

# ÜÇGEN KAPALI ORTAMDA DÜŞEY YÜZEYE YERLEŞTİRİLEN ENGEL EĞİMİNİN DOĞAL TAŞINIMLA ISI TRANSFERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Buğra SARPER  
Kemal KUVVET  
Biol ŞAHİN

## ÖZET

Bu çalışmada, yalıtılmış düşey yüzeyine engel yerleştirilen üçgen şeklindeki çatı içerisinde doğal taşınım ile ısı transferi sayısal olarak incelenmiştir. Üçgen kapalı ortamın tabanı eğimli yüzeyden daha sıcak olup, düşey yüzey ve engel adyabatik sınır koşuluna sahiptir. Engel yüksekliği  $h^*=0.5$ , engel uzunluğu  $l^*=0.25$  iken, farklı engel eğimlerinin ( $-45^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$ ) doğal taşınım ile ısı transferine etkileri  $10^3$  ile  $10^6$  Rayleigh sayısı aralığında çalışılmıştır. Sonuçlar eş sıcaklık eğrileri, akım çizgileri ve ortalama Nusselt sayısının Rayleigh sayısı ile değişim grafiği şeklinde sunulmuştur. Sonuç olarak, engelin eğiminin doğal taşınım ile ısı transferi üzerinde önemli etkisinin olduğu ve üçgen şeklindeki çatı içerisinde ısı kaybını azaltmada önemli bir parametre olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Üçgen şeklindeki çatı, Doğal taşınım, Engel kullanımı, Engel eğimi.

## ABSTRACT

In this study, natural convection heat transfer in a triangular attic space with baffle mounted on vertical adiabatic surface is investigated numerically. Horizontal surface of the triangular enclosure is hotter than inclined surface while vertical surface and baffle have adiabatic boundary condition. Effects of the inclination of baffle with horizontal surface ( $-45^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$ ) on natural convection heat transfer is studied between the range of Rayleigh numbers  $10^3$  and  $10^6$  when baffle height  $h^*=0.5$  and baffle length  $l^*=0.25$ . Results are represented as temperature isotherms, streamlines and mean Nusselt number variation with Rayleigh number. As a result, it is determined that inclination of baffle has a considerable effect on natural convection heat transfer and it is a significant parameter to reduce the heat loss in attic shape space.

**Key Words:** Triangular attic space, Natural convection, Usage of baffle, Inclination of baffle.

## 1. GİRİŞ

Doğal taşınım ile ısı transferi elektronik elemanların soğutulması, kapalı ortamlarda ısı transferi ve ısı konforun sağlanması, yapıların doğal yollardan ısıtılması ve havalandırılması, güneş enerjisi kolektörü tasarımı, nükleer reaktörlerin soğutulması gibi birçok konuda kendine uygulama alanı bulmaktadır. Son yıllarda doğal kaynakların azalmasına bağlı olarak doğal taşınımın önemi artmış, bu durum enerji

etkin bina tasarımı gibi mühendislik uygulamalarında doğal taşınımın daha çok dikkate alınmasını gerekli kılmıştır.

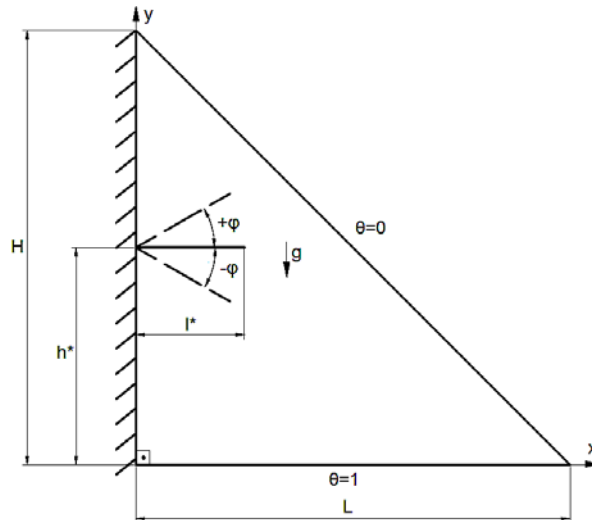
Üçgen kapalı ortamlarda yapılan çalışmalarda ilk olarak Flack [1], ikizkenar üçgen şeklindeki kapalı ortamda doğal taşınımın ısı transferini deneysel olarak incelemiştir. Sonrasında Akinsete ve Coleman [2], Poulikakos ve Bejan [3,4] düşey yüzeyi yalıtılmış olan üçgen kapalı ortamlarda doğal taşınımı sayısal olarak incelemiştir. Salmun [5,6], dik üçgen şeklindeki kapalı ortamda doğal taşınımın ısı transferini sayısal olarak zamana bağlı ve sürekli rejimde incelemiştir. Sonrasında Asan ve Namlı [7,8], Tzeng vd. [9], farklı yükseklik-uzunluk oranları ve farklı sınır koşullarında, dik üçgen kapalı ortamda doğal taşınımın sayısal olarak çalışmışlardır. Ridouane ve Campo [10], farklı boy-en oranları için dik üçgen, ikizkenar üçgen ve dikdörtgen kapalı ortamlarda doğal taşınımın gerçekleşen ısı transferini karşılaştırmalı olarak analiz etmişlerdir.

