



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2010, Volume: 5, Number: 2, Article Number: 1A0079

ENGINEERING SCIENCES

Received: September 2009

Accepted: March 2010

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

Hakan Karakaya¹

Aydın Durmuş²

Batman University¹

Ondokuz Mayıs University²

hkarakaya@hotmail.com

Batman-Turkey

BİR YÜZEYİNDEN ISITILAN KÜBİK BOŞLUKTA DOĞAL TAŞINIMIN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada başlangıçta kapalı kübik hacim olan ön yüzeyinin ortama açılmasıyla kübik boşluk haline gelen hacimde, arka yüzeyinden ısıtma sınır şartında doğal taşınım laminer durumda deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Sayısal sonuçlar Fluent 6.3 paket program kullanılarak çözülmüş ve deneysel sonuçlarla kıyaslanmıştır. Deneysel çalışmada doğal taşınım şartlarını sağlayabilmek için 2x2x1,8 m boyutlarında şartlandırma odası kullanılmış deney düzeneğinin giriş ağzı bu şartlandırma odasına açılmıştır. Çalışmada akım fonksiyonu, sıcaklık değişimi ve hız vektörleri grafikleri elde edilmiştir. Ayrıca teorik ve deneysel çalışmalar sonucunda Nusselt sayısının zamana bağlı değişimi elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Taşınım, Kübik Boşluk, Fluent 6.3,
Kübik Kapalı Hacim, Laminer Akış

IN THE SPACE CUBIC SURFACE HEATED FROM A CONVECTION

ABSTRACT

In this study, initially off the front surface of a cubic volume of the opening to the environment has become a cubic volume of space in the rear surface heating by natural convection in laminar boundary conditions have been examined in experimental and theoretical case. Numerical results have been solved using Fluent 6.3 program package and were compared with experimental results. Experimental study of natural convection conditions to provide 2x2x1,8 m in size for conditioning room entrance of the experimental setups used in the conditioning room was opened. Study, current function, and the velocity vector graph of temperature changes were obtained. In addition, theoretical and experimental studies of the time-dependent change in the Nusselt number was obtained.

Keywords: Natural Convection, Open Cavity, Fluent 6.3,
Closed Cubic Volume, Laminar Flow

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Taşınımınla ısı transferi iki grupta incelenir. Bunlardan birincisi olan zorlanmış taşınımında akış hareketi fan, üfleme, rüzgar gibi bir dış etki vasıtasıyla sağlanır. Doğal taşınımında ise dış etki tarafından oluşturulmuş bir akış hareketi yoktur. Böyle durumlarda akışkan hareketinin nedeni büyük ölçüde sıcaklık farkı veya konsantrasyon farkından dolayı oluşan yoğunluk farkıdır. Doğal taşınımındaki akış hareketinin hızı zorlanmış konveksiyona oranla düşüktür.

Çeşitli yüzeylerinden ısıtılan veya soğutulan kübik bir boşlukta doğal taşınım sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir. Prizmatik boşlukta yüzeylerin soğutulması ve ısıtılması durumunda belirli zaman aralıklarında prizmatik boşluk içerisindeki hız ve sıcaklık dağılımları detaylı olarak bulunmuş, soğutma ve ısıtma yüzeyleri için ortalama Nusselt sayısının zamanla değişimi elde edilmiştir [1].

Prizmatik bir boşlukta meydana gelen geçici rejimdeki doğal taşınım incelenmiştir. Prizmatik bir boşluk olarak kabul edilen büro tipi bir buzdolabında kapının açık olması ve kapalı olması durumlarında oluşan doğal taşınım hem deneysel hem de sayısal olarak ele alınmıştır [2].

Cuckovic-Dzodzo vd. yaptıkları çalışmada küp şeklinde olan kapalı bir hacimde, laminer doğal taşınım deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Çalışma kararlı akış durumunda, iki boyutlu olarak ele alınmıştır. Çalışma Rayleigh sayısının ($38000 < Ra < 369000$) ve Prandtl sayısının ($2700 < Pr < 7000$) aralıkları için geçerlidir ve bu aralıklar için ampirik olarak yerel Nusselt sayılarında elde edilen eşitlikler verilmiştir [3].

Ergin içerisinde bir ısıtıcı bulunan iki katlı kapalı bir hacimde doğal taşınımı deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Yapılan çalışmada ısıtıcı yüzeyler ve diğer yüzeyler arasında ışınım ile oluşan ısı geçişini hesaplamak için net ışınım metoduna dayalı bir model uygulanmıştır. Çalışmada, ısı transferinin ağırlıklı olarak taşınım yolu ile olduğu vurgulanmış olmasına rağmen daha düşük duvar bölümlerinde ışınımınla ısı transferinin de etkin olduğu belirlenmiştir [4].

Pallares vd. yaptıkları çalışmada alt yüzeyden ısıtılan ve üst yüzeyden soğutulan küp şeklindeki bir hacimde meydana gelen üç boyutlu doğal taşınımı, Prandtl sayısının 0,71, 10 ve 130 değerleri, Rayleigh sayısının farklı değerleri için sayısal olarak ele alınmıştır. Çalışmada, yan yüzeyleri yalıtılmış boşlukta Prandtl ve Rayleigh sayısına bağlı olarak yedi farklı akış şeklinin oluştuğu belirlenmiştir [5].

Ampofo yaptığı çalışmada yatay duvarlarından ısı iletimi olan ve düşey duvarları farklı sıcaklıklarda ısıtılan, bölünmüş ve bölünmemiş kapalı bir boşlukta türbülanslı doğal taşınımı deneysel olarak incelemiştir. Yüksekliği ve genişliği 0,75 m, derinliği 1,5 m olan boşlukta akış iki boyutlu kabul edilmiştir. Çalışmada sıcak duvar 50 °C ve soğuk duvar 10°C'de sabit tutulmuştur. Çok sayıda ısı çift ve lazer anemometresi kullanılarak sıcaklıklar, hızlar ve türbülans büyüklükleri hassas bir şekilde ölçülmüştür [6].

Aydın vd. tarafından yapılan çalışmada yatay bir yüzeyden ısıtılan ve tavandan soğutulan dikdörtgen şeklindeki kapalı bir ortamda oluşan iki boyutlu doğal taşınım sürekli rejimde akım fonksiyonu ve hız formülasyonu kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Diğer yüzeylerinden ısı geçişi olmayan dikdörtgen şeklindeki ortamda doğal taşınımın değişik boyut oranlarının ve Rayleigh sayılarının etkisi araştırılmıştır. Çalışma sonucunda Rayleigh sayısının ısı transferi üzerindeki etkisinin kısa kanallarda

daha önemli olduğu ve boyutlar oranının uzun kanalda, yüksek Rayleigh sayılarında daha etkili olduğu belirtilmiştir [7].

Kılıç yaptığı çalışmada düşey bir duvarından ve üst kısmından soğutulan, alt kısmından ısıtılan ve diğer yüzeyleri yalıtılmış olan kapalı prizmatik bir hacim içerisinde meydana gelen doğal taşınımı incelemiştir. Çalışmada prizmatik hacim olarak bir buzdolabı kullanılmıştır. Yapılan çalışmada değişen akış koşulları altında, buzdolabı içerisindeki ve iç yüzeylerdeki sıcaklıklar ile enerji sarfiyatı ölçülmüş, sonuçlar ısıtma yapılmayan durumlar ile karşılaştırılmıştır.

