Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi 24, 62-69, 2004
J. of Thermal Sciences and Technology
© 2004 TIBTD Printed in Turkey
ISSN 1300-3615

ALT CİDARINDA TÜMSEK BULUNAN ASİMETRİK BİR KANALDA LAMİNAR AKIŞ VE ISI TRANSFERİ ANALİZİ: ELİPTİK GRİD ÜRETİMİ UYGULAMASI

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

(Geliş Tarihi : 7.12.2003)

Özet: Bu çalışmada, alt cidarında eğrisel tümsek bulunan asimetrik bir kanalda, akış ve ısı transferi sayısal bir metod kullanılarak incelenmiştir. Fiziksel problemin hesaplama alanı için grid dağılımının elde edilmesinde eliptik grid üretim metodu kullanılmıştır. Daha sonra, akışı ve ısı transferini temsil eden denklemler eğrisel koordinatlara dönüştürülmüş ve şaşırtmasız grid dağılımı kullanılarak bir sonlu kontrol hacim üzerinden integre edilerek sonlu fark denklemleri elde edilmiştir. Hesaplamalar laminar akış şartları için $50<Re<1000$ aralığında ve Prandtl sayısının 0.71, 7 ve 10 değerleri için yapılmıştır. Tümsek yüksekliğinin artması ile ısı transferinin arttığı, fakat tümsek taban genişliğinin artması ile ısı transferi oranının azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca Reynolds ve Prandtl sayılarının artması ile ısı transferi de artmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Eliptik Grid Üretimi, Şaşırtmasız Grid, Laminar Akış, Asimetrik Kanal

ANALYSIS OF LAMINAR FLOW AND HEAT TRANSFER IN AN ASYMETRIC CHANNEL WITH HILL ON THE BOTTOM: APPLICATION OF ELLIPTIC GRID GENERATION

Abstract: In this study, fluid flow and heat transfer in an asymmetric channel with curvilinear hill on the bottom is investigated using a numerical technique. Elliptic grid generation method is used to obtain computational domain of the physical model. Then, governing equations are transformed into curvilinear coordinates and integrating over a finite control volume using non-staggered grid arrangement finite difference equations are obtained. Calculations are performed in the range of $50<Re<1000$ and for Prandtl number values 0.71, 7 and 10. It is found that with increasing of height of hill heat transfer is increased but with increasing of width of base of the hill heat transfer decreases. Further, when Reynolds and Prandtl numbers are increased heat transfer increases.
Key words: Elliptic Grid Generation, Non-Staggered Grid, Laminar Flow, Asymmetric Channel

* İletişim kurulacak yazar.

SEMBOLLER

a	Tümsek taban genişliği, m
f	Tümsek için tanımlı fonksiyon
G_1, G_2	Kontrovariant hızlar
h	Tümsek yüksekliği,m
h	Isı taşınım katsayısı, W/m^2K
H	Kanal yüksekliği, m
J	Jakobien
k	Akışkanın ısı iletim katsayısı, W/mK
L	Kanal uzunluğu, m
Nu	Nusselt sayısı
p	Boyutsuz basınç
Pr	Prandtl sayısı
Re	Reynolds sayısı
S	Kaynak terimi
T_o	Giren akışkan sıcaklığı (soğuk), K
T_w	Cidar sıcaklığı (yüksek), K
U, V	Boyutsuz eksenel ve radyal hız
U_m	Ortalama hız, m/s
x,y	Eksenel ve radyal koordinatlar
α, β, γ, J	Geometrik katsayılar
ξ, η	Çözüm alanında dönüştürülmüş koordinatlar
ε	Yakınsama kriteri
θ	Boyutsuz sıcaklık
ψ	Akım fonksiyonu, m^2/s
φ	Genel bağımlı değişken
ν	Kinematik viskozite, m^2/s
ρ	Yoğunluk, kg/m^3

GİRİŞ

Mühendislik uygulamalarında, düzgün geometrili cisimler üzerinden akış ve ısı transferinin yanı sıra karmaşık geometrili cisimler üzerinden akış ve ısı transferinin çözümü önemli bir problemdir. İçerisine eğrisel geometriler yerleştirilmiş kanallarda ısı transferi problemleri, ısı değiştirgeçleri ve güneş enerjisi sistemleri gibi mühendislik uygulamalarında karşılaşılan uygulamalardır. Ayrıca, sadece eğrisel geometriye sahip borularda ya da kanallarda akış problemi, biyo-mühendislik uygulamalarında kullanılan ve özellikle kalp damar cerrahisi alanında, başta damar tıkanıklıkları olmak üzere, bir çok hastalığın teşhisinde uygulanmaktadır. Düzgün sınıra sahip kanal geometrilerinin sayısal çözümünde sınırlar düğüm noktaları ile çakıştıkları için çözüm nispeten kolaydır. Ancak, karmaşık geometrili problemlerin sayısal analizinde özellikle sınır düğümlerinde güçlüklerle karşılaşılmaktadır. Bu amaçla, karmaşık geometriye sahip fiziksel alanın düzgün geometriye sahip çözüm alanına dönüştürülmesi gereklidir. Bunun için de literatürde bir çok farklı grid üretim tekniği kullanılmıştır.

