



Erciyes University Journal of the Institute of Science and Technology

Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

ISSN 1012-2354

Cilt (Volume): 28, Sayı (Issue): 5, Eylül/September-2012

<http://fbe.erciyes.edu.tr/>



Bölmeli bir kare kapalı ortam içindeki nanoakışkanın doğal konveksiyonla ısı transferinin sayısal olarak incelenmesi

Engin AKÇAOĞLU¹, Müslüm ARICI¹, Elif Büyük ÖĞÜT²

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kocaeli

²Kocaeli Üniversitesi, Gebze Meslek Yüksekokulu, Teknik Programlar Bölümü, Kocaeli

ÖZET

Bu çalışmada bölmeli kare kapalı bir ortam içindeki su bazlı nanoakışkanların daimi, laminer doğal konveksiyon akışı sayısal olarak incelenmiştir. Kare kapalı bölge, merkezinde çok ince sıcak bir bölme ile ayrılmıştır. Kapalı ortamın yan duvarları eş sıcaklıkta olup, alt ve üst duvarları yalıtılmıştır. Çalışmada Rayleigh sayısının, nanoakışkanların hacimsel fraksiyonun (ϕ), nanopartikül tipinin ve bölme yüksekliğinin akış üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada Rayleigh sayısı 10^3 - 10^5 aralığında alınmış, nanopartikül olarak Cu ve Al_2O_3 seçilmiş, katı partiküllerin hacim fraksiyonunun $0 \leq \phi \leq 0.15$ aralığındaki değerleri göz önüne alınmıştır. Bölme uzunluğu 0.3 ila 0.8 aralığında değiştirilerek akış üzerindeki etkisi incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda yukarıda bahsedilen parametrelerin akış ve ısı transferi üzerinde önemli etkilere sahip olduğu görülmüştür. Küçük Rayleigh değerlerinde ısı transferi iletimle gerçekleşmektedir. Rayleigh sayısının artmasıyla sirkülasyon şiddetlenerek doğal konveksiyon hakim olmakta, sıcaklık değişimi sıcak bölme civarındaki bölgelerde giderek azalmaktadır. Artan bölme yüksekliğiyle ısıdan etkilenen bölgenin genişlediği görülmektedir. Nanopartiküllerin hacimsel fraksiyonunun artmasıyla ısı transferinde %70'lere varan önemli artışlar söz konusu olmaktadır.

Anahtar Kelimeler:

Doğal konveksiyon, nanoakışkan, bölmeli kare kapalı bölge, FLUENT

Numerical investigation of natural convection heat transfer of nanofluids in a square enclosure

ABSTRACT

In this work, a steady, laminar natural convection of water-based nanofluids in a square enclosure is studied numerically. Computations are carried out for various values of Rayleigh numbers, solid volume fractions, nanoparticles and partition heights. Results show that these parameters have a significant effect on the flow and heat transfer. Heat transfer occurs by conduction for the low Rayleigh numbers. As Rayleigh number increases, the natural convection prevails thus the temperature variation around the partition decreases. The heat affected region becomes larger as the partition height increases. It is also shown that up to 70% of heat transfer enhancement can be achieved with increasing solid volume fraction of nanoparticles.

Key Words:

Natural convection, nanofluid, partition square enclosure, FLUENT

1. Giriş

Genellikle ısı transfer akışkanları olarak su, yağ ve etilen glikol gibi akışkanlar kullanılır. Bununla birlikte bu akışkanlar düşük ısı transfer performansına sahiptirler. Isı transfer akışkanlarının ısı transfer karakteristiklerinin artırılması için kullanılan tekniklerden birisi de akışkan içerisine termal iletkenlikleri akışkanlara göre daha yüksek olan katı partiküllerin ilave edilmesidir (Lee vd., 1999). Günümüze kadar bu tür sıvı ve katı partiküllerden oluşan süspansiyonlar da milimetre büyüklüğünde katı partiküllerin kullanımı söz konusuydu. Son zamanlarda yapılan çalışmalar sonucunda içerisinde 10-50 nanometre büyüklükte katı partiküllerin söz konusu olduğu yeni bir süspansiyon tipi olan nanoakışkanların keşfi ısı transfer akışkanları konusunda çığır açmıştır. Bunun en önemli nedeni çok küçük nanopartikül konsantrasyonlarında dahi nanoakışkanların şaşırtıcı mertebede yüksek termal iletkenlik değerlerine sahip olmasıdır (Choi, 1995; Eastman vd., 2001; Das vd., 2003). Nanopartikül olarak genellikle bakır, gümüş, bakır oksit ve alüminyum oksit kullanılmaktadır.

