

**T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÜST YÜZEYİNDE ENGELLER BULUNAN VE ALT KISMI ONDÜLELİ BİR
KANALDA AKIŞIN VE ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülten GÜLDEMİR

(111120101)

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı: Enerji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 14 Ocak 2015

OCAK 2015

**ÜST YÜZEYİNDE ENGELLER BULUNAN VE ALT KISMI ONDÜLELİ BİR
KANALDA AKIŞIN VE ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

Gülten GÜLDEMİR

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN**

OCAK 2015

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜST YÜZEYİNDE ENGELLER BULUNAN VE ALT KISMI ONDÜLELİ BİR
KANALDA AKIŞIN VE ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gülten GÜLDEMİR

111120101

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 Ocak 2015
Tezin Savunulduğu Tarih : 6 Şubat 2015

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN (F. Ü.)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Nevin ÇELİK (F. Ü.)
Doç. Dr. Hikmet ESEN (F. Ü.)

OCAK 2015

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının tamamlanmasında yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. İhsan DAĞTEKİN'e teşekkür ederim.

Gülten GÜLDEMİR
ELAZIĞ-2015

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET.....	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	X
SEMBOLLER LİSTESİ.....	XI
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR	2
3. HESAPLAMALI AKIŞKAN DİNAMİĞİNE (HAD) GİRİŞ	8
3.1. Hareket Denklemleri	8
3.2. Genel HAD Çözüm Adımları.....	8
3.3. Taşınımın Fiziksel Mekanizması	10
3.4. Nusselt Sayısı	11
4. İNCELENEN PROBLEMİN FİZİKSEL GEOMETRİSİ VE ÇÖZÜM YÖNTEMİ	15
4.1. Fiziksel Özellikler ve Geometri	15
4.2. Çalışmada Kullanılan Geometrilere (ANSYS Programından).....	16
4.3. Programın Doğrulanması ve Ağ Yapısı	18
5. SONUÇLAR	20
5.1. Düz Kanalda Akış İçin Sonuçlar	20
5.2. Bir Yüzeyi Ondüleli Kanalda Akış İçin Sonuçlar	20
5.3. Bir Yüzeyi Ondüleli Diğer Yüzeyinde Isıtılmış Bloklar Bulunan Kanalda Akış İçin Sonuçlar.....	21
5.4. Ondülesiz Kanalda Akış İçin Sonuçlar	33
5.5. Nusselt Sayısının Analizi	36
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR.....	66
ÖZGEÇMİŞ.....	69

ÖZET

Bu çalışmada üst yüzeyine aralıklı olarak iki blok yerleştirilmiş alt yüzeyi ondüleli bir kanalda laminar akış ve ısı transferi incelenmiştir. Elektronik elemanları simule eden iki blok kanal üst yüzeyine yerleştirilmiştir ve bloklar üniform ısı akısına maruz bırakılmıştır. Bloklar yüzeyindeki ısı akısı 250 W/m^2 kabul edilmiştir. Kanalin alt ve üst duvarları yalıtımlıdır. Çalışma akışkanı olarak hava ($Pr = 0.718$) kullanılmakta ve hava kanala üniform hızla girmektedir. Hesaplamalar farklı Re sayıları ($Re = 500, 1000, 1500, 2000, 2500$) için yapılmaktadır. Problem sıkıştırılamaz, sürekli, iki boyutlu ve laminar akış durumu için incelenmiştir. Ondüleli yüzeyin dalga uzunluğu (p) ve dalga genliği (a) 0.02 'den 0.08 'e kadar değiştirilerek hesaplamalar yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar sıcaklık, basınç eş eğrileri ile hız vektörleri, yerel ve ortalama Nusselt sayıları, sürtünme faktörleri ve yüzey kayma gerilimleri olarak verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Laminar akış, Ondüleli yüzey, Nusselt sayısı, Sürtünme faktörü

SUMMARY

Numerical Investigation of Flow and Heat Transfer in A Duct with Obstacles Mounted Upper Surface and Undulated Bottom Wall

In this study laminar flow and heat transfer in a duct mounted two blocks to the duct upper surface is numerically investigated. Two blocks simulated electronic components are subjected to a uniform heat flux. 250 W/m^2 constant heat flux over the blocks surface is assumed. The lower and upper surface of the duct is insulated. Air ($Pr = 0.718$) is used as the working fluid and enters the channel with a uniform velocity. Computations are performed for different Reynolds numbers ($Re = 500, 1000, 1500, 2000, 2500$). The problem was considered as steady state, incompressible, two-dimensional for laminar flows cases. The wavelengths and wave amplitude of sinusoidal surface of the duct is varied from 0.02 to 0.08 during the analysis.

Obtained results have been presented as velocity vector, local and mean Nusselt numbers, friction factor and shear stress with temperature and pressure contours in detail.

Keywords: Laminar flow, Undulated surface, Nusselt number, Friction factor

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Laminar hız profili	12
Şekil 3.2. Türbülans hız profili	12
Şekil 3.3. Bloklar üzerinde akışta akış bölgeleri	13
Şekil 4.1. Fiziksel geometri ve parametreler	15
Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan geometrilerin şematik gösterimi	18
Şekil 4.3. $Re = 500$ için V_{max} 'ın grid sayısı ile değişimi.....	18
Şekil 4.4. Ağ yapısı ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$).....	18
Şekil 4.5. Mevcut çalışmada Nu_x değerlerinin Literatür [29] ile karşılaştırılması ($Re = 547$)	19
Şekil 5.1. $Re = 500$ için düz kanalda basınç eşdeğer eğrileri	20
Şekil 5.2. $Re = 500$ için akış hız vektörleri	20
Şekil 5.3. $Re = 500$ için bir yüzeyi ondüleli kanalda basınç eş eğrileri	21
Şekil 5.4. Bir yüzeyi ondüleli kanalda $Re = 500$ için hız vektörleri	21
Şekil 5.5. $x = 0.2$ 'deki hız profili.....	22
Şekil 5.6. $x = 0.64$ 'deki hız profili.....	22
Şekil 5.7. $Re = 500$ için kanaldaki hız vektörleri ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$).....	23
Şekil 5.8. $Re = 1000$ için kanaldaki hız vektörleri ($a = 0.02$ ve	23
Şekil 5.9. $Re = 2000$ için kanaldaki hız vektörleri ($a = 0.02$ ve	24
Şekil 5.10. $Re = 500$ için kanaldaki hız vektörleri ($a = 0.01$ ve	24
Şekil 5.11. $Re = 1000$ için kanaldaki hız vektörleri ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$).....	25
Şekil 5.12. $Re = 2000$ için kanaldaki hız vektörleri ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$).....	26
Şekil 5.13. $Re = 500$ için kanaldaki hız vektörleri ($a = 0.01$ ve	26
Şekil 5.14. $Re = 1500$ için kanaldaki hız vektörleri ($a = 0.01$ ve	27
Şekil 5.15. $Re = 1000$ için kanaldaki hız vektörleri ($a = 0.02$ ve	27
Şekil 5.16. $Re = 500$ için kanaldaki eş sıcaklık eğrileri ($a = 0.02$ ve	28
Şekil 5.17. $Re = 1000$ için kanaldaki eş sıcaklık eğrileri ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$).....	28
Şekil 5.18. $Re = 2000$ için kanaldaki eş sıcaklık eğrileri ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$).....	29
Şekil 5.19. $Re = 500$ için kanaldaki eş sıcaklık eğrileri ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$).....	29
Şekil 5.20. $Re = 1000$ için kanaldaki eş sıcaklık eğrileri ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$).....	30
Şekil 5.21. $Re = 2000$ için kanaldaki eş sıcaklık eğrileri ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$).....	30
Şekil 5.22. $Re = 1000$ için kanaldaki eş basınç eğrileri ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$).....	31
Şekil 5.23. $Re = 2000$ için kanaldaki eş basınç eğrileri ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$).....	31
Şekil 5.24. $Re = 500$ için kanaldaki eş basınç eğrileri ($a = 0.01$ ve	32
Şekil 5.25. $Re = 1000$ için kanaldaki eş basınç eğrileri ($a = 0.01$ ve	32
Şekil 5.26. $Re = 2000$ için kanaldaki eş basınç eğrileri ($a = 0.01$ ve	33
Şekil 5.27. $Re = 500$ için ondülesiz kanalda hız vektörleri	34
Şekil 5.28. $Re = 1000$ için ondülesiz kanalda hız vektörleri	34
Şekil 5.29. $Re = 1500$ için ondülesiz kanalda hız vektörleri	34
Şekil 5.30. $Re = 2000$ için ondülesiz kanalda hız vektörleri	34
Şekil 5.31. $Re = 2500$ için ondülesiz kanalda hız vektörleri	35
Şekil 5.32. $Re = 1000$ için ondülesiz kanalda eş sıcaklık eğrileri	35

Şekil 5.33. $Re = 1500$ için kanaldaki sıcaklık eş eğrileri	35
Şekil 5.34. $Re = 2000$ için kanaldaki sıcaklık eş eğrileri	36
Şekil 5.35. $Re = 2500$ için ondülesiz kanalda sıcaklık eş eğrileri	36
Şekil 5.36. Ondülesiz kanalda 1. Blokta Yerel Nusselt sayısının Re sayısı ile	37
Şekil 5.37. Ondülesiz kanalda 2. Blokta Yerel Nusselt sayısının Re sayısı ile	37
Şekil 5.38. Ondülesiz kanalda farklı Re sayılarında blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısı değişimi	38
Şekil 5.39. 1.Blok üzerinde Nu_x sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.005$ ve	40
Şekil 5.40. 2. Blok üzerinde Nu_x sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.005$ ve $p = 0.02$).....	41
Şekil 5.41. 1.Blok üzerinde Nu_x sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.005$ ve $p = 0.04$).....	42
Şekil 5.42. 2. Blok üzerinde Nu_x sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.005$ ve $p = 0.04$).....	42
Şekil 5.43. 1. Blok üzerinde Nu_x sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.005$ ve $p = 0.08$).....	43
Şekil 5.44. 2. Blok üzerinde Nu_x sayısının Re sayısına göre değişimi.....	43
Şekil 5.45. 1.Blok üzerinde Nu_x sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.01$ ve $p = 0.02$)	44
Şekil 5.46. 2. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.01$ ve $p = 0.02$).....	44
Şekil 5.47. 1. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.01$ ve $p = 0.04$).....	45
Şekil 5.48. 2. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.01$ ve $p = 0.04$).....	45
Şekil 5.49. 1. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.01$ ve	46
Şekil 5.50. 2. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$).....	46
Şekil 5.51. 1. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.02$).....	47
Şekil 5.52. 2. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.02$).....	48
Şekil 5.53. 1. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi.....	48
Şekil 5.54. 2. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.04$).....	49
Şekil 5.55. 1. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$).....	49
Şekil 5.56. 2. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$).....	50
Şekil 5.57. Ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.005$ ve $p = 0.02$)	51
Şekil 5.58. Ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.005$ ve $p = 0.04$)	51
Şekil 5.59. Ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.005$ ve $p = 0.08$)	52
Şekil 5.60. Ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.01$ ve $p = 0.02$)	52

Şekil 5.61. Ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.01$ ve $p = 0.04$)	53
Şekil 5.62. Ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$)	53
Şekil 5.63. Ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.02$)	54
Şekil 5.64. Ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.04$)	54
Şekil 5.65. Ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)	55
Şekil 5.66. Farklı Re sayılarında ondüleli kanaldaki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanaldaki ortalama Nu sayısına oranı ($a = 0.005$ ve $p = 0.02$).....	56
Şekil 5.67. Farklı Re sayılarında ondüleli kanaldaki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanaldaki ortalama Nu sayısına oranı ($a = 0.005$ ve $p = 0.04$).....	56
Şekil 5.68. Farklı Re sayılarında ondüleli kanaldaki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanaldaki ortalama Nu sayısına oranı ($a = 0.005$ ve $p = 0.08$).....	57
Şekil 5.69. Farklı Re sayılarında ondüleli kanaldaki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanaldaki ortalama Nu sayısına oranı ($a = 0.01$ ve $p = 0.02$).....	57
Şekil 5.70. Farklı Re sayılarında ondüleli kanaldaki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanaldaki ortalama Nu sayısına oranı ($a = 0.01$ ve $p = 0.04$).....	58
Şekil 5.71. Farklı Re sayılarında ondüleli kanaldaki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanaldaki ortalama Nu sayısına oranı ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$).....	58
Şekil 5.72. Farklı Re sayılarında ondüleli kanaldaki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanaldaki ortalama Nu sayısına oranı ($a = 0.02$ ve $p = 0.02$).....	59
Şekil 5.73. Farklı Re sayılarında ondüleli kanaldaki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanaldaki ortalama Nu sayısına oranı ($a = 0.02$ ve $p = 0.04$).....	59
Şekil 5.74. Farklı Re sayılarında ondüleli kanaldaki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanaldaki ortalama Nu sayısına oranı ($a=0.02$ ve $p=0.08$).....	60
Şekil 5.75. $Re = 500$ iken 1. ve 2. blok çevrelerinde sürtünme katsayısının değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)	61
Şekil 5.76. $Re = 1000$ iken 1. ve 2. blok çevrelerinde sürtünme katsayısının değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)	61
Şekil 5.77. $Re = 2000$ iken 1. ve 2. blok çevrelerinde sürtünme katsayısının değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)	62
Şekil 5.78. $Re = 500$ için ondüleli yüzeyde sürtünme faktörünün değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$).....	62
Şekil 5.79. Farklı Re sayılarında ondüleli yüzeyde sürtünme faktörünün değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)	63
Şekil 5.80. Farklı Re sayılarında blok çevrelerindeki yüzey kayma gerilmesinin değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.02$)	63
Şekil 5.81. Mebarki, Rahal ve Hamza'nın yaptıkları çalışmada blok üt yüzeyinde elde ettikleri Yerel Nusselt sayısı değişimi ($Re = 547$, $h = 0.25$ cm, $w = 2$ cm)	64

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. Mevcut çalışma ile Literatür [29]'dan elde edilen maksimum Nu_x değerleri....	19
Tablo 5.1 Ondüleli kanalda farklı genlik ve dalga boyu için blok yüzeylerindeki yerel Nu_x tepe değerleri (Re 2500).....	39
Tablo 5.2 Ondüleli kanalda farklı dalga boyu ve genlik için blok yüzeylerindeki yerel Nu_x tepe değerleri (Re 2500).....	40

SEMBOLLER LİSTESİ

$\dot{Q}$	: Isı transfer hızı (W)
$\dot{m}$	: Kütleli debi (kg/s)
μ	: Dinamik viskozite (Pa.s)
a	: Sinusoidal yüzeyin genliği (m)
A_s	: Isı transfer alanı (m ²)
C_D	: Yerel sürtünme katsayısı
C_f	: Fanning sürtünme katsayısı
C_p	: Sabit basınçta özgül ısı (J/kgK)
f	: Sürtünme faktörü
F_f	: Sürtünme kuvveti (N)
h	: Isı taşınım katsayısı (W/m ² K)
h	: Blok yüksekliği (m)
H	: Kanal yüksekliği (m)
k	: Isı iletim katsayısı (W/m.K)
L	: Kanal uzunluğu (m)
L_1	: Blok girişinden ilk bloğa kadar olan uzunluk (m)
L_2	: İki blok arasındaki uzunluk (m)
L_3	: İkinci bloktan kanal çıkışına kadar olan uzunluk (m)
L_c	: Karakteristik uzunluk (m)
Nu_{ort}	: Ortalama Nusselt sayısı
Nu_x	: Yerel Nusselt sayısı
p	: Bir dalga'nın uzunluğu (m)
ϕ	: Viskoz kayıp fonksiyonu
P'	: Değiştirilmiş basınç (N/m ²)
T	: Kanal içindeki akışkanın sıcaklığı (K)
T_∞	: Ortam sıcaklığı (K)
T_s	: Yüzey sıcaklığı (K)
u, v, w	: x, y, z yönlerindeki hız bileşenleri (m/s)
V_{ort}	: Ortalama hız (m/s)
w	: Blok genişliği (m)
x, y, z	: Kartezyen koordinatlar
ν	: Kinematik viskozite (m ² /s)
ρ	: Akışkan yoğunluğu (kg/m ³)
τ	: Yüzey kayma gerilmesi (N/m ²)

1. GİRİŞ

Son yıllarda elektronik sahada çok hızlı gelişmeler olmuş, bu gelişmeler modern hayatı baştanbaşa kuşatmıştır. Küçültülmüş radyolardan bilgisayarlara, bilgisayar destekli sağlık, iş ve savunma sistemlerine, haberleşme ve gözlem uydularına kadar birçok yere girmişlerdir. Aynı zamanda, uygulama sayısının artması ile güvenilirlik ciddi bir problem haline gelmiştir. Özellikle vakum tüpü ve transistörlü günlerden bu yana elektronik sistemlerin paketleme ve performansında önemli gelişmeler olmuştur. Bu gelişmelerin çoğu paketleme ve ısı kontrol sistemlerindeki gelişmeler ile kendini göstermiştir. Özellikle savunma, sağlık, iş ve uydu sistemlerinde kullanılan elektronik elemanlarda oluşacak problemler yalnızca bu servislerin aksamasını sağlamayacak, aynı zamanda insan hayatını önemli derecede etkileyecektir. Bu nedenle elektronik elemanların performansının, hem de güvenilirliklerinin artırılması ihtiyacı vardır [3].

Sistemlerin verimli ve güvenli çalışmasında, sistem sıcaklığının önemi büyüktür. Sistem güvenliği için oluşan ısıнын sistemden uzaklaştırılması gerekmektedir. Günümüzde, birçok araştırmacı elektronik elemanların sıcaklıklarının belli bir değeri geçmemesi için daha etkin soğutma sistemlerinin geliştirilmesi üzerinde çalışmaktadır [4].

Isının dışarı atılmasında zorlanmış veya doğal taşınım mekanizmalarının yetersiz kalması, (çalışma sıcaklığının 70°C'nin altında olması gerekir). Isı transferi alanlarının hacimlerine oranı yüksek olan mikrokanailli soğutma sistemlerinin kullanımını gerekli kılmıştır. Bu sistemler, bünyelerinde farklı geometride birçok mikrokanailli içermektedir. Optimum bir dizayn için, bu kanallardaki akış ve ısı transferi karakteristiklerinin (ısı taşınım katsayısı, sürtünme faktörü, hidrolik çap, kanal sayısı, vb.) bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada bir yüzeyi ondüleli diğer yüzeyinde sıcak bloklar bulunan dikdörtgen bir kanalda ondüleli yüzeyin ısı transferine ve akış yapısına etkisi araştırılmıştır. Bunun için önce üst yüzeyinde sıcak iki blok bulunan dikdörtgen bir kanalda farklı Reynolds sayılarındaki akışkanın blok yüzeylerindeki etkileri araştırılmıştır. Dolayısıyla yerel Nusselt sayıları ve ortalama Nusselt sayıları elde edilmiştir. İkinci olarak blok alt yüzeyi ondüleli yapılarak ondüleli yüzeyin farklı genlik ve periyodu için blok yüzeyindeki Nusselt sayısı değerlerine bakılmıştır. Bu iki sonucun birbirine oranları (Nu_{ort-o}/Nu_{ort-s}) hesaplanmıştır. Örnek olarak her iki durumdaki vektör diyagramları, sıcaklık ve basınç konturları oluşturulmuştur. Ayrıca blok yüzeylerindeki yüzey kayma gerilmeleri ve ondüleli yüzeydeki sürtünme kuvveti sunulmuştur [5].

2. LİTERATÜR

Yapısında elektronik devre bulunduran birçok elektrikli ve elektronik eşyalar günümüzün vazgeçilmezlerinden olmuştur. Elektronik devreler elektrik akımına maruz kaldıklarında ısınır ve biraz güç kaybına sebebiyet verirler ($P = I^2R$). Bu güç kaybının kataloglarda belirtilen miktarda olması gerekir. Aksi takdirde yani belirtilen miktarı geçmesi durumunda güvenli çalışmalarını kaybederler. Bu ısınmanın önüne geçilemeyeceği için elektronik devrelerin soğutulması konusu ortaya çıkmıştır. Bunun için bilim insanları tarafından pek çok araştırma mevcut olup yapılmaya da devam edilmektedir.

Mohammed ve arkadaşları [6], dikdörtgen kesitli, farklı dalga genlikli (125 μm -500 μm) dalgalı mikrokanaal soğutucuda su akışı ve ısı transferi karakteristiklerini sayısal olarak araştırmışlardır. Bu çalışma $Re = 100$ ile 1000 arasındaki için üç boyutlu, sürekli, laminar akış ve enerji korunum denklemleri sonlu hacim metodu (FVM) kullanılarak çözülmüştür. Isıtılmış dalgalı mikrokanaal (MCHS) içindeki su akış alanı ve ısı transferi olayları simüle edilmiş ve sonuçlar düz mikrokanaal ile mukayese edilmiştir. Makalede MCHS’de dalgalı bir akış kanalı kullanmanın etkileri, basınç düşüşü, sürtünme faktörü ve kayma gerilmesi rapor edilmiştir. Dalgalı mikrokanaalın ısı transfer performansının aynı kesitteki düz mikro kanaldan daha iyi olduğu bulunmuştur. Mikro kanalı dalga genliğinin artırılması hem sürtünme faktörünü hem de kayma gerilmesini artırmıştır.

Wang ve Chen [7], simetrik dalgalı duvarlı bir kanalda sabit akışkan özellikli Newtonsal akış olarak kabul edilen, laminar, sıkıştırılmaz, sürekli ve iki boyutlu akış incelemiştir. İhmal edilebilir etkilere sahip olduğundan viskoz yayılım ihmal edilmiştir. Bu kabuller mümkün olduğu kadar basit bir teorik model elde etmek için yapılmıştır. Araştırma sonunda yerel Nusselt sayısı ve sürtünme katsayısı üzerinde dalgalı geometri, Reynolds sayısı ve Prandtl sayısının etkileri elde edilmiştir.

Guzmán ve arkadaşları [8], asimetrik dalgalı duvar kanallarda akış ayrılmalarının geçici durumu boyunca ısı transferi karakteristiklerini spektral eleman metodu kullanarak kütle momentum ve enerji eşitlikleriyle incelemiştir. Üç farklı geometri için ısı transfer karakteristikleri, akış ayrılmaları ve geçici durumlar Reynolds sayısı artırılarak belirlenmiştir. Kayda değer ısı transferi artışı asimetrik dalgalı kanalda geçici Reynolds sayısında işletilmesi durumunda oluşmuştur.

Sui ve arkadaşları [9], dikdörtgen kesitli, üç boyutlu dalgalı mikrokanaallarda laminar sıvı-su akışı ve ısı transferini sayısal simülasyon ile incelemiştir. Akışkan karışımını analiz

etmek için dinamik sistem tekniği kullanılmıştır. Sonuçlar dalgalı bir mikrokanal boyunca soğutucu aktığı zaman ikinci bir akışın üretildiğini göstermiştir (Dean vortices). Girdap miktarı ve bölgesinin, taşınımli akışkan karışımını arttırabilen kaotik yatay akıma öncülük eden akış yönü boyunca değişebildiği bulunmuştur. Buradan hareketle mevcut dalgalı mikrokanalların ısı transfer performansının aynı kesitli düz mikro kanallarındakinden daha iyi ve basınç düşüşünün, ısı transfer artışından daha küçük olduğu görülmüştür. Buna ek olarak akış yönü boyunca mikro kanalların bağıl dalga genliklerinin değişik pratik amaçlar için değiştirilebileceği anlaşılmıştır.

Zumbarski ve arkadaşları [10], hidrolik direnç üzerinde enine yönlü sinusoidal duvar oluşunun etkisini düz duvarlı ve sınırlı genişlikteki kanal boyunca akış için sayısal olarak incelemişlerdir. Chebyshev-Galerkin ayrıklaştırmalı sayısal metodu, laminar, paralel ve basınç tahrikli akışı incelemek için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aynı kesitli dikdörtgen kanal akışı ile mukayese edilmiştir. Bundan başka daha büyük Reynolds sayılı akışlarda basınç düşüşü sayısal olarak sonlu hacim ticari paket program Fluent ile incelenmiştir. İlk deneysel sonuçlar doğrulanmıştır.

Ramgadia ve Saha [11], $y = 2\sin^2(\pi x/L)$ ile tanımlanan dalgalı yüzey boyunca tam gelişmiş akış ve ısı transferinin sayısal simülasyonu ile ilgilenmişlerdir. Zamana bağlı Navier-Stokes ve enerji eşitliklerini çözmek için eş konumlu grid üzerinde sonlu hacim metodu (FVM) kullanılmış ve iki dalgalı yüzey arasındaki minimum ve maksimum yükseklikler oranı (H_{min}/H_{max}) değiştirilerek (0.1-0.5) oluşturulan geometrinin akışkan akışı ve ısı transferi karakteristikleri üzerindeki etkileri Reynolds sayısı 600 alınarak incelenmiştir.

Wang ve Vanka [12], dalgalı bir kanalda bir periyot boyunca akış için ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Akış, $Re = 180$ civarındaki Reynolds sayısına kadar sürekli olarak gözlemlenmiştir. Kendi kendine sürekli osilasyonlar laminar ısı sınır tabakayı başlatmış ve ısı ve kütle transfer artışının doğal mekanizması sağlanmıştır. Sürekli akış rejiminde dalgalı duvar kanalındaki ortalama Nusselt sayısının paralel plakalarındakinden daha büyük olduğu görülmüştür. Başka bir deyişle geçici rejimde dalgalı kanal için 2.5 olan sürtünme faktörü, sürekli akış rejiminde paralel plakalı kanal için yaklaşık iki kat artmış ve geçici durum için hemen hemen sabit kalmıştır.

Jang ve Chen [13], farklı geometrik parametrelerin etkilerini Reynolds sayısını 400 ila 1200 arasında değiştirerek incelemişlerdir. Dalga açısını $\theta = 8.95^\circ, 17.05^\circ, 32.21^\circ$ ve dalga yüksekliğini $S = 0.751, 1.500$ and 3.003 mm olarak değiştirmişlerdir ve boru sayısını dört

olarak belirlemişlerdir. Sayısal sonuçlar dalgalı yüzeyde boru etkisinin düz yüzeye kıyasla daha az önemli olduğunu göstermiştir. Ayrıca eşit dalga yüksekliğinde dalga açısının yükselmesiyle ortalama Nusselt sayısı ve basınç katsayısının yükseldiği görülmüştür. Aynı zamanda eşit dalga açısı için dalga yüksekliği arttırılırken ortalama Nusselt sayısı ve basınç katsayısının azaldığı gözlemlenmiştir.

Kutty ve Babu [14], üç tip mini kanal incelemişlerdir. Bunlar dikdörtgen, dalgalı ve ofset tiplerdir. Onların akış özelliklerini, hidrolik çapı ve kütleli debiyi değiştirerek ve ANSYS FLUENT programı kullanarak analiz etmişlerdir. İki boyutlu, tek fazlı ve sürekli şartlarda yapılan analizde toplam basınç düşüşünü kıyaslamışlardır. Hidrolik çapı 1 mm'den 5 mm'ye kadar değiştirerek hız profili elde etmişlerdir. Hızın bütün mini kanallarda hidrolik çap 1 mm olduğu zaman neredeyse sabit olduğu görülmüştür. Dalgalı mini kanalda basınç düşüşü en az olurken ofset mini kanalda en fazla olmuştur. Hidrolik çap 1 mm iken basınç düşüşü dikdörtgen minikanal ile ofset mini kanalda birbirine yakın değerde meydana gelmiştir.

Rush ve arkadaşları [15], sinusoidal dalgalı bir kanalda laminar ve geçişli akışlar için yerel ısı transferini ve akış davranışını incelemişlerdir. Duvarlar 12-14 dalga uzunluğunda alınmıştır ve deney boyunca dalga genliği, faz açısı ve duvardan duvara mesafe değiştirilmiştir. Görüntüleme metodu kullanılarak akış alanı kararlı ve kararsız olarak karakterize edilmiştir. Karışımın başlangıç bölgesinin Reynolds sayısına ve kanal geometrisine bağlı olduğu görülmüştür. Kararsızlıklar düşük Reynolds sayısında ($Re \sim 200$) kanal çıkışında oluşmuştur ve Reynolds sayısı artarken kanal girişine doğru taşınmıştır. Makroskopik karışım başlangıcında yerel ısı transferinde yükselişler görülmüştür.

