

**DÜŞEY BİR KANAL İÇERİSİNE YERLEŞTİRİLMİŞ DİKDÖRTGEN,
DAİRESEL VE ÜÇGEN KESİTLİ KANATÇIKLARIN DOĞAL
TAŞINIMA ETKİLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Bayram Bahadır ER

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2008

ANKARA

Bayram Bahadır ER tarafından hazırlanan DÜŞEY BİR KANAL İÇERİSİNE YERLEŞTİRİLMİŞ DİKDÖRTGEN, DAİRESEL VE ÜÇGEN KESİTLİ KANATÇIKLARIN DOĞAL TAŞINIMA ETKİLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Nuri YÜCEL

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU

.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Nuri YÜCEL

.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Murat Kadri AKTAŞ

.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, TOBB ETÜ

Tarih : 23/01/2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans Derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orjinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Bayram Bahadır ER

**DÜŞEY BİR KANAL İÇERİSİNE YERLEŞTİRİLMİŞ DİKDÖRTGEN,
DAİRESEL VE ÜÇGEN KESİTLİ KANATÇIKLARIN DOĞAL
TAŞINIMA ETKİLERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**
(Yüksek Lisans Tezi)

Bayram Bahadır ER

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2008

ÖZET

Doğal taşınım ile ısı aktarımının patikte çok çeşitli uygulamaları olduğundan yüzeylerin doğal taşınım karakteristiklerinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada duvarları ısıtılmış düşey kanal içinde doğal taşınım ile bağlı olarak oluşan akışkan hareketi ve yüzeyin ısı aktarımı, sayısal olarak incelenmiştir. Akışkan olarak hava kullanılmış, çözümler iki boyutlu, laminar olarak yapılmış, Boussinesq yaklaşımı uygulanmıştır. Kanal duvar sıcaklığı tüm çözümlerde sabit olarak alınmıştır. Kanalin duvarları üzerine farklı geometrik şekillerdeki bloklar, karşılıklı ve kaydırılmış olarak yerleştirilmiş, bu sayede kanal duvarlarından akışkana aktarılan ısı miktarı, blokların bulunmadığı durumda aktarılan ısı miktarının üzerine çıkarılmaya çalışılmıştır. Blokların geometrisinden başka kanalın boyunun enine oranının, kanal duvarından olan ortalama ısı akısına ve kanal duvarının ortalama Nusselt sayısına etkileri araştırılmıştır. Blok geometrilerinin yerel Nusselt sayısı değerlerine olan etkileri, grafikler halinde sunulmuştur. Akış yönüne göre blokların arkalarında oluşan vorteks bölgelerinin, yarım dairesel kesitli bloklar için en küçük, dikdörtgen kesitli bloklar için ise en büyük olduğu, blokların kaydırılmış olarak yerleştirilmesi halinde, her üç geometri için de vorteks bölgelerinin küçüldüğü belirlenmiştir. Bunun sonucu olarak, yarım dairesel blokların bulunduğu kanal

duvarından olan ısı akısının diğer iki blok geometrisi ile oluşturulan kanal duvarından olana göre, kaydırılmış blok dizilimi durumunda kanal duvarından elde edilen ısı akısının da her üç blok geometrisi için de karşılıklı blok diziliminden elde edilene göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bundan başka, kanal boyunun kanal enine oranının büyük değerleri için kanal duvarının ortalama ısı akısının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 914.1.065
Anahtar Kelimeler : Doğal taşınım, sayısal analiz, düşey kanal, sabit duvar sıcaklığı
Sayfa Adedi : 95
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Nuri YÜCEL

**EFFECTS OF RECTANGULAR, SEMI-CIRCULAR AND
TRIANGULAR CROSS-SECTION BLOCKS ON NATURAL
CONVECTION IN VERTICAL CHANNEL**

(M.Sc. Thesis)

Bayram Bahadır ER

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

January 2008

ABSTRACT

Considering widespread applications of natural convection, determination of natural convection heat transfer characteristics of surfaces is found essential. In this study, fluid motion and heat transfer occurred due to natural convection in vertical channel with both walls heated is investigated numerically. Properties of air is used in calculations. Solutions are performed for two dimensional and laminar flow with Boussinesq approximation. Wall temperature is considered constant. Blocks with different geometries are placed in facing one another and staggered manner and it is aimed to bring the heat flux from surface higher than that of unblocked channel. Effects of aspect ratio of channel on mean heat flux from channel wall and mean Nusselt number of channel wall are also studied. Block geometry's effects on local Nusselt number are presented by means of diagrams. It is determined that, vortex fields occurred beyond blocks were minimum for semi-circular blocks where they are maximum for rectangular blocks. Further investigations demonstrated that, vortex fields become smaller for all three block cross-sections when blocks are staggered. As a result, heat flux from semi-circular blocked channel wall with respect to walls with other two geometries and for each block geometry heat transfer from channel walls with staggered placed blocks with respect to walls with straight

placed blocks is calculated higher. Eventually it is found that, mean heat flux increases with increasing aspect ratio of channel.

Science Code	: 914.1.065
Keywords	: Natural convection, numerical analysis, vertical channel, constant wall temperature
Number of Pages	: 95
Adviser	: Prof. Dr. Nuri YÜCEL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Nuri YÜCEL'e, kıymetli katkılarından dolayı Dr. Nurettin DİNLER'e, yüksek lisans eğitimimin hem ders hem de tez aşaması boyunca maddi ve manevi desteğini hep yanımda gördüğüm aileme, teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. BOYUTLAR VE MATEMATİKSEL MODEL.....	6
2.1. Matematiksel Model.....	6
2.2. Boyutların Belirlenmesi.....	11
3. AĞ YAPISINDAN BAĞIMSIZLIK TESTLERİ.....	17
4. BLOKSUZ KANAL İÇİN ORTALAMA NUSSELT SAYISI DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	27
5. REFERANS SICAKLIĞININ YEREL NUSSELT SAYISINA ETKİSİ.....	30
6. BLOK GEOMETRİSİNİN YEREL NUSSELT SAYISINA ETKİSİ.....	34
7. KANAL RAYLEIGH SAYISININ AKIŞA VE SICAKLIK DAĞILIMINA ETKİSİ.....	44
8. BLOK GEOMETRİSİ VE DİZİLİMİNİN AKIŞA VE SICAKLIK DAĞILIMINA ETKİSİ.....	51
9. KANAL BOYUNUN KANAL GENİŞLİĞİNE ORANIN AKIŞA VE SICAKLIK DAĞILIMINA ETKİSİ.....	57
10. ORTALAMA NUSSELT SAYISININ KANAL RAYLEIGH SAYISI İLE DEĞİŞİMİNE KANAL BOY/EN ORANININ ETKİSİ.....	63
11. ORTALAMA NUSSELT SAYISININ KANAL RAYLEIGH SAYISI İLE DEĞİŞİMİNE BLOK GEOMETRİSİNİN ETKİSİ.....	72
12. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR.....	86

	Sayfa
EKLER.....	87
EK-1 Hava Özellikleri Tablosu.....	88
EK-2 Daha Önce Yapılan Çalışmaların Tekrarları.....	89
ÖZGEÇMİŞ	95

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kanal boy/en oranı-Ra* çiftleri için belirlenen kanal genişliği değerleri.....	14
Çizelge 2.2. Kanal boy/en oranı-Ra* çiftleri için belirlenen duvar sıcaklığı değerleri.....	14

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Blokların karşılıklı dizildiği durum için geometrik boyutların ve koordinat eksenlerinin tanımlanması.....	12
Şekil 2.2. Blokların kaydırılmış olarak dizildiği durum için geometrik boyutların ve koordinat eksenlerinin tanımlanması.....	13
Şekil 3.1. Bloksuz düz kanal için ortalama Nusselt sayısının ağ yoğunluğu ile değişimi ($AR=12$, $Ra=10^5$).....	20
Şekil 3.2. Karşılıklı dairesel blok dizilimi için ortalama Nusselt sayısının ağ yoğunluğu ile değişimi ($AR=12$, $Ra=10^5$).....	21
Şekil 3.3. Kaydırılmış dairesel blok dizilimi için ortalama Nusselt sayısının ağ yoğunluğu ile değişimi ($AR=12$, $Ra=10^5$).....	22
Şekil 3.4. Karşılıklı üçgen blok dizilimi için ortalama Nusselt sayısının ağ yoğunluğu ile değişimi ($AR=12$, $Ra=10^5$).....	23
Şekil 3.5. Kaydırılmış üçgen blok dizilimi için ortalama Nusselt sayısının ağ yoğunluğu ile değişimi ($AR=12$, $Ra=10^5$).....	24
Şekil 3.6. Karşılıklı dikdörtgen blok dizilimi için ortalama Nusselt sayısının ağ yoğunluğu ile değişimi ($AR=12$, $Ra=10^5$).....	25
Şekil 3.7. Kaydırılmış dikdörtgen blok dizilimi için ortalama Nusselt sayısının ağ yoğunluğu ile değişimi ($AR=12$, $Ra=10^5$).....	26
Şekil 4.1. İçerisinde blok bulunmayan kanal için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimi ($Pr=0.71$).....	28
Şekil 5.1. Kanal içindeki sıcaklığın ortalama Nusselt sayısı hesabında baz alındığı durum için yerel Nusselt sayısının konuma bağlı değişim grafiği (Yarım dairesel bloklar, $AR=12$, $Ra^*=10^5$).....	31
Şekil 5.2. Kanal dışındaki sıcaklığın ortalama Nusselt sayısı hesabında baz alındığı durum için yerel Nusselt sayısının konuma bağlı değişim grafiği (Yarım dairesel bloklar, $AR=12$, $Ra^*=10^5$).....	32
Şekil 6.1. Yarım dairesel blokların karşılıklı olarak dizildiği durum için Nusselt sayısının yerel değerleri ($AR=12$, $Ra^*=10^4$).....	35

Şekil	Sayfa
Şekil 6.2. Üçgen blokların karşılıklı olarak dizildiği durum için Nusselt sayısının yerel değerleri ($AR=12$, $Ra^*=10^4$).....	36
Şekil 6.3. Dikdörtgen blokların karşılıklı olarak dizildiği durum için Nusselt sayısının yerel değerleri ($AR=12$, $Ra^*=10^4$).....	38
Şekil 6.4. Yarım dairesel blokların kaydırılmış olarak dizildiği durum için Nusselt sayısının yerel değerleri ($AR=12$, $Ra^*=10^4$).....	39
Şekil 6.5. Üçgen blokların kaydırılmış olarak dizildiği durum için Nusselt sayısının yerel değerleri ($AR=12$, $Ra^*=10^4$).....	41
Şekil 6.6. Dikdörtgen blokların kaydırılmış olarak dizildiği durum için Nusselt sayısının yerel değerleri ($AR=12$, $Ra^*=10^4$).....	42
Şekil 7.1. İçerisinde karşılıklı dizilmiş yarım dairesel blokların bulunduğu kanal için eş sıcaklık eğrileri ($AR=5$).....	45
Şekil 7.2. İçerisinde karşılıklı dizilmiş yarım dairesel blokların bulunduğu kanal için akım çizgileri ($AR=5$).....	46
Şekil 7.3. İçerisinde kaydırılmış olarak dizilmiş yarım dairesel blokların bulunduğu kanal için eş sıcaklık eğrileri ($AR=5$).....	48
Şekil 7.4. İçerisinde kaydırılmış olarak dizilmiş yarım dairesel blokların bulunduğu kanal için akım çizgileri ($AR=5$).....	49
Şekil 8.1. Blokların karşılıklı dizildiği durum için eş sıcaklık eğrileri ($AR=8$, $Ra^*=10^4$).....	52
Şekil 8.2. Blokların karşılıklı dizildiği durum için akım çizgileri ($AR=8$, $Ra^*=10^4$).....	53
Şekil 8.3. Blokların kaydırılmış olarak dizildiği durum için eş sıcaklık eğrileri ($AR=8$, $Ra^*=10^4$).....	55
Şekil 8.4. Blokların karşılıklı dizildiği durum için akım çizgileri ($AR=8$, $Ra^*=10^4$).....	56
Şekil 9.1. Üçgen blokların karşılıklı dizildiği durum için eş sıcaklık eğrileri ($Ra^*=10^4$).....	58
Şekil 9.2. Üçgen blokların karşılıklı dizildiği durum için akım çizgileri ($Ra^*=10^4$).....	59

Şekil	Sayfa
Şekil 9.3. Üçgen blokların kaydırılmış dizildiği durum için eş sıcaklık eğrileri ($Ra^*=10^4$).....	60
Şekil 9.4. Üçgen blokların kaydırılmış dizildiği durum için akım çizgileri ($Ra^*=10^4$).....	61
Şekil 10.1. Yarım dairesel blokların karşılıklı yerleştirilmesi durumu için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine kanal boy/en oranının etkisi.....	64
Şekil 10.2. Üçgen blokların karşılıklı yerleştirilmesi durumu için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine kanal boy/en oranının etkisi.....	66
Şekil 10.3. Dikdörtgen blokların karşılıklı yerleştirilmesi durumu için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine kanal boy/en oranının etkisi.....	67
Şekil 10.4. Yarım dairesel blokların kaydırılmış olarak yerleştirilmesi durumu için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine kanal boy/en oranının etkisi.....	69
Şekil 10.5. Üçgen blokların kaydırılmış olarak yerleştirilmesi durumu için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine kanal boy/en oranının etkisi.....	70
Şekil 10.6. Dikdörtgen blokların kaydırılmış olarak yerleştirilmesi durumu için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine kanal boy/en oranının etkisi.....	71
Şekil 11.1. Blokların karşılıklı yerleştirildiği durum için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine blok geometrisinin etkisi ($AR=5$).....	73
Şekil 11.2. Blokların kaydırılmış yerleştirildiği durum için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine blok geometrisinin etkisi ($AR=5$).....	75
Şekil 11.3. Blokların karşılıklı yerleştirildiği durum için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine blok geometrisinin etkisi ($AR=8$).....	77

Şekil	Sayfa
Şekil 11.4. Blokların kaydırılmış yerleştirildiği durum için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısıyla değişimine blok geometrisinin etkisi ($AR=8$).....	78
Şekil 11.5. Blokların karşılıklı yerleştirildiği durum için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısıyla değişimine blok geometrisinin etkisi ($AR=12$).....	79
Şekil 11.6. Blokların kaydırılmış yerleştirildiği durum için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısıyla değişimine blok geometrisinin etkisi ($AR=12$).....	80

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
a	Bloklar arası açıklık
A	Alan
b	Kanal genişliği
g	Yerçekim ivmesi
Gr	Grashof sayısı ($Gr = \frac{Ra}{Pr}$)
h	Blok yüksekliği
H	Karşılıklı dizilimde bloklar arası mesafe
H1	Kaydırılmış dizilimde sol duvardaki ilk bloğun kanal girişine uzaklığı
H2	Kaydırılmış dizilimde sağ duvardaki ilk bloğun kanal girişine uzaklığı
H3	Kaydırılmış dizilimde bloklar arası mesafe
k	Akışkanın ısı iletkenliği
L	Toplam kanal boyu
Nu	Nusselt sayısı
$\overline{Nu}$	Ortalama Nusselt sayısı
P	Statik basınç
P_∞	Kanal dışındaki havanın basıncı
Pr	Prandtl sayısı ($Pr = \frac{\nu}{\alpha}$)
q”	Isı akısı
Ra	Rayleigh sayısı ($Ra = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)b^3}{\alpha\nu}$)

Simgeler**Açıklama**

Ra*	Kanal Rayleigh sayısı ($Ra^* = \frac{Ra}{AR}$)
T	Akışkan sıcaklığı
T_w	Kanal duvar sıcaklığı
T_∞	Kanal dışındaki havanın sıcaklığı
u	x-ekseni yönündeki hız
U	Yerel ısı aktarım katsayısı
v	y-ekseni yönündeki hız
w	Blok yüksekliği
α	Isıl difüzivite
β	Hacımsal genleşme katsayısı
μ	Mutlak viskozite
ν	Kinematik viskozite
ρ	Akışkanın yoğunluğu
Σ	Toplam
∂	Kısmi diferansiyel

Kısaltmalar**Açıklama**

AR	Kanal boyunun enine oranı (Aspect Ratio)
-----------	--

1. GİRİŞ

Düşey kanal içinde doğal taşınım ile ısı aktarımına mühendislik uygulamalarında sıkça rastlanmaktadır. Bu uygulamaların bazılarında amaç akışkana ya da akışkandan ısı aktarımı sağlamak iken, diğer bazı uygulamalarda ise amaç, katı yüzeyden ya da katı yüzeye ısı transfer etmektir. Her iki durumda da doğal taşınım ile ısı aktarım performansının araştırılması önem arz etmektedir. Çünkü doğal taşınım ile ısı aktarımı en kolay ve masrafsız yöntemdir. Zorlanmış taşınım ile yapılacak her türlü işlem beraberinde işletme ve bakım zorluk ve masraflarını da getireceğinden, doğal taşınım performansının yeterli olduğu durumlarda bu yöntemin kullanılması tercih edilmektedir.

Düşey kanal içinde doğal taşınım ile ısı transferinin en yaygın uygulaması, bir panel ya da kabin içerisine düşey sıralar halinde yerleştirilmiş elektronik devre kartlarının soğutulması problemidir. Bu problemde devre kartlarının arasındaki yatay mesafe sınırlayıcı bir etmendir. Bu mesafenin çok küçük olması durumunda doğal taşınım ile aktarılan ısı miktarı bundan olumsuz etkilenirken, bu boyutun büyütülmesi ise panel ya da kabinin boyutlarının büyütülmesi zorunluluğunu doğuracaktır. Optimum bir tasarım için doğal taşınım parametrelerini incelenmesi gerekmektedir.

Doğal çevrimli güneş panelleri de, doğal taşınım ile çalışan sistemlerdir. Bu sistemlerde, sistem içerisinde dolaşan su miktarını belirleyen en önemli etmen, panel iç duvarının sıcaklığı ile birlikte, duvardan suya doğal taşınım ile aktarılabilen ısı miktarıdır. Akışın doğal taşınım ile sağlanması, devrede pompa bulunma zorunluluğunu ortadan kaldırmakta, sistemi daha basit, işletmesi daha kolay ve ucuz hale getirmektedir. Panel duvarlarından taşınan ısı miktarının artırılmasına yönelik çalışmalar yapılarak, panelde toplanan güneş enerjisinden en üst düzeyde faydalanmak mümkündür.

Düşey kanal içindeki doğal taşınımın uygulamalarına bir diğer örnek de yapıların ısıtılmasında kullanılan radyatör ve konvektör cihazlarıdır. Mahallerin daha verimli ve etkin olarak ısıtılabilmesi için bu cihazların doğal taşınım özelliklerinin

incelenmesi ve en üst düzeye çıkarılması önemlidir. Bu sayede daha küçük boyutlu cihazlarla, daha etkin bir ısıtma sağlanabilir.

Doğal taşınım ile yapılabilecek ısı aktarım miktarını tespit etmek, parametreleri değiştirerek ulaşılabilecek ısı aktarım miktarının üst sınırını bulmak, yapılacak uygulamalarda doğal taşınımın uygulanabilirliğini ortaya koyacak ve pratikte büyük kolaylıklar sağlayacağından, literatürde bu konu ile ilgili yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların bir çoğunda, incelenen düşey kanal geometrisi için, kanal duvarı boyunca ortalama Nusselt sayısının değişimi gözlenmiş, duvar boyunca yerel Nusselt sayısı değerlerinin değişim grafikleri verilmiştir. Ayrıca eş sıcaklık eğrileri ve akış çizgilerinin durumu da rapor edilmiştir. İncelenen geometriler, aynı kanal Rayleigh sayısı için düz kanalın değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Bar-Cohen ve Rohsenow (1984), engelsiz düşey kanal probleminin farklı sınır şartları için korelasyonlar önermiştir [1]. Önerdikleri bu korelasyonlar, daha sonra konu üzerinde yapılan pek çok çalışmada da referans olarak kullanılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında yapılan incelemelerde de, engelleyici blokları bulunmayan düşey kanal ile yapılan karşılaştırmalarda, Bar-Cohen ve Rohsenow'un çalışmasından yararlanılmıştır.

Hung ve Shiau (1988) yaptıkları deneysel çalışmada, iç duvarlarından birisi yalıtılmış, diğeri üzerinde ise dikdörtgen kesitli engelleyici blok bulunan düşey kanal içerisindeki doğal taşınımın kanal duvarları arasındaki mesafenin etkilerini, sabit ısı akısı sınır şartı için incelemiş, incelenen Rayleigh sayısı aralığında kanal genişliğinin, sistemin doğal taşınım ile ısı aktarımını karakterine anlamlı bir etkisi olmadığı gözlenmiştir [2]. Çalışmalarının sonucunda engelleyici bloğun arkasındaki bölgedeki yerel Nusselt sayısının hesabı için ampirik bağıntılar önermişlerdir.

Hung ve Shiau'nun çalışmasına benzer bir analitik ve deneysel çalışma, bu kez dairesel kesitli bloklarla, Krane ve Said (1990) tarafından yapılmıştır [3]. İncelemeler sabit yüzey sıcaklığı ve sabit ısı akısı sınır şartları için yapılmış, kanal boyunca

ortalama Nusselt sayısının, içinde blok bulunan kanalda %5 ile %40 aralığında azaldığı belirlenmiştir.

Bergles ve Bhavnani'nin (1990) deneysel çalışmasında tek bir duvar üzerine yerleştirilen dikdörtgen kesitli bloklarla, yükselen basamaklar halinde dizilmiş blokların, düşey duvar üzerindeki ortalama ve yerel ısı taşınım katsayılarına etkileri incelenmiştir [4]. Çalışmada blok yüksekliği/bloklar arası mesafe oranı, blokların iletkenliği ve duvarın düşeye göre eğim açısı parametreleri ele alınmış, basamak blok yerleşimi için, duvar ortalama ısı aktarımı katsayısında, bloksuz duvara kıyasla %23.2'ye varan bir artış gözlenmiştir. Sıralı dikdörtgen blokların ısı aktarım performansı ise blokların bulunmadığı durumun performansının altında kalmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında incelenen konulardan birisi olan blokların düşey kanal içerisine kaydırılmış olarak dizilmesi durumu üzerine bir çalışma, Amin ve Viswasmula (1995) tarafından yapılmıştır [5]. Yapılan sayısal çalışmada, blokların farklı konumlandırılması, farklı Rayleigh sayıları ve farklı kanal en/boy oranları için yapılan hesaplamalarda, blokların bulunmadığı duruma göre aktarılan ısı miktarında %3 ile %31 arasında değişen oranda azalma olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Düşey kanal içerisine sıralanmış bloklar üzerine bir çalışma da Tanda (1997) tarafından yapılmıştır [6]. Sabit yüzey sıcaklığı sınır şartının uygulandığı deneysel çalışmada, duvarlardan yalnızca birisi üzerine kare kesitli bloklar yerleştirilmiş, bloksuz duvar ise ısıtılmamıştır. Blokların bulunduğu ve bulunmadığı şartlarda deneyler yapılmış, akış yönünde blokların arasında oluşan, ısı aktarımının düşük olduğu bölgelere bağlı olarak, blokların bulunduğu durumda ısı aktarım performansının düştüğü ortaya konmuştur.

Her iki duvarında da bloklar bulunan düşey bir kanalın içerisindeki doğal taşınımın sayısal olarak incelendiği bir çalışma, Desrayaud ve Fichera (2002) tarafından yayınlanmıştır [7]. Çalışmada kanalın iki duvarına karşılıklı olarak yerleştirilmiş dikdörtgen blokların, farklı kanal en/boy oranları ve farklı kanal Rayleigh sayıları için kanal girişinde, ortasında ve çıkışında konumlandırılmasının, kanal duvarının

ortalama Nusselt sayısına etkileri incelenmiş ve blokların bulunmadığı durumla karşılaştırma yapılmıştır. Blok boyutlarının değiştirilmesinin, ısı aktarımına etkileri irdelenmiştir.

Literatürde konu üzerine daha önce yapılan deney ve araştırmalarda amaçlanan, düşey kanal içerisinde ısı aktarım yüzeyini arttırarak akışkan ile kanal duvarı arasındaki ısı taşınımını, düz kanaldan aktarılan miktarın üzerine çıkartmak olmuştur. Referans çalışmalarda kullanılan kare, dikdörtgen ve yarım dairesel kesitli blokların ya da blok dizilerinin, çoğunlukla blokların bulunmadığı duruma göre daha kötü bir ısı aktarım performansı gösterdiği tespit edilmiştir. Bu çalışmanın temel hedefi, farklı geometrik şekildeki ısıl iletkenliği yüksek blok dizileri kullanılarak, yüzeyden olan ısı akısını yükseltmenin ne derece mümkün olduğunu incelemek olarak belirlenmiştir. İki duvara da yerleştirilmiş blok dizilerinin, tek bir blok ya da yalnızca bir duvara sıralanmış bloklara göre daha büyük bir ısı aktarım alanı oluşturacağından, blokların bulunmadığı duruma göre daha yüksek bir ısı aktarımı sağlaması beklenmektedir. Bundan başka, uygulanan farklı blok profilleri ve dizilimleri ile, akış ayrılmasının etkilerinin azaltılabilmesi, buna bağlı olarak da kanal içindeki ters akışların ve dolayısıyla ısı aktarımının çok azaldığı vorteks bölgelerinin büyüklüğü en aza indirilerek, ısı aktarım özelliklerinin, yine blokların bulunmadığı duruma göre, daha iyileştirilmesi düşünülmüştür.

İncelemeler iki boyutta yapılmış, üçüncü boyut ise, kenar etkilerinden kaynaklanan belirsizliklerin en aza indirilebilmesi için, diğer iki boyuta göre çok büyük seçilmiştir.

Kanal duvarına yerleştirilecek bloklar için, yarım dairesel, dikdörtgen ve üçgen olmak üzere üç farklı geometrik yapı seçilmiştir. Kanalin her iki duvarına da blok konulmuştur. Kanalin iki duvarındaki blokların orta noktalarının karşılıklı olarak yerleştirildiği blok dizilimleri ile, blokların orta noktalarının, kanalın karşı duvarındaki iki bloğu ortalayacak şekilde hizalandığı kaydırılmış dizilim için simülasyonlar yapılmıştır.

Çalışmalarda sayısal analiz yöntemi kullanılmıştır. Çözümler, kanalın her iki duvarında da uygulanan, sabit duvar sıcaklığı sınır şartı için yapılmış, akış laminar ve kararlı şartlarda kabul edilmiştir. Işınım (radyasyon) etkileri, çözümlerde dikkate alınmamış, yalnızca doğal taşınım ile olan ısı aktarımı hesaplanmıştır. Hesaplamalar, bilgisayar ortamında, sayısal akışkanlar dinamiği çözümü için üretilmiş, paket yazılım kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde akışkan olarak hava kullanılmıştır.

Paket yazılımla bulunan sonuçlarının doğruluğunun bir kontrolü olarak [3] ve [7] numaralı referanslarda sonuçları sunulan çalışmalar, sunulan veriler kullanılarak, tekrarlanmıştır.

Doğal taşınım üzerindeki etkisi incelenecek olan parametreler, kanal Rayleigh sayısı, kanalın boyunun genişliğine oranı, kanal içerisine yerleştirilen blokların geometrik şekilleri ve bu blokların kanal duvarlarına dizilim şekilleri olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerin ilk iki tanesi, içerisinde blok bulunmayan kanal için de incelenmiş, bulunan sonuçlar, içerisinde bloklar bulunan kanallardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Blok boyutları ise hesaplamalar için bir parametre olarak alınmamış, tüm geometriler için kanal genişliğine göreli büyüklüğü birbirine denk blok boyutları uygulanmıştır.

Hesaplamalar ve boyutlandırmalar gerçek fiziksel büyüklükler kullanılarak boyutlu olarak yapılmışsa da, sonuçlar, genel bir yaklaşım sağlayabilmek için, boyutsuz halde ve Nusselt ve Rayleigh sayıları gibi boyutsuz sayılar cinsinden sunulmuştur. Bulunan değerler, parametrelerin akış ve ısı aktarımı üzerindeki etkilerinin daha kolay anlaşılabilmesi için grafikler haline getirilmiştir. Ayrıca kanal içindeki sıcaklık dağılımlarının sunumunda, paket yazılımın bir özelliği olan kontur simulasyonundan yararlanılmıştır. Hız dağılımları ise yine paket yazılımın bir özelliği olan yörünge çizgileri (pathline) üzerinde gösterilmiştir. Sıcaklık dağılımı skalalarında verilen sayısal değerler Kelvin, hız dağılımı skalalarında verilen sayısal değerler ise m/s cinsindendir.

2. BOYUTLAR VE MATEMATİKSEL MODEL

2.1. Matematiksel Model

Ele alınan problem iki boyutludur ve incelemeler kararlı rejim şartlarında yapılmıştır. Akış sıkıştırılmaz olarak kabul edilmiştir. Düşey duvar üzerinde doğal taşınım problemlerinde son derece yaygın olarak kullanılan Boussinesq¹ yaklaşımı kabul edilmiştir. Bu yaklaşıma göre momentum denklemlerindeki tüm ifadelerdeki yoğunluk terimleri, kaldırma kuvvetini temsil eden ifade dışında, sabit olarak kabul edilmiştir. Akışı sağlayan kuvvet, ısınmayla oluşan yoğunluk farkından doğan kaldırma kuvveti olduğundan, bu ifade içerisindeki yoğunluk teriminin sabit kabul edilmesi, akışın oluşmamasına yol açacaktır.

İncelemelerde kullanılan koordinat eksenleri Bölüm 2.2'deki Şekil 2.1 ve 2.2'de verilmiştir. Bu koordinat sistemine göre y-yönündeki momentum denklemi (Eş.2.3) içerisinde bulunan kaldırma kuvveti ifadesindeki yoğunluk terimi değişken olarak kabul edilmiştir. Sayısal çözümlerde kullanılan eşitlik seti şöyledir:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.1)$$

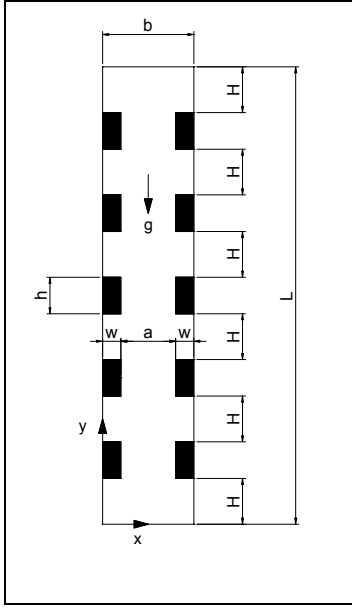
$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2.2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - g \quad (2.3)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (2.4)$$

¹ Joseph Valentin Boussinesq, Fransız fizikçi ve matematikçi (1842-1929)

Eşitlik seti bu hali ile bir sınır değer problemidir ve çözülebilmesi için, eşitliklerin içindeki terimlerin sınır değerlerinin bilinmesi gereklidir. Çözümlerde sağ ve sol duvarda sıcaklık sabit duvar sıcaklığı, x ve y yönündeki hızlar ise sıfır kabul edilmiştir. Kanal girişinde ve çıkışında sıcaklık, kanal dışı sıcaklığına eşit kabul edilmiş, basınç, kanal dışı basınca eşit alınmıştır. Bu tanımların matematiksel olarak gösterimi Eşitlik 2.5, 6 ve 7’de verilmiştir.



Giriş; $0 \leq x \leq b$ ve $y = 0$:

$$\frac{\partial v}{\partial y} = 0, u = 0, T = T_{\infty}, P = P_{\infty} \quad (2.5)$$

Çıkış; $0 \leq x \leq b$ ve $y = L$:

$$\frac{\partial v}{\partial y} = 0, u = 0, T = T_{\infty}, P = P_{\infty} \quad (2.6)$$

Sağ ve sol duvar; $0 \leq y \leq L$ ve $x = 0, x = b$:

$$T = T_w, u = v = 0 \quad (2.7)$$

Doğal taşınım akışlarının laminardan türbulansa geçmesi, akışkan içindeki kaldırma ve sürtünme kuvvetlerinin büyüklüğü ile ilgilidir. Düşey kanal içindeki doğal taşınımına bağlı akışın laminar bölgeden türbulansa geçmesi, Rayleigh sayısının² büyüklüğü ile ilgilidir. Bir boyutsuz sayı olan Rayleigh sayısı, Grashof³ ve Prandtl⁴ sayılarının çarpımı olarak tanımlanmıştır. Düşey kanal için karakteristik uzunluk olarak kanal genişliği alınarak Rayleigh sayısı şöyle tanımlanır:

² John William Strutt 3rd Baron Rayleigh, İngiliz fizikçi (1842-1919) tarafından tanımlanan bu boyutsuz sayı, akışkan içindeki ısının yayılım şeklinin bir ölçüsüdür. Küçük değerleri için akışkan içindeki ısı yayılımı ağırlıklı olarak iletim ile olurken, büyük değerleri için taşınım meydana gelir.

³ Franz Grashof, Alman mühendis (1826-1893) tarafından tanımlanmıştır. Akışkan içindeki kaldırma kuvvetlerinin, sürtünme kuvvetlerine oranını gösterir.

⁴ Ludwig Prandtl, Alman fizikçi (1875-1953) tarafından tanımlanmıştır. Sürtünmeden kaynaklanan difüzyonun ısı difüzyonuna oranını verir.

$$Ra = Gr Pr = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)b^3}{\alpha\nu} \quad (2.8)$$

Düşey kanal için laminar akıştan türbulansa geçişin başladığı noktadaki kritik Rayleigh sayısı değeri 10^9 olarak kabul edilmektedir [8]. Bu değer, tez çalışmaları kapsamında incelenen en büyük Rayleigh sayısı olan 1 200 000'den oldukça yüksektir. Dolayısıyla akışın laminar bölgede kaldığı rahatlıkla kabul edilebilir.

Kanal Rayleigh sayısı, Rayleigh sayısının, kanalın boy/en oranına bölümü şeklinde tanımlanan bir büyüklüktür [7]. Bar-Cohen ve Rohsenow (1984), içinde blok bulunmayan düşey kanal içerisindeki ısıtılmış duvarın ortalama Nusselt sayısının⁵ değişimine ait korelasyonu, kanal Rayleigh sayısına bağlı olarak aşağıdaki gibi önermiştir [1]:

$$\overline{Nu} = \left[\frac{576}{Ra^{*2}} + \frac{2.873}{Ra^{*0.5}} \right]^{-0.5} \quad (2.9)$$

Eşitlik 2.9, ilerleyen bölümlerde, elde edilmiş olan verilerin karşılaştırılması için bir referans olarak kullanılmıştır.

Yapılan sayısal çözümlerin bir çoğu, Nusselt sayısının yerel ve ortalama değerleri için sunulmuştur. Nusselt sayısı yüzeyden taşınım ile aktarılan ısıya bir ölçüsü, aynı zamanda sonuçların daha genel olarak değerlendirilmesine olanak sağlayacak boyutsuz bir sayı olduğundan, katı yüzeylerin ısı aktarım performansının karşılaştırılması ve sunulmasında kullanılması, konu üzerine yapılan önceki pek çok çalışmada olduğu gibi bu çalışmada da uygun görülmüştür.

Nusselt sayısının matematiksel ifadesi şöyledir:

⁵ Wilhelm Nusselt, Alman mühendis tarafından tanımlanan bu boyutsuz sayı, bir yüzeyden akışkana olan taşınım ile ısı aktarımının, iletimle olan ısı aktarımına oranının bir ölçüsünü gösterir.

$$Nu = \frac{Ub}{k} \quad (2.10)$$

Bu ifadede U, taşınım (konveksiyon) ısı aktarım katsayısını, b, akış için karakteristik uzunluğu ve k, akışkanın ısı iletim katsayısını temsil etmektedir. Taşınım ısı transferinin temel bağıntısı olan Newton'un⁶ Soğuma Yasasının matematiksel ifadesi ise:

$$q'' = U(T_w - T_\infty) \quad (2.11)$$

Bu ifadedeki q'' , yüzeyden olan ısı akısını, T_w , yüzeyin sıcaklığını, T_∞ , akışkanın sıcaklığını ve U ise yine taşınım ısı transfer katsayısını temsil etmektedir. Eşitlik 2.11'dan U çekilerek Eşitlik 2.10'da yerine yazılırsa, yerel Nusselt sayısı için aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$Nu = \frac{q''b}{(T_w - T_\infty)k} \quad (2.12)$$

Bu bağıntı, paket yazılımla yapılan çözümleri mümkün olabilmesi için önem arz etmektedir. Yazılım tarafından hesaplanan, duvardan akışkana olan ısı akısıdır. Bundan başka, Eşitlik 2.12 içindeki diğer parametreler de, iterasyonlara başlamadan önce girdi olarak programa aktarılmaktadır. Ancak Nusselt sayısının hesaplanması için, program içinde, Eşitlik 2.12'de verilen formda, bir alan fonksiyonu (custom field function) olarak tanımlanması gerekmektedir.

