

KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

TEZ NUMARASI

Genel :

Anabilim Dalı:

Program :

İKİ BOYUTLU NAVİER-STOKES  
DENKLEMLERİNİN SAYISAL ÇÖZÜMÜ

*SELMA ÖZKAN*

*YÖNETİCİ : DOÇ.DR.H.ŞİNASI ONUR*

TRABZON  
(EYLÜL 1986)

# İ Ç İ N D E K İ L E R

Sayfa

ÖNSÖZ

SEMBOLLER

1.GİRİŞ . . . . .	1
2.HAREKET DENKLEMLERİ . . . . .	2
3.TÜRBÜLANS MODELLERİ . . . . .	6
4.CİDAR FONKSİYONLARI . . . . .	8
5.KULLANILAN DENKLEMLERİN SONLU FARK AÇILIMLARI . . . . .	9
6.ÇÖZÜM YÖNTEMİ . . . . .	18
7.BİLGİSAYAR PROGRAMI . . . . .	20
7.1. Sonlu-Fark Ağı ve Değişkenlerin Bilgisayarda Saklanması . . . . .	20
7.2. Programın Akış Şeması . . . . .	24
7.3. Ana Programın ve Altprogramların İşlevleri . . . . .	25
7.4. Programda Kullanılan Başlıca Değişkenlerin Açıklaması . . . . .	29
8.PROGRAMIN UYGULANDIĞI ÖRNEK PROBLEMLER . . . . .	34
8.1. Bir Boru İçinde Gelişen Laminer ve Türbülanslı Akış. . . . .	34
8.2. Ani Gelişleyen Borular İçindeki Laminer ve Türbülans- lı Akış . . . . .	40
8.3. Hareketli Bir Duvarla Örtülü Kanaldaki Laminer Akış. . . . .	44
9.SONUÇLAR VE ÖNERİLER , , . . . . .	46
KAYNAKLAR . . . . .	48

EK :

PROGRAM VE ALINAN SONUÇLARDAN BİR ÖRNEK

## Ö N S Ö Z

Bu çalışmada; ısı-kütle transferi ve akışkanlar mekanğinde önemi çok fazla olan Navier-Stokes denklemlerinin çözümünü sonlu-fark yaklaşımı ile sağlayan "CHAMPION 2/E/FIX" adlı genel bilgisayar programı üniversitemizdeki IBM-4341 bilgisayarına uyumlanarak kullanılır duruma getirilmiştir. Program hem laminer hem de türbülanslı akışta değişik problemler için çalıştırılmış, sonuçlar teorik ve deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın hazırlanmasında büyük yardımları olan Sayın Hocam Doç.Dr. H.Şinasi ONUR'a teşekkürlerimi sunarım,

Trabzon, 1986

Selma ÖZKAN

## SEM B O L L E R

$A_w, A_e, A_s, A_n$	: Kontrol hacminin yüzey alanları
$a = \lambda/\rho C_p$	: Isı yayılım katsayısı
$C_p$	: Akışkanın sabit basınçtaki özgül ısısı
$C_1, C_2, C_\mu$	: Türbülans modelinde kullanılan sabitler
$C_w, C_e, C_s, C_n$	: Sonlu-fark denklemlerindeki taşınım katsayıları
$D_w, D_e, D_s, D_n$	: Sonlu-fark denklemlerindeki yayılım katsayıları
$D, d$	: Boru çapı
$E$	: Cidar fonksiyonlarındaki sabit
$G_k$	: Türbülans kinetik enerjisi üretim miktarı
$G$	: Kanal genişliği
$H$	: Kanal yüksekliği
$h$	: Entalpi
$k$	: Türbülans kinetik enerjisi
$K$	: Cidar fonksiyonlarındaki sabit
$L$	: Boru boyu
$\ell$	: Ani genişleyen boruda birleşme noktasına olan mesafe
$\dot{m}_{net}$	: Süreklilik hatası
$p$	: Basınç
$r$	: Radyal koordinat
$RS_p$	: Sonlu-fark denklemlerindeki kalıntı (Residual-Source)
$Re = u d/\nu$	: Reynolds sayısı
$S_\phi$	: Genel diferansiyel denklemdeki kaynak terim
$S_u, S_p$	: Sonlu-fark denklemlerindeki kaynak terimler
$T$	: Sıcaklık

$u$	: Eksenel hız
$U_p$	: Cidara paralel hız
$u_I, u_o$	: Giriş hızları
$u_T$	: Hareketli olan duvarın hızı
$u_{max}$	: Maksimum hız
$v$	: Radyal hız
$V$	: Kontrol hacmi
$x$	: Eksenel koordinat
$y$	: Radyal koordinat
$\Gamma_\phi$	: Yayınım katsayısı
$\Delta p$	: Basınç farkı
$\Delta X, \Delta r$	: Eksenel ve radyal yöndeki ağ aralığı
$\delta x_\omega, \delta x_e, \delta r_s, \delta r_n$	: Eksenel ve radyal yönlerde kontrol hacminin yüzeylerinden ağ noktasına olan mesafeler
$\epsilon$	: Türbülans kinetik enerjisi yayılma miktarı
$\lambda$	: Akışkanın ısı iletim katsayısı
$\lambda_k$	: Basınç kayıp katsayısı
$\mu$	: Dinamik vizkozite
$\mu_{eff}$	: Efektif vizkozite
$\mu_\ell$	: Laminer vizkozite
$\mu_t$	: Türbülans vizkozitesi
$\nu$	: Kinematik vizkozite
$\rho$	: Yoğunluk
$\tau_\omega$	: Cidar kayma gerilmesi
$\phi$	: Genel değişken
$\sigma = \nu/a$	: Prandtl sayısı
$\sigma_k, \sigma_\epsilon$	: Türbülans modelinde kullanılan sabitler
$\psi_W, \psi_E, \psi_S, \psi_N$	: Sonlu fark denklemlerindeki katsayılar

## 1. G İ R İ Ő

Son yıllarda bilgisayar alanındaki gelişmeler sayısal olarak bir çok problemin çözümlerini sağlamıştır. Bu problemlerden biri de çok özel durumlar hariç analitik çözümleri bulunamayan "Navier-Stokes" denklemleridir. Akış alanı bu denklemler çözülmeyen deneysel olarak da belirlenebilir. Fakat pratikte deney yapmak zahmetli, zaman alıcı ve pahalı olduğundan sayısal hesaplama yöntemleri tercih edilir.

Yapılan bu çalışmada "W.M. PUN" ve "D.BRIAN SPALDING" tarafından hazırlanan, iki boyutlu eliptik akışların hesabında kullanılan, "2/E/FIX" adlı genel bilgisayar programı üniversitemizde bulunan IBM-4341 bilgisayarına uyumlanarak kullanılmaya hazır duruma getirilmiştir. Program genel olduğundan üzerinde yapılacak küçük değişikliklerle bir çok akışkanlar mekaniği ve ısı-kütle transferi problemlerine uygulanabilir.

Pratik uygulamalarda en çok karşılaşılan akış türü türbülanslı akış olduğu halde türbülanslı akışın hesabı oldukça güçtür. Programda kullanılan sayısal yöntem türbülanslı akışın hesabı için ortaya çıkan Reynolds gerilmeleri için iki denklemlilik bir türbülans modeli kullanmaktadır. Bu model türbülans karakteristikleri; türbülans kinetik enerji ile onun yayılma miktarı için iki diferansiyel denklemin çözümünü gerektirmektedir. Sonuçlar laminar akışta sonlu-fark çözüm yöntemiyle kütle ve momentum korunumu diferansiyel denklemlerinin çözümleriniyle, türbülanslı akışta ise bu denklemlerle türbülans taşınımını açıklayan denklemler birlikte aynı anda çözümleriniyle elde edilirler.

Çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde programın en iyi şekilde anlaşılabilmesi ve değişik problemlere kolaylıkla uygulanabilmesi için programın matematiksel yapısı ve mantığı hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıca programın üç değişik örnek probleme uygulaması yapılarak alınan sonuçlar teorik ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Son olarak da çalışmadan çıkarılan sonuçlar verilmiştir.

## 2. HAREKET DENKLEMLERİ

Daimi, sıkıştırılmayan iki boyutlu aksenal simetrik akış için hareket denklemleri, silindirik koordinatlarda aşağıdaki gibi yazılabilir:

Süreklilik denklemi ;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{v}{r} = 0 \quad (2.1a)$$

Bu denklem daha genel olarak;

$$\frac{\partial}{\partial x} (r \rho u) + \frac{\partial}{\partial r} (r \rho v) = 0 \quad (2.1b)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Radyal momentum denklemi ;

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial r} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + v \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r^2} \right) \quad (2.2a)$$

Bu denklem kullanım kolaylığı açısından standart bir formda yazılabilir. Bunun için denklemin her iki tarafı yoğunluk ( $\rho$ ) ile çarpılır ve  $\mu = \rho v$  olduğu gözönünde bulundurulursa,

$$\rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial r} = - \frac{\partial p}{\partial r} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{\mu}{r} \frac{\partial v}{\partial r} - \mu \frac{v}{r^2} \quad (2.2b)$$

elde edilir.

Süreklilik denklemi (2.1a)  $\rho v$  ile çarpılıp

$$\rho v \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial r} + \rho \frac{v^2}{r} = 0 \quad (2.1c)$$

bulunan bu denklem (2.2b) denkleminin sol tarafına eklenirse

$$\rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial r} + \rho v \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial r} + \rho \frac{v^2}{r} =$$

$$- \frac{\partial p}{\partial r} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{\mu}{r} \frac{\partial v}{\partial r} - \mu \frac{v}{r^2} \quad (2.2c)$$

ifadesi elde edilir. Aşağıda yapılan gerekli düzenlemelerle bu denklem

$$\rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{\rho v^2}{r} + \rho v \frac{\partial v}{\partial r} - \mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \mu \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} - \frac{\mu}{r} \frac{\partial v}{\partial r}$$

$$= - \frac{\partial p}{\partial r} - \mu \frac{v}{r^2} \quad (2.2d)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (\rho u v) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho r v^2) - \frac{\partial}{\partial x} (\mu \frac{\partial v}{\partial x}) - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \mu \frac{\partial v}{\partial r}) =$$

$$- \frac{\partial p}{\partial r} - \mu \frac{v}{r^2} = S_v \quad (2.2e)$$

standart bir forma getirilmiş olur. Aksenal momentum denklemi ;

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial r} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} \right) \quad (2.3a)$$

Bu denklemde de radyal momentum denklemi için yapılan düzenlemeler yapılsa aşağıda yazıldığı gibi standart bir forma getirilmiş olur.

$$\frac{\partial}{\partial x} (\rho u^2) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho r v u) - \frac{\partial}{\partial x} (\mu \frac{\partial u}{\partial x}) - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \mu \frac{\partial u}{\partial r}) = - \frac{\partial p}{\partial x} = S_u$$

$$(2.3b)$$

Enerji denklemi ;

$$\rho C_p \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \lambda \left[ \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) \right] + \mu \left\{ 2 \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \right.$$

$$\left. \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial r} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial v}{\partial r} \right)^2 + 2 \left( \frac{v}{r} \right)^2 \right\} \quad (2.4a)$$

şeklindedir.



Denklemin her iki yanını  $C_p$  ile bölünürse,

$$\frac{\partial}{\partial x} (\rho u T) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho r v T) - \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\mu}{\sigma} \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{r \mu}{\sigma} \frac{\partial T}{\partial r} \right) = S_T \quad (2.4b)$$

Enerji denkleminin standart şekli elde edilmiş olur. Burada  $\sigma$  Prandtl sayısı olup aşağıda yazıldığı gibidir.

$$\sigma = \frac{\nu}{a} = \frac{\nu \rho C_p}{\lambda} = \frac{\mu C_p}{\lambda} \quad (2.4c)$$

Standart hale getirilen radyal momentum, aksiyal momentum ve enerji denklemleri,

$$\frac{\partial}{\partial x} (\rho u \phi) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\rho r v \phi) - \frac{\partial}{\partial x} \left( \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial r} \right) = S_\phi \quad (2.5)$$

şeklinde genel bir formda ifade edilebilirler [6].

Verilen denklemlerde  $\rho$  akışkanın yoğunluğunu,  $T$  sıcaklığını,  $u$  ve  $v$  sırasıyla aksiyal ( $x$ ) ve radyal ( $r$ ) yönlerdeki hız bileşenlerini,  $\nu$  ve  $\mu$  ise sırasıyla akışkanın kinematik ve dinamik viskozitelerini gösterir. Laminer akış için laminer viskozite ( $\mu_l$ ), türbülanslı akış için efektif viskozite ( $\mu_{eff}$ ) kullanılmıştır. Bu viskozite kavramları daha sonra açıklanacaktır.

(2.5) denklemindeki genel değişken  $\phi$  hız bileşenlerinden başka akışkanın entalpisini ( $h$ ), türbülans kinetik enerjisi ( $k$ ) ve türbülans kinetik enerji yayılma miktarı ( $\epsilon$ ) gibi bir türbülans büyüklüğünü de gösterebilir.  $\phi \equiv 1$  için (2.5) denklemi süreklilik denkleminde indirgenir.  $\Gamma$  her bir  $\phi$ -değişkeni için yayılım katsayısını gösterir,  $S$  ise taşınım ve yayılım cinsinden ifade edilemeyen terimleri içerir. Bu büyüklüklerin ifadeleri Tablo 1'de verilmiştir.  $r$  ve  $\partial r$  sırasıyla  $x$  ve  $y$ 'ye eşitlendiklerinde (2.5) denklemi aynı zamanda kartezyen koordinat sisteminde de hareket tanımlar.

Denklem	$\phi$	$\Gamma_{\phi}$	$S_{\phi}$
Süreklilik	1	0	0
Eksenel momentum	u	$\mu_{eff}$	$-\frac{\partial p}{\partial x}$
Radyal momentum	v	$\mu_{eff}$	$-\frac{\partial p}{\partial r} - \mu \frac{v}{r^2}$
Türbülans kinetik enerji	k	$\frac{\mu_{eff}}{\sigma_k}$	$G_k - \rho \epsilon$
Türbülans kinetik enerji yayılma miktarı	$\epsilon$	$\frac{\mu_{eff}}{\sigma_{\epsilon}}$	$\frac{\epsilon}{k} [C_1 G_k - C_2 \rho \epsilon]$

Tablo 1: Korunumu olan herhangi bir genel değişken  $\phi$  için  $\Gamma_{\phi}$  ve  $S_{\phi}$  ifadeleri

Türbülanslı akış için Tablo 1'de gösterilen efektif viskozite kavramı, türbülans özelliklerinin dağılımını veren taşınım denklemleriyle sağlanır. İşte bu nedenle şimdi türbülans modelleri incelenecektir.

### 3. TÜRBÜLANS MODELLERİ

Daha önce de belirtildiği gibi pratik uygulamalarda en çok karşılaşılan akış türü türbülanslı akış olmasına rağmen özellikle yüksek hızlı bilgisayarlar gelişinceye kadar türbülanslı akışın hesaplanması oldukça güçtü. "OSBORN REYNOLDS"un başlattığı ve daha sonra yapılan çalışmalar sonunda bir çok türbülans modeli geliştirilmiştir. İlk yapılan çalışmalarda bulunan yaklaşım yöntemlerinin çoğu deneysel ağırlıklıydı. Son yıllarda kısmi diferansiyel denklemlere dayanan yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir [5].

1. Sıfır Denklemli Modeller: Bu modelde kısmi diferansiyel denklemler sadece ortalama hız alanı için kullanılır, türbülans modeli için ayrı bir diferansiyel denklem yoktur.

2. Bir Denklemli Modeller : Ortalama akış kısmi diferansiyel denklemlerine ek olarak türbülansla ilgili bir kısmi diferansiyel denklem içeren modellerdir.

3. İki Denklemli Modeller : Bu modellerde bir denklemli modellerdeki denklemlere ek olarak türbülans uzunluk ölçeğiyle ilgili bir kısmi diferansiyel denklem daha bulunur.

4. Gerilme Denklemli Modeller: Reynolds gerilme tansörlerinin her bileşeni ve genelde türbülans uzunluğu için de bir kısmi diferansiyel denklemin bulunduğu modellerdir.

5. Büyük Girdap Benzetimi : 3 boyutlu, zaman bağımlı büyük girdap yapısının hesabı ve küçük ölçekli türbülans için model kullanarak çözüm elde etmede kullanılan bir yöntemdir.

Bu çalışmada kullanılan türbülans modeli günümüzde oldukça popüler olan  $k-\epsilon$  (iki denklemli) modelidir [2]. Bu model iki türbülans büyüklüğü için iki diferansiyel denklemin çözümünü gerektirmektedir (türbülans kinetik enerjisi ( $k$ ) ve onun yayılma miktarı ( $\epsilon$ )).

k ve  $\epsilon$ 'nin yerel değerlerinin bilinmesi yerel efektif viskozitelerin hesaplanmasını sağlar. Bu viskozitelerden de türbülans kayma gerilmeleri (Reynolds gerilmeleri) hesaplanır.

Tablo 1'de görülen efektif viskozite  $\mu_{eff}$  aşağıdaki denklemden hesaplanır:

$$\mu_{eff} = \mu_l + \mu_t = \mu_l + C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon} \quad (3.1)$$

Bu denklemden  $\rho$  ve  $\mu_l$  sırasıyla yoğunluğu ve moleküler viskoziteyi gösterir.  $\mu_t$  ve  $\mu_{eff}$  ise sırasıyla türbülans ve efektif viskoziteleri gösterir.  $C_\mu$  büyüklüğüyle Tablo 1'de görülen  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $\sigma_k$  ve  $\sigma_\epsilon$  büyüklükleri türbülans modeli sabitleridir. Sabitlerin değerleri Tablo 2'de verilmiştir ve Launder ve Spalding [1] tarafından tavsiye edilen değerlerle aynıdır.

$C_\mu$	$C_1$	$C_2$	$\sigma_k$	$\sigma_\epsilon$
0,09	1,44	1,92	1,0	1,3

Tablo 2: k- $\epsilon$  türbülans modelinde kullanılan sabitlerin değerleri

Türbülans kinetik enerji üretim miktarı  $G_k$  ;

$$G_k = \mu_t \left\{ 2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial r} \right)^2 + \left( \frac{v}{r} \right)^2 \right] + \left( \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right\} \quad (3.2)$$

şeklinde ifade edilir.

#### 4. CİDAR FONKSİYONLARI

Cidar yakınındaki bölgede akışkanın özelliklerinde hızlı bir değişim vardır. Bu bölgelerde ayrıntılı hesaplamalardan sakınmak için bağımlı değişkenlerin değerlerini cidar üzerindeki bir noktadan cidara yakın bir noktaya bağlayan cebirsel bağıntılar kullanılmış ve bu iki nokta arasında logaritmik bir tabakanın varlığı kabul edilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan cidar fonksiyonları "Launder" ve "Spalding"[2] tarafından tavsiye edilmiştir. Bunlar ;

Cidara paralel hız için,

$$\frac{U_p}{\left(\frac{\tau_\omega}{\rho}\right)} C_\mu^{1/4} k_p^{1/2} = \frac{1}{\kappa} \ln\left(E Y_p \frac{\rho C_\mu^{1/4} k_p^{1/2}}{\mu_\ell}\right) \quad (4.1)$$

ve türbülans kinetik enerji yayılma miktarı için,

$$\epsilon_p = \frac{C_\mu^{3/4} k_p^{3/2}}{\kappa Y_p} \quad (4.2)$$

şeklinde verilmektedir.

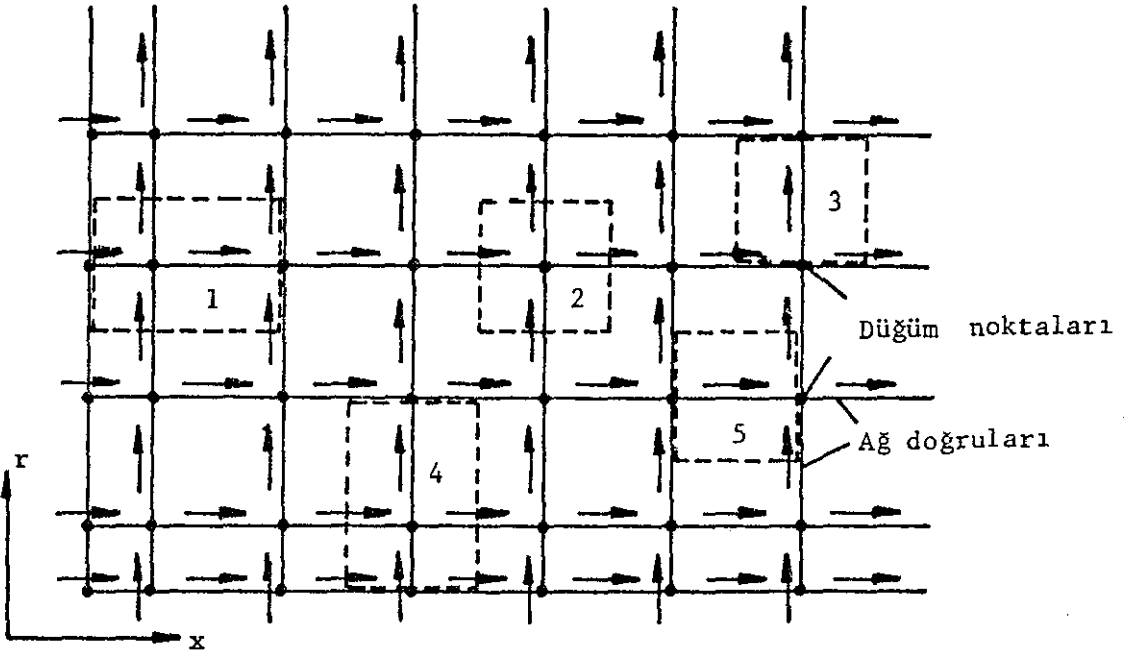
Burada  $Y_p$ ,  $U_p$ ,  $k_p$ ,  $\epsilon_p$  sırasıyla cidardan  $Y_p$  mesafesinde cidar yakınında bir P noktasında cidara paralel hızı, türbülans kinetik enerjisi ve türbülans kinetik enerji yayılma miktarını göstermektedir. Cidardaki kayma gerilmesi  $\tau_\omega$  hesaplanır. E ve  $\kappa$  sabitlerinin değerleri sırasıyla 9,0 ve 0,4'tür [1].

### 5. KULLANILAN DENKLEMLERİN SONLU FARK AÇILIMLARI

Daha önce verilmiş olan momentum denklemlerinin genel şekli  $1/r$  parantezine alınarak aşağıdaki gibi yazılabilir :

$$\frac{1}{r} \left[ \underbrace{\frac{\partial}{\partial x}(r\rho u\phi) + \frac{\partial}{\partial r}(r\rho v\phi)}_{\text{Taşınım terimleri}} - \underbrace{\frac{\partial}{\partial x}(r \Gamma_{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial x}) - \frac{\partial}{\partial r}(r \Gamma_{\phi} \frac{\partial \phi}{\partial r})}_{\text{Yayınım terimleri}} \right] = \underbrace{S_{\phi}}_{\text{Kaynak terim}} \quad (5.1)$$

Bu denklem uygun sınır koşullarıyla birlikte, gözönüne alınan fiziksel integrasyon alanını oluşturan sonlu-fark kontrol hacimleri boyunca integral alınarak çözülür. Ağ düzeninin örneği Şekil 1'de gösterilmiştir.

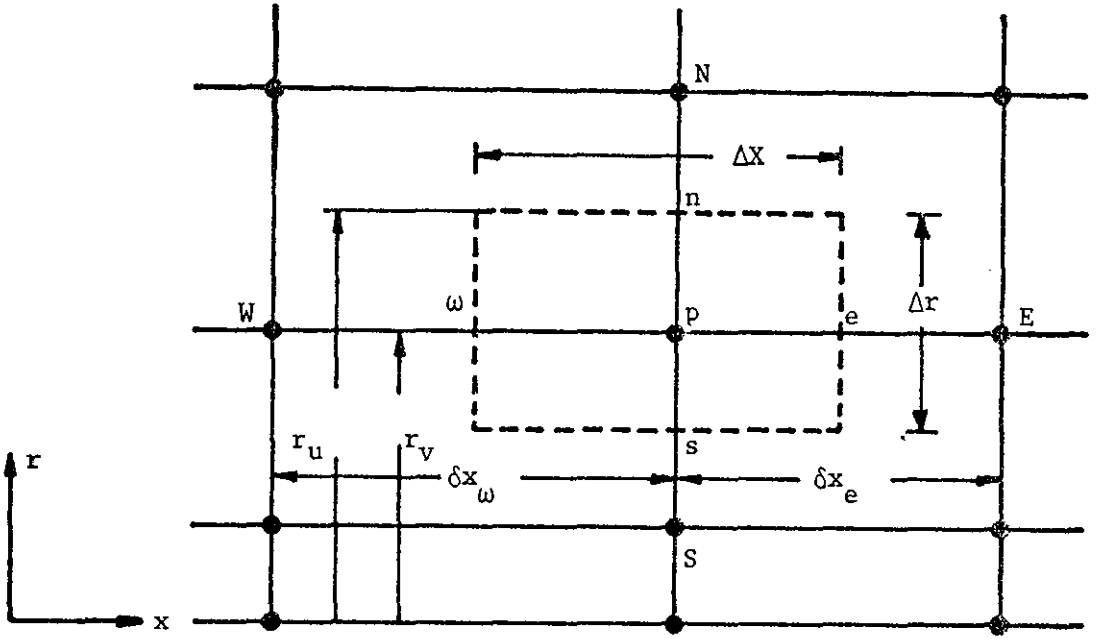


Sayı	1	2	3	4	5
Kontrol hacim tipi	u sınır	$\phi$ ve süreklilik	v	v sınır	u

Şekil 1: Kontrol hacim tanımı

Görüldüğü gibi ağ kaydırılmış bir ağıdır. Yani hız bileşenleri ağ noktaları arasında ortada yerleştirilmiştir. Basınç,viskozite ve herhangi bir skalar değişken, türbülans kinetik enerji ve türbülans kinetik enerji yayılma miktarı gibi büyüklükler ağı düğüm noktalarında yerleştirilmiştir. Bu düzenlemenin esas üstünlüğü; bitişik iki nokta arasındaki basınç farkının bu noktalar arasına yerleştirilen hız bileşenleri için doğal sürücü kuvvet oluşturmasıdır.

Şimdi Şekil 2'de gösterilen  $\phi$  için tek bir kontrol hacmi düşünülerek (5.1) denkleminin bu kontrol hacmi boyunca integrali alınacaktır.



Şekil 2: Bir skalar değişken için kontrol hacmi

(5.1) denklemindeki kaynak terimi  $S_\phi$ 'nin, Şekil 2'de gösterilen kontrol hacmi boyunca integrasyonu ve  $\phi_p$ 'ye bağımlı olması için lineerize edilmesiyle sonuçta,

$$\int_V S_\phi dV = S_p \phi_p + Su \quad (5.2)$$

ifadesi elde edilir.

Sayısal stabiliteyi sağlamak için  $S_p$  kesinlikle negatif olmalıdır. Eğer  $\phi_p$ 'ye gerçek bağımlılık yoksa o zaman  $S_p$  sıfır alınabilir.

Taşınım ve yayınım terimlerinin de integrasyonu ve gerekli düzenlemelerin yapılmasıyla,

$$\begin{aligned} C_W \phi_\omega - C_E \phi_e + C_S \phi_s - C_N \phi_n + D_W(\phi_W - \phi_p) + D_E(\phi_E - \phi_p) \\ + D_S(\phi_S - \phi_p) + D_N(\phi_N - \phi_p) = S_p \phi_p + Su \end{aligned} \quad (5.3)$$

elde edilir. Bu denklemde  $\phi_e, \phi_\omega, \phi_n, \phi_s$  değerleri kontrol hacminin sınırlarında,  $\phi_E, \phi_W, \phi_N, \phi_S$  değerleri ve bütün katsayılar ağ noktalarında tanımlanmıştır. Kontrol hacmine giren akış için (+), çıkan akış için (-) işaret kullanılmıştır.

(5.3) denklemdeki C'ler taşınım, D'ler yayınım katsayısı olarak adlandırılırlar ve aşağıdaki gibi tanımlanmışlardır.

$$C_W = (\rho u)_\omega A_\omega \quad C_N = (\rho v)_n A_n \quad (5.4)$$

$$C_E = (\rho u)_e A_e \quad C_S = (\rho v)_s A_s$$

$$D_W = \frac{\Gamma_\omega A_\omega}{\delta x_\omega} \quad D_N = \frac{\Gamma_n A_n}{\delta r_n} \quad (5.5)$$

$$D_E = \frac{\Gamma_e A_e}{\delta x_e} \quad D_S = \frac{\Gamma_s A_s}{\delta r_s}$$

Yukarıdaki tanımlarda A'lar, ağ noktaları arasında ortada dört noktaya (e,ω,n,s) yerleştirilen hücre yüzey alanlarını gösterir. Bundan sonra bir sonlu-fark denklemi formülasyonunda yapılacak iş herhangi iki ağ noktası arasında  $\phi$ 'nin nasıl değişeceği varsayımdır. Yani  $\phi_e, \phi_\omega, \phi_n, \phi_s$  değerlerinin belirlenmesidir. Kullanılan bilgisayar programında bu değerler



"Upwind-Difference Scheme" (UDS) yöntemiyle bulunmuştur. UDS yönteminden başka CDS(Central-Difference Scheme) ve HDS(Hybrid-Difference Scheme) yöntemleri vardır. Şimdi bu yöntemler kısaca incelenecektir,

a) CDS Yöntemi(Central-Difference Scheme)

CDS yönteminde kontrol hacminin bir yüzü arasındaki  $\phi$ 'nin değeri, kontrol hacim yüzünün her iki tarafındaki noktalarda bulunan  $\phi$  değerlerinin ortalaması olarak alınır.

Kontrol hacminin alanı  $A_\omega$  olan batı yüzeyi ( $\omega$ ) göz önünde bulundurulursa,

$$\phi_\omega = \frac{1}{2}(\phi_W + \phi_P)$$

şeklindedir.

$$\begin{aligned} \text{Toplam Akış} &= C_W \phi_\omega + D_W (\phi_W - \phi_P) \\ &= C_W \frac{1}{2} (\phi_W + \phi_P) + D_W (\phi_W - \phi_P) \end{aligned}$$

$$\text{Toplam Akış} = (D_W + \frac{1}{2} C_W) \phi_W - (D_W - \frac{1}{2} C_W) \phi_P \quad (5.6)$$

$$\text{Burada,} \quad C_W = (\rho u)_\omega \frac{A_\omega}{\Delta x_\omega} \quad ; \quad D_W = \frac{\Gamma_\omega A_\omega}{\delta x_\omega}$$

şeklindedir.

CDS yöntemi yeterince küçük olan hızlar için önerilmiştir. Ağ "Peclet" sayısı ( $u \Delta x / \Gamma$ ) 2'den büyük olduğunda "semi-implicit-type" sayısal yöntemin çözüme götürmediği saptanmıştır. [2]

b) UDS Yöntemi (Upwind-Difference Scheme)

Bu yöntem CDS yönteminde bir yüzeyden taşınan  $\phi$  büyüklüğünün yüzeyin her iki tarafında bulunan ağ noktalarındaki  $\phi$ 'lerin ortalaması olarak alınması varsayımının eksik tarafını görerek daha iyi bir çözüm önermektedir.

Yayınım akısı için  $\phi$ 'nin kesik lineer olarak ağ noktaları arasında değıştiği varsayılırken, taşınım akısı için bir yüzey arasından taşınan  $\phi$ 'nin değeri, yüzeyin üst tarafındaki (upwind) ağ noktasında bulunan  $\phi$ 'nin değeri olarak alınır. Örneğin; taşınım akısı kontrol hacminin batısındaki ( $\omega$ ) yüzeyi için hesaplanırken ;

$$\begin{aligned} \phi_{\omega} &= \phi_W & (\rho u)_{\omega} A_{\omega} &\geq 0 \\ \phi_{\omega} &= \phi_P & (\rho u)_{\omega} A_{\omega} &< 0 \end{aligned}$$

şeklinde alınır. Buna göre toplam akış ;

$$C_W > 0 ; \text{ Toplam Akış} = (D_W + C_W) \phi_W - D_W \phi_P \quad (5.7)$$

$$C_W < 0 ; \text{ Toplam Akış} = D_W \phi_W - (D_W - C_W) \phi_P$$

olarak ifade edilir.

Bu yaklaşım CDS yönteminin kullanılmasında ortaya çıkan stabilite sorununu ortadan kaldırmaktadır. Yapılan çalışmada; CDS yönteminin tercih edildiği yeterince küçük hızlar için de (yani  $Pe < 2$ ) UDS yöntemi kullanılmıştır.