Varol vd. [11], Koca vd. [12] farklı ısıtıcı geometrileri ve pozisyonlarında dik üçgen kapalı ortamlarda doğal taşınımın incelemiştir. Arıcı ve Şahin [13], dubleks ev geometrisine sahip kapalı ortamda, kullanılan engelin farklı pozisyon ve uzunluklarının doğal taşınımın ısı transferine etkilerini araştırırken, Küçük ve Gedikli [14], eğimli yüzeyinde gün içerisindeki sıcaklık dağılımını temsil eden farklı sabit ısı akısı sınır koşulu kullanılan üçgen şeklindeki çatı içerisinde doğal taşınım problemini çalışmışlardır. Bununla birlikte literatürde üçgen kapalı ortamda doğal taşınımın ısı transferi üzerine yapılan çok sayıda çalışma mevcuttur [15,16,17,18].

Doğal taşınımın ısı transferi daha çok dikdörtgen kapalı ortamlarda çalışılmakta olup, üçgen kapalı ortamlar ve üçgen şeklindeki çatı içerisinde engel kullanımının doğal taşınımın ısı transferi üzerine etkisini inceleyen çalışmalar sınırlı sayıdadır. Yapılan çalışmanın amacı ise, düşey yüzeyi yalıtılmış olan dik üçgen şeklindeki kapalı ortamda yalıtılmış engelin eğim açısının akım alanı ve ısı transferi üzerine etkilerini incelemektir.

## 2. PROBLEMİN TANIMI VE FİZİKSEL MODEL

Şekil 1’de kapalı ortamın geometrisi ve kullanılan sınır koşulları görülmektedir. Üçgen kapalı ortam tabandan sabit sıcaklıkta ısıtılırken, eğimli yüzeyinden sabit sıcaklıkta soğutulmaktadır. Düşey yüzey ve engel mükemmel derecede yalıtılmış olup, engelin doğal taşınımın ısı transferi üzerine etkileri,  $10^3 \leq Ra \leq 10^6$  Rayleigh sayısı ve engelin  $-45^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$  eğim açısı aralığında sayısal olarak incelenmiştir. Üçgen kapalı ortamın yüksekliği  $H$  ve taban uzunluğu  $L$  olup, uzunlukları birbirlerine eşittir. Engelin düşey yüzey üzerindeki yüksekliği  $h^*$  ve uzunluğu  $l^*$  dir.



Şekil 1. Kapalı Ortamın Geometrisi ve Kullanılan Sınır Koşulları

Çalışılan Rayleigh sayısı aralığında akımın 2 boyutlu, sıkıştırılmaz ve laminar olduğu kabulü ile y-momentum denkleminde akışkanın yoğunluk dışındaki özelliklerinin sıcaklıkla değişmediğini varsayan Boussinesq yaklaşımının kullanılmasıyla birlikte, akışkan hareketini tanımlayan diferansiyel korunum denklemleri aşağıdaki şekli alır:

Süreklilik denklemi:

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

X-momentum denklemi:

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

Y-momentum denklemi:

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

Enerji denklemi:

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

Denklemleri boyutsuzlaştırmada kullanılan parametreler şu şekildedir:

$$X = \frac{x}{L}, \quad Y = \frac{y}{L}, \quad U = \frac{uL}{\alpha}, \quad V = \frac{vL}{\alpha}, \quad \theta = \frac{T - T_c}{T_h - T_c}, \quad P = \frac{pL^2}{\rho\alpha^2}, \quad \text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha},$$

$$Ra = \frac{g\beta(T_h - T_c)L^3}{\alpha\nu} \quad (5)$$

Kullanılan sınır koşulları ise şu şekildedir:

