Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 25, 2, 15-21, 2005
J. of Thermal Science and Technology
©2005 TIBTD Printed in Turkey
ISSBN 1300-3615

İÇİNDE ISITICI BLOKLAR BULUNAN BİR KANALDA GÖZENEKLİ MALZEME KULLANIMININ AKIŞA VE ISI TRANSFERİNE ETKİLERİNİN SAYISAL ANALİZİ

Nuri YÜCEL* **ve R.Tolga GÜVEN****
Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
06570 Maltepe, Ankara, *nuyucel@gazi.edu.tr, **ragip_tolga@yahoo.com

(Geliş Tarihi:15.09.2005)

Özet: Bu çalışmada duvarları üzerine ısıtıcı elemanlar yerleştirilmiş, alt ve üst yüzeyi yalıtılmış dikdörtgen kesitli kanalda, ısıtıcı elemanlar arasına yerleştirilen gözenekli katman yüksekliğinin, Darcy sayısının ve Reynolds sayısının akışkan akışı ve ısı transferi üzerine etkileri sayısal olarak incelenmiştir. İncelemelerde üç bloklu ve altı bloklu kanallar ele alınmıştır. Blokların arasına gözenekli malzeme bulunmaktadır. Kanal içerisindeki akışkan akışı Navier-Stokes denklemleriyle; gözenekli ortamdaki akışkan akışı Darcy-Forchheimer-Brinkman modeli ile modellenmiştir. Kontrol hacmi esasına dayalı SIMPLE algoritması kullanan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Simulasyon sonuçlarından gözenekli katman yüksekliğinin artması ile ortalama Nusselt sayısının arttığı ve boyutsuz maksimum sıcaklığın azaldığı görülmüştür. Darcy sayısının artması ile, yüksek Reynolds sayılarında, ortalama Nusselt sayısının arttığı ve boyutsuz maksimum sıcaklığın sınırlı miktarda azaldığı görülmüştür. Reynolds sayısının artması ile ortalama Nusselt sayısının arttığı ve boyutsuz maksimum sıcaklığın azaldığı görülmüştür.
Anahtar Kelimeler: Gözenekli ortam, Isıtıcı bloklar, Zorlanmış konveksiyon.

NUMERICAL INVESTIGATION OF FLUID FLOW AND HEAT TRANSFER IN A CHANNEL WITH DISCRETE HEAT SOURCES AND POROUS LAYER

Abstract: Laminar forced convection cooling of heat generating blocks mounted in a parallel plate channel is presented in this numerical investigation. Three and six heat generating blocks are mounted in the channel. The effect on heat transfer of insertion of a porous matrix is considered. The Navier-Stokes equations are used to solve fluid flow in the channel. The Brinkman Forchheimer extended Darcy model is used to model the flow inside the porous domain. A computer program based on SIMPLE algorithm is modified. The mass, momentum and energy equations are solved numerically by a control volume based procedure, temperature and velocity distributions are determined. The study demonstrates the effect of several operating parameters such as porous layer thickness, thermal conductivity ratio, Darcy number and inertial coefficient on the thermal performance of the flow. The results show that heat transfer can be enhanced by insertion of high conductivity porous material and the effect of several operation parameters may enhance heat transfer rate on heat generating blocks.
Keywords: Porous medium, Heat generating blocks, Forced convection.

SEMBOLLER

c	Blok yüksekliği
C	Boyutsuz blok yüksekliği
C_f	Akışkanın özgül ısısı [J/kg·K]
Da	Darcy sayısı, $Da = K/H^2$
e	Gözenekli yapının yüksekliği
E	Gözenekli yapının boyutsuz yüksekliği
F	Forchheimer katsayısı
f(d)	Enerji denkleminde fonksiyon
H	Kanal yüksekliği
k_e	Gözenekli bölge ısıl iletkenlik katsayısı
k_f	Akışkanın ısıl iletkenlik katsayısı
k_s	Blok ısıl iletkenlik katsayısı
K	Gözenekli maddenin geçirgenliği
l_c	Kanal uzunluğu
L	Boyutsuz kanal uzunluğu
l_1	Giriş uzunluğu
L_1	Boyutsuz giriş uzunluğu
l_2	Son blok ile kanal çıkışı arası mesafe
L_2	Son blok ile kanal çıkışı arası boyutsuz uzunluk
Nu	Ortalama Nusselt sayısı
Nu_y	Yerel Nusselt sayısı
n	Isıtıcı yüzeye dik eksen
p	Basınç
P	Boyutsuz basınç
Pr	Akışkanın Prandtl sayısı, $\Pr = \upsilon_f / \alpha_f$
q	Metreküp başına düşen ısı üretimi
Q	Birim uzunluktaki ısı üretimi [W/m]
Re	Reynolds sayısı, $\mathrm{Re} = U_o H / \upsilon_f$

R_k	Isıl iletkenlik oranı
s	Bloklar arası uzunluk
S	Bloklar arası boyutsuz uzunluk
T'	Sıcaklık
T	Boyutsuz sıcaklık
T_0	Giriş sıcaklığı
u	Eksenel hız
U	Boyutsuz eksenel hız
U_0	Giriş hızı
v	y yönü hızı
V	Boyutsuz y yönü hızı
w	Blok uzunluğu
W	Boyutsuz blok uzunluğu
x	Eksenel koordinat
X	Boyutsuz eksenel koordinat
y	Eksene dik koordinat
Y	Boyutsuz eksene dik koordinat
α_f	Isıl yayılım katsayısı
ε	Gözeneklilik
λ	Atalet katsayısı
ρ_f	Akışkanın yoğunluğu [kg/m^3]
υ_f	Akışkanın kinematik viskozitesi. [m^2/s]