Niceno ve Nobile [16], iki boyutlu, sürekli ve zamana bağlı bir akışkan akışını ve ısı transferini periyodik dalgalı bir kanalda Prandtl sayısı 0.7 olan bir akışkan için sayısal olarak araştırmışlardır. Sinusoidal kanal veya şekilli kanal göz önünde bulundurulmuştur. Düşük Reynolds sayılarında, sürekli akış rejiminde paralel plakalı kanallara göre yok denecek derecede bir ısı transfer artışı sağlanmıştır. Ek olarak her iki kanal tipi de tam gelişmiş akış şartları altında paralel plakalı kanallarındakinden daha yüksek basınç düşüşüne sahip olmuştur. Kararsız rejime sinusoidal kanalda $Re = 175-200$ 'de veya şekilli kanalda $Re = 60-80$ 'de ulaşılmıştır. Her iki geometride en yüksek Reynolds sayısı için üç kattan fazla ısı transfer yükselişi kaydedilmiştir. Bu yükseliş yay şekilli kanalda daha fazla olmuştur, fakat daha yüksek sürtünme faktörü beraberinde gelmiştir.

Russ ve Beer [17], laminardan türbülansa kadar Reynolds sayısının geniş bir aralığını kapsayan, çapı sinusoidal olarak değişen bir boruda yerel ısı ve kütle transferinin sayısal

analizini yapmışlardır. Çalışma hesaplanan Sherwood ve Nusselt sayılarının daha iyi anlaşılmasına izin vermek için tahmin edilen akış alanı ve türbülanslı yapıda odaklanmıştır.

Şirin ve arkadaşları [18], deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, bilgisayar soğutucularını esas alarak silindirik bir boru içerisine yerleştirilen kanatçık dizilerinde zorlanmış taşınım ile ısı transferini incelemişlerdir. Bilgisayar soğutucularında olduğu gibi bakır bir boru çevresine, etrafında radyal yönde kanatçıklı yüzeyler bulunan alüminyum boru sıkı geçme ile geçirilmiştir. Bakır ve alüminyum borularla kanatların, eni 30 mm ve kanat et kalınlıkları 5 mm olarak seçilmiştir. Bakır borunun iç yüzeyine gücü 15-70 W/m² arasında değişebilen bir elektrikli ısıtıcı yerleştirilerek, sabit yüzey ısı akısı ile ısı transferi şartları oluşturulmuştur. Isıl güç 15-70 W/m² arasında, hava hızları ise 0,5-5 m/s arasında değiştirilerek deneyler yapılmıştır. Elde edilen değerlerden faydalanılarak, kanatçıklardan transfer edilen ısı miktarı, kanat verimi ve kanat etkenliği hesaplanmıştır. Yapılan değerlendirmede, hava hızının 2 m/s ve ısıtıcının 15-70 W/m² arasındaki tüm değerleri için kanatçıklardan taşınım ile transfer edilen ısı, optimum değerde olduğu görülmüştür.

Yücel ve Demiralay [19] bir duvarı üzerine ısıtıcı elemanlar yerleştirilmiş, alt ve üst yüzeyi yalıtılmış eğik bir kanalda, ısıtıcı eleman yüksekliğinin, Grashof sayısının, Reynolds sayısının ve eğim açısının akışkan akışı ve ısı transferi üzerine etkilerini sayısal olarak incelemişlerdir. Simulasyon sonuçlarından eğim açısının artması ile düşük Reynolds sayılarında, ortalama Nusselt sayısının arttığı görülmüştür. Boyutsuz ısıtıcı eleman yüksekliğinin artması ile maksimum boyutlu sıcaklık artmıştır. Grashof sayısının artmasıyla, düşük Reynolds sayılarında, ortalama Nusselt sayısının arttığı ve eğim açısının boyutsuz maksimum sıcaklığı fazla etkilemediği bulunmuştur. Grashof sayısı arttıkça boyutsuz maksimum sıcaklık sabit kalmış ancak boyutlu sıcaklık artmıştır.

Kotcioğlu ve Bölükbaşı [20], çalışmalarında dikdörtgen kesitli düşey bir kanalda doğal ve zorlanmış taşınım ile ilgili yapılan deney sonuçlarını sunmuşlardır. Kanal içerisine üç farklı kanatçıklı deney elemanı yerleştirilerek deneyler yapılmıştır. Deney elemanlarına ait kanatçıklar, düzlem yüzey, silindirik ve hava akış yönüne $\theta = 600^\circ$ ’lik açı yapan daralan-genişleyen kanatçıklar şeklinde ele alınmıştır. Deneysel çalışmalar sonunda kanal içerisine farklı şekilde yerleştirilen kanatçık tiplerine ait Nusselt sayıları arasındaki değişim incelenmiştir. Ayrıca her tip kanatçık modeli için kanatçık sıcaklığı ve kanatçık boyu arasındaki sonuçlar gösterilmiştir. Gruplar halinde periyodik olarak yerleştirilen bu kanatçıklarda özellikle daralan-genişleyen kanatçıklarda sınır tabakanın da periyodik olarak yenilenmesinden dolayı ısı transfer katsayısının iyileştiği sonucuna varılmıştır.

Etemoğlu ve arkadaşları [21], iki paralel levhadan alttaki üzerine monte edilmiş ve elektronik bir yongayı simüle eden tek bir blok üzerinden akış ve sıcaklık dağılımını hesaplamalı olarak analiz edip blok yüzeyindeki yerel ısı transfer katsayılarını hesaplamışlardır. Analizler laminar durum için $Re = 740-1850$, türbülanslı durum için Reynolds sayısı $Re = 1850-3700$ aralığında yapılmıştır. Hesaplamalarda geometrik faktörler sabit tutulmuş ve blok üzerinde 250 W/m^2 'lik sabit ısı akısı kabul edilmiştir. Akışkan özelliklerinin sıcaklıkla değişimi ve kaldırma kuvveti etkileri göz önüne alınmıştır. Reynolds sayısının artmasıyla ısı taşınım katsayısı artmıştır. Maksimum sıcaklık blok arka yüzü dibinde oluşmuştur. Maksimum ısı transfer katsayısı her durum için blok ön üst köşesinde gözlemlenmiştir. Blok arkasındaki yeniden birleşme uzunluklarının, türbülanslı akış durumunda laminar akış durumuna göre daha kısa olduğu görülmüştür.

Yemenici ve Fıratoglu [22], düz ve bloklu yüzeyler üzerinde ayrılmış akışı deneysel olarak incelemişlerdir. Hız ve türbülans yoğunlukları ölçümleri sabit sıcaklıklı bir kızgın tel anemometresi ile yapılırken statik basınç ölçümleri bir mikro manometre ile yapılmıştır. İlk bloktan önceki yüzeyde, ilk bloğun üstünde, bloklar arasında ve son bloğun arkasındaki yüzeyde ayrılma ve yeniden birleşmeler oluşmuş ve blokların varlığı türbülans yoğunluğunu önemli derecede arttırmıştır.

Pırasacı ve Sivrioğlu [23], yatay bir kanal içerisine çıkıntılı olarak yerleştirilmiş ayrıık ısıtıcılardan laminar akış şartlarında karma taşınım yolu ile ısının uzaklaştırılması durumunu sayısal olarak incelemişlerdir. Kanal alt ve üst yüzeylerine 8×4 lük dizi şeklinde yerleştirilen ısıtıcılara eşit ısı akıları uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar artan Grashof sayısı ile ısıtıcı yüzey sıcaklıklarının arttığını, özellikle doğal konveksiyon ile ısı transferinin ağırlıklı olduğu ($Gr/Re^2 > 1$) bölgede yüksek Grashof sayılarında sıcaklıkların çok yükseldiğini göstermiştir. Bu bölgede üst ısıtıcılardaki sıra ortalama Nusselt sayıları sıra numarası ile azalırken alt ısıtıcılardaki sıra ortalama Nusselt sayıları belirli bir sıraya kadar azalmıştır. Bu sıradan sonra ise sıra ortalama Nusselt sayılarında doğal taşınım etkisi ile bir artış görülmüştür. Bunun sonucunda üst ısıtıcılarda ısıtıcı sıcaklığı sıra numarası ile artmış alt ısıtıcılarda ise belirli bir ısıtıcı sırasından sonra azalmıştır.

Pulat [24], yüzeyle aynı hızda monte edilmiş ayrıık ısı kaynakları olarak simüle edilen devre kartı üzerinden zorlanmış taşınım ile olan ısı transferini hesaplamalı olarak araştırmıştır. Devre kartı ısı iletim katsayısının akışkan ısı iletim katsayısına oranları 1.37, 24.9 ve 164 olarak belirlenmiştir. İletimle olan ısı transferinin ve özellik değişiminin yanı sıra kanal girişindeki türbülans şiddetinin de (% 1.2, 6.9 ve 13) ısı transferi karakteristikleri üzerindeki

etkilerini incelemiştir. Reynolds sayısı dikdörtgen kanal hidrolik çapına göre belirlenmiştir ve analizler karşılaştırma maksadıyla $Re = 4800$ için yapılmıştır. Hava akışı daimi, iki-boyutlu ve türbülanslı akış olarak kabul edilmiştir. Türbülans modeli olarak standart k- ϵ modeli kullanılmıştır. Sonuçlar literatürdeki deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak ısı iletiminin, özellik değişiminin ve türbülans şiddetinin zorlanmış taşınım üzerine olan etkileri kalitatif olarak değerlendirilmiştir.

Sarper, ve arkadaşları [25], yalıtılmış düşey yüzeyine engel yerleştirilen üçgen şeklindeki çatı içerisindeki doğal taşınım ile ısı transferini sayısal olarak incelemiştir. Üçgen kapalı ortamın tabanı eğimli yüzeyden daha sıcak, düşey yüzey ve engel adyabatik sınır koşuluna sahip olarak belirlenmiştir. Engel yüksekliği $h = 0.5$, engel uzunluğu $l = 0.25$ iken, farklı engel eğimlerinin ($-45^\circ \leq \phi \leq 45^\circ$) doğal taşınım ile ısı transferine etkileri 103 ile 106 Rayleigh sayısı aralığında çalışılmıştır. Sonuçlar eş sıcaklık eğrileri, akım çizgileri ve ortalama Nusselt sayısının Rayleigh sayısı ile değişim grafiği şeklinde sunulmuştur. Sonuç olarak, engelin eğiminin doğal taşınım ile ısı transferi üzerinde önemli etkisinin olduğu ve üçgen şeklindeki çatı içerisinde ısı kaybını azaltmada önemli bir parametre olduğu belirlenmiştir.

Young ve Vafai [26], bir kanal yüzeyi üzerine monte edilen ısıtılmış bir engelin zorlanmış taşınım ile soğutulmasını incelemiştir. İletken engeli çevreleyen akış alanını karakterize eden Navier-Stokes denklemleri kullanılmıştır. Engele maruz kalan yüzeyde ortalama Nusselt sayıları ve yerel Nusselt sayısı dağılımları detaylandırılmıştır. Çalışmada parametrik değişkenler olarak termal iletkenlik oranı $k_{katı}/k_{akışkan}$, akışkan oranı Re_{Dh} ve ısıtma metodunun yanı sıra engel yüksekliği ve genişliği kullanılmıştır. Kanalda termal olarak gelişen akış için analitik çözümlü kıyaslar yapılmıştır. Akış ve ısı transfer karakteristikleri üzerinde engel büyüklüğünün, şeklinin ve termal iletkenliğinin etkileri gösterilmiştir.

3. HESAPLAMALI AKIŞKAN DİNAMİĞİNE (HAD) GİRİŞ

3.1. Hareket Denklemleri

Viskoz, sıkıştırılamaz, serbest yüzey etkileri olmayan Newton tipi akışkanın daimi, laminar akışı için hareket denklemleri,

Süreklilik denklemi:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0$$
$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.1)$$

x-momentum denklemi:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P'}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 u}{\partial^2 y} + \frac{\partial^2 u}{\partial^2 z} \right) \quad (3.2)$$

y-momentum denklemi:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P'}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 v}{\partial^2 y} + \frac{\partial^2 v}{\partial^2 z} \right) \quad (3.3)$$

z-momentum denklemi:

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P'}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 w}{\partial^2 y} + \frac{\partial^2 w}{\partial^2 z} \right) \quad (3.4)$$

Bu denklemlerde u , v , w akışkanın x , y , z doğrultusundaki hızlarını, ρ yoğunluğunu, μ dinamik viskozitesini gösterir. Serbest yüzey etkilerinin olmaması, değiştirilmiş basınç P' 'nin kullanılmasına ve böylelikle transport denkleminde yerçekimi teriminin çıkarılmasına imkân verir.

3.2. Genel HAD Çözüm Adımları

Hareket denklemlerini çözmek için aşağıdaki adımlar takip edilir:

1. Bir hesaplama bölgesi seçilir ve ağ oluşturulup bu bölge hücre denilen çok sayıda küçük elemana bölünür. İki boyutlu bölgeler için hücreler alanlardır, üç boyutlu

bölgeler için ise hacimlerdir. Bir HAD çözümünün niteliği büyük oranda ağın niteliğine bağlıdır.

2. Sınır şartları sayısal bölgenin (2-B akışlar) her bir kenarında veya bölgenin (3-B akışlar) her bir yüzünde belirtilir.
3. Akışkan türü ve akışkan özellikleri belirlenir.
4. Sayısal parametreler ve çözüm algoritmaları seçilir.
5. Bütün akış alanı değişkenleri için başlangıç değerleri her bir hücre için belirtilir. Bunlar başlangıç şartlarıdır ve doğru olsalar da olmasalar da iterasyon işlemine devam edebilmek için bir başlangıç noktası olarak gereklidirler. Bununla birlikte, daimi olmayan akış hesaplamalarının doğru bir şekilde yapılabilmesi için başlangıç şartları doğru olmalıdır.
6. Başlangıç tahminleri ile başlamak suretiyle hareket denklemlerinin ayrık formları her bir hücrenin merkezinde iteratif olarak çözülür. Eğer transport denkleminin tüm terimleri denklemin bir tarafında toplanmış olsaydı artık olarak tanımlanan bu terimlerin toplamı çözüm bölgesindeki her bir hücre için sıfır olduğunda, çözüm tam olurdu. Bununla birlikte bir HAD çözümünde toplam asla tam olarak sıfır olmaz, ancak ilerleyen iterasyonlarla azalır.
7. Çözüm yakınsadığında hız ve basınç gibi akış alanı değişkenleri grafiksel olarak çizilir ve analiz edilir. Grafik çıktıları çoğu zaman canlı renklerle görüntülendiği için HAD'a renkli akışkanlar dinamiği de denir.

Problemde enerji dönüşümü ve ısı geçişi önemli ise bir başka transport denklemi olan enerji denklemi de çözülmelidir. Eğer sıcaklık farkları yoğunlukta önemli değişikliklere yol açıyorsa, bu durumda bir hal denklemi (ideal gaz yasası gibi) kullanılır. Eğer kaldırma önemli ise, sıcaklığın yoğunluk üzerindeki etkisi (daha sonra transport denklemindeki değiştirilmiş basınç teriminden ayrılması gereken) yerçekimi teriminde dikkate alınır.

Sabit özellikli ve kayma gerilmesi ihmal edilebilir bir akışkanın sürekli, iki boyutlu akışı için enerji denklemi,

$$\rho c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \phi \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilerek bu gerilmelerin etkileri dikkate alınır. Burada viskoz kayıp fonksiyonu ϕ uzun bir çözümlemeden sonra şu şekilde bulunur:

$$\phi = 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \quad (3.6)$$

3.3. Taşınımın Fiziksel Mekanizması

Taşınımın karışıklığına rağmen, taşınım ile ısı transfer hızının sıcaklık farkı ve yüzey alanı ile doğru orantılı olduğu gözlenmiştir ve Newton soğutma kanunu ile sabit yüzey ısı akısı,

$$\dot{Q}_{\text{taşınım}} = hA_s(T_s - T_\infty) \quad (3.7)$$

olarak ifade edilmektedir.

Bu ifade birim alan için, $\dot{q}_{\text{taşınım}} = h(T_s - T_\infty)$ şeklinde yazılır.

Burada h taşınım ısı transfer katsayısı, A_s ısı transfer alanı, T_s yüzey sıcaklığı, T_∞ yüzeyden yeterince uzaklıkta akışkan sıcaklığını göstermektedir.

Birimlerden hareketle taşınım ısı transfer katsayısı h , bir katı yüzey ile bir akışkan arasında birim alan ve birim sıcaklık başına ısı transfer hızı olarak tarif edilebilir.

Bir katı yüzeyle doğrudan temas eden akışkan tabakası yüzeye yapışır ve orada kayma olmaz. Bu, kaymama şartı olarak bilinir. Kaymama şartının bir sonucu olarak bir akışkan ile bir katı arasındaki bütün temas noktalarında hız profili değerleri yüzeye göre sıfır olmalıdır. Kaymama şartının diğer bir sonucu bir akışkanın bir yüzey üzerinde akış doğrultusunda uyguladığı kuvvet olan yüzey direncidir.

Kaymama şartının bir göstergesi de katı yüzeyden bitişikteki akışkan tabakasına olan ısı transferinin, akışkan tabakasının hareketsiz olması nedeniyle salt iletim yolu ile olmasıdır. Yani,

$$\dot{q}_{\text{taşınım}} = \dot{q}_{\text{iletim}} = -k_{\text{taşınım}} \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0} \quad (3.8)$$

şeklinde yazılabilir. Daha sonra bu ısı, akışkan hareketinin bir sonucu olarak yüzeyden taşınım ile uzaklaştırılır. Böylelikle akışkan içindeki sıcaklık dağılımı bilindiği zaman taşınım ısı transfer katsayısını bulmak üzere, sabit yüzey ısı akısı için verilen denklemler birbirine eşitlenerek,

$$h(T_s - T_\infty) = -k_{\text{taş}} \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0}$$

$$h = \frac{-k_{akışkan}(\partial T/\partial y)_{y=0}}{T_s - T_\infty} \quad (3.9)$$

bağıntısı elde edilir.

Taşınım ısı transfer katsayısı genellikle akış doğrultusu (veya x) boyunca değişir. Böyle durumlarda bir yüzey için ortalama taşınım ısı transfer katsayısı, bütün yüzey üzerindeki yerel taşınım ısı transfer katsayılarının uygun şekilde ortalaması alınarak bulunur.

3.4. Nusselt Sayısı

Taşınım çalışmalarında toplam değişken sayısını azaltmak için ana denklemleri boyutsuzlaştırmak ve boyutsuz sayılar halinde gruplandırılan değişkenleri birleştirmek sık rastlanan bir uygulamadır ve

$$Nu = \frac{hL_c}{k} \quad (3.10)$$

şeklinde tanımlanır. Burada k akışkanın ısı iletkenliği ve L_c karakteristik uzunluktur.

Yerel direnç ve taşınım katsayıları, hız sınır tabakalarında akış yönündeki değişmelerin sonucu olarak yüzey boyunca değişir. Genellikle bir yüzeyin bütünü için ortalama sürtünme ve taşınım katsayıları kullanılarak bulunabilen direnç kuvveti ve ısı transfer hızı ile ilgilenilir. Bu sebeple hem yerel (alt indis x ile tanımlanan) hem de ortalama sürtünme ve taşınım katsayıları için bağıntılar sunulmaktadır. Yerel sürtünme ve taşınım katsayıları biliniyorsa bütün yüzey için ortalama sürtünme ve taşınım katsayıları,

$$C_D = \frac{1}{L} \int_0^L C_{D,x} dx \quad (3.11)$$

ve

$$h = \frac{1}{L} \int_0^L h_x dx \quad (3.12)$$

ifadelerinin entegrasyonu ile bulunabilir.

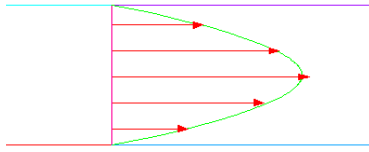
Ortalama direnç ve taşınım katsayıları biliniyorsa direnç kuvveti ve ısı transfer hızı hesaplanabilir.

Akım yönündeki bir en-kesitteki ortalama hız kütlenin korunumu ilkesinin sağlanması şartından bulunur:

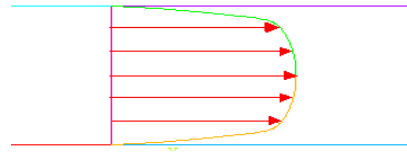
$$\dot{m} = \rho V_{ort} A_s \quad (3.13)$$

Laminar akışta tam gelişmiş bölgede hız profili paraboliktir. Türbülanslı akışta ise girdap hareketinden ve radyal yöndeki daha güçlü karışmalardan dolayı hız profili biraz daha yassıdır (veya doludur).

Şekil 3.1 ve 3.2’de laminar ve türbülans akış için hız profilleri görülmektedir.



Şekil 3.1. Laminar hız profili



Şekil 3.2. Türbülans hız profili

Akış rejimi ısı transfer hızını ve pompalama gücünü önemli ölçüde etkiler. Bir akış alanı en iyi şekilde hız dağılımı ile tanımlanır.

3.5. Kayma Gerilmesi

Bir akışkanın akmaya karşı iç direncini veya akışkanlığını temsil eden özelliğe viskozite denir. Viskozite için bir bağıntı elde etmek üzere aralarında h kadar mesafe bulunan iki geniş paralel plaka arasındaki akışkan tabakası dikkate alınsın. Bu durumda akışkan tabakasına etki eden τ kayma gerilmesi

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (3.14)$$

ifadesi ile verilir.

3.6. Bloklar Üzerinde Akış

Viskoz bir akışkan, hareketi sırasında büyük ölçüde katı yüzeylerle temas halindedir. Bu katı yüzeylerin üzerinde, yüzeye bitişik ince bir bölge içinde viskoz kuvvetlerin olduğu laminar ya da türbülanslı bir sınır tabaka gelişir. Sınır tabaka dışında kalan bölgede ise akış sürtünmesiz, ideal akıştır. Sınır tabaka içindeki akışkan parçacıklarının, yüzey boyunca akışlarını sürdüremeyip yüzeyden sapmalarına sınır tabaka ayrılması denir. Akış boyunca negatif basınç gradyanının meydana geldiği bölgelerde enerji kaybı nedeniyle akış yüzeyden

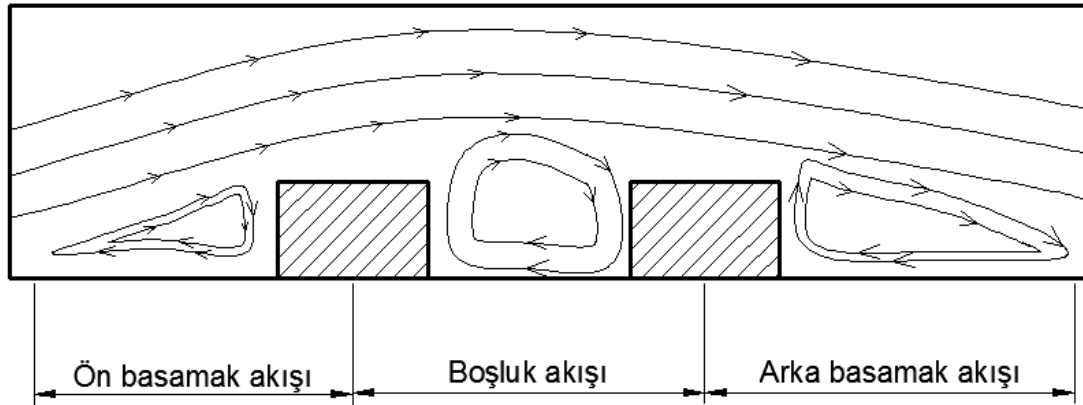
ayrılmaktadır. Ayrılma noktasında hız gradyanı ve dolayısıyla yüzeydeki kayma gerilmesi sıfırdır.

Ardışık bloklar üzerinde akış analizinde akış, Şekil 3.3'te gösterildiği gibi ileri basamak akışı, boşluk akışı ve geri basamak akışı olmak üzere üç akış bölgesine ayrılabilir. Bloklar tam gelişmiş akış bölgesinde olabileceği gibi gelişmekte olan akış bölgesinde de olabilir. Her iki durum için de aynı akış bölgeleri oluşur.

Tek bloklu yüzey üzerinde akışta akışı etkileyen geometrik faktörler kanal yüksekliği (H), blok yüksekliği (h), blok genişliği (w) ve L kanal uzunluğu olmak üzere, h/H blokaj oranı, w/h blok görünüş oranı, $H/H-h$ kanal genişleme oranı ve L/h kanal görünüş oranlarıdır [27].

Çok bloklu kanal geometrisinde tek blokluya ek olarak bloklar arası mesafenin (s) de belirtilmesi gerekir. Bu geometrilerde akışı etkileyen geometrik faktörlere blok sıklığı s/w denilen yeni bir ifade eklenir [28].

Şekil 3.3'te bloklar üzerinde akışta akış bölgeleri görülmektedir.



Şekil 3.3. Bloklar üzerinde akışta akış bölgeleri

3.7. Sürtünme Kuvveti

Bir akışkanın viskozitesi, onun şekil değiştirmeye karşı direncinin bir ölçüsüdür ve sıcaklığın kuvvetli bir fonksiyonudur. Sıvıların viskoziteleri sıcaklıkla azalır, oysa gazların viskoziteleri sıcaklıkla artar.

Akış hızı profilinin bilinmesini gerektirdiği için kayma gerilmesinin yukarıdaki eşitlikle elde edilmesi uygun değildir. Dış akışta daha pratik bir yaklaşım yüzey kayma gerilmesini üst akım hızı V ile

$$\tau_s = C_f \frac{\rho V^2}{2} \quad (3.15)$$

şeklinde ilişkilendirmektedir. Burada C_f değeri çoğunlukla deneysel olarak bulunan boyutsuz sürtünme katsayısı, ρ ise akışkanın özgül ağırlığıdır. Görüldüğü gibi sürtünme katsayısı genellikle yüzey boyunca konuma bağlı olarak değişir. Verilen bir yüzey üzerinde ortalama sürtünme katsayısı biliniyorsa, bütün yüzey üzerindeki sürtünme kuvveti,

$$F_f = C_f A_s \frac{\rho V^2}{2} \quad (3.16)$$

denkleminden bulunur; burada A_s yüzey alanıdır.

Sürtünme katsayısı ve ısı transfer katsayısı pompa veya fanlar için gerekli güç ile doğrudan ilişkili olduğu için ısı transferi çalışmalarında önemli bir parametredir. Nusselt sayısı ile birlikte ısı geçişini arttırmak için sürtünme katsayısının da bulunması gerekmektedir. Çünkü sürtünme katsayısı ısı geçiş miktarındaki artışı da göstermektedir.

Özetle diyebiliriz ki birim alan başına düşen sürtünme kuvveti, kayma gerilmesi olarak adlandırılır ve cidar yüzeyindeki kayma gerilmesi,

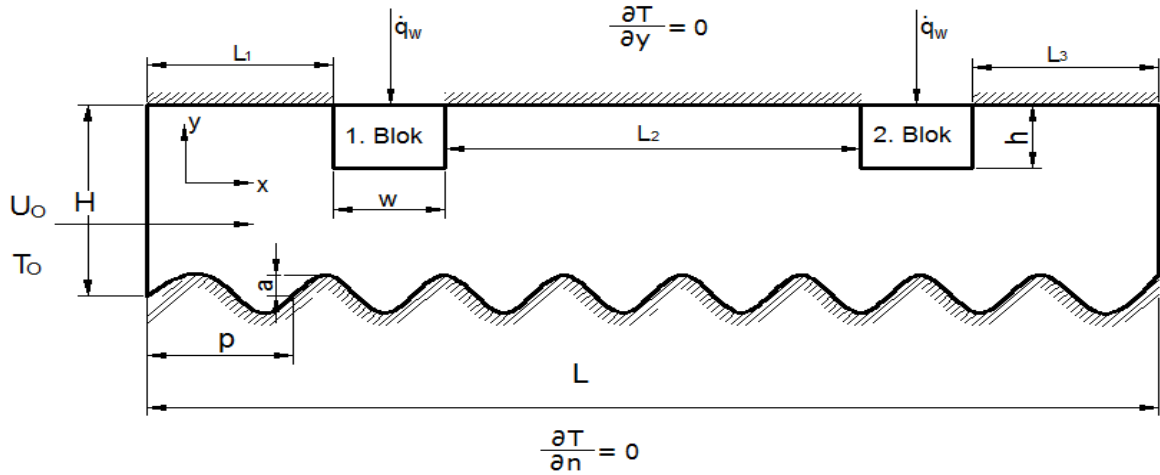
$$\tau_s = \mu \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=0} \quad \text{veya} \quad \tau_s = C_f \frac{\rho V^2}{2} \quad (3.17)$$

olarak ifade edilir [27].