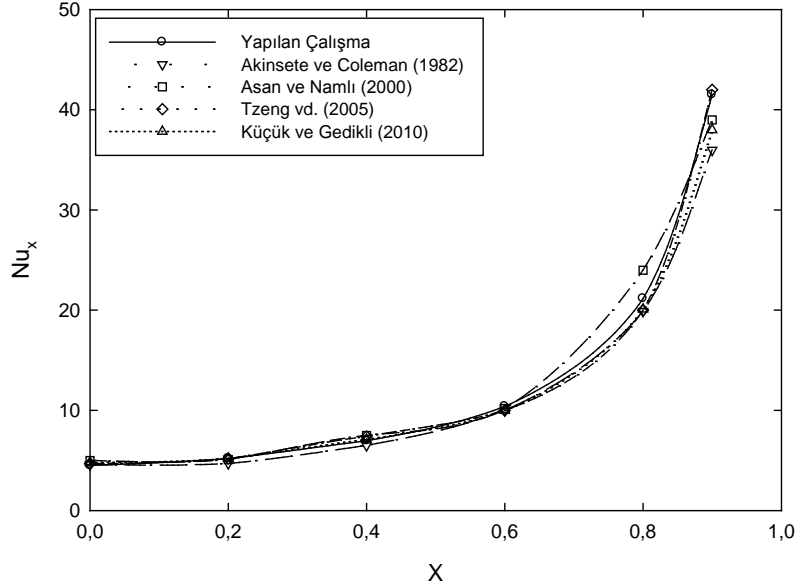
$$\begin{aligned} U=V=0 & \text{ (bütün yüzeylerde)} \\ \theta=1 & \text{ (tabanda)} \\ \theta=0 & \text{ (eğimli yüzeyde)} \\ \partial\theta/\partial n = 0 & \text{ (düşey yüzey ile engel yüzeyinde)} \end{aligned}$$

Üçgen kapalı ortam içerisinde doğal taşınım ile ısı transferi üzerine engelin eğim açısının etkileri incelenirken, engel kullanılmayan durum ile farklı eğim açılarındaki engel kullanılan durumlarda sıcak taban boyunca yerel ve ortalama Nusselt sayılarının değişimi aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$Nu_x = \left( -\frac{\partial \theta}{\partial Y} \right)_{Y=0} \quad (6)$$

$$Nu_L = \frac{1}{L} \int_0^L Nu_x dx \quad (7)$$

Diferansiyel korunum denklemlerinin çözümü gerçekleştirilirken ticari bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan Fluent 14.5. programı kullanılmıştır. Sonlu hacimler yöntemine göre ayrıklaştırılmış cebirsel denklemler, SIMPLE algoritması [19] kullanılarak lineerleştirilmiştir. Ayrıca momentum ve enerji denklemlerinin çözümünde ikinci dereceden akış yönlü fark yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 2. Yürütülen Çalışma ile Literatürdeki Mevcut Sonuçların Karşılaştırılması

