



## DÜŞEY CİDARINA BLOK MONTE EDİLMİŞ BİR OYUKTA DOĞAL TAŞINIM İÇİN SAYISAL BİR ÇALIŞMA

### (*NATURAL CONVECTION IN A CAVITY WITH A BLOCK MOUNTED ON IT*)

İhsan DAĞTEKİN\*, Hakan F. ÖZTOP\*

#### ÖZET/ABSTRACT

Düşey duvarına blok monte edilmiş oyuk içerisinde, bloğun yeri ve boyutunun doğal taşınım üzerindeki etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Bloklar tamamen yalıtımlı ve blok yerleştirilmiş düşey duvarın diğer duvara göre daha sıcak olduğu kabul edilmiştir. Problem için zamana bağlı olmayan çözümler elde edilmiştir. Hesaplamalar Rayleigh sayısının  $10^4 < Ra < 10^6$  değerleri için yapılmıştır. Düşey duvara yerleştirilen bloğun doğal taşınım akış hareketi ve ısı transferini büyük ölçüde etkilediği tespit edilmiştir.

*In this study natural convection in a cavity with a block mounted on a vertical wall was investigated numerically. The effects of the placement and, the dimensions of block on natural convection were studied. The block mounted vertical wall was warmer than the outer vertical wall and block itself was insulated perfectly. A SIMPLEM algorithm was used based on finite control volume approach for calculations. Calculations were performed in the range of  $10^3 < Ra < 10^5$ . It was found that the block mounted on the wall have significant effect on natural convection heat transfer and flow field.*

#### ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

Doğal Taşınım, Yatay olarak bölünmüş oyuk, Şaşırtmasız grid, SIMPLEM algoritma  
*Natural Convection, Horizontally Divided Cavity, Non-staggered grid, SIMPLEM algorithm*

## 1. GİRİŞ

Oyuklarda doğal taşınım ile ısı transferi uygulamalarına mühendislikte güneş kolektörleri, çift cam pencereler, elektronik sistemlerin soğutulması, bina ısı konfor tasarımı, bina oda veya tavan arası gibi alanlarda, metalürji ve kimya endüstrilerinde rastlanmaktadır. Oyuk içerisinde doğal taşınım problemine literatürde genellikle içi boş ve cidarları farklı sınır şartına sahip uygulamalarla karşılaşılmaktadır (Mallinson ve Davis, 1977; Davis, 1983; Aydın vd., 1999). Bunun yanında, engellerle bölünmüş farklı sınır şartlarındaki oyuklar için sayısal ve deneysel çalışmalar mevcuttur. Çalışmaların çoğunda engeller alt taban veya tavana yerleştirilmekte ve engeller yalıtımlı veya iletimli olarak kabul edilmektedir. Zimmerman ve Acharya, düşey engellerin doğal taşınım ısı transferi ve akışına olan etkilerini incelemiştir (Zimmerman ve Acharya, 1987). Farklı Rayleigh sayıları için yapılan çalışmada akışta meydana gelen dönme hareketinin yerini ve dönme hücrelerinin büyüklüğünü tespit etmişlerdir. Düşey engel yerleştirilmiş benzeri çalışmalar tarafından sadece alt kısma yerleştirilen düşey engeller için yapılmıştır (Khan ve Yao, 1993; Lin ve Bejan, 1983). Lin ve Bejan'ın çalışmasında bu tür sistemlerin analiz edilmesinin günlük hayatta özellikle güneş kolektörleri ve binaların tasarımı için gerekli olduğu vurgulanmıştır.

Düşey duvara yerleştirilen engellerin kaldırma kuvvetleri etkisi ile oluşan akış hareketi ve ısı transferi ile ilgili olarak literatürdeki çalışmaların sayısı azdır. Etefagh vd düşey bir oyuğun her iki düşey duvarına da yalıtımlı yatay engeller yerleştirmişler ve engellerin doğal taşınım ısı transferine olan etkilerini incelemiştir (Etefagh vd., 1992). Zamana bağlı doğal taşınım denklemleri çözülmüş ve sonuç olarak geometrinin oyuk üzerine etkisinin büyük olduğu ortaya konmuştur.