Program yerel Nusselt sayılarının hesaplanmasında, doğrudan doğruya Eşitlik 2.12 kullanmıştır. Ortalama Nusselt sayısı hesabında ise, programın kendi yüzey integral hesap modlarından birisi olan alan ağırlıklı ortalama alma (area weighted average) yönteminden yararlanılmıştır. Bu yöntemde temel olarak yapılmaya çalışılan, Nusselt sayısını bir fonksiyon olarak kabul ederek, bu fonksiyonun, kanal duvarının yüzey

⁶ Sir Isaac Newton, İngiliz fizikçi, matematikçi, astronom, mucit, filozof ve simyacı (1642-1727)

alanı üzerinden integralinin alınması ve bu integralin, yüzey toplam alanına bölünerek, duvar yüzeyi için bir ortalama Nusselt sayısı değeri elde edilmesidir. Bu işlem program tarafından yapılırken, kanal geometrisinin oluşturulması aşamasında yüzey üzerine atanan kontrol noktaları üzerinden olan ısı akısı ve buna bağlı olarak yerel Nusselt sayısı değerleri hesaplanmıştır. Her yerel Nusselt sayısı değeri, üzerinden olan ısı akısını temsil ettiği yüzey alanı ile çarpılır ve bu çarpımların toplamı, duvarın toplam yüzey alanına bölünerek, duvar için ortalama Nusselt sayısı değeri hesaplanmıştır. Bu hesapta, her yüzeydeki kontrol noktası sıklığı aynı olmadığından, hemen hemen her değer, farklı bir alan ile çarpılır. Bu durumun matematiksel ifadesi şöyledir:

$$\overline{Nu} = \frac{1}{A} \int Nu dA = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n Nu_i |A_i| \quad (2.13)$$

İncelenen kanal geometrilerinin oluşturulmasında, Gambit isimli yazılımın 2.2.30 sürümü kullanılmıştır. Oluşturulan geometriler, FLUENT sayısal akışkanlar dinamiği çözümleri kodunun 6.2 sürümünde okunarak, çözümleri yapılmıştır. Çözümlerde kapalı (implicit) formülasyon kullanılmıştır. Eşitlik 2.1,2,3 ve 4'te verilen akış denklemleri iterasyona tabi tutulmuştur.

Akışkan olarak, daha önce de belirtildiği gibi, hava seçilmiş, havanın tüm termofiziksel özellikleri sabit kabul edilmiştir. Bu aşamada programa girdi olarak verilen hava özellikleri, Prandtl sayısının 0.71 değeri için hava özellik tablosundan bulunan değerlerdir [9]. Bu değer yaklaşık olarak 300 K sıcaklığındaki havanın özelliklerine karşılık gelmektedir. Hava özellikleri tablosu EK-1'de verilmiştir.

Yine havanın bir özelliği olan ve özellikle doğal taşınımdan kaynaklanan akışlarda son derece önemli bir parametre de ısıl genleşme katsayısıdır. Isıl genleşme katsayısı, akışkanın sabit basınç altında sıcaklığının değiştirilmesine tepki olarak verdiği yoğunluk değişiminin bir ölçüsü olarak tanımlanabilir [10]. Matematiksel ifadesi:

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (2.14)$$

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda, ısı genleşme katsayısı hesaplanırken, hava ideal gaz olarak kabul edilmiştir. Bu durumda Eşitlik 2.14 sadeleşerek, $\beta = 1/T$ formuna dönüşmektedir [10]. Hesaplarda T, duvar sıcaklığına eşit alınmıştır. β değeri de bir girdi olarak hesaplarda kullanılmıştır.

Tüm çözümlerde kanal dışı sıcaklık 293 K olarak alınmıştır.

Çözümün ilerleyişini kontrol altında tutabilmek için, momentum denklemlerine under-relaxation uygulanmıştır. Hız-basınç eşleşmesi için SIMPLE algoritması çalıştırılmıştır. Basınç teriminin ayrıklaştırılması (diskritizasyonu) için, FLUENT kodunu üreten firma tarafından, üçgen ve tetrahedral ağ yapısının empoze edilmesi durumunda önerilen, PRESTO (PREssure Staggered Option) Yöntemi kullanılmıştır. Momentum ve enerji denklemlerinin ayrıklaştırılması ise 1.derece Upwind Yöntemi ile yapılmıştır.

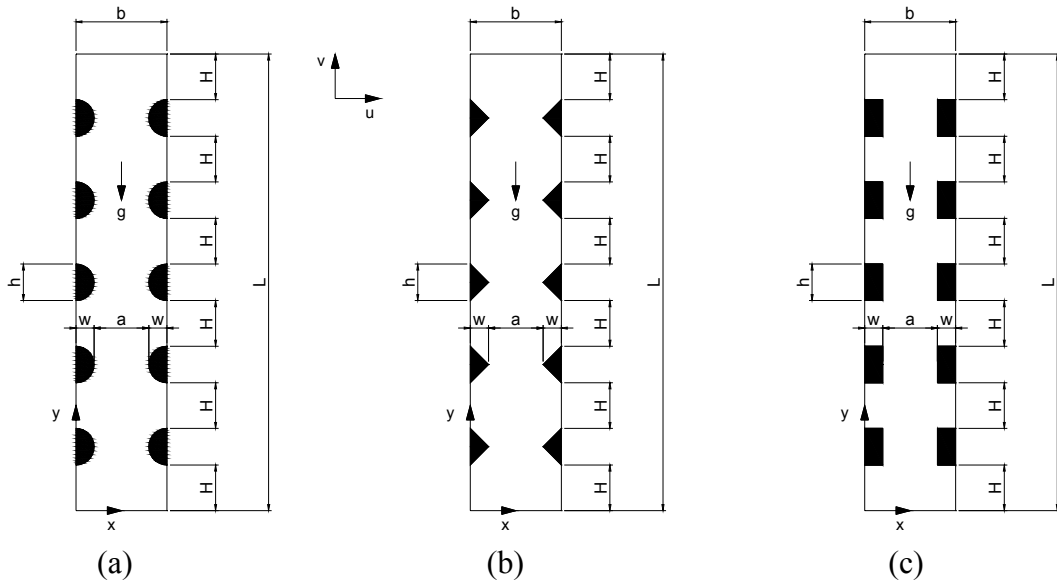
Hesaplamalarda tüm denklemler için yakınsama kriteri olarak artanların (residuals) 10^{-6} 'nın altına düşmesi şartı aranmıştır. Doğal taşımaya bağlı akış problemlerinin çözümünde, hesaplarda akışın başlaması için kullanılan, kanal girişinde çok düşük bir başlangıç hızı verilmesi yöntemi yapılan çözümlerde uygulanmamıştır. Başlangıç anında kanal içindeki hava sıcaklığının kanal dışı sıcaklığa eşit olduğu kabul edilmiştir.

2.2. Boyutların Belirlenmesi

Yapılan çalışmada yarım dairesel, dikdörtgen ve üçgen şeklinde kesit alanları olan toplam üç farklı tip blok, düşey kanalın her iki duvarına dizilmişlerdir. Her bir duvar üzerinde beşer adet blok bulunmaktadır. Blok yükseklikleri, her blok yapısı için, kanal toplam genişliğinin %40'ını kapatacak şekilde tasarlanmış, en dar bölgede akış

için toplam kanal genişliğinin %60'ı kadar bir boşluk bırakılmıştır. Bloklar kanal duvarlarına, karşılıklı ve kaydırılmış olmak üzere, iki farklı şekilde dizilmiştir. Her kanal içindeki tüm bloklar özdeşdir.

Karşılıklı blok dizilimine ait geometrik boyutlar, her üç blok geometrisi için, Şekil 2.1.a, 2.1.b ve 2.1.c'de verilmiştir. Aynı şekiller üzerinde, çözümde kullanılan koordinat eksenlerinin doğrultuları ve momentum denklemlerinin içerisinde geçen hız ifadelerinin doğrultuları da verilmiştir. Çözümler kartezyen koordinatlarda yapılmıştır.

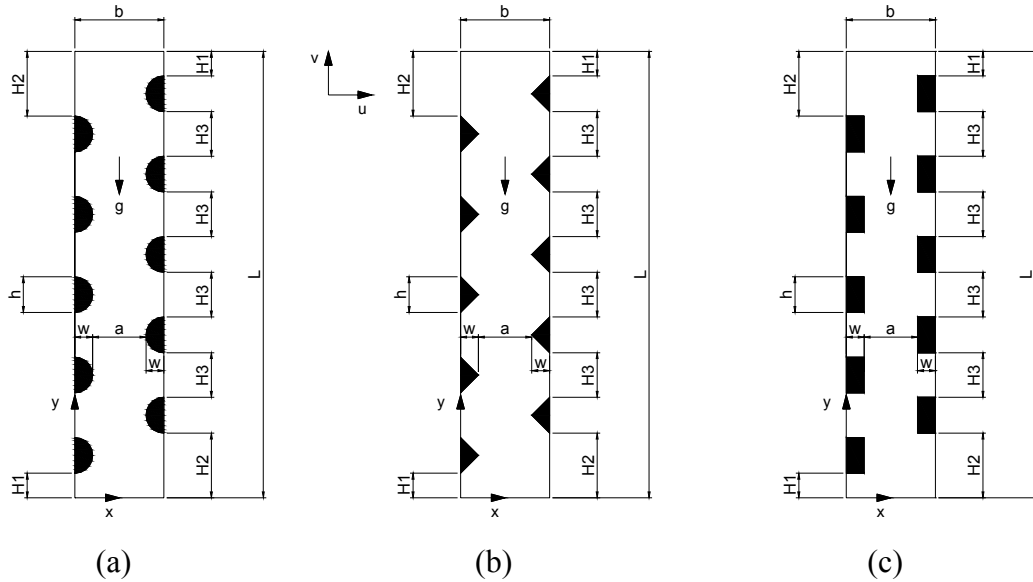


Şekil 2.1. Blokların karşılıklı dizildiği durum için geometrik boyutların ve koordinat eksenlerinin tanımlanması, (a) Yarım dairesel bloklar, (b) Üçgen bloklar, (c) Dikdörtgen bloklar

Blokların boyutları belirlenirken yarım dairesel blok geometrisi baz alınmıştır. Yarım dairesel bloklarda bloğun yüksekliği, bloğun taban genişliğinden bağımsız olmadığından, blok pozisyonlarının ve bloklar arasındaki mesafenin belirlenmesi en güç olan geometrik şekil budur. Bu yüzden ilk önce yarım dairesel blokların yarıçapları, %40 kanal daralmasını sağlayacak şekilde seçilmiş, üçgen ve dikdörtgen kesitli bloklar, blok geometrileri arasında ideal ve sağlıklı bir karşılaştırmanın

yapılabilmesi için, dairesel bloklarla aynı taban genişliğinde ve aynı yükseklikte seçilmiştir.

Kaydırılmış blok dizilimlerinde, her üç geometri için de karşılıklı dizilimde kullanılan blok boyutları kullanılmıştır. Blokların merkezleri, karşı duvardaki iki blok arasındaki açıklığı tam olarak ortalayacak şekilde blok dizilimleri yapılmıştır. Kaydırılmış blok dizilimi için geometrik boyutlar, Şekil 2.2.a, 2.2.b ve 2.2.c’de verilmiştir. Burada da, karşılıklı blok diziliminde olduğu gibi, y-ekseni düşey ve yukarıya doğru alınmış, yerçekimi ivmesi ise negatif y-yönünde kabul edilmiştir.



Şekil 2.2. Blokların kaydırılmış olarak dizildiği durum için geometrik boyutların ve koordinat eksenlerinin tanımlanması, (a) Yarım dairesel bloklar, (b) Üçgen bloklar, (c) Dikdörtgen bloklar

Çalışmalar kapsamında dört farklı kanal Rayleigh sayısı ($Ra^*=10^2, 10^3, 10^4, 10^5$) ve üç farklı kanal boy/en oranı ($AR=5, 8, 12$) için simülasyonlar yapılmıştır. Bu simülasyonların yapılabilmesi için, fiziksel boyutların bilinmesi gerekmektedir. FLUENT kodu, sayısal olarak girilen verileri işleyerek, birimleri olan, boyutlu büyüklükleri hesaplayacak şekilde tasarlanmıştır.

Fiziksel boyutların elde edilmesinde Rayleigh sayısından yararlanılmıştır. İncelenen her Ra^* -Kanal Boy/En oranı çifti için bir Rayleigh sayısı mevcuttur. Bu sayılar, 500

ile 1 200 000 arasında değişen 12 farklı değer almaktadır. Her Rayleigh sayısı değeri, Eşitlik 2.8’de verilen ifadeden elde edilmiştir. Bu ifadede yerçekimi ivmesi g , ısıl difüzivite α , ve kinematik viskozite ν değerleri tüm Rayleigh sayıları için sabit alınmıştır. T_∞ kanal dışındaki havanın sıcaklığıdır ve daha önce de belirtildiği gibi, tüm çözümlerde 293 K alınmıştır. Geriye kalan iki terim, T_w duvar sıcaklığı ve b kanal genişliği terimlerinin farklı değerleri Eşitlik 2.8’de yerine yazılarak, arzulanan Rayleigh sayısı değerlerine ulaşılmıştır. Duvar sıcaklığı değerleri belirlenirken, akışın oluşmasına yeterli gelecek kadar bir sıcaklık farkını garanti etmek için, duvarla, kanal dışındaki hava sıcaklığı arasında 30 K dolayında bir sıcaklık fark bırakılmıştır. Sıcaklık değerleri girilirken, ondalık ayracından sonra bir basamaktan fazla hassasiyet kullanılmamıştır.

Her Rayleigh sayısı için bu işlem yapıldığında, her Ra^* -Kanal Boy/En oranı çifti için bir kanal genişliği ve bir de duvar sıcaklığı değeri elde edilmiştir.

Çizelge 2.1. Kanal boy/en oranı- Ra^* çiftleri için belirlenen kanal genişliği değerleri (değerler m cinsinden verilmiştir)

AR/ Ra^*	10^2	10^3	10^4	10^5
5	0,006	0,013	0,027	0,058
8	0,007	0,015	0,031	0,068
12	0,008	0,017	0,036	0,077

Çizelge 2.2. Kanal boy/en oranı- Ra^* çiftleri için belirlenen duvar sıcaklığı değerleri (değerler K cinsinden verilmiştir)

AR/ Ra^*	10^2	10^3	10^4	10^5
5	320	319,5	322,9	323,2
8	320,2	320,7	324,8	323
12	320,4	321,6	323,3	324,1

Çizelge 2.1’de saptanan değerler ile, incelemeye tabi tutulacak kanalların dış boyutları belirlenmiştir. Kanal içerisine yerleştirilecek blokların yerleşimi de buna uygun olarak yapılmıştır.

Blokların kanal içerisinde kapladığı yüzey alanının oranı, kanalın boy/en oranı ile bağlantılıdır. Tüm geometrilerde blok yüksekliği, kanal genişliğinin %20'si kadar, blok taban alanı da kanal genişliğinin %40'ı kadardır. Ancak boy/en oranı büyüdükçe, blokların oturduğu alanın, toplam duvar alanı üzerindeki yüzdesi azalır. Bu durumun etkileri, takip eden bölümlerde irdelenmiştir.

Boy/en oranının 5 olduğu durumda blokların oturduğu kenarların toplam uzunluğu, kanal duvarının toplam uzunluğunun (L) %40'ı kadar olmaktadır. Karşılıklı blok yerleşimi için geriye kalan %60 serbest duvar uzunluğu 6 eşit parçaya bölünmüştür (H). Kanal girişiyle ilk blok, son blokla kanal çıkışı ve bloklar arasında, toplam duvar uzunluğunun %10'u kadar serbest alan bulunmaktadır.

Blokların kaydırılmış olarak yerleştirilmesinde ise sol duvar üzerindeki ilk blok, kanal girişinden, toplam duvar uzunluğunun %5.5 kadar uzağa (H1) yerleştirilirken, sağ duvar üzerine ilk blok, kalan girişinden, toplam kanal uzunluğunun %14.5'ine eşit mesafeye (H2) konulmuştur. Kanal çıkışında ise aynı mesafeler, çıkıştan itibaren, sol ve sağ duvar için yer değiştirerek geçerli olmaktadır. Bloklar arası mesafe ise, karşılıklı dizilimde olduğu gibi, toplam duvar uzunluğunun %10'u kadardır (H3). Blok dizilimleri bu oranlar kullanılarak yapıldığında, kaydırılmış olarak dizilmiş her bloğun merkez eksenini, karşı duvar üzerindeki iki blok arasındaki serbest alanın tam orta noktasına hizalanmış olmaktadır. Boy/en oranı 8 ve 12 olan kanallar için de verilecek oranlar bu şartı sağlamaktadır.

Kanalın boy/en oranının 8 olduğu durumda blokların taban uzunluklarının toplamı, toplam kanal boyunun %25'ine düşer. Geriye kalan %75 boy, karşılıklı yerleşim için 6 eşit parçaya bölünerek, kanal girişinden ve çıkışından mesafeleri ile kendi aralarındaki açıklıkları toplam boyun %12.5'ine denk gelen bir dizilim oluşturur. Bloklar arasındaki serbest bölge, 5 oranına göre %25 artmıştır.

Aynı oran için oran 5'deki hizalama prensibine bağlı kalarak, kaydırılmış blok dizilimi yapıldığında, kanal girişinden itibaren sol ve sağ duvarlar üzerindeki birinci

blokların konumu sırasıyla, toplam kanal boyunun %8.125'i ve %16.875'i olmakta, bloklar arasındaki mesafe ise karşılıklı blok dizilimindeki ile aynı olmaktadır.

Çözümü yapılan en büyük boy/en oranı 12 için, karşılıklı blok diziliminde, blokların toplam taban uzunluklarının toplam kanal boyuna oranı iyice azalarak, %16.7'ye düşmektedir. Yine karşılıklı dizilim için tüm aralıklar ve giriş-çıkış mesafeleri eşit alındığında bloklar arası mesafe, toplam uzunluğun %13.9'una eşitlenmiş ve bloklar arasın serbest bölge genişliği, 5 oranına göre %40, 8 oranına göre %11 artmıştır.

Kaydırılmış blok diziliminde ise kanal girişinden itibaren sol ve sağ duvarlar üzerindeki birinci blokların konumu sırasıyla, toplam kanal boyunun %9.6 ve %18.2'si kadardır.

Yapılmış olan çalışmanın kapsamı böylece belirtilmiştir. Bundan sonraki bölümlerde, sayısal çözümlerle sağlanmış olan verilerin değerlendirilmesi yapılacaktır.

3. AĞ YAPISINDAN BAĞIMSIZLIK TESTLERİ

Sayısal çözümlerin ilk adımı olarak, tüm blok geometrileri ve tüm dizilimler için, hesaplamaların, kanal üzerinde oluşturulan ağ yapısından bağımsızlığı sağlanmıştır. Yeterli sıklıkta kontrol hacminin kullanılması, bulunan sonuçların doğruluğunu yakından etkileyen bir durum olduğundan çok önemlidir. Çok büyük hücreler kullanılması durumunda, örneğin kanal içerisinde oluşan ters akışlar yakalanamayabilmektedir.

Diğer taraftan, ihtiyacın üzerinde, aşırı yoğun bir ağ yapısının büyük miktarda bilgisayar zamanına mal olduğu da bilinen bir gerçektir. İçerisinde blokların bulunduğu kanalları için yapılan testlerde, aynı yakınsama şartları için, en seyrek ağ yapısının iterasyonunun yakınsama süresi dakikalar mertebesindeyken, en yoğun ağ yapısının yakınsama süresi, saatler mertebesine ulaşmıştır.

Aşırı seyrek hücre yapısı kullanılması durumunda çözümlerin yakınsamaması, çalışmalar sırasında karşılaşılan ve gerçekte beklenen bir durumdur. Ancak test çalışmaları sırasında, aşırı yoğun hücre yapısı uygulamalarında da yakınsamanın sağlanamadığı belirlenmiştir.

Düşey kanal geometrilerinin kontrol hacimlerine bölünmesi işlemi, Gambit programında yapılmıştır. Temel olarak yapılan işlem, duvarlar, bloklar ile kanal giriş ve çıkışlarından oluşan sistem sınırları üzerine atanan kontrol noktalarıyla sınırların küçük yüzey parçalarına ayrılması, daha sonra atanan bu noktaların birleşim yerlerini oluşturduğu kontrol hacimlerinin meydana getirdiği kontrol hacmi ağının elde edilmesidir.

Hücre yapısı oluşturulurken, kontrol noktaları, sınırlar üzerine homojen olarak dağıtılmamış, kanal girişi, çıkışı, blokların ön ve arka uç noktaların gibi akışın kritik olduğu yerlere yoğunlaştırılmıştır. Böylece oluşturulan hücre ağının, bu noktalarda daha sık ve dolayısıyla hesaplamaların daha hassas yapılması sağlanmıştır.

İçinde bloklar bulunmayan düz kanalın ağ yapısı oluşturulurken, problem alanının sınırları yukarıda anlatıldığı gibi parçalara bölünmüş, daha sonra bu parçalardan hücre ağı oluşturulmuştur. Hücre yapısı olarak dikdörtgen hücreler kullanılmıştır.

Blokların kanal içinde bulunduğu durumların ağ yapısı oluşturulurken ise, Gambit'in seçilen sınır üzerinde sınır tabaka oluşturma özelliği kullanılarak, kanal ve blok duvarları üzerinde daha düzgün ve daha yoğun bir ağ yapısı oluşturulmuştur. Sınır tabaka kalınlığı, tüm geometriler için, kanalın en dar yerinin yarısına kadar yükselecek şekilde seçilmiştir. Sınır tabaka dışında kalan bölgede ise dikdörtgen hücreler kullanıldığında, hücreler birçok yerde birbiri ile kesiştiğinden, ağ oluşturmada sorunlar oluşmuş, bu yüzden içinde bloklar bulunan kanallar için, bu bölgelerde üçgen hücreler tercih edilmiştir.

İncelenen tüm geometriler için ayrı ayrı ağ yapısından bağımsızlık analizi yapmak yerine, kanal dış boyutları açısından en büyük durum, yani $AR=12$ ve $Ra^*=10^5$ şartları için ağ yapısından bağımsızlık testleri yapılmış ve bu durum için uygun bulunan hücre sayısı, diğer AR ve Ra^* kombinasyonlarına da uygulanmıştır. Ancak bazı kanal geometrileri için $Ra^*=10^2$ 'de, $Ra^*=10^5$ 'de kullanılan hücre sıklığının kullanılması problem oluşturmuştur. Hücrelerin hacimleri, küçülen kanal boyutlarına bağlı olarak çok fazla küçülmüş, Fluent'in ağ yapısı denetiminde hata vermesine ve ağ denetiminin tamamlanamamasına sebep olmuştur. Aşırı küçülen hücre hacimlerine bağlı olarak, daha önce de bahsedildiği gibi, yakınsama sorunları ile karşılaşmıştır. Bu gibi durumlarda ağ yapısında seyreltmelere gidilerek, en küçük hücre boyutu bir miktar yukarıya çekilmiş ve yakınsama sağlanmıştır. Yapılan seyreltmelerle oluşturulan bu yeni ağ yapılarında, orjinal olarak testi yapılarak atanmış ağ yapısındaki en küçük ve en büyük hücre hacmi aralığının içinde kalınmış ve dolayısıyla ağ yapısı hassasiyeti korunmuştur.

Sınırlar üzerine atanacak kontrol noktası sayısının belirlenmesi her blok geometrisi ve blok dizilimi için ayrı olarak yapılmıştır. Blok geometrilerine bağlı olarak her kanal duvarını oluşturulan elemanların sayısı değişmekte ve duvarın her elemanı üzerindeki kontrol noktası sayısı, düzgün bir hücre yapısı oluşturacak şekilde

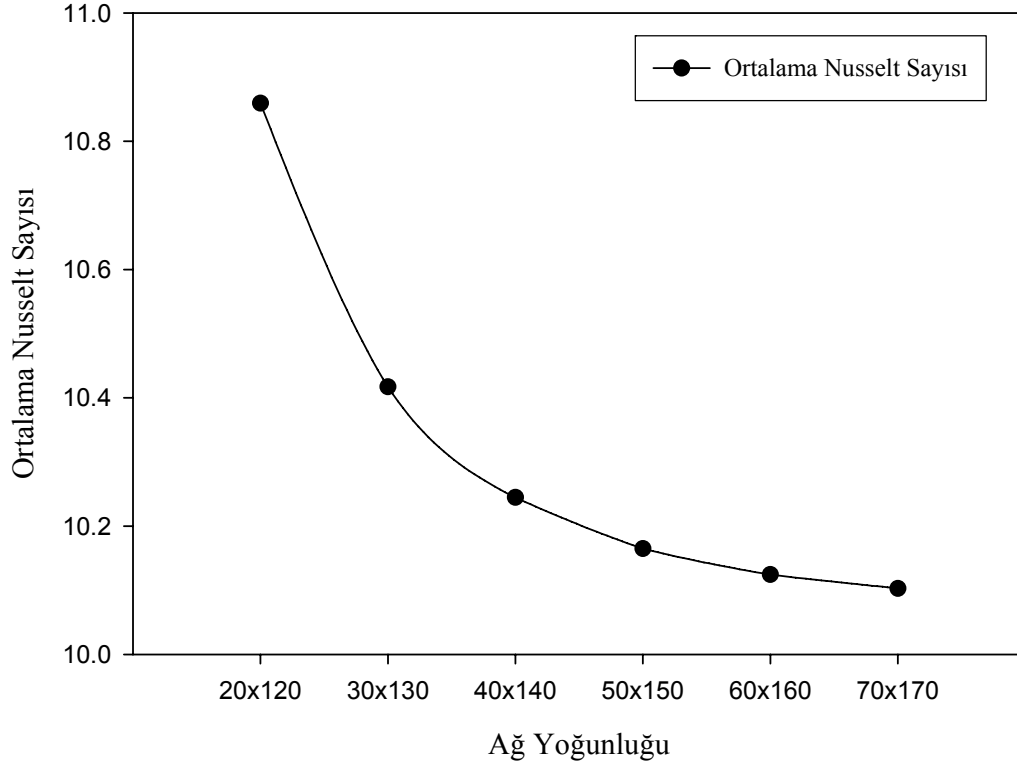
belirlenmektedir. Bu da, aynı kanal dış boyutları için farklı durumlarda, farklı hücre yapılarının oluşturulması ve bu yapıların ayrı ayrı test edilmesi zorunluluğunu doğurmuştur.

Sonuçlar, incelenen altı farklı bloklü kanal ve bloksuz kanal için sunulmuştur. Yapılan testlerde referans olarak ortalama Nusselt sayısının değerinin değişimi alınmıştır.

İçinde blok bulunmayan kanal için ağ yapısının, hesaplanan ortalama Nusselt sayısına etkisi Şekil 3.1’de görülmektedir. Yoğunlaşan ağ yapısı ile birlikte ortalama Nusselt sayısının değerindeki değişim, düzgün olarak azalmaktadır. Bloksuz kanal üzerinde yapılan incelemelerde 60x160 yoğunluğunda hücre ağı kullanılmıştır. Bunun anlamı çözümlerin, x-ekseni yönünde 60, y-ekseni yönünde 160 adet kontrol hacmi oluşturularak yapılmış olduğudur.

60x160 yoğunludaki ağ ile yapılan çözümde hesaplanan ortalama Nusselt sayısı değerinin, 50x150 ağı ile hesaplanan değere göre değişimi %0.4 düzeyindedir. 60x160 ağ yoğunluğundan, 70x170’e geçildiğinde ise bu değişim %0.2’nin altında olmaktadır.

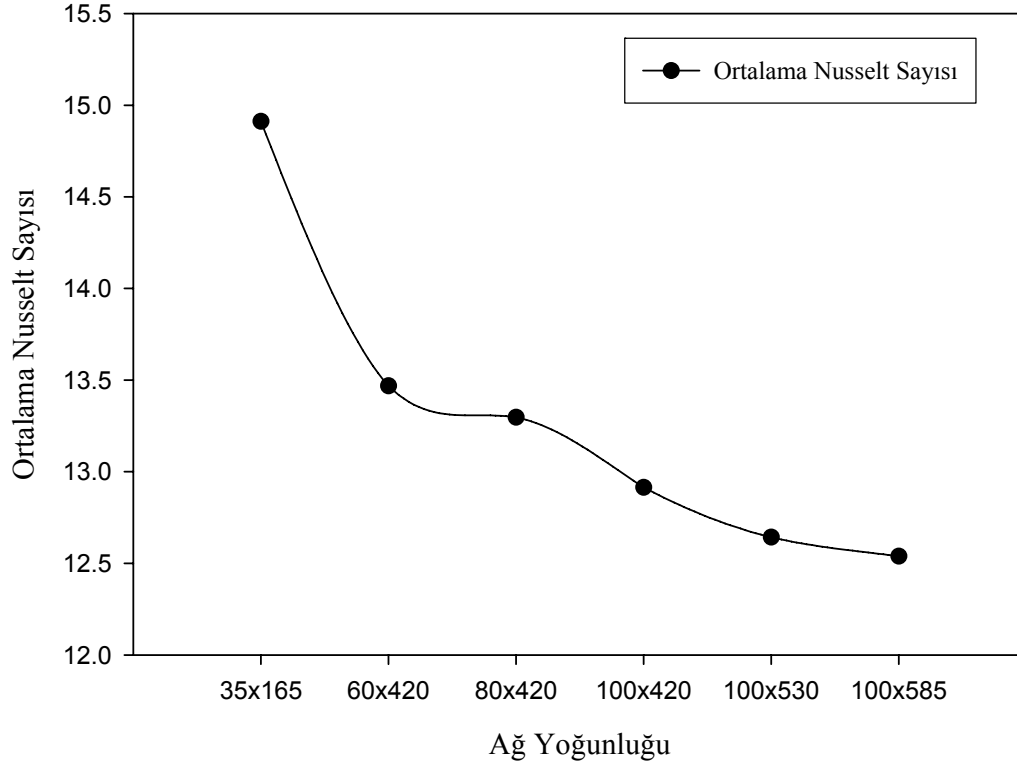
Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de yarım dairesel kesitli blokların sırasıyla, karşılıklı ve kaydırılmış olarak dizildiği durumlar için yapılan testlerin sonuçları verilmiştir. Karşılıklı dizilim için oldukça düşük bir ağ yoğunluğu ile testlere başlanmış, sonra bloklar üzerindeki kontrol noktası sayısı artırılarak y-yönündeki toplam sayısı 420’ye çıkarılmış ve x-yönündeki kontrol noktalarının artırılmasının ortalama Nusselt sayısına etkisi incelenmiştir.



Şekil 3.1. Bloksuz düz kanal için ortalama Nusselt sayısının ağ yoğunluğu ile değişimi ($AR=12$, $Ra=10^5$)

x-yönündeki hücre sayısı 100'ün üzerine çıkarıldığında sonuçların yakınsamadığı tespit edilmiş ve bu yöndeki hücre sayısı 100 olarak belirlenmiştir. Bu değer sabit tutularak y-yönündeki hücre sayısı artırılmıştır. 100x530 yoğunluğundaki hücre yapısı ile hesaplanan ortalama Nusselt sayısı ile 100x585 ile hesaplanan değer arasındaki değişim %0.8'in altındadır. Çözümlerde 100x530 yoğunluğunda ağ yapısı kullanılmıştır.

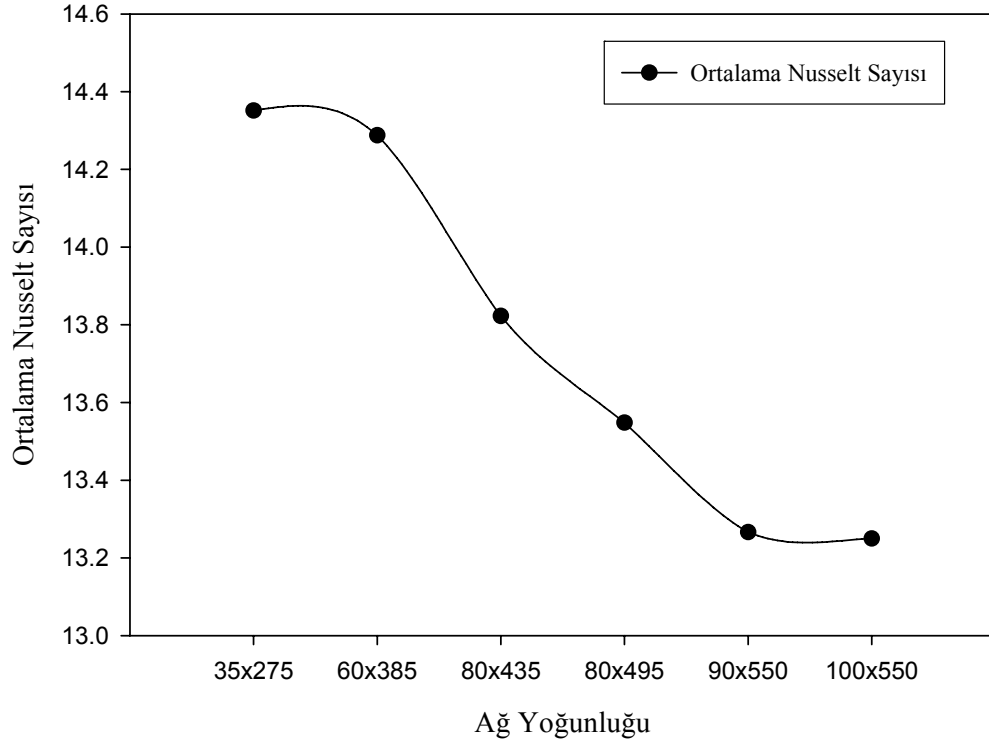
Bu ağ yoğunluğu karşılıklı dizilimde, Rayleigh sayısının 8000 değerine kadar iyi sonuç vermiş, fakat bu değer altına inildiğinde, tüm denklemler için öngörölmüş olan, artanların (residuals) 10^{-6} 'nın altına düşmesi şartı sağlanamamıştır. Bu yüzden $Ra=5000$ ($Ra^*=10^3$ ve $AR=5$) kanalı için hücre sıklığı 80x530, daha küçük kanal boyutları için ($Ra=1200$, 800 ve 500) 60x420 olarak alınarak çözümler yapılmıştır.



Şekil 3.2. Karşılıklı dairesel blok dizilimi için ortalama Nusselt sayısının ağ yoğunluğu ile değişimi ($AR=12$, $Ra=10^5$)

Kaydırılmış dizilim yarım dairesel kanat yapısı için, x ve y-yönlerindeki kontrol noktası yoğunlukları eş zamanlı olarak arttırılmak yolu ile testler yapılmıştır.

