KANATÇIKLI PARALEL İKİ LEVHANIN GİRİŞ BÖLGESİNDEKİ TÜRBÜLANSLI AKIŞ VE ISI TRANSFERİNİN ANALİZİ

Deniz SARI CEVAHİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MART 2006
ANKARA

KANATÇIKLI PARALEL İKİ LEVHANIN GİRİŞ BÖLGESİNDEKİ TÜRBÜLANSLI AKIŞ VE ISI TRANSFERİNİN ANALİZİ

Deniz SARI CEVAHİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MART 2006
ANKARA

Deniz SARI CEVAHİR tarafından hazırlanan KANATÇIKLI PARALEL İKİ LEVHANIN GİRİŞ BÖLGESİNDEKİ TÜRBÜLANSLI AKIŞ VE ISI TRANSFERİNİN ANALİZİ adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Oğuz TURGUT
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makine Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :Prof. Dr. Nevzat ONUR

Üye :Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU

Üye :Doç. Dr İrfan AR

Üye :Doç. Dr. Ö. Murat DOĞAN

Üye :Y. Doç. Dr. Oğuz TURGUT

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

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

Deniz SARI CEVAHİR

KANATÇIKLI PARALEL İKİ LEVHANIN GİRİŞ BÖLGESİNDEKİ TÜRBÜLANSLI AKIŞ VE ISI TRANSFERİNİN ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Deniz SARI CEVAHİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mart 2006

ÖZET

Yapılan bu çalışmada, giriş bölgesinde akış yönünde bir dizi simetrik olarak yerleştirilmiş kanatçık bulunan, birbirine eşit ve sabit sıcaklıkta tutulan paralel iki levha arasındaki türbülanslı zorlanmış taşınım ile oluşan ısı transferinin iki boyutlu sayısal analizi gerçekleştirilmiştir. Korunum denklemleri ayrık çözüm yöntemi ile SIMPLE algoritması kullanılarak Fluent paket programı ile sayısal olarak çözülmüştür. Türbülans etkisi RNG k-ε türbülans modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Reynolds sayısının, Prandtl sayısının ve geometrinin akışa ve ısı transferine etkilerini incelemek için hesaplama Reynolds sayının 10 000 ile 50 000 arasında değişen değerlerinde, değişik geometriler için ve değişik Prandtl sayısına sahip akışkanlar için gerçekleştirilmiştir. Akış, kanatçık yüksekliği, modül uzunluğu ve Reynolds sayısına bağlı olarak ısıl açıdan ikinci ile dördüncü kanatçık arasında periyodik olarak tam gelişmiş akış rejimine ulaşmıştır.

Nusselt sayısının Prandtl sayısı, Reynolds sayısı, ve kanatçık yüksekliğindeki artış ile periyodik olarak tam gelişmiş durumda arttığı, modül uzunluğundaki artış ile azaldığı gözlenmiştir. Yüzey sürtünme katsayısının, Reynolds sayısı ve modül uzunluğundaki artış ile azaldığı, kanatçık yüksekliğindeki artış ile arttığı gözlenmiştir.

Bilim Kodu : 914.1.065
Anahtar Kelimeler : Türbülanslı akış, paralel levha, ısı transferi, Fluent.
Sayfa Adedi : 173
Tez Yöneticisi : Yrd.Doç.Dr. Oğuz TURGUT

ANALYSIS OF TURBULENT HEAT TRANSFER IN THE ENTRANCE REGION BETWEEN TWO FINNED PARALLEL PLATES

(M.Sc.Thesis)

Deniz SARI CEVAHİR

GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
March 2006

ABSTRACT

In this study, a two-dimensional numerical analysis forced convection heat transfer in turbulent fluid flow in the entrance region between two parallel plates, equal temperature and constant temperature with in-line ribs, has been investigated. The differential equations that describe flow have been integrated by the Finite Volume Method employing the Fluent Software. Turbulent effect has been calculated using RNG k-ε turbulent model. Calculation has been performed for Reynolds numbers in the range of 10,000-50,000 and for different geometric parameters, and for different fluids which has a different Prandtl numbers. The precise location of thermally periodically fully developed region depends on the Reynolds number, module length, and fin's height and it varies from the second to the fourth ribs. Results have demonstrated that increasing Prandtl number, the blockage ratio (h/H), and Reynolds number have increased the Nusselt number, but increasing the module length has decreased the Nusselt number.

Results have also showed that increasing the blockage ratio has increased the friction coefficient, but increasing the module length and Reynolds number have decreased the friction coefficient.

Science Code : **914.1.065**
Key Words : **Turbulent flow, parallel plates, heat transfer, Fluent.**
Page Number : **173**
Adviser : **Assist. Prof. Dr. Oğuz TURGUT**

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam esnasında yardımlarını esirgemeyen ve katkılarıyla beni yönlendiren tez hocam Yrd.Doç.Dr. Oğuz Turgut'a ve yine katkılarını esirgemeyen Prof.Dr. Nevzat Onur'a teşekkür ederim. Ayrıca, çalışmalarım esnasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem, kardeşim ve eşime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....iii

ABSTRACT.....v

TEŞEKKÜR.....vii

İÇİNDEKİLER.....viii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....xii

SİMGELER.....xxvi

1. GİRİŞ.....1

2. LİTERATÜR TARAMASI.....4

3. SAYISAL AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ YÖNTEMİ.....8

3.1. Fiziksel Model.....8

3.2. Çözüm Yöntemi.....10

3.2.1. Nusselt sayısı.....10

3.2.2. Yüzey sürtünme katsayısı.....13

3.3. Matematiksel Formülasyon.....13

3.3.1. Türbülanslı Navier-Stokes denklemleri.....14

3.3.2. Yapılan kabuller.....17

3.3.3. Duvar yakını modeli yaklaşımı.....18

3.3.4. Sınır şartları.....20

3.4 Sayısal Hesaplama.....24

3.5 Fluent Paket Programı.....24

Sayfa

3.5.1. Ayrık çözüm yöntemi.....25

3.5.2. Denklemlerin lineer hale getirilmesi.....26

3.5.3. Denklemlerin ayrıklaştırılması.....27

3.5.4. Ayrık çözüm yöntemi için kalıntıların tanımlanması.....30

3.6. Yakınsama Kriterleri.....32

3.6.1. Çözümün iterasyon sayısından bağımsız olduğunun gösterilmesi.....32

3.6.2. Çözümün hücre sayısından bağımsız olduğunun gösterilmesi.....33

4. SAYISAL ÇÖZÜM SONUÇLARI.....38

4.1. Giriş.....38

4.2. Literatür ile Kıyaslama 39

4.2.1. Sabit levha yüzey sıcaklığında olan kanatçıksız paralel iki levha arasındaki iki boyutlu laminer akış ve ısı transferi.....39

4.2.2. Sabit levha yüzey sıcaklığında olan kanatçıksız paralel iki levha arasındaki iki boyutlu türbülanslı akış ve ısı 41

4.3. Yapılan Çalışma Sonuçları.....47

4.3.1. L/H=1 ve t/H=0,01 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları.....50

4.3.2. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları.....72

4.3.3. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları.....78

4.3.4. Kanatçık yüksekliğinin ısı transferi üzerindeki etkisi.....84

4.3.5. Modül uzunluğunun ısı transferi üzerindeki etkisi.....90

Sayfa

4.3.6 Kanatçık kalınlığının ısı transferi üzerindeki etkisi.....93

4.3.7. Prandtl sayısının ısı transferi üzerindeki etkisi 96

4.3.8. Prandtl sayısının (Pr) ısı transferi üzerindeki etkisinin karşılaştırılması.....100

5. SONUÇ VE ÖNERİLER..... 103

KAYNAKLAR.....108

EKLER.....110
Ek-1.....111
Ek-2.....121
Ek-3.....137
Ek-4.....149
Ek-5.....161

ÖZGEÇMİŞ.....173

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Yüzey sürtünme katsaysının kalıntı ile değişimi.....33

Çizelge 3.2. h/H=0,125; L/H=1 ve t/H=0,01 geometrisinde hücre sayısının ortalama Nusselt sayısına etkisi.....34

Çizelge 3.3. h/H=0,1; L/H=1 ve t/H=0,01 geometrisinde hücre sayısının ortalama Nusselt sayısına etkisi.....34

Çizelge 3.4. h/H=0,05; L/H=1 ve t/H=0,01 geometrisinde hücre sayısının ortalama Nusselt sayısına etkisi.....35

Çizelge 3.5. h/H=0,1; L/H=0,5 ve t/H=0,01 geometrisinde hücre sayısının ortalama Nusselt sayısına etkisi.....35

Çizelge 3.6. h/H=0,1; L/H=2 ve t/H=0,01 geometrisinde hücre sayısının ortalama Nusselt sayısına etkisi.....36

Çizelge 3.7. h/H=0,1; L/H=1 ve t/H=0,02 geometrisinde hücre sayısının ortalama Nusselt sayısına etkisi.....36

Çizelge 3.8. Relaksasyon parametreleri.....37

Çizelge 4.1. Yüzeyleri sabit sıcaklıkta tutulan iki paralel levha arasındaki akışın görünümü 40

Çizelge 4.2. Yerel Nusselt sayısının hücre sayısıyla değişimi.....43

Çizelge 4.3. Ortalama Nusselt sayısının h/H ile değişimi.....87

Çizelge 4.4. Ortalama yüzey sürtünme katsayısının h/H ile değişimi.....89

Çizelge 4.5. Ortalama Nusselt sayısının L/H ile değişimi.....91

Çizelge 4.6. Ortalama yüzey sürtünme katsayısının L/H ile değişimi.....93

Çizelge 5.1. Reynolds sayısı, Prandtl sayısı ve geometrik parametrelerin Nusselt sayısı ve yüzey sürtünme katsayısına etkileri.....107

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Problemin fiziksel modeli ve kullanılan koordinat sistemi.....10

Şekil 3.2. y^+ değerinin levha boyunca değişimi.....20

Şekil 3.3. Ayrık çözüm yönteminin adımları.....26

Şekil 3.4. Skaler transport denklem ayrıklaştırmanın yapıldığı kontrol hacmi.....28

Şekil 3.5. Yakınsamış problemde değişkenler için kalıntıların zamanla değişimi.....32

Şekil 3.6. Problem çözümünde kullanılan hücre yapısı.....37

Şekil 4.1. Yüzeyleri sabit sıcaklıkta tutulan iki paralel levha arasındaki akışın görünümü.....39

Şekil 4.2. Sabit levha yüzey sıcaklığında, paralel iki levha arasındaki laminer akış, Re=300 için yerel Nusselt sayısının farklı hücre sayılarında levha boyunca değişimi.....40

Şekil 4.3. Sabit levha yüzey sıcaklığında, paralel iki levha arasındaki laminer akış için, Re=300'de yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi.....41

Şekil 4.4. Sabit yüzey sıcaklığında, paralel iki levha arasındaki türbülanslı akış şartlarında, Re=50 000 için yerel Nusselt sayısının farklı hücre sayılarında levha boyunca değişimi.....43

Şekil 4.5. Sabit yüzey sıcaklığında, paralel iki levha arasındaki türbülanslı akış şartlarında, Re=50 000 için yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi.....44

Şekil 4.6. Tam gelişmiş akış şartlarında ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....45

Şekil 4.7. Sabit yüzey sıcaklığında, paralel iki levha arasındaki türbülanslı akış şartlarında, Re=50 000 için yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi.....46

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.8. Tam gelişmiş akış şartlarında ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....46

Şekil 4.9. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de levha içindeki akışkan sıcaklık dağılımı.....51

Şekil 4.10. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de 3. ve 4. kanatçık arasındaki akışkan sıcaklık dağılımı.....52

Şekil 4.11. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de 3. ve 4. kanatçık arasındaki hız vektörleri.....52

Şekil 4.12. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de kanatçık etrafındaki hız vektörleri.....52

Şekil 4.13. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de 3. ve 4. kanatçık arasındaki hız konturları.....53

Şekil 4.14. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de akım çizgisi.....53

Şekil 4.15. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için yerel Nusselt sayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi.....54

Şekil 4.16. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için yerel yüzey sürtünme katsayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi.....57

Şekil 4.17. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de levha içindeki hız konturları 58

Şekil 4.18. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için yerel Nusselt sayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi.....61

Şekil 4.19. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için yüzey sürtünme katsayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi.....64

Şekil 4.20. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için yerel Nusselt sayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi.....67

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.21. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için yerel yüzey sürtünme katsayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi.....70

Şekil 4.22. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için yerel Nusselt sayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi.....73

Şekil 4.23. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için yerel yüzey sürtünme katsayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi.....76

.

Şekil 4.24. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için yerel Nusselt sayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi.....79

Şekil 4.25. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için yerel yüzey sürtünme katsayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi.....82

Şekil 4.26. L/H=0,1 ve Re=50 000 için yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi.....85

Şekil 4.27. L/H=1; t/H=0,01 ve Reynolds sayısı 10 000 için tam gelişmiş akış şartlarında, değişik h/H değerlerinde her bir modüldeki ortalama Nusselt sayısının levha boyunca değişimi.....86

Şekil 4.28. L/H=1ve t/H=0,01 iken tam gelişmiş akış şartlarında, değişik h/H değerleri için bir modüldeki ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişimi.....87

Şekil 4.29. L/H=1; t/H=0,01 ve Re=10 000 için yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi.....88

Şekil 4.30. L/H=1 ve t/H=0,01 için tam gelişmiş akış şartlarında değişik h/H değerleri için bir modüldeki ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısıyla değişimi.....89

Şekil 4.31. h/H=0,1 ve t/H=0,01 için tam gelişmiş akış şartlarında değişik L/H oranlarında bir modüldeki ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişimi.....90

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.32. h/H=0,1 ve t/H=0,01 için tam gelişmiş akış şartlarında değişik L/H oranlarında bir modüldeki ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısıyla değişimi.....92

Şekil 4.33. h/H=0,1 ve L/H=1 için tam gelişmiş akış şartlarında değişik t/H oranına sahip geometrilerdeki ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişimi.....94

Şekil 4.34. L/H=1 ve h/H=0,1 için tam gelişmiş akış şartlarında değişik t/H oranlarınındaki geometrilerdeki ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısıyla değişimi.....95

Şekil 4.35. h/H=0,1; t/h=0,15 ve L/H=1 için farklı Reynolds sayılarında tam gelişmiş akış şartlarında kanatçık üzerindeki yerel Nusselt sayısının değişimi.....96

Şekil 4.36. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 iken, Prandtl sayısı 3,5 olan Freon-12 için yerel Nusselt sayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi.....98

Şekil 4.37. L/H=1 ve h/H=0,1 iken, Prandtl sayısı 5,83 olan su için yerel Nusselt sayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi.....99

Şekil 4.38. L/H=1; t/H=0,01; h/H=0,1 ve Re=10 000 için farklı Prandtl sayılarında yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi.....100

Şekil 4.39. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 iken tam gelişmiş akış şartlarında farklı Prandtl sayıları için bir modüldeki ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişimi.....101

Şekil 4.40. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Reynolds sayısı 10 000 iken tam gelişmiş akış şartlarında farklı Prandtl sayıları için her bir modüldeki ortalama Nusselt sayısının levha boyunca değişimi.....102

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
a_{nb}	φ_{nb} için doğrusal katsayı, komşu hücreler için
a_p	φ için doğrusal katsayı, merkez hücreler için
$\overline{a}_p$	f - yüzeyinin iki tarafındaki hücrelerin momentum denklemindeki a_p katsayısının ortalama değeri
A	Alan, (m^2)
$\vec{A}$	Yüzey alan vektörü, (m^2)
A_f	f - yüzey alanı, (m^2)
$\vec{A}_f$	f - yüzey alan vektörü, (m^2)
a	Sabit terim
b	Sabit terim
$C_{1\varepsilon}$	RNG k-ε türbülans model sabiti
$C_{2\varepsilon}$	RNG k-ε türbülans model sabiti
C_p	Sabit basınçta özgül ısı, (J/kg·K)
C_μ	RNG k-ε türbülans modelinin bir sabiti
C_f	Yüzey sürtünme katsayısı
$\overline{C_f}$	Ortalama yüzey sürtünme katsayısı
D_H	Hidrolik çap, (m)
G	Normalizasyon işleminde kullanılan iterasyon sayısı
$\overline{h}$	Ortalama ısı transferi katsayısı, (W/m²·K)
h_x	Yerel ısı transferi katsayısı, (W/m²·K)
h	Taşınım ısı transferi katsayısı, (W/m²·K)

Simgeler	Açıklamalar
H	Levhalar arasındaki uzaklık, (m)
k	Isı iletim katsayısı, (W/m·K)
k	Türbülans kinetik enerji, (m^2/s^2)
k_∞	Ana akışın girişteki türbülans enerjisi, (m^2/s^2)
k_{ct}	Türbülans ısı iletim katsayısı, (W/m·K)
k_{eff}	Efektif ısı iletim katsayısı, (W/m·K)
κ	Von-Karman sabiti, (=0,4187)
L	Modül uzunluğu, (m)
l_t	Türbülans genliği
I_∞	Girişteki türbülans yoğunluğu
ℓ	Levha uzunluğu, (m)
$\dot{m}$	Yüzey kütle akısı, (kg/s·m²)
Nu_x	Yerel Nusselt sayısı
$\overline{Nu}$	Ortalama Nusselt sayısı
N	İterasyon sayısı
N_{faces}	Hücreyi çevreleyen yüzeylerin sayısı
p^*	Kabul edilen basınç alanı, (Pa)
p_{c0} ve p_{c1}	Bir yüzeyin iki tarafındaki hücrelerdeki basınç değerleri, (Pa)
p'	Hücre basınç düzeltmesi, (Pa)
p_f	f - yüzeyine etkiyen basınç, (Pa)
P	Basınç, (Pa)
P_k	Türbülans kinetik enerji üretimi, (m^2/s^3)
q_w	Isı akısı, (W/m^2)
$\dot{Q}$	Kanal yüzeyinden kanal içerisindeki akışkana taşınım ile gerçekleşen ısı transferi, (W)
R^φ	Kalıntı
$\overline{R}^\varphi$	Normalize edilmiş kalıntı

Simgeler	Açıklamalar
$\mathbf{Pr}$	Prandtl sayısı, ($Pr = c_p\mu/k$)
$\mathbf{Re}$	Reynolds sayısı, ($Re = \rho u D_H / \mu$)
$\mathbf{Re_y}$	Reynolds sayısı
$\mathbf{S}$	Kaynak terimi
$\mathbf{S_c}$	Kaynak terimi sabiti
$\mathbf{S_p}$	Kaynak terimi katsayısı
$\mathbf{S_T}$	Kaynak terimi, ($kg \cdot K/m^3 \cdot s$)
$\mathbf{S_\varphi}$	Birim hacim başına φ kaynağı
$\mathbf{t}$	Zaman, (s)
$\mathbf{t}$	Kanatçık kalınlığı, (m)
$\mathbf{T_b}$	Herhangi bir kesitteki ortalama akışkan sıcaklığı, (K)
$\mathbf{T_\infty}$	Girişteki akışkan sıcaklığı, (K)
$\mathbf{T}$	Sıcaklık, (K)
$\mathbf{T_w}$	Duvar sıcaklığı, (K)
$\mathbf{u}$	Hızın x - yönündeki bileşeni, (m/s)
$\mathbf{u_\tau}$	Duvar kayma hızı, (m/s)
$\overline{\mathbf{u_j t}}$	Reynolds analojisi terimi, ($m \cdot K/s$)
$\overline{\mathbf{u_i u_j}}$	Reynolds gerilimi, (m^2/s^2)
$\mathbf{U}$	Akışkan hızı, (m/s)
$\mathbf{U_o}$	Zamana göre ortalama hız, (m/s)
$\mathbf{u_\infty}$	Akışın girişteki hızı, (m/s)
$\mathbf{v}$	y - yönündeki hız, (m/s)
$\vec{\mathbf{v}}$	Hız vektörü, (m/s)
$\mathbf{V}$	Hücre hacmi, (m^3)
$\mathbf{\alpha_r}$	Relaksasyon faktörü
$\mathbf{\Gamma_\phi}$	Difüzyon katsayısı, (φ için)

Simgeler	Açıklamalar
Γ_{lam}	Laminer difüzyon katsayısı
Γ_{tur}	Türbülans difüzyon katsayısı
δ	İki grid noktası arasındaki mesafe, (m)
δ_{ij}	Kronecker delta
Δ	Kontrol hacminin bir kenarının uzunluğu, (m)
Δt	Zaman adımı, (s)
ΔT_{ln}	Ortalama logaritmik sıcaklık farkı, (K)
ΔT_i	Duvar dıcaklığı ile giriş kesitindeki ortalama akışkan sıcaklığı arasındaki fark, (K)
ΔT_e	Duvar sıcaklığı ile çıkış kesitindeki ortalama akışkan sıcaklığı arasındaki fark, (K)
φ	Skaler değişken
φ_f	φ'nin f - yüzeyinde değiştirilmiş değeri
$\Delta\varphi$	φ'deki hesaplanan değişim
$\nabla\varphi$	φ'nin Gradyanı
$(\nabla\varphi)_n$	$\nabla\varphi$'nin f - yüzeyindeki büyüklüğü
ε	Türbülans yayılım oranı, (m^2/s^3)
ρ	Akışkan yoğunluğu, (kg/m^3)
μ	Akışkan dinamik viskozitesi, (kg/m·s)
μ_{eff}	Efektif dinamik viskozite, (kg/m·s)
μ_t	Türbülans eddy viskozite, (kg/m·s)
τ_ω	Duvardaki kayma gerilmesi, (N/m^2)
α	Ters Prandtl sayısı, (1/Pr)
α_k	k için ters Prandtl sayısı
α_ε	ε için ters Prandtl sayısı
w	Hızın z-yönündeki bileşeni, (m/s)
y^+	Duvara olan boyutsuz uzaklık

İndisler	Açıklamalar
x, y, z	Kartezyen koordinat sistemi, (m)
i, j	x ve y-yönleri
i, e	Giriş, çıkış
lam	Laminer akış
tur	Türbülanslı akış

1.GİRİŞ

Isı transferini artırmak için kullanılan tekniklerden bir tanesi düz yüzeyli kanallarda; düz yüzeyin üzerine kanatçık veya şaşırtıcıların düz bir hat boyunca simetrik veya çapraz bir şekilde yerleştirilmesidir.

Bu tür sistemler endüstride geniş kullanım alanlarına sahiptir. Nükleer reaktörler, güç santralleri, otomotiv veya elektronik ekipmanlar gibi sistemlerin düzgün ve güvenli bir şekilde çalışabilmesi için ısının hızlı ve efektif biçimde çevreye transfer edilmesi gereken yerlerde kullanılırlar. Otomotiv ve soğutma endüstrileri başta olmak üzere, ısı değiştiricilerinin kullanıldığı yerlerde ve yüksek ısıl zorlanmaya maruz kalan elektronik devre elemanlarının kararlı, uzun ömürlü ve güvenli çalışmaları için iyileştirilmiş ısı geçişi sağlayan yüzeylere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sistemler, enerji tasarrufu sağlayabilmek için veya kısıtlı alan nedeniyle sıkça kullanılmaktadırlar.

Kanal yüzeyi üzerine yerleştirilen kanatçık, hidrodinamik ve ısı değerlerini kesintiye uğratır ve akışın duvarlardan ayrılmasına ve engellerin önünde tekrar sirkülasyon bölgesi oluşturmasına sebep olur. Kanal duvarlarına akışın yeniden bağlanması, duvarın yıkanmasına ve konveksiyonla ısı transferi katsayısının artmasına neden olur. Bu metot ısı transferini artırdığı için ısı değiştiricilerinde ve elektronik paketlerde kullanılır. Ne var ki, ısı transferini artırmak yüksek sürtünme faktörüyle bağlantılıdır, bu da pompalama gücünün artırılmasını gerektirir.

Herhangi bir ısı taşınım problemini tanımlamanın ilk adımı, akışın laminer ya da türbülanslı olup olmadığının belirlenmesidir. Yüzey sürtünmeleri ve ısı taşınımı bu şartların varlığına bağlıdır, laminer ve türbülanslı akış şartları arasında oldukça büyük farklar bulunmaktadır. Laminer akış şartında akışkan hareketi oldukça düzenlidir ve parçacıkların hareket alanı boyunca akım

çizgilerini belirlemek mümkündür. Akış hattı boyunca akışkan hareketi düşey ve eksenel doğrultudaki hız bileşenleriyle karakterize edilir. Yüzeyin normali yönündeki v-hız bileşeni sınır tabaka boyunca enerji ve momentum transferine etkili bir biçimde yardım edebilir. Yüzeyin normali doğrultusundaki akış hareketi eksenel yöndeki sınır tabakanın gelişimine ihtiyaç duyar. Tersi olarak, türbülanslı akış şartında akışkan hareketi oldukça düzensizdir ve dalgalanma hızlarıyla karakterize edilir. Bu dalgalanmalar momentum ve enerji transferlerini artırır ve böylece taşınımla meydana gelen ısı transferi yüzey sürtünmelerinin artmasına neden olur. Türbülans akış bölgesindeki şartlar çok sayıda akışkan parçacığının gelişi güzel ve üç boyutlu hareketiyle karakterize edilmektedir. Türbülanslı akış tipinde sınır tabaka boyunca üç farklı bölge görülmektedir. Laminer alt tabakadaki taşınımda difüzyon etkilidir ve hız profili lineere yakındır. Bunun bitişiğinde difüzyon ve türbülans karışımının olduğu bir ara tabakayla karşılaşılır ve daha üst kısımlarda ise taşınımda türbülans karışımlarının baskın olduğu türbülanslı bölge görülür.

Akışın laminer veya türbülanslı olduğuna karar vermek için Reynolds sayısına (Re) bakılması gerekir. Paralel levhalar arasındaki akışta Reynolds sayısı:

$$Re=\frac{\rho V D_H}{\mu} \qquad [1.1]$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada; μ (kg/m.s) akışkanın dinamik viskozitesini, ρ (kg/m^3) akışkanın yoğunluğunu, V (m/s) akışkanın kanal içerisindeki ortalama hızını ve D_H (m) ise hidrolik çapı ifade etmekte ve paralel levhalar için levhalar arasındaki uzaklığın iki katı olarak alınmaktadır (14).

İçine kanatçık yerleştirilmiş paralel levhalar arasındaki akışın 600'ün üzerindeki Reynolds sayıları için türbülanslı akış davranışı gösterdiği Berner, Durst ve McEligot tarafından ifade edilmiştir (10).

Paralel iki levha arasına yerleştirilen kanatçıkların, Reynolds sayısının ve Prandtl sayısının taşınımla ısı transferine ve yüzey sürtünme katsayısına olan etkilerinin incelenmesi bu tezin konusunu oluşturur.

Gerçekleştirilen bu çalışmada Reynolds sayısının 10 000 - 50 000 arasındaki değerleri için akışlar incelenmiştir. Süreklilik, momentum ve enerji denklemleri ayrı ayrı denklemler olarak ele alınmış ve RNG (Re-Normalization Group) k-ε türbülans modeli ile birlikte çözülmüştür. Kanatçık yüksekliğinin, içine simetrik olarak bir dizi karşılıklı kanatçık yerleştirilmiş olan levha içindeki ısı transferine ve akışa olan etkisini incelemek için, kanatçıkların levha akış alanını %25, %20 ve %10 engellediği kanatçık yükseklikleri için sayısal çözüm gerçekleştirilmiştir. Aynı şekilde modül uzunluğunun (L) (Bkz. Şekil 3.1, bir kanatçığın kalınlığı ile iki kanatçık arasındaki mesafenin toplamı) ısı transferine ve akışa olan etkilerinin incelenmesi amacıyla kanatçıklar arası mesafenin levhalar arasındaki mesafeye oranının (L/H) 2, 1 ve 0,5 olduğu üç farklı geometri incelenmiştir. Kanatçık kalınlığının (t) etkisinin incelenmesi için kanatçık kalınlığının levhalar arasındaki mesafeye oranın (t/H) 0,01; 0,05; 0,1; 0,15 ve 0,2 olduğu 5 farklı geometri için sayısal çözüm gerçekleştirilmiştir. Son olarak Prandtl sayısının (Pr) etkisini incelemek amacıyla Prandtl sayısı 0,707; 3,5 ve 5,83 olan hava, freon-12 ve su için sayısal çözüm gerçekleştirilmiştir.

Yapılan bu çalışmada sayısal hesaplama için sonlu hacimler metodunu kullanan Fluent paket programından yararlanılmıştır. Çözümlerde SIMPLE algoritması kullanılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Literatür incelendiğinde paralel levhalar arasındaki akış ve ısı transferi ile ilgili değişik çalışmalara rastlanmış olup bu çalışmalar hakkında kısa bilgi aşağıda verilmiştir.

Luo, Leung ve Chan (2004), tarafından yapılan çalışmada yatay konumda bulunan eşkenar üçgen kesitli kanal içerisine yerleştirilmiş kare kesitli kanatçıkların ısı transferine olan etkisi nümerik olarak iki boyutlu yaklaşımla incelenmiştir (1). Bunun için alt yüzeyine kare kesitli kanatçıklar yerleştirilmiş, üst yüzeyi yalıtılmış paralel iki levha arasındaki türbülanslı zorlanmış akış ve düz yüzeyli eşkenar üçgen kanaldaki türbülanslı zorlanmış akış çözülmüştür.

Diğer bir çalışmada ise Demartini, Vielmo ve Möller (2004), içine iki adet kanatçık yerleştirilmiş dikdörtgen kesitli kanal içindeki türbülanslı akışın sayısal ve deneysel analizini gerçekleştirmişlerdir (2). Sayısal çözümü k-ε türbülans modeliyle Fluent programını kullanarak yapmışlardır. Akış için basınç dağılımının ve tekrar sirkülasyon bölgesinin analizini yapmışlardır.

Kanatçıklı, yatay paralel iki levhanın giriş bölgesindeki laminer ısı transferi sabit yüzey sıcaklığı şartlarında sonlu hacimler metodu kullanılarak sayısal olarak Tehrani ve Abadi (2004) tarafından incelenmiştir (3). Giriş bölgesinde akış yönünde bir dizi simetrik olarak yerleştirilmiş kanatçıklar bulunan bir kanal için sayısal hesaplamaları gerçekleştirmişlerdir.

Yuan, Tao ve Wang (1998), akış boyunca içine dairesel çubuklar yerleştirilmiş paralel iki levha arasındaki laminer akışı zorlanmış taşınım şartlarında sayısal olarak incelemişlerdir (4). Yapmış oldukları çalışmada, akış boyunca içinde dairesel çubuklar bulunan kanaldaki periyodik olarak tam gelişmiş akış için ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Uygun engel pozisyonunda, Nusselt sayısının değerinin düz kanaldakinin dört katına çıkabildiğini, fakat basınç düşümünün de çok yükseldiğini gözlemlemişlerdir.

Engelin ortalama Nusselt sayısına önemli bir etki yaptığını ve engelin ısıl sınır şartının adyabatik olduğu durumda Nusselt sayısının izotermal duruma göre daha büyük olduğunu belirtmişlerdir.

Giriş bölgesinde tek bir engel (levha) bulunan kare kesitli kanaldaki üç boyutlu zorlanmış taşınım ile ısı transferinin sayısal analizi sonlu hacimler metodu kullanılarak Guo ve Anand (1996) tarafından yapılmıştır (5). Yaptıkları çalışmada alt ve üst duvarlarda üniform ısı akısı sınır şartını uygulamışlardır. Yapmış oldukları çalışmanın sonucunda levha varlığının ısı transferini ve sürtünme faktörünü arttırdığını belirtmişlerdir.

Bir diğer çalışmada ise; Wang, Stone ve Vanka (1996), paralel iki levha duvarlarına akış yönünde periyodik, simetrik ve çapraz konfigürasyonda kanatçıklar yerleştirilmiş, kararsız ve laminer akış şartlarında ısı transferi proseslerinin sayısal çözüm sonuçlarını vermişlerdir (6).

Cheng, Huang ve Wang (1990), üzerinde iki sıra ısı transfer kanatçığı bulunan, birbirine eşit olmayan fakat sabit sıcaklıkta tutulan iki levha arasında laminer zorlanmış taşınım durumunu tam gelişmiş akış şartlarında sayısal olarak incelemişlerdir (7). Yaptıkları çalışma sonucunda ısı transferinin arttırılması için kanatçıkların doğru biçimde yerleştirilmesinin önemli olduğunu kanatçıkların karşılıklı gelecek şekilde yerleştirildiği düz konfigürasyon da akışın duvar yüzeyinden ayrılmasına ve akışın tekrar dönerek duvar yüzeyini kaplamasına neden olduğunu, bu durumun duvar ısı transferinin azalmasına neden olabildiğini göstermişler, kanatçıkların karşı karşıya gelmeyecek şekilde çapraz yerleştirildiği düzenlemenin kanatçıkların karşı karşıya gelecek şekilde simetrik yerleştirildiği düzenlemeden daha etkin olduğunu belirtmişlerdir.

Diğer bir çalışmada ise; Webb ve Ramadhyani (1985) tam gelişmiş akış şartlarında eşlenik ısı transferini, içinde çapraz yerleştirilmiş kanatçıklar olan paralel levhalar içinden sabit özelliklerde akışkanın laminer akması ve levha

duvarlarından sabit ısı akısı olması durumunda; farklı geometriler, farklı Reynolds ve Prandtl sayıları için ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir (8). Yüksek Prandtl sayılı akışkanlarda ısı transferinin önemli ölçüde arttığını, ayrıca duvar iletiminin ısı transferine etkisinin büyük olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca; düşük Prandtl sayılı akışkanlar için ısı transferindeki artışın sürtünme faktöründeki artış göz önüne alındığında etkili olmadığını belirtmişlerdir.

Kelkar ve Patankar (1984), içinde çapraz şekilde yerleştirilmiş kanatçıklar bulunan, birbirine eşit ve sabit sıcaklıkta tutulan paralel iki levha arasındaki laminer akışı ve ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir (9). Hesaplamaları farklı Reynolds sayıları, Prandtl sayıları ve değişik geometriler için yapmışlardır. Çapraz yerleştirilen kanatçıkların akışı saptırıp karşı duvara çarptırarak ısı transferini önemli ölçüde arttırdığını, buna karşılık basınç düşümünün de arttığını göstermişlerdir.

Bir diğer çalışmada ise; engeller etrafındaki akış Berner, Durst ve McEligot (1984) tarafından deneysel olarak incelenmiştir (10). Akışın periyodik ve kararlı olması durumunda Reynolds sayısının 600-10 500 arasındaki değerlerinde inceleme yapmışlardır. Çalışmalarında, akışın ana yapısını (akış yönünde periyodik), gelişme uzunluğunu, basınç kayıp katsayısını, anlık ve ortalama hızların dağılımını vermişlerdir. Yeterli gelişme uzunluğundan sonra akışın, akış boyunca periyodik hale geldiği, akış gelişme uzunluğunun Reynolds sayısına ve geometriye (kanatçık yüksekliği/levha uzunluğuna) bağlı olduğu sonuçlarına varmışlardır.

Armaly, Durst, Pereira ve Schönung (1982), Reynolds sayısının 70 ile 8000 arasında olduğu dikdörtgen kesitli bir kanaldaki ters (Backward-facing) akışı; laminer, geçiş ve türbülanslı akış durumları için deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir (11). Deneysel olarak yaptıkları çalışmayı sayısal olarak iki boyutlu çözmüşler, sayısal ve deneysel sonuçların birbiri ile uyumlu olduğunu göstermişlerdir.

Yapılan diğer bir çalışmada ise; tam gelişmiş akışta akış yönünde izotermal ısı transfer levhaları yerleştirilerek oluşturulan ısı değiştiricisi konfigürasyonu laminer akış şartlarında Patankar, Liv ve Sparrow (1977) tarafından incelenmiştir (12).

Yukarıda aktarılan incelemelerin çoğu sadece periyodik olarak tam gelişmiş akış koşulunda ısı transfer özelliklerini göz önüne almışlardır. Ne var ki gerçek ısı değiştiricilerinde ve elektronik ekipman paketlerinde, kanaldaki akış alanı sadece periyodik tam gelişmiş bölge değil aynı zamanda giriş bölgesini de içerir. Özellikle giriş bölgesine sıralı kanatçıklar yerleştirilmişse, gelişmekte olan akış modeli ve ısı transferi üzerinde kanatçıklar önemli bir etkiye sahiptir.

Yapılan bu çalışmada, giriş bölgesinde akış yönünde bir dizi sıralı, simetrik olarak yerleştirilmiş kanatçıklar bulunan paralel iki levha arasındaki akış, kararlı rejim, türbülanslı akış şartlarında iki boyutlu modellenerek sonlu hacimler metodunu kullanan Fluent paket programı kullanılarak sayısal çözümü yapılmıştır. Türbülans modeli olarak RNG (Re-Normalization Group) k-ε modeli kullanılmıştır. Ayrıca, hesaplamalarda SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Süreklilik, momentum ve enerji denklemleri ayrık (segregated) çözüm yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Hücre (grid) sistemi, levha duvarına yakın bölgelerde ve kanatçık çevresinde dörtgen elemanlar, geometrinin geri kalanında üçgen elemanlar, kullanılarak oluşturulmuştur. Buradaki amaç kanatçıkların varlığı ile akış modelinde ve ısı transferi performansındaki değişiklikleri incelemektir. Ayrıca bu çalışma türbülanslı akışta giriş bölgesinin etkisini inceleyen ilk çalışma olacaktır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada iki paralel levha arasına yerleştirilen kanatçıkların yüksekliğinin, modül uzunluğunun, kanatçık kalınlığının (Bkz. Şekil 3.1), Prandtl sayısının ve Reynolds sayısının levhalar arasındaki zorlanmış tanışım ile ısı transferi ve akış üzerine olan etkileri incelenmiştir.

3. SAYISAL AKIŞKANLAR DİNAMİĞİ (SAD) YÖNTEMİ

Genel olarak teknik problemlerin çözümünde analitik, deneysel ve sayısal yöntemlerden biri uygulanır. Deneysel metot güvenilir sonuç vermesine karşın pahalı ve zaman alıcıdır. Analitik yöntem ile sadece lineer problemler çözülebilir. Analitik olarak çözümü yapılamayan problemler iteratif olarak bilgisayar yardımı ile sayısal olarak çözülebilir. Bu çalışmada akış ve sıcaklık alanının sayısal olarak hesaplanmasında, sonlu hacimler yöntemini kullanarak akış ve ısı transferi problemlerini çözebilen, Fluent paket programı kullanılmıştır. Çözümde SIMPLE algoritması kullanılmıştır.

Sayısal çözüm yöntemleriyle problem çözülürken çözüm o alan içinde sonlu sayıda nokta için elde edilir. Sonucun güvenilirliğini artırmak için çözüm elde edilen nokta sayısı artırılır. Bu da bilgisayar kapasitesine bağlıdır. Çözümün ağ sayısından bağımsız olduğunu göstermek için çözüm farklı ağ sayıları için yapılır ve optimum ağ sayısı belirlenir.

Üzerine akış yönünde simetrik olarak kanatçık yerleştirilmiş paralel iki levha arasındaki zorlanmış taşınım ile ısı transferinin hesabında tanımlanan problem, kullanılan matematiksel formüller, fiziksel ve matematiksel model özellikleri ile problem sınır şartları ve yapılan kabuller bu bölümde verilmiştir.

Bölüm 3.1'de fiziksel model, Bölüm 3.2'de çözüm yöntemi, Bölüm 3.3'de matematiksel formülasyon, Bölüm 3.4'de sayısal hesaplama, Bölüm 3.5'de kullanılan Fluent paket programı hakkında bilgi ve Bölüm 3.6'da ise yakınsama kriterleri anlatılmıştır.

3.1. Fiziksel Model

Geometri ve akış iki boyutlu olarak tanımlanmıştır. Şekil 3.1'de bu çalışmada kullanılan problemin fiziksel modeli ve kullanılan koordinat sistemi görülmektedir. Akışın periyodik olarak kendini yenilediği her bir bölge, bir

kanatçığın kalınlığı ile iki kanatçık arasındaki mesafenin toplamı, modül olarak adlandırılmıştır ve Şekil 3.1'de taralı olarak gösterilmiştir.

Şekildeki simgelerde H (m) paralel iki levha arasındaki mesafe, L (m) bir modülün uzunluğu, h (m) kanatçık yüksekliği, t (m) kanatçık kalınlığı ve l (m) kanal uzunluğudur.

Gerçekleştirilen bu çalışmada iki paralel levha arasına yerleştirilen kanatçıkların yüksekliğinin, modül uzunluğunun, kanatçık kalınlığının, Reynolds sayısının ve Prandtl sayısının levhalar arasındaki zorlanmış taşınım ile ısı transferi üzerine etkileri, kararlı rejim ve türbülanslı akış şartlarında sayısal çözümleme yapılarak incelenmiştir.

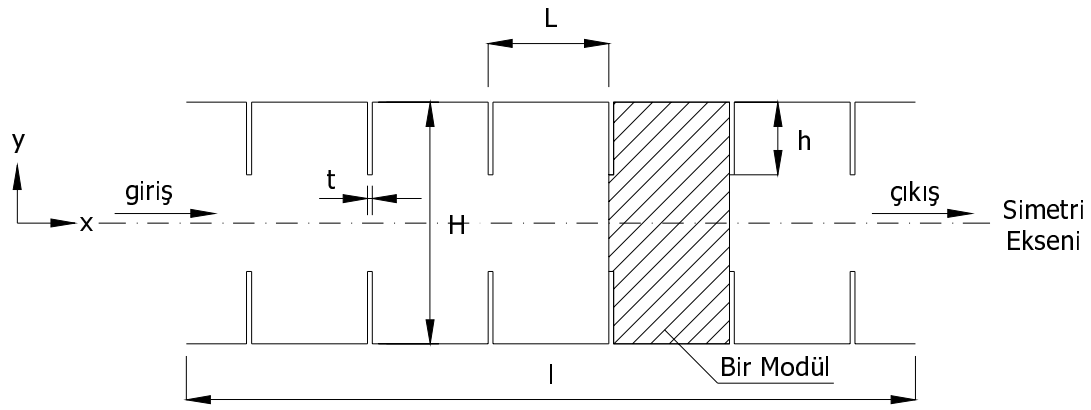
Sayısal çözüm, kanatçık yüksekliğinin akışa ve ısı transferine etkisinin incelenebilmesi amacı ile levha akış alanın 2h/H=%25, %20 ve %10 engellendiği durumlarda h/H=0,05; h/H=0,1 ve h/H=0,125 iken, Reynolds sayısının 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 değerleri için gerçekleştirilmiştir.

Modül uzunluğunun ısı transferine etkisinin incelenebilmesi için sayısal çözüm L/H=2, L/H=1 ve L/H=0,5 geometrileri için Reynolds sayısının 10 000 ile 50 000 arasında değişen değerinde gerçekleştirilmiştir.

Kanatçık kalınlığının ısı transferine etkisinin incelenebilmesi için sayısal çözüm t/H=0,01; 0,05; 0,1; 0,15 ve 0,2 olduğu durumlarda 5 farklı geometri için Reynolds sayısının 10 000 ile 50 000 arasında değişen değerlerinde gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca bu çalışmada, Prandtl sayısı 0,707; 3,5 ve 5,83 olan sırasıyla hava, freon-12 ve su için Reynolds sayısının 10 000 ile 50 000 arasında değişen değerinde sayısal çözüm gerçekleştirilerek Prandtl sayısının ısı transferine olan etkisi incelenmiştir.

Paralel levha materyalinin alüminyum olduğu kabul edilmiştir. Temel geometrik ölçü olarak H=0,1m alınmış, diğer büyüklükler yukarıda belirtilen oranlar için H'dan türetilmiştir. Levhalar arasına karşılıklı 6 sıra kanatçık yerleştirilen geometri için sayısal çözüm gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Problemin fiziksel modeli ve kullanılan koordinat sistemi

3.2. Çözüm Yöntemi

Bu bölümde Nusselt sayısının ve yüzey sürtünme katsayısının belirlenme yöntemi verilmiştir.

3.2.1. Nusselt sayısı

Nusselt sayısı, iki paralel levha arasındaki akış için belirlenen sıcaklık dağılımından yararlanılarak hesaplanır. Yerel Nusselt sayısı şu şekilde hesaplanır;

$$Nu_x = \frac{h_x D_H}{k} \qquad [3.1]$$

Burada;

h_x = x-kesitindeki yerel taşınım ısı transfer katsayısı, ($W/m^2 \cdot K$)

D_H = hidrolik çap (paralel iki levha için, $D_H = 2H$), (m)

k = akışkanın ısı iletim katsayısı, ($W/m \cdot K$)

şeklinde olup Nu_x ise x-kesitindeki yerel Nusselt sayısıdır.

Eş. 3.1'deki yerel taşınım ısı transfer katsayısı x-kesintindeki ısı akısı yardımı ile aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır;

$$h_x = q_x / (T_w - T_{b(x)}) \qquad [3.2]$$

Burada;

q_x = x-kesitindeki yerel ısı akısı, (W/m^2)

T_w = duvar sıcaklığı, (K)

$T_{b(x)}$ = x-kesitindeki ortalama akışkan sıcaklığı, (K)

biçimindedir.

Kanaldaki ortalama Nusselt sayısı ise şu şekilde hesaplanmıştır;

$$\overline{Nu} = \frac{\overline{h} D_H}{k} \qquad [3.3]$$

Burada;

$\overline{h}$ = kanaldaki ortalama taşınım ısı transfer katsayısı, ($W/m^2 \cdot K$)

D_H = hidrolik çap ($D_H = 2H$), (m)

k = akışkanın ısı iletim katsayısı, ($W/m \cdot K$)

Eş. 3.3'de görülen ortalama taşınım ısı transfer katsayısı şu şekilde hesaplanmıştır;

$$\bar{h} = \frac{\dot{Q}}{A\Delta T_{ln}} \qquad [3.4]$$

Burada;

$\dot{Q}$ = kanal yüzeyinden kanal içerisindeki akışkana taşınım ile gerçekleşen ısı transferi, (W)

A = ısı transferinin gerçekleştiği yüzey alanı, (m^2)

ΔT_{ln} = ortalama logaritmik sıcaklık farkı, (K)

biçiminde olup, Eş. 3.4'teki ΔT_{ln} şu şekilde ifade edilir;

$$\Delta T_{ln} = \frac{\Delta T_i - \Delta T_e}{\ln(\frac{\Delta T_i}{\Delta T_e})} = \frac{(T_w - T_b)_i - (T_w - T_b)_e}{\ln\left[\frac{(T_w - T_b)_i}{(T_w - T_b)_e}\right]} \qquad [3.5]$$

Burada;

ΔT_i = giriş kesitindeki duvar sıcaklığı ile ortalama akışkan sıcaklığı arasındaki fark,

ΔT_e = çıkış kesitindeki duvar sıcaklığı ile ortalama akışkan sıcaklığı arasındaki fark,

olarak ifade edilmektedir ve brada i-girişi, e-çıkışı ifade eden alt indislerdir.

Herhangi bir kesitteki ortalama akışkan sıcaklığı ise şu şekilde hesaplanmıştır;

$$T_b = \frac{\int_0^{H/2} uTdy}{\int_0^{H/2} udy} \qquad [3.6]$$

Burada;

u = akışkan hızı, (m/s)

T = sıcaklık,(K)

T_b = herhangi bir kesitteki ortalama akışkan sıcaklığı, (K)

H = levhalar arasındaki mesafe, (m)

3.2.2. Yüzey sürtünme katsayısı

Duvardaki kayma gerilmesine bağlı yüzey sürtünme katsayısı, şu şekildedir;

$$C_f = \frac{\tau_w}{\frac{1}{2}\rho u^2} \qquad [3.7]$$

Burada;

C_f = sürtünme katsayısı, (-)

τ_w = duvardaki kayma gerilmesi, (N/m^2)

ρ = akışkan yoğunluğu, (kg/m^3)

u = akışkan hızı, (m/s)

Ortalama yüzey sürtünme katsayısı Eş. 3.8'den hesaplanmıştır.

$$\overline{C_f} = \frac{1}{L}\int_L C_f(x)dx \qquad [3.8]$$

3.3. Matematiksel Formülasyon

Akışkanlar mekaniğinin temel denklemlerinden olan Navier-Stokes denklemleri kütle, momentum ve enerjinin korunumu kanunlarına dayanır. Bu çalışmada çözülen temel denklemler bu bölümde açıklanmıştır.

3.3.1. Türbülanslı Navier-Stokes denklemleri

Problem türbülanslı akış için sürekli şartlarda, Newton-Fourier akışkanı kabul edilerek sabit yüzey sıcaklığı şartlarında çözülmüştür. Türbülanslı akış RNG $k-\varepsilon$ modeli ile ifade edilmiştir. Bu şartlarda Navier-Stokes ve enerji denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir (17).