### c) HDS Yöntemi (Hybrid-Difference Scheme)

HDS yöntemi Spalding [2] tarafından geliştirilmiştir. CDS ve UDS yöntemlerinin bir karmasıdır. Bu yöntem  $Pe < 2$  için CDS yönteminin,  $Pe > 2$  için UDS yönteminin geçerli olmasına olanak vererek kontrol hacminin bir yüzeyinde  $\phi$  değerinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Bu son durumda yayınım terimlerinin etkisinin ihmal edilebileceği kabul edilmiştir.

Kontrol hacim yüzeylerinde  $\phi$ -dağılımları için yukarıda verilen formülasyonları kullanarak, (5.1) genel diferansiyel denkleminin sonlu-fark şekli oluşturulabilir. İki boyutlu akış için sonlu-fark denklemleri aşağıdaki şekildedir.

$$\left( \sum_j \psi_j - S_P \right) \phi_P = \sum_j \psi_j \phi_j + S_u \quad (5.8)$$

Burada;  $\sum_j$  ağ noktalarındaki (N,S,W,E) toplamı gösterir.  $\psi$ 'ler ise katsayılar olup taşınım ve yayınımdan oluşan katkıları içerirler ve anlatılan sonlu-fark yöntemleri yardımıyla oluşturulurlar (yani CDS, UDS, HDS). S'ler kaynak terimi bileşenleridir(Taşınım ve yayınım cinsinden ifade edilemeyen terimler grubu). Her bir sonlu-fark yöntemi için  $\psi$ 'ler ve S'ler farklı olarak formüle edilmişlerdir.

UDS ve HDS yöntemleri için  $\psi$ 'lerin ve S'lerin ayrıntılı çıkarılışları Patankar'da [3] verilmiştir, Burada denklemlerin aldığı son şekiller verilmiştir.

Çalışmada kullanılan UDS yöntemine göre katsayılar ;

$$\begin{aligned} \psi_N &= [D_N, D_N - C_N] \quad , \quad \psi_S = [D_S, D_S + C_S] \\ \psi_E &= [D_E, D_E - C_E] \quad , \quad \psi_W = [D_W, D_W + C_W] \end{aligned} \quad (5.9)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Köşeli parantezler ([ ])  $\psi$ 'lere içerdikleri değerlerin en büyüğünün ayrıldığını göstermektedir.

Genel değişken  $\phi$  için  $S_p$  ve  $S_u$  ifadeleri Tablo 3'te verilmiştir [1].

$\phi$	$S_u$	$S_p$
u	$\dot{m}_{net}^u + A_e (P_p - P_E)$	$-\dot{m}_{net}$
v	$\dot{m}_{net}^v + A_n (P_p - P_N) - \frac{\mu V}{r^2} \cdot V^*$	$-\dot{m}_{net}$
k	$G_k V$	$-\rho \frac{\epsilon}{k} \cdot V$
$\epsilon$	$C_1 G_k \frac{\epsilon}{k} V$	$-C_2 \rho \frac{\epsilon}{k} V$

Tablo 3: Genel değişken  $\phi$  için  $S_u$  ve  $S_p$  ifadeleri

\*) Bu tabloda V hücre kontrol hacmini göstermektedir.

Tablo 3'deki  $\dot{m}_{net}$  ;

$$\dot{m}_{net} = |C_W - C_E + C_S - C_N| \quad (5.10)$$

şeklinde olup süreklilik hatası olarak adlandırılmaktadır.

Basınç doğrultman denklemi aksenal momentum, radyal momentum ve süreklilik denklemleriyle oluşturulur.

$$A_p^u u_p = \sum_j \psi_j u_j + A_e (p_p - p_E) + S_1^u \quad (5.11)$$

$$A_p^v v_p = \sum_j \psi_j v_j + A_n (p_p - p_N) + S_1^v \quad (5.12)$$

$$+(\rho u)_\omega A_\omega - (\rho u)_e A_e + (\rho v)_s A_s - (\rho v)_n A_n = 0 \quad (5.13)$$

(5.11), (5.12) ve (5.13) denklemleri sırasıyla aksenal momentum, radyal momentum ve süreklilik denklemleridir.  $S_1^u$  ve  $S_1^v$  ise Tablo 3'te verilen ve basınç terimlerini içermeyen  $S_u$  ifadeleridir. Denklemlerdeki  $A_p$  katsayıları,

$$A_p^u = \sum_j \psi_j - S_p^u \quad \text{ve} \quad A_p^v = \sum_j \psi_j - S_p^v$$

şeklindedir.

Başlangıçtaki tahmini basınç alanındaki basınçlar  $p^*$  ve bu basınç alanına karşı gelen hızlar  $u^*$  ve  $v^*$  ile gösterilirse yukarıdaki denklemler ;

$$A_p^u u_p^* = \sum_j \psi_j u_j^* + A_e (p_p^* - p_E^*) + S_1^u \quad (5.14)$$

$$A_p^v v_p^* = \sum_j \psi_j v_j^* + A_n (p_p^* - p_N^*) + S_1^v \quad (5.15)$$

şeklinde yazılabilirler,

Hızların ve basıncın gerçek değerleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{aligned}u_j &= u_j^* + u_j' \\v_j &= v_j^* + v_j' \\p_j &= p_j^* + p_j'\end{aligned}\tag{5.16}$$

Yukarıda (') ile gösterilen terimler doğrultman terimleridir.

(5.11) denkleminde (5.14) denklemi, (5.12) denkleminde de (5.15) denklemi çıkarılırsa,

$$A_p^u u_p' = \sum_j \psi_j u_j' + A_e (p_p' - p_E')\tag{5.17}$$

$$A_p^v v_p' = \sum_j \psi_j v_j' + A_n (p_p' - p_N')\tag{5.18}$$

denklemleri elde edilir,

Doğru çözüme yaklaşıldıkça  $u_j'$  ve  $v_j'$  terimleri sıfıra yaklaşacaktır. Bu nedenle, (5.17) ve (5.18) denklemlerinin sağ tarafındaki ilk terimler dikkate alınmadan (5.16) denklemi de gözönünde bulundurularak,

$$u_p = u_p^* + \frac{A_e}{A_p^u} (p_p' - p_E')\tag{5.19}$$

$$v_p = v_p^* + \frac{A_n}{A_p^v} (p_p' - p_N')\tag{5.20}$$

Eksenel ve radyal hızların gerçek değerleri bulunmuş olur. Bu ifadeler (5.13) numaralı süreklilik denkleminde yerine konursa ;

$$\sum_j \psi_j \phi_p = \sum_j \psi_j \phi_j + Su \quad (5.21)$$

genel formundaki basınç doğrultman denklemi bulunur. Burada  $\phi$  basınç doğrultmanı  $p'$ 'yü göstermektedir. Basınç doğrultman denkleminde  $Su$  daha önce açık olarak yazılmış olan  $\dot{m}_{net}$  değerine eşittir.

Kullanılan programda çözüm algoritması gereği (5.19) denklemindeki  $p'_E = 0$  ve basınç doğrultman denklemindeki  $\psi_W = 0$  olarak alınmıştır.

## 6. ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Sonlu-fark denklemlerini çözmek için kullanılan sayısal çözüm yöntemi "SIMPLE" yönteminden biraz farklı olan "NEAT" yöntemidir [1]. Bu yöntem "2/E/FIX" (two-dimensional, elliptic, and fixed grid) olarak adlandırılan Pun ile Spalding'in [1] genel iki boyutlu bilgisayar koduna eklenmiştir. Bu bilgisayar kodunda akışın değişkenleri kaydırılmış bir sonlu-fark ağ sistemi boyunca (Şekil 1) "Semi-implicit line-by-line" tarzında hesaplanırlar. Ana adımlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [3]:

1. Tahmini bir basınç alanı verilir ( $p^*$ ).
2. Momentum denklemleri çözülerek  $u^*$  ve  $v^*$  değerleri bulunur.
3. Basınç doğrultman denklemi çözülür ( $p'$  denklemi).
4.  $p^*$  değerlerine  $p'$  basınç doğrultman değerleri eklenerek  $p$  değerleri hesaplanır.
5. Basınç doğrultman değerlerinden hız doğrultmanları ( $u'$ ,  $v'$ ) hesaplanarak bulunan bu değerlerden de  $u$  ve  $v$  değerleri elde edilir.
6. Akış alanını etkileyen diğer  $\phi$ -değerleri ( $k, \epsilon, h$  vb.) için sonlu-fark denklemi çözülür (Eğer  $\phi$  değerleri akışı etkilemiyorlarsa yakınsayan çözüme ulaşıldıktan sonra hesaplanırlar).
7. Basınç doğrultmanları eklenerek bulunan  $p$  değerleri yeni tahmini basınç değerleri  $p^*$  olarak alınarak 2. iterasyona geçilir ve yakınsayan çözüm elde edilinceye kadar bu işlemler tekrarlanır.

Yukarıda verilen bu adımlar simple ve neat yöntemlerinin her ikisinde de aynıdır. Simple yönteminde bir değişkenin tüm akış alanındaki değerleri hesaplanır. İstenen koşul sağlanıncaya kadar hesaplamalar devam eder. Daha sonra diğer değişken için hesaplamalar yapılır. Neat yönteminde ise gözönünde bulundurulmuş radyal ağ doğrultusu üzerinde bütün değişkenler için hesaplamalar yapılır. İstenen koşul sağlanınca diğer radyal ağ doğrultusuna geçilir. Ayrıca neat yönteminde akış alanındaki basınç değişimleri sonucu ortaya çıkan süreklilik ve momentum hatalarının giderilmesi radyal ağ doğrultusu üzerinde yapılır.

Bilgisayar kodunun "semi-implicit" doğası nedeniyle integrasyon sırasında akışın değişkenlerinin yavaş değişmesi ve stabiliteyi sağlamak için "under-relaxation" faktörleri kullanılmıştır.

Sonlu fark denklemleri TDMA(Tri-diagonal matrix algoritim) ile çözülürler. Çözüm sırasında doğu ve batıdaki  $\phi$  değerleri biliniyor kabul edilir.

Yakınsamanın sağlanıp sağlanmadığı "residual-source" (kalıntı) kriteriyle belirlenmiştir. Her bir değişken için her noktada ve her iterasyonda residual-source (kalıntı) ;

$$RS_p = (\sum_j \psi_j - S_p) \phi_p - \sum_j \psi_j \phi_j - S_u \quad (6.1)$$

şeklinde hesap edilir. Her iterasyonda kalıntılar herbir değişken için uygun şekilde normalize edildikten sonra bunların mutlak değerlerinin toplamının en büyüğü küçük bir sayı ( $10^{-3}$  gibi) ile karşılaştırılır. Bu koşul gerçekleştiğinde iterasyon sona erer.

Her değişken için radyal ağ doğrusu üzerindeki TDMA taramalarının sayısını kontrol etmek için o ağ doğrusu üzerindeki normalize edilmiş kalıntıların toplamının mutlak değeri küçük bir sayı ile karşılaştırılır. Bu koşul sağlanırsa bir sonraki radyal ağ doğrusuna geçilir. Sağlanmazsa işlemler maksimum tarama sayısında kesilerek bir sonraki radyal ağ doğrusuna geçilir.



## 7. BİLGİSAYAR PROGRAMI

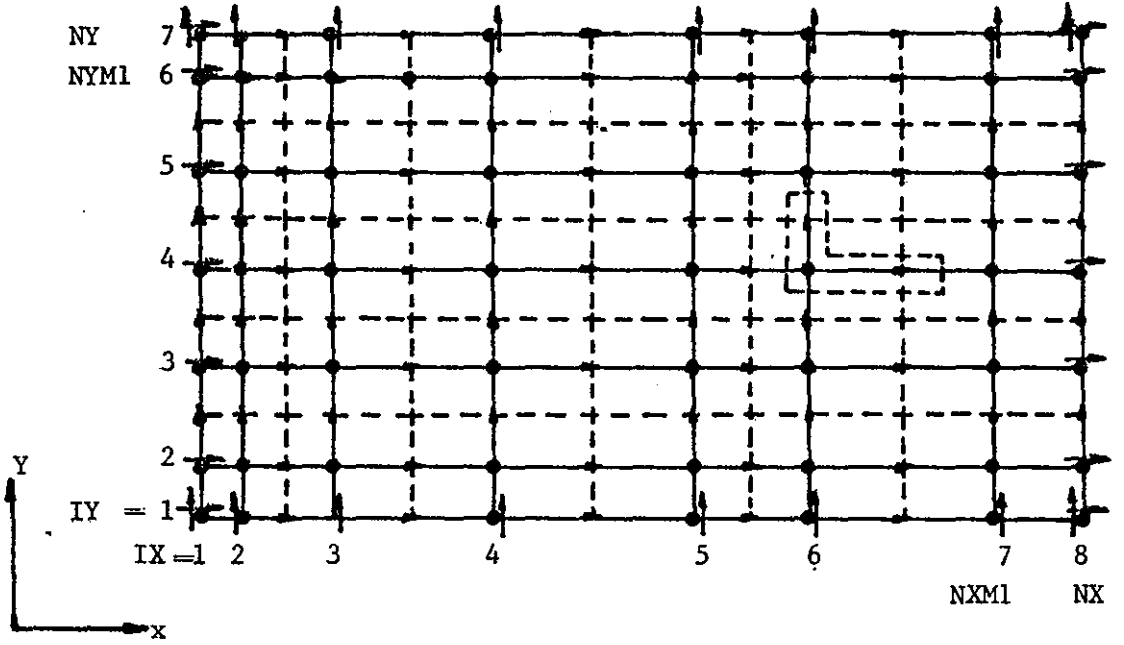
Çalışmada kullanılan "2/E/FIX" bilgisayar programının genel özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [1].

- Program "FORTRAN IV" programlama diliyle yazılmıştır.
- 6.Bölümde anlatıldığı gibi kullanılan sayısal çözüm yöntemi "NEAT"tır.
- Nümerik verilerin programa girişi "BLOCK DATA" altprogramıyla sağlanır.
- Değişkenler bilgisayarda bir boyutlu olarak saklanırlar.
- Kaydırılmış sonlu-fark ağı kullanılmıştır.
- Bir radyal ağ doğrusu üzerindeki TDMA taramaları güney-kuzey doğrultusunda yapılır.
- İntegrasyon sırasında ağ doğruları doğu-batı doğrultusunda taranır.
- Altprogramlara değişik noktalarda giriş ve çıkışlar (ENTRY ve RETURN) vardır.

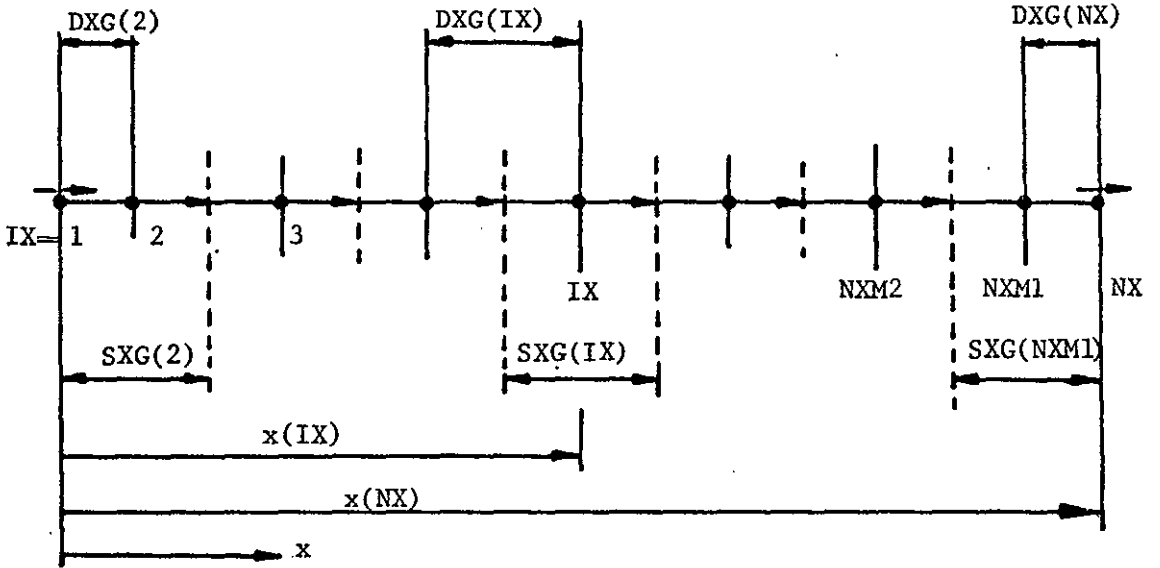
### 7.1. Sonlu-Fark Ağı ve Değişkenlerin Bilgisayarda Saklanması

5.Bölümde anlatıldığı gibi programda kaydırılmış sonlu-fark ağı kullanılmıştır. Şekil 3'te görülen dolu çizgiler ağ doğrularını gösterir. Ağ doğrularının kesiştikleri yerler ise düğüm noktalarıdır. Radyal yöndeki ağ doğruları 1'den NX'e kadar, aksenal yöndekiler ise 1'den NY'ye kadar numaralandırılmıştır. x yönündeki numaralandırma IX ile Y yönündeki numaralandırma IY ile gösterilmiştir. Düğüm noktaları arasına yerleştirilen hızların numaralandırılmaları L-kuralına göre yapılır.

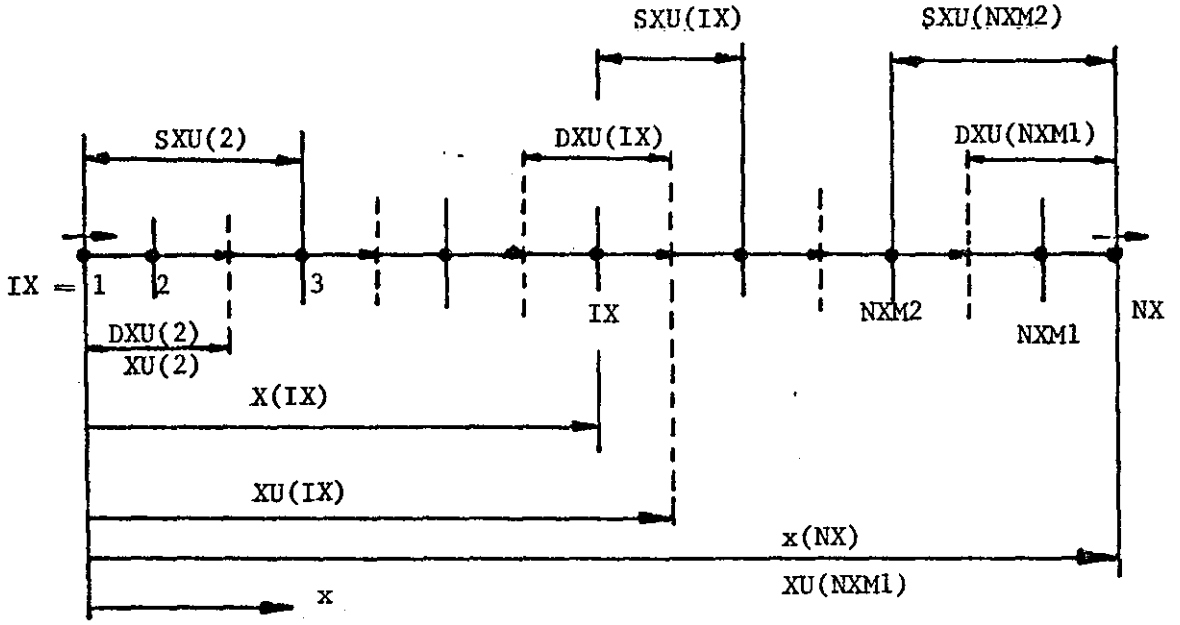
Şekil 4 , 5 ve 6'da programda kullanılan değişken adlarıyla ağ büyüklükleri gösterilmiştir,



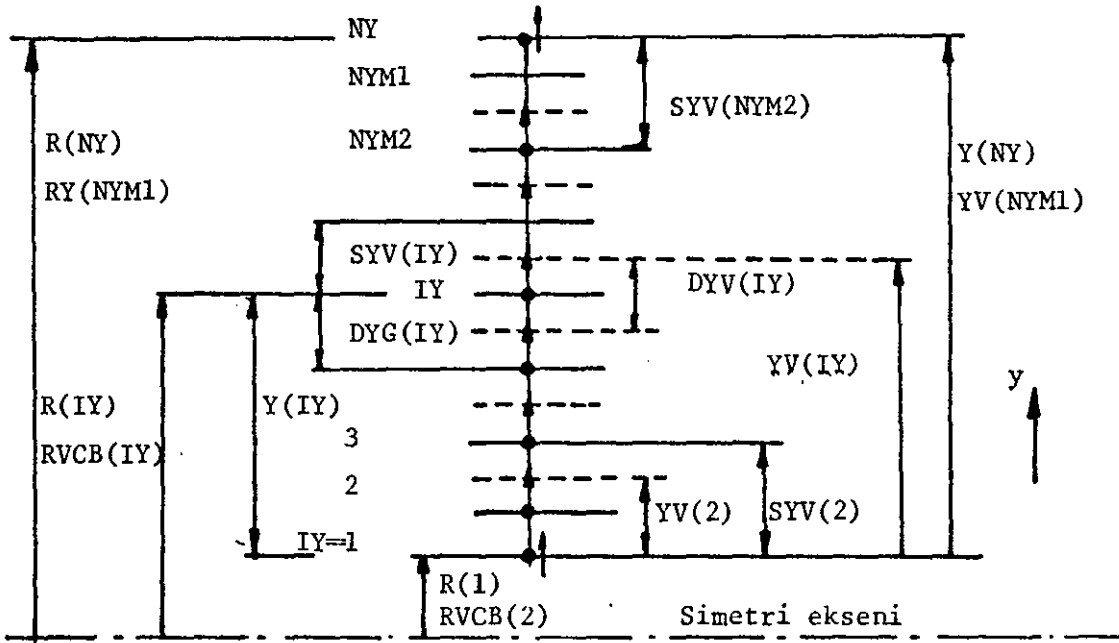
Şekil 3: Sonlu-fark ağı



Şekil 4: Bazı ağı büyüklükleri



Şekil 5 : Bazı ağ büyüklükleri



Şekil 6 : Bazı ağ büyüklükleri

Programda basınç doğrultmanı  $p'$  haricindeki bütün değişkenlerin değerleri iki boyutlu akış alanı için tek boyutlu bir  $F( )$  dizisi içinde saklanmışlardır. Doğrultman değerleri ise sadece TDMA taramalarının yapıldığı ağ doğrusu üzerinde saklanmıştır. Bütün değişkenler için  $F( )$  dizisindeki sıralama, IX-radyal ağ doğruları üzerindeki değerlerinin sırasıyla peş peşe gelmesiyle oluşur.  $F( )$  dizisindeki değişkenlerin hepsinin bağımsız bir dizisi vardır. Örneğin; u hızının  $U(I)$ , v hızının  $V(I)$  gibi. Zaten  $F( )$  dizisi bu bağımsız dizilerin toplamıdır.  $F( )$  dizisindeki değişken bloklarının sırası önemlidir, İlk önce hesaplanmaları birbirine bağlı olan değişkenler yerleştirilmelidir. Programda laminer akışta değişkenler u, v, h,  $p'$ ,  $\rho$ ,  $\mu$  sırasıyla yerleştirilmiştir. Çözüm bu sıraya göre yapılır. Değişken bloklarının  $F( )$  dizisindeki sırası JU, JV, JH, ... vb. değişkenlere sırayı belirten sayıların aktarımıyla sağlanır. Programda örneğin;

JU,	JV,	JH,	JPP,	JP,	JRHO,.....
1,	2,	3,	4,	5,	6,.....

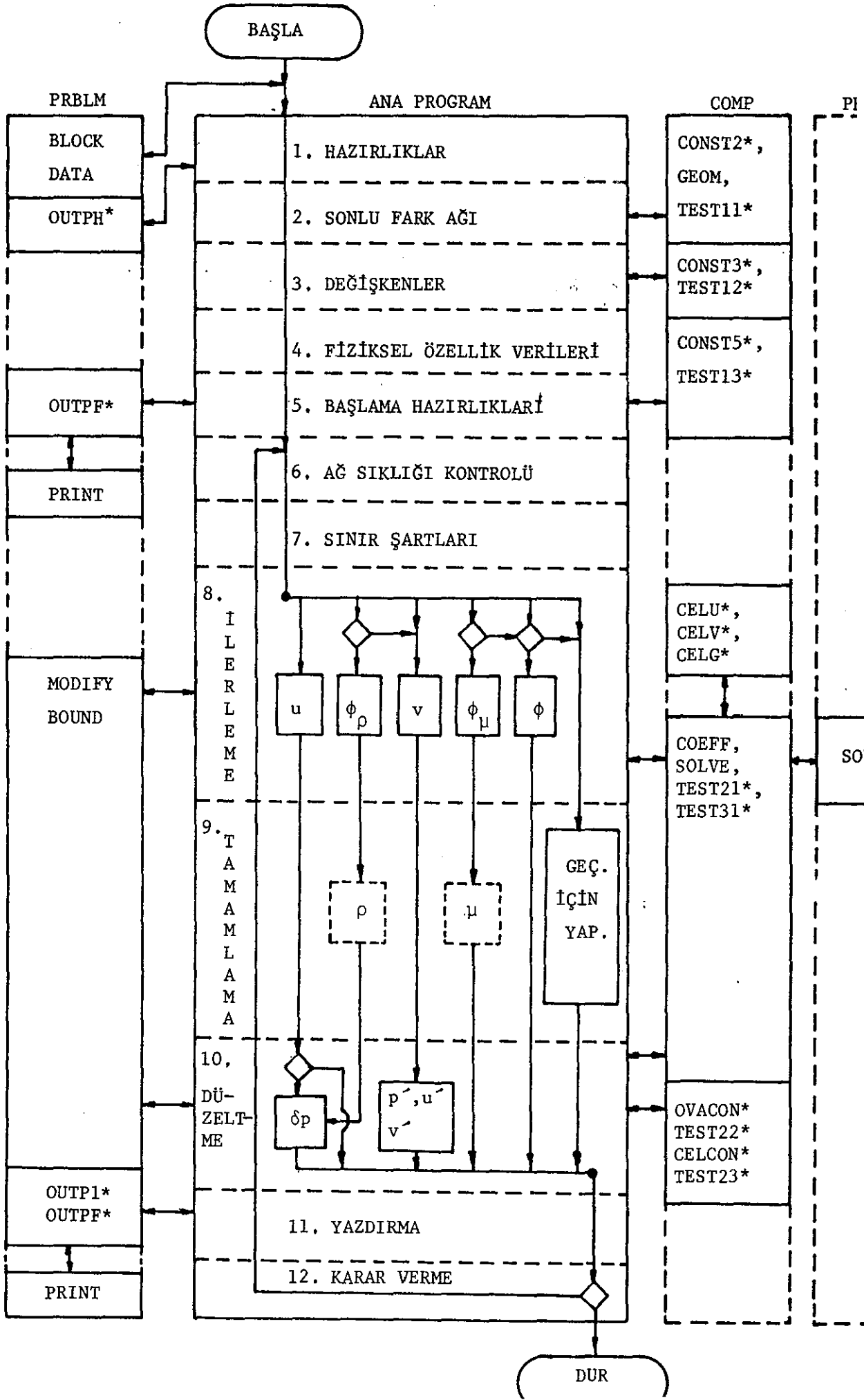
şeklindedir.

NX,NY boyutundaki bir sonlu fark ağı için değişkenlerin kaç tane değerinin olduğu aşağıdaki şekilde hesaplanır.

Basınç $p$ . . . . .	(NX-2).(NY-2)
Aksiyal hız $u$ . . . . .	NY.(NX-1)
Radyal hız $v$ . . . . .	NX.(NY-1)
Basınç doğrultmanı $p'$ . . . . .	(NY-2) (Programda NY kullanılır)
Diğer değişkenler . . . . .	NX,NY

Programda değişkenlere boyut açarken NX yerine NXMAX, NY yerine de NYMAX alınarak yukarıda verilen bağıntılardan boyutlar belirlenir.

Programın çalışması sırasında tüm denklemlerin çözülmesi istenmiyebilir. Bu durumda KSOLVE (JPHI) deyimine o değişken için sıfır artarılır.Örneğin; entalpinin (h) çözülmesi istenmiyorsa KSOLVE (JH)'ya "0"aktarılır.Çözülmesi istenen değişkenler için KSOLVE(JPHI)'ya "1" aktarmak yeterlidir.



Programın akış şemasından da görüldüğü gibi ana program 12 bölümden meydana gelmiştir. Ana programın ilk beş bölümü çözülecek problemle direkt ilişkilidir. Geri kalan bölümler ise ilerleyen integrasyon adımlarının kontrolüyle ilgilidir.

Programda bulunan 13 altprogram üç grupta toplanmıştır. PRBLM adıyla akış şemasında gösterilen ilk grup çözülen problemle ilişkili bilgileri sağlar. Örneğin; sonlu-fark ağının boyutları, sıklığı, "relaxation" faktörleri vb. İkinci grup COMP adıyla gösterilmiştir. Bu gruptaki altprogramlarda çözümde gerekli olan hesaplamalar yapılır. Örneğin; sonlu-fark denklemlerinin katsayıların hesabı, vb. Üçüncü gruptaki altprogramlardan problemin fiziğine bağlı bazı bilgiler sağlanır. Örneğin; türbülans modelindeki denklemlerin kaynak terimlerinin hesabı, vb. Bu gruba da PHYS adı verilmiştir.

Akış şemasında yapılan bazı kısaltmalar aşağıda verilmiştir.

- "GEÇ, İÇİN YAP" Yeni bir ağ doğrusuna geçiş için veya akış alanının tekrar taraması için yapılan işlemler.

- Altprogramlardaki "\*" üssü o alt programın ENTRY durumunda olduğunu gösterir.

-  $\phi_{\rho}$   $\equiv$  Yoğunluğun değişimini etkileyen değişken.

-  $\phi_{\mu}$   $\equiv$  Efektif vizkozitenin değişimini etkileyen değişken.

### 7.3. Ana Programın ve Altprogramların İşlevleri

Bu bölümde sırasıyla ana programın ve altprogramların program içindeki işlevleri anlatılacaktır [1].

Ana programın ilk bölümünde BLOCK DATA altprogramıyla verilen bazı bilgiler yazdırılır.

İkinci bölümde altprogram CONST2'de değişkenlerin NX ve NY değerlerine bağlı olarak hesaplanan sabit değerleriyle, altprogram GEOM'da hesaplanan sonlu-fark ağının çeşitli geometrik boyutları ana programa çağırılır. Bu bölüm çözülen probleme oldukça fazla bağlı olan bir bölümdür.

Üçüncü bölümün esas işlevi F-dizisindeki değişken bloklarının BLOCK DATA altprogramında veri olarak belli olan JU, JV, vb. değerleri yardımıyla belirlenmesidir. Normal kullanım için bu bölümde değişiklik yapılması gerekmez.

Dördüncü bölümden BLOCK DATA altprogramından elde edilemeyen başlangıç değerleri sağlanır.

Beşinci bölümde ilk TDMA taramalarında kullanılmak üzere değişkenlerin bilgisayarda saklandıkları yerlere başlangıç değerleri aktarılır. Bu bölümün geriye kalan kısmında ilk iterasyon sırasında daha iyi başlangıç değerleri sağlamak için bazı değişkenlerin bir radyal ağ doğrusu üzerindeki değerleri bu radyal ağ doğrusunun yanındaki iki radyal ağ doğrusuna aktarılır.

Altıncı bölüm gözönünde bulundurulan her bir radyal ağ doğrusu için bir kez taranır. Bu bölümde hesapların yapıldığı ağ doğrusuyla ilgili bilgiler hesaplanır. Hesapların yapıldığı akış alanının sınırları çalışmada programın uygulandığı örneklerde olduğu gibi üniformsa tarama sınırları yalnızca bir kez aktarılır. Üniform değilse gözönünde bulundurulan her bir radyal ağ doğrusu için bu sınırların tekrar aktarılması gerekir.

İterasyon sırasında aktarılması gerekmeyen sınır şartları 7.bölümde belirlenir. Bazı sınır şartları beşinci bölümde başlangıç değerleriyle verilebilir. Fakat sınır şartlarını değiştirmek bu bölümde daha kolay olduğundan bütün sınır şartlarının burada verilmesi daha iyidir. İterasyon sırasında aktarılması gereken sınır şartları BOUND altprogramından elde edilir.

8.Bölüm iç içe iki DO-döngüsüyle basınç dışındaki değişkenlerin bir ağ doğrusu boyunca çözülmesini sağlar. Bu DO-döngülerinin bitimi 10.bölümdür. Genel bir bölüm olduğundan farklı problemler çözülürken değişiklik yapmak gerekmez.

9.Bölüm yeni bir ağ doğrusuna geçilmeden veya yeni bir iterasyona başlamadan önceki hazırlıkların tamamlandığı bölümdür.

Genelde diğer altprogramların yardımıyla değişkenlerin doğru değerlerinin bulunması için gereken düzeltmelerin yapılmasını sağlayan bölüm 10.bölümdür.

11.Bölüm işlevi hesaplanan sonuçların ve bazı bilgilerin yazdırılmasını sağlamaktadır.

