

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BORU VE SİLİNDİRİK KANALLARDAKİ
ENGELLERİN AKIM ÜZERİNDEKİ
ETKİLERİNİN SİMÜLASYONU**

106372

Gemi İnşaatı Müh. Seyfettin BAYRAKTAR

**F.B.E Gemi İnşaatı Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

106372

Tez Danışmanı

: Yard. Doç. Dr. Nurten VARDAR

Prof. Dr. Bahri SAHİN

İSTANBUL, 2001

Yr. Doç. Dr. Sabiha Yıldız

SJ

T.C. YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGE LİSTESİ.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	6
3. MATEMATİK MODEL.....	9
3.1 Süreklilik Denklemi.....	9
3.2 Momentum Denklemi.....	9
3.3 Enerji Denklemi.....	9
3.4 Girdap Taşınım Denklemi.....	9
3.5 Akım Fonksiyonu.....	10
4. BOYUTSUZLAŞTIRMA.....	11
4.1 Boyutsuz Büyüklükler.....	11
4.2 Boyutsuz Sayılar.....	11
4.3 Boyutsuz Girdap Taşınım Denklemi.....	12
4.4 Boyutsuz Enerji Denklemi.....	12
4.5 Boyutsuz Akım Fonksiyonu.....	12
5. SAYISAL ÇÖZÜM.....	13
5.1 Boyutsuz Girdap Taşınımı ve Enerji Denklemlerinin Sayısal Çözümü.....	13
5.1.1 Denklemlerin Ayrıklaştırılması.....	13
5.2 Akım Fonksiyonun Çözümü.....	14
5.3 Sınır Koşulları.....	15
5.3.1 Sınırlarda Hız ve Akım Fonksiyonu.....	15
5.3.2 Sınırlarda Girdap.....	16
5.3.3 Sınırlarda Sıcaklık.....	17
6. BİLGİSAYAR PROGRAMININ TANITILMASI.....	18
6.1 Ana program.....	18
6.2 Alt Programlar.....	19

7.	SONUÇLAR	21
	KAYNAKLAR.....	33
	EKLER.....	35
	ÖZGEÇMİŞ	38



SİMGE LİSTESİ

C_p	Sabit basınçta özgül ısı (J/kg ⁰ C)
i, j	Yatay ve düşey yöndeki noktalar
H	Izgara adımı
k	Isı transfer katsayısı (W/m ⁰ C)
P	Basınç (N/m ²)
Pr	Prandtl sayısı
r	Silindirik düşey koordinat
r_0	Borunun yarıçapı
R	Boyutsuz düşey silindirik koordinat
R	Boyutsuz yarıçap
Re	Reynolds sayısı
t	Zaman (s)
Γ	Boyutsuz zaman
T	Sıcaklık (⁰ C)
T_0	Akışkanın boruya giriş sıcaklığı (⁰ C)
T_1	Çeper sıcaklığı (⁰ C)
U	Akışkanın -r yönündeki boyutsuz hız bileşeni
V	Akışkanın -z yönündeki boyutsuz hız bileşeni
V_0	Akışkanın boruya ortalama giriş hızı (m/s)
V_r	Yatay hız bileşeni (m/s)
V_z	Düşey hız bileşeni (m/s)
α_x	Taylor serisi açılımında akım fonksiyonunda kullanılacak katsayılar
ΔT	Zaman adımı
ψ	Akım fonksiyonu (m ³ / s)
Ψ	Boyutsuz akım fonksiyonu
ω	Girdap fonksiyonu (1/s)
Ω	Boyutsuz girdap fonksiyonu
Ω'	ΔT zaman adımı sonundaki boyutsuz girdap fonksiyonu
$\nabla ()$	() 'in gradyenti

$\nabla.()$	$()$ 'in diverjansı
μ	Dinamik viskozite (kg/ms)
ν	Kinematik viskozite (m ² /s)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
θ	Boyutsuz sıcaklık
ΔR	-R yönündeki ızgara aralığı
ΔZ	-Z yönündeki ızgara aralığı



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil:1.1	Bükülebilir plastik diyaframlı valf	1
Şekil:1.2	Labirent salmastralar	1
Şekil:1.3	Bir teknedeki hortum ve susturucu sistemi	2
Şekil:1.4	Kısılma valfi	2
Şekil:1.5	Elektronik devrelerin soğutulması	2
Şekil:1.6	Eşanjör	3
Şekil:1.7	Rezistanslı ısıtıcı	3
Şekil:1.8	Turbo jet motoru	3
Şekil:1.9	Problemin geometrisi	4
Şekil:4.1	Problemde kullanılan referans büyüklükler	11
Şekil:5.1	Çeperlerdeki sınır şartları	15
Şekil:5.2	Sayısal çözümde kullanılan ayrıklaştırma noktaları (A çeperi için)	16
Şekil:7.1	Problemde kullanılan geometrik oranlar	21
Şekil:7.2	Akımın türbülanslı ($Re=10^5$) olması durumunda akım hatları (Shub, 1993)	22
Şekil:7.3	Akımın laminar ($Re=500$) olması durumunda akım hatları	22
Şekil:7.4	Borudan havanın ($Pr=0.7$) $Re=500$ 'de geçmesi halinde akım hatları	23
Şekil:7.5	Borudan havanın $Re=50$ 'de geçmesi halinde akım hatları	23
Şekil:7.6	Borudan suyun ($Pr=7.0$) $Re=500$ 'de geçmesi halinde akım hatları	24
Şekil:7.7	Borudan suyun $Re=50$ 'de geçmesi halinde akım hatları	24
Şekil:7.8	Borudan motor yağının ($Pr=546$) $Re=500$ 'de geçmesi halinde akım hatları	25
Şekil:7.9	Borudan motor yağının $Re=50$ 'de geçmesi halinde akım hatları	25
Şekil:7.10	Engelin borunun girişine yakın olması halinde akım hatları ($L/r_0=0.3$)	26
Şekil:7.11	Engelin borunun ortasında olması halinde akım hatları ($L/r_0=0.8$)	27
Şekil:7.12	Engelin borunun girişinden uzak olması halinde akım hatları ($L/r_0=1.3$)	27
Şekil:7.13	Boru içerisindeki engelin ince seçilmesi durumunda akım hatları ($A/r_0=0.1$)	28
Şekil:7.14	Boru içerisindeki engelin kalın enli olması durumunda akım hatları ($A/r_0=0.3$)	28
Şekil:7.15	$r_d/r_0=0.8$ olması durumunda akım hatları	29
Şekil:7.16	$r_d/r_0=0.7$ olması durumunda akım hatları	29
Şekil:1.17	$r_d/r_0=0.5$ olması durumunda akım hatları	29
Şekil:7.18	$L/r_0=0.3$ olması durumunda eş-sıcaklık eğrileri ($r_d/r_0=0.8$)	30
Şekil:7.19	$L/r_0=0.8$ olması durumunda eş-sıcaklık eğrileri ($r_d/r_0=0.8$)	30
Şekil:7.20	$L/r_0=1.3$ olması durumunda eş-sıcaklık eğrileri ($r_d/r_0=0.8$)	31
Şekil:7.21	$L/r_0=0.3$ olması durumunda eş-sıcaklık eğrileri ($r_d/r_0=0.5$)	31
Şekil:7.22	$L/r_0=0.8$ olması durumunda eş-sıcaklık eğrileri ($r_d/r_0=0.5$)	31
Şekil:7.23	$L/r_0=1.3$ olması durumunda eş-sıcaklık eğrileri ($r_d/r_0=0.5$)	32

TEŞEKKÜR

Çalışmalarında bana değerli fikirleriyle yol gösteren, desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen tez danışmanım Sayın Yar.Doç.Dr.Nurten VARDAR'a, çalışma arkadaşlarıma ve hayatımın her anında maddi ve manevi yönden yanımda olan aileme teşekkürü bir borç bilirim.



ÖZET

Bu çalışmada, içerisinde düşey bir engel bulunan borudaki laminar, sürekli ve sıkıştırılamaz akım ve ısı transferi problemleri silindirik koordinatlarda iki boyutlu ve nümerik olarak incelenmiştir. Boru içerisindeki akışı modellemek için süreklilik, enerji, momentum denklemlerinin yatay ve düşey yöndeki bileşenleri ve girdap-akım fonksiyonu metodu kullanılmıştır. Sözü edilen denklemler sonlu farklar metodu kullanılarak ayrıklaştırılıp eş-zamanlı çözüme hazır hale getirildikten sonra, Fortran dilinde yazılmış bir bilgisayar programı ile çözdürülmüşlerdir.

Çalışmada, engelin değişik geometrik oranları ve boru girişine uzaklığının akım alanı ve ısı transferi üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Borudan Prandtl sayıları sırasıyla 0.7, 7.0 ve 546 olan hava, su ve kullanılmamış motor yağı geçtiği kabulüyle, Reynolds sayısının 50 ve 500 değerleri için akım hatları ve ısı transferi durumu incelenmiştir. Sonuçlar, literatürden elde edilen çalışmalarla karşılaştırılmış ve benzer sonuçların elde edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Laminar akış, silindirik koordinatlar, engelli boru, Navier-Stokes

ABSTRACT

In this study, considering the flow is laminar, steady and incompressible, the flow and heat transfer through a pipe employing a vertical obstacle are investigated in cylindrical - coordinates with 2 dimensional numerical analysis. To form a model vertical and horizontal components of the continuity, energy, momentum equations and vorticity-stream function method are included. These equations to be solved simultaneously are discretized employing the finite difference method and they are solved using a computer that has been written in Fortran.

Through this study, the effects of different ratios relating to the obstacle and the position of the obstacle from pipe entrance on the streamlines and heat transfer are investigated. Air, water and clean engine oil with Prantl numbers of 0.7 , 7.0 , 546 are let flow through the pipe and the streamlines and heat transfer for the Reynolds numbers of 50 and 500 are investigated. Finally, it is shown that the results obtained are consistent with the reported results in the literature.

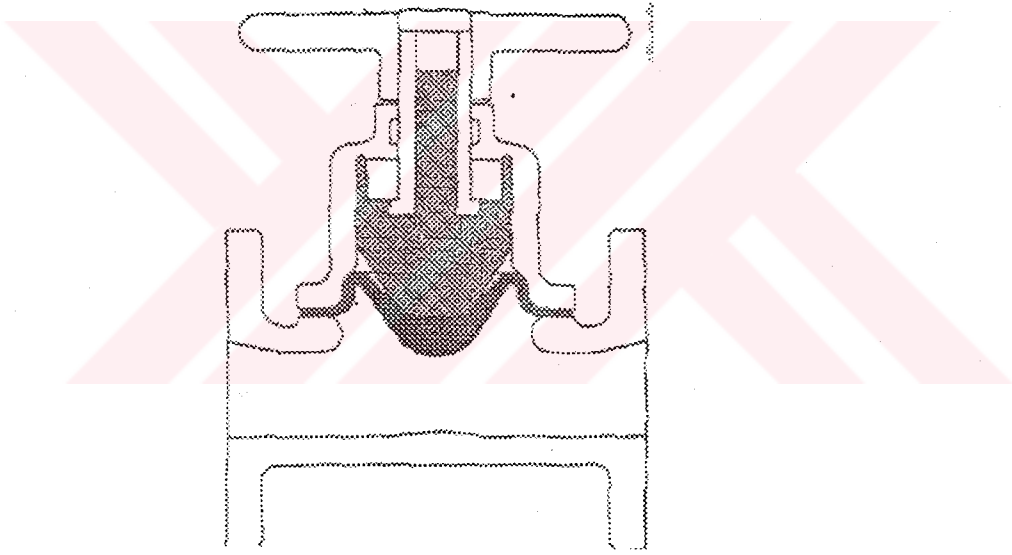
Keywords : Laminar flow, cylindrical coordinates, pipe with obstacle, Navier-Stokes.



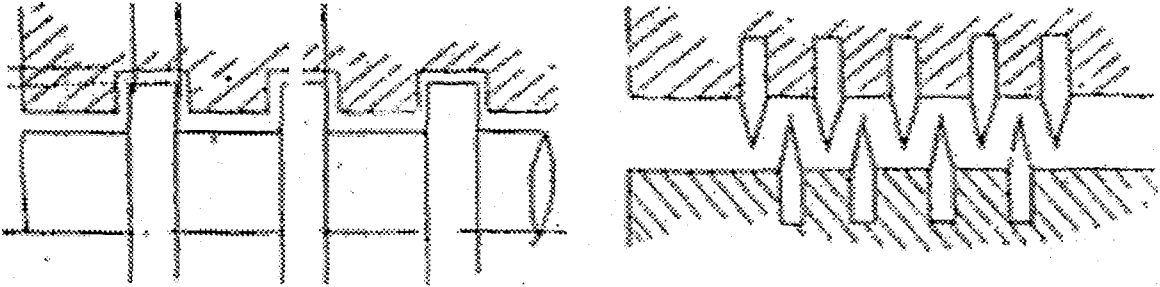
1. GİRİŞ

Endüstrinin her alanında, değişik amaçlar için kullanılan boru ve kanal akımları söz konusu olup, bu olay önemli bir problem olarak mühendislerin karşısına çıkar. Özellikle bu akımların karşılaştığı engellerin akım özellikleri üzerinde ne şekilde etkili olduğu son yıllarda yaygın olarak araştırılmaktadır.

