Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi 21, 2, 2001
J. of Thermal Sciences and Technology
© 2001 TIBTD Printed in Turkey
ISSN 1300-3615

İÇİNE AYIRICI YERLEŞTİRİLMİŞ YAN CİDARI HAREKETLİ BİR OYUKTA LAMİNER AKIŞ

Hakan F. ÖZTOP[1] ve İhsan DAĞTEKİN[2]
[1,2]Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, 23119, ELAZIĞ
[1]Tel: 0 (424) 2370000 / 6331, Fax: 0 (424) 2415526, E-mail: hfoztop@firat.edu.tr
[2]Tel: 0 (424) 2370000 / 6077, Fax: 0 (424) 2415526, E-mail: hfidagtekin@firat.edu.tr

(Geliş Tarihi : 07.01.2002)

Özet: Bu çalışmada, yan cidarı sabit hızla hareket eden bir oyukta laminer akış sayısal olarak incelenmiştir. Süreklilik ve iki boyutlu Navier-Stokes denklemlerinin çözümü için şaşırtmasız (non-staggered) grid dağılımı kullanılarak sonlu fark denklemleri elde edilmiş ve SIMPLEM algoritma ile TDMA yardımıyla iteratif olarak çözülmüştür. Hesaplamalar Reynolds sayısının 100<Re<1000 değerleri ve farklı ayırıcı boyutları için elde edilmiştir. Çalışma akışkanı olarak hava kullanılmıştır. Reynolds sayısının artmasına bağlı olarak, ayırıcının akım alanını önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Hareketli plakanın yönünün aşağı doğru olması durumunda akış alanı iki bölgeye ayrılmış bir biçim almaktadır. Ayırıcı konumunun akım alanı üzerinde önemli olduğu, özellikle ayırıcının hareketli plakaya yaklaşması durumunda akımın değiştiği gözlenmiştir.
Anahtar Kelimeler : Oyuk Akışı, Laminer Akış, Bölünen Oyuk, Ayırıcı

LAMINAR FLOW WITHIN A DIVIDER LOCATED LID DRIVEN CAVITY

Abstract: In this study, laminar flow in a cavity with moving left wall has been investigated numerically. For the solution of the two dimensional Navier-Stokes equations and continuity, finite difference equations were obtained using a non-staggered grid arrangement and resulting equations were solved iteratively with the aid of the TDMA (Three Dimensional Matrix Algorithm) using SIMPLEM (Semi Implicit Pressure Linked Equation Modified) algorithm. Computations were performed in the range of 100<Re<1000 values and for different divider dimensions. As the working fluid air was used. Depending on Reynolds number it is found that the existence of divider affect the flow field considerably. In the case where the direction of moving plate is downwards the flow forms two separate flow regions. It is observed that the position of divider has significant effect on the flow especially if block approaches the moving wall.
Key word: Cavity Flow, Laminar Flow, Divided Cavity, Divider

SEMBOLLER

φ	Genel bağımlı değişken
ψ	Akım fonksiyonu, m^2/s
ω	Girdaplılık, m^2/s
ρ	Yoğunluk, kg/m^3
ν	Kinematik viskozite, m^2/s
A, B	Katsayılar
e,w,n,s	Kontrol hacim yüzeyleri
E,W,N,S	Komşu düğüm noktaları
h	Ayırıcı yüksekliği, m
H	Oyuk yüksekliği, m
k	İterasyon sayısı
L	Hareketli cidar ile ayırıcı arasındaki mesafe
p	Boyutsuz basınç
P	Ana düğüm noktası
Pe	Hücre Peclet sayısı
Re	Reynolds sayısı
t	Ayırıcı kalınlığı
u, v	Boyutsuz eksenel ve radyal hız
U	Eksenel hız, m/s
V	Radyal hız, m/s
V_m	Hareketli cidarın hızı, m/s
Y/H	Boyutsuz düşey mesafe
X,Y	Koordinatlar
ε	Yakınsama kriteri

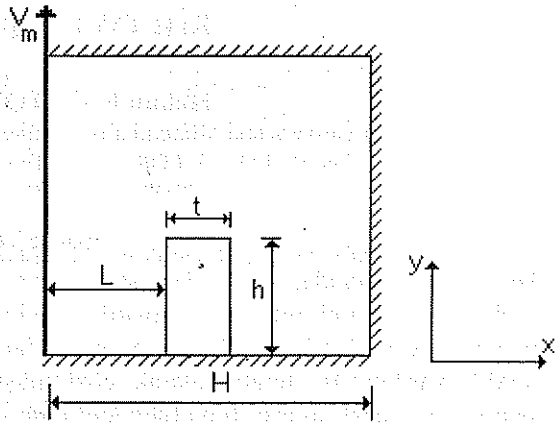
GİRİŞ

Mühendislik uygulamalarında, akışkan akışının hız, basınç, akım çizgisi, girdaplılık gibi karakteristiklerin belirlenmesi hem işletme esnasında hem de tasarımda büyük avantajlar sağlamaktadır. Bir cidarı sabit hızlı olan oyuk problemlerine, havalandırma ve klima sistemlerinde, taşıt aerodinamiğinde, elektronik elemanların soğutulmasında, metallerin yüzey kaplamasında vb. rastlanmaktadır. Bu nedenle bu tip geometrilerden akışın çözümü özellikle tasarım açısından büyük faydalar sağlamaktadır.