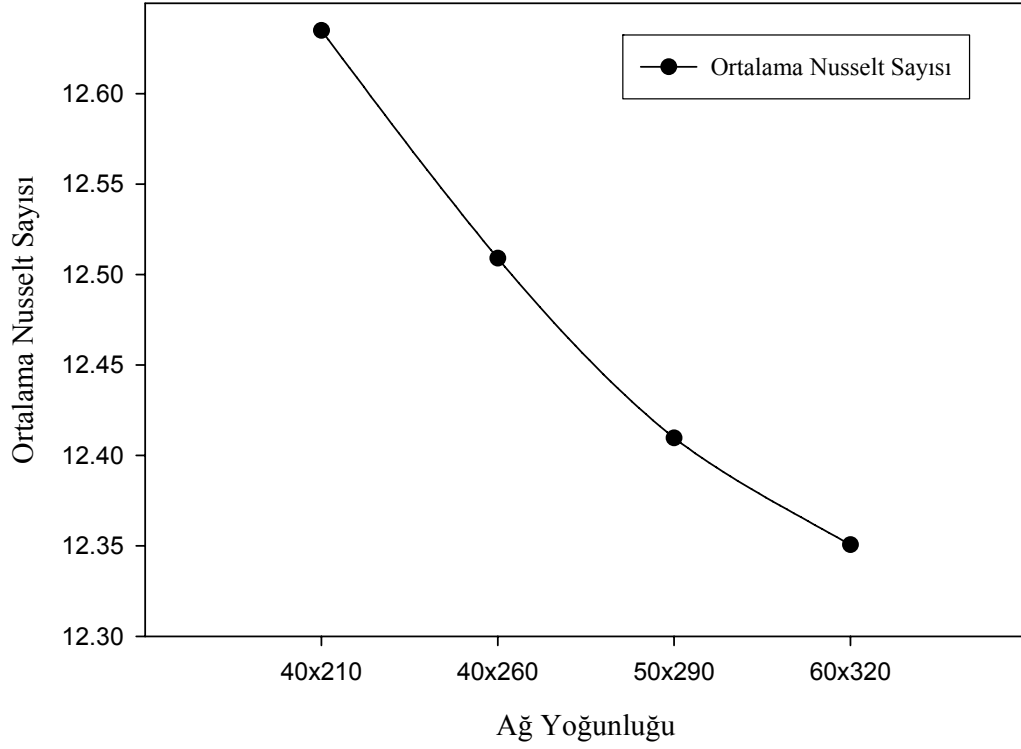
Ortalama Nusselt sayısı değerleri, ağ yoğunluğu 90x550'ye ulaşıncaya kadar kararlı olarak azalmış, x-yönündeki nokta sayısı 90'dan 100'e çıkarıldığında, hemen hemen sabit kalmıştır (Değişim yüzdesi, %0.1'in altındadır). Ağ yapısı daha da sıklaştırıldığında, çözümlerin, öngörülen yakınsama şartlarına yakınsamadığı belirlenmiştir. Kaydırılmış kanal geometrisi çözümlerinde 90x550 yoğunluğunda ağ yapısı kullanılmıştır. Bu değer, aynı blokların karşılıklı dizilimi için kullanılan ağ yapısı ile kontrol hacimlerinin sayısı bakımından benzerlik göstermektedir.



Şekil 3.3. Kaydırılmış dairesel blok dizilimi için ortalama Nusselt sayısının ağ yoğunluğu ile değişimi ($AR=12$, $Ra=10^5$)

Rayleigh sayısının 50000 değerine kadar uygulanabilen bu ağ yapısı, bu değer altında, öngörülen yakınsama şartlarını sağlamamıştır. Yakınsamanın sağlanabilmesi için ağ yoğunluğu kademeli olarak azaltılmış ve $Ra=12000$, 8000 ve 5000 değerleri için 80x550 ağ yapısı ile sağlanmıştır. $Ra=5000$ 'in altındaki kanal geometrileri için yakınsamanın sağlanabilmesi için ağ sıklığının, 60x440'a kadar düşürülmesi gerekmiştir.

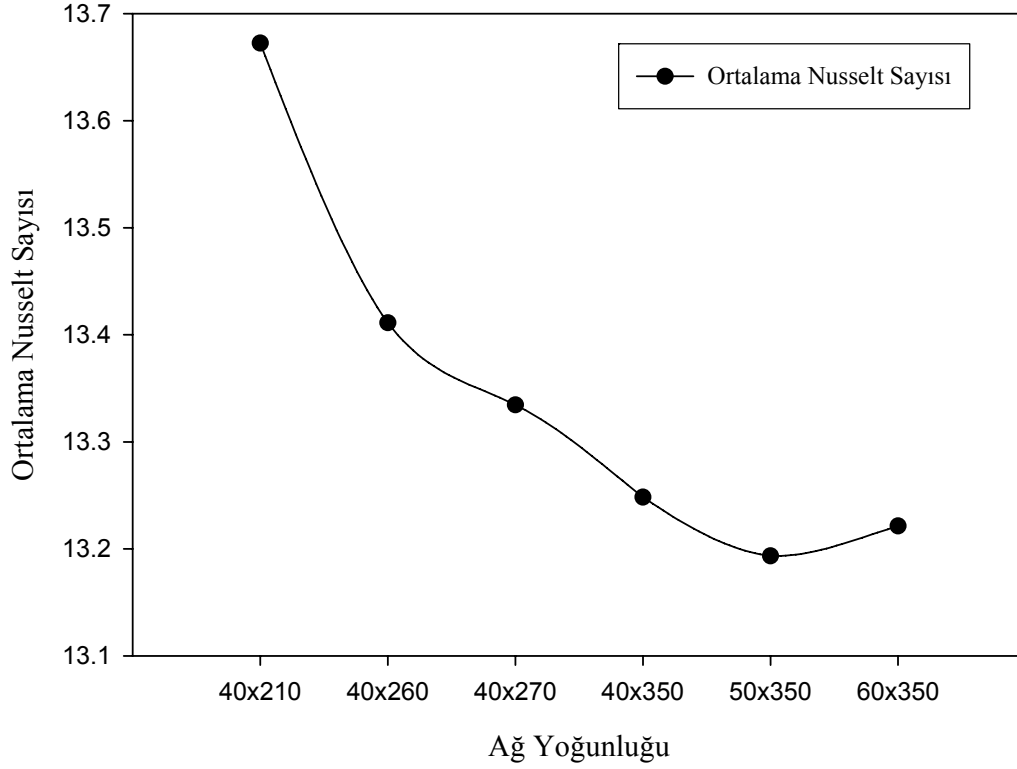
Üçgen kesitli blokların karşılıklı dizilimlerinin testinde (Şekil 3.4), x ve y-yönlerindeki hücre yoğunluğu yine eş zamanlı olarak arttırılmış, kontrol noktası sayısı 60x320'nin üzerine çıkarıldığında ise yakınsama sağlanamamıştır. 50x290 hücre yoğunluğundan, 60x320'ye geçildiğinde ortalama Nusselt sayısındaki değişim %0.4 düzeyinde kalmaktadır. Bu kanal yapısının çözümlerinde 50x290 yoğunluğunda ağ yapısı kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Karşılıklı üçgen blok dizilimi için ortalama Nusselt sayısının ağ yoğunluğu ile değişimi ($AR=12$, $Ra=10^5$)

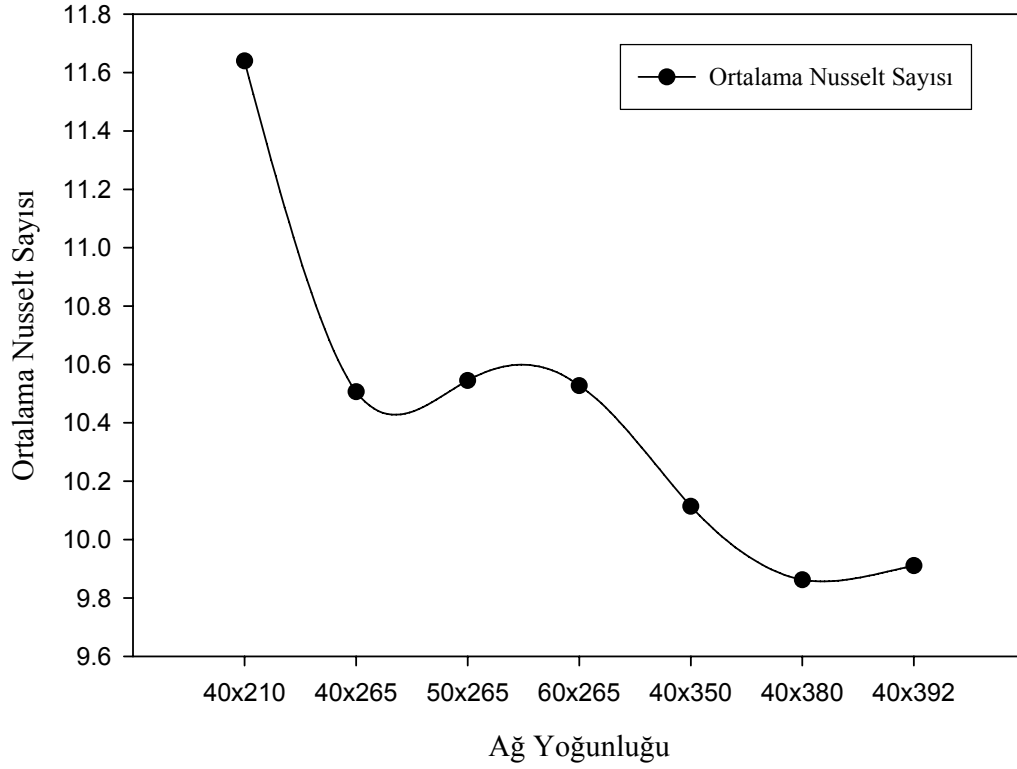
Seçilen bu ağ yapısı, en küçük kanal geometrisi olan $Ra=500$ kanalına kadar tüm kanal yapılarında sorunsuz olarak kullanılmış ve tüm geometriler için yakınsama sorunsuz olarak sağlanmıştır.

Şekil 3.5’de kaydırılmış üçgen blok dizilimi için elde edilen grafik görülmektedir. Artan ağ yoğunluğu ile kararlı olarak azalma eğilimi gösteren ortalama Nusselt sayısı değeri, y-ekseninde 350 kontrol noktası sayısına ulaşıldıktan sonra sabit kalmıştır (En hassas üç ağ yapısıyla yapılan çözümler için ortalama Nusselt sayısındaki değişim yüzdesi %0.4’ün altındadır). 40x270 yoğunluğundaki ağ yapısından 40x350’ye geçişteki ortalama Nusselt sayısının değişimi ise %0.6’dır. Bilgisayar zamanından kazanabilmek ve daha küçük Ra Sayılarındaki daha küçük geometrilerde sıkıntı yaşanmaması için çözümlerde 40x270 hücre yoğunluğu kullanılmış, bunda da amaca ulaşılmış ve hücre yoğunluğunu azaltmaya gerek kalmaksızın, çözümlerin yakınsaması sağlanmıştır.



Şekil 3.5. Kaydırılmış üçgen blok dizilimi için ortalama Nusselt sayısının ağ yoğunluğu ile değişimi ($AR=12$, $Ra=10^5$)

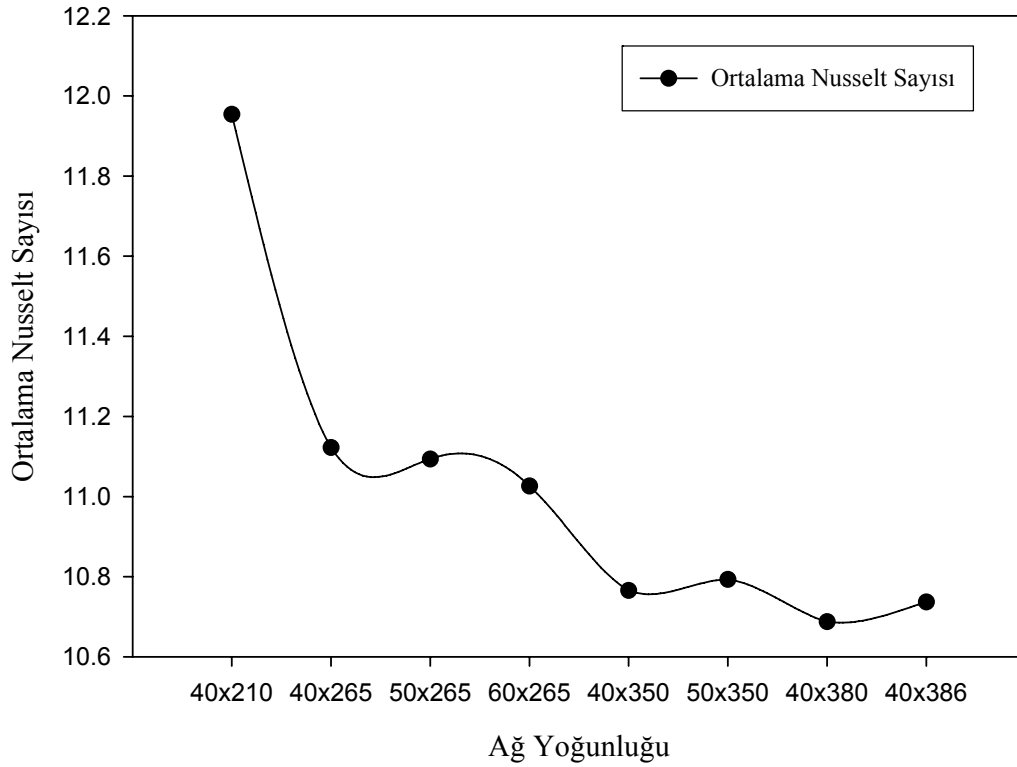
Çalışmalar kapsamında incelenen son blok geometrisi, dikdörtgen kesitli bloklardır. Şekil 3.6, dikdörtgen blokların karşılıklı dizilimi durumundaki ağ yapısından bağımsızlık testlerinin sonuçlarını göstermektedir. y-ekseni üzerine yerleştirilen 265 adet kontrol noktası durumu için x-ekseni üzerindeki nokta sayısının 40'dan 60'a çıkarılmasının, ortalama Nusselt sayısı üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı, grafikte görülmektedir. Bu yüzden, bu noktadan sonraki testlere x-yönünde 40 adet nokta alınarak devam edilmiştir. Daha sonra y-ekseni yönündeki hücrelerin sayısı artırılma, 40x380 ve 40x392 ağ yoğunlukları için ortalama Nusselt sayısı aynı kalmıştır. Bu iki ağ yapısı ile 40x350 ağ yapısı için hesaplanan ortalama Nusselt sayısı değerinin arasındaki değişim ihmal edilebilir düzeyde olduğundan (%2.5) sonuçlara daha hızlı erişebilmek için, daha seyrek olan 40x350 yoğunluğundaki ağ yapısı, çözümlerde kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Karşılıklı dikdörtgen blok dizilimi için ortalama Nusselt sayısının ağ yoğunluğu ile değişimi ($AR=12$, $Ra=10^5$)

Bu ağ yoğunluğu, en küçük kanal boyutuna karşılık gelen $Ra=500$ için oluşturulan kanal dışındaki tüm Ra sayıları için sorunsuz olarak yakınsamış, yalnızca bu en küçük kanal boyutunda yakınsamanın sağlanabilmesi için ağ yoğunluğu 40x265 değerine seyreltilmiştir.

Dikdörtgen kesitli blokların kaydırılmış yerleşiminin test sonuçları, Şekil 3.7’de verilmiştir. Y-eksenine 265 adet kontrol noktası yerleştirilmesi durumu için x-ekseni üzerine 40, 50 ve 60 adet kontrol noktası konularak bu eksen için optimum hücre sayısı elde edilmiştir. Şekilden de kolaylıkla anlaşılacağı gibi x-ekseni üzerine 40 adet hücre koymakla 60 adet hücre koymak arasında, hesaplanan ortalama Nusselt sayısının değeri yönünden hiçbir fark yoktur. Üç durum arasında ortalama Nusselt sayısının değişimi %1’den daha küçüktür.



Şekil 3.7. Kaydırılmış dikdörtgen blok dizilimi için ortalama Nusselt sayısının ağ yoğunluğu ile değişimi ($AR=12$, $Ra=10^5$)

Sonuç olarak x-ekseni üzerine 40 adet hücre yerleştirmek, hesapların ağ yapısından bağımsız olması için yeterli görülmüştür.

Yine Şekil 3.7 incelendiğinde y-ekseni üzerinde 350'den fazla hücre bulunmasının, ortalama Nusselt sayısı üzerinde kayda değer bir etkisi bulunmadığı görülmektedir. Ortalam Nusselt sayısının değişimi %1'in altında kalmaktadır. Bu bilgiler ışığında çözümlerde kullanılan ağ yapısının yoğunluğu 40x350 olarak seçilmiştir.

Karşılıklı dikdörtgen blok diziliminde olduğu gibi burada da, yalnızca $Ra=500$ kanalı için bu ağ yapısı yakınsamamış ve yakınsamanın sağlanması için ağ yoğunluğu, 40x265 değerine seyreltilmiştir.

4. BLOKSUZ KANAL İÇİN ORTALAMA NUSSELT SAYISI DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

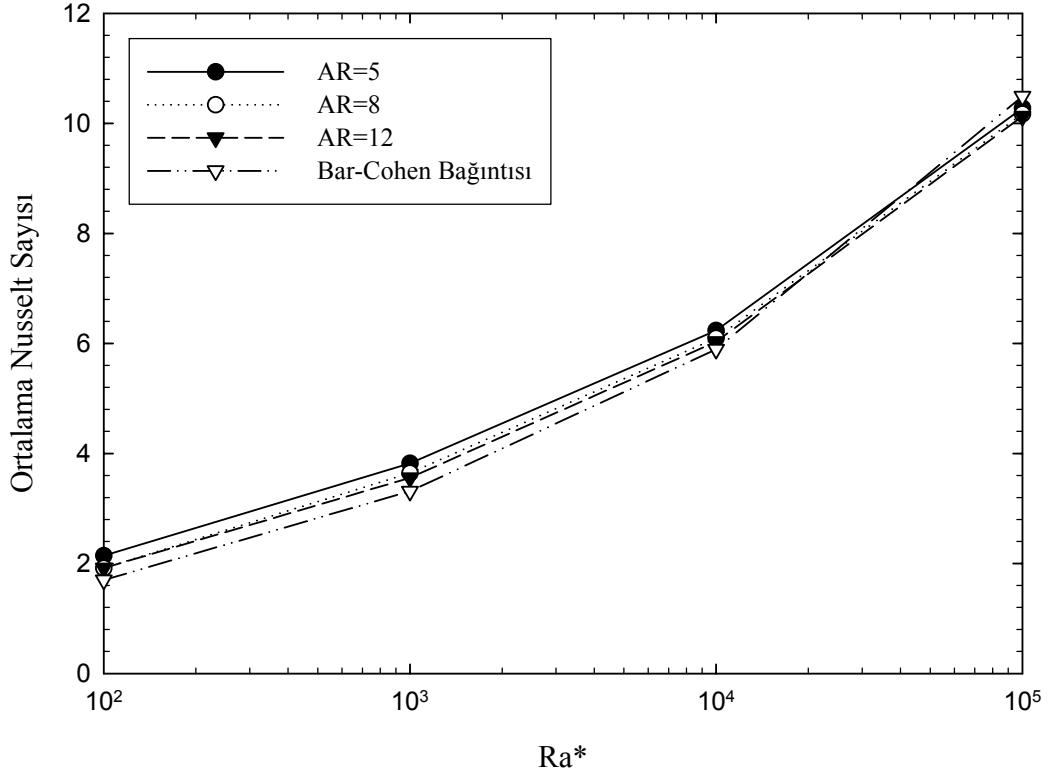
Daha önce de belirtildiği gibi, bu tez çalışmasının amaçlarından birincisi ve en önemlisi, duvarları ısıtılmış düşey kanal içerisindeki ısı transferini, blokların bulunmadığı durumdakinin üzerine çıkarmaktır. Bunun yapılabilmesi için öncelikle aynı şartlarda, bloksuz durumda aktarılan ısıнын doğru olarak bilinmesi gerekmektedir.

Bloksuz kanal için bulunan sonuçların doğruluğu, daha önce Desrayaud ve Fichera (2002), tarafından da referans olarak alınmış olan [7], Bar-Cohen ve Rohsenow'un (1984) önerdikleri korelasyondan (Eşitlik 2.9) elde edilen değerlerle karşılaştırılmak yolu ile teyid edilmiştir [1]. Çalışmanın geri kalanında yapılacak tüm karşılaştırmalarda düz kanalın ısıl performansı referans alındığından, düz kanal için bulunan değerlerin önceki yapılan çalışmalarla uyumlu olması önemlidir.

Yapılan sayısal analizler sonucunda bulunan sonuçların Eşitlik 2.9 ile uyumlu olmasının bir diğer anlamı da, sayısal çözümde seçilen yöntemlerin, girilen büyüklüklerin, uygulanan sınır şartlarının uygunluğunun bir kanıtı olmasıdır.

Şekil 4.1'de, incelenen 3 farklı kanal boy/en oranı için ortalama Nusselt sayısının, kanal Rayleigh sayısı ile değişimi ve Eşitlik 2.9'dan elde edilen değerler, aynı grafik üzerinde gösterilmiştir.

Grafik incelendiğinde, Eşitlik 2.9'a göre en büyük sapmanın, $10^2 < Ra^* < 10^4$ aralığında, $AR=5$ değeri için olduğu görülmektedir. Sayısal çözümlerden hesaplanan ortalama Nusselt sayısı değerleri, bu aralıkta, korelasyonla bulunan değerlerin üzerindedir. $10^4 < Ra^* < 10^5$ aralığında ise her üç AR için hesaplanan değerler, korelasyondan bulunan değerlerin altında kalmaktadır.



Şekil 4.1. İçerisinde blok bulunmayan kanal için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimi ($Pr=0.71$)

Korelasyonla en iyi uyumu sağlayan sonuçlar, $10^2 < Ra^* < 10^4$ aralığında $AR=12$, $10^4 < Ra^* < 10^5$ aralığında ise $AR=5$ için sağlanmıştır.

Her bir durum için bulunan sonuçlar, özellikler $10^3 < Ra^* < 10^5$ aralığında, korelasyonla oldukça iyi bir uyum sağlamaktadır. Bu aralıkta korelasyonla bulunan değerlerden sapma, maksimum %13 ($AR=5$) ile minimum %0 arasında değişmektedir. $10^2 < Ra^* < 10^3$ aralığında ise sayısal çözümlerden hesaplanan değerler, korelasyondan daha büyük sapmalar göstermiş, maksimum sapma %21 ($AR=5$ için) ve minimum sapma %7 ($AR=12$) olarak hesaplanmıştır.

Düz kanal için kanal boy/en oranının ısı performans üzerindeki etkisi, beklenenin aksine, ters orantılı olmuştur. Kanalin boyu uzadıkça ısı taşınım performansı düşmüştür. Kanal duvarından havaya aktarılan ısı miktarı, kanal girişinde en büyük değerindedir. Hava kanal içerisinde ilerledikçe, ısı sınır tabaka kalınlığı artmakta ve duvardan aktarılan ısı miktarı kanal girişinden kısa bir mesafe ötede hemen hemen

sabit kabul edilebilecek bir rejime kavuşmakta, bu durum kanal çıkışına kadar devam etmektedir. Büyüyen AR değeri ile birlikte kanal boyu da uzadığından, kanal girişindeki ısı aktarımı pik noktasının genel ısı aktarım ortalamasına etkisi azalmakta, bu nedenle de yüzeyin ortalama ısıl performansı düşmektedir.

5. REFERANS SICAKLIĞININ YEREL NUSSELT SAYISINA ETKİSİ

Yerel Nusselt sayısının hesaplanmasında referans olarak alınan akışkan sıcaklığı değerine bağlı olarak elde edilen konuma bağlı profil grafiği değişmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda genellikle referans sıcaklığı olarak kanal dışındaki sıcaklık alınmıştır [3, 5, 6, 7, 8]. Ancak akış sıcaklığının da Nusselt sayısı hesabında referans alındığı çalışmalar mevcuttur [4]. Benzer çalışmaların çoğunluğunda kanal dışı sıcaklık referans alındığından, bulunan sonuçların karşılaştırılmasının daha kolay yapılabilmesi için, ilerleyen bölümlerde incelemelerin tamamı, Nusselt sayısının hesabında kanal dışı sıcaklığın referans alındığı durum için yapılmıştır. Bu bölümde kanal dışındaki sıcaklığın referans alındığı durum ile kanal içerisindeki yerel sıcaklık değerlerinin Nusselt sayısı hesabında referans alındığı durum karşılaştırılacaktır.

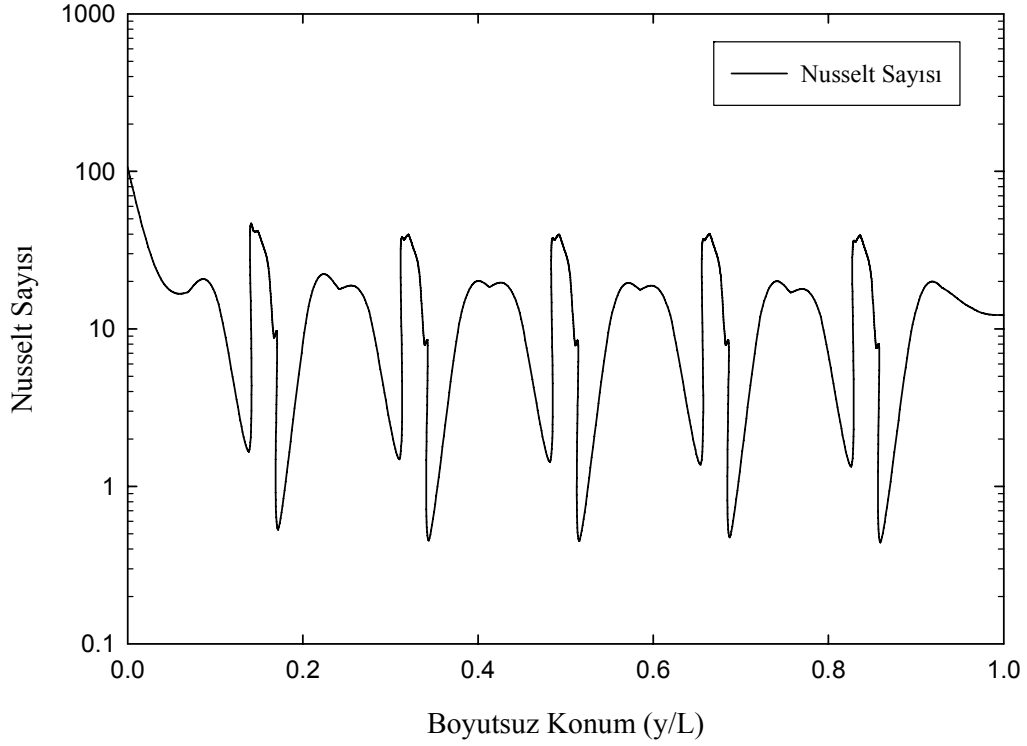
Referans sıcaklığının etkisinin incelenmesinde örnek kanal geometrisi olarak, $Ra^*=10^5$, $AR=12$ alınmıştır. Örnek çalışmadaki bloklar yarım daireseldir.

Nusselt sayısının hesabında kullanılan bağıntı, Eşitlik 2.12’de verilmiştir. Bu eşitlikte düşey kanal problemlerinde kullanılan genel yaklaşım uygulanarak, kanal genişliği akışı etkileyen boyut olarak kabul edilmiştir. Duvar sıcaklığı T_w ve havanın ısı iletkenliği k , sabit birer girdi olarak alınmıştır. Duvardan olan ısı akısı q'' ise, programın kendisi tarafından hesaplanmıştır.

Şekil 5.1’de Eş.2.12’deki yerel Nusselt sayısı ifadesinde T_∞ yerine yerel ortalama akışkan sıcaklığı değerinin konulduğu durum için, yerel Nusselt sayısı değerlerinin kanal boyunca değişim profili görülmektedir.

Şekil 5.1 oluşturulurken, kanal içindeki yerel sıcaklıkların ve ısı akılarının belirlenebilmesi için kanalın içinde, giriş ve çıkış hariç, toplam 65 noktada x-eksenine paralel kesitler alınmış ve bu kesitlerin kanal duvarları ile birleştiği noktalara ısı akısı ölçüm noktaları konmuştur. FLUENT programının ortalama sıcaklık bulma özelliği kullanılarak, alınan kesit boyunca ortalama akışkan sıcaklığı

ve ölçüm noktalarından ise, bu kesite aktarılan ısıнын akısı hesaplatılmıştır. Bulunan değerler önce bir tabloda toplanmış ve sonra Şekil 5.1’de verilen grafik haline dönüştürülmüştür.

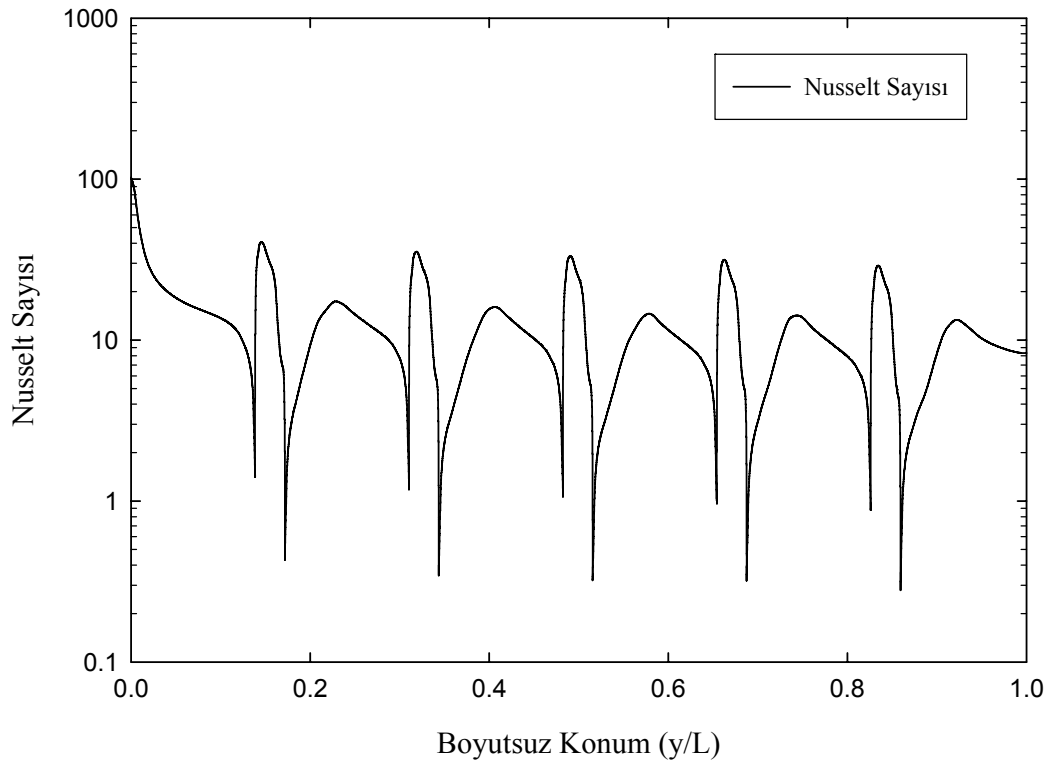


Şekil 5.1. Kanal içindeki sıcaklığın ortalama Nusselt sayısı hesabında baz alındığı durum için yerel Nusselt sayısının konuma bağlı değişim grafiği (Yarım dairesel bloklar, $AR=12$, $Ra^*=10^5$)

Kanal dışı sıcaklığın T_∞ 'a eşit alındığı durumda Eş.2.12 ile hesaplanan yerel Nusselt sayısı profili, Şekil 5.2’de verilmiştir. Bu çalışmada tüm ölçüm noktaları programın kendisi tarafından, kontrol hacimlerinin bulunduğu noktalara atanmış ve ısı akısı değerleri hesaplanmıştır.

Yerel sıcaklıkların referans alındığı durumda, akış bloklara ulaşmadan hemen önce Nusselt sayısında yerel bir artış olmaktadır. Bu bölgede ısı sınır tabaka kalınlığı, serbest akış bölgesine göre daha hızlı bir genişleme göstermektedir. Sınır tabakanın kalınlığının artmasına bağlı olarak, anılan kesitteki ortalama akışkan sıcaklığı yükselmektedir. Eşitlik 12’de tanımlanan Nusselt sayısı bağıntısında sıcaklık farkı,

Nusselt sayısının değeri ile ters orantılıdır. Dolayısı ile aynı ısı akısı değeri için aynı ölçüm noktasında, ortalama sıcaklığın referans alındığı durum için, daha yüksek Nusselt sayısı değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5.2. Kanal dışındaki sıcaklığın ortalama Nusselt sayısı hesabında baz alındığı durum için yerel Nusselt sayısının konuma bağlı değişim grafiği (Yarım dairesel bloklar, $AR=12$, $Ra^*=10^5$)

Bu yönü ile dış sıcaklığın referans alınması, Nusselt sayısının, duvardan olan ısı aktarım performansının incelenmesinde daha avantajlı görünmektedir.

Duvar üzerindeki ilk bloğun çıkışına kadar olan kısımda, blok üzerindeki Nusselt sayısı profili, her iki durum için oldukça iyi bir uyum göstermektedir. İlk bloğun bulunduğu bölgenin girişindeki ve çıkışındaki Nusselt sayısının ani düşüşlerin alt noktaları ile bloğun üzerinde ısı aktarımının en yüksek olduğu tepe noktalarındaki yerel Nusselt sayısı değerleri, her iki durum için de aynı mertebededir. Kanal üzerindeki ilk bloğun girişindeki minimum noktada, iki farklı referans sıcaklığı için, Nusselt sayısı değerleri arasındaki fark %8'den azdır. Blok üzerindeki maksimum

noktada aynı değerler için sapma %4'ün altında kalmaktadır. İlk blokğun çıkışında ise bu fark %11 düzeyine ulaşmıştır.

Ancak akış kanal içinde ilerledikçe, iki referans sıcaklığı ile hesaplanan değerler arasındaki fark gittikçe artmaktadır. Akışın kanal içindeki ortalama sıcaklığı referans alınarak hesaplanan Nusselt sayısı değerlerinde, y-yönünde akışın ilerlemesiyle birlikte, önemli bir değişim gözlenmemiştir. Blokların giriş, çıkış ve blok üzerlerindeki tepe noktadaki Nusselt sayısı değerleri hemen hemen sabit kalmıştır. Hava kanalın içerisinde ilerledikçe sıcaklığının arttığı ve buna bağlı olarak duvardan aktarılan ısıнын akışının azaldığı açıktır. Fakat akışkanın artan sıcaklığı ile birlikte, duvar sıcaklığı ile akışkan sıcaklığı arasındaki fark da azalmakta, bu da yerel Nusselt sayısı değerine artış eğilimi vermektedir. Bu iki etkinin birbirini dengelemesinin sonucu olarak Nusselt sayısı değerleri, her blokun üzerinde aynı kalmıştır.

Dış sıcaklığa referans Nusselt sayısı değerlerinin değişiminde ise etkin tek parametre ısı akısı değişimi olduğundan, Şekil 5.2'de verilen grafikteki değerler, kanal boyunca azalan ısı duvar ısı akısına paralel olarak, azalma eğilimi göstermiştir.

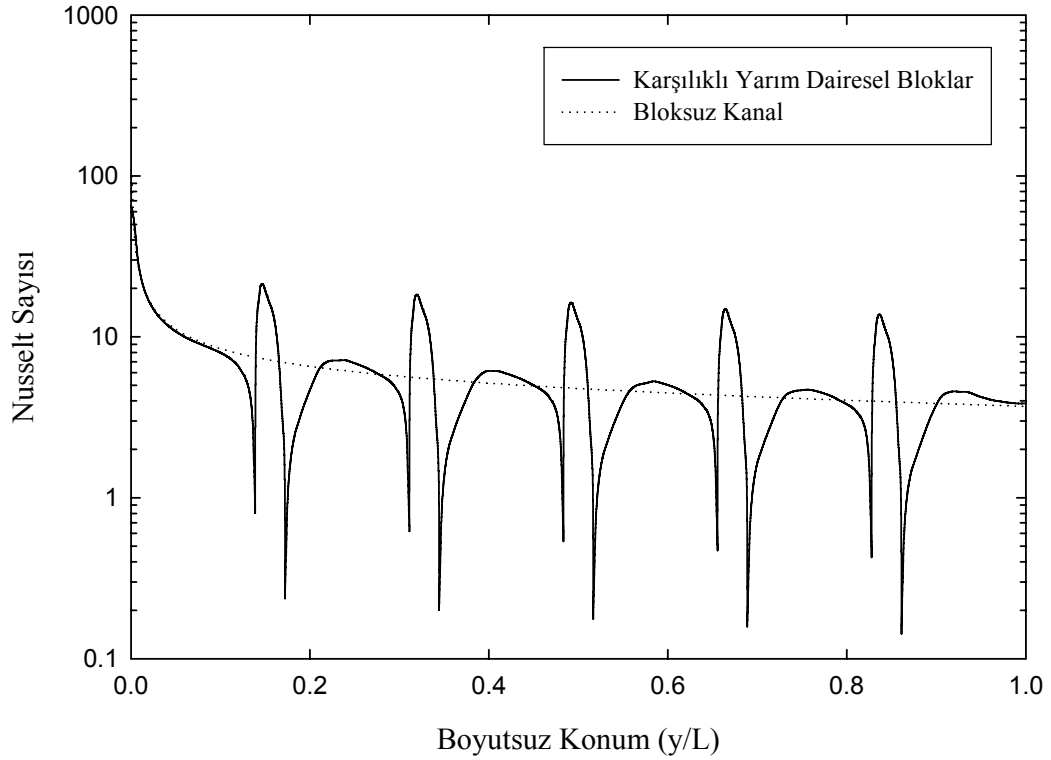
Sonuç olarak iki farklı referans sıcaklığı durumu için yerel Nusselt sayıları arasındaki fark giderek açılmış, kanal çıkışındaki son bloğa gelindiğinde, blok girişinde ve blokun üzerindeki tepe noktada %28, blok çıkışında %31 mertebesine ulaşmıştır. Kanal çıkışındaki fark ise %32'dir.