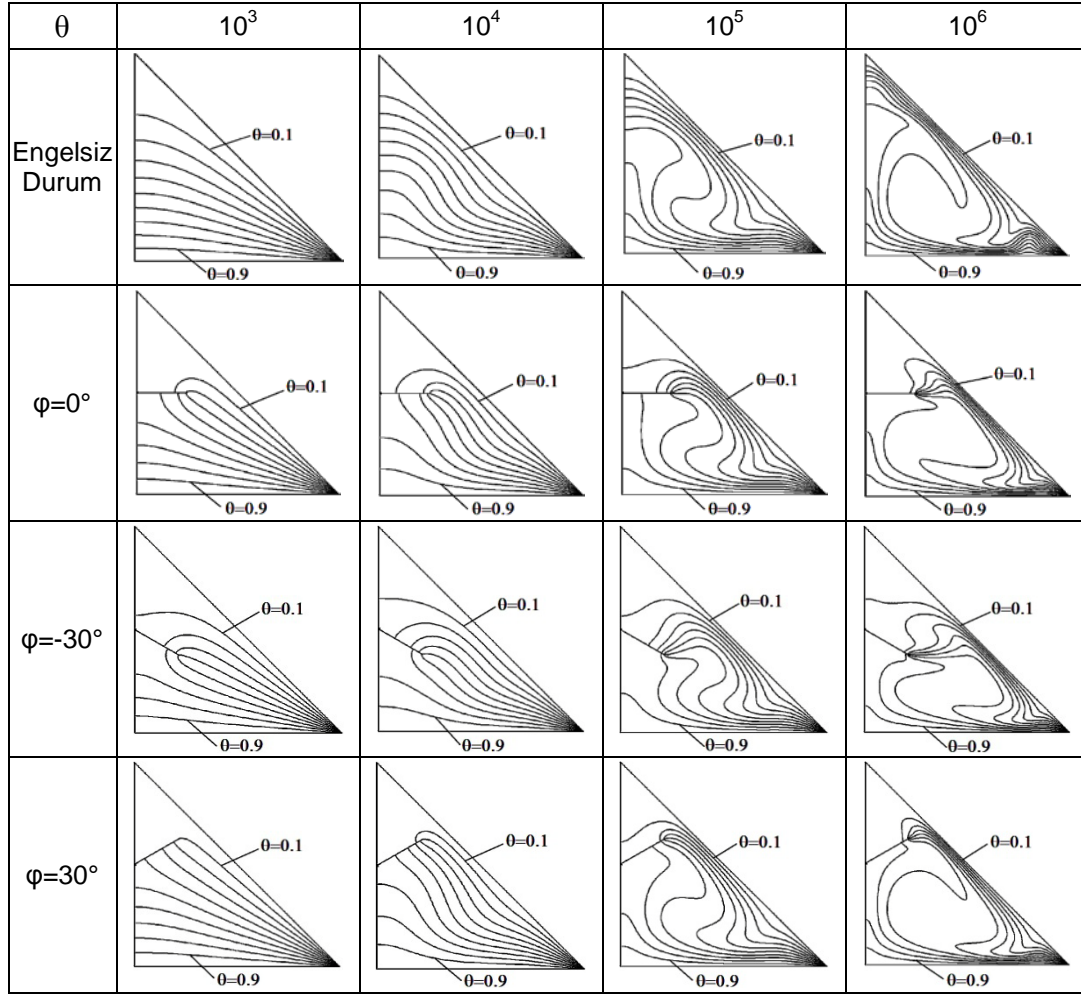
Rayleigh sayısının 2772 değeri ve düşey yüzeyin yüksekliği ile taban uzunluğu oranının 0.25 olduğu durumda, sıcak taban boyunca elde edilen yerel Nusselt sayısı dağılımının literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırması yapılmış, elde edilen sonuçların literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür. Şekil 2'de, sıcak taban boyunca Yerel Nusselt sayısının değişimi incelendiğinde, sıcak taban ve soğuk eğimli yüzeylerin kesişim noktasına yaklaşıldıkça yerel Nusselt sayısı değerlerinin yükseldiği görülmektedir. İncelenen problemin çözümünde, korunum denklemleri belirtilen sınır koşullarıyla çözülmüş ve sonuçlar aşağıda belirtilen şekilde sunulmuştur.

### 3. BULGULAR

Dik üçgen şeklindeki çatı geometrisi içerisinde düşey yalıtılmış yüzeyin orta noktasına yerleştirilen  $l^*=0.25$  uzunluğundaki yalıtılmış engelin eğim açısının doğal taşınım üzerine etkileri  $10^3 \leq Ra \leq 10^6$  Rayleigh sayısı ve  $-45^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$  eğim açısı aralığında incelenmiştir. Hesaplamalarda kullanılan havanın Prandtl sayısı 0.71 olup, sonuçlar eş sıcaklık eğrileri, akım fonksiyonu grafikleri ve ortalama Nusselt sayısının Rayleigh sayısı ile değişim grafikleri şeklinde sunulmuştur.