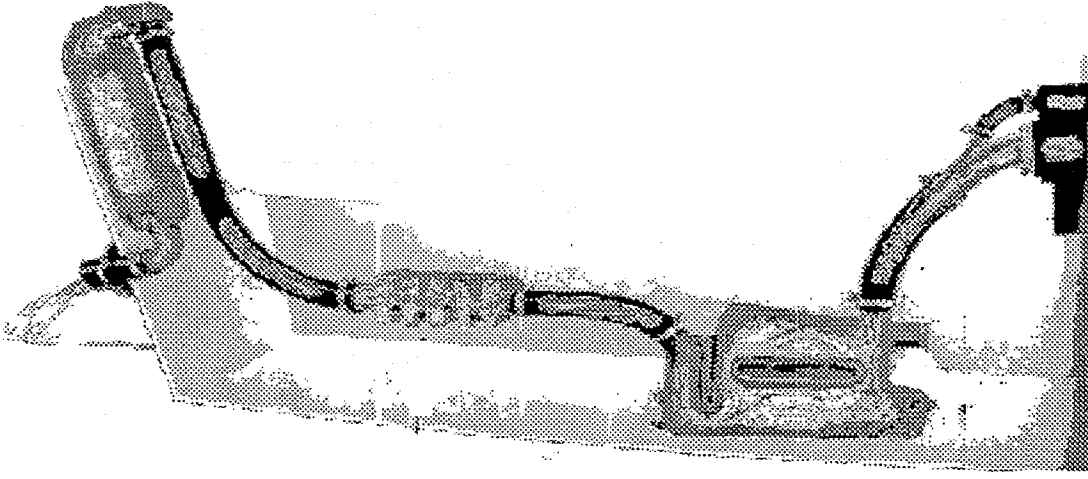
Akım yolunun daralması, genişlemesi, bağlantı bölgeleri, devreler üzerindeki çeşitli amaçlı valfler, ısı değiştiricilerde ısı transferinin iyileştirilmesi için kullanılan finler, kanal içine yerleştirilerek üzerlerinden geçen hava akımıyla soğutulan elektronik devreler veya sızdırmazlık teknolojisinde yaygın olarak kullanılan labirent salmastralardaki sızdırmazlık halkaları, akımın karşılaştığı engellere tipik örneklerdir. Bu örnekler daha da çoğaltılabilir. Aşağıdaki şekillerde bu tip endüstriyel uygulamalara bazı örnekler gösterilmiştir.



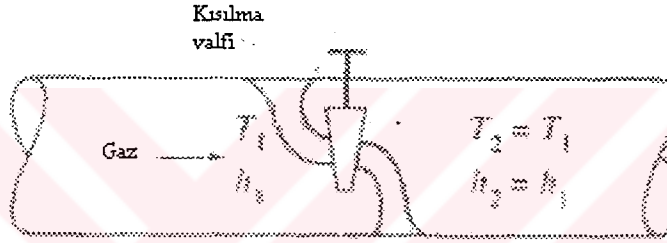
Şekil:1.1 Bükülebilir plastik diyaframlı valf



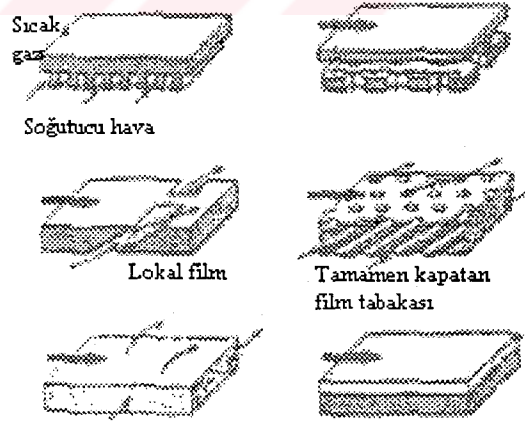
Şekil:1.2 Labirent salmastralar



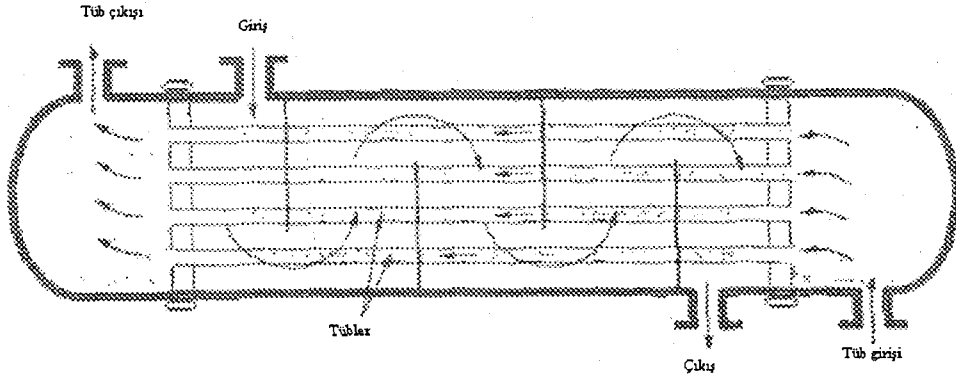
Şekil:1.3 Bir teknedeki hortum ve susturucu sistemi



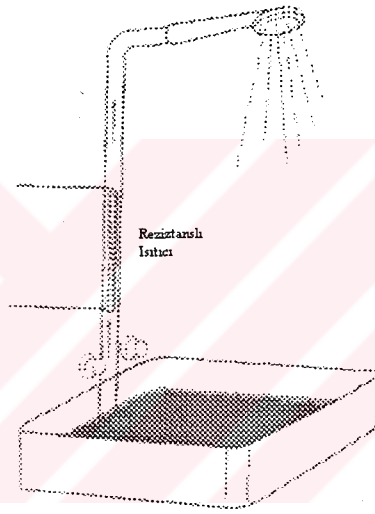
Şekil:1.4 Kısılma valfi



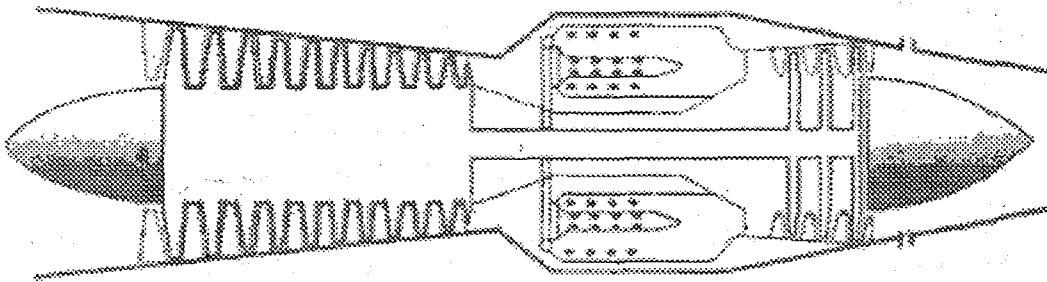
Şekil:1.5 Elektronik devrelerin soğutulması



Şekil:1.6 Eşanjör



Şekil:1.7 Rezistanslı ısıtıcı



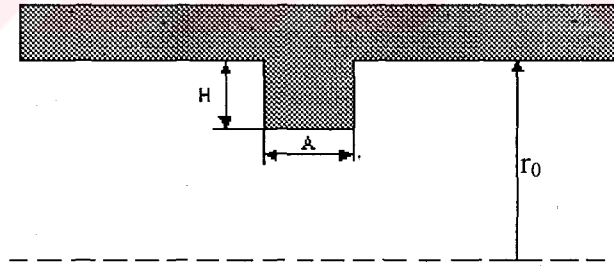
Şekil:1.8 Turbo jet motoru

Bu engellerden daralma-genişleme, kavşak ve bağlantı bölgeleri vb. zorunluluk olarak akım yolunda bulunan engellerdir. Isı değıştircilerdeki finler, ısı transfer yüzeyini ve türbülansı artırarak ısı transferinin iyileştirilmesi için yapılan uygulamalardır. Elektronik devrelerin soğutulması bu iş için uygulanan en iyi yöntem olup, labirent salmastralarda ise, labirent salmastra çıkışında akışkan sızıntılarını minimuma indirmek için akım özelliklerine sızdırmazlık halkaları ile müdahale edilmektedir.

Yukarıda söz edildiği gibi zorunluluk veya gereksinim nedeniyle kullanılan bu engeller akımın hız, basınç, sıcaklık vb. gibi özellikleri üzerinde olumlu veya olumsuz etkiler yapmaktadır.

Yapılan literatür araştırmasında akımın karşılaştığı engelin akım üzerindeki etkilerinin incelenmiş olduğu analitik, deneysel ve nümerik bir çok çalışmayla karşılaşılmıştır. Ancak bir kaç örnek dışında bu çalışmaların kartezyen koordinatlarda yapıldığı, silindirik koordinatlarda ise daha çok analitik ve deneysel çalışmalar yapıldığı, nümerik çalışmaların ise çok yaygın olmadığı saptanmıştır.

Bu çalışmada sadece boru içindeki akımların karşılaştığı engellerin akım üzerindeki etkileri silindirik koordinatlar kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Fiziksel model olarak simetriden dolayı yarım silindir şeklindeki akım yolunun üzerinde bulunan bir engelin şekli aşağıda gösterilmiştir.



Şekil:1.9 Problemin geometrisi

Boru içerisinde akım laminar, sıkıştırılamaz ve sabit viskoziteli kabul edilerek, engelin geometrik oranları ve boru içerisindeki konumları değıştirilerek hava, su ve kullanılmamış motor yağı olmak üzere üç akışkan için nümerik çalışmalar yapılmıştır. Borunun yarıçapına, akışkanın boruya giriş hızına ve viskozitesine bağlı olarak tespit edilen Re sayısının 50 ve 500 değışlerinin değışik zaman adımlarında akıma olan etkileri de ayrıca incelenmiştir.

İnceleme için akımı modelleyen süreklilik denklemi, momentum denkleminin yatay ve düşey yöndeki ($-r$ ve $-z$) bileşenleri ve enerji denklemleri eş-zamanlı olarak çözülecektir. Çözüm için momentum denkleminin yatay ve düşey yöndeki bileşenlerinden elde edilen girdap taşınım-akım fonksiyonu yöntemi kullanılacaktır. Bu yöntemin kullanılmasıyla eş-zamanlı olarak çözülmesi gereken denklem sayısı üçten ikiye indirilmiş olacaktır. Boru girişinin engele olan uzaklığının yeterli derecede olduğu kabul edilerek girişteki akımın düzgün olduğu kabul edilmiştir.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Patankar vd.(1984), içerisinde dairesel engeller bulunan bir borudaki laminar akışı ve ısı transfer olayını incelemişlerdir. Engelin varlığı, iki engel arasında girdap oluşmasına sebep olmuştur. Çalışmalar birbirini ardışık olarak takip eden engeller için tam periyodik akış şartlarında yapılmıştır. Burada hız alanları her bir engelde aynı değeri verecek şekilde tekrarlanmıştır. Her ne kadar engeller arasındaki girdap akımın karışmasına sebep olmuş ve ısı transferini artırmaya eğilim göstermişse de engeller tarafından oluşturulan set, ana akış kümesinin duvarlardan uzaklaşmasına neden olmuştur. Bunun, hava gibi düşük Pr sayılarına sahip bazı akışkanlar için sonucu ise, ısı transferinin beklenenden az olmasıdır. Yalnızca su gibi yüksek Pr sayılarına sahip akışkanlar için ısı transferinde belli bir artış görülmüştür. Çalışmalar değişik Re sayıları ve değişik engel geometrileri için yapılmıştır.

Webb vd.(1985), her iki çeperinden sabit ısı akısı olan engelli bir kanalda sabit özellikli laminar akımın, akım ve ısı transferi karakteristiklerini farklı Re, Pr sayıları ve farklı geometrik düzenlemeler için araştırmış, su gibi yüksek Pr sayılı akışkanlarda engellerin ısı transferini önemli ölçüde artırdığını bulmuştur.

Chang vd.(1987), çeperlerinden birinde bir hücre bulunan düz bir kanal içerisinde, hücrenin geometrik oranlarının akımın girdaplılığını nasıl değiştirdiğini sayısal olarak incelemiştir. Hücre merkezinin bulunduğu yerde hız profili, hücre içinde akım hatları ve eş-sıcaklık eğrilerini elde etmiştir. Bir geometrik oran için yaptığı sayısal sonuçları daha sonra deney sonuçları ile karşılaştırmıştır. Deney sonuçları ile nümerik çalışma arasında %20 kadarlık bir fark olduğu belirtilmiştir.

Lee vd.(1988), periyodik tam gelişmiş türbülanslı akış koşulunda yüzeysel olarak engellerle çevrelenmiş bir borudaki akışı araştırmışlardır. Akım hatlarını düzeltmede yeni bir metod olan TDMA metodu uygulayarak eddy etkisini daha doğru bir şekilde incelemişlerdir. Çalışmalarında nümerik olarak bulunan hız ve sıcaklık profillerini, pürüzlülük fonksiyonu yardımıyla bulmaya çalışmışlardır.

Berlemont vd.(1992), alttan ısıtmalı serbest yüzeyli bir sıvı tabakasındaki konveksiyon olayını nümerik olarak incelemişlerdir.

Yapılan literatür araştırmasında bu çalışmaya en yakın görülen çalışmalardan biri Cheng vd.(1992) ' in çalışmasıdır. Bu çalışmada bir çeperi ve çeper üzerindeki fin yüzeylerinin sıcak olduğu bir kanal içerisindeki akım, ısı transferi yönünden incelenmiştir. Finler kanala periyodik olarak yerleştirilmiş olup, Re sayısı, Gr sayısı, finin geometrik oranları ve kanalın

yatayla yaptığı açıya bağlı olarak akım incelenmiştir. Re sayısının hız alanı üzerinde etkili olduğu ancak sıcaklık alanı üzerinde aynı etkiyi göstermediği hatta etkisinin ihmal edilebileceği ortaya çıkarılmıştır.

Cheng vd.(1992) ise alttan ısıtmalı bir kanaldaki akışı incelemişlerdir

Shub vd.(1993), dairesel bir borudaki ardışık engellerin türbülanslı akış koşulundaki etkilerini kartezyen koordinatlarda incelemişlerdir.

Agrawal vd.(1993), içteki yüzeyin ondüleli olduğu bir halka içerisindeki akımı nümerik olarak incelemiştir. Halka eş-merkezli iki silindirik boru tarafından oluşturulmuştur. Isı transfer karakteristikleri ve basınç düşümü farklı geometri ve akış koşullarında incelenmiştir. İç yüzeyin düzgün olduğu halka içindeki akımın sonuçları ile karşılaştırılarak, dalgalı yüzeyin çıkıntılarının uzunluğunun ve konumunun basınç düşümü ve ısı transferine etkisinin az olduğu, çıkıntı yüksekliğinin etkisinin ise büyük olduğu belirtilmiştir. 1000' den büyük Re sayılarında ve 5' den büyük Pr sayılarında düz yüzeye göre 8 kat daha fazla ısı transferi elde edilebileceği gösterilmiştir.

Farhanieh vd.(1993), oyuklu bir kanaldaki laminar akım ve ısı transfer karakteristiklerini deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Kanalin düz tarafı daima soğuk, oyuklu tarafı ise daima düzgün sıcaklıkta kabul edilmiştir. Holografik yöntemle almış olduğu deney sonuçlarını, sonlu hacimler yöntemini kullanarak nümerik olarak kartezyen koordinatlarda çözdüğü matematik modelinin sonuçlarıyla karşılaştırmıştır.

