

Sinüzoidal Duvarlı Kapalı Dikdörtgen Geometride Yüzey Işınımı İle Doğal Taşınımın  
Sayısal İncelenmesi

Mehmet AKTAŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran 2013

Numerical Analysis Of Natural Convection With Surface Radiation In A Rectangular  
Enclosures With Wavy Wall

Mehmet AKTAŞ

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Mechanical Engineering

June 2013

Sinüzoidal Duvarlı Kapalı Dikdörtgen Geometride Yüzey Işınımı İle Doğal Taşınımın Sayısal İncelenmesi

Mehmet AKTAŞ

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Enerji - Termodinamik Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mesut TEKKALMAZ

Haziran 2013

## ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Mehmet AKTAŞ'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Sinüzoidal Duvarlı Kapalı Dikdörtgen Geometride Yüzey Işınımı İle Doğal Taşınımın Sayısal İncelenmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Yrd. Doç. Dr. Mesut TEKKALMAZ

**İkinci Danışman** : -

### **Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Mesut TEKKALMAZ

**Üye** : Prof. Dr. Zekeriya ALTAÇ

**Üye** : Prof. Dr. Yaşar PANCAR

**Üye** : Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN

**Üye** : Doç. Dr. Necati MAHİR

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Taşınım, bir yüzeyle üzerindeki akışkan arasındaki enerji aktarımıdır. Doğal taşınımın etkin olduğu bir çok uygulama alanı vardır ayrıca doğadaki bütün maddeler ışınım yayar. Işınım endüstride birçok ısıtma, soğutma ve kurutmaya işlemlerinde kullanılır. Bu çalışmada iki boyutlu kapalı dikdörtgensel bir şekilde doğal taşınım ve ışınım ile ısı geçişi sayısal olarak incelenmiştir. Dikdörtgensel şeklin alt kısmı sinüzoidal olarak bir, iki ve üç undolinden oluşmaktadır. Oluşturulan sistemde alt ve üst duvarlar sıcak, sağ ve sol duvarlar tamamen yalıtılmış kabul edilmiştir. Alt ve üst duvar arasında 20K sıcaklık farkı bulunup alt duvar üst duvardan sıcaktır. Problem çözümü  $10^4$ - $10^6$  Rayleigh sayılarında yapılmıştır. Işınım ile ısı geçişi incelenirken ışınım yayma oranları 0,1-1 arasında 0.1 adım arttırılarak on farklı değer seçilmiştir. İki boyutlu sürekli rejimde, süreklilik, Navier-Stoke ve Boussinesq yaklaşımlarıyla, ayrıklaştırma yöntemi olarak FVM (Finite Volume Method) ile taşınım terimlerinde ikinci dereceden (Second Order Upwind) ayıklaştırma şeması, çözüm algoritması olarak da SIMPLE algoritması kullanılarak, yüzey ışınım hesabında S2S (Surface to Surface) ışınım ısı modeli ile FLUENT® yazılımında çözülmüştür. Doğal taşınım taşımada soğuk duvar üzerinde ortalama Nusselt sayıları ve ışınımında  $Nu_r$ ,  $Nu_c$ ,  $Nu_t$  sayıları hesap edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal taşınım, ışınım, sinüzoidal duvar, dikdörtgensel kapalı sistem

## SUMMARY

Convection is the transfer of energy between the surface and the fluid on the surface. There are many applications in the area of natural convection also matter in nature emits radiation. Radiation and convection heat transfer processes are used many industry; for example, heating, cooling and drying processes. In this study, natural convection and radiation heat transfer in two dimensional rectangular enclosures are studied numerically. In the rectangular enclosure geometry, considered bottom wall has a one, two and three sinusoidal period wavy wall. The bottom and the top wall is the hot, the left and the right walls are perfectly insulated. Between the top and the bottom wall, the temperature difference is 20K and the bottom wall is hotter than the top wall. The problem is solved for Rayleigh numbers  $10^4$ - $10^6$ . The emissive values of the walls are selected between 0.1-1. The two dimensional steady-state continuity, Navier-Stoke and energy equations along with Boussinesq approximations are solved using the Fluent<sup>®</sup> code. The pertinent equations are solved using Finite volume Method and transport in terms of the second order (Second Order Upwind) discretization scheme are used with SIMPLE algorithm. The radiation model used is S2S (Surface to surface) model embedded in Fluent<sup>®</sup>. The average Nusselt numbers over the cold surface are computed for convection and the average  $Nu_r$ ,  $Nu_c$ ,  $Nu_t$  numbers over the cold surface are computed for radiation processes.

Keywords: Natural convection, radiation, sinusoidal wavy wall, rectangular enclosure

## TEŞEKKÜR

Gerek derslerimde gerek tez çalışmalarımnda, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mesut TEKKALMAZ'a, İtalya'da Erasmus süresince fikirleri ve yönlendirmeleriyle ufkumu açan, tezime katkı sağlayan Prof. Beatrice PULVIRENTI'ye (Bologna Üniversitesi öğretim elemanı), Hayatım boyunca her türlü manevi destekte bulunan anneme ve kardeşlerime, tez çalışmam süresince bana her konuda yardımcı olan babam Recep AKTAŞ'a teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	v
SUMMARY.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMLAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
2. FİZİKSEL VE MATEMATİKSEL MODELLEME.....	5
2.1 Problemin Tanımı.....	5
2.2 Matematiksel Modelleme.....	6
2.3 Sınır Koşulları.....	7
2.4 Sayısal Model.....	7
2.5 Grid Hassasiyeti.....	7
3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	10
3.1 Doğal Taşınım.....	10
3.1.1 Soğuk duvar üzerindeki ortalama Nusselt değerleri.....	10
3.1.2 Düz duvar ve undolinlerin karşılaştırılması.....	11
3.1.3 Doğal taşınımında sıcaklık ve hız dağılımı.....	12
3.2 Işınım.....	17
3.2.1 Soğuk duvar üzerindeki ortalama $Nu_t$ değerleri.....	17
3.2.2 Soğuk duvar üzerindeki $Nu_c$ değerleri.....	19
3.2.3 Soğuk duvar üzerindeki ortalama $Nu_t$ değerleri.....	22
3.2.4 Yerel $Nu_t$ değerleri.....	24
3.2.5 Düz duvar ve undolinlerin karşılaştırılması.....	25
3.2.6 Işınımında sıcaklık ve hız dağılımı.....	27
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	34
5. KAYNAKLAR DİZİNİ.....	36
EKLER	



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Problem geometrisi.....	5
2.2 Problem geometrileri a) Undolin 1, b) Undolin 2, c) Undolin 3.....	6
3.1 Doğal taşımada ortalama Nusselt sayıları a) Undolin 1, b) Undolin 2, c) Undolin 3 .....	10
3.2 Düz duvar, undolin 1,2,3 için soğuk duvardaki ortalama Nusselt sayısı.....	12
3.3 Durum 1 için sıcaklık dağılımları.....	13
3.4 Durum 2 için sıcaklık dağılımları.....	13
3.5 Durum 3 için sıcaklık dağılımları.....	14
3.6 Durum 1 için hız dağılımları.....	15
3.7 Durum 2 için hız dağılımları.....	15
3.8 Durum 3 için hız dağılımları.....	16
3.9 Undolin 1 soğuk duvar üzerindeki ortalama $Nu_r$ sayıları a) Durum 1, b) Durum 2, c) durum 3.....	17
3.10 Durum 2 için soğuk duvar üzerindeki ortalama $Nu_r$ sayıları a) Undolin 1, b)Undolin 2, c) Undolin 3.....	18
3.11 Undolin 1 soğuk duvar üzerindeki ortalama $Nu_c$ sayıları a) Durum 1, b) Durum 2, c) Durum 3.....	20
3.12 Durum 2 için soğuk duvar üzerindeki ortalama $Nu_c$ sayıları a) Undolin 1, b) Undolin 2, c) Undolin 3.....	21
3.13 Undolin 1 soğuk duvar üzerindeki ortalama $Nu_t$ sayıları a) Durum 1, b) Durum 2, c) durum 3.....	22
3.14 Durum 2 için soğuk duvar üzerindeki ortalama $Nu_t$ sayıları a) Undolin 1 b) Undolin 2, c) Undolin 3.....	23
3.15 $Ra=5 \times 10^5$ , Durum 2, $\varepsilon=0.5$ 'te Soğuk duvar üzerindeki yerel $Nu_t$ değerleri.....	24
3.16 $Ra=10^4$ durum 1 için hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları.....	28
3.17 $Ra=10^4$ durum 2 için hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları.....	28
3.18 $Ra=10^4$ durum 3 için hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları.....	29
3.19 $Ra=10^5$ durum 1 için hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları.....	30
3.20 $Ra=10^5$ durum 2 için hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları.....	30
3.21 $Ra=10^5$ durum 3 için hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları.....	31

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

3.22 $Ra=10^6$ durum 1 için hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları.....	32
3.23 $Ra=10^6$ durum 2 için hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları.....	32
3.24 $Ra=10^6$ durum 3 için hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları.....	33

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1 Grid hassasiyeti.....	8
3.1 Grid 100x100 ve literatürdeki ortalama Nusselt sayıları.....	11
3.2 Düz duvar, undolin 1,2,3 için soğuk duvardaki ortalama Nusselt sayısı.....	12
3.3 Işımında düz duvar ve literatürdeki $Nu_c$ , $Nu_r$ ve $Nu_t$ değerleri.....	25
3.4 Durum 1,2,3 için düz duvar ve undolinlerin $Nu_t$ karşılaştırılması.....	26

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açılımlar</u></b>
$a$	Genlik
$g$	Yer çekimi ivmesi ( $m/s^2$ )
$k$	Isı iletim katsayısı (W/mK)
$q_R$	Yalıtılmış duvardaki ışıınım ısı akısı ( $W/m^2$ )
$q_r$	soğuk duvar için ışıınım ısı akısı ( $W/m^2$ )
$q_c$	soğuk duvar için taşınım ısı akısı ( $W/m^2$ )
$H$	Yükseklik (m)
$L$	Uzunluk (m)
$Nu$	Nusselt sayısı
$N_r$	ışıınım sayısı
$Nu_c$	Taşınımdaki Nusselt sayısı
$Nu_r$	ışıınımdaki Nusselt sayısı
$Nu_t$	Taplam Nusselt sayısı
$Ra$	Rayleigh sayısı
$P$	Basınç ( $N/m^2$ )
$Pr$	Prandtl sayısı
$T$	Sıcaklık (K)
$T_h$	Soğuk duvardaki sıcaklık (K)
$T_c$	Sıcak duvardaki sıcaklık (K)
$T_o$	Ortalama sıcaklık $((T_h + T_c)/2)$ (K)
$\pi$	Pi sayısı
$\lambda$	Undolin sayısı
$\alpha$	ısı yayınım katsayısı ( $m^2/s$ )
$\nu$	kinematik viskosite ( $m^2/s$ )

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açılımlar</u></b>
$\rho$	Yoğunluk (Kg/m <sup>3</sup> )
u,v,w	Hız bileşenleri (m/s)
U,V	Boyutsuz hız
x,y,z	Kartezyen kordinat sistemi (m)
n	duvara olan dik doğrultu
$\varepsilon$	Işınım yayma oranı

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ VE AMAÇ

Taşınım, bir yüzeyle üzerindeki akışkan arasındaki enerji aktarımıdır. Taşınım doğal ve zorlanmış olarak ikiye ayrılır. Doğal taşınım da akışkan hareketi akışkan içindeki kaldırma kuvvetleri ile oluşur. Zorlanmış taşınım ise bir fan, vantilatör gibi dış etkenler sonucu meydana gelir. Doğal taşınımın etkin olduğu bir çok uygulama alanı vardır. Elektronik cihazlarda, borularda ve dağıtım hatlarında olan ısı geçişlerinde, elektrikli ısıtıcılardan veya radyatörlerden oda havasına aktarılan ısı geçişleri gibi durumlar hep doğal taşınımın etkisiyle oluşur. Doğal taşınım okyanusla veya atmosfer ile ilgili akışlarda da etkilidir. Isı geçişlerinde taşınımın yanında ışınım da çok önemli bir olgudur. Isıl ışınım maddenin yapısında bulunan elektronların salınım ve yörünge değiştirmeleri sonucu açığa çıkan elektromanyetik enerjidir. Doğadaki bütün maddeler ışınım yayar. Işınım endüstride birçok ısıtma, soğutma ve kurutma işlemleri ile bir çok fosil yakıtların ısıya dönüştüğü yanma ve güneş enerjisinin ısıya dönüşümünde söz konusudur.

İki boyutlu kapalı sistemlerde doğal taşınım ile bir çok problem incelenmiştir. Gelişen bilgisayar teknolojisi ile bilim insanları bu sistemlere ışınım ile ısı geçişini de ilave ederek çalışmalarını ilerletmişlerdir. Bu bilimsel araştırmalar endüstride kullanılan bir çok malzemenin tasarımında etkili olmuştur. Tekkalmaz (2013) iki boyutlu sinüzoidal duvarlı dikdörtgensel kapalı kutuda akış ve laminer doğal taşınım ile ısı geçişinin sayısal araştırmasını incelemiştir. Kapalı sistemin, sinüzoidal olarak değişen üst duvarı soğuk, alt duvarı ise sıcaktır. Düz duvarlar ise yalıtılmıştır. Değişik Rayleigh sayısı için sıcaklık ve akış durumlarını incelemiştir. Geometri oranı  $L/H$ , sinüzoidal duvarın undolin sayısına göre, alt duvardan elde edilen ortalama Nusselt sayıları her bir durum için hesaplanmış ve analiz etmiştir. Amiri ve arkadaşları (2007) sinüz dalgalı alt yüzeyi kapalı tabanlı ve boşluklu yapıda karışık taşınım ile ısı transferi etkisini incelemişlerdir. Mevcut sayısal çalışmalarında bir sinüz dalgalı alt yüzeyle üstü kapatılmış boşluklu yapıda karışık (türbülanslı) taşınım ısı transferiyle analiz yapılmıştır. Yan duvarlar yalıtılarak alttan yukarı doğru uniform şekilde artan sıcaklık vardır. Buna ek olarak problem, taşıma denklemleri Galerkin yöntemine göre, sonlu

elemanlar yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Problemden akış yapısı ve ısı transferi üzerindeki dalgalı yüzey ve dalgalı yüzeydeki undolin sayısının etkisi incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda dalgalı yüzey genliği ve Reynolds sayısı arttıkça ortalama Reynolds sayısı artmaktadır ayrıca düşük Prandtl sayılarında iki undoline sahip dalgalı yüzeyde optimum ısı transferi olduğu gözlenmiştir. Ridouane ve arkadaşları (2010) içi hava dolu kapalı gri kare sistemde ışıının etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Kapalı kare sistem, alt duvardan ısıtmış üst duvardan soğutulmuştur. Sağ ve sol duvar adyabatik olarak alınmıştır. Problem parametreleri olarak, Ra sayısı  $10^3$  ile  $2,5 \times 10^6$  ve ışıının yayma oranı 0-1 arasında seçilmiştir. Işıının duvarlar üzerindeki etkisini ve ışıının yayma oranlarının değişimlerini incelemiştir. Işıının yayma oranlarının kritik Ra sayısı üzerindeki osilasyonlarını araştırmıştır. Ouertatani ve arkadaşları (2008) iki boyutlu dikdörtgenel kapalı sistemde laminer akış ve doğal taşınım ile ısı geçişinin sayısal olarak incelemişlerdir. Kapalı sistemin üst duvarı soğuk, alt duvarı ise sıcaktır. Düz duvarlar yalıtılmıştır.  $10^3$  -  $10^6$  Ra sayıları arasında grid  $256 \times 256$  da koşturmalarını yapmışlardır. Bu koşturmalar sonucunda kapalı sistemde sıcak duvar üzerinde ortalama Nusselt sayılarını, hız ve sıcaklık dağılımlarını incelemiştir. Garret (2002) dalgalı yüzeyde doğal taşınım ile ısı transferinde sayısal ve deneysel çalışmalarda bulunmuştur. Yapılan araştırmalar sonucunda yüzey dalgalılık izdüşümü alanına dayalı ısı transfer oranının artırdığını ortaya koymaktadır. Isı transferi artışı, yüzey dalgaları tarafından üretilen akış değişikliği akış yönü çizgisine paralel küçük genlikli yüzey dalgaları haricinde yüzey alanı artışından daha az olduğunu göstermiştir. Bhavnani ve arkadaşları (1991) sinüzoidal yüzeylerde doğal taşınım ile ısı transferini incelemiştir. Problemlerinde sabit sıcaklıkta muhafaza edilen dikey plakalar üzerinde sinüz dalgalı yüzeylerde doğal taşınım ile ısı transferi özelliklerini deneysel bir çalışma ortaya konmuştur. Yerel ısı transfer katsayıları Mach-Zehnder interferometresi ile elde edilmiştir. Eşit öngörülen alanın bir düzlem plakasına göre dalgalı yüzeylerden ısı transferi, dalga boyu oranı ile artmıştır. Isı transferi, 0,3 genlik dalga boyunda yaklaşık olarak %15 oranında artmıştır ve bu durum için akış kararsızlığı saptanmıştır. Murthy ve arkadaşları (2008) yatay dalgalı yüzey içindeki gözenekli yapılarda doğal taşınım ile ısı transferi çalışmalarında, izotermal yüzeylerdeki undolinlerin ısı transferine etkisini kademeli uniform olmayan ızgara sistemi üzerinde sonlu elemanlar metodu kullanılarak sayısal olarak incelenmiştir. Rayleigh sayısı ile dalga genliği sayısı, dalga seviyesi,

yatay mesafe boyunca toplam dalga sayısının akıştaki etkisi ve ısı transferi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmalar sonucunda yatay düz duvar ile dalgalı duvar arasında karşılaştırma yapıldığında, dalgalı duvarda ısı transferinin azaldığı gözlemlenmiştir. Das ve Mahmud (2003) dalgalı kapalı sistem içinde doğal taşınımın sayısal incelemesini yapmışlardır. Dalgalı duvarlı kapalı sistem içindeki sıvının hidrodinamik ve termal davranışları incelenmiştir. Sistem alt ve üst dalgalı duvar ve dikey sağ ve sol duvarlardan oluşmuştur. Sistemde üst ve alt duvarları dalgalı ve izotermal tutulmuştur. İki dikey düz duvar (sağ ve sol) adyabatik olarak kabul edilmiştir. Problem, sonlu hacim yöntemi kullanılarak sayısal olarak çözülmüştür. Grashof numarası  $10^3$ - $10^7$  arasında seçilerek yerel ve genel Nusselt sayısı dağılımları incelenmiştir. Ashjee ve arkadaşları (2007) dikey dalgalı yüzeylerden serbest taşınım ısı transferi için bir korelasyon çalışmalarında, izotermal bir dikey dalgalı yüzey boyunca serbest taşınım ısı transferini deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Deneyde kullanılan yerel ısı transfer katsayısını belirlemek için Mach-Zehnder Interferometre kullanılmıştır. Deneyler üç farklı dalga genliği için yapılmıştır,  $x=0,05$ ,  $0,1$ ,  $0,2$  ve  $Ra=2,9 \times 10^5$  den  $5,8 \times 10^5$  aralığında değişen Rayleigh sayıları kullanılmıştır. Bu sayısal sonuçlar ile deneysel veriler arasında uyum olduğu saptanmıştır. Sonuçlar göstermektedir ki yerel ısı transferi frekansı ile dalgalı yüzey arasında benzerlik vardır. Ortalama ısı transfer katsayısı ve bu yüzeylere sahip yüzey katsayıları dalga genliği boyu oranı arasında belirgin bir fark yoktur. Jang (2003) dikey dalgalı yüzeyi boyunca doğal taşınım ısı ve kütle transferi çalışmalarında, dikey dalgalı yüzey boyunca doğal taşınım ısı ve kütle transferinin sayısal bir çalışmasını yapılmıştır. Dalgalı bir yüzeydeki duvar uniform sıcak ve sabit yoğunlukta korunur. Problemden kaldırma oranı (N), dalga boyu genliği oranı, ve Schmidt sayısı (Sc), önemli parametrelerdir. Kaldırma oranı ve yerel Nusselt sayısı ve yerel Sherwood sayısı dalgalı yüzey boyutsuz genlik etkileri detaylı olarak incelenmiştir. Hossain ve arkadaşları (1999) dikey dalgalı yüzeyde doğal taşınım ile ısı ve kütle transferi çalışmalarında, dikey dalgalı yüzeyden doğal taşınım akışı, kütle ve termal difüzyon ile birlikte kaldırma kuvvetlerinin etkisinde kapalı sonlu farklar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. İnceleme sırasında yüzey kayma gerilmesi, ısı transfer oranı, yüzey konsantrasyon farkı ve Schmidt sayısı gibi farklı parametreleri değiştirilerek sonuca ulaşılmıştır. Yoa (2006) dikey karmaşık dalgalı yüzey boyunca doğal taşınım çalışmasında karmaşık dalgalı yüzeydeki ortalama ısı transferi oranı buna



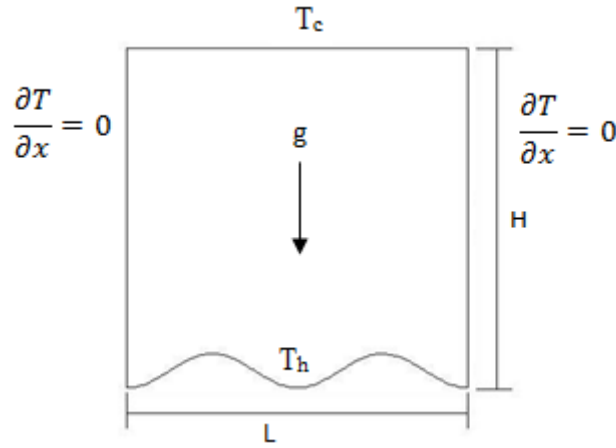
karşılık gelen bir düz tabakaya göre daha az olduğunu göstermiştir. Diğer yandan karmaşık bir yüzey için toplam ısı transferi düz plaka göre daha büyüktür. Nümerik sonuçlara göre bu ısı transferi dalga boyu ve genliği toplam ısı transferini etkilediğini göstermiştir.