Beklentilere uygun olarak ısıtma yapılması durumunda buzdolabı içerisinde homojen bir sıcaklık dağılımı elde edilirken, enerji sarfiyatının arttığı görülmüştür [8].

Düşey bir yüzeyi açık ve diğer yüzeyleri sabit sıcaklıkta tutulan kare şeklindeki bir ortamda meydana gelen doğal taşınım Angirasa vd. tarafından yapılan çalışmada iki boyutlu ve geçici rejimde sayısal olarak incelenmiştir. Vortisite akım formülasyonu kullanılarak elde edilen çözümlerden Rayleigh sayısının yüksek değerlerinde akışın salınım yaptığı yani kararlı olmadığı görülmüştür. Ayrıca ısıtılan düşey duvarın en etkili yüzey olduğu belirtilmiştir [9].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Doğal taşınımındaki akış hareketinin hızı zorlanmış konveksiyona oranla düşüktür. Fakat doğal taşınım ile ısı geçişi uygulaması gerçek yaşamda daha fazla karşımıza çıkar. Bu sebeple sistem tasarımında bu etkiyi göz önünde bulundurmak gerekir. Ayrıca ısı transferini azaltmak ve buna bağlı olarak işletme giderlerinin düşürülmesinde genelde doğal taşınım uygulamaları tercih edilir.

Kapalı hacimlerin bir yüzeyinin veya tüm yüzeylerinin ortama açılması durumunda boşluklar oluşur. Kapalı hacimlerde veya boşluklarda doğal taşınımına sebep olan, yoğunluk konsantrasyonundan dolayı oluşan kaldırma kuvvetidir. Bizim çalışmamızda da yoğunluk farkları, kapalı ortam içinde bulunan akışkandaki sıcaklık değişimleri sonucu oluşmaktadır.

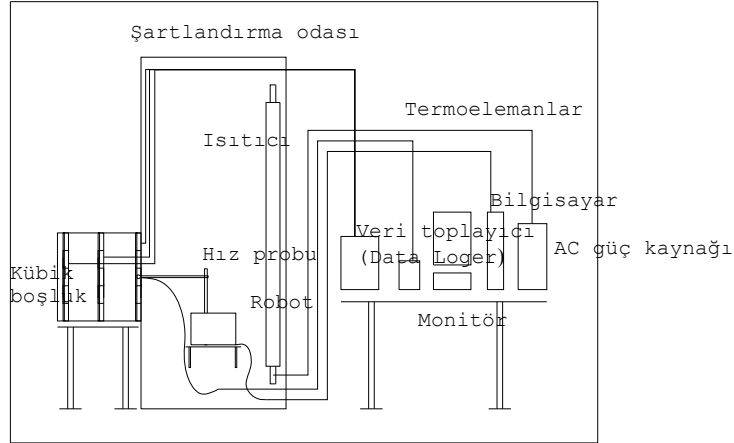
Kapalı hacimlerde veya boşluklardaki ısı transferi uygulamaları mühendislikte ve günlük hayatta çok sık karşımıza çıkar. Örneğin elektronik cihazların soğutulmasında kullanılan kanatların arasındaki boşluklar, bina ve işyerlerinde mimari özellikten veya ihtiyaçtan dolayı oluşan boşluklar, binaların ısıtılması veya havalandırılması için gerekli olan boşluklar, tüm iş makinelerinde ve ev ihtiyacı olan buzdolabı gibi eşyalarda mevcut olan boşluklar uygulamada çok sık karşılaşılan durumlardır. Çalışmanın amacı endüstride ve günlük hayatta sıkça karşılaştığımız ısıtma, soğutma ve havalandırma problemlerine katkıda bulunmaktır.

Bizim çalışmamızda ise geçici rejim durumunda, giriş yüzeyine paralel olan arka yüzeyin ısıtılması sınır şartında, kübik hacimde doğal taşınım hem deneysel hem de sayısal olarak incelenmiştir.

3. DENEYSEL YÖNTEM (EXPERIMENTAL METHOD)

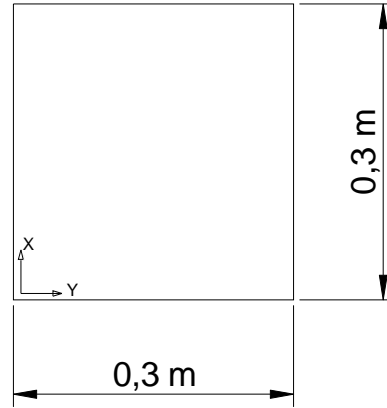
Deney düzeneğinin şematik görünüşü Şekil 1'de verilmiştir. Deney düzeneği aşağıdaki dört bölümden oluşmaktadır. Bunlar;

- Kübik boşluk,
- Isıtıcı ve robot kolu,
- Kontrol ünitesi ve
- Şartlandırma odasıdır.



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik görünüşü
(Figure 1. Schematic view of experimental setups)

Doğal taşınım deneylerini yapmak amacıyla kendi imal ettiğimiz özel olarak tasarlanan bir kübik hacim kullanılmıştır. Kübik boşluğun ölçüleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Kullanılan kübik boşluğun ölçüleri
(Figure 2. Used measure of cubic space)

Deney düzeneğinde kullanılan robot kolu, kübik boşluğun yüksekliği ve derinliği boyunca iki boyutlu olarak hareket edebilmektedir. Şartlandırma odası içerisinde bulunan ısıtıcı AC güç kaynağı ile kontrol edilmektedir. AC güç kaynağının maksimum çalışma sınırı 380 V ve 8 A’dır. Deney düzeneğinde ölçülen veriler, test bölgesinde çok sayıda noktadan ölçüm alabilen ALMEMO 5990-0 model veri toplama ünitesi ile alınmıştır. Sıcaklık ölçmek için T tipi bakır-konstantan (Cu-CuNi) termoelemanlar kullanılmıştır. Bu termoelemanlar, -200°C ile $+400^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında ölçüm yapabilmektedir. Deneylerde kullanılan termoelemanların çapı 0,5 mm olup hassasiyeti $0,02^{\circ}\text{C}$ ’dir. Deney düzeneğinde, sıcaklık farkından dolayı oluşan hava hızını ölçmek için TSI marka 8475 model hız probu (kızgın tel anemometresi) ve monitörü kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan kübik boşluk $2 \times 1,8 \times 2$ m boyutlarında bir şartlandırma odasına yerleştirilmiştir. Deney düzeneğinde sıcaklık ve hız ölçümleri yapılmıştır. Sunulan bu çalışmada; yan yüzeyi açık, kübik bir boşluktaki doğal taşınım incelenmiştir.

Temin edilen kübik boşluk, yan yüzeyi açık bir prizmayı sağlamasından dolayı deneylerde kullanılmıştır. Başlıca amaç, yan yüzeyi boşluğa açık bir kübik boşlukta hız ve sıcaklık dağılımını

incelemek olduğu için kübik boşluğun enerji sarfiyatı, depolama sıcaklığı, performans gibi parametreleri incelenmemiştir.

