

ULIBTK07-103

## DUBLEKS EV BENZERİ KAPALI ORTAMLARDA DOĞAL TAŞINIMLA ISI TRANSFERİNİN SAYISAL İNCELENMESİ

Birol ŞAHİN<sup>1</sup>

Mehmet Emin ARICI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>KTÜ Beşikdüzü Meslek Yüksek Okulu, 61800 TRABZON, e-posta: birsahin@ktu.edu.tr

<sup>2</sup>KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü, 61080 TRABZON, e-posta: arici@ktu.edu.tr

### ÖZET

Dubleks ev benzeri kısmi olarak bölünmüş kapalı ortamlardaki doğal taşınım ile ısı transferi sayısal olarak incelendi. Yaz ve kış sınır şartları altındaki doğal taşınım problemi iç bölmenin iki farklı konumu ve iç bölme bulunmayan kapalı ortamlar için analiz edildi.

Belirlenen durumların her biri için elde edilen sayısal bulgular, çözüm bölgesi içerisindeki akım çizgileri, eş sıcaklık eğrileri, normalize edilmiş Nusselt sayılarının değişimi ve ortalama Nusselt sayıları olarak sunuldu. Sayısal sonuçlardan kapalı ortamdaki iç bölmenin yaz sınır şartı için trapezoidal kapalı ortamda önemli bir etkisi olmadığı görüldü. Diğer taraftan, kış sınır şartındaki iç bölme konfigürasyonlarının, ısı kaybı ve ısı konfor açısından önemli birer kontrol parametreleri olduğu sonucuna varıldı.

**Anahtar Kelimeler:** Dupleks ev, Doğal taşınım ile ısı transferi, Trapezoidal kapalı ortam

### ABSTRACT

A numerical study of natural convection heat transfer is reported for partially divided trapezoidal enclosure representing a duplex house-like physical situation. The analysis of natural convection under the summertime and the wintertime boundary conditions is performed for two different orientations of the divider and for non-divider enclosures.

The numerical results obtained from the determined cases are presented as distribution of streamlines and isotherms, as variations of normalized Nusselt numbers and as average Nusselt numbers. The numerical results shows that partial division of the enclosure does not significantly alter the results of corresponding trapezoidal enclosure under the summertime boundary condition. On the other hand, the

divided configurations under the wintertime boundary condition are found to be important controlling parameters in view of heat loss and thermal comfort.

**Keywords:** Duplex house, Natural convection, Trapezoidal enclosure.

### 1. GİRİŞ

Kapalı ortamlarda doğal taşınım ile ısı transferi, günümüzde pek çok alanda uygulaması olan bir konudur. Genel olarak elektronik cihazların soğutulmasında, güneş enerjisinden yararlanılan sistemlerde, nükleer reaktörlerin soğutulmasında, kapalı ortamlarda ısı konforunun sağlanması gibi alanlarda doğal taşınım ile ısı transferinden faydalanılmaktadır.

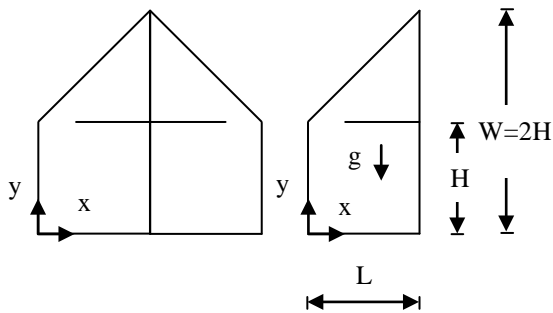
Doğal taşınım ile ısı transferinin öneminin kavranması sonucu, bu alanda yapılan çalışmalar artmıştır. Daha çok 1980 yılı ve sonrasında bilgisayarların hızına ve kapasitesine bağlı olarak değişik parametre ve geometriler için çalışmalar yapılmıştır. Davis (1983), iki boyutlu geometriye sahip alttan ve 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. Bir tarafı yüksek sıcaklıkta, tavan kısmı düşük sıcaklıkta olan ve diğer yüzeyleri yalıtılmış iki boyutlu kapalı ortam için doğal taşınım problemi, akım fonksiyonu-vortisite formülasyonu kullanılarak değişik en/boy oranlarında ve Rayleigh sayısının  $10^3$ - $10^7$  aralığında olması durumları için Aydın vd. (1999) tarafından çalışılmıştır. Kare geometrisine sahip kapalı bir ortamdaki laminar doğal taşınım problemi çözümleri Davis ve Jones (1983) tarafından karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Karşılaştırma, değişik Rayleigh sayılarında elde edilen sonuçlar için yapılmıştır. Salmun (1995), üçgen geometriye sahip tabanı yüksek sıcaklıkta, eğimli yüzeyi düşük sıcaklıkta ve diğer yüzeyi yalıtılmış olan kapalı ortam için en/boy oranının 0.1-1.0 ve Rayleigh sayısının  $10^2$ - $10^5$  aralığında değişmesi durumlarındaki ısı transferi olayını incelemiştir. Shi ve Khodadadi (2003), kapalı kare ortamın sıcak olan sol yüzeyine yerleştirilen kanatçığın ısı transferi üzerine etkisini, laminar

