



**Bu bir MMO
yayıdır**

MMO bu yayındaki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan, teknik bilgi ve basım hatalarından sorumlu değildir.

DIŞ YÜZEY SICAKLIĞI PERİYODİK OLARAK DEĞİŞEN KAPALI ORTAMLARDA BİRLEŞİK DOĞAL TAŞINIM: DUVAR ISI İLETİMİ ETKİSİ

BUĞRA SARPER
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ

ORHAN AYDIN
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

DIŞ YÜZEY SICAKLIĞI PERİYODİK OLARAK DEĞİŞEN KAPALI ORTAMLARDA BİRLEŞİK DOĞAL TAŞINIM: DUVAR ISI İLETİMİ ETKİSİ

Buğra SARPER
Orhan AYDIN

ÖZET

Bu çalışmada, kare şeklindeki kapalı bir ortam içerisinde periyodik doğal taşınım sayısal olarak incelenmiştir. Isıtılan duvardaki iletim etkisi de analize katılmıştır. Sonlu kalınlığa sahip duvarın dış yüzey sıcaklığı periyodik olarak değişmekte ve diğer dikey duvar sabit sıcaklıkta tutulmaktadır. Yatay duvarlar adyabatik olarak kabul edilmektedir. Rayleigh sayısı ($Ra=10^5$) ve boyutsuz periyod ($\tau_p=0.1$) değerleri sabit alınmış, boyutsuz genlik, A , ısı iletim katsayısı oranı, k_s/k_f ve boyutsuz duvar kalınlığının, l ısı transferi ve faz gecikmesi üzerine etkileri değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal taşınım, Kapalı ortam, Birleşik ısı transferi, Periyodik sıcaklık değişimi.

ABSTRACT

In this study, periodic natural convection in a square enclosure is investigated numerically. Conduction in the heated wall is considered. The outer surface of the finite-thickness sidewall is varying periodically and the other vertical wall is maintained at a constant temperature. The horizontal walls are assumed to be adiabatic. Rayleigh number ($Ra=10^5$) and dimensionless period ($\tau_p=0.1$) is held constant. The effects of the dimensionless amplitude, A , the thermal conductivity ratio, k_s/k_f and the dimensionless wall thickness, l on heat transfer and phase lag is considered.

Key Words: Natural convection, Enclosure, Conjugate heat transfer, Periodic temperature variation.

1. GİRİŞ

Kapalı ortamlarda doğal taşınım binaların ısı tasarımı-ısı konforun sağlanması, güneş kolektörleri, elektronik cihazların soğutulması ve ısı enerji depolama gibi uygulama alanları sebebiyle günümüzde araştırmacıların yoğun şekilde ilgilendiği bir konudur.

Kapalı ortamlarda doğal taşınım ile ilgili yapılan çalışmalar çoğunlukla sabit sıcaklık/sabit ısı akısı gibi daimi sınır koşullarını içermektedir. Bununla birlikte günlük hayatta ve uygulamada karşılaşılan birçok problem zamana bağlı değişen ısı sınır koşullarını kapsamaktadır. Elektronik cihazların ani şekilde enerji ile yüklenmesine bağlı olarak baskı devre kartlarının yaydığı ısıdaki ani değişimler, günlük sıcaklık değişimlerine bağlı olarak konutların dış duvarlarında meydana gelen sıcaklık değişimleri ve güneş kolektörleri bu tür uygulamalara örnek olarak gösterilebilir.

Literatürde kapalı ortamlarda doğal taşınım üzerine yapılan birçok çalışma mevcuttur. Zamana bağlı çalışmalar genellikle dikey duvarları farklı sıcaklıklarda tutulan, yatay duvarları yalıtılan kapalı

