ResearchGate

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/273203075

BORU VE SİLİNDİRİK KANALLARDAKİ ENGELLERİN AKIM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN SİMÜLASYONU

Article · March 2002

CITATIONS
0

READS
95

1 author:



Seyfettin Bayraktar
Yildiz Technical University
39 PUBLICATIONS **70** CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:

TWO PHASE FLOW SEPARATION IN A HORIZONTAL SEPARATOR BY INLET DIVERTER PLATE IN OILFIELD INDUSTRIES View project

All content following this page was uploaded by Seyfettin Bayraktar on 12 March 2015.

The user has requested enhancement of the downloaded file.

YTÜD 2002/3

ARAŞTIRMA MAKALESİ

BORU VE SİLİNDİRİK KANALLARDAKİ ENGELLERİN AKIM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN SİMÜLASYONU

Seyfettin BAYRAKTAR

Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Gemi İnşaatı Mühendisliği Bölümü, Beşiktaş-İSTANBUL

Geliş Tarihi: 01.11.2001

SIMULATION OF EFFECTS OF OBSTACLES IN PIPES AND CYLINDRICAL DUCTS ON FLOW

SUMMARY

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.

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 çözdürülmüştür. 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 kabuluyle, 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

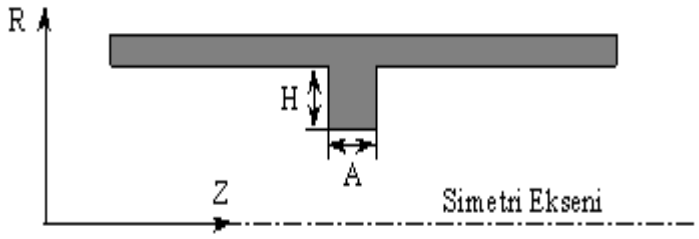
1. GİRİŞ

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. 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 çalışmaların yapıldığı, nümerik çalışmaların ise çok yaygın olmadığı saptanmıştır. Silindirik boru ve kanallardaki akış ve ısı transferi problemlerini değişik parametreler için inceleyen bazı araştırmacılar arasında Agrawal et al.[1], Arıcı vd.[2], Chang et al.[3] ve Patankar et al.[4] sayılabilir. Bu çalışmalardan bazıları nümerik [5], [6], [7] bazıları ise hem nümerik hem de deneysel olarak yapılan çalışmalardır. [8], [9], [10]
Bu çalışmada sadece boru içindeki akımların karşılaştığı engellerin akım üzerindeki etkileri silindirik koordinatlar kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir

2. MATEMATİK MODEL

Fiziksel model olarak simetriden dolayı yarım silindir şeklindeki akım yolunun üzerinde bulunan bir engel şekil:1'de görülebilir.



Şekil 1. Problemin geometrisi

Akımı modelleyen denklemler silindirik koordinatlarda laminar, sıkıştırılamaz, sabit viskoziteli ve zamana bağlı süreklilik denklemi, momentum denklemleri ve enerji denklemidir[11].

Süreklilik Denklemi,

$$\frac{1}{r}\frac{\delta}{\delta r}(rV_r) + \frac{\delta}{\delta z}(V_z) = 0 \qquad (2.1)$$

Momentum Denklemi,

$$\frac{\delta V_r}{\delta t} + V_r\frac{\delta V_r}{\delta r} + V_z\frac{\delta V_r}{\delta z} = -\frac{1}{\rho}\left(\frac{\delta p}{\delta r}\right) + \nu\left(\frac{\delta^2 V_r}{\delta r^2} + \frac{1}{r}\frac{\delta V_r}{\delta r} - \frac{V_r}{r^2} + \frac{\delta^2 V_r}{\delta z^2}\right) \qquad (2.2a)$$

$$\frac{\delta V_z}{\delta t} + V_r\frac{\delta V_z}{\delta r} + V_z\frac{\delta V_z}{\delta z} = -\frac{1}{\rho}\left(\frac{\delta P}{\delta z}\right) + \nu\left(\frac{\delta^2 V_z}{\delta r^2} + \frac{1}{r}\frac{\delta V_z}{\delta r} + \frac{\delta^2 V_z}{\delta z^2}\right) \qquad (2.2b)$$