Deney düzeneğinde, her bir deney aşamasında farklı noktalardan sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Kübik boşluk derinliğine doğru 3 farklı mesafede robot kolu yardımıyla sıcaklıklar tespit edilmiş ayrıca yüzeylere yapışık olarak her bir yüzeyde 15 nokta olmak üzere 45 noktada sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Ayrıca yüzeylerden $\Delta x - \Delta y$ mesafe uzaklıklarda sıcaklık ölçülmüştür. Şartlandırma odasında ise 3 farklı noktadan sıcaklık ölçülerek şartlandırma odasının sıcaklığı sabit tutulmuştur.

Sıcaklık ölçümlerinde, T tipi bakır-konstantan termoelemanlar kullanılmıştır. Termo elemanların bir tarafındaki bakır ile konstantan nokta kaynağı ile birleştirilerek metal verniği ile izole edilmiştir.

Diğer tarafındaki açık kalan uçlar ise ZA9000FST model bağlantı elemanına (connector) uygun bir şekilde bağlanmıştır. ALMEMO 5990-0 model veri toplayıcısının kendi programında kalibrasyon olmasına rağmen termoelemanların uçları kaynayan su ve buz karışımına daldırılarak ölçüm doğruluğu kanıtlanmıştır.

Hız ölçümleri, doğal taşınım için uygun olan TSI marka 8475 model hız probu (kızgın tel anemometresi) ile yapılmıştır.

0,05-2,5 m/s aralığında ölçüm yapabilen hız probu, her bir deney aşamasında yüzeyler hariç sıcaklık ölçülen her noktaya yerleştirilerek değerler belirlenmiştir. Tasarlanmış olduğumuz bir robot koluna monte edilen hız probu, bilgisayar kontrolü ile Matlab 6.5'de yazılmış olan bir programla daha önce tanıtılmış olan noktalara gönderilerek konumlandırılmıştır. Hız probu ALMEMO firması tarafından kalibrasyonu yapılmış olarak gönderilmiştir. Hız probu o noktadaki ortalama hız değerini vermektedir.

Deneyler yapılırken kübik boşluğun şartlandırma odasına açık olan yüzeyi kapalı olarak tutulmuştur. Bu nedenle kübik boşluğun yüzeyini kapatacak şekilde sürmeli bir cam kapı yapılmıştır. Kübik boşluk bu cam ile açılıp kapatılmıştır. Kübik boşluk ile kapı arasındaki birleşme noktasından hava sızıntısını önlemek için lastik conta yapıştırılmıştır.

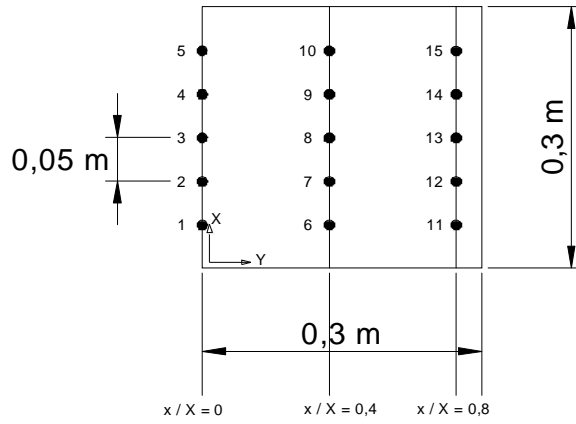
Kübik boşluğun giriş kısmı ön tarafı düz ve açık olacak bir ahşap malzemeyle sabitlenmiş daha sonra şartlandırma odasının giriş kısmına monte edilmiştir.

Bu durum, şartlandırma odasının kapısını hep kapalı tutulmasını sağlayarak, şartlandırma odasının içerisindeki hava hareketinin ve sıcaklıkların ani değişimlere uğramasını engellemektedir.

Kübik boşluğun kapısının açılıp kapanması, şartlandırma odasının sıcaklığını değiştirmektedir. Bu nedenle şartlandırma odası sıcaklığını 18°C'de sabit tutmak için AC güç kaynağı ile çalışan termostat kontrollü ısıtıcı kullanılmıştır.

Deneyler kübik boşluğun kapısının açık olduğu durum için yapılmıştır. Bunun için boşluk içerisine termoelemanlar yerleştirilerek kapı kapatılmıştır. Kübik boşluk içerisindeki sıcaklık değişimi yaklaşık sıfır oluncaya kadar beklenmiştir.

Bu bekleme süresi yaklaşık bir saat sürmüştür ve bu süre zarfında şartlandırma odası sıcaklığı 18°C'de sabit tutulmuştur. Yüzey sıcaklığı ile kübik boşluk iç ortam sıcaklığı yaklaşık eşit olduğunda rejime geldiği kabul edilmiştir. Rejim durumunda yüzey sıcaklığı ile kübik boşluk içinde ölçülen sıcaklıklar arasındaki farkın maksimum +0,5°C olduğu görülmüştür.



Şekil 3. Kübik boşluktaki sıcaklık ve hız ölçüm noktaları
(Figure 3. Temperature and velocity measurement points in a cubic space)

İlk olarak hız probu 1 nolu sıcaklık ölçüm noktasına ayarlanarak belli bir hızla yan taraflarından sürmeli cam kapı çekilerek kapalı kübik hacim durumundaki deney setinin ön kapağı açılarak kübik boşluk halini dönüşmesi sağlanmıştır. Veri toplayıcılarının zaman adımı sıfırlanarak veriler 5 saniye aralıklarla kaydedilmeye başlanmıştır. Ayrıca hız monitöründeki kronometre çalıştırılarak her 5 saniyede bir değerler kaydedilmiştir. Sıcaklık ve hız değişimlerinin sıfıra yakın olması durumu rejim şartı olarak kabul edilmiştir.

Hız probunun konumu Şekil 3'de görülen noktaya getirilerek sürmeli kapı kapatılmıştır. Tekrar yaklaşık 1 saat sonra rejim şartları sağlandığında sürmeli cam kapı açılarak hız değerleri kaydedilmiştir.

Bu arada bir önceki rejim şartlarındaki sıcaklık değerleri ile bir sonraki değerler karşılaştırılmıştır. Her iki zaman adımı arasında önemli sıcaklık farkı görüldüğünde sıcaklık ölçümlerine de devam edilmiştir. Kübik boşluk içerisinde önceden belirlenmiş olan her noktada hız değerleri tespit edildikten sonra deneylere son verilmiştir.

Kübik boşluğun giriş yüzeyine paralel olan arka yüzey ısıtıcı yüzey olarak tasarlanmış, 50 °C sıcaklıkta sabit tutularak ve diğer yüzeyler adyabatik kabul edilerek deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmanın yapıldığı ortamdaki hız ve sıcaklık değerleri, değişik parametreleri inceleyebilmek için sayısal olarak da bulunmuştur. Sayısal çözüm için FLUENT-6.3 paket programı kullanılmıştır. FLUENT sonlu hacimler yöntemi kullanan bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) programıdır. Bu program, sıkıştırılabilir veya sıkıştırılamaz, laminer veya türbülanslı akış problemlerinin sayısal çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, bu program ile karmaşık geometriler için son derece uygun sayısal hesaplama yapılabilmektedir.

