

MERKEZİNDE EĞİMLİ ELİPTİK SİLİNDİR BULUNAN KAPALI KUTULARDA ISI GEÇİŞİ

Mert YILMAZ¹, M. Alp ALTINTOP², Berk AYDOĞAN³, Zerrin SERT^{4*}, Çisil TİMURALP⁵

- ¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 26480 Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-9753-548X>
- ² Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 26480 Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-6428-5576>
- ³ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 26480 Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-6096-1554>
- ^{4*} Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 26480 Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0001-6934-5443>
- ⁵ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 26480 Eskişehir, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-2894-3575>

DOI : <http://dx.doi.org/10.31796/ogummf.590775>

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Doğal taşınım Eğimli eliptik silindir Nusselt sayısı</i>	<i>Bu çalışmada, kare kapalı kutu içindeki ısıtılmış eğimli eliptik silindirin doğal taşınım ile ısı geçişi iki boyutlu olarak analiz edilmiştir. Çalışmada kare kapalı kutunun yüzeyleri soğuk, eliptik silindir ise ortamın tek ısı kaynağıdır. Analiz yapılırken eliptik silindir için üç farklı eğim açısı ($\theta=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$), eliptik silindirin dört farklı en/boy oranı ($b/a=0.25, 0.5, 0.75, 1.0$) ve dört farklı Rayleigh sayısı ($Ra=10^4, 10^5, 10^6, 10^7$) göz önünde bulundurulmuştur. Sistemde bulunan havanın termofiziksel özelliklerinin sabit olduğu ancak yoğunluğun Boussinesq yaklaşımı altında sıcaklıkla değiştiği ve akışkanın hareketinin yoğunluk farkından dolayı gerçekleştiği varsayılmıştır. Çözümlerden elde edilen veriler doğrultusunda eliptik silindir üzerinden hesaplanmış ortalama Nusselt sayısı grafiklerde verilmiştir. Ayrıca eş sıcaklık eğrileri ve akım çizgileri de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre 45° eğimli eliptik silindirin b/a değişiminin ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi yokken, silindir basıklığını artırıp silindiri dikey konumda tutmak ısı geçişini artmıştır.</i>

HEAT TRANSFER IN A SQUARE ENCLOSURE WITH INCLINED ELLIPTICAL CYLINDER

Keywords	Abstract
<i>Natural convection Inclined elliptical cylinder Nusselt number</i>	<i>In this study, two-dimensional numerical analysis of natural convection heat transfer from a heated elliptical cylinder placed concentrically inside a square enclosure is investigated at $10^4 \leq Ra \leq 10^7$. The walls of the square enclosure are cold and the elliptical cylinder is the only source of heat input into the enclosure. Three different inclination angles ($\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$) for the elliptical cylinder, and four different aspect ratios ($b/a = 0.25, 0.5, 0.75, 1.0$) of the elliptical cylinder are considered. It is assumed that the thermophysical properties of the air in the enclosure are constant but the density varies with temperature under the Boussinesq approach and the movement of the air occurs due to the density difference. The numerical results for the mean Nusselt number as well as isotherms and streamlines are comparatively depicted. According to the results, for 45° inclined cylinders the changing of b/a had no effect on the mean Nusselt number, but increasing the cylinder flatness (keeping the cylinder in the vertical position) increased the heat transfer.</i>
Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 11.07.2019	Submission Date : 11.07.2019
Kabul Tarihi : 06.10.2019	Accepted Date : 06.10.2019

* Sorumlu yazar; eposta : zbocu@ogu.edu.tr

1. Giriş

Yüksek binalar, soğutma kuleleri, bacalar ve ısı eşanjörleri gibi birçok uygulamada sabit silindirler etrafındaki doğal ve zorlanmış taşınım sıklıkla araştırılmıştır. Özellikle tek ve çoklu silindirlerin farklı düzenlerdeki doğal taşınım yayınları son zamanlarda oldukça ilgi görmüştür.

İçerisinde bir adet silindir bulunan kapalı kutulardaki doğal taşınımı sayısal olarak inceleyen çalışmalara literatürde sık sık rastlamak mümkündür. Hava ile dolu büyük dikdörtgen kapalı kutu içine yerleştirilmiş homojen şekilde ısıtılmış yatay silindirden doğal taşınım ile spektral eleman yöntemi kullanılarak hesaplanan ısı transfer çalışması Ghaddar (1992) tarafından yapılmıştır. Shu ve Zhu (2002) çalışmalarında, cidarları soğuk kare kapalı kutu içine yerleştirilmiş sıcak silindirin doğal taşınım ile ısı geçişini diferansiyel kuadratör yöntemi ile analiz etmişlerdir. Bu çalışmalar gibi farklı sayısal metotlar ile içerisinde dairesel silindir bulunan kapalı kutulardaki doğal taşınım çalışmaları yapılmıştır (Deschamps ve Desrayaud, 1994; Liu, Phan-Thien ve Kemp, 1996; Maukalled ve Acharya, 1996; Stella ve Guj, 1989). İçerisinde silindir bulunan kapalı kutulardaki doğal taşınım çalışmaları sadece sayısal olarak değil deneysel olarak da yapılmıştır (Warrington ve Powe, 1985; Ekundayo, Probert ve Newborough, 1998).