Keblinski vd. (2002) nanoakışkanlarda söz konusu olan ısı iletim kabiliyetindeki önemli artışın, katı partiküllerin Brownian hareketine, sıvı katı ortak yüzeyinde söz konusu olan moleküler seviyedeki sıvı tabakalaşması, ısı transfer mekanizmasının doğası ve nanopartikül yığılmaları etkisi gibi faktörlere bağlı olduğunu ifade etmiştir.

Nanoakışkanlarda ısı transferi ile ilgili en önemli parametre ısı iletim kabiliyetidir. Bununla birlikte nanoakışkanların ısı iletim kabiliyetlerini ifade etmek üzere önerilmiş sofistike teoriler söz konusu değildir. Bu nedenle bir kısım araştırmacı tarafından iki fazlı karışımlara ait ısı iletim kabiliyeti için önerilen değişik modellerin nanoakışkanlar için kullanılması yoluna gidilmiştir. Bu modellerden en çok bilinenleri olan Maxwell-Garnett (1904), Hamilton ve Crosser (1962), Wasp (1977) ve Wang vd. (2003) tarafından önerilen modellerin nanoakışkanların ısı iletim kabiliyetlerini ifade etmede başarısız olduğu görülmüştür. Deneysel sonuçlar daima bu modellerden daha yüksek ısı iletkenlik katsayıları üretmişlerdir. Nanoakışkanların ısı iletim kabiliyetlerini ifade etmek üzere alternatif bir model Yu ve Choi (2003) tarafından önerilmiştir. Yu ve Choi (2003) nanoakışkanlarda katı sıvı yüzeyinde oluşan sıvı tabakanın sıvı ve katı arasında bir termal köprü görevini gördüğünü ifade etmiş ve ısı iletim kabiliyetindeki önemli artışları bu etkiye bağlamıştır. Yu ve Choi (2003) model sonuçlarını nanoakışkanlar için yapılmış pek çok deneysel sonuçla karşılaştırmışlar ve modellerinin nanoakışkanların ısı iletim kabiliyetini ifade etmede oldukça başarılı olduğunu görmüşlerdir. Dolayısıyla bu çalışmada da ısı iletim kabiliyeti için Yu ve Choi (2003) tarafından önerilen bu model kullanılmıştır.

Son yıllarda nanoakışkanlara ait konveksiyonla ısı transferi üzerine çeşitli çalışmalarda yapılmıştır. Khanfer vd. (2003) kapalı ortamlarda nanoakışkanların doğal konveksiyonla ısı transferini inceleyen ilk kişi olmuştur. Jou ve Tzeng (2006) kapalı dikdörtgen bir ortamda doğal konveksiyon için yaptıkları sayısal çalışma sonucunda nanoakışkan kullanımının ortalama Nusselt sayısında önemli artışlara