doğal taşınım için sonlu kontrol hacmi metodunu kullanarak sayısal olarak çözmüşlerdir. Corcione (2003), alttan ısıtılmış, üstten soğutulmuş, yan duvarları farklı sınır şartlarındaki iki boyutu kapalı ortamlarda meydana gelen doğal taşınım ile ısı transferini sayısal olarak incelemiştir. Moukalled ve Acharya (2000), 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. Trapezoidal geometriye sahip kapalı ortamın eğimli yüzeyinin ve tabanın yalıtılması, diğer yüzeylerinin sabit sıcaklıklarda olmaları durumu Moukalled ve Darwish (2003) tarafından incelenmiştir. Ostrach (1988), kapalı ortamlardaki doğal taşınım problemi için geniş bir literatür araştırması vermiş olup problemlerin çözümü için önerilerde bulunmuştur.

Literatürde çeşitli iç bölme, ya da bölmeler ihtiva eden kapalı ortamlarda doğal taşınım ile ısı transferi konusunda değişik çalışmalar mevcuttur. Daha önce yapılan çalışmalardan da görüldüğü gibi trapezoidal kapalı ortam içerisine daha çok düşey engeller yerleştirilmiş olup, yatay engellerin ısı transferine etkisi incelenmemiştir.

## 2. TEORİK ÇALIŞMA

İncelenen problem geometrisi Şekil 1 de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi incelenen geometri dubleks ev benzeri kapalı ortam olup, geometri simetrik olduğu için modelin yarısı incelenmiştir.



Şekil 1. Dubleks ev benzeri kapalı ortam geometrisi.

Bilindiği gibi doğal taşınım olayı sıcaklık farkından dolayı meydana gelen kaldırma kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır. İki boyutlu sürekli rejimde doğal taşınım için geçerli olan momentum denklemleriyle enerji denklemi

kaldırma kuvvetlerini de ihtiva edecek şekilde boyutsuz olarak aşağıda verilmiştir:

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

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

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

Denklemlerde kullanılan boyutsuz büyüklükler şu şekildedir:

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

Şekil 1 deki geometri için sınır koşulları,

$$X=0 \text{ da } T=T_h \text{ veya } T_c$$

$$X=L \text{ de } \frac{\partial T}{\partial X} = 0$$

$$Y=0 \text{ da } T=T_c \text{ veya } T_h$$

$$\text{Eğimli üst yüzey boyunca, } T=T_h \text{ veya } T_c$$

şeklinde verilmiştir. Eş sıcaklık eğrileri ve akım çizgileri için karakteristik uzunluk sıcaklık farkının meydana geldiği H yüksekliğidir. Bu nedenle boyutsuzlaştırma yapılırken karakteristik uzunluk olarak trapezoidal ortamın kısa kenar yüksekliği alınmıştır. Çözüm bölgesi içerisinde duvar yüzeylerinde kaymama sınır koşulu geçerli olup akışkan özellikleri sabit alınmıştır.

Şekil 1 de verilen problem geometrisi için kapalı ortamın yüksekliği genişliğinin iki katı olup  $H=L$  de kapalı ortam içerisine  $2/3L$  uzunluğunda bir engel yerleştirilmiştir. Bu engel, konfigürasyona göre kapalı ortamın sağ veya sol düşey uzunluğu üzerine yerleştirilmiştir. Trapezoidal ortam içerisinde herhangi bir engelin olmadığı durum konfigürasyon 0, kapalı ortamın sağ düşey kenarına engelin yerleştirilmesi durumu konfigürasyon I, kapalı ortamın kısa olan sol düşey kenarı üzerine engelin yerleştirilmesi durumu konfigürasyon II olarak adlandırılmıştır. Sol düşey kenarın ve eğimli üst kenarın sıcak, alt kenarın soğuk olması yaz sınır şartı; benzer şekilde sol düşey kenarın ve eğimli olan üst kenarın soğuk, alt kenarın sıcak olması ise kış sınır şartı olarak adlandırılmıştır. Bütün durumlar için kapalı ortamın sağ tarafındaki duvarın, simetriden dolayı, yalıtılmış olduğu kabul edilmiştir. Çalışılan sınır şartları ve konfigürasyonlar Şekil 2 de gösterilmiştir.