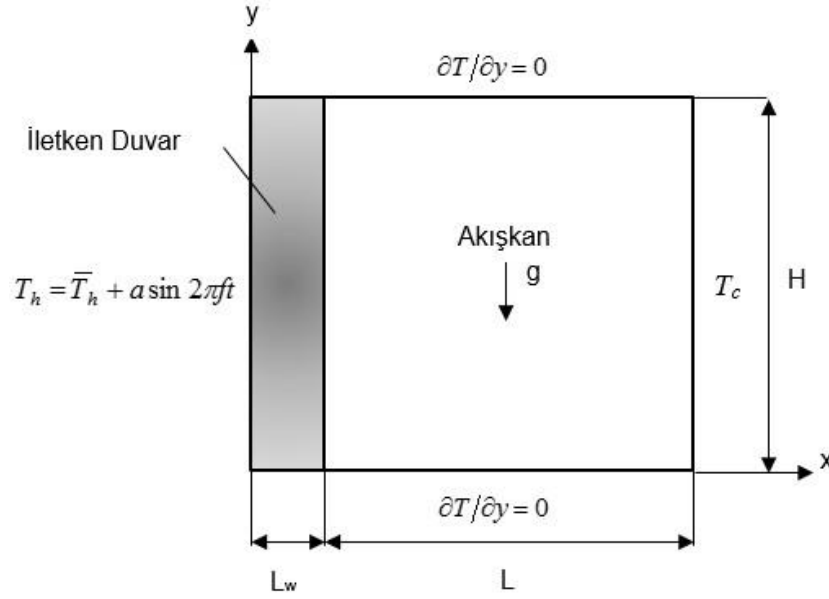
ortamlarda doğal taşınım ile ilgilidir. Bu çalışmalarda düşey duvarlardan birine zamana bağlı değişen/periodyk sıcaklık ya da ısı akısı sınır koşulu uygulanmaktayken, diğer duvar ise genellikle sabit sıcaklık sınır koşuluna sahiptir. Kazmierczak ve Chinoda [1], Lakhali vd. [2], Oosthuizen [3] bu yüzeydeki periodyk sıcaklık değişiminin frekans ve genliğinin ısı transferi üzerine etkilerini incelemiş, periodyk sıcaklık koşulundan kaynaklanan rezonansın etkisi, Lage ve Bejan [4], Kwak ve Hyun [5], Kwak vd. [6], Zhao vd. [7] ve Ishida vd. [8] tarafından incelenmiştir. Hidrodinamik kararlılık Xia [9] tarafından çalışılmıştır. Kapalı ortamın yükseklik/genişlik oranının etkileri Cheikh vd. [10] tarafından, kapalı ortamın eğim açısının etkileri Kalabin vd. [11,12] ve Wang vd. [13] tarafından, ışınımın etkileri El Ayachi vd. [14] tarafından incelenmiştir. Ayrıca, Antohe ve Lage [15] gözenekli ortamda, Ghasemi ve Aminossadati [16] içerisinde nano akışkan bulunan bir kapalı ortamda periodyk doğal taşınımı incelemişlerdir. Nithyadevi vd. [17] yan duvarlarından ayrık şekilde ısıtılan kapalı ortamda suyun yoğunluğunun en yüksek olduğu noktada, yoğunluk değişiminin periodyk doğal taşınımına etkilerini araştırmışlardır. Ayrıca Lakhali vd. [2] tabanından ayrık şekilde ısıtılan kapalı ortamda laminar doğal taşınımı incelemişlerdir.

Literatürdeki birçok çalışmada, periodyk doğal taşınımında, sonlu kalınlığa sahip duvarın ısı iletimi etkisi ihmal edilmiştir. Chung vd. [18] periodyk ve periodyk olmayan sıcaklık koşullarında doğal taşınımı, duvar ısı iletimini de dikkate alarak sayısal olarak incelemişlerdir. Farklı frekans değerleri için duvardaki iletimin, rezonans frekansındaki gecikmeye etkisini belirlemişlerdir. Zhang vd. [19], eğik bir kapalı ortam içerisindeki doğal taşınımında, duvarların ısı iletim ve ısı yayılım katsayılarının ısı geçişi üzerindeki etkilerini belirlemişlerdir.

Bu çalışmanın amacı ise Rayleigh sayısı ve boyutsuz periyodun sabit; boyutsuz genliğin ise farklı değerlerinde, duvar ve akışkanın ısı iletim katsayısı oranı, k_s/k_f ve boyutsuz duvar kalınlığının, L_w/L kapalı ortam içerisindeki ısı transferi ve faz gecikmesi üzerine etkilerini incelemektir.

2. SAYISAL YÖNTEM

Şekil 1'de, incelenen kapalı ortamın geometrisi ve uygulanan sınır koşulları gösterilmektedir. İncelenen geometri, sol yüzeyinde sonlu kalınlıkta duvar bulunan kare şeklindeki kapalı ortamdır. Kapalı ortamın yatay duvarları iyi derecede yalıtılmış olup, sağ düşey duvar sabit sıcaklıkta tutulmaktadır. Sonlu kalınlığa sahip duvarın dış yüzey sıcaklığı ise periodyk olarak değişmektedir. Dış yüzeyin sıcaklık profili $T_h = \bar{T}_h + a \sin 2\pi ft$ olup, \bar{T}_h ortalama duvar sıcaklığını, a sıcaklık değişiminin genliğini, f ise frekansı temsil etmektedir. \bar{T}_h ortalama duvar sıcaklığı, soğuk duvarın sıcaklığından her zaman yüksektir. İş akışkanı olarak hava kullanılmaktadır.



