

SOL DUVARI SİNÜZOİDAL ALT DUVARI LİNEER OLARAK ISITILAN MANYETİK AKIŞKANLARDA ISI TRANSFERİNİN İNCELENMESİ

Investigation of Heat Transfer in Magnetic Fluids Heated from Sinusoidally from Left Wall and Heated Linearly from Bottom Wall

Birol ŞAHİN

ÖZET

Manyetik alan etkisindeki kare kesitli iki boyutlu kapalı bir ortamdaki zamandan bağımsız doğal taşınım ile ısı transferi sayısal olarak incelenmiştir. Kapalı ortamın sol duvar sıcaklığı sinüzoidal olarak değişirken alt duvar sıcaklığı ise lineer olarak değişmektedir. Sağ duvar uniform sıcaklıkta olup üst duvar ise mükemmel yalıtılmıştır. Manyetik alan, ortama yatay olarak etki etmektedir. Sayısal çalışma, doğal taşınımın geçerli olduğu Rayleigh sayısının 10^4 ile 10^6 aralığındaki ve Hartmann sayısının 0 ile 50 arasındaki değerlerini kapsamaktadır. Elde edilen sonuçlar akım çizgileri, eş sıcaklık eğrileri ve ortalama Nusselt sayıları şeklinde gösterilmiştir. Uygulanan manyetik alanın büyüklüğünün artmasıyla soğuk duvara olan ısı transferinin azaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Taşınım, Manyetik alan, Sinüzoidal ve lineer ısıtma.

ABSTRACT

Laminar steady state natural convection in a two dimensional square enclosure in the presence of magnetic field is investigated numerically. Left wall is heated sinusoidally while bottom wall is heated linearly. Right wall is uniformly cooled while upper wall is perfectly insulated. Magnetic field is effected by horizontally. The numerical study is covered the values of the Rayleigh number range from 10^4 to 10^6 and Hartmann number range from 0 to 50. Results are presented in the form of streamlines, isotherms and average Nusselt numbers. It was determined that the heat transfer to the cold wall decreased with the magnitude of the applied magnetic field.

Keywords: Natural convection, Magnetic field, Sinusoidally and linearly heating.

1. GİRİŞ

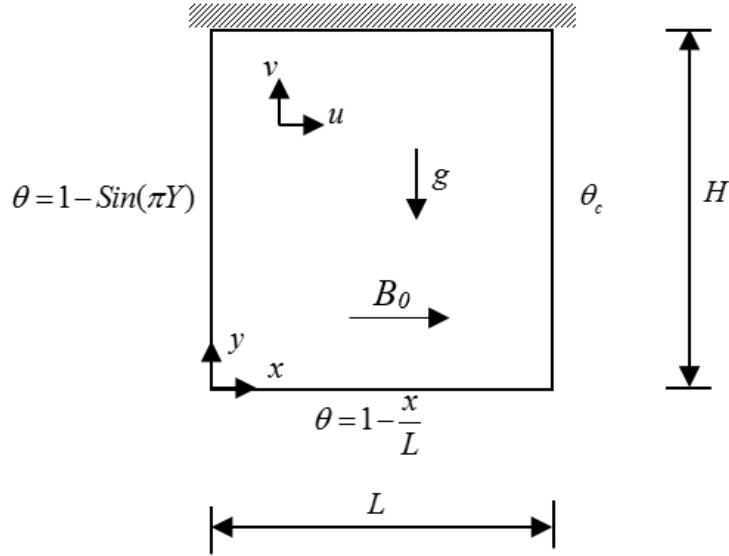
Sıcaklık farkı sonucu meydana gelen ısı transferi günümüzde birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. İnsanlar bu enerjiyi farklı ısıtma, soğutma, havalandırma vb. uygulamalarda kullanmışlardır. Ancak bu uygulamalar esnasında istenilen düzeyde ısı transferi sağlamak için günümüzde farklı teçhizat ve ekipmanlara ihtiyaç duymuşlardır. Isı transferi türlerinden biri olan taşınım ile ısı transferi de gelişen teknolojiyle birlikte hayatımızdaki yerini almıştır. Katı bir yüzeye temas halindeki akışkan arasında gerçekleşen taşınım ile ısı transferi, elektronik cihazların soğutulmasında, meteorolojik olaylarda, nükleer reaktörlerin soğutulmasında, ortamlarda ısı konforun sağlanması gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Her zaman için ısı transferinin hızlandırılması birincil amaç olmayıp bazı uygulamalarda ısı transferinin yavaşlatılması da istenebilmektedir. Bu amaçla genel anlamda iş akışkanı olarak kullanılan hava yerine manyetik özelliğe sahip akışkanlar da kullanılmaktadır. Özellikle metal dökümlerde, füzyon reaktörlerde sıvı metalin soğutulmasında, sıvılarda kristal büyümede manyetik akışkanlardan faydalanılmaktadır. Manyetik özelliğe sahip akışkana dışarıdan farklı açılarda bir manyetik alan uygulanarak ısı transferinde değişimlerin olduğu yapılan çalışmalar sonucu elde edilmiştir. Kapalı ortamlar için yapılan bu çalışmaların birçoğu geometrik olarak kare kesitli olup daha

