

PERİYODİK OLARAK DEĞİŞEN SICAKLIĞA SAHİP KAPALI KARE ORTAMLARA KONULAN ENGELLERİN DOĞAL TAŞINIMLA ISI TRANSFERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN SAYISAL İNCELENMESİ

Birol ŞAHİN
Mehmet Emin ARICI

ÖZET

Düşey duvarlarından birinde yatay bir engelin konumlandırıldığı kare ortamlarda doğal taşınım ile ısı transferi incelenmiştir. Engelin bulunduğu duvar sabit sıcaklıkta tutulmaktadır ve diğer düşey duvardaki sınır koşulu periyodik olarak değişen sıcaklık profili olarak tanımlanmıştır. Kapalı ortamın yatay duvarları yalıtılmış olarak kabul edilmiştir. Belirlenen konumlar için kapalı ortam içerisinde oluşan akım çizgileri, eş sıcaklık eğrileri, ortalama Nusselt sayıları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Boussinesq yaklaşımıyla verilen Navier-Stokes denklemleri kapalı bir kare ortam içerisindeki doğal taşınım probleminin çözümü için kullanılmıştır. Denklemler sonlu kontrol hacmi metodu kullanılarak ayrıklaştırılmış ve ayrıklaştırılan denklemler SIMPLE algoritmasına göre çözülmüştür. Kapalı ortam içerisinde akışkanın hava olduğu kabul edilerek Prandtl sayısı 0.71 alınmıştır. Sayısal çalışma, Rayleigh sayısının 10^4 - 10^6 aralığındaki değerleri için yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, kapalı ortam düşey duvarındaki engel konumunun ısı transferi ve akışı önemli ölçüde etkilediğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Doğal taşınım ile ısı transferi, Engel, Periyodik olarak değişen sıcaklık profili.

ABSTRACT

Natural convection heat transfer in square enclosures having a horizontally positioned obstacle on one of the vertical wall is numerically investigated. The obstacle included wall is kept constant temperature and the other vertical wall boundary condition is prescribed as periodically varying temperature profile. The horizontal walls of the enclosure are assumed to be insulated. The numerical results obtained for the prescribed cases are comparatively presented as distribution of streamlines and isotherms and average Nusselt numbers. Navier-Stokes equations given with the Boussinesq approximation are used to solve natural convection heat transfer problem in a square enclosure. The equations are discretized by finite volume method and the discretized equations solved via SIMPLE algorithm. The fluid in enclosure is assumed to be air and Prandtl number is taken as 0.71. Numerical analysis is performed for a range of Rayleigh number from 10^4 to 10^6 . The obtained results show that the location of the obstacle on the vertical wall has noticeable effect on the heat transfer and the flow.

Key Words: Natural convection heat transfer, obstacle, periodically varying temperature profile.

1. GİRİŞ

Doğal taşınım ile ısı transferi, fosil yakıtların azalmasına bağlı olarak enerji verimliliğinin önem kazanmasıyla pek çok alanda uygulaması olan ve sıklıkla karşımıza çıkan bir konudur. Bu nedenle

enerjinin daha verimli kullanılabilmesi amacıyla, özellikle kapalı ortamlarda ısı konforun sağlanmasında, elektronik cihazların soğutulmasında, güneş enerjisi sistemlerinde, nükleer reaktörlerin soğutulmasında, damıtma işlemleri gibi alanlarda doğal taşınım ile ısı transferinden faydalanılmaktadır.

Genel olarak taşınım ile ısı transferi doğal ve zorlanmış taşınım olarak ikiye ayrılır. Zorlanmış taşınım, bir fan, vantilatör, pompa, vb. gibi enerjiye ihtiyaç duyan dış etkiler sonucu meydana gelirken doğal taşınım da akışı zorlayıcı dış etkiler yoktur. Doğal taşınım ile ısı transferi yoğunluk veya konsantrasyon farkından kaynaklanmaktadır. Yoğunluk farkından meydana gelen doğal taşınım da, ısınan molekülün yoğunluğu azalacağından dolayı yer çekiminin tersi yönünde hareket eder, böylece bir kaldırma kuvveti meydana gelir. Genelde akışkanlar, buldukları ortamda hem sıcak, hem de soğuk yüzeylerle temasta buldukları için, sınır şartlarına bağlı olarak yer çekimi yönünde veya buna ters yönde akışkan hareketleri eş zamanlı olarak oluşur.

