

GÜN İÇERİSİNDEKİ GÜNEŞ IŞINIMININ KAPALI ORTAMLARDAKİ DOĞAL TAŞINIMLA ISI TRANSFERİ ÜZERİNE ETKİLERİNİN SAYISAL İNCELENMESİ

Birol ŞAHİN

ÖZET

İki boyutlu kapalı ortamlarda yaz ve kış sınır koşullarında, güneş ışınımından kaynaklanan doğal taşınım ile ısı transferi sayısal olarak incelenmiştir. Işınım alan yüzey için zamana bağlı periyodik olarak değişen bir sıcaklık profili tanımlanmıştır. Buna göre, öğle saatleri için sıcaklık değeri maksimum, gece saatleri için de minimum olacak şekilde bir tanımlama yapılmıştır. Doğal taşınım probleminin çözümü için geçerli olan Navier-Stokes denklemleri ve enerji denklemi boyutsuzlaştırılmış olup SIMPLE algoritması yardımıyla sonlu kontrol hacmi metodu kullanılarak çözülmüştür. Kapalı ortam içerisinde kullanılan akışkanın hava olduğu kabul edilerek Prandtl sayısı 0.71 alınmıştır. Rayleigh sayısının 10^4 - 10^6 aralığındaki değerleri için sayısal çalışma yapılmıştır. Belirlenen durumların her biri için elde edilen sayısal bulgular, akım çizgileri, eş sıcaklık eğrileri ve ortalama Nusselt sayıları olarak sunulmuştur. Yaz sınır koşulları uygulamasında gün boyu değişen sıcaklık sınır koşuluna sahip duvardan ısı kaybının düşük olduğunu görülmüştür. Kış sınır koşulları uygulamasında ise gün boyu değişen sıcaklık sınır koşuluna sahip duvar civarında güçlü akımlara bağlı yüksek sıcaklık gradyanları oluşmaktadır. Bu durum, söz konusu sınırlardan önemli miktarda ısı kaybına sebep olmaktadır.

ABSTRACT

Natural convection heat transfer in two dimensional enclosures occurring from solar radiation have been numerically analyzed under summertime and wintertime boundary conditions. Time-dependent temperature profile varied periodically has been defined for surfaces effected by solar radiation. According to this temperature value for midnight is kept at minimum, for noon at maximum. Navier-Stokes and energy equations valid to solve the natural convection problem have been discretized by finite volume method. Discretized equations solved by well known SIMPLE algorithm. Whole enclosure is filled by air and Prandtl number is accepted 0.71 for air. Analysis for the current problem is performed for 10^4 to 10^6 range of Rayleigh number. Results of the prescribed cases are presented in terms of stream functions, isotherms and average Nusselt numbers. It is concluded that, heat loss to the daytime temperature boundary is low for summertime application. For the wintertime application, strong recirculation and resulting high temperature gradient occurs near the daytime temperature boundary. This occurrence leads a remarkable amount of heat loss to that boundary.

GİRİŞ

Dünyanın eksen eğikliğinin bir sonucu olarak aynı gün içerisinde farklı yarı kürelerde farklı sıcaklıklar oluşabilmektedir. Bu sıcaklık farklılıkları gerek dünyanın eksen eğikliğinden, gerekse dünyanın güneş etrafındaki hareketinden kaynaklanmaktadır. Dünya, bir yandan kendi eksenini etrafında dönmekteyken, bir yandan da güneş etrafında dönmektedir. Bu hareketlerin sonucu olarak günler ve daha geniş kapsamlı olarak mevsimler meydana gelmektedir. Gün içerisindeki sıcaklıklar da bu hareketlere bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Kuzey yarı küreye yaz aylarında güneş ışınları daha dik açıyla gelmektedir ve bunun sonucu olarak güneş ışınımından faydalanma süreleri uzamakta, dolayısıyla gün içerisinde sıcaklıkların yüksek olduğu saatler kış mevsimine göre artmaktadır. Gün içerisindeki sıcaklıkların maksimum ve minimum değerleri genel olarak değişkenlik göstermekte olup, her bir mevsim için yaklaşık aynı değerlerde seyrettiği kabul edilir. Gün içerisindeki sıcaklık değişimi yaşam hacimlerindeki ısı konforu etkileyen parametrelerin başında gelir. 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]. Doğal taşınım, günümüzde birçok uygulamada kullanılmaktadır. Özellikle elektronik aygıtların soğutulmasında, binaların ısı dizaynında, fırın ve nükleer reaktörlerin dizaynında, güneş toplayıcılarında, metalürjide, ısı izolasyonunda, aydınlatma endüstrisinde (fener, lamba), meteorolojide dünyanın etrafındaki

atmosferik sınır tabakaların hesaplanmasında, yangın önlemede ve kapalı ortamlarda ısı konforun sağlanması gibi alanlarda doğal taşınım ile ısı transferinden faydalanılmaktadır.