4. İNCELENEN PROBLEMİN FİZİKSEL GEOMETRİSİ VE ÇÖZÜM YÖNTEMİ

4.1. Fiziksel Özellikler ve Geometri

Bu çalışmada çözüm ANSYS paket program ile yapılmıştır. ANSYS, mühendisliğin birçok dallarında olduğu gibi akışkanlar mekaniği ve ısı transferi konularının da çözümünde kullanılabilen bir sonlu elemanlar yazılımıdır. Ayrıca endüstri kolunda pek çok kullanım alanı bulan ANSYS bir simulasyon yazılımıdır. Bu analizde de problemin diferansiyel denklemleri, cebirsel denklemlere çözülmüş ve çözüm alanı içerisinde hız ve sıcaklık dağılımı belirlenmiştir. Çalışmada incelenen problemin geometrisi Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Kanalın alt ve üst yüzeyleri yalıtılmıştır. Kanalın yüksekliği H , kanal uzunluğu L , blok yüksekliği h , blok genişliği w , dalga uzunluğu p ve genlik a ile ifade edilmiştir. Problemin akış ve ısı transfer karakteristiklerinin elde edilebilmesi için süreklilik, momentum ve enerji denklemleri sınır şartları ile birlikte çözülmüştür. Akışkan olarak hava kullanılmıştır. Sürtünme kuvveti grafikleri ANSYS FLUENT programı kullanılarak elde edilmiştir. Diğer grafikler ANSYS klasik ile oluşturulmuştur. Akışkanın 25°C’deki termodinamik özellikleri kullanılmıştır. Akışkan hızının dikey bileşeni ise sıfırdır.



Şekil 4.1. Fiziksel geometri ve parametreler

h: Blok yüksekliği	w: Blok genişliği	H = 0.06 m
p: Bir dalganın uzunluğu	a: Ondüleli yüzeyin genişliği	L = 0.64 m
H: Kanal yüksekliği	L: Kanal uzunluğu	h = 1/3H
Y = asin($\pi x/p$)	w = 2/3H	L ₁ = 0.18 m
L ₂ = 0.20 m	L ₃ = 0.18 m	

İncelenen problemde geçerli denklemler ve sınır şartları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Problem iki boyutlu laminar akıştır. Çalışmada akışkan olarak hava (Pr = 0.718) kullanılmıştır.

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.1)$$

x-momentum denklemi:

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P'}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 u}{\partial^2 y} + \frac{\partial^2 u}{\partial^2 z} \right) \quad (4.2)$$

y-momentum denklemi:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P'}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 v}{\partial^2 y} + \frac{\partial^2 v}{\partial^2 z} \right) \quad (4.3)$$

Enerji denklemi:

$$\rho c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial^2 x} + \frac{\partial^2 T}{\partial^2 y} + \frac{\partial^2 T}{\partial^2 z} \right) \quad (4.4)$$

Sınır şartları:

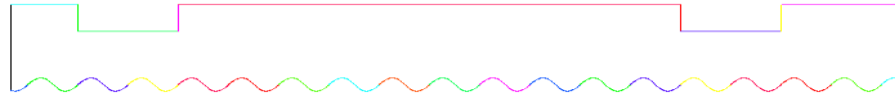
Kanal giriş girişinde $u = U_0$, $v = 0$ ve $T = T_0$

Kanal üst ve alt yüzeylerinde $u = v = 0$

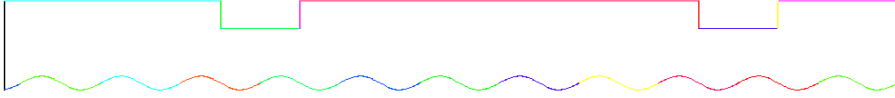
Blok yüzeylerindeki ısı akısı $q = 250 \text{ W/m}^2$

4.2. Çalışmada Kullanılan Geometriler (ANSYS Programından)

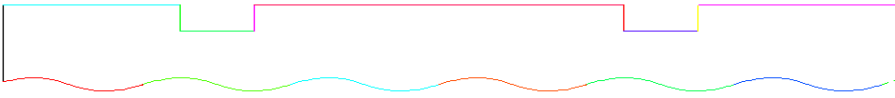
Çalışmada dokuz farklı geometri kullanılmıştır. Bu geometrilerde ondüleli yüzey hariç diğer parametreler aynı kalmıştır. Geometri değişikliğinde önce genlik sabit tutulup, dalga boyu sırasıyla iki ve üç katına çıkarılarak çözüm yapılmıştır. Daha sonra genlik iki ve üç katına çıkarılarak her durum için dalga boyu sırasıyla iki ve üç kat arttırılmıştır. İncelemede kullanılan geometrilerin şematik gösterimi şekil 4.2'de verilmiştir.



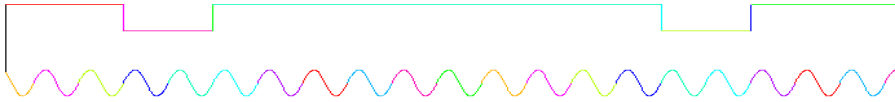
(a) $a = 0.005$ ve $p = 0.02$



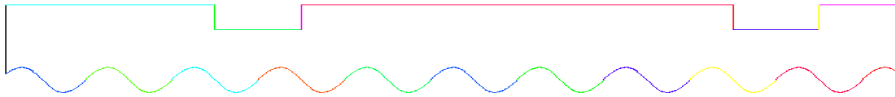
(b) $a = 0.005$ ve $p = 0.04$



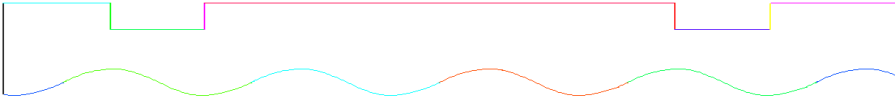
(c) $a = 0.005$ ve $p = 0.08$



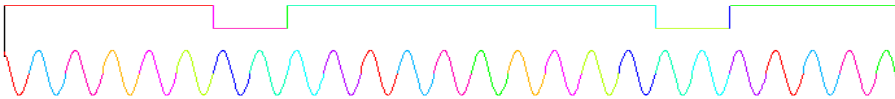
(d) $a = 0.01$ ve $p = 0.02$



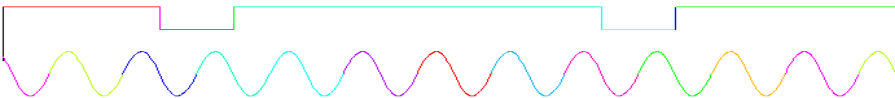
(e) $a = 0.01$ ve $p = 0.04$



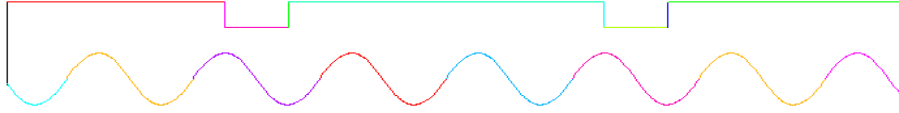
(f) $a = 0.01$ ve $p = 0.08$



(g) $a = 0.02$ ve $p = 0.02$



(h) $a = 0.02$ ve $p = 0.04$



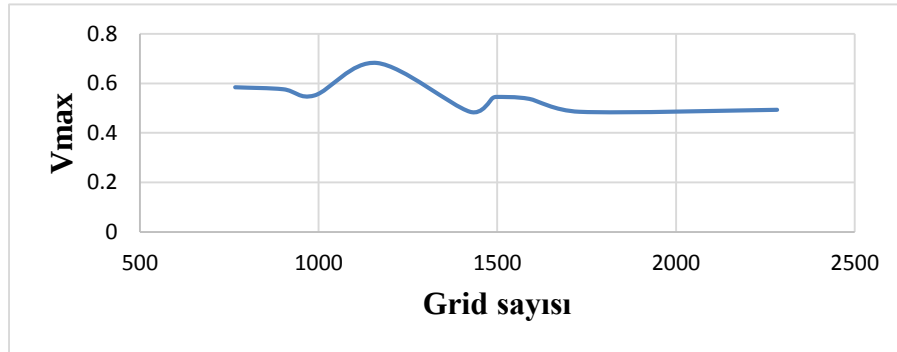
(i) $a = 0.02$ ve $p = 0.08$

Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan geometrilerin şematik gösterimi

4.3. Programın Doğrulanması ve Ağ Yapısı

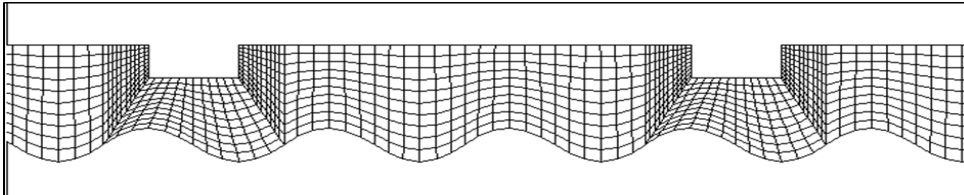
Sayısal çözümlerlerde kullanılan ağ yapısı sonuçları etkiler. Bu nedenle elde edilen sonuçların grid sayılarından bağımsız olması önemlidir. Problemin en uygun ağ yapısını tespit etmek için problem farklı ağ yapıları için çözülmüştür ve sonuçlar birbirleriyle mukayese edilmiştir ve grid sayılarının sonuçları etkilemediği durum hesaplamalarda kullanılmıştır.

Şekil 4.3'te $Re = 500$ için V_{max} 'ın grid sayısı ile değişimi verilmiştir. Grid sayısının 1700 değerinden sonra V_{max} 'ın değişim göstermediği tespit edilmiştir. Çalışma boyunca grid sayısı 2012 olarak alınmıştır.



Şekil 4.3. $Re = 500$ için V_{max} 'ın grid sayısı ile değişimi

Bu analiz için kullanılan ağ yapısı Şekil 4.4'te verilmiştir. Blok yüzeylerinde ve yüzeye yakın yerlerde daha sık ağ yapısı oluşturulmuştur.



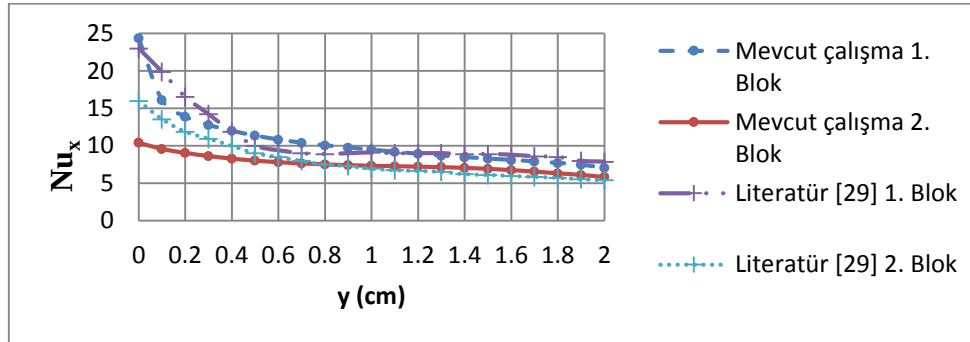
Şekil 4.4. Ağ yapısı ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

4.4. Çalışmanın Doğrulanması

Mabarki ve arkadaşları [29] dikdörtgen yatay bir kanalda laminar akış ve ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Elektronik elemanları simüle eden blokların yüksekliği (h) 0.25 cm, genişliği (w) 2 cm, kanal yüksekliği (H) 1 cm ve kanal uzunluğu (L) 20 cm olarak alınmıştır. Akışkan sıcaklığı 20°C ve bloklarda üretilen ısı akısı 1000 W/m² olan çalışmada akışkan kanala üniform hız ve sıcaklıkta girmiştir. Çalışmada kanal alt yüzeyinde üç blok ve üst yüzeyinde 1. Blok ortasına denk düşen 0.25 cm boyutlarında adyabatik bir kontrol elemanı kullanılmıştır.

Mabarki ve arkadaşları [29] en iyi ısı transferini kanal girişine yakın 1. blok sol üst köşesinde elde etmişlerdir. Reynolds sayısı $Re = 547$ için 1. blok sol üst köşesinde maksimum yerel Nusselt sayısı $Nu_x = 23$ ve 2. blok üst köşesinde maksimum $Nu_x = 16$ olarak bulunmuştur.

Yaptığımız çalışmanın doğrulanması için Mabarki, Rahal ve Hamza'nın çalışmaları aynı parametreler kullanılarak çözülmüş ve maksimum yerel Nusselt sayıları 1. blok için $Nu_x = 24$ ve 2. blok için $Nu_x = 10.5$ olarak elde edilmiştir. Şekil 4.5'te Mabarki, Rahal ve Hamza'nın çalışmalarının sonuçlarıyla aynı parametreler kullanılarak elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Mevcut çalışmada Nu_x değerlerinin Literatür [29] ile karşılaştırılması ($Re = 547$)

Tablo 4.1'de mevcut çalışma ile Literatür [29]'dan elde edilen sonuçlar görülmektedir.

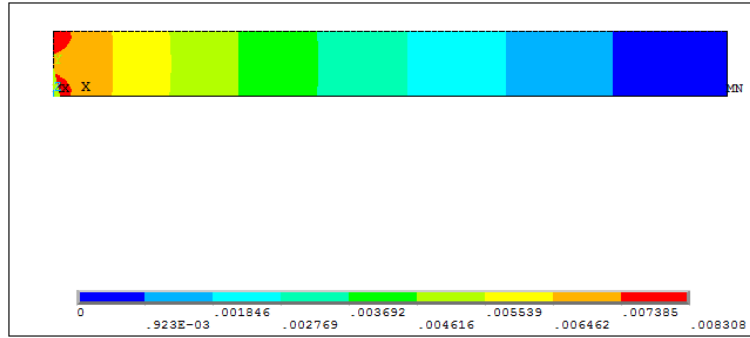
Tablo 4.1. Mevcut çalışma ile Literatür [29]'dan elde edilen maksimum Nu_x değerleri

	Nu_x 'in maksimum değeri		Reynolds sayısı
	1. blok	2. blok	547
Mabarki	23.2	16	
Mevcut	24.2	10.5	

5. SONUÇLAR

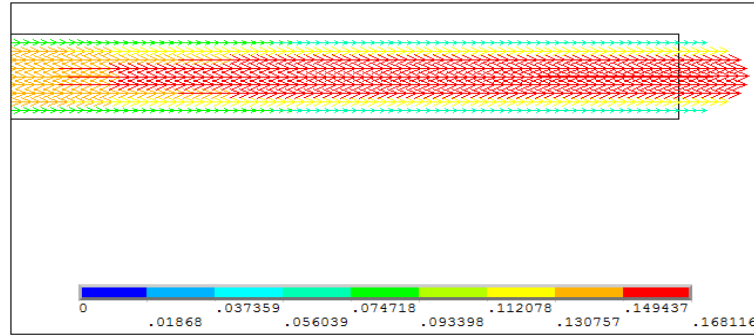
5.1. Düz Kanalda Akış İçin Sonuçlar

Bu çalışmada ilk olarak dikdörtgen kesitli düz bir kanalda laminar akış irdelenmiştir. Burada analiz için kullanılan parametrelerin akış üzerindeki etkisini görmek için hız vektör dağılımları elde edilmiştir. Şekil 5.1’de görüldüğü gibi kanal giriş bölgesindeki basınç çıkışa doğru azalmıştır.



Şekil 5.1. $Re = 500$ için düz kanalda basınç eşdeğer eğrileri

Şekil 5.2’de düz bir kanalda $Re = 500$ için hız vektörleri verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi kanala üniform hızla giren akışkan kanal boyunca gelişerek kanalın belli bir uzunluğundan sonra laminar tam gelişmiş sonuca ulaşmaktadır.

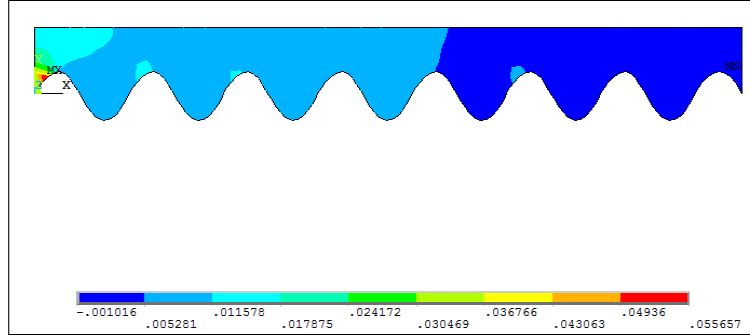


Şekil 5.2. $Re = 500$ için akış hız vektörleri

5.2. Bir Yüzeyi Ondüleli Kanalda Akış İçin Sonuçlar

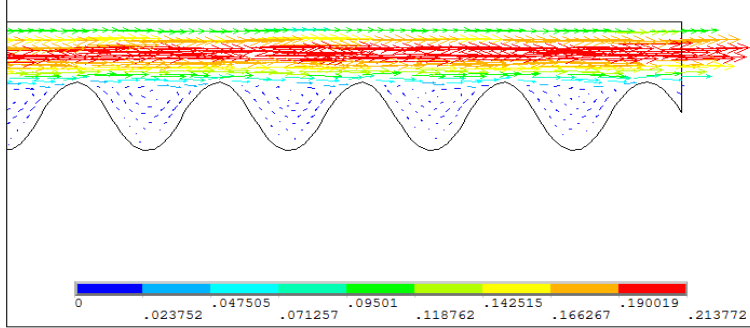
Aşağıda Şekil 5.3 ve 5.4’de sırasıyla alt yüzeyi ondüleli bir kanalda ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$) $Re = 500$ için basınç eş eğrileri ve hız vektör değişimi örnek olarak verilmiştir. Burada da bir önceki kanala kıyasla akış parametreleri aynı kalmak şartıyla ondüleli yüzeyin akış üzerindeki etkisinin görülmesi için hız vektör dağılımları oluşturulmuştur. Şekil 5.3’de alt

yüzeyi ondüleli bir kanalda $Re = 500$ için basınç eş eğrileri görülmektedir. Basınç eş eğrilerinin değişimi, basıncın kanal çıkışına doğru azaldığını göstermektedir.



Şekil 5.3. $Re = 500$ için bir yüzeyi ondüleli kanalda basınç eş eğrileri
($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.4’de bir yüzeyi ondüleli bir kanalda $Re = 500$ için hız vektör değişimi görülmektedir. Kanalda laminar akış hız profili oluşmaktadır. Bu düz bir kanal (üst yüzeyinde ısıtılmış bloklar bulunan) çıkışında gözlemlenen hız profili ile aynıdır. Ancak ondüleli yüzeyin etkisiyle ondüleli yüzeyde akış yön değiştirmiş ve çıkıştaki hızın maksimum değerini azaltmıştır.

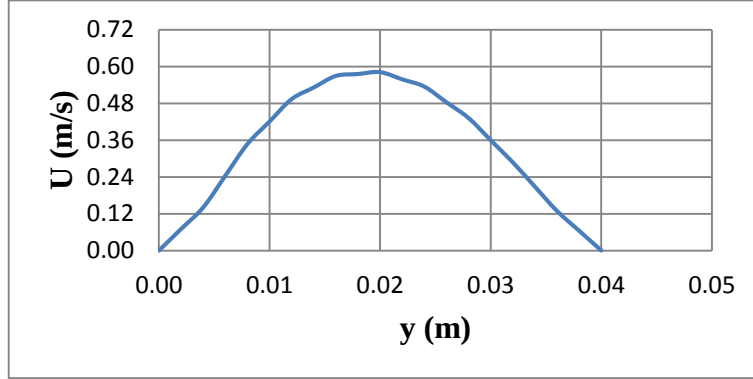


Şekil 5.4. Bir yüzeyi ondüleli kanalda $Re = 500$ için hız vektörleri
($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

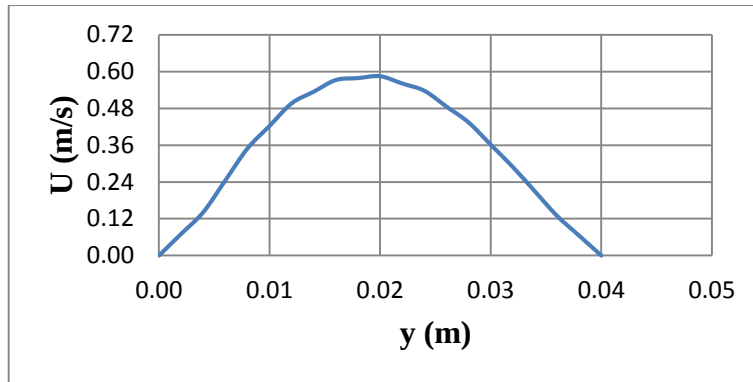
5.3. Bir Yüzeyi Ondüleli Diğer Yüzeyinde Isıtılmış Bloklar Bulunan Kanalda Akış İçin Sonuçlar

Aşağıdaki şekillerde alt yüzeyi ondüleli diğer yüzeyinde ısıtılmış bloklar bulunan bir kanalda farklı Reynolds sayıları ($Re = 500-2500$) ve ondüleli yüzeyde farklı genlik ve dalga uzunlukları için hız vektör değişimleri görülmektedir. Analizde kullanılan parametrelerin akış ve ısı transferi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Blok çevresinde beklenildiği gibi akış ayrılımları ve girdaplar oluşmaktadır.

Şekil 5.5 ve 5.6’da $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ olan kanalda $Re = 1000$ için kanalın iki farklı yerindeki hız profilleri verilmiştir. Blok orta noktardan alınan hız profillerinden düzgün laminar akış profili elde edilmiştir.

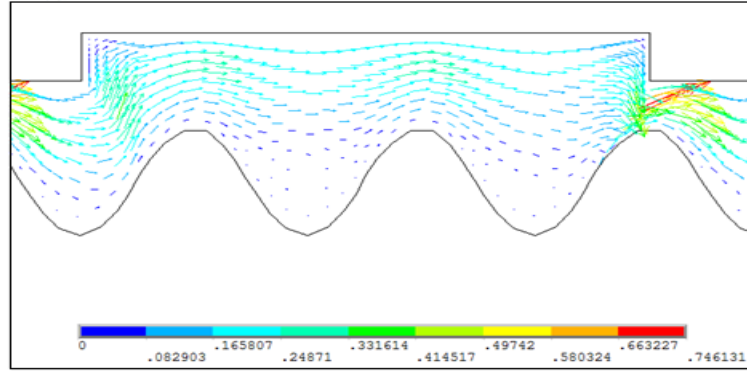


Şekil 5.5. $x = 0.2$ ’deki hız profili



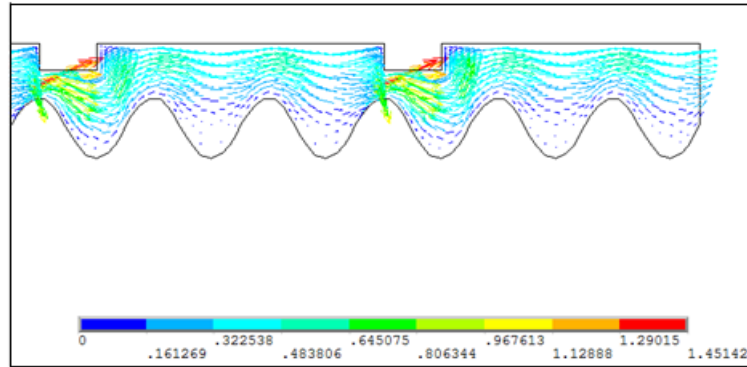
Şekil 5.6. $x = 0.64$ ’deki hız profili

Şekil 5.7’de incelenen geometride $Re = 500$ için ve $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ durumundaki hız vektör değişimleri görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi blok girişinde boğazda akış daralması (vena contracta) oluşurken blok çıkışında genişleme bölgesinde vorteksler ondüleli yüzeyin genliği ve dalga uzunluğuna bağlı olarak oluşmaktadır. Ayrıca blok alt girişlerinde ondüleli yüzeyin maksimum genliğinin de etkisiyle akış alanının daralmasından dolayı akış hızı artış göstermektedir.



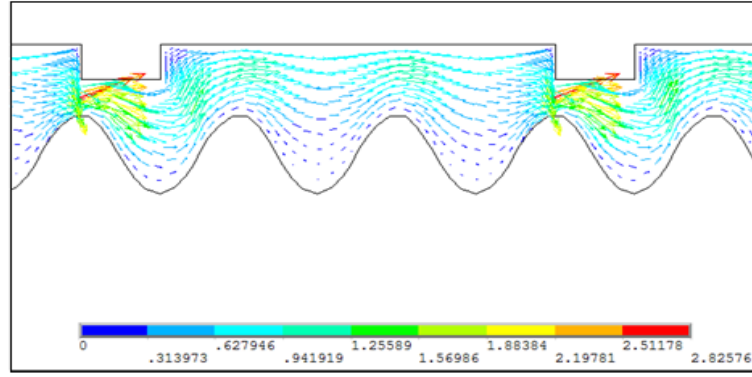
Şekil 5.7. $Re = 500$ için kanaldaki hız vektörleri ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.8’de ondüleli kanalda $Re = 1000$ için ve ondüleli yüzeyde $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ durumundaki hız vektör değişimleri görülmektedir. Burada parametreler aynı kalıp sadece Reynolds sayısı artırılmıştır. Beklenildiği gibi Şekil 5.7’dekine benzer bir durum görülmektedir. Daralan kanal bölgelerinde akış hızlanmaktadır. Bu artış sıcak blok alt yüzeyi etrafında daha fazla hissedilmektedir.



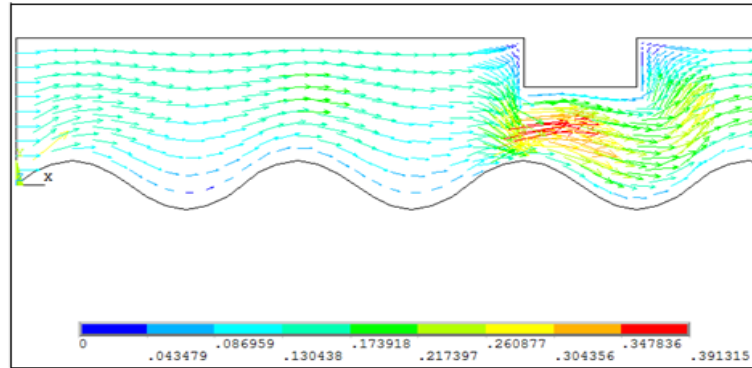
Şekil 5.8. $Re = 1000$ için kanaldaki hız vektörleri ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.9’da ondüleli kanalda $Re = 2000$ için ve ondüleli yüzeyde $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ durumundaki hız vektör değişimleri görülmektedir. Reynolds sayısı arttıkça ondüleli bölgede akış daha da hissedilmektedir.

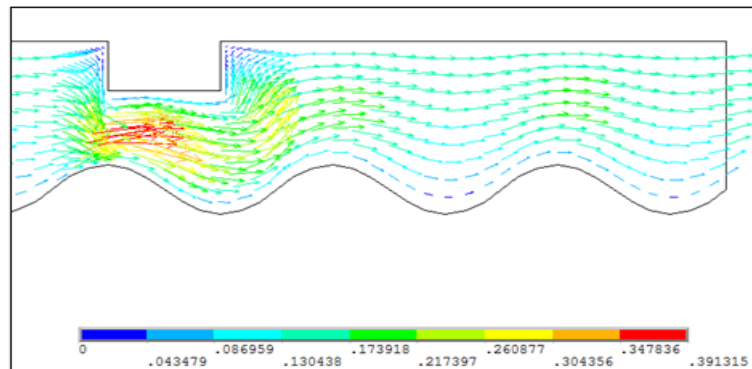


Şekil 5.9. $Re = 2000$ için kanaldaki hız vektörleri ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.10'da $Re = 500$ için ve ondüleli yüzeyde $a = 0.01$ ve $p = 0.08$ durumundaki hız vektör değişimleri görülmektedir. $Re = 500$ için 1. ve 2. Blok etrafındaki akış yaklaşık olarak aynı karakteristikleri göstermektedir. Bunun nedeni blokların birbirlerini aşırı etkilememesi olarak açıklanabilir. Ancak genliğin küçülmesiyle ondüleli bölgedeki sirkülasyonlar azalmakta ve kanal çıkışında akış değeri büyümektedir.