İki boyutlu düzensiz geometrili cisimler için eğrisel koordinatlarda, sayısal grid üretimi probleminin teorisi ile ilgili çalışmalar mevcuttur (Thames vd, 1977, Thompson, 1974, ve Thompson 1985a, 1985b). Koordinat dönüşüm denklemlerini yazarak problemlerini Joukowski ve Karman-Trefftz kanat geometrilerine uygulamışlar ve yöntemin çok iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Ayrıca, sayısal grid üretimi yöntemi ile problemlerin zamana bağlı ve üç boyutlu olarak da çözümü için gerekli sayısal ifadeleri de çıkarmışlardır.

Yarı küre şeklindeki cisimler üzerinden akış ve ısı transferinin analizi için eliptik grid üretimi tekniği iki farklı çalışmada kullanılmıştır (Chen ve Tong 1988 ve (Akin vd., 1992). Her iki çalışmada da denklemlerin girdap-akım fonksiyonu yaklaşımını içeren biçimleri, eğrisel koordinatlarda yazılmıştır. Eğrisel koordinatlarda yazılan denklemlerin bir sonlu hacim elemanı üzerinden integrasyonu yapılmıştır. Çalışmalar, farklı geometrik boyutlardaki elemanlar için laminar akış şartlarında gerçekleştirilmiştir. "Sınır uydurulmuş koordinatlarda" yapılan çözümler literatür ile karşılaştırılmış diğer çözüm yöntemlerine göre çok daha az bilgisayar zamanına ihtiyaç duyduğu vurgulanmıştır. Şaşırtmasız grid dağılımı kullanılarak eğrisel koordinatlarda, sıkıştırılamaz akış için çözümler literatürde elde edilmiştir (Acharya ve Moukalled 1989). Çalışmada, SIMPLE, SIMPLER ve SIMPLEM algoritmalarını ayrı ayrı kullanarak ani daralan akış ve oyuk üzerinden akış gibi iki problem üzerinde sonuçları karşılaştırmışlardır. Eğrisel koordinatlarda yazılan denklemlerin şaşırtmasız grid düzeninde integrasyonu yapılmıştır. Şaşırtmasız grid dağılımı ile momentum denklemlerinin ayrıklaştırılmasının yanı sıra doğal taşınım denklemlerinin çözümünde de yeni sayılabilecek uygulamalara rastlanmaktadır (Croce vd., 2000).

Gelişigüzel kesite sahip borularda, sabit sıcaklık ve sabit ısı akısı şartları için sıcaklık dağılımını üç boyutlu olarak incelenmiş ve çözüm için SIMPLER algoritmasını kullanmıştır (Uzun, 1992). Çalışmada, baklava dilimi, sinüsoidal, daire, üçgen kesitli ve eşanjör tip borular için hız profilleri ve Nusselt sayılarını elde edilmiş, sayısal grid üretimi için eliptik grid üretim metodu kullanılmıştır.

Sıkıştırılamaz akışkanın düşük Reynolds sayılarında eğrisel geometriler üzerinden akış için, şaşırtmalı grid dağılımını kullanan Thompson metodunu önerilmiştir (Reggio ve Camerero, 1986). Navier-Stokes denklemlerinin çözümü için SIMPLE çözüm algoritmasını kullanmışlardır. Çalışmalarını öncelikle düz bir kanal akışı problemine uygulamışlar ve daha sonra kaskatlar ve alt cidarında

eğrisel bir tümsek bulunan kanal için sonuçlar elde etmişlerdir. Yöntemin özellikle basınç ve hızlarda dalgalanma olmaması açısından oldukça etkili olduğunu göstermişlerdir. Çan şeklinde iki daraltıcı yerleştirilmiş kanalda laminar akışkan akışını sayısal olarak incelenmiştir (Lee, 2002). Çalışmada, Navier-Stokes denklemleri akım çizgisi-girdaplılık fonksiyonlarına dönüştürülerek çözüm elde edilmiştir. Silindirik koordinatlarda yazılan denklemler, eğrisel koordinatlara dönüştürülmüştür. Sayısal grid üretim tekniği olarak, basit koordinat dönüşüm tekniği kullanılmıştır. Sonuç olarak, iki daraltıcının çok düşük Reynolds sayılarında iki ayrı daraltıcı gibi hareket ettiği tespit edilmiştir. Üst akış bölgesine yakın olan daraltıcıda kesme gerilmelerinin bir sonraki daraltıcıya nazaran daha yüksek olduğu ve yeniden tutunma mesafesi uzunluğunun artan Reynolds sayısı ile birlikte arttığı görülmüştür. Benzer bir geometri için eliptik grid üretim tekniği kullanılarak zorlanmış taşınım ısı transferi analizi bir başka çalışmada gerçekleştirilmiştir (Öztop ve Dağtekin, 2003).