Oyuk geometrisi için, akış karakteristikleri sayısal ve deneysel olarak bir çok çalışmada incelenmiştir. Aydın (1999), oyuk geometrisinin sol düşey cidarına sabit hız sınır şartı vermek suretiyle akışı incelemiştir. Bunun yanında, akan akışkan sağ düşey cidara göre daha sıcak ya da daha soğuk sabit sıcaklık sınır şartı verilerek, hem doğal taşınım hem de zorlanmış taşınımı içeren karma (doğal ve zorlanmış) taşınım problemini çözmüştür. Çalışmada, akım fonksiyonu ve açısal hız yaklaşımı kullanılarak çözüm yapılmıştır. Sahan vd. (1998), elektronik chip devre modelini esas alarak bir biri ardına dizili dikdörtgen ayırıcılar üzerinden laminer akışı zamana bağlı olarak incelemişlerdir. Dağtekin vd. (1997), üst kısmı atmosfere açık içi boş bir oyukta SIMPLE (Semi Implicit Pressure Linked Equation) ve SIMPLEM (SIMPLE - Modified) algoritmalarını karşılaştırmak amacıyla bir çalışma yapmış ve SIMPLEM algoritma ile çözümünün daha iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuşlardır. Iwatsu vd. (1992), üst kısmında sinüsoidal bir fonksiyonla eksenel hız dağılımı tanımlanmış, cidarları farklı sıcaklıklara sahip oyuk içerisindeki akışı incelemişlerdir. Iwatsu vd. (1993), üst kısmı atmosfere açık, sabit hız bulunan üç boyutlu bir oyukta doğal taşınım ve zorlanmış taşınımın bir arada olduğu karışık taşınım problemini sayısal olarak çözmüşlerdir.

İçerisine dikdörtgen ayırıcı yerleştirilmiş aralıklarda doğal taşınımla ısı transferi ve akışkan akışını incelemek amacıyla sayısal ve deneysel çalışmalar yapılmıştır (Zimmerman ve Acharya, 1987). Farklı cidar sıcaklıklarına sahip kapalı hacim içerisinde sıcaklık farkı ve kaldırma kuvvetlerinden dolayı oluşan akışkan hareketine, dikdörtgen ayırıcıların etkisi incelenmiştir. Ayırıcının, iletimli veya yalıtımlı olması durumuna göre Nusselt sayısı değerlerinde, artan Rayleigh sayısı ile birlikte artış gözlenmiştir. Ayrıca, dikdörtgen ayırıcıların, oyuk içerisindeki dönme merkezi yerini ve büyüklüğünü etkilediği sonucunu elde etmişlerdir.

İncelenen problemin fiziksel geometrisi Şekil 1'de detaylı olarak gösterilmiştir. Sol cidarı sabit hareketli bir cidardan oluşan kare oyuğun tabanına bir ayırıcı yerleştirilmiştir. Ayırıcı bloğun boyutları, hareketli cidarın yönüne bağlı olarak bloğun akış alanı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.



Şekil 1. İçine ayırıcı yerleştirilmiş oyuk için geometri ve koordinat sistemi

Bu çalışmada, literatürde verilen çalışmalardan farklı olarak, değişik geometrik oranlarda, dikdörtgen ayırıcı yerleştirilmiş ve cidar hareketinin aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya olması durumunda bir oyuk içerisinde meydana gelen akışın karakteristikleri sayısal olarak incelenmiştir. Hesaplamalar, Reynolds sayısının $100<Re<1000$ değerleri için elde edilmiştir. Karşılaştırma yapmak amacıyla boş oyuk geometrisi için de hesaplamalar yapılmış ve literatürden elde edilebilen değerlerle karşılaştırılmıştır.

MATEMATİKSEL FORMÜLASYON

Zamana bağlı olmayan, sıkıştırılamaz, Newtonien akışkan için, iki boyutlu laminer akışta akışı yöneten boyutsuzlaştırılmış süreklilik ve Navier-Stokes denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$u_x + u_y = 0 \qquad (1)$$

$$uu_x + vu_y = -p_x + \frac{1}{Re}\left(u_{xx} + u_{yy}\right) \qquad (2)$$

$$uv_x + vv_y = -p_y + \frac{1}{Re}\left(v_{xx} + v_{yy}\right) \qquad (3)$$

Boyutsuzlaştırma parametreleri aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$Re = \frac{V_m H}{\nu}, \quad p = \frac{P}{\rho V_m^2}, \quad u = \frac{U}{V_m},$$

$$v = \frac{V}{V_m}, \quad x = \frac{X}{H}, \quad y = \frac{Y}{H} \qquad (4)$$

Sınır Şartları

Süreklilik ve momentum denklemlerinin çözümü için gerekli sınır şartları aşağıdaki gibi verilmektedir:

x=0, y=0<y<H, u=0, v=1 (plaka yukarı doğru hareketli)

x=0, y=0<y<H, u=0, v= -1 (plaka aşağı doğru hareketli)

