



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2010, Volume: 5, Number: 2, Article Number: 1A0045

TECHNOLOGICAL APPLIED SCIENCES

Received: August 2009

Accepted: March 2010

Series : 2A

ISSN : 1308-7231

© 2010 www.newwsa.com

Hakan Karakaya¹

Aydın Durmuş²

Batman University¹

Ondokuz Mayıs University²

hkarakaya@hotmail.com

Batman-Turkey

BİR YÜZEYİNDEN SOĞUTULAN KÜBİK BOŞLUKTA DOĞAL TAŞINIM

ÖZET

Bu çalışmada başlangıçta kapalı kübik hacim olan ön yüzeyinin ortama açılmasıyla kübik boşluk haline gelen hacimde, arka yüzeyinden soğutma sınır şartında, laminer durumda doğal taşınım 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 2x2x1,8m 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 bulunmuştur.

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

IN THE SPACE CUBIC SURFACE COOLED 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 cooling by natural convection laminar boundary conditions have been examined in experimental and theoretical case. Numeric results using Fluent 6.3 package dissolved and experimental results are compared with. Experimental study of natural convection conditions to provide 2x2x1,8 m size used in the conditioning chamber experimenty of the entrance of this mechanism has been opened to the conditioning room. Study, current function, and the velocity vector graph of temperature changes were obtained. Also as a result of theoretical and experimental study of the Nusselt number time dependent difference was found.

Keywords: Natural Convection, Cubic Space, Fluent 6.3, A Cubic Closed Volume, Laminar Flow

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Taşınım ile ısı transferi iki grupta incelenir. Bunlardan birincisi olan zorlanmış taşınım da akış hareketi fan, üfleme, rüzgar gibi bir dış etki vasıtasıyla sağlanır. Doğal taşınım da 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 taşınım da 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].

Yatay konumlu ve tabanına düz bir sıra şeklinde yerleştirilmiş farklı dikdörtgen şekillerdeki ısı kaynaklarından oluşan kapalı bir hacimde meydana gelen doğal taşınım sürekli rejimde sayısal olarak ele alınmıştır. Çalışmada kapalı hacim, üst yüzeyinden soğutulmuş alt yüzeyinden ise izole edilmiştir. Dikey duvarlar için değişik sınır şartlarının ısı kaynağından meydana gelen ısı transferine etkisi araştırılmış ve bu etkinin çok az olduğu görülmüştür. Çalışma sonucunda, Rayleigh sayısına ve ısı kaynağının görüş oranına bağlı olarak Nusselt sayısının değişimi verilmiştir [2].

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 [3].

Düşey bir yüzeyi açık dikdörtgen şeklindeki bir ortamda meydana gelen doğal taşınım sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada akış kararlı ve iki boyutlu ele alınmıştır. Ayrıca ortamın diğer düşey yüzeyinden ısıtıldığı ve yatay yüzeylerin yalıtıldığı kabul edilmiştir. Sonuçlar dışarı doğru olan akışın ve ısı geçişinin ısıtılan ortama büyük oranda bağlı olduğunu göstermiştir. Benzer çalışma yine Chan ve Tien tarafından yine aynı yıl kare şeklindeki bir yüzeyi açık ortam için gerçekleştirilmiştir [4].

Sadece arka yüzeyden ısıtılan ve diğer yüzeyleri yalıtılmış, bir yüzeyi açık ortamdaki doğal taşınımı çalışmışlardır. Sayısal çalışmada iki boyutlu doğal taşınım için k-ε türbülans modeli kullanılmış ve akışkan özelliklerinin sıcaklıkla değiştiği kabul edilmiştir. Boşluk için sabit akışkan özelliklerinde bulunan ortalama ısı geçişinin değişken akışkan özelliğine göre bulunandan daha büyük olduğu görülmüştür [5].

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 taşınım 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 [6].

Laquerre vd. yaptıkları çalışmada arka yüzeyinden soğutulan ve diğer yüzeylerinden ısı geçişi olan boş bir buzdolabı modelinde sınır tabaka içindeki ve merkezdeki sıcaklık profillerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada soğuk yüzeyin, sıcaklığın ve yüzey alanının etkisi araştırılmıştır.

Ayrıca buzdolabı içerisine yerleştirilen blok şeklindeki engellerin sıcaklık profilleri üzerindeki etkisi incelenmiş, blok içeren modelde hemen hemen her bölgede hava sıcaklığının daha düşük olduğu görülmüştür [7].

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.

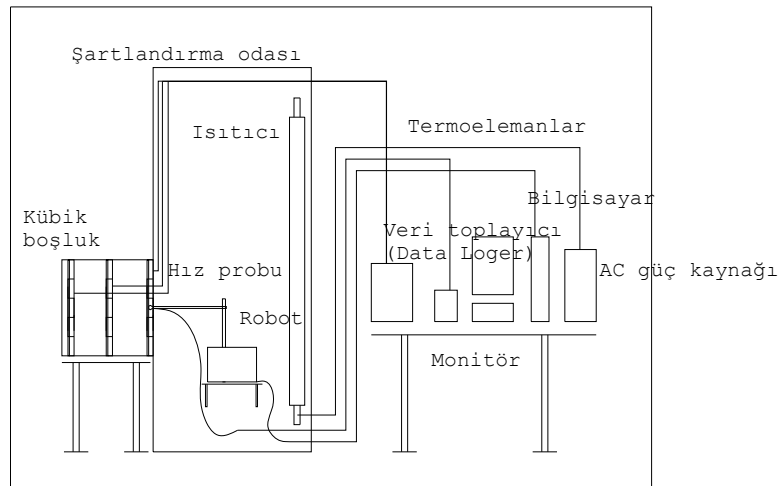
Kapalı hacimlerde veya boşluklardaki ısı transferi uygulamaları mühendislikte ve günlük hayatta çok sık karşımıza çıkar. Örneğin elektronik cihazların soğutulmasında kullanılan kanatların arasındaki boşluklar, bina ve işyerlerinde mimari özellikten veya ihtiyaçtan dolayı oluşan boşluklar, binaların ısıtılması 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 soğutulması sınır şartında, kübik hacimdeki doğal taşınım hem deneysel hem de teorik olarak incelenmiştir.