Konfigürasyon	Yaz Sınır Şartı	Kış Sınır Şartı
Konfigürasyon 0		
Konfigürasyon I		
Konfigürasyon II		

Şekil 2. Yaz ve kış sınır şartları altında çalışılan konfigürasyonlar.

Taşınım ile ısı transferinin göstergesi olarak kabul edilen Nusselt sayısının yüksek sıcaklıktaki ve düşük sıcaklıktaki yüzeyler için kapalı ortamın alt kenarı boyunca yerel ve ortalama değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$Nu_h = - \frac{\partial \theta}{\partial Y} \Big|_{Y=0}$$

$$Nu_c = - \frac{\partial \theta}{\partial Y} \Big|_{Y=1}$$

$$\overline{Nu}_h = \int_0^1 Nu_h dX$$

$$\overline{Nu}_c = \int_0^1 Nu_c dX$$

Normalize Nusselt sayısı, hesaplanan Nusselt sayısının iletim Nusselt sayısına bölünmesi ile elde edilmiştir. İletim Nusselt sayısı ise ortamdaki akışkanın hareketsiz olması durumu için ( $Ra=0$ ), yani ısı transferinin sadece iletimle gerçekleştiğinin varsayıldığı durumda hesaplanan Nusselt sayısıdır ( $\overline{Nu}_o$ ).

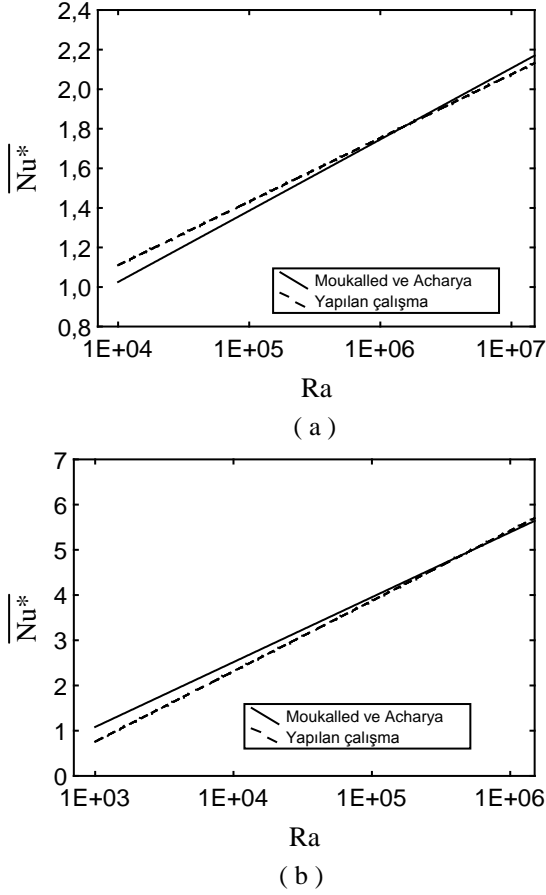
$$Nu^* = \frac{\overline{Nu}_{h,c}}{\overline{Nu}_o}$$

Çözüm için eliptik bir FORTRAN programı problemi çözecek şekilde geliştirilmiştir. Sayısal çalışma, iki boyutlu dikdörtgen ortamın 60x120 uniform ağ yapısına bölünmesiyle yapılmıştır. Problemi temsil eden iki momentum ve bir enerji denklemi sonlu kontrol hacmi yöntemiyle ayrıklaştırılmış ve ayrık denklemler iteratif olarak Patankar (1980) tarafından verilen SIMPLE algoritması ile çözülmüştür. Momentum denklemleri için sınır koşulları duvarlarda kaymama sınır koşulu olarak sıfır hız, enerji denklemi için sağ kenarda yalıtım sınır koşulu, diğer duvarlarda ise sabit sıcaklık sınır koşulu verilmiştir. Çözüm, boyutsuz denklemlerle gerçekleştirildiği için sınır koşulları da boyutsuz sınır koşulu olarak; sıcak duvar için 1 ve soğuk duvar için 0 değerleri verilmiştir. İş akışkanı olarak hava için Prandtl sayısı 0.72 olarak alınmıştır.