6. BLOK GEOMETRİSİNİN YEREL NUSSELT SAYISINA ETKİSİ

İncelenen üç farklı bloğun iki farklı diziliminin herbiri için, kanal duvarlarından havaya olan ısı akısının yerel değerleri farklılık göstermektedir. Buna bağlı olarak kanal duvarı üzerindeki Nusselt sayısı değerleri için de farklı profiller elde edilmiştir. Elde edilen profillerin kanal yüzeyinin ısı aktarma kabiliyeti üzerinde istenen gelişmeyi yaratıp yaratmadığının daha kolay anlaşılabilmesi için bu bölümde sunulan her Nusselt sayısı profili üzerine, düz kanaldan elde edilen Nusselt sayısı profili de konulmuştur. Yerel etkilerin daha açık olarak gösterilebilmesi için, kanal boyunun en uzun olduğu durum olan $AR=12$ seçilmiştir. Sunulan değerler, kanal Rayleigh sayısının 10^4 değeri için bulunmuştur. Altı farklı geometrinin tamamında, kanalın sol duvarının performansı incelenmiştir.

Şekil 6.1’de karşılıklı dizilmiş yarım dairesel kesitli bloklardan elde edilen yerel Nusselt sayısı profili görülmektedir. Duvarın ısı transfer karakteristiği, kanal uzunluğunun yaklaşık olarak ilk %10’luk kısmı boyunca düz kanaldaki rejimine paralel olarak azalmıştır. Bu noktadan itibaren bloğun akış üzerindeki engelleyici etkisi hissedilmeye başlanmış ve Nusselt sayısında ani bir düşüş gözlenmiştir. Tüm blokların, akış yönüne göre önde kalan yüzeylerinin, kanal duvarı ile birleştiği noktada ısı aktarımı bir minimum değerine düşmüştür. Bu noktalar akışın en yavaş olduğu noktalar olduğundan, taşınımın ısı aktarımının etkileri, bu noktalarda çok az hissedilmektedir.

Bloklar arasındaki kesit daralmasından dolayı artan akış hızı ile birlikte blok üzerinde akış yönünde ilerledikçe, taşınımın etkileri yeniden kendini göstermiş ve duvardan olan ısı aktarımı ani olarak artmıştır. Bu artış, yarım dairesel bloğun kanalı en çok daralttığı tepe noktasına ulaşmadan önce bir maksimum değerine ulaşmış ve bu noktadan sonra yine ani olarak düşüşe uğrayarak, bloğun akış yönüne göre arka yüzeyinde, blok girişinde ulaştığı minimum değerinin de altına düşmüştür. Blok yüzeyinin, giriş ve çıkış bölgeleri dışında, hemen hemen tamamında, aynı aralıkta düz kanaldan elde edilen ısı aktarımının üzerine çıkmıştır.



Şekil 6.1. Yarım dairesel blokların karşılıklı olarak dizildiği durum için Nusselt sayısının yerel değerleri ($AR=12$, $Ra^*=10^4$)

Blokların çıkışlarında oluşan ısı aktarımındaki düşüşün sebebi, aynen blok girişlerinde olduğu gibi bu bölgelerde de akışta oluşan ani yavaşlama, durma ve hatta ters yönde oluşan akışlardır. Bu ters akışların olduğu bölgelerde taşınımın etkilerinin yerini iletim ile ısı aktarımı almakta ve ısı aktarımı düşmektedir.

Kanal içerisinde ilerleyen akışın oluşturduğu ısı sınır tabakanın ortalama sıcaklığı, kanal girişinden itibaren giderek arttığından, düz kanal için gözlemlendiği ve bu geometri için de beklendiği gibi, her bloğun ısı performansı, akış yönüne göre kendinden önce gelen bloğa göre daha düşük olmaktadır.

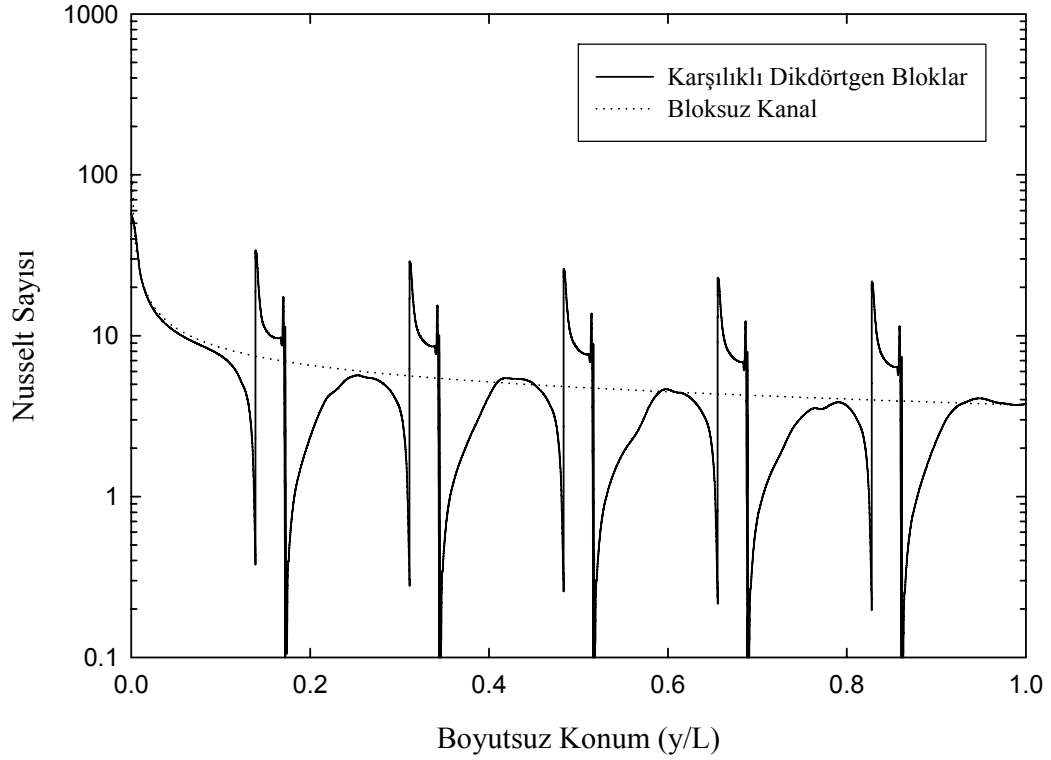
Yarım dairesel kesitli bloklarda akışta ani bozulmalara ve ayrılmalara sebep olacak sivri köşeler bulunmadığından, blok üzerindeki ısı aktarımındaki değişim de buna paralel olarak artış rejiminden azalış rejimine, yumuşak bir şekilde geçmiştir. Isı aktarım miktarı, blokların üzerinde istenen seviyeye ulaşmakla birlikte, bloksuz serbest bölgelerde düz kanaldan elde edilen değerlerin altında kalmıştır.

üçgen kesitli bloklar lehine bir sonuç vermektedir. Aynı durum blokların çıkışlarında da kendini hissettirmekte, üçgen bloklar için blok çıkışında, ısı aktarımındaki yerel minimum değerleri, yarım dairesel bloklarla elde edilenlerin çok üzerinde kalmaktadır.

Şekil 6.2’den görüldüğü üzere, üçgen blokların, akış yönüne göre arka yüzleri, ısı aktarımında hemen hemen hiç kullanılamamaktadır. Aktarılan ısı miktarı, üçgenin tepe noktasına kadar, yükselen akış hızıyla birlikte artmaktadır. Üçgenin tepesinde akışın ayrılmasıyla birlikte, bloğun arka bölgesinde oluşan durgun bölgede taşınımın etkisi kaybolmuştur. Çok kısa bir mesafe içinde ısı aktarımı büyük düşüş göstermiştir. Bu noktada üzerinde sivri bir nokta bulunmayışı, yarım dairesel kesitli blok durumunda ısı aktarımı yönünden bir avantaj sağlamıştır. Bu geometride blok yüzeyinin tamamına yakınından havaya etkin olarak ısı aktarımı sağlanabilmiştir.

Üçgen blokların bulunduğu durumda da yarım dairesel bloklarda olduğu gibi, bloklar arasındaki serbest akış bölgelerindeki maksimum ısı aktarımının olduğu noktalarda düz kanal ile elde edilen ısı aktarımının üzerine çıkılabilmiş, her blok bölgesinde ısı aktarımı kabiliyeti, bir önceki bloğa göre azalma eğilimi göstermiştir.

Karşılıklı dizilmiş dikdörtgen bloklardan elde edilen Nusselt sayısı profili Şekil 6.3’te görülmektedir. Blokların geometrik şekillerinin bir yansıması olarak akışın bloğa çarptığı nokta ile bloktan ayrıldığı noktadaki yavaşlama, diğer iki blok geometrisine göre çok daha fazla olmuştur. Bu duruma bağlı olarak blokların girişinde ve çıkışında, ısı aktarımına oluşan yerel minimum değerleri, diğer iki blok için elde edilen değerlere göre oldukça düşüktür.

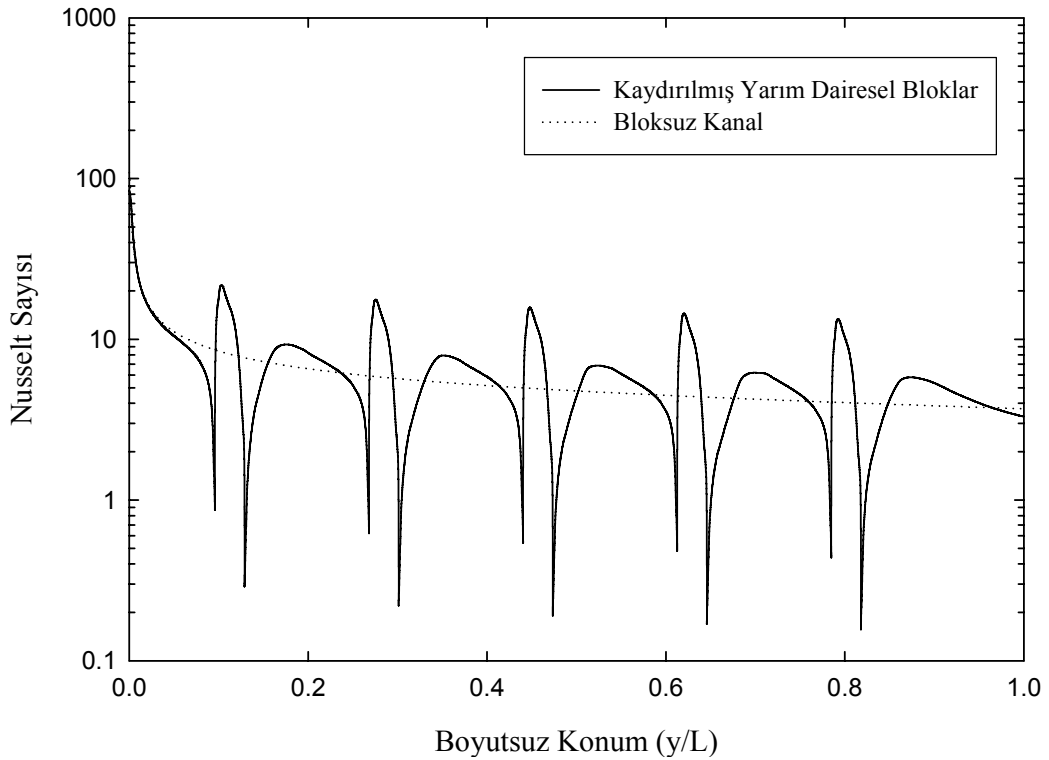


Şekil 6.3. Dikdörtgen blokların karşılıklı olarak dizildiği durum için Nusselt sayısının yerel değerleri ($AR=12$, $Ra^*=10^4$)

Üçgen blok geometrisi için gözlenen, sivri uçlardan yüksek ısı aktarımı sağlanması özelliği, dikdörtgen bloklar için de görülmektedir. Blok giriş ve çıkışlarında, Nusselt sayısı için yerel maksimum değerleri elde edilmiştir. Anılan noktalardaki Nusselt sayısının yerel değeri, diğer blok geometrileri için bulunan değerlerin üzerindedir.

Dikdörtgen kesitli blokların üst yüzeyinden aktarılan ısı miktarı, üçgen ve yarım dairesel kesitli bloklardan aktarılanlara göre daha fazladır. Aktarılan ısıнын neredeyse tamamı, bloğun akış yönüne paralel olan üst yüzeyinden aktarılmaktadır. Bu bölgede elde edilen ısı aktarım performansı, düz kanaldan elde edilenin çok üzerindedir. Ancak blokların akış yönüne dik olan duvarlarının bozucu etkisi, hem blok giriş ve çıkışında yerel Nusselt sayısında aşırı düşüşlere sebep olmuş, hem de bloklar arası bölgede ısı aktarımının, aynı bölgede düz kanaldan olan ısı aktarımının üzerine çıkamamasına yol açmıştır.

Kaydırılmış blok dizilimi durumu için uygulanan blok yerleşimine ilişkin boyutlar ikinci bölümde açıklanmıştı. Blokların kaydırılmış olarak dizilmesi durumunda kanal içindeki en dar kesit, blokların karşılıklı dizildiği duruma göre daha büyük olmaktadır. Hava dalgali olarak aktığı için karşılıklı dizilim durumuna göre daha iyi bir ısı aktarım performansı elde edilmiştir.



Şekil 6.4. Yarım dairesel blokların kaydırılmış olarak dizildiği durum için Nusselt sayısının yerel değerleri ($AR=12$, $Ra^*=10^4$)

Şekil 6.1 ve 6.4 birlikte incelendiğinde, blokların karşılıklı ve kaydırılmış olarak yerleştirilmesinin, kanalın ısı aktarım kabiliyetini ne kadar fazla etkilediği hemen görülmektedir. Kaydırılmış ve karşılıklı blok dizilimi durumları arasında, blokların üzerinden aktarılan ısı miktarında önemli bir fark görülmüştür. Kaydırılmış dizilimde blokların çıkışında elde edilen en küçük yerel Nusselt sayısı değeri, karşılıklı yerleşime göre bir miktar daha yüksek (yaklaşık %18) hesaplanmıştır. Blokların üzerinden aktarılan en yüksek ısı değerlerinde ise bir değişim görülmemiştir.

Her iki dizilim arasında ısıl yönden temel fark oluşturan öge, bloklar arasındaki bölgeden havaya aktarılan ısı miktarıdır. Kaydırılmış dizilim durumunda, anılan bu bölgeden olan ısı akısı, karşılıklı dizilime ve düz kanalın aynı bölgesinden olan ısı akısına göre oldukça yüksektir. Kanalın sol duvarı üzerinde bloklar arasında kalan bölgesinin tam karşısına, sağ duvar üzerindeki blok denk gelmekte, doğal akış bu bloğun üzerinden geçerken doğal olarak sol duvara doğru sıkışmaktadır. Böylece blokların arkasında oluşan vorteks bölgeleri küçülerek, bloklar arasındaki yüzeylerden de etkin bir şekilde ısıнын aktarılması sağlanmaktadır. İlgili şekillerden de görüldüğü gibi blokların kaydırılmış olarak dizilmesi ile bloklar arasındaki mesafenin yarısından daha fazlasında ısı aktarım miktarının, düz kanalının üzerine çıkması sağlanmıştır.

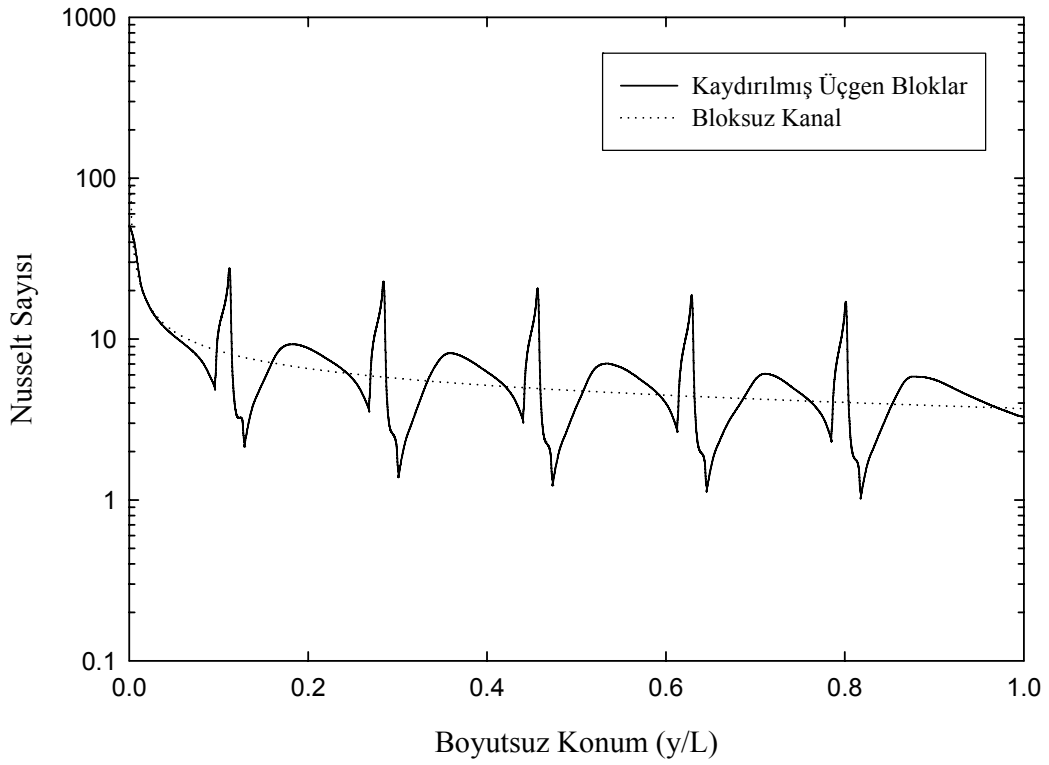
Düz kanalın performansı ile karşılaştırıldığında kanalın uzunluğunun yarısından fazlası boyunca Nusselt sayısı ve dolayısıyla ısı akısı, aynı şartlardaki düz kanaldan elde edilen ısı akısı değerlerinin üzerinde seyretmiştir.

Yarım dairesel bloklardan elde edilenlere benzer sonuçlar, üçgen bloklarla da elde edilmiştir (Şekil 6.5). Yarım dairesel bloklarda olduğu gibi burada da, blokların çıkışındaki en küçük yerel Nusselt sayısı değerleri, karşılıklı dizilim durumuna göre daha yüksek (yaklaşık %23) olarak hesaplanmıştır.

Kaydırılmış ve karşılıklı dizilimler arasındaki temel fark, yarım dairesel bloklarda olduğu gibi, bloklar arasındaki bölgede oluşan, ısı akısındaki artıştır. Bu bölgenin büyük bir kısmında sağlanan Nusselt sayısı değerleri, düz kanaldan elde edilen değerlerin üzerinde seyretmektedir. Blokların üzerinden sağlanan ısı akısında ise, karşılıklı dizilime göre kayda değer bir değişim kaydedilmemiştir. Bloklar üzerindeki maksimum Nusselt sayısı değerleri, her iki durum için birbirine yakındır.

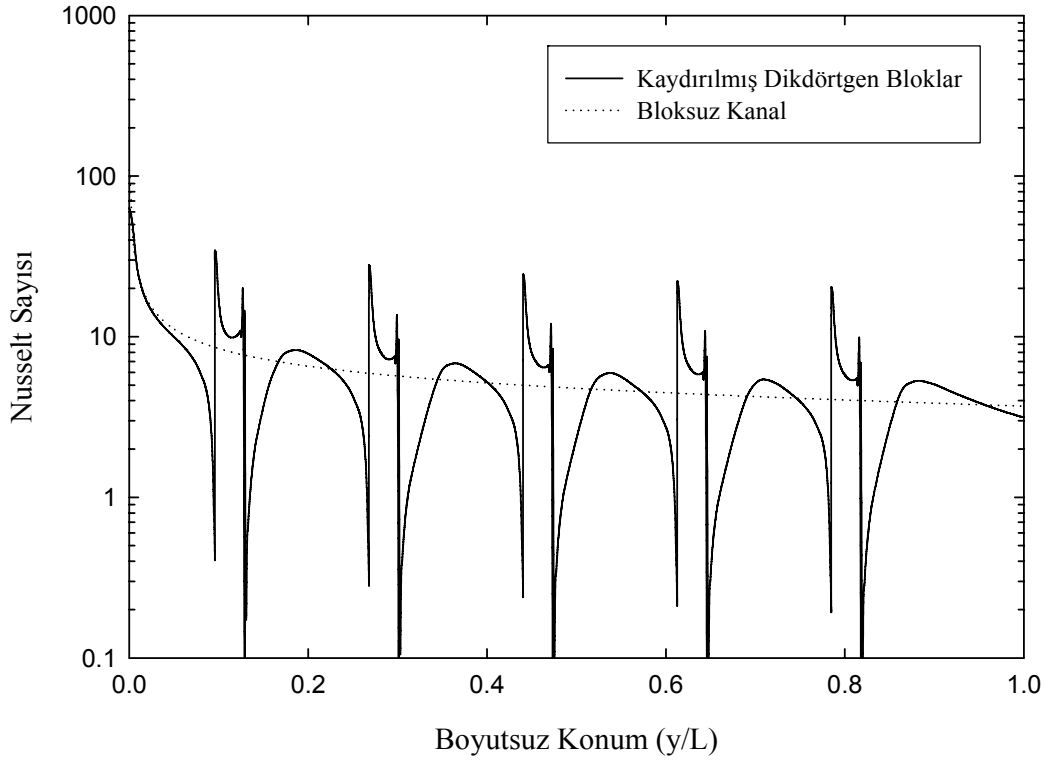
Üçgen blokların girişinde oluşan düşük ısı akısı bölgesi, yarım dairesel blokların girişinde oluşan bölgeye göre bir miktar daha küçüktür. Üçgen bloklarda ısı akısı, yarım dairesel bloklara göre, bloğa daha yakın bir noktada, aynı noktadaki düz kanaldan sağlanan ısı akısının (dolayısı ile Nusselt sayısı değerinin) altına

düşmektedir. Blokların çıkışına gelindiğinde yarım dairesel bloklar üzerinden olan ısı akısı blok çıkışından itibaren çok kısa bir mesafe içerisinde hızla yükselerek, düz kanaldan elde edilen değerlerin üzerine çıkmıştır. Öte yandan üçgen kesitli blokların çıkışında ısı akısının yeniden düz kanal değerlerinin üzerine çıkması, yarım dairesel blok durumuna göre daha uzun bir mesafe almış, kanalın bloklar arasındaki uzunluğunun yarısına yakın kısmında Nusselt sayısı değeri, düz kanal değerlerinden düşük olarak seyretmiştir.



Şekil 6.5. Üçgen blokların kaydırılmış olarak dizildiği durum için Nusselt sayısının yerel değerleri ($AR=12$, $Ra^*=10^4$)

Blokların akış yönüne göre arka kısmında oluşan ısı aktarımı bakımından zayıf bölgenin genişliği, kaydırılmış blok diziliminde, karşılıklı dizilime göre daha azdır. Kaydırılmış dizilimde bloklar ısı aktarım yüzeyini arttırmaktan başka, akışı karşılarındaki kanal duvarı yönünde sıkıştırmak sureti ile akış yönlendirme görevi de görmektedir. Bu sayede kanal duvarlarından da etkin ısı aktarımı sağlanmıştır.



Şekil 6.6. Dikdörtgen blokların kaydırılmış olarak dizildiği durum için Nusselt sayısının yerel değerleri ($AR=12$, $Ra^*=10^4$)

Dikdörtgen blokların kaydırılmış dizilimi ile elde edilen sonuçlar Şekil 6.6'da görülmektedir. Karşılıklı dizilim için yarım dairesel ve üçgen blokların çıkışında gözlemlenen ısı akısındaki artış, dikdörtgen bloklar için de gözlemlenmiştir (yaklaşık %37).

Kaydırılmış dizilimde bloklar üzerinden olan ısı akısı, karşılıklı dizilime göre daha düşük olarak görülmüştür. Blokların bulunduğu bölgedeki kanal genişliği, karşılıklı blok dizilimi durumuna göre %25 daha büyüktür. Bunun sonucu olarak ısı aktarımında birinci derecede etkin olan akışa paralel blok yüzeyi üzerindeki vena-contrada etkisi, kaydırılmış dizilimde daha azdır. Diğer blok geometrileri için ısı akısı üzerinde anlamlı bir fark yaratmayan bu durum, hemen hemen yalnızca bir yüzeyinden ısı aktaran dikdörtgen bloklar üzerinden aktarılan ısı üzerinde olumsuz bir etki yaratmıştır.

Şekil 6.3 ile karşılaştırıldığında, Şekil 6.6'daki kaydırılmış bloklar durumunda, bloklar arasından aktarılan ısıнын, çok dar bir bölgede de olsa, düz kanal değerlerinin üzerine çıktığı görülmektedir. Ancak bu artış, diğer blok geometrileri ile sağlanan artışlara göre oldukça düşüktür. Blok çıkışlarındaki Nusselt sayısındaki artış, diğer blok geometrilerinde olduğu gibi, karşılıklı dizilime göre daha kısa bir mesafede düz kanal değerlerinin üzerine çıkmıştır.

Isı aktarım yüzeyi en büyük olan blok geometrisi olmasına karşın, akışı en fazla bozan dikdörtgen blokların yerel ısı aktarım karakteristikleri, diğer iki blok tipine göre daha zayıf kalmıştır.

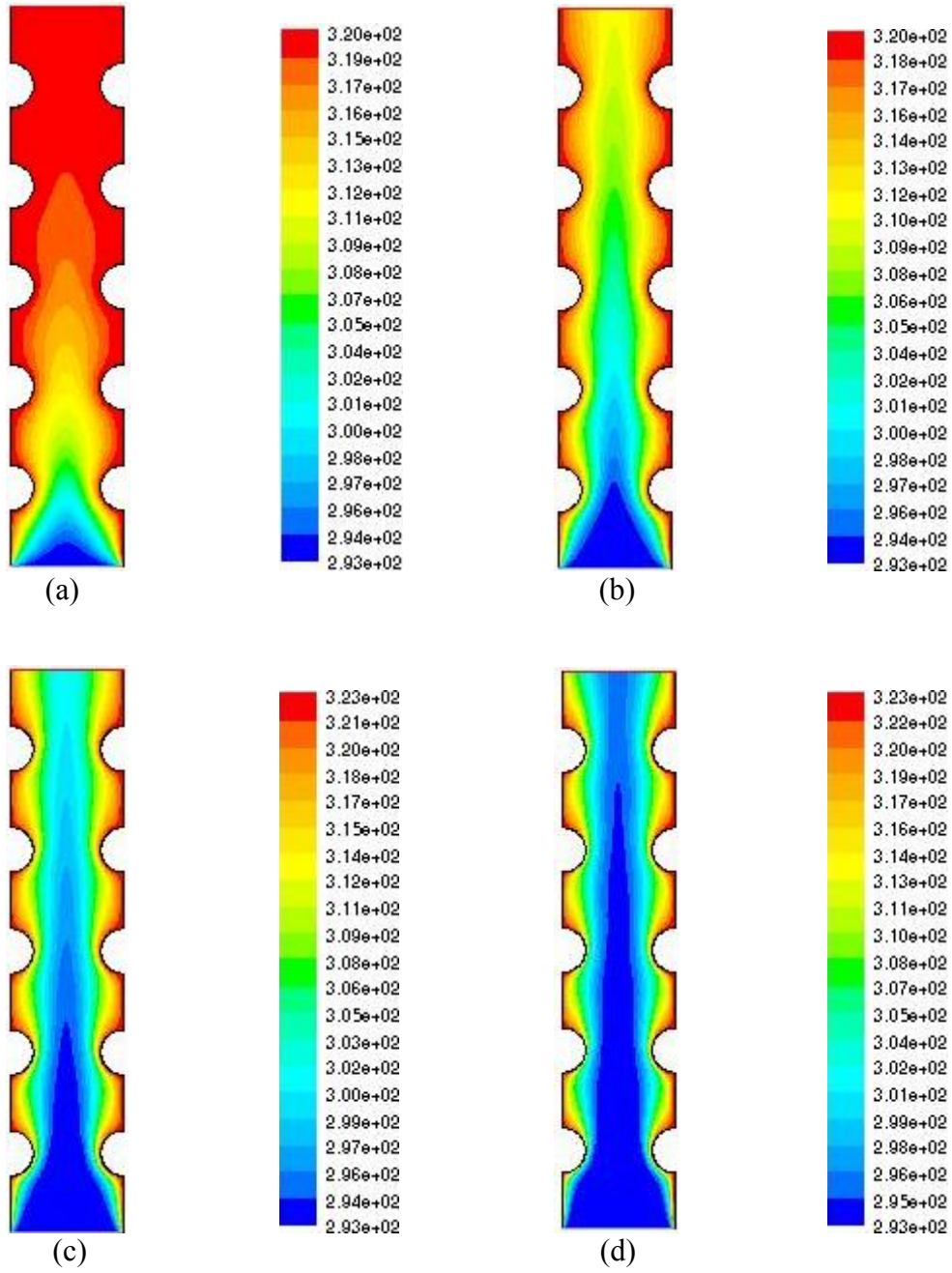
7. KANAL RAYLEIGH SAYISININ AKIŞA VE SICAKLIK DAĞILIMINA ETKİSİ

Yapılan çalışmalar kapsamında akıma ve ısı aktarımına etkisi incelenen parametrelerden birisi kanal Rayleigh sayısıdır. Kanal Rayleigh sayısının (Ra^*) tanımı, daha önceki bölümlerde belirtildiği gibi, Rayleigh sayısının, kanalın boy/en oranına bölümü şeklinde yapılmıştır. Bu parametre kanal içindeki doğal taşınımına bağlı akım problemi için, hem laminar akıştan türbulansa geçişin, hem de taşınım ile aktarılan ısıнын bir ölçüsü olduğundan, konu ile ilgili literatürde sıkça yer almış ve etkileri incelenmiştir.

Bu bölümde yörünge çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri kanal boy/en oranının ($AR=5$) değeri için sunulmuştur. Örnek blok geometrisi olarak yarım dairesel bloklar seçilmiş, bu blokların hem karşılıklı hem de kaydırılmış dizilimleri ele alınmıştır. Sunulan yörünge çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri, doğrudan doğruya FLUENT yazılımı tarafından oluşturulan grafiklerdir. Renk skalalarında kırmızı renk, eş sıcaklık eğrileri için en yüksek sıcaklığı, yörünge çizgileri için ise en yüksek hızı temsil etmektedir. Öte yandan mavi renk, en düşük sıcaklığı ve en düşük hızı göstermektedir.

Hesaplamalarda kullanılan kanal boyutları ve duvar sıcaklığı değerleri Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2’de verilmiştir.

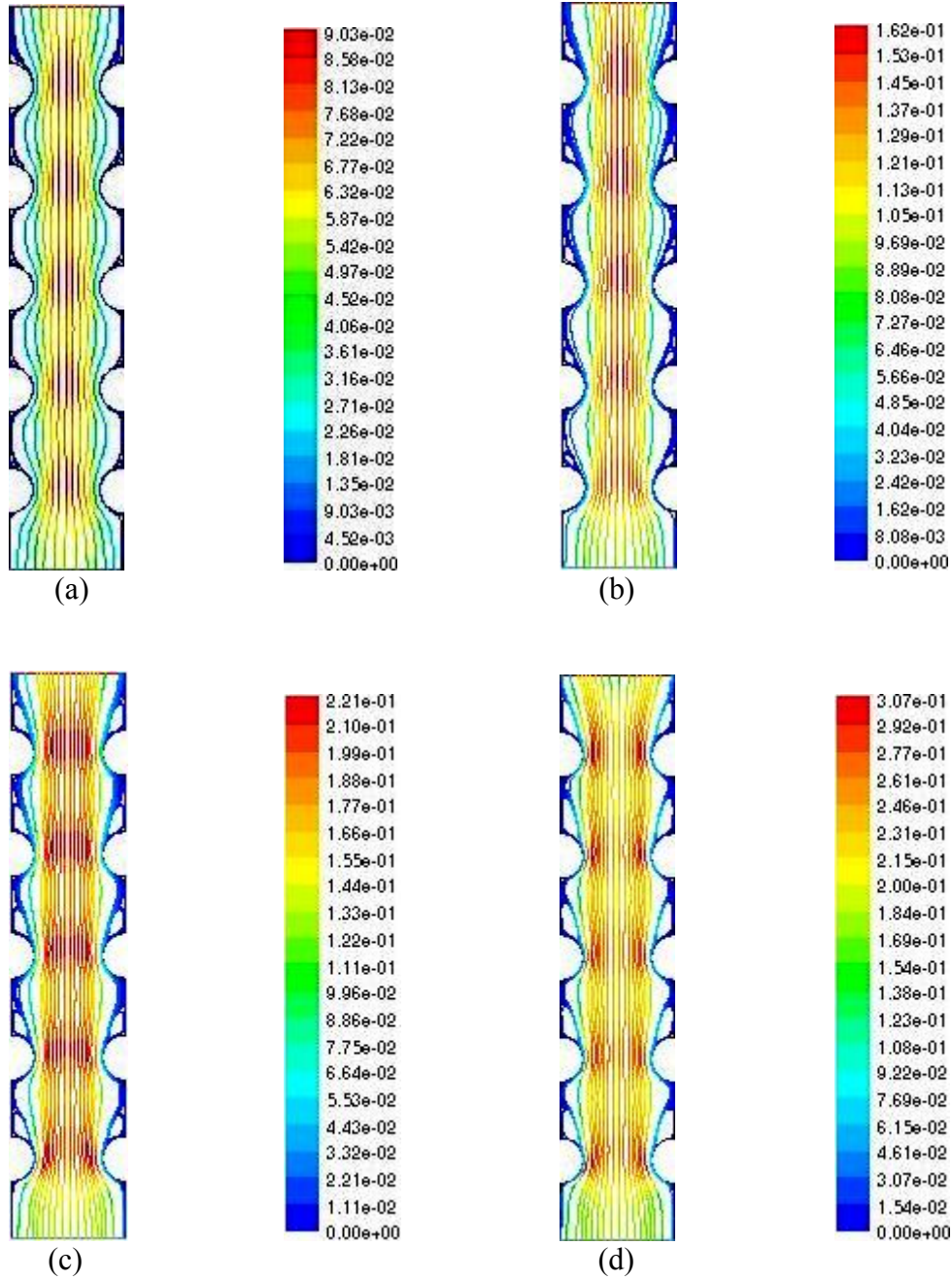
Blokların karşılıklı dizildiği durum için eş sıcaklık eğrileri Şekil 7.1’de verilmiştir. Kanal Rayleigh sayısının en küçük değeri için hava sıcaklığının değişimi incelendiğinde, akışın henüz kanal çıkışına ulaşmadan, kanalın duvar sıcaklığı değerine ulaştığı görülmektedir. Kanal genişliği çok dar olduğundan duvar sıcaklığı, kanal girişinden kısa mesafe sonra kanalın orta noktasına kadar nüfuz etmiştir. Kanalın merkezinde duvar sıcaklığının etkisi, ilk blok çiftinin çıkışından itibaren hissedilmeye başlanmıştır.