Şekil 1. Kapalı ortamın geometrisi ve kullanılan sınır koşulları

Akımın 2 boyutlu ve laminer olduğu kabul edilmiştir. Akışkan sıkıştırılamaz olup, düşey momentum denkleminde akışkanın yoğunluk dışındaki termodinamik özelliklerinin sıcaklıkla değişmediğini varsayan Boussinesq yaklaşımını içeren Navier Stokes ve enerji denklemleri aşağıdaki şekilde verilmiştir:

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

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

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g\beta(T - T_0) \quad (3)$$

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

Duvar içerisinde:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha_s \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (5)$$

Denklemleri boyutsuzlaştırmada kullanılan boyutsuz parametreler şu şekildedir:

$$X = \frac{x}{H}, \quad Y = \frac{y}{H}, \quad U = \frac{u}{\alpha/H}, \quad V = \frac{v}{\alpha/H}, \quad \theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c}, \quad \tau = \frac{\alpha t}{H^2}, \quad P = \frac{\rho H^2}{\rho \alpha},$$
$$A = \frac{a}{T_h - T_c}, \quad \text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha}, \quad \text{Ra} = \frac{g\beta(\bar{T}_h - T_c)H^3}{\nu\alpha} \quad (6)$$

Sınır koşulları:

$$X = 0 \text{ ve } 0 < Y < 1 \text{ 'de } \theta = 1 + A \sin(2\pi\tau/\tau_p) \text{ ve } U = V = 0 \quad (7)$$

$$X = 1+l \text{ ve } 0 < Y < 1 \text{ 'de } \theta = 0 \text{ ve } U = V = 0 \quad (8)$$

$$Y = 0 \text{ ve } 0 < X < 1+l \text{ 'de } \frac{\partial\theta}{\partial Y} = 0 \text{ ve } U = V = 0 \quad (9)$$

$$Y = 1 \text{ ve } 0 < X < 1+l \text{ 'de } \frac{\partial\theta}{\partial Y} = 0 \text{ ve } U = V = 0 \quad (10)$$

Duvar-akışkan ara yüzeyinde ısı akısı ve sıcaklık sürekli olmalıdır:

$$-k_s \left. \frac{\partial\theta}{\partial X} \right|_s = -k_f \left. \frac{\partial\theta}{\partial X} \right|_f \quad (11)$$

Duvar-akışkan ara yüzeyinde yerel Nusselt sayısı:

$$\text{Nu}(y,t) = \left[-\frac{\partial\theta}{\partial X} \right]_{x=l} \quad (12)$$

Yerel Nusselt sayısının duvar-akışkan ara yüzeyi boyunca integre edilmesiyle elde edilen ortalama Nusselt sayısı:

$$\overline{\text{Nu}}_y = \frac{1}{H} \int_0^H \text{Nu}(y,t) dy \quad (13)$$

Yerel Nusselt sayısının bir periyod boyunca integre edilmesiyle elde edilen zaman ortalamalı yerel Nusselt sayısı:

$$\overline{\text{Nu}}_t = \frac{1}{\tau_p} \int_{\tau}^{\tau+\tau_p} \text{Nu}(y,t) dt \quad (14)$$

Boyutsuz genlik, periyod ve frekans sırasıyla A , τ_p ve F ile gösterilmektedir. T_0 referans sıcaklık olup, $T_0 = (\bar{T}_h + T_c)/2$ şeklinde hesaplanmaktadır. Duvar ve akışkanın ısı iletim katsayısı oranının, k_s/k_f ısı transferi üzerine etkilerini doğru bir şekilde inceleyebilmek amacıyla duvar ve akışkanın ısı kapasiteleri $(\rho c)_s = (\rho c)_f$ birbirine eşit kabul edilmiştir.

Navier Stokes ve enerji denklemleri, yukarıda belirtilen sınır koşullarıyla birlikte ticari bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan ANSYS Fluent programı kullanılarak çözülmüştür. Hesaplamalarda düşük hızda-sıkıştırılmaz akışlar için geliştirilen basınç temelli çözücü kullanılmış olup, momentum ve enerji denklemlerinin ayrıştırılması, ikinci dereceden akış yönlü fark yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Basınç-hız çiftinin çözümünde SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Zamana bağlı çözümler gerçekleştirilirken zaman adımı için ikinci dereceden kapalı yöntem seçilmiştir.

