

**İÇERİSİNE BOYLAMASINA KANATÇIKLAR YERLEŞTİRİLMİŞ
KARE KESİTLİ EĞRİSEL BİR KANAL İÇERİSİNDE LAMİNAR
AKIŞ VE ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK ANALİZİ**

Özen KURTUL

**YÜKSEK LİSANS TEZ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KASIM 2007

ANKARA

Özen KURTUL tarafından hazırlanan İÇERİSİNE BOYLAMASINA KANATÇIKLAR YERLEŞTİRİLMİŞ KARE KESİTLİ EĞRİSEL BİR KANAL İÇERİSİNDE LAMİNAR AKIŞ VE ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK ANALİZİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Nevzat ONUR

.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Prof. Dr. Nuri YÜCEL

.....

Makine Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Nevzat ONUR

.....

Makine Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Doç Dr. Ö. Murat Doğan

.....

Kimya Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Tarih: 29/11/2007

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Özen KURTUL

**İÇERİSİNE BOYLAMASINA KANATÇIKLAR YERLEŞTİRİLMİŞ KARE
KESİTLİ EĞRİSEL BİR KANAL İÇERİSİNDE LAMİNAR AKIŞ VE ISI
TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK ANALİZİ**
(Yüksek Lisans Tezi)

Özen KURTUL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Kasım 2007**

ÖZET

Bu çalışmada, hidrodinamik olarak tam gelişmiş, termal olarak gelişmekte olan akış koşullarında, içerisinde boylamasına kanatçıklar bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip 90 derecelik kare kesitli eğrisel kanalda laminar akış ve ısı transferinin üç boyutlu sayısal analizi gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu süreklilik, momentum ve enerji denklemleri Fluent 6.3 paket programı ile sayısal olarak çözülmüştür. Kanatçık sayısının ve kanatçık yüksekliğinin akış ve ısı transferi üzerine etkileri incelenmiştir. Kanatçiksız kanal ve kanatçık bulunan kanal için Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında hesaplamalar yapılmıştır. Akışkanın termofiziksel özelliklerinin değişmediği kabul edilmiştir. Kanal içerisindeki kanatçık sayısının ve kanatçık yüksekliğinin artmasının ısı transferine ve momentum transferine etkisi olduğu görülmüştür. Ortalama Nusselt sayısının, ortalama yüzey sürtünme faktörünün, yerel yüzey sürtünme katsayısının ve basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi incelenmiştir.

Bilim Kodu : 914.1.131
Anahtar Kelime : Laminer akış, eğrisel kare kesitli kanal, zorlanmış konveksiyon, akış ve ısı transferi, fluent
Sayfa Adedi : 241
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Nevzat Onur

**NUMERICAL INVESTIGATION OF LAMINAR FORCED CONVECTION
HEAT TRANSFER IN A CURVED SQUARE DUCT WITH LONGITUDINAL
RIBS MOUNTED ON THE SIDE WALLS**

(M. Sc. Thesis)

Özen KURTUL

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

November 2007

ABSTRACT

Three dimensional laminar forced convective flow and heat transfer in a 90-deg curved square duct having longitudinal ribs on the side walls are investigated under hydrodynamically fully developed and thermally developing flow conditions. Three dimensional continuity, momentum and energy equations are solved numerically using Fluent 6.3 package program. The effects of rib height and number of ribs on flow and heat transfer are investigated. Reynolds number is varied between 250 and 2200 for both smooth duct and ribbed duct. Fluid properties are taken as constant. It is seen that increasing the height and number of longitudinal ribs influences the heat transfer and momentum transfer. Average Nusselt number, average skin friction factor, local skin friction coefficient and minor losses coefficient are presented in terms of Reynolds number.

Science Code	: 914.1.131
Key Words	: Laminar flow, curved square duct, forced convection, flow and heat transfer, fluent
Page Number	:241
Adviser	: Prof. Dr. Nevzat Onur

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım esnasında ayırdığı değerli zamanı ve büyük katkıları ile bana yardımcı olan ve verdiğim kararlarda hep destek olan danışmanım ve hocam sayın Prof. Dr. Nevzat ONUR'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında değerli yardım ve katkıları ile beni yönlendiren ve kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocam Yrd.Doç.Dr. Oğuz TURGUT'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmalarım esnasında değerli yardımlarından dolayı meslektaşım Arş. Gör. Y. Müh. Kamil ARSLAN'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Çalışmalarımdaki Fluent 6.3 programının kullanımında verdiği teknik destekten dolayı sayın Y. Müh. Emre Öztürk'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Eğitimimin tüm süreçlerinde desteklerini asla eksik etmeyen Kurtul ailesinin değerli üyeleri İsmet, Neziha, Özgür ve Ozan Kurtul'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxxiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. ÇALIŞMANIN AMACI VE PROBLEMİN TANIMI	6
4. MATEMATİKSEL MODELLEME VE ÇÖZÜM YÖNTEMİ	14
4.1. Fiziksel ve Matematiksel Modelin Tanımlanması	14
4.2. Temel Denklemler	15
4.2.1. Süreklilik denklemi	15
4.2.2. Momentum denklemleri	16
4.2.3. Enerji denklemi	16
4.3. Laminer Akış Sınır Şartları	17
4.4. Fluent Çözücü Seçenekleri	18
4.4.1. Yakınsama Kriteri Seçenekleri	19
4.4.2. Nümerik İnterpolasyon Şemaları	19
4.4.3. Relaksasyon Faktörleri	22
4.4.4. Akışkan Özellikleri	22

	Sayfa
4.4.5. Mesh Optimizasyonu	23
4.4.6. Mesh Kısıtlamaları	24
4.4.7. Mesh Oluşturulması	26
4.4.8. Mesh Yapısı	26
4.5. Hesaplanacak Değerler.....	29
4.5.1. Ortalama akışkan karışım sıcaklığı	29
4.5.2. Ortalama Nusselt sayısı.....	30
4.5.3. Ortalama sürtünme faktörü hesabı	31
4.5.4. Basınç kayıp katsayısı hesabı.....	32
5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR	33
5.1. Kanal Girişinde Parabolik Hız Profiline Sahip Kare Kesitli Düz Kanalın İçindeki Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları	35
5.2. Kanal Girişinde Parabolik Hız Profiline Sahip Kanatçıksız Eğimli Kanal İçindeki Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları.....	39
5.3. Kare Kesitli Düz Kanal İle Kanatçıksız Eğimli Kanalın Karşılaştırılması	51
5.4. Kanal Girişinde Parabolik Hız Profiline Sahip Bir Kanatçıklı Eğimli kanal İçindeki Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları	54
5.4.1. 6,25 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Tek Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları	54
5.4.2. 12,5 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Tek Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları	63
5.4.3. 18,75 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Tek Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları.....	73
5.4.4. 25 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Tek Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları.....	83

Sayfa

5.5. Kanal Girişinde Parabolik Hız Profiline Sahip İki Kanatçıklı Eğimli Kanal İçindeki Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları	97
5.5.1. 6,25 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip İki Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları.....	97
5.5.2. 12,5 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip İki Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları.....	106
5.5.3. 18,75 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip İki Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları.....	116
5.5.4. 25 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip İki Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları	126
5.6. Kanal Girişinde Parabolik Hız Profiline Sahip Üç Kanatçıklı Eğimli Kanal İçindeki Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları	140
5.6.1. 6,25 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Üç Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları.....	140
5.6.2. 12,5 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Üç Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları	150
5.6.3. 18,75 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Üç Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları.....	160
5.6.4. 25 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Üç Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları	170
5.7. Kanal Girişinde Parabolik Hız Profiline Sahip Dört Kanatçıklı Eğimli kanal İçindeki Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları	184
5.7.1. 6,25 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Dört Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları.....	184
5.7.2. 12,5 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Dört Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları	194
5.7.3. 18,75 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Dört Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları.....	203
5.7.4. 25 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Dört Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları	213

	Sayfa
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	228
KAYNAKLAR.....	230
EKLER.....	231
EK-1.....	232
ÖZGEÇMİŞ.....	241

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Fluent simulasyonunda kullanılan yakınsama tolerans faktörleri.....	19
Çizelge 4.2. Fluent simulasyonunda kullanılan interpolasyon şemaları.....	22
Çizelge 4.3. Fluent simulasyonunda kullanılan relaksiyon faktörleri.....	22
Çizelge 4.4. Çalışmada akışkan olarak kullanılan havanın termofiziksel özellikleri.....	23
Çizelge 5.1. Kare kesitli düz kanalın sayısal analizinde kullanılan parametreler	34
Çizelge 5.2. Kanatçıksız eğrisel kanal analizinde kullanılan parametreler... ..	34
Çizelge 5.3. Kanatçık bulunan eğrisel kanal analizinde kullanılan parametreler.....	35
Çizelge 5.4. Kare kesitli düz kanal için ortalama Nusselt sayısının hücre sayısı ile değişimi.....	35
Çizelge 5.5. Kanatçıksız kanal için ortalama Nusselt sayısının hücre sayısı ile değişimi.....	42
Çizelge 5.6. Kanatçıksız eğrisel kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar.....	42
Çizelge 5.7. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar.....	54
Çizelge 5.8. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar.....	64
Çizelge 5.9. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar.....	74
Çizelge 5.10. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar.....	83
Çizelge 5.11. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ve nümerik Sonuçlar.....	93
Çizelge 5.12. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar.....	97

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.13. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar.....	106
Çizelge 5.14. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar.....	116
Çizelge 5.15. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar.....	127
Çizelge 5.16. Reynolds sayısı 1750 için Kanatçık yükseklikleri ve nümerik sonuçlar.....	136
Çizelge 5.17. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar.....	141
Çizelge 5.18. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar.....	150
Çizelge 5.19. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar.....	161
Çizelge 5.20. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar.....	170
Çizelge 5.21. Reynolds sayısı 1750 için Kanatçık yükseklikleri ve nümerik sonuçlar.....	180
Çizelge 5.22. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar.....	185
Çizelge 5.23. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar.....	194
Çizelge 5.24. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar.....	203
Çizelge 5.25. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar.....	213
Çizelge 5.26. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ve nümerik sonuçlar.....	223

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Problem geometrisi	7
Şekil 4.1. Kare kesitli eğrisel kanalın global koordinat sistemi ve kesiti.	15
Şekil 4.2. İçerisinde kanatçık bulunmayan eğimli kanalın görünüşü.....	27
Şekil 4.3. Kare kesitli tek kanatçığının yüksekliği 6,25 mm olan eğimli kanalın izometrik görünüşü.....	27
Şekil 4.4. Kare kesitli iki kanatçığının yüksekliği 6,25 mm olan eğimli kanalın izometrik görünüşü	28
Şekil 4.5. Kare kesitli üç kanatçığının yüksekliği 6,25 mm olan eğimli kanalın izometrik görünüşü	28
Şekil 4.6. Kare kesitli dört kanatçığının yüksekliği 6,25 mm olan eğimli kanalın izometrik görünüşü.....	29
Şekil 5.1. Kare kesitli düz kanalda ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	36
Şekil 5.2. Kare kesitli düz kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi	37
Şekil 5.3. Kare kesitli düz kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi	38
Şekil 5.4. Kare kesitli düz kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	39
Şekil 5.5. Yakınsamış bir çözümde değişkenler için kalıntıların iterasyon sayısı ile değişimi.....	40
Şekil 5.6. Duvarlara doğru sıklaşan mesh(hücre) yapısı	41
Şekil 5.7. Kanatçıksız kanalda ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi	43
Şekil 5.8. Kanatçıksız kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi.....	44
Şekil 5.9. Kanatçıksız kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	45

Şekil	Sayfa
Şekil 5.10. Kanatçıksız kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	46
Şekil 5.11. Kanatçıksız kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	47
Şekil 5.12. Kanatçıksız kanalda sabit yüzey sıcaklığında eğimli bir kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lik kanat kesitinde hız vektörleri.....	48
Şekil 5.13. Kanatçıksız kanalda sabit yüzey sıcaklığında üç boyutlu ($z = 0$) eğimli bir kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal boyunca hız vektörleri	48
Şekil 5.14. Kanatçıksız kanalda sabit yüzey sıcaklığında, Reynolds sayısı 1750 değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri.....	49
Şekil 5.15. Kanatçıksız kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli kanal içindeki laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lik kanat kesitinde hız vektörleri.....	50
Şekil 5.16. Kanatçıksız kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı.....	50
Şekil 5.17. Kanatçıksız, sabit levha yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı.....	51
Şekil 5.18. Kanatçıksız eğimli kanal ile kare kesitli düz kanal için Nusselt değerleri.....	52
Şekil 5.19. Kanatçıksız eğimli kanal ile kare kesitli düz kanal için Darcy sürtünme faktörü.....	52
Şekil 5.20. Kanatçıksız eğimli kanal ile kare kesitli düz kanal için Fanning sürtünme faktörü.....	53
Şekil 5.21. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi	55
Şekil 5.22. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi	56
Şekil 5.23. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	57

Şekil	Sayfa
Şekil 5.24. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	58
Şekil 5.25. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	58
Şekil 5.26. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45° 'lik kanal kesitinde hız vektörleri.....	59
Şekil 5.27. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri.....	60
Şekil 5.28. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri.....	60
Şekil 5.29. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45° 'lik kanal kesitinde akışkan sıcaklık dağılımı	61
Şekil 5.30. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re=1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı.....	62
Şekil 5.31. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45° 'lik kanal kesitinde basınç dağılımı	62
Şekil 5.32. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akışta $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı.....	63
Şekil 5.33. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi	65
Şekil 5.34. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi...	66
Şekil 5.35. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda Basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	66

Şekil	Sayfa
Şekil 5.36. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda Ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	67
Şekil 5.37. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	68
Şekil 5.38. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lik kanal kesiti boyunca hız vektörleri.....	69
Şekil 5.39. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri	69
Şekil 5.40. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri.....	70
Şekil 5.41. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı.....	71
Şekil 5.42. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı	71
Şekil 5.43. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re=1750$ değeri için 45^0 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı.....	72
Şekil 5.44. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re=1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız	73
Şekil 5.45. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	74
Şekil 5.46. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi.....	75
Şekil 5.47. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda Basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	76

Şekil	Sayfa
Şekil 5.48. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi....	77
Şekil 5.49. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	78
Şekil 5.50. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lik kanal kesiti boyunca hız vektörleri.....	79
Şekil 5.51. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re=1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri.....	79
Şekil 5.52. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re=1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri.....	80
Şekil 5.53. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı.....	80
Şekil 5.54. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re=1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı.....	81
Şekil 5.55. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45^0 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı.....	82
Şekil 5.56. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı.....	83
Şekil 5.57. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	84
Şekil 5.58. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi.....	85
Şekil 5.59. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	86
Şekil 5.60. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	87

Şekil	Sayfa
Şekil 5.61. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	87
Şekil 5.62. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lik kesitli kanal boyunca hız vektörleri.....	88
Şekil 5.63. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re=1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri.....	89
Şekil 5.64. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri.....	89
Şekil 5.65. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı.....	90
Şekil 5.66. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı.....	91
Şekil 5.67. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45^0 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı.....	91
Şekil 5.68. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı.....	92
Şekil 5.69. Reynolds sayısı 1750 için Kanatçık yükseklikleri ile ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	93
Şekil 5.70. Reynolds sayısı 1750 için Kanatçık yükseklikleri ile ortalama Darcy sürtünme faktörünün değişimi.....	94
Şekil 5.71. Reynolds sayısı 1750 için Kanatçık yükseklikleri ile basınç kayıp katsayısının değişimi.....	94
Şekil 5.72. Reynolds sayısı 1750 için Kanatçık yükseklikleri ile ortalama Fanning sürtünme faktörünün değişimi.....	95

Şekil	Sayfa
Şekil 5.73. Reynolds sayısı 1750 için Kanatçık yükseklikleri ile fRe sayısının değişimi.....	95
Şekil 5.74. $R = 0,4347$ eğrilik oranı için fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	96
Şekil 5.75. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	98
Şekil 5.76. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi.....	98
Şekil 5.77. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	99
Şekil 5.78. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi..	100
Şekil 5.79. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	101
Şekil 5.80. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lik kesitli kanal boyunca hız vektörleri.....	102
Şekil 5.81. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan sabit yüzey $Re =$ sıcaklığına sahip iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için 1750 değeri için kanal boyunca hız vektörleri.....	102
Şekil 5.82. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri.....	103
Şekil 5.83. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı.....	104
Şekil 5.84. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı.....	104
Şekil 5.85. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45^0 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı.....	105

Şekil	Sayfa
Şekil 5.86. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re=1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı.....	106
Şekil 5.87. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	107
Şekil 5.88. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi.....	108
Şekil 5.89. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	109
Şekil 5.90. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi..	110
Şekil 5.91. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	111
Şekil 5.92. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lik kesitli kanal boyunca hız vektörleri.....	112
Şekil 5.93. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re=1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri.....	112
Şekil 5.94. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re=1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri.....	112
Şekil 5.95. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı.....	114
Şekil 5.96. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re=1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı.....	114
Şekil 5.97. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re=1750$ değeri için 45^0 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı.....	115

Şekil	Sayfa
Şekil 5.98. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re=1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı.....	116
Şekil 5.99. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re=1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı.....	117
Şekil 5.100. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi.....	118
Şekil 5.101. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	119
Şekil 5.102. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	120
Şekil 5.103. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	121
Şekil 5.104. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lik kesitli kanal boyunca hız vektörleri.....	122
Şekil 5.105. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri.....	122
Şekil 5.106. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri.....	123
Şekil 5.107. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı.....	124
Şekil 5.108. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re=1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı.....	125
Şekil 5.109. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45^0 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı.....	125

Şekil	Sayfa
Şekil 5.110. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı.....	126
Şekil 5.111. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	128
Şekil 5.112. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi.....	128
Şekil 5.113. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	129
Şekil 5.114. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	130
Şekil 5.115. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	131
Şekil 5.116. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lik kanal boyunca hız vektörleri.....	132
Şekil 5.117. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re=1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri.....	132
Şekil 5.118. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri.....	133
Şekil 5.119. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı.....	134
Şekil 5.120. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re=1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı.....	134
Şekil 5.121. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45^0 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı.....	135

Şekil	Sayfa
Şekil 5.122. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı.....	136
Şekil 5.123. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile Nusselt sayısının değişimi.....	137
Şekil 5.124. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile ortalama Darcy sürtünme faktörünün değişimi.....	137
Şekil 5.125. Reynolds sayısı 1750 için Kanatçık yükseklikleri ile basınç kayıp katsayısının değişimi.....	138
Şekil 5.126. Reynolds sayısı 1750 için Kanatçık yükseklikleri ile ortalama Fanning sürtünme faktörünün değişimi.....	138
Şekil 5.127. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile fRe sayısının değişimi.....	139
Şekil 5.128. $R = 0,4347$ eğrilik oranı için fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi....	140
Şekil 5.129. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	141
Şekil 5.130. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi.....	142
Şekil 5.131. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	143
Şekil 5.132. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	144
Şekil 5.133. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	145
Şekil 5.134. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lik kesitli kanal boyunca hız vektörleri.....	146
Şekil 5.135. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri.....	146

Şekil	Sayfa
Şekil 5.136. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri.....	147
Şekil 5.137. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı.....	148
Şekil 5.138. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı....	148
Şekil 5.139. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45^0 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı.....	149
Şekil 5.140. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re=1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı.....	150
Şekil 5.141. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	151
Şekil 5.142. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi.....	152
Şekil 5.143. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	153
Şekil 5.144. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	154
Şekil 5.145. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	155
Şekil 5.146. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lik kesitli kanal boyunca hız vektörleri.....	156
Şekil 5.147. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri.....	156

Şekil	Sayfa
Şekil 5.148. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re=1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri.....	157
Şekil 5.149. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında sıcaklık dağılımı.....	158
Şekil 5.150. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı....	159
Şekil 5.151. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45^0 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı.....	159
Şekil 5.152. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re=1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı.....	160
Şekil 5.153. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	162
Şekil 5.154. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi.....	162
Şekil 5.155. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	163
Şekil 5.156. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	164
Şekil 5.157. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	165
Şekil 5.158. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lik kesitli kanalda hız vektörleri.....	166
Şekil 5.159. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri.....	166

Şekil	Sayfa
Şekil 5.160. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri.....	167
Şekil 5.161. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı.....	168
Şekil 5.162. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı....	168
Şekil 5.163. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re=1750$ değeri için 45^0 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı.....	169
Şekil 5.164. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı.....	170
Şekil 5.165. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	171
Şekil 5.166. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi.....	172
Şekil 5.167. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	173
Şekil 5.168. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	174
Şekil 5.169. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	175
Şekil 5.170. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lik kesitli kanal boyunca hız vektörleri.....	175
Şekil 5.171. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri.....	176

Şekil	Sayfa
Şekil 5.172. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri.....	177
Şekil 5.173. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı.....	178
Şekil 5.174. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca sıcaklık dağılımı.....	178
Şekil 5.175. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45^0 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı.....	179
Şekil 5.176. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı.....	180
Şekil 5.177. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile ortalama Nusselt sayısının değişimi.....	181
Şekil 5.178. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile ortalama Darcy sürtünme faktörünün değişimi.....	181
Şekil 5.179. Reynolds sayısı 1750 için Kanatçık yükseklikleri ile basınç kayıp katsayısının değişimi.....	182
Şekil 5.180. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile ortalama Fanning sürtünme faktörünün değişimi.....	183
Şekil 5.181. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile fRe sayısının değişimi.....	183
Şekil 5.182. $R = 0,4347$ eğrilik oranı için fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	184
Şekil 5.183. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	186
Şekil 5.184. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi.....	186

Şekil	Sayfa
Şekil 5.185. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	187
Şekil 5.186. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	188
Şekil 5.187. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda f_{Re} sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	189
Şekil 5.188. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lik kesitli kanal boyunca hız vektörleri.....	190
Şekil 5.189. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re=1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri.....	190
Şekil 5.190. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re=1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri.....	191
Şekil 5.191. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı.....	191
Şekil 5.192. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı.....	192
Şekil 5.193. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45^0 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı.....	193
Şekil 5.194. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı.....	193
Şekil 5.195. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	195
Şekil 5.196. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi.....	195
Şekil 5.197. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	196

Şekil	Sayfa
Şekil 5.198. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	197
Şekil 5.199. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda f_{Re} sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	198
Şekil 5.200. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lık kesitli kanal boyunca hız vektörleri.....	199
Şekil 5.201. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri.....	199
Şekil 5.202. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re=1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri.....	200
Şekil 5.203. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı.....	201
Şekil 5.204. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı....	201
Şekil 5.205. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45^0 'lık kesitli kanal içinde basınç dağılımı.....	202
Şekil 5.206. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı.....	203
Şekil 5.207. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	204
Şekil 5.208. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi.....	205
Şekil 5.209. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	206

Şekil	Sayfa
Şekil 5.210. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	207
Şekil 5.211. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda f_{Re} sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	208
Şekil 5.212. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lik kesitli kanal boyunca hız vektörleri.....	208
Şekil 5.213. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri.....	209
Şekil 5.214. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri.....	210
Şekil 5.215. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı.....	210
Şekil 5.216. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı....	211
Şekil 5.217. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45^0 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı.....	212
Şekil 5.218. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı.....	212
Şekil 5.219. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	214
Şekil 5.220. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi.....	215
Şekil 5.221. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	216

Şekil	Sayfa
Şekil 5.222. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi.....	217
Şekil 5.223. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda f_{Re} sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	218
Şekil 5.224. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lik kesitli kanal boyunca hız vektörleri.....	218
Şekil 5.225. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri.....	219
Şekil 5.226. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri.....	220
Şekil 5.227. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı.....	220
Şekil 5.228. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı....	221
Şekil 5.229. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45^0 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı.....	222
Şekil 5.230. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı.....	222
Şekil 5.231. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile Nusselt sayısının değişimi.....	223
Şekil 5.232. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile ortalama Darcy sürtünme faktörünün değişimi.....	224
Şekil 5.233. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile basınç kayıp katsayısının değişimi.....	224

Şekil	Sayfa
Şekil 5.234. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile ortalama Fanning sürtünme faktörünün değişimi.....	225
Şekil 5.235. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile f_{Re} sayısının değişimi.....	226
Şekil 5.236. $R = 0,4347$ eğrilik oranı için f_{Re} sayısının Dean sayısı ile değişimi.....	226

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
A_s	Kanal yüzey alanı, m
a	Kare kesitli kanalın bir kenarının uzunluğunun yarısı, m
C_f	Fanning sürtünme faktörü
$\overline{C}_f$	Ortalama Fanning sürtünme faktörü
c_p	Sabit basınçta özgül ısı, kJ / kg.K
c_v	Sabit hacimde özgül ısı, kJ / kg.K
De	Dean sayısı
D_h	Hidrolik çap, m
f	Moody veya Darcy sürtünme faktörü
g	Yerçekimi ivmesi, m/s ²
H_f	Kanatçık yüksekliği, mm
h	Isı transfer katsayısı, W / m ² .K
$\overline{h}$	Ortalama ısı transfer katsayısı, W / m ² .K
K	Basınç kayıp katsayısı
k	Isı iletim katsayısı, W/m.K
L	Kare kesitli düz kanalın boyu, mm
Nu	Nusselt sayısı
$\overline{Nu}$	Ortalama Nusselt sayısı
Pe	Peclet sayısı
p	Basınç, Pa
R	Eğrilik yarıçapı, m
S	Kanal yay uzunluğu, m.
ϕ_v	Dissipasyon fonksiyonu

Simgeler	Açıklamalar
Δx	Hücre genişliği
$\bar{p}$	Ortalama basınç, ($\bar{p} = \frac{1}{A} \int_A p dA$), Pa
$\bar{p}_i$	Kanal girişinde ortalama basınç, Pa
$\bar{p}$	Kanal çıkışında ortalama basınç, Pa
Pr	Prandtl sayısı
$\dot{Q}$	Kanal yüzeyinden akışkana taşınım ile gerçekleşen ısı transferi, W
Re	Reynolds sayısı
T	Sıcaklık, K
T_m	Ortalama sıcaklık, K
T_w	Kanal duvarının yüzey sıcaklığı, K
U_i	Akışkanın kanala giriş hızı, m/s
U_m	Ortalama akışkan hızı, m/s
u	x yönündeki hız bileşeni, m/s
v	y yönündeki hız bileşeni, m/s
w	z yönündeki hız bileşeni, m/s
x, y, z	Boyutlu uzunluklar, m.
α	Isıl yayılım katsayısı, m^2/s
ρ	Akışkan yoğunluğu, kg/m^3
μ	Dinamik viskozite, $kg/m.s$
ν	Kinematik viskozite, m^2/s
τ_w	Duvar yüzeyindeki kayma gerilmesi, N/m^2
Q	Hacimsel debi, m^3/s
m	Ortalama
w	Duvar
i	Kanal girişi
o	Kanal çıkışı

1. GİRİŞ

Modern mühendislikte kanallar içindeki akışta uygulamaların pek çoğu ısı transferine yöneliktir. Bu bağlamda ısı eşanjörleri, nükleer reaktörler, jet motorları gibi sistemlerin düzgün ve güvenli bir şekilde çalışabilmesi için ısısının hızlı ve verimli biçimde çevreye aktarılabilmesi gerekmektedir. Bu uygulamaların öneminden dolayı, ısı transferini optimize etmek için kare kesitli eğrisel kanaldaki akış türü detaylı olarak araştırılmıştır.

Kanallardaki akışta ısı transferini optimize etmek için pek çok yöntem mevcuttur. Bunların içerisinde en yaygın olanı ise içerisinde kanatçıklar bulunan kanal kullanımıdır. Bu nedenle ısı aktarımı için kullanılan cihazlarda içerisinde boylamasına kanatçık bulunan kare kesitli eğrisel kanal içerisindeki akışın hidrodinamik ve ısı transferi karakteristiğinin incelenmesi son derece yararlıdır. Eğrisel kanal içerisindeki akış teorik ilginin ötesinde pratik öneme sahip olup, birçok endüstriyel uygulamalarda görülmektedir. Bir çok mühendislik cihazlarında hız dağılımının ve basınç dağılımının bilinmesi tasarım aşamasında son derece önemlidir. Eğrisel kanallar endüstride ısı ve kütle transfer cihazları olan turbo makinelerinin parçalarında, roket makinelerinin giriş difüzörlerinde, ısı değiştiricilerinde, soğutma sistemlerinde, kimyasal reaktörlerde, gaz türbinlerinde, santrifüj pompalarda, biyolojik sistemlerin parçalarında, içten yanmalı motorların kanallarında kullanılmaktadır.

Eğrisel kanal, içerisindeki kanalın eğriliğinden dolayı ortaya çıkan santrifüj kuvvetlerin etkisi altında fiziksel olarak ilgi çekici özelliklere sahiptir. Bu santrifüj kuvvetler kanal kenarlarında basınç gradyanları oluşumuna ve ikincil akış vortisitelerin doğuşuna neden olur. Eğrisel kanallarda ikincil akışların oluşmasıyla düz kanallara oranla daha fazla ısı transferi meydana gelmektedir [1]. İki boyutlu analiz ikincil akışların ısı transferi ve sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini ihmal etmektedir. Eğrisel bir kanaldaki ikincil akış alanının ısı transferi ve sürtünme katsayısına olan etkisi üç boyutlu nümerik analiz ile veya deneysel bir çalışma ile görülebilir.

Dean eğimli bir kanaldaki akışkan hareketi üzerine pertürbasyon tekniği kullanarak teorik bir çalışma yapmıştır. Çift-vorteksli ikincil akışın karakteristiğini, yaptığı pertürbasyon analizi ile incelemiştir. Bu çalışma sonucunda bu tür akışların dinamik benzerliğinin Dean sayısı olarak bilinen boyutsuz bir parametreye bağlı olduğunu belirtmiştir. Boyutsuz Dean sayısı $De = Re \sqrt{D_h / R}$ olarak tanımlanır. Dean sayısı santrifüj ve radyal basınç gradyanlarının oluşturduğu kuvvetler arasındaki farktan dolayı ortaya çıkan çapraz akışın şiddetini karakterize eder. Pertürbasyon metodu kullanımı oldukça zor bir yöntem olup boyutsuz Dean sayısı arttıkça çözüm hızla ıraksar [2,1].

Literatür araştırması, içerisinde kanatçık bulunan kare kesitli eğrisel kanalda akış ve ısı transferi ile ilgili çok az sayıda çalışma bulunduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın yapılma amacı bu eksikliğin giderilmesidir. Bu çalışmada hidrodinamik olarak tam gelişmiş, termal olarak gelişmekte olan akış koşullarında, içerisinde boylamasına kanatçıklar bulunan 313 K sabit yüzey sıcaklığına sahip kare kesitli eğrisel kanalda laminer akış ve ısı transferi üç boyutlu sayısal olarak araştırılmıştır. Akışkan olarak hava kullanılmıştır. Çalışmada momentum ve enerji denklemleri üç boyutlu olarak Ansys Fluent 6.3 ticari programı kullanılarak çözülmüştür.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Üniform ısı akısı şartlarında kare kesitli eğrisel bir kanal içerisinde tamamen gelişmiş laminar akış koşullarında akış ve ısı transferi incelenmiştir. 0,2, 0,5, 1, 2 ve 5 aspect oranları için oldukça yüksek Dean sayısına kadar çözümler elde edilmiştir. Pertürbasyon metodunun düşük Dean sayıları için uygulanabileceği, sınır tabaka metodunun ise yüksek Dean sayılarında kullanılabileceği gösterilmiştir. Sürtünme faktörü ve Nusselt sayıları, Prandtl sayısının 0.73 olduğu durum için Dean sayısının fonksiyonu olarak verilmiştir. Ayrıca Prandtl sayısının ısı transferine olan etkisi de araştırılmıştır. Dean sayısı 150 ile 1000 arasında değişmiştir [3].

Üniform ısı akısı şartlarında, kare kesitli 220⁰C' lik eğrisel kanalda [dirsekte] laminar akış şartlarında gerçekleşen tamamen gelişmiş akış için analitik ve deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Santrifuj kuvvetlerin etkisiyle kanal içindeki akışta ikincil akış [secondary flow] görülmüştür. Akış ve sıcaklık alanlarının etkilendiği görülmüştür. Entropi üretim ve kinetik enerji balans denklemleri göz önüne alınarak enerji denklemi ve momentum denklemi çözülmüştür. Nusselt sayısı analitik ve deneysel olarak elde edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır [4].

90 derece kare kesitli eğimli bir kanalda, laminar akış koşullarında akışkan olarak su kullanılarak deneysel ve nümerik çalışma yapılmıştır. Kanalın önüne 1.8 m uzunluğunda arkasına ise 1.2 m uzunluğunda aynı ölçülere sahip iki tane kanal eklenmiştir. Deneyler hidrolik çap ve ortalama hıza bağlı olan Reynolds sayısının 790 olması durumunda gerçekleştirilmiştir. Akış karakteristiğini ve hız alanını belirlemek için Laser Doppler ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ortalama hızın 65%'ini oluşturan ikincil hızlar hesaplanmış ve küçük boyutlarda geri dönen akışlar gözlemlenmiştir [5].

90 derecelik dikdörtgen kesitli eğrisel kanalda, laminar akış koşullarında ısı ve momentum transferi sayısal olarak incelenmiştir. Bu çalışmada kanal geometrisi ve giriş koşullarının hız ve sıcaklık dağılımı üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışmada doğal taşınımın etkileri göz önüne alınmamıştır [2].

Kare kesitli 90 derecelik bir dirsek içerisinde hidrodinamik ve termal açıdan tamamen gelişmiş, laminar zorlanmış konveksiyonla gerçekleşen ısı transferi sayısal olarak incelenmiştir. Ana akış üzerine superimposed edilmiş tek ve çift vortisiteler ile oluşan çözümler elde edilmiştir. Akış karakteristikleri boyutsuz eğrilik yarıçapının ∞ , 50, 10 ve 5 değerleri için incelenmiştir. Ayrıca Pr sayısının 0.7 ve 7.0 değerleri için ısı transfer karakteristikleri incelenmiştir. Bu çalışmada Peclet sayısı ise ∞ , 10, 5 ve 1 olarak seçilmiştir [1].

Kare kesitli 90 derecelik eğrisel bir kanalda gelişmekte olan laminar akışın taşınım ile gerçekleşen ısı transferi karakteristikleri detaylı olarak nümerik yöntemle incelenmiştir. Eğrisel kanalın giriş ve çıkışlarına düz kanallar eklenmiştir. 3 boyutlu Navier Stokes denklemi ve enerji denklemi muhtelif Reynolds sayısına tekabül eden Dean sayıları için nümerik olarak incelenmiştir. Çözüm için body-fitted koordinat sistemi kullanılmıştır. Eğrisel kanalın yüzeyine sabit sıcaklık ve uniform ısı akısı şartları ayrı ayrı uygulanarak çözümler elde edilmiştir. Sıcaklık dağılımları ve Nusselt sayısının kanal boyunca değişimi grafiksel olarak verilmiştir [6].

Yapılan bu deneysel çalışmada tek fazlı ısı transferinin akış boyunca eğrilikle artırılması araştırılmıştır. Deneysel çalışmada düz ve eğimli kanallar kullanılmıştır. Reynolds sayısı 9000 ile 130000 arasında çalışılmış, eğimli kanal için merkezci ivme dünyanın yerçekimi ivmesinin 315 katına erişmiştir. Taşınım katsayıları bütün testlerde akış eğriliği ile artmıştır, ve düz ve eğimli kanal için detaylı korelasyonlar elde edilmiştir [7].

Kare kesitli dört eşit, simetrik, ince kanatçıklara sahip düz bir kanalda laminar, sıkıştırılamaz, hidrodinamik olarak tam gelişmiş, termal olarak gelişmekte olan akış incelenmiştir. Kanalın duvarı ve kanatçıkların yüzeyleri sabit sıcaklıkta tutulmaktadır. Nümerik sonuçlar hidrodinamik olarak tam gelişmiş, termal olarak gelişmekte olan akış için aksiyal uzaklık ve kanatçık boyunun fonksiyonu olarak sıcaklık dağılımı, Nusselt sayısı, sürtünme katsayısı için ADI iterasyon yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuçlar literatürdeki sonuçlar ile uyum içerisindedir.

Termal olarak gelişmekte olan bölgede yüksek bir ısı transferi katsayısı elde edilmiştir [8].

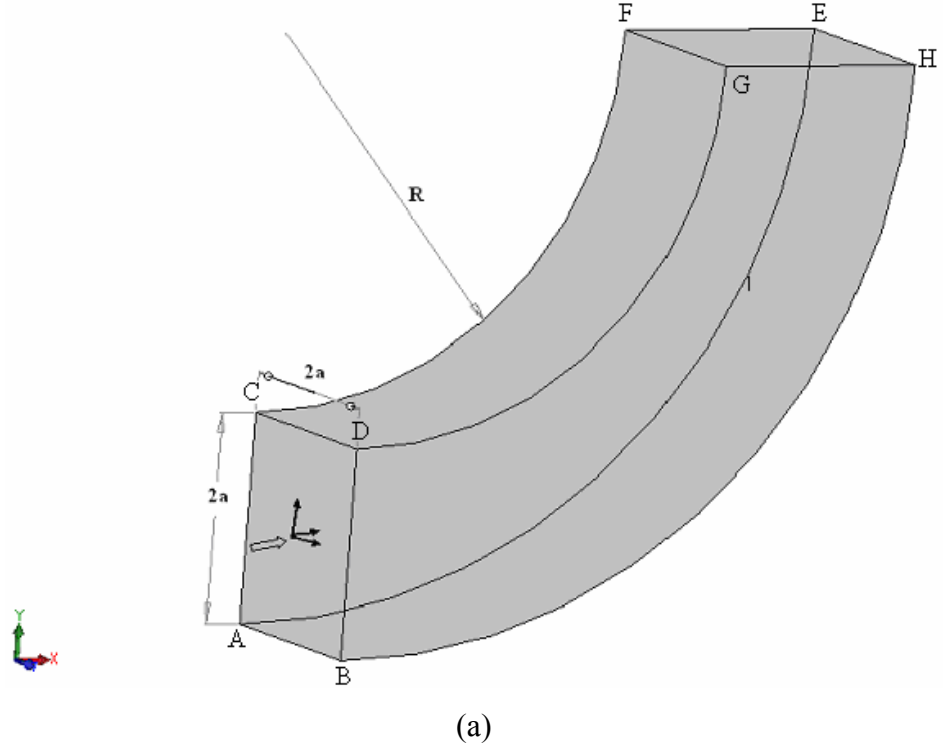
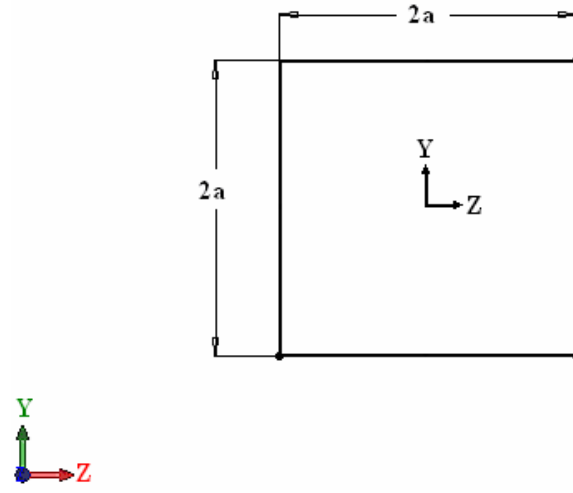
İçerisine kanal boyunca, iki veya dört kanatçık yerleştirilen kare kesitli, eğrisel bir kanalda laminar, sıkıştırılamaz akış, simple algoritması yardımıyla incelenmiştir. Dean sayısına ve kanatçık yüksekliğine bağlı olarak sürtünme faktörünün arttığı gözlenmiştir. Akışın incelenmesi sonucu, karmaşık akış davranışı mevcut olduğu görülmüştür. Kanalin eğriselliğinin sürtünme faktörü üzerine etkisi incelenmiş olup Dean sayısı ve kanatçık yüksekliği cinsinden sürtünme faktörü için bağıntılar önerilmiştir [9].

3. ÇALIŞMANIN AMACI VE PROBLEMİN TANIMI

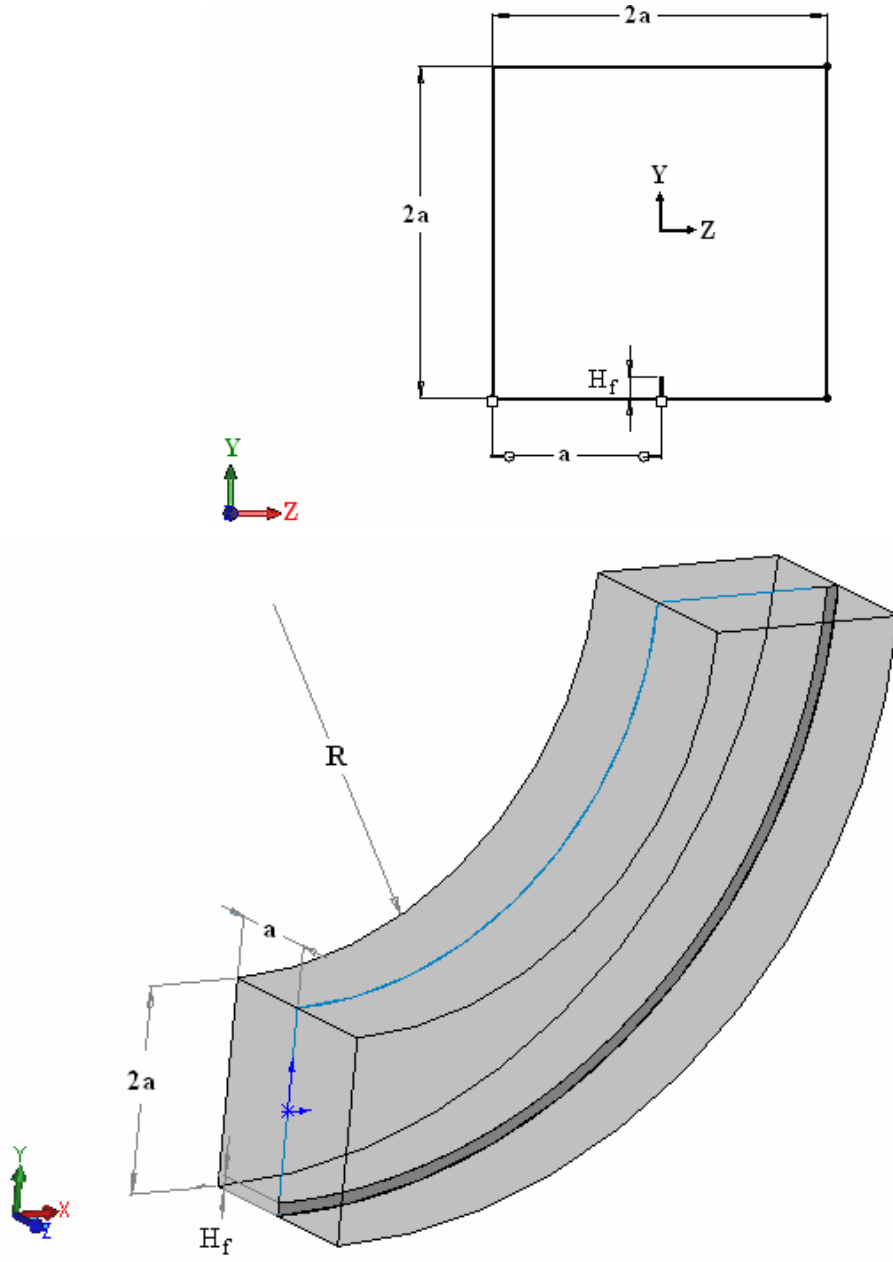
Eğrisel kanallardaki üç boyutlu akış ve ısı transferi karakteristiği son yıllarda büyük ilgi çekmiştir. Değişik kesit alanlarına sahip içerisinde kanatçıklar bulunan eğrisel kanallar modern mühendislikteki ısı transferi uygulamalarında, ısı değiştiricileri, nükleer reaktörler, jet makineleri gibi endüstriyel cihazlarda sıkça karşımıza çıkmaktadır. Kanal içerisine yerleştirilen kanatçıkların en büyük avantajı kanatçıksız kanala göre yüksek ısı transferini sağlamalarıdır. Isı transferini artırmak için kullanılan diğer yöntemlere göre düz kanatçıklı kanalların imali daha kolaydır. Kanatçıklı kanal kullanımının tek dezavantajı akışı engellemesi ve böylece sürtünme katsayısını ve pompalama gücünü artırmasıdır.

Bu çalışmanın yapılmasındaki en büyük etken içerisinde boylamasına kanatçıklar bulunan kare kesitli eğrisel kanalların endüstride kullanılan cihazların ısıl tasarımında doğrudan etkisinin bulunmasıdır. Eğrisel kanal kullanımından dolayı basınç gradyanlarının, viskoz kuvvetlerin ve merkezkaç kuvvetinin etkisiyle ikincil akışlar oluşmaktadır [6]. İkincil akışların oluşması sonucu düz kanallara oranla ısı transferi artmaktadır. Çalışmanın üç boyutlu yapılmasının nedeni eğrilik faktöründen dolayı kaynaklanan ikincil akışların ısı transferi ve sürtünme faktörüne etkisini inceleyebilmektir.

Hidrodinamik olarak tam gelişmiş, termal olarak gelişmekte olan akış koşullarında, içerisinde boylamasına kanatçıklar bulunan 313 K sabit yüzey sıcaklığına sahip kare kesitli eğrisel kanalda laminar akış ve ısı transferi üç boyutlu sayısal olarak araştırılmıştır. Kanatçık sayısının ısı ve momentum transferi üzerine olan etkisi, kanatçık sayısı birer birer artırılarak araştırılmıştır. Laminar akış şartlarında çalışılmıştır. Kanatçık yükseklikleri eşit alınmıştır. Sonuçlar, içerisinde kanatçık bulunmayan kare kesitli eğrisel kanal sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

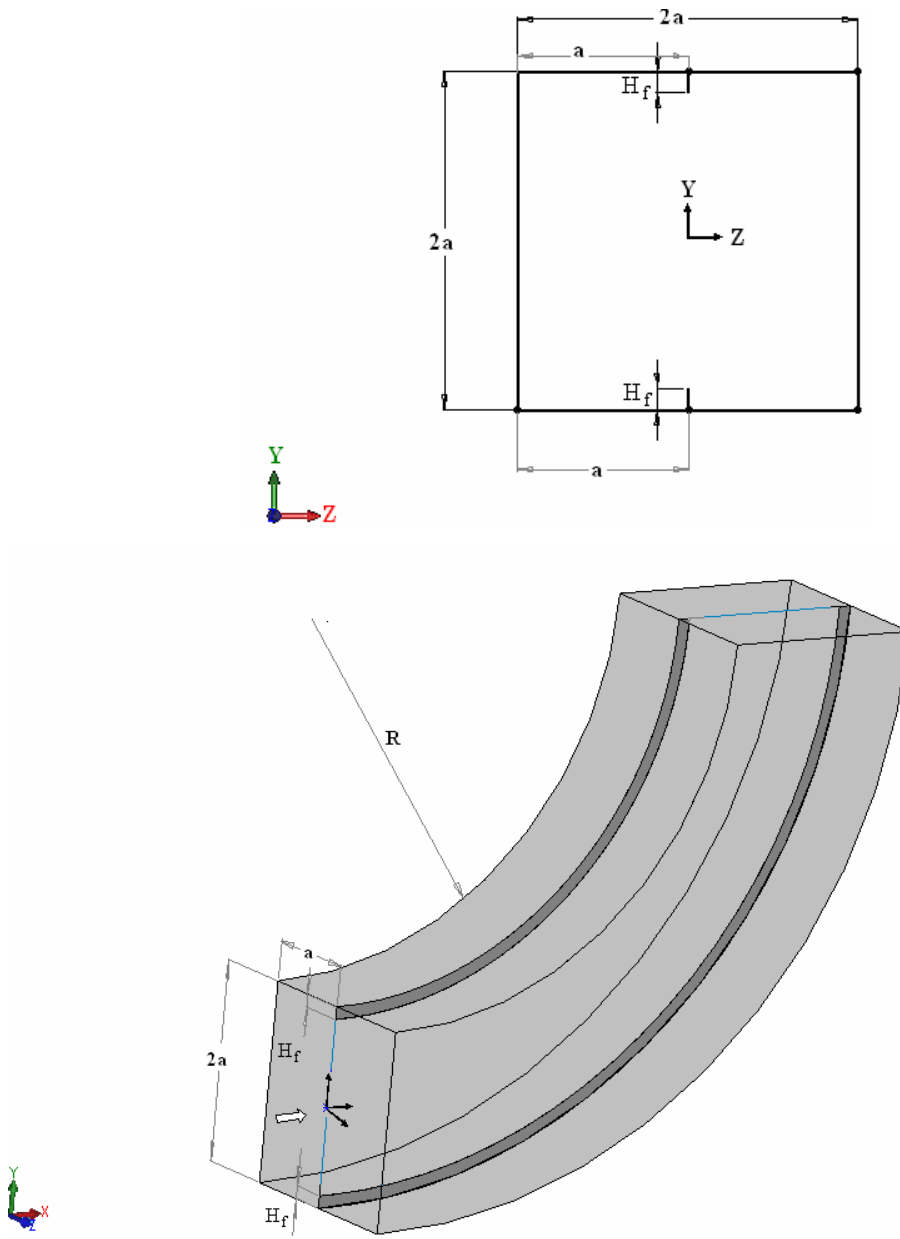


Şekil 3.1. Problem geometrisi a) Kanatçıksız kanal geometrisi



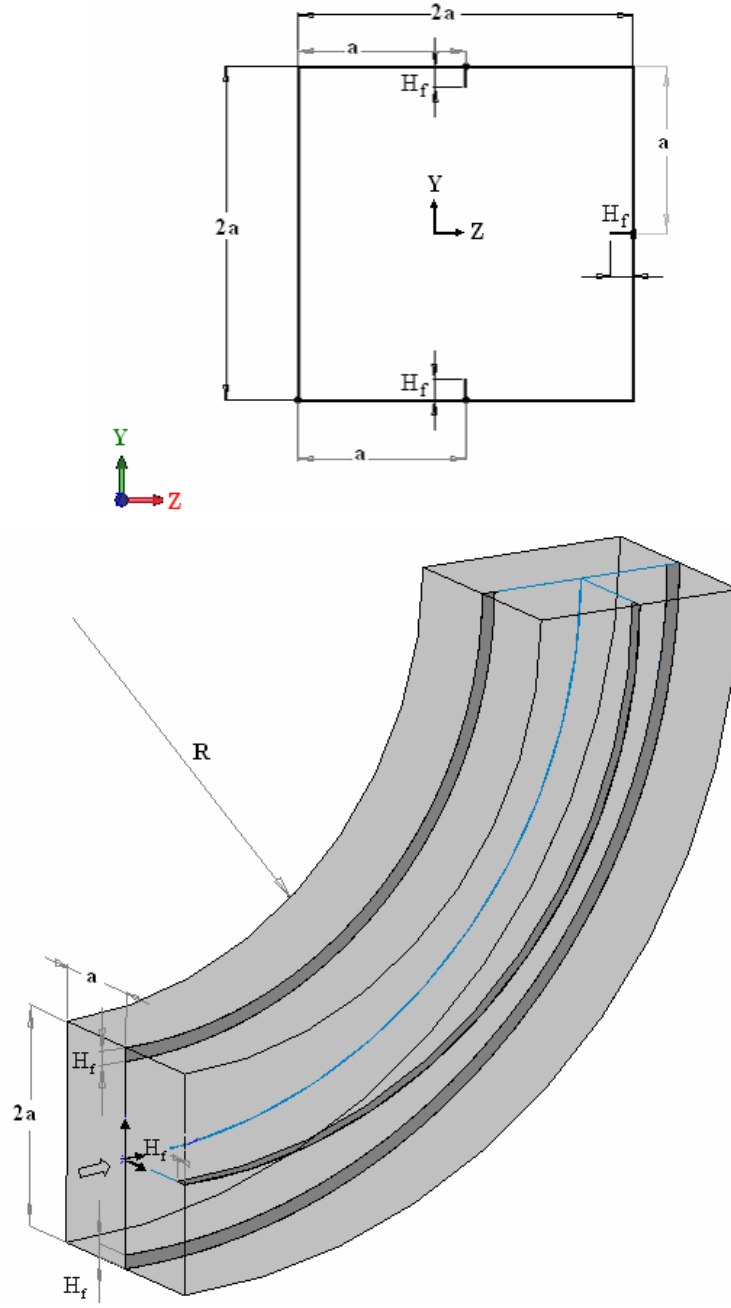
(b)

Şekil 3.1. (Devam) b) Tek kanatçık bulunan kanal geometrisi



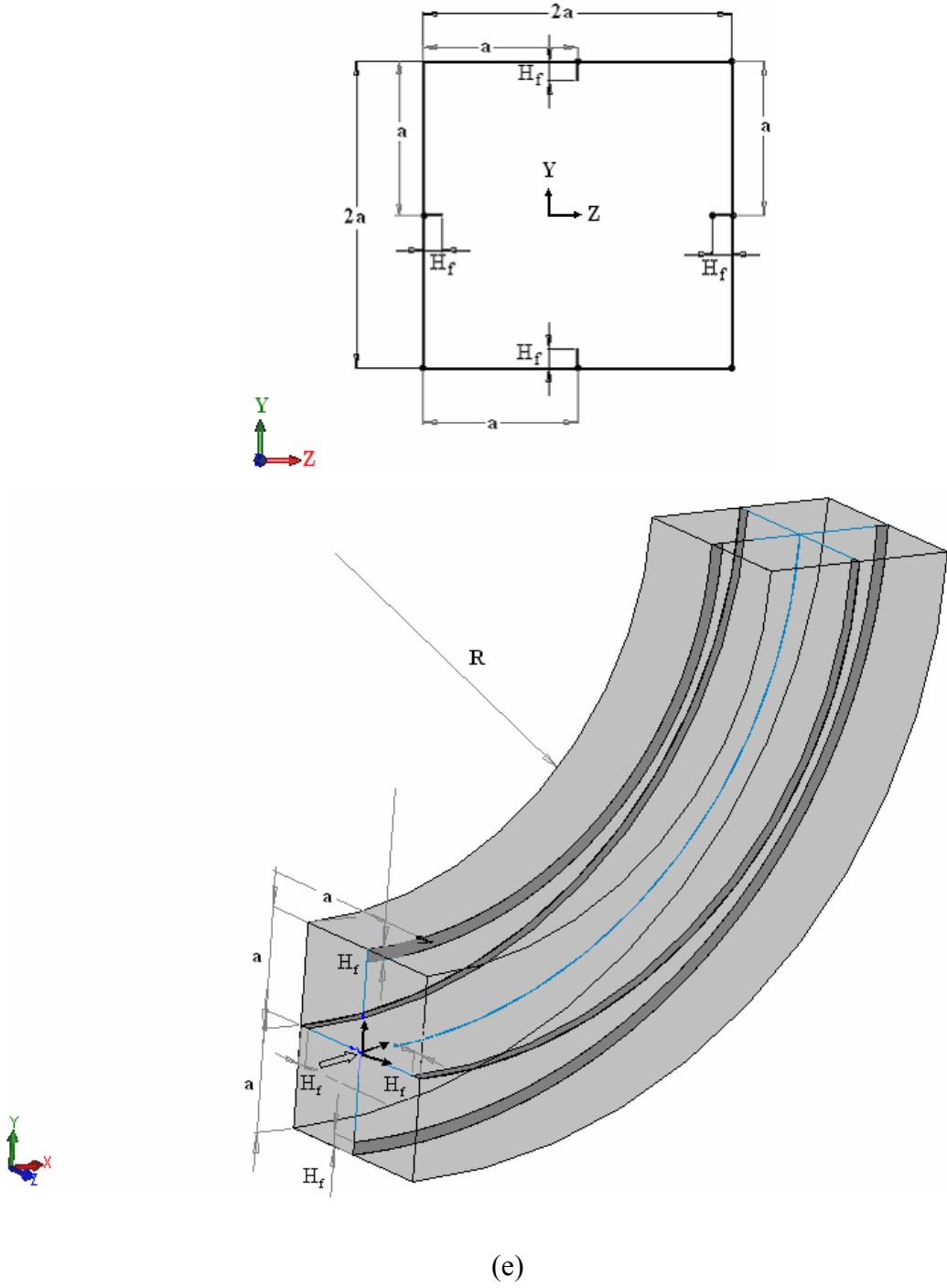
(c)

Şekil 3.1. (Devam) c) İki kanatçık bulunan kanal geometrisi



(d)

Şekil 3.1. (Devam) d) Üç kanatçık bulunan kanal geometrisi



Şekil 3.1. (Devam) e) Dört kanatçık bulunan kanal geometrisi

Şekil 3.1a’da kanal yüksekliği $2a$ olan kare kesitli içerisinde kanatçık bulunmayan eğrisel bir kanal görülmektedir. Kare kesitli kanalın eni ve boyu 100 mm ’ye eşittir. Akışkan kanalın sol tarafından girmekte olup kanal yüzeylerinden ısıyı alarak sağ

tarafından çıkmaktadır. Kanal yüzeyi 313 K’de sabit yüzey sıcaklığında tutulmaktadır. Akışkan olarak hava kullanılmaktadır. Akışkan kare kesitli eğrisel kanala 298 K giriş sıcaklığında girmektedir. Akışkanın kare kesitli eğrisel kanala hidrodinamik olarak tam gelişmiş girmesi sağlanmaktadır. Başka bir ifade ile akışkan kanala hidrodinamik açıdan tam gelişmiş olarak girmekte ve termal açıdan gelişmektedir. Bu problem ısı giriş problemi olarak adlandırılır. Bu çalışmada; kararlı rejimde laminar akış göz önüne alınmış olup formüller bu akışı temsil edecek şekilde düzenlenmiştir.

Şekil 3.1b’de kanal yüksekliği $2a$ olan kare kesitli, içerisinde bir kanatçık bulunan eğrisel bir kanal görülmektedir. Problem geometrisinde $2a$ kanal yüksekliği, H_f kanatçık yüksekliği olarak tanımlanmakta, kanatçıklar kanalın ortasına yerleştirilmektedir. Problemin çözümünde kanat kalınlığının sıfır olduğu kabul edilmektedir. Kanatçık yüksekliği sırasıyla 6,25 mm, 12,5 mm, 18,75 mm ve 25 mm için değişik Reynolds sayılarında çözümler tekrarlanmaktadır. Burada yine ısı giriş problemi incelenmektedir.

Şekil 3.1c’de kanal yüksekliği $2a$ olan kare kesitli, içerisinde iki kanatçık bulunan eğrisel bir kanal görülmektedir. Kanatçık yükseklikleri sırasıyla 6,25 mm, 12,5 mm, 18,75 mm ve 25 mm için iki kanatçık yüksekliği de eşit alınarak, değişik Reynolds sayılarında çözümler tekrarlanmaktadır. Burada yine ısı giriş problemi incelenmektedir.

Şekil 3.1d’de kanal yüksekliği $2a$ olan kare kesitli, içerisinde üç kanatçık bulunan eğrisel bir kanal görülmektedir. Kanatçık yükseklikleri sırasıyla 6,25 mm, 12,5 mm, 18,75 mm ve 25 mm için üç kanatçık yüksekliği de eşit alınarak, değişik Reynolds sayılarında çözümler tekrarlanmaktadır. Burada yine ısı giriş problemi incelenmektedir.

Şekil 3.1e’de kanal yüksekliği $2a$ olan kare kesitli, içerisinde dört kanatçık bulunan eğrisel bir kanal görülmektedir. Kanatçık yükseklikleri sırasıyla 6,25 mm, 12,5 mm,

18,75 mm ve 25 mm için dört kanatçık yüksekliği de eşit alınarak, değişik Reynolds sayılarında çözümler tekrarlanmaktadır. Burada yine ısı giriş problemi incelenmektedir.

Kanal girişinde hız profili tam gelişmiş akışı temsil edecek şekilde seçilmiştir. Hız profili farklı Reynolds değerlerinde hesaplanmıştır. Yukarıda verilen bilgilerin ışığı altında görüldüğü üzere, üzerinde çalışılan problem hidrodinamik bakımdan tam gelişmiş, ısıl bakımdan gelişmekte olan akış için modellenmiştir. Hesaplar kanatçıksız ve kanatçık bulunan kanallar için farklı Reynolds sayılarında tekrarlanmıştır.

Yapılan tüm çalışma Fluent 6.3 sayısal akışkanlar dinamiği paket programı kullanılarak çözülmüştür.

Bu simülasyonlardan elde edilen sayısal sonuçlar değerlendirilerek, kanatçıksız ve kanatçık bulunan eğrisel kanallar için Nusselt sayısının, ortalama sürtünme faktörünün, yerel yüzey sürtünme katsayısının, ve basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimleri analiz edilip değerlendirilerek birbirleriyle kıyaslanmıştır.

4. MATEMATİKSEL MODELLEME VE ÇÖZÜM YÖNTEMİ

Teknik problemlerin çözümünde, analitik, deneysel ve sayısal metotlardan biri uygulanır. Bu metotlar ayrı uygulanabildiği gibi, birlikte de kullanılabilirler.