Kapalı kutu içerisine tekil yerine birden çok silindir yerleştirilen çalışmalar yapılmaya devam edilmiştir. Örneğin Mun, Park, Yoon, Kim ve Ha (2017) ile Mun, Seo, Park ve Ha (2018) tarafından yapılan iki farklı çalışmada soğuk cidarlı kapalı kutu içerisine dört adet sıcak silindir yerleştirilmiş ve sıcak silindirlerin konum değişiminin doğal taşınım üzerine etkilerini incelemişlerdir. Aynı şekilde Seo, Park, Kim, Yoon ve Ha (2017) ile Seo, Mun, Park ve Ha (2017), içi hava dolu dört sıcak dairesel silindir içeren soğuk kare kapalı kutuda laminer doğal taşınım ile iki boyutlu analiz yapmışlardır. Çalışmalarında dairesel silindir konumlarının ısı transferi üzerine etkin bir parametre olduğunu vurgulamışlardır. Bunlara ek olarak literatürde kare kapalı kutu içerisine iki adet sıcak silindir yerleştirip akış ve ısı geçişi analizleri yapan çalışmalar da mevcuttur. (Cho, Seo, Mun, Ha ve Park, 2017; Park, Ha, Choi ve Park, 2014).

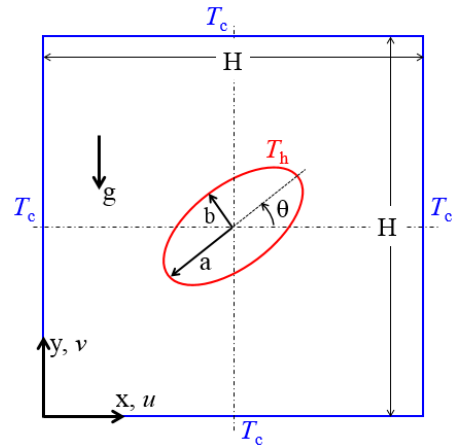
Kapalı kutu içine ilişkilendirilmiş geometri şekil değişiminin doğal taşınım üzerine etkisi de incelenen parametrelerdendir. Sadece dairesel silindir yerleştirmek yerine kare, dikdörtgen, üçgen ve eliptik silindir yerleştirilen bazı çalışmalar da mevcuttur. Bauras, Djezzar ve Ghernough (2013), iki yatay eliptik silindirli kutulardaki doğal taşınım olgusunu farklı Rayleigh ve Prandtl sayıları için analiz etmişlerdir. Raman, Prakash, Vengadesan (2012), soğuk duvarlı kare kutu merkezine yerleştirilmiş sıcak bir kutu içindeki

doğal taşınımı sayısal olarak incelemişlerdir. Bu çalışmaya benzer olup farklı sayısal metotlar ile analiz edilmiş çalışmalar da vardır (Bararnia, Soleimani ve Ganji 2011; Zhang, Zhang, Deng ve Song, 2016). İçerisine hem dairesel hem de eliptik silindir yerleştirilmiş çalışmalar da mevcuttur (Cho, Park ve Ha, 2018; Park, Seo, Ha ve Park, 2018).

Bu çalışmada, içerisinde eğimli eliptik silindir bulunan kare kapalı kutuda sürekli, sıkıştırılmaz, yoğunluk hariç sabit termodinamik özelliklere sahip laminer doğal taşınım için dairesel silindirin yarıçapı, eliptik silindirin eğim açısı ve en/boy oranının (b/a) ısı transferi üzerine etkisi incelenmiştir. İçteki silindirin dairesel olduğu durumda silindir yarıçapının kutu genişliğine oranı (R/H) 0.1, 0.2 ve 0.3 olarak alınmıştır. Farklı her bir R/H durumu ile eliptik silindirin yüzey alanı eşittir. Eşit yüzey alanında eliptik silindirin sadece b/a oranı değiştirilmiştir.

2. Problemin Tanımı

Bu çalışmada, genişliği ve uzunluğu H olan kare kapalı kutu içerisinde eğimli eliptik bir silindir bulunmaktadır. Sadece silindir yüzeyi sabit sıcaklıkta (T_h) tutulurken, kare kutunun yüzeyleri (T_c) silindir yüzeyine göre daha soğuktur. Kutunun içi hava ($Pr=0.71$) ile dolu olduğu kabulü yapılmış ve sistem geometrisi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. İncelenen Geometri

İncelenen kapalı kutu içerisindeki doğal taşınım ile ısı transferi çözümlerinde sıcaklık farklılıklarının düşük olması sebebiyle yoğunluk değişimi hariç diğer termodinamik özelliklerin sabit alındığı Boussinesq yaklaşımı kabulü yapılmıştır (Gray ve Giorgini, 1976; Doğan, Baysal ve Başkaya, 2008).

Kartezyen koordinatlarda sürekli rejim, iki boyutlu, sıkıştırılmaz ve laminer akış için, süreklilik, momentum ve enerji denklemleri sırasıyla aşağıda verilmiştir.