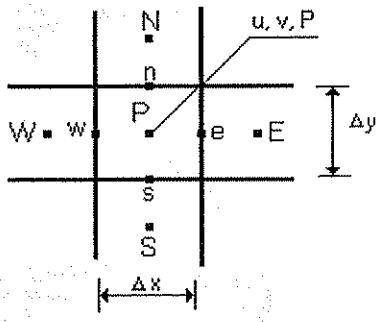
Ayırıcı ve oyuğun diğer cidarlarında, u=v=0

SAYISAL ÇÖZÜM

Bu çalışmada, akışı yöneten diferansiyel denklemler (1-3) sonlu farklar metodu kullanılarak bir kontrol hacim üzerinden integre edilerek tekil denklemler elde edilmiştir. Sonlu fark denklemlerinin eldesinde literatürde her skalar büyüklük için aynı kontrol hacimlerin kullanıldığı şaşırtmalı grid dağılımı yerine bu çalışmada bütün skalar büyüklüklerin aynı noktaya depolandığı ve aynı kontrol hacmin kullanıldığı şaşırtmasız grid dağılımı (Şekil 2) kullanılmıştır. Bir skalar büyüklük için elde edilen katsayılar diğer büyüklükler için de kullanılabileceğinden çok boyutlu problemler için kolaylık sağlamaktadır. Sonlu fark formülasyonunda, difüzyon terimleri için merkezi farklar yaklaşımı (CDS) kullanılırken, taşınım terimlerinin sonlu fark formülasyonu için merkezi fark yaklaşımının kullanılması, hücre Peclet sayısının, ($u\Delta x/\nu$), $Pe \leq |2|$ olması ile mümkün olması nedeniyle (Patankar, 1980), literatürdeki çeşitli farklandırma metodları arasında, üssel farklandırma yaklaşımı PLDS (Patankar, 1980) kullanılmıştır. Akım çizgileri x eksenindeki u hızları kullanılarak (5a), girdaplılık ise (5b) ifadesinden hesaplanmıştır.

$$\psi = \int u dy, \qquad \omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \qquad (5a,b)$$

Çalışmada, her bağımlı değişken için mutlak yakınsama kriteri, $\varepsilon = \left|\varphi_{(i,j)}^{k} - \varphi_{(i,j)}^{k-1}\right| < 10^{-5}$ kullanılmıştır. Sayısal çözümün stabil olması için yavaşlatma faktörü (underrelaxation), u ve v hızı için 0.5 olarak seçilmiştir. SIMPLEM algoritmanın bir avantajı basınç için yavaşlatma katsayısı kullanmayı gerektirmemesidir. Navier-Stokes denklemlerinin çözümünde basıncın hesaplanması önemli bir problemdir. SIMPLEM algoritması (Acharya ve Moukalled, 1989), SIMPLE algoritmasının (Patankar, 1980) modifiye edilmiş bir algoritması olduğundan basınç SIMPLE algoritmada olduğu gibi, süreklilik denkleminden elde edilmektedir.



Şekil 2. Şaşırtmasız grid sistemi

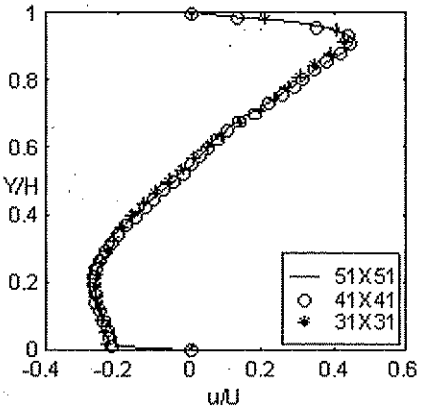
SIMPLEM Çözüm Algoritması

Çözümde kullanılan SIMPLEM algoritmasının adımları aşağıdaki gibi verilebilir.

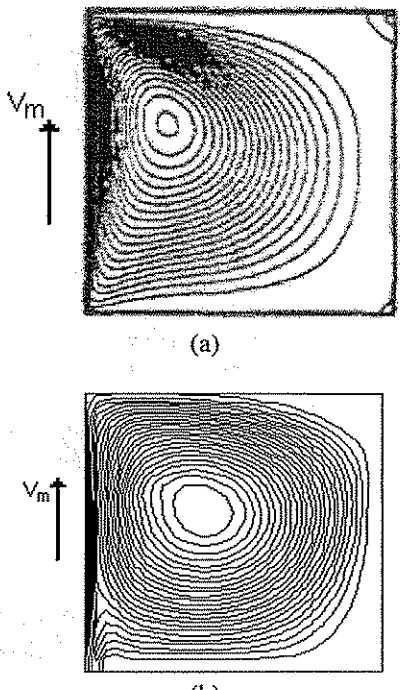
1. u, v hızları, p basıncı için tahmini başlangıç değerleri girilir.
2. Girilen bu başlangıç değerleri kullanılarak x- ve y-momentum denklemleri için katsayılar hesaplanır.
3. Hesaplanan bu katsayılardan içinde basınç terimi olmayan hızlar (gerçek olmayan hızlar) ve kontrol hacmi yüzeyindeki hızlar hesaplanır.
4. Gerçek olmayan hızlar kullanılarak basınç denklemindeki katsayılar hesaplanır, basınç denklemi çözülür.
5. Elde edilen basınç değerlerinden momentum denklemlerindeki basınç gradyenleri hesaplanır.
6. Bu basınç gradientleri kullanılarak u ve v hızları elde edilir.
7. Bu değerler kullanılarak x ve y-momentum denklemindeki katsayılar yeniden hesaplanır ve yeniden çözüm yapılarak yeni u,v hız değerleri elde edilir.
8. Yakınsama kontrolu yapılır ve tekrar 2. adıma dönülür.

