

ÇATI ARALARINDA MEYDANA GELEN DOĞAL TAŞINIMLA ISI TRANSFERİNİN ÇATI KATINDAKİ ISIL KONFORA ETKİSİNİN SAYISAL ANALİZİ

Birol ŞAHİN

Karadeniz Teknik Üniversitesi Beşikdüzü Meslek Yüksekokulu, 61800 Beşikdüzü/TRABZON

birsahin@ktu.edu.tr

ÖZET

İki boyutlu, çatı ile bütünleşik kapalı ortamlarda yaz ve kış sınır şartları için çatı aralarında meydana gelen doğal taşınım ile ısı transferinin çatı katındaki ısı konforuna etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Kış sınır şartları için kapalı ortam geometrisinin dış ortamla temas ettiği yüzeyler soğuk, ortamın alttan ısıtıldığı varsayıldığından dolayı taban kısmının sıcak olduğu kabul edilmiştir. Benzer şekilde yaz sınır şartları için kapalı ortam geometrisinin dış ortamla temas ettiği yüzeyler sıcak, ortamın alt kısmının zeminle temasta olduğu varsayımıyla taban kısmının soğuk olduğu kabul edilmiştir. Ortam içerisindeki sıcak ve soğuk yüzeyler arasındaki boyutsuz sıcaklık farkını da ihtiva eden Rayleigh sayısının farklı değerleri için sayısal çalışma yapılmış olup elde edilen sonuçlar, akım çizgileri, eş sıcaklık eğrileri ve ortalama Nusselt sayıları cinsinden verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, yaz sınır şartları için doğal taşınım ile ısı transferinde önemli bir değişim olmadığı görülmüştür. Kış sınır şartlarında ise artan Rayleigh sayısına bağlı olarak ısı transferinin de büyük oranda arttığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çatı Katı, Doğal Taşınım, Isı Transferi, Isıl Konfor

1. GİRİŞ

İnsanlar, buldukları ortam sıcaklığından ve neminden bir rahatsızlık duymuyorlarsa o ortamda ısı konfor parametreleri sağlanmış demektir. Genel olarak bir ortamda ısı konforunun sağlanması bazı kriterlere bağlıdır. İç ortamda ısı konforu etkileyen faktörleri kişisel ve çevresel olmak üzere incelemek mümkündür. Giyinme ve aktivite gibi kişisel faktörler önemli olmakla birlikte çevresel faktörler kişiye bağımlı olmadığı için bunların karşılanması, belirlenmesi gereklidir. Bu çevresel faktörler hava sıcaklığı ve nemi, hava hızı ve ortalama radyant sıcaklıktır [1]. Ayrıca ortamda kullanılan HVAC sistemleri de çevresel faktörleri etkileyen bileşenler arasında yer almaktadır.

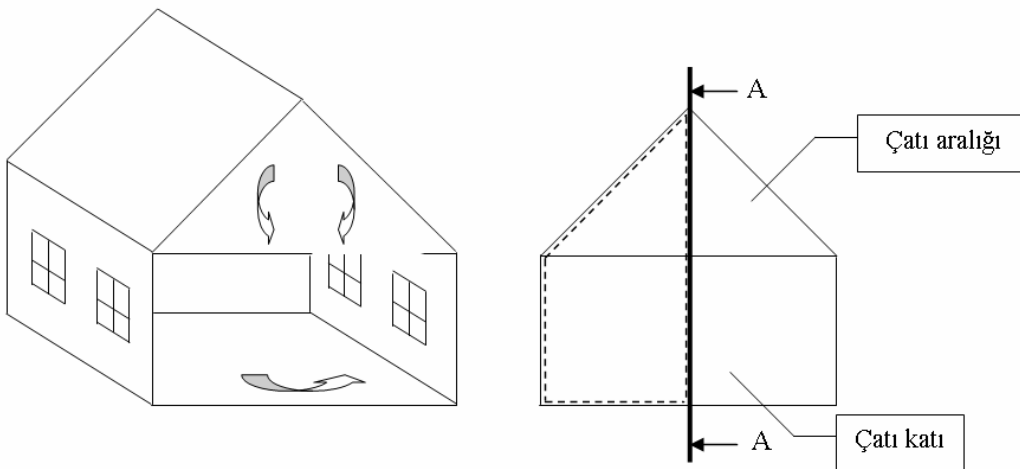
İçerisinde akışkan bulunan bir kapalı ortamın soğuk ve sıcak yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkından dolayı doğal taşınım ile ısı transferi meydana gelmektedir. Doğal taşınım ile ısı transferi, Rayleigh sayısına bağlı olarak laminer ve türbülanslı doğal taşınım olarak ikiye ayrılmaktadır. Kullanılan akışkana ve sınır şartlarına göre Rayleigh sayısının 10^3 - 10^7 aralığındaki değerleri için laminer doğal taşınım, Rayleigh sayısının 10^7 den büyük olması durumunda türbülanslı doğal taşınım geçerlidir.