## BÖLÜM 2

### FİZİKSEL VE MATEMATİKSEL MODELLEME

#### 2.1 Problemin Tanımı

Problemi oluşturan şekil iki boyutlu koordinat sisteminde, H yüksekliğinde, L uzunluğunda tasarlanmıştır. H/L oranı 1 olarak kabul edilmiştir. Alt duvar sıcak ( $T_h$ ), üst duvar soğuk ( $T_c$ ), sağ ve sol duvar adyabatik kabul edilmiştir. Problemden alt duvar bir, iki ve üç sinüzoidal undolin olarak incelenmiştir. Oy eksenini boyunca negatif yönlü yerçekimi ivmesi fiziksel olarak eklenmiştir. Alt ve üst duvarlar arası sıcaklık farkı 20K olarak 3 farklı durumda incelenmiştir. Durum 1'de alt duvar sıcaklığı ( $T_h$ ) 310K üst duvar sıcaklığı ( $T_c$ ) 290K, Durum 2'de alt duvar sıcaklığı ( $T_h$ ) 330K üst duvar sıcaklığı ( $T_c$ ) 310K ve Durum 3'de alt duvar sıcaklığı ( $T_h$ ) 350K üst duvar sıcaklığı ( $T_c$ ) 330K seçilmiştir. Her bir durum çözdürülürken ortalama sıcaklıktaki ( $T_o$ ) havanın fiziksel özellikleri kullanılmıştır.

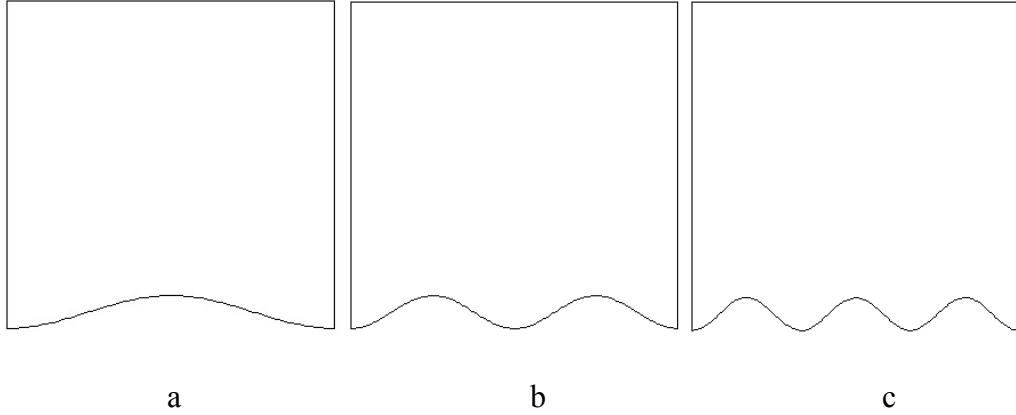


Şekil 2.1 Problem geometrisi

Şekil 2.1 problem geometrisi verilmiştir. Sinüzoidal duvarı oluştururken;

$$F(x) = a[1 - \cos(\lambda\pi x)] \quad (1)$$

formülü kullanılmıştır.  $a=0,1$  genlik sayısını belirtmekte ve  $\lambda$  undolin sayısıdır.



Şekil 2.2 Problem geometrileri a) Undolin 1, b) Undolin 2, c) Undolin 3

## 2.2 Matematiksel Modelleme

Sabit termofiziksel koşullar altında, kartezyen koordinat sisteminde iki boyutlu süreklilik, momentum ve enerji denklemleri sırasıyla;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

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

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + g\beta(T - T_\infty) \quad (4)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (5)$$

$$Ra = \frac{g\beta(T_h - T_c)H^3}{\alpha\nu} \text{ ve } Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (6)$$

burada  $\beta$  ısı genleşme katsayısı,  $\alpha$  ısı yayılım katsayısı,  $\nu$  kinematik viskozite,  $g$  yerçekimi ivmesi,  $P$  basınç,  $\rho$  akışkanın yoğunluğu,  $T$  sıcaklık,  $Ra$  Rayleigh sayısını,  $Pr$  Prandtl sayısını göstermektedir.

### 2.3 Sınır Koşulları

Tüm duvar yüzeylerinde hız bileşenleri için kaymanın olmadığı koşullar geçerli olup sınır şartları aşağıda gösterilmiştir.

Tüm duvarlarda	$u = v = 0$
Alt (sıcak) duvar	$T = T_h$
Üst (soğuk) duvar	$T = T_c$
Sağ ve sol duvar	$\partial T / \partial n + N_r q_r = 0$

burada  $n$  duvara olan dik doğrultu,  $N_r$  ışıınım sayısı,  $q_r$  ise yalıtılmış duvardaki ışıınım ısı akısıdır. Soğuk duvar için ortalama Nusselt sayısı;

$$Nu_t = Nu_c + Nu_r = \frac{q_c + q_r}{k(T_h - T_c)/H} \quad (7)$$

şeklinde hesaplanmıştır. Burada,  $q_c$  ve  $q_r$  soğuk duvar için sırasıyla taşınım ve ışıınım ısı akılarıdır.

### 2.4 Sayısal Model

Denklem (1)-(4) ayrıklaştırma yöntemi olarak FVM (Finite Volume Method) ile taşınım terimlerinde ikinci dereceden (Second Order Upwind) ayıklaştırma şeması, çözüm algoritması olarak da SIMPLE algoritması kullanılarak, yüzey ışıınım hesabında S2S (Surface to Surface) ışıınım ısı modeli kullanılarak FLUENT® yazılımı ile çözülmüştür. Problem geometrisinin oluşturulmasında, oluşturulan geometrinin istenen hücrelere bölünmesi (mesh işlemi) ve sınır şartlarının girilmesi işlemi için GAMBİT® programı kullanılmıştır.

### 2.5 Grid Hassasiyeti

Nümeriksel çözümün birinci adımı olarak, çözümü yapılacak her dosya için grid hassasiyeti belirlenmiştir. Yoğun grid çözümlerinin uzun ve yavaş olacağı bilinen bir gerçektir. Bunun için 50×50, 100×100 ve 200×200 şeklinde gridler oluşturulmuştur. Grid yapısı üçgensel olarak belirlenmiştir. Gridlerde koşturma yapılırken bu araştırma

süresince ışınlm incelemeŖi çok alacağından dolayđ durum 2 ( $T_h=330K$ ,  $T_c=310K$ ) ve 0,5 ışınlm yayma oranında çözüm yapılmıŖtır. Grid hassasiyeti belirlenirken soğuk duvar üzerindeki ortalama  $Nu_c$ ,  $Nu_r$  ve  $Nu_t$  değerleri baz alınmıŖtır. Bütün koŖturmalarda yakınsama kriteri  $1 \times 10^{-5}$  olarak alınmıŖtır.

Çizelge 2.1 Grid hassasiyeti

Ra Değ.	$\epsilon$	Grid 50x50			Grid 100x100			Grid 200x200		
		$Nu_t$	$Nu_r$	$Nu_c$	$Nu_t$	$Nu_r$	$Nu_c$	$Nu_t$	$Nu_r$	$Nu_c$
$10^4$	0,5	3,784	1,614	2,170	3,788	1,614	2,174	3,779	1,614	2,165
$5 \times 10^4$	0,5	5,873	3,005	2,868	5,868	3,003	2,865	5,867	3,003	2,864
$10^5$	0,5	7,395	3,485	3,910	7,398	3,485	3,914	7,382	3,484	3,897
$5 \times 10^5$	0,5	11,645	5,968	5,676	11,645	5,967	5,677	11,630	5,967	5,663
$10^6$	0,5	14,208	7,525	6,683	14,212	7,525	6,687	14,198	7,525	6,673

Çizelge 2.1'de farklı grid sayılarında her bir Rayleigh sayısı için çözümler verilmiştir.  $50 \times 50$ ,  $100 \times 100$  ve  $200 \times 200$  grid çözümlerinde  $Nu_c$ ,  $Nu_r$  ve  $Nu_t$  değerlerinde sıfırdan sonra binlik değerlere kadar değerlerin aynı olduğu görülmüştür.  $200 \times 200$  grid çözümüne genelde en yakın değerler  $100 \times 100$  gridlerde olduğu belirlenmiştir. Bu kriterler doğrultusunda yapılacak diğer tüm çözümlerde  $100 \times 100$  grid kullanılmasına karar kılınmıştır.

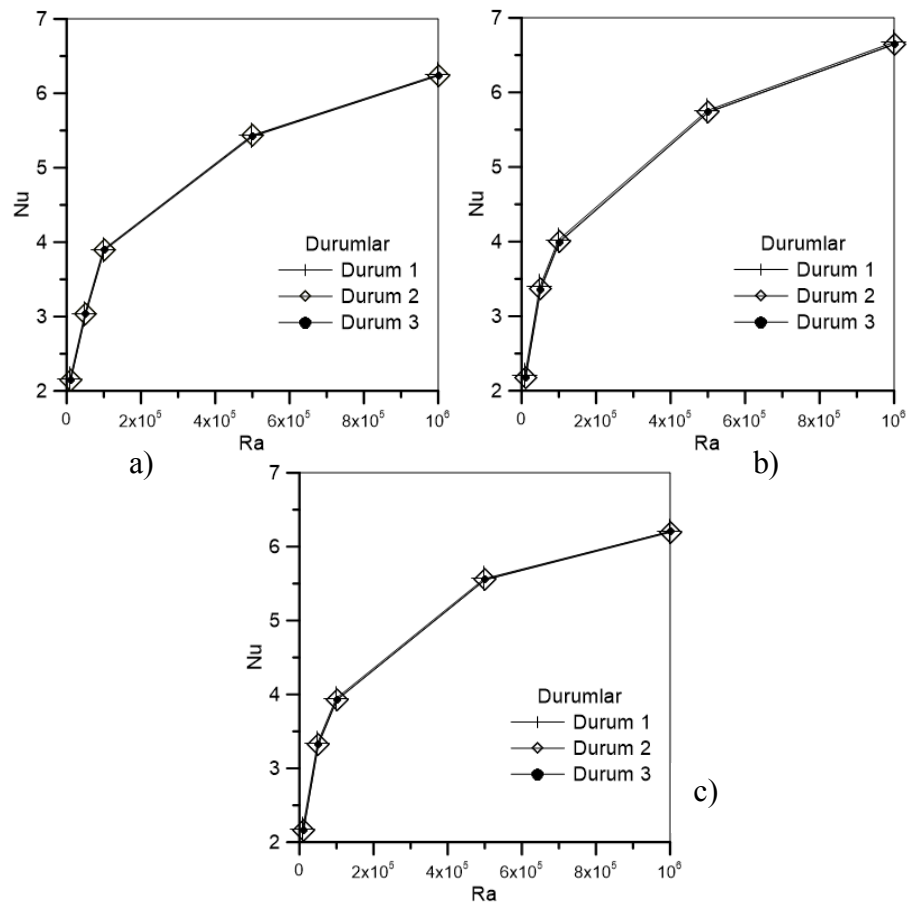
## BÖLÜM 3

### BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Undolin yapılarının ısı transferi üzerine etkileri iki bölümde incelenmiştir. Birinci bölümde doğal taşınım, ikinci bölümde taşınımaya ışınım da eklenmiştir. Işınım yayma oranları 0,1-1 arasında alınmıştır. Her iki bölümde de  $Ra$   $10^4 - 10^6$  arasında seçilmiştir. Doğal taşınımında soğuk duvar üzerindeki ortalama Nusselt sayıları, ışınım çözümlerinde soğuk duvar üzerindeki  $Nu_c$ ,  $Nu_r$  ve  $Nu_t$  değerleri incelenmiştir.

### 3.1 Doğal Taşınım

#### 3.1.1 Soğuk duvar üzerindeki ortalama Nusselt değerleri



Şekil 3.1 Doğal taşınımında ortalama Nusselt sayıları a) Undolin 1, b) Undolin 2  
c) Undolin 3

Şekil 3.1 de undolin 1, 2 ve 3 için doğal taşınımında soğuk duvar üzerindeki ortalama Nusselt sayıları verilmiştir. Undolin 1, 2 ve 3 çözümlerinde bütün durumların ortalama Nusselt sayıları benzer çıkmaktadır. Buradan doğal taşınımında sıcaklık farkı aynı olması durumunda ortalama Nusselt sayılarının yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Rayleigh sayıları arttıkça Nusselt sayıları azalan olarak artmaktadır. Bu durum  $Ra=10^5$  dan sonra olduğu görülmüştür. Sıcak duvardan soğuk duvara ısı transferi  $Ra=10^5$ 'den aynı oranda olmamaktadır. Undolin 2'deki ortalama Nusselt sayıları undolin 1 ve 3'e göre nispeten daha yüksektir. Undolin sayısı arttıkça  $Ra=5 \times 10^4$  ile  $10^5$  durumlarındaki ortalama Nusselt sayıları birbirine daha da yaklaşmaktadır.

### 3.1.2 Düz duvar ve undolinlerin karşılaştırılması

Literatür araştırmalarında problem olarak alt duvarın düz olarak alındığı daha çok görülmüştür. Bu tez boyunca yapılan çözümlerin doğruluğunun saptanması ve alt duvarın undolin alındığında ısı transferinin etkisi gözlenmek istenmiştir.

Çizelge 3.1 Grid  $100 \times 100$  ve literatürdeki ortalama Nusselt sayıları

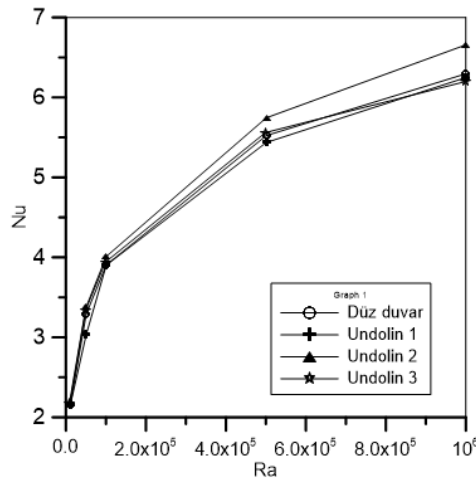
Ra değ.	Ortalama Nusselt Sayıları	
	Grid $100 \times 100$	Ouertatani (2008)
$10^4$	2,157	2,158
$10^5$	3,912	3,910
$10^6$	6,303	6,309

Çizelge 3.1 sıcak duvar üzerindeki ortalama Nusselt sayıları grid  $100 \times 100$  ile Ouertatani ve arkadaşlarının (2008) çalışmalarının sonuçları verilmiştir. Çizelge 3.1 incelendiğinde, grid  $100 \times 100$  ile literatür sonuçları birbirine çok yakındır ve Fluent<sup>®</sup> programı kullanılarak çözülen problemlerin doğruluğu teyit edilmiştir.



Çizelge 3.2 Düz duvar, undolin 1, 2, 3 için soğuk duvardaki ortalama Nusselt sayısı

Ortalama Nusselt Sayıları				
Ra değ.	Düz duvar	Undolin 1	Undolin 2	Undolin 3
$10^4$	2,157	2,149	2,196	2,175
$5 \times 10^4$	3,297	3,031	3,387	3,338
$10^5$	3,912	3,898	4,017	3,940
$5 \times 10^5$	5,528	5,431	5,750	5,560
$10^6$	6,303	6,245	6,664	6,198

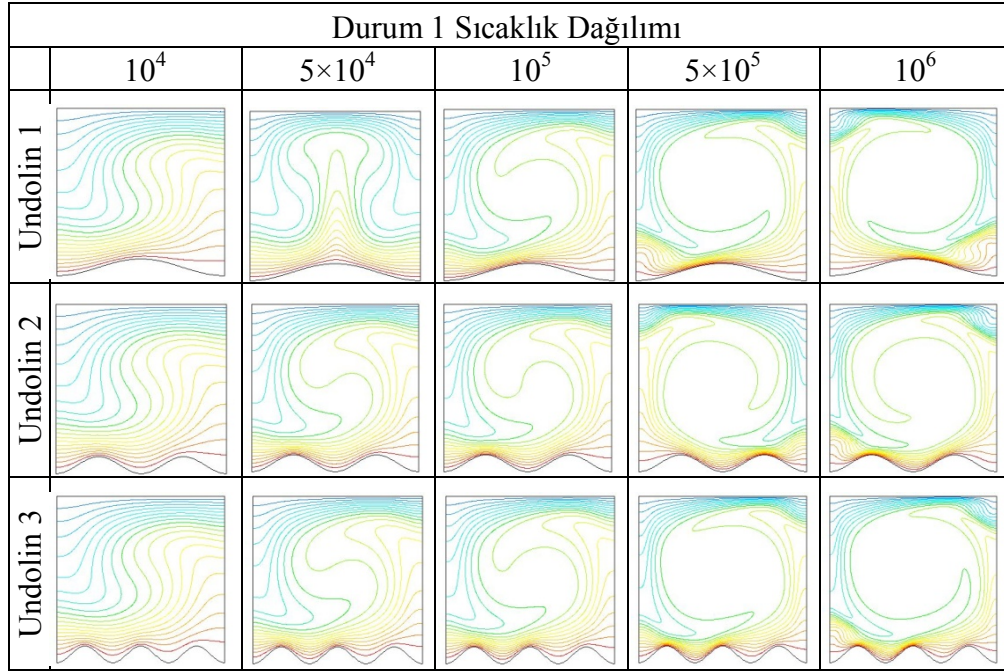


Şekil 3.2 Düz duvar, undolin 1, 2, 3 için soğuk duvardaki ortalama Nusselt sayısı

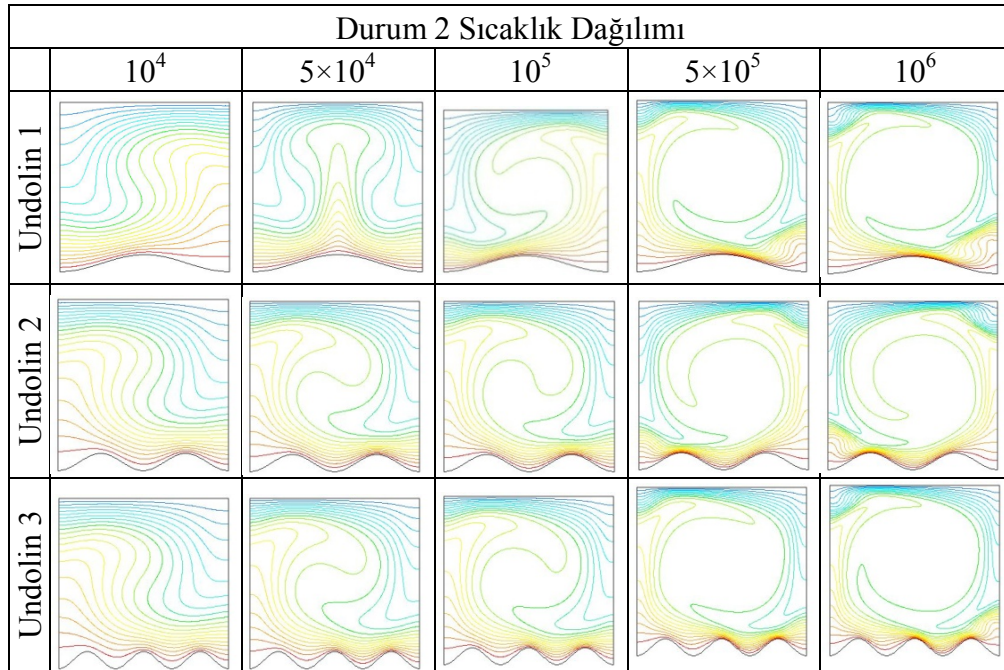
Şekil 3.2 ve Çizelge 3.2'de düz duvar ve undolin 1, 2, 3 için soğuk duvardaki ortalama Nusselt sayısı verilmiştir. Undolin 2'de ısı transferi  $Ra 5 \times 10^5$  ve  $10^6$ 'da diğer şekillere göre daha fazla, diğer Ra sayılarında birbirlerine yakındır. Düz duvar ve undolin 1 ve 3 için Nusselt sayıları bütün Ra değerlerinde birbirine yakındır.

### 3.1.3 Doğal taşınımında sıcaklık ve hız dağılımı

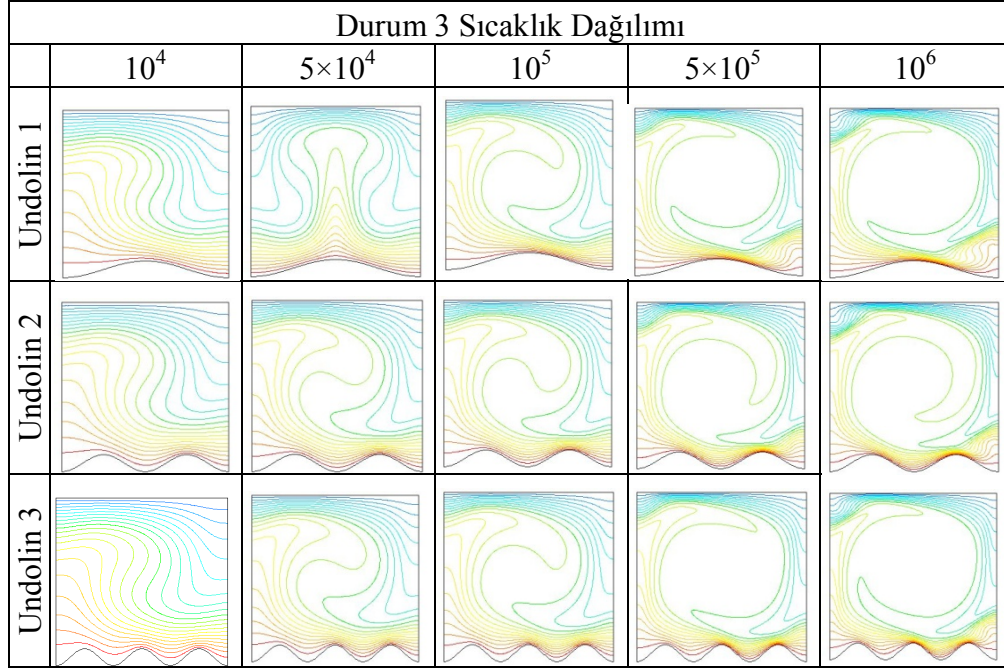
Doğal taşınımında undolin 1, 2, 3 için koşturmalar sonucunda çeşitli sıcaklık ve hız dağılımları elde edilmiştir. Bu dağılımlar durumlara göre ayrılıp tablolar haline getirilmiştir.