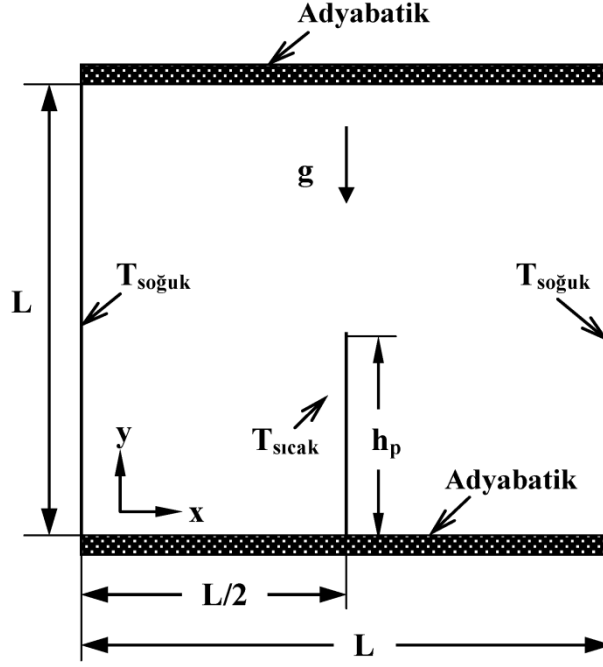
söz konusu olduğunu görmüşlerdir. Son zamanlarda Ogut (2009) su bazlı nanoakışkanların, yan duvardan sabit ısı akısıyla kısmen ısıtılmış, eğik kare bir kapalı ortam içindeki doğal konveksiyonunu incelemiş ve ısıtıcı uzunluğu arttıkça ısı transfer miktarının düştüğünü gözlemlemiştir. Anilkumar and Kuzhiveli (2009) merkeze yerleştirilmiş ince bölmeli bir dikdörtgen kavite içindeki benzin alüminyum karışımı nanoakışkanın doğal konvektif ısı transferini sonlu farklar yöntemi kullanarak sayısal olarak incelemişlerdir. Son zamanlarda yapılan çalışmalardan örnek vermek gerekirse Mostafa (2011), içinde ince bir ısıtıcıya sahip kare bir kavite içindeki su bazlı nano akışkanların serbest konveksiyon akışını sayısal olarak incelemiştir. Üst ve alt duvarları yalıtılmış olup, sol ve sağ duvarları sabit bir T_c sıcaklığında tutulmuştur. Yönetici denklemler sonlu hacimler metodu ve Simpler algoritması kullanılarak ayrılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, düşük Rayleigh sayılarında yatay pozisyonundaki ısıtıcı yüksek Nusselt sayılarına sahip iken, yüksek Rayleigh sayılarında, ısıtıcının pozisyonunun ısı transfer miktarını etkilemediğini belirtmiştir. Rashmi vd. (2011) Al_2O_3 -su bazlı nanoakışkanların doğal konveksiyonla ısı transferinin sayısal simülasyonlarını Fluent v6.3 kullanarak su bazlı nanoakışkanı tek faz olarak düşünerek simüle ederek çözmüşlerdir. Parçacık hacim fraksiyonu arttıkça ısı transferinde azalma olduğunu görmüşler. Abu-Nada (2011) Rayleigh - Benard konveksiyon problemini ele alarak, CuO- su bazlı nanoakışkanların doğal konveksiyonundaki ısı transfer artışını incelemiştir. Sonuçlar göstermektedir ki, $Ra=10^3$ için nanoparçacıkların hacim fraksiyonunun artışıyla ortalama Nu sayısı artmaktadır. Guet vd. (2011) alttan çıkıntılı olarak yerleştirilmiş bir ısıtıcıya sahip kare kavite içindeki bakır su bazlı nanoakışkanın doğal konveksiyonunu sayısal olarak incelemişlerdir. Kavitenin dikey duvarları eşsıcaklık olarak soğutulmuş, yatay duvarlarından biri adyabatik ve alt duvara ısıtıcı eklenmiştir. Isı kaynağı ya sabit ısı akısı ya da eş sıcak olarak kabul edilmiştir. Yönetici denklemlerin sayısal çözümünde Lattice Boltzmann methodu kullanılmıştır. Çalışmada seçim aralığı verilen Rayleigh sayısı ile, ısıtıcı üzerine uygulanan ısıl sınır şartlarından bağımsız olarak, artan hacim fraksiyonuyla ısı transferinin arttığını gözlemlemiştir.

Bu çalışmanın amacı ise, bölmeli kare kapalı bir ortamda su bazlı nanoparçacıkların doğal konveksiyonunda hız ve sıcaklık alanlarını sayısal olarak elde etmek ve yönetici parametrelerden nanopartikül konsantrasyonunun, bölme yüksekliğinin ve Rayleigh sayısının bu alanlar üzerindeki etkilerini incelemektir.

2. Matematik Model

Analizlerde incelenen geometri ve koordinat sistemi şematik olarak Şekil 1'de verilmiştir. Yüksekliği H ve uzunluğu L ile sınırlandırılmış, bölme yüksekliği h_p olan dikdörtgen kapalı bölgenin, yan duvarları T_c sıcaklığında, kapalı bölgenin merkezine yerleştirilmiş olan ince bölme T_h sıcaklığında olup, diğer duvarları ise adyabatiktir. Nanoparçacık ve akışkanın aynı hızla aktığı ve termodinamik dengede olduğu kabul edilmiştir. Yoğunluk dışındaki tüm fiziksel özellikler sabit olarak alınmış, yoğunluk ise Boussinesq yaklaşımı ile hesaplanmıştır.

neden olduğunu görmüşlerdir. Hwang vd. (2007), alüminyum bazlı nanoakışkanın alttan ısıtılmış dikdörtgen bir kapalı ortamda doğal konveksiyonunu incelemiş ve nanopartikül çapının artmasıyla ortalama Nusselt sayısında önemli düşüşler



Şekil 1. İncelenen geometri ve sınır şartları.

$$\frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{\partial v^*}{\partial y^*} = 0 \quad (1)$$

x- momentum denklemleri

$$\left(u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial u^*}{\partial y^*} \right) = -\frac{1}{\rho_{nf,0}} \frac{\partial p^*}{\partial x^*} + \frac{\mu_{eff}}{\rho_{nf,0}} \left(\frac{\partial^2 u^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 u^*}{\partial y^{*2}} \right) \quad (2)$$

y- momentum denklemleri

$$\left(u^* \frac{\partial v^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial v^*}{\partial y^*} \right) = -\frac{1}{\rho_{nf,0}} \frac{\partial p^*}{\partial y^*} + \frac{\mu_{eff}}{\rho_{nf,0}} \left(\frac{\partial^2 v^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 v^*}{\partial y^{*2}} \right) + \frac{1}{\rho_{nf,0}} (\rho\beta)_{nf} g (T - T_c) \quad (3)$$

Enerji denklemleri

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

burada $\alpha_{nf} = \frac{k_{eff}}{(\rho c_p)_{nf,0}}$ 'dır.