GİRİŞ

Elektronik cihazlarda devrelerin ısınması ve ısınan devrelerdeki ısının sistem dışına atılması en önemli sorundur. Bu nedenle elektronik sistemlerdeki atık ısının uzaklaştırılması bugün ısı transferinin önemli bir ilgi alanı olmuştur. Bilgisayar teknolojisindeki gelişme, işlem hızlarını ve parçaların bir arada bulunma yoğunluklarını artırmaktadır. Elektronik sistemlerde devre yoğunluğunun her yıl %30 civarında artması bu cihazların ısıl kontrolü ile birleşen sorunlarını arttırmaktadır. Elektronik bileşenlerin ısıl kontrolünde ana prensiplerden birisi, elemanların çalışma sıcaklığının belli aralıkta tutulması zorunluluğudur. Bu sıcaklık değerleri tipik olarak 85°C-100°C arasındadır. Araştırmacılar, herhangi bir elektronik bileşenin sıcaklığının belirlenen limitlerin 10 °C üzerine çıkması durumunda çalışma güvenliğinin %50 ye varan mertebelerde azaldığını göstermiştir (Nelson *vd,* 1978) Bu gerekçeler ısı aktarımı mekanizmasında bir iyileştirme yapılmasını gündeme getirmiştir. Bu aşamada yüksek iletkenlikli gözenekli malzemenin ısı üreten elemanlara eklenmesi ve bu eklenti ile ısı üreten elemanlardan soğutucu akışkana olan ısı transferinde iyileştirme sağlanması öngörülmüştür.

Türkoğlu ve Yücel (1995) bir yüzeyine ısıtıcı eleman gömülmüş dikey bir kanalda karışık konveksiyonla ısı transferi ve akışkan akışını incelemişlerdir. Reynolds sayısının, Grashof sayısının, ısıtıcı elemanın konumunun ve kanal genişliğinin ortalama Nusselt sayısına ve maksimum ısıtıcı eleman sıcaklığına etkilerini araştırmışlardır. Dar kanallarda, yüksek Reynolds sayılarında daha etkin soğutma sağlanabildiğini gözlemlemişlerdir.

Davalath ve Bayazıtoğlu (1987) içinde ısı üreten bloklar bulunan dikdörtgen kesitli kanalda akışkan akışı ve ısı transferini incelemişlerdir. Kanal içinde bir yüzeye ısı üreten eleman dizisi yerleştirilmiştir. Sıkıştırılamaz laminar akışkan akışı Navier-Stokes denklemleri ile modellenmiştir.

Gözenekli ortamda kanal içi zorlanmış akışkan akışı ve ısı transferi üzerine, geçirgen olmayan kenarın ve akış hızının etkileri Vafai ve Tien (1981) tarafından araştırılmış, sonuçlar çeşitli parametrelere bağlı olarak ifade edilmiştir. Bu parametrelerden bazıları akışkan viskozitesi, atalet kuvvetlerine karşı olan direnç ve Prandtl sayısıdır. Çalışmada akışkan akışının modellenmesinde kullanılan hareket denklemi Darcy-Brinkman-Forchheimer denklemidir. Bu çalışma gözenekli ortamda akışkan akışı ve ısı transferi ile ilgili pek çok farklı çalışmada referans gösterilmiştir.

Ould-Amer *vd.,* (1998) içinde gözenekli ortam ve ısıtıcı bloklar bulunan dikdörtgen kesitli kanalda akışkan akışı ve ısı transferini numerik olarak incelemişlerdir. Isı üreten blokların arasına döşenen gözenekli katmanın ısı transferi üzerine etkileri araştırılmıştır. Kanal içine uygun yükseklikte gözenekli ortam eklenmesinin blok yan yüzeylerindeki konvetif ısı transferini artırdığı bulgusunu elde etmişlerdir.

Young ve Vafai (1998) bir duvarı üzerine ısıtıcı blok monte edilmiş kanal içinde zorlanmış konveksiyon ile ısı transferini ve akışkan akışını sayısal olarak incelemişlerdir. Özellikle ısıtıcı blok yüzeylerindeki yerel Nusselt sayıları ve blok ortalama Nusselt sayısının detaylı analizi yapılmıştır. Reynolds sayısının , blok boyutlarının, blok akışkan ısı iletkenlik oranının değişik değerlerinin yerel Nusselt sayısına ve ortalama Nusselt sayısına etkileri bir düzen dahilinde incelenmiştir, sonuçlar grafikler halinde verilmiştir. Bulunan değerler üç farklı çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılmıştır, bu çalışmalar (Cess ve Shaffer, 1959), (Zebip ve Wo, 1989) ve (Davalath ve Bayazitoğlu, 1987) çalışmalarıdır. Sonuçlarda blok boyutlarının, şeklinin ve ısılil etkenlik oranının akışkan akışı ve ısı transferine olan etkisi belirtilmiştir.