Kompozit yapıya sahip duvarların dış ortamla temasta bulunan yüzeylerindeki sıcaklıklar, hem kullanılan yapı elemanlarının ısı iletim özelliklerine, hem de yüzeye gelen ışınımına bağlı olarak iç ortamdaki sıcaklık dağılımını ve dolayısıyla hava akımını da etkilemektedir. Yapı bileşenlerindeki ısı direncinden dolayı dış ortamdaki sıcaklık değişimleri daha düşük oranda iç ortama yansımaktadır. Aynı zamanda iç ortamın sınırlarını oluşturan duvarlardaki sıcaklıkların ortam içerisindeki sıcaklık dağılımını etkilemesi de kullanılan akışkana bağlı olarak değişmektedir. Kullanılan akışkana bağlı olarak ısı transferinin büyük bir bölümü taşınım ile gerçekleşir. Taşınım ile ısı transferi kendi arasında zorlanmış taşınım ve doğal taşınım olarak ikiye ayrılır. Zorlanmış taşınım, bir fan, vantilatör, pompa, vb. dış etkiler sonucu meydana gelirken doğal taşınım da akışı zorlayıcı dış etkiler yoktur. Doğal taşınım ile ısı transferi yoğunluk farkından kaynaklanmaktadır. Isınan molekülün yoğunluğu azalacağından dolayı yer çekiminin tersi yönünde hareket eder, böylece bir kaldırma kuvveti meydana gelir. Benzer şekilde, soğuyan molekülün yoğunluğu artacağından dolayı yer çekimi yönünde bir akışkan hareketi meydana gelir. Genelde akışkanlar hem sıcak, hem de soğuk yüzeylerle temasta buldukları için, sınır koşullarına bağlı olarak yer çekimi yönünde veya buna ters yönde akışkan hareketleri eş zamanlı olarak oluşur. Doğal taşınım ile zorlanmış taşınım arasındaki başlıca fark akış oluşumunun mekanizmasıdır. Zorlanmış taşınım da dışardan etki eden akış genellikle bilinir, fakat doğal taşınım kaçınılmaz bir şekilde sıcaklık ve/veya konsantrasyon farkına bağlı olarak yerçekimi alanı ve yoğunluk farkı sonucu oluşur. Bu nedenle hareket, ısı ve kütle transferi işlemleriyle akışkan akışı mekanizmasının birleşimi sonucu çözülebilir. Kaldırma kuvveti etkili akışlar doğada, çevremizde ve cihazlarda sıkça karşımıza çıkmaktadır. Örneğin vücudumuz etrafındaki hava sirkülasyonu, su havuzlarında ve atmosferdeki akış olayları yoğunluk farkıyla yerçekimi kuvvetinin etkileşiminden doğmaktadır. Kaldırma kuvveti, sıcaklıktaki değişimlerden kaynaklanan yoğunluk farkından, kimyasal türlerdeki konsantrasyon farkından, faz değişimlerinden ve diğer birçok etki sonucu ortaya çıkmaktadır. Doğal taşınım ile ısı transferinde zorlanmış taşınımdan farklı olarak bir fan veya vantilatör gibi akışı zorlayıcı ve enerji ihtiyacı duyan cihazlar kullanılmadığı için hem enerji tasarrufu sağlanır, hem de var olan enerji daha verimli bir şekilde kullanılır. Elektronik cihazların soğutulmasında sıkça kullanılan fanlar gürültülü olup çalışmaları için bir enerjiye ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle elektronik cihazların soğutulmasında doğal taşınım ile ısı transferinin kullanılması daha ekonomik ve sessiz bir çalışma imkanı sağlar.

Doğal taşınım ile ısı transferi, laminer ve türbülanslı doğal taşınım olarak ikiye ayrılır ve Rayleigh sayısının 10^3 - 10^7 aralığındaki değerleri için laminer doğal taşınım, Rayleigh sayısının 10^7 den büyük olması durumunda ise türbülanslı doğal taşınım olduğu kabul edilir. Kapalı ortam içerisindeki doğal taşınım probleminin karakteri, yani taşınımın laminer, ya da türbülanslı oluşu, ortamın boyutları ile doğrudan ilgilidir. Bu nedenle taşınımın küçük boyutlu ortamlarda laminer, büyük boyutlu ortamlarda ise türbülanslı olması beklenir. Bununla beraber pratik öneme sahip büyük boyutlu ortamlardaki doğal taşınım problemi, laminer akışın geçerli olduğu boyutsuz parametre sınırları içerisinde kalınarak analiz edilir.