Vadasz vd.(1993), poroz bir ortamda alttan ve üstten ısıtmalı bir kanaldaki doğal konveksiyon olaylarını incelemişlerdir.

Arıcı vd.(1997), laminar boru akışında akışın periyodik olarak engellenmesi durumu için akış ve ısı transferi problemlerini sayısal olarak çözmüşlerdir. Silindirik koordinatlarda, eksenel simetrik akış için iki boyutlu hareket ve enerji denklemleri sonlu hacim yöntemi ile ayrıştırılmış ve çözümler SIMPLE algoritması ile gerçekleştirilmiştir.

Fang vd.(1999), düz bir kanalın tabanındaki hücrenin geometrik özelliklerinin akıma olan etkisini sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. Kanala girişte parabolik hız profili ve 50 ile 1600 arasında değişen Re sayılarına sahip laminar akım kabul edilerek değişik sürelerde akımın özellikleri saptanmıştır.

Tille (1999), ani olarak genişleyen bir kanalda step arkasındaki akım karakteristiklerini araştırmış, hız bileşenlerini, basınç düşümlerini ve akım hatlarını sayısal olarak incelenmiştir.

Dağtekin vd.(2000), iç içe yerleştirilmiş farklı boy ve yarıçapa sahip borulardaki akış ve ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Bu amaçla iki boyutlu Navier-Stokes , enerji ve süreklilik denklemlerini çözmek için sonlu hacimler yöntemini ve SIMPLE algoritmasını kullanmışlardır. Hesaplamalar, Re sayısının 100, 500 ve 1000 ve Pr sayısının 0.1, 0.7 ve 10 değerleri için gerçekleştirilmiştir. İç içe yerleştirilmiş boru uygulamasında, hız dağılımı, girdap, akım çizgileri, basınç dağılımı ve Nusselt sayısının değişimi ile ısı transfer miktarları hesaplanmıştır.



3. MATEMATİK MODEL

Akımı modelleyen denklemler silindirik koordinatlarda laminar, sıkıştırılamaz, sabit viskoziteli ve zamana bağlı süreklilik denklemi, momentum denklemleri ve enerji denklemidir (Kleinstreuer, C., 1997).

3.1 Süreklilik Denklemi

Silindirik koordinatlarda genel süreklilik denklemi

$$\frac{1}{r} \frac{\delta}{\delta r} (r V_r) + \frac{\delta}{\delta z} (V_z) = 0 \quad (3.1)$$

halini alır.

3.2 Momentum Denklemi

Momentum denkleminin -r bileşeni

$$\frac{\delta V_r}{\delta t} + V_r \frac{\delta V_r}{\delta r} + V_z \frac{\delta V_r}{\delta z} = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\delta p}{\delta r} \right) + \nu \left(\frac{\delta^2 V_r}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta V_r}{\delta r} - \frac{V_r}{r^2} + \frac{\delta^2 V_r}{\delta z^2} \right) \quad (3.2)$$

Momentum denkleminin -z bileşeni

$$\frac{\delta V_z}{\delta t} + V_r \frac{\delta V_z}{\delta r} + V_z \frac{\delta V_z}{\delta z} = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\delta p}{\delta z} \right) + \nu \left(\frac{\delta^2 V_z}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta V_z}{\delta r} + \frac{\delta^2 V_z}{\delta z^2} \right) \quad (3.3)$$

3.3 Enerji Denklemi

$$\frac{\delta T}{\delta t} + V_r \frac{\delta T}{\delta r} + V_z \frac{\delta T}{\delta z} = \frac{k}{\rho C_p} \left(\frac{\delta^2 T}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta T}{\delta r} + \frac{\delta^2 T}{\delta z^2} \right) \quad (3.4)$$

3.4 Girdap Taşınım Denklemi

Momentum denkleminin yatay ve düşey bileşenlerindeki basınç gradyenleri problemin çözümünü zorlaştırdığından bu denklemlerin -r yönünün -z' ye, -z yönünün ise -r' ye göre türevi alınıp birbirlerinden çıkarılmasıyla ve ,

$$\omega = \left(\frac{\delta U_r}{\delta z} - \frac{\delta U_z}{\delta r} \right) \quad (3.5)$$

denkleminin yardımcı denklem olarak kullanılmasıyla elde edilen girdap taşınım denklemi aşağıdaki gibidir (Jaluria,1986).

$$\frac{\delta \omega}{\delta t} + \frac{\delta(\omega V_r)}{\delta r} + \frac{\delta(\omega V_z)}{\delta z} = \nu \left(\frac{\delta^2 \omega}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta \omega}{\delta r} - \frac{\omega}{r^2} + \frac{\delta^2 \omega}{\delta z^2} \right) \quad (3.6)$$

3.5 Akım Fonksiyonu

Hız bileşenleri olan V_r ve V_z akım fonksiyonundan türetilebilir.

$$V_r = \frac{1}{r} \frac{\delta \psi}{\delta z} \quad (3.7)$$

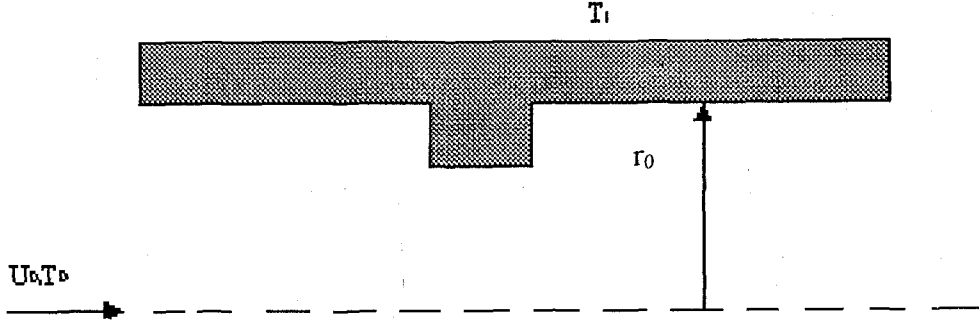
$$V_z = -\frac{1}{r} \frac{\delta \psi}{\delta r} \quad (3.8)$$

Hız bileşenlerini vorticity ifadesinde yerine yazarsak, akım fonksiyonunu aşağıda verildiği gibi elde ederiz.

$$r \omega = \left(\frac{\delta^2 \psi}{\delta r^2} - \frac{1}{r} \frac{\delta \psi}{\delta r} + \frac{\delta^2 \psi}{\delta z^2} \right) \quad (3.9)$$

4. BOYUTSUZLAŞTIRMA

4.1 Boyutsuz Büyüklükler



Şekil:4.1 Problemde kullanılan referans büyüklükler

$$R = \frac{r}{r_0}$$

$$Z = \frac{z}{r_0}$$

$$U = \frac{V_r}{U_0}$$

$$V = \frac{V_z}{U_0}$$

$$\theta = \frac{T - T_0}{T_1 - T_0}$$

$$\Gamma = \frac{tU_0}{r_0}$$

$$\Omega = \frac{\omega r_0}{U_0}$$

$$\Psi = \frac{\psi}{U_0 r_0^2}$$

4.2 Boyutsuz Sayılar

$$\text{Re} = \frac{U_0 r_0}{\nu} \quad (4.10)$$

$$\text{Pr} = \frac{C_p \mu}{k} \quad (4.11)$$

Bu boyutsuz büyüklükler ve boyutsuz sayılar 3. Bölümde verilen denklemlerde yerlerine konulurlarsa; boyutsuz enerji, boyutsuz akım fonksiyonu ve boyutsuz girdap taşınım denklemi elde edilir. Bu boyutsuz denklemler bir sonraki bölümde açıklanacaktır

4.3 Boyutsuz Girdap Taşınım Denklemleri

4.1 ve 4.2 ' de verilen boyutsuz büyüklük ve sayılar kullanılarak, aşağıdaki gibi boyutsuz girdap taşınım denklemleri elde edilir.

$$\frac{\delta \Omega}{\delta \Gamma} + \frac{\delta(\Omega U)}{\delta R} + \frac{\delta(\Omega V)}{\delta Z} = \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\delta^2 \Omega}{\delta R^2} + \frac{1}{R} \frac{\delta \Omega}{\delta R} - \frac{\delta^2 \Omega}{\delta Z^2} \right) \quad (4.12)$$

4.4 Boyutsuz Enerji Denklemleri

$$\frac{\delta \theta}{\delta \Gamma} + \frac{\delta(\theta U)}{\delta R} + \frac{\delta(\theta V)}{\delta Z} = \frac{1}{\text{Re Pr}} \left(\frac{\delta^2 \theta}{\delta R^2} + \frac{1}{R} \frac{\delta \theta}{\delta R} + \frac{\delta^2 \theta}{\delta Z^2} \right) \quad (4.13)$$

4.5 Boyutsuz Akım Fonksiyonu

$$\text{Re} \Omega = \left(\frac{\delta^2 \Psi}{\delta R^2} - \frac{1}{R} \frac{\delta \Psi}{\delta R} + \frac{\delta^2 \Psi}{\delta Z^2} \right) \quad (4.14)$$

5. SAYISAL ÇÖZÜM

5.1 Boyutsuz Girdap Taşınımı ve Enerji Denklemlerinin Sayısal Çözümü

4.Bölümde boyutsuz hale getirilmiş olan olan üç denklem (4.12), (4.13), (4.14) sonlu farklar metodu kullanılarak eş-zamanlı olarak çözülecektir. Bunun için her birinin fark denklemleri yazılmalıdır. Geliştirilmiş olan denklemleri çözüme uygun şekilde tekrar yazarsak aşağıdaki gibi elde ederiz.

$$\frac{\delta\Omega}{\delta\Gamma} = - \frac{\delta(\Omega U)}{\delta R} - \frac{\delta(\Omega V)}{\delta Z} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\delta^2\Omega}{\delta R^2} + \frac{1}{R} \frac{\delta\Omega}{\delta R} - \frac{\Omega}{R^2} + \frac{\delta^2\Omega}{\delta Z^2} \right) \quad (5.1)$$

$$\frac{\delta\theta}{\delta\Gamma} = - \frac{\delta(\theta U)}{\delta R} - \frac{\delta(\theta V)}{\delta Z} + \frac{1}{\text{Re Pr}} \left(\frac{\delta^2\theta}{\delta R^2} + \frac{1}{R} \frac{\delta\theta}{\delta R} + \frac{\delta^2\theta}{\delta Z^2} \right) \quad (5.2)$$

5.1.1 Denklemlerin Ayırıklaştırılması

Denklemlerin ayırıklaştırılması için merkezi (Chapra, 1990) ve upwind (Yen-Chow, 1979) fark şemaları kullanılmıştır. Upwind şemasında kullanılan hızların bileşenleri (U, V) i ve j noktalarında, f ve b indisleri sırasıyla ileriye (forward) ve geriye (backward) ortalamaları gösterecek şekilde aşağıdaki gibi yazılır.

$$U_f = \frac{1}{2}(U_{i+1,j} + U_{i,j}) \quad (5.3a)$$

$$U_b = \frac{1}{2}(U_{i,j} + U_{i-1,j}) \quad (5.3b)$$

$$V_f = \frac{1}{2}(V_{i+1,j} + V_{i,j}) \quad (5.3c)$$

$$V_b = \frac{1}{2}(V_{i,j} + V_{i-1,j}) \quad (5.3d)$$

(5.1) ve (5.2) denklemlerinin sol tarafları ve sağ taraflarındaki terimler aynı karakterdedir. Girdap için $P\Omega$, enerji için $P\theta$ sembolleri kullanarak bu denklemleri genel halde yazabiliriz.

$$\frac{\delta P\Omega}{\delta\Gamma} = - \frac{\delta(UP\Omega)}{\delta R} - \frac{\delta(VP\Omega)}{\delta Z} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\delta^2 P\Omega}{\delta R^2} + \frac{1}{R} \frac{\delta P\Omega}{\delta R} - \frac{P\Omega}{R^2} + \frac{\delta^2 P\Omega}{\delta Z^2} \right) \quad (5.4)$$

$$\frac{\delta P\theta}{\delta\Gamma} = - \frac{\delta(P\theta U)}{\delta R} - \frac{\delta(P\theta V)}{\delta Z} + \frac{1}{\text{Re Pr}} \left(\frac{\delta^2 P\theta}{\delta R^2} + \frac{1}{R} \frac{\delta P\theta}{\delta R} + \frac{\delta^2 P\theta}{\delta Z^2} \right) \quad (5.5)$$

Denklem (5.4) ve (5.5)' in sol tarafları ileri farklar yöntemi ile ayrıştırılarak şu şekilde yazılır.

$$\left(\frac{\delta P \Omega}{\delta \Gamma} \right)_{i,j} = \frac{1}{\Delta \Gamma} (P \Omega'_{i,j} - P \Omega_{i,j}) \quad (5.6)$$

$$\left(\frac{\delta P \theta}{\delta \Gamma} \right)_{i,j} = \frac{1}{\Delta \Gamma} (P \theta'_{i,j} - P \theta_{i,j}) \quad (5.7)$$

$P_{i,j}$, Γ zamanında, $P'_{i,j}$ ise $\Gamma + \Delta \Gamma$ zamanında hesaplanan değerdir.

(5.4) ve (5.5) numaralı denklemlerin sağ tarafındaki birinci ve ikinci terimler upwind, diğer terimler merkezi farklar yöntemi ile ayrıştırılarak ve (5.3) ile verilmiş olan yatay ve düşey yöndeki hız bileşenlerinin ortalamaları kullanılarak herhangi bir i,j noktası için aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$P \Omega'_{i,j} = P \Omega_{i,j} + \frac{\Delta \Gamma}{2H} \left[-P \Omega_1 - P \Omega_2 + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{2P \Omega_3}{H} + \frac{P \Omega_4}{H} - \frac{2P \Omega_5}{H} \right) \right] \quad (5.8)$$

$$P \theta'_{i,j} = P \theta_{i,j} + \frac{\Delta \Gamma}{2H} \left[-P \theta_1 - P \theta_2 + \frac{1}{\text{Re Pr}} \left(\frac{2P \theta_3}{H} + \frac{P \theta_4}{H} \right) \right] \quad (5.9)$$

Yukarıdaki denklemler bilgisayar programında sırasıyla PWNEW ve PVNEW fonksiyon alt programları ile çözülecektir.