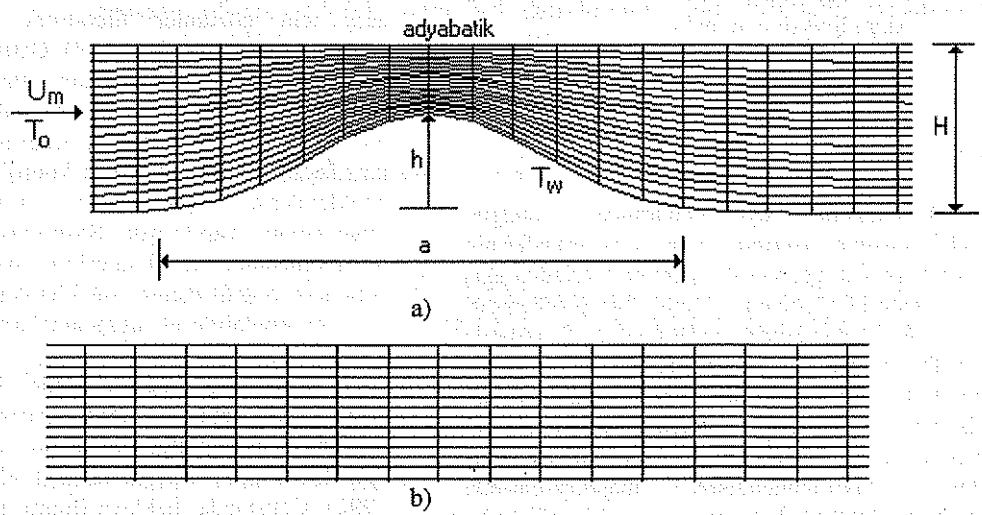
Bu çalışmanın amacı, eliptik kısmi diferansiyel denklemlerin çözümü ile elde edilen grid üretimi ve şaşırtmasız grid dağılımı kullanılarak, alt cidarında bir tümsek bulunan iki paralel plaka arasındaki akışı ve ısı transferini incelemektir.

FİZİKSEL MODEL

Çalışmada, alt cidarında eğrisel tümsek bulunan asimetrik kanal için fiziksel model Şekil 1. 'de verilmektedir. Kanalın alt cidarı kanala giren akışkan sıcaklığına nazaran daha yüksek seçilmiş, üst cidar ise adyabatik kabul edilmiştir. Kanal girişinde hız dağılımı üniform olarak kabul edilmiş, tümsekten sonraki kanal mesafesi hidrodinamik gelişmeyi sağlayacak uzunlukta seçilmiştir.

$$f = he^{-a(x-x_0)^2} \quad (1)$$

Alt cidarı tanımlayan eğrinin fonksiyonu Eşitlik 1 'de verilmektedir. Bu eşitlikte x_0 terimi tepe noktasının x yönündeki yeri, h tümsek yüksekliğini, a ise tümsek genişliğini tanımlamaktadır. Şekil 1a asimetrik kanalın tümsek bulunan bölgesinin fiziksel alanını, Şekil 1b ise dönüştürülmüş çözüm alanını göstermektedir.



Şekil 1. Tabanında tümsek bulunan kanal a)Fiziksel model b) Çözüm alanı

AKIŞI VE ISI TRANSFERİNİ TEMSİL EDEN DENKLEMLER

Eğrisel geometrilerde çözüm yapabilmek için x-y fiziksel düzleminden ξ-η çözüm düzlemine dönüşüm aşağıdaki bağıntılar kullanılarak yapılır.

$$\xi = \xi(x, y) \quad (2)$$

$$\eta = \eta(x, y) \quad (3)$$

Akışı ve ısı transferini temsil eden denklemlerin φ genel değişkeni için eğrisel koordinatlara dönüştürülmüş biçimi aşağıdaki gibi yazılabilir (Acharya ve Moukalled, 1989).

$$\frac{\partial}{\partial\xi}\left[\rho G_1\varphi-\left(\frac{\Gamma_\varphi}{J}\right)\left(\alpha\frac{\partial\varphi}{\partial\xi}-\beta\frac{\partial\varphi}{\partial\eta}\right)\right]+$$
$$\frac{\partial}{\partial\eta}\left[\rho G_2\varphi-\left(\frac{\Gamma_\varphi}{J}\right)\left(\gamma\frac{\partial\varphi}{\partial\eta}-\beta\frac{\partial\varphi}{\partial\xi}\right)\right]=S \qquad (4)$$