Deneysel yöntem, pahalı ve zaman alıcıdır. Son yıllarda bilgisayar alanındaki gelişmeler ile sayısal yöntemler oldukça sık kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada; akış ve sıcaklık alanının hesaplanması için ısı, kütle ve momentum problemlerini çözebilen Fluent 6.3 paket programı kullanılmıştır.

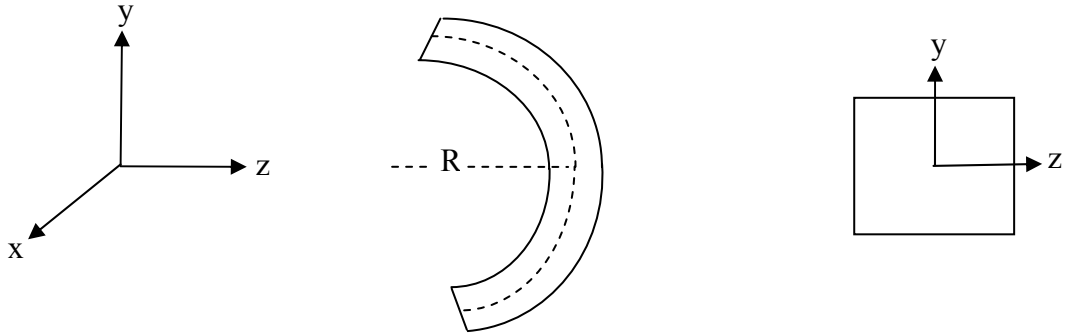
Problemin tanımlanması için kullanılan formülasyonlar, fiziksel ve matematiksel model özellikleri, uygulanan sınır şartları ve yapılan kabuller bu bölümde verilmiştir.

4.1. Fiziksel ve Matematiksel Modelin Tanımlanması

Geometri gereği akış üç boyutludur. Son yıllarda, bilgisayar alanındaki gelişmeler ile birlikte, akış problemlerini üç boyutlu olarak çözmek mümkün olabilmektedir.

Sayısal çalışmalarda, problemi tanımlayan temel denklemleri (Governing Equations) çözmek için bazı kabuller yapılır. Bunların başında ise yapılan ilk kabul akışın kararlı olduğudur. Bu çalışmada; sonuçların basite indirgenmesi ve akışın laminar (iç akışta, $Re = 2300$) olmasından dolayı, akışın kararlı olduğu kabulü yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan koordinat sistemi ve fiziksel model aşağıdaki şekilde görülmektedir.

Bu fiziksel model göz önünde bulundurularak, problemin akış ve ısı davranışını inceleyebilmek için momentum ve enerji korunum denklemlerinin, uygun sınır şartları ile birlikte çözülerek, problem alanı içerisindeki sıcaklık dağılımının belirlenmesi gerekir.



Şekil 4.1. Kare kesitli eğrisel kanalın global koordinat sistemi ve kesiti

Laminer akışlarda bu temel denklemlerin çözülmesi hız, basınç ve sıcaklık dağılımlarını belirlemek için yeterlidir. Enerji denkleminin çözülmesiyle elde edilen sıcaklık dağılımlarından yararlanılarak, ısı transferi katsayısı hesaplanabilir.

Kare kesitli eğrisel kanalın global koordinat sisteminin[1] enerji ve momentum denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

4.2. Temel Denklemler

4.2.1. Süreklilik denklemi

Kararlı rejim şartlarında, izotermal olmayan, viskoz, sıkıştırılamaz, üç boyutlu, laminar, Newton tipi akış için kartezyen koordinatlarda, süreklilik, momentum ve enerji denklemleri aşağıda verilmiştir.

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

Bu eşitlikte x doğrultusundaki hız bileşeni u, y doğrultusundaki hız bileşeni v, z yönündeki hız bileşeni ise w'dur.

4.2.2. Momentum denklemleri

Üç boyutlu, kararlı, sıkıştırılamaz, laminar akış için momentum denkleminin x,y ve z yönündeki bileşenleri;

x yönündeki momentum denklemi

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = f_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (4.2)$$

y yönündeki momentum denklemi

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = f_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (4.3)$$

z yönündeki momentum denklemi

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = f_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4.4)$$

şeklindedir. Bu denklemlerde p basıncı, ρ akışkanın yoğunluğunu (kg/m^3) ve ν kinematik viskozite (m^2/s)'yi temsil etmektedir.

4.2.3. Enerji denklemi

Üç boyutlu, kararlı, sıkıştırılamaz, laminar akış için enerji denklemi;

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \frac{u}{c_v} \phi_v + \frac{u'''}{\rho c_v} \quad (4.5)$$

şeklindedir. Burada $\alpha = k / \rho \cdot c_p$ ısı yayılım katsayısı olup;

k = ısı iletim katsayısı, (W / m.K)

c_p = sabit basınçta özgül ısı, (kJ / kg.K)

şeklindedir.

Dissipasyon fonksiyonu:

$$\phi_v = 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] - \frac{2}{3} \left[\text{div } \vec{V} \right]^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \quad (4.6)$$

4.3. Laminer Akış Sınır Şartları

Modellediğimiz problemde denklemlerin çözülebilmesi için bu denklemde kullanılan değişkenlerin akış alanına ait sınır şartlarının bilinmesi gerekir. Bu amaçla denklemlerin çözümünde kullanılacak olan sınır şartları aşağıda verilmiştir.

Giriş Sınır Şartı

Akışkan olarak kullanılan hava sabit T_i sıcaklığında ve $u(y,z)$ hız dağılımında ABCD kesit alanından girmektedir. Giriş sınır şartı için, Fluent 6.3'ün kullanmış olduğu “velocity type inlet” sınır şartı kullanılmıştır. Burada girişteki sıcaklık değeri girilmiştir. Kanal girişindeki hız profili ise aşağıdaki denklemde verilmiştir.

$$u = -\frac{1}{2\mu} \frac{dp}{dx} \left[a^2 - y^2 - \frac{4}{a} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n}{\beta_n^3} \frac{\cosh(\beta_n z)}{\cosh(\beta_n a)} \cos(\beta_n y) \right] \quad (4.7)$$

hacimsel debi

$$Q = 4abU = -\frac{1}{\mu} \frac{dp}{dx} \left[\frac{4}{3} a^4 - \frac{8}{a} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\tanh(\beta_n a)}{\beta_n^5} \right] \quad (4.8)$$

$$\beta_n = \frac{(2n+1)\pi}{2a}$$

Yukarıdaki verilen denklemin türetilişi Ek 1’de verilmiştir.

$v = 0, w = 0$

Yüzey Sınır Şartı

Kanalın ABHE, BDGH, CDFG, ACFE yüzeyleri sabit T_w sıcaklığında tutulmuştur. T_w yüzey sıcaklığı 313 K olarak alınmıştır. Enerji denkleminde ilişkin bu sınır şartı şu şekilde ifade edilebilir.

$$y = \pm a \quad T = T_w \quad (4.9)$$

$$z = \pm a \quad T = T_w \quad (4.10)$$

Yukarıda verilen tüm kanal yüzeylerinde kaymasızlık sınır şartı uygulanmıştır. Momentum denkleminde ait sınır şartı ise aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$y = \pm a \quad u = 0, v = 0, w = 0 \quad (4.11)$$

$$z = \pm a \quad u = 0, v = 0, w = 0 \quad (4.12)$$

Çıkış Sınır Şartı

Kanalın EFGH yüzeyinde çıkış sınır şartı tatbik edilmiştir. EFGH yüzeyinde Fluent yazılımında bulunan basınç sınır şartı uygulanmıştır. Burada tüm değişkenler için sıfır difüzyon akı şartı uygulanmıştır. Bu demektir ki çıkış düzleminde çalışma bölgesi içindeki bilgilerin ekstrapolasyonu yapılmıştır ve bu durumun yukarı doğru akış üzerine etkisi yoktur. Başka bir deyişle tamamen gelişmiş akış şartları uygulanmıştır.

4.4. Fluent Çözücü Seçenekleri

Bu çalışmada Fluent 6.3 paket programı kullanılmıştır. Fluent paket programı birçok değişik çözücü opsiyonuna sahiptir.

Nümerik çalışma esnasında yapılan kabuller

- Laminer ve sürekli akış
- Sabit akışkan özellikleri

- Değişken hız profili ve üniform sıcaklık profili
- Kanalin çıkışında basınç sınır şartı

4.4.1. Yakınsama Kriteri Seçenekleri

Bütün korunum denklemleri çözüm alanındaki her noktada dengeye geldiği zaman Fluent programı ile yapılan simülasyonda yakınsama gerçekleşmektedir. Her akışkan değişkeni için rezidüler çözümdeki hatanın şiddetini belirtmektedir. Rezidüler normalize edilmekte ve her korunum denklemi için hesaplanmaktadır. Genel olarak, Çizelge 4.1’de bu çalışmada kullanılan yakınsama kriterleri verilmektedir.

Çizelge 4.1. Fluent simülasyonunda kullanılan yakınsama tolerans faktörleri

Genelleştirilmiş Rezidü	Yakınsama Toleransı
Süreklilik	$1,0 \times 10^{-6}$
X-Hızı	$1,0 \times 10^{-6}$
Y-Hızı	$1,0 \times 10^{-6}$
Z-Hızı	$1,0 \times 10^{-6}$
Enerji	$1,0 \times 10^{-6}$

Çalışma esnasında rezidülerin değişimi ekranda görülmekte ve böylece her korunum denklemindeki dengesizliğinin derecesi görülmektedir.

Enerji denklemi akuple çözücü kullanılarak çözülmektedir. Akışkan özellikleri sabit olarak alındığı için enerji denklemi süreklilik ve momentum denklemi ile birlikte akuple olarak çözülmektedir.

4.4.2. Nümerik İnterpolasyon Şemaları

Fluent programı, korunum denklemlerinin (süreklilik, momentum, ve enerji) nümerik olarak çözülebilmesini sağlamak için, diğer bir ifade ile cebirsel denklemlere dönüştürebilmek için kontrol hacmi oluşturmaktadır. Bu çözüm tekniği her kontrol hacmi için tanımlanan denklemlerin integre edilmesinden oluşmaktadır. Fluent,

kontrol hacimlerinin geometrik merkezinde hesaplanan skalar değişkenleri ve hızları saklamaktadır. Fakat, çözüm esnasında, bu değişkenlerin değerleri kontrol hacmi sınırlarında kullanılmaktadır. Yüzey değerleri interpolasyon ile elde edilmekte ve Fluent beş değişik interpolasyon şeması kullanmaktadır.

- Birinci Derece Ayırıklaştırma (First-Order Upwind Scheme)
- İkinci Derece Ayırıklaştırma (Second-Order Upwind Scheme)
- Power-Law Scheme
- QUICK Scheme
- Third Order MUSCL

Birinci Derece Ayırıklaştırma (First-Order-Upwind Scheme)

Birinci Derece Ayırıklaştırma şemasının etkileyiciliği interpolasyon şemasının içine akışkan yönünü de dahil etmesidir. Batı yüzeyindeki hücrenin ϕ değeri aynı zamanda merkezdeki ϕ_p ve ϕ_w değerlerinden etkilenmektedir. Fakat, Batıdan doğuya güçlü bir taşınım olduğu zaman merkezi fark işlemi uygun olmamaktadır. Çünkü batı yüzeyindeki hücre ϕ_w değerinden ϕ_p değerine oranla daha fazla etkilenmektedir.

Birinci Derece Ayırıklaştırma Şemasının doğruluğu yalnızca birinci derecedendir. Bu şemanın değerlerini kullanmak yöntemin kararlı olduğunu temin eder fakat, birinci derece doğruluk nümerik difüzyon hatalarına yol açmaktadır. Bu sebeplerden ötürü, birinci derece ayırıklaştırma şeması bu çalışmada kullanılmamıştır. Nümerik difüzyon hataları ikinci dereceden ayırıklaştırma yöntemi kullanılarak en az düzeye indirilmiştir. Daha yüksek mertebeden şemalar QUICK ve İkinci Dereceden Ayırıklaştırma Şemasında olduğu gibi daha fazla komşu noktaya sahiptirler ve ayırıklaştırma hatalarını çevre komşu noktaların etkilerini daha fazla göz önüne alarak en aza indirmektedirler.

Power-Law Scheme

Power-law şeması değişken ϕ 'nin yüzey değerlerini interpolate etmek için bir boyutlu konveksiyon difüzyon denkleminin kesin çözümünü kullanmaktadır. Daha fazla detaylı bilgi Fluent Kullanım Kılavuzundan temin edilebilir [9]. Power-Law şeması akış bir boyutlu olduğu zaman avantajlıdır. Bundan dolayı, akış alanı grid(kafes) sistemi ile aynı sırada olduğu zaman, akış tahminleri için güzel bir seçenektir. Fakat, akış kafes sistemi ile açığı yaptığı zaman veya daha yüksek hassasiyet istendiği zaman OUICK şeması veya ikinci dereceden ayırıklaştırma şeması kullanılması tercih edilmektedir. Birçok durumda, eğimli kanallardaki akış alanı kafes sistemi ile örtüşmemektedir. Bu nedenle, power-law şeması interpolasyon şeması olarak seçilmemiştir.

OUICK ve İkinci Derece Ayırıklaştırma Şemaları

OUICK şeması kontrol hacmi yüzeyinde daha kapsamlı bir yaklaşım oluşturmaktadır. Birinci derece ayırıklaştırma şemasında olduğu gibi, OUICK ve ikinci derece ayırıklaştırma şemasında da interpolasyon esnasında akışın yönü dikkate alınmaktadır. OUICK şeması kuadratik bir interpolasyon şeması kullanmaktadır. Kuadratik interpolasyon şeması nümerik olarak daha fazla hassasiyet içermekte ve en önemlisi akış alanı kafes sistemi ile örtüşmediği durumlarda da rahatça kullanılabilir.

İkinci dereceden ayırıklaştırma şemasında, hücre yüzeylerindeki değerler OUICK şemasında olduğu gibi kuadratik interpolasyon yaklaşımı yerine çok boyutlu lineer yaklaşım ile hesaplanmaktadır. Bu anlamda, hücre yüzeylerinde Taylor serisinin hücre merkezli çözüm açılımı ile yüksek hassasiyet sağlanmaktadır. İki şemanında problemde kullanılabileceği anlaşılmıştır. Fakat bu problem için İkinci dereceden ayırıklaştırma sistemi kullanılmıştır. Aşağıdaki tabloda tüm kategoriler için kullanılan şemalar ayrıntılarla yer almaktadır.

Çizelge 4.2. Fluent simulasyonunda kullanılan interpolasyon şemaları

Kategori	İnterpolasyon Şeması
Basınç	Standard
Momentum	Second Order Upwind
Basınç-Hız İkili	Coupled
Enerji	Second Order Upwind

4.4.3. Relaksiyon Faktörleri

Hareket denklemlerinin lineer olmamasından dolayı, tanımlanan denklemlerin yaklaşık olarak elde edilen değişimlerin doğrudan kullanılması ile çözüm elde edilememektedir. Bu çalışmada Fluent programında hali hazırda bulunan relaksiyon faktörleri doğrudan kullanılmıştır. Çizelge 4.3’de bu çalışmada kullanılan relaksiyon faktörleri görülmektedir.

Çizelge 4.3. Fluent simulasyonunda kullanılan relaksiyon faktörleri

Kategori	Relaksiyon Faktörü
Basınç	0.3
Momentum	0.7
Enerji	1

4.4.4. Akışkan Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan akışkan özellikleri:

- Sabit akışkan özellikleri
- Akışkan olarak hava kullanılmıştır ($Pr = 0.7$)

Yapılan çalışmada akışkan olarak hava kullanılmasının sebebi ısı değiştiricilerinde çoğunlukla akışkan olarak havanın dolaşmasıdır. Süreklilik, momentum ve enerji denklemleri sabit akışkan özellikleri kabulü ile çözülmektedir. Kullanılan akışkanın özellikleri Çizelge 4.4’de verilmektedir.

Çizelge 4.4. Çalışmada akışkan olarak kullanılan havanın termofiziksel özellikleri

Özellik	Tanım	Sayısal Değer
ρ	Yoğunluk	1.225
μ	Dinamik viskozite	1.7894×10^{-5}
c_p	Özgül ısı	1006.43
k	Isı iletim katsayısı	0.0242

4.4.5. Mesh Optimizasyonu

Sonlu hacimler metodunda ilk basamak problem alanının ayrık kontrol hacimlerine bölünmesidir. Başka bir ifade ile problemin diferansiyel denklemlerini sayısal olarak çözebilmek için ilk yapılması gereken işlem, hesap alanını (akış alanı) kontrol hacimlere bölerek bir grid (kafes) sistemi oluşturmaktır. Teorik olarak problem alanının içerisindeki her noktada, diferansiyel denklemler cebirsel olarak ifade edilebilirler. Bu ise sonsuz sayıda cebirsel denklem demektir. Bu kadar fazla cebirsel denklemi çözmek pratik olmadığından, diferansiyel denklem problem alanı içerisinde belirli sayıda noktada cebirsel olarak ifade edilmiştir. Bu noktalara grid noktası adı verilmektedir ve bu noktaların oluşturmuş olduğu sisteme de grid sistemi adı verilmektedir.

Kontrol hacmi merkezi noktaları kapsamakta ve kontrol hacminin sınırları (veya yüzeyler) ardışık iki nokta arasında yer almaktadır. Her nokta bir kontrol hacmiyle veya hücreyle kaplanmaktadır. Problem alanının fiziksel sınırı genellikle kontrol hacminin sınırlarıyla çakışmaktadır. Kontrol hacminin noktalarının düzenlenmesiyle kafes sistemi oluşmaktadır. Genelde, hücre sayısının artmasıyla hassasiyet de artmaktadır. CFD çözümünün hassasiyeti kafes sistemi yapısındaki hücrelerin sayısı ile sağlanır. CFD çözümündeki hassasiyet ve bilgisayar işlemcisindeki çözüm süresi kafes sisteminin yapısının sıklığına bağlıdır. Optimal bir hücre sayısı ile kısıtlı bilgisayar hafızasında da istenilen hassasiyet sağlanabilir. Mesela büyük değişimlerin olduğu bölgelerde örneğin cidara yakın bölgelerde daha sık, değişimlerin fazla olmadığı bölgelerde ise daha seyrek bir kafes sistemi

kullanılabilir. Değişik mesh kısıtlamaları mesh jenerasyonu işlemi esnasında gözlenmiştir.

Bunun için;

- a. Gambit programı kullanılarak kanatçiksız ve kanatçık bulunan eğrisel kanallar için hücreden bağımsız sonuç elde edebilmek için farklı hücre sayılarına sahip kafes sistemleri oluşturulmuştur.
- b. Oluşturulan kafes sistemleri problem verileri ile Fluent 6.3 paket programı kullanılarak en yüksek Reynolds sayısı için çözülmüştür. Çözüm sonuçlarına göre uygun hücre (mesh) sayısı tespit edilmiştir.
- c. Belirlenen uygun hücre sayısında Reynolds sayısı değiştirilerek kanatçiksız ve kanatçık bulunan kanallar için Nusselt sayısının, ortalama sürtünme faktörünün, yerel yüzey sürtünme katsayısının, basınç kayıp katsayısının, pompa gücünün, hız ve sıcaklık dağılımlarının değişimleri analiz edilip birbirleriyle kıyaslanmıştır.

4.4.6. Mesh Kısıtlamaları

Mesh yapısındaki kısıtlama bilgisayar hafızasının kullanılabilirliğine bağlıdır. Sonuç olarak, laminar akış durumları için mesh boyutu değişik faktörlere bağlı olarak kısıtlanmaktadır. Bu faktörler yerel hücre Peclet sayısına, kanalın boyutuna, ve kabul edilebilir oranda bilgisayar hücre oranını kapsamaktadır.

Yerel Hücre Peclet sayısındaki Limit

Yerel hücre Peclet sayısı, taşınım ile difüzyon arasındaki güçlü bağı göstermekte ve Eş. 4.13’de belirtilmektedir.

$$Pe_{\text{hücre}} = \frac{\rho u \Delta x}{\mu} \quad (4.13)$$

Δx = hücre genişliği

u = akışkan hızı, m/s

ρ = akışkan yoğunluğu, kg/m³

μ = akışkan viskozitesi, kg/(m-s)

Bir boyutlu konveksiyon difüzyon denkleminin nümerik çözümü göstermiştir ki yerel hücre Peclet sayısı 2'ye eşit olduğu zaman veya daha az olduğu zaman, merkezi fark şeması her grid noktasında doğru ve geçerli sonuçlar vermektedir. Fakat, hücre Peclet sayısı 2'yi aştığı zaman, sonuç çözümü osilatör davranış göstermektedir. Bu yüzden, Reynolds sayısı yükseldiği zaman $Pe_{hücre} \leq 2$ 'yi sağlamak için karakteristik hücre genişliği azalmaktadır. Bir CFD simulasyonunda kullanılan mesh boyutu maksimum Reynolds sayısında doğru değer vermesi beklenmektedir. Maksimum Reynolds sayısı yerel hücre Peclet sayısı kısıtlamasına bağlı olarak belirlenmektedir. Hücre Peclet sayısının 2 değerini aştığı Reynolds sayılarında, akış sonuçları yavaş bir şekilde yakınsamakta veya tamamiyle ıraksamaktadır. Üç boyutlu kanal modelinde, ikincil hızların şiddeti kanal kesitindeki mesh boyutuna bağlı olacaktır. Aynı şekilde, akış yönündeki hız şiddetinde kanal uzunluğu boyundaki mesh boyutuna bağlı olacaktır. Fakat, akış yönündeki akış gradyanları ciddi bir şekilde değişmeyecek, böylece birkaç hücre akışı çözmek için yeterli olacaktır. Yerel hücre Peclet sayısı limiti mesh jenerasyonu yapmak için kullanılmaktadır.

Bilgisayar Hücre Aspect Oranı

Bilgisayar hücre aspect oranı mesh jenerasyonu ve kafes sisteminin düzenlenmesinde diğer bir kısıtlamayı getirmektedir. Büyük hücre aspect oranları bazı problemlerde kabul edilebilir, fakat FLUENT programı hücre sayısının 5:1 oranını geçmemesini önermektedir. Bu sınırlama bir yöndeki akış gradyanları ikinci yöne göre çok küçükse aşılabılır. Hücre aspect oranı eğer çok büyükse, CFD simulasyonu yakınsama zorlukları ve nümerik hatalarla karşılaşacaktır.

4.4.7. Mesh Oluşturulması

Bu çalışmada bütün geometrik şekiller GAMBIT 2.3.16 versiyonu kullanılarak oluşturulmuştur. GAMBIT programı üç boyutlu bir çizim programıdır. Daha fazla detaylı bilgi GAMBIT kullanıcı rehberinde bulunmaktadır [10]. Bu bölüm mesh prosedürünü içermektedir. GAMBIT üç boyutlu çalışmada kenarda, yüzeyde ve iç kısımda uniform mesh yapısının oluşmasını sağlamaktadır. İlk önce kenar meshi atılması için kenarlar seçilmektedir. İkinci işlem olarak kanalın giriş ve çıkışına daha fazla hücre gelecek şekilde kenar meshi atılmıştır. Problemin geometrisi ve akış yönü Şekil 3.1’de verilmektedir. Üçüncü işlem olarak, kenar meshinden sonra yüzey meshine geçilmektedir. Bu çalışmada dikdörtgensel(hexahedral) mesh yapısı kullanılmıştır. Dikdörtgensel mesh kullanılır iken Cooper şeması kullanılmıştır.

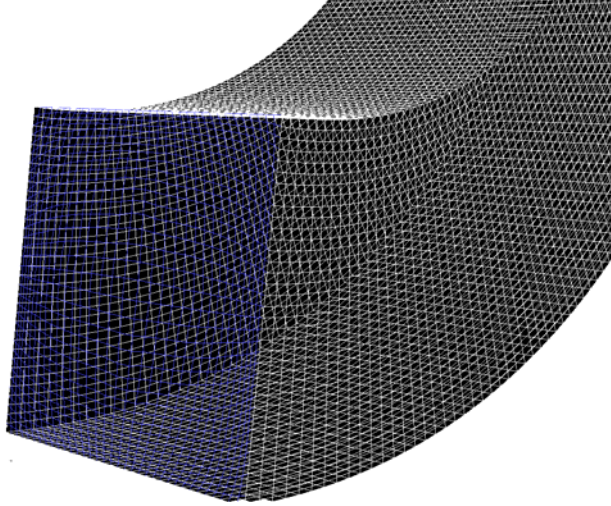
4.4.8. Mesh Yapısı

Eğimli kanal içerisindeki akış ve ısı transferi çalışılan bu problemde mesh jenerasyonu hücre sayısı artırılarak yapılmıştır. Çizelge 5.3’de kullanılan hücre sayıları ve bunların karşılığı olan ısı transferi miktarını boyutsuz temsil eden Nu sayısı verilmiştir. Mesh jenerasyonunda karşılaşılan en büyük sorun bilgisayar hafızasının çoğu problemde yetersiz kalmasıdır. Yapılan bu çalışma HP8200 workstation tür bilgisayarda yapılmıştır. Yeterli hafızanın elimizde bulunmasından ve çalışılan bilgisayarın işlemcisinin hızlı olmasından dolayı istenilen hücre sayısına rahatlıkla çıkılmıştır. Çözümün hassasiyeti ve CPU zamanına bakılarak, 102900 hücre sayısı bu çalışma için yeterli bulunmuştur.

Kare Kesitli Eğimli Kanal

Kare kesitli eğimli kanalların mesh yapısı alt bölümde ayrı ayrı verilmiştir. Farklı Reynolds sayılarında çalışılmıştır. 250, 500,750,1000,1250,1500,1750,2000 ve son olarak 2200 Reynolds sayılarında çalışılmıştır. Kare kesitli eğimli kanalın duvar sıcaklığı sabit 313 K’de tutulmuştur.

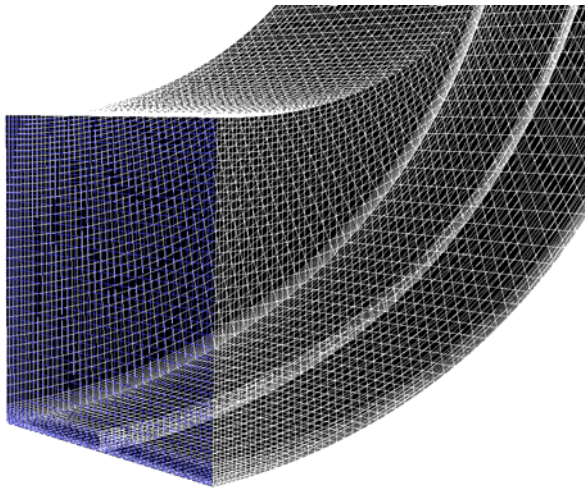
Akışkan olarak hava kullanılmıştır. İçerisinde kanatçık bulunmayan eğimli kanalın görünüşü Şekil 4.2’de verilmektedir.



Şekil 4.2. İçerisinde kanatçık bulunmayan eğimli kanalın görünüşü

Kare kesitli Bir Kanatçıklı Eğimli Kanal

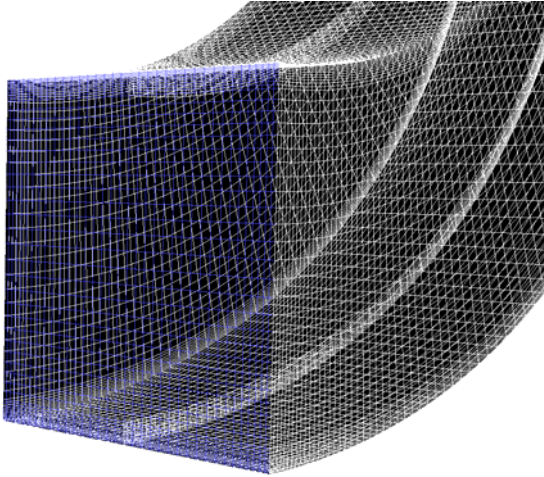
Kullanılan mesh yapısı hexahedral yapıdaki mesh türüdür. Şekil 4.3’de kare kesitli tek kanatçığının yüksekliği 6,25 mm olan eğimli kanalın izometrik görünüşü verilmektedir.



Şekil 4.3. Kare kesitli tek kanatçığının yüksekliği 6,25 mm olan eğimli kanalın izometrik görünüşü

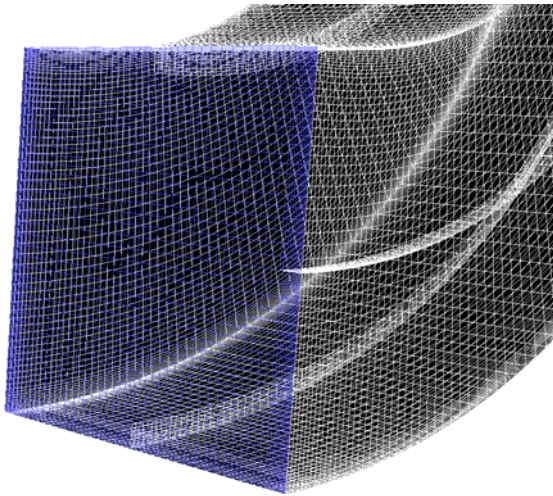
Kare kesitli iki Kanatçıklı Eğimli Kanal

Bu çalışmada hexahedral hücre yapısı kullanılmıştır. Şekil 4.4’de kare kesitli iki kanatçığının yüksekliği eşit ve 6,25 mm olan eğimli kanalın izometrik görünüşü verilmektedir.



Şekil 4.4. Kare kesitli iki kanatçığının yüksekliği 6,25 mm olan eğimli kanalın izometrik görünüşü

Kare kesitli Üç Kanatçıklı Eğimli Kanal

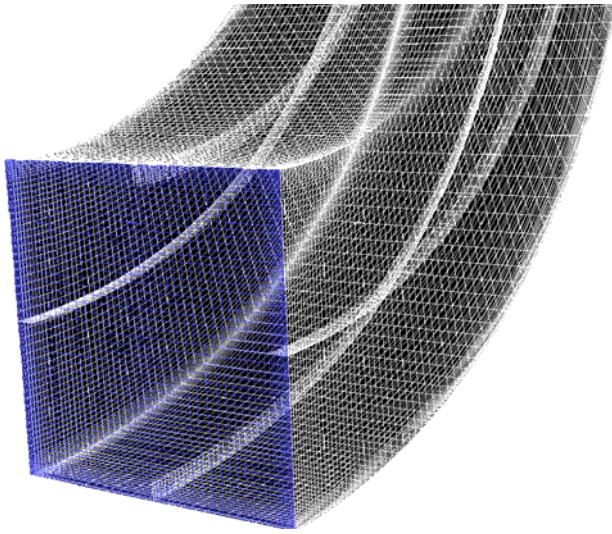


Şekil 4.5. Kare kesitli üç kanatçığının yüksekliği 6,25 mm olan eğimli kanalın izometrik görünüşü

Şekil 4.5’de kare kesitli üç kanatçığının yüksekliği eşit ve 6,25 mm olan eğimli kanalın izometrik görünüşü verilmektedir.

Kare kesitli Dört Kanatçıklı Eğimli Kanal

Şekil 4.6’da kare kesitli dört kanatçığının yüksekliği eşit ve 6,25 mm olan eğimli kanalın izometrik görünüşü verilmektedir.



Şekil 4.6. Kare kesitli dört kanatçığının yüksekliği 6,25 mm olan eğimli kanalın izometrik görünüşü

4.5. Hesaplanacak Değerler

Bu bölümde, Fluent 6.3 ile elde edilen sayısal sonuçlar ile ortalama Nusselt sayısının, ortalama yüzey sürtünme faktörünün, yerel yüzey sürtünme katsayısının ve basınç kayıp katsayısının hesaplanması için analitik hesaplama yönteminden bahsedilecektir.

4.5.1. Ortalama akışkan karışım sıcaklığı

Herhangi bir kesitteki ortalama akışkan sıcaklığı aşağıdaki şekilde hesaplanır [11];

$$T_b = \frac{\int_{A_c} \rho u c_v T dA_c}{\dot{m} c_v} \quad (4.14)$$

Akışkan özellikleri sabit olduğundan Eş. 4.14 aşağıdaki şekilde verilebilir.

$$T_b = \frac{1}{U_m A_c} \int_{A_c} u T dA_c \quad (4.15)$$

4.5.2. Ortalama Nusselt sayısı

Nusselt sayısı eğimli kanal içerisinde gerçekleşen akış için belirlenen sıcaklık dağılımından faydalanılarak hesaplanır. Kanaldaki ortalama Nusselt sayısı ise aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{h} D_h}{k} \quad (4.16)$$

Burada D_h hidrolik çap, k ısı iletim katsayısı olmaktadır.

Eş. 4.16'da belirtilen $\bar{h}$, ortalama taşınım ısı transfer katsayısı aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$\rho \times U_m \times A_c \times (T_{mo} - T_{mi}) = \bar{h} \times A_s \times (T_w - T_m) \quad (4.17)$$

Burada, A_s ısı transferinin gerçekleştiği kanal yüzey alanı, U_m eğimli kanala hidrodinamik olarak tam gelişmiş giren akışkanın ortalama hızı, ρ akışkanın yoğunluğu, T_{mo} kanaldan çıkan akışkanın ortalama sıcaklığı ve T_{mi} ise kanala giren akışkanın ortalama sıcaklığını vermektedir. T_m ortalama sıcaklıktır ve Eş. 4.18'deki şekliyle ifade edilir.

$$T_m = \frac{T_{mi} + T_{mo}}{2} \quad (4.18)$$

4.5.3. Ortalama sürtünme faktörü hesabı

Mühendisler kanal içerisindeki basınç düşümü ile ilgilenirler çünkü bu parametre kanal fan veya pompa gereksinimini belirler. Kanal içerisinde meydana gelen basınç düşümü sürtünme faktörü ile ifade edilebilir. Literatürde sürtünme faktörü iki şekilde isimlendirilir. Bunlar, boyutsuz bir parametre olan Moody (veya Darcy) sürtünme faktörü

$$f = \frac{(-dp/dx)D_h}{\frac{1}{2}\rho U_m^2} \quad (4.19)$$

Başka bir ifade ile tanımlamak gerekirse,

$$f = \frac{\frac{\overline{\Delta p}}{S} D_H}{\frac{1}{2}\rho U_m^2} \quad (4.20)$$

veya ortalama Fanning sürtünme faktörüdür.

$$\overline{C}_f = \frac{\overline{\tau}_w}{\frac{1}{2}\rho U_m^2} \quad (4.21)$$

Burada kanal hidrolik çapı D_h , kanal yay uzunluğu S ve kanaldaki basınç düşümü $\overline{\Delta p}$ dir.

Basınç düşümü;

$$\overline{\Delta p} = \overline{p}_o - \overline{p}_i \quad (4.22)$$

Burada $\overline{p_o}$ ve $\overline{p_i}$ sırasıyla kanal çıkış ve girişindeki ortalama basınçlardır.

Ortalama basınç ,

$$\overline{p} = \frac{1}{A_c} \int p dA \quad (4.23)$$

şeklinde hesaplanır. Burada p basınç (Pa), A_c ise kanalın kesit alanı (m^2) dır.

4.5.4. Basınç kayıp katsayısı hesabı

Engellerle karşılaşan akışkan için kanalda meydana gelen basınç kaybını basınç kayıp katsayısı (K) ile ifade etmek mümkündür. Özellikle dirsek ve valflerin bulunduğu kanallarda bu bölgelerdeki basınç kaybı, basınç kayıp katsayısı (K) ile hesaplanmaktadır. Kanatçıkların akışı sekteye uğrattığı düşünüldüğünde kanatçık bulunan kanal için f (Moody sürtünme faktörü) yerine bu değerin kullanılması da mümkündür.

$$K = \frac{\overline{\Delta p}}{\frac{1}{2} \rho U_m^2} \quad (4.24)$$

$$\overline{\Delta p} = \overline{p_o} - \overline{p_i} \quad (4.25)$$

Burada $\overline{\Delta p}$ basınç düşümü, $\overline{p_o}$ ve $\overline{p_i}$ sırasıyla kanal çıkış ve girişindeki ortalama basınçlardır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada içerisine sırasıyla dört adet kanatçık yerleştirilen eğimli bir kanalda, kanatçık yüksekliğinin ve Reynolds sayısının akışkan hareketi ve ısı transferine olan etkisi incelenmiştir. İncelenilecek probleme geçmeden önce kullanılan Fluent 6.3 paket programın doğruluğunu görmek amacıyla problemde kullanılan eğrisel kanalın ölçüleri ile aynı ölçüde olan kare kesitli kanal incelenmiştir. Kare kesitli kanaldan alınan nümerik değerler deneysel değerlerle karşılaştırılmıştır. Eğimli kanalda ise esas olarak Reynolds sayısının ($Re = 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000, 2200$), kanatçık yüksekliğinin ($H_f = 6,25, 12,5, 18,75, 25 \text{ mm}$) farklı değerlerinin ısı transferi (Nusselt sayısı) ve akışkan akışı üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu parametrelerin akışkan akışına ve ısı transferine olan etkileri incelenmiştir.

Akışkan kanala sol taraftan girerek kanal yüzeylerine ve kanatçıklara sürtünerek sağ taraftan çıkmaktadır. Reynolds sayıları düşük değerler seçilerek başka bir ifade ile akışkan giriş hızı düşük alınarak akışın laminar seyretmesi sağlanmıştır. Akışkan hava olarak alındığından Prandtl sayısı 0,7 olarak alınmıştır.

Reynolds sayısının, kanatçık yüksekliğinin ve kanatçık sayısının akışkan akışına ve ısı transferine etkileri Reynolds sayısının farklı değerleri kullanılarak, tam gelişmiş akış şartları sağlandıktan sonra Fluent 6.3 sayısal akışkanlar dinamiği programı kullanılarak incelenmiştir. İrdeleme için ortalama Nusselt sayısı, ortalama Darcy sürtünme faktörü, ortalama Fanning sürtünme faktörü, basınç kayıp katsayısı, hız ve sıcaklık dağılımları hesaplanarak grafikler halinde sunulmuştur.

Bilgisayar programından elde edilen sonuçlar literatürde mevcut olan sonuçlar ve temel akışkanlar mekaniği prensipleri ile kıyaslanarak yapılan sayısal çözümlerin sonuçlarının doğruluğu araştırılmıştır.

Kare kesitli düz kanal için esas alınan değişkenler ve inceleme aralıkları Çizelge 5.1.'de, kanatçıksız eğimli kanal için esas alınan değişkenler ve inceleme aralıkları

Çizelge 5.2’de, kanatçık bulunan eğimli kanal için esas alınan değişkenler ve inceleme aralıkları Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Kare kesitli düz kanalın sayısal analizinde kullanılan parametreler

Parametre	Değerler	Birimler
Re	250, 500, 750, 1000,1250,1500, 1750,2000,2200	-
Pr	0,7	-
ρ	1,225	kg/m ³
μ	0,000017894	N.s/m ²
k	0,0242	W/m.K
L	440	mm
a	50	mm

Çizelge 5.2. Kanatçıksız eğrisel kanal sayısal analizinde kullanılan parametreler

Parametre	Değerler	Birimler
Re	250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000, 2200	-
Pr	0,7	-
ρ	1,225	kg/m ³
μ	0,000017894	N.s/m ²
k	0,0242	W/m.K
R	180	mm
a	50	mm

Çizelge 5.3. Kanatçık bulunan eğrisel kanal sayısal analizinde kullanılan parametreler

Parametre	Değerler	Birimler
Re	250, 500, 750, 1000,1250,1500, 1750,2000,2200	-
Pr	0,7	-
ρ	1,225	kg/m ³
μ	0,00017894	N.s/m ²
k	0,0242	W/m.K
R	180	mm
a	50	mm
H _f	6,25, 12,5, 18,75, 25	mm

5.1. Kanal Girişinde Parabolik Hız Profiline Sahip Kare Kesitli Düz Kanal İçindeki Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

Kare kesitli düz kanalda $Re = 2200$ değerinde elde edilen sonuçlara göre hesaplanan Nusselt sayısının minimum değişme gösterdiği hücre sistemi optimum hücre sistemi olarak seçilmiştir. Belirlenen optimum hücre sayılarında Reynolds sayısının diğer değerleri içinde hesaplamalar yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Esas incelenecek olan eğimli kanal problemine geçmeden önce çözüm yönteminin doğruluğunu test etmek amacıyla kare kesitli düz kanal içerisindeki akış ve ısı transferi Fluent 6.3 paket programı ile incelenmiş ve sonuçların doğruluğunu deneysel sonuçlarla kıyaslamak sureti ile gördükten sonra asıl yapılmak istenilen çalışmaya geçilmiştir.

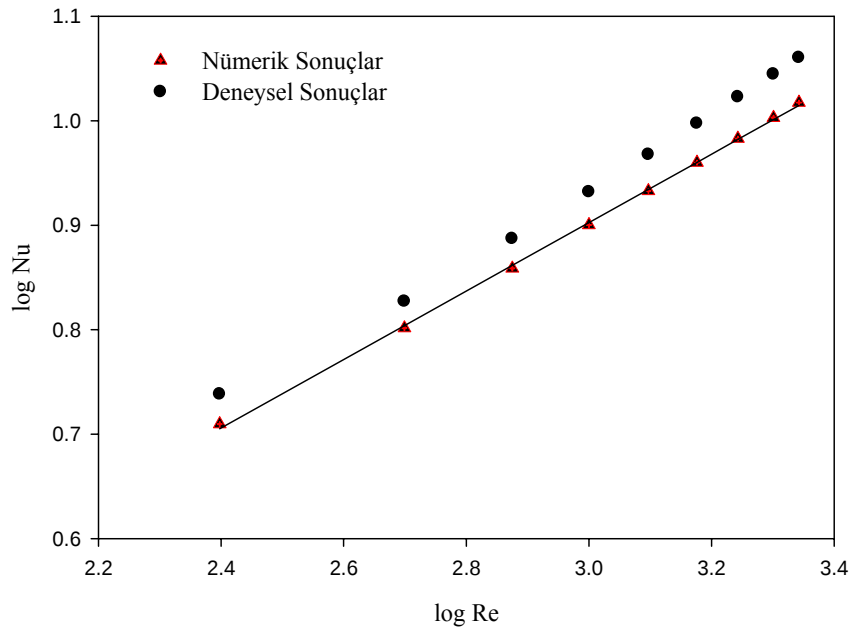
Çizelge 5.4. Kare kesitli düz kanal için ortalama Nusselt sayısının hücre sayısı ile Değişimi

Hücre Sayısı	Nusselt Sayısı
44000	10,494
62500	10,3
160000	10,244
350000	10,262

Kare kesitli düz kanal geometrisinde çözüme 62500 hücre sayısı ile devam edilmiştir.

Ortalama Nusselt Sayısı

Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilerek Eş. 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. Kare kesitli düz kanalda ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Kare kesitli düz kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan Nusselt sayıları Şekil 5.1’de gösterildiği üzere referans [12]’den alınan deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlarla nümerik sonuçlar arasında maksimum %10 fark gözlemlenmiştir. Ayrıca en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.1 elde edilmiştir. Eş. 5.1’de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile Nusselt sayıları arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile artmaktadır.

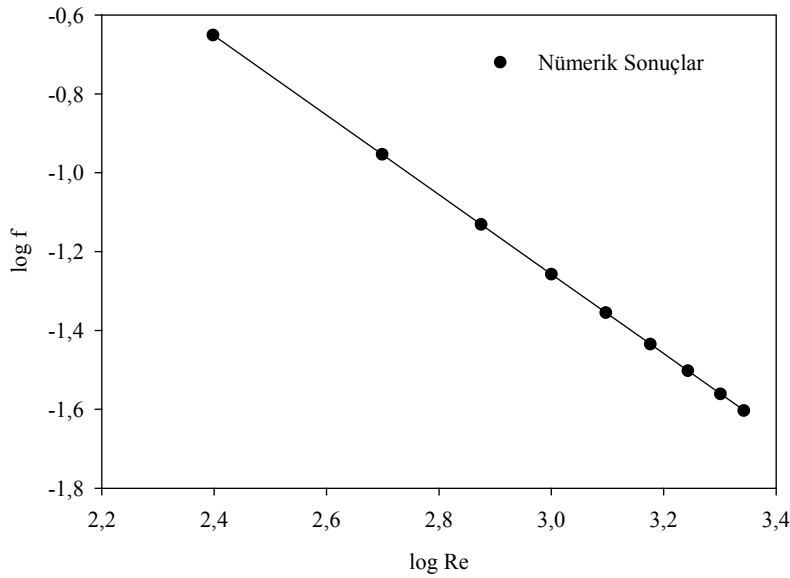
$$\overline{Nu} = 0,8316Re^{0,3275} \quad (5.1)$$

Ortalama Darcy sürtünme faktörü

Kare kesitli düz kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama sürtünme katsayıları Şekil 5.2’de verilmiştir. Eş. 5.2’de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile ortalama Darcy sürtünme faktörü arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır.

Ortalama sürtünme katsayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak aşağıda verilmiştir.

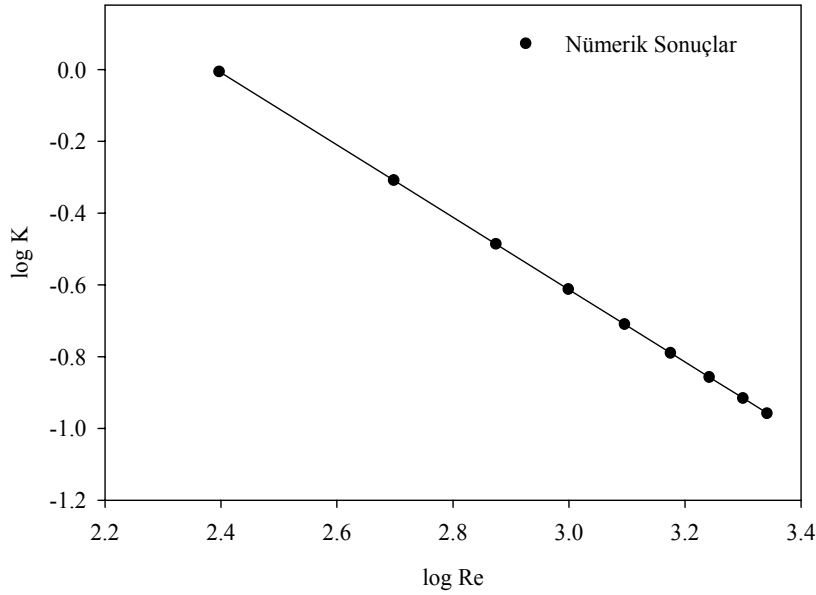
$$f = 58,479Re^{-1,008} \quad (5.2)$$



Şekil 5.2. Kare kesitli düz kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)’nün Reynolds sayısı ile değişimi

Basınç kayıp katsayısı

Şekil 5.3’de görüleceği üzere Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısı arttıkça basınç kayıp katsayısı azalmıştır.



Şekil 5.3. Kare kesitli düz kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

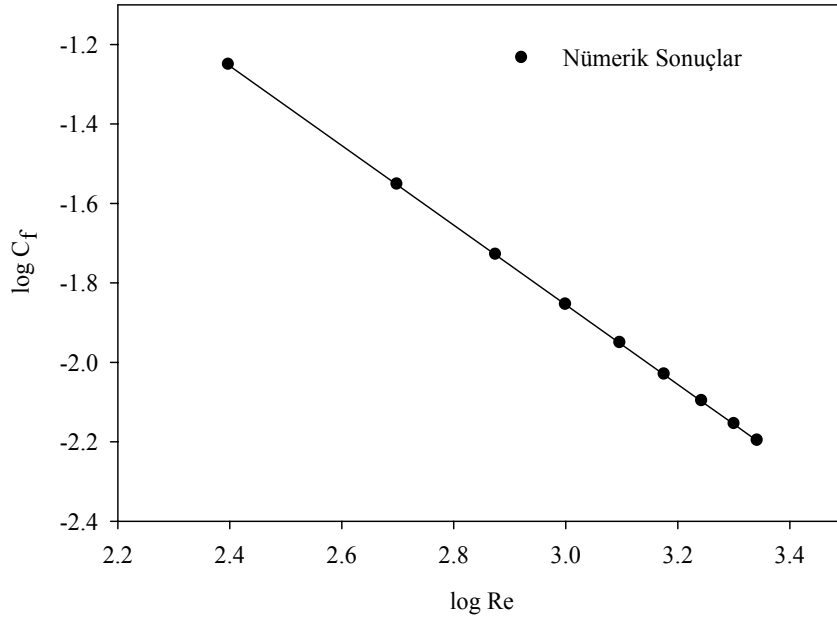
$$K = 257,6321Re^{-1,008} \quad (5.3)$$

Kare kesitli düz kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan basınç kayıp katsayısı (K) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.3’deki gibi bulunmuştur.

Fanning sürtünme faktörü

Şekil 5.4’de ortalama Fanning sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki verilmiştir. Sonuçlar ise Eş. 5.4’deki gibi ifade edilmiştir.

$$\overline{C}_f = 14,1579Re^{-1,002} \quad (5.4)$$



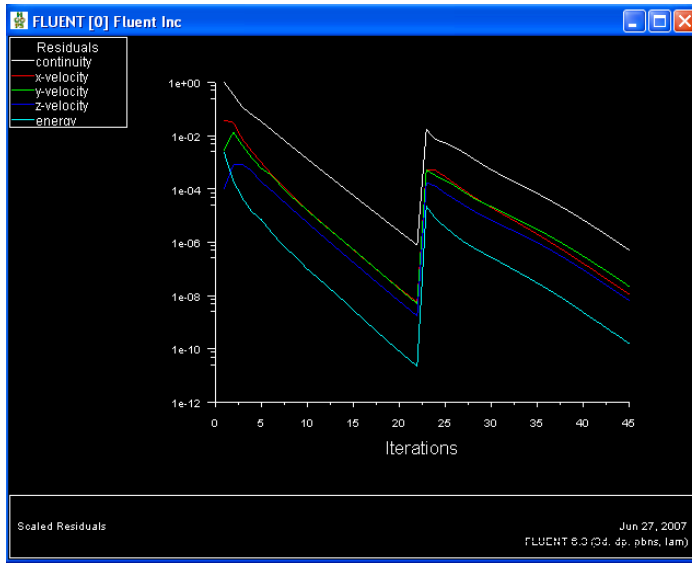
Şekil 5.4. Kare kesitli düz kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.4'den görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça ortalama Fanning sürtünme katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı ve Fanning sürtünme katsayısı arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Kare kesitli düz kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama Fanning sürtünme katsayısı ($\bar{C}_f$) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.4'de verilmiştir.

5.2. Kanal Girişinde Parabolik Hız Profiline Sahip Kanatçıksız Eğimli Kanal İçindeki Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

Sayısal çözümleri elde etmek için kullanılan hücre (mesh) sayıları çözüm sonuçlarını etkiler. Bu nedenle elde edilen sonuçların, hücre sayılarından bağımsız hale getirilmesi sağlanır. Özellikle duvarları üzerinde kanatçık bulunan kanallarda akış karmaşık hale geldiği için hücre sayısı daha büyük önem taşır.

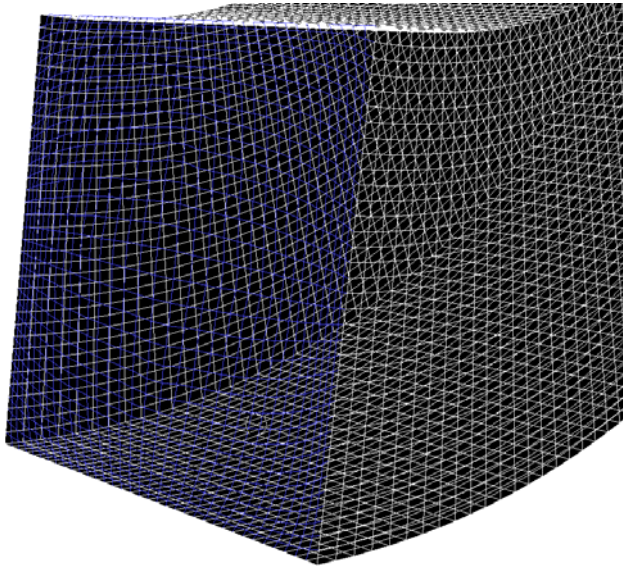
Çözülen kanal geometrileri için kanatçiksız kanalda, $Re = 2200$ değerinde elde edilen sonuçlara göre hesaplanan Nusselt sayısının minimum değişme gösterdiği hücre sistemi optimum hücre sistemi olarak seçilmiştir. Belirlenen optimum hücre sayılarında Reynolds sayısının diğer değerleri içinde hesaplamalar yapılarak sonuçlar elde edilmiştir. Bu aşamada çözümün iterasyon sayısından ve hücre sayısından bağımsız olduğu gösterilmiştir. Ayrıca giren ve çıkan kütle debilerinin birbirine yaklaşık bir şekilde eşit olduğu yani çözümün kütle korunumu yasasını sağladığı görülmüştür. Çözümün iterasyon sayısından bağımsız olduğu gösterilmiştir. Bu maksatla normalize edilmiş kalıntılardaki değişimler yakınsamayı elde etmek için takip edilmiştir. Kalıntılar 10^{-6} değerine gelene kadar iterasyona devam edilmiştir. Örnek olarak Şekil 5.5’de yakınsamış bir çözümde değişkenler için kalıntıların iterasyon sayısı ile değişimi sunulmuştur.



Şekil 5.5. Yakınsamış bir çözümde değişkenler için kalıntıların iterasyon sayısı ile değişimi

Çözümün hücre sayısından bağımsız olup olmadığına bakılmış ve optimum (mesh) hücre sayısı tespit edilmiştir. Sayısal hesaplama sonucunu doğru elde etmek için uygun hücre yapısının oluşturulması önemlidir. Uygun oluşturulmayan hücre yapısı sonucun ıraksamasına ve hatalı sonuç elde edilmesine sebep olur. Bu nedenle eğimli kanalda alt ve üst duvarlara yakın bölgelere, duvara doğru daralan biçimde dörtgen

elemanlarla ağ atılarak sınır tabaka oluşturulmuştur. Geometrinin geri kalan bölgesine simetri eksenine doğru genişleyen biçimde dörtgen elemanlar ile ağ atılmıştır. Kanatçiksız kanalda kullanılan mesh yapısı Şekil 5.6’da gösterilmiştir. Şekil üzerinde mesh yapısının daha rahat görülebilmesi için kanalın bir bölümü alınmıştır.



Şekil 5.6. Duvarlara doğru sıklaşan mesh (hücre) yapısı

Reynolds sayısının 2200 olduğu durum için çözüm muhtelif hücre sayılarında elde edilmiş ve çözümün hücre sayısından bağımsız olduğu durumda elde edilen hücre sayısı (mesh) optimum mesh olarak kabul edilmiştir.

Optimum hücre sayısı incelenen her bir durum için ayrıca tespit edilmiştir. Örnek olarak içerisinde kanatçık olmayan eğimli kanal içerisindeki akış ve ısı transferi için Reynolds’un 2200 değerinde optimum mesh Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Aşağıda görülen Çizelge 5.5’de hücre sayısı ile ortalama Nusselt sayısının değişimi verilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı hücre sayısından bağımsız olana kadar çözüme devam edilmiştir.

Çizelge 5.5. Kanatçksız kanal için ortalama Nusselt sayısının hücre sayısı ile değışimi

Hücre Sayısı	Nusselt Sayısı
8100	24,703
9450	24,729
10125	24,738
12375	24,767
19200	24,839
28800	24,967
37500	23,531
56250	23,572
64800	22,701
81000	22,725
102900	23,526
153600	22,292

Kanatçksız kanal geometrisinde çözüme 102900 hücre sayısı ile devam edilmiştir.

Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü

İçerisinde kanatçık olmayan eğimli kare kesitli kanal içerisindeki akış ve ısı transferinin sayısal çözümü Reynolds sayısının değışik değeri için yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü (f) hesaplanmıştır.

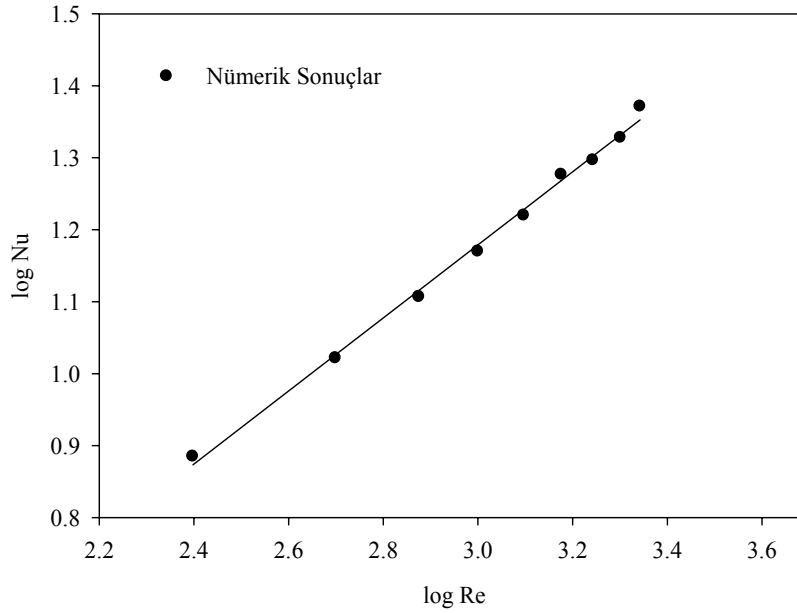
Çizelge 5.6. Kanatçksız eğrisel kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar

Reynolds	Nusselt (Eşitlik 4.68)	Nusselt (Eşitlik 4.69)	f
250	7,671	7,38	0,3034
500	10,511	10,368	0,1864
750	12,792	12,773	0,1406
1000	14,785	14,864	0,1165
1250	16,59	16,763	0,1069
1500	18,908	19,074	0,1009
1750	19,799	20,186	0,0965
2000	21,274	21,764	0,0932
2200	23,525	23,942	0,0911

Kanatçksız kanalda yapılan sayısal hesap sonuçları Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Ortalama Nusselt Sayısı

Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilerek Eş. 5.5’de verilmiştir.



Şekil 5.7. Kanatçıksız kanalda ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

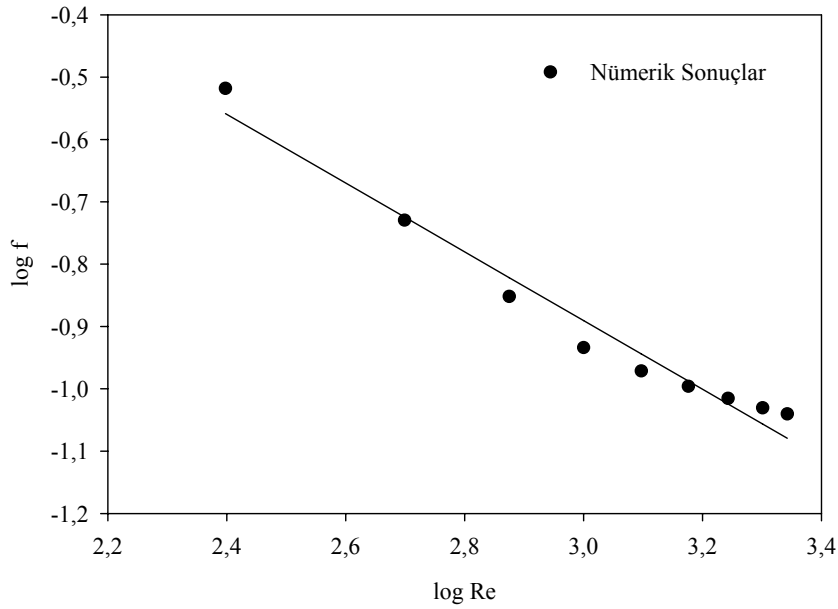
Kanatçıksız eğrisel kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan Nusselt sayıları Çizelge 5.6’da verilmiştir. Eş. 5.5’de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile Nusselt sayıları arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile artmaktadır. Eş. 5.5 en küçük kareler yöntemi ile hesaplanmıştır.

$$\overline{Nu} = 0,4527 Re^{0,5077} \quad (5.5)$$

Ortalama Darcy sürtünme faktörü

Kanatçıksız kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 5.6’da verilmiştir. Eş. 5.6’da verilen fonksiyonda görüleceği

üzere Reynolds sayısı ile ortalama sürtünme katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır.



Şekil 5.8. Kanatçıksız kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi

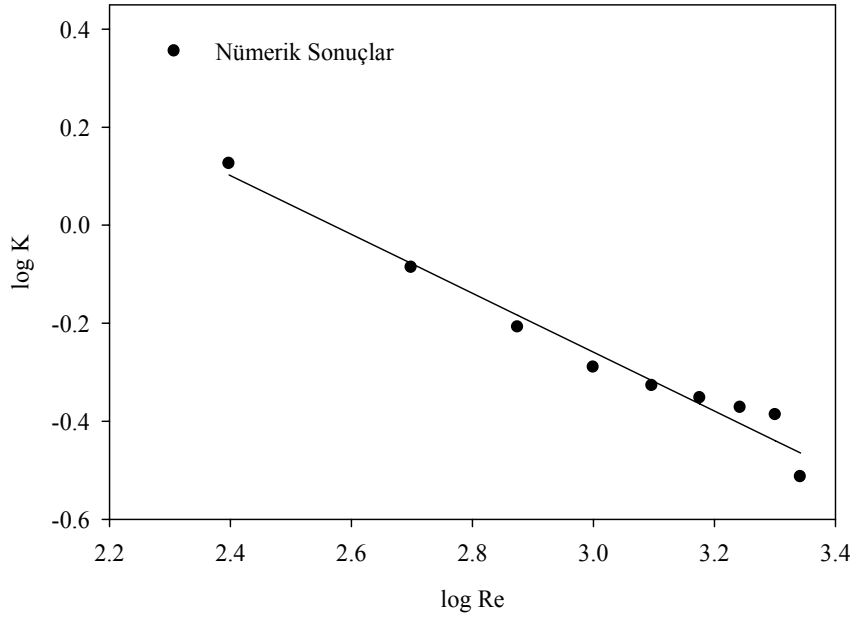
Ortalama sürtünme katsayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak aşağıda verilmiştir.

$$f = 5,7969Re^{-0,5512} \quad (5.6)$$

Basınç kayıp katsayısı

Şekil 5.9'da görüleceği üzere Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısı arttıkça basınç kayıp katsayısı azalmıştır.