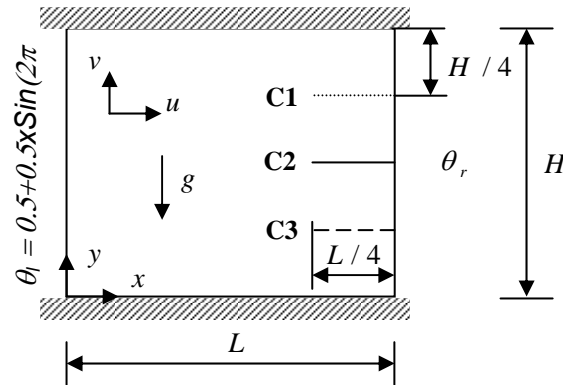
Doğal taşınım ile ısı transferinin öneminin artması sonucu 20. yy ortalarından itibaren konuyla ilgili çalışmalar başlamıştır. Doğal taşınım ile ısı transferi ile ilgili sayısal çalışmalar ise daha çok 1980 yılı ve sonrasında, bilgisayarların hızına ve kapasitesine bağlı olarak artmıştır. Değişik parametre ve geometriler için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğu ısı transferini artırıcı veya azaltıcı yönde olmuştur. Kısmi olarak bölünmüş kare kapalı ortamlardaki doğal taşınım etkili ısı transferini AlAmiri vd. [1] sayısal olarak incelemişlerdir. Isıtıcının farklı genişlik, yükseklik ve konum değerleri için elde edilen sonuçlar akım çizgileri, eş sıcaklık eğrileri ve Nusselt sayıları şeklinde sunulmuştur. Altaç ve Özen [2], üç duvarı yalıtılmış, bir duvarı düşük sıcaklıkta olan kare ve dikdörtgen ortam içine yerleştirilen sıcak bir engelin farklı eğim açılarındaki ısı transferine etkisini SIMPLE algoritmasını kullanarak çalışmışlardır. Antohe ve Lage [3], bir yüzeyinden aralıklı olarak ısıtılan ortam içerisindeki doğal taşınım akışına Prandtl sayısının etkisini sayısal olarak çalışmışlardır. Aydın [4], iki boyutlu ortamlarda zaman bağımlı doğal taşınım ile ısı transferi olayını tek fazlı akışkan için Prandtl sayısının 0.71 ve 7.1, Rayleigh sayısının 10^3 - 10^7 değerleri için akım fonksiyonu-vortisite formülasyonunu kullanarak sayısal olarak incelemiştir. Alttan uniform olmayan bir sıcaklık profiliyle ısıtılan, üstten yalıtılmış, diğer yüzeyleri düşük sıcaklıkta tutulan kare geometrisine sahip ortam içerisinde meydana gelen zaman bağımsız doğal taşınım problemi Basak vd. [5] tarafından sayısal olarak çalışılmıştır. Baytas [6], kare ortamlarda sinüzoidal olarak değişen ısı kaynağının akış ve ısı transferi üzerine etkisini sayısal olarak çalışmıştır. Kapalı ortamın katı duvarları sabit sıcaklığa sahip olup, iç ısı kaynağını uniform olarak dağıtan akışkanla dolu olduğu kabul edilmiştir. Farklı periyotlardaki sinüzoidal değişen iç ısı kaynağının ısı transferi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. De la Cruz ve Ramos [7], zaman bağımlı doğal taşınım olayını akış oluşturacak şekilde değişken sıcak ve soğuk sıcaklıklara sahip olan iki boyutlu kapalı ortamlarda incelemişlerdir. Böylece üst ve alt duvarları periyodik olarak ısıtılan ve soğutulan iki boyutlu kapalı ortamlar için geliştirilen doğal taşınım eşitlikleriyle sayısal bir çözüm yapılmıştır. Corcione [8], alttan ısıtılmış, üstten soğutulmuş, yan duvarları farklı sınır şartlarındaki iki boyutu kapalı ortamlarda meydana gelen doğal taşınım ile ısı transferini sayısal olarak incelemiştir. Davis [9], iki boyutlu geometriye sahip alttan ve üstten yalıtılmış, farklı sıcaklıklara sahip yan duvarlar arasındaki doğal taşınım ile ısı transferi olayını Grashoff sayısının 10^3 - 10^6 aralığında değişmesi durumu için incelemiştir. Kare geometrisine sahip kapalı bir ortamdaki laminar doğal taşınım problemi çözümleri Davis ve Jones [10] tarafından karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Karşılaştırma, değişik Rayleigh sayılarında elde edilen sonuçlar için yapılmıştır. Hyun ve Lee [11], kare ortamda zamana bağlı gelişen doğal taşınımı yüksek Rayleigh sayılarında kapsamlı bir şekilde sayısal olarak incelemişlerdir. Yüzey sıcaklığı zamanla periyodik olarak değişen düşey bir duvara sahip kapalı kare ortamdaki laminar doğal taşınım ile ısı transferi olayı Kazmierczak ve Chinoda [12] tarafından sayısal olarak incelenmiştir. Sıcak olan yüzeyin sıcaklığı sinüzoidal şekilde değişmekte olup ortalama bir sıcaklık değeri civarında salınım yapmaktadır. Soğuk olan karşı duvar ise sabit bir sıcaklığa sahiptir. Kwak vd. [13], yan duvarlarından biri düşük sıcaklıkta, karşıdaki sıcak duvarın sıcaklığı sinüzoidal olarak değişen, sıkıştırılamaz akışkanla dolu kare ortamdaki doğal taşınımı sayısal olarak çalışmışlardır. Yatay yüzeyleri yalıtılmış, düşey olan bir yüzeyi soğuk ve izotermal, diğer yüzeyi değişken ısı akısıyla ısıtılan kare ortamlardaki doğal taşınım, sayısal ve teorik olarak Lage ve Bejan [14] tarafından incelenmiştir. Moukalled ve Acharya [15], eğimli yüzeylerine engeller yerleştirilmiş trapezoidal geometrideki kapalı ortam için ortamdaki akış ve ısı transferine Rayleigh sayısının ve ortam içine yerleştirilen engellerin etkisini sayısal olarak incelemişler ve eğimli yüzeylerin değişik sınır koşullarına sahip olmaları durumundaki sonuçları elde etmişlerdir. Kapalı ortam boyunca yüzey sıcaklığındaki değişimin akış ve ısı transferine etkisini farklı durumlar için elde etmişlerdir. Ostrach [16], kapalı ortamlardaki doğal taşınım problemi