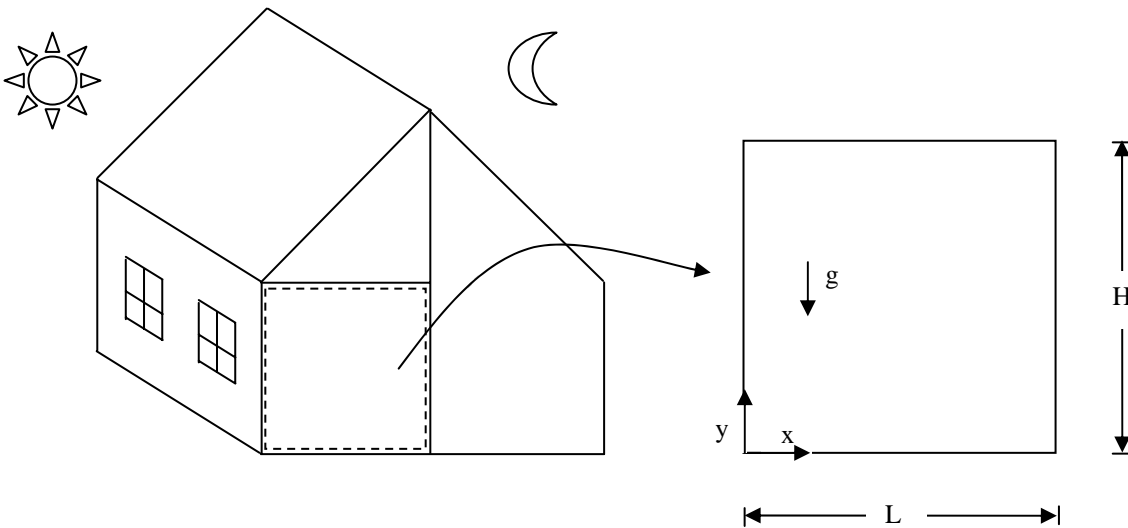
Kapalı ortamlarda doğal taşınım ile ısı transferi problemi ile ilgili çalışmalar yaklaşık kırk yıl kadar önce başlamış olup günümüzde de artan nicelik ve gelişen nitelikte devam etmektedir. Çoğu sayısal olan bu çalışmaların büyük bir kısmı dikdörtgen (veya kare) şeklindeki kapalı ortamlar, daha azı ise üçgen şeklindeki kapalı ortamlarla ilgili çalışmalardır. Bunun dışında, az sayıdaki çalışmalarda karmaşık geometriye sahip kapalı ortamlarda doğal taşınım ile ısı transferi problemi incelenmiştir. Doğal taşınım ile ısı transferinin günlük hayatta birçok uygulama alanı olması nedeniyle bu alanda bugüne kadar gerek deneysel, gerekse sayısal birçok çalışma yapılmış olup yapılan çalışmaların büyük bir kısmı zaman bağımsız çözümlerden oluşmaktadır. Halbuki doğada gerçekleşen ısı transferi işlemleri zaman bağımlı olarak meydana gelmektedir. Literatürde zaman bağımlı doğal taşınım incelemeleri de yapılmış olup, gelişen bilgisayar teknolojisine bağlı olarak gerek farklı sınır şartları, gerekse farklı geometriler için yapılan çalışmaların sayısı gün geçtikçe artmaktadır.

Kare ortamla ilgili çalışmaların öncülerinden Davis [2], 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 ortamdaki laminer doğal taşınım problemi çözümleri Davis ve Jones [3] tarafından karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Karşılaştırma, değişik Rayleigh sayılarında elde edilen sonuçlar için yapılmıştır. De la Cruz ve Ramos [4], zaman bağımlı doğal taşınım olayını akış oluşturacak şekilde değişken sıcak ve soğuk sıcaklıklara sahip olan iki boyutlu kapalı ortamlarda incelemiştir. Böylece üst ve alt duvarları periyodik olarak ısıtılan ve soğutulan iki boyutlu kapalı ortamlar için geliştirilen doğal taşınım eşitlikleriyle sayısal bir çözüm yapılmıştır. Das vd. [5], her iki kenarından simetrik olarak ısıtılan uniform ısı kaynaklı iki boyutlu bir ortamdaki geçici ve zaman bağımsız doğal taşınım olayını deneysel ve sayısal olarak çalışmışlardır. Antohe ve Lage [6], bir yüzeyinden aralıklı olarak ısıtılan ortam içerisindeki doğal taşınım akışına Prandtl sayısının etkisini sayısal olarak çalışmışlardır. Yüzey sıcaklığı zamanla periyodik olarak değişen düşey bir duvara sahip kapalı kare ortamdaki laminer doğal taşınım ile ısı transferi olayı Kazmierczak ve Chinoda [7] 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. Kapalı ortam boyunca yüzey sıcaklığındaki değişimin akış ve ısı transferine etkisini farklı durumlar için elde etmişlerdir. 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. [8] tarafından sayısal olarak çalışılmıştır. Roy ve Basak [9], kare ortamdaki doğal taşınım ile ısı transferini duvarların uniform veya uniform olmayan bir şekilde ısıtılması durumu için incelemiştir. Yapılan çalışmada düşey bir duvar ve alt duvar uniform veya uniform olmayan bir şekilde ısıtılırken diğer düşey duvar düşük sıcaklıkta olup üst duvar ise yalıtılmıştır. Shim ve Hyun [10], kare ortam içerisindeki doğal taşınımın zamana bağlı olarak ayarlanmasını sayısal olarak incelemiştir. Aydın [11], 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 sayısal olarak incelemiştir. Yatay duvarları farklı ısıtma modellerine sahip kare oyuqlardaki doğal taşınım olayını sonlu farklar yöntemini kullanarak Abourida vd. [12] çalışmışlardır. Yüksek sıcaklığa sahip alt yüzey zaman bağımlı sinüzoidal olarak değişmekte olup, üst yüzeyin sıcaklığı ise sabit veya sinüzoidal olarak değişmektedir. Patterson ve Armfield [13], düşey duvarlarından biri ısıtılan diğeri soğutulan iki boyutlu kapalı ortamlardaki doğal taşınım ile ısı transferini deneysel ve sayısal olarak karşılaştırmışlardır. Sayısal ve deneysel araştırmalardan pek çok değişken belirlenmiş ve detaylı olarak açıklanmıştır. 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. Belirli bir frekanstaki değişken ısı girişinin kaldırma kuvveti etkili akış üzerindeki etkileri sayısal olarak gösterilmiştir. Kapalı ortamdaki doğal taşınım ile birleşik iletimi sonlu elemanlar yöntemiyle Misra ve Sarkar [15], sayısal olarak incelemiştir. Katı bölgedeki iletim özelliği bu bölge için yüksek değerdeki boyutsuz viskozite tanımı yapılarak elde edilmiştir. Farklı duvar kalınlıkları ve Rayleigh sayıları için çalışma yapılmıştır. Şahin ve Arıcı [16], kare ortam içerisine yerleştirilen engellerin doğal taşınım ile ısı transferi üzerine etkilerini sayısal olarak incelemiştir.