Ana programın sonuncu bölümü yani 12.bölümün işlevi ise iterasyona devam edilip edilemeyeceğine karar vermektir. BLOCK DATA altprogramında verilen maksimum iterasyon sayısına ulaşılmışsa veya yakınsaklık kriteri sağlanıyorsa iterasyon bitirilir. Farklı problemlerin çözümünde bu bölümde değişiklik yapmak gerekmez.

Şimdi sırasıyla altprogramların işlevleri verilecektir.

"ADJUST" adlı altprogramda yakınsamayı hızlandırmak için değişkenlere çeşitli düzeltmeler yapılır. "OVACON" ve "CELCON" adı verilen iki ENTRY'den meydana gelmiştir. ENTRY OVACON'da ortalama basınç değerleri gözönünde bulundurulmuş radyal ağ doğrusu üzerinde süreklilik sağlanacak şekilde hızların değiştirilmesiyle düzeltilir. Ancak sürekli akış durumunda böyle bir düzeltme anlamlıdır. Ortalama basıncın düzeltilmesi gerekiyorsa programda KMPA deyimine 1, gerekmiyorsa sıfır aktarılır. ENTRY CELCON'nun işlevi ise anaprogramın 10.bölümünde hesaplanan basınç doğrultman değerlerini kullanarak gözönünde bulundurulmuş sonlu-fark hücrelerinin sürekliliğinin sağlanması için yapılan düzeltmelerdir.

Problemin çözümü için gereken tüm nümerik veriler programa BLOCK DATA altprogramıyla verilmiştir.

Altprogram "BOUND" iterasyon sırasında aktarılması gereken sınır değerlerini ana programa gönderir.

Kontrol hacminin sınırlarındaki yoğunluk ve vizkozite değerlerini sağlayan altprogram "CELPHI" dir. Bu altprogram, "CELU", "CELV", "CELG" olarak adlandırılan üç ENTRY'den meydana gelmiştir. Bu kısımlarda sırasıyla u



hızı, v hızı ve skalar değişkenler için kontrol hacimlerinin sınırlarındaki değerler hesaplanır.

Altprogram "COEFF" te sonlu-fark denklemlerin katsayıları hesaplanır. Bu altprogram 5 bölümden oluşur. İlk bölümde CELU, CELV ve CELG altprogramlarında kontrol hacimlerinin sınırlarında hesaplanan yoğunluk ve vizkozite değerleri çağırılır, İkinci bölümde aksenel yöndeki, üçüncü bölümde radyal yöndeki sonlu-fark denklemlerinin, dördüncü bölümde basınç doğrultman denklemlerindeki ve beşinci bölümde diğer değişkenlerin denklemlerindeki katsayılar hesaplanır. Aksenel ve radyal yönlerdeki sonlu-fark denklemlerindeki kaynak terimler de bu altprogramın ikinci ve üçüncü bölümünde hesaplanır. Beşinci bölümdeki denklemlerin kaynak terimleri "SOURCE" altprogramında hesaplanır.

"CONST" altprogramında "CONST2", "CONST3" ve "CONST5" olarak adlandırılan üç ENTRY vardır. ENTRY CONST2'de NX ve NY ile ilgili büyüklükler hesaplanır. ENTRY CONST3'te değişkenlere bağlı sabitler hesaplanır. Ayrıca değişken adları da bu bölümde belirlenir. Yeni bir değişken eklendiğinde burada değişiklik yapmak gerekir. Ana programın 5.bölümü için gereken sabitleri CONST5 sağlar.

Sonlu-fark ağına bağlı tüm geometrik büyüklükler altprogram "GEOM"da hesaplanır.

Altprogram "MODIFY"de sınır şartlarında çözülen problemle ilgili değişiklikler sağlanır. Bu değişiklikler; akış içinde bir engelle ayrılan iki ağ noktası arasındaki bağlantının ortadan kaldırılması ve özel sınır şartlarının kaynak terimler vasıtasıyla programa sokulması şeklindedir.

Programla ilgili çıktıların çoğunun düzenlenmesi altprogram "OUTPUT"ta sağlanır. Bu altprogram üç ENTRY'den meydana gelir. "ENTRY OUTPH"de Reynolds sayısı, boru uzunluğu gibi başlıkların yazdırılması sağlanır. "ENTRY OUTPF"altprogram"PRINT" yardımıyla değişkenlerin akış alanındaki değerlerinin yazdırılmasını sağlar. "ENTRY OUTPI"nin işlevi ise denklemlerdeki kalıntıların ve monitördeki değerlerin yazdırılmasını sağlamaktır. Bu altprograma eklenecek entrylerle istenen farklı bilgiler yazdı-

rılabilir.

Altprogram "PRINT" ağ koordinatlarıyla beraber değişkenlerin akış alanındaki değerlerinin iki boyutlu olarak yazdırılmasını sağlar. Değişkenlerin akış alanındaki değerlerinin yan yana kaç tane radyal ağ doğrusu üzerinde yazdırılacağı NUMCOL adlı değişkenle belirlenir.

Sonlu-fark denklemlerinin çözümü altprogram "SOLVE" de sağlanır. Bu altprogramda çözümde "relaxation" faktörlerini kullanan ve kullanmayan olmak üzere iki bölüm vardır. Bu bölümlerin hangisinin kullanılacağı RELAX(JPHI) değişkenine aktarılacak değerle belirlenir. RELAX(JPHI)'ye 1 aktarılırsa "under-relaxation" yapılmaz. 1'den farklı değer aktarılmışsa "under-relaxation" yapılır. Yani bu durumda relaxation faktörlerini kullanan bölüm geçerlidir. Gerekirse denklemlerdeki kalıntılar da bu altprogramda hesaplanabilir.

"SOURCE" altprogramında "COEFF" altprogramından sağlanamayan kaynak terimler hesaplanır.

Program değişik problemler için çalıştırılırken ayrıntılı bilgilerin yazdırılması programın denetimi açısından yararlıdır. İşte bu ayrıntılı bilgilerin yazdırılmasını altprogram "TEST" sağlar. KTEST deyimine 1, 2 veya 3 aktarılarak bu altprogramdan değişik bilgiler yazdırılabilir.

#### 7.4. Programda Kullanılan Başlıca Değişkenlerin Açıklaması

- A( ) - Sonlu-fark denklemlerinin TDMA formundaki katsayısı  
AE( )  
AN( ) - Sonlu-fark denklemlerinin genel şeklindeki katsayılar  
AS( )  
AW( )  
AREA - Hücre yüzey alanı

- B( )
- C( ) - Sonlu-fark denklemlerinin TDMA formundaki katsayıları
- CCHECK - Yakınsamanın sağlanıp sağlanmadığını kontrol etmek için kullanılan küçük bir sayı
- CONE( )
- CONN( ) - Hücre yüzeylerinden olan taşınım akısını bilgisayarda saklamak için kullanılan değişkenler
- CONS( )
- CONW( )
- D( ) - Sonlu-fark denklemlerinin TDMA formundaki katsayısı
- DIFE( )
- DIFN( ) - Hızlar haricindeki değişkenlerin hücre yüzeylerinden olan yayılım akısını saklamak için kullanılan ortak değişkenler
- DIFS( )
- DIFW( )
- EMU( ) - Akış alanındaki efektif vizkozite değerleri
- EMUE( )
- EMUN( ) - Sonlu-fark hücresinin dört yüzeyindeki efektif vizkozite değerleri
- EMUS( )
- EMUW( )
- EMUREF - Türbülanslı akışta efektif vizkozite için referans değer. Bu değer akışkanın laminer vizkozitesine eşittir.
- F( ) - Bütün değişkenlerin saklandığı dizi
- FLOWIN - Boru içinde  $2\pi$  ile bölünmüş olan debi değeri
- FXSTEP - Aksiyal yönde ağ sıklığını ayarlayan faktör
- H( ) - Entalpi
- HCONE( )
- HCONN( )
- HCONS( ) - Hücre yüzeylerinden olan taşınım akısının 0,5 ile çarpılmış değerini saklamak için kullanılan değişkenler
- HCONW( )

- HINLET - Boru girişindeki entalpi değeri
- HWALL - Cidardaki entalpi değeri
- ISTEP - İterasyon sayısını gösteren sayaç değeri
- JPHI . - F( ) dizisindeki değişken bloklarını gösteren genel bir değişken
- JU
- JV
- JH 1'den başlayarak sırasıyla artan değerlere sahip indislerdir.
- JPP Değişkenlerin F( ) dizisindeki görelî blok sıralarını göstermek için kullanılır.
- JP
- JRHO
- JEMU
- KADSOR(J) - J ile gösterilen değişken için ek kaynak teriminin gerekli olup olmadığını göstermek için kullanılan kontrol indeksidir.  
= 0 ek kaynak terimlerin altprogram SOURCE'den sağlanması gerekmiyorsa  
= 1 gerekiyorsa
- KINPRI - Değişkenlerin başlangıç değerlerinin yazdırılmasıyla ilgili kontrol indeksidir.  
= 0 ise bu değerlerin yazdırılması istenmiyor  
= 1 ise isteniyor.
- KRAD - Kartezyen veya silindirik koordinatlarla ilgili kontrol indeksidir.  
= 1 kartezyen koordinat için  
= 2 silindirik koordinat için
- KSOLVE(J) - J ile gösterilen değişkenlerin hesaplanıp hesaplanmayacağını gösteren kontrol indeksidir.  
= 0 ise hesaplanmaz  
= 1 ise hesaplanır.

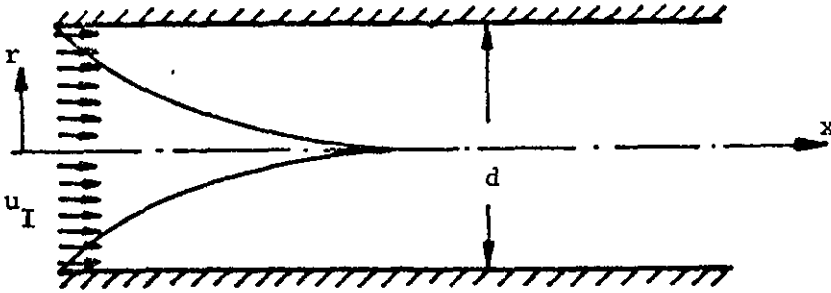
- KTFEST - Programın çalışması sırasında dışarıya yazdırılacak bilgileri belirleyen kontrol indeksidir.  
= 0 ise; bu tür bir yazdırma işlemi istenmiyor  
= 1 ise; ağ ile ilgili geometrik büyükler ve değişkenlerin hesap alanındaki başlangıç değerleri yazdırılır.  
= 2 ise; tahmini hız değerleri, hızlar için denklemlerdeki kalıntı miktarları ve doğrultman değerleri yazdırılır.  
= 3 ise; sonlu-fark denklemlerinin genel şeklindeki katsayılarla =2 durumunda yazdırılan bilgiler yazdırılır.
- LASTEP - Maksimum iterasyon sayısıdır.
- LINEF - Akış alanının taranması sırasında taramaların yapıldığı ilk ağ doğrusu,
- LINEL - Akış alanının taranması sırasında taramaların yapıldığı son ağ doğrusu,
- NEQ - Basınç doğrultman denklemi dışında çözülen diferansiyel denklemlerin sayısı.
- NODEF - Hesapların yapıldığı ağ doğrusu üzerindeki ilk düğüm noktası.
- NODEL - Hesapların yapıldığı ağ doğrusu üzerindeki son düğüm noktası.
- NTDMA - Herhangi bir ağ doğrusu üzerindeki TDMA taramalarının maksimum sayısını gösterir.
- P( ) - Hesap alanındaki basınç değerleri(sınırlardaki değerler hariç).
- PHIOLD( ) - Değişkenlerin eski değerlerini saklamak için kullanılan bir dizidir,
- PI - 3.1415926
- PP( ) - Basınç doğrultman değeri
- PRT(J) - Türbülanslı akıştaki prandtl sayısı
- PRL(J) - Laminer akıştaki prandtl sayısı
- R( ) - Yarıçap (simetri ekseninden olan mesafe)
- RELAX(J) - Değişkenler için "under-relaxation" faktörleri.
- RHO( ) - Yoğunluk değerleri

- RHOE( )
- RHON( )
- RHOS( )
- RHOW( )
- RHOREF - Referans yoğunluk değeri.
- RPIPE - Boru yarıçapı
- RSCHEK - Bir ağ doğrusu üzerindeki TDMA taramalarını sınırlandırmak için kullanılan küçük bir sayı.
- SP( ) - Genel sonlu-fark denklemindeki kaynak terimin bir bölümüdür. İçinde değişkenin kendisini de kapsar. Değişken x<sub>SP</sub> değerine eşittir.
- STORE - Değişkenlerin değerlerini geçici olarak saklamak için kullanılan dizi
- SU( ) - Genel sonlu-fark denklemindeki kaynak terimin bir bölümüdür. Değişkenin kendisini içermez.
- U( ) - Eksenel hız değerleri
- UINLET - Boru girişinde aksiyal hızın değeri
- V( ) - Radyal hız değerleri
- VOLUME( ) - Bir ağ doğrusu üzerindeki hücre hacimleri
- X( ) - Radyal ağ doğrularınının X-koordinat değerleri
- XPIPE - Boru uzunluğu
- XSTEP - İki radyal ağ doğrusu arasındaki mesafe
- Y( ) - Eksenel yöndeki ağ doğrularınının Y-koordinat değerleri

## 8. PROGRAMIN UYGULANDIĞI ÖRNEK PROBLEMLER

### 8.1 Bir Boru İçinde Gelişen Laminer ve Türbülanslı Akış

Hesaplamalarda kullanılan fiziksel durum ve koordinat sistemi Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7: Boru içinde gelişen akış

Akışkan üniform bir hız profiliyle boruya girmekte ve akış boru boyunca gelişmektedir. Giriş bölgesinde serbest akım büyüyen sınır tabaka tarafından tamamiyle çevrilmiştir. Sınır tabaka kalınlığının artmasıyla serbest akım hızlanır ve akış boyunca sınır tabaka kalınlığı boru yarıçapına eşit bir değere ulaştığında serbest akım kendi özelliğini kaybeder [2].

Serbest akımın kaybolmasıyla ve tamamiyle gelişmiş bir akıma ulaşmadan önce özellikle türbülanslı akışta hız dağılımı ile türbülansın yapısında daha fazla değişiklikler meydana gelir. Hesaplamalarda aşağıda verilen sınır koşulları kullanılmıştır.

Boru girişinde ( $x/d = 0$ ) deneysel koşula karşılık gelen bir ortalama hız ( $u_I$ ) verilmiştir. Radyal hız  $v$  ise sıfır olarak alınmıştır. Türbülanslı akışta boru girişinde türbülans büyüklüklerinin dağılımı, boru yarıçapına ve ortalama giriş hızına bağlı olarak hesaplanmıştır ( $k = 0,005 u_I^2$ ,  $\epsilon = C_\mu k^{3/2} / (0,03 \frac{d}{2})$ ). Boru çıkışında radyal hız  $v$  sıfır olarak alınmıştır. Radyal hız ( $v$ ) haricindeki bütün bağımlı değişkenlerin ise aksel yöndeki gradyanları sıfır alınmıştır (yani  $\partial\phi/\partial x = 0$ ). Boru cidarında  $u$  ve  $v$  hız bileşenleri sıfıra eşitlenmiştir. Simetri ekseninde  $v$  sıfır ola-

rak alınmıştır. Diğer bütün bağımlı değişkenler için ise sıfır radyal gradyant koşulu yani  $\frac{\partial \phi}{\partial r} = 0$  verilmiştir.

Türbülanslı akışta cidar yakınındaki ağ noktası için k'nın değeri 4.bölümde anlatılan cidar fonksiyonlarını kullanarak bilinen k-denge denklemin-den hesaplanırken,  $\epsilon$ 'nin değeri (4.2) denkleminde bulunur. Cidar yakınındaki bölgede hız bileşenleri için belirtilen sınır koşulları, hız yönündeki cidar kayma gerilmesinin bileşenleridir, Cidara normal hız bileşeni için bu bileşen sıfırdır, diğer hız bileşeni için ise cidar kayma gerilmesinin bileşeni Bölüm 4'te açıklanan cidar fonksiyonlarından hesaplanır.

Borudaki akış aksel simetrik olduğu için hesaplamalar sadece boru çapının yarısı için yapılmıştır. Kullanılan sonlu-fark ağı aksel ve radyal yönlerde sırasıyla 10x10 ağ noktalarından oluşmaktaydı. Ağ boru girişinde daha fazla nokta içerecek şekilde aksel yönde non-üniform olarak düzenlenmiştir. Hesaplanan alanın uzunluğu laminer akışta  $\frac{L}{d} = 0,0575 Re$  [4] bağıntısından, türbülanslı akışta ise boru girişinden 60 boru çapı kadar uzatılarak belirlenmiştir.  $Re = 10^5$  için 11 iterasyondan,  $Re = 1000$  için 18 iterasyondan sonra iyi bir çözüm elde edilmiştir. Bu sonuçlar için gereken cpu zamanı sırasıyla 16 sn ve 9 sn'dir. Ayrıca bütün sonuçlar yakınsama kriterinin her bir denklem için  $10^{-3}$ 'ten küçük olması koşuluyla elde edilmiştir.

Bu problem için laminer akışta u, v, p, h için kullanılan "under-relaxation" faktörleri sırasıyla 1.0 , 1.0 , 0.5 , 1.0 türbülanslı akışta u, v, p, h, k,  $\epsilon$ ,  $\mu_{eff}$  için kullanılanlar ise sırasıyla 0.8 , 0.5 , 0.3 , 1.0 , 0.8 , 0.8 , 0.3 tür.

Çözülen problemin sonuçları Şekil 8-12'de verilmiştir. Şekil 8'de borudaki son aksel kesitte boyutsuz aksel hız  $u/u_{max}$ 'ın boyutsuz radyal mesafe  $r/R$  ile değişimi gösterilmiştir.  $Re = 200$  ve  $Re = 2300$  için bulunan sonuçlar teorik çözümden ( $u/u_{max} = 1 - (r/R)^2$ ) elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Şekle bakıldığında her iki çözüm arasında oldukça iyi bir uyum bulunduğu görülür. Şekil 9'da aynı değişim türbülanslı akışta  $Re = 10^5$  ve  $Re = 3.10^6$  için gösterilmiştir.  $Re = 10^5$  için bulunan

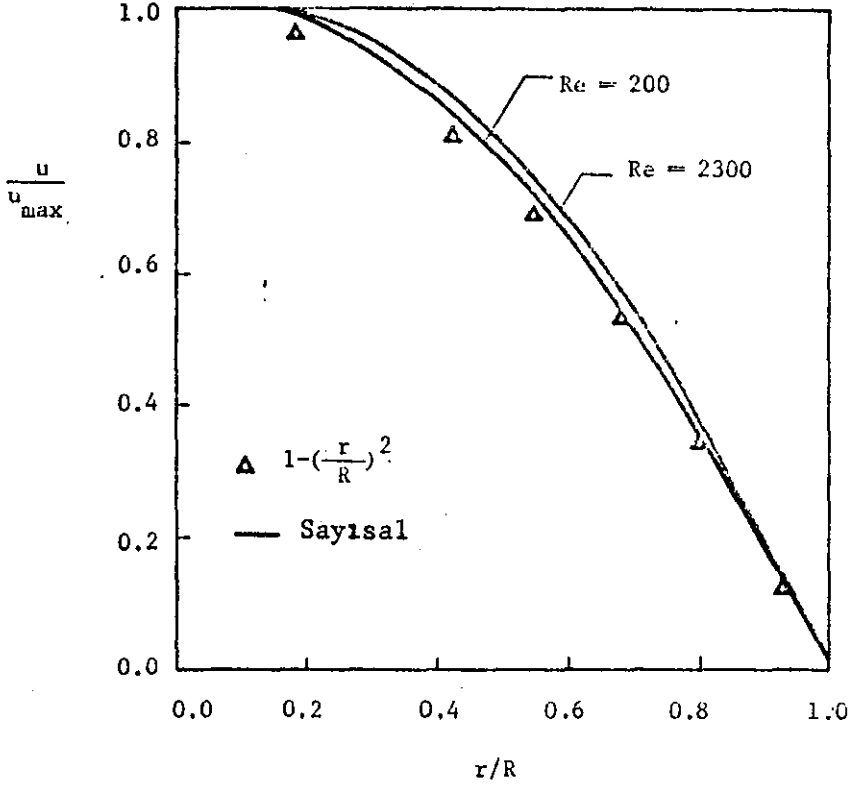


sonuçlar "VON KARMAN" tarafından verilen,  $Re = 10^5$ 'e kadar geçerli olan ve  $1/7$  üs kanunu olarak bilinen  $u/u_{\max} = (1-r/R)^{1/7}$  [4] bağıntısından elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır.  $Re = 10^5$  ten küçük  $Re$  sayıları için bulunan sonuçlar  $Re = 10^5$  için bulunan sonuçlara çok yakın olduğundan bu değişimler Şekil üzerinde gösterilmemiştir. Laminer akışa kadar olmasa da değişim incelendiğinde sonuçların iyi bir uyum içinde oldukları görülebilir.

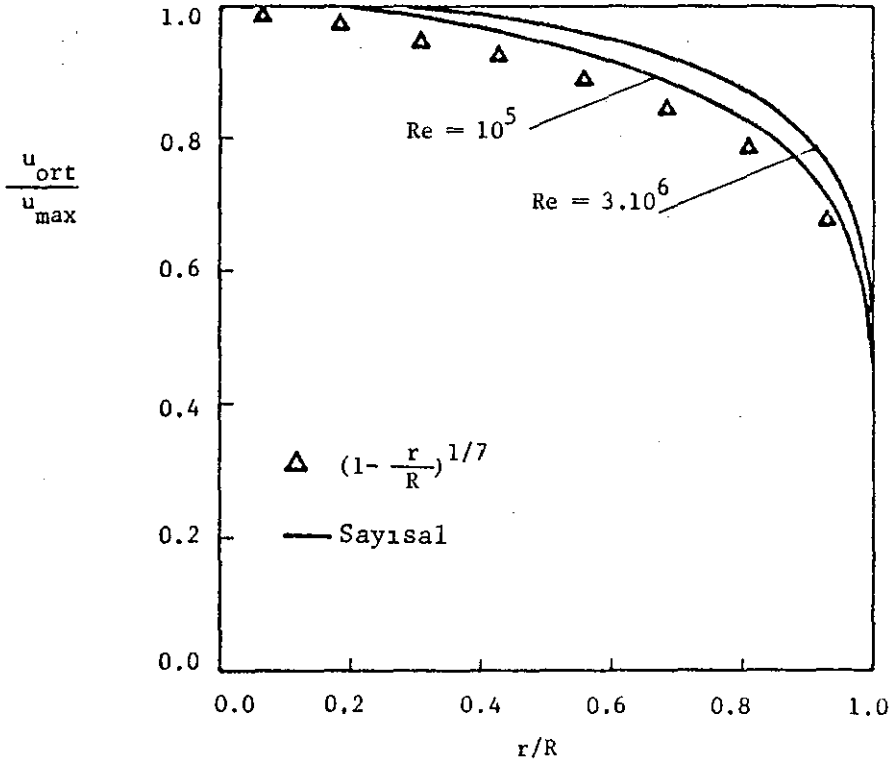
Şekil 10-11'de boru boyunca aksenal hızın radyal profillerinin gelişimi boyutsuz aksenal hız  $u/u_1$ 'nin boyutsuz radyal mesafe  $r/R$  ile değişimi cinsinden gösterilmiştir. Bu değişim laminer akışta  $Re = 200$  ve türbülanslı akışta  $Re = 10^6$  için verilmiştir. Őekillerden laminer akışta hız profillerinin parabolik, türbülanslı akışta ise türbülans etkileri nedeniyle hız profillerinin daha basık oldukları görülebilir.

Basınç kayıp katsayısı  $\lambda_k$  nın  $Re$  sayısı ile değişimi (Nikuradse diyagramı) Şekil 12'de gösterilmiştir, Basınç kayıp katsayısı laminer akışta  $\lambda_k = 64/Re$  bağıntısıyla, türbülanslı akışta "BLASIUS" tarafından verilen deneysel formül  $\lambda_k = 0,3164 Re^{-0,25}$  [4] kullanılarak Şekilde gösterilen değişimler çizilmiştir. Hesap sonuçlarından bulunan  $\lambda_k$  değerleri ise;  $\lambda_k = \Delta p \frac{d}{L} \frac{2}{\rho u_{\text{ort}}^2}$  bağıntısı ile bulunmuştur. Burada  $\Delta p$  basınç farkı,

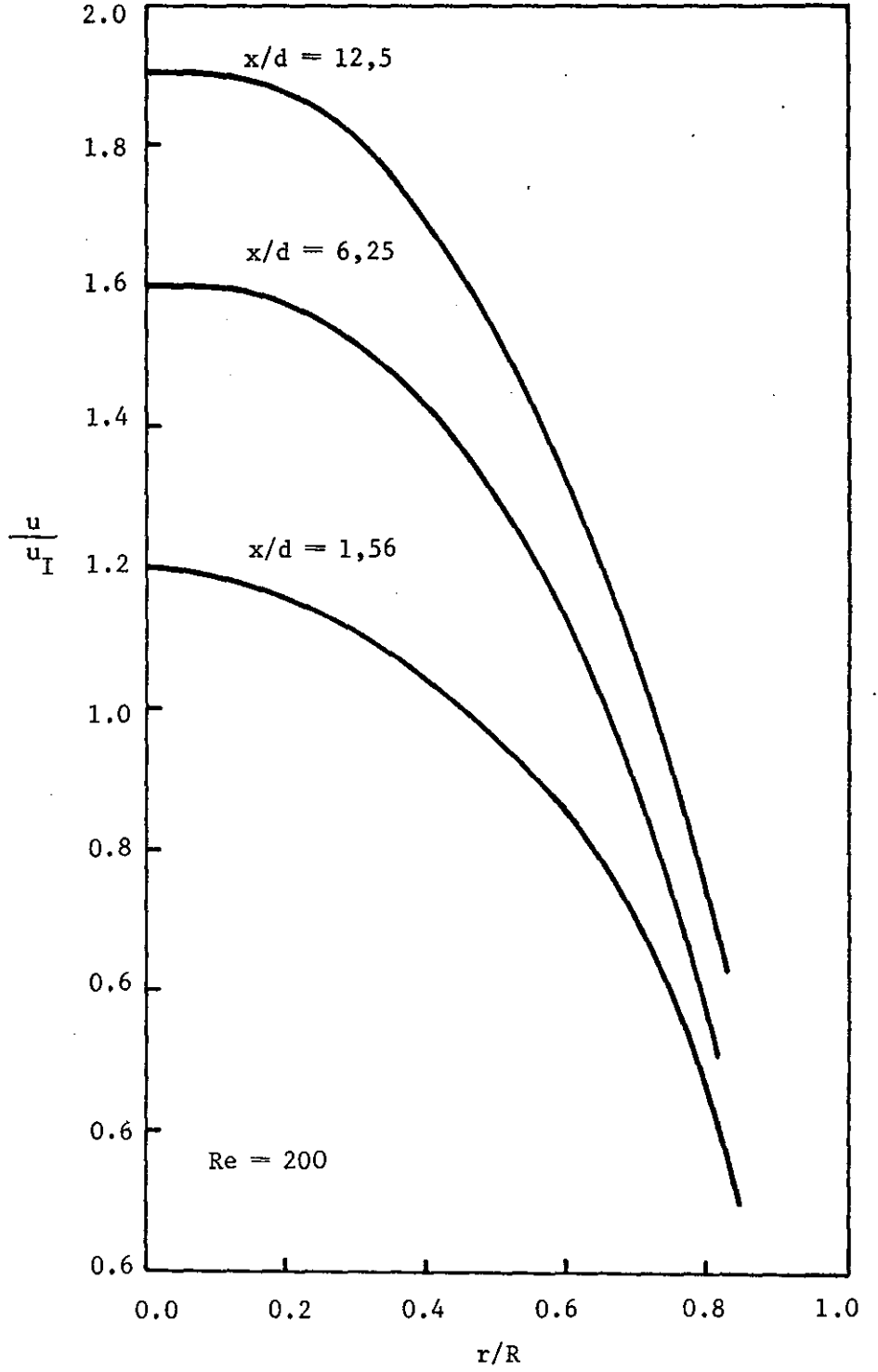
$L$  boru boyu,  $d$  boru çapı,  $\rho$  akışkanın yoğunluğudur. Değişimden bulunan sonuçların genelde iyi bir uyum içinde oldukları görülebilir. Özellikle laminer akışta bulunan sonuçlar hemen hemen çakışmaktadır.



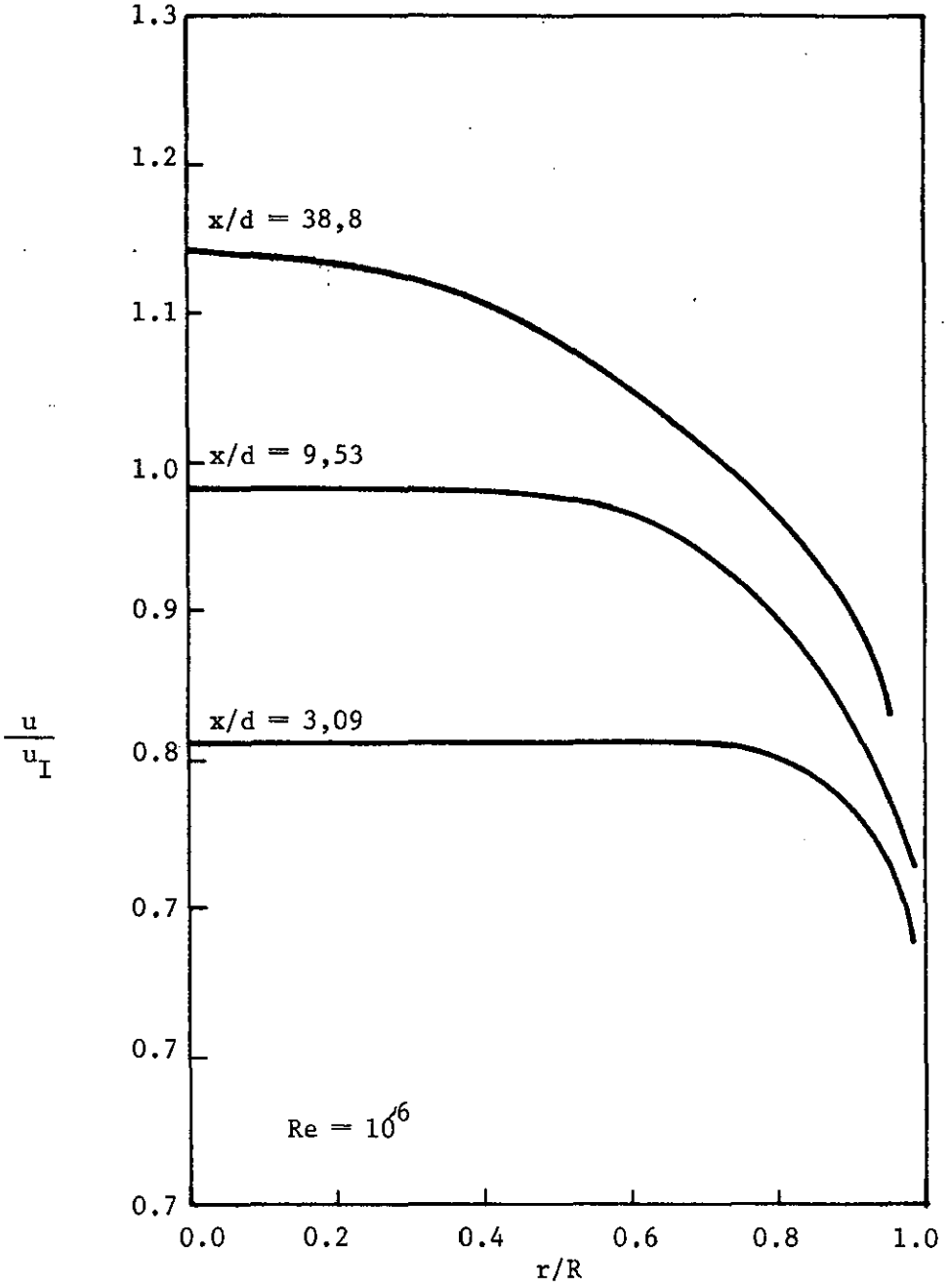
Şekil 8: En son eksenel kesitte boyutsuz aksiyal hızın boyutsuz radyal mesare ile değışimi



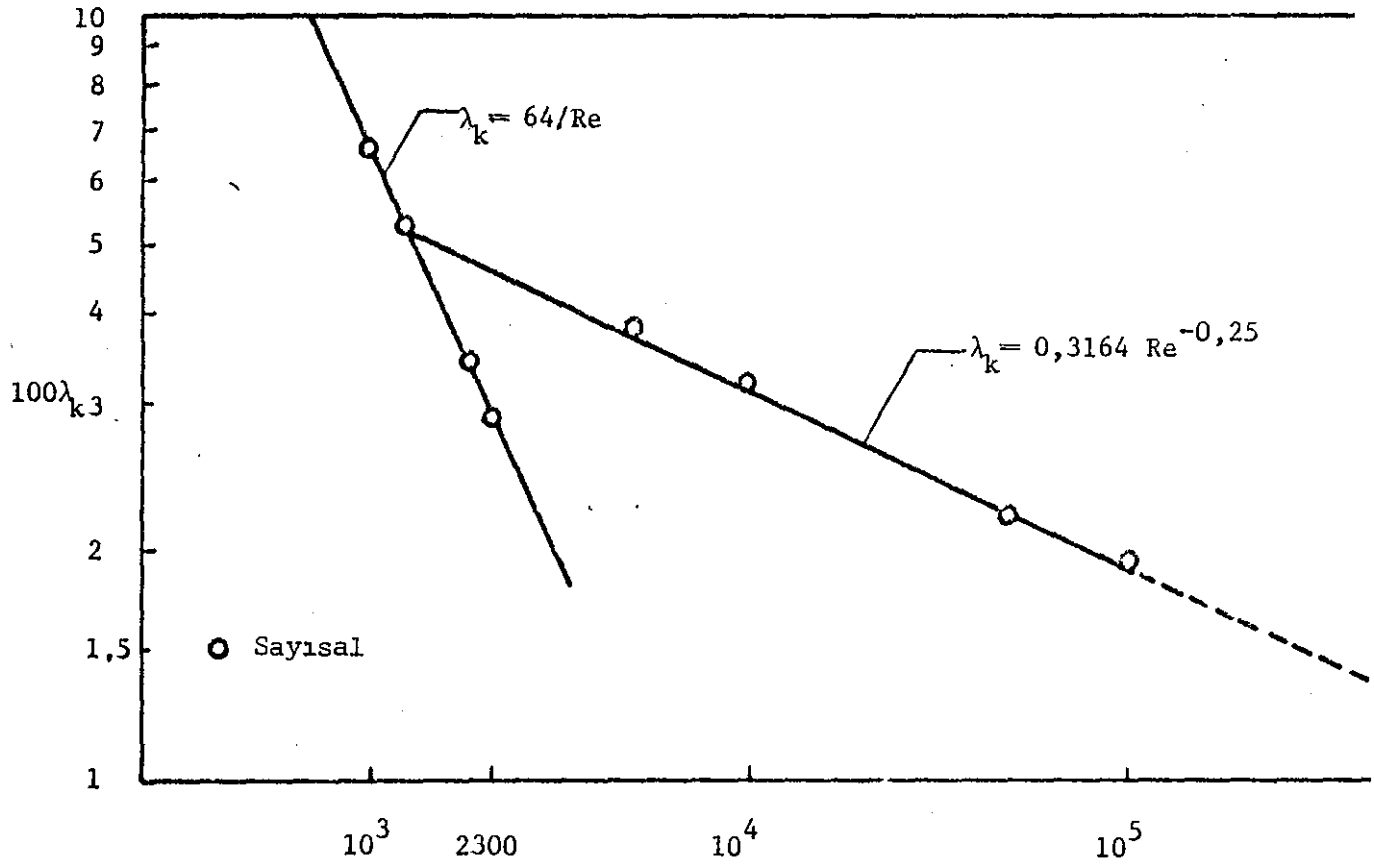
Şekil 9: En son eksenel kesitte boyutsuz aksiyal hızın boyutsuz radyal mesafe ile değışimi



Şekil 10: Boru boyunca aksenal hızın radyal profillerinin gelişimi.



