ	2
BÖLÖM 2 - MATEMATİKSEL MODELLEME	8
2-A GENEL TANITIM	8
2-B MATEMATİKSEL MODELLER	9
2-B-i Güç Üretimi Modeli	9
2-B-ii Isı Transferi Modeli	15
2-B-iii Eşdeğer Isı Transferi Katsayıları	22
2-B-iv Isı Taşınımı Modeli	26
2-B-v Modelleme Neticelerinin Özeti	31
BÖLÖM 3 - BİLGİSAYAR PROGRAMI TERHİD	33
3-A PROGRAMIN GENEL TANITIMI	33
3-B ANA PROGRAM VE ALT PROGRAMLAR	36
BÖLÖM 4 - SAYISAL UYGULAMA	45
4-A PLAKALARDA GÖÇ ÜRETİMİ	45
4-B TERMOHİDROLİK HESAPLAMALAR	51
4-B-i Sürekli Rejim Hesaplamaları	51
4-B-ii Geçici Rejim Hesaplamaları	61

	<u>SAYFA</u>
BÖLÖM 5 - ÇALIŞMANIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞILMASI	75
BÖLÖM 6 - S O N U Ç	80
R E F E R A N S L A R	83
E K L E R EK-1 BİLGİSAYAR PROGRAMI TERHİD	86
EK-2 SUYUN FİZİKİ ÖZELİKLERİ	109
EK-3 ÖRNEK PROBLEM GİRİŞİ BİLGİSİ	116

TABLOLARIN LİSTESİ

	<u>SAYFA</u>
4-1 Reaktör Sistemi Özellikleri	46
4-2 Reaktör 1 Plaka Güç Üretimi Değerleri	47
4-3 Reaktör 2 Sistemi Özellikleri	49
4-4 Reaktör 2 Plaka Güç Üretimi Değerleri	50
4-5 Hesaplama Kullarılan Değerler	52
4-6 Hesaplanan Termohidrolik Değerler- $T_f(\text{giriş}): 37^{\circ}\text{C}$	53
4-7 Hesaplanan Termohidrolik Değerler- $T_f(\text{giriş}): 23^{\circ}\text{C}$	54
4-8 Hesaplanmış Sıcaklık Değerleri - $T_f(\text{giriş}): 37^{\circ}\text{C}$	58
4-9 Hesaplanmış Sıcaklık Değerleri - $T_f(\text{giriş}): 23^{\circ}\text{C}$	59
4-10 Soğutucu Giriş Miktarının Zamanla Değişimi	62
4-11 Geçici Rejim Termohidrolik Hesaplamaları $t= 0.473$ sn	63
4-12 Geçici Rejim Termohidrolik Hesaplamaları $t= 0.946$ sn	64
4-13 Geçici Rejim Termohidrolik Hesaplamaları $t= 1.419$ sn	65
4-14 Geçici Rejim Termohidrolik Hesaplamaları $t= 1.892$ sn	66
4-15 Geçici Rejim Termohidrolik Hesaplamaları $t= 3.311$ sn	67
4-16 Geçici Rejim Termohidrolik Hesaplamaları $t= 5.202$ sn	68
4-17 Soğutucu Giriş Sıcaklığının Zamanla Değişimi	70
4-18 Güç Üretiminin Zamanla Değişimi	72

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

	<u>SAYFA</u>
2-1 Kalp Düzeni ve Yakıt Plakaları	12
2-2 Yakıt Özü ve Zarf	16
2-3 Kontrol Hacmi - Kütle Süreklilik Denklemi	27
2-4 Kontrol Hacmi - Enerji Denklemi	29
2-5 Kontrol Hacmi - Hareket Miktarı Denklemi	30
3-1 Program Genel Akış Şeması	34
3-2 Alt Program Bağlantı Şeması	37
4-1 Sıcaklık Dağılımı - $T_f(\text{giriş}): 37^{\circ}\text{C}$	55
4-2 Sıcaklık Dağılımı - $T_f(\text{giriş}): 23^{\circ}\text{C}$	56
4-3 Soğutucu Giriş Miktarı Değişmesine Bağlı Olarak Zamanla Sıcaklık Değişimleri	69
4-4 Soğutucu Giriş Sıcaklığının Değişmesine Bağlı Olarak Zamanla Sıcaklık Değişimleri	71
4-5 Güç Değişmesine Bağlı Olarak Zamanla Sıcaklık Değişimleri	74

KULLANILAN SİMGELER

A_i	Soğutucu akış kanalı kesit alanı (m^2)
B_x	$\pi/(Lx+2d)$ (m^{-1})
B_y	$\pi/(Ly+2d)$ (m^{-1})
B_z	$\pi/(Lz+2d)$ (m^{-1})
C_1, C_2	İntegrasyon sabitleri
c_1	Yakıt özü özgül ısısı ($J/kg \text{ } ^\circ C$)
c_2	Zarf özgül ısısı ($J/kg \text{ } ^\circ C$)
D_e	Eşdeğer kanal çapı (m)
d	Ekstrapolasyon mesafesi (m)
d_1, d_2	İntegrasyon sabitleri
F_i	Birim uzunlukta sürtünme kaybı (N/m)
f	Sürtünme katsayısı
$g(z)$	(z) noktasında göreceli güç üretimi
h	Konveksiyon ısı transferi katsayısı ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
h_1, h_2	Eşdeğer ısı transferi katsayısı ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)
h_i	Soğutucu entalpisi (J/kg)
$\bar{h}_i$	Bir zaman adımı önceki soğutucu entalpisi
k_1	Yakıt özü ısı iletim katsayısı (W/mC)
k_2	Zarf ısı iletim katsayısı (W/mC)
L_1	Yakıt özü yarı kalınlığı (m)
L_2	Zarf kalınlığı (m)
L_x	x-istikametinde kalbin fiziki boyutu (m.pl.ulx)(m)
L_y	y-istikametinde kalbin fiziki boyutu (n.uly)(m)
L_z	z-istikametinde kalbin fiziki boyutu (uz)(m)

m	x-istikametinde yakıt elemanı sayısı
m_i	Soğutucu akış miktarı (kg/sn)
$\bar{m}_i$	Bir zaman adımı önceki soğutucu akış miktarı (kg/sn)
n	y istikametinde yakıt elemanı (ve plakası) sayısı
O_i	Diferansiyel operatör, $i=1,2,3,4$
P	Reaktör gücü (W)
P_i	Basıncı (N/m^2)
p_l	Bir yakıt elemanında plaka sayısı
$q(j,k)$	(j,k) yakıt elemanında üretilen güç (W)
q'_i	Birim uzunlukta yakıttan soğutucuya geçen güç miktarı (W/m)
q''	Isı akısı (W/m^2)
q'''	Hacimsel güç üretimi (W/m^3)
$q'''(x,y,z)$	x,y,z noktasında hacimsel güç üretimi (W/m^3)
q_0	$q'''(0,0,0)$ (W/m^3)
$q'''(j,k,z)$	(j,k) yakıt plakasında x ve y istikametlerinde ortalananmış ve z'ye bağlı hacimsel güç üretimi (W/m^3)
r_1, r_2	Diferansiyel denklem çözüm kökleri
ρ_i	Soğutucu yoğunluğu (kg/m^3)
$\bar{\rho}_i$	Bir zaman adımı önceki soğutucu yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_1	Yakıt özü yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_2	Zarf yoğunluğu (kg/m^3)
T_1	Yakıt özü sıcaklığı (C)
$\bar{T}_1$	Ortalama yakıt özü sıcaklığı (C)
T_2	Zarf sıcaklığı (C)
$\bar{T}_2$	Ortalama zarf sıcaklığı (C)
T_{12}	Yakıt özü-zarf ara yüzey sıcaklığı (C)

T_f	Soğutucu sıcaklığı (C)
t	Zaman (sn)
u_x	x istikametinde yakıt özü kalınlığı (m)
u_y	y istikametinde yakıt özü genişliği (m)
u_z	z istikametinde yakıt boyu (m)
u_{lx}	x istikametinde iki yakıt plakası merkezleri arasındaki mesafe (m)
u_{ly}	y istikametinde yakıt plakası merkezleri arasındaki mesafe (m)
u_i	Soğutucu iç enerjisi (J/kg)
v_i	Soğutucu akış hızı (m/sn)
$\bar{v}_i$	Bir zaman adımı önceki soğutucu akış hızı (m/sn)

BÖLÜM I

G İ R İ Ş

1-A YAPILAN ÇALIŞMANIN TANIMI VE KAPSAMI

Bu çalışmada, plaka yakıt elemanlı ve su soğutmalı bir nükleer reaktör kalbinde geçici ve sürekli rejim termohidrolik hesaplamalarının yapılması maksadı ile geliştirilen matematiksel modeller ve bu modellerden FORTRAN IV lisansı kullanılarak meydana getirilen TERHID bilgisayar programı sunulmaktadır.

Çalışma 6 bölüm halinde sunulmuştur. Birinci bölüm olan giriş bölümü iki kısımdan meydana gelmektedir. Birinci kısımda bölümlerin ana hatları verilmekte, ikinci kısımda ise nükleer reaktör tasarım ve yapımında, termohidrolik hesapların önemine değinilmekte ve hazırlanan TERHID programının termohidrolik hesaplama programları içindeki yeri belirtilmektedir.

İkinci bölümde, hesaplamalar için geliştirilen güç üretimi modeli, ısı transferi modeli ve ısı taşınımı modeli ayrı kısımlarda incelenmektedir.

Üçüncü bölümde, geliştirilen matematiksel modellerin bir bilgisayar programı haline dönüştürülmesi ile ilgili bilgiler verilmekte ve TERHID programının ana ve alt programları incelenmektedir.

Dördüncü bölümde yakıt plakaları güç üretimi hesaplamalarından ve geçici ve sürekli rejim termohidrolik hesaplamaları sayısal uygulamalarından örnekler verilmektedir.

Beşinci bölümde çalışmanın ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ve tartışılması yapılmakta, altıncı bölümde çalışmanın sonucu sunulmaktadır.

Bilgisayar programı TERHID, EK-1 kısmında verilmektedir. Bu listede, programın kullanılması ile ilgili gerekli bilgiler ayrıntılı olarak mevcuttur.

1-B NÜKLEER REAKTÖR TERMOHİDROLİĞİ

Nükleer reaktörler özellikle elektrik enerjisi üretiminde mühim bir yer işgal etmektedirler. 1979 senesi başı itibariyle, yirmiiki ülkede 30 MW_e'in üzerinde 210 nükleer güç santrali mevcuttur(1) ve bu santrallerin toplam kapasitesi 109463 MW_e'i bulmuştur. Bir mukayese yapmak için aynı tarihte ülkemizde bulunan santrallerin toplam kapasitesinin 4727 MW_e olduğunu(2) belirtelim.

Halen kurulu bu nükleer santrallere ilâveten toplam gücü 295505 MW_e olan 313 santral daha planlama ve inşaa safhasındadır. Ayrıca, daha küçük güçte pek çok araştırma ve geliştirme reaktörü mevcuttur; denizüstü ve denizaltı gemilerinde, uzay araçlarında nükleer güçten istifade edilmektedir.

Bütün bu reaktörlerin tasarım ve yapımında gerekli olan incelemelerden biri termohidrolik analizdir. Termohidrolik analiz bir reaktörün çeşitli şartlar altında emniyet sınırları içinde çalışırlığını incelemek üzere yapılır. Burada, çeşitli şartlar terimi, reaktörün sıfır güçten belirli bir güç seviyesine yükseltilmesine kadar olan geçici rejim analizini; belirli bir güçte çalışmasını incelemek üzere sürekli rejim analizini; bu güç seviyesinden daha aşağıdaki veya yukarıdaki yeni bir güç seviyesine geçişte olan geçici rejim analizlerini, soğutucu giriş miktarında veya sıcaklığında olan değişikliklerin tesirini kapsadığı gibi, bir kaza halinde de karşılaşılabilecek durumları da içine alır. Başka bir deyişle, nükleer reaktörlerin çeşitli şartlar altında, emniyet ve güven ile çalışmaları, termohidrolik tasarım ve analiz ile yakından ilgilidir*. Bu sebeple, gerek yakıtta üretilen ısıdan faydalı enerji temin etmek maksadıyla kurulmuş nükleer güç reaktörleri, gerekse araştırmalarda kullanmak maksadıyla yüksek nötron akısı elde etmek üzere yapılmış araştırma reaktörlerinde termal parametreler ve ısı transferi analizi büyük önem taşır.

Genellikle, reaktörlerde ısı taşınımı yolu, katı yakıt içinde açığa çıkan parçalanma enerjisinin sırasıyla yakıt

* Nükleer reaktörlerde ısı transferi konularını inceleyen ve bu çalışmada yararlanılmış kitapların başlıcaları arasında: El-Wakil(3,4) ve Kakaç(5) tarafından yazılmış sadece bu konunun işlenmesi ile ilgili kitaplar; Sesonskie(6), Glasstone(7), Lamarsh(8), El-Wakil(9) tarafından yazılmış nükleer reaktör mühendisliği ile ilgili kitapların reaktör termohidroliği ile ilgili bölümleri; özellikle reaktör uygulamaları için yazılmamış olmakla beraber ısı iletiminde ileri seviyede bilgileri ihtiva eden Arpacı(10), Carslaw(11) ve Kakaç(12) tarafından yazılmış kitaplar; genel ısı transferi için yazılmış olmakla beraber reaktöre dönük uygulamalar için de faydalanılabilecek Kreith(13), Jacob(14), Kakaç(15) tarafından yazılmış kitaplar.

içinden, yakıt-zarf arasında olabilen gaz tabakasından ve zarftan geçerek soğutucu sıvıya iletilmesi ve nihayet ısınan sıvının üretilen enerjiyi reaktör dışına taşıması merhalelerini ihtiva eder. Güç reaktörlerinde, soğutucu tarafından taşınan ısı, bir ısı-değiştiricisi aracılığı ile buhar üretiminde kullanılır. Bu buhar da bir türbin-jeneratör sisteminde yararlanarak elektrik üretiminde kullanılır. Bazı araştırma reaktörlerinde faydalı güç üretimi yapılmaz; ikinci soğutma devresi enerjisi açığa verilerek, birinci soğutma devresinin ve dolayısıyla reaktörün soğutulması temin edilmiş olur.

Esas itibariyle, parçalanma enerjisinin açığa çıktığı yer yakıt özü olduğu için, yakıt elemanının tasarlanması ve yapılması, üretilen gücün yakıt özünden soğutucuya geçişine kadar, yakıt, zarf ve soğutucu da müsaade edilebilir sıcaklıkların aşılmamasını temin edecek şekilde olmalıdır.

Yakıt elemanının ısı tasarımında dikkate alınacak başlıca hususlar şunlardır:

- Azami sıcaklıklar yakıt boyutlarının değişerek eğilme, bükülme, soğutucu kanalını tıkama gibi olaylara yol açmamalıdır.
- Azami sıcaklıklar malzemenin bozunumuna, fiziki özelliklerinin değişimine sebep olmamalıdır.
- Sıcaklık gradyanlarından ve fizyon ürünü gaz basıncından meydana gelen gerilimler yakıt elemanında kırılmaya, çatlamaya vb. yol açmamalıdır.
- Güç üretimine bağlı olan ısı akısı, soğutucuda, reaktör cinsine göre, kaynama veya buhar filimli kararsız kaynama olmasına imkân verecek değerleri altında kalmalıdır.

Bu ve benzer hususların dikkate alınması ve belirli bir emniyet faktörü ile yakıt ısı tasarımı yapılır.

Reaktör tasarımı, güç üretimi dağılımının, yakıt fiziki özelliklerinin ve boyutlarının, soğutucu özelliklerinin ve reaktör çalıştırma şartlarının değiştirilebilmesi, yukarıda belirtilen sınırlamalara çözüm getirilmesine imkân verir. Ancak sıcaklığa da bağlı olan nötronik parametrelerin ve ekonomik mülâhazaların da dikkate alınması, ilâveden parametrelerin uzaysal değişimlerinin, normal ve kaza hali geçici rejim durumlarının da tasarımda değerlendirilmesi gereği, reaktör termohidrolik hesaplamalarının giriftliğini ortaya koymaktadır.

İnşa edilen bir reaktörün, tasarımda öngörülen özellikleri tam olarak haiz olması beklenilmez. Meselâ, yakıt boyutlarının, zarf kalınlığının, soğutucu akış dağılımının, nötron akısı dağılımının tasarımda olan değerlerden farklılaşması, ısı iletimi katsayısı, ısı transferi film katsayısı gibi parametrelerin değerlerinde olan belirsizlikler, hakiki sıcaklık dağılımının tasarımda öngörüldüğünden değişik olmasına yol açar. Bu değişiklik, hesaplanan değer in altında veya üstünde olabilir. Emniyet açısından tasarlananın üstünde olabilecek sıcaklıklar mühimdir. Bu sebeple en fazla ısı üretiminin olabileceği kanal-sıcak kanal- ve yukarıda kısmen sıralanan faktörlerin bir noktada toplanarak meydana getirebileceği -sıcak nokta- analizlerinin de yapılması gerekir. Bunlar da reaktör termohidroliği uygulamalarının kapsamındadır.

Yukarıda belirtildiği üzere, güç üretimi dağılımı, yakıt ısı iletimi, zarf-soğutucu ısı konveksiyonu, soğutucu ısı taşınımı geçici ve sürekli rejim analizlerinin, çeşitli reaktör çalışma şartları için, parametrelerin değerlerinde olan belirsizlikleri ve tasarım değerlerinden olan farklı-

laşmaları da dikkate alarak yapılması gereği, girift, teferuatlı ve zaman alıcı bu analizlerin, bilgisayar termohidrolik programlarından yararlanarak yapılmasını gerektirir.

Reaktör termohidrolik programlarını bir kaç şekilde sınıflandırmak mümkündür; bazı programlar bir yakıt elemanı için detaylı hesaplama yapmak maksadıyla hazırlanmıştır; bazı programlar reaktör kalbi için termohidrolik hesaplamaların yapılmasında kullanılır, ancak bunlardan yakıt elemanları için daha az ayrıntılı bilgi elde edilir. Üçüncü bir grup ise reaktör kalbini, birinci soğutma devresinin tamamını ve ikinci soğutma devresini de kapsayabilen programlardır. Bu tip programlarda gerek bilgisayar hafızası sınırlamaları, gerekse bilgisayarda hesaplama için lüzumlu zaman, daha kaba modellerin kullanılmasını gerektirir.

Termohidrolik parametreler ve nötronik parametreler birbirlerini etkiler. Bu sebeple bazı termohidrolik programlar, nötronik hesaplamaları da ihtiva ederler. Bu takdirde, yukarıda bahsedilen sınırlamalar dolayısıyla hesaplamalar daha az ayrıntılı olarak yapılır. Ancak ayrı programlar halinde de olsa nötronik ve termohidrolik analizlerin birbirine bağlanması gereği açıktır.

Yukarıda bahsedilen bilgisayar programlarından örnekler ref.16 ve ref.17 de mevcuttur. Bu arada bazı bilgisayar programlarının çeşitli sebeplerle açık literatürde verilmediğini, ancak isminden ve programın kullanılması ile elde edilen neticelerin çeşitli makalelerde zikredilmesinden mevcudiyetinin anlaşıldığını belirtmekte fayda vardır.

Bu çalışmanın neticesi olan TERHID bilgisayar programı reaktör kalbi için hesaplamalar yapan programlar sınıfındadır. Programda nötronik hesaplamalara yer verilmemekle beraber, çalışmada geliştirilen güç üretimi, ısı transferi

ve ısı taşınımı modellerinden yararlanılarak, plaka yakıt elemanlı ve su soğutmalı reaktör kalbinde, istenilen akış eksen noktalarında, geçici ve sürekli rejim yakıt özü, zarf ve soğutucu sıcaklıkları ve basınç değişimi hesabı yapılmasında kullanılabilmektedir.

Reaktör termohidrolik analizi için kullanılabılacak diğer bilgisayar programlarının (COBRA, HAMBO, MIXER, THINC vb) hidrolik modelleri birbirine benzemekte (18,19) ancak çözüm yollarında farklılaşma görülmektedir. Terhid programında kullanılan hidrolik model, bu programlarda kullanılanlara benzemekle beraber, diğer programların daha genel hazırlanmış olması sebebiyle (a- iki veya daha fazla soğutucu kanalı arasında soğutucu alış-verişi olabileceği, b- bir veya iki fazlı soğutucu akışı olabileceği, c- yakıt elemanının etrafına sarılan tel ile soğutucunun bir kanaldan diğerine geçirilmesi vb. gibi) TERHID hidrolik modellemesi plaka yakıt elemanlı sistem için, daha basit ve dolayısıyla daha hızlı olarak çözümlerin elde edilmesine imkân vermektedir. Yine bu programlarda yakıt elemanı için sıcaklıklar sonlu farklar yaklaşımı ile bulunmakta, TERHID modelinde ise, toplu parametre tekniğinin kullanılması ile bir eksen noktasında yakıt özü ve zarf sıcaklığının hesabı, yakıt ve zarfın ince olması sebebiyle kabul edilir neticeler vermektedir.

Yine diğer programlarda ısı akısı bir girdi bilgisi olarak istenmekte, TERHID programı modelinde ise güç üretiminin program girdi bilgisi olarak kullanılması, özellikle geçici rejim için hakiki duruma daha yakın hesaplamalar yapılmasına imkân vermektedir.

BÖLÜM 2

MATEMATİKSEL MODELLEME

Reaktör kalbi geçici ve sürekli rejim termohidrolik analizi için hazırlanan bilgisayar programının temelini teşkil eden matematiksel modellerin tanıtıldığı ve incelendiği bu bölüm iki kısımdan meydana gelmektedir. Birinci kısımda modellerin genel tanıtımı yapılmakta, ikinci kısımda ayrıntılı incelemeye girilmektedir.

2-A GENEL TANITIM

Reaktör termohidrolik analizi için gerekli bilgilerden biri reaktör içinde üretilen gücün uzaysal dağılımıdır. Geliştirilen modelde, dikdörtgenler prizması şeklinde kabul edilen reaktör kalbi için, güç üretiminin, her üç istikamette yanlarından kesilmiş kosinüs dağılımı şeklinde olduğu kabulü ile her yakıt plakasında üretilen güç ve hacimsel güç üretimi hesap edilmektedir. Bu hesaplama için kullanılan model ayrıntılı olarak kısım 2-B-i de verilmiştir.

Yakıt plakalarında ve zarfta sıcaklık değerlerini hesaplamak için kullanılan modelde ısı iletiminin tek istikamette (yakıt elemanının en ince olduğu istikamette) olduğu

kabul edilmiş, ancak bu istikamette de; bir sıcaklık dağılımı hesap etmek yerine toplu parametre tekniği (lumped parameter technique) ile ortalama yakıt ve zarf sıcaklıkları soğutucunun akış eksenı boyunca hesaplanmıştır. Yakıt ısı iletimi için kullanılan model ayrıntılı olarak kısım 2-B-ii ve 2-B-iii de verilmiştir.

Soğutucu termohidrolik şartlarını hesap etmek maksadıyla bir kontrol hacmine kütle süreklilik, enerji ve hareket miktarı denklemleri uygulanmıştır. Bu denklemlerin kullanılması ile soğutucu sıcaklığını ve basınç farkını veren ifadeler bulunarak programda kullanılmıştır. Bu ifadelerin elde edilmesinde soğutucu akış istikametinin, düşey olarak yukarıdan aşağı olduğu kabulü yapılmıştır. Isı taşınımı ile ilgili ayrıntılı bilgi kısım 2-B-iv de verilmiştir.

2-B MATEMATİKSEL MODELLER

2-B-i Güç Üretimi Modeli

Reaktör kalbinde sıcaklık dağılımını hesaplamak için reaktörde üretilen gücün uzaysal dağılımını bilmek veya hesaplamak gereklidir. Hazırlanan bu bilgisayar programında hacimsel güç üretimi değeri iki yolla hesaplamalara dahil edilebilmektedir. Birinci şekilde, hesaplama yapılması istenilen yakıt plakaları için ayrı ayrı güç üretimi değerleri sayısal olarak programa verilmekte ve soğutucu akış eksenı (z-ekseni) boyunca göreceli güç üretimi dağılımı bir tablo olarak ayrıca okunmaktadır. Program bu bilgileri kullanarak istenilen eksen noktalarında, diğer iki eksene (x- ve y-eksenleri) göre ortalanan hacimsel güç üretimi değerini hesap etmektedir.

İkinci yaklaşımda ise dikdörtgenler prizması şeklinde kabul edilen bir reaktör kalbi için toplam güç üretimi ve-
rilmekte ve program aşağıda belirtilen kabuller çerçevesin-
de yapılan bir modelle, plakalarda güç üretimlerini ve ha-
cimsel güç üretimi değerlerini hesaplamaktadır.

Modelde, daha önce yapılan bir çalışmada(20) olduğuna
benzer şekilde yapılan kabuller şunlardır:

a- Reaktör kalbi içinde güç üretimi, bir enerji grup-
lu ve reflektörlü reaktörlerdeki nötron akısı dağı-
lımında olduğu gibi, yanlarından kesilmiş bir kosinüs dağı-
lımına sahiptir.

b- Güç üretimi, kalbin bütün hacminde değil, yakıt
levhalarının ortasında bulunan yakıt özünde olmak-
tadır.

c- Her bir özde üretilen güç, o özün içinde bulunduğu
'yakıt plakası hücresi' payına düşen güç üretimine
eşdeğerdir.

d- Her bir özde üretilen hacimsel güç için x- ve y-
istikametlerinde o hücre üzerinden alınmış uzaysal
ortalamalar kullanılacak, z- istikametinde kosinüs dağılımı
muhafaza edilecektir.

Birinci kabulün neticesi olarak, hacimsel güç üretimi
 $q'''(x,y,z)$

$$q'''(x,y,z) = q_0''' \cos(B_x x) \cos(B_y y) \cos(B_z z) \quad (2.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada q_0''' reaktör merkezindeki hacim-
sel güç üretimi, B ise bir istikametteki akı bükümünün kare-
köküdür. Diğer taraftan, reaktör gücü P ise,

$$P = \int_{kalp} q'''(x,y,z) dV \quad (2.2)$$

eşitliğinden faydalanarak q'''_0 değeri hesap edilebilir. Denklem (2.2) açık ifadesi ile yazılırsa

$$P = \int_{-Lx/2}^{Lx/2} \int_{-Ly/2}^{Ly/2} \int_{-Lz/2}^{Lz/2} q'''_0 \cos(B_x x) \cos(B_y y) \cos(B_z z) dx dy dz \quad (2.3)$$

ve belirtilen entegrasyonlar yapılırsa

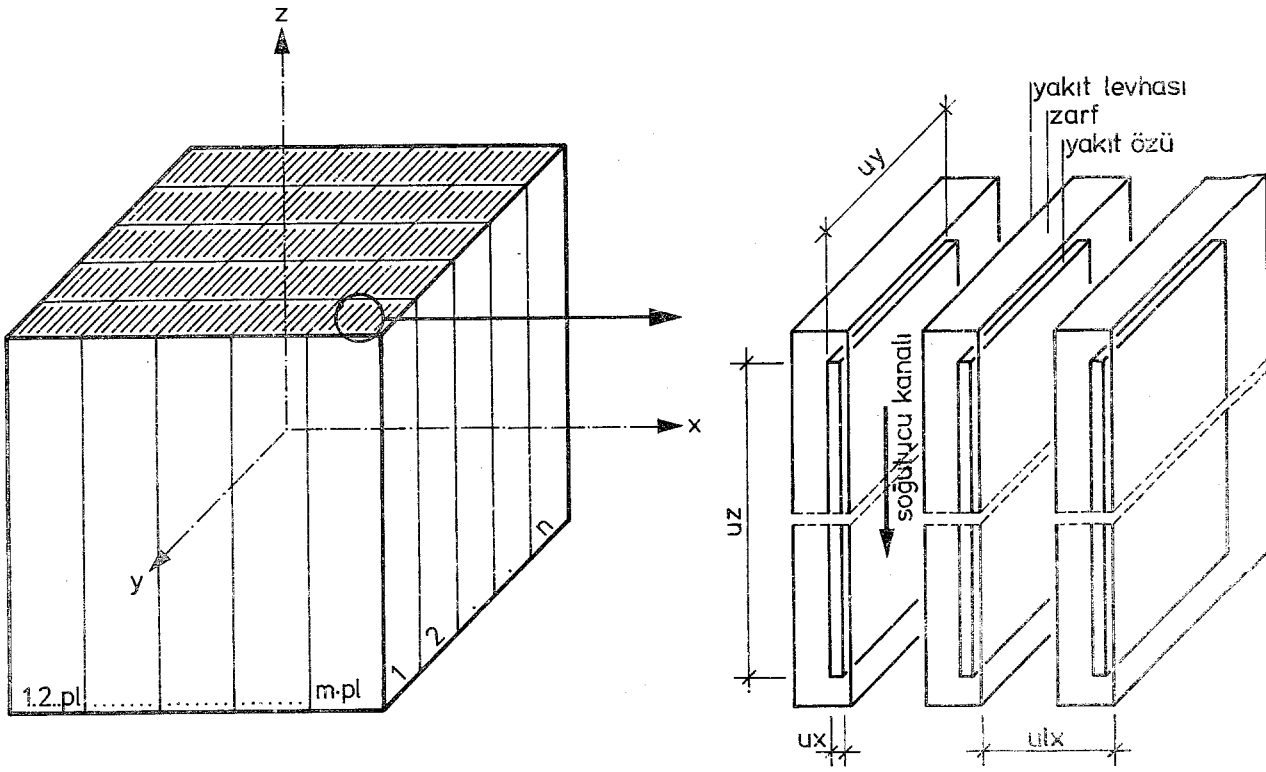
$$q'''_0 = P \frac{\pi^3}{8} \left[(Lx+2d)(Ly+2d)(Lz+2d) \sin\left(\frac{B_x Lx}{2}\right) \sin\left(\frac{B_y Ly}{2}\right) \sin\left(\frac{B_z Lz}{2}\right) \right]^{-1} \quad (2.4)$$

ifadesi elde edilir.

