

Üç Boyutlu Kapalı Dikdörtgensel Kutularda Pim Kullanımı ve Doğal Taşınım İle Isı  
Geçişinin Artırılması

Zerrin Böcü

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Makine Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalı

Ocak 2010

Laminar Natural Convection Heat Transfer And Air Flow In Three-Dimensional Rectangular  
Enclosures With Pin Arrays Attached To The Hot Wall

Zerrin Böcü

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

Department of Mechanical Engineering

January 2010

Üç Boyutlu Kapalı Dikdörtgensel Kutularda Pim Kullanımı ve Doğal Taşınım İle  
Isı Geçişinin Artırılması

Zerrin BÖCÜ

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

Danışman: Prof. Dr. Zekeriya ALTAÇ

Ocak 2010

## ONAY

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Zerrin Böcü'nün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Üç Boyutlu Kapalı Dikdörtgensel Kutularda Pim Kullanımı Ve Doğal Taşınım İle Isı Geçişinin Artırılması” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. Zekeriya ALTAÇ

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

**Üye** : Prof. Dr. Zekeriya ALTAÇ

**Üye** : Prof. Dr. Yaşar PANCAR

**Üye** : Prof. Dr. Ercengiz YILDIRIM

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Necati MAHİR

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

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

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

## ÖZET

Doğal taşınım ile ısı iletimi çoğu ısı sistemde görülür. En ucuz alternatif olduğu için, ısı yayılımında, doğal taşınımdan sıkça faydalanılır. Doğal taşınım ile ısı transferinin ön önemli uygulamaları, elektronik ve telekomünikasyon ürünlerinde kullanılan yalıtılmış donanım kabinleridir. Bu tür uygulamalarda, hava dolu kapalı ortamların, doğal taşınım ısı transfer karakteristiklerini belirlemek büyük önem taşır. Bu çalışmada, üç boyutlu kapalı dikdörtgenel sistemlerin laminer doğal taşınım ile ısı transferi sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmada; kare prizma ( $H/L=2$ ) ve kübik ( $H/L=1$ ) olarak iki dikdörtgenel kapalı ortam ele alınmıştır. Kapalı ortam, bir yan duvardan ısıtılır ve karşı yan duvardan soğutulurken diğer duvarlar tamamen yalıtılmış durumda ele alınmıştır. Sıcak ve soğuk duvarlar izotermal ve sabit sıcaklıkta tutulmuştur. Sıcak duvar yüzeyine, kapalı ortamın iç kısmından, farklı dizilimlerde silindirik pimler yerleştirilmiştir (hizalı-sıralı, çapraz). Üç boyutlu sürekli rejimde, süreklilik, Navier – Stokes denklemleri ve Boussinesq yaklaşımının kullanıldığı enerji denklemi FLUENT ® yazılımı ile çözülmüştür. Denklemler, SIMPLE algoritması kullanılarak sonlu hacim metodu (FVM) ile çözülmüştür. Denklemlerin yakınsama kriteri  $10^{-5}$  seçilmiştir. Çalışmada ele alınan boyutuz pim çapları ve boyları ise sırasıyla  $d/H=0.025$ ,  $0.050$  ve  $0.1$ , ve  $b/H=0.1$ ,  $0.2$  ve  $0.3$  şeklindedir. 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10 numaralı pimler, çapraz ve hizalı-sıralı olarak (yatay, dikey) yapılandırılmıştır. Rayleigh sayısı değişimi ( $10^5 - 10^7$ ), pin uzunluğu, pim çapı ve pim sayısının, hava akış düzenine ve ısı bölgelere etkisi incelenmiştir. Ayrıca her durum için, ortalama Nusselt sayısı, soğuk duvara göre hesaplanmış ve analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Üç boyutlu, Doğal taşınım, Laminer akış, Kapalı kutular, Pim dizilimi

## SUMMARY

Natural convection heat transfer is present in most thermal apparatus. It is benefited from this phenomena in heat dissipation since it is the cheapest alternative. A major application of natural convection heat dissipation is in seal equipment cabinets in electronics and telecommunication products. In such applications, the determination of natural convection heat transfer characteristics from air-filled enclosures is essential. In this study, laminar natural convection heat transfer in three dimensional rectangular enclosures is studied numerically. Two rectangular enclosures are considered: tetragonal ( $H/L=2$ ) and cubic ( $H/L=1$ ) enclosures. The enclosure is heated from a lateral wall and is cooled from the opposite lateral wall while other walls of the enclosure are perfectly insulated. The hot and the cold walls are isothermal; that is, the walls are maintained at constant temperatures. A number of cylindrical pins (pin arrays) are attached to the hot wall in various arrangements (in-line, staggered) from inside of the enclosure. Three-dimensional steady-state continuity, Navier-Stokes and energy equations along with the Boussinesq approximation are solved using FLUENT® code. Pertinent equations are solved using the Finite Volume Method (FVM) with SIMPLE algorithm. The convergence criterion for the pertinent equations was chosen as  $10^{-5}$ . The dimensionless pin diameters and the lengths considered in this study are  $d/H=0.025$ ,  $0.050$  ve  $0.1$ , and  $b/H=0.1$ ,  $0.2$  and  $0.3$ , respectively. The number of pins of 2, 4, 5, 6, 8, 9 and 10 are arranged in staggered and in-line (horizontal and vertical) configurations. The air flow pattern and the temperature fields are obtained for Rayleigh numbers ranging from  $10^5$  to  $10^7$ , pin length, pin diameter, the number of pins of the pin array. Also for each case, the mean Nusselt numbers over the cold surface are computed and analyzed.

Keywords: Three-dimensional, Natural convection, Laminar flow, Rectangular Enclosures, Pin array

## TEŞEKKÜR

Gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarımda, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Prof. Dr. Zekeriya ALTAÇ'a (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Rektör Yardımcısı), hayatım boyunca her türlü problemimde maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, bu desteği sevgileri ile birleştirerek değerli hale getiren anneme, babama ve kardeşlerime, tez çalışmam süresince bana her konuda yardımcı olan Arş. Grv. Abdullah SERT'e (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü), yüksek lisansım boyunca maddi destek sağlayan Yurtiçi Yüksek Lisans bursu aldığım Tübitak/Bideb yetkililerine teşekkürü borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	v
SUMMARY .....	vi
TEŞEKKÜR .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xii
1. GİRİŞ VE AMAÇ .....	1
2. FİZİKSEL VE MATEMATİKSEL MODEL .....	8
2.1. Problem .....	8
2.2. Matematik Model .....	11
2.3. Sınır Koşullar .....	11
2.4. Nümerik Model .....	12
2.4.1. Grid Hassasiyeti .....	12
2.4.2. Diğer Nümerik ve Deneysel Çalışmalar ile Karşılaştırma .....	14
3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR .....	17
3.1. Pim Sayısının Etkisi .....	17
3.2. Pim Dizilimi Etkisi .....	19
3.3. Pim Çapı Etkisi .....	22
3.4. Pim Boyu Etkisi .....	24
3.5. Kapalı Kutu Şekli Etkisi .....	26
3.6. Sıcaklık ve Hız Dağılımı .....	30
4. SONUÇLAR .....	56
5. KAYNAKLAR DİZİNİ .....	58
EKLER	

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2. 1. 3 boyutlu sistem geometrisi ve koordinat sistemi.....	8
Şekil 2. 2. Tipik hücre yapısının görünümü: a) pimlerin yakından görünüşü, b) izometrik görünüş, c) önden görünüş, d) yandan görünüş.....	13
Şekil 3. 1. Kübik kutularda $B=0.1$ ve $D=0.1$ yatay eş-sıralı dizilimli pimler için Rayleigh ve pim sayısının NSO üzerine etkisi.....	17
Şekil 3. 2. Kare prizma kutularda $B=0.1$ ve $D=0.05$ dikey eş-sıralı dizilimli pimler için Rayleigh sayısının NSO üzerine etkisi.....	18
Şekil 3. 3. 8 pimli (a) $D=0.1$ (b) $D=0.025$ için pim diziliminin, Rayleigh sayısı ve pim uzunluğu ile NSO'nun değişimi.....	20
Şekil 3. 4. 6 pimli $D=0.1$ için pim diziliminin, Rayleigh sayısı ve pim uzunluğuyla ortalama Nusselt sayısı oranı değişimi.....	21
Şekil 3. 5. $B=0.2$ olan 6 pimli kübik kutularda Rayleigh sayısı ve boyutsuz pim çapının Nusselt sayısı üzerine etkisi: a) yatay dizilim, b) dikey dizilim.....	23
Şekil 3. 6. $B=0.2$ olan 4 pimli kare prizma şeklindeki kutularda Rayleigh sayısı ve boyutsuz pim çapının Nusselt sayısı üzerine etkisi.....	24
Şekil 3. 7. Kübik kutularda 6 yatay dizilimli $D=0.025$ pimlerin, boyutsuz pim uzunluğunun NSO üzerine etkisi.....	25
Şekil 3. 8. 4 pimli kare prizma kutularda, boyutsuz pim uzunluğunun NSO üzerine etkisi.....	26
Şekil 3. 9. 8 pimli dikdörtgenel kutu şekli ve Rayleigh sayısının Nusselt sayısı oranı üzerine etkisi: a) dikey dizilim, b) yatay dizilim, c) çapraz dizilim.....	27
Şekil 3. 10. 6 pimli dikdörtgenel kutu şekli ve Rayleigh sayısının Nusselt sayısı oranı üzerine etkisi: a) dikey dizilim, b) yatay dizilim, c) çapraz dizilim.....	29
Şekil 3. 11. 2-pimli ( $B=0.1$ , $D=0.1$ ) kübik kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.05$ , $X=0.8$ ve $Y=0$ düzlemleri için, hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.).....	30
Şekil 3. 12. 2-pimli ( $B=0.3$ , $D=0.1$ ) kübik kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.15$ , $X=0.8$ ve $Y=0$ düzlemleri için, hava akışı temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.).....	31
Şekil 3. 13. 4-pimli ( $B=0.1$ , $D=0.1$ ) kübik kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.05$ , $X=0.8$ ve $Y=0$ düzlemleri için, hava akışı temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.).....	32
Şekil 3. 14. 5-pimli ( $B=0.1$ , $D=0.1$ ) kübik kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.05$ , $X=0.8$ ve $Y=0$ düzlemleri için, hava akışı temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.).....	33
Şekil 3. 15. 6-pimli ( $B=0.1$ , $D=0.1$ ) kübik kutularda sıcaklık gelişimi ( $X=0.05$ , $X=0.8$ ve $Y=0$ düzlemleri için).....	34
Şekil 3. 16. 6-pimli ( $B=0.1$ , $D=0.1$ ) kübik kutularda hız gelişimi (hava akışı temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.).....	35
Şekil 3. 17. 6-pimli ( $B=0.3$ , $D=0.1$ ) kübik kutularda sıcaklık gelişimi ( $X=0.15$ , $X=0.8$ ve $Y=0$ düzlemleri için).....	36
Şekil 3. 18. 6-pimli ( $B=0.3$ , $D=0.1$ ) kübik kutularda hız gelişimi (hava akışı temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.).....	37
Şekil 3. 19. 8-pimli ( $B=0.1$ , $D=0.1$ ) kübik kutularda sıcaklık gelişimi ( $X=0.05$ , $X=0.8$ ve $Y=0$ düzlemleri için).....	38
Şekil 3. 20. 8-pimli ( $B=0.1$ , $D=0.1$ ) kübik kutularda hız gelişimi (hava akışı temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.).....	39
Şekil 3. 21. 8-pimli ( $B=0.1$ , $D=0.025$ ) kübik kutularda sıcaklık gelişimi ( $X=0.05$ , $X=0.8$ ve $Y=0$ düzlemleri için).....	40
Şekil 3. 22. 8-pimli ( $B=0.1$ , $D=0.025$ ) kübik kutularda hız gelişimi (hava akışı temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.).....	41

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

### Şekil

### Sayfa

Şekil 3. 23. 10-pimli (hizalı-sıralı) kübik kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.05$ , $X=0.8$ ve $Y=0$ düzlemleri için, hava akışı temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.).....	42
Şekil 3. 24. 10-pimli (çapraz-sıralı) kübik kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.05$ , $X=0.8$ ve $Y=0$ düzlemleri için, hava akışı temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.).....	43
Şekil 3. 25. 2-pimli kare prizma kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.15$ , $X=0.45$ ve $Y=0$ düzlemleri için, hava akışı temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.).....	44
Şekil 3. 26. 5-pimli kare prizma kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.05$ , $X=0.45$ ve $Y=0$ düzlemleri için, hava akışı temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.).....	45
Şekil 3. 27. 6-pimli kare prizma kutularda sıcaklık gelişimi ( $X=0.05$ , $X=0.45$ ve $Y=0$ düzlemleri için).....	46
Şekil 3. 28. 6-pimli kare prizma kutularda hız gelişimi (hava akışı temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.).....	47
Şekil 3. 29. 6-pimli kare prizma kutularda sıcaklık gelişimi ( $X=0.15$ , $X=0.45$ ve $Y=0$ düzlemleri için).....	48
Şekil 3. 30. 6-pimli kare prizma kutularda hız gelişimi (hava akışı temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.).....	49
Şekil 3. 31. 8-pimli kare prizma kutularda sıcaklık gelişimi ( $X=0.05$ , $X=0.45$ ve $Y=0$ düzlemleri için).....	50
Şekil 3. 32. 8-pimli kare prizma kutularda hız gelişimi (hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.).....	51
Şekil 3. 33. 8-pimli kare prizma kutularda sıcaklık gelişimi ( $X=0.15$ , $X=0.45$ ve $Y=0$ düzlemleri için).....	52
Şekil 3. 34. 8-pimli kare prizma kutularda hız gelişimi (hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.).....	53
Şekil 3. 35. 10-pimli (hizalı-sıralı) kare prizma kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.05$ , $X=0.45$ ve $Y=0$ düzlemleri için, hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.).....	54
Şekil 3. 36. 10-pimli (çapraz-sıralı) kare prizma kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.05$ , $X=0.45$ ve $Y=0$ düzlemleri için, hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.).....	55

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2. 1. Çalışmada kullanılan kübik kutu için pim sayısı ve pim dizilimi. ....	10
Çizelge 2. 2. Pimsiz küp için grid hassasiyeti. ....	14
Çizelge 2. 3. Elde edilen verilerin yapılan 2 boyutlu çalışmalar ile karşılaştırılması. ....	15
Çizelge 2. 4. Elde edilen verilerin diğer çalışmalarla karşılaştırılması. ....	16

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
b	Pim uzunluğu (m)
B	Boyutsuz pim uzunluğu
d	Pim çapı (m)
D	Boyutsuz pim çapı
g	Yer çekimi ivmesi ( $m/s^2$ )
h	Isı transferi katsayısı ( $W/m^2K$ )
H	Kapalı kutunun boyutsuz yüksekliği
K	Isı iletim katsayısı ( $W/mK$ )
<b>k</b>	z-yönündeki birim vektör
l	Kapalı kutunun yan yüksekliği (m)
L	Kapalı kutunun boyutsuz en/boy uzunluğu
n	Duvar yüzeyine dik doğrultu
Nu	Nusselt sayısı
p	Basınç ( $N/m^2$ )
P	Boyutsuz basınç
Pr	Prandtl sayısı
Ra	Rayleigh sayısı
t	Sıcaklık (K)
T	Boyutsuz sıcaklık
w	Kapalı kutunun yan uzunluğu (m)
u,v,w	Hız bileşenleri (m/s)
U,V,W	Boyutsuz hız bileşenleri
<b>V</b>	Boyutsuz hız
x,y,z	Kartezyen koordinat sistemi (m)
X,Y,Z	Boyutsuz Kartezyen koordinat sistemi
$\alpha$	Isı yayılım katsayısı ( $m^2/s$ )
$\beta$	Isıl genleşme katsayısı ( $K^{-1}$ )
$\rho$	Havanın yoğunluğu ( $kg/m^3$ )

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)**

<b><u>Simgeler</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
$\nu$	Kinematik viskozite ( $m^2/s$ )

<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
c	Soğuk
et al	Ve diğerleri
h	Sıcak
NSO	Nusselt sayısı oranı
vb.	Ve benzerleri

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ VE AMAÇ

Taşınım ile ısı transferi bir akışkan ile bir katı yüzey arasında meydana gelir ve taşınım ile ısı transferi doğal ve zorlanmış taşınım olarak ikiye ayrılır. Zorlanmış taşınım, bir fan, vantilatör vb. dış etkenler sonucu meydana gelirken doğal taşınımında akışı zorlayıcı dış etkiler yoktur. Doğal taşınım ile ısı transferi yoğunluk farkından kaynaklanmaktadır. Isınan akışkanın yoğunluğu azalacağından dolayı yer çekiminin tersi yönünde hareket eder, böylece bir kaldırma kuvveti meydana gelir. Bu yolla ısı transferi için, Nusselt ve Rayleigh sayılarının aldığı değerlere göre yorum yapılır. Genellikle doğal taşınımında  $Ra \leq 10^8$  değeri için ısı geçişinin laminar sınır tabaka içinde gerçekleştiği,  $Ra \geq 10^9$  değeri içinse sınır tabakadaki hareketin türbülanslı olduğu kabul edilir. Doğal taşınım için  $10^8 \leq Ra \leq 10^9$  aralığı geçiş bölgesidir. Doğal taşınımın etkili olduğu birçok uygulama vardır. Kapalı ortamlarda ısı konforunun sağlanması, yangın olasılığı yüksek olan yerlerde, güneş enerji kolektörlerinde, elektronik ve bilgisayar ekipmanlarının soğutulmasında, nükleer reaktörlerin soğutulmasında ve damıtma işlemleri gibi alanlarda doğal taşınım ile ısı transferinden faydalanılmaktadır.

Üç boyutlu kutularda doğal taşınım çalışmaları son yıllarda çok yaygınlaşmıştır. Özellikle sayısal çalışmalar 1980 yılı ve sonrasında, bilgisayarların hızına ve kapasitesine bağlı olarak artmıştır. Ravnik, et al. (2008), eğimli kapalı paralel yüzlü ve kübik kutularda doğal taşınım olgusu çalışmışlardır. Birleştirilmiş laminar viskoz akış ve ısı transferi simülasyonu, tek alanda sınır element metodu (BEM) ve alt alan BEM kombinasyonu üzerinde yeni algoritma kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Metod, eğimli paralel yüzlüde doğal taşınım olgusunu simülasyon yapmak için kullanılmıştır. Algoritma da, Boussinesq yaklaşımı kullanılarak enerji denklemi ile ilgili sıkıştırılmaz Navier – Stokes denkleminin hız ve girdap vektörü formülasyonu çözülmüştür. Alt alan (BEM), kinematik eşitlik, girdap eşitliği ve enerji denklemini çözmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, eğimli kübik için referans sonuçlarında Rayleigh sayısının  $10^3 \sim 10^5$  değerlerinde Nusselt sayısının karşılaştırılmasıyla doğrulanmıştır. Çalışmada yüksekliğin genişliğe oranı (H/W)' nin 2 olduğu kutuların, Nusselt sayısı değeri, hız

profili ve sıcaklık alanları sunulmuştur. Kutularda sıcaklık alanının merkez kısmında tabakalaştığı gözlenmiştir. Sıcak duvar soğuk duvara uzandığı sürece sabit sıcaklığın tabakaları eğim açısına bakılmaksızın yerçekimi yönüne dik pozisyonuna gelmiştir. Hız akış alanları, akışın genelde sıcak duvar boyunca yükseldiğini, soğuk duvar boyunca alçaldığı tek girdapta hareket ettiğini göstermektedir. 2 boyutlu hesaplanan Nusselt sayısı değerleri 3 boyutlu elde edilen Nusselt sayı değerlerine oldukça yakındır. (~% 8)  $H/W=2$  ve  $H/W=1$  kutularındaki karşılaştırmalarında Nusselt sayısı değeri,  $H/W=2$  kutuları durumunda daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Lo, et al., (2007) bu çalışmalarında, Navier-Stokes eşitliğinin hız-girdap formu kullanılarak eğimli kübik oyukta doğal taşınımı simülasyon etmek için, diferansiyel tümlev (DQ) metodu üzerine yeni bir nümerik algoritma öngörmüşlerdir. Bu algoritmanın nümerik yeteneği, eğimli kübik oyuklarda doğal taşınım uygulamaları tarafından kanıtlanmıştır. Hız-Poisson eşitliği, süreklilik denklemi, girdap hareket denklemi ve enerji denklemi, sıcaklık, üç girdap ve üç hızın içerdiği yedi alandaki değişkenlere bağlı sistemler olarak çözülmüştür. Böylece hız ve girdap eşitliklerinin birleşmesi, girdap sınır şartlarının belirgin özelliklerini gerektirmeksizin girdap sınır değeri imasının kararına (sınırına) izin verir. Bu algoritma, enerji ve girdap eşitliğini içine aldığı lineer olmayan ayrıklaştırma için etkili bir metot olduğu ispatlanmıştır. Rayleigh sayısının  $10^3$ ,  $10^4$ ,  $10^5$  ve  $10^6$  değerinde farklı eğim açılarındaki eğimli kübik oyuk için test sonuçları elde edilmiştir. Rayleigh sayısının  $10^3$  ila  $10^6$  ve eğim açısının  $0^\circ$  olduğu durumdaki sonuçlar, yapılan diğer çalışmalar ile karşılaştırılmış iyi uyum gösterdiği gözlenmiştir. Çalışmada eğim açısının  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  ve  $60^\circ$  değerleri için sıcaklık ve hız karakteristikleri şekillerle gösterilmiştir. Frederick and Quiroz (2001), laminar sürekli rejimde, dikey duvarlardan biri soğuk ve soğuk kenarın karşı duvarı üzerinde bölgesel sıcak kare yerleştirilmiş kübik kutularda doğal taşınımı nümerik olarak çalışmışlardır. Sıcak ısı kaynağı boyutları ve sıcaklığı değişken olarak alınmıştır. Çevrim hücresi simetrik tekil akış şeklinden meydana gelmektedir. İletimden taşınımına geçiş rejimi  $Ra=10^5$ 'de sonlanır, taşınımın yavaşça gelişmesi ve iletimin bastırılmasıyla şekillendirilir.  $Ra = 10^5-10^7$  aralığında yanal hızlar genişler, karışma bir hayli artar, termal olarak 3 boyutlu akış tabakalaşır ve çevrim hücresi kesit alanında değişime maruz kalmaktadır. Tüm Rayleigh aralığında, Nusselt sayısı tüm duvarın sıcak olduğu duruma kıyasla azaldığı tespit edilmiştir. He, et al. (2005), soğuk dikey duvar ve karşı

duvar üzerinde sabit sıcaklıkta iki kare ısıtıcı kübik kutularda sürekli rejimde laminer doğal taşınım nümerik olarak çalışmışlardır. Çalışmada Rayleigh sayısının, kübik kutunun en/boy oranı ve Prandl sayısının etkileri incelenmiştir. Ravnik, et al. (2009), bu çalışmada ısı transferi ve laminer viskoz akışın simülasyon algoritmasını bilgisayar hafızasını azaltma ve hızlandırma için yapmışlardır. CPU zaman ve depolama gereksinimleri tek etki BEM hızlı çok kutuplu genişleme yöntemi uygulayarak azaltılmıştır.

Tric, et al. (2000) kısmi duvar ısıtılmalı kübik oyuk için  $10^3 < Ra < 10^7$  için doğruluğu yüksek çözümler sunmuşlardır. Izgara inceltme ve ekstrapolasyonlar ile en yüksek Rayleigh sayısı için çözümlerde türevler ve sayısal çözüm verilerindeki hatanın %0.02'den daha az olduğu kanısı hakimdir. Lee, et al. (1989), üç boyutlu dikdörtgenel kutularda doğal konveksiyon, kuvvetle dengeleyen QUICK planı kullanarak nümerik olarak analiz etmişlerdir. Hesaplamalar, üç boyutlu harekette sıcaklık düzensizliğinin etkilerini göstermek için sıcaklık sınır şartlarının farklı durumlarında gösterilmiştir. Rayleigh sayısının etkisi araştırılmış ve iki boyutlu tahmin sınırında incelenmiştir. Sonuçlar, son duvar üzerindeki sıcaklık düzensizliğinin etkilerinin aksiyel akışı desteklediğini ve 3 boyutlu etkilerin büyüdüğünü göstermiştir. Bairi (2008), 2 boyutlu eğik kare kutularda doğal taşınımı nümerik ve deneysel olarak çalışmıştır. Çalışmasında kare duvarın bir kenarını sıcak, bir kenarını soğuk sabit sıcaklıkta tutmuştur. Rayleigh sayısının ve kare kutunun eğim açısının farklı değerleri ile Nusselt sayısının değişimini gözlemlemiştir.

Nada (2007), dikey ve yatay dar kutularda taban yüzeyine ısıtılmış dikdörtgen kanatlar ile farklı kanat aralığı ve kanat uzunluğu için Rayleigh sayısı deneysel olarak akışkan akış karakteristiği ve doğal taşınım ile ısı transferi incelemiştir. Yatay ve dikey kutular arasında ısı transferi oranı ve kanat yüzey etkinliği kıyaslamalı olarak rapor etmiştir. Kanatsız kutulara kıyasla ısı ileten kanatlarda daima ısı transferi oranı arttığını gözlemlemiştir. Bu çalışmada kanat uzunluğunun artırılması Nusselt sayısını ve kanat verimliliğini artırmıştır. Rayleigh sayısındaki artış her kanat dizilim geometrisi için Nusselt sayısının artmasına neden olmuştur. Ayrıca bu çalışmada yol gösterecek yararlı

dizayn önerilmiştir. Dikey ve yatay kutular için Nusselt korelasyonları geliştirilmiştir. Mobedi and Yüncü (2003), nümerik olarak bir yatay tabanın üzerine uzunlamasına olarak yerleştirilen kısa dikey kanatlarda sürekli rejimde doğal taşınım ile ısı geçişi incelemiştir. Bu problem, açık sınır şartlarında 3 boyutlu laminer doğal taşınım ısı transferidir. Kartezyen koordinat sisteminde sonlu farklar kodu, girdap-vektör gerilim yaklaşım çalıştırarak doğal taşınım problemleri için Navier-Stokes ve enerji denklemlerinin laminer formda çözmek için yazılmıştır. Kanalda kanat diziliminin akıştaki süreci yazılan kod kullanılarak incelenmiştir. Girdap vektör gerilim yaklaşımı üzerine sonlu farklar kodu, genel denklemleri çözmek için geliştirilmiştir. Akışın sürekli davranışı ve sıcaklık dağılımları, genel denklemin geçici formların çözümünde elde edilmiştir. Sonuçlar, literatürden ulaşılan deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Not edilen deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçlar arasında iyi bir uyuma görülmüştür. Farklı geometrik parametrelerin (kanat yüksekliği, kanat uzunluğu ve kanat aralığı) kanat dizilimlerinin kanalda meydana gelen akış konfigürasyonu analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçların tabanında, iki çeşit akış şekli gözlenmiştir. Akış mekanizması tartışılmış ve tartışmayı destekleyen akış şekilleri çizdirilmiştir. Çalışma kanat aralığı üzerinde Rayleigh sayısındaki 120'den 39000'e değişme ile sınırlandırılmıştır. Kanat uzunluğu ve kanat yüksekliği sırasıyla 2'den 10'a ve 0.25'den 7'ye kanat aralığı çeşitlendirilmiştir. Dar kanat aralığındaki kanat dizilimi için, hava sadece kanal içine son bölgeden girebildiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte, geniş kanat aralıklı kanat dizilimi için, hava kanatların arası orta kısmından kanala girer, tabandan 180° döner ve daha sonra kanalın merkez kısmını doğru akarken, kanat yüzeyi boyunca yükselir. Bundan gözlenen; kanat boyunun yükselmesi, kanatların arası orta kısmından giren havanın miktarını azaltır. Kanal boyunca uzunlamasına olarak sınır tabaka şekli, kanat uzunluğuyla ısı transfer katsayısının üzerindeki azalma önemli bir etkidir. Kanat aralığının artırılması ısı transfer katsayısını artırır, bu sınır tabakanın karşılıklı etkileşmesini geciktirir ve kanatlar arası orta kısmından girmek için taze havaya izin verir. Akış şekli ve ısı transferi üzerine kanat aralığı, kanat uzunluğu ve kanat yükseklik etkilerinin tartışmalarından görülür ki; akış alanı oldukça karmaşıktır. Uzunluk, aralık ve boy parametreleri etkileri birbirine çok bağlıdır. Sonuç olarak; kanat diziliminin bu şekli üzerindeki literatür araştırmaları çoğu rapor tutulan çalışmaların deneysel olduğunu bahsetmek yararlı olabilir. Önemli korelasyonlar arasından, en

uygun korelasyonun Mannon'a ait olduğunu gösterir. Çünkü tüm geometrik parametrelerin etkileri onun korelasyonunda hesaba katılır. Bu çalışmadaki nümerik sonuçlarla Mannon korelasyonunun sonuçları arasında en iyi uyum gözlenmiştir. Frederick and Moraga (2007), Rayleigh sayısı  $10^3 - 10^6$  için sıcak duvara kanat eklenen kübik kutulardaki havanın doğal taşınımını sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada kanat genişliği ve katının akışkan termal iletim oranı değişken olarak alınmıştır. Akışkan kanat yüzeyleri ve sıcak duvarı süpürürken, pasif yanal kenarlar ve kanat yanları arasındaki boşlukta yüksek hızlara ulaşır. Özellikle düşük Rayleigh sayılarında kanat ön ve yanlardan üstteki kanat yüzeyine akışkan erişimini engeller. Isı iletimi oranının düşük değerleri ısı transferinin azalmasına sebep olur. Tüm oyuktaki çevrilen ana çevrim taşınım sürecini etkilediği bulunmuştur. 2 boyutlu çalışmada elde edilen ısı transferinin yaklaşık %20 artmasının sebep olduğu yüksek ısı iletim oranı, kanat yüzey alanının katkısını artırır.  $10^5$ 'ten  $10^6$ 'ya Rayleigh sayısındaki dağılım genişliğinde, maksimum ısı transferi oranı boyutsuz kanat genişliğinin sırasıyla 0.6 ve 0.8 değerleri için bulunur. Sonuç olarak  $10^5 \leq Ra \leq 10^6$  için, ısı transferini yükseltmesinde kısmi genişlikteki kanatlı kübik kutular, tam genişlikteki kanatlı kübik kutulardan daha etkilidir. Bilgen (2005), ısıtılmış duvara mükemmel iletkenlikli kanatlar eklenmiş eğimli dikdörtgenel kutularda doğal taşınım ısı transferi nümerik olarak çalışmıştır. Fugesı, et al. (1991), farklı sıcaklıklarda ısıtılmış kübik kutularda üç boyutlu doğal taşınımı çalışmışlardır. Lakhal, et al. (1997), ısıtılmış duvar üzerine iletkenliği yüksek kanat eklenmiş eğimli kapalı dikdörtgen kutulardaki doğal taşınım ısı transferini nümerik olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada kullanılan parametreler; Rayleigh sayısı ( $10^2 \leq Ra \leq 2 \times 10^5$ ), kutunun görünüm oranı ( $2.5 \leq A = H'/L' \leq \infty$ ), bölünmenin boyutsuz uzunluğu ( $0 \leq B = l'/L \leq 1$ ), mikro oyuk görünüm oranı ( $A \leq C = h'/L' \leq 0.33$ ), eğim açısı ( $0 \leq \theta \leq 60^\circ$ ) ve Prandtl sayısı ( $Pr = 0.72$ )'dir. Düşük Rayleigh sayılarında akış rejimi sadece iletimdir ve soğuk duvar boyunca ısı kaybı, ısıtılmış duvar üzerine eklenen kanat kullanılarak önemli ölçüde azaltılabilir. Isı transferinde, boyutsuz kanat uzunluğu ve mikro oyuk görünüm oranının ısı iletimine hakim olduğu gösterilmiştir. Silva and Gosselin (2005), çalışmasında laminer doğal taşınım küpün sıcak yüzeyine dikdörtgen kanat takarak ısı transferine etkilerini incelemişlerdir. Yüksek iletim oranına sahip kanadın en/boy oranı ve yatay uzunluğu değişken olarak almışlardır. Küp hacminin %10 hacmine sahip geniş kanatların en /boy oranının ortalama ısı akısına etki

etmediği, kanat yatay uzunluğu ile ısı akısının monoton olarak arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca küp hacminin sadece %0.1 hacmine sahip kanatın ortalama ısı akısı kanatın hem en/boy oranıyla hem de kanatın yatay uzunluğu ile artış gösterdiği sonucuna varmışlardır. Chuang, et al. (2003), farklı konumlarda üç çip 3 boyutlu laminer doğal taşınımında Hesaplama Akışkanlar Dinamiği (CFD) kodu PHOENICS kullanılarak analiz etmişlerdir. İzotermal ve yalıtılmış duvarlara beş farklı pozisyonda yerleştirilmiş üç çip için çözüm yapmışlardır. Nümerik çalışma sonucunda; çipler arasında ısı transferinin taşınım ile ısı transferi olgusunun çok güçlü olduğu, tüm çip pozisyonları düzenlenmesinde en üstteki çip civarında daima en yüksek sıcaklık meydana geldiği, üç çip arasında ortalama sıcaklık yatay pozisyon düzenlenmesinde yaklaşık olarak aynı olduğu ve bu durumda diğer pozisyonlara nazaran daha homojen sıcaklık dağılımının gözlemlendiği, 5 çip pozisyonu arasından dikey pozisyon düzenlenmesinin en yüksek çip sıcaklığı elde edildiği kanısına varmışlardır. Frederick (2007), Rayleigh sayısı  $10^3$ - $10^6$  için sıcak duvara dikey ince bölme bağlamalı kübik kutudaki havanın doğal taşınımını sayısal olarak incelemiştir. Yüksek Rayleigh sayısı ve ısıl iletim oranında ( $R_k$ ), eklenen bölme yüzey alanı ile ısı transferinde %40'ın üzerinde artış sağlandığını gözlemlemiştir. Ayrıca  $10^4$  haricinde, düşük  $R_k$  değerlerinde bile ısı transferinde artış tespit etmiştir. Dialameh, et al.(2008), yatay taban düzlem üzerine yerleştirilmiş kısa kenarlı ( $L \leq 50$  mm) alüminyum yatay dikdörtgen ince kanat ( $3 \text{ mm} < t < 7 \text{ mm}$ ) diziliminin doğal taşınımını nümerik olarak çalışmışlardır. Çeşitli kanat geometrisi ve sıcaklık farklılıklarının, kanat diziliminin taşınım ile ısı transferi üzerine etkisini incelemiştir. Yüncü and Anbar (1998) ve Güvenç and Yüncü (2001), yatay ve dikey yüzeylerde eklenmiş dikdörtgen kanatların doğal taşınım ile ısı transferini deneysel olarak rapor etmişlerdir. Kanat yüksekliği, kanat aralığı ve kanat tabanı çevre sıcaklığı farklılıklarının ayrı rolleri araştırılmıştır. Fujii (2007), eğimli kanatlarda dikey ısıtılmış düzlemlerden doğal taşınım ile ısı transferini incelemiştir. Deneysel; eğim kanatlarının eğim açısı yatay düzlemden ölçerek  $30^0$ - $90^0$ , uzunluğu 25 ile 50 mm, kanat adımı 20 ile 60 mm aralığında değiştirmiştir. Eğim açısının  $60^0$ 'deki eğimli kanatlı dikey ısıtılmış düzlem için ısı transferi oranını, dikey kanatlı dikey ısıtılmış düzleme göre %19 daha yüksek olduğunu bulmuştur. Tou, et al. (1999), 3 boyutlu sayısal çalışmada çeşitli akışkanlar ( $Pr=5, 9, 25$  ve  $130$ ) ile doldurulan dikey kutuların bir dikey kenarında sıva altı  $3 \times 3$ 'lük dizilimli ısı kaynaklı ve karşı duvarından soğutmalı

doğal taşınımı incelemiştirlerdir. Çalışmada Rayleigh sayısı, kutu en/boy oranı ve Prandtl sayısının ısı transferi üzerine etkilerini gözlemlemiştirlerdir. Terekhov and Terekhov (2006), izotermal duvarlardan birinin üzerinde kanatlar bulunan yüksek dikey dar kutuda ısı transferini nümerik olarak incelemiştirlerdir. Liu and Phan-Thien (2000), sonlu elemanlar yöntemi adım operatör bölme zaman kullanarak dikey alt katman üzerine monte edilmiş üç ısıtmalı eleman için optimum aralığın nümerik analizini rapor etmiştirlerdir. Giri, et al. (2003), çeşitli kanat aralıkları için gizli dikey kanat dizilimi üzerine ısı ve kütle transferinin doğal taşınımını nümerik olarak çalışmışlardır. Wang and Mayinger, çalışmalarında birbirine paralel ve dikey olarak monte edilmiş baskı devre kart (pcb) içeren elektronik ekipmanların bir çeşidinde doğal konveksiyonla havayla soğumanın deneysel sonuçlarını sunmuşlardır. PCB 'nin dizilişinin bu çeşidinde doğal iletken soğutucu olan havanın davranışı girişim ölçerin holografisinin yardımıyla araştırılmıştır. Sonuçlar PCB'nin dizilişindeki ısı transferinin değişken sınır tabakası ve dış duvarların yanındaki girdap akışı tarafından yüksek miktarda etkilendiğini göstermektedir.