Şekil 3.3 Durum 1 için sıcaklık dağılımları

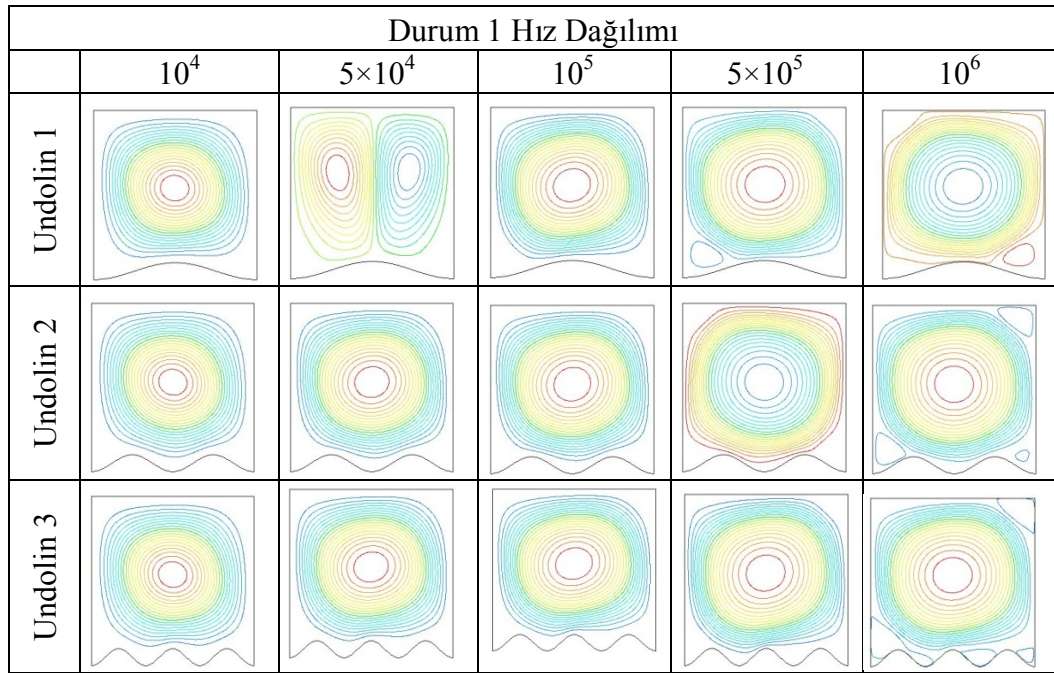


Şekil 3.4 Durum 2 için sıcaklık dağılımları

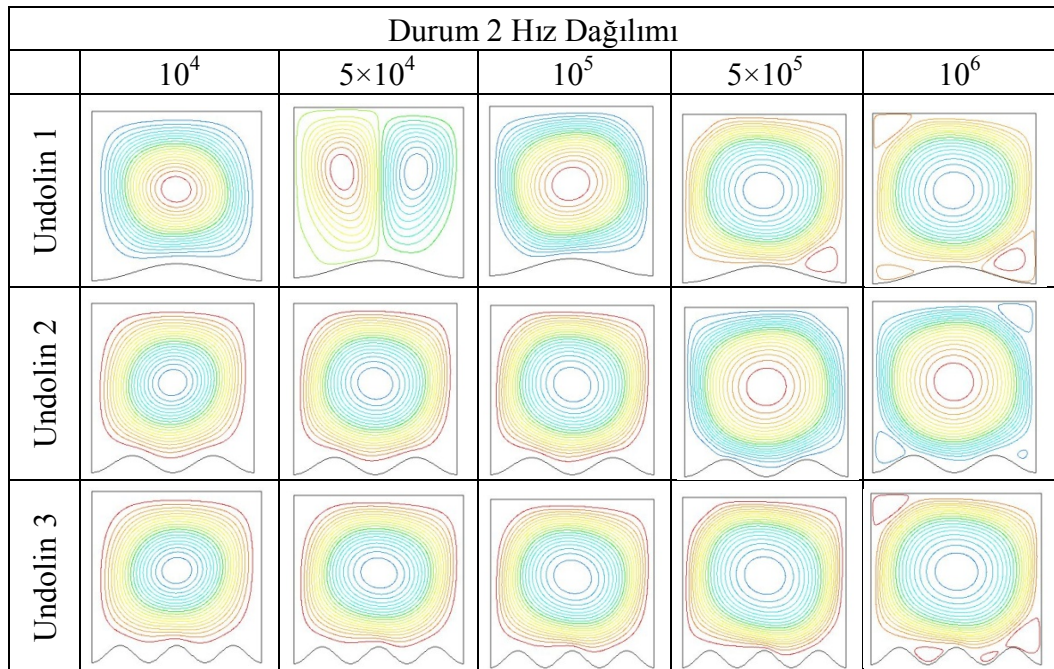


Şekil 3.5 Durum 3 için sıcaklık dağılımları

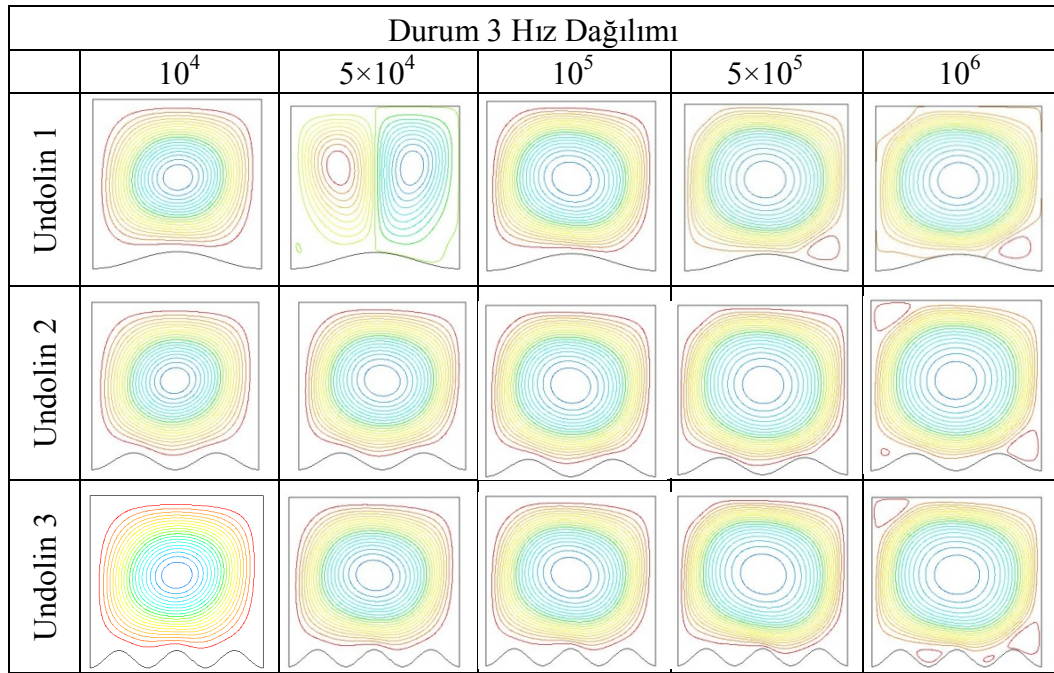
Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5'te undolin 1, 2, 3 için sıcaklık dağılımları verilmiştir. Undolin 1, 2, 3 için Rayleigh sayısı arttıkça geometrilerdeki sıcaklık çizgileri duvarlara doğru birikmekte ve sıcaklık çizgileri daha da sıklaşmaktadır. Undolin 1 Rayleigh  $5 \times 10^4$ 'te sıcaklık dağılımı undolin 2 ve 3'e göre farklıdır. Sıcaklık undolinin ortasından yukarı doğru mantar şeklinde dağılım göstermiştir. Durum 2 ve 3'te undolin 2 ve 3 için dağılım saat yönünde, durum1'de ise saat yönünün tersine duvarlara doğru dağılım eğilimindedir. Sıcaklık dağılımları incelendiğinde alt duvarda sağ tarafa doğru sıcaklık çizgileri yoğunlaşmaktadır. Bu durum Rayleigh sayısı arttıkça daha belirginleşmektedir. Soğuk duvarlar incelendiğinde ise sıcaklık çizgileri sol tarafta yoğunlaşmakla beraber Rayleigh sayısı arttıkça sıcaklık çizgileri birbirine daha yakınlaşmıştır.



Şekil 3.6 Durum 1 için hız dağılımları



Şekil 3.7 Durum 2 için hız dağılımları



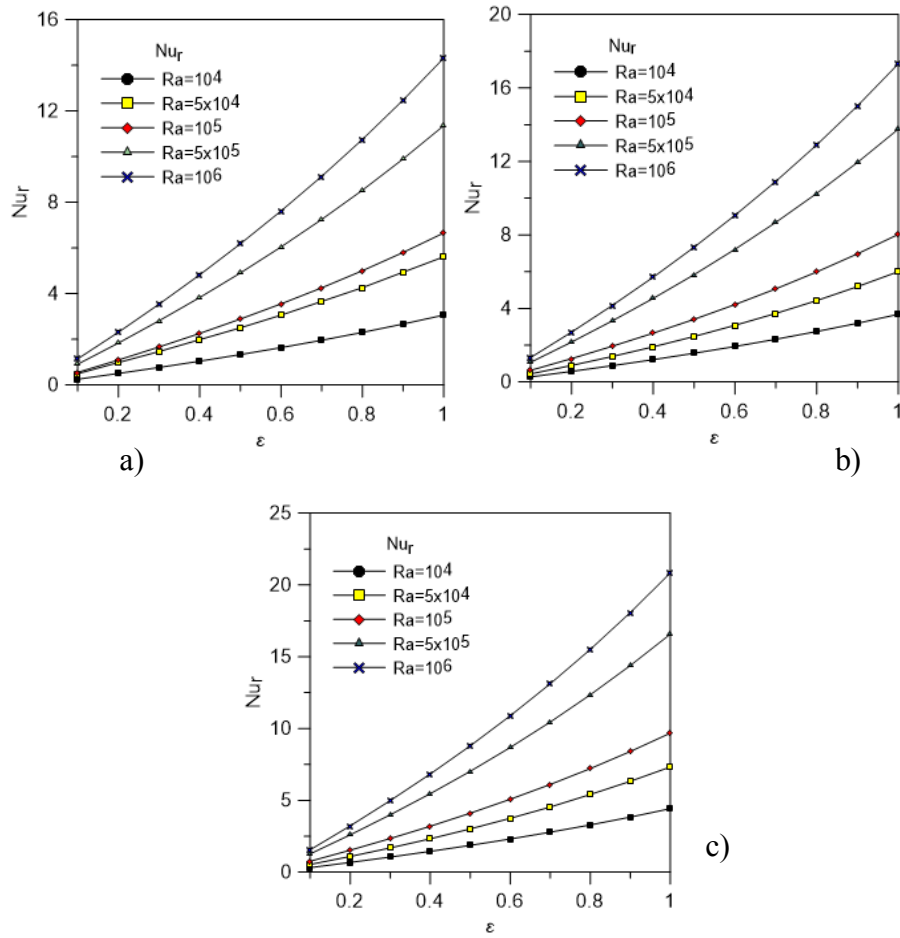
Şekil 3.8 Durum 3 için hız dağılımları

Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8'de undolin 1, 2, 3 için hız dağılımları verilmiştir. Hız dağılımları incelendiğinde Ra sayısı arttıkça hız çizgileri duvarlara doğru genişlemektedir.  $Ra=5 \times 10^4$  için hız dağılımı undolin 1'de farklıdır. Hız çizgileri iki döngü şeklinde oluşmuştur ve sağ döngü için en son hız çizgisi duvar boyunca gelişmiştir. Durum 3 için sol döngü, sağ döngüye göre küçüktür fakat sol köşede küçük çapta çalkantı oluşturmuştur, diğer durumlar bunun tersidir. Undolin 2 ve 3 ise tek döngüden oluşmuştur. Durum 3'te undolin 1,  $Ra=5 \times 10^5$  için sağ köşede çalkantı oluştuğu gözlenmiştir, undolin 2 ve 3 için bu durum oluşmamıştır.  $Ra=10^6$  da her üç şekilde çeşitli yerlerde çalkantılar oluştuğu saptanmıştır. Bu çalkantılar incelendiğinde sıcaklık dağılımında etkili olduğu ve sıcaklık çizgilerinde sapmalara neden olduğu belirlenmiştir. Çalkantılar undolin 1 için sıcak duvarda sağ köşede oluşmuştur. Undolin 2'de sıcak duvarda sağ ve sol köşelerde gözlemlendiği gibi soğuk duvarda sol üst köşede de görülmüştür. Undolin 3 için çalkantı oluşumları undolinler arasında oluşmuştur.

## 3.2 Işınım

### 3.2.1 Soğuk duvar üzerindeki ortalama $Nu_r$ değerleri

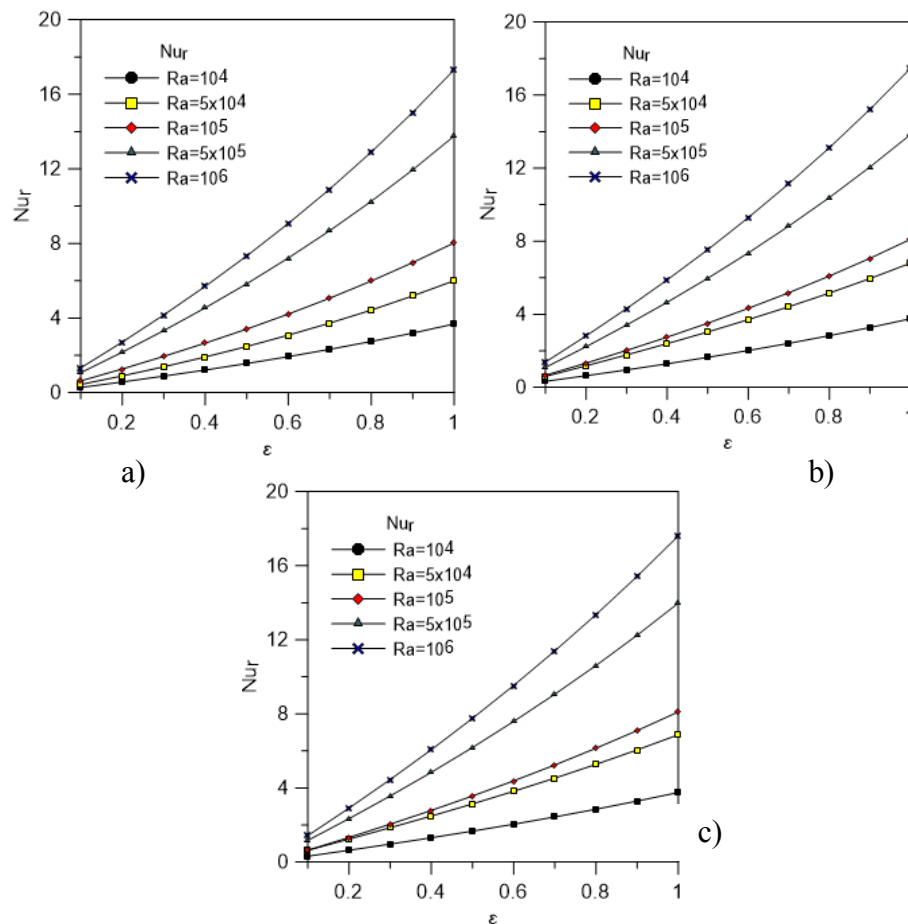
Undolin 1, 2, 3 için 0,1'den 1'e kadar olan ışınım yayma oranlarında soğuk duvardaki ortalama  $Nu_r$  değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.9 Undolin 1 soğuk duvar üzerindeki ortalama  $Nu_r$  sayıları a) Durum 1  
b) Durum 2, c) Durum 3

Şekil 3.9 durum 1, 2, 3 için undolin 1 de soğuk duvar üzerindeki ortalama  $Nu_r$  sayıları verilmiştir. Yukarıda verilen grafikler incelendiğinde her Rayleigh sayısı için

ışınım yayma oranı arttıkça  $Nu_r$  değeri de artmaktadır. Rayleigh sayısı arttıkça  $Nu_r$  çizgilerinde eğimlerde artmaktadır. Bu durumda Ra sayısı artması ısı transferinin de artmasına neden olmaktadır.  $Ra=10^4$  duvarlardaki  $Nu_r$  değerleri birbirlerine yakinen duvarlardaki ışınım yayma oranları arttıkça aralarındaki farkta artmaktadır. Bu artış  $Ra=10^4 - 10^5$  değerleri arasında  $10^5 - 10^6$  göre daha düşüktür. Undolin sayısı sabit tutulup  $T_h$  ve  $T_c$  değerleri arttıkça  $Nu_r$  değerleri de artmaktadır. Durum 1'de  $\varepsilon=1$  değerinde  $Ra 10^6$  için  $Nu_r=14,193$ , durum 2'de  $Nu_r=17,309$  ve durum 3'de  $Nu_r=20,858$  olduğu görülmüştür. Undolin sayısı sabit tutulup duvarlardaki sıcaklık arttırıldığında ışınımın etkisiyle  $Nu_r$  değerleri artmıştır.



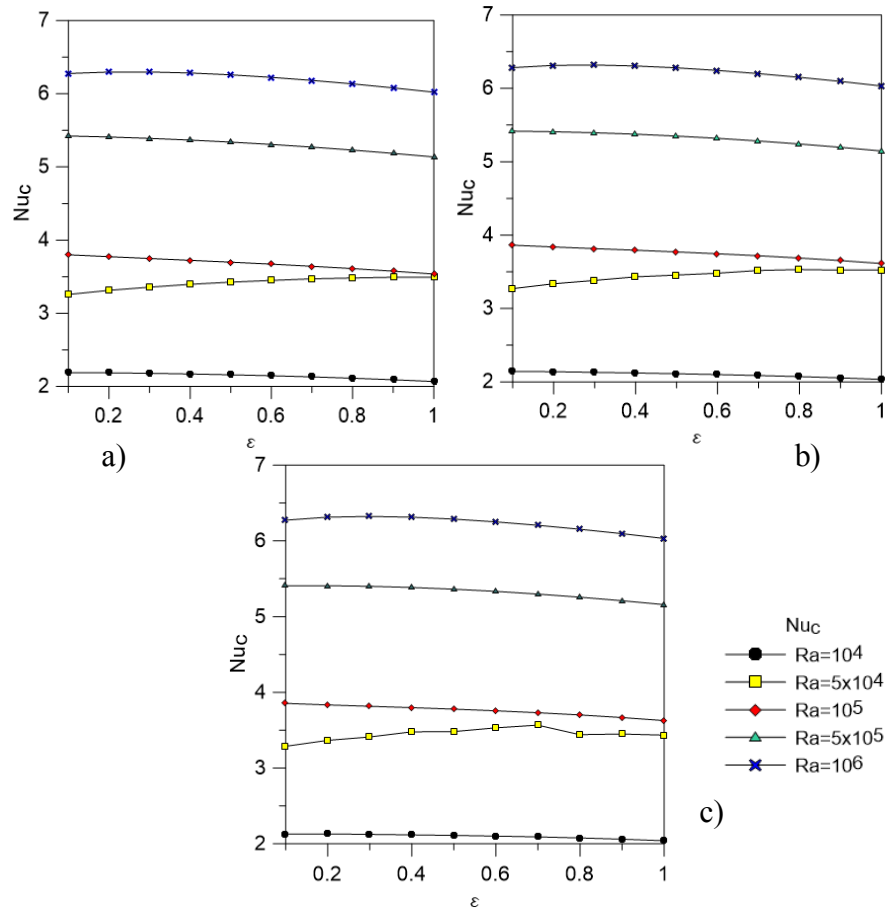
Şekil 3.10 Durum 2 için soğuk duvar üzerindeki ortalama  $Nu_r$  sayıları a) Undolin 1  
b) Undolin 2, c) Undolin 3

Şekil 3.10 undolin 1, 2, 3 için durum 2 de soğuk duvar üzerindeki ortalama  $Nu_r$  sayıları verilmiştir. Grafikleri verilerek sıcaklık değerleri sabit tutulup undolin sayıları değiştirilse  $Nu_r$  sayılarının değişimi incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda undolin 2 ve 3 için  $Ra$   $5 \times 10^4$  ve  $10^5$  değerlerinde  $Nu_r$  sayıları birbirine yakın olduğu fakat undolin 1 için bunun geçerli olmadığı görülmüştür.  $Ra=10^5$ 'te  $\varepsilon=0,5$  değerinde  $Nu_r$  değerleri undolin 1 için 7,158, undolin 2 için 7,398 ve undolin 3 için 7,484 bulunmuştur. Undolin sayısı artmasına rağmen sabit sıcaklık değerlerinde  $Nu_r$  değerlerinin çok fark etmediği gözlenmiş olup, bu durum diğer  $\varepsilon$  ve  $Ra$  değerlerinde de benzerdir. Bu durumda ışıınım da  $Nu_r$  için undolin sayısının etkili olmadığı onun yerine ortam sıcaklıklarının  $Nu_r$  için önemli olduğu görülmüştür.