için geniş bir literatür araştırması vermiş olup problemlerin çözümü için önerilerde bulunmuştur. Roy ve Basak [18], kare ortamdaki doğal taşınım ile ısı transferini duvarların uniform veya uniform olmayan bir şekilde ısıtılması durumu için incelemiştir. Sarris vd. [19], üst duvarı zaman bağımsız sinüzoidal olarak ısıtılan, adyabatik alt ve yan duvarlara sahip bir ortamdaki doğal taşınım ile ısı transferini sayısal olarak çalışmışlardır. Sathiyamoorthy vd. [20], alttan uniform, düşey duvarlarından lineer olarak ısıtılan, üstten yalıtılmış kare geometrisine sahip ortam içerisinde meydana gelen zaman bağımsız doğal taşınım problemini sayısal olarak çalışmışlardır. Shi [21], içerisinde sabit veya hareketli kanatçık bulunan ortamlardaki doğal ve zorlanmış taşınım ile ısı transferini incelemiştir. Reynolds sayısı, kanatçığın uzunluğu ve konumunun üst kısmı hareketli kapalı ortamlardaki akışkan akışı ve ısı transferine etkisi detaylarıyla incelenmiştir. Shi ve Khodadadi [22], kapalı kare ortamın sıcak olan sol yüzeyine yerleştirilen kanatçığın ısı transferi üzerine etkisini, laminer doğal taşınım için sonlu kontrol hacmi metodunu kullanarak sayısal olarak çözmüşlerdir. Şahin ve Arıcı [23], kapalı ortamların değişik konfigürasyonları ve farklı sınır şartları için sayısal çalışmalar yapmışlardır. Kare ortamın sıcak duvarına yüksek iletim katsayısına sahip ince bir engel yerleştirilmesinin etkisi Tasnim ve Collins [24] tarafından sonlu kontrol hacmi metodu kullanılarak sayısal olarak çalışılmıştır. Xu vd. [25], farklı sıcaklıklarda ısıtılan kapalı ortamın kenar duvarlarından birinin ince bir kanatçık içermesi durumundaki periyodik akışı sayısal olarak incelemiştir. Zhu ve Yang [26], uzun kapalı ortamlardaki zaman bağımlı laminer doğal taşınım ile ısı transferini sayısal olarak incelemiştir. Rayleigh sayısı arttıkça ısı transferinin arttığı ve fazla miktarda akım hücrelerinin olduğu belirlenmiştir.

Literatürdeki çalışmalarda, sınır şartlarının, geometrinin, kullanılan engellerin doğal taşınım ile ısı transferi üzerine etkisi incelenmiş olup, isteğe göre doğal taşınım ile ısı transferinin artırılması veya azaltılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada, düşey duvarlardan birine engel konularak ısı transferinin azaltılması amaçlanmıştır.

2. TEORİK ÇALIŞMA

İncelenen problem geometrisi kare olup Şekil 1 de verilmiştir. Verilen geometri için kapalı ortamın sağ düşey duvarı düşük sıcaklıkta olup, bu duvar üzerine ortam uzunluğunun $1/4$ ü kadar uzunluğa sahip bir engel yerleştirilmiştir. Kare ortam içerisine yerleştirilen engelin kalınlığı ihmal edilmiş olup, ısı akılarını geçirdiği, momentum akılarını ise geçirmediği kabul edilmiştir. Sağ düşey duvar üzerine yerleştirilen engel üç farklı konuma sahiptir. Engelin yerleştirildiği her bir konum arasındaki mesafe, kapalı ortam yüksekliğinin $1/4$ ü kadardır. Kapalı ortam içerisinde engel olmaması durumu (boş ortam) 0 nolu konfigürasyon (C0), engelin üst tarafta bulunması durumu 1 nolu konfigürasyon (C1), ortada bulunması durumu 2 nolu konfigürasyon (C2), altta bulunması durumu ise 3 nolu konfigürasyon (C3) olarak adlandırılmıştır. Kapalı ortamın sol duvarı ise periyodik olarak değişen bir sıcaklık profiline sahiptir. Kapalı ortamın yatay duvarlarının ise yalıtıldığı kabul edilmiştir. Çözüm bölgesi içerisinde kalan duvar ve engel yüzeylerinde kaymama sınır koşulu geçerli olup akışkan özellikleri sabit alınmıştır.