Bu çalışmanın amacı, mevcut çözüm metodunu düşey duvarına blok yerleştirilmiş oyuk içerisindeki doğal taşınım ısı transferi problemine uygulamaktır. Hesaplamalar farklı geometrik oranlar ve farklı Rayleigh sayıları için yapılmış, akış ve sıcaklık dağılımları verilerek ortalama Nusselt sayıları hesaplanmıştır.

## 2. ANALİZ

Kartezyen koordinatlarda, doğal taşınım akış ve enerji denklemi, uygun sınır şartları ile aşağıdaki gibi yazılmaktadır. Fiziksel model ve geometri Şekil 1'de verilmiştir.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = g\beta(T - T_\infty) - \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$



$$F_e^u \phi_e - F_w^u \phi_w + D_e \phi_P - D_e \phi_E + D_w \phi_P - D_w \phi_W + F_n^v \phi_n - F_s^v \phi_s + D_n \phi_P - D_n \phi_N + D_s \phi_P - D_s \phi_S = S_\phi \Delta x_{ew} \Delta y_{ns} \quad (7)$$

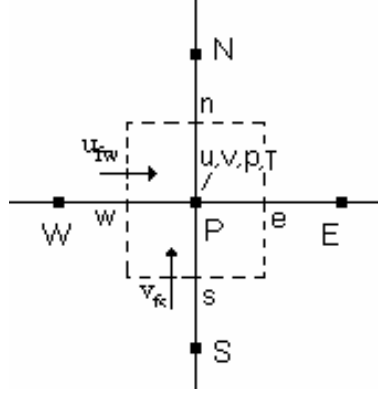
Burada, taşınım terimleri  $F = \rho \phi \Delta y$  ve difüzyon terimi  $D = \Gamma \Delta x / \Delta y$  olarak alınırsa ve difüzyon terimleri için merkezi farklar yaklaşımı, taşınım terimleri için PLDS yaklaşım metodu kullanılırsa elde edilen genel katsayılar aşağıdaki gibi verilir.

$$a_E^\phi = \left\| -F_e^u, 0 \right\| + D_e A(P_e) \quad a_W^\phi = \left\| F_w^u, 0 \right\| + D_w A(P_w) \quad (8)$$

$$a_N^\phi = \left\| -F_n^v, 0 \right\| + D_n A(P_n) \quad a_S^\phi = \left\| F_s^v, 0 \right\| + D_s A(P_s) \quad (9)$$

$$a_P^\phi = a_E^\phi + a_W^\phi + a_S^\phi + a_N^\phi - S_\phi \quad (10)$$

şeklinde verilir.



Şekil 2. Grid dağılımı

### 3.1. Basınç Denklemi

Basınç denklemi için süreklilik denklemi Şekil 2'de verilen kontrol hacmi üzerinden entegre edilerek elde edilmiş, basınç katsayıları ve ayrıklaştırılmış basınç denklemi aşağıda verilmiştir. Basınç denkleminin elde edilmesi için detaylı bilgi Patankar'da verilmiştir (Patankar, 1980).

Basınç katsayıları

$$a_E^p = \frac{(\Delta y)^2}{a_e^u} \quad (11.a)$$

$$a_W^p = \frac{(\Delta y)^2}{a_w^u} \quad (11.b)$$

$$a_N^p = \frac{(\Delta x)^2}{a_n^v} \quad (11.c)$$

$$a_S^P = \frac{(\Delta x)^2}{a_s^v} \quad (11.d)$$

$$b = \left[ (\rho r^j \hat{u})_w - (\rho r^j \hat{u})_e \right] \Delta y + \left[ (\rho r^j \hat{v})_n - (\rho r^j \hat{v})_s \right] \Delta x$$

Basınç için ayrıklaştırılmış denklem

$$a_P^P P_P = a_E^P P_E + a_W^P P_W + a_N^P P_N + a_S^P P_S + b \quad (12)$$

şeklinde elde edilir.