Burada u^* ve v^* sırasıyla x^* ve y^* yönlerindeki boyutlu hız bileşenlerini, p^* boyutlu basıncı, T^* boyutlu sıcaklığı, ρ_{f0} , T_c sıcaklığındaki akışkanın yoğunluğunu ve α_f akışkanın ısıl difüzyon katsayısını, g yerçekimi ivmesini, β ısıl genleşme katsayısını ve μ mutlak viskoziteyi göstermektedir.

Problemdaki iki yönetici boyutsuz parametre Prandtl ve Rayleigh sayıları aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$Pr = \frac{\nu_f}{\alpha_f}, \quad Ra = \frac{g\beta_f L^3 (T_h - T_c)}{\nu_f \alpha_f} \quad (5)$$

Bu çalışmada nano partikül katılmış akışkanın ısı iletim katsayısını belirlemek için Yu ve Choi (2003) tarafından önerilen aşağıdaki model kullanılmıştır:

$$k_{eff} / k_f = \frac{k_s + 2k_f + 2(k_s - k_f)(1 + \eta)^3 \phi}{k_s + 2k_f - (k_s - k_f)(1 + \eta)^3 \phi} \quad (6)$$

Burada η sıvı tabaka kalınlığının orijinal partikül yarıçapına oranıdır. Bu çalışmada $\eta=0.1$ alınmıştır.

Nanoakışkanın viskozitesi iki fazlı karışımlar için önerilmiş modeller kullanılarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada küçük küresel katı partiküller içeren süspansiyonlar için Brinkman (1952) tarafından önerilen aşağıdaki model kullanılmıştır:

$$\mu_{eff} = \mu_f / (1 - \phi)^{2.5} \quad (7)$$

Denklemlerde yer alan efektif özellikler aşağıda verilen eşitlikler ile ifade edilebilmektedir.

$$(\rho C_p)_{eff} = (1 - \phi)(\rho C_p)_f + \phi(\rho C_p)_s \quad (8)$$

$$(\rho\beta)_{eff} = (1 - \phi)(\rho\beta)_f + \phi(\rho\beta)_s \quad (9)$$

$$\rho_{eff} = (1 - \phi)\rho_f + \phi\rho_s \quad (10)$$

Isıtılmış h_p yüksekliğine sahip ince bölmedeki yerel Nusselt sayısının değişimi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$Nu = - \frac{k_{eff}}{k_f} \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=L/2} \quad (11)$$

İnce bölme boyunca ortalama Nusselt sayısı aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$Nu = \int_0^{h_p} - \frac{k_{eff}}{k_f} \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=L/2} dy \quad (12)$$

3. Sayısal çözüm metodu

Bu çalışmada sonlu hacimler yöntemi esasına dayanan ANSYS FLUENT 12.1 paket programı kullanılmıştır. Problem iki boyutlu ve zamandan bağımsız olarak ele alınmıştır. Akış laminer olarak incelenmiştir. Tüm katı yüzeylerde hız kaymama sınır koşulu kabul edilmiştir. Momentum ve enerji denklemleri ikinci mertebeden upwind yaklaşımı ile ayrıklaştırılmış, basınç-hız denklemi ise SIMPLE algoritması ile çözülmüştür.

Mevcut çalışmada, $\phi=0.05$, $h_p=0.5$ ve $Ra=10^5$ için, bakır bazlı nanoakışkanların ağ bağımsızlığı için farklı düğüm sayıları için elde edilen Nu değerleri Tablo 1'de sunulmuştur. Bu sonuçlara göre 71x141 düğüm sayısına sahip ağ yapısı tercih seçilmiştir.

Tablo 1: $\phi=0.05$, $h_p=0.5$ ve $Ra=10^5$ için grid bağımsızlığı

Düğüm Sayısı	Nu_a
41x81	9.09
51x101	9.07
61x121	9.06
71x141	9.06
81x161	9.05

Tablo 2. Kapalı ortam içindeki nanoakışkanın doğal konveksiyonu için ortalama Nusselt sayılarının karşılaştırılması.