Şekil 7.1. İçerisinde karşılıklı dizilmiş yarım dairesel blokların bulunduğu kanal için eş sıcaklık eğrileri ($AR=5$), (a) $Ra^*=10^2$, (b) $Ra^*=10^3$, (c) $Ra^*=10^4$, (d) $Ra^*=10^5$

Büyüyen kanal Rayleigh sayısı ile birlikte kanal boyutları da büyüdüğünden, duvar sıcaklığının etkisi kanal merkezinde daha az hissedilir olmuştur. Kanal Rayleigh sayısının büyümesine paralel olarak ısı sınır tabaka kalınlığı, kanal genişliğine göre

küçük kalmış⁷ ve her iki duvar üzerindeki ısı sınır tabakanın birleştiği nokta kanalın çıkışına doğru kaymıştır.



Şekil 7.2. İçerisinde karşılıklı dizilmiş yarım dairesel blokların bulunduğu kanal için akım çizgileri ($AR=5$), (a) $Ra^*=10^2$, (b) $Ra^*=10^3$, (c) $Ra^*=10^4$, (d) $Ra^*=10^5$

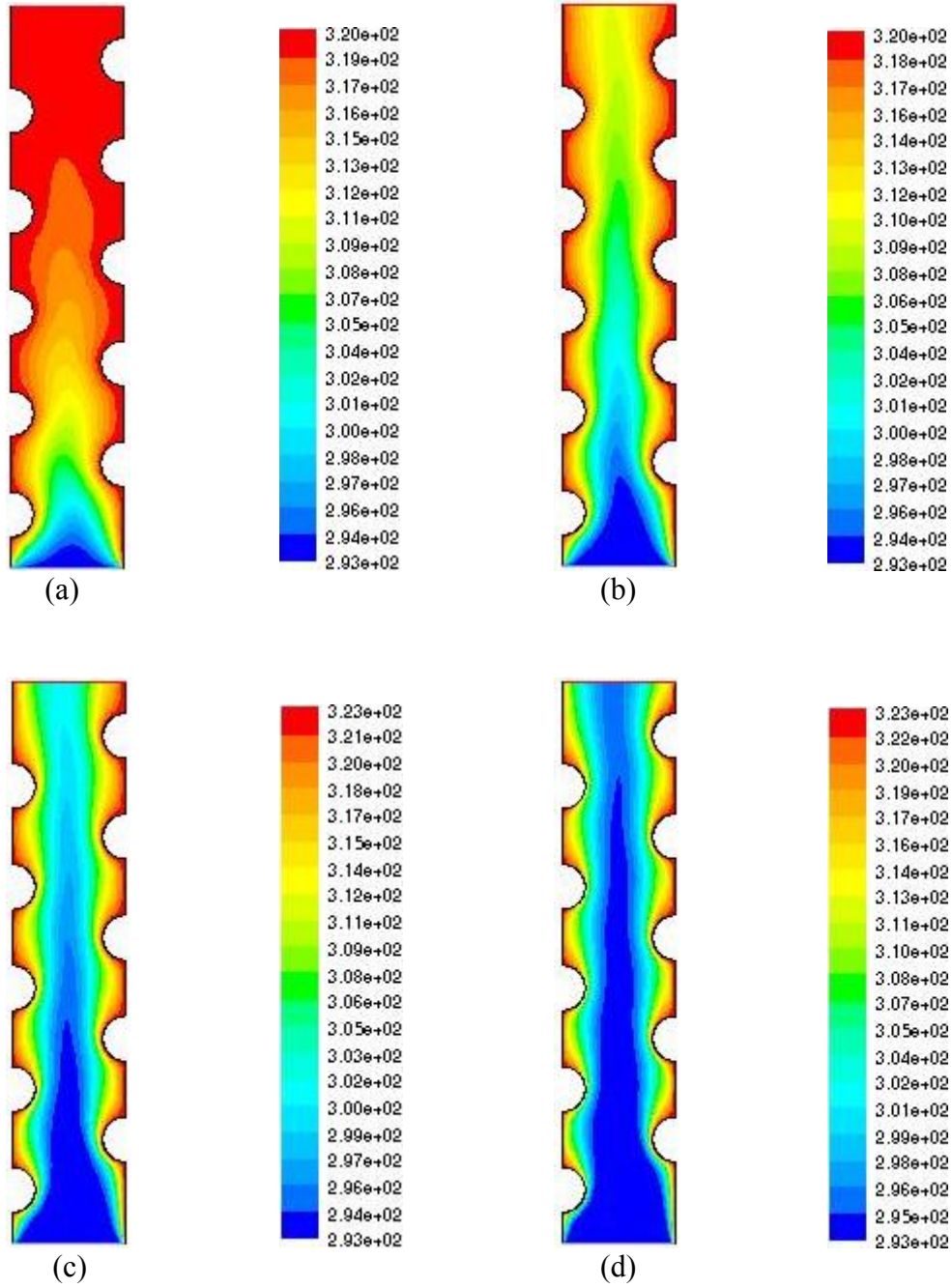
⁷ Daralan kanal kesitiyle birlikte artan akış hızına bağlı olarak bloklar üzerinde havanın sıcaklığı kanalın geniş kesitine göre daha düşüktür. Buna bağlı olarak bloklar üzerinde ısı sınır tabaka kalınlığının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

En büyük kanal Rayleigh sayısı değeri olan 10^5 için kanalın her iki duvarında oluşan ısıl sınır tabakaların birleşme noktası, neredeyse kanal çıkışına ulaşmıştır. Kanal duvarı üzerinde oluşan ısıl sınır tabaka, kanal Rayleigh sayısının büyük değerleri için ($Ra^* \geq 10^5$) tek plaka rejimine yaklaşmaktadır.

Beklendiği gibi akış hızı kanalın çıkışına doğru gidildikçe artmakta, yüksek hızlı bölge genişlemektedir. Bu durum tüm kanal geometrileri için geçerlidir. Kanal Rayleigh sayısına bağlı olarak artan kanal genişliği ile birlikte, ısıl sınır tabaka için olduğu gibi, duvarlar üzerinde oluşan hız sınır tabakalarının birleşme noktası, kanalın çıkışına doğru kaymıştır. $Ra^*=10^5$ için blokların arasında kalan bölgede, hız sınır tabakasının ulaşamadığı ve akış hızının sınır tabakanın içine göre daha yavaş olduğu bölgeler oluşmuştur. Buna rağmen akışın en rahat olduğu Şekil 7.2 (d) durumu için bile, hız sınır tabakasının tek plaka rejimine yakın olduğunu söylemek zordur. Karşılıklı duvarlar üzerindeki hız sınır tabakalarının birbiriyle etkileşimi, sınır tabakaların birleştiği noktanın öncesinde de devam etmektedir.

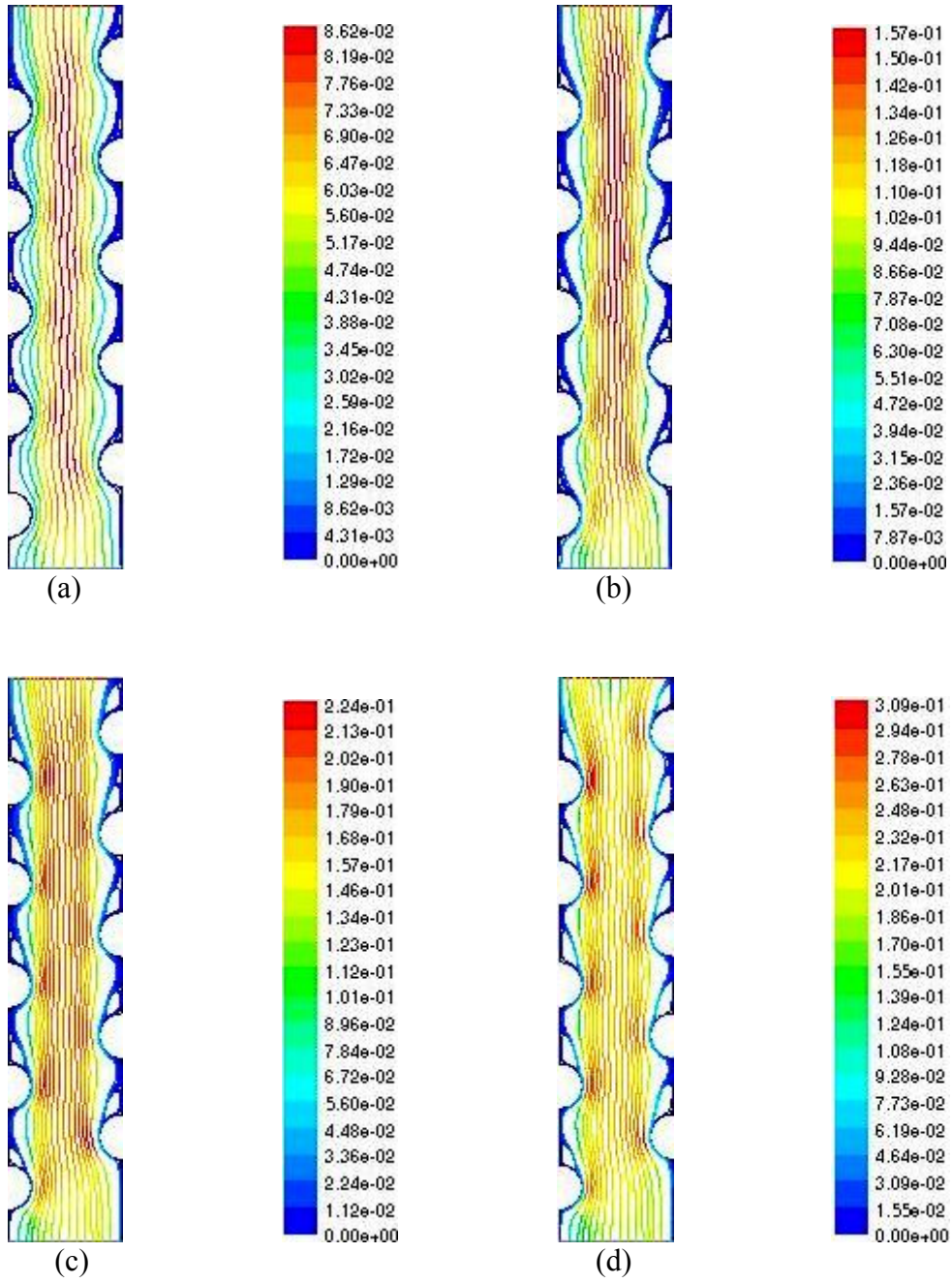
Blokların akış yönüne göre arka kısmında oluşması beklenen ters akış bölgeleri, kanal Rayleigh sayısının 10^5 'ten küçük değerleri için, gözlemlenememiştir. Kanal içerisindeki blokların yükseklikleri, kanalın genişliği ve dolayısıyla da Ra^* ile orantılıdır. Küçük Ra^* değerlerinde blokların arka kısmında akış yavaşlamış olmasına karşın, blokların fiziksel boyutu küçük olduğundan bu bölgelerde ters akışlar oluşmamıştır. Şekil 7.2 (d)'de blokların arkasında oluşan ters akış alanları çok açık bir biçimde görülebilmektedir. Kanal boyunca artan hızla birlikte bu ters akış alanları da giderek büyümektedir.

Ters akımlardan kaynaklanabilecek bir durum olan, kanalın dışından kanalın içine hava dönüşü olması olayı, kanal çıkışından önceki en son blok çiftinin arkasında oluşan ters akış alanının kanal dışına taşmıyor olması sebebiyle, ele alınan geometrilerde ortaya çıkmamıştır.



Şekil 7.3. İçerisinde kaydırılmış olarak dizilmiş yarım dairesel blokların bulunduğu kanal için eş sıcaklık eğrileri ($AR=5$), (a) $Ra^*=10^2$, (b) $Ra^*=10^3$, (c) $Ra^*=10^4$, (d) $Ra^*=10^5$

Blokların kaydırılmış olarak yerleştirilmesi durumunda elde edilen eş sıcaklık ve yörünge çizgileri sırasıyla Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'te verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi kanal Rayleigh sayısının etkileri, karşılıklı ve kaydırılmış blok dizilimi durumları için benzer özellik göstermektedir.



Şekil 7.4. İçerisinde kaydırılmış olarak dizilmiş yarım dairesel blokların bulunduğu kanal için akım çizgileri ($AR=5$), (a) $Ra^*=10^2$, (b) $Ra^*=10^3$, (c) $Ra^*=10^4$, (d) $Ra^*=10^5$

Kaydırılmış ve karşılıklı dizilimlerin eş sıcaklık eğrileri arasında göze çarpan en belirgin fark, kaydırılmış dizilimde kanal merkezindeki sıcaklığın maksimum değerine ulaştığı noktanın karşılıklı dizilime göre kanal çıkışına biraz daha yakın olmasıdır. Bu gözlemi kanal içindeki hız dağılımı eğrilerinin durumu da

desteklemektedir. Kaydırılmış dizilimin akış üzerindeki engelleyici etkisi karşılıklı dizilime göre daha az olduğundan ortalama akış hızı da daha yüksektir. Hava duvarlar ve bloklar üzerinden daha hızlı aktığından, kanalın birim uzunluğu için sıcaklığındaki artış miktarı da daha az olmaktadır.

Karşılıklı dizilmiş blokların arasında kesit daralmasından dolayı oluşan yüksek hız, kaydırılmış dizilimde süreklilik arz etmektedir. Bunun sonucu olarak ortalama akış hızı kaydırılmış dizilim için daha yüksektir. Kaydırılmış dizilimde blokların tepe noktasında kanalın genişliği karşılıklı dizilime göre daha büyük olduğundan, karşılıklı dizilimde görülemeyen akışın blokların üzerinden ayrılma noktaları, kaydırılmış dizilimde $Ra^*=10^4$ değeri için görülebilmektedir. Karşılıklı duvarlardaki bu arılma bölgeleri kanal boyunca büyüyerek, kanal çıkışında birleşmişlerdir. Kaydırılmış dizilimde hız, yerel olarak yüksek ve düşük hız bölgeleri oluşturmak yerine kanal girişinden itibaren sürekli artma eğilimi gösteren bir davranış sergilemektedir. $Ra^*=10^5$ için bulunan yörünge çizgilerinde ise bu davranış daha açık olarak görülmektedir. Birleşme kanalın hemen girişinde olmuş ve kanalın çıkışına kadar devam etmiştir.

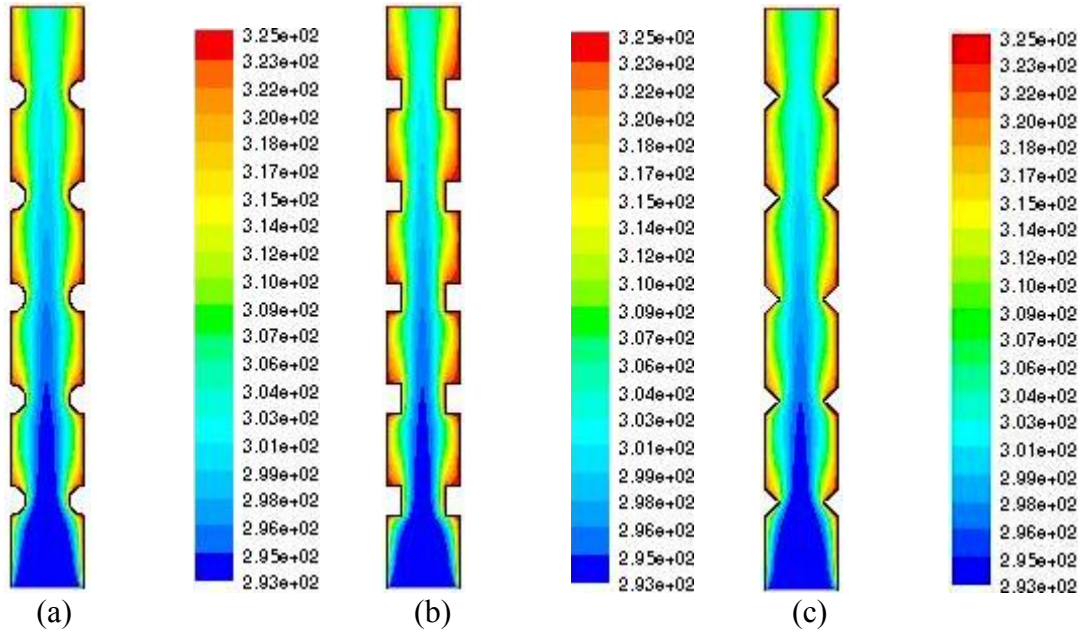
Kaydırılmış dizilimde de ters akış bölgeleri, karşılıklı dizilimde olduğu gibi yalnızca kanal Rayleigh sayısının 10^5 değeri için gözlenmiştir. Kaydırılmış dizilimde sağ duvar üzerindeki en son blok kanal çıkışına, karşılıklı blok dizilimine göre daha yakın olmasına karşın, blokların arkasında oluşan ters akış bölgelerinin büyüklüğü, son bloğun bittiği nokta ile kanal çıkışı arasındaki mesafeden küçük olduğundan, kanal çıkışında dış ortamdan bir hava geri dönüşü oluşmamıştır.

8. BLOK GEOMETRİSİ VE DİZİLİMİNİN AKIŞA VE SICAKLIK DAĞILIMINA ETKİSİ

Farklı blok geometrileri ile yapılan çalışmalarda, bu geometrilerin akış ve sıcaklık dağılımı üzerine olan etkileri ile ilgili çok miktarda veri elde edilmiştir. Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2’de verilen tüm boyutlar ve duvar sıcaklıkları için sayısal çözümler yapılmış olmasına karşın, karşılaştırmaların daha sade ve anlaşılır olması için yalnızca $AR=8$, $Ra^*=10^4$ değerleri için yapılan çözümler sonucunda elde edilen veriler sunulacaktır.

Isıl sınır tabaka içindeki ortalama akışkan sıcaklığı, yüzeylerin ısı aktarım yeteneğinin bir ölçüsü olması bakımından önemli bir veridir. Sınır tabaka içindeki akışkan sıcaklığı arttıkça duvarla hava arasındaki sıcaklık farkı, dolayısıyla yüzeyden olan ısı aktarımı azalmaktadır. 6.bölümde incelenen grafiklerden hatırlanacağı gibi, farklı blok geometrileri için ısıl performansı etkileyen temel etmen blokların arasındaki serbest akış bölgesinden havaya aktarılabilen ısı akısının büyüklüğüdür.

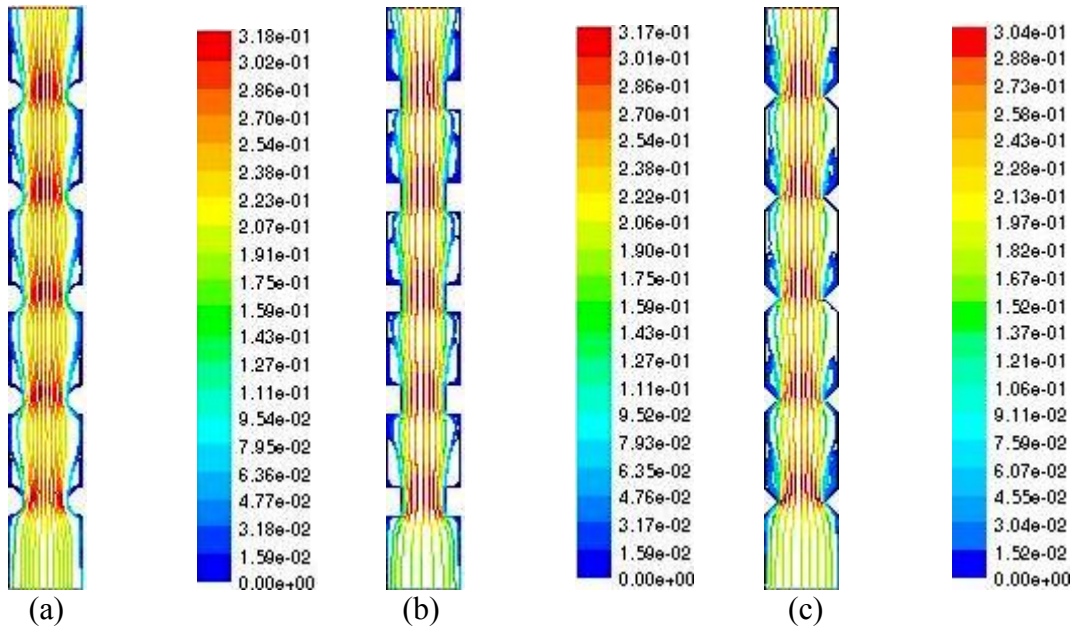
Karşılıklı dizilim durumu için serbest akış bölgesindeki hava sıcaklıklarının büyüklükleri, Şekil 8.1’de görülmektedir. Yarım dairesel ve üçgen blokların oluşturduğu kanal geometrilerinde, bu bölgedeki akışkan sıcaklığı ve ısıl sınır tabaka kalınlığı, dikdörtgen blokların oluşturduğu geometriye göre oldukça düşüktür. Dikdörtgen bloklar, blokların arasındaki bölgede akış olmasını engellediği için, bu bölgede hava yenilenmesi olmamakta, aktarılan ısının büyük bölümü, iki blok arasında hemen hemen durağan olan ya da ters akış halinde bulunan hava üzerinden iletim ile sağlanmaktadır. Isı taşınımının etkilerinin bulunmamasından dolayı bu bölgedeki hava üzerinde aşırı bir ısı birikme olmakta ve hava sıcaklığı ile duvar sıcaklığı arasındaki fark çok azalmakta, bu da ısı aktarımını olumsuz yönde etkilemektedir. Şekil 6.3’te elde edilen sonuçlar gözönüne alındığında, dikdörtgen blokların karşılıklı dizildiği durumda serbest akış bölgelerinde Nusselt sayısı ve ısı akısı, blokların bulunmadığı durumdaki değerinin altında kalmış, Şekil 8.1’de ise bu bölgelerde hava sıcaklığının duvar sıcaklığına yaklaştığı tespit edilmiştir. Elde edilen eş sıcaklık eğrileri 6.bölümde bulunan grafiklerle örtüşmektedir.



Şekil 8.1. Blokların karşılıklı dizildiği durum için eş sıcaklık eğrileri ($AR=8$, $Ra^*=10^4$), (a) Yarım dairesel bloklar, (b) Dikdörtgen bloklar, (c) Üçgen bloklar

Şekil 8.1 (a) ve (c)'de gelişimi görülen ısı sınır tabakalardan yarım dairesel blok üzerinde oluşanı, üçgen bloklar üzerinde oluşan sınır tabakaya göre kanal girişinden daha uzak bir noktada karşı duvarda oluşan ısı sınır tabaka ile birleşmektedir. Isıl sınır tabaka kalınlığının küçük olması, kanal içindeki ortalama sıcaklığın daha düşük seyretmesi ve duvardan daha fazla ısı aktarılması anlamına gelmektedir.

Akış yönüne göre blokların arka tarafında kalan bölgelerde, her üç blok geometrisi için de yüksek sıcaklık bölgeleri oluşmuştur. Bunlar, akışkan hareketinin yavaş olduğu, hiç olmadığı ya da ters akışların olduğu bölgelerdir. Bu bölgelerde taşınımın yerini iletim ısı aktarım modu almakta ve duvardan olan toplam ısı aktarımına katkıları çok az olmaktadır. Dikdörtgen blokların arkasında oluşan yüksek sıcaklık bölgesi, diğer iki blok geometrisine göre hissedilir miktarda büyüktür ve hemen hemen bir sonraki bloğun başlangıç noktasına kadar uzanmaktadır. Yarım dairesel blokların arkasında oluşan bölgeler ise üçgen blokların arkasında oluşanlara göre bir miktar daha küçüktür. Bu yüksek sıcaklık bölgelerinin büyüklüklerinin Nusselt sayısına ve dolayısıyla ısı akısına etkileri Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3'ten görülebilir.



Şekil 8.2. Blokların karşılıklı dizildiği durum için akım çizgileri ($AR=8$, $Ra^*=10^4$),
(a) Yarım dairesel bloklar, (b) Dikdörtgen bloklar, (c) Üçgen bloklar

Blok geometrilerinin akış karakteristiği yönünden karşılaştırılması, Şekil 8.2’de yapılmıştır. Akışın yarım dairesel ve üçgen bloklara çarptığı noktalarda akış hızı oldukça düşmekle birlikte, akışta tamamen durma gözlemlenmemektedir. Dikdörtgen blokların girişinde ise, blok yüksekliğinin yarısına yakın yüksekliği olan bölgede akış durmakta, bu bölgede taşınım ile ısı aktarımı yapılamamaktadır. Bloğun yan yüzeyi akış önünde bir duvar görevi görerek sıkışmaya yol açmakta ve bu bölgeye taze hava girmesini zorlaştırmaktadır.

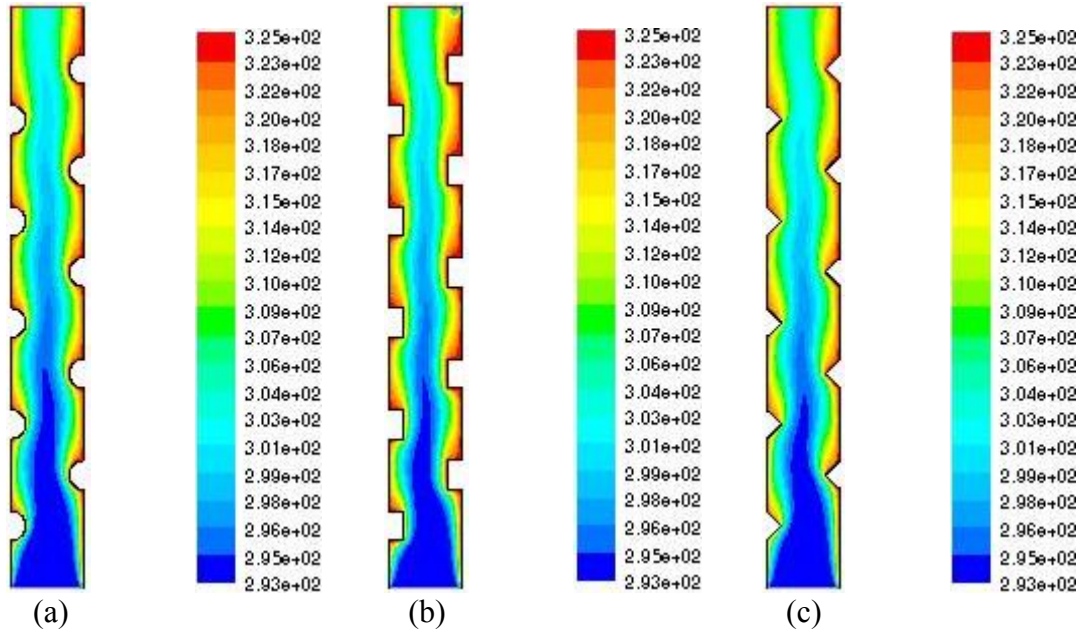
Her üç blok geometrisi için de bloklar arasında kanaldaki daralmaya bağlı olarak yüksek hızlı bölgeler mevcuttur. Bu yüksek akış hızı bölgeleri kanal içinde ilerledikçe büyümektedir. Yüksek hızlı akış bölgeleri dikdörtgen bloklar için en büyük, yarım dairesel bloklar için ise en küçük alanı kaplamaktadır. Artan hızla birlikte taşınımın etkisi de artmış, bu yüksek hız bölgesinin büyük olmasına bağlı olarak, yalnızca bloklar üzerinden olan ısı akışı dikkate alındığında, dikdörtgen blokların ısı aktarım performansının, diğer iki blok geometrisine göre daha iyi olduğu görülmektedir.

Diğer taraftan 6.bölümde açıklandığı gibi, üçgen bloklar için yüksek hızlı akış bölgesinin büyüklüğü yarım dairesel kesitli bloklarinkine göre daha büyük olmasında karşın, üçgen blokların üzerinden olan ısı akısı, dairesel bloklardan olan ısı akısının altında kalmıştır.

Bu noktada blok geometrisinin yarattığı fark ortaya çıkmaktadır. Şekil 8.2 (a) ve (c) birlikte incelendiğinde, kanal içinden akmakta olan havanın üçgen bloğun tepe noktasından arkada kalan yüzey üzerinden geçmediği görülmektedir. Şekil 6.2 ve 6.5'te görülen blok çıkışlarında Nusselt sayısındaki ani düşüşlerin oluşmasının sebebi de budur. Dolayısıyla üçgen blokların yalnızca bir yüzeyinden taşınım ile ısı aktarımı yapılmaktadır. Yarım dairesel bloklarda ise akış, blok yüzeyini, bloğun tepe noktasının ötesinde de takip etmekte ve blok üzerindeki akış, blok toplam uzunluğunun yaklaşık dörtte üçlük bölümünde devam etmektedir. Bunun sonucu olarak ta yarım dairesel bloklardan olan ısı akısı üçgen bloklara göre daha fazladır.

Kanalın toplam ısı aktarım kabiliyetini etkileyen çok önemli bir unsur da blokların arkasında oluşan ters akış alanlarının büyüklüğüdür. Çünkü bu bölgelerde taze hava çevrimi çok düşük olduğundan taşınım etkileri yerini iletme bırakmakta, bu da yüzeyden olan ısı akısının aşırı derecede düşmesine sebep olmaktadır.

Ters akış bölgeleri, dikdörtgen blokların arasındaki bölgenin tamamında etkili olmaktadır. Blok çıkışlarında akış yönü ile blok yan yüzeyi arasında 90° 'lik açı olması sebebiyle hava bu bölgeye girememekte, kanal duvarının ısı akışa aktarılamamaktadır. Üçgen blokların arkasında kalan bölgede de üçgenin tepe noktasından oldukça ileride akış, kanal duvarı ile birleşmektedir. İki blok arasındaki mesafenin yaklaşık %75'i ters akış bölgesi olarak geçilmektedir. Akış yarım dairesel blokların eğrisel yüzeylerini takip ettiği için blokların arkasında oluşan ters akış bölgesi, diğer iki blok geometrisiyle karşılaştırılamayacak kadar küçüktür. Yarım dairesel blokların arasında kalan kanal duvarı, kısmen de olsa, doğal taşınıma katılmakta ve yüzeyin genel ısı performansına katkıda bulunmaktadır.



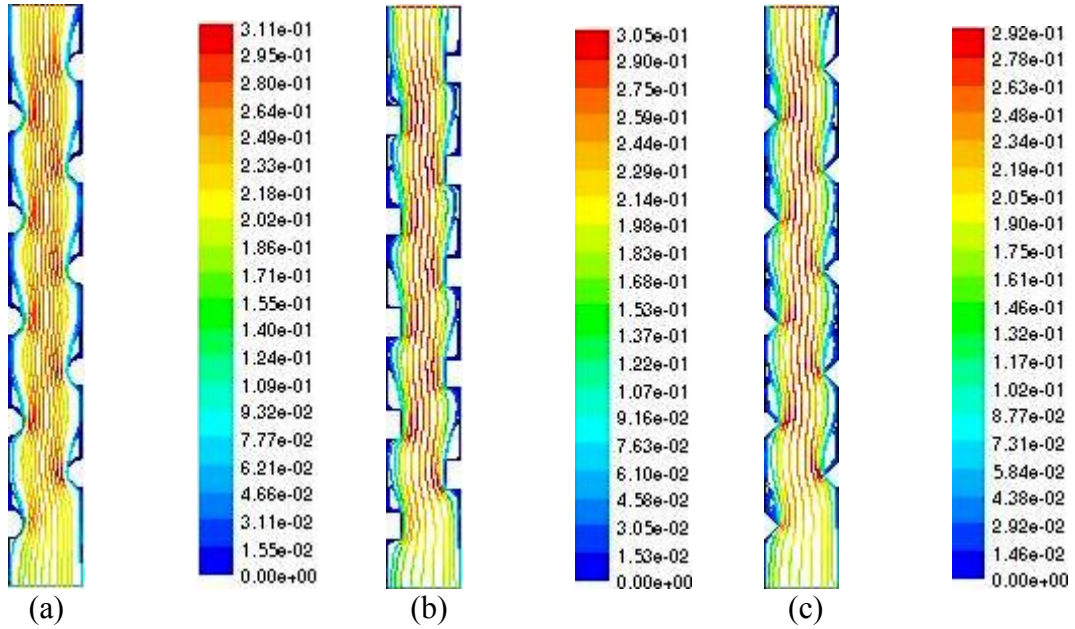
Şekil 8.3. Blokların kaydırılmış olarak dizildiği durum için eş sıcaklık eğrileri $AR=8$, $Ra^*=10^4$) (a) Yarım dairesel bloklar, (b) Dikdörtgen bloklar, (c) Üçgen bloklar

6.bölümde blokların kaydırılmış diziliminin ısı aktarımı yönünden karşılıklı dizilime göre daha iyi sonuç verdiği tespit edilmişti. Kaydırılmış dizilim için elde edilen eş sıcaklık eğrileri de bu tespiti desteklemektedir. Her üç blok geometrisi için de, karşılıklı duvarlarda oluşan ısıl sınır tabakalarının birleşme noktası karşılıklı dizilime göre kanalın çıkışına doğru kaymıştır.

Isı aktarımı lehine çalışan bir diğer unsur da kanal duvarlarının karşısına denk gelen bloklardır. Blokların bu konumu akışı kanal duvarına doğru yönlendirerek duvar üzerinden olan ısı akısının artmasına yol açmaktadır. Şekil 8.3, Şekil 8.1 ile karşılaştırıldığında, kaydırılmış dizilimde kanal içinde akan havanın blokların arasına doğru bir girinti yaptığı ve bu bölgedeki ortalama sıcaklığı düşürdüğü görülmektedir. Bu durum tüm blok geometrileri için gerçekleşmiştir.

Dikdörtgen blokların kaydırılmış diziliminde, sağ duvar üzerinde, kanal çıkışındaki bloğun arkasında kalan ters akış alanı kanalın dışına taşmış, kanal çıkışından içerisine dış hava dönüşü oluşmuştur. İçeri giren havanın, kanal girişindeki hava

koşulları ile aynı olduğu kabul edilerek çözüm yapılmıştır. Diğer iki blok geometrisi için böyle bir dış hava dönüşü gözlemlenmemiştir.



Şekil 8.4. Blokların karşılıklı dizildiği durum için akım çizgileri ($AR=8$, $Ra^*=10^4$),
(a) Yarım dairesel bloklar, (b) Dikdörtgen bloklar, (c) Üçgen bloklar

Kaydırılmış dizilim kanal içindeki akış üzerinde de olumlu yönde etki yaratmıştır. Şekil 8.2 ile karşılaştırıldığında, Şekil 8.4'te blokların arkasında oluşan ters akış bölgelerinin, karşılıklı yerleşime göre oldukça küçük olduğu görülmektedir. Bunun anlamı, kanal üzerinde daha uzun bir yüzeyin doğal taşınımına katkıda bulunmasıdır. Yapılan sayısal çözümlerden elde edilen sıcaklık ve akış eğrileri, 6.bölümde sunulan grafikleri doğrular niteliktedir.

9. KANAL BOYUNUN KANAL GENİŞLİĞİNE ORANIN AKIŞA VE SICAKLIK DAĞILIMINA ETKİSİ

Daha önce belirtildiği gibi çözümler 5, 8, 12 olmak üzere toplam üç farklı kanal boy/en oranı için yapılmıştır. Sunumlar üçgen blokların karşılıklı ve kaydırılmış olarak dizildiği durumlar için yapılmıştır. Tüm kanalları için kanal Rayleigh sayısı 10^4 olarak alınmıştır. Sunulan eş sıcaklık ve yörünge çizgilerinde yapılan renklendirmelerin anlamları, 7.ve 8.bölümlerdeki ile aynıdır.