Enerji Denklemi,

$$\frac{\delta T}{\delta t} + V_r \frac{\delta T}{\delta r} + V_z \frac{\delta T}{\delta z} = \frac{k}{\rho C_p}\left(\frac{\delta^2 T}{\delta r^2} + \frac{1}{r}\frac{\delta T}{\delta r} + \frac{\delta^2 T}{\delta z^2}\right) \tag{2.3}$$

Girdap Taşınım Denklemi,

$$\frac{\delta \omega}{\delta t} + \frac{\delta(\omega V_r)}{\delta r} + \frac{\delta(\omega V_z)}{\delta z} = \nu\left(\frac{\delta^2 \omega}{\delta r^2} + \frac{1}{r}\frac{\delta \omega}{\delta r} - \frac{\omega}{r^2} + \frac{\delta^2 \omega}{\delta z^2}\right) \tag{2.4}$$

Akım Fonksiyonu,

$$r\omega = \left(\frac{\delta^2 \psi}{\delta r^2} - \frac{1}{r}\frac{\delta \psi}{\delta r} + \frac{\delta^2 \psi}{\delta z^2}\right) \tag{2.5}$$

Boyutsuzlaştırma,

Bilindiği gibi boyut analizi verilen fiziksel bir olaya etki eden değişkenlerin sayısını azaltmaya yarayan kısa ve basit bir tekniktir. Eğer söz konusu olay (n) adet boyutlu değişkene bağlı ise boyut analizi yaparak bunu (k) adet boyutsuz değişkene indirgemek mümkündür. Bu işlem yardımıyla (n-k=1,2,3...) sonucu sadece temel boyutlara bağlı olarak yazmak mümkün olabilir. Bu çalışmada temel boyutlarımız akışkanın boruya giriş hızı olan U_0, borunun yarıçapı r_0 ve akışkanın boruya girerken sahip olduğu sıcaklık olan T_0' dır. Dolayısıyla diğer değişkenleri bu değişkenler cinsinden ifade edebiliriz.

Boyutsuz Büyüklük ve Sayılar,

$R = \frac{r}{r_0}$ $\quad Z = \frac{z}{r_0}$ $\quad U = \frac{V_r}{U_0}$ $\quad V = \frac{V_z}{U_0}$ $\quad \theta = \frac{T - T_0}{T_1 - T_0}$

$\Gamma = \frac{tU_0}{r_0}$ $\quad \Omega = \frac{\omega r_0}{U_0}$ $\quad \Psi = \frac{\psi}{U_0 r_0^2}$ $\quad Re = \frac{U_0 r_0}{\nu}$, $\quad Pr = \frac{C_p \mu}{k}$

Bu boyutsuz büyüklükler ve boyutsuz sayılar 2. Bölümde verilen denklemlerde yerlerine konulurlarsa sırasıyla boyutsuz girdap taşınım (denklem 2.6), boyutsuz enerji (denklem 2.7), ve boyutsuz akım fonksiyonu (denklem 2.8) denklemi elde edilir.

$$\frac{\delta \Omega}{\delta \Gamma} = -\frac{\delta(\Omega U)}{\delta R} - \frac{\delta(\Omega V)}{\delta Z} + \frac{1}{\mathrm{Re}}\left(\frac{\delta^2 \Omega}{\delta R^2} + \frac{1}{R}\frac{\delta \Omega}{\delta R} - \frac{\Omega}{R^2} + \frac{\delta^2 \Omega}{\delta Z^2}\right) \tag{2.6}$$

$$\frac{\delta \theta}{\delta \Gamma} = -\frac{\delta(\theta U)}{\delta R} - \frac{\delta(\theta V)}{\delta Z} + \frac{1}{\mathrm{Re}\,\mathrm{Pr}}\left(\frac{\delta^2 \theta}{\delta R^2} + \frac{1}{R}\frac{\delta \theta}{\delta R} + \frac{\delta^2 \theta}{\delta Z^2}\right) \tag{2.7}$$

$$R\Omega = \left(\frac{\delta^2 \Psi}{\delta R^2} - \frac{1}{R}\frac{\delta \Psi}{\delta R} + \frac{\delta^2 \Psi}{\delta Z^2}\right) \tag{2.8}$$

3. SAYISAL ÇÖZÜM

3.1. Denklemlerin Ayrıklaştırılması

Denklemlerin ayrıklaştırılması için merkezi [12] ve upwind fark şemaları kullanılmıştır.