3. DENEYSEL YÖNTEM (EXPERIMENTAL METHOD)

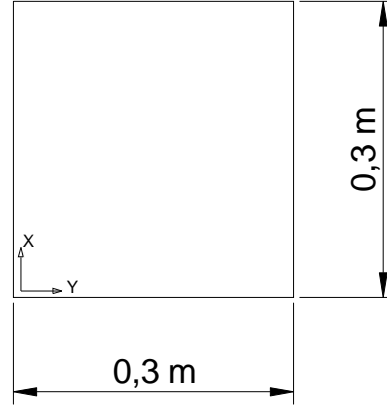
Deney düzeneğinin şematik görünüşü Şekil 1'de verilmiştir. Deney düzeneği aşağıdaki dört farklı bölümden oluşmaktadır:

- Kübik boşluk
- Isıtıcı ve robot kolu
- Kontrol ünitesi
- Şartlandırma odası



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°C sıcaklık aralığında ölçüm yapabilmektedir. Deneylerde kullanılan termoelemanların çapı 0,5 mm olup hassasiyeti 0,02 °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 2x1,8x2 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 kullanılan T tipi bakır-konstantan termo elemanların bir tarafındaki bakır ile konstantan nokta kaynağı ile birleştirilerek metal verniği ile izole edilmiştir.

Diğer tarafındaki açık kalan uçlar ise ZA900FST 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.

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.

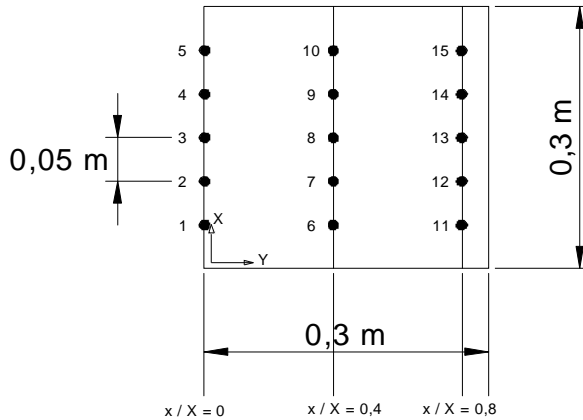
Kübik boşluğun giriş kısmı ön tarafı düz ve açık olacak bir ahşap malzemeyle sabitlenmiş daha sonra şartlandırma odasının giriş kısmına monte edilmiştir.

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.

Kübik boşluğun kapısının açılmasından hemen sonra şartlandırma odası sıcaklığında 0,5°C'ye varan bir düşüş gözlenmiştir. AC güç kaynağından hemen volt değeri 1 kademe artırılarak 4s sonraki 18°C şartı sağlanmıştır. 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 adımında önemli sıcaklık farkı görüldüğünde sıcaklık ölçümlerine devam edilmiştir. Kübik boşluk içerisinde önceden belirlenmiş olan her noktada hız değerleri tespit edildikten sonra deneylere son verilmiştir.

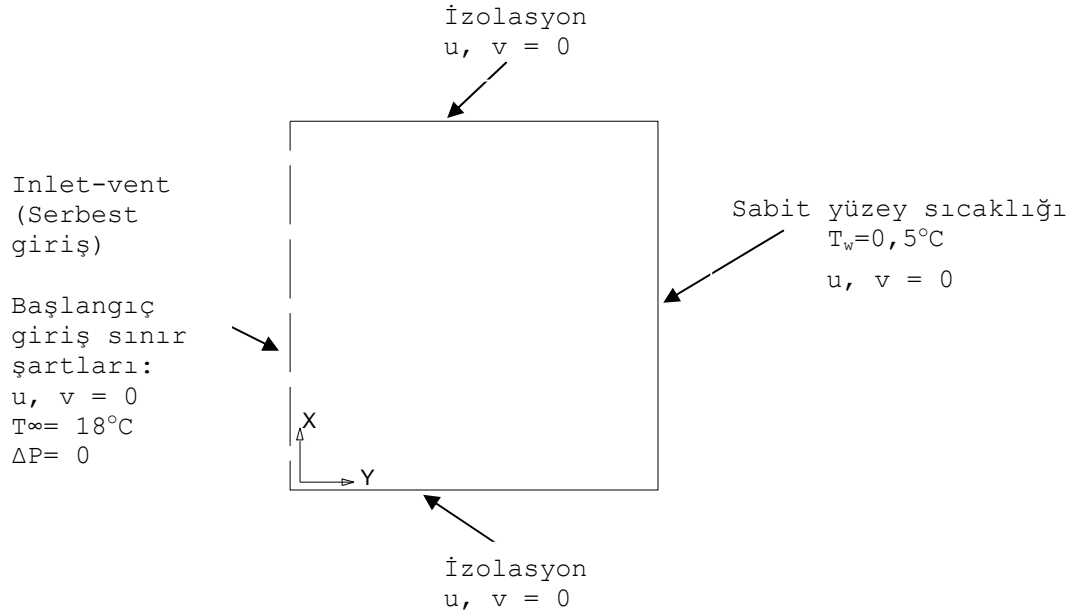
Kübik boşluğun giriş yüzeyine paralel olan arka yüzey soğutucu yüzey olarak tasarlanmış, 0,5°C sıcaklıkta sabit tutularak ve diğer yüzeyler adyabatik kabul edilerek deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmanın yapıldığı ortamdaki hız ve sıcaklık değerleri, değişik parametreleri inceleyebilmek için sayısal 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 hesaplamalar yapılabilir. 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;