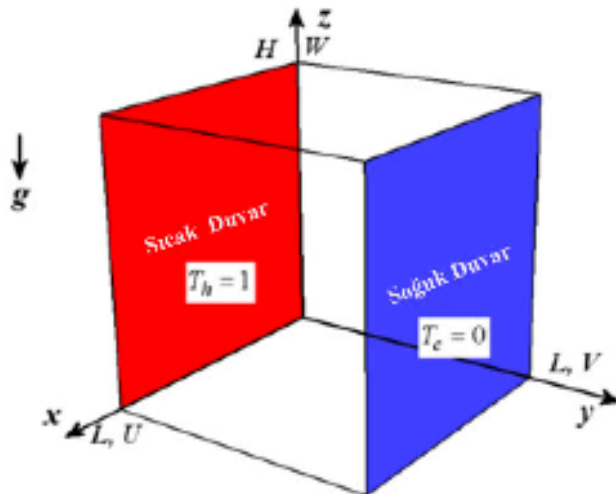
Bu çalışmada akışkan olarak hava ( $Pr = 0.71$ ) kullanılmış olup üç boyutlu kapalı dikdörtgenel kutularda laminer doğal taşınım ile ısı transferi ve hava akışı nümerik olarak çalışılmıştır. Çözümlerde iki farklı dikdörtgenel kutu ele alınmıştır: Kare prizma ( $H/L=2$ ) ve kübik ( $H/L=1$ ) kapalı kutular. Kapalı kutunun yanal duvarlarından biri ısıtılıyorken, karşısındaki duvar soğutulmaktadır. Isı transferini artırmak için sıcak duvara silindirik pimler yerleştirilmiştir. Bu çalışma önceki çalışmalardan farklı olarak dikdörtgenel kapalı kutunun sıcak duvarına yerleştirilen silindirik pim dizilimi çapraz ve hizalı-sıralı dizilim olarak iki, düzgün dizilimde yatay ve dikey olmak üzere kendi arasında ikiye ayrılmıştır. Sıcaklık dağılımı Rayleigh sayısı, pim uzunluğu, pim çapı ve pim sayısı değişimi için elde edilmiştir. Soğuk yüzeye göre ortalama Nusselt sayısı her durum için hesaplanmış, pim sayısı, pim uzunluğu, pim çapı ve pim dizilimi etkileri araştırılmıştır.

## BÖLÜM 2

### FİZİKSEL VE MATEMATİKSEL MODEL

#### 2.1. Problem


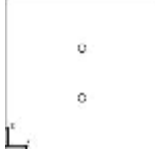

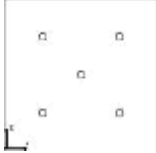


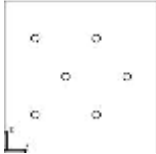


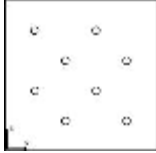



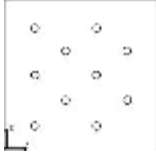
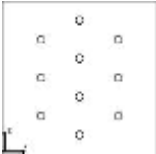
Şekil 2.1’de ele alınan üç-boyutlu sistem geometrisi ve koordinat sistemi verilmiştir. Dikdörtgenler prizması ile temsil edilen kapalı sistem, yüksekliği  $H$ , eni ve boyu  $L$  olarak verilmektedir. Kapalı kutunun sağ yüzeyi soğuk (duvar sıcaklığı  $t_c$ ), pimlerin da monte edildiği sol yüzeyi sıcak (duvar sıcaklığı  $t_h$ ) ve diğer dört yüzeyi adyabatiktir. Sol yüzeye uzunluğu  $b$  ve çapı  $d$  olan silindirik pimler yerleştirilmektedir; boyutsuz pim çapı ve boyu  $b/H$  ve  $d/H$  olarak tanımlanmış olup,  $b/H=0.025, 0.05$  ve  $0.1$  ve  $b/H=0.1, 0.2$  ve  $0.3$  değişimleri ele alınmaktadır. Sıcak duvara monte edilen pim sayısı 2, 4, 5, 6, 8, 9 ve 10 olmakla birlikte, pim dizilimi çapraz-sıralı ve hizalı-sıralı olmak üzere çeşitlendirilmiştir. Sayısal simülasyon çalışması  $H/L=1$  (küp) ve  $H/L=2$  (kare prizma) durumları için gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. 1. 3 boyutlu sistem geometrisi ve koordinat sistemi.

Çalışmada kullanılan pim sayısına göre pim dizilimleri Çizelge 2.1’de verilmiştir. Pimler çapraz ve hizalı-sıralı dizilim olarak iki, düzgün dizilimde yatay ve dikey olmak üzere kendi arasında ikiye ayrılmıştır. 4 ve 9 pimli dizilimde, yatay ve dikeye göre simetrik olduğu için tek model oluşturulmuştur. 5 pimli dizilimde pim sayısı tek olduğu için, dikey ve yatay dizilim oluşturulmamış, yalnızca karma pim dizilimi oluşturulmuştur. 10 pim kullanımında ise karma dizilimde 2 adet durum incelenmiştir. Çizelge 2.1’de kübik kutularda verilen pim sayısına göre pim dizilimleri kare prizma şeklindeki kapalı kutularda da uygulanmıştır.

Çizelge 2. 1. Çalışmada kullanılan kübik kutu için pim sayısı ve pim dizilimi.

Pim Sayısı	Hızlı Sıralı Dizilim		Çapraz Dizilim
	Yatay	Dikey	Karma
2 Pimli			
4 Pimli			
5 Pimli			
6 Pimli			
8 Pimli			
9 Pimli			<b>karma</b>
10 Pimli			
10 Pimli			<b>karma - 2</b> 

## 2.2. Matematik Model

Sabit termofiziksel özellikler kabulü altında, akışkan akışı ve ısı geçişini temsil eden, üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde süreklilik, momentum, Boussinesq yaklaşımının kullanıldığı enerji denklemleri sırasıyla,

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0 \quad (1)$$

$$(\mathbf{V} \cdot \nabla)\mathbf{V} = (\nabla^2\mathbf{V} - \nabla P)(Ra/Pr)^{-1/2} + T\mathbf{k} \quad (2)$$

$$(\mathbf{V} \cdot \nabla)T = (Ra Pr)^{-1/2}\nabla^2T \quad (3)$$

olarak yazılabilir. Burada Pr Prandtl sayısını ( $Pr = \nu/\alpha$ ), Ra Rayleigh sayısını ( $Ra = g\beta(T_H - T_C)H^3/\nu\alpha$ ),  $\beta$  ısıl genleşme katsayısını,  $\alpha$  ısı yayılım katsayısını,  $\nu$  kinematik viskoziteyi,  $g$  yerçekimi ivmesini,  $P$  basıncı,  $\rho$  akışkanın yoğunluğunu,  $(u, v, w)$  hız bileşenlerini temsil etmektedir. Boyutsuz (1) - (3) nolu denklemleri elde etmek için aşağıdaki denklemlerden (4)'den yararlanılmıştır.

$$(X, Y, Z, L, W) = \frac{(x, y, z, l, w)}{H}, (U, V, W) = \frac{(u, v, w)H}{\alpha\sqrt{Ra Pr}}, P = \frac{pH^2}{\mu\alpha\sqrt{Ra Pr}}, T = \frac{t-t_c}{t_h-t_c} \quad (4)$$

## 2.3. Sınır Koşullar

Tüm duvar ve pim yüzeylerinde hız bileşenleri için kaymanın olmadığı koşullar geçerli olup sınır koşullar aşağıda verilmiştir. Şekil 1'de soğuk ve sıcak duvar sıcaklıkları gösterilmiştir.

<u>Duvar ve pim yüzeylerinde</u>	$\mathbf{V} = 0$
<u>Sıcak duvar (sol duvar)</u>	$T = T_h = 1$
<u>Soğuk duvar (sağ duvar)</u>	$T = T_c = 0$
<u>Pim yan ve ön yüzeylerinde</u>	$T = T_h = 1$
<u>Diğer duvarlarda</u>	$\partial T / \partial n = 0$

Burada  $n$  duvar yüzeyine dik doğrultudur.

Soğuk duvar yüzeyi için ortalama Nusselt sayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

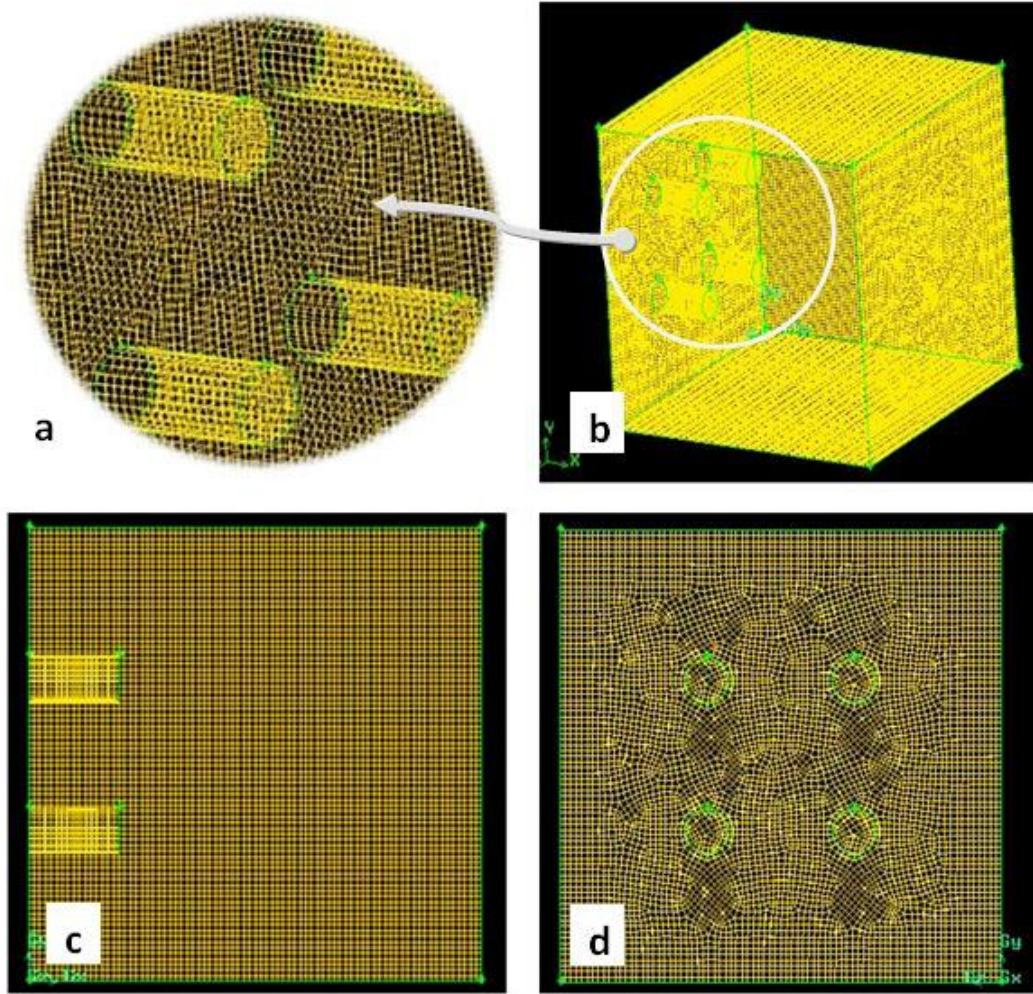
$$Nu = \frac{hH}{k} = \int_{z=0}^H \int_{y=0}^L \frac{\partial T}{\partial x} dydz \quad (5)$$

## 2.4. Nümerik Model

Denklem (1) – (3)'de ayrıklaştırma yöntemi olarak FVM (Finite Volume Method) ile taşınım terimlerinde ikinci dereceden (Second Order Upwind) ayrıklaştırma şeması, çözüm algoritması olarak da SIMPLE algoritması kullanılarak, geçerliliği birçok mühendislik probleminde yaygın olarak test edilmiş ve kullanılmakta olan FLUENT® yazılımı aracılığıyla çözülmüştür (Fluent, 2003). Akış geometrisinin oluşturulması, oluşturulan geometrinin belirli hücelere bölünmesi (ızgaralama işlemi) ve sınır şartlarının verilmesi işlemi için GAMBIT® programı kullanılmıştır.

### 2.4.1. Grid Hassasiyeti

Sayısal çözümlerin ilk adımı olarak, pimsiz küp için modelleme yapılarak ızgara hassasiyeti belirlenmiştir. İhtiyacın üzerinde, aşırı yoğun bir ağ yapısının bilgisayarda koşturma süresini büyük oranda artıracığı bilinen bir gerçektir. Yapılan simülasyon çalışmalarında yakınsamanın yeterliliği bakımından soğuk yüzey üzerinden ortalanan Nusselt sayısının değerinin değişimi referans alınmıştır. Pimsiz küp için uygun ızgaralamada  $80^3$  yoğunluğunda, “Hex/Wedge–Cooper” grid yapısı kullanarak çözüm yapılmıştır. Kullanılan tüm denklemler için yakınsama kriteri  $1 \times 10^{-5}$  olarak alınmıştır. Tipik hücre yapısı Şekil 2’de verilmiştir. Pimsiz küp için uyum gösteren grid yoğunluğu, pimli kare prizma ve küp şeklindeki kapalı kutulara da uygulanmıştır.



Şekil 2. 2. Tipik hücre yapısının görünümü: a) pimlerin yakından görünüşü, b) izometrik görünüş, c) önden görünüş, d) yandan görünüş.

Çizelge 2.2’de farklı grid sayılarında “Power Law ve Second Order Upwind” taşınım terimlerinin ayrıştırılması kullanılarak soğuk duvara göre hesaplanmış ortalama Nusselt sayıları verilmiştir. Çizelge 2.3’deki karşılaştırma sonuçlarına göre Rayleigh sayısının  $10^5$ ’teki değerine karşılık gelen Nusselt değeri 4.36 – 4.40, Rayleigh sayısının  $10^6$ ’daki değeri için ise 8.70 – 8.92 arasında olmalıdır. Bu duruma en uygun meşleme kriteri “Second Order Upwind” taşınım terimi ayrıştırmasında ve  $80^3$  grid düzeninde sağlanmıştır.

Çizelge 2. 2. Pimsiz küp için grid hassasiyeti.

Rayleigh Sayısı	Ortalama Nusselt Sayısı			
	Grid Sayısı			
	0.1	0.05	0.025	0.0125
$10^5$ Power Law	5.2202	4.7164	4.4363	4.3620
$10^5$ Second Order Upwind	5.0495	4.7018	4.4336	4.3613
$10^6$ Power Law	8.1382	10.291	9.2372	8.7949
$10^6$ Second Order Upwind	7.8281	10.123	9.2441	8.7977

Hacim ızgara yapısı pimsiz küp için 531441 node olacak şekilde elde edilmiştir. Kare prizma geometride, ızgara yapısı yaklaşık 1/4 oranında azalmıştır. Yani kare prizma geometri 136161 node elde edilmiştir. Bu şekilde oluşturulan ızgara ve element birim hacminin her geometride denk olmasına (dolayısıyla ayrıklaştırma hatasının aynı mertebede kalmasına) özen gösterilmiştir.

#### 2.4.2. Diğer Nümerik ve Deneysel Çalışmalar ile Karşılaştırma

Yapılan bu çalışmada elde edilen ortalama Nusselt sayısı önceden yapılan çalışmalardaki değerlerle karşılaştırılması Çizelge 2.3 ve Çizelge 2.4'de verilmiştir. Pimsiz küp şeklinde modellenen kapalı kutunun Rayleigh sayısı  $10^3$ ,  $10^4$ ,  $10^5$ ,  $10^6$  ve  $10^7$  için elde edilen Nusselt değerleri literatürdeki çalışmalarla iyi uyum göstermiştir.

Çizelge 2. 3. Elde edilen verilerin yapılan 2 boyutlu çalışmalar ile karşılaştırılması.

Ortalama Nusselt Sayısı						
Ra	Bu Çalışma	Bilgen (2005)	De Vahl Davis and Jones (1983 a)	Bairi (2008)	Dixit and Babu (2006)	De Vahl Davis and Jones (1983 b)
10 <sup>3</sup>	1.0706			1.1120	1.1210	1.1180
Hata %				3.8670	4.7076	4.4274
10 <sup>4</sup>	2.0575	2.2450	2.2460	2.1680	2 2860	2.2430
Hata %		9.1130	9.1616	5.3706	11.1057	9.0158
10 <sup>5</sup>	4.3613	4.5210	4.5110	4.2280	4 5460	4.5190
Hata %		3.6618	3.4325	3.0564	4.2350	3.6159
10 <sup>6</sup>	8.7977	8.8000	8.7770	8.2430	8.6520	8.8000
Hata %		0.0261	0.2353	6.3051	1.6561	0.0261
10 <sup>7</sup>	17.2670	16.6287		16.0730	16.7900	
Hata %		3.6966		6.9149	2.7625	

Çizelge 2.3'te bir kenarı sıcak, sıcak kenarın karşısındaki kenarı soğuk, diğer iki kenarı adyabatik olan iki boyutlu karelerde soğuk kenara göre hesaplanmış Nusselt değerleri verilmiştir. Çizelge 2.4'te ise bir duvarı sıcak, sıcak duvarın karşısındaki duvar soğuk, diğer dört duvarı adyabatik olan üç boyutlu küplerde soğuk duvara göre hesaplanmış ortalama Nusselt değerleri verilmiştir. Literatürden bulunan sonuçlar, pimsiz durumdaki bir duvarı sıcak, sıcak duvarın karşısındaki duvarı soğuk ve diğer dört duvarı adyabatik olan kübik kutulardaki soğuk duvara göre hesaplanmış ortalama Nusselt değerleri ile karşılaştırılmaları verilmiştir.

Çizelge 2. 4. Elde edilen verilerin diğer çalışmalarla karşılaştırılması.

Ra	Ortalama Nusselt Sayısı														
	Yapılan Çalışma	Frederick and Moraga (2007)	Ravnik, et al (2008)	Lo, et al (2007)	Tric, et al (2000)	Janssen (1993)	Fikri (1993)	Henkes and Quere (1996)	Haldenwang (1984)	Fusegi et al (1991)	Cuesta (1993)	Mabrouk (1984)	Frederick and Quiroz (2001)	He, et al (2005)	Frederick (2007)
10 <sup>3</sup>	1.0706	1.0712	1.0713	1.0710	1.0700	1.0850				1.0850	1.0520	1.0730		1.0640	1.0712
Hata %		0.0598	0.0654	0.0374	0.0560	1.3450				1.3450	1.7373	0.2242		0.6165	0.0560
10 <sup>4</sup>	2.0575	2.0570	2.0591	2.0537	2.0542	2.1000				2.1000	2.1870	2.0830		2.0600	2.0570
Hata %		0.0228	0.0778	0.1847	0.1604	2.0656				2.0656	6.2940	1.2394		6.9259	0.1215
10 <sup>5</sup>	4.3613	4.3534	4.3570	4.3329	4.3370	4.3610		4.3370	4.3090	4.3610	4.5120	4.4520		4.5000	4.3534
Hata %		0.1811	0.0986	0.6512	0.5572	0.0069		0.5572	1.1992	0.0069	3.4554	2.0797		3.1802	0.8874
10 <sup>6</sup>	8.7977	8.7400			8.6407	8.7700	8.6390	8.7700	8.6100	8.0200	8.8460	9.2150		9.0000	8.7400
Hata %		0.6555			1.7846	0.3149	1.8039	0.3149	2.1335	8.8398	0.5490	4.7433		2.2995	1.2992
10 <sup>7</sup>	17.2670				16.3427			16.3170	16.2000	15.3530					
Hata %					5.3530			5.5018	6.1794	11.0847					

## BÖLÜM 3

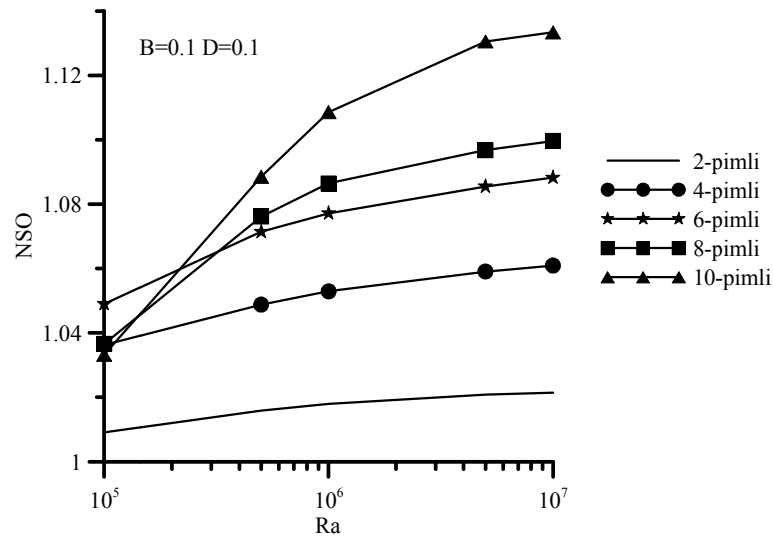
### BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Pimlerin sayı, boyut ve dizilimlerinin ısı transferi oranı üzerine etkilerini incelemek için, soğuk duvar üzerinden ortalanmış ortalama Nusselt sayısının, pimsiz kapalı kutularda elde edilen Nusselt sayısı ile kıyaslamaları yapılmıştır. Nusselt sayısı oranı (NSO) Denklem (6) ile verilen bağıntı ile tanımlanmıştır. Bu eşitlikten  $NSO > 1$  durumunda ısı transferinin pimlerin ilavesi dolayısıyla arttığı,  $NSO < 1$  durumunda ise ısı transferinin pim ilavesine rağmen azaldığı anlaşılmaktadır.

$$NSO = \overline{Nu}|_{pimli} / \overline{Nu}|_{pimsiz} \quad (6)$$

#### 3.1. Pim Sayısının Etkisi

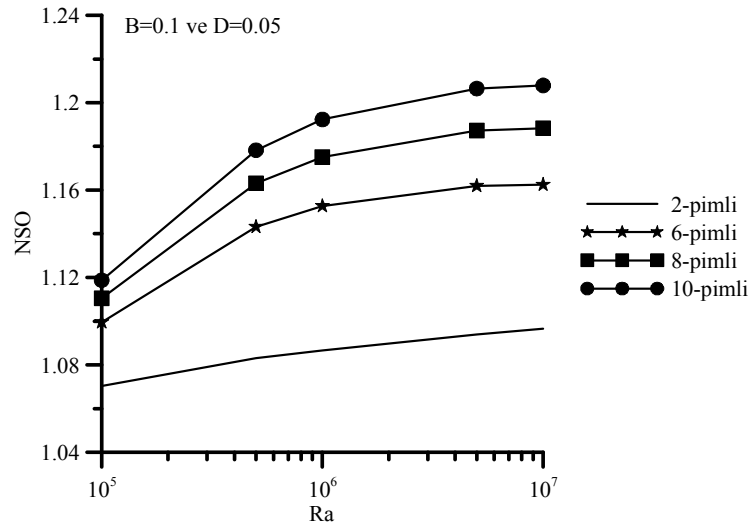
Yatay eş-sıralı olarak dizilen  $B=0.1$  ve  $D=0.1$  pimler içeren kübik kutularda pim sayısı ve Rayleigh sayısına göre ısı geçişinin NSO ile değişimi Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3. 1. Kübik kutularda  $B=0.1$  ve  $D=0.1$  yatay eş-sıralı dizilimli pimler için Rayleigh ve pim sayısının NSO üzerine etkisi.

Rayleigh sayısının artması ile NSO değerinde artış, yani ısı geçişinde pimsiz kutuya oranla artış gözlenmiştir.  $Ra > 2 \times 10^5$  için, pim sayısındaki artış ile NSO artmıştır. Bu artışın tek sebebi, sadece sıcak yüzey alanının artmasından kaynaklanmamaktadır. Diğer bir değişle ısı transferindeki artış sadece yüzey alanında sağlanan artış ile doğru orantılı değildir; pimler etrafındaki hava akışı da ısı geçişinin artmasında önemli rol oynamaktadır. Küçük Rayleigh değerlerinde ( $Ra < 2 \times 10^5$ ) yatay pim diziliminde Ra'nın küçük değerlerinde elde edilen NSO değeri pim sayısı artmasıyla hemen hemen doğru orantılı olarak artmamaktadır. Örneğin 8 ve 10 pimli NSO değerleri 4 pimli NSO değerine yakın çıkmıştır.  $Ra = 10^7$  için 2, 4, 6, 8 ve 10 pimli durumda ısı geçişinde sırasıyla %2.7, %6, %9, %10 ve %13.5 artış sağlanmaktadır. Ayrıca Rayleigh sayısına göre NSO'un artış eğimi 10 pimlide daha dik olurken, pim sayısının azalması eğimin azaldığı görülmektedir.

Şekil 3.2'de kare prizma ( $H/L=2$ ) şeklindeki kutularda  $B=0.1$  ve  $D=0.05$  değerlerindeki dikey dizimli pimler için Rayleigh sayısının pimli durumdaki ısı geçişinin, pimsiz durumdaki ısı geçişine kıyaslaması verilmiştir.

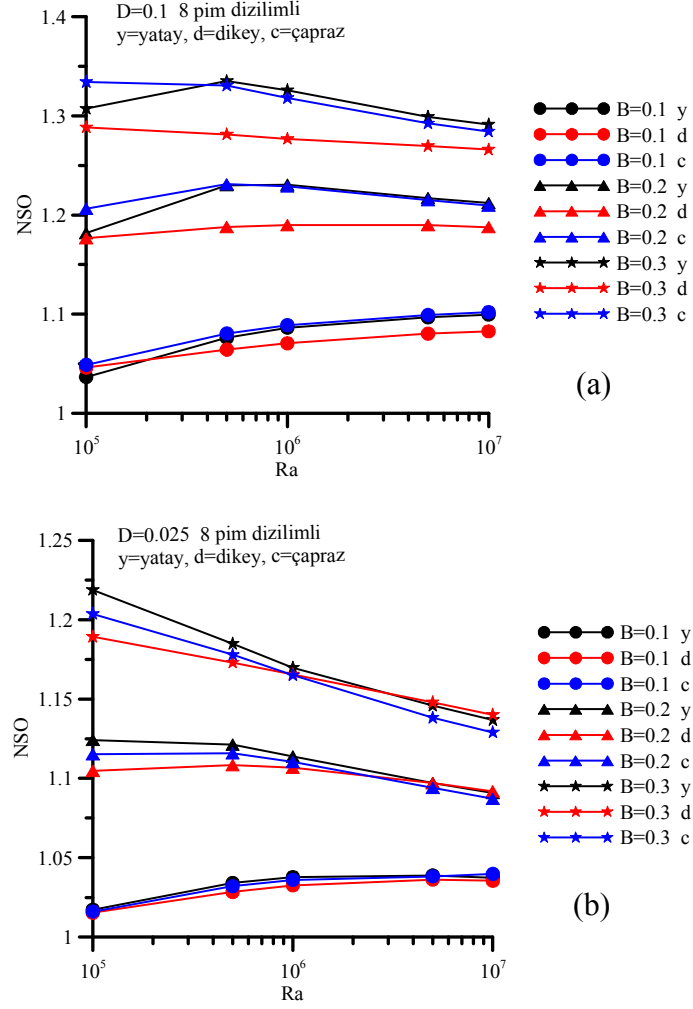


Şekil 3. 2. Kare prizma kutularda  $B=0.1$  ve  $D=0.05$  dikey eş-sıralı dizimli pimler için Rayleigh sayısının NSO üzerine etkisi.

Kübik kutularda olduğu gibi kare prizma şeklindeki kapalı kutularda da pim sayısı artarken, NSO değerinde artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca Rayleigh sayısı yükselirken, NSO değeri de artan hava akışı sebebiyle yükselmiştir.  $Ra=10^7$  için 2, 6, 8 ve 10 pimli durumda ısı geçişinde sırasıyla yaklaşık %9, %16, %18 ve %21 artış sağlanmaktadır.

### **3.2. Pim Dizilimi Etkisi**

Şekil 3.3'de boyutsuz pim çapı 0.025 ve 0.1 için 8 pimli kübik kutularda, pim diziliminin ısı geçişi üzerine etkisi verilmiştir. Nusselt sayısı oranı baz alındığında ısı geçişinde kısa pimlerde yaklaşık %7-8, uzun pimlerde ise %26-34 arasında artış sağlanmaktadır. Diğer taraftan, pim çapına bakılmaksızın,  $Ra>2\times 10^5$  için yatay dizilimli pimlerin ısı geçişi daha yüksektir. Dikey dizilimli pimlerin yatay dizilimli pimlere göre Nusselt sayısı oranı yaklaşık olarak %4-7 daha düşüktür.

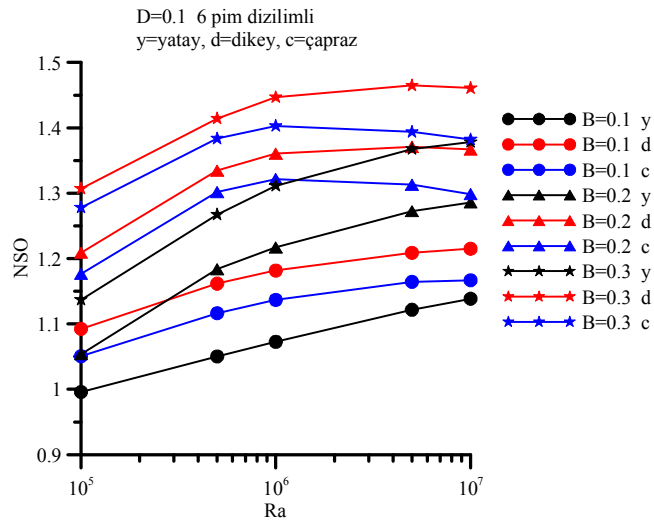


Şekil 3.3. 8 pimli (a) D=0.1 (b) D=0.025 için pim diziliminin, Rayleigh sayısı ve pim uzunluğu ile NSO'nun değişimi.