İterasyonlar her zaman adımında, yakınsama kriteri sağlanıncaya kadar devam ettirilmiştir. Yakınsama kriteri, λ süreklilik ve momentum denklemi için 10^{-6} , enerji denklemi için ise 10^{-12} alınmıştır. φ , aşağıdaki denklemde fiziksel büyüklüğü sembolize etmektedir.

$$\left| \frac{\varphi_{yeni} - \varphi_{eski}}{\varphi_{yeni}} \right| \leq \lambda \quad (15)$$

Çözümlerde, sıcaklık ve yoğunluk değişimlerinin fazla olduğu sınırlara yaklaşıldıkça daralan, eş dağılı olmayan bir ağ yapısı kullanılmıştır. Ağ yapısından bağımsız çözümü elde etmek amacıyla, 60x50'den başlanılarak 130x120'ye kadar farklı ağ sıklıklarında çözümler gerçekleştirilmiştir. Sonuçların 90x80 ağ yapısından daha sık ağ yapılarında çok fazla değişmemesinden dolayı, $f=0.1$ iken 90x80 eş dağılı olmayan ağ yapısı, $f=0.2$ iken 100x80 eş dağılı olmayan ağ yapısı kullanılmıştır. Boyutsuz zaman adımı ise 0.01 olarak alınmıştır.

Yürütülen çalışmanın doğruluğunu göstermek için literatür ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Öncelikle, bir duvarı sonlu kalınlıkta ve ısı iletiminin dikkate alındığı bir kapalı ortam içerisinde daimi doğal taşınım incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Kaminski ve Prakash'ın [20] sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Başka bir çalışmada ise bir duvarından periyodik sıcaklık değişimi uygulanan kapalı ortam için doğrulama çalışması yapılmıştır. Tablo 1 ve Tablo 2'de sunulan her iki karşılaştırmadan da anlaşılacağı üzere elde edilen sonuçlar literatürle iyi bir uyum içerisinde.

Tablo 1. Yapılan çalışma ile Kaminski and Prakash [20] tarafından elde edilen sonuçların karşılaştırılması

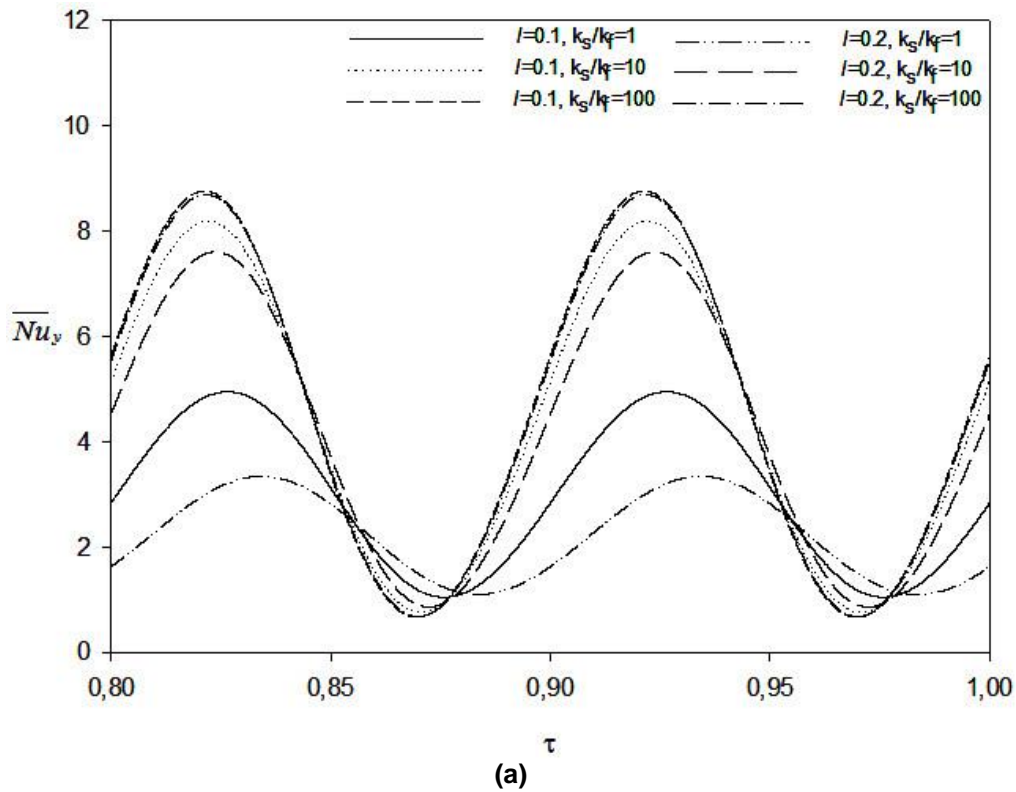
Duvar-akışkan ara yüzeyinde elde edilen ortalama Nusselt Sayıları				
Gr	Kaminski ve Prakash [20]		Yapılan Çalışma	Hata (%)
10^3	$k_s/k_f=1$	0.87	0.87	0
	$k_s/k_f=5$	1.02	1.02	0
	$k_s/k_f=10$	1.04	1.04	0
10^5	$k_s/k_f=1$	2.08	2.09	0.48
	$k_s/k_f=5$	3.42	3.43	0.29
	$k_s/k_f=10$	3.72	3.74	0.54
10^6	$k_s/k_f=1$	2.87	2.86	0.34
	$k_s/k_f=5$	5.89	5.90	0.17
	$k_s/k_f=10$	6.81	6.82	0.15