5.2 Akım Fonksiyonun Çözümü

Boyutsuz akım fonksiyonu

$$R \Omega = \left(\frac{\delta^2 \Psi}{\delta R^2} - \frac{1}{R} \frac{\delta \Psi}{\delta R} + \frac{\delta^2 \Psi}{\delta Z^2} \right) \quad (5.10)$$

Bu denklem 5- Nokta için “ Sonlu Farklar Yöntemi ” kullanılarak ikinci dereceden fark şeması yardımıyla ayrıştırılmıştır. (Yen Chow, 1979)

$$\Omega_{i,j} = \left(\frac{1}{H^2} \right) \left[\Psi_{i-1,j} - 4\Psi_{i,j} + \Psi_{i+1,j} + \left(1 - \frac{H}{2R} \right) \Psi_{i,j+1} + \left(1 + \frac{H}{2R} \right) \Psi_{i,j-1} \right] \quad (5.11)$$

Bu denklem Roache (1976)' un önerdiği şekilde Successive Over Relaxation - SOR - metodu ile çözülebilir.

5.3 Sınır Koşulları

Boru içerisinden geçen akışkanın hareketini modelleyen girdap taşınımı, enerji denklemleri zamana göre parabolik, uzay koordinatlarında eliptik, akım fonksiyonu ise silindirik koordinatlarda eliptik karakterdedir. Bu durumda, bu denklemlerin ve akım fonksiyonunun çözümü için başlangıç ve sınır koşullarına gereksinim vardır. Başlangıç koşulları olarak, tüm değişkenler için başlangıç değeri keyfi sabitler veya 0 olarak alınmıştır. Sınır koşulları ileriki bölümlerde ayrıntılı olarak verilecektir.

5.3.1 Sınırlarda Hız ve Akım Fonksiyonu

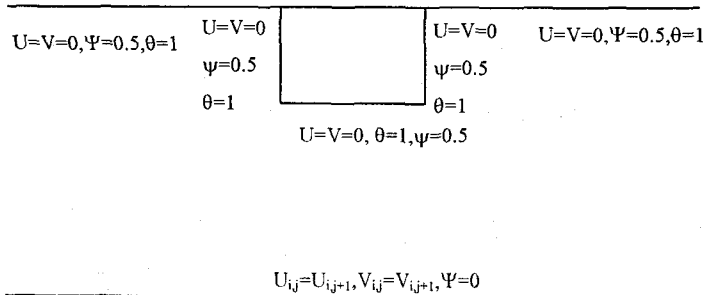
Aşağıdaki şekilden de görüleceği üzere hesaplama bölgesi için sınırlar, yatay ve düşey çeperlerden ve giriş ve çıkış ağızlarından oluşur. Tüm yatay ve düşey çeperlerin Jaluria (1986)' ın önerdiği yatay ve düşey çeperlerin kaymasız ve geçirimsiz olduğu kabul edilerek, bu sınırlarda akım fonksiyonu sabit ($\Psi = \text{sbt}$) yapacak şekilde $U=V=0$ kabul edilmiştir (Lage vd., 1992).

$$U = \frac{1}{R} \frac{\partial \Psi}{\partial Z} = 0 \xrightarrow{\text{ise}} \Psi = \text{sabit}$$

$$V = -\frac{1}{R} \frac{\partial \Psi}{\partial R} = 0 \xrightarrow{\text{ise}} \Psi = \text{sabit}$$

Bu durumda bütün alt çeperde $\Psi = 0$, üst çeperde simetriden dolayı $\Psi = 0.5$ olarak kabul edilmiştir.

Akımın giriş kanalından yatay eksene paralel olarak girdiği ve giriş kesitinde akımın düzgün hız profiline sahip olduğu kabul edildiğinden girişte boyutsuz yatay hız bileşeni $U=1$ olarak kabul edilmiştir. Aynı şekilde çıkıştaki yatay hız bileşeni için hızların sabit olduğu kabul edilmiştir.

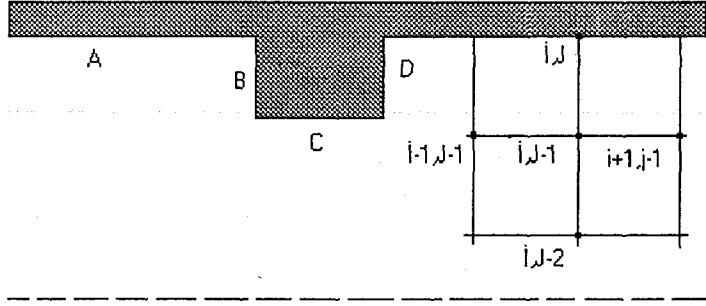


Şekil:5.1 Çeperlerdeki sınır şartları

5.3.2 Sınırlarda Girdap

Hız profilinin düzgün olmasından dolayı girişteki girdap değeri için $\Omega=0$ diyebiliriz. Çıkıştaki girdap değerini bulmak için girdap taşınım denkleminin çözümü gerekmektedir. Giriş ve çıkıştaki girdap değerlerinin dışındaki tüm çeperlerde girdap değerinin bulunması da yine sayısal çözümün bir parçasıdır ve aşağıdaki denklemler kullanılarak hesap yapılır.

$$R\Omega = \left(\frac{\delta^2 \Psi}{\delta R^2} - \frac{1}{R} \frac{\delta \Psi}{\delta R} + \frac{\delta^2 \Psi}{\delta Z^2} \right) \quad (5.12)$$



Şekil:5.2 Sayısal çözümde kullanılan ayırtıştırma noktaları (A çeperi için)

Bu denklemlerin sağ tarafı bir Laplace denklemdir. Bu denklem Şekil:5.2' de gösterilmiş olan sistemde i,j noktasına komşu 4 nokta için aşağıdaki gibi yazılır. (Chang vd., 1989)

$$\Omega = (\alpha_1 \Psi_{i,j} + \alpha_2 \Psi_{i,j-1} + \alpha_3 \Psi_{i,j-2} + \alpha_4 \Psi_{i-1,j-1} + \alpha_5 \Psi_{i+1,j-1}) \quad (5.13)$$

α katsayılarının belirlenmesi için bu denklemdeki her bir akım fonksiyonu (i,j) noktası civarında Taylor serisine açıldıktan (Jaluria vd., 1986) sonra denklemde yerine konursa, bu katsayılar aşağıdaki gibi bulunur.

$$\alpha_1 = \left(\frac{3}{2HR^2} + \frac{1}{2RH^2} \right) \quad (5.14)$$

$$\alpha_2 = \left(\frac{2}{HR^2} - \frac{2}{RH^2} \right) \quad (4.15)$$

$$\alpha_3 = \left(\frac{1}{2RH^2} - \frac{1}{2HR^2} \right) \quad (5.16)$$

$$\alpha_4 = \frac{1}{2RH^2} \quad (5.17)$$

$$\alpha_5 = \frac{1}{2RH^2} \quad (5.18)$$

Bulunan bu katsayılar denklem (5.13)' de yerine konulursa, Şekil:5.2' de A çeperi için girdap değeri elde edilir.

A Çeperi için girdap denklemi;

$$\Omega = \frac{1}{2RH} \left(-\left(\frac{3}{R} + \frac{1}{H}\right)\Psi_{i,j} + \left(\frac{4}{R} - \frac{4}{H}\right)\Psi_{i,j-1} + \left(\frac{1}{H} - \frac{1}{R}\right)\Psi_{i,j-2} \right) + \frac{1}{2RH^2} (\Psi_{i+1,j-1} + \Psi_{i-1,j-1}) \quad (5.19)$$

Aynı işlemler tekrarlanarak diğer çeperler içinde girdap denklemleri elde edilir. Bunlar;

B Çeperi için girdap denklemi;

$$\Omega = \frac{1}{RH^2} (-\Psi_{i,j} + \Psi_{i-1,j+1} - \Psi_{i-1,j} + \Psi_{i-1,j-1} - \frac{1}{2}\Psi_{i-2,j}) + \frac{1}{2HR^2} (-\Psi_{i-1,j+1} + \Psi_{i-1,j-1}) \quad (5.20)$$

C Çeperi için girdap denklemi;

$$\Omega = \frac{1}{2RH} \left(-\left(\frac{3}{R} + \frac{1}{H}\right)\Psi_{i,j} + \left(\frac{4}{R} - \frac{4}{H}\right)\Psi_{i,j-1} + \left(\frac{1}{H} - \frac{1}{R}\right)\Psi_{i,j-2} \right) + \frac{1}{2RH^2} (\Psi_{i+1,j-1} + \Psi_{i-1,j-1}) \quad (5.21)$$

D Çeperi için girdap denklemi;

$$\Omega = \frac{1}{RH^2} (-\Psi_{i,j} + \Psi_{i+1,j+1} - \Psi_{i+1,j} + \Psi_{i+1,j-1} - \frac{1}{2}\Psi_{i+2,j}) + \frac{1}{2HR^2} (-\Psi_{i+1,j+1} + \Psi_{i+1,j-1}) \quad (5.22)$$

5.3.3 Sınırlarda Sıcaklık

Borunun üst çeperinin ve engelin bütün çeperlerinin sabit sıcaklıkta olduğu kabul edildiğinden

Üst çeperde: $\theta_{i,j} = 1$

Simetri ekseninde: $\theta_{i,j} = \theta_{i,j+1}$

Engelin bütün çeperlerinde ise: $\theta_{i,j} = 1$ kabul edilmiştir.

6. BİLGİSAYAR PROGRAMININ

TANITILMASI

6.1 Ana program

Matematik modellemenin çözümü için Fortran dilinde bir bilgisayar programı yazılmıştır. Program bir ana ve iki alt programdan oluşmaktadır. Ana programda giriş- çıkış değerleri ve parametreleri okutulup yazdırılmakta ve alt programlar için gerekli olan değerler hesaplatılmaktadır. Ana programda kullanılan giriş- çıkış değerleri ve parametreleri şunlardır:

GİRİŞ DATALARI

H= Izgara aralığı

M= -Z yönündeki nokta sayısı

N= -R yönündeki nokta sayısı

DT= Zaman adımı

RE= Reynolds sayısı

EPS= Hata kriteri

ÇIKIŞ DATALARI

U= -Z yönündeki hız bileşeni

V= -R yönündeki hız bileşeni

PSI= Akım fonksiyonu

OMEGA= Girdap

THETA= Sıcaklık

Program belirli bir hata kriterine göre akım sürekli rejime erişinceye kadar veya istenilen süre kadar çalışabilmektedir.

Alt programlar PWNEW, PVNEW sırasıyla girdap taşınımı denklemini, enerji denklemini , SORLX programı ise akım fonksiyonu denklemini çözmektedir.

6.2 Alt Programlar

PWNEW:

Bölüm 5.1' de verilmiş olan ayrıklaştırılmış girdap denklemini diğer alt programlarla eş-zamanlı olarak çözer. Bu alt programa giriş değeri olarak Re sayısı verilmektedir. Girdap dağılımı denklemi için sınır değerleri ana programda hesaplanarak, iç noktalardaki değerlerin hesaplanması için alt programda kullanılır. Girdap taşınımı denkleminin beş terimi aşağıdaki gibi yazılır.

$$PW1 = \frac{1}{2H} [(U_f - |U_f|)\Omega_{i+1,j} + (U_f + |U_f| - U_b + |U_b|)\Omega_{i,j} - (U_b + |U_b|)\Omega_{i-1,j}] \quad (6.1)$$

$$PW2 = \frac{1}{2H} [(V_f - |V_f|)\Omega_{i,j+1} + (V_f + |V_f| - V_b + |V_b|)\Omega_{i,j} - (V_b + |V_b|)\Omega_{i,j-1}] \quad (6.2)$$

$$PW3 = \frac{1}{H^2} (\Omega_{i+1,j} + \Omega_{i-1,j} + \Omega_{i,j+1} + \Omega_{i,j-1} - 4\Omega_{i,j}) \quad (6.3)$$

$$PW4 = \frac{1}{2RH} (\Omega_{i,j+1} - \Omega_{i,j-1}) \quad (6.4)$$

$$PW5 = \frac{\Omega_{i,j}}{R^2} \quad (6.5)$$

PVNEW:

Bölüm 5.1' de verilmiş olan enerji denkleminin ayrıklaştırılmış şeklini çözerek iç noktalardaki sıcaklık değerlerini bulur. Gerekli olan sınır koşulları ana programda hesaplatılarak bu alt programa gönderilir. Re ve Pr (Reynolds ve Prandtl Sayıları) giriş değerleri olarak verilir. Enerji denkleminin dört terimi şöyledir.

$$PV1 = \frac{1}{2H} [(U_f - |U_f|)\theta_{i+1,j} + (U_f + |U_f| - U_b + |U_b|)\theta_{i,j} - (U_b + |U_b|)\theta_{i-1,j}] \quad (6.6)$$

$$PV2 = \frac{1}{2H} [(V_f - |V_f|)\theta_{i,j+1} + (V_f + |V_f| - V_b + |V_b|)\theta_{i,j} - (V_b + |V_b|)\theta_{i,j-1}] \quad (6.7)$$

$$PV3 = \frac{1}{H^2} (\theta_{i+1,j} + \theta_{i-1,j} + \theta_{i,j+1} + \theta_{i,j-1} - 4\theta_{i,j}) \quad (6.8)$$

$$PV4 = \frac{1}{2RH} (\theta_{i,j+1} - \theta_{i,j-1}) \quad (6.9)$$

SORLX:

Bölüm 5.2' de verilmiş olan ayrıklaştırılmış akım fonksiyonunu iterativ olarak çözer. Denklemi S.O.R (Successive Over Relaxation) Metoduna uygun olarak aşağıdaki gibi yazabiliriz.

$$\Psi'_{i,j} = \Psi_{i,j} + \frac{1}{4}(\Psi_{i-1,j} + \Psi_{i+1,j} + (1 - \frac{H}{2R})\Psi_{i,j+1} + (1 + \frac{H}{2R})\Psi_{i,j-1} - H^2 Q_{i,j}) \quad (5.11)$$

denklemin sol tarafında görülen $\Psi'_{i,j}$ bir adım sonra hesaplanan akım fonksiyonu değeridir.