Çözümün geçerliliği ve grid dağılımından bağımsız olması

Çözümün grid dağılımına bağlı olmadığını göstermek için farklı grid boyutlarında program çalıştırılmıştır. En uygun grid boyutu (matris boyutu) olarak 51 X 51 kabul edilerek, sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 3). Elde edilen sonuçların geçerliliğini doğrulamak amacıyla Aydın (1999) tarafından yapılmış karışık taşınım probleminde boş bir oyuk için Re=100 ve Gr=0 değerlerinde tamamen zorlanmış taşınımın etkin olduğu akım çizgileri ile karşılaştırılmış ve iyi bir uyumun sağlandığı gözlenmiştir (Şekil 4 a, b).



Şekil 3. Ayırıcı yerleştirilmemiş oyukta farklı grid dağılımı için hız profilleri, (Re=500, x=H/2)



Şekil 4. Boş oyuk için akım çizgileri (Re=100), a) Aydın (1999) b) Mevcut çalışma

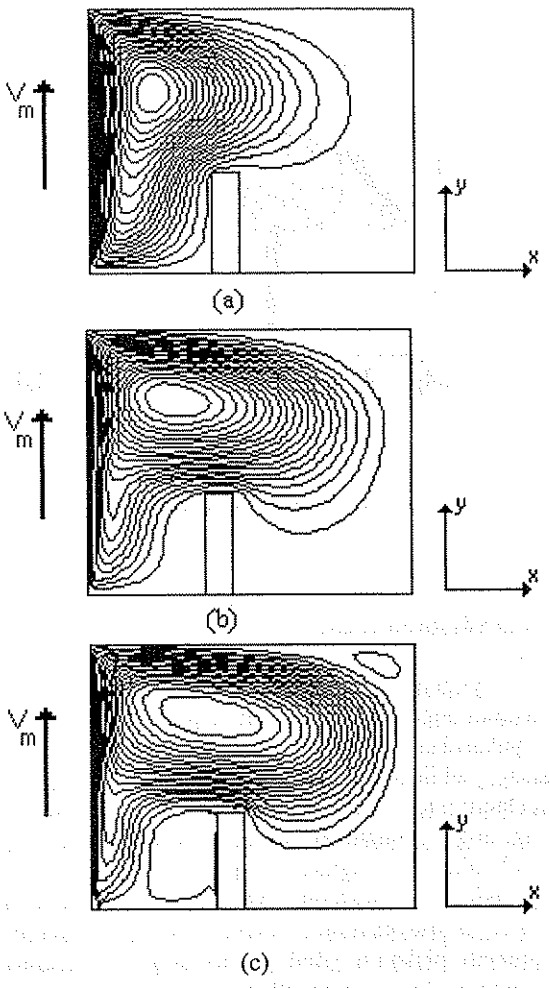
SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İçerisine ayırıcı yerleştirilmiş, sol düşey cidarı sabit hızla hareket eden bir oyuk içerisindeki laminer akış sayısal olarak incelenmiştir. Sonuçlar, Reynolds sayısı, akım yönü, ayırıcı yüksekliği, ayırıcı yeri ve ayırıcı genişliğinin etkisi olmak üzere beş başlık altında sunulmuştur.