Kanatçıksız eğrisel kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan basınç kayıp katsayısı (K) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.7'deki gibi bulunmuştur.



Şekil 5.9. Kanatçıksız kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

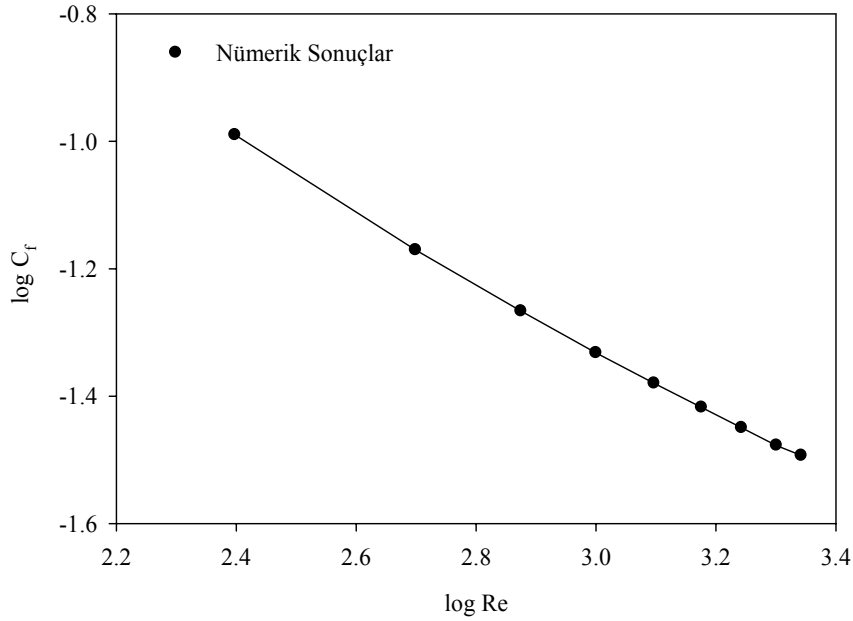
$$K = 34,914Re^{-0,6007} \quad (5.7)$$

Fanning sürtünme faktörü

Şekil 5.10'da ortalama Fanning sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki verilmiştir. Sonuçlar ise Eş. 5.8'deki gibi ifade edilmiştir.

$$\bar{C}_f = 1,8442Re^{-0,5296} \quad (5.8)$$

Kanatçıksız kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama Fanning sürtünme katsayısı ($\bar{C}_f$) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.8'de verilmiştir.



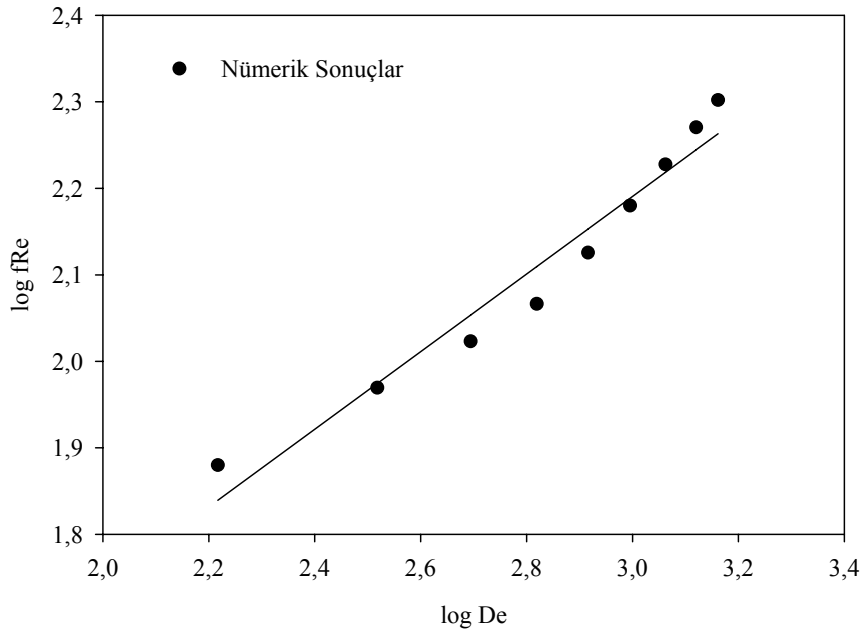
Şekil 5.10. Kanatçıksız kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.10'dan görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça ortalama Fanning sürtünme katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı ve Fanning sürtünme katsayısı arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

Dean sayısı ve fRe ilişkisi

Şekil 5.11'de fRe sayısı ile Dean sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Dean sayısı ile fRe sayısı arasında doğru orantı bulunmaktadır.

Kanatçıksız eğrisel kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan fRe sayısı ile Dean sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.9'da verilmiştir.



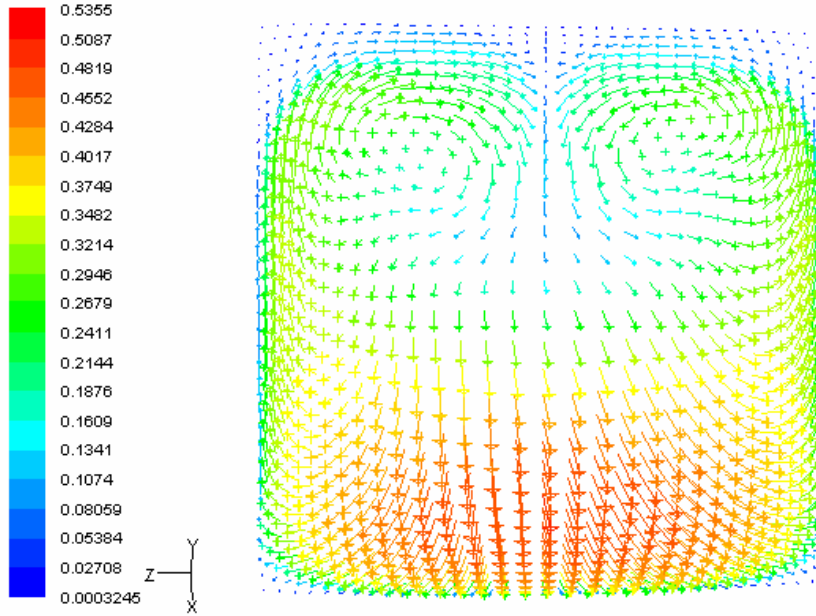
Şekil 5.11. Kanatçıksız kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

$$fRe = 6,9904De^{0,4487} \quad (5.9)$$

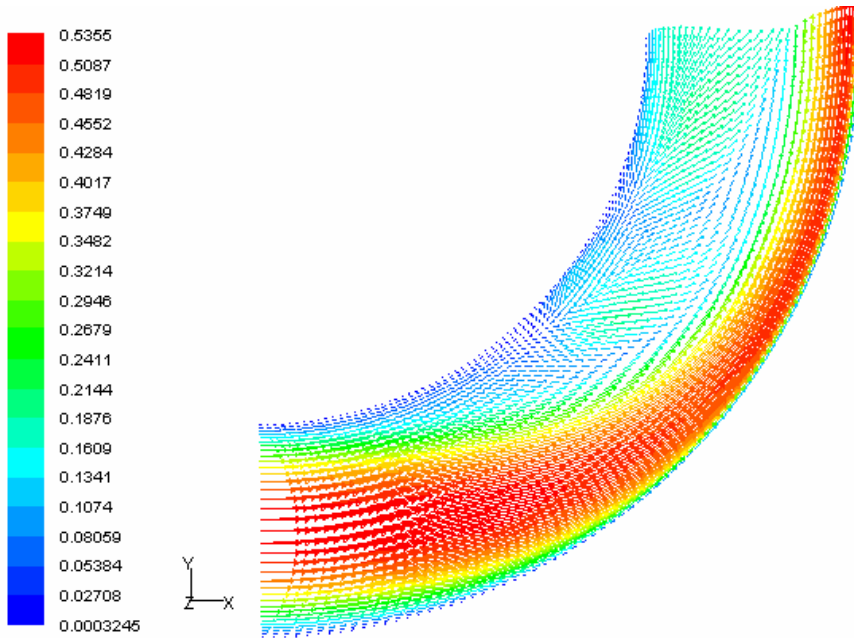
Kanal boyunca hız vektörleri

Kanatçıksız eğrisel kanala tam gelişmiş hız profili ile giren akışkanın Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında kanal boyunca hareketi incelenmiştir. Şekil 5.12’de kanatçıksız kanalda sabit yüzey sıcaklığında eğimli bir kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45⁰’lik kanat kesitinde hız vektörleri verilmiştir. Şekil 5.12’de kanalın eğimli olmasından dolayı ikincil akışların oluştuğu açıkça görülmektedir.

Şekil 5.13’de ise kanatçıksız kanalda sabit yüzey sıcaklığında üç boyutlu ($z = 0$) eğimli bir kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal boyunca hız vektörleri verilmiştir. Kanalın girişinde hız hidrodinamik olarak tam gelişmiş olarak girmektedir.



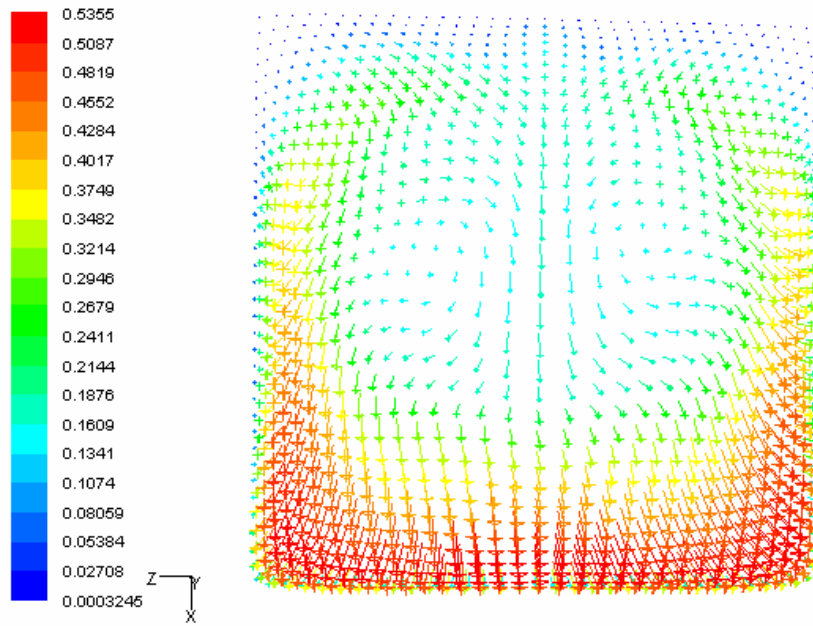
Şekil 5.12. Kanatçıksız kanalda sabit yüzey sıcaklığında eğimli bir kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lık kanat kesitinde hız vektörleri



Şekil 5.13. Kanatçıksız kanalda sabit yüzey sıcaklığında üç boyutlu ($z = 0$) eğimli bir kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal boyunca hız vektörleri

Kanal çıkışında hız vektörleri

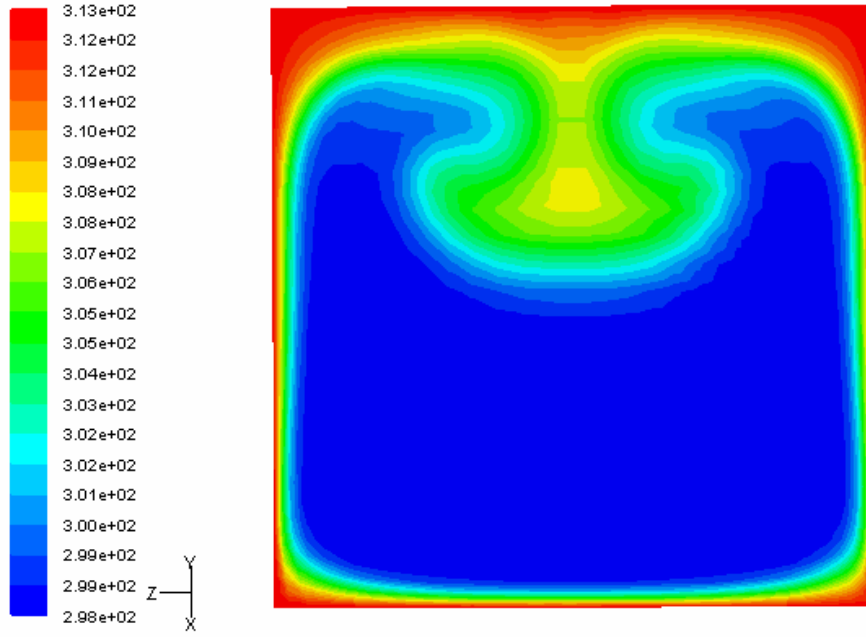
Kanal çıkışından kesit alınarak hız vektörleri Şekil 5.14.'de gösterilmiştir. Şekil 5.14'den görüleceği üzere kanalın 90 derece eğimli olması nedeniyle kanal çıkışında ikincil akışlar oluşmuştur.



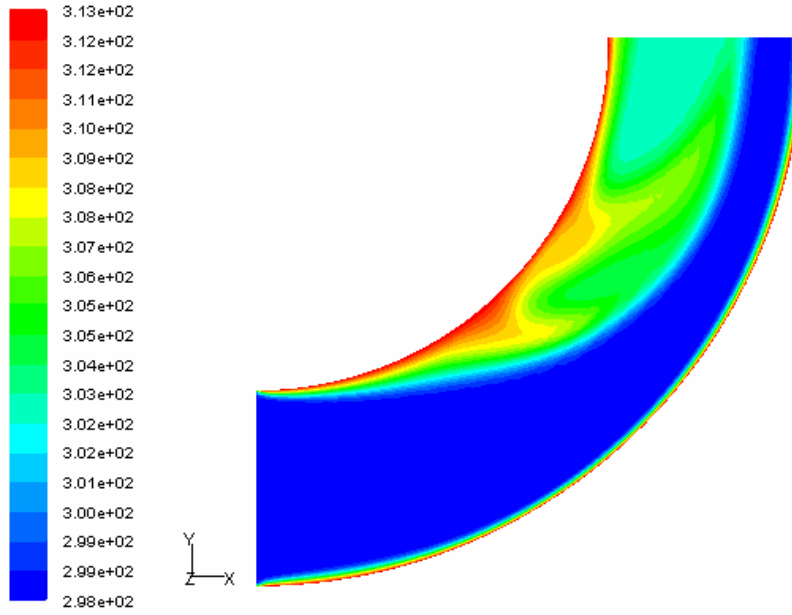
Şekil 5.14. Kanatçıksız kanalda sabit yüzey sıcaklığında, Reynolds sayısı 1750 değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri

Kanal boyunca sıcaklık dağılımı

Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında, kanal içindeki akışkanın sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Şekil 5.15'de kanatçıksız kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli kanal içindeki laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lik kanat kesitinde sıcaklık değişimi verilmiştir. Şekil 5.16'da ise kanatçıksız kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı verilmiştir. Akış hızı arttıkça, ısıl sınır tabaka kalınlığı azalmaktadır.



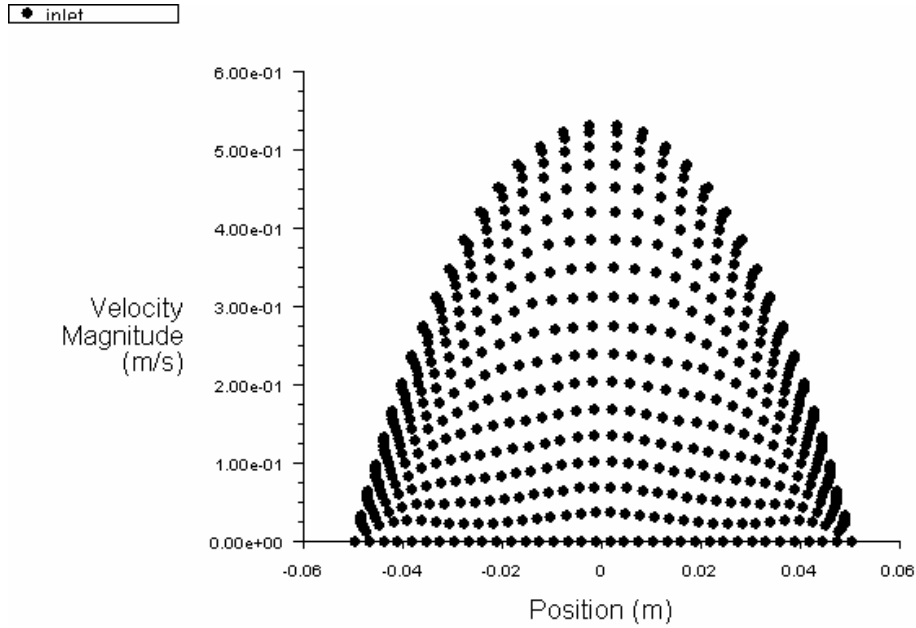
Şekil 5.15. Kanatçiksız kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli kanal içindeki laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45° 'lik kanat kesitinde sıcaklık değişimi



Şekil 5.16. Kanatçiksız kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı

Kanal girişi hız profili

Kanatçiksız eğimli kanala hız tam gelişmiş olarak girmektedir. Şekil 5.17’de Reynolds sayısı 1750 için hidrodinamik olarak tam gelişmiş giriş hız profili görülmektedir. Bilindiği üzere Reynolds sayısı arttıkça hız artmaktadır.

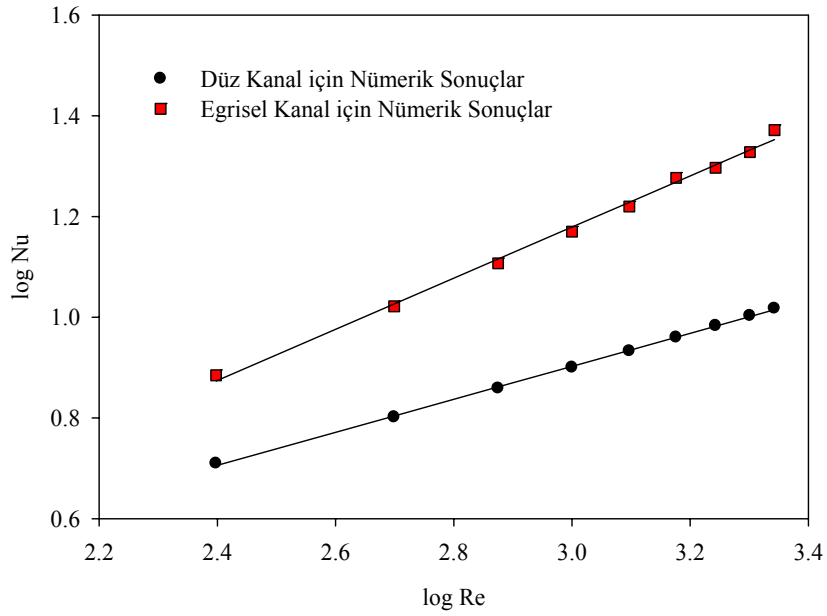


Şekil 5.17. Kanatçiksız, sabit levha yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı

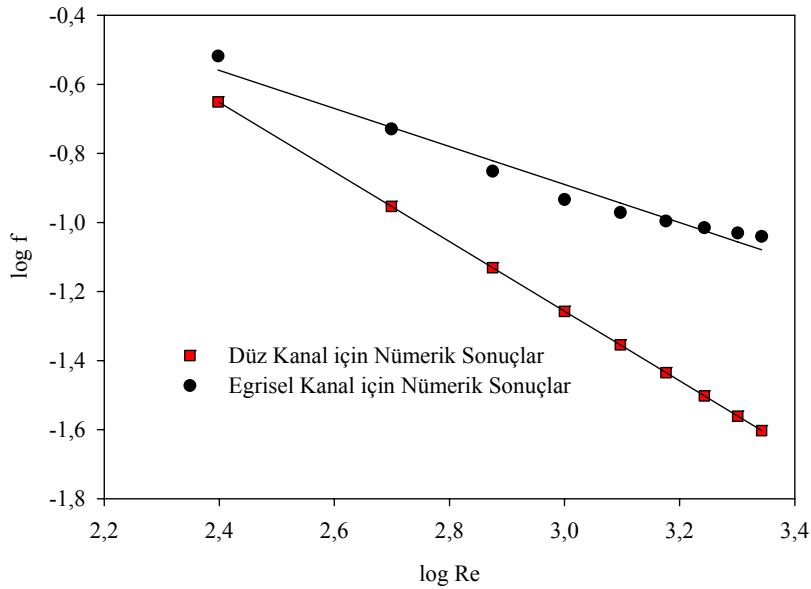
5.3. Kare Kesitli Düz Kanal İle Kanatçiksız Eğimli Kanalın Karşılaştırılması

Kare kesitli düz kanal ile kanatçiksız eğimli kanal Reynolds sayısı 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000 ve 2200 için Nusselt sayısı, Darcy sürtünme faktörü, Fanning sürtünme faktörü açısından karşılaştırılmıştır.

Şekil 5.18’de kare kesitli düz kanal ile kanatçiksız eğimli kanal arasında Nusselt sayısı bakımından karşılaştırma yapılmıştır. Şekilden de görüldüğü üzere kanatçiksız eğimli kanalda Nusselt sayısı kare kesitli düz kanaldakine göre daha fazladır. Kanatçiksız eğimli kanalda ısı transferi daha fazladır.

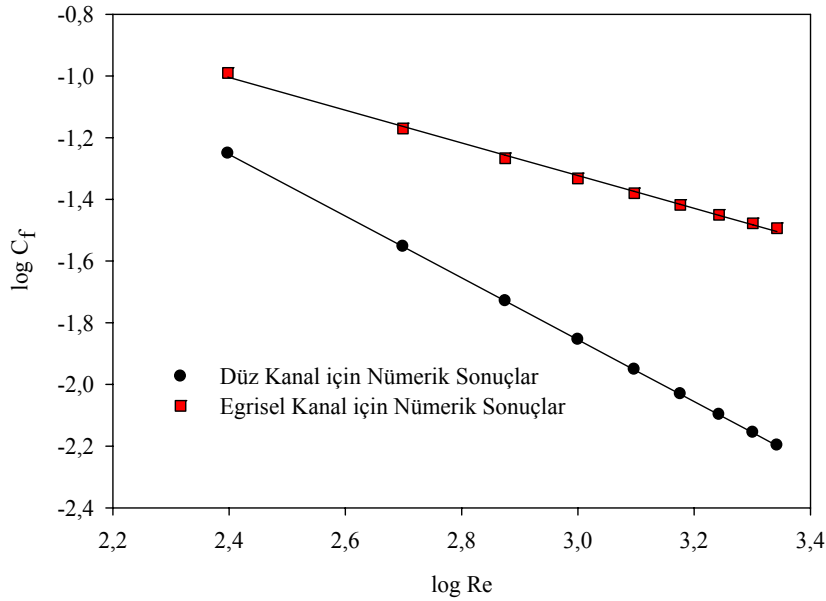


Şekil 5.18. Kanatçiksız eğimli kanal ile kare kesitli düz kanal için Nusselt değerleri



Şekil 5.19. Kanatçiksız eğimli kanal ile kare kesitli düz kanal için Darcy sürtünme faktörü

Şekil 5.19.'da kanatçıksız eğimli kanal ile kare kesitli düz kanal Darcy sürtünme faktörü açısından karşılaştırılmıştır. Şekilden de görüldüğü üzere kanatçıksız eğrisel kanalda Darcy sürtünme faktörü kare kesitli düz kanala göre daha fazladır.



Şekil 5.20. Kanatçıksız eğimli kanal ile kare kesitli düz kanal için Fanning sürtünme faktörü

Şekil 5.20'de kanatçıksız eğimli kanal ile kare kesitli düz kanal Fanning sürtünme faktörü için karşılaştırılmıştır. Şekilden de görüldüğü üzere kanatçıksız eğrisel kanalda Fanning sürtünme faktörü kare kesitli düz kanala göre daha fazladır.

Kanatçıksız eğimli kanalda ısı transferinin, Fanning sürtünme katsayısının, Darcy sürtünme katsayısının daha fazla olmasının nedeni; eğim nedeni ile santrifüj kuvvetlerin ortaya çıkması ve bu santrifüj kuvvetlerin ikincil akışı doğurmasıdır. Ortaya çıkan bu ikincil akışlar eğimli kanalda ortalama ısı taşınım katsayısının dolayısıyla ısı transferinin, Fanning sürtünme katsayısının, Darcy sürtünme katsayısının kanatçıksız eğimli kanala göre daha yüksek olmasına neden olmuştur.

5.4. Kanal Girişinde Parabolik Hız Profiline Sahip Bir Kanatçıklı Eğimli kanal İçindeki Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

5.4.1. 6.25 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Tek Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde tek kanatçık bulunan eğimli kare kesitli kanal içerisindeki akış ve ısı transferinin sayısal çözümü Reynolds sayısının değişik değerleri için yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü (f) hesaplanmıştır.

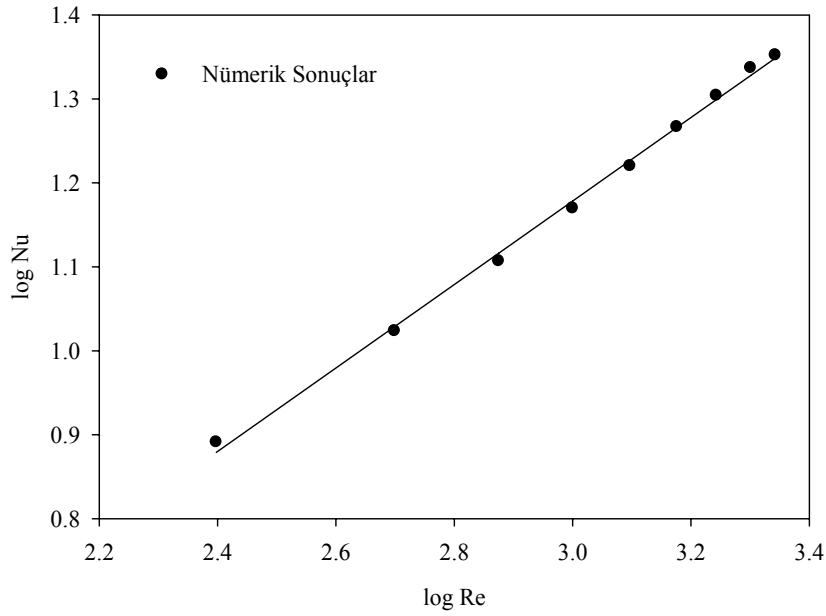
Çizelge 5.7 İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar

Reynolds	Nusselt (Eşitlik 4.68)	Nusselt (Eşitlik 4.69)	f
250	7,782	7,355	0,305897
500	10,56	10,314	0,190144
750	12,792	12,690	0,144502
1000	14,787	14,785	0,119266
1250	16,608	16,697	0,108717
1500	18,479	18,285	0,102283
1750	20,145	19,858	0,097466
2000	21,731	21,355	0,093724
2200	22,507	22,959	0,091339

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal içinde yapılan sayısal hesap sonuçları Çizelge 5.7’de verilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilerek Eş. 5.10’da verilmiştir.

Ortalama Nusselt sayısı

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda, farklı Reynolds sayılarında hesaplanan Nusselt sayıları Çizelge 5.7’de verilmiştir.



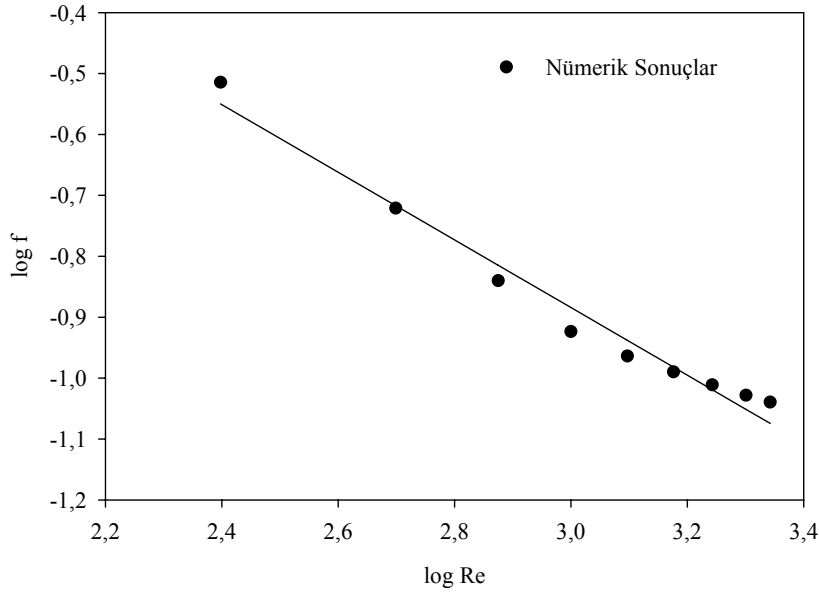
Şekil 5.21. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.21’de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile Nusselt sayıları arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile artmaktadır. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi ile bulunmuş ve Eş. 5.10’da verilmiştir.

$$\overline{Nu} = 0,4859 Re^{0,4973} \quad (5.10)$$

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal için farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Şekil 5.22’de içerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Darcy sürtünme faktörü (f)’nin Reynolds sayısı ile değişimi verilmiştir. En küçük kareler yöntemi kullanılarak ortalama Darcy sürtünme faktörü ile Reynolds sayısı arasında bir bağıntı bulunmuştur. Bulunan bu bağıntı Eş. 5.11’ verilmiştir.



Şekil 5.22. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.22'de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile ortalama sürtünme katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır.

$$f = 6,0464Re^{-0,5552} \quad (5.11)$$

Ortalama sürtünme katsayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.11'de verilmiştir.

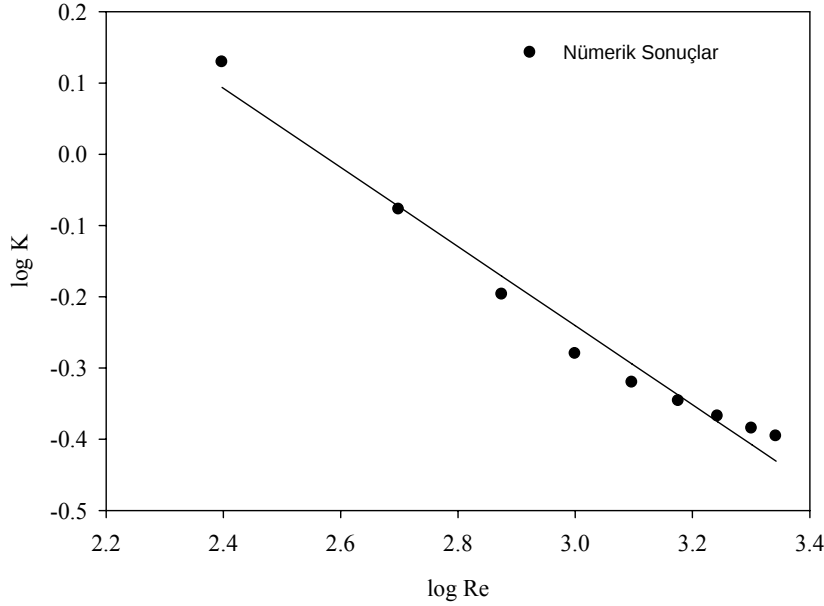
Basınç kayıp katsayısı

Şekil 5.23'de görüleceği üzere Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısı arttıkça basınç kayıp katsayısı azalmıştır.

$$K = 26,607 Re^{-0,5552} \quad (5.12)$$

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan basınç kayıp katsayısı (K) ile Reynolds sayısı arasındaki

fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.12'deki şekliyle bulunmuştur.



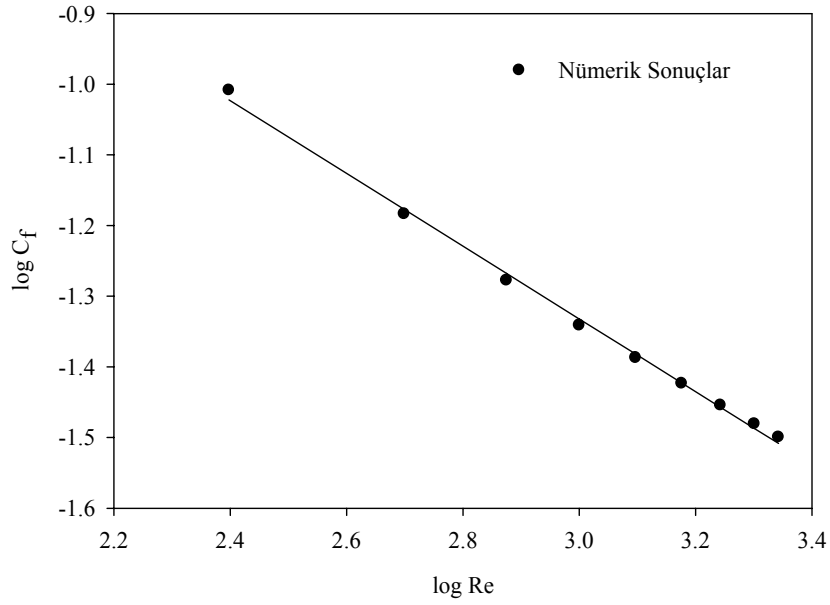
Şekil 5.23. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Fanning sürtünme faktörü

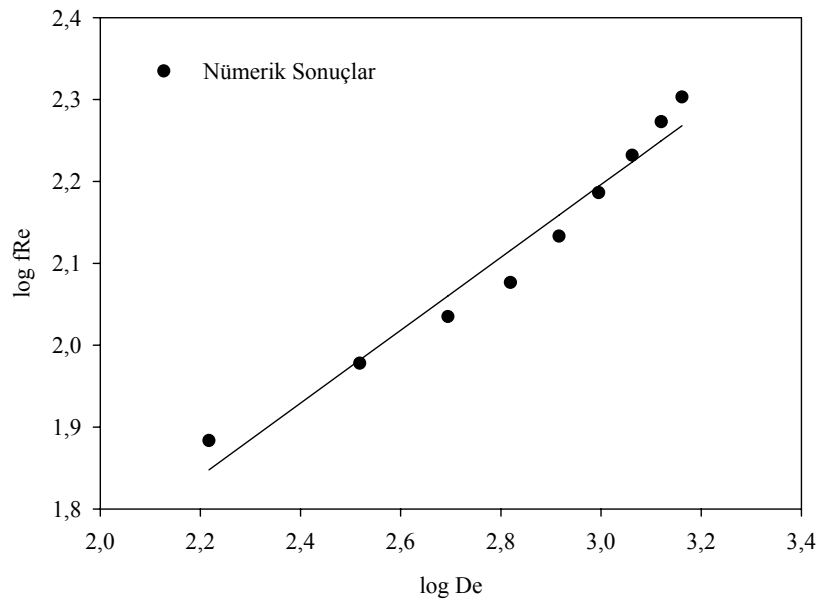
Şekil 5.24'de ortalama Fanning sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki verilmiştir. Sonuçlar ise Eş. 5.13'de ifade edilmiştir.

$$\bar{C}_f = 1,6304 \text{Re}^{-0,5148} \quad (5.13)$$

Şekil 5.24'den görüldüğü üzere Reynolds sayısı arttıkça ortalama Fanning sürtünme katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı ve Fanning sürtünme katsayısı arasında ters orantı olduğu görülmektedir. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama Fanning sürtünme katsayısı ($\bar{C}_f$) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.13'de verilmiştir.



Şekil 5.24. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi



Şekil 5.25. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

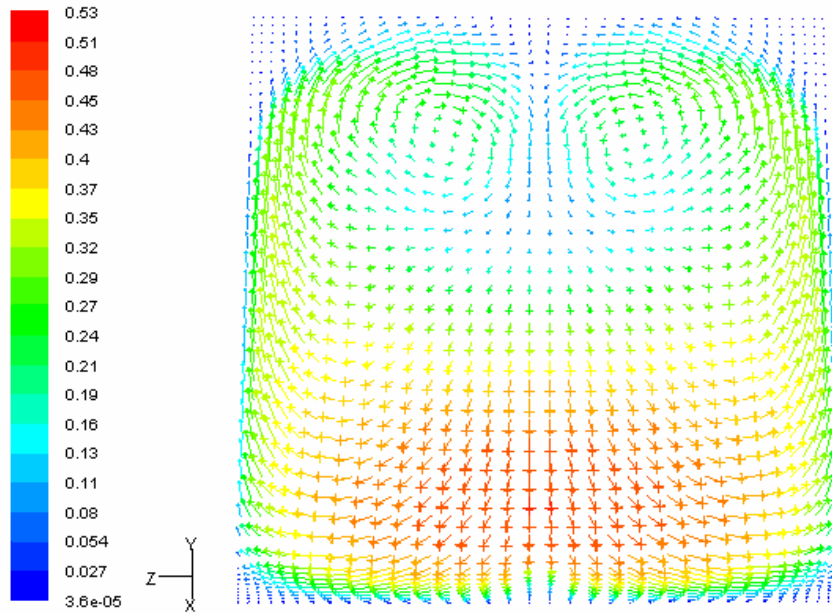
Şekil 5.25'de fRe sayısı ile Dean sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Dean sayısı ile fRe sayısı arasında doğru orantı bulunduğu anlaşılmıştır.

$$fRe = 7,2778De^{0,4447} \quad (5.14)$$

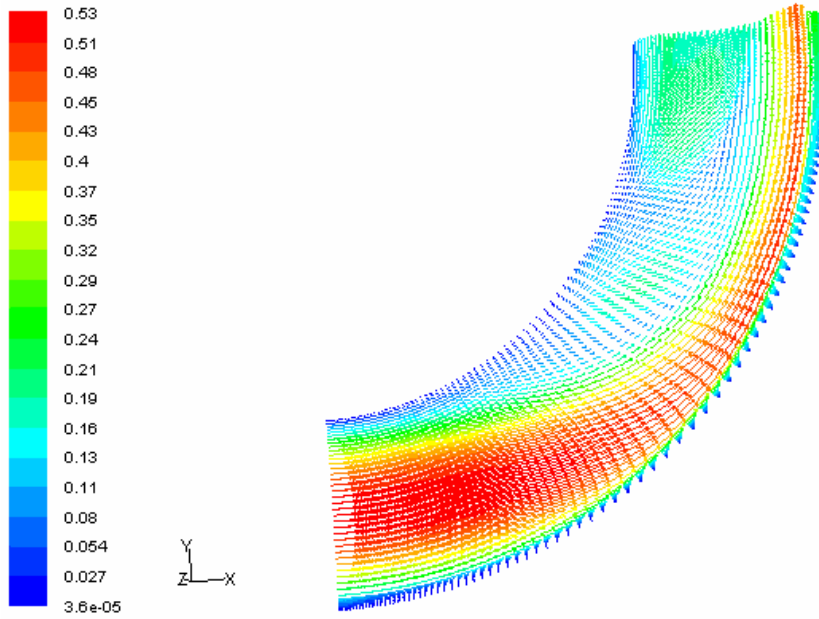
İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan fRe sayısı ile Dean sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.14’de verilmiştir.

Kanal boyunca hız vektörleri

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanala tam gelişmiş hız profili ile giren akışkanın Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında kanal boyunca hareketi incelenmiştir. Şekil 5.26’da ise içerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45° ’lik kanal kesitinde hız vektörleri verilmiştir.

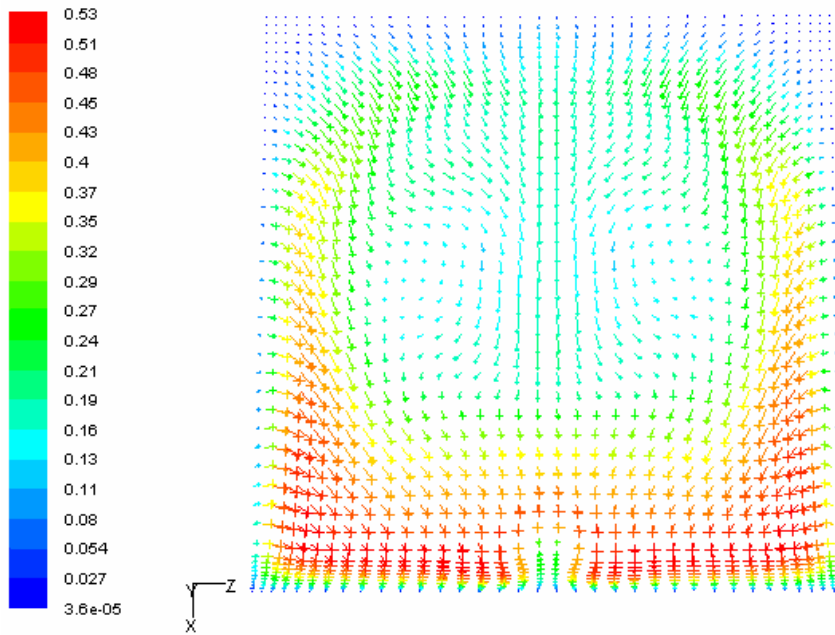


Şekil 5.26. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45° ’lik kanal kesitinde hız vektörleri



Şekil 5.27. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri

Kanal çıkışında hız vektörleri

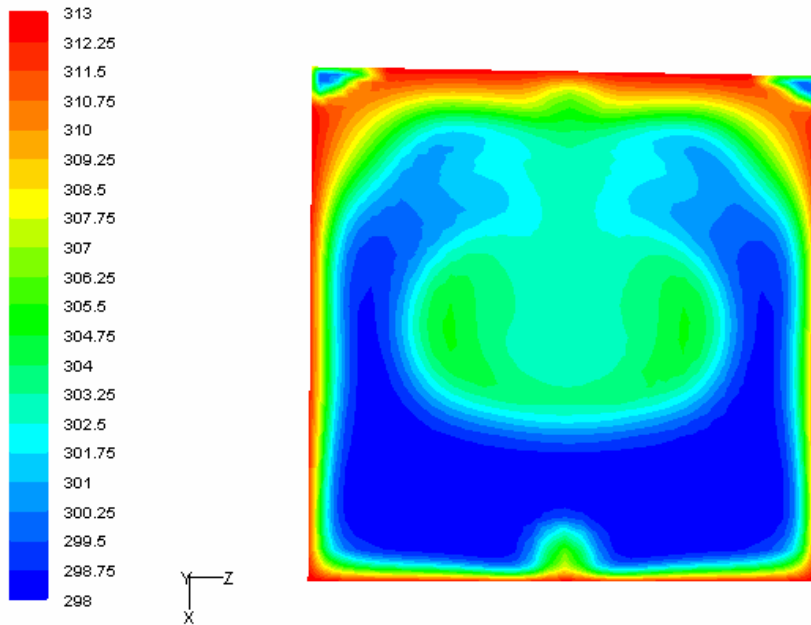


Şekil 5.28. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re=1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri

Şekil 5.28’de kanal çıkışındaki hız vektörleri gösterilmiştir. Kanatçığın etkisiyle kanalın içinde sağ ve sol tarafta vortexlerin oluştuğu görülmüştür.

Kanal çıkışında sıcaklık dağılımı

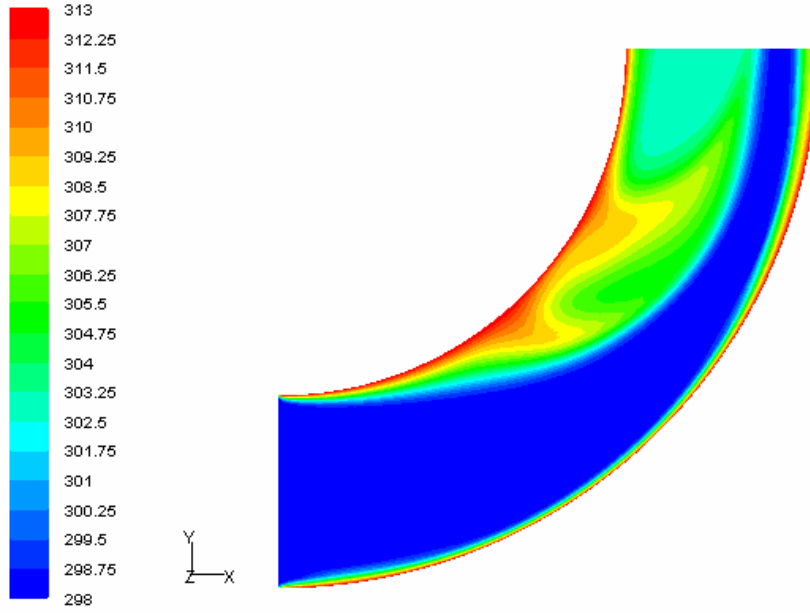
Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında, kanal içindeki akışkan sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için eğimli kanaldaki sıcaklık dağılımı verilmiştir. Şekil 5.29’dan da görüleceğe üzere kanal çıkışındaki yüzeyde kanatçığa çarpan akışın kanatçık etrafında sıcaklığının yükseldiği göz ile açıkça görülmektedir.



Şekil 5.29. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı

Kanal boyunca sıcaklık dağılımı

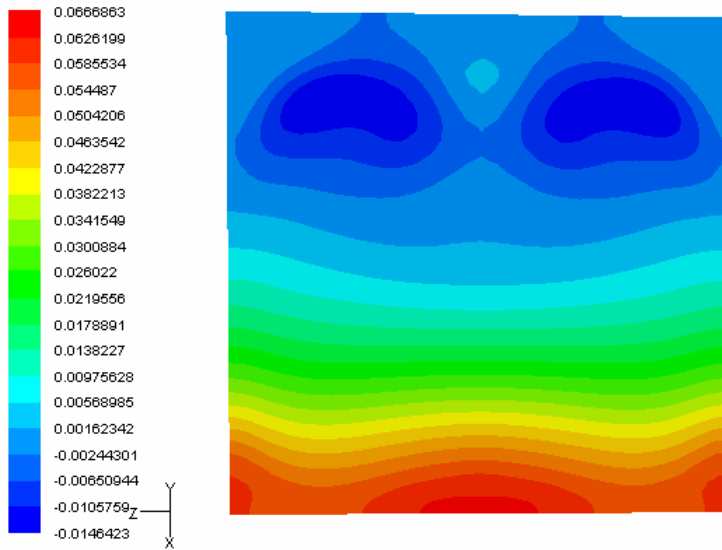
Şekil 5.30’da kanal boyunca sıcaklık dağılımı gösterilmiştir. Şekil eğimli kanalın y eksenine göre tam ortadan simetri alınmasıyla oluşturulmuştur. Şekilden kanatçığın olduğu bölgede ısı sınır tabakanın geliştiği görülmektedir.



Şekil 5.30. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı

Kanaldaki basınç dağılımı

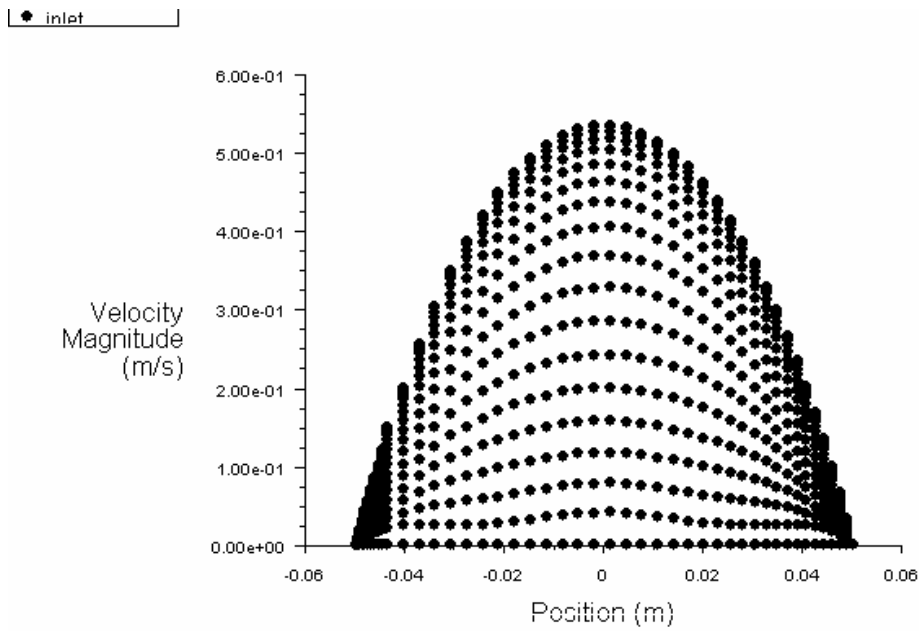
Şekil 5.31’de kanatçığın çevresinde basıncın arttığı, alt çeperde basıncın en yüksek değerine ulaştığı, üst çeperde ise basıncın en az değerde olduğu görülmüştür.



Şekil 5.31. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45° ’lik kanal kesitinde basınç dağılımı

Kanal girişi hız profili

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan kanala Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri için hız profili hidrodinamik olarak tam gelişmiş olarak girmektedir. Şekil 5.32’de Reynolds sayısı 1750 için hidrodinamik olarak tam gelişmiş giriş hız profili görülmektedir.



Şekil 5.32. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminer akışta $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı

5.4.2. 12.5 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Tek Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde tek kanatçık bulunan eğimli kare kesitli kanal içerisindeki akış ve ısı transferinin sayısal çözümü Reynolds sayısının değişik değerleri için yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü (f) hesaplanmıştır.

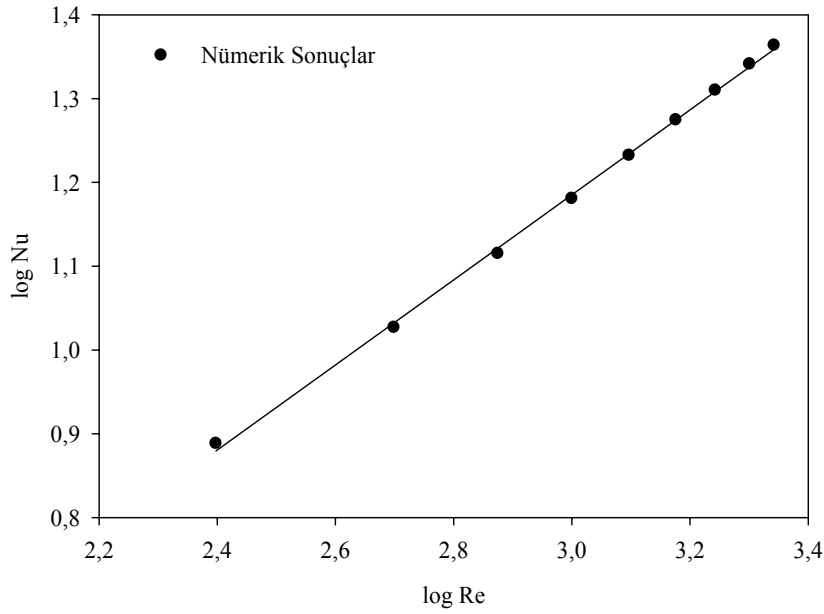
Çizelge 5.8. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar

Reynolds	Nusselt (Eşitlik 4.68)	Nusselt (Eşitlik 4.69)	f
250	7,732	7,289	0,318087
500	10,64	10,364	0,197761
750	13,039	12,892	0,150404
1000	15,162	15,112	0,124143
1250	17,068	17,103	0,112237
1500	18,817	18,950	0,105242
1750	20,418	20,645	0,099796
2000	21,94	22,256	0,095518
2200	23,105	23,496	0,092737

Ortalama Nusselt sayısı

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal içinde yapılan sayısal hesap sonuçları Çizelge 5.8’de verilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilerek Şekil 5.33.’de verilmiştir.

Şekil 5.33’de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile Nusselt sayıları arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile artmaktadır. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi ile Eş. 5.15’de verildiği şekliyle bulunmuştur.



Şekil 5.33. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

$$\bar{Nu} = 0,4598 Re^{0,5075} \quad (5.15)$$

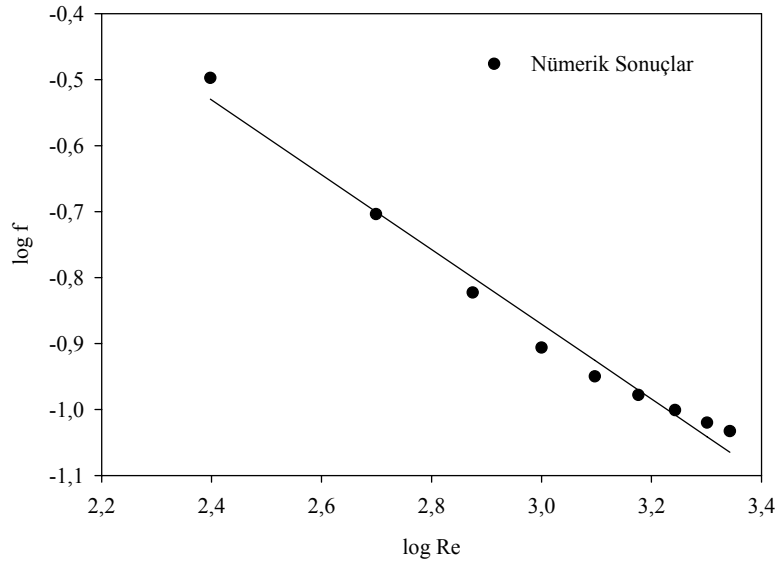
Ortalama Darcy sürtünme faktörü

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal için farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 5.8.'de verilmiştir.

Şekil 5.34'de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile ortalama Darcy sürtünme katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır.

$$f = 6,7329 Re^{-0,5663} \quad (5.16)$$

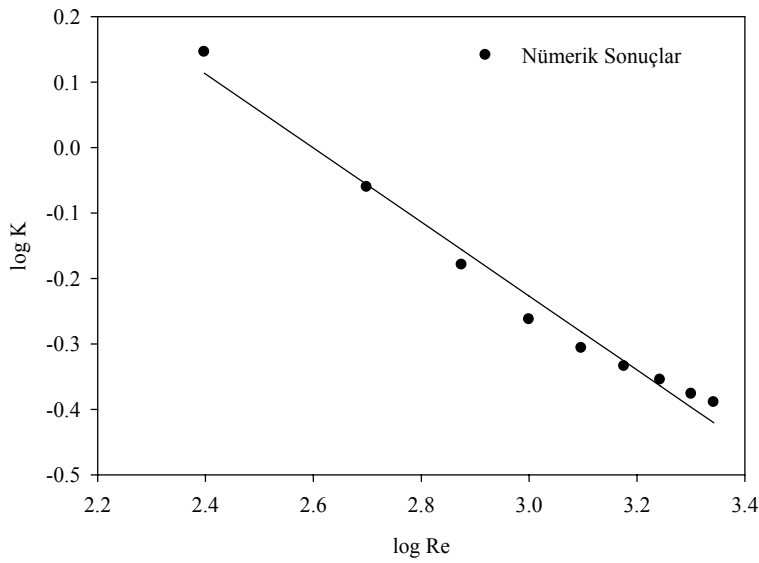
Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi ile Eş. 5.16'da verildiği şekliyle bulunmuştur.



Şekil 5.34. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi

Basınç kayıp katsayısı

Şekil 5.35'de görüleceği üzere Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısı arttıkça basınç kayıp katsayısı azalmıştır.



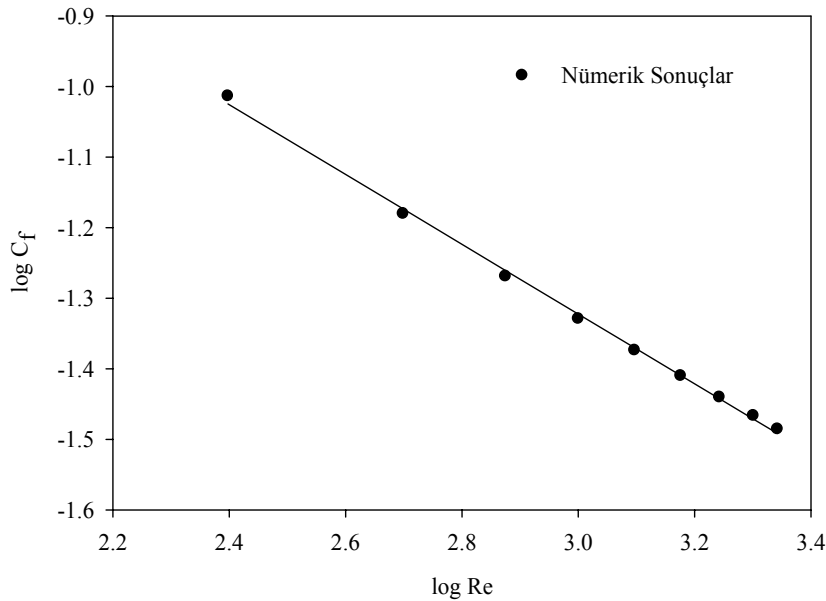
Şekil 5.35. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

İçerisinde 12.5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan basınç kayıp katsayısı (K) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.17'deki şekliyle verilmiştir. Eş. 5.17'deki korelasyon kullanılarak istenilen herhangi bir Reynolds sayısında basınç kayıp katsayısı kolayca bulunmaktadır.

$$K = 29,5121Re^{-0,5656} \quad (5.17)$$

Fanning sürtünme faktörü

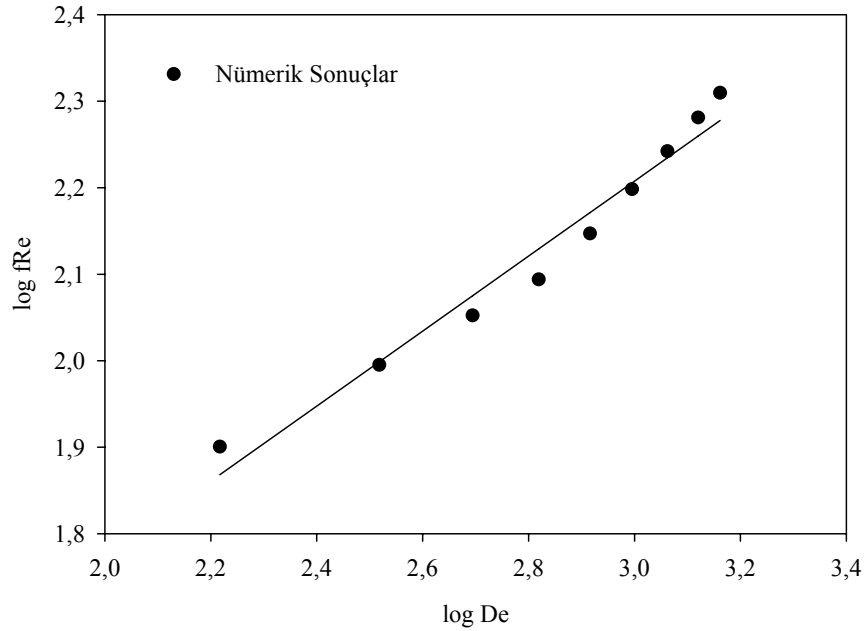
Şekil 5.36'da ortalama Fanning sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 5.36. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.36'dan görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça ortalama Fanning sürtünme katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı ve Fanning sürtünme katsayısı arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

$$\overline{C}_f = 1,4491Re^{-0,4945} \quad (5.18)$$



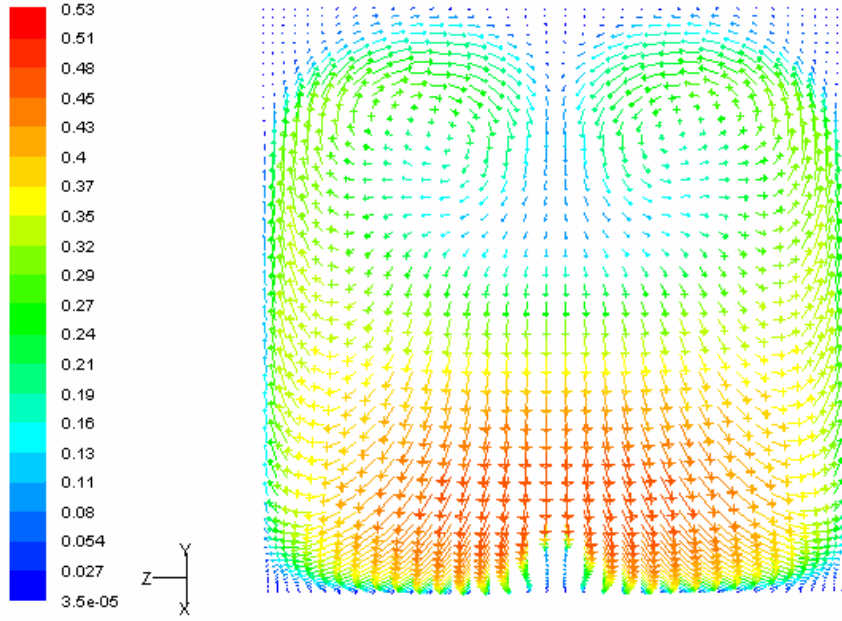
Şekil 5.37. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

Şekil 5.37’de fRe sayısı ile Dean sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Dean sayısı ile fRe sayısı arasında doğru orantı bulunmaktadır.