2. TEORİK ÇALIŞMA

Doğal taşınım probleminin çözümü için 120×120 uniform ağ yapısına sahip iki boyutlu problemleri çözen eliptik bir program geliştirilmiştir. Bilindiği gibi doğal taşınım olayı sıcaklık farkından dolayı meydana gelen kaldırma kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır. Bu kaldırma kuvvetleri y eksenini doğrultusundaki momentum denkleminde Boussinesq yaklaşımıyla ifade edilmiştir. Programın doğal taşınım olayını çözebilmesi amacıyla y momentum denklemini çözen alt programda kaynak terimine kaldırma kuvvetlerini ihtiva eden ifadeler eklenmiştir. Çalışılan geometri Şekil 1 de gösterilmiştir.



Şekil 1. Kapalı kare ortam için problemin şematik resmi

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 kaldırma kuvvetlerini de ihtiva edecek şekilde boyutsuz olarak aşağıda verilmiştir:

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

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

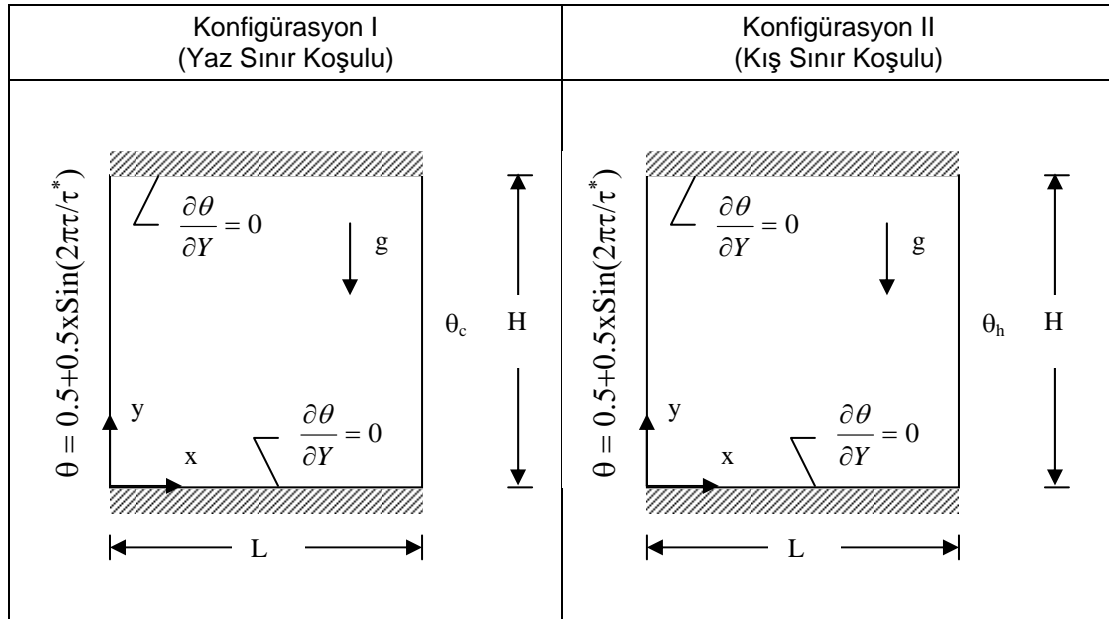
$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} + U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \quad (3)$$

Denklemlerde kullanılan boyutsuz büyüklükler şu şekildedir:

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

$$\tau = \frac{t\alpha}{L^2}, \text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha}, \text{Ra} = \frac{\rho g \beta (T_h - T_c) L^3}{\mu \alpha} \quad (4)$$

Çözüm bölgesi içerisinde duvar yüzeylerinde kaymama sınır koşulu geçerli olup akışkan özellikleri sabit alınmıştır. Şekil 1 de verilen problem geometrisi için kapalı ortamın yüksekliği, düşey kenarına eşit alınmıştır. Sağ düşey duvarın soğuk olması yaz sınır koşulu; sıcak olması durumu ise kış sınır koşulu olarak adlandırılmıştır. Her iki sınır koşulu için kapalı ortamın alt ve üst tarafındaki duvarlarından yalıtılmış olduğu kabul edilmiştir. Kare ortam için yaz sınır koşulları altında yapılan çözümler konfigürasyon I, kış sınır koşulları altında yapılan çözümler ise konfigürasyon II olarak adlandırılmıştır. Çalışılan sınır koşulları ve konfigürasyonlar Şekil 2 de gösterilmiştir:



Şekil 2. Çalışılan konfigürasyonlar.