Çapraz sıralı dizimlerde büyük çaplı 8-pim kullanıldığında, D=0.1, Şekil 3.3 (a), düşük Rayleigh sayısı için ( $Ra < 2 \times 10^5$ ) diğer dizimlere oranla biraz daha iyi sonuç vermektedir. Pim uzunluğu arttıkça çapraz dizim avantajı da artmaktadır. Örneğin, B=0.3 ve  $Ra < 2 \times 10^5$  için çapraz dizim maksimum NSO değere sahiptir. Çapraz sıralı dizimlerde büyük çaplı 8-pim kullanıldığında, D=0.025, Şekil 3.3(b), pim uzunluğu B=0.1 iken dizim etkisi pek görülmemekle beraber uzunluk B=0.2 ve B=0.3 değerlerine artırıldığında  $Ra < 10^6$  için yatay dizimin en avantajlı, sonra çapraz ve son olarak dikey dizimin geldiği görülmektedir (%2-3 civarında fark olmaktadır). Ancak

yüksek Rayleigh sayıları için NSO eğrileri neredeyse aynı eğri üzerinde kesişmektedir. Bu durumdan da yüksek Rayleigh sayılarında diziliminin fazla etkisi olmadığı sonucunu çıkarabiliriz.

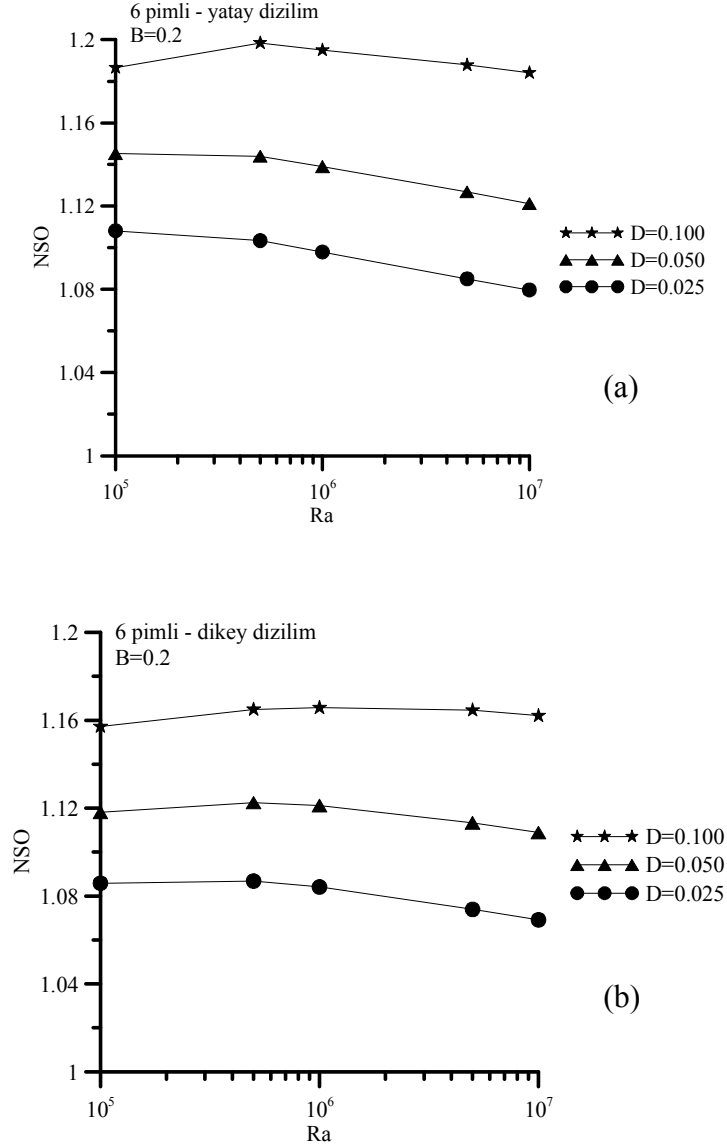
Şekil 3.4’de boyutsuz pim çapı  $D=0.1$  olan 6 pimli kare prizma kutularda, pim diziliminin ısı geçişi üzerine etkisi gösterilmiştir. NSO artışı sırasıyla dikey, çapraz ve yatay dizilimde meydana gelmiştir.  $B=0.1$  için  $Ra=10^5$ ’de dikey dizilimde %8, çapraz dizilimde %4, yatay dizilimde %1 civarında artış gözlenirken,  $Ra=10^7$ ’de dikey dizilimde %17, çapraz dizilimde %14, yatay dizilimde %12 civarında artış gözlenmiştir.  $B=0.3$  için  $Ra=10^5$ ’de dikey dizilimde %23, çapraz dizilimde %21, yatay dizilimde %12 civarında,  $Ra=10^7$ ’de ise dikey dizilimde %31, çapraz dizilimde %28, yatay dizilimde %27 civarında artış gözlenmiştir. Dikey dizilimde ısı transferinde meydana gelen artışın sebebi akım çizgilerinden anlaşılacağı gibi akışta düzensizlikler artmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 3. 4. 6 pimli  $D=0.1$  için pim diziliminin, Rayleigh sayısı ve pim uzunluğuyla ortalama Nusselt sayısı oranı değişimi.

### 3.3. Pim Çapı Etkisi

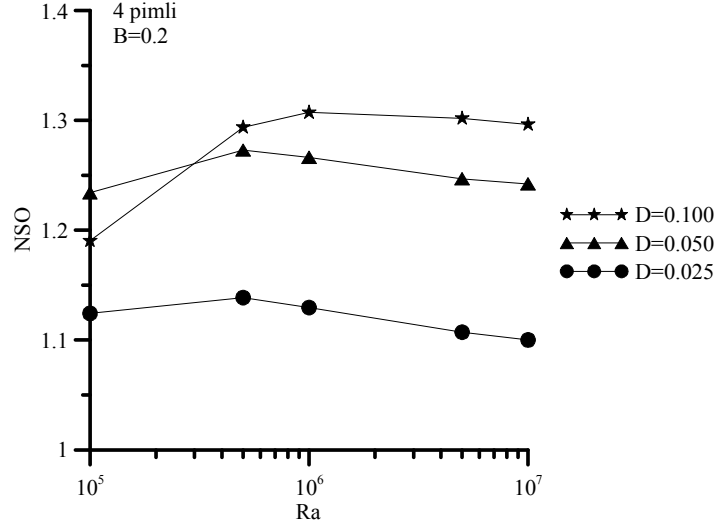
Şekil 3.5’de boyutsuz pim uzunluğu 0.2 olan 6 pimli (a) yatay, (b) dikey dizilimli kübik kutularda, Rayleigh sayısı ve boyutsuz pim çapının Nusselt sayısı oranı üzerine değişimi verilmiştir. Yatay pim diziliminde,  $D=0.1$  için Nusselt sayısı oranı  $Ra=5 \times 10^5$ ’e kadar artmış, daha sonra ise Rayleigh sayısı arttıkça NSO değerinin bir miktar düştüğü gözlenmiştir. Dikey pim diziliminde ise  $D=0.1$  için Nusselt sayısı oranı  $Ra=10^6$ ’e kadar,  $D=0.05$  ve  $D=0.025$  değerleri için  $Ra=4 \times 10^5$ ’e kadar artmış, daha sonra ise Rayleigh sayısı arttıkça NSO değerinin düştüğü gözlenmiştir. Genel olarak  $B=0.2$  olan 6 pimli kübik kutularda  $D=0.1$  değeri,  $D=0.025$  değerine göre ısı transferi oranı %5 ila %6 arasında artış göstermiştir. Rayleigh sayısı artarken NSO’daki azalış, ısıtılmış yüzey alanındaki ısı kayıplarındaki düşüş nedeniyle meydana gelmektedir. Rayleigh sayısının artmasıyla ortalama Nusselt sayısı artmıştır. Buradaki azalma NSO değeridir. Nusselt sayısı oranı, pimli durumdaki Nusselt sayısı değerinin pimsiz durumdaki Nusselt sayısı değerine olduğu hatırlanırsa, Rayleigh sayısı değerinin artmasıyla pimsiz durumdaki Nusselt sayısı artış oranı pimli durumdaki Nusselt sayısının artış oranından fazla olduğu için NSO azalan eğilim göstermiştir.



Şekil 3. 5.  $B=0.2$  olan 6 pimli kübik kutularda Rayleigh sayısı ve boyutsuz pim çapının Nusselt sayısı üzerine etkisi: a) yatay dizilim, b) dikey dizilim.

Şekil 3.6'de boyutsuz pim uzunluğu 0.2 olan 4 pimli kare prizma şeklindeki kapalı kutularda Rayleigh sayısı ve boyutsuz pim çapının Nusselt sayısı üzerine etkisi sunulmuştur.  $D=0.1$  için  $Ra=10^6$ 'ya,  $D=0.05$  ve  $D=0.025$  için ise  $Ra=4 \times 10^5$ 'e kadar NSO değeri yükselmiş, daha sonra artan Ra değeriyle NSO değerinde düşüş

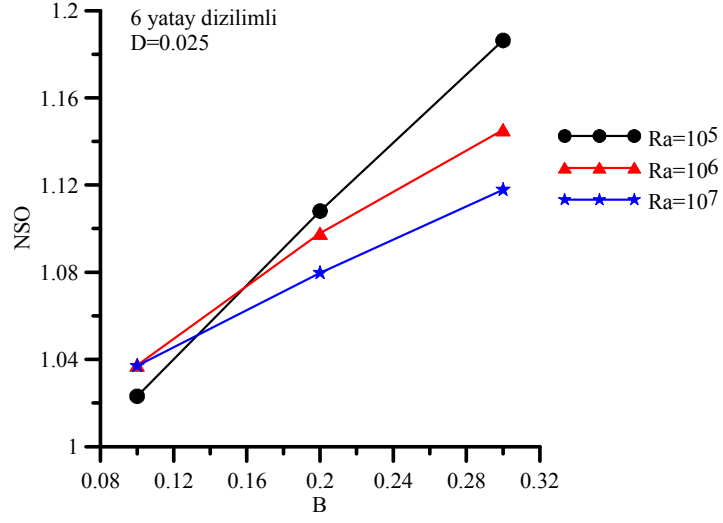
gözlenmiştir.  $B=0.2$  için,  $Ra > 2 \times 10^5$ 'te,  $D$ 'nin maksimum olduğu durumda yaklaşık %21-23,  $D$ 'nin minimum olduğu değerde yaklaşık %9-12 NSO'da artış gerçekleşmiştir.



Şekil 3. 6.  $B=0.2$  olan 4 pimli kare prizma şeklindeki kutularda Rayleigh sayısı ve boyutsuz pim çapının Nusselt sayısı üzerine etkisi.

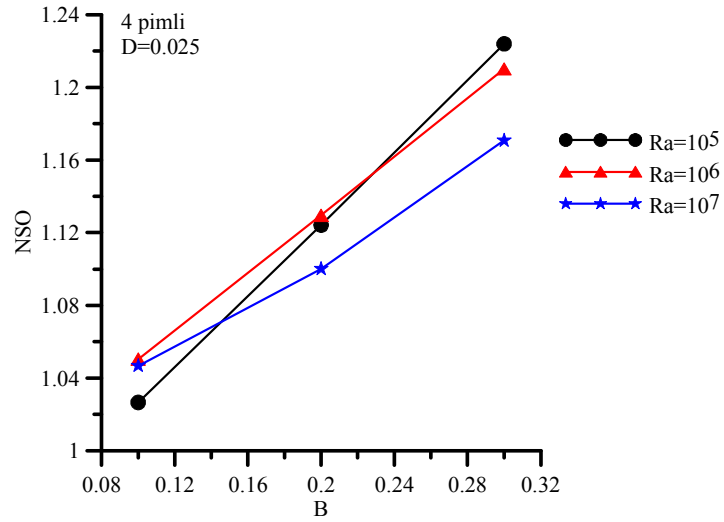
### 3.4. Pim Boyu Etkisi

Şekil 3.7'de kübik kutularda  $D=0.025$ 'de 6 yatay dizimli pimlerde boyutsuz pim uzunluğunun NSO değeri üzerine etkisi verilmiştir. Pim uzunluğu arttıkça NSO değerinde lineer bir artış gözlenmektedir. Bu artış  $B=0.1$ 'de yaklaşık % 2-3,  $B=0.2$ 'de yaklaşık % 7-9,  $B=0.3$  ise yaklaşık % 10-15 değerleri arasındadır.



Şekil 3. 7. Kübik kutularda 6 yatay dizimli  $D=0.025$  pimlerin, boyutsuz pim uzunluğunun NSO üzerine etkisi.

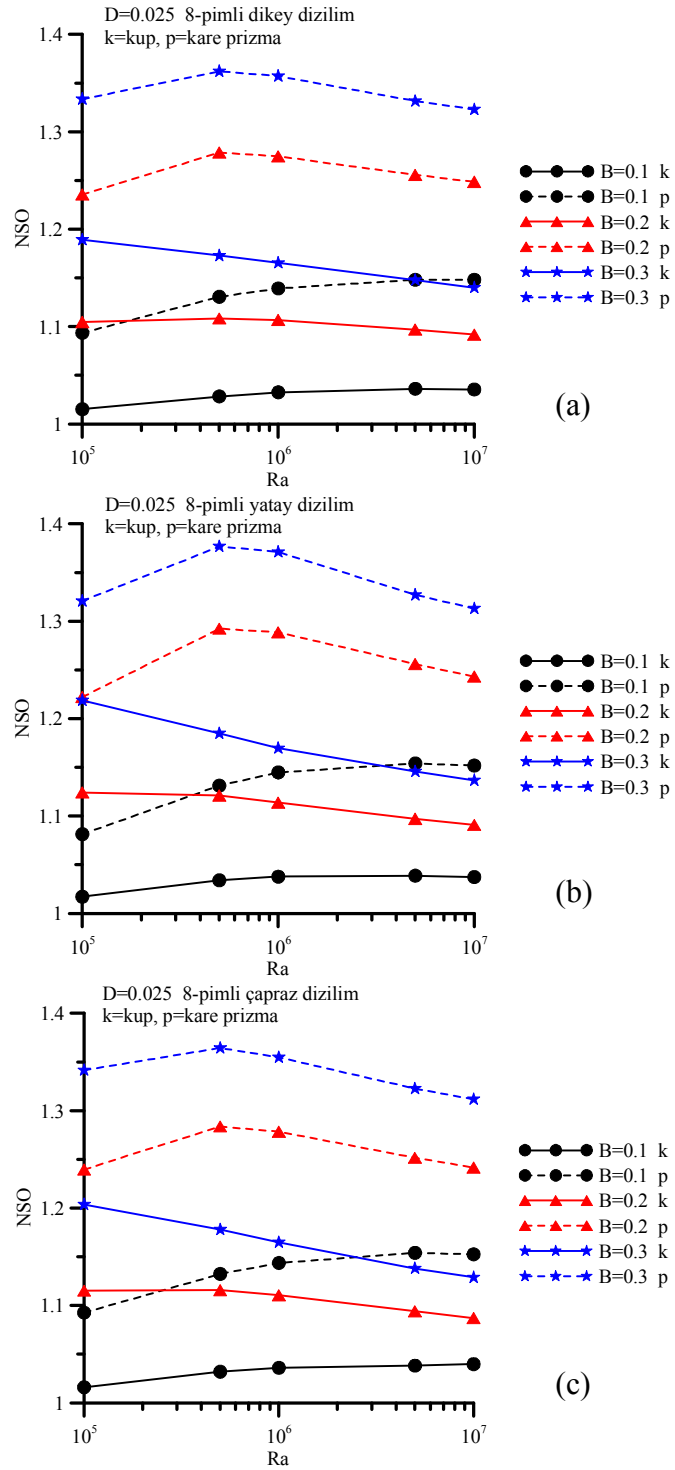
$D=0.025$  olan 4 pimli kare prizma kutularda, boyutsuz pim uzunluğunun pimsiz kare prizma kutulara göre ısı geçişi kıyaslamalı olarak Şekil 3.8’de verilmiştir.  $Ra=10^5$ ,  $10^6$  ve  $10^7$  ‘de pim uzunluğunun artmasıyla NSO değerinde artan sıcak yüzey alanı ile ısı transferinde artış gözlenmiştir. Kısa pimlerde yaklaşık olarak %3-5, uzun pimlerde %15-18 civarında artış elde edilmiştir.



Şekil 3. 8. 4 pimli kare prizma kutularda, boyutsuz pim uzunluğunun NSO üzerine etkisi.

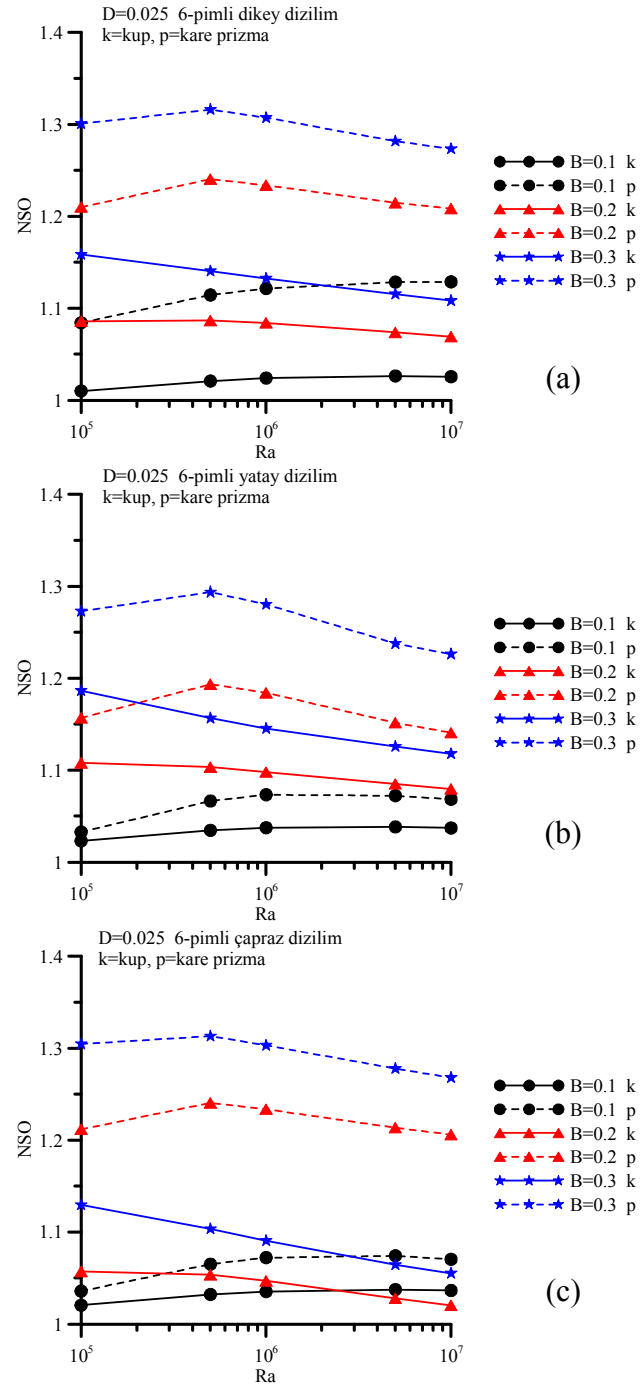
### 3.5. Kapalı Kutu Şekli Etkisi

Şekil 3.9’da 8 pimli a) dikey, b) yatay, c) çapraz dizilimdeki dikdörtgenel kutuların aynı ebattaki pimsiz dikdörtgenel kutulara göre hesaplanmış ortalama Nusselt sayısı oranı karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Pim boyutsuz çapı 0.025 olarak alınmıştır. Çalışmada iki farklı kapalı kutu için çözüm yapılmıştır. Bunlar;  $H/L=1$  olan küp ve  $H/L=2$  olan kare prizma şeklindeki kutulardır. Kübik ( $H/L=1$ ) kapalı kutuların kare prizma ( $H/L=2$ ) şeklindeki kapalı kutulara göre ısı geçişi oranı daha düşüktür.  $B=0.2$  için  $Ra=10^6$ ’da kare prizmaların küplere göre ortalama Nusselt sayısı oranı yaklaşık %10 daha fazla çıktığı görülmüştür. Kare prizma şeklindeki kapalı kutularda, küpe göre sıcak duvar alanı 0.5 oranında azalmıştır. Sıcak yüzey alanında meydana gelen azalmadan dolayı, ısı geçişinde de bir miktar azalma beklenmektedir. Fakat aynı Rayleigh sayısı için, kare prizma şeklindeki kapalı kutularda hava akışı arttığı için NSO değeri de artmıştır.



Şekil 3. 9. 8 pimli dikdörtgenel kutu şekli ve Rayleigh sayısının Nusselt sayısı oranı üzerine etkisi: a) dikey dizilim, b) yatay dizilim, c) çapraz dizilim.

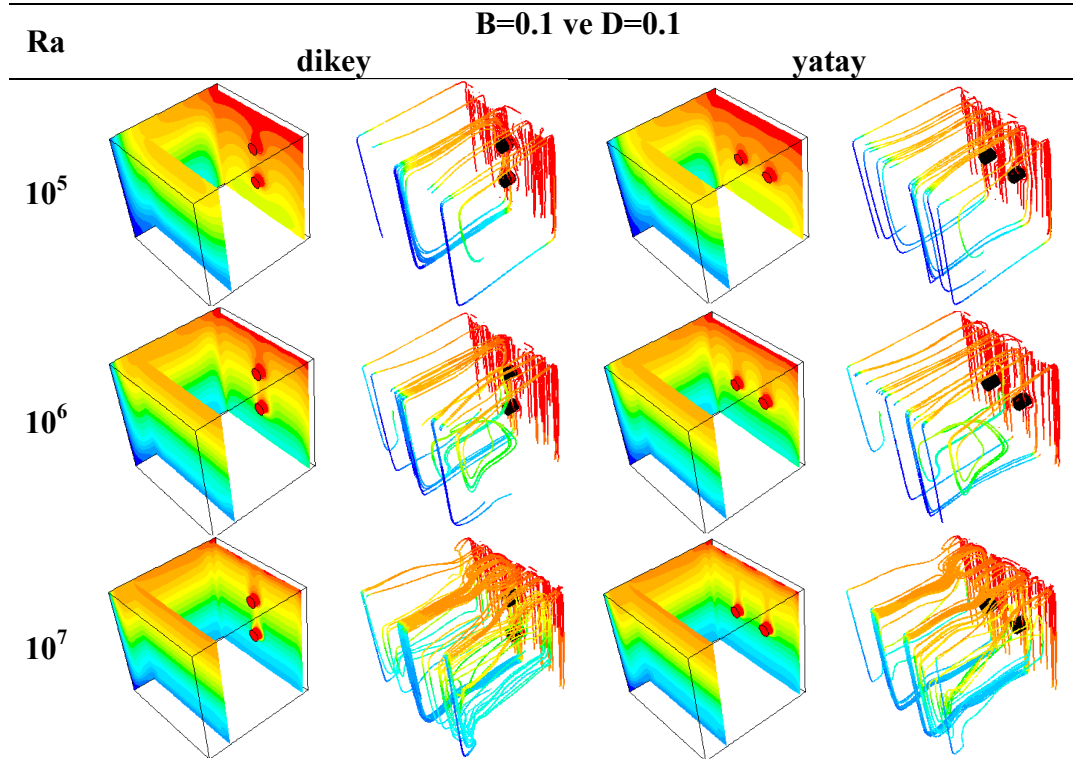
Şekil 3.11’de 6 pimli a) dikey, b)yatay, c) çapraz dizilim için dikdörtgensel kutu şeklinin Nusselt sayısı oranı üzerine etkisi verilmiştir. Kare prizma şeklindeki kapalı kutuların NSO değeri kübik kutulara göre daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 3. 10. 6 pimli dikdörtgenel kutu şekli ve Rayleigh sayısının Nusselt sayısı oranı üzerine etkisi: a) dikey dizilim, b) yatay dizilim, c) çapraz dizilim.

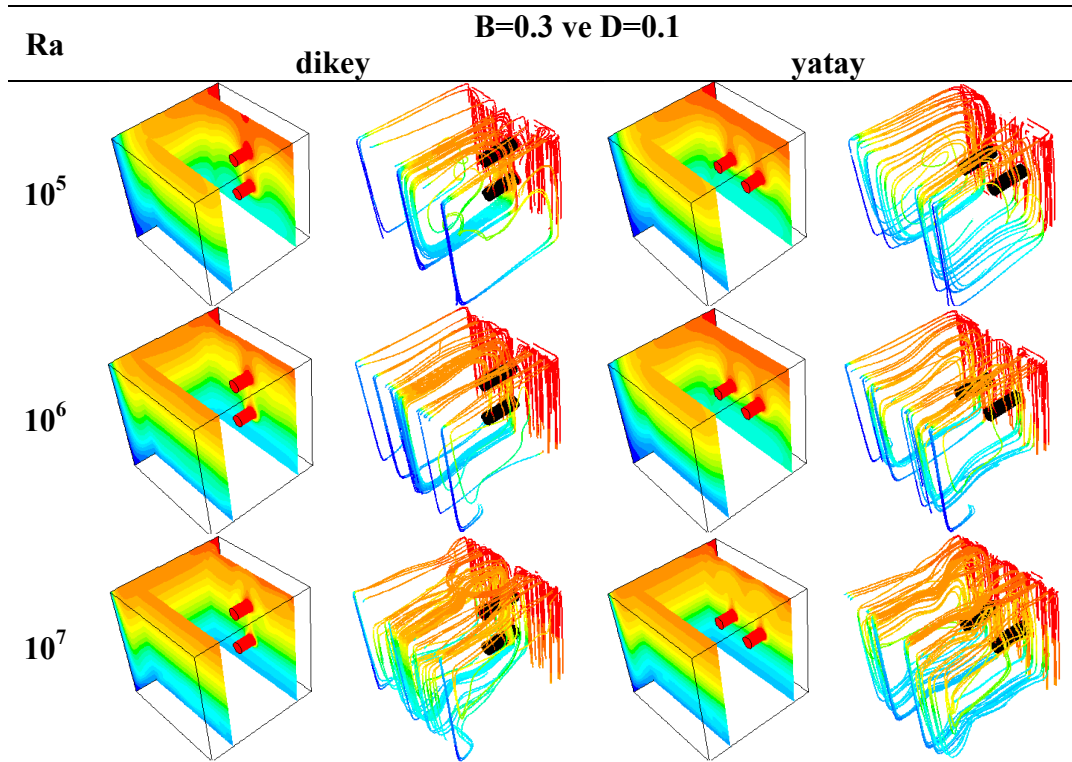
### 3.6. Sıcaklık ve Hız Dağılımı

Şekil 3.11’de  $B=0.1$  ve  $D=0.1$  için 2-pimli kübik kutulardaki sıcaklık dağılımı ile hız gelişimi akım yörüngesi olarak verilmiştir. Isınan hava yoğunluğu azaldığı için yükselmektedir ve düşük Rayleigh sayısı için pimlerin etrafında geniş bir alandaki havanın ısındığı gözlenmektedir. Rayleigh sayısının artmasıyla bu alan daralmakta pimlerin etrafındaki sıcaklık gradyanı artmaktadır. Bunun da anlamı ısı geçişinin artmasıdır. Düşük Rayleigh sayısı için hava akışı sıcak-soğuk duvarlar arasında hemen hemen karesel bir hava akımı gözlenirken hava akımının en yoğun gözleendiği kısımlar pimlerin her iki yanından yükselen havadan kaynaklanmaktadır. Rayleigh sayısının artmasıyla akışın izlediği karesel yol bozulmaya başlamaktadır. Dikey dizilimde ısınan hava ortalarda iken yatay dizilimde ısı kübik kutuda nispeten daha homojen dağılmasına neden olmaktadır.



Şekil 3. 11. 2-pimli ( $B=0.1$ ,  $D=0.1$ ) kübik kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.05$ ,  $X=0.8$  ve  $Y=0$  düzlemleri için, hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.)

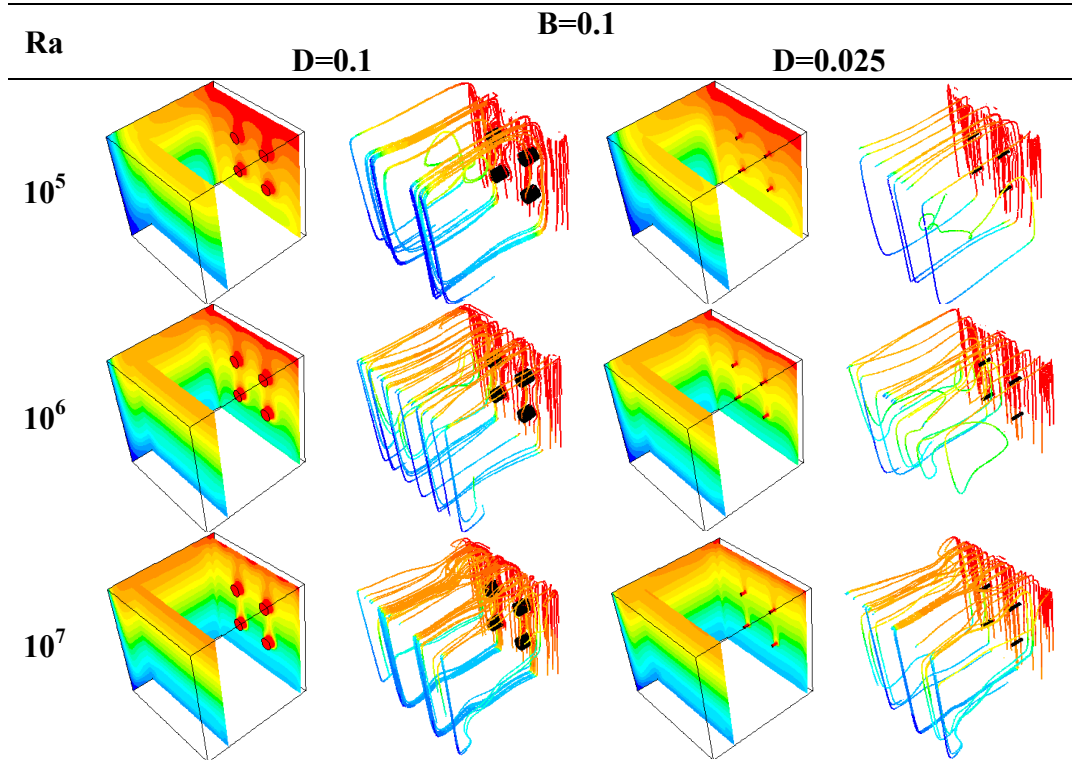
Şekil 3.12’de  $B=0.3$  ve  $D=0.1$  için 2 pimli kübik kutulardaki sıcaklık dağılımı ile hız gelişimi akım yörüngesi olarak verilmiştir.  $X=0.15$  pim boyunun ortasından kesildiği düzlemdir. Böylece pimlerin etrafındaki sıcaklık değişimleri açıklanmaktadır.  $B=0.1$  durumundaki hız gelişimine oranla  $B=0.3$  durumunda daha şiddetli hava akışı elde edilmiştir. Hava akışının izlediği yol takip edilirse, hava sıcak duvar boyunca yükselmiştir. Üst duvara gelen hava karesel yol izleyerek, soğuk duvara gelmiş ve soğuk duvar sıcaklığını almıştır. Alt duvara gelen hava sıcak duvara yaklaştıkça tekrar ısınmaya başlamıştır. Rayleigh sayısı arttıkça akışkanın izlediği yol karmaşıklığı artmıştır.



Şekil 3. 12. 2-pimli ( $B=0.3$ ,  $D=0.1$ ) kübik kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.15$ ,  $X=0.8$  ve  $Y=0$  düzlemleri için, hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.)

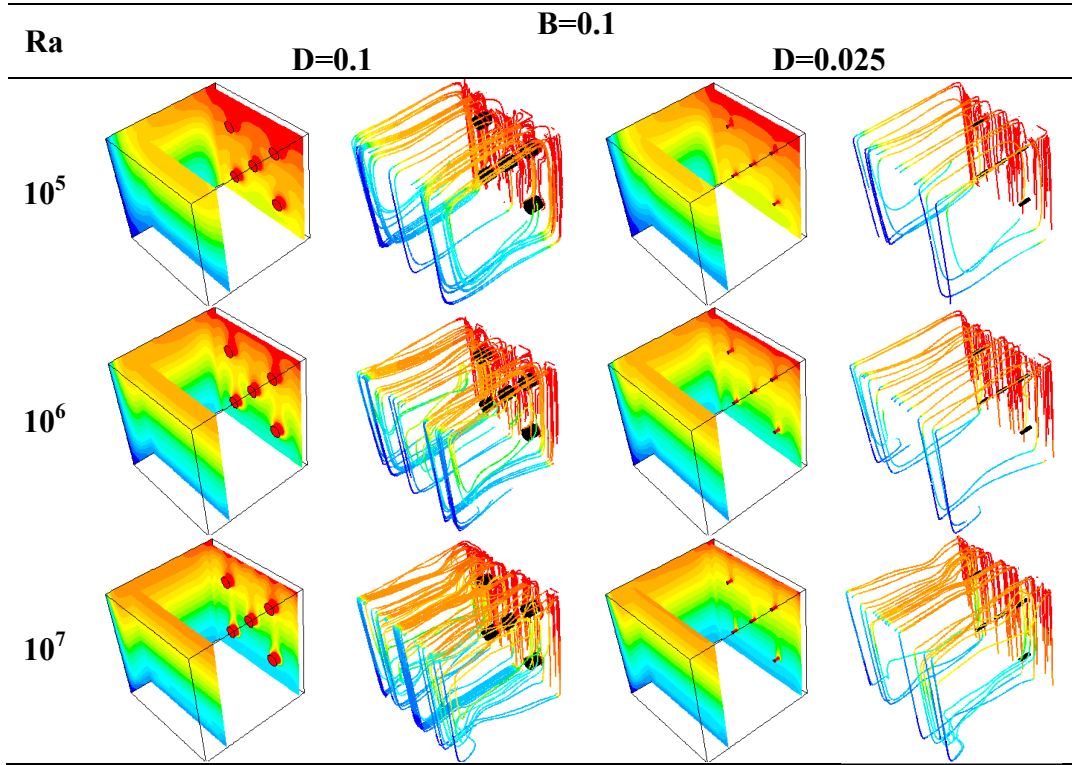
Şekil 3.13’te  $B=0.1$ ,  $D=0.1$  ve  $D=0.025$  için 4-pimli kübik kutulardaki sıcaklık dağılımı ile hız gelişimi akım yörüngesi olarak verilmiştir. Bu durumda boyutsuz

uzunluğu aynı olan, boyutsuz pim çapının değişikliği ile sıcaklık dağılımı üzerine etkisini incelenmesine olanak sağlanmıştır.  $D=0.1$ 'deki hava akışı sıcak soğuk duvarlar arasında hemen hemen karesel bir hava akımı gözlenirken, hava yörüngesi en yoğun gözlendiği kısımlar pimlerin her iki yanından yükselen havadan kaynaklanmaktadır.  $D=0.025$  ve  $Ra=10^6$ 'da hava akışında sıcak soğuk duvarlar arasında karesel bir hava yörüngesi gözlenmez. Çapın büyük olduğu değerlerde, pimin ortasından kesilen düzlemde pim etrafında ısının daha çok yayıldığı ve sıcaklığın daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.