$$U_f = \frac{1}{2}(U_{i+1,j} + U_{i,j}) \, , \, U_b = \frac{1}{2}(U_{i,j} + U_{i-1,j}) \, , \, V_f = \frac{1}{2}(V_{i+1,j} + V_{i,j}) \, , \, V_b = \frac{1}{2}(V_{i,j} + V_{i-1,j}) \qquad (3.1)$$

Denklem (2.6) ve (2.7)' in sol tarafları ileri farklar yöntemi ile ayrıklaşırılarak şu şekilde yazılır.

$$(\frac{\delta P\Omega}{\delta \Gamma})_{i,j} = \frac{1}{\Delta \Gamma}\left[(P\Omega_{i,j})_{\Gamma+\Delta\Gamma} - (P\Omega_{i,j})_{\Gamma} \right]$$

$$(\frac{\delta P\theta}{\delta \Gamma})_{i,j} = \frac{1}{\Delta \Gamma}\left[(P\theta_{i,j})_{\Gamma+\Delta\Gamma} - (P\theta_{i,j})_{\Gamma} \right]$$

(2.6) ve (2.7) numaralı denklemlerin sağ tarafındaki birinci ve ikinci terimler upwind, diğer terimler merkezi farklar yöntemi ile ayrıklaştırılarak ve (3.3) ile verilmiş olan yatay ve düşey yöndeki hız bileşenlerinin ortalamaları kullanılarak herhangi bir i,j noktası için aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$P\Omega'_{i,j} = P\Omega_{i,j} + \frac{\Delta\Gamma}{2H}\left[-P\Omega_1 - P\Omega_2 + \frac{1}{Re}\left(\frac{2P\Omega_3}{H} + \frac{P\Omega_4}{H} - \frac{2P\Omega_5}{H} \right)\right] \qquad (3.2)$$

$$P\theta'_{i,j} = P\theta_{i,j} + \frac{\Delta\Gamma}{2H}\left[-P\theta_1 - P\theta_2 + \frac{1}{RePr}\left(\frac{2P\theta_3}{H} + \frac{P\theta_4}{H} \right)\right] \qquad (3.3)$$

3.2. Akım Fonksiyonun Çözümü

Boyutsuz akım fonksiyonu denklemi 5- Nokta için " Sonlu Farklar Yöntemi "kullanılarak ikinci dereceden fark şeması yardımıyla ayrıklaştırılmıştır. Bu denklem Roache [13]' un önerdiği şekilde Successive Over Relaxation - SOR - metodu ile çözülebilir.

$$\Omega_{i,j} = (\frac{1}{H^2})\left[\Psi_{i-1,j} - 4\Psi_{i,j} + \Psi_{i+1,j} + (1-\frac{H}{2R})\Psi_{i,j+1} + (1+\frac{H}{2R})\Psi_{i,j-1} \right] \qquad (3.4)$$

3.3. Sınır Koşulları

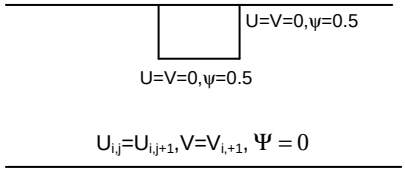
Boru içerisinden geçen akışkanın hareketini modelleyen girdap taşınımı, enerji denklemleri zamana göre parabolik, uzay koordinatlarında eliptik, akım fonksiyonu ise silindirik koordinatlarda eliptik karakterdedir. Bu durumda, bu denklemlerin ve akım fonksiyonunun çözümü için başlangıç ve sınır koşullarına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

3.3.1. Sınırlarda Hız ve Akım Fonksiyonu

Tüm yatay ve düşey çeperlerin Jaluria (1986)' ın önerdiği yatay ve düşey çeperlerin kaymasız ve geçirimsiz olduğu kabul edilerek, bu sınırlarda akım fonksiyonu sabit (Ψ=sbt) yapacak şekilde U=V=0 kabul edilmiştir. [14]

$$U=\frac{1}{R}\frac{\delta\Psi}{\delta Z}=0 \text{ ise } \psi=\text{sabit}, \quad V=-\frac{1}{R}\frac{\delta\Psi}{\delta R}=0 \text{ ise } \psi=\text{sabit}$$