### 3.2.2 Soğuk duvar üzerindeki $Nu_c$ değerleri

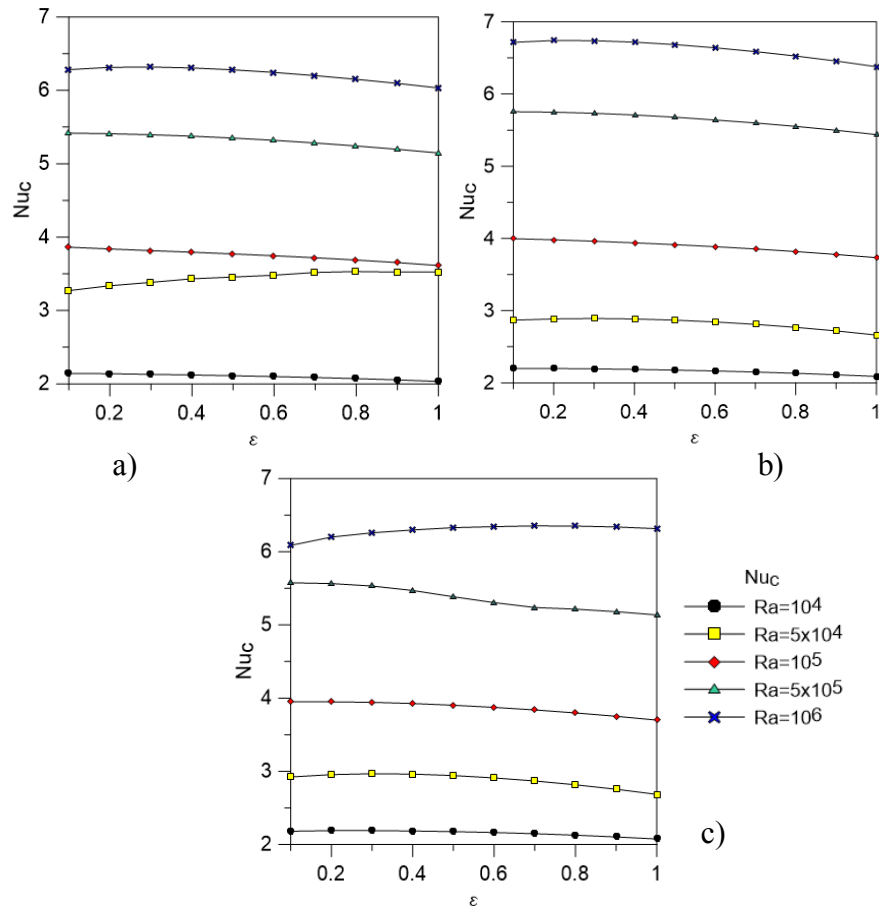
Undolin 1, 2, 3 için 0,1'den 1'e kadar olan ışıınım yayma oranlarında soğuk duvardaki  $Nu_c$  değerleri hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafiklerde undolin 1 de önceden belirlenmiş üç durum için ortalanan ortalama  $Nu_c$  değerleri verilmiştir.





Şekil 3.11 Undolin 1 soğuk duvar üzerindeki ortalama  $Nu_c$  sayıları a) Durum 1  
b) Durum 2, c) Durum 3

Şekil 3.11 Durum 1, 2, 3 için undolin 1 de soğuk duvar üzerindeki ortalama  $Nu_c$  sayıları verilmiştir. Rayleigh sayısı arttıkça  $Nu_c$  sayısı da artmaktadır. Işınım yayma oranları arttıkça  $Ra=5 \times 10^4$ 'te artma fakat diğer  $Ra$  sayılarında azalma görülmektedir. Bu azalma  $Ra$  sayısı arttıkça daha belirginleşmektedir. Durum 3'te  $\varepsilon=0,6$  ya kadar artma  $0,7$  de azalma ve sonrasında sabit bir şekilde devam etme gözlenmiştir.  $Ra=5 \times 10^4$   $\varepsilon=0,3$  de undolin 1 için  $Nu_c=3,353$ , undolin 2 için  $Nu_c=3,381$  ve undolin 3 için  $Nu_c=3,406$  olduğu bulunmuştur.  $Nu_c$  değerleri her üç durumda da birbirine yakın olup, bu durum diğer  $\varepsilon$  ve  $Ra$  değerlerinde de benzerdir. Bu durumda undolin sayıları sabit tutulup  $T_h$  ve  $T_c$  değerleri değiştirilse de  $Nu_c$  değerleri birbirine yakın çıkmaktadır.  $Nu_c$  sayıları üzerinde  $T_h$  ve  $T_c$  değişiminin büyük bir etkisi söz konusu değildir.

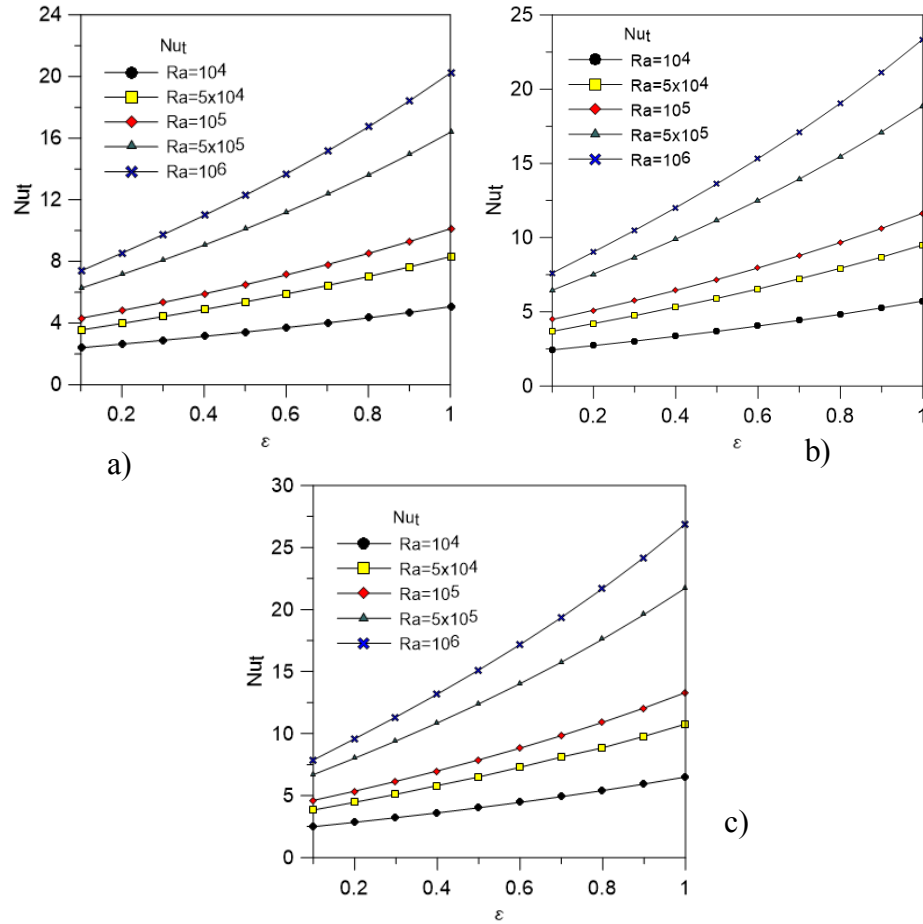


Şekil 3.12 Durum 2 için soğuk duvar üzerindeki ortalama  $Nu_c$  sayıları a) Undolin 1  
b) Undolin 2, c) Undolin 3

Şekil 3.12, undolin 1, 2, 3'de durum 2 için soğuk duvar üzerindeki ortalama  $Nu_c$  sayıları verilmiştir. Şekil 3.12 grafikleri verilerek sıcaklık değerleri sabit tutulup undolin sayıları değiştirildiğinde  $Nu_c$  sayılarının değişimini göstermektedir. Undolin 1'de  $Ra=5 \times 10^5$  ve  $10^6$  değerlerinde artma gözlenirken undolin 2 ve 3'te bu gözlenmemiştir. Undolin 1  $Ra=5 \times 10^5$  ve  $10^6$  değerleri hariç diğer bütün  $Ra$  sayılarında ışıyım yayma oranı arttıkça  $Nu_c$  sayısında da azalma görülmektedir bu azalma  $Ra$  sayısı azaldıkça düşmektedir. Durumlar sabit tutulup undolin sayıları incelendiğinde  $Nu_c$  üzerinde Değişik  $Ra$  değerlerinde farklı tepkiler ortaya çıkmıştır.

### 3.2.3 Soğuk duvar üzerindeki ortalama $Nu_t$ değerleri

Undolin 1, 2, 3 için 0,1'den 1'e kadar olan ışınım yayma oranlarında soğuk duvardaki  $Nu_t$  değerleri hesaplanmıştır. Aşağıdaki grafiklerde undolin 1'de önceden belirlenmiş üç durum için  $Nu_t$  değerleri verilmiştir.

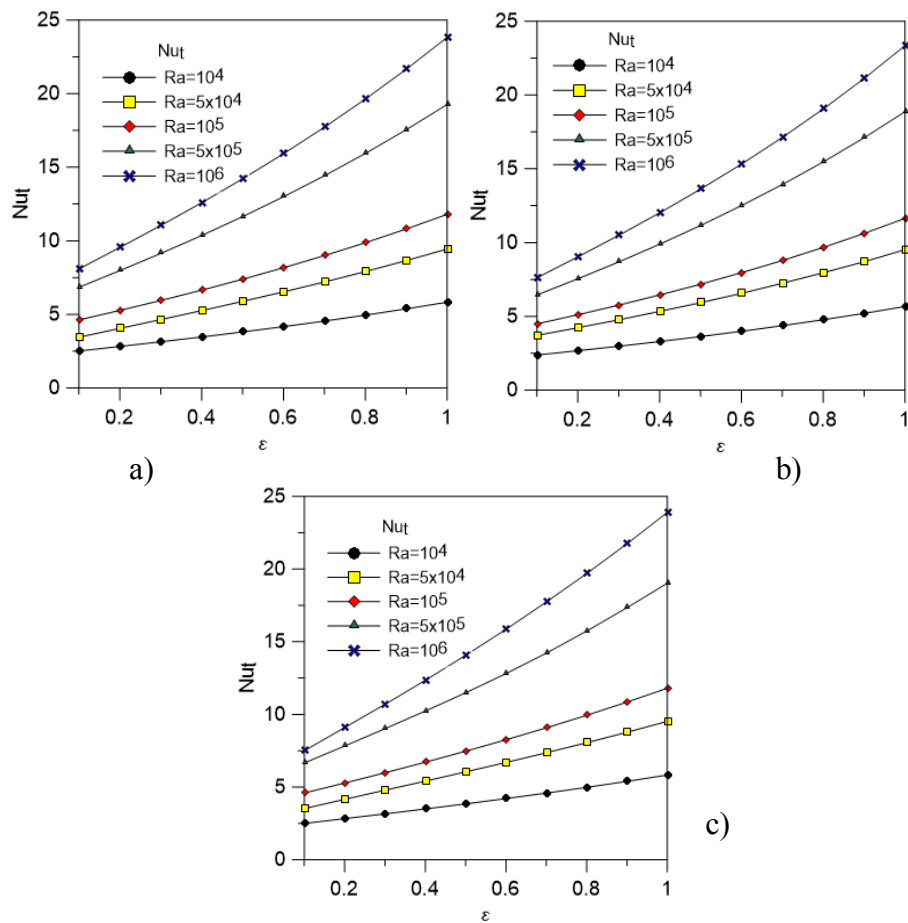


Şekil 3.13 Undolin 1 soğuk duvar üzerindeki ortalama  $Nu_t$  sayıları a) Durum 1

b) Durum 2, c) durum 3

Şekil 3.13 Durum 1, 2, 3 için undolin 1 de soğuk duvar üzerindeki ortalama  $Nu_t$  sayıları verilmiştir. Yukarıda verilen grafikler incelendiğinde her Rayleigh sayısı için ışınım yayma oranı arttıkça  $Nu_t$  değeri de artmakta ve Rayleigh sayısı arttıkça  $Nu_t$  eğrilerinin eğimleri de artmaktadır.  $Ra=5 \times 10^4$  ve  $10^5$  değerleri arasında her ışınım

yayma oranında  $Nu_t$  değerleri birbirine yakinken, benzer durum  $5 \times 10^5$  ve  $10^6$  için de geçerlidir.  $Ra=10^4$  ile  $5 \times 10^5$  değerleri arasındaki fark ışıma yayma oranı artıktır. Bu durum  $Ra=10^5$  ile  $5 \times 10^5$  arasında daha belirgindir ve ışıma yayma oranları arttıkça  $Ra=5 \times 10^5$ 'in eğimi  $10^5$ 'e göre daha da fazladır.  $Ra=10^5$ ,  $\varepsilon=0,7$  de  $Nu_t$  değerlerinin durum 1'de 7,788, durum 2'de 8,765 ve durum 3'te 9,811 olduğu görülmüştür. Undolin sayısı sabit tutulup  $T_h$  ve  $T_c$  sıcaklıkları artırıldığında soğuk duvar üzerindeki  $Nu_t$  değerleri de artmakta olup, bu durum diğer  $\varepsilon$  ve  $Ra$  değerlerinde de benzerdir.  $Ra$  sayısı sabit tutulup ışıma yayma oranı arttıkça durum 1, 2, 3 için ortalama  $Nu_t$  sayıları arasındaki fark artmaktadır  $\varepsilon=0,1$  için üç durumdaki  $Nu_t$ ' nin aralarındaki fark  $\varepsilon=1$ 'e göre daha düşüktür.

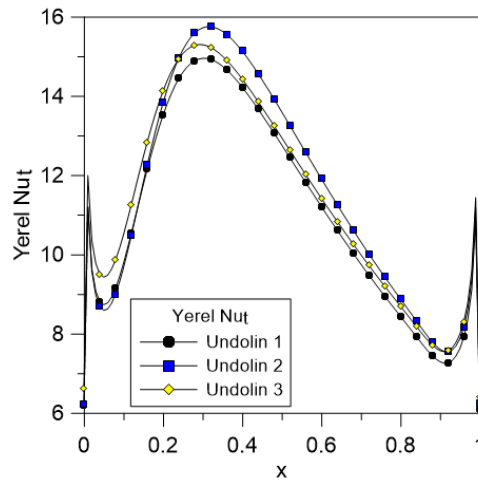


Şekil 3.14 Durum 2 için soğuk duvar üzerindeki ortalama  $Nu_t$  sayıları a) Undolin 1  
b) Undolin 2, c) Undolin 3

Şekil 3.14'te undolin 1, 2, 3 için durum 2 de soğuk duvar üzerindeki ortalama  $Nu_t$  sayıları verilmiştir. Işınım için durum sabit tutulup undolin sayıları değiştirildiğinde, undolin 1 için  $Ra=5 \times 10^4$  ile  $10^5$ 'te  $Nu_t$  değerlerini gösteren çizgiler birbirine yakınken, bu durum undolin 2 ve 3 için geçerli değildir. Işınım yayma oranları arttıkça  $Nu_t$  değeri de artmaktadır.  $Ra$  değerleri yükseldikçe eğimler de artmaktadır.  $Ra=10^4$ 'te  $\varepsilon=0,3$  değerinde undolin 1 için  $Nu_t=3,019$ , undolin 2 için 3,116 ve undolin 3 için 3,155 olduğu görülmüştür.  $T_h$  ve  $T_c$  değerleri sabit tutulup undolin sayıları değiştirildiğinde  $Nu_t$  değerleri birbirine yakın olup bu durumda sabit ortam şartları alındığında undolin sayılarının  $Nu_t$  üzerine etkileri benzerdir. Undolin sayılarının değiştirilmesi  $Nu_t$  üzerinde büyük değişikliklere neden olmamaktadır.

### 3.2.4 Yerel $Nu_t$ değerleri

Işınım ile ısı transferinde soğuk duvar boyunca yerel  $Nu_t$  değerlerinin dağılımları incelenmiştir.



Şekil 3.15  $Ra = 5 \times 10^5$ , Durum 2,  $\varepsilon=0,5$ 'te soğuk duvar üzerindeki yerel  $Nu_t$  değerleri

Şekil 3.15'de  $Ra = 5 \times 10^5$  durum 2  $\varepsilon=0,5$ 'te soğuk duvar üzerindeki yerel  $Nu_t$  değerleri verilmiştir. Soğuk duvar üzerindeki  $Nu_t$  değerleri duvarın sol köşesinden başladığında her undolin için ilk önce negatif eğimli şekilde azalmış daha sonra pozitif eğimle artmıştır. Bu artış her undolinde benzer yerlerde en yüksek değerlere ulaşmıştır.

$Nu_t$  sayısının en yüksek değerlerine bakıldığında, en yüksek değer undolin 2'de olup en düşük değer undolin 1'de dir. Bütün geometrilerde en yüksek değerden sonra negatif eğimle  $Nu_t$  değerleri azalmıştır. Sol duvarda olduğu gibi her undolin için benzer yerlere kadar bu azalma sürmüştür daha sonra duvar çeperinin sonuna kadar artmıştır. Yerel  $Nu_t$  sayılarının başlangıç ve bitiş değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Şekil 3.15'deki grafik yorumlandığında, ısı transferinin en çok ortalama  $x= 0,3$  cm de olduğu anlaşılmıştır. Bu tip yapılan çalışmalarda soğutulmak istenen parça duvar üzerinde sol üst köşeye,  $Nu_t$  değerlerinin en yüksek olduğu bölgeye konulduğunda en iyi verim alınacağı saptanmıştır.

### 3.2.5 Düz duvar ve undolinlerin karşılaştırılması

Doğal taşınımında olduğu gibi ışıınım için yapılan koşturmaların doğruluğunun saptanması için literatür araştırması yapıldığında bu çalışma ile karşılaştırılacak benzer geometrilere sahip çalışmalar bulunamamıştır. Fluent®'in doğru çalıştığını görmek için Ridouane ve arkadaşlarının (2010) yaptığı çalışma incelenmiştir. Ridouane ve arkadaşları düz duvar üzerinde değişik  $Ra$  sayılarında ve değişik ışıınım yayma oranlarında ışıınım ile ısı transferini incelemişlerdir.

Çizelge 3.3 Işıınımda düz duvar ve literatürdeki  $Nu_c$ ,  $Nu_r$  ve  $Nu_t$  değerleri

Ra Değ.	$\varepsilon$	Düz duvar			Ridouane (2010)				
		Grid	$Nu_c$	$Nu_r$	$Nu_t$	Grid	$Nu_c$	$Nu_r$	$Nu_t$
$4 \times 10^5$	1	50×50	4,663	12,259	16,922	51×51	4,722	11,462	16,183
$10^6$	0,5		5,952	7,011	12,963		6,267	6,599	12,866
$4 \times 10^5$	1	100×100	4,706	12,258	16,963	101×101	4,658	11,506	16,164
$10^6$	0,5		6,016	7,016	13,032		6,051	6,623	12,673

Çizelge 3.3'de değişik grid sayılarında düz duvarda soğuk duvar üzerindeki  $Nu_c$ ,  $Nu_r$  ve  $Nu_t$  değerleri Ridouane ve arkadaşlarının çalışmaları ile karşılaştırılmıştır. Literatürdeki çalışmalarda 51×51 ve 101×101 gridlerde çalışılmıştır. Yapılan bu çalışmada gridler 50×50 ve 100×100 olarak seçilmiştir. Grid sayılarının bir birine çok yakın olması da dikkate alındığında  $Nu_c$ ,  $Nu_r$  ve  $Nu_t$  değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Sonuç olarak Fluent® programının kullandığı kodların doğruluğu teyit edilmiştir.