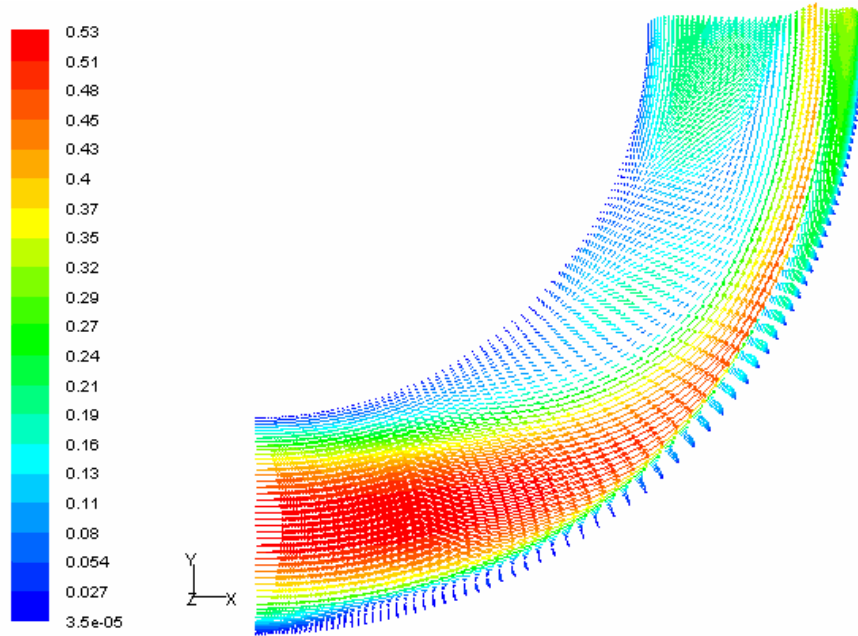
$$fRe = 8,0686De^{0,4336} \quad (5.19)$$

Kanal boyunca hız vektörleri

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanala tam gelişmiş hız profili ile giren akışkanın Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında kanal boyunca hareketi incelenmiştir. Şekil 5.38’de ise içerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45⁰’lik kanal kesiti boyunca hız vektörleri verilmiştir.



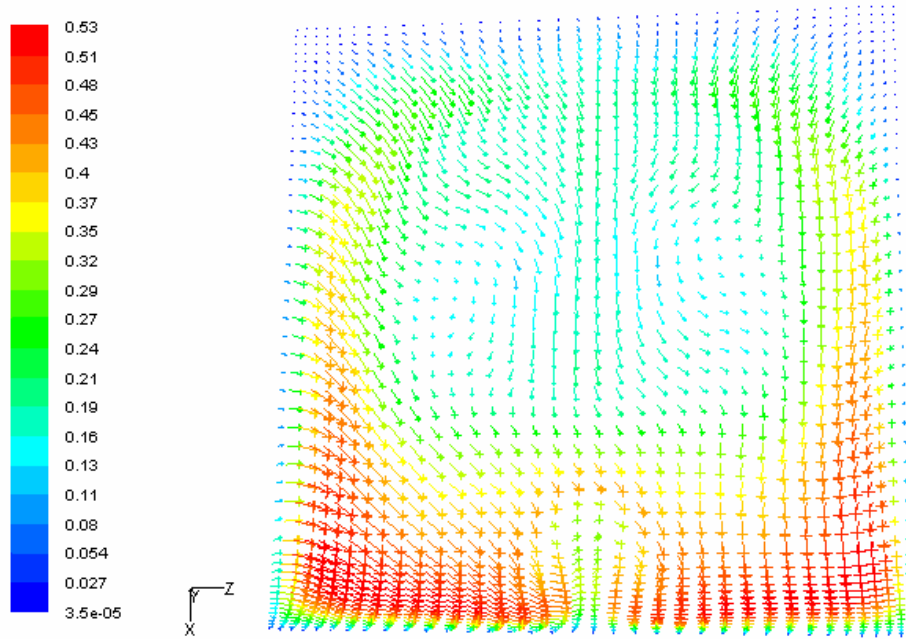
Şekil 5.38. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45° 'lik kanal kesiti boyunca hız vektörleri



Şekil 5.39. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri

Kanal çıkışında hız vektörleri

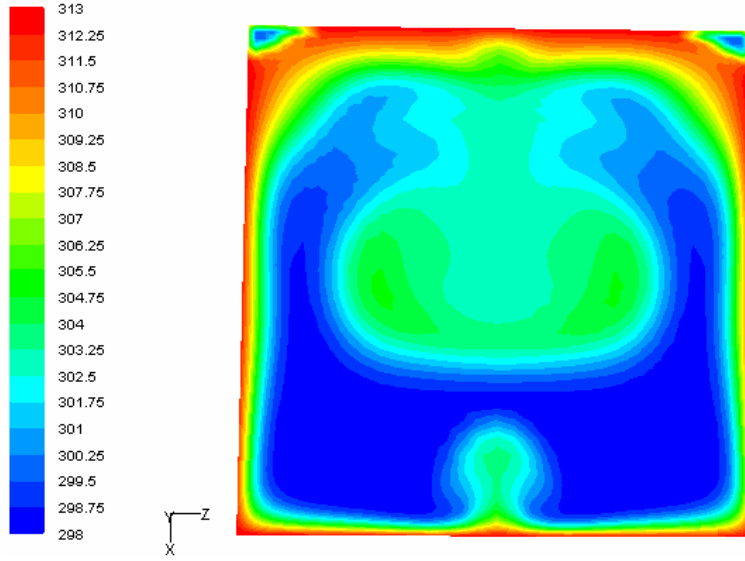
Şekil 5.40'da kanal çıkışındaki hız vektörleri gösterilmiştir. Kanatçığın etkisiyle kanalın içinde sağ ve sol tarafta girdapların oluştuğu görülmüştür.



Şekil 5.40. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re=1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri

Kanal çıkışında sıcaklık dağılımı

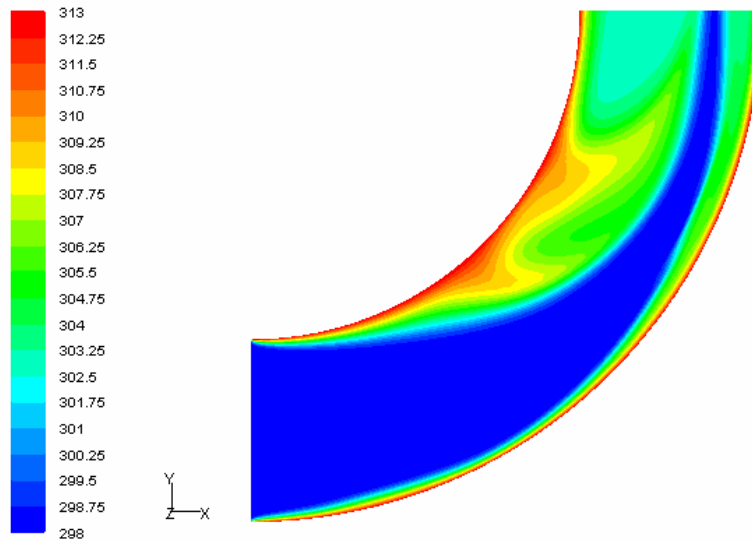
Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında, kanal içindeki akışkan sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Şekil 5.41'de içerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı görülmektedir. Böylece kanatçığın sıcaklık dağılımına olan etkisi gözle görülür olmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere kanatçık etrafında sıcaklık eğrileri oluşmuştur. En sıcak yerlerin kanal cidarları olduğu görülmektedir. Yine kanatçık çevresinde de kanatçık yüksekliğinin yükselmesiyle sıcak olan bölgenin genişlediği görülmüştür.



Şekil 5.41. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı

Kanal boyunca sıcaklık dağılımı

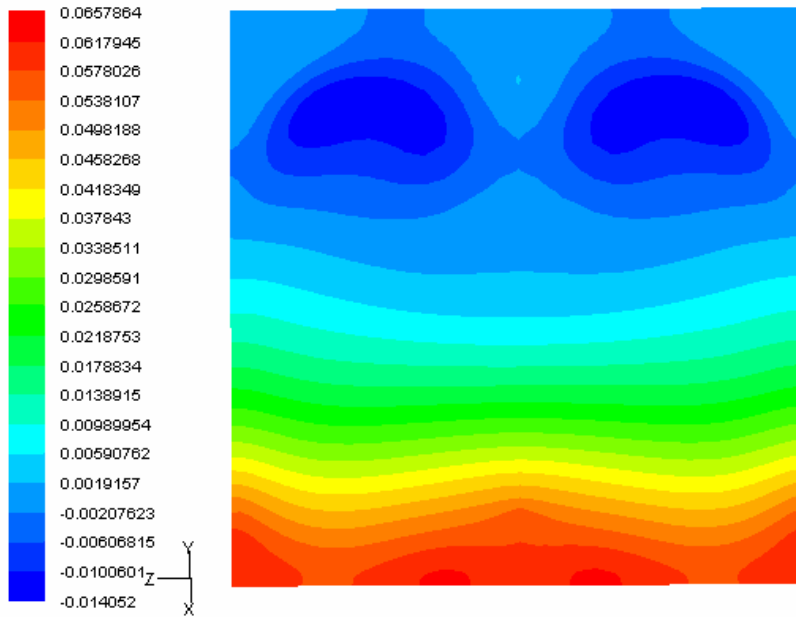
Şekil 5.42’de y eksenine göre simetrik olarak kanal boyunca sıcaklık dağılımı verilmiştir. Kanatçık yüksekliğinin artmasıyla ısıl sınır tabakanın genişlediği görülmüştür.



Şekil 5.42. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı

Kanaldaki basınç dağılımı

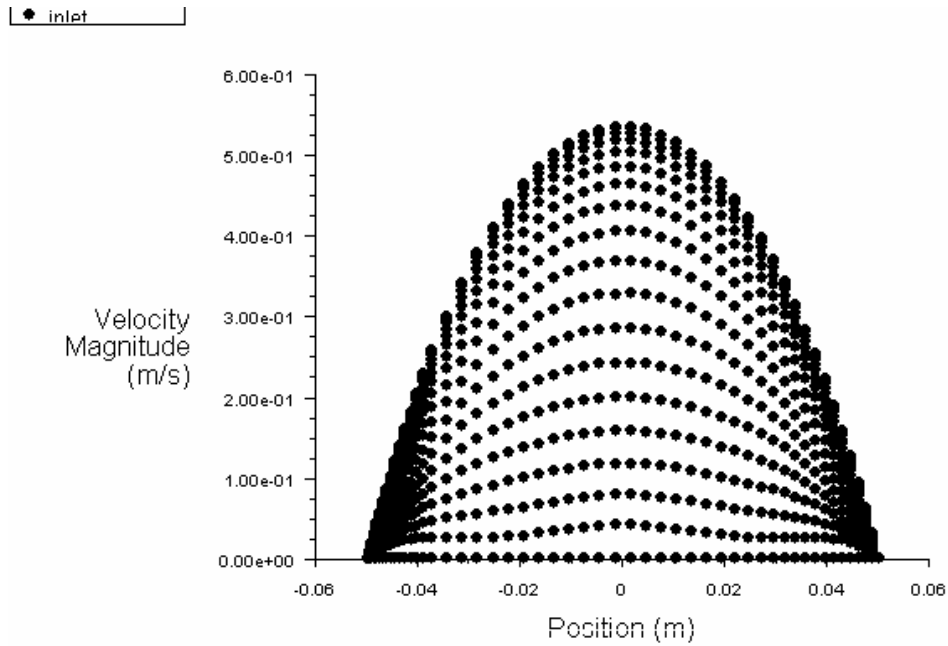
Şekil 5.43’de iki boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45° ’lik kesitli kanal içindeki basınç dağılımı verilmiştir. Kanatçığın bulunduğu bölgede basınç artışı gözle görülür şekilde farkedilmektedir. Kanatçıktan üst ve yan duvarlara doğru basınç dağılımının azaldığı görülmüştür.



Şekil 5.43. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45° ’lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı

Kanal girişi hız profili

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan kanala Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri için hız profili hidrodinamik olarak tam gelişmiş olarak girmektedir. Şekil 5.44’de içerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.44. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı

5.4.3. 18,75 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Tek Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü

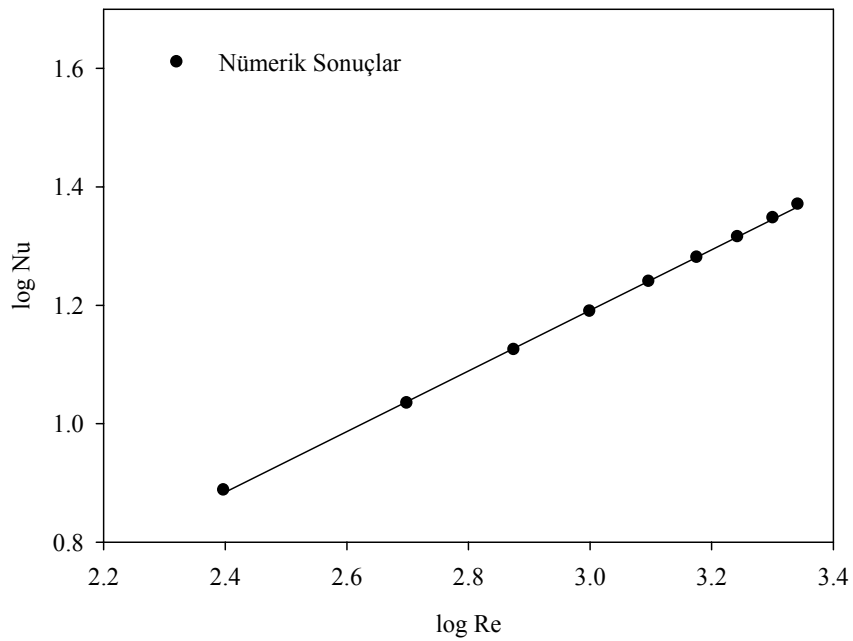
İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde tek kanatçık bulunan eğimli kare kesitli kanal içerisindeki akış ve ısı transferinin sayısal çözümü Reynolds sayısının değişik değerleri için yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü (f) hesaplanmıştır. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde tek kanatçık bulunan eğimli kare kesitli kanalda hesaplanan ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar

Reynolds	Nusselt (Eşitlik 4.68)	Nusselt (Eşitlik 4.69)	f
250	7,720	7,264	0,332628
500	10,832	10,123	0,20673
750	13,329	13,161	0,157377
1000	15,472	15,401	0,130097
1250	17,369	17,380	0,116149
1500	19,081	19,187	0,108228
1750	20,671	20,864	0,10223
2000	22,244	22,521	0,097447
2200	23,445	23,786	0,094344

Ortalama Nusselt sayısı

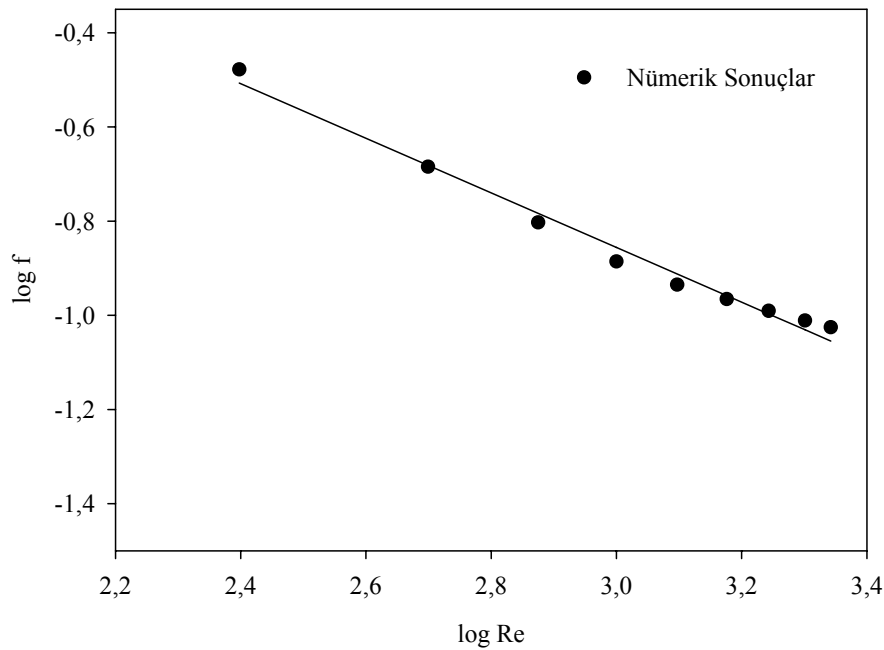
İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal içinde yapılan sayısal hesap sonuçları Çizelge 5.9’da verilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilerek Eş. 5.20’de verilmiştir.



Şekil 5.45. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.45.'de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile Nusselt sayıları arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile artmaktadır. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi ile bulunmuştur.

$$\overline{Nu} = 0,4526Re^{0,5116} \quad (5.20)$$



Şekil 5.46. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi

İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal için farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 5.9.'da verilmiştir. Şekil 5.46'da görüleceği üzere Reynolds sayısı ile ortalama sürtünme katsayısı arasındaki ilişki diğer kanatçık yüksekliklerinde olduğu gibi ters orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır.

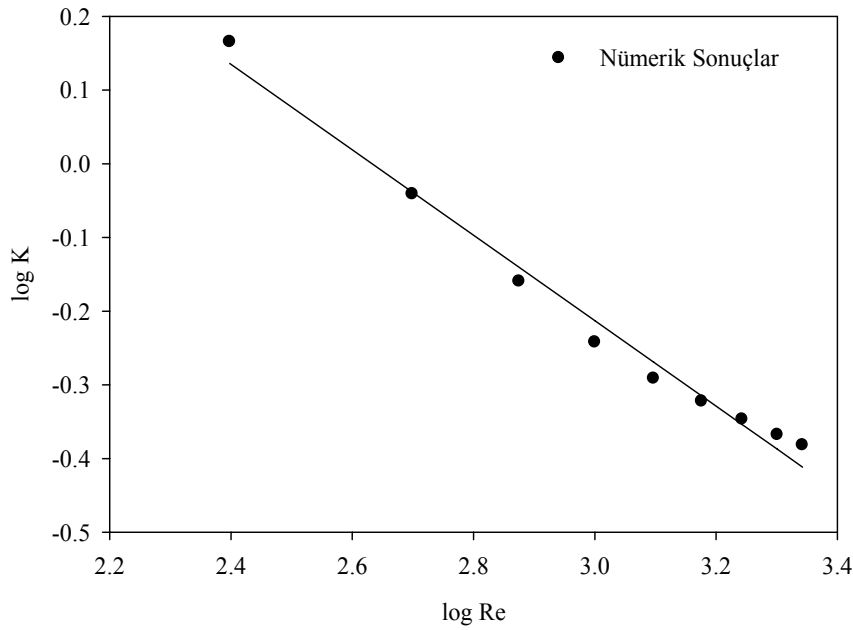
$$f = 7,6559Re^{-0,5800} \quad (5.21)$$

Basınç kayıp katsayısı

Şekil 5.47’de görüleceği üzere Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısı arttıkça basınç kayıp katsayısı azalmıştır.

$$K = 33,6512Re^{-0,58} \quad (5.22)$$

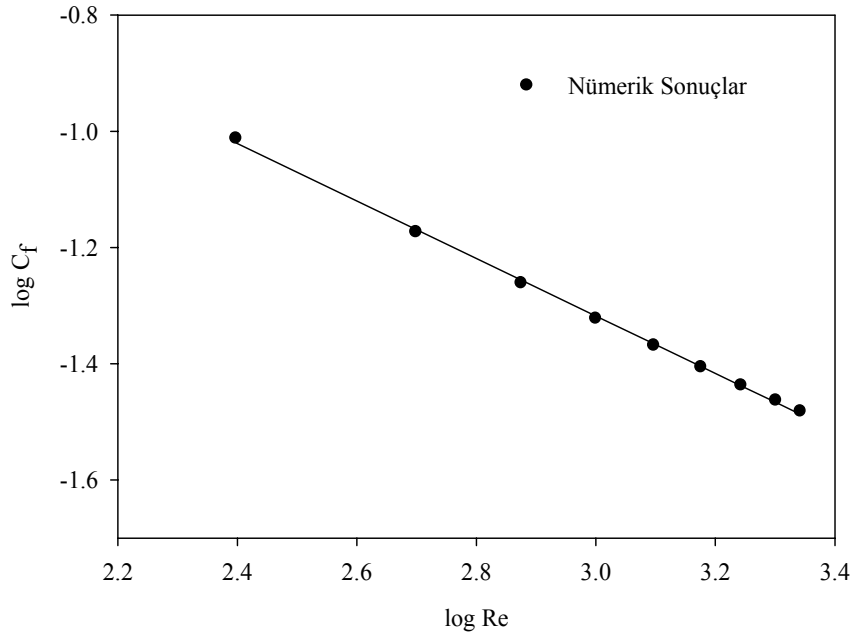
İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan basınç kayıp katsayısı (K) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.22’de verilmiştir.



Şekil 5.47. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Fanning sürtünme faktörü

Şekil 5.48’de ortalama Fanning sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki verilmiştir.



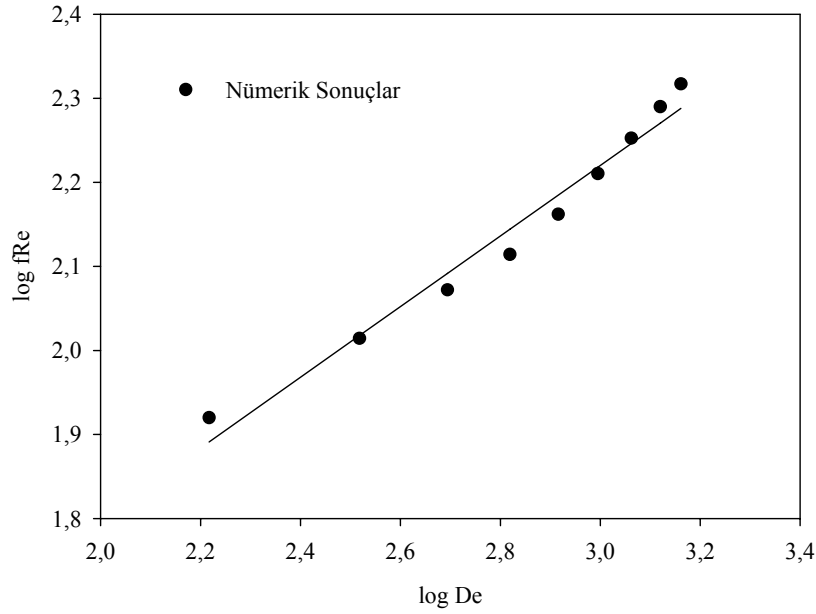
Şekil 5.48. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.48’den görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça ortalama Fanning sürtünme katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı ve Fanning sürtünme katsayısı arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

$$\overline{C}_f = 1,4639 \text{Re}^{-0,4944} \quad (5.23)$$

Şekil 5.49’da $f\text{Re}$ sayısı ile Dean sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Şekil 5.49’dan görüldüğü üzere Dean sayısı sayı arttıkça $f\text{Re}$ sayısı da doğru orantılı olarak artmaktadır.

$$f\text{Re} = 9,1222 \text{De}^{0,42} \quad (5.24)$$

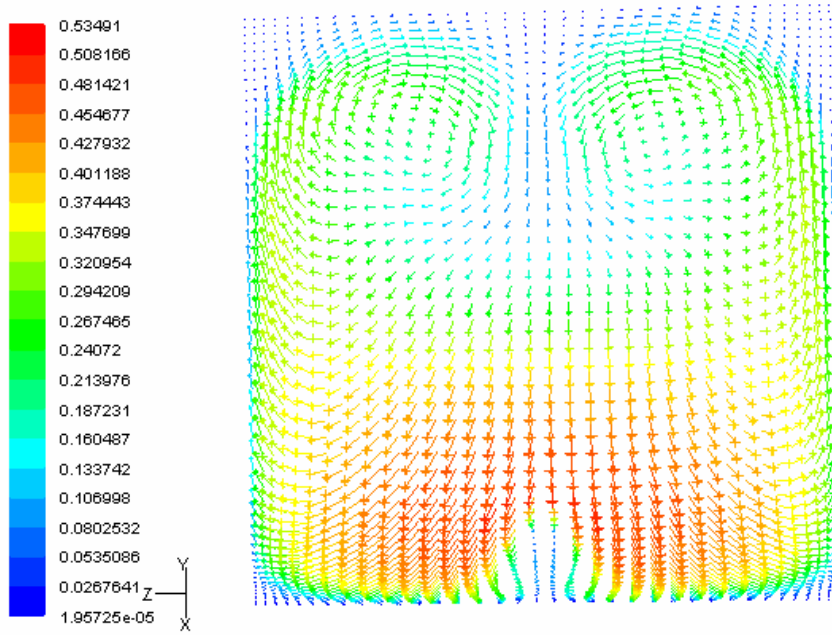


Şekil 5.49. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

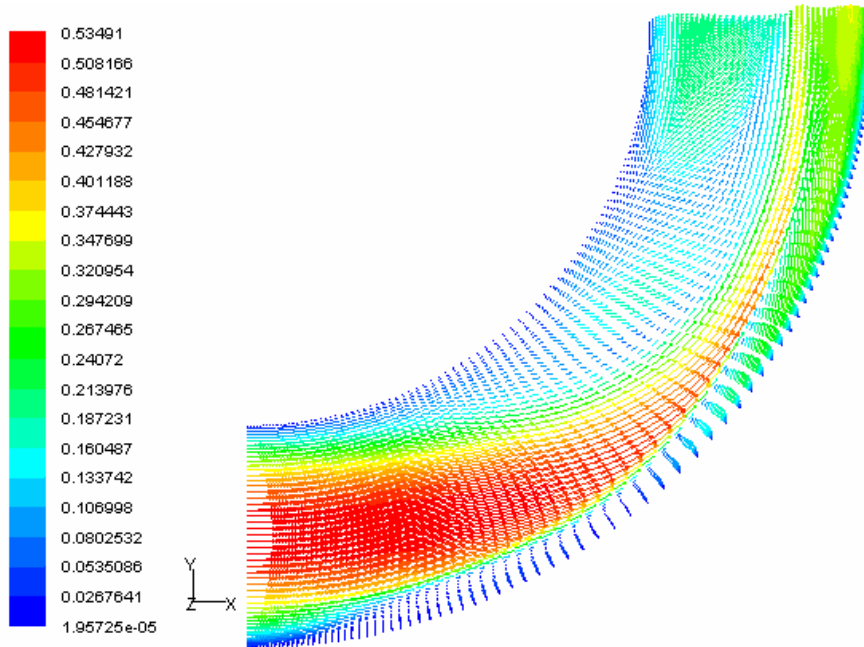
Kanal boyunca hız vektörleri

İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanala tam gelişmiş hız profili ile giren akışkanın Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında kanal boyunca hareketi incelenmiştir. Şekil 5.50’de ise içerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 ’lik kanal kesiti boyunca hız vektörleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere kanalın eğimli olmasından dolayı kanal içerisinde ikincil akışlar oluşmaktadır.

Şekil 5.51’de içerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri verilmiştir. Akışkan kanala hidrodinamik olarak tam gelişmiş olarak girmektedir.

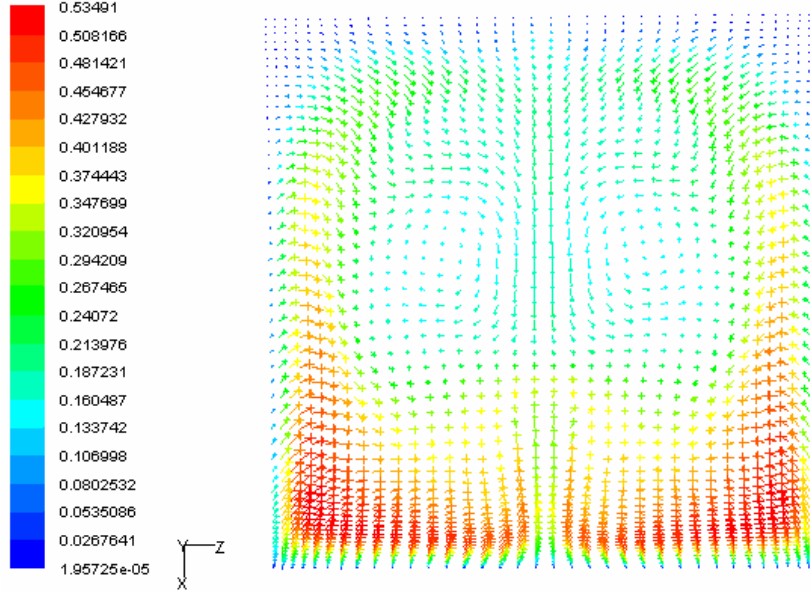


Şekil 5.50. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45° 'lik kanal kesiti boyunca hız vektörleri



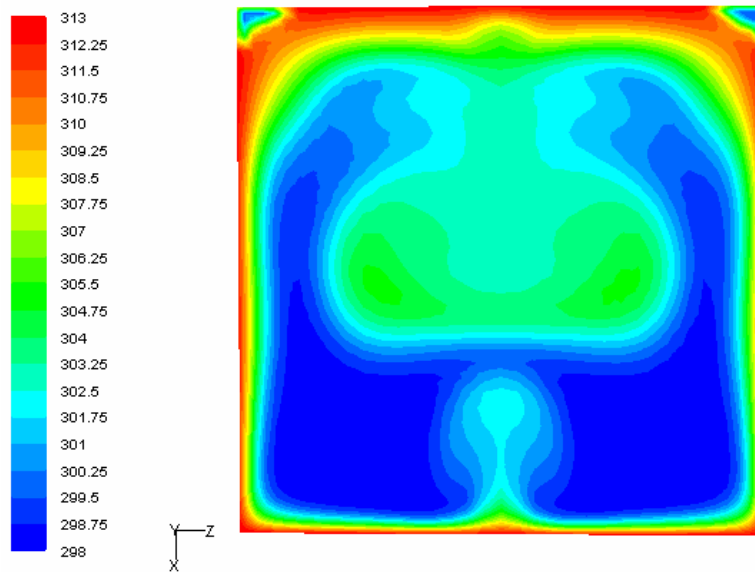
Şekil 5.51. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri

Kanal çıkışında vektör dağılımı



Şekil 5.52. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri

Kanal çıkışında sıcaklık dağılımı

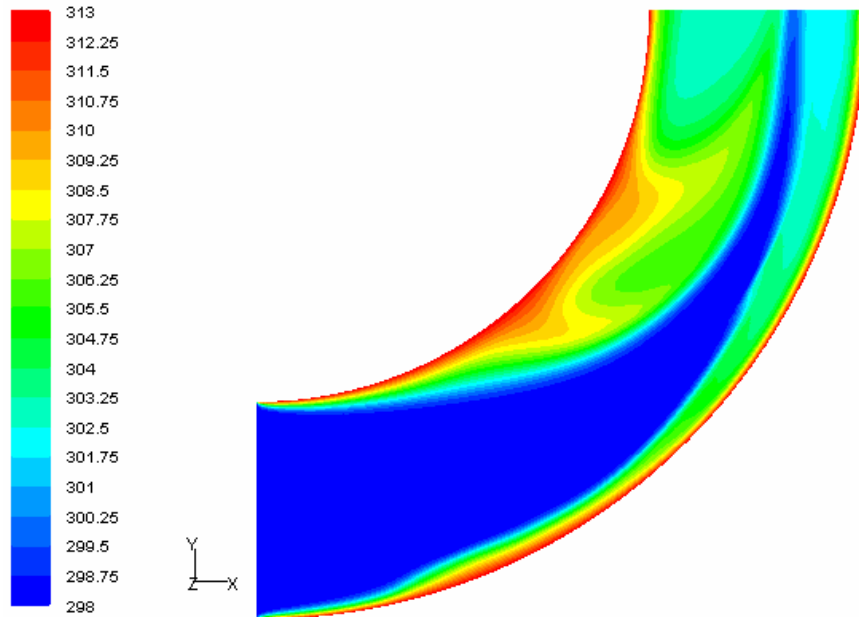


Şekil 5.53. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı

Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında, kanal içindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Şekil 5.53’de akışkanın kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için görülmektedir. Böylece kanatçığın sıcaklık dağılımına olan etkisi gözle görülür olmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere kanatçık etrafında sıcaklık eğrileri oluşmuştur. Kanatçık boyunun büyümesiyle sıcaklık eğrilerinin de kapsadığı alan büyümüştür.

Kanal boyunca sıcaklık dağılımı

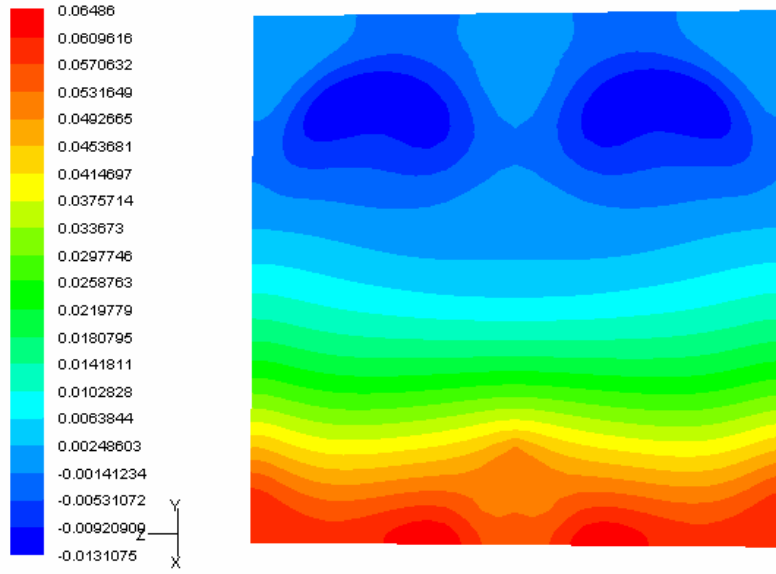
Şekil 5.54’de y eksenine göre simetrik olarak kanal boyunca sıcaklık dağılımı verilmiştir. Kanatçık yüksekliğinin artmasıyla ısıl sınır tabakanın genişlediği görülmüştür. Şekil 5.54’den üst duvarda oluşan sınır tabaka ile alt duvarda oluşan ısıl sınır tabakanın birleşmek üzere olduğu görülmüştür.



Şekil 5.54. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re=1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı

Kanaldaki basınç dağılımı

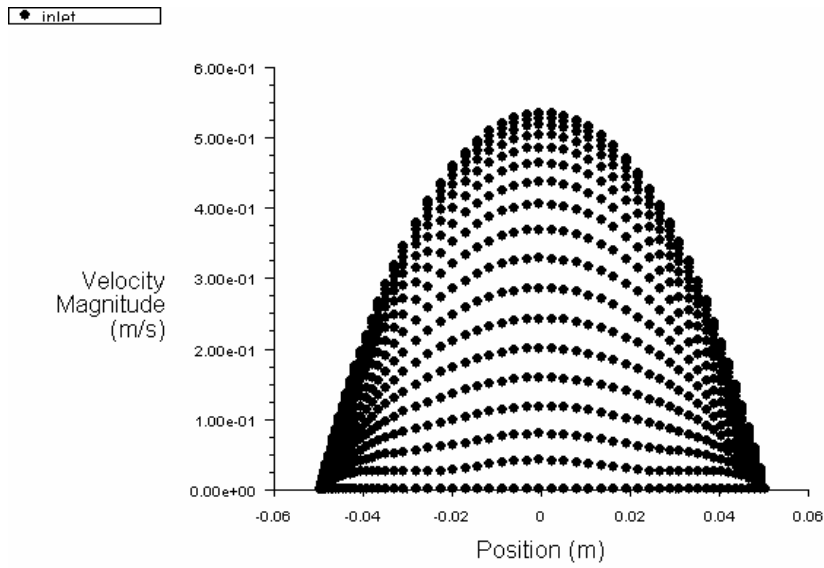
Şekil 5.55’de 45^0 ’lik kesitli kanaldaki basınç dağılımı verilmiştir. Kanatçığın bulunduğu bölgede basınç artışı gözle görülür şekilde farkedilmektedir. Kanatçıktan üst ve yan duvarlara doğru basınç dağılımının azaldığı görülmüştür.



Şekil 5.55. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45^0 ’lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı

Kanal girişi hız profili

İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan kanala Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri için hız profili hidrodinamik olarak tam gelişmiş olarak girmektedir. Şekil 5.56’da içerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için Reynolds sayısı 1750 için hidrodinamik olarak tam gelişmiş hız profili görülmektedir.



Şekil 5.56. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı

5.4.4. 25 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Tek Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde tek kanatçık bulunan eğimli kare kesitli kanal içerisindeki akış ve ısı transferinin sayısal çözümü Reynolds sayısının değişik değerleri için yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü (f) hesaplanmıştır.

Çizelge 5.10. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar

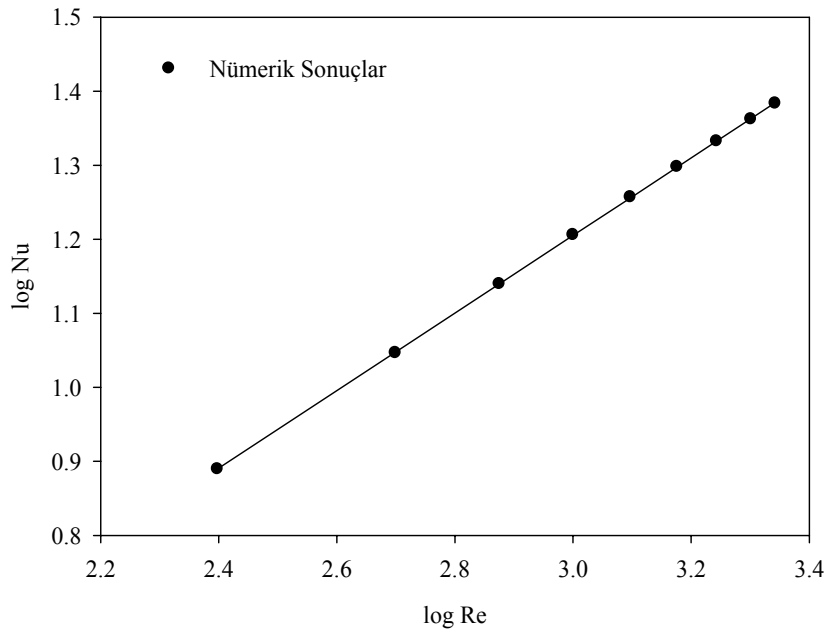
Reynolds	Nusselt (Eşitlik 4.68)	Nusselt (Eşitlik 4.69)	f
250	7,755	7,285	0,349348
500	11,137	10,835	0,218149
750	13,795	13,612	0,1666
1000	16,067	15,979	0,137929
1250	18,073	18,058	0,122151
1500	19,862	19,917	0,113157
1750	21,504	21,657	0,10649
2000	23,031	23,269	0,101185
2200	24,195	24,496	0,097737

Ortalama Nusselt sayısı

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal içinde yapılan sayısal hesap sonuçları Çizelge 5.10’da verilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilerek Eş. 5.25’de verilmiştir.

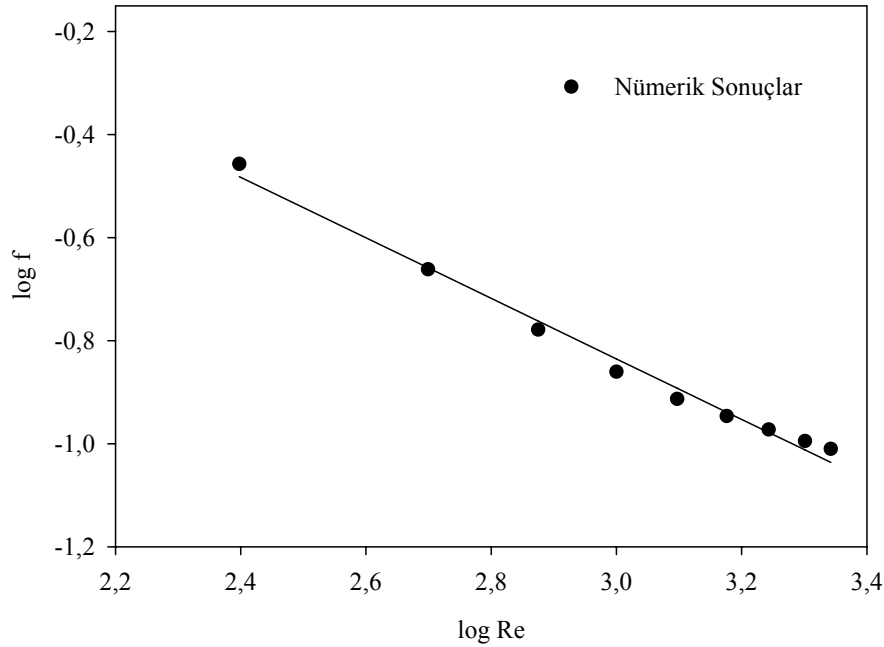
$$\bar{Nu} = 0,4297Re^{0,5240} \quad (5.25)$$

Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi ile bulunmuştur.



Şekil 5.57. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.57’de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile ortalama Nusselt sayıları arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile artmaktadır.



Şekil 5.58. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanal için farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 5.10'da verilmiştir.

$$f = 8,4469Re^{-0,5873} \quad (5.26)$$

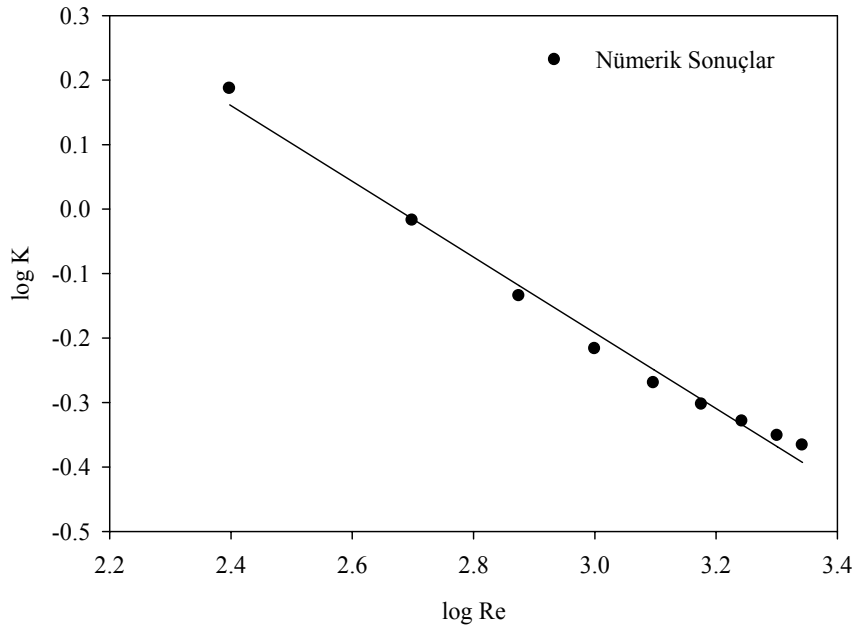
Eş. 5.26'da verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile ortalama sürtünme katsayısı arasındaki ilişki diğer kanatçık yüksekliklerinde olduğu gibi ters orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır

Basınç kayıp katsayısı

Şekil 5.59'da görüleceği üzere Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısı arttıkça basınç kayıp katsayısı azalmıştır.

$$K = 37,1535Re^{-0,5873} \quad (5.27)$$

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan basınç kayıp katsayısı (K) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.27’de verilmiştir.



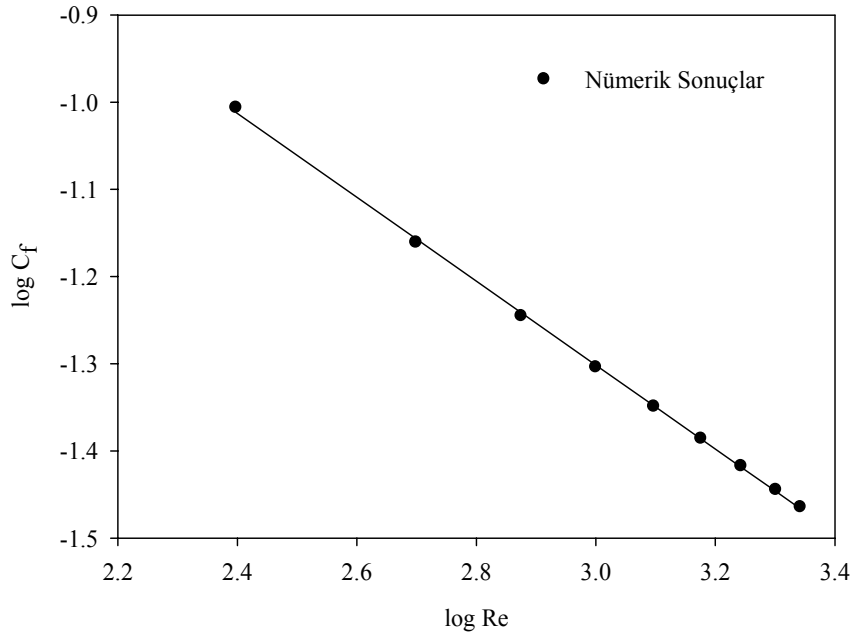
Şekil 5.59. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Fanning sürtünme faktörü

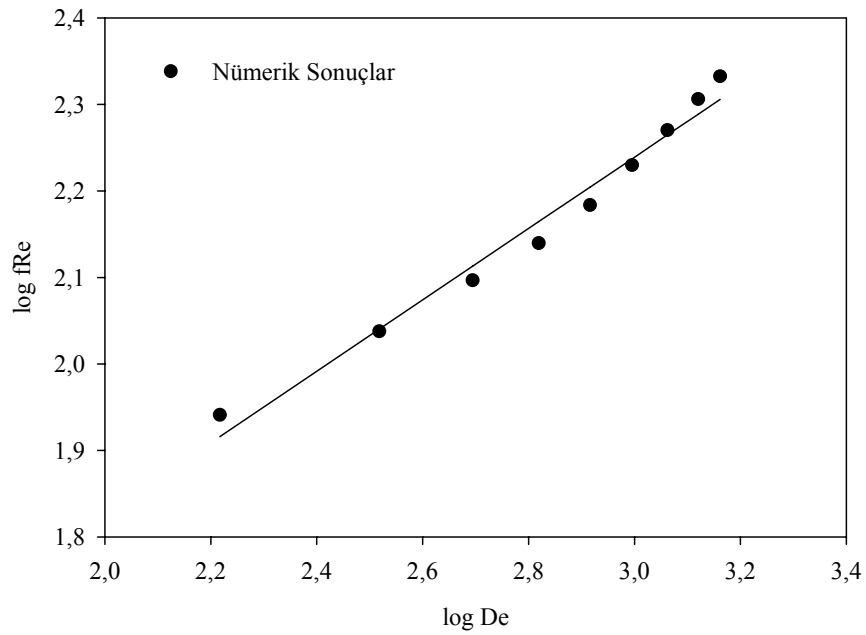
Şekil 5.60’da ortalama Fanning sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki verilmiştir.

$$\bar{C}_f = 1,3877Re^{-0,4813} \quad (5.28)$$

Şekil 5.60’dan görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça ortalama Fanning sürtünme katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı ve Fanning sürtünme katsayısı arasında ters orantı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.60. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi



Şekil 5.61. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

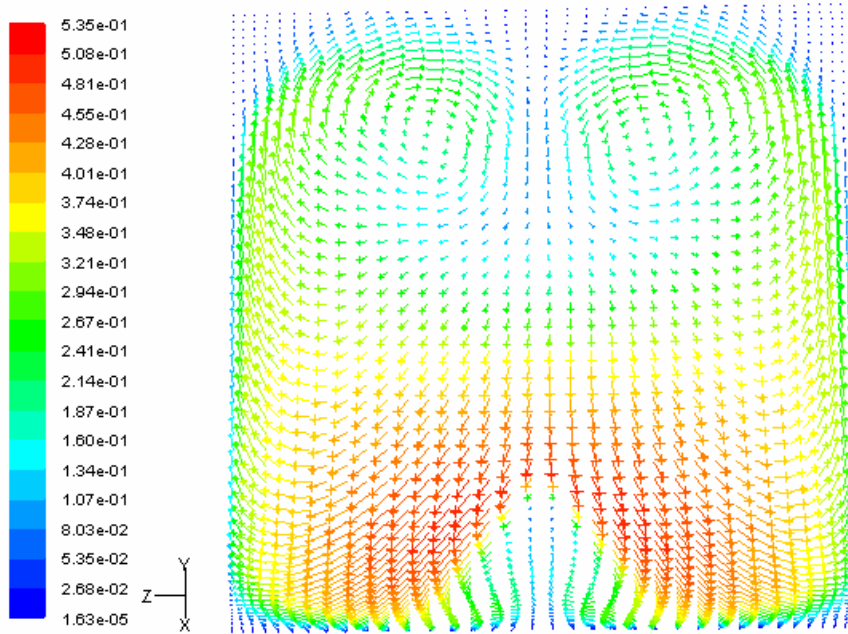
Şekil 5.61’de fRe sayısı ile Dean sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Dean sayısı ile fRe sayısı arasında doğru orantı olduğu görülmüştür.

$$fRe = 10,0231De^{0,4127} \quad (5.29)$$

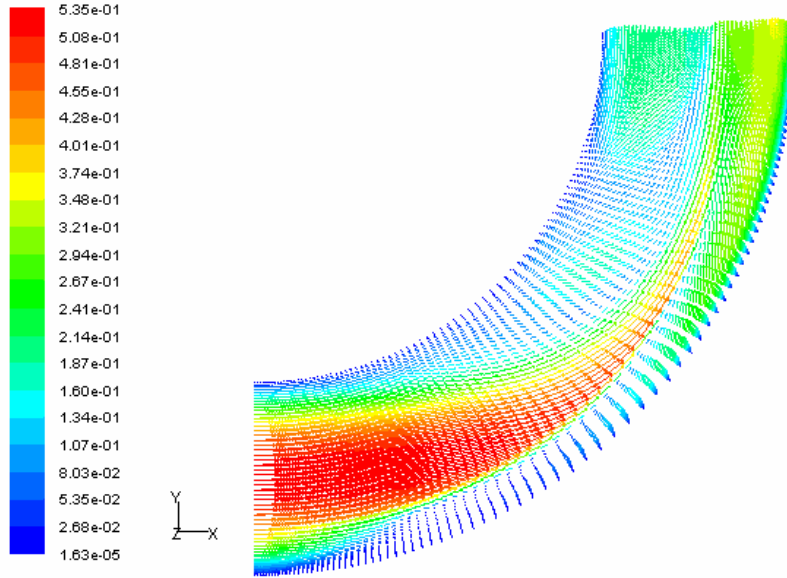
Kanal boyunca hız vektörleri

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanala tam gelişmiş hız profili ile giren akışkanın Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında kanal boyunca hareketi incelenmiştir.

Şekil 5.62’de ise içerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45° ’lik kesitli kanal boyunca hız vektörleri verilmiştir.



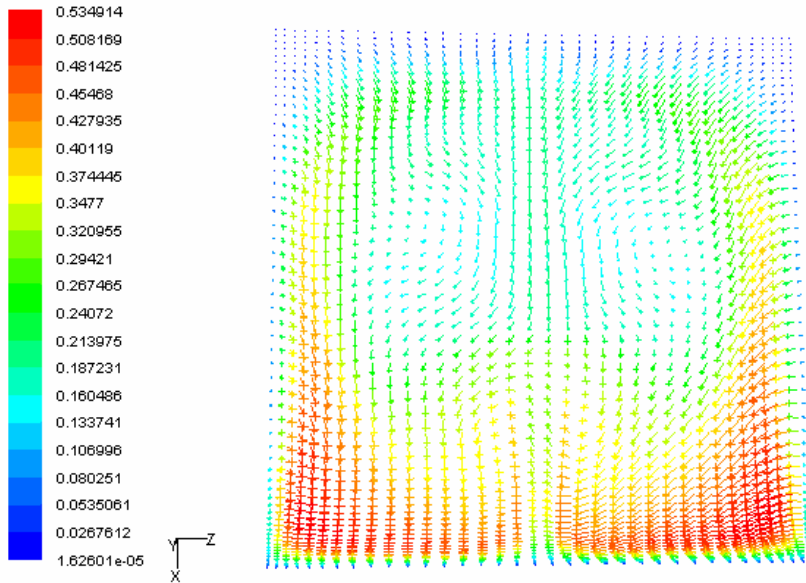
Şekil 5.62. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45° ’lik kesitli kanal boyunca hız vektörleri



Şekil 5.63. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri

Kanal çıkışında hız vektörleri

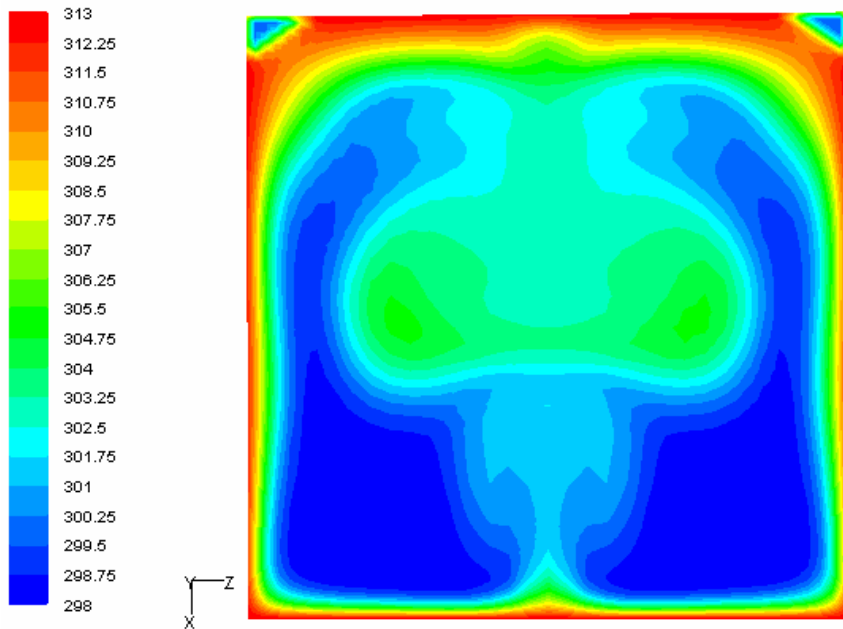
Şekil 5.64.'de kanal çıkışındaki hız vektörleri görülmektedir. Kanatçık yüksekliği arttıkça kanalın sağ ve sol tarafında oluşan girdaplar belirginleşmiştir.



Şekil 5.64. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri

Kanal çıkışında sıcaklık dağılımı

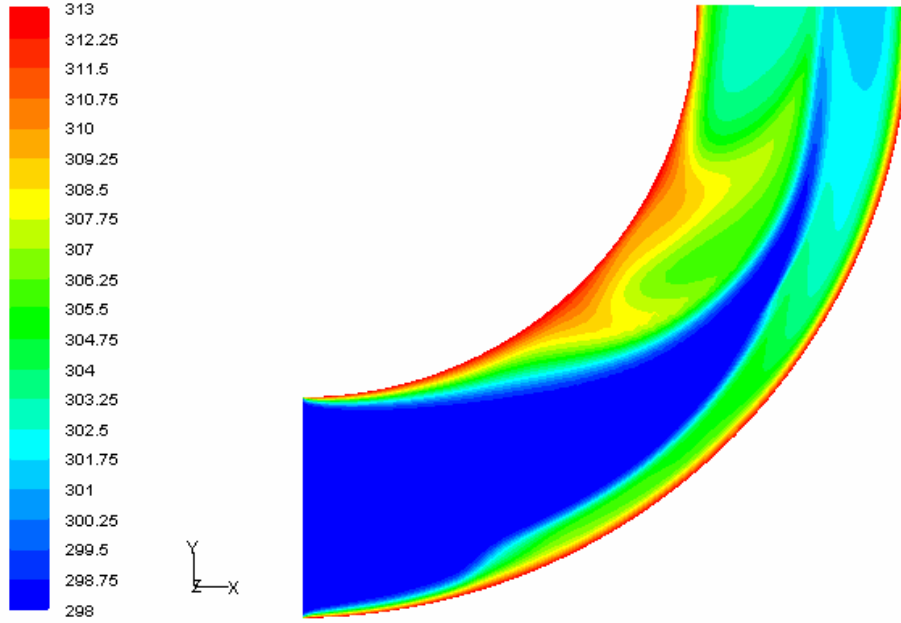
Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında, kanal içindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Şekil 5.65’de akışkanın kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için verilmiştir. Böylece kanatçığın sıcaklık dağılımına olan etkisi gözle görülür olmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere kanatçık etrafında sıcaklık eğrileri oluşmuştur. Kanatçık boyunun büyümesiyle sıcaklık eğrilerinin de kapsadığı alan büyümüştür.



Şekil 5.65. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı

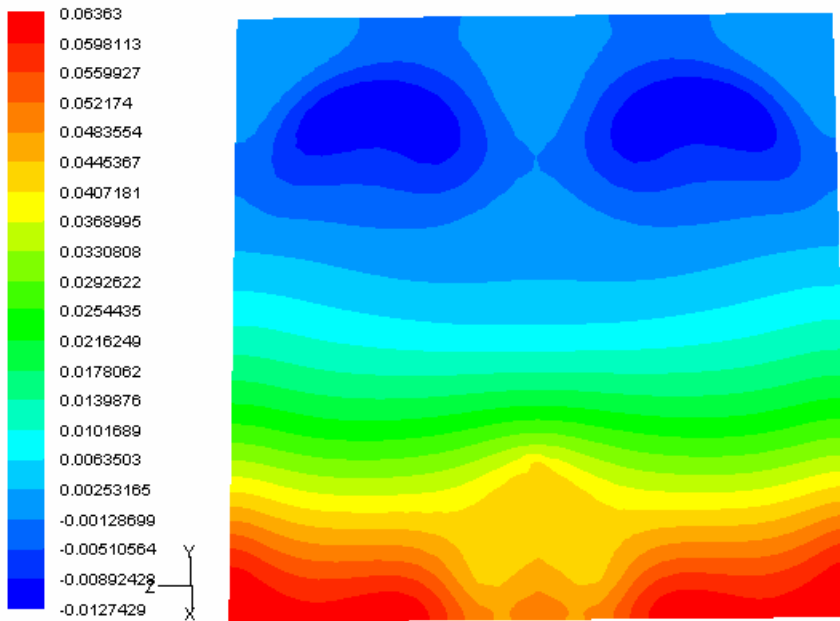
Kanal boyunca sıcaklık dağılımı

Şekil 5.66’da y eksenine göre simetrik olarak kanal boyunca sıcaklık dağılımı verilmiştir. Kanatçık yüksekliğinin artmasıyla ısıl sınır tabakanın genişlediği görülmüştür. Şekil 5.66’da üst duvarda oluşan sınır tabaka ile alt duvarda oluşan ısıl sınır tabakanın birleştiği görülmüştür.



Şekil 5.66. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı

Kanaldaki basınç dağılımı

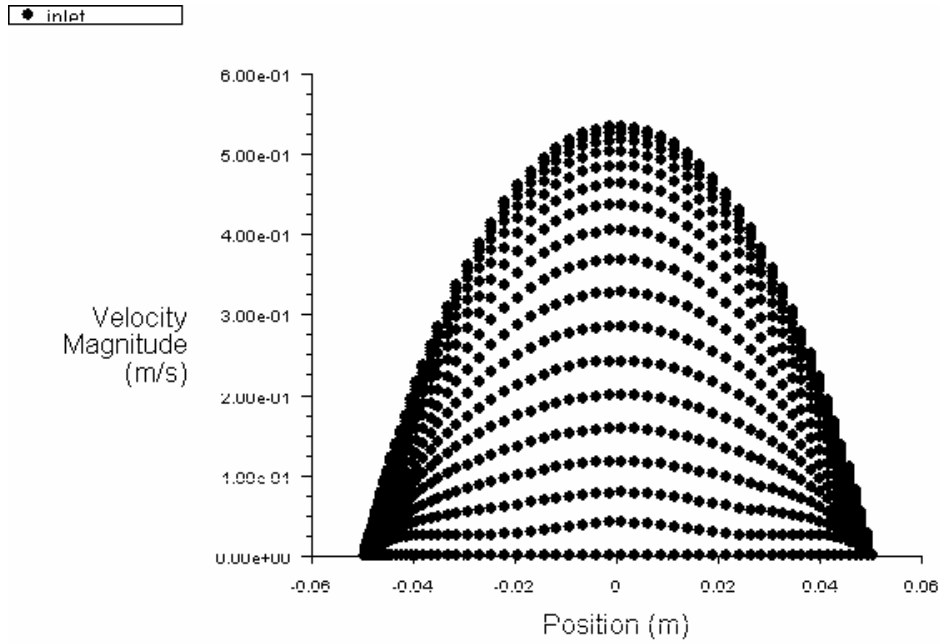


Şekil 5.67. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45° 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı

Şekil 5.67’de 45^0 ’lik kesitli bir kanaldaki basınç dağılımı verilmiştir. Kanatçığın bulunduğu bölgede basınç artışı gözle görülür şekilde farkedilmektedir. Kanatçıktan üst ve yan duvarlara doğru basınç dağılımının azaldığı görülmüştür.