Burada φ skaler değişkeni U, V, k, T, ε olarak alındığında sırasıyla x- momentum, y- momentum, enerji, kinetik enerji ve kinetik enerji dönüşüm oranını verir. $\varphi=1$ ve $S_\varphi=0$ ve $\Gamma_\varphi=0$ alındığında süreklilik denklemi elde edilir. α, β, γ ve J değerleri aşağıdaki eşitliklerle tanımlanmaktadır. G_1 ve G_2, eğrisel koordinatlar için geometrik parametreleri de içeren kontrovariant hızlar aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$G_1=U\frac{\partial y}{\partial\eta}-V\frac{\partial x}{\partial\eta} \qquad (5)$$

$$G_2=V\frac{\partial x}{\partial\xi}-U\frac{\partial y}{\partial\xi} \qquad (6)$$

$$\alpha=\left(\frac{\partial x}{\partial\eta}\right)^2+\left(\frac{\partial y}{\partial\eta}\right)^2 \qquad (7)$$

$$\beta=\frac{\partial x}{\partial\xi}\frac{\partial x}{\partial\eta}+\frac{\partial y}{\partial\xi}\frac{\partial y}{\partial\eta} \qquad (8)$$

$$\gamma=\left(\frac{\partial x}{\partial\xi}\right)^2+\left(\frac{\partial y}{\partial\xi}\right)^2 \qquad (9)$$

$$J=\frac{\partial x}{\partial\xi}\frac{\partial y}{\partial\eta}-\frac{\partial x}{\partial\eta}\frac{\partial y}{\partial\xi} \qquad (10)$$

Boyutsuzlaştırılmış parametreler,

$$U=\frac{u}{U_m},\ V=\frac{v}{U_m},\ \theta=\frac{T-T_0}{T_w-T_0}$$
$$Re=\frac{U_m H}{\nu},\ Pr=\frac{\nu}{\alpha} \qquad (11)$$

Sınır Şartları

Şekil 1 'de verilen geometri için sınır şartları aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

Kanal girişinde,

$$U=1,\quad V=0,\quad \theta=0 \qquad (12)$$

Kanal çıkışında,

$$\frac{\partial U}{\partial\xi}=0,\ V=0,\ \frac{\partial\theta}{\partial\xi}=0 \qquad (13)$$

Alt cidarda,

$$U=V=0,\ \theta=1 \qquad (14)$$

Üst cidarda,

$$U=V=0,\quad \frac{\partial\theta}{\partial\eta}=0 \qquad (15)$$

Eliptik Grid Üretimi

Eliptik grid üretimi metodu kullanılarak gridlerin elde edilmesi Laplace ya da Poisson tip diferansiyel denklemlerin belirli sınır şartları altında sayısal çözümleri ile mümkündür. Bağıntılar x ve y bağımlı değişkenlerine göre zincir kuralı yazılırsa, ξ-η 'nın değerleri için aşağıdaki denklemin Dirichlet sınır şartları ile çözümü yapılır (Thompson ve diğ. (1985a, 1985b).

$$\alpha\frac{\partial^2 x}{\partial\xi^2}-2\beta\frac{\partial^2 x}{\partial\xi\partial\eta}+\gamma\frac{\partial^2 x}{\partial\eta^2}=-J^2\left(P\frac{\partial x}{\partial\xi}+Q\frac{\partial x}{\partial\eta}\right) \qquad (16)$$

$$\alpha\frac{\partial^2 y}{\partial\xi^2}-2\beta\frac{\partial^2 y}{\partial\xi\partial\eta}+\gamma\frac{\partial^2 y}{\partial\eta^2}=-J^2\left(P\frac{\partial y}{\partial\xi}+Q\frac{\partial y}{\partial\eta}\right) \qquad (17)$$

Burada P ve Q düğümler arasındaki mesafeleri ayarlamak için kullanılan grid kontrol fonksiyonlarıdır. Bu fonksiyonun değerleri sıfır kabul edilip Laplace tip denklemin çözümü yapılır. Grid üretimi elde edilecek fiziksel düzlemin sınırları dört farklı fonksiyonla tanımlanır.

Sayısal Yöntem

Akışı ve ısı transferini temsil eden genel denklem (4) şaşırtmasız (Non-staggered) grid dağılımı kullanılarak sonlu bir kontrol hacmi üzerinden integre edilmiştir. Bu grid düzeninin en önemli avantajı tüm bağımlı değişkenlerin (hızlar, basınç ve sıcaklık vs..) aynı noktada depolanması, böylece çözüm güçlüklerinin ortadan kaldırılması ve çözüm zamanının kısaltılmasıdır. Ayrıklaştırma işlemi sonucunda elde edilen cebirsel denklemler TDMA (Üçlü bant matris algoritması) metodu kullanılarak çözülmüştür. Çözüm SIMPLEM (Acharya ve Moukalled, 1989) algoritmayı kullanan bir bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır. Bu algoritma (Patankar, 1980)' de verilen SIMPLE algoritmasının modifiye edilmiş biçimidir. Akış ve

ısı transferi parametreleri elde edilirken öncelikle fiziksel çözüm alanının sayısal çözüm alanına dönüştürülmesi gerekir. Bu amaçla 16-17 denklemleri daha önce açıklanan eliptik grid tekniği kullanılarak hazırlanan bir alt program yardımıyla elde edilmektedir. Bu çalışmada P ve Q terimleri ihmal edilerek, Laplace tipi denklem çözülerek grid dağılımı elde edilmiştir. Çalışmada, 60 x 15, 100 x 20 ve 121 x 31 grid boyutları seçilmiş ve eğrisel alanın daha sık taranabilmesini sağlamak ve grid dağılımına bağlı olmayan çözümler elde etmek için 121 x 31 grid boyutunda hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplama süresi 3000 iterasyon Pentium IV bilgisayarda 150s sürmektedir. Algoritma ve basınç denklemi ile ilgili detaylı sonuçlar (Öztop, 2003)' de verilmiştir.