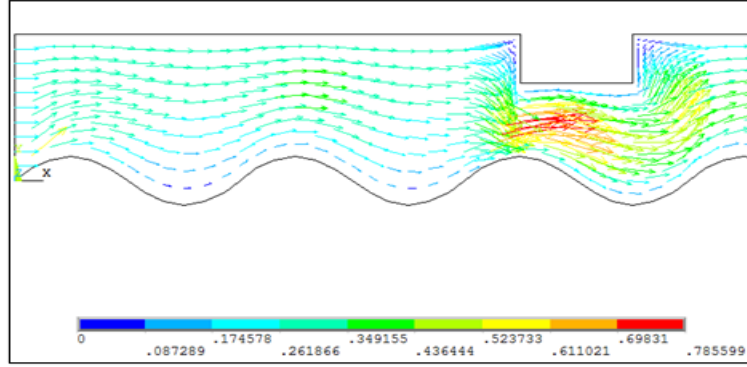
(a) 1. Blok etrafındaki akış hız vektörleri



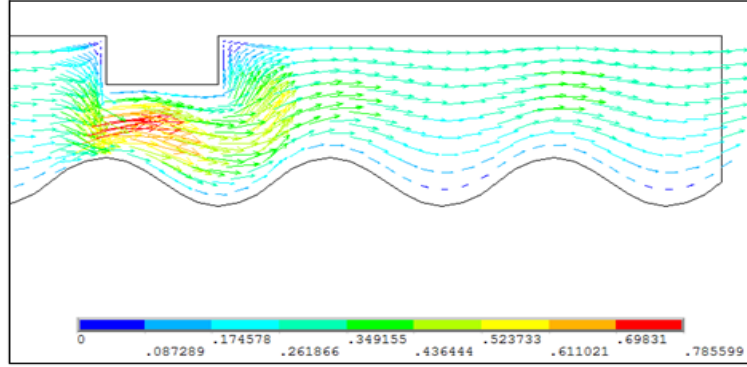
(b) 2. Blok etrafındaki akış hız vektörleri

Şekil 5.10. $Re = 500$ için kanaldaki hız vektörleri ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.11’de ondüleli kanalda $Re = 1000$ için ve ondüleli yüzeyde $a = 0.01$ ve $p = 0.08$ durumundaki hız vektör değişimleri görülmektedir. $Re = 1000$ için akış vektörleri bir önceki durumla ($Re = 500$) benzer karakteristikler göstermektedir.



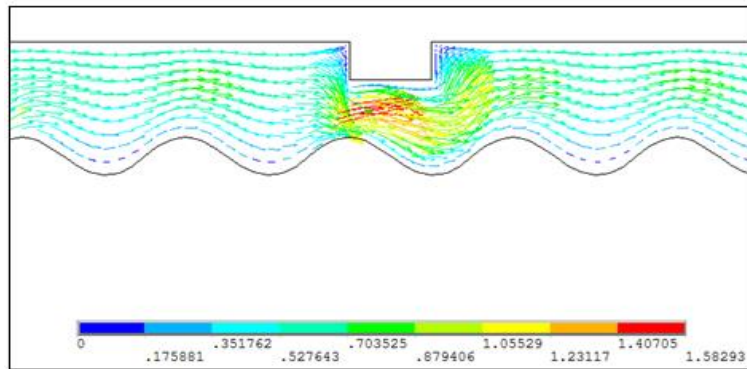
(a) 1. Blok etrafındaki akış için hız vektörleri



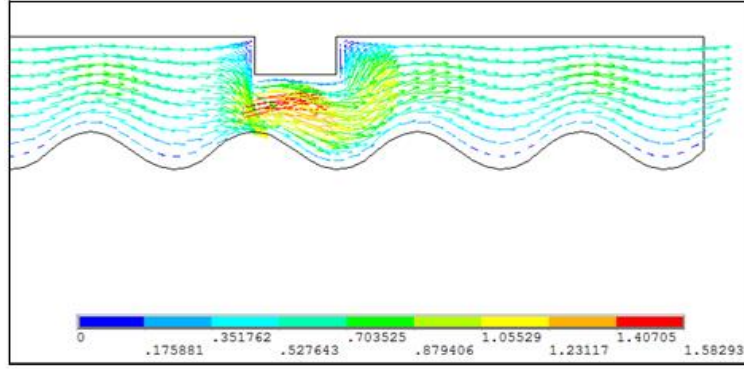
(b) 2. Blok etrafındaki akış için hız vektörleri

Şekil 5.11. $Re = 1000$ iken kanaldaki hız vektörleri ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.12’de ondüleli kanalda $Re = 2000$ için ve ondüleli yüzeyde $a = 0.01$ ve $p = 0.08$ durumundaki hız vektör değişimleri görülmektedir. $Re = 2000$ için akış vektörleri önceki iki durumda ($Re = 500, 1000$) elde edilen vektörlere benzerlik göstermektedir.



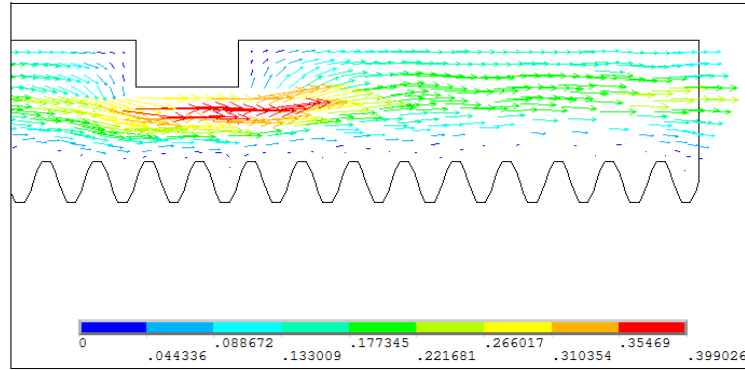
(a) 1. Blok etrafındaki akış için hız vektörleri



(b) 2. Blok etrafındaki akış için hız vektörleri

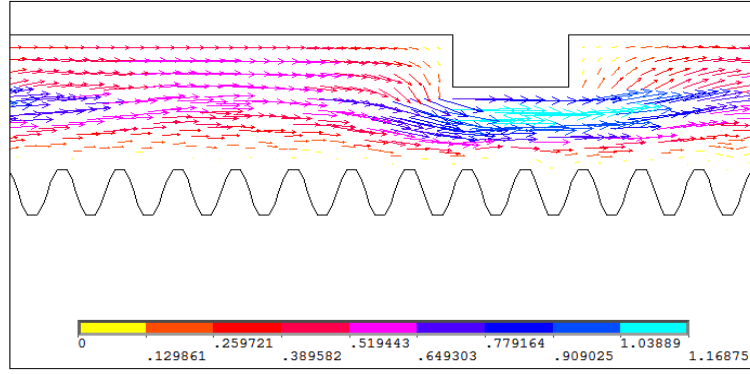
Şekil 5.12. $Re = 2000$ için kanaldaki hız vektörleri ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.13’de $Re = 500$ için ve ondüleli yüzeyde $a = 0.01$ ve $p = 0.02$ durumundaki hız vektör değişimleri görülmektedir. Burada da Şekil 4.12’dekine benzer bir durumla karşılaşmaktayız. Kanal çıkışında ondüleli yüzeyden kaynaklanan değişimle beraber laminar hız çıkış profili görülmektedir. Burada ondüleli yüzeyde dalga genliğinin ve uzunluğunun küçülmesiyle birlikte söz konusu yüzeyin hız profiline etkisi azalmaktadır. Ondüleli alt yüzeyde akışın durgun kaldığı gözlenmektedir.



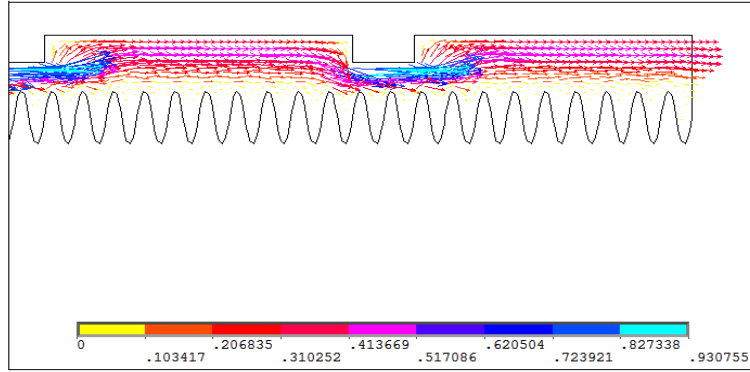
Şekil 5.13. $Re = 500$ için kanaldaki hız vektörleri ($a = 0.01$ ve $p = 0.02$)

Şekil 5.14’te ondüleli kanalda $Re = 1500$ için ve ondüleli yüzeyde $a = 0.01$ ve $p = 0.02$ durumundaki hız vektör değişimleri görülmektedir. Reynolds sayısının artmasıyla ondüleli bölgede durgun akışkan bölgesinin büyüdüğü gözlenmektedir.



Şekil 5.14. $Re = 1500$ için kanaldaki hız vektörleri ($a = 0.01$ ve $p = 0.02$)

Şekil 5.15'te ondüleli kanalda $Re = 1000$ için ve ondüleli yüzeyde $a = 0.02$ ve $p = 0.02$ durumundaki hız vektör değişimleri görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi ondüleli yüzeyde genlik arttığında alt cidar katı bir yüzey gibi davranmakta ve akış daralmaktadır. Ondüleli bölgelerde akış durgun görülmektedir.

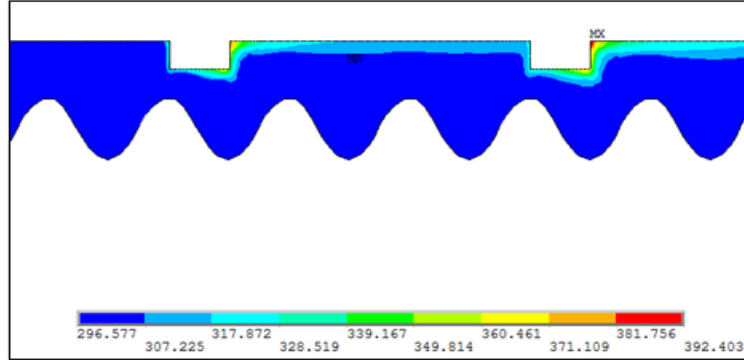


Şekil 5.15. $Re = 1000$ için kanaldaki hız vektörleri ($a = 0.02$ ve $p = 0.02$)

Aşağıdaki şekillerde bir yüzeyi ondüleli diğer yüzeyinde ısıtılmış bloklar bulunan bir kanalda sıcaklık konturları görülmektedir. Buna göre ikinci bloğun sıcaklığı birinci bloğun sıcaklığından daha fazladır. Bunun sebebi birinci bloğun ilk önce ikinci bloğa göre daha soğuk bir akışkanla soğutulmuş olmasıdır. Dolayısıyla kanaldaki akışkan kanal çıkışına doğru gittikçe ısınmaktadır.

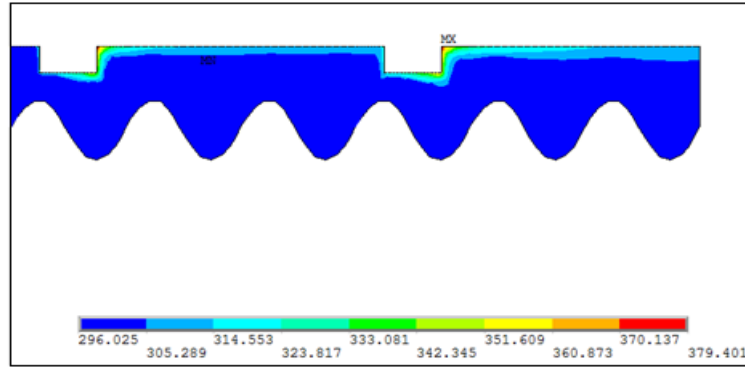
Şekil 5.16'da bir yüzeyi ondüleli diğer yüzeyinde ısıtılmış bloklar bulunan bir kanalda $Re = 500$ için ve ondüleli yüzeyde $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ durumundaki sıcaklık eş eğrileri görülmektedir. Blok sağ üst köşelerinde maksimum sıcaklık oluşmaktadır. 2. bloktaki maksimum sıcaklıktaki bölgenin 1. bloktakine göre daha fazla olduğu gözlenmektedir.

Bloklar arasında ve kanal çıkışına doğru blok üst yüzeyinde sıcak bölgeler meydana gelmektedir.



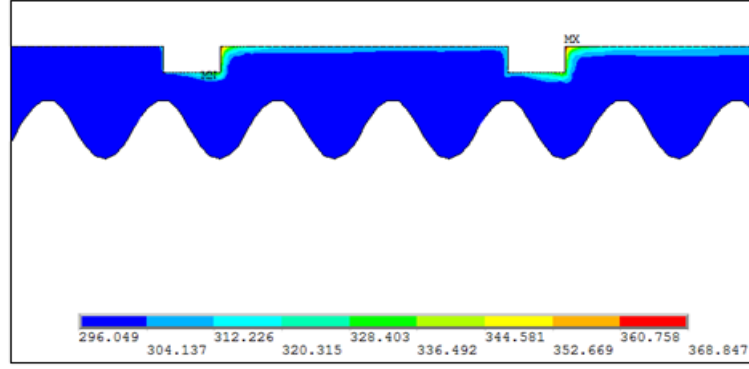
Şekil 5.16. $Re = 500$ için kanaldaki eş sıcaklık eğrileri ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.17’de bir yüzeyi ondüleli diğer yüzeyinde ısıtılmış bloklar bulunan bir kanalda $Re = 1000$ için ve ondüleli yüzeyde $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ durumundaki sıcaklık eş eğrileri görülmektedir. Her iki bloğun genişleme bölgesinde düşük sıcaklık konturları gözlenmektedir. Reynolds sayısının artmasıyla sıcaklık konturları azalmakta ve maksimum sıcak bölgeler küçülmektedir.



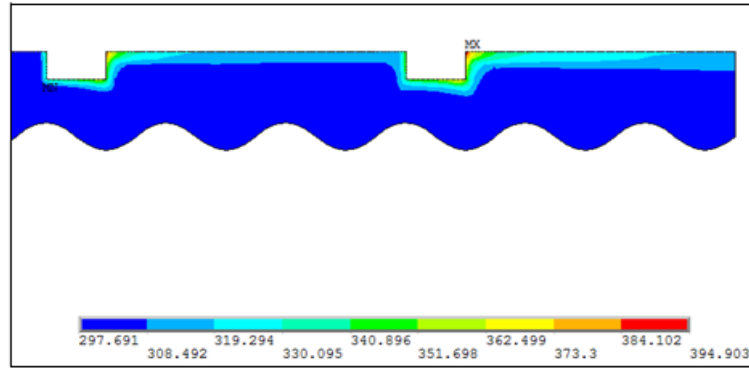
Şekil 5.17. $Re = 1000$ için kanaldaki eş sıcaklık eğrileri ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.18’de bir yüzeyi ondüleli diğer yüzeyinde ısıtılmış bloklar bulunan bir kanalda $Re = 2000$ için ve ondüleli yüzeyde $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ durumundaki sıcaklık eş eğrileri görülmektedir. Re sayısı artarken üst cidarda sıcaklık sınır tabakasının incelmesi ayrıca maksimum sıcak bölgelerin iyice küçüldüğü gözlenmektedir.



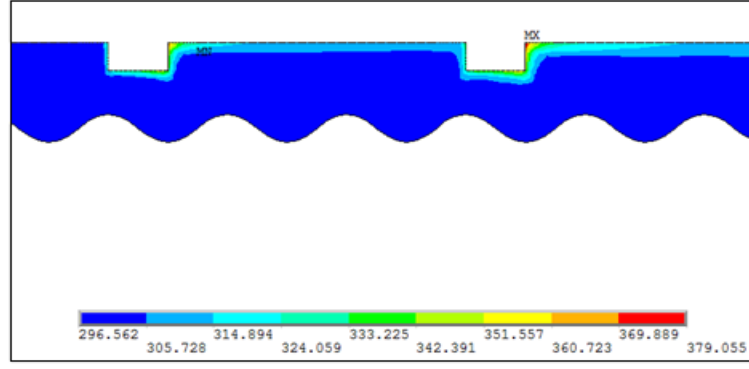
Şekil 5.18. $Re = 2000$ için kanaldaki eş sıcaklık eğrileri ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.19’da bir yüzeyi ondüveli diğer yüzeyinde ısıtılmış bloklar bulunan bir kanalda $Re = 500$ için ve ondüveli yüzeyde $a = 0.01$ ve $p = 0.08$ durumundaki sıcaklık eş eğrileri görülmektedir. Bu şekil Şekil 5.18 ile yani genliğin iki kat ($a = 0.02$) olduğu durum ile kıyaslanacak olursa maksimum sıcak bölgenin sıcaklığının arttığı dolayısıyla üst cidarda sıcaklık sınır tabakasının kalınlaştığı hissedilmektedir.



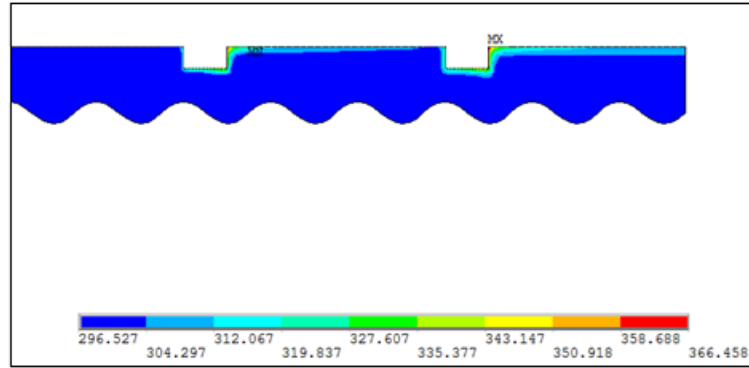
Şekil 5.19. $Re = 500$ için kanaldaki eş sıcaklık eğrileri ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.20’de bir yüzeyi ondüveli diğer yüzeyinde ısıtılmış bloklar bulunan bir kanalda $Re = 1000$ için ve ondüveli yüzeyde $a = 0.01$ ve $p = 0.08$ durumundaki sıcaklık eş eğrileri görülmektedir. Burada Şekil 4.24’deki kanala akış, hızı iki kat artırılarak gönderilmiştir. Reynolds sayısının artmasıyla maksimum sıcaklığın azaldığı gözlenmiştir.



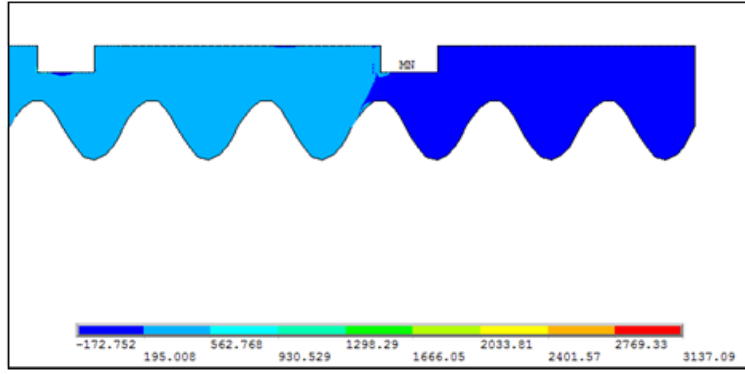
Şekil 5.20. $Re = 1000$ için kanaldaki eş sıcaklık eğrileri ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.21’de bir yüzeyi ondüleli diğer yüzeyinde ısıtılmış bloklar bulunan bir kanalda $Re = 2000$ için ve ondüleli yüzeyde $a = 0.01$ ve $p = 0.08$ durumundaki sıcaklık eş eğrileri görülmektedir. Burada yine aynı kanalda Reynolds sayısının iki kat daha artırılmasıyla maksimum sıcak bölgenin neredeyse yok olduğu ve üst cidarda sıcaklık sınır tabakasının iyice incelendiği gözlenmektedir.



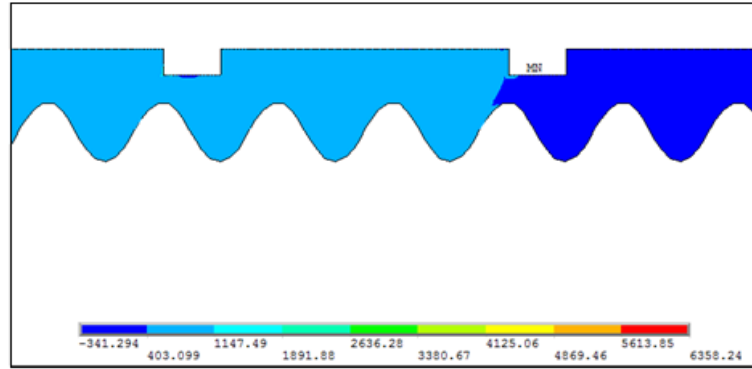
Şekil 5.21. $Re = 2000$ için kanaldaki eş sıcaklık eğrileri ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$)

Aşağıdaki şekillerde bir yüzeyi ondüleli diğer yüzeyinde ısıtılmış bloklar bulunan bir kanaldaki basınç eş eğrileri örnek olarak verilmiştir. Şekil 5.22’de bir yüzeyi ondüleli diğer yüzeyinde ısıtılmış bloklar bulunan bir kanalda $Re = 1000$ için ve ondüleli yüzeyde $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ durumundaki basınç eş eğrileri görülmektedir. Düşük Reynolds sayılarında basınç eş eğrileri simetrik bir yapı oluşturarak, iletimin özelliklerini göstermektedir.



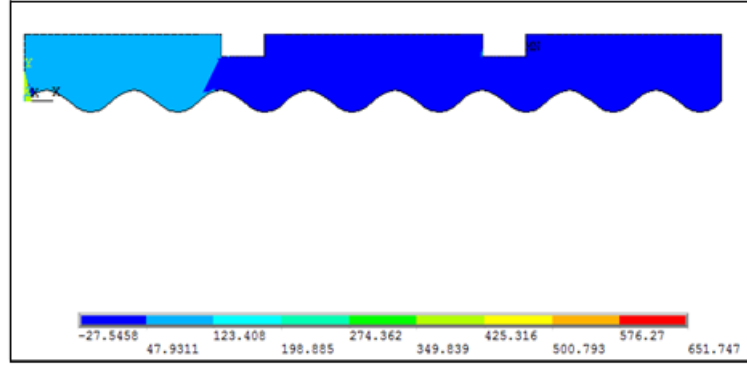
Şekil 5.22. $Re = 1000$ için kanaldaki eş basınç eğrileri ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.23'te bir yüzeyi ondüleli diğer yüzeyinde ısıtılmış bloklar bulunan bir kanalda $Re = 2000$ için ve ondüleli yüzeyde $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ durumundaki basınç eş eğrileri görülmektedir. Reynolds sayısının artışı ile birlikte kapalı hacim içerisindeki simetrik davranış bozulmaktadır. Çünkü artan Reynolds sayısı sisteme daha fazla enerji girişi anlamına gelmekte ve taşınım ile ısı transferi giderek artmaktadır.



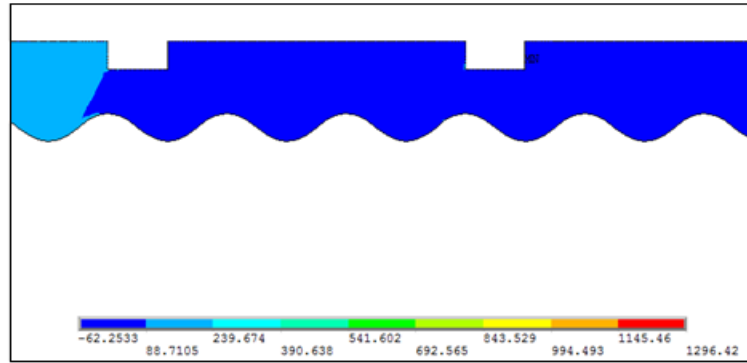
Şekil 5.23. $Re = 2000$ için kanaldaki eş basınç eğrileri ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.24'te bir yüzeyi ondüleli diğer yüzeyinde ısıtılmış bloklar bulunan bir kanalda $Re = 500$ için ve ondüleli yüzeyde $a = 0.01$ ve $p = 0.08$ durumundaki basınç eş eğrileri verilmiştir. Reynolds sayısının çok düşük olması, iletimle ısı transferinin etkisini daha çok hissettirmiş ve ısı transferinin daha çok bloklara yakın bölgelerde dağılmasına neden olmuştur.



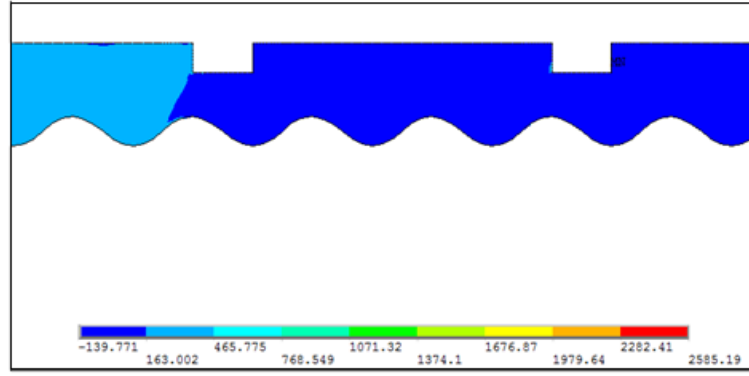
Şekil 5.24. $Re = 500$ için kanaldaki eş basınç eğrileri ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.25'te bir yüzeyi ondüleli diğer yüzeyinde ısıtılmış bloklar bulunan bir kanalda $Re = 1000$ için ve ondüleli yüzeyde $a = 0.01$ ve $p = 0.08$ durumundaki basınç eş eğrileri verilmiştir.



Şekil 5.25. $Re = 1000$ için kanaldaki eş basınç eğrileri ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$)

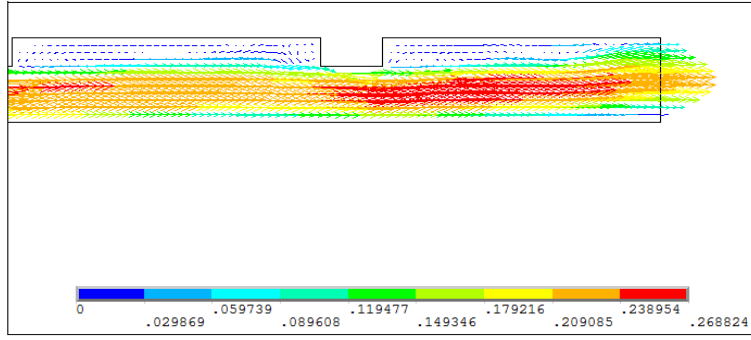
Şekil 5.26'da bir yüzeyi ondüleli diğer yüzeyinde ısıtılmış bloklar bulunan bir kanalda $Re = 2000$ için ve ondüleli yüzeyde $a = 0.01$ ve $p = 0.08$ durumundaki basınç eş eğrileri verilmiştir.



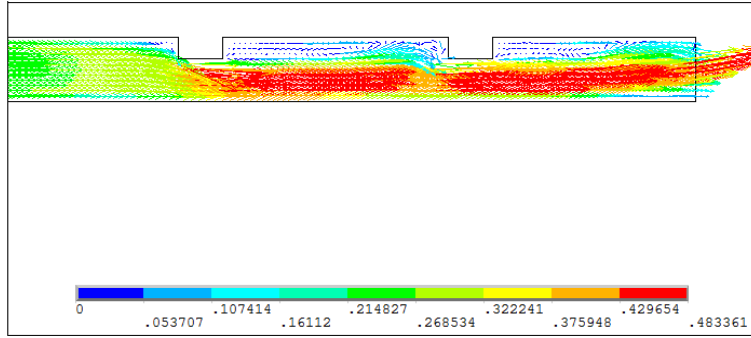
Şekil 5.26. $Re = 2000$ için kanaldaki eş basınç eğrileri ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$)

5.4. Ondülesiz Kanalda Akış İçin Sonuçlar

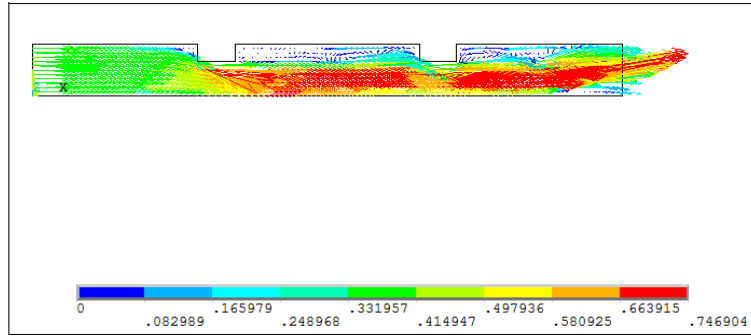
Aşağıda ondülesiz kanalda farklı Re sayıları için hız vektör değişimleri görülmektedir. Sıcak blokların akış üzerindeki etkisinin görülmesi için hız vektör dağılımları elde edilmiştir. Kanal giriş hızı arttıkça çıkış hız profili bozulmaktadır. Şekil 5.27, 28, 29, 30 ve 31’de ondülesiz kanalda farklı Reynolds sayılarında hız vektör değişimleri verilmiştir. Şekil 5.27’de düşük Reynolds sayılarında, kanalın alt bölgelerinde farklı dönme merkezleri görülmektedir. Saat ibreleri yönünde oluşan bu akış hareketi, hız vektörlerinin kapalı hacmin alt ve üst yüzeylerine doğru yayılmasına neden olmaktadır. Blok alt yüzeyin sonuna doğru akış hızı artmaktadır. Şekil 5.31’de görüldüğü gibi Reynolds sayısının 2500 değerine yükselmesi, dönme merkezlerinin sayısını artırarak hız vektörlerinin hareketlenmesine neden olmaktadır. Reynolds sayısının artması ile birlikte, akışkan kapalı hacim içerisine daha fazla nüfuz ederek yukarıya doğru yayılmaktadır. Reynolds sayısının artması akışı şiddetlendirerek, hacim içerisindeki dönme merkezlerinin artmasına ve hız vektörlerinin yüzeyin kenarlarına daha fazla nüfuz etmesine neden olmaktadır.