az bir kısmı ise dikdörtgen veya dairesel ortamlardır. Yine birçok çalışma geleneksel doğal taşınım problemi ve sabit sıcaklık sınır koşullarını içermektedir. Sınır koşullarının lineer veya sinüzoidal olarak değiştiği sınır koşullarına ise daha az rastlanmaktadır. Genelde sınır koşulları karşılıklı olarak konumlandırılan iki duvara uygulanmakta olup birbiri ile komşu olan duvarlara tanımlanan değişik sınır koşulları da bulunabilmektedir. Bir duvar boyunca sıcaklık değişiminin uniform olmadığı birçok uygulama bulunmaktadır. Özellikle bir ısı kaynağı ile temas eden sınırlarda sıcaklık değişimlerini farklı trigonometrik fonksiyonlar şeklinde tanımlamak oldukça yaygın bir uygulamadır. Rudraiah vd. [1], dikdörtgen kesitli kapalı bir ortamdaki doğal taşınım ile ısı transferini Prandtl sayısı 0.733 olan elektriksel iletkenliğe sahip akışkan için Grashoff sayısının 2×10^4 ile 2×10^6 aralığında, Hartmann sayısının 0 ile 100 aralığında sayısal olarak incelemiştir. Altan ısıtılan üstten soğutulan manyetik alan etkisindeki kare kesitli kapalı ortamdaki laminer zamandan bağımsız doğal taşınımı Pirmohammadi vd. [2], kapalı ortamın farklı eğime sahip olması durumu için incelemiştir. Sathiyamoorthy ve Chamkha [3], alttan ısıtılan üst ve alt duvarlarından soğutulan, sol duvarından ise uniform veya lineer olarak ısıtılan kare kesitli ortam için doğal taşınım ile ısı transferini farklı Hartmann ve Rayleigh sayılarında ve eğim açılarındaki incelemiştir. Jani vd [4], Prandtl sayısı 0.7 olan elektriksel iletkenliğe sahip akışkanla dolu kare kesitli ortamın alttan ısıtılması diğer duvarlarından soğutulması durumundaki manyeto-hidrokinamik taşınımı sayısal olarak çalışmıştır. Sathiyamoorthy ve Chamkha [5], sıvı galyum ile dolu kare kesitli bir ortamın alttan uniform olarak ısıtılması sol ve sağ duvarlarından lineer olarak veya uniform ısıtılması durumunu uygulanan manyetik alanın farklı açılarındaki sayısal olarak çalışmışlardır. Al-Salem vd [6], manyeto-hidrokinamik karma taşınımı sol ve sağ duvarları yalıtılmış, alt duvarından lineer olarak ısıtılan hareketli üst duvarının ise soğutulduğu kare kesitli ortam için sayısal olarak incelemiştir. Son ve Park [7] alttan ısıtılan üstten soğutulan düşey duvarları yalıtılmış kare kesitli ortam içerisine yalıtılmış kare blok koyulması durumunda oluşan iki boyutlu laminer doğal taşınımı farklı Hartmann ve Rayleigh sayılarında manyetik alan etkisinde incelemiştir. Kheriff vd [8] eğimli dikdörtgen kesitli kapalı ortamdaki zamandan bağımsız doğal taşınımı kapalı ortamın alttan ısıtılması üstten soğutulması durumunda incelemiştir. Oztop vd [9] kare kesitli ortamın alttan sinüzoidal olarak ısıtılması üstten uniform olarak soğutulmasında manyeto-hidrokinamik doğal taşınımı araştırmışlardır.