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

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

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g\beta(T - T_0) \quad (3)$$

$$\rho \cdot c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

Bu ifadelerde (u, v) x-y kartezyen koordinat sistemindeki hızları, P basıncı, ρ yoğunluğu, ν kinematik viskoziteyi, g yerçekimi ivmesini, β ısıl genleşme katsayısını, T sıcaklığı, T_0 referans sıcaklığı, c_p akışkanın özgül ısı kapasitesini ifade etmektedir.

Şekil 1'de gösterilen sistemin sınır şartları aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir:

Eliptik silindir cidarları $T=T_h$

Kapalı kutu cidarları $T=T_c$

Sıcak ve soğuk kaynakların sabit sıcaklıkta tutulduğu varsayılmıştır. Ayrıca eliptik silindir ve kapalı kutu cidarında kaymama sınır koşulu ($u=v=0$) kabulü yapılmıştır.

Eliptik silindirin doğal taşınım ile ısı transferi etkisi Rayleigh sayısının değişimi ile tanımlanmıştır. Rayleigh sayısı,

$$Ra = \frac{g \beta \Delta T H^3}{\alpha \nu} \quad (5)$$

ile ifade edilir. Burada β ısıl genleşme katsayısı, g yerçekimi ivmesi, ΔT sıcaklık farkı, α ısı yayılım katsayısını ifade etmektedir. Çalışmada Rayleigh sayısı 10^4 ile 10^7 aralığında değiştirilmiştir.

Isı transferi göstergesi olarak kabul edilen ortalama Nusselt sayısı sıcak eliptik silindir üzerinden

$$Nu = \frac{q''_{silindir} L_k}{k \Delta T} \quad (6)$$

ile hesaplanmıştır. Burada $q''_{silindir}$ silindirden ortama geçen ısı akısını, k havanın ısı iletim katsayısını, L_k ise karakteristik uzunluğu ifade etmektedir. Karakteristik uzunluk olarak eliptik silindir çevresi alınmıştır. Çalışmada eliptik silindirin 4 farklı en/boy oranı ($b/a=0.25, 0.5, 0.75, 1$) alınmıştır. Fakat en/boy oranı ile değişen elipsin çevresi tüm durumlarda eşittir.

3. Nümerik Çözüm

Doğal taşınım ile ısı transferinin gerçekleştiği Rayleigh sayısının 10^4 - 10^7 aralığındaki değerleri için yapılan bu çalışmada temel korunum denklemlerinin çözümünde sürekli rejim şartları dikkate alınmıştır. Bu şekilde zamana bağlı terimler atılmış ve bağımsız değişken katsayısı indirgenmiştir. Eşitlik (1)-(4), sonlu hacim metodu ile çalışan ticari bir program olan Ansys 14/Fluent® paket programı ile çözülmüştür. Korunum denklemlerinin sayısal çözümlenmesinde SIMPLE algoritması, basınç terimlerinin ayrıklaştırılmasında PRESTO yöntemi ve taşınım terimlerinin ayrıklaştırılmasında ikinci dereceden ayrıklaştırma metodu (Second Order Upwind) kullanılmıştır. Süreklilik, Navier-Stokes ve enerji denklemlerinin çözümünde yakınsama kriteri 5×10^{-5} alınmıştır.

Sayısal çözümün doğruluğundan emin olmak için öncelikle literatürde var olan kıyaslama problemi çözülmüştür. Moukalled ve Acharya (1996), Shu, Xue ve Zhu (2001) ve Liao ve Lin (2012) tarafından yapılmış merkezinde D çaplı bir kenar uzunluğu L olan kare kapalı kutu içindeki doğal taşınımı inceleyen çalışmalarla karşılaştırma yapılmıştır. Problemden çalışma akışkanı olarak hava ($Pr=0.71$) seçilip, L/D oranı ise 2.5 alınmıştır. Bu çözümlerinde verilen ortalama Nusselt sayısında karakteristik uzunluk içindeki dairesel silindir çevresinin yarısı olarak alınmıştır. Sayısal modellemelerde ağdan bağımsızlığının kontrolü için üç farklı ağ yapısı kullanılmıştır. 1 numaralı ağ yapısı 38913 düğüm sayısından (76775 hücre sayısı), 2 numaralı ağ yapısı 154601 düğüm sayısından (307100 hücre sayısı), 3 numaralı ağ yapısı ise 616302 düğüm sayısından (1228600 hücre sayısı) oluşturulmuştur. Ağlarda üçgen elemanlar kullanılmıştır. Tablo 1'de görüldüğü gibi ağdan bağımsız çözümler ile literatür sonuçları arasındaki fark oldukça az olup sonuçlar birbirleriyle uyumludur. Optimum çözüm ağı olarak 154601 düğüm sayılı ağ yapısı seçilmiş ve eliptik silindireli çözümlerde de bu optimum ağ yapısı kullanılmıştır. Ayrıca optimum ağ yapısına (2 numaralı ağ yapısı) ilişkin element kalitesi ortalama (orthogonal quality) 0.876567 çıkmıştır. Element kalitesinin 1'e yakın çıkması ağ yapısı kalitesinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. Dairesel Silindireli Kare Kapalı Kutular için Ortalama Nusselt Sayısının Literatürdeki Değerler ile Kıyaslanması