Süreklilik:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(u_i\right)=0 \qquad [3.9]$$

Momentum:

$$\rho\frac{\partial}{\partial x_i}\left(u_i u_j\right)=-\frac{\partial p}{\partial x_i}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\right]+\rho\frac{\partial}{\partial x_j}\left(-\overline{u_i' u_j'}\right) \qquad [3.10]$$

Enerji:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\rho u_i T\right)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\frac{k_{eff}}{c_p}\frac{\partial T}{\partial x_j}\right) \qquad [3.11]$$

Burada efektif ısı iletim katsayısı şu şekildedir;

$$k_{eff}=\alpha c_p \mu_{eff} \qquad [3.12]$$

Bu denklemlerde ρ yoğunluğu (kg/m^3), u hızı (m/s), p basıncı (Pa), μ dinamik viskoziteyi (kg/m^3), μ_{eff} efektif dinamik viskoziteyi (kg/m^3), α ters efektif Prandtl sayısını, T sıcaklığı (K) ve k_{eff} efektif ısı iletim katsayısını (W/m·K)

göstermektedir. Ters efektif Prandtl sayısı α Eş. 3.18'deki analitik formül ile hesaplanır.

Momentum denkleminde yer alan Reynolds gerilimi ($\overline{u_i' u_j'}$) ortalama gerilim tensörü şu şekildedir;

$$-\rho\overline{u_i' u_j'} = \mu_t\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) - \frac{2}{3}\rho k\delta_{ij} \qquad [3.13]$$

Burada μ_t türbülans eddy viskozitesini, k türbülans kinetik enerjiyi, δ_{ij} Kronecker deltayı, u hızı (m/s), i ve j akışkanın x ve y-yönlerini göstermektedir.

Eş. 3.13'de verilen türbülans eddy viskozitesi (μ_t) şu şekildedir.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \qquad [3.14]$$

Burada C_μ = sabittir.

Bu modelde türbülans kinetik enerji (k) ve türbülans yayılım oranı (ε) aşağıdaki iki transport denkleminin çözülmesi ile elde edilir.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\alpha_k \mu_{eff}\frac{\partial_k}{\partial x_j}\right) + G_K - \rho\varepsilon \qquad [3.15]$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\alpha_\varepsilon \mu_{eff}\frac{\partial\varepsilon}{\partial x_j}\right) + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}G_K - C_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon \qquad [3.16]$$

RNG k-ε türbülans modeli sabitleri $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$ ve C_{μ} aşağıdaki gibidir.

$$C_{\varepsilon 1}=1{,}42,\ C_{\varepsilon 2}=1{,}68 \text{ ve } C_{\mu}=0{,}0845 \qquad [3.17]$$

Yüksek Reynolds sayıları için μ_{eff} Eş. 3.14'den hesaplanır. Yani, $\mu_{eff}=\mu_t$'dir.

k ve ε için ters Prandtl sayısı α_k ve α_{ε} Eş. 3.18'den hesaplanır.

$$\left|\frac{\alpha-1{,}3929}{\alpha_0-1{,}3929}\right|^{0{,}6321}\left|\frac{\alpha+2{,}3929}{\alpha_0+2{,}3929}\right|^{0{,}3679}=\frac{\mu_{mol}}{\mu_{eff}} \qquad [3.18]$$

Burada α_0 ve R_{ε} sırasıyla şöyledir.

$$\alpha_0=1/Pr=\frac{k}{\mu c_p} \qquad [3.19]$$

$$R_{\varepsilon}=\frac{C_{\mu}\rho\eta^3(1-\eta/\eta_0)}{1+\beta\eta^3}\frac{\varepsilon^2}{k} \qquad [3.20]$$

Burada η, η_0 ve β aşağıdaki gibidir.

$$\eta\equiv Sk/\varepsilon,\ \eta_0=4{,}38 \text{ ve } \beta=0{,}012 \qquad [3.21]$$

Eş. 3.15 ve Eş. 3.16'da G_K kinetik enerji üretim miktarı olup şu şekilde hesaplanır.

$$G_k=-\rho\overline{u_i'u_j'}\frac{\partial u_j}{\partial x_i} \qquad [3.22]$$

Boussinesq hipotezi kullanılarak G_k şu şekilde modellenebilir.

$$G_k = \mu_t S^2 \qquad [3.23]$$

Burada S ortalama gerilme tensörü modülüdür ve şu şekildedir.

$$S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \qquad [3.24]$$

Gerilme tensörü S_{ij} şu şekilde hesaplanır.

$$S_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \qquad [3.25]$$

3.3.2. Yapılan kabuller

Bu çalışmada yapılan kabuller aşağıdaki gibidir;

1. Akış süreklidir,
2. Gövde kuvvetleri ihmal edilmiştir,
3. Levha ve akışkan özellikleri sabittir,
4. Levha ve kanatçık sıcaklıkları sabit ve 350°K'dir,
5. Akışkan giriş sıcaklığı 300°K'dir,
6. Boussinesq'in eddy viskozite yaklaşımı bir türbülans tamamlama modeli olarak Reynolds gerilim tensörünün hesaplanmasında kullanılmıştır.
7. Işıma ile ısı transferi dikkate alınmamıştır.
8. Vizkoz disipasyon ihmal edilmiştir.
9. Duvar yakınındaki ısıl etkiler dikkate alınmıştır.
10. Akışkan fiziksel özellikleri sabit olup, akışkanın kanala giriş sıcaklığındaki değerleri alınmıştır (14).

3.3.3. Duvar yakını modeli yaklaşımı

Türbülanslı akış duvarın varlığından dolayı önemli ölçüde etkilenir. Bundan dolayı, duvar yakınındaki akışın doğru tanımlanması duvar yakınındaki türbülanslı akışın doğru tanımlanması ile olur.

Duvar yakını modeli yaklaşımı duvara yakın alanda tam türbülanslı bölgede RNG k-ε modelini tamamlayan cebirsel uygulamadır. Bu alan deneysel sonuçlardan elde edilmektedir; ince laminer alt tabakadan, tampon bölgeden ve tam türbülanslı tabakadan (logaritmik tabaka) oluşmaktadır. Bu fonksiyonlar duvara yakın bölgede hız dağılımlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Geliştirilmiş duvar fonksiyonları laminer duvar yasasının ve türbülanslı duvar yasasının harmanlanarak kullanılmasına olanak tanır.

Duvara yakın bölgelerdeki hız dağılımı aşağıda verildiği gibi hesaplanır.

$$u^+ = e^{\Gamma} du^+_{lam} + e^{\frac{1}{\Gamma}} du^+_{tur} \qquad [3.26]$$

veya

$$\frac{du^+}{dy^+} = e^{\Gamma} \frac{du^+_{lam}}{dy^+} + e^{\frac{1}{\Gamma}} \frac{du^+_{tur}}{dy^+} \qquad [3.27]$$

Burada, Γ şu şekildedir.

$$\Gamma = -\frac{a(y^+)^4}{1+by^+} \qquad [3.28]$$

Eş. 3.28'deki a ve b sabittir ve değeri sırasıyla 0,01 ve 5'dir.

Eş. 3.27'deki $\frac{du^+_{turb}}{dy^+}$ şu şekildedir.

$$\frac{du^+_{turb}}{dy^+} = \frac{1}{\kappa y^+}\left[1-\beta u^+\right]^{1/2} \qquad [3.30]$$

Eş. 3.30'daki β ısısal etki katsayısı olup şu şekildedir.

$$\beta \equiv \frac{\sigma_t q_w}{\rho c_p\left(u^*\right)T_w} \qquad [3.31]$$

Eş. 3.27'deki $\frac{du^+_{lam}}{dy^+}$ şu şekildedir.

$$\frac{du^+_{lam}}{dy^+} = 1 \qquad [3.32]$$

Burada y^+ duvara olan boyutsuz uzaklık olup şu şekildedir.

$$y^+ = \rho u_\tau y/\mu \qquad [3.33]$$

Duvar yakınındaki sıcaklık formülasyonu şu şekildedir.

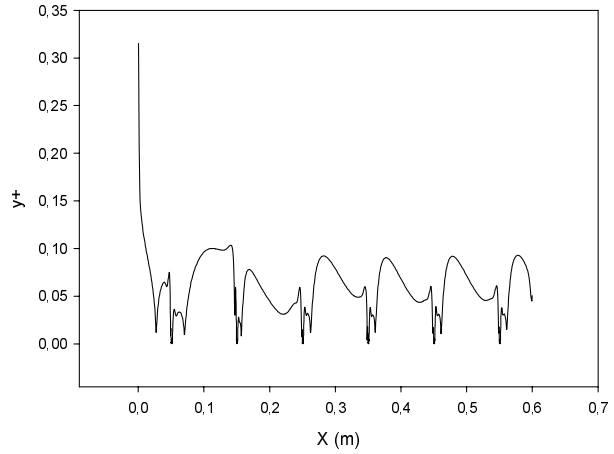
$$dT^+ = e^{\Gamma} dT^+_{lam} + e^{\frac{1}{\Gamma}} dT^+_{tur} \qquad [3.34]$$

Burada Γ şu şekilde hesaplanır.

$$\Gamma = -\frac{a(Pr\cdot y^+)^4}{1+b\cdot Pr^3 y^+} \qquad [3.35]$$

Burada a ve b sabittir ve değeri sırasıyla 0,01 ve 5'dir.

Şekil 3.2'de L/H=1; h/H=0,125 ve t/H=0,01 geometrisi için Reynolds sayısı 50 000 durumu için yapılan çözümden elde edilen y^+ değerinin levha boyunca değişim grafiği verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere y^+ değeri 0,35'den küçüktür. Yani laminer alt tabaka söz konusudur.



Şekil 3.2. y^+ değerinin levha boyunca değişimi

3.3.4. Sınır şartları

Yukarıda verilen Navier Stokes denklemlerinin çözülebilmesi için sınır şartlarının bilinmesi gerekir. Akış ile ilgili sınır şartları aşağıdaki gibi alınmıştır.

Duvar sınır şartı

Şekil 3.1'e göre duvarda (y=H/2) hızlar için kaymanın olmadığı kabul edilmiştir. Böylece y=H/2'da ;

$$u_{y=H/2} = v_{y=H/2} = 0 \qquad [3.36]$$

Türbülans kinetik enerji (k) şu şekildedir.

$$\frac{\partial k}{\partial y} = 0 \qquad [3.37]$$

İki katman yaklaşımında akış, viskozitenin etkili olduğu bölge ve tam türbülanslı bölge olmak üzere iki ana bölümde incelenir.

$$\mu_{t,2layer} = \rho C_\mu \ell_\mu \sqrt{k} \qquad [3.38]$$

$$\ell_\mu = yc_\ell (1 - e^{-Re_y/A_\mu}) \qquad [3.39]$$

$$\mu_{t,enh} = \lambda_\varepsilon \mu_t + (1 - \lambda_\varepsilon)\mu_{t,2layer} \qquad [3.40]$$

$$\lambda_\varepsilon = \frac{1}{2}\left[1 + \tanh\left(\frac{Re_y - Re_y^*}{A}\right)\right] \qquad [3.41]$$

$$A = \frac{|\Delta Re_y|}{\tanh(0,98)} \qquad [3.42]$$

Türbülans yayılım oranı (ε), RNG k-ε modeli için;

$$\varepsilon = \frac{k^{3/2}}{\ell_\varepsilon} \qquad [3.43]$$

olarak ifade edilir. Burada;

$$\ell_\varepsilon = yc_\ell (1 - e^{-Re_y/A_\varepsilon}) \qquad [3.44]$$

$$c_{\ell} = \kappa C_{\mu}^{-3/4} \quad [3.45]$$

$$A_{\mu} = 70 \quad [3.46]$$

$$A_{\varepsilon} = 2c_{\ell} \quad [3.47]$$

$$Re_y = \frac{\rho y \sqrt{k}}{\mu} \quad [3.48]$$

olarak tanımlanmıştır. Burada Re_y türbülans Reynolds sayısı, y duvardan hücre merkezine olan uzunluk, C_{μ} ve κ sabittir ve değerleri sırasıyla 0,0845 ve 0,4187'dir.

Giriş sınır şartı

Akışkan özellikleri girişte üniformdur. Buna göre x=0'da;

$$v = 0\,,\ u = u_{\infty}\,,\ T = T_{\infty}\,, \quad [3.49]$$

Türbülans kinetik enerji ve yayılım oranı akış girişinde aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$k_{\infty} = 1{,}5(I_{\infty} u_{\infty})^2 \quad [3.50]$$

$$\varepsilon_{\infty} = \frac{(c_{\mu} k_{\infty}^2)^{3/4}}{\ell} \quad [3.51]$$

Burada;

$$I_{\infty} = 0{,}16(Re_{DH})^{-1/8} \quad [3.52]$$

$$\ell = 0{,}07L \qquad [3.53]$$

$$L=D_H=2H \qquad [3.54]$$

şeklindedir. T_∞ akışın kanal girişindeki sıcaklığı, u_∞ akışın kanal girişindeki hızı, I_∞ akışın kanal girişindeki türbülans yoğunluğu, k_∞ akışın kanal girişindeki türbülans enerjisi ve ε_∞ kanal girişindeki türbülans yayılım oranı, L ise kanalın hidrolik çapıdır ve değeri 2H'dır.

Simetri sınır şartı

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi problem geometri gereği simetriktir. Problem çözüm zamanını kısaltmak amacıyla problemin y=0'da sınır şartı simetrik olarak tanımlanmıştır. Buna göre y=0' da;

$$\frac{\partial k}{\partial y} = 0 \qquad [3.55]$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial y} = 0 \qquad [3.56]$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} = 0\,,\ v = 0\,, \qquad [3.57]$$

$$\frac{\partial T}{\partial y} = 0 \qquad [3.58]$$

Çıkış sınır şartı

Kanal çıkışında atmosferik şartlar geçerlidir.

3.4. Sayısal Hesaplama

Bu çalışmada sayısal hesaplama için sonlu hacimler yöntemini kullanan Fluent paket programı kullanılmıştır. Süreklilik, momentum ve enerji denklemleri ayrık (segregated) çözüm yöntemi kullanılarak çözülmüştür.

Ayrık çözüm yöntemi hakkında bilgi Bölüm 3.5.1'de verilmiştir.

3.5. Fluent Paket Programı

Fluent; ısı transferi, kütle transferi, akışkanlar dinamiği, kimyasal reaksiyon ve bunun gibi olayların simülasyonunu yapan, kütle korunumu, momentum korunumu, enerji korunumu, türbülans transport ve karışım denklemlerini sonlu hacimler yöntemi ve kontrol hacmi tekniğini kullanarak ayrık (segregated) veya birleşik (coupled) çözüm yöntemi ile sayısal olarak çözebilen, mühendislik uygulamalarında kullanılan genel amaçlı bir bilgisayar programıdır.

Fluent aksi belirtilmedikçe momentum denklemi katsayılarını kullanarak, yüzeylerdeki basınç değerlerinin interpolasyonunu yapar (17). Bu çalışmada standart basınç interpolasyon yöntemi kullanılmıştır.

Momentum, enerji, türbülans yayılım oranı ve türbülans kinetik enerjisi denklemleri ikinci derece upwind metodu kullanılarak interpole edilmiştir.

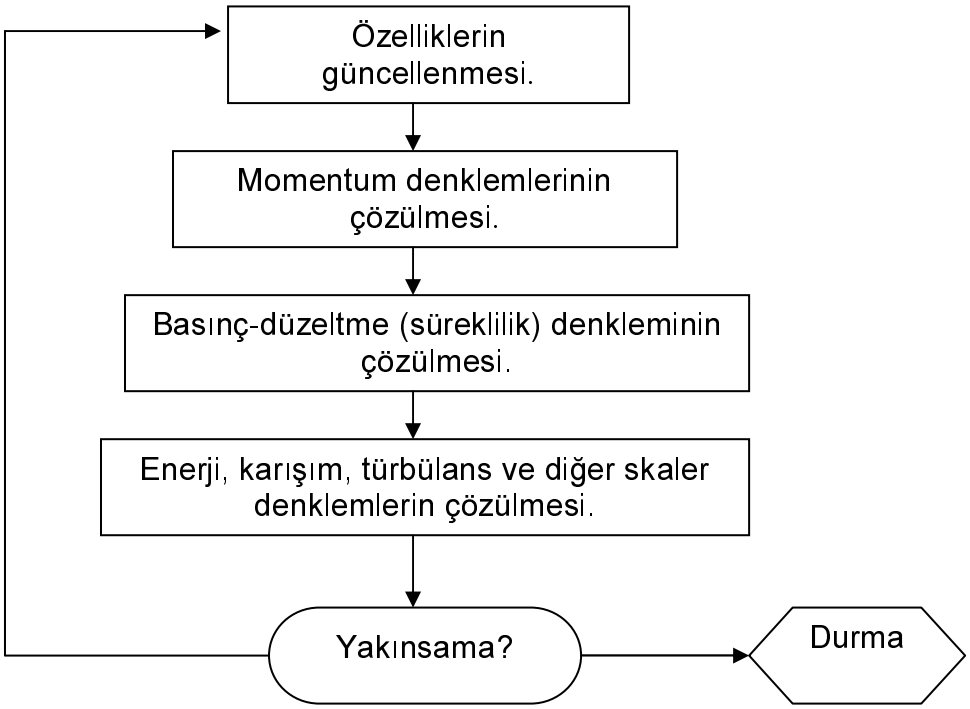
Bu tezdeki çözümlerde ayrık çözüm yöntemi kullanılmış olup Fluent'e ilişkin bilgi verilirken sadece ayrık (segregated) çözüm yöntemi ile bağlantılı olarak bilgi verilmiştir.

3.5.1. Ayrık çözüm yöntemi

Ayrık çözüm yöntemi kullanılırken denklemler ayrı ayrı çözülür, bir denklem çözüldükten sonra elde edilen sonuç sırasıyla diğer denklemlerde kullanılır. Denklemler lineer değildir ve set halindedir, yakınsamış sonucu elde edene kadar çok sayıda çözüm döngüsü yapan iterasyon işlemi uygulanır.

Her bir iterasyon Şekil 3.3'de yer alan adımlardan oluşur ve bu iterasyon adımlarını açıklayıcı bilgi aşağıda verildiği gibidir.

1. Elde edilen sonuca bağlı olarak akışkan özellikleri güncellenir (eğer hesaplama yeni başlatıldı ise başlangıç değerlerinin kullanılmasıyla elde edilen çözümler bir sonraki hesaplamada kullanılır (güncellenir));
2. Hız bilgilerini güncellemek için basınç ve yüzeydeki kütle akısı değerleri kullanılarak u ve v momentum denklemleri çözülür;
3. Adım 2'de elde edilen hızlar yerel olarak süreklilik denklemini sağlamamaktadır, bu nedenle süreklilik denkleminden ve linerize edilmiş momentum denklemlerinden poisson tipi denklem (basınç düzeltme için) türetilir. Basınç alanına, hız alanına ve yüzey kütle akısına gerekli düzeltmeler sürekliliği sağlamak için yapılarak basınç düzeltme denklemi çözülür;
4. Enerji, türbülans, karışım ve ışımaya ilişkin skaler denklemler önceki adımlarda güncellenerek elde edilen sonuçlar (değişken değerleri) kullanılarak çözülür;
5. Fazlar arası ilişkilendirmeyi sağlayan birleştirme yapılırken ayrı faz hesaplaması ile süreklilik faz denklemlerindeki kaynak terimleri güncellenebilir;
6. Denklem setinin yakınsayıp yakınsamadığı kontrol edilir;
7. Yakınsama elde edilinceye kadar 1'den 6'ya kadar olan adımlar tekrar uygulanır.



Şekil 3.3. Ayrık çözüm yönteminin adımları

3.5.2. Denklemlerin lineer hale getirilmesi

Çözülecek denklemler her bir hücrede bağımlı değişkene bağlı denklem sistemi oluşturmak için linerize edilir. Elde edilen lineer sistem, akış alanını belirlemek için çözülür.

Bu çalışmada bağımlı değişkenlere veya değişken setlerine bağlı olarak linerizasyon implisit formda yapılmıştır.

Ayrık çözüm yönteminde denklemler implisit olarak linerize edilir. Her bir hücre için çözülmesi gereken bir denklem seti elde edilir. İmplisit (Gauss-Siedel) lineer denklem çözücü kullanılarak her bir hücre için çözüm elde edilir. Ayrık çözüm yöntemi her bir hücreyi dikkate alarak aynı anda sadece bir değişkeni çözer. Bir sonraki değişkeni her bir hücreyi dikkate alarak çözer ve bu diğer değişkenler içinde devam eder. Ayrık çözüm yöntemi için eksplisit çözüm uygulanabilir olmadığından mevcut değildir.

3.5.3 Denklemlerin ayrıklaştırılması

Fluent, kontrol hacmi tekniği ile denklemleri cebirsel denklemlere dönüştürür ve sayısal olarak çözer. Kontrol hacmi tekniğinde denklemlerin her birinin kontrol hacminde integralleri alınarak her bir bilinmeyen büyüklük için ayrı denklemler elde edilir.

Denklemlerin integrallerinin alınması skaler φ büyüklüğü için sürekli şartlarda aşağıdaki korunum denklemi ile gösterilir:

$$\oint \rho\varphi\vec{v}\cdot d\vec{A} = \Gamma_{\varphi}\nabla\varphi\cdot d\vec{A} + \int_{V} S_{\varphi} dV \qquad [3.59]$$

Burada;

φ : skaler değişken

ρ : yoğunluk, (kg/m³)

$\vec{v}$: hız vektörü, (m/s)

$\vec{A}$: yüzey alan vektörü, (m^2)

Γ_{Φ} : difüzyon katsayısı, (φ için)

$\nabla\varphi$: φ'nin gradyanı

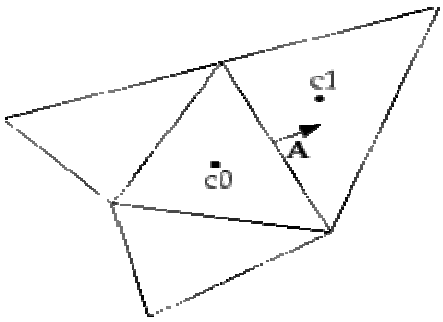
S_{φ} : birim hacim başına φ kaynağıdır.

Eş. 3.59 hesaplama alanındaki her kontrol hacmine (veya hücreye) uygulanır. Şekil 3.4'de iki boyutta örnek kontrol hacminin şekli verilmektedir. Eş. 3.59'un ayrıklaştırılması ile aşağıda yer alan Eş. 3.60 elde edilir.

$$\sum_{f}^{N_{faces}} \rho_f \vec{v}_f \varphi_f \cdot \vec{A}_f = \sum_{f}^{N_{faces}} \Gamma_{\varphi} (\nabla\varphi)_n \cdot \vec{A}_f + S_{\varphi} V \qquad [3.60]$$

Burada;

f	: yüzey
N_{faces}	: hücreyi çevreleyen yüzeylerin sayısı
φ_f	: φ 'nin f yüzeyinde değiştirilmiş değeri
$\rho_f \vec{v}_f \cdot \vec{A}_f$	: yüzeydeki kütle akısı, ($kg \cdot m^2$)
$\vec{A}_f$	: f-yüzey alan vektörü, (m^2)
$(\nabla\varphi)_n$	: $\nabla\varphi$ 'nin f-yüzeyindeki büyüklüğü
V	: hücre hacmi, (m^3).



Şekil 3.4. Skaler transport denklem ayrıklaştırmasının yapıldığı kontrol hacmi

Fluent tarafından çözülen denklemler yukarıda genel formülasyonu verilen yapıda olup, çok boyutlu yapılandırılmış gridlere (polyhedral) uygulanır.

Fluent otomatik olarak hücre merkezinde (Şekil 3.4'de c0 ve c1) skaler φ değerlerini yerleştirir. Buna karşın φ_f'nin yüzeydeki değeri Eş. 3.60'daki taşınım terimi için gereklidir ve hücre merkezindeki değerlerden interpole edilir. İkinci derece upwind metodu kullanılarak bu interpolasyon gerçekleştirilir. Eş. 3.60'daki difüzyon terimi merkezi fark ve daima ikinci mertebe doğruluktadır.

Denklemlerin linerize edilmiş yapıları

Ayrıklaştırılmış skaler transport denklemi (Eş.3.60) hücre merkezinde bilinmeyen skaler φ değişkeni ve çevreleyen komşu hücrelerde bilinmeyen değerleri içerir. Eş. 3.60 lineerize edilirse aşağıdaki hali alır:

$$a_p \varphi = \sum_{nb} a_{nb} \varphi_{nb} + b \qquad [3.61]$$

Burada nb komşu hücreleri temsil eder, a_p ve a_{nb} sırasıyla φ ve φ_{nb} için lineerize katsayılardır. Her bir hücreye komşu olan hücre sayısı grid yapısına bağlıdır, fakat bu bir hücrenin yüzey sayısına eşittir (sınır hücreler hariç).

Benzer denklemler gridlerdeki her bir hücre için yazılabilir ve seyrek katsayılar matrisinden oluşan cebirsel denklem seti halini alır. Skaler denklemler için Fluent implisit (Gauss-Seidel) lineer denklem çözüm yöntemi ile birlikte Cebirsel Çoklu Grid Metodunu (AMG) kullanarak bu lineer sistemi çözer.

Relaksasyon

Fluent tarafından çözülen denklemlerin lineer olmaması φ değişkenindeki değişimin kontrol edilmesini gerektirir. Bu gereksinim relaksasyon ile giderilir, relaksasyon ile φ'deki değişim her bir iterasyonla azaltılır. Her bir hücredeki φ'nin yeni değeri eski değeri kullanılarak elde edilmiştir, φ_{old}. Relaksasyon faktörü (α_r) ile φ'deki hesaplanan değişim ($\Delta\varphi$) aşağıdaki formül ile ifade edilir.

$$\varphi = \varphi_{old} + \alpha_r \Delta\varphi \qquad [3.62]$$

Bu çalışmada hesaplamaların yakınsama davranışları üzerinde çalışmak ve tatmin edici yeterlilikteki yakınsama elde etmek amacıyla relaksasyon faktörlerini belirlemek ve hesaplamayı başlatma prosedürünü oluşturmak için pek çok örnek durum üzerinde çalışılmıştır. Tüm değişkenler için iyi bir sonuç elde edebilmek amacıyla bu tezde yapılan hesaplamalarda Bölüm 3.6.2'de tespit edilen relaksasyon parametreleri kullanılmıştır.

3.5.4. Ayrık çözüm yöntemi için kalıntıların tanımlanması

Ayrıklaştırmadan sonra φ genel değişkeni için P hücrelerindeki korunum denklemleri şu şekilde yazılır.

$$a_p \varphi_p = \sum_{nb} a_{nb} \varphi_{nb} + b \qquad [3.63]$$

Burada a_p merkez katsayısını, a_{nb} komşu hücreler için etkilenen katsayıları göstermektedir, b ise sınır şartlarından gelen terimler $S=S_c+S_P\varphi$ ifadesiyle verilen lineerleştirilmiş kaynak terimindeki S_c (sabit) terimini ihtiva etmektedir.

Eş. 3.63'deki a_p katsayısı,

$$a_p = \sum_{nb} a_{nb-} S_p \qquad [3.64]$$

şeklinde yazılabilir. Burada S_c kaynak terimi sabiti ve S_p kaynak terimi katsayısıdır.

p hücrelerindeki kalıntılar formülü şu şekildedir.

$$R^{\varphi} = \sum_{cells P} \left| \sum_{nb} a_{nb} \varphi_{nb} + b - a_p \varphi_p \right| \qquad [3.65]$$

Boyutsuz kalıntılar (R^{φ}) şu şekildedir:

$$R^{\varphi} = \frac{\sum_{cellsP} \left| \sum_{nb} a_{nb}\varphi_{nb} + b - a_p\varphi_p \right|}{\sum_{cellsP} \left| a_p\varphi_p \right|} \qquad [3.66]$$

Süreklilik denklemi için boyutsuz kalıntılar ayrık çözüm yöntemi için aşağıdadır.

$$R^{\varphi} = \sum_{cellP} \left| P \text{ hücresinde kütle üretim miktarı} \right| \qquad [3.67]$$

Ayrık çözüm yöntemi süreklilik için boyutsuz kalıntılar ise şu şekildedir.

$$\frac{R^{\varphi}_{iterasyonN}}{R^{\varphi}_{iterasyonG}} \qquad [3.68]$$

Burada N iterasyon sayısını ve G ise normalize işleminde kullanılan iterasyon sayısını göstermektedir.

G sayıda iterasyon sonrasındaki normalize edilmiş kalıntı ($\overline{R}^{\varphi}$) şu şekildedir.

$$\overline{R}^{\varphi} = \frac{R^{\varphi}_{iterasyonN}}{R^{\varphi}_{iterasyonG}} \qquad [3.69]$$

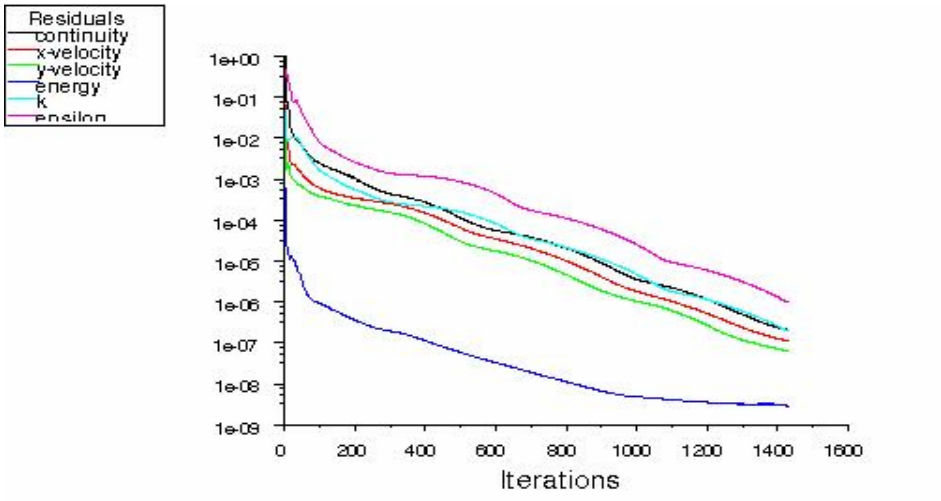
3.6. Yakınsama Kriterleri

Bu bölümde çözümün iterasyon sayısından ve hücre sayısından bağımsız olduğu gösterilmiştir.

Ayrıca giren ve çıkan kütle debilerinin birbirine eşit olduğu yani çözümün kütlenin korunumu yasasını sağladığı görülmüştür. Örneğin; kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,125, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Reynolds sayısı 50 000'de gerçekleştirilen sayısal çözümde giren kütle debisi $\dot{m}_g$=0,2307 kg/s ve çıkan kütle debisinin $\dot{m}_ç$=0,2307 kg/s olduğu görülmüştür.

3.6.1. Çözümün iterasyon sayısından bağımsız olduğunun gösterilmesi

Normalize edilmiş kalıntılardaki değişimler yakınsamayı elde etmek için takip edilmektedir. Kalıntılar $1x10^{-6}$ değerine gelene kadar iterasyona devam edilmiştir. Şekil 3.5'de yakınsamış problemde değişkenler için kalıntıların zamanla değişimi gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Yakınsamış problemde değişkenler için kalıntıların zamanla değişimi

Yüzey sürtünme katsaysının kalıntı ile değişimi Çizelge 3.1'de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi yüzey sürtünme katsaysının değeri kalıntı değeri $1x10^{-5}$ olduktan sonra değişmemektedir.

Çizelge 3.1. Yüzey sürtünme katsayısının kalıntı ile değişimi

Kalıntı Değeri	Yüzey Sürtünme Katsayı
$1x10^{-2}$	0,02783
$1x10^{-3}$	0,01571
$1x10^{-4}$	0,01357
$1x10^{-5}$	0,01204
$1x10^{-6}$	0,01201
$1x10^{-7}$	0,01199

3.6.2. Çözümün hücre sayısından bağımsız olduğunun gösterilmesi

Sayısal hesaplama sonucunu doğru elde etmede uygun hücre yapısının oluşturulması çok önemlidir. Uygun oluşturulmayan hücre yapısı sonucun ıraksamasına veya hatalı sonuç elde edilmesine neden olur. Bu nedenle kullanılan hücre yapısının doğru sonuç verip vermediğinin incelenmesi gerekmektedir.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,125, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Reynolds sayısı 50 000'de çözümün hücre sayısından bağımsız olup olmadığının belirlenmesi amacıyla değişik hücre sayılarında gerçekleştirilen çözüm sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. h/H=0,125; L/H=1 ve t/H=0,01 geometrisinde hücre sayısının ortalama Nusselt sayısına etkisi

Hücre Sayısı	52 193	67 776	77 624
Ortalama Nusselt Sayısı	254,74	252,875	252,72

Çizelge 3.2'de görüldüğü üzere hücre sayısının 67 776'dan 77 624'e çıkarıldığında ortalama Nusselt sayısının değeri yalnızca %0,06 değişmektedir. Çözüme 67 776 hücre sayısıyla devam edilmesi önemli zaman kazancı sağladığından, h/H=0,125; L/H=1 ve t/H=0,01 geometrisinde problem çözümüne bu hücre sayısıyla devam edilmiştir.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Reynolds sayısı 50 000'de çözümün hücre sayısından bağımsız olup olmadığının belirlenmesi amacıyla değişik hücre sayılarında gerçekleştirilen çözüm sonuçları Çizelge 3.3'de verilmiştir. Çizelge 3.3'de görüldüğü üzere hücre sayısının 64 852'den 75 606'a çıkarıldığında ortalama Nusselt sayısının değeri yalnızca %0,48 değişmektedir. Bu yüzden bu geometri için çözüme 64 852 hücre sayısıyla devam edilmiştir.

Çizelge 3.3. h/H=0,1; L/H=1 ve t/H=0,01 geometrisinde hücre sayısının ortalama Nusselt sayısına etkisi

Hücre Sayısı	59 490	64 852	75 606
Ortalama Nusselt Sayısı	240,027	235,234	234,099

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,05, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Reynolds sayısı 50 000'de çözümün hücre sayısından bağımsız olup olmadığının belirlenmesi amacıyla değişik hücre sayılarında

gerçekleştirilen çözüm sonuçları Çizelge 3.4'de verilmiştir. Çizelge 3.4'de görüldüğü üzere hücre sayısının 59 586'dan 73 097'e çıkarıldığında ortalama Nusselt sayısının değeri yalnızca %0,11 değişmektedir. Bu yüzden, bu geometri için 59 586 hücre sayısı optimum hücre sayısı olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.4. h/H=0,05; L/H=1 ve t/H=0,01 geometrisinde hücre sayısının ortalama Nusselt sayısına etkisi

Hücre Sayısı	55 808	59 586	73 097
Ortalama Nusselt Sayısı	193,292	195,016	194,799

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=0,5, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Reynolds sayısı 50 000'de optimum hücre sayısının belirlenmesi için değişik hücre sayılarında gerçekleştirilen çözüm sonuçları Çizelge 3.5'de verilmiştir. Çizelge 3.5'de görüldüğü üzere hücre sayısının 38 478'den 45 657'e çıkarıldığında ortalama Nusselt sayısının değeri yalnızca %0,3 değişmektedir. Bu yüzden h/H=0,05; L/H=1 ve t/H=0,01 geometrisinde çözüme 38 478 hücre sayısıyla devam edilmiştir.

Çizelge 3.5. h/H=0,1; L/H=0,5 ve t/H=0,01 geometrisinde hücre sayısının ortalama Nusselt sayısına etkisi

Hücre Sayısı	33 140	38 478	45 657
Ortalama Nusselt Sayısı	136,636	134,48	134,069

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=2, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometride Reynolds sayısı 50 000 için çözümün hücre sayısından bağımsız olduğu Çizelge 3.6'da gösterilmiştir. Çizelge 3.6'da görüldüğü gibi hücre sayısının 109 288'den 118 216'a çıkarıldığında ortalama Nusselt sayısının

değeri yalnızca %0,3 değişmektedir. Bu yüzden bu geometride çözüme 109 288 hücre sayısıyla devam edilmiştir.

Çizelge 3.6. h/H=0,1; L/H=2 ve t/H=0,01 geometrisinde hücre sayısının ortalama Nusselt sayısına etkisi

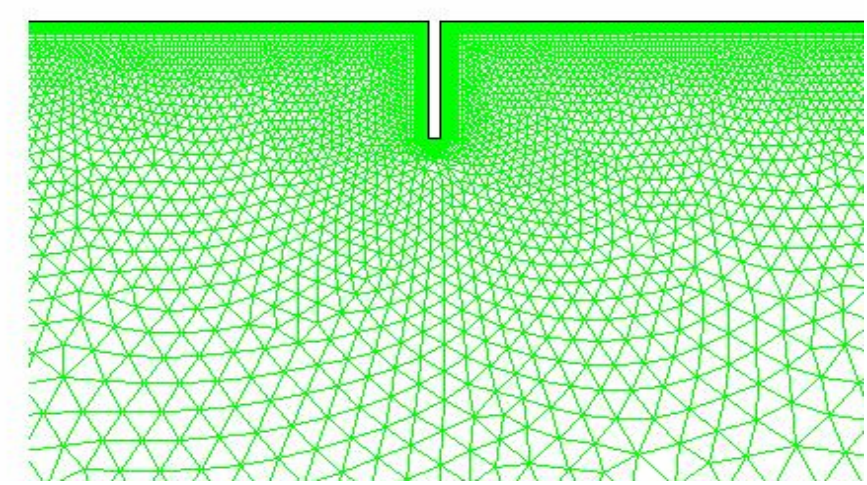
Hücre Sayısı	99 502	109 288	118 216
Ortalama Nusselt Sayısı	417,177	418,945	418,626

Kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1 ve modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının paralel levhalar arasındaki uzaklığa oranı t/H=0,2 geometrisi için optimum hücre sayısını belirlemek için gerçekleştirilen çözüm sonuçları Çizelge 3.7'de verilmiştir. Çizelge 3.7'de görüldüğü üzere hücre sayısının 72 848'den 82 222'e çıkarıldığında ortalama Nusselt sayısının değeri yalnızca %0,23 değişmektedir ve bu nedenle çözüme 72 848 hücre sayısıyla devam edilmiştir. Kanatçık kalınlığının paralel levhalar arasındaki uzaklığa oranı t/H=0,15; 0,1 ve 0,05 olan geometriler içinde 72 848 hücre sayısıyla çözüm yapılmıştır.

Çizelge 3.7. h/H=0,1; L/H=1 ve t/H=0,2 geometrisinde hücre sayısının ortalama Nusselt sayısına etkisi

Hücre Sayısı	62 540	72 848	82 222
Ortalama Nusselt Sayısı	231,77	230,259	230,785

Duvara yakın bölgelere, duvara doğru daralan biçimde dörtgen elemanlarla ağ atılarak sınır tabakası oluşturulmuş, geometrinin geri kalanına simetri eksenine doğru genişleyen biçimde üçgen elemanlarla ağ atılmıştır. Bu çalışmada, kullanılan hücre yapısı Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 . Problem çözümünde kullanılan hücre yapısı

Sayısal hesaplama sonucunu bulabilmek için uygun relaksasyon parametrelerinin seçilmesi de önemlidir. Parametrelerin seçimi iterasyon sayısının az veya çok olması veya çözüm elde edilip edilememesi ile neticelenir. Relaksasyon parametreleri olarak Çizelge 3.8'de verilen değerler alınmıştır.

Çizelge 3.8. Relaksasyon parametreleri

Relaksasyon parametreleri	Relaksasyon
Basınç için	0,3
Yoğunluk için	1
Gövde kuvvetleri için	1
Momentum için	0,7
Türbülans kinetik enerji için	0,8
Türbülansı yayılım oranı için	0,8
Türbülans viskozite için	1
Enerji için	1

4. SAYISAL ÇÖZÜM SONUÇLARI

4.1. Giriş

Yapılan çalışmanın güvenirliğini göstermek, çözüm yönteminin doğruluğunu sınamak amacıyla önce literatürde mevcut olan çalışmalar yapılmış ve sonuçların doğruluğu görüldükten sonra asıl yapılmak istenilen çalışmaya geçilmiştir. Önce literatürde sonuçları mevcut olan aşağıdaki çalışmalar yapılmıştır.

1) Sabit levha yüzey sıcaklığında olan paralel iki levha arasındaki iki boyutlu laminer akış ve ısı transferi,
2) Sabit levha yüzey sıcaklığında olan paralel iki levha arasındaki iki boyutlu türbülanslı akış ve ısı transferi

Daha sonra içine düz bir hat boyunca kanatçıklar yerleştirilen paralel iki levha arasındaki kararlı şartlarda iki boyutlu türbülanslı akış ve zorlanmış taşınımın sayısal çözüm sonuçları Reynolds sayısının 10 000 ile 50 000 arasında değişen değerlerinde yapılmıştır. Modül uzunluğunun, kanatçık yüksekliğinin, kanatçık kalınlığının ve Prandtl sayısının akışa ve ısı transferine etkileri incelenmiştir. Sayısal çalışma h/H'ın 0,05; 0,1 ve 0,125 değerlerinde, L/H'ın 0,5; 1 ve 2 değerlerinde, t/H'ın 0,1 ile 0,2 arasındaki beş farklı değerinde ve Prandtl sayısının 0,707; 3,5 ve 5,83 olması durumunda gerçekleştirilmiştir.

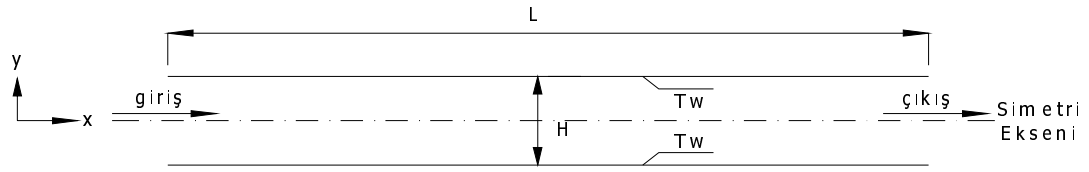
Bu bölüm içinde belirtilen hücre sayılarından ilki x-koordinatındaki ve ikincisi ise y-koordinatındaki hücre sayısını belirtmektedir.

4.2. Literatür İle Kıyaslama

4.2.1. Sabit levha yüzey sıcaklığında olan kanatçıksız paralel iki levha arasındaki iki boyutlu laminer akış ve ısı transferi

Şekil 4.1'de verilen 10m uzunluğunda ve yüzeyleri sabit T_w sıcaklığındaki paralel iki levha arasındaki laminer akışın ve zorlanmış taşınım ile oluşan ısı transferinin iki boyutlu sayısal çözümü Reynolds sayısının 300 olması durumu için yapılarak literatürle kıyaslaması yapılmıştır. Paralel iki levha arasındaki mesafe 0,1m'dir. Akışkan levha içine 300K'de girmektedir ve levha sıcaklığı 350K'dir. Akışkan özellikleri akışkan giriş sıcaklığında yani 300K'de alınmıştır.

Sayısal çözümün hücre sayısından bağımsız olup olmadığı araştırılmış, farklı hücre sayıları için levha boyunca yerel Nusselt sayısının değişim grafiği Şekil 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.2'den de görüldüğü gibi yerel Nusselt sayısı levha girişinden itibaren levha boyunca azalmaktadır. Daha sonra (yaklaşık 1m'de) tam gelişmiş akış rejimine ulaşmakta ve Nusselt sayısı 7,54 değerinde sabit kalmaktadır.

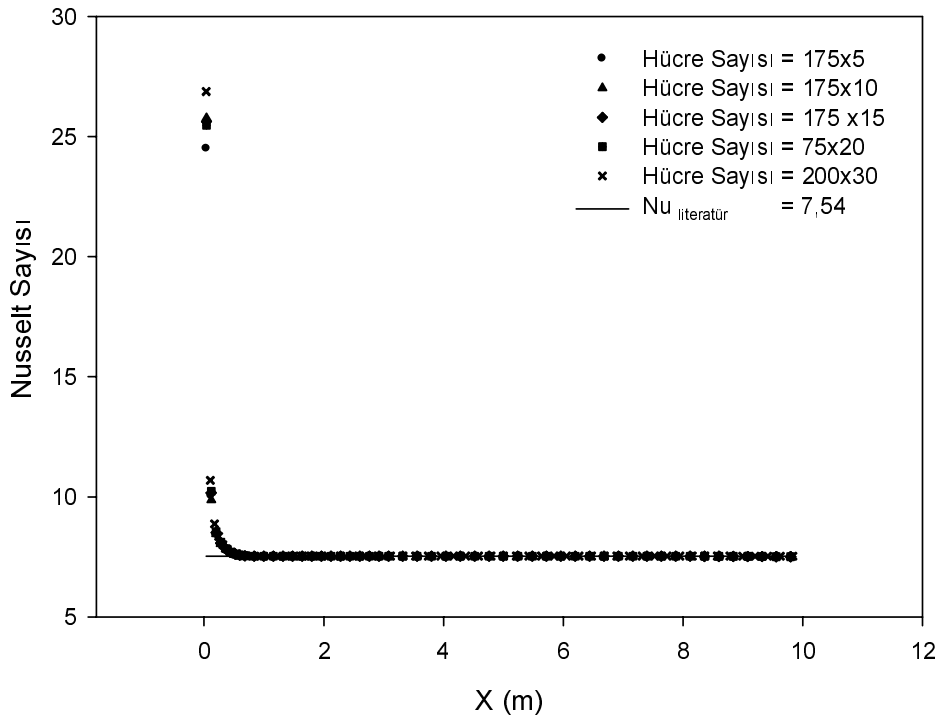


Şekil 4.1. Yüzeyleri sabit sıcaklıkta tutulan iki paralel levha arasındaki akışın görünümü

Hücre sayısı 200x30 iken sayısal olarak hesaplanan Nusselt sayısı ile hücre sayısı 175x20 iken hesaplanan yerel Nusselt sayısı arasındaki fark yüzde 0,03'dir. Bu yüzden 175x20 optimum hücre sayısı olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Yerel Nusselt sayısının hücre sayısıyla değişimi

Hücre Sayısı	175x10	175x15	175x20	200x30
Yerel Nusselt Sayısı	7,524	7,529	7,5323	7,5345

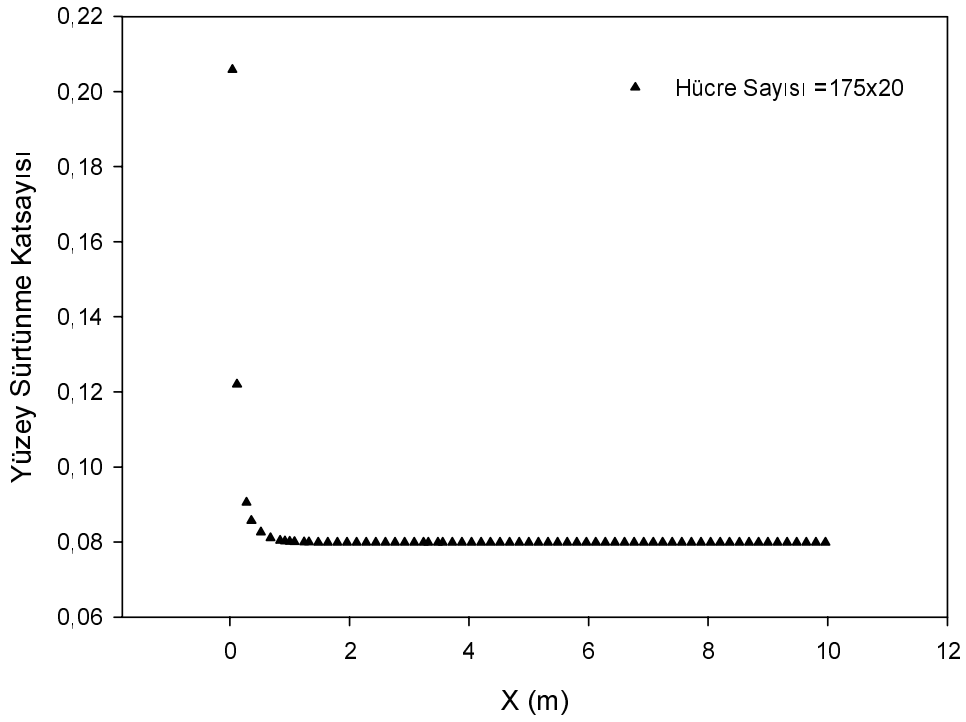


Şekil 4.2. Sabit levha yüzey sıcaklığında, paralel iki levha arasındaki laminer akış, Re=300 için yerel Nusselt sayısının farklı hücre sayılarında levha boyunca değişimi

Belirlenen optimum hücre sayısı olan 175x20 için, Re=300 iken sayısal çözüm yapılarak yüzey sürtünme katsayısının, levha boyunca değişim grafiği Şekil 4.3'de verilmiştir. Grafikten de görüleceği gibi sayısal olarak hesaplanan yüzey sürtünme katsayısı, değeri 0,0799 ile teorik olarak hesaplanan 0,08 değeri arasındaki fark %0,125 kadardır. Yüzey sürtünme katsayısı laminer akışta paralel levha için:

$$C_f = \frac{24}{Re_{DH}} \qquad [4.1]$$

formülü ile verilir (14).



Şekil 4.3. Sabit levha yüzey sıcaklığında, paralel iki levha arasındaki laminer akış için, Re=300'de yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

4.2.2. Sabit levha yüzey sıcaklığında olan kanatçıksız paralel iki levha arasındaki iki boyutlu türbülanslı akış ve ısı transferi

Şekil 4.1'de verilen 3m uzunluğunda, yüzeyleri sabit sıcaklıkta tutulan paralel iki levha arasındaki türbülanslı akışın ve zorlanmış taşınım ile oluşan ısı transferinin iki boyutlu sayısal çözümü RNG k-ε türbülans modeli ile yapılarak tam gelişmiş türbülanslı akışın literatürle kıyaslaması yapılmıştır. Hidrolik çap D_H=2H alınarak, sayısal çözüm sonuçları dairesel kanal için mevcut olan sonuçlar ile kıyaslanmıştır.