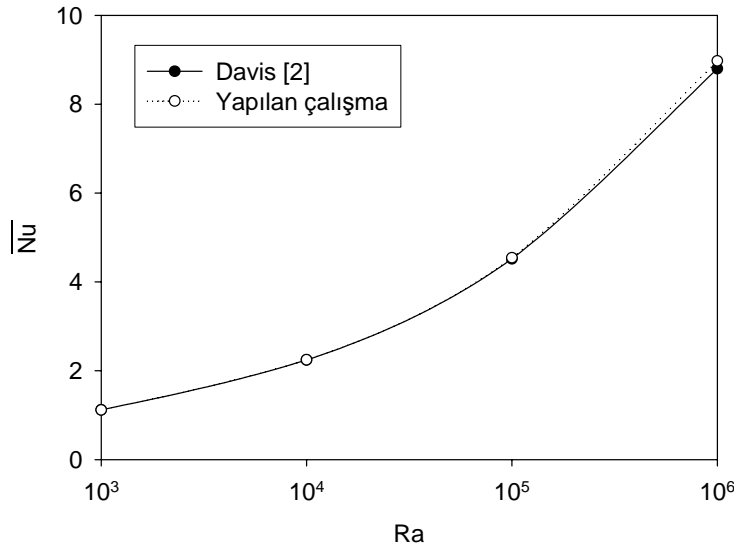
Taşınım ile ısı transferinin göstergesi olarak kabul edilen Nusselt sayısının kapalı ortamın değişken sıcaklığa sahip sol duvarı boyunca yerel ve ortalama değerleri aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$Nu = \left. \frac{\partial \theta}{\partial X} \right|_{X=0}, \quad \overline{Nu} = \int_0^1 NudY \quad (5)$$

Çözüm için eliptik bir FORTRAN programı hazırlanmış olup problemi çözecek şekilde geliştirilmiştir. Sayısal çalışma, iki boyutlu kare ortamın 120x120 ağ yapısına bölünmesiyle yapılmıştır. Problemi temsil eden iki momentum ve bir enerji denklemi sonlu kontrol hacmi yöntemiyle ayrıklaştırılmış ve ayrık denklemler iteratif olarak Patankar [17] tarafından verilen Simple algoritması ile çözülmüştür. Momentum denklemleri için duvarlarda kaymama sınır koşulu olarak sıfır hız, enerji denklemi için alt ve üst duvarda yalıtım sınır koşulu, sol duvarda gün boyu değişen, sağ duvarda ise sabit sıcaklık sınır koşulu verilmiştir. Çözüm, boyutsuz denklemlerle gerçekleştirildiği için sınır koşulları da boyutsuz sınır koşulu olarak; sağ duvar için 0 veya 1, sol duvar için bu iki değerlerin ortalaması civarında gün boyu değişen sıcaklık değerleri verilmiştir. Kapalı ortamın hava ile dolu olduğu varsayıldığından Prandtl sayısı 0.71 olarak alınmıştır.

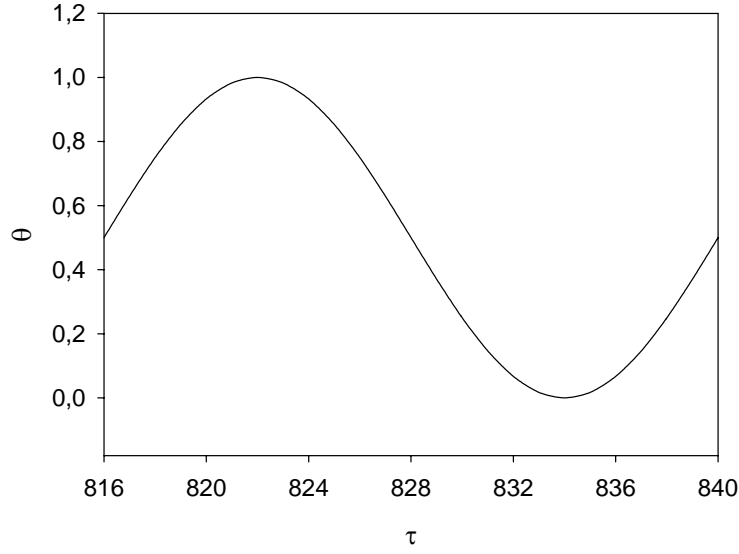
3. BULGULAR

Verilen sınır şartları altında elde edilen bulgular, Rayleigh sayısının 10^4 - 10^6 değerleri için ortalama Nusselt sayıları, akım çizgileri, eş sıcaklık eğrilerinin değişimleri olarak Şekil 5-6 da sunulmuştur. Karşılaştırma yapmak amacıyla bir yüzeyinden ısıtılan diğer yüzeyinden soğutulan kare ortam için elde edilen ortalama Nusselt sayıları, Davis [2] tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırılmıştır. Şekil 3 ten de görüleceği gibi elde edilen sonuçlarla literatürde verilen sonuçlar benzerlik göstermektedir.