Yukarıda verilen kısmi diferansiyel denklemler şaşırtmasız grid dağılımı kullanılarak sonlu bir hacim üzerinden entegre edilerek cebirsel denklemler elde edilmiştir (Eşitlik 1-4'e bakınız). Bu grid dağılımının en büyük özelliği hız, basınç ve sıcaklık gibi denklemlerde yer alan bağımlı değişkenlerin tek bir noktada depolanması ve çözümde büyük kolaylıklar sağlamasıdır. Denklemlerde yer alan basınç teriminin çözümü ise süreklilik denkleminin entegrasyonundan giderek yapılmıştır. SIMPLEM çözüm algoritmasını kullanan bir bilgisayar programı yapılmıştır (Acharya ve Moukalled, 1989). Tekil denklemlerin çözümü için TDMA ile x ve y yönünde tarama yapılarak (sweep) iterasyonla çözülmüştür. Gridden bağımsız çözüm elde edebilmek amacıyla 41 X41 grid boyutunun uygun olduğu görülmüş ve çözümler bu grid değerleri için yapılmıştır. Hızlar ve sıcaklık için yavaşlatma faktörü (underrelaxation factor) 0.5 olarak alınmıştır. Basınç için bu faktör kullanılmamıştır. Yerel nusselt sayısı, Ortalama Nusselt sayısı ve Rayleigh sayısı için denklemler aşağıdaki gibi verilebilir.

$$Nu_y = -H \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)_{\text{civar}} / (T_H - T_C) \quad (13)$$

$$\overline{Nu}_y = \frac{1}{H} \int_0^1 Nu_y dy \quad (14)$$

$$Ra = g\beta H^3 (T_H - T_C) / (v\alpha) \quad (15)$$

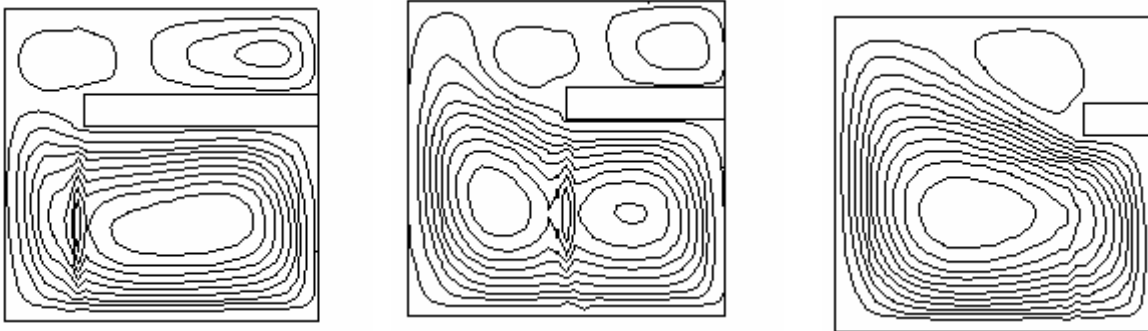
Eşitlik 7'de verilen g, β, v ve α değerleri sırasıyla, yer çekimi ivmesi, ısıl genişleme katsayısı, kinematik viskozite ve ısıl difüzyon katsayısı olarak verilmektedir. H oyuk yüksekliği ve T sıcaklık olup, T<sub>H</sub>, yüksek sıcaklıklı duvar, T<sub>C</sub>, ise düşük sıcaklıklı duvar olarak alınmıştır.