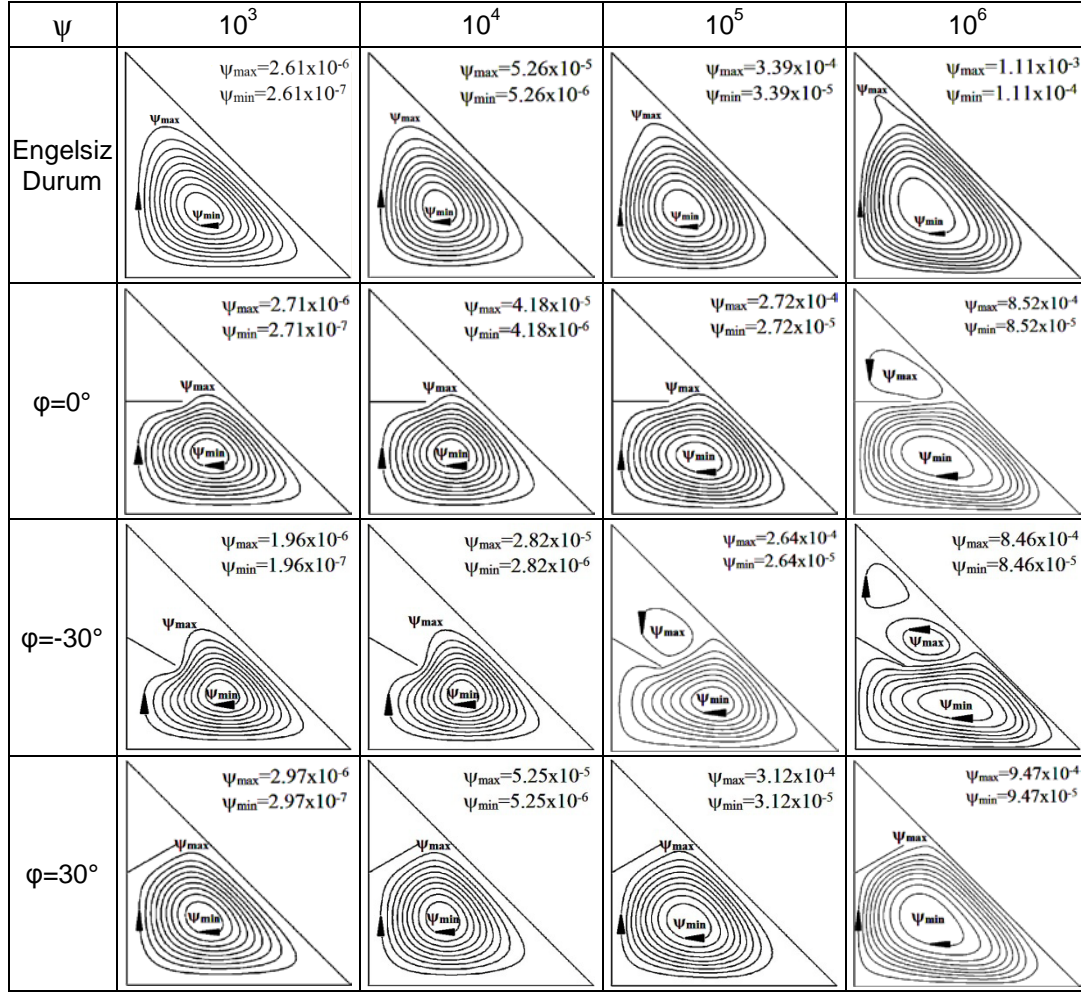
Şekil 3'te, farklı Rayleigh sayıları ve engelin farklı eğim açıları için eş sıcaklık eğrileri görülmektedir. Taban, eğimli yüzeyden daha sıcak olup, düşey yüzey adyabatik sıcaklık koşuluna sahiptir. Bu durumda eş sıcaklık eğrileri sıcak taban ile soğuk eğimli yüzey arasında uzanmaktadır. Engel kullanılmayan durumda, Rayleigh sayısının  $10^3$  değerinde eş sıcaklık eğrileri sıcak ve soğuk yüzeyler arasında düzenli bir hal almaktadır. Rayleigh sayısının  $10^4$ 'e çıkmasıyla birlikte eş sıcaklık eğrilerinde az da olsa dalgalanmalar başlamakta, bu durum Rayleigh sayısının  $10^5$  değerinde daha belirgin hale gelmektedir.  $10^6$  Rayleigh sayısında ise eş sıcaklık eğrilerindeki dalgalanmalar artmakta, sıcak ile soğuk yüzeyin kesişim bölgesinde, yüksek sıcaklık gradyanına bağlı olarak yüksek hızlar meydana gelmekte ve bu durum eş sıcaklık eğrilerinde ani değişimler şeklinde ortaya çıkmaktadır. Rayleigh sayısındaki artışla birlikte eş sıcaklık eğrilerindeki dalgalanmaların arttığı ve eş sıcaklık eğrilerinin

yoğunluk farklarının yüksek olduğu sıcak ve soğuk yüzeylere yakın bölümlerde yoğunlaştığı görülmektedir. Ayrıca  $10^6$  Rayleigh sayısında kapalı ortamın merkezinde sabit sıcaklıkta ılık bölge oluşmaktadır.