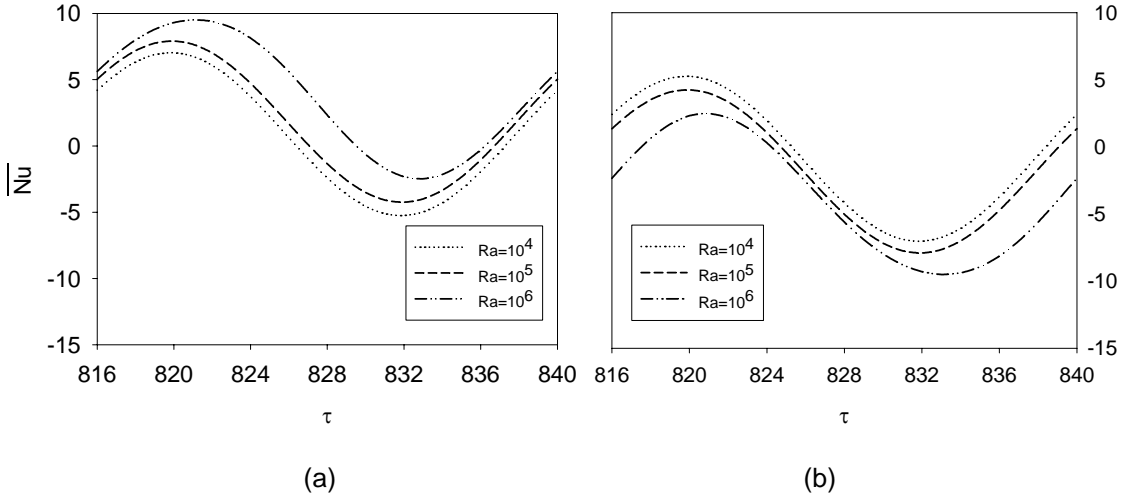
Şekil 3. Yapılan çalışma ile Davis [2] tarafından elde edilen ortalama Nusselt sayıları.

Gün içerisindeki sıcaklık değişimini ifade etmek için periyot (τ^*) yirmi dört seçilmiştir. Gün içerisinde sıcaklığın minimum olduğu gece saatlerine karşılık gelen zamanlar için sıcaklık değeri 0, sıcaklığın maksimum olduğu öğle saatleri için sıcaklık değeri 1 olmaktadır.



Şekil 4. Rayleigh sayısının 10^6 değeri için sol duvarın sıcaklığının zamanla değişimi

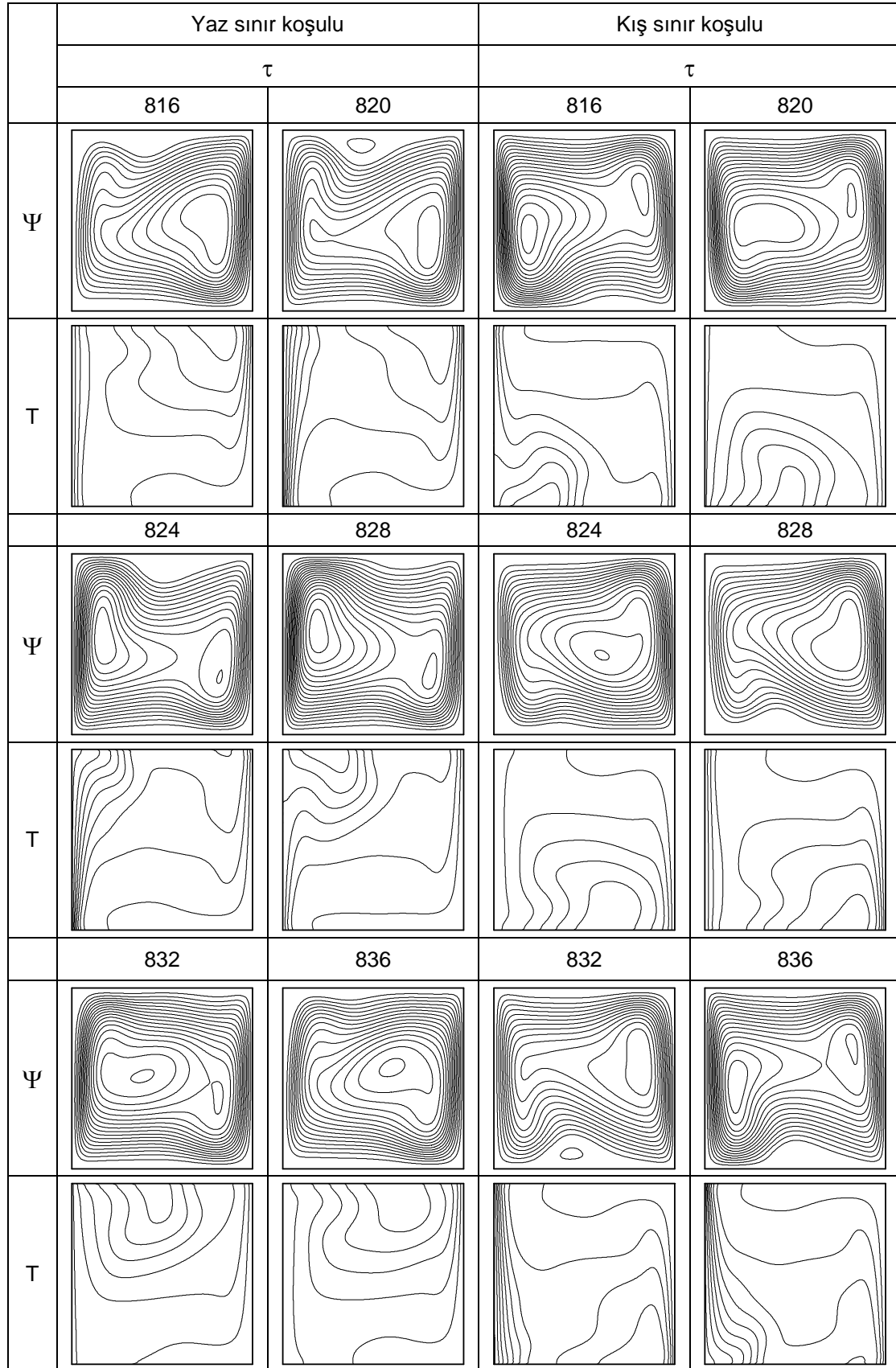
Şekil 4 ten görüldüğü gibi sol duvarın sıcaklık değeri ilk altı saatlik zamanda artmakta ve maksimum değerine ulaşmakta iken daha sonra ilk on sekiz saatlik zaman dilimi sonucunda minimum değerine ulaşmaktadır. Son altı saatlik dilim boyunca sıcaklık tekrar artmakta olup periyot başlangıcındaki ilk değerine gelmektedir. Yirmi dört saatlik zaman dilimini ifade eden bir gün için kare ortam içerisindeki sıcaklıkların ve akışkan akışının değişimi Şekil 6 da dört saatlik aralarla verilmiştir.