Literatürde yapılan çalışmalarda yaygın olarak görülen tek bir duvardan uniform olarak ısıtma yerine iki duvara yayılı bir şekilde lineer ve sinüzoidal sıcaklık değişiminin birlikte etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada, içi manyetik özelliğe sahip akışkan ile doldurulmuş kare kesitli kapalı bir ortamın sol duvar sıcaklığının sinüzoidal olarak alt duvar sıcaklığının ise lineer olarak değiştiği, sağ duvarının ise uniform sıcaklığa sahip olması durumunda meydana gelen doğal taşınım ile ısı transferi kaldırma kuvvetlerinin etkin olduğu farklı Rayleigh sayılarında ve manyetik alanın etkili olduğu farklı Hartmann sayılarında zamandan bağımsız iki boyutlu olarak incelenmiştir.

2. TEORİK ÇALIŞMA

İncelenen problem geometrisi kare kesitli olup Şekil 1 de verilmiştir. Verilen geometri için kapalı ortamın sağ düşey duvarı düşük uniform sıcaklıkta olup, sol düşey duvar sıcaklığı ise sinüzoidal olarak değişmektedir. Kapalı ortamın yatay üst duvarı ise mükemmel bir şekilde yalıtılmıştır. Alt duvar sıcaklığı ise lineer olarak azalmaktadır. Kapalı ortamın içi manyetik özelliğe sahip bir akışkan ile doludur. Manyetik özelliğe sahip akışkan yardımıyla kapalı ortam içerisinde meydana gelen akış ve ısı transferi kontrolü yapılabilir. Normal şartlar altında kapalı ortama uygulanan sınır koşullarının değiştirilmesiyle gerçekleştirilen bu durum uygulanan manyetik alan yardımıyla da gerçekleştirilebilmektedir. Çözüm bölgesi içerisinde duvar yüzeylerinde kaymama sınır koşulu geçerli olup akışkan özellikleri sabit alınmıştır.



Şekil 1. İncelenen kare kesitli kapalı ortam geometrisi.

İncelenen geometride meydana gelen doğal taşınım ile ısı transferi, sıcaklık farkı sonucu oluşan kaldırma kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca kapalı ortam içerisinde bulunan manyetik özellikli akışkanın hareketini kontrol edebilmek için kapalı ortama yatay yönde bir manyetik alan (B_0) uygulanmaktadır. İki boyutlu sürekli rejimde doğal taşınım probleminin çözümü için gerekli olan kütle korunumu denklemi denklem 1 de, momentum denklemleri kaldırma kuvvetlerini ve manyetik alanı ihtiva edecek şekilde denklem 2 ve 3 te enerji denklemi denklem 4 te boyutsuz olarak aşağıda verilmiştir:

$$U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = 0 \quad (1)$$

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

$$U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P}{\partial Y} + \text{Pr} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) + Ra \text{Pr} \theta - Ha^2 \text{Pr} V \quad (3)$$

$$U \frac{\partial \theta}{\partial X} + V \frac{\partial \theta}{\partial Y} = \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \quad (4)$$

Denklemlerin boyutsuzlaştırılmasında kullanılan boyutsuz büyüklükler şu şekildedir:

$$X = \frac{x}{L}, Y = \frac{y}{L}, U = \frac{uL}{\alpha}, V = \frac{vL}{\alpha}, \theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c}, P = \frac{\rho L^2}{\rho \alpha^2} \quad (5)$$

Denklemler 1-4 te verilen X ve Y yatay ve düşey yöndeki boyutsuz koordinatları temsil etmekte olup U ve V boyutsuz hız bileşenleridir. P boyutsuz basıncı θ ise boyutsuz sıcaklığı göstermektedir. Ayrıca Rayleigh sayısı Ra, Hartmann sayısı Ha ve Prandtl sayısı Pr ile gösterilmiş olup problemin çözümü için kullanılan bu boyutsuz sayılar aşağıda verilmiştir:

$$Ha = B_0 L \sqrt{\frac{\sigma}{\rho \nu}}, \text{ Hartmann sayısı}$$

$$Ra = \frac{g \beta (T_h - T_c) L^3}{\nu \alpha}, \text{ Rayleigh sayısı}$$

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha}, \text{ Prandtl sayısı}$$