Şimdi y istikametinde n adet yakıt plakasından k'inci elemana bakılırsa, (Şekil 2.1) bu yakıt plakasını ihtiva eden hücrenin y-istikametinde $(-Ly/2 + (k-1)uly)$ ile $(-Ly/2 + k.uly)$ arasında olduğu görülür. Burada Ly , y istikametinde kalbin fiziki boyutu, uly ise y istikametinde yakıt plakası merkezleri arasındaki mesafedir. Dolayısıyla k elemanın ihtiva eden bu hücrede y-istikametinde üretilen ortalama hacimsel güç

$$q'''(x, \bar{y}, z) = q'''_0 \cos(B_x x) \cos(B_z z) \frac{1}{uly} \int_{(-Ly/2)+(k-1)uly}^{(-Ly/2)+k.uly} \cos(B_y y) dy \quad (2.5)$$

ifadesinden elde edilebilir. Bu hücre içinde bulunan yakıt



ŞEKİL 2_1 Kalp Düzeni ve Yakıt Plakaları

özünde üretilen hacimsel güç ise Denklem 2.5 te verilen ifadenin u_y/u_y oranı ile çarpılması ile bulunur, burada u_y , y istikametinde yakıt özü genişliğidir.

$$q'''(x, \bar{y}, z) = q_0''' \cos(B_x x) \cos(B_z z) \frac{u_y}{u_y} \frac{1}{u_y} \int_{(-Ly/2)+(k-1)u_y}^{(-Ly/2)+k.u_y} \cos(B_y y) dy$$

(2.6)

Aynı plakanın x istikametinde m .pl adet yakıt plaka-sından j numaralı plaka olduğunu kabul ederek benzer işlemler yapılırsa, neticede

$$q'''(\bar{x}, \bar{y}, z) = q_0''' \cos(B_z z) \left[\frac{u_x}{u_x} \frac{1}{u_x} \int_{(-Lx/2)+(j-1)u_x}^{(-Lx/2)+j.u_x} \cos(B_x x) dx \right] \times \left[\frac{u_y}{u_y} \frac{1}{u_y} \int_{(-Ly/2)+(k-1)u_y}^{(-Ly/2)+k.u_y} \cos(B_y y) dy \right]$$

(2.7)

ifadesi elde edilir. Burada belirtilen işlemler ve diğer sadeleştirmeler yapılarak ve denklem 2.4 ün kullanılmasıyla, (j,k) yakıt elemanı için, x - ve y - istikametlerinde ortalananmış, z - ye bağlı 'ortalananmış hacimsel güç üretimi' ifadesi $q'''(j,k,z)$ olarak

$$q'''(j,k,z) = P \frac{\pi}{8} \frac{1}{uz+2d} \frac{1}{uy \cdot ux} \left[\sin \frac{B_x Lx}{2} \sin \frac{B_y Ly}{2} \sin \frac{B_z Lz}{2} \right]^{-1} \\ \left[\sin \left[\frac{\pi \cdot u ly}{n \cdot u ly + 2d} \left(k + \frac{n}{2} \right) \right] - \sin \left[\frac{\pi \cdot u ly}{n \cdot u ly + 2d} \left(k-1 - \frac{n}{2} \right) \right] \right] \\ \left[\sin \left[\frac{\pi \cdot u lx}{m \cdot pl \cdot u lx + 2d} \left(j - \frac{m \cdot pl}{2} \right) \right] \right. \\ \left. - \sin \left[\frac{\pi \cdot u lx}{m \cdot pl \cdot u lx + 2d} \left(j-1 - \frac{m \cdot pl}{2} \right) \right] \right] \left[\cos \left[B_z z \right] \right] \quad (2.8)$$

bulunur.

Herhangi bir (j,k) elemanında üretilen güç q(j,k) ise q'''(j,k,z) nin z- boyunda entegrasyonu neticesinin özün x- veya y- istikametlerindeki boyutları ile çarpılması neticesinde elde edilir:

$$q(j,k) = (ux \cdot uy) \int_{-uz/2}^{uz/2} q'''(j,k,z) dz \\ = \frac{P}{4} \left[\sin \frac{B_x Lx}{2} \sin \frac{B_y Ly}{2} \right]^{-1} \\ \left[\sin \left[\frac{\pi \cdot u ly}{n \cdot u ly + 2d} \left(k - \frac{n}{2} \right) \right] - \sin \left[\frac{\pi \cdot u ly}{n \cdot u ly + 2d} \left(k-1 - \frac{n}{2} \right) \right] \right] \\ \left[\sin \left[\frac{\pi \cdot u lx}{m \cdot pl \cdot u lx + 2d} \left(j - \frac{m \cdot pl}{2} \right) \right] - \sin \left[\frac{\pi \cdot u lx}{m \cdot pl \cdot u lx + 2d} \left(j-1 - \frac{m \cdot pl}{2} \right) \right] \right] \quad (2.9)$$

Burada yapılan model gelişiminde plaka güç üretimi ve hacimsel güç üretimi zamandan bağımsız olarak hesaplanmaktadır. Bilgisayar programı uygulamalarında da önce bu şekilde bulunan değerler kullanılarak sürekli rejim termohidrolik hesaplamaları yapılmakta; sonra, zamana bağlı olarak verilen göreceli hacimsel güç üretimi değişimi tablosuna göre yeni hacimsel güç üretimi değerleri bulunarak geçici rejim hesaplamalarında kullanılmaktadır.

2-B-ii Isı Transferi Modeli

Yakıt plakasında, yakıt özü ve zarfta, sıcaklık değerlerini bulmak için toplu parametre tekniği(3,10) (lumped parameter technique) kullanılmıştır. Bu yaklaşım ve ısı iletiminin tek yönlü olduğu kabulü ile bir z-noktasında sıcaklık değerini bulmak maksadıyla evvela yakıt özü için ısı korunumu denklemi yazılırsa (Şekil 2-2);

ısı birikimi = ısı üretimi - ısı taşınımı

$$\rho_1 c_1 L_1 y dz \frac{dT_1(t)}{dt} = q''' L_1 y dz - q'' y dz \quad (2.10)$$

Burada T_1 yakıt özü sıcaklığı, ρ_1 yakıt özü yoğunluğu, c_1 yakıt özü özgül ısı, L_1 yakıt özü yarı kalınlığı, q'' ısı akısı ve t de zamandır.

Bu denklemde ısı akısı q'' için ise

$$q'' = h_1(T_1(t) - T_2(t)) \quad (2.11)$$

ifadesi kullanılacaktır. Bu takdirde h_1 tarif edilmesi gerekli bir eşdeğer ısı transferi katsayısı olmaktadır (Bak. Böl. 2-B-iii-a), T_2 de zarf sıcaklığıdır. Bu tanım ile Denklem 2.10 aşağıdaki şekilde yazılabilir:

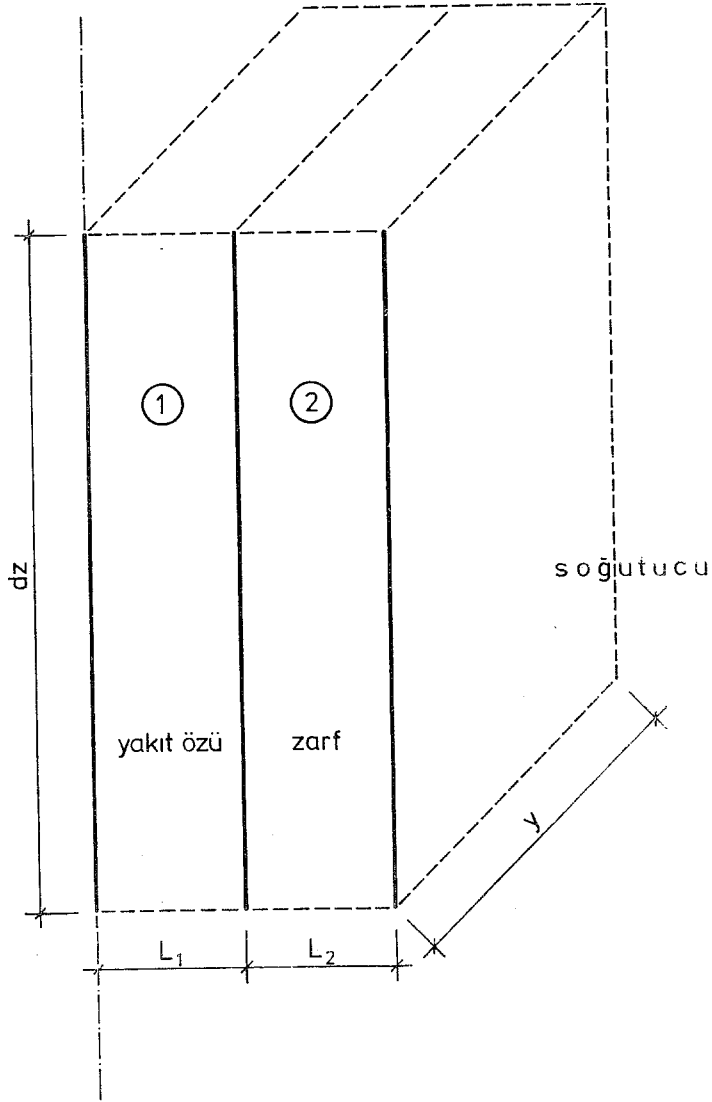
$$\frac{dT_1(t)}{dt} + \alpha_1 T_1(t) - \alpha_1 T_2(t) = \frac{q'''}{\rho_1 c_1} \quad (2.12)$$

Burada

$$\alpha_1 = \frac{h_1}{\rho_1 c_1 L_1} \quad (2.13)$$

şeklinde tarif edilmiştir.

Yakıt özü için yazıldığı şekilde, ısı korunumu denklemi zarf için yazılırsa



ŞEKİL 2-2 Yakıt Özü ve Zarf

$$\rho_2 c_2 L_2 y \, dz \frac{dT_2(t)}{dt} = h_1 [T_1(t) - T_2(t)] y dz - h_2 [T_2(t) - T_f] y dz \quad (2.14)$$

denklemi elde edilir. Burada, ρ_2 , c_2 , L_2 sırasıyla zarf yoğunluğu, özgül ısı ve kalınlığı, T_f soğutucu sıcaklığı ve nihayet zarf için ortalama sıcaklık T_2 kullanılması sebebiyle h_2 'de tarif edilmesi gerekli diğer bir eşdeğer ısı transferi katsayısıdır (Böl. 2-B-iii-b). Denklem 2.14 aşağıda gösterildiği şekilde düzenlensin:

$$-\alpha_2 T_1(t) + \frac{dT_2(t)}{dt} + \alpha_3 T_2(t) = (\alpha_3 - \alpha_2) T_f \quad (2.15)$$

Bu ifadede

$$\alpha_2 = \frac{h_1}{\rho_2 c_2 L_2} \quad (2.16)$$

ve

$$\alpha_3 = \frac{h_1 + h_2}{\rho_2 c_2 L_2} \quad (2.17)$$

tarifleri kullanılmıştır. Bu şekilde birbirine bağlı iki diferansiyel denklem (Denklem 2.12 ve 2.15) elde edilmiş olmaktadır. Bu denklemler çözüm için (21) aşağıdaki şekilde tekrar yazılsın:

$$\begin{aligned} O_1 T_1(t) + O_2 T_2(t) &= H_1 \\ O_3 T_1(t) + O_4 T_2(t) &= H_2 \end{aligned} \quad (2.18)$$

Burada O_i ler lineer diferansiyel operatörleridir. Bu denklemlerin çözümü, kommutative operatörler için , eğer

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} O_1 & O_2 \\ O_3 & O_4 \end{vmatrix} \quad (2.19)$$

$$\Delta T_1 = \begin{vmatrix} H_1 & 0_2 \\ H_2 & 0_4 \end{vmatrix} \quad (2.20)$$

ve

$$\Delta T_2 = \begin{vmatrix} 0_1 & H_1 \\ 0_3 & H_2 \end{vmatrix} \quad (2.21)$$

şeklindedir. Δ operatörü $D: \frac{d}{dt}$ tarifiyle yazılırsa

$$\begin{aligned} \Delta &= \begin{vmatrix} D + \alpha_1 & -\alpha_1 \\ -\alpha_2 & D + \alpha_3 \end{vmatrix} \\ &= (D + \alpha_1)(D + \alpha_3) - (\alpha_2)(\alpha_1) \\ &= D^2 + (\alpha_1 + \alpha_3) D + (\alpha_1\alpha_3 - \alpha_1\alpha_2) \end{aligned} \quad (2.22)$$

elde edilir.

Aynı şekilde Denklem 2.20 ise

$$\begin{aligned} \Delta T_1(t) &= \begin{vmatrix} \frac{q'''}{\rho_1 c_1} & -\alpha_1 \\ (\alpha_3 - \alpha_2) T_f & D + \alpha_3 \end{vmatrix} \\ &= \frac{\alpha_3 q'''}{\rho_1 c_1} + \alpha_1 (\alpha_3 - \alpha_2) T_f \end{aligned} \quad (2.23)$$

şekline dönüşür. Denklem 2.21 ise

$$\Delta T_2(t) = \begin{vmatrix} D + \alpha_1 & \frac{q'''}{\rho_1 c_1} \\ -\alpha_2 & (\alpha_3 - \alpha_2) T_f \end{vmatrix}$$
$$= \frac{\alpha_2 q'''}{\rho_1 c_1} + \alpha_1 (\alpha_3 - \alpha_2) T_f \quad (2.24)$$

şeklini alır. $\Delta = 0$ denkleminde D yerine r kullanılırsa $T_1(t)$ ve $T_2(t)$ homojen çözümleri için karakteristik denklemler elde edilir. Böylece Denklem 2.22 den

$$(r + \alpha_1)(r + \alpha_3) - (\alpha_1 \alpha_2) = 0 \quad (2.25)$$

veya

$$r^2 + (\alpha_1 + \alpha_3)r + (\alpha_1 \alpha_3 - \alpha_1 \alpha_2) = 0 \quad (2.26)$$

çözülerek

$$r_{1,2} = \frac{-(\alpha_1 + \alpha_3) \pm \sqrt{(\alpha_1 + \alpha_3)^2 - 4(\alpha_1 \alpha_3 - \alpha_1 \alpha_2)}}{2} \quad (2.27)$$

elde edilir. Bu denklemin incelenmesinden $r_{1,2} < 0$ olduğu görülebilir.

Böylece $T_1(t)$ ve $T_2(t)$ için diferansiyel denklemlerden elde edilen homojen çözümler T_{1H} , T_{2H} ifadeleri

$$T_{1H} = C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t} \quad (2.28)$$

$$T_{2H} = d_1 e^{r_1 t} + d_2 e^{r_2 t} \quad (2.29)$$

olarak elde edilir. Burada C_1 ve C_2 ile d_1 ve d_2 birbirinden

bağımsız olmayan sabitlerdir. Denklemlerin özel çözümleri T_{1p} ve T_{2p} ise

$$T_{1p} = \left[\frac{\alpha_3 q'''}{\rho_1 c_1} + \alpha_1 (\alpha_3 - \alpha_2) T_f \right] / \left[\alpha_1 (\alpha_3 - \alpha_2) \right]$$
$$= T_f + \alpha_3 \beta \quad (2.30)$$

ve

$$T_{2p} = T_f + \alpha_2 \beta \quad (2.31)$$

olarak bulunur. Burada

$$\beta = \frac{q''' / \rho_1 c_1}{\alpha_1 (\alpha_3 - \alpha_2)}$$

olarak kullanılmıştır.

Nihai çözümler ise

$$T_1(t) = C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t} + \alpha_3 \beta + T_f \quad (2.32)$$

$$T_2(t) = d_1 e^{r_1 t} + d_2 e^{r_2 t} + \alpha_2 \beta + T_f \quad (2.33)$$

ifadesiyle verilmektedir. Diğer taraftan C_1 , C_2 , d_1 ve d_2 sabitleri arasındaki ilişkiyi bulmak için T_{1p} ve T_{2p} çözümlerinin diferansiyel denklemleri sağladığı gösterildikten sonra T_{1H} ve T_{2H} için bulunan çözümler ilk diferansiyel denklemlerin (Denklemler 2.12 ve 2.15) sol tarafına yerleştirilir ve neticenin özdeş olarak sıfıra eşit olması istenir.

$$(D + \alpha_1)T_1(t) - \alpha_1 T_2(t) = 0 \quad (2.34)$$

$$-\alpha_2 T_1(t) + (D + \alpha_3)T_2(t) = 0 \quad (2.35)$$

Denklem 2.34 te homojen çözümler kullanılarak

$$C_1 r_1 e^{r_1 t} + C_2 r_2 e^{r_2 t} + C_1 \alpha_1 e^{r_1 t} + C_2 \alpha_1 e^{r_2 t} - d_1 \alpha_1 e^{r_1 t} - d_2 \alpha_1 e^{r_2 t} = 0 \quad (2.36)$$

veya

$$e^{r_1 t}(C_1 r_1 + C_1 \alpha_1 - d_1 \alpha_1) + e^{r_2 t}(C_2 r_2 + C_2 \alpha_1 - d_2 \alpha_1) = 0 \quad (2.37)$$

elde edilir. Bundan

$$d_1 = C_1 \frac{(r_1 + \alpha_1)}{\alpha_1} \quad (2.38)$$

ve

$$d_2 = C_2 \left(\frac{r_2 + \alpha_1}{\alpha_1} \right) \quad (2.39)$$

eşitlikleri bulunur. Denklem 2.35'in kullanılması da eş sonuçlar verir. Böylece T_1 ve T_2 için olan çözümler

$$T_1(t) = C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t} + \alpha_3 \beta + T_f \quad (2.40)$$

$$T_2(t) = C_1 \left(\frac{r_1 \alpha_1}{\alpha_1} \right) e^{r_1 t} + C_2 \left(\frac{r_2 \alpha_1}{\alpha_1} \right) e^{r_2 t} + \alpha_2 \beta + T_f \quad (2.41)$$

şeklinde yazılabilir. Nihayet C_1 ve C_2 sabitlerini bulmak için ilk şartlardan yararlanılır:

$$T_1(0) = T_{1,0} \quad (2.42)$$

$$T_2(0) = T_{2,0} \quad (2.43)$$

Bu şartların Denklem 2.40 ve 2.41 de kullanılması

$$C_1 = \left(\frac{r_2}{r_2 - r_1} \alpha_1 T_{1,0} - \frac{\alpha_1}{r_2 - r_1} T_{2,0} \right) - T_f \left(\frac{r_2}{r_2 - r_1} \right) - \frac{\beta}{r_2 - r_1} (r_2 \alpha_3 + d_3 \alpha_1 - \alpha_1 \alpha_2) \quad (2.44)$$

$$C_2 = \left(\frac{\alpha_1}{r_2 - r_1} T_{2,0} - \frac{r_1}{r_2 - r_1} \alpha_1 T_{1,0} \right) + T_f \left(\frac{r_1}{r_2 - r_1} \right) + \frac{\beta}{r_2 - r_1} (r_1 \alpha_3 + \alpha_3 \alpha_1 - \alpha_1 \alpha_2) \quad (2.45)$$

ifadelerini verir. Netice özet olarak Denklem 2.12 ve 2.15 ile verilen diferansiyel denklemlerin çözümü Denklem 2.40 ve 2.41 ile verilmekte, bu iki denklemde kullanılacak $r_{1,2}$ kökleri Denklem 2.27 de; C_1 ve C_2 sabitleri ise Denklem 2.44 ve 2.45 te verilmektedir.

2-B-iii Eşdeğer Isı Transferi Katsayıları

Yakıt özünden zarfa geçen güç miktarını hesaplamak için Denklem 2.11 de kullanılan h_1 parametresi ve zarftan soğutucuya geçen ısı miktarını hesaplamak için Denklem 2.14 de kullanılan h_2 parametresi için açık ifadelerin bulunması gereklidir. Bu maksatla sürekli rejim levha geometrisi yakıt ve zarf sıcaklık dağılımlarından faydalanarak daha önce yapılan tariflere uygun h_1 ve h_2 ifadeleri bulunacaktır.

a- Eşdeğer Isı Transferi Katsayısı h_1

Yakıt özünde sıcaklık dağılımını bulmak üzere:

$$T_1(x) = - \frac{q'''}{2k_1} x^2 + C_1 x + C_2 \quad (2.46)$$

denklemini kullanılacaktır. Bu denklemde sınır şartları olarak (Şekil 2-2)

$$x = 0 \quad \frac{dT_1(x)}{dx} = 0 \quad (2.47)$$

$$\text{ve} \quad x = L_1 \quad T_1(x) = T_{12}$$

kullanılırsa çözüm olarak

$$T_1(x) = \frac{q'''}{2k_1} (L_1^2 - x^2) + T_{12} \quad (2.48)$$

bulunur. Diğer taraftan zarf içinde sıcaklık dağılımını

$$T_2(x) = d_1 x + d_2 \quad (2.49)$$

denklemini vermektedir. Bu denkleminde sınır şartları olarak

$$x = L_1; T_2(x) = T_{12}$$

(2.50)

ve

$$x = L_1; -k_1 \frac{dT_1(x)}{dx} = -k_2 \frac{dT_2(x)}{dx}$$

kullanılırsa çözüm olarak

$$T_2(x) = \frac{q''' L_1}{k_2} (L_1 - x) + T_{12} \quad (2.51)$$

bulunur. Yakıttan zarfa olan ısı akısı

$$-k_1 \left. \frac{dT_1(x)}{dx} \right|_{x=L_1}$$

ifadesi ile verilir. Daha önce kullanılan modelde ise bu

$$h_1 [T_1(t) - T_2(t)]$$

olarak alınmıştır. Burada kullanılan $T_1(t)$ ve $T_2(t)$ (Böl.2-B-ii) fonksiyonları sırasıyla ortalama yakıt özü ve zarf sıcaklıkları olduğundan $t \rightarrow \infty$ halinde, bu fonksiyonlar ortalama yakıt özü ve zarf sıcaklıkları $\bar{T}_1$ ve $\bar{T}_2$ ile aynı olmaktadır. Öyleyse;

$$h_1 = k_1 \left. \frac{dT_1(x)}{dx} \right|_{x=L_1} / (\bar{T}_1 - \bar{T}_2) \quad (2.52)$$

eşitliği kullanılabilir. $\bar{T}_1$ ve $\bar{T}_2$ için gerekli ifadeler Denklem 2.48 ve 2.51 kullanılarak bulunabilir:

$$\begin{aligned} \bar{T}_1 &= \frac{1}{L_1} \int_0^{L_1} \left[T_{12} + \frac{q'''}{2k_1} (L_1^2 - x^2) \right] dx \\ &= T_{12} + \frac{q''' L_1^2}{3k_1} \end{aligned} \quad (2.53)$$

ve

$$\begin{aligned} \bar{T}_2 &= \frac{1}{L_2} \int_{L_1}^{L_1+L_2} \left[T_{12} + \frac{q''' L_1}{k_2} (L_1 - x) \right] dx \\ &= T_{12} - \frac{q''' L_1 L_2}{2k_2} \end{aligned} \quad (2.54)$$

Denklem 2.48 den yararlanarak ve Denklem 2.53 ve 2.54 ü Denklem 2.52 de kullanarak

$$h_1 = \frac{1}{\frac{L_1}{3k_1} + \frac{L_2}{2k_2}} \quad (2.55)$$

elde edilir.

b- Eşdeğer Isı Transferi Katsayısı h_2

Zarftan soğutucuya geçen ısı akısı miktarını belirlemek üzere Denklem 2.14 de kullanılan

$$h_2 (\bar{T}_2 - T_f)$$

ifadesi Newton soğutma kanununa göre konveksiyon yolu ile zarf yüzeyinden soğutucuya geçen ısı akısına

$$h [T_2(x=L_1+L_2) - T_f]$$

eşittir. Bu eşitlikten faydalanarak h_2 için

$$h_2 = h [T_2(x=L_1+L_2) - T_f] / (\bar{T}_2 - T_f) \quad (2.56)$$

tarifi yazılabilir, bu eşitliğin açık ifadesini bulmak maksadıyla Denklem 2.48 den yararlanarak $\bar{T}_2$ için

$$\begin{aligned} \bar{T}_2 &= \frac{1}{L_2} \int_{L_1}^{L_1+L_2} (d_1 x + d_2) dx \\ &= \frac{d_1}{2} (L_2 + 2L_1) + d_2 \end{aligned} \quad (2.57)$$

ifadesi bulunur. Denklem 2.48 in $x = L_1 + L_2$ noktasındaki değeri ve Denklem 2.57, Denklem 2.56 ye yerleştirilerek

$$h_2 = h \frac{d_1(L_1 + L_2) + d_2 - T_f}{\frac{d_1}{2} (L_2 + 2L_1) + d_2 - T_f} \quad (2.58)$$

ifadesi elde edilir. Diğer taraftan iletim ile zarf yüzeyinden çıkan ısı akısı da konveksiyon yolu ile çıkan ısı akısına eşittir:

$$-k_2 \left. \frac{dT_2}{dx} \right|_{x=L_1+L_2} = h [T_2(x=L_1+L_2) - T_f] \quad (2.59)$$

Denklem 2.49'dan yararlanarak, Denklem 2.59 dan

$$\frac{-k_2 d_1}{h} = d_1(L_1 + L_2) + d_2 - T_f \quad (2.60)$$

ifadesi elde edilir ve bu ifade Denklem 2.58'e yerleştirilirse neticede

$$h_2 = \frac{1}{\frac{1}{h} + \frac{L_2}{2k_2}} \quad (2.61)$$

ifadesi elde edilir.

2-B-iv Isı Taşınımı Modeli

Soğutucu tarafından ısı taşınımı modeli bir kontrol hacmi için yazılan kütle süreklilik denklemi, enerji denklemi ve hareket miktarı denkleminde müteşekkildir.

a- Kütle Süreklilik Denklemi

Süreklilik Denklemi (Şekil 2-3) aşağıdaki şekilde yazılabilir:

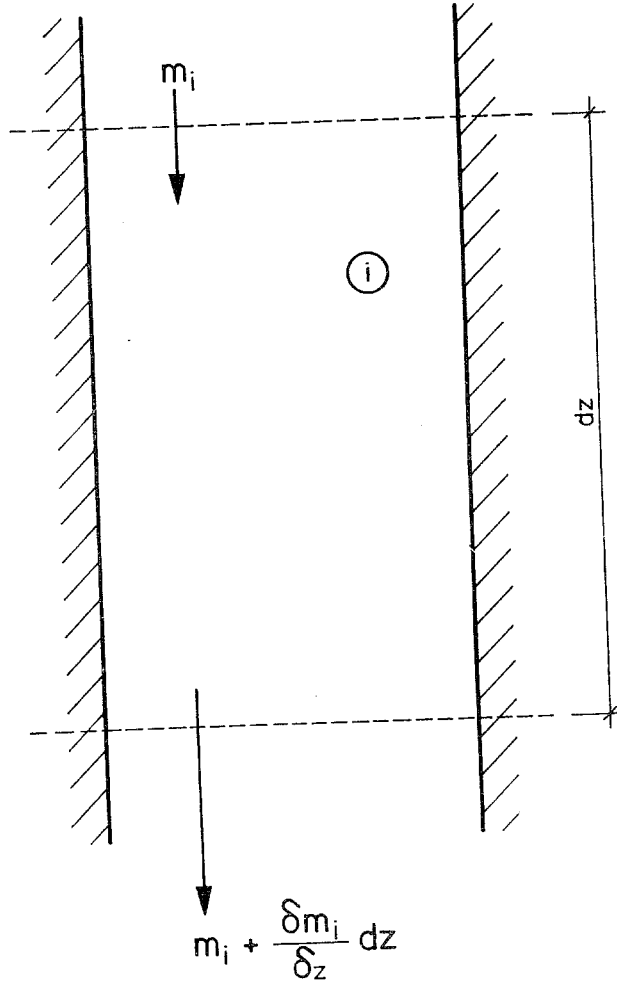
Kütle miktarı değişimi = giren kütle - çıkan kütle

$$\frac{\partial \rho_i A_i}{\partial t} dz = m_i - (m_i + \frac{\partial m_i}{\partial z} dz) \quad (2.62)$$

Burada m_i ve ρ_i sırasıyla soğutucu akış miktarı ve yoğunluğu, A_i de soğutucu akış kanalı kesit alanıdır. Akış alanı A_i sabit kabul edilerek bu denklemin sadeleştirilmesiyle

$$A_i \frac{\partial \rho_i}{\partial t} + \frac{\partial m_i}{\partial z} = 0 \quad (2.63)$$

elde edilir.