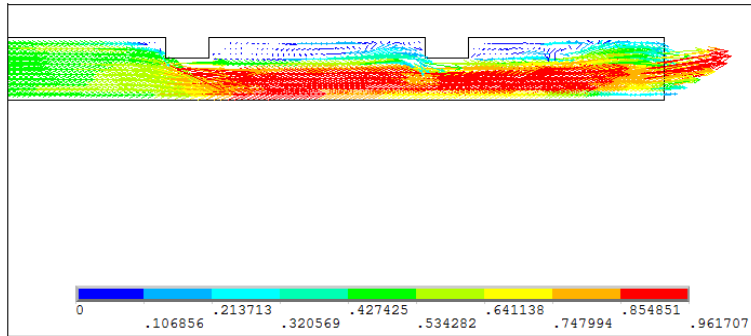
Şekil 5.27. $Re = 500$ için ondülesiz kanalda hız vektörleri



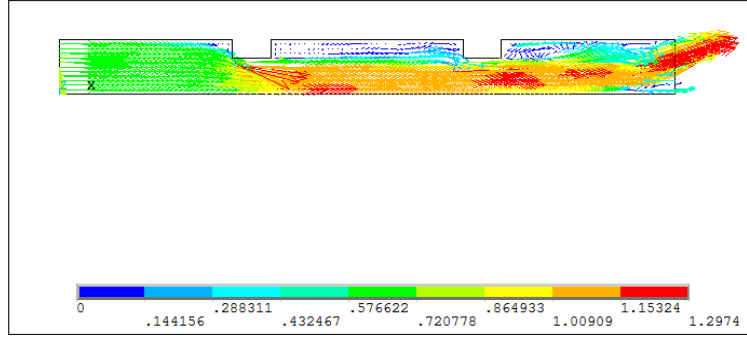
Şekil 5.28. $Re = 1000$ için ondülesiz kanalda hız vektörleri



Şekil 5.29. $Re = 1500$ için ondülesiz kanalda hız vektörleri

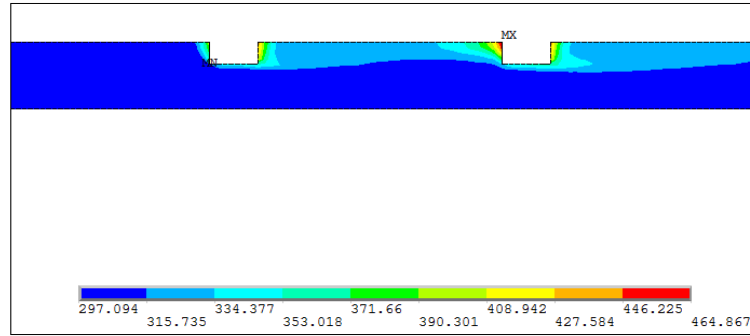


Şekil 5.30. $Re = 2000$ için ondülesiz kanalda hız vektörleri

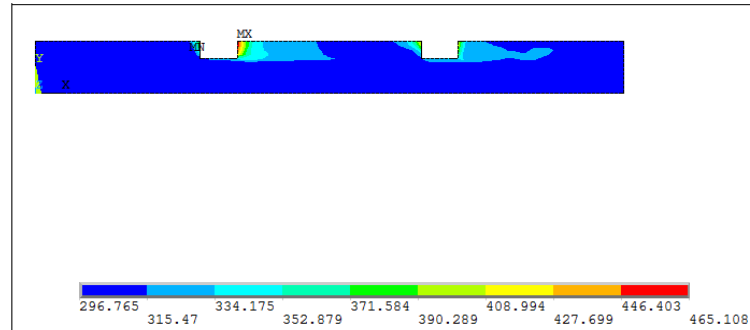


Şekil 5.31. $Re = 2500$ için ondülesiz kanalda hız vektörleri

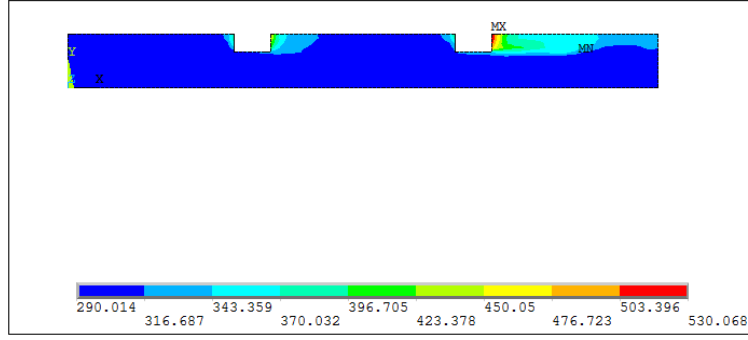
Şekil 5.32, 33, 34, 35'te ondülesiz (alt yüzeyi düz) kanal için farklı Reynolds sayılarında ($Re = 1000-1500-2000-2500$) sıcaklık eş eğrileri görülmektedir. Reynolds sayısı $Re = 1000$ iken blok yüzeylerinde maksimum sıcak bölgeler görülmektedir. Reynolds sayısı artırılıp $Re = 1500$ yapıldığında 2. bloktaki maksimum sıcaklıktaki bölge azalmakta hemen hemen yok olmaktadır. Akışkan hızı artırılıp $Re = 2000$ olduğunda 2. blok üst sağ köşesinde yine maksimum sıcak bölge oluşmaktadır. $Re = 2000$ 'de ise 2. bloktaki maksimum sıcak bölge kaybolmakta ve 1. blok üst sağ köşesinde maksimum sıcak bölge görülmektedir.



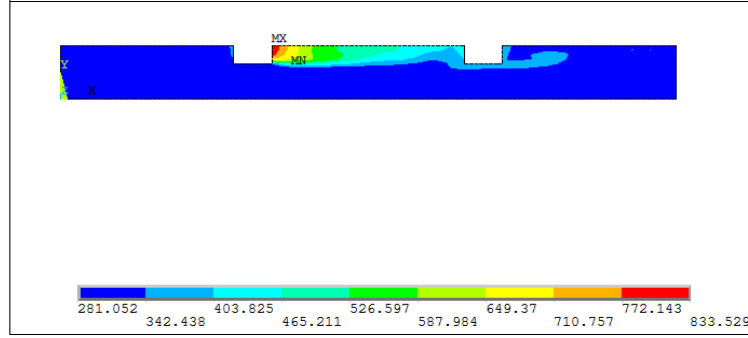
Şekil 5.32. $Re = 1000$ için ondülesiz kanalda eş sıcaklık eğrileri



Şekil 5.33. $Re = 1500$ için kanaldaki sıcaklık eş eğrileri



Şekil 5.34. Re = 2000 için kanaldaki sıcaklık eş eğrileri

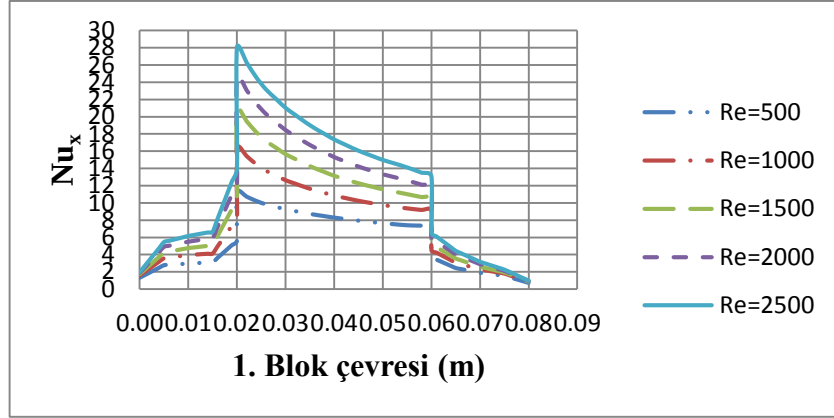


Şekil 5.35. Re = 2500 için ondülesiz kanalda sıcaklık eş eğrileri

5.5. Nusselt Sayısının Analizi

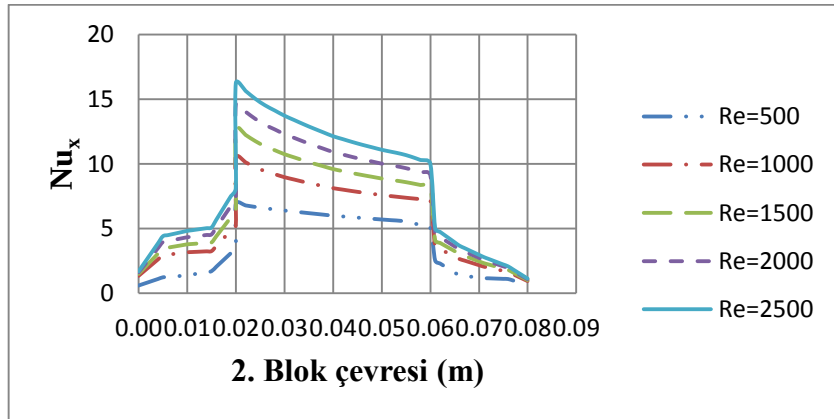
5.5.1. Ondülesiz kanalda Nusselt Sayısı Analizi

Aşağıdaki grafiklerde üst yüzeyinde ısıtılmış bloklar bulunan dikdörtgen bir kanalda farklı Re sayılarında blok çevrelerindeki yerel ve ortalama Nusselt sayılarının değişimleri verilmiştir. Şekil 5.36’da ondülesiz kanalda farklı Re sayılarında 1. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x ’in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri sol alt yüzeyde birden yükselmekte ve maksimum değeri almaktadır. En düşük değer de blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır. Re sayısı arttıkça Nu_x değerlerinin aynı değişimle arttığı gözlenmiştir. Örneğin maksimum Yerel Nusselt sayısı blok sol alt köşesinde Re = 2500 için $Nu_x = 28$ olarak elde edilirken en düşük değer blok sağ üst köşesinde Re = 500 için $Nu_x = 1.5$ olarak meydana gelmiştir. Bu en düşük değer diğer Re sayılarında da (Re = 1000, 1500, 2000, 2500) değişmemiştir.



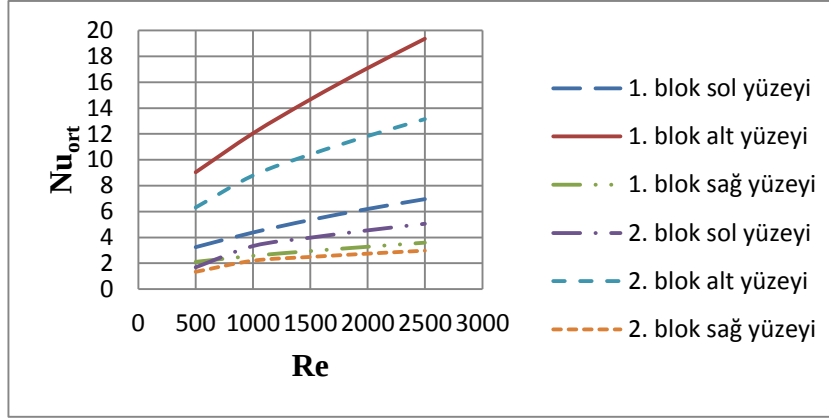
Şekil 5.36. Ondülesiz kanalda 1. Bloкта Yerel Nusselt sayısının Re sayısı ile değişimi

Şekil 5.37’de ondülesiz kanalda farklı Re sayılarında 2. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x ’in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri sol alt yüzeyde birden yükselmekte ve maksimum değeri almaktadır. En düşük değer de blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır. Re sayısı arttıkça Nu_x değerleri aynı değişimle artmaktadır. Örneğin maksimum Yerel Nusselt sayısı blok sol alt köşesinde $Re = 2500$ için $Nu_x = 16.3$ olarak elde edilirken en düşük değer blok sağ üst köşesinde $Re = 500$ için $Nu_x = 1.2$ olarak meydana gelmiştir. 2. blok çevresindeki Yerel Nusselt sayısı değerlerinin 1. blok çevresindeki Yerel Nusselt sayısı değerlerine göre azaldığı gözlenmiştir. 2. bloktaki Nu_x değerleri orantılı olarak (yaklaşık olarak 2/3) 1. Bloktakine göre daha küçük olarak meydana gelmiştir.



Şekil 5.37. Ondülesiz kanalda 2. Bloкта Yerel Nusselt sayısının Re sayısı ile değişimi

Şekil 5.38’de ondülesiz kanalda blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayılarının Reynolds sayısına göre değişimi görülmektedir. Grafik ortalama Nusselt sayısı değerlerinin Reynolds sayısı ile arttığını göstermektedir. En büyük değerler 1. blok alt yüzeyinde ve en küçük değerler 2. blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır.



Şekil 5.38. Ondülesiz kanalda farklı Re sayılarında blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısı değişimi

5.5.2. Ondüleli Kanalda Yerel Nusselt Sayıları Analizi

Aşağıdaki grafiklerde bir yüzeyi ondüleli diğer yüzeyinde ısıtılmış bloklar bulunan bir kanalda blok çevrelerindeki yerel Nu_x sayısı değişimleri ifade edilmiştir. Isıtılmış bloklardan akışkana geçen ısı transferini karakterize eden bu ifadeler Navier-Stokes ve enerji denklemlerinin çözümü sonucunda elde edilen sıcaklık dağılımından elde edilmiştir. Buna göre genel olarak yerel Nu_x sayısı 1. bloğun sol alt köşesinde en yüksek oluşmaktadır. Bloğun alt yüzeyinde akış yönünde azalmakta ve bu azalmanın blok sağ yüzeyinde de devam ettiği gözlenmektedir. Ayrıca blokların alt yüzeylerindeki yerel Nu_x sayısının değerleri, blokların yan yüzeylerine oranla daha yüksek değerlerdedir. Bunun nedeni sınır tabakasının bozulması ve yırtılması sonucu blok yüzeyinden akışkana olan ısı transferinin artması ile ilişkilidir [4]. Aynı değişim 2. blok yüzeyinde de oluşmaktadır.

Kanaldaki ısı transfer değişimini ondüleli yüzeyin genlik ve dalga boyuna göre kıyaslayacak olursak en büyük Nu_x sayısı ondüleli kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ olması durumunda $Re = 2500$ iken 1. blokta gözlenmektedir.

$a = 0.005$ ve $p = 0.02, 0.04$ ve 0.08 olduğu durumlarda Re sayısının analizde kullanılan bütün değerleri ($Re = 500, 1000, 1500, 2000, 2500$) için genliğin sabit tutulup dalga boyunun artırılmasıyla yerel Nu_x sayılarında azalma gözlenmiştir. Re sayısı arttıkça da Nu_x sayısında artış oluşmuştur.

$a = 0.01$ ve $p = 0.02, 0.04$ ve 0.08 olduğu durumlarda ise en büyük Nu_x değeri $Re = 2500$ ve $p = 0.04$ değerleri için gerçekleşmiştir. Yine önceki durum gibi Re sayısı arttıkça Nu_x sayısının da arttığı gözlenmiştir.

$a = 0.02$ ve $p = 0.02, 0.04$ ve 0.08 olduğu durumlarda ise farklı bir sonuçlar gözlenmektedir. Bu farklılık genlik 0.02 ve dalga boyu 0.04 iken göze çarpmaktadır. Çünkü burada akışın katı blok yüzeyine çarpmasıyla oluşan etki ondüleli yüzeyin genliğinin de artması ile iyice belirginleşmiştir. Burada en büyük Nu_x değeri $Re=1500$ için gözlenmiştir. Re sayısı arttırıldığında yani $Re = 2000$ ve $Re = 2500$ olduğu zaman Nu_x değerleri de azalmakta ve tepe değer $Re = 500$ için olan değere gelmektedir.

Dalga boyunun sabit tutulup genliğin arttırılması durumunda ($p = 0.02$ ve $a = 0.005, 0.01, 0.02$) analizde kullanılan tüm Re sayılarında blok yüzeylerindeki yerel Nu_x sayıları artmaktadır. $p = 0.08$ 'de sabit tutulup genlik arttırıldığı zaman Re sayısının arttırılmasıyla yine yerel Nu_x sayısında artış gözlenmektedir.

Bu düzenli durumların aksine düzensiz bir durum $p = 0.04$ ve $a = 0.02$ olduğu durumda ortaya çıkmaktadır. $Re = 2000$ ve 2500 değerlerinde blok yüzeylerindeki Nu_x için tepe değer $Re = 500$ olduğu durum ile aynı değerde olduğu görünmektedir..

Yapılan değerlendirmeler sonucunda dalga boyu sabit tutulup genlik arttırıldığında Nu sayılarının arttığı, genlik sabit tutulup dalga boyu iki katına çıkarıldığında ortalama Nu sayısının azaldığı tespit edilmiştir. Aşağıdaki tablolarda farklı genlik ve dalga boylarında $Re = 2500$ için 1. ve 2. blok yüzeylerindeki yerel Nu_x sayılarının tepe değerleri örnek olarak gösterilmektedir. Tablo 5.1'de $Re = 2500$ için ondüleli kanalda farklı genlik ve dalga boylarında her iki blok yüzeylerindeki maksimum Nu_x değerleri verilmiştir.

Tablo 5.1. Ondüleli kanalda farklı genlik ve dalga boyu için blok yüzeylerindeki yerel Nu_x tepe değerleri ($Re = 2500$)

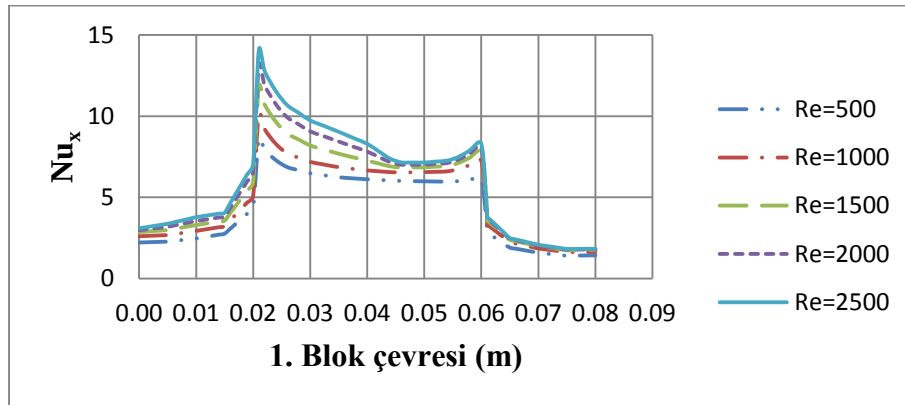
			Nu Sayısı	
Re Sayısı	Genlik	Dalga Boyu	1.Blok	2.Blok
2500	0.005	0.02	14.1	12.2
		0.04	12.2	11
		0.08	10.5	9.6
	0.01	0.02	16	13.5
		0.04	34	23.2
		0.08	27	19.5
	0.02	0.02	18	14.3
		0.04	16	15
		0.08	45	27

Tablo 5.2'de $Re = 2500$ için ondüleli kanalda farklı genlik ve dalga boylarında her iki blok yüzeylerindeki maksimum Nu_x değerleri verilmiştir.

Tablo 5.2. Ondüleli kanalda farklı dalga boyu ve genlik için blok yüzeylerindeki yerel Nu_x tepe değerleri ($Re = 2500$)

			Nu Sayısı	
Re Sayısı	Dalga Boyu	Genlik	1. Blok	2. Blok
2500	0.02	0.005	14.1	12.2
		0.01	16	13.5
		0.02	18	14.3
	0.04	0.005	12.2	11
		0.01	34	23.2
		0.02	16	15
	0.08	0.005	10.5	9.6
		0.01	27	19.5
		0.02	45	27

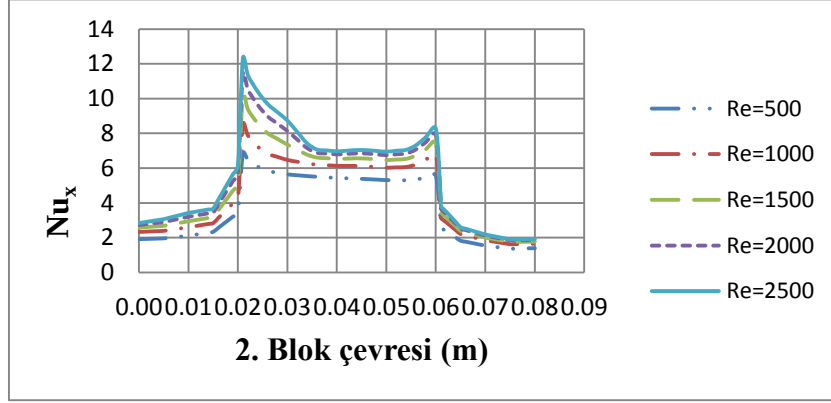
Şekil 5.39’da ondüleli kanalda $a = 0.005$ ve $p = 0.02$ durumu için farklı Re sayılarında 1. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x ’in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri sol alt köşesinde birden yükselmekte ve maksimum değeri almaktadır. En düşük değer de blok sağ üst köşesinde oluşmaktadır. Re sayısı arttıkça Nu_x değerleri aynı değişimle artmaktadır. Örneğin maksimum Yerel Nusselt sayısı blok sol alt köşesinde $Re = 2500$ için $Nu_x = 14$ olarak elde edilirken en düşük değer blok sağ üst köşesinde $Re = 500$ için $Nu_x = 1.5$ olarak meydana gelmiştir.



Şekil 5.39. 1.Blok üzerinde Nu_x sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.005$ ve $p = 0.02$)

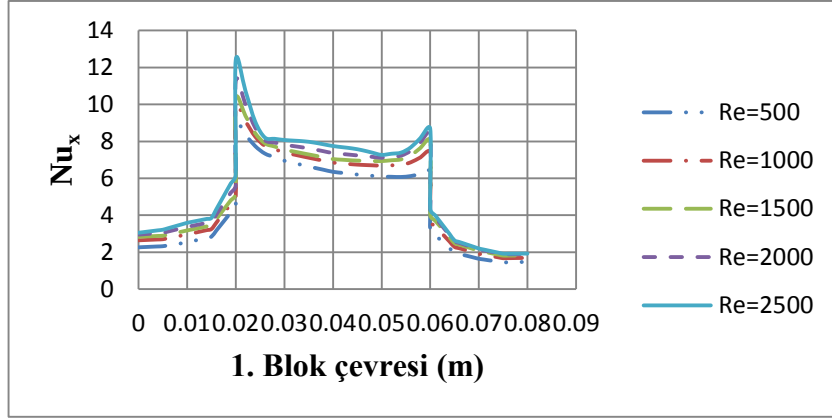
Şekil 5.40’ta ondüleli kanalda $a = 0.005$ ve $p = 0.02$ durumu için farklı Re sayılarında 2. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x ’in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri sol alt yüzeyde birden yükselmekte ve maksimum değeri almaktadır. En düşük değer de blok sağ üst köşesinde oluşmaktadır. Re sayısı arttıkça Nu_x değerleri aynı değişimle artmaktadır.

Örneğin maksimum Yerel Nusselt sayısı blok sol alt köşesinde $Re = 2500$ için $Nu_x = 12.5$ olarak elde edilirken en düşük değer de blok sağ üst köşesinde $Re = 500$ için $Nu_x = 1.2$ olarak meydana gelmiştir. 2. blok çevresindeki Yerel Nusselt sayısı değerlerinin 1. blok çevresindeki Yerel Nusselt sayısı değerlerine göre azaldığı gözlenmiştir.



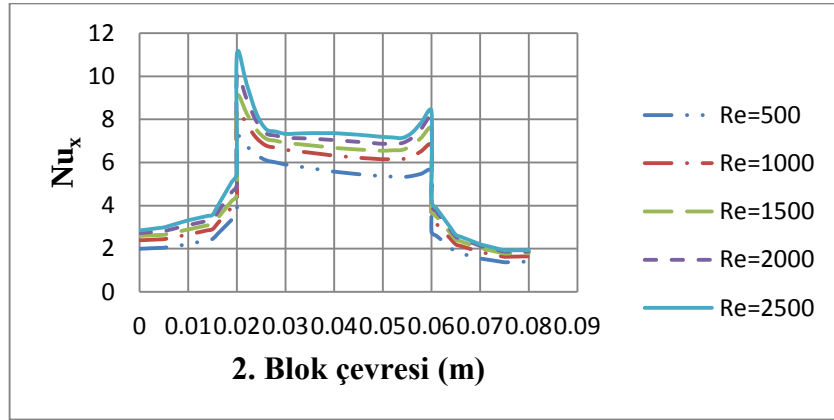
Şekil 5.40. 2. Blok üzerinde Nu_x sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.005$ ve $p = 0.02$)

Şekil 5.41’de ondüleli kanalda $a = 0.005$ ve $p = 0.04$ durumu için farklı Re sayılarında 1.bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x ’in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri sol alt köşede birden yükselmekte ve maksimum değeri almaktadır. En düşük değer de blok sağ üst köşesinde oluşmaktadır. Re sayısı arttıkça Nu_x değerleri aynı değişimle artmaktadır. Örneğin maksimum Yerel Nusselt sayısı blok sol alt köşesinde $Re = 2500$ için $Nu_x = 12.5$ olarak elde edilirken en düşük değer de blok sağ üst köşesinde $Re = 500$ için $Nu_x = 1.2$ olarak meydana gelmiştir. 2. blok çevresindeki Yerel Nusselt sayısı değerlerinin 1. blok çevresindeki Yerel Nusselt sayısı değerlerine göre azaldığı gözlenmiştir.



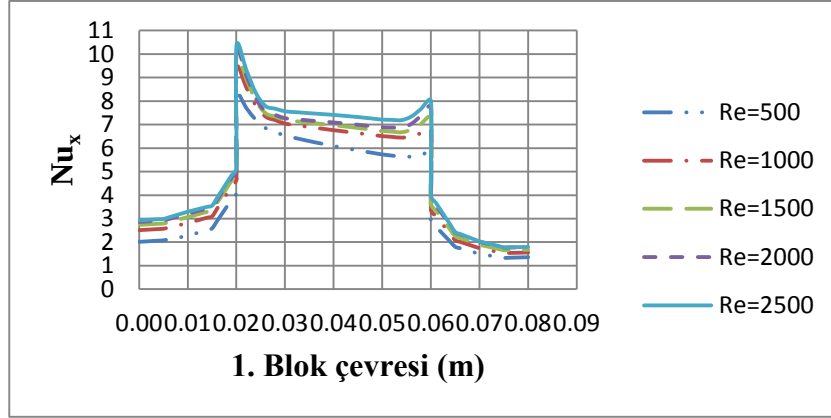
Şekil 5.41. 1.Blok üzerinde Nu_x sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.005$ ve $p = 0.04$)

Şekil 5.42’de ondüveli kanalda $a = 0.005$ ve $p = 0.04$ durumu için farklı Re sayılarında 2. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x ’in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri sol alt yüzeyde birden yükselmekte ve maksimum değeri almaktadır. Burada maksimum Yerel Nusselt sayısı blok sol alt köşesinde $Re = 2500$ ’de $Nu_x = 8.4$ olarak oluşmaktadır. En düşük değer de blok sağ üst köşesinde $Re = 500$ ’de $Nu_x = 1.6$ olarak oluşmaktadır. Re sayısı arttıkça Nu_x değerlerinin aynı değişimle arttığı gözlenmiştir.



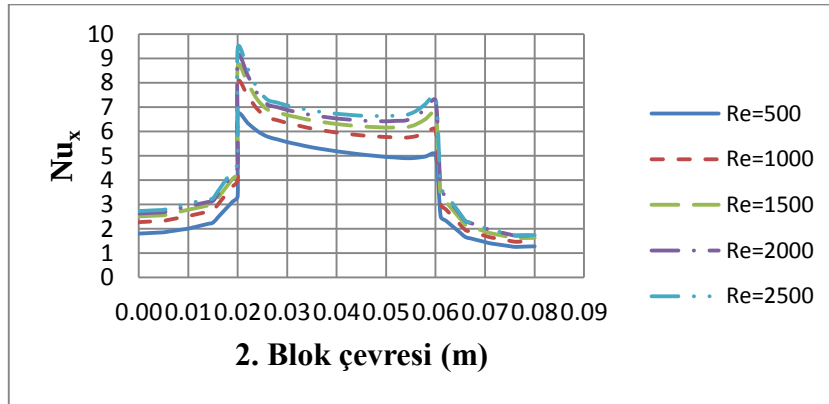
Şekil 5.42. 2. Blok üzerinde Nu_x sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.005$ ve $p = 0.04$)

Şekil 5.43’de ondüveli kanalda $a = 0.005$ ve $p = 0.08$ durumu için farklı Re sayılarında 1. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x ’in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri sol alt yüzeyde birden yükselmekte ve maksimum değeri almaktadır. En düşük değer de blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır. 1. Blok yüzeyindeki maksimum Yerel Nusselt sayısı $Nu_x = 10.4$ olarak $Re = 2500$ ’de blok sol alt köşesinde ve minimum Yerel Nusselt sayısı $Re = 500$ ’de blok sağ üst köşesinde $Nu_x = 1.7$ olarak meydana gelmiştir. Re sayısı arttıkça Nu_x değerleri aynı değişimle artmaktadır.



