# Farklı Geometriye Sahip Kavitelerdeki Akış ve Sıcaklık Dağılımının Sayısal Olarak İncelenmesi

## Coşkun Ozalp<sup>1</sup>\*, Doğan E. Alnak<sup>2</sup>, Bülent Yanıktepe<sup>1</sup>, Osman Kara<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Osmaniye Korkut Ata Üniveristesi Enerji Sistemleri Müh. Osmaniye Türkiye, <sup>2</sup>Cumhuriyet Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotivi Müh. Sivas Türkiye e-posta:coskunozalp@osmaniye.edu.tr

#### Özet

Anahtar kelimeler Kavite akışı, akış yapısı, sıcaklık dağılımı, ısıtılmış cidar Sayısal çalışmanın amacı derinlik boy oranı 2:1 olan dörtgen, üçgen ve yarım daire şeklindeki kaviteler içindeki akış yapısının incelenmesidir. Sayısal çalışmalar için FLUENT kullanılmıştır. Akış iki boyutlu, zamandan bağımsız olarak kabul edilmiştir. Kavite şeklinin akış yapısı ve ısı geçişine etkisinin incelenmesi çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır. Kavitelerin cidarları sırası ile ısıtılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında akış yönü hız dağılımları, ortalama girdap, ortalama sıcaklık dağılımları ve hız vektörleri verilmiştir. Kavite şeklinin sıcaklık dağılımı ve akış yapısına etkisi ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

# Numerical investigation of flow structure and temperature distribution of cavities with different shapes

#### Abstract

*Keywords* Cavity flow, flow structure, temperature distribution, heated wall The aim of this numerical study is investigate the flow structure past a rectangular, triangular and semicircular cavity of length-to-depth ratio of 2:1. A commercial software FLUENT is used for numerical results. The influence of cavity shape on the flow structure and heat transfer of the cavity is the focal point of this paper. Cavities are heated from side and bottom walls respectively. Three cavity shapes are studied: the classical rectangular one, semi-circular one and a triangular on each having a length-todepth ratio (L/D) of 2:1. Contours of constant averaged stream wise and transverse components of velocity, contours of constant averaged vorticity, contours of temperature distribution and kinetic energy for each cavity type for three different Reynolds numbers are presented. Effect of the cavity shape on flow structure and temperature distribution with in the cavity is discussed in detail.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

#### 1. Giriş

Aerodinamik yüzeylerdeki kaviteler (oyuklarda) sürekli ve süreksiz kararsızlıklara neden olmaktadır. Kavite içerisindeki statik basınç dağılımındaki değişiklik nedeni ile oluşan basınç gradyanları ve süreksiz akışlar kendiliğinden oluşan salınımlara neden olmakta ve akustik sesler oluşturmaktadır. Özellikle akış hızının artması ile salınım hareketleri değişmekte içerisindeki ve kavite akışın değişmesine neden olmaktadır. Kavite içi akışlara, solar kolektörler, elektronik kartlar, binalar, hava, kara ve deniz araçları gibi bir çok mühendislik uygulamasında sıkça rastlanmaktadır. Literatür incelemesi yapıldığında kare kaviteye sıkça rastlanmaktadır. Diğer geometrik şekiller kare veya

dörtgen kavitelere göre az sayıda çalışılmıştır. Yatayda yerleştirilmiş bir levhanın dörtgen kavitede oluşan salınımlara etkisi Kuo ve Chang (1998) tarafından deneysel olarak incelenmiştir. Yine benzer bir çalışmada Kuo ve Huang (2003) üst yüzeye yerleştirilmiş plakanın salınıma etkisini incelemişlerdir. Sığ bir kavite içerindeki akış yapısı Laminar ve türbülanslı durum için deneysel olarak Grace ve arkadaşları (2004) olarak çalışılmıştır. Kavite içerisindeki akış yapısı Erturk and Gokcol [2006]olduğu gibi hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde de sıkça çözülmeye çalışılan problemler arasında yer almaktadır. Benzer bir çalışmada Ertürk ve Dursun (2007) 2-boyutlu sürekli akış rejiminde sıkıştırılmaz akış için farklı açılarda eğimli yüzeye sahip kavite akışını

çözmüşlerdir. Özalp ve arkadaşları (2010) farklı geometrilere sahip kaviteler üzerindeki akışı parçacık görüntülemeli hız ölçme yöntemi kullanarak deneysel olarak incelemişlerdir. Su ana kadar verilen literatür çalışmaları sadece akış yapısının incelenmesine yönelik olup özellikle doğal taşınım üzerine de çalışmalar yoğunlaşmıştır.