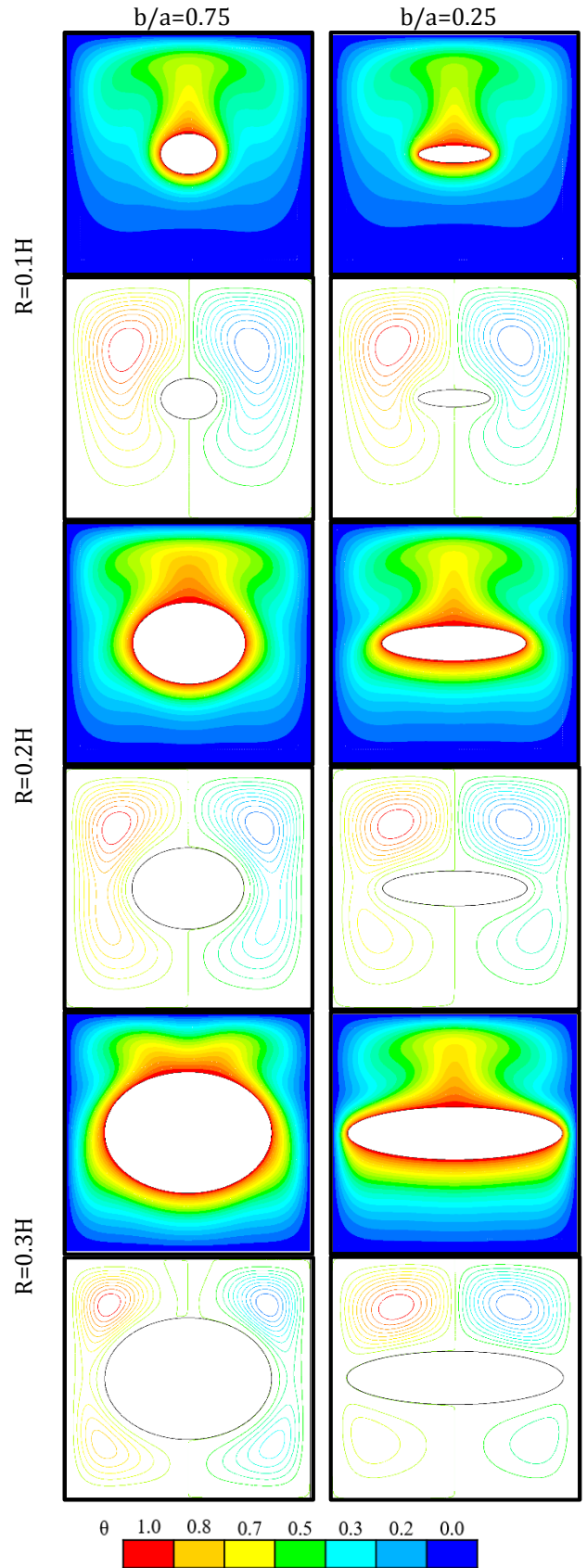
Ra	Bu Çalışma			Moukalled ve Acharya (1996)	Shu, Xue ve Zhu (2001)	Liao ve Lin (2012)
	38913 Düğüm Sayılı	154601 Düğüm Sayılı	616302 Düğüm Sayılı			
10^4	3.2246	3.2291	3.2305	3.331	3.245	3.303
10^5	4.9124	4.9125	4.9097	5.080	4.861	4.944
10^6	8.9111	8.9017	8.9131	9.374	8.898	8.838

4. Bulgular ve Tartışmalar

Bu çalışmada, merkezinde sıcak eliptik silindir bulunan kare kapalı kutudan doğal taşınım ile olan akış ve ısı geçişi sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada eliptik silindirin b/a oranı ve Rayleigh sayısı değiştirilmiştir. Ayrıca $b/a=1$ durumunda içteki sıcak silindir şekli dairesel olduğundan, dairesel silindirin yarıçapı için de 3 farklı değer ($R/H=0.1, 0.2$ ve 0.3) alınmıştır.

3 farklı yarıçap değerinde, sabit yüzey alanlı eliptik silindirin farklı en/boy oranında $Ra=10^5$ için üstte eş sıcaklık eğrileri ve altta akım çizgileri dağılımı Şekil 2'de verilmiştir. Her bir durumda sıcak silindirin üzerinden yükselen sıcak hava üst soğuk cidara kadar yükselip, daha sonra sağa ve sola doğru yönelmektedir. Çevrimin merkezleri her durumda sıcak silindirin üst kısmında oluşmaktadır. Yarıçap değerinin küçük olduğu durumda ($R=0.1H$), farklı b/a değerlerinde eş sıcaklık eğrileri ve akım çizgilerinin dağılımı benzer özellik göstermektedir. Çünkü küçük yüzey alanlı sıcak silindir kapalı kutu içindeki hava akışını etkilememektedir. Yarıçap değeri artan eliptik silindirin basıklığı arttıkça (yani b/a oranı azaldıkça) üst kısmındaki sıcak hava yanlardan kapalı kutunun alt kısmına inmemektedir. Çevrim üst boşlukta oluşup, kapalı kutunun alt boşluğunda iki merkezli durağan bir çevrim oluştuğu gözlenmektedir. Özellikle eliptik silindir yüzey alanı artıp ve b/a oranı azaldıkça akım çizgilerinde ayrı bölgeler oluşmaktadır. Örneğin $R=0.1H$ 'ın her iki b/a oranı ile $R=0.2H$ ve $b/a=0.75$ değerinde tek çevrim oluşurken, artan yüzey alanı ve basıklık ile kapalı kutu içerisinde birden çok akım döngüleri oluşmaktadır.