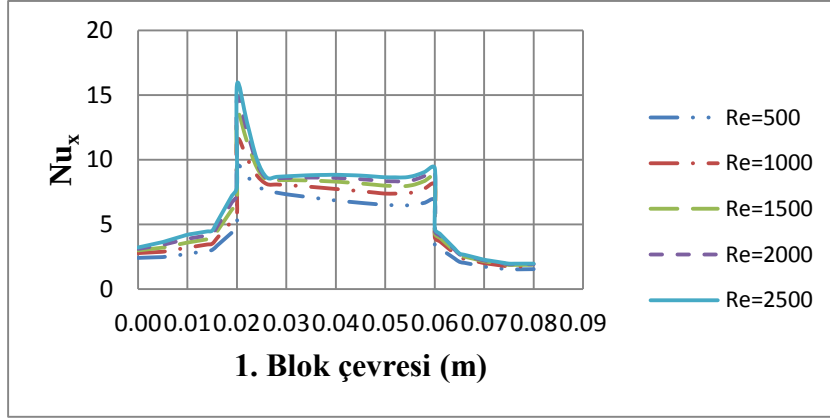
Şekil 5.43. 1. Blok üzerinde Nu_x sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.005$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.44'te ondüleli kanalda $a = 0.005$ ve $p = 0.08$ durumu için farklı Re sayılarında 2. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x 'in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Yerel Nusselt sayısı Nu_x değeri sol alt yüzeyde birden yükselmekte ve maksimum değeri almaktadır. $Re = 2500$ 'de blok sol alt köşesinde maksimum Yerel Nusselt sayısı $Nu_x = 9.4$ olarak gözlenmektedir. En düşük değer de blok sağ üst köşesinde $Re = 500$ 'de $Nu_x = 1.5$ olarak oluşmaktadır. Re sayısı arttıkça Nu_x değerleri aynı değişimle artmaktadır.



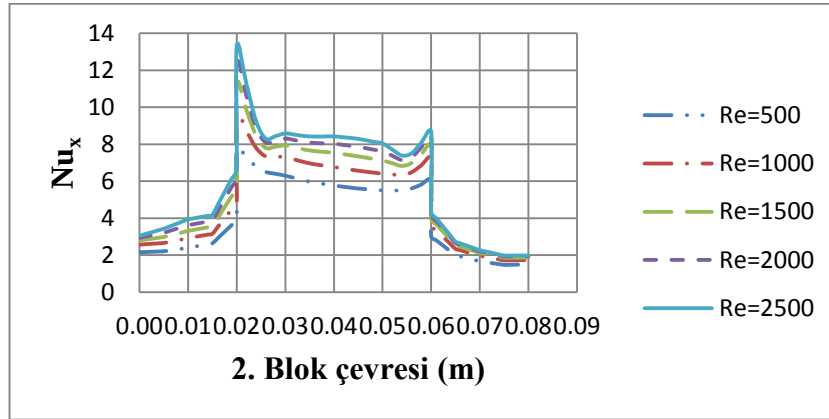
Şekil 5.44. 2. Blok üzerinde Nu_x sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.005$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.45'te ondüleli kanalda $a = 0.01$ ve $p = 0.02$ durumu için farklı Re sayılarında 1. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x 'in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri sol alt yüzeyde birden yükselmekte ve maksimum değeri almaktadır. En düşük değer de blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır. Örneğin maksimum Yerel Nusselt sayısı blok sol alt köşesinde $Re = 2500$ için $Nu_x = 16$ elde edilirken en düşük değer de blok sağ üst köşesinde $Re = 500$ için $Nu_x = 2$ olarak meydana gelmiştir. Re sayısı arttıkça Nu_x değerleri aynı değişimle artmaktadır.



Şekil 5.45. 1.Blok üzerinde Nu_x sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.01$ ve $p = 0.02$)

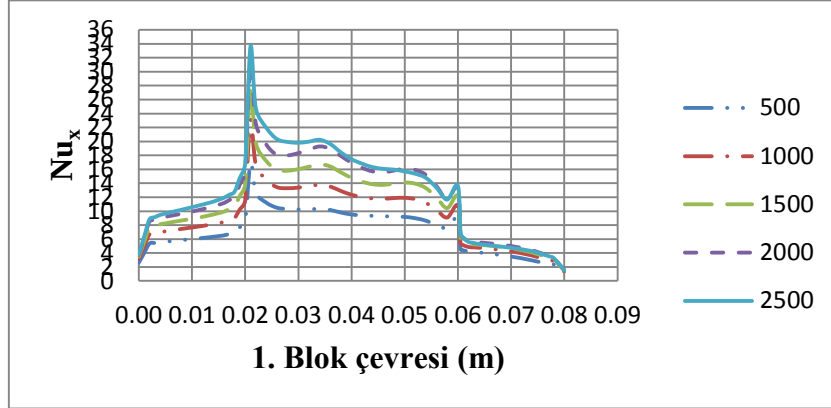
Şekil 5.46'da ondüleli kanalda $a = 0.01$ ve $p = 0.02$ durumu için farklı Re sayılarında 2. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x 'in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri sol alt yüzeyde birden yükselmekte ve maksimum değeri almaktadır. En düşük değer de blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır. Örneğin maksimum Yerel Nusselt sayısı blok sol alt köşesinde $Re = 2500$ için $Nu_x = 13.5$ olarak elde edilirken en düşük değer blok sağ üst köşesinde $Re = 500$ için $Nu_x = 1.5$ olarak meydana gelmiştir. Re sayısı arttıkça Nu_x değerleri aynı değişimle artmaktadır.



Şekil 5.46. 2. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.01$ ve $p = 0.02$)

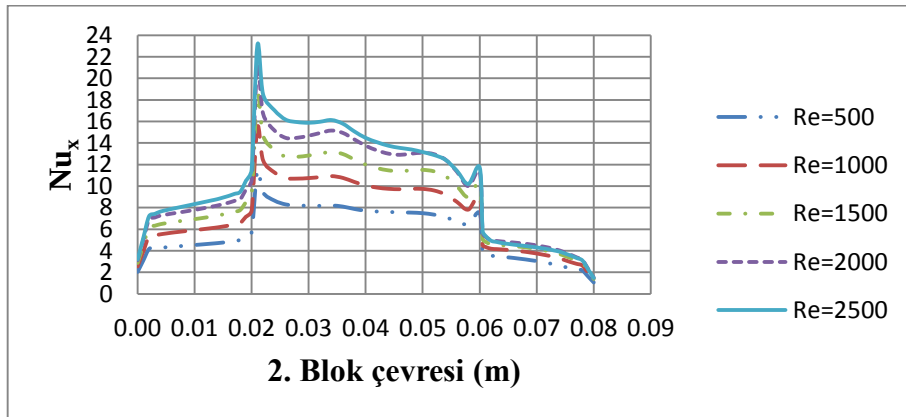
Şekil 5.47'de ondüleli kanalda $a = 0.01$ ve $p = 0.04$ durumu için farklı Re sayılarında 1. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x 'in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri sol alt yüzeyde birden yükselmekte ve maksimum değeri almaktadır. En düşük değer de blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır. Örneğin $Re = 2500$ 'de blok sol alt köşesinde maksimum Yerel Nusselt sayısı $Nu_x = 33.6$ olarak elde edilirken, en düşük Yerel Nusselt sayısı da $Re = 500$ 'de blok sağ üst köşesinde $Nu_x = 1.6$ olarak oluşmaktadır. Burada genliğin iki katına çıkmasıyla

maksimum Yerel Nusselt sayısının hemen hemen iki katına yükseldiği gözlenmiştir. Yukarıdaki durumlara benzer olarak Re sayısı arttıkça Nu_x değerleri aynı değişimle artmaktadır.



Şekil 5.47. 1. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.01$ ve $p = 0.04$)

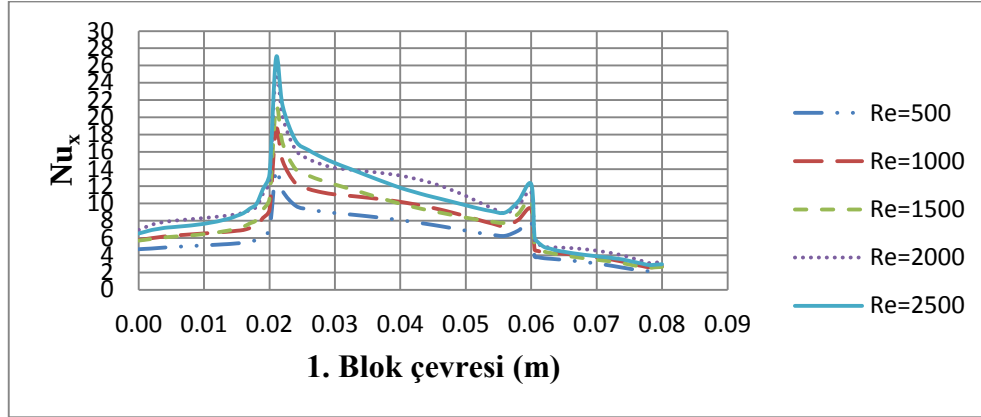
Şekil 5.48’de ondüleli kanalda $a = 0.01$ ve $p = 0.04$ durumu için farklı Re sayılarında 2. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x ’in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri sol alt yüzeyde birden yükselmekte ve maksimum değeri almaktadır. En düşük değer de blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır. Re sayısı arttıkça Nu_x değerleri aynı değişimle artmaktadır. Burada da 1. Bloktaki olaylara benzer olarak genliğin iki katına çıkarılmasıyla blok yüzeyindeki maksimum Yerel Nusselt sayısı da yaklaşık olarak iki katına çıkararak $Nu_x = 23$ değerini almış ve blok sol alt köşesinde oluşmuştur. Yine önceki durumlara benzer olarak en düşük Yerel Nusselt sayısı blok sağ üst köşesinde $Nu_x = 1.5$ olarak $Re = 500$ ’de gözlenmiştir.



Şekil 5.48. 2. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.01$ ve $p = 0.04$)

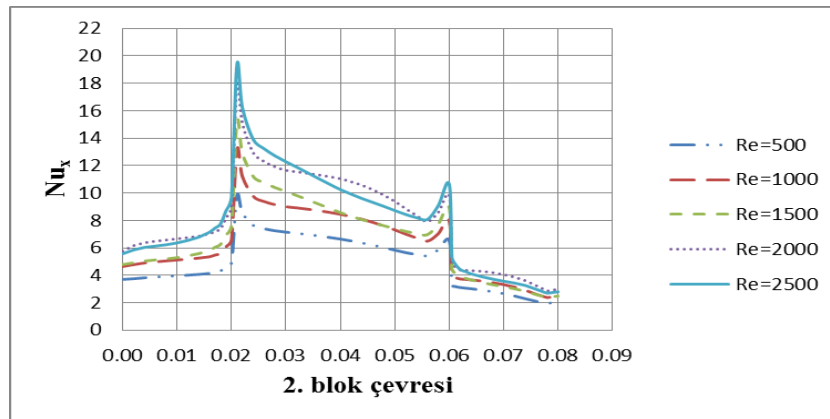
Şekil 5.49’da ondüleli kanalda $a = 0.01$ ve $p = 0.08$ durumu için farklı Re sayılarında 1. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x ’in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri

sol alt köşesinde birden yükselmekte ve maksimum değerini $Re = 2500$ 'de $Nu_x = 27$ olarak almaktadır. En düşük değer de blok sağ üst köşesinde $Re = 500$ 'de $Nu_x = 2.2$ olarak oluşmaktadır. Re sayısının artmasıyla da Nu_x değerlerinin aynı değişimle arttığı görülmüştür.



Şekil 5.49. 1. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$)

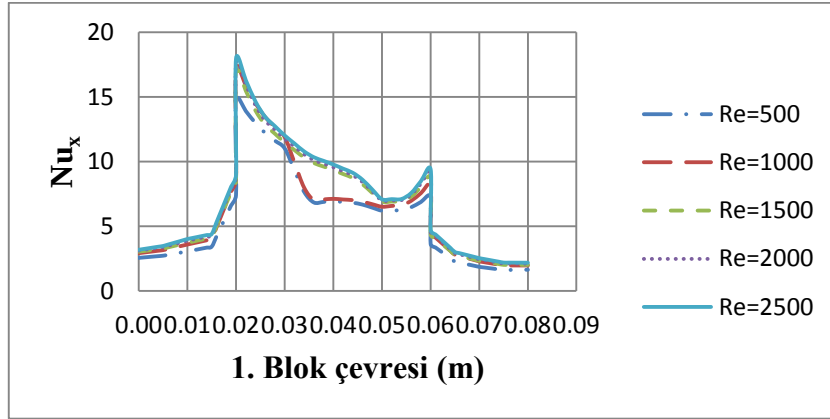
Şekil 5.50'de ondüleli kanalda $a = 0.01$ ve $p = 0.08$ durumu için farklı Re sayılarında 2. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x 'in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri sol alt yüzeyde birden yükselmekte ve maksimum değer $Re = 2500$ 'de sol alt köşede $Nu_x = 19.5$ olmaktadır. En düşük değer de $Re = 500$ 'de blok sağ üst köşesinde $Nu_x = 2$ olarak oluşmaktadır. Re sayısı arttıkça Nu_x değerleri aynı değişimle artmaktadır.



Şekil 5.50. 2. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$)

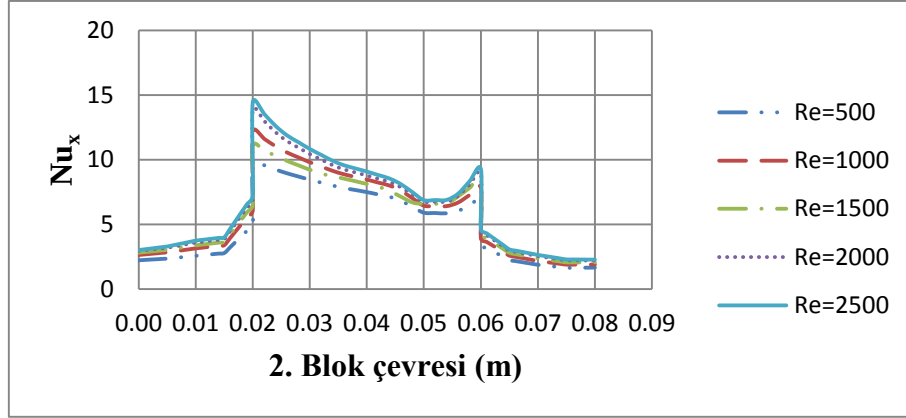
Şekil 5.51'de ondüleli kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.02$ durumu için farklı Re sayılarında 1. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x 'in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri sol alt yüzeyde birden yükselmekte ve maksimum değeri almaktadır. Maksimum Yerel Nusselt sayısı $Nu_x = 18$ olarak blok sol alt köşesinde $Re = 2500$ 'de meydana gelmektedir.

En düşük değer de blok sağ yüzeyinde $Re = 500$ 'de blok sağ üst köşesinde $Nu_x = 2.2$ olarak oluşmaktadır. Re sayısı arttıkça Nu_x değerleri aynı değişimle artmaktadır. Ancak burada $Re = 500$ ve 1000 olması durumunda blok alt yüzeyi yaklaşık olarak ortasında yerel Nusselt sayısı diğer durumların aksine ani olarak düşmekte yüzeyin sonuna doğru normal değerine ulaşmaktadır.



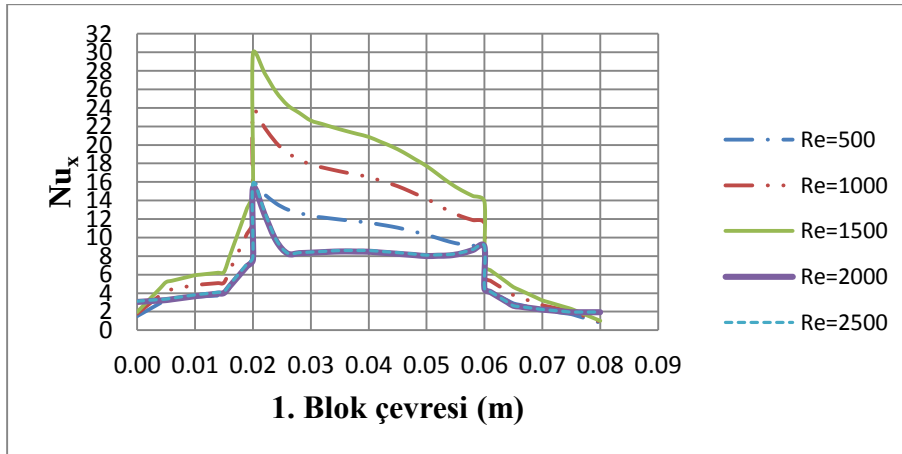
Şekil 5.51. 1. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.02$)

Şekil 5.52'de ondüleli kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.02$ durumu için farklı Re sayılarında 2. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x 'in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri sol alt yüzeyde birden yükselmekte ve maksimum değeri almaktadır. $Re = 2500$ 'de maksimum yerel Nusselt sayısı $Nu_x = 14.5$ olarak blok sol alt köşesinde görülmektedir. En düşük değer de blok sağ üst köşesinde $Re = 500$ 'de $Nu_x = 2.2$ olarak oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan bütün Reynolds sayılarında benzer bir değişim görülmektedir. Yani maksimum Yerel Nusselt sayısı blok sol alt köşesinde, minimum Yerel Nusselt sayısı blok sağ üst köşesinde oluşmaktadır.



Şekil 5.52. 2. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.02$)

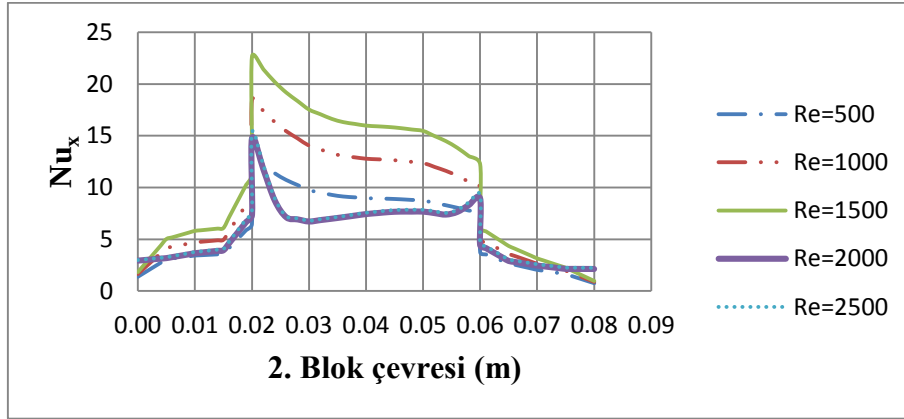
Şekil 5.53'te ondüzel kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.04$ durumu için farklı Re sayılarında 1. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x 'in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri sol alt yüzeyde birden yükselmekte ve maksimum değeri almaktadır. En düşük değer de blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır. Re sayısı arttıkça Nu_x değerleri aynı değişimle artmaktadır. Burada farklı bir durum göze çarpmaktadır. $Re = 2000$ ve $Re = 2500$ iken blok çevresindeki yerel Nusselt sayısı Nu_x değerleri artmayıp azalmaktadır. Ayrıca $Re = 2000$ ve $Re = 2500$ için Nu_x değerleri aynı kalmaktadır. Maksimum Yerel Nusselt sayısı $Re = 1500$ 'de $Nu_x = 29.8$ olarak blok sol alt köşesinde oluşmaktadır. En düşük Yerel Nusselt sayısı $Nu_x = 1$ olarak blok sağ üst köşesinde oluşmaktadır.



Şekil 5.53. 1. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.04$)

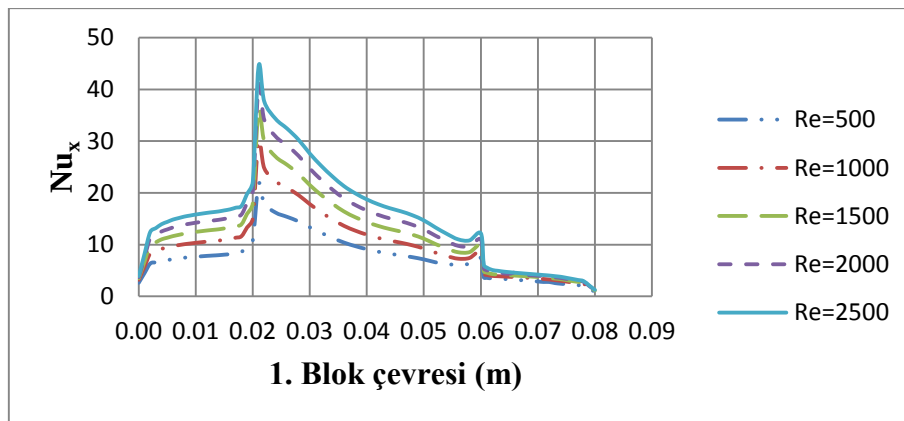
Şekil 5.54'te ondüzel kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.04$ durumu için farklı Re sayılarında 2. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x 'in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri sol alt yüzeyde birden yükselmekte ve maksimum değeri almaktadır. En düşük değer de blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır. Re sayısı arttıkça Nu_x değerleri aynı değişimle artmaktadır.

Burada da 1. bloktakine benzer bir durum göze çarpmaktadır. Yani $Re = 2000$ ve $Re = 2500$ iken blok çevresindeki yerel Nusselt sayısı Nu_x değerleri artmayıp azalmaktadır. Ayrıca $Re = 2000$ ve $Re = 2500$ için Nu_x değerleri aynı kalmaktadır. Maksimum Yerel Nusselt sayısı $Nu_x = 22.6$ olarak $Re = 1500$ 'de blok sol alt köşesinde meydana gelmektedir. Blok sağ üst köşesinde de $Re = 500$ 'de en düşük Yerel Nusselt sayısı $Nu_x = 1$ olarak oluşmaktadır.



Şekil 5.54. 2. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.04$)

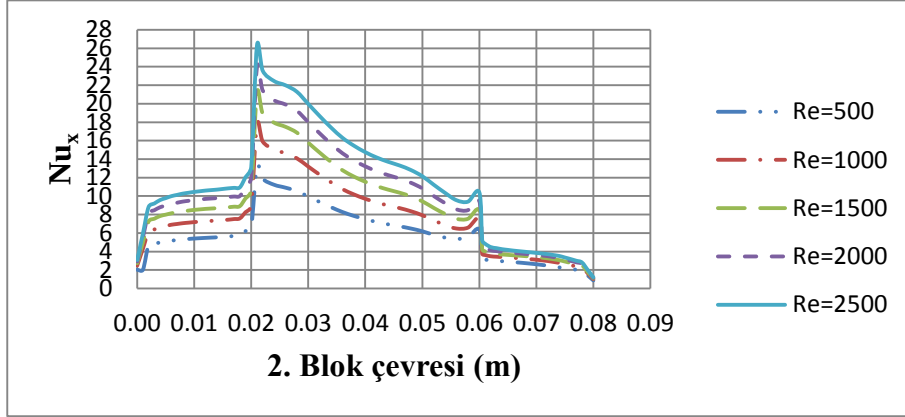
Şekil 5.55'te ondüleli kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ durumu için farklı Re sayılarında 1. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x 'in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri sol alt köşede birden yükselmekte ve maksimum Yerel Nusselt sayısı $Re = 2500$ 'de $Nu_x = 44.4$ olmaktadır. En düşük değer de blok sağ üst köşesinde incelenen bütün Re sayılarında $Nu_x = 2$ olarak oluşmaktadır. Re sayısı arttıkça Nu_x değerleri aynı değişimle artmaktadır.



Şekil 5.55. 1. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.56'da ondüleli kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ durumu için farklı Re sayılarında 2. bloktaki yerel Nusselt sayısı Nu_x 'in blok çevresine göre değişimi görülmektedir. Nu_x değeri blok sol alt köşesinde birden yükselmekte ve maksimum değeri almaktadır. Maksimum

Yerel Nusselt sayısı $Nu_x = 26.3$ olarak $Re = 2500$ 'de blok sol alt köşesinde oluşmaktadır. En düşük değer de blok sağ üst köşesinde çalışmada kullanılan tüm Reynolds sayılarında $Nu_x = 2$ olarak görülmektedir. Re sayısı arttıkça Nu_x değerleri aynı değişimle artmaktadır.



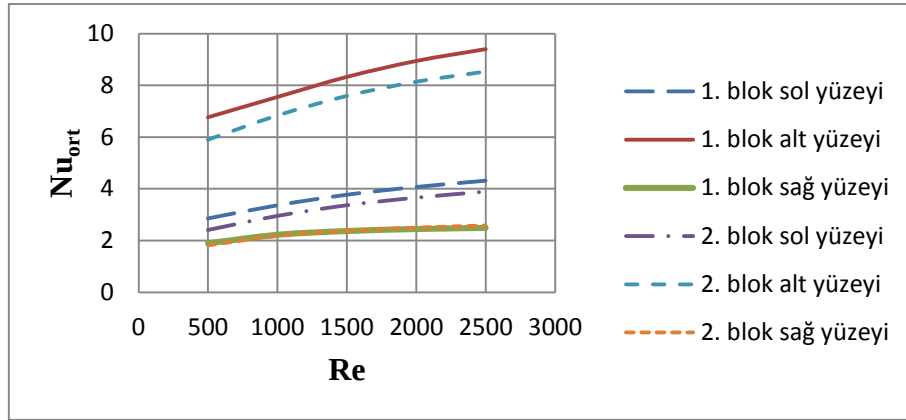
Şekil 5.56. 2. Blok üzerinde Nu_x sayısının farklı Re sayılarında değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

5.5.3. Ondüleli Kanalda Ortalama Nusselt Sayısının Analizi

Aşağıdaki şekillerde ondüleli kanalda blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayılarının Reynolds sayılarına göre değişimleri görülmektedir. Bu grafik değişimlerine göre genel olarak bloklar yüzeylerindeki ortalama Nu sayıları için en büyük değerlerin 1. Blok alt yüzeyinde olduğu söylenebilir. Bu yüzeyi sırasıyla 2. blok alt yüzeyi, 1. blok sol yüzeyi, 2. blok sol yüzeyi, 1. blok sağ yüzeyi, 2. blok sağ yüzeyi takip etmektedir. Bununla birlikte 1. Blok ve 2. Blok sağ yüzeylerindeki ortalama Nu sayıları hemen hemen eşittir. Grafikler lineer bir özellik göstermektedir. Yani Re sayısının artışına bağlı olarak artış göstermektedir.

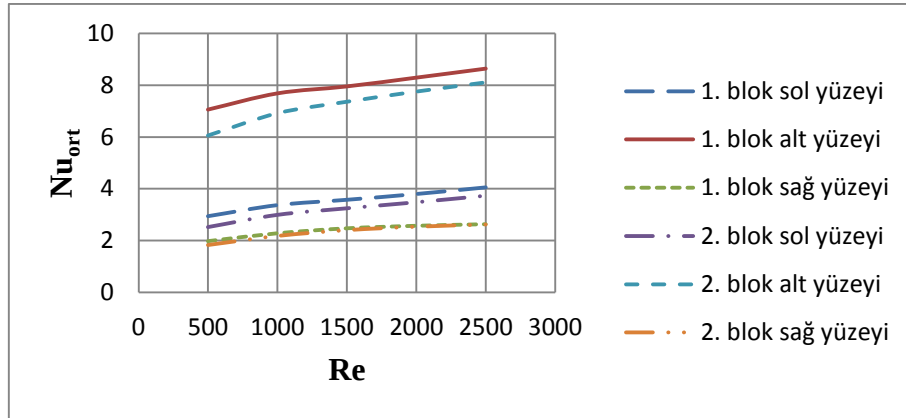
Farklı bir özelliği yine genliğin $a = 0.02$ ve dalga boyunun $p = 0.04$ olduğu durumda görmekteyiz. Burada 1. blok sağ yüzeyi dışında ortalama Nu sayısı Nu_{ort} 1. ve 2. blok alt yüzeylerinde en büyük değerdedir. Değişim lineer değildir. $Re = 1500$ 'de tepe değerde olan ortalama Nu sayısı $Re = 2000$ ve $Re = 2500$ iken azalmaktadır. 1. blok sağ yüzeyinde ise ortalama Nu sayısı önceki durumlara göre çok farklı bir değişim arz etmektedir. Yüzeydeki ortalama Nu sayısının maksimum değeri $Re = 1000$ iken gerçekleşmektedir. $Re = 1500, 2000$ ve 2500 iken 2. blok sağ yüzeyiyle aynı değişimi göstermektedir. (Diğer genel durumlarda olduğu gibi). Şekil 5.57'de ondüleli kanalda $a = 0.005$ ve $p = 0.02$ iken blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayılarının Reynolds sayısına göre değişimi görülmektedir. Grafik ortalama Nusselt sayısı değerlerinin Reynolds sayısı ile arttığını göstermektedir. En büyük değerler 1. blok alt yüzeyinde ve en küçük değerler 1. ve 2. Blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır. En büyük

ortalama değer $Re = 2500$ 'de $Nu_{ort} = 9.4$ olarak elde edilmektedir. En düşük ortalama değer $Re = 500$ 'de $Nu_{ort} = 2.2$ olarak oluşmaktadır.