Doğal taşınım problemine literatürde genellikle içi boş ve cidarları farklı sınır şartlarına sahip uygulamalarla karşılaşılmaktadır. (Mallinson ve Davis, 1977; Davis, 1983; Aydın vd., 1999). Bunun yanında engellerle bölünmüş farklı sınır şartlarındaki oyuklar için sayısal ve deneysel çalışmalar mevcuttur. Çalışmaların çoğunda engeller alt taban veya tavana yerleştirilmekte ve engeller yalıtımlı veya iletimli olarak kabul edilmektedir. (Satio ve Yamasaki, 2000) bir tarafı sıcak ve diğer tarafı soğuk sonlu uzunluktaki bir dikey plakada, doğal taşınım problemini Grashof sayısının 0.1 ile 1.0 x 10<sup>5</sup>aralığında alarak farklı yüzey sıcaklıkları için hesaplamıştır. Sayısal çözümleme yapılıp belirli Gr sayısı aralığında çözümler elde edilmiştir. Analitik sonuçlarla karşılaştırma yapılmamıştır. (Livd, 2001) yüzey sıcaklığının dalgalanmalı bir değişim gösterdiği durumu iteratif bir sayısal çözüm yöntemi ile Grashof sayısının 0 - 625 aralığında incelemiştir. Bir diğer çalışmada (Frederick, 1997) üç boyutlu bir kübik prizma yüzeyinde soğuk ve sıcak yüzeylerin aktif olduğu durumu Grashof sayılarının geniş bir aralığında ele alınmıştır ve böylece literatüre doğal taşınım probleminin üç boyutlu çözümünü kazandırmıştır.

Bu çalışmada doğal taşınım yerine özellikle kavite içerisinde meydana gelen akış yapısındaki değişiklerin sıcaklık dağılımına etkisinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu nedenle Ra sayısının değişimine bakılmada farklı Re sayılarında verilen geometriler için akış yönü hız dağılımları, ortalama hız vektörleri, ortalama girdap dağılımları ve ortalama sıcaklık dağılımları verilmiştir.

# 2. Sayısal Modelleme ve Geometrik Model

Sayısal çalışma iki boyutlu, zamandan bağımsız olarak çözülmüştür. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) icin AnsysFluent programi kullanılmıştır. HAD için ilk olarak çözüm bölgesi geometrisinin tanımı daha sonra çözüm bölgesinin alt elamanlara ayrılması ve ızgara oluşumu yapılmıştır. Akış özellikleri tanımlanarak elamanlar üzerindeki sınır şartları belirlenmiştir. Sonlu hacimler yöntemi korunum denklemlerini sayısal çözümlenebilen olarak cebirsel denklem sistemlerine dönüştürmek için kontrol hacim esaslı bir teknik kullanır. Bu teknik her bir kontrol hacmi için korunum denklemlerinin integrasyonunun alınması sonucunda, değişkenler için kontrol hacmini sağlayan ayrık eşitliklerin elde edilmesini içerir. Ayrık eşitliklerin doğrusallaştırılması ile elde edilen, doğrusal denklem sistemlerinin iterasyon bağlı çözümü ile hız, basınç ve sıcaklık gibi değişkenler verilen yakınsaklık ölçüsünü sağlayıncaya kadar güncellenmektedir. Hazırlanabilecek en uygun ağ yapısı için hız, basınç ve sıcaklık değişiminin fazla olduğu kritik akış bölgelerinde daha sık ağ yapısı oluşturulmuş ve en uygun ağ şekli seçilmiştir. Bu nedenle, özellikle kaviteler içinde en sık ağ yapısının olduğu kısımlar oluşturulmuş, diğer bölgelerde daha seyrek ağ yapısı tercih edilmiştir (Şekil 1). Bu çalışmada cidar sıcaklık farkları sabit tutulmuştur. Kare kavite için uygun ağ sayısı 31250 üçgen kavite için 22592 ve daire kavite icin 67986 olarak alınmıştır. Akışkan olarak hava kabulü yapılmış ve giriş sıcaklığı 300 K ve duvar sıcaklıkları sıcak yüzeyler için 323 K olarak alınmıştır. Malzeme olarak Alüminyum kabulü yapılmıştır. Sonuçlar üç farklı Re=1000, 1500 ve 2000 için elde edilmiştir. Kare kavite için sırası ile sol, alt ve sağ cidarlar yüksek sıcaklıkta alınmış olup dairesel ve ücgensel kaviteler için sırası ile sol ve sağ taraflar simetrik olacak şekilde ısıtılmış cidar olarak alınmıştır. Sonuçlar ortalama hız ve girdap eğrileri, hız vektörleri ortalama sıcaklık eğrileri şeklinde verilmiştir. Tüm geometriler için boy/derinlik oranı 2:1 olarak alınmıştır.