#### 4. TARTIŞMA

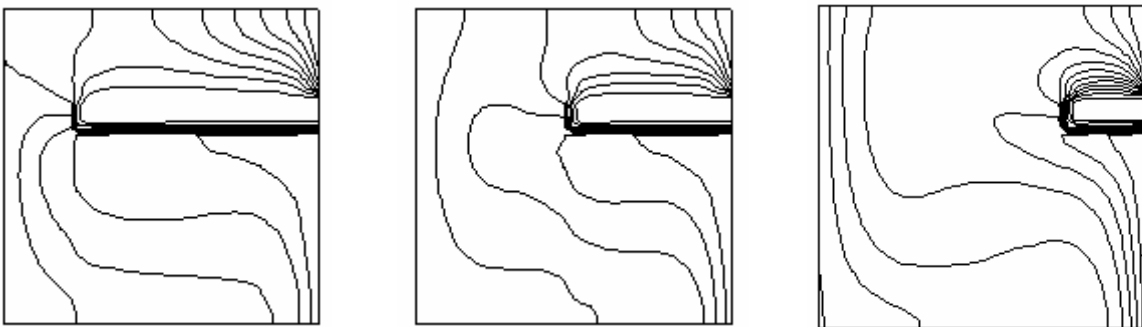
Çalışma düşey duvara yerleştirilen bloğun farklı geometrik boyutları için yapılmıştır. Burada a=H<sub>1</sub>/H, b=L<sub>1</sub>/H ve c=Y<sub>1</sub>/H parametrelerinin sırasıyla 0.25<a<0.75, 0.125<b<0.5, 0.125<c<0.75 olarak alınmıştır. Tüm hesaplamalarda Pr=0.7 olarak kabul edilmiştir. Sonuçlar dört kısımda verilmiştir. Birinci kısımda blok uzunluğunun etkisi (a), ikinci kısımda blok kalınlığının etkisi (b), üçüncü kısımda, blok yerinin etkileri (c), dördüncü kısımda Rayleigh sayısının Ortalama Nusselt sayısı üzerine etkileri tartışılmıştır.

#### 4.1. Blok Uzunluğunun Etkisi

Blok uzunluğu değiştirilerek elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi değerlendirilebilir. Burada bloğun yeri  $c=0.675$  olarak sabit tutularak sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 3.a'da  $Ra=10^5$ , boyutsuz  $a=0.75$  blok uzunluğu için en uzun blok boyu durumunda akım çizgileri verilmiştir. Şekilde görüleceği gibi blok oyuğu yatay olarak ikiye bölmektedir. Sol cidarla blok arasındaki aralık çok az olduğundan ısınan akışkan bu aralıktan üst bölgeye geçemediğinden akış tamamen bloğun altında daha etkili olmakta ve akışta dönme hareketi meydana gelmektedir. Sıcak cidardan yukarı doğru çıkan akışkan engele çarpıp soğuk cidardan aşağı doğru hareket ederken dönme merkezi oluşmaktadır. Bu arada bloğun üst tarafına geçebilen akışkan az olmasına rağmen sıcak cidara yakın bölgede dönmenin olduğu gözlenmektedir. Şekil 4.a'da, Şekil 3.a ile aynı geometriye ait eş sıcaklık eğrileri görülmektedir. Bloğun alt ve üst kısmında cidarlara yakın bölgede sıcaklık gradientleri daha yüksek ortalarda ise hemen hemen sabit olmaktadır. Şekil 3.b'de  $Ra=10^5$ , boyutsuz blok uzunluğu  $a=0.5$  için akım çizgileri verilmiştir. Blok ile soğuk cidar arasındaki aralık daha büyük olduğundan yukarıya daha çok akışkan geçmekte ve iki dönme merkezi oluşmaktadır. Aynı boyut için eş sıcaklık eğrileri Şekil 4.b'de verilmiştir. Burada sıcaklık gradientleri daha da artmaktadır. Sadece bloğun üst kısmındaki belli bir bölgede sabit sıcaklık gradientleri gözlenmektedir. Şekil 3.c'de  $a=0.25$  ve  $Ra=10^5$  için eş akım çizgileri verilmiştir. Bloğun boyu daha küçük olduğundan oyuktaki akım diğer blok boyutlarına göre daha az etkilenmektedir. Yine de bloğun üst kısmında bir sirkülasyon bölgesi oluştuğu görülmektedir.