	Gr/ϕ	0	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20
Mevcut	10^3	1.9	2.1	2.2	2.3	2.4	2.6
Khanafer vd. (2003)	10^3	1.9	2.1	2.3	2.4	2.5	2.7
Mevcut	10^4	4.1	4.4	4.7	4.9	5.2	5.5
Khanafer vd. (2003)	10^4	4.1	4.4	4.7	5.0	5.3	5.7
Mevcut	10^5	8.1	8.7	9.3	9.9	10.5	11.1
Khanafer vd. (2003)	10^5	8.4	8.9	9.6	10.2	10.9	11.6

Bu çalışmada kapalı bölgenin boy/en oranı (H/L) 1 olarak alınmıştır. Temel akışkan olarak su ($Pr=6.2$), nanopartikül olarak ise Cu ve Al_2O_3 seçilmiştir. Akışkan ve katı parçaçıkların termofiziksel özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Su ve nanopartiküllerin termofiziksel özellikleri

İncelenen geometrilerde alt ve üst yüzeylere adyabatik sınır şartı uygulanmıştır. Eş sıcaklıkta olan yan duvarlar $T_c=290$ K, ince bölmenin sıcaklığı ise $T_h=300$ K olarak alınmıştır. Akış $x=L/2$ eksenine göre simetri olduğu için, bu yüzeyde simetri sınır şartı kullanılmıştır.

Özellik	Su	Cu	Al ₂ O ₃
ρ (kg/m ³)	997.1	8954	3970
C_p (J/kgK)	4179	383	765
k (W/mK)	0.6	400	40
$\alpha \times 10^7$ (m ² /s)	1.47	1163.1	131.7
$\beta_T \times 10^6$ (1/K)	210	16.7	24

4. Sayısal Sonuçlar

Şekil 2’de kare kapalı ortam içindeki Cu bazlı nanoakışkanların farklı bölme yüksekliklerindeki, $Ra=10^5$ ’deki akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri verilmektedir. Akım çizgileri, kare kapalı ortam içinde, akış alanının merkezine yerleşmiş saat ibresi yönünde dönen bir hücre görünümündedir. Katı parçacık hacim fraksiyonu arttıkça, sıcak yüzeyden artan enerji aktarımına bağlı olarak sirkülasyon şiddetlenmektedir. Bu da kapalı hacmin orta bölgesindeki yatay eş sıcaklık eğrilerinin eğiminin artmasına sebep olmaktadır. Bölme yüksekliği arttıkça sirkülasyon azaldığından akım şiddetinin değeri düşmektedir. Eşsıcaklık eğrileri ısınan akışkan taneciklerinden dolayı sıcak bölme boyunca yükselmekte, ısı transferi bu bölgede daha fazla yoğunlaşmaktadır.

Şekil 3’te ise $Ra=10^5$ ve $h_p=0.5$ için, sıcak bölme boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi farklı katı hacim fraksiyonları için verilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi yerel Nusselt sayısının değeri nanoakışkanın olmadığı durumda en düşük iken, katı hacim fraksiyonunun artmasıyla bir başka deyişle ısı iletim katsayısı yüksek olan katı partiküllerin ilavesiyle Nusselt sayısında önemli miktarda artış gözlenmektedir.

Ortalama Nusselt sayısının çeşitli nanoakışkanlar için Rayleigh sayısı, bölme yüksekliği ve katı hacim fraksiyonu ile değişimi Tablo 4’te verilmiştir. Tablo 4’ten de görüldüğü gibi tüm durumlarda nanopartiküllerin hacimsel fraksiyonunun artmasıyla ortalama Nusselt sayılarında ciddi artışlar görülmektedir. Bu artış özellikle düşük Rayleigh sayılarında daha belirgindir. Örneğin saf suya ($\phi=0.0$), $\phi=0.15$ hacimsel fraksiyonlu Cu bazlı nanoakışkanın katılması ile Nusselt sayısında $Ra=10^3$ için yaklaşık %70, $Ra=10^5$ için ise yaklaşık %30 artış görülmektedir.

Bu çalışmada farklı üç farklı ince bölme yüksekliği ($h_p=0.3, 0.5$ ve 0.8), dört farklı katı hacim fraksiyonu ($\phi=0.0, 0.05, 0.10, 0.15$), üç farklı Rayleigh sayısı ($Ra=10^3, 10^4, 10^5$) ve iki farklı nanopartikül (Cu ve Al₂O₃) için parametrik bir çalışma yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki bölümde sunulmuştur.

Bu artış miktarları tüm ince bölme yükseklikleri için aynı mertebelindedir. Rayleigh sayısının artmasıyla şiddetlenen sirkülasyona bağlı olarak Nusselt sayısı, dolayısıyla ısı transferi artmaktadır. Ancak hacimsel fraksiyonun ve ince bölme yüksekliğinin artmasıyla Rayleigh sayısının Nusselt sayısı üzerindeki etkisi azalmaktadır.