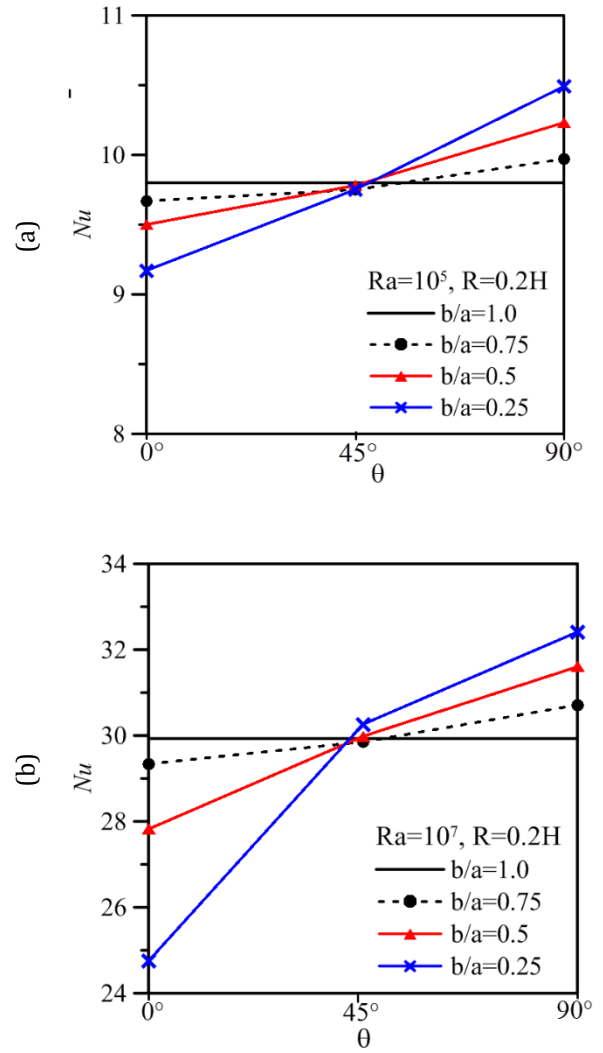
$R=0.2H$ 'ın farklı b/a oranlarında θ değişiminin $Ra=10^5$ ve $Ra=10^7$ değerlerinde ortalama Nusselt sayısı üzerine etkisi Şekil 3'de verilmiştir. Eliptik silindir eğim açısı arttıkça ortalama Nusselt sayısında $b/a=1$ durumu hariç artış görülmektedir. Zaten $b/a=1$ durumu bir daireyi ifade ettiğinden eğim açısının bu durum üzerine bir etkisi olmayacaktır. Her iki Rayleigh sayısında da b/a oranı azaldıkça, eğim açısının artmasıyla ortalama Nusselt sayısı belirgin bir artış görülmektedir. Örneğin $Ra=10^7$ 'de b/a oranı sırasıyla 0.75 ve 0.25 değerlerinde eğim açısı 0° 'den 90° 'ye getirildiğinde ortalama Nusselt sayısında %4.7 ve %30.95 oranında artış sağlanmıştır. Ayrıca her iki Rayleigh sayısını ifade eden durumlar ayrı ayrı incelenirse, $\theta=45^\circ$ durumunda ortalama Nusselt sayılarının birbirine çok yaklaştığı ve hatta neredeyse eşit olduğu görülmektedir. Bunlara ek olarak Şekil 3a ve Şekil 3b birbiri ile kıyaslandığında Rayleigh sayısının artışı ile ısı transferi de artmıştır.



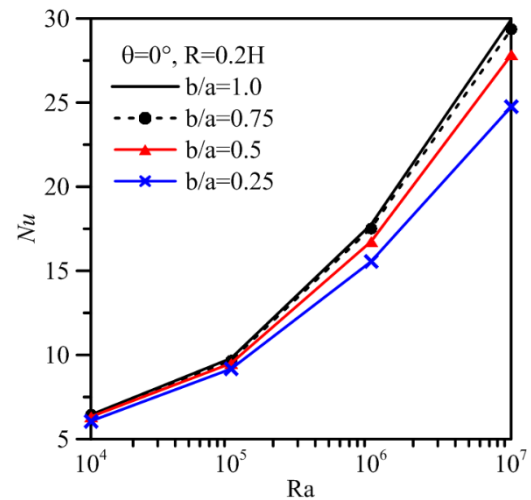
Şekil 2. $Ra=10^5$ ve 3 Farklı R için Değişen b/a Değerlerinde Eş Sıcaklık Eğrileri (Üstte) ve Akım Çizgileri (Alta) Dağılımı