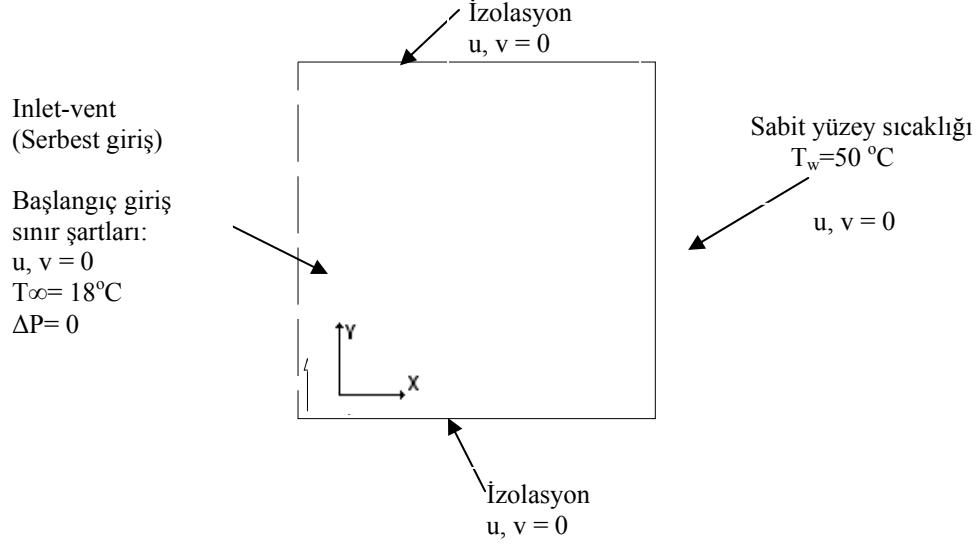
Bu çalışmada, maksimum sıcaklık farkı için Rayleigh sayısı $0,5 \times 10^8$ olmaktadır. Rayleigh sayısının bu değeri laminer akış şartlarını ($Ra_L < 10^9$) sağlamaktadır.

Rayleigh sayısı;

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha} \quad (1)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada g yerçekimi ivmesi, β ısıl genleşme katsayısı, ΔT ortam sıcaklığı ile soğuk yüzey sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı, ν kinematik viskozite, α ısıl yayılım katsayısıdır. Havanın fiziksel özellikleri ortalama sıcaklığa göre tanımlanmış ve karakteristik uzunluk L kübik boşluğun genişliği olarak alınmıştır.

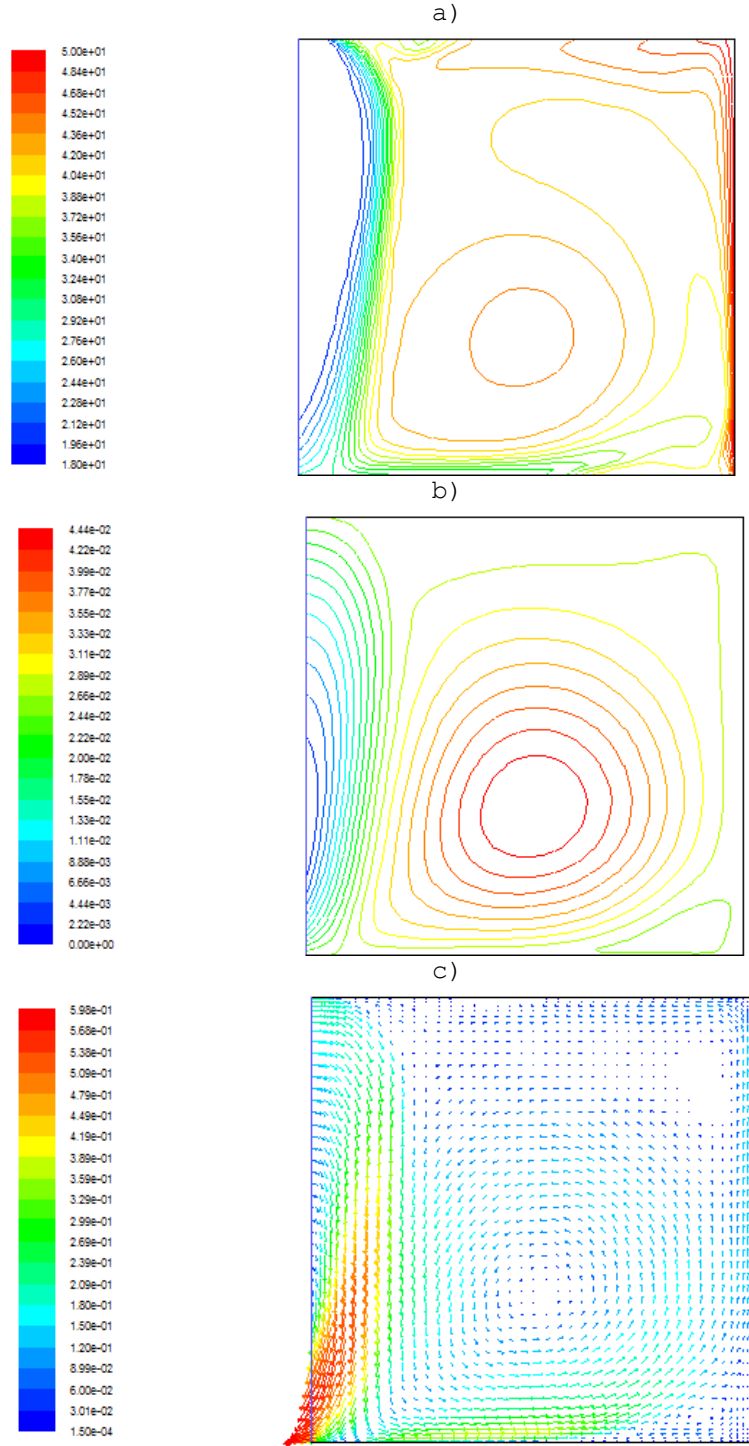
4. BULGULAR VE/VEYA TARTISIMLAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)



Şekil 4. Sayısal çözüm için uygulanan sınır ve başlangıç şartları
(Figure 4. Applied for the numerical solution of boundary and initial conditions)

Denklemlerin sayısal çözümünde kullanılan başlangıç ve sınır şartları Şekil 4'de gösterilmiştir. Başlangıçta sıcaklıkların kübik boşluk yüzey sıcaklığına eşit olduğu kabul edilmiştir.