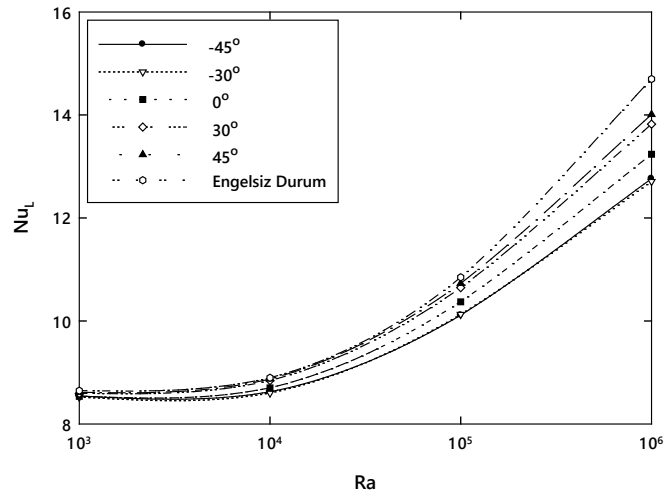
**Şekil 3.** Farklı Rayleigh Sayıları ve Engel Parametrelerinde Eş Sıcaklık Eğrileri

Kullanılan engelin eş sıcaklık eğrilerinin kapalı ortamın üst kısmına ulaşmasını engellediği ve üst kısımda sabit sıcaklıktaki soğuk bölge oluşumuna sebep olduğu görülmektedir. Sunulan eğim açılarında, eş sıcaklık eğrilerinin engel ile taban arasında yoğunlaştığı, engelin eğiminin “+” yönde artışıyla birlikte eş sıcaklık eğrilerinin yükseldiği görülmektedir. Engel kullanılmayan durumla benzer şekilde Rayleigh sayısındaki artışla birlikte eş sıcaklık eğrilerinde dalgalanmalar görülmekte, engelin alt bölümünde sabit sıcaklıkta ılık bölgenin oluştuğu görülmektedir.



Şekil 4. Farklı Rayleigh Sayıları ve Engel Parametrelerinde Akım Çizgileri

Şekil 4'te, farklı Rayleigh sayıları ve engelin farklı eğim açıları için akım çizgileri görülmektedir. Çalışılan tüm Rayleigh sayılarında, engel kullanılmayan durumda tek bir sirkülasyon hücrenin olduğu, sıcak tabanda ısınan akışkanın adyabatik yüzey boyunca yükseldiği ve soğuk yüzeyde soğuyarak sirkülasyonu tamamladığı görülmektedir. Rayleigh sayısı  $10^3$  iken, sirkülasyon hücrenin merkezi tabana daha yakındır. Rayleigh sayısındaki artışla birlikte, akışkana etkiyen kaldırma kuvvetinin etkisinin artmasıyla, hücre merkezi yükselmekte ve genişlemektedir. Akım çizgilerinden, kullanılan engelin akımın şiddetini düşürdüğü ve ısınan havanın kapalı ortamın üst bölümüne yükselmesini engellediği görülmektedir. Bu durum Rayleigh sayısındaki artışla birlikte daha belirgin hale gelmekte, akım şiddetinin en yüksek ve en düşük değerleri daha çok azalmaktadır. Ayrıca  $-30^\circ$ lik eğime sahip engelin akımın şiddetini,  $0^\circ$  ve  $30^\circ$ lik eğime sahip engellere oranla daha fazla düşürdüğü belirlenmiştir.



**Şekil 5.** Farklı Engel Eğimlerinde Ortalama Nusselt Sayısının Rayleigh Sayısı İle Değişimi

Engel kullanılmayan durum ve farklı engel eğimlerinde sıcak taban için ortalama Nusselt sayısının Rayleigh sayısı ile değişimi Şekil 5'te sunulmuştur. Kullanılan engelin eğiminin ısı transferi üzerine etkisini incelemek amacıyla, engel kullanılmayan durumda elde edilen ortalama Nusselt sayıları ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Engel kullanılmayan durumda, Rayleigh sayısı  $10^3$  iken ortalama Nusselt sayısı en düşük değerini almaktadır. Rayleigh sayısının  $10^4$ 'e çıkmasıyla ortalama Nusselt sayısında belirgin bir artış gözlemlenmemekte, bu durum belirtilen Rayleigh sayılarında düşük akışkan hızlarına bağlı olarak iletimle ısı transferinin baskın olmasından kaynaklanmaktadır. Rayleigh sayısı  $10^5$  ve  $10^6$  değerini aldığı anda, akışkana etkiyen kaldırma kuvvetinin etkisi artmakta, taşınımın baskın hale gelmesiyle birlikte ortalama Nusselt sayısında hızlı bir artış meydana gelmektedir.