Şekil 1. Ağ Yapısı

Bu çalışmada yapılan kabuller su sekilde sıralanmıştır. Akış iki boyutlu, zamandan bağımsız ve laminerdir, Kullanılan akışkan havadır, Kavite malzemesinin sınırları olarak alüminyum kullanılmıştır, Tabakalar arası ısıl temas tamdır, Kavite malzemesinin içi akışkan hava ile doludur, Akışkanın ısıl özellikleri sabittir, Akışkan içerisinde ve sınırlarda ısı üretimi söz konusu değildir.Tüm cidarlar tek ve sızdırmaz olarak modellenmiştir. Yani cidarlarda u=v=0'dır.

2 boyutlu kartezyen koordinat sistemi için süreklilik, momentum ve enerji denklemleri Boussinesq yaklaşımı kullanılarak çözülmektedir.

Süreklilik Denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

Momentum Denklemi:

$$u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} + v\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)$$
(2)

$$u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x} + v\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)$$
(3)

Enerji Denklemi:

$$u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right)$$
(4)

#### **3 BULGULAR ve TARTIŞMA**

Şekil 3'de dörtgen kavite için üç farklı Re sayısında ortalama hız, girdap eğrileri ile birlikte hız vektörleri verilmiştir. Re sayısının artması ile birlikte kavite üzerindeki kayma tabakası kavite içerisine doğru yönelmekte ve saat yönünde dönmekte olan hız kavitenin vektörlerinin sol cidarına doğru genişlemesine ve sol cidara yakın olan saatin tersi yönünde dönen hız vektör alanının küçülmesine sebep olmaktadır. Yine Re sayısının artması ile birlikte kayma tabakasının aşağıya doğru inmesi kavite yüzeyindeki yüksek hızların kavite içerisine doğru inmesine sebep olmakta ve kavite icerisindeki akışkanı daha da hareketlendirmektedir. Şekil 4 te dörtgen kavite için ortalama sıcaklık değerleri üç farklı durum için ve üç farklı Re sayısı için verilmiştir. Birinci durumda sol cidar ısıtılmakta diğer cidarlar sabit duvar sıcaklığında tutulmakta, ikinci durumda alt cidar ısıtılırken diğer sol ve sağ cidarlar sabit sıcaklıkta tutulmakta son olarak üçüncü durumda sağ cidar ısıtılmakta diğer cidarlar sabit tutulmaktadır. Re sayısı 1000 için kavite içerindeki akışın (sol, alt ve sağ cidar sıcaklıkları değiştiğinde) serbest akış hızına oranla düşük olması nedeni ile akışkan sıcaklığı daha yüksek sıcaklıkta çıkmakta ve sıcaklık dağılımının özellikle alt ve sağ cidarın ısıtıldığı durum için diğer cidarlara doğru yayılmasına neden olmaktadır. Re=2000 için kavite içerisindeki akışkanın kayma tabakasının etkisi ile hareketlenmesi nedeni ile akışkan sıcaklığı giriş sıcaklığına doğru yaklaşmakta duvar sıcaklığının etkisinden uzaklaşmaktadır. Özellikle kavite köşelerinde durgun akışkanın olması bu bölgelerde akışkan sıcaklığının duvar sıcaklığına yaklaşmasına neden olmaktadır.

Farklı Geometriye Sahip Kavitelerdeki Akış ve Sıcaklık Dağılımının Sayısal Olarak İncelenmesi, Özalp vd.