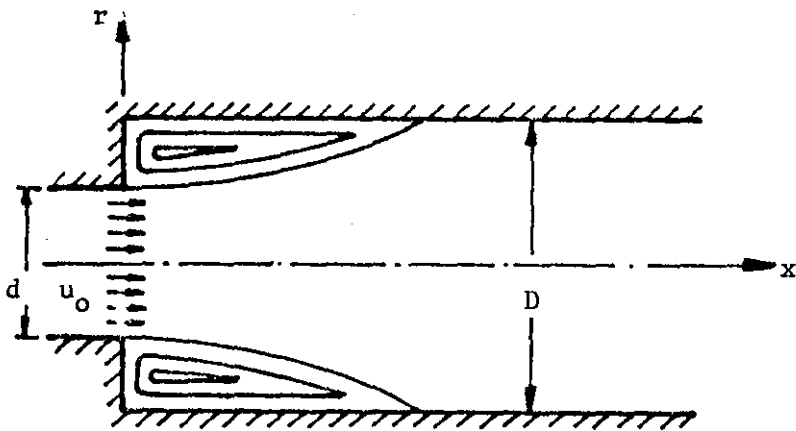
Şekil 11: Boru boyunca aksenal hızın radyal profillerinin gelişimi.



Şekil 12: Basınç kayıp katsayısının Re sayısı ile değişimi (Nikuradse diyagramı).

### 8.2. Ani Gelişleyen Borular İçindeki Laminer ve Türbülanslı Akış

Şekil 13'te ani genişleyen boru akışının fiziksel ve akış durumu gösterilmiştir.



Şekil 13: Ani genişleyen boru içindeki akış

Genişleme oranı  $\frac{D}{d} = 2$  olan laminer ve türbülanslı akış durumları incelenmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, akış boru eksenini etrafında simetrik kabul edilmiştir. Basamaktan hemen sonra büyük çaplı boru tarafından sınırlanan, içerisinde zıt yönlü akış olan bir dolaşım bölgesi vardır. Dolaşım bölgesinde yüksek karşıt basınç gradyanı, karşıt akış yaratarak kararsızlığı ve türbülansı arttırır. Böyle bir akış alanı şekilden de görüldüğü gibi biri dolaşım bölgesi, diğeri de ana akış bölgesi olmak üzere iki bölgeye ayrılabilir. Ayırıcı yüzeyin cidara çarptığı noktaya birleşme-yinelenme noktası adı verilir. İncelenen bu iki tip akış durumu için sınır koşulları aşağıda verilmiştir.

Türbülanslı akışta; ani genişleme borusu girişinde deneysel duruma karşılık olan üniform bir ortalama aksenal hız ( $u_0$ ), laminer akışta ise parabolik bir aksenal hız dağılımı verilirken, radyal hız her iki durumda da sıfır alınmıştır. Türbülans kinetik enerjisi  $k$  ve onun yayılma miktarı  $\epsilon$ 'na üniform değerler ayrılmıştır (yani,  $k = 0,005 u_0^2$ ,  $\epsilon = C_{\mu} k^{3/2} / (0,03 D/2)$ ). Yan taraftaki cidarda  $u$  ve  $v$  hız bileşenleri sıfıra eşit alınmıştır. Ani genişleme borusunun çıkışında, akışın parabolik olduğu yerde, radyal hız  $v$  sıfıra eşit kılındı, diğer bütün bağımlı değişkenler için sıfır aksiyal gradyant koşulu verildi (yani  $\partial\phi/\partial x = 0$ ). Borunun üst cidarında  $u$  ile  $v$  sıfıra eşit alındı. Simetri ekseninde tüm bağımlı değişkenler için sıfır radyal gradyant koşulu ( $\partial\phi/\partial r = 0$ ) belirtilirken, radyal hız  $v$  sıfır olarak alındı.

Kısım 8.1'de belirtildiği gibi cidar yakınındaki ağ noktalarında  $k$  ve  $\epsilon$ 'nin değerleri, Bölüm 4'te açıklanan cidar fonksiyonlarını kullanarak hesaplanmıştır.

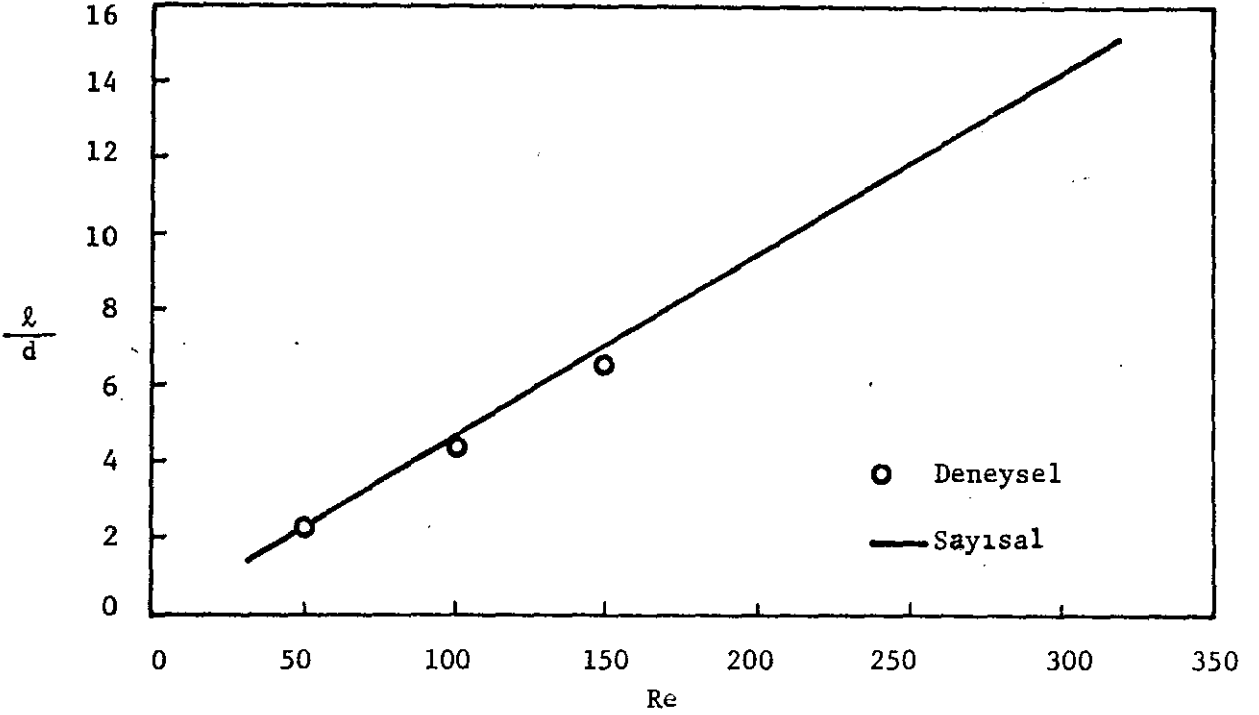
Sonlu-fark ağı aksenal ( $X$ ) ve radyal ( $r$ ) yönlerde  $10 \times 10$  noktalardan oluşmaktadır. Ağın aksenal yöndeki dağılımı üniform değildir. Ani genişlemenin bulunduğu bölgede daha çok nokta yerleştirilmiştir. Akış aksenal simetrik kabul edildiği için hesaplar yalnızca boru çapının yarısı için yapılmıştır. Yakınsama kriterleri her bir denklem için yine  $10^{-3}$  olarak seçilmiştir.

Bu problem için laminer akışta  $u$ ,  $v$ ,  $p$ ,  $h$  için kullanılan "under-relaxation" faktörleri sırasıyla 0.8, 0.5, 0.5, 1.0 türbülanslı akışta  $u$ ,  $v$ ,  $p$ ,  $h$ ,  $k$ ,  $\epsilon$ ,  $\mu_{\text{eff}}$  için kullanılanlar ise sırasıyla 0.7, 0.7, 0.5, 1.0, 0.7, 0.7, 0.3 tür.

Laminer akış için  $\ell/d$  nin  $Re$  sayısı ile değişimi Şekil 14'de gösterilmiştir. Burada  $\ell$  birleşme noktasına kadar olan aksenal mesafedir. Bu problem için bulunan sonuçlar "Macagno" ve "Hung" tarafından yapılan deneylerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış [1] ve sonuçların yakın bir uyum içinde olduğu görülmüştür. Türbülanslı akış için bulunan sonuçlar  $Re$  sayısının  $\ell/d$  oranına bağlı olmadığını ve tüm  $Re$  sayıları için bu oranın 3,79'a eşit olduğunu göstermiştir (Burada  $Re = u_0 d/\nu$  şeklindedir). Türbülanslı akış için deneysel ölçümlerden  $\ell \approx 4,5 D/2$  [5] olarak bulunmuştur. Buna göre hesaplardan elde edilen  $\ell$  mesafesi daha kısa olmaktadır ( $\ell = 3,79 D/2$ ). Bunun nedeni  $k$ - $\epsilon$  türbülans modelinin sınırlamasıdır. Model, yaratılan ekstra türbülans enerjisi ile etkisinin hissedildiği yayılma hareketleri arasına geçen zamanı dikkate almamaktadır.

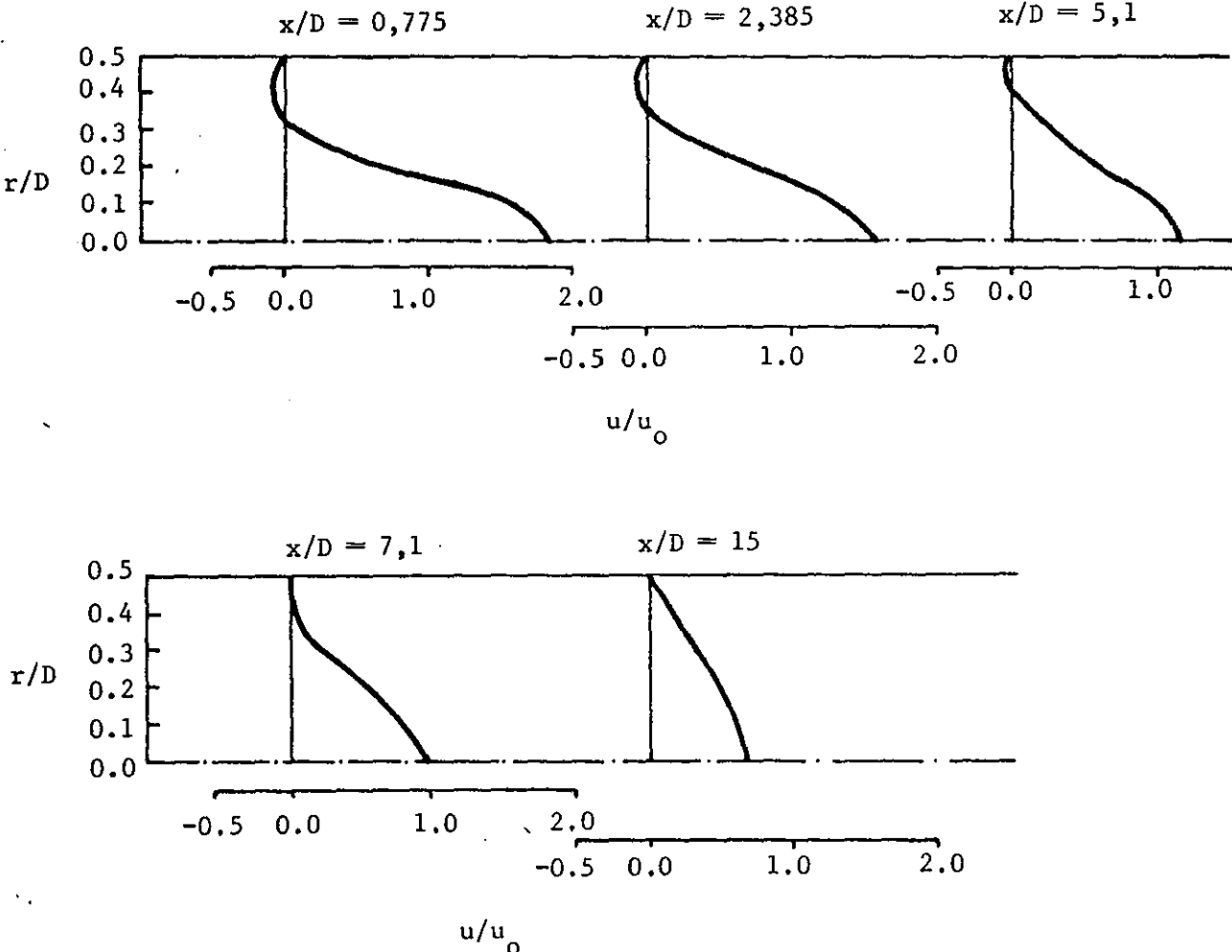
Şekil 15 ve 16'da borunun değişik aksenal kesitlerinde boyutsuz aksenal hız  $u/u_0$ 'ın boyutsuz radyal mesafe  $r/D$  ile değişimi gösterilmiştir. Burada  $u_0$  küçük borudaki ortalama aksenal hızdır. Bu değişim şekil 15'de  $Re = 300$ , şekil 16'da  $Re = 10^6$  için gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde gelişmiş akış profilinin elde edilebilmesi için laminer akışta daha büyük bir uzunluğa gerek duyulduğu görülür.

$Re = 300$  için 56 iterasyondan,  $Re = 10^6$  için 73 iterasyondan sonra iyi bir çözüm elde edilebilmiştir. Bu çözümler için gereken cpu zamanı sırasıyla 25 sn ve 43 sn'dir.



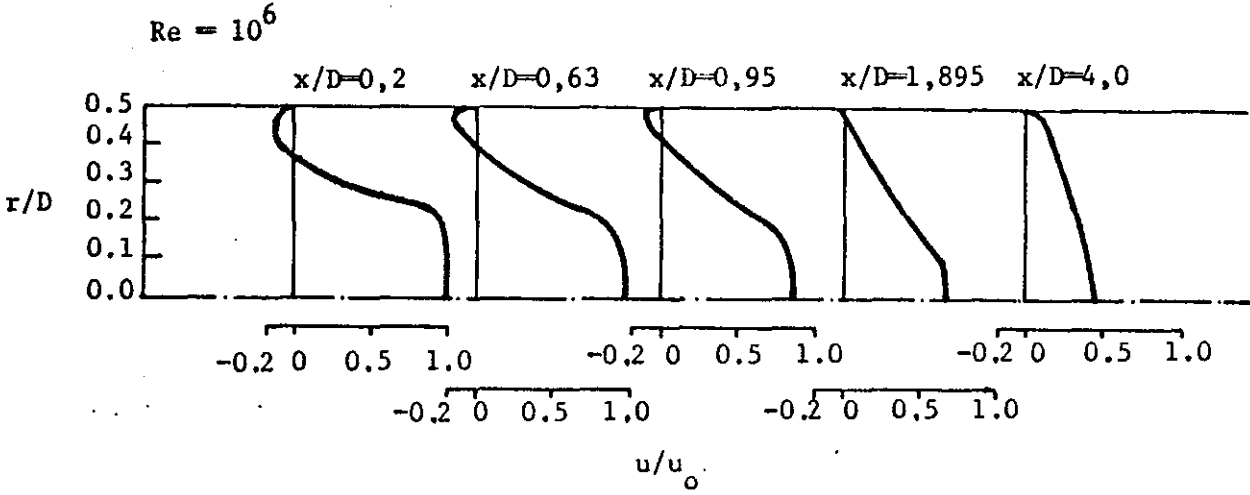
Şekil 14: Laminer akışta  $l/d$  nin Re sayısı ile değişimi

Re = 300



Şekil 15: Çeşitli aksenal kesitlerde  $u/u_0$  'ın boyutsuz radyal mesafe  $r/D$  ile değişimi.

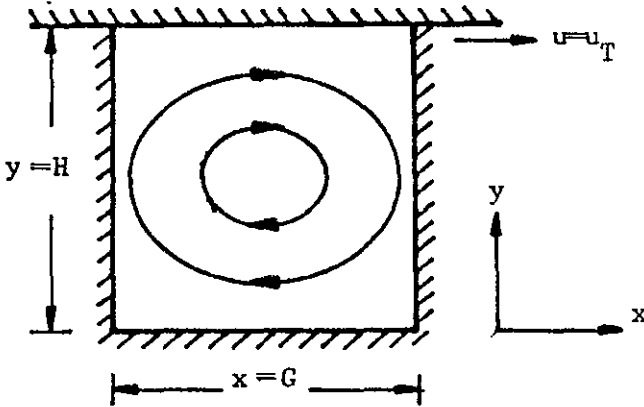




Şekil 16: Çeşitli eksenel kesitlerde  $u/u_0$ 'ın boyutsuz radyal mesafe  $r/D$  ile değişimi

### 8.3. Hareketli Bir Duvarla Örtülü Kanaldaki Laminer Akış

Aşağıda çizilen şekil 17'de hesaplamalarda kullanılan fiziksel durum ve koordinat sistemi gösterilmiştir.



Şekil 17: Sabit bir hızla hareket eden duvarla örtülü bir kanaldaki akış

İncelenen problemde kanalın yüksekliği ( $H$ ) genişliğine ( $G$ ) eşit ve kanalı örten duvarın hızı ( $u_T$ ) sabit alınmıştır. Üstteki duvarın hareketine bağlı olarak kanalın içinde girdaplar meydana gelmektedir.

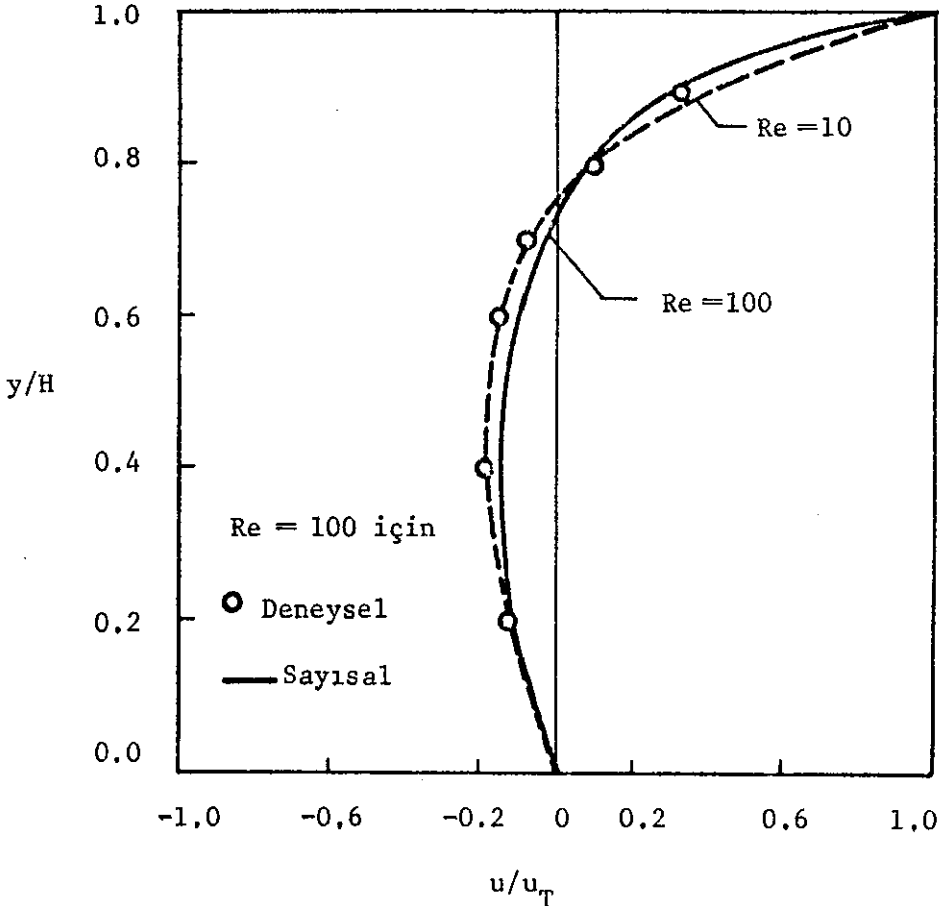
Sınır koşulları incelenen bu akış durumu için aşağıda verilmiştir. Kanalın cidarlarında  $u$  ve  $v$  hızları sıfıra eşit alınmıştır. Hareketli duvar üzerinde  $u$  hızı duvarın hızına  $v$  hızı ise sıfıra eşitlenmiştir.

Sonlu fark ağı  $x$  ve  $y$  yönlerinde üniform olarak düzenlenmiştir. Bu akış durumu için de ağı  $10 \times 10$  noktalardan oluşmaktadır. Problemin çözümü kartezyen koordinatlarda yapılmıştır. Önceki akış durumlarında olduğu gibi her bir denklem için kullanılan yakınsama kriteri  $10^{-3}$ 'tür. Hesaplarda kulla-

nılan "under-relaxation" faktörleri, bundan önceki bölümde laminer akış durumu için verilenlerle aynıdır.

Şekil 18'de boyutsuz kanal yüksekliğiyle ( $\frac{y}{H}$ ) duvar hızıyla boyutsuzlaştırılan kanalın orta kesitindeki aksenal hızın değişimi Re sayısına bağlı olarak verilmiştir. Burada kullanılan Re sayısı kanalın yüksekliğiyle hesaplanmıştır (yani  $Re = u_T H/\nu$  şeklindedir).  $Re = 10$  ve  $Re = 100$  için bulunan sonuçlar gösterilmiştir.  $Re = 100$  için bulunan sonuçlar "Burgraff" ın  $Re = 100$  için bulduğu deneysel değerlerle karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça yakın bir uyumda oldukları gözlenmiştir. Ayrıca hesaplar Re sayısı büyüdükçe hızların kanal orta düzlemine göre semitrikliğini kaybettiklerini göstermiştir.

$Re = 10$  ve  $Re = 100$  için iyi bir çözüm 31 iterasyon çevriminden sonra elde edilmiştir.  $Re = 10$  için gereken cpu zamanı 28 sn,  $Re = 100$  için ise 37 sn'dir. Verilen zamanlar ortalama değerlerdir. Sistemin yüklenme derecesine göre değişmektedirler.



Şekil 18: Boyutsuz aksenal hızın boyutsuz yükseklik ile değişimi ( $X/G=0.5$ )

## 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada; "2/E/FIX" adlı genel bilgisayar programı üniversitemizdeki IBM-4341 bilgisayarına uyumlandıktan sonra laminer ve türbülanslı akış durumları için düz boruda, ani genişleyen boruda ve laminer akış için sabit hızla hareket eden duvarla örtülü kare kesitli kanaldaki akış durumlarına başarılı bir şekilde uygulanmış ve değerlendirilmiştir.

Bir boru içinde gelişen laminer ve türbülanslı akış durumlarında değişik Re sayılarında aksenel hızın radyal mesafeyle değişimi, borunun değişik kesitlerindeki aksenel hız profillerinin radyal mesafeyle değişimleri ve basınç kayıp katsayısının Re sayısı ile değişimi gösterilmiştir. Elde edilen hesap sonuçları deneysel ve teorik değerlerle karşılaştırıldığında oldukça iyi bir uyumun bulunduğu görülmüştür.

Ani genişleyen borudaki laminer akışta bulunan sonuçlar Macagno ve Hung [1] tarafından yapılan deneysel ölçümlerle karşılaştırılmış ve sonuçların yakın bir uyum içinde olduğu görülmüştür. Dolaşımın varolduğu yani akışa hakim tek hareket yönünün bulunmadığı giriş bölgesinde türbülanslı akış için elde edilen sonuçlar uzunlukca daha kısa bir bölge verdiler. Bunun kaynağı kullanılan türbülans modelidir. Çünkü model yaratılan ekstra türbülans enerji ile etkisinin hissedildiği yayılma hareketleri arasında geçen zamanı dikkate almamaktadır. Buna rağmen, genel olarak aksenel-simetrik ani genişleyen boru örneğinde alınan sonuçlar iyi bir uyum göstermiştir.

Hareketli bir duvarla örtülü kanaldaki laminer akış durumunda aksenel hızın değişimi Re sayısına bağlı olarak gösterilmiş ve Burgraff [1] tarafından bulunan deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar büyük Re sayılarında ( $Re = 600$ ) aksenel hızın kanal orta düzlemine göre simetrikliğini kaybettiğini göstermiştir. Bu problem için bulunan sonuçlar da deneysel değerlerle yakın bir uyumdadır.

Genelde bulunan sonuçlar programın doğruluğunun oldukça iyi olduğunu göstermiştir. Ayrıca program hesaplama masrafı yönünden de oldukça ekonomiktir. Burada hesaplama masrafı, önceden belirlenen bir yakınsama derecesi-

ne ulaşmak için bilgisayar programı tarafından istenen iterasyon sayısını ifade eder.

Doğa dergisinde bu program uygulanarak yapılan çalışmada [2] radyal momentum ve aksenal momentum denklemlerindeki kaynak terim içine konan fazla terimlerin elde edilen sonuçlar üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı programın çalıştırılması sırasında görülmüştür.

Kullanılan bu program üç boyutlu hale getirilebilir. Üçüncü hız bileşeni yani teğetsel hız ( $\omega_t$ ) skalar bir değişken gibi kabul edilerek, sıcaklık diferansiyel denklemine benzer bir denklemin çözülmesiyle hesaplanır. Üç boyutlu durumda radyal momentum denklemine eklenen  $\omega_t^2/r$  terimi stabiliteyi bozabilir. Nitekim bu çalışma sırasında program üç boyutlu hale getirmeye çalışılmış, fakat stabilite sağlanamamıştır. Bazı nümerik oyunlarla bu terimin denkleme etkisinin yavaş yavaş hissettirilebilmesi sağlandığında bu sorunun çözümlenebileceği düşünülmektedir.

K A Y N A K L A R

- [ 1 ] Pun,W.M.,Spalding,D.B., "A General Computer Program for Two-Dimensional Elliptic Flows", Rep. HTS/76/2, Imperial College, London,(1976).
- [ 2 ] Karasu,T.,Choudhury,P.R.,Gerstein,M., "Upwind ve Hybrid Diskritizasyon Metodları ile  $k-\epsilon$  Türbülans Modelini Kullanarak Bazı Türbülanslı Akışların Hesaplanması", Doğa Bilim Dergisi, Seri:B, Cilt:9, Sayı 3, (1985), s.218-234.
- [ 3 ] Patankar,S.V., "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", McGraw-Hill Book Company, New York, (1980).
- [ 4 ] Özgür,C., "Deneysel Hidromekanik", I.T.Ü. Makina Fakültesi, Sayı:1166, (1980).
- [ 5 ] Johnston,J.P., "Internal Flows", Turbulence, Editor: P.Bradshaw, Volume 12, Springer-Verlag Heidelberg New York, (1976), 108-169.
- [ 6 ] Onur,H.Ş., "Yayınlanmamış Notlar", K.Ü.,Trabzon.