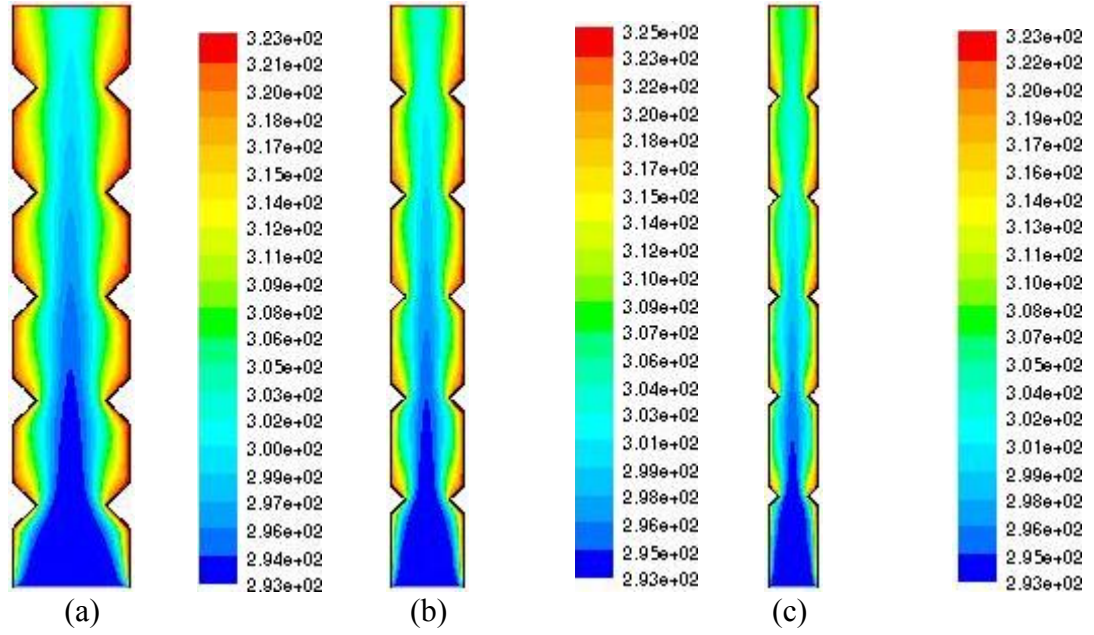
Kanal boyunun uzaması, ısı aktarım yüzeyinin de büyümesi anlamına gelmektedir. Bu durum kanal içindeki doğal taşınım ile ısı aktarımının elverişli bir ortam oluşmasında sebep olurken diğer taraftan da uzayan kanal boyu ile birlikte, özellikle her iki duvar üzerinde oluşan ısı sınır tabakanın birleştiği noktadan ileride havanın ortalama sıcaklığının yükselmesi durumunu da beraberinde getirmektedir.

Fiziksel boyutları 2.bölümde sunulan çizelge ve şekillerden bulunabilecek olan kanalların boyları bu bölümde, şekillerin daha kolay anlaşılabilmesi için, aynı olacak şekilde ölçeklendirilmiştir.

Şekil 9.1’de karşılıklı blok dizilimi durumu için eş sıcaklık eğrileri verilmiştir. 2.Bölümden hatırlanacağı gibi karşılıklı dizilmiş bloklar her üç boy/en oranı için de, kanal içindeki toplam akış kesit alanının toplam %40’ını bloke etmektedir. Ancak farklı boy/en oranları için bloklar arasındaki uzaklık değişmektedir.

Kanal boyunun uzamasının kanal içindeki sıcaklık dağılımına etkilerinden ilki, karşılıklı duvarlar üzerinde oluşan ısı sınır tabakaların birleşme noktasındaki farklılıklardır. Kanalların boyları birbirine eşit olmadığından, akışların birleştiği noktaların belirlenmesinde referans olarak kanal girişinden itibaren blok çiftleri kullanılabilir. AR=5 için sınır tabakalar ikinci blok çiftinin çıkışından biraz ileride birleşmektedir. Sınır tabakaların birleşmesi AR=8 için ikinci blok çiftinin tepe noktalarının arasında, AR=12 için birinci ve ikinci blok çiftlerinin yaklaşık olarak orta noktasında gerçekleşmektedir. Görüldüğü gibi büyüyen AR değeri ile birlikte

birleşme noktası da kanal girişine doğru kaymaktadır. AR=5 için kanalın yaklaşık %42'si iki ayrı ısıl sınır tabaka şeklinde geçilirken, bu oran AR=8 için %33'e, AR=12 için ise yaklaşık %25'e düşmektedir.

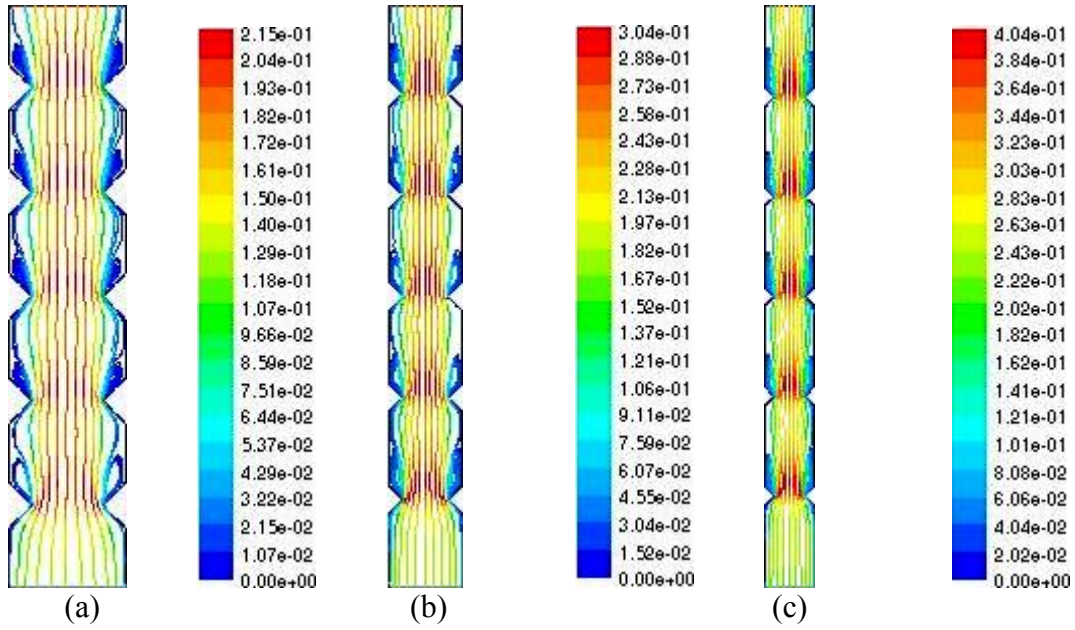


Şekil 9.1. Üçgen blokların karşılıklı dizildiği durum için eş sıcaklık eğrileri ($Ra^*=10^4$), (a) AR=5, (b) AR=8, (c) AR=12

Her iki duvar üzerinden gelen ısıl sınır tabakaların birleştiği noktadan ileride kanal içindeki ortalama sıcaklık yükseleceğinden bu durum kanalın genel ısı aktarım miktarı açısından olumsuz bir etki yaratacaktır. Bu anlamda kanal boyunun uzaması bir dezavantaj olarak görünmektedir.

Diğer taraftan Şekil 9.1 bir başka yönden de değerlendirilebilir. Dikkat edilirse bloklar arasındaki mesafenin kısa olduğu durumda (AR=5), kanal duvarı boyunca ortalama sıcaklığı yüksek olan ve kalınlığı blok yüksekliğine yakın bir bölge oluşmuştur. Bu bölgede doğal taşınımın etkileri tam olarak oluşmadığından ortalama hava sıcaklığı yüksek ve dolayısıyla yüzeyden olan ısı akısı düşük olacaktır. AR'nin daha büyük değerleri için bloklar arasındaki mesafe açıldığından, bloğun arkasında oluşan ters akış bölgesinin bittiği noktadan bir sonraki bloğa kadar olan kanal duvar yüzeyinden havaya ısı aktarımı olmaktadır.

Isı aktarımı üzerinde yüksek kanal ortalama sıcaklığının olumsuz etkisi ile daha uzun bloklar arası boşluğun olumlu etkisinden hangisinin baskın olduğu 10.Bölümde irdelenecektir.

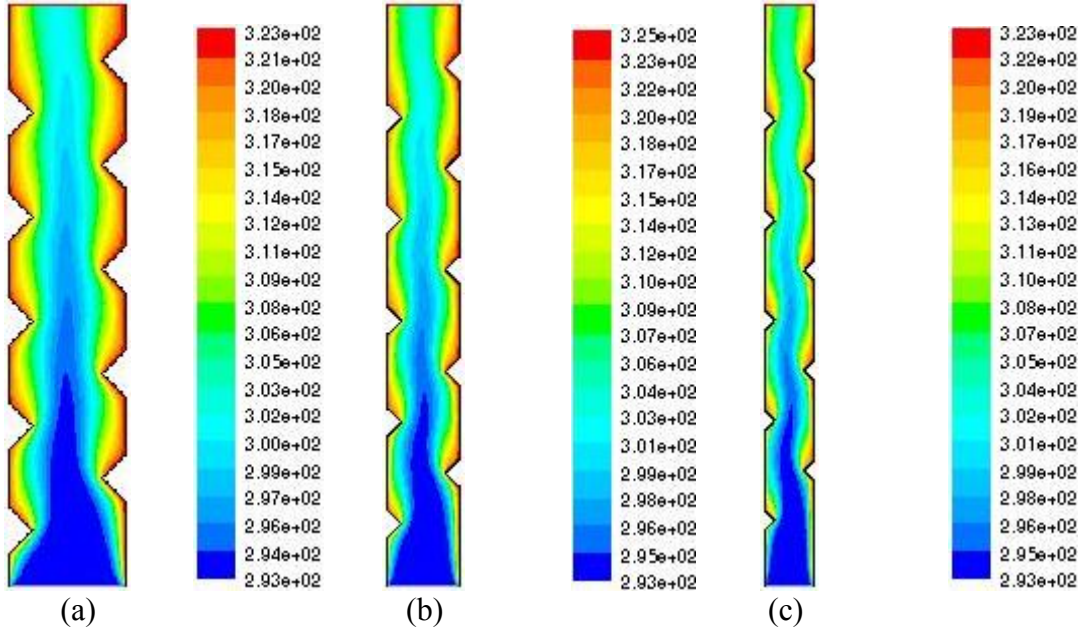


Şekil 9.2. Üçgen blokların karşılıklı dizildiği durum için akım çizgileri (Ra*=10⁴),
(a) AR=5, (b) AR=8, (c) AR=12

Kanal içinde oluşan hız dağılımı için belirleyici olan etmen, akışın önünde engel bulunmadan ilerleyebildiği mesafenin uzunluğu, yani kanal içindeki bloklar arasındaki kanal duvarları ile kanal girişindeki duvar uzunluğudur. Bu mesafe uzadıkça akış hızlanmak için daha fazla mesafe bulmakta ve kanal içindeki akış hızı artmaktadır. Şekil 9.2'de görüldüğü gibi en uzun kanal boyu olan AR=12 için bloklar arasındaki maksimum hız bölgeleri en büyük alanı kaplamaktadır. AR=8 için maksimum hız bölgesinin büyüklüğü daha küçük, AR=5 için ise en küçüktür.

Blokların arkasında oluşan ters akış bölgelerinin boyu blokların yüksekliği ile ilgili olduğu ve bu yükseklik incelenen tüm AR değerleri için kanal genişliğine göre aynı oranda olduğu gözönüne alındığında, her üç durum için de ters akış bölgelerinin kanal genişliğine göreli uzunluğu yaklaşık olarak aynıdır. Ters akış bölgeleri üzerindeki AR oranlarının farklı olmasından kaynaklanan temel etki, uzun kanal boyu için ters akış bölgesinin, bloklar arasındaki kanal duvarının üzerinin ters akış

bölgesi ile ısı yünden tamamen bloke edilememesidir. Ters akış bölgesinin dışında kalan kanal duvarı üzerinden doğal taşınım ile havaya ısı aktarımı sağlanmaktadır. Kanalın boyu uzatıldıkça, bloklardan kaynaklanan akışı bozucu ters akışların kanalın genel ısı aktarım yeteneği üzerindeki etkisi de azalmaktadır.



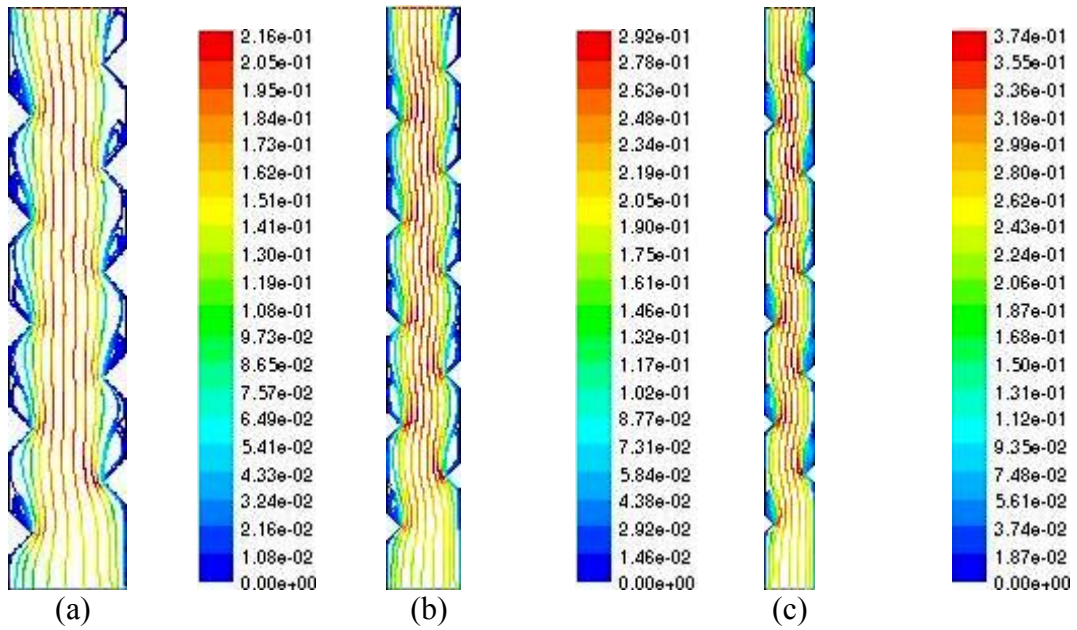
Şekil 9.3. Üçgen blokların kaydırılmış dizildiği durum için eş sıcaklık eğrileri ($Ra^*=10^4$), (a) $AR=5$, (b) $AR=8$, (c) $AR=12$

Blokların kaydırılmış olarak dizildiği durum için ısı sınır tabakalarının birleşmesi, karşılıklı dizilimdeki durumla benzerlik göstermektedir. Her üç durumda da kaydırılmış olarak dizilen bloklar, akışı karşılarındaki kanal duvarına doğru yönlendirdiğinden, kanal duvarları üzerindeki duvar sıcaklığına yakın sıcaklıktaki ısı sınır tabakasının kalınlığı, karşılıklı olarak dizilmiş blokların arasındaki kalınlığa göre daha düşüktür. Bu da kanal içindeki ortalama sıcaklığın düşmesine yol açmakta ve kanal duvarından olan ısı aktarımının artmasına yardımcı olmaktadır.

Blokların yönlendirici etkisi, ısı aktarım kabiliyeti bakımından büyük AR değerleri için daha iyi sonuç vermiştir. Yönlendirme ile daha uzun olan bloklar arasındaki mesafenin daha büyük bir kısmından, doğal taşınım ile ısı aktarımı sağlanmıştır.

Blokların kaydırılmış olarak dizilmesinin, ısıl sınır tabakaların birleştikleri nokta üzerinde herhangi bir etkisi olmamış, kanalın boy/en oranından bağımsız olarak karşılıklı duvarla üzerinde oluşan sınır tabakalar, blokların karşılıklı olarak dizildiği durumda birleştikleri nokta ile aynı yerde birleşmişlerdir.

Blokların kaydırılmış olarak dizilmesi durumu için kanal içindeki akışta oluşan değişim, sıcaklık dağılımındaki değişime göre çok daha fazladır. Temelde sıcaklık dağılımındaki değişim, akıştaki değişime bağlı olarak ortaya çıkmıştır.



Şekil 9.4. Üçgen blokların kaydırılmış dizildiği durum için akım çizgileri ($Ra^*=10^4$), (a) $AR=5$, (b) $AR=8$, (c) $AR=12$

Şekil 9.4'teki yörünge çizgileri, Şekil 9.2'dekilerle karşılaştırıldığında, blokların arkasında oluşan ters akış bölgelerinin, karşılıklı bloklara göre ne kadar küçük olduğu hemen görülmektedir. Kanal duvarlarının karşısına gelen blokların yönlendirici etkisi ile bloklar arasındaki kanal duvarı üzerindeki ters akış bölgesi küçülmüştür.

Büyük AR değerleri için bloklar arasındaki düz kanal duvar uzunluğu fazla olduğundan, sınır tabaka içinde akış daha fazla hızlanma imkanı bulmakta ve

bloklara daha yüksek hızla çarpmaktadır. Bu yüksek çarpma hızının etkisi akışın blok yüzeyinden ayrıldığı noktalarda gözlemlenmiş, küçük AR için ayrılma noktasındaki hız ve oluşan yüksek hız bölgesinin büyüklüğü, büyük AR için olandan daha küçük olarak tespit edilmiştir.

10. ORTALAMA NUSSELT SAYISININ KANAL RAYLEIGH SAYISI İLE DEĞİŞİMİNE KANAL BOY/EN ORANININ ETKİSİ

Önceki bölümlerden hatırlanacağı gibi, aktarılan ısı miktarının bir ölçüsü olarak, boyutsuz bir sayı olan Nusselt sayısı seçilmiştir. Bu bölümde de veriler, probleme daha genel bir yaklaşım sağlayabilmek için, kanalın sol duvarı boyunca hesaplanan Nusselt sayısı değerlerinin ortalaması cinsinden sunulacaktır. Ortalama Nusselt sayılarının hesabında, Eş.2.13 kullanılmıştır.

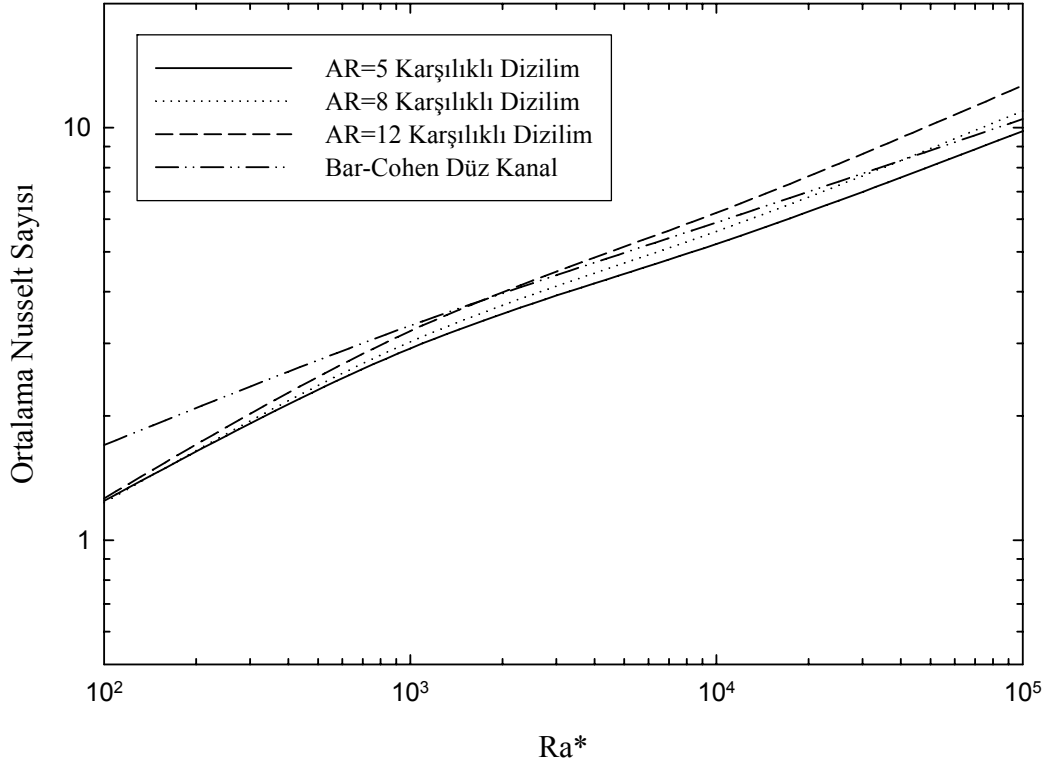
Sunumlarda kullanılacak olan diğer boyutsuz sayı ise kanal Rayleigh sayısıdır. Kanal Rayleigh sayısı ile ilgili tanımlar 2.bölümde yapılmıştır. Aynı Ra^* değeri için, AR değerine bağlı olarak, her blok geometrisi ve dizilimi için üç farklı kanal tipi incelenmiştir. Kanal boyutları artan Ra^* değeri ile birlikte büyümektedir.

Sunumların ortalama kanal Rayleigh sayısına karşılık ortalama Nusselt sayısı grafikleri kullanılarak yapılmasıyla, bulunan sonuçların Eş.2.9’da verilen Bar-Cohen ve Rohsenow’un (1984) bağıntısından düz kanal için elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilmesi mümkün kılınmıştır [1].

Farklı blok geometrileri ve blok dizilimlerinin ısı aktarım performansları birbiriyle ve blokların bulunmadığı durumla karşılaştırılırken en önemli kriter, kanal duvarından olan ortalama ısı akısı, dolayısıyla yüzeyin ortalama Nusselt sayısıdır. Isı aktarımındaki yerel maksimum ve minimumlar önem arz etmekle birlikte, sonuç olarak elde edilmek istenen temel veri, yüzeyden genel olarak ne kadar başarılı bir şekilde ısı aktarımı yapılabildiğidir. Bu noktadan yola çıkarak bu bölümde, 9.bölümde kanal içindeki akış ve sıcaklık dağılımına etkileri incelenen kanal boy/en oranının, kanal duvarlarından olan ortalama ısı aktarımına etkileri incelenecektir. Karşılaştırmaların daha kolay yapılabilmesi için her grafiğin üzerine düz kanal için hesaplanan ortalama Nusselt sayısı değerleri de eklenmiştir.

8.bölümde verilen grafiklerden elde edilen bilgiler ışığında ortalama ısı aktarımı en yüksek olması beklenen blok tipi yarım dairesel bloklardır. Yarım dairesel blokların

karşılıklı dizilimi durumunda elde edilen ortalama Nusselt sayısı değerleri Şekil 10.1’de verilmiştir.



Şekil 10.1. Yarım dairesel blokların karşılıklı yerleştirilmesi durumu için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine kanal boy/en oranının etkisi

İncelenen kanal Rayleigh sayısı aralığının alt sınırı olan $Ra^*=10^2$ değerinde kanalın boyunun enine oranının ortalama ısı aktarımı üzerinde hemen hiç bir etkisi yoktur. Kanal genişlikleri, Çizelge 2.1’den görülebileceği gibi hem çok küçük, hem de birbirine çok yakındır. Küçük Ra^* değerleri için kanal içindeki akışkan sıcaklığı, henüz kanal çıkışına ulaşmadan duvar sıcaklığı ile eşitlenmektedir. Bunun sonucu olarak da büyük AR oranları için sözkonusu olan bloklar arasındaki düz kanal duvarı mesafesinin uzun olmasının, ortalama ısı aktarımına bir katkısı olmamaktadır.

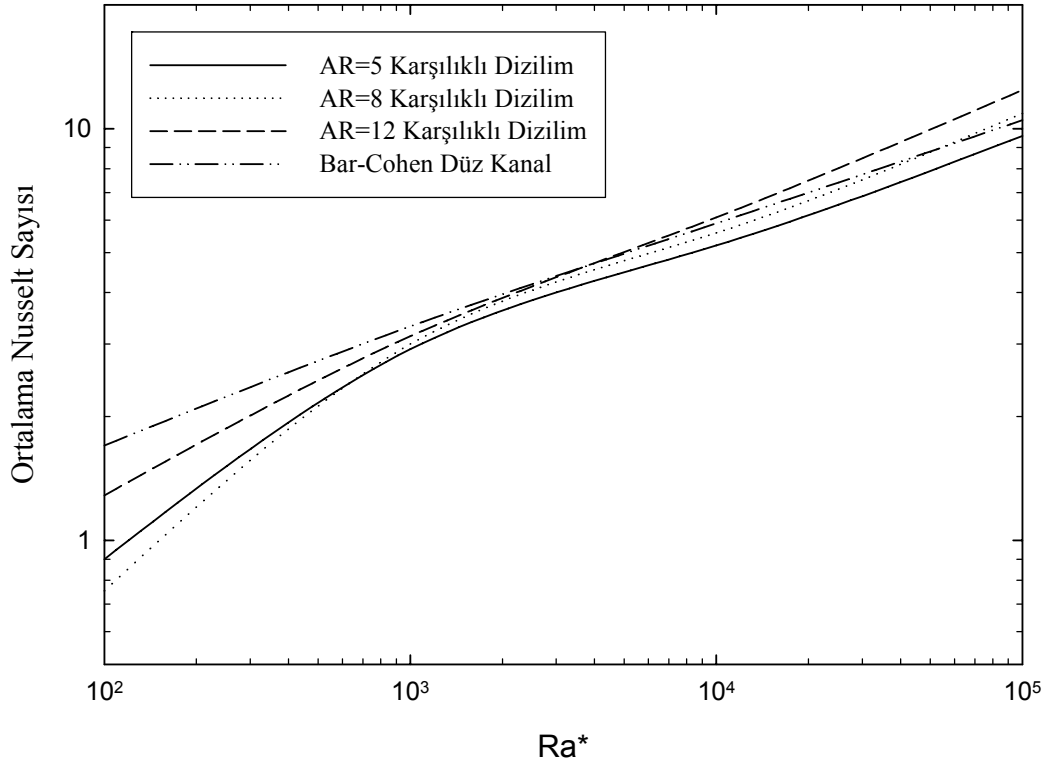
Kanal Rayleigh sayısının artmasına bağlı olarak gerek düz kanaldan, gerekse blokların bulunduğu kanaldan olan ısı aktarımının ortalama değeri yükselmiştir. AR=12 kanalının sol duvarının ortalama Nusselt sayısı değeri, daha kısa kanallara

göre daha hızlı artış göstererek, henüz Ra^* 'ın 2×10^3 değerine ulaşmadan, düz kanal ortalamasının üzerine çıkmıştır. $AR=8$ kanalının düz kanal eğrisini kestiği nokta ise, incelenen kanal Rayleigh sayısı aralığının üst sınırına çok yakın bir değer olan, $Ra^*=6 \times 10^4$ düzeyindedir. $AR=5$ kanalının eğrisi büyüyen Ra^* değeriyle birlikte düz kanala ait olan eğriye yaklaşma eğilimi göstermektedir. Ancak bu iki eğri incelenen Ra^* aralığında kesişmemiştir.

Karşılıklı olarak dizilmiş üçgen bloklar için durum, yarım dairesel bloklardan biraz daha farklıdır. Akışın duvar sıcaklığına erken ulaştığı $Ra^*=10^2$ değeri için kanal girişindeki blok bulunmayan bölgenin uzunluğunun, üçgen blokların bulunduğu durum için ortalama ısı aktarımına önemli derecede etki ettiği Şekil 10.2'de görülmektedir. Sıcaklık hızla duvar sıcaklığı değerine ulaştığından, ısı aktarılabilen bölgenin, bir başka deyişle hava sıcaklığının duvar sıcaklığından küçük olduğu bölgenin, ısı aktarımında ne kadar verimli kullanıldığı, üçgen bloklar için önem arz etmektedir.

Yarım dairesel blokların arkasında oluşan ısı aktarımının düşük olduğu bölgelerin küçük olması sayesinde, ısı aktarımında birincil rol oynayan bu bölgelerden olan ısı aktarımının etkisi, küçük kanal Rayleigh sayıları için kanal duvarlarından olan aktarımın etkisine baskındır. Ancak üçgen bloklar için özellikle $Ra^*=10^2$ değerinde, kanal duvarlarından olan ısı akışının etkisi, bir yüzeyi ters akış yüzünden ısı aktarımında verimli olarak kullanılamayan bloklardan olan ısı akışına göre daha geniş bir yüzey boyunca etkili olduğundan, daha fazladır. Elde edilen grafik göstermektedir ki, kanal Rayleigh sayısının bu küçük değeri için $AR=5$ kanalının ısı aktarım yeteneği, $AR=8$ kanalına göre daha iyidir.

Kanal genişliği (Ra^* değerinin büyümesine bağlı olarak) arttıkça $AR=8$ kanalının ortalama Nusselt sayısı değeri artarak $AR=5$ kanalının üzerine çıkmış, karşılıklı dizilmiş üçgen bloklardan oluşan yüzeylerden elde edilen ortalama Nusselt sayısı değeri, yarım dairesel blokların değerlerine yaklaşmıştır. İncelenen en büyük kanal Rayleigh sayısı değeri olan $Ra^*=10^5$ için yarım dairesel ve üçgen bloklardan elde edilen ortalama Nusselt sayıları, AR 'nin her üç değeri için de yaklaşık olarak aynıdır.

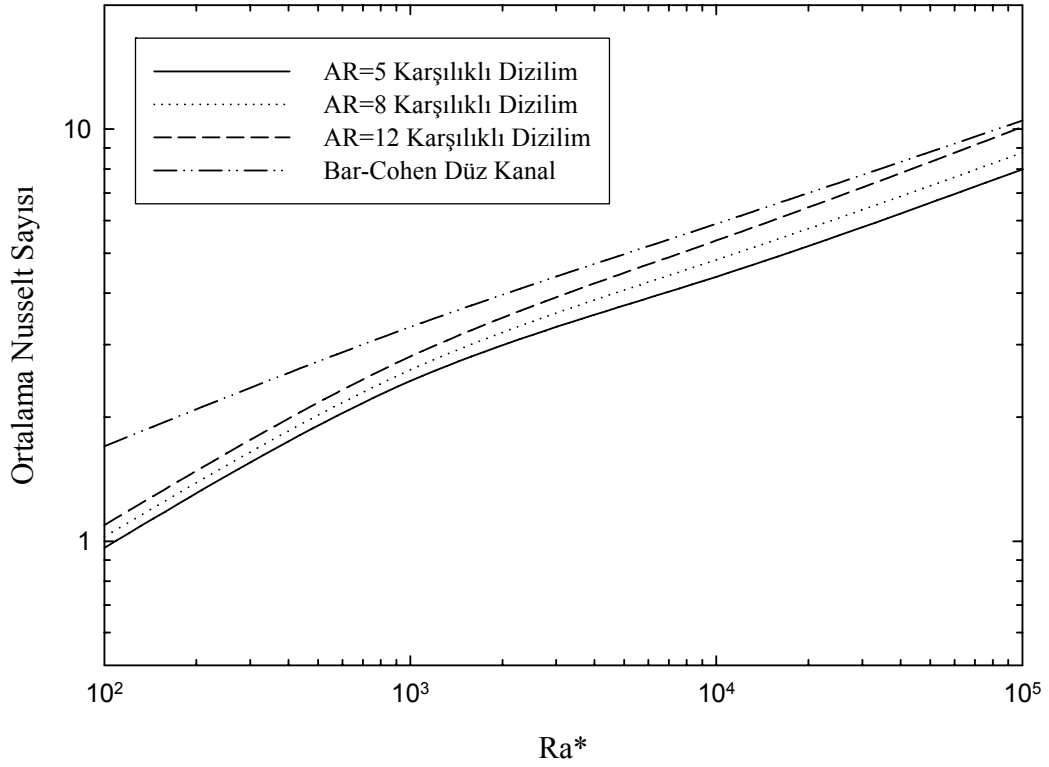


Şekil 10.2. Üçgen blokların karşılıklı yerleştirilmesi durumu için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine kanal boy/en oranının etkisi

Üçgen blokların karşılıklı dizildiği durumunda, yarım dairesel bloklarda olduğu gibi, AR=12 ve AR=8 değerleri için düz kanaldan elde edilen ortalama Nusselt sayısı değerlerinin üzerine çıkılmış, AR=5 için düz kanalın değerlerine yaklaşılmış olmasına rağmen, incelenen kanal Rayleigh sayısı aralığında üzerine çıkılamamıştır. Her AR değeri için, düz kanalın ortalamasının geçildiği kanal Rayleigh sayısı değeri, yarım dairesel bloklarda elde edilen değerlerle aynıdır.

Kanal içinde karşılıklı olarak dizilmiş dikdörtgen kesitli blokların ortalama ısı aktarımına etkisi, incelenen kanal Rayleigh sayısı aralığında, olumsuz olmuştur. Şekil 10.3'te görüldüğü gibi tüm AR değerleri için kanal duvarının ortalama Nusselt sayısı, düz kanalın değerlerinin altında seyretmektedir. AR=5 ve AR=8 için ortalama Nusselt sayısı yaklaşık olarak $Ra^*=2 \times 10^3$ değerine kadar, artan kanal Rayleigh sayısı ile birlikte, düz kanalın ortalama değerine yaklaşmıştır. Daha büyük Ra^* değerlerinde ise bu iki AR değerleri için hesaplanan ortalama Nusselt sayıları,

yaklaşık olarak düz kanalın artışına paralel olarak artmakta ve kararlı olarak düz kanalın altında seyretmektedir.



Şekil 10.3. Dikdörtgen blokların karşılıklı yerleştirilmesi durumu için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine kanal boy/en oranının etkisi

AR=12 oranında ortalama Nusselt sayısı, kanal Rayleigh sayısının 2×10^3 değerine kadar, AR=8 ve AR=5 durumlarına paralel bir davranış sergilemekte, ancak bu noktadan sonra artış eğilimi diğer iki boy/en oranının aksine düz kanalın ortalama değerlerine giderek yaklaşmaktadır. İncelenen aralıkta AR=12 ile hesaplanan ısı akısı düz kanal değerlerini yakalayamamış olmasına rağmen, daha büyük kanal Rayleigh sayıları için, düz kanal ortalamasının geçeceği görüntüsünü vermektedir. Dikdörtgen bloklar için de, diğer iki geometride olduğu gibi, artan kanal en/boy oranı ile birlikte kanal duvarının ısı aktarım kabiliyetinin arttığı gözlenmiştir.

$Ra^*=10^2$ değeri için dikdörtgen blokların AR=12 kanalının ortalama ısı aktarımı üçgen bloklarinkiyle yaklaşık olarak aynıdır. Ancak aynı kanal Rayleigh sayısında

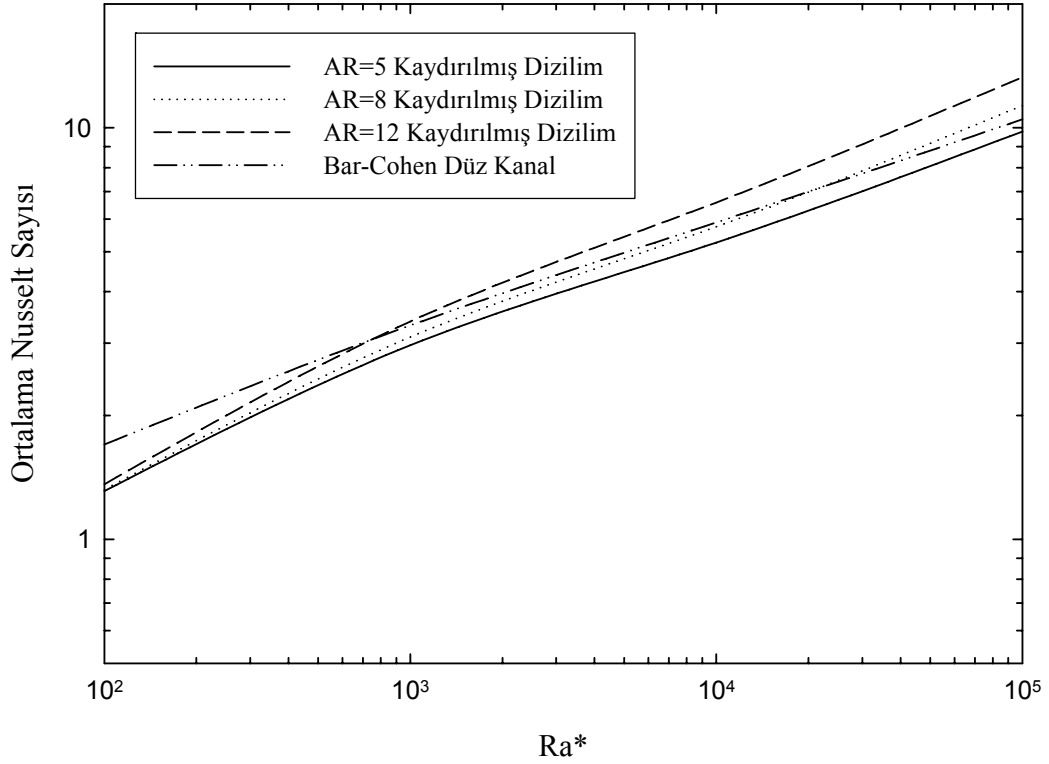
dikdörtgen blokların $AR=8$ ve $AR=5$ kanallarının ortalama ısı aktarım değerleri, üçgen bloklarınkinden daha fazladır. Dar kesitli kanallarda küçük kanal boy/en oranı için dikdörtgen blokların akışa paralel olan uzun yüzeylerinin ısı aktarımına katkısı, üçgen blokların toplam katkısından daha fazla olmuştur.