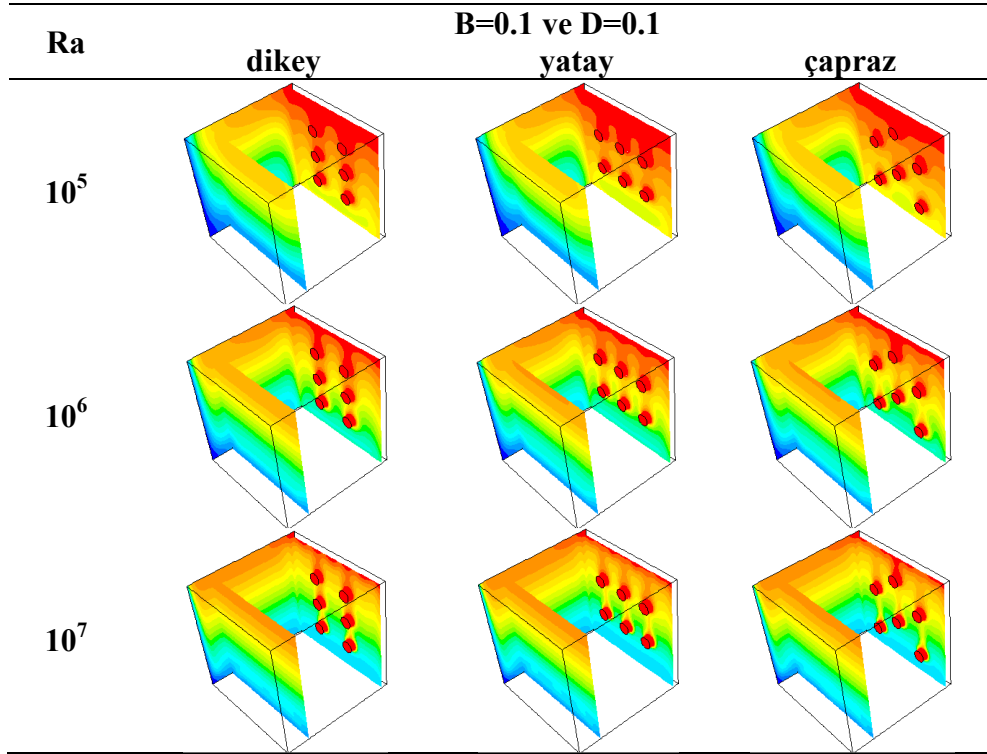
şekil 3. 13. 4-pimli ( $B=0.1$ ,  $D=0.1$ ) kübik kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.05$ ,  $X=0.8$  ve  $Y=0$  düzlemleri için, hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.)

Şekil 3.14’de  $B=0.1$ ,  $D=0.1$  ve  $D=0.025$  için 5-pimli kübik kutulardaki sıcaklık dağılımı ile hız gelişimi akım yörüngesi olarak verilmiştir. 5 pimli kübik kutuların 4 pimli kutulara göre ısı geçişinin daha fazla olduğu gözlenmiştir. En alttaki pim etrafında sıcaklık gradyantını fazla olduğu için ısı yayılımı fazladır. En üstteki pim etrafında sıcak hava dolaştığı için sıcaklık gradyanti düşüktür ve ısı yayılımı daha azdır. Pim çapı azaldıkça hava akımı şiddetinde azalma meydana gelmiştir. Bunun anlamı ısı geçişinde pim çapının küçük olduğu değerlerde ısı geçişi azalmaktadır.



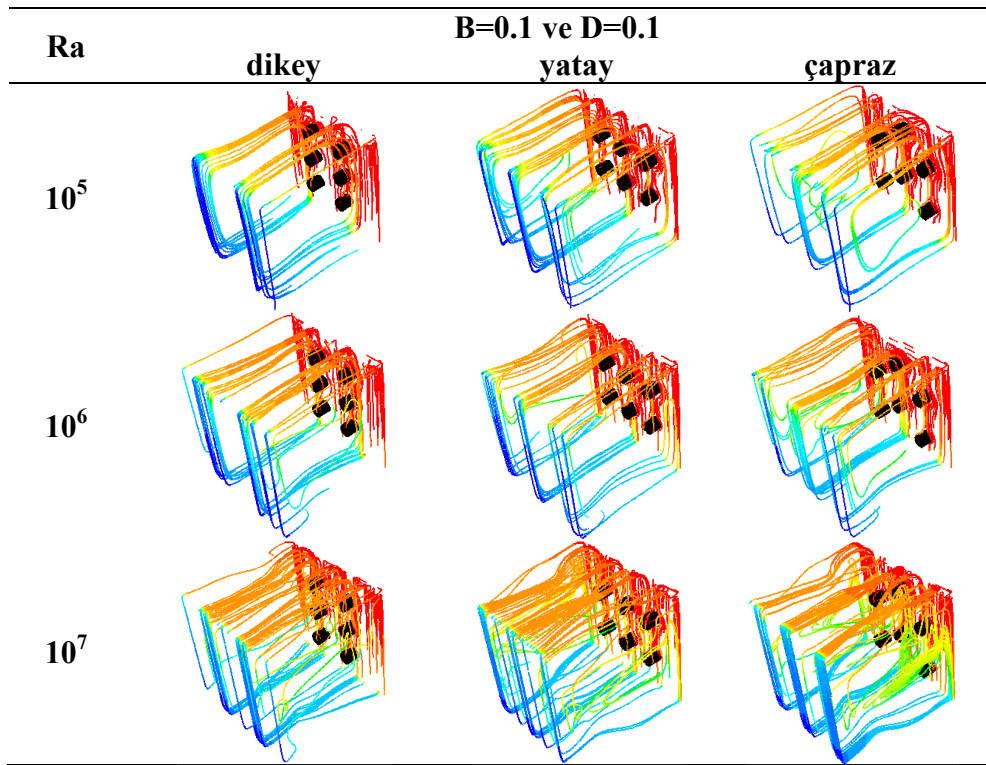
Şekil 3. 14. 5-pimli ( $B=0.1$ ,  $D=0.1$ ) kübik kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.05$ ,  $X=0.8$  ve  $Y=0$  düzlemleri için, hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.)

Şekil 3.15’de  $Ra=10^5$ ,  $10^6$  ve  $10^7$  için, 6 pimli hizalı sıralı (yatay ve dikey) ve çapraz dizimli kübik kutulardaki sıcaklık dağılımı verilmiştir.  $X=0.05$  düzlemi, pim boyunun ortasından kesildiği düzlemdir, bu şekilde pimlerin etrafındaki sıcaklık değişimleri açıklanmaktadır. Pimlerin yatay dizilimi, dikey dizilime kıyasla daha çok ısı yayılmasına izin vermektedir. Isı, alttaki pim sırasından dağılırken, pim etrafındaki dikey olarak yükselen hava ısınır. İkinci sıradaki pimlerin etrafındaki hava akışı daha sıcak hava ile olur. Buda daha az ısı yayılımını getiren sıcaklık gradyantını düşürür. Üçüncü sıradaki pimler aşağıdaki pimlerden daha sıcak havayı alır ve böylece üçüncü sıradan ısı kaybı, ikinci sıradaki ısı kaybından daha az olur.



Şekil 3. 15. 6-pimli (B=0.1, D=0.1) kübik kutularda sıcaklık gelişimi ( $X=0.05$ ,  $X=0.8$  ve  $Y=0$  düzlemleri için)

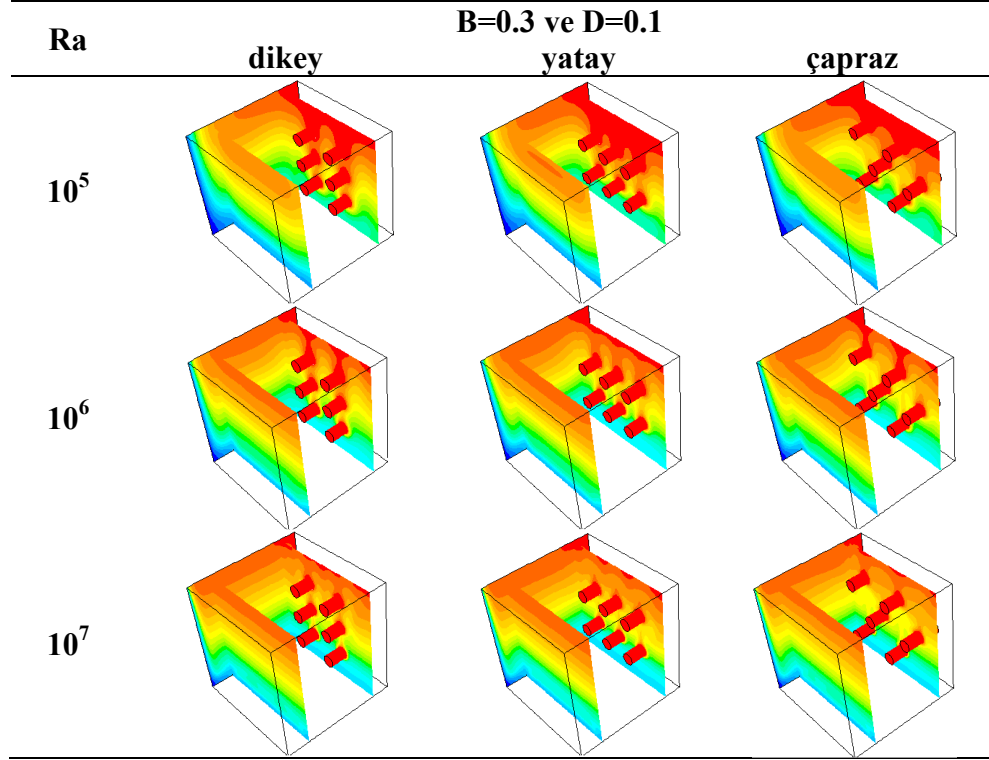
Şekil 3.16'da  $Ra=10^5$ ,  $10^6$  ve  $10^7$  için, 6 pimli hizalı sıralı (yatay ve dikey) ve çapraz dizilimli kübik kutulardaki sıcaklık dağılımı ile hız gelişimi akım yörüngesi olarak verilmiştir. Pimlerden hava akışı öncelikli olarak iki pim sütunu arasından ya da pim duvar kenarları arasından dikey yükselir. Düşük Rayleigh sayılarında hava akışı, sıcak soğuk duvar arasında kutuların dikdörtgen yolu izler. Rayleigh sayısının artmasıyla, akış direnci artar ve alt duvarda akım yörüngesinde bazı düzensizliklere rastlanmaktadır.



Şekil 3. 16. 6-pimli (B=0.1, D=0.1) kübik kutularda hız gelişimi (hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.)

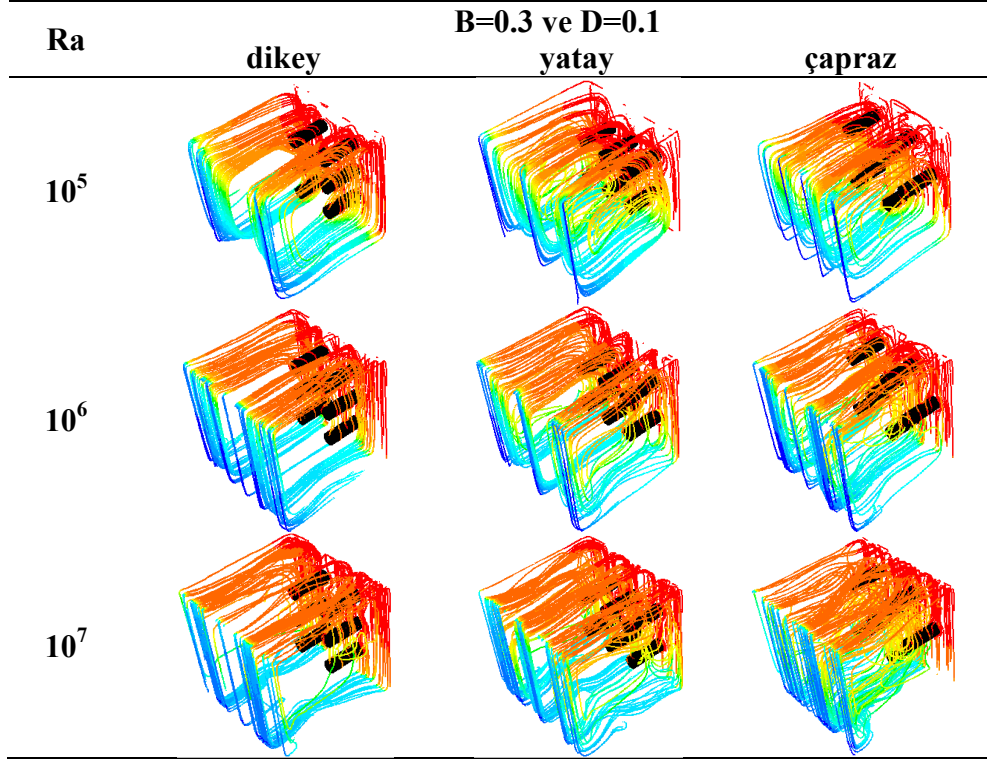
6 pimli (B=0.3, D=0.1) kübik kutularda hizalı sıralı (yatay ve dikey) ve çapraz dizilim için sıcaklık dağılımı Şekil 3.17'de verilmiştir. Pim uzunluğu arttıkça pimlerin ortasından kesit alınan düzlem üzerinde sıcaklığın daha çok arttığı (Bkz. Şekil 3.15)

görülmektedir. Ayrıca düşük Rayleigh sayılarında da pimlerin etrafındaki geniş bir alandaki havanın ısındığı gözlenmektedir.



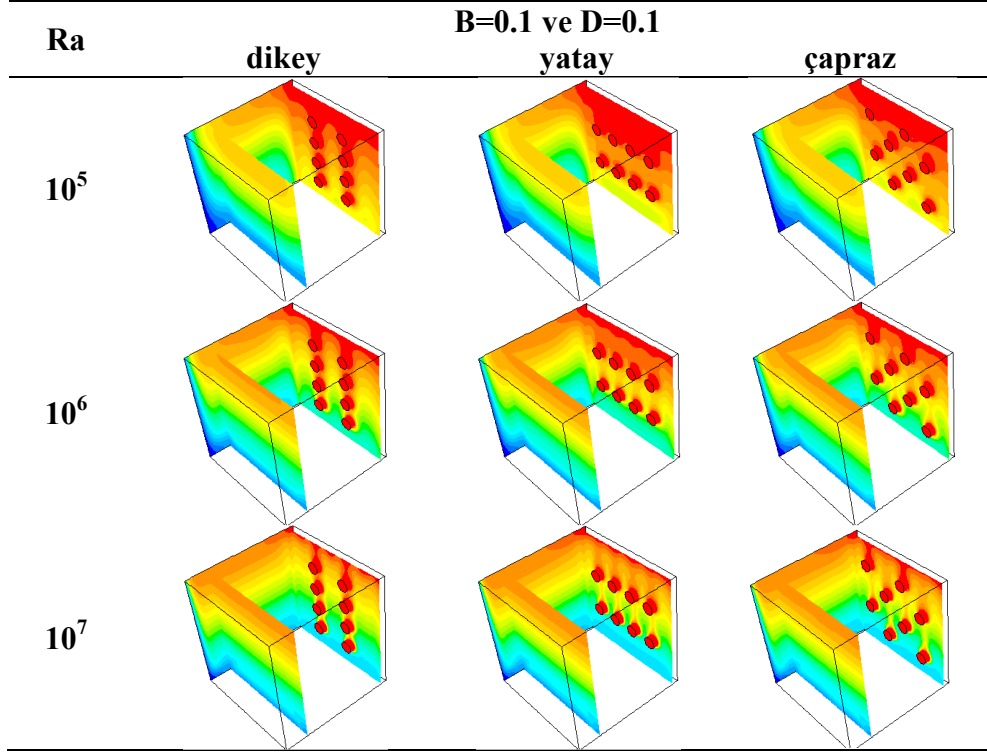
Şekil 3. 17. 6-pimli (B=0.3, D=0.1) kübik kutularda sıcaklık gelişimi (X=0.15, X=0.8 ve Y=0 düzlemleri için)

Şekil 3.18'de B=0.3 ve D=0.1 için 6 pimli kübik kutulardaki hız gelişimi akım yörüngesi olarak verilmiştir. Hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır. B=0.1 (Bkz. Şekil 3.16) duruma kıyasla boyutsuz uzunluğun artmasıyla hava akımının şiddetinin arttığı gözlenmektedir. Bunun anlamı da ısı geçişinin artmasıdır.



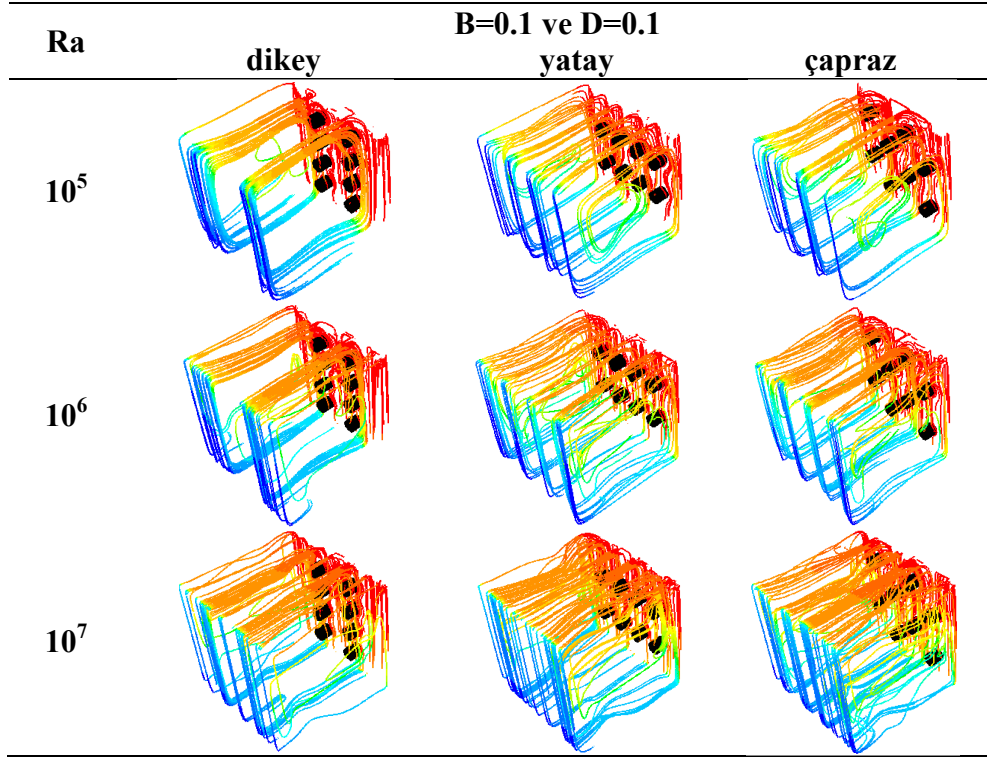
Şekil 3. 18. 6-pimli (B=0.3, D=0.1) kübik kutularda hız gelişimi (hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.)

Şekil 3.19'da B=0.1 ve D=0.1 için 8-pimli kübik kutulardaki sıcaklık dağılımı verilmiştir. Isınan hava yoğunluğu azaldığı için yükselmektedir ve düşük Rayleigh sayısı için pimlerin etrafında geniş bir alandaki havanın ısındığı gözlenmektedir. Rayleigh sayısının artmasıyla bu alan daralmakta pimlerin etrafındaki sıcaklık gradyanı artmaktadır. Bunun da anlamı ısı geçişinin artmasıdır. Düşük Rayleigh sayılarında dizilimin sıcaklık dağılımı üzerine hemen hemen hiç etkisi yoktur.



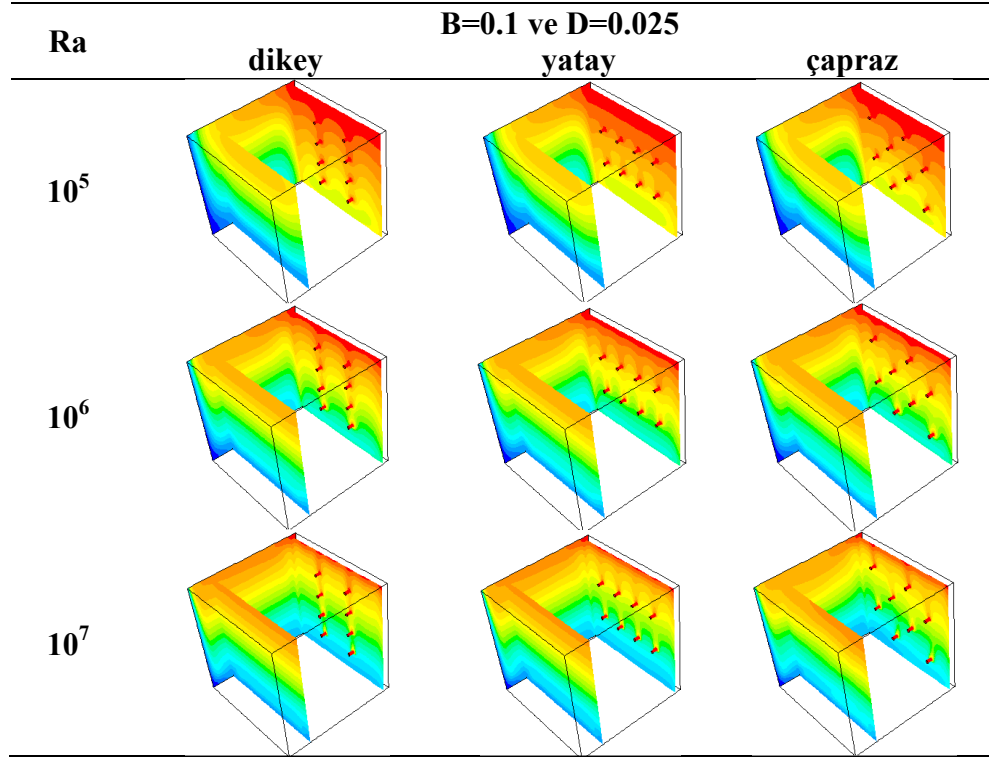
Şekil 3. 19. 8-pimli (B=0.1, D=0.1) kübik kutularda sıcaklık gelişimi (X=0.05, X=0.8 ve Y=0 düzlemleri için)

Şekil 3.20’de B=0.1 ve D=0.1 için 8-pimli kübik kutulardaki hız gelişimi akım yörüngesi olarak verilmiştir. Akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır. Düşük Rayleigh sayılarında hava akımı hemen hemen aynıdır. Bunun anlamı dizilimin ısı geçişi üzerine pek etkisi yoktur. Ra=10<sup>6</sup> ve 10<sup>7</sup>’de ise hava akımı şiddeti en çok çapraz, ardından yatay, en az ise dikey dizilimde elde edilmiştir. Bu yüzden ısı yayılımı çoktan aza sırasıyla çapraz, yatay ve dikey dizilimde meydana gelmiştir.



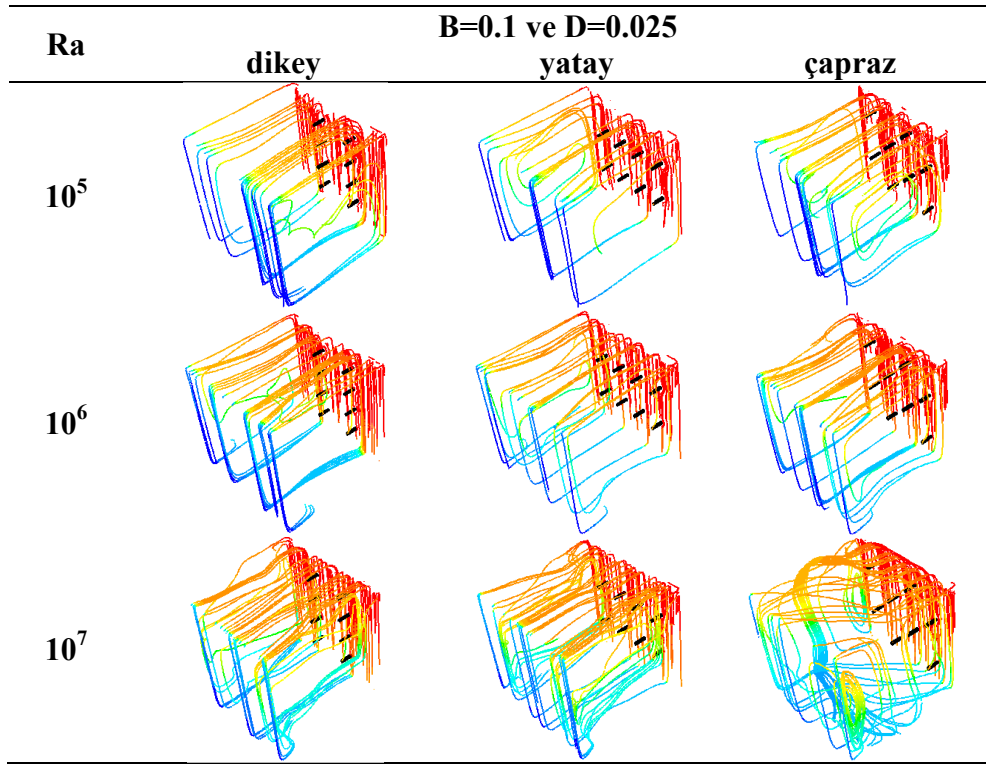
Şekil 3. 20. 8-pimli (B=0.1, D=0.1) kübik kutularda hız gelişimi (hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.)

Şekil 3.21’de B=0.1 ve D=0.025 için 8-pimli kübik kutulardaki sıcaklık dağılımı verilmiştir. Her üç dizilimde çapın azalmasıyla pim etrafındaki alanda ısınan havanın azaldığı tespit edilmiştir. (Bkz. Şekil 3.19)



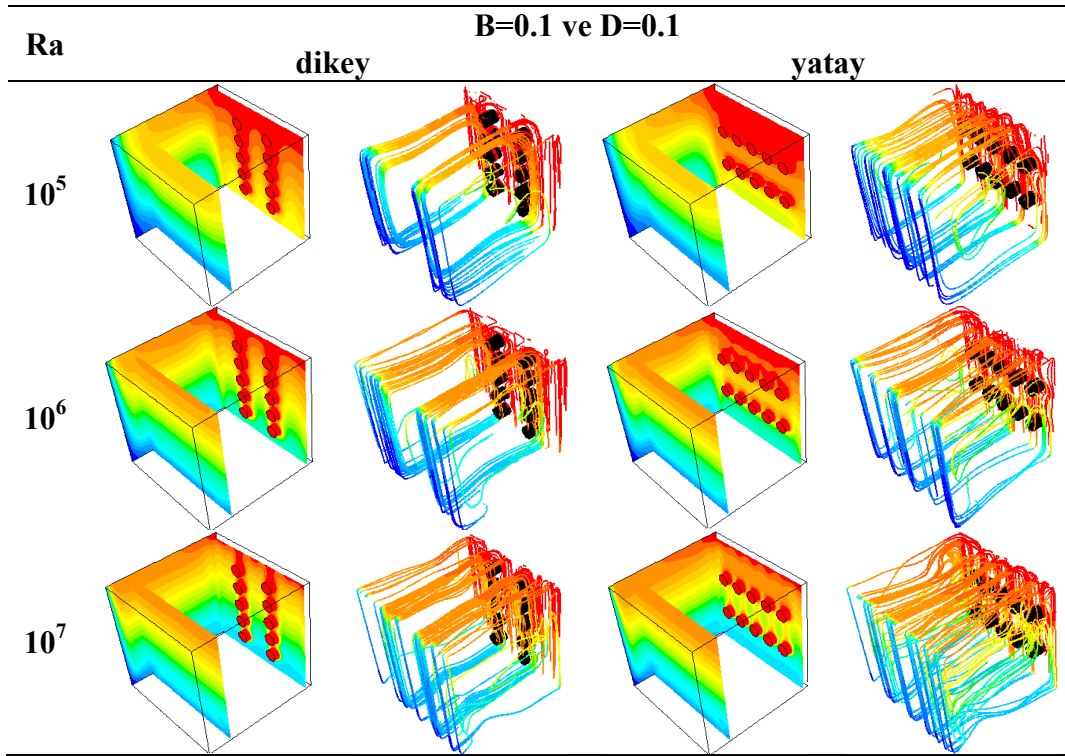
Şekil 3. 21. 8-pimli (B=0.1, D=0.025) kübik kutularda sıcaklık gelişimi (X=0.05, X=0.8 ve Y=0 düzlemleri için)

B=0.1 ve D=0.025 için 8-pimli kübik kutularda hız gelişimi Şekil 3.22’te verilmiştir. Düşük Rayleigh değerlerinde hava akımı dizilimlerin değişiminden pek etkilenmemiş, sonuçlar yaklaşık aynı çıkmıştır. Fakat  $Ra=10^7$  için çapraz hava akımında düzensizliklere rastlanmıştır.



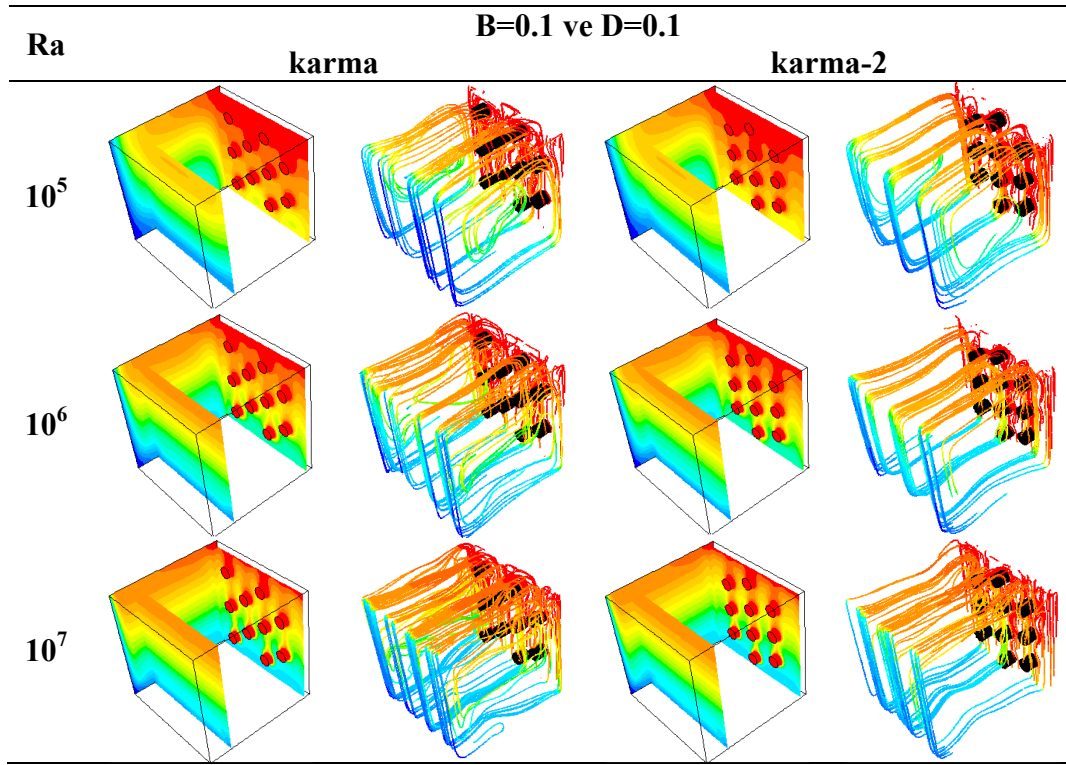
Şekil 3. 22. . 8-pimli (B=0.1, D=0.025) kübik kutularda hız gelişimi (hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.)

B=0.1 ve D=0.1 için 10-pimli kübik kutulardaki sıcaklık dağılımı ile hız gelişimi akım yörüngesi olarak Şekil 3.23'de verilmiştir. Yatay dizilimdeki hava akışı şiddeti dikey dizilime nispeten daha fazla olduğu için ısı yayılımı daha fazladır.