EK :

PROGRAM VE ALINAN SONUÇLARDAN BİR ÖRNEK

```

BLOCK DATA
CHARACTER*4 TITLE,SYMBOL
COMMON
1/CASE1/ UINLET,FLUIN,PIPE,XPIPE,FXSTEP,HINLET,HWALL
COMMON
2/DYI/DYI(17),DYV(17),FV(17),FVNODE(17),R(17),RDYI(17),RDYV(17)
2,RSYI(17),RSYV(17),RV(17),PVCB(17),SYG(17),SYV(17),Y(17),YV(17)
COMMON
3/DNYONX/AN(17),AN(17),AP(17),AS(17),AK(17),C(17),D(17),DIFE(17)
3,DIFN(17),DIFW(17),DU(17),DV(17),EMUE(17),EMUN(17)
3,EMUN(17),HCONE(17),HCONN(17),HCJNW(17)
3,PHIOLD(17),RHOE(17),RHON(17),RHOW(17),SP(17),SU(17)
3,VOLUME(17),CONW(17),CONS(17),CONE(17),CONW(17),ESMPHI(17)
COMMON
4/DX/DXG(22),DXJ(22),FU(22),FUNODE(22),KOUNT(22),ROXG(22)
4,ROXU(22),RSXG(22),RSXU(22),STORE(22),SXG(22),SXU(22),X(22),XU(22)
COMMON
5/DJPHI/ IEN(10),ILAST(10),IMON(10),IXNY(10),IZERO(10)
5,JGRUP(10),KADSOR(10),KSOLVE(10),KRS(10),RELAX(10),RSREF(10)
5,RSSUM(10),TITLE(10)
COMMON
6/DO/CCHECK,OP,FLOWPC,FLOWST,FLOWUP,GREAT,ILINE,IPERS,IPREF,IPRI
6,ISTEP,IX,IXINY,IXINY1,IX2NY2,IXMON,IXPI,IXREF,IYMON,IYPREF
6,JEMU,JH,JLAST,JLIM1,JLIM2,JLIM3,JLIM4,JP,JPP,JRHQ
6,JU,JV,JVP1,KINPRI,KMPA,KRAD,KRHOMU,KTEST,LAPPHI
6,LASTEP,LINEF,LINEL,NEQ,NEQPI
6,MODEF,MODEF1,MODEL,MODEL1,MOOLP1,ITOMA,NUMCOL
6,NX,NXHAX,NX11,NX12,NXYG,NXYP,NXYU,NXYV
6,NY,NYMAX,NY11,NY12,PI,RSCHK,RSMAX,TINY
COMMON/PP/PP/EMUREF,PRL(10),PRT(12),RHOREF
COMMON/D2D1/ARSL(22,10),RSLINE(22,10)
COMMON/D2D2/U(210),V(210),H(225),PP(15),P(169),RHQ(225),EMU(225)
DIMENSION F(1729)
DIMENSION DIFS(17),EMUS(17),HCONS(17),RHOS(17)
EQUIVALENCE (DIFS(2),DIFN(1)), (EMUS(2),EMUN(1))
EQUIVALENCE (RHOS(2),RHON(1)), (AREAE,AREAW)
EQUIVALENCE (HCONS(2),HCONN(1))
EQUIVALENCE (F(1),U(1))
DIMENSION A(17),B(17)
EQUIVALENCE (A(1),AN(1)), (B(1),AS(1))
DATA GREAT, TINY,PI/1.E30, 1.E-30, 3.141592/
DATA PIPE,XPIPE,UINLET,HINLET,HWALL/
1 0.1, 2.5, 1.0, 1.0, 0.0/
DATA KTEST/0/
DATA NXHAX,NYMAX/15,15/
DATA NX,NY/10,10/
DATA KRAD/2/
DATA FXSTEP/1.0/
DATA JU,JV,JH,JPP,JP,JRHQ,JEMU,JLAST/
1 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 7/
DATA NEQ/3/
DATA KSOLVE/5*1,5*0/
DATA KRS/4*1,6*0/
DATA KADSOR/10*0/
DATA RELAX/4*1.,5,5*1./

```

```

DATA RHUREF,EMUREF/1., 0.001/
DATA PRL/10*1./
DATA PRT/10*1./
DATA IXPREF,IYPREF/2,2/
DATA IXMON,IYMON/5,5/
DATA KINPRI/0/
DATA NTDMA/20/
DATA RSCHK/0.01/
DATA KMPA/1/
DATA NUMCOL/10/
DATA IPLRS,IPRINT/6,6/
DATA CCHECK/0.001/
DATA LATEST/100/
END

```

```
CHARACTER*4 TITLE,SYMBOL
```

```
COMMON
```

```
1/CASE1/ UINLET, FLOWIN, RPIPE, XPIPE, FXSTEP, HINLET, HWALL
```

```
COMMON
```

```
2/JNY/DYS(17),DYV(17),FV(17),FVNODE(17),R(17),RDYG(17),RDYV(17)
2,RSYG(17),RSYV(17),RV(17),RVCS(17),SYG(17),SYV(17),Y(17),YV(17)
COMMON
```

```
3/DNYONX/AE(17),AV(17),AP(17),AS(17),AW(17),C(17),D(17),DIFS(17)
3,DIFN(17), DIFW(17),DU(17),DV(17),EMUE(17),EMUN(17)
COMMON
```

```
3,PHIOLD(17),RHOE(17),RHON(17), RHOw(17),SP(17),SU(17)
3,VOLUME(17),CJUN(17),CONS(17),CJNE(17),CONW(17),ESMPHI(17)
COMMON
```

```
4/DNX/DXG(22),DXU(22),FU(22),FUNODE(22),KOUNT(22),RDXG(22)
4,RDXU(22),RSXG(22),RSXU(22),STORE(22),SXG(22),SXU(22),X(22),X
COMMON
```

```
5/JJPHI/ IEW(10),ILAST(10),IMON(10),IXNY(10),IZERO(10)
5,JGROUP(10),KADSOR(10),KSOLVE(10),KRS(10),RELAX(10),RSREF(10)
5,KSSUM(10),TITLE(10)
COMMON
```

```
6/DD/CCHECK,DP,FLWPL, FLOWST, FLOWUP, GREAT, ILINE, IPLRS, IPREF, IP
6,ISTEP, IX, IX1NY, IX1NY1, IX2NY2, IXMON, IXPI, IXPREF, IYMON, IYPREF
6, JEMU, JH, JLAST, JLI1, JLI12, JLI13, JLI14, JP, JPP, JRHO
6, JU, JV, JVPI, KINPRI, KMPA, KRAD, KRHDNU, KTEST, LABPHI
6, LATEST, LINEF, LINEL, NEQ, NEQPI
6, NODEF, NODEF1, NODEL, NODEL1, NODELP1, NTDMA, NUMCOL
6, NX, NXMAX, NXM1, NXM2, NXYG, NXYP, NXYU, NXYV
6, NY, NYMAX, NYM1, NYM2, PI, RSCHK, RSMAX, TINY
COMMON/PROP/EMUREF, PRL(10), PRT(10), RHOREF
COMMON/D2G1/ARSL(22,10), RSLINE(22,10)
COMMON/D2G2/U(210), V(210), W(225), PP(15), P(169), RHU(225), EMU(2
DIMENSION F(1729)
DIMENSION DIFS(17), EMUS(17), HCONS(17), RHOS(17)
EQUIVALENCE (DIFS(2), DIFN(1)), (EMUS(2), EMUN(1))
EQUIVALENCE (RHOS(2), RHON(1)), (AREAE, AREAW)
EQUIVALENCE (HCONS(2), HCONW(1))
EQUIVALENCE (F(1), U(1))
DIMENSION A(17), B(17)
EQUIVALENCE (A(1), AN(1)), (B(1), AS(1))

```

```

C -----
CHAPTER 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 .. PRELIMINARIES .. 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

```



```

      ISTEP=0
      ILINE=0
C
      CALL OUTPH
C -----
CHAPTER 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 ... GRID ... 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
C
      CALL CONST2
      YSTEP=RPIPE/FLOAT(NY-2)
      Y(1)=0.0
      Y(2)=0.5*YSTEP
      DO 20 IY=3, NY-1
20  Y(IY)=Y(IY-1)+YSTEP
      Y(NY)=RPIPE
      IF(FXSTEP.NE.1.0) GO TO 25
      XSTEP=XPIPE/FLOAT(NX-2)
      X(1)=0.0
      X(2)=0.5*XSTEP
      DO 21 IX=3, NX-1
21  X(IX)=X(IX-1)+XSTEP
      GO TO 2)
25  XSTEP1=(FXSTEP-1.)*XPIPE/(FXSTEP*(NX-1.))
      X(1)=0.0
      X(2)=XSTEP1
      DO 26 IX=3, NX-1
26  X(IX)=X(IX-1)+XSTEP*(X(IX-1)-X(IX-2))
29  X(NX)=XPIPE
      CALL GED1
C
      IF(KTLST.GT.0) CALL TEST 11
C -----
CHAPTER 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 ... VARIABLES ... 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3
C
      JLIM1=0
      JLIM2=0
      JLIM3=0
      JLIM4=0
      CALL CONST3
      IF(KTEST.GT.0) CALL TEST 12
C -----
CHAPTER 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 ... PROPERTY DATA ... 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4
C
      DO 40 I=1, NXY3
      RH0(I)=RHOREF
40  EMU(I)=EMUREF
      DO 41 IY=1, NY
      RH0N(IY)=RHOREF
      RH0S(IY)=RHOREF
      RH0L(IY)=RHOREF
      RH0W(IY)=RHOREF
      EMUN(IY)=EMUREF
      EMUS(IY)=EMUREF
      EMUL(IY)=EMUREF
41  EMUN(IY)=EMUREF
C -----

```

FILE: L3

FORTRAN A1 KARADENIZ UNIVERSITESI-BIM

CHAPTER 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 ... STARTING PREPARATIONS ... 5 5 5 5 5 5

```
C
CALL CONST5
C
FLOWIN=0.
DO 530 IY=2,NYM1
530 FLOWIN=FLOWIN+UINLET*RHUREF*DYV(IY)*R(IY)
RSREF(JPP)=FLOWIN
RSREF(JJ)=FLOWIN*UINLET
RSREF(JV)=RSREF(JJ)
RSREF(JH)=FLOWIN*HINLET
C
DO 50 JPHI=1,JLAST
IF(JPHI.EQ.JRHO.OR.JPHI.EQ.JEMU) GO TO 50
I1=IZERJ(JPHI)+1
I2=ILAST(JPHI)
DO 51 I=I1,I2
51 F(I)=0.
50 CONTINUE
DO 59 IX=1,NXM1
DO 59 IY=1,NYM1
I=IY+(IX-1)*NY
H(I)=HINLET
U(I)=UINLET
59 CONTINUE
TAU=EMUREF*(0.25*UINLET)*RDYG(NY)
DO 58 IX=3,NXM1
I=NYM1+(IX-2)*NY
ATAU=TAU*SXU(IX-1)
DO 58 IY=2,NYM1
IP=IY-1+(IX-2)*NYM2
58 P(IP)=P(IP)-ATAU*2./RPIPE
DO 501 IY=1,NY
AN(IY)=0.
AS(IY)=0.
AE(IY)=0.
AW(IY)=0.
SU(IY)=0.
SP(IY)=0.
DU(IY)=0.
DV(IY)=0.
VOLUME(IY)=0.
PP(IY)=0.
501 PHIJLD(IY)=0.
C
IF(KTEST.GT.0) CALL TEST 13
ISTEP=1
IF(KINPRI.GT.0) CALL OUTPF
GO TO 60
55 IF(ISTEP.GT.1) GO TO 65
ILM1=ILINE-1
ILP1=ILINE+1
DO 520 IX=ILINE,ILP1
```

```

DO 521 IY=1,NY
I=IY+(IX-1)*NY
IW=I-NY
IF(IX.GT.NXM1) GO TO 521
U(I)=U(IW)
521 H(I)=H(IW)
DO 522 IY=1,NYM1
IV=IY+(IX-1)*NYM1
IWV=IV-NYM1
522 V(IV)=V(IWV)
520 CONTINUE
GO TO 55

```

C -----  
CHAPTER 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 ... STFP CONTROL ... 6 6 6 5 6 6 6 6 6  
C

```

60 CONTINUE
DO 69 JPHI=1,NEQ
69 RSSUM(JPHI)=0.
RSSUM(JPP)=0.
FLOWUP=FLOWIN
IF(ISTEP.GT.1) GO TO 64
IF(ILINE.GT.0) GO TO 65
62 LINEF=2
LINEL=NXM1
NODEF=2
NODEL=NYM1
NODEF1=NODEF-1
NODEL1=NODEL-1
MODLP1=NODEL+1
64 ILINE=LINEF
65 CONTINUE
IX=ILINE
IXP1=IX+1
IX1NY=(IX-1)*NY
IX1NY1=(IX-1)*NYM1
IX2NY2=(IX-2)*NYM2
DO 66 JPHI=1,JLAST
66 IXNY(JPHI)=IX1NY
IXNY(JV)=IX1NY1
IXNY(JP)=IX2NY2-1

```

C -----  
CHAPTER 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 ... BOUNDARY CONDITIONS ... 7 7 7 7 7 7  
C

```

70 CONTINUE
IF(ISTEP.GT.1) GO TO 80
IN=NY+IX1NY
INV=NYM1+IX1NY1
U(IN)=0.
H(IN)=HWALL
V(INV)=0.
IF(IX.NE.2) GO TO 75
DO 71 IY=1,NY
U(IY)=UINLET
H(IY)=HINLET

```

FILE: LB FORTRAN A1 KARADENIZ UNIVERSITESI-BIM

```
71 IF(IY.LE.NYMI) V(IY)=0.  
75 IF(IX.NE.NXMI) GO TO 80  
  DO 72 IY=1,NYMI  
  IV=IY+IXINYI  
  ILV=IV+NYMI  
72 V(IY)=V)+0.
```

C-----  
CHAPTER 9 8 3 3 9 8 8 8 8 ... ADVANCE ... 8 8 8 8 9 8 9 8 8 8 8 8

```
C  
30 CONTINUE  
  NTRAVS=NTDMA  
  DO 85 J=1,NEQ  
85 ARSL(IX,J)=GREAT  
  DO 1000 NT=1,NTRAVS  
  KOUNT(IX)=NT  
  RSMAX=0.  
  DO 1001 JPHI=1,NEJPI  
  IF(JPHI.EQ.NEJPI) GO TO 960  
  IF(KSOLVE(JPHI).EQ.0) GO TO 1001  
  JG=JGROUP(JPHI)  
  IF(JG.LE.5) GO TO 84  
  IF(NT.EQ.NTRAVS) GO TO 81  
  IF(RSMAX.GT.RSCHEK) GO TO 1001  
84 IF(ARSL(IX,JPHI).LT.RSCHEK.AND.ARSL(IX,JPHI).GT.0.) GO TO 1001  
81 IF(JPHI.NE.JU) GO TO 83  
  IF(IX.EQ.NXMI) GO TO 1001  
83 RSLINE(IX,JPHI)=0.  
  LABPHI=JPHI
```

```
C  
  CALL CDEFF(JPHI)  
  CALL MODIFY(JPHI)
```

```
C  
  IF(KTEST.GT.2) CALL TEST 31
```

```
C  
  CALL SOLVE(JPHI)
```

```
C  
  IF(JPHI.GT.JV) CALL BOUND(JPHI)  
  RSLINE(IX,JPHI)=RSLINE(IX,JPHI)/RSREF(JPHI)  
  ABSKS=ABS(RSLINE(IX,JPHI))  
  ARSL(IX,JPHI)=ABSKS  
  RSMAX=AMAX1(RSMAX,ABSKS)  
  IF(KTEST.GT.1) CALL TEST 21  
  GO TO (1010,1020,930,940,1001), JG
```

C-----  
CHAPTER 9 9 9 9 9 9 9 9 9 ... COMPLETE ... 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9

```
C  
930 CONTINUE
```

```
C  
COMMENT
```

```
  GO TO 1011
```

```
940 CONTINUE
```

```
C
```

```
  GO TO 1001
```

```
960 IF(NT.EQ.NTRAVS) GO TO 961  
  IF(RSMAX.LE.RSCHEK) GO TO 961
```

FILE: LB FORTRAN AI KARADENIZ UNIVERSITESI-BIM

```
      GO TO 1001
C
961  DO 962 J=1,JPP
      IF(KSOLVE(J).EQ.0) GO TO 962
      IF(J.EQ.JJ.AND.IX.EQ.NXM1) GO TO 962
      RSSUM(J)=RSSUM(J)+ARSL(IX,J)
962  CONTINUE
      IF(ILINE.EQ.LINE1) GO TO 963
C
COMMENT
      ILINE=ILINE+1
      GO TO 55
963  RSMAX=0.
      DO 964 J=1,JPP
964  RSMAX=AMAX1(RSMAX,RSSUM(J))
      PIPREF=P(IPREF)
      DO 965 IP=1,NXYP
965  P(IP)=P(IP)-PIPREF
      GO TO 110
C
-----
CHAPTER 10 10 10 10 10 ... ADJUST ... 10 10 10 10 10 10 1
C
1010 IF(KSOLVE(JRHU).EQ.0) GO TO 1011
C
      CALL BOUND(JU)
C
      GO TO 1001
1011 IF(KMPA.NE.0) CALL UVACON
C
      CALL BOUND(JU)
C
      IF(KTEST.GT.1) CALL TEST 22
      GO TO 1001
1020 IF(KSOLVE(JPP).NE.0) GO TO 1021
C
      CALL BOUND(JV)
C
      GO TO 1001
1021 RSLINE(IX,JPP)=0.0
      CALL COEFF(JPP)
      CALL MODIFY(JPP)
C
      LABPHI=JPP
      IF(KTEST.GT.2) CALL TEST 31
C
      CALL SOLVE(JPP)
C
      RSLINE(IX,JPP)=RSLINE(IX,JPP)/RSREF(JPP)
      ARSL(IX,JPP)=ABS(RSLINE(IX,JPP))
      IF(KTEST.GT.1) CALL TEST 23
C
      CALL DELCON
      CALL BOUND(JV)
C
      GO TO 1001
```

FILE: L3

FORTRAN A1 KARADENIZ UNIVERSITESI-BIM

```
1001 CONTINUE
1000 CONTINUE
C-----
CHAPTER 11 11 11 11 11 ... PRINT ... 11 11 11 11 11 11 11
C
110 CONTINUE
    CALL OUTP1
    IF(RSMAX.LE.CCHECK) GO TO 115
    IF(ISTEP.EQ.1) GO TO 115
114 IF(MOD(ISTEP,IPRINT).NE.0) GO TO 112
C
115 CALL OUTPF
C
    GO TO 120
112 IF(ISTEP.EQ.LASTEP) CALL OUTPF
C-----
CHAPTER 12 12 12 12 12 ... DECIDE ... 12 12 12 12 12 12 12
120 IF(RSMAX.LE.CCHECK) STOP
    IF(ISTEP.GE.LASTEP) GO TO 129
120 ISTEP=ISTEP+1
    GO TO 60
129 STOP
    END
SUBROUTINE CONST
CHARACTER*4 TITLE,SYMBOL
COMMON
1/CASE1/ UINLET,FLOWIN,RPIPE,XPIPE,FXSTEP,HINLET,HWALL
COMMON
2/DNY/DYG(17),DYV(17),FV(17),FVNODE(17),R(17),RDYG(17),RDYV(17)
2,RSYG(17),RSYV(17),RV(17),RVCD(17),SYG(17),SYV(17),Y(17),YV(17)
COMMON
3/DNYONX/AN(17),AN(17),AP(17),AS(17),AW(17),C(17),D(17),DIFE(17)
3,DIFN(17),DIFW(17),DU(17),DV(17),EMUE(17),EMUN(17)
3,EMUN(17),HCONE(17),HCONE(17),HCONE(17),HCONE(17)
3,PHIOLD(17),RHOE(17),RHON(17),RHOW(17),SP(17),SU(17)
3,VOLUME(17),CONN(17),CONS(17),CONE(17),CONW(17),ESMPHI(17)
COMMON
4/DNX/DXG(22),DXU(22),FU(22),FUNJDE(22),KOUNT(22),RDXG(22)
4,RDXU(22),RSXG(22),RSXU(22),STORE(22),SXG(22),SXU(22),X(22),XU(22)
COMMON
5/DJPHI/ IEM(10),ILAST(10),IMON(10),IXNY(10),IZERO(10)
5,JSROJP(10),KADSOR(10),KSOLVE(10),KRS(10),RELAX(10),RSREF(10)
5,RSSUM(10),TITL(10)
COMMON
6/DO/CCHECK,DP,FLOWPC,FLONST,FLONUP,GREAT,ILINE,IPLRS,IPREF,IPRI
6,ISTEP,IX,IXINY,IXINY1,IX2NY2,IXMON,IXP1,IXREF,IYMON,IYPREF
6,JEMU,JH,JLAST,JLIM1,JLIM2,JLIM3,JLIM4,JP,JPP,JRHU
6,JU,JV,JVPL,KINPKI,KMPA,KRAD,KRHOMU,KTEST,LAPPHI
6,LASTEP,LINCF,LINEL,NEO,NEQ1
6,NODEF,NODEF1,NODEL,NODEL1,NOELP1,NTDMA,NUMCOL
6,NX,NXMAX,NXMI,NXM2,NXYG,NXYP,NXYU,NXYV
6,NY,NYMAX,NYMI,NYN2,PI,RSCHEK,RSMAX,TINY
COMMON/PROP/EMUREF,PRL(10),PRI(10),RHOREF
COMMON/D2D1/ARSL(22,10),RSLINE(22,10)
COMMON/D2D2/UC(210),V(210),H(225),PP(15),P(159),RHO(225),EMU(225)
```

```

DIMENSION F(1729)
DIMENSION DIFS(17),EMUS(17),HCONS(17),RHOS(17)
EQUIVALENCE (DIFS(2),DIFN(1)), (EMUS(2),EMUN(1))
EQUIVALENCE (RHOS(2),RHON(1)), (AREAE,AREAW)
EQUIVALENCE (HCONS(2),HCONN(1))
EQUIVALENCE (F(1),U(1))
DIMENSION A(17),B(17)
EQUIVALENCE (A(1),AN(1)), (B(1),AS(1))
ENTRY CONST2

```

C

```

NXM1=NX-1
NXM2=NX-2
NYM1=NY-1
NYM2=NY-2
NXYG=NX*NY
NXYP=NXM2*NYM2
NXYU=NXM1*NY
NXYV=NX*NYM1

```

C

```

RETURN
ENTRY CONST3
JVPI=JV+1
NEQ1=NEQ+1
KRHMU=KSOLVE(JRHU)+KSOLVE(JEMU)
IZERO(1)=0
DO 35 J=1,JLAST
IF(J-JJ) 310,301,310
310 IF(J-JV) 320,302,320
320 IF(J-JP) 330,303,330
330 IF(J-JPP) 305,304,305
301 IL=NXYJ
ILMAX=(NXMAX-1)*NYMAX
IEW(J)=NY
GO TO 34
302 IL=NXYV
ILMAX=NXMAX*(NYMAX-1)
IEW(J)=NYM1
GO TO 34
303 IL=NXP
ILMAX=(NXMAX-2)*(NYMAX-2)
IEW(J)=NYM2
GO TO 34
304 IL=NY
ILMAX=NYMAX
IEW(J)=0
GO TO 34
305 IL=NXYG
ILMAX=NXMAX*NYMAX
IEW(J)=NY
34 ILAST(J)=IZERO(J)+IL
IF(J.EQ.JLAST) GO TO 35
JPI=J+1
IZERO(JPI)=IZERO(J)+ILMAX
35 CONTINUE
DO 351 J=1,NEQ

```

```

JGROUP(J)=5
IF(J.EQ.JU) JGROUP(J)=1
IF(J.EQ.JV) JGROUP(J)=2
IF(J.GE.JLIM1.AND.J.LE.JLIM2) JGROUP(J)=3
351 IF(J.GE.JLIM3.AND.J.LE.JLIM4) JGROUP(J)=4
CONTINUE
TITLE(JU)='U'
TITLE(JV)='V'
TITLE(JP)='P'
TITLE(JPP)='PP'
TITLE(JRHO)='RHO'
TITLE(JEMU)='EMU'
TITLE(JH)='H'
RETURN
ENTRY CONSTS

C
IPREF=IYPREF-1+(IXREF-2)*NYM2
DO 56 J=1,JLAST
IF(J.EQ.JPP) GO TO 56
IMON(J)=IYMON+(IXMON-1)*IEW(J)
56 IF(J.EQ.JP) IMON(J)=IYMON-1+(IXMON-2)*IEW(J)
CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE ADJUST
CHARACTER*4 TITLE,SYMBOL
COMMON
1/CASE1/ UINLET,FLWIN,RPIPE,XPIPE,FXSTEP,HINLET,HWALL
COMMON
2/DNY/DYG(17),DYV(17),FV(17),FVNODE(17),R(17),RDYG(17),RDYV(17)
2,RSYG(17),RSYV(17),RV(17),RVCB(17),SYG(17),SYV(17),Y(17),YV(17)
COMMON
3/DNYONX/AE(17),AN(17),AP(17),AS(17),AW(17),C(17),D(17),DIFE(17)
3,DIFN(17),DIFW(17),DU(17),DV(17),EMUN(17),EMUN(17)
3,EMUW(17),HCONE(17),HCONN(17),HCONW(17)
3,PHIOLD(17),RHOE(17),RHUN(17),RHOW(17),SP(17),SU(17)
3,VOLUME(17),CONN(17),CONS(17),CONE(17),CONW(17),ESMPHI(17)
COMMON
4/DNX/DXG(22),DXU(22),FU(22),FUNODE(22),KOUNT(22),RDXG(22)
4,RDXU(22),RSXG(22),RSXU(22),STORE(22),SXG(22),SXU(22),X(22),Y(22)
COMMON
5/DJPHI/ IEN(10),ILAST(10),IMON(10),IXNY(10),IZERD(10)
5,JGROUP(10),KADSOR(10),KSOLVE(10),KRS(10),RELAX(10),RSREF(10)
5,RSUM(10),TITLE(10)
COMMON
6/DO/CCHECK,CP,FLWPC,FLWST,FLWUP,GREAT,ILINE,IPLRS,IPREF,IPLRS,IPLRS
6,ISTEP,IX,IX1NY,IX1NY1,IX2NY2,IXMON,IXP1,IXREF,IYMON,IYPREF,IYREF
6,JEMU,JH,JLAST,JLIM1,JLIM2,JLIM3,JLIM4,JP,JPP,JRHO
6,JU,JV,JVPI,KINPRI,KMPA,KRAD,KPHOMU,KTEST,LAPPHI
6,LASTEP,LINEF,LINEL,NEQ,NEQPI
6,NODEF,NODEF1,NODEL,NODEL1,NODELPI,NTDMA,NUMCOL
6,NX,NXMAX,NXMI,NXMI2,NXYG,NXYP,NXYU,NXYV
6,NY,NYMAX,NYMI,NYMI2,PI,RSCHK,RSMAX,TINY
COMMON/PROP/EMUREF,PRL(10),PRT(10),RHOREF
COMMON/D251/ARSL(22,10),PSLINE(22,10)

```



FILE: L3

FORTRAN A1 KARADENIZ UNIVERSITESI-BIM

```
COMMON/0202/U(210),V(210),H(225),PP(15),P(160),RHO(225),EMU(22
DIMENSION F(1729)
DIMENSION DIFS(17),EMUS(17),HCONS(17),RHOS(17)
EQUIVALENCE (DIFS(2),DIFN(1)), (EMUS(2),EMUN(1))
EQUIVALENCE (RHOS(2),RHON(1)), (AREAS,AREAW)
EQUIVALENCE (HCONS(2),HCONN(1))
EQUIVALENCE (F(1),U(1))
DIMENSION A(17),B(17)
EQUIVALENCE (A(1),AN(1)), (B(1),AS(1))
```

C  
C -----  
C CHAPTER 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 ... OVERALL-CONTINUITY CORRECTION ... 1  
C

ENTRY DVACON

```
C
IF(IX.EQ.NXM1) RETURN
FLOWST=0.
SUMA=0.
SUMRA=0.
DO 104 IY=NODEF,NODEL
I=IY+IX*INY
IE=1+NY
AREA=SYG(IY)*R(IY)
SUMA=SUMA+AREA
RA=0.5*(RHO(I)+RHO(IE))*AREA
SUMRA=SUMRA+RA
FLOWST=FLOWST+RA*U(I)
104 CONTINUE
DELU=(FLOWUP-FLOWST)/SUMRA
DF=-DELU*(FLOWUP+FLOWST)/SUMA
FLOWPC=0.0
DO 105 IY=NODEF,NODEL
IP=IY-1+IX*2*NY2+NYM2
P(IP)=P(IP)+DF
I=IY+IX*INY
IE=1+NY
RDE=0.5*(RHO(I)+RHO(IE))
U(I)=U(I)+DELU
FLOWPC=FLOWPC+U(I)*RDE*SYG(IY)*R(IY)
105 CONTINUE
IF(IX.EQ.NXM2) RETURN
I1=NYM2+NYM2+IX*2*NY2+1
DO 1075 IP=I1,NXYP
1075 P(IP)=P(IP)+DF
RETURN
```

C -----  
C CHAPTER 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 ... CELL-WISE CONTINUITY CORRECTION ... 2  
C

```
ENTRY CELCON
IF(KSOLVE(JO),EQ.0) GO TO 200
IF(IX.EQ.NXM1) GO TO 200
DO 21 IY=NODEF,NODEL
I=IY+IX*INY
21 U(I)=U(I)+DU(IY)*PP(IY)
```

```

200 IF(KSOLVE(JV).EQ.0) GO TO 210
    DO 201 IY=NODEF,NODEL
        IV=IY+IX1NY1
201 V(IY)=V(IV)+DV(IY)*(PP(IY)-PP(IY+1))
210 IF(KSOLVE(JPP).EQ.0) RETURN
    ICONST=IX2NY2-1
    RF=RELAX(JP)
    DO 211 IY=NODEF,NODEL
        IP=IY+ICONST
        P(IP)=P(IP)+PP(IY)*RF
211 PP(IY)=0.
    RETURN
    END
    SUBROUTINE SOUND(LPHI)
    CHARACTER*4 TITLE,SYMBOL
    COMMON
1/CASE1/ UINLET, FLOWIN, RPIPE, XPIPE, FXSTEP, HINLET, HWALL
    COMMON
2/DNY/DYG(17), DYV(17), FV(17), FVNODE(17), R(17), RDYG(17), RDYV(17)
2, RSYG(17), RSYV(17), RV(17), RVCB(17), SYG(17), SYV(17), Y(17), YV(17)
    COMMON
3/ONYONX/AE(17), AN(17), AP(17), AS(17), AW(17), C(17), D(17), DIFE(17)
3, DIFN(17), DIFW(17), DU(17), DV(17), EMUE(17), EMUN(17)
3, EMUJ(17), HCONE(17), HCONN(17), HCONW(17)
3, PHIOLD(17), RHOE(17), RHON(17), RHOV(17), SP(17), SJ(17)
3, VOLUME(17), CONN(17), CONS(17), CONE(17), CONW(17), ESMPhi(17)
    COMMON
4/ONX/OXG(22), OXG(22), FU(22), FUNODE(22), KOUNT(22), RDXG(22)
4, RDXU(22), RSXG(22), RSXU(22), STORE(22), SXG(22), SXU(22), X(22)
    COMMON
5/OJPHI/ IEN(10), ILAST(10), TMON(10), IXNY(10), IZERO(10)
5, JGROUP(10), KADSOR(10), KSOLVE(10), KRS(10), RELAX(10), RSREF(10)
5, RSSUM(10), TITLE(10)
    COMMON
6/DO/CCHECK, DP, FLOWPC, FLOWST, FLOWUP, GREAT, ILINE, IPLRS, IPREF, ISTEP
6, ISTEP, IX, IX1NY, IX1NY1, IX2NY2, IXMON, IXP1, IXPREF, IYMON, IYPREF
6, JEMU, JH, JLAST, JLIM1, JLIM2, JLIM3, JLIM4, JP, JPP, JRHD
6, JU, JV, JVP1, KINPRI, KMPA, KRAD, KRHOMU, KTEST, LARPHI
6, LASTEP, LINEF, LINEL, NEQ, NEQPI
6, NODEF, NODEF1, NODEL, NODEL1, NODLP1, NTOMA, NUMCOL
6, NX, NXMAX, IXM1, NXM2, NXYG, NXP, NXYU, NXYV
6, NY, NYMAX, NYM1, NYM2, PI, KSCHEK, RSMAX, TINY
    COMMON/PROP/EMUREF, PRL(10), PRT(10), RHUREF
    COMMON/O2O2/U(210), V(210), H(225), PP(15), P(169), RHU(225), EMU(17)
    DIMENSION F(1729)
    DIMENSION DIFS(17), EMUS(17), HCONS(17), RHOS(17)
    EQUIVALENCE (DIFS(2), DIFN(1)), (EMUS(2), EMUN(1))
    EQUIVALENCE (RHOS(2), RHON(1)), (AREAE, AREAW)
    EQUIVALENCE (HCONS(2), HCONN(1))
    EQUIVALENCE (F(1), U(1))
    DIMENSION A(17), B(17)
    EQUIVALENCE (A(1), A1(1)), (B(1), AS(1))

```

```

C
  JPHI=LPHI
  IF(JPHI.EQ.0) GO TO 20
  IF(JPHI.EQ.JH) GO TO 30
  RETURN

```

-----  
 CHAPTER 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 ... UPDATING OF U ON BOUNDARIES ... 2 2

```

C
20  CONTINUE
    I=1+IXI*NY
    U(I)=U(I+1)
    IF(IX.EQ.2) GO TO 1015
    I=1+(IX-2)*NY
    U(I)=U(I+1)
1015 IF(IX.NE.NXM2) RETURN
    DU 1015 IY=1,NYMI
    I=IY+IXI*NY
    IE= I+NY
1016 U(IE)=U(I)
    RETURN

```

-----  
 CHAPTER 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 UPDATING OF H ON BOUNDARIES 3 3 3 3

```

C
30  CONTINUE
    I=1+IXI*NY
    H(I)=H(I+1)
    IF(IX.NE.NXM1) RETURN
    DU 1013 IY=1,NYMI
    I=IY+IXI*NY
    IE= I+NY
1013 H(IE)=H(I)
    RETURN
    END
    SUBROUTINE SOURCE(LPHI)

```

-----  
 CHAPTER 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 DECLARATIONS 0 0 0 0 0 0

```

C
  CHARACTER*4 TITLE,SYMBOL
  COMMON
  1/CASE1/ UINLET, FLOWIN, PPIPE, XPIPE, FXSTEP, HTNLET, HWALL
  COMMON
  2/DY/DYG(17),DYV(17),FV(17),FVNODE(17),R(17),RDYG(17),RDYV(17)
  2,RSYG(17),RSYV(17),RV(17),RVCB(17),SYG(17),SYV(17),Y(17),YV(17)
  COMMON
  3/DNY/DNK/AE(17),AN(17),AP(17),AS(17),AW(17),C(17),D(17),DIFE(17)
  3,DIEN(17),DIFX(17),DJ(17),DV(17),EMUE(17),EMUN(17)
  3,EMUN(17),HCONE(17),HCONN(17),HCONW(17)
  3,PHIOLD(17),RHOE(17),RHUN(17),RHOW(17),SP(17),SU(17)
  3,VOLUME(17),CONN(17),CONS(17),CONE(17),CONW(17),ESMPHI(17)
  COMMON
  4/DNX/DXG(22),DXJ(22),FU(22),FUNODE(22),KOUNT(22),RDXG(22)
  4,RDXJ(22),RSXG(22),RSXU(22),STORE(22),SXG(22),SXU(22),X(22),X
  COMMON
  5/DJPHI/ IEH(10),ILAST(10),IMON(10),IXNY(10),IZERO(10)