Problemin çözümü için geçerli sınır koşulları aşağıda verilmiştir:

$$\text{Sol duvarda, } U=V=0, \theta=1-\sin(\pi Y)$$

$$\text{Sağ duvarda, } U=V=0, \theta=0$$

$$\text{Alt duvarda, } U=V=0, \theta = 1 - \frac{x}{L}$$

$$\text{Üst duvarda, } U=V=0, \frac{\partial \theta}{\partial Y} = 0$$

Taşınım ile ısı transferinin göstergesi olarak kabul edilen Nusselt sayısı, ortamın sağ duvarı için yerel ve ortalama değerleri elde edilecek şekilde aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{Sağ duvar için } Nu_r = - \left. \frac{\partial \theta}{\partial X} \right|_{X=L} \quad \overline{Nu_r} = \frac{1}{H} \int_0^H Nu_r dY \quad (5)$$

Elde edilen eşitlikler sonlu kontrol hacmi metodu yardımıyla Patankar [10] tarafından verilen SIMPLE algoritmasına göre çözülmüştür. Ayrıklaştırılan eşitlikleri çözmek için bir FORTRAN programı geliştirilmiştir. Kare kesitli ortam için 20x20, 40x40, 80x80 ve 120x120 ağ sıklıklarında çözüm yapılmış olup 80x80 uniform ağ yapısından sonra sonuçların belirgin bir şekilde değişmediği görülmüştür. Çözüm, boyutsuz denklemlerle gerçekleştirildiği için sınır koşulları da boyutsuz sınır koşulu olarak minimum değeri 0, maksimum değeri 1 olacak şekilde tanımlanmıştır. Kapalı ortamda bulunan manyetik özellikli akışkanın Prandtl sayısı 0.054 alınmıştır.

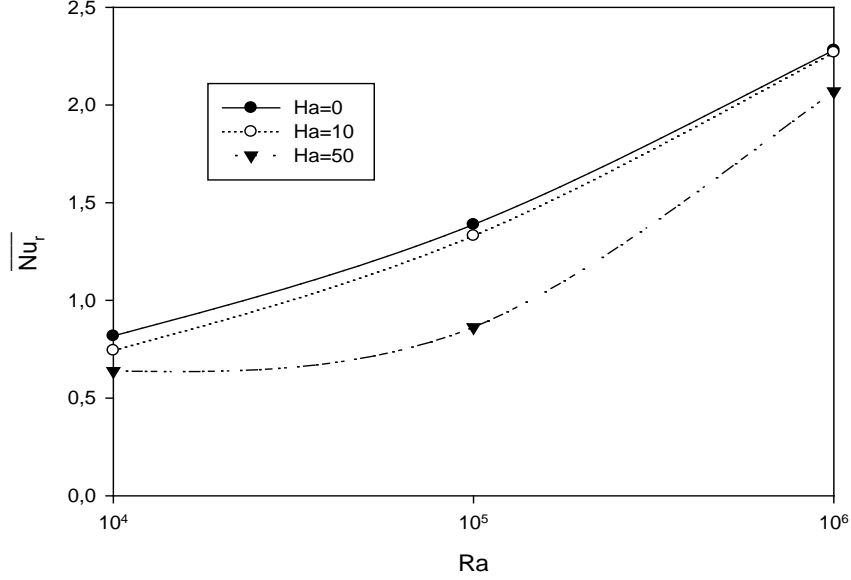
3. BULGULAR

Belirlenen şartlar için elde edilen bulgular, Rayleigh sayısının 10^4 - 10^6 ve Hartmann sayısının 0-50 aralığındaki değerlerinde kare kesitli ortam için ortalama Nusselt sayıları, akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrilerinin değişimleri şeklinde Şekil 3-5 te sunulmuştur. Karşılaştırma yapmak amacıyla alttan ısıtılan üstten soğutulan manyetik alan etkisindeki kare kesitli kapalı ortamda elde edilen ortalama Nusselt sayıları, Pirmohammadi vd [2] tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırılmıştır. Tablo 1 den de görüleceği gibi farklı Rayleigh ve Hartmann sayılarında elde edilen sonuçlarla literatürde verilen sonuçlar benzerlik göstermektedir.