Nusselt sayısı, literatürde dairesel kanal içindeki tam gelişmiş akış için verilen Eş. 4.2'deki Dittus-Boelter eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır (14).

$$Nu = 0,023Re^{4/5}Pr^{0,4} \qquad [4.2]$$

Yüzey sürtünme katsayısı Eş. 4.4 ve Eş. 4.5'de verilen Blasius eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır (14).

$$C_f = \frac{f}{4} \qquad [4.3]$$

$$f = 0,316Re_{DH}^{-1/4} \qquad Re_{DH} \leq 2x10^4 \qquad [4.4]$$

$$f = 0,184Re_{DH}^{-1/5} \qquad Re_{DH} > 2x10^4 \qquad [4.5]$$

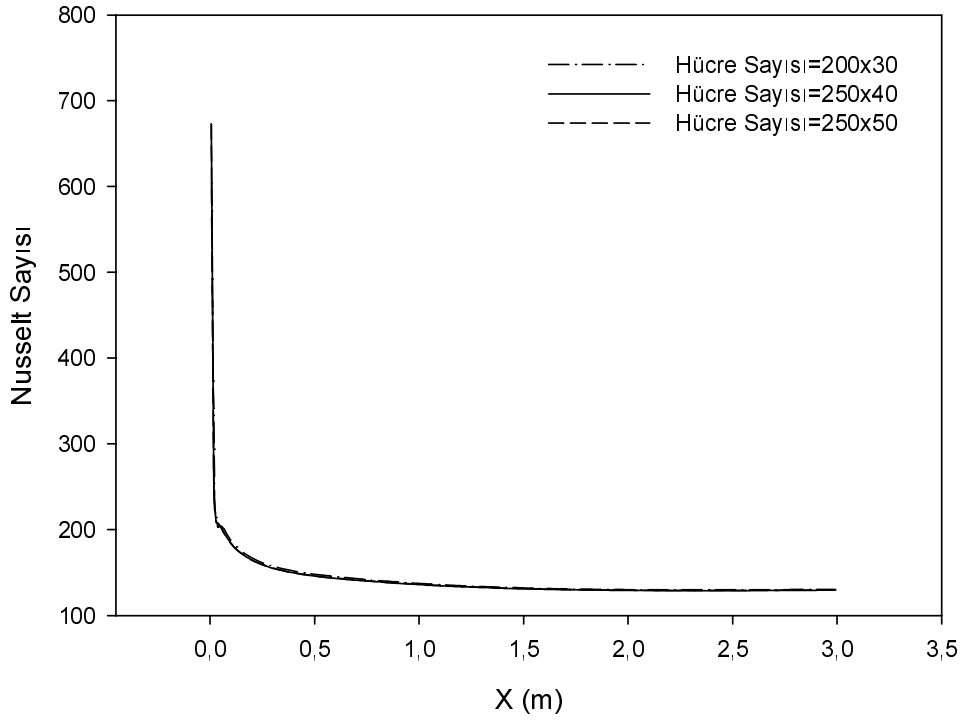
Bu bölümde gerçekleştirilen sayısal çözüm ile Eş. 4.2'de verilen Dittus-Boelter ve Eş. 4.4 ile Eş. 4.5'de verilen Blasius eşitliği ortalama akışkan sıcaklığında ($T_b=(T_i+T_e)/2$) hesaplanmıştır. Burada T_i ve T_e akışkanın kanala giriş ve çıkış ortalama sıcaklık değerleridir.

Yerel Nusselt sayısının hücre sayısıyla değişimi Çizelge 4.2'de verilmiştir. Hücre sayısı 200x40 iken sayısal olarak hesaplanan Nusselt sayısı ile hücre sayısı 250x50 iken hesaplanan Nusselt sayısı arasındaki fark %0,0125'dir. Bu yüzden 250x40 optimum hücre sayısı olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.2. Yerel Nusselt sayısının hücre sayısıyla değişimi

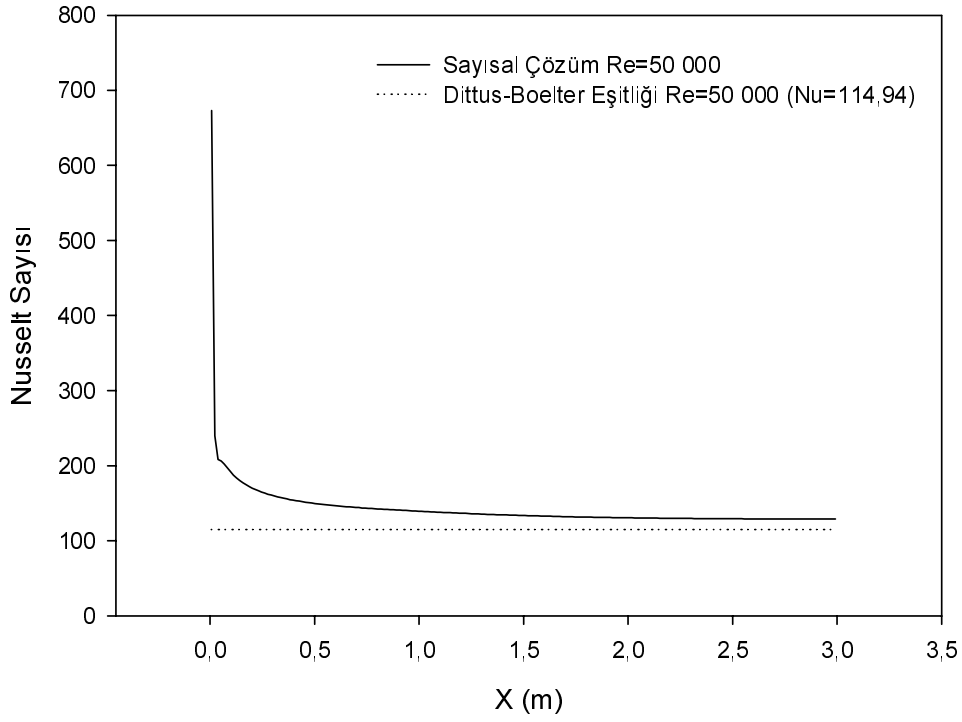
Hücre Sayısı	200x30	200x40	250x50
Yerel Nusselt Sayısı	130,264	129,325	129,309

Farklı hücre sayıları için levha boyunca yerel Nusselt sayısının değişim grafiği Re=50 000 için Şekil 4.4'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi yerel Nusselt sayısı levha girişinden itibaren levha boyunca azalmaktadır. Daha sonra (yaklaşık 2m'de) tam gelişmiş akış rejimine ulaşmakta ve Nusselt sayısı 129,3 değerinde sabit kalmaktadır.



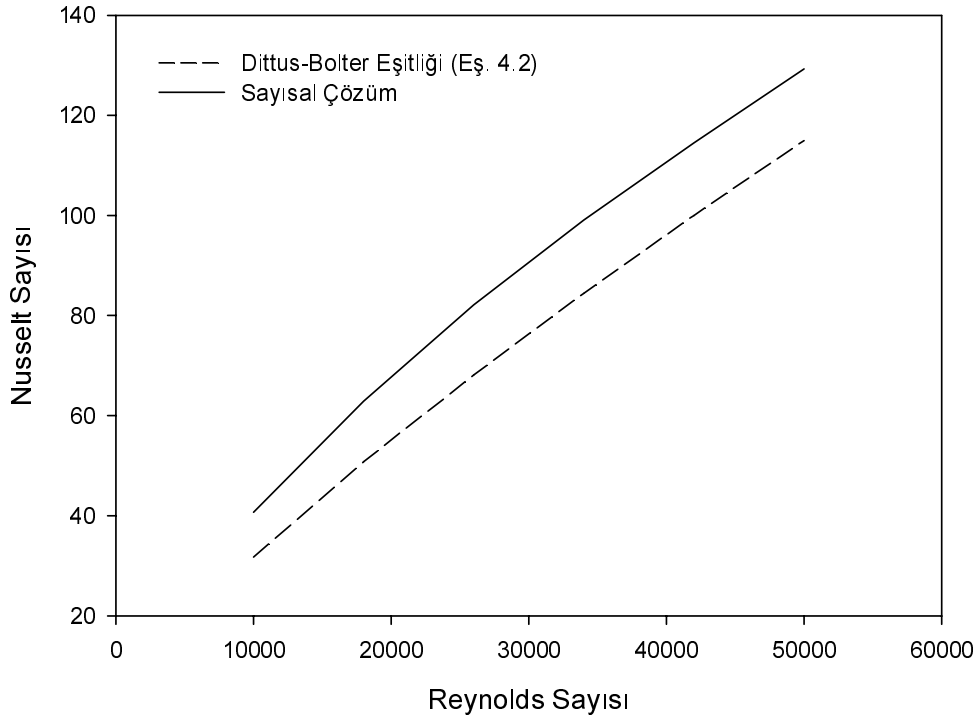
Şekil 4.4. Sabit yüzey sıcaklığında, paralel iki levha arasındaki türbülanslı akış şartlarında, Re=50 000 için yerel Nusselt sayısının farklı hücre sayılarında levha boyunca değişimi

Şekil 4.5'de Reynolds sayısı 50 000 için sayısal olarak ve Dittus-Boelter eşitliği ile elde edilen Nusselt sayısı grafikleri verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi tam gelişmiş akış bölgesinde (x>2m) sayısal çözüm ve Dittus-Boelter eşitliğinden elde edilen sonuç arasındaki fark % 11'dir.



Şekil 4.5. Sabit yüzey sıcaklığında, paralel iki levha arasındaki türbülanslı akış şartlarında, Re=50 000 için yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

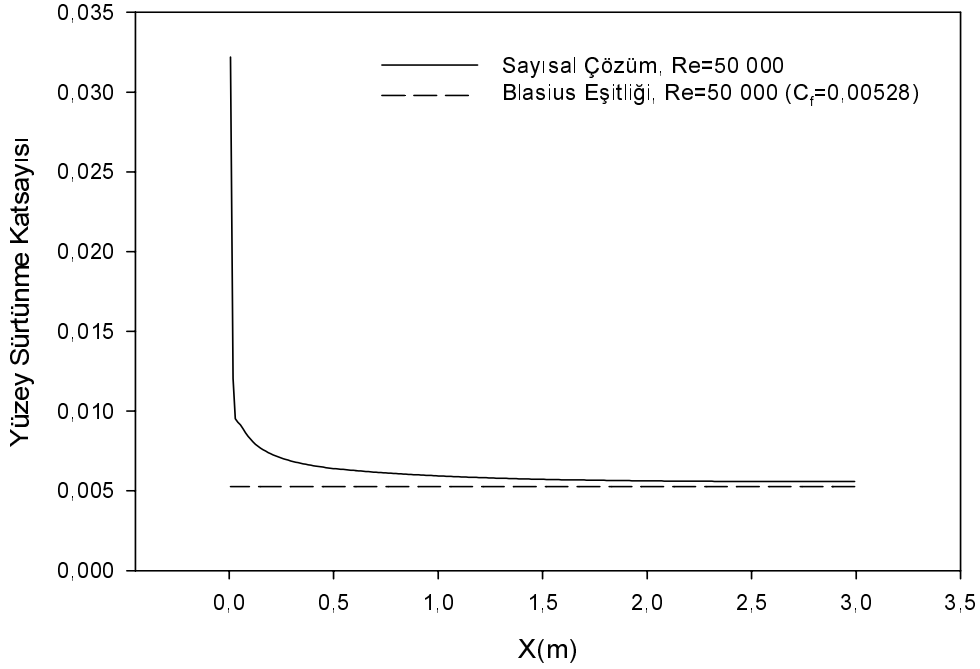
Şekil 4.6'da akış tam olarak geliştikten sonraki yerel Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi verilmiştir. Ayrıca şekilde Dittus-Boelter eşitliği (Eş. 4.2) sonuçları da verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi Reynolds sayısının artışı ile yerel Nusselt sayısının değeri artmaktadır.



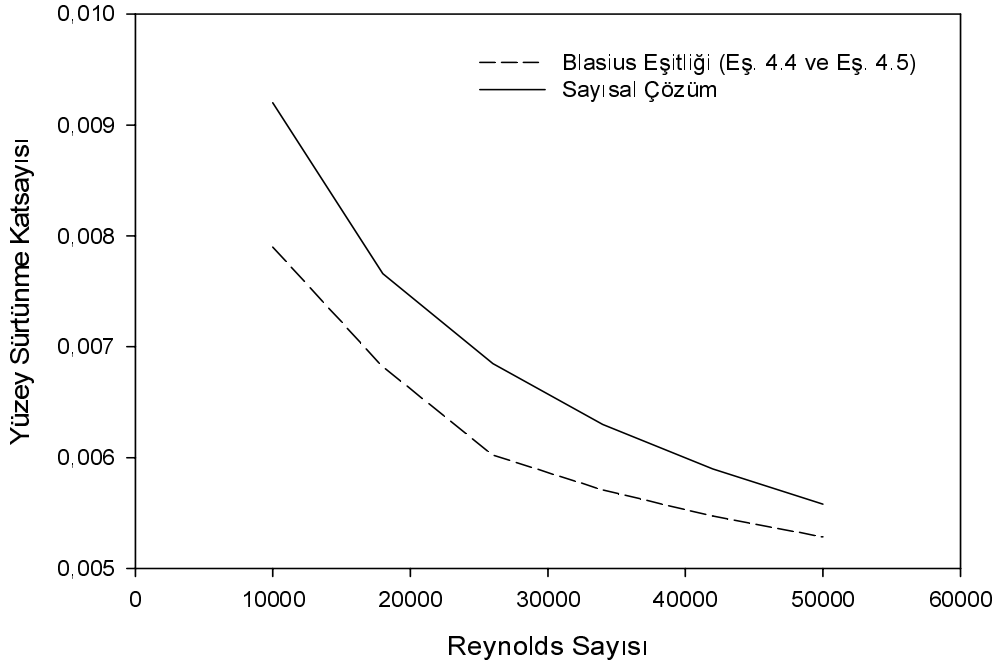
Şekil 4.6. Tam gelişmiş akış şartlarında ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 4.7'de ise Reynolds sayısı 50 000 için sayısal olarak ve Blasius eşitliği ile elde edilen yüzey sürtünme katsayısı grafikleri verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi tam gelişmiş akış bölgesinde (x>2m) sayısal çözüm ve Blasius eşitliğinden elde edilen sonuç arasındaki fark %5,3'dür.

Şekil 4.8'de akış tam olarak geliştikten sonraki yüzey sürtünme katsayısının sayısal ve Blasius eşitliğinden, Reynolds sayısının 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000, ve 50 000 değerleri için, elde edilen sonuçlar verilmiştir. Şekilden görüleceği gibi Reynolds sayısının artışı ile yüzey sürtünme katsayısının değeri düşmektedir.



Şekil 4.7. Sabit yüzey sıcaklığında, paralel iki levha arasındaki türbülanslı akış şartlarında, Re=50 000 için yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi



Şekil 4.8. Tam gelişmiş akış şartlarında ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

4.3. Yapılan Çalışma Sonuçları

Önceki bölümlerde literatürde yapılmış iki çalışma aynen tekrarlanmış ve literatürdeki doğru sonuçlara ulaşılmıştı. Böylece, benzer yaklaşımla gerçekleştirilecek çalışmanın doğru olacağı varsayılmış ve bu tezin konusunu oluşturan kanatçıklı paralel iki levhanın giriş bölgesindeki türbülanslı akış ve ısı transferinin sayısal çözümüne geçilmiştir.

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği üzere iki paralel levha arasındaki mesafe H=0,1m olarak alınmış, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan h/H, kanatçık kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H ve bir modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan L/H gibi diğer boyut parametreleri H'a göre belirlenmiştir (Bkz. Şekil 3.1)

Sayısal çalışma bir modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan L/H'ın 0,5; 1 ve 2 olması durumunda, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan h/H'ın 0,05; 0,1 ve 0,125 olması durumunda (diğer bir ifade ile belirtmek gerekirse; kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasında oluşturduğu blokaj oranı 2h/H=%10, %20 ve %25 için) ve kanatçık kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan t/H'ın sırasıyla 0,01; 0,05; 0,1; 0,15 ve 0,2 olması durumlarında Reynolds sayısının 10 000 ile 50 000 arasındaki değişen değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, Prandtl sayısının 0,707 (hava), 3,5 (freon-12) ve 5,83 (su) olması durumu da sayısal olarak incelenmiş ve sonuçlar bu bölümde verilmiştir. Böylece, diğer bir şekilde söylemek gerekirse; gerçekleştirilen sayısal çalışmada kanatçık yüksekliğinin, modül uzunluğunun, kanatçık kalınlığının, Reynolds sayısının ve Prandtl sayısının kanatçıklı paralel iki levha arasındaki ısı transferi ve akış üzerindeki etkileri yapılan sayısal çalışmada incelenmiştir.

Öncelikle, Prandtl sayısı Pr=0,707 yani akışkanın hava olması durumunda modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 geometrisi için h/H'ın 0,125; 0,1 ve 0,05 olması durumu Reynolds sayısının 10 000 ile 50 000 arasında değişen değerleri için sayısal çalışma gerçekleştirilmiş ve sayısal çalışma sonuçları Bölüm 4.3.1'de verilmiştir. Diğer bir ifade ile belirtmek gerekirse; L/H=1 için kanatçığın iki paralel levha arasında meydana getirdiği blokaj miktarları 2h/H= %10, %20 ve %25 olması durumlarında ve Reynolds sayısının 10 000 ile 50 000 arasında değişen değerlerinde sayısal çalışma gerçekleştirilmiştir.

Sonra Prandtl sayısının 0,707 yani akışkanın hava olması durumunda geometrik oranı L/H=0,5 (L/H=modül uzunluğu/iki paralel levha arasındaki uzunluk), h/H=0,1 olması durumunda (diğer bir şekilde ifade etmek gerekirse; kanatçığın kanal içerisinde gerçekleştirdiği blokajın 2h/H=%20 olması durumu) ve kanatçık kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan t/H=0,01 olması durumunda Reynolds sayısının (Re) 10 000 ile 50 000 arasında değişen değerlerinde sayısal çalışma gerçekleştirilmiş ve sayısal çalışma sonuçları ise Bölüm 4.3.2'de verilmiştir.

Gerçekleştirilen diğer bir çalışmada ise, akışkanın yine hava (Pr=0,707) olması durumunda, geometrik oranı L/H=2 (L/H=modül uzunluğu/iki paralel levha arasındaki uzunluk) geometrisi için kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan h/H=0,1 olması durumunda (diğer bir şekilde ifade etmek gerekirse; kanatçığın kanal içerisinde gerçekleştirdiği blokajın 2h/H=%20 olması durumu) ve kanatçık kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan t/H=0,01 olması durumunda Reynolds sayısının (Re) 10 000 ile 50 000 arasında değişen değerlerinde sayısal çalışma gerçekleştirilmiş ve sayısal çalışma sonuçları ise Bölüm 4.3.3'de verilmiştir.

Bölüm 4.3.4'de ise kanal içerisinde akan akışkanın hava (Pr=0,707) olması durumunda kanatçık yüksekliğinin paralel iki levha arasındaki ısı transferi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Modül uzunluğunun (bir kanatçık kalınlığı ile iki kanatçık arasındaki mesafenin toplamı) iki paralel levha arasındaki ısı transferine etkisi akışkanın hava (Pr=0,707) olması durumunda sayısal olarak incelenmiş ve sonuçlar ise Bölüm 4.3.5'de verilmiştir.

Bölüm 4.3.6'da ise kanatçık kalınlığının iki paralel levha arasındaki ısı transferine etkisi akışkanın hava (Pr=0,707) olması durumunda incelenmiştir.

Bölüm 4.3.7'de ise kanatçık yüksekliğinin paralel levhalar arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1 (diğer bir şekilde ifade etmek gerekirse; kanatçığın kanal içerisinde gerçekleştirdiği blokajın 2h/H=%20 olması durumu) ve modül uzunluğunun levhalar arasındaki mesafeye oranı L/H=1 için Reynolds sayısının 10 000 ile 50 000 arasında değişen değerlerinde Prandtl sayısı Pr=0,707 olan hava, Prandtl sayısı Pr=3,5 olan freon-12, ve Prandtl sayısı Pr=5,8 olan su için sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiş ve sonuçlar bu bölümde verilmiştir.

Son olarak ise, Prandtl sayısının kanatçıklı iki paralel levha arasındaki ısı tranferi üzerine etkisi sayısal olarak incelenmiş ve sonuçlar Bölüm 4.3.8'de verilmiştir.

Gerçekleştirilen sayısal çalışma sonucunda; kanatçıklardan dolayı akıştaki ayrılmalar, tekrar birleşmeler ve girdap hareketlerinden dolayı kanal boyunca Nusselt sayısı değişmektedir. Kanatçık, levha yüzeyi boyunca oluşan akışı kesintiye uğratmakta ve akışkanın levha yüzeyinden ayrılarak kanatçık önünde yeniden sirkülasyon bölgesi oluşmasına neden olmaktadır. Akışkanın levha yüzeyinden ayrıldığı noktalarda yerel Nusselt sayısının düşük olduğu, akıştaki tekrar birleşmenin olduğu noktalarda ise yerel Nusselt sayısının

yüksek olduğu görülmüştür. Yine aynı şekilde, akışkanın levha yüzeyinden ayrıldığı noktalarda yüzey sürtünme katsayısının düşük olduğu, akıştaki tekrar birleşmenin olduğu noktalarda ise yüzey sürtünme katsayısının yüksek olduğu gözlenmiştir.

4.3.1. L/H=1 ve t/H=0,01 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

Fiziksel görünümü Şekil 3.1 ile verilen problem, modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan L/H=1 ve kanatçık kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan t/H=0,01 iken kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan h/H=0,125; 0,1 ve 0,05 için (diğer bir ifade ile belirtmek gerekirse kanatçığın iki paralel levha arasında oluşturduğu blokajın %25, %20 ve %10 olması durumunda) Reynolds sayısının 10 000 ile 50 000 arasında değişen değerlerinde ve kanal içerisindeki akışkanın hava (Pr=0,707) olması durumunda sayısal çalışma gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sayısal çalışma sonuçları yerel Nusselt sayısının ve yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi şeklinde grafiksel olarak ifade edilmiştir. Nusselt sayısının ve yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişim grafikleri kanatçık üzerindeki değişim ihmal edilerek çizilmiştir.

<u>L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları</u>

Modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan L/H=1 ve kanatçık kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan t/H=0,01 iken, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan h/H=0,125 için yani diğer bir ifade ile belirtmek gerekirse; kanatçığın iki paralel levha arasında oluşturduğu blokajın %25 olması durumunda Reynolds sayısının 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 değerlerinde akışkanın hava (Pr=0,707) olması durumunda gerçekleştirilen sayısal çözüm sonuçları bu bölümde verilmiştir. Optimum hücre sayısı 67 776 olarak belirlenmiş ve çözüm bu hücre sayısında

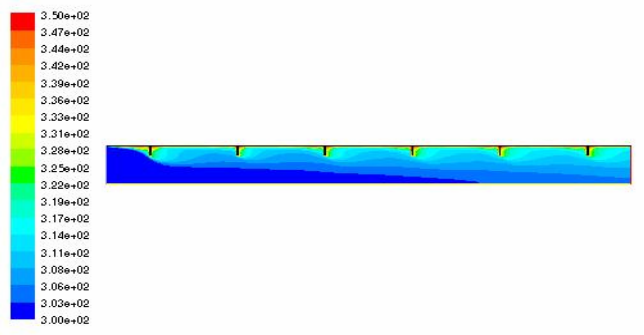
gerçekleştirilmiştir (Bkz. Çizelge 3.2). Elde edilen sayısal çalışma sonuçları yerel Nusselt sayısının ve yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi şeklinde Reynolds sayısına bağlı olarak grafiksel biçimde Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir.

Reynolds sayısı 10 000 için levha içindeki sıcaklık dağılımı, hız vektörleri, hız konturları ve akım çizgileri Şekil 4.9'da ile Şekil 4.14 arasındaki şekillerde gösterilmiştir. Reynolds sayısı 50 000 için hız dağılımı, hız vektörleri, hız konturları ve akım çizgileri EK-1'de gösterilmiştir. Yine simetri ekseni ve kanal çıkışındaki hız ve sıcaklık grafikleri EK-1'de verilmiştir.

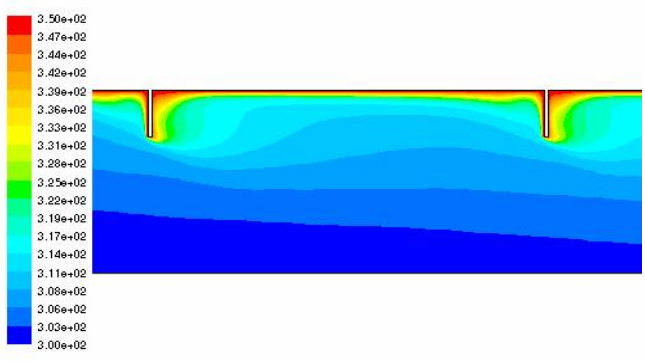
Reynolds sayısı 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 için elde edilen yerel Nusselt sayısının levha boyunca olan değişim grafikleri sözü edilen her bir Reynolds sayısı için EK-1'de verilmiştir.

Ayrıca, Reynolds sayısı 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 için elde edilen yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca olan değişim grafikleri sözü edilen her bir Reynolds sayısı için yine burada konu bütünlüğünü bozmamak için EK-1'de verilmiştir.

Levha içindeki akışkan sıcaklık dağılımı Şekil 4.9 ve 4.10'da gösterilmiştir.

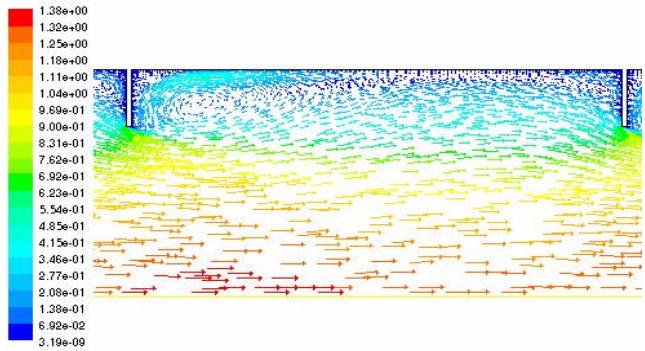


Şekil 4.9. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de levha içindeki akışkan sıcaklık dağılımı

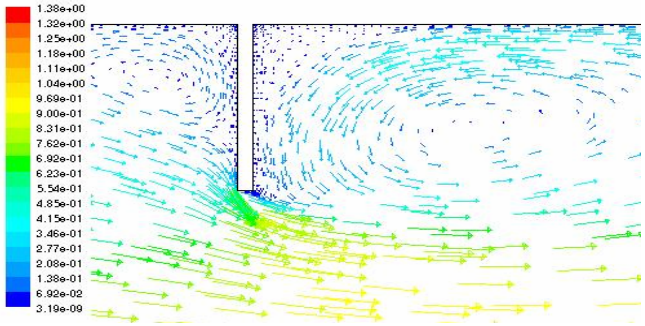


Şekil 4.10. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de 3. ve 4. kanatçık arasındaki akışkan sıcaklık dağılımı

Kanatçık ve kanal duvar yüzeyi çevresindeki akışkan sıcaklığının beklendiği gibi yüksek olduğu Şekil 4.9 ve 4.10'dan gözlenmiştir.



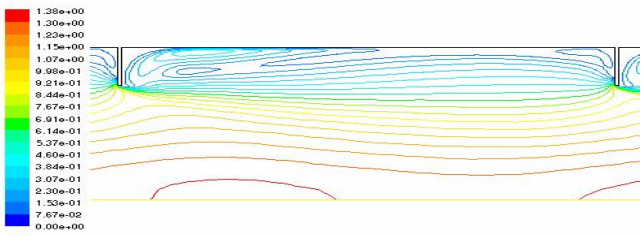
Şekil 4.11. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de 3. ve 4. kanatçık arasındaki hız vektörleri



Şekil 4.12. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de kanatçık etrafındaki hız vektörleri

Şekil 4.11'de iki kanatçık arasındaki (bir modüldeki) ve Şekil 12'de kanatçık etrafındaki hız vektörleri gösterilmiştir. Kanatçığın hemen arkasında büyük bir tekrar sirkülasyon bölgesi oluştuğu, kanatçığın önünde ise daha küçük tekrar sirkülasyon bölgesi oluştuğu gözlenmiştir.

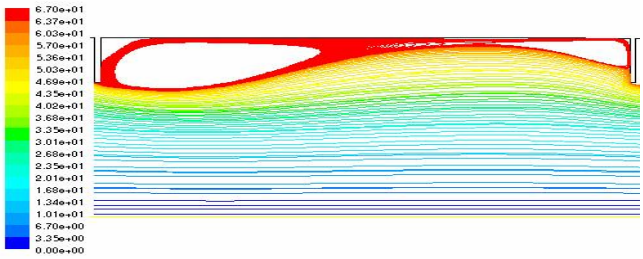
Bir modüldeki hız konturları Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de 3. ve 4. kanatçık arasındaki hız konturları

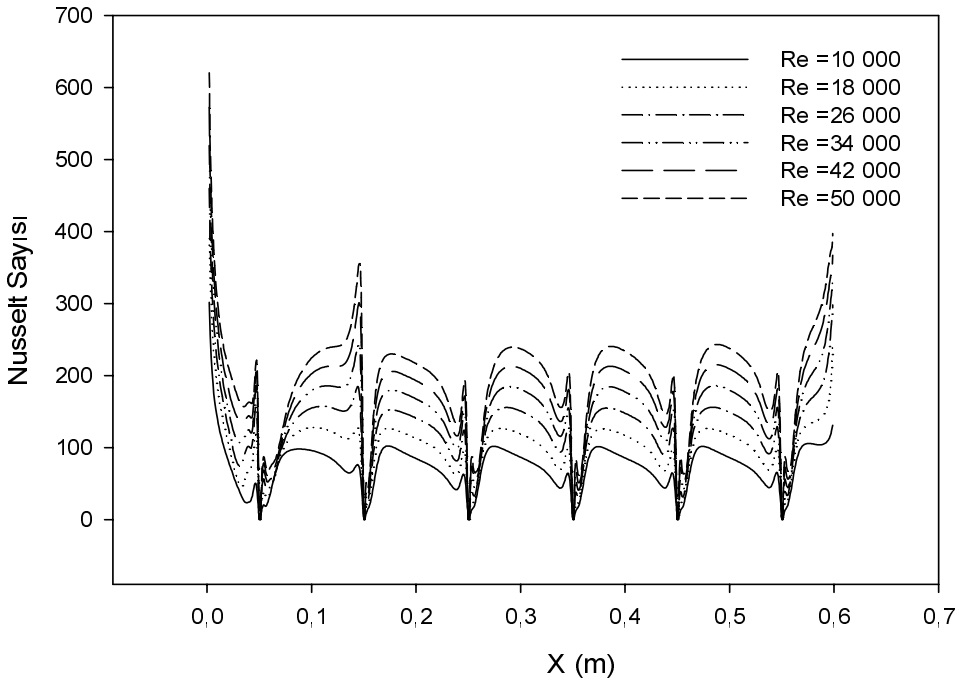
Kanatçıkların akışı kesintiye uğrattığı kanatçıklar arasında ve özellikle kanatçık ve levha yüzeyinde akışkan hızının düşük olduğu Şekil 4.13'den görülmüştür. Kanatçık uç noktalarında akışkan hızının arttığı görülmüştür.

Bir modüldeki akım çizgileri Şekil 4.14'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi kanatçık nedeni ile akış levha yüzeyinden ayrılmaktadır. Kanatçığın arkasında büyük, kanatçığın önünde daha küçük bir tekrar sirkülasyon bölgesi oluşmaktadır. Modülün orta noktasını geçtikten sonra akış levha yüzeyine tekrar bağlanmaktadır.



Şekil 4.14. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de akım çizgisi

Yerel Nusselt sayısının değişik Reynolds sayılarında (Re=10 000-50 000) levha boyunca olan değişimi Şekil 4.15'de verilmiştir. Şekil 4.15'den görüldüğü gibi artan Reynolds sayısı ile levha üzerindeki yerel Nusselt sayısı artış göstermektedir. Ayrıca şekilden görüleceği üzere sabit Reynolds sayısı için bir modül ele alınacak olursa, yerel Nusselt sayısı modül uzunluğu boyunca Re=10 000 hariç üç ayrı noktada maksimum değere ulaşmaktadır ve Re=10 000 için ise iki ayrı noktada maksimum değere ulaşmaktadır. Bunlardan birincisi modülün başlangıcında yani kanatçıktan hemen sonra, diğeri modül ortasına doğru, üçüncüsü ise modülün sonuna doğru yani kanatçıktan hemen öncedir. Bunun sebebi ise levhalar arasına konulan kanatçıklardan dolayı sınır tabakası ayrılması söz konusu olmakta ve kanatçıktan sonra bir sirkülasyon bölgesi yani ters akış söz konusu olmaktadır. Akışın yeniden birleşme noktasında ise yerel Nusselt sayısı maksimum olmaktadır. Reynolds sayısının artmasıyla tekrar birleşme noktasının kanatçıktan uzaklığının arttığı görülmüştür.



Şekil 4.15. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için yerel Nusselt sayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi

Şekil 4.15'den görüleceği gibi akış kısa bir giriş uzunluğundan sonra Reynolds sayısına bağlı olarak, periyodik olarak tam gelişmiş akış rejimine ulaşmaktadır.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,125, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 ve Reynolds sayısı 10 000 için akış ikinci kanatçıktan itibaren ısıl olarak periyodik tam gelişmiş hale gelmiş ve yerel Nusselt sayısının değeri x-ekseni boyunca her bir kanatçık aralığı için birbirini tekrar etmiştir (Şekil EK-1.1). Re=10 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,04 ile 102 arasında tekrar etmektedir.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,125, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 geometrisi ele alınarak Re=18 000 için yapılan sayısal çalışma akışın üçüncü kanatçıktan itibaren ısıl olarak periyodik tam gelişmiş hale geldiğini göstermiştir. Re=18 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,08 ile 126 arasında tekrar etmektedir (Şekil EK-1.2).

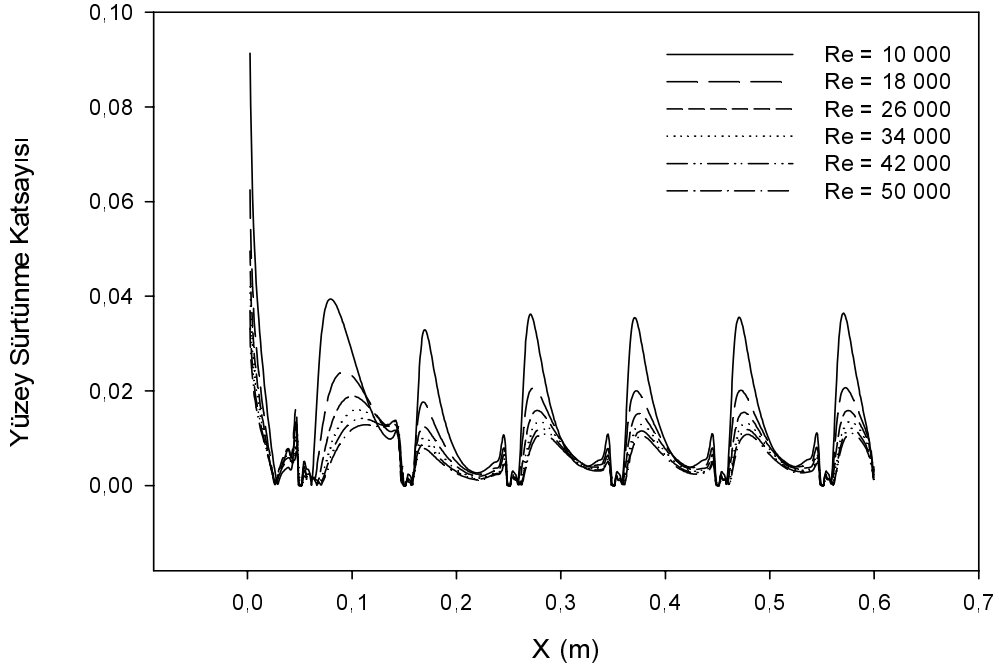
Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,125, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=26 000'de yapılan sayısal çalışma sonucunda akışın üçüncü kanatçıktan itibaren periyodik olarak tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür (Şekil EK-1.3). Re=26 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,15 ile 156 arasında tekrar etmektedir.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,125, modül uzunluğunun paralel levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 ve Re=34 000 için akış üçüncü kanatçıktan itibaren ısıl olarak periyodik tam gelişmiş hale gelmektedir (Şekil EK-1.4). Re=34 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,2 ile 184 arasında tekrar etmektedir.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,125, modül uzunluğunun paralel levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 ve Re=42 000 için akış üçüncü kanatçıktan itibaren ısıl olarak periyodik tam gelişmiş hale gelmiştir (Şekil EK-1.5). Re=42 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,25 ile 215 arasında tekrar etmektedir.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,125, modül uzunluğunun paralel levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 ve Re=50 000 için akış üçüncü kanatçıktan itibaren ısıl olarak periyodik tam gelişmiş hale gelmiştir (Şekil EK-1.6). Re=50 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,3 ile 243 arasında tekrar etmektedir.

Şekil 4.16'da yüzey sürtünme katsayısının değişik Reynolds sayılarında (Re=10 000-50 000) levha boyunca olan değişimleri verilmiştir.



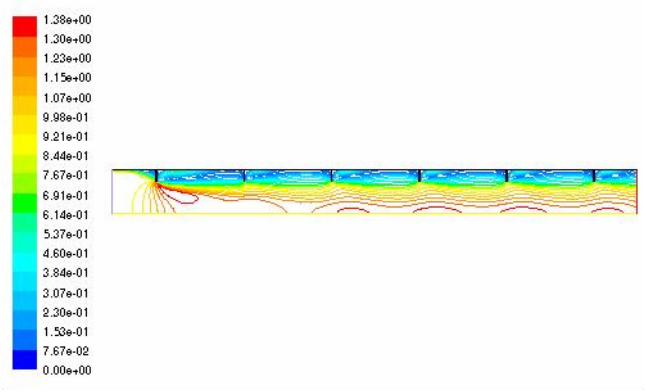
Şekil 4.16. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için yerel yüzey sürtünme katsayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi

Şekil 4.16'dan görüleceği gibi yerel yüzey sürtünme katsayısı Reynolds sayısının artışıyla azalmaktadır. Bunun sebebi ise levhalar arasına konulan kanatçıklardan dolayı sınır tabakası ayrılması söz konusu olmakta ve kanatçıktan sonra bir sirkülasyon bölgesi yani ters akış söz konusu olmaktadır. Akışın yeniden ayrılma noktasında ise yerel yüzey sürtünme katsayısının düşük olduğu görülmüştür. Akışın yeniden birleşme noktasında ise yerel yüzey sürtünme katsayısı maksimum olmaktadır. Ayrıca, kanatçığın hemen önünde oluşan tekrar sirkülasyon bölgesinde yerel yüzey sürtünme katsayısının değerinin arttığı ve kanatçığın hemen arkasında kanatçığın önündekinden daha az bir artış olduğu görülmüştür.

Şekillerden de görülebileceği gibi kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,125; modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının iki paralel levha

arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 geometrisi için yüzey sürtünme katsayısının değeri, Reynolds sayısı 10 000 iken üçüncü kanatçıktan itibaren, Reynolds sayısı 18 000, 26 000, 34 000, 42 000, 50 000 iken dördüncü kanatçıktan itibaren her bir modül aralığında hidrodinamiksel olarak periyodik tam gelişmiş olmaktadır. (Şekil EK-1.8, Şekil EK-1.14).

Reynolds sayısı 10 000 için levha içindeki hız konturları Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de levha içindeki hız konturları

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,125; modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 geometrisi için Re=10 000'de yapılan sayısal çalışma sonucunda elde edilen hız profilinin üçüncü kanatçıktan itibaren kendini tekrar ettiği yani akışın hidrodinamiksel olarak periyodik tam gelişmiş hale geldiği hız konturlarından da gözlenmiştir.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,125; modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 geometrisi için Re=50 000'de yapılan sayısal çalışma sonucunda elde edilen hız grafiğinden de görüleceği gibi akışın dördüncü kanatçıktan

itibaren hidrodinamiksel olarak periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür (Şekil EK-1.19).

Duvar y^+ değeri 0,35 değerinden küçüktür ($y^+<0,35$). Bu nedenle duvar yakını hücre çözümü laminer alt tabakadadır. Duvar y^+ değeri Reynolds sayısı 10 000 ve 50 000 için EK-1'de verilmiştir (Şekil EK-1.26, Şekil EK-1.27).

L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

Modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1; kanatçık kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 ve kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1 (diğer bir değişle, kanatçıkların kanal içerisinde akışa dik olarak oluşturduğu blokajın 2h/H=%20 olması durumu) geometrisi için Reynolds sayısının 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 değerlerinde kanal içerisinde akan akışkanın hava (Pr=0,707) olması durumunda gerçekleştirilen sayısal çözüm sonuçları bu bölümde verilmiştir. Çözüm optimum hücre sayısı olarak belirlenen 64 852 hücre sayısıyla gerçekleştirilmiştir (Bkz. Çizelge 3.3).

Reynolds sayısı 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 için elde edilen yerel Nusselt sayısının ve yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişim grafikleri Şekil 4.18'de ve Şekil 4.19'da verilmiştir.

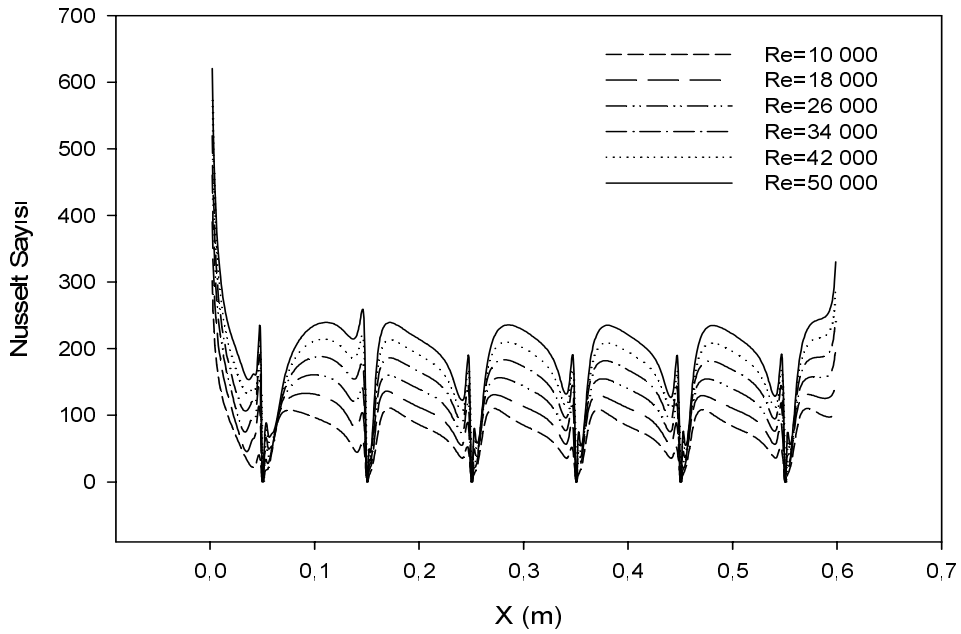
Reynolds sayısı 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 için elde edilen yerel Nusselt sayısının levha boyunca olan değişim grafikleri her bir Reynolds sayısı için ayrı ayrı oluşturularak EK-2'de verilmiştir.

Yine, Reynolds sayısı 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 için elde edilen yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca olan değişim grafikleri her bir Reynolds sayısı için EK-2'de verilmiştir.

Reynolds sayısının 10 000 ve 50 000 olduğu durumlar için levha içindeki sıcaklık dağılımı, hız vektörleri, hız konturları ve akım çizgileri EK-2'de gösterilmiştir. Ayrıca EK-2'de simetri ekseni ve kanal çıkışındaki hız ve sıcaklık grafikleri de gösterilmiştir.

Şekil 4.18'de kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı

t/H=0,01 olan geometri için değişik Reynolds sayılarında (Re=10 000-50 000) yapılan sayısal çözüm sonucu elde edilen, yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişim grafiği verilmiştir. Şekil 4.18'den de görüldüğü gibi yerel Nusselt sayısının değeri Reynolds sayısının artmasıyla artmaktadır. Levhalar arasına konulan kanatçıkların sınır tabakasını kesintiye uğratması nedeniyle akışta ayrılmalar ve tekrar birleşmeler görülmektedir. Akışın levha yüzeyine tekrar bağlandığı noktalarda yerel Nusselt sayısı en yüksek değerini almaktadır. Nusselt sayısının modül uzunluğu boyunca üç ayrı noktada maksimum değere ulaştığı görülmüştür. Bunlardan birincisi modülün başlangıcında yani kanatçıktan hemen sonra, diğeri modül ortasına doğru, üçüncüsü ise modülün sonuna doğru yani kanatçıktan hemen öncedir. Reynolds sayısının artmasıyla tekrar birleşme noktasının kanatçıktan uzaklığının arttığı görülmüştür.



Şekil 4.18. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için yerel Nusselt sayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi

Şekil 4.18'den görüleceği gibi akış kısa bir giriş uzunluğundan sonra Reynolds sayısına bağlı olarak, ısıl açıdan periyodik olarak tam gelişmiş akış rejimine ulaşmaktadır.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=10 000'de yapılan sayısal çalışma sonucunda akış üçüncü kanatçıktan itibaren ısıl olarak periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür (Şekil EK-2.1). Re=10 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,03 ile 108 arasında tekrar etmektedir.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=18 000'de yapılan sayısal çalışma sonucunda akış üçüncü kanatçıktan itibaren ısıl olarak periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür (Şekil EK-2.2). Re=18 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,08 ile 130 arasında tekrar etmektedir.

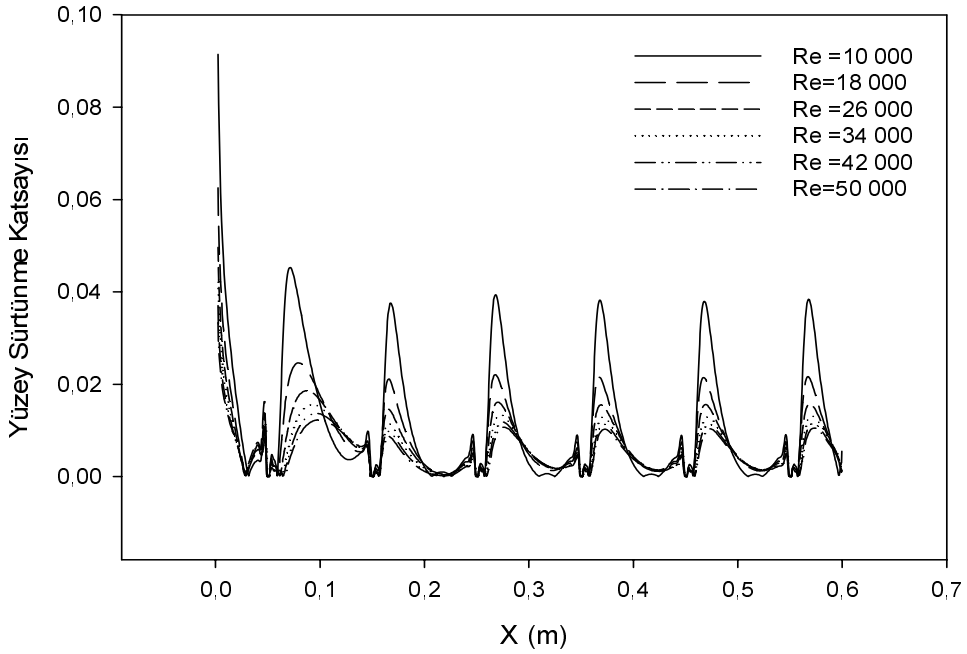
Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometride Re=26 000 için yapılan sayısal çalışmada akış üçüncü kanatçıktan itibaren ısıl olarak periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür (Şekil EK-2.3). Re=26 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,13 ile 154 arasında tekrar etmektedir.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=34 000'de akış üçüncü kanatçıktan itibaren ısıl olarak

periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür (Şekil EK-2.4). Re=34 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,2 ile 182 arasında tekrar etmektedir.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=42 000'de akış üçüncü kanatçıktan itibaren ısıl olarak periyodik tam gelişmiş hale gelmektedir (Şekil EK-2.5). Re=42 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,25 ile 209 arasında tekrar etmektedir.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=50 000 için akış üçüncü kanatçıktan itibaren ısıl olarak periyodik tam gelişmiş hale gelmiştir (Şekil EK-2.6). Re=50 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,3 ile 235 arasında tekrar etmektedir.