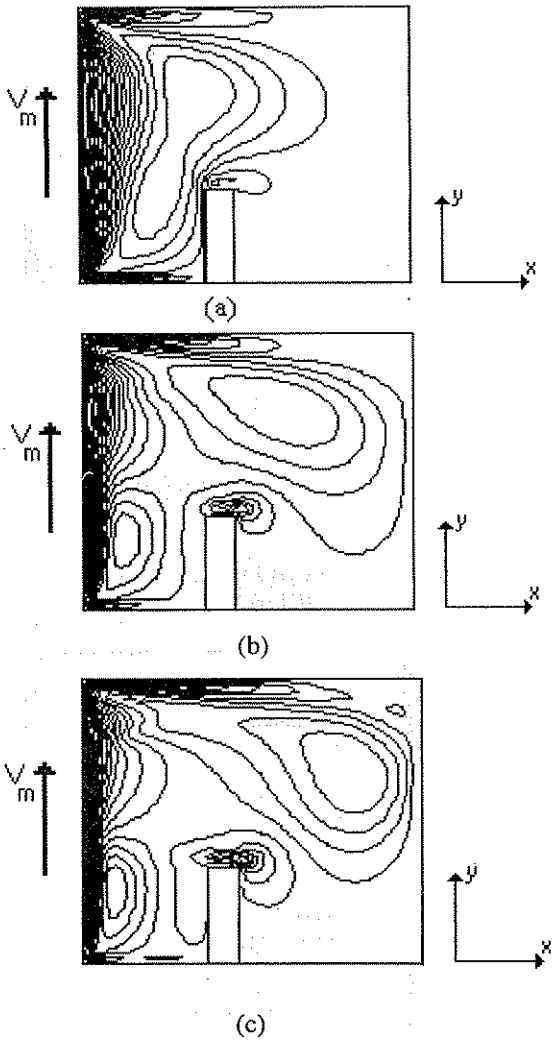
Reynolds sayısının etkisi

Re sayısının etkisini görebilmek amacıyla aynı geometrik oranlarda ve farklı Re sayılarında sonuçlar verilmiştir. Buna göre, Şekil 5'de L/H=0.4 ve h/H=0.4 değerlerinde farklı Re sayıları için akım çizgileri verilmiştir. Şekil 5a' da Re=100 için akım çizgileri görülmektedir. Oyuğun sol üst cidarına yakın dairesel bir dönme merkezi oluşmuştur ve akışkan ayırıcının sağ tarafına doğru ilerlemektedir. Şekil 5b 'ye bakıldığında, Reynolds sayısındaki artışla birlikte dönme merkezi sağa doğru kaymış ve hücre elips biçimini almıştır. Re=1000 değerinde ise, hücre çapı büyümekle birlikte, bloğun hemen önünde bir dönme merkezi daha oluşmuştur. Ayrıca, bloğun sağ üst cidarında yine küçük çaplı, bir dönme merkezi meydana gelmiştir. Şekil 6, artan Reynolds sayılarına bağlı olarak en şiddetli girdabın sol üst köşe hareketli cidarın bitişiğinde ve ayırıcı bloğun üst kısmında meydana geldiği görülmektedir. Reynolds sayısının artışının bu dönme şiddetini artırdığı gözlenmektedir. Şekil 7 ve 8 'de aynı geometrik boyutlar için hız doğrultuları verilmiştir. Hız doğrultularından görüldüğü gibi Re sayısı arttıkça akımın oyuğun içine yayılması artmaktadır. Cidarın hareketi yukarı doğru olduğundan akımın saat yönünde döndüğü görülmektedir. Şekil 9'da Re=100 ve aynı ayırıcı boyutları için hız doğrultuları verilmiştir. Cidar hareketinin yönü aşağı olduğundan akımın saat yönünün ters istikametinde döndüğü gözlenmektedir.

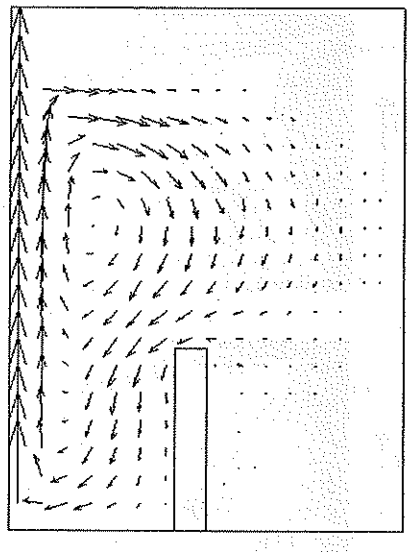
Şekil 10'da, farklı Re sayıları için ayırıcı üzerindeki eksenel (u/U) hız profillerine bakıldığında, Re=100 için profil tam simetrik görünürken Re=500 ve Re=1000 için bu simetrik durum bozulmaktadır. Simetrik durumun bozulması üst cidara yakın bölgedeki kayma gerilmesinin ayırıcı üst yüzeyine göre yüksek olması ile izah edilebilir.



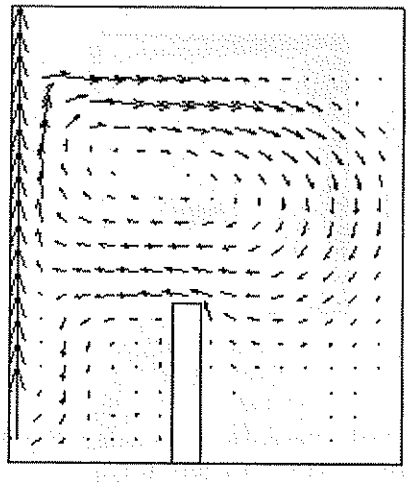
Şekil 5. Farklı Reynolds sayılarında akım çizgileri (L/H=0.4, h/H=0.4, t/H=0.1), a)Re=100, b) Re=500, c) Re=1000



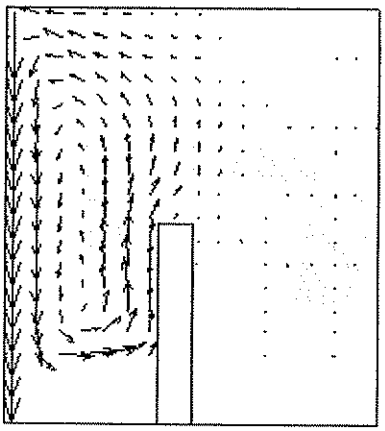
Şekil 6. Farklı Reynolds sayılarında girdaplılık eş eğrileri (L/H=0.4, h/H=0.4, t/H=0.1), a) Re=100, b) Re=500, c) Re=1000



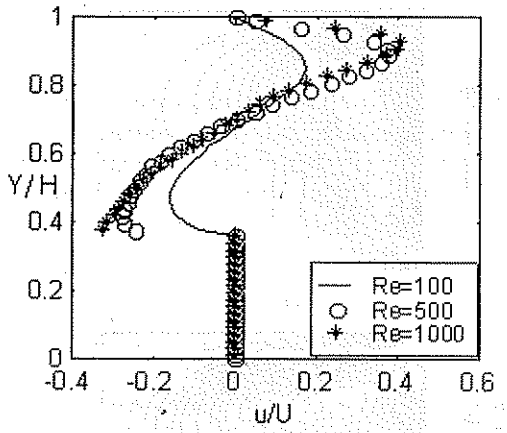
Şekil 7. Hız doğrultuları, h/H=0.4, L/H=0.4, t/H=0.1, Re=100