Doğal taşınım ile ısı transferinden genel olarak elektronik cihazların soğutulmasında, güneş enerjisinden yararlanılan sistemlerde, nükleer reaktörlerin soğutulmasında, çift cam pencerelerde ısı transferinin azaltılmasında, damıtma işlemlerinde, kapalı ortamlarda ısı konforunun sağlanmasında, iç hava kalitesinin iyileştirilmesinde faydalanılmaktadır.

Doğal taşınım ile ısı transferinin öneminin kavranması sonucu, bu alanda yapılan çalışmalar artmıştır. Daha çok 1980 yılı ve sonrasında, gelişen teknolojiye bağlı olarak bilgisayarların hızının ve kapasitesinin artması sonucu değişik parametre ve geometriler için sayısal çalışmalar yapılmıştır. Şahin ve Arıcı [10,11,12], yaptıkları çalışmalarda kapalı ortamların değişik konfigürasyonları ve farklı sınır şartları için Rayleigh sayısının farklı değerlerinde sayısal çalışmalar yapmışlardır. 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. [2] tarafından çalışılmıştır. Corcione [3], alttan ısıtılmış, üstten soğutulmuş, yan duvarları farklı sınır şartlarındaki iki boyutu kapalı ortamlarda meydana gelen doğal taşınım ile ısı transferini sayısal olarak incelemiştir. Davis [4], 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 laminer doğal taşınım problemi çözümleri Davis ve Jones [5] tarafından karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Karşılaştırma, değişik Rayleigh sayılarında elde edilen sonuçlar için yapılmıştır. Moukalled ve Acharya [6], 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 tabanının yalıtılması, diğer yüzeylerinin sabit sıcaklıklarda olmaları durumu Moukalled ve Darwish [7] tarafından incelenmiştir. Ostrach [8], kapalı ortamlardaki doğal taşınım problemi için geniş bir literatür araştırması vermiş olup problemlerin çözümü için önerilerde bulunmuştur. Salmun [13], 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 [14], 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. Literatür araştırması sonucunda, çatı aralığı ile çatı katı arasında meydana gelen doğal taşınım ile ısı transferi üzerine bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle incelen geometriye ait sınır koşullarının, ısı transferi ve ısı konfor parametreleri üzerindeki etkilerinin araştırmaya değer bir çalışma olduğu düşünülmüştür.

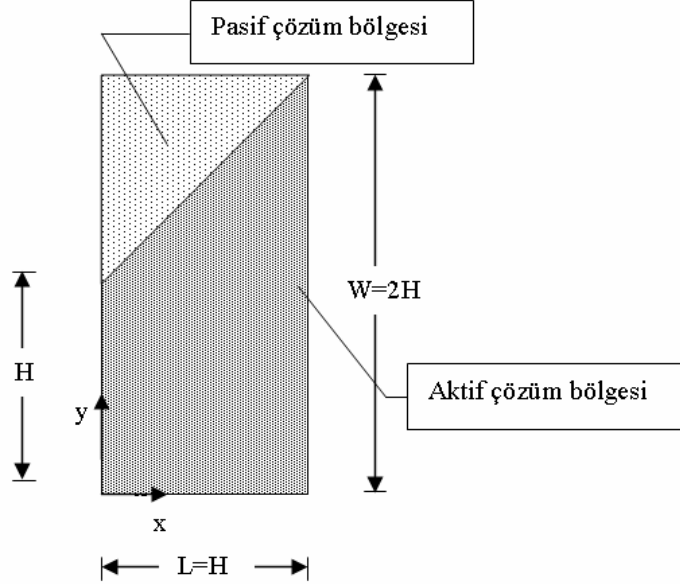
2. TEORİK ÇALIŞMA

İncelenen problem geometrisi Şekil 1 de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi incelenen geometri çatı katının basitleştirilmiş bir modeli olup, geometri simetrik olduğu için modelin yarısı olan A-A kesiti incelenmiştir.