Engel kullanımı ortalama Nusselt sayısında, dolayısıyla ısı transferinde düşüğe sebep olmaktadır. Farklı Rayleigh sayılarının engelin etkinliğine etkisi incelendiğinde,  $10^3$  ve  $10^4$  Rayleigh sayılarında ortalama Nusselt sayılarının birbirine çok yakın değerler aldığı ve engelin fazla bir etkinliğinin olmadığı görülmektedir. Fakat Rayleigh sayısındaki artışla birlikte taşınımın etkin hale gelmesiyle, engelin ısı transferini daha fazla düşürdüğü görülmektedir. Farklı engel eğimlerinde ortalama Nusselt sayıları farklı değerler almaktadır.  $-45^\circ$  ve  $-30^\circ$ 'lik eğime sahip engel kullanımında, ortalama Nusselt sayıları birbirine çok yakın değerler almakta ancak  $-30^\circ$ 'lik eğime sahip engel ısı transferinde daha fazla düşüğe sebep olmaktadır.  $-30^\circ$ 'lik eğime sahip engel kullanımında, Rayleigh sayısının  $10^3$  değerinde, ısı transferindeki net düşüş en fazla %1.5 oranında, Rayleigh sayısının  $10^6$ 'ya çıkmasıyla ise en fazla %13.6 olmaktadır.

## SONUÇLAR

Çalışılan parametreler ve elde edilen sonuçlar ışığında, ortalama Nusselt sayısının Rayleigh sayısından oldukça etkilendiği ve Rayleigh sayısındaki artışla birlikte doğal taşınım ile ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir. Kullanılan engelin, tabanda ısınan havanın kapalı ortamın üst kısmına ulaşmasını engellediği, akışkan hızlarında azalmaya sebep olduğu ve sonuç olarak ısı transferini oldukça düşürdüğü belirlenmiştir. Engelin etkinliği Rayleigh sayısının artmasıyla birlikte yükselmekte ve eğim açısından oldukça etkilenmektedir.  $-30^\circ$ 'lik eğime sahip engelin ısı kaybını azaltmada daha etkin olduğu ve ısı transferinde %13.6 oranında düşüğe sebep olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak yalıtılmış düşey yüzey üzerinde konumlandırılan engelin, üçgen şeklindeki çatı geometrisinde ısı kaybını azaltmada önemli bir parametre olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

**SEMBOLLER**

$h^*$	engel yüksekliği
$H$	üçgen kapalı ortamın yüksekliği
$l^*$	engel uzunluğu
$L$	üçgen kapalı ortamın uzunluğu
$k$	akışkanın ısı iletim katsayısı
$Nu_x$	taban boyunca yerel Nusselt sayısı
$Nu_L$	tabanda ortalama Nusselt sayısı
$p, P$	basınç, boyutsuz basınç
$Pr$	Prandtl sayısı
$Ra$	Rayleigh sayısı
$T$	sıcaklık
$T_h, T_c$	sıcak ve soğuk yüzey sıcaklıkları
$u, U$	x doğrultusunda hız bileşeni, x doğrultusunda boyutsuz hız bileşeni
$v, V$	y doğrultusunda hız bileşeni, y doğrultusunda boyutsuz hız bileşeni
$x, X$	yatay mesafe, boyutsuz yatay mesafe
$y, Y$	düşey mesafe, boyutsuz düşey mesafe

**Yunan Harfleri**

$\alpha$	ısı yayılım katsayısı
$\beta$	hacimsel genleşme katsayısı
$\rho$	akışkanın yoğunluğu
$\nu$	akışkanın kinematik viskozitesi
$\psi$	akım çizgisi
$\theta$	boyutsuz sıcaklık
$\phi$	engelin yatay eksenle yaptığı eğim