Çizelge 3.4 Durum 1, 2, 3 için düz duvar ve undolinlerin  $Nu_t$  değerleri

Durum 1					
$\varepsilon$	Ra	Düz duvar	Undolin1	Undolin2	Undolin3
0,1	$10^4$	2,377	2,373	2,441	2,440
	$5 \times 10^4$	3,660	3,598	3,332	3,413
	$10^5$	4,362	4,306	4,525	4,493
	$5 \times 10^5$	6,328	6,287	6,651	6,503
	$10^6$	7,350	7,367	7,843	7,245
0,5	$10^4$	3,379	3,389	3,491	3,533
	$5 \times 10^4$	5,352	5,418	5,333	5,489
	$10^5$	6,483	6,484	6,769	6,828
	$5 \times 10^5$	9,997	10,120	10,564	10,428
	$10^6$	11,993	12,273	12,845	12,693
1	$10^4$	5,038	5,044	5,129	5,142
	$5 \times 10^4$	8,213	8,359	8,247	8,331
	$10^5$	10,092	10,116	10,355	10,351
	$5 \times 10^5$	16,271	16,410	16,773	16,464
	$10^6$	19,928	20,216	20,684	20,624
Durum 2					
$\varepsilon$	Ra	Düz duvar	Undolin1	Undolin2	Undolin3
0,1	$10^4$	2,424	2,423	2,4928	2,497
	$5 \times 10^4$	3,738	3,688	3,4358	3,524
	$10^5$	4,459	4,473	4,6340	4,611
	$5 \times 10^5$	6,501	6,470	6,8442	6,705
	$10^6$	7,577	7,603	8,0936	7,521
0,5	$10^4$	3,661	3,675	3,7877	3,843
	$5 \times 10^4$	5,828	5,907	5,8684	6,047
	$10^5$	7,081	7,159	7,3984	7,485
	$5 \times 10^5$	11,022	11,174	11,6445	11,529
	$10^6$	13,277	13,604	14,2116	14,088
1	$10^4$	5,707	5,717	5,8077	5,828
	$5 \times 10^4$	9,353	9,504	9,4276	9,524
	$10^5$	11,527	11,625	11,8114	11,822
	$5 \times 10^5$	18,703	18,891	19,2675	19,074
	$10^6$	23,039	23,338	23,8254	23,922

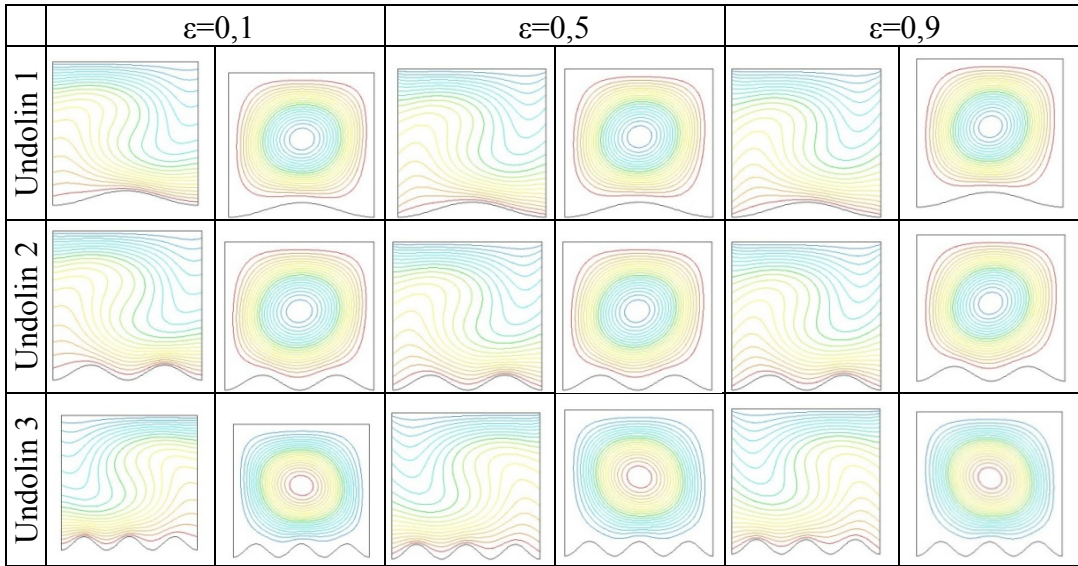
Durum 3					
$\varepsilon$	Ra	Düz duvar	Undolin1	Undolin2	Undolin3
0,1	$10^4$	2,476	2,478	2,478	2,561
	$5 \times 10^4$	3,826	3,792	3,792	3,653
	$10^5$	4,571	4,590	4,590	4,746
	$5 \times 10^5$	6,701	6,677	6,677	6,937
	$10^6$	7,834	7,872	7,872	7,790
0,5	$10^4$	3,986	4,005	4,005	4,199
	$5 \times 10^4$	6,376	6,458	6,458	6,682
	$10^5$	7,767	7,860	7,860	8,238
	$5 \times 10^5$	12,196	12,376	12,376	12,798
	$10^6$	14,738	15,118	15,118	15,717
1	$10^4$	6,474	6,489	6,489	6,613
	$5 \times 10^4$	10,659	10,720	10,720	10,883
	$10^5$	13,169	13,279	13,279	13,505
	$5 \times 10^5$	21,478	21,717	21,717	21,997
	$10^6$	26,774	26,895	26,895	27,448

Çizelge 3.4'te durum 1, 2 ve 3 için düz duvar ve undolinlerin  $Nu_t$  değerleri verilmiştir. Ra sayısı arttıkça  $Nu_t$  sayıları da artmakta ve durumlar değiştiğinde bütün şekillerdeki her Ra sayısındaki  $Nu_t$  sayıları da artmaktadır. Durum 1 için  $\varepsilon=0,1$  de  $Nu_t$  sayıları karşılaştırıldığında undolin 2'de  $Nu_t$  sayısı düz duvar ve diğer undolinlerden büyüktür.  $\varepsilon=0,5$  ve 1 de undolin 3'de  $Nu_t$  değeri düz duvar ve diğer undolinlerden fazladır.  $T_h$  ve  $T_c$  değerleri arttığında undolinler de olduğu gibi düz duvarda da  $Nu_t$  sayısı artmaktadır. Bütün durumlarda en büyük  $Nu_t$  sayısı  $\varepsilon=1$ ,  $Ra=10^6$ 'da, en küçük  $Nu_t$  sayısı ise  $\varepsilon=0,1$   $Ra=10^4$ 'te olduğu görülmüştür. Düz duvar ve undolin sayıları karşılaştırıldığında genelde düz duvardaki  $Nu_t$  sayıları undolinlere göre düşük fakat fark büyük değildir. Alt duvarın şeklinin düz veya undolin olması ısı transferini büyük ölçüde etkilememektedir. Isı transferini, undolin ve düz duvarda Ra sayısı ve ışıyım yayma oranının etkilediği görülmüştür.

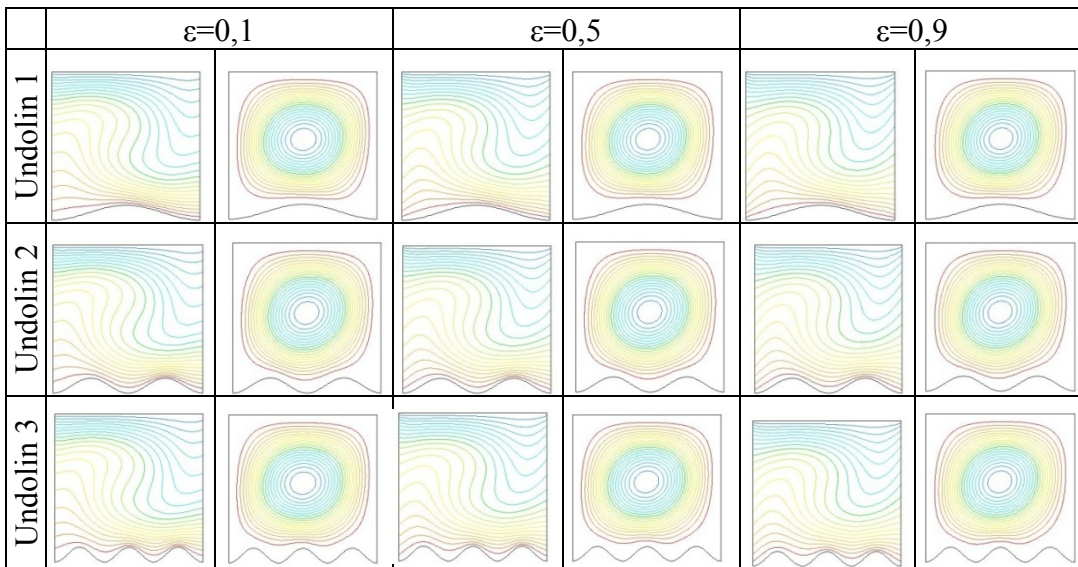
### 3.2.6 Işıyımında sıcaklık ve hız dağılımı

Işıyımında undolin 1, 2, 3 için farklı Ra sayıları ve ışıyım yayma oranlarında koşturmalar yapıp, çeşitli sıcaklık ve hız dağılımları elde edilmiştir.

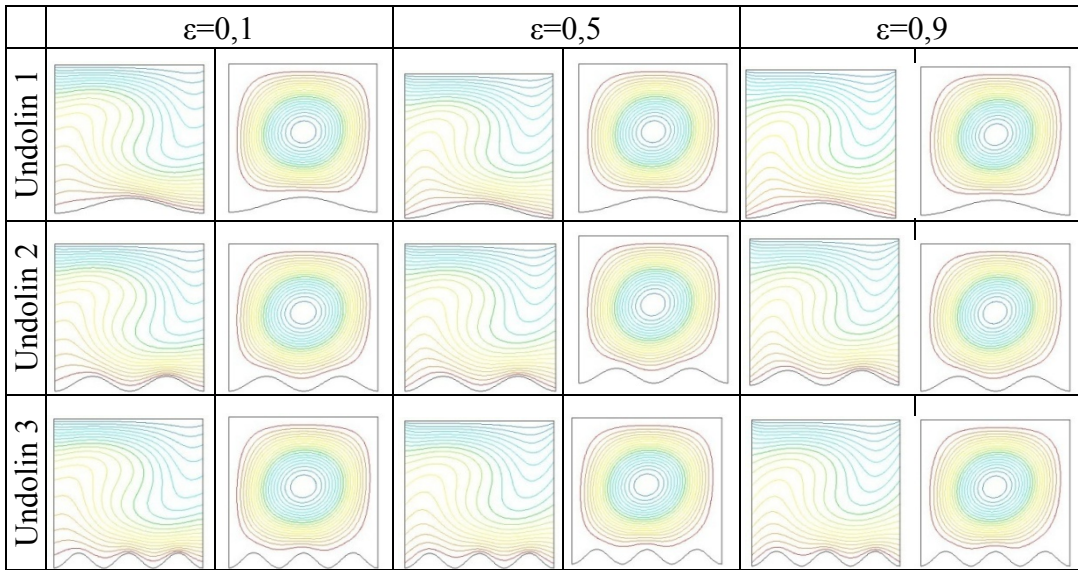




Şekil 3.16  $Ra=10^4$  durum 1 için (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları

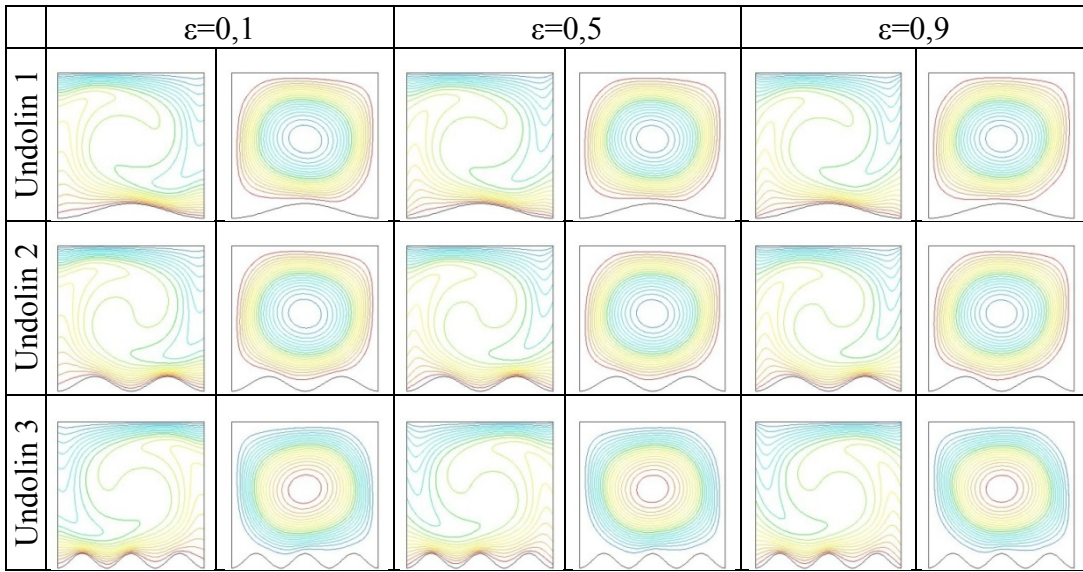


Şekil 3.17  $Ra=10^4$  durum 2 için hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları

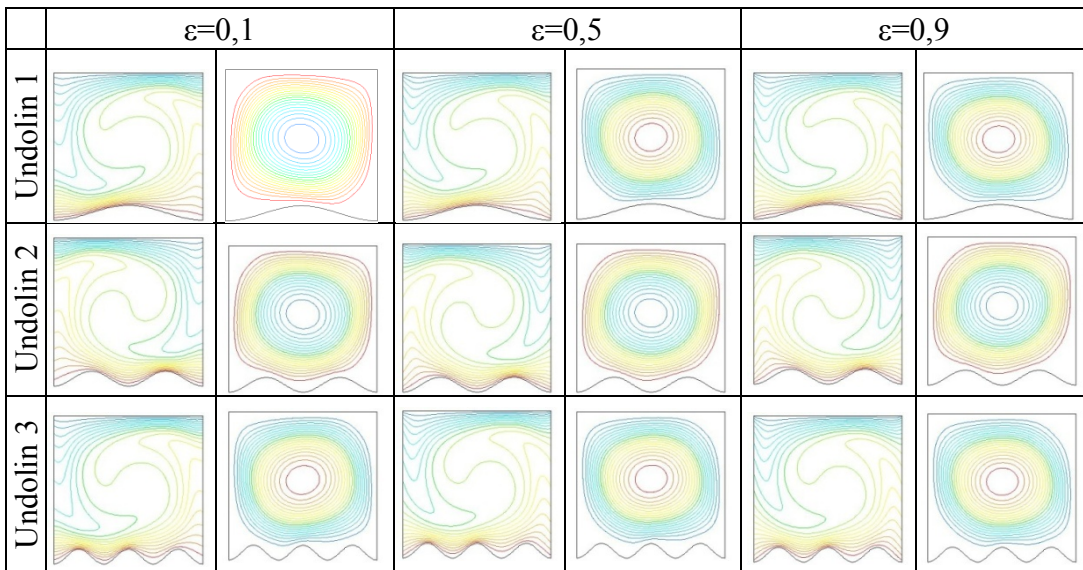


Şekil 3.18  $Ra=10^4$  durum 3 için hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları

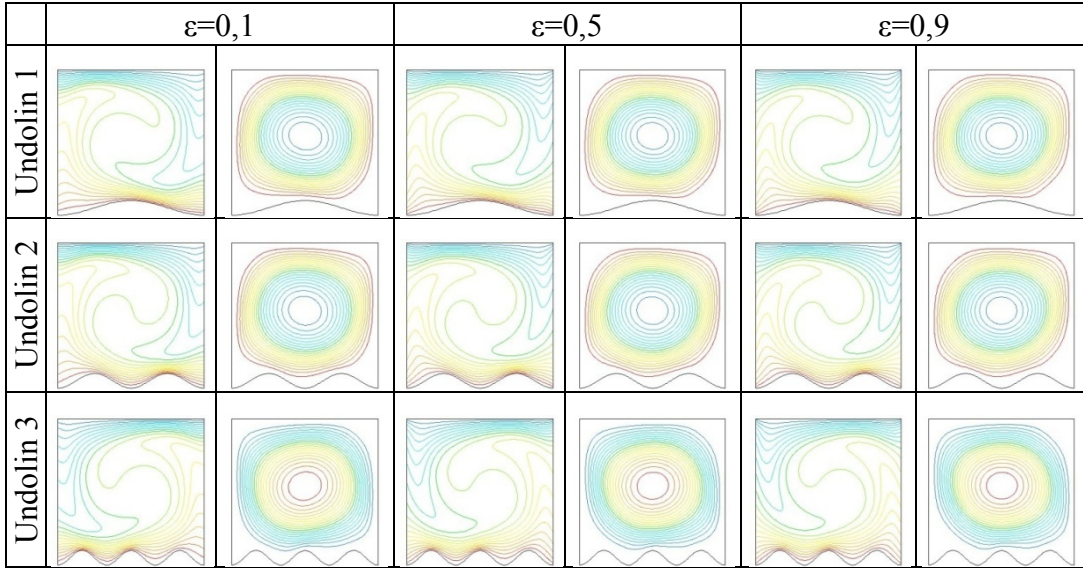
Şekil 3.16, Şekil 3.17, Şekil 3.18'de  $Ra=10^4$  için durum 1, 2, 3'de değişik ışıyım yayma oranlarında sıcaklık ve hız dağılımları verilmiştir. Işıyım için  $Ra=10^4$ 'te hız ve sıcaklık dağılımları doğal taşıyım ile benzer özelliklerdedir. Sıcaklık dağılımlarında bütün undolinler de sıcaklık çizgileri sıcak duvarda sağ köşede yoğunlaşmaktadır. Soğuk duvara yaklaştıkça sıcaklık çizgileri sol üst köşeye doğru yoğunlaşmakta olduğu görülmüştür. Undolin 3 durum 1 için bu durum söz konusu olmayıp, sıcaklık eğrileri diğer durum ve undolin sayılarına göre zıt yöndedir. Sıcaklık çizgileri dikkatlice incelendiğinde ışıyım yayma oranı arttıkça saat yönünde dönme eğilimi artmaktadır.  $Ra=10^4$  için undolin sayılarının değişmesi sıcaklık çizgileri ve hız çizgileri üzerinde büyük etkiler yapmayıp her undolin sayılarında benzer şekiller oluşturmaktadır. Hız dağılımları incelendiğinde sıcaklık dağılımları gibi aynı durumlar meydana gelmektedir. Bütün durumlarda hız dağılımları tek döngüden oluşup undolin sayılarına göre en dıştaki hız çizgilerinde duvar geometrisinin etkisiyle oluştuğu tespit edilmiştir. Undolin 1'in orta noktasında en dıştaki hız çizgi geometri etkisiyle içe doğru yükselme undolin 2 için ise orta ya doğru sarkma eğilimi mevcut olup, undolin 3'te ortaya doğru yükselme ve yanlara doğru sarkma görülmektedir.



Şekil 3.19  $Ra=10^5$  durum 1 için hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları

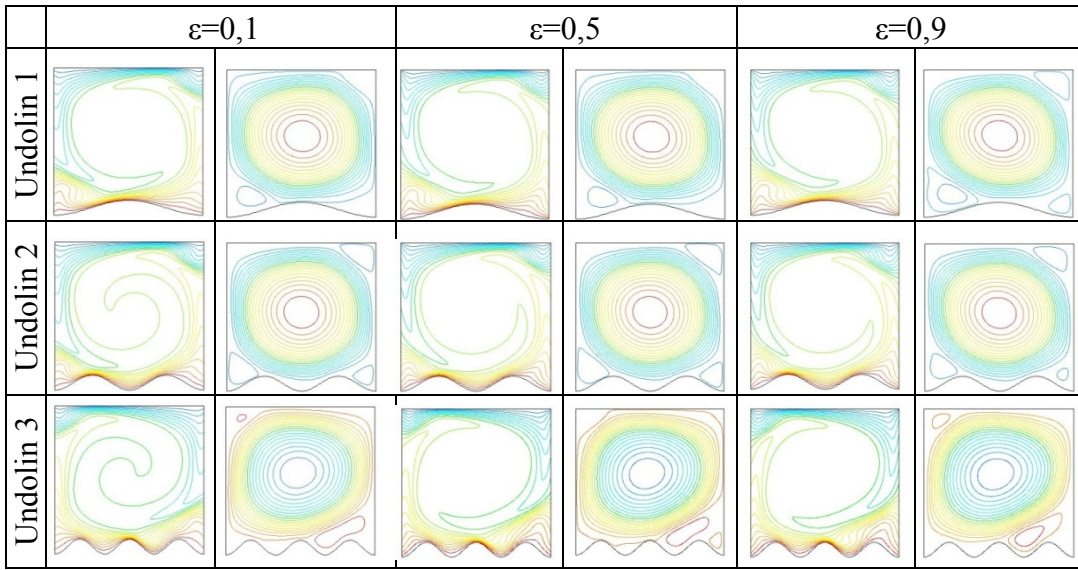


Şekil 3.20  $Ra=10^5$  durum 2 için hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları

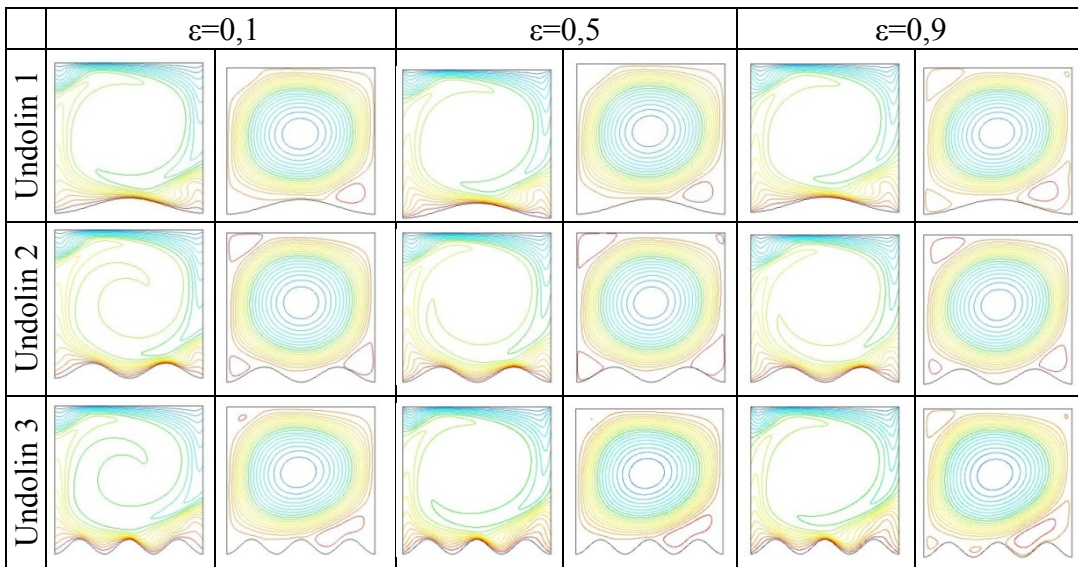


Şekil 3.21  $Ra=10^5$  durum 3 için hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları

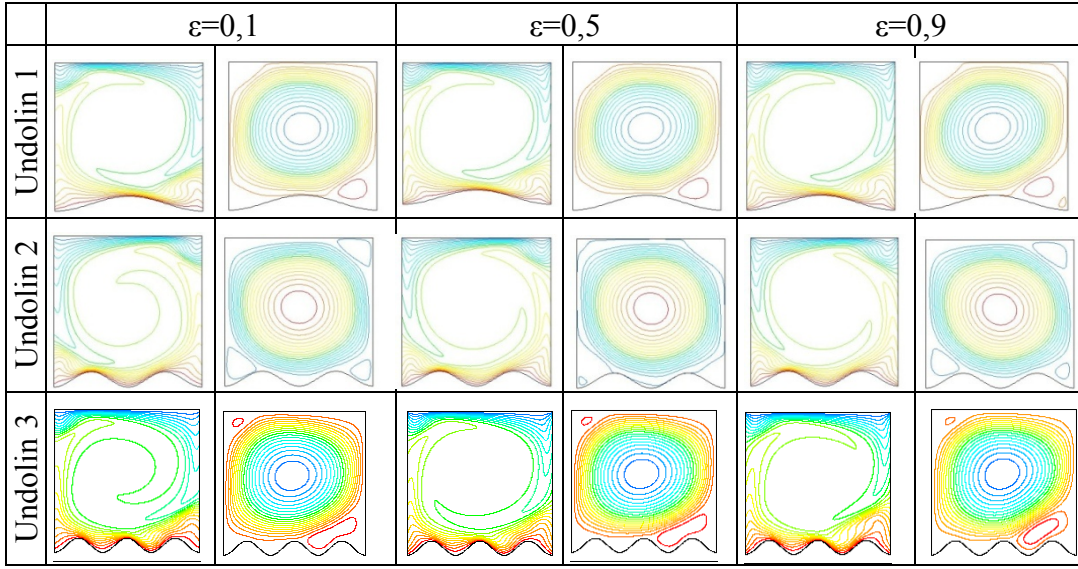
Şekil 3.19, Şekil 3.20, Şekil 3.21'de  $Ra 10^5$ 'te durum 1 ,2, 3 için değişik ışınlım yayma oranlarında sıcaklık ve hız dağılımları verilmiştir.  $Ra=10^5$ 'te ışınlım için hız ve sıcaklık dağılımları doğal taşınım ile benzer özellikleri sergilemektedir. Sıcaklık dağılımlarında her undolin ve ışınlım yayma oranlarında saat yönünde ve saatin tersi yönünde döngüler oluşturacak şekilde gelişmiştir. Hız dağılımları incelendiğinde duvar çeperleri boyunca hız dağılımları olduğu görülmektedir.  $Ra=10^5$ 'te hız dağılımlarında çalkantı olmadığı tespit edilmiştir. Alt duvarın geometrisinin değişmesine bağlı olarak akım çizgilerinde değişmeler meydana gelmiştir.