Şekil 8. Hız doğrultuları, h/H=0.4, L/H=0.4, t/H=0.1, Re=1000



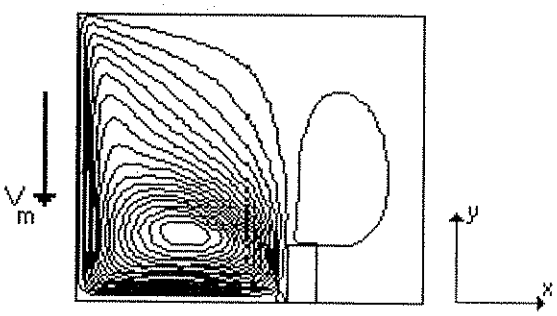
Şekil 9. Hız doğrultuları, h/H=0.4, L/H=0.4, t/H=0.1, Re=100



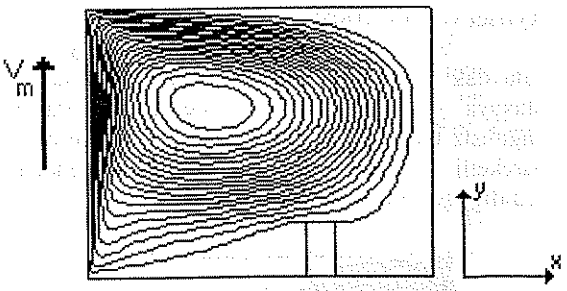
Şekil 10. Farklı Re sayılarında ayırıcı üzerinde hız profilleri (L/H=0.4, h/H=0.4)

Akım yönünün etkisi

Oyuğun sol düşey cidarındaki sabit hızlı plakanın doğrultusu, aşağıdan yukarıya (+ pozitif y) ve yukarıdan aşağıya (- negatif y) olmak üzere iki farklı şekilde seçilmiştir. Şekil 11 ve 12 incelendiğinde hareketli plakanın hız doğrultusu aşağı doğru olduğunda ayırıcı yüksekliği (h/H=0.2) küçük olmasına rağmen oyuğu ikiye bölmüş gibi bir etki göstermektedir. Akımın dönme merkezi ayırıcının üst kısmının seviyesinde oluşmaktadır. Hareketli plakanın yönü yukarı doğru olduğunda ayırıcının akış alanına etkisi azalmakta, akış boş oyuk problemine dönüşmektedir. Diğer önemli bir husus da dönme merkezinin yatay eksene göre sabit konumda akım yönüne (aşağı veya yukarı) bağlı olarak ilerlediği gözlenmektedir. Dönme merkezinin yatay konumdaki yeri daha çok Re sayısına bağlı olmaktadır.



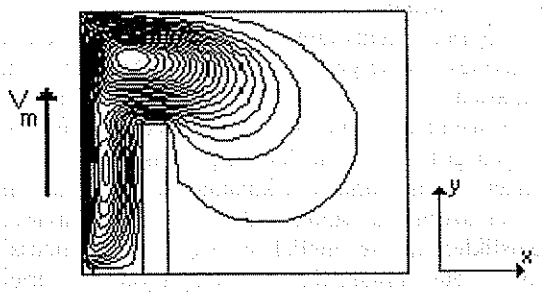
Şekil 11. L/H=0.6, h/H=0.2, t/H=0.1, Re=500 için akım çizgileri



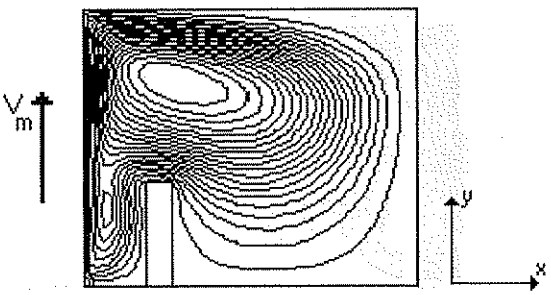
Şekil 12. L/H=0.6, h/H=0.2, t/H=0.1, Re=500 için akım çizgileri