Şekil 1. İçerisine Engel Yerleştirilen Kapalı Ortam Geometrisi.

Kaldırma kuvvetlerinden kaynaklanan doğal taşınım ile ısı transferini ihtiva eden iki boyutlu zaman bağımlı Navier-Stokes denklemleri ile enerji denklemi boyutsuz olarak aşağıda verilmiştir:

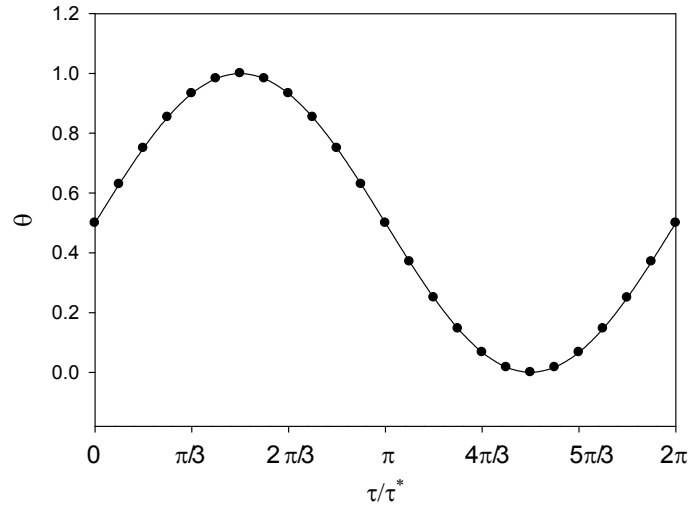
$$\frac{\partial U}{\partial \tau} + U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial X} + \text{Pr} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial \tau} + U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + Ra \text{Pr} \theta + \text{Pr} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \quad (3)$$

Denklemlerde kullanılan boyutsuz büyüklükler şu şekildedir:

$$X = \frac{x}{L}, \quad Y = \frac{y}{L}, \quad U = \frac{uL}{\alpha}, \quad V = \frac{vL}{\alpha}, \quad \theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c}, \quad P = \frac{pL^2}{\rho\alpha^2}, \quad \tau = \frac{t\alpha}{L^2} \quad (4)$$



Şekil 2. Sol Duvar Sıcaklığının Her Bir Periyot İçin Değişimi.

Yapılan çalışmada sağ duvara konulan engelin ve konumunun, sol duvardaki ısı transferi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Bu nedenle taşınım ile ısı transferinin göstergesi olarak kabul edilen Nusselt sayısı, kapalı ortamın sağ duvarı için yerel ve ortalama değerleri elde edilecek şekilde aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

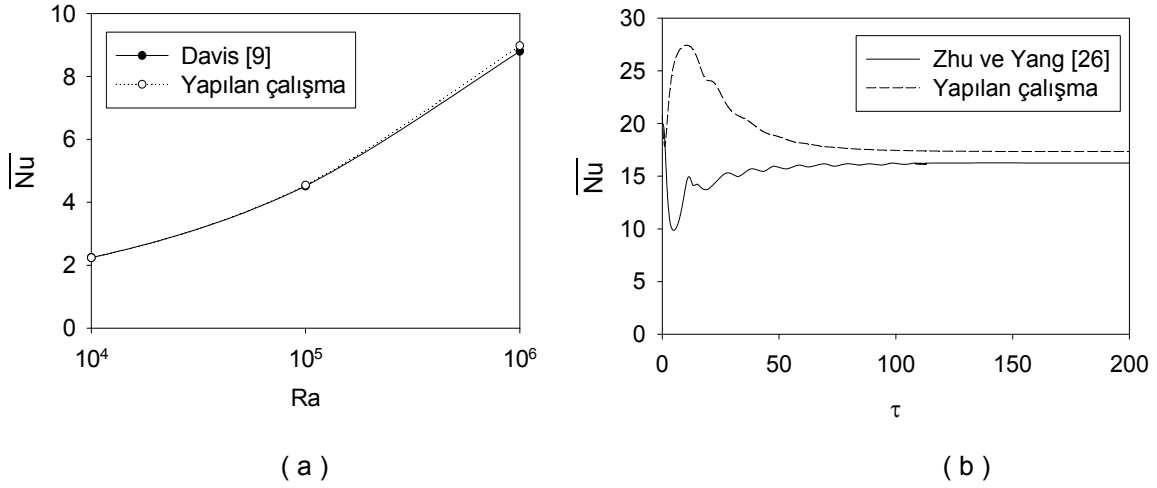
$$Nu_r = -\frac{\partial \theta}{\partial X} \Big|_{X=0} \quad \overline{Nu_r} = \int_0^1 Nu_r dY \quad (5)$$