Nusselt Sayısının Hesabı

Akışkandaki sıcaklık dağılımı bir defa elde edildikten sonra, yüzey boyunca yerel Nusselt sayısı, aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$Nu \equiv \frac{hL}{k} \qquad (18)$$

Cidar boyunca Nusselt sayısının değişimi boyutsuz parametreler cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$Nu = \frac{\partial \theta}{\partial n} \qquad (19)$$

Burada, n yüzey normalini göstermektedir. Yerel Nusselt sayısının eğrisel koordinatlardaki boyutsuz ifadesi,

$$Nu = \frac{1}{J\sqrt{\gamma}}\left(\beta\theta_{\xi} - \gamma\theta_{\eta}\right) \qquad (20)$$

şeklinde yazılır (Özışık, 1994). Denklemde verilen β, γ ve J ifadeleri sırasıyla denklem (8-10)' da tanımlanmıştır. Ortalama Nusselt sayısı,

$$\overline{Nu} = \int_{A} NudA \qquad (21)$$

şeklinde hesaplanmıştır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

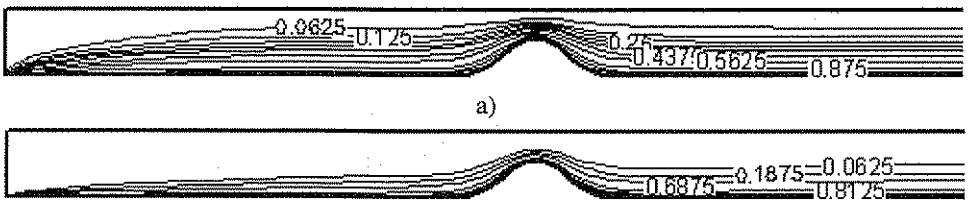
Bu çalışmada, eliptik grid üretimi tekniği kullanılarak, alt cidarında tümsek bulunan bir kanal için laminar akış ve ısı transferi sayısal olarak incelenmiştir.

Elde edilen sonuçların literatür ile uyumunu görmek için program öncelikle paralel kanal için çözülmüş ve kanal çıkışı maksimum hız değeri olan $U_c=3/2\,\overline{U}$ ilişkisi sağlanmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada programın doğruluğunu test etmek için, paralel kanal için tam gelişmiş bölgede Nusselt sayısı 7.78 olarak bulunmuştur. Literatürde bu değer 7.54 olarak verilmiş olup, bu şekilde çözümün doğruluğu kabul edilmiştir (Özışık, 1985). Şekil 2a ve b' de Re=100 ve h=0.3 değeri için iki farklı Prandtl sayısı Pr=0.71 ve Pr=7 için sıcaklık eş eğrileri verilmiştir. Şekiller incelendiğinde düşük Prandtl sayısında ısıl sınır tabaka kalınlığı yüksek Prandtl sayısına göre daha kalın olmaktadır. Prandtl sayısının artması ile momentum difüzyonunun daha etkin olduğu ve ısıl sınır tabakanın inceldiği gözlenmektedir. Tümsek üzerinde diğer cidarlara nazaran sınır tabaka kalınlığı daha düşük olmaktadır. Şekil 3a 'da Re=30 ve h=0.3 için hız vektörleri verilmiştir. Burada, kanala girişte ve çıkışta hidrodinamik tam gelişme sağlandığı için, sadece tümsek etrafındaki hız vektörleri gösterilmiştir. Tümsek arkasında ve tümsek önünde herhangi bir geriye doğru hıza rastlanmamakta ve tümseğin üst kısmında maksimum hızlar elde edilmektedir. Tümsekten hemen sonra akış yeniden hidrodinamik olarak gelişmektedir. Şekil 3b. 'de Reynolds sayısının 100 değeri için hız vektörlerine bakıldığında tümsek arkasında –x doğrultusunda negatif hızların oluştuğu görülmektedir. Buradan da Reynolds sayısının artışı ile birlikte tümsek arkasında geri dönme akışının meydana geldiği gözlenmektedir. Daralan bölge üzerinde akım ani olarak ivmelendiğinden tümseği geçtikten sonra da bir sirkülasyon meydana gelmektedir. Reynolds sayısının Re=30 değerinde bu sirkülasyon görülmemekte, ancak artan Reynolds sayılarında sirkülasyon oluşmaktadır. Reynolds sayısının artışı ile birlikte tümsek arkasındaki yeniden tutunma uzunluğu da artmaktadır.