Şekil 3. a) $a=0.75$ , b) $a=0.5$  c) $a=0.25$  için akım çizgileri ( $b=0.125$ ,  $c=0.675$ ,  $Ra=10^5$ )



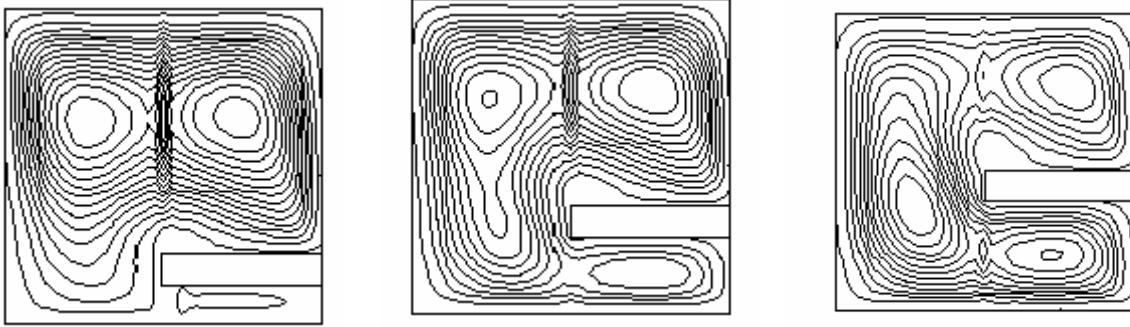
Şekil 4. a) $a=0.75$ , b) $a=0.5$  c) $a=0.25$  için sıcaklık eş eğrileri ( $b=0.125$ ,  $c=0.675$ ,  $Ra=10^5$ )

## 4.2. Blok Yerinin Etkisi

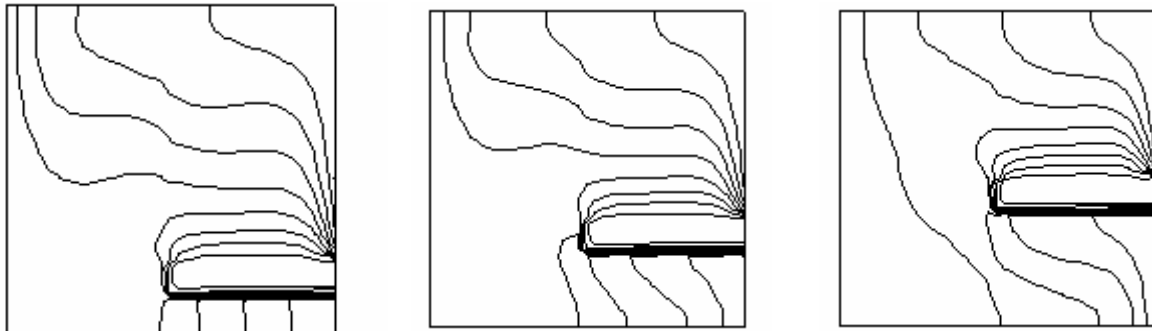
Bloğun boyu sabit tutulup bloğun y yönündeki yeri değiştirilerek elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi değerlendirilebilir:

Şekil 5.a'da  $c=0.125$  ve  $Ra=10^5$  için akım çizgileri verilmiştir. Burada blok alt tabana çok yakın yerleştirildiğinden alt taban ile blok arasına çok az akışkan girdiği görülmektedir. Blok üzerindeki bölgede akımın iki dönme merkezi olduğu görülmektedir. Şekil 6.a'da aynı geometrik oranlar için sıcaklık eş eğrileri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi blok ile alt cidar arasındaki akışkan sıcaklığı sabit kalmaktadır.

Şekil 5.b ve 6.b'de  $c=0.25$  ve  $Ra=10^5$  için sırasıyla, akım çizgileri ve sıcaklık eş eğrileri verilmiştir. Şekillerden de görüleceği gibi blok ile alt taban arasındaki mesafe arttıkça akım çizgileri blok altında ve üstünde üç dönme merkezi oluşturduğu görülmüştür. Bloğun altında akışkan sıcaklık gradientlerinin de değiştiği görülmektedir. Şekil 5.c ve Şekil 6.c'de  $c=0.375$  için akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri verilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere akım alanı bütünüyle değişmektedir.