Şekil 1. Çatı katı benzeri ortam geometrisi.

Şekil 1 deki çatı katı benzeri geometrinin elde edilmesi için yükseklik/genişlik oranı iki olan dikdörtgen ortam içerisine bir iç bölme yerleştirilmiştir. Kapalı ortam içerisine yerleştirilen iç bölme yüzeylerinin momentum akılarını geçirmediği, fakat iletimden kaynaklanan ısı akılarını ise geçirdiği kabul edilmiştir. Çözüm yapabilmek amacıyla dikdörtgen ortam Şekil 2 deki gibi aktif çözüm bölgesi ve pasif çözüm bölgesi olarak ikiye ayrılmıştır. Bu çözüm yönteminde akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrilerinin hesaplanmayacağı pasif çözüm bölgesi için Rayleigh sayısı sıfır (0) değerini almaktadır. Böylece pasif kabul edilen bölge içinde akış ve ısı transferi olmadığı kabul edilir.



Şekil 2. Trapezoidal geometriye sahip iki boyutlu kapalı ortam.

Doğal taşınım ile ısı transferi mekanizması, sıcaklık farkından dolayı meydana gelen kaldırma kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır. Sürekli rejimde iki boyutlu doğal taşınım için geçerli olan momentum denklemleriyle enerji denklemi [14] kaldırma kuvvetlerini de ihtiva edecek şekilde boyutsuz olarak aşağıda verilmiştir:

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

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

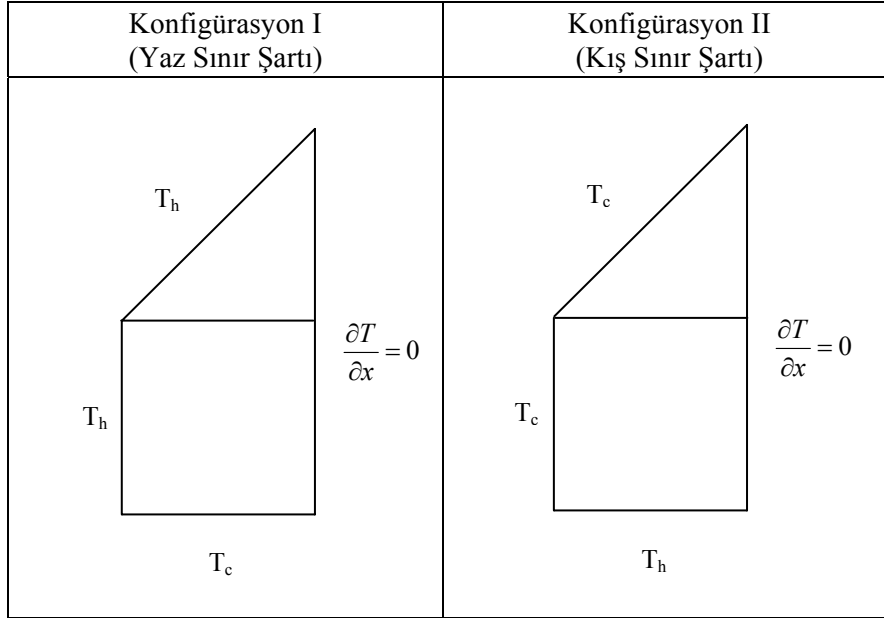
$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \quad (3)$$

Denklemlerde kullanılan boyutsuz büyüklükler şu şekildedir:

$$X = \frac{x}{H}, Y = \frac{y}{H}, U = \frac{uH}{\alpha}, V = \frac{vH}{\alpha}, \theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c}, P = \frac{\rho H^2}{\rho \alpha^2} \quad (4)$$