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

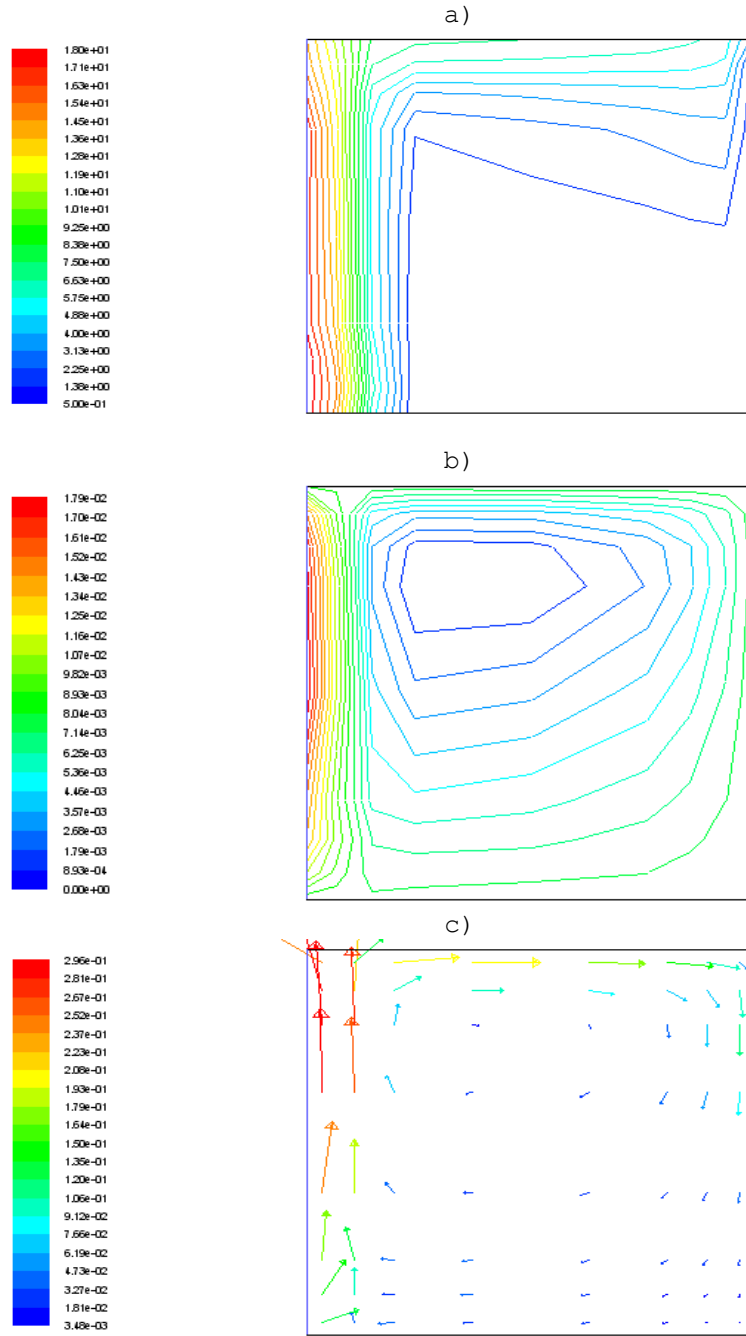
olarak tanımlanmaktadır. Burada g yerçekimi ivmesi, β ısıl genleşme katsayısı, ΔT ortam sıcaklığı ile soğuk yüzey sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı, ν kinematik viskozite, α ısıl yayılım katsayısıdır. Havanın fiziksel özellikleri ortalama sıcaklığa göre tanımlanmış ve karakteristik uzunluk L kübik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

4. BULGULAR VE/VEYA TARTISMALAR (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 yüzeyde sabit sıcaklık ($0,5^\circ\text{C}$) sınır şartı kullanılmıştır. Diğer yüzeyler ise adyabatik kabul edilmiştir. Yapılan deneylerde elde edilen verilere göre kübik boşluğun rejime gelmesi yaklaşık 80 saniye sürmüştür. Şekil 5'de kübik boşluğun kapısının açılmasından 5 saniye sonra oluşan eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ve hız vektörleri verilmiştir.