Şekil 5.a) $c=0.125$ , b) $c=0.25$  c) $c=0.375$  için akım çizgileri ( $a=0.5$ ,  $b=0.125$ ,  $Ra=10^5$ )



(a)

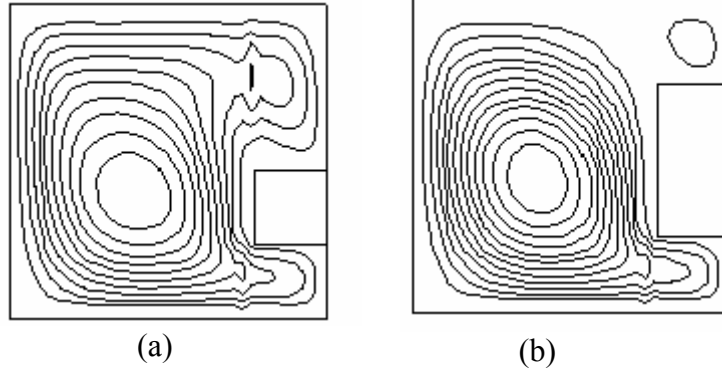
(b)

(c)

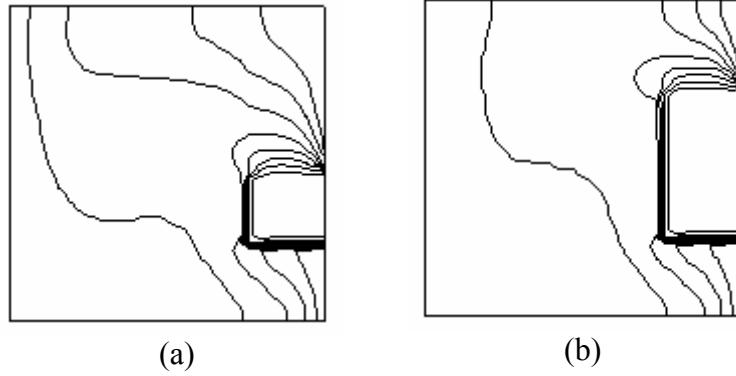
Şekil 6.a) $c=0.125$ , b) $c=0.25$  c) $c=0.375$  için akım çizgileri ( $a=0.5$ ,  $b=0.125$ ,  $Ra=10^5$ )

### 4.3. Blok Kalınlığının Etkisi

Bu etki için verilen grafiklerden elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir. Şekil 7.a, Şekil 7.b ve Şekil 8.a, Şekil 8.b'de, sırasıyla,  $b=0.5$  ve  $b=0.25$ ,  $Ra=10^5$  için akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri verilmiştir. Blok kalınlığı küçük olduğundan soğuk cidardan ısı transferi belirgin olmaktadır. Bloğun kalınlığı arttıkça soğuk cidardan aktarılan ısı azalmaktadır. Artan blok kalınlığı oyuk hacmini azalttığı için ısı transfer miktarı düşmekte, sirkülasyondaki değişim çok az olmaktadır. Artan blok kalınlığı ile soğuk duvar yakınındaki sıcaklık gradienti azalmaktadır. Oyuk içerisindeki akış hareketi artan blok kalınlığına paralel olarak dikdörtgen boş oyuk şeklinde olmaktadır.



Şekil 7.a)  $a=0.5$ , b)  $b=0.25$  için akım çizgileri ( $a=0.5$ ,  $c=0.375$ ,  $Ra=10^5$ )



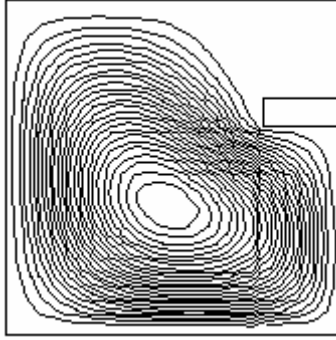
Şekil 8.a)  $a=0.5$ , b)  $b=0.25$  için sıcaklık eş eğrileri ( $a=0.5$ ,  $c=0.375$ ,  $Ra=10^5$ )