Şekil 4.19. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için yerel yüzey sürtünme katsayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi

Şekil 4.19'da h/H=0,1, L/H=1 ve t/H=0,01 iken Reynolds sayısının 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 değerleri için yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi toplu olarak gösterilmiştir. Şekil 4.19'dan görüleceği gibi yerel yüzey sürtünme katsayısının değeri Reynolds sayısının artışıyla azalmaktadır. Bunun sebebi ise levhalar arasına konulan kanatçıklardan dolayı sınır tabakası ayrılması söz konusu olmakta ve kanatçıktan sonra bir sirkülasyon bölgesi yani ters akış söz konusu olmaktadır. Akışın yeniden ayrılma noktalarında yerel yüzey sürtünme katsayısının düşük olduğu, akışın yeniden birleşme noktasında ise yerel yüzey sürtünme katsayısı maksimum olduğu görülmüştür. Ayrıca, kanatçığın hemen önünde oluşan tekrar sirkülasyon bölgesinde yerel yüzey sürtünme katsayısının değerinin arttığı ve kanatçığın hemen arkasında kanatçığın önündekinden daha az bir artış olduğu görülmüştür.

Şekillerden görülebileceği gibi yüzey sürtünme katsayısının değeri, Reynolds sayısı 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 iken dördüncü kanatçıktan itibaren her bir kanatçık aralığında periyodik olarak tekrar etmektedir. (Şekil EK-2.8, Şekil EK-2.13). Diğer bir ifade ile belirtmek gerekirse, akış hidrodinamiksel olarak dördüncü kanatçıktan itibaren tam gelişmiş olmaktadır.

Kanatçık ve kanal duvar yüzeyi çevresindeki akışkan sıcaklığının beklendiği gibi yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil EK-2.15).

Kanatçıkların akışı kesintiye uğrattığı kanatçıklar arasında ve özellikle kanatçık ve levha yüzeyinde akışkan hızının düşük olduğu görülmüştür. Kanatçık uç noktalarında akışkan hızının arttığı görülmüştür (Şekil EK-2.17).

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1; modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 geometrisi için Re=10 000'de hız profilinin dördüncü kanatçıktan itibaren kendini tekrar ettiği yani akışın hidrodinamiksel olarak periyodik tam gelişmiş hale geldiği anlaşılmıştır (Şekil EK-2.18).

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1; modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 geometrisinde Re=50 000 için akışın dördüncü kanatçıktan itibaren hidrodinamiksel olarak periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür.

Duvar y^+ değeri 0,35 değerinden küçüktür ($y^+<0,35$). Duvar y^+ değeri Reynolds sayısı 10 000 ve 50 000 için EK-2'de verilmiştir. (Şekil EK-2.31, Şekil EK-2.32).

Ayrıca, bu bölümde levha uzunluğu boyunca farklı kesitlerde akışkanın x-yönündeki hızı verilmiştir (Şekil. EK-2.24).

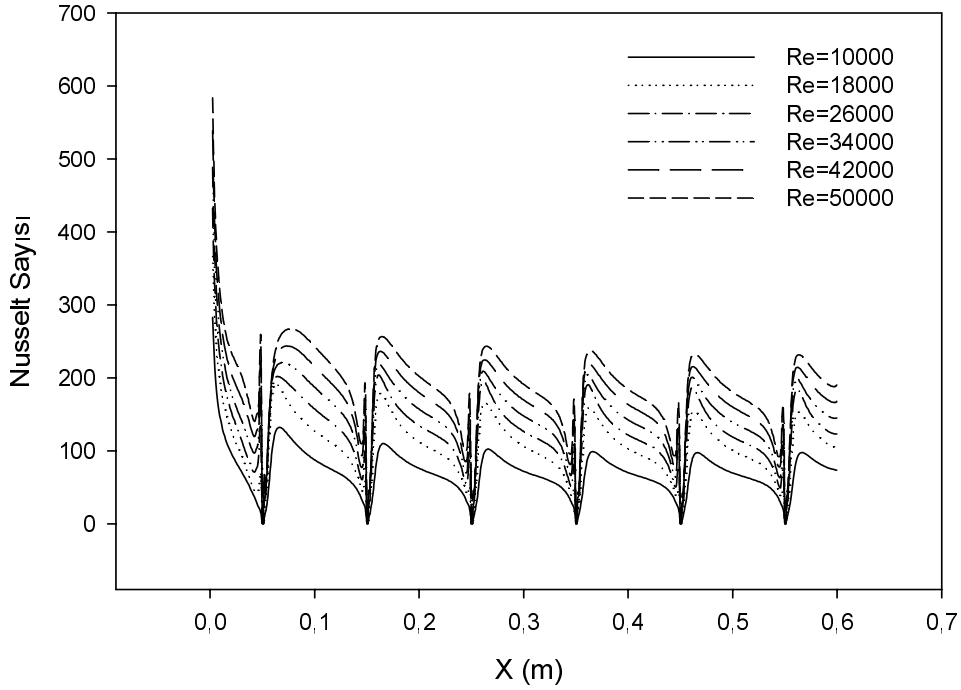
L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

Modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan L/H=1 ve kanatçık kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan t/H=0,01 iken, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan h/H=0,125 olan yani; kanatçığın iki paralel levha arasında oluşturduğu blokajın %10 olması durumunda Reynolds sayısının 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 değerleri için akışkanın hava (Pr=0,707) olması durumunda gerçekleştirilen sayısal çözüm sonuçları bu bölümde verilmiştir. Optimum hücre sayısı 59 586 olarak belirlenmiş ve çözüm bu hücre sayısında gerçekleştirilmiştir (Bkz. Çizelge 3.4). Farklı Reynolds sayılarında elde edilen sayısal çalışma sonuçları yerel Nusselt sayısının ve yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi şeklinde grafiksel biçimde Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de verilmiştir.

Reynolds sayısının 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 değerleri için elde edilen yerel Nusselt sayısının levha boyunca olan değişim grafikleri sözü edilen her bir Reynolds sayısı EK-3'de verilmiştir.

Ayrıca, Reynolds sayısı 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 için elde edilen yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca olan değişim grafikleri sözü edilen her bir Reynolds sayısı için EK-3'de verilmiştir.

Reynolds sayısının 10 000 ve 50 000 olduğu durumlar için levha içindeki sıcaklık dağılımı, hız vektörleri, hız konturları ve akım çizgileri EK-3'de gösterilmiştir. Ayrıca EK-3'de simetri ekseni ve kanal çıkışındaki hız ve sıcaklık grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.20. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için yerel Nusselt sayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi

Şekil 4.20'de Reynolds sayısının 10 000 ile 50 000 arasındaki değerleri için yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi gösterilmiştir. Yerel Nusselt sayısının Reynolds sayısına bağlı olarak arttığı Şekil 4.20'den görülmektedir. Sabit Reynolds sayısı için bir modül ele alınacak olursa; akışın, modül uzunluğu boyunca, levha yüzeyine tekrar bağlandığı noktalarda yerel Nusselt sayısının maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Reynolds sayısı 10 000 iken kanatçık önünde yerel Nusselt sayısında artış görülmezken Reynolds sayısının daha büyük değerleri için kanatçık önünde tekrar sirkülasyonlu bölge ve yerel Nusselt sayısında önemli artış görülmektedir. İncelenen bu geometride inceleme alanı içindeki hiçbir Reynolds sayısında diğer geometrilerde görülen, kanatçık arkasında tekrar sirkülasyon nedeniyle oluşan ani yerel Nusselt sayısı artışı görülmemektedir. Reynolds sayısının artmasıyla tekrar birleşme noktasının kanatçıktan uzaklığının arttığı görülmüştür.

Yine, Şekil 4.20'den görüleceği gibi akış kısa bir giriş uzunluğundan sonra Reynolds sayısına bağlı olarak, periyodik olarak tam gelişmiş akış rejimine ulaşmaktadır.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,05, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=10 000'de yapılan sayısal çalışma sonucunda akış ısıl açıdan dördüncü kanatçıktan itibaren periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür (Şekil EK-3.1). Re=10 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,03 ile 98 arasında tekrar etmektedir.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,05, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometride Re=18 000 için yapılan sayısal çalışmada akışın ısıl açıdan dördüncü kanatçıktan itibaren periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmektedir (Şekil EK-3.2). Re=18 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,09 ile 0,155 arasında tekrar etmektedir.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,05, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=26 000'de akışın ısıl açıdan dördüncü kanatçıktan sonra periyodik tam gelişmiş hale gelmektedir (Şekil EK-3.3). Re=26 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,14 ile 187 arasında tekrar etmektedir.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,05, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1,

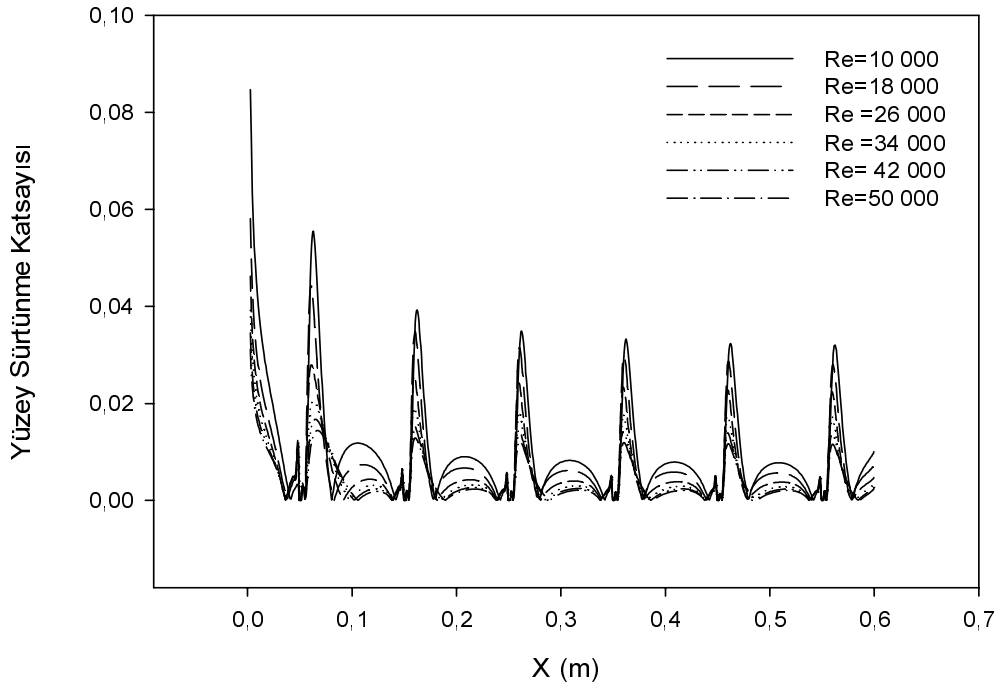
kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometride Re=34 000 için yapılan sayısal çalışma akışın ısıl açıdan dördüncü kanatçıktan itibaren periyodik tam gelişmiş hale geldiğini göstermiştir (Şekil EK-3.4). Re=34 000'de yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,2 ile 200 arasında tekrar etmektedir.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,05, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=42 000'de akış ısıl açıdan dördüncü kanatçıktan itibaren periyodik olarak tam gelişmiş hale gelmektedir (Şekil EK-3.5). Re=42 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,27 ile 215 arasında tekrar etmektedir.

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,05, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=50 000'de akışın ısıl olarak dördüncü kanatçıktan itibaren periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür (Şekil EK-3.6). Re=50 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,35 ile 233 arasında tekrar etmektedir.

Şekil 4.21'de Reynolds sayısının 10 000 ile 50 000 arasındaki değerleri için yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca olan değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.21'den görüleceği gibi yerel yüzey sürtünme katsayısının değeri Reynolds sayısının artışıyla azalmaktadır. Bunun sebebi ise levhalar arasına konulan kanatçıklardan dolayı sınır tabakası ayrılması söz konusu olmakta ve kanatçıktan sonra bir sirkülasyon bölgesi yani ters akış söz konusu olmaktadır. Akışın levha yüzeyinden ayrıldığı noktalarda ise yerel yüzey sürtünme katsayısının düşük olduğu akışın levha ile tekrar birleşme noktalarında yerel yüzey sürtünme katsayısının yüksek olduğu gözlenmiştir.

Ayrıca, kanatçığın hemen önünde oluşan tekrar sirkülasyon bölgesinde yerel yüzey sürtünme katsayısının değerinin önemli ölçüde arttığı ve kanatçığın hemen arkasında kanatçığın önündekinden çok daha az bir artış olduğu gözlenmektedir. Yerel yüzey sürtünme katsayısının genel periyodik yapısının diğer kanatçık yüksekliklerinden (h/H=0,125 ve h/H=0,1) farklı olduğu gözlenmektedir.



Şekil 4.21. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için yerel yüzey sürtünme katsayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi

Şekillerden görülebileceği gibi yerel yüzey sürtünme katsayısının değeri, Reynolds sayısı 10 000 iken dördüncü kanatçıktan itibaren, Reynolds sayısı 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 iken beşinci kanatçıktan itibaren her bir kanatçık aralığında periyodik olarak tekrar etmektedir (Şekil EK-3.8, Şekil EK-3.13).

Kanatçık ve kanal duvar yüzeyi çevresindeki akışkan sıcaklığının beklendiği gibi yüksek olduğu görülmüştür (Şekil EK-3.15).

Kanatçıkların akışı kesintiye uğrattığı kanatçıklar arasında ve özellikle kanatçık ve levha yüzeyinde akışkan hızının düşük olduğu görülmüştür. Kanatçık uç noktalarında akışkan hızının arttığı görülmüştür (Şekil EK-3.17).

Kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,05; modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 geometrisi için Re=10 000'de hız profilinin dördüncü kanatçıktan itibaren kendini tekrar ettiği yani akışın hidrodinamiksel olarak periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür. Yine aynı geometri için Re=50 000'de akışın beşinci kanatçıktan itibaren hidrodinamiksel olarak periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür (Şekil EK-3.18, Şekil EK-3.24).

Duvar y^+ değeri 0,2 değerinden küçüktür ($y^+<0,2$). Bu nedenle duvar yakını hücre çözümü laminer alt tabakadadır. Duvar y^+ değeri Reynolds sayısı 10 000 ve 50 000 için EK-3'de verilmiştir (Şekil EK-3.31, Şekil EK-3.32).

4.3.2. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

Modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan L/H=0,5 ve kanatçık kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan t/H=0,01 iken, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan h/H=0,1 için yani diğer bir ifade ile belirtmek gerekirse kanatçığın iki paralel levha arasında oluşturduğu blokajın %20 olması durumunda Reynolds sayısının 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 değerlerinde akışkanın hava (Pr=0,707) olması durumunda gerçekleştirilen sayısal çözüm sonuçları bu bölümde verilmiştir. Optimum hücre sayısı 38 478 olarak belirlenmiş ve çözüm bu hücre sayısında gerçekleştirilmiştir (Bkz. Çizelge 3.5). Elde edilen sayısal çalışma sonuçları yerel Nusselt sayısının ve yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi şeklinde Reynolds sayısına bağlı olarak grafiksel biçimde Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'de verilmiştir.

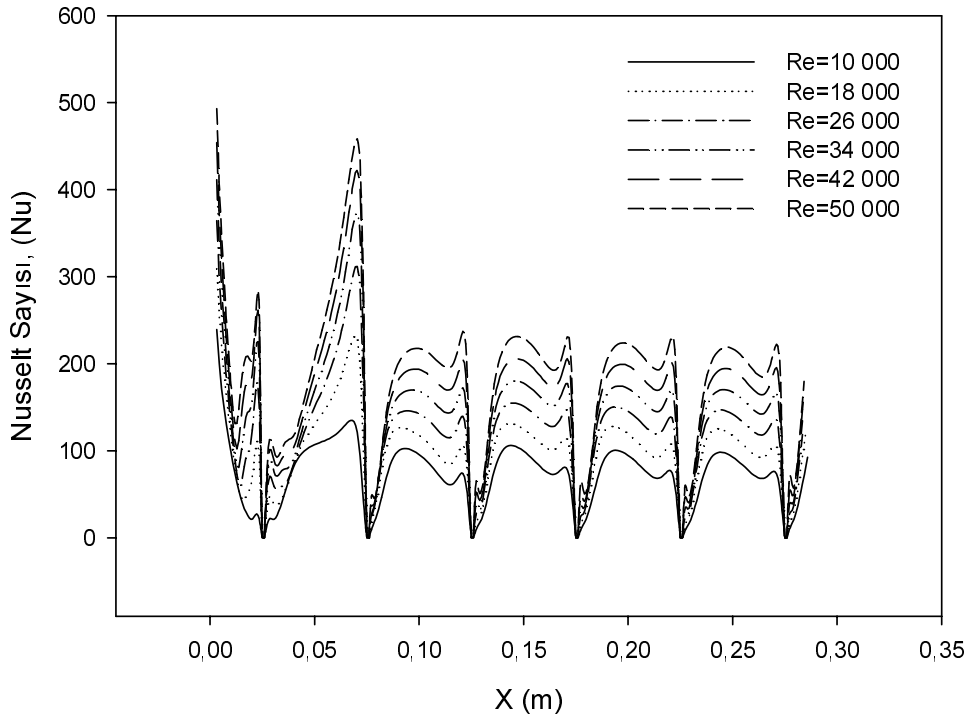
Reynolds sayısı 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 için elde edilen yerel Nusselt sayısının levha boyunca olan değişim grafikleri sözü edilen her bir Reynolds sayısı için EK-4'de verilmiştir.

Ayrıca, Reynolds sayısı 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 için elde edilen yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca olan değişim grafikleri sözü edilen her bir Reynolds sayısı için EK-4'de verilmiştir.

Reynolds sayısının 10 000 ve 50 000 olduğu durumlar için levha içindeki sıcaklık dağılımı, hız vektörleri, hız konturları ve akım çizgileri EK-4'de gösterilmiştir. Ayrıca EK-4'de simetri ekseni ve kanal çıkışındaki hız ve sıcaklık grafikleri verilmiştir.

Şekil 4.22'de Reynolds sayısının 10 000 ile 50 000 arasındaki değerleri için yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.22'den anlaşılacağı gibi yerel Nusselt sayısının değeri Reynolds sayısındaki artışa

bağlı olarak artmaktadır. Reynolds sayısı 10 000 ve 18 000'de yerel Nusselt sayısı modül uzunluğu boyunca, kanatçığın hemen öncesinde ve kanatçığın orta noktasına doğru olmak üzere, iki ayrı noktada maksimum değere ulaşmaktadır. Reynolds sayısının 26 000 ve daha büyük değerlerinde yerel Nusselt sayısı modül uzunluğu boyunca üç ayrı noktada maksimum değere ulaşmaktadır. Bunlardan birincisi modülün başlangıcında yani kanatçıktan hemen sonra, diğeri modül ortasına doğru, üçüncüsü ise modülün sonuna doğru yani kanatçıktan hemen öncedir. Akışın levha yüzeyine tekrar bağlandığı noktalarda yerel Nusselt sayısı en yüksek değerini almaktadır. Kanatçık önünde tekrar sirkülasyonlu bölge nedeni ile yerel Nusselt sayısında önemli artış görülmektedir.



Şekil 4.22. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için yerel Nusselt sayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi

Modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=0,5, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan

geometride Re=10 000 için yapılan sayısal çalışmada akışın ısıl olarak dördüncü kanatçıktan itibaren periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür (Şekil EK-4.1). Re=10 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,04 ile 98 arasında tekrar etmektedir.

Modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=0,5, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=18 000'de yapılan sayısal çalışma sonucunda akışın ısıl olarak dördüncü kanatçıktan itibaren periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür (Şekil EK-4.2). Re=18 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,08 ile 125 arasında tekrar etmektedir.

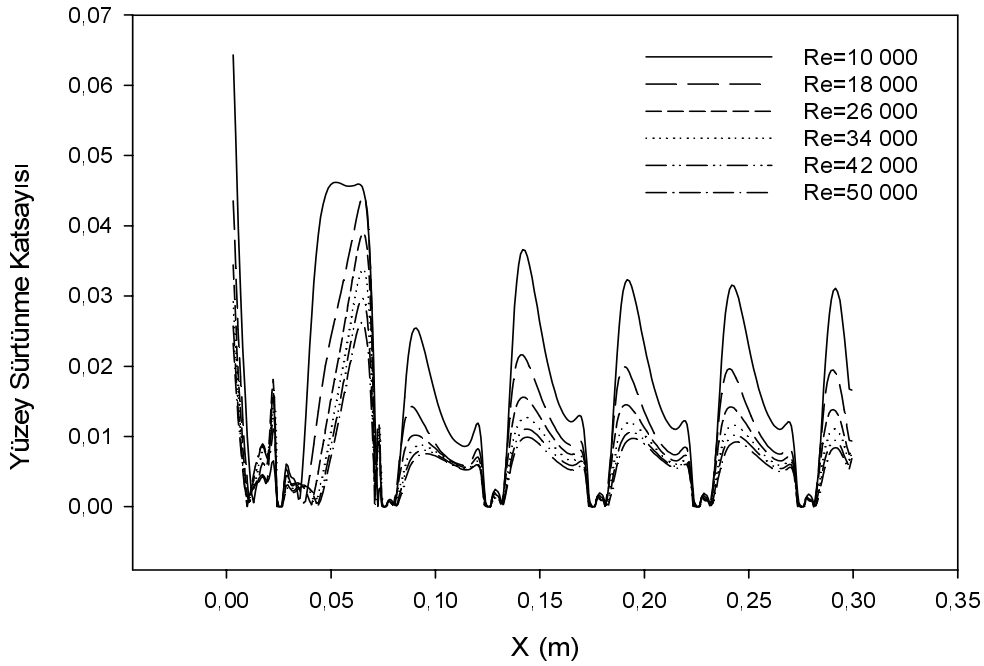
Modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=0,5, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=26 000'de akış ısıl olarak dördüncü kanatçıktan itibaren periyodik tam gelişmiş hale gelmektedir (Şekil EK-4.3). Re=26 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,13 ile 147 arasında tekrar etmektedir.

Modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=0,5, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=34 000'de akış ısıl olarak dördüncü kanatçıktan itibaren periyodik tam gelişmiş hale gelmektedir (Şekil EK-4.4). Re=34 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,2 ile 170 arasında tekrar etmektedir.

Modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=0,5, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=42 000'de akışın dördüncü kanatçıktan itibaren ısıl açıdan periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür (Şekil EK-4.5). Re=42 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,27 ile 194 arasında tekrar etmektedir

Modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=0,5, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=50 000'de akış beşinci kanatçıktan itibaren ısıl olarak periyodik tam gelişmiş hale gelmiştir (Şekil EK-4.6). Re=50 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,27 ile 194 arasında tekrar etmektedir.

Şekil 4.23'de yüzey sürtünme katsayısının farklı Reynolds sayılarında (Re=10 000-50 000) levha boyunca olan değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.23. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için yerel yüzey sürtünme katsayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi

Şekil 4.23'den görüleceği gibi yerel yüzey sürtünme katsayısının değeri Reynolds sayısının artmasına bağlı olarak azalmaktadır. Bunun sebebi ise levhalar arasına konulan kanatçıklardan dolayı sınır tabakası ayrılması söz konusu olmakta ve kanatçıktan sonra bir sirkülasyon bölgesi yani ters akış söz konusu olmaktadır. Akışın yeniden ayrılma noktasında yerel yüzey sürtünme katsayısının düşük olduğu görülmüştür. Akışın yeniden birleşme noktasında ise yerel yüzey sürtünme katsayısı maksimum olmaktadır. Ayrıca, kanatçığın hemen önünde oluşan tekrar sirkülasyon bölgesinde yerel yüzey sürtünme katsayısının değerinin önemli ölçüde arttığı ve kanatçığın hemen arkasında kanatçığın önündekinden daha az bir artış olduğu gözlenmektedir.

Şekillerden de görülebileceği gibi modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=0,5, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha

arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometride yüzey sürtünme katsayısı Reynolds sayısı 10 000 ve 18 000 iken dördüncü kanatçıktan itibaren, Reynolds sayısı 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 iken beşinci kanatçıktan itibaren her bir kanatçık aralığında periyodik olarak tekrar etmektedir (Şekil EK-4.8, Şekil EK-4.13).

Kanatçık ve kanal duvar yüzeyi çevresindeki akışkan sıcaklığının beklendiği gibi yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil EK-4.15).

Kanatçıkların akışı kesintiye uğrattığı kanatçıklar arasında ve özellikle kanatçık ve levha yüzeyinde akışkan hızının düşük olduğu görülmüştür. Kanatçık uç noktalarında akışkan hızının arttığı görülmüştür (Şekil EK-4.17).

Modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=0,5, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=10 000'de yapılan sayısal çalışma sonucunda elde edilen hız profilinin dördüncü kanatçıktan itibaren kendini tekrar ettiği yani akışın hidrodinamiksel olarak periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmektedir (Şekil EK-4.18).

Modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=0,5, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometride Re=50 000 için akışın dördüncü kanatçıktan itibaren hidrodinamiksel olarak periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür (Şekil EK-4.24).

Duvar y^+ değeri Reynolds sayısı 10 000 ve 50 000 için EK-4'de verilmiştir. Duvar y^+ değeri 0,3 değerinden küçüktür ($y^+<0,3$) bu nedenle duvar yakını hücre çözümü laminer alt tabakadadır (Bkz. EK-4.31, Bkz. EK-4.32).

4.3.3. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

Modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan L/H=2 ve kanatçık kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan t/H=0,01 iken, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan h/H=0,1 için yani başka bir ifade ile söylenirse kanatçığın iki paralel levha arasında oluşturduğu blokajın %20 olması durumunda Reynolds sayısının (Re) 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 değerlerinde akışkanın hava (Pr=0,707) olması durumunda gerçekleştirilen sayısal çözüm sonuçları bu bölümde verilmiştir. Çözüm, optimum hücre sayısı olan 109 288 hücre sayısında gerçekleştirilmiştir (Bkz. Çizelge 3.6).

Elde edilen sayısal çalışma sonuçları yerel Nusselt sayısının ve yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi şeklinde Reynolds sayısına bağlı olarak grafiksel biçimde Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'de verilmiştir.

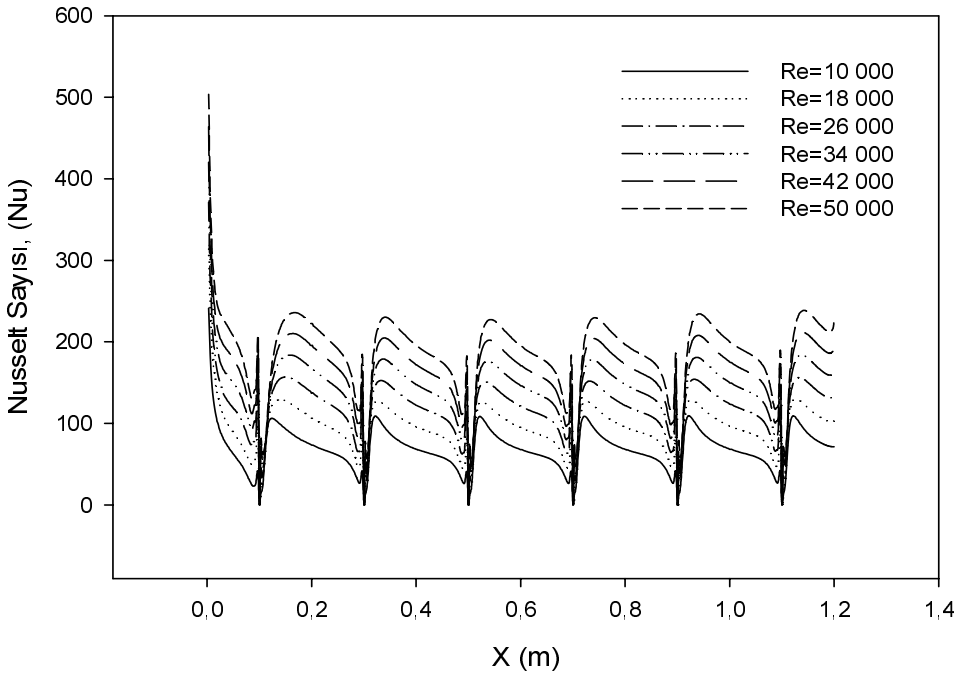
Reynolds sayısı 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 için elde edilen yerel Nusselt sayısının levha boyunca olan değişim grafikleri sözü edilen her bir Reynolds sayısı için EK-5'de verilmiştir.

Ayrıca, Reynolds sayısı 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 için elde edilen yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca olan değişim grafikleri sözü edilen her bir Reynolds sayısı için EK-5'de verilmiştir.

Reynolds sayısının 10 000 ve 50 000 olduğu durumlar için levha içindeki sıcaklık dağılımı, hız vektörleri, hız konturları ve akım çizgileri EK-5'de gösterilmiştir. Ayrıca EK-5'de simetri ekseni ve kanal çıkışındaki hız ve sıcaklık grafikleri verilmiştir.

Şekil 4.24'de Reynolds sayısının 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 değerleri için yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

gösterilmiştir. Şekil 4.24'den anlaşılacağı gibi yerel Nusselt sayısının değeri Reynolds sayısının artmasıyla artmaktadır. Reynolds sayısı 10 000 ve 18 000'de yerel Nusselt sayısı modül uzunluğu boyunca iki farklı noktada maksimum değere ulaşmaktadır. Bunlar modülün hemen öncesinde ve modülün orta noktasına doğrudur. Reynolds sayısının 26 000 ve daha büyük değerlerinde yerel Nusselt sayısı modül uzunluğu boyunca üç ayrı noktada maksimum değere ulaşmaktadır. Bunlardan birincisi modülün başlangıcında yani kanatçıktan hemen sonra, diğeri modül ortasına doğru, üçüncüsü ise modülün sonuna doğru yani kanatçıktan hemen öncedir. Bunun sebebi ise levhalar arasına konulan kanatçıklardan dolayı sınır tabakası ayrılması söz konusu olmakta ve kanatçıktan sonra bir sirkülasyon bölgesi yani ters akış söz konusu olmaktadır. Akışın yeniden birleşme noktasında ise yerel Nusselt sayısı maksimum olmaktadır. Reynolds sayısının artmasıyla tekrar birleşme noktasının kanatçıktan uzaklığının arttığı görülmüştür.



Şekil 4.24. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için yerel Nusselt sayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi

Modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=2, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometride Re=10 000 için yapılan sayısal çalışmada akışın ikinci kanatçıktan itibaren ısıl olarak periyodik tam gelişmiş hale geldiği gözlenmiştir (Şekil. EK-5.1). Re=10 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,04 ile 110 arasında tekrar etmektedir.

Modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=2, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometride Re=18 000 için yapılan sayısal çalışma akışın ikinci kanatçıktan itibaren ısıl olarak periyodik tam gelişmiş hale geldiğini göstermiştir (Şekil EK-5.2). Re=18 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,08 ile 128 arasında tekrar etmektedir.

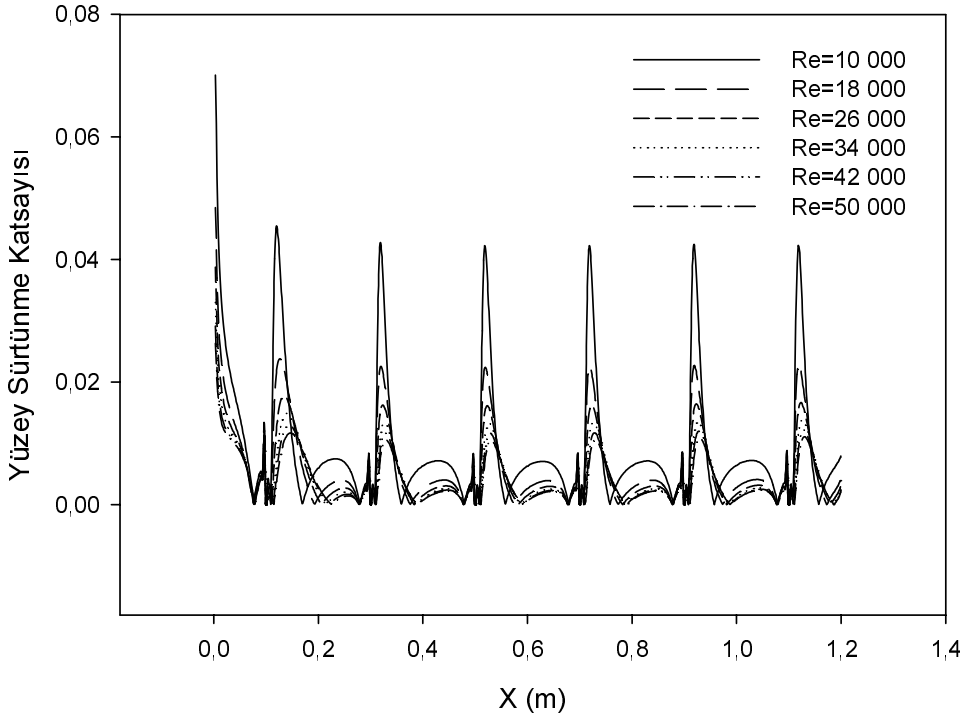
Modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=2, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=26 000'de yapılan sayısal çalışma sonucunda akış ısıl olarak ikinci kanatçıktan itibaren periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür (Şekil EK-5.3). Re=26 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,14 ile 154 arasında tekrar etmektedir.

Modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=2, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=34 000 için akış ikinci kanatçıktan itibaren ısıl olarak periyodik tam gelişmiş hale gelmiştir (Şekil EK-5.4). Re=34 000 için yerel

Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,19 ile 181 arasında tekrar etmektedir.

Modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=2, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=42 000 için akış ikinci kanatçıktan itibaren ısıl olarak periyodik tam gelişmiş hale gelmiştir (Şekil EK-5.5). Re=42 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,23 ile 208 arasında tekrar etmektedir.

Modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=2, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=50 000 için akış ikinci kanatçıktan itibaren ısıl olarak periyodik tam gelişmiş hale gelmektedir (Şekil EK-5.6). Re=50 000 için yerel Nusselt sayısının değeri akış periyodik olarak tam gelişmiş hale geldikten sonra yaklaşık olarak 0,27 ile 235 arasında tekrar etmektedir.



Şekil 4.25. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için yerel yüzey sürtünme katsayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi

Şekil 4.18'de Reynolds sayısının 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 değerleri için yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi gösterilmiştir.

Şekil 4.25'den görüldüğü gibi yerel yüzey sürtünme katsayısının değeri Reynolds sayısının artışıyla azalmaktadır. Bunun sebebi ise levhalar arasına konulan kanatçıklardan dolayı sınır tabakası ayrılması söz konusu olmakta ve kanatçıktan sonra bir sirkülasyon bölgesi yani ters akış söz konusu olmaktadır. Akışın levha yüzeyinden ayrıldığı noktalarda yerel yüzey sürtünme katsayısının düşük olduğu akışın levha ile tekrar birleşme noktalarında yerel yüzey sürtünme katsayısının yüksek olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, kanatçığın hemen önünde oluşan tekrar sirkülasyon bölgesinde yerel yüzey sürtünme katsayısının değerinin önemli ölçüde arttığı ve kanatçığın

hemen arkasında kanatçığın önündekinden çok daha az bir artış olduğu gözlenmektedir.

Şekillerden görüldüğü gibi yerel yüzey sürtünme katsayısının değeri, Reynolds sayısı 10 000 ve 18 000 iken ikinci kanatçıktan itibaren, Reynolds sayısı 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 iken üçüncü kanatçıktan itibaren her bir kanatçık aralığında periyodik olarak tekrar etmektedir (Şekil EK-5.8, Şekil EK-5.13). Diğer bir ifade ile akış hidrodinamik olarak Re=10 000 ve 18 000 için ikinci kanatçıktan itibaren, Re=26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 için ise üçüncü kanatçıktan itibaren periyodik olarak tam gelişmektedir.

Kanatçık ve kanal duvar yüzeyi çevresindeki akışkan sıcaklığının beklendiği gibi yüksek olduğu görülmüştür (Şekil EK-5.15).

Kanatçık ve levha yüzeyinde akışkan hızının düşük olduğu fakat kanatçık uç noktalarında akışkan hızının arttığı görülmüştür (Şekil EK-5.17).

Modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=2, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=10 000'de hız profilinin ikinci kanatçıktan itibaren kendini tekrar ettiği yani akışın hidrodinamiksel olarak periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür (Şekil EK-5.18).

Modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=2, kanatçık yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için Re=50 000'de akışın üçüncü kanatçıktan itibaren hidrodinamiksel olarak periyodik tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür (Şekil EK-5.20).

Duvar y^+ değeri Reynolds sayısı 10 000 ve 50 000 için EK-5'de verilmiştir. Duvar y^+ değeri 0,3 değerinden küçüktür ($y^+<0,3$) ve bu nedenle duvar yakını hücre çözümü laminer alt tabakadadır. (Şekil EK-5.31, Şekil EK-5.32).

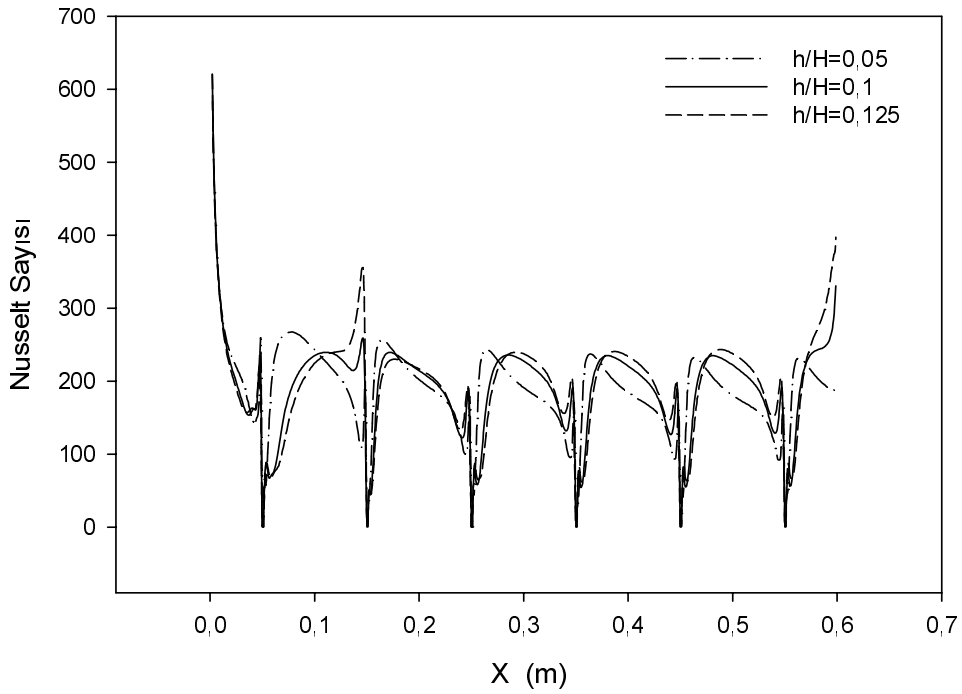
4.3.4. Kanatçık yüksekliğinin ısı transferi üzerindeki etkisi

Levha içine yerleştirilen kanatçıkların ısı transferine etkilerinin incelenebilmesi amacıyla kanatçıkların levha akış alanını %25, %20 ve %10 engellediği durumlarda yani kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranının h/H=0,125; 0,1 ve 0,05, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranın L/H=1 ve kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranın t/H=0,01 olduğu geometriler için Reynolds sayısının 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 değerlerinde akışkanın hava (Pr=0,707) olması durumunda sayısal çözüm gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen sayısal çözüm sonuçları Bölüm 4.3.1'de verilmiştir. Bu bölümde sayısal çözüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

Kanatçık yüksekliğinin (Bkz. Şekil 3.1) arttırılması levha ısı transfer alanının artmasına ve akışın karışmasına neden olduğundan kanatçık yüksekliğinin artmasıyla periyodik olarak tam gelişmiş şartlarda iki kanatçık arasındaki ortalama Nusselt sayısında önemli bir artış görülmektedir (Şekil 4.28).

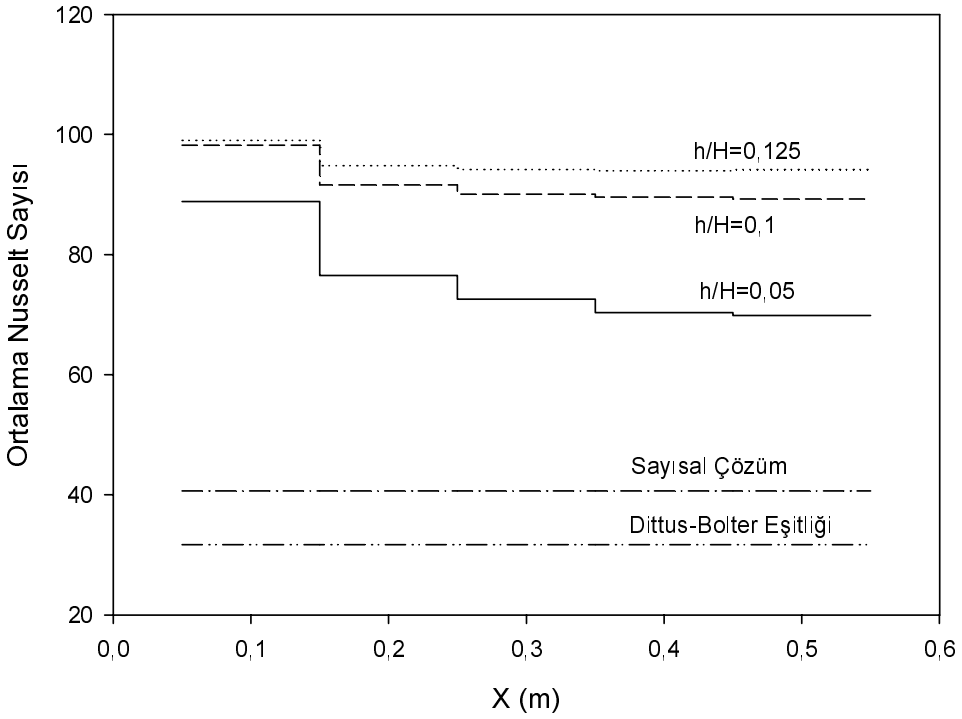
Şekil 4.26'da Reynolds sayısı 50 000 iken modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan ve kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranının h/H=0,125; h/H=0,1 ve h/H=0,05 başka bir ifade ile kanatçığın iki paralel levha arasında oluşturduğu blokajın %10, %20, %25 olduğu geometriler için yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişim grafikleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere kanatçık yüksekliğinin artması ile yerel Nusselt sayısı artmaktadır. Ayrıca kanatçık yüksekliğinin artmasıyla, kanatçıktan sonra akışın levha yüzeyine tekrar bağlanma uzunluğunun arttığı gözlenmektedir.

Kanatçık yüksekliğinin akışın periyodik olarak tam gelişmiş akış rejimine ulaşmasına etkili olduğu görülmüştür. Reynolds sayısı 50 000 iken h/H=0,125 ve h/H= 0,1 geometrilerinde akış 3. kanatçıktan itibaren periyodik olarak tam gelişmiş akış rejimine ulaşırken h/H=0,05 geometrisinde 4. kanatçıktan itibaren periyodik olarak tam gelişmiş akış rejimine ulaştığı gözlenmiştir.



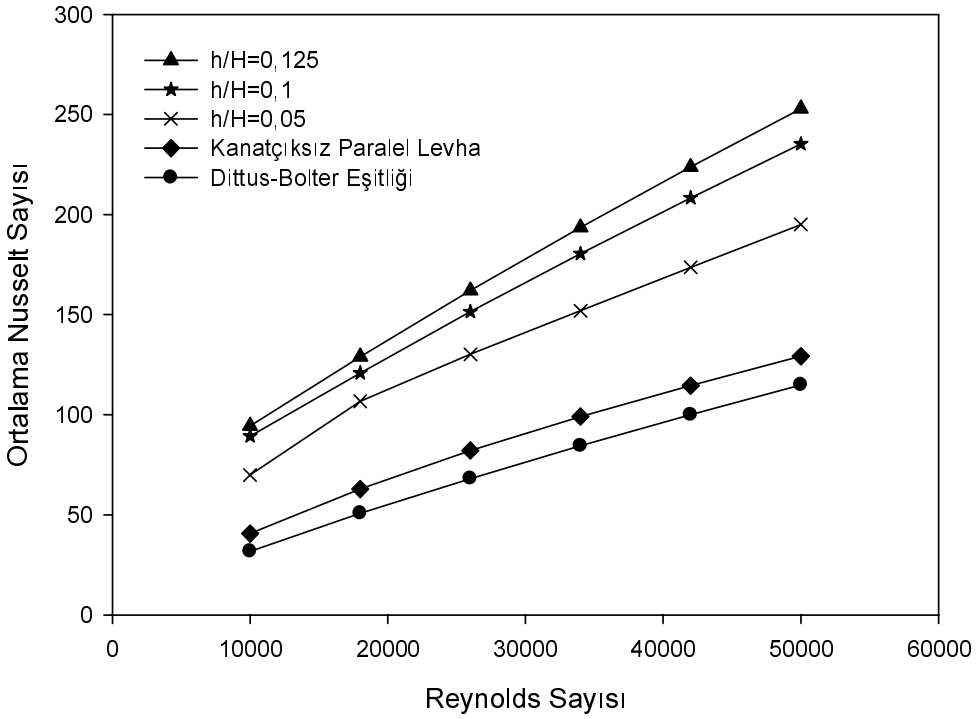
Şekil 4.26. L/H=0,1 ve Re=50 000 için yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

Şekil 4.27'de Reynolds sayısı 10 000 iken farklı kanatçık yüksekliklerinde her bir modüldeki ortalama Nusselt sayısının levha boyunca değişim grafikleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi h/H=0,125 geometrisi için akış 2. kanatçıktan itibaren periyodik olarak tam gelişmiş akış rejimine ulaşırken h/H=0,1 için 3. kanatçıktan itibaren, h/H=0,05 için 4. kanatçıktan itibaren periyodik olarak tam gelişmiş akış rejimine ulaşmaktadır.



Şekil 4.27. L/H=1; t/H=0,01 ve Reynolds sayısı 10 000 için tam gelişmiş akış şartlarında, değişik h/H değerlerinde her bir modüldeki ortalama Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

Şekil 4.28'de modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan ve kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,125; h/H=0,1 ve h/H=0,05 olan geometri ve kanatçıksız paralel levha için ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişim grafiği verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi kanatçıklar nedeniyle ısı transferi önemli ölçüde artmaktadır. Kanatçık yüksekliğinin artmasına bağlı olarak ortalama Nusselt sayısı artmaktadır. Reynolds sayısı 50 000 iken kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,05 olan geometride akış periyodik olarak geliştikten sonra iki kanatçık arasındaki ortalama Nusselt sayısı, kanatçıksız paralel levhalardaki akış periyodik olarak geliştikten sonraki ortalama Nusselt sayısından yaklaşık olarak iki kat fazladır.



Şekil 4.28. L/H=1 ve t/H=0,01 iken tam gelişmiş akış şartlarında, değişik h/H değerleri için bir modüldeki ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişimi

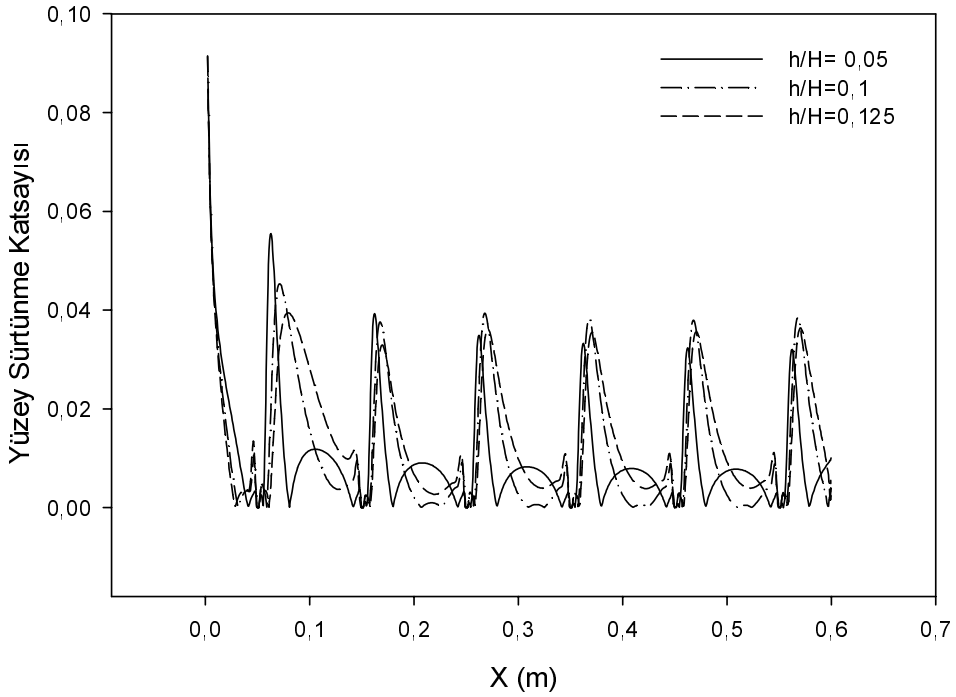
Çizelge 4.3'de modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve Reynolds sayısı 34 000 iken ortalama Nusselt sayısının kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı yani h/H ile değişimi verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi kanatçık yüksekliği arttıkça ortalama Nusselt sayısının değeri artmaktadır.