Şekil 3.22  $Ra=10^6$  durum 1 için hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları



Şekil 3.23  $Ra=10^6$  durum 2 için hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları



Şekil 3.24  $Ra=10^6$  durum 3 hız için hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları

Şekil 3.22, Şekil 3.23, Şekil 3.24'de  $Ra=10^6$ 'da durum 1, 2, 3 için değişik ışıınım yayma oranlarında sıcaklık ve hız dağılımları verilmiştir. Hız ve sıcaklık dağılımları ışıınımda  $Ra=10^4$  ve  $10^5$ 'te olduğu gibi  $10^6$ 'da da doğal taşınım ile benzer özellikleri sergilemektedir. Sıcaklık dağılımların her undolin ve ışıınım yayma oranlarında saat yönünde ve saatin tersi yönünde döngüler oluşturacak şekilde gelişmiştir. Sıcaklık eğrileri duvarlara doğru yoğunlaşmakta ve hız dağılımlarında çeşitli yerlerde çalkantılar oluştuğu gözlenmiştir. Bu çalkantılar sıcaklık dağılımında etki ederek çizgilerde sapmalar meydana getirmiştir. ışıınım yayma oranları arttıkça undolinler de çalkantı oluşumunda genelde artmalar olduğu saptanmıştır. Undolin 2'de köşelerde olmak üzere üçer tane çalkantı oluştuğu, diğer geometrilerle karşılaştırıldığında en çok çalkantı oluşumun undolin 2'de olduğu görülmüştür.

## BÖLÜM 4

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada iki boyutlu kapalı dikdörtgensel bir şekilde doğal taşınım ve ışıınım ile ısı geçişi sayısal olarak incelenmiştir. Dikdörtgensel şeklin alt kısmı sinüzoidal olarak 1, 2 ve 3 undolinden oluşmaktadır. Oluşturulan sistemde alt ve üst duvarlar sıcak, sağ ve sol duvarlar tamamen yalıtılmış kabul edilmiştir. Alt ve üst duvar arasında 20K sıcaklık farkı mevcut olup alt duvar üst duvardan sıcaktır. Ortam şartları  $10^4$ - $10^6$  Rayleigh sayılarında çözülmüştür. Işınım ile ısı geçişi incelenirken ışıınım yayma oranları 0,1-1 arasında on farklı değer seçilmiştir. Her durum ve geometri için soğuk duvar üzerinde ortalama  $Nu_c$ ,  $Nu_r$ , ve  $Nu_t$  değerleri hesaplanmıştır. Bu çalışmadan şu sonuçlar elde edilmiştir:

- Doğal taşınımında  $Ra$  sayısı arttıkça soğuk duvar üzerindeki ortalama Nusselt sayısı da artmıştır.
- Doğal taşınımında sıcaklık farkı sabit tutulup sıcak ve soğuk duvardaki sıcaklıkları değiştirildiğinde her durumdaki soğuk duvar üzerindeki ortalama Nusselt sayısı aynı çıkmıştır.
- Doğal taşınımında undolin 2'deki ortalama Nusselt sayısı undolin 1 ve 3'ten daha yüksektir. Tasarım yapıldığında, doğal taşınımında undolin 2'deki ısı transferi diğer geometrilere göre daha fazla olduğundan sistemden daha çok ısı çekilebilir.
- Işınımında soğuk duvar üzerinde ortalama  $Nu_r$  sayılarında undolin sayısı sabit tutulup duvarlar üzerindeki sıcaklık değiştirildiğinde değerlerde değişme olmuştur. Durumlar sabit tutulup undolin sayıları değiştirildiğinde her durumdaki  $Nu_r$  sayılar birbirine yakın çıkmıştır. Sonuç olarak ışıınımında  $Nu_r$  sayılarını duvarlar üzerindeki sıcaklık etkilemektedir. Duvarlar üzerindeki sıcaklıklar arttıkça  $Nu_r$  sayıları da artmıştır.

- Işınımında soğuk duvar üzerindeki ortalama  $Nu_c$  sayısı, undolin sayısı sabit tutulup ortam sıcaklıkları değiştirildiğinde birbirlerine yakın çıkmıştır. Durumlar sabit tutulup undolin sayıları değiştirildiğinde  $Nu_c$  sayıları da değişmektedir. Bu değişimde genelde en yüksek değer undolin 2 de olup durumlara göre de değiştiği gözlemlenmiştir.
- Işınımında soğuk duvar üzerindeki ortalama  $Nu_t$  sayısı,  $Nu_r$  sayısı ile benzer özellikleri sergilemiştir. Undolin sayısı sabit tutulup duvarlar üzerindeki sıcaklık değiştirildiğinde değerlerde değişme olmuştur. Undolin sayısı arttığında  $Nu_t$  sayıları da artmıştır. Durumlar sabit tutulup undolin sayıları değiştirildiğinde her durumdaki  $Nu_t$  sayılar birbirine yakın çıkmıştır.
- Doğal taşınımında ve ışınımında sıcaklık ve hız dağılımları benzer özellikler göstermekte olduğu sonucuna varılmıştır.  $Ra$  sayısı arttıkça geometrilere çalkantılar olduğu görülmüştür.
- Bu tarz tasarımlar yapıldığında ısı transferi özelliklerinin önem taşıdığı görülmüştür. Işınımında ortam sıcaklıkları ısı transferini etkilerken doğal taşınımında aynı şartlarda etkilememektedir. Işınımında undolin sayıları ısı transferi üzerinde büyük etkiler yapmazken doğal taşınım da ısı transferini etkilemektedir. Tasarımlar gerçekleştirilirken bu şartlar göz önünde bulundurulmalıdır.



## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Tekkalmaz M., 2013, Natural convection heat transfer and air flow in rectangular enclosures with a wavy wall, *J. of Thermal Science and Technology* 33,1, 21-31.
- Amiri A., Khanafer K., Bull J., Pop I., 2007, Effect of sinusoidal wavy bottom surface on mixed convection heat transfer in a lid-driven cavity, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50, 1771–1780.
- Ridouane E. H., Hasnaouia M., Amahmida A., 2010, Rajib A., Interaction between natural convection and radiation in a square cavity heated from below, *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 45: 3, 289 — 311
- Ouertatani N., Cheikh N.B., Beya B.B., Lili T., 2008, Numerical simulation of two-dimensional Rayleigh–Bénard convection in an enclosure, *C. R. Mecanique*, 336, 464–470
- Garret M. D., 2002, An experimental and numerical study of natural convective heat transfer from a plate “wavy” surface, Master thesis, Queen’s University, Ontario, Canada,
- Bhavnnani S. H., Bergles A. E., 1991, Natural convection heat transfer from sinusoidal wavy surfaces, *Heat and Mass Transfer Volume 26, Number 6*, 341-349.
- Murthy P. V. S. N., Kumar B. V. R., Singh P., Natural convection heat transfer from a horizontal wavy surface in a porous enclosure, Department of Mathematics, Indian Institute of Technology, Kanpur, 208 016, India.
- Das P.K., Mahmud S., 2003, Numerical investigation of natural convection inside a wavy enclosure, *International Journal of Thermal Sciences*, 42, 397–406.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

Ashjaee M., Amiri M., Rostami J., A, 2007, Correlation for free convection heat transfer from vertical wavy surfaces, *Heat Mass Transfer*, 44, 101–111.

Jang J.H., Yan W.M., Liu H.C., 2003, Natural convection heat and mass transfer along a vertical wavy surface, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46, 1075–1083.

Hossain M. A., Rees D. A. S, 1999, Combined heat and mass transfer in natural convection flow from a vertical wavy surface, *Acta Mechanica* 136, 133 141,

Yao L.S, 2006, Natural convection along a vertical complex wavy surface, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49, 281–286.

Incropera F.P., DeWitt D.P., 2007, *Isı ve kütle geçişinin temelleri*, Dördüncü baskıdan çeviri, Literatür Yayıncılık.

Böcü Z., 2010, Üç boyutlu kapalı dikdörtgensel kutularda pim kullanımı ve doğal taşınım ile ısı geçişinin arttırılması, Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.

Ansys Fluent, 2009, *User's guide*, Ansys Inc.

Sinüzoidal Duvarlı Kapalı Dikdörtgen Geometride Yüzeş Işınımı İle Doğal Taşınımın  
Sayısal İncelenmesi

Mehmet AKTAŞ

EKLER

Ek.1 Tüm Durumlar Ve Geometriler İçin Soğuk Duvar Üzerindeki Ortalama  $Nu_c$ ,  $Nu_r$ ,  
Ve  $Nu_t$  Değerleri

Ek.2 Işınım İçin Hız Ve Sıcaklık Dağılımları

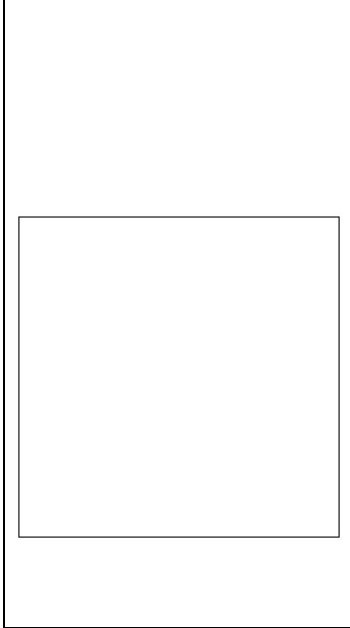
Danışman: Yrd. Doç. Dr Mesut TEKKALMAZ

Haziran 2013

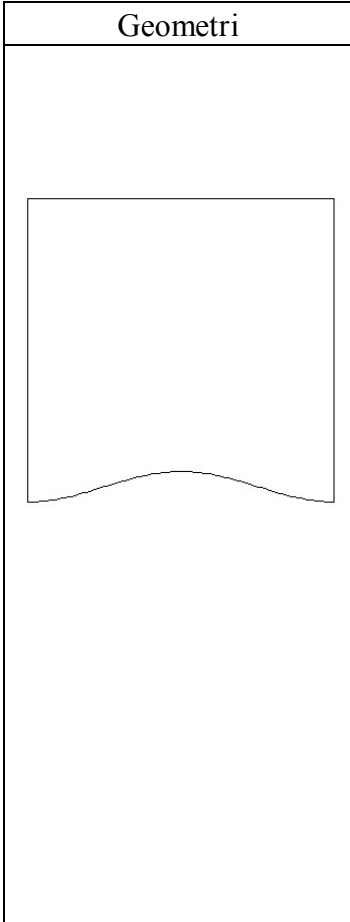
**Ek.1 Tüm Durumlar Ve Geometriler İçin Soğuk Duvar Üzerindeki Ortalama  $Nu_c$ ,  $Nu_r$  Ve  $Nu_t$  Değerleri**

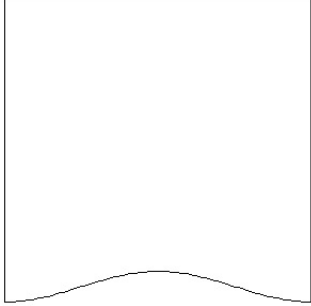
Çizelge Ek 1.1. Durum 1 soğuk duvardaki düz duvar için Nusselt değerleri

Geometri	Ra değ.	$\varepsilon$	$Nu_t$	$Nu_r$	$Nu_c$	
	$10^4$	0,1	2,377	0,230	2,148	
		0,2	2,609	0,470	2,139	
		0,3	2,851	0,722	2,129	
		0,4	3,107	0,989	2,119	
		0,5	3,379	1,271	2,108	
		0,6	3,667	1,571	2,096	
		0,7	3,974	1,892	2,083	
		0,8	4,304	2,236	2,068	
		0,9	4,657	2,606	2,051	
		1	5,038	3,007	2,032	
	$5 \times 10^4$	0,1	3,660	0,393	3,267	
		0,2	4,046	0,805	3,241	
		0,3	4,454	1,238	3,216	
		0,4	4,889	1,696	3,193	
		0,5	5,352	2,182	3,169	
		0,6	5,846	2,700	3,146	
		0,7	6,375	3,254	3,121	
		0,8	6,943	3,848	3,095	
		0,9	7,553	4,487	3,066	
		1	8,213	5,178	3,035	
	$10^5$	0,1	4,362	0,495	3,867	
		0,2	4,844	1,015	3,829	
		0,3	5,356	1,561	3,794	
		0,4	5,901	2,139	3,762	
		0,5	6,483	2,753	3,730	
		0,6	7,106	3,407	3,699	
		0,7	7,773	4,107	3,666	
		0,8	8,489	4,857	3,632	
		0,9	9,260	5,664	3,596	
		1	10,092	6,535	3,557	
		$5 \times 10^5$	0,1	6,328	0,847	5,480
			0,2	7,168	1,735	5,433
			0,3	8,055	2,670	5,385
			0,4	8,997	3,660	5,337
			0,5	9,997	4,711	5,286

		0,6	11,061	5,831	5,230
		0,7	12,196	7,027	5,169
		0,8	13,405	8,309	5,096
		0,9	14,787	9,691	5,096
		1	16,271	11,184	5,087
	10 <sup>6</sup>	0,1	7,350	1,067	6,283
		0,2	8,435	2,184	6,251
		0,3	9,564	3,362	6,203
		0,4	10,749	4,608	6,141
		0,5	11,993	5,930	6,063
		0,6	13,308	7,337	5,971
		0,7	14,674	8,836	5,837
		0,8	16,286	10,449	5,837
		0,9	17,903	12,191	5,712
		1	19,928	14,082	5,846

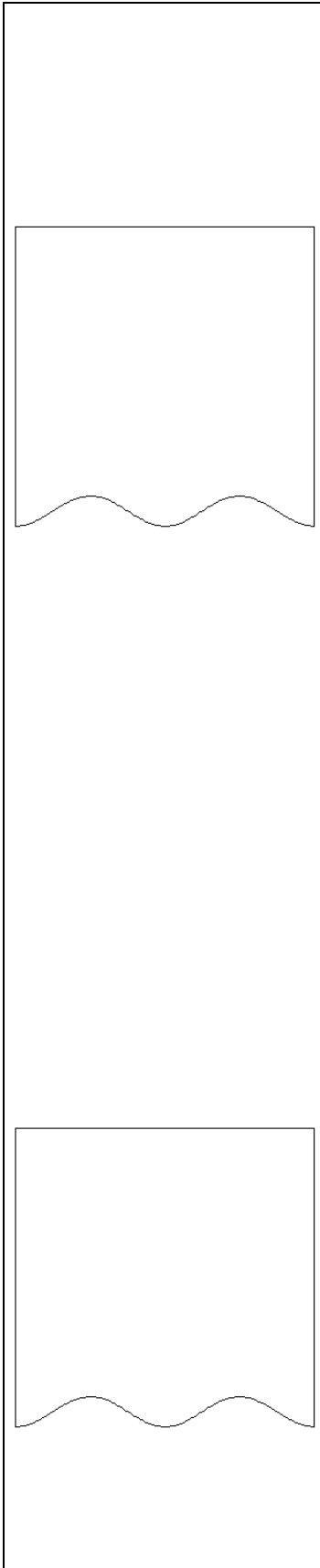
Çizelge Ek 1.2. Durum 1 soğuk duvardaki undolin 1 için Nusselt değerleri

Geometri	Ra değ.	$\varepsilon$	Nu <sub>c</sub>	Nu <sub>r</sub>	Nu <sub>t</sub>
	10 <sup>4</sup>	0,1	2,373	0,235	2,139
		0,2	2,611	0,479	2,132
		0,3	2,857	0,735	2,122
		0,4	3,116	1,004	2,111
		0,5	3,389	1,289	2,100
		0,6	3,678	1,591	2,087
		0,7	3,985	1,913	2,072
		0,8	4,314	2,258	2,056
		0,9	4,665	2,628	2,038
		1	5,044	3,027	2,017
	5x10 <sup>4</sup>	0,1	3,598	0,344	3,254
		0,2	4,025	0,714	3,310
		0,3	4,466	1,112	3,354
		0,4	4,931	1,538	3,393
		0,5	5,418	1,996	3,422
		0,6	5,934	2,488	3,446
		0,7	6,483	3,016	3,467
		0,8	7,065	3,587	3,478
		0,9	7,690	4,202	3,489
		1	8,359	4,869	3,491
10 <sup>5</sup>	0,1	4,306	0,503	3,803	

		0,2	4,806	1,029	3,777
		0,3	5,333	1,581	3,752
		0,4	5,891	2,164	3,727
		0,5	6,484	2,783	3,702
		0,6	7,115	3,441	3,675
		0,7	7,789	4,143	3,646
		0,8	8,509	4,896	3,614
		0,9	9,283	5,704	3,579
		1	10,116	6,576	3,540
	5x10 <sup>5</sup>	0,1	6,287	0,870	5,417
		0,2	7,178	1,775	5,403
		0,3	8,108	2,724	5,384
		0,4	9,086	3,725	5,361
		0,5	10,120	4,786	5,333
		0,6	11,216	5,915	5,301
		0,7	12,383	7,119	5,264
		0,8	13,631	8,407	5,224
		0,9	14,969	9,790	5,179
	10 <sup>6</sup>	1	16,410	11,280	5,130
		0,1	7,367	1,089	6,278
		0,2	8,523	2,224	6,298
		0,3	9,717	3,417	6,299
		0,4	10,963	4,677	6,285
		0,5	12,273	6,013	6,260
		0,6	13,659	7,434	6,225
		0,7	15,134	8,950	6,184
		0,8	16,709	10,573	6,136
		0,9	18,398	12,316	6,082
	1	20,216	14,193	6,022	

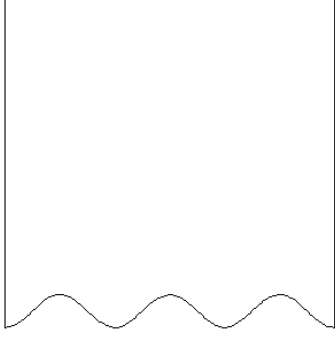
Çizelge Ek 1.3. Durum 1 soğuk duvardaki undolin 2 için Nusselt değerleri

Geometri	Ra değ.	$\epsilon$	Nu <sub>t</sub>	Nu <sub>r</sub>	Nu <sub>c</sub>
	10 <sup>4</sup>	0,1	2,441	0,245	2,196
		0,2	2,691	0,497	2,193
		0,3	2,947	0,760	2,187
		0,4	3,213	1,036	2,178
		0,5	3,491	1,325	2,166
		0,6	3,783	1,630	2,153
		0,7	4,090	1,953	2,137

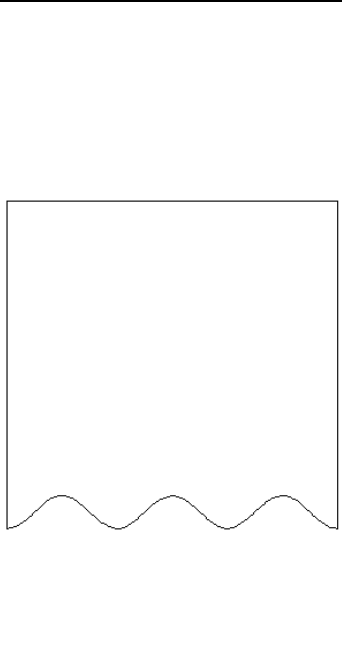
	5x10 <sup>4</sup>	0,8	4,415	2,296	2,119	
		0,9	4,761	2,662	2,098	
		1	5,129	3,055	2,074	
		0,1	3,332	0,471	2,861	
		0,2	3,818	0,957	2,861	
		0,3	4,319	1,441	2,879	
		0,4	4,840	1,962	2,879	
		0,5	5,333	2,480	2,854	
		0,6	5,864	3,035	2,829	
		0,7	6,467	3,638	2,829	
		0,8	6,995	4,237	2,758	
		0,9	7,675	4,917	2,758	
	1	8,247	5,590	2,657		
	10 <sup>5</sup>	0,1	4,525	0,524	4,002	
		0,2	5,050	1,067	3,983	
		0,3	5,596	1,635	3,961	
		0,4	6,168	2,231	3,937	
		0,5	6,769	2,859	3,910	
		0,6	7,403	3,523	3,880	
		0,7	8,074	4,227	3,847	
		0,8	8,786	4,975	3,811	
		0,9	9,545	5,774	3,771	
		1	10,355	6,628	3,727	
		5x10 <sup>5</sup>	0,1	6,651	0,897	5,755
			0,2	7,572	1,827	5,745
	0,3		8,525	2,799	5,726	
	0,4		9,520	3,820	5,700	
	0,5		10,564	4,896	5,668	
0,6	11,664		6,033	5,631		
0,7	12,826		7,238	5,588		
0,8	14,060		8,519	5,541		
0,9	15,372		9,884	5,488		
1	16,773		11,343	5,431		
10 <sup>6</sup>	0,1		7,843	1,129	6,713	
	0,2		9,009	2,296	6,713	
	0,3	10,254	3,526	6,727		
	0,4	11,521	4,813	6,707		
	0,5	12,845	6,170	6,675		
	0,6	14,237	7,604	6,633		
	0,7	15,706	9,124	6,582		
	0,8	17,263	10,740	6,523		