Şekil 4’de eğim açısı 0° ve $R=0.2H$ için farklı b/a oranlarında Rayleigh sayısı ile ortalama Nusselt sayısı değişimi incelenmiştir. b/a oranı ve Rayleigh sayısındaki artış genel olarak ortalama Nusselt sayısını arttırma eğilimindedir. Rayleigh sayısının küçük olduğu değerlerde yani $Ra=10^4$ için kapalı kutu içerisinde iletim ile olan ısı transferi baskındır. b/a oranı değişse bile sıcak yüzey alanı sabittir; bu yüzden b/a oranının değişimiyle akış alanı değişmemektedir. Fakat Rayleigh sayısının artması ile kapalı kutu içerisinde taşınım ile olan ısı transferi domine olur. Bu ısı geçişi de eliptik silindirin en/boy oranından etkilenir. Örneğin Rayleigh sayısı 10^4 , 10^5 , 10^6 ve 10^7 değerlerinde, b/a 'nın 0.25’den 1 değerine getirildiğinde ortalama Nusselt sayısı sırasıyla %6.26, %6.42, %12.39, %17.31 artış göstermiştir.

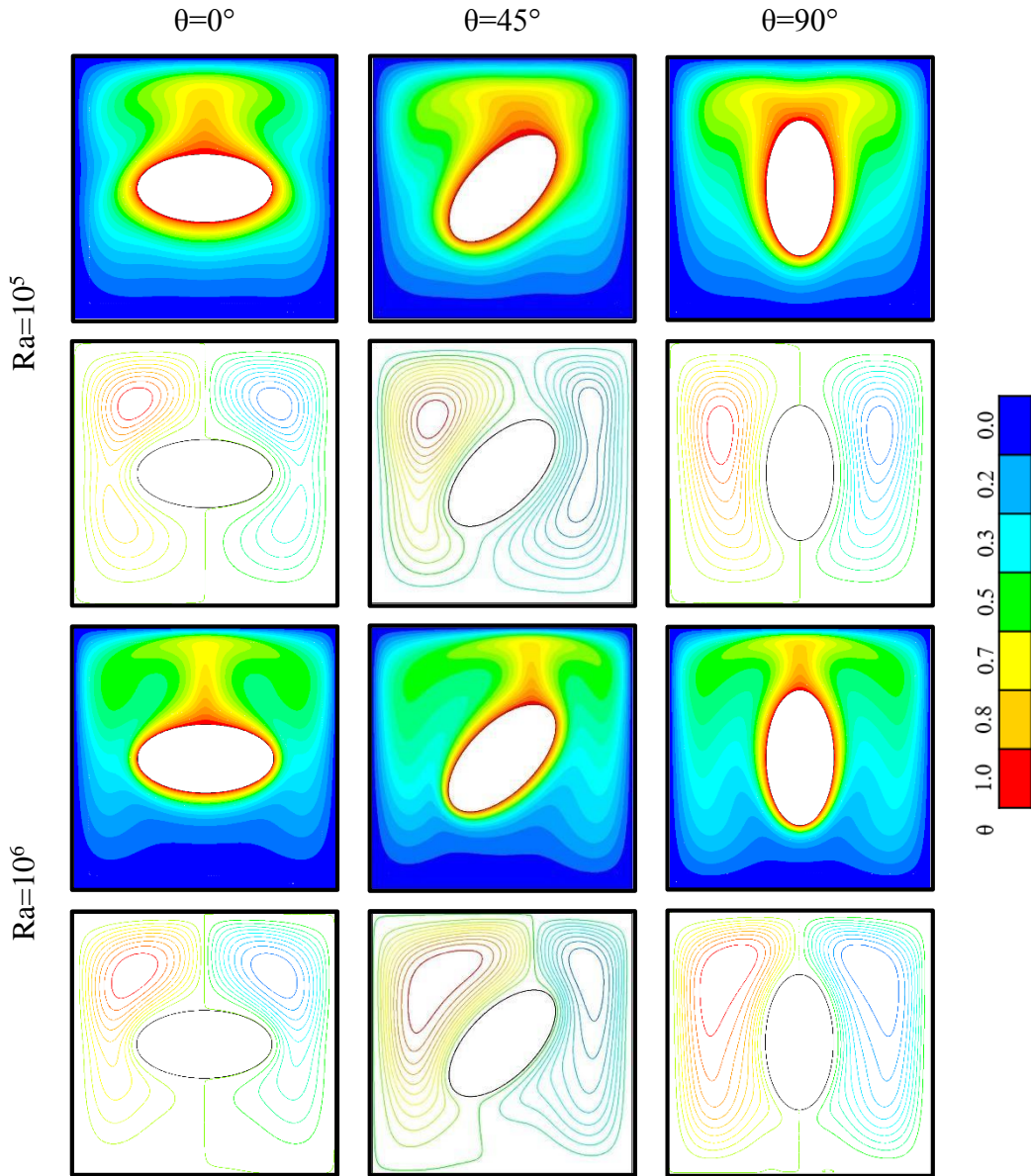
$R=0.2H$ ve $b/a=0.5$ için Rayleigh sayısı ve eliptik silindir açısı değişiminin eş sıcaklık eğrileri ve akım çizgileri dağılımı üzerine etkileri Şekil 5’de verilmiştir. Sıcaklık skalasındaki θ , boyutsuz sıcaklık olup $\theta=(T-T_c)/(T_h-T_c)$ ile tanımlanmaktadır. 0° ve 90° eğim açılarında eş sıcaklık eğrileri ve akım çizgileri kare kutunun orta eksenine göre simetrik olmaktadır. Her durumda içteki sıcak silindir üzerinden yükselen sıcak hava üstteki soğuk duvara doğru baca şeklinde yukarı yükselmekte, daha sonra sağ-sol duvar boyunca aşağı inmektedir. $Ra=10^6$ ’da taşınım ile olan ısı geçişi daha güçlenmekte ve sıcaklık gradyanları artmaktadır. Eğim açısının 90° olduğu durumda sıcak silindir akım çizgilerinin hareketi boyunca konumlandığından daha çok ısı ortama geçmektedir. Ayrıca eğim açısının 90° olduğu $Ra=10^5$ durumunda sağ ve solda iki merkezli dairesel girdap oluşurken, $Ra=10^6$ durumunda sağ ve solda oluşan girdabın daireselliği bozulmaktadır. Bunlara ek olarak, yatay konumlanan içteki silindirin, dikey konumlanan silindire göre altındaki hava akışı daha durağandır. Yatay konumlanan silindir içindeki hava akışının girdap merkezi silindir üst kısmındayken hava akışı alt kısma hemen hemen inmemektedir. Özellikle alt kısımda sıcaklık farkı pek yoktur. Fakat dikey konumlanan silindirin hava akışında girdap merkezi neredeyse silindirin orta kısımlarına kadar indiği, böylelikle kapalı kutunun alt duvarına yakın kısımlarında bile bir hava sirkülasyonu olduğu gözlenmektedir.