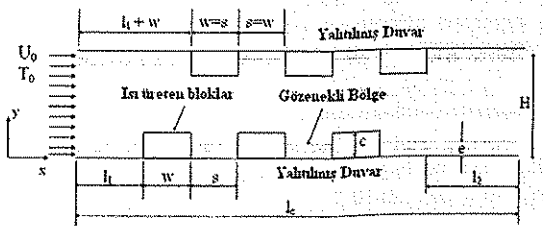
Kim *vd,* (2001) yatay bir kanalda poroz aleminyum kanatçıklar ve aleminyum köpük malzeme kullanarak akışın, termal karakteristiklerini sayısal olarak incelemişlerdir.Soğutma havası kanala, kanalın üst tarafına açılan bir delikten girmekte olduğunu ve yatay kanalın sağ ve sol uclarından tam gelişmiş olarak çıkmakta olduğunu kabul etmişlerdir. Alt levhada, aleminyum kanatçık veya köpüğün yerleştirildiği kısımlarda üniform ısı akısı uygulanmıştır. Isı transferi karakteristiğinin, kanakçık kalınlığı ve yüksekliğine, gözenekli malzemenin ısı iletim katsayısı ve anizotropik yapısına bağlı olduğunu göstermişlerdir.

Bu çalışmada duvarları üzerine ısıtıcı elemanlar yerleştirilmiş, alt ve üst yüzeyi yalıtılmış dikdörtgen kesitli kanallarda, ısıtıcı elemanlar arasına yerleştirilen gözenekli katman yüksekliğinin, Darcy sayısının ve Reynolds sayısının akışkan akışı ve ısı transferi üzerine etkileri sayısal olarak incelenmiştir. İncelemelerde üç

bloklu ve altı bloklu kanallar ele alınmıştır. Üç bloklu kanallarda eşit aralıklar ile üç adet ısıtıcı eleman kanalın alt yüzeyine yerleştirilmiştir. Altı bloklu kanallarda kanalın alt plakasındaki bloklara kaydırılmış simetrik olacak şekilde kanalın üst plakasına da üç adet blok yerleştirilmiştir (Şekil.1). Isıtıcı elemanlar arasına yerleştirilen gözenekli katman yüksekliğinin, gözenekli katmanın akışkan geçirgenliğinin ifadesi olan Darcy sayısının ve Reynolds sayısının ortalama Nusselt sayısı ve boyutsuz maksimum sıcaklık üzerine etkisi araştırılmıştır.

MATEMATİKSEL FORMÜLASYON

Şekil.1'de problemin geometrisi ve koordinat sistemi şematik olarak gösterilmiştir. Uzunluğu l_c, yüksekliği H olan dikdörtgen kesitli bir kanalda akışkan akışı ve ısı transferi sayısal olarak incelenmiştir. Yüksekliği c ve genişliği w olan ısıtıcı elemanlar kanala yerleştirilmiştir. Kanalın alt ve üst yüzeyi yalıtılmıştır. Akışkanın kanala uniform hızla girdiği ve tam gelişmiş şartlarda çıktığı kabulü yapılmıştır. Sayfa düzlemine dik doğrultuda kanalın çok geniş olduğu varsayılarak problemin iki boyutlu olduğu kabul edilmiş, iki boyutlu probleme göre formulasyon yapılmıştır.



Şekil.1 Problemin geometrisi ve koordinat sistemi.

Sabit özelliklere sahip Newtonian akışkanın kararlı rejimdeki laminar akışı ele alınmıştır. Gözenekli bölgedeki akış Darcy-Brinkman-Forchheimer denklemi ile modellenmiştir. Serbest akış bölgesinde Navier-Stokes denklemleri kullanılmıştır. Sayısal çözüme geçebilmek için Darcy-Brinkman-Forchheimer modeli ve Navier-Stokes denklemleri tek bir denklemde birleştirilmiştir. Blokların içindeki ısı üretimi sabit ve düzgün dağılımlı alınmıştır. Gözenekli bölgede katı yapı ile gözeneklerdeki akışkanın yerel ısıl dengede olduğu kabul edilmiştir. Gözeneklerin akışkan ile doymuş olduğu, gözenek yapısının homojen ve isotropik olduğu kabul edilmiştir. İki boyutlu problemin kararlı rejimde laminar akış için boyutsuz süreklilik, momentum ve enerji denklemleri aşağıdaki şekilde yazılmıştır.

Boyutsuzlandırma ifadeleri : $X=\frac{x}{H}$, $Y=\frac{y}{H}$, $U=\frac{u}{U_0}$,

$V=\frac{v}{U_0}$, $T=\frac{T'-T_0}{Q/k_f}$, $P=\frac{p}{\rho_f U_0^2}$

Boyutsuz süreklilik denlemi,

$$\frac{\partial U}{\partial X}+\frac{\partial V}{\partial Y}=0 \qquad (1)$$

Gözenekli bölgede ve serbest akış bölgesinde geçerli olan momentum denklemleri boyutsuz ifadelerin yardımı ile birleştirilerek X ve Y yönleri için yazılmıştır.

X-yönünde

$$\frac{1}{\varepsilon^2}\left[U\frac{\partial U}{\partial X}+V\frac{\partial U}{\partial Y}\right]=-\frac{\partial P}{\partial X}+\frac{1}{\varepsilon \mathrm{Re}}\left[\frac{\partial^2 U}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 U}{\partial Y^2}\right]$$
$$-\frac{1}{\mathrm{Re}\,Da}U-\lambda\left(U^2+V^2\right)^{1/2}U \qquad (2)$$

Y-yönünde

$$\frac{1}{\varepsilon^2}\left[U\frac{\partial V}{\partial X}+V\frac{\partial V}{\partial Y}\right]=-\frac{\partial P}{\partial Y}+\frac{1}{\varepsilon \mathrm{Re}}\left[\frac{\partial^2 V}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 V}{\partial Y^2}\right]$$
$$-\frac{1}{\mathrm{Re}\,Da}V-\lambda\left(U^2+V^2\right)^{1/2}V \qquad (3)$$

Burada λ eylemsizlik katsayısıdır. $\lambda = (F/Da^{1/2})$

Momentum denklemleri çözülürken serbest akış bölgesinde Darcy sayısı "Da" yüksek değerlerde alınmıştır ve gözeneklilik $\varepsilon=1$ alınmıştır. Isıtıcı blokların bulunduğu bölgelerde Darcy sayısı yaklaşık sıfır alınmış ($Da \sim 0$) ve böylece çözüm sonunda ısıtıcı blokların içinde hızların sıfır çıkması ($\vec{V}=0$) sağlanmıştır.