Çizelge 4.3. Ortalama Nusselt sayısının, h/H ile değişimi

	h/H=0,125	h/H=0,1	h/H=0,05	Kanatçıksız Paralel Levha
$(\overline{Nu})$	193,50	180,479	151,938	99,1100

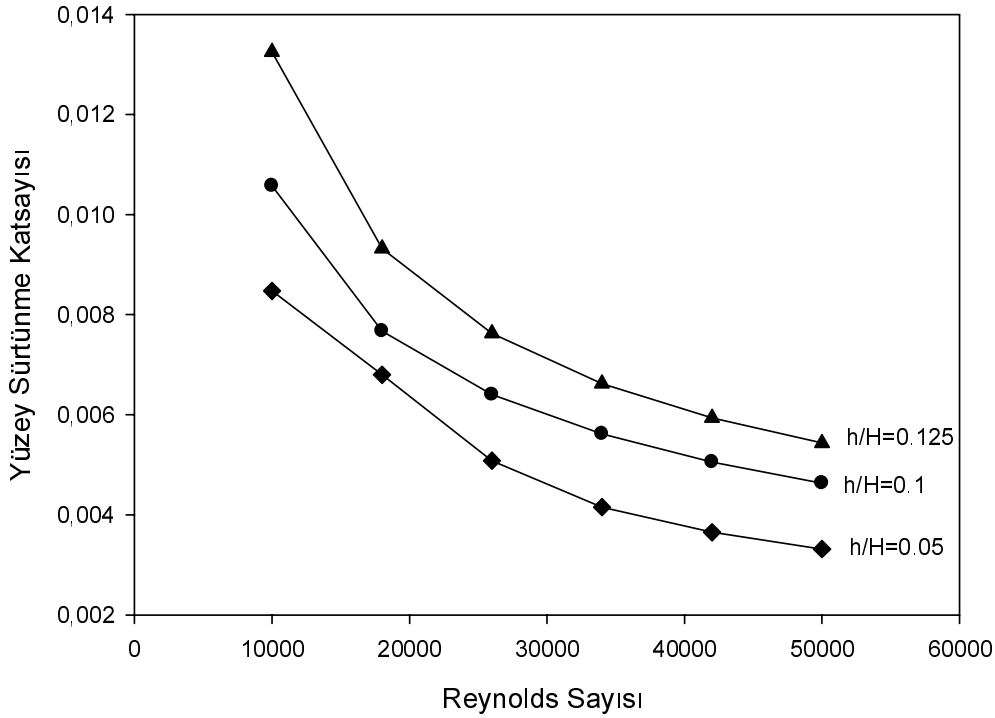
Şekil 4.29'da Reynolds sayısı 10 000 iken modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının paralel levha

arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 ve kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranının h/H=0,125; h/H=0,1 ve h/H=0,05 olan geometriler için yerel yüzey sürtünme katsayısı levha boyunca değişim grafikleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi kanatçık yüksekliğinin artması ile levha boyunca yerel yüzey sürtünme katsayısının değeri artmaktadır.



Şekil 4.29. L/H=1; t/H=0,01 ve Re=10 000 için yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

Şekil 4.30'da modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan ve kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranının h/H=0,125; h/H=0,1 ve h/H=0,05 olan geometriler için ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişim grafikleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi periyodik olarak tam gelişmiş akışta kanatçıklar arasındaki ortalama kanatçık yüksekliğinin artması ile ortalama yüzey sürtünme katsayısının değeri artmaktadır.



Şekil 4.30. L/H=1 ve t/H=0,01 için tam gelişmiş akış şartlarında değişik h/H değerleri için bir modüldeki ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısıyla değişimi

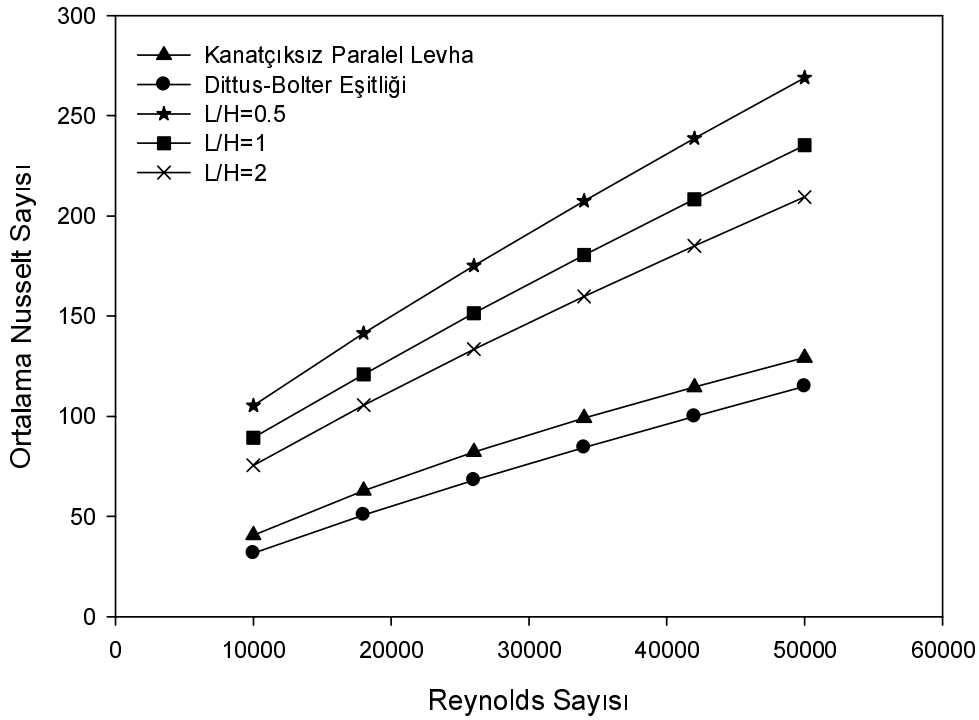
Çizelge 4.4'de Reynolds sayısı 34 000, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 iken ortalama yüzey sürtünme katsayısının kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı yani h/H ile değişimi verilmiştir. Çizelgeden kanatçık yüksekliği artışına bağlı olarak ortalama yüzey sürtünme katsayısı değerinin arttığı görülmektedir.

Çizelge 4.4. Ortalama yüzey sürtünme katsayısının h/H ile değişimi

	h/H=0,125	h/H=0,1	h/H=0,05
$(\overline{C_f})$	6,6232e-3	5,6158e-3	4,1560e-3

4.3.5. Modül uzunluğunun ısı transferi üzerindeki etkisi

Modül uzunluğunun (Bkz. Şekil 3.1) ısı transferine etkilerinin incelenebilmesi amacıyla modül uzunluğunun levhalar arasındaki mesafeye oranı L/H=0,5, 1 ve 2 olan ve kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1 kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometriler ve Reynolds sayısının 10 000 ile 50 000 arasında değişen değerleri için akışkanın hava (Pr=0,707) olması durumunda sayısal çözüm gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.31. h/H=0,1 ve t/H=0,01 için tam gelişmiş akış şartlarında değişik L/H oranlarında bir modüldeki ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişimi

Şekil 4.31'de kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1 ve kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 iken farklı modül uzunlukları için akış periyodik olarak tam geliştikten sonra iki kanatçık arasındaki ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişim

grafiği verilmiştir. Grafikten görüleceği gibi sabit Reynolds sayısında kanatçıklar arasındaki mesafenin azalması, akışın daha fazla karışmasına neden olduğu için Nusselt sayısında önemli bir artışa neden olmaktadır. Reynolds sayısı 50 000 iken modül uzunluğunun levhalar arasındaki mesafeye oranı L/H=0,5 olan geometride akış periyodik olarak geliştikten sonra iki kanatçık arasındaki ortalama Nusselt sayısı kanatçıksız paralel iki levhadaki akış periyodik olarak geliştikten sonraki ortalama Nusselt sayısından iki kat fazladır.

Çizelge 4.5'de kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı yani h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 ve Reynolds sayısı 34 000 iken ortalama Nusselt sayısının modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H ile değişimi verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi kanatçıklar arasındaki mesafe arttıkça ortalama Nusselt sayısının değeri artmaktadır.

Çizelge 4.5. Ortalama Nusselt sayısının L/H ile değişimi

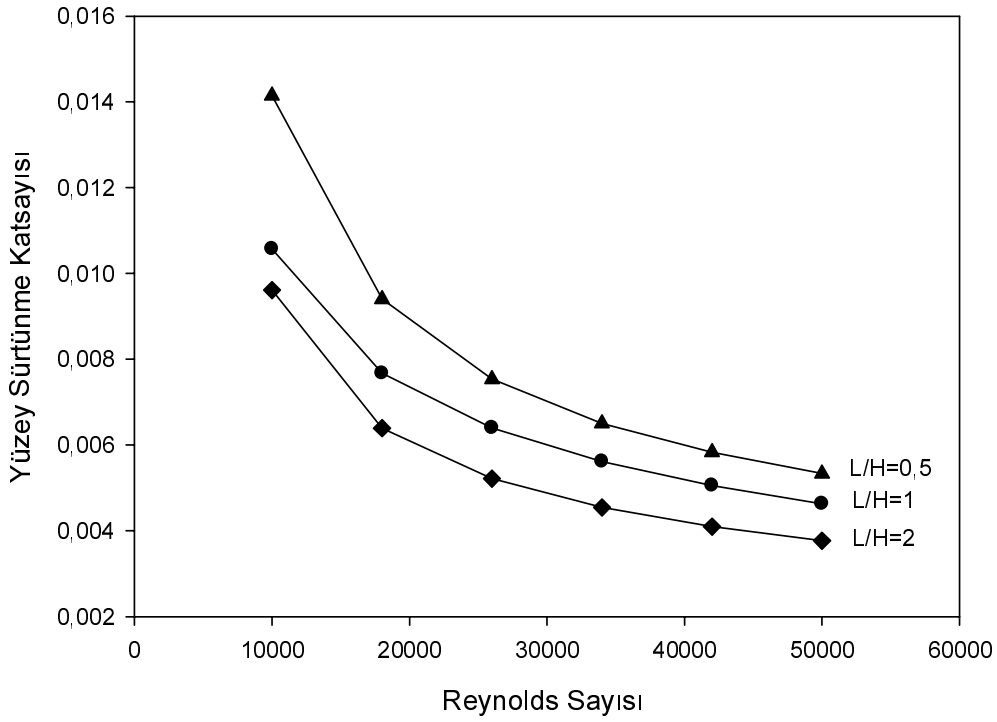
	L/H=2	L/H=1	L/H=0,5	Kanatçıksız Paralel Levha
$(\overline{Nu})$	159,826	180,479	207,474	99,110

Modül uzunluğunun akışın periyodik olarak tam gelişmiş akış rejimine ulaşmasına etkili olduğu görülmüştür. Reynolds sayısı 50 000, kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1 ve kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 iken L/H=2 geometrisinde akışın 2. kanatçıktan itibaren, L/H=1 geometrisinde akışın 3. kanatçıktan itibaren ve L/H=0,5 geometrisinde akışın 4. kanatçıktan itibaren periyodik olarak tam gelişmiş akış rejimine ulaştığı gözlenmiştir.

Şekil 4.25'de kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01, modül

uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=0,5, 1 ve 2 olan geometriler için akış periyodik olarak geliştikten sonra bir modüldeki ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısıyla değişim grafiği verilmiştir. Grafikten görüleceği gibi modül uzunluğunun artması yüzey sürtünme katsayısının azalmasına neden olmaktadır.

Modül uzunluğunun artması ısı transferi miktarında artışa yüzey sürtünme katsayısında azalmaya neden olmaktadır (Bkz Şekil 4.31, Şekil 4.32).



Şekil 4.32. h/H=0,1 ve t/H=0,01 için tam gelişmiş akış şartlarında değişik L/H oranlarında bir modüldeki ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısıyla değişimi

Çizelge 4.6'da Reynolds sayısı 34 000 iken kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1, kanatçık kalınlığının paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 olan geometri için ortalama yüzey sürtünme katsayısının, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı

L/H ile değişimi verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi kanatçıklar arasındaki mesafe arttıkça ortalama yüzey sürtünme katsayısının değeri azalmaktadır.

Çizelge 4.6. Ortalama yüzey sürtünme katsayısının L/H ile değişimi

	L/H=2	L/H=1	L/H=0,5
$(\overline{C_f})$	4,5479e-3	5,6158e-3	6,5086e-3

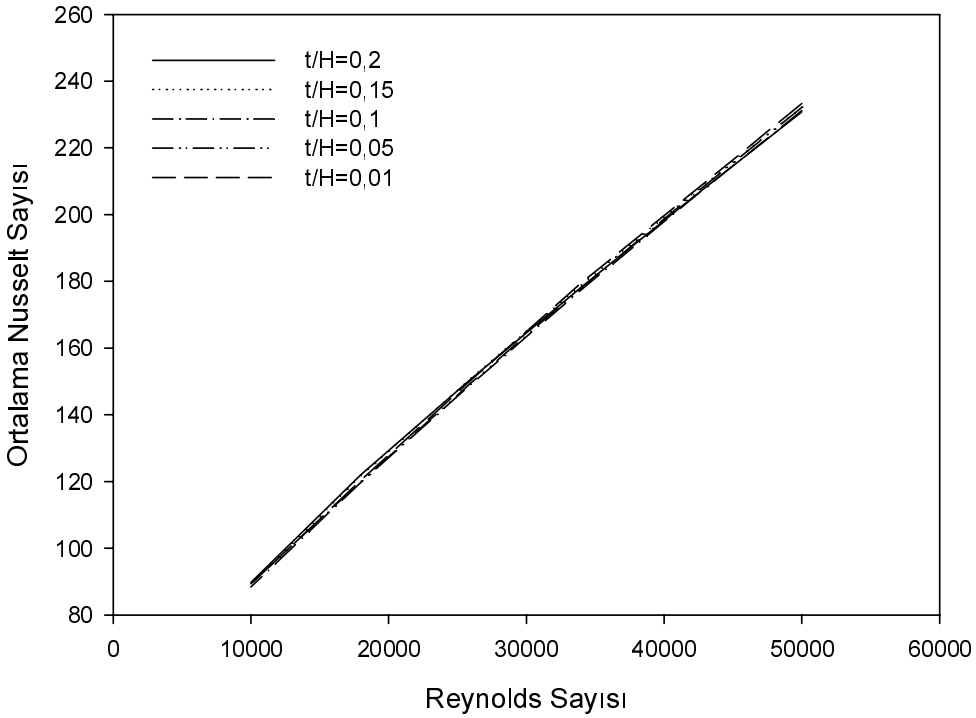
4.3.6. Kanatçık kalınlığının ısı transferi üzerindeki etkisi

Kanatçık kalınlığının ısı transferine etkisinin incelenmesi amacıyla kanatçık kalınlığının paralel levhalar arasındaki uzaklığa oranı (Bkz Şekil 3.1) t/H=0,2; 0,15; 0,1; 0,05 ve 0,01, kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1 ve modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 olan geometriler için sayısal çözüm gerçekleştirilmiştir.

Daha önceki bölümlerinde ayrıntılı olarak incelenmeyen kanatçık üzerindeki ısı transferi bu bölümde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bunun için ilk olarak kanatçık çevresindeki hücre sayısının yeterli olup olmadığı incelenmiştir.

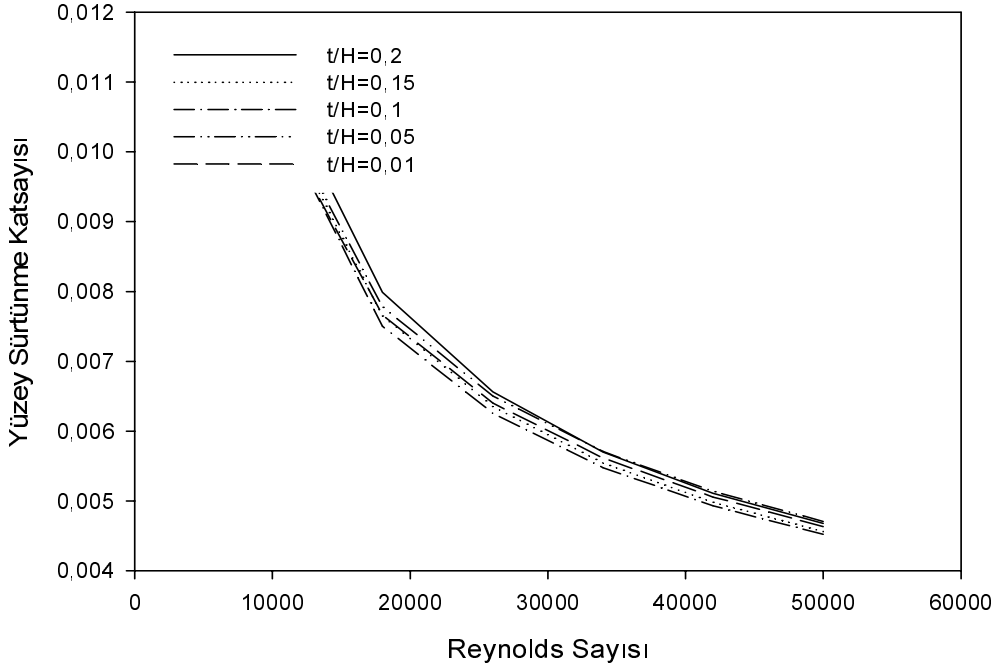
Çözüm optimum hücre sayısı olarak belirlenen 72 848 hücre sayısıyla gerçekleştirilmiştir (Bkz. Çizelge 3.7).

Şekil 4.33'de kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1 ve modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 için farklı kanatçık kalınlıklarında, periyodik olarak tam gelişmiş akış şartlarında, bir modüldeki ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişim grafiği verilmiştir. Grafikten görüleceği gibi kanatçık kalınlığının arttırılması ısı transferi miktarında etkili bir artış veya azalmaya neden olmamaktadır.



Şekil 4.33. h/H=0,1 ve L/H=1 için tam gelişmiş akış şartlarında değişik t/H oranına sahip geometrilerdeki ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişimi

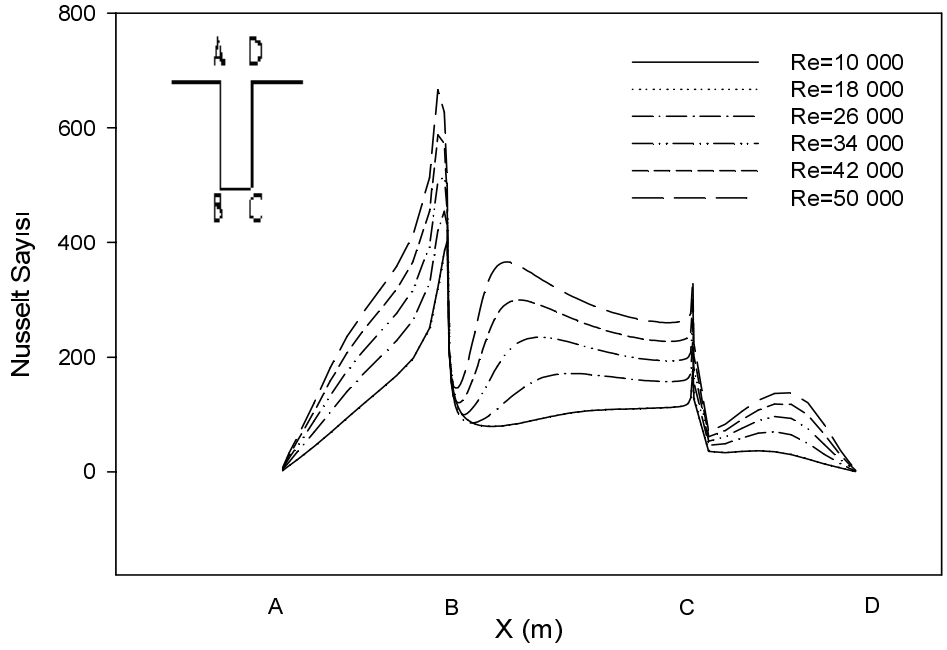
Şekil 4.34'de kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1 ve modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 için farklı kanatçık kalınlıklarında, akış periyodik olarak tam geliştikten sonra, bir modüldeki ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısıyla değişim grafiği verilmiştir. Grafikten görüleceği gibi kanatçık kalınlığının arttırılması ortalama yüzey sürtünme katsayısında önemsiz bir artışa neden olmaktadır.



Şekil 4.34. L/H=1 ve h/H=0,1 için tam gelişmiş akış şartlarında değişik t/H oranlarındaki geometrilerdeki ortalama yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısıyla değişimi

Şekil 4.35'de kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1 ve modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının paralel levhalar arasındaki uzaklığa oranı t/h=0,15 olan geometride akış periyodik olarak tam geliştikten sonra kanatçık üzerindeki yerel Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişimi gösterilmiştir. Kanatçığın levha yüzeyinde olan köşesi (A) ve kanatçığın sol köşesi (B) arasında yerel Nusselt sayısının değeri kanatçık yüzeyi boyunca artmaktadır. Şekilden görüldüğü gibi kanatçığın sol köşesinde (B) yerel Nusselt sayısı en yüksek değerine ulaşmaktadır. Kanatçığın sol köşesinden sonra akışın kanatçık yüzeyinden ayrılması nedeni ile yerel Nusselt sayısının değerinde azalma görülmekte akışının kanatçık yüzeyine tekrar bağlanma noktasında yerel Nusselt sayısının değeri tekrar artmaktadır. Kanatçığın sağ köşesi (C) ile kanatçığın levha yüzeyinde olan D köşesi arasındaki bölgede benzer bir durum gözlenmektedir. Kanatçığın sağ köşesinden (C) sonra akışın kanatçık

yüzeyinden ayrılması nedeniyle yerel Nusselt sayısının değerinde azalma görülmekte, daha sonra akışın kanatçık yüzeyine tekrar bağlandığı noktada yerel Nusselt sayısının değeri artmaktadır.



Şekil 4.35. h/H=0,1; t/h=0,15 ve L/H=1 için farklı Reynolds sayılarında tam gelişmiş akış şartlarında kanatçık üzerindeki yerel Nusselt sayısının değişimi

4.3.7. Prandtl sayısının ısı transferi üzerindeki etkisi

Çalışmanın bu bölümünde kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının paralel levhalar arasındaki uzaklığa oranı t/H=0,01 olan geometri de Prandtl sayısının ısı transferi ve akış alanındaki etkilerinin incelenmesi amacıyla paralel levhalar arasından akan akışkanın, Prandtl sayısı 0,707 olan hava, Prandtl sayısı 3,5 olan Freon-12 ve Prandtl sayısı 5,8 olan su olduğu durumlar için Reynolds sayısının 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 değerlerinde sayısal çözüm gerçekleştirilmiştir.

Bu bölümde, kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının paralel levhalar arasındaki uzaklığa oranı t/h=0,01 olan geometri için belirlenen optimum hücre sayısı olan 64 852 hücre sayısı için sayısal çözüm gerçekleştirilmiştir (Bkz. Çizelge 3.3).

Prandtl sayısı=0,707

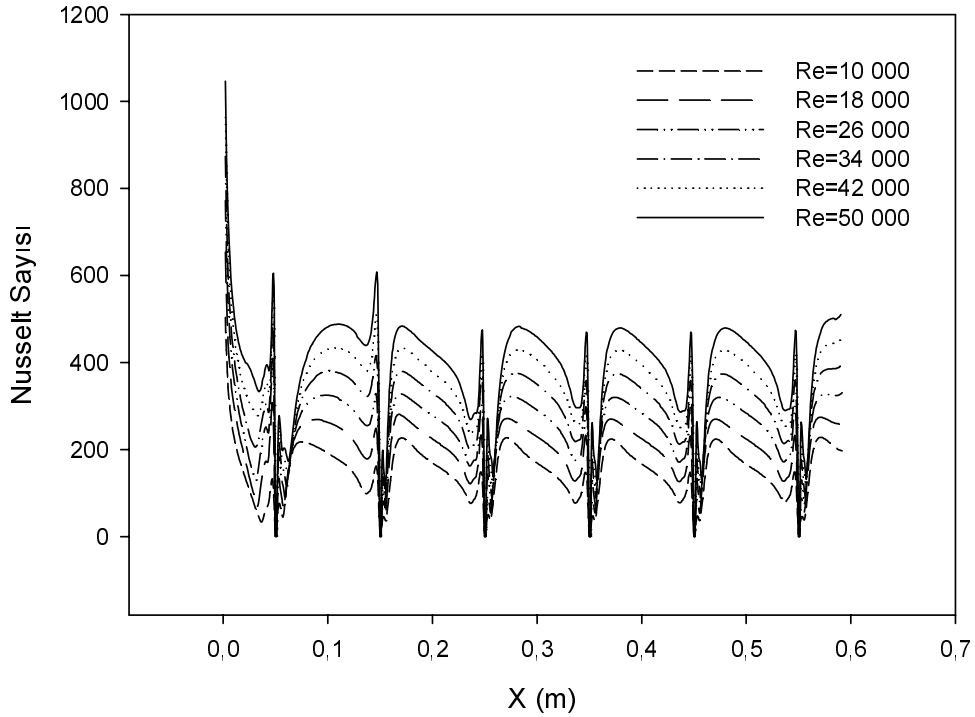
Kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının paralel levhalar arasındaki uzaklığa oranı t/h=0,01 olan geometri için, paralel levhalar arasından akan akışkanın Prandtl sayısı 0,707 olan hava olduğu durumda, Reynolds sayısının 10 000 ile 50 000 arasındaki değerleri için gerçekleştirilen sayısal çözüm sonuçları bölüm 4.3.1.2'de verilmiştir.

Prandtl sayısı=3,5

Kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının paralel levhalar arasındaki uzaklığa oranı t/h=0,01iken paralel levhalar arasından akan akışkanın Prandtl sayısı 3,5 olan freon-12 için, 10 000 ile 50 000 arasında değişen Reynolds sayıları için gerçekleştirilen sayısal çözüm sonuçları bu bölümde verilmiştir.

Reynolds sayısı 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 için elde edilen yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişim grafikleri Şekil 4.36'da toplu olarak verilmiştir.

Yüzey sürtünme katsayısının Prandtl sayısının fonksiyonu olmadığından bölüm 4.3.1.2'de elde edilen yüzey sürtünme katsayısı grafiği elde edilmiş fakat bu bölümde tekrar verilmemiştir.



Şekil 4.36. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 iken, Prandtl sayısı 3,5 olan Freon-12 için yerel Nusselt sayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi

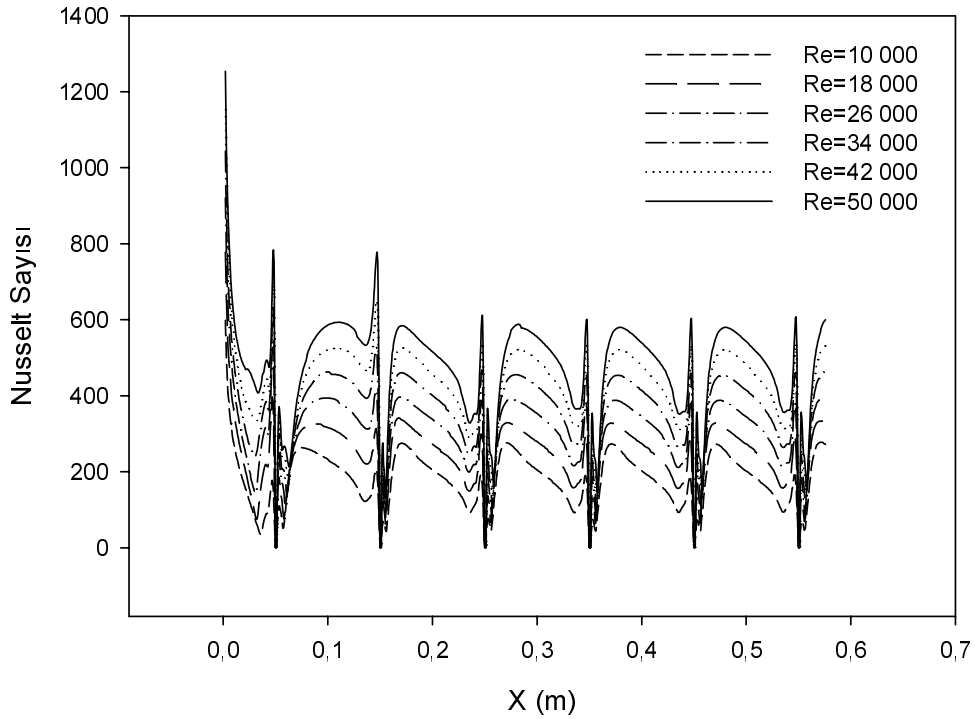
Kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının paralel levhalar arasındaki uzaklığa oranı t/h=0,01 olan geometride Prandtl sayısı 3,5 ve Re=10 000, Re=18 000, Re=26 000, Re=34 000, Re=42 000 ve Re=50 000 için yapılan sayısal çalışmada akışın ısıl olarak üçüncü kanatçıktan itibaren periyodik olarak tam gelişmiş hale geldiği görülmüştür.

Prandtl sayısı=5,83

Kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının paralel levhalar arasındaki uzaklığa oranı t/h=0,01 geometrisinde, paralel levhalar arasından akan akışkanın Prandtl sayısı 5,83 olan su olduğu durum

için, değişik Reynolds sayılarında (10 000–50 000) gerçekleştirilen sayısal çözüm sonuçları bu bölümde verilmiştir.

Reynolds sayısı 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 için elde edilen yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişim grafikleri Şekil 4.37'de verilmiştir.



Şekil 4.37. L/H=1 ve h/H=0,1 iken, Prandtl sayısı 5,83 olan su için yerel Nusselt sayısının farklı Reynolds sayılarında levha boyunca değişimi

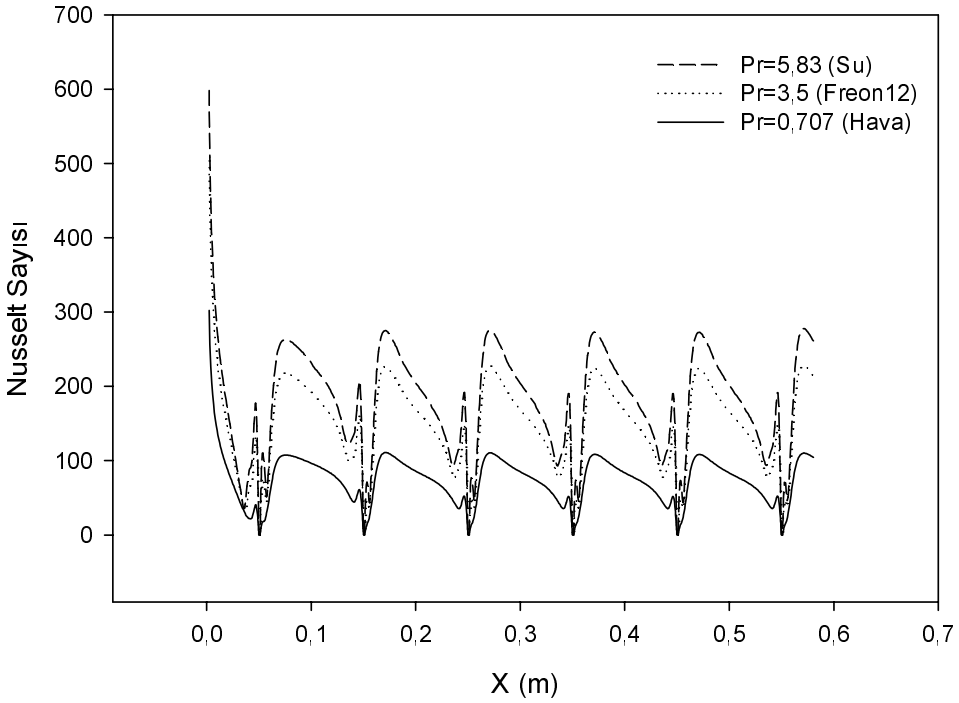
Yüzey sürtünme katsayısının Prandtl sayısının fonksiyonu olmadığından hava için elde edilen yüzey sürtünme katsayısı grafiği elde edilmiştir.

Kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının paralel levhalar arasındaki uzaklığa oranı t/h=0,01 olan geometride, Prandtl sayısı 5,83 ve Re=10 000, Re=18 000, Re=26 000, Re=34 000, Re=42 000

ve Re=50 000, için akış üçüncü kanatçıktan itibaren periyodik olarak tam gelişmiş hale gelmektedir.

4.3.8. Prandtl sayısının ısı transferi üzerindeki etkisinin karşılaştırılması

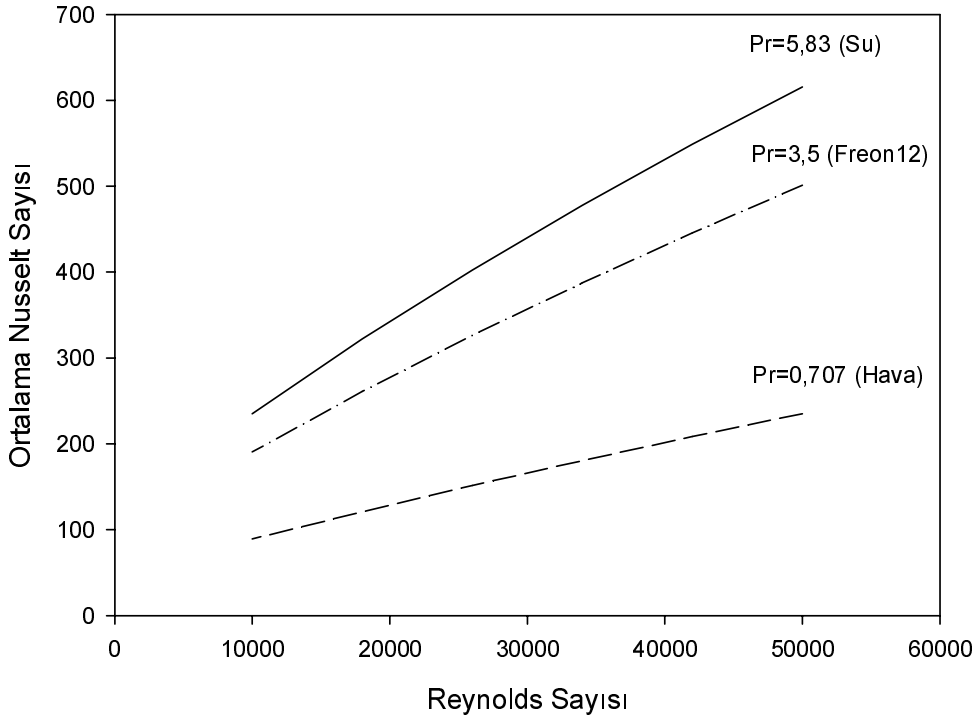
Bu bölümde; Prandtl sayısının ısı transferi ve akış alanındaki etkilerinin incelenmesi amacıyla paralel levhalar arasından akan akışkanın, Prandtl sayısı 0,707 olan hava, Prandtl sayısı 3,5 olan Freon-12 ve Prandtl sayısı 5,8 olan su olduğu durumlar için kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının paralel levhalar arasındaki uzaklığa oranı t/h=0,01 olan geometri de değişik Reynolds sayılarında gerçekleştirilen sayısal çözüm sonuçları karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.38. L/H=1; t/H=0,01; h/H=0,1 ve Re=10 000 için farklı Prandtl sayılarında yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

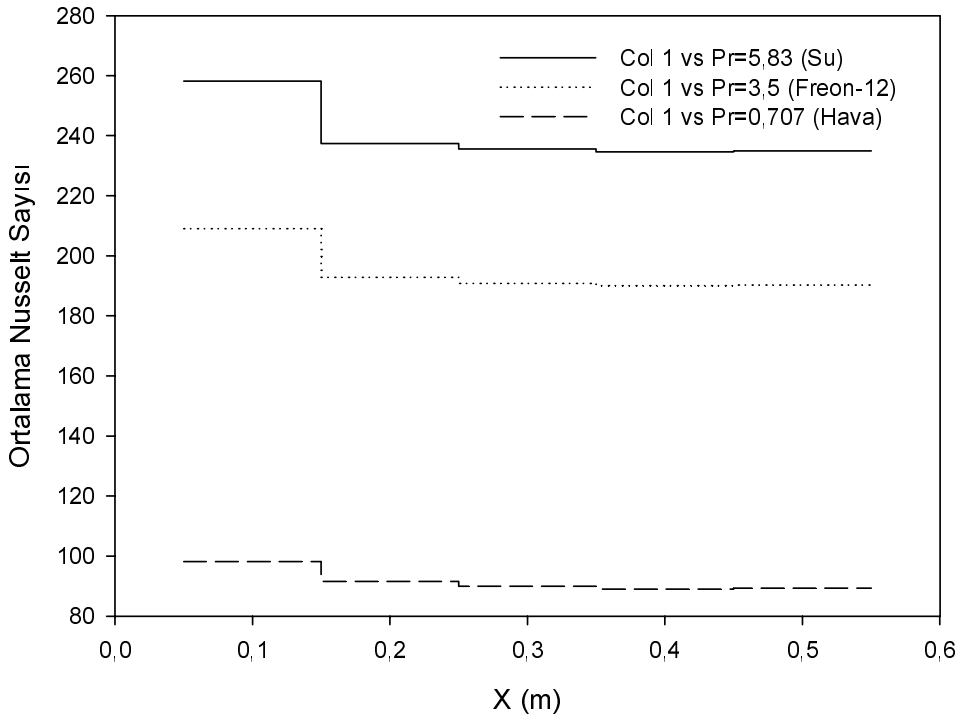
Şekil 4.38'de Reynolds sayısı 10 000 iken Prandtl sayısı 0,707 olan hava, Prandtl sayısı 3,5 olan Freon-12 ve Prandtl sayısı 5,8 olan su için yapılan sayısal çözüm sonuçları, Prandtl sayısının değişimiyle yerel Nusselt sayısında meydana gelen değişimin görülebilmesi için, aynı grafikte gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi Prandtl sayısındaki artış yerel Nusselt sayısında önemli bir artışa neden olmaktadır.

Şekil 4.39'da Reynolds sayısı 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 için Prandtl sayısı 0,707 olan hava, Prandtl sayısı 3,5 olan Freon-12 ve Prandtl sayısı 5,8 olan su için akış ısıl olarak periyodik tam geliştikten sonra bir modüldeki ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişim grafiği verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi Prandtl sayısındaki artış ortalama Nusselt sayısında önemli bir artışa neden olmaktadır.



Şekil 4.39. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 iken tam gelişmiş akış şartlarında farklı Prandtl sayıları için bir modüldeki ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısıyla değişimi

Şekil 4.40'da kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1, modül uzunluğunun paralel iki levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının paralel levhalar arasındaki uzaklığa oranı t/H=0,01 olan geometri de Reynolds sayısı 10 000 için Prandtl sayısı 0,707 olan hava, Prandtl sayısı 3,5 olan Freon-12 ve Prandtl sayısı 5,8 olan su için her bir modüldeki ortalama Nusselt sayısının levha boyunca değişim grafiği verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi Prandtl sayısındaki artış ortalama Nusselt sayısının değerinde önemli bir artışa neden olmaktadır. Fakat Prandtl sayısındaki değişme akışın periyodik olarak tam gelişme uzunluğunu değiştirmediği gözlenmiştir. Akış, su ve freon-12 için de hava için olduğu gibi üçüncü kanatçıktan itibaren periyodik olarak tam gelişmiş akış rejimine ulaşmaktadır.



Şekil 4.40. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Reynolds sayısı 10 000 iken tam gelişmiş akış şartlarında farklı Prandtl sayıları için her bir modüldeki ortalama Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen bu çalışmada, giriş bölgesinde akış yönünde bir dizi simetrik olarak yerleştirilmiş kanatçık bulunan, birbirine eşit ve sabit sıcaklıkta tutulan paralel iki levha arasındaki türbülanslı zorlanmış taşınım ile oluşan ısı transferinin iki boyutlu analizi, Fluent paket programı kullanılarak sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. Türbülanslı akış şartlarında modül uzunluğunun (Bkz. Şekil 3.1), kanatçık yüksekliğinin kanatçık kalınlığının, Reynolds sayısının ve Prandtl Sayısının ısı transferi üzerindeki etkisi RNG k-ε türbülans modeli kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar Nusselt sayısının ve yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi ve Reynolds sayısı ile değişimi şeklinde Bölüm 4'de şekiller ve çizelgeler ile gösterilmiştir.

Bu çalışmada, öncelikle yapılan çalışmanın doğruluğunu göstermek amacıyla literatürde mevcut olan bazı çalışmalar yapılmış ve sonuçların literatür sonuçları ile uyum içerisinde olduğu görüldükten sonra ve yapılan sayısal çözümün geçerliliğinin doğrulanmasından sonra asıl yapılmak istenilen çalışmaya geçilmiştir. Bu nedenle literatür ile kıyaslama aşamasında önce sabit yüzey sıcaklığı sınır şartlarında paralel iki levha arasındaki laminer ve türbülanslı akış için zorlanmış taşınım ile gerçekleşen ısı transferi çözümleri yapılarak literatür ile kıyaslaması yapılmıştır. Laminer akış için yerel Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi Şekil 4.2 ve yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi Şekil 4.3'de verilmiştir. Türbülanslı akış için yerel Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi Şekil 4.6'da ve yüzey sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi Şekil 4.8'de verilmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda sayısal çözüm metodunun literatür ile uyumlu olduğu görüldükten sonra asıl yapılmak istenilen çalışmaya geçilmiştir.

Literatürdeki bir çok çalışmadan farklı olarak bu tezde, paralel iki levha arasındaki türbülanslı zorlanmış taşınım ile oluşan ısı transferi problemini giriş bölgesini de göz önüne alarak modül uzunluğunun, kanatçık

yüksekliğinin kanatçık kalınlığının, (Bkz. Şekil 3.1) ve Reynolds sayısının ve Prandtl Sayısının ısı transferi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Levha içine yerleştirilen kanatçıkların ısı transferine ve akış alanına etkilerinin incelenebilmesi amacıyla kanatçıkların levha akış alanını %25, %20 ve %10 engellediği yani kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,125; 0,1 ve 0,05 olan ve modül uzunluğunun levhalar arasındaki mesafeye oranı L/H=2; 1 ve 0,5 olan ve kanatçık kalınlığının paralel levhalar arasındaki uzaklığa oranı t/H=0,2; 0,15; 0,1; 0,05 ve 0,01 olan geometriler için Reynolds sayısı 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 olan akışlar için sayısal çözüm gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplamalarda levhalar arasında akan akışkanın hava (Pr=0,707) olduğu var sayılmıştır. Daha sonra Prandtl sayısı 3,5 olan Freon-12 ve Prandtl sayısı 5,8 olan su için kanatçık yüksekliğinin levha yüksekliğine oranı h/H=0,1; modül uzunluğunun levhalar arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanatçık kalınlığının paralel levhalar arasındaki uzaklığa oranı t/H=0,01 geometrisinde Reynolds sayısı 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 olan akışlar için sayısal çözüm gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar şekil ve çizelgeler ile Bölüm 4'de verilmiştir.

Paralel iki levha arasına akış yönünde bir dizi simetrik kanatçık yerleştirildiğinde akışın kısa bir giriş bölgesinden sonra periyodik olarak tam gelişmiş hale geldiği gözlenmiştir. Bu giriş bölgesinin uzunluğu hem ısı transferi hem de sürtünme katsayısı için Reynolds sayısına ve geometrik yapıya bağlıdır. Bu çalışmada periyodik olarak tam gelişmiş akış bölgesinin tam yerinin Reynolds sayısına kanatçık yüksekliğine ve modül uzunluğuna bağlı olarak ısıl açıdan ikinci kanatçıktan dördüncü kanatçıkçığa kadar değiştiği hidrodinamik olarak ise ikinci kanatçıktan beşinci kanatçıkçığa kadar değiştiği gözlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada periyodik olarak tam gelişmiş akış bölgesinin tam yerinin Prandlt sayısına bağlı olmadığı gözlenmiştir.

Bu çalışma, kanatçıkların akış sınır tabakasını kesintiye uğrattığını göstermiştir. Akış kanal duvarlarından ayrılır ve kanatçığın önünde tekrar

sirkülasyon bölgesi oluşturur. Kanatçıkların ayırıcı etkisi nedeniyle ısı transferi miktarı önemli ölçüde düşer. Kanatçıkların önünde oluşan tekrar sirkülasyon bölgesi ve kanatçıkların arkasında oluşan girdapların ayırıcı etkisi nedeniyle ısı transferi miktarı önemli ölçüde düşmesine karşın tekrar sirkülasyon bölgesinde akışın kanala tekrar bağlandığı noktalarda ısı transferinde ani artışlar görülmektedir. Akışın kanala tekrar bağlanma noktasında en büyük yerel Nusselt sayısı görülür (Örneğin; Bkz. Şekil 4.9). Kanatçık üzerinde, kanatçığın sol köşesinde (B) yerel Nusselt sayısı en yüksek değerine ulaşmaktadır (Örneğin; Bkz. Şekil 4.28).

Nusselt sayısına ve yüzey sürtünme katsayısına etki eden parametreler aşağıdaki gibidir.

1. Ortalama Nusselt sayısının ve yerel Nusselt sayısının değeri Reynolds sayısıyla artmaktadır.

2. Yerel yüzey sürtünme katsayısının ve ortalama yüzey sürtünme katsayısının değeri Reynolds sayısıyla azalmaktadır.

3. Kanatçık yüksekliğinin artması, levha ısı transfer alanının artmasına ve akışın karışmasına neden olduğundan kanatçık yüksekliğinin artmasıyla ortalama Nusselt sayısında önemli bir artış olduğu görülmüştür (Örneğin; Bkz. Şekil 4.21). Kanatçık yüksekliğinin artması yerel Nusselt sayısının artmasına da neden olduğu görülmüştür (Örneğin; Şekil 4.19).

4. Kanatçık yüksekliğinin artması ile yerel yüzey sürtünme katsayısı değerinin attığı görülmüştür (Örneğin; Bkz. Şekil 4.22). Ayrıca kanatçık yüksekliğinin artması ile ortalama yüzey sürtünme katsayısı değerinin arttığı görülmüştür (Örneğin; Bkz. Şekil 4.23).

5. Sabit Reynolds sayısında modül uzunluğunun azalması ortama Nusselt sayısında artmaya neden olmaktadır. Yani modül uzunluğu arttıkça

ortama Nusselt sayısının değeri kanatçıksız paralel levhalardakine yaklaşmaktadır (Şekil 4.24).

6. Modül uzunluğunun artması ile ortalama yüzey sürtünme katsayısı değerinin azaldığı görülmüştür (Örneğin; Bkz. Şekil 4.25).

7. Kanatçık kalınlığının arttırılmasının ısı transferi miktarında etkili bir artış veya azalmaya neden olmadığı gözlenmiştir (Örneğin; Bkz. Şekil 4.26).

8. Kanatçık kalınlığının arttırılması ortalama yüzey sürtünme katsayısında önemsiz bir artışa neden olmaktadır (Örneğin; Bkz. Şekil 4.27).

9. Prandlt sayısındaki artış yerel Nusselt sayısı ve ortalama Nusselt sayısının değerinde önemli bir artışa neden olmaktadır.

10. Yüzey sürtünme katsayısı Prandlt sayısının fonksiyonu olmadığı için Prandlt sayısındaki artış veya azalma yüzey sürtünme katsayısında değişime neden olmamaktadır.

Nusselt sayısının ve yüzey sürtünme katsayısının, Reynolds sayısına Prandtl sayısına, kanatçık yüksekliğine, modül uzunluğuna ve kanatçık kalınlığına bağımlılığı Çizelge 5.1'de özetlenmiştir. Çizelgede; (↑) işareti artışı, (↓) işareti azalmayı göstermektedir. Örneğin kanatçık yüksekliğindeki artış Nusselt sayısında ve yüzey sürtünme katsayısında artışa neden olmaktadır.

Çizelge 5.1. Reynolds sayısı, Prandtl sayısı ve geometrik parametrelerin Nusselt sayısı ve yüzey sürtünme katsayısına etkileri

	Nu, $\overline{Nu}$	C_f, $\overline{C_f}$
h ↑	↑	↑
L ↑	↓	↓
t ↑	etkisi yok	etkisi yok
Re ↑	↑	↓
Pr ↑	↑	etkisi yok

Kanatçık ve akışkan çevresindeki akışkan sıcaklığının beklendiği gibi yüksek olduğu gözlenmiştir. Kanatçıkların akışı kesintiye uğrattığı kanatçıklar arasında ve özellikle kanatçık ve levha yüzeyinde akışkan hızının düşük olduğu görülmüştür. Kanatçık uç noktalarında akışkan hızının arttığı görülmüştür.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, kanatçık geometrisinin dikdörtgen kesitli olması durumu incelenmiştir. Kanatçıkçığın dairesel kesitli veya değişik geometride olduğu problem bir başka tezin konusu olabilir. Ayrıca inceleme alanı olarak Reynolds sayısının 10 000 ile 50 000 arasındaki değerleri seçilmiştir. Farklı Reynolds sayıları için veya farklı türbülans modelleri kullanılarak ısı transferi ve akış incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Luo, D. D., Leung, C.W., Chan, T. L., Wong W. O., "Simulation of turbulent flow and forced convection in a triangular duct with internal ribbed surfaces", ***Numerical Heat Transfer***, 48: 447-459 (2005).