Kanal girişi hız profili

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan kanala Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri için hız profili hidrodinamik olarak tam gelişmiş olarak girmektedir. Şekil 5.68’de Reynolds sayısı 1750 için hidrodinamik olarak tam gelişmiş giriş hız profili görülmektedir.



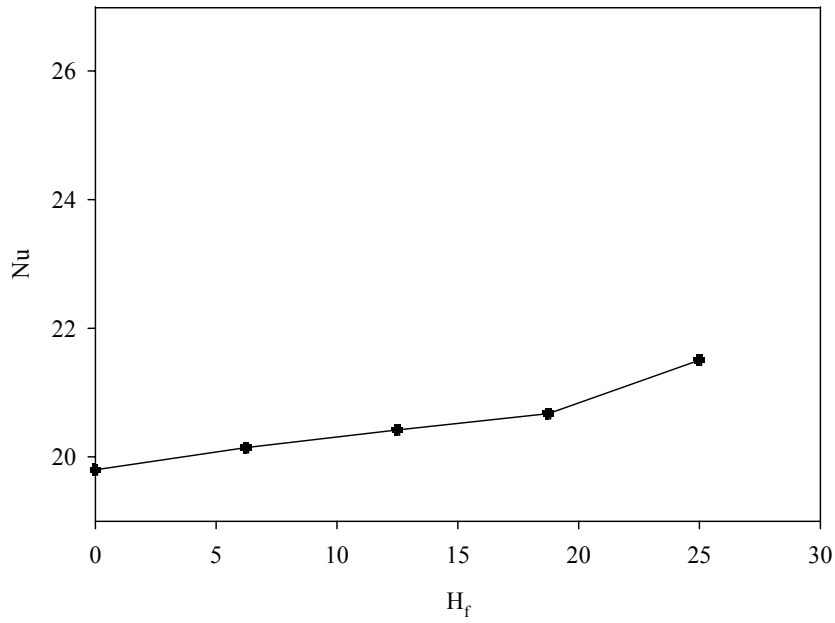
Şekil 5.68. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı

İçerisinde bir kanatçık bulunan eğimli bir kanalda 6,25 mm, 12,5 mm, 18,75 mm ve 25 mm kanatçık yükseklikleri ile çalışılmıştır. Çizelge 5.11’de kanatçık yüksekliklerinin sırasıyla ortalama Nusselt sayısına, ortalama Darcy sürtünme faktörüne, basınç kaybı katsayısına, ortalama Fanning sürtünme faktörüne ve fRe

sayısına olan etkisi gösterilmiştir. Kanatçık yüksekliğinin değişiminin mühendislik hesaplamalarında kullanılan bu sayılara olan etkisi tartışılmıştır.

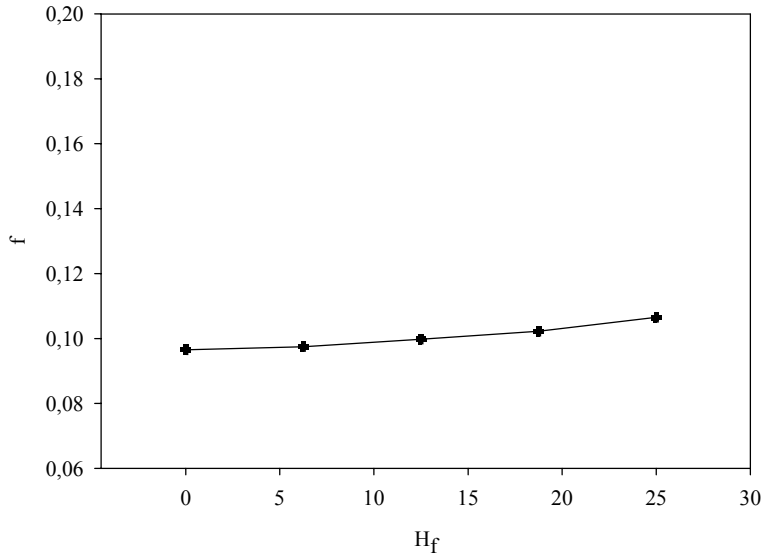
Çizelge 5.11. Reynolds sayısı 1750 için Kanatçık yükseklikleri ve nümerik sonuçlar

Kanatçık yüksekliği (mm)	$\bar{Nu}$	f	K	C_f	fRe
Kanatsız	19,799	0,0965	0,4246	0,0355	168,8684
6,25	20,145	0,0975	0,4289	0,0351	170,5671
12,5	20,418	0,0998	0,4417	0,0363	174,643
18,75	20,671	0,0955	0,4498	0,0366	191,0376
25	21,504	0,0927	0,4686	0,0383	204,0234



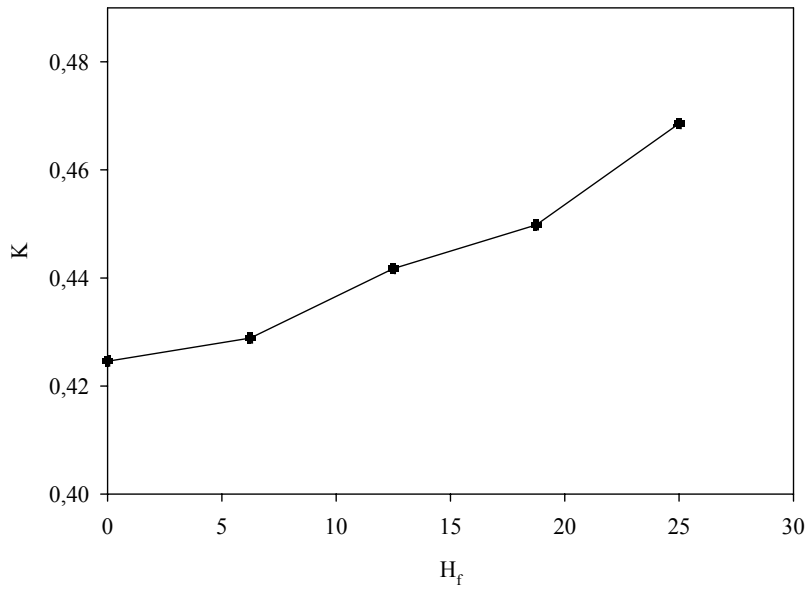
Şekil 5.69. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile ortalama Nusselt sayısının değişimi

Şekil 5.69’da kanatçık yükseklikleri ile ortalama Nusselt sayısının değişimi verilmiştir. Kanatçık yüksekliği arttıkça ortalama Nusselt sayısının da arttığı görülmüştür.



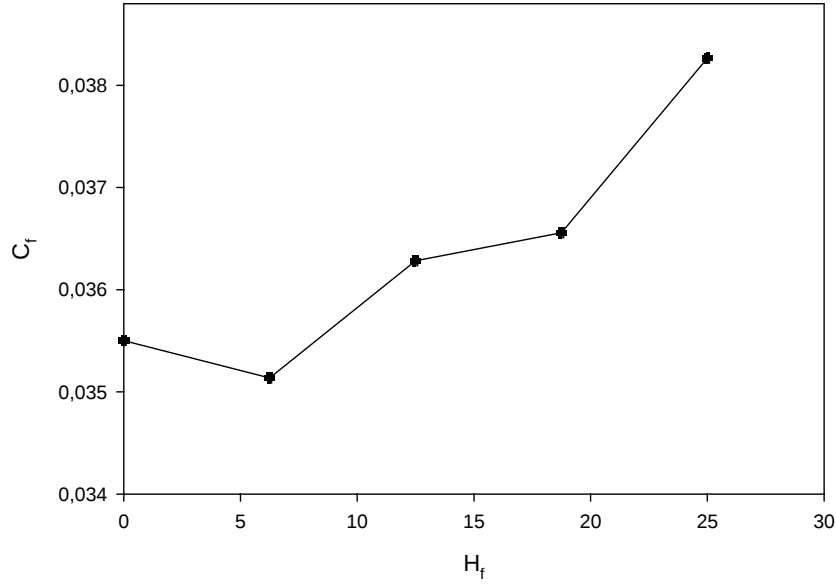
Şekil 5.70. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile ortalama Darcy sürtünme faktörünün değişimi

Şekil 5.70'de kanatçık yükseklikleri ile ortalama Darcy sürtünme faktörünün değişimi verilmiştir. Kanatçık yüksekliği arttıkça ortalama Darcy sürtünme faktörünün de arttığı görülmüştür.

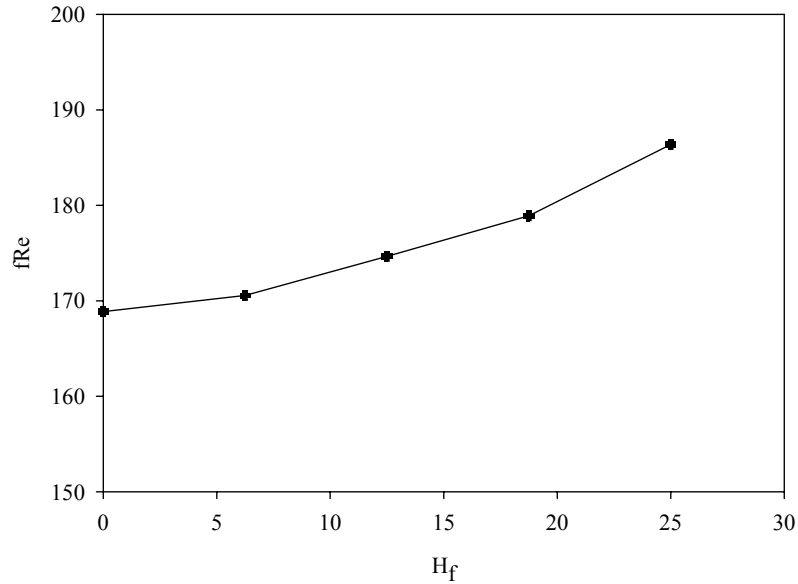


Şekil 5.71. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile basınç kayıp katsayısının değişimi

Şekil 5.71’de kanatçık yükseklikleri ile basınç kayıp katsayısının değişimi verilmiştir. Kanatçık yükseklikleri arttıkça basınç kayıp katsayısının da arttığı görülmüştür.



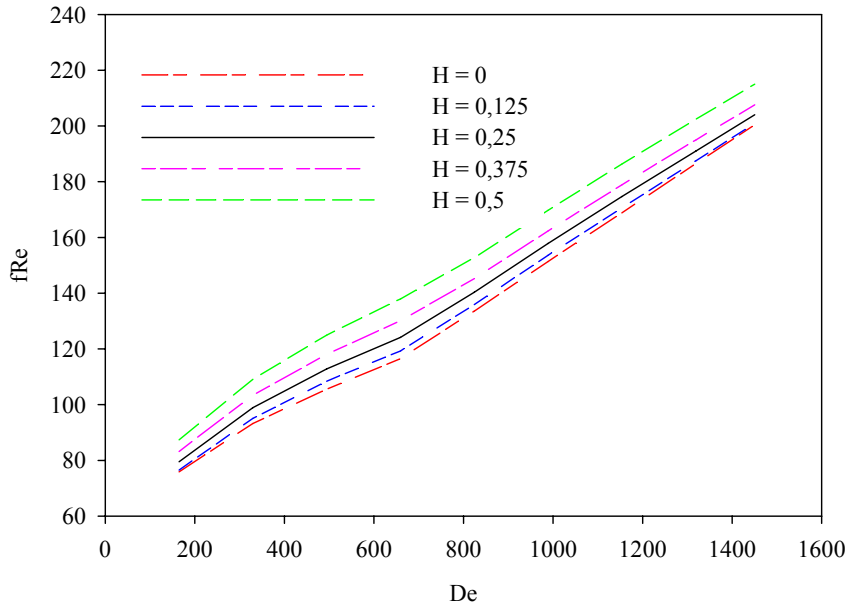
Şekil 5.72. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile ortalama Fanning sürtünme faktörünün değişimi



Şekil 5.73. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile fRe sayısının değişimi

Şekil 5.72’de Kanatçık yükseklikleri ile ortalama Fanning sürtünme faktörünün değişimi verilmiştir. Kanatçık yüksekliğinin 6,25 mm olması durumunda ortalama Fanning sürtünme faktörü düşmüş, kanatçık yüksekliğinin 12,5 mm, 18,75 ve 25 mm olması durumunda ise ortalama Fanning sürtünme faktörü yükselmiştir.

Şekil 5.73’de kanatçık yükseklikleri ile fRe sayısının değişimi verilmiştir. Kanatçık yüksekliklerinin artmasıyla fRe sayısının arttığı görülmüştür.



Şekil 5.74. $R = 0,4347$ eğrilik oranı için fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

Şekil 5.74’de, belirtilen kanatçık yüksekliklerinde değişik Dean sayıları için fRe sayıları gösterilmiştir. Belirli bir Dean sayısında kanatçık yüksekliği arttıkça fRe sayısı artmaktadır. Başka bir ifade ile sürtünme katsayısı artmaktadır. Sabit kanatçık yüksekliği ele alınırsa Dean sayısı arttıkça fRe sayısı da artmaktadır.

5.5. Kanal Girişinde Parabolik Hız Profiline Sahip İki Kanatçıklı Eğimli Kanal İçindeki Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

5.5.1. 6,25 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip İki Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kare kesitli kanal içerisindeki akış ve ısı transferinin sayısal çözümü Reynolds sayısının değişik değerleri için yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü (f) hesaplanmıştır.

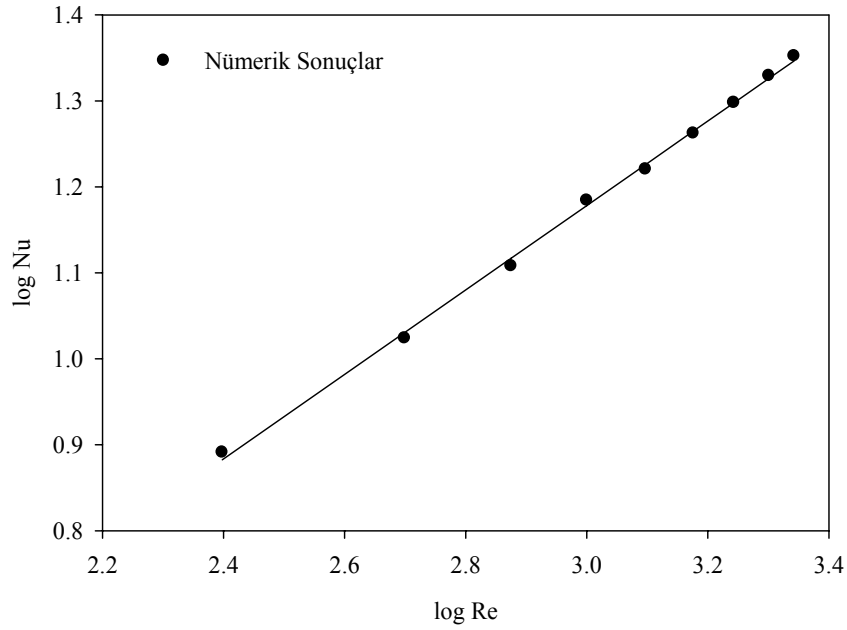
Çizelge 5.12. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar

Reynolds	Nusselt (Eşitlik 4.68)	Nusselt (Eşitlik 4.69)	f
250	7,782	7,343	0,3111
500	10,567	10,314	0,1932
750	12,82	12,686	0,1469
1000	15,285	15,178	0,1160
1250	16,611	16,715	0,1106
1500	18,295	18,504	0,1043
1750	19,858	20,174	0,0992
2000	21,346	21,768	0,0952
2200	22,497	22,992	0,0925

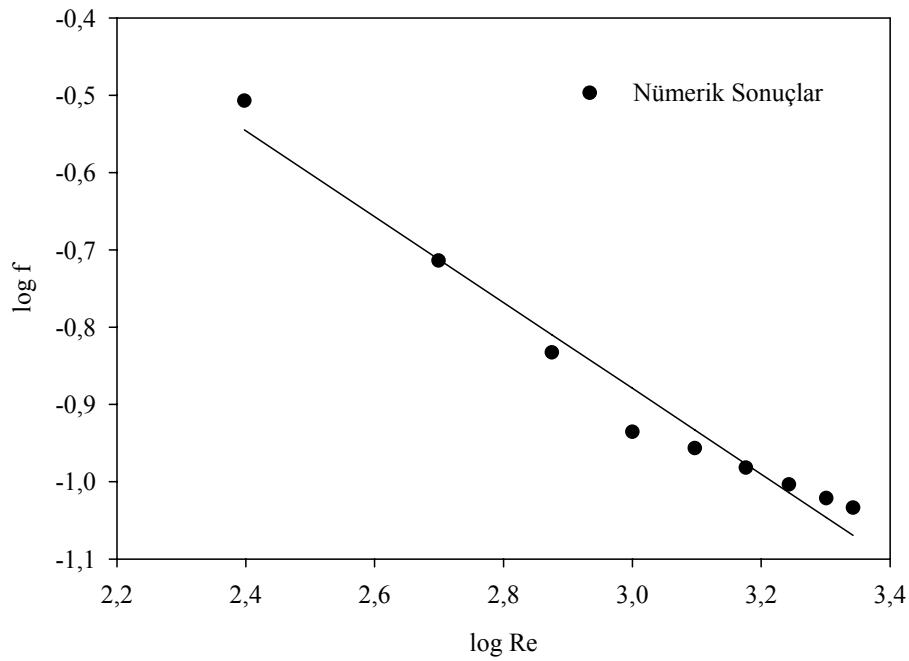
İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal içinde yapılan sayısal hesap sonuçları Çizelge 5.12’de verilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilerek Eş. 5.30’da verilmiştir.

Ortalama Nusselt sayısı

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda, farklı Reynolds sayılarında hesaplanan Nusselt sayıları Çizelge 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.75. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi



Şekil 5.76. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nin Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.75’de görüleceği üzere Reynolds sayısı ile Nusselt sayıları arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile artmaktadır. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi ile bulunmuş ve Eş. 5.30’da verilmiştir.

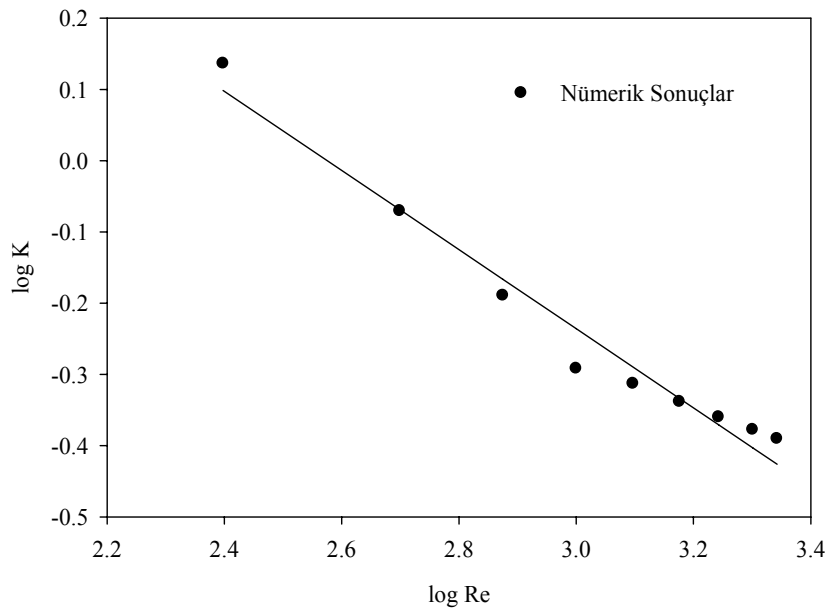
$$\overline{Nu} = 0,507 Re^{0,4911} \quad (5.30)$$

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal için farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 5.12’de verilmiştir.

$$f = 6,1235 Re^{-0,5554} \quad (5.31)$$

Eş. 5.31’de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile ortalama sürtünme katsayısı arasındaki ilişki diğer kanatçık yüksekliklerinde olduğu gibi ters orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır

Basınç kayıp katsayısı



Şekil 5.77. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.77’de görüleceği üzere Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısı arttıkça basınç kayıp katsayısı azalmıştır.

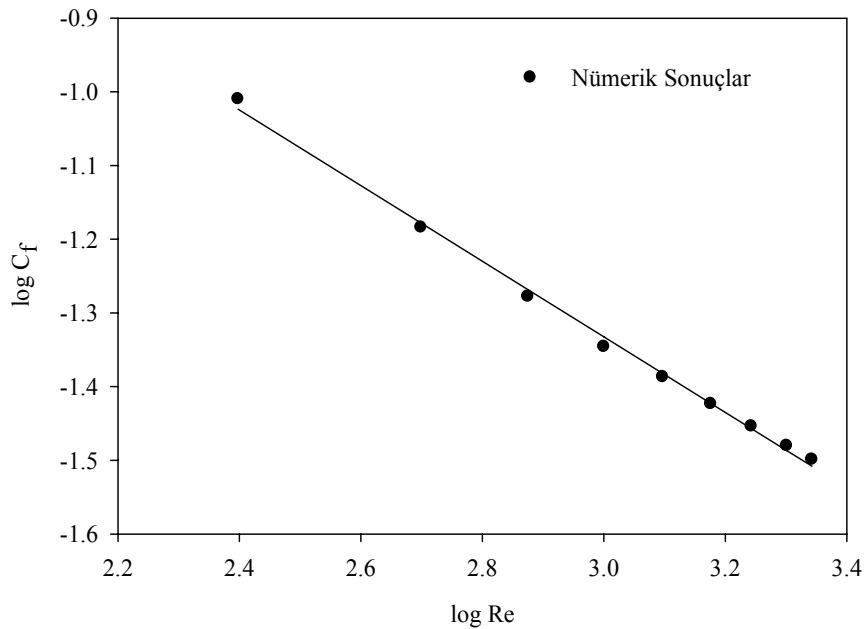
$$K = 26,9153Re^{-0,5553} \quad (5.32)$$

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan basınç kayıp katsayısı (K) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.32’de verilmiştir.

Fanning sürtünme faktörü

Şekil 5.78’de ortalama Fanning sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki verilmiştir.

$$\bar{C}_f = 1,6084Re^{-0,5129} \quad (5.33)$$

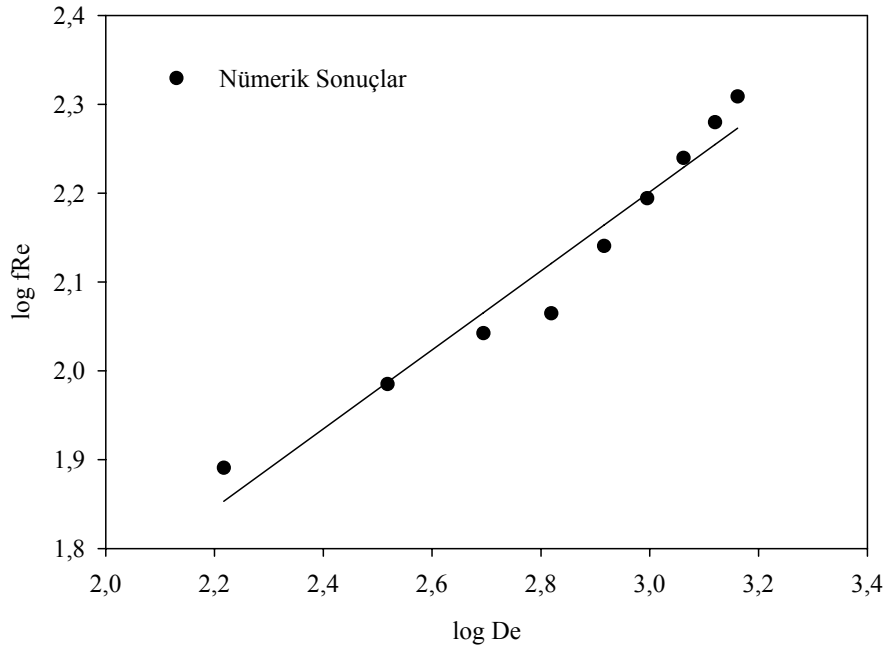


Şekil 5.78. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.78'den görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça ortalama Fanning sürtünme katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı ve Fanning sürtünme katsayısı arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

Dean sayısı ve fRe ilişkisi

Şekil 5.79.'da fRe sayısı ile Dean sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Dean sayısı ile fRe sayısı arasında doğru orantı olduğu görülmüştür.



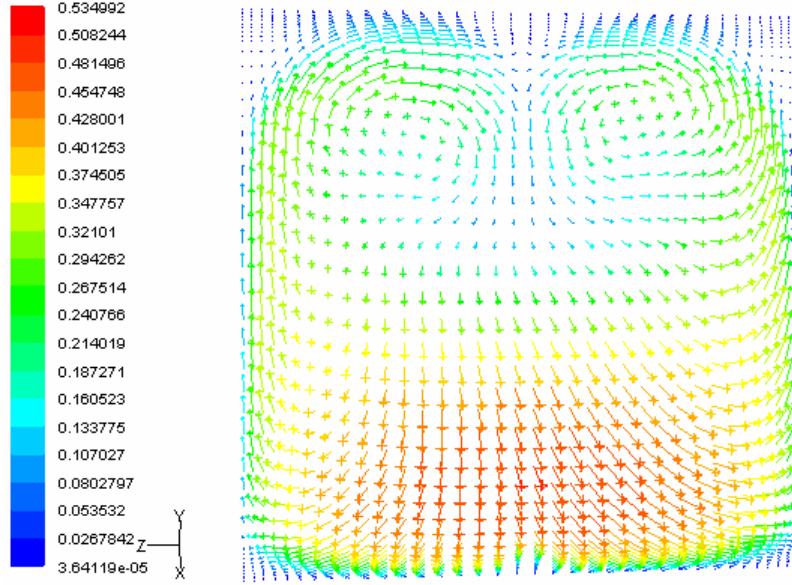
Şekil 5.79. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

$$fRe = 7,3706De^{0,4446} \quad (5.34)$$

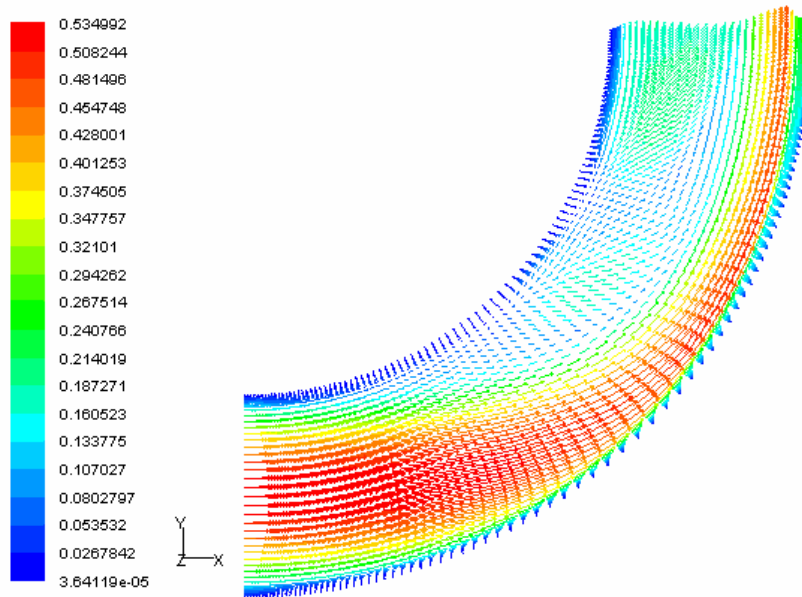
Kanal boyunca hız vektörleri

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanala tam gelişmiş hız profili ile giren akışkanın Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında

kanal boyunca hareketi incelenmiştir. Şekil 5.80’da ise Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için hız vektörleri verilmiştir.



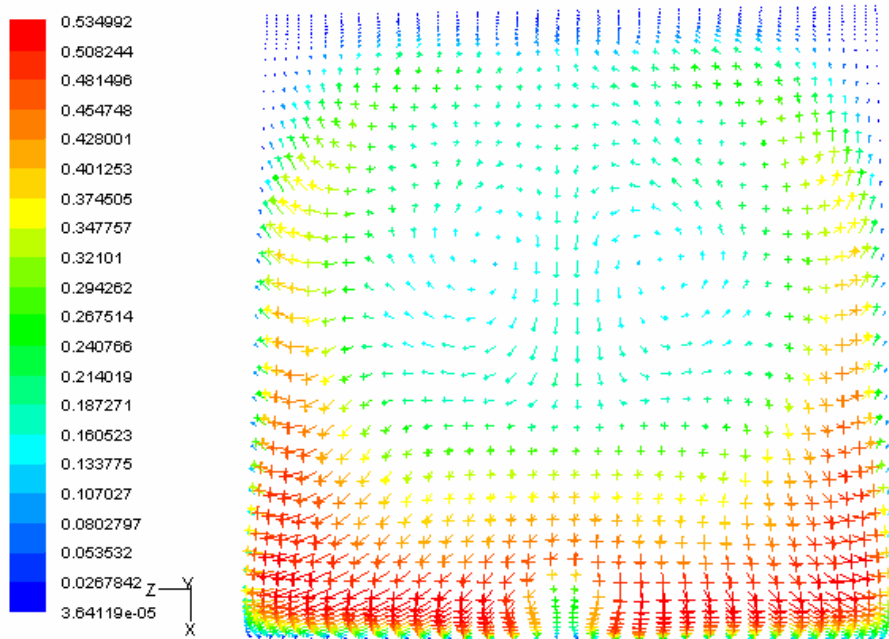
Şekil 5.80. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 ’lik kesitli kanal boyunca hız vektörleri



Şekil 5.81. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri

Kanal çıkışında hız vektörleri

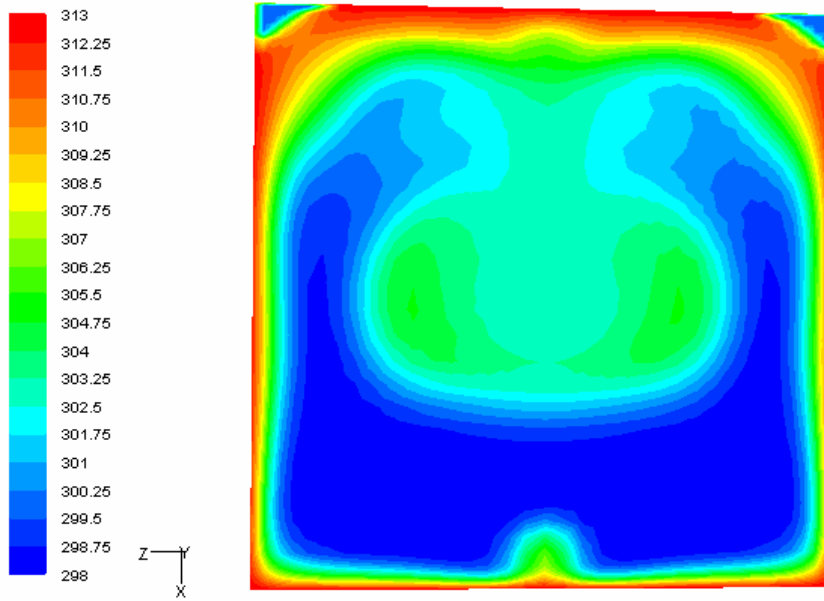
Şekil 5.82’de kanal çıkışındaki hız vektörleri görülmektedir. Kanatçıklar karşılıklı olarak yerleştirildiği için kanalın sağ ve sol tarafında oluşan girdaplar belirginleşmiştir.



Şekil 5.82. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri

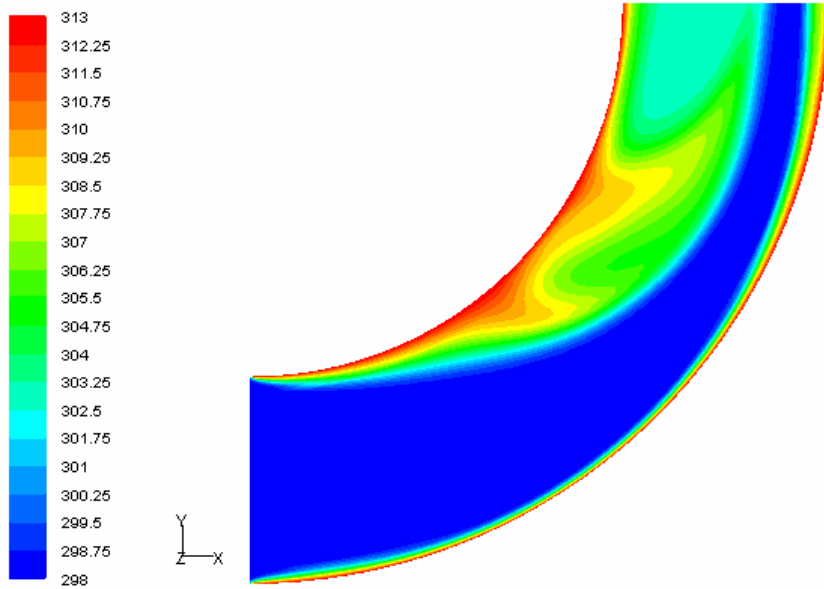
Kanal çıkışında sıcaklık dağılımı

Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında, kanal içindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Şekil 5.83’de akışkanın kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için verilmiştir. Böylece kanatçığın sıcaklık dağılımına olan etkisi gözle görülür olmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere kanatçık etrafında sıcaklık eğrileri oluşmuştur.



Şekil 5.83. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı

Kanal boyunca sıcaklık dağılımı

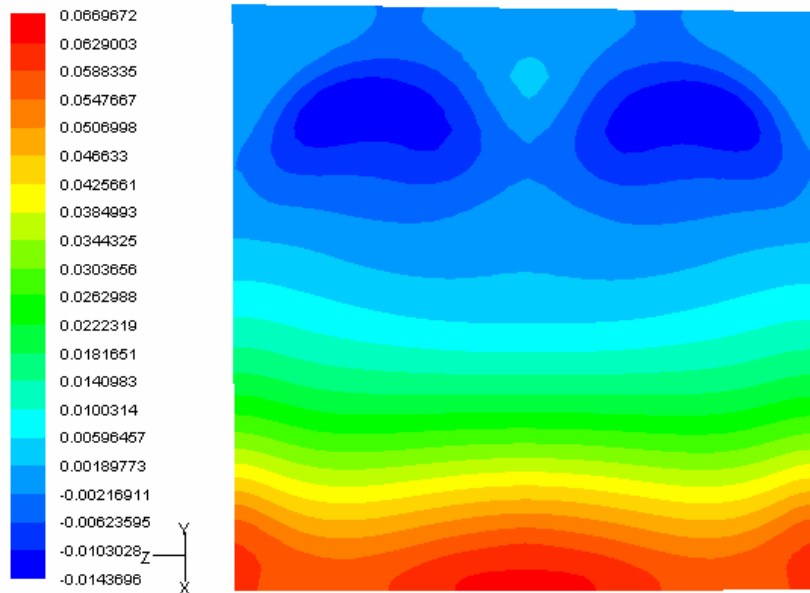


Şekil 5.84. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı

Şekil 5.84’de y eksenine göre simetrik olarak kanal boyunca sıcaklık dağılımı verilmiştir. Kanatçık sayısının ikiye çıkmasıyla üst duvarda da sıcaklık eğrilerinin oluştuğu görülmektedir.

Kanaldaki basınç dağılımı

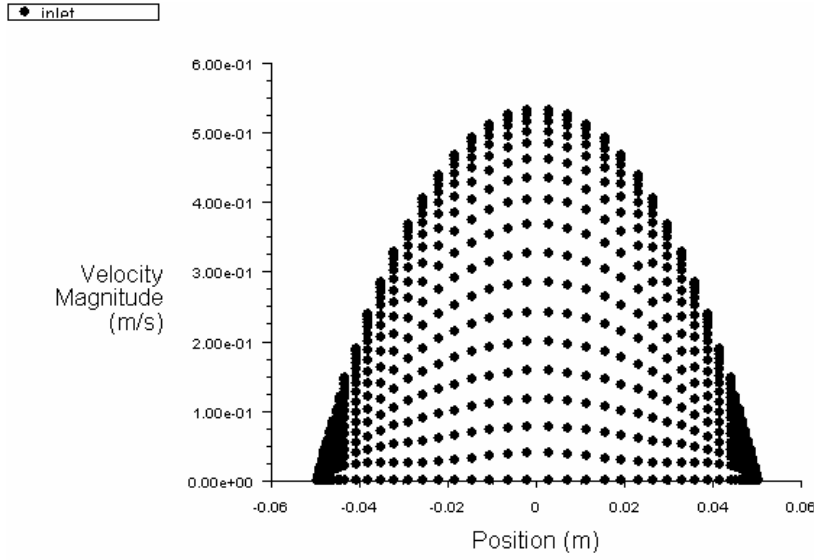
Şekil 5.85’de 45⁰’lik kesitli bir kanalda basınç dağılımı verilmiştir. Kanatçıkların bulunduğu bölgede basınç artışı farkedilmektedir. Karşılıklı yerleştirilen kanatçıklardan üst ve yan duvarlara doğru basınç dağılımının azaldığı görülmüştür.



Şekil 5.85. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45⁰’lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı

Kanal girişi hız profili

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan kanala Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri için hız profili hidrodynamic olarak tam gelişmiş olarak girmektedir. Şekil 5.86’da Reynolds sayısı 1750 için hidrodynamic olarak tam gelişmiş giriş hız profili görülmektedir.



Şekil 5.86. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminer akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı

5.5.2. 12,5 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip İki Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kare kesitli kanal içerisindeki akış ve ısı transferinin sayısal çözümü Reynolds sayısının değişik değerleri için yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü (f) hesaplanmıştır.

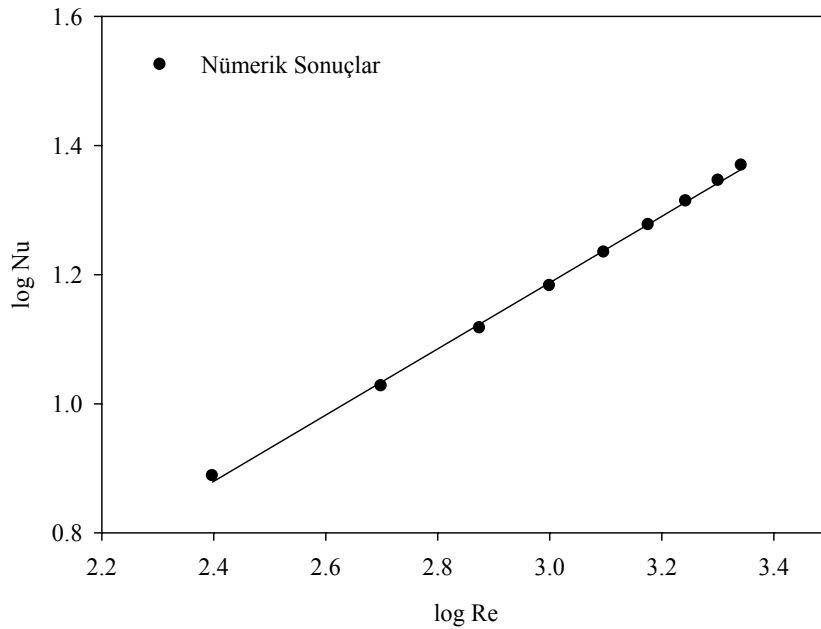
Çizelge 5.13. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar

Reynolds	Nusselt (Eşitlik 4.68)	Nusselt (Eşitlik 4.69)	f
250	7,728	7,285	0,3405
500	10,650	10,376	0,2129
750	13,097	12,921	0,1633
1000	15,225	15,174	0,1327
1250	17,155	17,236	0,1185
1500	18,932	19,132	0,1107
1750	20,588	20,905	0,1044
2000	22,165	22,599	0,0996
2200	23,387	23,917	0,0967

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal içinde yapılan sayısal hesap sonuçları Çizelge 5.13’de verilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilerek Eş. 5.35’de verilmiştir.

Ortalama Nusselt sayısı

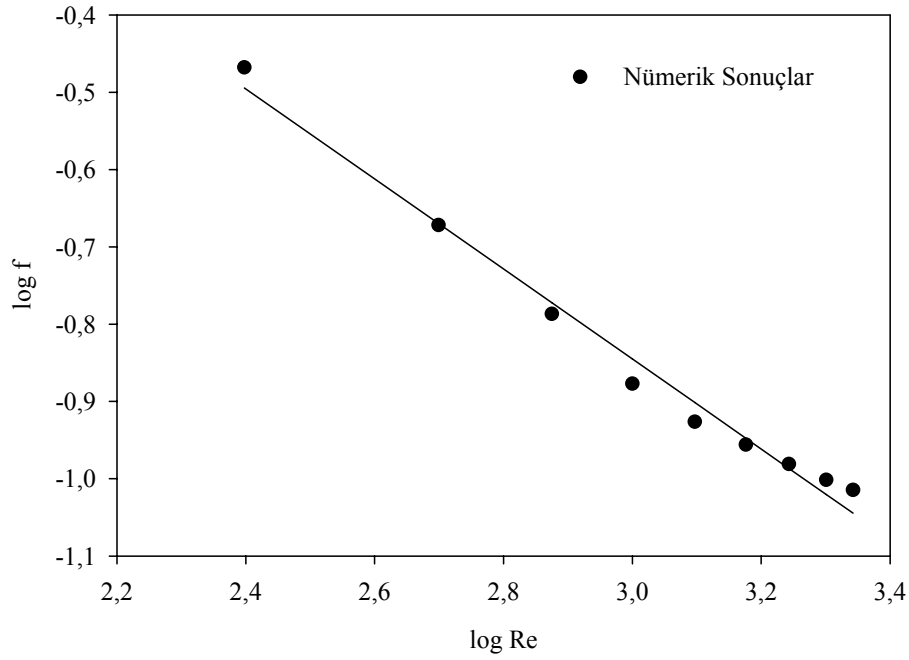
İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda, farklı Reynolds sayılarında hesaplanan Nusselt sayıları Çizelge 5.13’de verilmiştir.



Şekil 5.87. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.87’de görüleceği üzere Reynolds sayısı ile Nusselt sayıları arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile artmaktadır. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yönetimi ile bulunmuş ve Eş. 5.35’de verilmiştir.

$$\overline{Nu} = 0,4456Re^{0,5129} \quad (5.35)$$



Şekil 5.88. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi

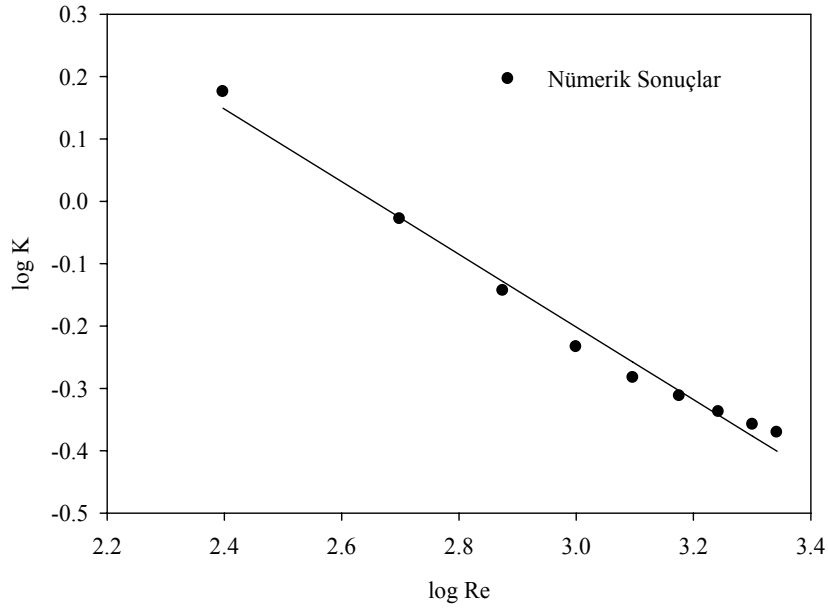
İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal için farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 5.13'de verilmiştir.

$$f = 7,9873Re^{-0,5825} \quad (5.36)$$

Eş. 5.36'da verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile ortalama sürtünme katsayısı arasındaki ilişki diğer kanatçık yüksekliklerinde olduğu gibi ters orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır

Basınç kayıp katsayısı

Şekil 5.89.'da görüleceği üzere Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısı arttıkça basınç kayıp katsayısı azalmıştır.



Şekil 5.89. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

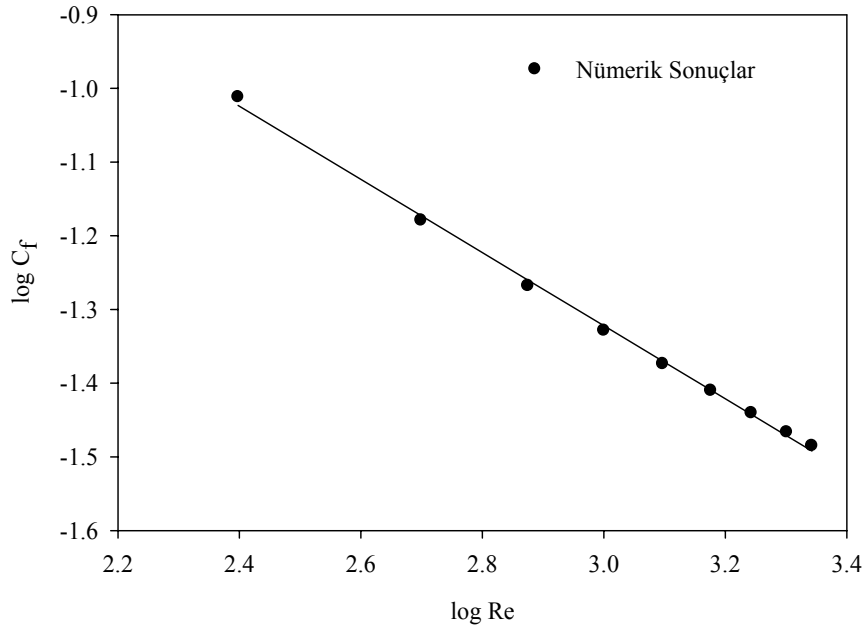
$$K = 35,1560Re^{-0,5825} \quad (5.37)$$

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan basınç kayıp katsayısı (K) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.37’de verilmiştir.

Fanning sürtünme faktörü

Eş. 5.38’de ortalama Fanning sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki verilmiştir.

$$\bar{C}_f = 1,4699Re^{-0,4964} \quad (5.38)$$



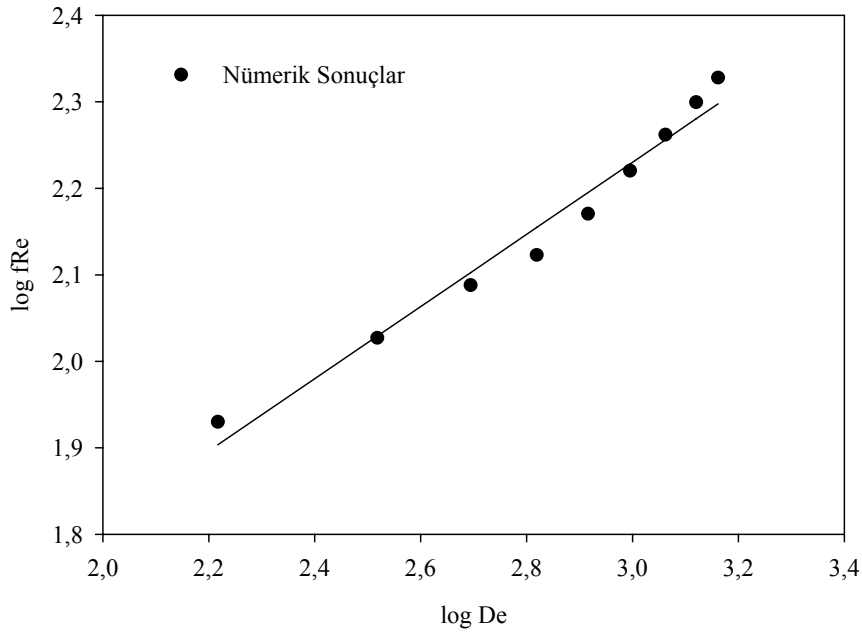
Şekil 5.90. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.90'dan görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça ortalama Fanning sürtünme katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı ve Fanning sürtünme katsayısı arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

Dean sayısı ve fRe ilişkisi

Şekil 5.91'de fRe sayısı ile Dean sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Dean sayısı arttıkça fRe sayısında arttığı görülmüştür. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan fRe sayısı ile Dean sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.39'da verilmiştir.

$$fRe = 9,5060De^{0,4174} \quad (5.39)$$

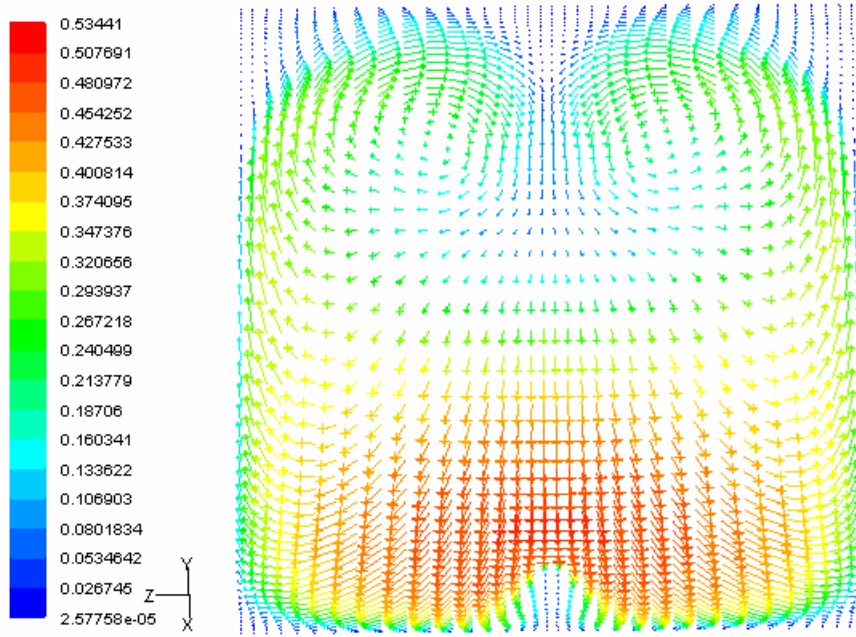


Şekil 5.91. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

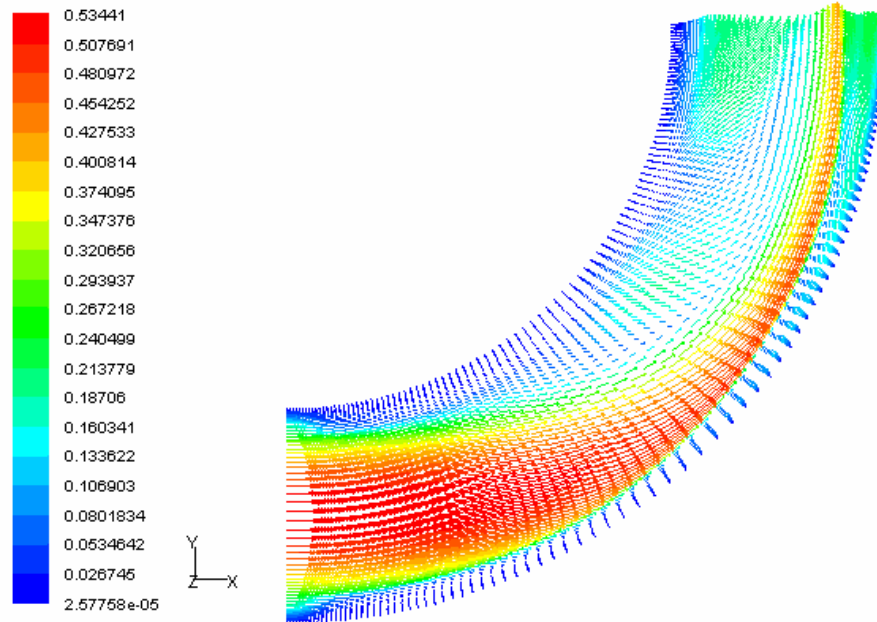
Kanal boyunca hız vektörleri

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanala tam gelişmiş hız profili ile giren akışkanın Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında kanal boyunca hareketi incelenmiştir. Şekil 5.92’de ise Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için hız vektörleri verilmiştir.

Şekilden de görüldüğü üzere iki kanatçıklı eğimli kanalda kanatçık yüksekliği arttıkça kanalın içerisine hidrodinamik olarak tam gelişmiş giren akışın hız vektörlerinin yönü kanal içerisinde bulunan kanatçıklara çarpması sonucu değişmektedir. Kanal kesitinin üst kısmında akışın birbirine zıt yönde döndüğü hız vektörlerinin incelenmesinden görülebilir. Kanal kesitinin alt kısmında ise akışın birbirine ters yönde hareket ettiği yine hız vektörlerinin incelenmesinden görülebilir. Aynı akış hareketinin kanal orta kesiminde gözlemlemek mümkündür. Kırmızı bölgelerde akış hızı yüksek mavi bölgelerde ise daha düşüktür.



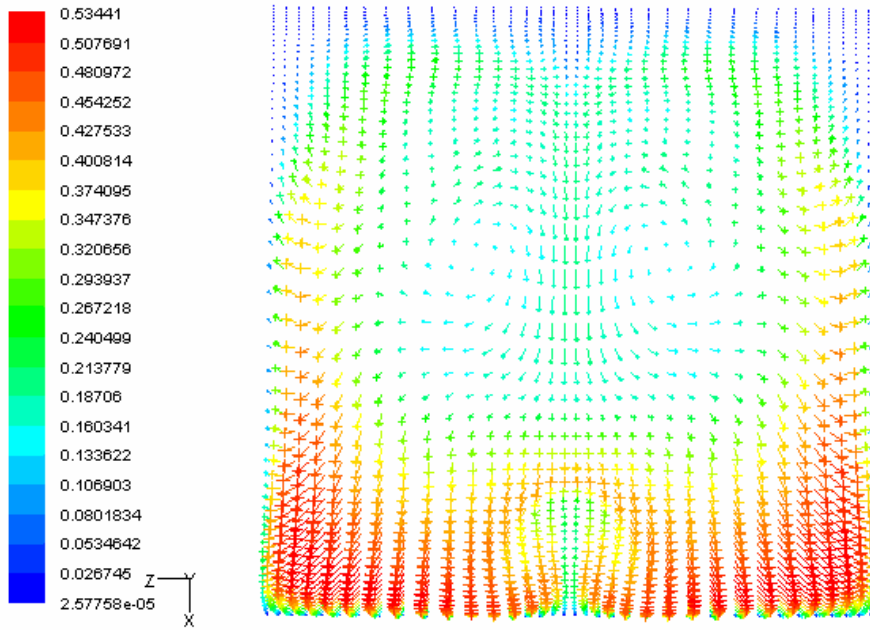
Şekil 5.92. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45⁰'lik kesitli kanal boyunca hız vektörleri



Şekil 5.93. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re=1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri

Kanal çıkışında hız vektörleri

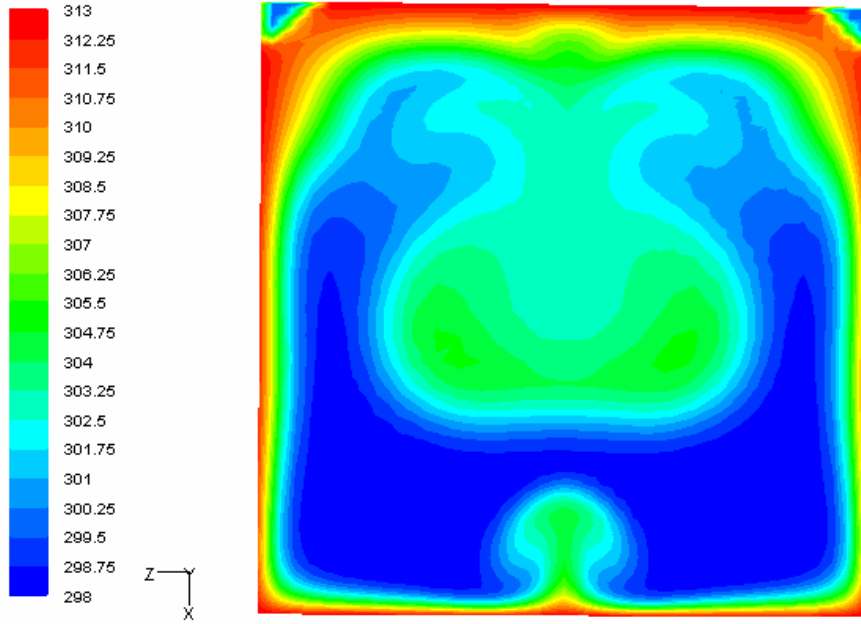
Şekil 5.94’de kanal çıkışındaki hız vektörleri görülmektedir. Karşılıklı konulan kanatçıkların yüksekliklerinin artmasıyla, kanalın sağ ve sol kenarlarında belirgin şekilde girdaplar oluşmuştur.



Şekil 5.94. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri

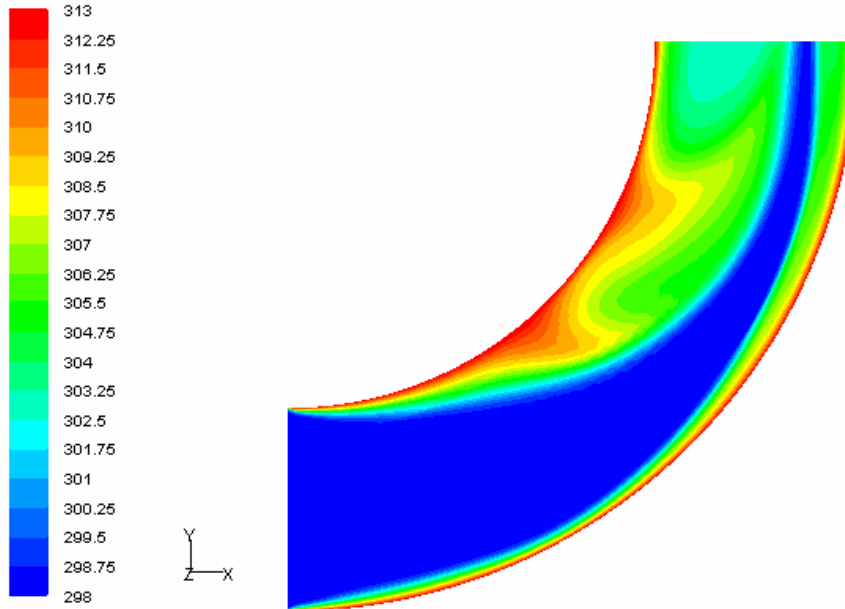
Kanal çıkışında sıcaklık dağılımı

Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında, kanal içindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Şekil 5.95’de akışkanın kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için verilmiştir. Böylece kanatçığın sıcaklık dağılımına olan etkisi gözle görülür olmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere kanatçık etrafında sıcaklık eğrileri oluşmuştur. Kanal kesitinin alındığı bölge incelenirse, alt kanatçığın olduğu bölgede akış sıcaklığı orta bölgede olan akışkana göre daha sıcaktır. Diğer tarafından kanal çeperi boyunca hareket eden akışkan sıcaklığı iç bölgelere göre daha yüksek sıcaklıktadır. Orta bölgede döngü hareketi sergileyen akışkan hemen çevresindeki akışkana göre daha yüksek sıcaklıktadır.



Şekil 5.95. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı

Kanal boyunca sıcaklık dağılımı

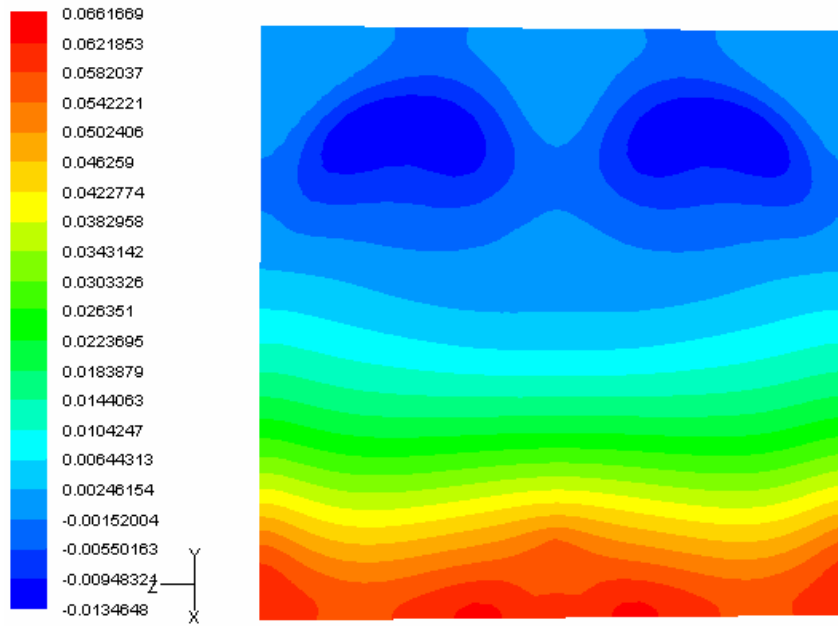


Şekil 5.96. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re=1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı

Şekil 5.96'da y eksenine göre simetrik olarak kanal boyunca sıcaklık dağılımı verilmiştir. Kanatçık sayısının ikiye çıkmasıyla üst duvarda da sıcaklık eğrilerinin oluştuğu görülmektedir. Kanatçık yüksekliğinin artmasıyla sıcaklık eğrilerinin kapsadığı alanda artmıştır.