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 with in the distribution of the equivalent curves)

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

Şekil 5a'da görüldüğü gibi kapı açıldıktan 5 saniye sonra kübik boşluk içerisindeki sıcaklık, arka yüzeyden başlayarak açık yüzeye yakın bölgede ortam sıcaklığına (18°C - 291.15°K) erişmektedir. Kübik boşluğun girişinden maksimum $0,05$ m ilerisinde hava sıcaklığının 18°C sıcaklığa eriştiği görülmüştür. Akım fonksiyonunun değeri, ağırlıklı olarak giriş kısmında artmaktadır (Şekil 5b). Görüldüğü gibi 5 . saniyede, akım fonksiyonu $0,01$ kg/s değeriyle maksimum bir değere

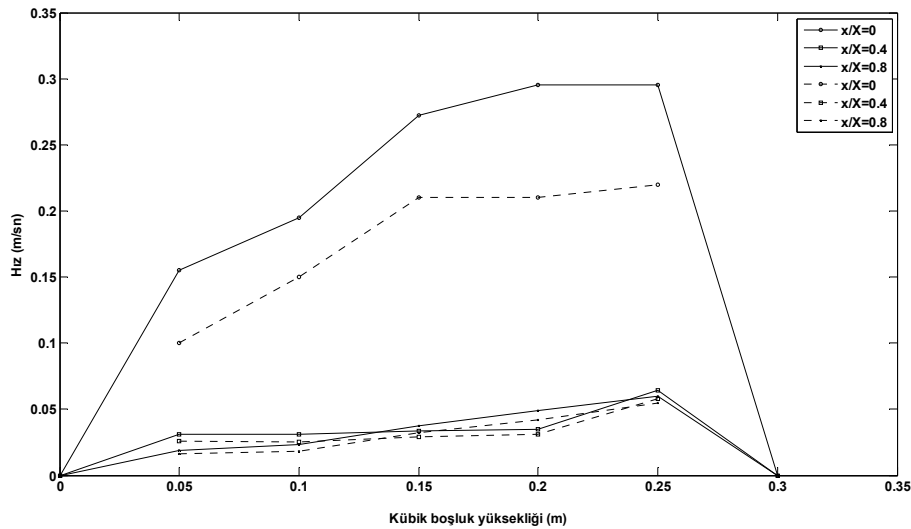
sahiptir ve daha sonraki noktalarda hızlı bir şekilde azalmakta kübik boşluk derinliğinde sıfıra yaklaşmaktadır. Şekil 5c'de görüldüğü gibi kübik boşluğun kapağı açıldıktan sonra kübik boşluk içerisinde dönmeli akışlar oluşmaktadır. Deneyler yapıldıktan sonra görüldü ki; kübik boşluğun alt kısmından kübik boşluk içerisine giren sıcak hava, üst tarafa yönelerek kübik boşluğu terk etmektedir.

Başlangıçta ön yüzeyinin kapalı olması nedeniyle kübik hacim içindeki akışkanın sıcaklığı rejim halindeyken soğuk yüzey sınır şartındaki sıcaklığa eşittir. Yani iç akışkan sıcaklığı başlangıçta sınır şartıyla aynıdır.

Yan yüzeyi açılarak kübik hacim kübik boşluk halini alır. Bizim çalışmamızda olduğu gibi ortam sıcaklığı hacim içerisindeki havadan daha yüksek ise ortam hacim içerisini ısıtacaktır. Böylece hacim içerisindeki ısınan hava yukarı doğru hareket edecektir. Akışkanın alttan girip üstten çıkması ancak bu şekilde açıklanabilir. Tien, Bilgen ve Durmuş'un çalışmalarında da aynı akış türü gözlenmiştir [3, 8 ve 11].

Boşlukta 2 tür çalışma mevcut olabilir. Bunlardan birincisi yüzey sınır şartlarının altında olmasıdır ki bu pratikte karşımıza buzdolabı gibi soğutucu sistemlerde çıkar. Bu durumda ortam sıcaklığı iç hacmi ısıtır. İkinci durumda ise iç hacim sıcaklığı ortam sıcaklığından yüksek olur ki (kalorifer peteklerinde olduğu gibi) bu durumda ise ortam sıcaklığı iç boşluğu soğutmaya çalışacaktır.

Kapak açıldıktan sonra kübik boşluk içerisinde, boşluğun iç sınırlarını takip eden bir sirkülasyon oluşmaktadır. Bu sirkülasyon, kübik boşluğun alt kısmında başlamakta ve soğuk yüzeyi takip ederek kübik boşluk içerisinde bir döngü oluşturmaktadır. Kapı açıldığı anda basınç ve sıcaklık farkından dolayı ortamda bulunan hava kübik boşluk içerisine girme eğiliminde olmaktadır. Bu hızlı hareketlenme zamana bağlı olarak kübik boşluk içerisine nüfuz etmekte ve bu ters akıştan dolayı ortam sıcaklığındaki havanın kübik boşluğun iç kısmına geçişini yavaşlatmaktadır.