Örneğin aynı $h_p=0.3$ ve saf su $\phi=0.0$ için Nusselt sayıları incelendiğinde, $Ra=10^4$ ve $Ra=10^5$ ’deki Nusselt sayılarının $Ra=10^3$ ’tekine nazaran sırasıyla %45 ve %194 arttığı görülmektedir. Ancak, aynı ince bölme yüksekliği ($h_p=0.3$) ve $\phi=0.15$ için bu artış değerleri düşüş göstererek sırasıyla $Ra=10^4$ için %9 ve $Ra=10^5$ için %121 olmaktadır. Ortalama Nusselt sayısının değeri beklendiği gibi ısı iletim katsayısı Al₂O₃’e nazaran yüksek olan Cu bazlı nanoakışkan kullanılması halinde daha yüksektir. Rayleigh sayısı artarken ve doğal konveksiyon etkinken, sıcaklık değişimi bölme etrafında derece derece küçülen bir alanda sınırlanmaktadır. Ayrıca, bölme yüksekliğinin artmasıyla ısının etkilendiği alan genişlemektedir. Bölme yüksekliği arttıkça, ortalama Nusselt değeri düşmektedir.

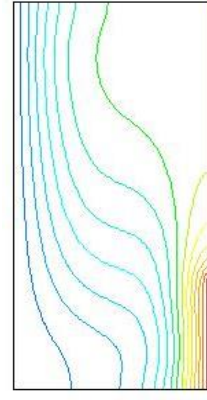
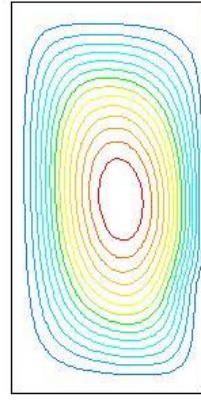
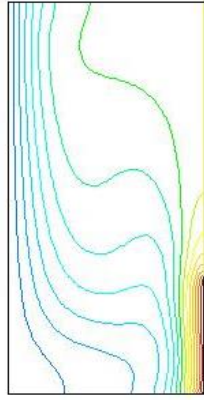
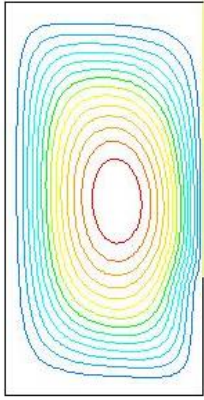
5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada dikey duvarları eşsıcaklıkta, yatay duvarları yalıtılmış olan, bölmeli bir kapalı ortamın içindeki su bazlı nanoakışkanların doğal konveksiyonu sayısal olarak incelenmiştir. Farklı ince bölme yüksekliği, katı hacim fraksiyonu, Rayleigh sayısı ve nanopartikül için parametrik bir çalışma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bu parametrelerin akış ve ısı transferi üzerinde nemli etkilere sahip olduğu görülmektedir. Özellikle Cu gibi ısı iletim katsayısı yüksek nanopartiküllerin saf suya karıştırılmasıyla ısı transferinde yaklaşık %30 ila %70 arasında değişen iyileşmeler olmaktadır. Rayleigh sayısının artmasıyla şiddetlenen sirkülasyona bağlı olarak ısı transferi artmaktadır. Artan bölme yüksekliği ile ortalama Nusselt sayıları azalmaktadır.

Tablo 4. Ortalama Nusselt sayıları.

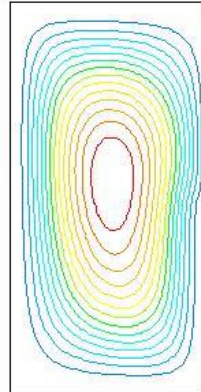
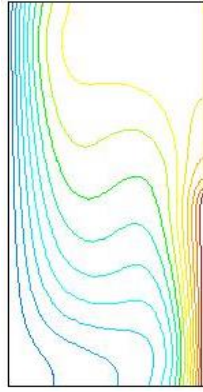
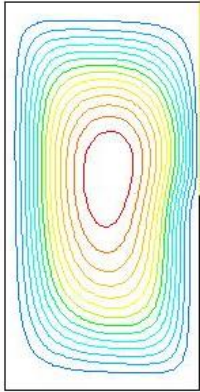
		Cu			Al ₂ O ₃		
h_p	$\phi \backslash Ra$	10^3	10^4	10^5	10^3	10^4	10^5
0.3	0.00	3.42	4.95	10.05	3.42	4.95	10.05
	0.05	4.14	5.34	11.09	4.13	5.33	11.07
	0.10	4.96	5.81	12.10	4.96	5.77	12.05
	0.15	5.93	6.45	13.08	5.93	6.42	12.99
0.5	0.00	2.84	4.01	8.17	2.84	4.01	8.17
	0.05	3.43	4.34	9.06	3.43	4.33	9.01
	0.10	4.12	4.76	9.88	4.12	4.74	9.82
	0.15	4.92	5.33	10.68	4.92	5.30	10.58
h_p	$\phi \backslash Ra$	10^3	10^4	10^5	10^3	10^4	10^5