ŞEKİL 2-3 Kontrol Hacmi - Kütle Süreklilik Denklem

b- Enerji Denklemi

Enerji Denklemi kontrol hacmi (Şekil 2-4) için uygulanırsa

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_i u_i A_i) dz = m_i h_i - (m_i h_i + \frac{\partial m_i h_i}{\partial z} dz) + q_i' dz \quad (2.64)$$

ifadesi elde edilir. Burada u_i ve h_i soğutucu iç enerjisi ve entalpisi q_i' ise birim uzunlukta soğutucuya geçen güç miktarıdır. İç enerji u_i için

$$u_i = h_i - p_i/\rho_i \quad (2.65)$$

tarifi kullanılarak,

$$A_i \frac{\partial}{\partial t}(\rho_i h_i - p_i) = -m_i \frac{\partial h_i}{\partial z} - h_i \frac{\partial m_i}{\partial z} + q_i' \quad (2.66)$$

ifadesi elde edilir. Denklem 2.66 da, Denklem 2.63 ün kullanılması ve $\frac{\partial p_i}{\partial t} = 0$ kabulü ile

$$\frac{1}{v_i} \frac{\partial h_i}{\partial t} + \frac{\partial h_i}{\partial z} = \frac{q_i'}{m_i} \quad (2.67)$$

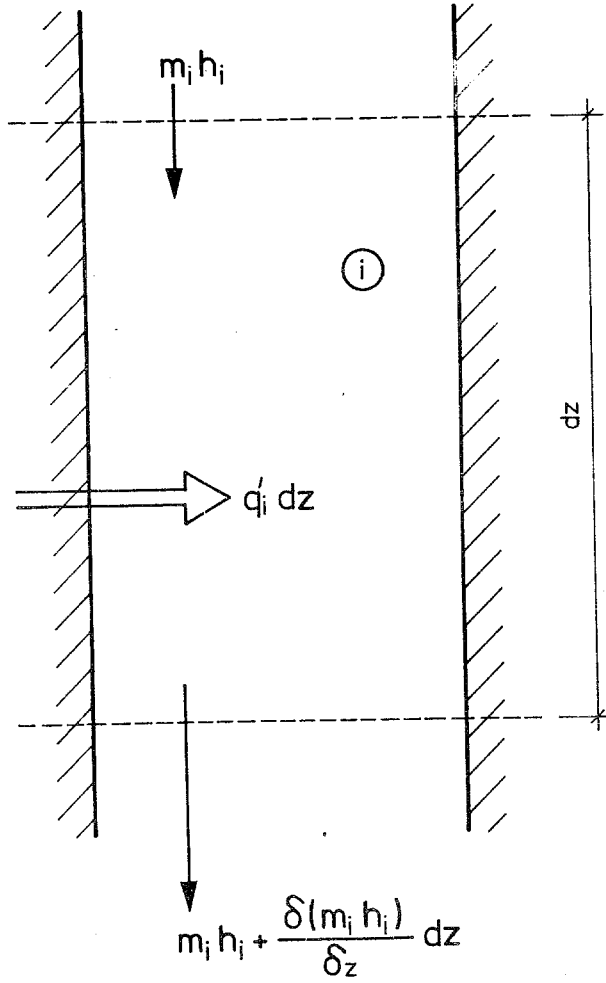
elde edilir.

c- Hareket Miktarı Denklemi

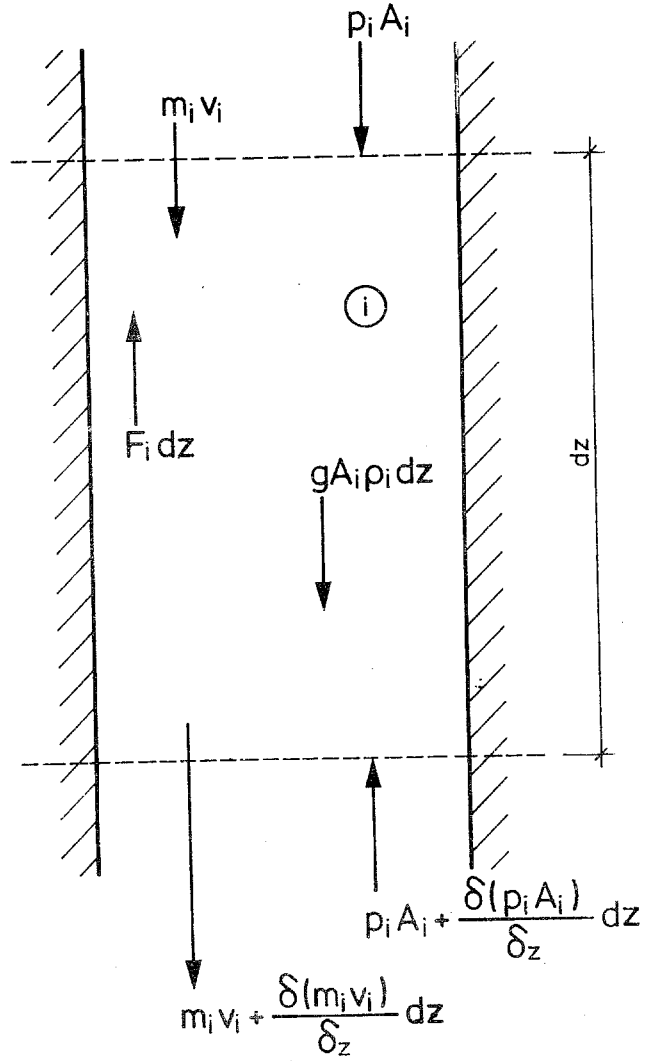
Kontrol hacmi i için hareket miktarı denklemi yazılırsa (Şekil 2.5)/

$$\begin{aligned} \frac{\partial m_i}{\partial t} dz &= m_i v_i + p_i A_i + g A_i \rho_i dz \\ &= (m_i v_i + \frac{\partial m_i v_i}{\partial z} dz) - (p_i A_i + \frac{\partial p_i A_i}{\partial z} dz) - F_i dz \end{aligned} \quad (2.68)$$

eşitliği elde edilir. Burada v_i soğutucu akış hızı ve F_i birim uzunlukta sürtünme kuvvet kaybıdır. Bu denklemin A_i =sabit



ŞEKİL 2.4 Kontrol Hacmi - Enerji Denklemleri



ŞEKİL 2_5 Kontrol Hacmi - Hareket Miktarı Denklemi

kabulü ve sadeleştirilmesi ile

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial m_i}{\partial t} &= g A_i \rho_i - \frac{\partial m_i v_i}{\partial z} - A_i \frac{\partial p_i}{\partial z} - F_i \\
 &= g A_i \rho_i - \frac{1}{A_i} \frac{\partial m_i^2 / \rho_i}{\partial z} - A_i \frac{\partial p_i}{\partial z} - F_i \\
 &= g A_i \rho_i - \frac{1}{A_i} \left(\frac{2 m_i}{\rho_i} \frac{\partial m_i}{\partial z} + m_i^2 \frac{\partial (1/\rho_i)}{\partial z} \right) \\
 &\quad - A_i \frac{\partial p_i}{\partial z} - F_i
 \end{aligned} \tag{2.69}$$

ifadesi elde edilir. Bu denklemde, denklem 2.63'ün kullanılması ile

$$\frac{\partial m_i}{\partial t} = g A_i \rho_i + 2 v_i A_i \frac{\partial p_i}{\partial t} - \frac{m_i^2}{A_i} \frac{\partial (1/\rho_i)}{\partial z} - A_i \frac{\partial p_i}{\partial z} - F_i \tag{2.70}$$

elde edilir. Bu denklem ise basınç değişimi hesabı için düzenlenerek

$$\frac{\partial p_i}{\partial z} = g \rho_i + 2 v_i \frac{\partial p_i}{\partial t} - \frac{m_i^2}{A_i} \frac{\partial (1/\rho)}{\partial z} - \frac{F_i}{A_i} - \frac{1}{A_i} \frac{\partial m_i}{\partial t} \tag{2.71}$$

şeklinde yazılabilir.

2-B-v Modelleme Neticelerinin Özeti

Bu bölümde, verilen bir reaktör gücü için plaka yakıt elemanlarında üretilen güç miktarını, sürekli ve geçici rejim hesaplamalarında kullanılmak üzere yakıt özü ve zarf sıcaklıkları ile, soğutucu entalpisini ve basınç farkını veren ifadeler geliştirilmiştir.

Plaka güç üretimi hesabı Denklem 2.9 dan faydalanılarak yapılabilir.

Yakıt özü sıcaklığı Denklem 2.40, zarf özü sıcaklığı Denklem 2.41 de verilen ifadelerle hesaplanabilir; bu iki denklemde kullanılacak $r_{1,2}$ kökleri ve C_1 , C_2 sabitleri ise Denklem 2.27, 2.44 ve 2.55 yardımı ile bulunur.

Su entalpisini ve basınç farkını hesaplamak üzere Denklem 2.63, 2.67 ve 2.71 den yararlanılır. Su sıcaklığı ise hesaplanan entalpi değerinden bulunabilir.

Plaka yüzeyinden soğutucuya geçen güç miktarını veren ifadenin gerek plaka sıcaklık denklemlerinde gerekse soğutucu denklemlerinde kullanılması sebebiyle, bu denklemler birbirlerine bağlanmaktadır.

BÖLÜM 3

BİLGİSAYAR PROGRAM TERHID

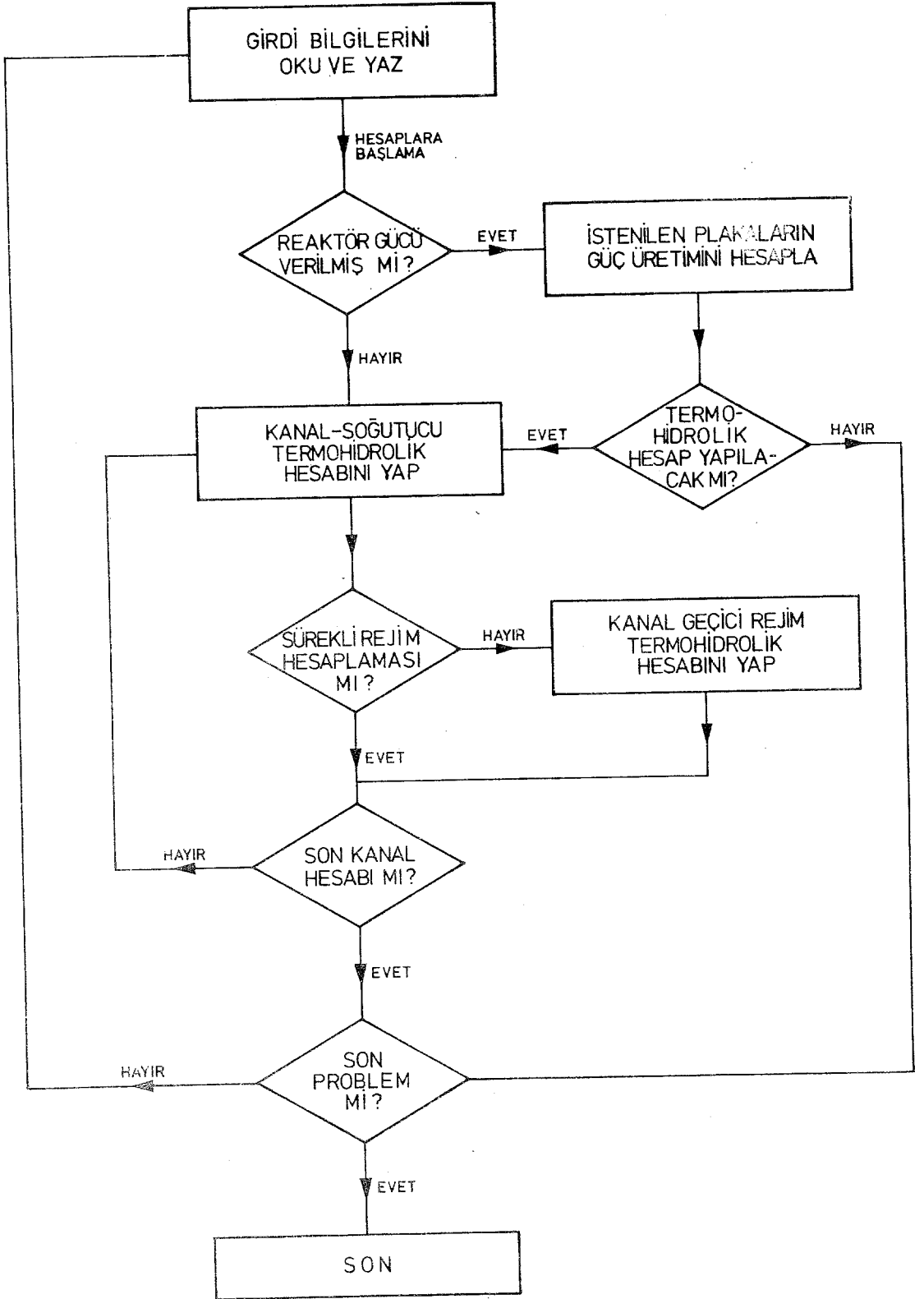
TERHID programı Bölüm 2 de geliştirilen modeller ile elde edilen ifadelerden yararlanarak plaka yakıt elemanlı ve su soğutmalı bir reaktör kalbinde geçici ve sürekli rejim termohidrolik hesaplamalarının yapılması için hazırlanmıştır.

Yapılan modelleme neticesi olarak elde edilen ifadelerin bir bilgisayar programı haline dönüştürülmesi, reaktör kalbi için istenilen termohidrolik analizlerin ve parametrik incelemelerin kolay ve çabuk neticelendirilmesini sağlamak içindir.

3-A PROGRAMIN GENEL TANITIMI

TERHID programı bir ana program ile bu programa bağlı alt programlardan meydana gelmektedir. Bu programlar ve programların yaptığı hesaplamalar ile ilgili ayrıntılı bilgi Kısım 3.B de verilmektedir.

Programın çalışma şekli program akış şemasında (Şekil 3.1) gösterilmiştir. Buna göre önce girdi bilgileri okunmakta ve yazılmaktadır.



ŞEKİL 3.1 Program Genel Akış Şeması

Sonra reaktör gücü verildiği takdirde plakalar için güç üretimi hesabı yapılmaktadır. Hesaplamalar arzu edildiği takdirde bu noktada sonra erdirilmekte veya istenilen kanallar için termohidrolik hesaplara geçilmektedir. Kanal termohidrolik hesabı önce sürekli rejim için yapılmakta sonra istenildiği takdirde geçici rejim hesaplamalarına geçilmektedir. Bu termohidrolik hesaplamalarda soğutucu giriş sıcaklığının girdi bilgisi olmasından yararlanılarak giriş noktasında zarf ve yakıt özü sıcaklıkları hesap edilmektedir. Sonra ikinci düğüm noktasına kadar soğutucu entalpi değişimi, basınç farkı hesaplanmakta, su entalpisinin tekabül ettiği su sıcaklığı bulunarak tekrar yakıt sıcaklığı hesap edilmektedir. Bu hesaplama kanalın çıkış noktasına kadar tekrarlanmaktadır. Bütün kanallar ile ilgili hesaplamalar tamamlandıktan ve yazıldıktan sonra diğer bir probleme geçilebilmektedir.

TERHID programında güç üretimi, soğutucu giriş sıcaklığı, soğutucu giriş miktarı zamana göre değiştirilebilmektedir. Reaktör çalışma şartlarının değişimi, programa bir tablo halinde verilmekte ve belirlenen zaman adımı sayısı için geçici rejim hesaplamaları yapılmaktadır. Tablolar da verilen değerlerin arasına düşen zamanlar için lineer interpolasyon yolu ile gerekli değerler (güç üretimi, soğutucu giriş miktarı ve sıcaklığı) hesaplanmaktadır.

TERHID programında soğutucu olarak su kullanıldığı kabul edilmiş ve suyun fiziki özelliklerini hesap eden alt programlar yazılmıştır. Bu alt programlarda kullanılan polinomlar için, referans(15) den alınan doyma sıcaklığındaki değerlere regresyon analizi uygulanmış, en küçük veya en küçüğe yakın kalıntı değerini veren polinom katsayıları programda kullanılmak üzere seçilmişlerdir.

TERHID programı Boğaziçi Üniversitesi Bilgisayar Merkezinde bulunan UNIVAC 1106 bilgisayarı ile kullanılmak üzere

FORTTRAN IV lisanında yazılmış olmakla beraber, diğer bilgisayarlarla da kullanılmasında büyük bir değişikliği gerektirecek şekilde hazırlanmıştır. Ayrıca programın mümkün olduğu kadar alt programlara ayrılarak yazılmış olması, kullanıcıların yapmak istedikleri değişiklikleri, kolaylıkla programa dahil edebilmelerini sağlamak içindir.

Programın kullanılması ile ilgili girdi bilgileri, bir bütün teşkil etmesini sağlamak maksadıyla, programın baş kısmında verilmiştir (EK-1).

Programda IS birimleri kullanılmış, girdi bilgilerinin bu sistem birimleri ile verilmesi istenmiş, hesaplanan değerler de aynı birimlerle yazılmıştır.

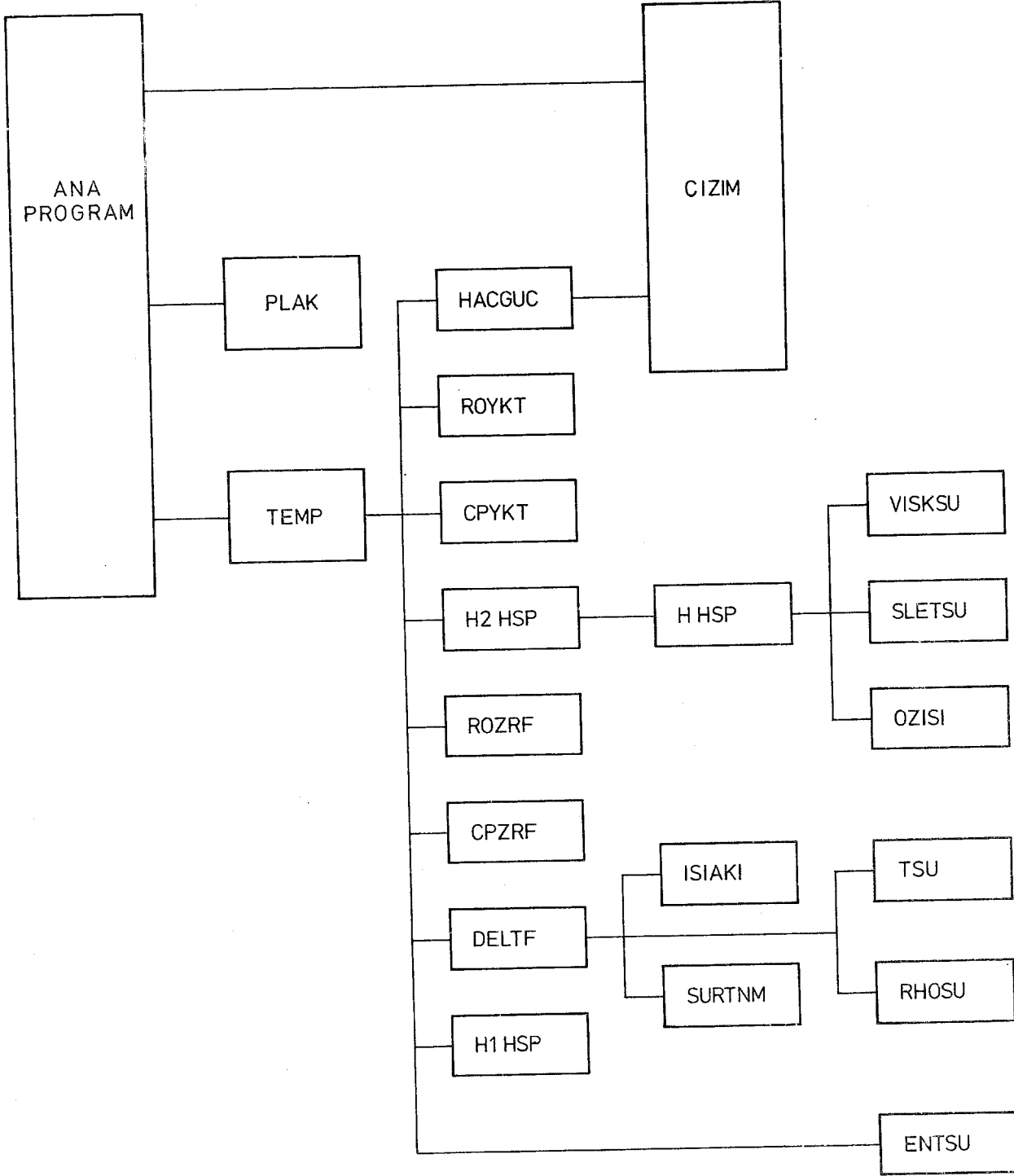
Program, EK-1 de verilen şekli ile bilgisayarda 9 K hafıza kullanmaktadır. UNIVAC 1106 bilgisayarı ile yapılan uygulamalarda, 30 eksenel adıma bölünmüş yakıt plakası termohidrolik hesaplamasında beher zaman adımı başına merkezi işlem ünitesi (CPU) 0.377 sn kullanılmıştır.

3-B ANA PROGRAM ve ALT PROGRAMLAR

TERHID termohidrolik programı bir ana program, 14 yardımcı program (SUBROUTINE) ve 6 hesaplama programından (FUNCTION) müteşekkildir. Şekil 2-6 da program bağlantı şeması verilmiştir. Yapılan hesaplama tercihlerine göre bu alt programların bazıları veya hepsi kullanılabilir. Programlar arasında bilgi aktırımı 'LABELLED COMMON' ortak bilgi hafızası ile yapılmaktadır. Bu kısımda programların incelenmesi yapılabilmektedir.

1. Ana Program

Ana program önce girdi bilgilerinin okunmasını sağ-



ŞEKİL 3-2 Alt Program Bağlantı Şeması

lamaktadır. Girdi bilgileri altı grupta toplanmıştır:

- i) Yakıt özü ve zarf fiziki özellikleri
- ii) Yakıt, zarf, soğutucu kanalı geometrik özellikleri ve sayıları
- iii) Reaktör çalışma şartları (güç üretimi, soğutucu akış miktarı ve giriş sıcaklığı)
- iv) Akış özilişkileri (sürtünme katsayısı, konveksiyon katsayısı)
- v) Zamana bağlı değişimler (güç üretimi, soğutucu akış miktarı, soğutucu giriş sıcaklığı)
- vi) Hesaplama ve yazma tercihleri

Girdi bilgilerinin okunması ile ilgili detaylı bilgi programın baş kısmında verilmiştir (EK-1).

Girdi bilgilerinin okunmasından sonra bu bilgiler problemin tanımlanmasını sağlamak amacıyla yazılmaktadır. Sonra istenildiği takdirde plaka güç üretimi hesabı (PLAK) alt programına yaptırılmakta ve termohidrolik hesaplamalara geçilmektedir. Termohidrolik hesapların yapılmasında önce eksenel adım uzunluğu, zaman adımı uzunluğu ($\Delta t =$ eksenel adım uzunluğu/su giriş hızı), kanal giriş şartları hesaplanmakta ve kanal boyunca termohidrolik hesaplamaların yapılması için alt programlar çağrılmakta ve neticeler yazılmaktadır.

2. Subroutine CIZIM

Bu alt program, tablo halinde verilen bir değişimde, bir ordinat değerine tekabül eden absissa değerini, hesaplama yapılan ordinat değerinin iki yanındaki değerler arasında lineer enterpolasyon yolu ile bulmaktadır.

3. Subroutine PLAK

Programa girdi bilgisi olarak reaktör gücü verildiği takdirde istenilen plakalardaki güç üretimini hesap etmekte kullanılır. Bu alt programda Kısım 2-B-1 de geliştirilen Denklem 2.9 dan yararlanılmaktadır.

4. Subroutine TEMP

TEMP alt programı, bir kanal içindeki I noktasında termohidrolik şartların hesap edilmesini sağlar. Bu maksatla yakıt, zarf fiziki özelliklerini, ısı transferi katsayılarını, hacimsel güç üretimini hesaplayan diğer alt programlardan faydalanarak, (sürekli veya geçici rejim) yakıt özü, zarf ve soğutucu sıcaklıklarını Denklem 2.40, 2.41, 2.27, 2.44 ve 2.55 de verilen ifadeleri kullanarak hesaplar.

5. Subroutine DELTF

DELTf alt programı Kısım 2-B-iv de verilen modelden faydalanarak soğutucu sıcaklığını ve basınç kaybını hesap eder. Bu hesaplamaları yapmak maksadıyla, sonlu farklar metodu yaklaşımıyla Denklem 2.63

$$A_i \frac{\rho_i - \bar{\rho}_i}{\Delta t} + \frac{m_i - m_{i-1}}{\Delta z} = 0 \quad (3.1)$$

şeklinde, Denklem 2.67

$$\frac{1}{v_i} \frac{h_i - \bar{h}_i}{\Delta t} + \frac{h_i - h_{i-1}}{\Delta z} = \frac{q_i'}{m_i} \quad (3.2)$$

şeklinde, Denklem 2.71

$$\frac{p_i - p_{i-1}}{\Delta z} = g \rho_i + 2v_i \frac{\rho_i - \bar{\rho}_i}{\Delta t} - \frac{m_i^2}{A_i} \frac{1/\rho_i - 1/\rho_{i-1}}{\Delta z} - \frac{F_i}{A_i} - \frac{1}{A_i} \frac{m_i - \bar{m}_i}{\Delta t} \quad (3.3)$$

şeklinde yazılarak; akış miktarı, entalpi ve basınç farkı hesap edilir. Burada $\bar{\rho}_i$, $\bar{h}_i$, $\bar{m}_i$ bir zaman adımı evvelki değerleri göstermektedir. Bu denklemlerin ilk kullanılmasında (I) düğüm noktasında hız ve akış miktarı değerleri yerine (I-1) nokta-

sındaki değerler kullanılır ve sonra bulunan yeni değerlerle hesaplama yinelenir.

6. Subroutine HACGUC

HACGUC alt programı hacimsel güç üretimini hesap eder. Bu hesaplamada iki yaklaşım kullanılmaktadır. Eğer plakalarda üretilen güç verilen reaktör gücünden faydalanılarak hesap edilmişse, hacimsel güç üretim değeri, soğutucu akış eksenini istikametinde, yanlarından kesilmiş kosinüs dağılımı olduğu kabulü ile

$$q'''(j,k,z) = q(j,k) \left[\frac{\pi}{2(uz + 2d)ux uy} \cdot \frac{\cos(\pi z/(uz+2d))}{\sin(\pi uz/2(uz+2d))} \right] \quad (3.4)$$

bağıntısından hesaplanır.

Plakalarda üretilen güç programa girdi bilgisi olarak verilmiş ise, hacimsel güç üretimi, eksen boyunca göreceli güç üretimi tablosundan faydalanarak

$$q'''(j,k,z) = q(j,k) \frac{g(z)}{ux uy uz} \quad (3.5)$$

ifadesinin kullanılması ile hesaplanır, burada $g(z)$, z noktasındaki göreceli hacimsel güç üretimidir.

7. Subroutine ISIAKI

ISIAKI alt programı, soğutucu sıcaklığının hesaplanması için birim uzunlukta zarftan soğutucuya geçen güç miktarını

$$q'_i = 2 uy h_2 (T_2 - T_f) \quad (3.6)$$

ifadesinden faydalanarak hesap eder. Ancak I düğüm noktasın-

daki sıcaklıklar bilinmediği için, sürekli rejim hesaplamalarında (I-1) düğüm noktasındaki sıcaklıklar kullanılmakta, geçici rejim hesaplamalarında ise (I-1) noktasındaki sıcaklıklar ile I noktasındaki bir zaman adımı evvelki sıcaklıkların ortalaması kullanılmaktadır.

8. Subroutine SURTNM

SURTNM alt programında (fanning) sürtünme katsayısı f_f

$$f_f = a + b(Re)^c \quad (3.7)$$

bağıntısı kullanılarak hesap edilir, sonra birim uzunluk sürtünme kaybı F_i

$$F_i = \frac{2 \cdot f_f \cdot m_i^2}{D_e \rho_i A_i} \quad (3.8)$$

ilişkisi kullanılarak hesaplanır, burada D_e eşdeğer kanal çapıdır.

9. Subroutine H1HSP

H1HSP alt programında Denklem 2.55 te verilen h_1 eşdeğer ısı transferi katsayısı hesaplanır. Bu hesaplama için sıcaklığa bağlı yakıt özü ve zarf ısı iletim katsayıları program içinde hesap edilir.

10. Subroutine H2HSP

H2HSP alt programında Denklem 2.61 de verilen ifadeden faydalanarak h_2 eşdeğer ısı transferi katsayısı hesaplanır.

11. Subroutine ROYKT

ROYKT alt programında sıcaklığa bağlı yakıt özü yoğunluğu hesap edilir.

12. Subroutine ROZRF

ROZRF alt programında sıcaklığa bağlı zarf yoğunluğu hesap edilir.

13. Subroutine CPYKT

CPYKT alt programında sıcaklığa bağlı yakıt özü özgül ısısı hesap edilir.

14. Subroutine CPZRF

CPZRF alt programında sıcaklığı bağlı zarf özgül ısısı hesap edilir.

15. Subroutine HHSP

HHSP alt programında konveksiyon katsayısı h hesabı yapılır. Bu hesaplama da değişik özilişkilerden faydalanılması kullanıcının tercihiine bağlıdır. Bu alt programa arzu edildiği diğer konveksiyon özilişkileri kolaylıkla dahil edilebilir.

16. Function SLETSU

SLETSU alt programı sıcaklığa bağlı olarak su ısı iletim katsayısını

$$k = 0.570671 + 0.178690 \times 10^{-2} T - 0.684359 \times 10^{-5} T^2 \quad (3.9)$$

polinomunu kullanarak hesaplar. EK 2-a da kullanılan polinom ile hesaplanan değerler ve hata yüzdesi verilmektedir.

17. Function VISKSU

VISKSU alt programı sıcaklığa bağlı olarak su viskozitesini

$$\mu = 0.148237 \times 10^{-2} - 0.295743 \times 10^{-4} T + 0.258156 \times 10^{-6} T^2 - 0.822939 \times 10^{-9} T^3 \quad (3.10)$$

polinomunu kullanarak hesaplar. EK 2-b de kullanılan polinom ile hesaplanan değerler ve hata yüzdesi verilmektedir.

18. Function OZISI

OZISI alt programı sıcaklığa bağlı olarak su özısı-
sını

$$c = 0.419318 \times 10^4 - 0.744678T + 0.100875 \times 10^{-1}T \quad (3.11)$$

polinomunu kullanarak hesaplar. EK 2-c de kullanılan polinom ile hesaplanan değerler ve hata yüzdesi verilmektedir.

19. Function RHOSU

RHOSU alt programı sıcaklığa bağlı olarak su yoğun-
luğunu

$$\rho = \left[0.997426 \times 10^{-3} + 0.135802 \times 10^{-6}T + 0.325184 \times 10^{-8}T^2 \right]^{-1} \quad (3.12)$$

polinomunu kullanarak hesaplar. EK 2-d de kullanılan polinom ile hesaplanan değerler ve hata yüzdesi verilmektedir.

20. Function TSU

TSU alt programı entalpiye bağlı olarak su sıcaklı-
ğını

$$T = -0.121704 + 0.240234 \times 10^{-3}E - 0.682278 \times 10^{-11}E^2 \\ + 0.230918 \times 10^{-16}E^3 - 0.344210 \times 10^{-22}E^4 \quad (3.13)$$

polinomunu kullanarak hesaplar EK 2-e de kullanılan polinom ile hesaplanan değerler ve hata yüzdesi verilmektedir.

21. Function ENTSU

ENTSU alt programı sıcaklığa bağlı olarak su entalpisini

$$E = 0.166564 \times 10^3 + 0.419253 \times 10^4 T - 0.386479 T^2 + 0.352709 \times 10^{-2} T^3 \quad (3.14)$$

polinomunu kullanarak hesaplar. EK 2-f de kullanılan polinom ile hesaplanan değerler ve hata yüzdesi verilmektedir.

BÖLÜM 4

SAYISAL UYGULAMA

TERHID bilgisayar programını kullanarak yapılan sayısal uygulama iki kısımda sunulacaktır. Birinci kısımda plaka güç üretimi hesaplamalarından örnekler verilecek, ikinci kısımda ise geçici ve sürekli rejim termohidrolik hesaplamaları incelenecektir.

4-A PLAKALARDA GÜÇ ÜRETİMİ

Özellikleri Tablo 4.1 de belirtilen reaktör sistemi için yakıt plakalarında üretilen güç Tablo 4.2 de verilmektedir. Reaktörde x-istikametinde ($4 \times 23 = 92$) plaka olduğundan, simetri dolayısıyla, aynı y indisleri taşımak şartıyla 1 ilâ 46 x-indisli plakalarda üretilen güç ile 47 ile 92 indisli plakalarda üretilen güç aynıdır. Keza y-istikametinde 5 plaka olduğundan 1 ile 5, 2 ile 4 y-indislerini ve aynı x-indislerini taşıyan plakalardaki güç üretimi de aynıdır. Bu sebeple Tablo 4.2. de x-indisi 1-46 arası, y-indisi 1-3 arası değerleri taşıyan plakaların güç üretimleri verilmektedir. Diğerleri, mesela (58,4) plakası (35,2) plakası ile aynı miktar güç ürettiğinden, değeri bu tablodan bulunabilir. Bütün plakalarda üretilen gücün toplamı beklenileceği gibi reaktör gücü olan 3×10^6 W'a eşittir.