```

FILE: L3

FORTRAN AI KARADENIZ UNIVERSITESI-BIM

```
5, JGROUP(10), KADSOR(10), KSOLVE(10), KRS(10), RELAX(10), RSREF(10)
5, KSSUM(10), TITLE(10)
COMMON
6/DO/CCHECK, DP, FLOWPC, FLOWST, FLOWUP, GREAT, ILINE, IPLRS, IPREF, IPR
6, ISTEP, IX, IX1NY, IX1NY1, IX2NY2, IXMON, IXPI, IXPREF, IYMON, IYPREF
6, JEMU, JH, JLAST, JLIMIT, JLIMIT2, JLIMIT3, JLIMIT4, JP, JPP, JRHO
6, JU, JV, JVPI, KIMPRI, KMPA, KRAD, KRHOMU, KTEST, LABPHI
6, LASTEP, LINEF, LINEL, NEQ, NEQPI
6, NDEF, NDEF1, NDEL, NDELI, NDLPI, NTOMA, NUMCOL
6, NX, NXMAX, NXM1, NXM2, NXYG, NXP, NXYU, NXYV
6, NY, NYIAX, NYM1, NYM2, PI, RSCHEK, RSMAX, TINY
COMMON/PRJP/EMUREF, PRL(10), PRI(10), RHOREF
COMMON/D2D1/ARSL(22,10), RSLINE(22,10)
COMMON/D2D2/U(210), V(210), H(225), PP(15), P(169), RHO(225), EMU(22
DIMENSION F(1729)
DIMENSION DIFS(17), EMUS(17), HCONS(17), RHOS(17)
EQUIVALENCE (DIFS(2), DIFN(1)), (EMUS(2), EMUN(1))
EQUIVALENCE (RHOS(2), RHON(1)), (AREAE, AREAW)
EQUIVALENCE (HCONS(2), HCONH(1))
EQUIVALENCE (F(1), U(1))
DIMENSION A(17), B(17)
EQUIVALENCE (A(1), AH(1)), (B(1), AS(1))
```

C -----  
CHAPTER 1 1 1 1 1 1 1 PRELIMINARIES 1 1 1 1 1 1 1 1 1  
C

```
JPHI=LPHI
IF(JPHI.EQ.JU) GO TO 20
IF(JPHI.EQ.JV) GO TO 30
IF(JPHI.EQ.JPP) GO TO 40
IF(JPHI.EQ.JH) GO TO 50
RETURN
```

C -----  
CHAPTER 2 2 2 2 2 2 ADDITIONAL SOURCE TERMS FOR U 2 2 2  
C  
20 CONTINUE  
RETURN

C -----  
CHAPTER 3 3 3 ADDITIONAL SOURCE TERMS FOR V 3 3 3 3 3 3  
C  
30 CONTINUE  
RETURN

C -----  
CHAPTER 4 4 4 4 ADDITIONAL SOURCE TERMS FOR P\* 4 4 4 4 4  
C  
40 CONTINUE  
RETURN

C -----  
CHAPTER 5 5 5 5 ADDITIONAL SOURCE TERMS FOR H 5 5 5 5 5  
C  
50 CONTINUE  
RETURN  
END  
SUBROUTINE MODIFY(LPHI)

C -----  
CHAPTER 0 0 0 0 0 0 0 DECLARATIONS 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

C -----
CHARACTER*4 TITLE,SYMBOL
COMMON
1/CASE1/ UINLET,FLUIN1,RPIPE,XPIPE,FXSTEP,HINLET,HWALL
COMMON
2/DNY/DYG(17),DYV(17),FV(17),FVNODE(17),R(17),RDYG(17),RDYV(17)
2,RSYG(17),RSYV(17),RV(17),RVCB(17),SYG(17),SYV(17),Y(17),YV(17)
COMMON
3/DNYONX/AE(17),AN(17),AP(17),AS(17),AW(17),C(17),D(17),DIFE(17)
3,DIFN(17),DIFW(17),DU(17),DV(17),EMUE(17),EMUN(17)
3,EMUW(17),HCONE(17),HCONW(17),HCONW(17)
3,PHIOLD(17),RHDE(17),RHJN(17),RHQW(17),SP(17),SU(17)
3,VOLUME(17),CONV(17),CONS(17),CONE(17),CONW(17),ESMPHI(17)
COMMON
4/DX/DXG(22),DXJ(22),FU(22),FUNODE(22),KOUNT(22),KDXG(22)
4,RDXU(22),RSXG(22),RSXU(22),STORE(22),SXG(22),SKU(22),X(22),X
COMMON
5/JPHI/ IEN(10),ILAST(10),IMON(10),IXNY(10),IZERO(10)
5,JGROU(10),KADSOR(10),KSOLVE(10),KRS(10),RELAX(10),RSREF(10)
5,RSSUM(10),TITLE(10)
COMMON
6/DO/CHECK,DP,FLOWPC,FLWST,FLOWUP,GREAT,ILINE,IPLRS,IPREF,IP
6,ISTEP,IX,IX1NY,IX1NY1,IX2NY2,IXMON,IXP1,IXPREF,IYMON,IYPREF
6,JEMU,JH,JLAST,JLIM1,JLIM2,JLIM3,JLIM4,JP,JPP,JRHJ
6,JU,JV,JVP1,KINPRI,KPPA,KRAD,KRHOMU,KTEST,LADPHI
6,LASTEP,LINEF,LINEL,NEO,NEQPI
6,NODEF,NODEF1,NODEL,NODEL1,NODELP1,NTDMA,NUMCOL
6,NX,NXMAX,NXN1,NXN2,NXYG,NXYP,NXYU,NXYV
6,NY,NYMAX,NYH1,NYH2,PI,RSCHEK,RSMAX,TINY
COMMON/PROJ/EMUREF,PRL(10),PRT(10),RHUREF
COMMON/D2D1/ARSL(22,10),RSLINE(22,10)
COMMON/D2D2/U(210),V(210),H(225),PP(15),P(169),RHU(225),EMU(2
DIMENSION F(1729)
DIMENSION DIFS(17),EMUS(17),HCONS(17),RHOS(17)
EQUIVALENCE (DIFS(2),DIFN(1)), (EMUS(2),EMUN(1))
EQUIVALENCE (RHOS(2),RHON(1)), (AREAE,AREAW)
EQUIVALENCE (HCONS(2),HCONW(1))
EQUIVALENCE (F(1),U(1))
DIMENSION A(17),B(17)
EQUIVALENCE (A(1),AN(1)), (B(1),AS(1))

```

```

C -----
CHAPTER 1 1 1 1 1 1 1 PRELIMINARIES 1 1 1 1 1 1 1
C

```

```

C JPHI=LPHI

```

```

C IF(JPHI.EQ.JU) GO TO 20
C IF(JPHI.EQ.JV) GO TO 30
C IF(JPHI.EQ.JPP) GO TO 40
C IF(JPHI.EQ.JH) GO TO 50
C RETURN

```

```

C -----
CHAPTER 2 2 2 2 2 MODIFICATIONS TO THE U-EQUATION COEFFICIENTS
C

```

```

C 20 CONTINUE
C RETURN

```

C -----  
 CHAPTER 3 3 3 3 3 3 MODIFICATIONS TO THE V-EQUATION COEFFICIENTS

C  
 30 CONTINUE  
 IF(IX.NE.NXM1) RETURN  
 DO 31 IY=2,NYM2  
 AV(IY)=0.0  
 AS(IY)=0.0  
 AE(IY)=0.0  
 AN(IY)=0.0  
 31 SU(IY)=0.0  
 RETURN

C -----  
 CHAPTER 4 4 4 4 4 MODIFICATIONS TO THE P'-EQUATION COEFFICIENTS

C  
 40 CONTINUE  
 C ----- PUT P' = 0 NEAR EXIT  
 IF(IX.NE.NXM1) RETURN  
 DO 41 IY=2,NYM1  
 41 SP(IY)=-GREAT  
 RETURN

C -----  
 CHAPTER 5 5 5 5 MODIFICATIONS TO THE H-EQUATION COEFFICIENTS

C  
 50 CONTINUE  
 RETURN  
 END  
 SUBROUTINE OUTPUT

C -----  
 CHAPTER 0 0 0 0 0 DECLARATIONS 0 0 0 0 0 0 0 0

C  
 CHARACTER\*4 TITLE,SYMBOL  
 COMMON  
 1/CASE1/ UINLET, FLOWIN, RPIPE, XPIPE, FXSTEP, HINLET, HWALL  
 COMMON  
 2/JYV/JYG(17), JYV(17), FV(17), FVNODE(17), R(17), RDXG(17), RDXV(17)  
 2, RSYG(17), RSYV(17), RV(17), RVCB(17), SYG(17), SYV(17), Y(17), YV(17)  
 COMMON  
 3/DYNDY(AE(17), AN(17), AP(17), AS(17), AW(17), C(17), D(17), DIFE(17),  
 3, DIFN(17), DIFW(17), DU(17), DV(17), EMUE(17), EMUN(17)  
 3, ENOW(17), HCONE(17), HCUNN(17), HCONW(17)  
 3, PHIOLD(17), RHOE(17), RHON(17), RHOW(17), SP(17), SU(17)  
 3, VOLUME(17), CONN(17), CONS(17), CONE(17), CONW(17), ESPHI(17)  
 COMMON  
 4/DNX/DXG(22), DXU(22), FU(22), FUNODE(22), KOUNT(22), RDXG(22)  
 4, RDXU(22), RSXG(22), RSXU(22), STORE(22), SXG(22), SXU(22), X(22), X  
 COMMON  
 5/JJPHI/ ILW(10), ILAST(10), IMON(10), IXNY(10), IZERD(10)  
 5, JGRDUP(10), KADSOR(10), KSOLVE(10), KRS(10), RELAX(10), RSREF(10)  
 5, KSSUM(10), TITLE(10)  
 COMMON  
 6/DO/CHECK, DP, FLOWPC, FLOWST, FLOWUP, GREAT, ILINE, IPLRS, IPREF, IP  
 6, ISTEP, IX, IX1NY, IX1NY1, IX2NY2, IXMON, IXP1, IXPREF, IYMON, IYPREF  
 6, JEMU, JH, JLAST, JLI1, JLI2, JLI3, JLI4, JP, JPP, JRHO  
 6, JU, JV, JVPL, KINPRI, KMPA, KRAD, KRHOMU, KTEST, LABPHI

```

6, LASTEP, LINEF, LINEL, NED, NEQP1
6, NODEF, NOJEF1, NODEL, NODEL1, NOULP1, NTDMA, NUMCOL
6, NK, NXMAX, NXM1, NYM2, NXYG, NXYP, NXYU, NXYV
6, NY, NYMAX, NYM1, NYM2, PI, RSCHEK, RSMAX, TINY
COMMON/PROP/EMUREF, PRL(10), PRT(10), RHOREF
COMMON/JOJ1/ANSL(22,10), RSLINE(22,10)
COMMON/JOJ2/U(210), V(210), H(225), PP(15), P(169), RHU(225), EMU(225)
DIMENSION F(1729)
DIMENSION DIFJ(17), EMUS(17), HCONS(17), RHOS(17)
EQUIVALENCE (DIFS(2), DIFH(1)), (EMUS(2), EMUN(1))
EQUIVALENCE (RHOS(2), RHON(1)), (AREAE, AREAW)
EQUIVALENCE (HCONS(2), HCONN(1))
EQUIVALENCE (F(1), U(1))
DIMENSION A(17), B(17)
EQUIVALENCE (A(1), AN(1)), (B(1), AS(1))
DATA KTRIP/J/
    
```

C-----  
C CHAPTER 1 1 1 1 1 1 PRELIMINARIES 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1  
C

C-----  
C CHAPTER 2 2 2 2 HEADINGS 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2  
C

ENTRY OUTPH

----- THE PROBLEM

```

20 WRITE(6,200)
200 FORMAT(///1X,72(1H-)/1X,1H-,70X,1H-/1X,1H-,10X,24HCHAMPION COD
10 2/E/FIX,36X,1H-/1X,1H-,70X,1H-/1X,72(1H-))
WRITE(6,201)
201 FORMAT(///1X,10X,'DAIRESEL KESITLI BIR BORUDA LAMINER AKIS'
11X,10X,45(1H-))
REY=RHOREF*UINLET*2.*RPIPE/EMUREF
WRITE(6,210) XPIPE,RPIPE,UINLET,REY,HINLET,HWALL
210 FORMAT(//1X,10H XPIPE,10H RPIPE,10H UINLET,
110H REY,10H HINLET,10H HWALL/1X,6E10.2)
WRITE(6,250) 1X,NY,NXMAX,NYMAX
250 FORMAT(1X,10H NY,10H NXMAX,10H NYMAX,10H
1/1X,4110)
WRITE(6,251) KRAD,NTDMA,KMPA,LASTEP,RSCHEK,CCHECK
251 FORMAT(1X,10H KRAD,10H NTDMA,10H KMPA,10H LAS
1,10H RSCHEK,10H CCHECK/1X,4110,2E10.2)
RETURN
    
```

C-----  
C CHAPTER 3 3 3 3 3 FILLED VALUES 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3  
C

ENTRY OUTPF

```

DO 31 JPHI=1,JLAST
IF(JPHI.EQ.JPP) GOTU 31
IF(KSOLVE(JPHI).EQ.0) GOTU 31
32 CALL PRINT(JPHI)
31 CONTINUE
    
```

```
KTRIP=0
RETURN
```

```
C
CHAPTER 4 4 4 4 PRINT OUT OF RESIDUAL SOURCES AND MONITORING VALU
C
```

```
ENTRY OUTPI
```

```
C
IF(ISTEP.LE.2) GO TO 110
IF(ADD(ISTEP,IPLRS).NE.0) GOTO 1140
110 WRITE(6,1100) ISTEP,ISTEP
WRITE(6,1101) (TITLE(K),K=1,JP)
DO 115 IX=2,NXMI
118 WRITE(6,1102) IX,KOUNT(IX),(RSLINE(IX,J),J=1,JPP)
1150 WRITE(6,1103) (RSSUM(J),J=1,JPP)
DO 116 J=1,JPP
IF(J.NE.JPP) GO TO 1160
STORE(J)=0.0
GOTO 116
1160 I=IMON(J)+IZERO(J)
STORE(J)=F(I)
116 CONTINUE
WRITE(6,1104) IXMON,IYMON
WRITE(6,1105) (STORE(J),J=1,JP)
KTRIP=0
GO TO 1170
1140 KTRIP=KTRIP+1
IF(KTRIP.GT.1) GO TO 1141
WRITE(6,1114)
WRITE(6,1110) IXMON,IYMON
WRITE(6,1111) (TITLE(K),K=1,JP)
1141 WRITE(6,1112) ISTEP,(RSSUM(J),J=1,JPP)
DO 117 J=1,JPP
IF(J.NE.JPP) GO TO 1142
STORE(J)=0.0
GOTO 117
1142 I=IMON(J)+IZERO(J)
STORE(J)=F(I)
117 CONTINUE
WRITE(6,1113) ISTEP,(STORE(J),J=1,JP)
1170 CONTINUE
C
1100 FORMAT(/IX,' ITERASYON SAYISI',I3,2X,70(1H=),4X,' ITERASYON SAY
1',I3//
1 IX,' ALGEBRAIC SUM OF RESIDUAL SOURCES AT EACH LINE--RSLINE(
1JPHI)')//
1101 FORMAT(IX,I3IX NO. TRAVS,2X,I0(3X,A4,3X))
1102 FORMAT(IX,I2,5X,I2,3X,10E10.2)
1103 FORMAT(/IX,37NSUM OF ABS. VALUES OF RSLINE(IX,JPHI)//
11X,I3(1H=),10E10.2/)
1104 FORMAT(/IX,31HVALUES AT MONITORING LOCATION (,I2,1H,,I2,1H)/
1 IX,5X,10E10.2)
1105 FORMAT(IX,I3(14-),10E10.2)
1110 FORMAT(/IX,53NSUM OF ABS. VALUES OF RSLINE(IX,JPHI), PRECEDED
1*****/IX,30HVALUES AT MONITORING LOCATION(,I2,1H,,I2,1H),
2 22H, PRECEDED BY -----)
```



```

1111 FORMAT(/1X,6X,5HITER.,3X,10(3X,A4,3X))
1112 FORMAT(/1X,6H*****,1X,13,3X,10E10.2)
1113 FORMAT(1X,5H-----,1X,13,3X,10E10.2)
1114 FORMAT(/1X,60(14-))
RETURN
END)
SUBROUTINE GCOM

```

```

C CHAPTER 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
C
CHARACTER*4 TITLE,SYMBOL
COMMON
1/CASE/ UINLET,FLOWIN,RPIPE,XPIPE,FXSTEP,HINLET,HWALL
COMMON
2/DN/ DYG(17),DYV(17),FV(17),FVNODE(17),R(17),RDYG(17),RDYV(17)
2,RSYG(17),RSYV(17),RV(17),RVCS(17),SYG(17),SYV(17),Y(17),YV(17)
COMMON
3/DNY/DX/AE(17),AN(17),AP(17),AS(17),AW(17),C(17),D(17),DIFE(17)
3,DIFN(17), DIFN(17),DU(17),DV(17),EMUE(17),EMUN(17)
3 ,EMUN(17),HCONE(17),HCONN(17), HCONN(17)
3,PHIDLJ(17),RHOE(17),RHON(17), RHON(17),SP(17),SU(17)
3,VOLUME(17),CONN(17),CONS(17),CONE(17),CONW(17),ESMPHI(17)
COMMON
4/DN/DXG(22),DXJ(22),FU(22),FUNODE(22),KOUNT(22),RDXG(22)
4,RDXU(22),RSXS(22),RSXU(22),STORE(22),SXG(22),SXU(22),X(22),XU(22)
COMMON
5/DJPHI/ IEN(10),ILAST(10),IMON(10),IXNY(10),IZER0(10)
5,JGROUP(10),KASOR(10),KSOLVE(10),KRS(10),RELAX(10),RSREF(10)
5,RSUM(10),TITLE(10)
COMMON
6/DJ/DCHECK,DP,FLOWPC,FLOWST,FLOWUP,GREAT,ILINE,IPLRS,IPREF,IPR
6,ISTEP ,IX,IX1NY,IX1NY1,IX2NY2,IXMON,IXP1,IXPREF,IYMON,IYPREF
6,JEU,JI,JLAST,JLIM1,JLIM2,JLIM3,JLIM4,JP,JPP,JRHJ
6,JU,JV,JVP1,KIMPRI,KMPA,KRAD,KRHHH,KTEST,LASPHI
6,LASTEP,LINEF,LINEL,NEO,NEOPI
6,NOJEF,NOJEP1,NOJEL,NOJEL1,NOJLP1,NTOMA,NUMCOL
6,NX,NXMAX,NXN1,NXN2,NXYG,NKYP,NXYU,NXYV
6,NY,NYMAX,NY11,NY12,PI,RSCHK,RSMAK,TINY
COMMON/PROP/EMUREF,PRL(10),PRT(10),RHOREF
COMMON/D2D1/ARSL(22,10),RGLINE(22,10)
COMMON/D2D2/U(210),V(210),H(225),PP(15),P(169),RHO(225),EMU(22)
DIMENSION F(1729)
DIMENSION DIFS(17),EMUS(17),HCONS(17),RHOS(17)
EQUIVALENCE (DIFS(2),DIFN(1)), (EMUS(2),EMUN(1))
EQUIVALENCE (RHOS(2),RHON(1)),(AREAE,AREAW)
EQUIVALENCE (HCONS(2),HCONF(1))
EQUIVALENCE (F(1),U(1))
DIMENSION A(17),B(17)
EQUIVALENCE (A(1),AN(1)),(B(1),AS(1))

```

```

C CHAPTER 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
C
GUTJ(21,22),KRAD

```

```

C CHAPTER 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2
C

```

```

C
21 DU 25 IY=1,NY
25 R(IY)=1.
   GOTO 23
22 DU 26 IY=1,NY
26 R(IY)=Y(IY)
23 CONTINUE

```

```

C
CHAPTER 3 3 3 3 3 3 3 CELL-NODE DISTANCES 3 3 3 3 3
C

```

```

DXG(1)=0.0
DYG(1)=0.0
DU 30 IX=2,NX
DXG(IX)=X(IX)-X(IX-1)
30 RDXG(IX)=1./DXG(IX)
DU 31 IY=2,NY
DYG(IY)=Y(IY)-Y(IY-1)
31 RDYG(IY)=1./DYG(IY)
XU(1)=X(1)
DU 32 IX=2,NXM2
32 XU(IX)=0.5*(X(IX)+X(IX+1))
XU(NXM1)=X(NX)
DXU(1)=0.0
DU 33 IX=2,NXM1
DXU(IX)=XU(IX)-XU(IX-1)
33 RDXU(IX)=1./DXU(IX)
YV(1)=Y(1)
RV(1)=R(1)
RVCB(1)=R(1)
DU 34 IY=2,NYM2
YV(IY)=0.5*(Y(IY)+Y(IY+1))
RV(IY)=0.5*(R(IY)+R(IY+1))
34 RVCB(IY)=R(IY)
RVCB(2)=R(1)
YV(NYM1)=Y(NY)
RV(NYM1)=R(NY)
RVCB(NYM1)=R(NY)
DYV(1)=0.0
DU 35 IY=2,NYM1
DYV(IY)=YV(IY)-YV(IY-1)
35 RDYV(IY)=1./DYV(IY)

```

```

C
CHAPTER 4 4 4 4 4 4 CELL DIMENSIONS 4 4 4 4 4
C

```

```

SXG(1)=0.0
DU 40 IX=3,NXM2
40 SXG(IX)=0.5*(DXG(IX)+DXG(IX+1))
SXG(2)=DXG(2)+0.5*DXG(3)
SXG(NXM1)=0.5*DXG(NXM1)+DXG(NX)
SXG(NX)=0.0
SYG(1)=0.0
DU 41 IY=3,NYM2
41 SYG(IY)=0.5*(DYG(IY)+DYG(IY+1))
SYG(NY)=0.0
SYG(2)=DYG(2)+0.5*DYG(3)

```

```

SYG(NYM1)=OYG(NY)+0.5*OYG(NYM1)
DO 45 IX=2,NXM1
45 RSXS(IX)=1./SXG(IX)
DO 45 IY=2,NYM1
46 RSYG(IY)=1./SYG(IY)

```

C-----U

```

SXU(1)=0.0
SXU(2)=X(3)-X(1)
NXM3=NX-3
DO 42 IX=3,NXM3
42 SXJ(IX)=X(IX+1)-X(IX)
SXJ(NXM2)=X(NX)-X(NXM2)
SXU(NXM1)=0.0
DO 47 IX=2,NXM2
47 RSXU(IX)=1./SXU(IX)

```

C-----V

```

SYV(1)=0.0
SYV(2)=Y(3)-Y(1)
NYM3=NY-3
DO 43 IY=3,NYM3
43 SYV(IY)=Y(IY+1)-Y(IY)
SYV(NYM2)=Y(NY)-Y(NYM2)
SYV(NYM1)=0.0
DO 48 IY=2,NYM2
48 RSYV(IY)=1./SYV(IY)

```

C CHAPTER 5 5 5 5 5 5 FACTORS FOR INTERPOLATING U AND V 5 5 5

```

FU(1)=0.0
DO 50 IX=2,NXM1
50 FU(IX)=(X(IX)-XU(IX-1))/(XU(IX)-XU(IX-1))
FU(NX)=0.0
DO 52 IX=1,NX
52 FUNODE(IX)=FU(IX)
FV(1)=0.0
DO 51 IY=2,NYM1
51 FV(IY)=(Y(IY)-YV(IY-1))/(YV(IY)-YV(IY-1))
FV(NY)=0.0
DO 53 IY=1,NY
53 FVNODE(IY)=FV(IY)
FU(2)=0.0
FU(NXM1)=1.0
FV(2)=0.0
FV(NYM1)=1.0
RETURN
END
SUBROUTINE COEFF(LPHI)

```

C CHAPTER 0 0 0 0 0 0 DECLARATIONS 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

CHARACTER\*4 TITLE,SYMBOL

```

COMMON
1/CASE1/ UINLET, FLOWIN, RPIPE, XPIPE, FXSTEP, HINLET, HWALL
COMMON
2/DNY/DY3(17), DYV(17), FV(17), FVNODE(17), R(17), RDYG(17), RDYV(17)
2, RSYG(17), RSYV(17), RV(17), RVC3(17), SYG(17), SYV(17), Y(17), YV(17)
COMMON
3/DNY/DX/AE(17), ARI(17), AP(17), AS(17), AW(17), C(17), D(17), DIFE(17)
3, DIFN(17), DU(17), DV(17), EMUE(17), EMUN(17)
3, LHON(17), HCON(17), HCONN(17), HCONW(17)
3, PHOLD(17), RHOE(17), RHON(17), RHOw(17), SP(17), SU(17)
3, VOLUME(17), CONN(17), CONS(17), CONE(17), CONW(17), ESMPHI(17)
COMMON
4/DNX/DXG(22), DXG(22), FU(22), FUNODE(22), KOUNT(22), RDXG(22)
4, KDXU(22), RSXG(22), RSXU(22), STORE(22), SXG(22), SXU(22), X(22), XU(22)
COMMON
5/DJPHI/ LG(10), ILAST(10), IMON(10), IXNY(10), IZERO(10)
5, JSRQP(10), KRADSR(10), KSOLVE(10), KRS(10), RELAX(10), RSREF(10)
5, RSSUN(10), TITL(10)
COMMON
6/DD/DCHECK, DP, FLOWPC, FLOWST, FLOWUP, GREAT, ILINE, IPLRS, IPREF, IPRINT
6, ISTEP, IX, IXINY, IXINY1, IX2NY2, IYMON, IXP1, IXPREF, IYMON, IYPREF
6, JEND, JH, JLAST, JLINE1, JLINE2, JLINE3, JLINE4, JP, JPP, JRHD
6, JU, JV, JVPI, KINPRI, KMPA, KRAD, KP HONU, KTEST, LABPHI
6, LASTEP, LLINEF, LINEL, NED, NEQPI
6, NDEF, NDEF1, NDEL, NDEL1, NDELPI, NTDNA, NUMCOL
6, NX, NX1X, XAMI, NX42, NXYG, NXP, NXYU, NXYV
6, NY, NY1X, NYMI, NYM2, PI, RSCHEK, RSMAX, TINY
COMMON/PROP/EMUREF, PRL(10), PRT(10), RHOREF
COMMON/D201/ARSL(22,10), RSLINE(22,10)
COMMON/D202/U(210), V(210), H(225), PP(15), P(169), RHO(225), EMU(225)
DIMENSION F(1729)
DIMENSION DIFS(17), EMUS(17), HCONS(17), RHOS(17)
EQUIVALENCE (DIFS(2), DIFN(1)), (EMUS(2), EMUN(1))
EQUIVALENCE (RHOS(2), RHON(1)), (AREAE, AREAW)
EQUIVALENCE (HCONS(2), HCONN(1))
EQUIVALENCE (F(1), U(1))
DIMENSION A(17), B(17)
EQUIVALENCE (A(1), AN(1)), (B(1), AS(1))

```

CHAPTER I I I I I I PRELIMINARIES I I I I I I I I I I I I I I I I

```

CONDIF(DIFF, FCONV, CONV) = AMAX1(DIFF, DIFF + CONV)
JPHI = LPHI
IF(KRAD.EJ.2) GO TO 12
ASSIGN 1001 TO LG
ASSIGN 201 TO LU1
ASSIGN 211 TO LU2
ASSIGN 301 TO LV1
ASSIGN 311 TO LV2
ASSIGN 401 TO LP
GO TO 13
12 ASSIGN 1002 TO LG

```

```

ASSIGN 202 TO L01
ASSIGN 212 TO L02
ASSIGN 302 TO L01
ASSIGN 312 TO L02
ASSIGN 402 TO L01
13 IF(KSOLVE(JRHO).EQ.J) GO TO 120
IF(JPHI.GT.JVP1) GO TO 120
IF(JPHI.EQ.J0) CALL CELG(JRHO)
IF(JPHI.EQ.JV) CALL CELV(JRHO)
IF(JPHI.EQ.JVP1) CALL CELG(JRHO)
N2=NODEL
IF(JPHI.EQ.JV) N2=NODEL1
RHOS(NODEF)=AS(NODEF)
DO 111 IY=NODEF,N2
RHOI(IY)=AI(IY)
RHOE(IY)=AE(IY)
111 RHOV(IY)=AV(IY)
C
120 IF(KSOLVE(JEMU).EQ.J) GO TO 130
IF(JPHI.GT.JVP1) GO TO 130
IF(JPHI.EQ.J0) CALL CELG(JEMU)
IF(JPHI.EQ.JV) CALL CELV(JEMU)
IF(JPHI.EQ.JVP1 .AND.JPHI.NE.JPP) CALL CELG(JEMU)
N2=NODEL
IF(JPHI.EQ.JV) N2=NODEL1
EMUS(NODEF)=AS(NODEF)
DO 121 IY=NODEF,N2
EMUI(IY)=AI(IY)
EMUE(IY)=AE(IY)
121 EMUV(IY)=AV(IY)
130 IF(JPP.EQ.JVP1) GO TO 140
IF(JPHI.NE.JVP1) GO TO 140
AREA= SXG(IX)*RV(NODEF1)
DIFS(NODEF)=EMUS(NODEF)*AREA*RDYG(NODEF)
ISV=NODEF1+IX1NY1
HCGIS(NODEF)=0.5*RHOS(NODEF)*V(1SV)*AREA
SXGIX=SXG(IX)
RDXGIX=RDXG(IX)
RDXG11=RDXG(IXP1)
C
DO 155 IY=NODEF,NODEL
IY41=IY-1
I=IY+IX1NY
I4=I-NY
IV=IY+IX1NY1
C
AREAN=SXGIX
AREAE=SYG(IY)
GO TO LG,(1001,1002)
1002 AREAN=AREAN*RV(IY)
AREAE=AREAE*R(IY)
1001 VOLUME(IY)=AREAE*SXGIX
DIFN(IY)=EMUN(IY)*AREAN*RDYG(IY+1)
DIFE(IY)=EMUE(IY)*AREAE*RDXG11
DIFV(IY)=EMUV(IY)*AREAN*RDXGIX

```

FILE: L3            FORTRAN A1 KARADENIZ UNIVERSITESI-SIM

```
HCONN(IY)=0.5*RHON(IY)*V(IY)*AREAN  
HCONE(IY)=0.5*RHOE(IY)*U(IY)*AREAE  
HCONW(IY)=0.5*RHOW(IY)*U(IY)*AREAW  
CONN(IY)=HCONN(IY)+HCONW(IY)  
CONS(IY)=HCONE(IY)+HCONW(IY)  
CONE(IY)=HCONE(IY)+HCONW(IY)  
CONW(IY)=HCONW(IY)+HCONW(IY)  
ESMPHI(IY)=CONS(IY)-CONN(IY)+CONW(IY)-CONE(IY)  
156 ESMPHI(IY)=AMAX1(0.0, -ESMPHI(IY))
```

```
140 IF(JPHI.EQ.JU) GO TO 20  
IF(JPHI.EQ.JV) GO TO 30  
IF(JPHI.EQ.JPP) GO TO 40  
GO TO 50
```

CHAPTER 2 2 2 2 2 2 COEFFICIENTS FOR U-EQUATION 2 2 2 2 2

```
20 AREA=SKU(IX)*RV(NODEF1)  
DN=EMUS(NODEF1)*AREA*RDYG(NODEF)  
ISV=NODEF1+IXINY1  
ISEV=ISV+NYM1  
MUN=0.25*KHDS(NODEF)* (V(ISV)+V(ISEV))*AREA  
FUIX=FJ(IX)  
OFUIX=1.-FUIX  
FUIXP1=FU(IXP1)  
SXUIX=SKU(IX)  
RDXUIX=RDXU(IX)  
RDXUI1=RDXU(IXP1)  
RSXUIX=RSKU(IX)
```

```
ASSIGN 27 TO NGUTJ  
IF(KPHDMU.NE.0) GO TO 28  
ASSIGN 25 TO NGOTJ
```

```
28 DO 26 IY=NODEF, NDEEL  
I=IY+IXINY  
IE=I+NY  
IW=I-NY  
IV=IY+IXINY1  
IEV=IV+NYM1  
ISV=IV-1  
ISEV=IEV-1  
IP=IY-1+IX2NY2  
IEP=IP+NYM2  
IYP1=IY+1
```

```
AREAN= SXUIX  
AREAE= SYG(IY)  
GO TO LUI, (201, 202)  
202 AREAN=AREAN*RV(IY)  
AREAE=AREAE*RI(IY)  
201 VOLUME(IY)=AREAE*SXUIX
```