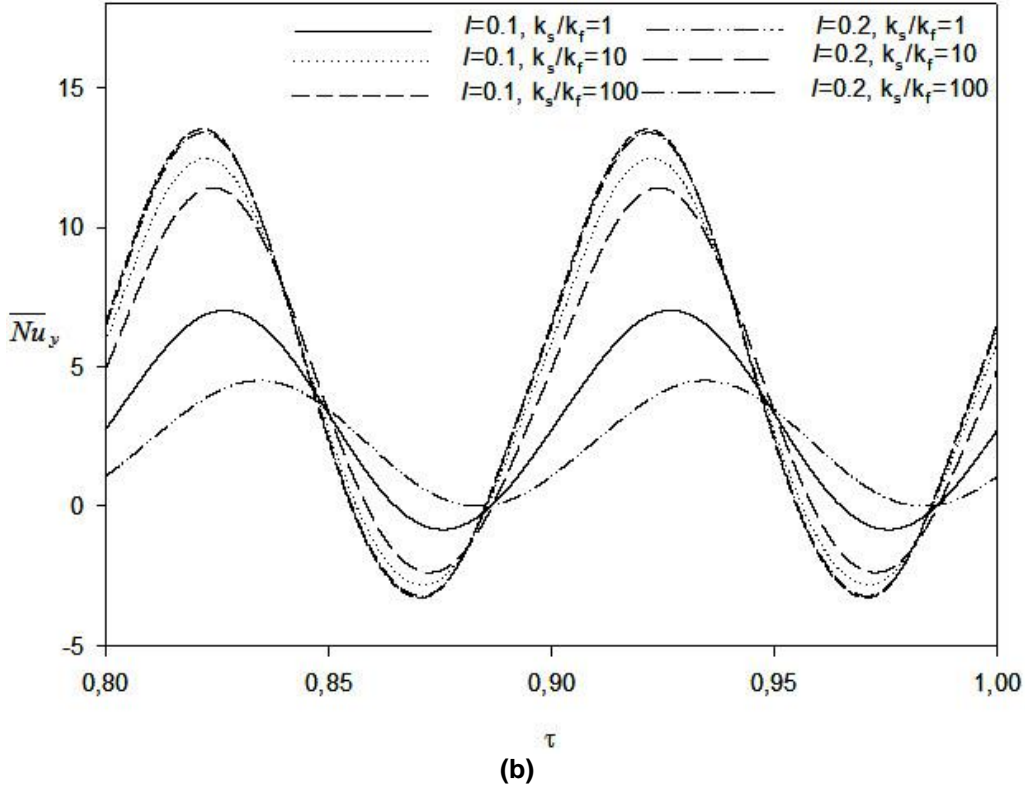
Tablo 2. Yapılan çalışma ile Kazmierczak and Chinoda [1] tarafından elde edilen sonuçları karşılaştırılması

Soğuk yüzeyde elde edilen Zaman ağırlıklı ortalama Nusselt sayıları					
A	τ_p	Ra	Kazmierczak ve Chinoda [1]	Yapılan Çalışma	Hata (%)
0.4	0.01	1.4×10^5	5.41	5.33	1.50
0.8	0.01	1.4×10^5	5.58	5.47	2.01