TABLO 4-1
Reaktör 1 Sistemi Özellikleri

Kalp Düzeni	(4x25)x5 yakıt elemanı
Reaktör Gücü	3 000 000 W
Yakıt Özü Genişliği	62.3 mm
Yakıt Özü Kalınlığı	0.508 mm
Yakıt Özü Yüksekliği	596.138 mm
Zarf Kalınlığı	0.381 mm
iki Yakıt Elemanı Merkezleri	
Arasında Enlemesine Mesafe	75.9 mm
Soğutucu Kanalı Genişliği	70.0 mm
Soğutucu Kanalı Kalınlığı	1.98 mm
Nötron Akısı Ekstrapole Uzunluğu	35.2 mm

TABLO 4-2

Reaktör 1 Plaka Güç Üretimi Değerleri

PLAKA NO.		GOÇ ÜRETİMİ	PLAKA NO.		GOÇ ÜRETİMİ	PLAKA NO.		GOÇ ÜRETİMİ
X	Y		X	Y		X	Y	
1	1	1764.576	1	2	3114.297	1	3	3609.496
2	1	1914.489	2	2	3378.878	2	3	3916.148
3	1	2062.945	3	2	3640.889	3	3	4219.821
4	1	2209.821	4	2	3900.110	4	3	4520.260
5	1	2355.013	5	2	4156.358	5	3	4817.254
6	1	2498.402	6	2	4409.426	6	3	5110.561
7	1	2639.885	7	2	4659.129	7	3	5399.969
8	1	2779.350	8	2	4905.270	8	3	5685.249
9	1	2916.693	9	2	5147.667	9	3	5966.189
10	1	3051.808	10	2	5386.132	10	3	6242.572
11	1	3184.589	11	2	5620.477	11	3	6514.180
12	1	3314.940	12	2	5850.533	12	3	6780.816
13	1	3442.759	13	2	6076.120	13	3	7042.274
14	1	3567.945	14	2	6297.061	14	3	7298.346
15	1	3690.409	15	2	6513.198	15	3	7548.850
16	1	3810.051	16	2	6724.354	16	3	7793.582
17	1	3926.784	17	2	6930.375	17	3	8032.363
18	1	4040.517	18	2	7131.103	18	3	8265.007
19	1	4151.164	19	2	7326.383	19	3	8491.339
20	1	4258.638	20	2	7516.063	20	3	8711.180
21	1	4362.858	21	2	7700.002	21	3	8924.367
22	1	4463.749	22	2	7878.064	22	3	9130.741
23	1	4561.227	23	2	8050.103	23	3	9330.136
24	1	4655.222	24	2	8215.994	24	3	9522.406
25	1	4745.661	25	2	8375.610	25	3	9707.402
26	1	4832.472	26	2	8528.823	26	3	9844.977
27	1	4915.595	27	2	8675.526	27	3	10055.006
28	1	4994.961	28	2	8815.599	28	3	10217.352
29	1	5070.511	29	2	8948.937	29	3	10371.892
30	1	5142.189	30	2	9075.441	30	3	10518.511
31	1	5209.938	31	2	9195.011	31	3	10675.095
32	1	5273.706	32	2	9307.555	32	3	10787.534
33	1	5333.447	33	2	9412.993	33	3	10909.737
34	1	5389.112	34	2	9511.235	34	3	11023.601
35	1	5440.662	35	2	9602.216	35	3	11129.048
36	1	5488.054	36	2	9685.859	36	3	11225.991
37	1	5531.255	37	2	9762.103	37	3	11314.358
38	1	5570.229	38	2	9830.889	38	3	11394.082
39	1	5604.949	39	2	9892.166	39	3	11465.103
40	1	5635.388	40	2	9945.887	40	3	11527.366
41	1	5661.520	41	2	9992.009	41	3	11580.821
42	1	5683.329	42	2	10030.498	42	3	11625.431
43	1	5700.795	43	2	10061.325	43	3	11661.159
44	1	5713.907	44	2	10084.465	44	3	11687.979
45	1	5722.653	45	2	10099.902	45	3	11705.870
46	1	5727.028	46	2	10107.624	46	3	11714.820

Benzer şekilde özellikleri Tablo 4.3 de verilen sistem için yakıt plakalarında üretilen güç Tablo 4.4 de verilmektedir. Simetri sebebiyle bu tabloda da reaktörün dörtte birine ait (x:1-25, y: 1-2) değerler verilmiştir.

Plaka güç üretimleri hesaplamasında reaktör gücü bir çarpan olarak kullanılmaktadır. Bu sebeple, diğer bir reaktör gücü değerinde, mesela 2 MW'ta ilk olarak verilen sistemdeki plakaların üretimlerini hesap etmek için tabloda verilen değerleri (2/3) oranı ile çarpmak gerekmektedir.

Burada yapılan hesaplamalar neticesi elde edilen değerler, modelin kurulmasında yapılan kabullerin geçerli olması halinde doğrudur. Başka bir deyişle, hakiki reaktör kalplerinde genellikle olduğu gibi güç üretimi kosinüs dağılımından farklılık gösteriyorsa, plakalardaki güç üretimi de bu tablolarda verilen değerlerden değişik olacaktır.

Reaktör 1 sisteminde kullanılan yakıt plakası sayısının çok olması sebebiyle ($4 \times 23 \times 5 = 460$), 3 MW güçte çalışılmasına rağmen, en yüksek plaka güç üretiminin 11714 W olduğu (Tablo 4-2) halbuki reaktör 2 sisteminde, 1 MW reaktör gücünde çalışılmasına rağmen kullanılan yakıt plakası sayısının daha az ($1 \times 10 \times 4 = 200$) olması sebebiyle en yüksek plaka güç üretiminin 8514 W olduğu (Tablo 4-4) görülmektedir. Bu, her iki sistemde de birbirine yakın değerlerde ısı transferi alanları olması sebebiyle reaktörün daha yüksek güçlerde çalıştırılması halinde beher yakıt elemanında daha çok yakıt plakası bulunmasının, istenilmeyen yüksek sıcaklıklara ve yüksek ısı akılarına çıkılmamasını sağlayacak istikamette olduğunu göstermektedir. Ancak soğutucu kanalından geçen soğutucu miktarı ve ısı transferi hesaplaması her iki sistem için de ayrı ayrı yapılmadan bu konuda kesin neticeye varmanın mümkün olmadığı belirtilmelidir.

TABLO 4-3
Reaktör 2 Sistemi Özellikleri

Kalp Düzeni	(5x10)x4 yakıt elemanı
Reaktör Gücü	1 000 000 W
Yakıt Üzü Genişliği	69.698 mm
Yakıt Üzü Kalınlığı	0.508 mm
Yakıt Üzü Yüksekliği	596.138 mm
Zarf Kalınlığı	0.381 mm
İki Yakıt Elemanı Merkezleri	
Arasında Enlemesine Mesafe	75.9 mm
Soğutucu Kanalı Genişliği	70.0 mm
Soğutucu Kanalı Kalınlığı	6.476 mm
Nötron Akısı Ekstrapole Uzunluğu	35.2 mm

TABLO 4-4

Reaktör 2 Plaka Güç Üretimi Değerleri

PLAKA NO.		GÜÇ ÜRETİMİ	PLAKA NO.		GÜÇ ÜRETİMİ
X	Y	WATT	X	Y	WATT
1	1	1370.178	1	2	2256.919
2	1	1633.208	2	2	2690.174
3	1	1891.620	3	2	3115.825
4	1	2144.687	4	2	3532.669
5	1	2391.693	5	2	3939.530
6	1	2631.941	6	2	4335.260
7	1	2864.748	7	2	4718.733
8	1	3089.462	8	2	5088.875
9	1	3305.442	9	2	5444.633
10	1	3512.082	10	2	5785.004
11	1	3708.796	11	2	6109.025
12	1	3895.028	12	2	6415.783
13	1	4070.253	13	2	6704.407
14	1	4233.975	14	2	6974.086
15	1	4385.729	15	2	7224.052
16	1	4525.091	16	2	7453.605
17	1	4651.663	17	2	7662.090
18	1	4765.090	18	2	7848.924
19	1	4865.049	19	2	8013.574
20	1	4951.260	20	2	8155.577
21	1	5023.477	21	2	8274.532
22	1	5081.497	22	2	8370.101
23	1	5125.156	23	2	8442.016
24	1	5154.331	24	2	8490.072
25	1	5168.940	25	2	8514.134

4-B TERMOHİDROLİK HESAPLAMALAR

TERHID bilgisayar programını kullanarak yapılan örnek termohidrolik hesaplamalar iki kısımda incelenecektir. Birinci kısımda sürekli rejim hesaplama neticeleri incelenecek, ikinci kısımda ise geçici rejim ile ilgili örnekler verilecektir.

4-B-1 Sürekli Rejim Hesaplamaları

Sürekli rejim sayısal hesaplaması için kullanılan değerler Tablo 4-5 de verilmektedir. Burada seçilen geometrik değerler ve çalışma şartları Referans(20)'de elde edilen neticelerle bir mukayese yapabilmek amacı ile bu referansta kullanılan değerlere benzer seçilmişlerdir. Tablo 4-5'te görüldüğü üzere plaka güç üretimi için TERHID programına verilen değer 8929.0 W olarak belirtilmekte ise de, eksenel güç dağılımında göreceli değerlerin 0.165 ile 1.00 arasında değişmesi sebebi ile, plakada üretilen hakiki toplam güç 6268 W dır. Yine aynı tabloda soğutucu giriş sıcaklığı 37°C ve 23°C olarak verilmektedir, her iki değere ait hesaplanan neticeler Tablo 4-6 ve 4-7 de verilmekte, soğutucu sıcaklık dağılımı ve değerleri birbirine çok yakın olduğu için ($\leq 0.2^{\circ}\text{C}$) yakıt özü ve zarf sıcaklık dağılımları tek bir eğri olarak Şekil 4-1 ve 4-2 de sunulmaktadır.

Bu tablo ve şekillerden görüldüğü üzere yakıt özü ve zarf sıcaklıkları soğutucu giriş noktasından itibaren artmakta reaktörün orta yüksekliğinde azami sıcaklık değerleri elde edilmekte ve sonra sıcaklıklar tekrar azalmaktadır. Ancak eksenel sıcaklık dağılımının yakinen incelenmesi azami sıcaklık değerinin, beklenildiği gibi, orta noktadan biraz daha aşağıda olduğunu göstermektedir.

TABLO 4-5

Hesaplamada Kullanılan Değerler

Yakıt Isı İletim Katsayısı	167.0 W/m ⁰ C
Zarf Isı İletim Katsayısı	210.0 W/m ⁰ C
Yakıt Yoğunluğu	19000.0 kg/m ³
Zarf Yoğunluğu	2707.0 kg/m ³
Yakıt Özgül Isısı	740.0 J/kg ⁰ C
Zarf Özgül Isısı	896.0 J/kg ⁰ C
Yakıt Özü Genişliği	69.698 mm
Yakıt Özü Kalınlığı	0.508 mm
Yakıt Özü Yüksekliği	596.138 mm
Zarf Kalınlığı	0.381 mm
Kanal Genişliği	69.9 mm
Kanal Kalınlığı	6.476 mm
Nötron Akısı Ekstrapole Uzunluğu	35.2 mm
Soğutucu Akış Miktarı	417.275 kg/sn.m ²
Soğutucu Giriş Sıcaklığı	37 ⁰ C ve 23 ⁰ C
Plaka Güç Üretimi	8929.0 W
Sürtünme Katsayısı f_f	0.047 Re ^{-0.2}
Boylamasına Isı Dağılımı	Z/H Q(nok.)/Q(Ort.)
	0.0 0.165
	0.1 0.432
	0.3 0.846
	0.4 0.960
	0.5 1.000
	0.6 0.960
	0.7 0.846
	0.8 0.665
	0.9 0.432
	1.0 0.165
Konveksiyon Katsayısı için Dittus-Boelter özilişkisi kullanılmıştır.	
Duvar Viskozite Düzeltme Faktörü Konveksiyon Katsayısı Hesabında kullanılmıştır.	
Eksenel Adım Sayısı	30

TABLO 4-6

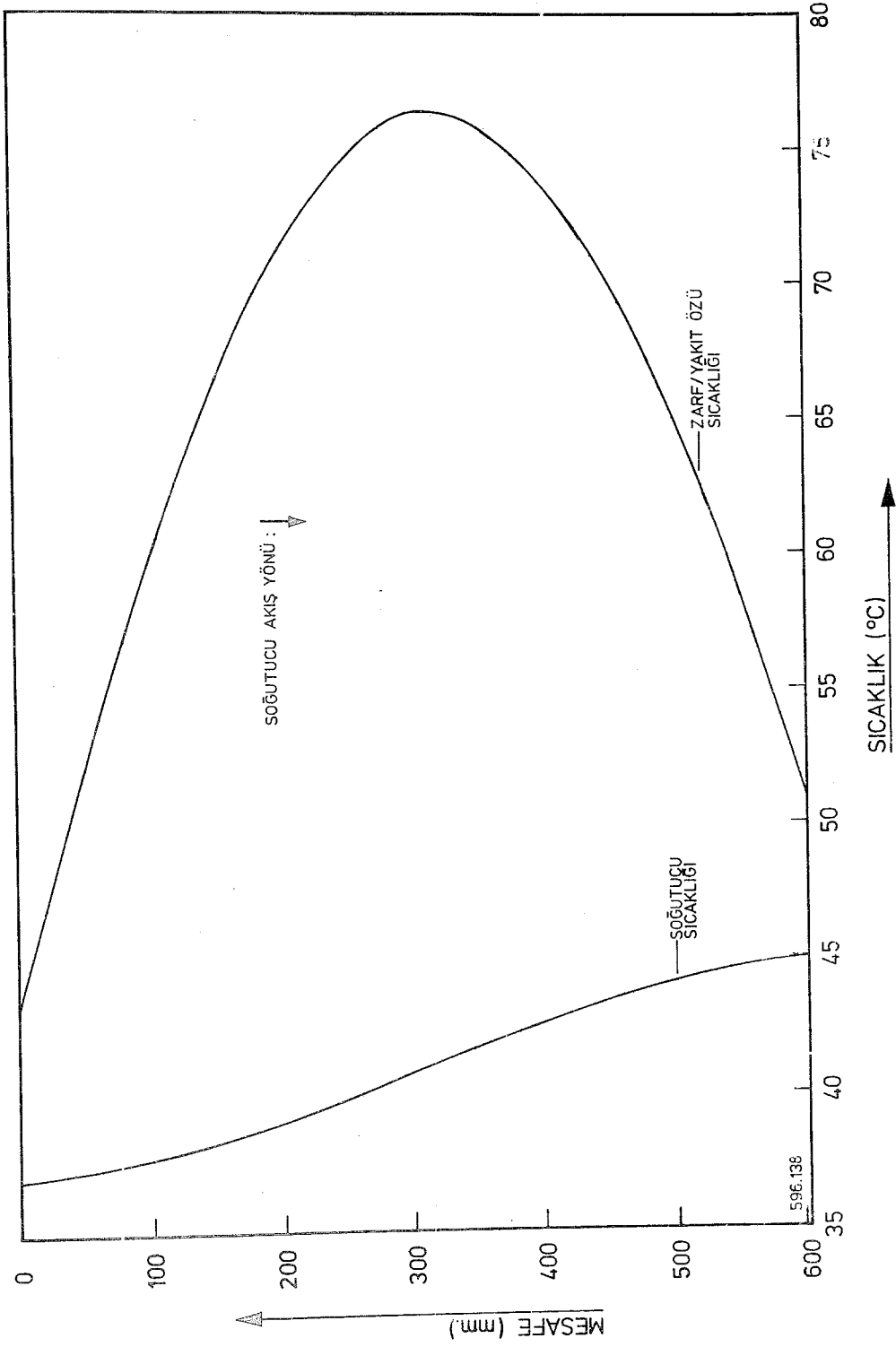
Hesaplanan Termohidrolik Değerler - $T_f(\text{Giriş})=37^{\circ}\text{C}$

MESAFE (MM)	YAKIT SICAKLIĞI (C)	ZARF SICAKLIĞI (C)	SOĞUTUCU SICAKLIĞI (C)	SOĞUTUCU YOĞUNLUĞU (KG/M3)	BASINÇ FARKI (N/M2)
.0	43.6	43.6	37.0	993.1	.0
19.0	47.0	47.0	37.1	993.1	188.8
39.7	50.5	50.4	37.2	993.1	377.5
59.6	53.9	53.9	37.3	993.0	566.2
79.5	56.9	56.8	37.5	993.0	755.0
99.4	59.9	59.8	37.7	992.9	943.7
119.2	62.8	62.7	37.9	992.8	1132.4
139.1	65.1	65.0	38.1	992.7	1321.1
159.0	67.5	67.4	38.4	992.6	1509.8
178.8	69.8	69.7	38.7	992.5	1698.4
198.7	71.3	71.2	39.0	992.4	1887.1
218.6	72.9	72.7	39.4	992.3	2075.7
238.5	74.4	74.3	39.7	992.1	2264.3
258.3	75.1	75.0	40.1	992.0	2452.9
278.2	75.8	75.7	40.4	991.8	2641.4
298.1	76.6	76.4	40.8	991.7	2829.9
317.9	76.3	76.2	41.2	991.5	3018.5
337.8	76.2	76.0	41.6	991.4	3206.9
357.7	76.0	75.8	41.9	991.2	3395.4
377.6	74.9	74.8	42.3	991.1	3583.8
397.4	73.9	73.8	42.6	991.0	3772.3
417.3	72.9	72.8	43.0	990.8	3960.7
437.2	71.1	71.0	43.3	990.7	4149.0
457.0	69.3	69.2	43.6	990.6	4337.4
476.9	67.5	67.4	43.9	990.5	4525.7
496.8	65.0	64.9	44.1	990.4	4714.1
516.7	62.5	62.4	44.3	990.3	4902.4
536.5	60.0	59.9	44.5	990.2	5090.7
556.4	57.0	57.0	44.7	990.1	5279.0
576.3	54.0	54.0	44.8	990.1	5467.2
596.1	50.9	50.9	44.9	990.0	5655.5

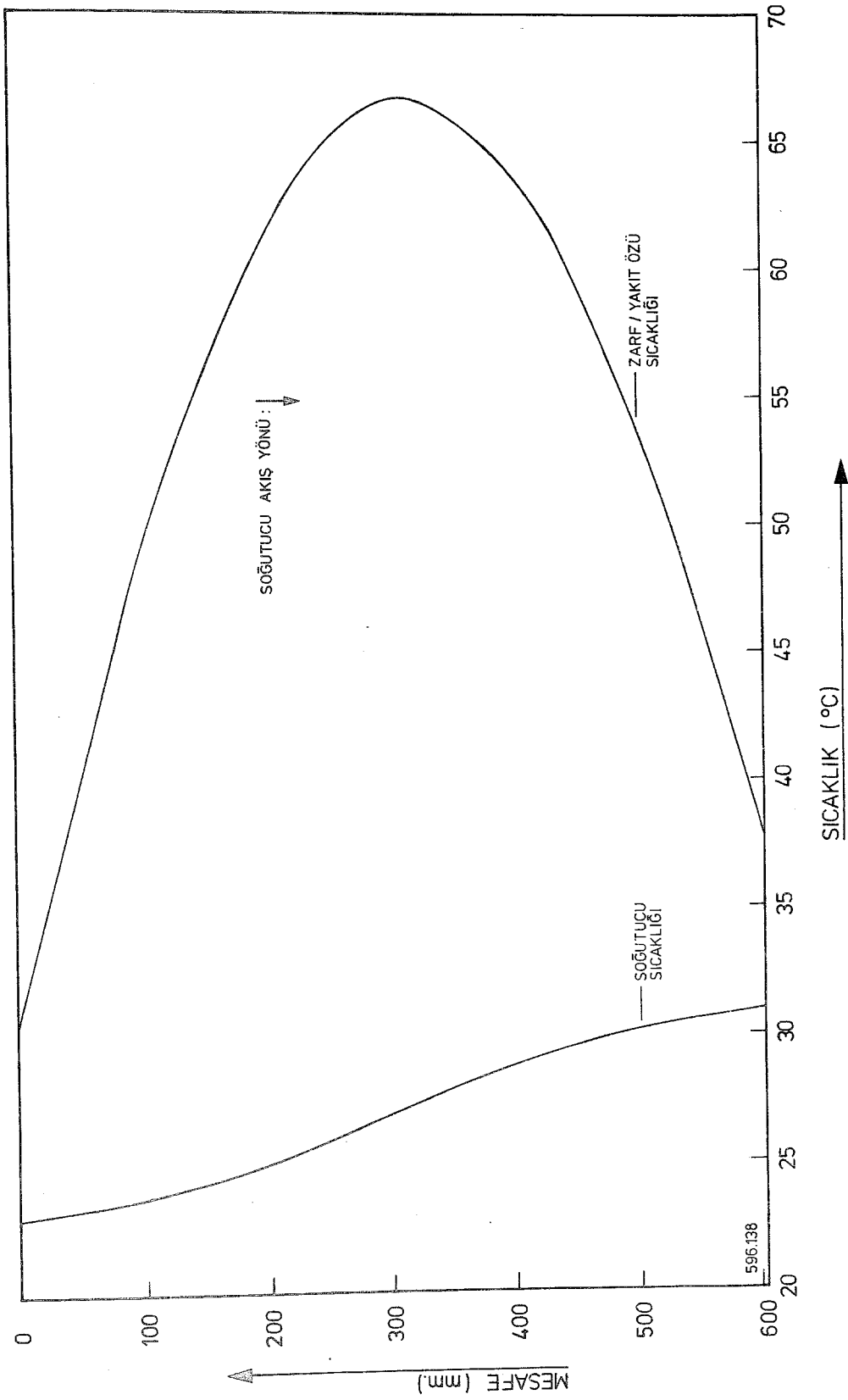
TABLO 4-7

Hesaplanan Termohidrolik Değerler - $T_f(\text{Giriş})=23^{\circ}\text{C}$

MESAFE (MM)	YAKIT SICAKLIĞI (C)	ZARF SICAKLIĞI (C)	SOĞUTUCU SICAKLIĞI (C)	SOĞUTUCU YOĞUNLUĞU (KG/M3)	BASINÇ FARKI (N/M2)
.0	30.5	30.5	23.0	997.7	.0
19.9	34.4	34.4	23.1	997.7	189.4
39.7	38.3	38.3	23.2	997.7	378.8
59.6	42.2	42.1	23.3	997.6	568.2
79.5	45.5	45.4	23.5	997.6	757.6
99.4	48.8	48.7	23.7	997.5	946.9
119.2	52.1	52.0	24.0	997.5	1136.3
139.1	54.6	54.5	24.2	997.4	1325.7
159.0	57.1	57.0	24.5	997.3	1515.0
178.8	59.7	59.5	24.8	997.2	1704.3
198.7	61.3	61.1	25.1	997.1	1893.7
218.6	62.9	62.8	25.5	997.0	2083.0
238.5	64.6	64.5	25.8	996.9	2272.3
258.3	65.3	65.1	26.2	996.8	2461.5
278.2	66.0	65.9	26.6	996.7	2650.8
298.1	66.8	66.6	27.0	996.6	2840.0
317.9	66.5	66.3	27.3	996.4	3029.3
337.8	66.2	66.1	27.7	996.3	3218.5
357.7	66.0	65.8	28.1	996.2	3407.7
377.6	64.8	64.6	28.4	996.1	3596.8
397.4	63.6	63.5	28.8	996.0	3786.0
417.3	62.5	62.3	29.1	995.9	3975.2
437.2	60.4	60.3	29.4	995.8	4164.3
457.0	58.4	58.3	29.7	995.7	4353.4
476.9	56.3	56.2	29.9	995.6	4542.5
496.8	53.6	53.5	30.2	995.5	4731.6
516.7	50.8	50.7	30.4	995.5	4920.7
536.5	47.9	47.9	30.6	995.4	5109.8
556.4	44.6	44.5	30.7	995.4	5298.9
576.3	41.2	41.1	30.8	995.3	5488.0
596.1	37.7	37.7	30.9	995.3	5677.1



ŞEKİL 4.1 Sıcaklık Dağılımı - T_f (giriş) = 37°C



ŞEKİL 4_2 Sıcaklık Dağılımı - T_f (giriş) = 23°C

Referans (20) de analitik ifadeler (Ref.4, Böl.13) dayanılarak bulunmuş ve dolayısıyla doğru kabul edilecek neticeler Tablo 4-8 ve 4-9 da verilmiştir. Referans çalışmada eksenal güç üretimi için yanlarından kesilmiş kosinüs dağılımı analitik ifadesi kullanılmıştır, bu uygulamada ise aynı dağılım 11 noktalık bir tablo halinde kullanılmıştır. Sıcaklık değerleri mukayeselerini yaparken bu farkı da dikkate almak lâzımdır.

Soğutucu giriş sıcaklığı aynı olan (37°C) Tablo 4-6 ve 4-8 mukayese edildiği takdirde her iki hesaplama neticesinde de elde edilen soğutucu çıkış sıcaklığının aynı olduğu (44.9°C) görülmektedir: bu sonuç soğutucu akış miktarları ile plakadan soğutucuya geçen güç miktarı oranının her iki çalışmada da benzer olduğunu göstermektedir. Soğutucu sıcaklık artışı şu fiziki özellikleri (özellikler) için kullanılan ifadelerle de bağlıdır; ancak özellikle büyük olmayan sıcaklık farklarında, değişik ifadeler kullanılmasından dolayı olan sıcaklık artışı farkı ihmal edilebilir mertebededir.

TABLO 4-8

Hesaplanmış Sıcaklık Değerleri*-T_f(giriş) =37°C

YÜKSEKLİK (CM)	AKIŞKAN HARARETİ (C)	ZARF SATIŞ HARARETİ (C)	ZARF İÇ SATIŞ HARARETİ (C)	YAKIT AZAMI HARARETİ (C)
29.806	37.000	43.414	43.448	43.461
27.806	37.080	46.905	46.957	46.978
25.806	37.194	50.324	50.394	50.422
23.806	37.342	53.598	53.685	53.721
21.806	37.522	56.707	56.811	56.853
19.806	37.733	59.631	59.751	59.799
17.806	37.973	62.353	62.487	62.541
15.806	38.238	64.856	65.004	65.064
13.806	38.529	67.129	67.288	67.353
11.806	38.840	69.158	69.328	69.397
9.806	39.171	70.933	71.112	71.185
7.806	39.517	72.444	72.631	72.707
5.806	39.876	73.683	73.876	73.955
3.806	40.245	74.643	74.841	74.921
1.806	40.621	75.320	75.520	75.601
-1.193	40.999	75.709	75.910	75.991
-2.193	41.377	75.809	76.008	76.089
-4.193	41.751	75.620	75.817	75.897
-6.193	42.119	75.145	75.337	75.415
-8.193	42.476	14.388	74.574	74.649
-10.193	42.819	73.356	73.534	73.606
-12.193	43.146	72.056	72.224	72.293
-14.193	43.454	70.498	70.655	70.719
-16.193	43.740	68.692	68.837	68.896
-18.193	44.001	66.650	66.781	66.835
-20.193	44.235	64.384	64.501	64.548
-22.193	44.440	61.908	62.008	62.049
-24.193	44.614	59.235	59.319	59.353
-26.193	44.755	56.381	56.447	56.474
-28.193	44.863	53.362	53.410	53.429
-29.806	44.925	50.826	50.859	50.873

* Referans (20)'den alınmıştır.

TABLO 4-9

Hesaplanmış Sıcaklık Değerleri* - T_f (Giriş) = 23°C

YÜKSEKLİK (CM)	AKIŞKAN HARARETİ (C)	ZARF SATIŞ HARARETİ (C)	ZARF İÇ SATIŞ HARARETİ (C)	YAKIT AZAMI HARARETİ (C)
29.806	23.000	30.240	30.274	30.287
27.806	23.080	34.154	34.206	34.227
25.806	23.194	37.977	38.047	38.075
23.806	23.342	41.624	41.712	41.747
21.806	23.522	45.071	45.175	45.217
19.806	23.733	48.297	48.416	48.464
17.806	23.973	51.282	51.416	51.470
15.806	24.238	54.011	54.159	54.218
13.806	24.529	56.471	56.631	56.696
11.806	24.840	58.652	58.823	58.892
9.806	25.171	60.544	60.723	60.796
7.806	25.517	62.138	62.325	62.401
5.806	25.876	63.429	63.622	63.701
3.806	26.245	64.412	64.609	64.689
1.806	26.621	65.083	65.283	65.364
-0.193	26.999	65.441	65.642	65.724
-2.193	27.377	65.486	65.686	65.767
-4.193	27.751	65.220	65.417	65.496
-6.193	28.119	64.645	64.837	64.915
-8.193	28.476	63.767	63.953	64.028
-10.193	28.819	62.592	62.770	62.842
-12.193	29.146	61.128	61.297	61.365
-14.193	29.454	59.385	59.542	59.606
-16.193	29.740	57.371	57.516	57.575
-18.193	30.001	55.099	55.231	55.284
-20.193	30.235	52.580	52.697	52.744
-22.193	30.440	49.828	49.929	49.970
-24.193	30.614	46.857	46.941	46.975
-26.193	30.755	43.682	43.748	43.775
-28.193	30.863	40.322	40.370	40.390
-29.806	30.925	37.499	37.532	37.545

* Referans (20)'den alınmıştır.

Her iki Tabloda yakıt özü ve zarf sıcaklıklarının mukayesesini yaparken dikkate alınacak nokta Tablo 4-8 de verilen değerlerin zarf asgari ve azami sıcaklıkları ile yakıt özü asgari ve azami sıcaklıkları olmasına karşın, Tablo 4-6'daki değerlerin ortalama zarf ve yakıt özü sıcaklıkları olmasıdır. Tablo 4-8 görüldüğü üzere belirli bir eksen noktasında zarf asgari ve azami sıcaklıkları arasındaki fark 0.2°C veya daha ufaktır. Aynı şekilde yakıt asgari sıcaklığı ile (bu değer azami zarf sıcaklığına eşittir) azami sıcaklığı arasındaki fark 0.1°C veya daha ufaktır. Bu farkların ufak olması, zarf ve yakıt özü için bu çalışmada kullanılan ortalama sıcaklık değerleri yaklaşımının kabul edilebilirliğini göstermektedir. Diğer taraftan belirli bir eksen noktasında zarf ve soğutucu sıcaklık farkı için, her iki çalışmada bulunan değerlerin mukayesesini, bu farkın en fazla olduğu orta nokta için aşağıda yapılacaktır.