	0,9	18,919	12,461	6,457
	1	20,684	14,301	6,383

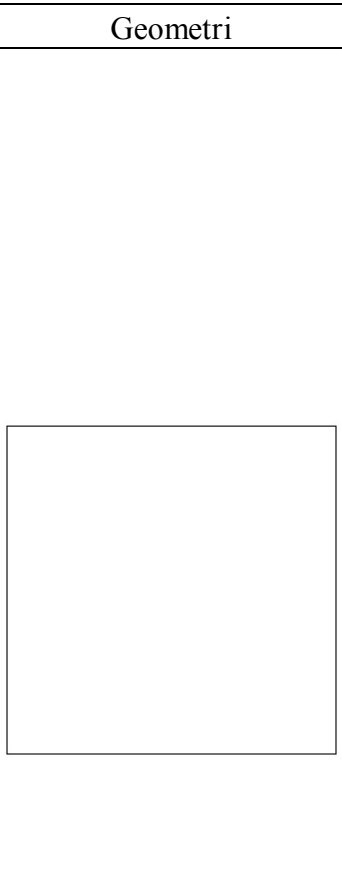
Çizelge Ek 1.4. Durum 1 soğuk duvardaki undolin 3 için Nusselt değerleri

Geometri	Ra değ.	$\varepsilon$	$Nu_t$	$Nu_r$	$Nu_c$
	$10^4$	0,1	2,440	0,255	2,185
		0,2	2,706	0,517	2,189
		0,3	2,975	0,788	2,187
		0,4	3,250	1,070	2,180
		0,5	3,533	1,363	2,170
		0,6	3,827	1,670	2,156
		0,7	4,133	1,993	2,139
		0,8	4,452	2,333	2,119
		0,9	4,788	2,693	2,095
		1	5,142	3,073	2,068
	$5 \times 10^4$	0,1	3,413	0,491	2,923
		0,2	3,937	0,987	2,950
		0,3	4,452	1,495	2,957
		0,4	4,968	2,018	2,950
		0,5	5,489	2,558	2,931
		0,6	6,021	3,120	2,901
		0,7	6,567	3,706	2,861
		0,8	7,132	4,320	2,813
		0,9	7,719	4,964	2,755
		1	8,331	5,642	2,688
	$10^5$	0,1	4,493	0,546	3,947
		0,2	5,052	1,109	3,943
		0,3	5,624	1,694	3,931
		0,4	6,215	2,304	3,911
		0,5	6,828	2,941	3,887
		0,6	7,466	3,610	3,856
		0,7	8,134	4,313	3,821
		0,8	8,835	5,054	3,781
		0,9	9,572	5,837	3,736
		1	10,351	6,665	3,685
	$5 \times 10^5$	0,1	6,503	0,928	5,575
		0,2	7,450	1,890	5,560
		0,3	8,419	2,892	5,528
		0,4	9,411	3,938	5,472



		0,5	10,428	5,035	5,394
		0,6	11,487	6,185	5,302
		0,7	12,620	7,392	5,228
		0,8	13,821	8,661	5,159
		0,9	15,045	9,970	5,075
	1	16,464	11,412	5,052	
	$10^6$	0,1	7,245	1,180	6,066
		0,2	8,542	2,395	6,147
		0,3	9,768	3,642	6,126
		0,4	11,153	4,969	6,183
		0,5	12,693	6,384	6,309
		0,6	14,166	7,833	6,333
		0,7	15,681	9,351	6,330
		0,8	17,255	10,945	6,310
		0,9	18,898	12,623	6,276
		1	20,624	14,396	6,228

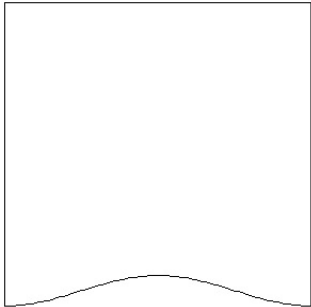
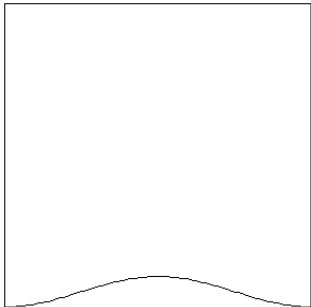
Çizelge Ek 1.5. Durum 2 soğuk duvardaki düz duvar için Nusselt değerleri

Geometri	Ra değ.	$\varepsilon$	$Nu_t$	$Nu_r$	$Nu_c$
	$10^4$	0,1	2,424	0,280	2,144
		0,2	2,712	0,572	2,139
		0,3	3,010	0,880	2,131
		0,4	3,326	1,204	2,122
		0,5	3,661	1,548	2,113
		0,6	4,017	1,914	2,103
		0,7	4,396	2,305	2,091
		0,8	4,802	2,725	2,077
		0,9	5,238	3,177	2,061
		1	5,707	3,665	2,042
	$5 \times 10^4$	0,1	3,738	0,479	3,259
		0,2	4,215	0,980	3,235
		0,3	4,720	1,508	3,212
		0,4	5,256	2,066	3,190
		0,5	5,828	2,659	3,169
		0,6	6,438	3,290	3,147
		0,7	7,090	3,966	3,125
		0,8	7,790	4,690	3,100
		0,9	8,542	5,470	3,072
1	9,353	6,311	3,042		

	$10^5$	0,1	4,459	0,603	3,856
		0,2	5,055	1,235	3,819
		0,3	5,687	1,901	3,786
		0,4	6,361	2,606	3,755
		0,5	7,081	3,355	3,726
		0,6	7,849	4,152	3,697
		0,7	8,672	5,005	3,666
		0,8	9,554	5,920	3,634
		0,9	10,503	6,904	3,599
		1	11,527	7,967	3,560
	$5 \times 10^5$	0,1	6,501	1,031	5,469
		0,2	7,535	2,113	5,422
		0,3	8,630	3,253	5,376
		0,4	9,790	4,461	5,329
		0,5	11,022	5,743	5,278
		0,6	12,333	7,110	5,223
		0,7	13,730	8,570	5,160
		0,8	15,213	10,134	5,078
		0,9	16,894	11,822	5,073
		1	18,703	13,644	5,059
	$10^6$	0,1	7,577	1,299	6,278
		0,2	8,906	2,660	6,246
		0,3	10,292	4,096	6,196
		0,4	11,748	5,617	6,131
		0,5	13,277	7,230	6,047
		0,6	14,772	8,923	5,850
		0,7	16,629	10,766	5,863
		0,8	18,612	12,745	5,868
		0,9	20,743	14,874	5,869
		1	23,039	17,171	5,868

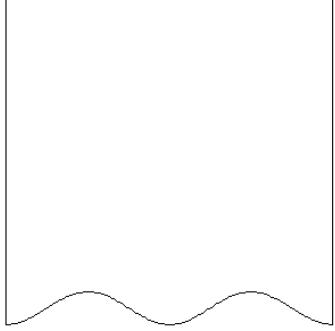
Çizelge Ek 1.6. Durum 2 soğuk duvardaki undolin 1 için Nusselt değerleri

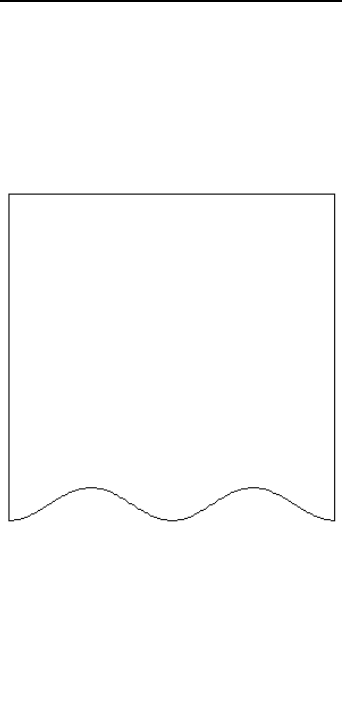
Geometri	Ra değ.	$\varepsilon$	$Nu_t$	$Nu_r$	$Nu_c$
	$10^4$	0,1	2,423	0,286	2,137
		0,2	2,717	0,584	2,133
		0,3	3,019	0,895	2,124
		0,4	3,338	1,223	2,115
		0,5	3,675	1,570	2,105
		0,6	4,033	1,938	2,094

 	5x10 <sup>4</sup>	0,7	4,412	2,331	2,081	
		0,8	4,817	2,751	2,066	
		0,9	5,251	3,202	2,049	
		1	5,717	3,689	2,028	
		0,1	3,688	0,420	3,268	
		0,2	4,209	0,875	3,334	
		0,3	4,745	1,364	3,381	
		0,4	5,318	1,889	3,429	
		0,5	5,907	2,453	3,453	
		0,6	6,537	3,058	3,479	
		0,7	7,222	3,706	3,516	
		0,8	7,934	4,406	3,529	
	0,9	8,685	5,164	3,521		
	1	9,504	5,981	3,524		
	10 <sup>5</sup>	0,1	4,473	0,612	3,861	
		0,2	5,089	1,252	3,837	
		0,3	5,739	1,925	3,814	
		0,4	6,428	2,636	3,792	
		0,5	7,159	3,390	3,769	
		0,6	7,936	4,192	3,744	
		0,7	8,766	5,049	3,717	
		0,8	9,651	5,966	3,685	
		0,9	10,602	6,951	3,650	
		1	11,625	8,014	3,611	
		5x10 <sup>5</sup>	0,1	6,470	1,058	5,411
			0,2	7,562	2,160	5,403
	0,3		8,705	3,316	5,389	
	0,4		9,906	4,536	5,370	
0,5	11,174		5,830	5,344		
0,6	12,520		7,206	5,313		
0,7	13,952		8,675	5,277		
0,8	15,483		10,247	5,237		
0,9	17,125		11,934	5,191		
1	18,891		13,750	5,141		
10 <sup>6</sup>	0,1		7,603	1,325	6,278	
	0,2		9,017	2,708	6,309	
	0,3	10,477	4,163	6,314		
	0,4	12,001	5,699	6,301		
	0,5	13,604	7,329	6,275		
	0,6	15,302	9,062	6,240		
	0,7	17,109	10,913	6,197		

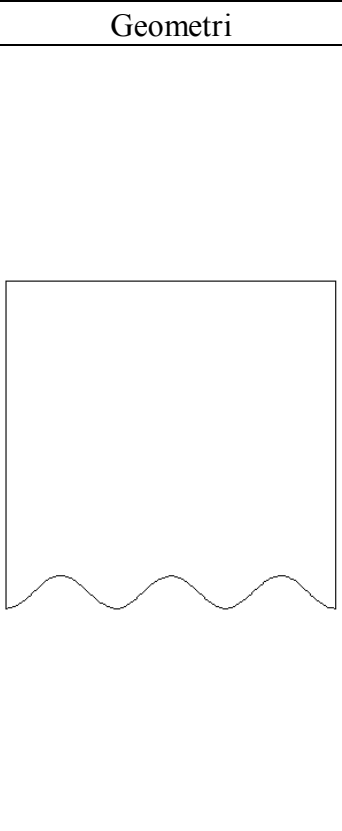
	0,8	19,040	12,893	6,147
	0,9	21,111	15,020	6,091
	1	23,338	17,310	6,029

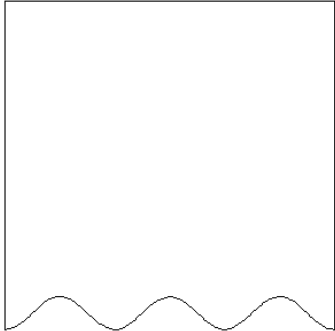
Çizelge Ek 1.7. Durum 2 soğuk duvardaki undolin 2 için Nusselt değerleri

Geometri	Ra değ.	$\varepsilon$	$Nu_t$	$Nu_r$	$Nu_c$
	$10^4$	0,1	2,493	0,298	2,195
		0,2	2,802	0,606	2,196
		0,3	3,117	0,926	2,191
		0,4	3,445	1,261	2,184
		0,5	3,788	1,614	2,174
		0,6	4,148	1,986	2,162
		0,7	4,527	2,380	2,147
		0,8	4,928	2,798	2,130
		0,9	5,354	3,245	2,109
		1	5,808	3,722	2,085
	$5 \times 10^4$	0,1	3,436	0,572	2,864
		0,2	4,034	1,151	2,882
		0,3	4,634	1,746	2,888
		0,4	5,243	2,362	2,882
		0,5	5,868	3,003	2,865
		0,6	6,515	3,676	2,840
		0,7	7,190	4,383	2,806
		0,8	7,896	5,131	2,765
		0,9	8,640	5,925	2,716
		1	9,428	6,770	2,658
	$10^5$	0,1	4,634	0,637	3,997
		0,2	5,281	1,300	3,981
		0,3	5,954	1,992	3,962
		0,4	6,658	2,719	3,939
		0,5	7,398	3,485	3,914
		0,6	8,179	4,294	3,886
		0,7	9,006	5,152	3,854
		0,8	9,882	6,064	3,818
		0,9	10,815	7,037	3,778
		1	11,811	8,078	3,734
	$5 \times 10^5$	0,1	6,844	1,091	5,753
		0,2	7,972	2,224	5,747
		0,3	9,141	3,409	5,732

		0,4	10,363	4,655	5,708	
		0,5	11,645	5,967	5,677	
		0,6	12,993	7,355	5,638	
		0,7	14,423	8,825	5,597	
		0,8	15,938	10,388	5,550	
		0,9	17,549	12,052	5,496	
		1	19,268	13,831	5,437	
		10 <sup>6</sup>	0,1	8,094	1,375	6,719
			0,2	9,547	2,803	6,744
	0,3		11,039	4,298	6,741	
	0,4		12,589	5,869	6,721	
	0,5		14,212	7,525	6,687	
	0,6		15,918	9,276	6,642	
	0,7		17,720	11,131	6,589	
	0,8		19,630	13,102	6,528	
	0,9		21,661	15,202	6,459	
	1		23,825	17,445	6,380	

Çizelge Ek 1.8. Durum 2 soğuk duvardaki undolin 3 için Nusselt değerleri

Geometri	Ra değ.	$\varepsilon$	Nu <sub>t</sub>	Nu <sub>r</sub>	Nu <sub>c</sub>
	10 <sup>4</sup>	0,1	2,497	0,311	2,186
		0,2	2,825	0,630	2,195
		0,3	3,155	0,961	2,195
		0,4	3,494	1,304	2,190
		0,5	3,843	1,662	2,181
		0,6	4,205	2,037	2,169
		0,7	4,583	2,431	2,152
		0,8	4,977	2,845	2,132
		0,9	5,392	3,283	2,108
		1	5,828	3,747	2,081
	5x10 <sup>4</sup>	0,1	3,524	0,596	2,928
		0,2	4,159	1,198	2,960
		0,3	4,786	1,813	2,972
		0,4	5,413	2,446	2,967
		0,5	6,047	3,101	2,947
		0,6	6,696	3,781	2,915
		0,7	7,364	4,490	2,873
		0,8	8,055	5,233	2,822
		0,9	8,774	6,013	2,761

	$10^5$	1	9,524	6,834	2,690
		0,1	4,611	0,665	3,947
		0,2	5,295	1,352	3,943
		0,3	6,002	2,065	3,937
		0,4	6,730	2,809	3,920
		0,5	7,485	3,588	3,897
		0,6	8,272	4,404	3,868
		0,7	9,094	5,261	3,833
		0,8	9,957	6,165	3,792
		0,9	10,865	7,119	3,746
	$5 \times 10^5$	1	11,822	8,128	3,694
		0,1	6,705	1,131	5,574
		0,2	7,868	2,305	5,563
		0,3	9,058	3,528	5,530
		0,4	10,276	4,807	5,469
		0,5	11,529	6,146	5,383
		0,6	12,852	7,549	5,303
		0,7	14,257	9,020	5,236
		0,8	15,783	10,570	5,214
		0,9	17,387	12,207	5,180
	$10^6$	1	19,074	13,939	5,135
		0,1	7,521	1,437	6,084
		0,2	9,114	2,916	6,198
		0,3	10,712	4,456	6,256
		0,4	12,367	6,072	6,295
		0,5	14,088	7,762	6,326
		0,6	15,875	9,535	6,340
		0,7	17,752	11,402	6,350
		0,8	19,711	13,363	6,348
		0,9	21,765	15,429	6,336
		1	23,922	17,609	6,313

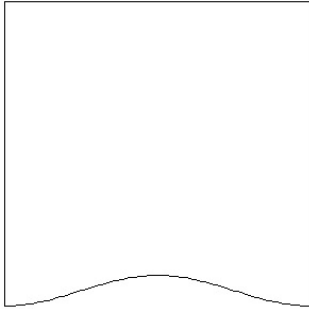
Çizelge Ek 1.9. Durum 3 soğuk duvardaki düz duvar için Nusselt değerleri

Geometri	Ra değ.	$\varepsilon$	$Nu_t$	$Nu_r$	$Nu_c$
	$10^4$	0,1	2,476	0,337	2,140
		0,2	2,829	0,689	2,141
		0,3	3,193	1,058	2,135
		0,4	3,578	1,449	2,129
		0,5	3,986	1,864	2,122

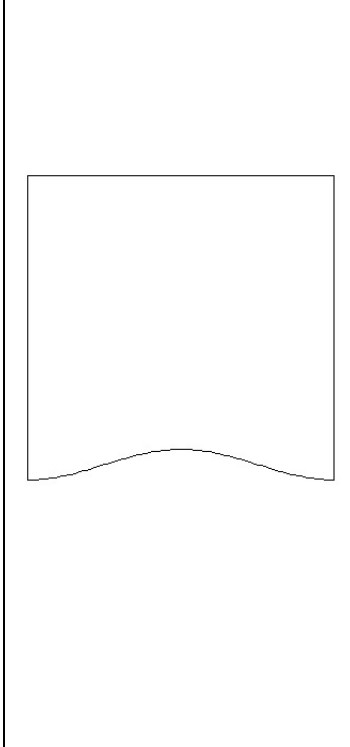
		0,6	4,419	2,305	2,114
		0,7	4,881	2,777	2,104
		0,8	5,375	3,283	2,092
		0,9	5,904	3,827	2,077
		1	6,474	4,416	2,059
	5x10 <sup>4</sup>	0,1	3,826	0,576	3,250
		0,2	4,410	1,179	3,231
		0,3	5,025	1,815	3,210
		0,4	5,679	2,487	3,192
		0,5	6,376	3,202	3,174
		0,6	7,118	3,963	3,155
		0,7	7,912	4,777	3,135
		0,8	8,762	5,650	3,112
		0,9	9,675	6,589	3,086
		1	10,659	7,603	3,055
	10 <sup>5</sup>	0,1	4,571	0,726	3,846
		0,2	5,297	1,486	3,810
		0,3	6,068	2,288	3,780
		0,4	6,890	3,138	3,753
		0,5	7,767	4,040	3,727
		0,6	8,702	5,001	3,701
		0,7	9,703	6,030	3,673
		0,8	10,775	7,132	3,643
		0,9	11,927	8,318	3,609
		1	13,169	9,598	3,571
	5x10 <sup>5</sup>	0,1	6,701	1,241	5,460
		0,2	7,956	2,543	5,413
		0,3	9,286	3,917	5,369
		0,4	10,697	5,373	5,324
		0,5	12,196	6,920	5,277
		0,6	13,791	8,568	5,223
		0,7	15,487	10,329	5,157
		0,8	17,269	12,212	5,056
		0,9	19,298	14,246	5,052
		1	21,478	16,442	5,036
	10 <sup>6</sup>	0,1	7,834	1,563	6,271
		0,2	9,443	3,202	6,240
		0,3	11,123	4,933	6,189
		0,4	12,887	6,767	6,121
		0,5	14,738	8,711	6,027
		0,6	16,837	10,791	6,046

	0,7	19,073	13,017	6,056
	0,8	21,460	15,404	6,056
	0,9	24,020	17,972	6,047
	1	26,774	20,743	6,030

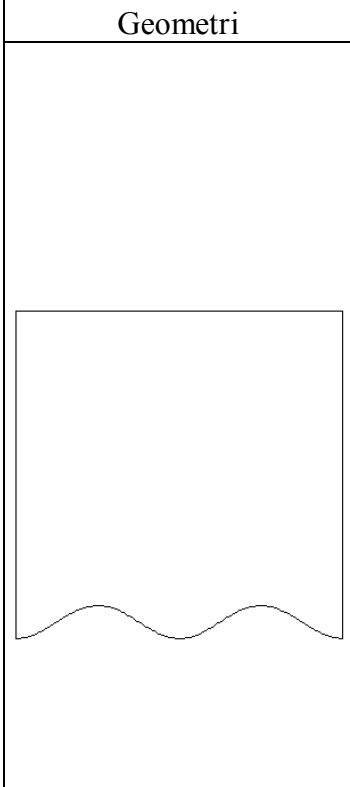
Çizelge Ek 1.10. Durum 3 soğuk duvardaki undolin 1 için Nusselt değerleri