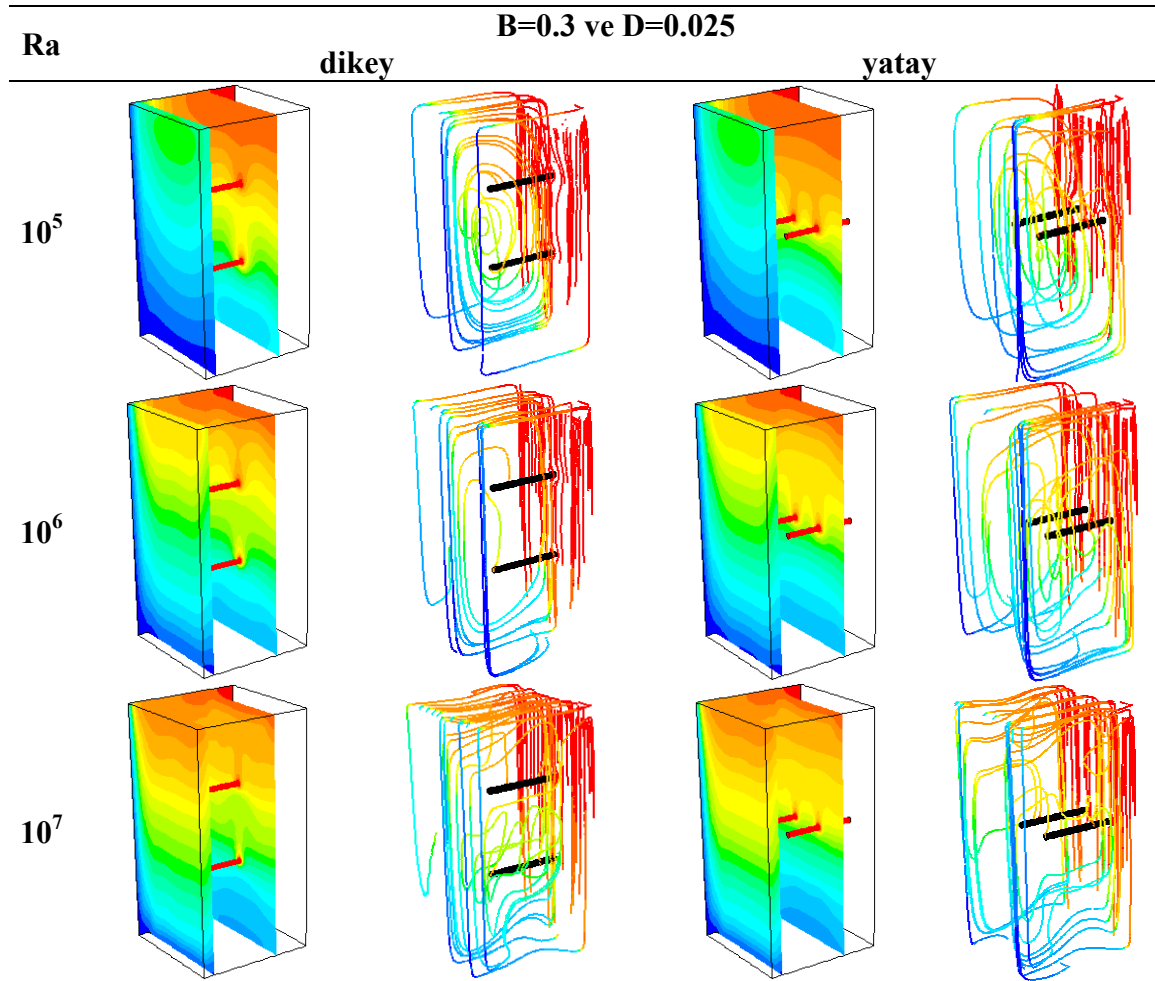
Şekil 3. 23. 10-pimli (hızalı-sıralı) kübik kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.05$ ,  $X=0.8$  ve  $Y=0$  düzlemleri için, hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.)

Şekil 3.24'de  $B=0.1$  ve  $D=0.1$  için 10-pimli (karma ve karma-2 dizilimli) kübik kutulardaki sıcaklık dağılımı ile hız gelişimi verilmiştir. Akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır. Karma dizilim olarak adlandırılan çapraz dizilimde ısı geçişi daha fazla olduğu gözlenmiştir.



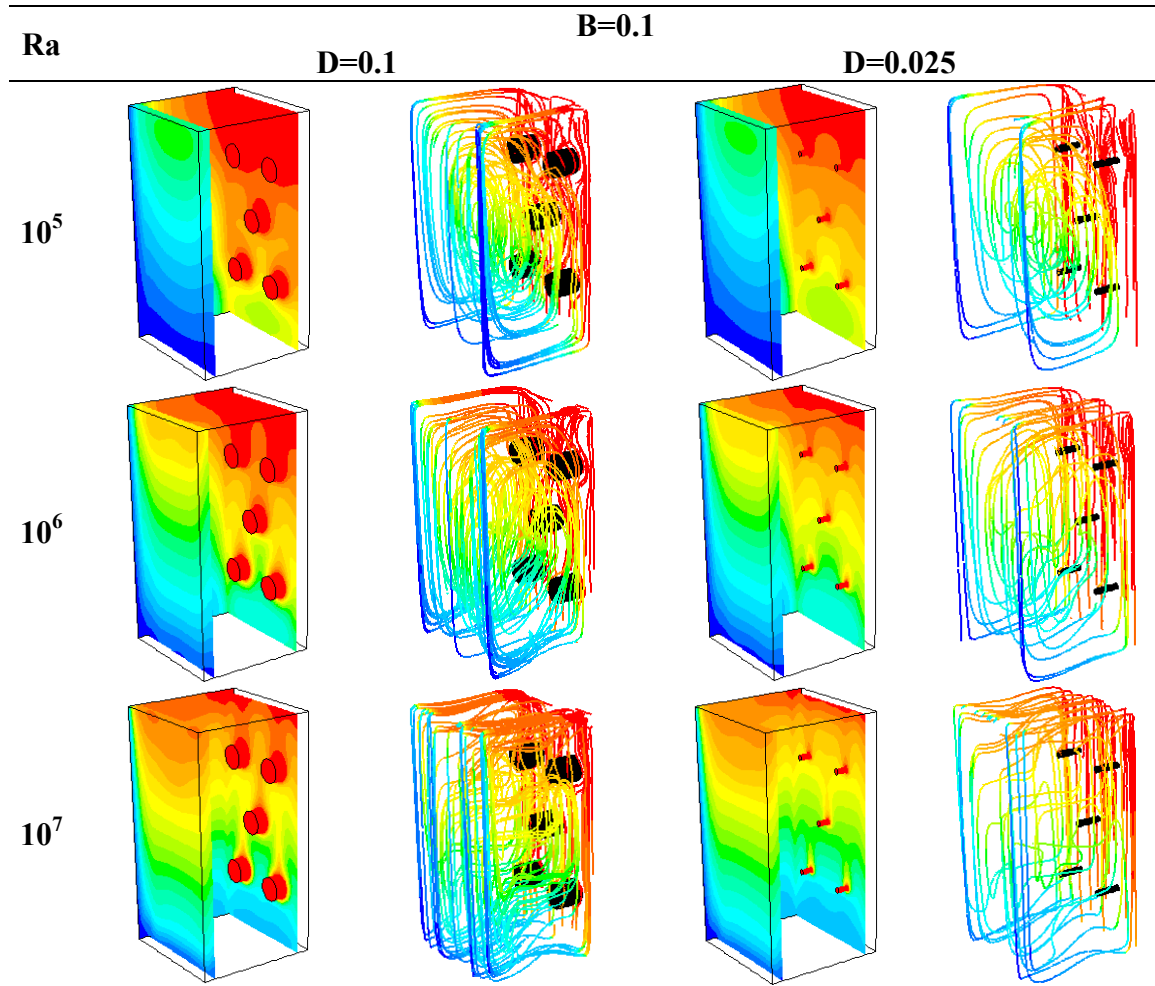
Şekil 3. 24. 10-pimli (çapraz-sıralı) kübik kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.05$ ,  $X=0.8$  ve  $Y=0$  düzlemleri için, hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.)

Şekil 3.25’de  $B=0.3$  ve  $D=0.025$  için 2-pimli kare prizma kutulardaki sıcaklık dağılımı ile hız gelişimi akım yörüngesi olarak verilmiştir. Düşük Rayleigh sayısı için pimlerin etrafında geniş bir alandaki havanın ısındığı gözlenmektedir. Rayleigh sayısının artmasıyla bu alan daralmakta pimlerin etrafındaki sıcaklık gradyanı artmaktadır. Bunun da anlamı ısı geçişinin artmasıdır. Düşük Rayleigh sayısı için hava akışı sıcak-soğuk duvarlar arasında hemen hemen karesel bir hava akımı gözlenirken hava akımının en yoğun gözlendiği kısımlar pimlerin her iki yanından yükselen havadan kaynaklanmaktadır. Rayleigh sayısının artmasıyla akışın izlediği karesel yol bozulmaya başlamaktadır.



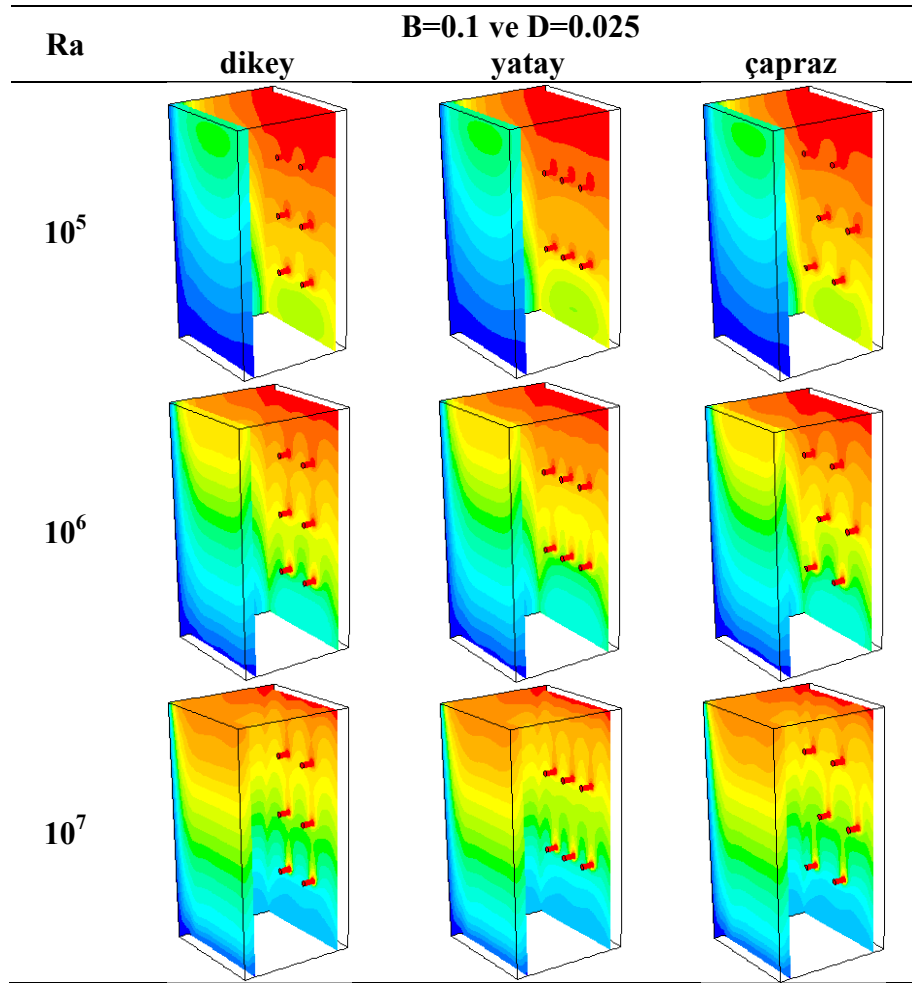
Şekil 3. 25. 2-pimli kare prizma kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.15$ ,  $X=0.45$  ve  $Y=0$  düzlemleri için, hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.)

$B=0.1$ ,  $D=0.1$  ve  $D=0.025$  için 5-pimli kare prizma kutulardaki sıcaklık dağılımı ile hız gelişimi akım yörüngesi olarak Şekil 3.26'da verilmiştir. Pim sayısının artmasıyla (Bkz. Şekil 3.25) yayılan ısı miktarı artmıştır. 2-pimli kare prizma kutulara nispeten 5-pimli kare prizma kutularda hava akımında artış tespit edilmiştir. Özellikle 2 pimli kutularda iç kısımlarda az miktarda olan akış düzensizlikleri, 5-pimli kutulara bakıldığında arttığı gözlenmektedir. Ayrıca küçük pim çapı değerinde hava akımının azaldığı böylece ısı yayılımının azaldığı görülmüştür.



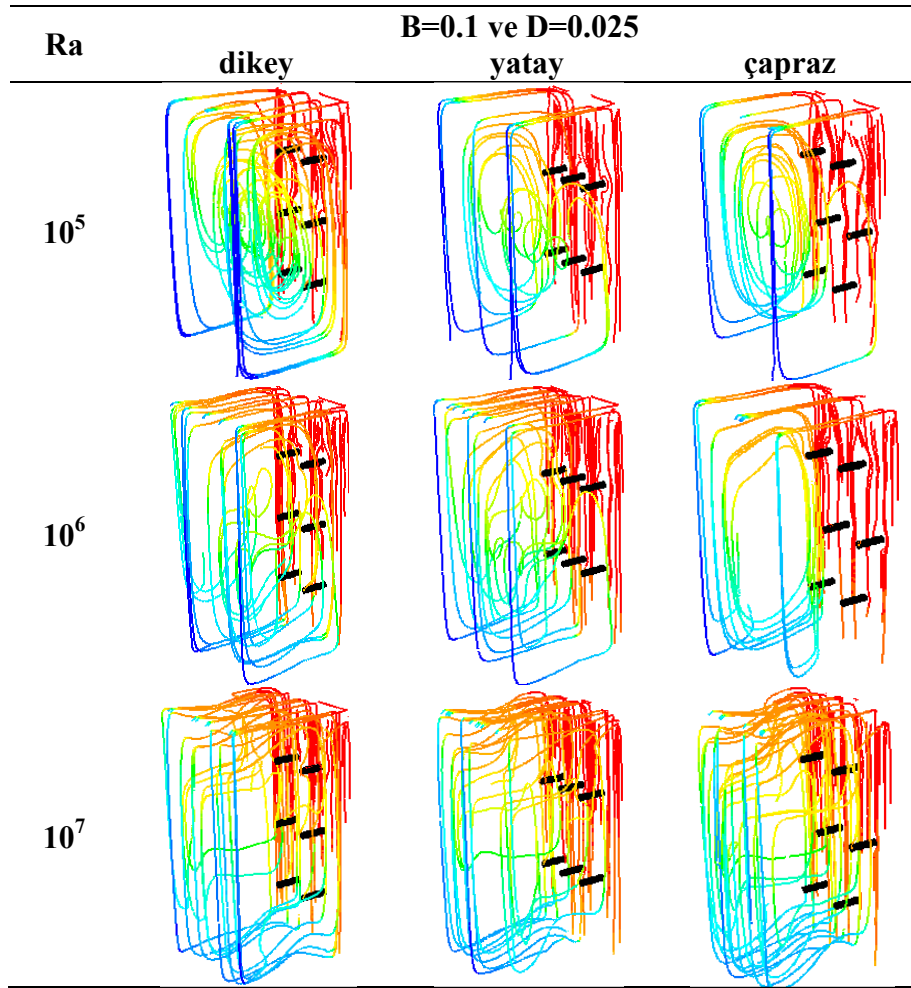
Şekil 3. 26. 5-pimli kare prizma kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.05$ ,  $X=0.45$  ve  $Y=0$  düzlemleri için, hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.)

$B=0.1$  ve  $D=0.025$  için 6-pimli kare prizma kutulardaki sıcaklık dağılımı Şekil 3.27'de verilmiştir. Düşük Rayleigh değerlerinde pim etrafında ısınan alan artmış, yüksek Rayleigh değerlerinde ise pim etrafında ısınan alan azalmıştır.



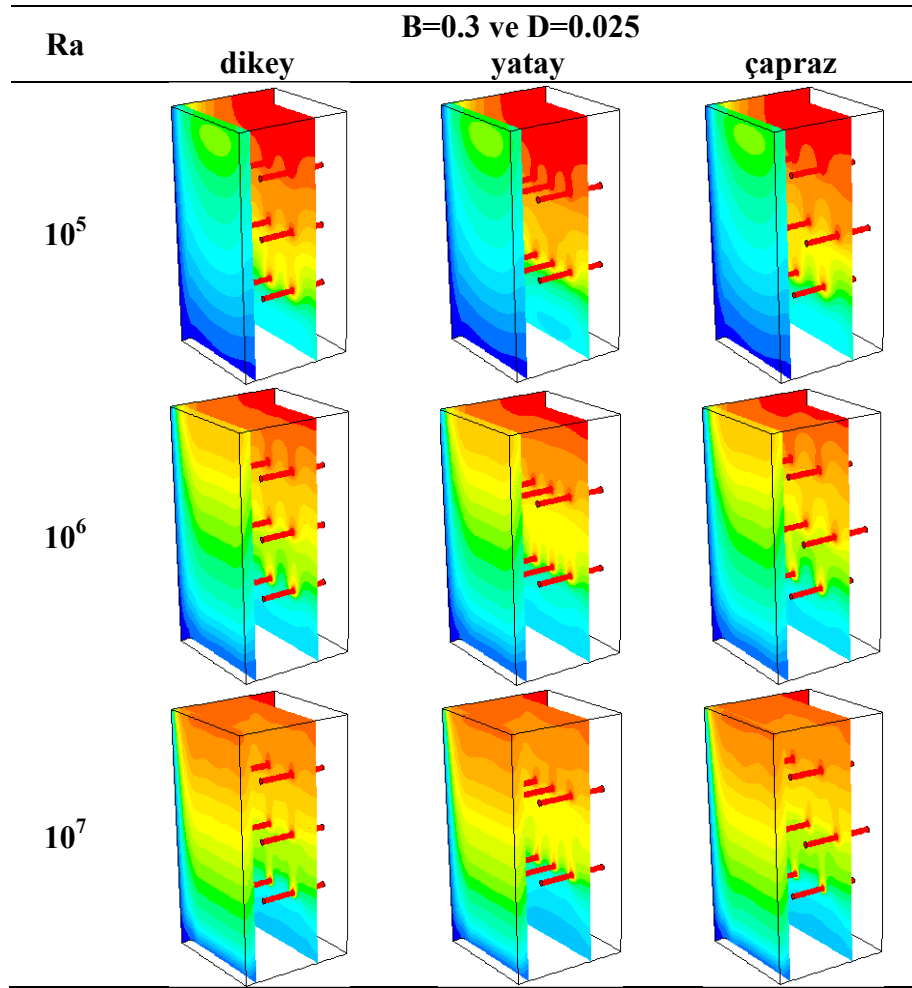
Şekil 3. 27. 6-pimli kare prizma kutularda sıcaklık gelişimi ( $X=0.05$ ,  $X=0.45$  ve  $Y=0$  düzlemleri için)

Şekil 3.28'de  $B=0.1$  ve  $D=0.025$  için 6-pimli kare prizma kutularda pim diziliminin hava akımı üzerine etkisini incelemek için verilmiştir. Hava akımı şiddeti en çok dikey, ardından çapraz ve en az yatay dizilimde elde edilmiştir. Bunun anlamı ısı yayılımı çoktan aza sırasıyla dikey, çapraz ve yatay dizilimde meydana gelmiştir.



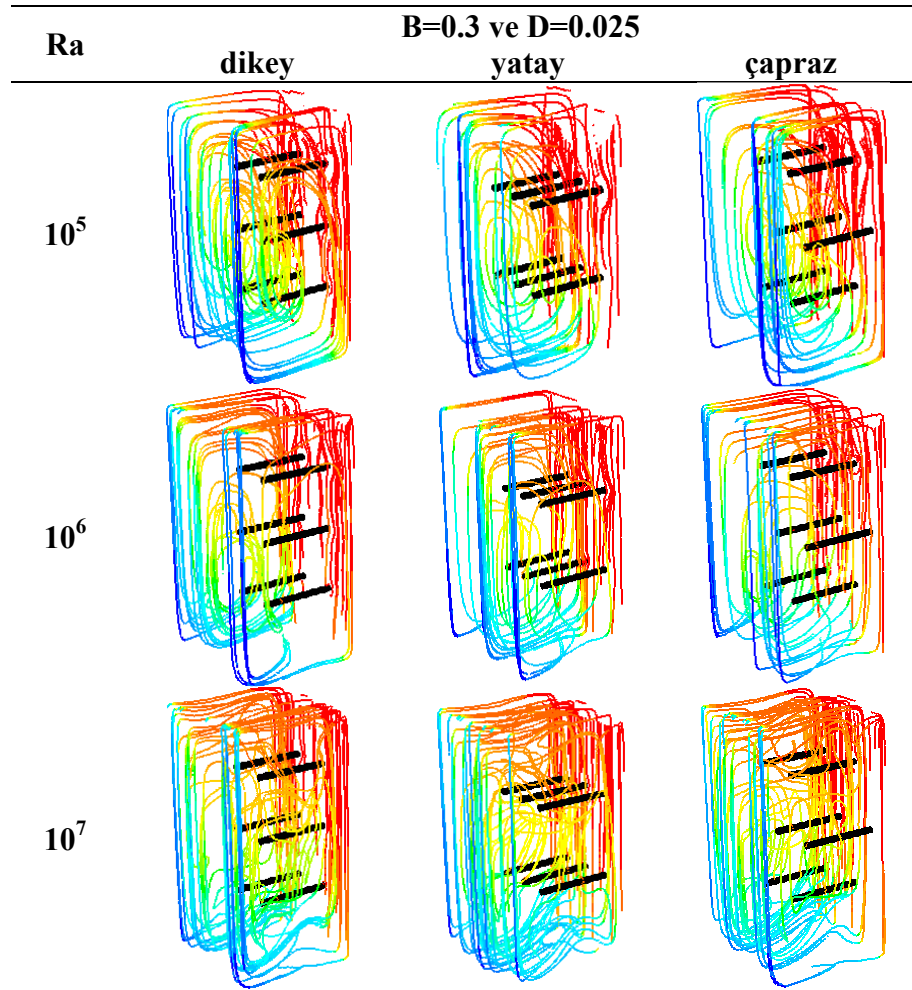
Şekil 3. 28. 6-pimli kare prizma kutularda hız gelişimi (hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.)

Şekil 3.29'da  $B=0.3$  ve  $D=0.025$  için 6-pimli kare prizma kutularda sıcaklık dağılımını incelemek için verilmiştir. Pimin ortasından kesit alınan düzlemde pim uzunluğunun artmasıyla pim etrafındaki alanda sıcaklığın daha çok arttığı gözlenmektedir. (Bkz. Şekil 3.27)  $Ra=10^5$ 'de  $B=0.1$  değerinde pimin ortasından kesit alınan düzlemde düşük sıcaklık değerleri elde edilirken, aynı Rayleigh değerinde  $B=0.3$  değeri için daha yüksek sıcaklık değeri elde edilmiştir.



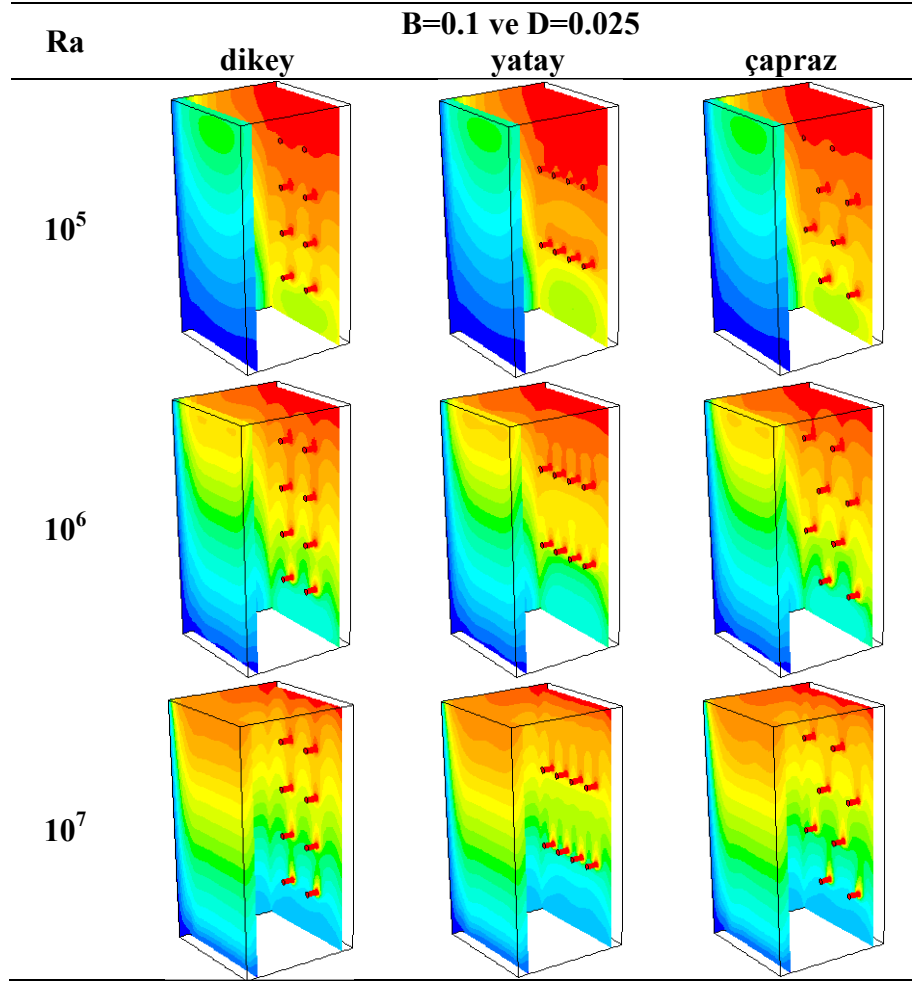
Şekil 3. 29. 6-pimli kare prizma kutularda sıcaklık gelişimi ( $X=0.15$ ,  $X=0.45$  ve  $Y=0$  düzlemleri için)

Şekil 3.30'da  $B=0.3$  ve  $D=0.025$  için 6-pimli kare prizma kutularda hız gelişimi ortam sıcaklığı ile boyanmış akım yörüngesi ile verilmiştir. Pim uzunluğunun artmasıyla ısı geçişinde artış olduğu gözlenmiştir..



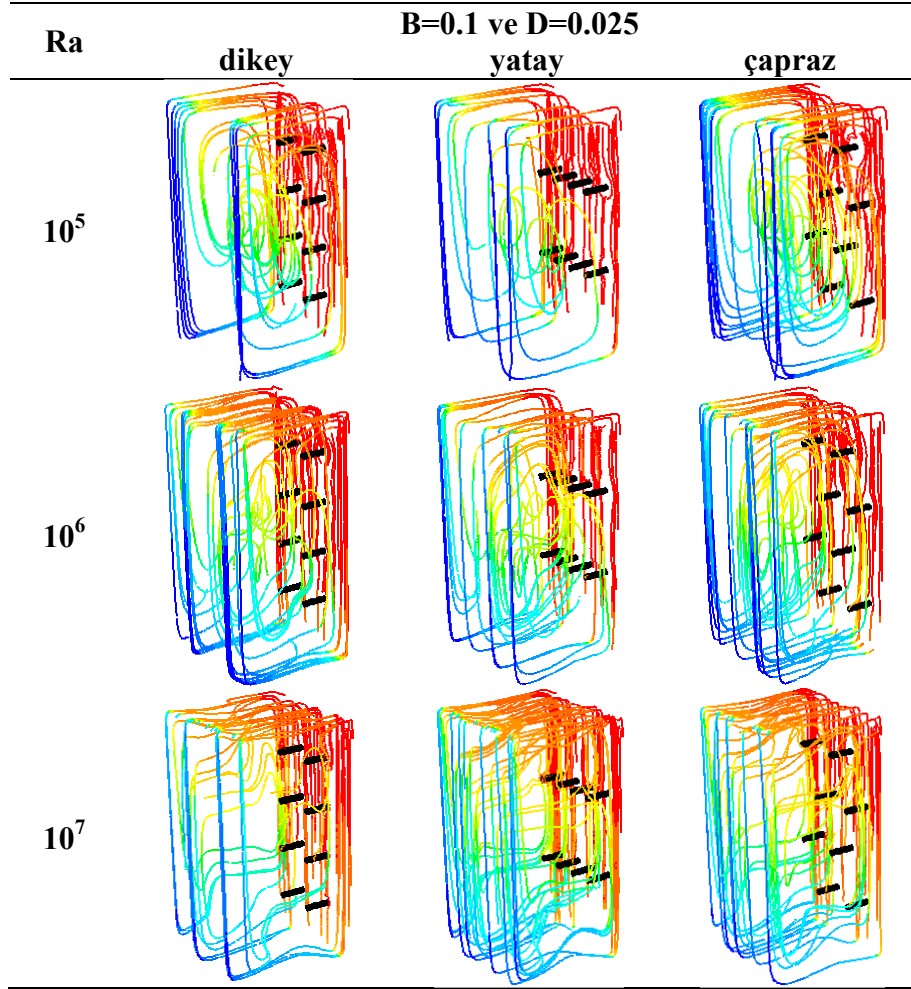
Şekil 3. 30. 6-pimli kare prizma kutularda hız gelişimi (hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.)

Şekil 3.31'de B=0.1 ve D=0.025 için 8-pimli kare prizma kutularda sıcaklık dağılımı verilmiştir. Isınan havanın yoğunluğu azaldığı için yükselmektedir ve düşük Rayleigh sayısı için pimlerin etrafında geniş bir alandaki havanın ısındığı gözlenmektedir. Rayleigh sayısının artmasıyla bu alan daralmakta pimlerin etrafındaki sıcaklık gradyanı artmaktadır. Bunun da anlamı ısı geçişinin artmasıdır.



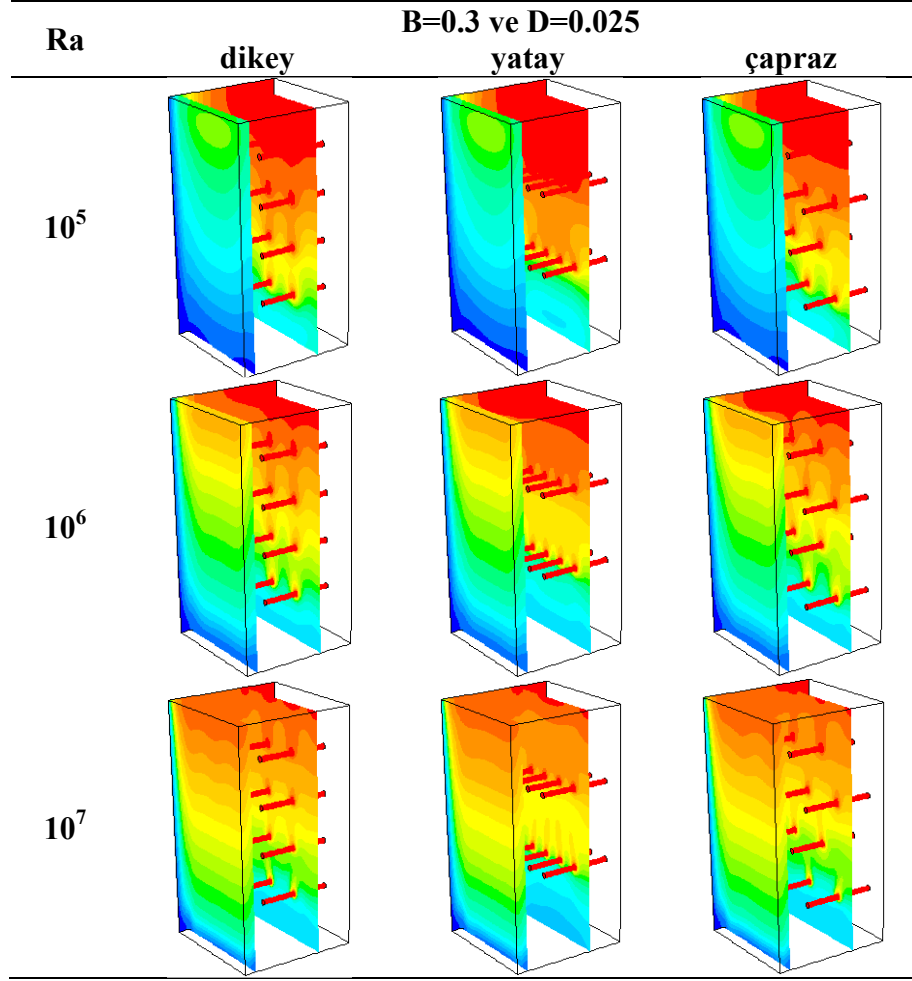
Şekil 3. 31. 8-pimli kare prizma kutularda sıcaklık gelişimi ( $X=0.05$ ,  $X=0.45$  ve  $Y=0$  düzlemleri için)

8 pimli kare prizma kutularda hız gelişimi Şekil 3.32'de verilmiştir. Pimler  $B=0.1$  ve  $D=0.025$  ebatlarında seçilmiştir. 8 pimli kübik kutulara oranla, kare prizma kutuların ısı yayılımı daha fazladır.