Boyutsuz enerji denklemi ;

$$\left[U\frac{\partial T}{\partial X}+V\frac{\partial T}{\partial Y}\right]=\frac{R_k}{\mathrm{Re\,Pr}}\left[\frac{\partial^2 T}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial Y^2}\right]+\frac{f(d)}{\mathrm{Re\,Pr}\,CW} \qquad (4)$$

şeklindedir. Burada R_k ısıl iletkenlik oranıdır ve aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$R_k=\begin{cases} k_s/k_f & \text{Blokların içinde} \\ 1 & \text{Serbest akış bölgesinde.} \\ k_e/k_f & \text{Gözenekli bölgede.} \end{cases} \qquad (5)$$

Boyutsuz enerji denkleminde f(d) blokların içindeki ısı üretimini temsil eden bir fonksiyondur. Blokların içinde f(d) =1 , diğer yerlerde f(d) = 0 alınmıştır. Yukarıda verilen boyutsuz denklemler ayrıklaştırıldıktan sonra gerekli sınır şartları ile çözümlerde kullanılmıştır. Denklem (1), (2), (3) ve (4) için gerekli sınır şartları aşağıda verilmiştir:

Giriş kesitinde (X = 0)

$$U(0,Y)=1,\ V(0,Y)=0,\ T(0,Y)=0 \qquad (6)$$

Çıkışta (X = L)

$$\frac{\partial U(L,Y)}{\partial X}=0,\ V=0,\ \frac{\partial T(L,Y)}{\partial X}=0 \qquad (7)$$

Alt duvarda (Y= 0)

$$U(X,0) = 0,\ V(X,0) = 0,\ \frac{\partial T(X,0)}{\partial Y} = 0 \qquad (8)$$

Üst duvarda (Y = 1)

$$U = 0,\ V = 0,\ \frac{\partial T(X,1)}{\partial Y} = 0 \qquad (9)$$

Problem için verilmiş olan süreklilik, momentum ve enerji denklemleri yukarıdaki sınır şartları ile birlikte çözülerek, duvarında ısıtıcı elemanlar bulunan kanaldaki sıcaklık ve hız dağılımı belirlenebilir. Belirlenen sıcaklık dağılımından yerel Nusselt sayısı,

$$Nu_y = -R_k \frac{1}{T}\frac{\partial T}{\partial n}\bigg|_{Blokyüzeyi} \qquad (10)$$

şeklinde hesaplanabilir. Ortalama Nusselt sayısını hesaplamak için Yerel Nusselt sayısı ısıtıcı elemanların yüzeyleri boyunca integre edilmiş ve toplam yüzey alanına bölünmüştür.

$$Nu = \frac{1}{A_{Isıtıcı\text{-}elemanlar}} \int_{A_{Isıtıcı\text{-}elemanlar}} Nu_y dA \qquad (11)$$

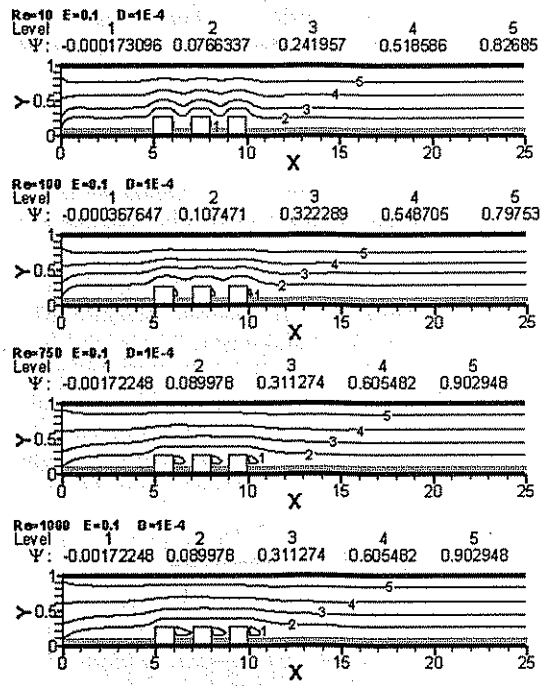
Problemi modelleyen denklemler sayısal olarak çözülmüştür. Kullanılan sayısal çözüm yönteminde akış alanı sonlu kontrol hacimlerine bölünmüştür ve temel denklemler bu kontrol hacimlerinde integre edilerek cebirsel denklem sistemine dönüştürülmüştür. SIMPLE algoritması (Patankar 1980) esas alınarak geliştirilen bilgisayar programı kullanılarak cebirsel denklem takımı çözülmüş ve çözüm alanında sonlu sayıda noktada hız, sıcaklık dağılımları bulunmuştur.