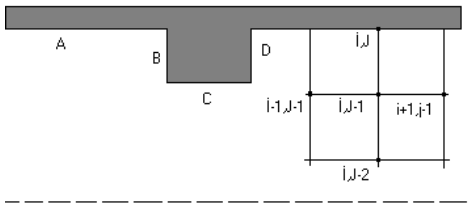
Bu durumda bütün alt çeperde $\Psi=0$, üst çeperde simetriden dolayı $\Psi=0.5$ olarak kabul edilmiştir.Akımın giriş kanalından yatay eksene paralel olarak girdiği ve giriş kesitinde akımın düzgün hız profiline sahip olduğu kabul edildiğinden girişte boyutsuz yatay hız bileşeni U=1 olarak kabul edilmiştir. Aynı şekilde çıkıştaki yatay hız bileşeni için hızların sabit olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 2. Sınır değerleri

3.3.2. Sınırlarda Girdap

Hız profilinin düzgün olmasından dolayı girişteki girdap değeri için Ω=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 akım fonksiyonu denklemi kullanılarak hesap yapılır.



Şekil 3. Sayısal çözümde kullanılan ayrıklaştırma noktaları (A çeperi için)

Bu denklemin sağ tarafı bir Laplace denklemidir ve aşağıda gösterilmiş olan sistemde i,j noktasına komşu 4 nokta için aşağıdaki gibi yazılır.[3]

$$\Omega=(\alpha_1\Psi_{I,j}+\alpha_2\Psi_{I,j-1}+\alpha_3\Psi_{I,j-2}+\alpha_4\Psi_{I-1,j-1}+\alpha_5\Psi_{I+1,j-1}) \qquad (3.5)$$

α katsayılarının belirlenmesi için bu denklemdeki her bir akım fonksiyonu (i,j) noktası civarında Taylor serisine açıldıktan [10] sonra denklemde yerine konursa çeperler için girdap denklemleri bulunur. Bunlar,

A ve C çeperleri için girdap denklemi;

$$\Omega = \frac{1}{2RH}\left[-\left(\frac{3}{R}+\frac{1}{H}\right)\Psi_{i,j} + \left(\frac{4}{R}-\frac{4}{H}\right)\Psi_{i,j-1} + \left(\frac{1}{H}-\frac{1}{R}\right)\Psi_{i,j-2} \right. \quad \left. + \frac{1}{2RH^2}\left(\Psi_{i+1,j-1}+\Psi_{i-1,j-1}\right)\right. \tag{3.6}$$

B Çeperi için girdap denklemi;

$$\Omega = \frac{1}{RH^2}\left(-\Psi_{i,j} + \Psi_{i-1,j+1} - \Psi_{i-1,j} + \Psi_{i-1,j-1} - \frac{1}{2}\Psi_{i-2,j}\right) + \frac{1}{2HR^2}\left(-\Psi_{i-1,j+1} + \Psi_{i-1,j-1}\right) \tag{3.7}$$

D Çeperi için girdap denklemi;

$$\Omega = \frac{1}{RH^2}\left(-\Psi_{i,j} + \Psi_{i+1,j+1} - \Psi_{i+1,j} + \Psi_{i+1,j-1} - \frac{1}{2}\Psi_{i+2,j}\right) + \frac{1}{2HR^2}\left(-\Psi_{i+1,j+1} + \Psi_{i+1,j-1}\right) \tag{3.8}$$

3.3.3. Sınırlarda Sıcaklık

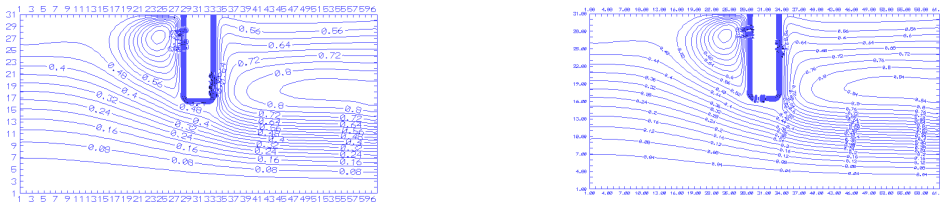
Borunun üst çeperinin ve engelin bütün çeperlerinin sabit sıcaklıkta olduğu kabul edildiğinden

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

4. SONUÇLAR

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**.**

Şekil5.1'de borudan hava, Şekil5.2'de borudan su ve Şekil 5.3'de ise borudan kullanılmamış motor yağının Reynolds sayısının 50 ve 500 değerlerinde geçtiği kabuluyle elde edilen akım hatları görülmektedir.