Eliptik problemleri çözebilen FORTRAN kodunda yazılmış bir program geliştirilmiştir. Sayısal çalışma, iki boyutlu kare ortamın 120x120 uniform ağ yapısına bölünmesiyle yapılmıştır. Sonlu kontrol hacmi yöntemi kullanılarak iki momentum ve bir enerji denklemi ayrıklaştırılmış olup ve ayrık denklemler Patankar [17] tarafından verilen SIMPLE algoritması ile çözülmüştür. Momentum denklemleri için duvarlarda kaymama sınır koşulu olarak sıfır hız, enerji denklemi için yatay duvarlarda yalıtım sınır koşulu, sağ duvarda sabit sıcaklık sınır koşulu, sol duvarda ise periyodik olarak değişen sıcaklık sınır koşulu verilmiştir. Çözüm, boyutsuz denklemlerle gerçekleştirildiği için sınır koşulları da boyutsuz sınır koşulu olarak; soğuk olan sağ duvar için 0 değeri, sol duvarın sıcaklık değeri ise Şekil 1 de verildiği

gibi 0 ile 1 arasında sinüs fonksiyonuna bağlı olarak zamanla değişmektedir. Kapalı ortamda bulunan iş akışkanı olarak hava kullanıldığından Prandtl sayısı 0.71 alınmıştır.

3. BULGULAR

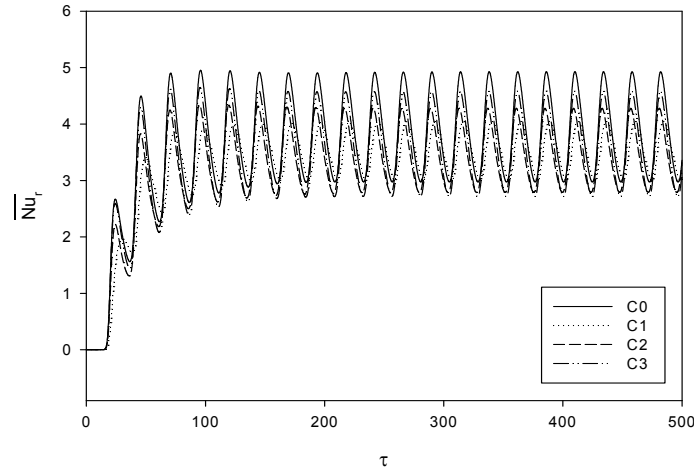
Kapalı kare ortamda verilen sınır şartları altında, sağ duvarın farklı konumlarına yerleştirilen engel için elde edilen bulgular, Rayleigh sayısının 10^4 - 10^6 değerlerinde ortalama Nusselt sayıları, akım çizgileri, eş sıcaklık eğrilerinin değişimleri şeklinde Şekil 3-7 de sunulmuştur. Geleneksel doğal taşınım problemini ihtiva eden, sol duvarın yüksek sıcaklıkta, sağ duvarın düşük sıcaklıkta olması durumu için boş kare ortamda elde edilen zaman bağımsız ortalama Nusselt sayıları, Davis [9] tarafından yapılan çalışma ile, zaman bağımlı sonuçlar ise Zhu ve Yang [26] tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3 ten de görüleceği gibi elde edilen sonuçlarla literatürde verilen sonuçlar benzerlik göstermektedir.