Çözüm alanı X yönünde giriş bölgesi, ısıtıcı bloklara denk gelen bölgeler ve çıkış bölgesi olarak ağ yoğunluğu bakımından farklı ağ sıklığındaki bölgelere ayrılmıştır. Isıtıcı bloğun olduğu bölgelerde gradyanlar daha büyük olacağı için daha sık ağ kullanılmıştır. Çözüm alanı içerisinde farklı ağ dağılımları denenerek sonuçların ağ sayısından bağımsız olmaları sağlanmıştır.

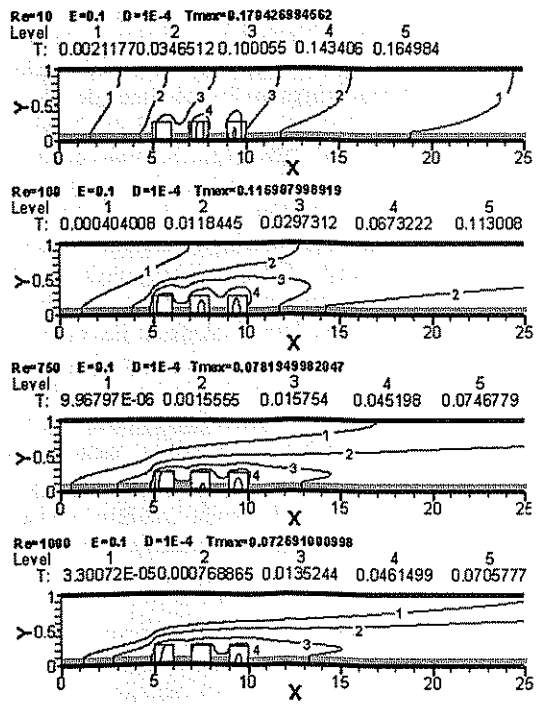
BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada üç ve altı bloklu kanallarda inceleme yapılmıştır. Üç bloklu kanalın boyutsuz geometrik boyutları, l_c/H=25.0, l_1/H=5.0, w/H=1.0, s/H=1.0, l_2/H=15.0 ve c/H=0.25 alınmıştır. Altı bloklu kanalda l_c/H=25.0 l_1/H=5.0, w/H=1.0, s/H=1.0, l_2/H=14.0 ve c/H=0.25 alınmıştır. Pr=0.7, k_s/k_f=10, k_e/k_f=100, ε=1olarak alınmıştır. Reynolds sayısı (Re=10, 100, 750, 1000) gözenekli kısımın yükseklik değerleri, E=e/H (E=0, 0.1, 0.25, 0.5) ve Darcy sayısı (Da=1.0×10^{-5}, 1.0×10^{-4}, 1.0×10^{-3}) değerleri sistematik olarak değiştirilerek akışkan akışı ve ısı transferi üzerine etkileri araştırılmıştır.

Şekil.2 ve Şekil.3'de gözenekli kısım yüksekliği E=0.1 ve geçirgenliği Da=1.0×10^{-4} değerleri için akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri farklı Reynolds sayıları için gösterilmiştir. Reynolds sayısı arttıkca ısıtıcı bloklar arkasında girdaplar oluşmakta olup Reynolds sayısının büyüklüğüne bağlı olarak girdap büyüklüğüde artmaktadır. Isıtıcı elemanlar civarında büyük bir sıcaklık gradyanı oluşmaktadır ve Reynolds sayısı arttıkça ısıtıcı bloklar etrafında sıcaklık gradyeni de artmaktadır.

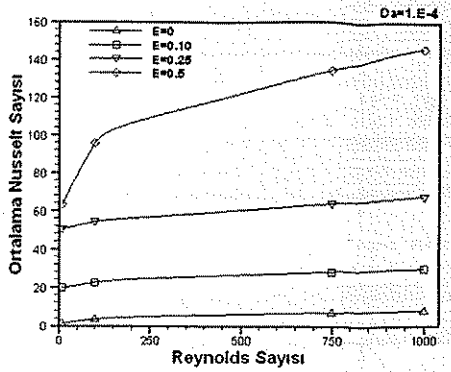


Şekil.2 Üç bloklu kanalda akım çizgileri(Re=10, 100, 750, 1000, E=0.1, Da=1.0×10^{-4})



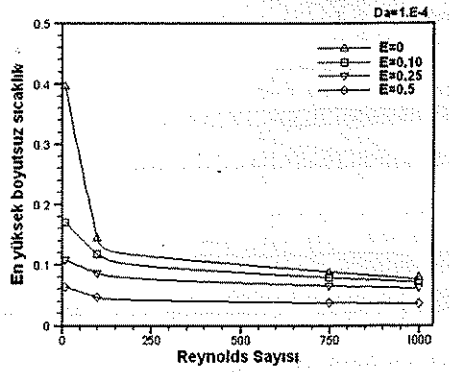
Şekil.3 Üç bloklu kanalda eş sıcaklık çizgileri (Re=10, 100, 750, 1000 , E=0.1 ve Da=1.0×10^{-4})

Üç bloklu kanalda Darcy sayısının $Da=1.0\times10^{-4}$ değeri için ortalama Nusselt sayısının ve boyutsuz maksimum sıcaklığın Reynolds sayısı ve gözenekli kısım yüksekliği ile değişimi Şekil.4 ve Şekil.5'de gösterilmiştir.