Kanaldaki basınç dağılımı

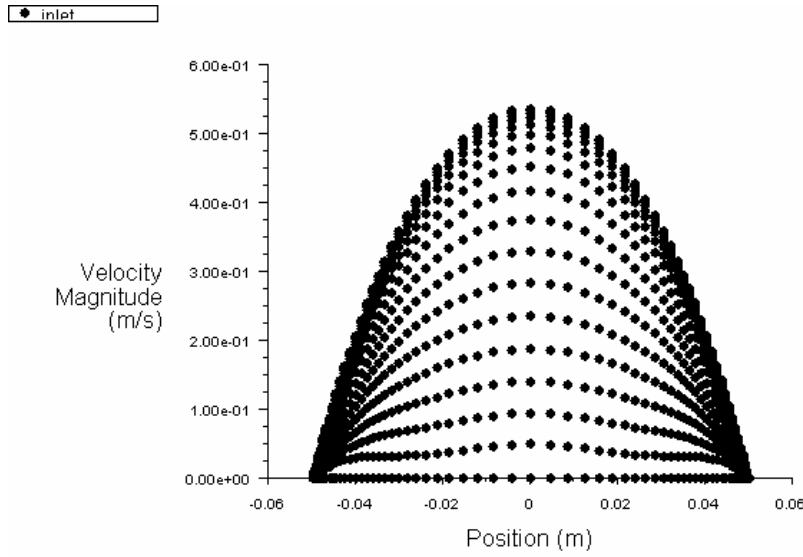
Şekil 5.97'de 45° 'lik kesitli kanaldaki basınç dağılımı verilmiştir. Karşılıklı yerleştirilmiş kanatçıkların bulunduğu bölgede basınç artışı gözle görülür şekilde farkedilmektedir. Kanatçıklardan üst ve yan duvarlara doğru basınç dağılımının azaldığı görülmüştür.



Şekil 5.97. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45° 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı

Kanal girişi hız profili

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan kanala Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri için hız profili hidrodinamik olarak tam gelişmiş olarak girmektedir. Şekil 5.98'de Reynolds sayısı 1750 için hidrodinamik olarak tam gelişmiş giriş hız profili görülmektedir.



Şekil 5.98. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminer akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı

5.5.3. 18,75 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip İki Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü

İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kare kesitli kanal içerisindeki akış ve ısı transferinin sayısal çözümü Reynolds sayısının değişik değerleri için yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü (f) hesaplanmıştır.

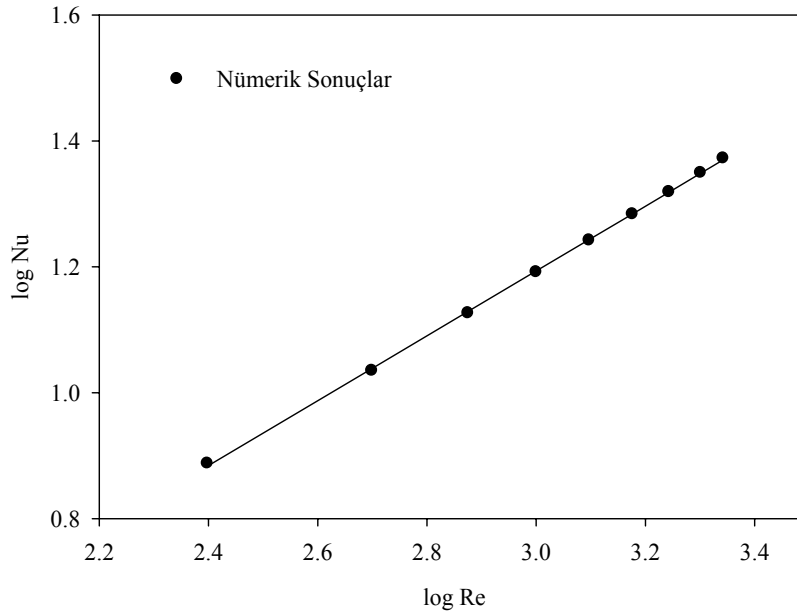
Çizelge 5.14. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar

Reynolds	Nusselt (Eşitlik 4.68)	Nusselt (Eşitlik 4.69)	f
250	7,720	7,273	0,3768
500	10,841	10,566	0,2355
750	13,379	13,215	0,1819
1000	15,551	15,483	0,1492
1250	17,462	17,529	0,1292
1500	19,221	19,401	0,1200
1750	20,84	21,128	0,1133
2000	22,356	22,756	0,1078
2200	23,579	23,318	0,1042

İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal içinde yapılan sayısal hesap sonuçları Çizelge 5.14’de verilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilerek Eş. 5.40’da verilmiştir.

Ortalama Nusselt sayısı

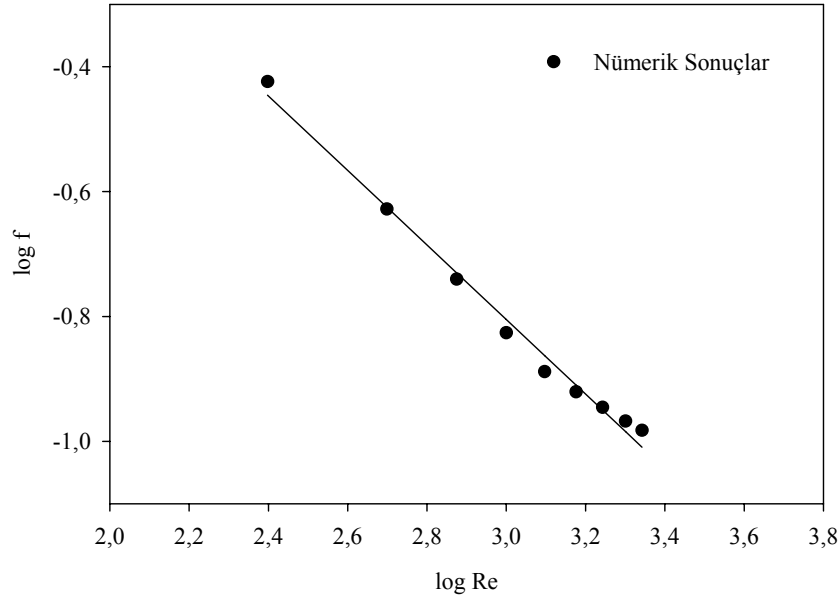
İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda, farklı Reynolds sayılarında hesaplanan Nusselt sayıları Çizelge 5.14’de verilmiştir.



Şekil 5.99. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Eş. 5.40’da verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile Nusselt sayıları arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile artmaktadır. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yönetimi ile bulunmuştur.

$$\overline{Nu} = 0,4453Re^{0,5149} \quad (5.40)$$



Şekil 5.100. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi

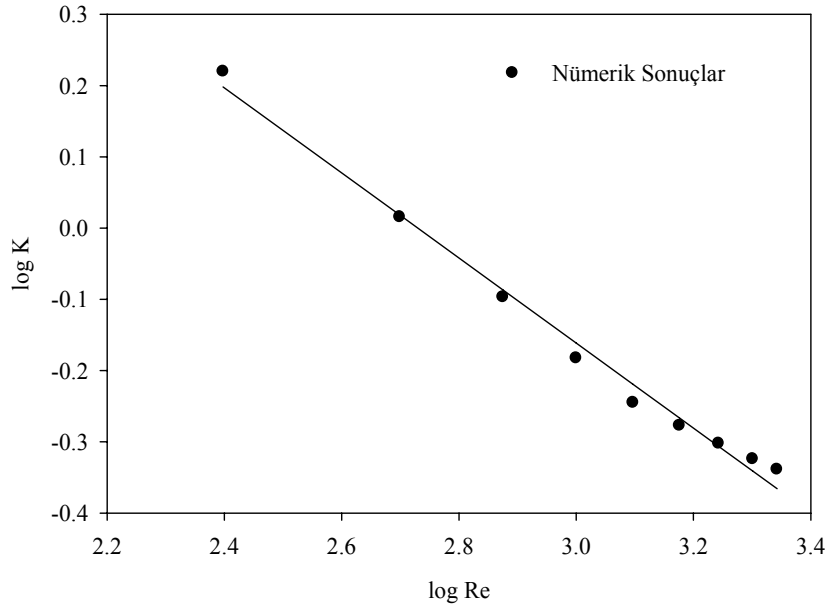
İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal için farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 5.14'de verilmiştir.

$$f = 9,6716Re^{-0,5968} \quad (5.41)$$

Eş. 5.41'de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile ortalama sürtünme katsayısı arasındaki ilişki diğer kanatçık yüksekliklerinde olduğu gibi ters orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır

Basınç kayıp katsayısı

Şekil 5.101'de görüleceği üzere Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısı arttıkça basınç kayıp katsayısı azalmıştır.



Şekil 5.101. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

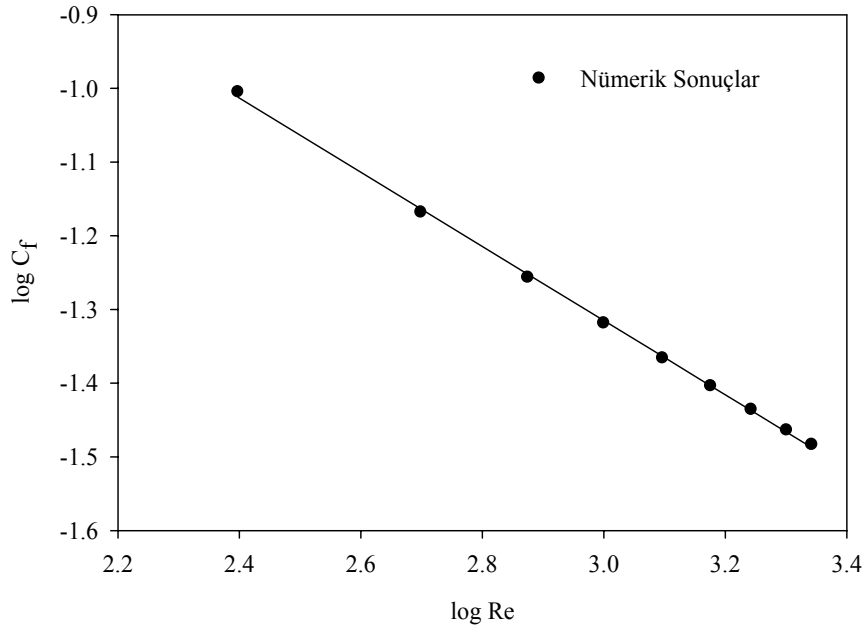
$$K = 42,5598Re^{-0,5968} \quad (5.42)$$

İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan basınç kayıp katsayısı (K) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.42’de verilmiştir.

Fanning sürtünme faktörü

Eş. 5.43’de ortalama Fanning sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki verilmiştir.

$$\overline{C}_f = 1,5675Re^{-0,5034} \quad (5.43)$$



Şekil 5.102. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

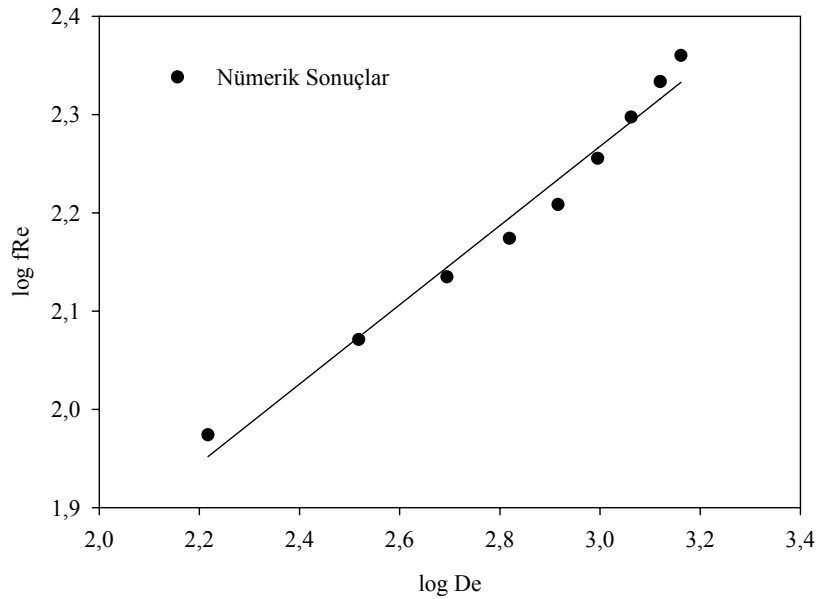
Şekil 5.102'den görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça ortalama Fanning sürtünme katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı ve Fanning sürtünme katsayısı arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

Dean sayısı ve fRe ilişkisi

Şekil 5.103'de Darcy sürtünme faktörü f ile Reynolds sayısının çarpımından oluşan boyutsuz fRe sayısı ile Dean sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Bu boyutsuz sayılar arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler metodu kullanılarak elde edilmiştir.

$$fRe = 11,4288De^{0.4034} \quad (5.44)$$

Dean sayısı ile fRe sayısı arasında doğru orantı olduğu görülmüştür. Bir başka deyişle Dean sayısı arttıkça Darcy sürtünme ile Reynolds sayısının çarpımı artmaktadır.

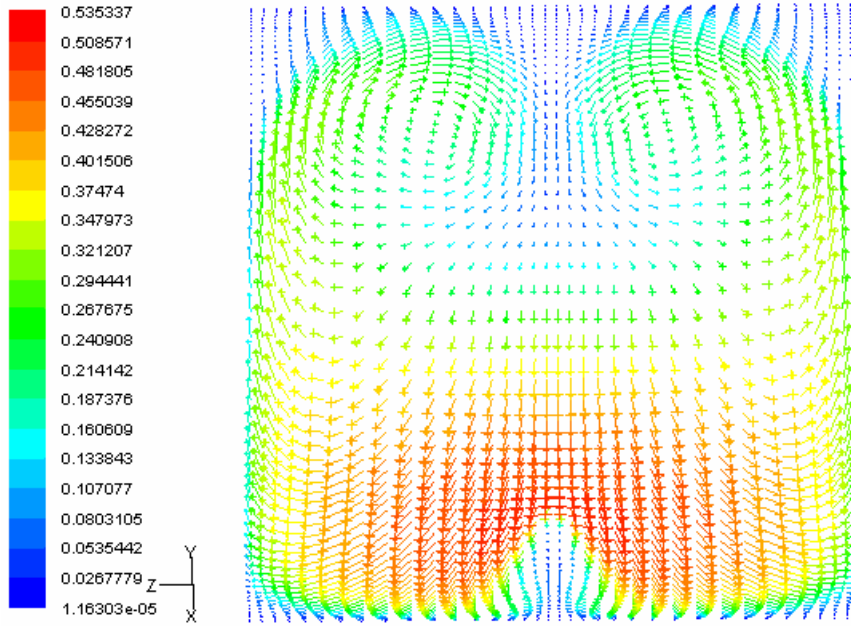


Şekil 5.103. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

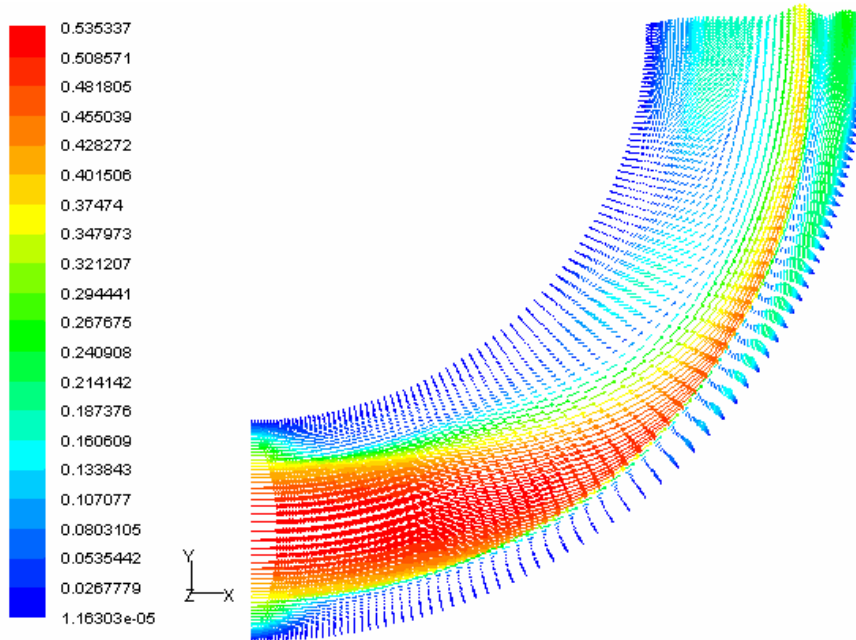
Kanal boyunca hız vektörleri

İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanala tam gelişmiş hız profili ile giren akışkanın Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında kanal boyunca hareketi incelenmiştir. Şekil 5.104’de ise Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için hız vektörleri verilmiştir.

Şekilden de görüldüğü üzere iki kanatçıklı eğimli kanalda kanatçık yüksekliği arttıkça kanalın içerisine hidrodinamik olarak tam gelişmiş giren akışın hız vektörlerinin yönü kanal içerisinde bulunan kanatçıklara çarpması sonucu değişmektedir. Kanal kesitinin üst kısmında akışın birbirine zıt yönde döndüğü hız vektörlerinin incelenmesinden görülebilir. Kanal kesitinin alt kısmında ise akışın birbirine ters yönde hareket ettiği yine hız vektörlerinin incelenmesinden görülebilir. Aynı akış hareketinin kanal orta kesiminde gözlemlemek mümkündür. Kırmızı bölgelerde akış hızı yüksek mavi bölgelerde ise daha düşüktür.



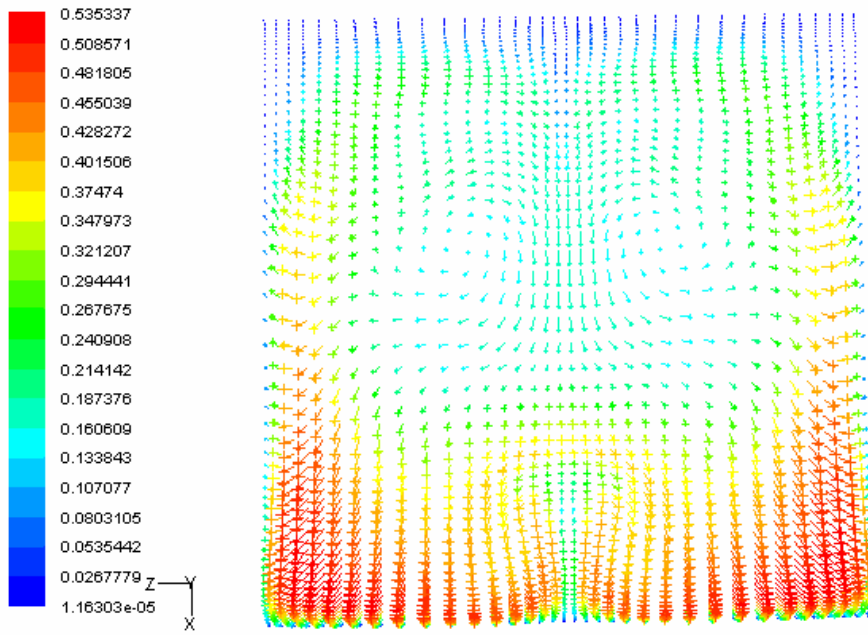
Şekil 5.104. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45° 'lik kesitli kanal boyunca hız vektörleri



Şekil 5.105. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ için kanal boyunca hız vektörleri

Kanal çıkışında hız vektörleri

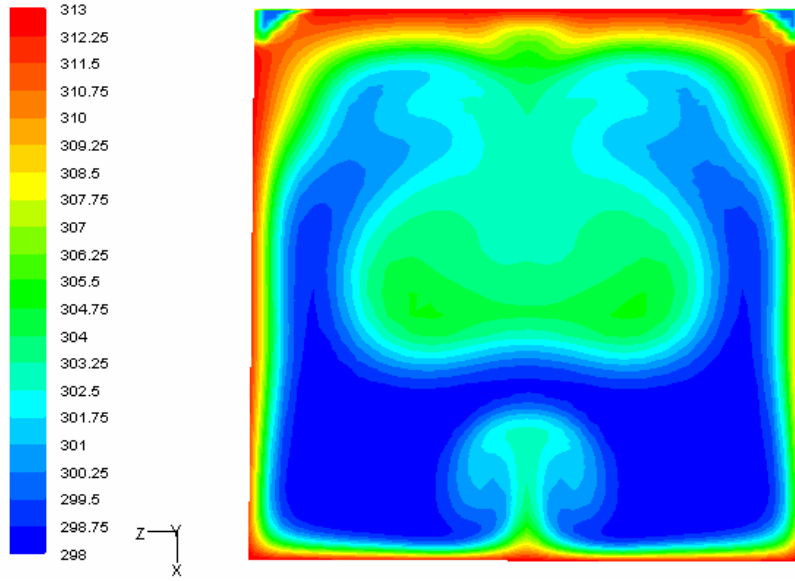
Şekil 5.106’da kanal çıkışındaki hız vektörleri görülmektedir. Kanatçık yüksekliği arttıkça kanalın sağ ve sol tarafında oluşan girdaplar belirginleşmiş ve birbirine zıt yönde akmaya başlamıştır.



Şekil 5.106. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri

Kanal çıkışında sıcaklık dağılımı

Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında, kanal içindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Şekil 5.107’de akışkanın kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için verilmiştir. Böylece kanatçığın sıcaklık dağılımına olan etkisi gözle görülür olmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere kanatçık etrafında sıcaklık eğrileri oluşmuştur. Kanatçık yüksekliğinin sıcaklık dağılımı üzerine olan etkisi Şekil 5.107’de görülmektedir. Kanal kesitinin alındığı bölge incelenirse, alt kanatçığın olduğu bölgede akış sıcaklığı orta bölgede olan akışkana göre daha sıcaktır.

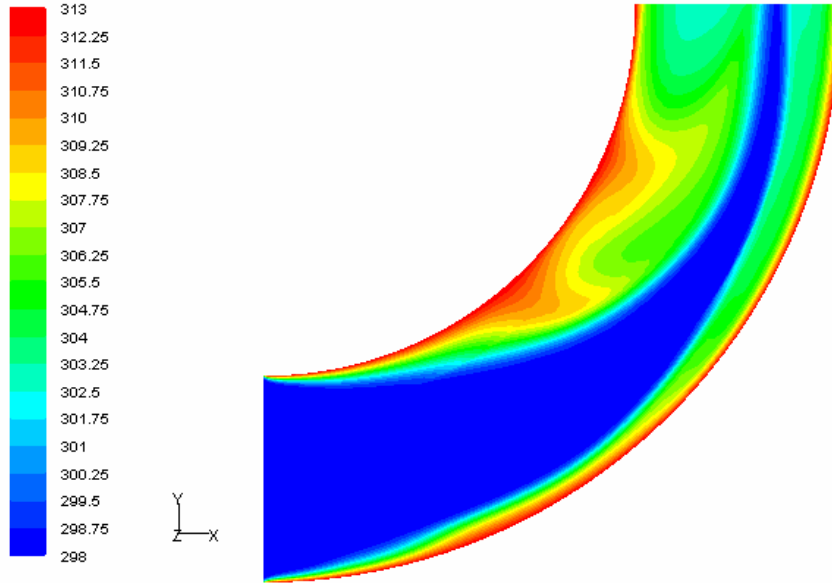


Şekil 5.107. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı

Kanal boyunca sıcaklık dağılımı

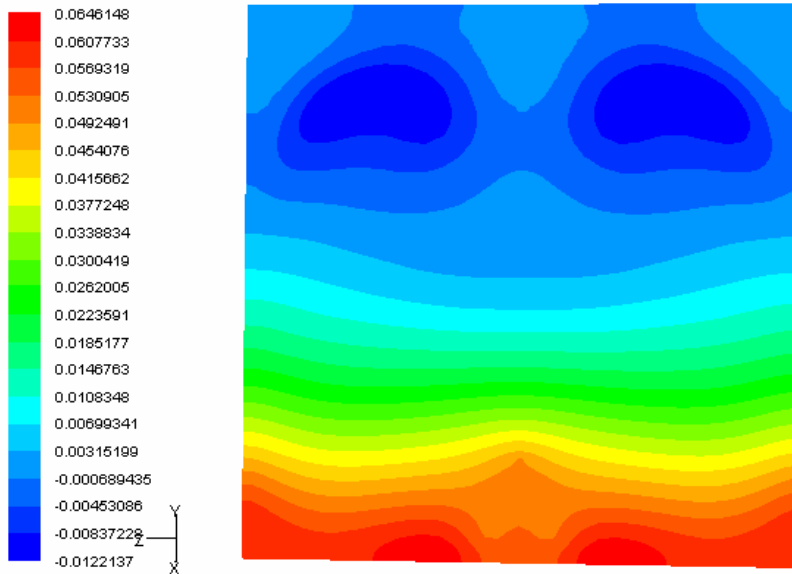
Şekil 5.108’de y eksenine göre simetrik olarak kanal boyunca sıcaklık dağılımı verilmiştir. Kanatçık sayısının ikiye çıkmasıyla üst duvarda da sıcaklık eğrilerinin olduğu görülmektedir.

Kanal girişinde akışkanın büyük bir kısmı giriş sıcaklığında olmasına kanal çeperleri ile temas eden akışkan daha yüksek sıcaklıktadır. Kanalin iç kısmındaki çeper ile temas eden akışkan ise hızla ısınmış ve yüksek bir sıcaklığa erişmiştir. Bunun nedeni ise muhtemelen merkezkaç kuvvetleri etkisi altında kalan bu bölgedeki akışkanın çeperi daha hızlı yıkamasıdır. Kanalin iç çepere yakın bölgede akışkan çok yüksek sıcaklıkta iken çeperden uzaklaştıkça akışkanın soğuduğu görülmektedir. Şekil 5.108’in dikkatlice incelenmesi sonucu kanal çıkışında, iç çeper ve dış çeperdeki sıcak akışkandan etkilenmeyen bir miktar akışkan giriş sıcaklığında çıkmaktadır. Kanalin dış çeperinde görünen sıcak akışkan ile temas eden daha az sıcaklıkta bir miktar akışkan mevcuttur. Bu akışkanın da kanal girişinden çıkışına kadar yaklaşık aynı sıcaklıkta olduğu görülmüştür.



Şekil 5.108. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı

Kanaldaki basınç dağılımı

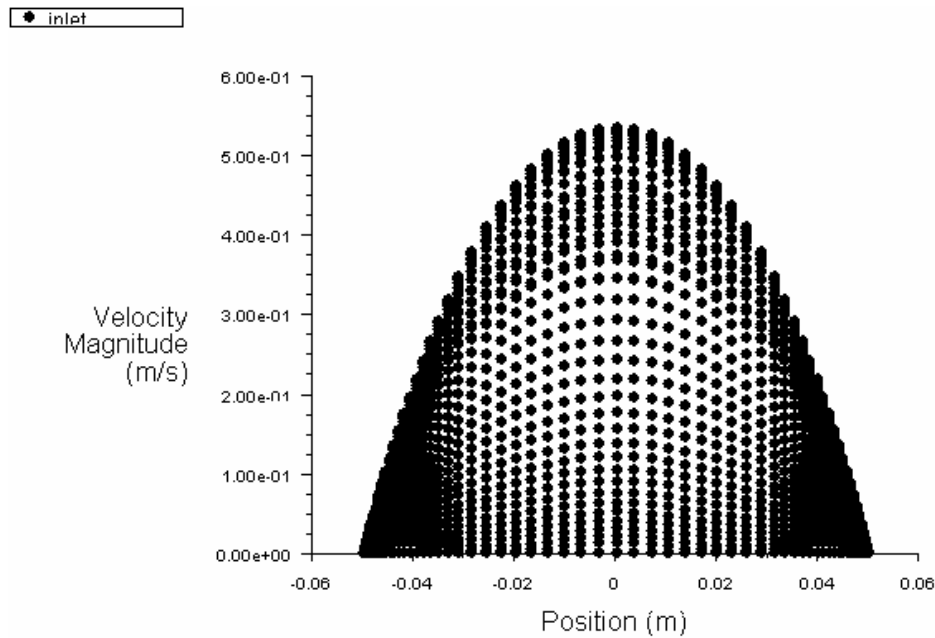


Şekil 5.109. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45° 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı

Şekil 5.109'da 45^0 'lik kesitli kanalda basınç dağılımı verilmiştir. Kanatçıkların bulundukları bölgede basınç artışı gözle görülür şekilde farkedilmektedir.

Kanal girişi hız profili

İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan kanala Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri için hız profili hidrodinamik olarak tam gelişmiş olarak girmektedir. Şekil 5.110'da Reynolds sayısı 1750 için hidrodinamik olarak tam gelişmiş giriş hız profili görülmektedir.



Şekil 5.110. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı

5.5.4. 25 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip İki Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kare kesitli kanal içerisindeki akış ve ısı transferinin sayısal çözümü Reynolds sayısının değişik

değerleri için yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü (f) hesaplanmıştır.

Çizelge 5.15. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar

Reynolds	Nusselt (Eşitlik 4.68)	Nusselt (Eşitlik 4.69)	f
250	7,782	7,326	0,420312
500	11,175	10,893	0,262783
750	13,855	13,711	0,203243
1000	16,160	16,099	0,149178
1250	18,179	18,223	0,145354
1500	20,019	20,182	0,132317
1750	21,741	22,017	0,124627
2000	23,366	23,752	0,118834
2200	24,613	25,087	0,114976

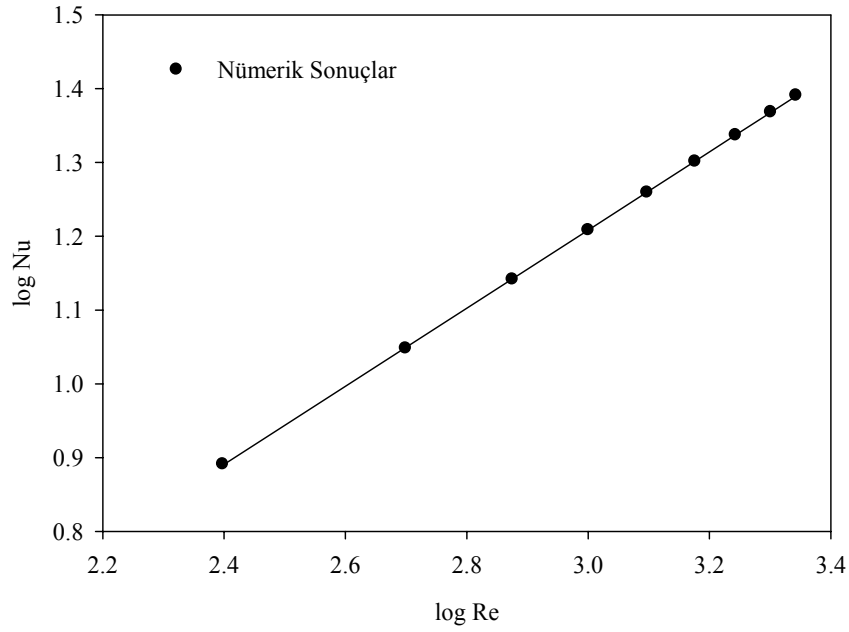
İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal içinde yapılan sayısal hesap sonuçları Çizelge 5.15’de verilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilerek Eş. 5.45’de verilmiştir.

Ortalama Nusselt sayısı

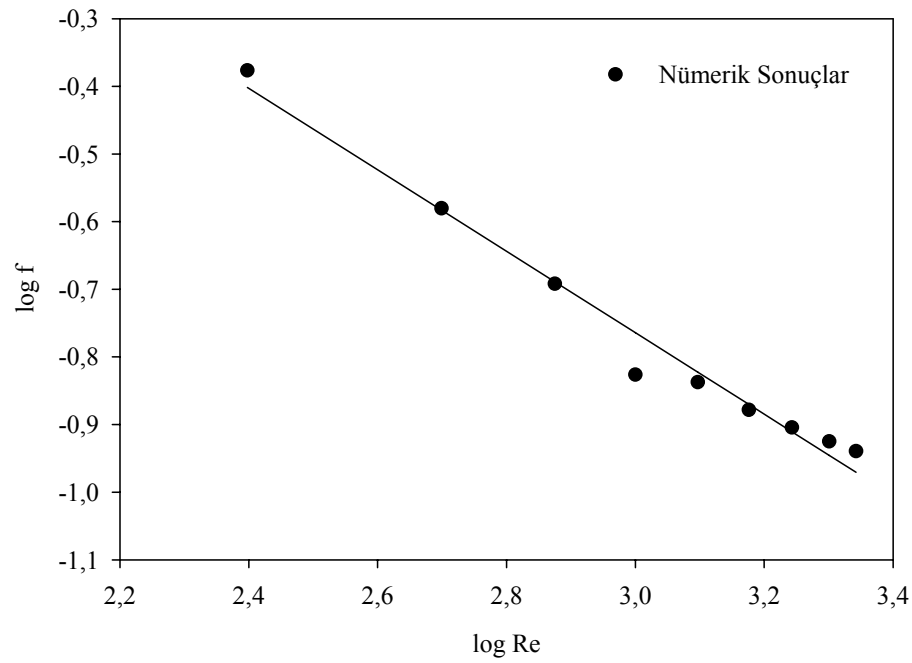
İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda, farklı Reynolds sayılarında hesaplanan Nusselt sayıları Çizelge 5.15’de verilmiştir.

Eş. 5.45’de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile Nusselt sayıları arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile artmaktadır. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yönetimi ile bulunmuştur.

$$\overline{Nu} = 0,4166Re^{0,5296} \quad (5.45)$$



Şekil 5.111. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi



Şekil 5.112. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi

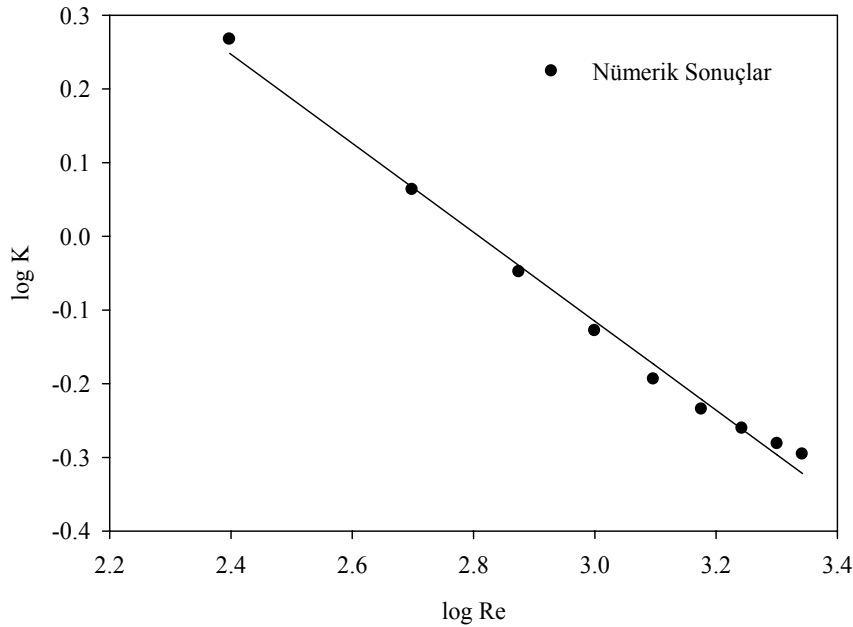
İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanal için farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 5.15’de verilmiştir.

$$f = 11,0408Re^{-0,6024} \quad (5.46)$$

Eş. 5.46’da verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile ortalama sürtünme katsayısı arasındaki ilişki diğer kanatçık yüksekliklerinde olduğu gibi ters orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır

Basınç kayıp katsayısı

Şekil 5.113’de görüleceği üzere Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısı arttıkça basınç kayıp katsayısı azalmıştır.



Şekil 5.113. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

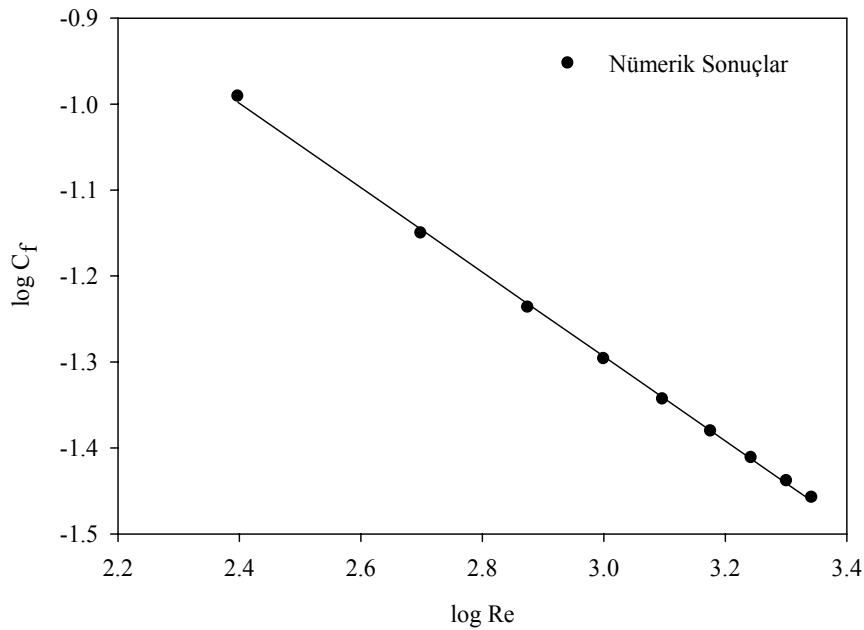
$$K = 49,5450Re^{-0,6034} \quad (5.47)$$

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan basınç kayıp katsayısı (K) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.47’de verilmiştir.

Fanning sürtünme faktörü

Eş. 5.48’de ortalama Fanning sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki verilmiştir.

$$\bar{C}_f = 1,5115Re^{-0,491} \quad (5.48)$$

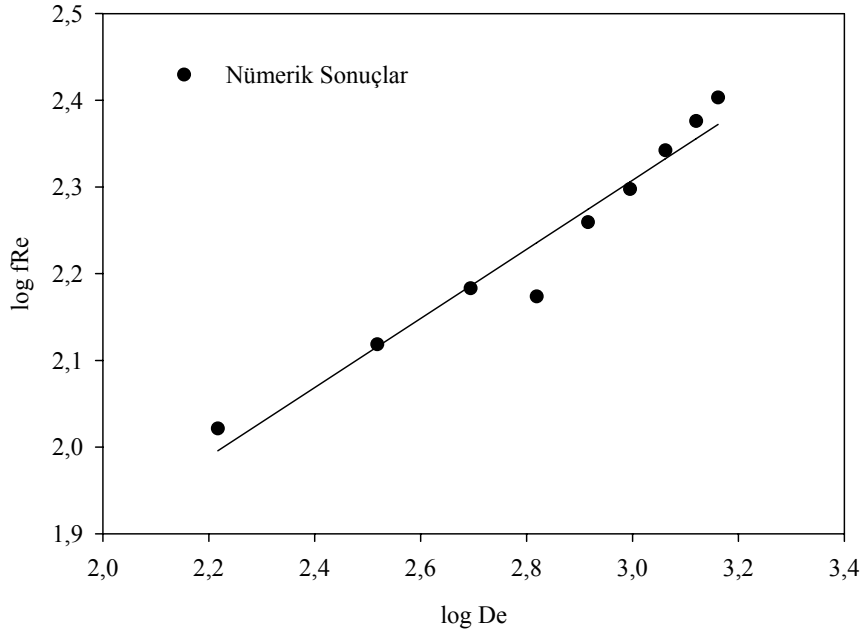


Şekil 5.114. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.114’den görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça ortalama Fanning sürtünme katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı ve Fanning sürtünme katsayısı arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

Dean sayısı ve fRe ilişkisi

Şekil 5.115’de fRe sayısı ile Dean sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Dean sayısı ile fRe sayısı arasında doğru orantı olduğu görülmüştür.

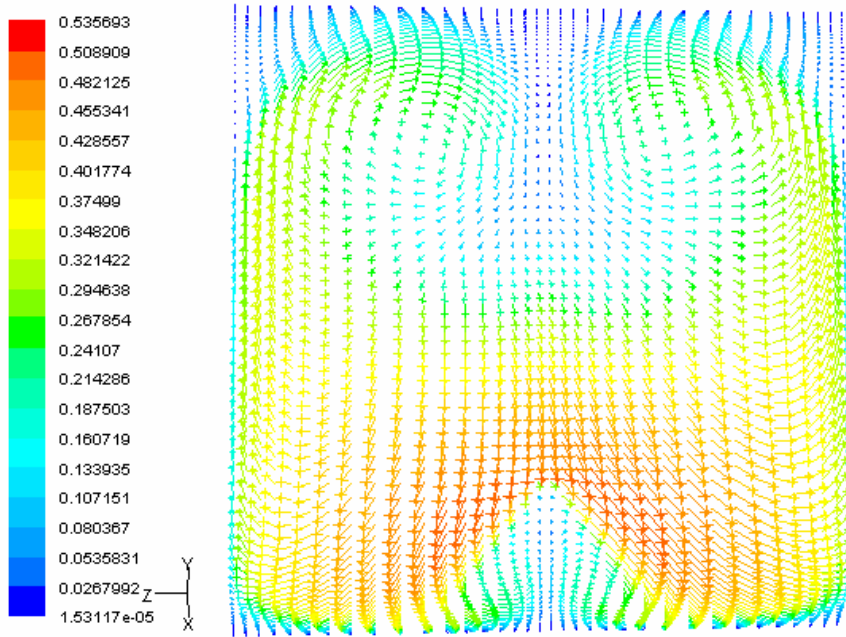


Şekil 5.115. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

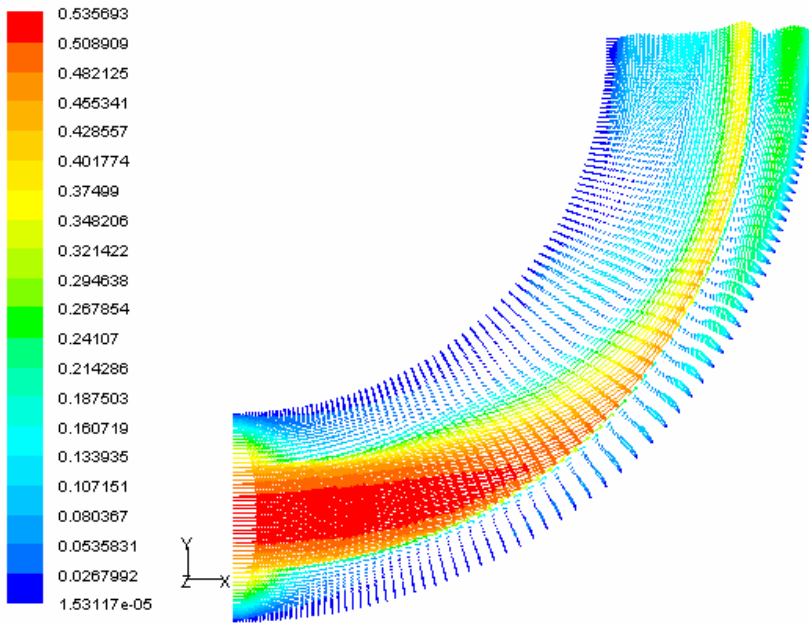
$$fRe = 12,9419Re^{0,3986} \quad (5.49)$$

Kanal boyunca hız vektörleri

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanala tam gelişmiş hız profili ile giren akışkanın Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında kanal boyunca hareketi incelenmiştir. Şekil 5.116’da ise Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için hız vektörleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere iki kanatçıklı eğimli kanalda kanatçık yüksekliği arttıkça kanalın içerisine hidrodinamik olarak tam gelişmiş olarak giren akışın hız vektörlerinin yönü kanal içerisinde bulunan kanatçıklara çarpması sonucu değişmektedir.



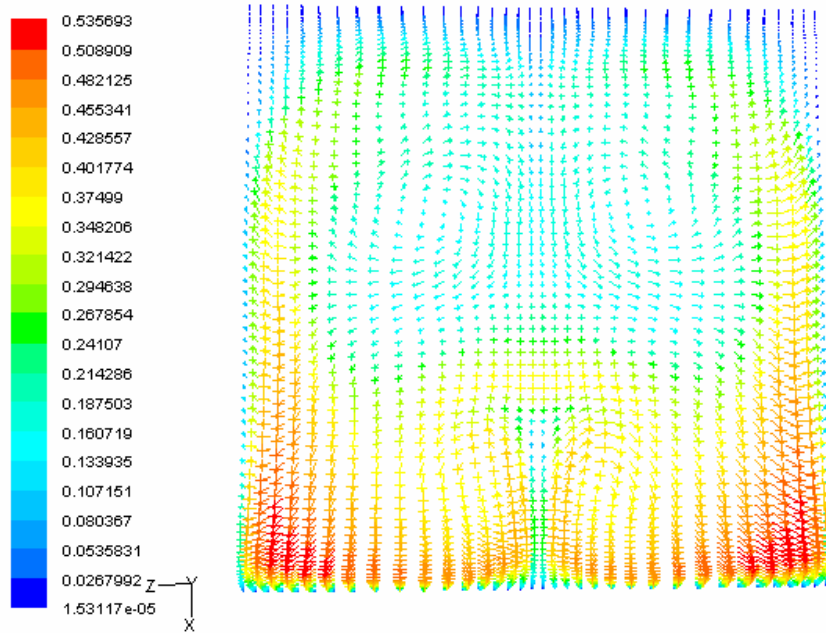
Şekil 5.116. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45⁰'lik kanal boyunca hız vektörleri



Şekil 5.117. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri

Kanal çıkışında hız vektörleri

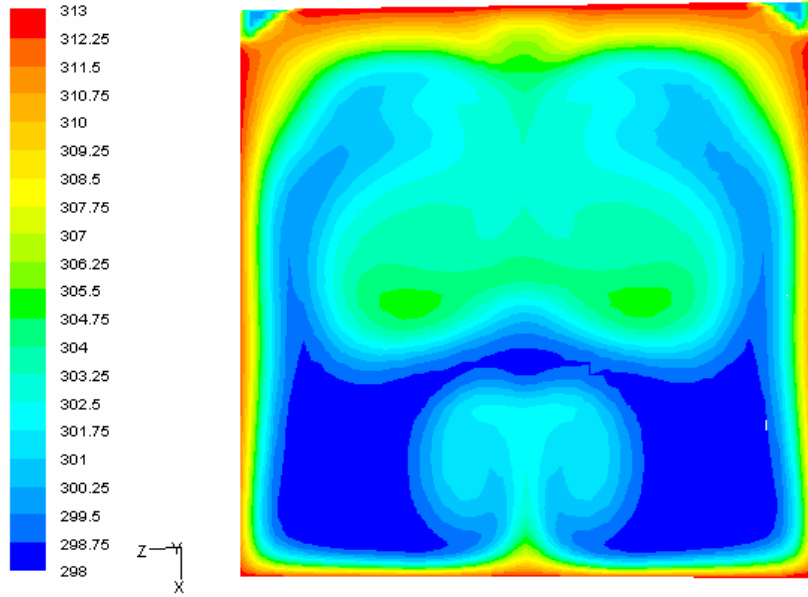
Şekil 5.118’de kanal çıkışındaki hız vektörleri görülmektedir. Kanatçık yüksekliği arttıkça kanalın sağ ve sol tarafında oluşan vorteksler belirginleşmiştir.



Şekil 5.118. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri

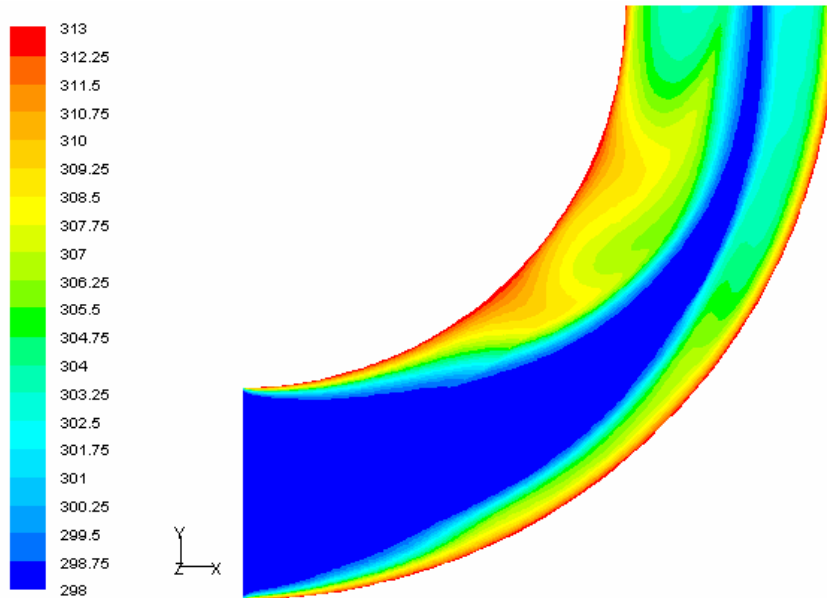
Kanal çıkışında sıcaklık dağılımı

Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında, kanal içindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Şekil 5.119’da akışkanın kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için verilmiştir. Böylece kanatçığın sıcaklık dağılımına olan etkisi gözle görülür olmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere kanatçıklar etrafında sıcaklık eğrileri oluşmuştur. Kanal girişinde akışkanın büyük bir kısmı giriş sıcaklığında olmasına rağmen kanal çeperleri ile temas eden akışkan daha yüksek sıcaklıktadır. Kanalın iç kısmındaki çeper ile temas eden akışkan hızla ısınmış ve yüksek bir sıcaklığa erişmiştir. Bu bölgedeki akışkan sıcaklığı kanatçıklar boyunca çizilecek dikey bir çizgiye göre simetrik olduğu görülmüştür.



Şekil 5.119. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı

Kanal boyunca sıcaklık dağılımı

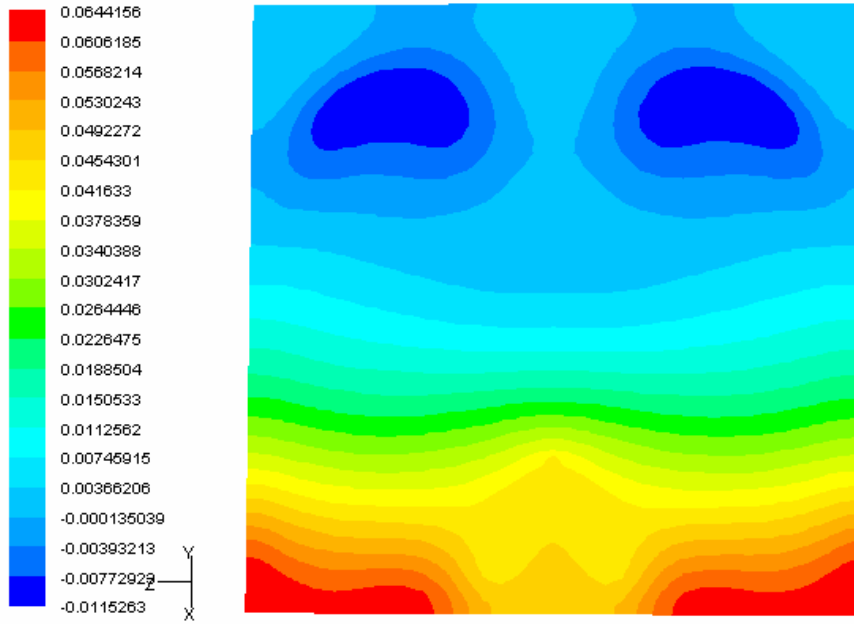


Şekil 5.120. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re=1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı

Şekil 5.120’de y eksenine göre simetrik olarak kanal boyunca sıcaklık dağılımı verilmiştir. Kanatçık sayısının ikiye çıkmasıyla üst duvarda da sıcaklık eğrilerinin oluştuğu görülmektedir.

Kanaldaki basınç dağılımı

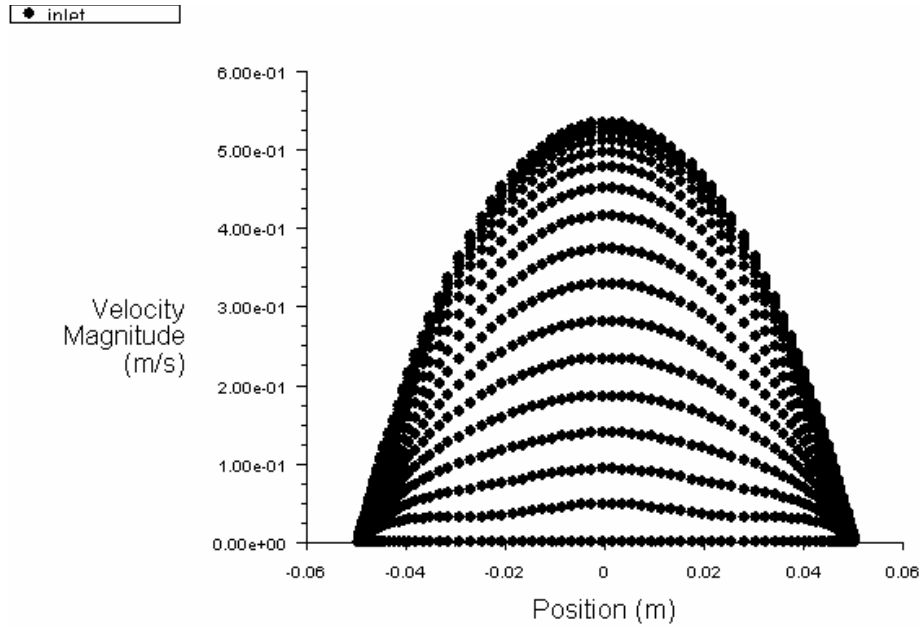
Şekil 5.121’de 45^0 ’lik kesitli kanalda basınç dağılımı verilmiştir. Kanatçıkların bulunduğu bölgelerde yüksekliklerinin artmasıyla basınç artışı gözle görülür şekilde farkedilmektedir. Kanatçıklardan üst ve yan duvarlara doğru basınç dağılımının azaldığı görülmüştür.



Şekil 5.121. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45^0 ’lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı

Kanal girişi hız profili

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan kanala Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri için hız profili hidrodinamik olarak tam gelişmiş olarak girmektedir. Şekil 5.122’de Reynolds sayısı 1750 için hidrodinamik olarak tam gelişmiş giriş hız profili görülmektedir.

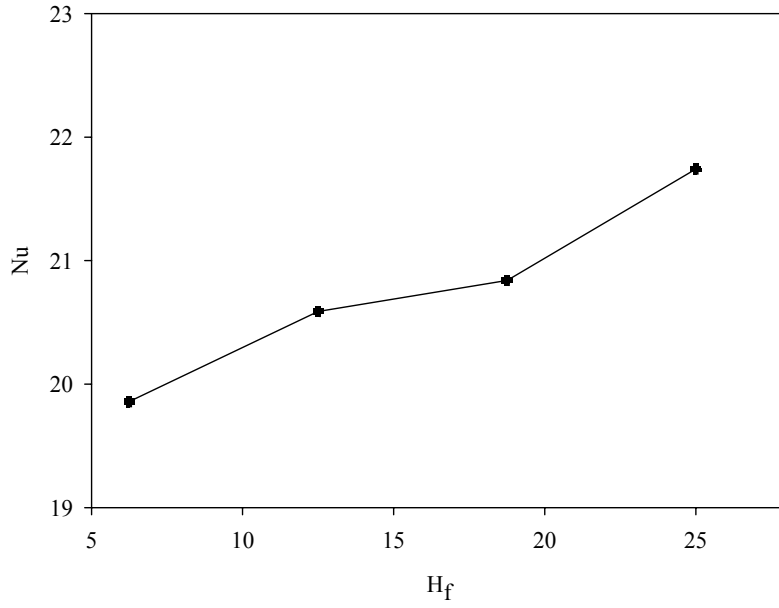


Şekil 5.122. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde iki kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı

İçerisinde iki kanatçık bulunan eğimli bir kanalda 6,25 mm, 12,5 mm, 18,75 mm ve 25 mm kanatçık yükseklikleri ile çalışılmıştır. Çizelge 5.16’da kanatçık yüksekliklerinin sırasıyla ortalama Nusselt sayısına, ortalama Darcy sürtünme faktörüne, basınç kayıp katsayısına, ortalama Fanning sürtünme faktörüne ve fRe sayısına olan etkisi gösterilmiştir. Kanatçık yüksekliğinin değişiminin mühendislik hesaplamalarında kullanılan bu sayılara olan etkisi tartışılmıştır.

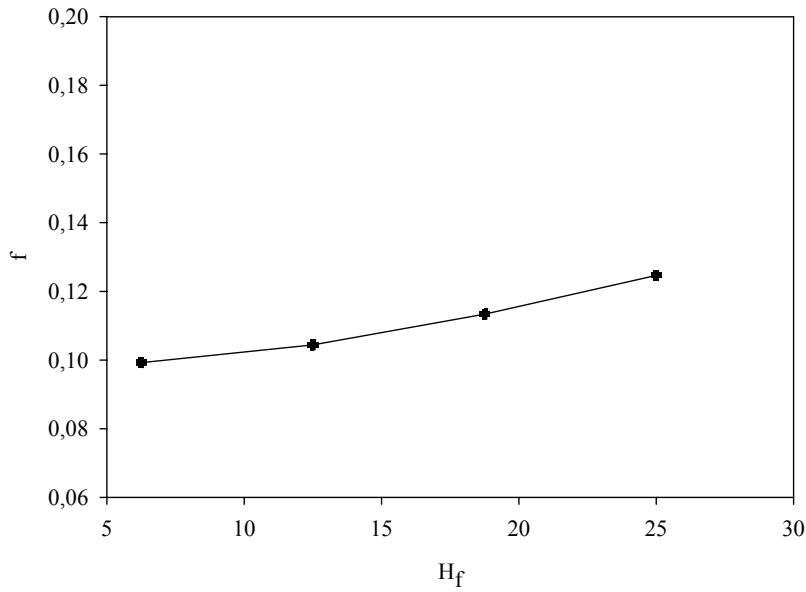
Çizelge 5.16. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ve nümerik sonuçlar

Kanatçık yüksekliği (mm)	Nu	f	K	C_f	fRe
6,25	19,858	0,0992	0,4366	$3,5174 \times 10^{-2}$	173,6339
12,5	20,588	0,1044	0,4595	$3,6284 \times 10^{-2}$	182,7437
18,75	20,84	0,1133	0,4986	$3,6651 \times 10^{-2}$	198,3117
25	21,741	0,1246	0,5484	$3,877 \times 10^{-2}$	219,8473



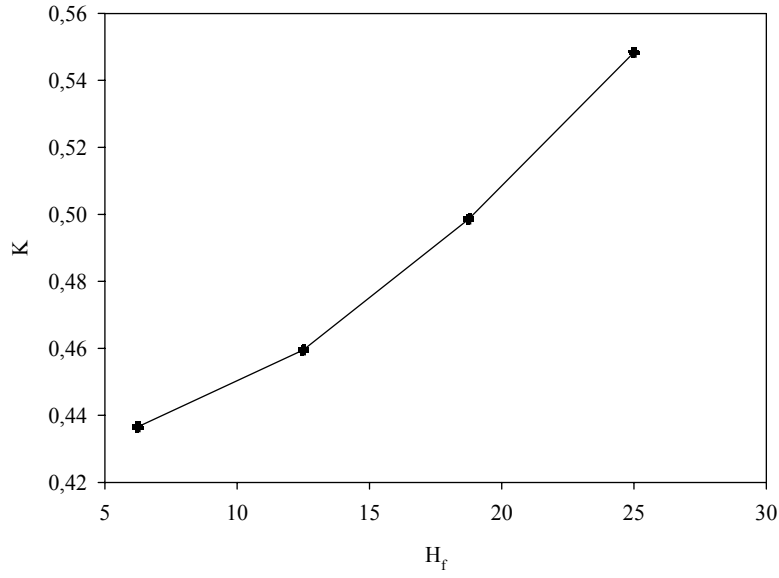
Şekil 5.123. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile Nusselt sayısının Değişimi

Şekil 5.123’de kanatçık yükseklikleri ile Nusselt sayısının değişimi verilmiştir. Kanatçık yüksekliği arttıkça Nusselt sayısının da arttığı görülmüştür.

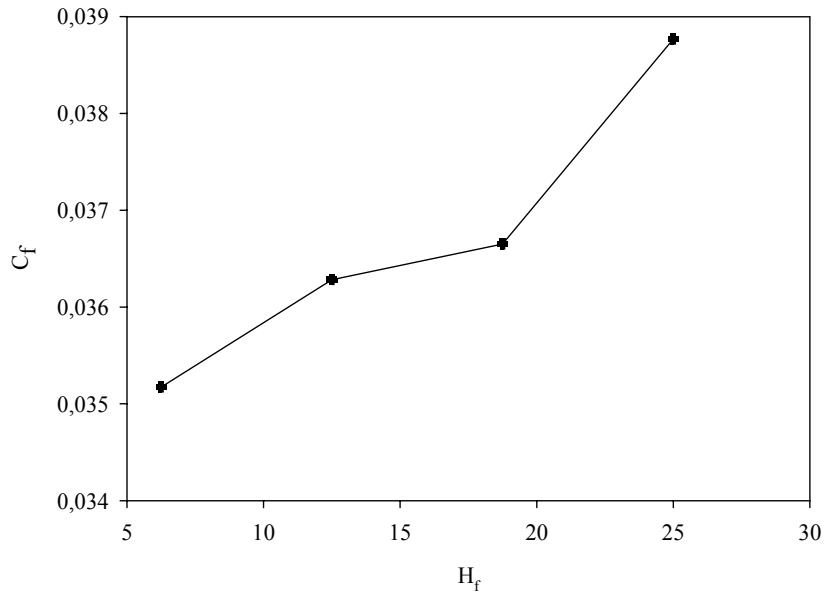


Şekil 5.124. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile ortalama Darcy sürtünme faktörünün değişimi

Şekil 5.124’de kanatçık yükseklikleri ile ortalama Darcy sürtünme faktörünün değişimi verilmiştir. Kanatçık yüksekliği arttıkça ortalama Darcy sürtünme faktörünün de arttığı görülmüştür.