3. BULGULAR

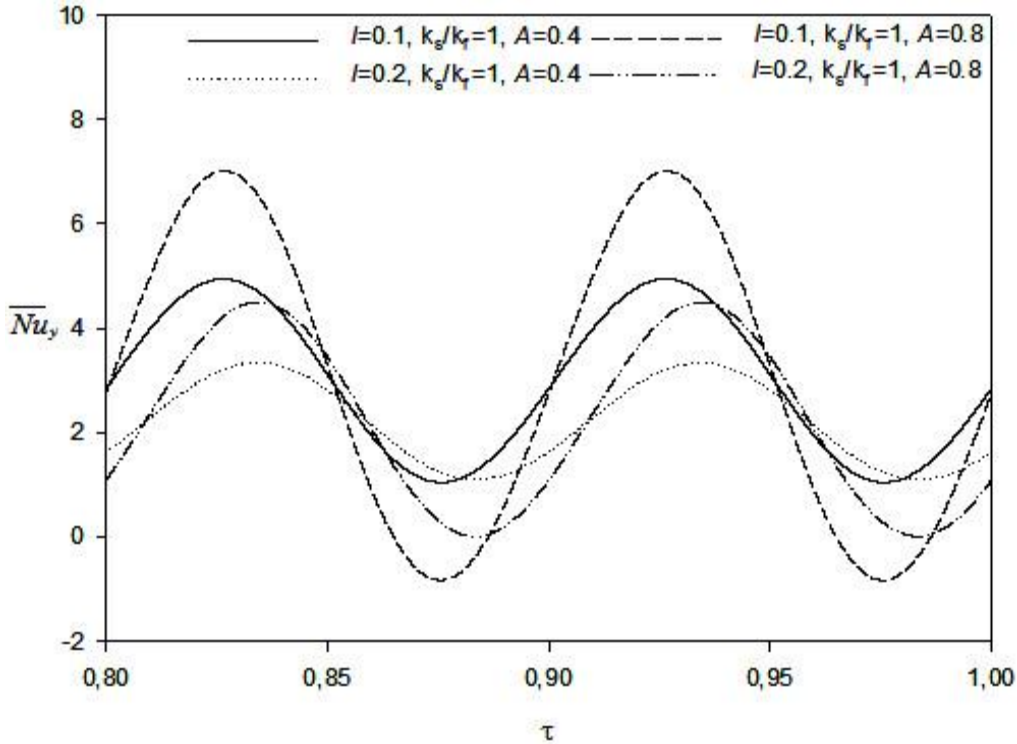
Kare şeklindeki kapalı ortamda periyodik birleşik doğal taşınım problemi, verilen sınır koşulları ile birlikte incelenmiştir. Çözümler gerçekleştirilirken Rayleigh sayısı $Ra=10^5$, Prandtl sayısı $Pr=0.71$, kapalı ortamın yükseklik/genişlik oranı $a_r = H/L=1$, boyutsuz periyod $\tau_p=0.1$ değerleri sabit tutulmuştur. Boyutsuz genliğin iki farklı değerinde ($A=0.4$ ve 0.8), ısı iletim katsayısı oranı ($k_s/k_f=1, 10$ ve 100) ve boyutsuz duvar kalınlığının ($L_w/L=0.1$ ve 0.2) ısı transferine etkileri üzerinde durulmuştur.





Şekil 2. Farklı boyutsuz duvar kalınlığı ve ısı iletim katsayısı oranları için duvar-akışkan ara yüzeyinde ortalama Nusselt sayısının zamana bağlı değişimi a) $A=0.4$, b) $A=0.8$

Farklı boyutsuz genlik değerleri için, boyutsuz duvar kalınlığı ve ısı iletim katsayısı oranının ısı transferi üzerine etkileri Şekil 2'de sunulmuştur. Duvarın dış yüzeyinin sıcaklığındaki periyodik değişim, duvar-akışkan ara yüzeyinde elde edilen ortalama Nusselt sayısının da periyodik bir şekilde değişmesine sebep olmaktadır. Periyodik sıcaklık değişiminin genliğindeki artışla birlikte duvar-akışkan ara yüzeyinde elde edilen ortalama Nusselt sayısının genliği de artmaktadır. Isı iletim katsayısı oranındaki artışla birlikte bu durum daha da belirgin olarak görülmektedir. Isı iletim katsayısı oranındaki azalma ve boyutsuz duvar kalınlığındaki artış, duvarın ısı direncinde artışa sebep olmakta ve bu durum sıcaklık değişiminde faz gecikmesi ve sönümlenme etkisine sebep olmaktadır. Isı iletim katsayısı oranı 100 değerini aldığı anda boyutsuz duvar kalınlığının faz gecikmesi ve sönümlenme üzerine etkisi çok az olup, ortalama Nusselt sayısı değerleri birbirine çok yakındır. Isı iletim katsayısının 1 ve 10 değerlerinde boyutsuz duvar kalınlığındaki artışla birlikte ortalama Nusselt sayısı değerleri arasındaki fark artmakta, faz gecikmesi ve sönümlenme etkisi belirgin bir şekilde hissedilmektedir.



Şekil 3. Farklı boyutsuz duvar kalınlığı ve boyutsuz genlik değerleri için duvar-akışkan ara yüzeyinde ortalama Nusselt sayısının zamana bağlı değişimi

Boyutsuz duvar kalınlığı ve boyutsuz genliğin farklı değerlerinde, tek bir ısı iletim katsayısı oranı için duvar-akışkan ara yüzeyinde ortalama Nusselt sayısının zamana bağlı değişimi Şekil 3'te görülmektedir. Daha önce belirtildiği gibi, boyutsuz duvar kalınlığındaki artışla birlikte duvarın ısı direnci artmaktadır. Bu durum ise faz gecikmesi ve ısı transferinde sönümlenmeye sebep olmaktadır. Boyutsuz genliğin artışı ise yalnızca ortalama Nusselt sayısının genliğinde bir artışa sebep olmakta, faz gecikmesi ise boyutsuz genlikteki değişimden etkilenmemektedir.