Tablo 4-6 da zarf-soğutucu sıcaklık farkı 35.6°C dir, Tablo 4-8 ise bu fark 34.8°C dir, aradaki fark 0.8°C 'dir; bu fark ise özellikle her iki çalışmada konveksiyon katsayısı için kullanılan ifadelerin farklı olmasından ileri gelmektedir. Literatürde konveksiyon katsayısı için mevcut ifadelerin aynı şartlar için % 10 kadar farklı değerler verebildiği düşünülürse burada yapılabilecek benzer bir hesaplamada değişik özilişkiler kullanılması halinde soğutucu-zarf yüzey sıcaklık farkının $33-37^{\circ}\text{C}$ arasında olabileceği ortaya çıkar. Bu sebeple çalışmada bulunan sonuçları geçerli olarak nitелеmek gerekir.

Tablo 4-8 den hesaplanabılacak ortalama zarf ve ortalama yakıt özü sıcaklık farkı için azami fark 0.14°C dir; Tablo 4-6 da bu değer 0.2°C dir. Tablo 4-6 neticelerin 0.1°C yaklaşıklıkla yazıldığı düşünülürse her iki çalışmada elde edilen neticelerin benzerliği belirir.

Burada yapılan sıcaklık mukayeselerini, sıcaklık farkları ile yapıldı, sıcaklık değerlerinin mukayesesinde ise yüzde fark daha ufak olacaktır.

Soğutucu giriş sıcaklığının 23°C olarak alındığı Tablo 4-7 ve 4-9 da verilen neticeler de aynı şekilde mukayese edilirse benzer sonuçlara varılır.

Tablo 4-6 ve 4-7 de sayısal neticeleri verilen basınç farkı hesaplamasında, su yoğunluğunun akış eksenı boyunca ihmal edilebilir bir değişim göstermesi sebebiyle iki faktör önemli olmaktadır: Su sütunu sebebiyle basınç artımı ve sürtünme kaybindan dolayı basınç düşümü. İkinci faktör değeri için, seçilen sürtünme katsayısı özilişkisi neticelere etkili olmaktadır. Basınç farkı hesaplarında soğutucu kanalına giriş ve çıkışta olan basınç kayıpları dikkate alınmamıştır. Soğutucu giriş sıcaklığının 23°C ve 37°C olması halleri için basınç farkı, Tablo 4-7 ve 4-8 görüldüğü gibi birbirine yakın değerler vermektedir.

4-B-ii Geçici Rejim Hesaplamaları

Geçici rejim termohidrolik şartlarının hesaplanmasında soğutucu giriş sıcaklığı ile miktarında ve güç üretiminde zamana bağlı değişimlerin etkilerini daha açık bir şekilde görebilmek maksadıyla, her üç değişim ayrı ayrı basamak değişimi olarak incelenmiştir. Bu hesaplamalarda, özellikleri Tablo 4-5 de verilen ve soğutucu giriş sıcaklığı 37°C olan sistem, referans sistemi olarak alınmıştır. Sürekli rejim termohidrolik şartlarının Tablo 4-6 ve Şekil 4-1 de verildiği bu sistemde, yukarıda belirtilen zamana bağlı reaktör çalıştırma şartları değişikliğinin etkileri aşağıda incelenecektir:

- a- İlk inceleme soğutucu giriş miktarının değişmesi için yapılacaktır. Soğutucu giriş miktarının

0.040 sn ile 0.041 sn arasında 1.2 ve 0.8 faktörleri ile değiştiği kabul edilmiştir (Tablo 4-10).

TABLO 4-10

Soğutucu Giriş Miktarının Zamanla Değişimi

	Zaman (sn)	Akış Faktörü
-A	0.000	1.000
	0.040	1.000
	0.041	0.800
	30.000	0.800
-B	0.000	1.000
	0.040	1.000
	0.041	1.200
	30.000	1.200

Referans soğutucu giriş miktarı $417.275 \text{ kg/sn m}^2$ olduğuna göre, yeni değerler 500.73 ve 333.82 kg/sn m^2 olmaktadır. Ayrıca programın bu hesaplama için kullandığı zaman aralığı değeri (Δt) 0.0473 sn dir. Böylece, program ikinci zamana bağlı hesaplama adımından itibaren, basamak değişimi olarak gördüğü soğutucu giriş miktarı değişimi nedeniyle, zamana bağlı yeni termohidrolik şartları hesap etmektedir. Akış faktörünün 0.8 olması durumuna örnek olarak $t: 0.473, 0.946, 1.419, 1.892, 3.311, 5.202 \text{ sn}$ için bulunan termohidrolik hesaplama neticeleri sırasıyla Tablo 4-11, 12, 13, 14, 15 ve 16 da verilmektedir. Bu hesaplamada soğutucu çıkış sıcaklığı asimptotik olarak 46.9°C değerine yaklaşmaktadır (Şekil 4-3). Soğutucu çıkış sıcaklığı değerindeki değişim 2.0°C dir, bu değişimin % 50 sinin tamamlanması 2.2 sn , % 90 ının tamamlanması 5.0 sn kadar sürmektedir. Yakıt orta yüksekliğinde sıcaklık 76.6°C dan asimptotik olarak 83.8°C

TABLO 4-11

Geçici Rejim Termohidrolik Hesaplamaları-t=0.473 sn

Mesafe (MM)	Yakıt Sıcaklığı (C)	Zarf Sıcaklığı (C)	Soğutucu Sıcaklığı (C)	Soğutucu Yoğunluğu (KG/M ³)	Basınc Farkı (N/M ₂)
.0	43.9	43.8	37.0	993.1	.0
19.9	47.5	47.4	37.1	993.1	190.3
39.7	51.1	51.0	37.2	993.1	380.6
59.6	54.6	54.6	37.4	993.0	570.8
79.5	57.7	57.7	37.6	992.9	761.1
99.4	60.9	60.8	37.8	992.9	951.3
119.2	63.9	63.8	38.0	992.8	1141.6
139.1	66.3	66.2	38.3	992.7	1331.8
159.0	68.8	68.7	38.6	992.5	1522.0
178.8	71.2	71.1	38.9	992.4	1712.2
198.7	72.8	72.6	39.2	992.3	1902.3
218.6	74.4	74.2	39.6	992.2	2092.4
238.5	76.0	75.9	39.9	992.0	2282.5
258.3	76.7	76.5	40.3	991.9	2472.6
278.2	77.4	77.3	40.7	991.7	2662.7
298.1	78.2	78.0	41.0	991.6	2852.7
317.9	77.9	77.8	41.4	991.4	3042.7
337.8	77.7	77.6	41.8	991.3	3232.7
357.7	77.5	77.4	42.1	991.2	3422.6
377.6	76.4	76.3	42.5	991.0	3612.6
397.4	75.4	75.2	42.8	990.9	3802.5
417.3	74.3	74.2	43.2	990.7	3992.4
437.2	72.4	72.2	43.5	990.6	4182.2
457.0	70.5	70.4	43.7	990.5	4372.1
476.9	68.5	68.4	44.0	990.4	4561.9
496.8	65.9	65.9	44.2	990.3	4751.7
516.7	63.3	63.3	44.4	990.2	4941.5
536.5	60.7	60.6	44.6	990.1	5131.3
556.4	57.6	57.5	44.7	990.1	5321.1
576.3	54.4	54.4	44.8	990.0	5510.9
596.1	51.2	51.2	44.9	990.0	5700.6

TABLO 4-12

Geçici Rejim Termohidrolik Hesaplamaları-t= 0.946 sn

Mesafe (MM)	Yakıt Sıcaklığı (C)	Zarf Sıcaklığı (C)	Soğutucu Sıcaklığı (C)	Soğutucu Yoğunluğu (KG/M ³)	Basınç Farkı (N/M ²)
.0	44.1	44.1	37.0	993.1	.0
19.9	47.8	47.7	37.1	993.1	190.3
39.7	51.5	51.5	37.2	993.1	380.6
59.6	55.2	55.1	37.4	993.0	570.8
79.5	58.4	58.3	37.6	992.9	761.1
99.4	61.6	61.5	37.8	992.8	951.3
119.2	64.8	64.7	38.1	992.7	1141.6
139.1	67.3	67.2	38.4	992.6	1131.8
159.0	69.8	69.7	38.7	992.5	1522.0
178.8	72.3	72.2	39.0	992.4	1712.1
198.7	73.9	73.8	39.4	992.2	1902.3
218.6	75.6	75.4	39.7	992.1	2092.4
238.5	77.2	77.1	40.1	992.0	2282.5
258.3	77.9	77.8	40.5	991.8	2472.5
278.2	78.7	78.5	40.9	991.6	2662.6
298.1	79.4	79.3	41.3	991.5	2852.6
317.9	79.2	79.0	41.7	991.3	3042.6
337.8	79.0	78.8	42.1	991.2	3232.6
357.7	78.8	78.6	42.4	991.0	3422.5
377.6	77.6	77.5	42.8	990.9	3612.4
397.4	76.5	76.4	43.2	990.7	3802.3
417.3	75.4	75.2	43.5	990.6	3992.2
437.2	73.4	73.3	43.8	990.5	4182.0
457.0	71.4	71.3	44.1	990.4	4371.8
476.9	69.4	69.3	44.3	990.3	4561.6
496.8	66.7	66.6	44.5	990.2	4751.4
516.7	64.0	63.9	44.7	990.1	4941.2
536.5	61.3	61.2	44.9	990.0	5131.0
556.4	58.0	58.0	45.0	990.0	5320.7
576.3	54.8	54.7	45.1	989.9	5510.5
596.1	51.4	51.4	45.1	989.9	5700.2

TABLO 4-13

Göçici Rejim Termohidrolik Hesaplamaları- $t=1.419$ sn

Mesare (MM)	Yakıt Sıcaklığı (C)	Zarf Sıcaklığı (C)	Soğutucu Sıcaklığı (C)	Soğutucu Yoğunluğu (KG/M ³)	Basınç Farkı (N/M ₂)
.0	44.2	44.2	37.0	993.1	.0
19.9	48.0	48.0	37.1	993.1	190.3
39.7	51.9	51.8	37.2	993.1	380.6
59.6	55.6	55.6	37.4	993.0	570.8
79.5	58.9	58.8	37.6	992.9	761.1
99.4	62.2	62.1	37.8	992.8	951.3
119.2	65.5	65.4	38.1	992.7	1141.6
139.1	68.0	67.9	38.4	992.6	1331.8
159.0	70.5	70.4	38.7	992.5	1522.0
178.8	73.1	73.0	39.1	992.4	1712.1
198.7	74.8	74.6	39.4	992.2	1902.3
218.6	76.5	76.3	39.8	992.1	2092.4
238.5	78.2	78.0	40.2	991.9	2282.5
258.3	78.9	78.7	40.6	991.8	2472.5
278.2	79.7	79.5	41.0	991.6	2662.5
298.1	80.4	80.3	41.5	991.4	2852.5
317.9	80.2	80.0	41.9	991.3	3042.5
337.8	79.9	79.8	42.3	991.1	3232.5
357.7	79.7	79.6	42.7	990.9	3422.4
377.6	78.5	78.4	43.1	990.8	3612.3
397.4	77.4	77.3	43.4	990.6	3802.2
417.3	76.2	76.1	43.8	990.5	3992.0
437.2	74.2	74.1	44.1	990.4	4181.8
457.0	72.2	72.1	44.4	990.2	4371.6
476.9	70.1	70.0	44.6	990.1	4561.4
496.8	67.4	67.3	44.9	990.0	4751.2
516.7	64.6	64.5	45.1	990.0	4940.9
536.5	61.8	61.7	45.2	989.9	5130.7
556.4	58.5	58.4	45.3	989.8	5320.4
576.3	55.1	55.1	45.4	989.8	5510.1
596.1	51.7	51.6	45.5	989.8	5699.9

TABLO 4-14

Geçici Rejim Termohidrolik Hesaplamaları-t=1.892 sn.

Mesafe (MM)	Yakıt Sıcaklığı (C)	Zarf Sıcaklığı (C)	Soğutucu Sıcaklığı (C)	Soğutucu Yoğunluğu (KG/M ³)	Basınc Farkı (N/M ²)
.0	44.4	44.4	37.0	993.1	.0
19.9	48.2	48.2	37.1	993.1	190.3
39.7	52.1	52.1	37.2	993.1	380.6
59.6	56.0	55.9	37.4	993.0	570.8
79.5	59.3	59.2	37.6	992.9	761.1
99.4	62.6	62.6	37.8	992.8	951.3
119.2	66.0	65.9	38.1	992.7	1141.6
139.1	68.5	68.4	38.4	992.6	1331.8
159.0	71.1	71.0	38.8	992.5	1521.9
178.8	73.7	73.6	39.1	992.3	1712.1
198.7	75.4	75.3	39.5	992.2	1902.2
218.6	77.2	77.0	39.9	992.0	2092.3
238.5	78.9	78.8	40.3	991.9	2282.4
258.3	79.6	79.5	40.7	991.7	2472.5
278.2	80.4	80.3	41.1	991.6	2662.5
298.1	81.2	81.1	41.6	991.4	2852.5
317.9	80.9	80.8	42.0	991.2	3042.5
337.8	80.7	80.6	42.4	991.0	3232.4
357.7	80.5	80.3	42.8	990.9	3422.3
377.6	79.3	79.1	43.2	990.7	3612.2
397.4	78.1	78.0	43.6	990.6	3802.1
417.3	76.9	76.8	44.0	990.4	3991.9
437.2	74.9	74.7	44.3	990.3	4181.7
457.0	72.8	72.7	44.6	990.1	4371.5
476.9	70.7	70.6	44.9	990.0	4561.3
496.8	67.9	67.8	45.1	989.9	4751.0
516.7	65.1	65.0	45.3	989.8	4940.7
536.5	62.2	62.2	45.5	989.8	5130.5
556.4	58.8	58.8	45.6	989.7	5320.2
576.3	55.4	55.4	45.7	989.7	5509.9
596.1	51.9	51.9	45.8	989.6	5699.6

TABLO 4-15

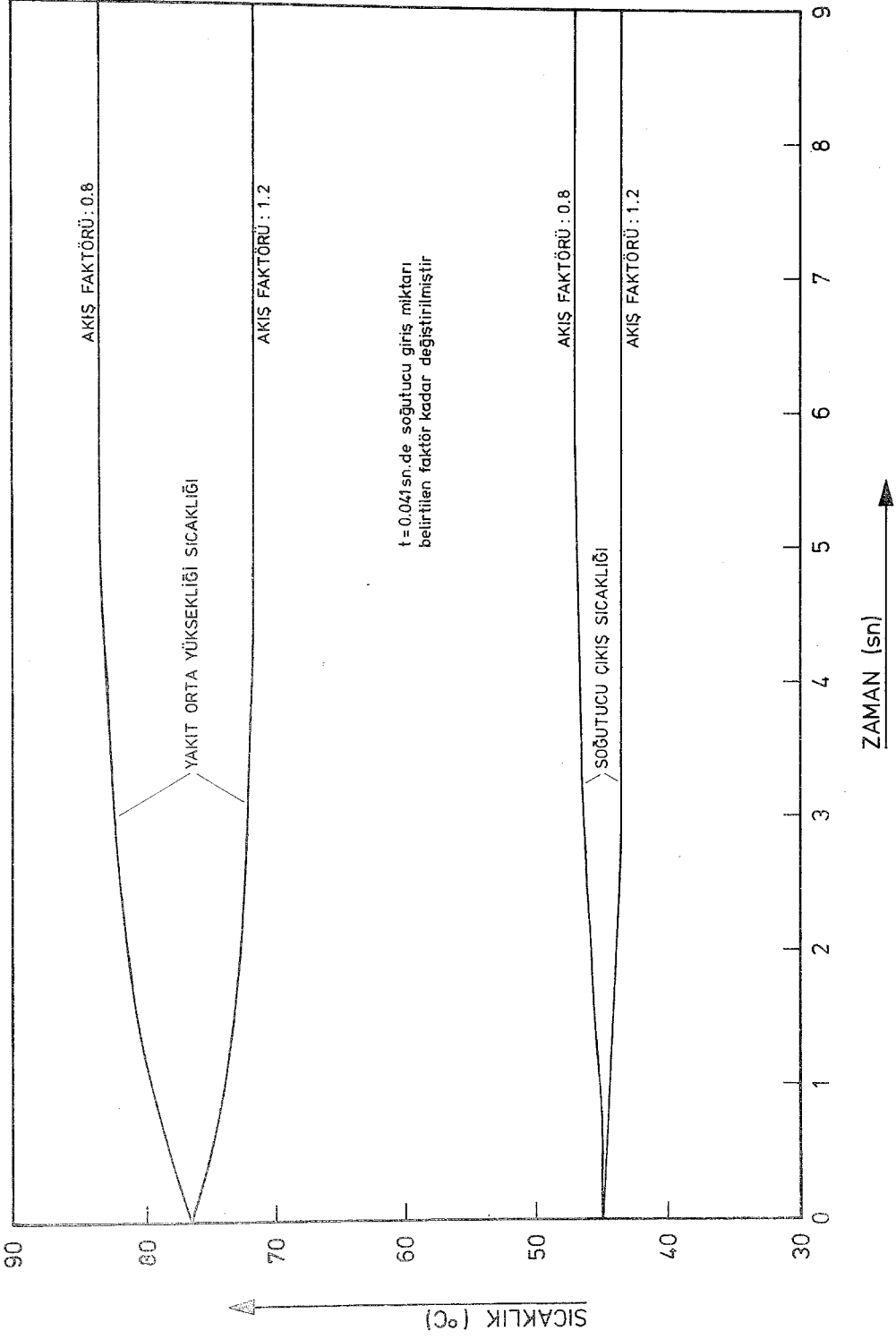
Geçici Rejim Termohidrolik Hesaplamaları - $t=3.311$

Mesafe (MM)	Yakıt Sıcaklığı (C)	Zarf Sıcaklığı (C)	Soğutucu Sıcaklığı (C)	Soğutucu Yoğunluğu (KG/M ³)	Basınç Farkı (N/M ₂)
.0	44.6	44.6	37.0	993.1	.0
19.9	48.6	48.6	37.1	993.1	190.3
39.7	52.6	52.6	37.2	993.1	380.6
59.6	56.6	56.5	37.4	993.0	570.8
79.5	60.0	60.0	37.6	992.9	761.1
99.4	63.5	63.4	37.9	992.8	951.3
119.2	66.9	66.8	38.2	992.7	1141.6
139.1	69.5	69.4	38.5	992.6	1331.8
159.0	72.2	72.1	38.8	992.5	1521.9
178.8	74.9	74.8	39.2	992.3	1712.1
198.7	76.7	76.5	39.6	992.2	1902.2
218.6	78.4	78.3	40.0	992.0	2092.3
238.5	80.2	80.1	40.4	991.8	2282.4
258.3	81.0	80.8	40.9	991.7	2472.4
278.2	81.8	81.7	41.3	991.5	2662.4
298.1	82.6	82.6	41.8	991.3	2852.4
317.9	82.4	82.2	42.2	991.1	3042.4
337.8	82.1	82.0	42.7	990.9	3232.3
357.7	81.8	81.8	43.1	990.8	3422.2
377.6	80.7	80.6	43.5	990.6	3612.1
397.4	79.5	79.4	43.9	990.4	3801.9
417.3	78.3	78.2	44.3	990.3	3991.7
437.2	76.2	76.0	44.7	990.1	4181.5
457.0	74.1	73.9	45.0	990.0	4371.2
476.9	71.9	71.0	45.3	989.8	4561.0
496.8	69.0	69.0	45.6	989.7	4750.7
516.7	66.2	66.1	45.8	989.6	4940.4
536.5	63.2	63.2	46.0	989.6	5130.1
556.4	59.8	59.7	46.2	989.5	5319.8
576.3	56.2	56.2	46.3	989.4	5509.4
596.1	52.6	52.6	46.4	989.4	5699.1

TABLO 4-16

Geçici Rejim Termohidrolik Hesaplamaları-t= 5.202 sn

Mesafe (MM)	Yakıt Sıcaklığı (C)	Zarf Sıcaklığı (C)	Soğutucu Sıcaklığı (C)	Soğutucu Yoğunluğu (KG/M ³)	Basınç Farkı (N/M ₂)
.0	44.8	44.8	37.0	993.1	.0
19.9	48.8	48.8	37.1	993.1	190.3
39.7	52.9	52.9	37.2	993.1	380.6
59.6	57.0	56.9	37.4	993.0	570.8
79.5	60.5	60.4	37.6	992.9	761.1
99.4	63.9	63.9	37.9	992.8	951.3
119.2	67.4	67.3	38.2	992.7	1141.5
139.1	70.1	70.0	38.5	992.6	1331.7
159.0	72.8	72.7	38.9	992.4	1521.9
178.8	75.6	75.4	39.3	992.3	1712.1
198.7	77.3	77.2	39.7	992.1	1902.2
218.6	79.1	79.0	40.1	992.0	2092.3
238.5	81.0	80.8	40.5	991.8	2282.4
258.3	81.7	81.6	41.0	991.6	2472.4
278.2	82.6	82.4	41.4	991.4	2662.4
298.1	83.4	83.3	41.9	991.3	2852.4
317.9	83.1	83.0	42.3	991.1	3042.3
337.8	82.9	82.8	42.8	990.9	3232.2
357.7	82.7	82.6	43.3	990.7	3422.1
377.6	81.5	81.3	43.7	990.5	3612.0
397.4	80.3	80.2	44.1	990.4	3801.8
417.3	79.1	79.0	44.5	990.2	3991.6
437.2	77.0	76.8	44.9	990.0	4181.4
457.0	74.8	74.7	45.2	989.9	4371.1
476.9	72.7	72.6	45.5	989.8	4560.8
496.8	69.8	69.7	45.8	989.6	4750.5
516.7	66.9	66.8	46.1	989.5	4940.2
536.5	64.0	63.9	46.3	989.4	5129.9
556.4	60.5	60.4	46.5	989.4	5319.5
576.3	56.9	56.9	46.6	989.3	5509.2
596.1	53.3	53.3	46.7	989.3	5698.8



ŞEKİL 4.3 Soğutucu Giriş Miktarı Değişmesine Bağlı Olarak Zamanla Sıcaklık Değişimleri

değerine yaklaşmaktadır, değişim 7.2°C dir. Değişimin % 50 sinin tamamlanması 1.2 sn, % 90 inin tamamlanması 4.2 sn kadar sürmektedir.

Akış faktörünün 1.2 olması halinde soğutucu çıkış sıcaklığında olan değişimin % 50'sinin ve % 90'ının tamamlanması için süre sırasıyla 1.3 sn ve 3.3 sn kadar olmakta, yakıt orta yüksekliği sıcaklığı değişiminde de bu süreler sırasıyla 1.0 sn ve 2.4 sn olmaktadır. Bu değerlerin daha evvel verilenlerle mukayesesi, akış arttığı takdirde asimptotik değerlere yaklaşımın daha çabuk olduğunu göstermektedir.

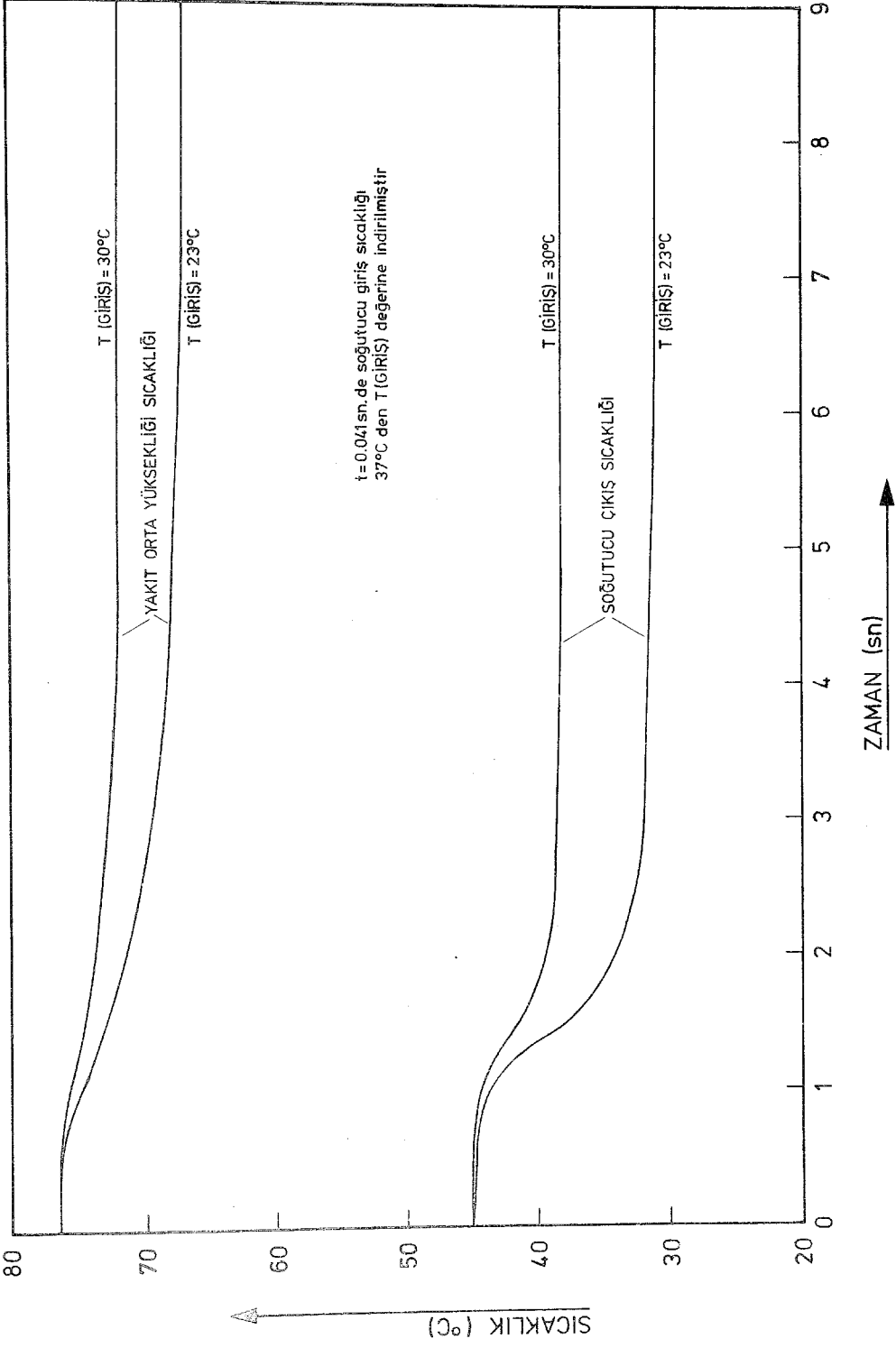
b- Soğutucu giriş sıcaklığı da yine aynı şekilde 0.040 sn ile 0.041 sn arasında 0.622 ve 0.811 faktörü ile değiştirilmektedir (Tablo 4-17). İlk giriş sıcaklığının

TABLO 4-17

Soğutucu Giriş Sıcaklığının Zamanla Değişimi

	Zaman (sn)	Sıcaklık Faktörü
-A	0.000	1.000
	0.040	1.000
	0.041	0.622
	30.000	0.622
-B	0.000	1.000
	0.040	1.000
	0.041	0.811
	30.000	0.811

37°C olması sebebiyle, bu giriş sıcaklığının sırasıyla 23°C ve 30°C değerlerine basamak değişimi ile inmesi anlamına gelmektedir. Bu hesaplamalarla elde edilen zamana bağlı soğutucu çıkış sıcaklığı ve yakıt orta yüksekliği sıcaklığı Şekil 4-4 de verilmektedir.



ŞEKİL 4-4 Soğutucu Giriş Sıcaklığının Değişmesine Bağlı Olarak Zamanla Sıcaklık Değişimleri

Soğutucu giriş sıcaklığının 23°C 'a indirilmesi halinde yakıt orta yüksekliği sıcaklığında olan değişimin % 50 sinin ve % 90 ının tamamlanması için, yaklaşık olarak sırasıyla 1.9 sn ve 4.5 sn geçmektedir. Soğutucu giriş sıcaklığının 30°C indirilmesi halinde bu değerler 1.9 sn ve 4.7 sn olmaktadır. Soğutucu çıkış sıcaklığında olan değişimin % 50 sinin ve % 90 ının tamamlanması ise, giriş sıcaklığının 23°C düşmesi halinde 1.6 sn ve 2.8 sn, giriş sıcaklığının 30°C düşmesi halinde 1.5 sn ve 2.8 sn olmaktadır. Dolayısıyla soğutucu giriş sıcaklığında farklı değişimler halinde sıcaklık farklarında % değişimlerin benzer zaman sürelerinde tamamlandığı görülmektedir.

c- Plakada Üretilen güç değişimi için, 0.040 sn ile 0.041 sn arasında güç faktörü 0.800 ve 3.000 olarak değiştirilmektedir (Tablo 4-18).