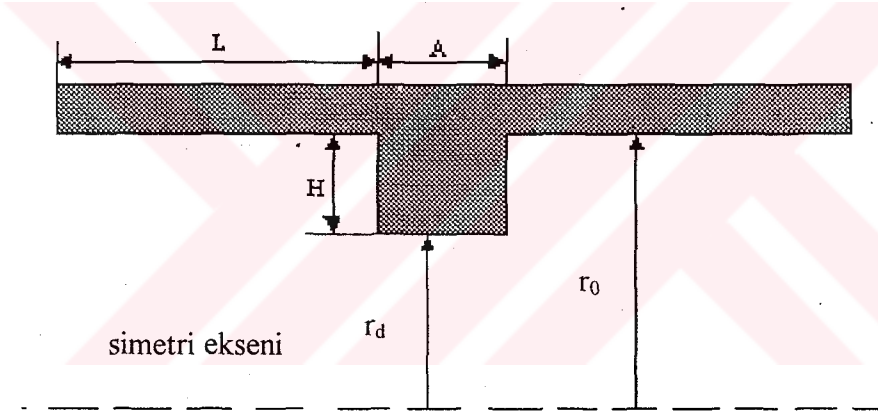
Denkleme giren Ω girdap değeri, diğer alt programlarda hesaplatılır. Bu alt program tüm iç noktalarda akım fonksiyonu değerlerini hesaplar.

7. SONUÇLAR

Boru ve kanal içerisindeki akımı ve akımın karşısına çıkan herhangi bir engel olması durumunda akım karakteristiklerinin değişimini analitik, deneysel ve sayısal yöntemlerle inceleyen bir çok araştırma yapılmıştır. Ancak yapılan çalışmaların bir çoğunun kartezyen koordinatlarda olduğu, özellikle boru içindeki akımı silindirik koordinatlarda inceleyen sayısal çalışmaların çok fazla olmadığı yapılan literatür araştırmasında görülmüştür.

Karşısına düz bir engel çıkan boru veya silindirik kanaldaki akım karakteristiklerini incelemek için yapılmış olan bu çalışmada laminar, zamana bağlı ve sıkıştırılamaz akımı modelleyen, süreklilik, enerji ve momentum denkleminin yatay ve düşey yöndeki bileşenleri, girdap-akım fonksiyonu yöntemi kullanılarak çözülmüşlerdir. Problemin sayısal çözümü için sonlu farklar metodu kullanılmış ve denklemler Fortran dilinde yazılmış bir bilgisayar programı yardımıyla çözdürülmüşlerdir.

Aşağıdaki şekilde boru içerisindeki düşey engelin geometrik parametreleri gösterilmiştir.



Şekil:7.1 Problemden kullanılan geometrik oranlar

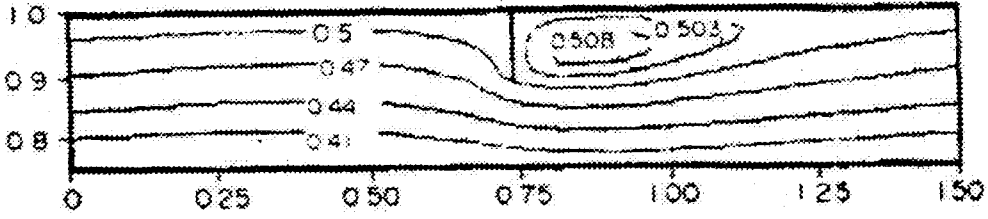
Şekilden de görüldüğü gibi r_0 borunun yarıçapı, L engelin boru girişine olan uzaklığı, H engelin boyu, A engelin eni ve r_d ise simetri ekseninden engele olan uzaklığı göstermek üzere, nümerik çalışmalarda aşağıdaki parametrik oranlar kullanılmıştır.

$$r_d / r_0 = 0.5, 0.7, 0.8, 0.9$$

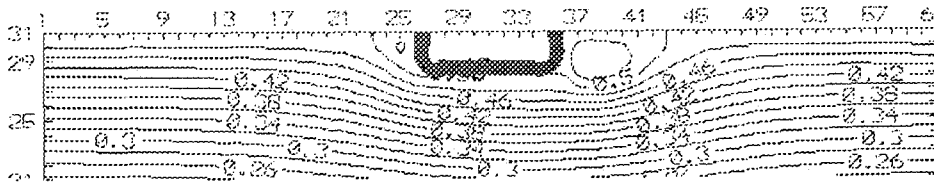
$$A / r_0 = 0.3, 0.1$$

$$L / r_0 = 0.3, 0.8, 1.3, 0.9$$

Hesaplar su, hava ve kullanılmamış motor yağı olmak üzere sırasıyla 0.7, 7.0 ve 546 Pr sayıları ve Re sayısının 50 ve 500 değerleri için yapılmıştır.



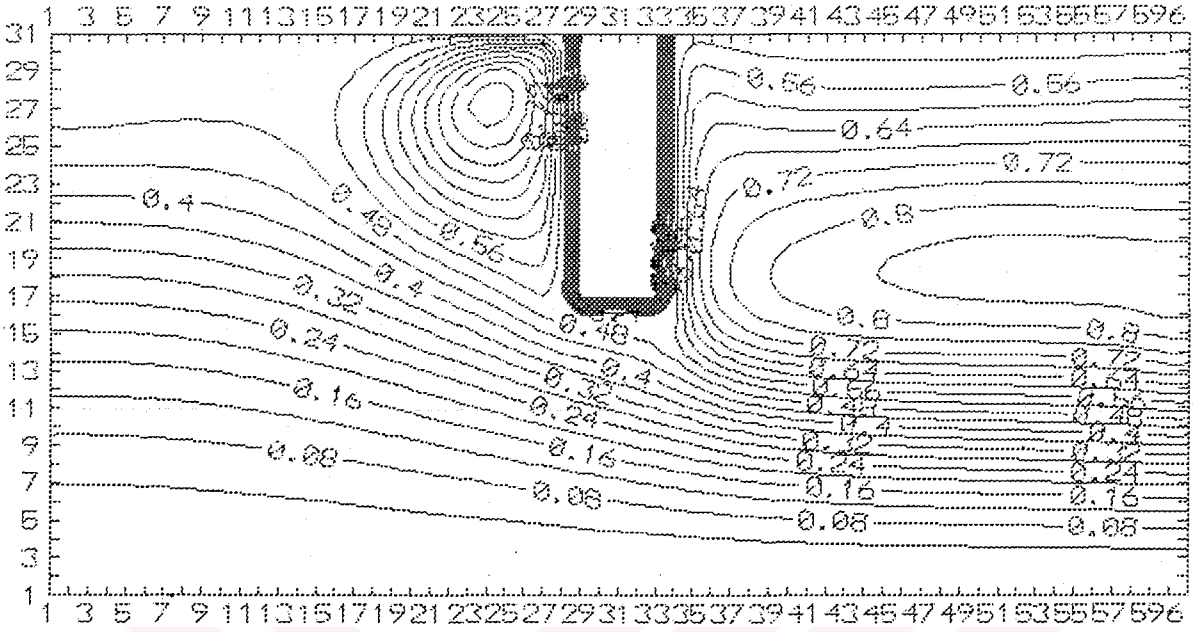
Şekil:7.2 Akımın türbülanslı ($Re=10^5$) olması durumunda akım hatları (Shub, 1993)



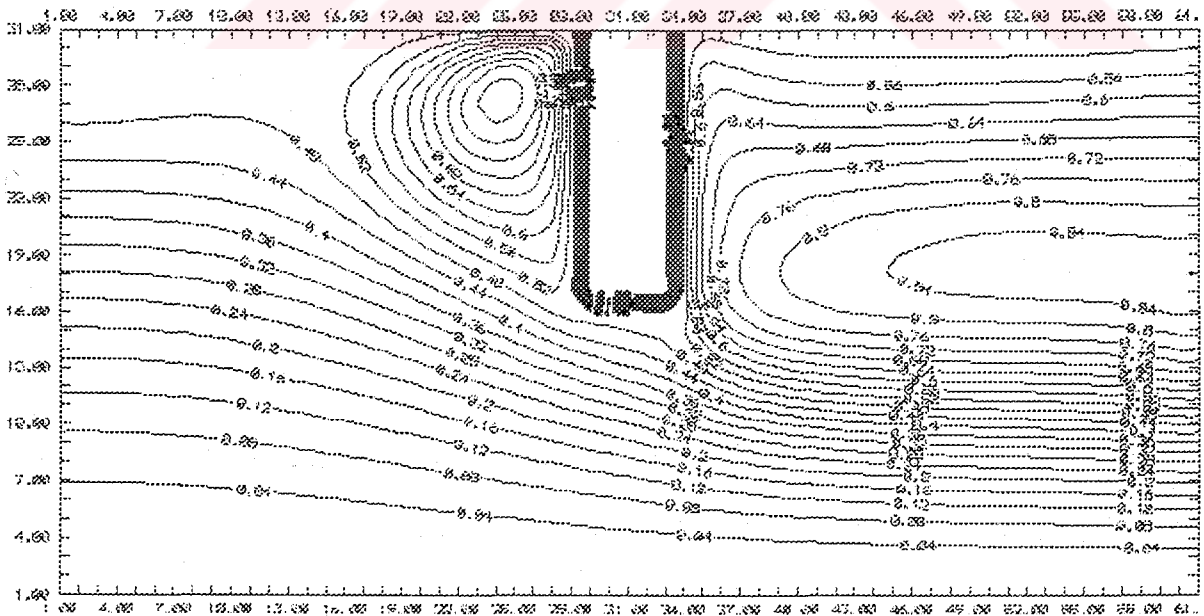
Şekil:7.3 Akımın laminar ($Re=500$) olması durumunda akım hatları

Şekil:7.2' de Shub (1991)'un $Re=10^5$ için yaptığı bir çalışmada engelin akım hatları üzerindeki etkileri gösterilmiştir ($r_d / r_0 = 0.9$). Şekil:7.3'de ise tarafımızdan, aynı geometrik oranlar için yapılan çalışma görülmektedir ($r_d/r_0 = 0.9$, $A/r_0 = 0.3$, $L/r_0 = 0.3$, $Pr=0.7$).Yapılan incelemede her iki çalışmanın sonuçlarının benzer olduğu açıkça görülmektedir.

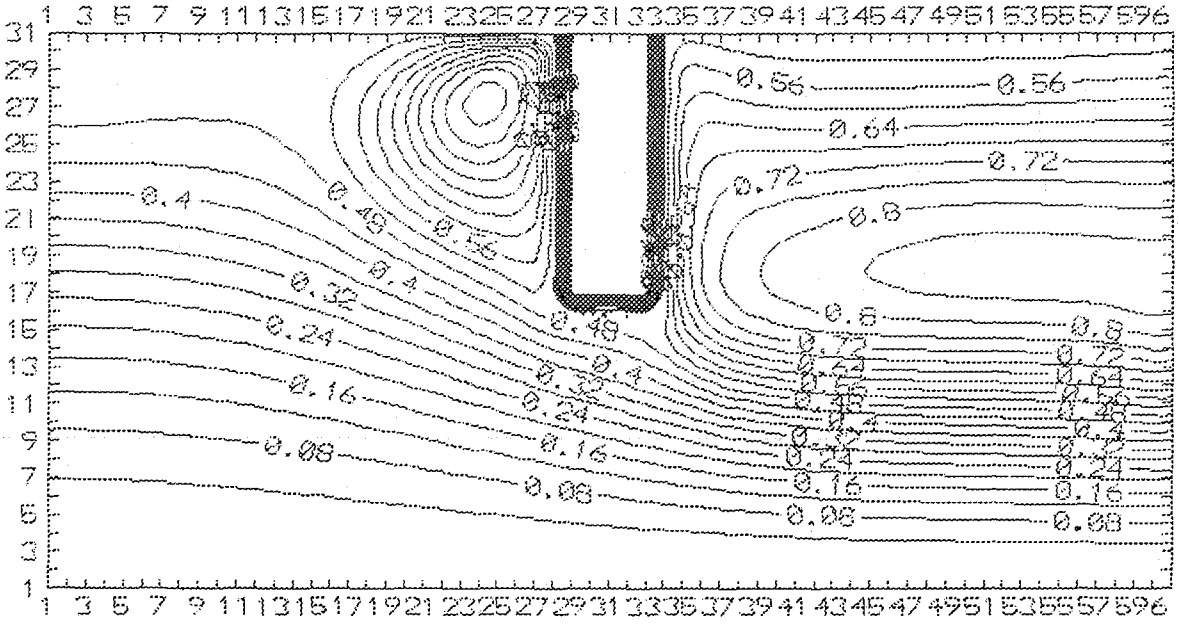
Karşılaştırma yapabilmek için seçilmiş olan bu çalışma, daha önce de belirtilmiş olduğu gibi, silindirik koordinatlarda ve nümerik yöntemle yapılmış bir çalışma olup, türbülanslı akış incelenmesine rağmen bu şekilde yapılmış daha uygun bir çalışma bulunamadığından kıyaslama için kabul edilmiştir.