Şekil 3. a) $Ra=10^5$ ve b) $Ra=10^7$ için $R=0.2H$ ’da Farklı b/a Oranlarındaki Eliptik Silindirin Eğim Açısı ile Ortalama Nusselt Sayısının Değişimi



Şekil 4. $R=0.2H$ ve $\theta=0^\circ$ için b/a Oranı ve Rayleigh Sayısının Ortalama Nusselt Sayısı Üzerine Etkisi



Şekil 5. $Ra=10^5$ ve $Ra=10^6$ da $R=0.2H$ ve $b/a=0.5$ için Değişen Eğim Açılarında Eş Sıcaklık Eğrileri ve Akım Çizgileri

5. Sonuçlar

Bu sayısal çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- 1) Eliptik silindirde b/a oranı ile eğim açısının değişimi ortalama Nusselt sayısını etkileyen önemli bir faktördür. Eliptik silindirin basıklığı arttıkça (yani b/a oranı azaldıkça) eliptik silindiri dikey konumda tutmak ısı geçişini arttırmaktadır.
- 2) Her bir Rayleigh sayısı ayrı ayrı incelendiğinde, aynı silindir yarıçap değerine karşılık gelen eliptik silindirin b/a oranının değişimi 45° eğim açısındaki ortalama Nusselt sayısını pek etkilememektedir.
- 3) Düşük Rayleigh sayılarında hava akışı zayıf ve iletim ile olan ısı transferi etkindir. Yüksek Rayleigh

sayılarında ise hava sirkülasyonu artmakta ve taşınım ile olan ısı transferi baskın olmaktadır.

Kaynaklar

- Bararnia, H., Soleimani, S. & Ganji, D.D. (2011). Lattice Boltzmann simulation of natural convection around a horizontal elliptic cylinder inside a square enclosure. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38, 1436–1442. doi: <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2011.07.012>
- Bouras, A., Djezzar, M. & Ghernoug, C. (2013). Numerical simulation of natural convection between two elliptical cylinders: influence of Rayleigh number