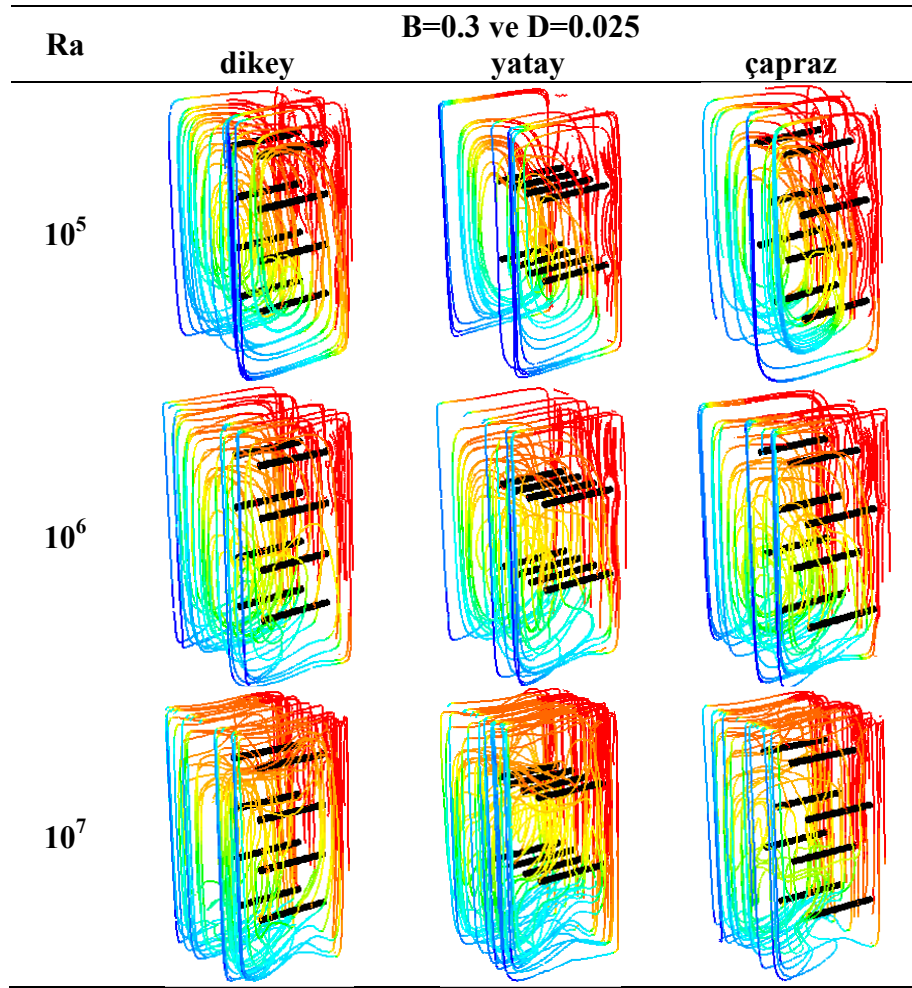
Şekil 3. 32. 8-pimli kare prizma kutularda hız gelişimi (hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.)

Şekil 3.33'te B=0.3 ve D=0.025 için 8 pimli kare kutularda sıcaklık dağılımı verilmiştir. Bu durumdaki sıcaklık dağılımı B=0.1 durumundaki (Bkz. Şekil 3.31) sıcaklık dağılımına göre daha fazladır.



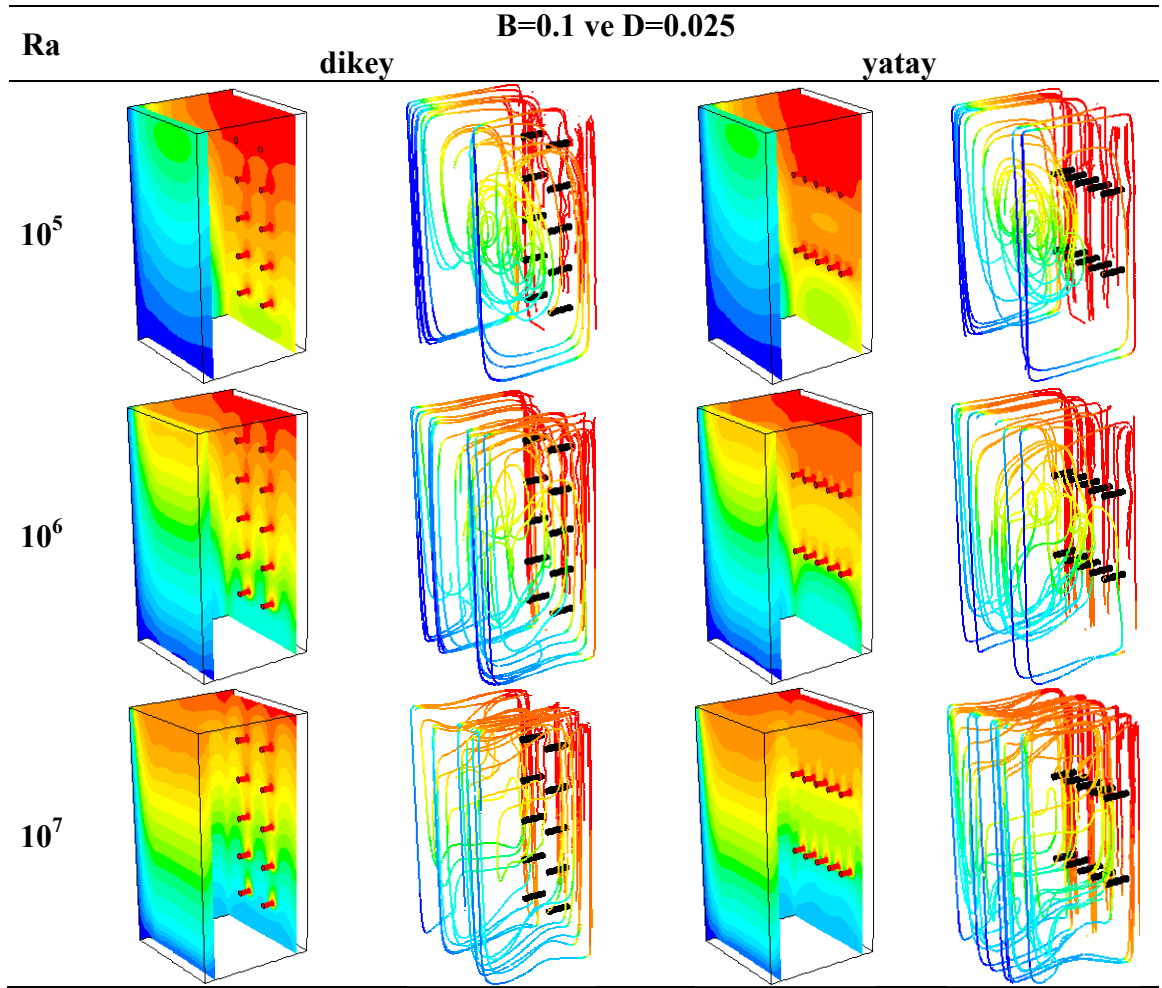
Şekil 3. 33. 8-pimli kare prizma kutularda sıcaklık gelişimi ( $X=0.15$ ,  $X=0.45$  ve  $Y=0$  düzlemleri için)

$B=0.3$  ve  $D=0.025$  için 8 pimli kare prizma kutularda Şekil 3.34'de hız gelişimi verilmiştir. Hız gelişimlerinde hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır. Düşük Rayleigh değerinde hava akımı kare prizma yüzeyini düzgün olarak takip ederken, artan Rayleigh sayısı ile alt duvar yüzeyinde ve kare prizma iç kesiminde akımda düzensizlikler meydana gelmiştir.



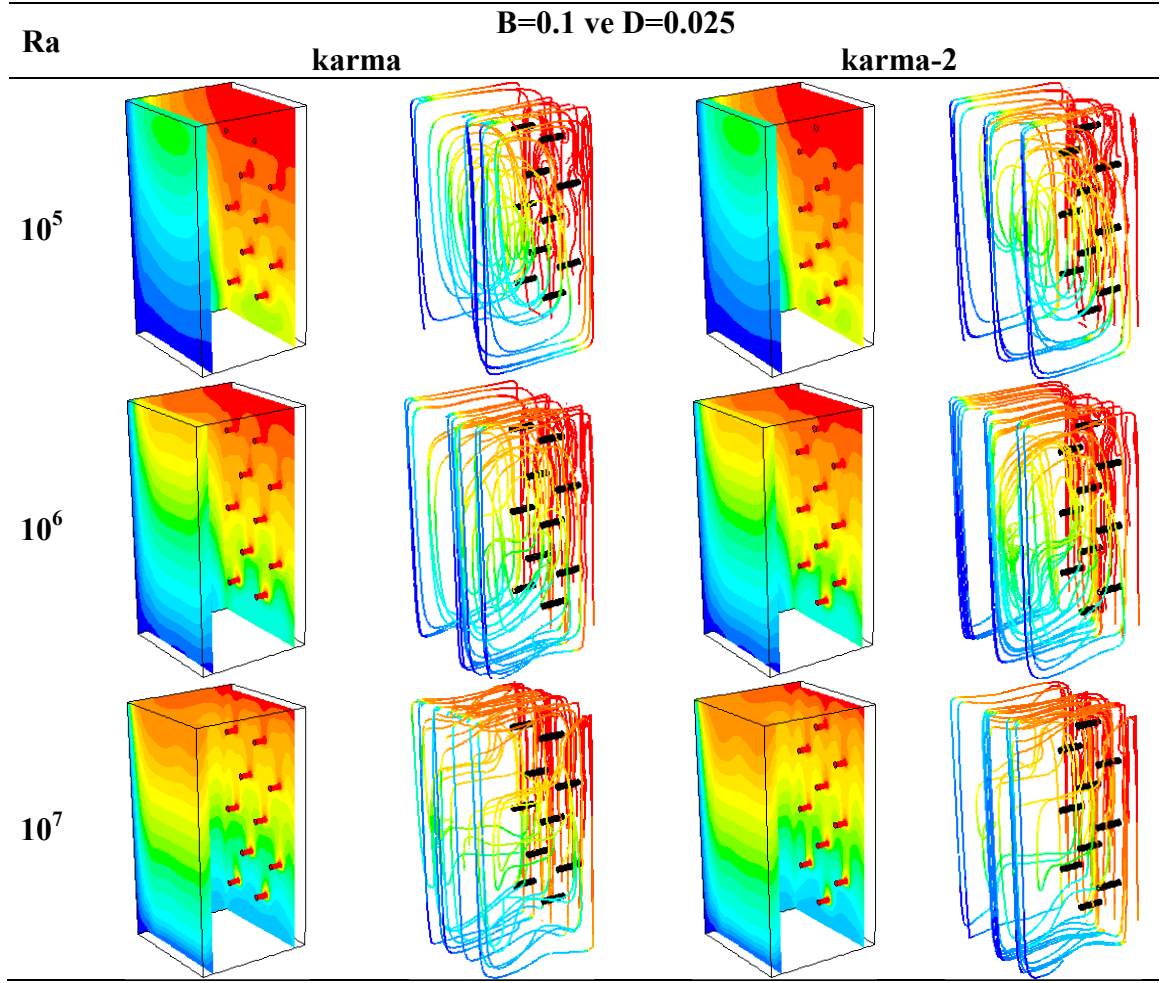
Şekil 3. 34. 8-pimli kare prizma kutularda hız gelişimi (hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.)

Şekil 3.35’de 10 pimli dikey ve yatay dizimli kare prizma kutularda sıcaklık dağılımı ve hız gelişimi akım yörüngesi olarak verilmiştir. Düşük Rayleigh değerinde yatay dizilimdeki hava akımı yoğunluğu, dikey dizilime göre daha azdır.  $Ra=10^6$  ve  $Ra=10^7$  değerinde ise yatay dizilimin hava akımı yoğunluğu dikey dizilime göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Bunun anlamı hava yoğunluğunun fazla olduğu değerlerde ısı yayılımı daha çoktur denilebilir.



Şekil 3. 35. 10-pimli (hızalı-sıralı) kare prizma kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.05$ ,  $X=0.45$  ve  $Y=0$  düzlemleri için, hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.)

Şekil 3.36'da 10 pimli karma ve karma-2 dizimli kare prizma kutularda sıcaklık dağılımı ve hız gelişimi akım yörüngesi olarak verilmiştir. Karma olarak adlandırılan dizilimde ısı yayılımı karma-2'deki dizilime göre daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 3. 36. 10-pimli (çapraz-sıralı) kare prizma kutularda sıcaklık ve hız gelişimi ( $X=0.05$ ,  $X=0.45$  ve  $Y=0$  düzlemleri için, hava akışını temsil eden akım yörüngesi ortam sıcaklığı ile boyanmıştır.)

## BÖLÜM 4

### SONUÇLAR

Bu çalışmada dikdörtgensel kutularda laminer doğal taşınım ile ısı transferi ve hava akışı Fluent ® kullanılarak nümerik olarak çalışılmıştır. Kapalı kutu bir yan kenarından ısıtılıyorken, karşı yan kenarından soğutulmaktadır. 2, 4, 5, 6, 8, 9 ve 10 sayılı silindirik pimler hizalı-sıralı (dikey-yatay) ve çapraz dizilimli olarak sıcak duvara ısı geçişini artırmak için eklenmiştir. Rayleigh sayısı  $10^5$  ile  $10^7$  aralığında çalışılmıştır. Boyutsuz pim çapı ve pim uzunluğu değişen olarak alınmış ve her durum için ortalama Nusselt sayısı soğuk duvara göre hesaplanmıştır. Bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar;

- ✓ Kararlaştırılmış (değişmeyen) durumlarda Rayleigh sayısının artışıyla Nusselt sayısı artmıştır.
- ✓ Pim sayısının artışıyla NSO artmıştır.
- ✓ Kübik kutularda NSO değeri pim uzunluğuyla artıyorken, Rayleigh sayısının artmasıyla azalmaktadır. Kısa pimlerde ısı geçişi yaklaşık olarak %7-8, uzun pimlerde ısı geçişi yaklaşık olarak %26-34 artış göstermektedir. Kare prizma kutulara kısa pimlerde yaklaşık olarak %3-5, uzun pimlerde %15-18 civarında artış elde edilmiştir.
- ✓ Kübik kutularda  $B=0.2$  için  $D=0.1$  değeri,  $D=0.025$  değerine göre ısı transferi oranı %5 ile %6 arasında artış göstermiştir. Kare prizma şeklindeki kutularda  $B=0.2$  için pimsiz duruma göre  $D$ 'nin maksimum olduğu durumda yaklaşık %21-23,  $D$ 'nin minimum olduğu değerinde yaklaşık %9-12 NSO'da artış gerçekleşmiştir.

- ✓ Kübik kutularda dikey dizilimli pimlerin yatay dizilime göre ısı transferinde yaklaşık olarak %4-7 arasında azalış gösterdiği gözlenmektedir.  $B=0.1$  iken dizilim etkisi pek görülmemekle beraber uzunluk  $B=0.2$  ve  $B=0.3$  değerlerine artırıldığında  $Ra < 10^6$  için yatay dizilimin en avantajlı, sonra çapraz ve son olarak dikey dizilimin geldiği görülmektedir (%2-3 civarında fark olmaktadır). Ancak yüksek Rayleigh sayıları için NSO eğrileri neredeyse aynı eğri üzerinde keşifmektedir. Bu durumdan da yüksek Rayleigh sayılarında diziliminin fazla etkisi olmadığı sonucunu çıkarabiliriz. Kare prizma şeklindeki kutularda NSO artışı sırasıyla dikey, çapraz ve yatay dizilimde meydana gelmiştir.
- ✓ Çalışmada iki farklı kapalı kutu için çözüm yapılmıştır. Bunlar;  $H/L=1$  olan küp ve  $H/L=2$  olan kare prizma şeklindeki kutulardır. Kübik ( $H/L=1$ ) kapalı kutuların kare prizma ( $H/L=2$ ) şeklindeki kapalı kutulara göre ısı geçişi oranı daha düşüktür.  $B=0.2$  için  $Ra=10^6$ 'da kare prizmaların küplere göre ortalama Nusselt sayısı oranı yaklaşık %10 daha fazla çıktığı görülmüştür. Kare prizma şeklindeki kapalı kutularda, küpe göre sıcak duvar alanı 0.5 oranında azalmıştır. Sıcak yüzey alanında meydana gelen azalmadan dolayı, ısı geçişinde de bir miktar azalma beklenmektedir. Fakat aynı Rayleigh sayısı için, kare prizma şeklindeki kapalı kutularda hava akışı arttığı için NSO değeri de artmıştır.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Bairi, A., 2008, Nusselt–Rayleigh correlations for design of industrial elements: Experimental and numerical investigation of natural convection in tilted square air filled enclosures, *Energy Conversion and Management*, 49, 771–782.
- Bilgen, E., 2005, Natural convection in cavities with a thin fin on the hot wall, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48, 3493–3505.
- Chuang, S.H., Chiang, J.S. and Kuo, Y.M., 2003, Numerical simulation of heat transfer in a three-dimensional enclosure with three chips in various position arrangements, *Heat Transfer Engineering*, 24(2), 42–59.
- Cuesta, I., 1993, Numerical study of laminar and turbulent flows in a cubical cavity, Ph D Thesis, Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, Spain..
- Da Silva, A.K. and Gosselin, L., 2005, On the thermal performance of an internally finned three dimensional cubic enclosure in natural convection, *International Journal of Thermal Sciences*, 44, 540–546.
- De Vahl Davis, G. and Jones, I.P., 1983, Natural convection in square cavity: a benchmark numerical solution, *International of Journal Numerical Method Fluid*, 3, 249–264.
- De Vahl Davis, G. and Jones, I.P., 1983, Natural convection in square cavity: a comparison exercise, *International of Journal Numerical Method Fluid*, 3, 227–248.
- Dialameh, L., Yaghoubi, M. and Abouali, O., 2008, Natural convection from an array of horizontal rectangular thick fins with short length, *Applied Thermal Engineering*, 28, 2371–2379.
- Dixit, H.N. and Babu, V., 2006, Simulation of high Rayleigh number convection in a square cavity using the lattice Boltzmann method, *International Journal of Heat Mass Transfer*, 49, 727–739.
- Fikri, A., 1993, Simulation numerique 3D, en collocation Chebyshev, de phenomenes thermoconvectifs en centrifugation, These de l'Universite Paris-Sud XI, Orsay
- Fluent, 2003, FLUENT 6.1 User's Guide, FLUENT Inc., Lebanon: NH.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Frederick, R.L. and Moraga, S.G., 2007, Three-dimensional natural convection in finned cubical enclosures, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28, 289-298.
- Frederick, R.L. and Quiroz, F., 2001, On the transition from conduction to convection regime in a cubical enclosure with a partially heated wall, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 44, 1699–1709.
- Frederick, R.L., 2007, Heat transfer enhancement in cubical enclosures with vertical fins, *Applied Thermal Engineering*, 27, 1585–1592.
- Fujii, M., 2007, Enhancement of natural convection heat transfer from a vertical heated plate using inclined fins, *Heat Transfer-Asian Research*, 36 (6), 334-344.
- Fusegi, T., Hyun, J.M., Kuwahara, K. and Farouk, B., 1991, A numerical study of three dimensional natural convection in a differentially heated cubical enclosure, *International of Journal Heat Mass Transfer*, 34, 1543–1557.
- Fusegi, T., Hyun, J.M., Kuwahara, K. and Farouk, B., 1991, Three dimensional simulations of natural convection in sidewall heated cube, *International of Journal Numerical Method*, 13, 857–867.
- Giri, A., Narasimham, G.S.V.L. and Krishna Murthy, M.V., 2003, Combined natural convection heat and mass transfer from vertical fin arrays, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 24, 100–113.
- Güvence, A. and Yüncü, H., 2001, An experimental investigation on performance of rectangular fins on a vertical base in free convection heat transfer, *Heat Mass Transfer*, 37, 409–416.
- Haldenwang, P., 1984, *Resolution tridimensionnelle des equations de Navier-Stokes par methodes spectrales Tchebyche: application la convection naturelle*, These d'Etat, Universite de Provence.
- He, Y.L., Yang, W.W. and Tao, W.Q., 2005, Three-dimensional numerical study of natural convective heat transfer of liquid in a cubic enclosure, *Numerical Heat Transfer, Part A*, 47, 917–934.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Henkes, R.A.W.M. and Le Quere, P., 1996, Three-dimensional transition of natural-convection flows, *Journal Fluid Mechanical*, 319, 281-303.
- Janssen,R.J.A., Henkes, R.A.W.M. and Hoogendoorn, C.J., 1996, Transition to time-periodicity of a natural-convection flow in a 3D differentially heated cavity, *International Journal of Heat Mass Transfer*, 36, 2927-2940.
- Khan, W.A., Culham, J.R. and Yovanovich, M.M., 2008, Modeling of cylindrical pin-fin heat sinks for electronic packaging, *Ieee Transactions On Components And Packaging Technologies*, 31(3), 536-545.
- Lakhal, E.K., Hasnaoui, M., Bilgen, E. and Vasseur,P., 1997, Natural convection in inclined rectangular enclosures wth perfectly conducting fins attached on the heated wall, *Heat and Mass Transfer*, 32, 365-373.
- Lee, T.S., Son, G.H. and Lee, J.S., 1989, Numerical study on natural convection in three-dimensional rectangular enclosures, *KSME Journal*, 3, 50-55.
- Liu, Y. and Phan-Thien, N., 2000, An optimum spacing problem for three chips mounted on a vertical substrate in an enclosure, *Numerical Heat Transfer Part A*, 37, 613 –630.
- Lo, D.C., Young, D.L., Murugesan, K., Tsai, C.C. and Gou, M.H., 2007, Velocity-vorticity formulation for 3D natural convection in an inclined cavity by DQ method, *International Journal of Heat Mass Transfer*, 50, 479-491.
- Mabrouk, B.S., 1984, Numerical study of natural convection in three dimensional cavity, *The`se de doctorat, Universite´ de Poitiers*.
- Mobedi, M. and Yüncü, H., 2003, A three dimensional numerical study on natural convection heat transfer from short horizontal rectangular fin array, *Heat and Mass Transfer*, 39, 267–275.
- Nada, S.A., 2007, Natural convection heat transfer in horizontal and vertical closed narrow enclosures with heated rectangular finned base plate, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50, 667-679.

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Ravnik, J., Skerget, L. and Zunic, Z., 2008, Velocity-vorticity formulation for 3D natural convection in an inclined enclosure by BEM, *International Journal of Heat Mass Transfer*, 51, 4517-4527.
- Ravnik, J., Skerget, L. and Zunic, Z., 2009, Fast single domain–subdomain BEM algorithm for 3D incompressible fluid flow and heat transfer, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 77, 1627–1645.
- Terekhov, V.I. and Terekhov, V.V., 2006, Heat transfer in a high vertical enclosure with fins attached to one of the side walls, *Heat And Mass Transfer And Physical Gasdynamics*, 44 (3), 439–444.
- Tou, S.K.W., Tso, C.P. and Zhang, X., 1999, 3-D numerical analysis of natural convective liquid cooling of a 3x3 heater array in rectangular enclosures, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42, 3231-3244.
- Tric, E., Labrosse, M. and Betrouni, M., 2000, A first incursion into the 3D structure of natural convection of air in a differentially heated cubic cavity, from accurate numerical simulations, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43, 4043-4056.
- Wang, Z. and Mayinger, F., Natural convection and heat transfer in the PCB's array of electronic equipments, [http://www.td.mw.tum.de/tum-td/de/forschung/pub/CD\\_Mayinger/177.pdf](http://www.td.mw.tum.de/tum-td/de/forschung/pub/CD_Mayinger/177.pdf)
- Yüncü, H. and Anbari G., 1998, An experimental investigation on performance of rectangular fins on a horizontal base in free convection heat transfer, *Heat Mass Transfer*, 3, 507–514.

Üç Boyutlu Kapalı Dikdörtgensel Kutularda Pim Kullanımı ve Doğal Taşınım İle  
Isı Geçişinin Artırılması

Zerrin BÖCÜ

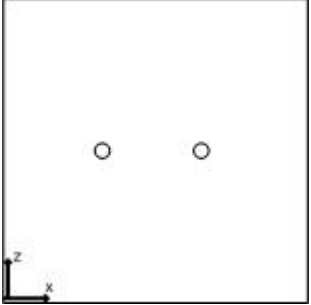
EKLER

Ek. 1. Soğuk Duvara Göre Hesaplanmış Ortalama Nusselt Değerleri

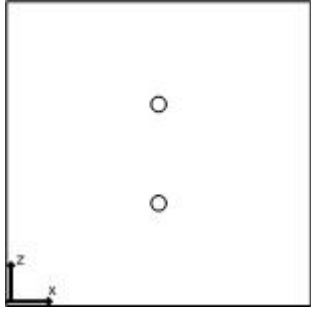
Danışman: Prof. Dr. Zekeriya ALTAÇ

Ocak 2010

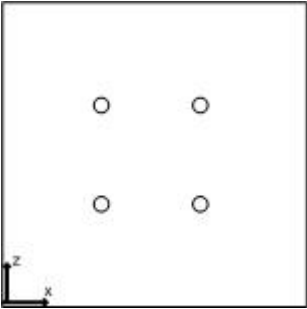
Çizelge 1. 2 yatay pim dizilimli küp için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.3993	4.3598	1.0091
			500,000	7.2714	7.1573	1.0159
			1,000,000	8.9525	8.7945	1.0180
			5,000,000	14.379	14.085	1.0209
			10,000,000	17.637	17.267	1.0214
		0.05	100,000	4.3683	4.3598	1.0019
			500,000	7.2077	7.1573	1.0070
			1,000,000	8.8678	8.7945	1.0083
			5,000,000	14.212	14.085	1.0090
			10,000,000	17.414	17.267	1.0085
		0.025	100,000	4.3461	4.3598	0.9969
			500,000	7.1662	7.1573	1.0012
			1,000,000	8.8149	8.7945	1.0023
			5,000,000	14.124	14.085	1.0028
			10,000,000	17.31	17.267	1.0025
	0.2	0.1	100,000	4.6689	4.3598	1.0709
			500,000	7.6411	7.1573	1.0676
			1,000,000	9.3758	8.7945	1.0661
			5,000,000	14.948	14.085	1.0613
			10,000,000	18.287	17.267	1.0591
		0.05	100,000	4.5604	4.3598	1.0460
			500,000	7.4595	7.1573	1.0422
			1,000,000	9.1503	8.7945	1.0405
			5,000,000	14.58	14.085	1.0351
			10,000,000	17.838	17.267	1.0331
		0.025	100,000	4.4863	4.3598	1.0290
			500,000	7.341	7.1573	1.0257
			1,000,000	9.0067	8.7945	1.0241
			5,000,000	14.366	14.085	1.0200
			10,000,000	17.585	17.267	1.0184
	0.3	0.1	100,000	4.9311	4.3598	1.1310
			500,000	7.9541	7.1573	1.1113
			1,000,000	9.7351	8.7945	1.1070
			5,000,000	15.458	14.085	1.0975
			10,000,000	18.88	17.267	1.0934
		0.05	100,000	4.7454	4.3598	1.0884
			500,000	7.6768	7.1573	1.0726
			1,000,000	9.3987	8.7945	1.0687
			5,000,000	14.918	14.085	1.0591
			10,000,000	18.266	17.267	1.0579
		0.025	100,000	4.6202	4.3598	1.0597
			500,000	7.4942	7.1573	1.0471
			1,000,000	9.1797	8.7945	1.0438
			5,000,000	14.59	14.085	1.0359
			10,000,000	17.84	17.267	1.0332

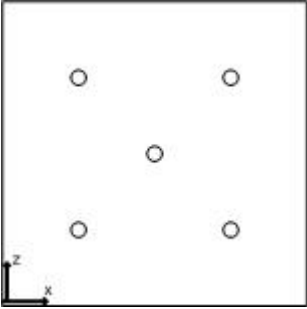
Çizelge 2. 2 dikey pim dizilimli küp için Nusselt değeri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.3887	4.3598	1.0066
			500,000	7.2553	7.1573	1.0137
			1,000,000	8.9358	8.7945	1.0161
			5,000,000	14.36	14.085	1.0195
			10,000,000	17.625	17.267	1.0207
		0.05	100,000	4.3621	4.3598	1.0005
			500,000	7.2002	7.1573	1.0060
			1,000,000	8.861	8.7945	1.0076
			5,000,000	14.207	14.085	1.0087
			10,000,000	17.413	17.267	1.0085
		0.025	100,000	4.3439	4.3598	0.9964
			500,000	7.163	7.1573	1.0008
			1,000,000	8.812	8.7945	1.0020
			5,000,000	14.121	14.085	1.0026
			10,000,000	17.305	17.267	1.0022
	0.2	0.1	100,000	4.6246	4.3598	1.0607
			500,000	7.6169	7.1573	1.0642
			1,000,000	9.3617	8.7945	1.0645
			5,000,000	14.972	14.085	1.0630
			10,000,000	18.331	17.267	1.0616
		0.05	100,000	4.5377	4.3598	1.0408
			500,000	7.4565	7.1573	1.0418
			1,000,000	9.1522	8.7945	1.0407
			5,000,000	14.597	14.085	1.0364
			10,000,000	17.859	17.267	1.0343
		0.025	100,000	4.4752	4.3598	1.0265
			500,000	7.3435	7.1573	1.0260
			1,000,000	9.0099	8.7945	1.0245
			5,000,000	14.366	14.085	1.0200
			10,000,000	17.578	17.267	1.0180
0.3	0.1	100,000	4.8675	4.3598	1.1165	
		500,000	7.9427	7.1573	1.1097	
		1,000,000	9.7389	8.7945	1.1074	
		5,000,000	15.52	14.085	1.1019	
		10,000,000	18.976	17.267	1.0990	
	0.05	100,000	4.7201	4.3598	1.0826	
		500,000	7.687	7.1573	1.0740	
		1,000,000	9.4148	8.7945	1.0705	
		5,000,000	14.966	14.085	1.0625	
		10,000,000	18.288	17.267	1.0591	
	0.025	100,000	4.6106	4.3598	1.0575	
		500,000	7.503	7.1573	1.0483	
		1,000,000	9.1863	8.7945	1.0446	
		5,000,000	14.6	14.085	1.0366	
		10,000,000	17.843	17.267	1.0334	

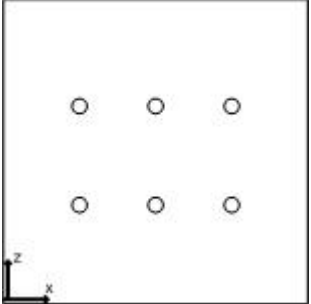
Çizelge 3. 4 pimli küp için elde edilen Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.518	4.3598	1.0363
			500,000	7.5065	7.1573	1.0488
			1,000,000	9.26	8.7945	1.0529
			5,000,000	14.917	14.085	1.0591
			10,000,000	18.319	17.267	1.0609
		0.05	100,000	4.4654	4.3598	1.0242
			500,000	7.3985	7.1573	1.0337
			1,000,000	9.1143	8.7945	1.0364
			5,000,000	14.621	14.085	1.0381
			10,000,000	17.916	17.267	1.0376
		0.025	100,000	4.4289	4.3598	1.0158
			500,000	7.3243	7.1573	1.0233
			1,000,000	9.0167	8.7945	1.0253
			5,000,000	14.45	14.085	1.0259
			10,000,000	17.7	17.267	1.0251
	0.2	0.1	100,000	4.9641	4.3598	1.1386
			500,000	8.165	7.1573	1.1408
			1,000,000	10.026	8.7945	1.1400
			5,000,000	16.003	14.085	1.1362
			10,000,000	19.566	17.267	1.1331
		0.05	100,000	4.8039	4.3598	1.1019
			500,000	7.8785	7.1573	1.1008
			1,000,000	9.6558	8.7945	1.0979
			5,000,000	15.344	14.085	1.0894
			10,000,000	18.74	17.267	1.0853
		0.025	100,000	4.6853	4.3598	1.0747
			500,000	7.6692	7.1573	1.0715
			1,000,000	9.3936	8.7945	1.0681
			5,000,000	14.914	14.085	1.0589
			10,000,000	18.217	17.267	1.0550
	0.3	0.1	100,000	5.3776	4.3598	1.2335
			500,000	8.6962	7.1573	1.2150
			1,000,000	10.634	8.7945	1.2092
			5,000,000	16.883	14.085	1.1987
			10,000,000	20.606	17.267	1.1934
		0.05	100,000	5.1265	4.3598	1.1759
500,000			8.2735	7.1573	1.1560	
1,000,000			10.103	8.7945	1.1488	
5,000,000			15.979	14.085	1.1345	
10,000,000			19.482	17.267	1.1283	
0.025		100,000	4.9339	4.3598	1.1317	
		500,000	7.9535	7.1573	1.1112	
		1,000,000	9.706	8.7945	1.1036	
		5,000,000	15.336	14.085	1.0888	
		10,000,000	18.696	17.267	1.0828	

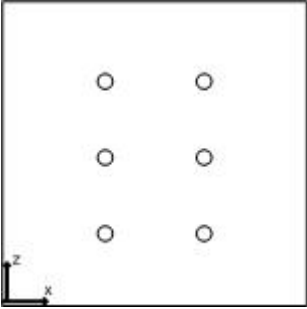
Çizelge 4. 5 pimli küp için elde edilen Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.5513	4.3598	1.0439
			500,000	7.595	7.1573	1.0612
			1,000,000	9.3784	8.7945	1.0664
			5,000,000	15.142	14.085	1.0750
			10,000,000	18.594	17.267	1.0769
		0.05	100,000	4.4865	4.3598	1.0291
			500,000	7.4536	7.1573	1.0414
			1,000,000	9.189	8.7945	1.0449
			5,000,000	14.75	14.085	1.0472
			10,000,000	18.066	17.267	1.0463
		0.025	100,000	4.441	4.3598	1.0186
			500,000	7.3582	7.1573	1.0281
			1,000,000	9.0642	8.7945	1.0307
			5,000,000	14.534	14.085	1.0319
			10,000,000	17.801	17.267	1.0309
	0.2	0.1	100,000	5.0818	4.3598	1.1656
			500,000	8.3896	7.1573	1.1722
			1,000,000	10.286	8.7945	1.1696
			5,000,000	16.345	14.085	1.1605
			10,000,000	18.066	17.267	1.0463
		0.05	100,000	4.8844	4.3598	1.1203
			500,000	8.0281	7.1573	1.1217
			1,000,000	9.8288	8.7945	1.1176
			5,000,000	15.554	14.085	1.1043
			10,000,000	18.965	17.267	1.0983
		0.025	100,000	4.7352	4.3598	1.0861
			500,000	7.7655	7.1573	1.0850
			1,000,000	9.5052	8.7945	1.0808
			5,000,000	15.062	14.085	1.0694
			10,000,000	18.386	17.267	1.0648
0.3	0.1	100,000	5.3195	4.3598	1.2201	
		500,000	8.5902	7.1573	1.2002	
		1,000,000	10.449	8.7945	1.1881	
		5,000,000	16.375	14.085	1.1626	
		10,000,000	19.912	17.267	1.1532	
	0.05	100,000	5.2392	4.3598	1.2017	
		500,000	8.4537	7.1573	1.1811	
		1,000,000	10.289	8.7945	1.1699	
		5,000,000	16.172	14.085	1.1482	
		10,000,000	19.699	17.267	1.1408	
	0.025	100,000	5.0125	4.3598	1.1497	
		500,000	8.0813	7.1573	1.1291	
		1,000,000	9.8415	8.7945	1.1191	
		5,000,000	15.514	14.085	1.1015	
		10,000,000	18.921	17.267	1.0958	