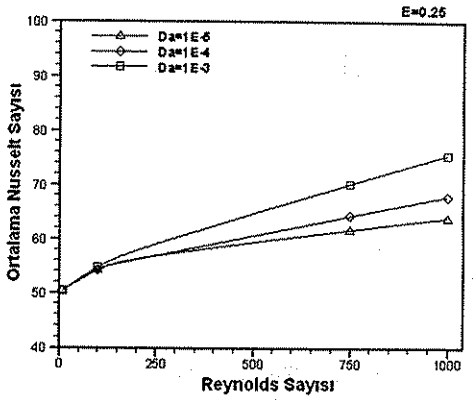
Şekil.4 Üç bloklu kanalda $Da=1.0\times10^{-4}$ için farklı gözenek yüksekliklerinde Ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.

Gözenekli kısım yüksekliğinin E=0 durumu için Ortalama Nusselt sayısının düşük olduğu görülmüştür. Reynolds sayısı sabit tutularak gözenekli kısım yüksekliği arttırıldığında ortalama Nusselt sayısı değerleri artmaktadır. Bu durum yüksek ısıl iletkenliğe ve akış geçirgenliğine sahip gözenekli bölgenin geniş alanlı kanatçık görevi görmesi şeklinde açıklanabilir. Fiziki olarak metal köpükleri bu etkiyi sağlayabilir. Eşitlik 4'de gözenekli bölge ısıl iletkenlik oranının yüksek alınması ile bu etki temsil edilmiştir. Gözenekli kısım yüksekliğinin ortalama Nusselt sayısına etkisinin Reynolds sayısının arttırılması ile sağlanan etkiden daha belirgin olduğu gözlenmiştir.

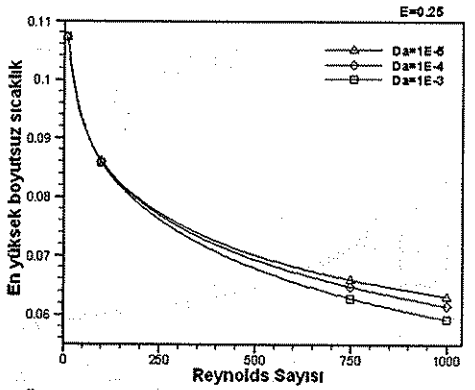


Şekil.5 Üç bloklu kanalda $Da=1.0\times10^{-4}$ için farklı gözenek yüksekliklerinde boyutsuz maksimum sıcaklığın Reynolds sayısı ile değişimi.

Gözenekli kısım yüksekliği arttığında boyutsuz maksimum sıcaklık değerleri düşmektedir. Bu durum ısıtıcı eleman ile gözenekli kısım arasında temas yüzeyinin artması, ısıtıcı elemanlarda açığa çıkan enerjinin yüksek ısıl iletkenlik ile gözenekli kısıma iletilmesi, akış geçirgenliğine sahip bu bölgeden konvektif hareketler ile akışkana geçen enerjinin bölgeden uzaklaşması ile açıklanabilir. Reynolds sayısı arttıkca boyutsuz maksimum sıcaklık değerleri. Düşmektedir. Bu durum Reynolds sayısının artışı ile zorlanmış taşınımın artması ile açıklanabilir



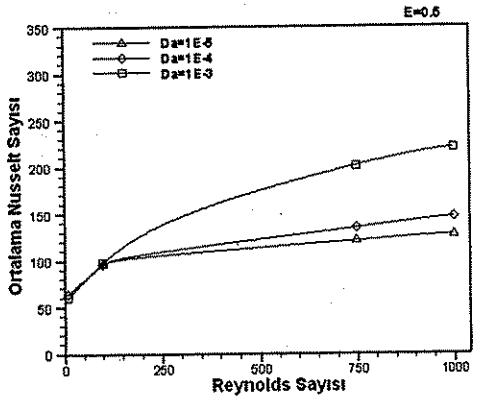
Şekil.6 Üç bloklu kanalda E=0.25 için Darcy sayısının farklı değerlerinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.



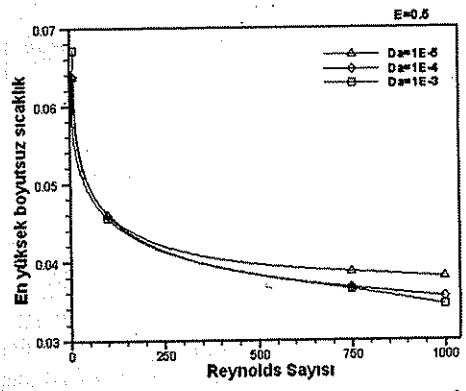
Şekil.7 Üç bloklu kanalda E=0.25 için Darcy sayısının farklı değerlerinde boyutsuz maksimum sıcaklığın Reynolds sayısı ile değişimi.

Darcy sayısının, Reynolds sayısına bağlı olarak, akışkan akışı ve ısı transferine etkileri incelenmiştir. Ortalama Nusselt sayısının ve boyutsuz maksimum sıcaklığın farklı geçirgenlik değerleri için değişimi Şekil.6 ve Şekil.7 de E=0.25 değeri için, Şekil.8 ve Şekil.9 da E=0.5 değeri için gösterilmiştir. Darcy sayısı sabit tutulduğunda Reynolds sayısı arttıkca ortalama Nusselt sayısı artmakta ve boyutsuz maksimum sıcaklık düşmektedir. Geçirgenlik yani Darcy sayısı arttıkça taşınımla olan ısı transferi de arttığı için ortalama Nusselt sayısı artmaktadır ve boyutsuz maksimum sıcaklık düşmektedir. Düşük Reynolds sayılarında Darcy sayısının boyutsuz maksimum sıcaklık üzerinde etkisinin fazla olmadığı görülmüştür. Ancak yüksek Reynolds sayılarında Darcy sayısı arttıkca boyutsuz maksimum sıcaklık düşmektedir.