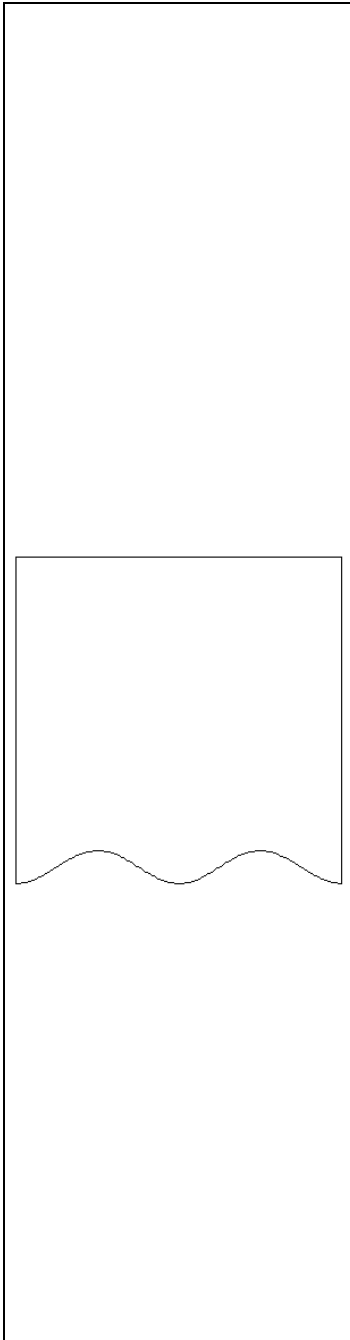
Geometri	Ra değ.	$\varepsilon$	$Nu_t$	$Nu_r$	$Nu_c$
	$10^4$	0,1	2,478	0,344	2,134
		0,2	2,837	0,702	2,135
		0,3	3,206	1,077	2,129
		0,4	3,595	1,472	2,122
		0,5	4,005	1,890	2,115
		0,6	4,440	2,334	2,106
		0,7	4,902	2,807	2,095
		0,8	5,395	3,313	2,082
		0,9	5,923	3,857	2,065
		1	6,489	4,444	2,045
	$5 \times 10^4$	0,1	3,792	0,508	3,284
		0,2	4,421	1,059	3,362
		0,3	5,061	1,654	3,407
		0,4	5,766	2,291	3,475
		0,5	6,458	2,980	3,478
		0,6	7,242	3,714	3,528
		0,7	8,067	4,503	3,564
		0,8	8,812	5,374	3,438
		0,9	9,739	6,293	3,446
		1	10,720	7,288	3,431
	$10^5$	0,1	4,590	0,737	3,853
		0,2	5,340	1,507	3,833
		0,3	6,132	2,318	3,815
		0,4	6,971	3,174	3,797
		0,5	7,860	4,083	3,777
		0,6	8,805	5,049	3,756
		0,7	9,811	6,081	3,730
		0,8	10,887	7,187	3,700
		0,9	12,040	8,374	3,666
		1	13,279	9,653	3,627
	$5 \times 10^5$	0,1	6,677	1,273	5,404
		0,2	8,001	2,597	5,403



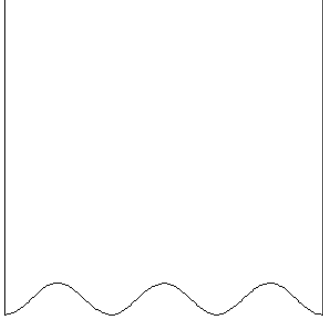
		0,3	9,384	3,989	5,396
		0,4	10,839	5,459	5,381
		0,5	12,376	7,018	5,358
		0,6	14,006	8,677	5,329
		0,7	15,741	10,448	5,293
		0,8	17,594	12,342	5,252
		0,9	19,581	14,375	5,206
		1	21,717	16,564	5,154
		10 <sup>6</sup>	0,1	7,872	1,594
	0,2	9,577	3,260	6,318	
	0,3	11,339	5,011	6,327	
	0,4	13,180	6,863	6,317	
	0,5	15,118	8,826	6,292	
	0,6	17,171	10,915	6,255	
	0,7	19,357	13,147	6,210	
	0,8	21,694	15,535	6,159	
	0,9	24,199	18,099	6,101	
	1	26,895	20,859	6,037	

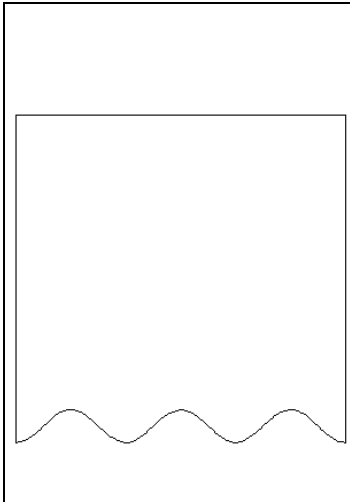
Çizelge Ek 1.11. Durum 3 soğuk duvardaki undolin 2 için Nusselt değerleri

Geometri	Ra değ.	$\varepsilon$	$Nu_t$	$Nu_r$	$Nu_c$
	10 <sup>4</sup>	0,1	2,478	0,344	2,134
		0,2	2,837	0,702	2,135
		0,3	3,206	1,077	2,129
		0,4	3,595	1,472	2,122
		0,5	4,005	1,890	2,115
		0,6	4,440	2,334	2,106
		0,7	4,902	2,807	2,095
		0,8	5,395	3,313	2,082
		0,9	5,923	3,857	2,065
		1	6,489	4,444	2,045
	5x10 <sup>4</sup>	0,1	3,792	0,508	3,284
		0,2	4,421	1,059	3,362
		0,3	5,061	1,654	3,407
		0,4	5,766	2,291	3,475
		0,5	6,458	2,980	3,478
		0,6	7,242	3,714	3,528
		0,7	8,067	4,503	3,564
		0,8	8,812	5,374	3,438

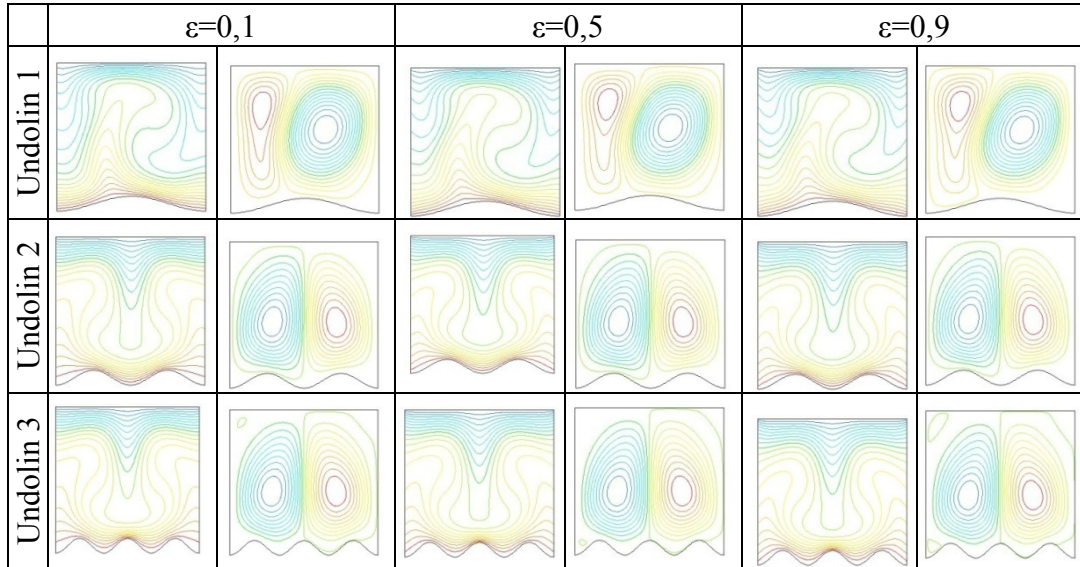
		0,9	9,739	6,293	3,446
		1	10,720	7,288	3,431
	10 <sup>5</sup>	0,1	4,590	0,737	3,853
		0,2	5,340	1,507	3,833
		0,3	6,132	2,318	3,815
		0,4	6,971	3,174	3,797
		0,5	7,860	4,083	3,777
		0,6	8,805	5,049	3,756
		0,7	9,811	6,081	3,730
		0,8	10,887	7,187	3,700
		0,9	12,040	8,374	3,666
		1	13,279	9,653	3,627
	5x10 <sup>5</sup>	0,1	6,677	1,273	5,404
		0,2	8,001	2,597	5,403
		0,3	9,384	3,989	5,396
		0,4	10,839	5,459	5,381
		0,5	12,376	7,018	5,358
		0,6	14,006	8,677	5,329
		0,7	15,741	10,448	5,293
		0,8	17,594	12,342	5,252
		0,9	19,581	14,375	5,206
		1	21,717	16,564	5,154
	10 <sup>6</sup>	0,1	7,872	1,594	6,277
		0,2	9,577	3,260	6,318
		0,3	11,339	5,011	6,327
		0,4	13,180	6,863	6,317
		0,5	15,118	8,826	6,292
		0,6	17,171	10,915	6,255
		0,7	19,357	13,147	6,210
		0,8	21,694	15,535	6,159
		0,9	24,199	18,099	6,101
		1	26,895	20,859	6,037

Çizelge Ek 1.12. Durum 3 soğuk duvardaki undolin 3 için Nusselt değerleri

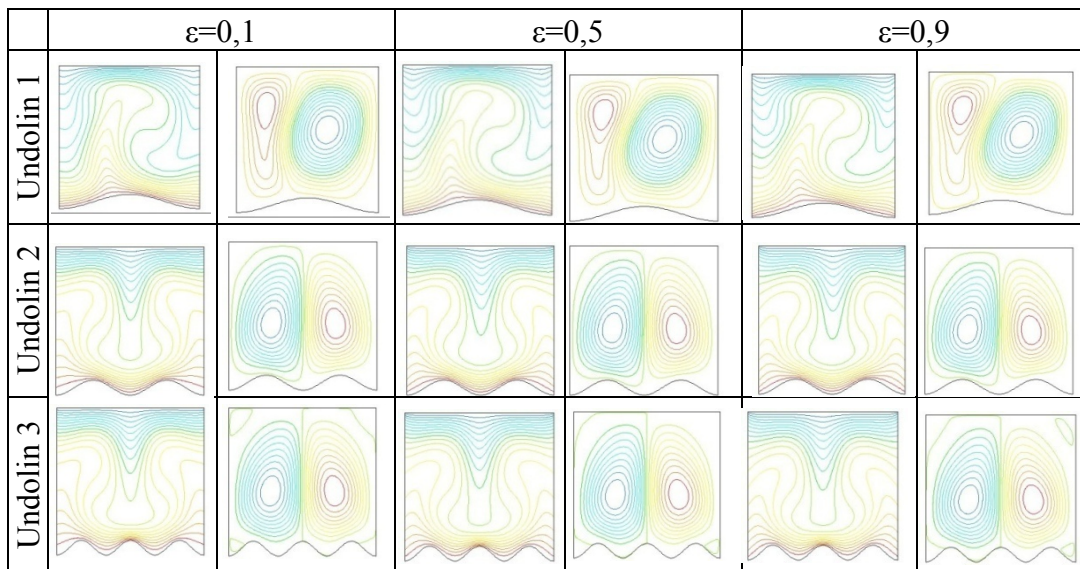
Geometri	Ra değ.	$\varepsilon$	$Nu_t$	$Nu_r$	$Nu_c$
	$10^4$	0,1	2,561	0,374	2,187
		0,2	2,962	0,759	2,203
		0,3	3,362	1,157	2,206
		0,4	3,774	1,571	2,203
		0,5	4,199	2,003	2,196
		0,6	4,640	2,455	2,185
		0,7	5,099	2,929	2,170
		0,8	5,580	3,429	2,151
		0,9	6,083	3,957	2,127
		1	6,613	4,515	2,098
	$5 \times 10^4$	0,1	3,653	0,715	2,938
		0,2	4,410	1,437	2,972
		0,3	5,162	2,174	2,989
		0,4	5,918	2,931	2,987
		0,5	6,682	3,714	2,968
		0,6	7,463	4,529	2,935
		0,7	8,269	5,378	2,891
		0,8	9,104	6,268	2,837
		0,9	9,974	7,201	2,773
		1	10,883	8,184	2,699
	$10^5$	0,1	4,746	0,800	3,946
		0,2	5,581	1,628	3,953
		0,3	6,437	2,489	3,948
		0,4	7,321	3,386	3,934
		0,5	8,238	4,325	3,913
		0,6	9,194	5,309	3,885
		0,7	10,193	6,343	3,850
		0,8	11,241	7,432	3,809
		0,9	12,343	8,580	3,763
		1	13,505	9,795	3,709
	$5 \times 10^5$	0,1	6,937	1,362	5,575
		0,2	8,345	2,778	5,567
		0,3	9,786	4,255	5,532
		0,4	11,264	5,798	5,466
		0,5	12,798	7,413	5,385
		0,6	14,423	9,103	5,320
		0,7	16,185	10,877	5,308
		0,8	18,028	12,746	5,282

		0,9	19,962	14,719	5,243
		1	21,997	16,805	5,192
	10 <sup>6</sup>	0,1	7,790	1,724	6,066
		0,2	9,725	3,506	6,219
		0,3	11,668	5,362	6,306
		0,4	13,660	7,303	6,357
		0,5	15,717	9,336	6,381
		0,6	17,853	11,469	6,384
		0,7	19,815	13,456	6,359
		0,8	22,498	16,111	6,386
		0,9	24,905	18,695	6,210
		1	27,448	21,137	6,312

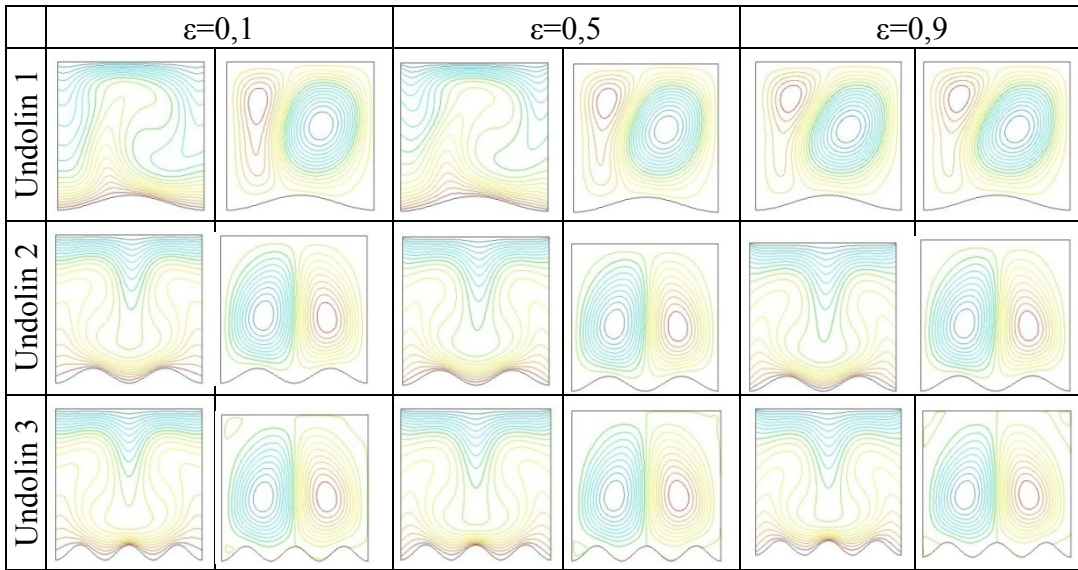
### Ek.2 Işınım İçin Hız Ve Sıcaklık Dağılımları



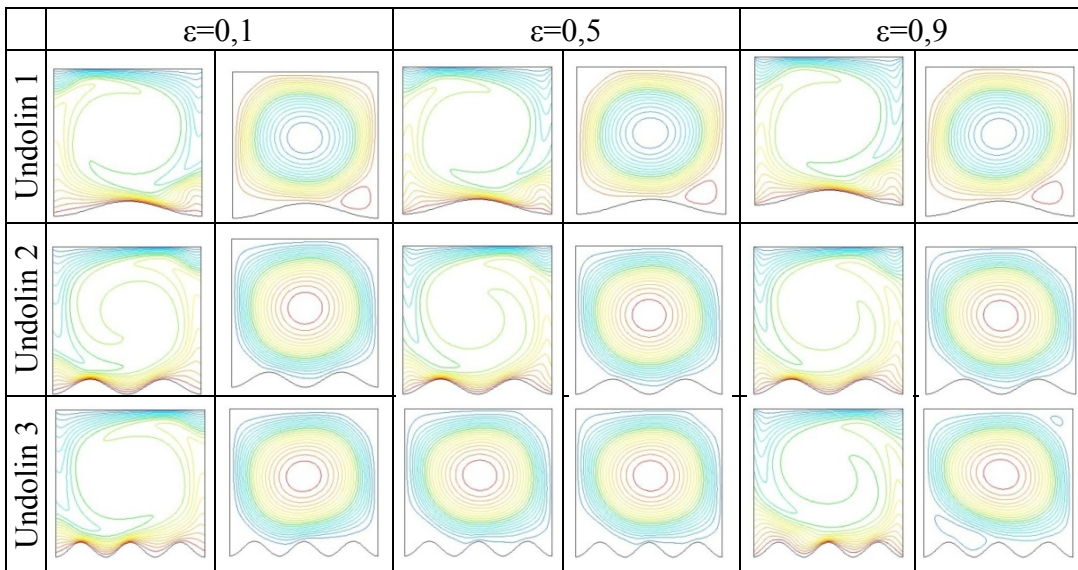
Şekil Ek 2.1.  $Ra=5 \times 10^4$  durum 1 hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları



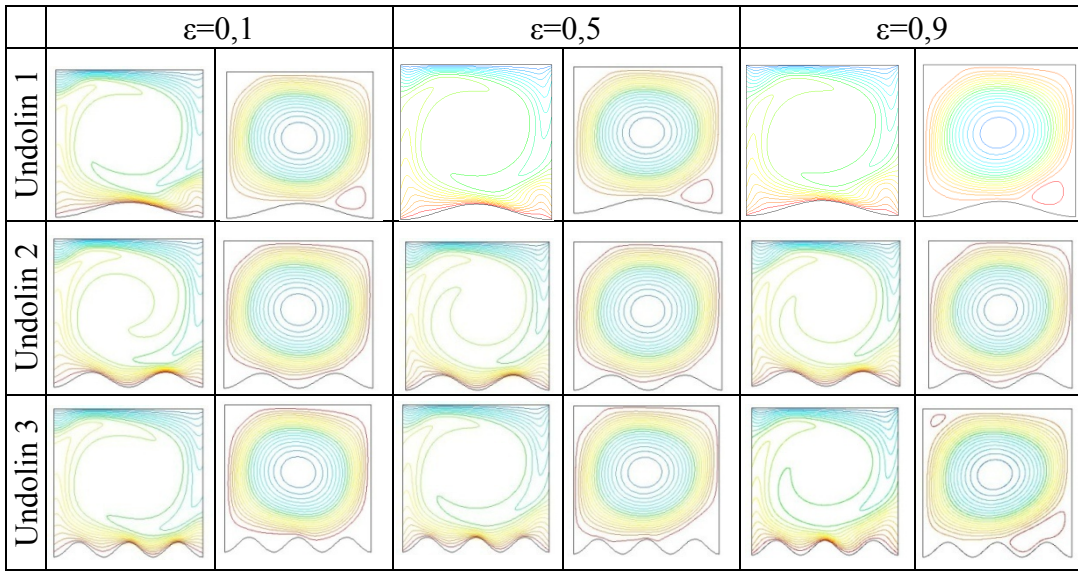
Şekil Ek 2.2.  $Ra=5 \times 10^4$  durum 2 hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları



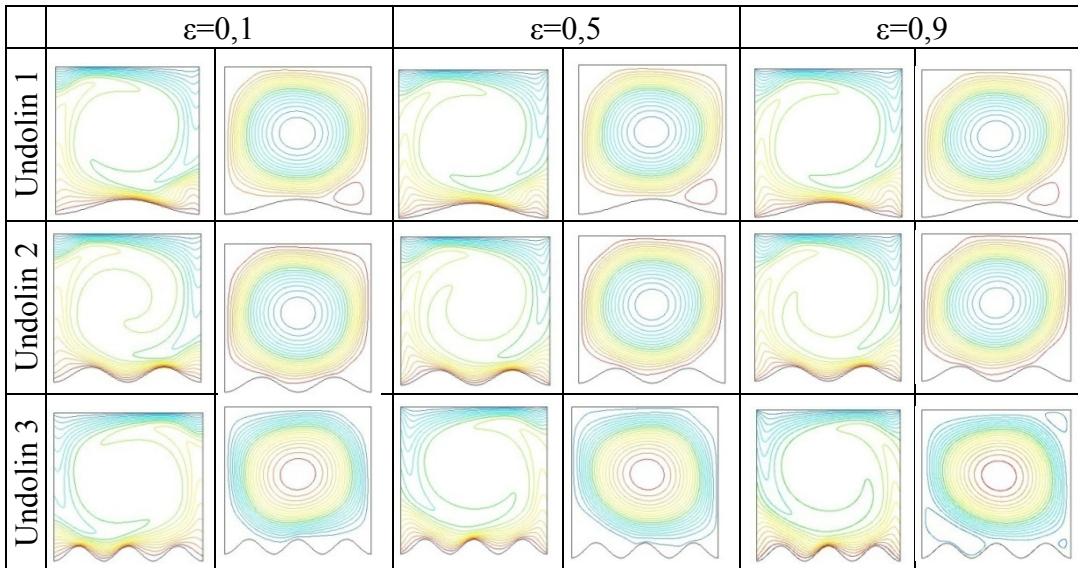
Şekil Ek 2.3.  $Ra=5 \times 10^4$  durum 3 hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları



Şekil Ek 2.4.  $Ra=5 \times 10^5$  durum 1 hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları



Şekil Ek 2.5.  $Ra=5 \times 10^5$  durum 2 hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları



Şekil Ek 2.6.  $Ra=5 \times 10^5$  durum 3 hız (sağ) ve sıcaklık (sol) dağılımları