Çözüm bölgesi içerisinde duvar yüzeylerinde kaymama sınır koşulu geçerli olup akışkan özellikleri sabit alınmıştır. Şekil 1 de verilen problem geometrisi için kapalı ortamın yüksekliği, kısa olan düşey kenarın iki katı olarak alınmıştır. 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 durumu ise kış sınır şartı olarak adlandırılmıştır. Şekil 2 de verilen pasif bölgede sıcaklık değeri yaz sınır şartı için 1, kış sınır şartı için 0 alınmıştır. Her iki sınır koşulu için kapalı ortamın sağ

tarafındaki duvarın simetriden dolayı yalıtılmış olduğu kabul edilmiştir. Trapezoidal ortam için yaz sınır şartları altında yapılan çözümler konfigürasyon I, kış sınır şartları altında yapılan çözümler ise konfigürasyon II olarak adlandırılmıştır. Çalışılan sınır şartları ve konfigürasyonlar Şekil 3 te gösterilmiştir:



Şekil 3. Çatı katı geometrisi için çalışılan konfigürasyonlar.

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

$$Nu_h = -\frac{\partial \theta}{\partial Y}\bigg|_{Y=0}, \quad \overline{Nu}_h = \int_0^1 Nu_h dX \quad (5)$$

$$Nu_c = \frac{\partial \theta}{\partial Y}\bigg|_{Y=0}, \quad \overline{Nu}_c = \int_0^1 Nu_c dX \quad (6)$$

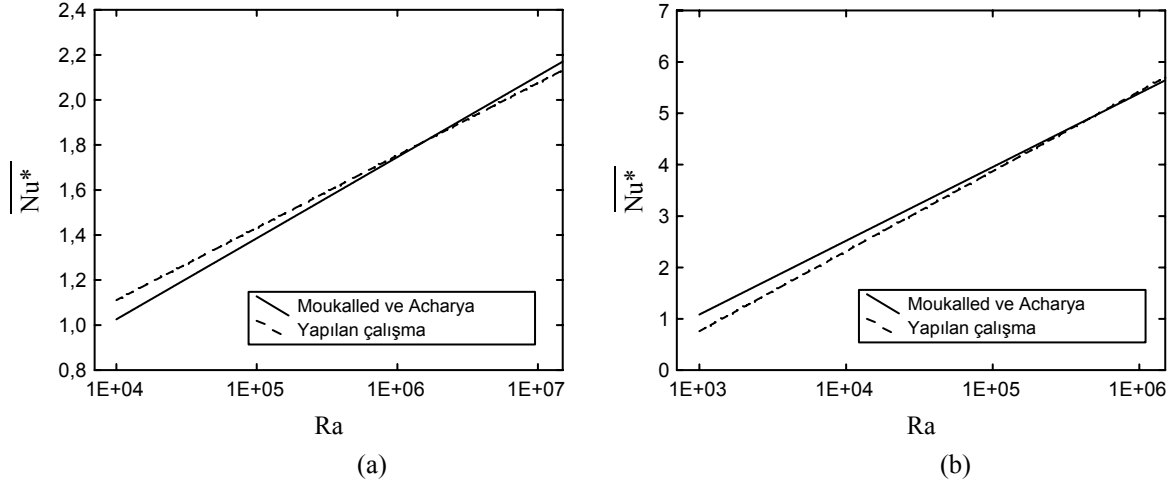
Normalize edilmiş Nusselt sayısı, hesaplanan Nusselt sayısının iletimle ısı transferi durumunda meydana gelen Nusselt sayısına bölünmesi ile elde edilmiştir. İletimle ısı transferinde meydana gelen Nusselt sayısı ise ortamdaki akışkanın hareketsiz olması durumu için ($Ra=0$) hesaplanan Nusselt sayısıdır (\overline{Nu}_o).

$$\overline{Nu}^* = \frac{\overline{Nu}}{\overline{Nu}_o} \quad (7)$$

Çözüm için eliptik bir FORTRAN programı hazırlanmış olup problemi çözecek şekilde geliştirilmiştir. Sayısal çalışma, iki boyutlu trapezoidal ortamın 60x120 ağ yapısına bölünmesiyle yapılmıştır. Problemi temsil eden iki momentum ve bir enerji denklemi sonlu kontrol hacmi yöntemiyle ayrıştırılmış ve ayrık denklemler iteratif olarak Patankar [9] tarafından verilen Simple algoritması ile çözülmüştür. Momentum denklemleri için duvarlarda kaymama sınır koşulu olarak sıfır hız, enerji denklemi için sağ duvarda 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.