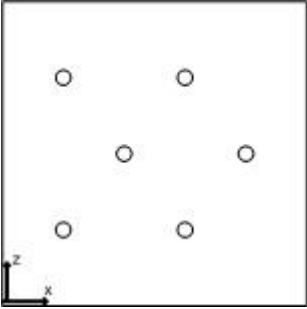
Çizelge 5. 6 yatay pim dizilimli küp için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.5734	4.3598	1.0490
			500,000	7.6685	7.1573	1.0714
			1,000,000	9.4731	8.7945	1.0772
			5,000,000	15.289	14.085	1.0855
			10,000,000	18.791	17.267	1.0883
		0.05	100,000	4.5126	4.3598	1.0350
			500,000	7.515	7.1573	1.0500
			1,000,000	9.2661	8.7945	1.0536
			5,000,000	14.873	14.085	1.0559
			10,000,000	18.219	17.267	1.0551
		0.025	100,000	4.4604	4.3598	1.0231
			500,000	7.405	7.1573	1.0346
			1,000,000	9.123	8.7945	1.0374
			5,000,000	14.624	14.085	1.0383
			10,000,000	17.908	17.267	1.0371
	0.2	0.1	100,000	5.1729	4.3598	1.1865
			500,000	8.5772	7.1573	1.1984
			1,000,000	10.509	8.7945	1.1950
			5,000,000	16.73	14.085	1.1878
			10,000,000	20.445	17.267	1.1841
		0.05	100,000	4.9934	4.3598	1.1453
			500,000	8.1872	7.1573	1.1439
			1,000,000	10.017	8.7945	1.1390
			5,000,000	15.871	14.085	1.1268
			10,000,000	19.36	17.267	1.1212
		0.025	100,000	4.8313	4.3598	1.1081
			500,000	7.8975	7.1573	1.1034
			1,000,000	9.6559	8.7945	1.0979
			5,000,000	15.283	14.085	1.0851
			10,000,000	18.644	17.267	1.0797
	0.3	0.1	100,000	5.691	4.3598	1.3053
			500,000	9.2432	7.1573	1.2914
			1,000,000	11.254	8.7945	1.2797
			5,000,000	17.793	14.085	1.2633
			10,000,000	21.704	17.267	1.2570
		0.05	100,000	5.4223	4.3598	1.2437
			500,000	8.6989	7.1573	1.2154
			1,000,000	10.588	8.7945	1.2039
			5,000,000	16.69	14.085	1.1849
			10,000,000	20.332	17.267	1.1775
		0.025	100,000	5.1725	4.3598	1.1864
			500,000	8.2783	7.1573	1.1566
			1,000,000	10.073	8.7945	1.1454
			5,000,000	15.858	14.085	1.1259
			10,000,000	19.303	17.267	1.1179

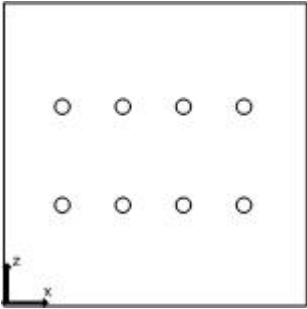
Çizelge 6. 6 dikey pim dizilimli küp için Nuselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.5188	4.3598	1.0365
			500,000	7.5342	7.1573	1.0527
			1,000,000	9.3065	8.7945	1.0582
			5,000,000	15.025	14.085	1.0667
			10,000,000	18.456	17.267	1.0689
		0.05	100,000	4.4529	4.3598	1.0214
			500,000	7.4049	7.1573	1.0346
			1,000,000	9.1354	8.7945	1.0388
			5,000,000	14.684	14.085	1.0425
			10,000,000	17.996	17.267	1.0422
		0.025	100,000	4.4035	4.3598	1.0100
			500,000	7.3065	7.1573	1.0208
			1,000,000	9.0068	8.7945	1.0241
			5,000,000	14.457	14.085	1.0264
			10,000,000	17.709	17.267	1.0256
	0.2	0.1	100,000	5.0448	4.3598	1.1571
			500,000	8.3378	7.1573	1.1649
			1,000,000	10.252	8.7945	1.1657
			5,000,000	16.403	14.085	1.1646
			10,000,000	20.066	17.267	1.1621
		0.05	100,000	4.8749	4.3598	1.1181
			500,000	8.0337	7.1573	1.1224
			1,000,000	9.8608	8.7945	1.1212
			5,000,000	15.681	14.085	1.1133
			10,000,000	19.147	17.267	1.1089
		0.025	100,000	4.7339	4.3598	1.0858
			500,000	7.7786	7.1573	1.0868
			1,000,000	9.5341	8.7945	1.0841
			5,000,000	15.126	14.085	1.0739
			10,000,000	18.461	17.267	1.0691
0.3	0.1	100,000	5.512	4.3598	1.2643	
		500,000	8.9607	7.1573	1.2520	
		1,000,000	10.968	8.7945	1.2471	
		5,000,000	17.454	14.085	1.2392	
		10,000,000	21.324	17.267	1.2350	
	0.05	100,000	5.266	4.3598	1.2079	
		500,000	8.537	7.1573	1.1928	
		1,000,000	10.433	8.7945	1.1863	
		5,000,000	16.505	14.085	1.1718	
		10,000,000	20.119	17.267	1.1652	
	0.025	100,000	5.0508	4.3598	1.1585	
		500,000	8.1631	7.1573	1.1405	
		1,000,000	9.96	8.7945	1.1325	
		5,000,000	15.71	14.085	1.1154	
		10,000,000	19.135	17.267	1.1082	

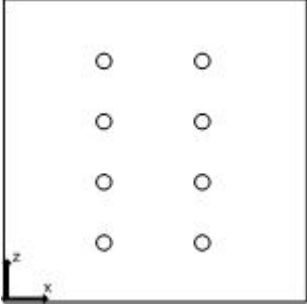
Çizelge 7. 6 karma pim dizimli küp için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.5846	4.3598	1.0516
			500,000	7.6771	7.1573	1.0726
			1,000,000	9.4869	8.7945	1.0787
			5,000,000	15.338	14.085	1.0890
			10,000,000	18.85	17.267	1.0917
		0.05	100,000	4.5033	4.3598	1.0329
			500,000	7.5018	7.1573	1.0481
			1,000,000	9.2544	8.7945	1.0523
			5,000,000	14.876	14.085	1.0562
			10,000,000	18.225	17.267	1.0555
		0.025	100,000	4.4492	4.3598	1.0205
			500,000	7.3877	7.1573	1.0322
			1,000,000	9.1053	8.7945	1.0353
			5,000,000	14.613	14.085	1.0375
			10,000,000	17.897	17.267	1.0365
	0.2	0.1	100,000	4.9712	4.3598	1.1402
			500,000	8.2277	7.1573	1.1496
			1,000,000	10.058	8.7945	1.1437
			5,000,000	15.839	14.085	1.1245
			10,000,000	19.272	17.267	1.1161
		0.05	100,000	4.7705	4.3598	1.0942
			500,000	7.8292	7.1573	1.0939
			1,000,000	9.56	8.7945	1.0870
			5,000,000	15.01	14.085	1.0657
			10,000,000	18.243	17.267	1.0565
		0.025	100,000	4.6095	4.3598	1.0573
			500,000	7.5407	7.1573	1.0536
			1,000,000	9.2074	8.7945	1.0469
			5,000,000	14.48	14.085	1.0280
			10,000,000	17.619	17.267	1.0204
	0.3	0.1	100,000	5.4685	4.3598	1.2543
			500,000	8.8405	7.1573	1.2352
			1,000,000	10.728	8.7945	1.2199
			5,000,000	16.737	14.085	1.1883
			10,000,000	20.334	17.267	1.1776
		0.05	100,000	5.1698	4.3598	1.1858
500,000			8.3013	7.1573	1.1598	
1,000,000			10.073	8.7945	1.1454	
5,000,000			15.7	14.085	1.1147	
10,000,000			19.058	17.267	1.1037	
0.025		100,000	4.9247	4.3598	1.1296	
		500,000	7.8984	7.1573	1.1035	
		1,000,000	9.5917	8.7945	1.0906	
		5,000,000	14.994	14.085	1.0645	
		10,000,000	18.22	17.267	1.0552	

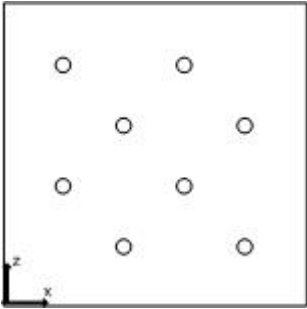
Çizelge 8. 8 yatay pim dizilimli küp için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.5194	4.3598	1.0366
			500,000	7.7023	7.1573	1.0761
			1,000,000	9.5544	8.7945	1.0864
			5,000,000	15.448	14.085	1.0968
			10,000,000	18.987	17.267	1.0996
		0.05	100,000	4.4948	4.3598	1.0310
			500,000	7.5426	7.1573	1.0538
			1,000,000	9.3119	8.7945	1.0588
			5,000,000	14.95	14.085	1.0614
			10,000,000	18.311	17.267	1.0605
		0.025	100,000	4.4349	4.3598	1.0172
			500,000	7.4011	7.1573	1.0341
			1,000,000	9.1267	8.7945	1.0378
			5,000,000	14.632	14.085	1.0388
			10,000,000	17.913	17.267	1.0374
	0.2	0.1	100,000	5.152	4.3598	1.1817
			500,000	8.8039	7.1573	1.2301
			1,000,000	10.823	8.7945	1.2307
			5,000,000	17.143	14.085	1.2171
			10,000,000	20.929	17.267	1.2121
		0.05	100,000	5.0801	4.3598	1.1652
			500,000	8.3847	7.1573	1.1715
			1,000,000	10.24	8.7945	1.1644
			5,000,000	16.161	14.085	1.1474
			10,000,000	19.704	17.267	1.1411
		0.025	100,000	4.9013	4.3598	1.1242
			500,000	8.0249	7.1573	1.1212
			1,000,000	9.7952	8.7945	1.1138
			5,000,000	15.453	14.085	1.0971
			10,000,000	18.836	17.267	1.0909
	0.3	0.1	100,000	5.699	4.3598	1.3072
			500,000	9.5555	7.1573	1.3351
			1,000,000	11.661	8.7945	1.3259
			5,000,000	18.297	14.085	1.2990
			10,000,000	22.297	17.267	1.2913
		0.05	100,000	5.5793	4.3598	1.2797
			500,000	8.9817	7.1573	1.2549
			1,000,000	10.895	8.7945	1.2388
			5,000,000	17.094	14.085	1.2136
			10,000,000	20.806	17.267	1.2050
0.025		100,000	5.3137	4.3598	1.2188	
		500,000	8.4804	7.1573	1.1849	
		1,000,000	10.287	8.7945	1.1697	
		5,000,000	16.138	14.085	1.1458	
		10,000,000	19.629	17.267	1.1368	

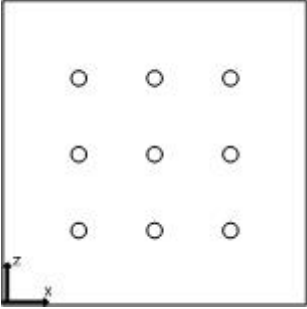
Çizelge 9. 8 dikey pim dizilimli küp için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.5611	4.3598	1.0462
			500,000	7.6173	7.1573	1.0643
			1,000,000	9.4157	8.7945	1.0706
			5,000,000	15.216	14.085	1.0803
			10,000,000	18.694	17.267	1.0826
		0.05	100,000	4.4853	4.3598	1.0288
			500,000	7.476	7.1573	1.0445
			1,000,000	9.2318	8.7945	1.0497
			5,000,000	14.865	14.085	1.0554
			10,000,000	18.225	17.267	1.0555
		0.025	100,000	4.4264	4.3598	1.0153
			500,000	7.3605	7.1573	1.0284
			1,000,000	9.0811	8.7945	1.0326
			5,000,000	14.595	14.085	1.0362
			10,000,000	17.88	17.267	1.0355
	0.2	0.1	100,000	5.1297	4.3598	1.1766
			500,000	8.5034	7.1573	1.1881
			1,000,000	10.463	8.7945	1.1897
			5,000,000	16.757	14.085	1.1897
			10,000,000	20.507	17.267	1.1876
		0.05	100,000	4.9654	4.3598	1.1389
			500,000	8.2069	7.1573	1.1466
			1,000,000	10.085	8.7945	1.1467
			5,000,000	16.068	14.085	1.1408
			10,000,000	19.624	17.267	1.1365
		0.025	100,000	4.8163	4.3598	1.1047
			500,000	7.933	7.1573	1.1084
			1,000,000	9.7324	8.7945	1.1066
			5,000,000	15.452	14.085	1.0971
			10,000,000	18.853	17.267	1.0919
	0.3	0.1	100,000	5.6174	4.3598	1.2885
			500,000	9.1702	7.1573	1.2812
			1,000,000	11.229	8.7945	1.2768
			5,000,000	17.882	14.085	1.2696
			10,000,000	21.86	17.267	1.2660
		0.05	100,000	5.3994	4.3598	1.2385
			500,000	8.7796	7.1573	1.2267
			1,000,000	10.741	8.7945	1.2213
			5,000,000	17.015	14.085	1.2080
			10,000,000	20.751	17.267	1.2018
		0.025	100,000	5.1848	4.3598	1.1892
			500,000	8.3951	7.1573	1.1729
			1,000,000	10.25	8.7945	1.1655
			5,000,000	16.168	14.085	1.1479
			10,000,000	19.687	17.267	1.1402

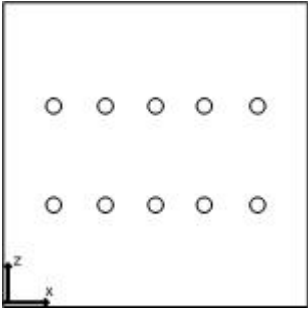
Çizelge 10. 8 karma pim dizilimli küp için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.5728	4.3598	1.0489
			500,000	7.7335	7.1573	1.0805
			1,000,000	9.5766	8.7945	1.0889
			5,000,000	15.481	14.085	1.0991
			10,000,000	19.028	17.267	1.1020
		0.05	100,000	4.4962	4.3598	1.0313
			500,000	7.5322	7.1573	1.0524
			1,000,000	9.3006	8.7945	1.0575
			5,000,000	14.949	14.085	1.0613
			10,000,000	18.308	17.267	1.0603
		0.025	100,000	4.4299	4.3598	1.0161
			500,000	7.3864	7.1573	1.0320
			1,000,000	9.1115	8.7945	1.0360
			5,000,000	14.624	14.085	1.0383
			10,000,000	17.954	17.267	1.0398
	0.2	0.1	100,000	5.2587	4.3598	1.2062
			500,000	8.8107	7.1573	1.2310
			1,000,000	10.807	8.7945	1.2288
			5,000,000	17.114	14.085	1.2151
			10,000,000	20.884	17.267	1.2095
		0.05	100,000	5.0523	4.3598	1.1588
			500,000	8.3437	7.1573	1.1658
			1,000,000	10.207	8.7945	1.1606
			5,000,000	16.102	14.085	1.1432
			10,000,000	19.601	17.267	1.1352
		0.025	100,000	4.8624	4.3598	1.1153
			500,000	7.9866	7.1573	1.1159
			1,000,000	9.7658	8.7945	1.1104
			5,000,000	15.409	14.085	1.0940
			10,000,000	18.77	17.267	1.0870
	0.3	0.1	100,000	5.8167	4.3598	1.3342
			500,000	9.5229	7.1573	1.3305
			1,000,000	11.591	8.7945	1.3180
			5,000,000	18.203	14.085	1.2924
			10,000,000	22.174	17.267	1.2842
		0.05	100,000	5.5247	4.3598	1.2672
500,000			8.9152	7.1573	1.2456	
1,000,000			10.835	8.7945	1.2320	
5,000,000			16.95	14.085	1.2034	
10,000,000			20.583	17.267	1.1920	
0.025		100,000	5.2478	4.3598	1.2037	
		500,000	8.4307	7.1573	1.1779	
		1,000,000	10.245	8.7945	1.1649	
		5,000,000	16.031	14.085	1.1382	
		10,000,000	19.494	17.267	1.1290	

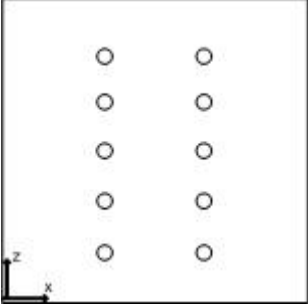
Çizelge 11. 9 pim dizimli küp için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.6412	4.3598	1.0645
			500,000	7.8305	7.1573	1.0941
			1,000,000	9.6884	8.7945	1.1016
			5,000,000	15.671	14.085	1.1126
			10,000,000	19.267	17.267	1.1158
		0.05	100,000	4.5685	4.3598	1.0479
			500,000	7.6447	7.1573	1.0681
			1,000,000	9.4411	8.7945	1.0735
			5,000,000	15.191	14.085	1.0785
			10,000,000	18.612	17.267	1.0779
		0.025	100,000	4.4986	4.3598	1.0318
			500,000	7.4988	7.1573	1.0477
			1,000,000	9.253	8.7945	1.0521
			5,000,000	14.862	14.085	1.0552
			10,000,000	18.201	17.267	1.0541
	0.2	0.1	100,000	5.3261	4.3598	1.2216
			500,000	8.9253	7.1573	1.2470
			1,000,000	10.953	8.7945	1.2454
			5,000,000	17.468	14.085	1.2402
			10,000,000	21.372	17.267	1.2377
		0.05	100,000	5.1609	4.3598	1.1837
			500,000	8.5163	7.1573	1.1899
			1,000,000	10.433	8.7945	1.1863
			5,000,000	16.542	14.085	1.1744
			10,000,000	20.177	17.267	1.1685
		0.025	100,000	4.9751	4.3598	1.1411
			500,000	8.1678	7.1573	1.1412
			1,000,000	9.9943	8.7945	1.1364
			5,000,000	15.801	14.085	1.1218
			10,000,000	19.26	17.267	1.1154
0.3	0.1	100,000	5.8836	4.3598	1.3495	
		500,000	9.684	7.1573	1.3530	
		1,000,000	11.805	8.7945	1.3423	
		5,000,000	18.686	14.085	1.3267	
		10,000,000	22.83	17.267	1.3222	
	0.05	100,000	5.6649	4.3598	1.2993	
		500,000	9.1499	7.1573	1.2784	
		1,000,000	11.143	8.7945	1.2670	
		5,000,000	17.564	14.085	1.2470	
		10,000,000	21.39	17.267	1.2388	
	0.025	100,000	5.4012	4.3598	1.2389	
		500,000	8.6725	7.1573	1.2117	
		1,000,000	10.548	8.7945	1.1994	
		5,000,000	16.568	14.085	1.1763	
		10,000,000	20.157	17.267	1.1674	

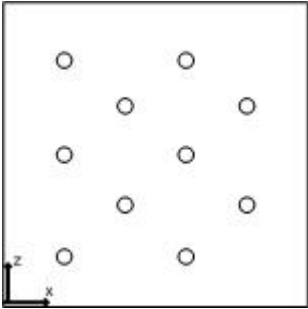
Çizelge 12. 10 yatay pim dizilimli küp için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.5046	4.3598	1.0332
			500,000	7.7909	7.1573	1.0885
			1,000,000	9.7493	8.7945	1.1086
			5,000,000	15.923	14.085	1.1305
			10,000,000	19.57	17.267	1.1334
		0.05	100,000	4.5653	4.3598	1.0471
			500,000	7.726	7.1573	1.0795
			1,000,000	9.5575	8.7945	1.0868
			5,000,000	15.343	14.085	1.0893
			10,000,000	18.782	17.267	1.0877
		0.025	100,000	4.5092	4.3598	1.0343
			500,000	7.5607	7.1573	1.0564
			1,000,000	9.3324	8.7945	1.0612
			5,000,000	14.954	14.085	1.0617
			10,000,000	18.294	17.267	1.0595
	0.2	0.1	100,000	4.8415	4.3598	1.1521
			500,000	8.5952	7.1573	1.1105
			1,000,000	10.717	8.7945	1.2009
			5,000,000	16.98	14.085	1.2055
			10,000,000	20.78	17.267	1.2035
		0.05	100,000	5.0093	4.3598	1.1490
			500,000	8.3644	7.1573	1.1687
			1,000,000	10.203	8.7945	1.1602
			5,000,000	15.943	14.085	1.1319
			10,000,000	19.367	17.267	1.1216
		0.025	100,000	4.8555	4.3598	1.1137
			500,000	7.9615	7.1573	1.1124
			1,000,000	9.6874	8.7945	1.1015
			5,000,000	15.112	14.085	1.0729
			10,000,000	18.33	17.267	1.0616
0.3	0.1	100,000	5.3504	4.3598	1.2272	
		500,000	9.3625	7.1573	1.3081	
		1,000,000	11.59	8.7945	1.3179	
		5,000,000	18.252	14.085	1.2958	
		10,000,000	22.104	17.267	1.2801	
	0.05	100,000	5.5406	4.3598	1.2708	
		500,000	9.0244	7.1573	1.2609	
		1,000,000	12.31	8.7945	1.3997	
		5,000,000	16.923	14.085	1.2015	
		10,000,000	20.536	17.267	1.1893	
	0.025	100,000	5.4882	4.3598	1.2588	
		500,000	8.4731	7.1573	1.1838	
		1,000,000	10.233	8.7945	1.1636	
		5,000,000	15.857	14.085	1.1258	
		10,000,000	19.193	17.267	1.1115	

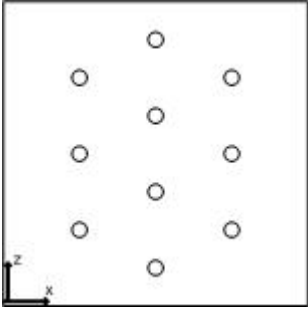
Çizelge 13. 10 dikey pim dizilimli küp için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.6396	4.3598	1.0642
			500,000	7.7547	7.1573	1.0835
			1,000,000	9.5899	8.7945	1.0904
			5,000,000	15.509	14.085	1.1011
			10,000,000	19.055	17.267	1.1036
		0.05	100,000	4.5577	4.3598	1.0454
			500,000	7.6072	7.1573	1.0629
			1,000,000	9.4002	8.7945	1.0689
			5,000,000	15.155	14.085	1.0760
			10,000,000	18.586	17.267	1.0764
		0.025	100,000	4.4917	4.3598	1.0303
			500,000	7.4804	7.1573	1.0451
			1,000,000	9.2353	8.7945	1.0501
			5,000,000	14.863	14.085	1.0552
			10,000,000	18.213	17.267	1.0548
	0.2	0.1	100,000	5.1809	4.3598	1.1883
			500,000	8.606	7.1573	1.2024
			1,000,000	10.596	8.7945	1.2048
			5,000,000	16.98	14.085	1.2055
			10,000,000	20.78	17.267	1.2035
		0.05	100,000	5.0816	4.3598	1.1656
			500,000	8.4156	7.1573	1.1758
			1,000,000	10.35	8.7945	1.1769
			5,000,000	16.51	14.085	1.1722
			10,000,000	20.171	17.267	1.1682
		0.025	100,000	4.8836	4.3598	1.1201
			500,000	8.0585	7.1573	1.1259
			1,000,000	9.8942	8.7945	1.1250
			5,000,000	15.727	14.085	1.1166
			10,000,000	19.189	17.267	1.1113
0.3	0.1	100,000	5.6719	4.3598	1.3010	
		500,000	9.2876	7.1573	1.2976	
		1,000,000	11.38	8.7945	1.2940	
		5,000,000	18.133	14.085	1.2874	
		10,000,000	22.163	17.267	1.2835	
	0.05	100,000	7.0096	4.3598	1.6078	
		500,000	10.139	7.1573	1.4166	
		1,000,000	11.97	8.7945	1.3611	
		5,000,000	18.025	14.085	1.2797	
		10,000,000	21.943	17.267	1.2708	
	0.025	100,000	5.342	4.3598	1.2253	
		500,000	8.6618	7.1573	1.2102	
		1,000,000	10.582	8.7945	1.2033	
		5,000,000	16.703	14.085	1.1859	
		10,000,000	20.34	17.267	1.1780	

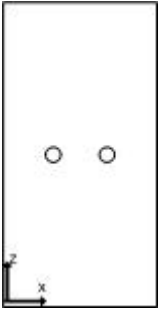
Çizelge 14. 10 karma pim dizilimli küp için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.6592	4.3598	1.0687
			500,000	7.9251	7.1573	1.1073
			1,000,000	9.8329	8.7945	1.1181
			5,000,000	15.92	14.085	1.1303
			10,000,000	19.58	17.267	1.1340
		0.05	100,000	4.5739	4.3598	1.0491
			500,000	7.6928	7.1573	1.0748
			1,000,000	9.5093	8.7945	1.0813
			5,000,000	15.306	14.085	1.0867
			10,000,000	18.756	17.267	1.0862
		0.025	100,000	4.5083	4.3598	1.0341
			500,000	7.5353	7.1573	1.0528
			1,000,000	9.3017	8.7945	1.0577
			5,000,000	14.942	14.085	1.0608
			10,000,000	18.292	17.267	1.0594
	0.2	0.1	100,000	5.3937	4.3598	1.2371
			500,000	9.1334	7.1573	1.2761
			1,000,000	11.231	8.7945	1.2770
			5,000,000	17.809	14.085	1.2644
			10,000,000	21.744	17.267	1.2593
		0.05	100,000	5.2179	4.3598	1.1968
			500,000	8.6519	7.1573	1.2088
			1,000,000	10.591	8.7945	1.2043
			5,000,000	16.711	14.085	1.1864
			10,000,000	20.35	17.267	1.1785
		0.025	100,000	5.0062	4.3598	1.1483
			500,000	8.2401	7.1573	1.1513
			1,000,000	10.077	8.7945	1.1458
			5,000,000	15.885	14.085	1.1278
			10,000,000	19.339	17.267	1.1200
	0.3	0.1	100,000	5.979	4.3598	1.3714
			500,000	9.9114	7.1573	1.3848
			1,000,000	12.09	8.7945	1.3747
			5,000,000	18.997	14.085	1.3487
			10,000,000	23.175	17.267	1.3422
		0.05	100,000	5.7435	4.3598	1.3174
			500,000	9.3007	7.1573	1.2995
			1,000,000	11.305	8.7945	1.2855
			5,000,000	17.718	14.085	1.2579
			10,000,000	21.554	17.267	1.2483
		0.025	100,000	5.4597	4.3598	1.2523
			500,000	8.7723	7.1573	1.2256
			1,000,000	10.654	8.7945	1.2114
			5,000,000	16.65	14.085	1.1821
			10,000,000	20.221	17.267	1.1711

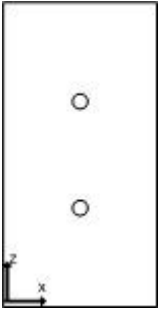
Çizelge 15. 10 karma (4 ortada) pim dizilimli küp için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.6628	4.3598	1.0695
			500,000	7.871	7.1573	1.0997
			1,000,000	9.744	8.7945	1.1080
			5,000,000	15.779	14.085	1.1203
			10,000,000	19.401	17.267	1.1236
		0.05	100,000	4.3885	4.3598	1.0066
			500,000	7.3348	7.1573	1.0248
			1,000,000	9.0492	8.7945	1.0290
			5,000,000	14.496	14.085	1.0292
			10,000,000	17.717	17.267	1.0261
		0.025	100,000	4.5101	4.3598	1.0345
			500,000	7.5232	7.1573	1.0511
			1,000,000	9.288	8.7945	1.0561
			5,000,000	14.943	14.085	1.0609
			10,000,000	18.307	17.267	1.0602
	0.2	0.1	100,000	5.1358	4.3598	1.1780
			500,000	8.6092	7.1573	1.2029
			1,000,000	10.563	8.7945	1.2011
			5,000,000	16.775	14.085	1.1910
			10,000,000	20.482	17.267	1.1862
		0.05	100,000	5.1804	4.3598	1.1882
			500,000	8.5684	7.1573	1.1972
			1,000,000	10.509	8.7945	1.1950
			5,000,000	16.691	14.085	1.1850
			10,000,000	20.36	17.267	1.1791
		0.025	100,000	4.7925	4.3598	1.0992
			500,000	7.8689	7.1573	1.0994
			1,000,000	9.625	8.7945	1.0944
			5,000,000	15.154	14.085	1.0759
			10,000,000	18.423	17.267	1.0669
0.3	0.1	100,000	5.6729	4.3598	1.3012	
		500,000	9.3544	7.1573	1.3070	
		1,000,000	11.402	8.7945	1.2965	
		5,000,000	17.955	14.085	1.2748	
		10,000,000	21.895	17.267	1.2680	
	0.05	100,000	5.4727	4.3598	1.2553	
		500,000	8.8478	7.1573	1.2362	
		1,000,000	10.769	8.7945	1.2245	
		5,000,000	16.898	14.085	1.1997	
		10,000,000	20.539	17.267	1.1895	
	0.025	100,000	5.2151	4.3598	1.1962	
		500,000	8.3811	7.1573	1.1710	
		1,000,000	10.191	8.7945	1.1588	
		5,000,000	15.931	14.085	1.1311	
		10,000,000	19.333	17.267	1.1197	

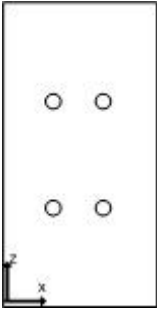
Çizelge 16. 2 yatay pim dizimli kare prizma için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.617	4.3325	1.0657
			500,000	7.5416	6.8769	1.0967
			1,000,000	9.2334	8.3545	1.1052
			5,000,000	14.709	13.163	1.1175
			10,000,000	18.005	16.067	1.1206
		0.05	100,000	4.6253	4.3325	1.0676
			500,000	7.4595	6.8769	1.0847
			1,000,000	9.0929	8.3545	1.0884
			5,000,000	14.406	13.163	1.0944
			10,000,000	17.618	16.067	1.0965
		0.025	100,000	4.5929	4.3325	1.0601
			500,000	7.372	6.8769	1.0720
			1,000,000	8.9811	8.3545	1.0750
			5,000,000	14.232	13.163	1.0812
			10,000,000	17.411	16.067	1.0836
	0.2	0.1	100,000	4.9823	4.3325	1.1500
			500,000	8.2635	6.8769	1.2016
			1,000,000	10.039	8.3545	1.2016
			5,000,000	15.724	13.163	1.1946
			10,000,000	19.119	16.067	1.1900
		0.05	100,000	4.9726	4.3325	1.1477
			500,000	7.9728	6.8769	1.1594
			1,000,000	9.6281	8.3545	1.1524
			5,000,000	15.058	13.163	1.1440
			10,000,000	18.388	16.067	1.1445
		0.025	100,000	4.8597	4.3325	1.1217
			500,000	7.7266	6.8769	1.1236
			1,000,000	9.3405	8.3545	1.1180
			5,000,000	14.676	13.163	1.1149
			10,000,000	17.924	16.067	1.1156
	0.3	0.1	100,000	5.3026	4.3325	1.2239
			500,000	8.752	6.8769	1.2727
			1,000,000	10.662	8.3545	1.2762
			5,000,000	16.567	13.163	1.2586
			10,000,000	20.121	16.067	1.2523
		0.05	100,000	5.2305	4.3325	1.2073
500,000			8.3358	6.8769	1.2121	
1,000,000			10.057	8.3545	1.2038	
5,000,000			15.63	13.163	1.1874	
10,000,000			19.027	16.067	1.1842	
0.025		100,000	5.0599	4.3325	1.1679	
		500,000	7.9912	6.8769	1.1620	
		1,000,000	9.6402	8.3545	1.1539	
		5,000,000	15.056	13.163	1.1438	
		10,000,000	18.351	16.067	1.1422	

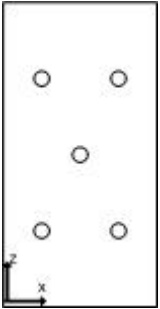
Çizelge 17. 2 dikey pim dizimli kare prizma için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.6831	4.3325	1.0809
			500,000	7.5683	6.8769	1.1005
			1,000,000	9.233	8.3545	1.1052
			5,000,000	14.695	13.163	1.1164
			10,000,000	18.017	16.067	1.1214
		0.05	100,000	4.6371	4.3325	1.0703
			500,000	7.4484	6.8769	1.0831
			1,000,000	9.0776	8.3545	1.0866
			5,000,000	14.399	13.163	1.0939
			10,000,000	17.618	16.067	1.0965
		0.025	100,000	4.6001	4.3325	1.0618
			500,000	7.3668	6.8769	1.0712
			1,000,000	8.9742	8.3545	1.0742
			5,000,000	14.224	13.163	1.0806
			10,000,000	17.401	16.067	1.0830
	0.2	0.1	100,000	5.0823	4.3325	1.1731
			500,000	8.2574	6.8769	1.2007
			1,000,000	10.029	8.3545	1.2004
			5,000,000	15.775	13.163	1.1984
			10,000,000	19.248	16.067	1.1980
		0.05	100,000	4.9582	4.3325	1.1444
			500,000	7.9468	6.8769	1.1556
			1,000,000	9.6282	8.3545	1.1525
			5,000,000	15.099	13.163	1.1471
			10,000,000	18.407	16.067	1.1456
		0.025	100,000	4.8503	4.3325	1.1195
			500,000	7.7226	6.8769	1.1230
			1,000,000	9.3518	8.3545	1.1194
			5,000,000	14.669	13.163	1.1144
			10,000,000	17.891	16.067	1.1135
	0.3	0.1	100,000	5.4058	4.3325	1.2477
			500,000	8.7117	6.8769	1.2668
			1,000,000	10.619	8.3545	1.2711
			5,000,000	16.677	13.163	1.2670
			10,000,000	20.315	16.067	1.2644
		0.05	100,000	5.2172	4.3325	1.2042
500,000			8.3133	6.8769	1.2089	
1,000,000			10.077	8.3545	1.2062	
5,000,000			15.747	13.163	1.1963	
10,000,000			19.15	16.067	1.1919	
0.025		100,000	5.0567	4.3325	1.1672	
		500,000	7.996	6.8769	1.1627	
		1,000,000	9.6692	8.3545	1.1574	
		5,000,000	15.087	13.163	1.1462	
		10,000,000	18.35	16.067	1.1421	