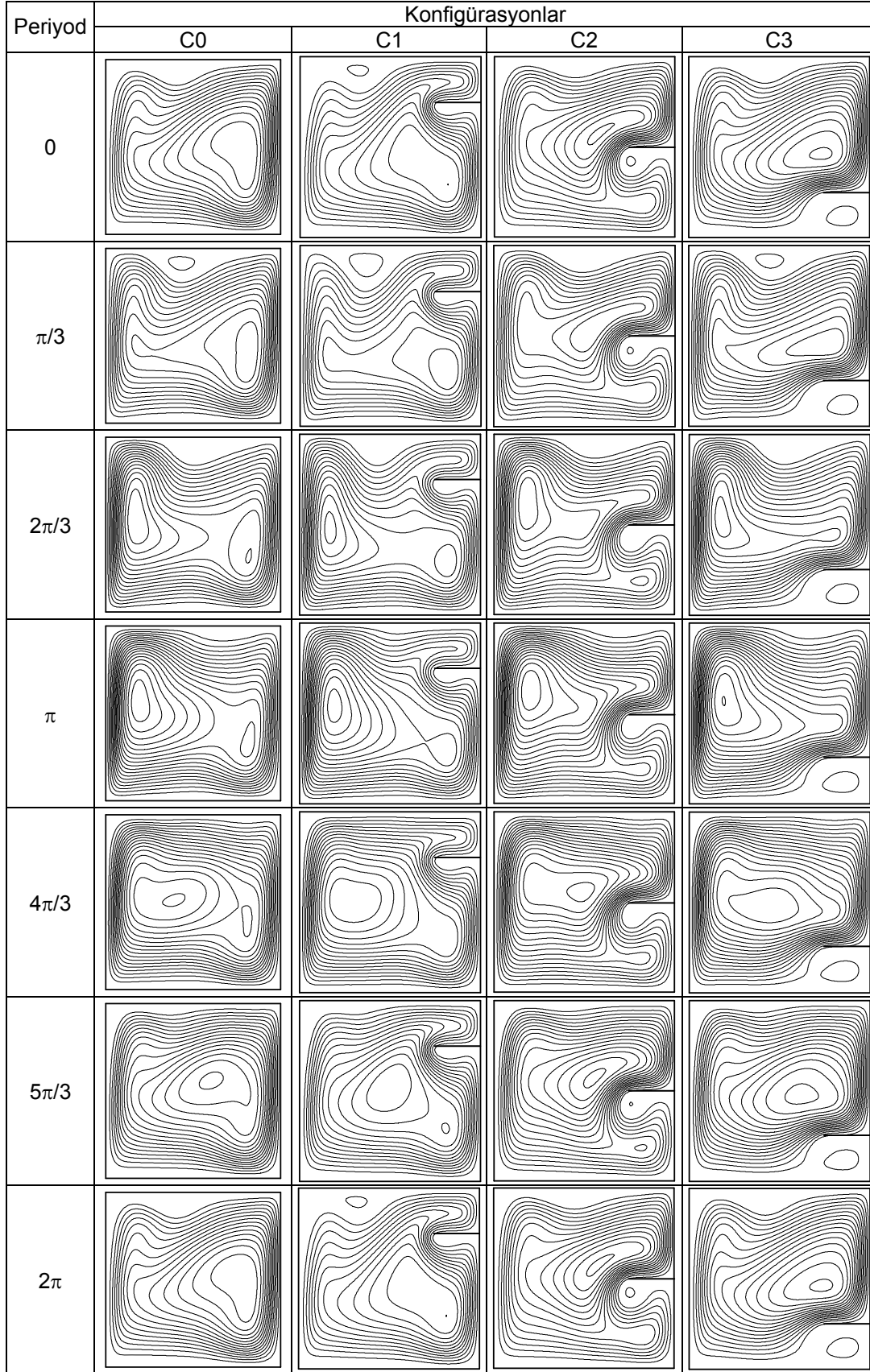
- Davis [9] ve yapılan çalışma,
- Zhu ve Yang [26] ile yapılan çalışma ($Ra=10^6$).

Şekil 3. Yapılan Çalışma ile Literatürde Elde Edilen Sonuçların Karşılaştırılması

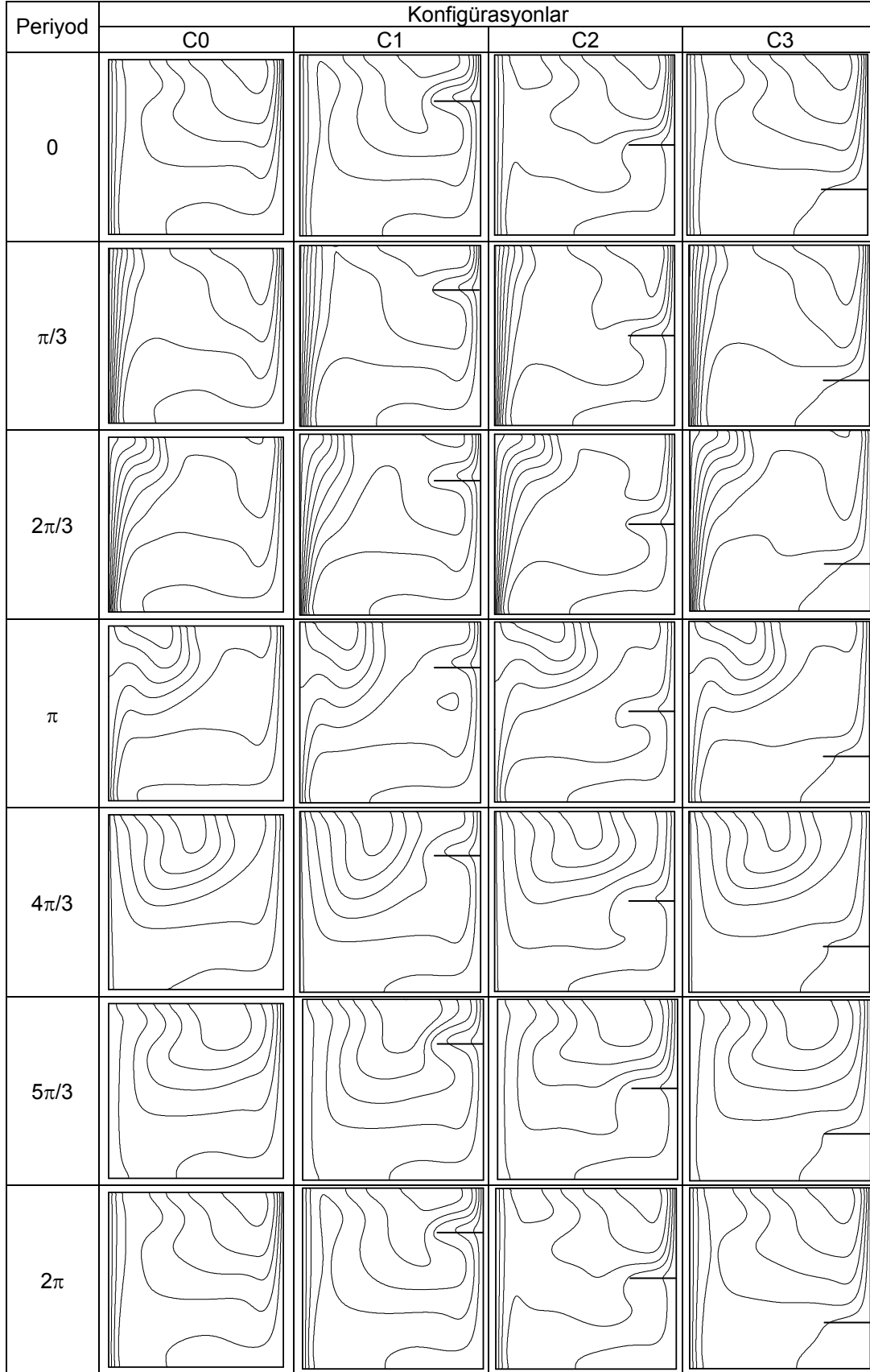
Kapalı ortamın sağ duvarı için ortalama Nusselt sayılarının değişimi Şekil 4 te verilmiştir. Şekil 4 te görüldüğü gibi yüksek Rayleigh sayılarında ortalama Nusselt sayısında periyodik bir değişim gözlenmekte olup, periyodik değişimin genliği (salınımı) de artmaktadır.