Şekil 5. Rayleigh sayısının 10^6 değeri için sol duvardaki ortalama Nusselt sayısının zamanla değişimi
(a) Yaz sınır koşulları, (b) Kış sınır koşulları.

Yaz ve kış sınır koşulları için zamanla değişen yüzey sıcaklığına sahip kare ortamın sol duvarı için ortalama Nusselt sayılarının zamanla değişimi Şekil 5 te verilmiştir. Yaz sınır koşullarında sağ yüzeyin sıcaklığı düşük olduğu için kapalı ortamın ısı depolama özelliği düşüktür. Bu nedenle iç ortamdaki soğuk olan duvarlara (sıcaklığı sinüzoidal olarak değişen sol duvar ve düşük sıcaklıktaki sağ duvar) olan ısı transferi daha az olmaktadır. Çünkü yaz sınır şartlarında aynı anda zamana bağlı olarak birden fazla soğuk duvar bulunabildiği için iç ortamdaki sol yüzeye olan ısı transferi de azalmaktadır. Bunun bir nedeni de soğuk olan yüzeylerin alanlarının fazla olmasıdır. Sistem periyodik olarak kararlı hale gelince de sağ duvar için ortalama Nusselt sayısı belirli bir periyotta değişmektedir. Sistemin periyodik olarak kararlı hale gelmesi için sonuçlar zaman değerinin 800 den sonraki ilk periyodik değerinde alınmıştır. Kış sınır koşulları için kapalı ortamın sağ duvarının yüksek sıcaklıkta olmasından dolayı Rayleigh sayısı arttıkça akım miktarı da artmakta, böylece kapalı ortamdaki dışarıya olan ısı transferi de artmaktadır. Sağ duvarın sıcaklığının yüksek olmasından dolayı ortamın ısı depolama özelliği yüksek olup, yüksek Rayleigh sayılarında dışarıya doğru ısı transferi artmakta ve bunun sonucunda ortalama Nusselt sayılarının büyük bir çoğunluğu negatif değerler almaktadır. Kapalı ortama olan ısı transferi değerleri pozitif değerler taşırken, kapalı ortamdaki duvarlara olan ısı transferi değerleri ise negatif değerler taşımaktadır.

Yaz sınır koşulları için akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrilerinin verildiği Şekil 6 dan görüldüğü gibi ortam içerisinde bir tane akım hücresi varken sol duvarın sıcaklığı artmaya başladıkça bu duvara yakın bir bölgede ikinci bir akım hücresi oluşmaktadır. Sol duvarın sıcaklığı düşüktüğü kapalı ortam içerisindeki akım hücresi sayısı yine bire düşmekte ve bu akım hücresinin merkezi zamanla soğuk olan sağ duvara doğru kaymaktadır. Aynı durum eş sıcaklık eğrileri açısından değerlendirilecek olursa sol duvarın ısınmasıyla birlikte bu duvara yakın bölgede eş sıcaklık eğrileri sıklaşmakta, zamanla bu sıcaklık eğrileri sağ duvara doğru kaymaktadır. Kış sınır koşulları için Şekil 6 dan görüldüğü gibi periyot başlangıcında kapalı ortam içerisinde iki tane akım hücresi varken sol duvarın sıcaklığı artmaya başladıkça bir akım hücresi oluşmakta ve bu akım hücresinin merkezi zamanla sıcak olan sağ duvara doğru kaymaktadır. Daha sonra zamanla ortam içerisinde ikinci bir akım hücresi oluşmaktadır. Aynı durum eş sıcaklık eğrileri açısından değerlendirilecek olursa sol duvarın ısınmasıyla birlikte bu duvara yakın alt bölgede eş sıcaklık eğrileri sıklaşmakta, zamanla bu sıcaklık eğrileri sağ duvara doğru kaymaktadır.