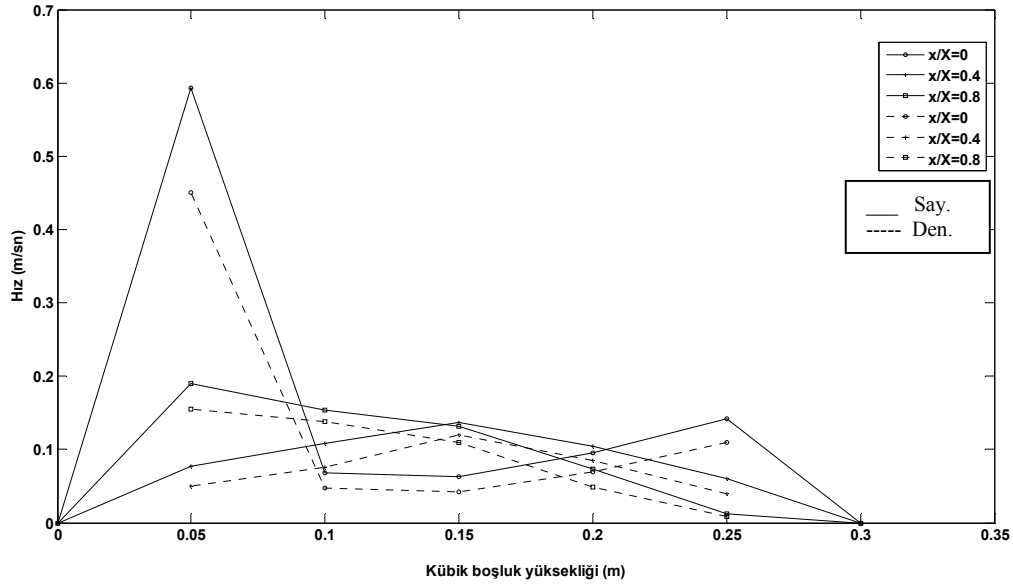
Açık yüzeyde ise sıcaklıklar şartlandırma odası sıcaklığında (18°C) ve hız bileşenleri sıfır olarak alınmıştır. Kübik boşluğun giriş yüzeyine paralel olan yüzeyi için sabit sıcaklık (50°C) sınır şartı kullanılmıştır. Diğer yüzeyler ise adyabatik kabul edilmiştir.



Şekil 5. $t=5.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı

a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri
(Figure 5. $t = 5. s$ for the cubic space within the distribution of the equivalent curves)

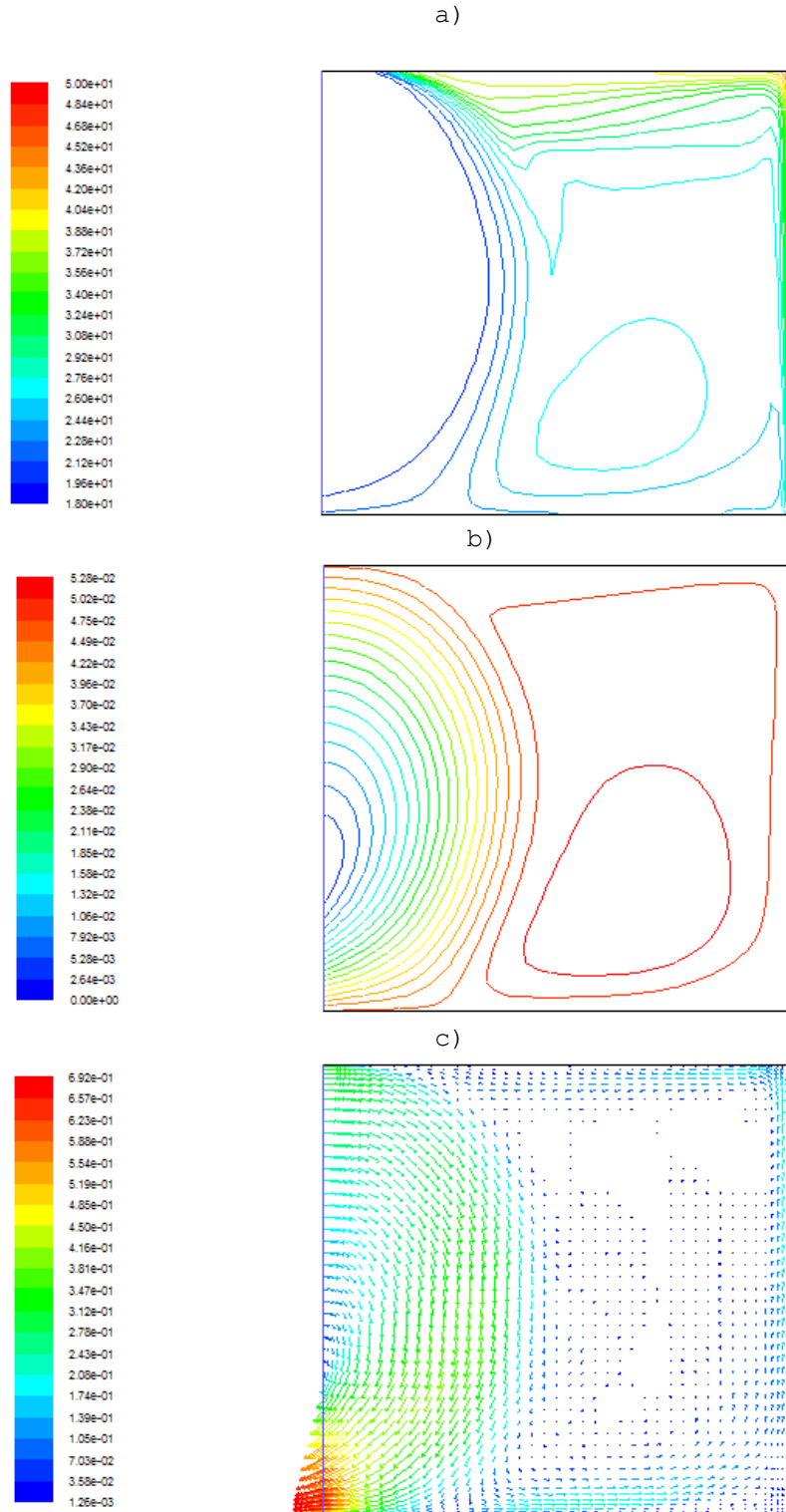
a) temperature, b) the stream function, c) velocity vectors)



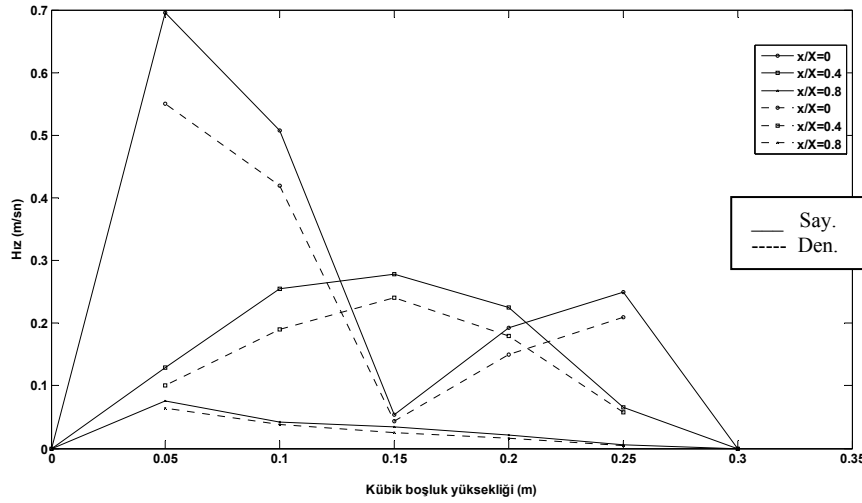
Şekil 6. $t=5$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi (Figure 6. $t = 5$ s for the cubic space velocity values within the experimental and numerical resultant cubic space by the height difference)

Şekil 5'de 5. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 5.b' de görüldüğü gibi 5. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,04 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,59 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 6'da $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 5. saniyede $x/X=0$ kesitinde (kübik boşluk girişinde) sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı, $y=0,05$ m'ye kadar artmakta, $y=0,1$ m' ye kadar düşmekte ve daha sonra 0,25 m'ye kadar artmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde ise 0,05 m' ye kadar akışkan hızı artmakta ve daha sonra düşüş göstermektedir. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızı 0,15 m'ye kadar artmakta ve yaklaşık 0,14 m/s değerine ulaştıktan sonra düşüş göstermektedir.