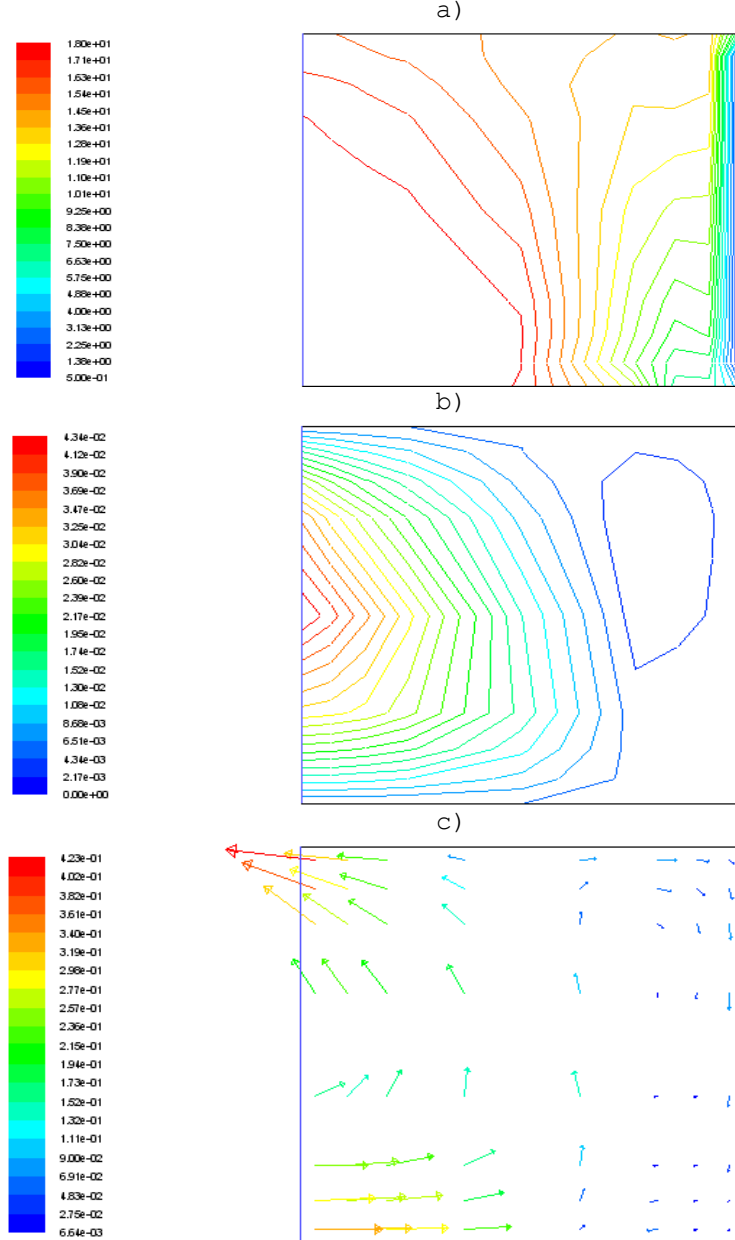


Şekil 6. t=5 s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi

(Figure 6. t=5 s for the cubic space velocity values within the experimental and numerical resultant cubic space by the height difference)

Şekil 6'da $x/X=0$ (giriş), $x/X=0,4$ ve $x/X=0,8$ kesitlerinde y doğrultusunda deneysel ve sayısal olarak elde edilen bileşke hız değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi 5. saniyede $x/X=0$ 'da (kübik boşluk girişinde) sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı $y=0,25$ m'ye kadar artarak yaklaşık 0,3 m/s olmakta ve $y=0,25$ m'den sonra azalmaktadır.

Deneysel verilere göre hava hızı, $y=0,25$ m'ye kadar artarak 0,22 m/s'ye ulaşmaktadır. Şekil 6'dan sayısal hız değerlerinin sırasıyla $x/X=0$, $x/X=0,4$, $x/X=0,8$ 'de daha büyük olduğu görülebilir.

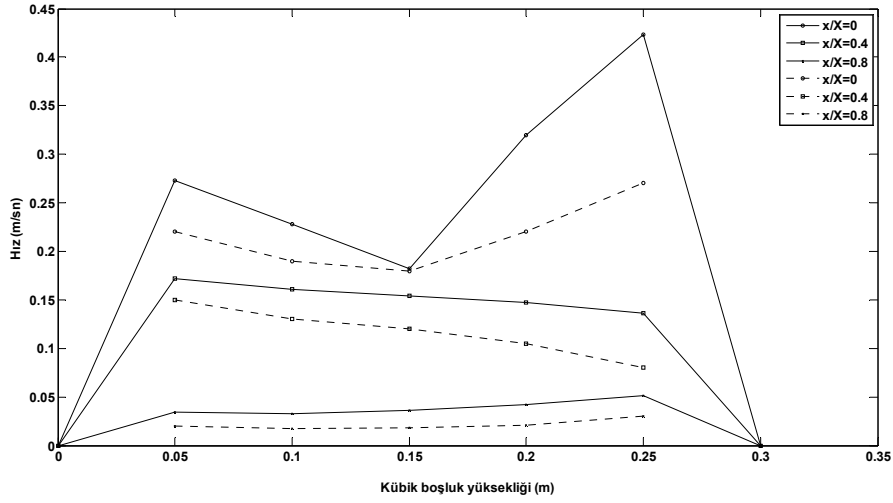


Şekil 7. $t=25$.s için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı

a) sıcaklık, b) akım fonksiyonu, c) hız vektörleri
(Figure 7. $t=25$ s for the cubic space within the distribution of the equivalent curves
a) temperature, b) the stream function, c) velocity vectors)