2. Demartini, L.C. , Vielmo, H. A., Möller, S. V., "Numeric and experimental analysis of the turbulent flow trough a channel with baffle plates", ***Journal of the Braz. Soc. Of Mech. Sci. & Eng***., 26: 153-159 (2004).

3. Tehrani, B. F., Abadi, N. M., "Numerical analysis of laminar heat transfer in entrance region of a horizantal channel with transverse fins", ***Int. Comm. Heat Mass Transfer***, 31 (2): 211-220 (2004).

4. Yuan, Z. X., Tao, W. Q., Wang, Q. W., "Numerical prediction for laminar forced convection heat transfer in parallel-plate channels with streamwise-periodic rod disturbances", ***International Journal for Numerical Methods in Fluids***, 28: 1371-1387 (1998).

5. Guo, Z., Anand, N. K., "Three dimensional heat transfer in a channel with a baffle in the entrance region", ***Numerical Heat Transfer***, Part A (31): 21-35 (1997).

6. Wang, G., Stone, K., Vanka, S. P., "Unsteady heat transfer in baffled channels", ***Journal of Heat Transfer***, August 118: 585 (1996).

7. Cheng, C. H., Huang, W. H., "Numerical prediction for laminar forced convection in parallel-plate channels with transverse fin arrays", ***Int. J. Heat Mass Transfer***, 34 (11): 2739-2749 (1991).

8. Webb, B. W., Ramadhyani, S., "Conjugate heat transfer in a channel with staggered ribs", ***Int. J. Heat Mass Transfer***, 28 (19): 1679-1687 (1991).

9. Kelkar, K. M., Patankar, S. V., "Numerical prediction of flow and heat transfer in a parallel plate channel with staggered fins", ***Journal of Heat Transfer***, February 109: 25 (1987).

10. Berner, C., Durst, F., McEligot, D. M., "Flow around baffles", ***Journal of Heat Transfer***, November 106: 743 (1984).

11. Armaly, B. F., Durst, F., Pereira, J. C. F., Schönung, B., "Experimental and theoretical investigation of backward-facing step flow", J. Fluid Mech., 127: 473-496 (1983).

12. Patankar, S. V., Liu, C. H., Sparrow, E. M., "Fully developed flow and heat transfer in ducts having streamwise-periodic variations of cross-sectional area", ***Journal of Heat Transfer***, May 99: (1977).

13. Kays, W. M., Crawford, M. E., “Convective Heat And Mass Transfer 3rd Edition”, ***McGraw-Hill***, New York, NY, 150-163 (1993).

14. Incropera, P. F., DeWitt, D. P., “Fundamental Of Heat And Mass Transfer 5th ed.”, ***John Wiley & Sons***, New York, 451-496 (2005).

15. Versteeg, H. K., Malalasekera, W., “An Introduction to Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method 1st ed.”, ***John Wiley & Sons***, New York, 69-85 (1995).

16. Çengel, Y.A., “Heat Transfer, A Practical Approach” **McGraw-Hill**, New York, (1998).

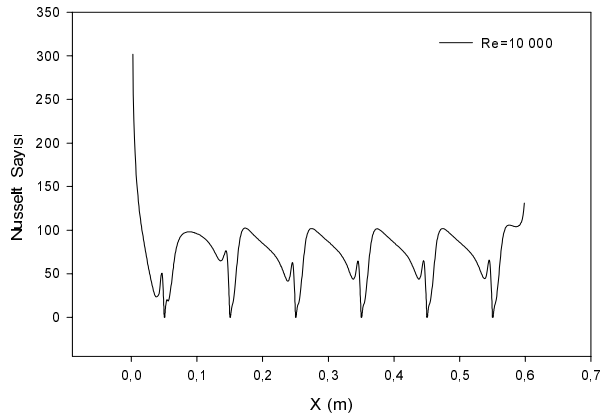
17. Fluent Inc., “Fluent 6.2 User’s Guide”, (2006)

EKLER

EK-1 L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

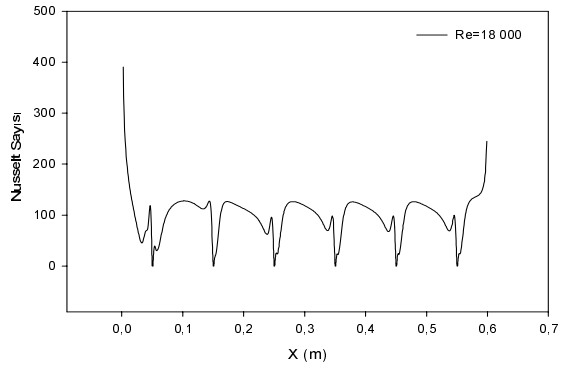
Bu bölümde Bölüm 4.3.1'de verilen modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 olan ve kanat kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 iken kanat yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan h/H=0,125 için yani diğer bir ifade ile belirtmek gerekirse kanatın iki paralel levha arasında oluşturduğu blokajın %25 olması durumunda Reynolds sayısının 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 değerlerinde gerçekleştirilen sayısal çözüm sonuçları her bir Reynolds sayısı için burada verilmiştir. Elde edilen sayısal çalışma sonuçları yerel Nusselt sayısının ve yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi şeklinde ifade edilmiştir. Ayrıca bu bölümde yine aynı geometri için hız, sıcaklık ve duvar y^+ değeri grafikleri de verilmiştir.

Yerel Nusselt sayısı grafikleri

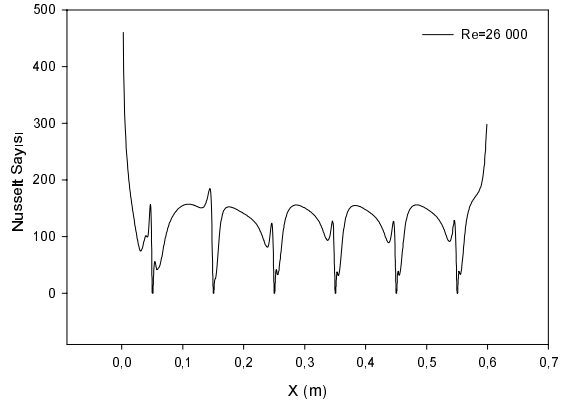


Şekil EK-1.1. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

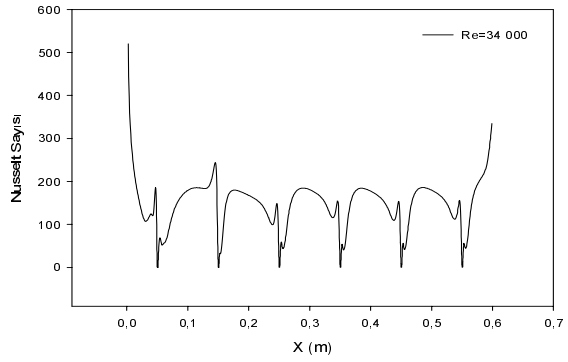
EK-1 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-1.2. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=18 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

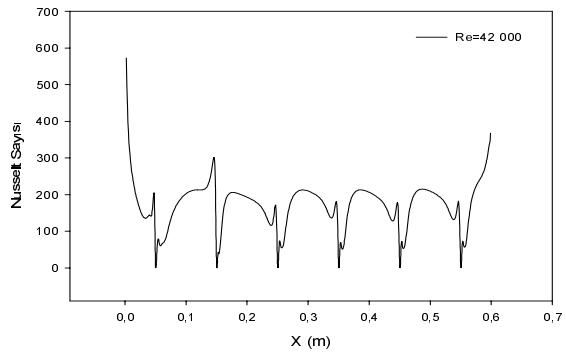


Şekil EK-1.3. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=26 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

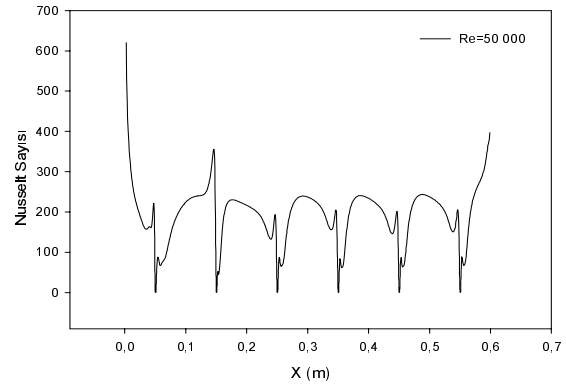


Şekil EK-1.4. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=34 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

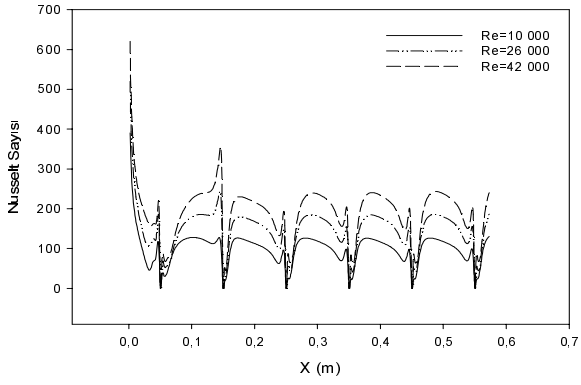
EK-1 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-1.5. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=42 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi



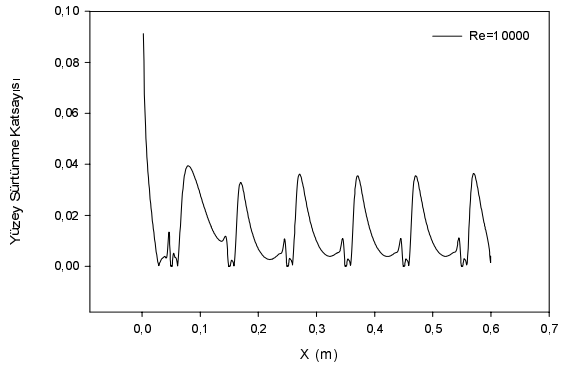
Şekil EK-1.6. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=50 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi



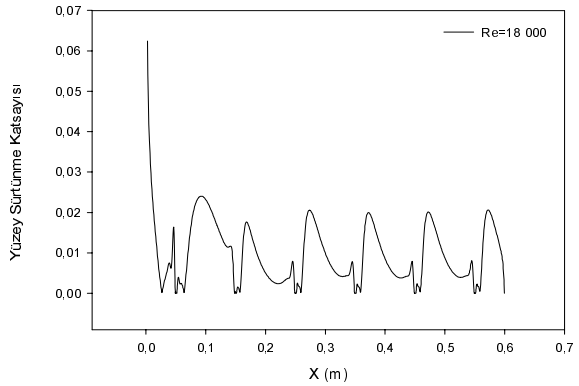
Şekil EK-1.7. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için yerel Nusselt sayısının levha boyunca Reynolds sayısının (Re) 10 000, 26 000 ve 42 000 değerlerindeki değişimi

EK-1 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

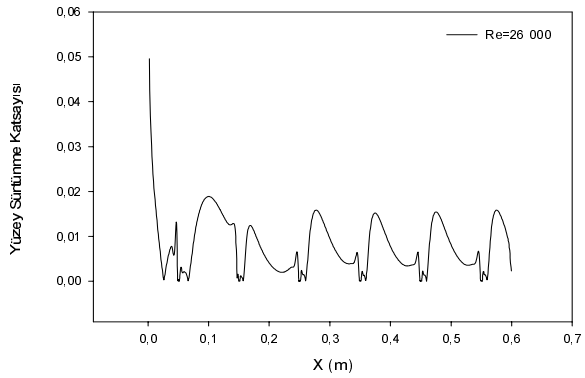
Yüzey sürtünme katsayısı sonuçları



Şekil EK-1.8. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'deki yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

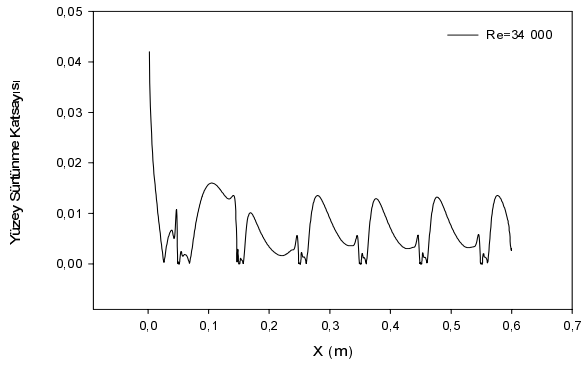


Şekil EK-1.9. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=18 000'deki yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

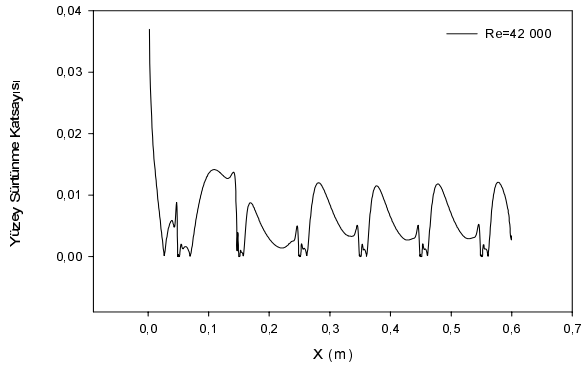


Şekil EK-1.10. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=26 000'deki yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

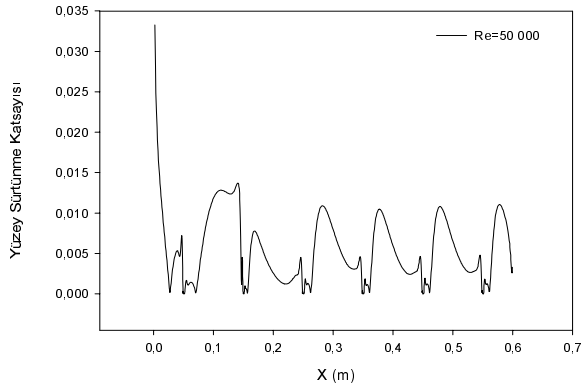
EK-1 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-1.11. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=34 000'deki yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

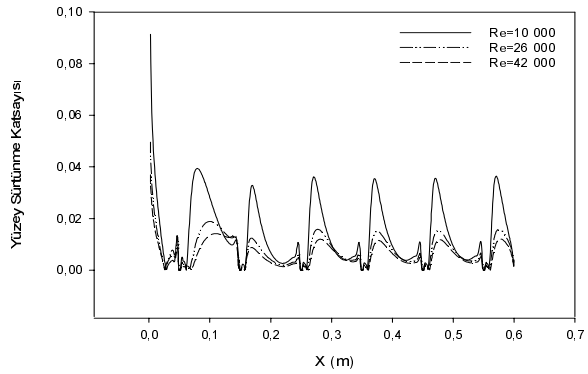


Şekil EK-1.12. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=42 000'deki yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi



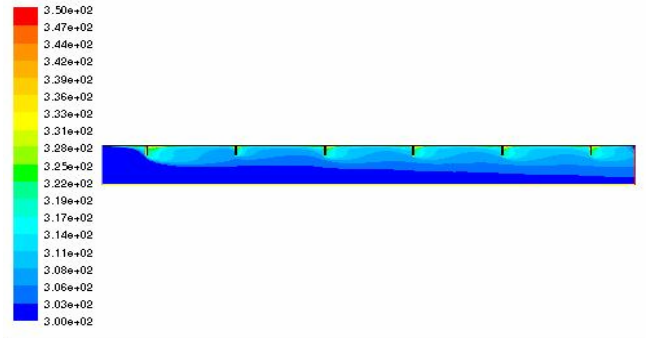
Şekil EK-1.13. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=50 000'deki yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

EK-1 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

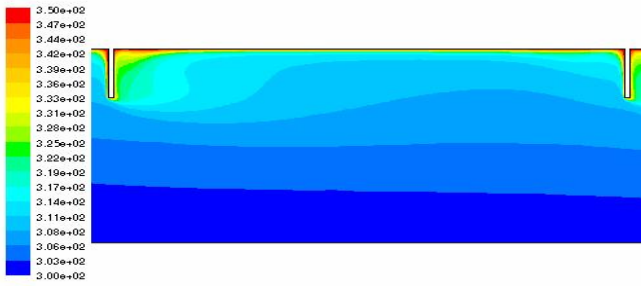


Şekil EK-1.14. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca Reynolds sayısının 10 000, 26 000 ve 42 000 değerlerindeki değişimi

Sıcaklık ve Hız Grafikleri

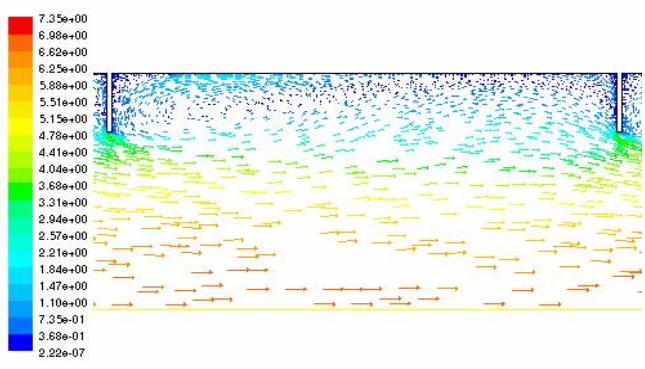


Şekil EK-1.15. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=50 000'de levha içindeki akışkan sıcaklık dağılımı

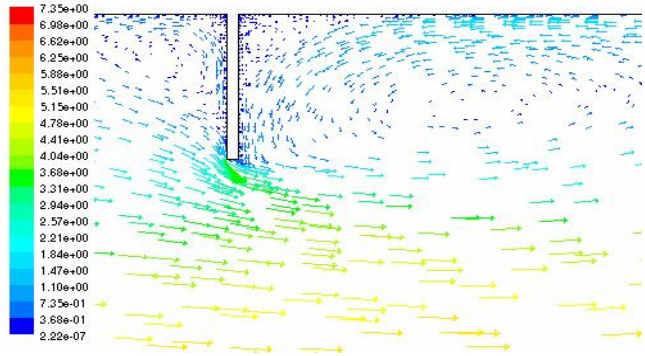


Şekil EK-1.16. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=50 000'de 3. ve 4. kanatçık arasındaki akışkan sıcaklık dağılımı

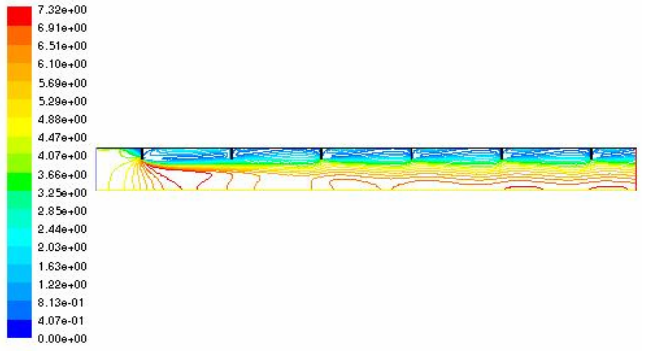
EK-1 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-1.17. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=50 000'de 3. ve 4. kanatçık arasındaki hız vektörleri

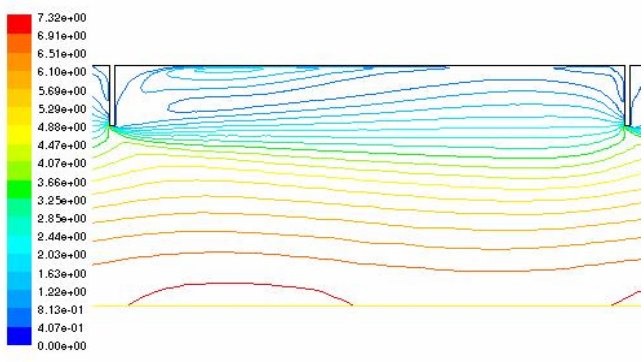


Şekil EK-1.18. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=50 000'de kanatçık etrafındaki hız vektörleri

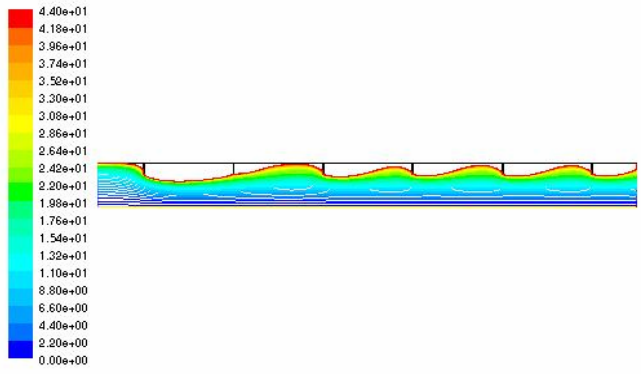


Şekil EK-1.19. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=50 000'de levha içindeki hız konturları

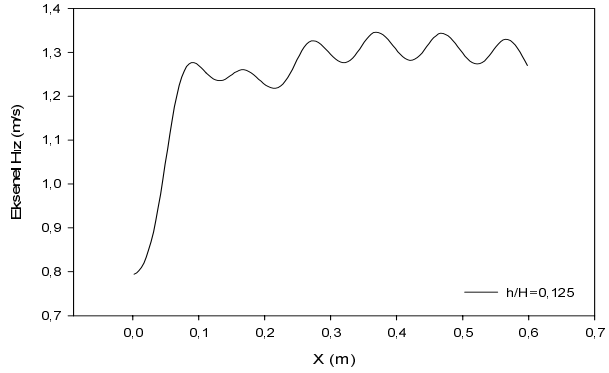
EK-1 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-1.20. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=50 000'de 3. ve 4. kanatçık arasındaki hız konturları

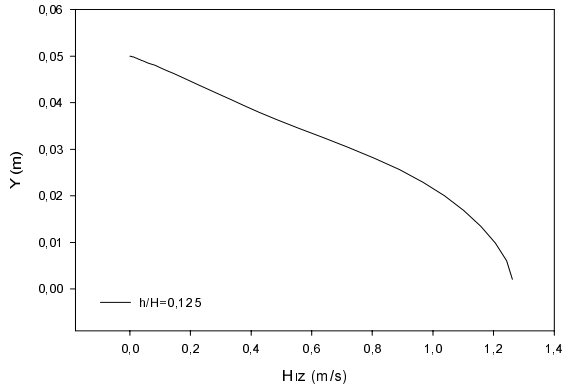


Şekil EK-1.21. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=50 000'de akım çizgisi

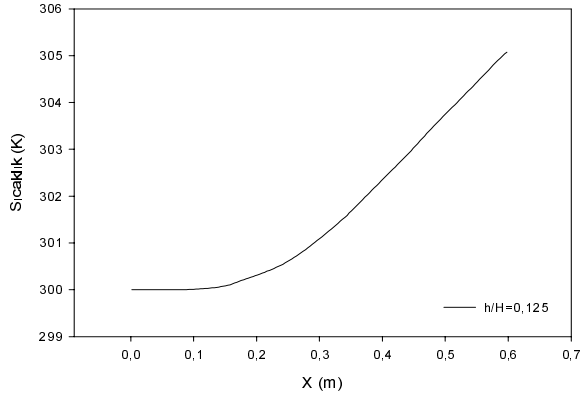


Şekil EK-1.22. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'deki simetri eksenindeki hız dağılımı

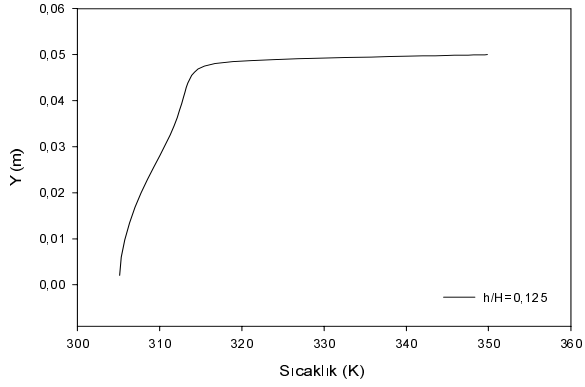
EK-1 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-1.23. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de kanal çıkışındaki hız dağılımı

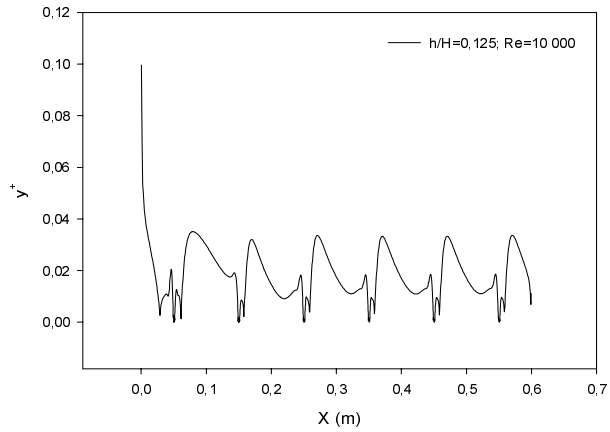


Şekil EK-1.24. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de simetri eksenindeki sıcaklık dağılımı

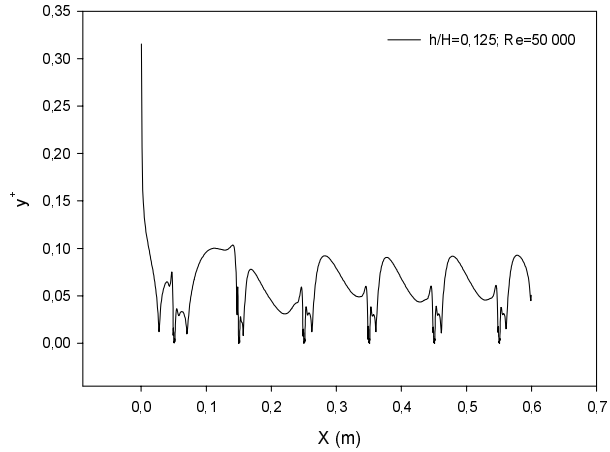


Şekil EK-1.25. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı

EK-1 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-1.26. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=10 000'de y^+ değerinin levha boyunca değişimi

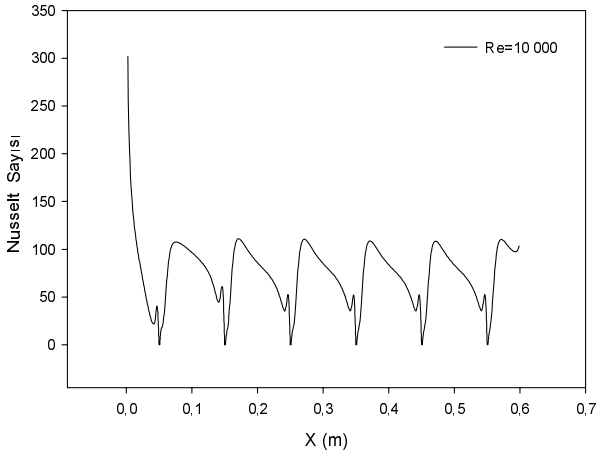


Şekil EK-1.27. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,125 geometrisi için Re=50 000'de y^+ değerinin levha boyunca değişimi

EK-2 L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

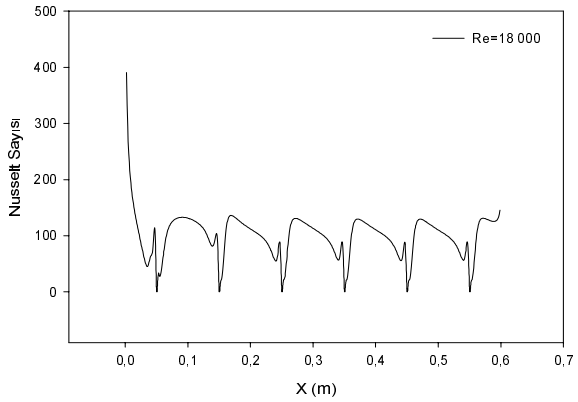
Bu bölümde Bölüm 4.3.1'de verilen modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanat kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 iken kanat yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1 için yani diğer bir ifade ile belirtmek gerekirse kanatın iki paralel levha arasında oluşturduğu blokajın %20 olması durumunda Reynolds sayısının 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 değerlerinde gerçekleştirilen sayısal çözüm sonuçları her bir Reynolds sayısı için burada verilmiştir. Elde edilen sayısal çalışma sonuçları yerel Nusselt sayısının ve yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi şeklinde ifade edilmiştir. Ayrıca bu bölümde yine aynı geometri için hız, sıcaklık ve duvar y^+ değeri grafikleri de verilmiştir.

Yerel Nusselt sayısı grafikleri

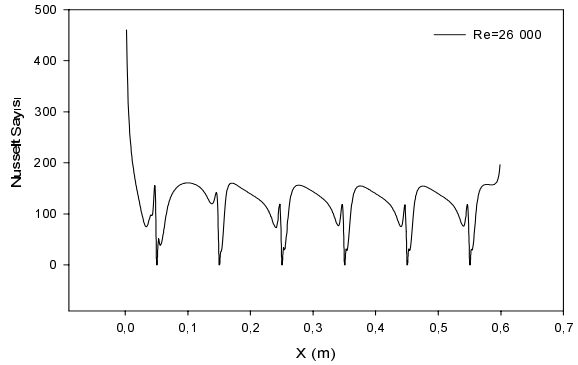


Şekil EK-2.1. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

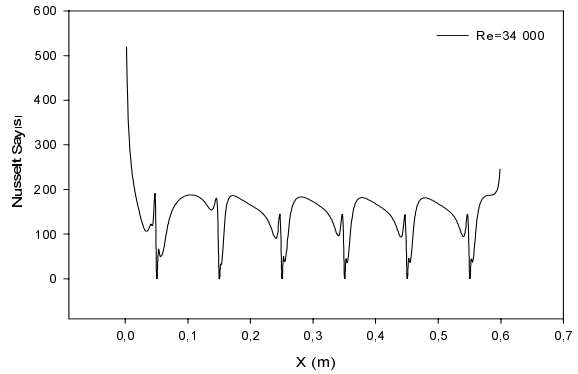
EK-2 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-2.2. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=18 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

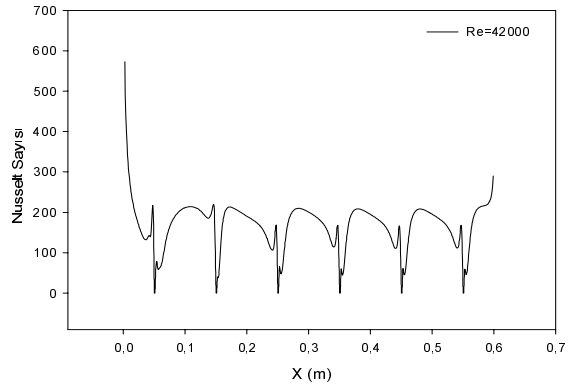


Şekil EK-2.3. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=26 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

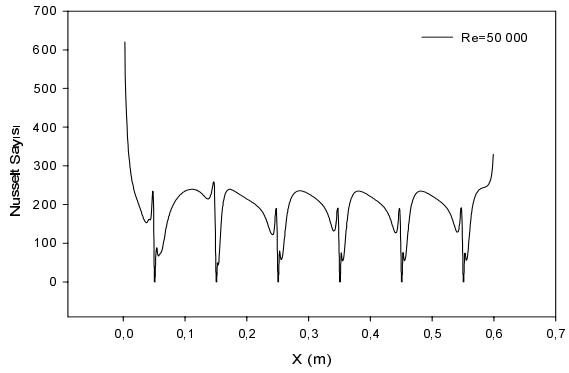


Şekil EK-2.4. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=34 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

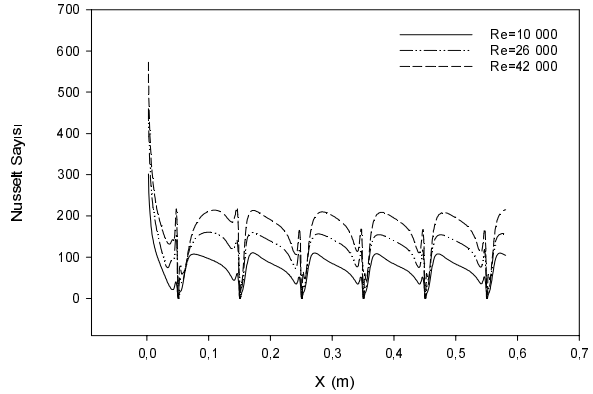
EK-2 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-2.5. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=42 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi



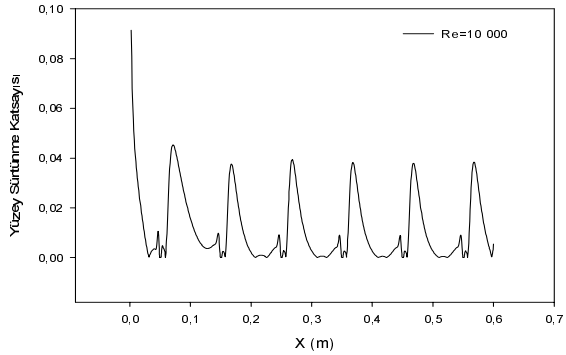
Şekil EK-2.6. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi



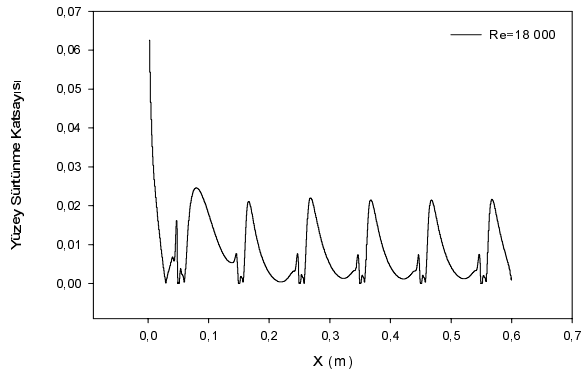
Şekil EK-2.7. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için yerel Nusselt sayısının levha boyunca Reynolds sayısının (Re) 10 000, 26 000 ve 42 000 değerlerindeki değişimi

EK-2 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

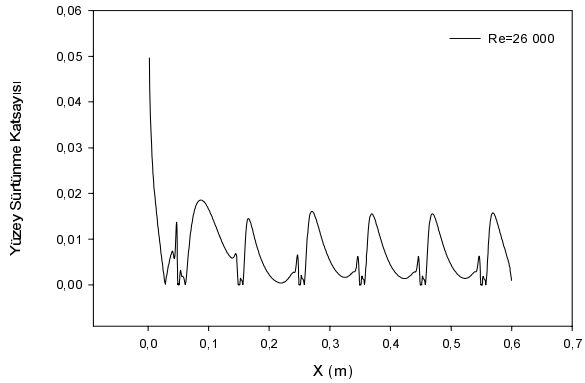
Yüzey sürtünme katsayısı sonuçları



Şekil EK-2.8. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'deki yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

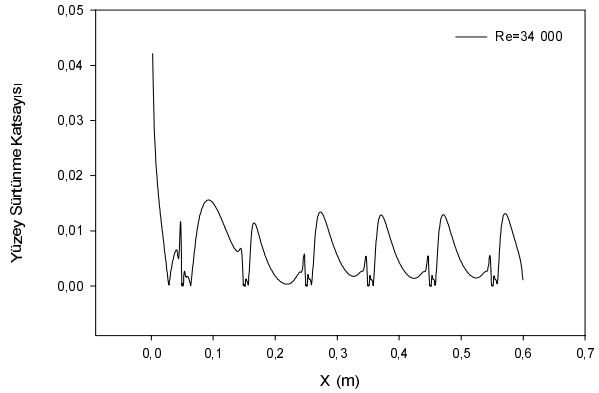


Şekil EK-2.9. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=18 000'deki yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

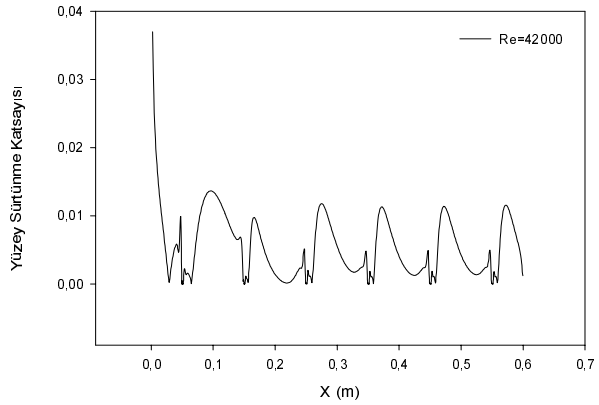


Şekil EK-2.10. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=26 000'deki yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

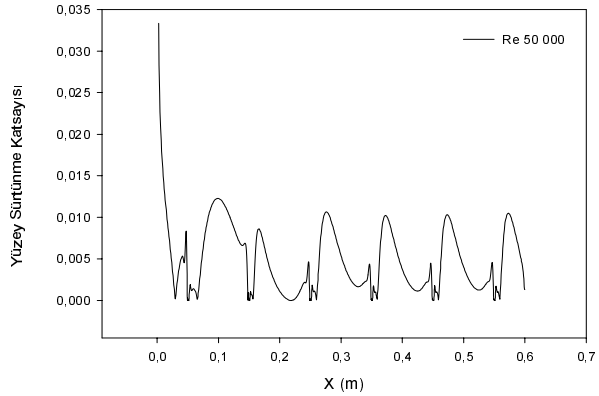
EK-2 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-2.11. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=34 000'deki yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

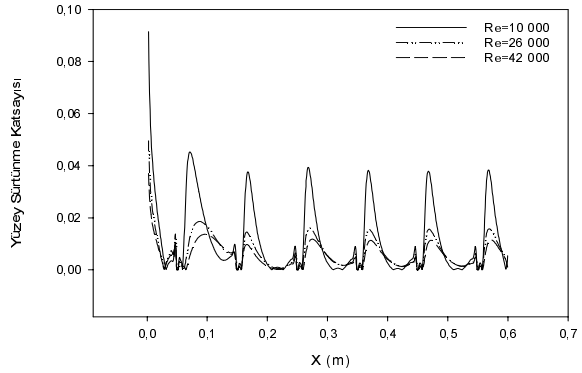


Şekil EK-2.12. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=42 000'deki yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi



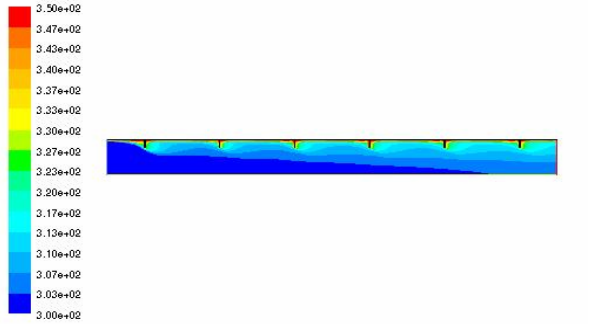
Şekil EK-2.13. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'deki yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

EK-2 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

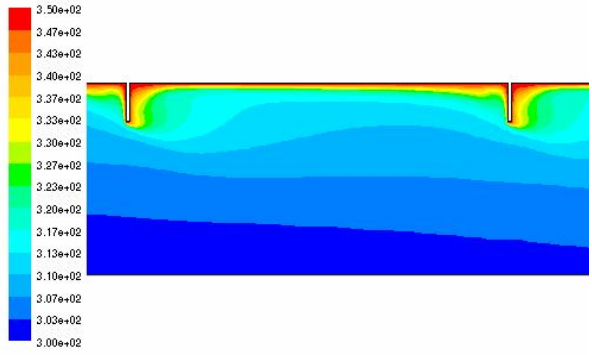


Şekil EK-2.14. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca Reynolds sayısının 10 000, 26 000 ve 42 000 değerlerindeki değişimi

Sıcaklık ve Hız Grafikleri

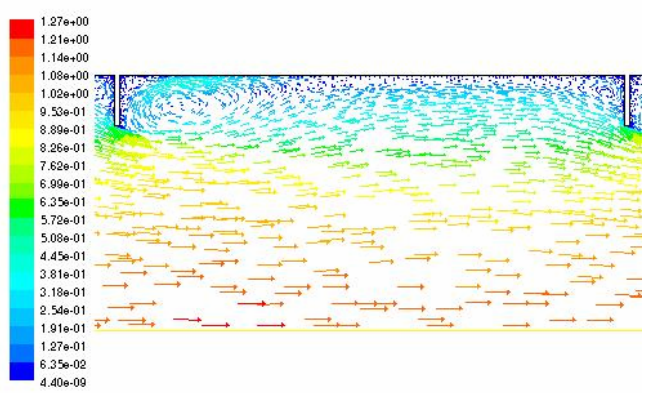


Şekil EK-2.15. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de levha içindeki akışkan sıcaklık dağılımı

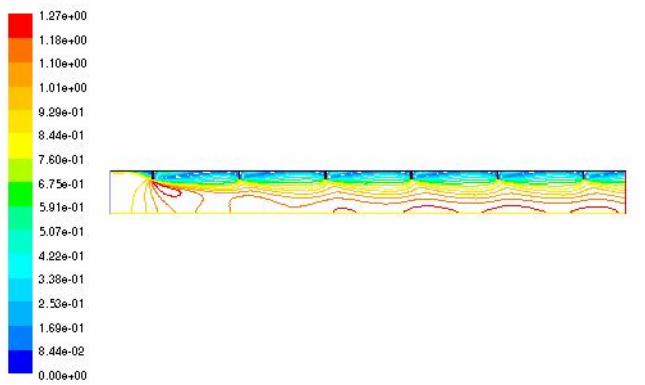


Şekil EK-2.16. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de 4. ve 5. kanat arasındaki akışkan sıcaklık dağılımı

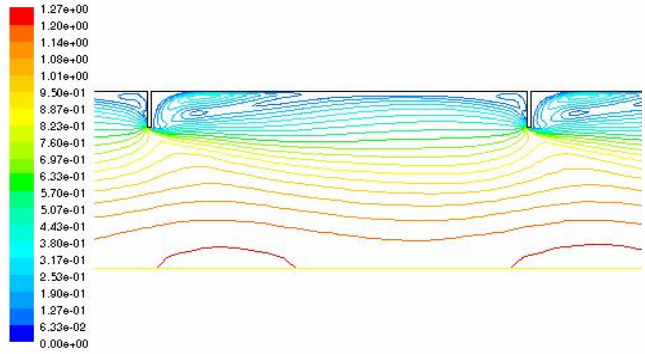
EK-2 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-2.17. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de 3. ve 4. kanatçık arasındaki hız vektörleri

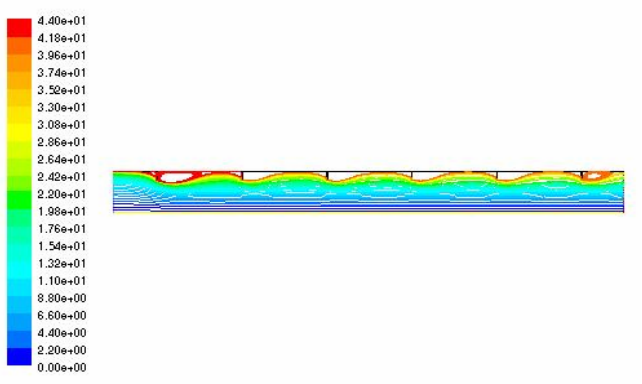


Şekil EK-2.18. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de levha içindeki hız konturları

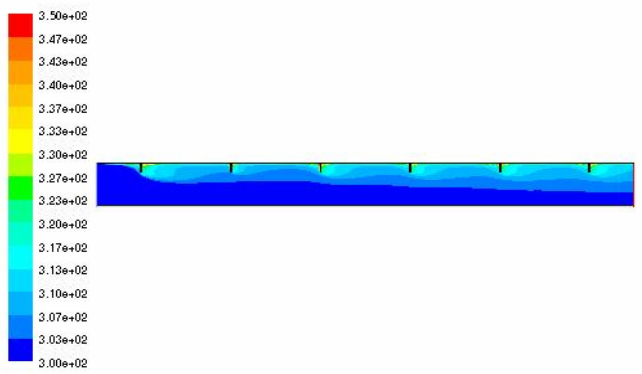


Şekil EK-2.19. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de 3. ve 4. kanatçık arasındaki hız konturları

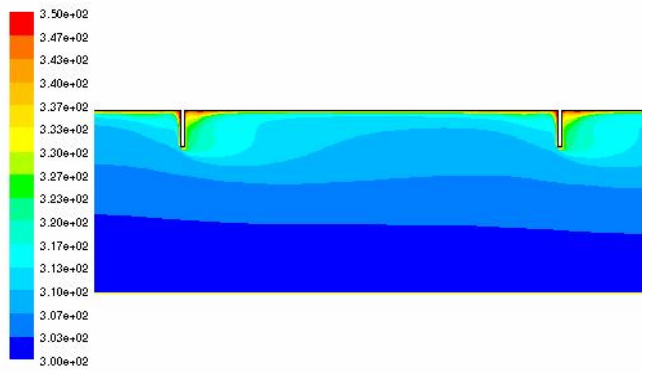
EK-2 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-2.20. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de akım çizgisi

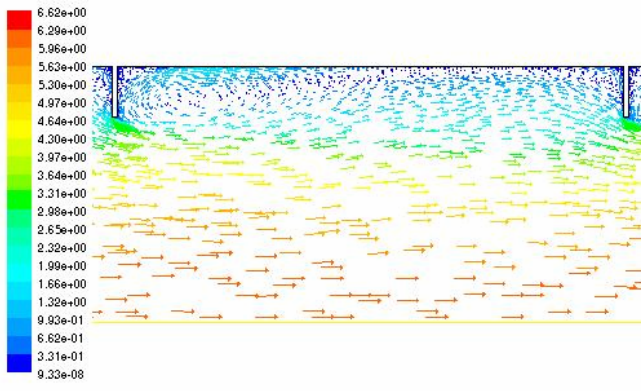


Şekil EK-2.21. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de levha içindeki akışkan sıcaklık dağılımı

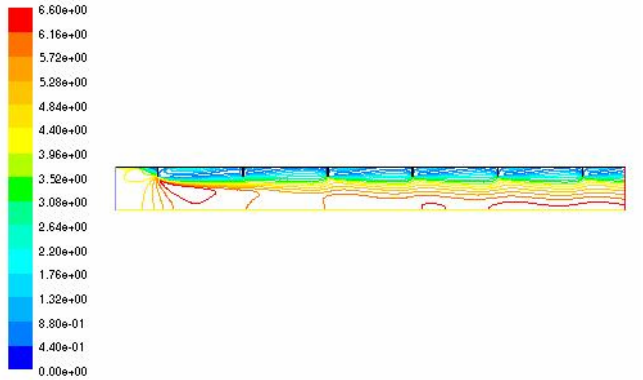


Şekil EK-2.22. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de 4. ve 5. kanat arasındaki akışkan sıcaklık dağılımı

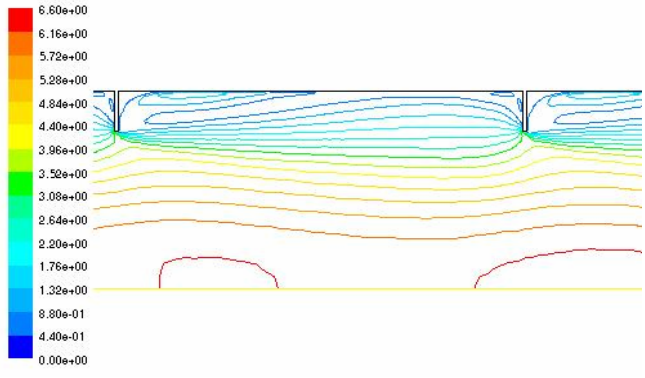
EK-2 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-2.23. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de 4. ve 5. kanatçık arasındaki hız vektörleri

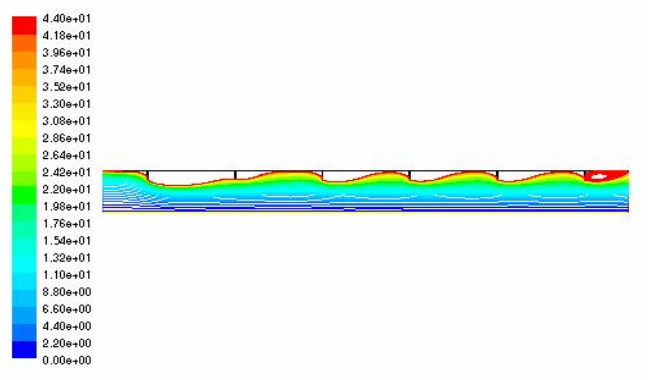


Şekil EK-2.24. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de levha içindeki hız konturları

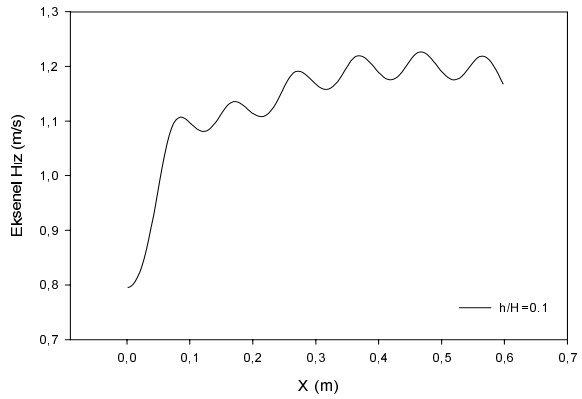


Şekil EK-2.25. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de 4. ve 5. kanatçık arasındaki hız konturları