a)Re=500 b)Re=50

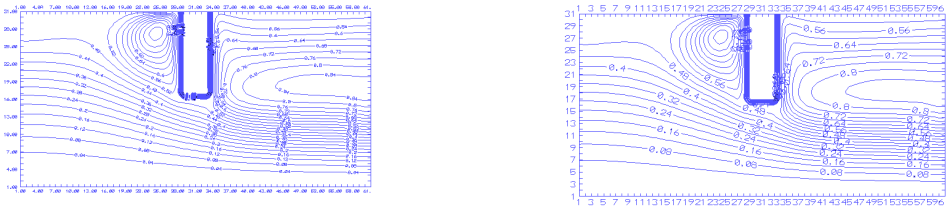
Şekil 5.1 Borudan havanın değişik Re sayılarında geçmesi halinde akım hatları

Şekillerden de görülebileceği gibi, Pr sayısının çok küçük ve çok büyük değerlerinde Re sayısının akıma olan etkisi ihmal edilebilecek mertebede olup, su (Pr=7.0) durumunda akım hatları oldukça farklılaşmıştır. Re sayısının 50 değerinde gerek engel önünde gerek engel arkasında akışkan yığılmaları gerçekleşmektedir.



a)Re=500 b) Re=50

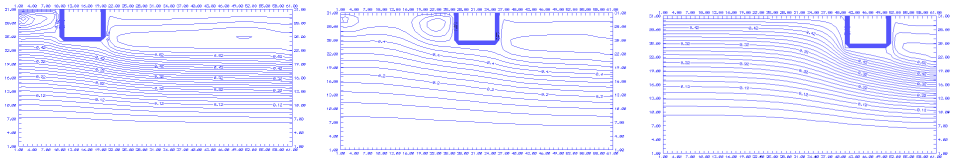
Şekil 5.2 Borudan suyun değişik Re sayılarında geçmesi halinde akım hatları



a)Re=500 b)Re=50

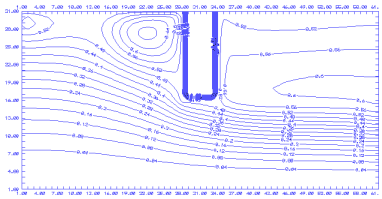
Şekil 5.3 Borudan motor yağının değişik Re sayılarında geçmesi halinde akım hatları

Engelin konumunun yani boru girişine olan uzaklığının akımı ne şekilde etkilediği araştırıldığında 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. Akımın karşılaştığı engelin eninin yani A/r_0 oranının iki farklı değeri için akım hatları Şekil 5.7' de verilmiştir. Akım hatları karşılaştırıldıklarında A/r_0 oranlarının akım hatları üze]rinde kayda değer bir etkisinin olmadığı görülür.

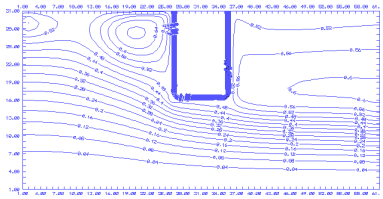


a) L/r_0=0.3 b) L/r_0=0.8 c L/r_0=1.3

Şekil 5.4 Engelin borunun a) Girişine, b) Ortasına, c) Çıkışına yakın yerleştirilmesi



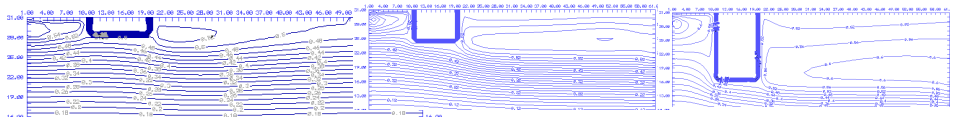
a) (A/r_0= 0.1)



b) (A/r_0= 0.3)