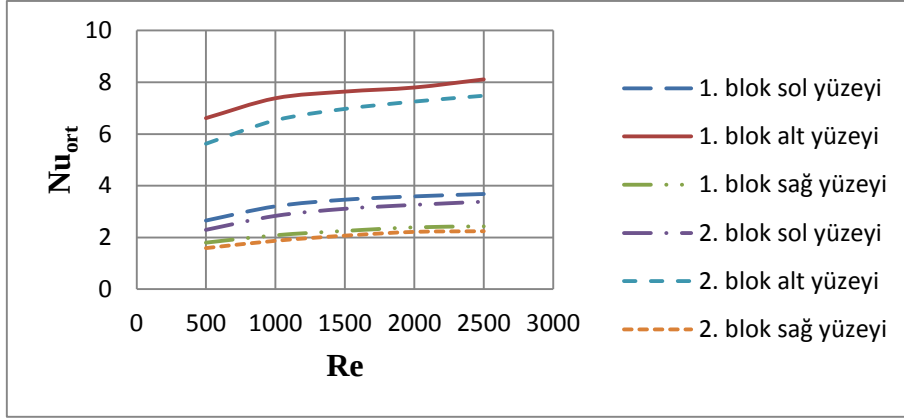
Şekil 5.57. Ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.005$ ve $p = 0.02$)

Şekil 5.58'de ondüleli kanalda $a = 0.005$ ve $p = 0.04$ blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayılarının Reynolds sayısına göre değişimi görülmektedir. Grafik ortalama Nusselt sayısı değerlerinin Reynolds sayısı ile arttığını göstermektedir. En büyük değerler 1. blok alt yüzeyinde ve en küçük değerler 1. ve 2. blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır. 1. bloktaki en büyük ortalama değer $Re = 2500$ 'de $Nu_{ort} = 8.6$ olarak meydana gelmektedir. En düşük ortalama değer $Re = 500$ 'de $Nu_{ort} = 1.9$ olarak 2. blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır.



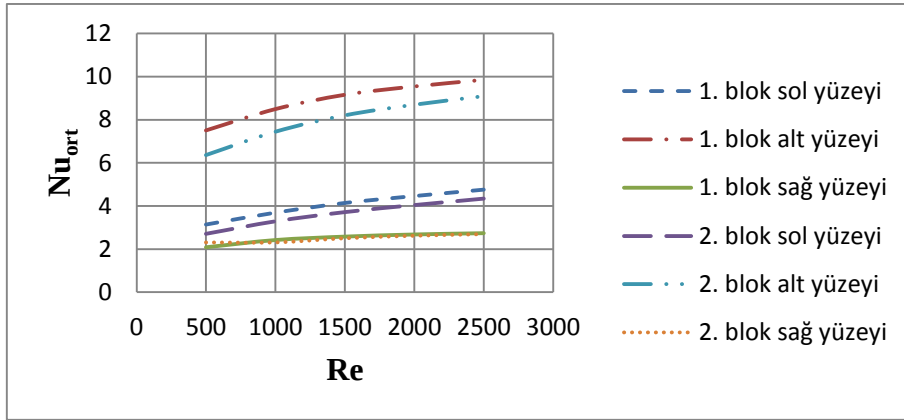
Şekil 5.58. Ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.005$ ve $p = 0.04$)

Şekil 5.59'da ondüleli kanalda $a = 0.005$ ve $p = 0.08$ blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayılarının Reynolds sayısına göre değişimi görülmektedir. Grafik ortalama Nusselt sayısı değerlerinin Reynolds sayısı ile arttığını göstermektedir. En büyük değerler 1. blok alt yüzeyinde ve en küçük değerler 2. blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır. Burada en büyük ortalama değer $Re = 2500$ 'de $Nu_{ort} = 8.1$ ve en düşük ortalama değer $Re = 500$ 'de $Nu_{ort} = 1.6$ olduğu görülmektedir.



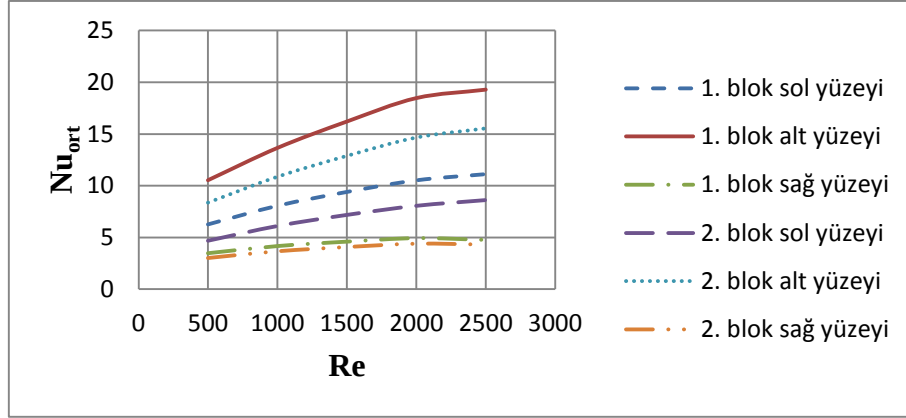
Şekil 5.59. Ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.005$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.60'ta ondüleli kanalda $a = 0.01$ ve $p = 0.02$ iken blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayılarının Reynolds sayısına göre değişimi görülmektedir. Grafik ortalama Nusselt sayısı değerlerinin Reynolds sayısı ile arttığını göstermektedir. En büyük değerler 1. blok alt yüzeyinde ve en küçük değerler 2. blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır. En büyük ortalama değer $Re = 2500$ 'de $Nu_{ort} = 9.8$ ve en düşük ortalama değer $Re = 500$ 'de $Nu_{ort} = 2.3$ olarak görülmektedir.



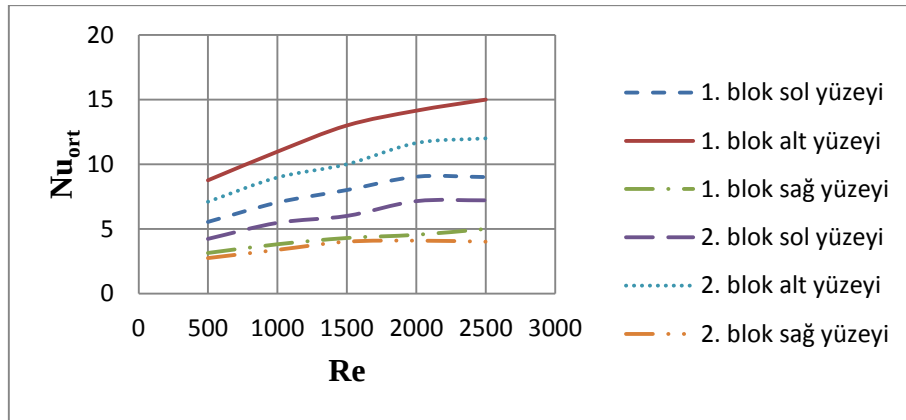
Şekil 5.60. Ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.01$ ve $p = 0.02$)

Şekil 5.61'de ondüleli kanalda $a = 0.01$ ve $p = 0.04$ iken blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayılarının Reynolds sayısına göre değişimi görülmektedir. Grafik ortalama Nusselt sayısı değerlerinin Reynolds sayısı ile arttığını göstermektedir. En büyük değerler 1. blok alt yüzeyinde ve en küçük değerler 2. blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır. En büyük ortalama değer $Re = 2500$ 'de $Nu_{ort} = 19.3$ olarak ve en düşük değer $Re = 500$ 'de $Nu_{ort} = 3.5$ olarak görülmektedir.



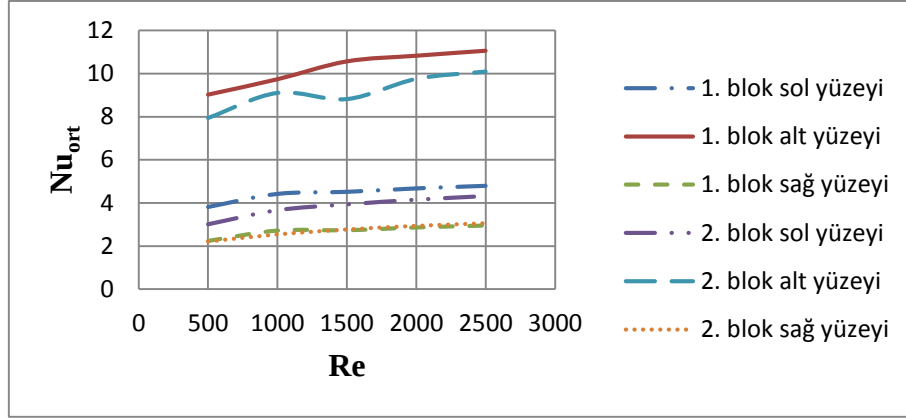
Şekil 5.61. Ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.01$ ve $p = 0.04$)

Şekil 5.62’de ondüleli kanalda $a = 0.01$ ve $p = 0.08$ iken blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayılarının Reynolds sayısına göre değişimi görülmektedir. Grafik ortalama Nusselt sayısı değerlerinin Reynolds sayısı ile arttığını göstermektedir. En büyük değerler 1. blok alt yüzeyinde ve en küçük değerler 2. blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır. En büyük ortalama değer $Re = 2500$ ’de $Nu_{ort} = 15$ olarak ve en düşük değer $Re = 500$ ’de $Nu_{ort} = 3.4$ olarak görülmektedir.



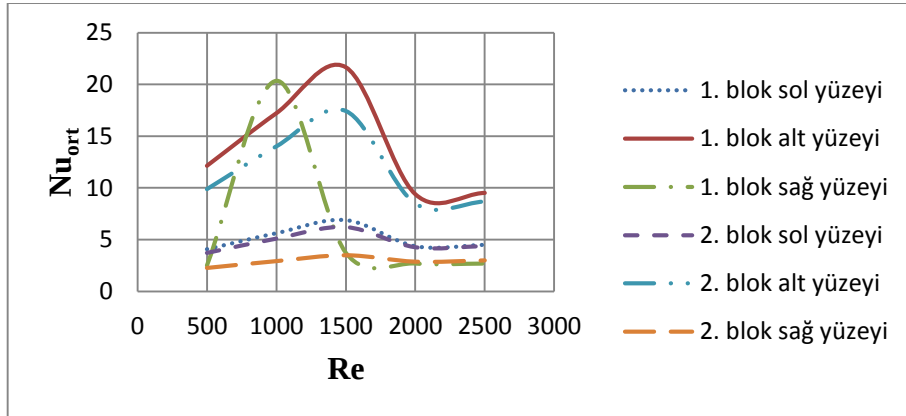
Şekil 5.62. Ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.63’te ondüleli kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.02$ iken blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayılarının Reynolds sayısına göre değişimi görülmektedir. Grafik ortalama Nusselt sayısı değerlerinin Reynolds sayısı ile arttığını göstermektedir. En büyük değerler 1. blok alt yüzeyinde ve en küçük değerler 2. blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır. Maksimum ortalama değer $Re = 2500$ ’de $Nu_{ort} = 11$ ve minimum ortalama değer $Nu_{ort} = 2.5$ olarak meydana gelmektedir.



Şekil 5.63. Ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.02$)

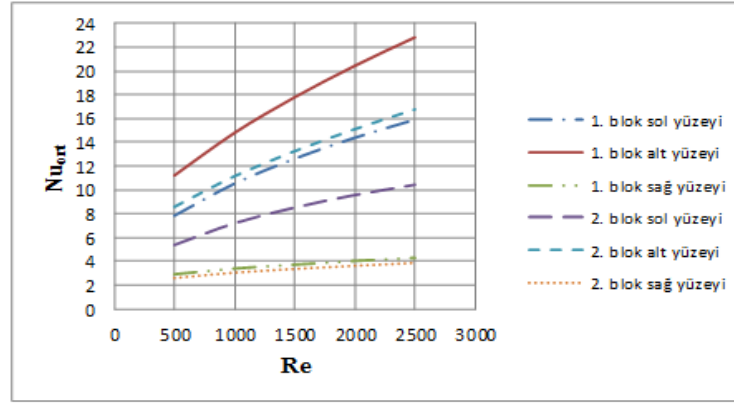
Şekil 5.64'te ondüleli kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.04$ iken blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayılarının Reynolds sayısına göre değişimi görülmektedir. Bu durumda grafik ortalama Nusselt sayısı değerleri Reynolds sayısına göre farklı bir değişim göstermektedir. Örneğin 1. ve 2. blok alt yüzeylerinde ortalama Nusselt sayısı Reynolds sayısının 1500 değerine kadar artarken ($Nu_{ort} = 21.6$) bu değerden sonra Reynolds sayısının 2200 değerine kadar azalmaktadır ($Nu_{ort} = 9.5$). Reynolds sayısı 2200'den sonra 2500'e kadar yine bir miktar artış göstermektedir ($Nu_{ort} = 9.8$). 1. blok sağ yüzeyinde ortalama Nusselt sayısı $Re = 1000$ 'e kadar artarken ($Nu_{ort} = 20.3$) $Re = 1000$ 'den sonra $Re = 1500$ 'e kadar azalmakta ($Nu_{ort} = 3.5$) ve $Re = 2500$ 'e kadar neredeyse sabit olarak devam etmektedir.



Şekil 5.64. Ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.04$)

Şekil 5.65'te ondüleli kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ iken blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayılarının Reynolds sayısına göre değişimi görülmektedir. Grafik ortalama Nusselt sayısı değerlerinin Reynolds sayısı ile arttığını göstermektedir. En büyük değerler 1. blok alt yüzeyinde ve en küçük değerler 2. blok sağ yüzeyinde oluşmaktadır. Bu durumda 1. Blok ve 2. blok sağ yüzeylerinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısına göre değişimi hemen

hemen aynı olarak oluşmaktadır. En büyük değer 1. blok alt yüzeyinde $Re = 2500$ 'de $Nu_{ort} = 23$ olarak ve en küçük değer 2. blok sağ yüzeyinde $Re = 500$ için $Nu_{ort} = 2.5$ olarak okunmaktadır.



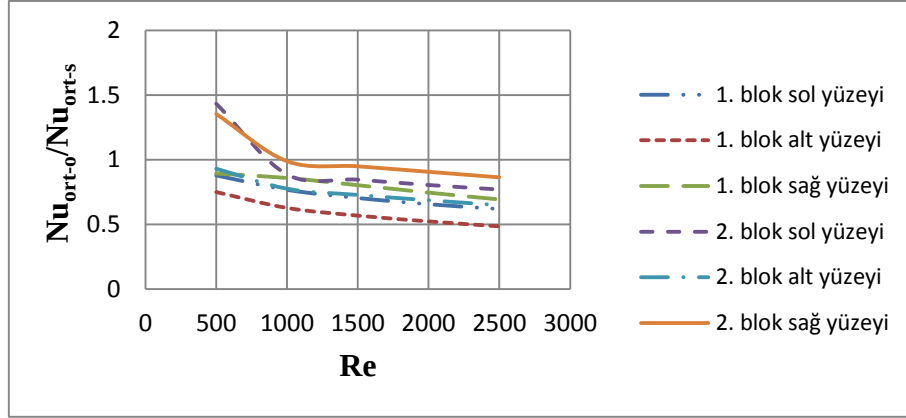
Şekil 5.65. Ortalama Nu sayısının Re sayısına göre değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

5.5.4. Ondüleli Kanaldaki Ortalama Nusselt Sayılarının Ondülesiz Kanaldaki Ortalama Nusselt Sayılarına Oranları (Nu_{ort-o}/Nu_{ort-s})

Aşağıdaki şekillerde ondüleli kanalda blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanalda blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısına oranının Re sayısına göre değişimleri verilmiştir. Bu oranlardaki en büyük değer $Re = 500$ 'de 2. blok sol yüzeyinde oluşmaktadır. Bunları sırasıyla 2. blok sağ, 1. blok sağ, 2. blok alt, 1. Blok sol ve 1.blok alt yüzeyleri takip etmektedir. Grafik değişimleri aynı özellik göstermektedir. Yani Re sayısı arttıkça yüzeylerdeki söz konusu oran azalmaktadır.

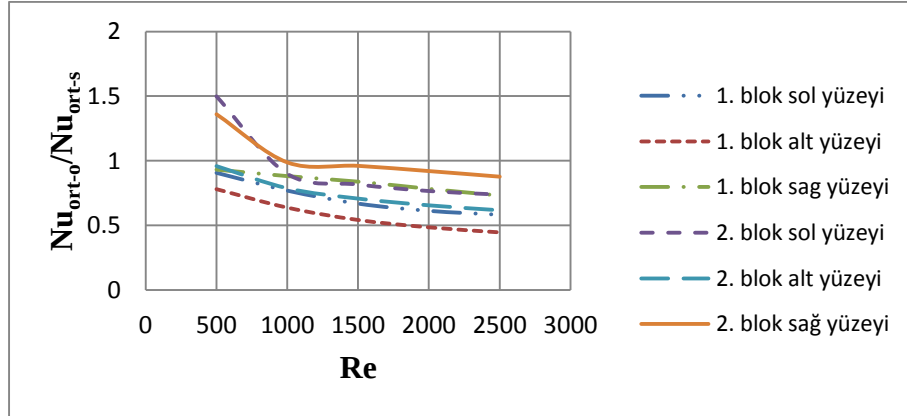
Beklenildiği gibi genlik $a = 0.02$ ve dalga boyu $p = 0.04$ iken diğer genlik ve dalga boylarına kıyasla farklı bir yapı meydana geldi. 1. blok sağ yüzeyinde $Re = 500, 1000$ ve 1500 iken parabolik bir grafik değişimi görüldü. Maximum değer $Re = 1000$ iken oluşmaktadır.

Şekil 5.66'da ondüleli kanalda $a = 0.005$ ve $p = 0.02$ iken blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanalda blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısına oranının Re sayısına göre değişimleri görülmektedir. Grafikte Reynolds sayısına göre azalma açıkça göze çarpmaktadır. Genellikle en büyük değerler 2. blok sağ yüzeyinde, en küçük değerler 1. blok alt yüzeyinde oluşmaktadır. En büyük değer 2. blok sol yüzeyinde $Re = 500$ 'de söz konusu oran 1.4 olarak, en küçük değer 1. blok alt yüzeyinde $Re = 2500$ için 0.5 olarak görülmektedir.



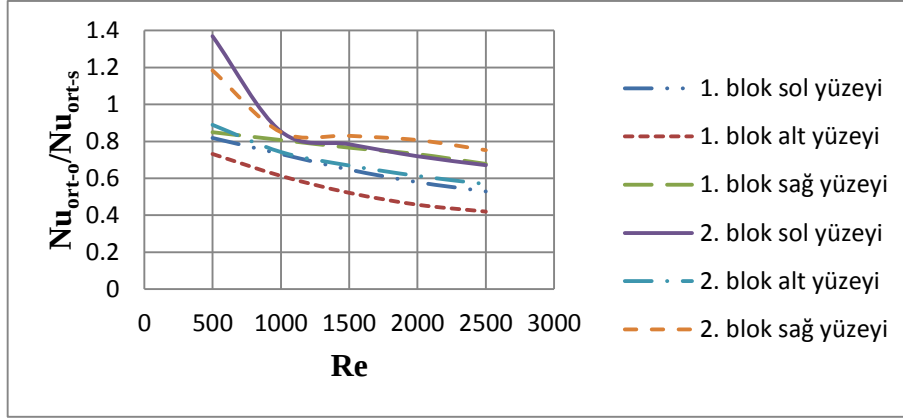
Şekil 5.66. Farklı Re sayılarında ondüleli kanaldaki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanaldaki ortalama Nu sayısına oranı ($a = 0.005$ ve $p = 0.02$)

Şekil 5.67’de ondüleli kanalda $a = 0.005$ ve $p = 0.04$ iken blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanalda blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısına oranının Re sayısına göre değişimlerini görülmektedir. Grafikteki değişimin bir önceki durumla hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. En büyük değer 2. blok sol yüzeyinde $Re = 500$ ’de 1.5 olarak en küçük değer 1. blok alt yüzeyinde $Re = 2500$ ’de 0.45 olarak oluşmaktadır.



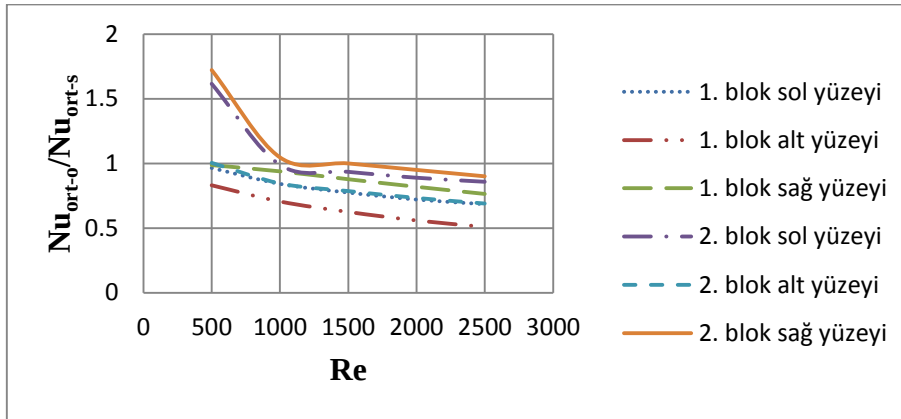
Şekil 5.67. Farklı Re sayılarında ondüleli kanaldaki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanaldaki ortalama Nu sayısına oranı ($a = 0.005$ ve $p = 0.04$)

Şekil 5.68’de ondüleli kanalda $a = 0.005$ ve $p = 0.08$ iken blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanalda blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısına oranının Re sayısına göre değişimleri görülmektedir. Grafikte önceki durumlara benzer bir durum göze çarpmaktadır. Bütün durumlarda söz konusu oranlar Reynolds sayısı büyüdükçe azalmaktadır. En büyük değer $Re = 500$ için 2. blok sol yüzeyinde 1.35 ve en küçük değer $Re = 2500$ için 1. blok alt yüzeyinde $Re = 2500$ için 0.41 olarak oluşmaktadır.



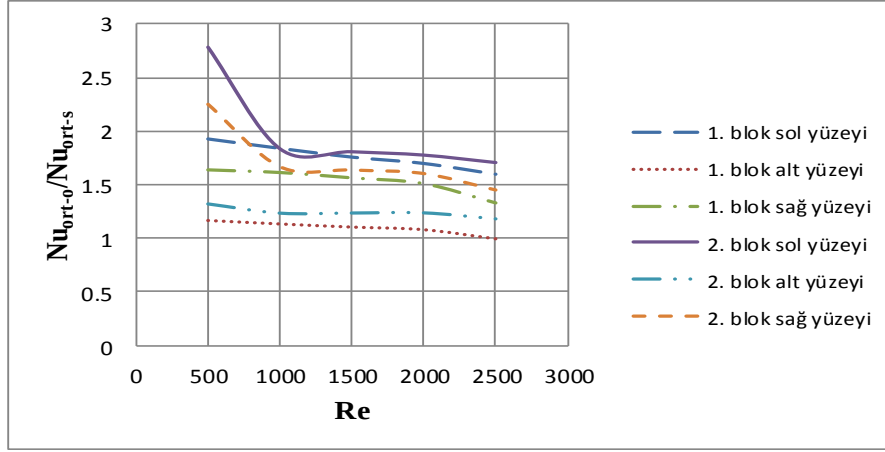
Şekil 5.68. Farklı Re sayılarında ondüleli kanaldaki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanaldaki ortalama Nu sayısına oranı ($a = 0.005$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.69'da ondüleli kanalda $a = 0.01$ ve $p = 0.02$ iken blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanalda blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısına oranının Re sayısına göre değişimlerini görülmektedir. Burada önceki durumların aksine 2. blok sağ yüzeyinde oluşan değerler 2. blok sol yüzeyindeki değerlerden daha büyük olarak oluşmaktadır. En büyük değer 2. blok sağ yüzeyinde $Re = 500$ 'de 1.7 ve en küçük değer 1. blok alt yüzeyinde $Re = 2500$ 'de 0.5 olarak meydana gelmektedir.



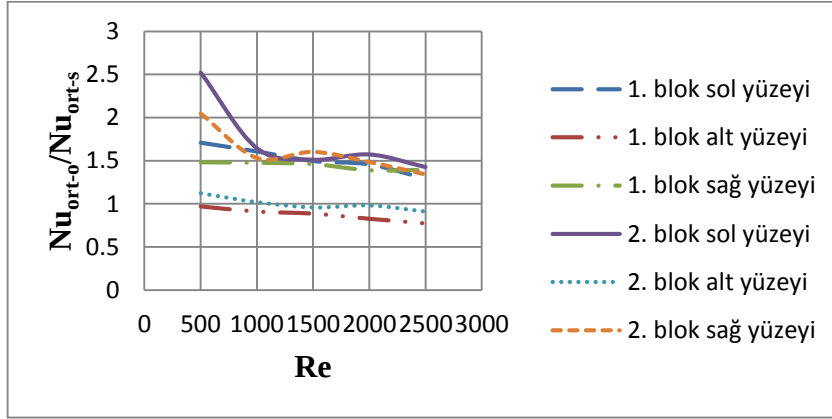
Şekil 5.69. Farklı Re sayılarında ondüleli kanaldaki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanaldaki ortalama Nu sayısına oranı ($a = 0.01$ ve $p = 0.02$)

Şekil 5.70'te ondüleli kanalda $a = 0.01$ ve $p = 0.04$ iken blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanalda blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısına oranının Re sayısına göre değişimleri görülmektedir. 2. blok sol yüzeyinde $Re = 500$ 'de ortalama Nusselt sayısının maksimum değeri 2.75 olarak ve 1. blok alt yüzeyinde $Re = 2500$ 'de en ortalama Nusselt sayısının en küçük değeri 1 olarak okunmaktadır.



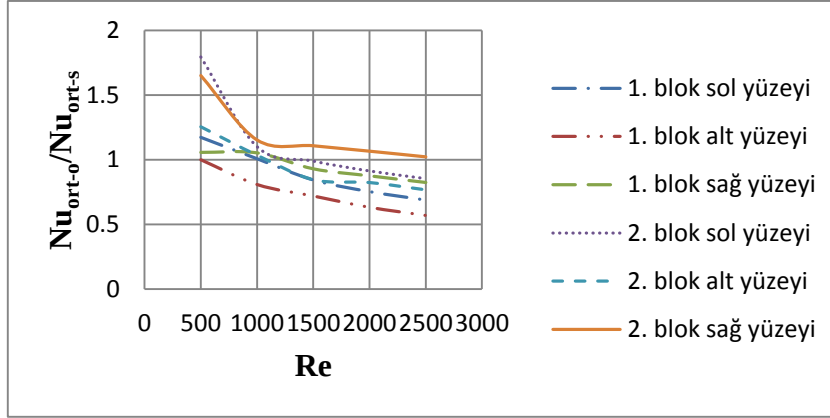
Şekil 5.70. Farklı Re sayılarında ondüleli kanaldaki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanaldaki ortalama Nu sayısına oranı ($a = 0.01$ ve $p = 0.04$)

Şekil 5.71’de ondüleli kanalda $a = 0.01$ ve $p = 0.08$ iken blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanalda blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısına oranının Re sayısına göre değişimleri görülmektedir. Burada da yine en büyük değer 2. blok sol yüzeyinde $Re = 500$ ’de 2.5 olarak ve en küçük değer 1. blok alt yüzeyinde $Re = 2500$ ’de 0.8 olarak oluşmaktadır.