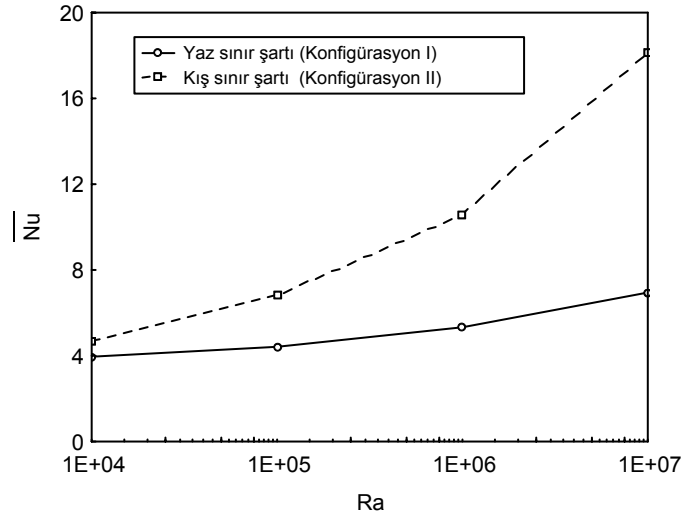
3. BULGULAR

Verilen sınır şartları altında elde edilen bulgular, Rayleigh sayısının 10^4-10^7 değerleri için normalize edilmiş Nusselt sayıları, akım çizgileri, eş sıcaklık eğrilerinin değişimleri olarak Şekil 4-6 da sunulmuştur. Karşılaştırma yapmak amacıyla boş trapezoidal ortam için elde edilen normalize edilmiş ortalama Nusselt sayıları, Moukalled ve Acharya [6] tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4 ten de görüleceği gibi elde edilen sonuçlarla literatürde verilen sonuçlar benzerlik göstermektedir.



Şekil 4. Yapılan çalışma ile Moukalled ve Acharya [6] tarafından elde edilen sonuçların karşılaştırılması. (a) Yaz sınır şartı, (b) Kış sınır şartı.

Ortalama Nusselt sayılarının karşılaştırıldığı Şekil 5 ten görüldüğü gibi ısı transferi konfigürasyon II de diğer konfigürasyona göre daha yüksek olmaktadır. Şekil 5 te görüldüğü gibi artan Rayleigh sayısıyla birlikte doğal taşınım ile ısı transferi de artmaktadır.



Şekil 5. Farklı konfigürasyonlarda Rayleigh sayısının 10^4-10^7 değerleri için elde edilen ortalama Nusselt sayıları.

Yaz ve kış sınır şartları altındaki konfigürasyonlar için akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrilerinin Rayleigh sayısına göre değişimleri Şekil 6 da verilmektedir. Her bir durum için oluşturulan şekillerin sol tarafına yerleştirilen kapalı ortama akım çizgisi, sağ tarafına yerleştirilen kapalı ortama ise eş sıcaklık eğrileri çizilmiştir.

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 kullanılan sınır şartları önemli birer parametredir.

Şekil 6 dan görüldüğü gibi konfigürasyon I uygulaması ile konfigürasyon II uygulaması arasında akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri açısından önemli farklılıklar görülmektedir. Bu durum Şekil 5 teki ortalama Nusselt sayılarının değişimini de doğrulamaktadır. Yaz sınır şartı için yapılan çalışmada eş sıcaklık eğrilerinde fazla bir değişim olmadığı görülmektedir. Isınan hava, zaten sıcak olan yüzeylere doğru hareket edemediğinden dolayı yaz sınır şartlarında çatı aralarındaki ısı transferinin, yaşam alanı olarak kullanılan çatı katındaki ısı transferine etkisinin önemli olmadığı sonucuna varılmıştır. Akım çizgileri, sıcaklık farkının yüksek olduğu alt kenar ile kısa olan sol düşey kenarın kesişim noktası civarında yoğunlaşmaktadır. Genel olarak tek bir akım hücresi etrafında akış görülmektedir.