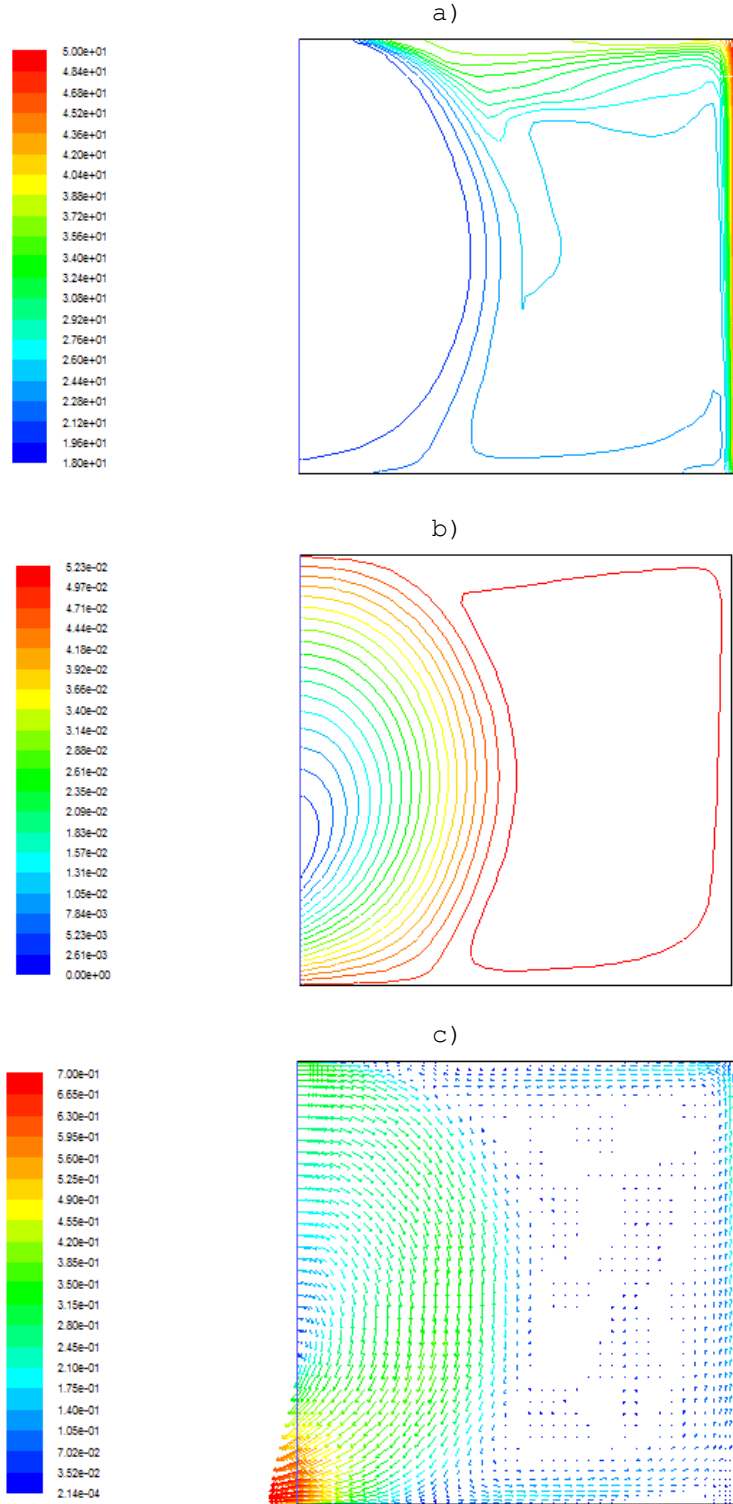
Şekil 7. $t=45.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri
(Figure 7. $t=45 s$ for the cubic space within the distribution of the equivalent curves)
a) temperature, b) the stream function, c) velocity vectors)



Şekil 8. $t=45$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi (Figure 8. $t=45$ s for the cubic space velocity values with in the experimental and numerical resultant cubic space by the height difference)

Şekil 7'de 45. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 7b'de görüldüğü gibi 45. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,05 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,69 m/s'ye kadar çıkmaktadır.

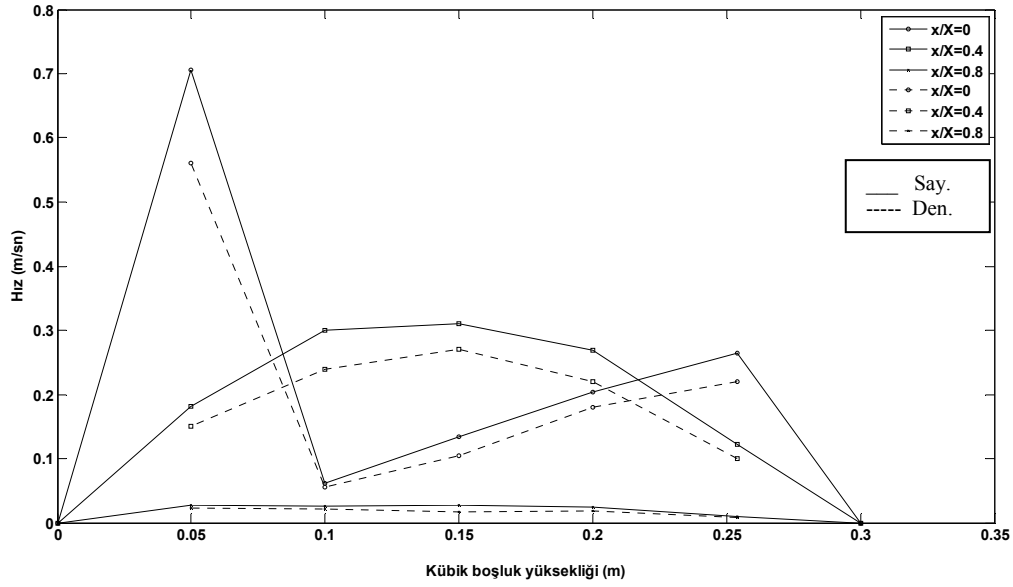
Şekil 8'de $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 45. saniyede $x/X=0$ kesitinde (kübik boşluk girişinde) sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı, $y=0,05$ m'ye kadar artmakta, $y=0,15$ m'ye kadar düşmekte ve daha sonra 0,25 m'ye kadar artmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde ise 0,15 m'ye kadar akışkan hızı artmakta ve daha sonra düşüş göstermektedir. $x/X=0,8$ kesitinde ise akışkan hızı 0,05 m'ye kadar artmakta ve yaklaşık 0,08 m/s değerine ulaştıktan sonra düşüş göstermektedir.