Ayırıcı yüksekliğinin etkisi

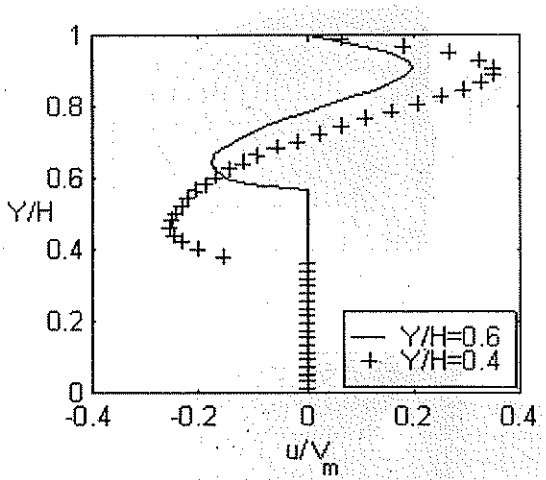
Şekil 13 ve 14 'de ayırıcı yüksekliğinin akış alanı üzerindeki etkisi sunulmuştur. Ayırıcı yüksekliği arttığında, hücre çapı azalmakta, ayırıcı yüksekliği azaldığında ise dairesel bir hücreden elips şeklinde bir hücreye dönüşmektedir. Ayırıcı yüksekliği azalırken aynı Re sayısında bloğun arkasına nüfuz eden akışkan miktarı daha fazla olmaktadır. Ayırıcı hareketli plakaya yaklaştırıldığında (L/H=0.2) hareketli plaka ile ayırıcı arasındaki bölge boş bir oyuk gibi davranış göstermekte ve dönme merkezi oluşturmaktadır. Ayrıca ayırıcı yüksekliği arttığında ayırıcının sağ tarafındaki boşluğa giden akışkan azaldığından akış daha çok ayırıcı ile hareketli plaka arasında dönmektedir. Yükseklik azaldıkça oyuğun sağ tarafına daha çok akışkan akmakta ve dönme merkezi hem büyümekte hem de sağa kaymaktadır. Şekil 15 'de farklı ayırıcı yükseklikleri için ayırıcı üzerindeki eksenel hız profilleri verilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi hız profilleri tam simetrik olmamaktadır. Şekilden görüleceği gibi ayırıcı yüksekliği artırıldığında üst cidara yakın bölgede oluşan dönme merkezinin şiddeti ayırıcı üst cidarı tarafından daha çok hissedilmekte ve burada oluşan kayma gerilmesi nedeniyle simetrik bozulma daha da azalmaktadır. Ayırıcı yüksekliği azaldığında bu etki azalmakta ve simetrik durum belirgin şekilde bozulmaktadır. Daha önce de vurgulandığı gibi Reynolds sayısının etkisi daha önemli olmaktadır.



Şekil 13. L/H=0.2, h/H=0.6, t/H=0.1, Re=500 için akım çizgileri



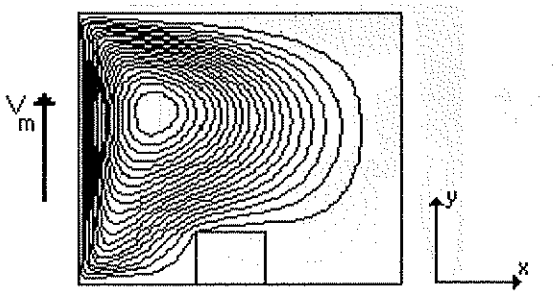
Şekil 14. L/H=0.2, h/H=0.4, t/H=0.1, Re=500 için akım çizgileri



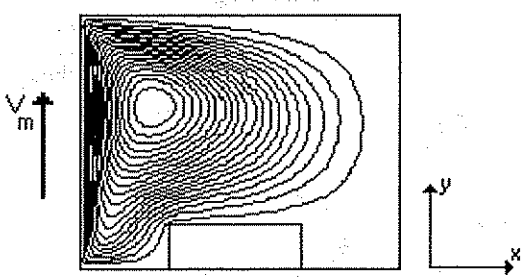
Şekil 15. Farklı ayırıcı yüksekliklerinde eksenel hız profili

Ayırıcı genişliğinin etkisi

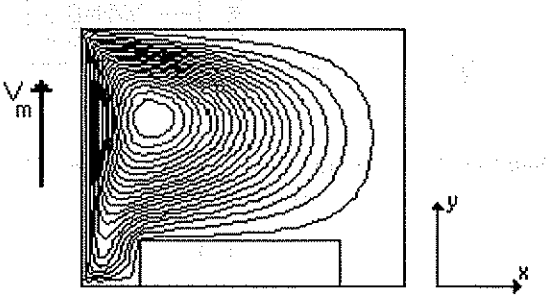
Ayırıcı genişliğinin akışa olan etkisini göstermek amacıyla oyuğun alt tabanının orta noktasına üç ayrı genişlikte ayırıcılar yerleştirilmiştir. Ayırıcı genişledikçe özellikle oyuğun giriş kısmında ileri doğru basamak akışına benzer durum ortaya çıkmakta ve akış hemen ayırıcı üzerinden sapmaktadır. Çok büyük ayırıcı genişliklerinde ise, model içi boş oyuk geometrisi gibi davranmaktadır. Dolayısıyla ayırıcı genişliğinin akış doğrultusu yukarı doğru olduğunda oyuktaki akıma önemli bir etkisi olmamaktadır (Şekil 16, a, b, c).