SONUÇLAR

Kare şeklindeki kapalı ortam içerisinde periyodik birleşik doğal taşınım sayısal olarak incelenmiştir. Rayleigh Sayısı, Prandtl sayısı ve boyutsuz periyod değerleri sabit alınarak, boyutsuz genlik, ısı iletim katsayısı oranı ve boyutsuz duvar kalınlığının faz gecikmesi ve ısı transferine etkileri üzerinde durulmuştur. Yukarıda tanımlanan parametreler ışığında elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Duvardaki ısı iletimi, ısı transferini etkilemektedir. Pratiği daha iyi temsil eden bu durum dikkate alınmalıdır.
- Pratikteki uygulamaların çoğunda sınır koşulları daimi değildir (zamanla değişmektedir). Bu durum akış ve ısı geçişi karakteristiklerini önemli derecede etkilemektedir.
- Boyutsuz duvar kalınlığındaki artış ve ısı iletim katsayısı oranındaki azalmayla birlikte duvarın ısı direnci yükselmekte, bu ise duvar-akışkan ara yüzeyinde elde edilen ortalama Nusselt sayısı değerlerinin sönümlenmesine ve faz gecikmesine sebep olmaktadır.
- Boyutsuz genliğin artışı, ısı transferinde artışa sebep olurken, faz gecikmesi üzerinde herhangi bir etkisi yoktur.

**Kullanılan Semboller**

a	genlik
A	boyutsuz genlik
a_r	kapalı ortamın yükseklik/genişlik oranı, H/L
c	öz ısı
l	boyutsuz duvar kalınlığı
f	frekans
F	boyutsuz frekans
g	yerçekimi ivmesi
Gr	Grashof sayısı, $g\beta(\bar{T}_h - T_c)H^3 / \nu^2$
H	kapalı ortamın yüksekliği
k_r	ısı iletim katsayısı oranı, k_s / k_f
L	kapalı ortamın genişliği
L_w	duvar kalınlığı
Nu	Nusselt sayısı
p	basınç
P	boyutsuz basınç
Ra	Rayleigh sayısı, $g\beta(\bar{T}_h - T_c)H^3 / \alpha\nu$
t	zaman
T	Sıcaklık
u	x doğrultusundaki hız bileşeni
U	x doğrultusundaki boyutsuz hız bileşeni
v	y doğrultusundaki hız bileşeni
V	y doğrultusundaki boyutsuz hız bileşeni
x, y	Şekil 1'de gösterilen koordinatlar
X, Y	boyutsuz koordinatlar

Yunan Harfleri

α	ısı yayılım katsayısı
β	ısı genleşme katsayısı
ν	kinematik viskozite
λ	yakınsama kriteri
τ	boyutsuz zaman
τ_p	boyutsuz periyod
ρ	yoğunluk
φ	fiziksel büyüklük

Alt İndisler

c	soğuk duvar
h	sıcak duvar
f	akışkan
0	referans
r	oran
s	katı
t	zaman ortalaması
y	alan ortalaması