### 4.4. Rayleigh Sayısının Etkisi

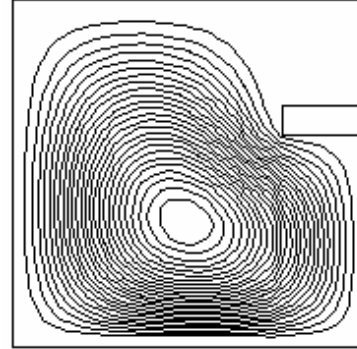
Düşük Rayleigh sayılarında oyukta ısı transferi için tamamen iletim etkili olduğundan ısı transferi daha çok iletim ile olmaktadır. Şekil 9.a ve Şekil 9.b'de görüleceği gibi bloğun üst tarafında dönme oluşmadığı gözlenmektedir. Rayleigh sayısı arttıkça ısı transferi tamamen konveksiyonla olmaktadır.  $Ra=10^3$  ve  $Ra=10^4$  değerleri için bloğun üst tarafında sirkülasyon merkezi oluşmazken Şekil 6.a, Şekil 6.b, Şekil 6.c'de  $Ra=10^5$  için sonuçlara bakıldığında sirkülasyon merkezinin oluştuğu görülmektedir. Şekil 10.a ve Şekil 10.b'de farklı  $Ra$  sayıları için sıcaklık eş eğrileri verilmiştir. Rayleigh sayısı arttıkça taşınımın etkisi gözlenmektedir. Şekil 11 ve Şekil 12 sırasıyla  $c=0.375$  ve  $c=0.5$  ve farklı boyutsuz blok uzunluğu değerleri (a) için ortalama Nusselt sayılarını vermektedir. Blok uzunluğu arttıkça Nusselt sayısı azalmaktadır ve ısı transferi düşmektedir. Rayleigh sayısı arttıkça ortalama Nusselt sayısı da



artmaktadır. Ancak,  $Ra=10^3$  ve  $Ra=10^4$  arasında belirgin bir fark oluşmadığı halde  $Ra=10^5$  için yaklaşık %50 bir artışın olduğu gözlenmektedir

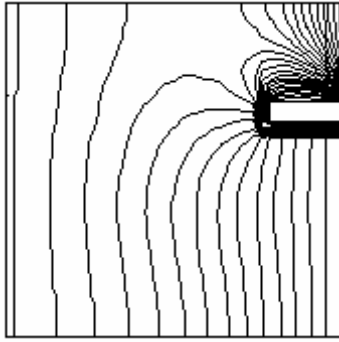


(a)

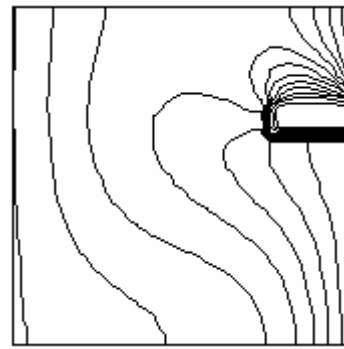


(b)

Şekil 9.a)  $Ra=10^4$ , b)  $Ra=10^5$  için akım çizgileri ( $a=0.25$ ,  $b=0.125$ ,  $c=0.675$ )

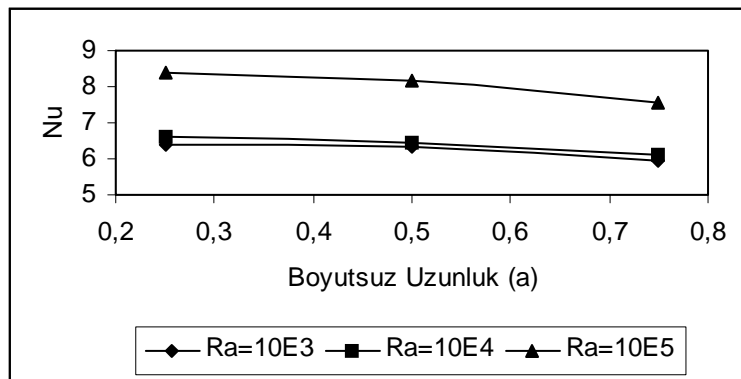


(a)