Tablo 1. Yapılan çalışma ile Pirmohammadi vd [2] tarafından yapılan çalışmanın karşılaştırılması.

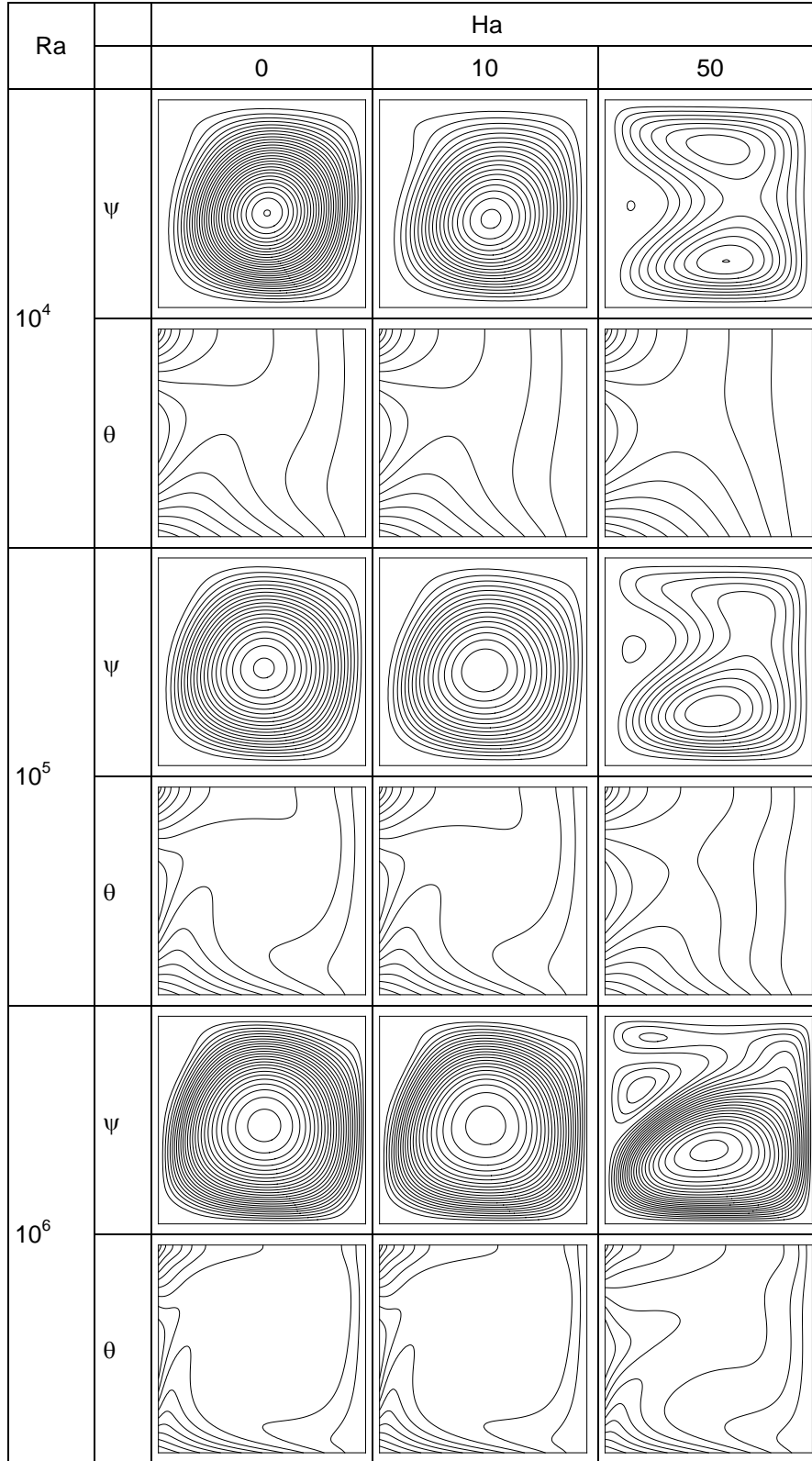
Ra	Ha	Nu	
		Yapılan çalışma	Pirmohammadi vd [2]
10^4	0	2.201	2.29
	10	1.932	1.97
	50	1.041	1.06
	100	1.005	1.02
10^6	0	8.994	8.9
	50	6.437	6.39
	150	2.641	2.64