**KAYNAKLAR**

- [1] FLACK, R.D., The Experimental Measurement of Natural Convection Heat Transfer in Triangular Enclosures Heated or Cooled From Below, *Journal of Heat Transfer*, 102, 770-772, 1980.
- [2] AKINSETE, V.A., COLEMAN, T.A., Heat Transfer by Steady Laminar Free Convection in Triangular Enclosures, *International Journal of Heat Mass Transfer*, 25, 991-998, 1982.
- [3] POULIKAKOS, D, BEJAN, A., Natural Convection Experiments in a Triangular Enclosure, *Journal of Heat Transfer*, 105, 652-655, 1983.
- [4] POULIKAKOS, D, BEJAN, A., The Fluid Dynamics of an Attic Space, *Journal of Fluid Mechanics*, 131, 251-269, 1983.
- [5] SALMUN, H., The Stability of Single-Cell Steady-State Solution in a Triangular Enclosure, *International Journal of Heat Mass Transfer*, 18, 363-369, 1995.
- [6] SALMUN, H., Convection Patterns in a Triangular Domain, *International Journal of Heat Mass Transfer*, 38, 351-362, 1995.
- [7] ASAN, H., NAMLI, L., Laminar Natural Convection in a Pitched Roof of Triangular Cross-Section: Summer Day Boundary Conditions, *Energy and Buildings*, 33, 69-73, 2000.
- [8] ASAN, H., NAMLI, L., Numerical Simulation of Buoyant Flow in a Roof of Triangular Cross-Section Under Winter Day Boundary Conditions, *Energy and Buildings*, 33, 753-757, 2001.
- [9] TZENG, S.C., LIOU, J.H., JOU, Y., Numerical Simulation-Aided Parametric Analysis of Natural Convection in a Roof of Triangular Enclosures, *Heat Transfer Engineering*, 26(8), 69-79, 2005.
- [10] RIDOUANE, E.H., CAMPO, A., Relationship Between Thermal Convection Intensity and Aspect Ratio of Two Triangular Cavities Inscribed in Horizontal Rectangular Cavities, *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, 16(3), 338-355, 2006.



- [11]VAROL, Y., OZTOP, H.F., YILMAZ, T., Natural Convection in Triangular Enclosures with Protruding Isothermal Heater, International Journal of Heat and Mass Transfer, 50, 2451-2462, 2007.
- [12]KOCA, A., OZTOP, H.F., VAROL, Y., The Effects of Prandtl Number on Natural Convection in Triangular Enclosures with Localized Heating from Below, International Communications in Heat and Mass Transfer, 34, 511-519, 2007.
- [13]ARICI, M.E., SAHİN, B., Natural Convection Heat Transfer in a Partially Divided Trapezoidal Enclosure, Thermal Science, 13(4), 213-220, 2009.
- [14]KUCUK, H., GEDIKLI, H., Natural Convection in A Triangular Cross Section Roof Under Daylight Conditions, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, 30(1), 99-110, 2010.
- [15]SAHA, S.C., PATTERSON, J.C., LEI, C., Natural Convection and Heat Transfer in Attics Subject to Periodic Thermal Forcing, International Journal of Thermal Sciences, 49, 1899-1910, 2010.
- [16]KALURI R.S., ANANDALAKSHMI, R., BASAK, T., Bejan's Heatline Analysis of Natural Convection in Right-Angled Triangular Enclosures: Effects of Aspect-Ratio and Thermal Boundary Conditions, International Journal of Thermal Sciences, 49, 1576-1592, 2010.
- [17]KENT, E.F., Laminar Natural Convection in Isosceles Triangular Roofs in Wintertime Conditions, Heat Transfer Engineering, 31(13), 1068-1081, 2010.
- [18]WANG, S., SHEN, Z., LINXSIA, G., Numerical Simulation of Buoyancy-Driven Turbulent Ventilation in Attic Space Under Winter Conditions, Energy and Buildings, 47, 360-368, 2012.
- [19]PATANKAR, S.V., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, McGraw Hill, New York, 1980.

## ÖZGEÇMİŞ

### Buğra SARPER

1988 yılında Konya'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Konya'da tamamladı. 2010 yılında, Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Lisans, 2013 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. Halen Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora eğitimini sürdürmektedir. 2011 yılından beri Gümüşhane Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. İngilizce bilmektedir. Evlidir.

### Kemal KUVVET

1972 yılında Trabzon'da doğdu. İlk, orta ve öğrenimini Trabzon'da tamamladı. 1992 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde Lisans, 1995 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans, 2002 yılında ise Doktora eğitimini tamamladı. 1993-2000 yılları arasında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalıştı. 2000-2009 yılları arasında K.T.Ü. Beşikdüzü Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi ve Öğretim Üyesi olarak çalıştı. 2009 yılından itibaren Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.

### 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 Makine 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 K.T.Ü. Beşikdüzü Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak çalıştı. 2010 yılından itibaren Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.