**Şekil 2.**Farklı Reynolds sayılarında dörtgen kavite için zaman ortalama akış yönü hız eğrileri <u>, hız vektörleri <U>, ve girdap eğrileri < $\omega$ >. <u>min=-0.06 m/s, <u>maks=0.14 m/s, artış= $\Delta$ u=0.005 m/s; < $\omega$ >min= 2.0s<sup>-1</sup>, < $\omega$ >maks=90.0 s<sup>-1</sup>, artış= $\Delta$ w=1.0 s<sup>-1</sup>.



**Şekil 3.**Farklı Reynolds sayılarında dörtgen kavite için zaman ortalama sıcaklık dağılımları<T><T>min=302 K, <T>maks=322 K artış=ΔT=2.0 K.



**Şekil 4.**Farklı Reynolds sayılarında üçgen kavite için zaman ortalama akış yönü hız eğrileri <u>, hız vektörleri <U>, ve girdap eğrileri < $\omega$ >. <u>min=-0.08 m/s, <u>maks=0.2 m/s, artış= $\Delta$ u=0.01 m/s; < $\omega$ >min= 2.0s<sup>-1</sup>, < $\omega$ >maks=148.0 s<sup>-1</sup>, artış= $\Delta$ w=2.0 s<sup>-1</sup>.



**Şekil 5.**Farklı Reynolds sayılarında üçgen kavite için zaman ortalama sıcaklık dağılımları <T>min=300K <T>maks=318 K artış=∆T=2.0 K



**Şekil 6.**Farklı Reynolds sayılarında yarım daire kavite için zaman ortalama akış yönü hız eğrileri <u>, hız vektörleri <U>, ve girdap eğrileri < $\omega$ >. <u>min=0.02 m/s, <u>maks=0.2 m/s, artış= $\Delta$ u=0.01 m/s; < $\omega$ >min= 5.0s<sup>-1</sup>, < $\omega$ >maks=170.0 s<sup>-1</sup>, artış= $\Delta$ w=5.0 s<sup>-1</sup>.



**Şekil 7.**Farklı Reynolds sayılarında yarım daire kavite için zaman ortalama sıcaklık dağılımları <T>min=302K <T>maks=320 K artış=ΔT=2.0 K

Şekil 5'de üçgen kavite için farklı Re sayılarında Ortalama hız değerleri vektörleri ve girdap değerleri, Şekil 6'da ise sıcaklık eğrileri verilmiştir. İlk durumda sol cidarın sıcaklık değeri yüksek tutulurken ikinci durumda sağ cidar sıcaklığı arttırılmıştır. Üçgen kavite için Re sayısı arttıkça dörtgen kavitede olduğu gibi kayma tabakası kavite içerisine doğru yönlenmiş ve hız değerleri kavite içerinde artış göstermiştir. Re=1000 için kavite içerisinde sağ cidarın üst kısmında meydana gelen dönme Re sayısının artması ile büyümüş ve kavite içerisinde yayılma göstermiştir. Üçgen kavitenin alt kısmındaki dar bölgeden dolayı gelen akış alt tarafa doğru yönlenemiyor ve neredeyse durgun akış oluşmaktadır. Bu nedenle buradaki akışkanın sıcaklığı duvar sıcaklığına yaklaşmaktadır. Özellikle sağ cidarın sıcaklığının arttırıldığı durum için gelen akışkanın doğrudan sağ cidara teması ile sıcaklık değerleri düşmüş Re=2000 için üçgen kavitenin alt bölgesindeki akışkan sıcaklığı düşüş göstermiştir. Re sayısının artması ile birlikte gelen akış kavitenin bitiş duvarına (sağ cidar) çarparak saatin tersi yönünde dönmeye zorlanarak kavitenin içinde bir odaklanma olmasına neden olmuştur.