TABLO 4-18

Güç Üretiminin Zamanla Değişimi

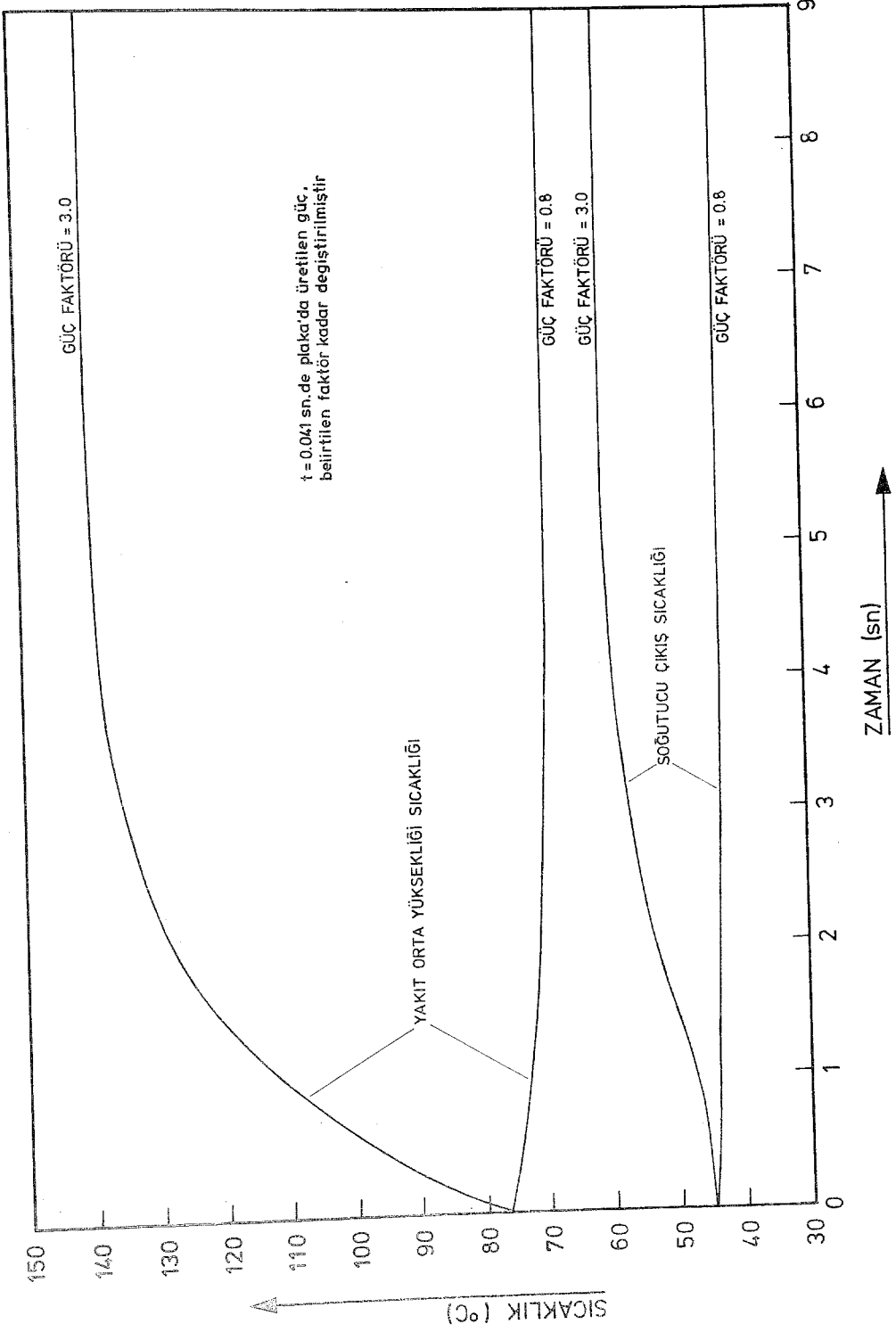
	Zaman (sn)	Güç Faktörü
-A	0.000	1.000
	0.040	1.000
	0.041	0.800
	30.000	0.800
-B	0.000	1.000
	0.040	1.000
	0.041	3.000
	30.000	3.000

Plakalarda başlangıçta üretilen güç 6268 W olduğundan bu değişim 5014 W ve 18804 W değerlerine tekabül etmektedir. Bu değişimlerle hesaplanmış soğutucu çıkış sıcaklığı ve yakıt

orta yüksekliği sıcaklığı Şekil 4-5'de verilmektedir. Güç faktörünün 0.8 olması halinde yakıt orta yüksekliği sıcaklığı 76.6°C değerinden asimptotik olarak 69.2°C değerine varmakta ve bu değişimin % 50'sinin ve % 80'inin tamamlanması için geçen süre 0.9 sn ve 3.8 sn olmaktadır. Soğutucu çıkış sıcaklığı ise 44.9°C dan 43.3°C değerine inmekte ve bu değişimin % 50 sinin ve % 90 ının tamamlanması için geçen süre sırasıyla 1.9 sn ve 4.0 sn olmaktadır.

Güç faktörünün 3.0 olması halinde yakıt orta yüksekliği sıcaklığı 139.8°C değerine yükselmekte ve bu değişimin % 50 si 0.9 sn de, % 90 ı 2.8 sn de tamamlanmaktadır. Soğutucu çıkış sıcaklığı ise 60.7°C değerine yükselmekte ve bu değişikliğinin % 50 ve % 90 ının tamamlanması için geçen süre 1.9 sn ve 4.0 sn olmaktadır. Bu plakada güç üretimi 18804 W olduğunda zarf yüzeyi sıcaklığı 139.4°C 'ı bulduğundan aşırı soğutulmuş kaynama meydana gelip gelmeyeceği ayrıca hesaplanması gerekli bir husustur.

Burada sayısal uygulama olarak basamak değişikliği halinde verilen soğutucu giriş miktarı ve sıcaklığı ile güç üretiminin zamanla değişimini, bir arada ve diğer değişim şekilleriyle (lineer, periodik vs.) incelemek, TERHID bilgisayar programının çalışma tarzı dolayısıyla mümkündür.



ŞEKİL 4_5 Güç Değişmesine Bağlı Olarak Zamanla Sıcaklık Değişimleri

BÖLÜM 5

CALIŞMANIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞILMASI

Bu bölümde, geliştirilen matematiksel modellerin ve hazırlanan bilgisayar programının kısıtlamaları ve sayısal neticelerin değerlendirilmesi sunulmaktadır.

Geliştirilen ısı iletimi modelinde, ısı iletiminin tek yönde olduğu kabul edilmiştir. Bu kabul, hesap edilen azami sıcaklık değerini hakikatte olduğundan daha yüksek yapacak bir kabuldür; benzer diğer bilgisayar programlarında da tek boyutlu ısı iletimi kabulü kullanılmıştır. Bu kabulün getireceği hata miktarı için, kaba bir yaklaşımla, Tablo 4-8 den faydalanarak yakıt orta yüksekliğinde ısı iletimi istikametinde zarf sıcaklık gradyanının $0.5^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ olmasına karşın eksenel istikamette sıcaklık gradyanının 0.005°C olduğunu hesap edebiliriz. Dolayısıyla hesaplama yapılan sistem ve benzerleri için hata miktarı ihmal edilebilir olmaktadır.

Bir yakıt plakası içinde güç üretiminin sadece soğutucu akış eksenine istikametinde değiştiği, diğer iki istikamette ise ortalama değer taşıdığı kabul edilmiştir. Bu, gerek genel akı dağılımının gerekse yakıt elemanı içinde olan akı düşümünün dikkate alınmaması demektir. Bu kabul, hesaplanan

yakıt sıcaklık değerlerinin hakiki değerlerden daha küçük olmasına yol açar; ancak yakıtın ince olması hatanın ihmal edilebilir mertebede kalmasına imkân verir. Yine Tablo 4-8 den görüleceği üzere orta yükseklikte, azami ve asgari yakıt özü sıcaklık farkı 0.1°C kadardır, kabulünmeydana getirdiği hata ise bundan daha düşük mertebede olacaktır.

Isı iletimi için kullanılan toplu parametre tekniği gerek yakıt özü ve gerekse zarf için belirli bir eksen noktasında sadece ortalama sıcaklık hesap edilmesine imkân vermektedir. Eğer zarf ve yakıt özü azami ve asgari sıcaklık değerleri birbirlerinden fazla farklı değil iseler, ortalama sıcaklık değeri bir anlam taşımaktadır. Yine Tablo 4-8 den sıcaklık farklarının ufak ($\leq 1^{\circ}\text{C}$) olduğu görülmektedir.

Model ve hesaplama, ısı akısının bir yakıt elemanından belirli bir soğutucu kanalına olduğu kabulü kullanılmaktadır. Halbuki hakiki durumda bir yakıt plakasından her iki tarafındaki soğutucu kanalına ısı transferi vardır ve aynı şekilde bir soğutucu kanalına da her iki yanındaki plakalardan ısı transferi vardır. Ancak plakalı yakıt elemanları kullanan reaktörlerde plaka sayısı genellikle rastlanıldığı gibi çok olduğu takdirde bir plaka ile yanındaki plakalar arasında güç üretimi fazla bir farklılaşma göstermeyecek (Tablo 4-2, 4-4) dolayısıyla sıcaklık hesaplamalarındaki hata büyük olmayacaktır.

Sıcaklık dağılımları hesabında önemli bir parametre konveksiyon ısı transferi katsayısıdır, zira en büyük sıcaklık farkı zarf yüzeyi ile soğutucu arasında olmaktadır. Konveksiyon katsayısını hesap etmek maksadıyla kullanılabilecek çeşitli özilişkiler vardır; bunlar aynı şartlar için dahi % 10 kadar farklı neticeler verebilmektedir. Bilgisayar programında konveksiyon katsayısı hesabı için iki özilişki verilmiştir, diğerleri de programa ufak ilâvelerle dahil edilebi-

lır. Program kullanıcı kendi sistemi için hangi özilişkinin daha uygun olduğunu araştırmalıdır; bu özellikle geçici rejim hesaplamalarında kullanılacak konveksiyon katsayısı ilişkisi seçimi için önemlidir.

Modellemede ve bilgisayar programında kullanılan yakıt özü-zarf ve zarf-soğutucu eşdeğer ısı transferi katsayıları için bulunan ifadeler sürekli rejim hesaplamalarında tam olarak geçerlidir ve geçici rejim hesaplamalarında yaklaşık bir ifadedir. Program kullanıcı bu hususu da dikkate almalı, konveksiyon katsayısında olduğu gibi, bu ifadelerin yapılan hesaplamada geçerliliğini incelemeli veya daha uygun bulacağı ifadeleri kullanmalıdır. Yine Bölüm 4'te yapılan sayısal uygulamaya dönersek, bu hesaplamalarda eşdeğer konveksiyon katsayısı h_2 yerine konveksiyon katsayısı h kullanılması zarf-soğutucu sıcaklık farkında % 0.5 den az bir hata getirmektedir. Bu takdirde zamana bağlı hesaplamalarda eşdeğer konveksiyon katsayısı için geçici rejim konveksiyon katsayısı özilişkisi kullanılması kabul edilebilir bir çözüm olmaktadır. Zarf-yakıt özü sıcaklık farkı ise küçük olduğundan ($\approx 0.2^{\circ}\text{C}$), eşdeğer ısı transferi katsayısı h_1 için geçici rejim ifadesi yerine sürekli rejim ifadesi kullanılması mühim olmamaktadır.

Hesaplamalarda, soğutucu kalbe giriş miktarı bütün kanallar için aynı olarak alınmaktadır. Ancak, bir sistemde soğutucu giriş miktarı kanaldan kanala farklılaşma gösterebilir. Bu takdirde her kanalı ayrı bir hesaplama problemi kabul edip tek tek hesaplamayapmak icap eder.

Basınç farkı, yakıt levhası boyunca hesap edilmektedir. Kalbe giriş ve çıkışta olan basınç düşümleri hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Fiziki özellikler sıcaklığa bağlı fonksiyonlarla hesaplanmaktadır. Ancak belirli bir düğüm noktasında sıcaklık hesabı yapabilmek için lüzumlu olan parametreler, bir evvelki düğüm noktasındaki sıcaklık değerleri ile hesaplanabilmektedir. Fiziki özelliklerin sıcaklığa kuvvetle bağlı olmaları, akış eksenı boyunca güç üretiminde büyük değişimler olması ve eksenel aralıkların büyük olması hallerinde, bu yaklaşımın getireceği hatalar dikkate alınmalıdır.

Hesaplamalarda kullanılan metod ve özilişkiler tek fazlı akış içindir; eğer bir plakada güç üretimi belirli bir değeri geçerse su sıcaklığı kaynama sıcaklığının altında kalmasına rağmen aşırı soğutulmuş kaynama hali meydana gelebilir. Aşırı soğutulmuş kaynamanın başlamasından itibaren TERHİD programı ile hesap edilen değerler geçerli değildir.

Programda akış kanalı alanının bütün kanallar için aynı ve akış eksenı boyunca sabit olduğu kabulü yapılmaktadır. Akış kanalları alanlarının farklı olması halinde farklı alanlar ayrı problemler kabul edilerek hesaplama yapılabilir.

Geliştirilen model ve programın kısıtlamaları ve bu kısıtlamaların ne derece önemli veya önemsiz olduğu hesaplama yapılan bir sistem ile ilgili olarak tartışılmıştır. Program kullanıcıların, hesaplama yaptıkları sistemler için, bu hususları ayrıca araştırmaları gereklidir.

Geliştirilen modellerin ve hazırlanan bilgisayar programının sayısal uygulaması belirli bir sistem ve çeşitli reaktör çalışma şartları için yapılmıştır (Bölüm 4). Sürekli rejim için bulunan termohidrolik neticelerin analitik çözümlere dayalı sonuçlara uygun olduğu gösterilmiştir. Geçici rejim hesaplamalarında ise başlangıçtaki sürekli rejim termo-

hidrolik şartları ve asimptotik olarak erişilen çözümlerin geçerliliği de aynı şekilde gösterilmiş olmaktadır. Geçici rejim ara çözümlerinin ise benzer bir mukayesesi yapılamamıştır. Bu mukayesenin yapılması için kullanılması öngörülen ve Boğaziçi Üniversitesi'nde mevcut COBRA III-C(22,23) programı zamana bağlı hesaplamalarda Δt zaman aralığı için hesaplama yaparken güç üretimi yerine ısı akısı girdi bilgisini bağımsız değişken olarak neticeleri vermektedir, bu ise geçici rejim ara çözümlerinin tam olarak elde edilememesi manasına gelmektedir. TERHID programı ile elde edilecek neticelerin deneysel verilerle, özellikle A.E.K.-Ç.N.A.E.M. reaktörü çalışmaya başladıktan sonra, bu reaktörden elde edilecek verilerle mukayesesi arzu edilen bir husustur.

BÖLÜM 6

S O N U Ç

Bu çalışmada, plaka yakıt elemanlı ve su soğutmalı bir nükleer reaktör kalbinde geçici ve sürekli rejim termohidrolik şartların hesaplanması amacı ile geliştirilen matematiksel modeller ve bu modellerden yararlanılarak hazırlanan bilgisayar programı TERHID sunulmuştur.

Sunulan matematiksel modellerden birincisi, termohidrolik hesaplamalarda gerekli bir veri olan plaka güç üretimini hesaplamak için geliştirilmiştir. Bu modelde ana kabul, dikdörtgenler prizması şeklinde kabul edilen reaktör kalbinde güç üretimi dağılımının her üç yönde yanlarından kesilmiş kosinus şeklinde olduğudur. Bu kabul ile her yakıt plakası payına düşen güç üretimi hesap edilmektedir. Ayrıca aynı modelin kullanımı ile termohidrolik hesaplamalar için, soğutucu akış ekseninde değişen, ancak diğer iki yönde yakıt özü üzerinden ortalananmış yakıt özü hacimsel güç üretimi de hesaplanmaktadır.

Yakıt ısı iletimi modelinde toplu parametre tekniği kullanılmış ve soğutucu akış ekseninin istenilen noktalarında geçici ve sürekli rejim yakıt özü ve zarf sıcaklıklarını hesap etmek üzere kullanılabilecek ifadeler elde edilmiştir.

Soğutucu ısı taşınımı modeli için, bir kontrol hacmine kütle süreklilik, enerji ve hareket miktarı korunumu denklemleri uygulanmış ve sonlu farklar metodu ile basınç değişimini ve su sıcaklığını hesaplamak üzere kullanılacak ifadeler elde edilmiştir.

Gerek yakıt özünden zarfa, gerekse zarf yüzeyinden soğutucuya geçen güç miktarını hesaplamak için eşdeğer ısı transferi katsayıları tarif edilmiş ve bu katsayılar için bulunan ifadeler hesaplamalarda kullanılmıştır.

Hesaplamalarda kullanılmasına gerek duyulan su fiziki özellikleri için regresyon analizi uygulanarak bu özellikleri istenilen hassasiyetle veren polinomlar bulunmuştur.

Geliştirilen modellerden yararlanılarak hazırlanan bilgisayar programı TERHID, bir ana program ile 14 SUBROUTINE ve 6 FUNCTION altprogramlarından meydana gelmektedir. Alt programlarla yapılan hesaplamalar, çalışmada ayrı ayrı açıklanmış olup, programın kullanılışı ile ilgili bilgi programın baş kısmında verilmektedir.

TERHID bilgisayar programını kullanarak plaka güç üretimi, geçici ve sürekli rejim termohidrolik hesaplama sayısal uygulama örnekleri çalışmada verilmektedir:

a) Plaka güç üretimi hesaplama örnekleri, yapılan model çerçevesinde geçerlidir; güç üretimi dağılımı kabul edilenden farklı olduğu takdirde, plaka güç üretimi neticeleri geçerli olmamaktadır. Ancak, gerek hesaplanan plaka güç üretimleri, gerekse başka yöntemlerle bulunmuş plaka güç üretimi dağılımları kullanılarak, termohidrolik hesaplamaları TERHID programı ile yapmak mümkündür.

b) Termohidrolik hesaplama sayısal uygulama örnekleri geçici ve sürekli rejim olmak üzere iki kısımda incelenmiştir:

Sürekli rejim sayısal uygulama örnekleri analitik ifadelere dayanan çözümlerle mukayese edilmiş ve benzer sayısal neticeler elde edildiği görülmüştür.

Geçici rejim örneklerinde, soğutucu giriş sıcaklığının, miktarının ve güç üretiminin zamanla değişiminin termohidrolik şartlara tesiri incelenmiş ve geçici rejim sayısal sonuçları elde edildiği gibi, asimptotik olarak sürekli zaman neticelerine yaklaşıldığı görülmüştür.

TERHID bilgisayar programının, nötronik hesaplamalar yapan diğer bir bilgisayar programı ile birlikte çalıştırılması, reaktör kalbinin çeşitli özelliklerinin (sıcaklık reaktivite zaman sabitleri, vb.) hesap edilmesine ve sonuçların deneysel verilerle mukayesesine imkân verecektir.

Yapılan çalışmada, nihayet, geliştirilen modellerin ve bilgisayar programının kısıtlamalarının tartışılması yapılmış ve bilgisayar programı uygulamaları ile ilgili öneriler sunulmuştur.

REFERANSLAR

- (1) Nuclear News, 22, Feb. 1979.
- (2) Türkiye 3. Genel Enerji Kongresi, Raportör Raporu, Toplantı Tutanağı, s.28, Ankara, 1978.
- (3) El-Wakil, M.M., Nuclear Power Engineering, McGraw-Hill, New York, 1962.
- (4) El-Wakil, M.M., Nuclear Heat Transport, International, Scranton, Pa., 1971.
- (5) Kakaç, S., Nükleer Reaktör Isı Transferi, ODTÜ Müh.Fak. Yayın No.58, Ankara, 1978.
- (6) Sesonske, A., Nuclear Power Plant Analysis, U.S.A. E.C. Report, TID-26241, 1973.
- (7) Glasstone, S. and Sesonske, A., Nuclear Reactor Engineering, Van Nostrand, New York, 1967.
- (8) Lamarsh, J.R., Introduction to Nuclear Engineering, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1975.

- (9) El-Wakil, M.M., Nuclear Energy Conversion, International, Scranton, P.A., 1971.
- (10) Arpacı, V.S., Conduction Heat Transfer, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1966.
- (11) Carslaw, H.S. and Jaeger, J.C., (Conduction of Heat in Solids, Oxford, London, 1959.
- (12) Kakaç, S., Isı Transferine Giriş: Isı İletimi, ODTÜ Müh. Fak. Yayın No.52, 1976.
- (13) Kreith, F., Principles of Heat Transfer, 3rd ed., International, Scranton, Pa., 1967.
- (14) Jacob, M. and Hawkins, G.A., Elements of Heat Transfer, 3rd ed., Wiley, New York, 1959.
- (15) Kakaç, S., Örneklerle Isı Transferi, 3 ncü baskı, ODTÜ Müh. Fak. Yayın No.27, Ankara, 1974.
- (16) Butler, M.K. et al., Argon Code Center: Compilation of Program Abstracts, Vol. I, II, III and supplements, ANL-7411.
- (17) Nuclear Program Abstracts, Nuclear Energy Agency, Organisation for Economic Co-operation and Development, NEA 001-831.
- (18) Weisman, J. and Bowring, R.W., Methods for Detailed Thermal and Hydraulic Analysis of Water Cooled Reactors, Nuclear Science and Engineering, 57, 255-276, 1975.

- (19) Sha, W.T. et.al., Boundary Value Thermal-Hydraulic Analysis of a Reactor Fuel Rod Bundle, Nuclear Science and Engineering, 59, 140-160, 1976.
- (20) Borak, F., Coşkun, S.Z. ve Türker, T., Plakalı Yakıt Elemanı Kullanan Bir Reaktör Kalbinde Sıcaklık Dağılımları, ÇNAEM-NMB-32, İstanbul, Aug. 1973.
- (21) Hildebrand, F.B., Advanced Calculus for Applications, Prentice Hall, New Jersey, 1963.
- (22) Rowe, D.S., COBRA III-C: A Digital Computer Program for Steady State and Transient Thermal Hydraulic Analysis of Rod Bundle Fuel Elements, BNWL-1695, March 1973.
- (23) Enginol, T.B. et.al., Computer Code Complex for the Static Neutronic and Thermo-Hydraulic Computations for PWR type Nuclear Power Reactors, Final Report, Vol I, II, Prepared for Nuclear Energy Division of Turkish Electricity Authority, Boğaziçi University, July, 1977.

EK I BİLGİSAYAR PROGRAMI TERHİD

EK I-A BİLGİSAYAR PROGRAMINDA KULLANILAN SİMGELER

EK I-B BİLGİSAYAR PROGRAMI LİSTESİ

EK I-A BİLGİSAYAR PROGRAMINDA KULLANILAN SİMGELER

AA, AB, AC	Sürtünme katsayısı sabitleri $FF=AA+(RE)^{AB} + AC$
AL	Soğutucu kanalı kesit alanı
ACPY	Yakıt özgül ısı sabiti $c(yakıt)=ACPY+BCPY \times T(yakıt)$
ACPZ	Zarf özgül ısı sabiti $c(zarf)=ACPZ+BCPZ \times T(zarf)$
AROY	Yakıt yoğunluk sabiti $\rho(yakıt)=AROY+BROY \times T(yakıt)$
AROZ	Zarf yoğunluk sabiti $\rho(zarf)=AROZ+BROZ \times T(zarf)$
AYKT	Yakıt ısıl geçirgenlik sabiti $k(yakıt) = AYKT+BYKT \times T(yakıt)$
AZRF	Zarf ısıl geçirgenlik sabiti $k(zarf) = AZRF+BZRF \times T(zarf)$
AXIAL(30)	Göreceli yerel güç üretimi değişimi (Bak V(30))
BCPY	Yakıt özgül ısı sabiti $c = ACPY+BCPY \times T(yakıt)$
BCPZ	Zarf özgül ısı sabiti $c = ACPZ+BCPZ \times T(zarf)$
BROY	Yakıt yoğunluk sabiti $\rho(yakıt)=AROY+BROY \times T(yakıt)$
BROZ	Zarf yoğunluk sabiti $\rho(zarf) = AROZ+BROZ \times T(zarf)$
BYKT	Yakıt ısıl geçirgenlik sabiti $k(yakıt)=AYKT+BYKT \times T(yakıt)$
BZRF	Zarf ısıl geçirgenlik sabiti $k(zarf) = AZRF+BZRF \times T(Zarf)$
CIZIM	SUBROUTINE
CPY	Yakıt özgül ısısı
CPYKT	SUBROUTINE
CPZ	Zarf özgül ısısı
CPZRF	SUBROUTINE
DE	Eşdeğer kanal çapı
DEL	Ekstrapolasyon mesafesi
DELP	İki düğüm noktası arası basınç farkı
DELPR	Toplam basınç farkı
DELTE	Sıcaklık farkı
DELTF	SUBROUTINE
DKG	Kanal genişliği
DKK	Kanal kalınlığı
DT	Zaman aralığı
DZ	İki düğüm noktası arasındaki mesafe
DT	Zaman adımı aralığı

ENT(61)	Soğutucu entalpisi
ENTOLD(61)	Bir zaman adımı önceki entalpi
ENTSU	FUNCTION
FF	Sürtünme katsayısı
FG(25)	Göreceli soğutucu akış miktarı değişimi (Bak YG)
FLOLD(61)	Bir zaman adımı önceki soğutucu akış miktarı
FLOW(61)	Soğutucu akış miktarı
FP(25)	Göreceli güç değişimi (Bak YP)
FR	Bir uzunluk boyunca sürtünme kaybı
FS	Birim alan soğutucu giriş miktarı
FSS	t anında FS değeri
FT(25)	Göreceli soğutucu giriş sıcaklığı değişimi (Bak YT)
GUC	Hacimsel güç üretimi
GX	z noktasında göreceli güç üretimi
HACGUC	SUBROUTINE
HX	Konveksiyon ısı transferi katsayısı
HHSP	SUBROUTINE
H1	Yakıt-zarf eşdeğer ısı transferi katsayısı
H1HSP	SUBROUTINE
H2	Zarf-soğutucu eşdeğer ısı transferi katsayısı
H2HSP	SUBROUTINE
ID	Problem tanıma sayısı
ISIAKI	SUBROUTINE
JELM	x-istikametinde yakıt elemanı sayısı
JELMPL	x-istikametinde yakıt plakası sayısı (JELMxNPL)
KELM	y-istikametinde yakıt elemanı sayısı
NAX	Boylamasına ısı üretimi tablosu nokta sayısı
N(165,5)	Yakıt plakası indisleri
NGUC	=0 Reaktör Gücü programa verilir =I I adet plaka gücü programa verilir
NGZAM	=0 soğutucu giriş miktarı sabittir =I göreceli soğutucu giriş miktarı tablosu nokta sayısı
NK(165,5)	=1 Hesaplama yapılacak kanallar
NKON	Konveksiyon özilişkisi tercihi
NODE	Eksenel adım sayısı

NPL	Bir yakıt elemanında plaka sayısı
NPLK(165,5)	=1 Isı Üretimleri yazılacak plakalar
NPZAM	=0 Reaktör gücü sabittir =1 göreceli reaktör gücü tablosu nokta sayısı
NTZAM	=0 Soğutucu giriş sıcaklığı sabittir =1 Göreceli soğutucu giriş sıcaklığı tablosu nokta sayısı
NVIS	=1 Viskozite düzeltme faktörü konveksiyon kat-sayısında kullanılır =0 Viskozite düzeltme faktörü konveksiyon kat-sayısında kullanılmaz.
NZAD	Zaman adımı sayısı
NZAM	=0 Statik hesaplama yapılır =1 Zamana bağlı hesaplama yapılır
N2PL	=-1 Plaka güç üretimleri yazılmaz = 0 Bütün plakaların güç üretimleri yazılır = I I adet plaka güç üretimi yazılır.
N3GT	= -1 Soğutucu termohidrolik şartları yazılmaz = 0 Bütün kanalların termohidrolik şartları yazılır = I I adet kanalın termohidrolik şartları yazılır.
OZISI	FUNCTION
P	Reaktör gücü
PLAK	SUBROUTINE
POW	Reaktör gücünün zamanla göreceli değeri
PR	Prandtl Sayısı
QPLAK(165,5)	(j,k) plakası güç üretimi
QZ	Birim uzunlukta yakıttan soğutucuya geçen ısı
RE	Reynolds sayısı
RHOSU	FUNCTION
ROS(61)	Soğutucu yoğunluğu
ROY	Yakıt yoğunluğu
ROYKT	SUBROUTINE
ROZ	Zarf yoğunluğu
ROZRF	SUBROUTINE
RSOLD(61)	Bir zaman adımı önceki soğutucu yoğunluğu
SLESTU	FUNCTION

SURTNM	SUBROUTINE
TEMP	SUBROUTINE
TEMPF(61)	Soğutucu sıcaklığı
TEXT	Problem başlığı
TFF	Soğutucu giriş sıcaklığı ($t = 0$)
TFX	Bir düğüm noktasındaki soğutucu sıcaklığı
TFXX	Bir düğüm noktası önceki soğutucu sıcaklığı
TFW	Bir düğüm noktası önceki zarf sıcaklığı
TSU	FUNCTION
T1(61)	Yakıt sıcaklığı
T1OLD(61)	Bir zaman adımı önceki yakıt sıcaklığı
T2(61)	Zarf sıcaklığı
T2OLD(61)	Bir zaman adımı önceki zarf sıcaklığı
U(61)	Soğutucu akış hızı
ULY	y-istikametinde iki plaka merkezi arasındaki mesafe
UPL	Yakıt plakası kalınlığı
UX	Yakıt özü kalınlığı (x-istikametinde)
UY	Yakıt özü genişliği (y-istikametinde)
UZ	Yakıt özü uzunluğu (z-istikametinde)
VISKSU	FUNCTION
Y(30)	Güç üretimi yerel değişimi tablosunda göreceli yerel nokta (Bak AXIAL)
YG(25)	Zaman, soğutucu akış miktarı değişimi (Bak FG)
YP(25)	Zaman, güç değişimi (Bak FP)
YT(25)	Zaman, soğutucu giriş sıcaklığı değişimi (Bak. FT)
ZL	Zarf Kalınlığı

EK I-B BİLGİSAYAR PROGRAMI LİSTESİ

TN,CS

N 7R1-1 09/22/79 17:49

* * * T E R H I D * * *

BU PROGRAM PLAKALI YAKIT ELEMANI KULLANAN REAKTORLERDE TOPLU
PARAMETRE TEKNIGI ILE GECICI VE SUREKLI DURUMLAR ICIN YAKIT,ZARF
VE SOGUTUCU SICAKLIK DAGILIMLARINI HESAPLAR

PROGRAM GIRIS BILGILERI

HERBIR PROBLEMDEN ONCE O HESAPLAMAYI TANITMA KARTI OKUNUR-ID,TEXT-
ID=HESAPLAMA NUMARASI OLUP BIR YA DA BIRDEN BUYUKTUR,TEXT=BASLIK
KULLANILAN FORMAT (I3,2X,17A4) DIR

GIRIS BILGILERI ALTI GRUP OLARAK OKUNUR.HER GRUBUN BASINDA GRUP
KONTROL KARTI BULUNUR (N1,N2,...,N6).N1=GRUP NUMARASI,N1=0 ISE
HESAPLAMA BASLAR.N2...N6 GRUPTAKI CESITLI SECIMLER ICINDIR;
GRUPTA DAHA AZ SECIM VARSA GERI KALANLAR BOS BIRAKILIR.EGER
BIR ONCEKI PROBLEMD E O GRUP ICIN VERILEN BILGI DEGISTIRILMEYECEKSE
O GRUP VE KONTROL KARTI ATLANABILIR.KULLANILAN FORMAT FORMAT(6I5), . DIR

KART GRUBU 1, FIZIKSEL OZELLIKLER
SOGUTUCU OLARAK SU KULLANILDIGI VARSAYILMIS,OZELLIKLERI ISE ALT-
PROGRAMLARLA HESAPLANMISTIR.
ILK KARTA YAKIT ISIL GECIRGENLIGI ICIN A VE B DEGERLERI YAZILIR VE
FORMAT(2F10.3) ILE OKUNUR.K(YAKIT)=A+B*T OLUP A=(W/M*C) B=(W/M*C** . 2)
BIRIMLERINDEDIR.(T=YAKIT SICAKLIGI)

IKINCI KARTA ZARF ISIL GECIRGENLIGI ICIN A VE B DEGERLERI FORMAT
(2F10.3) ILE YAZILIR.K(ZARF)=A+B*T OLUP A=(W/M*C) B=(W/M*C**2)
BIRIMLERINDEDIR.(T=ZARF SICAKLIGI)

UCUNCU KARTA YAKIT YOGUNLUGU ICIN A VE B DEGERLERI FORMAT(2F10.3)
ILE YAZILIR.R(YAKIT)=A+B*T OLUP A=(KG/MT**3) B=(KG/MT**3*C),DIR.
(T=YAKIT SICAKLIGI)

DORDUNCU KARTA ZARF YOGUNLUGU ICIN A VE B DEGERLERI FORMAT(2F10.3)
ILE YAZILIR.R(ZARF)=A+B*T OLUP A=(KG/MT**3) B=(KG/MT**3*C),DIR.
(T=ZARF SICAKLIGI)

BESINCI KARTA YAKIT OZGUL ISISI ICIN A VE B DEGERLERI FORMAT(2F10. . 3)
ILE YAZILIR.CP(YAKIT)=A+B*T OLUP A=(J/KG*C) B=(J/KG*C**2),DIR.
(T=YAKIT SICAKLIGI)

ALTINCI KARTA ZARF OZGUL ISISI ICIN A VE B DEGERLERI FORMAT(2F10.3 .)
ILE YAZILIR.CP(ZARF)=A+B*T OLUP A=(J/KG*C) B=(J/KG*C**2),DIR.
(T=ZARF SICAKLIGI)

KART GRUBU 2,GEOMETRIK BILGILER ILE BOYUTLAR

KART 1,DE YAKIT OZU GENISLIGI,KALINLIGI,YUKSEKLIGI (MM),YKI PLAKA
MERKEZI ARASINDAKI ENLEMESINE UZAKLIK,REAKTOR UZATMA (EXTRAPOLATIO . N)
MESAFESI (MM) FORMAT(5F10.3) ILE OKUNUR.