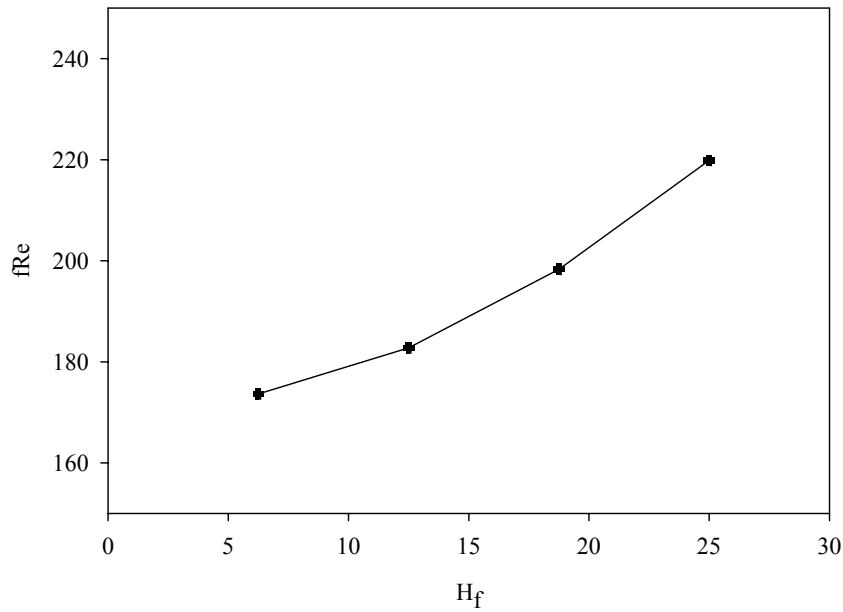
Şekil 5.125. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile basınç kayıp katsayısının değişimi



Şekil 5.126. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile ortalama Fanning sürtünme faktörünün değişimi

Şekil 5.125’de kanatçık yükseklikleri ile basınç kayıp katsayısının değişimi verilmiştir. Kanatçık yükseklikleri arttıkça basınç kayıp katsayısının da arttığı görülmüştür.

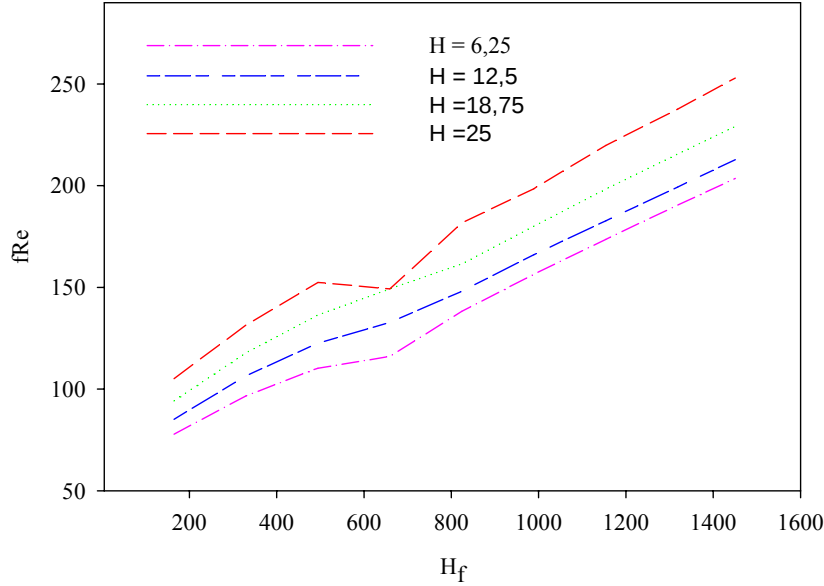
Şekil 5.126’da kanatçık yükseklikleri ile ortalama Fanning sürtünme faktörünün değişimi verilmiştir. Kanatçık yüksekliklerinin artmasıyla ortalama Fanning sürtünme faktörünün de arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.127. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile fRe sayısının Değişimi

Şekil 5.127’de kanatçık yükseklikleri ile fRe sayısının değişimi verilmiştir. Kanatçık yüksekliklerinin artmasıyla fRe sayısının arttığı görülmüştür.

Şekil 5.128’de, belirtilen kanatçık yüksekliklerinde değişik Dean sayıları için fRe sayıları gösterilmiştir. Belirli bir Dean sayısında kanatçık yüksekliği arttıkça fRe sayısı artmaktadır. Başka bir ifade ile sürtünme katsayısı artmaktadır. Sabit kanatçık yüksekliği ele alınırsa Dean sayısı arttıkça fRe sayısı da artmaktadır.



Şekil 5.128. $R = 0,4347$ eğrilik oranı için fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

5.6. Kanal Girişinde Parabolik Hız Profiline Sahip Üç Kanatçıklı Eğimli Kanal İçindeki Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

5.6.1. 6,25 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Üç Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kare kesitli kanal içerisindeki akış ve ısı transferinin sayısal çözümü Reynolds sayısının değişik değerleri için yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü (f) hesaplanmıştır.

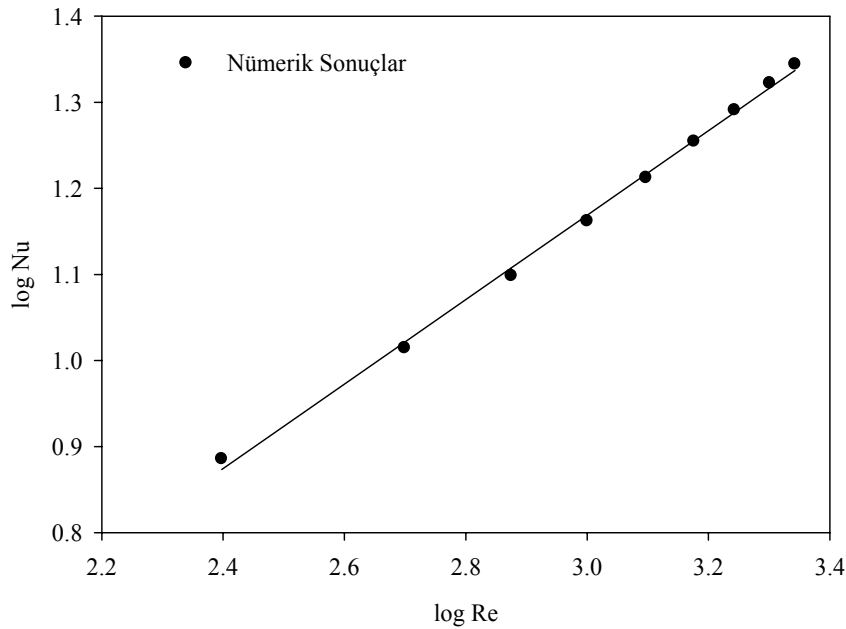
İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal içinde yapılan sayısal hesap sonuçları Çizelge 5.17’de verilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilerek Eş. 5.50’de verilmiştir.

Çizelge 5.17. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar.

Reynolds	Nusselt (Eşitlik 4.68)	Nusselt (Eşitlik 4.69)	f
250	7,686	7,211	0,315266
500	10,339	10,012	0,195807
750	12,546	12,31	0,153072
1000	14,523	14,343	0,132974
1250	16,31	16,19	0,121439
1500	17,971	17,905	0,113625
1750	19,537	19,525	0,107602
2000	21,0	21,035	0,102302
2200	22,091	22,157	0,098294

Ortalama Nusselt sayısı

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda, farklı Reynolds sayılarında hesaplanan Nusselt sayıları Çizelge 5.17’de verilmiştir.

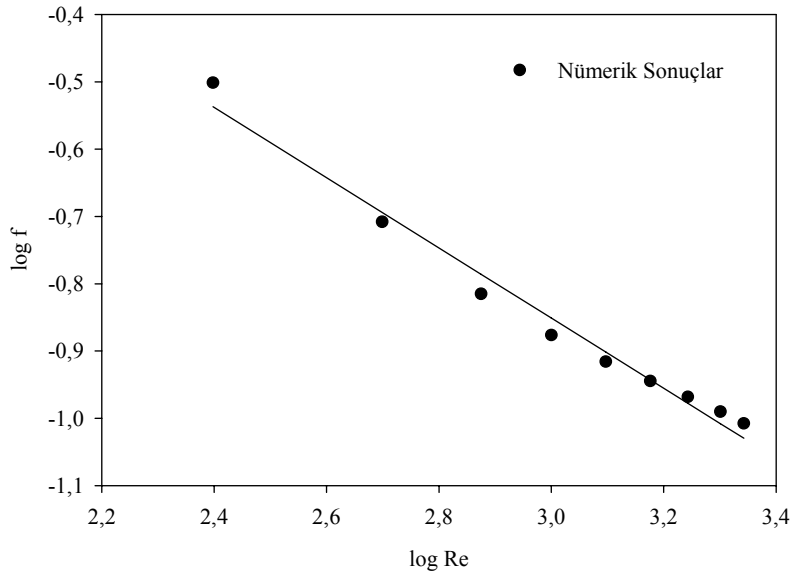


Şekil 5.129. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Eş. 5.50’de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile Nusselt sayıları arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile artmaktadır.

Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yönetimi ile bulunmuştur.

$$\overline{Nu} = 0,4972Re^{0,4908} \quad (5.50)$$



Şekil 5.130. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi

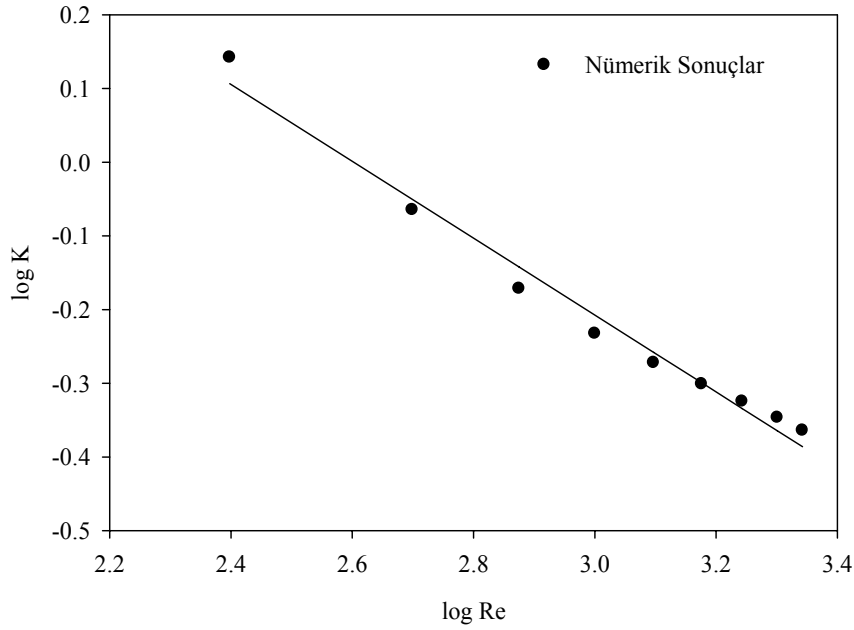
İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal için farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 5.17'de verilmiştir.

$$f = 5,1701Re^{-0,5215} \quad (5.51)$$

Eş. 5.51'de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile ortalama sürtünme katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır.

Basınç kayıp katsayısı

Şekil 5.131'de görüleceği üzere Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısı arttıkça basınç kayıp katsayısı azalmıştır.



Şekil 5.131. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

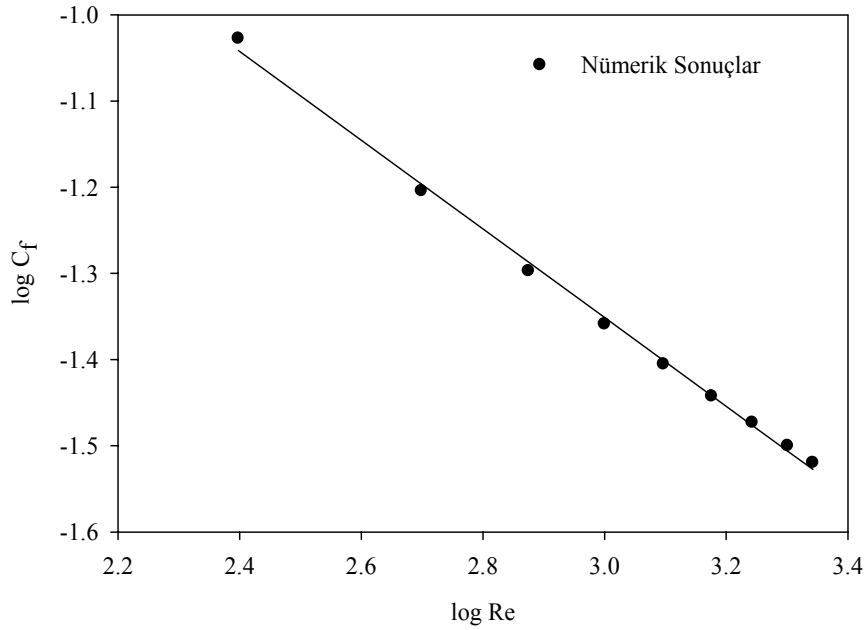
$$K = 22,751Re^{-0,5215} \quad (5.52)$$

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan basınç kayıp katsayısı (K) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.52’de verilmiştir.

Fanning sürtünme faktörü

Eş. 5.53’de ortalama Fanning sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki verilmiştir.

$$\overline{C_f} = 1,5570Re^{-0,5145} \quad (5.53)$$



Şekil 5.132. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

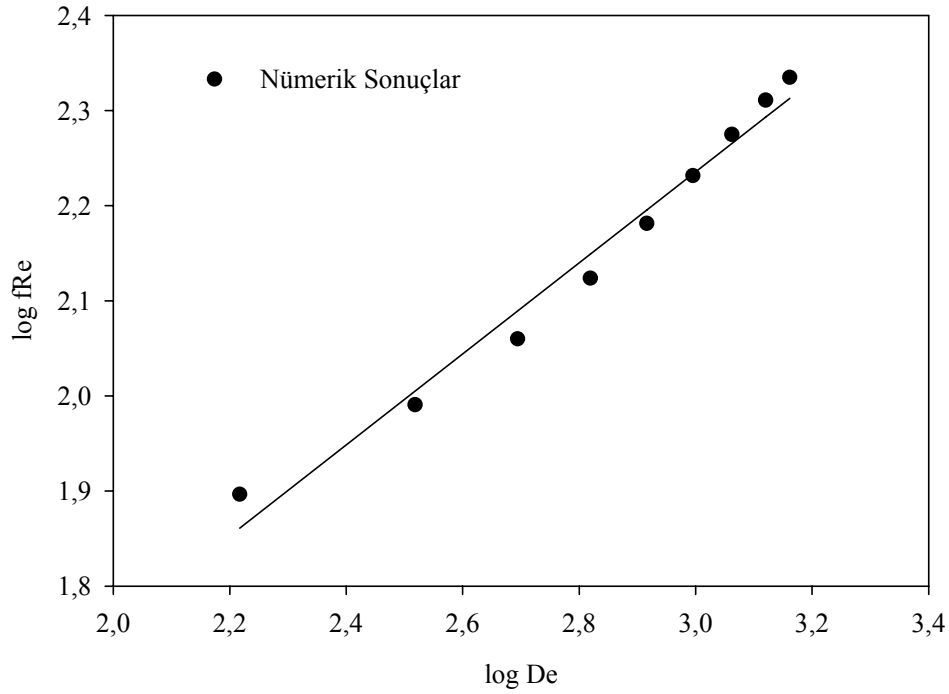
Şekil 5.132'den görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça ortalama Fanning sürtünme katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı ve Fanning sürtünme katsayısı arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

Dean sayısı ve fRe ilişkisi

Şekil 5.133'de Darcy sürtünme faktörü f ile Reynolds sayısının çarpımından oluşan boyutsuz fRe sayısı ile Dean sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Bu boyutsuz sayılar arasındaki fonksiyonel arasındaki ilişki en küçük kareler metodu kullanılarak elde edilmiştir.

$$fRe = 3,8397Re^{0,4787} \quad (5.54)$$

Dean sayısı ile fRe sayısı arasında doğru orantı olduğu görülmüştür. Bir başka deyişle Dean sayısı arttıkça Darcy sürtünme ile Reynolds sayısının çarpımı artmaktadır.

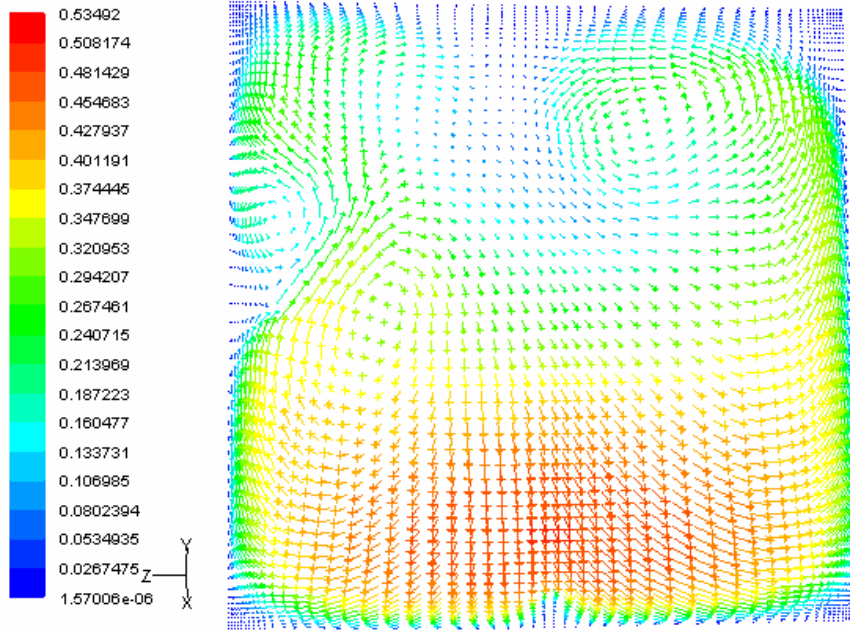


Şekil 5.133. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

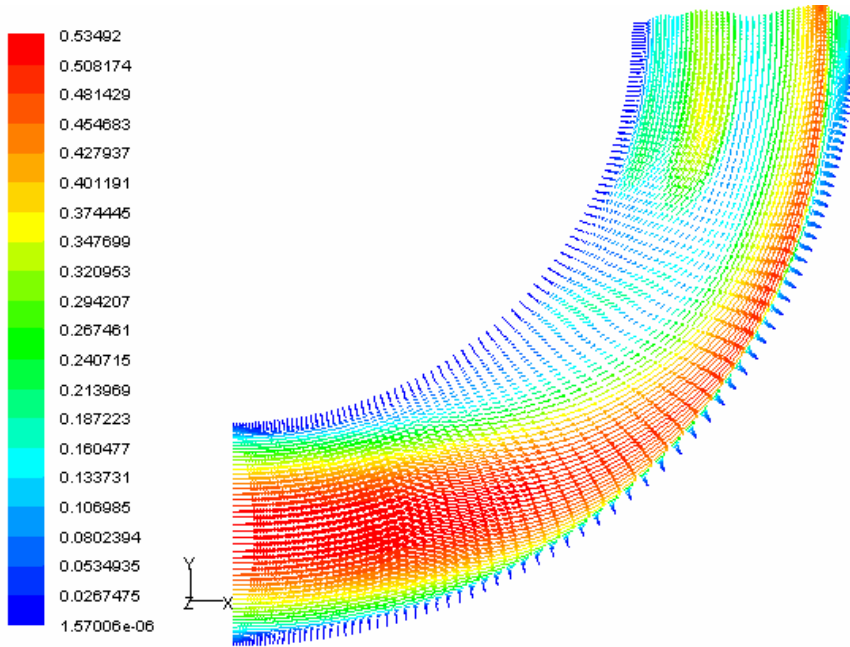
Kanal boyunca hız vektörleri

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanala tam gelişmiş hız profili ile giren akışkanın Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında kanal boyunca hareketi incelenmiştir. Şekil 5.134’de ise Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için hız vektörleri verilmiştir.

Şekilden de görüldüğü üzere üç kanatçıklı eğimli kanalda kanatçık sayısı arttıkça kanalın içerisine hidrodinamik olarak tam gelişmiş giren akışın hız vektörlerinin yönü kanal içerisinde bulunan kanatçıklara çarpması sonucu değişmektedir. Kanal kesitinin üst kısmında akışın birbirine zıt yönde döndüğü hız vektörlerinin incelenmesinden görülebilir. Kanalın alt bölgesindeki akışın daha hızlı hareket ettiği yine hız vektörlerinin incelenmesi sonucu anlaşılmaktadır.



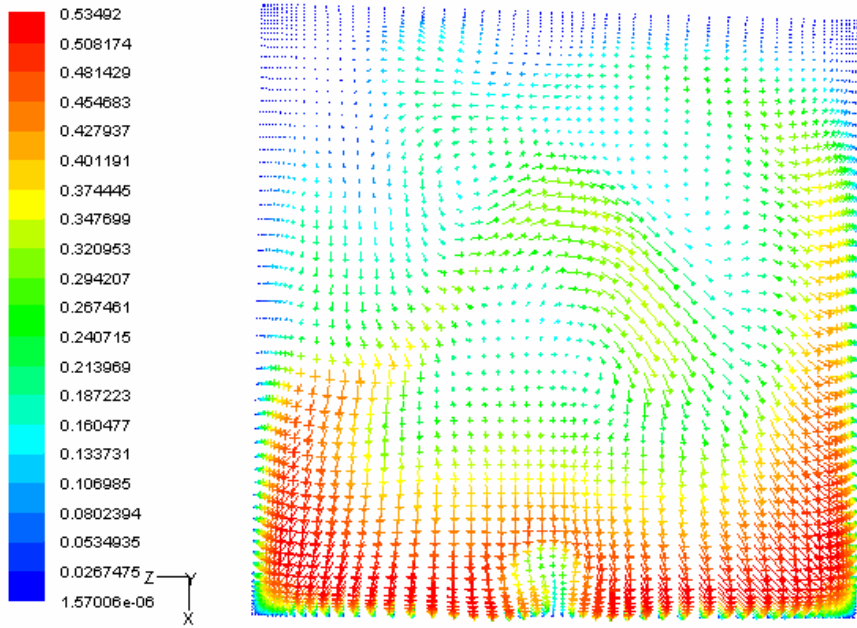
Şekil 5.134. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lık kesitli kanal boyunca hız vektörleri



Şekil 5.135. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri

Kanal çıkışında hız vektörleri

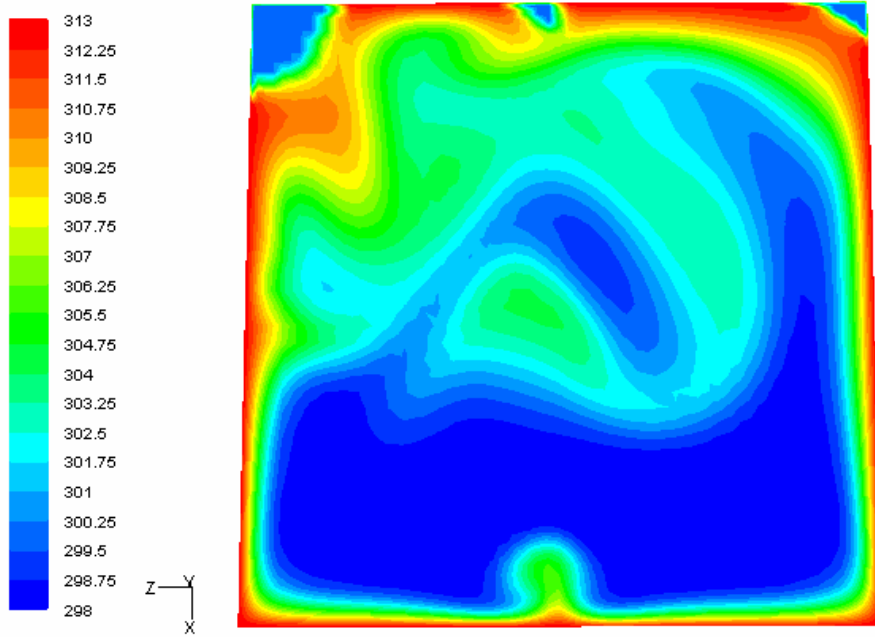
Şekil 5.136'da kanal çıkışındaki hız vektörleri görülmektedir. Kanatçık sayısı arttıkça vortekslerin yerinde değiştiği görülmüştür. Kanatçıkların karşılıklı ve yan duvarda bir adet olması girdapların yerinin değişme sebebidir.



Şekil 5.136. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri

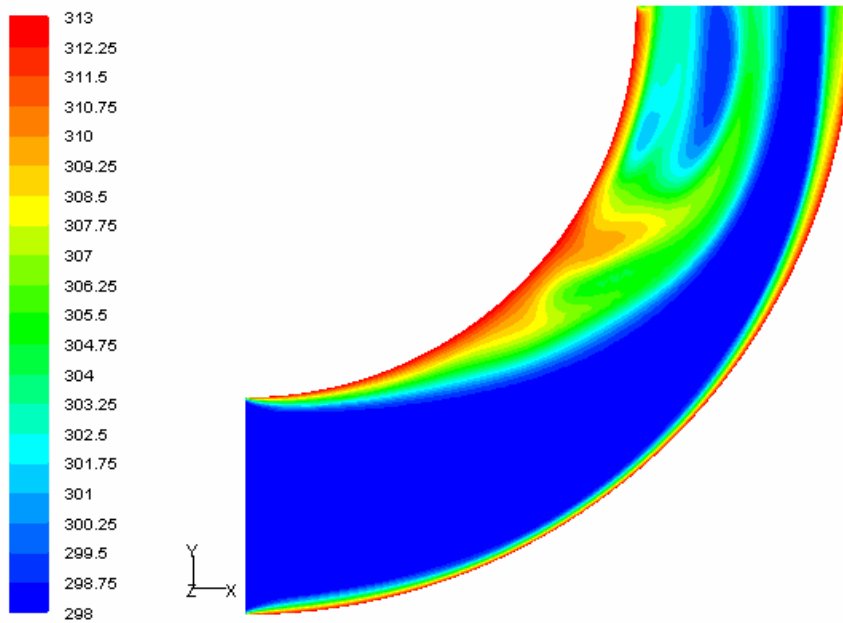
Kanal çıkışında sıcaklık dağılımı

Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında, kanal içindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Şekil 5.137'de akışkanın kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için verilmiştir. Böylece kanatçığın sıcaklık dağılımına olan etkisi gözle görülür olmuştur. Kanatçıkların sayısının artması akışkanın kanal içerisinde karışmasına neden olmuştur. Bu yüzden sıcaklık eğrilerinin görünümü düzensizleşmiştir. Kanalın alt yüzeyinde bulunan kanatçık etrafındaki akışkanın kanal çeperleriyle temas halindeki akışkana göre daha az sıcaklıkta olduğu görülmektedir.



Şekil 5.137. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı

Kanal boyunca sıcaklık dağılımı

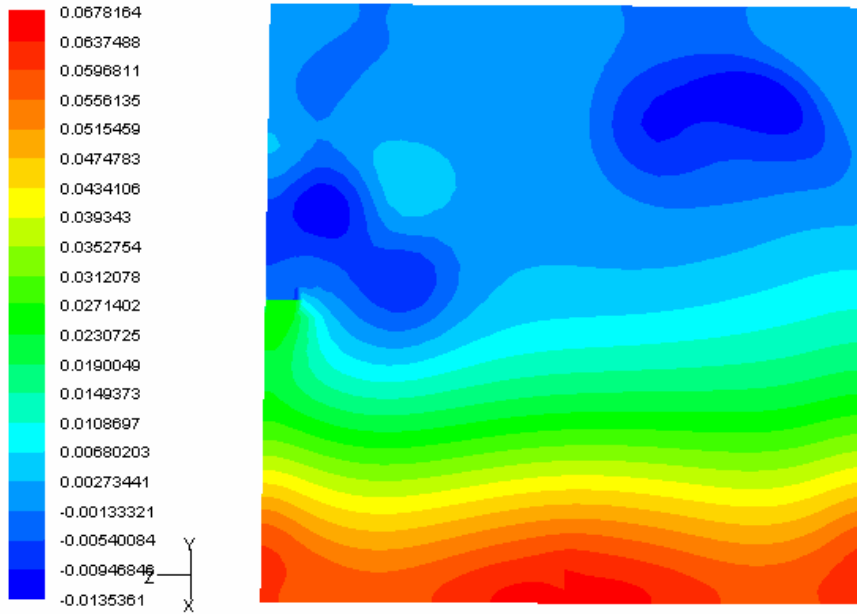


Şekil 5.138. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı

Şekil 5.138’de y eksenine göre simetrik olarak kanal boyunca sıcaklık dağılımı verilmiştir. Kanatçık sayısının üçe çıkmasıyla sıcaklık dağılımının üst duvarda yoğunlaştığı gözlemlenmiştir.

Kanaldaki basınç dağılımı

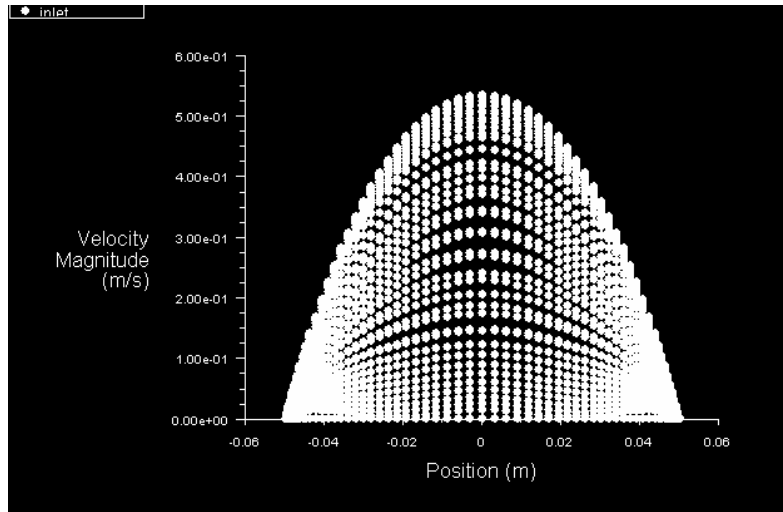
Şekil 5.139’da 45^0 ’lik kesitli kanalda basınç dağılımı verilmiştir. Kanatçıkların bulundukları bölgelerde basınç dağılımlarının yoğunlaştığı gözlemlenmiştir. Kanatçıklardan üst ve yan duvarlara doğru basınç dağılımının azaldığı görülmüştür.



Şekil 5.139. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45^0 ’lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı

Kanal girişi hız profili

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan kanala Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri için hız profili hidrodynamic olarak tam gelişmiş olarak girmektedir. Şekil 5.140’da Reynolds sayısı 1750 için hidrodynamic olarak tam gelişmiş giriş hız profili görülmektedir.



Şekil 5.140. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı

5.6.2. 12,5 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Üç Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kare kesitli kanal içerisindeki akış ve ısı transferinin sayısal çözümü Reynolds sayısının değişik değerleri için yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü hesaplanmıştır.

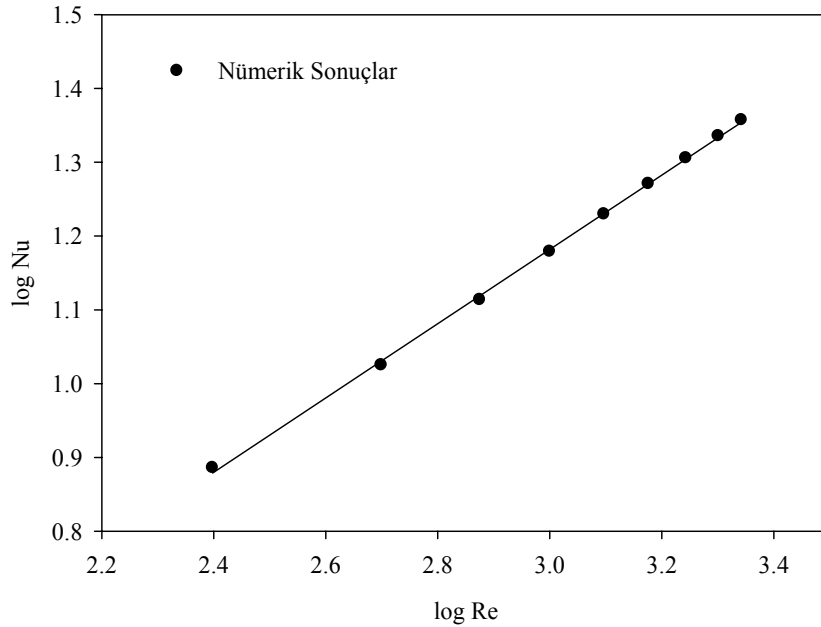
Çizelge 5.18. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar

Reynolds	Nusselt (Eşitlik 4.68)	Nusselt (Eşitlik 4.69)	f
250	7,689	7,211	0,356363
500	10,602	10,260	0,225353
750	12,993	12,74	0,176291
1000	15,102	14,917	0,150712
1250	16,968	16,843	0,136258
1500	18,658	18,583	0,126463
1750	20,213	20,190	0,119381
2000	21,662	21,690	0,114003
2200	22,763	22,839	0,110492

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal içinde yapılan sayısal hesap sonuçları Çizelge 5.18’de verilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilerek Eş. 5.55’de verilmiştir.

Ortalama Nusselt sayısı

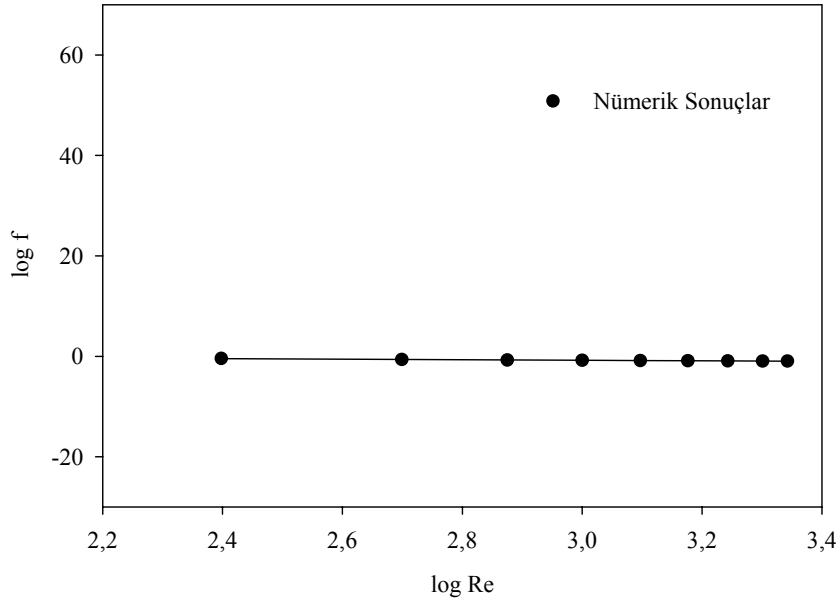
İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda, farklı Reynolds sayılarında hesaplanan Nusselt sayıları Çizelge 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.141. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Eş. 5.55’de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile Nusselt sayıları arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile artmaktadır. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yönetimi ile bulunmuştur.

$$\overline{Nu} = 0,4700Re^{0,5033} \quad (5.55)$$



Şekil 5.142. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi

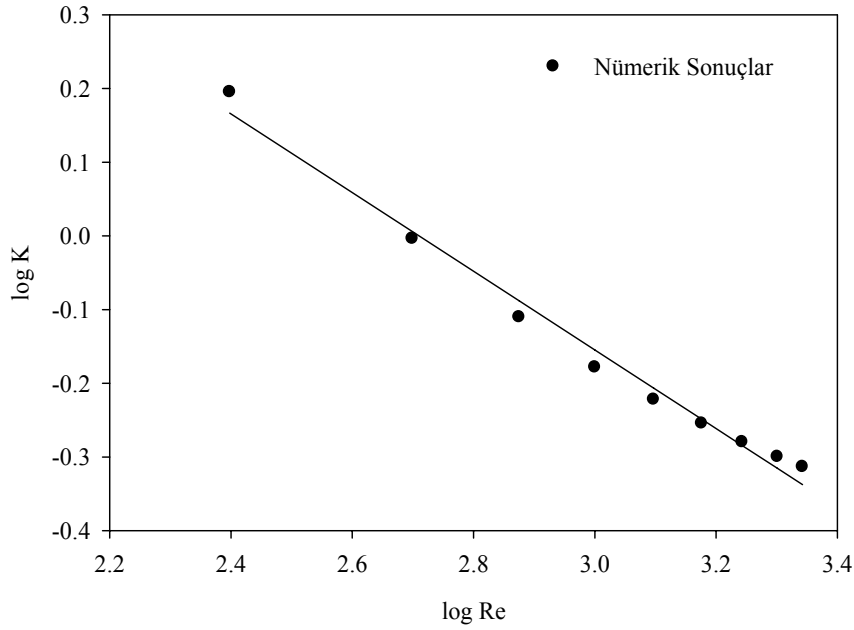
İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal için farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 5.17'de verilmiştir.

$$f = 6,3416Re^{-0,5336} \quad (5.56)$$

Eş. 5.56'da verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile ortalama sürtünme katsayısı arasındaki ilişki diğer kanatçık yüksekliklerinde olduğu gibi ters orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır

Basınç kayıp katsayısı

Şekil 5.143'de görüleceği üzere Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısı arttıkça basınç kayıp katsayısı azalmıştır.



Şekil 5.143. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

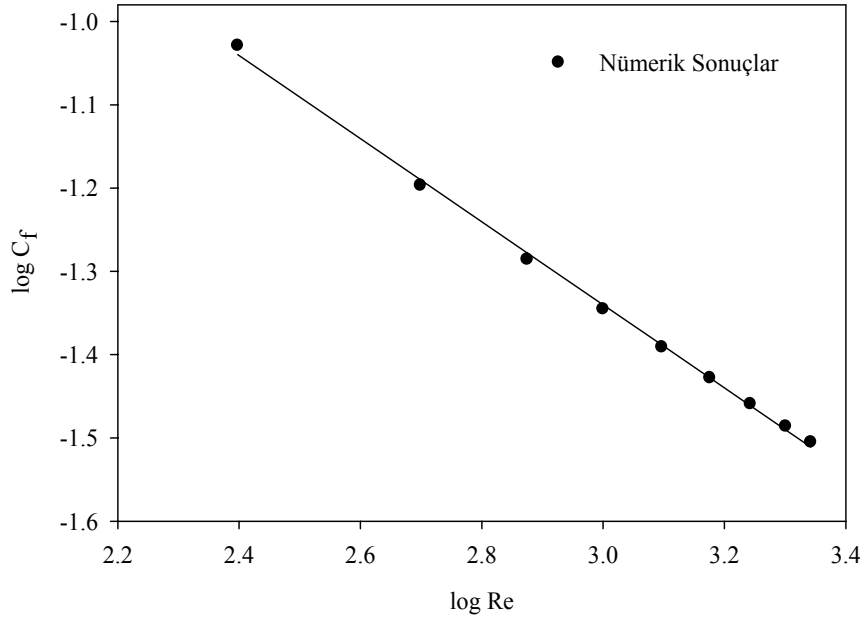
$$K = 27,9254Re^{-0,5336} \quad (5.57)$$

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan basınç kayıp katsayısı (K) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.57'de verilmiştir.

Fanning sürtünme faktörü

Eş. 5.58'de ortalama Fanning sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki verilmiştir.

$$\overline{C}_f = 1,4322Re^{-0,4987} \quad (5.58)$$



Şekil 5.144. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

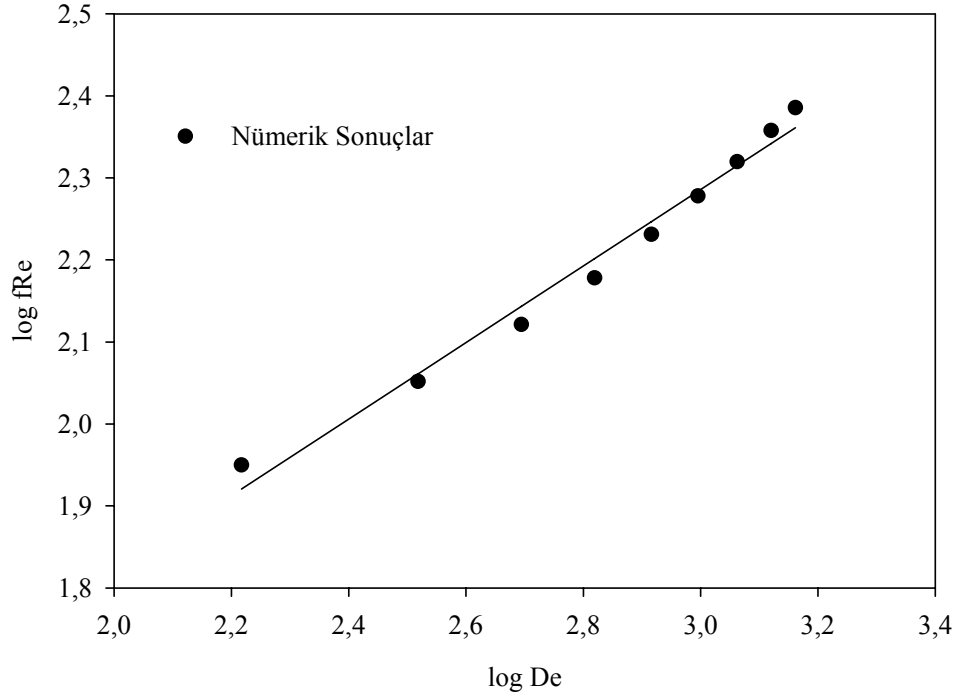
Şekil 5.144'den görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça ortalama Fanning sürtünme katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı ve Fanning sürtünme katsayısı arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

Dean sayısı ve fRe ilişkisi

Şekil 5.145'de Darcy sürtünme faktörü f ile Reynolds sayısının çarpımından oluşan boyutsuz fRe sayısı ile Dean sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Bu boyutsuz sayılar arasındaki fonksiyonel arasındaki ilişki en küçük kareler metodu kullanılarak elde edilmiştir.

$$fRe = 7,7037Re^{0,4666} \quad (5.59)$$

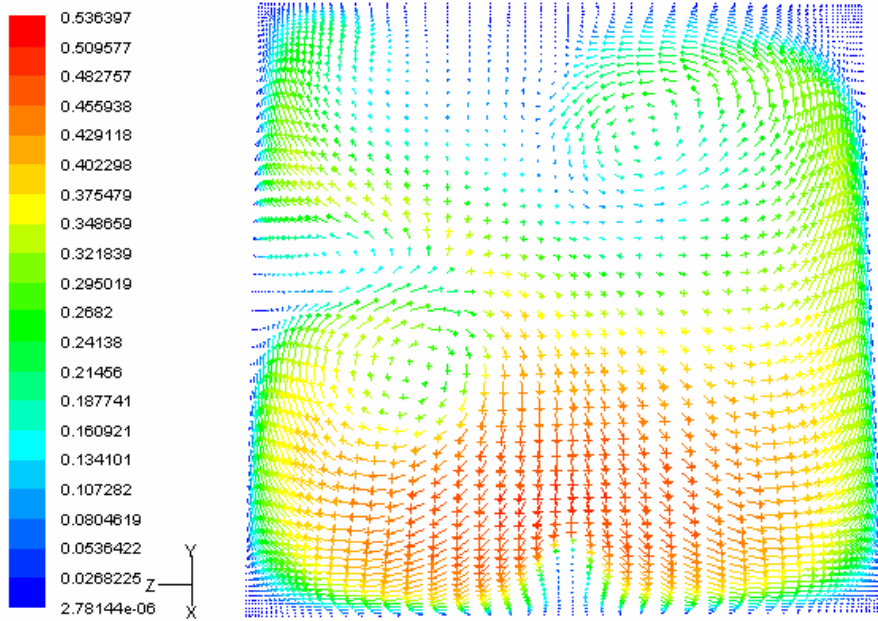
Dean sayısı ile fRe sayısı arasında doğru orantı olduğu görülmüştür. Bir başka deyişle Dean sayısı arttıkça Darcy sürtünme ile Reynolds sayısının çarpımı artmaktadır.



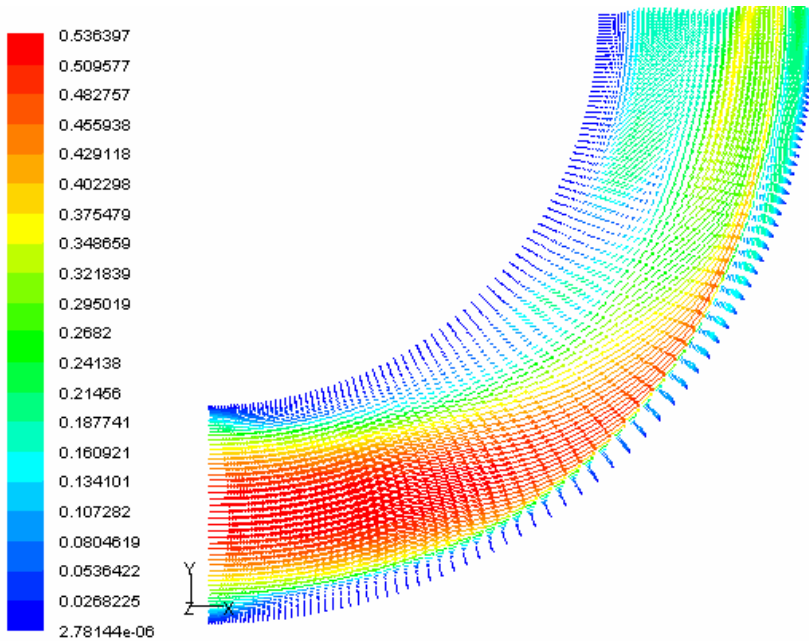
Şekil 5.145. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

Kanal boyunca hız vektörleri

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanala tam gelişmiş hız profili ile giren akışkanın Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında kanal boyunca hareketi incelenmiştir. Şekil 5.146'da ise Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için hız vektörleri verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere üç kanatçıklı eğimli kanalda kanatçık yüksekliği arttıkça kanalın içerisine hidrodinamik olarak tam gelişmiş olarak giren akışın hız vektörlerinin yönü kanal içerisinde bulunan kanatçıklara çarpması sonucu değişmektedir. Kanal kesitinin alt kısmında akışın birbirine ters yönde hareket ettiği hız vektörlerinin incelenmesinden görülebilir. Aynı akış hareketini kanal orta kesiminde gözlemlemek mümkündür. Kırmızı bölgelerde akış hızı yüksek mavi bölgelerde ise daha düşüktür.



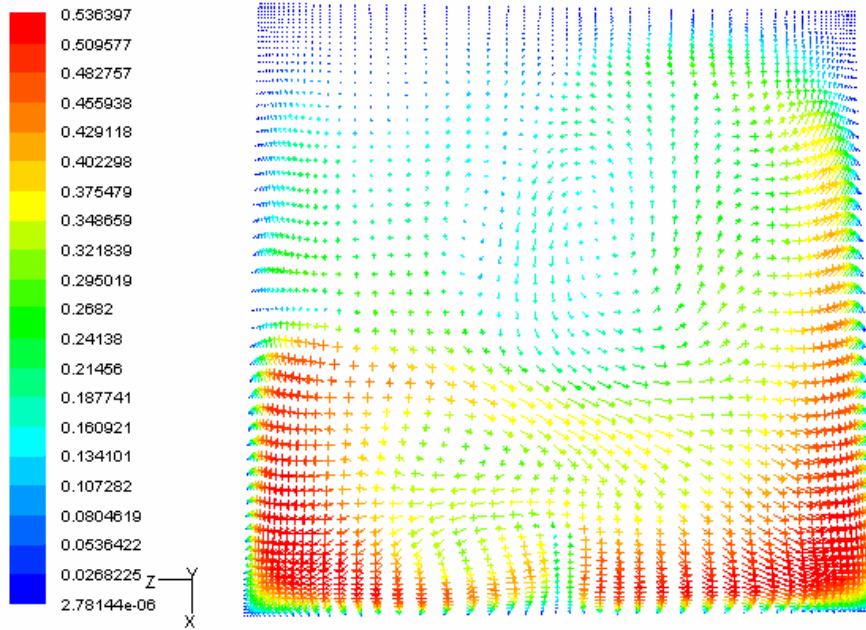
Şekil 5.146. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lık kesitli kanal boyunca hız vektörleri



Şekil 5.147. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri

Kanal çıkışında hız vektörleri

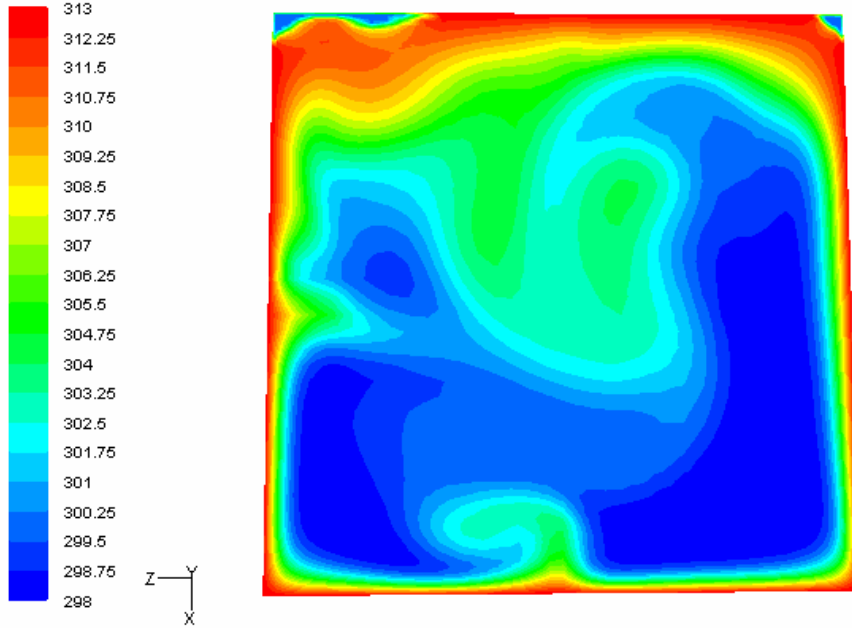
Şekil 5.148’de kanal çıkışındaki hız vektörleri görülmektedir. Kanatçık yüksekliğinin değişmesi vortekslerin yerlerini de değiştirmiştir.



Şekil 5.148. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri

Kanal çıkışında sıcaklık dağılımı

Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında, kanal içindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Şekil 5.149’da akışkanın kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için verilmiştir. Böylece kanatçığın sıcaklık dağılımına olan etkisi gözle görülür olmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere kanatçık etrafında sıcaklık eğrileri oluşmuştur. Kanal kesitinin alındığı bölge incelenirse, alt kanatçığın olduğu bölgede akış sıcaklığı orta bölgede olan akışkana göre daha sıcaktır.

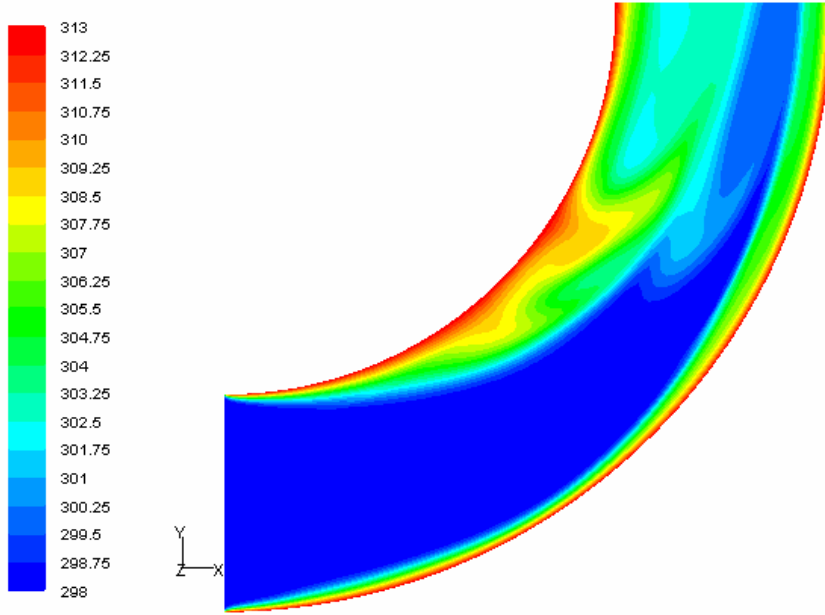


Şekil 5.149. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında sıcaklık dağılımı

Kanal boyunca sıcaklık dağılımı

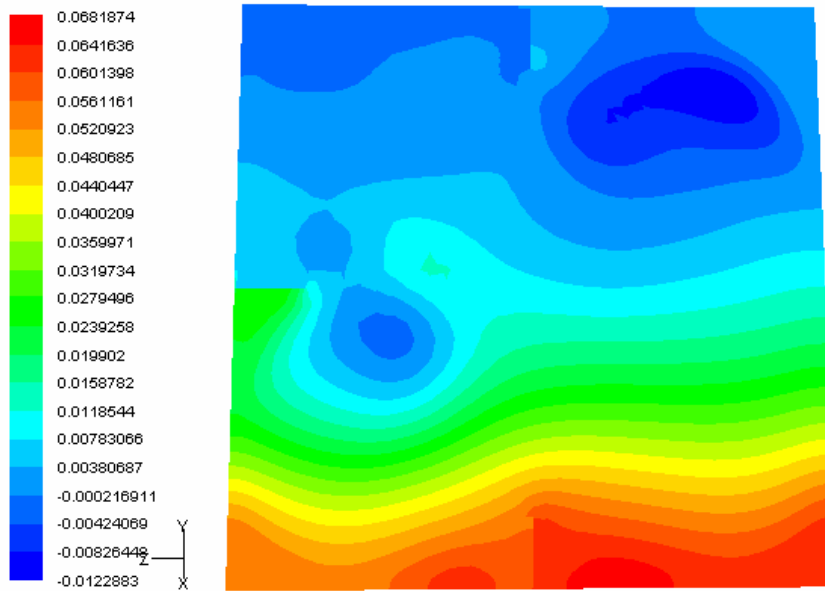
Şekil 5.150’de y eksenine göre simetrik olarak kanal boyunca sıcaklık dağılımı verilmiştir.

Kanal girişinde akışkanın büyük bir kısmı giriş sıcaklığında olmasına kanal çeperleri ile temas eden akışkan daha yüksek sıcaklıktadır. Kanalin iç kısmındaki çeper ile temas eden akışkan ise hızla ısınmış ve yüksek bir sıcaklığa erişmiştir. Bunun nedeni ise muhtemelen merkezkaç kuvvetleri etkisi altında kalan bu bölgedeki akışkanın çeperi daha hızlı yıkamasındandır. Kanalin iç çepere yakın bölgede akışkan çok yüksek sıcaklıkta iken çeperden uzaklaştıkça akışkanın soğuduğu görülmektedir. Şekil 5.150’in dikkatlice incelenmesi sonucu kanal çıkışında, iç çeper ve dış çeperdeki sıcak akışkandan etkilenmeyen bir miktar akışkan yaklaşık giriş sıcaklığında çıkmaktadır.



Şekil 5.150. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı

Kanaldaki basınç dağılımı

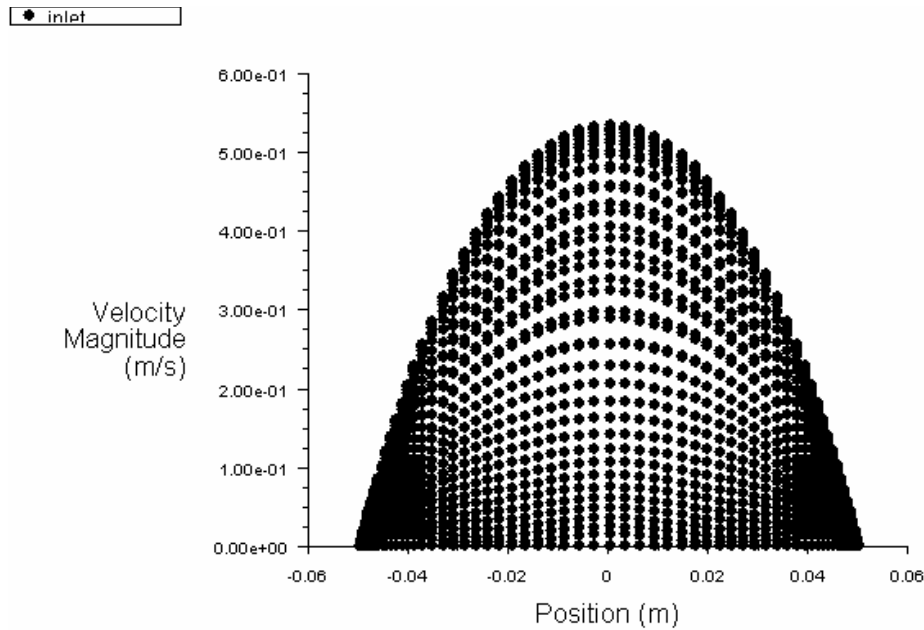


Şekil 5.151. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45° 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı

Şekil 5.151’de 45^0 ’lik kesitli kanalda basınç dağılımı verilmiştir. Kanatçığın bulunduğu bölgede basınç artışı gözle görülür şekilde farkedilmektedir.

Kanal girişi hız profili

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan kanala Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri için hız profili hidrodinamik olarak tam gelişmiş olarak girmektedir. Şekil 5.152’de Reynolds sayısı 1750 için hidrodinamik olarak tam gelişmiş giriş hız profili görülmektedir.



Şekil 5.152. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı

5.6.3. 18,75 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Üç Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü

İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kare kesitli kanal içerisindeki akış ve ısı transferinin sayısal çözümü Reynolds sayısının değişik

değerleri için yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü (f) hesaplanmıştır.

Çizelge 5.19. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar

Reynolds	Nusselt (Eşitlik 4.68)	Nusselt (Eşitlik 4.69)	f
250	7,661	7,165	0,413643
500	10,746	10,393	0,258005
750	13,272	13	0,200138
1000	15,430	15,242	0,169213
1250	17,346	17,223	0,152367
1500	19,074	19,012	0,141376
1750	20,676	20,661	0,133443
2000	22,176	22,211	0,127438
2200	23,318	23,393	0,123543

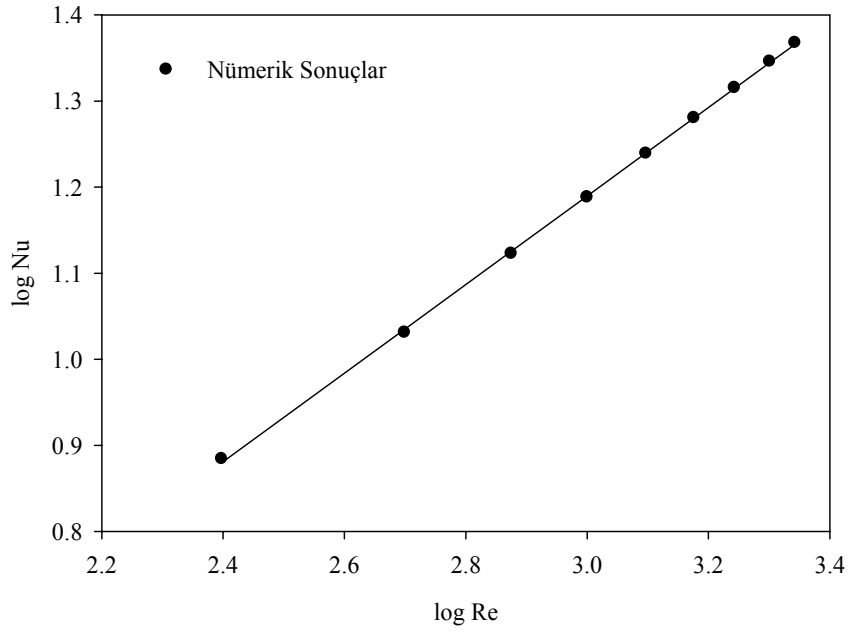
İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal içinde yapılan sayısal hesap sonuçları Çizelge 5.19’da verilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilerek Eş. 5.60’da verilmiştir.