Şekil. 8'de Gözenekli kısım yüksekliği E=0.5 durumunda Darcy sayısının ortalama Nusselt sayısına etkisinin Reynolds sayısındaki artış ile arttığı görülmektedir. Bu etkinin gözenekli kısım yüksekliği E=0.25 durumundaki etkiden daha belirgin olduğu görülmektedir. Bunun sebebi olarak E=0.25 durumunda sadece blok yan yüzeylerinin Darcy sayısındaki değişimle etkileşmekte, ancak gözenekli kısmın E=0.5 yüksekliğindeki durumunda ısıtıcı blokların yan yüzeylerinin ve üst yüzeylerinin tümü gözenekli kısımla etkileşim içinde olmaları şeklinde açıklanabilir.



Şekil.8 Üç bloklu kanalda E=0.5 için Darcy sayısının farklı değerlerinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.

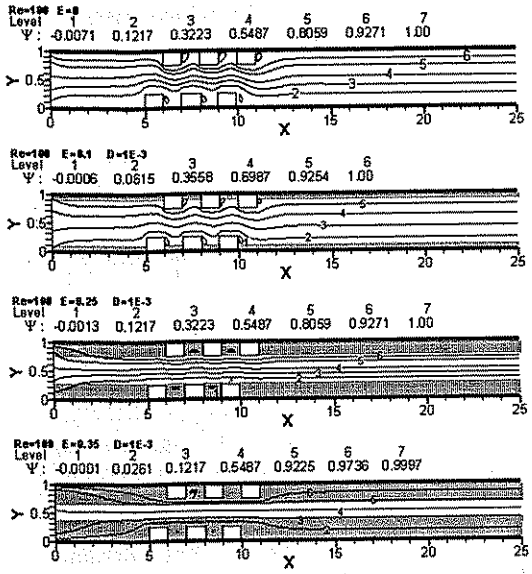


Şekil.9 Üç bloklu kanalda E=0.5 için Darcy sayısının farklı değerlerinde boyutsuz maksimum sıcaklığın Reynolds sayısı ile değişimi.

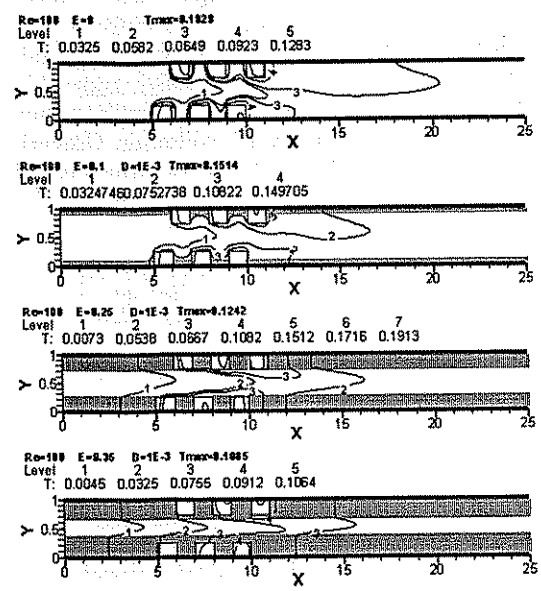
Şekil.10 ve Şekil.11'de altı bloklu kanalda gözenekli kısım yüksekliğinin farklı değerlerinde (E= 0, 0.1, 0.25, 0.35) ve geçirgenliğin $Da=1.0\times10^{-3}$ değerinde akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri Reynolds sayısı Re=100 için çizilmiştir. Gözenekli kısım yüksekliği arttıkca ısıtıcı bloklar arkasında oluşan girdaplar azalmaktadır. Gözenekli kısım bulunmayan kanalda ısıtıcı elemanlar civarında büyük bir sıcaklık gradyanı oluşmaktadır. Gözenekli kısım yüksekliği artırıldığında sıcaklık gradyanı azalmakta ve sıcaklık dağılımı düzgün hale gelmektedir.

Altı bloklu kanalda Darcy sayısının $Da=1.0\times10^{-3}$ değeri için ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ve gözenekli kısım yüksekliği ile değişimi Şekil.12'de ve boyutsuz maksimum sıcaklığın Reynolds sayısı ve gözenekli kısım yüksekliği ile değişimi Şekil.13'de gösterilmiştir.

Altı bloklu kanalda üç bloklu kanal sonuçlarına benzer olarak gözenekli kısım yüksekliğinin E=0 durumu için Ortalama Nusselt sayısının düşük olduğu görülmüştür. Reynolds sayısı sabit tutularak gözenekli kısım yüksekliği arttırıldığında ortalama Nusselt sayısı değerleri artmaktadır. Gözenekli kısım yüksekliğinin ortalama Nusselt sayısına etkisinin Reynolds sayısının arttırılması ile sağlanan etkiden daha belirgin olduğu gözlenmiştir



Şekil.10 Altı bloklu kanalda gözenekli bölgenin farklı yüksekliklerinde akım çizgileri (Re=100, E=0, 0.1, 0.25, 0.35 $Da=1.0\times10^{-3}$)