(a)



(b)

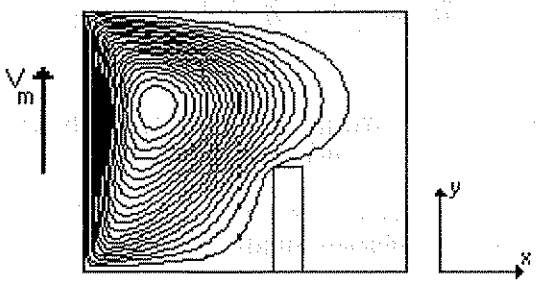


(c)

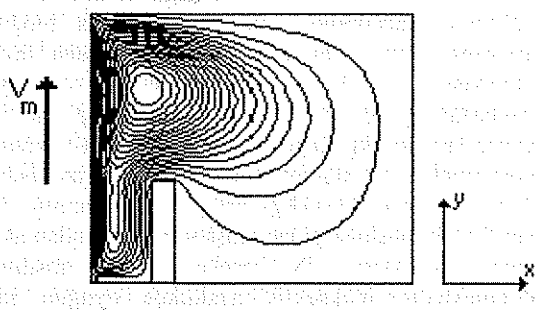
Şekil 16. Re=100 için farklı ayırıcı genişliklerinde akım çizgileri (h/H=0,2) a) t/H=0.2, L/H=0.4 b) t/H=0.4, L/H=0.3 c) t/H=0.6, L/H=0.2

Ayırıcı yerinin etkisi

Sabit ayırıcı yüksekliğinde ayırıcının yataydaki konumu değiştirildiğinde ayırıcı hareketli plakaya yaklaştığında plaka ile ayırıcı arasında bağımsız bir oyuk gibi davranış gösterirken ayırıcı hareketli plakadan uzaklaştırıldığında etkisinin azaldığı görülmektedir (Şekil 17-18).



Şekil 17. L/H=0.6, h/H=0.4, t/H=0.1 için akım çizgileri (Re=100)



Şekil 18. L/H=0.2, h/H=0.4, t/H=0.1 için akım çizgileri (Re=100)

SONUÇ

Sol düşey cidarında sabit hızla hareket eden plaka olan bir oyukta laminer akış için elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi verilebilir. Artan Re sayısına bağlı olarak oyukta akış hareketi ayırıcının konumuna göre oldukça etkilenmektedir. Hareketli plakanın yönünün oyuk akışı üzerinde önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiş, özellikle plakanın hareket yönü aşağıya doğru olduğunda ayırıcı oyuğu ikiye bölmüş gibi bir etki göstermektedir. Ayırıcı yüksekliğinin akım alanı üzerinde etkisi ayırıcı hareketli plakaya yaklaştığında daha belirgin olmaktadır. Ayırıcı konumunun oyuk akışı üzerinde önemli olduğu gözlenmiştir. Yüksek olmayan ayırıcıların genişliğinin oyuk akışı üzerinde önemli bir etki göstermediği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Acharya S., Moukalled F.H., Improvements to Incompressible Flow Calculation on a Nonstaggered Curvilinear Grid, *Numerical Heat Transfer, Part B* 15, 131-152, 1989.

Acharya, S., Jetli,R., Heat Transfer due to Buoyancy in A Partially Divided Square Box, *Int. J. Heat Mass Transfer,* 33, 5, 931-942, 1990.

Arpacı, V., S., Larsen, P.S., *Convection Heat Transfer*, 90-93, Prentice-Hall, 1984.

Aydın, O., Aiding and Opposing Mechanisms of Mixed Convection in a Shear and Buoyancy Driven Cavity, *Int. Comm. Heat & Mass Transfer,* 26 (7) 1019-1028, 1999.

Dağtekin, İ., Eren, H., Ünsal, M. Kare Kesitli Bir Oyukta Laminer Akış için SIMPLE ve SIMPLEM algoritmalarının Karşılaştırılması, *ULIBTK'97, 11. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi Bildiriler Kitabı,* 1, 320-329, 1997.

Iwatsu, R., Hyun, J.M., Kuwahara, K., Convection in a Differentially-Heated Square Cavity with a Torsionally-Oscillating Lid, *Int.J. Heat Mass Transfer,* 35 (5), 1069-1076, 1992.

Iwatsu, R., Hyun, J.M., Kuwahara, K., Mixed Convection in a Driven Cavity with a Stable Vertical Temperature Gradient, *Int. J. Heat & Mass Transfer,* 36 (6) 1601-1608, 1993.

Patankar, S.V., *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Hemisphere, Newyork, 1980.

Sahan, R.A., Güneş, H., Liakopoulos, A., A, Modeling Approach to Transitional Channel, *Computers&Fluids,* 27 (1), 121-136, 1998.

Zimmerman, E., Acharya, S., Free convection Heat Transfer in a Partially Divided Vertical Enclosure with Conducting End Walls, *Int. J. Heat Mass Transfer,* 30 (2), 319-331, 1987.

Hakan F. ÖZTOP

1973 Elazığ doğumludur. 1996 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Dalı'nda yüksek lisans çalışmalarına başlayarak 1998 yılında tamamladı. Enerji Bilim Dalında doktora eğitimine başladı. 1997 yılında araştırma görevlisi olarak atandı. 2001 yılında uzman kadrosuna geçti. Halen doktora tez aşamasında çalışmalarına devam etmekte olup sayısal akışkanlar mekaniği ve ısı transferi konularında çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.

İhsan DAĞTEKİN

1962 Elazığ doğumludur. Orta öğrenimini Elazığ'da, lise öğrenimini, İstanbul Vefa Lisesinde tamamlamıştır. 1980-81 yılları arasında F.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümünde devam etmiştir. F.Ü. Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde 1985 yılında lisans, 1988 yılında Yüksek lisans, 1994 yılında doktora çalışmasını tamamlamıştır. Halen aynı üniversitede Makine Mühendisliği Bölümünde Yardımcı Doçent Dr. olarak görev yapmaktadır. Evli ve iki çocuk babasıdır.