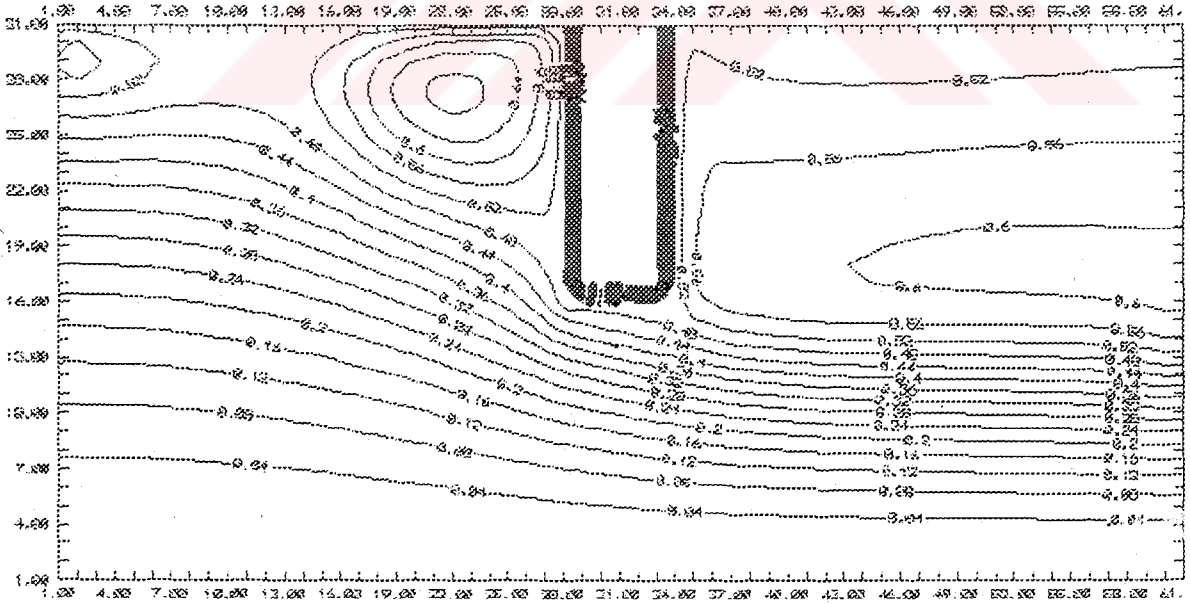
Şekil:7.4 Borudan havanın ($Pr=0.7$) $Re=500$ 'de geçmesi halinde akım hatları



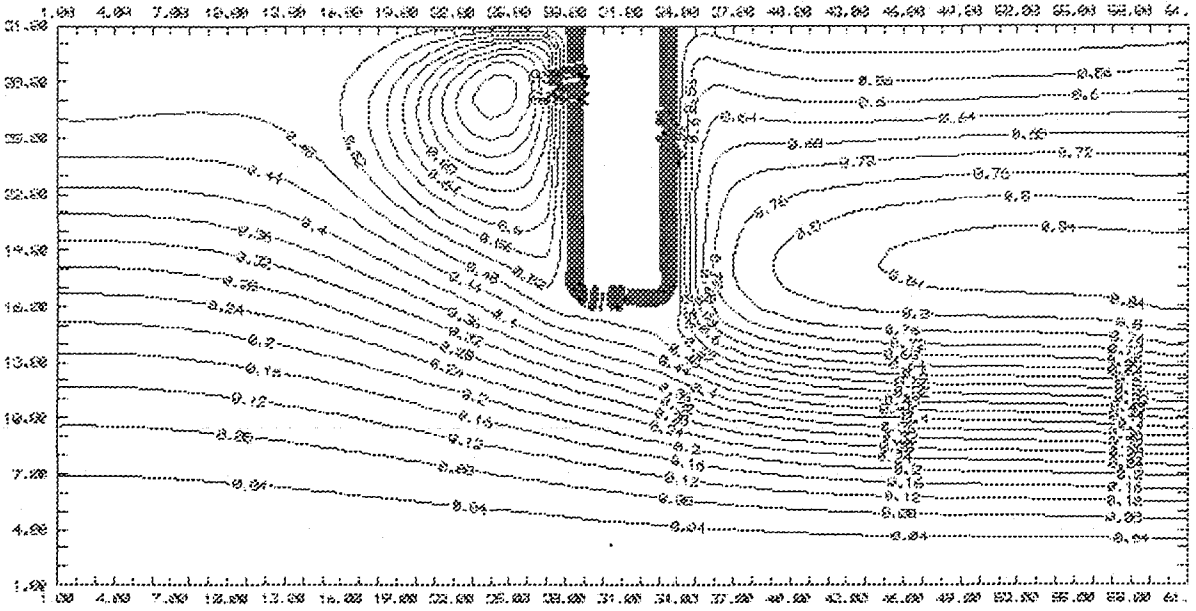
Şekil:7.5 Borudan havanın $Re=50$ 'de geçmesi halinde akım hatları



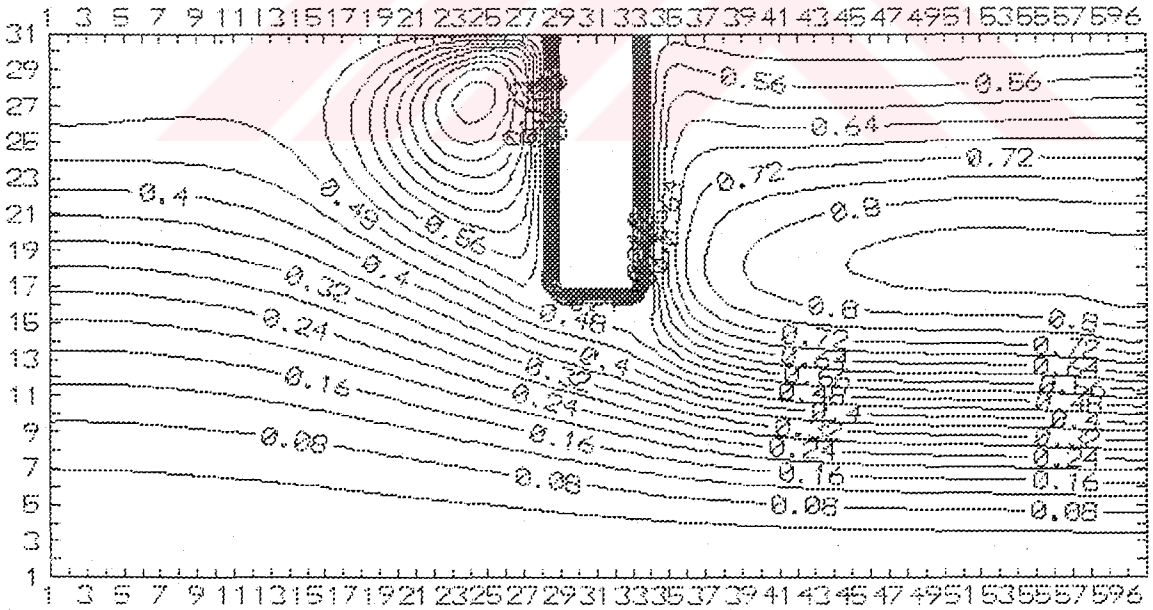
Şekil:7.6 Borudan suyun ($Pr=7.0$) $Re=500$ 'de geçmesi halinde akım hatları



Şekil:7.7 Borudan suyun $Re=50$ 'de geçmesi halinde akım hatları



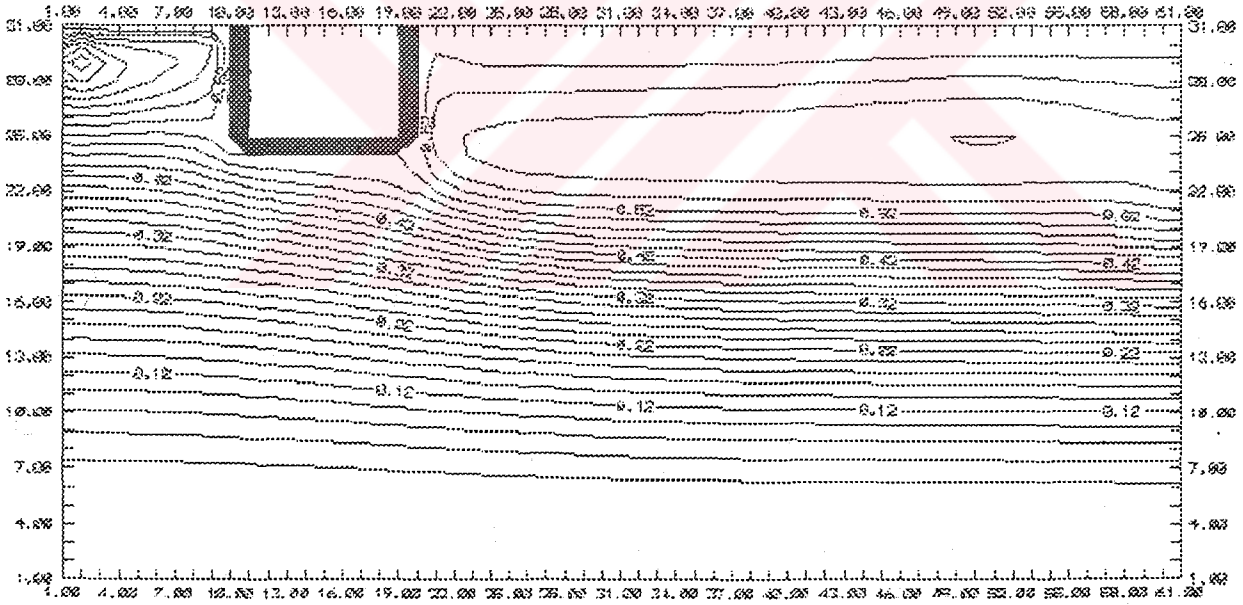
Şekil:7.8 Borudan motor yağının ($Pr=546$) $Re=500$ 'de geçmesi halinde akım hatları



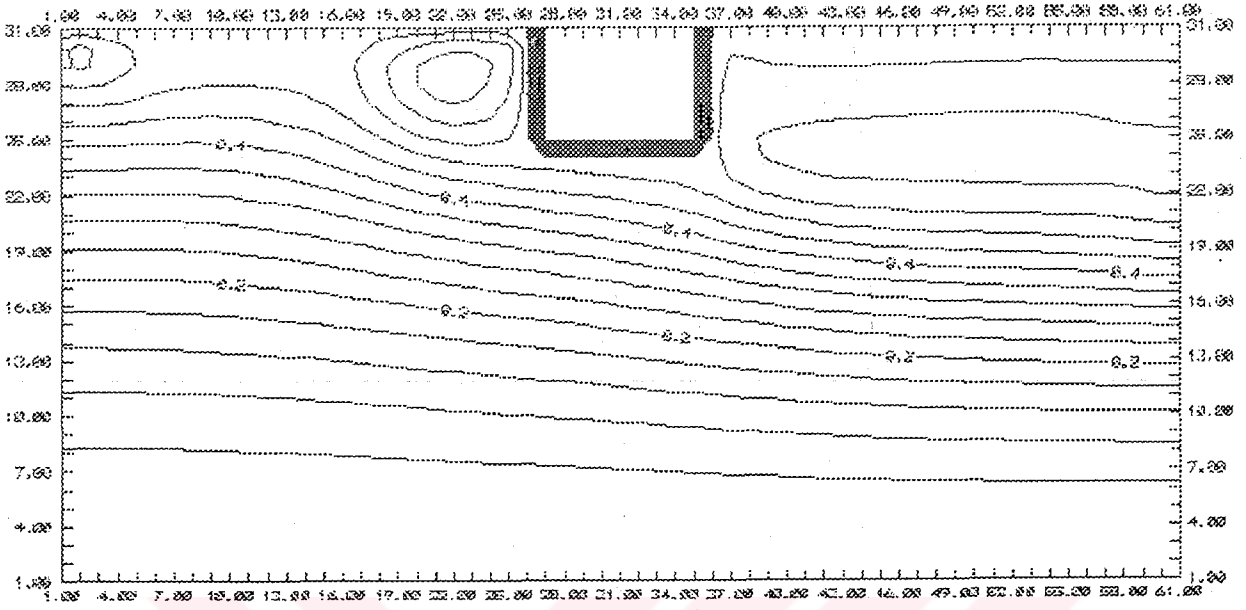
Şekil:7.9 Borudan motor yağının $Re=50$ 'de geçmesi halinde akım hatları

Şekil:7.4 ve 7.5'de borudan hava, Şekil:7.6 ve 7.7'de borudan su ve Şekil:7.78 ve 7.9'da ise borudan kullanılmamış motor yağının Reynolds sayısının 50 ve 500 değerlerinde geçtiği kabulüyle elde edilen akım hatları görülmektedir. Şekillerden de görülebileceği gibi, Pr sayısının çok küçük ve çok büyük değerlerinde Re sayısının akıma olan etkisi ihmal edilebilecek mertebede olup, su ($Pr=7$) durumunda akım hatları oldukça farklılaşmıştır. Re sayısının 50 değerinde gerek engel önünde gerek engel arkasında akışkan yığılmaları gerçekleşmektedir.

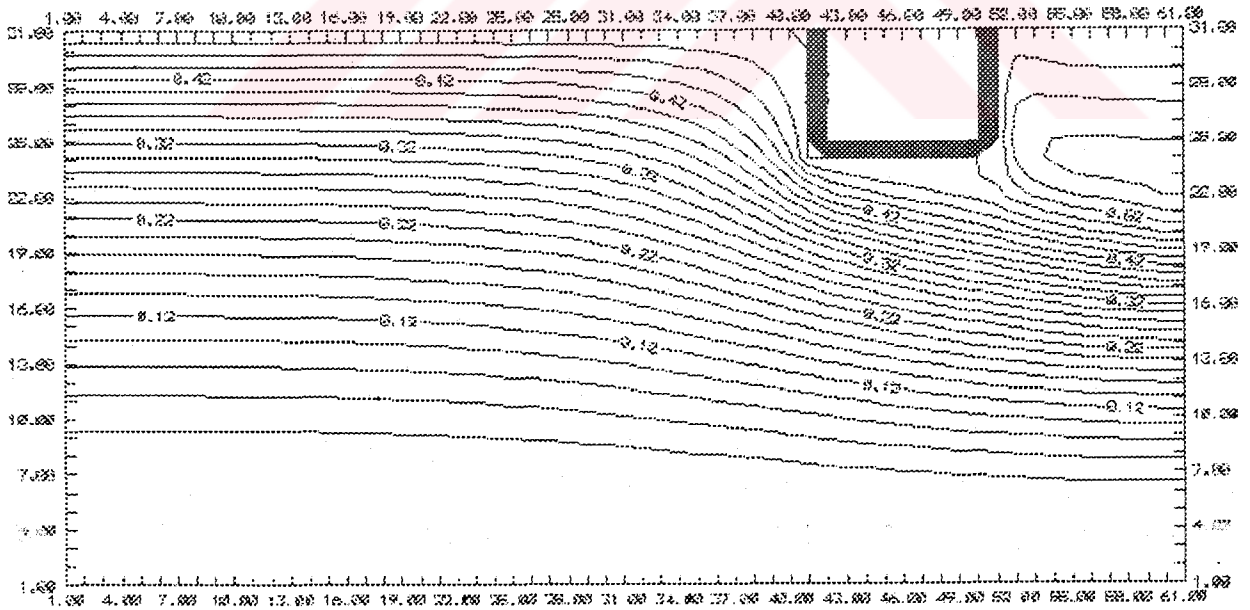
Çalışmanın devamında engelin konumunun yani boru girişine olan uzaklığının akımı ne şekilde etkilediği araştırılmıştır. Aşağıdaki şekillerden de görüleceği üzere, engelin boru girişine uzaklığı en az olması durumunda ($L/r_0=0.3$) engelin önünde oldukça yoğun girdap oluştuğu, engel boru girişinden uzaklaştıkça akımın engel önünde düzgün hale geldiği, en uzak durumda yani ($L/r_0=1.3$) iken hiç girdap oluşmadığı görülmektedir. Engelin arkasında ise, yine aynı şekilde engelin girişe en yakın olduğu durumda daha büyük girdaplı bölgeler gözlenmektedir. Yani (L/r_0) oranındaki düşüş ile girdap oluşumu artmaktadır.