Kaydırılmış blok dizilimlerinin yerel ısı aktarım kabiliyetlerinin, karşılıklı blok dizilimine göre daha fazla olduğu, 6.Bölümde belirtilmiştir. Bu durumun bir yansıması olarak kanal duvarlarının ortalama ısı akısı ve Nusselt sayısı değerleri de kaydırılmış dizilim için daha yüksek bulunmuştur.

Şekil 10.4'te yarım dairesel blokların kaydırılmış olarak dizildiği kanal için bulunan sonuçlar görülmektedir. Her üç AR değeri için elde edilen ortalama Nusselt sayısı eğrisi de genel olarak karşılıklı dizilim durumundaki eğilimlerini korumuşlardır. Yine artan AR değeriyle birlikte ortalama ısı aktarımı artmış, $AR=12$ ve $AR=8$ kanallarının ortalama ısı aktarımı düz kanalınıki geçmiş, $AR=5$ kanalının ortalama ısı aktarımı ise altında kalmıştır.

Kaydırılmış dizilim durumu için elde edilen değerler karşılıklı dizilimden elde edilen ortalama değerlerin üzerindedir. Bunun sonucu olarak $AR=12$ ve $AR=8$ kanallarının ortalama Nusselt sayısı değerleri, kanal Rayleigh sayısının daha küçük değerleri için düz kanalın ortalama değerlerinin üzerine çıkmıştır.

Kaydırılmış üçgen blok diziliminden elde edilen sonuçlar, karşılıklı üçgen blok dizilimine göre farklılık göstermektedir (Şekil 10.5).

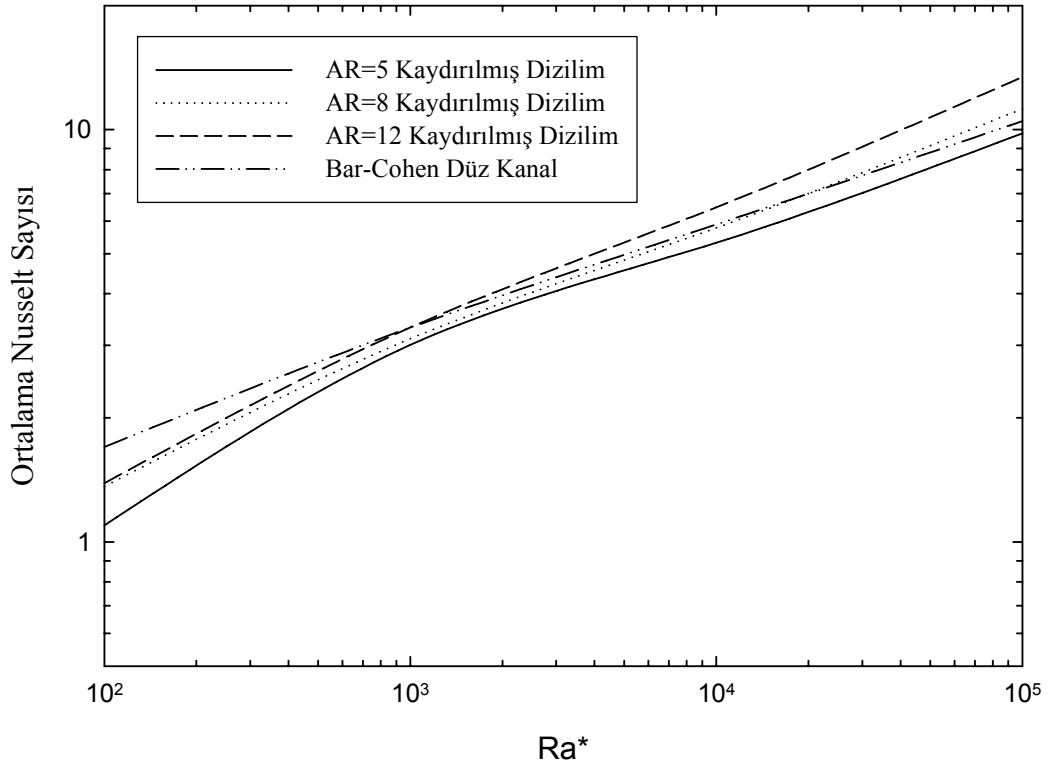


Şekil 10.4. Yarım dairesel blokların kaydırılmış olarak yerleştirilmesi durumu için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine kanal boy/en oranının etkisi

Kaydırılmış üçgen blok diziliminde $Ra^*=10^2$ için $AR=8$ kanalının ortalama Nusselt sayısı değeri, karşılıklı dizilimde elde edilen sonuçların aksine, $AR=5$ kanalının değerinden büyüktür. Ortalama Nusselt sayısı değerleri, karşılıklı dizilime göre daha yüksek, $AR=8$ ve $AR=12$ kanallarının ortalama Nusselt sayısı değerlerinin düz kanalın üzerine çıktığı kanal Rayleigh sayısı değerleri ise karşılıklı dizilime göre daha düşüktür. $AR=5$ kanalının ortalama ısı aktarım performansı, karşılıklı dizilime göre daha iyi olmakla birlikte, yine de incelenen Ra^* aralığında, düz kanalın ortalamalarının üzerine çıkamamıştır.

Şekil 10.6'da ele alınan son durum olan kaydırılmış olarak dizilmiş dikdörtgen blokların ortalama Nusselt sayısı değerleri verilmiştir. Karşılıklı dikdörtgen blok dizilimine göre tespit edilen en önemli gelişme, $AR=12$ kanalının incelenen Ra^* aralığının sonlarına doğru düz kanaldan olan ortalama Nusselt sayısının üzerine

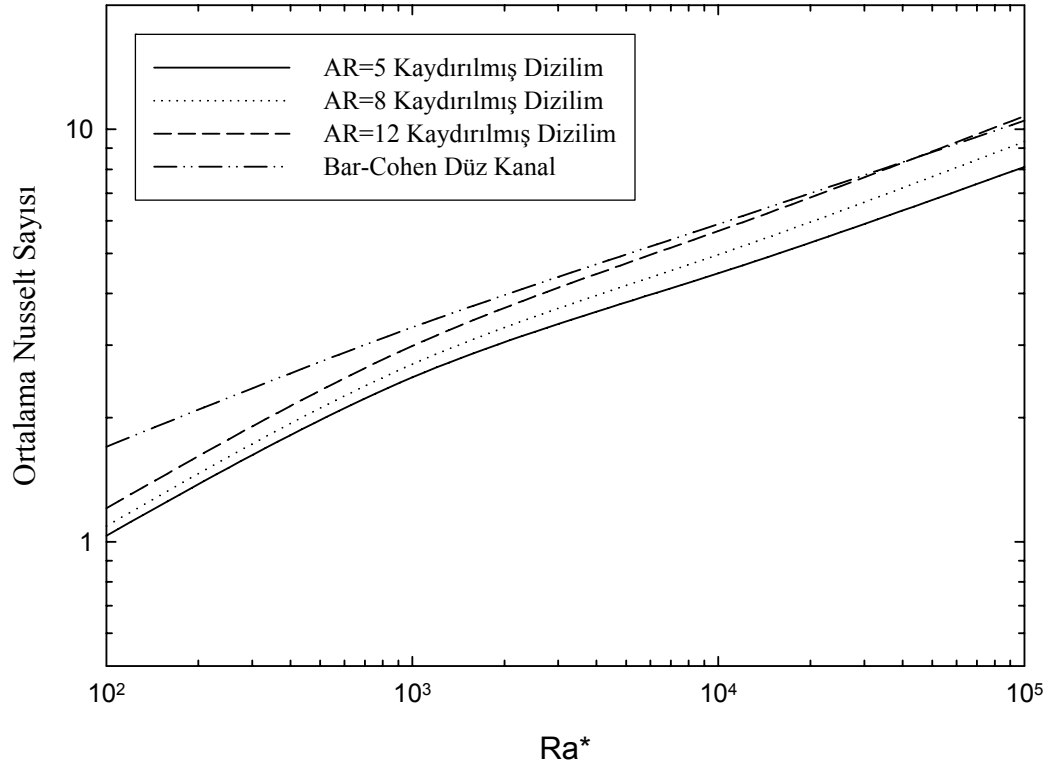
çıkmasıdır. $AR=8$ ve $AR=5$ kanallarının ortalama ısı aktarımı karakteristiği, karşılıklı dizilimde olduğu gibi, düz kanalın eğrisine paralel olarak ilerlemiştir.



Şekil 10.5. Üçgen blokların kaydırılmış olarak yerleştirilmesi durumu için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine kanal boy/en oranının etkisi

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki artan kanal boy/en oranına en kararlı tepkiyi, dikdörtgen blokların ortalama Nusselt sayısı verir.

Yarım dairesel ve üçgen bloklar için ise, kanal Rayleigh sayısının 10^3 değeri civarında eğriler birbirine yaklaşmakta ve ortalama Nusselt sayısı AR değerinden neredeyse bağımsız olarak değişmektedir.



Şekil 10.6. Dikdörtgen blokların kaydırılmış olarak yerleştirilmesi durumu için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine kanal boy/en oranının etkisi

11. ORTALAMA NUSSELT SAYISININ KANAL RAYLEIGH SAYISI İLE DEĞİŞİMİNE BLOK GEOMETRİSİNİN ETKİSİ

İncelenen problemlerde kanal duvarından aktarılan ortalama ısı miktarına etkisi ölçülen önemli bir etmen, blokların geometrik şekilleri ve kanal içindeki yerleşim şekilleridir. Altıncı Bölümde yerel Nusselt sayısına ve Sekizinci Bölümde kanal içindeki sıcaklık ve hız dağılımı üzerine etkileri incelenen blok geometrilerinin kanalın sol duvarı üzerinden olan ortalama ısı akısına etkileri incelenecektir.

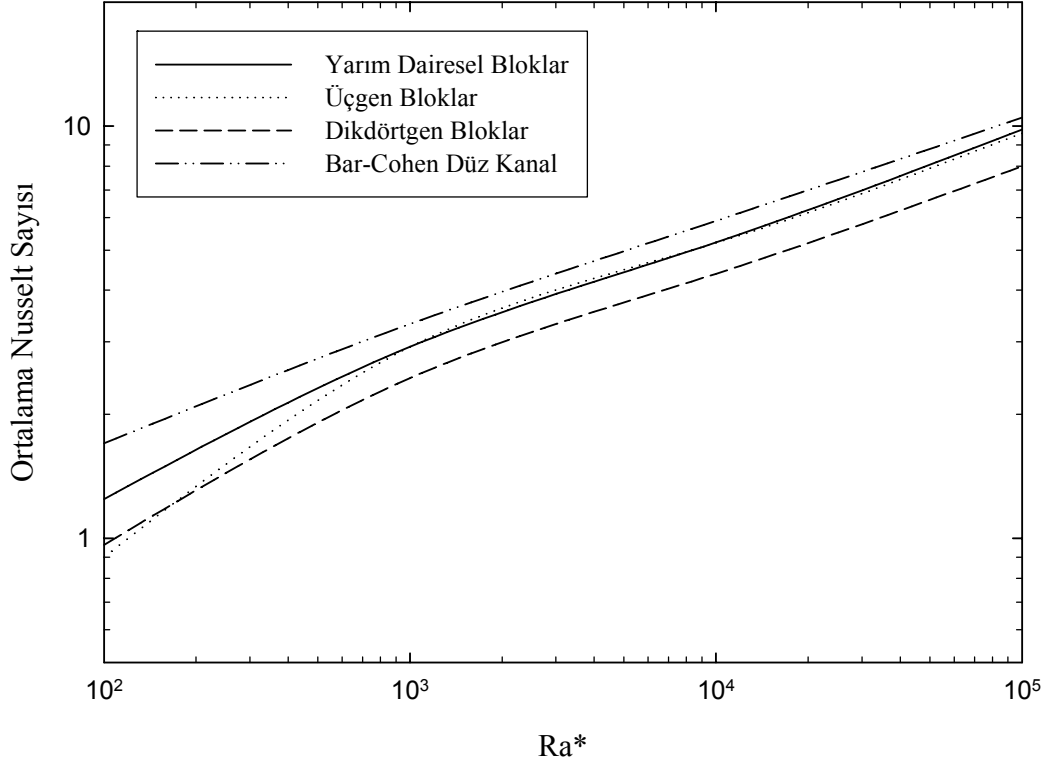
Önceki Bölümde ortalama Nusselt sayısına etkileri incelenen kanal boy/en oranının, dolayısıyla kanal boyutlarının etkilerinden bağımsız olarak, yalnızca blok geometrisinin etkilerinin belirlenebilmesi için sonuçlar, her AR oranı için ayrı ayrı grafikler halinde sunulmuştur.

Blokların bulunduğu duvarların ortalama yüzey ısı aktarım performansları için bir referans olması için düz duvara ait ortalama Nusselt sayısı profili de, önceki bölümde olduğu gibi, grafiklerin üzerine işlenmiştir.

Dokuzuncu Bölümden hatırlanacağı gibi yüksekliği az olan kanallarda ($AR=5$) blokların arasında kalan kanal duvarının üzerindeki bölgede havanın sıcaklığı oldukça yüksektir. Bu duruma bağlı olarak en düşük ortalama Nusselt sayısı, küçük boy/en oranları için beklenmektedir. Şekil 11.1’de $AR=5$ oranı için karşılıklı dizilmiş bloklardan elde edilen ısı aktarımının karşılaştırılması verilmiştir.

Şekilde hemen göze çarpan, AR oranının bu değeri için hiçbir blok geometrisinin, artan kanal Rayleigh sayısı ile birlikte ısı aktarımı da artmasına rağmen, incelenen aralıkta düz kanaldan olan ısı akısını geçemediğidir. Yarım dairesel ve üçgen blokların oluşturduğu yüzeylerin ortalama Nusselt sayısı değeri, bu çalışmanın inceleme aralığı dışında kalan daha büyük kanal Rayleigh sayısı değerleri için, düz kanalın ortalamasını geçebilecek eğilimi gösterirken, dikdörtgen blokların oluşturduğu yüzey yaklaşık olarak $Ra^*=2 \times 10^3$ değerinden sonra düz kanal eğrisine paralellik göstermiştir. $AR=5$ oranı için dikdörtgen blokların karşılıklı dizildiği kanal

içinde düz kanaldan daha verimli bir ısı aktarımı sağlanması mümkün görünmemektedir.



Şekil 11.1. Blokların karşılıklı yerleştirildiği durum için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine blok geometrisinin etkisi (AR=5)

Kanal Rayleigh sayısının 10^3 'ten küçük değerleri için yarım dairesel blokların bulunduğu yüzeyden elde edilen ortalama Nusselt sayısı diğer yüzeylerden yüksektir. Yarım dairesel blokların bulunduğu yüzeyin ortalama Nusselt sayısı $Ra^*=10^2$ için, üçgen blokların bulunduğu yüzeyden yaklaşık %28, dikdörtgen blokların bulunduğu yüzeyden ise yaklaşık olarak %23 daha büyüktür. Buna rağmen aynı Ra^* değeri için yarım dairesel blok yüzeyinin ortalama Nusselt sayısı, düz duvarın ancak %74'ü kadardır. Bu değer dikdörtgen blok yüzeyi için %56, üçgen blok yüzeyi içinse %53 olarak bulunmuştur.

Yarım dairesel ve üçgen blok yüzeylerinin ortalama Nusselt sayısı değerleri, düz kanal yüzeyine göreli olarak, artan kanal Rayleigh Sayısı ile birlikte artarak, $Ra^*=10^5$ için düz kanal ortalama Nusselt sayısının yaklaşık olarak %93'üne

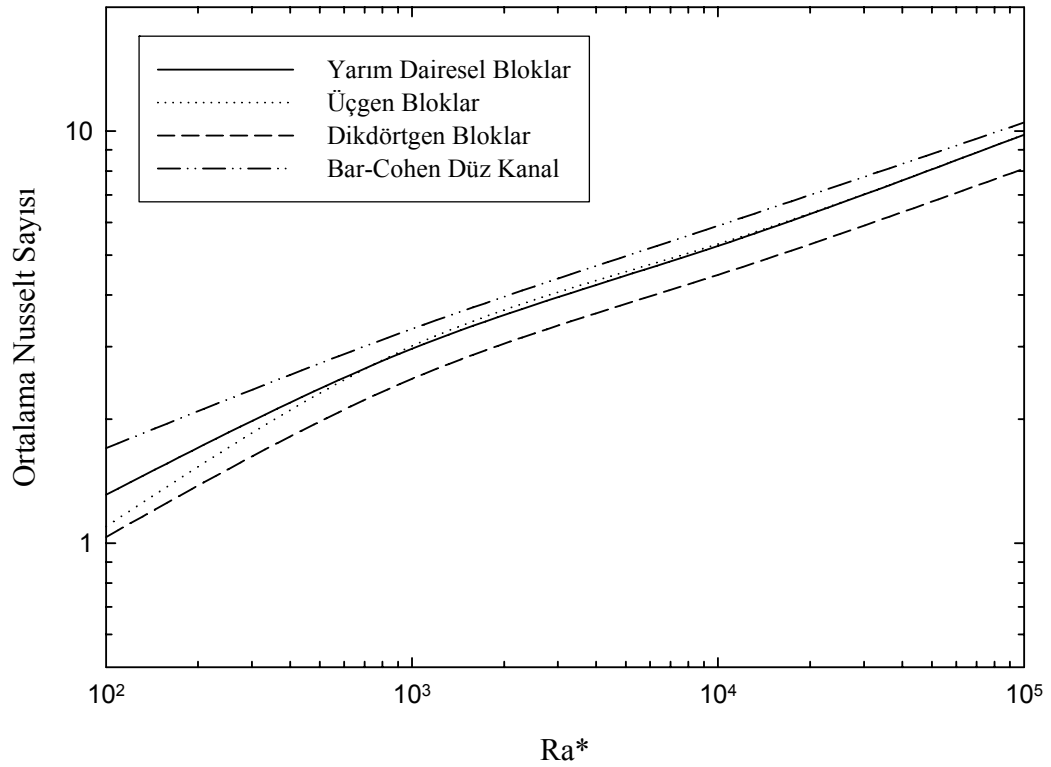
ulaşmışlardır. Dikdörtgen blok yüzeyinin ortalama Nusselt sayısı değeri ise bu noktada, düz kanal yüzeyinin ancak %76'sı kadardır.

Küçük kanal Rayleigh sayıları ($Ra^* \leq 2 \times 10^2$) için üçgen blokların bulunduğu yüzeyin ortalaması, dikdörtgen blokların bile altında kalmaktadır. Ancak ortalama Nusselt sayısı değeri hızla artarak, $Ra^* = 10^3$ değerinin üzerine çıkıldığında yarım dairesel blokların bulunduğu yüzeyin ortalamasını yakalamış ve hatta dar bir aralık için üzerine çıkmıştır. Dikdörtgen blok yüzeylerinin Nusselt sayısı ortalama değeri ise kararlı olarak, diğer iki blok yüzeyinden düşük seyretmektedir.

Aynı boy/en oranı için kaydırılmış blok dizilimi yapılmış kanal duvarlarından elde edilen ortalama Nusselt sayısı değerleri, önceki bölümlerde elde edilen bulgulara dayanarak beklendiği gibi, karşılıklı dizilime göre daha yüksek olarak hesaplanmıştır.

Şekil 11.2'de görüldüğü gibi $AR=5$ oranında blokların kaydırılmış olarak dizilmesi, kanal Rayleigh sayısının küçük değerleri için, üçgen ve dikdörtgen blok yüzeylerinden olan ısı aktarımı üzerinde görünür bir iyileşmeye sebep olmuştur. Özellikle üçgen blok yüzeyinin ortalama Nusselt sayısı değeri üzerinde kaydadeğer bir gelişme olarak, incelenen aralığın hiçbir yerinde dikdörtgen blok yüzeyininkinin altına düşmemektedir. Blokların kaydırılmış olarak dizilmesi yarım dairesel blok yüzeyleri üzerinde ise, diğer iki geometri üzerinde gösterdiği etkiyi göstermemiş, $Ra^* = 10^4$ değerine kadar, ortalama Nusselt sayısı üzerinde artış eğilimi giderek azalan küçük miktarda artışlar gözlenmiş, bu noktadan sonra ise karşılıklı blok dizilimindeki rejimine dönüşmüştür.

Her üç yüzeyin ortalama Nusselt sayılarının kanal Rayleigh sayısı ile değişim profilleri, $Ra^* = 10^2$ için üçgen blok yüzeyinin ortalama Nusselt sayısı değerinin, dikdörtgen blok yüzeyinin değerinin üstünde olması dışında, karşılıklı dizilim profilleri ile aynı eğilimleri göstermektedir. Anılan profiller yine düz kanalın ortalama Nusselt sayısı profilinden düşük seyretmekle birlikte, eğrilerin düşey koordinatları arasındaki fark daha küçüktür.



Şekil 11.2. Blokların kaydırılmış yerleştirildiği durum için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine blok geometrisinin etkisi (AR=5)

Yarım dairesel blok yüzeyinin ortalama Nusselt sayısındaki artış karşılıklı blok dizilimine göre, $Ra^*=10^2$ değeri için yaklaşık %5 iken, $Ra^*=10^5$ için karşılıklı ve kaydırılmış durumlar arasında bir fark görülmemektedir.

Dikdörtgen blok yüzeylerinin ortalama Nusselt sayısındaki artış, yarım dairesel blok yüzeylerine göre daha fazladır. Karşılıklı blok dizilimine göre en küçük kanal Rayleigh sayısı için ortalama Nusselt sayısındaki artış %8, en büyük kanal Rayleigh Sayısı için ise %2 düzeyindedir.

Isı aktarım performansındaki en büyük gelişme ise üçgen blok yüzeylerinde görülmemiştir. Karşılıklı dizilim durumuna göre ortalama Nusselt sayısındaki artış, $Ra^*=10^2$ için %18, $Ra^*=10^5$ için ise %2 olarak hesaplanmıştır.

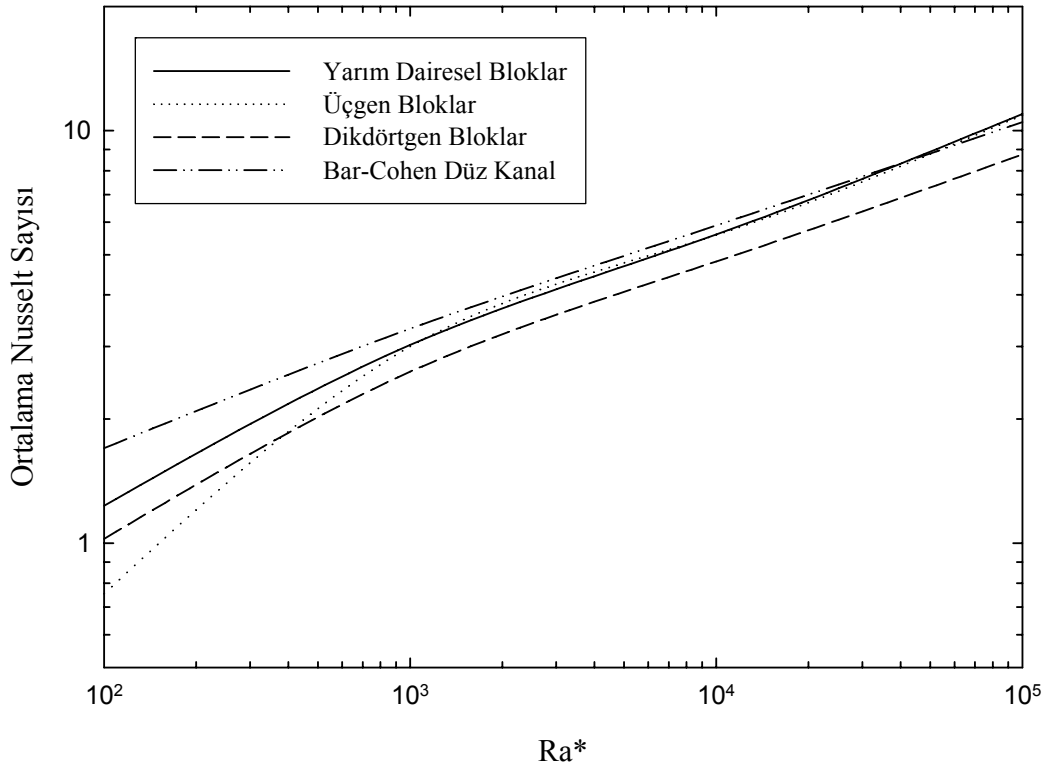
Blokların kaydırılmış olarak dizilmesi, $AR=5$ oranı için yalnızca küçük kanal Rayleigh sayısı değerlerinde, ortalama ısı aktarımı üzerinde anlamlı bir etki yaratmış, daha büyük değerlerde ise yalnızca küçük artışlara sebep olmuştur.

Kanal boy/en oranının 8 olduğu durumda, blokların kanal içine karşılıklı yerleştirilmeleri halinde kanalların sol duvarlarından elde edilen ortalama Nusselt sayısı değerleri, her üç blok geometrisi için de Şekil 11.3'te görülmektedir.

Kanal Rayleigh sayısının 10^2 değeri için, AR oranının 5'ten 8'e çıkmasının etkisi, ortalama Nusselt sayısı üzerinde, üçgen ve yarım dairesel blok yüzeyleri için azalma, dikdörtgen blok yüzeyi için artış yönünde olmuştur. Artan Ra^* değeri ile birlikte üçgen blok yüzeyinde hızlı bir artış görülmüş, $Ra^*=10^3$ için ortalama Nusselt sayısı değeri, yarım dairesel blok yüzeyini yakalamış ve $AR=5$ değerinde olduğu gibi, dar bir Ra^* aralığı için üzerine çıkmıştır.

Her üç blok geometrisi için de ortalama Nusselt sayısı eğrisinin genel eğilimi, $AR=5$ oranında elde edilen eğrilerle benzeşmektedir. $AR=5$ oranı durumundan farklı olarak yarım dairesel ve üçgen blok yüzeyleri için elde edilmek istenen sonuca ulaşılmış, $Ra^*=5 \times 10^4$ değerinin üzerinde ortalama Nusselt sayısı değeri düz kanalının üzerine çıkmıştır.

Dikdörtgen blok yüzeylerinin ortalama Nusselt sayısındaki artış, $AR=5$ durumuna (karşılıklı dizilim) göre $Ra^*=10^2$ için yaklaşık %6, $Ra^*=10^5$ için ise yaklaşık %8'dir. Buna rağmen dikdörtgen blok yüzeylerinin ortalama ısı aktarımı düz kanaldan olan ısı aktarımından aşağıda kalmıştır. Dikdörtgen blok yüzeyi ortalama Nusselt sayısı değerleri düz kanal değerlerinin, $Ra^*=10^2$ için yaklaşık %61, $Ra^*=10^5$ için ise yaklaşık %84'ü kadardır.

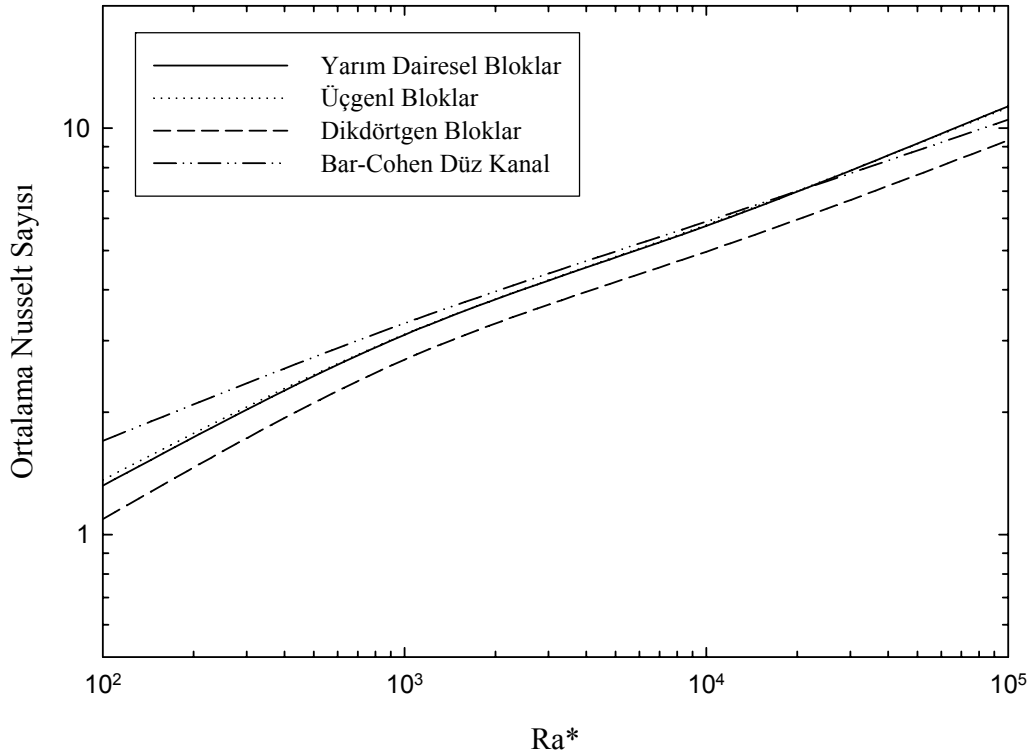


Şekil 11.3. Blokların karşılıklı yerleştirildiği durum için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine blok geometrisinin etkisi (AR=8)

Üçgen blok yüzeyinin ortalama Nusselt sayısı değeri, kanal Rayleigh sayısı skalasının alt noktasında düz kanalın değerinin %44'üne eşitken, skalanın üst noktasına gelindiğinde yaklaşık %4 üzerine çıkmıştır.

En yüksek ısı aktarım ortalamasının elde edildiği yarım dairesel blok yüzeylerinde ise, $Ra^*=10^2$ değerinde ortalama Nusselt sayısı düz kanal değerinin %72'sinde kalmış, $Ra^*=10^5$ değerine gelindiğinde yaklaşık %5 üzerine çıkmıştır.

Ortalama ısı aktarma yeteneklerinin daha yüksek olması beklenen AR=8 için kaydırılmış blok dizilimlerine ilişkin grafik, Şekil 11.4'te verilmiştir.



Şekil 11.4. Blokların kaydırılmış yerleştirildiği durum için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine blok geometrisinin etkisi (AR=8)

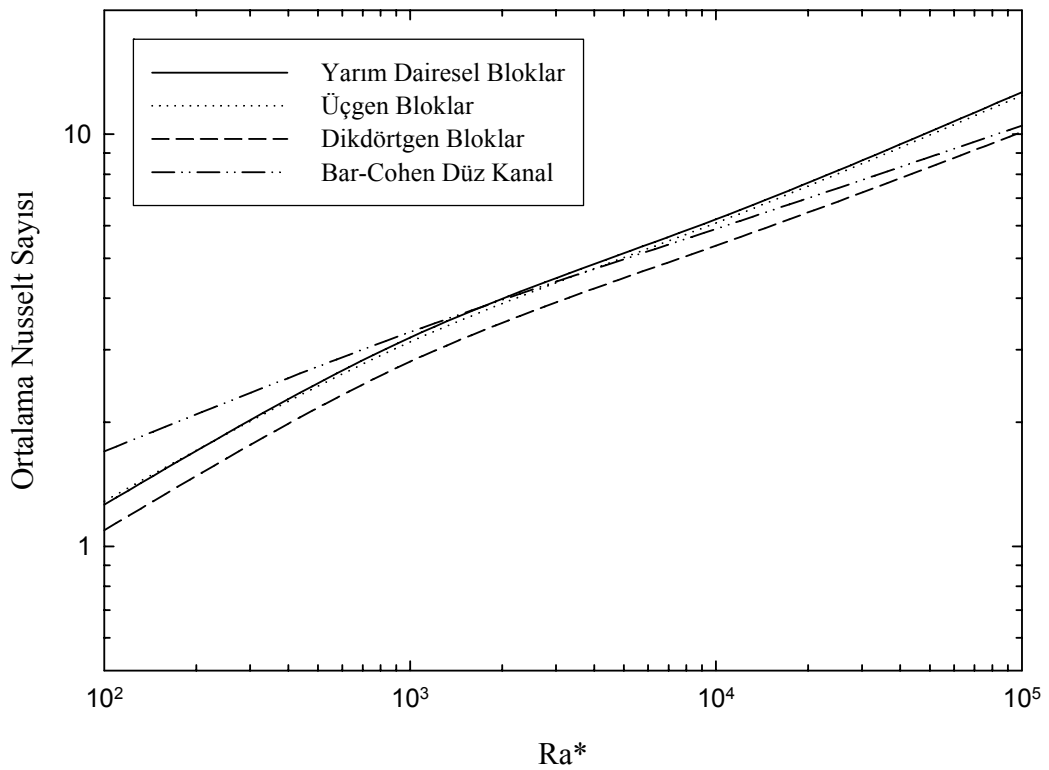
Blokların kaydırılmış olarak dizilmesinin etkisi, AR=5 oranında olduğu gibi, kanal Rayleigh sayısının küçük değerleri için, dikdörtgen ve üçgen blokların oluşturduğu yüzeylerde hissedilmiştir. $Ra^*=10^2$ için dikdörtgen blok yüzeylerinin ortalama ısı akısında küçük, üçgen blok yüzeylerinkinde ise oldukça büyük bir artış görülmektedir.

Bundan başka yarım dairesel ve üçgen blokların ortalama Nusselt sayısının düz kanalı geçtiği kanal Rayleigh sayısı değeri, karşılıklı dizilime göre, $Ra^*=5 \times 10^4$ 'ten, $Ra^*=2 \times 10^4$ 'e gerilemiştir. Bu durum blokların kaydırılmış olarak dizilmesi halinde daha küçük kanal boyutları ile aynı ısı aktarım performansının sağlanabileceğine de işaret etmektedir.

$Ra^*=10^2$ için kaydırılmış dizilim yarım dairesel blok yüzeyinin ortalama Nusselt sayısı, düz kanalda elde edilenin %77'si iken, üçgen blok yüzeyi %82'si ve dikdörtgen blok yüzeyi de %65'i kadardır. $Ra^*=10^5$ değerine gelindiğinde yarım

daireysel blok yüzeyinin ortalama Nusselt sayısı düz kanalda elde edilenin yaklaşık %8 üzerindedir. Bu değer üçgen blok yüzeyinde düz kanala göre %7 daha fazladır. Dikdörtgen blok yüzeyinin ortalama Nusselt sayısı ise düz kanalın %89'unda kalmıştır.

Kanal boyutlarının en büyük olduğu $AR=12$, karşılıklı blok dizilimi durumundan elde edilen ortalama Nusselt sayısı değerleri beklendiği gibi diğer iki AR değeri için hesaplananlardan daha yüksektir. Kanal boyunun uzamasına bağlı olarak artan ısı aktarımı yüzeyinin ısı aktarımı üzerindeki olumlu etkileri hissedilmektedir. Elde edilen veriler Şekil 11.5'te sunulmuştur.