Kapalı ortamın sağ duvarına ait ortalama Nusselt sayılarının değişimi farklı Rayleigh ve Hartmann sayıları için Şekil 2 de verilmiştir. Şekil 2 den görüldüğü gibi Rayleigh sayısının artmasıyla birlikte ısı transferi de artmakta, Hartmann sayısının artmasıyla birlikte azalmaktadır.



Şekil 2. Farklı Rayleigh ve Hartmann sayıları için sağ duvara ait ortalama Nusselt sayıları.

Akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrilerinin Rayleigh sayısı ve Hartmann sayısına göre değişimleri Şekil 3 te verilmektedir. Manyetik alan etkisinin düşük olduğu bütün Rayleigh sayılarında kapalı ortamın merkezi civarında tek bir akım hücresi görülürken Hartmann sayısının 50 değerinde ise kapalı ortamda manyetik alan etkisine bağlı olarak aynı veya zıt yönlü iki ve daha fazla akım hücresi meydana gelmektedir. Yüksek manyetik alan etkisinde akım hücrelerinin merkezleri ise alt ve üst duvara yakın bölgelerde oluşmaktadır. Eş sıcaklık eğrilerinde ise farklı Hartmann sayıları için düşük Rayleigh sayılarında önemli bir değişiklik gözlenmemekle birlikte kapalı ortamın sağ duvarına yakın bölgelerde düşük sıcaklıkların, sol düşey duvar ile alt duvarın kesiştiği noktaya yakın bölgelerde ise yüksek sıcaklıkların oluştuğu gözlenmiştir. Artan Rayleigh sayısına bağlı olarak doğal taşınımın etkisiyle bu sıcaklık değerleri kapalı ortamın içerisine yayılmaktadır. Sınır koşuluna bağlı olarak sol düşey duvarın merkezine yakın bölgelerde de düşük sıcaklıklar tespit edilmiştir. Yüksek Hartmann sayılarında ortam içerisindeki sıcaklık değerlerinin arttığı, düşük Hartmann sayılarında ise bir miktar azaldığı bulunmuştur. Hartmann sayısının 0 ve 10 değerlerinde elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri büyük oranda benzerlik göstermektedir. Bu nedenle düşük manyetik alanın akışı ve ısı transferini çok etkilemediği hem Şekil 2 den hem de Şekil 3 ten görülebilmektedir.



Şekil 3. Farklı Rayleigh ve Hartmann sayıları için elde edilen akım çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri.



4. SONUÇLAR

Yapılan çalışma sonucu elde edilen bulgulara göre kapalı ortama uygulanan sınır koşullarının doğal taşınım ile ısı transferinde etkili olduğu görülmüştür. Kapalı ortamda gerçekleşen ısı transferini azaltmak için uygulanan manyetik alan etkisinin artırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca ısı transferini artırmak için kaldırma kuvvetlerinin ve dolayısıyla Rayleigh sayısının artırılması gerektiği bulunmuştur. Her iki sonuç birlikte değerlendirildiğinde ısı transferini artırmak için kaldırma kuvvetlerinin etkisini arttırmak ve aynı zamanda manyetik alan etkilerinin azaltılmak zorunda olduğu açıkça görülmüştür. Ayrıca kapalı ortam içerisindeki sıcaklık dağılımının ve akım çizgilerinin düşük Rayleigh sayılarında fazla değişmediği sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle akış ve ısı transferindeki değişimlerin yüksek Hartmann sayılarında daha belirgin olduğu sonucuna varılmıştır.