Ra	Konfigürasyonlar	
	Konfigürasyon I (Yaz sınır şartı)	Konfigürasyon II (Kış sınır şartı)
10^4		
10^5		
10^6		
10^7		

Şekil 6. Yaz ve kış sınır şartlarında Rayleigh sayısının $10^4 - 10^7$ değerleri için elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri.

Kış sınır şartı için yapılan çalışmada ise eş sıcaklık eğrileri ve akım çizgilerinde büyük farklılıklar meydana gelmektedir. Kış sınır şartlarında çatı aralarındaki ısı transferinin yaşam alanı olarak

kullanılan çatı katındaki ısı transferi üzerinde büyük bir etkisinin olduğu görülmektedir. Genel olarak akım çizgileri çatı katının merkezi etrafında meydana gelmekte olup, bu durum ısı konfor açısından önemli bir parametredir. Çalışılan bu konfigürasyonda yaşam alanı olarak kullanılan çatı katında eş dağılı bir hava akımının da olduğu görülmektedir. Kış sınır şartları için eş sıcaklık eğrilerine bakılacak olursa çatı katının büyük bir bölümünde ılık olarak tabir edilen havanın hakim olduğu görülmektedir. Artan Rayleigh sayısıyla birlikte bu durum daha açık bir şekilde görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Bulguların karşılaştırmalı analizinden, yaz sınır şartlarının çatı katındaki toplam ısı geçişi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülür. Çatı katının büyük bir kısmının sıcak hava ile dolu olmasından dolayı sıcaklık açısından da ısı konfora uygun değildir. Benzer şekilde akım çizgileri bir köşe civarında yoğunlaştığından dolayı hava hızının değişimi bakımından da ısı konfora uygun değildir. İlave HVAC sistemleri kullanılarak kapalı ortam içerisinde ısı konfor parametrelerine ulaşılabilir.

Kış sınır şartı için çatı aralarındaki ısı transferinin yaşam alanı olarak kullanılan çatı katındaki ısı transferi üzerinde büyük bir etkisinin olduğu görülür. Akım çizgileri çatı katının merkezi etrafında meydana gelmekte olup, bu durum hava hızı ve dağılımı bakımından ısı konfora uygundur. Kış sınır şartları için çatı katının büyük bir bölümünde ılık olarak tabir edilen havanın hakim olduğu görüldüğünden dolayı sıcaklık açısından ısı konfor parametrelerine daha uygun bulunmuştur. Kış sınır şartlarında yaz sınır şartlarına göre ısı transferinde % 260 a varan artış olduğu belirlenmiştir.

Her iki konfigürasyon için artan sıcaklık farkına bağlı olarak ısı transferinin de arttığı görülmektedir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Yüksel, N., Günümüz Kamu Kurumlarında Yapısal Konfor Koşullarının Tespit Edilmesine Yönelik Bir Çalışma, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 10, Sayı 2, 2005
- [2] Aydın, 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Moukalled, F., Darwish, M., Natural Convection in a Partitioned Trapezoidal Cavity Heated from the Side, *Numerical Heat Transfer, Part A*, 43, 543-563, 2003.
- [8] Ostrach, S., Natural Convection in Enclosures, *Journal of Heat Transfer*, 10, 1175-1190, 1988.
- [9] Patankar, S. V., *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, McGraw Hill, New York, 1980.
- [10] Şahin, B., Arıcı, 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
- [11] Şahin, B., Arıcı, M.E., Dupleks Ev Benzeri Kapalı Ortamlarda Doğal Taşınım İle Isı Transferinin Sayısal İncelenmesi ,16.Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi ULIBTK, Kayseri, 2007
- [12] Şahin, B., Dupleks Ev Geometrisine Sahip Kapalı Ortamlarda Farklı Isıtma Yöntemlerinin Doğal Taşınım İle Isı Transferi Üzerine Etkilerinin Sayısal Analizi , VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 2007
- [13] Salmun, H., Convection Patterns in a Triangular Domain, *International Journal of Heat Mass Transfer*, 38, 351-368, 1995.

- [14] 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.