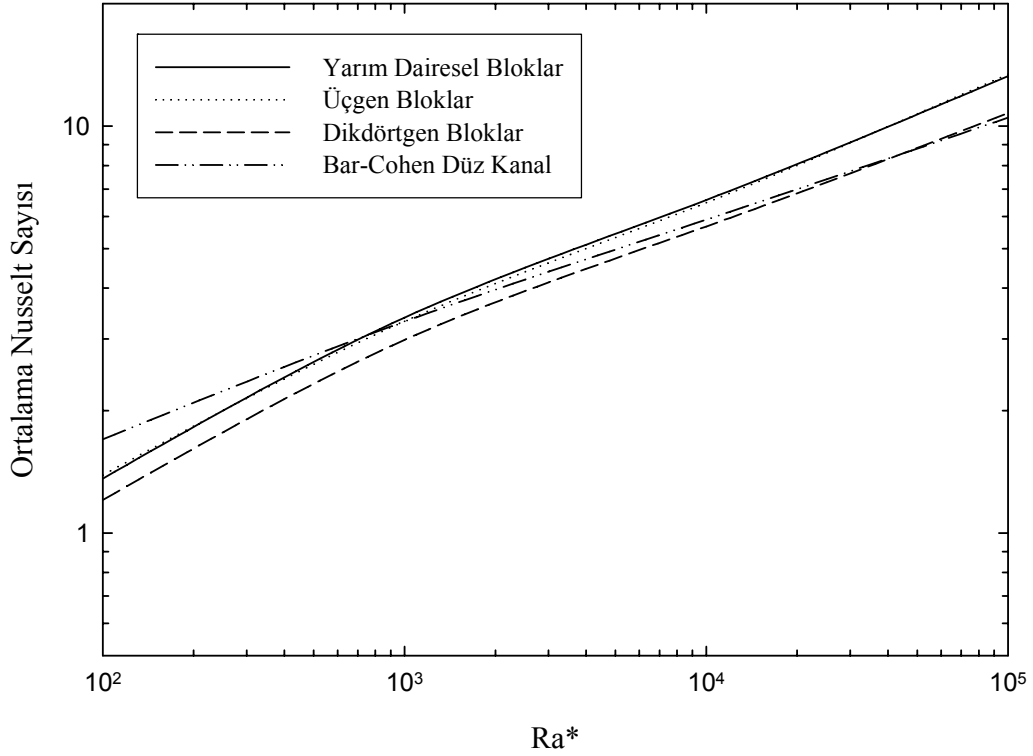


Şekil 11.5. Blokların karşılıklı yerleştirildiği durum için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine blok geometrisinin etkisi ($AR=12$)

Bu kanal boyutları için karşılıklı dizilimde üçgen ve yarım dairesel blokların ortalama ısı akıları birbirine çok yakın seyretmektedir. Yarım dairesel ve üçgen blok yüzeyleri, düz kanalın ortalama Nusselt sayısı değerlerini çok daha küçük bir kanal Rayleigh sayısı için ($Ra^*=2 \times 10^3$) geçmiştir. Üçgen blok yüzeyi $AR=8$ oranının

aksine, Ra^* 'ın en küçük değeri için dahi oldukça yüksek ortalama Nusselt sayısı değerine ulaşmıştır.

Kanal Rayleigh sayısı skalasının en küçük noktasında, düz kanalın değerine göreli yarım dairesel ve üçgen blok yüzeyinin ortalama Nusselt sayısı düz kanal değerinin %77'si, dikdörtgen blok yüzeyinin değeri ise düz kanalın %65'i kadardır. Skalanın en büyük noktası olan $Ra^*=10^5$ 'te ise yarım dairesel blok yüzeyi düz kanalın %20 üzerinde, üçgen blok yüzeyi düz kanalın %18 üzerinde, dikdörtgen blok yüzeyi ise düz kanalın %4 altındadır.



Şekil 11.6. Blokların kaydırılmış yerleştirildiği durum için ortalama Nusselt sayısının kanal Rayleigh sayısı ile değişimine blok geometrisinin etkisi (AR=12)

İncelenen aralıkta, AR=12 karşılıklı blok dizilimi durumunda dikdörtgen blok yüzeyinin ortalama Nusselt sayısı değeri hiçbir yerde düz kanalı geçememekle birlikte, daha büyük Ra^* değerleri için geçebilecek eğilimi göstermiştir.

Tüm veri setleri içinde en büyük ortalama Nusselt sayısı değerleri, Şekil 11.6'da verilen $AR=12$ kaydırılmış blok dizilimi için elde edilmiştir. Birbirine çok yakın seyreden yarım dairesel ve üçgen blok eğrileri, kanal Rayleigh sayısı değeri 10^3 'e bile ulaşmadan önce, $Ra^*=8 \times 10^2$ değeri için düz kanalın ortalama Nusselt sayısı değerinin üzerine çıkmıştır.

Yüzeyden olan ısı akısı o denli yükselmiştir ki, dikdörtgen blok yüzeyinin ortalama Nusselt sayısı dahi, $Ra^*=4 \times 10^4$ değeri için düz kanal değerinin üzerine çıkmıştır.

$Ra^*=10^2$ değeri için yarım dairesel blok yüzeyindeki ortalama Nusselt sayısı değeri düz kanalın %80'i, üçgen blok yüzeyindeki değeri düz kanalın %82'si ve dikdörtgen blok yüzeyi üzerindeki değeri de düz kanalın %71'i düzeyindedir.

$Ra^*=10^5$ değeri için yarım dairesel blok yüzeyi %27, üçgen blok yüzeyi %28 ve dikdörtgen blok yüzeyi de %3 olmak üzere tüm blok geometrilerinin oluşturduğu yüzeylerin ortalama Nusselt sayısı değerleri, düz kanaldan elde edilen değer in üzerine çıkmıştır.

12. SONUÇ VE ÖNERİLER

Düşey kanal içinde doğal taşınım ile ilgili olarak literatürde çok miktarda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda düz kanalla birlikte, farklı blok geometrileri ve farklı sınır şartları uygulanmıştır. Daha önce de belirtildiği gibi amaçlanan, yüzeyin ısı aktarım miktarını arttırmaktır. Bu tez çalışması kapsamında yapılan sayısal incelemelerde bu, kısmen de olsa sağlanabilmiştir.

Kanal duvarı üzerinde Nusselt sayısının yerel değerleri incelendiğinde, kaydırılmış blok dizilimi durumuna blokların arasında kalan kanal duvarlarının, ısı aktarımı yönünden çok daha aktif olarak kullanıldığı görülmektedir. Kaydırılmış dizilim grafiklerinin tamamında, bloklar arasındaki bölgede hesaplanan yerel Nusselt sayısı, düz kanalın yerel değerinin oldukça üzerine çıkmıştır. Karşılıklı blok dizilimi durumunda ise dikdörtgen blokların bulunduğu blok duvarında, bloklar arası bölgeden ısı aktarımı diğer blok geometrilerine göre çok küçük kalmıştır.

Yarım dairesel ve dikdörtgen blokların girişinde ve çıkışında akış, karşısına çıkan akış yönüne göre 90° açı yapan blok geometrisi yüzünden aşırı hız kaybına uğramakta, bu yüzden ısı taşınımının etkileri bu bölgelerde görünmemektedir. Buna bağlı olarak blokların giriş ve çıkış bölgelerinde Nusselt sayısında ani düşmeler ve yerel minimumlar tespit edilmiştir. Akışın bloğa çarpma açısının 90° 'den küçük olmasına bağlı olarak aynı yerel minimumlar, üçgen blokların giriş ve çıkışında çok büyük düşüşlere sebep olmamıştır.

Yerel Nusselt sayısı grafikleri başka bir durumu daha ortaya koymaktadır. Üçgen ve dikdörtgen blok geometrilerinde akışın blok yüzeyinden ayrılmasından sonra bloğun arkasında oluşturduğu vorteks bölgesi, yarım dairesel blokların oluşturduğu bölgelere göre daha büyüktür. Akış ancak bu bölgeden çıktıktan sonra taşınımın etkilerini tam olarak gösterebilmektedir.

Her üç geometri için de blokların üzerinde bir maksimum yerel Nusselt sayısı noktası oluşmaktadır. Sadece blokların üzerinden olan ısı akışı gözönüne alındığında,

dikdörtgen bloklardan olan ısı akısının diğerlerinden fazla olduğu görülmektedir. Dikdörtgen bloklar aktardıkları ısıнын neredeyse tamamını akışa paralel olan üst yüzeylerinden aktarmaktadırlar.

Yarım dairesel blokların maksimum yerel Nusselt sayısı noktası, diğer geometrilere göre daha az belirgindir. Üçgen bloklara göre daha geniş bir mesafe aralığı boyunca etkin olarak ısı aktarabildikleri tespit edilmiştir.

Üçgen blokların ısı aktarımı miktarı diğer iki geometriye göre daha zayıf olarak görülmektedir. Blokların yalnızca bir yüzeylerinden etkin olarak doğal taşınım yapılabilmektedir. Üçgenin tepe noktasından sonra geniş bir ters akış bölgesi olduğundan, üçgen blokların arka yüzlerinden etkin ısı aktarımı yapılamamaktadır.

Blokların karşılıklı olarak dizildiği durumda, blok aralarında kalan kanal duvarı üzerinde ters akışların olduğu ve kalın bir yüksek sıcaklık tabakasının varlığı tespit edilmiştir. Bu tabaka kalınlığı yarım dairesel bloklar için en az olurken dikdörtgen bloklar için en fazla olduğu görülmüştür. Bu sonuç blok arkalarında oluşan ters akış bölgelerinin büyüklükleriyle de teyit edilmiştir.

Blokların kaydırılarak yerleştirilmesi halinde, bloklar aynı zamanda akışı yönlendirici bir unsur olarak çalışmakta, blok arkalarında oluşan yüksek sıcaklık tabakasının kalınlığı, karşılıklı dizilim durumuna göre, her üç blok geometrisi için de azalmakta, ters akış bölgeleri küçülmektedir. Kaydırılmış blok diziliminin karşılıklı dizilime göre, ısı aktarımı yönünden daha üstün olduğu yörünge çizgileri ve kanal içindeki eş sıcaklık eğrilerinin durumu ile bir kere daha doğrulanmıştır.

Çalışmalarda gözlemlenen bir başka durum da, kanal boyunun uzamasına bağlı olarak yüzeylerin ısı aktarım performansının iyiye gittiğidir. Kanalin boy/en oranı ve buna bağlı olarak boyu uzadıkça, blokların arasında ters akış alanlarının, toplam kanal duvarına oranı küçülmüş, bundan dolayı da blokların arkasında, kanal duvarı üzerinde doğal taşınımın yapılabildiği yüzeyler oluşmuştur. Uzayan kanal boyuyla

birlikte blokların arasında oluşan yüksek sıcaklık tabakasının kalınlığının da azaldığı tespit edilmiştir.

Yörünge çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri ile tespit edilen bu durumun gerçekliği, kanal boy/en oranına bağlı ortalama Nusselt sayısı grafikleri ile de onaylanmıştır. Tüm blok geometrileri ve dizilimleri için büyük boy/en oranının, kanal duvarından daha büyük ısı akısı oluşturduğu tespit edilmiştir.

Çalışmanın başlangıcında hedef olarak alınan, kanal duvarı üzerine bloklar yerleştirilerek ısı aktarımı yüzeyini ve buna bağlı olarak ısı aktarımını arttırma, başarılmıştır. Kısa kanal boylarında ($AR=5$) kanal içine yerleştirilen blokların, yüzeyden aktarılan ısının üzerinde herhangi bir arttırıcı etkisi olmadığı, aksine ters akış bölgelerinden dolayı ısı aktarımını engellediği belirlenmiştir. Kısa kanal boyları için blokların kaydırılmış olarak yerleştirilmesi dahi, kanal duvarından olan ısı aktarımını, düz kanalın ısı aktarımının üzerine çıkaramamaktadır. Uzayan kanal boyuyla birlikte elde edilen ısı akısı da artmıştır.

Küçük kanal Rayleigh sayıları ve küçük boy/en oranları için yüzeyin ısı aktarımına en büyük katkıyı, yarım dairesel bloklar sağlamaktadır. Kanalin boyu uzadıkça, üçgen blokların etkinliği, küçük kanal Rayleigh sayıları için de yarım dairesel bloklara yaklaşmakta ve hatta geçmektedir. Kanal Rayleigh sayısının 10^3 'ten büyük değerleri için üçgen ve yarım dairesel blokların, yüzeyin ortalama ısı akısına etkileri hemen hemen aynı olmaktadır.

Üç blok tipi içinde ısı aktarımı yönünden en olumsuz etkiyi yaratan, dikdörtgen bloklar olmuştur. Referans çalışmaların çoğunda da teyit edildiği gibi, dikdörtgen bloklar, oluşturdukları büyük ters akış alanları nedeniyle, kanal içindeki doğal taşınımına, diğer blok geometrileri kadar katkıda bulunamamaktadır.

Buna rağmen kanal boyunun yeterince uzun seçilmesi ve blokların kaydırılmış olarak dizilmesi halinde, kanal duvarı üzerine dikdörtgen bloklar dizilerek kanalın ısı aktarım kabiliyetinin geliştirilebileceği tespit edilmiştir. Kanal Rayleigh sayısının

büyük değerleri için ($Ra^* \geq 10^4$) dikdörtgen kesitli bloklar kullanılarak düz kanal duvarından olan ısı akısının üzerine çıkılabilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Bar-Cohen, A., Rohsenow, W.M., "Thermally optimum spacing of vertical, natural convection cooled, parallel plates", **J.Heat Transfer**, 116: 116-123 (1984).
2. Hung, Y.H., Shiau, W.M., "Local steady state natural convection heat transfer in vertical parallel plates with a two-dimensional rectangular rib", **Int. J. Heat Mass Transfer**, 31(6): 1279-1288 (1988).
3. Krane, R.J., Said, S.A.M., "An analytical and experimental investigation of natural convection heat transfer in vertical channels with single obstruction", **Int. J. Heat Mass Transfer**, 33(6): 1121-1134 (1990).
4. Bergles, A.E., Bhavnani, S.H., "Effect of surface geometry and orientation on laminar natural convection heat transfer from a vertical flat plate with transverse roughness elements", **Int. J. Heat Mass Transfer**, 33(5): 965-981 (1990).
5. Amin, M.R., Viswamula, P., "Effects of multiple obstructions on natural convection heat transfer in vertical channels", **Int. J. Heat Mass Transfer**, 38(11): 2039-2046 (1995).
6. Tanda, G., "Natural convection heat transfer in vertical channels with and without transverse square ribs", **Int. J. Heat Mass Transfer**, 40(9): 2173-2185 (1997).
7. Fichera, A., Desrayaud, G., "Laminar natural convection in a vertical isothermal channel with symmetric surface-mounted rectangular ribs", **International Journal of Heat and Fluid Flow**, 23: 519-529 (2002).
8. DeWitt, D.P., Incropera, F.P., "Free Convection", Introduction to Heat Transfer, 3rd Ed., **John Wiley & Sons**, New York, 454 (1996).
9. DeWitt, D.P., Incropera, F.P., "Free Convection", Introduction to Heat Transfer, 3rd Ed., **John Wiley & Sons**, New York, 757 (1996).
10. DeWitt, D.P., Incropera, F.P., "Free Convection", Introduction to Heat Transfer, 3rd Ed., **John Wiley & Sons**, New York, 449-450 (1996).

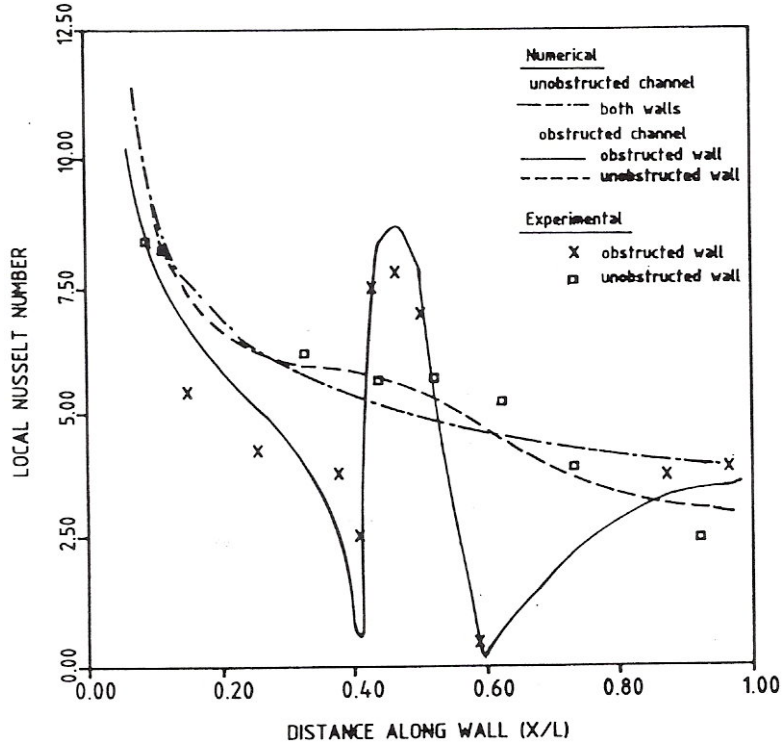
EKLER

EK-1 Hava özellikleri tablosu

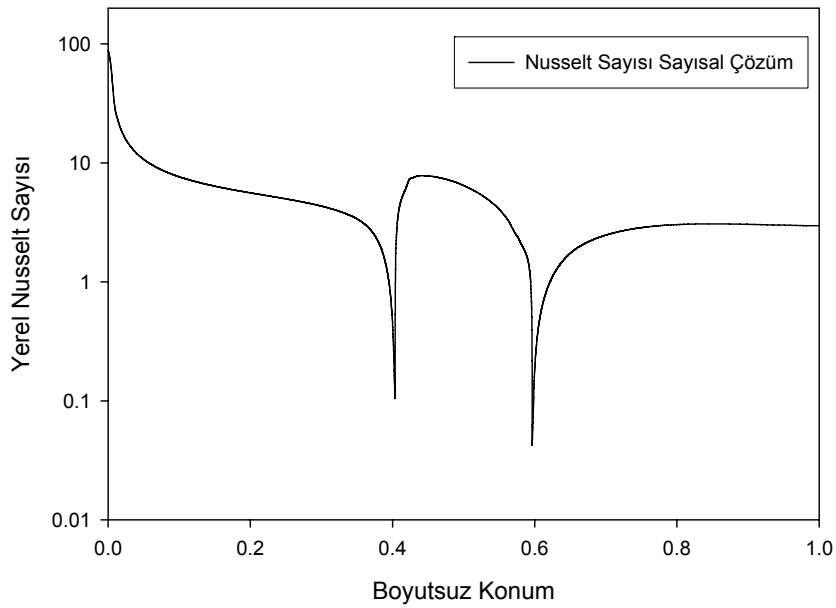
T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^4$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

Şekil 1.1. Atmosfer basıncındaki havanın termofiziksel özellikleri

EK-2 Daha önce yapılan çalışmaların tekrarları

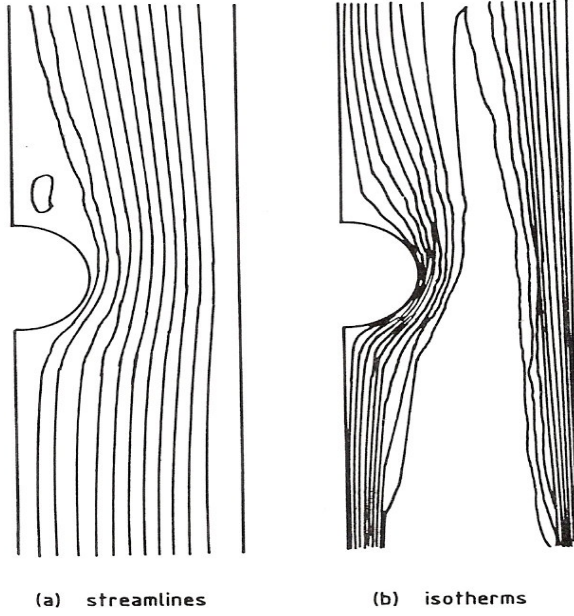


Şekil 2.1. Said ve Krane (1990) tarafından elde edilen yerel Nusselt sayısının kanal boyunca değişim grafiği [3]

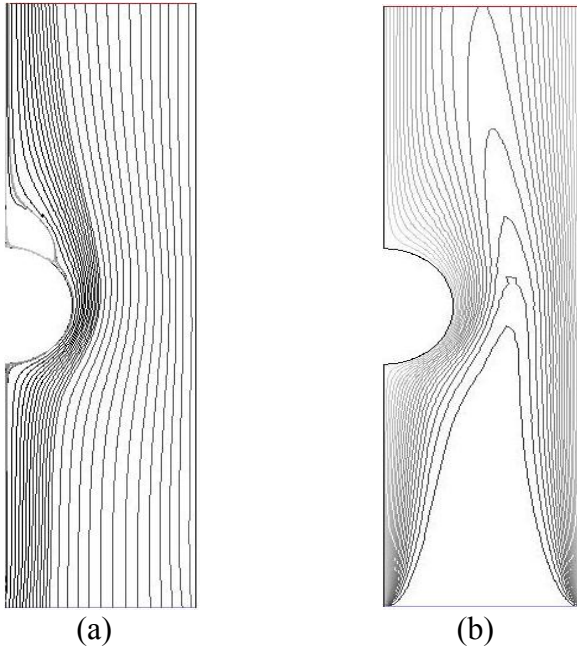


Şekil 2.2. Said ve Krane'in (1990) incelediği şartlar [3] için Fluent ile elde edilen yerel Nusselt sayısının kanal boyunca değişim grafiği

EK-2 (Devam) Daha önce yapılan çalışmaların tekrarları

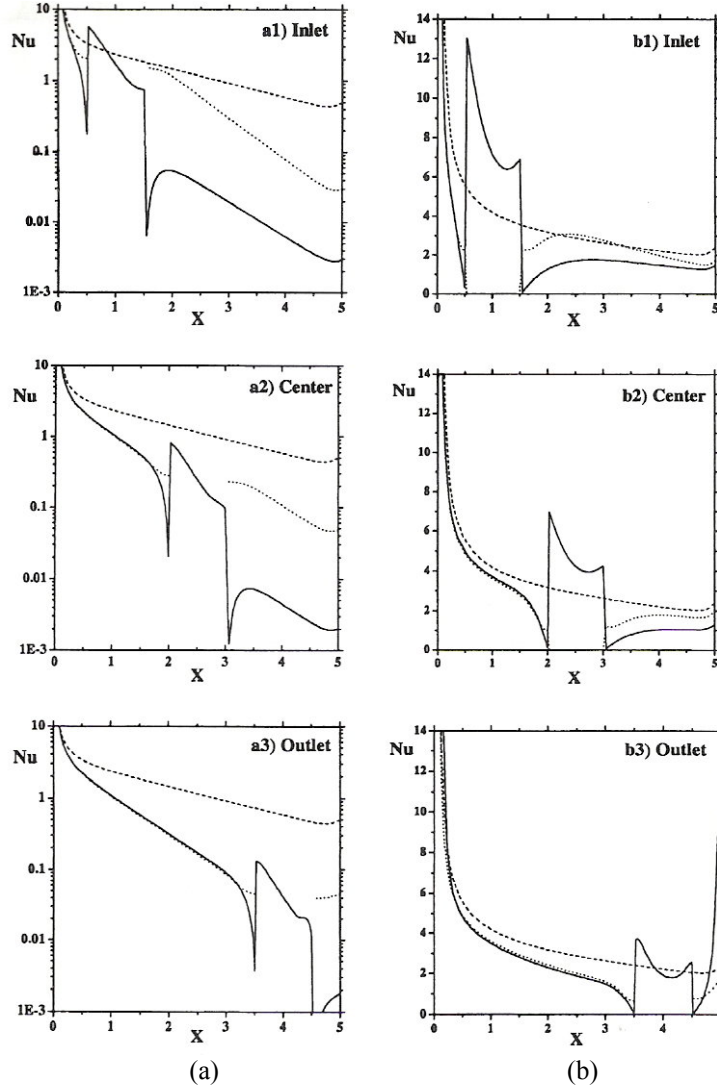


Şekil 2.3. Yarım dairesel bloğun bulunduğu bölgede Said ve Krane (1990) tarafından elde edilen yörünge çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri [3]



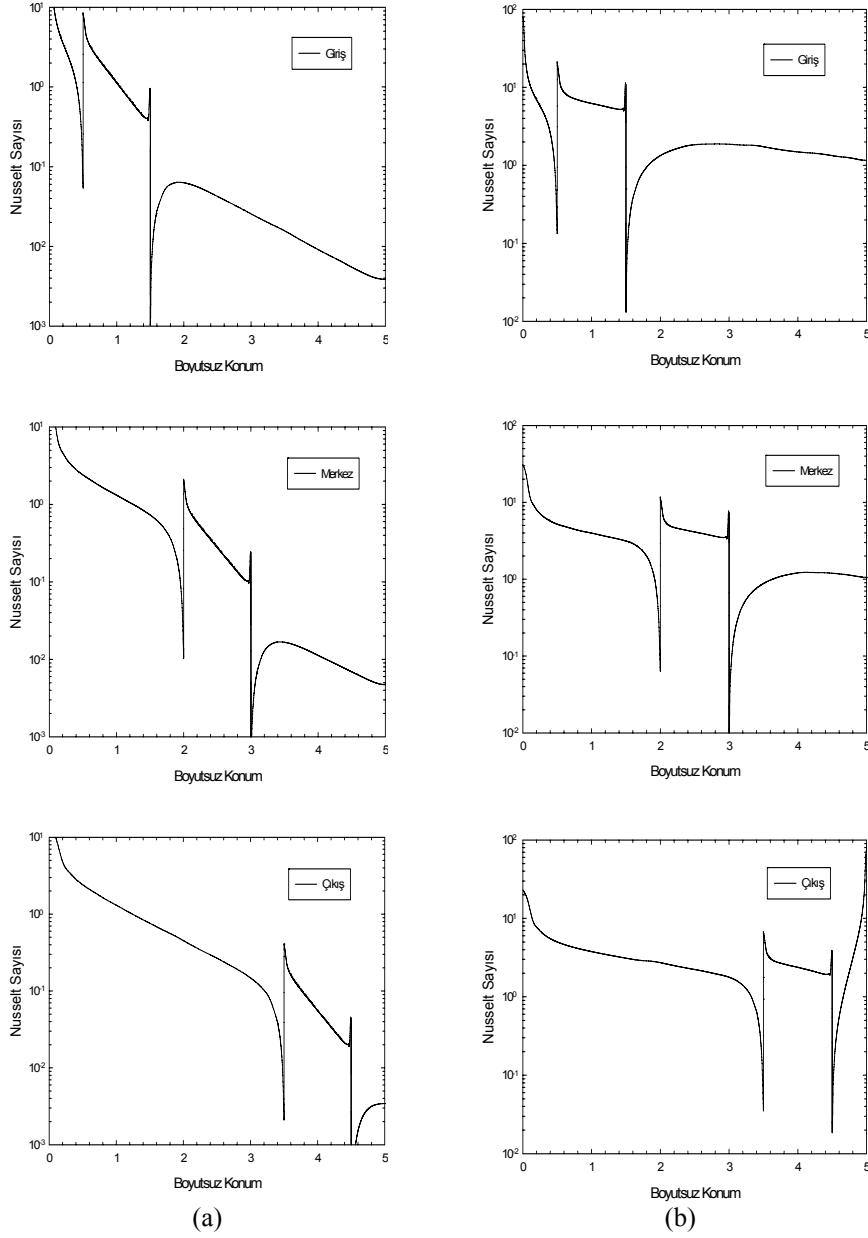
Şekil 2.4. Said ve Krane'in (1990) incelediği şartlar [3] için Fluent ile elde edilen yörünge çizgileri ve eş sıcaklık eğrileri (a) Yörünge çizgileri, (b) Eş sıcaklık eğrileri

EK-2 (Devam) Daha önce yapılan çalışmaların tekrarları



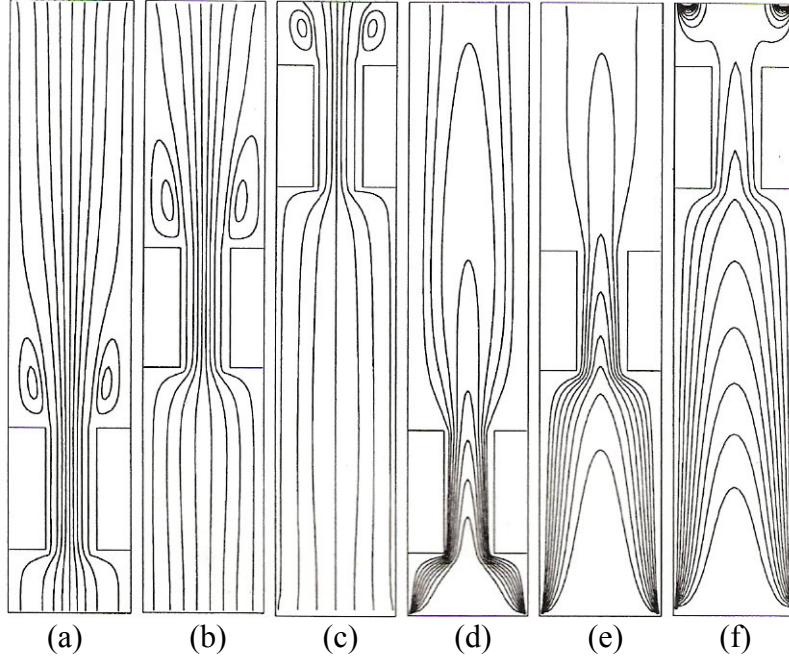
Şekil 2.5. Desrayaud ve Fichera (2002) tarafından elde edilen, blokların kanalın girişine, ortasına ve çıkışına yerleştirilmesi durumları için yerel Nusselt sayısının kanal boyunca değişim grafikleri [7], (a) $Ra^* = 100$, (b) $Ra^* = 1466$

EK-2 (Devam) Daha önce yapılan çalışmaların tekrarları

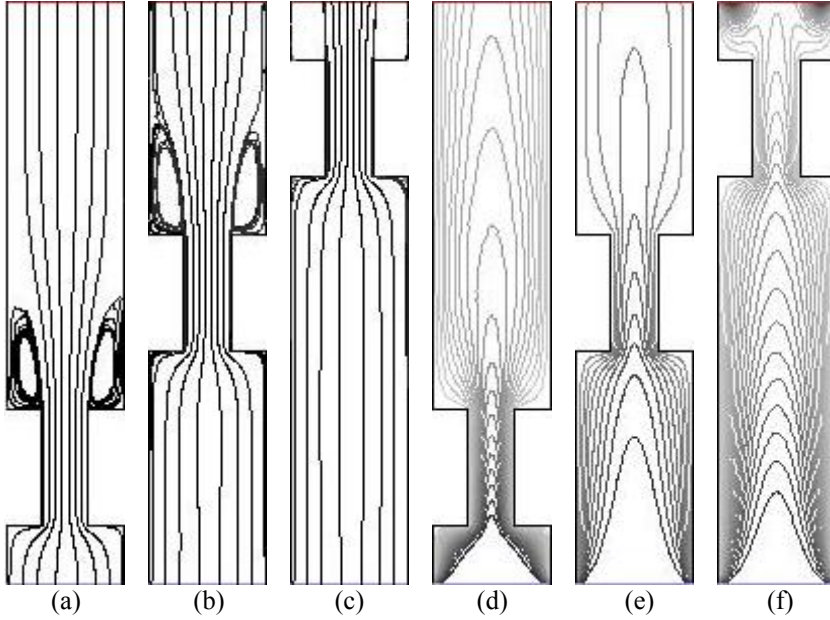


Şekil 2.6. Fluent ile elde edilen, blokların kanalın girişine, ortasına ve çıkışına yerleştirilmesi durumları için yerel Nusselt sayısının kanal boyunca değişim grafikleri $Ra^*=100$, (b) $Ra^*=1466$

EK-2 (Devam) Daha önce yapılan çalışmaların tekrarları

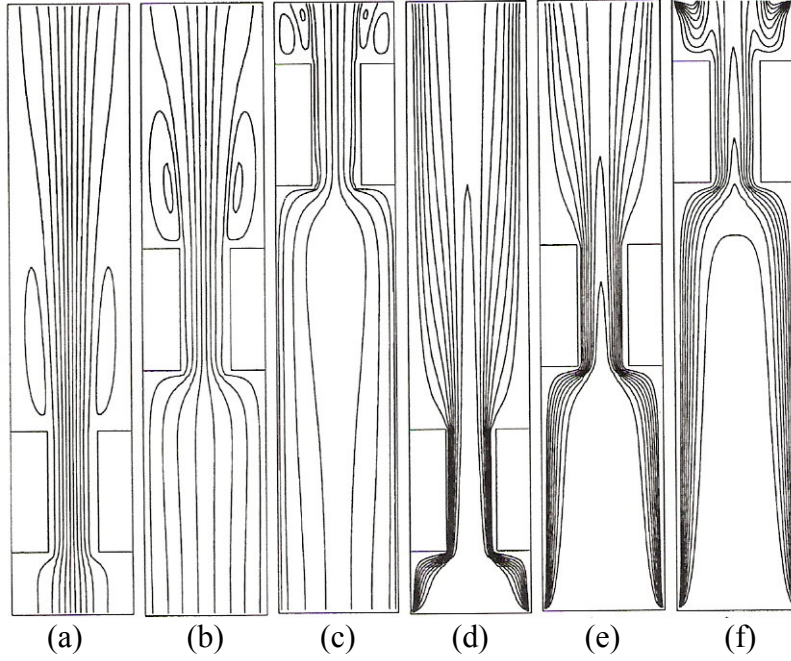


Şekil 2.7. Desrayaud ve Fichera (2002) tarafından elde edilen, blokların üç farklı konumu için (a), (b) ve (c) yörünge çizgileri ile (d), (e) ve (f) eş sıcaklık eğrileri [7] ($Ra^*=1466$)

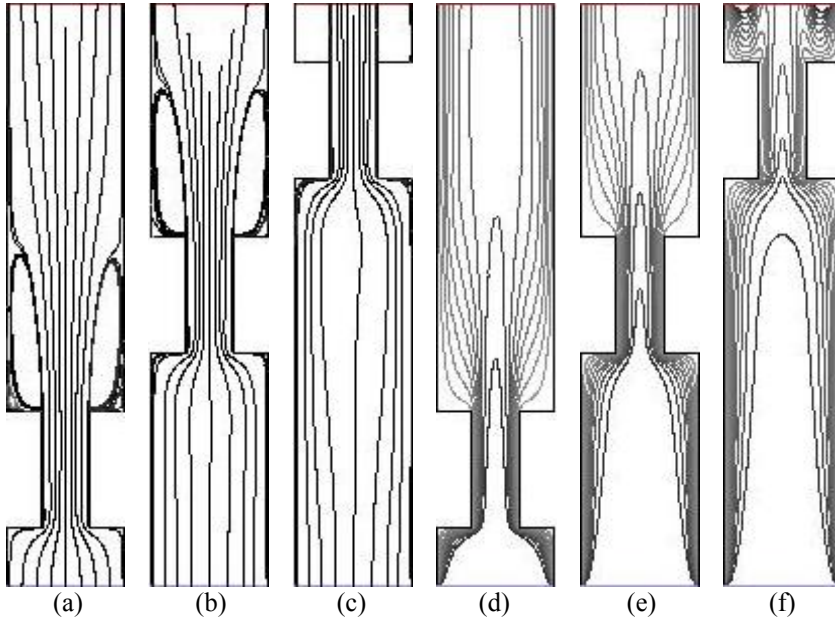


Şekil 2.8. Fluent ile elde edilen, blokların üç farklı konumu için (a), (b) ve (c) yörünge çizgileri ile (d), (e) ve (f) eş sıcaklık eğrileri ($Ra^*=1466$)

EK-2 (Devam) Daha önce yapılan çalışmaların tekrarları



Şekil 2.9. Desrayaud ve Fichera (2002) tarafından elde edilen, blokların üç farklı konumu için (a), (b) ve (c) yörünge çizgileri ile (d), (e) ve (f) eş sıcaklık eğrileri [7] ($Ra^*=2 \times 10^4$)



Şekil 2.10. Fluent ile elde edilen, blokların üç farklı konumu için (a), (b) ve (c) yörünge çizgileri ile (d), (e) ve (f) eş sıcaklık eğrileri ($Ra^*=2 \times 10^4$)

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ER, Bayram Bahadır
 Uyuğu : Türkiye Cumhuriyeti
 Doğum tarihi ve yeri : 16.01.1977 Ankara
 Medeni Hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 431 18 35
 Faks : -
 e-posta : bahadir.er@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/Makina Müh. Bölümü	2000
Lise	TED Ankara Koleji	1994

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2006-Halen	TÜMAŞ A.Ş.	Proje Mühendisi
2002-2003	Sheraton Tirana Hotel -Arnavutluk	Saha Mühendisi

Yabancı Diller

İngilizce
 Almanca

Hobiler

Tenis, Yüzme, Yabancı diller, Bilim ve dünya tarihi