Ortalama Nusselt sayılarının farklı Reynolds sayıları ve Prandtl sayıları ile değişimi ve geometrik parametrelere bağlı olarak değişimi Şekil (4.a-c) 'de verilmiştir. Şekil 4a' da tümseğin yüksekliği (h=0.3) ve tepe noktasının yeri ξ=0.4 için farklı Reynolds sayılarında ve farklı Prandtl sayılarında ortalama Nusselt sayısı değerleri verilmiştir. Kanal uzunluğu 10 birim kanal yüksekliği ise 0.5 birim olarak alınmıştır. 121x31 matris boyutu için çözümler elde edilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı değerleri artan Reynolds sayısı ile birlikte artmaktadır. Bununla beraber, yüksek Prandtl sayıları için daha yüksek ortalama Nusselt sayısı değerleri elde edilmektedir.

Bu durum (Agrawal ve Sengupta, 1989) 'da verilmiştir. Onların çalışmasında akım fonksiyonu girdaplılık yaklaşımı ve grid tekniği olarak da cebirsel grid üretim tekniği kullanılmıştır. Akışkan özellikleri sabit olduğundan akış alanı ve basınç dağılımı Prandtl sayısından etkilenmemektedir. Yüksek Prandtl sayılarında ortalama Nusselt sayılarının değişimi eğrisel bir değişim gösterirken, düşük Prandtl sayılarında bu değişim doğrusal olmaktadır. Şekil 4c' de h=0.2 için ortalama Nusselt sayısı değerlerine bakıldığında, h=0.3 tümsek yüksekliğine göre, bilhassa düşük Reynolds sayılarında ortalama Nusselt sayılarının düştüğü görülmektedir. Şekil 5' da sabit tümsek yüksekliği h=0.3 ve Re=500 için farklı tümsek taban genişliği, "a", için ortalama Nusselt sayıları verilmektedir. Görüldüğü gibi tümsek taban genişliği arttığında ortalama Nusselt sayıları da düşmektedir. Bu durumda taban genişliği arttıkça tümsekli bölgeye giren akışkan kendi yapısını bozmazken tedrici olarak hızlanmakta ve hidrodinamik sınır tabaka aşırı derecede bozulmamaktadır. Genişliği düşük olduğu durumda akış ani bir engelle karşılanmakta ve tümseğin önünde ve arkasında akım geriye doğru dönerken sınır tabakayı bozmaktadır.

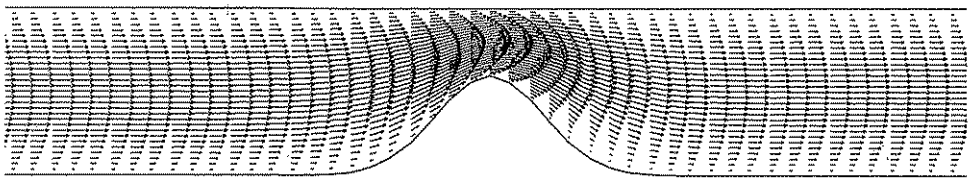
Şekil 6.' da farklı Reynolds sayılarında Pr=0.71 ve h=0.2 için yerel Nusselt sayıları verilmiştir. Yerel Nusselt sayıları tümseğin bulunduğu bölgede ani olarak artış göstermektedir. Artan Reynolds sayısı ile daha yüksek Nusselt sayıları elde edilmiştir. Tümsek yüksekliği artırıldığında aynı Prandtl sayısı için bilhassa tümseğin bulunduğu bölgede Nusselt sayısında daha fazla artış olduğu görülmektedir (Şekil 7). Artan Pr sayısı ile yerel Nusselt sayısının değişimi kanalın alt cidarı boyunca Re=100 ve h=0.3 değerleri için Şekil 8 'de verilmektedir. Görüldüğü gibi Prandtl sayısının artması ile yerel Nusselt sayıları da artmakta ve tümsek üzerinde bütün Pr sayılarında ani artış gözlenmektedir.



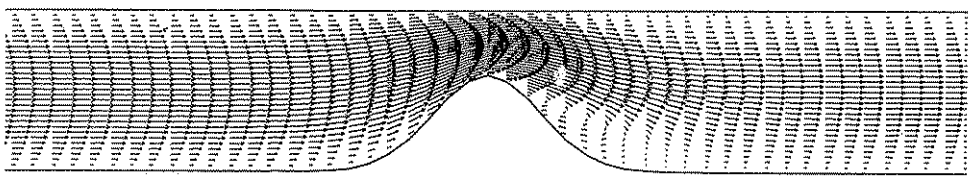
a)

b)