0.8	0.00	1.99	2.55	5.20	1.99	2.55	5.20
	0.05	2.40	2.83	5.73	2.40	2.82	5.71
	0.10	2.89	3.18	6.23	2.89	3.17	6.20
	0.15	3.45	3.64	6.71	3.45	3.63	6.64



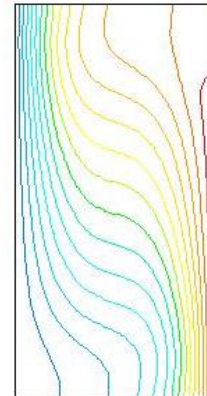
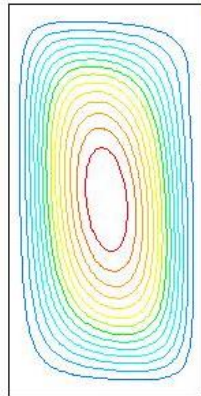
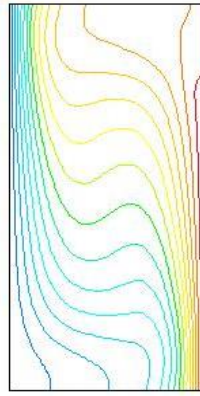
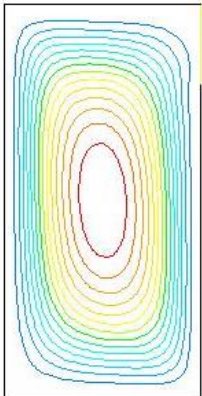
a) $Ra=10^5$, $h_p=0.3$, $\phi=0$

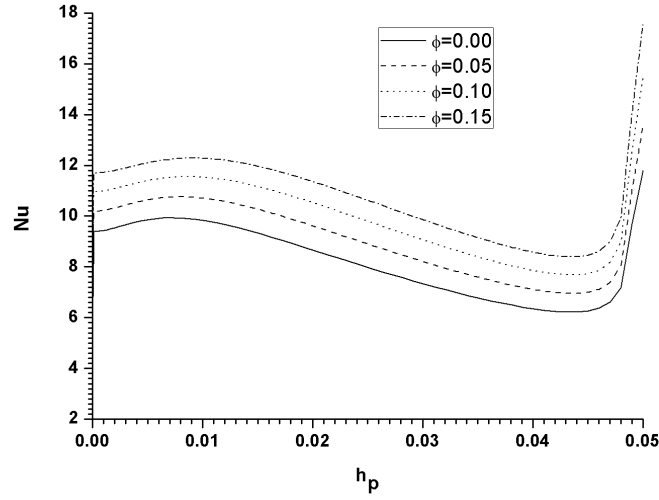
$Ra=10^5$, $h_p=0.3$, $\phi=0.15$



b) $Ra=10^5$, $h_p=0.5$, $\phi=0$

$Ra=10^5$, $h_p=0.5$, $\phi=0.15$



c) $Ra=10^5$, $h_p=0.8$, $\phi=0$ $Ra=10^5$, $h_p=0.8$, $\phi=0.15$ Şekil 2. a) $h_p=0.3$, b) $h_p=0.5$ ve c) $h_p=0.8$ için Cu bazlı nanoakışkanın akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileriŞekil 3. $Ra=10^5$ ve $h_p=0.5$ için, farklı hacim fraksiyonu ($\phi=0, 0.05, 0.10, 0.15$) için ince bölme boyunca yerel Nusselt sayısının değişimi**TEŞEKKÜR**