54. C
 55. C
 56. C KART 2'DE X-YONUNDE,Y-YONUNDE YAKIT ELEMANI SAYISI,BIR YAKIT
 57. C ELEMANINDA X-YONUNDE PLAKA SAYISI FORMAT(3I3) ILE OKUNUR.
 58. C (PROGRAMDA KULLANILAN BOYUTLAR Y-YONUNDE ENCOK 5 ELEMAN (K),
 59. C X-YONUNDE ENCOK 165 PLAKA ICINDIR (J).)
 60. C
 61. C KART 3'DE ZARF KALINLIGI (MM) FÖRMAT(F10.3) ILE OKUNUR.
 62. C
 63. C KART 4'DE KANAL GENISLIGI,KALINLIGI (MM) FORMAT(2F10.3) ILE OKUNUR . .
 64. C
 65. C KART GRUBU 3,REAKTOR CALISMA KOSULLARI
 66. C
 67. C N2=0 ISE ILK KARTA REAKTOR GUCU (W) FORMAT(F10.3) ILE YAZILIR.
 68. C N2=I ISE I TANE PLAKA ICIN HER KARTA J,K,WATT DEGERLERI FORMAT
 69. C (2I3,F10.3) ILE YAZILIR.
 70. C
 71. C N3=0,N2=0 ICIN KULLANILIR,N2=I ISE N3 BOYLAMASINA GUC URETIMININ
 72. C GORECELI DAGILIMINDA VERILECEK NOKTA SAYISINI GOSTERIR,BU SAYI
 73. C OTUZ YA DA DAHA KUCUK OLMALIDIR.
 74. C N3 TANE KARTA GORECELI NOKTA (Z/L) ILE GORECELI ISI URETIMI
 75. C (NOKTASAL ISI URETIMI/ORTALAMA ISI URETIMI) FORMAT(2F10.3) ILE YAZ . ILI
 76. C
 77. C SONRAKI KARTA SOGUTUCU GIRIS MIKTARI (KG/SN*M**2) VE GIRIS
 78. C SICAKLIGI (C) FORMAT(2F10.3) ILE YAZILIR.
 79. C
 80. C
 81. C KART GRUBU 4,AKIS OZILISKILERI
 82. C
 83. C N2=KONVEKSİYON KATSAYISI SECIMI
 84. C N2=1 DİTUS-BOELTER
 85. C N2=2 COLBURN
 86. C
 87. C N3=DUVAR VİSKOSİTE DÜZELTİMESİNİN KONVEKSİYON HESABINDA KULLANILMAS . I
 88. C N3=0 KULLANILMAZ
 89. C N3=1 KULLANILIR
 90. C
 91. C MUTEAKİP KARTA SURTUNME KATSAYISI ICIN AA,AB VE AC DEGERLERI FORMA . T
 92. C (3F10.3) ILE YAZILIR.FF=AA*(RE)**AB+AC.(RE=REYNOLDS SAYISI)
 93. C
 94. C KART GRUBU 5, ZAMANA BAGLI DEGİSİMLER
 95. C
 96. C N2 GUC URETİMİNİN ZAMANA GÖRE DEĞİSİMİ
 97. C N2=0 GUC DEĞİSMEZ
 98. C N2=I I TANE ZAMAN (SN)-GORECELI GUC DEGERI FORMAT (2F6.2) ILE
 99. C OKUNUR. I BİR İLE YİRMİBES ARASINDA OLMALIDIR
 100. C
 101. C N3 SOGUTUCU GIRIS MIKTARININ ZAMANA GORE DEĞİSİMİ
 102. C N3=0 SOGUTUCU GIRIS MIKTARI DEĞİSMEZ
 103. C N3=I I TANE ZAMAN (SN)-GORECELI AKIS MIKTARI DEGERI FORMAT (2F6.2)
 104. C İLE OKUNUR. I BİR İLE YİRMİBES ARASINDA OLMALIDIR
 105. C
 106. C N4 SOGUTUCU GIRIS SICAKLIĞININ ZAMANA GORE DEĞİSİMİ
 107. C N4=0 GIRIS SICAKLIGI DEĞİSMEZ
 108. C N4=I I TANE ZAMAN (SN)-GORECELI SICAKLIK DEGERI FORMAT (2F6.2) İLE

109. C OKUNUR.I BİR İLE YIRMİBES ARASINDA OLMALIDIR.
 110. C
 111. C KART GRUBU 6, HESAPLAMA İLE YAZMA SECİMLERİ
 112. C
 113. C N2=-1 PLAKALARIN GÜC ÜRETİMLERİ YAZILMAZ
 114. C N2= 0 BUTUN PLAKALARIN GÜC ÜRETİMLERİ YAZILIR
 115. C N2= I I TANE PLAKANIN İSİ ÜRETİMİ YAZILIR.İSTENİLEN PLAKALAR İCİN
 116. C I TANE J VE K İNDİSLERİ FORMAT(2I3) İLE YAZILIR.
 117. C
 118. C N3=-1 SOĞUTUCU TERMOHİDROLİK HESAPLARI YAPILMAZ
 119. C N3= 0 BUTUN KANALLARIN TERMOHİDROLİK HESAPLARI YAPILIR
 120. C N3= I I TANE KANALIN TERMOHİDROLİK HESAPLARI YAPILIR,BU KANALLAR
 121. C İCİN I TANE J VE K İNDİSLERİ FORMAT(2I3) İLE YAZILIR.
 122. C
 123. C N4= 0 YALNIZ ZAMANDAN BAĞIMSIZ HESAPLAMA YAPILIR.
 124. C N4= 1 ZAMANA BAĞLI HESAPLAMALAR YAPILIR.
 125. C
 126. C N5 YEREL DÜĞÜM NOKTASI SAYISI,ALTMIS YA DA DAHA AZ OLMALIDIR.
 127. C
 128. C N6 ZAMAN ADIMI SAYISI (BESYUZ YA DA DAHA AZ OLMALI)
 129. C
 130. C ZAMANA BAĞLI HESAPLAMALARDA KAC ZAMAN ADIMINDA BİR NETİCELERİN
 131. C YAZILACAKI SON KARTA YAZILIR FORMAT(I3)
 132. C
 133. C HESAPLAMAYA BAŞLAMAK İCİN SONA BİR BOS KART KONUR
 134. C
 135. C SON PROBLEMĐEN SONRA BİR BOS KART DAHA KONMALIDIR.
 136. C
 137. C GİRİS BİLGİLERİNİN SONU
 138. C
 139. C DIMENSION NYY(500)
 140. C INTEGER TEXT(17)
 141. C COMMON /BIR/ AYKT,BYKT,AZRF,BZRF,AROY,BROY,AR0Z,BROZ,ACP,Y,BCPY,
 142. C 1 ACPZ,BCPZ
 143. C COMMON /IKI/ UY,UX,UZ,ULY,DEL,KELM,JELM,NPL,ZL,DKG,DKK
 144. C COMMON /UC/ NGUC,NAX,FS,YFF,QPLAK(165,5),N(165,5),P,POW,Y(30),
 145. C 1 AXIAL(30)
 146. C COMMON /DORT/NKON,NVIS,NSUB,AA,AB,AC
 147. C COMMON /BES/ NPZAM,NGZAM,NTZAM,YP(25),FP(25),YG(25),FG(25),YT(25),
 148. C 1 FT(25)
 149. C COMMON /ALTI/N2PL,N3GT,NZAM,NODE,NZAD,NK(165,5),NPLK(165,5)
 150. C COMMON /YEDI/FLOW(61),TEMPF(61),ENT(61),T1(61),T1OLD(61),T2(61),
 151. C 1 T2OLD(61),ROS(61),U(61),FL0LD(61),RSOLD(61),ENTOLD(61),DZ,DT,ROY
 152. C 2 ,ROZ,CPY,CPZ,H1,H2,HX,AL,DELPR,FR,RE,DE,QZ,FF,PR
 153. C
 154. C
 155. C AYKT=0.0
 156. C BYKT=0.0
 157. C AZRF=0.0
 158. C BZRF=0.0
 159. C UY=0.0
 160. C UX=0.0
 161. C UZ=0.0
 162. C ZL=0.0
 163. C DKG=0.0

```

164.      DKK=0.0
165.      P=0.0
166.      POW=0.0
167.      FS=0.0
168.      TFF=0.0
169.      AA=0.0
170.      AB=0.0
171.      AC=0.0
172.      AROY=0.0
173.      BROY=0.0
174.      AROZ=0.0
175.      BROZ=0.0
176.      ACPY=0.0
177.      BCPY=0.0
178.      ACPZ=0.0
179.      BCPZ=0.0
180.      DEL=0.0
181.      NGUC=0
182.      NAX=0
183.      NKON=0
184.      NVIS=0
185.      NSUB=0
186.      NPZAM=0
187.      NGZAM=0
188.      NTZAM=0
189.      N2PL=0
190.      N3GT=0
191.      NZAM=0
192.      NODE=0
193.      NZAD=0
194.      C
195.      DO 4 J=1,61
196.      ENT(J)=0.0
197.      ENTOLD(J)=0.0
198.      TEMPF(J)=0.0
199.      T1(J)=0.0
200.      T1OLD(J)=0.0
201.      T2(J)=0.0
202.      T2OLD(J)=0.0
203.      F1OLD(J)=0.0
204.      RSOLD(J)=0.0
205.      ROS(J)=0.0
206.      U(J)=0.0
207.      FLOW(J)=0.0
208.      4 CONTINUE
209.      C
210.      C
211.      C      GIRIS BILGILERININ OKUNMASI
212.      C
213.      C
214.      C      PROBLEM TANITMA KARTINI OKU
215.      10 READ (5,20) ID,TEXT
216.      20 FORMAT (I3,2X,17A4)
217.      IF (ID.LT.1) STOP
218.      WRITE(6,30) ID,TEXT

```

```

219. 30 FORMAT (1H1,15H PROBLEM NO.: ,2X,I3,5X,17A4)
220. C      GRUP KONTROL KARTINI OKU
221. 40 READ (5,50) N1,N2,N3,N4,N5,N6
222. 50 FORMAT (6I5)
223. IF (N1.LT.1) GO TO 470
224. IF (N1.GT.6) GO TO 480
225. GO TO (510,520,530,540,550,560),N1
226. C
227. C      GRUP 1 BILGILERI, FIZIKSEL OZELLIKLER
228. 510 READ (5,60) AYKT,BYKT
229. READ (5,60) AZRF,BZRF
230. READ (5,60) AROY,BROY
231. READ (5,60) AROZ,BROZ
232. READ (5,60) ACPY,BCPY
233. READ (5,60) ACPZ,BCPZ
234. 60 FORMAT (2F10,3)
235. GO TO 40
236. C
237. C      GRUP 2 BILGILERI, GEOMETRIK BILGILER ILE BOYUTLAR
238. 520 READ (5,70) UY,UX,UZ,ULY,DEL
239. 70 FORMAT (5F10,3)
240. DEL=DEL*2.0
241. READ (5,71) JELM,KELM,NPL
242. 71 FORMAT (3I3)
243. JELMPL=JELM*NPL
244. READ (5,80) ZL
245. 80 FORMAT (F10,3)
246. READ (5,90) DKG,DKK
247. 90 FORMAT (2F10,3)
248. GO TO 40
249. C
250. C      GRUP 3 BILGILERI, REAKTOR CALISMA KOSULLARI
251. 530 NGUC=N2
252. NAX=N3
253. DO 700 J=1,165
254. DO 700 K=1,5
255. N(J,K)=0
256. QPLAK(J,K)=0.0
257. 700 CONTINUE
258. DO 3 J=1,30
259. Y(J)=0.0
260. AXIAL(J)=0.0
261. 3 CONTINUE
262. IF (NGUC.LT.1) GO TO 531
263. DO 532 I=1,NGUC
264. READ (5,100) J,K,QPLAK(J,K)
265. 100 FORMAT (2I3,F10,3)
266. N(J,K)=1
267. 532 CONTINUE
268. READ (5,150) (Y(I),AXIAL(I),I=1,NAX)
269. 150 FORMAT (2F10,3)
270. GO TO 534
271. 531 READ (5,110) P
272. 110 FORMAT (F10,3)
273. 534 READ (5,120) FS,TFF

```

```

274.      120 FORMAT (2F10.3)
275.      GO TO 40
276.      C
277.      C      GRUP 4 BILGILERI, AKIS OZELLIKLERI
278.      540 NKON=N2
279.      NVIS=N3
280.      READ (5,160) AA,AB,AC
281.      160 FORMAT (3F10.3)
282.      GO TO 40
283.      C
284.      C      GRUP 5 BILGILERI, ZAMANA BAGLI DEGISIMLER
285.      550 NPZAM=N2
286.      NGZAM=N3
287.      NTZAM=N4
288.      DO 2 J=1,25
1 289.      YP(J)=0.0
1 290.      FP(J)=0.0
1 291.      YG(J)=0.0
1 292.      FG(J)=0.0
1 293.      YT(J)=0.0
1 294.      FT(J)=0.0
1 295.      2 CONTINUE
296.      IF (NPZAM.GT.0) READ (5,170) (YP(I),FP(I),I=1,NPZAM)
297.      IF (NGZAM.GT.0) READ (5,170) (YG(I),FG(I),I=1,NGZAM)
298.      IF (NTZAM.GT.0) READ (5,170) (YT(I),FT(I),I=1,NTZAM)
299.      170 FORMAT (2F6.2)
300.      GO TO 40
301.      C
302.      C      GRUP 6 BILGILERI, HESAPLAMA ILE YAZMA
303.      560 N2PL=N2
304.      N3GT=N3
305.      NZAM=N4
306.      NODE=N5
307.      NZAD=N6
308.      DO 701 J=1,165
1 309.      DO 701 K=1,5
2 310.      NPLK(J,K)=0
2 311.      701 CONTINUE
312.      IF (N2PL.LT.0) GO TO 174
313.      IF (N2PL.GT.0) GO TO 181
314.      DO 177 J=1,JELMPL
315.      DO 178 K=1,KELM
2 316.      NPLK(J,K)=1
2 317.      178 CONTINUE
1 318.      177 CONTINUE
319.      GO TO 174
320.      181 CONTINUE
321.      DO 175 I=1,N2PL
1 322.      READ (5,176) J,K
1 323.      176 FORMAT (2I3)
1 324.      NPLK(J,K)=1
1 325.      175 CONTINUE
1 326.      C
327.      174 CONTINUE
328.      DO 702 J=1,165

```

```

1 329.      DO 702 K=1,5
2 330.      NK(J,K)=0
2 331.      702 CONTINUE
332.      IF (N3GT.LT.0) GO TO 173
333.      IF (N3GT.GT.0) GO TO 182
334.      DO 183 J=1,JELMPL
1 335.      DO 184 K=1,KELM
2 336.      NK(J,K)=1
2 337.      184 CONTINUE
1 338.      183 CONTINUE
339.      GO TO 173
340.      182 CONTINUE
341.      DO 172 I=1,N3GT
1 342.      READ (5,171) J,K
1 343.      171 FORMAT (2I3)
1 344.      NK(J,K)=1
1 345.      172 CONTINUE
346.      173 CONTINUE
347.      READ (5,653) NTYAZ
348.      653 FORMAT (I3)
349.      IF (NTYAZ.EQ.0) NTYAZ=1
350.      GO TO 40
351.      C
352.      C
353.      C      GIRIS BILGILERININ YAZILMASI
354.      C
355.      C
356.      470 CONTINUE
357.      WRITE (6,180) AYKT,BYKT
358.      WRITE (6,190) AZRF,BZRF
359.      WRITE (6,191) AROY,BROY
360.      WRITE (6,192) AROZ,BROZ
361.      WRITE (6,193) ACPY,BCPY
362.      WRITE (6,194) ACPZ,BCPZ
363.      180 FORMAT (///26H YAKIT ISIL GECIRGENLIGI =,F10.3,4H + ,F10.3,9H T(
364.      1YAKIT),4X,8H (W/M*C))
365.      190 FORMAT (//25H ZARF ISIL GECIRGENLIGI =,F10.3,4H + ,F10.3,8H T(ZAR
366.      1F),4X,8H (W/M*C))
367.      191 FORMAT (//18H YAKIT YOGUNLUGU =,F10.3,4H + ,F10.3,9H T(YAKIT),4X,
368.      19H (KG/MT3))
369.      192 FORMAT (//17H ZARF YOGUNLUGU =,F10.3,4H + ,F10.3,8H T(ZARF),4X,9H
370.      1 (KG/MT3))
371.      193 FORMAT (//20H YAKIT OZGUL ISISI =,F10.3,4H + ,F10.3,9H T(YAKIT),
372.      14X,9H (J/KG*C))
373.      194 FORMAT (//19H ZARF OZGUL ISISI =,F10.3,4H + ,F10.3,6H T(ZARF),4X,
374.      19H (J/KG*C))
375.      DED=DEL/2.
376.      WRITE (6,200) UY,UX,UZ,ZL,DKG,DKK,DED
377.      200 FORMAT (//23H YAKIT OZU GENISLIGI =,F10.3,5H (MM),//11X,12H KALINL
378.      1IGI =,F10.3,5H (MM),//10X,13H YUKSEKLIgi =,F10.3,5H (MM),//18H ZAR
379.      2F KALINLIGI =,F10.3,5H (MM),//19H KANAL GENISLIGI =,F10.3,5H (MM)
380.      3,//6X,13H KALINLIGI =,F10.3,5H (MM),//18H UZATMA MESAFESI =,F10.3,
381.      45H (MM))
382.      IF (NGUC.GT.0) GO TO 220
383.      WRITE (6,210) P

```

```

384. 210 FORMAT (///19H REAKTOR GUCU = ,F11.2,4H (W))
385. WRITE (6,211) JELM,NPL,KELM
386. 211 FORMAT (///16H KALP DUZENI (,I3,3H X ,I3,4H ) X,I3)
387. IF (N3GT.LT.0) GO TO 460
388. 220 WRITE (6,230) FS,TFF
389. 230 FORMAT (///27H SOGUTUCU AKIS MIKTARI =,F10.3,11H (KG/SN*M2),/9X
390. 1,18H GIRIS SICAKLIGI =,F10.3,4H (C))
391. IF (NGUC.EQ.0) GO TO 300
392. WRITE (6,240)
393. 240 FORMAT (///8X,28H PLAKALARDA ISI UREYIMI (P)/13X,4H (J),5X,4H (K)
394. 1,5X,4H (W)//)
395. DO 260 K=1,5
396. DO 250 J=1,165
397. IF (N(J,K).EQ.0) GO TO 250
398. WRITE (6,270) J,K,OPLAK(J,K)
399. 270 FORMAT (13X,I3,7X,I3,5X,F10.3)
400. 250 CONTINUE
401. 260 CONTINUE
402. WRITE (6,280)
403. 280 FORMAT (///27H BOYLAMASINA ISI DAGILIMI,/11H (Z/L),10X,14H
404. 1Q(NOK)/Q(ORT)//)
405. WRITE (6,290) (Y(I),AXIAL(Y),I=1,NAX)
406. 290 FORMAT (3X,F10.3,10X,F10.3)
407. 300 CONTINUE
408. IF (NKON.EQ.1) WRITE (6,310)
409. 310 FORMAT (///3X,,KONVEKSIYON KATSAYISI ICIN,/3X,,DITTUS-BOELTER OZIL
410. 1ISKISI KULLANILMISTIR,))
411. IF (NKON.EQ.2) WRITE (6,320)
412. 320 FORMAT (///2X,,KONVEKSIYON KATSAYISI ICIN,/3X,,COLBURN OZILISKISI
413. 1KULLANILMISTIR,))
414. IF (NVIS.EQ.0) WRITE (6,350)
415. 350 FORMAT (///3X,,DUVAR VISKOSITE DUZELYILMESI,/3X,,KONVEKSIYON KATSA
416. 1YISI HESABINDA KULLANILMAMISTIR,))
417. IF (NVIS.EQ.1) WRITE (6,360)
418. 360 FORMAT (///3X,,DUVAR VISKOSITE DUZELYILMESI,/3X,,KONVEKSIYON KATSA
419. 1YISI HESABINDA KULLANILMISTIR,))
420. WRITE (6,390) AA,AB,AC
421. 390 FORMAT (///2X,,SURTUNME KATSAYISI FF = ,F10.3,, * RE **,F10.3,,
422. 1 + ,F10.3)
423. IF (NZAM.EQ.0) GO TO 460
424. IF (NPZAM.EQ.0) WRITE (6,400)
425. 400 FORMAT (///4X,,GUC URETIMI ZAMANLA DEGISEMEKTEDIR,))
426. IF (NTZAM.EQ.0) WRITE (6,440)
427. 440 FORMAT (//4X,34H SOGUTUCU GIRIS SICAKLIGI SABITTIR )
428. IF (NGZAM.EQ.0) WRITE (6,410)
429. 410 FORMAT (///4X,,SOGUTUCU GIRIS MIKTARI SABITTIR,))
430. IF (NPZAM.GT.0) WRITE (6,420) (YP(I),FP(I),I=1,NPZAM)
431. 420 FORMAT (///4X,,GUC URETIMININ ZAMANLA DEGISIMI,/,10X,,ZAMAN(SN),,1
432. 10X,,GUC FAKTORU,/,/(10X,F8.3,10X,F8.3))
433. IF (NGZAM.GT.0) WRITE (6,430) (YG(I),FG(I),I=1,NGZAM)
434. 430 FORMAT (///4X,,SOGUTUCU GIRIS MIKTARININ ZAMANLA DEGISIMI,/,10X,,Z
435. 1AMAN (SN),,10X,,AKIS FAKTORU,/,/(10X,F8.3,12X,F8.3))
436. IF (NTZAM.GT.0) WRITE (6,450) (YT(I),FT(I),I=1,NTZAM)
437. 450 FORMAT (///4X,,SOGUTUCU GIRIS SICAKLIGININ ZAMANLA DEGISIMI,/,10X,
438. 1,ZAMAN (SN),,10X,,SICAKLIK FAKTORU,/,/(10X,F8.3,12X,F8.3))

```

```

439.      060 CONTINUE
440.      WRITE (6,461) NODE,NZAD
441.      461 FORMAT (//2X,23H DUGUM NOKTASI SAYISI =,I3,2X,21H ZAMAN ADIMI SAY
442.      2ISI =,I3)
443.      GO TO 333
444.      480 WRITE (6,490) N1
445.      490 FORMAT (//2X,GRUP SAYISINDA HATA VAR,,I3)
446.      GO TO 495
447.      C
448.      C
449.      C      HESAPLAMAYA BASLAMA
450.      C
451.      333 CONTINUE
452.      IERROR=0
453.      C      PLAKA ISI URETIMI HESABI
454.      IF (NGUC.EQ.0) CALL PLAK
455.      C      TERMOHIDROLIK HESAPLAMA
456.      IF (N3GT.LT.0) GO TO 494
457.      DZ=UZ/ FLOAT(NODE)*0.001
458.      DT=DZ/FS*RHOSU(TFF)
459.      XDT=DT
460.      C      KANAL TARAMASI
461.      DO 600 K=1,5
462.      DO 610 J=1,165
463.      IF (NK(J,K).EQ.0) GO TO 610
464.      NZADA1=NZAD+1
465.      DO 651 NTY=1,NZADA1
466.      NYY(NTY)=0
467.      651 CONTINUE
468.      DO 652 NTY=1,NZADA1,NYYAZ
469.      NYY(NTY)=1
470.      652 CONTINUE
471.      C      ZAMAN TARAMASI
472.      DO 620 NT=1,NZADA1
473.      IF (NT.EQ.1) DT=1.0E+10
474.      IF (NT.GT.1) DT=XDT
475.      ETIME=DT*FLOAT(NT-1)
476.      C
477.      C      ZAHANA BAGLI DEGISKENLER
478.      DUMYH=1.0
479.      IF (NTZAM.GT.0) CALL CIZIM (DUMYH,ETIME,FT,YT,NYZAM,IERROR)
480.      IF (IERROR.GT.1) GO TO 495
481.      DUMYF=1.0
482.      IF (NGZAM.GT.0) CALL CIZIM (DUMYF,ETIME,FG,YG,NGZAM,IERROR)
483.      IF (IERROR.GT.1) GO TO 495
484.      DUMYG=1.0
485.      IF (NPZAM.GT.0) CALL CIZIM (DUMYG,ETIME,FP,YP,NPZAM,IERROR)
486.      IF (IERROR.GT.1) GO TO 495
487.      C
488.      C      ILK ADIMA BASLANGIC
489.      C
490.      FLOW(1)=(FS*DUMYF*DKG*DKK*1.E-06)
491.      TEMPF(1)=TFF*DUMYH
492.      ENT(1)=ENTSU(TEMPF(1))
493.      POW=DUMYG

```

```

3      494.      NODEA1=NODE+1
3      495.      IF (NYY(NT).NE.1) GO TO 690
3      496.      WRITE (6,650) J,K,ETIME
3      497.      650 FORMAT (1H1,,YAKIT ELEMANI ,3H J=,I3,5X,3H K=,I3/2X,7H ZAMAN=,F8.
3      498.      13,2X,5H (SN))
3      499.      WRITE (6,660)
3      500.      660 FORMAT (/5X,,MESAFE,,4X,,YAKIT,,6X,,ZARF,,7X,,SOGUTUCU,,3X,,SOGUT
3      501.      1UCU,,3X,,BASINC,,/15X,,SICAKLIGI,,2X,,SICAKLIGI,,2X,,SICAKLIGI,,2X,
3      502.      2,YOGUNLUGU,,2X,,FARKI,,/6X,,(MM),,8X,,(C),,8X,,(C),,8X,,(C),,6X,,(K
3      503.      36/M3),,4X,,(N/M2),)
3      504.      690 CONTINUE
3      505.      DDZ=0.0
3      506.      DO 640 I=1,NODEA1
4      507.      CALL TEMP (I,J,K,NT,NODEA1,IERROR)
4      508.      IF (IERROR.GT.1) GO TO 495
4      509.      IF (NYY(NT).NE.1) GO TO 691
4      510.      WRITE (6,665) DDZ,T1(I),T2(I),TEMPF(I),ROS(I),DELPR
4      511.      665 FORMAT (6(3X,F8.1))
4      512.      691 CONTINUE
4      513.      DDZ=DDZ+DZ/0.001
4      514.      640 CONTINUE
3      515.      620 CONTINUE
2      516.      610 CONTINUE
1      517.      600 CONTINUE
1      518.      C      YENI PROBLEMI ARA
519.      494 GO TO 10
520.      495 STOP
521.      C
522.      SUBROUTINE CIZIM (FX,X,F,Y,N,IER)
523.      DIMENSION F(30),Y(30)
524.      C      FX= BULUNACAK DEGER
525.      C      X = BAGIMSIZ DEGISKEN
526.      C      F = ORDINAT DEGERLERI (MONOTONIK)
527.      C      Y = ABSISSA DEGERLERI
528.      C      N = F(I) VE Y(I) DEGERLERI SAYISI
529.      C      IER=HATA ISARETI = 10
530.      DO 30 M=1,N
531.      IF (X=Y(M)) 40,25,30
532.      25 IF (M.EQ.N) GO TO 50
533.      30 CONTINUE
534.      GO TO 70
535.      40 IF (M.EQ.1) GO TO 70
536.      50 B=(X-Y(M-1))/(Y(M)-Y(M-1))
537.      FX=F(M-1)+B*(F(M)-F(M-1))
538.      RETURN
539.      70 WRITE (6,11) FX,X
540.      11 FORMAT (28H CIZIMDE DEGER BULUNMADI,FX=,E12.6,3H X=,E12.6)
541.      IER=10
542.      RETURN
543.      C
544.      SUBROUTINE PLAK
545.      C
546.      C      ISTENILEN PLAKALARDAKI ISI URETIMININ HESABINI YAPAR
547.      C
548.      COMMON /IKI/ UY,LX,UR,UA,Y,DEL,KELM,JEI,M,NPL,ZL/DKG,DKK