Şekil:7.10 Engelin borunun girişine yakın olması halinde akım hatları ($L/r_0=0.3$)

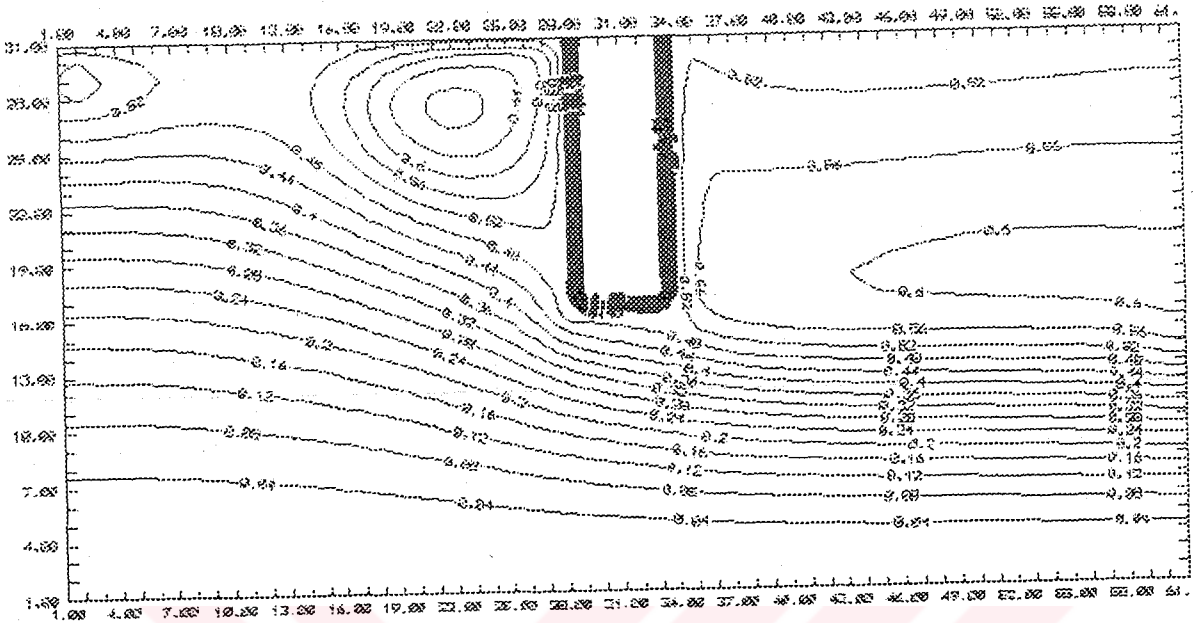


Şekil:7.11 Engelin borunun ortasında olması halinde akım hatları ($L/r_0=0.8$)

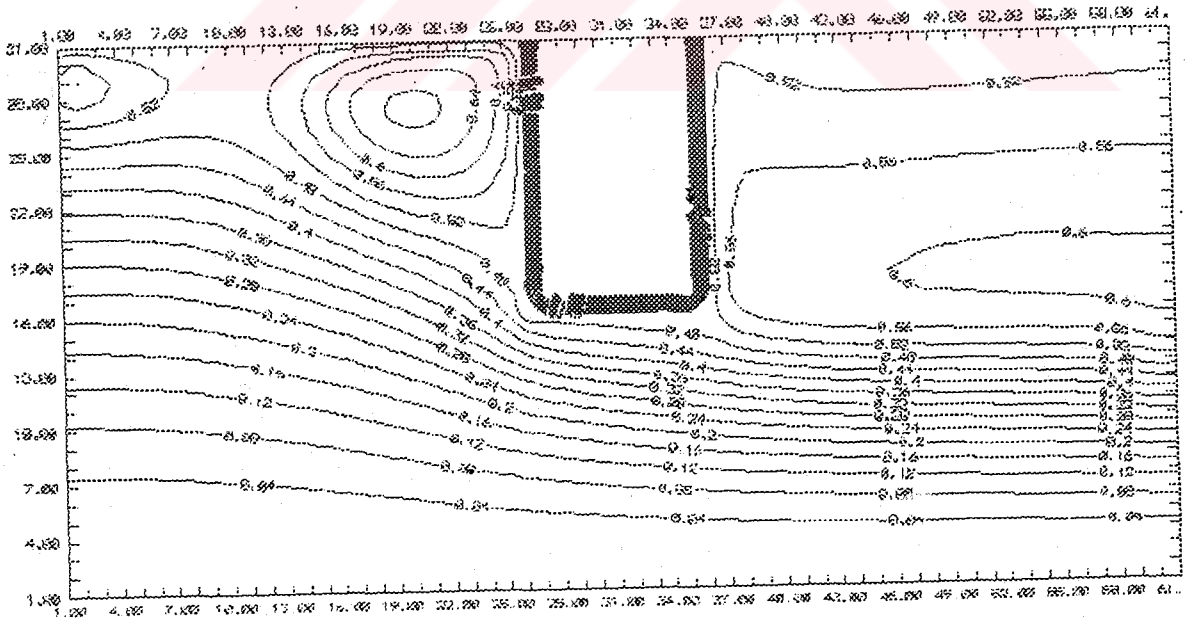


Şekil:7.12 Engelin borunun girişinden uzak olması halinde akım hatları ($L/r_0=1.3$)

Akımın karşılaştığı engelin eninin yani A/r_0 oranının iki farklı değeri için akım hatları Şekil: 7.13 ve Şekil:7.14' de verilmiştir. Akım hatları karşılaştırıldıklarında A/r_0 oranlarının akım hatları üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı görülür.



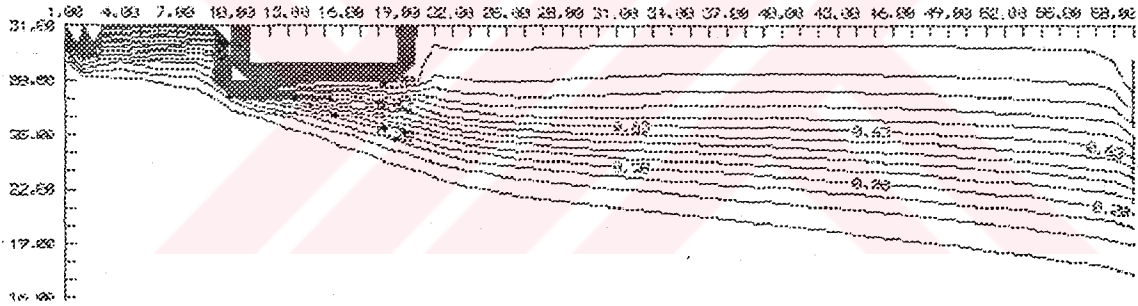
Şekil:7.13 Boru içerisindeki engelin ince seçilmesi durumunda akım hatları ($A/r_0=0.1$)



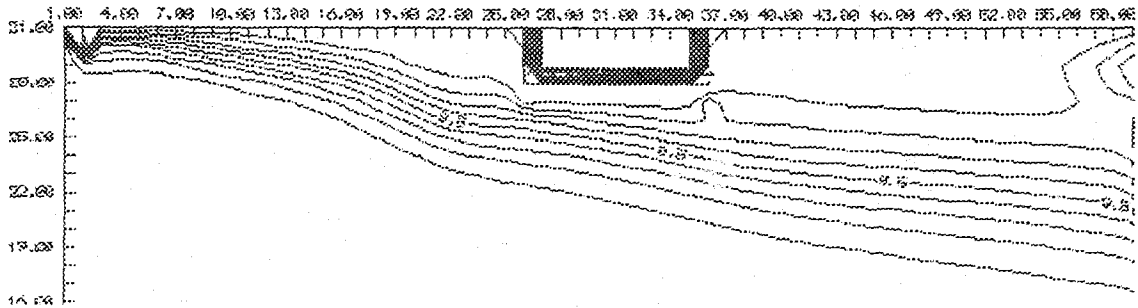
Şekil:7.14 Boru içerisindeki engelin kalın enli olması durumunda akım hatları ($A/r_0=0.3$)

En fazla deformasyon H/r_0 oranının en küçük ve r_d/r_0 oranının en büyük olduğu durumda meydana gelmektedir. Yani engel girişten mümkün olduğu kadar uzakta ve yarıçapa göre oldukça küçük seçilmelidir.

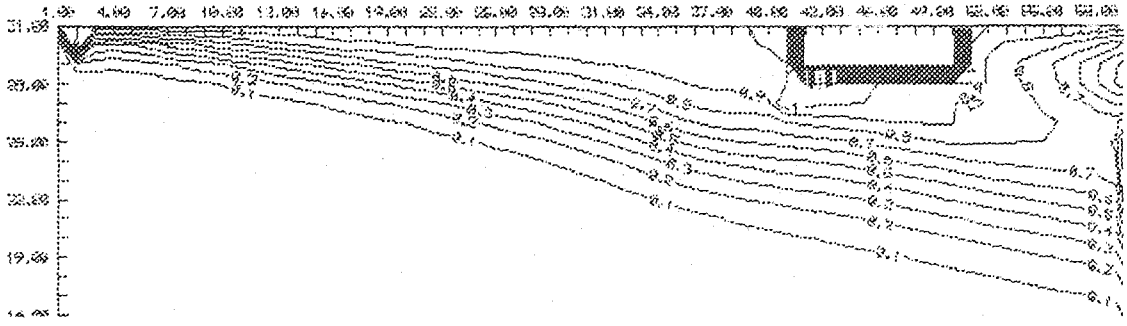
Şekil:7.18, 7.19 ve 7.20 karşılaştırıldığında sıcaklık alanının engelin konumuna göre oldukça değiştiği gözlenmektedir. Engelin girişine yakın olması durumunda hava sıcak engele çarparak ısınmakta ve boru içerisinde ilerlerken tekrar bir miktar ısınmaktadır. $L/r_0=1.3$ oranında boruya soğuk giren hava sıcak çeperden ısı alarak, engelle karşılaştığında 1. duruma göre sıcaklığı daha yüksek bir şekilde çıkışa doğru ilerler. İlk duruma göre daha yüksek sıcaklıkta boruyu terketmektedir. Engelin girişe en uzak olduğu durumda ($L/r_0=1.3$) şekilden de (şekil:7.20) görüleceği gibi, hava ilk iki duruma göre daha yüksek bir sıcaklıkta borudan dışarıya çıkmaktadır. Bu değerlendirmelere göre engelin soğutulması isteniyorsa, borunun girişine yakın ve boruya soğuk olarak giren havanın henüz boru çeperinden ekilenmeden ısınmasından önce engel civarından geçirilerek diğer iki duruma göre daha iyi bir şekilde sağlanabilir.



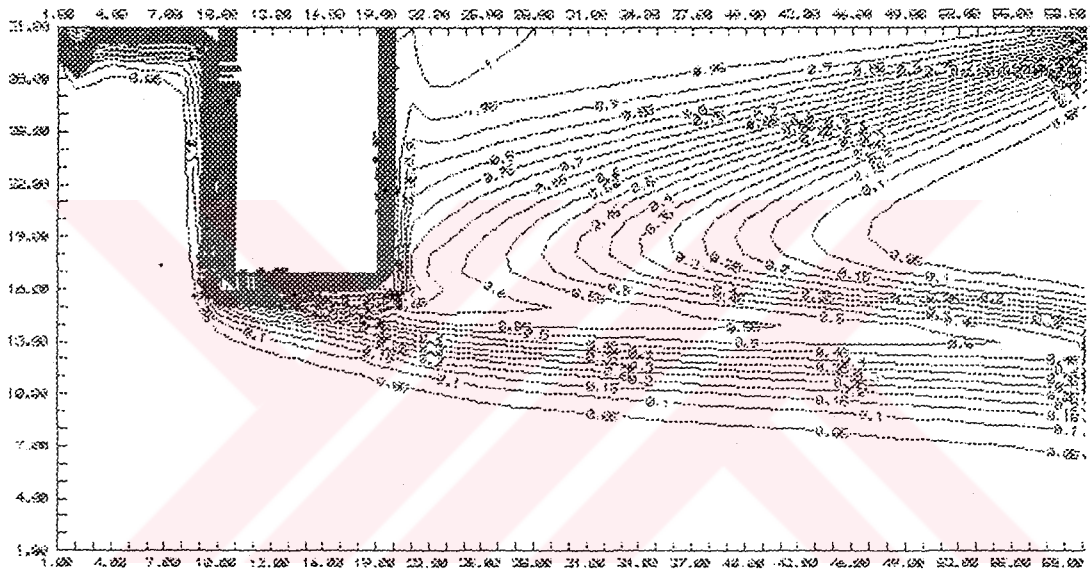
Şekil:7.18 $L/r_0=0.3$ olması durumunda eş-sıcaklık eğrileri ($r_d/r_0= 0.8$)



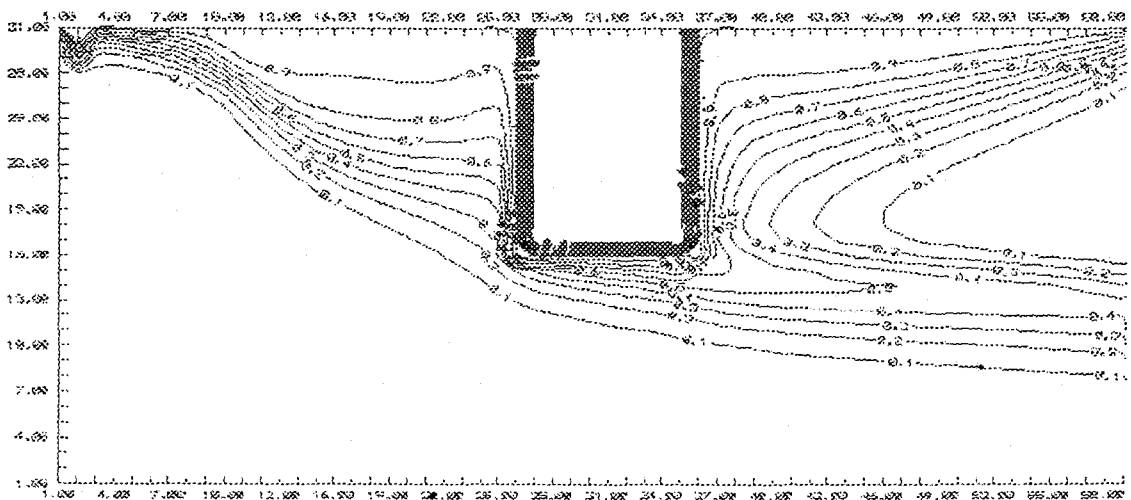
Şekil:7.19 $L/r_0=0.8$ olması durumunda eş-sıcaklık eğrileri ($r_d/r_0= 0.8$)