Şekil 2. Eş sıcaklık eğrileri (Re = 100, h = 0.3) a) Pr = 0.71, b) Pr = 7

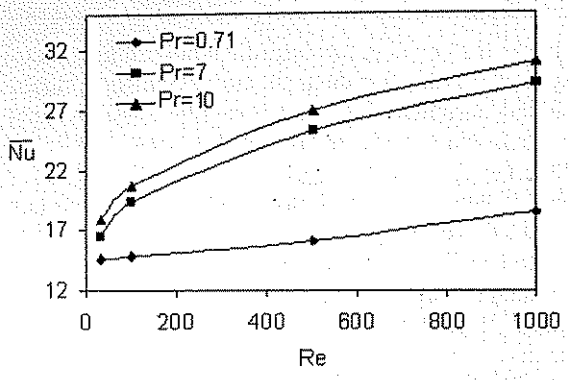


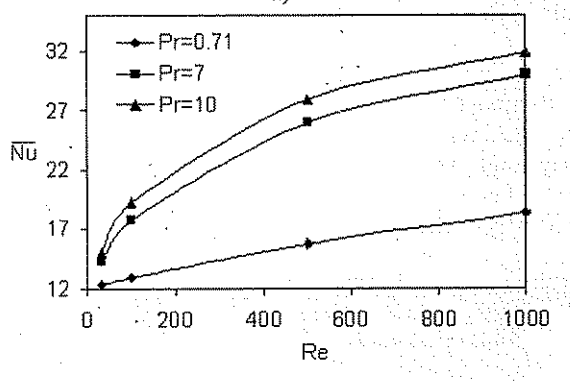
a)

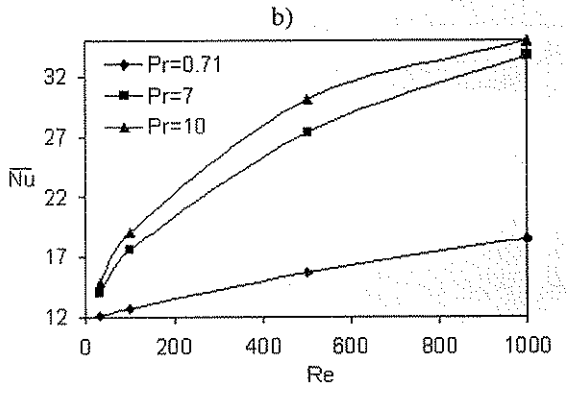


b)

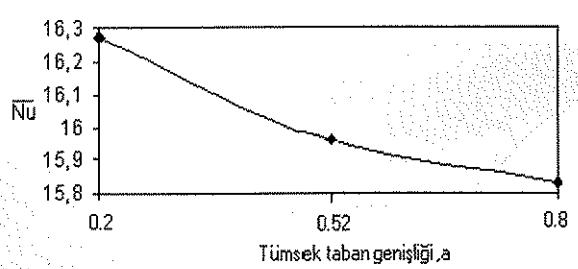
Şekil 3. Hız vektörleri (h = 0.3) a) Re = 30, b) Re = 100



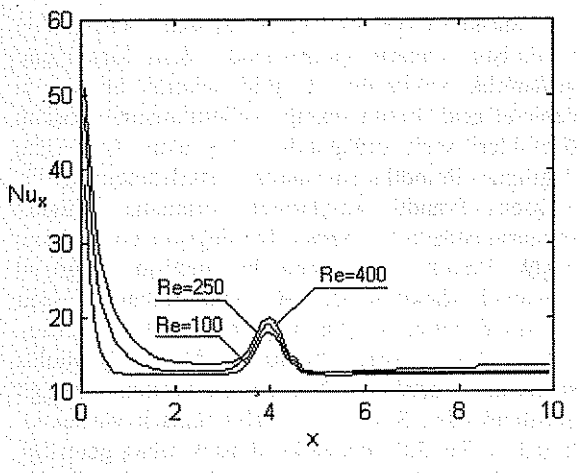




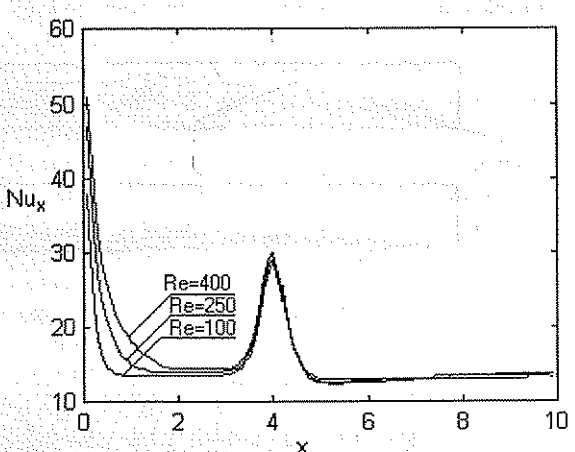
Şekil 4. Farklı Pr ve Re sayıları için ortalama Nusselt sayısının değişimi a) h=0.3, b) h=0.2, c) h=0.1, $\xi = 0.4$



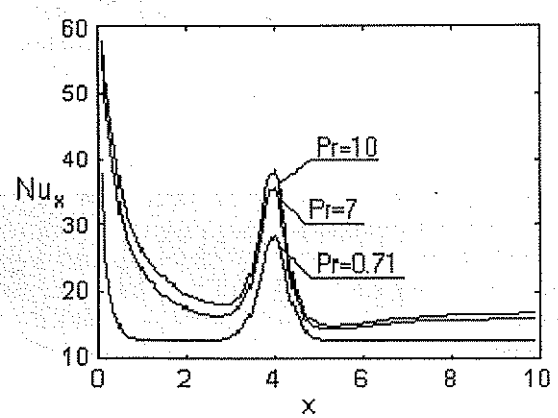
Şekil 5. Farklı tümsek taban genişliği için ortalama Nusselt sayısının değişimi Re=500, h=0.3, Pr=0.71