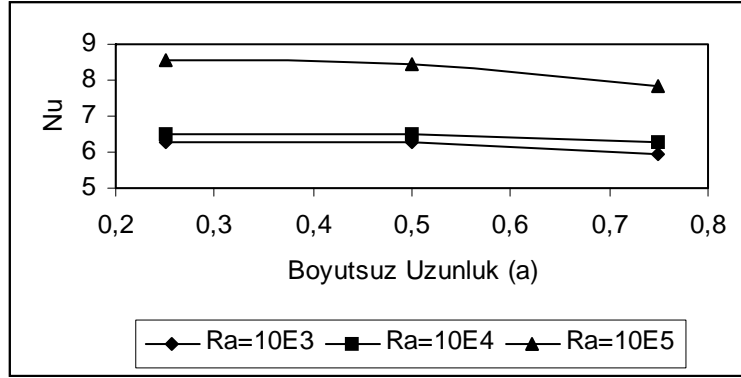


(b)

Şekil 10.a)  $Ra=10^3$ , b)  $Ra=10^4$  için akım çizgileri ( $a=0.25$ ,  $b=0.125$ ,  $c=0.675$ )



Şekil 11.  $b=0.125$ ,  $c=0.375$  için ortalama Nusselt sayıları

Şekil 12.  $b=0.125$ ,  $c=0.5$  için ortalama Nusselt sayıları

## 5. SONUÇLAR

Düşey sıcak duvarına bir blok monte edilmiş bir oyuktaki doğal konveksiyon probleminden çıkarılan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Blok uzunluğu arttıkça sirkülasyon alanının azaldığı gözlenmiştir.
- Blok kalınlığı arttıkça ısı transferi azalmaktadır.
- Aynı blok boyutları ile bloğun değişik mesafelere yerleştirilmesinin ısı transferine etkisi oldukça az olduğu, sadece akım alanına etkisi olduğu tespit edilmiştir.
- Rayleigh sayıları arttıkça ortalama Nusselt sayıları artmaktadır.
- Çalışmada kullanılan SIMPLEM algoritmanın ve şaşırtmasız grid dağılımının bu problemler için uygun olduğu gösterilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Acharya S., Moukalled F.H. (1989): "Improvements to Incompressible Flow Calculation on a Nonstaggered Curvilinear Grid", Numerical Heat Transfer, Part B, vol.15, p.131-152.
- Aydın O., Ünal A., Ayhan T. (1999): "Natural Convection in Rectangular Enclosures Heated from One Side and Cooled from the Ceiling", Int. J. Heat and Mass Transfer, N.42, p. 2345-2355.
- Davis G.V. (1983): "Natural Convection of Air in A Square Cavity: A Bench Mark Numerical Solution", Int. J Numerical Methods in Fluids, N.3, p. 249-264.
- Ettefagh J., Raisee M., Ashjaee M. (1992): "The Effects of Horizontal Baffles on Buoyancy-Induced Flows in Vertical Enclosures", Proceedings of the Eng. Systms Design and Analysis, Heat Transfer, V.47-3, p. 5-14.
- Khan J.A., Yao G.F. (1993): "Comparison of Natural Convection of Water and Air in a Partitioned Rectangular Enclosure", Int. J. Heat Mass Transfer, V. 36, N.12, p.3107-3117.
- Lin N.N., Bejan A. (1983): "Natural Convection in a Partially Divided Enclosure", Int. J. Heat Mass Transfer, V. 26, N. 12, pp.1867-1878.
- Mallinson G.D., Davis G. V. (1977): "Three-Dimensional Natural Convection İn A Box:A Numerical Study", J. Fluid Mech., N.83, p. 1-31.
- Patankar S.V. (1980): "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Hemisphere, Newyork.
- Zimmerman E., Acharya S. (1987): "Free Convection Heat Transfer İn A Partially Divided Vertical Enclosure With Conducting End Walls", Int. J. Heat Mass Transfer, V. 30, N.2, p. 319-331.