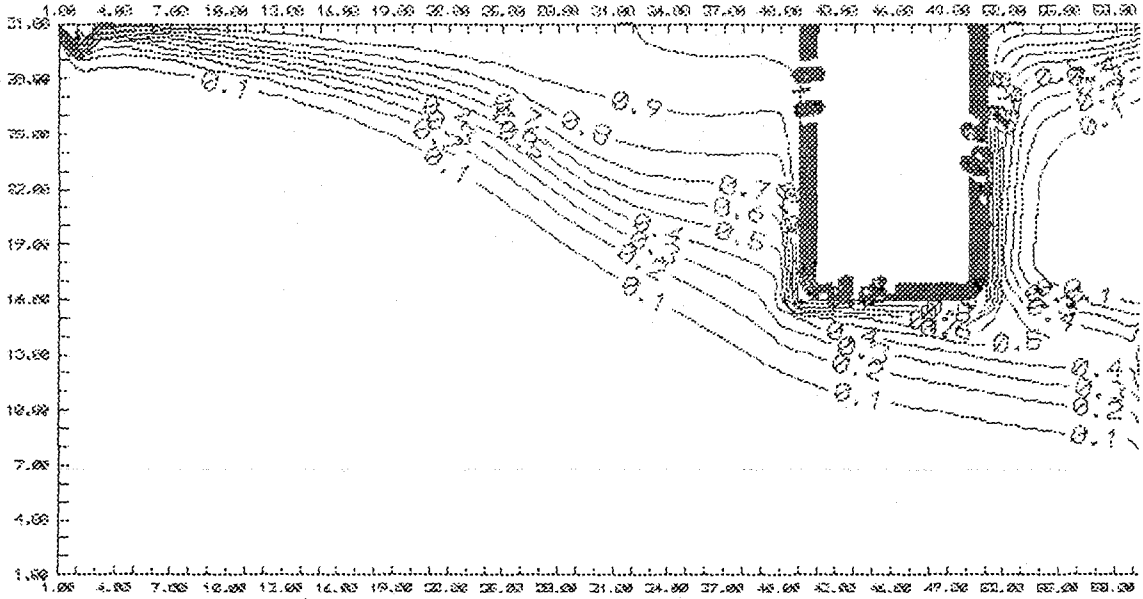
Şekil:7.20 $L/r_0=1.3$ olması durumunda eş-sıcaklık eğrileri ($r_d/r_0=0.8$)



Şekil:7.21 $L/r_0=0.3$ olması durumunda eş-sıcaklık eğrileri ($r_d/r_0=0.5$)



Şekil:7.22 $L/r_0=0.8$ olması durumunda eş-sıcaklık eğrileri ($r_d/r_0=0.5$)



Şekil:7.23 $L/r_0=1.3$ olması durumunda eş-sıcaklık eğrileri ($r_d/r_0=0.5$)

Şekil:21, 22 ve 23' da $r_d/r_0=0.5$ için değişik L/r_0 oranlarında meydana gelen ısı transferi görülmektedir. $r_d/r_0=0.3$ yapılan değişik konumlara göre olan ısı transferine benzer olaylar engelin yüksekliği artırıldığında da görülmektedir.Engelin yüksekliğinin ısı transferini artırdığı burada gözlenebilir.

Nümerik denemeler 61×31 düzgün ızgara sisteminde $\Delta X = \Delta Y$ ile gerçekleştirilmiştir. programın stabilitesi $\Delta T = 10^{-3}$ zaman aralığında iki iterasyon arasında bulunan fonksiyon değerlerinin kontrolü ile sağlandı İki zaman adımı arasında akım fonksiyonu ve sıcaklık için farkların 10^{-4} olması uygun görüldü.

KAYNAKLAR

- Agrawal, A.K., Sengupta, S. (1993), " Laminar Fluid Flow and Heat Transfer in an Annulus With an Externally Enhanced Inner Tube ", Int. J. of Heat and Fluid Flow, Vol.4, No.1, March
- Arıcı, M.E., İçci, A.A. (1997), " İçten periyodik Engelli Borularda Akış ve Isı Transferi Problemlerinin Sayısal Çözümü ", ULIBTK'97, 11.Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 17-19 Eylül 1997, Edirne
- Berlemont, A., Maquet, J., Gouesbet, G. (1992), " Numerical Simulation of Surface Tension and Combined Bouancy-Driven Convection in a Liquid Layer Heated by a Hot Wire ", Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol.35, No.10, pp.2695-2703
- Chang, H.N., Ryu, H.W., Park, P.H. (1987), " Effect of Laminar of Channel Flow on Mass Transfer in a Cavity ", Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol.30, No.10, pp.2137-2149
- Chang, Y., Beris, A.N., Michideles, E.E. (1989), " A Numerical Study of Heat and Monentum Transfer for Bundles in Cross Flow ", Int. J. for Numerical Methods in Fluids ", Vol.9, pp.1381-1394
- Chapra, S.C., Canale, P.R., (1990), Numerical Methods for Engineers, Mc. Graw Hill, New York
- Cheng, C.H., Huy, C.D., Huang, W.H. (1992), " Bouancy Effect on The Heat Convection in Vertical Channels With Fin Arrays at Low Reynolds Numbes ", Int.J. of Heat and Mass Transfer, Vol.35, No.10, pp.2643-2653
- Dağtekin, İ., Öztop, H.F. (2000), " İç içe Yerleştirilmiş Borularda Laminar Akışta Isı Transferinin İncelenmesi ", Turk. J. of Environ. Sci., Vol.24, pp.193-202, TÜBİTAK
- Fang, L.C., Nicolaou, D., Cleaver, J.W. (1999), " Transient Removal of a Contaminated Fluid From a Cavity ", Int. J. of Heat and Fluid Flow, Vol.20, pp.605-613
- Farhanieh, B., Herman, c., Sunden, B. (1993), " Numerical and Experimantal Analysis of Laminar Fluid Flow and Forced Convection Heat Transfer in a Grooved Duct ", Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol.36, No.6 ,pp.1609-1617
- Jaluria, Y., Terrance, E.K. (1986), Computational Heat Transfer, Springer Verlag, Berlin
- Kleinstreuer, C. (1997), Engineering Fluid Dynamics, Cambridge University Press, New York
- Lage, J.L., Began, A., Anderson, L. (1992), " Removal of Contaminant Generated by a Discrete Source in a Slot Ventilated Enclosure ", Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol.3, No.5
- Lee, B.K., Cho, N.H., Cho, Y.D. (1988), " Analysis of Periodically Fully Developed Turbulent Flow and Heat Transfer by k-ε Equation Model in Artificially Roughened Annulus ", Int. J. of Heat And Mass Transfer, Vol.31, No.9, p.1797-1806
- Patankar, S.V., Rowley, G.J. (1984), " Analysis of Laminar Flow and Heat Transfer in Tubes With Internal Circumferential Fins ", Int.J.of Heat nad Mass Transfer, Vol.27, No.4, pp.553-560
- Roache, J.P. (1976), Computational Fluid Dynamics, New Mexico
- Shub, L.I. (1993), " Calculation of Turbulent Flow and Heat Transfer in a Tube With a

Periodically Varying Cross-Section ", Int. J. of Heat and Mass Transfer ", Vol.36, No.4, pp. 1085-1095

Vadasz, P., Braester, C., Bear, J. (1993), " The Effect of Perfectly Conducting Side Walls on Natural Convection in Porous Media ", Int.J. of Heat and Mass Transfer, Vol.36, No.5, pp.1159-1170

Webb, B.W., Ramadhyani, S. (1985), " Conjugate Heat Transfer in a Channel with Staggered Ribs ", Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol.28, pp.1679-1687



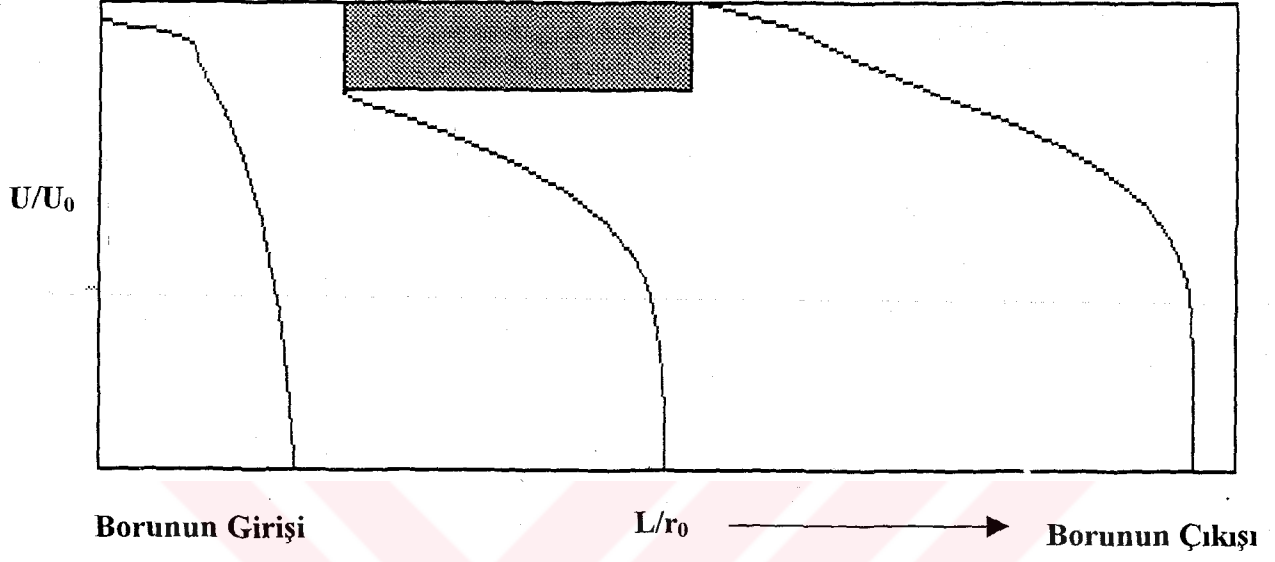
EKLER

Ek 1 Borunun girişinde, orta kısmında ve çıkış bölgesindeki hız profili

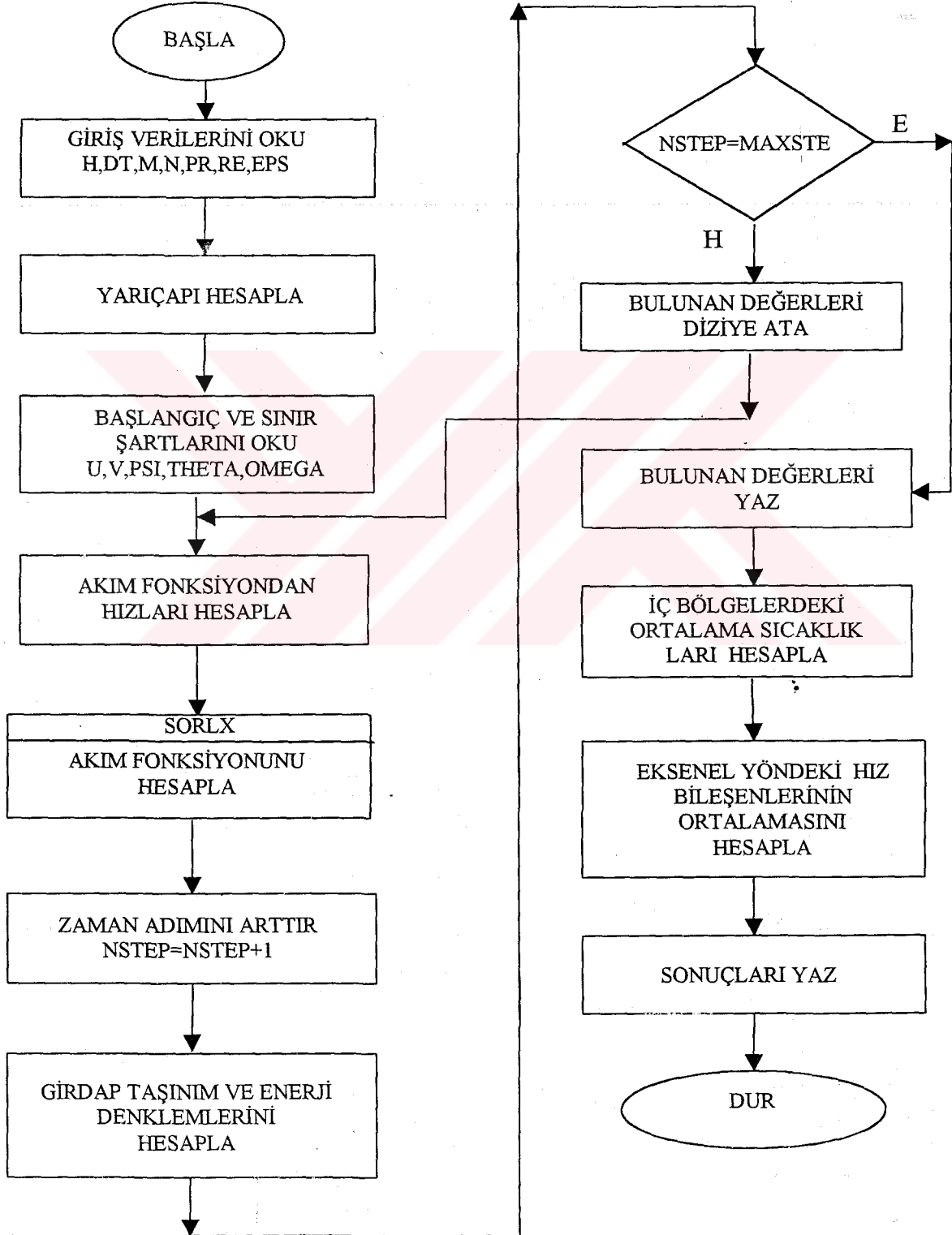
Ek:2 Bilgisayar programının algoritması



Ek:1 Borunun girişinde, orta kısmında ve çıkış bölgesindeki hız profili



Ek:2 Bilgisayar programının algoritma şeması



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	20.04.1975	
Doğum yeri	Muş	
Lise	1991-1994	Gemlik Lisesi
Lisans	1994-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Mak.Fak. Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1998-2001	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnş.Müh.

Çalıştığı kurum(lar)

1998-1999	DMT.Ltd Şti.(Bursa)
2000-Devam ediyor	YTÜ Mak.Fak. Gemi İnş. Müh.Böl. Araştırma Görevlisi