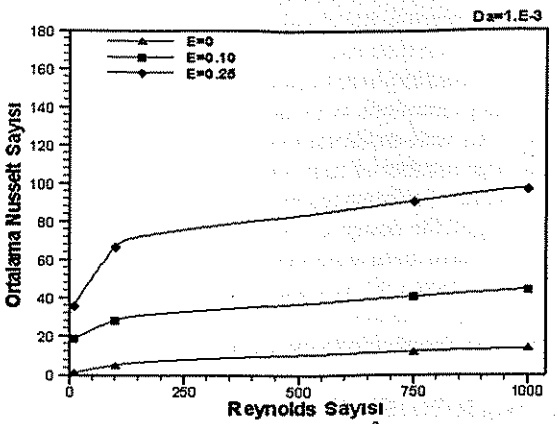


Şekil.11 Altı bloklu kanalda gözenekli kısımın farklı yüksekliklerinde eş sıcaklık çizgileri (Re=100, E= 0, 0.1, 0.25, 0.35 $Da=1.0\times10^{-3}$)

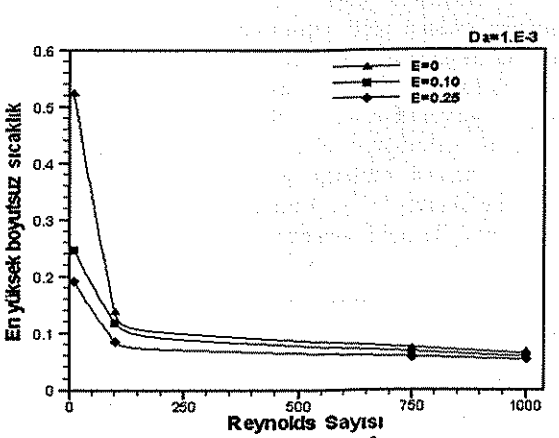
SONUÇLAR

Bu çalışmada bir duvarı üzerine ısıtıcı elemanlar yerleştirilmiş, alt ve üst yüzeyi yalıtılmış üç ve altı bloklu kanallarda, ısıtıcı elemanlar arasına yerleştirilen gözenekli katman yüksekliğinin, Darcy sayısının ve Reynolds sayısının akışkan akışı ve ısı transferi üzerine etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Bu amaç için, kontrol hacmi yaklaşımına dayanan sayısal yöntem kullanan bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Farklı gözenekli kısım kalınlıkları için yapılan simulasyonlardan, Reynolds sayısı arttıkca sirkülasyonun artması ile ortalama Nusselt sayısının arttığı ve boyutsuz maksimum sıcaklıkların azaldığı belirlenmiştir. Gözenekli kısım yüksekliğinin artması ile ortalama Nusselt sayısında artış ve boyutsuz maksimum sıcaklıkta düşüş görülmüştür. Yüksek Reynolds sayılarında Darcy sayısındaki artış ile ortalama Nusselt sayısında artış ve boyutsuz maksimum sıcaklıklarda azalma görülmüştür. Düşük Reynolds sayılarında Darcy sayısının değiştirilmesinin ortalama Nusselt sayısına ve boyutsuz maksimum sıcaklıklara etkisi olmadığı belirlenmiştir.



Şekil.12 Altı bloklu kanalda Da=1.0×10^{-3} için farklı gözenek yüksekliklerinde Ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.



Şekil.13 Altı bloklu kanalda Da=1.0×10^{-3} için farklı gözenek yüksekliklerinde en yüksek boyutsuz sıcaklığın Reynolds sayısı ile değişimi.

KAYNAKLAR

Davalath J., Bayazıtoğlu Y., Forced Convection Cooling Across Rectengular Blocks, *Journal of Heat Transfer,* 109, 321-328, 1987.

Kim, S. Y., Koo, J. M., Kuznetsov, A. V., Effect of Anısotropy in Permeability and Effective Thermal Performance of an Aluminium Foam Heat Sink, *Numerical Heat Transfer Part A,* 40, 21-36, 2001

Nelson T.A., Sekhon K.S. and Fritz J.E., Direct Heat Pipe Cooling of Semiconductor Devices, *Proc of 3rd Int. Heat Pipe Conf.*, 373-376, 1978.

Ould-Amer Y., Chikh S., Bouhadef K., Lauriat G., Forced Convection Cooling Enhancement by Use of Porous Materials, *International Journal of Heat and Fluid Flow,* 19, 251-258, 1998.

Patankar, S.V., *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow,* McGraw-Hill, New York 1980.

Poulikakos, D., Kazmierczak, M.,. Forced Convection in Duct Partially Filled with a Porous Material, *J. Heat Transfer,* 109, 653-662 (1987).

Timothy J. Y., Vafai K., Convective Cooling of a Heated Obstacle in a Channel, *Internationl Journal of Heat and Mass Transfer*, 41, 3131-3148, 1998.

Turkoglu H. ve Yucel N., Mixed Convection in Vertical Channels with a Discrete Heat Source, *Heat and Mass Transfer*, 30, 159-166, 1993.

Vafai K, and Tien, C. L., Boundary and Inertia Effects on Flow and Heat Transfer in Porous Media, *Int.J. Heat Mass Transfer,* 24, 195-203, 1981.

Ragıp Tolga GÜVEN 1974'de Ankarada doğdu. İlkokulu Ankara ve Amasya illerinde tamamladı, Orta ve lise öğrenimini Ankara Deneme Lisesinde yaptı. Yüksek öğrenimini 2000 yılında Doğu Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünde tamamladı. 2000-2001 yılları arasında askerlik hizmetini yaptı. 2002 yılında Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans Eğitimine başladı ve Temmuz 2005'de tamamladı.