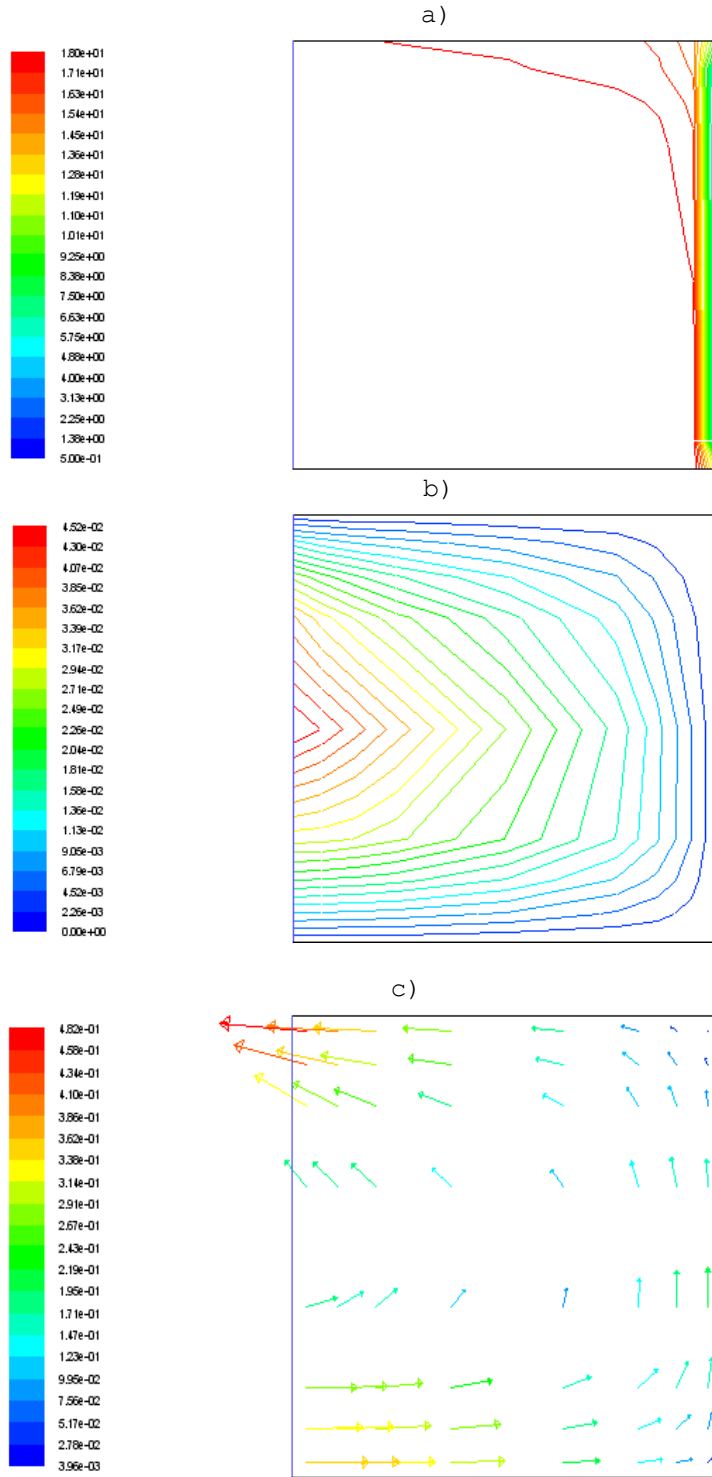
Şekil 7'de 25. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 7'de görüldüğü gibi 25. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,04 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,42 m/s' ye kadar çıkmaktadır.

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 25. saniyede $x/X=0$ kübik boşluk girişinde sayısal olarak elde edilen bileşke hava hızı $y=0,05$ m' ye kadar artmakta, $y=0,05$ m ile 0,15 m arasında düşmekte ve daha sonra tekrar artmaktadır. $x/X=0,4$ kesitinde 0,05 m'ye kadar akışkan hızı artmakta ve daha sonra küçük bir düşüş göstermektedir. $x/X=0,8$ kesitinde ise 0,05 m' ye kadar akışkan hızı artmakta daha sonra 0,25 m'ye kadar küçük miktarda artış ve daha sonra düşüş olduğu gözlenmiştir.



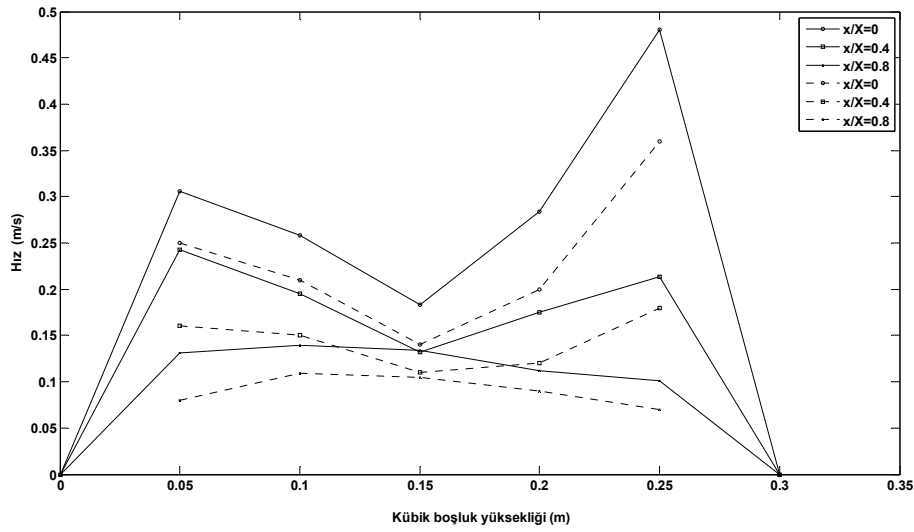
Şekil 8. $t=25$ s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi (Figure 8. $t=25$ s for the cubic space velocity values within the experimental and numerical resultant cubic space by the height difference)

Şekil 9'da 80. saniyedeki eşdeğer sıcaklık ve akım fonksiyonu eğrileri ile hız vektörleri verilmiştir. Şekil 9'da görüldüğü gibi 80. saniyede, akım fonksiyonu giriş kısmında 0,045 kg/s değeriyle maksimum bir değere sahiptir. Akışkan hızı ise 0,48 m/s'ye kadar çıkmaktadır.