```

```

549.      COMMON /UC/  NGUC,NAX,FS,TFF,QPLAK(165,5),N(165,5),P,POW,Y(30),
550.      1  AXIAL(30)
551.      COMMON /ALTI/N2PL,N3GY,NZAM,NODE,NZAD,NK(165,5),NPLK(165,5)
552.      C
553.      XM=FLOAT(JELM)
554.      XN=FLOAT(KELM)
555.      XPL=FLOAT(NPL)
556.      PI=3.1416
557.      UZZ=UZ+DEL
558.      BZ=PI/UZZ
559.      ULX=UX*(2.*ZL)+DKK
560.      XLX=XN*XPL*ULX
561.      XLXX=XLX+DEL
562.      BX=PI/XLXX
563.      XLY=XN*ULY
564.      XLYY=XLY+DEL
565.      BY=PI/XLYY
566.      JJ=JELM*NPL
567.      XJJ=FLOAT(JJ)
568.      IF (N2PL.LT.0) GO TO 13
569.      WRITE (6,11)
570.      11 FORMAT (///20X,9H PLAKA NO,10X,12H ISI URETIME/20X,2H X,5X,2H Y,10
571.      1X,5H WATT//)
572.      13 DO 222 K=1,KELM
573.      DO 333 J=1,JJ
574.      IF (NK(J,K).EQ.1) GO TO 20
575.      IF (NPLK(J,K).EQ.0) GO TO 333
576.      20 CONTINUE
577.      KK=FLOAT(K)
578.      XJ=FLOAT(J)
579.      A= SIN (BY*ULY*(KK-XN/2.))-SIN (BY*ULY*(KN-1.-XN/2.))
580.      B= SIN (BX*ULX*(XJ-XJJ/2.))-SIN (BX*ULX*(XJ-1.-XJJ/2.))
581.      XCO= SIN (BX*XLX/2.)*SIN (BY*XLY/2.)*SIN (BZ*UZ/2.)
582.      XC=1./XCO
583.      QPLAK(J,K)=P*A*B*XC*SIN (BZ*UZ/2.)/4.
584.      IF (N2PL.LT.0) GO TO 333
585.      IF (NPLK(J,K).EQ.2) WRITE (6,12) (J,K),QPLAK(J,K)
586.      12 FORMAT (20X,I3,5X,I3,10X,F10.3)
587.      333 CONTINUE
588.      222 CONTINUE
589.      RETURN
590.      C
591.      SUBROUTINE TEMP (I,J,K,NT,NODEA1,IERROR)
592.      C
593.      C  YAKIT ILE ZARF SICAKLIKLARINI HESAPLAR
594.      C
595.      COMMON /IKI/  UY,UX,UZ,ULY,DEL,KELM,JELM,NPL,ZL,DKK,DKK
596.      COMMON /UC/  NGUC,NAX,FS,TFF,QPLAK(165,5),N(165,5),P,POW,Y(30),
597.      1  AXIAL(30)
598.      COMMON /YEDI/ FLOW(61),TEMPF(61),ENT(61),Y1(61),T1OLD(61),Y2(61),
599.      1  T2OLD(61),ROS(61),U(61),FLOLD(61),RSOLD(61),ENTOLD(61),DZ,DT,ROY
600.      2  ,ROZ,CPY,CPZ,H1,H2,HX,AL,DELPR,FR,RE,DE,GZ,FF,PR
601.      C
602.      IF (NT.GT.1) GO TO 5
603.      IF (I.GT.1) GO TO 5

```

```

1 604.      DO 6 II=1,NODEA1
1 605.      T1OLD(II)=TEMPF(1)
1 606.      T2OLD(II)=TEMPF(1)
607.      6 CONTINUE
608.      5 CONTINUE
609.      AL=DKK*DKG*1.E-06
610.      NA=I
611.      AI=FLOAT(NA)
612.      Z=UZ-((AI-1.)*DZ/0.001)
613.      CALL H1HSP (I)
614.      CALL ROYKT (I)
615.      CALL CPYKT (I)
616.      CALL ROZRF (I)
617.      CALL CPZRF (I)
618.      CALL H2HSP (I)
619.      CALL HACGUC (GUC,Z,J,K,IERROR)
620.      CALL DELTF (I,Z,NT)
621.      ALFA1=H1/(ROY*CPY*UX/2.)*1.E+03
622.      ALFA2=H1/(ROZ*CPZ*ZL)*1.E+03
623.      ALFA3=(H1+H2)/(ROZ*CPZ*ZL)*1.E+03
624.      ALFA4=H2/(ROZ*CPZ*ZL)*1.E+03
625.      BETA=GUC/(ROY*CPY*ALFA1*ALFA4)
626.      R= ((ALFA1+ALFA3)**2-(4.*ALFA1*ALFA4))/0.5
627.      R1=(-(ALFA1+ALFA3)-R)/2.
628.      R2=(-(ALFA1+ALFA3)+R)/2.
629.      C1=(ALFA1*(T1OLD(I)-T2OLD(I))-(BETA*ALFA4))*R2/(T1OLD(I)-TEMPF(1))-(
630.      1BETA*ALFA3))/R
631.      C2=(ALFA1*(T2OLD(I)-T1OLD(I))+(BETA*ALFA4))*R1/(T1OLD(I)-TEMPF(1))-(
632.      1BETA*ALFA3))/R
633.      T1(I)=C1*EXP(R1*DT)+C2*EXP(R2*DT)+TEMPF(1)+ALFA3*BETA
634.      T2(I)=C1*((R1+ALFA1)/ALFA1)*EXP(R1*DT)+C2*((R2+ALFA1)/ALFA1)*EXP(R
635.      12*DT)+TEMPF(1)+ALFA2*BETA
636.      T2OLD(I)=T2(I)
637.      T1OLD(I)=T1(I)
638.      RETURN
639.      C
640.      SUBROUTINE HACGUC (GUC,Z,J,K,IERROR)
641.      C
642.      C      HACIMSAL GUC KAYNAGI HESABI YAPAR
643.      C
644.      COMMON /IKI/ UY,UX,UZ,ULY,DEL,KELM,JELM,NPL,ZL,DKG,DKK
645.      COMMON /UC/ _NGUC,NAX,FS,TFF,QPLAK(165,5),N(165,5),P,POW,Y(30),
646.      1 AXIAL(30)
647.      COMMON /YEDI/ FLOW(61),TEMPF(61),ENT(61),T1(61),T1OLD(61),T2(61),
648.      1 T2OLD(61),ROS(61),U(61),FLOLD(61),RSOLD(61),ENTOLD(61),DZ,DT,ROY
649.      2 ,ROZ,CPY,CPZ,H1,H2,HX,AL,DELPR,FR,RE,DE,QZ,FF,PR
650.      C
651.      IF (NGUC.GT.0) GO TO 10
652.      PI=3.1416
653.      ZZ=Z-UZ/2.
654.      GUC=POW*QPLAK(J,K)*(PI/((UZ+DEL)*UX*UY)*COS (PI*ZZ/(UZ+DEL)))/SIN
655.      1(PI*UZ/(2.*(UZ+DEL)))*1.E+09/2.
656.      RETURN
657.      10 CONTINUE
658.      ZZ=Z/UZ

```

```

659.      CALL CIZIM (GX,ZZ,AXIAL,Y,NAX,IFERROR)
660.      GUC=POW*QPLAK(J,K)/(UX*UY*UZ)*GX*1.E+09
661.      RETURN
662.      C
663.      SUBROUTINE H1HSP (I)
664.      C
665.      C      YAKIT-ZARF ISI ILETIM KATSAYISI YAPAR
666.      C
667.      COMMON /BIR/ AYKT,BYKT,AZRF,BZRF,AROY,BROY,AROE,BROZ,ACPY,BCPY,
668.      1 ACPZ,BCPZ
669.      COMMON /YEDI/ FLOW(61),TEMPF(61),ENT(61),T1(61),T1OLD(61),T2(61),
670.      1 T2OLD(61),ROS(61),U(61),FLOLD(61),RSOLD(61),ENTOLD(61),DZ,DT,ROY
671.      2 ,ROZ,CPY,CPZ,H1,H2,HX,AL,DELPR,FR,RE,DE,QZ,FF,PR
672.      IF (I.GT.1) GO TO 10
673.      YKTK=AYKT+BYKT*T1OLD(1)
674.      ZRFK=AZRF+BZRF*T2OLD(1)
675.      GO TO 11
676.      10 CONTINUE
677.      YKTK=AYKT+BYKT*T1OLD(I-1)
678.      ZRFK=AZRF+BZRF*T2OLD(I-1)
679.      11 CONTINUE
680.      H1=1.0/((UX/(6.0*YKTK))+(ZL/(2.0*ZRFK)))*1.E+03
681.      RETURN
682.      C
683.      SUBROUTINE H2HSP (I)
684.      C
685.      C      ZARF-SOGUTUCU ISI ILETIM KATSAYISI HESABI YAPAR
686.      C
687.      COMMON /BIR/ AYKT,BYKT,AZRF,BZRF,AROY,BROY,AROE,BROZ,ACPY,BCPY,
688.      1 ACPZ,BCPZ
689.      COMMON /YEDI/ FLOW(61),TEMPF(61),ENT(61),T1(61),T1OLD(61),T2(61),
690.      1 T2OLD(61),ROS(61),U(61),FLOLD(61),RSOLD(61),ENTOLD(61),DZ,DT,ROY
691.      2 ,ROZ,CPY,CPZ,H1,H2,HX,AL,DELPR,FR,RE,DE,QZ,FF,PR
692.      C
693.      IF (I.GT.1) GO TO 10
694.      ZRFK=AZRF+BZRF*T2OLD(1)
695.      GO TO 11
696.      10 CONTINUE
697.      ZRFK=AZRF+BZRF*T2OLD(I-1)
698.      11 CONTINUE
699.      CALL HHSP (I)
700.      H2=1.0/((1.0/HX)+(ZL/(2.0*ZRFK))*1.E-03))
701.      RETURN
702.      C
703.      SUBROUTINE ROYKT (I)
704.      C
705.      C      YAKIT YOGUNLUGUNU HESAPLAR
706.      C
707.      COMMON /BIR/ AYKT,BYKT,AZRF,BZRF,AROY,BROY,AROE,BROZ,ACPY,BCPY,
708.      1 ACPZ,BCPZ
709.      COMMON /YEDI/ FLOW(61),TEMPF(61),ENT(61),T1(61),T1OLD(61),T2(61),
710.      1 T2OLD(61),ROS(61),U(61),FLOLD(61),RSOLD(61),ENTOLD(61),DZ,DT,ROY
711.      2 ,ROZ,CPY,CPZ,H1,H2,HX,AL,DELPR,FR,RE,DE,QZ,FF,PR
712.      C
713.      IF (I.GT.1) GO TO 10

```

```

714.      ROY=AROY+BROY*T1OLD(1)
715.      RETURN
716.      10 CONTINUE
717.      ROY=AROY+BROY*T1OLD(I-1)
718.      RETURN
719.      C
720.      SUBROUTINE ROZRF (I)
721.      C
722.      C      ZARF YOGUNLUGUNU HESAPLAR
723.      C
724.      COMMON /BIR/ AYKT,BYKT,AZRF,BZRF,AROY,BROY,AROZ,BROZ,ACPY,BCPY,
725.      1 ACPZ,BCPZ
726.      COMMON /YEDI/ FLOW(61),TEMPF(61),ENT(61),Y1(61),T1OLD(61),T2(61),
727.      1 T2OLD(61),ROS(61),U(61),FLOLD(61),RSOLD(61),ENTOLD(61),DZ,DT,ROY
728.      2 ,ROZ,CPY,CPZ,H1,H2,HX,AL,DELPR,FR,RE,DE,QZ,FF,PR
729.      IF (I.GT.1) GO TO 10
730.      ROZ=AROZ+BROZ*T2OLD(1)
731.      RETURN
732.      10 CONTINUE
733.      ROZ=AROZ+BROZ*T2OLD(I-1)
734.      RETURN
735.      C
736.      SUBROUTINE CPYKY (I)
737.      C
738.      C      YAKIT OZGUL ISISINI HESAPLAR
739.      C
740.      COMMON /BIR/ AYKT,BYKT,AZRF,BZRF,AROY,BROY,AROZ,BROZ,ACPY,BCPY,
741.      1 ACPZ,BCPZ
742.      COMMON /YEDI/ FLOW(61),TEMPF(61),ENT(61),Y1(61),T1OLD(61),T2(61),
743.      1 T2OLD(61),ROS(61),U(61),FLOLD(61),RSOLD(61),ENTOLD(61),DZ,DT,ROY
744.      2 ,ROZ,CPY,CPZ,H1,H2,HX,AL,DELPR,FR,RE,DE,QZ,FF,PR
745.      C
746.      IF (I.GT.1) GO TO 10
747.      CPY=ACPY+BCPY*T1OLD(1)
748.      RETURN
749.      10 CONTINUE
750.      CPY=ACPY+BCPY*T1OLD(I-1)
751.      RETURN
752.      C
753.      SUBROUTINE CPZRF (I)
754.      C
755.      C      ZARF OZGUL ISISINI HESAPLAR
756.      C
757.      COMMON /BIR/ AYKT,BYKT,AZRF,BZRF,AROY,BROY,AROZ,BROZ,ACPY,BCPY,
758.      1 ACPZ,BCPZ
759.      COMMON /YEDI/ FLOW(61),TEMPF(61),ENT(61),Y1(61),T1OLD(61),T2(61),
760.      1 T2OLD(61),ROS(61),U(61),FLOLD(61),RSOLD(61),ENTOLD(61),DZ,DT,ROY
761.      2 ,ROZ,CPY,CPZ,H1,H2,HX,AL,DELPR,FR,RE,DE,QZ,FF,PR
762.      C
763.      IF (I.GT.1) GO TO 10
764.      CPZ=ACPZ+BCPZ*T2OLD(1)
765.      RETURN
766.      10 CONTINUE
767.      CPZ=ACPZ+BCPZ*T2OLD(I-1)
768.      RETURN

```

```

769. C
770. SUBROUTINE HHSP (I)
771. C
772. C KONVEKSIYON KATSAYISINI HESAPLAR
773. C
774. COMMON /IKI/ UY,UX,UZ,ULY,DEL,KELM,JELM,NPL,ZL,DKG,DKK
775. COMMON /UC/ NGUC,NAX,FS,TFF,QPLAK(165,5),N(165,5),P,POW,Y(30),
776. 1 AXIAL(30)
777. COMMON /DORT/NKON,NVIS,NSUB,AA,AB,AC
778. COMMON /YEDI/FLOW(61),TEMPF(61),ENT(61),T1(61),T1OLD(61),T2(61),
779. 1 T2OLD(61),ROS(61),U(61),FLOLD(61),RSOLD(61),ENTOLD(61),DZ,DT,ROY
780. 2 ,ROZ,CPY,CPZ,H1,H2,HX,AL,DELPR,FR,RE,DE,QZ,FF,PR
781. C
782. DE=(2.0*DKG*DKK/(DKG+DKK))*1.E-03
783. IF (I.GT.1) GO TO 5
784. TFX=TEMPF(I)
785. FSS=FLOW(I)/AL
786. RE=DE*FSS/VISKSU(TFX)
787. PR=VISKSU(TFX)*OZISI(TFX)/SLETSU(TFX)
788. GO TO (10,11),NKON
789. 5 CONTINUE
790. TFX=TEMPF(I-1)
791. FSS=FLOW(I-1)/AL
792. RE=DE*FSS/VISKSU(TFX)
793. PR=VISKSU(TFX)*OZISI(TFX)/SLETSU(TFX)
794. GO TO (10,11),NKON
795. 10 HX=0.023*SLETSU(TFX)*RE**0.8*PR**0.4/DE
796. GO TO 30
797. 11 HX=0.023*FSS*OZISI(TFX)/(RE**0.2*PR**(2./3.))
798. GO TO 30
799. 30 CONTINUE
800. IF (NVIS.EQ.0) GO TO 25
801. IF (I.EQ.1) GO TO 25
802. IT=I-1
803. TFW=T2(IT)
804. TFX=TEMPF(IT)
805. VISKR=(VISKSU(TFX)/VISKSU(TFW))**0.14
806. HX=HX*VISKR
807. 25 RETURN
808. C
809. SUBROUTINE SURTNM (I)
810. C
811. C SURTUNME KAYBINI HESAPLAR
812. C
813. COMMON /DORT/NKON,NVIS,NSUB,AA,AB,AC
814. COMMON /YEDI/FLOW(61),TEMPF(61),ENT(61),T1(61),T1OLD(61),T2(61),
815. 1 T2OLD(61),ROS(61),U(61),FLOLD(61),RSOLD(61),ENTOLD(61),DZ,DT,ROY
816. 2 ,ROZ,CPY,CPZ,H1,H2,HX,AL,DELPR,FR,RE,DE,QZ,FF,PR
817. C
818. FF=AA*RE**AB+AC
819. FR=2.0*FF*FLOW(I)**2.0/(DE*ROS(I)*AL)
820. RETURN
821. C
822. SUBROUTINE DELTF (I,Z,NT)
823. C

```

```

824. C   SOGUTUCU KOSULLARINI HESAPLAR
825. C
826. COMMON /DORT/NKON,NVIS,NSUB,AA,AB,AC
827. COMMON /YEDI/FLOW(61),TEMPF(61),ENT(61),T1(61),T1OLD(61),T2(61),
828. 1 T2OLD(61),ROS(61),U(61),FLOLD(61),RSOLD(61),ENTOLD(61),DZ,DT,ROY
829. 2 ,ROZ,CPY,CPZ,H1,H2,HX,AL,DELPR,FR,RE,DE,QZ,FF,PR
830. C
831. IF (I.GT.1) GO TO 100
832. ROS(I)=RHOSU(TEMPF(I))
833. U(I)=FLOW(I)/(ROS(I)*AL)
834. ENT(I)=ENTSU(TEMPF(I))
835. DELPR=0.
836. RETURN
837. 100 CONTINUE
838. CALL ISIAKI (I,NT)
839. ENT(I)=(DZ*QZ/FLOW(I-1)+DZ*ENTOLD(I)/(U(I-1)*DT)+ENT(I-1))/(DZ/(U(
840. I(I-1)*DT)+1.0)
841. TEMPF(I)=TSU(ENT(I))
842. ROS(I)=RHOSU(TEMPF(I))
843. FLOW(I)=FLOW(I-1)-AL*(ROS(I)-RSOLD(I))*DZ/DT
844. U(I)=FLOW(I)/(ROS(I)*AL)
845. C   YINELEME
846. ENT(I)=(DZ*QZ/FLOW(I)+DZ*ENTOLD(I)/(U(I)*DT)+ENT(I-1))/(DZ/(U(I)*D
847. 1I)+1.0)
848. TEMPF(I)=TSU(ENT(I))
849. ROS(I)=RHOSU(TEMPF(I))
850. FLOW(I)=FLOW(I-1)-AL*(ROS(I)-RSOLD(I))*DZ/DT
851. U(I)=FLOW(I)/(ROS(I)*AL)
852. CALL SURTNM (I)
853. DELP=9.8*ROS(I)*DZ+2.*U(I)*DZ*(ROS(I)-RSOLD(I))/DT+FLOW(I)**2.*(1.
854. 1/ROS(I)-1./ROS(I-1))/AL-FR*DZ/AL-(FLOW(I)-FLOLD(I))*DZ/(AL*DT)
855. DELPR=DELP+DELP
856. ENTOLD(I)=ENT(I)
857. RSOLD(I)=ROS(I)
858. FLOLD(I)=FLOW(I)
859. RETURN
860. C
861. SUBROUTINE ISIAKI (I,NT)
862. C
863. C   ISI AKISINI HESAPLAR
864. C
865. COMMON /IKI/ UY,UX,UZ,ULY,DEL,KELN,JELM,NPL,ZL,DKG,DKK
866. COMMON /YEDI/FLOW(61),TEMPF(61),ENT(61),T1(61),T1OLD(61),T2(61),
867. 1 T2OLD(61),ROS(61),U(61),FLOLD(61),RSOLD(61),ENTOLD(61),DZ,DT,ROY
868. 2 ,ROZ,CPY,CPZ,H1,H2,HX,AL,DELPR,FR,RE,DE,QZ,FF,PR
869. C
870. IF (NT.GT.1) GO TO 50
871. QZ=2.*UY*H2*(T2(I-1)-TEMPF(I-1))*1.E-03
872. RETURN
873. 50 CONTINUE
874. QZ=UY*H2*(T2(I-1)+T2OLD(I)-TEMPF(I-1)-TEMPF(I))*1.E-03
875. RETURN
876. C
877. FUNCTION VISKSU (T)
878. VISKSU=0.148237E-2+0.295743E-4*T+0.258156E-6*T**2.-0.822939E-9*T**

```

```

879.      13.
880.      RETURN
881.      C
882.      FUNCTION SLETSU (T)
883.      SLETSU=0.570671+0.17869E-2*T-0.684359E-5*T**2.
884.      RETURN
885.      C
886.      FUNCTION OZISI (T)
887.      OZISI=0.419318E+4-0.744678*T+0.100875E-1*T**2.
888.      RETURN
889.      C
890.      FUNCTION TSU (ENT)
891.      TSU=-0.121704+0.240234E-3*ENT-0.682278E-11*ENT**2.+0.230918E-16*EN
892.      1T**3.-0.344210E-22*ENT**4.
893.      RETURN
894.      C
895.      FUNCTION RHOSU (T)
896.      RHOSU=1./(0.997426E-3+0.135802E-6*T+0.325184E-8*T**2.)
897.      RETURN
898.      C
899.      FUNCTION ENTSU (T)
900.      ENTSU=0.166564E+3+0.419253E+4*T-0.386479*T**2.+0.352709E-2*T**3.
901.      RETURN
902.      END

```

EK 2 SUYUN FİZİKİ ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde suyun fiziki özelliklerini hesap etmek üzere TERHID programında kullanılan alt programlarla hesap edilen özellikler, regresyon analizinde kullanılan doymuş su özellikleri ve hata yüzdesini gösteren tablolar, her bir özellik için ayrı ayrı verilmiştir.

EK 2-a Function SLETSU

SLETSU alt programı su sıcaklığına bağlı olarak

$$K=0.570671 \cdot 0.178690 \times 10^{-2} T - 0.684359 \times 10^{-5} T^2$$

ifadesini kullanarak su ısı iletim katsayısını hesap eder. Bu ifade ile elde edilen değerler, hakiki değerler ve hata yüzdesi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Sıcaklık(°C)	ISI İLETİM KATSAYISI (W/m°C)		% Hata
	Hakiki	Hesap Edilen	
20	.603000	.603672	-.111
25	.611000	.611066	-.011
30	.618000	.618119	-.019
35	.625000	.624829	.027
40	.632000	.631197	.127
45	.638000	.637223	.122
50	.643000	.642907	.014
55	.648000	.648249	-.038
60	.653000	.653248	-.038
65	.658000	.657905	.014
70	.662000	.662220	-.033
75	.666000	.666193	-.029
80	.670000	.669824	.026
85	.673000	.673113	-.017
90	.676000	.676059	-.009
95	.678000	.678663	-.098
100	.681000	.680925	.011
105	.683000	.682845	.023
110	.684000	.684423	-.062
115	.686000	.685658	.050
120	.687000	.686551	.065
125	.687000	.687102	-.015

EK 2-b Function VISKSU

VISKSU alt programı su sıcaklığına bağlı olarak

$$\mu = 0.148237 \times 10^{-2} - 0.295743 \times 10^{-4} T + 0.258756 \times 10^{-6} T^2 - 0.822939 \times 10^{-5} T^3$$

ifadesini kullanarak su viskozitesini hesap eder. Bu ifade ile elde edilen değerler, hakiki değerler ve hata yüzdesi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Sıcaklık(°C)	Viskozite (kg/m sn) x 10 ³		% Hata
	Hakiki	Hesap Edilen	
20	.100200	.987563	1.441
25	.890000	.891502	-.169
30	.797000	.805262	-1.037
35	.718000	.728227	-1.424
40	.651000	.659780	-1.349
45	.594000	.599302	-.893
50	.554000	.546178	1.412
55	.501000	.499789	.242
60	.463000	.459519	.752
65	.430000	.424750	1.221
70	.400000	.394865	1.284
75	.374000	.369248	1.271
80	.351000	.347280	1.060
85	.330000	.328344	.502
90	.311000	.311824	-.265
95	.294000	.297102	-1.055
100	.279000	.283561	-1.635
105	.265000	.270584	-2.107
110	.252000	.257553	-2.203
115	.241000	.243851	-1.183
120	.230000	.228862	.495
125	.220000	.211967	3.651

EK 2-c Function OZISI

OZISI alt programı su sıcaklığına bağlı olarak

$$C=0.419318 \times 10^4 - 0.744678T + 0.100875 \times 10^{-1} T^2$$

ifadesini kullanarak su özgül ısısını hesap eder. Bu ifade ile elde edilen değerler, hakiki değerler ve hata yüzdesi aşağıdaki tablo da verilmiştir.

Sıcaklık(°C)	Özgül Isı (J/kg °C)×10 ⁻⁴		% Hata
	Hakiki	Hesap Edilen	
20	.418300	.418232	.016
25	.418100	.418087	.003
30	.417900	.417992	-.022
35	.417800	.417947	-.035
40	.417900	.417953	-.013
45	.418100	.418010	.022
50	.418200	.418116	.020
55	.418300	.418274	.006
60	.418500	.418481	.004
65	.418800	.418740	.014
70	.419100	.419048	.012
75	.419400	.419407	-.002
80	.419800	.419817	-.004
85	.420300	.420276	.006
90	.420800	.420787	.003
95	.421300	.421348	-.011
100	.421900	.421959	-.014
105	.422600	.422620	-.005
110	.423300	.423332	-.008
115	.424000	.424095	-.022
120	.424800	.424908	-.025
125	.426000	.425771	.054

EK 2-d Function RHOSU

RHOSU alt programı su sıcaklığına bağlı olarak

$$v:0.997426 \times 10^{-3} + 0.135802 \times 10^{-6} T + 0.325184 \times 10^{-8} T^2$$

ifadesini kullanarak su özgül hacmini ve bunun tersini alarak su yoğunluğunu hesap eder. Bu ifade ile elde edilen değerler, hakiki değerler ve hata yüzdesi aşağıdaki tablo da verilmiştir.

Sıcaklık(°C)	Özgül Hacim (m ³ /kg) x 10 ²		% Hata
	Hakiki	Hesap Edilen	
20	.100180	.100144	.036
25	.100300	.100285	.015
30	.100440	.100443	-.003
35	.100600	.100616	-.016
40	.100790	.100806	-.016
45	.100990	.101012	-.022
50	.101200	.101235	-.034
55	.101500	.101473	.026
60	.101700	.101728	-.028
65	.102000	.101999	.001
70	.102300	.102287	.013
75	.102600	.102590	.009
80	.102900	.102910	-.010
85	.103200	.103246	-.045
90	.103600	.103599	.001
95	.104000	.103968	.031
100	.104400	.104352	.046
105	.104800	.104754	.044
110	.105200	.105171	.027
115	.105600	.105605	-.005
120	.106000	.106055	-.052
125	.106500	.106521	-.020

EK 2-e Function TSU

TSU alt programı su entalpisine bağlı olan

$$T = -0.121704 + 0.240234 \times 10^{-3} E - 0.682278 \times 10^{-11} E^2 \\ + 0.230918 \times 10^{-16} E^3 - 0.344210 \times 10^{-22} E^4$$

ifadesini kullanarak su sıcaklığını hesap eder. Bu ifade ile elde edilen değerler, hakiki değerler ve hata yüzdesi aşağıdaki tablo da verilmiştir.

Entalpi (J/kg) $\times 10^{-6}$	Sıcaklık($^{\circ}$ C) $\times 10^{-2}$		% Hata
	Hakiki	Hesap Edilen	
.083900	.200000	.199978	.011
.104800	.250000	.250023	~.009
.125700	.300000	.300052	~.017
.142400	.340000	.340018	~.005
.150700	.360000	.359879	.034
.167500	.400000	.400075	~.019
.184200	.440000	.440026	~.006
.192500	.460000	.459880	.026
.209300	.500000	.500061	~.012
.230200	.550000	.550036	~.007
.251100	.600000	.599996	.001
.272000	.650000	.649935	.010
.293000	.700000	.700083	~.012
.313900	.750000	.749955	.006
.334900	.800000	.800018	~.002
.355900	.850000	.850021	~.002
.376900	.900000	.899950	.006
.398000	.950000	.950028	~.003
.419100	.100000	.999999	.000

EK 2-f Function ENTSU

ENTSU alt programı su sıcaklığına bağlı olan

$$E=0.166564 \times 10^3 + 0.419253 \times 10^4 T - 0.386479 T^2 + 0.352709 \times 10^{-2} T^3$$

ifadesini kullanarak su entalpisini hesap eder. Bu ifade ile elde edilen değerler, hakiki değerler ve hata yüzdesi aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Sıcaklık(°C)	Entalpi(J/kg)×10 ⁻⁶		% Hata
	Hakiki	Hesap Edilen	
20	.083900	.083891	.011
25	.104800	.104793	.006
30	.125700	.125690	.008
34	.142400	.142404	.003
36	.150700	.150761	.041
40	.167500	.167475	.015
44	.184200	.184190	.005
46	.192500	.192548	.025
50	.209300	.209268	.015
55	.230200	.230173	.012
60	.251100	.251089	.004
65	.272000	.272017	.006
70	.293000	.292960	.014
75	.313900	.313920	.006
80	.334900	.334901	.000
85	.355900	.355905	.002
90	.376900	.376935	.009
95	.398000	.397993	.002
100	.419100	.419082	.004

EK 3 ÖRNEK PROBLEM GİRDİ BİLGİSİ

Bu ekte bilgisayar programı girdi bilgileri için hazırlanan bilgisayar kartları listesi verilmektedir.

Örnek 1: Özellikleri Tablo 4-3 ve neticeleri Tablo 4-4 de verilmiş olan plaka güç üretimi değerleri hesaplaması girdi bilgileri kartları listesidir.

Örnek 2: Özellikleri Tablo 4-5 de verilmiş olan sistem için, 37° soğutucu giriş sıcaklığından basamak değişimi ile soğutucu giriş sıcaklığının 23° ye düşürülmesi halinde (Tablo 4-17) geçici rejim hesaplamaları için hazırlanan girdi bilgileri kartları listesidir. Sıfır zamanda yapılan hesaplama neticesi Tablo 4-6 da asimptotik olarak erişilen değerler Tablo 4-7 de verilmiştir. Şekil 4-4 te de aynı hesaplama ya ait soğutucu çıkış sıcaklığı ve yakıt orta yüksekliği sıcaklığı zamanla değişim eğrileri verilmiştir.

Örnek 1

20 TEST I/ PLAKA GUC URETIMI 1.0 MW
2
69.698 0.508 596.138 75.9 35.2
5 4 10
0.381
70.0 6.476
3 0 0
1000000.0
5 0 0 0
6 0 -1 0 0 0

ΔFIN

Örnek 2

10 TEST 10 SAYFA 23,24

```
1
  167.0
  210.0
 19000.0
  2707.0
   740.0
   895.0
2
  89.698      0.508   596.138      75.9      35.2
5  6 10
   0.381
   69.9      6.476
3  1  11
1  1  8929.0
   0.      .165
   .1      .432
   .2      .665
   .3      .846
   .4      .960
   .5      1.
   .6      .960
   .7      .846
   .8      .665
   .9      .432
   1.      .165
 417.275   37.0
  4  1  1  0
   .0465   -0.2
  5  0  0  4
   0.0  1.0
   0.04  1.0
 0.041 .6216
 30.0 .6216
  6  1  1  1  30  350
  1  1
  1  1
10
```