Şekil 5.5 Boru içindeki engelin a) İnce , b) Kalın olması halinde akım hatları

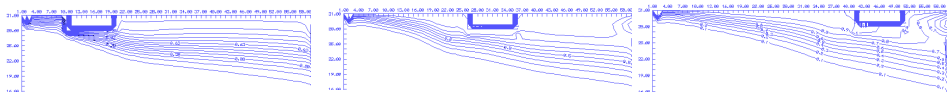
Engelin yüksekliğinin akım hatları üzerindeki etkisi ise aşağıda gösterilmiştir. Şekil 5.6'de Görüldüğü gibi en fazla deformasyon H/r_0 oranının en küçük ve r_d/r_0 oranının en büyük olduğu durumda meydana gelmektedir. Yani engel girişten mümkün olduğu kadar uzakta ve yarıçapa göre oldukça küçük seçilmelidir**.**



a) r_d/r_0= 0.8 b) r_d/r_0= 0.7 c)r_d/r_0= 0.5

Şekil 5.6 Boru içerisindeki engelin yüksekliğinin akım hatları üzerindeki etkisi

Engelin sıcaklık alanı üzerindeki etkileri Şekil:5.7'dan görülebilir. Şekiller 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 (Şekil5.7) 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.



a) L/r_0=0.3 b) L/r_0=0.8 c) L/r_0=1.3

Şekil 5.7 Boru içerindeki engelin konumunun sıcaklık hatları üzerindeki etkisi

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 kontrolu ile sağlandı İki zaman adımı arasında akım fonksiyonu ve sıcaklık için farklarının 10^{-4} olması uygun görüldü.

SEMBOLLER

C_p	Sabit basınçta özgül ısı (J/kg ^0C)
i,j	Yatay ve düşey yöndeki noktalar
k	Isı transfer katsayısı (W/m ^0C)
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)
ψ	Akım fonksiyonu (m^3 / s)
Ψ	Boyutsuz akım fonksiyonu
ω	Girdap fonksiyonu (1/s)
Ω	Boyutsuz girdap fonksiyonu
Ω'	$\triangle$T zaman adımı sonundaki boyutsuz girdap fonksiyonu
μ	Dinamik viskozite (kg/ms)
ν	Kinematik viskozite (m^2/s)
ρ	Yoğunluk (kg/m^3)
θ	Boyutsuz sıcaklık

KAYNAKLAR

[1] Agrawal, A.K.,Sengupta,S.,“ 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,1993

[2] Arıcı, M.E., İğci, A.A., " İçten periyodik Engelli Borularda Akış ve Isı Transferi Problemlerinin Sayısal Çözümü ", ULIBTK'97, 11.Ulusal Isı Bilimi veTekniği Kongresi, Edirne,1997

[3] Chang, Y., Beris, A.N., Michideles, E.E. , “ A Numerical Study of Heat and Momentum Transfer for Bundles in Cross Flow ”, Int. J. for Numerical Methods in Fluids ”, Vol.9, pp.1381-1394,1989

[4] Patankar, S.V., Rowley, G.J. , " Analysis of Laminar Flow and Heat Transfer in Tubes With İnternal Circumferential Fins ", Int.J.of Heat nad Mass Transfer, Vol.27, No.4, pp.553-560, 1984

[5] Berlemont, A., Maquet, J., Gouesbet, G. , " 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.2695-2703,1992

[6] Cheng, C.H., Huy, C.D., Huang, W.H. , " Bouancy Effect on The Heat Convection in Vertical Channels With Fin Arrays at Low Reynolds Numbers ", Int.J. of Heat and Mass Transfer, Vol.35, No.10, pp.2643-2653, 1992

[7] Shub L.I, " Calculation of Turbulant Flow And Heat Transfer In a Tube With a Periodically Varying Section " , Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol.36, No.4, pp.1085-1095],1993

[8] Chang, H.N., Ryu, H.W., Park, P.H., " Effect of Laminar of Channel Flow on Mass Transfer in a Cavity ", Int. J. of Heat and Mass Transfer, Vol.30, No.10, pp.2137-2149,1987

[9] Farhanieh, B., Herman, c., Sunden, B. , " 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, 1993

[10] Jaluria, Y., Terrance, E.K., " Computational Heat Transfer ", Springer Verlag, Berlin, 1986

[11] Chapra, S.C., Canale, P.R.," Numerical Methods For Engineers ", Mc Graw Hill, New York, 1990

[12] Kleinstreuer, C. ," Engineering Fluid Dynamics ", Cambridge University Press, New York, 1997

[13] Roache, J.P. ," Computational Fluid Dynamics, New Mexico" , 1976

[14] Lee, B.K., Cho, N.H., Cho, Y.D. , " 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, 1988

View publication stats