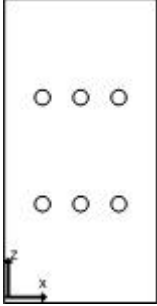
Çizelge 18. 4 pim dizilimli kare prizma için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.6698	4.3325	1.0779
			500,000	7.7725	6.8769	1.1302
			1,000,000	9.5498	8.3545	1.1431
			5,000,000	15.217	13.163	1.1560
			10,000,000	18.608	16.067	1.1582
		0.05	100,000	4.4942	4.3325	1.0373
			500,000	7.3436	6.8769	1.0679
			1,000,000	8.964	8.3545	1.0730
			5,000,000	14.124	13.163	1.0730
			10,000,000	17.209	16.067	1.0711
		0.025	100,000	4.4473	4.3325	1.0265
			500,000	7.2013	6.8769	1.0472
			1,000,000	8.7759	8.3545	1.0504
			5,000,000	13.807	13.163	1.0489
			10,000,000	16.818	16.067	1.0467
	0.2	0.1	100,000	5.1574	4.3325	1.1904
			500,000	8.8971	6.8769	1.2938
			1,000,000	10.921	8.3545	1.3072
			5,000,000	17.137	13.163	1.3019
			10,000,000	20.83	16.067	1.2964
		0.05	100,000	5.3468	4.3325	1.2341
			500,000	8.7536	6.8769	1.2729
			1,000,000	10.579	8.3545	1.2663
			5,000,000	16.413	13.163	1.2469
			10,000,000	19.959	16.067	1.2422
		0.025	100,000	4.8706	4.3325	1.1242
			500,000	7.8302	6.8769	1.1386
			1,000,000	9.4369	8.3545	1.1296
			5,000,000	14.574	13.163	1.1072
			10,000,000	17.675	16.067	1.1001
	0.3	0.1	100,000	5.7022	4.3325	1.3161
			500,000	9.6888	6.8769	1.4089
			1,000,000	11.946	8.3545	1.4299
			5,000,000	18.684	13.163	1.4194
			10,000,000	22.671	16.067	1.4110
		0.05	100,000	5.74	4.3325	1.3249
500,000			9.2955	6.8769	1.3517	
1,000,000			11.232	8.3545	1.3444	
5,000,000			17.364	13.163	1.3192	
10,000,000			21.097	16.067	1.3131	
0.025		100,000	5.303	4.3325	1.2240	
		500,000	8.4097	6.8769	1.2229	
		1,000,000	10.111	8.3545	1.2102	
		5,000,000	15.544	13.163	1.1809	
		10,000,000	18.811	16.067	1.1708	

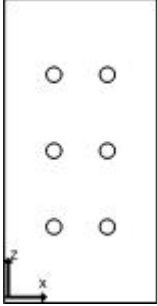
Çizelge 19. 5 pim dizilimli kare prizma için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.8934	4.3325	1.1295
			500,000	8.1681	6.8769	1.1878
			1,000,000	10.061	8.3545	1.2043
			5,000,000	16.167	13.163	1.2282
			10,000,000	19.795	16.067	1.2320
		0.05	100,000	4.8461	4.3325	1.1185
			500,000	7.9416	6.8769	1.1548
			1,000,000	9.7259	8.3545	1.1642
			5,000,000	15.443	13.163	1.1732
			10,000,000	18.844	16.067	1.1728
		0.025	100,000	4.7747	4.3325	1.1021
			500,000	7.7509	6.8769	1.1271
			1,000,000	9.4732	8.3545	1.1339
			5,000,000	15.013	13.163	1.1405
			10,000,000	18.322	16.067	1.1403
	0.2	0.1	100,000	5.1879	4.3325	1.1974
			500,000	8.8655	6.8769	1.2892
			1,000,000	10.821	8.3545	1.2952
			5,000,000	16.816	13.163	1.2775
			10,000,000	20.336	16.067	1.2657
		0.05	100,000	5.1096	4.3325	1.1794
			500,000	8.3918	6.8769	1.2203
			1,000,000	10.144	8.3545	1.2142
			5,000,000	15.646	13.163	1.1886
			10,000,000	18.913	16.067	1.1771
		0.025	100,000	4.9461	4.3325	1.1416
			500,000	7.9831	6.8769	1.1609
			1,000,000	9.6312	8.3545	1.1528
			5,000,000	14.86	13.163	1.1289
			10,000,000	17.98	16.067	1.1191
0.3	0.1	100,000	5.6438	4.3325	1.3027	
		500,000	9.4185	6.8769	1.3696	
		1,000,000	11.475	8.3545	1.3735	
		5,000,000	17.879	13.163	1.3583	
		10,000,000	21.654	16.067	1.3477	
	0.05	100,000	5.5279	4.3325	1.2759	
		500,000	8.9051	6.8769	1.2949	
		1,000,000	10.747	8.3545	1.2864	
		5,000,000	16.554	13.163	1.2576	
		10,000,000	20.022	16.067	1.2462	
	0.025	100,000	5.3099	4.3325	1.2256	
		500,000	8.4209	6.8769	1.2245	
		1,000,000	10.131	8.3545	1.2126	
		5,000,000	15.572	13.163	1.1830	
		10,000,000	18.822	16.067	1.1715	

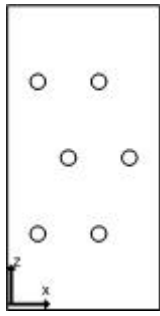
Çizelge 20. 6 yatay pim dizilimli kare prizma için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.3143	4.3325	0.9958
			500,000	7.2222	6.8769	1.0502
			1,000,000	8.9605	8.3545	1.0725
			5,000,000	14.764	13.163	1.1216
			10,000,000	18.292	16.067	1.1385
		0.05	100,000	4.4868	4.3325	1.0356
			500,000	7.4841	6.8769	1.0883
			1,000,000	9.1995	8.3545	1.1011
			5,000,000	14.571	13.163	1.1070
			10,000,000	17.727	16.067	1.1033
		0.025	100,000	4.4744	4.3325	1.0328
			500,000	7.3339	6.8769	1.0665
			1,000,000	8.967	8.3545	1.0733
			5,000,000	14.114	13.163	1.0722
			10,000,000	17.166	16.067	1.0684
	0.2	0.1	100,000	4.5657	4.3325	1.0538
			500,000	8.1397	6.8769	1.1836
			1,000,000	10.167	8.3545	1.2169
			5,000,000	16.75	13.163	1.2725
			10,000,000	20.664	16.067	1.2861
		0.05	100,000	5.2555	4.3325	1.2130
			500,000	8.9881	6.8769	1.3070
			1,000,000	10.952	8.3545	1.3109
			5,000,000	16.948	13.163	1.2875
			10,000,000	20.51	16.067	1.2765
		0.025	100,000	5.012	4.3325	1.1568
			500,000	8.2075	6.8769	1.1935
			1,000,000	9.8939	8.3545	1.1843
			5,000,000	15.158	13.163	1.1516
			10,000,000	18.329	16.067	1.1408
	0.3	0.1	100,000	4.9268	4.3325	1.1372
			500,000	8.7155	6.8769	1.2674
			1,000,000	10.955	8.3545	1.3113
			5,000,000	18.003	13.163	1.3677
			10,000,000	22.143	16.067	1.3782
		0.05	100,000	5.4314	4.3325	1.2536
500,000			9.1792	6.8769	1.3348	
1,000,000			11.187	8.3545	1.3390	
5,000,000			17.146	13.163	1.3026	
10,000,000			20.686	16.067	1.2875	
0.025		100,000	5.515	4.3325	1.2729	
		500,000	8.8959	6.8769	1.2936	
		1,000,000	10.697	8.3545	1.2804	
		5,000,000	16.292	13.163	1.2377	
		10,000,000	19.701	16.067	1.2262	

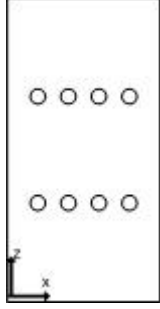
Çizelge 21. 6 dikey pim dizilimli kare prizma için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.7325	4.3325	1.0923
			500,000	7.9884	6.8769	1.1616
			1,000,000	9.8715	8.3545	1.1816
			5,000,000	15.911	13.163	1.2088
			10,000,000	19.521	16.067	1.2150
		0.05	100,000	4.7636	4.3325	1.0995
			500,000	7.8617	6.8769	1.1432
			1,000,000	9.63	8.3545	1.1527
			5,000,000	15.294	13.163	1.1619
			10,000,000	18.678	16.067	1.1625
		0.025	100,000	4.6975	4.3325	1.0842
			500,000	7.6641	6.8769	1.1145
			1,000,000	9.3695	8.3545	1.1215
			5,000,000	14.854	13.163	1.1285
			10,000,000	18.135	16.067	1.1287
	0.2	0.1	100,000	5.2377	4.3325	1.2089
			500,000	9.1781	6.8769	1.3346
			1,000,000	11.367	8.3545	1.3606
			5,000,000	18.047	13.163	1.3710
			10,000,000	21.961	16.067	1.3668
		0.05	100,000	5.3673	4.3325	1.2388
			500,000	8.9533	6.8769	1.3019
			1,000,000	10.872	8.3545	1.3013
			5,000,000	16.902	13.163	1.2841
			10,000,000	20.533	16.067	1.2780
		0.025	100,000	5.2425	4.3325	1.2100
			500,000	8.53	6.8769	1.2404
			1,000,000	10.307	8.3545	1.2337
			5,000,000	15.99	13.163	1.2148
			10,000,000	19.418	16.067	1.2086
	0.3	0.1	100,000	5.663	4.3325	1.3071
			500,000	9.7258	6.8769	1.4143
			1,000,000	12.088	8.3545	1.4469
			5,000,000	19.28	13.163	1.4647
			10,000,000	23.469	16.067	1.4607
		0.05	100,000	5.7894	4.3325	1.3363
500,000			9.5376	6.8769	1.3869	
1,000,000			11.596	8.3545	1.3880	
5,000,000			18.012	13.163	1.3684	
10,000,000			21.876	16.067	1.3615	
0.025		100,000	5.6357	4.3325	1.3008	
		500,000	9.0503	6.8769	1.3160	
		1,000,000	10.922	8.3545	1.3073	
		5,000,000	16.871	13.163	1.2817	
		10,000,000	20.459	16.067	1.2734	

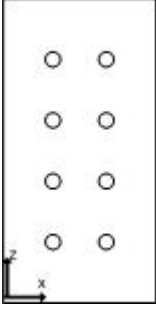
Çizelge 22. 6 karma pim dizilimli kare prizma için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.5516	4.3325	1.0506
			500,000	7.6765	6.8769	1.1163
			1,000,000	9.4969	8.3545	1.1367
			5,000,000	15.326	13.163	1.1643
			10,000,000	18.747	16.067	1.1668
		0.05	100,000	4.5529	4.3325	1.0509
			500,000	7.5154	6.8769	1.0928
			1,000,000	9.2169	8.3545	1.1032
			5,000,000	14.595	13.163	1.1088
			10,000,000	17.747	16.067	1.1046
		0.025	100,000	4.4877	4.3325	1.0358
			500,000	7.3248	6.8769	1.0651
			1,000,000	8.9576	8.3545	1.0722
			5,000,000	14.14	13.163	1.0742
			10,000,000	17.198	16.067	1.0704
	0.2	0.1	100,000	5.0987	4.3325	1.1768
			500,000	8.9526	6.8769	1.3018
			1,000,000	11.041	8.3545	1.3216
			5,000,000	17.283	13.163	1.3130
			10,000,000	20.864	16.067	1.2986
		0.05	100,000	5.3995	4.3325	1.2463
			500,000	8.9821	6.8769	1.3061
			1,000,000	10.894	8.3545	1.3040
			5,000,000	16.861	13.163	1.2809
			10,000,000	20.427	16.067	1.2714
		0.025	100,000	5.2505	4.3325	1.2119
			500,000	8.5305	6.8769	1.2405
			1,000,000	10.306	8.3545	1.2336
			5,000,000	15.974	13.163	1.2136
			10,000,000	19.378	16.067	1.2061
0.3	0.1	100,000	5.5372	4.3325	1.2781	
		500,000	9.5146	6.8769	1.3836	
		1,000,000	11.72	8.3545	1.4028	
		5,000,000	18.346	13.163	1.3938	
		10,000,000	22.207	16.067	1.3821	
	0.05	100,000	5.5943	4.3325	1.2912	
		500,000	9.1369	6.8769	1.3286	
		1,000,000	11.059	8.3545	1.3237	
		5,000,000	17.043	13.163	1.2948	
		10,000,000	20.608	16.067	1.2826	
	0.025	100,000	5.6523	4.3325	1.3046	
		500,000	9.0301	6.8769	1.3131	
		1,000,000	10.887	8.3545	1.3031	
		5,000,000	16.82	13.163	1.2778	
		10,000,000	20.373	16.067	1.2680	

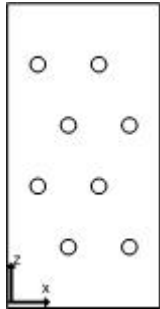
Çizelge 23. 8 yatay pim dizilimli kare prizma için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO			
	0.1	0.1	100,000	Daireler kesişti	4.3325	Daireler kesişti			
			500,000		6.8769				
			1,000,000		8.3545				
			5,000,000		13.163				
			10,000,000		16.067				
		0.05	100,000	4.6204	4.3325	1.0665			
			500,000	7.8253	6.8769	1.1379			
			1,000,000	9.7303	8.3545	1.1647			
			5,000,000	15.762	13.163	1.1974			
			10,000,000	19.262	16.067	1.1989			
		0.025	100,000	4.6851	4.3325	1.0814			
			500,000	7.7794	6.8769	1.1312			
			1,000,000	9.5642	8.3545	1.1448			
			5,000,000	15.19	13.163	1.1540			
			10,000,000	18.506	16.067	1.1518			
	0.2	0.1	0.1	100,000	Daireler kesişti	4.3325	Daireler kesişti		
				500,000		6.8769			
				1,000,000		8.3545			
				5,000,000		13.163			
				10,000,000		16.067			
		0.05	0.05	0.05	100,000	Hata veriyor.	4.3325		
					500,000		6.8769		
					1,000,000		8.3545		
					5,000,000		13.163		
					10,000,000		16.067		
		0.025	0.025	0.025	100,000	5.2953	4.3325	1.2222	
					500,000		8.8867	6.8769	1.2923
					1,000,000		10.766	8.3545	1.2886
					5,000,000		16.532	13.163	1.2559
					10,000,000		19.975	16.067	1.2432
0.3	0.1	0.1	100,000	Daireler kesişti	4.3325	Daireler kesişti			
			500,000		6.8769				
			1,000,000		8.3545				
			5,000,000		13.163				
			10,000,000		16.067				
	0.05	0.05	0.05	100,000	Hata veriyor.	4.3325			
				500,000		6.8769			
				1,000,000		8.3545			
				5,000,000		13.163			
				10,000,000		16.067			
	0.025	0.025	0.025	100,000	5.722	4.3325	1.3207		
				500,000		9.4678	6.8769	1.3768	
				1,000,000		11.455	8.3545	1.3711	
				5,000,000		17.467	13.163	1.3270	
				10,000,000		21.097	16.067	1.3131	

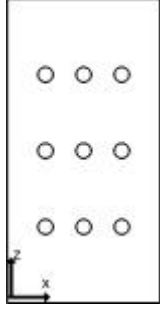
Çizelge 24. 8 dikey pim dizilimli kare prizma için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.7743	4.3325	1.1020
			500,000	8.1071	6.8769	1.1789
			1,000,000	10.045	8.3545	1.2023
			5,000,000	16.258	13.163	1.2351
			10,000,000	19.953	16.067	1.2419
		0.05	100,000	4.8111	4.3325	1.1105
			500,000	7.9988	6.8769	1.1631
			1,000,000	9.8174	8.3545	1.1751
			5,000,000	15.627	13.163	1.1872
			10,000,000	19.094	16.067	1.1884
		0.025	100,000	4.7378	4.3325	1.0935
			500,000	7.7749	6.8769	1.1306
			1,000,000	9.5176	8.3545	1.1392
			5,000,000	15.112	13.163	1.1481
			10,000,000	18.446	16.067	1.1481
	0.2	0.1	100,000	5.2708	4.3325	1.2166
			500,000	9.3211	6.8769	1.3554
			1,000,000	11.594	8.3545	1.3878
			5,000,000	18.572	13.163	1.4109
			10,000,000	22.624	16.067	1.4081
		0.05	100,000	5.4467	4.3325	1.2572
			500,000	9.2012	6.8769	1.3380
			1,000,000	11.221	8.3545	1.3431
			5,000,000	17.501	13.163	1.3296
			10,000,000	21.255	16.067	1.3229
		0.025	100,000	5.3526	4.3325	1.2355
			500,000	8.7932	6.8769	1.2787
			1,000,000	10.65	8.3545	1.2748
			5,000,000	16.53	13.163	1.2558
			10,000,000	20.061	16.067	1.2486
	0.3	0.1	100,000	5.6967	4.3325	1.3149
			500,000	9.8312	6.8769	1.4296
			1,000,000	12.257	8.3545	1.4671
			5,000,000	19.791	13.163	1.5035
			10,000,000	24.167	16.067	1.5041
		0.05	100,000	5.8765	4.3325	1.3564
			500,000	9.8003	6.8769	1.4251
			1,000,000	11.964	8.3545	1.4320
			5,000,000	18.697	13.163	1.4204
			10,000,000	22.695	16.067	1.4125
		0.025	100,000	5.7769	4.3325	1.3334
			500,000	9.3667	6.8769	1.3621
			1,000,000	11.338	8.3545	1.3571
			5,000,000	17.527	13.163	1.3315
			10,000,000	21.255	16.067	1.3229

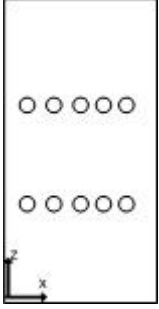
Çizelge 25. 8 karma pim dizilimli kare prizma için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.7907	4.3325	1.1058
			500,000	8.1781	6.8769	1.1892
			1,000,000	10.188	8.3545	1.2195
			5,000,000	16.679	13.163	1.2671
			10,000,000	20.513	16.067	1.2767
		0.05	100,000	4.8116	4.3325	1.1106
			500,000	8.0274	6.8769	1.1673
			1,000,000	9.8898	8.3545	1.1838
			5,000,000	15.805	13.163	1.2007
			10,000,000	19.273	16.067	1.1995
		0.025	100,000	4.7341	4.3325	1.0927
			500,000	7.7873	6.8769	1.1324
			1,000,000	9.5548	8.3545	1.1437
			5,000,000	15.191	13.163	1.1541
			10,000,000	18.518	16.067	1.1525
	0.2	0.1	100,000	5.3287	4.3325	1.2299
			500,000	9.5685	6.8769	1.3914
			1,000,000	11.921	8.3545	1.4269
			5,000,000	18.989	13.163	1.4426
			10,000,000	22.999	16.067	1.4314
		0.05	100,000	5.4975	4.3325	1.2689
			500,000	9.3076	6.8769	1.3535
			1,000,000	11.347	8.3545	1.3582
			5,000,000	17.53	13.163	1.3318
			10,000,000	21.178	16.067	1.3181
		0.025	100,000	5.3706	4.3325	1.2396
			500,000	8.8286	6.8769	1.2838
			1,000,000	10.68	8.3545	1.2784
			5,000,000	16.476	13.163	1.2517
			10,000,000	19.947	16.067	1.2415
	0.3	0.1	100,000	5.7617	4.3325	1.3299
			500,000	10.097	6.8769	1.4682
			1,000,000	12.561	8.3545	1.5035
			5,000,000	20.01	13.163	1.5202
			10,000,000	24.306	16.067	1.5128
		0.05	100,000	5.9518	4.3325	1.3738
500,000			9.8849	6.8769	1.4374	
1,000,000			12.027	8.3545	1.4396	
5,000,000			18.597	13.163	1.4128	
10,000,000			22.502	16.067	1.4005	
0.025		100,000	5.8123	4.3325	1.3416	
		500,000	9.3823	6.8769	1.3643	
		1,000,000	11.318	8.3545	1.3547	
		5,000,000	17.409	13.163	1.3226	
		10,000,000	21.075	16.067	1.3117	

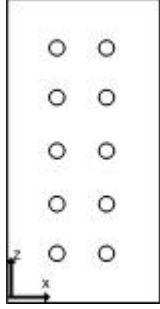
Çizelge 26. 9 pim dizilimli kare prizma için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.5406	4.3325	1.0480
			500,000	7.6762	6.8769	1.1162
			1,000,000	9.5727	8.3545	1.1458
			5,000,000	16.003	13.163	1.2158
			10,000,000	19.957	16.067	1.2421
		0.05	100,000	4.539	4.3325	1.0477
			500,000	7.6782	6.8769	1.1165
			1,000,000	9.4825	8.3545	1.1350
			5,000,000	15.11	13.163	1.1479
			10,000,000	18.382	16.067	1.1441
		0.025	100,000	4.5252	4.3325	1.0445
			500,000	7.4978	6.8769	1.0903
			1,000,000	9.1958	8.3545	1.1007
			5,000,000	14.525	13.163	1.1035
			10,000,000	17.647	16.067	1.0983
	0.2	0.1	100,000	4.8172	4.3325	1.1119
			500,000	8.7402	6.8769	1.2710
			1,000,000	11.004	8.3545	1.3171
			5,000,000	18.375	13.163	1.3960
			10,000,000	22.794	16.067	1.4187
		0.05	100,000	5.1186	4.3325	1.1814
			500,000	8.9412	6.8769	1.3002
			1,000,000	10.992	8.3545	1.3157
			5,000,000	17.072	13.163	1.2970
			10,000,000	20.594	16.067	1.2818
		0.025	100,000	5.3894	4.3325	1.2439
			500,000	8.987	6.8769	1.3068
			1,000,000	10.89	8.3545	1.3035
			5,000,000	16.773	13.163	1.2743
			10,000,000	20.291	16.067	1.2629
	0.3	0.1	100,000	5.1891	4.3325	1.1977
			500,000	9.2615	6.8769	1.3468
			1,000,000	11.728	8.3545	1.4038
			5,000,000	19.588	13.163	1.4881
			10,000,000	24.26	16.067	1.5099
		0.05	100,000	5.653	4.3325	1.3048
500,000			9.7193	6.8769	1.4133	
1,000,000			11.954	8.3545	1.4308	
5,000,000			18.583	13.163	1.4118	
10,000,000			22.441	16.067	1.3967	
0.025		100,000	5.8277	4.3325	1.3451	
		500,000	9.5711	6.8769	1.3918	
		1,000,000	11.588	8.3545	1.3870	
		5,000,000	17.785	13.163	1.3511	
		10,000,000	21.507	16.067	1.3386	

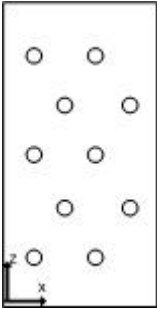
Çizelge 27. 10 yatay pim dizilimli kare prizma için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	Daireler kesiştigi için modellenmedi	4.3325	
			500,000		6.8769	
			1,000,000		8.3545	
			5,000,000		13.163	
			10,000,000		16.067	
		0.05	100,000	4.5199	4.3325	1.0433
			500,000	7.6374	6.8769	1.1106
			1,000,000	9.5716	8.3545	1.1457
			5,000,000	15.938	13.163	1.2108
			10,000,000	19.644	16.067	1.2226
		0.025	100,000	4.6669	4.3325	1.0772
			500,000	7.839	6.8769	1.1399
			1,000,000	9.6849	8.3545	1.1592
			5,000,000	15.462	13.163	1.1747
			10,000,000	18.818	16.067	1.1712
	0.2	0.1	100,000	Daireler kesiştigi için modellenmedi	4.3325	
			500,000		6.8769	
			1,000,000		8.3545	
			5,000,000		13.163	
			10,000,000		16.067	
		0.05	100,000	4.8262	4.3325	1.1140
			500,000	8.7868	6.8769	1.2777
			1,000,000	11.091	8.3545	1.3275
			5,000,000	18.209	13.163	1.3833
			10,000,000	22.219	16.067	1.3829
		0.025	100,000	5.2754	4.3325	1.2176
			500,000	9.0773	6.8769	1.3200
			1,000,000	11.068	8.3545	1.3248
			5,000,000	17.031	13.163	1.2939
			10,000,000	20.496	16.067	1.2757
0.3	0.1	100,000	Daireler kesiştigi için modellenmedi	4.3325		
		500,000		6.8769		
		1,000,000		8.3545		
		5,000,000		13.163		
		10,000,000		16.067		
	0.05	100,000	5.1958	4.3325	1.1993	
		500,000	9.4748	6.8769	1.3778	
		1,000,000	11.954	8.3545	1.4308	
		5,000,000	19.404	13.163	1.4741	
		10,000,000	23.613	16.067	1.4697	
	0.025	100,000	5.471	4.3325	1.2628	
		500,000	9.2769	6.8769	1.3490	
		1,000,000	11.294	8.3545	1.3518	
		5,000,000	17.174	13.163	1.3047	
		10,000,000	20.595	16.067	1.2818	

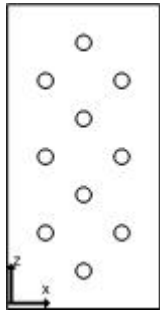
Çizelge 28. 10 dikey pim diziliimli kare prizma için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.8051	4.3325	1.1091
			500,000	8.1855	6.8769	1.1903
			1,000,000	10.159	8.3545	1.2160
			5,000,000	16.5	13.163	1.2535
			10,000,000	20.257	16.067	1.2608
		0.05	100,000	4.8469	4.3325	1.1187
			500,000	8.1028	6.8769	1.1783
			1,000,000	9.9613	8.3545	1.1923
			5,000,000	15.881	13.163	1.2065
			10,000,000	19.407	16.067	1.2079
		0.025	100,000	4.773	4.3325	1.1017
			500,000	7.8692	6.8769	1.1443
			1,000,000	9.6452	8.3545	1.1545
			5,000,000	15.34	13.163	1.1654
			10,000,000	18.733	16.067	1.1659
	0.2	0.1	100,000	5.2807	4.3325	1.2189
			500,000	9.3945	6.8769	1.3661
			1,000,000	11.716	8.3545	1.4024
			5,000,000	18.887	13.163	1.4349
			10,000,000	23.033	16.067	1.4336
		0.05	100,000	5.4928	4.3325	1.2678
			500,000	9.3705	6.8769	1.3626
			1,000,000	11.463	8.3545	1.3721
			5,000,000	17.936	13.163	1.3626
			10,000,000	21.792	16.067	1.3563
		0.025	100,000	5.4305	4.3325	1.2534
			500,000	8.9895	6.8769	1.3072
			1,000,000	10.911	8.3545	1.3060
			5,000,000	16.967	13.163	1.2890
			10,000,000	20.589	16.067	1.2814
0.3	0.1	100,000	5.7008	4.3325	1.3158	
		500,000	9.8712	6.8769	1.4354	
		1,000,000	12.336	8.3545	1.4766	
		5,000,000	20.049	13.163	1.5231	
		10,000,000	24.527	16.067	1.5265	
	0.05	100,000	5.9164	4.3325	1.3656	
		500,000	9.9631	6.8769	1.4488	
		1,000,000	12.201	8.3545	1.4604	
		5,000,000	19.169	13.163	1.4563	
		10,000,000	23.302	16.067	1.4503	
	0.025	100,000	5.8692	4.3325	1.3547	
		500,000	9.5906	6.8769	1.3946	
		1,000,000	11.636	8.3545	1.3928	
		5,000,000	18.058	13.163	1.3719	
		10,000,000	21.889	16.067	1.3624	

Çizelge 29. 10 karma pim dizilimli kare prizma için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.7923	4.3325	1.1061
			500,000	8.2493	6.8769	1.1996
			1,000,000	10.331	8.3545	1.2366
			5,000,000	17.086	13.163	1.2980
			10,000,000	21.071	16.067	1.3114
		0.05	100,000	4.6308	4.3325	1.0689
			500,000	7.7947	6.8769	1.1335
			1,000,000	9.6243	8.3545	1.1520
			5,000,000	15.356	13.163	1.1666
			10,000,000	18.683	16.067	1.1628
		0.025	100,000	4.7712	4.3325	1.1013
			500,000	7.9062	6.8769	1.1497
			1,000,000	9.7222	8.3545	1.1637
			5,000,000	15.489	13.163	1.1767
			10,000,000	18.877	16.067	1.1749
	0.2	0.1	100,000	5.2601	4.3325	1.2141
			500,000	9.6329	6.8769	1.4008
			1,000,000	12.102	8.3545	1.4486
			5,000,000	19.591	13.163	1.4883
			10,000,000	23.819	16.067	1.4825
		0.05	100,000	5.5455	4.3325	1.2800
			500,000	9.5375	6.8769	1.3869
			1,000,000	11.694	8.3545	1.3997
			5,000,000	18.149	13.163	1.3788
			10,000,000	21.89	16.067	1.3624
		0.025	100,000	5.2263	4.3325	1.2063
			500,000	8.6868	6.8769	1.2632
			1,000,000	10.524	8.3545	1.2597
			5,000,000	16.115	13.163	1.2243
			10,000,000	19.411	16.067	1.2081
0.3	0.1	100,000	5.668	4.3325	1.3083	
		500,000	10.099	6.8769	1.4685	
		1,000,000	12.686	8.3545	1.5185	
		5,000,000	20.515	13.163	1.5585	
		10,000,000	25.028	16.067	1.5577	
	0.05	100,000	5.9915	4.3325	1.3829	
		500,000	10.108	6.8769	1.4698	
		1,000,000	12.366	8.3545	1.4802	
		5,000,000	19.236	13.163	1.4614	
		10,000,000	23.249	16.067	1.4470	
	0.025	100,000	5.7893	4.3325	1.3362	
		500,000	9.4571	6.8769	1.3752	
		1,000,000	11.44	8.3545	1.3693	
		5,000,000	17.565	13.163	1.3344	
		10,000,000	21.218	16.067	1.3206	

Çizelge 30. 10 karma (4 ortada) pim dizilimli kare prizma için Nusselt değerleri.

Tasarım Geometrisi	b/H	d/H	Ra	Nu <sub>pimli</sub>	Nu <sub>pimsiz</sub>	NSO
	0.1	0.1	100,000	4.766	4.3325	1.1001
			500,000	8.2058	6.8769	1.1932
			1,000,000	10.257	8.3545	1.2277
			5,000,000	16.892	13.163	1.2833
			10,000,000	20.823	16.067	1.2960
		0.05	100,000	4.6216	4.3325	1.0667
			500,000	7.7811	6.8769	1.1315
			1,000,000	9.5965	8.3545	1.1487
			5,000,000	15.269	13.163	1.1600
			10,000,000	18.571	16.067	1.1558
		0.025	100,000	4.6528	4.3325	1.0739
			500,000	7.6973	6.8769	1.1193
			1,000,000	9.4417	8.3545	1.1301
			5,000,000	14.923	13.163	1.1337
			10,000,000	18.137	16.067	1.1288
	0.2	0.1	100,000	5.2077	4.3325	1.2020
			500,000	9.5283	6.8769	1.3856
			1,000,000	11.972	8.3545	1.4330
			5,000,000	19.47	13.163	1.4791
			10,000,000	23.736	16.067	1.4773
		0.05	100,000	5.2697	4.3325	1.2163
			500,000	9.0819	6.8769	1.3206
			1,000,000	11.134	8.3545	1.3327
			5,000,000	17.246	13.163	1.3102
			10,000,000	20.797	16.067	1.2944
		0.025	100,000	5.2093	4.3325	1.2024
			500,000	8.6718	6.8769	1.2610
			1,000,000	10.507	8.3545	1.2576
			5,000,000	16.106	13.163	1.2236
			10,000,000	19.417	16.067	1.2085
	0.3	0.1	100,000	5.3529	4.3325	1.2355
			500,000	9.5465	6.8769	1.3882
			1,000,000	12.018	8.3545	1.4385
			5,000,000	19.493	13.163	1.4809
			10,000,000	23.753	16.067	1.4784
		0.05	100,000	5.9481	4.3325	1.3729
			500,000	10.084	6.8769	1.4664
			1,000,000	12.37	8.3545	1.4806
			5,000,000	19.262	13.163	1.4633
			10,000,000	23.327	16.067	1.4519
		0.025	100,000	5.6414	4.3325	1.3021
			500,000	9.2403	6.8769	1.3437
			1,000,000	11.176	8.3545	1.3377
			5,000,000	17.073	13.163	1.2970
			10,000,000	20.575	16.067	1.2806