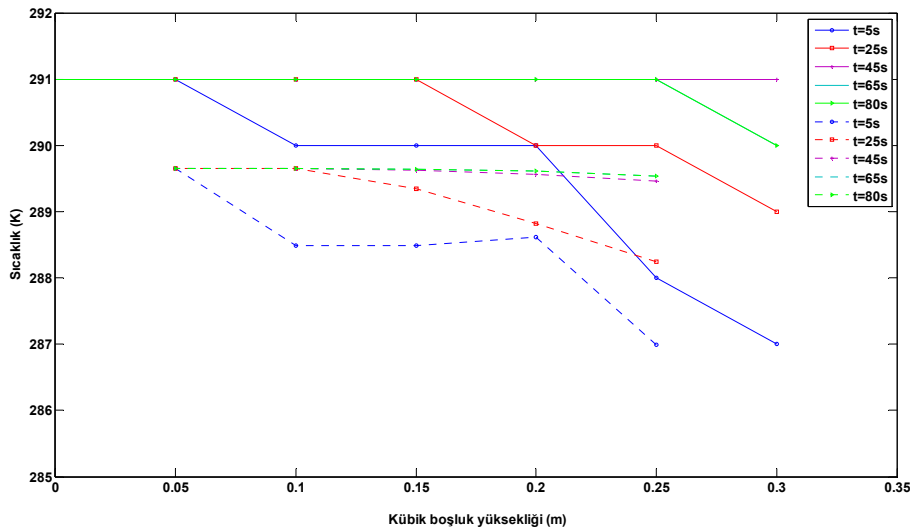


Şekil 9. $t=80.s$ için kübik boşluk içerisindeki eşdeğer eğrilerin dağılımı
(Figure $t=80.s$ for the cubic space within the distribution of the equivalent curves)
a) temperature, b) the stream function, c) velocity vectors)

Şekil 10'dan da anlaşılacağı gibi $x/X=0$ 'da $0,3 m/s$ hızla giren akışkan $0,48 m/s$ hızla kübik boşluğu terk etmektedir.

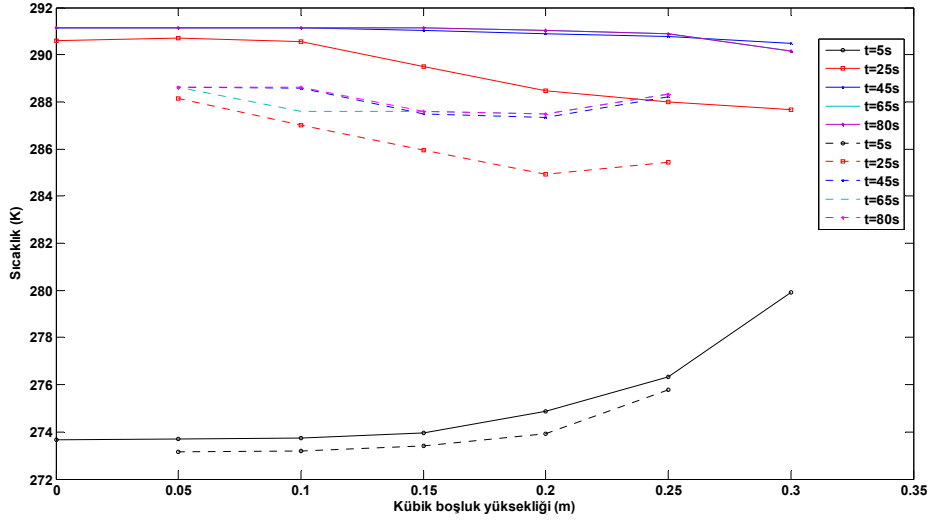


Şekil 10. $t=80$. s için kübik boşluk içerisindeki deneysel ve sayısal bileşke hız değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi
(Figure 10. $t=25$ s for the cubic space velocity values with in the experimental and numerical resultant cubic space by the height difference)



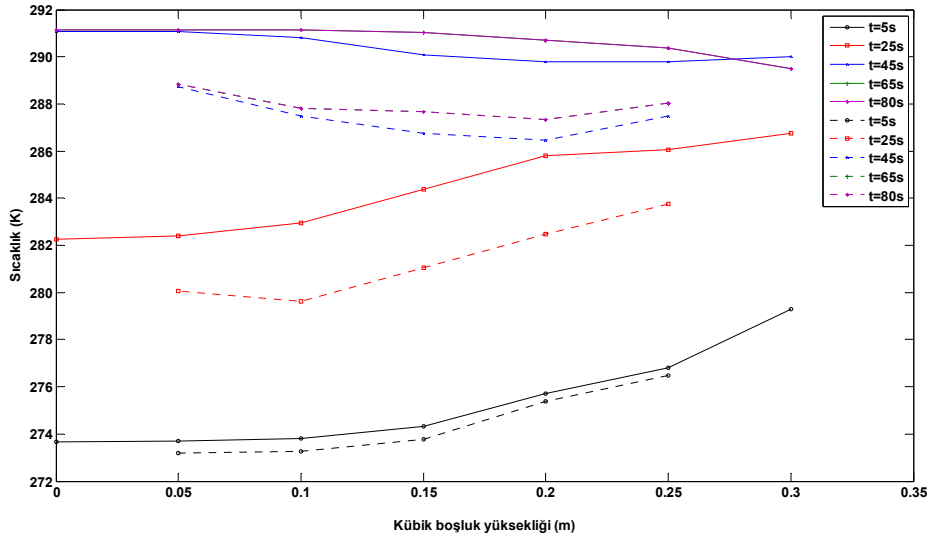
Şekil 11. $x/X=0$ 'da sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübik boşluk yüksekliğince değişimi
(Figure 11. Numerical and experimental temperature values at $x / X = 0$ by the cubic space height difference)