Kullanılan semboller

B_0	Manyetik alanın büyüklüğü
g	Yerçekimi ivmesi
H	kapalı ortamın düşey kenar yüksekliği,
Ha	Hartmann sayısı, $B_0 L \sqrt{\sigma / \rho \nu}$
L	kapalı ortamın yatay kenar uzunluğu
Nu	yerel Nusselt sayısı
\overline{Nu}	ortalama Nusselt sayısı
P	boyutsuz basınç
Pr	Prandtl sayısı, ν / α
Ra	Rayleigh sayısı, $\rho g \beta (T_h - T_c) L^3 / (\mu \alpha)$
T	sıcaklık
u, U	yatay hız bileşeni, boyutsuz yatay hız bileşeni
v, V	düşey hız bileşeni, boyutsuz düşey hız bileşeni
x, X	yatay koordinat, boyutsuz yatay koordinat
y, Y	düşey koordinat, boyutsuz düşey koordinat

Alt indisler

r	Sağ yüzey
c	Düşük sıcaklık
h	Yüksek sıcaklık

Yunan harfleri

α	Akışkanın ısı yayılım katsayısı
β	Akışkanın ısıl genleşme katsayısı
θ	Boyutsuz sıcaklık
μ	Dinamik viskozite
ν	Kinematik viskozite
ρ	Akışkanın yoğunluğu
σ	Akışkanın elektriksel iletkenliği
ψ	Akım fonksiyonu

KAYNAKLAR

- [1] Rudraiah, N., Barron, R.M., Venkatachalappa, M., Subbaraya, C.K., Effect of a magnetic field on free convection in a rectangular enclosure, International Journal of Engineering Science, Vol. 33(8), 1075-1084, 1995.
- [2] Pirmohammadi, M., Ghassemi, M., Effect of magnetic field on convection heat transfer inside a tilted square enclosure, International Communications in Heat and Mass Transfer, 36, 776-780, 2009.
- [3] Sathiyamoorthy, M., Chamkha, A.J., Natural convection flow under magnetic field in a square cavity for uniformly (or) linearly heated adjacent walls, International Journal of Numerical Methods for Heat&Fluid Flow, Vol. 22, No.5, 677-698, 2012.
- [4] Jani, S., Mahmoodi, M., Amini, M., Magneto-hydrodynamic free convection in a square cavity heated from below and cooled from other walls, World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering Vol. 7, No.4, pp. 1-6, 2013.
- [5] Sathiyamoorthy, M., Chamkha, A.J., Effect of magnetic field on natural convection flow in a liquid gallium filled square cavity for linearly heated side wall(s), International Journal of Thermal Science, 49, 1856-1865, 2010.
- [6] Al-Salem, K., Öztop, H.F., Pop, I., Varol, Y., Effects of moving lid direction on MHD mixed convection in a linearly heated cavity, International Journal of Heat and Mass Transfer, 55, 1103-1112, 2012.
- [7] Son, J.H., Park, S., Numerical study of MHD natural convection in a rectangular enclosure with an insulated block, Numerical Heat Transfer, Part A, Vol. 7, No.10, 1004-1022, 2017.
- [8] Kherief, N.M., Berrahil, F., Talbi, K., Magneto-hydrodynamic flow in a two dimensional inclined rectangular enclosure heated and cooled on adjacent walls, Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol.9, No.1, 205-213, 2016.
- [9] Oztop, H.F., Oztop, M., Varol, Y., Numerical simulation of magneto-hydrodynamic buoyancy-induced flow in a non-isothermally heated square enclosure, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 14, 770-778, 2009.
- [10] Patankar, S. V., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, McGraw Hill, New York, 1980.

ÖZGEÇMİŞ

Birol ŞAHİN

1977 yılında Trabzon ilinin Arsin ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Erzurum ilinde, lise öğrenimini Denizli ilinde tamamladı. 1998 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde lisans, 2002 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans, 2008 yılında ise Doktora eğitimini tamamladı. 2000-2007 yılları arasında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. 2007-2010 yılları arasında KTÜ Beşikdüzü Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak çalıştı. 2010-2018 yılları arasında Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim Üyesi olarak görev yaptı. 2018 yılından itibaren Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim Üyesi olarak görev yapmaktadır. Doğal taşınım ile ısı transferi ve birleşik ısı transferi konularında çalışmaktadır.