**KAYNAKLAR**

- [1] KAZMIERCZAK, M., CHINODA, Z., Buoyancy-Driven Flow in an Enclosure with Time Periodic Boundary Conditions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 35, 1507-1518, 1992.
- [2] LAKHAL, E.K., HASNAOUI, M., VASSEUR, P., BILGEN, E., Natural Convection in a Square Enclosure Heated Periodically from Part of the Bottom Wall, *Numerical Heat Transfer, Part A*, 27, 319-333, 1995.
- [3] OOSTHUIZEN, P.H., Unsteady Free Convective Flow in an Enclosure with a Stepwise Periodically Varying Side-Wall Heat Flux, *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, 9, 214-223, 1999.
- [4] 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, 2027-2038, 1993.
- [5] KWAK, H.S., HYUN, J.M., Natural Convection in an Enclosure Having a Vertical Sidewall with Time-Varying Temperature, *Journal of Fluid Mechanics*, 329, 65-88, 1996.
- [6] 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.
- [7] ZHAO, F.Y., LIU, D., TANG, G.F., Resonant Response of Fluid Flow Subjected to Discrete Heating Elements, *Energy Conversion and Management*, 48, 2461-2472, 2007.
- [8] ISHIDA, H., TAKAGI, Y., KIN, N., YOSHIMURA, H., KAWAHARA, G., Resonant Thermal Convections in a Square Cavity Induced by Heat-Flux Vibration on the Bottom Wall, *Numerical Heat Transfer, Part A*, 58, 20-40, 2010.
- [9] XIA, Q., YANG, K.T., MUKUTMONI, D., Effect of Imposed Wall Temperature Oscillations on the Stability of Natural Convection in a Square Enclosure, *ASME Journal of Heat Transfer*, 117, 113-120, 1995.
- [10] CHEIKH, N.B., BEYA, B.B., LILI, T., Aspect Ratio Effect on Natural Convection Flow in a Cavity Submitted to a Periodical Temperature Boundary, *ASME Journal of Heat Transfer*, 129, 1060-1068, 2007.
- [11] KALABIN, E.V., KANASHINA, M.V., ZUBKOV, P.T., Heat Transfer from the Cold Wall of a Square Cavity to the Hot One by Oscillatory Natural Convection, *Numerical Heat Transfer, Part A*, 47, 609-619, 2005a.
- [12] KALABIN, E.V., KANASHINA, M.V., ZUBKOV, P.T., Natural Convective Heat Transfer in a Square Cavity with Time-Varying Side-Wall Temperature, *Numerical Heat Transfer, Part A*, 47, 621-631, 2005b.
- [13] WANG, G., ZENG, M., REN, Y.C., OZOE, H., WANG, Q.W., Transient Heat Flux Measurement of Natural Convection in an Inclined Enclosure with Time-Periodically-Varying Wall Temperature, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 35, 105-111, 2011.
- [14] AYACHI, R.E., RAJI, A., HASNAOUI, M., BAHLAOUI, A., Combined Effect of Radiation and Natural Convection in a Square Cavity Differentially Heated with a Periodic Temperature, *Numerical Heat Transfer, Part A*, 53, 1339-1356, 2008.
- [15] ANTOHE, B.V., LAGE, J.L., Amplitude Effect on Convection Induced by Time-Periodic Horizontal Heating, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 39, 1121-1133, 1996.
- [16] GHASEMI, B., AMINOSSADATI, S.M., Periodic Natural Convection in a Nanofluid-Filled Enclosure with Oscillating Heat Flux, *International Journal of Thermal Sciences*, 49, 1-9, 2010.
- [17] NITHYADEVI, N., SIVASANKARAN, S., KANDASWAMY, P., Buoyancy-Driven Convection of Water near Its Density Maximum with Time Periodic Partially Active Vertical Walls, *Meccanica*, 42, 503-510, 2007.
- [18] CHUNG, K.H., KWAK, H.S., HYUN, J.M., Finite-Wall Effect on Buoyant Convection in an Enclosure with Pulsating Exterior Surface Temperature, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 44, 721-732, 2001.
- [19] ZHANG, W., ZHANG, C., GUANG, X., Conjugate Conduction-Natural Convection in an Enclosure with Time-Periodic Sidewall Temperature and Inclination, *Int. J. Heat Fluid Flow*, 32, 52-64, 2011.
- [20] KAMINSKI, D.A., PRAKASH, C., Conjugate Natural Convection in a Square Enclosure: Effect of Conduction in One of the Vertical Walls, *International Journal of Heat Mass Transfer*, 29, 1979-1988, 1986.



ÖZGEÇMİŞ

Buğra SARPER

1988 yılında Konya’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Konya’da tamamladı. 2010 yılında, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü’nde Lisans, 2013 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. Halen Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda doktora eğitimini sürdürmektedir. 2011 yılından beri Gümüşhane Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. İngilizce bilmektedir. Evlidir.

Orhan AYDIN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Termodinamik Anabilim Dalı öğretim üyelerinden olan Aydın, 2007 yılında profesör unvanını aldı. Aydın’ın, seksenin üzerinde uluslararası saygın dergide yayınlanmış makalesi, uluslararası saygın bir yayınevi tarafından basılan bir kitap bölümü, çok sayıda yurtiçi ve yurtdışı bildirisi mevcuttur. Bu eserlerine bu zamana kadar 1200/1600 civarında (Web of Science/Scopus) atıf yapılmıştır. Yaptığı çalışmalar neticesinde şu ulusal ve uluslararası ödüllere layık görülmüştür: 2007 ODTÜ M.N. Parlar Vakfı Araştırma Teşvik Ödülü, 2008 TÜBA Üstün Başarılı Genç Bilim İnsanı Ödülü, 2008 TÜBİTAK Bilim Teşvik Ödülü, 2009 yılında TWAS Asosiyel Üyelik ödülü. Aydın’ın araştırma ilgisi, termodinamik, ısı ve kütle transferi, akışkanlar mekaniği, mikro-elektromekanik sistemlerde akış fiziği, elektronik soğutma ve enerji depolama gibi alanlarda yoğunlaşmıştır. .