```
DS=DN  
DN=EMUJ(IY)*AREAN*RDYG(IYP1)
```

FILE: LB            FORTRAN AL KARAHENIZ UNIVERSITESI-BIN

```
DE=EMUS(IY)*AREAE*RDUX(IXP1)
DW=EMUS(IY)*AREAE*RDUX(I)
HCS=HCU
HCN=RHON(IY)*0.25*(V(IY)+V(IEV))*AREAM
CN=HCN+HCU
CS=HCS+HCU
CE=RHOU(IY)*AREAE*(U(I)+(U(IE)-U(I))*FU(IXP1))
CW=RHOU(IY)*AREAE*(U(IW)+(U(I)-U(IW))*FU(I))
FCE=FU(IXP1)*CE
FCW=FU(I)*CW
ESMASS=CS-CN+CW-CE
FM=AMAX1(0.0,-ESMASS)
AN(IY)=CONDIF(CN,-HCN,-CN)
AS(IY)=CONDIF(CS,-HCS,-CS)
AL(IY)=CONDIF(CE,-FCE,-CE)
AW(IY)=CONDIF(CW,-FCW,-CW)
```

C

```
DU(IY)=AREAE
SU(IY)=FM*U(I)+DU(IY)*(P(IP)-P(IEP))
SP(IY)=-FM
GO TO NGOTO, (25,27)
```

27

```
DUOXW=(U(I)-U(IW))*RDUX(I)
DUOXE=(U(IE)-U(I))*RDUX(I)
STEM=(EMUS(IY)*DUOXE-EMUS(IY)*DUOXW)*RSXUIX
DVDXN=(V(IEV)-V(IY))*RSXUIX
DVDXS=(V(IEV)-V(ISV))*RSXUIX
```

211

```
STEM=STEM+(EMUS(IY)*DVDXN-EMUS(IY)*DVDXS)/AREAE
```

212

```
STEM=STEM+(EMUS(IY)*RV(IY)*DVDXN-EMUS(IY)*RV(IY-1)*DVDXS)/A
```

213

```
SU(IY)=SU(IY)+STEM*VOLUME(IY)
```

25

```
PHIOLD(IY)=U(I)
```

26

```
CONTINUE
I1=NODEF1+IX1IY
I2=NODLP1+IX1IY
PHIOLD(NODEF1)=U(I1)
PHIOLD(NODLP1)=U(I2)
IF(KABSOR(JU).NE.0) CALL SOURCE(JU)
```

C

```
RETURN
```

C

CHAPTER 3 3 3 3 3 3 3 ----- COEFFICIENTS FOR V-EQUATION ----- 3 3 3 3

C

```
30 AREA=SXG(IX)*RV(NODEF1)
ISV=NODEF1+IX1IY
DN=EMUS(NODEF1)*AREAE*RDYV(NODEF1)
CN=RHDS(NODEF1)*V(ISV)*AREAE
SXGIX=SXG(IX)
RDYGIX=RDYG(IX)
RDYGI1=RDYG(IXP1)
RSXGIX=RSXG(IX)
```

C

```
ASSIGN 33 TO NGOTO
IF(KRHOMU.NE.0) GO TO 34
```

```

34  ASSIGN 37 TO NGOTO
    DC 36 IY=NDDEF,MODEL1
    I=IY+IX1*MY
    IN=I+1
    IW=I-NY
    INV=IN+1
    IV=IY+IX1*NY1
    INV=IV+1
    ISV=IV-1
    IP=IY-1+IX2*Y2
    INP=IP+1
    IYPI=IY+1

C
    AREAN= SXGIX
    AREAE= SYV(IY)
    GO TO LVL1,(301,302)
302  AREAN=AREAN*RVCS(IYPI)
    AREAE=AREAE*RV(IY)
C
301  AREAN=AREAN, THROUGH EQUIVALANCE
    VOLJHE(IY)=AREAE*SXGIX
    DS=DN
    DN=EMUN(IY)*AREAN*RDYV(IYPI)
    DL=EMUE(IY)*AREAE*ROXGII
    DW=EMUN(IY)*AREAN*ROXGIX
    CS=CN
    VN=V(IV)+V(INV)-V(IV)*FV(IYPI)
    CN=RHUN(IY)*VN*AREAN
    FCS=(1.-FV(IY))*CS
    FCN=FV(IYPI)*CN
    HCE=0.25*RHUE(IY)*(U(I)+U(IN))*AREAE
    HCW=0.25*RHUN(IY)*(U(INW)+U(IN))*AREAW
    CE=HCE+HCE
    CW=HCW+HCW
    ESMASS=CS-CN+CN-CE
    FM=AMAX(0.0,-ESMASS)
    AN(IY)=CONDIF(DN,-FCN,-CN)
    AS(IY)=CONDIF(DS,-FCS,-CS)
    AE(IY)=CONDIF(DL,-HCE,-CE)
    AW(IY)=CONDIF(DW,-HCW,-CW)
    DV(IY)=VOLJHE(IY)*RSYV(IY)
    SU(IY)=FM*V(IV)+DV(IY)*(P(IP)-P(INP))
    SP(IY)=-FM
    GO TO NGOTO,(37,38)
37  STERN=0.
    IF(KRAD.EQ.2) STERN=STERN-(EMUN(IY)+EMUS(IY))*V(IV)/(RV(IY)**2)
    GO TO 313
38  DUDYE=(U(IN)-U(I))*RSYV(IY)
    DUDYW=(U(INW)-U(IW))*RSYV(IY)
    STERN=(EMUE(IY)*DUDYE-EMUN(IY)*DUDYW)*RSXGIX
    DVDYN=(V(INV)-V(IV))*RDYV(IYPI)
    DVDYS=(V(IV)-V(ISV))*RDYV(IY)
    GO TO LV2,(311,312)
311  STERN=STERN+(EMUN(IY)*DVDYN-EMUS(IY)*DVDYS)/AREAE
    GO TO 313
312  STERN=STERN+(EMUN(IY)*R(IYPI)*DVDYN-EMUS(IY)*R(IY)*DVDYS)/AREAE

```



```

313 STERM=STERM-(ENUN(IY)+ENUN(IY))*V(IV)/(RV(IY)**2)
SU(IY)=SU(IY)+STERM*VOLUME(IY)
35 PHIOLD(IY)=V(IV)
CONTINUE
IV=NODEL+1+IX1*NY1
PHIOLD(NODEL+1)=V(IV)
IV=NODEL+1+IX1*NY1
PHIOLD(NODEL)=V(IV)
IF(KAUSOR(JV).NE.0) CALL SOURCE(JV)
C
RETURN

```

----- CHAPTER 4 4 4 4 COEFFICIENTS FOR PRESSURE-CORRECTION EQUATION 4 4 -----

```

40 SXGIX=SXG(IX)
DU 46 IY=NODEF,NODEL
I=IY+IX1*NY1
IW=I-NY1
IV=IY+IX1*NY1
ISV=IV-1
IYM1=IY-1
C
ARHON=SXGIX*RHON(IY)
ARHOS=SXGIX*RHOS(IY)
ARHDE=SYG(IY)*RHDE(IY)
ARHJW=SYG(IY)*RHJW(IY)
GO TO LP,(401,402)
402 ARHJN=ARHON*RV(IY)
ARHJS=ARHOS*RV(IYM1)
ARHJE=ARHDE*R(IY)
ARHJW=ARHJW*R(IY)
C
401 AN(IY)=ARHON*OV(IY)
AS(IY)=ARHOS*OV(IYM1)
AE(IY)=ARHDE*OV(IY)
AW(IY)=0.
ESMASS=-ARHON*V(IV)+ ARHOS*V(ISV)- ARHDE*U(I)+ ARHJW*U(IW)
RSLINE(IX,JPP)=RSLINE(IX,JPP)+ESMASS
SU(IY)=ESMASS
SP(IY)=0.0
PHIOLD(IY)=0.0
46 CONTINUE
PHIOLD(NODEF1)=0.0
PHIOLD(NODEL1)=0.0
IF(KAUSOR(JPP).NE.0) CALL SOURCE(JPP)
C
RETURN

```

----- CHAPTER 5 5 5 5 PHI EQUATION 5 5 5 5 5 5 5 5 -----

```

50 RPRT=1./PRT(JPHI)
ICNST=IX*Y(JPHI)+IZERO(JPHI)
IENPHI=IEN(JPHI)
DU 55 IY=NODEF,NODEL

```

```

I=IY+ICONST
IE=I+IEWPHI
Iw=I-IEWPHI

DS=DIFS(IY)*RPRT
DN=DIFN(IY)*RPRT
DE=DIFE(IY)*RPRT
Dw=DIFW(IY)*RPRT
FM=ES/PHI(IY)
AN(IY)=CONDIF(DN,-HC0NN(IY),-CONN(IY))
AS(IY)=CONDIF(DS,HC0NS(IY),CONS(IY))
AE(IY)=CONDIF(DE,-HC0NE(IY),-LONE(IY))
AW(IY)=CONDIF(Dw,HC0NW(IY),CONW(IY))
PHIOLD(IY)=F(I)
SU(IY)=FM*PHIOLD(IY)
SP(IY)=-FM
56 CONTINUE
II=NODEF-1 +ICONST
IL=NODEL+1 +ICONST
PHIOLD(NODEF1)=F(11)
PHIOLD(NODEL1)=F(1L)
IF(KAUSOR(JPHI).NE.0) CALL SOURCE(JPHI)

RETURN
END
SUBROUTINE CELPHI(JPHI)
CHARACTER*4 TITLE,SYMBOL
COMMON
1/CASE1/ UINLET,FLUW14,RPIPE,XPIPE,FXSTEP,HINLET,HWALL
COMMON
2/DNY/DYG(17),DYV(17),FV(17),FVNODE(17),R(17),RDYG(17),RDYV(17)
2,RSYG(17),RSYV(17),RV(17),RVCH(17),SYG(17),SYV(17),Y(17),YV(17)
COMMON
3/DNYDX/AE(17),AN(17),AP(17),AS(17),AW(17),C(17),D(17),DIFE(17)
3,DIFN(17),DIFW(17),DU(17),DV(17),EMUE(17),EMUN(17)
3,EMUN(17),HCONE(17),HC0NN(17),HC0NW(17)
3,PHIOLD(17),RH0E(17),RHUN(17),RH0W(17),SP(17),SU(17)
3,VOLUME(17),CONN(17),CONS(17),CONE(17),CONW(17),ESMPHI(17)
COMMON
4/DNX/DXG(22),DXU(22),FU(22),FUMODE(22),K0UNT(22),RDXG(22)
4,RDXU(22),RSXG(22),RSXU(22),STORE(22),SXG(22),SXU(22),X(22),XU(22)
COMMON
5/JJPHI/ IEW(10),ILAST(10),IMDN(10),IXNY(10),IZERO(10)
5,JGR0UP(10),KAUSOR(10),KSOLVE(10),KRS(10),RELAX(10),RSREF(10)
5,KSSUM(10),TITLE(10)
COMMON
6/DD/CHECK,DP,FLOWPC,FLOWST,FLOWUP,GREAT,ILINE,IPLRS,IPREF,IPRINT
6,ISTEP,IX,IX1NY,IX2NY1,IX2NY2,IXMDN,IXP1,IXPREF,IYMDN,IYPREF
6,JEMU,JH,JLAST,JLIM1,JLIM2,JLIM3,JLIM4,JP,JPP,JRHU
6,JU,JV,JVPI,KIMP1,KMPA,KRAD,KRHOMU,KTEST,LAPPHI
6,LASTEP,LINEF,LINEL,NEQ,NEOPI
6,NODEF,NODEF1,NODEL,NODEL1,NODEL2,NUMCOL
6,NX,NXMAX,NXN1,NXN2,NXYG,NXYP,NXYU,NXYV
6,NY,NYMAX,NY1,NY2,P1,RSCHK,RSMAX,TINY
COMMON/PROP/ENUREF,PRL(10),PRT(10),RHOREF

```

```

COMMON/D2D1/ARSL(22,10),RSLINE(22,10)
COMMON/D2D2/U(210),V(210),H(225),PP(15),P(169),RHO(225),EMU(22)
DIMENSION F(1729)
DIMENSION DIFS(17),EMUS(17),HCONS(17),RHOS(17)
EQUIVALENCE (DIFS(2),DIFN(1)), (EMUS(2),EMUN(1))
EQUIVALENCE (RHOS(2),RHON(1)), (AREAE,AREAW)
EQUIVALENCE (HCONS(2),HCONM(1))
EQUIVALENCE (F(1),U(1))
DIMENSION A(17),B(17)
EQUIVALENCE (A(1),AN(1)), (B(1),AS(1))

```

```

C ----- CELL-WALL PROPERTIES FOR U-CELLS
C ENTRY CELU(JPHI)

```

```

COMMENT
C

```

```

LE=U
LN=U
IF(IX.EQ.2) LN=NY
IF(IX.EQ.NXM2) LE=NY
ICONST=IX*NY+IZERO(JPHI)-LN
NYLE=NY+Lc
DO 11 IY=NODEF,NODEL
I=IY+ICONST
IE=I+NYLE
AW(IY)=F(I)
11 AE(IY)=F(IE)
I=NODEF1+ICONST
IE=I+NYLE
AS(NODEF)=0.5*(F(I)+F(IE))
IF(NODEF.GT.2) AS(NODEF)=0.5*(AE(NODEF)+AW(NODEF))+0.5*AS(NODE
DO 12 IY=NODEF,NODEL1
IYPI=IY+1
12 AN(IY)=0.25*(AE(IY)+AW(IY)+AE(IYPI)+AW(IYPI))
IN=NODEL+1+ICONST
INE=IN+NYLE
AN(NODEL1)=0.5*(F(IN)+F(INE))
IF(NODEL.LT.NY*4) AN(NODEL)=0.25*(F(IN-1)+F(INE-1))+0.5*AN(NOD
RETURN

```

```

C ENTRY CELV(JPHI)

```

```

COMMENT
C

```

```

BWW=0.25
BEW=0.25
IF(IX.EQ.2) BWW=0.5
IF(IX.EQ.NXM1) BEW=0.5
BWE=0.5-BWW
BEE=0.5-BEW
ICONST=IX*NY+IZERO(JPHI)
DO 21 IY=NODEF,NODEL1
I=IY+ICONST
IN=I+1
IW=I-NY
IYW=IW+1

```

```

IE=I+NY
INE=IE+1
FPN=F(I)+F(IN)
21 AN(IY)=BWE*(F(IW)+F(INW))+BWE*FPN
   AE(IY)=BEW*FPN+BEE*(F(IL)+F(INE))
   I=NODEF1+ICONST
   AS(NODEF)=F(I)
   IF(NODEF.GT.2) AS(NODEF)=F(I+1)
   NZ=NODEF1-1
   ICONST=1+IX1*NY+IZERU(JPHI)
   DO 22 IY=NODEF,NZ
     IN=IY+ICONST
22 AN(IY)=F(IN)
   INN=NODEL+ICONST
   AN(NODEL1)=F(INN)
   IF(NODEL1.LT.NY/2) AN(NODEL1)=F(INN-1)
   RETURN

C
C   ENTRY CELG(JPHI)
C
C COMMENT
   BWE=0.5
   BEW=0.5
   IF(IX.EQ.2) BWE=1.
   IF(IX.EQ.NXMI) BEW=0.
   BEE=1.-BWE
   BEE=1.-BEW
   ICONST=1+IX1*NY+IZERU(JPHI)
   I=NODEF1+ICONST
   AS(NODEF)=F(I)
   IF(NODEF.GT.2) AS(NODEF)=0.5*(F(I)+F(I+1))
   DO 31 IY=NODEF,NODEL
     I=IY+ICONST
     IN=I+1
     IE=I+NY
     IW=I-NY
     AN(IY)=0.5*(F(I)+F(IN))
     AN(IY)=BWE*F(IW)+BWE*F(I)
31 AE(IY)=BEW*F(I)+BEE*F(IE)
   IF(NODEL.LT.NYMI) RETURN
   IN=NODEL+ICONST
   AN(NODEL)=F(IN)
   RETURN
END
SUBROUTINE SOLVE(LPHI)
CHARACTER*4 TITLE,SYMBOL
COMMON
1/CASE1/ UINLET,FLOWIN,PIPE,XPIPE,FXSTEP,HINLET,HWALL
COMMON
2/DY/DYG(17),DYV(17),FV(17),FVNODE(17),R(17),RDYG(17),RDYV(17)
2,RSYG(17),RSYV(17),RV(17),RVCS(17),SYG(17),SYV(17),Y(17),YV(17)
COMMON
3/DYDIX/AL(17),AN(17),AP(17),AS(17),AW(17),C(17),D(17),DIFE(17)
3,DIFN(17),DIFW(17),DU(17),DV(17),ENUE(17),EMUN(17)
3,EMOW(17),HCONE(17),HCUNN(17),HCONW(17)

```

FILE: L3

FORTRAN A1 KARADENIZ UNIVERSITESI-BIM

```
J,PHI,OLD(17),RHOE(17),RHOM(17), RHOV(17),SP(17),SU(17)
3,VOLUME(17),COMN(17),CONS(17),CONE(17),CONK(17),ESMPHI(17)
COMMON
4/DHX/DXG(22),DXU(22),FU(22),FUNODE(22),KOUNT(22),RDXG(22)
4,RDXU(22),RSXG(22),RSXU(22),STORE(22),SXG(22),SXU(22),X(22),
COMMON
5/JPHI/ IEN(10),ILAST(10),IMON(10),IXNY(10),TZERO(10)
5,JKOUP(10),KASOR(10),KSOLVE(10),KRS(10),RELAX(10),RSREF(10)
5,RSSUN(10),TITLE(10)
COMMON
6/JO/CCHECK,OP,FLOWPC,FLONST,FLONUP,GREAT,ILINE,IPLRS,IPREF,I
6,ISTEP,IX,IXNY,IXNY1,IXNY2,IXMON,IXPI,IXPREF,IYMON,IYPRE
6,JE40,JH,JLAST,JLIM1,JLIM2,JLIM3,JLIM4,JP,JPP,JRHJ
6,JJ,JV,JVPI,KINPRI,KMPA,KRAD,KRHOMU,KTEST,LABPHI
6,LASTEP,LINEF,LINEL,NEQ,NEQPI
6,NDEF,NDEF1,NODEL,NODEL1,NODELPI,NTOMA,NUMCOL
6,NK,NXMAX,NXMI,NXN2,NXYG,NXYP,NXYU,NXYV
6,NY,NYMAX,NYMI,NYN2,PI,RSCHK,RSMAX,TINY
COMMON/PRLP/EMUREF,PRL(10),PRI(10),RHUREF
COMMON/D2D1/AKSL(22,10),RSLINE(22,10)
COMMON/D2D2/U(210),V(210),H(225),P(15),P(169),RHU(225),EMU(
DIMENSION F(1729)
DIMENSION DIFS(17),EMUS(17),HCONS(17),RHOS(17)
EQUIVALENCE (DIFS(2),DIFN(1)), (EMUS(2),EMUN(1))
EQUIVALENCE (RHOS(2),RHON(1)), (AREAE,AREAW)
EQUIVALENCE (HCON(2),HCON(1))
EQUIVALENCE (F(1),U(1))
DIMENSION A(17),R(17)
EQUIVALENCE (A(1),AR(1)), (R(1),AS(1))
```

C  
COMMENT  
C

```
JPHI=LPHI
RRELAX=1./RELAX(JPHI)
RELAX1=1.-RELAX(JPHI)
KRSPHI=KPS(JPHI)
ICNST=IXNY(JPHI)+TZERO(JPHI)
IEXPHI=IEN(JPHI)
NODE2=NODEL
IF(JPHI.EQ.JV) NODE2=NODEL1
NF2=NODEL+NODE2
```

C  
A(NODEF1)=0.0  
C(NODEF1)=PHI,OLD(NODEF1)

C  
IF(JPHI.NE.JPP) GO TO 12

```
C  
DO 11 IY=NODEF,NODE2  
IYMI=IY-1  
D(IY)=AE(IY)+AM(IY)+AN(IY)+AS(IY)-SP(IY)+TINY  
C(IY)=S(IY)  
TERM=1./(D(IY)-S(IY)*A(IYMI))  
A(IY)=A(IY)*TERM  
11 C(IY)=(C(IY)+S(IYMI)*D(IY))*TERM  
DO 111 IY=NODEF,NODE2
```

```

IYBACK=NF2-IY
PHIOLD(IYBACK)=A(IYBACK)*PHIOLD(IYBACK+1)+C(IYBACK)
111 PP(IYBACK)=PHIOLD(IYBACK)
RETURN
C
12 IF(RLAX(JPHI).EQ.1.) GO TO 13
DO 14 IY=NODEF,NODE2
IYM1=IY-1
I=IY+ICONST
IE=I+IEWPHI
IW=I-IEWPHI
AP(IY)=AN(IY)+AS(IY)+AE(IY)+AW(IY)
SU(IY)=SU(IY)+AE(IY)*F(IE)+AN(IY)*F(IW)
STORE(IY)=AN(IY)
D(IY)=(AP(IY)-SP(IY))*RRELAX +TINY
C(IY)=SU(IY)+RELAXI*D(IY)*PHIOLD(IY)
TERM=1./((D(IY)-S(IY)*A(IYM1))
A(IY)=A(IY)*TERM
14 C(IY)=(C(IY)+C(IYM1)*B(IY))*TERM
GO TO 110
13 DO 18 IY=NODEF,NODE2
IYM1=IY-1
I=IY+ICONST
IE=I+IEWPHI
IW=I-IEWPHI
AP(IY)=AN(IY)+AS(IY)+AE(IY)+AW(IY)
SU(IY)=SU(IY)+AE(IY)*F(IE)+AW(IY)*F(IW)
STORE(IY)=AN(IY)
C
D(IY)=AP(IY)-SP(IY) +TINY
C(IY)=SU(IY)
TERM=1./((D(IY)-B(IY)*A(IYM1))
A(IY)=A(IY)*TERM
18 C(IY)=(C(IY)+C(IYM1)*B(IY))*TERM
C
110 IF(KRSPHI.EQ.0) GO TO 120
DO 115 IY=NODEF,NODE2
RS=(AP(IY)-SP(IY))*PHIOLD(IY)-SU(IY)
1 -STORE(IY)*PHIOLD(IY+1)-AS(IY)*PHIOLD(IY-1)
115 RSLINE(IX,JPHI)=RSLINE(IX,JPHI)+RS
120 DO 100 IY=NODEF,NODE2
IYBACK=NF2-IY
PHIOLD(IYBACK)=A(IYBACK)*PHIOLD(IYBACK+1)+C(IYBACK)
I=IYBACK+ICONST
100 F(I)=PHIOLD(IYBACK)
IF(JPHI.NE.JJ) GO TO 102
DO 103 IY=NODEF,NODE2
103 DU(IY)=DU(IY)/D(IY)
RETURN
C
102 IF(JPHI.NE.JV) RETURN
DO 106 IY=NODEF,NODE2
106 DV(IY)=DV(IY)/D(IY)
RETURN
END

```

SUBROUTINE PRINT(LPFI)

```

C CHAPTER 0 0 0 0 0 DECLARATIONS 0 0 0 0
C
CHARACTER*4 TITLE,SYMBOL
COMMON
1/CASE1/ HINLET,FLOWIN,PPIPE,XPIPE,FXSTEP,HINLET,HWALL
COMMON
2/DNY/DYS(17),DYV(17),FV(17),FVNODE(17),R(17),RDY(17),RDYV(17)
2,RSYS(17),RSYV(17),RV(17),RVCS(17),SYG(17),SYV(17),Y(17),YV(17)
COMMON
3/DNY/DX/AC(17),AH(17),AP(17),AS(17),AW(17),C(17),D(17),DIFE(17)
3,DIFN(17), DIFW(17),DU(17),DV(17),EMUE(17),EMUN(17)
3,EMOW(17),HCONE(17),HCONN(17), HCONW(17)
3,PHIOLD(17),RHOE(17),RHON(17), RHOW(17),SP(17),SJ(17)
3,VOLUME(17),CONH(17),CONS(17),CONE(17),CONW(17),ESMPHI(17)
COMMON
4/DX/DXG(22),DXU(22),FU(22),FUNODE(22),KOUNT(22),RDXG(22)
4,RDXU(22),RSXS(22),RSXU(22),STORE(22),SXG(22),SXU(22),X(22),XU(22)
COMMON
5/JPHI/ IEW(10),ILAST(10),IMDN(10),IXNY(10),IZERO(10)
5,JSRUP(10),KADSOR(10),KSOLVE(10),KRS(10),RELAX(10),RSREF(10)
5,RSUM(10),TITLE(10)
COMMON
6/DJ/CCHECK,DP,FLD,PC,FLWST,FLWUP,GREAT,ILINE,IPLRS,IPREF,IPRINT
6,ISTEP,IX,IX1NY,IX1NYI,IX2NY2,IXMON,IXP1,IXPREF,IYMON,IYPREF
6,JEHU,JH,JLAST,JLIM1,JLIM2,JLIM3,JLIM4,JP,JPP,JRHU
6,JU,JV,JVPI,KIMPPI,KMPA,KRAD,KRHOMU,KTEST,LABPHI
6,LASTE,P,LITREF,LINEL,NEO,NEOPI
6,NODEF,NODEF1,MODEL,MODEL1,NODULPI,NTDMA,NUMCOL
6,NX,NXMAX,NX1,NX2,NXY,NXYG,NXP,NXYU,NXYV
6,NY,NYMAX,NY1,NY2,PI,RSCHK,RSMAX,TINY
COMMON/PROP/EMUREF,PRI(10),PRI(10),RHOREF
COMMON/D2D1/ARSL(22,10),RSLINE(22,10)
COMMON/D2D2/U(210),V(210),R(225),PP(15),P(169),RHU(225),EMU(225)
DIMENSION F(1729)
DIMENSION DIFS(17),EMUS(17),HCONS(17),RHOS(17)
EQUIVALENCE (DIFS(2),DIFN(1)), (EMUS(2),EMUN(1))
EQUIVALENCE (RHOS(2),RHUN(1)), (AREAE,AREA)
EQUIVALENCE (HCONS(2),HCONN(1))
EQUIVALENCE (F(1),U(1))
DIMENSION A(17),B(17)
EQUIVALENCE (A(1),AN(1)), (B(1),AS(1))

```

```

C CHAPTER 1 1 1 1 1 PRELIMINARIES 1 1 1 1 1 1 1 1
C
JPHI=LPFI
IF(JPHI.EQ.JP) GO TO 12
KOLUM1=1
KOLUM2=NUMCOL
10 LIMIT1=KOLUM1
LIMIT2=KOLUM2
LTOP=IEW(JPHI)
LBOT=1
IF(JPHI.NE.JU) GO TO 11

```

FILE: LB

FORTRAN 90 K. DENİZ UNIVERSİTESİ-BİM

C ----- U

IF(LIMIT1.GT.NXMI) LIMIT =NXMI  
IF(LIMIT2.GT.NXMI) LIMIT =NXMI

GO TO 20  
11 IF(LIMIT1.GT.NXMI) LIMIT1=  
IF(LIMIT2.GT.NXMI) LIMIT2=

GO TO 20  
12 KOLUMN1=2  
KOLUMN2=NUMCOL+1  
13 LIMIT1=KOLUMN1  
LIMIT2=KOLUMN2  
IF(LIMIT1.GT.NXMI) LIMIT1=NXMI  
IF(LIMIT2.GT.NXMI) LIMIT2=NXMI  
LTOP=NYMI  
LBOT=2

C -----  
CHAPTER 2 2 2 2 2 2 2 2 2 ... PRINT TITLE OF VARIABLES ... 2 2 2 2

20 WRITE(6,200) TITLE(JPHI),TITLE(JPHI)  
200 FORMAT(/1X,15#FIELD VALUES OF ,1X, A4,2X,22(1H-),A4,22(1H-))

C -----  
CHAPTER 3 3 3 3 3 3 3 3 3 ... PRINT FIELD VALUES ... 3 3 3 3 3 3 3

DO 30 IY=LBOT,LTOP  
IY=LTOP-IY+LBOT  
DO 30 IX=LIMIT1,LIMIT2  
IF(JPHI-JJ)301,31,301  
301 IF(JPHI-JV)302,32,302  
302 IF(JPHI-JP)303,33,303  
303 CONTINUE  
31 I=IY+(IX-1)\*NY  
GO TO 300  
32 I=IY+(IX-1)\*NYMI  
GO TO 300  
33 I=IY-1+(IX-2)\*NY\*2  
300 I=I+IZERD(JPHI)  
30 STORE(IX)=F(I)  
IF(JPHI-JV)310,311,310  
310 WRITE(6,3100)IY,Y(IY),(STORE(IX),IX=LIMIT1,LIMIT2)  
GO TO 30  
311 WRITE(6,3101)IY,YV(IY),(STORE(IX),IX=LIMIT1,LIMIT2)  
30 CONTINUE  
IF(JPHI-JJ)320,321,320  
320 WRITE(6,3102)(IX,X(IX),IX=LIMIT1,LIMIT2)  
GO TO 300  
321 WRITE(6,3103)(IX,XU(IX),IX=LIMIT1,LIMIT2)  
300 IF(JPHI.EQ.JJ) GO TO 350  
IF(JPHI.EQ.JP) GO TO 350  
IF(LIMIT2.EQ.NXMI) RETURN  
KOLUMN1=KOLUMN1+NUMCOL  
KOLUMN2=KOLUMN2+NUMCOL  
GO TO 10  
350 IF(LIMIT2.EQ.NXMI) RETURN



```

KOLU1=KOLU1+NUMCOL
KOLU2=KOLU2+NUMCOL
IF(JPHI.EQ.JU) GO TO 10
GO TO 13
3100 FORMAT(1X,1X,2HY(,12,2H)=,E9.3,2X,10(E9.2,1X))
3101 FORMAT(1X,3HY(,12,2H)=,F9.3,2X,10(F9.2,1X))
3102 FORMAT(/5X,5HX(1X), 2X,10(12,1H=,F5.3,1X)//)
3103 FORMAT(/5X,5HXU(1X), 2X,10(12,1H=,F6.3,1X)//)
END
SUBROUTINE TEST
CHARACTER*4 TITLE,SYMBOL
COMMON
1/CASE1/ HINLET,FLOWIN,#PTPE,XPIPE,FXSTEP,HINLET,HWALL
COMMON
2/JNY/JY6(17),JYV(17),FV(17),FVNODE(17),R(17),RDYG(17),PDYV(17)
2,RSYS(17),RSYV(17),RV(17),RVOL(17),SY6(17),SYV(17),Y(17),YV(17)
COMMON
3/D JYJNX/AE(17),AN(17),AP(17),AS(17),AW(17),C(17),D(17),DIFE(17)
3,DIFM(17), DIFW(17),DJ(17),DV(17),EMUE(17),EMUN(17)
3,EMON(17),HCONE(17),HCONW(17), HCONW(17)
3,PHIOLD(17),RHOE(17),RHON(17), RHOW(17),SP(17),SJ(17)
3,VOLUME(17),CONS(17),CONS(17),CONE(17),CONW(17),ESMPHI(17)
COMMON
4/DNX/DX6(22),DXU(22),FU(22),FUNODE(22),KOUNT(22),RDAG(22)
4,ROXU(22),RSX(22),RSXU(22),STORE(22),SX6(22),SXU(22),X(22),XU(
COMMON
5/JJP/JI/ IEN(10),ILAST(10),IMON(10),IXNY(10),IZERO(10)
5,JKROO(10),KADSOR(10),KSOLVE(10),KRS(10),RELAX(10),RSREF(10)
5,RSSUM(10),TITLE(10)
COMMON
6/DO/CHECK,DP,FLOWPC,FLOWST,FLOWUP,GREAT,ILINE,IPLRS,IPREF,IPRI
6,ISTEP,IX,IXINY,IXINY1,IX2NY2,IXMON,IXPI,IXPREF,IYMON,IYPREF
6,JE10,JE,ELAST,ELIM1,ELIM2,ELIM3,ELIM4,JP,JPP,JRHU
6,JU,JV,JVP1,KIPRI,KIPA,KRAD,KRHOMU,KTEST,LARPHI
6,LASTLP,LINEF,LINEL,NEO,NECPI
6,ODEF,ODEF1,NODEL,NOELL1,NOELP1,NTDMA,NUMCOL
6,NX,NXAX,NXMI,NXK2,NXYG,NXYP,NXYU,NXYV
6,NY,NYAX,NYMI,NYM2,PI,RSCHK,RSMAX,TINY
COMMON/PROP/EMUREF,PRL(10),PRT(10),RHOREF
COMMON/D201/ARSL(22,10),RSLINE(22,10)
COMMON/D202/U(210),V(210),H(225),PP(15),P(169),RHU(225),EMU(225)
DIMENSION F(1729)
DIMENSION DIFS(17),EMUS(17),HCONS(17),RHOS(17)
EQUIVALENCE (DIFS(2),DIFM(1)), (EMUS(2),EMUN(1))
EQUIVALENCE (RHOS(2),RHON(1)), (AREAE,AREAW)
EQUIVALENCE (HCONS(2),HCONW(1))
EQUIVALENCE (F(1),U(1))
DIMENSION A(17),B(17)
EQUIVALENCE (A(1),AN(1)), (B(1),AS(1))

```

C -----

CHAPTER	1	1	1	1	PRINT-OUTS FOR LEVEL 1 ONWARDS	1	1
---------	---	---	---	---	--------------------------------	---	---

C ENTRY TEST 11

C WRITE(6,200) KTEST

FILE: L3

FORTRAN AI KARADENIZ UNIVEKSTESİ-BİM