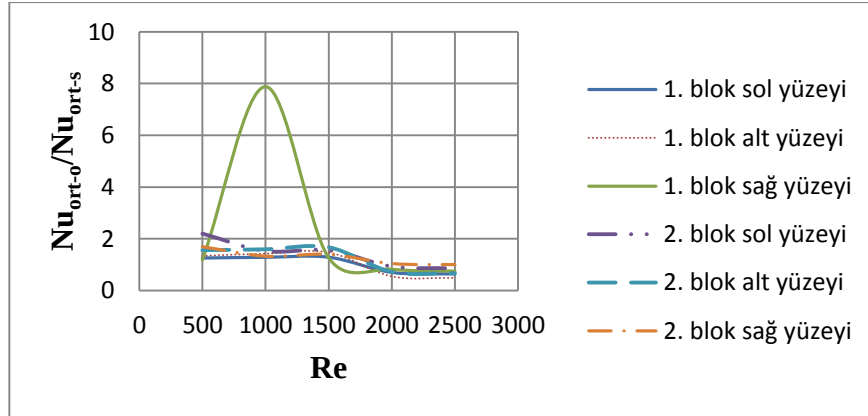
Şekil 5.71. Farklı Re sayılarında ondüleli kanaldaki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanaldaki ortalama Nu sayısına oranı ($a = 0.01$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.72’de ondüleli kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.02$ iken blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanalda blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısına oranının Re sayısına göre değişimleri görülmektedir. Burada da grafikler incelenirse maksimum değer 2. blok sol yüzeyinde $Re = 500$ ’de 1.8 olarak, minimum değer 1. blok alt yüzeyinde $Re = 2500$ ’de 0.6 olarak oluşmaktadır.



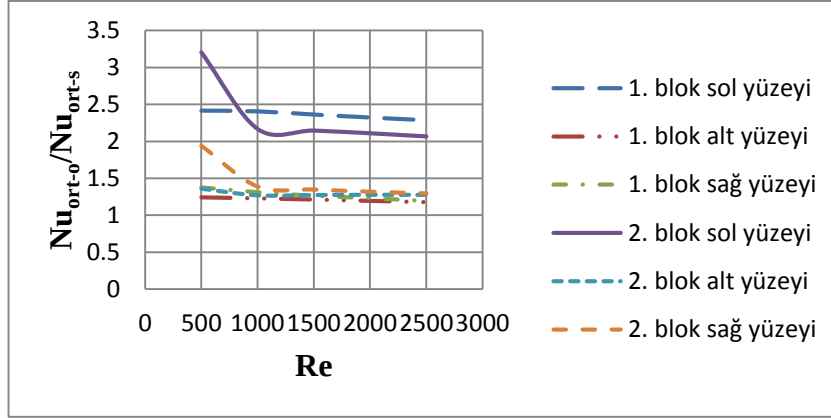
Şekil 5.72. Farklı Re sayılarında ondüleli kanaldaki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanaldaki ortalama Nu sayısına oranı ($a = 0.02$ ve $p = 0.02$)

Şekil 5.73'de ondüleli kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.04$ iken blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanalda blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısına oranının Re sayısına göre değişimleri görülmektedir. Burada farklı bir durum ile karşı karşıya kalınmaktadır. Şöyle ki; 1. blok sağ yüzeyinde $Re = 1000$ 'e kadar birden büyük bir artış ve $Re = 1500$ 'e kadar birden büyük bir azalma oluşmaktadır. Azalma neredeyse $Re = 500$ iken ki duruma kadar olmaktadır ve grafik $Re = 1500$, 2000 ve 2500 'de aynı seviyede devam etmektedir. Maksimum değer 1. blok sağ yüzeyinde $Re = 1000$ 'de 7.8 ve minimum değer 1. blok alt yüzeyinde $Re = 2500$ 'de 0.7 olarak meydana gelmektedir.



Şekil 5.73. Farklı Re sayılarında ondüleli kanaldaki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanaldaki ortalama Nu sayısına oranı ($a = 0.02$ ve $p = 0.04$)

Şekil 5.74'de ondüleli kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ iken blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanalda blok yüzeylerindeki ortalama Nu sayısına oranının Re sayısına göre değişimleri görülmektedir. Bu grafikte görüldüğü gibi söz konusu oranın oluştuğu maksimum değer 2. blok sol yüzeyinde $Re = 500$ 'de 3.3'dür ve minimum değer 1. blok alt yüzeyinde $Re = 2500$ 'de 1.3'dür.

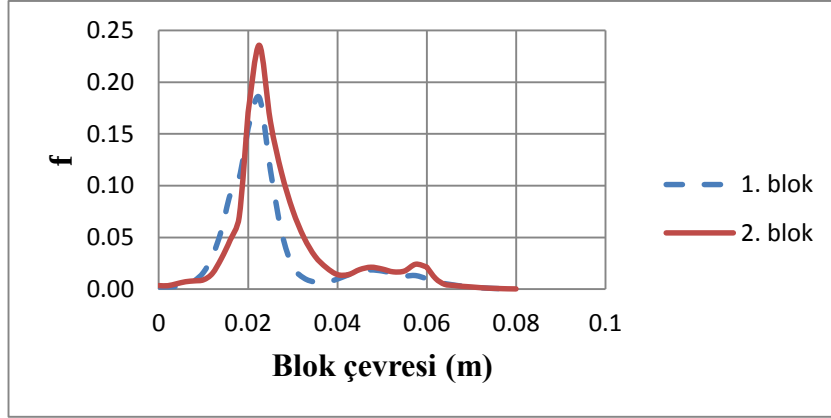


Şekil 5.74. Farklı Re sayılarında ondüleli kanaldaki ortalama Nu sayısının ondülesiz kanaldaki ortalama Nu sayısına oranı ($a=0.02$ ve $p=0.08$)

5.5.5. Ondüleli Kanalda Sürtünme Katsayısı Analizi

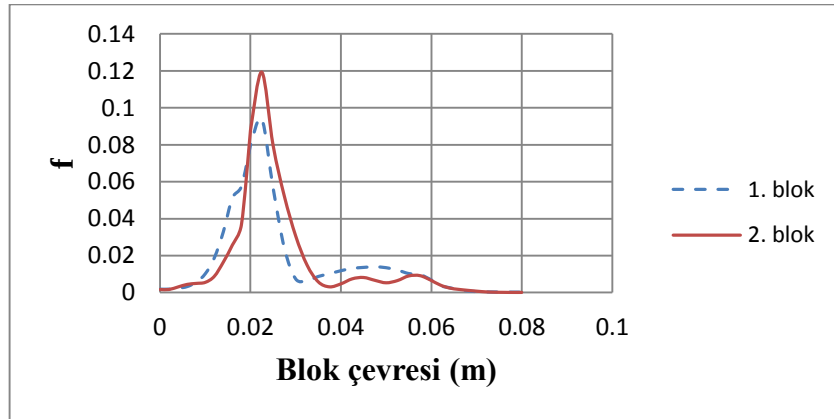
Aşağıdaki şekillerde ondüleli kanalda farklı Re sayılarında ($Re = 500, 1000, 2000$) blok yüzeylerindeki ve ondüleli yüzeydeki sürtünme katsayısı değişimleri örnek olarak görülmektedir. Blok yüzeylerinde Re sayısının iki kat artmasıyla sürtünme katsayısı tepe değeri iki kat azalmaktadır. Yani Re sayısı ile sürtünme katsayısı ters orantılı olarak değişmektedir. Her iki blok yüzeyinde aynı durum görülmektedir. Yani blok sol alt köşesinde grafik maksimum değerindedir ve alt yüzeyde bu maksimum değer gittikçe azalmaktadır. Sağ yüzeyde ise azalan bu değer blok sağ alt köşesinde yükselmekle beraber azalmaya devam etmektedir. Ondüleli yüzeyde ise yine Re sayısının iki kat artmasıyla sürtünme katsayısında neredeyse iki kat azalma ortaya çıkmaktadır.

Şekil 5.75’de ondüleli kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ ve $Re = 500$ iken blok yüzeylerindeki sürtünme katsayısı değişimleri görülmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi sürtünme katsayısı sol yüzeyde birden artmakta ve alt yüzey sonuna doğru birden azalmaktadır. Azalma sağ yüzey sonuna kadar devam etmektedir. Her iki blok yüzeyinde aynı değişim görülmektedir. Ancak 2. bloktaki tepe değerin 1. bloğa göre arttığı görülmektedir. Tepe değer 1. blok sol alt köşesinde 0.16 olarak ve 2. blok sol alt köşesinde 0.24 olarak meydana gelmiştir. Sürtünme katsayısı blokların sol üst ve sağ üst köşelerinde 0 olmaktadır.



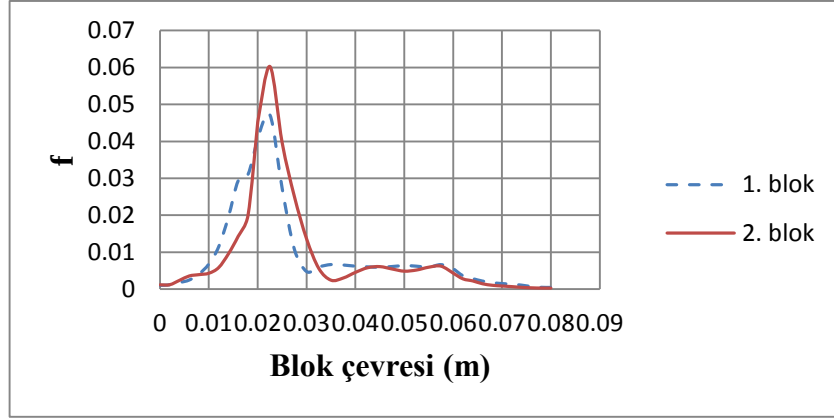
Şekil 5.75. $Re = 500$ iken 1. ve 2. blok çevrelerinde sürtünme katsayısının değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.76'da ondüveli kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ ve $Re = 1000$ iken blok yüzeylerindeki sürtünme katsayısı değişimleri görülmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi sürtünme katsayısı blokların sol alt köşelerinde birden artmakta ve alt yüzey sonuna doğru birden azalmaktadır. Azalma sağ yüzey sonuna kadar devam etmektedir. Her iki blok yüzeyinde aynı değişim görülmektedir. Ancak 1. Bloktaki tepe değerin 2. Bloğa göre azaldığı görülmektedir. Tepe değer 1. Blok sol alt köşesinde 0.09 olarak ve 2. Blok sol alt köşesinde 0.012 olarak meydana gelmiştir. Sürtünme katsayısı blokların sol üst ve sağ üst köşelerinde 0 olmaktadır.



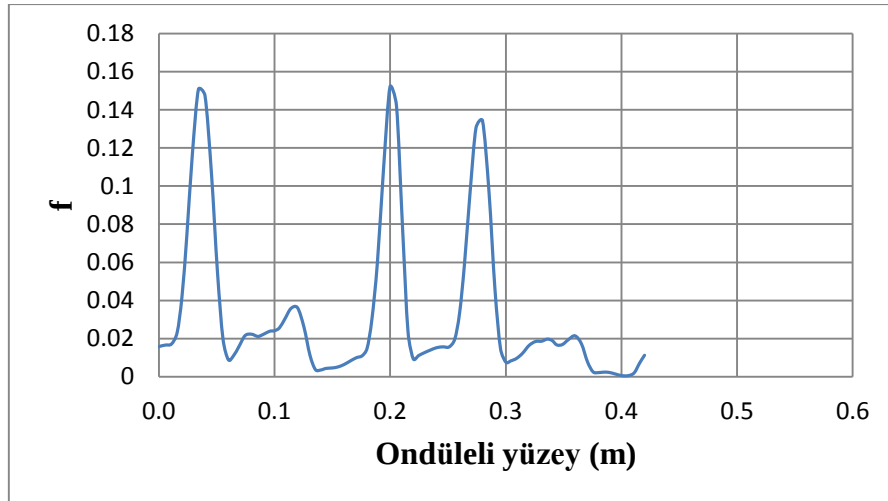
Şekil 5.76. $Re = 1000$ iken 1. ve 2. blok çevrelerinde sürtünme katsayısının değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.77'de ondüveli kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ ve $Re = 2000$ iken blok yüzeylerindeki sürtünme katsayısı değişimleri görülmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi sürtünme katsayısı blok sol alt köşesinde birden artmakta ve alt yüzey sonuna doğru birden azalmaktadır. Azalma sağ yüzey sonuna kadar devam etmektedir. Burada da değişimin her iki blok yüzeylerinde aynı olduğu görülmektedir. 1. blok sol alt köşesinde oluşan tepe değeri 0.047 ve 2. blok sol alt köşesinde oluşan tepe değeri 0.06 olarak okunmaktadır.



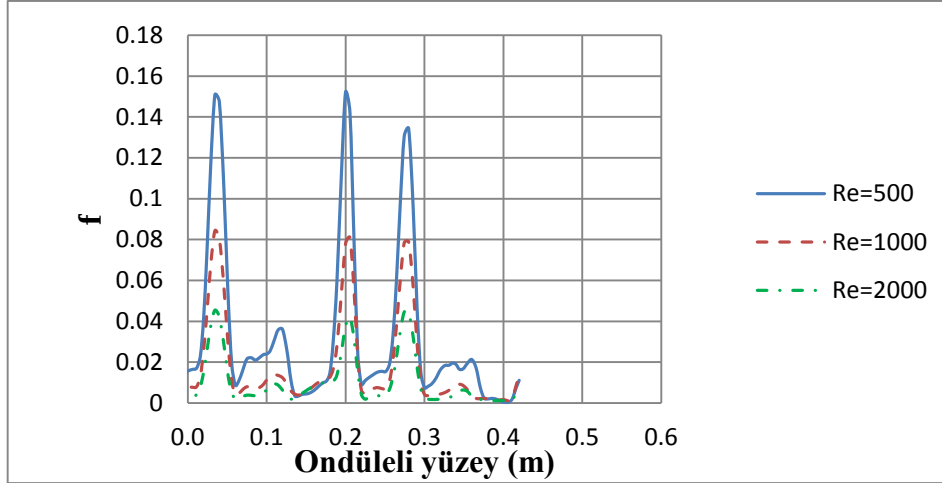
Şekil 5.77. $Re = 2000$ iken 1. ve 2. blok çevrelerinde sürtünme katsayısının değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.78'de ondüveli kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ ve $Re = 500$ iken ondüveli yüzeydeki sürtünme katsayısı değişimi görülmektedir. Ondüveli yüzeyin 0.03, 0.2 ve 0.27'nci noktalarında tepe değerler sırasıyla 0.15, 0.15 ve 0.13 olarak meydana gelmektedir.



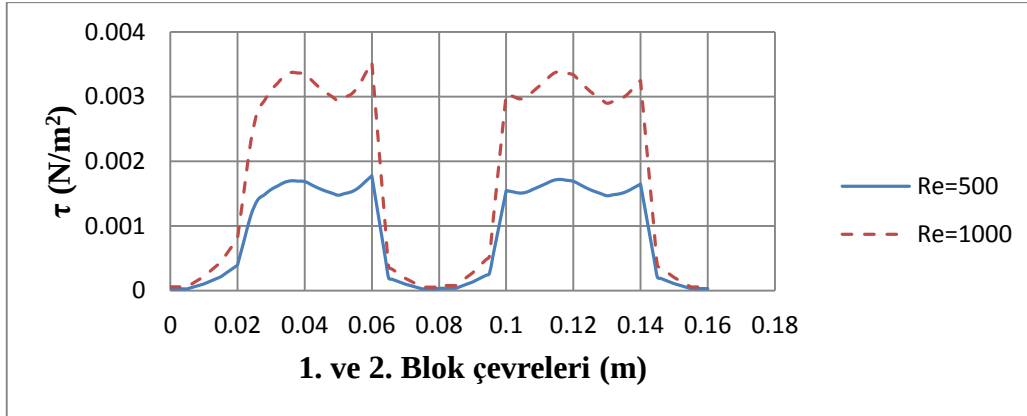
Şekil 5.78. $Re = 500$ için ondüveli yüzeyde sürtünme faktörünün değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.79'da ondüveli kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.08$ iken farklı Reynolds sayılarında ondüveli yüzeydeki sürtünme katsayısı değişimi görülmektedir. Grafikten görüldüğü gibi Reynolds sayısı arttıkça sürtünme katsayısı azalmaktadır. $Re = 500$ 'de ondüveli yüzeydeki tepe değerler sırasıyla 0.15, 0.15 ve 0.13, $Re = 1000$ 'de 0.08, 0.07 ve 0.07 ve $Re = 2000$ 'de yaklaşık olarak 0.04, 0.04 ve 0.04 olarak meydana gelmektedir.



Şekil 5.79. Farklı Re sayılarında ondüleli yüzeyde sürtünme faktörünün değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.08$)

Şekil 5.80’de ondüleli kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.02$ iken farklı Reynolds sayılarında blok çevrelerindeki yüzey kayma gerilmesi değişimi görülmektedir. 45’te ondüleli kanalda $a = 0.02$ ve $p = 0.02$ iken farklı Reynolds sayılarında blok çevrelerindeki yüzey kayma gerilmesi değişimi görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi blok yüzeylerindeki yüzey kayma gerilmesi Reynolds sayısı arttıkça artmaktadır. Değişim her iki blok yüzeyinde aynı kalmaktadır. Blok alt yüzeylerinde maksimum değerler almakta ve blok üst köşelerinde 0 olmaktadır. Reynolds sayısı iki kat artınca yüzey kayma gerilmesi de aynı oranda artış göstermektedir.



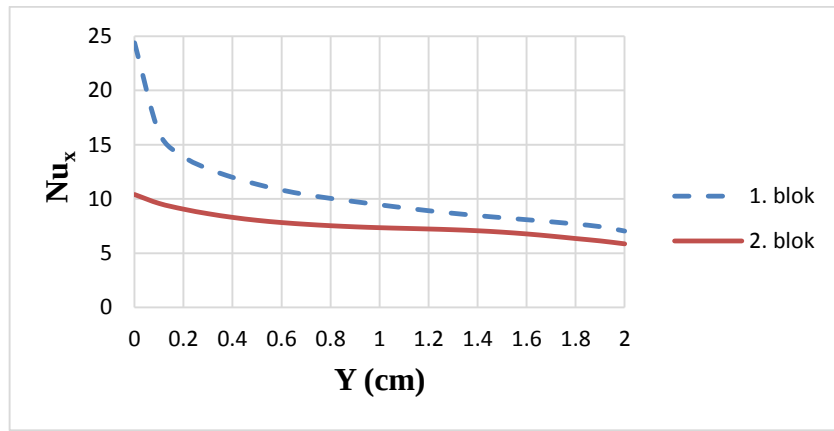
Şekil 5.80. Farklı Re sayılarında blok çevrelerindeki yüzey kayma gerilmesinin değişimi ($a = 0.02$ ve $p = 0.02$)

Yapılan analizde Reynolds sayısının ve ondüleli yüzeyin genliğinin ve periyodunun bloklar üzerindeki yerel Nu sayısı değişimine etkileri araştırılmıştır. Açıkça görülmüştür ki Reynolds sayısının artması blok yüzeylerindeki ısı transfer katsayısını arttırmaktadır. Blok sol yüzeylerindeki ısı transfer katsayıları sırasıyla alt ve sağ yüzeylerinkine göre daha

fazladır. Ayrıca 2. blok yüzeylerinde oluşan ısı transferi 1. blok yüzeyine kıyasla azalmaktadır.

Bu çalışmaya benzer olarak Mebarki ve arkadaşları [29] dikdörtgen bir kanalda alt yüzeye yerleştirilen üç blok üzerindeki akışı incelemişler ve blok üst yüzeylerindeki Nu sayısının değişimini Şekil 5.81'deki gibi elde etmişlerdir. Bu grafik de bu analizde yapılan ve blok alt yüzeyi için elde edilen yerel Nu_x değişimi ile uygunluk göstermektedir.

Şekil 5.81'de görüldüğü gibi Mebarki ve arkadaşlarının [29] çalışmalarıyla ilgili aynı parametreler ve iki blok alınarak karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 5.81. Mebarki, Rahal ve Hamza'nın yaptıkları çalışmada blok üst yüzeyinde elde ettikleri Yerel Nusselt sayısı değişimi ($Re = 547$, $h = 0.25$ cm, $w = 2$ cm)

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada üst yüzeyine aralıklı olarak iki blok yerleştirilmiş, alt yüzeyi ondüleli bir kanalda laminar akış ve ısı transferi sayısal olarak incelenmiştir. Özellikle farklı Reynolds sayılarının ve ondüleli (dalgalı) yüzeyin farklı dalga uzunluğu ve dalga genliklerinin akış ve ısı transferi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Buna göre elde edilen önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Bunun için yerel Nusselt sayısı ve ortalama Nusselt sayısı eğrileri elde edilmiştir. En büyük değerlerin ondüleli kanalın $a = 0.002$ ve $p = 0.008$ durumunda $Re = 2500$ 'de meydana geldiği görülmüştür. Ondüleli kanaldaki ortalama Nusselt sayılarının ondülesiz kanaldaki ortalama Nusselt sayılarına oranı da incelenmiştir. Örnek olarak blok yüzeylerindeki sürtünme katsayısı ve kayma gerilimleri grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar Reynolds sayısının artmasıyla blok yüzeylerindeki Yerel Nusselt sayısının, buna bağlı olarak ortalama Nusselt sayısının arttığını göstermiştir. En büyük değerlerin blok alt yüzeylerinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Ondüleli yüzeyin periyot ve genlik farklılığının da blok yüzeylerindeki Nusselt sayısına etkisi incelenmiştir. Ayrıca ondüleli yüzeydeki sürtünme katsayısının Reynolds sayısının artmasıyla azaldığı ve ancak yüzey kayma gerilmesinin arttığı görülmüştür.

Blok boyutlarının (aynı veya farklı büyüklük ve şekillerde) ve sıralanış sıklığının akış üzerindeki etkilerinin araştırılması bu çalışmayı daha kapsamlı yapacaktır. Ayrıca sınır şartları için değişken akış hızı (sinusoidal) ve blok yüzeyinde termal ısı şartı için ısı akısı yerine yüzey sıcaklığı kullanılması ayrı bir inceleme konusu olabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Arslan, K.**, 2010. Kombilerde Kullanılan Isı Değiştiricisi Farklı Kanatçık Geometrilerinin Kombi Verimine Etkisinin Sayısal Analizi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [2] **Dal, A. R.**, 2007. Kombilerde Kullanılan Isı Değiştiricisi Farklı Kanatçık Geometrilerinin Kombi Verimine Etkisinin Sayısal Analizi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [3] http://www.eng.harran.edu.tr/moodle/.../elektronik_sistemlerin_sogutulmasi.pptx, 20.Ocak.2014
- [4] **Demircan, T.**, 2012. İçerisinde Isıtıcı Bloklar Bulunan Bir Kanalda, Osilasyonlu Akışın ve Isı Transferinin Sayısal ve Deneysel Olarak İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [5] **Avcı, M.**, 2008. Mikrokanallarda akış ve Isı Transferi, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [6] **Mohammed, H.A., Gunnasegaran, P. and Shuaib, N.H.**, 2010. Heat Transfer in Rectangular Microchannels Heat Sink using Nanofluids, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, **37 (10)**, 1496-1503.
- [7] **Wang, C. C. and Chen, C. K.**, 2002. Forced Convection in A Wavy-Wall Channel”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **45**, 2587–2595.
- [8] **Guzmán, A. M., Cárdenas, M., Urzuá, F. A. and Araya, P. E.**, 2009. Heat Transfer Enhancement by Flow Bifurcations in Asymmetric Wavy Wall Channels, **52 (15-16)**, 3778–3789.
- [9] **Sui, Y., Teo, C.J., Lee, P.S., Chew, Y.T. and Shu, C.**, 2010. Fluid Flow and Heat Transfer in Wavy Microchannels, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **53 (13)**, 2760-2772.
- [10] **Zumbariski J.S., Blonski, S. and Kowalewski, T.A.**, 2008. Flow Destabilization and Chaotic Mixing in The Channel with Transversely Corrugated Walls, *XXII International Congress of Theoretical and Applied Mechanics*, CD-ROM proceedings ISBN 978-0-9805142-1-6, Adelaide, Australia, August 25-29.
- [11] **Ramgadia, A.G. and Saha, A.K.**, 2012. Fully Developed Flow and Heat Transfer Characteristics in A Wavy Passage: Effect of Amplitude of Waviness and Reynolds Number, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **55 (9)**, 2494-2509.
- [12] **Wang, G. and Vanka, S.P.**, 1995. Convective Heat Transfer in Periodic Wavy Passages, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **38 (17)**, 3219-3230.

- [13] **Jang, J. Y. and Chen, L. K.**, 1997. Numerical Analysis of Heat Transfer and Fluid Flow in A Three-Dimensional Wavy-Fin and Tube Heat Exchanger, *Inf. J. Heat Mass Transfer*. Vol. 40, No. 16, pp. 3981-3990.
- [14] **Kutty, S. S. and Babu, T. P. A.**, 2012. CFD Study of Single Phase Flow Distribution in Rectangular, Wavy and Offset Minichannels with Water, *International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering (IJTARME)*, 2319-3182, 1(1).
- [15] **Rush, T.A., Newell, T.A. and Jacobi, A.M.**, 1999. An Experimental Study of Flow and Heat Transfer in Sinusoidal Wavy Passages, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42 (9), 1541-1553.
- [16] **Niceno, B. and Nobile, E.**, 2001. Numerical Analysis of Fluid Flow and Heat Transfer in Periodic Wavy Channels, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 22, 156-167.
- [17] **Russ G. and Beer, H.**, 1997. Heat Transfer and Flow Field in A Pipe with Sinusoidal Wavy Surface-I. Numerical Investigation, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 40 (5), 1061-1070.
- [18] **Şirin, S., Altınışık, K. ve Ateş, A.**, 2009. An Experimental Study of Heat Transfer in Finned Surfaces for Different Values of Air Velocity and Heat Flux, 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye.
- [19] **Yücel, N. ve Demiralay, Ş.**, 1999. Bir Duvarı Üzerinde Isıtıcı Elemanlar Bulunan Eğik Bir Kanaldaki Akışkan Akışının ve Isı Transferinin Sayısal Olarak İncelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 14, No 2, 57-72.
- [20] **Kotçioğlu, İ. ve Bölükbaşı, A.**, 2003. Düşey Dikdörtgen Kesitli Bir Kanalda Farklı Kanatçıklı Yüzeylerle Isı Transferinin İncelenmesi, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5 (2), 89-102.
- [21] **Etemoğlu, A. B., İşman, M. K., Pulat, E. ve Can, M.**, 2004. Tek Yongalı Elektronik Cihazların Laminar ve Türbülanslı Akışta Soğutulmalarının Analizi, *Mühendis ve Makina - Cilt: 45 Sayı: 535*.
- [22] **Yemenici, O. ve Fıratoglu, Z. A.**, 2013. Bloklu Yüzey Üzerinde Ayrılmış Akışın İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 18, Sayı 1.
- [23] **Pirasacı, T. ve Sivrioğlu, M.**, 2012. Çıkıntılı Ayrık Isıtıcılar Üzerindeki Laminar Konveksiyon ile Isı Transferinin İncelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Cilt 27, No 4, 765-773.
- [24] **Pulat, E.**, 2000. Yüzeyle Aynı Hizada Monte Edilmiş Ayrık Isı Kaynakları Üzerinden Olan Akışta Eşlenik Isı Transferinin Hesaplamalı Olarak Araştırılması, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2 (1), 175-182.

- [25] **Sarper, B., Kuvvet, K. ve Şahin, B.,** 2013. Üçgen Kapalı Ortamda Düşey Yüzeye Yerleştirilen Engel Eğiminin Doğal Taşınımın Isı Transferi Üzerine Etkisinin Sayısal Olarak İncelenmesi, *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi* – 17/20 Nisan, İzmir.
- [26] **Young, T. J. and Vafai, K.,** 1998. Convective Cooling of A Heated Obstacle in A Channel, *International Journal of Heat and Mass Transfer* ,**41**, 3131-3148.
- [27] **Çengel, Y. A. ve Cimbala, J. M.,** 2008. Akışkanlar Mekaniği, İzmir Güven Kitabevi.
- [28] **Yemenici, O.,** 2010. Bloklu Yüzeylerde Akış ve Isı Transferi Karakteristiklerinin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [29] **Mebarki, G., Rahal, S. and Hamza, A.,** 2013. Heat Transfer Enhancement by Flow Control in A Rectangular Horizontal Channel, *International Journal of Materials Mechanics and Manufacturing*, Vol. 1, No. 2.

ÖZGEÇMİŞ

1968 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladıktan sonra 1985 yılında Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 1990 yılında bu bölümden mezun oldu. 1990 yılında Milli Eğitim Bakanlığında Elektrik Öğretmeni olarak göreve başladı. 2011 yılında Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Enerji Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine hak kazandı. Halen Elazığ Gazi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nde görevini sürdürmektedir. Yabancı dili İngilizcedir.