Sekil 6 ve 7'de dairesel kavite için ortalama akış yönü hızları ortalama hız vektörleri ve ortalama girdap eğrileri ile birlikte ortalama sıcaklık eğrileri verilmiştir. Dörtgen kavite içerinde maksimum sıcaklık değeri cidara yakın olan kısımlarda 322 K olurken üçgen kavite için bu değer 318 K olmuştur. Dairesel kavitede ise 320 K dir. Yarım daire kesitin yüzeyinde ise geometri keskin olarak değişmediği için gelen akışın hızı arttıkça akışkan hareketi artmaktadır. Dörtgen ve üçgen kavitede akış yönündeki hız değerlerinde negatif hızlar ortaya çıkarken dairesel kavitede negatif hız değerleri bulunmamaktadır. Dairesel kavite içerisinde sağ ve sol cidara yakın iki odak noktası oluşmakta Re sayısının etkisi diğer geometrilerde olduğu gibi odak noktasına çok fazla etki etmemektedir.

# 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada farklı geometrilere sahip kaviteler içerindeki akış yapısının ve sıcaklık dağılımlarının incelenmesi hedeflenmiştir. Akış yapısının incelenmesi için ortalama akış yönü hız dağılımları, hız vektörleri ve girdap eğrileri verilmiştir. Çalışmada ayrıca farklı cidarlarını ısıtılması ile kaviteler içerindeki sıcaklık dağılımlarına bakılmış akış yapısında meydana gelen değişimlerin sıcaklık dağılımına olan etkisi tartışılmıştır. Çalışmanın bir sonraki aşamasında Ra sayısının değişimi ve Nu sayıları verilerek ısı geçişi ayrıntılı olarak incelenecektir. Özellikle durgun akışkanın olduğu yerlerde ve düşük hızlarda kontrol teknikleri ile akış yapısının değiştirilmesi gerekmekte olup çalışmanın sonraki kısımlarında bu teknikler tartışılacaktır.

## Kaynaklar

Aydın O., Ünal A., Ayhan T., 1999, Natural Convection in Rectangular Enclosures Heated from One Side and Cooled from the Ceiling, Int. J. Heat and Mass Transfer, N.42, 2345-2355.

C.H. Kuo, C.W. Chang, 1998. Shear-layer characteristics across a cavity with a horizontal top plate, Fluid Dyn. Res. 22, 89–104.

C.H. Kuo, S.H. Huang, 2003. Effect of surface mounting of upper plate on oscillating flow structure within cavity, Exp. Therm. Fluid Sci. 27 (2003) 755–768.

C Ozalp, A Pinarbasi, B Sahin 2010. Experimental measurement of flow past cavities of different shapes Experimental Thermal and Fluid Science 34 (5), 505-515

Davis G.V., 1983, Natural Convection of Air in A Square Cavity: A Bench Mark Numerical Solution, Int. J Numerical Methods in Fluids, N.3, 249-264.

E. Erturk, C. Gokcol, 2006. Fourth-order compact formulation of Navier-Stokes equations and driven cavity flow at high Reynolds numbers, Int. J. Numer. Meth. Fluids 50, 421–436.

E. Erturk, B. Dursun, 2007. Numerical solution of 2-D steady incompressible flow in a driven skewed cavity, Z. Angew. Math. Mech. 87, 377–392

Frederick, R. L., 1997, Natural Convection Heat Transfer In A Cubical Enclosure With Two Active Sectors On One Vertical Wall, Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 24, No. 4, 507-520.

Li, J., Ingham, D.B. and Pop, I., 2001, Natural Convection From A Vertical Flat Plate With A Surface Temperature Oscilation, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 44, Issue12, 2311-2322.

Mallinson G.D., Davis G. V., 1977, Three-Dimensional Natural Convection İn A Box: A Numerical Study, J. Fluid

Mech., N.83, 1-31.

Manz, H., 2003, Numerical Simulation of Heat Transfer By Natural Convecton In Cavities Of Facade Elements, Energy and Buildings, Vol. 35, Issue 3, 305-311.

S.M. Grace, W.G. Dewar, D.E. Wroblewski,2004. Experimental investigation of the flow characteristics within a shallow wall cavity for both laminar and turbulent upstream boundary layers, Exp. Fluids 36, 791–804.

Saito, A. and Yamasaki, K., 2000, Natural Convection Heat Transfer From A Vertical Thick Plate At Low Grashof Numbers, Heat Transfer – Asian Research, 29 (8), 609-622.

Yang, H. X. and Zhu, Z. J., 2003, Numerical Study On Transient Laminar Natural Convection In Inclined Parallel-Walled Channel, Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol. 30, No. 3, 359-367.