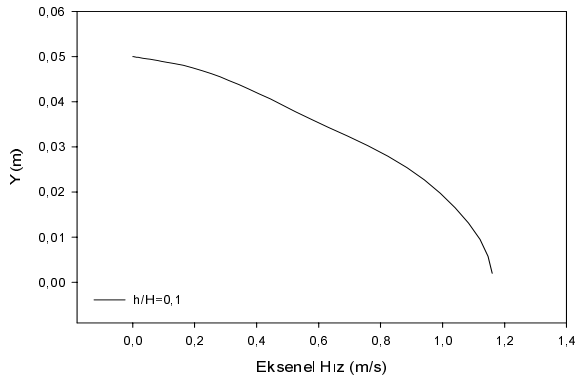
EK-2 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-2.26. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de akım çizgisi

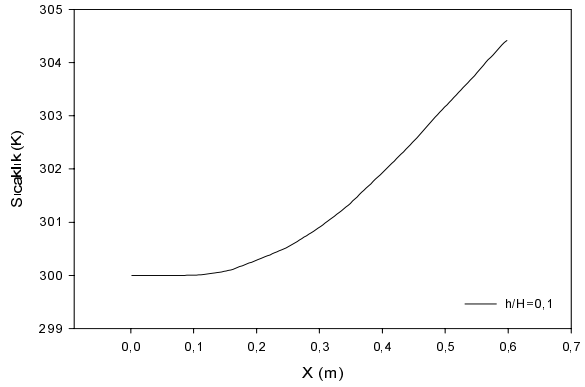


Şekil EK-2.27. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de simetri eksenindeki hız dağılımı

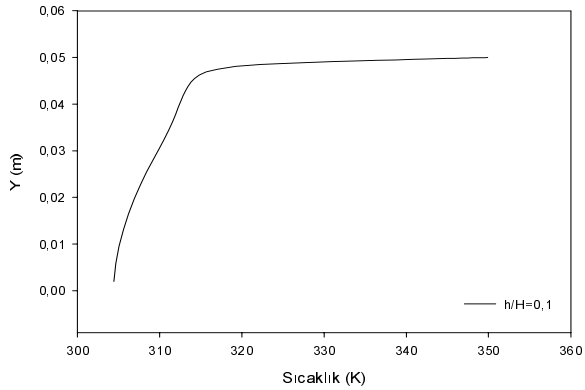


Şekil EK-2.28. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de kanal çıkışındaki hız dağılımı

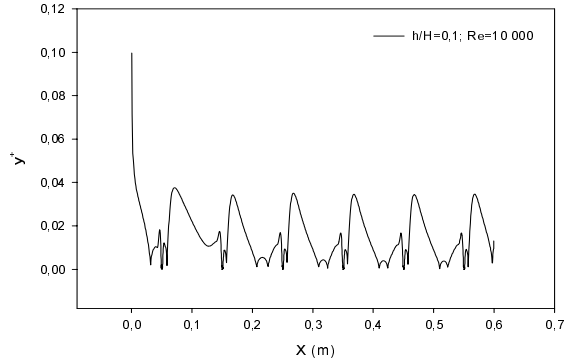
EK-2 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-2.29. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de simetri eksenindeki sıcaklık dağılımı

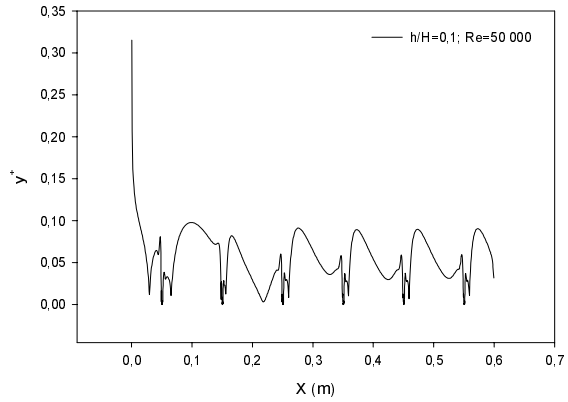


Şekil EK-2.30. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı

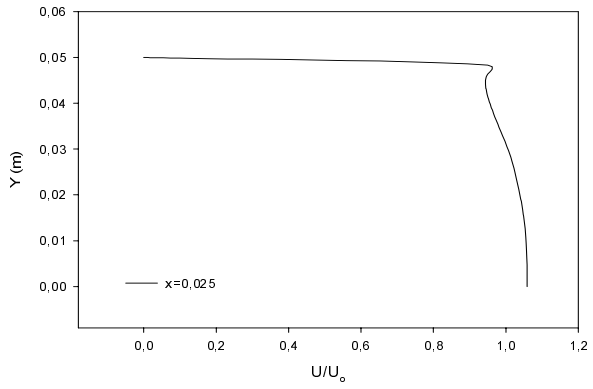


Şekil EK-2.31. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de y^+ değerinin levha boyunca değişimi

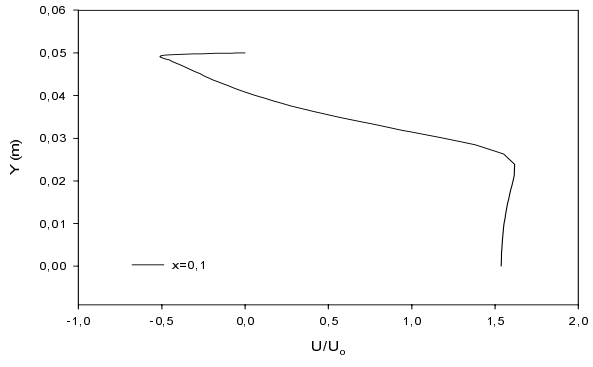
EK-2 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-2.32. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de y+ değerinin levha boyunca değişimi

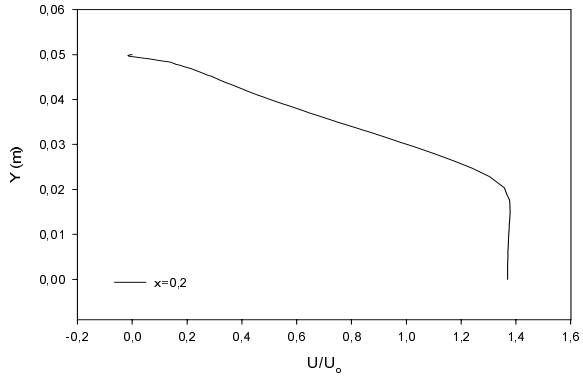


Şekil EK-2.33. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi ve Re=10 000 için x=0,025 kesitinde akışkanın x-yönündeki hızı

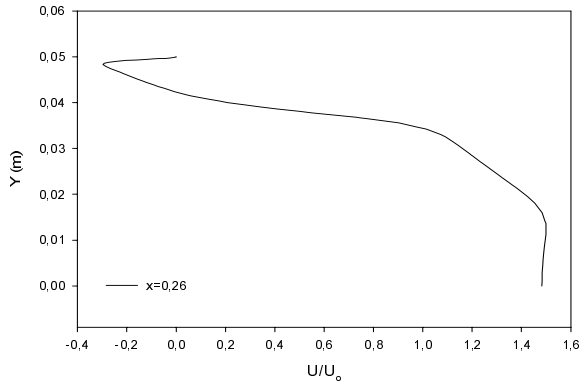


Şekil EK-2.34. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi ve Re=10 000 için x=0,1 kesitinde akışkanın x-yönündeki hızı

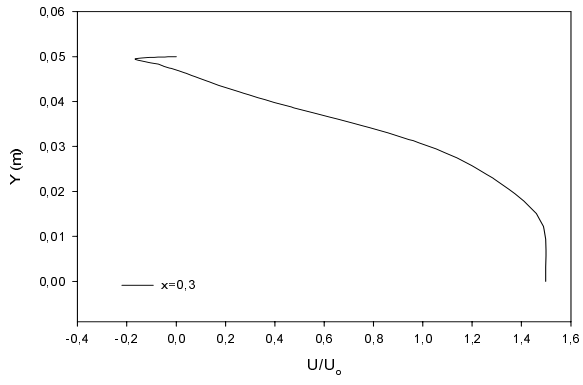
EK-2 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-2.35. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi ve Re=10 000 için x=0,2 kesitinde akışkanın x-yönündeki hızı

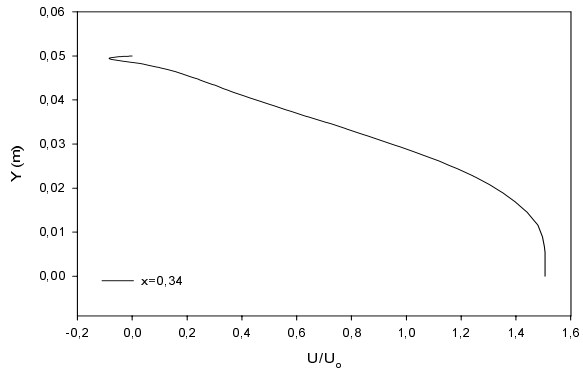


Şekil EK-2.36. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi ve Re=10 000 için x=0,26 kesitinde akışkanın x-yönündeki hızı

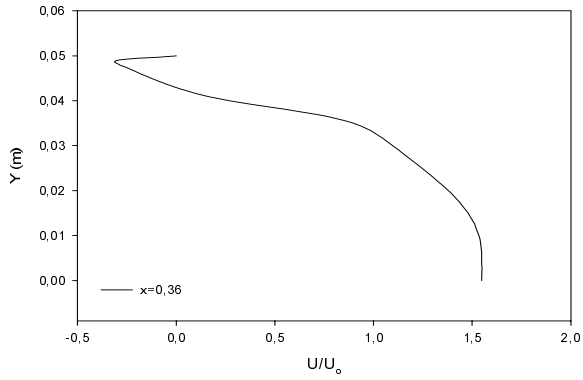


Şekil EK-2.37. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi ve Re=10 000 için x=0,3 kesitinde akışkanın x-yönündeki hızı

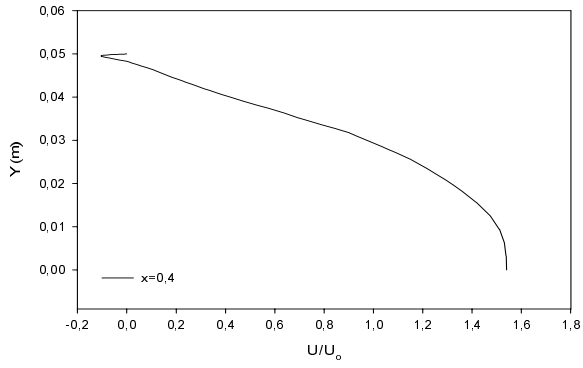
EK-2 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-2.38. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi ve Re=10 000 için x=0,1 kesitinde akışkanın x-yönündeki hızı

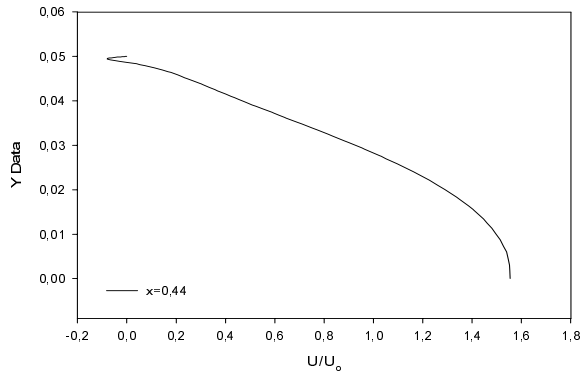


Şekil EK-2.39. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi ve Re=10 000 için x=0,36 kesitinde akışkanın x-yönündeki hızı

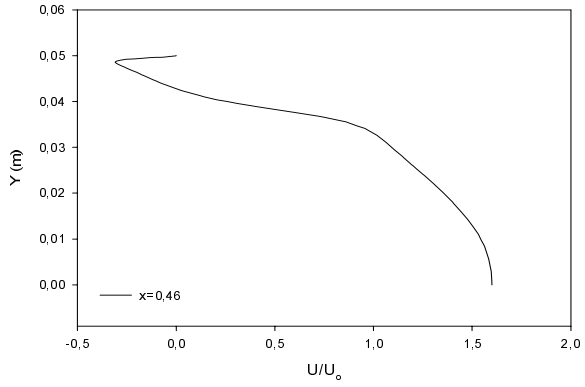


Şekil EK-2.40. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi ve Re=10 000 için x=0,4 kesitinde akışkanın x-yönündeki hızı

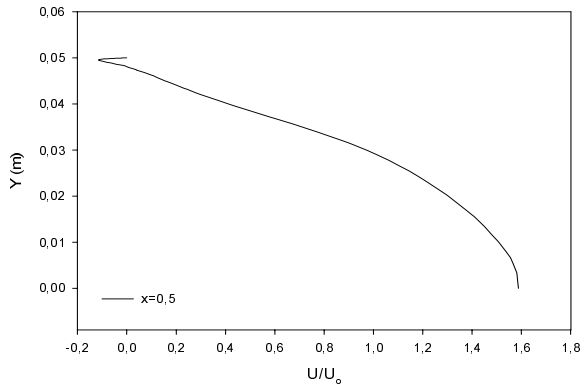
EK-2 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-2.41. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi ve Re=10 000 için x=0,44 kesitinde akışkanın x-yönündeki hızı

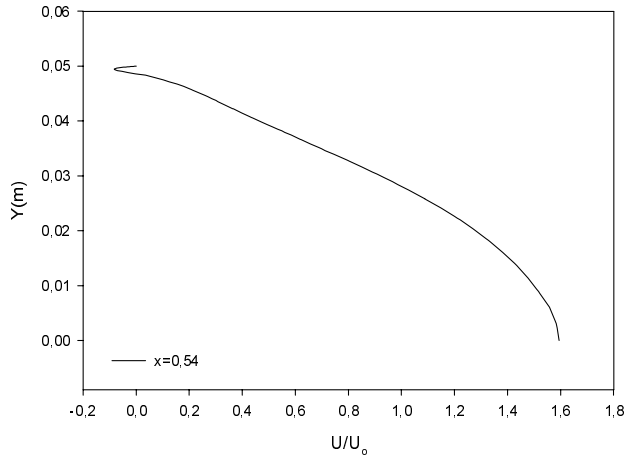


Şekil EK-2.42. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi ve Re=10 000 için x=0,46 kesitinde akışkanın x-yönündeki hızı

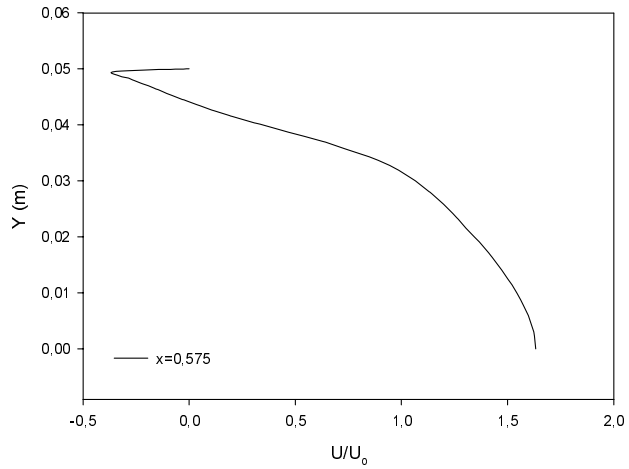


Şekil EK-2.43. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi ve Re=10 000 için x=0,5 kesitinde akışkanın x-yönündeki hızı

EK-2 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-2.44. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi ve Re=10 000 için x=0,54 kesitinde akışkanın x-yönündeki hızı

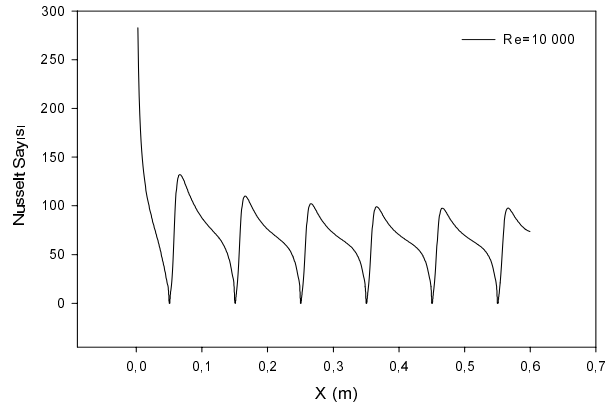


Şekil EK-2.45. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi ve Re=10 000 için x=0,575 kesitinde akışkanın x-yönündeki hızı

EK-3 L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

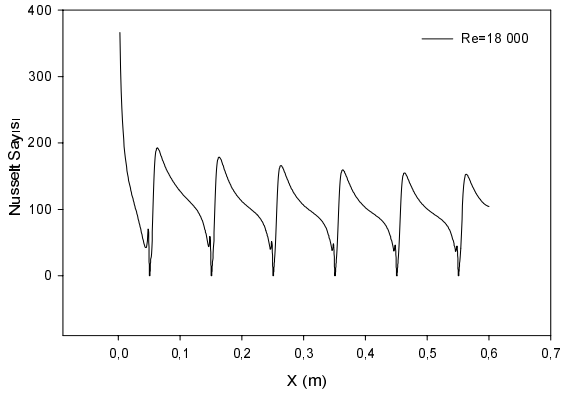
Bu bölümde Bölüm 4.3.1'de verilen modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı L/H=1 ve kanat kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 iken kanat yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,05 için yani diğer bir ifade ile belirtmek gerekirse kanatın iki paralel levha arasında oluşturduğu blokajın %10 olması durumunda Reynolds sayısının 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 değerlerinde gerçekleştirilen sayısal çözüm sonuçları her bir Reynolds sayısı için burada verilmiştir. Elde edilen sayısal çalışma sonuçları yerel Nusselt sayısının ve yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi şeklinde ifade edilmiştir. Ayrıca bu bölümde yine aynı geometri için hız, sıcaklık ve duvar y^+ değeri grafikleri de verilmiştir.

Yerel Nusselt sayısı grafikleri

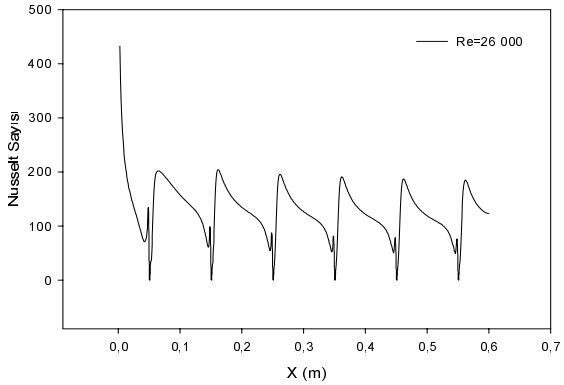


Şekil EK-3.1. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=10 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

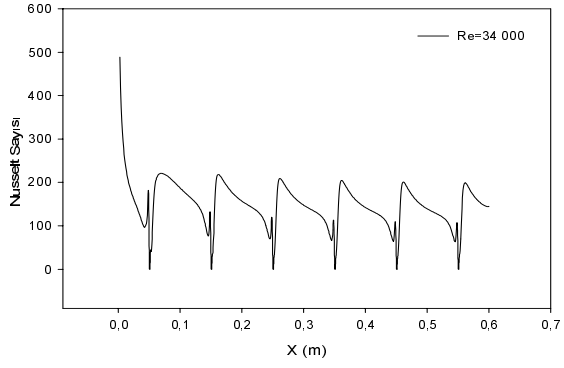
EK-3 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-3.2. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=18 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

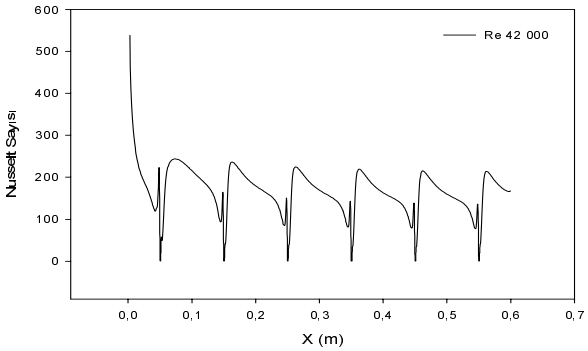


Şekil EK-3.3. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=26 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

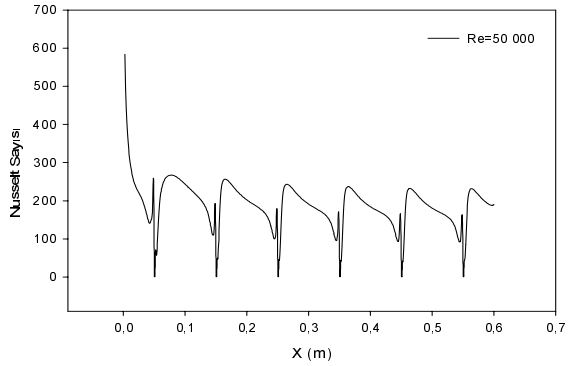


Şekil EK-3.4. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=34 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

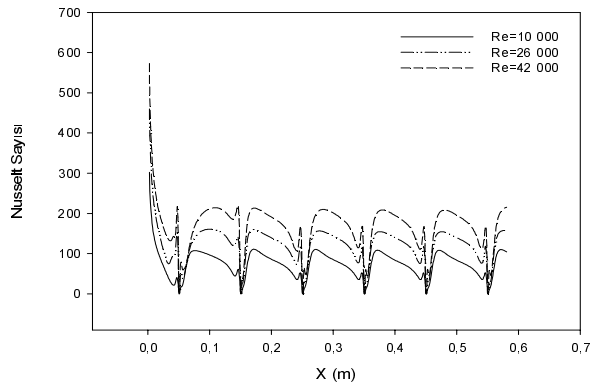
EK-3 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-3.5. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=42 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi



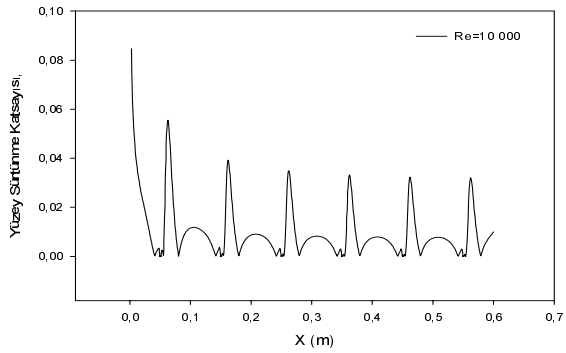
Şekil EK-3.6. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=50 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi



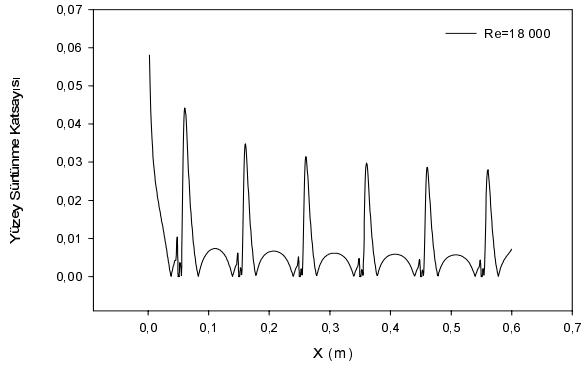
Şekil EK-3.7. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için yerel Nusselt sayısının levha boyunca Reynolds sayısının 10 000, 26 000 ve 42 000 değerlerindeki değişimi

EK-3 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

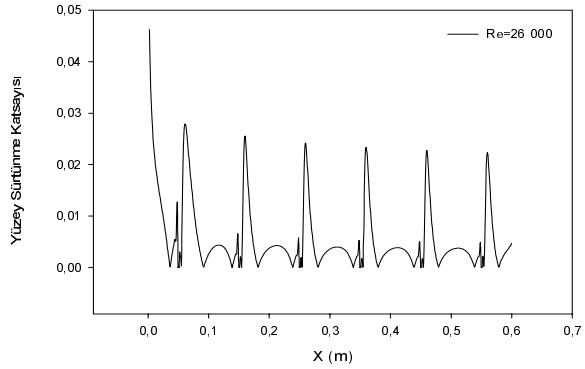
Yüzey sürtünme katsayısı sonuçları



Şekil EK-3.8. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=10 000'de yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

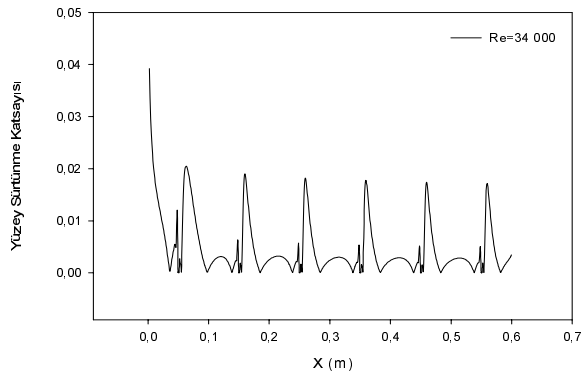


Şekil EK-3.9. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=18 000'de yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

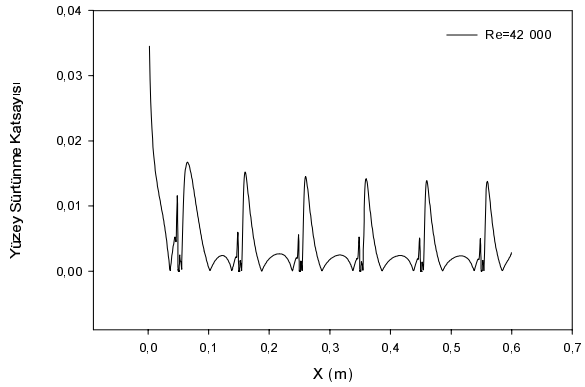


Şekil EK-3.10. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=26 000'de yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

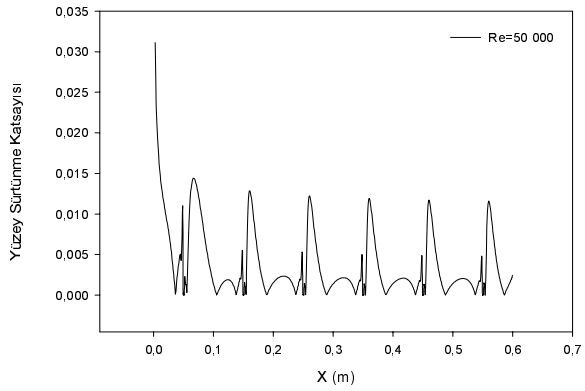
EK-3 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-3.11. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=34 000'de yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

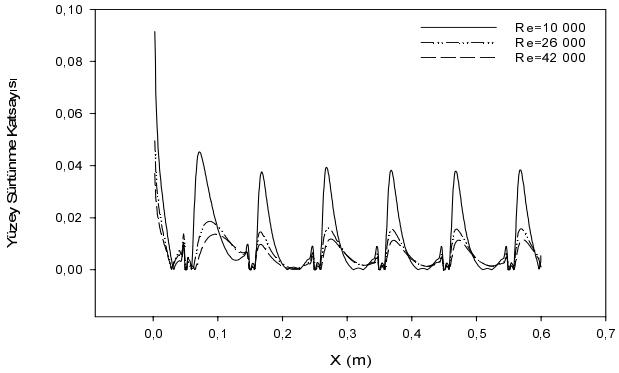


Şekil EK-3.12. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=42 000'de yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi



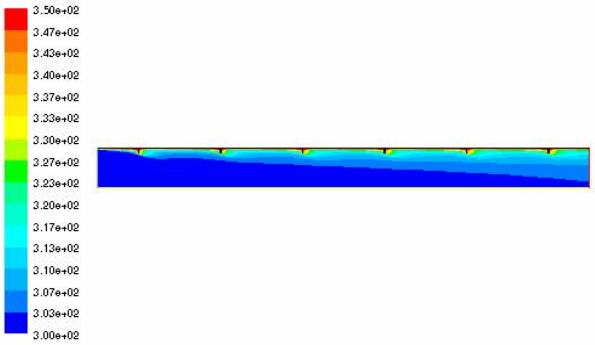
Şekil EK-3.13. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=50 000'de yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

EK-3 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

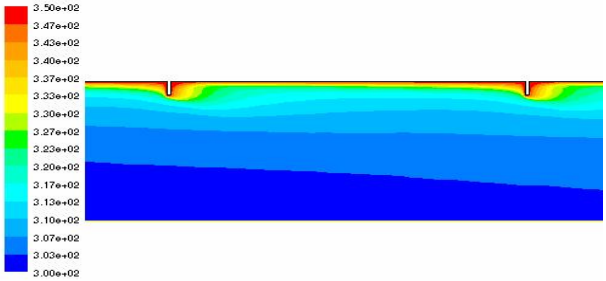


Şekil EK-3.14. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca Reynolds sayısı 10 000, 26 000 ve 42 000'de değişimi

Sıcaklık ve Hız Grafikleri

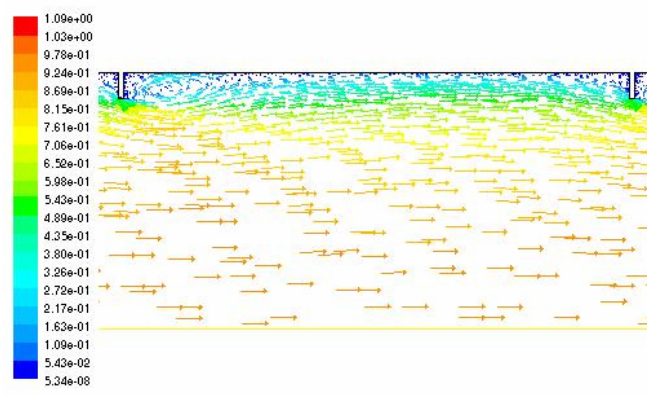


Şekil EK-3.15. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=10 000'de levha içindeki akışkan sıcaklık dağılımı

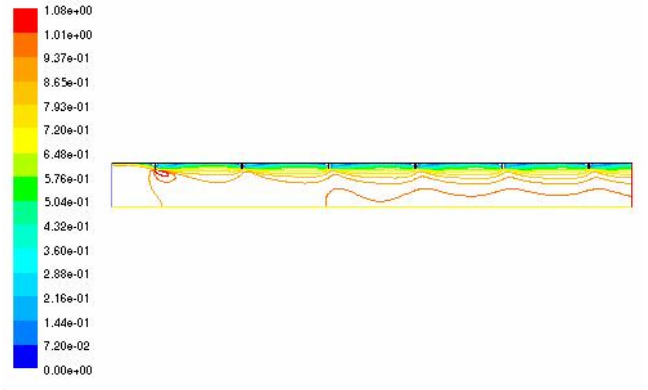


Şekil EK-3.16. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=10 000'de 4. ve 5. kanat arasındaki akışkan sıcaklık dağılımı

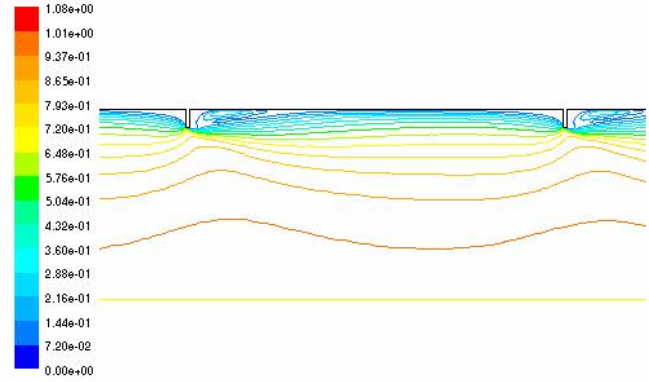
EK-3 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-3.17. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=10 000'de 4. ve 5. kanatçık arasındaki hız vektörleri

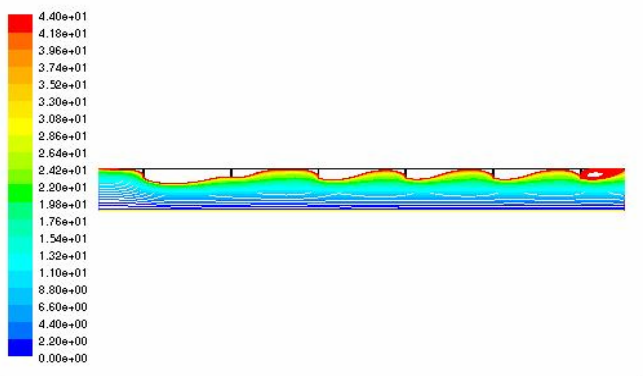


Şekil EK-3.18. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=10 000'de levha içindeki hız konturları

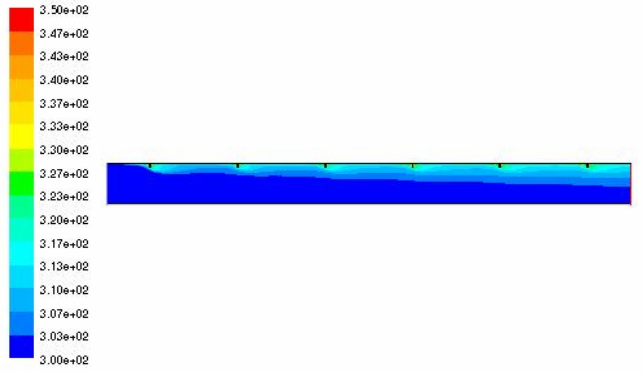


Şekil EK-3.19. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=10 000'de 4. ve 5. kanatçık arasındaki hız konturları

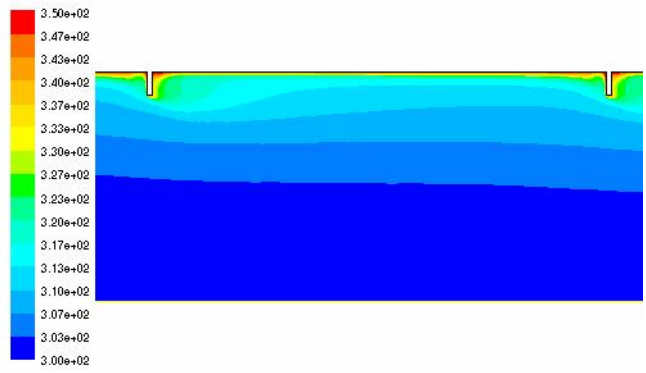
EK-3 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-3.20. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=50 000'de akım çizgisi

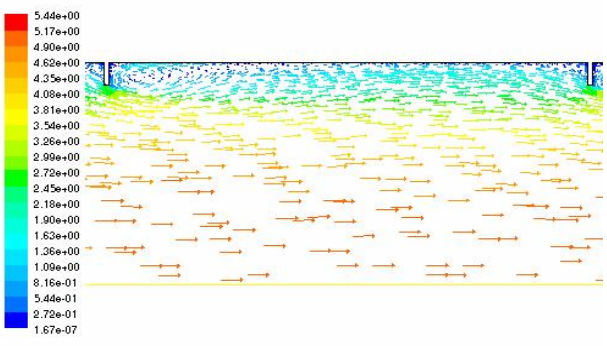


Şekil EK-3.21. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=50 000'de levha içindeki akışkan sıcaklık dağılımı

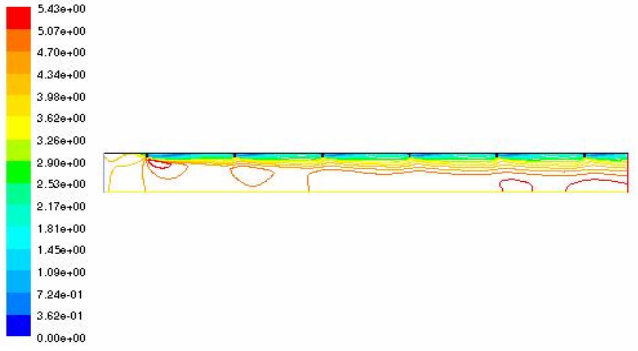


Şekil EK-3.22. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=50 000'de 4. ve 5. kanat arasındaki akışkan sıcaklık dağılımı

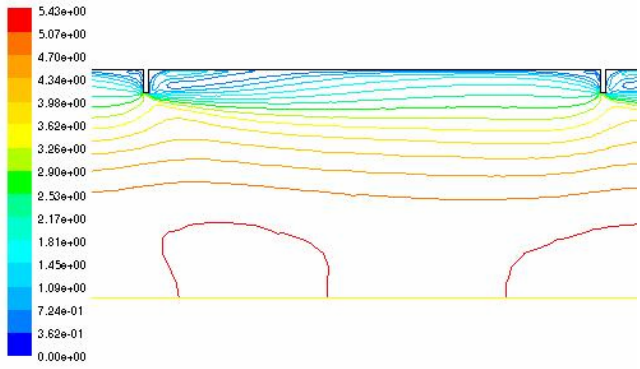
EK-3 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-3.23. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=50 000'de 4. ve 5. kanatçık arasındaki hız vektörleri

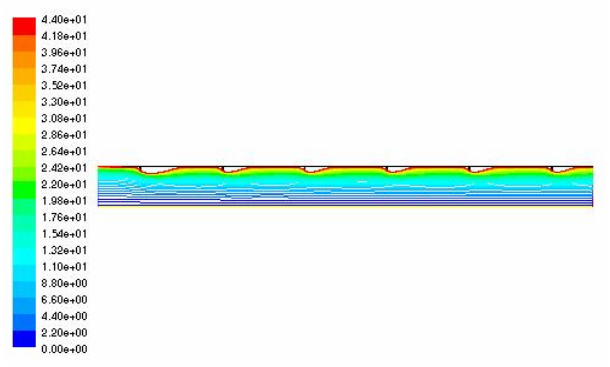


Şekil EK-3.24. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=50 000'de levha içindeki hız konturları

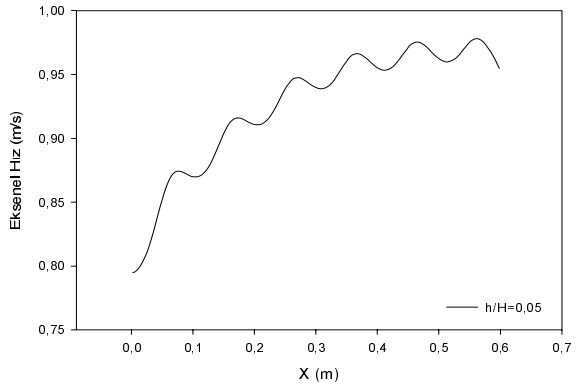


Şekil EK-3.25. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=50 000'de 4. ve 5. kanatçık arasındaki hız konturları

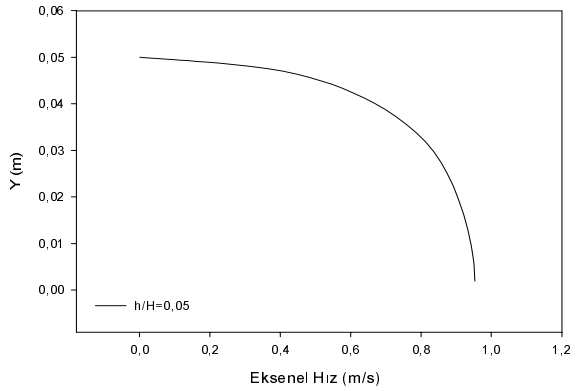
EK-3 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-3.26. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=50 000'de akım çizgisi

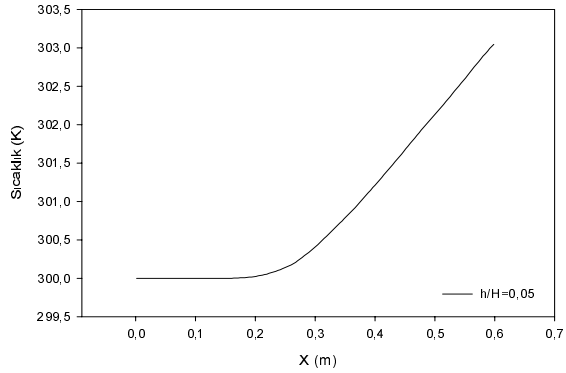


Şekil EK-3.27. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=10 000'de simetri eksenindeki hız dağılımı

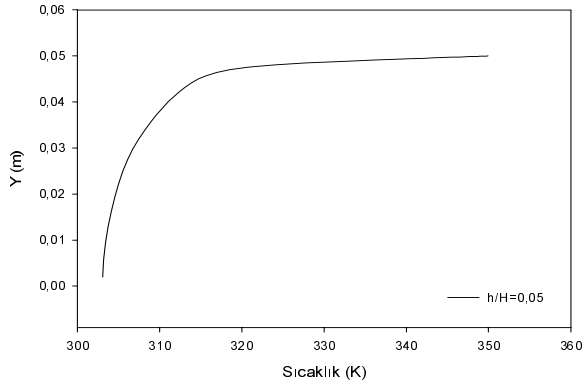


Şekil EK-3.28. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=10 000'de kanal çıkışındaki hız dağılımı

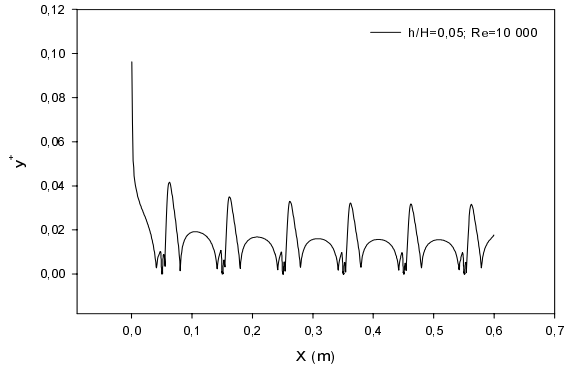
EK-3 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-3.29. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=10 000'de simetri eksenindeki sıcaklık dağılımı

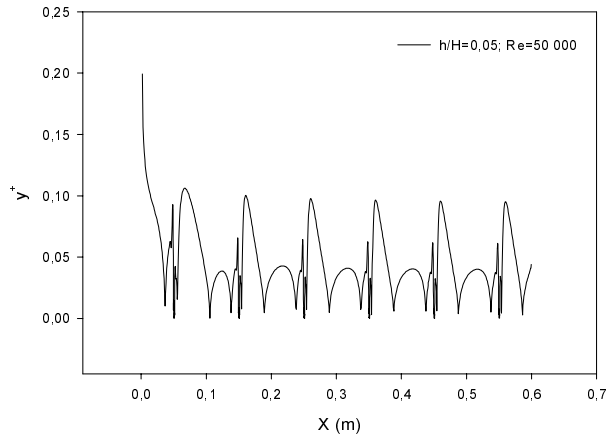


Şekil EK-3.30. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=10 000'de kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı



Şekil Ek-3.31. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=10 000'de y^+ değerinin levha boyunca değişimi

EK-3 (Devam) L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

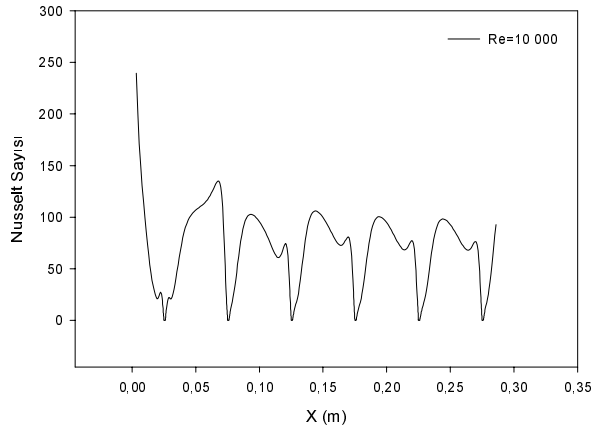


Şekil EK-3.32. L/H=1; t/H=0,01 ve h/H=0,05 geometrisi için Re=50 000'de y^+ değerinin levha boyunca değişimi

EK-4 L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

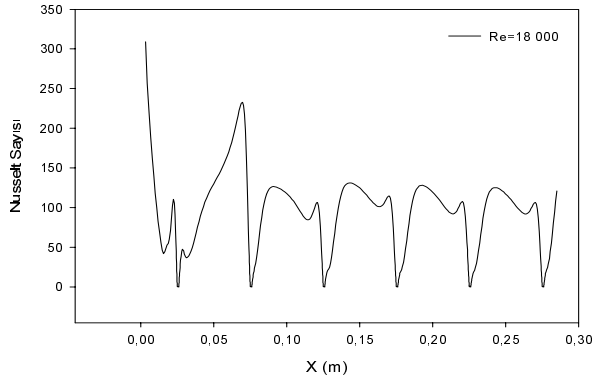
Bu bölümde Bölüm 4.3.2'de verilen modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı L/H=0,5 ve kanat kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 iken kanat yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı h/H=0,1 için yani diğer bir ifade ile belirtmek gerekirse kanatın iki paralel levha arasında oluşturduğu blokajın %20 olması durumunda Reynolds sayısının 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 değerlerinde gerçekleştirilen sayısal çözüm sonuçları her bir Reynolds sayısı için burada verilmiştir. Elde edilen sayısal çalışma sonuçları yerel Nusselt sayısının ve yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi şeklinde ifade edilmiştir. Ayrıca bu bölümde yine aynı geometri için hız, sıcaklık ve duvar y^+ değeri grafikleri de verilmiştir.