2010-064 nolu projeye olan desteklerinden dolayı Kocaeli Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projesi birimine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Abu-Nada, E., Rayleigh-Benard convection in nanofluids: Effect of temperature dependent properties, *International Journal of Thermal Sciences*, 50, 1720-1730, 2011.
2. Anilumar, S.H. and Kuzhiveli B.T., Numerical Study of Natural Convective Heat Transfer in a Two-dimensional Cavity With Centrally Located Partition Utilizing Nanofluids, *Transactions of the ASME*, Vol. 1 / 031004-1-7
3. Bellman, R.E., Kashef B.G. and Casti, J., Differential Quadrature: a Technique for the Rapid Solution of Nonlinear Partial Differential Equations, *J. Comput. Phys.*, 10, 40-52, 1972.
4. Brinkman, H.C., The Viscosity of Concentrated Suspensions and Solutions, *J. Chem. Phys.*, 20, 571-581, 1952.
5. Choi, S.U.S. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, *Develop. Appl. Non Newtonian Flows*, 99-106, 1995.
6. Das, S.K., Putra, N. Thiesen, P. Roetzel, W., Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for nanofluids, *ASME J. Heat Transfer* 125, 567-574, 2003.
11. Jou, R.Y. and Tzeng, S.C., Numerical Research of Nature Convective Heat Transfer Enhancement Filled with Nanofluids in Rectangular Enclosures, *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, 33, 727-736, 2006.
12. Kahveci, K., Numerical simulation of natural convection in a partitioned enclosure using PDQ method, *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow* 17(4), 439-456, 2007a.
13. Kahveci, K., Natural convection in a partitioned vertical enclosure heated with a uniform heat flux, *ASME Journal of Heat Transfer* 129, 717-726, 2007b.
14. Kahveci, K. A differential quadrature solution of natural convection in an enclosure with a finite thickness partition, *Numerical Heat Transfer Part A: Applications* 51(10), 979-1002, 2007c.
15. Koblinski, P., Phillpot, S.R., Choi, S.U.S. and Eastman, J.A., Mechanisms of Heat Flow in Suspensions of Nano-sized Particles (nanofluids), *Int. J. Heat Mass Transfer*, 45, 855-863, 2002.
16. Khanafer, K., Vafai K. and Lightstone, M., Buoyancy-Driven Heat Transfer Enhancement in a Two-Dimensional Enclosure Utilizing Nanofluids, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 46, 3639-3653, 2003.
17. Lee, S., Choi, S.U.S., Li, S., Eastman, J.A., Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles, *ASME J. Heat Transfer* 121, 280-289,

7. Eastman, J.A. Choi, S.U.S., Yu, W., Thompson, L.J., Anomalous increased effective thermal conductivity of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles, Appl. Phys. Lett. 78, 718–720, 2001.
8. Guet, J., Reggio, M., Vasseur, P., Natural convection of nanofluids in a square enclosure with a protruding heater, Advances in Mechanical Engineering, 2012, 1-11, 2011.
9. Hamilton, R.L. and Crosser, O.K., Thermal Conductivity of Heterogeneous Two-Component Systems, I & EC Fundamentals, 1, 182–191, 1962.
10. Hwang, K. S., Lee, J.H. and Jang, S.P., Buoyancy-driven Heat Transfer of Water-based Al₂O₃ Nanofluids in a Rectangular Cavity, International Journal of Heat and Mass Transfer, 50, 4003–4010, 2007.
11. Maxwell-Garnett, J.C., Colours in Metal Glasses and in Metallic Films, Philos. Trans. Roy. Soc. A 203, 385–420, 1904.
12. Moftafa, M., Numerical Simulation of free convection of nanofluid in a square cavity with an inside heater, International Journal of Thermal Sciences, 50, 2161-2175, 2011.
13. Oğut E. B., Natural convection of water-based nanofluids in an inclined enclosure with a heat source, International Journal of Thermal Sciences, 48, 2063-2073, 2009.
14. Rashmi, W., Ismail, A.F., Khalid M., Faridah, Y., CFD studies on natural convection heat transfer of Al₂O₃-water nanofluids, Heat and Mass Transfer, 47, 1301-1310, 2011.

EK:

SEMBOLLER

A	Boyut oranı
c _p	Sabit basınçtaki özgül ısı
g	Yerçekimi ivmesi
h	Bölme yüksekliği <u>ve</u> <u>genil</u>
k	Isı iletim katsayısı
L	Kapalı bölgenin kenar uzunluğu
Nu	Nusselt sayısı
p	Basınç
Pr	Prandtl sayısı
Ra	Rayleigh sayısı
T	Sıcaklık
u	x yönündeki hız bileşeni
v	y yönündeki hız bileşeni
x	Yatay yöndeki konum koordinatı
y	Düşey yöndeki konum koordinatı

Greek Semboller

α	Isıl yayılım katsayısı
η	Sıvı tabaka kalınlığının orijinal partikül yarıçapına oranı
β	Isıl genleşme katsayısı
μ	Mutlak viskozite
ν	Kinematik viskozite
φ	Katı hacim fraksiyonu

Üst indisler

* Boyutlu değişken

Alt indisler

c	Soğuk
eff	Efektif
h	Sıcak
s	Katı