### 3. BULGULAR

Verilen sınır şartları altında elde edilen bulgular, Rayleigh sayısının  $10^4$ - $10^6$  değerlerinde trapezoidal ortam için normalize edilmiş Nusselt sayıları, akım çizgileri, eş sıcaklık eğrilerinin değişimleri Şekil 3-5 te sunulmuştur. Karşılaştırma yapmak amacıyla boş trapezoidal ortam için elde edilen normalize edilmiş ortalama Nusselt sayıları, Moukalled ve

Acharya (2000) tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3 ten de görüleceği gibi elde edilen sonuçlarla literatürde verilen sonuçlar benzerlik göstermektedir.

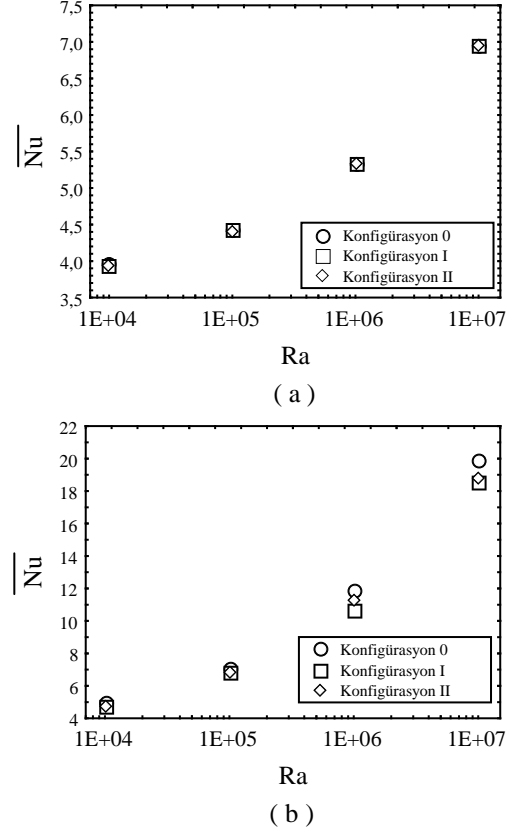


Şekil 3. Yapılan çalışma ile Moukalled ve Acharya (2000) tarafından elde edilen sonuçların karşılaştırılması. (a) Yaz sınır şartı, (b) Kış sınır şartı.

Şekil 4 ten görüldüğü gibi ısı transferi boş trapezoidal ortamda diğer konfigürasyonlara göre daha yüksek olmaktadır. Yaz sınır şartları altında yapılan çalışmadan da görüldüğü gibi Rayleigh sayısının ve konfigürasyonların değişiminin ısı transferi üzerindeki etkisi çok azdır.