Şekil 9. $t=220$. s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı

a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri
(Figure 9. $t=220$ s for the cubic space with in the distribution of the equivalent curves)

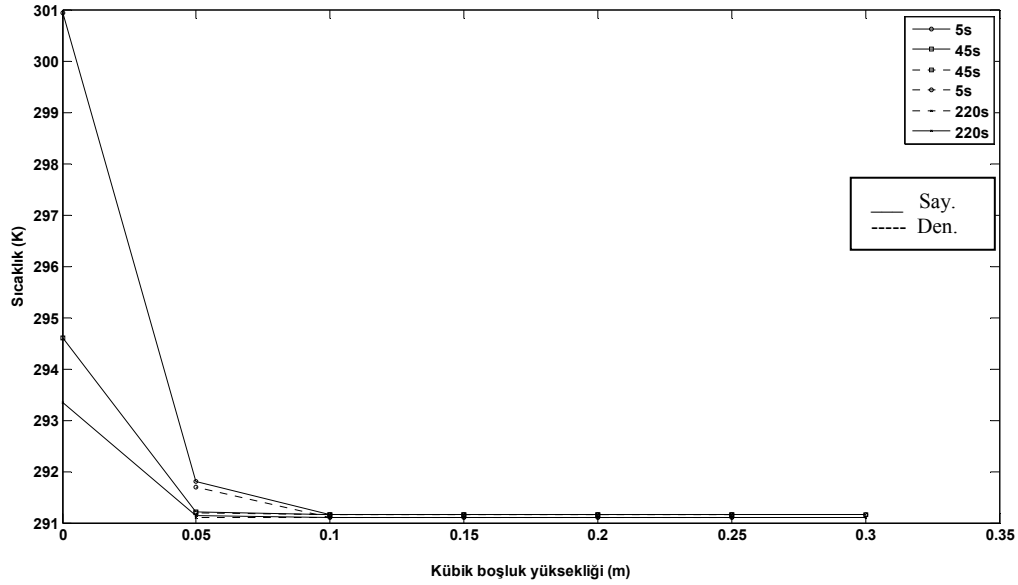
a) temperature, b) the stream function, c) velocity vectors)



Şekil 10. $t=220$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi (Figure 10. $t=220$ s for the cubic space velocity values within the experimental and numerical resultant cubic space by the height difference)

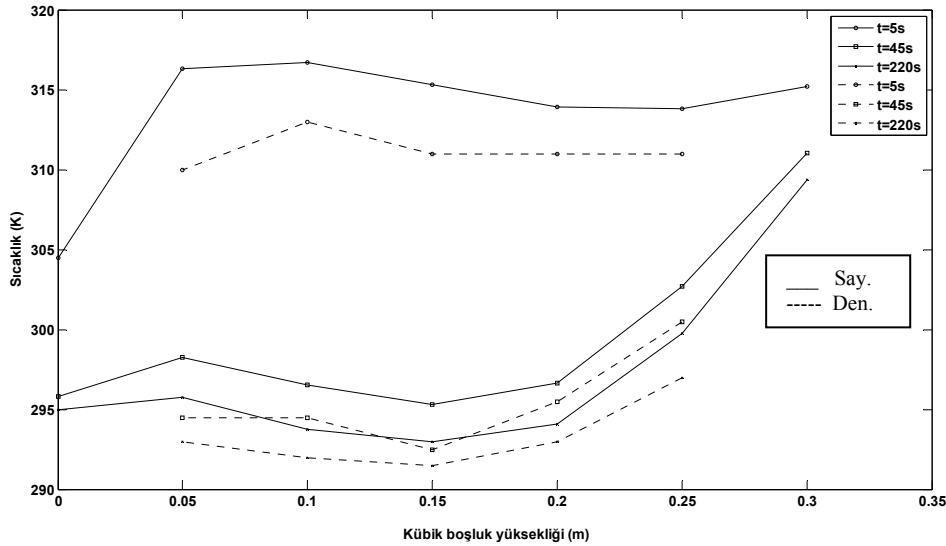
Şekil 9'da 220. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 9. b' de görüldüğü gibi 220. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,05 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,7 m/s'ye kadar çıkmaktadır.

Şekil 10'da $x/X=0$, $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. $x/X=0$ kesitinde 0,3 m/s hızla giren hava 0,7 m/s hızla kübik boşluğu terk etmektedir.



Şekil 11. $x/X=0$ 'da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi
(Figure 11. Numerical and experimental temperature values at $x / X = 0$ by the cubic space height difference)

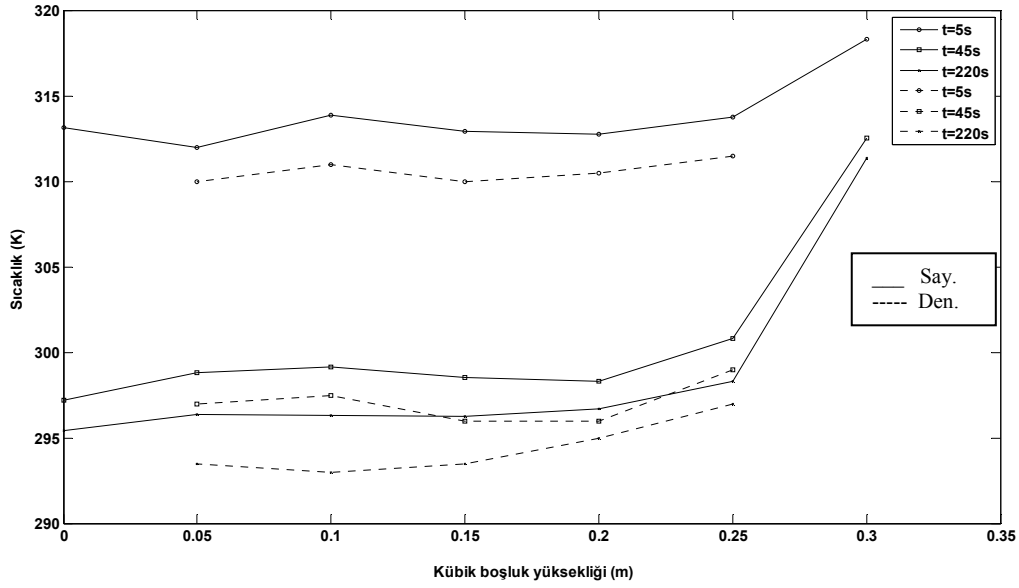
Şekil 11'de $x/X=0$ 'da (giriş), değişik zamanlarda sayısal ve deneysel sıcaklık dağılımı verilmiştir. Deneysel olarak elde edilen sıcaklık değerleri, sayısal sıcaklık değerlerine oldukça yakın değerlere sahiptir.



Şekil 12. $x/X=0,4$ 'de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi
(Figure 12. Numerical and experimental temperature values at $x/X = 0,4$ by the cubic space height difference)

Şekil 12'de $x/X=0,4$ 'deki sayısal ve deneysel sıcaklık değerleri verilmiştir. 0,2 m yükseklikten sonra hız değişiminden dolayı bir sıcaklık artışı gözlenmektedir. Sonraki zaman adımlarında bu değişim olmamış sıcaklıklarda çok fazla bir değişim görülmemiştir. Görüldüğü

gibi 45. saniyede $x/X=0,4$ 'deki sıcaklık yaklaşık 296°K ile 311°K arasında değişmektedir.