Yerel Nusselt sayısı grafikleri

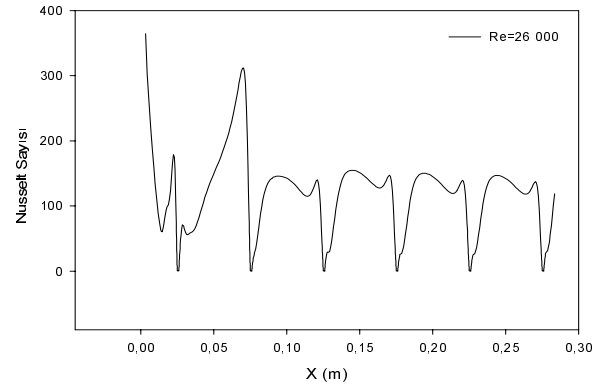


Şekil EK-4.1. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

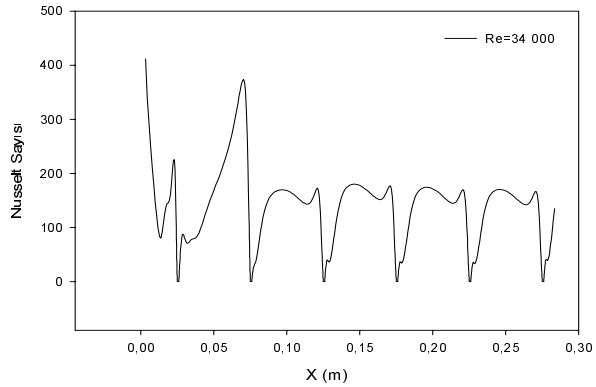
EK-4 (Devam) L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-4.2. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=18 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

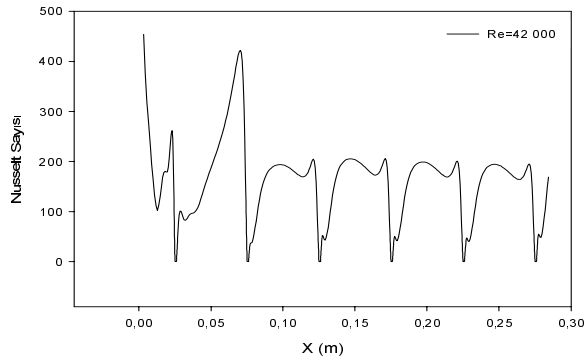


Şekil EK-4.3. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=26 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

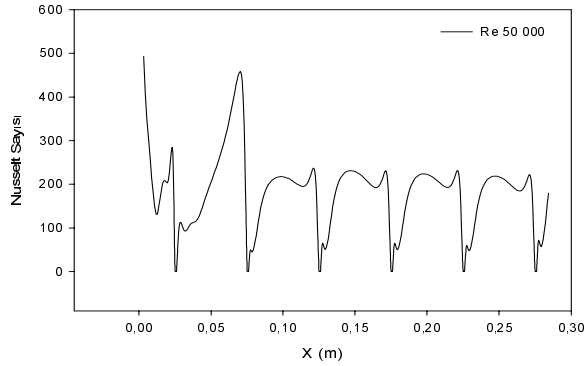


Şekil EK-4.4. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=34 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

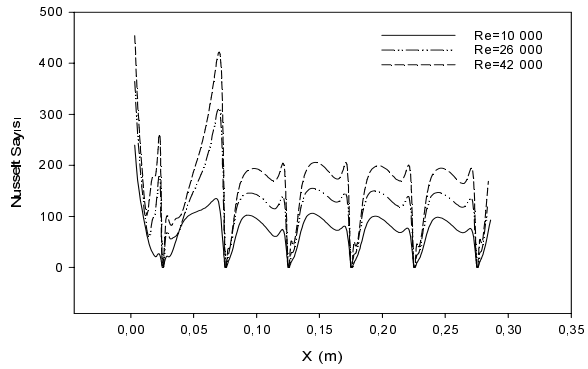
EK-4 (Devam) L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-4.5. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=42 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi



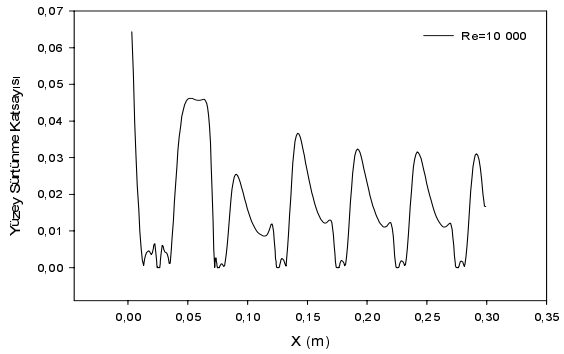
Şekil EK-4.6. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi



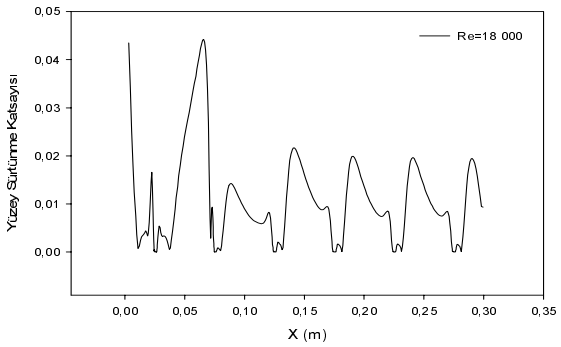
Şekil EK-4.7. L/H=0,5 t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için yerel Nusselt sayısının levha boyunca Reynolds sayısının 10 000, 26 000 ve 42 000 değerlerindeki değişimi

EK-4 (Devam) L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

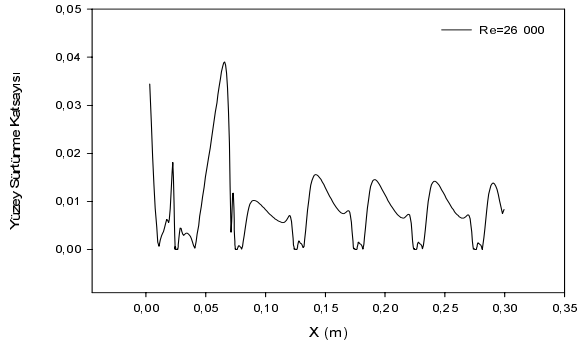
Yüzey sürtünme katsayısı sonuçları



Şekil EK-4.8. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

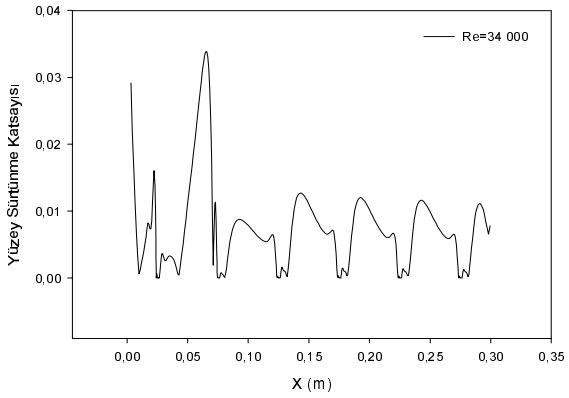


Şekil EK-4.9. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=18 000'de yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

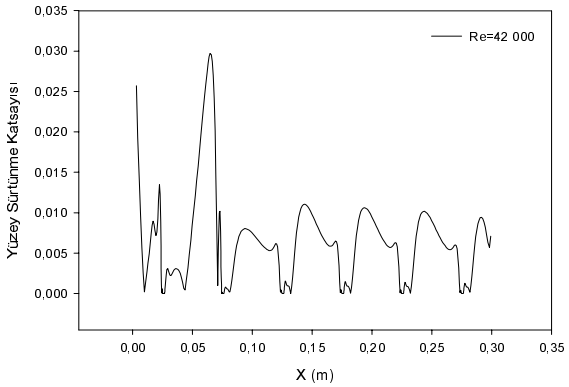


Şekil EK-4.10. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=26 000'de yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

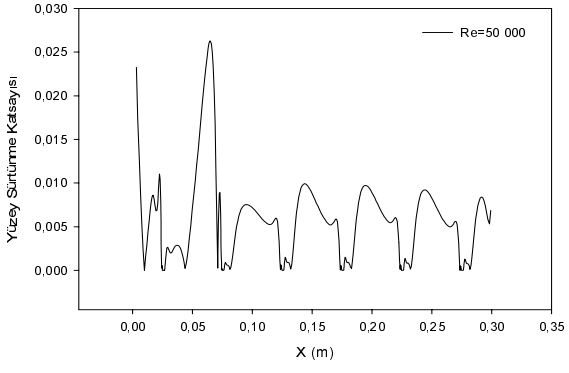
EK-4 (Devam) L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-4.11. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=34 000'de yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

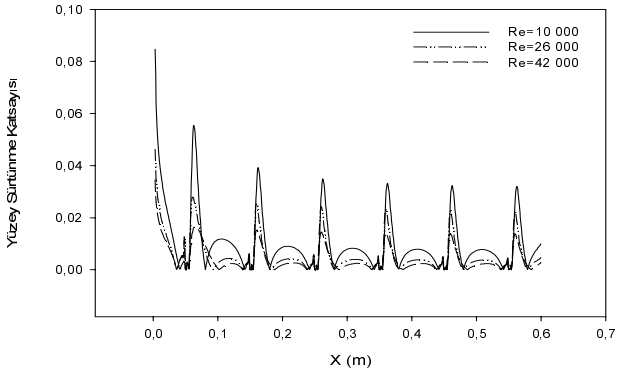


Şekil EK-4.12. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=42 000'de yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi



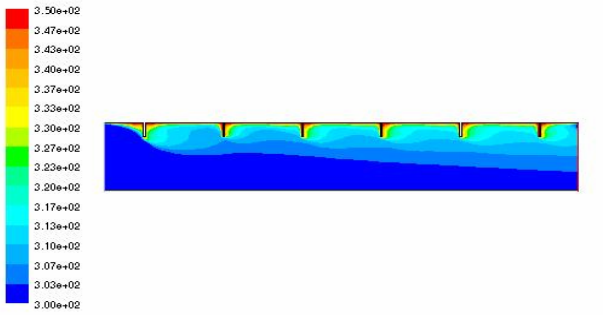
Şekil EK-4.13. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

EK-4 (Devam) L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

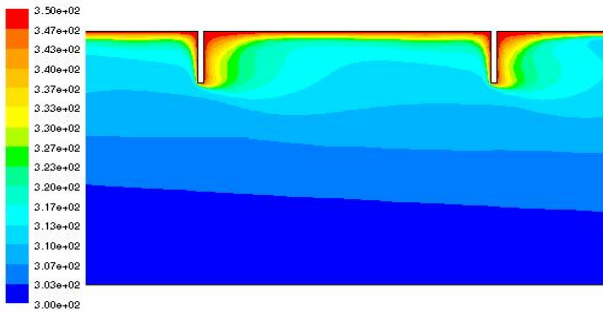


Şekil EK-4.14. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca Reynolds sayısının 10 000, 26 000 ve 42 000 değerlerindeki değişimi

Sıcaklık ve Hız Grafikleri

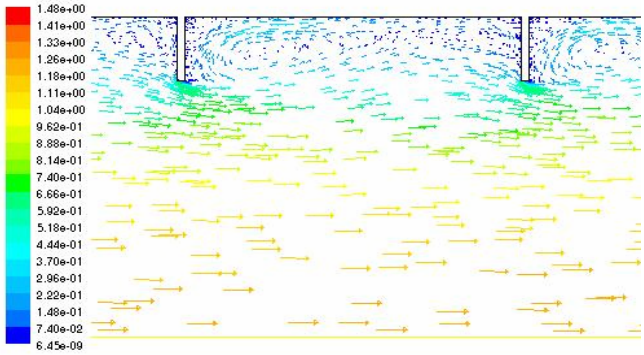


Şekil EK-4.15. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de levha içindeki akışkan sıcaklık dağılımı

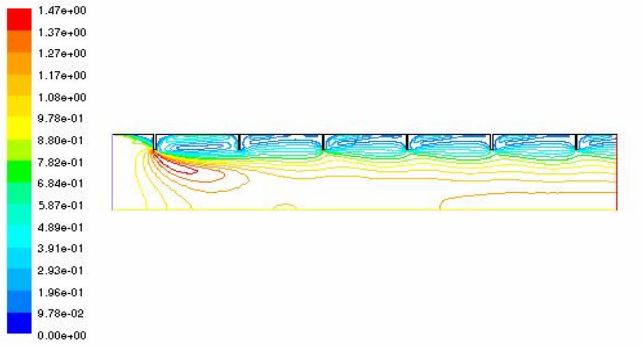


Şekil EK-4.16. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de 4. ve 5. kanat arasındaki akışkan sıcaklık dağılımı

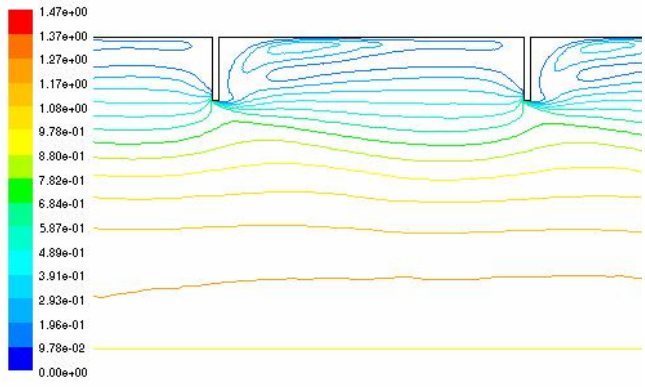
EK-4 (Devam) L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-4.17. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de 4. ve 5. kanatçık arasındaki hız vektörleri

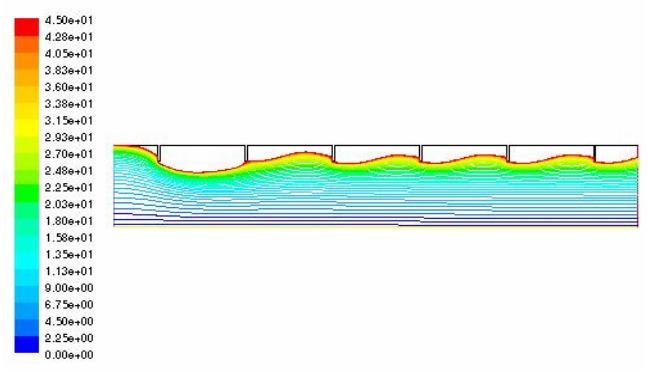


Şekil EK-4.18. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de levha içindeki hız konturları

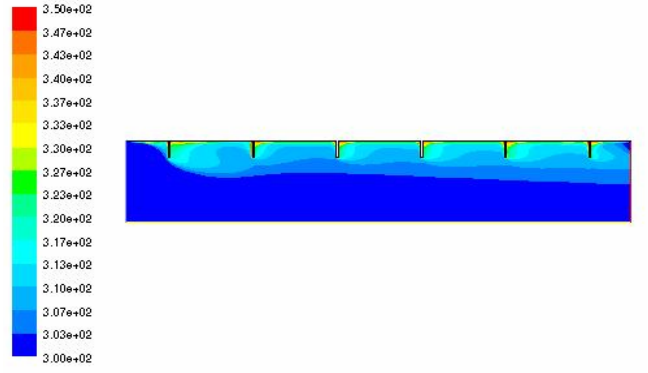


Şekil EK-4.19. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de 4. ve 5. kanatçık arasındaki hız konturları

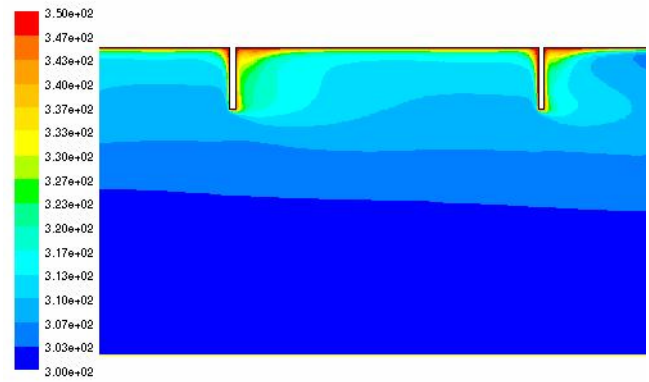
EK-4 (Devam) L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-4.20. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de akım çizgisi

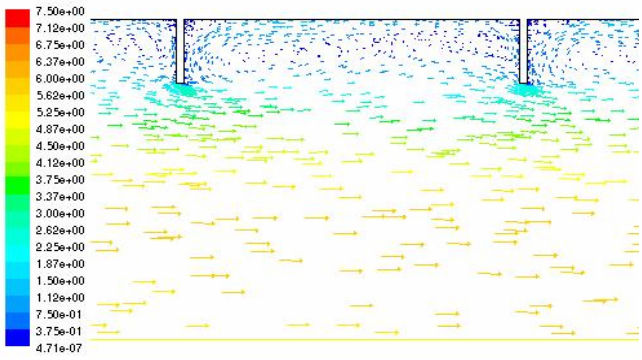


Şekil EK-4.21. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de levha içindeki akışkan sıcaklık dağılımı

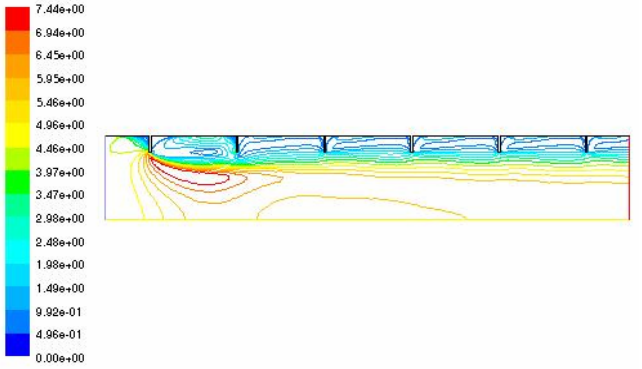


Şekil EK-4.22. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de 4. ve 5. kanat arasındaki akışkan sıcaklık dağılımı

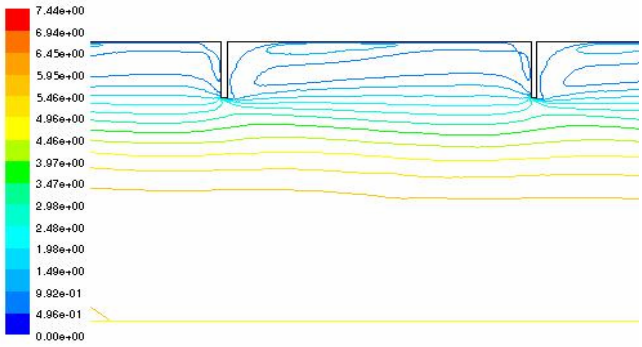
EK-4 (Devam) L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-4.23. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de 4. ve 5. kanatçık arasındaki hız vektörleri

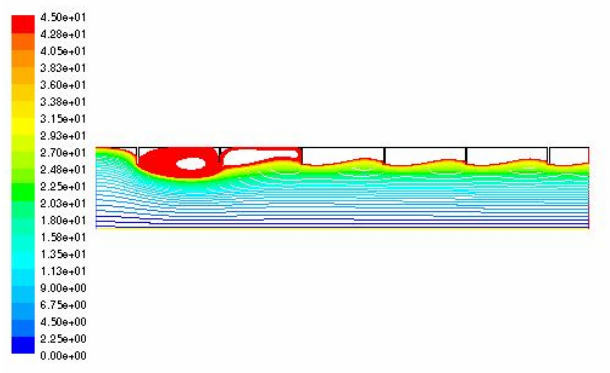


Şekil EK-4.24. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de levha içindeki hız konturları

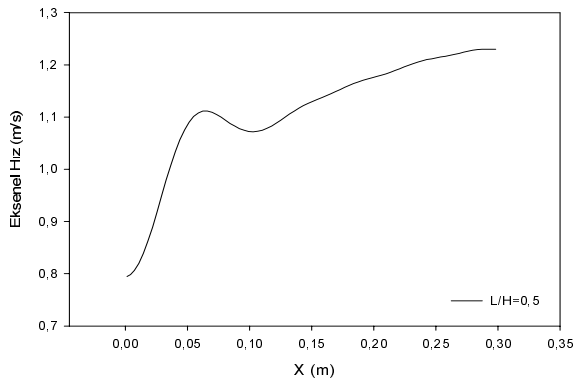


Şekil EK-4.25. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de 4. ve 5. kanatçık arasındaki hız konturları

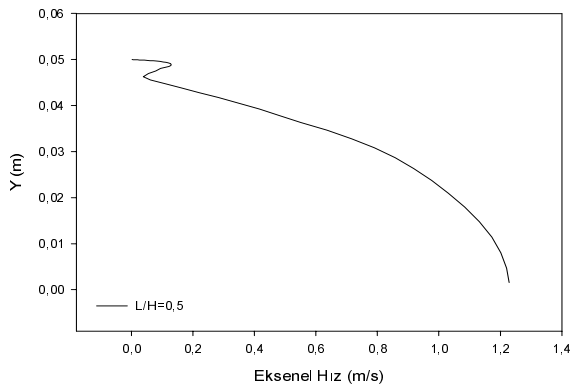
EK-4 (Devam) L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-4.26. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de akım çizgisi

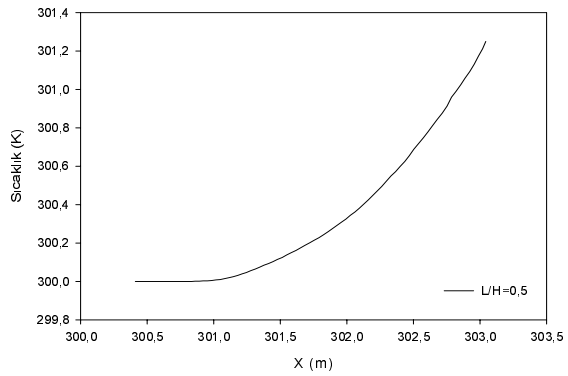


Şekil EK-4.27. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de kanal simetri eksenindeki hız dağılımı

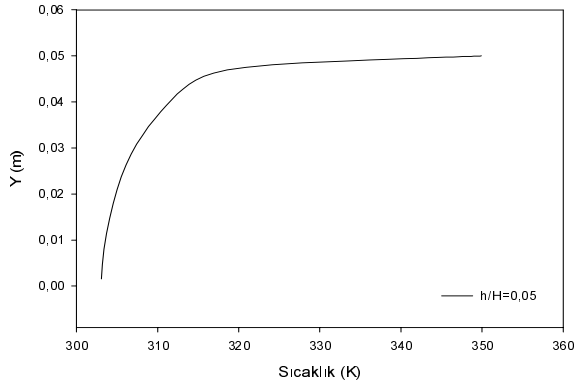


Şekil EK-4.28. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de kanal çıkışındaki hız dağılımı

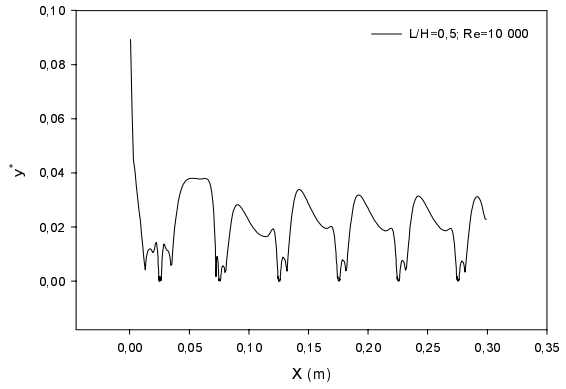
EK-4 (Devam) L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-4.29. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de simetri eksenindeki sıcaklık dağılımı

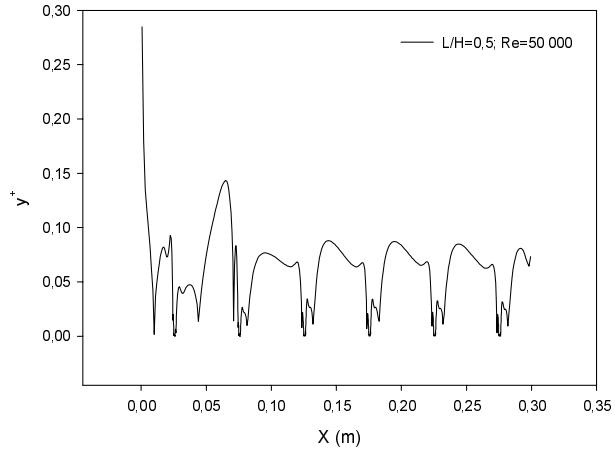


Şekil EK-4.30. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı



Şekil EK-4.31. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de y+ değerinin levha boyunca değişimi

EK-4 (Devam) L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

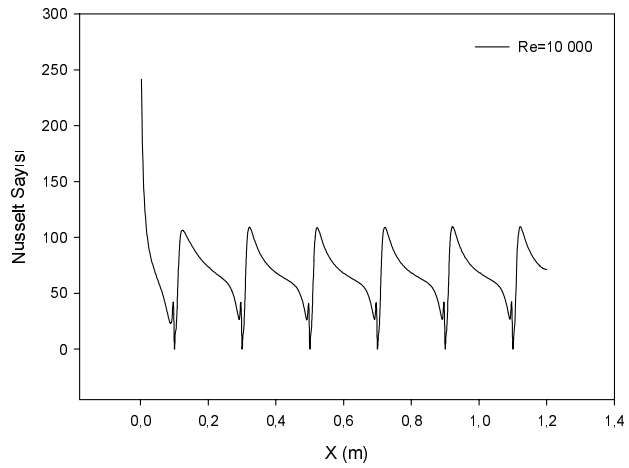


Şekil EK-4.32. L/H=0,5; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de y^+ değerinin levha boyunca değişimi

EK-5 L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

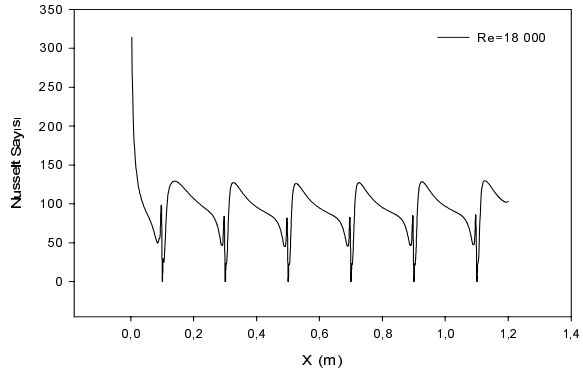
Bu bölümde Bölüm 4.3.3'de verilen modül uzunluğunun iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan L/H=2 ve kanat kalınlığının iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı t/H=0,01 iken kanat yüksekliğinin iki paralel levha arasındaki mesafeye oranı olan h/H=0,1 için yani diğer bir ifade ile belirtmek gerekirse kanatın iki paralel levha arasında oluşturduğu blokajın %20 olması durumunda Reynolds sayısının 10 000, 18 000, 26 000, 34 000, 42 000 ve 50 000 değerlerinde gerçekleştirilen sayısal çözüm sonuçları her bir Reynolds sayısı için burada verilmiştir. Elde edilen sayısal çalışma sonuçları yerel Nusselt sayısının ve yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi şeklinde ifade edilmiştir. Ayrıca bu bölümde yine aynı geometri için hız, sıcaklık ve duvar y^+ değeri grafikleri de verilmiştir.

Yerel Nusselt sayısı grafikleri

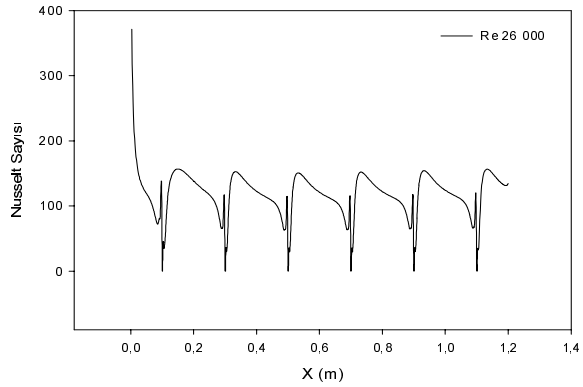


Şekil EK-5.1. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de yel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

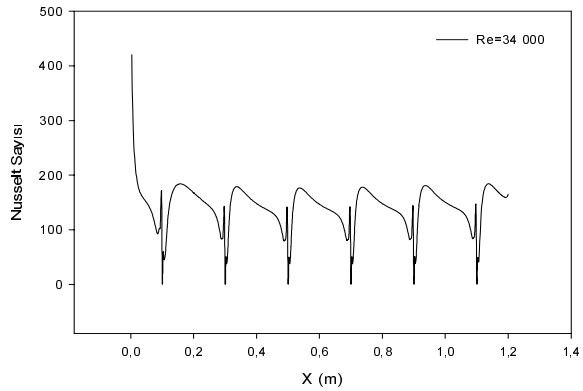
EK-5 (Devam) L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-5.2. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=18 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

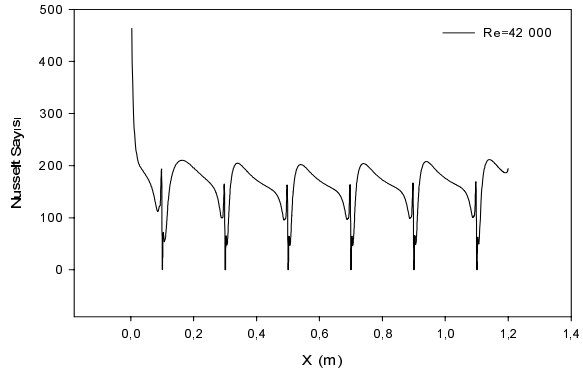


Şekil EK-5.3. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=26 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

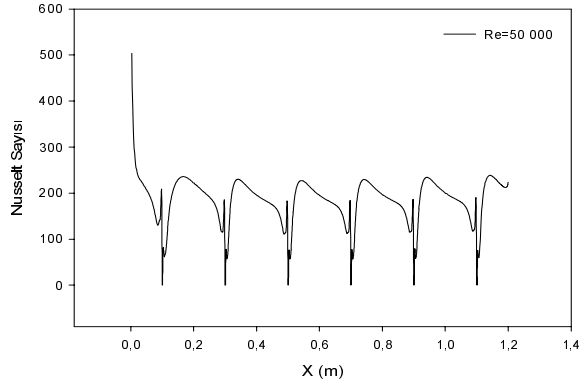


Şekil EK-5.4. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=34 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi

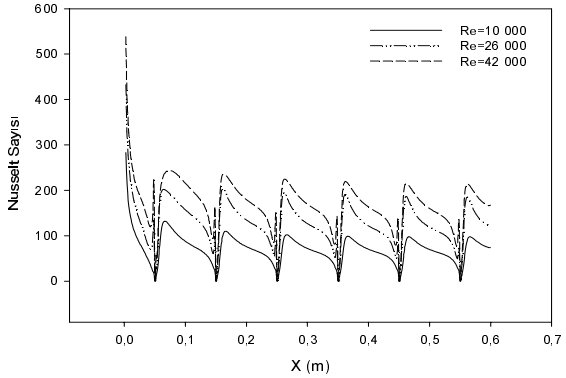
EK-5 (Devam) L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-5.5. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=42 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi



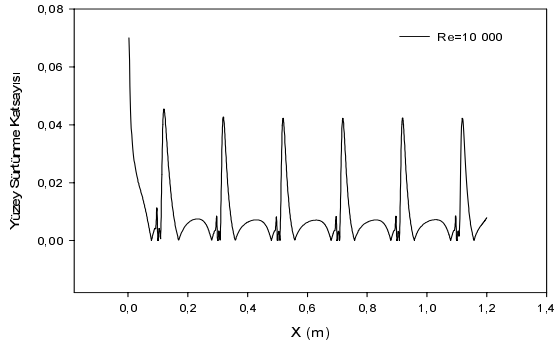
Şekil EK-5.6. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de yerel Nusselt sayısının levha boyunca değişimi



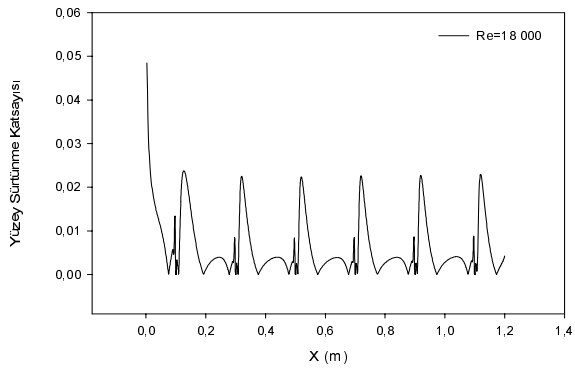
Şekil EK-5.7. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için yerel Nusselt sayısının levha boyunca Reynolds sayısının 10 000, 26 000 ve 42 000 değerlerindeki değişimi

EK-5 (Devam) L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

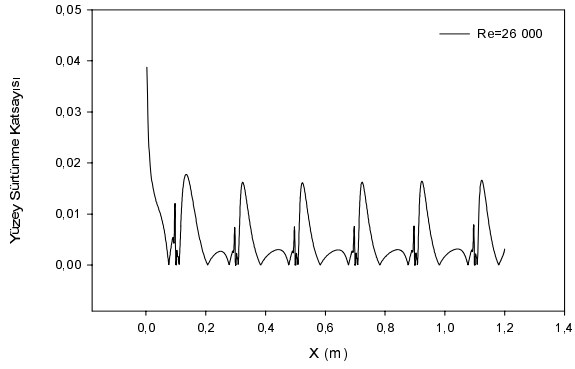
Yüzey sürtünme katsayısı sonuçları



Şekil EK-5.8. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

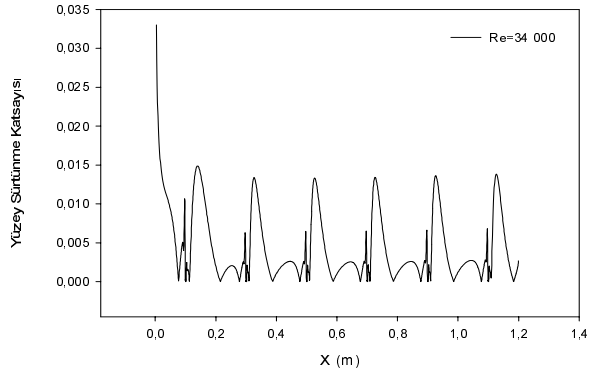


Şekil EK-5.9. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=18 000'de yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

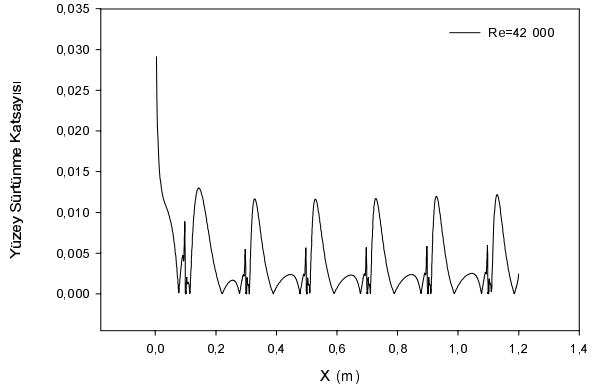


Şekil EK-5.10. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=26 000'de yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

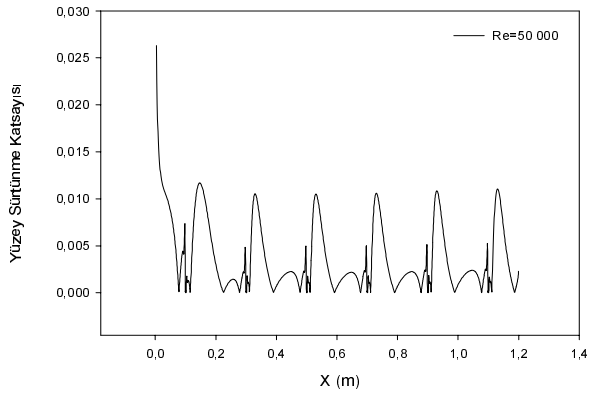
EK-5 (Devam) L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-5.11. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=34 000'de yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

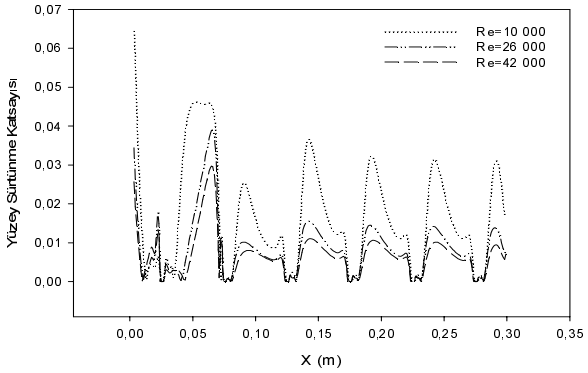


Şekil EK-5.12. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=42 000'de yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi



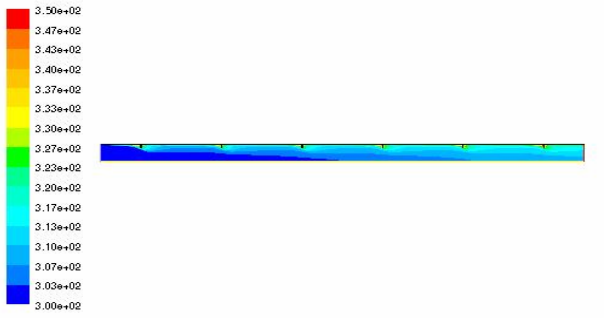
Şekil EK-5.13. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca değişimi

EK-5 (Devam) L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları

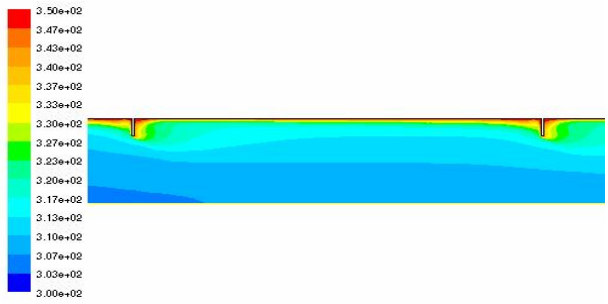


Şekil EK-5.14. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için yerel yüzey sürtünme katsayısının levha boyunca Reynolds sayısının 10 000, 26 000 ve 42 000 değerlerindeki değişimi

Sıcaklık ve Hız Grafikleri

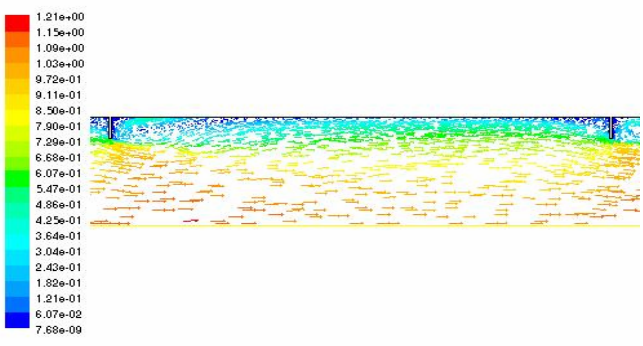


Şekil EK-5.15. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de levha içindeki akışkan sıcaklık dağılımı

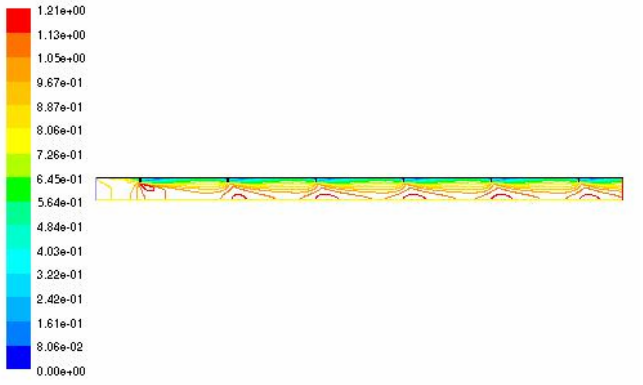


Şekil EK-5.16. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de 4. ve 5. kanat arasındaki akışkan sıcaklık dağılımı

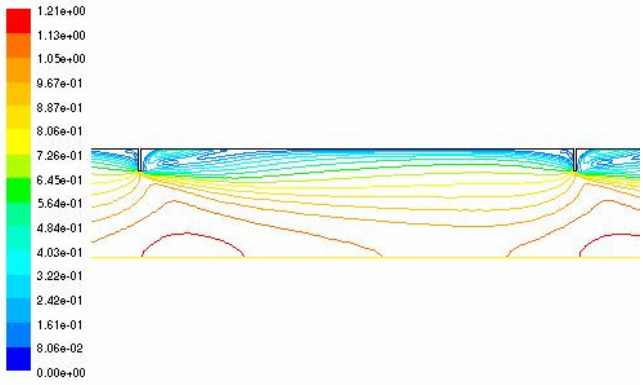
EK-5 (Devam) L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-5.17. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de 4. ve 5. kanatçık arasındaki hız vektörleri

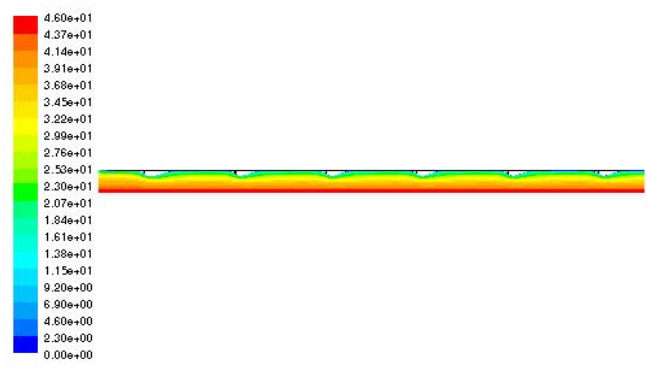


Şekil EK-5.18. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de levha içindeki hız konturları

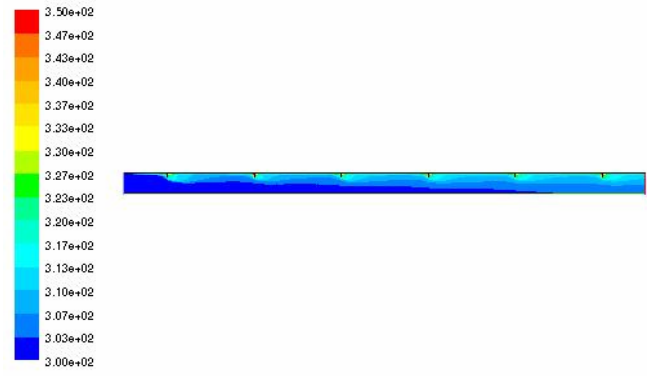


Şekil EK-5.19. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de 4. ve 5. kanatçık arasındaki hız konturları

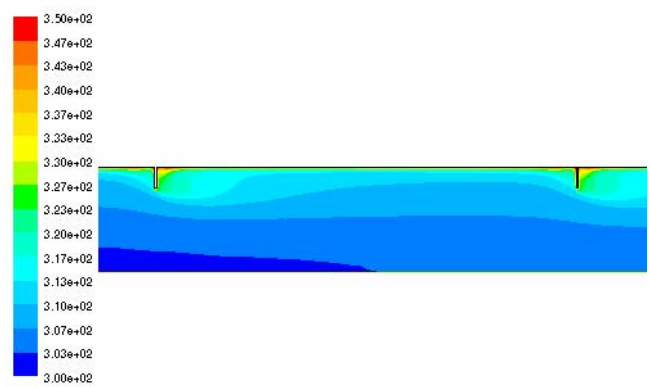
EK-5 (Devam) L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-5.20. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de akım çizgisi

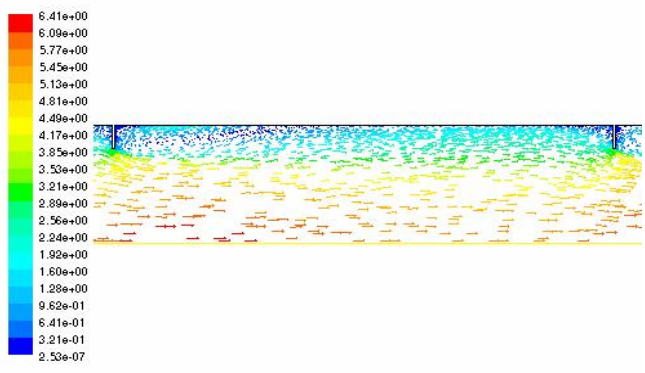


Şekil EK-5.21. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de levha içindeki akışkan sıcaklık dağılımı

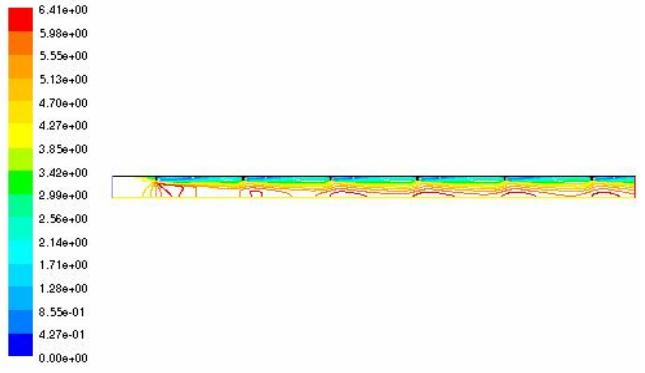


Şekil EK-5.22. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de 4. ve 5. kanat arasındaki akışkan sıcaklık dağılımı

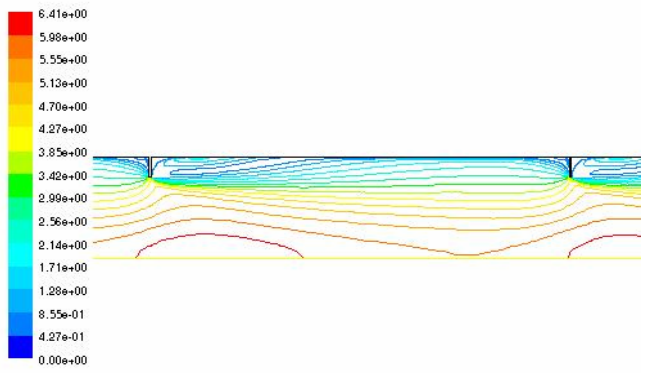
EK-5 (Devam) L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-5.23. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de 4. ve 5. kanatçık arasındaki hız vektörleri

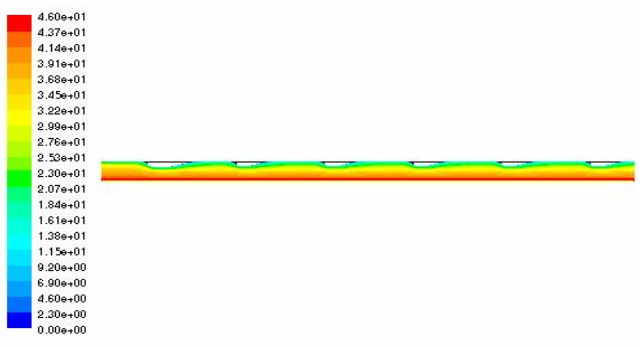


Şekil EK-5.24. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de levha içindeki hız konturları

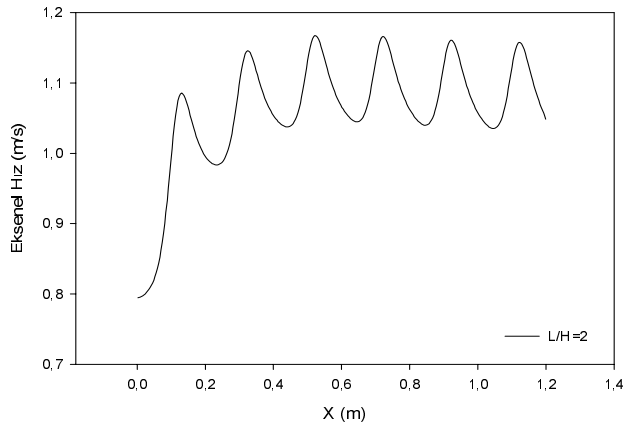


Şekil EK-5.25. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de 4. ve 5. kanatçık arasındaki hız konturları

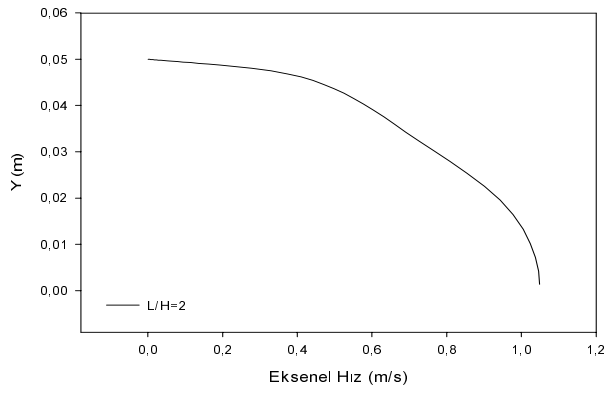
EK-5 (Devam) L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-5.26. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de akım çizgisi

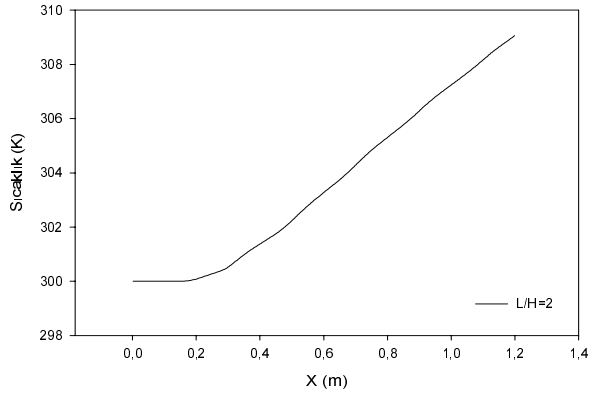


Şekil EK-5.27. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de simetri eksenindeki hız dağılımı

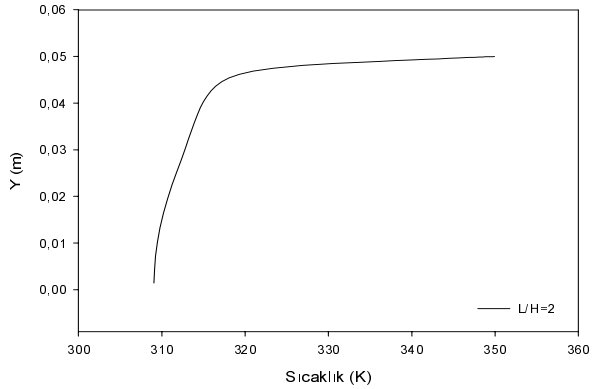


Şekil EK-5.28. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de kanal çıkışındaki hız dağılımı

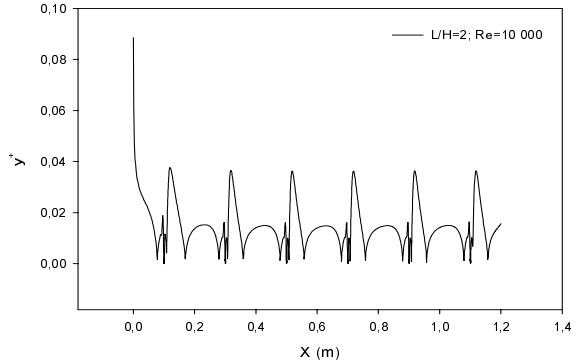
EK-5 (Devam) L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-5.29. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de kanal simetri eksenindeki sıcaklık dağılımı

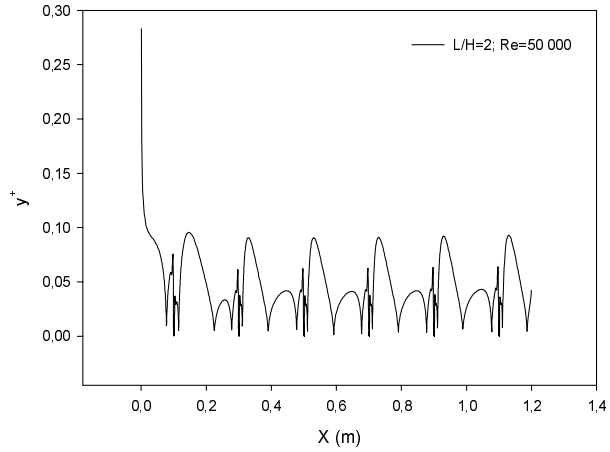


Şekil EK-5.30. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı



Şekil EK-5.31. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=10 000'de y+ değerinin levha boyunca değişimi

EK-5 (Devam) L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için sayısal çözüm sonuçları



Şekil EK-5.32. L/H=2; t/H=0,01 ve h/H=0,1 geometrisi için Re=50 000'de y+ değerinin levha boyunca değişimi

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı	: SARI CEVAHİR, Deniz
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 10.06.1978 Besni
Medeni hali	: Evli
e-mail	: dscevahir@yahoo.com

Eğitim Derecesi	**Eğitim Birimi**	**Mezuniyet Tarihi**
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / Makina Mühendisliği Bölümü	2006
Lisans	Zonguldak Karaelmas Üniversitesi / Makina Mühendisliği Bölümü	1999
Lise	Tuzlıçayır Lisesi	1994

İş Deneyimi Yıl	**Yer**	**Görev**
2000-2002	Telsim Mobil Tel. Hiz. A.Ş	Tesis Mühendisi
2003-2005	Karina Tasarım Dan. Ltd. Şti.	Tasarım Mühendisi
2006-	Yazman Mühendislik Müşavirlik ve Tic. Ltd. Şti.	Tasarım Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Resim yapmak, Kitap okumak