Şekil 6. $Ra=10^6$ için akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrilerinin zamanla değişimi

4. SONUÇLAR

Literatürdeki çalışmalarda olduğu gibi düşük Rayleigh sayısı için yapılan çalışmalar ışığında, laminar doğal taşınımından çok iletimle olan ısı transferinin etkin olduğu, kapalı ortamı çevreleyen duvarlara uygulanan sınır şartlarının, ısı transferi ve akışı önemli ölçüde etkilediği görülür. Kare ortamlarda zaman bağımlı duvar sıcaklığı durumunda, ortalama Nusselt sayısının salınım değerlerinin (genlik) Rayleigh sayısına bağlı olarak arttığı, zamana bağlı olarak pozitif veya negatif değerler aldığı görülür.

Yaz sınır koşullarında zaman bağımlı duvar sıcaklığına sahip kare ortamlarda ortalama Nusselt sayısının negatife indiği değerlerin kış sınır şartlarına göre daha az olduğu görülür. Yaz sınır şartlarında aynı anda zamana bağlı olarak birden fazla soğuk duvar bulunabildiği için iç ortamdaki soğuk yüzeye olan ısı transferinin de azaldığı görülür.

Kış sınır koşulları için Rayleigh sayısı ile beraber akım miktarı ve kapalı ortamdaki dışarıya olan ısı transferinin de arttığı görülür. Sağ duvarın sıcaklığına bağlı olarak ortamın ısı depolama özelliği yüksek olduğundan, ortalama Nusselt sayılarının büyük bir çoğunluğunun negatif değerler aldığı görülür.

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] 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.
- [3] DAVIS, G.de.V. ve JONES, I.P., Natural Convection in a Square Cavity: A Comparison Exercise, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 3, 227-248, 1983.
- [4] DE LA CRUZ, L.M. ve RAMOS, E., Mixing with Time Dependent Natural Convection, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33, 191-198, 2006.
- [5] DAS, S.P., CHAKRABORTY, S. ve DUTTA, P., Natural Convection in a Two-Dimensional Enclosure Heated Symmetrically from both Sides, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol. 29, No. 3, 345-354, 2002.
- [6] ANTOHE, B.V. ve 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*, Vol. 40, No. 6, 1313-1323, 1997.
- [7] KAZMIERCZAK, M. ve CHINODA, Z., Buoyancy-Driven Flow in an Enclosure with Time Periodic Boundary Conditions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 35, No. 6, 1507-1518, 1992.
- [8] BASAK, T., ROY, S. ve BALAKRISHNAN, A.R., Effects of Thermal Boundary Conditions on Natural Convection Flows within a Square Cavity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 49, 4525-4535, 2006.
- [9] ROY, S. ve BASAK, T., Finite Element Analysis of Natural Convection Flows in a Square Cavity with Non-Uniformly Heated Wall(s), *International Journal of Engineering Science*, Vol. 43, 668-680, 2005.
- [10] SHIM, Y.M., HYUN, J.M., Transient Confined Natural Convection with Internal Heat Generation, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 18, 328-333, 1997.
- [11] AYDIN, O., Transient Natural Convection in Rectangular Enclosures Heated from One Side and Cooled from Above, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Vol 26, No. 1, 135-144, 1999.
- [12] ABOURIDA, B., HASNAOUI, M. ve DOUAMNA, S., Transient Natural Convection in a Square Enclosure with Horizontal Walls Submitted to Periodic Temperatures, *Numerical Heat Transfer, Part A*, Vol. 36, 737-750, 1999.
- [13] PATTERSON, J. ve ARMFIELD, S.W., Transient Features of Natural Convection in a Cavity, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 219, 469-497, 1990.
- [14] LAGE, J.L. ve BEJAN, A., The Resonance of Natural Convection in an Enclosure Heated Periodically from the Side, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 36, No. 8, 2027-2038, 1993.
- [15] MISRA, D. ve SARKAR, A., Finite Element Analysis of Conjugate Natural Convection in a Square Enclosure with a Conducting Vertical Wall, *Comput. Methods Appl. Engrg.* Vol. 141, 205-219, 1997.
- [16] ŞAHİN, B., ARICI, M.E., Kapalı Kare Ortamlarda Yatay, Düşey ve Eğik İç Bölmelerin Doğal Taşınım ile Isı Transferine Etkisinin Sayısal İncelenmesi, 15. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi ULIBTK, Trabzon, 2005.
- [17] PATANKAR, S. V., *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, McGraw Hill, New York, 1980.

6. ÖZGEÇMİŞ

Birol 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'nden lisans, 2002 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'ndan Yüksek Lisans derecelerini aldı. 2000-2007 yılları arasında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. 2007 yılından itibaren KTÜ Beşikdüzü Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. İngilizce bilmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.

Kullanılan semboller

H, L	kapalı ortamın yüksekliği, kapalı ortamın uzunluğu
$Nu_{x,y}$	yerel Nusselt sayısı
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
τ	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 indisler

c	Soğuk yüzey
h	Sıcak yüzey