- and Prandtl number. *Energy Procedia*, 36, 788–797. doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.07.091>
- Cho, H.W., Seo, Y.M., Mun, G.S., Ha, M.Y. & Park, Y.G. (2017). The effect of instability flow for two-dimensional natural convection in a square enclosure with different arrays of two inner cylinders. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 114, 307–317. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.06.080>
- Cho H. W., Park, Y.G. & Ha, M.Y. (2018). The natural convection in a square enclosure with two hot inner cylinders, Part I: The effect of one elliptical cylinder with various aspect ratios in a vertical array. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 125, 815-827. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.04.141>
- Deschamps, V. & Desrayaud, G. (1994). Modeling a horizontal heat-flux cylinder as a line source. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 8(1), 84 – 91. doi: <https://doi.org/10.2514/3.504>
- Doğan, A., Baysal, S. ve Başkaya, Ş. (2008). Kısmi açık ve eğimli hacimlerde doğal konveksiyonun sayısal incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23 (4), 895-902. doi: <http://www.mmfdergi.gazi.edu.tr/article/view/1061000438/1061000406>
- Ekundayo, C. O, Probert, S. D. & Newborough, M. (1998). Heat transfer from a horizontal cylinder in a rectangular enclosure. *Applied Energy*, 61, 57–78. doi:[https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(98\)00025-7](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(98)00025-7)
- Ghaddar, N. K. (1992). Natural convection heat transfer between a uniformly heated cylindrical element and its rectangular enclosure. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 35(10), 2327-2334. doi: [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(92\)90075-4](https://doi.org/10.1016/0017-9310(92)90075-4)
- Gray, D.D. & Giorgini, A. (1976). The validity of the boussinesq approximation for liquids and gases. *International Journal of Heat Mass Transfer*, 19, 545-551. doi: [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(76\)90168-X](https://doi.org/10.1016/0017-9310(76)90168-X)
- Liao, C.C., & Lin, C.A. (2012). Influences of a confined elliptic cylinder at different aspect ratios and inclinations on the laminar natural and mixed convection flows. *International Journal of Heat Mass Transfer*, 55, 6638-6650. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.06.073>
- Liu, Y., Phan-Thien, N. & Kemp, R. (1996). Coupled conduction–convection problem for a cylinder in an enclosure. *Computational Mechanics*, 18, 429 – 443. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00350251>
- Moukalled, F. & Acharya, S. (1996). Natural convection in the annulus between concentric horizontal circular and square cylinders. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 10(3), 524 –531. doi: <https://doi.org/10.2514/3.820>
- Mun, G.S., Park, Y.G., Yoon, H.S., Kim, M. & Ha, M.Y. (2017). Natural convection in a cold enclosure with four hot inner cylinders based on diamond arrays (Part-I: effect of horizontal and vertical equal distance of inner cylinders). *International Journal of Heat Mass Transfer*, 111, 755–770. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.04.004>
- Mun, G.S., Seo, Y.M., Park, Y.G. & Ha, M.Y. (2018). Natural convection in a cold enclosure with four hot inner cylinders in a diamond array (Part-II: effect of unequal horizontal and vertical distances of inner cylinders). *International Journal of Heat Mass Transfer*, 120, 1365–1373. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.05.086>
- Park, Y.G., Ha, M.Y., Choi, C. & Park, J. (2014). Natural convection in a square enclosure with two inner circular cylinders positioned at different vertical locations. *International Journal of Heat Mass Transfer*, 77, 501–518. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2014.05.041>
- Park, S.H., Seo, Y.M., Ha, M.Y. & Park, Y.G. (2018). Natural convection in a square enclosure with different positions and inclination angles of an elliptical cylinder Part I: A vertical array of one elliptical cylinder and one circular cylinder. *International Journal of Heat Mass Transfer*, 126, 173-183. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.06.034>
- Raman, S.K., Prakash, K.A. & Vengadesan, S. (2012). Natural convection from a heated elliptic cylinder with a different axis ratio in a square enclosure. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 62, 639–658. doi: <https://doi.org/10.1080/10407782.2012.707058>
- Seo, Y.M., Park, Y.G., Kim, M., Yoon, H.S. & Ha, M.Y. (2017). Two-dimensional flow instability induced by natural convection in a square enclosure with four inner cylinders. Part I: effect of horizontal position of inner cylinders. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 113, 1306–1318. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.02.011>
- Seo, Y.M., Mun, G.S., Park, Y.G. & Ha, M.Y. (2017). Two-dimensional flow instability induced by natural convection in a square enclosure with four inner cylinders. Part II: effect of various positions of inner cylinders. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 113, 1319–1331. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.06.101>
- Shu C., Xue H. & Zhu, Y.D. (2001). Numerical study of natural convection in an eccentric annulus between a square outer cylinder and a circular inner cylinder

using DQ method. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 44, 3321-3333. doi: [https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(00\)00357-4](https://doi.org/10.1016/S0017-9310(00)00357-4)

Shu, C., & Zhu, Y. D. (2002). Efficient computation of natural convection in a concentric annulus between an outer square cylinder and an inner circular cylinder. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 38(5), 429-445. doi: <https://doi.org/10.1002/flid.226>

Stella, F. & Guj, G. (1989). Vorticity-velocity formulation in the computation of flows in multi-connected domains. *International Journal of Numerical Methods in Fluids*, 9, 1285-1298. doi: <https://doi.org/10.1002/flid.1650091008>

Warrington, R.O. & Powe, R.E. (1985) The transfer of heat by natural convection between bodies and their enclosures. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 28(2), 319-330. doi: [https://doi.org/10.1016/0017-9310\(85\)90065-1](https://doi.org/10.1016/0017-9310(85)90065-1)

Zhang, P., Zhang, X., Deng, J. & Song, L. (2016). A numerical study of natural convection in an inclined square enclosure with an elliptic cylinder using variational multiscale element free Galerkin method. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 99, 721-737. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.04.011>