Şekil 11'de $x/X=0$ 'da (girişte) değişik zamanlarda sayısal ve deneysel sıcaklık dağılımı verilmiştir. Kübik boşluğun iç kısmında sıcaklık düşmeye başlamıştır. Deneysel olarak elde edilen sıcaklık değerleri, sayısal sıcaklık değerlerine oldukça yakın değerlere sahiptir (Şekil 11). Beşinci saniyede ölçülen hava sıcaklığı $y=0,05$ m'de yaklaşık 289 °K'den $y=0,25$ m'de 287 °K'e düşmektedir.



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

Şekil 12'de $x/X=0,4$ kesitindeki sayısal ve deneysel sıcaklık değerleri verilmiştir. Kırk beşinci saniyeye kadar 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 5. saniyede sıcaklık yaklaşık 273 °K ile 279 °K arasında değişmektedir. Ayrıca 65. saniyeden sonra rejim şartlarına yaklaşıldığı görülmektedir.



Şekil 13. $x/X=0,8$ 'de sayısal ve deneysel sıcaklık değerlerinin kübük 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 soğuk yüzeye yakın bölge dışında kübük 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 [8]. Bilindiği gibi Nusselt sayısı yüzeydeki boyutsuz sıcaklık gradyanına eşittir [9 ve 10].

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

Nusselt sayısını belirleyebilmek için deneysel ve sayısal çözümlerden 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

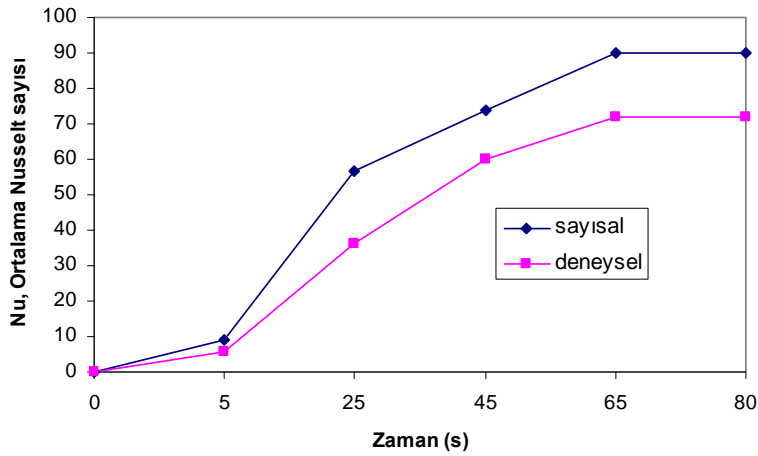
$$\bar{X} = \frac{x}{L} \quad \text{ve} \quad \bar{Y} = \frac{y}{L}$$

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

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

bağıntısından hesaplanır.

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



Şekil 14. Soğutulan yüzeydeki ortalama Nusselt sayısının zamana göre değişimi

(Figure 14. The average Nusselt number for cooled 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 alt bölgelerinden girmekte ve akışkanın hacim içerisinde çeşitli bölgelerde ikincil ve dönmeli akışlar oluşturmakta daha sonra giriş kısmının üstünden kübik boşluğu terk etmektedir.

- Kübik boşluk içerisinde kısmi bölgelerde ilerleyen zamanlarda ikincil ve dönmeli akışlar oluştuğu görülmektedir. Arka yüzeyin soğutulması durumunda hemen bu yüzeyin önündeki boşlukta dönmeli akışlar oluşmakta dönmeli akışın dışında kalan hacimde ise akışkan alt kısımdan girip üst kısımdan boşluğu terk etmektedir. Genelde dönmeli akışlar soğutulan 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. Sezai, I. and Mohamad, A.A., (2000). Natural convection from a discrete heat source on the bottom of a horizontal enclosure, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43, pp:2257-2266.
3. Durmuş, A., (2006). Yan yüzeyi açık prizmatik bir boşlukta doğal taşınım, Doktora Tezi. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
4. Chan, Y.L. and Tien, C.L., (1985). A numerical study of two-dimensional natural convection in square open cavities. *Numerical Heat Transfer*, 8, pp:65-80.
5. Li, J., Ingham, D.B., and Pop, I., (2001). Natural convection from a vertical flat plate with a surface temperature oscillation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 44, pp:2311-2322.
6. 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.
7. Laguerre, O., Ben Amara, S., and Flick, D., (2005). Experimental study of heat transfer by natural convection in a closed cavity: application in a domestic refrigerator. *Journal of Food Engineering*, 70, pp:523-537.
8. Bilgen, E. ve Oztop, H., (2005). Natural Convection Heat Transfer in Partially Open Inclined Square Cavities. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48, pp:1470-1479.
9. Incropera, F.P. and 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.
10. Genceli, O.F., (2002). Çözümlü ısı taşınımı problemleri. İstanbul: Birsen Yayınevi.
11. Chan, Y.L. and Tien, C.L., (1985). A Numerical Study of Two-dimensional Laminar Natural Convection in Shallow Open Cavity. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 28(3), pp:603-612.