Şekil 4. $Ra=10^6$ için Farklı Konfigürasyonlarda Elde Edilen Ortalama Nusselt Sayıları.



Şekil 6. Farklı Konfigürasyonlarda Rayleigh Sayısının 10^6 Değeri İçin Elde Edilen Akım Çizgileri.



Şekil 7. Farklı Konfigürasyonlarda Rayleigh Sayısının 10^6 Değeri İçin Elde Edilen Eş Sıcaklık Eğrileri.

4. SONUÇ

Bulguların karşılaştırmalı analizinden, ortam içerisine konulan engelin konumunun ısı transferini önemli ölçüde etkilediği sonucu çıkarılmıştır. Engelin konumuna ve Rayleigh sayısına bağlı olarak ısı transferinde %7 ile %23 arasında bir düşüş görülmüştür. Ortam içerisine engel konulması durumunda ısı transferindeki en büyük düşüş 2 nolu konfigürasyonda meydana gelmiştir. Bunu sırasıyla 1 ve 3 nolu konfigürasyonlar takip etmektedir. Elde edilen sonuçlardan, bir duvarından periyodik olarak ısıtılan kare ortamlarda ısı transferini azaltmak için 2 nolu konfigürasyonun, yani engelin ortada konumlandırılmasının uygun olduğu görülmüştür.

Bütün konfigürasyonlar için sıcaklık farkına bağlı olarak ısı transferinin de arttığı görülmüştür.

SEMBOLLER

H	kapalı ortamın düşey kenar yüksekliği,
L	kapalı ortamın uzunluğu
Nu	yerel Nusselt sayısı
\bar{Nu}	ortalama Nusselt sayısı
p, P	basınç, boyutsuz basınç
Pr	Prandtl sayısı, ν / α
Ra	Rayleigh sayısı, $\rho g \beta (T_h - T_c) L^3 / (\mu \alpha)$
T, θ	sıcaklık, boyutsuz sıcaklık
t, τ	zaman, boyutsuz zaman
τ^*	boyutsuz zaman periyodu
u, U	yatay hız bileşeni, boyutsuz yatay hız bileşeni
v, V	düşey hız bileşeni, boyutsuz düşey hız bileşeni
x, X	yatay koordinat, boyutsuz yatay koordinat
y, Y	düşey koordinat, boyutsuz düşey koordinat

ALT İNDİSLER

l	Sol duvar
r	Sağ duvar

KAYNAKLAR

- [1] ALAMIRI, A., KHANAFER, K., POP, I., Buoyancy-induced flow and heat transfer in a partially divided square enclosure, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52, 3818–3828, 2009.
- [2] ALTAÇ, Z., ÖZEN, S., Natural convection in tilted rectangular enclosures with a vertically situated hot plate inside, *Applied Thermal Engineering*, 27, 1832-1840, 2007.
- [3] ANTOHE, B.V., LAGE, J.L., The Prandtl Number Effect on the Optimum Heating Frequency of an Enclosure Filled with Fluid or with a Saturated Porous Medium, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 40, 6, 1313-1323, 1997.
- [4] AYDIN, O., Transient Natural Convection in Rectangular Enclosures Heated from One Side and Cooled from Above, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 26, 1, 135-144, 1999.
- [5] BASAK, T., ROY, S., BALAKRISHNAN, A.R., Effects of Thermal Boundary Conditions on Natural Convection Flows within a Square Cavity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49, 4525-4535, 2006.
- [6] BAYTAS, A.C., Buoyancy-Driven Flow in an Enclosure Containing Time Periodic Internal Sources, *Heat and Mass Transfer*, 31, 113-119, 1996.