```
200 FORMAT(/1X,25HDIAGNOSING PRINT-OUT LEVEL,14,2X,30(1H-))
WRITE(5,201) (K,X(K),DXG(K),SXG(K),K=1,NX)
201 FORMAT(/1X,2H1X,1X,10H          X,10H          DXG,10H          SXG/
1(1X,12,1X,3E10.2))
WRITE(5,202) (K,XU(K),DXU(K),SXU(K),FU(K),FUNODE(K),K=1,NX)
202 FORMAT(/1X,2H1X,1X,10H          XU,10H          DXU,10H          SXU,
1 10H          FU,10H          FUNODE/(1X,12,1X,5E10.2))
WRITE(5,203) (K,Y(K),R(K),DYG(K),SYG(K),K=1,NY)
203 FORMAT(/1X,2H1Y,1X,10H          Y,10H          R,10H          DYG,
1 10H          SYG/(1X,12,1X,4E10.2))
1 10H          SYG/(1X,12,1X,4E10.2))
C
WRITE(5,204) (K,YV(K),RV(K),RVCB(K),DYV(K),SYV(K),FV(K),
1 FVNODE(K),K=1,NV)
204 FORMAT(/1X,2H1Y,1X,10H          YV,10H          RV,10H          RVCB,
1 10H          SYV,10H          FV,10H          FVNODE/
2(1X,12,1X,7E10.2))
RETURN
ENTRY TEST 12
WRITE(5,300)
300 FORMAT(/1X,30HDEPENDENT VARIABLE INFORMATION,20(1H-)/)
WRITE(5,301) NEQ,(TITLE(K),K=1,NEQ)
301 FORMAT(/1X,4HNEQ=,14,1X,5(1H-),20(A4,1H,,1X))
IF(KSOLVE(JPP).EQ.0) GO TO 33
WRITE(5,302)
302 FORMAT(1X,14X,' BASIC DÜGRÜLTMAN DENKLEMI DE ÇÖZÜLÜR.')
38 WRITE(5,303)
303 FORMAT(/1X,4H J ,4HJPHI,4H JGROUP,8H KSOLVE,8H KASOR,
1 8H KRS,8H RELAX,8H IZERD,8H ILAST,8H IEW)
WRITE(5,304) (K,TITLE(K),JGROUP(K),KSOLVE(K),KASOR(K),
1 KRS(K),RELAX(K),IZERD(K),ILAST(K),IEW(K),K=1,JLAST)
304 FORMAT(1X,12,2X,A4,4I3,FR.2,3I3)
WRITE(5,305) JLIM1,JLIM2,JLIM3,JLIM4
305 FORMAT(/1X,8H JLIM1,8H JLIM2,8H JLIM3,8H JLIM4/1X,4I8)
RETURN
ENTRY TEST 13
J1=1
IF(KINPRI.GT.0) J1=JP
DO 521 JPHI=J1,JLAST
IF(JPHI.EQ.JPP) GO TO 521
CALL PRINT(JPHI)
521 CONTINUE
RETURN
ENTRY TEST 21
IF(KTEST.GT.2) GO TO 304
IF(LABPHI.EQ.1) WRITE(6,803) IX,KOUNT(IX)
IF(LABPHI.EQ.2.AND.1X.EQ.NXM1) WRITE(6,803) IX,KOUNT(IX)
303 FORMAT(/1X,53(1H-),4H IX=,12,12H, KOUNT(IX)=,I3)
804 SYMBOL='*'
IF(LABPHI.GT.JV) SYMBOL=' '
K2=LEN(LABPHI)
WRITE(6,800) IX,SYMBOL,TITLE(LABPHI),(PHIOLD(K),K=1,K2)
300 FORMAT(/1X,3HIX=,12,10,,1X,A1,11H VALUES OF ,A4,1H*,5E10.2,
1 5(/1X,24X,5E10.2))
WRITE(6,801) TITLE(LABPHI),IX,RSLINE(IX,LABPHI)
801 FORMAT(1X,39HALGEBRAIC SUM OF RESIDUAL SOURCES OF ,A4,6HAT IX=
```

```

1 12,4H 15,10X,E10.2)
RETURN
ENTRY TEST 22
WRITE(6,1030) IX,FLOWUP,FLOWST,DP
1030 FORMAT(/1X,3HIX=,12,5H.....,7HFLOWUP,,7HFLOWST,,20HMEAN-P CORREC
10N =,3E10.2)
WRITE(6,1032) FLOWPC
1032 FORMAT(1X,36HMEAN-PRESSURE CORRECTED FLOW RATE = ,9X,E10.2)
K1=1+IX*NY
K2=K1+NYM1
WRITE(6,1031) (U(K),K=K1,K2)
1031 FORMAT(1X,24HMEAN-PRESS. C. U(1 - NY),5E10.2,
1 5(/1X,24X,5E10.2))
RETURN
ENTRY TEST 23
WRITE(6,1033) IX,PSLINE(IX,JPP)
1033 FORMAT(1X,42HALGEBRAIC SUM OF ERROR MASS SOURCES AT IX=,13,
1 5H 13,14X,E10.2)
WRITE(6,1030) IX,(OP(K),K=1,NY)
1090 FORMAT(/1X,3HIX=,12,2X,12HPP(1 TO NY) ,5X,5E10.2,
1 5(/1X,24X,5E10.2))
K1=1+IX*NY(JU)
K2=K1+NYM1
WRITE(6,1091) IX,(U(K),K=K1,K2)
1091 FORMAT(1X,3HIX=,12,2X,17HPP C. U(1 TO NY) ,5E10.2,
1 5(/1X,24X,5E10.2))
K1=1+IX*NY(JV)
K2=K1+NYM2
WRITE(6,1092) IX,(V(K),K=K1,K2)
1092 FORMAT(1X,3HIX=,12,2X,17HPP C. V(1 - NYM1),5E10.2,
1 5(/1X,24X,5E10.2))
RETURN

```

C-----  
CHAPTER 3 3 3 3 PRINT-OUTS FOR LEVEL 3 ONWARDS 3 3 3 3  
C-----

```

ENTRY TEST 31
IF(LABPHI.EQ.1) WRITE(6,2030) IX,KOUNT(IX)
IF(LABPHI.EQ.2.AND.IX.EQ.NXM1) WRITE(6,2030) IX,KOUNT(IX)
2030 FORMAT(/1X,53(1H-),4H IX=,12,12H, KOUNT(IX)=,13)
WRITE(6,2020) TITLE(LABPHI),IX
2020 FORMAT(/1X,15HCOEFFICIENTS OF ,44,2X,17HEQUATION FOR IX =,14,2X
10(1H-)//1X,24IY,2X,10H AN,10H AS,10H AE,
110H AU,10H SU, 10H SP,10H PHIOLD)
WRITE(6,2021) (K,AN(K),AS(K),AE(K),AW(K),SU(K),SP(K),PHIOLD(K),K
1=1,NY)
2021 FORMAT(1X,12,2X,7E10.2)
RETURN
END

```

-----  
 CHAMPION CODE NO 2/E/FIX  
 -----

-----  
 DAIRESEL KESITLI BIR BORUDA LAMINER AKIS  
 -----

XPIPE	RPIPE	UINLET	REY. NO.	HINLET	HWALL
0.25E+01	0.10E+00	0.10E+01	0.20E+03	0.10E+01	0.00E+00
NX	NY	NXMAX	NYMAX		
10	10	15	15		
KRAD	NTDMA	KMPA	LASTEP	KSCHEK	CCHECK
2	20	1	100	0.10E-01	0.10E-02

ITERASYON SAYISI 1 =====

ALGEBRAIC SUM OF RESIDUAL SOURCES AT EACH LINE--RSLINE(IX,JPHI)

IX	NO. TRAVS	U	V	H	PP	P
2	16	0.74E-02	-0.10E-01	-0.79E-06	0.20E-06	
3	5	-0.31E-02	-0.84E-02	-0.75E-06	-0.65E-06	
4	3	-0.90E-02	-0.45E-02	0.75E-03	-0.33E-06	
5	3	-0.25E-02	-0.12E-02	0.15E-03	0.71E-06	
6	3	-0.70E-03	-0.47E-03	0.57E-04	-0.22E-06	
7	2	0.79E-02	-0.31E-03	-0.87E-06	0.35E-06	
8	3	0.21E-02	-0.22E-03	0.20E-04	-0.29E-07	
9	2	0.00E+00	-0.70E-06	0.10E-03	0.00E+00	

SUM OF ABS. VALUES OF RSLINE(IX,JPHI)

\*\*\*\*\* 0.34E-01 0.25E-01 0.12E-02 0.25E-05

VALUES AT MONITORING LOCATION ( 5, 5)

----- 0.10E+01 -0.22E-02 0.60E+00 0.00E+00 -0.15E+01

FIELD VALUES OF U

	U	U	U	U	U
Y(10)=0.100E+00	0.10E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Y( 9)=0.937E-01	0.10E+01	0.40E+00	0.31E+00	0.27E+00	0.25E+00
Y( 8)=0.812E-01	0.10E+01	0.84E+00	0.76E+00	0.75E+00	0.71E+00
Y( 7)=0.687E-01	0.10E+01	0.11E+01	0.11E+01	0.11E+01	0.11E+01
Y( 6)=0.563E-01	0.10E+01	0.13E+01	0.13E+01	0.14E+01	0.14E+01
Y( 5)=0.433E-01	0.10E+01	0.14E+01	0.15E+01	0.16E+01	0.16E+01
Y( 4)=0.313E-01	0.10E+01	0.15E+01	0.16E+01	0.17E+01	0.17E+01
Y( 3)=0.188E-01	0.10E+01	0.15E+01	0.17E+01	0.18E+01	0.18E+01
Y( 2)=0.525E-02	0.10E+01	0.16E+01	0.17E+01	0.18E+01	0.19E+01
Y( 1)=0.000E+00	0.10E+01	0.16E+01	0.17E+01	0.18E+01	0.19E+01

XU(IX) 1= 0.000 2= 0.313 3= 0.525 4= 0.937 5= 1.250

FIELD VALUES OF U

	U	U	U	U	U
Y(10)=0.100E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Y( 9)=0.937E-01	0.25E+00	0.25E+00	0.25E+00	0.25E+00	0.25E+00
Y( 8)=0.812E-01	0.70E+00	0.59E+00	0.68E+00	0.60E+00	0.60E+00
Y( 7)=0.687E-01	0.11E+01	0.11E+01	0.11E+01	0.11E+01	0.11E+01
Y( 6)=0.563E-01	0.14E+01	0.14E+01	0.14E+01	0.14E+01	0.14E+01
Y( 5)=0.433E-01	0.16E+01	0.16E+01	0.16E+01	0.16E+01	0.16E+01
Y( 4)=0.313E-01	0.17E+01	0.18E+01	0.18E+01	0.18E+01	0.18E+01
Y( 3)=0.188E-01	0.18E+01	0.19E+01	0.19E+01	0.19E+01	0.19E+01
Y( 2)=0.525E-02	0.19E+01	0.19E+01	0.19E+01	0.19E+01	0.19E+01
Y( 1)=0.000E+00	0.19E+01	0.19E+01	0.19E+01	0.19E+01	0.19E+01

XU(IX) 6= 1.563 7= 1.875 8= 2.188 9= 2.500

FIELD VALUES OF V

YV( 9)=0.100E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
YV( 8)=0.875E-01	0.00E+00	-0.26E-01	-0.9E-02	-0.34E-03	0.77E-04
YV( 7)=0.750E-01	0.00E+00	-0.37E-01	-0.83E-02	-0.19E-02	-0.80E-03
YV( 6)=0.625E-01	0.00E+00	-0.40E-01	-0.10E-01	-0.34E-02	-0.17E-02
YV( 5)=0.500E-01	0.00E+00	-0.37E-01	-0.11E-01	-0.41E-02	-0.22E-02
YV( 4)=0.375E-01	0.00E+00	-0.30E-01	-0.95E-02	-0.40E-02	-0.22E-02
YV( 3)=0.250E-01	0.00E+00	-0.21E-01	-0.70E-02	-0.31E-02	-0.17E-02
YV( 2)=0.125E-01	0.00E+00	-0.11E-01	-0.37E-02	-0.17E-02	-0.95E-03
YV( 1)=0.000E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

X(IX) 1= 0.000 2= 0.150 3= 0.469 4= 0.781 5= 1.094

FIELD VALUES OF V

YV( 9)=0.100E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
YV( 8)=0.875E-01	-0.45E-04	0.12E-04	-0.11E-03	0.00E+00	0.00E+00
YV( 7)=0.750E-01	-0.45E-03	-0.29E-03	-0.34E-03	0.00E+00	0.00E+00
YV( 6)=0.625E-01	-0.10E-02	-0.67E-03	-0.60E-03	0.00E+00	0.00E+00
YV( 5)=0.500E-01	-0.14E-02	-0.93E-03	-0.81E-03	0.00E+00	0.00E+00
YV( 4)=0.375E-01	-0.14E-02	-0.98E-03	-0.85E-03	0.00E+00	0.00E+00
YV( 3)=0.250E-01	-0.12E-02	-0.80E-03	-0.71E-03	0.00E+00	0.00E+00
YV( 2)=0.125E-01	-0.64E-03	-0.45E-03	-0.40E-03	0.00E+00	0.00E+00
YV( 1)=0.000E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

X(IX) 6= 1.406 7= 1.719 8= 2.031 9= 2.344 10= 2.500

FIELD VALUES OF H

Y(10)=0.100E+00	0.10E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Y( 9)=0.937E-01	0.10E+01	0.24E+00	0.11E+00	0.79E-01	0.63E-01
Y( 8)=0.812E-01	0.10E+01	0.54E+00	0.34E+00	0.25E+00	0.20E+00
Y( 7)=0.687E-01	0.10E+01	0.70E+00	0.52E+00	0.42E+00	0.35E+00
Y( 6)=0.563E-01	0.10E+01	0.79E+00	0.66E+00	0.56E+00	0.48E+00
Y( 5)=0.438E-01	0.10E+01	0.86E+00	0.76E+00	0.67E+00	0.60E+00
Y( 4)=0.313E-01	0.10E+01	0.90E+00	0.83E+00	0.75E+00	0.68E+00
Y( 3)=0.188E-01	0.10E+01	0.93E+00	0.87E+00	0.80E+00	0.74E+00
Y( 2)=0.625E-02	0.10E+01	0.94E+00	0.89E+00	0.83E+00	0.77E+00
Y( 1)=0.000E+00	0.10E+01	0.94E+00	0.89E+00	0.83E+00	0.77E+00

X(IX) 1= 0.000 2= 0.156 3= 0.469 4= 0.781 5= 1.094

FIELD VALUES OF H

Y(10)=0.100E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Y( 9)=0.937E-01	0.53E-01	0.46E-01	0.40E-01	0.35E-01	0.35E-01
Y( 8)=0.812E-01	0.17E+00	0.15E+00	0.13E+00	0.11E+00	0.11E+00
Y( 7)=0.687E-01	0.30E+00	0.26E+00	0.23E+00	0.20E+00	0.20E+00
Y( 6)=0.563E-01	0.42E+00	0.37E+00	0.33E+00	0.29E+00	0.29E+00
Y( 5)=0.438E-01	0.53E+00	0.47E+00	0.42E+00	0.38E+00	0.38E+00
Y( 4)=0.313E-01	0.62E+00	0.55E+00	0.50E+00	0.45E+00	0.45E+00
Y( 3)=0.188E-01	0.67E+00	0.61E+00	0.55E+00	0.50E+00	0.50E+00
Y( 2)=0.625E-02	0.70E+00	0.64E+00	0.58E+00	0.53E+00	0.53E+00
Y( 1)=0.000E+00	0.70E+00	0.64E+00	0.58E+00	0.53E+00	0.53E+00

X(IX) 6= 1.406 7= 1.719 8= 2.031 9= 2.344 10= 2.500

FIELD VALUES OF P

Y( 9)=0.937E-01	0.19E-01	-0.71E+00	-0.12E+01	-0.15E+01	-0.18E+01
Y( 8)=0.812E-01	0.16E-01	-0.71E+00	-0.12E+01	-0.15E+01	-0.18E+01
Y( 7)=0.687E-01	0.12E-01	-0.70E+00	-0.12E+01	-0.15E+01	-0.18E+01
Y( 6)=0.563E-01	0.95E-02	-0.70E+00	-0.12E+01	-0.15E+01	-0.18E+01
Y( 5)=0.438E-01	0.69E-02	-0.70E+00	-0.12E+01	-0.15E+01	-0.18E+01
Y( 4)=0.313E-01	0.46E-02	-0.70E+00	-0.12E+01	-0.15E+01	-0.18E+01
Y( 3)=0.188E-01	0.26E-02	-0.70E+00	-0.12E+01	-0.15E+01	-0.18E+01
Y( 2)=0.625E-02	0.00E+00	-0.70E+00	-0.12E+01	-0.15E+01	-0.18E+01

X(IX) 2= 0.156 3= 0.469 4= 0.781 5= 1.094 6= 1.406

FIELD VALUES OF P

Y( 9)=0.937E-01	-0.20E+01	-0.23E+01	-0.27E+01
Y( 8)=0.812E-01	-0.20E+01	-0.23E+01	-0.27E+01
Y( 7)=0.687E-01	-0.20E+01	-0.23E+01	-0.27E+01
Y( 6)=0.563E-01	-0.20E+01	-0.23E+01	-0.27E+01
Y( 5)=0.438E-01	-0.20E+01	-0.23E+01	-0.27E+01
Y( 4)=0.313E-01	-0.20E+01	-0.23E+01	-0.27E+01
Y( 3)=0.188E-01	-0.20E+01	-0.23E+01	-0.27E+01
Y( 2)=0.625E-02	-0.20E+01	-0.23E+01	-0.27E+01

X(IX) 7= 1.719 8= 2.031 9= 2.344

ITERASYON SAYISI 2

ALGEBRAIC SUM OF RESIDUAL SOURCES AT EACH LINE--RSLINE(IX,JPHI)

IX	NO. TRAVS	U	V	H	PP	P
2	2	0.70E-02	0.96E-02	0.61E-03	-0.40E-06	
3	2	0.58E-02	0.60E-02	0.33E-02	-0.15E-05	
4	2	0.34E-02	-0.74E-03	0.52E-02	-0.49E-07	
5	1	-0.16E-02	0.10E-02	0.57E-02	0.49E-06	
6	1	-0.97E-04	0.76E-03	0.55E-02	0.61E-05	
7	1	-0.81E-04	0.44E-03	0.51E-02	0.13E-05	
8	1	-0.22E-02	0.35E-03	0.47E-02	0.52E-07	
9	1	0.00E+00	0.00E+00	0.41E-02	-0.34E-06	

SUM OF ABS. VALUES OF RSLINE(IX,JPHI)

\*\*\*\*\* 0.20E-01 0.19E-01 0.34E-01 0.34E-05

VALUES AT MONITORING LOCATION ( 5, 5)

----- 0.16E+01 -0.27E-02 0.59E+00 0.00E+00 -0.14E+0

SUM OF ABS. VALUES OF RSLINE(IX,JPHI), PRECEDED BY \*\*\*\*\*  
VALUES AT MONITORING LOCATION( 5, 5), PRECEDED BY -----

ITER.	U	V	H	PP	P
***** ----- 3	0.10E-01	0.16E-01	0.95E-02	0.50E-05	
----- 3	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+0
***** ----- 4	0.54E-02	0.14E-01	0.90E-03	0.74E-05	
----- 4	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+0
***** ----- 5	0.19E-02	0.12E-01	0.67E-03	0.80E-05	
----- 5	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+0
***** ----- 6	0.24E-03	0.11E-01	0.26E-03	0.80E-05	
----- 6	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+0
***** ----- 7	0.35E-03	0.10E-01	0.19E-03	0.58E-05	
----- 7	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+0
***** ----- 8	0.30E-03	0.93E-02	0.15E-03	0.75E-05	
----- 8	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+0
***** ----- 9	0.23E-03	0.87E-02	0.12E-03	0.51E-05	
----- 9	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+0
***** ----- 10	0.25E-03	0.82E-02	0.12E-03	0.96E-05	
----- 10	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+0
***** ----- 11	0.20E-03	0.78E-02	0.95E-04	0.44E-05	
----- 11	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+0
***** ----- 12	0.23E-03	0.74E-02	0.93E-04	0.87E-05	
----- 12	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+0
***** ----- 13	0.17E-03	0.70E-02	0.79E-04	0.50E-05	
----- 13	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+0
***** ----- 14	0.20E-03	0.67E-02	0.80E-04	0.66E-05	
----- 14	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+0
***** ----- 15	0.15E-03	0.64E-02	0.70E-04	0.53E-05	
----- 15	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+0
***** ----- 16	0.19E-03	0.62E-02	0.72E-04	0.42E-05	
----- 16	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+0
***** ----- 17	0.14E-03	0.59E-02	0.59E-04	0.47E-05	
----- 17	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+0
***** ----- 18	0.17E-03	0.57E-02	0.62E-04	0.68E-05	
----- 18	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+0
***** ----- 19	0.13E-03	0.55E-02	0.51E-04	0.56E-05	
----- 19	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+0
***** ----- 20	0.17E-03	0.52E-02	0.56E-04	0.56E-05	
----- 20	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+0

*****	58	0.53E-04	0.12E-02	0.21E-04	0.82E-05		
-----	58	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+01	
*****	59	0.42E-04	0.12E-02	0.12E-04	0.73E-05		
-----	59	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+01	
*****	60	0.54E-04	0.11E-02	0.17E-04	0.95E-05		
-----	60	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+01	
*****	61	0.47E-04	0.11E-02	0.10E-04	0.69E-05		
-----	61	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+01	
*****	62	0.51E-04	0.11E-02	0.20E-04	0.74E-05		
-----	62	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+01	
*****	63	0.46E-04	0.10E-02	0.84E-05	0.45E-05		
-----	63	0.16E+01	-0.27E-02	0.59E+00	0.00E+00	-0.14E+01	

ITERASYON SAYISI 64 =====

ALGEBRAIC SUM OF RESIDUAL SOURCES AT EACH LINE--RSLINE(IX, JPHI)

IX	NO.	TRAVS	U	V	H	PP	P
2	1		0.10E-04	0.97E-03	0.39E-05	0.90E-07	
3	1		-0.47E-05	0.84E-05	0.37E-06	-0.35E-07	
4	1		-0.90E-05	0.27E-05	-0.17E-05	-0.67E-06	
5	1		-0.78E-05	-0.34E-05	-0.25E-05	-0.15E-05	
6	1		-0.76E-05	-0.18E-06	-0.22E-05	-0.79E-06	
7	1		-0.73E-05	-0.18E-05	-0.21E-05	-0.15E-05	
8	1		-0.29E-05	0.11E-05	-0.19E-05	-0.71E-06	
9	1		0.00E+00	0.17E-18	-0.18E-05	-0.81E-06	

SUM OF ABS. VALUES OF RSLINE(IX, JPHI)

\*\*\*\*\* 0.50E-04 0.99E-03 0.16E-04 0.61E-05

VALUES AT MONITORING LOCATION ( 5, 5)

----- 0.16E+01 -0.27E-02 0.59E+00 0.00E+00 -0.14E+01

FIELD VALUES OF U

	U	V	H	PP	P
Y(10)=0.100E+00	0.10E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Y( 9)=0.937E-01	0.10E+01	0.40E+00	0.30E+00	0.27E+00	0.25E+00
Y( 8)=0.812E-01	0.10E+01	0.83E+00	0.77E+00	0.73E+00	0.71E+00
Y( 7)=0.687E-01	0.10E+01	0.11E+01	0.11E+01	0.11E+01	0.11E+01
Y( 6)=0.563E-01	0.10E+01	0.13E+01	0.13E+01	0.14E+01	0.14E+01
Y( 5)=0.438E-01	0.10E+01	0.14E+01	0.15E+01	0.15E+01	0.16E+01
Y( 4)=0.313E-01	0.10E+01	0.15E+01	0.16E+01	0.17E+01	0.17E+01
Y( 3)=0.188E-01	0.10E+01	0.15E+01	0.17E+01	0.18E+01	0.18E+01
Y( 2)=0.625E-02	0.10E+01	0.16E+01	0.17E+01	0.18E+01	0.18E+01
Y( 1)=0.000E+00	0.10E+01	0.16E+01	0.17E+01	0.18E+01	0.18E+01

XU(IX) 1= 0.000 2= 0.313 3= 0.625 4= 0.938 5= 1.250

FIELD VALUES OF U

	U	V	H	PP	P
Y(10)=0.100E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Y( 9)=0.937E-01	0.26E+00	0.25E+00	0.25E+00	0.25E+00	0.25E+00
Y( 8)=0.812E-01	0.70E+00	0.69E+00	0.68E+00	0.68E+00	0.68E+00
Y( 7)=0.687E-01	0.11E+01	0.11E+01	0.11E+01	0.11E+01	0.11E+01
Y( 6)=0.563E-01	0.14E+01	0.14E+01	0.14E+01	0.14E+01	0.14E+01
Y( 5)=0.438E-01	0.16E+01	0.16E+01	0.16E+01	0.16E+01	0.16E+01
Y( 4)=0.313E-01	0.17E+01	0.18E+01	0.18E+01	0.18E+01	0.18E+01
Y( 3)=0.188E-01	0.18E+01	0.19E+01	0.19E+01	0.19E+01	0.19E+01
Y( 2)=0.625E-02	0.19E+01	0.19E+01	0.19E+01	0.19E+01	0.19E+01
Y( 1)=0.000E+00	0.19E+01	0.19E+01	0.19E+01	0.19E+01	0.19E+01

XU(IX) 6= 1.563 7= 1.875 8= 2.188 9= 2.500

FIELD VALUES OF V

	U	V	H	PP	P
YV( 9)=0.100E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
YV( 8)=0.875E-01	0.00E+00	-0.26E-01	-0.44E-02	-0.11E-02	-0.45E-03
YV( 7)=0.750E-01	0.00E+00	-0.37E-01	-0.31E-02	-0.29E-02	-0.14E-02
YV( 6)=0.625E-01	0.00E+00	-0.40E-01	-0.96E-02	-0.42E-02	-0.23E-02
YV( 5)=0.500E-01	0.00E+00	-0.37E-01	-0.94E-02	-0.47E-02	-0.27E-02
YV( 4)=0.375E-01	0.00E+00	-0.31E-01	-0.79E-02	-0.42E-02	-0.28E-02
YV( 3)=0.250E-01	0.00E+00	-0.22E-01	-0.56E-02	-0.32E-02	-0.20E-02
YV( 2)=0.125E-01	0.00E+00	-0.11E-01	-0.29E-02	-0.17E-02	-0.11E-02
YV( 1)=0.000E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

X(IX) 1= 0.000 2= 0.156 3= 0.469 4= 0.781 5= 1.094

FIELD VALUES OF V	V					
YV( 9)=0.100E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
YV( 8)=0.875E-01	-0.24E-03	-0.14E-03	-0.12E-03	-0.46E-32	0.00E+00	0.00E+00
YV( 7)=0.750E-01	-0.77E-03	-0.46E-03	-0.39E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
YV( 6)=0.625E-01	-0.13E-02	-0.02E-03	-0.70E-03	0.98E-32	0.00E+00	0.00E+00
YV( 5)=0.500E-01	-0.17E-02	-0.11E-02	-0.93E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
YV( 4)=0.375E-01	-0.17E-02	-0.11E-02	-0.98E-03	0.59E-32	0.00E+00	0.00E+00
YV( 3)=0.250E-01	-0.14E-02	-0.92E-03	-0.81E-03	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
YV( 2)=0.125E-01	-0.75E-03	-0.52E-03	-0.46E-03	0.27E-32	0.00E+00	0.00E+00
YV( 1)=0.000E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
X(IX)	6= 1.406	7= 1.719	8= 2.031	9= 2.344	10= 2.500	

FIELD VALUES OF H	H					
Y(10)=0.100E+00	0.10E+01	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Y( 9)=0.937E-01	0.10E+01	0.23E+00	0.11E+00	0.78E-01	0.62E-01	0.62E-01
Y( 8)=0.812E-01	0.10E+01	0.54E+00	0.34E+00	0.25E+00	0.20E+00	0.20E+00
Y( 7)=0.687E-01	0.10E+01	0.69E+00	0.52E+00	0.42E+00	0.35E+00	0.35E+00
Y( 6)=0.563E-01	0.10E+01	0.79E+00	0.66E+00	0.56E+00	0.48E+00	0.48E+00
Y( 5)=0.438E-01	0.10E+01	0.86E+00	0.76E+00	0.67E+00	0.59E+00	0.59E+00
Y( 4)=0.313E-01	0.10E+01	0.90E+00	0.83E+00	0.75E+00	0.68E+00	0.68E+00
Y( 3)=0.188E-01	0.10E+01	0.93E+00	0.87E+00	0.80E+00	0.74E+00	0.74E+00
Y( 2)=0.625E-02	0.10E+01	0.94E+00	0.89E+00	0.83E+00	0.76E+00	0.76E+00
Y( 1)=0.000E+00	0.10E+01	0.94E+00	0.89E+00	0.83E+00	0.76E+00	0.76E+00
X(IX)	1= 0.000	2= 0.156	3= 0.469	4= 0.781	5= 1.094	

FIELD VALUES OF H	H					
Y(10)=0.100E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Y( 9)=0.937E-01	0.52E-01	0.45E-01	0.39E-01	0.35E-01	0.35E-01	0.35E-01
Y( 8)=0.812E-01	0.17E+00	0.15E+00	0.13E+00	0.11E+00	0.11E+00	0.11E+00
Y( 7)=0.687E-01	0.30E+00	0.26E+00	0.23E+00	0.20E+00	0.20E+00	0.20E+00
Y( 6)=0.563E-01	0.42E+00	0.37E+00	0.32E+00	0.29E+00	0.29E+00	0.29E+00
Y( 5)=0.438E-01	0.53E+00	0.47E+00	0.42E+00	0.37E+00	0.37E+00	0.37E+00
Y( 4)=0.313E-01	0.61E+00	0.55E+00	0.49E+00	0.44E+00	0.44E+00	0.44E+00
Y( 3)=0.188E-01	0.57E+00	0.61E+00	0.55E+00	0.49E+00	0.49E+00	0.49E+00
Y( 2)=0.625E-02	0.70E+00	0.64E+00	0.58E+00	0.52E+00	0.52E+00	0.52E+00
Y( 1)=0.000E+00	0.70E+00	0.64E+00	0.58E+00	0.52E+00	0.52E+00	0.52E+00
X(IX)	6= 1.406	7= 1.719	8= 2.031	9= 2.344	10= 2.500	

FIELD VALUES OF P	P					
Y( 9)=0.937E-01	0.15E-01	-0.74E+00	-0.11E+01	-0.14E+01	-0.17E+01	-0.17E+01
Y( 8)=0.812E-01	0.11E-01	-0.74E+00	-0.11E+01	-0.14E+01	-0.17E+01	-0.17E+01
Y( 7)=0.687E-01	0.97E-02	-0.74E+00	-0.11E+01	-0.14E+01	-0.17E+01	-0.17E+01
Y( 6)=0.563E-01	0.63E-02	-0.74E+00	-0.11E+01	-0.14E+01	-0.17E+01	-0.17E+01
Y( 5)=0.438E-01	0.44E-02	-0.73E+00	-0.11E+01	-0.14E+01	-0.17E+01	-0.17E+01
Y( 4)=0.313E-01	0.29E-02	-0.73E+00	-0.11E+01	-0.14E+01	-0.17E+01	-0.17E+01
Y( 3)=0.188E-01	0.18E-02	-0.73E+00	-0.11E+01	-0.14E+01	-0.17E+01	-0.17E+01
Y( 2)=0.625E-02	0.00E+00	-0.73E+00	-0.11E+01	-0.14E+01	-0.17E+01	-0.17E+01
X(IX)	2= 0.156	3= 0.469	4= 0.781	5= 1.094	6= 1.406	

FIELD VALUES OF P	P		
Y( 9)=0.937E-01	-0.19E+01	-0.22E+01	-0.26E+01
Y( 8)=0.812E-01	-0.19E+01	-0.22E+01	-0.26E+01
Y( 7)=0.687E-01	-0.19E+01	-0.22E+01	-0.26E+01
Y( 6)=0.563E-01	-0.19E+01	-0.22E+01	-0.26E+01
Y( 5)=0.438E-01	-0.19E+01	-0.22E+01	-0.26E+01
Y( 4)=0.313E-01	-0.19E+01	-0.22E+01	-0.26E+01
Y( 3)=0.188E-01	-0.19E+01	-0.22E+01	-0.26E+01
Y( 2)=0.625E-02	-0.19E+01	-0.22E+01	-0.26E+01
X(IX)	7= 1.719	8= 2.031	9= 2.344