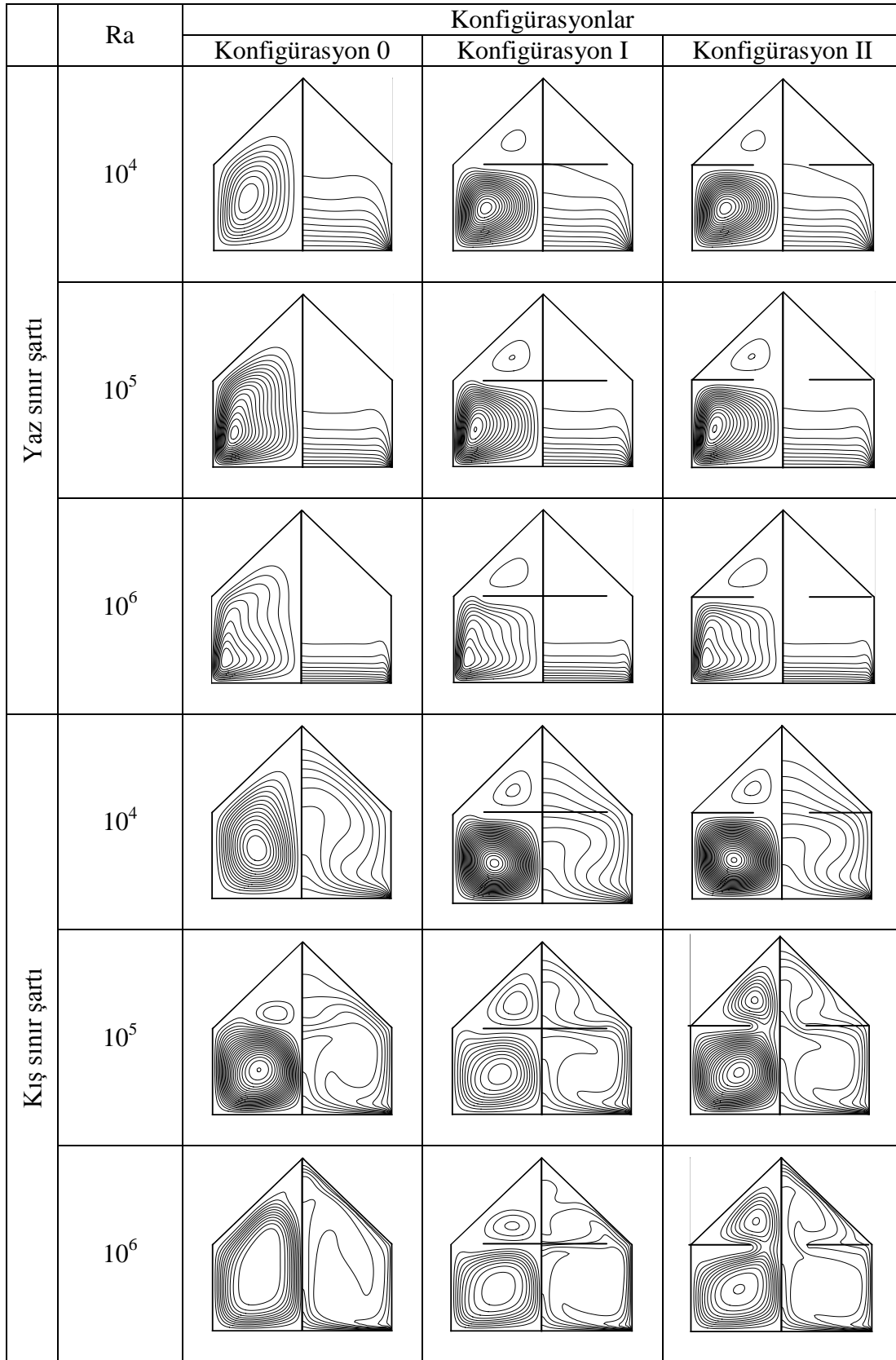
Yaz ve kış sınır şartları altında üç ayrı konfigürasyon için akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrilerinin Rayleigh sayısına göre değişimleri Şekil 5 te verilmektedir. Her bir durum için oluşturulan şekillerin sol tarafına yerleştirilen kapalı ortama akım çizgisi, sağ tarafına yerleştirilen kapalı ortama ise eş sıcaklık eğrileri çizilmiştir. Yaz sınır koşulları ile ilgili akım çizgileri incelendiğinde; konfigürasyon I ve konfigürasyon II deki yatay bölmelerin üst bölgede oldukça zayıf ikincil akımlar oluşturduğu ve artan Rayleigh sayısı ile birlikte akım çizgileri dönme merkezinin sıcaklık farkının yüksek olduğu sol alt köşeye doğru kaydığı

görülmür. Akış alanında meydana gelen bu değişikliklerin etkisinin eş sıcaklık eğrilerine yansımadağı yine aynı şekiller üzerinde açıkça görülmektedir. Bu durum Şekil 5'teki yaz sınır şartı sonuçlarının Şekil 4/a ile uyum içinde olduğunu da gösterir.



Şekil 4. Farklı konfigürasyonlarda Rayleigh sayısının  $10^4 - 10^6$  değerleri için elde edilen ortalama Nusselt sayıları. (a) Yaz sınır şartı, (b) Kış sınır şartı.

Kış sınır şartları için elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri, akış alanının sıcaklık alanı üzerindeki etkisini açık olarak göstermektedir. Akış ve sıcaklık alanları üzerinde hem Rayleigh sayısı hem de yatay bölmenin konumu önemli birer parametredir. Yatay bölmeli konfigürasyonlarda üst bölgedeki ikincil akışların şiddeti yaz sınır koşulu uygulamasından daha yüksek olup, akış alanının sıcaklık alanı üzerindeki etkisi daha belirgindir. Kış sınır koşulları uygulamasında akışkan hareketinin saat ibresinin tersi yönünde olduğu için konfigürasyon I uygulamasındaki yatay engel akım çizgilerinin üst bölgeye ulaşmasını engellemektedir. Alt ve üst bölgede birbirinden hemen hemen bağımsız gelişen akış alanlarının etkisi sıcaklık alanına da benzer tarzda bağımsız olarak yansımaktadır. Bu durum Şekil 4/b'de de görüldüğü gibi ortalama Nusselt sayısının azalmasına neden olmaktadır. Konfigürasyon II uygulamasında ise akım çizgileri her iki bölgede birbirine bağımlı olarak gelişmekte ve sonuç sıcaklık alanına da o şekilde yansımaktadır.