- [7] DE LA CRUZ, L.M., RAMOS, E., Mixing with Time Dependent Natural Convection, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33, 191-198, 2006.
- [8] CORCIONE, M., Effects of the Thermal Boundary Conditions at the Sidewalls upon Natural Convection in Rectangular Enclosures Heated from Below and Cooled from Above, *International Journal of Thermal Sciences*, 42, 199-208, 2003.
- [9] DAVIS, G.de.V., Natural Convection of Air in a Square Cavity: A Benchmark Numerical Solution, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 3, 249-264, 1983.
- [10] DAVIS, G.de.V., JONES, I.P., Natural Convection in a Square Cavity: A Comparison Exercise, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 3, 227-248, 1983.
- [11] HYUN, J.M., LEE, J.W., Numerical Solutions for Transient Natural Convection in a Square Cavity with Different Sidewall Temperatures, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 10, 2, 146-151, 1989.
- [12] KAZMIERCZAK, M., CHINODA, Z., Buoyancy-Driven Flow in an Enclosure with Time Periodic Boundary Conditions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 35, 6, 1507-1518, 1992.
- [13] KWAK, H.S., KUWAHARA, K., HYUN, J.M., Resonant Enhancement of Natural Convection Heat Transfer in a Square Enclosure, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 41, 2837-2846, 1998.
- [14] LAGE, J.L., BEJAN, A., The Resonance of Natural Convection in an Enclosure Heated Periodically from the Side, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 36, 8, 2027-2038, 1993.
- [15] MOUKALLED, F., ACHARYA, S., Natural Convection in Trapezoidal Cavities with Baffles Mounted on the Upper Inclined Surfaces, *Numerical Heat Transfer, Part A*, 37, 545-565, 2000.
- [16] OSTRACH, S., Natural Convection in Enclosures, *Journal of Heat Transfer*, 10, 1175-1190, 1988.
- [17] PATANKAR, S. V., *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, McGraw Hill, New York, 1980.
- [18] ROY, S., BASAK, T., Finite Element Analysis of Natural Convection Flows in a Square Cavity with Non-Uniformly Heated Wall(s), *International Journal of Engineering Science*, 43, 668-680, 2005.
- [19] SARRIS, I.E., LEKAKIS, I., VLACHOS, N.S., Natural Convection in a 2D Enclosure with Sinusoidal Upper Wall Temperature, *Numerical Heat Transfer, Part A*, 42, 513-530, 2002.
- [20] SATHIYAMOORTHY, M., BASAK, T., ROY, S., POP, I., Steady Natural Convection Flows in a Square Cavity with Linearly Heated Side Wall(s), *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50, 766-775, 2007.
- [21] SHI, X., *Forced and Natural Convection Heat Transfer Within Enclosures with Fixed and Moving Fins and Partitions*, PhD. Thesis, Auburn University, Alabama, 2003.
- [22] SHI, X., KHODADADI, J.M., Laminar Natural Convection Heat Transfer in a Differentially Heated Square Cavity Due to a Thin Fin on the Hot Wall, *Journal of Heat Transfer*, 125, 624-634, 2003.
- [23] ŞAHİN, B., ARICI, M.E., "Kapalı Kare Ortamlarda Yatay, Düşey ve Eğik İç Bölmelerin Doğal Taşınım İle Isı Transferine Etkisinin Sayısal İncelenmesi", 15. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi ULIBTK, Trabzon, 2005.
- [24] TASNİM, S.H., COLLINS, M.R., Numerical Analysis of Heat Transfer in a Square Cavity with a Baffle on the Hot Wall, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 31, 5, 639-650, 2004.
- [25] XU, F., PATTERSON, J.C., LEI, C., Transition to a periodic flow induced by a thin fin on the sidewall of a differentially heated cavity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 52, 620-628, 2009.
- [26] ZHU, Z.J., YANG, H.X., Numerical Investigation of Transient Laminar Natural Convection of Air in a Tall Cavity, *Heat and Mass Transfer*, 39, 579-587, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

BİROL ŞAHİN

1977 yılında Trabzon ilinin Arsin ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Erzurum ilinde, lise öğrenimini Denizli ilinde tamamladı. 1998 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde lisans, 2002 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans, 2008 yılında ise Doktora eğitimini tamamladı. 2000-2007 yılları arasında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. 2007-2010

yılları arasında KTÜ Beşikdüzü Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak çalıştı. 2010 yılından itibaren Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Doğal taşınım, ısı transferi ve birleşik ısı transferi konularında çalışmaktadır.

Mehmet Emin ARICI

1959 yılında Trabzon ilinin Of ilçesinde doğdu. 1982 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde lisans, 1985 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. Doktora eğitimini ise 1993 yılında Texas Tech Üniversitesinde tamamladı. KTÜ Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde 1993–2004 yılları arasında Yardımcı Doçent, 2004–2009 yılları arasında Doçent olarak görev yapmış, 2009 yılından itibaren ise Profesör olarak görev yapmaktadır. Birleşik ısı transferi, doğal taşınım, ısı transferi ve sayısal analiz (CFD) konularında çalışmaktadır.