Şekil 6. Kanal boyunca farklı Reynolds sayılarında yerel Nusselt sayısının değişimi, Pr=0.71, h=0.2



Şekil 7. Kanal boyunca farklı Reynolds sayılarında yerel Nusselt sayısının değişimi, Pr=0.71, h=0.3



Şekil 8. Kanal boyunca farklı Prandtl sayılarında yerel Nusselt sayısının değişimi, Re=100, h=0.3

SONUÇLAR

Alt cidarında eğrisel bir tümsek bulunan kanalda laminar akış ve ısı transferi sayısal olarak incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Eliptik grid üretim tekniği kullanılarak, eğrisel koordinatlarda yazılan denklemlerin şaşırtmasız grid düzeni ve SIMPLEM algoritma yardımıyla çözümünün iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.
- Artan Prandtl sayısı ve Reynolds sayısı ile birlikte ortalama ve yerel Nusselt sayıları da artmaktadır.
- Tümseğin geometrik parametreleri akış ve ısı transferi üzerinde oldukça etkili olmakta ve artan tümsek yüksekliği ile ısı transferi de artmaktadır.
- Aynı tümsek yüksekliğinde tümsek taban genişliği arttığında ise ısı transferi azalmaktadır.
- Tümsek arkasındaki yeniden tutunma mesafesi Reynolds sayısının artması ile artmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışmanın bir kısmının Kanada Montreal Üniversitesi Ecole Polytechnique 'de tamamlanması için destek sağlayan TÜBİTAK-NATO Bilim Adamı Yetiştirme Grubuna teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR

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

Agrawal, A.K. and Sengupta, S., Laminar Flow and Heat Transfer in Blocked Annuli, *Numerical Heat Transfer, Part A,* 15, 489-508, 1989.

Akin, C., Karakas, A. and Büyüktür, A.R., Hydrodynamics and Heat Transfer in Droplet Arrays, Proceedings of the 1992 Engineering Systems Design and Analysis Conference, Istanbul, Turkey, pp. 143-150, 1992.

Chen, S.J. and Tong, A.Y., Application of elliptic grid generation technique to the solution of hydrodynamics and heat transfer of droplet arrays at intermediate Reynolds numbers, *Int. J. Heat Mass Transfer,* 31, 5, 1063-1072, 1988.

Croce, G., Comini,G. and Shyy, W., Incompressible Flow and Heat Transfer Computations using a Continuous Pressure Equation and Nonstaggered grids, *Numerical Heat Transfer, Part B,* 38, 291-307, 2000.

Lee, T.S., Numerical study of fluid flow through double bell-shaped constrictions in a tube, Int. J. Num. Methods for Heat & Fluid Flow, 12, No. 3, 258-289, 2002.

Oztop, H. F., Eğrisel Sınırlı Asimetrik Kanallarda Akışın Ve Isı Transferinin Sayısal İncelenmesi, *Doktora Tezi,* F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2003.

Oztop, H.F. and Dagtekin, I., Fluid Flow and Heat Transfer through an asymmetric channel with double hill on the bottom , First Int. Exergy, Energy and Environment Symposium (IEEES-1), Izmir, Turkey, 175-181 , 2003.

Özışık, M.N., *Finite Difference Method in Heat Transfer,* CRC Press, 1994.

Özışık, M.N. *Heat Transfer A Basic Approach,* McGraw-Hill, 1985.

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

Reggio, M. and Camerero, R., Numerical Solution procedure for viscous incompressible flows, *Numerical Heat Transfer,* 10, 131-146, 1986.

Thames, F.C., Thompson, J.F., Mastin, C.W., Walker, R.L., Numerical Solutions for Viscous and Potential Flow about Arbitrary Two-Dimensional Bodies Using Body-Fitted Systems, *Journal of Comp. Physics,* 24, 245-273 1977.

Thompson, J.F. and Mastin, C.W., Order of Difference expressions in Curvilinear Coordinate Systems, *Journal of Fluids Engineering,* 107, 241-250, 1985a.

Thompson, J.F., Thames, F.C. and Mastin, C.W., Automatic Numerical Generation of Body-Fitted Curvilinear Coordinate System for Field Containing Any Number of Arbitrary Two-Dimensional Bodies, *Journal of Comp. Physics,* 15, 299-319, 1974.

Thompson, J.F., Warsi, Z.U.A. and Wayne, M.C., *Numerical Grid Generation Foundations and Applications,* North Holland, 1985b.

Uzun, İ., Gelişigüzel Sınırları Olan Kanallarda Laminar Akıştaki Hidrodinamik ve Sıcaklık Problemlerinin Eliptik Grid Üretim Yöntemi ile Bilgisayarda Analizi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü *Doktora Tezi,* Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 1992.