Şekil 5. Yaz ve kış sınır koşulları altında farklı konfigürasyonlarda Rayleigh sayısının  $10^4 - 10^6$  değerleri için elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri

#### 4. SONUÇLAR

Bulguların karşılaştırmalı analizinden, farklı konfigürasyonlar için kapalı ortam içerisine karşılıklı yerleştirilen iç bölmelerin, kış sınır şartları için toplam ısı geçişini önemli ölçüde etkilediği sonucu çıkarılmıştır. Yaz sınır şartları için konfigürasyonların ve Rayleigh sayısının değişiminin toplam ısı geçişi üzerindeki etkisi ihmal edilebilecek düzeydedir. Konfigürasyonlar için yapılan çalışmalardan görüldüğü gibi, ısı transferi; engel bulunmayan kapalı ortamda diğerlerine göre daha fazla olmaktadır. Kış sınır şartlarında boş ortamdaki (konfigürasyon 0) sonradan fazla ısı transferi konfigürasyon II de görülmektedir.

Dubleks ev benzeri kapalı ortamlarda doğal taşınım ile ilgili yapılan sayısal analizde, yaz uygulaması için yatay bölme varlığının ve konumunun ısı transferi açısından önemli bir parametre olmadığı görüldü. Buna karşılık, kış uygulaması için hem yatay bölme bulunmasının ve hem de bölme konumunun ısı transferi üzerinde önemli etkisinin olduğu anlaşıldı. Kış uygulamasında ısı kayıplarını en aza indiren konfigürasyon I düzenlemesinin, sıcak ve soğuk yüzeylerdeki akışkan tabakalarının karışmasına olan etkisi nedeniyle kısmen daha üniform bir sıcaklık alanının elde edilebilmesi bakımından konfigürasyon II düzenlemesinin tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır.

#### SEMBOLLER

H	kapalı ortamın kısa düşey kenar yüksekliği
L	kapalı ortamın uzunluğu
Nu	Nusselt sayısı
Nu <sub>x,y</sub>	yerel Nusselt sayısı
Nu <sub>o</sub>	sadece iletimin meydana geldiği Nusselt sayısı
$\overline{Nu}$	ortalama Nusselt sayısı
Nu*	normalize edilmiş ortalama Nusselt sayısı
P	boyutsuz basınç
Pr	Prandtl sayısı, $\nu / \alpha$
Ra	Rayleigh sayısı, $\rho g \beta (T_h - T_c) L^3 / (\mu \alpha)$
T	sıcaklık
T <sub>C</sub>	düşük sıcaklıktaki yüzeyin sıcaklığı
T <sub>H</sub>	yüksek sıcaklıktaki yüzeyin sıcaklığı
u, U	yatay hız bileşeni, boyutsuz yatay hız bileşeni
v, V	düşey hız bileşeni, boyutsuz düşey hız bileşeni
W	uzun düşey kenar yüksekliği
x, X	yatay koordinat, boyutsuz yatay koordinat
y, Y	düşey koordinat, boyutsuz düşey koordinat

$\theta$  boyutsuz sıcaklık

#### 5. KAYNAKLAR

Aydin, O., Ünal, A., Ayhan, T., Natural Convection in Rectangular Enclosures Heated From One Side and Cooled from the Ceiling, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42, 2345-2355, 1999.

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.

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.

Davis, G.de.V. and Jones, I.P., Natural Convection in a Square Cavity: A Comparison Exercise, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 3, 227-248, 1983.

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.

Moukalled, F., Darwish, M., Natural Convection in a Partitioned Trapezoidal Cavity Heated from the Side, *Numerical Heat Transfer, Part A*, 43, 543-563, 2003.

Ostrach, S., Natural Convection in Enclosures, *Journal of Heat Transfer*, 10, 1175-1190, 1988.

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

Salmun, H., Convection Patterns in a Triangular Domain, *International Journal of Heat Mass Transfer*, 38, 351-368, 1995.

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.