Şekil 13. $x/X=0,8$ ' de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi
(Figure 13. Numerical and experimental temperature values at $x/X = 0,8$ by the cubic space height difference)

Şekil 13'de, $x/X=0,8$ kesitindeki sayısal ve deneysel sıcaklık dağılımı verilmiştir. Görüldüğü gibi sıcak yüzeye yakın bölge dışında kübik boşluk yüksekliğince oluşan sıcaklık değişimleri başlangıçta daha büyük olurken, zaman ilerledikçe bu değişim azalmaktadır.

Sabit sıcaklıkta tutulan yüzeyle hava arasındaki ısı geçişinde yerel Nusselt sayıları hesaplanarak ortalama Nusselt sayısı elde edilmiştir [10]. Bilindiği gibi Nusselt sayısı yüzeydeki boyutsuz sıcaklık gradyanına eşittir [11,12].

$$Nu_L = \frac{\partial \theta}{\partial X} \Big|_{x=0} \quad (2)$$

Nusselt sayısını belirleyebilmek için deneysel ve sayısal çözümden elde edilen sıcaklıklar aşağıda verilen şekilde boyutsuzlaştırılmıştır.

$$\theta = \frac{T_{(xt)} - T_{\infty}}{T_w - T_{\infty}} \quad (3)$$

Burada $T_{(xt)}$ yerel sıcaklık değeri, T_{∞} ortam sıcaklığı ve T_w yüzey sıcaklığıdır. Nusselt sayısının boyutsuz olduğu hatırlanırsa, mesafelerin de boyutsuzlaştırılması gerekir.

x ve y koordinatları

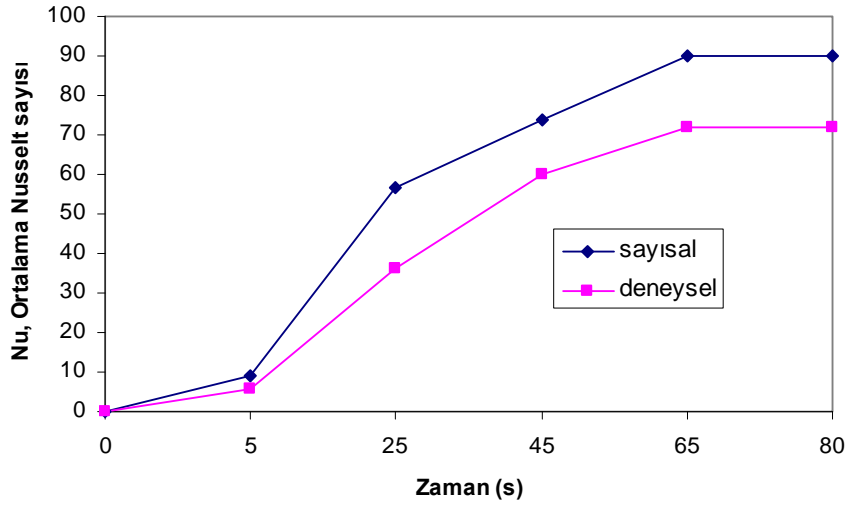
$$\bar{X} = \frac{x}{L} \quad \text{ve} \quad \bar{Y} = \frac{y}{L}$$

\bar{X} ve \bar{Y} olarak boyutsuzlaştırılmıştır ve ortalama Nusselt sayısı

$$\bar{Nu} = \int_0^1 Nu_L \cdot d\bar{X} \quad (4)$$

bağıntısından hesaplanır.

Şekil 14'de ısıtılan yüzeydeki ortalama Nusselt sayısının zamana göre değişimi verilmiştir.



Şekil 14. Isıtılan yüzeydeki ortalama Nusselt sayısının zamana göre değişimi
(Figure 14. The average Nusselt number for heated surface according to the time difference)

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada kübik boşluğun içerisindeki akış ve durum değişimi zamana bağlı, deneysel ve teorik olarak incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Ortam akımı yüzeyden kübik boşluğa giriş yüzeyinden giriş kısmının üst bölgelerinden girmekte ve akışkanın hacim içerisinde çeşitli bölgelerde ikincil ve dönmeli akışlar oluşturmakta daha sonra giriş kısmının altından kübik boşluğu terk etmektedir.
- Kübik boşluk içerisinde kısmi bölgelerde ilerleyen zamanlarda ikincil ve dönmeli akışlar oluştuğu görülmektedir. Arka yüzeyin ısıtılması durumunda hemen bu yüzeyin önündeki boşlukta dönmeli akışlar oluşmakta dönmeli akışın dışında kalan hacimde ise akışkan üst kısımdan girip alt kısımdan boşluğu terk etmektedir. Genelde dönmeli akışlar ısıtılan yüzeyin önünde oluşmaktadır. Boşluğun en arka yüzeyinde dönmeli akışların oluşması rejim durumuna geçme süresini uzatmaktadır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Karakaya, H., (2010). Çeşitli yüzeylerinden ısıtılan veya soğutulan açık dikdörtgen prizmatik boşlukta laminer doğal taşınımın sayısal ve deneysel incelenmesi. Yayınlanmamış Doktora Tezi. Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
2. Durmuş, A., (2006). Yan yüzeyi açık prizmatik bir boşlukta doğal taşınım, Doktora Tezi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
3. Cuckovic-Dzodzo, D.M., Dzodzo, M.B., and Pavlovic, M.D., (1999). Laminar natural convection in a fully partitioned enclosure containing fluid with nonlinear thermo physical properties. International Journal of Heat and Fluid Flow, 20, pp:614-623.

4. Ergin, S., (2000). Surface radiation with conduction and natural convection in a two-floor enclosure. *Energy and Building*, 32, pp:57-70.
5. Pallares, J., Grau, F.X., and Giralt, F., (1999). Flow transitions in laminar Rayleigh-Bénard convection in a cubical cavity at moderate rayleigh numbers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42, pp:753-769.
6. Ampofo, F., (2005). Turbulent natural convection of air in a non-partitioned or partitioned cavity with differentially heated vertical and conducting horizontal walls. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 29, pp:137-157.
7. Aydın, O., (1999). Transient natural convection in rectangular enclosures heated from one side and cooled from above. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 23(1), pp:135-144.
8. Kılıç, M., (1999). Bir yüzeyinden soğutulan ve ısıtılan prizmatik hacimdeki doğal konveksiyon. Doktora Tezi. Kocaeli: Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
9. Angirasa, D., Eggels, J.G.M., and Nieuwsrad, F.T.M., (1995). Numerical simulation of transient natural convection from an isothermal cavity open a side. *Numerical Heat Transfer*, 26, pp:755-768.
10. Bilgen, E. and Oztop, H., (2005). Natural convection heat transfer in partially open inclined square cavities. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48, pp:1470-1479.
11. Incropera, F.P. v DeWitt, D.P., (2001). Isı ve kütle geçişinin temelleri, Darbentli, T., Genceli, O., Güngör, A., Özbalta, N., Özgünç, F., Parmaksızoğlu, C., Uralcan, Y., Dördüncü Basımdan çeviri, İstanbul: Literatür yayınları.
12. Genceli, O.F., (2002). Çözümlü ısı taşınımı problemleri, İstanbul: Birsen Yayınevi.