Ortalama Nusselt sayısı

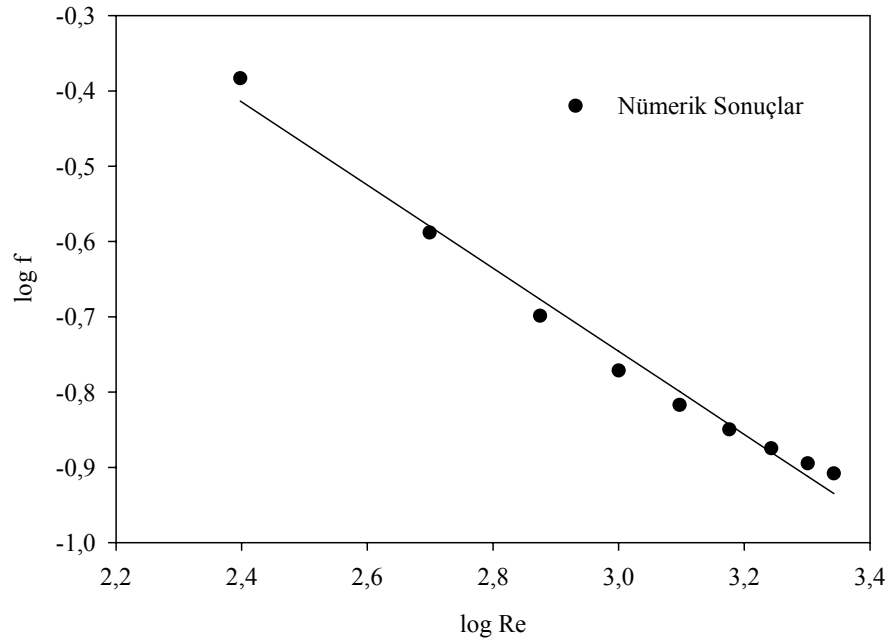
İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda, farklı Reynolds sayılarında hesaplanan Nusselt sayıları Çizelge 5.19’da verilmiştir.

Eş. 5.60’da verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile Nusselt sayıları arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile artmaktadır. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi ile bulunmuştur.

$$\overline{Nu} = 0,4431Re^{0,5144} \quad (5.60)$$



Şekil 5.153. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi



Şekil 5.154. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi

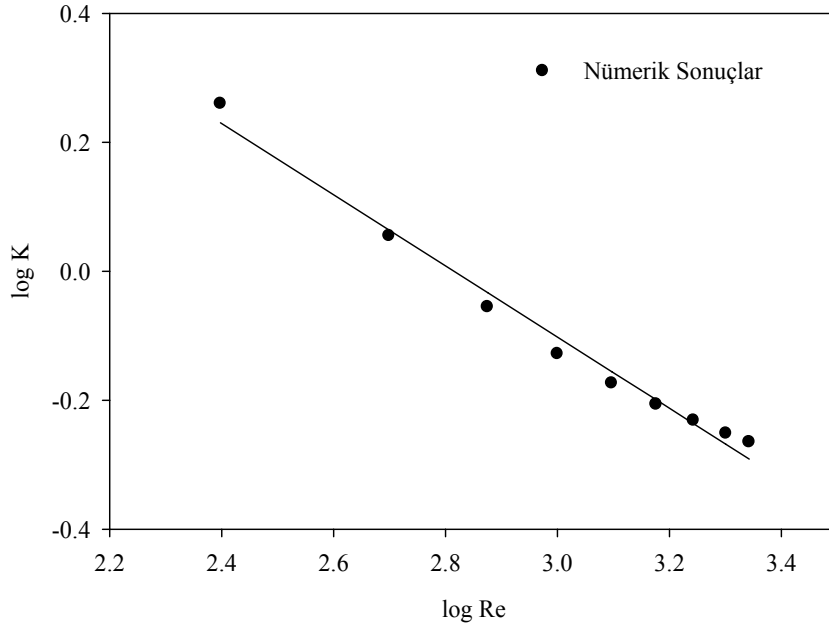
İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal için farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 5.19’da verilmiştir.

$$f = 8,1302Re^{-0,5520} \quad (5.61)$$

Eş. 5.61’de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile ortalama sürtünme katsayısı arasındaki ilişki diğer kanatçık yüksekliklerinde olduğu gibi ters orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır

Basınç kayıp katsayısı

Şekil 5.155’de görüleceği üzere Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısı arttıkça basınç kayıp katsayısı azalmıştır.



Şekil 5.155. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

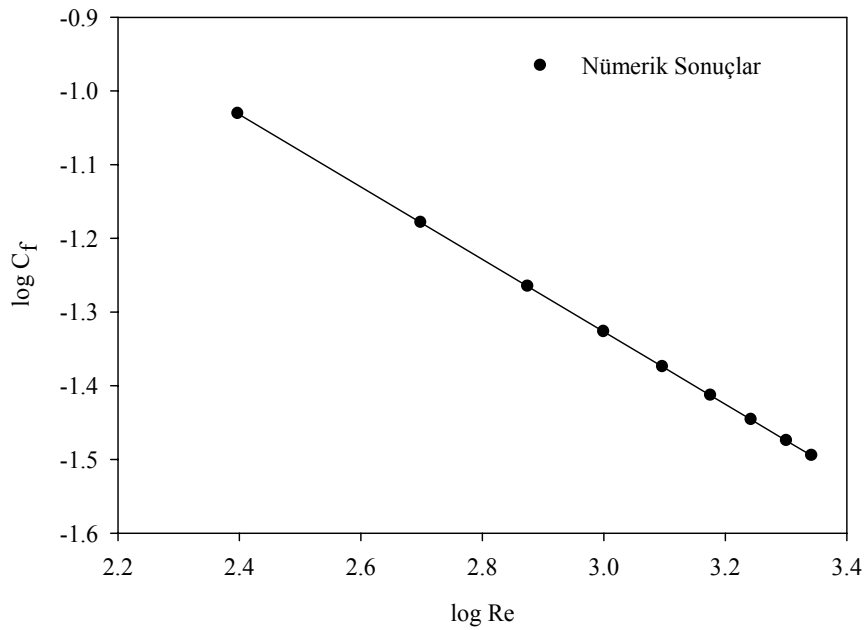
$$K = 35,8096Re^{-0,552} \quad (5.62)$$

İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan basınç kayıp katsayısı (K) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.62’de verilmiştir.

Fanning sürtünme faktörü

Eş. 5.63’de ortalama Fanning sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki verilmiştir.

$$\overline{C_f} = 1,4044Re^{-0,4914} \quad (5.63)$$

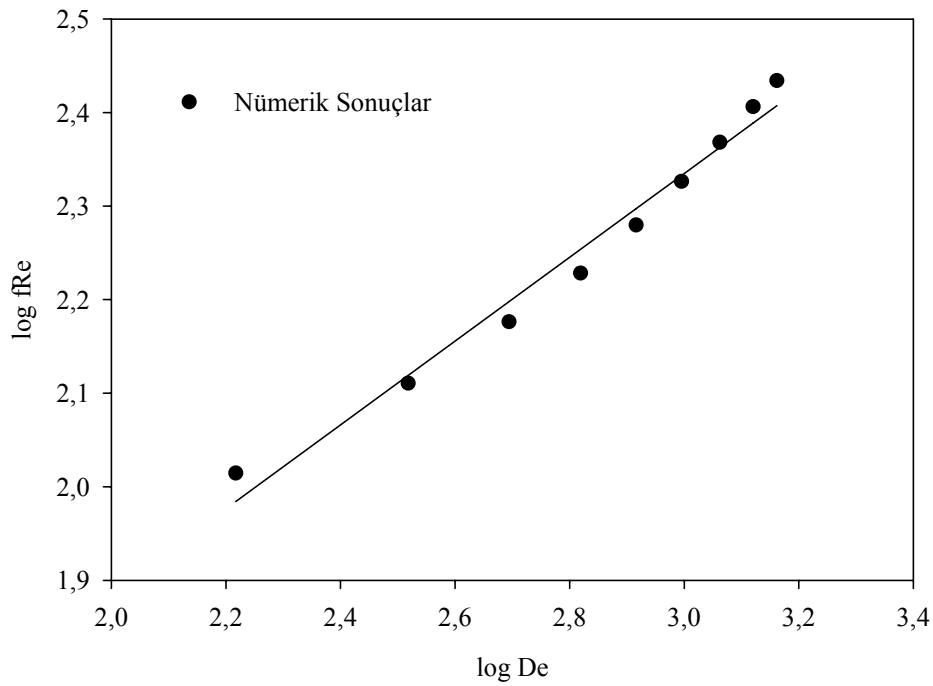


Şekil 5.156. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.156’den görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça ortalama Fanning sürtünme katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı ve Fanning sürtünme katsayısı arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

Dean sayısı ve fRe ilişkisi

Şekil 5.157’de fRe sayısı ile Dean sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Dean sayısı ile fRe sayısı arasında doğru orantı olduğu görülmüştür.

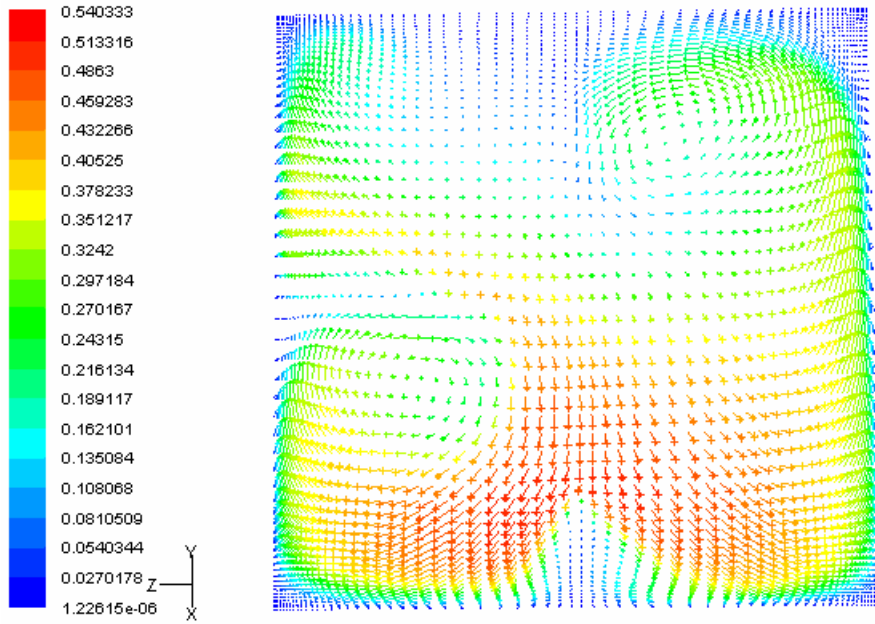


Şekil 5.157. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

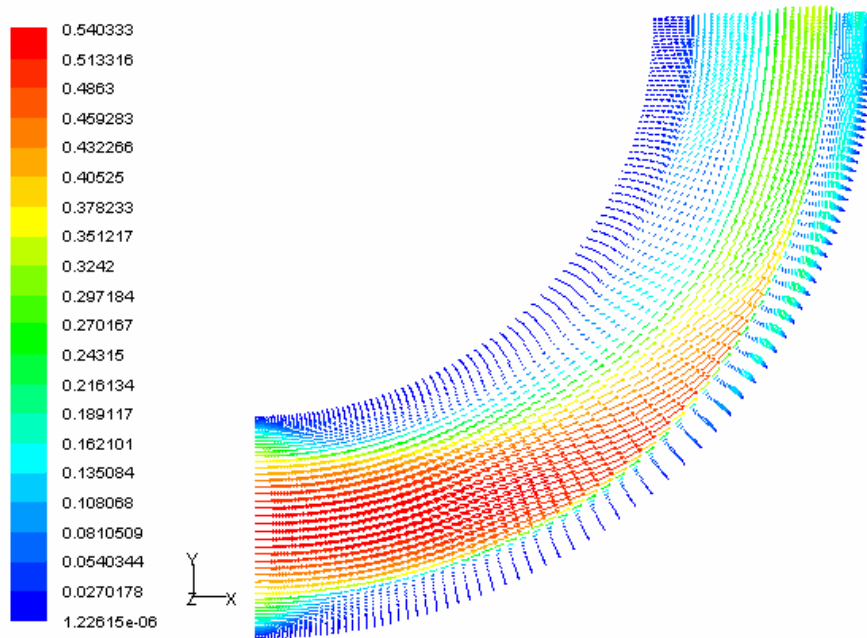
$$fRe = 9,7994De^{0,4479} \quad (5.64)$$

Kanal boyunca hız vektörleri

İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanala tam gelişmiş hız profili ile giren akışkanın Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında kanal boyunca hareketi incelenmiştir. Şekil 5.159’da ise Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için kanal boyunca hız vektörleri verilmiştir.



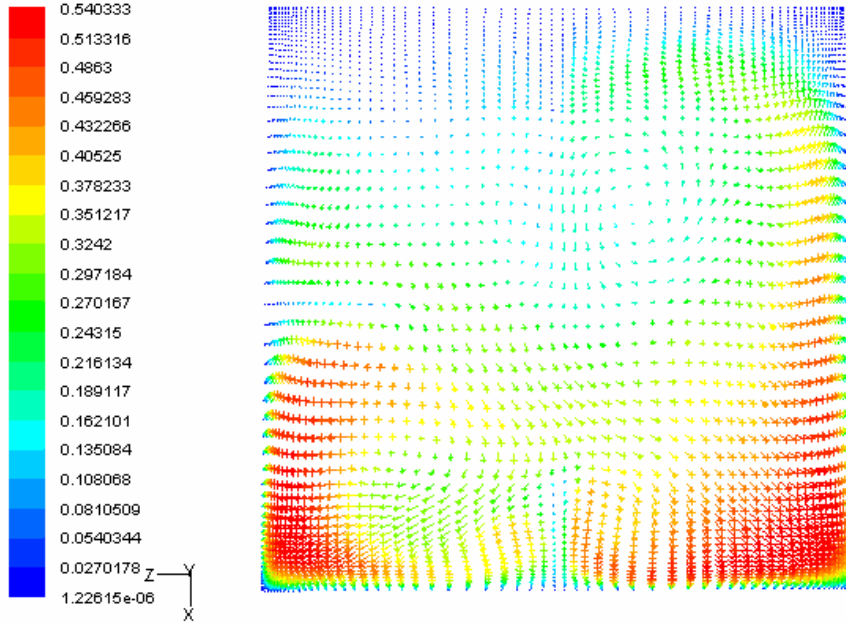
Şekil 5.158. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45° 'lik kesitli kanalda hız vektörleri



Şekil 5.159. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri

Kanal çıkışında hız vektörleri

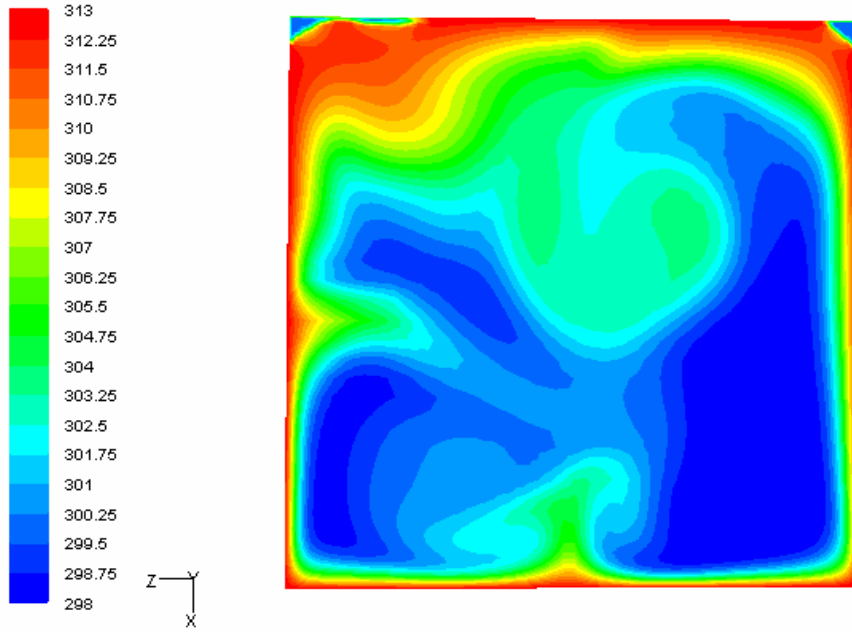
Şekil 5.160’da kanal çıkışındaki hız vektörleri görülmektedir. Kanatçık yüksekliği arttıkça kanalın sağ ve sol tarafında oluşan vorteksler belirginleşmiştir.



Şekil 5.160. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri

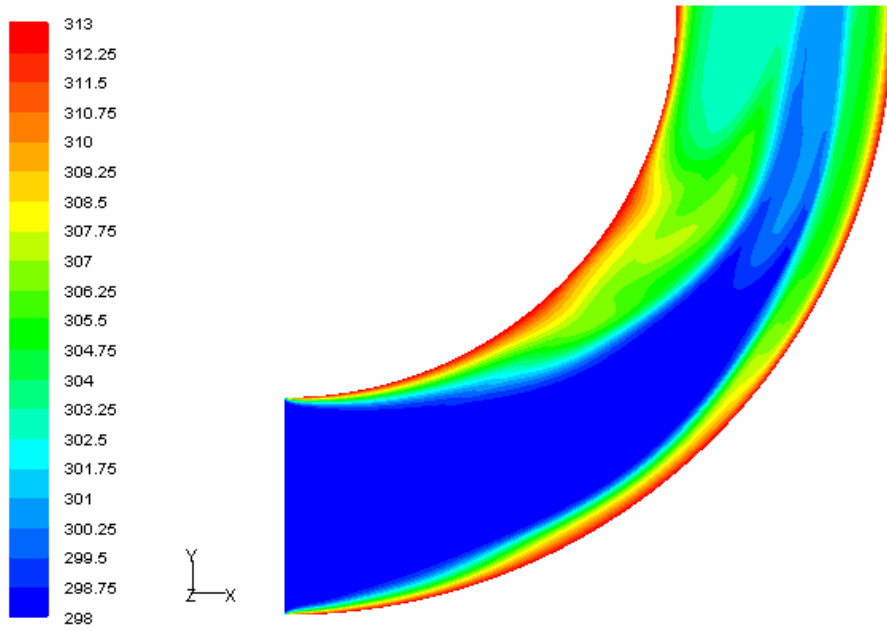
Kanal çıkışında sıcaklık dağılımı

Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında, kanal içindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Şekil 5.161’de akışkanın kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için verilmiştir. Kanatçıkların yükseklikleri arttıkça sıcaklık dağılımına olan etkisi gözle görülür olmuştur. Şekilden de görüldüğü üzere kanatçıklar etrafında sıcaklık eğrileri oluşmuştur. Sıcaklık eğrilerinin görünümü düzensizleşmiştir. Kanalın alt yüzeyinde bulunan kanatçık etrafındaki akışkanın kanal çeperleriyle temas halindeki akışkana göre daha az sıcaklıkta olduğu görülmektedir.



Şekil 5.161. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı

Kanal boyunca sıcaklık dağılımı

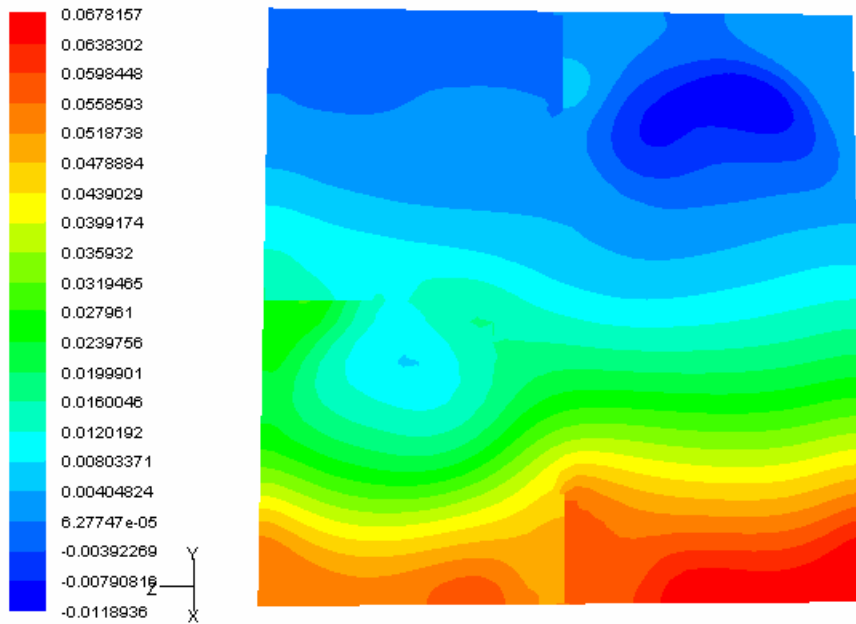


Şekil 5.162. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı

Şekil 5.162’de y eksenine göre simetrik olarak kanal boyunca sıcaklık dağılımı verilmiştir.

Kanaldaki basınç dağılımı

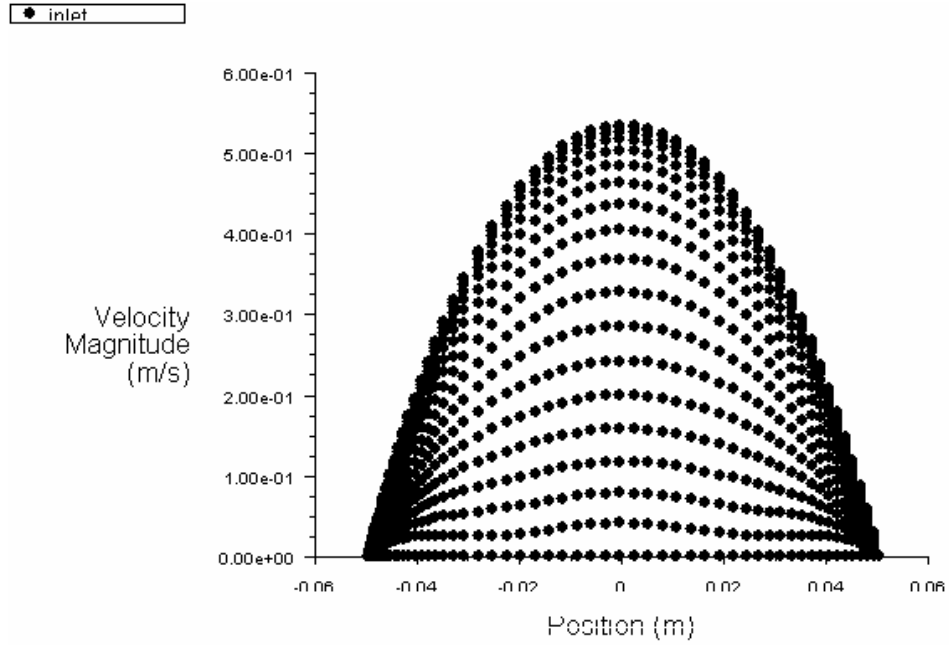
Şekil 5.163’de 45^0 ’lik kesitli kanalda basınç dağılımı verilmiştir. Kanatçığin bulunduğu bölgede basınç artışı gözle görülür şekilde farkedilmektedir.



Şekil 5.163. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re=1750$ değeri için 45^0 ’lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı

Kanal girişi hız profili

İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan kanala Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri için hız profili hidrodinamik olarak tam gelişmiş olarak girmektedir. Şekil 5.164’de Reynolds sayısı 1750 için hidrodinamik olarak tam gelişmiş giriş hız profili görülmektedir.



Şekil 5.164. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı

5.6.4. 25 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Üç Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü

Çizelge 5.20. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar

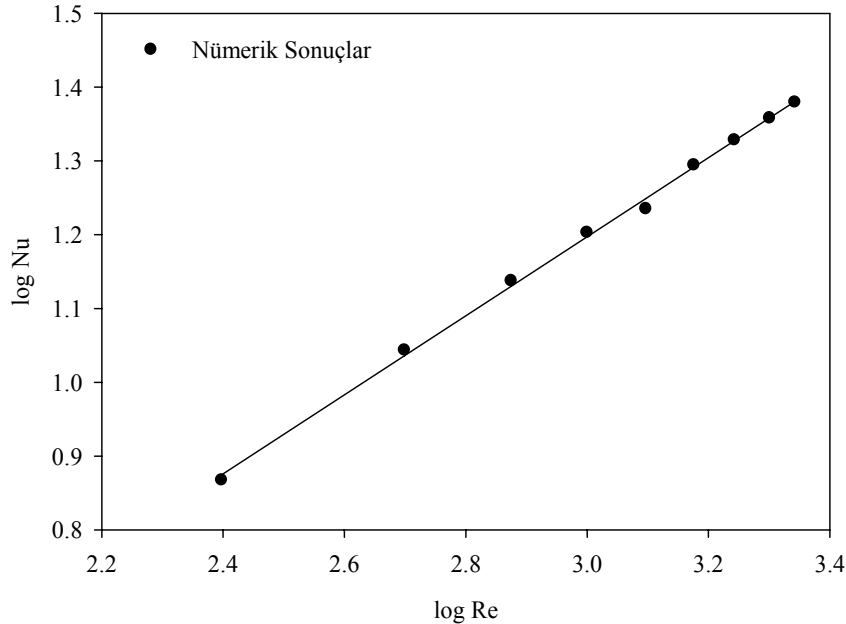
Reynolds	Nusselt (Eşitlik 4.68)	Nusselt (Eşitlik 4.69)	f
250	7,367	7,165	0,4823
500	11,054	10,686	0,297826
750	13,724	13,434	0,230019
1000	15,957	15,702	0,192351
1250	17,182	16,963	0,165634
1500	19,697	19,587	0,156633
1750	21,3	21,260	0,146507
2000	22,808	22,818	0,138748
2200	23,956	24	0,133727

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kare kesitli kanal içerisindeki akış ve ısı transferinin sayısal çözümü Reynolds sayısının değişik değerleri için yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü (f) hesaplanmıştır.

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal içinde yapılan sayısal hesap sonuçları Çizelge 5.20’de verilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilerek Eş. 5.65’de verilmiştir.

Ortalama Nusselt sayısı

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda, farklı Reynolds sayılarında hesaplanan Nusselt sayıları Çizelge 5.20’de verilmiştir.

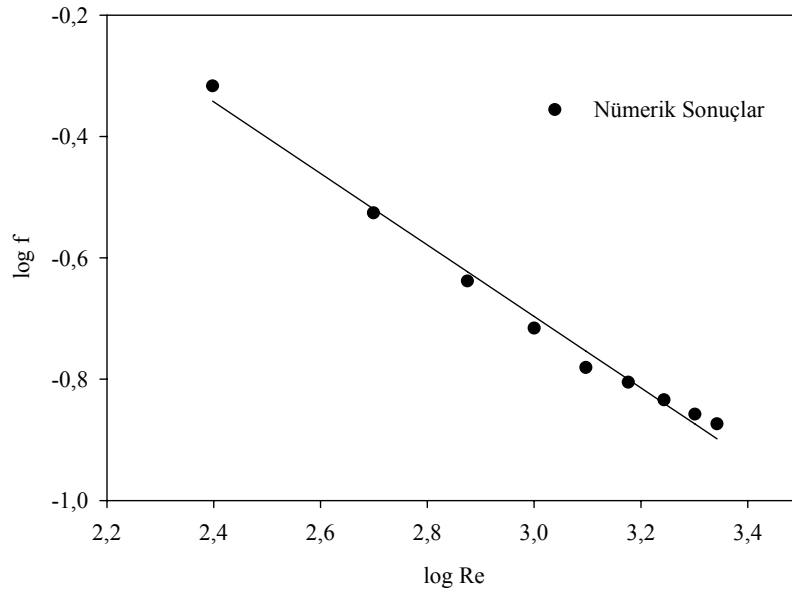


Şekil 5.165. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Eş. 5.65’de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile Nusselt sayıları arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile artmaktadır.

Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yönetimi ile bulunmuştur.

$$\overline{Nu} = 0,389Re^{0,5358} \quad (5.65)$$



Şekil 5.166. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi

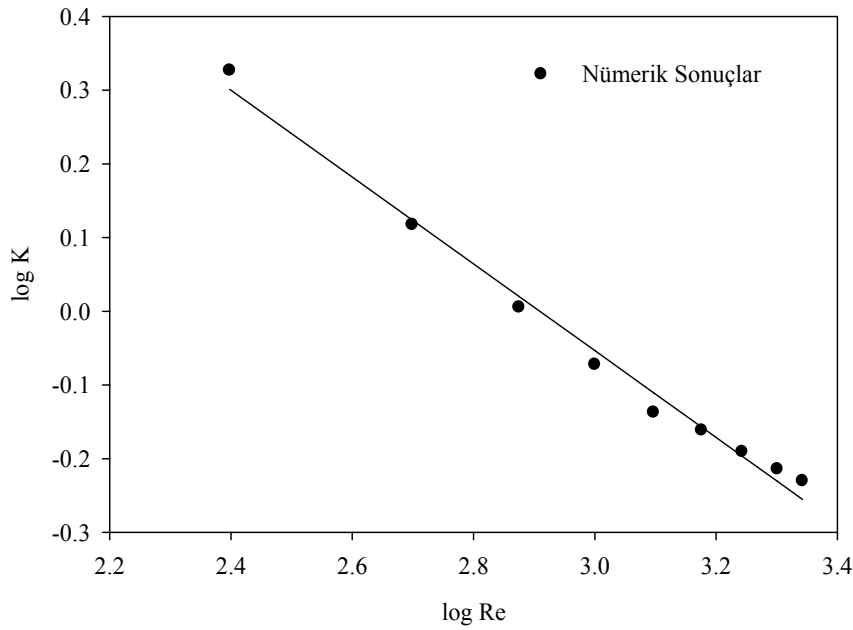
İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanal için farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 5.20'de verilmiştir.

$$f = 11,7761Re^{-0,5892} \quad (5.66)$$

Eş. 5.66'da verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile ortalama sürtünme katsayısı arasındaki ilişki diğer kanatçık yüksekliklerinde olduğu gibi ters orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır

Basınç kayıp katsayısı

Şekil 5.167’de görüleceği üzere Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısı arttıkça basınç kayıp katsayısı azalmıştır.



Şekil 5.167. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

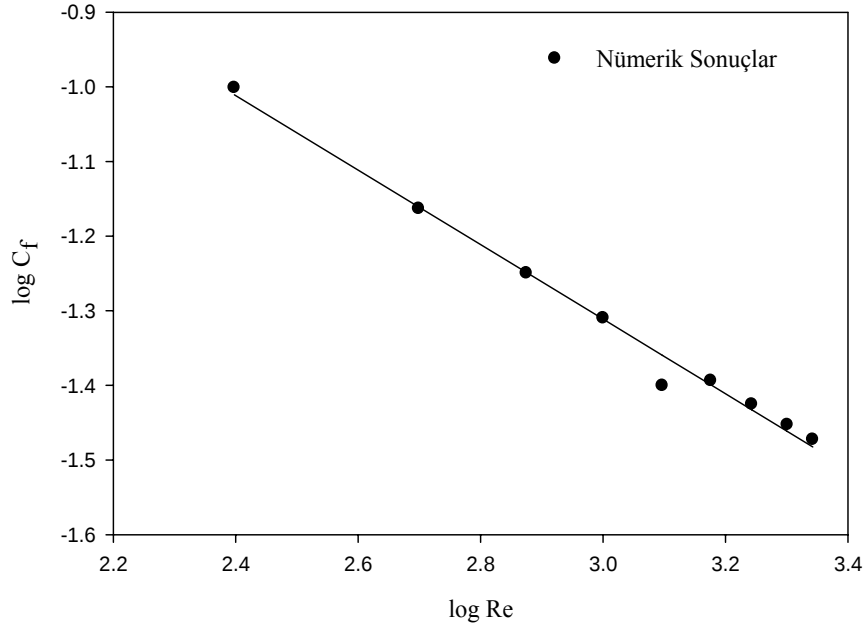
$$K = 51,7607Re^{-0,5892} \quad (5.67)$$

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan basınç kayıp katsayısı (K) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.67’de verilmiştir.

Fanning sürtünme faktörü

Eş. 5.68’de ortalama Fanning sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki verilmiştir.

$$\overline{C}_f = 1,5403 \text{Re}^{-0,4996} \quad (5.68)$$



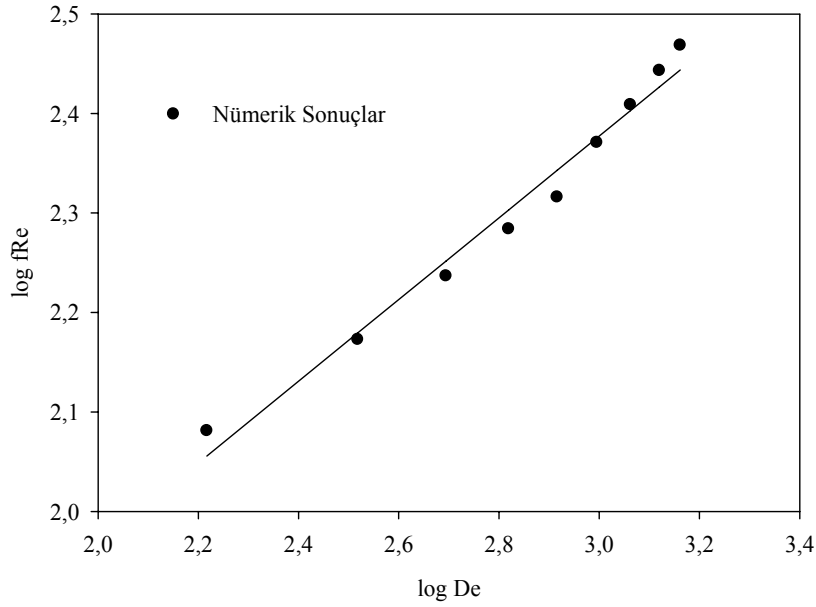
Şekil 5.168. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.168'den görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça ortalama Fanning sürtünme katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı ve Fanning sürtünme katsayısı arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

Dean sayısı ve fRe ilişkisi

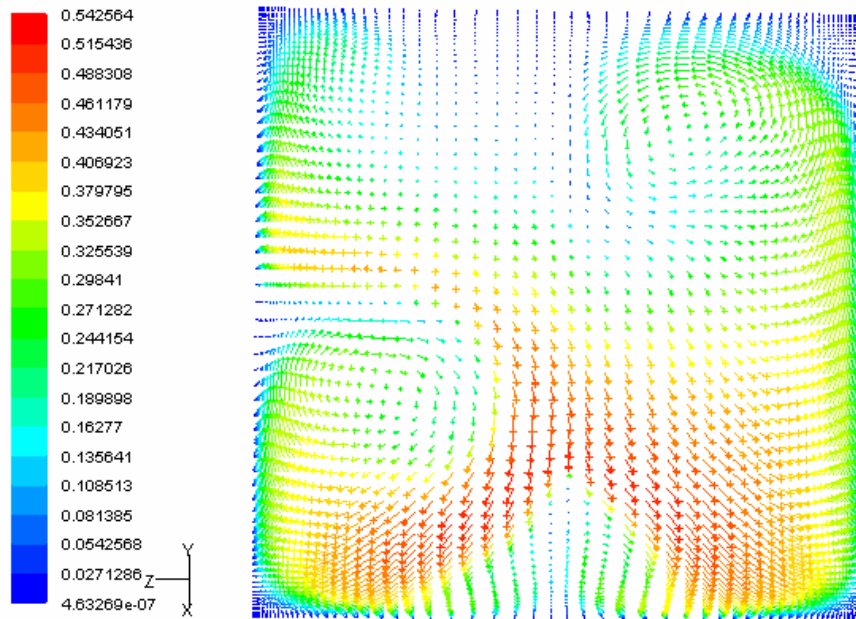
Şekil 5.169'da fRe sayısı ile Dean sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Dean sayısı ile fRe sayısı arasında doğru orantı olduğu görülmüştür. Bir başka deyişle Dean sayısı arttıkça Darcy sürtünme ile Reynolds sayısının çarpımı artmaktadır. Dean sayısı ile fRe sayısı arasındaki ilişki Eşitlik 5.69'da verilen korelasyonda da açıkça görülmektedir.

$$fRe = 13,9637De^{0,411} \quad (5.69)$$



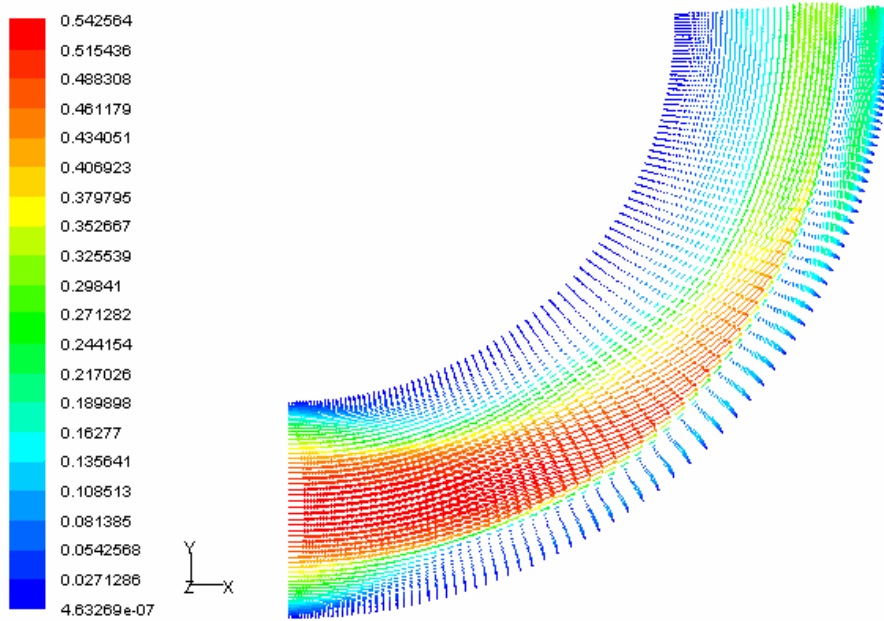
Şekil 5.169. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

Kanal boyunca hız vektörleri



Şekil 5.170. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45° 'lik kesitli kanal boyunca hız vektörleri

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanala tam gelişmiş hız profili ile giren akışkanın Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında kanal boyunca hareketi incelenmiştir. Şekil 5.170’de ise Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için hız vektörleri verilmiştir.

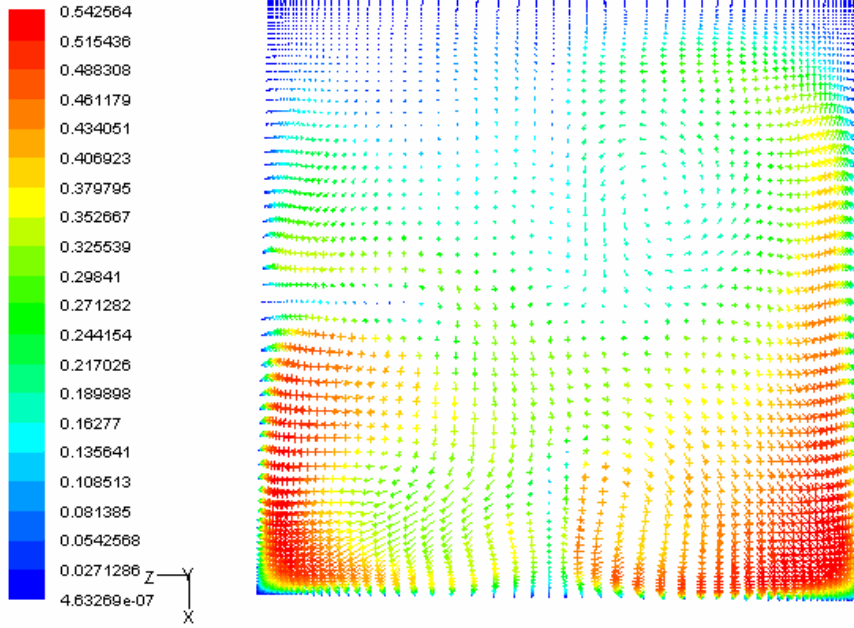


Şekil 5.171. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri

Şekil 5.171’de içerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için, Reynolds sayısı 1750 için kanal boyunca hız vektörleri verilmiştir. Şekil 5.171’den görüldüğü üzere akışkan kanala hidrodinamik olarak tam gelişmiş hız profili ile girmektedir. Akışkanın kanalın alt ve üst çeperlerinde bulunan kanatçıklara çarpması sonucu hız vektörlerinin yönleri değişmektedir.

Kanal çıkışında hız vektörleri

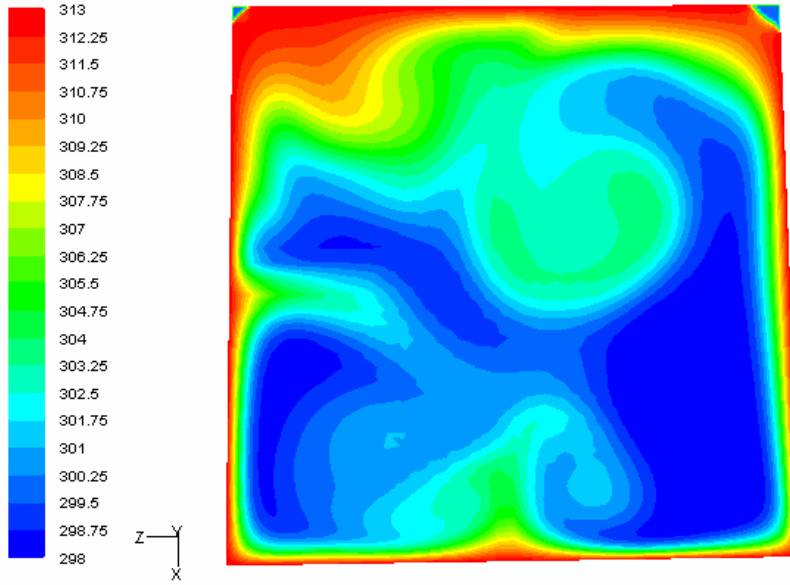
Şekil 5.172’de kanal çıkışındaki hız vektörleri görülmektedir.



Şekil 5.172. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri

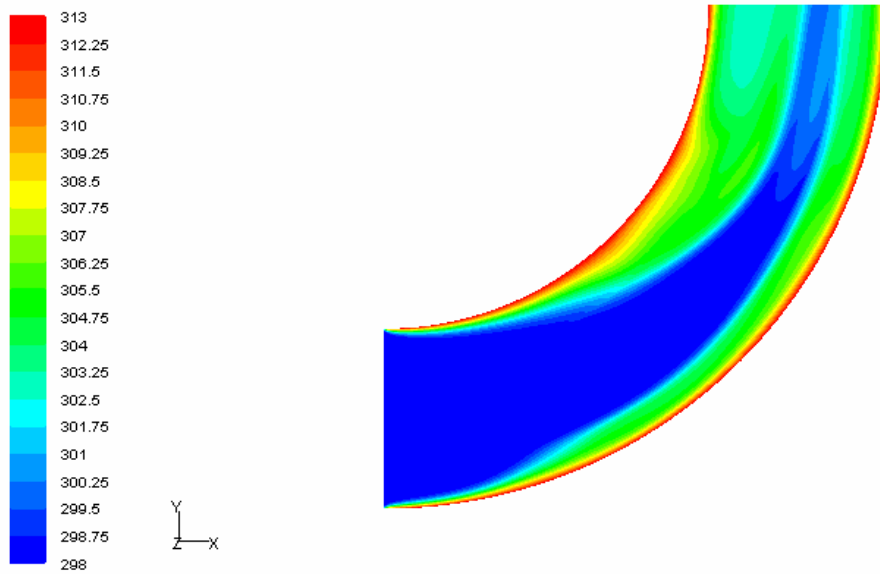
Kanal çıkışında sıcaklık dağılımı

Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında, kanal içindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Şekil 5.173’de akışkanın kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için verilmiştir. Üç kanatçık bulunan eğrisel kanalda en yüksek kanatçık yüksekliğinde, kanatçıklar etrafındaki sıcaklık dağılımı belirginleşmiştir.



Şekil 5.173. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı

Kanal boyunca sıcaklık dağılımı

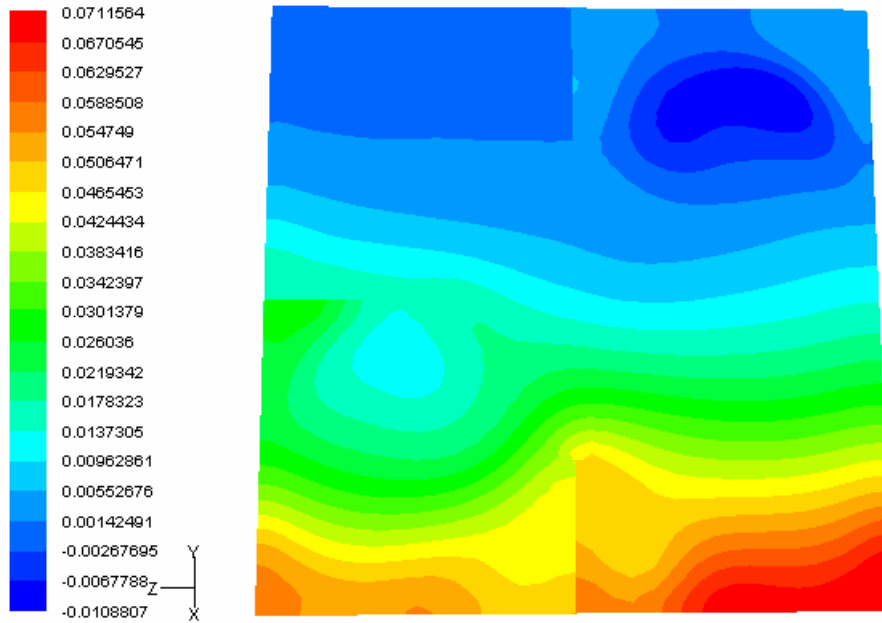


Şekil 5.174. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca sıcaklık dağılımı

Şekil 5.174’de y eksenine göre simetrik olarak kanal boyunca sıcaklık dağılımı verilmiştir.

Kanaldaki basınç dağılımı

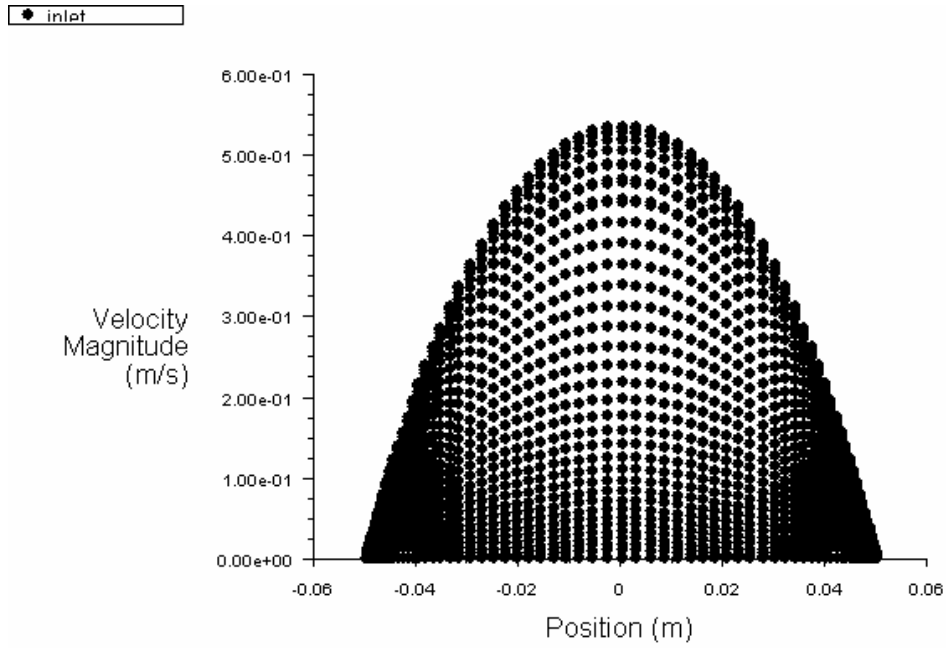
Şekil 5.175’de 45^0 ’lik kesitli kanalda basınç dağılımı verilmiştir. Kanatçık yüksekliğinin 25 mm olduğu üç kanatçık bulunan eğrisel kanalda, kanatçıkların bulundukları bölgede engel teşkil etmeleri sonucu basınç artışı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.175. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45^0 ’lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı

Kanal girişi hız profili

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan kanala Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri için hız profili hidrodinamik olarak tam gelişmiş olarak girmektedir. Şekil 5.176’da Reynolds sayısı 1750 için hidrodinamik olarak tam gelişmiş giriş hız profili görülmektedir.

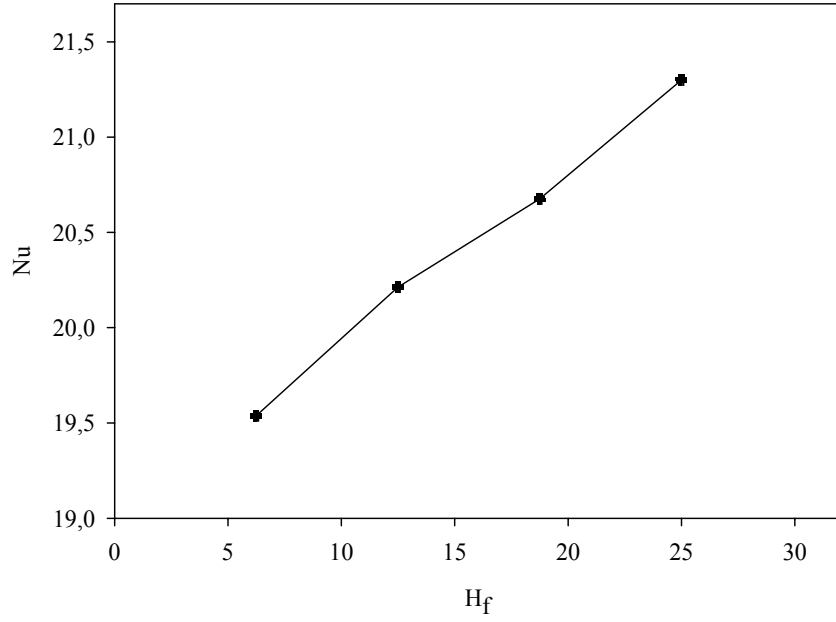


Şekil 5.176. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde üç kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı

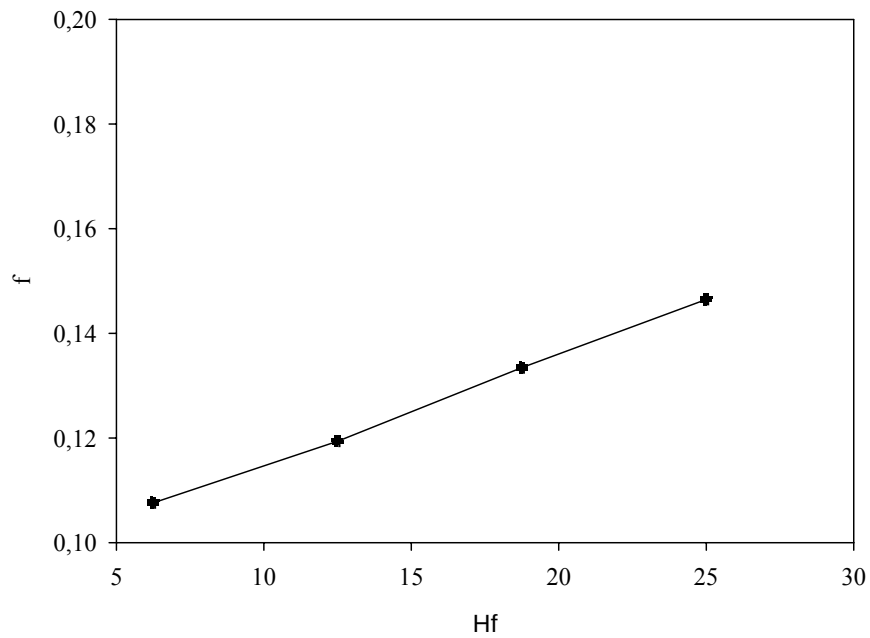
İçerisinde üç kanatçık bulunan eğimli bir kanalda 6,25 mm, 12,5 mm, 18,75 mm ve 25 mm kanatçık yükseklikleri ile çalışılmıştır. Çizelge 5.21’de kanatçık yüksekliklerinin sırasıyla ortalama Nusselt sayısına, ortalama Darcy sürtünme faktörüne, basınç kayıp katsayısına, ortalama Fanning sürtünme faktörüne ve fRe sayısına olan etkisi gösterilmiştir. Kanatçık yüksekliğinin değişiminin mühendislik hesaplamalarında kullanılan bu sayılara olan etkisi tartışılmıştır.

Çizelge 5.21. Reynolds sayısı 1750 için Kanatçık yükseklikleri ve nümerik sonuçlar

Kanatçık yüksekliği (mm)	Nu	f	K	C_f	fRe
6,25	19,5370	0,107602	0,4734	0,0336	188,3035
12,5	20,2130	0,119381	0,5253	0,0347	208,9168
18,75	20,6760	0,133443	0,5872	0,0360	233,5253
25	21,3000	0,146507	0,6446	0,0376	256,496



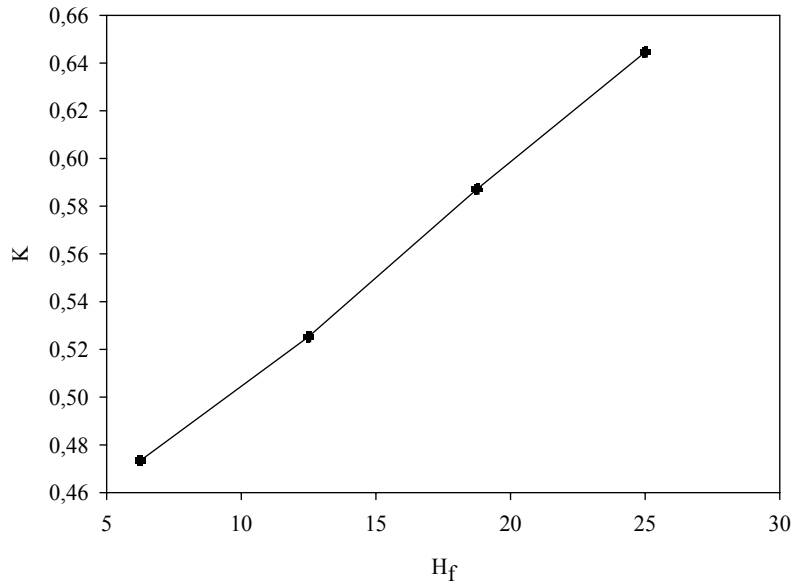
Şekil 5.177. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile ortalama Nusselt sayısının değişimi



Şekil 5.178. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile ortalama Darcy sürtünme faktörünün değişimi

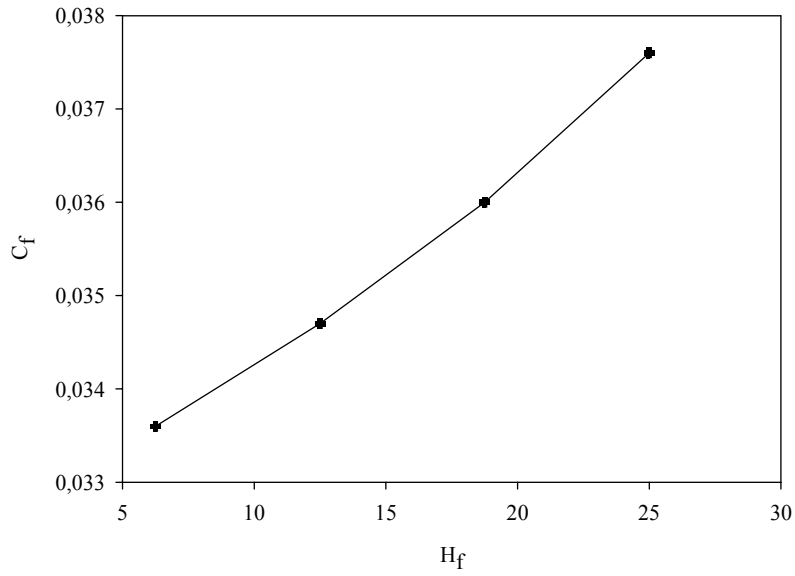
Şekil 5.177’de kanatçık yükseklikleri ile ortalama Nusselt sayısının değişimi verilmiştir. Kanatçık yüksekliği arttıkça ortalama Nusselt sayısında arttığı görülmüştür.

Şekil 5.178’de kanatçık yükseklikleri ile ortalama Darcy sürtünme faktörünün değişimi verilmiştir. Kanatçık yüksekliği arttıkça ortalama Darcy sürtünme faktörünün de arttığı görülmüştür.



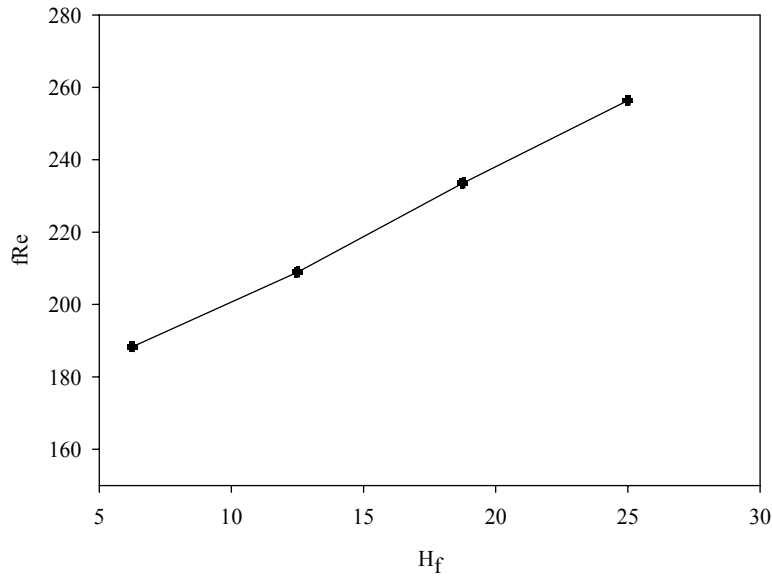
Şekil 5.179. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile basınç kayıp katsayısının değişimi

Şekil 5.179’da kanatçık yükseklikleri ile basınç kayıp katsayısının değişimi verilmiştir. Kanatçık yükseklikleri arttıkça basınç kayıp katsayısının da arttığı görülmüştür.



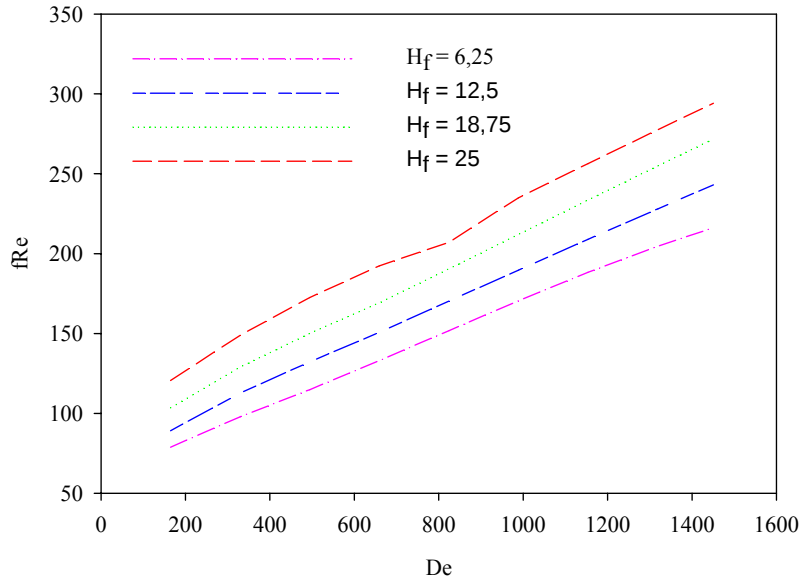
Şekil 5.180. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile ortalama Fanning sürtünme faktörünün değişimi

Şekil 5.180’de kanatçık yükseklikleri ile ortalama Fanning sürtünme faktörünün değişimi verilmiştir. Kanatçık yüksekliğinin artmasıyla ortalama Fanning sürtünme faktöründe doğru orantılı olarak yükselmiştir.



Şekil 5.181. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile fRe sayısının Değişimi

Şekil 5.181’de kanatçık yükseklikleri ile fRe sayısının değişimi verilmiştir. Kanatçık yüksekliklerinin artmasıyla fRe sayısının arttığı görülmüştür. Bunun nedeni kanatçık yüksekliği arttıkça ortalama Darcy sürtünme faktörünün artması, sonuçta da fRe çarpımının artmasıdır.



Şekil 5.182. $R = 0,4347$ eğrilik oranı için fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

Şekil 5.182’de, belirtilen kanatçık yüksekliklerinde değişik Dean sayıları için fRe sayıları gösterilmiştir. Belirli bir Dean sayısında kanatçık yüksekliği arttıkça fRe sayısı artmaktadır. Başka bir ifade ile sürtünme katsayısı artmaktadır. Sabit kanatçık yüksekliği ele alınırsa Dean sayısı arttıkça fRe sayısı da artmaktadır.

5.7. Kanal Girişinde Parabolik Hız Profiline Sahip Dört Kanatçıklı Eğimli Kanal İçindeki Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

5.7.1. 6,25 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Dört Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kare kesitli kanal içerisindeki akış ve ısı transferinin sayısal çözümü Reynolds sayısının değişik

değerleri için yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü (f) hesaplanmıştır.

Çizelge 5.22. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar

Reynolds	Nusselt (Eşitlik 4.68)	Nusselt (Eşitlik 4.69)	f
250	7,580	7,12	0,317847
500	10,135	9,826	0,197256
750	12,316	12,099	0,157583
1000	14,319	14,161	0,139193
1250	16,136	16,021	0,128106
1500	17,753	17,715	0,120689
1750	19,31	19,293	0,115322
2000	20,758	20,798	0,111183
2200	21,876	21,955	0,108499

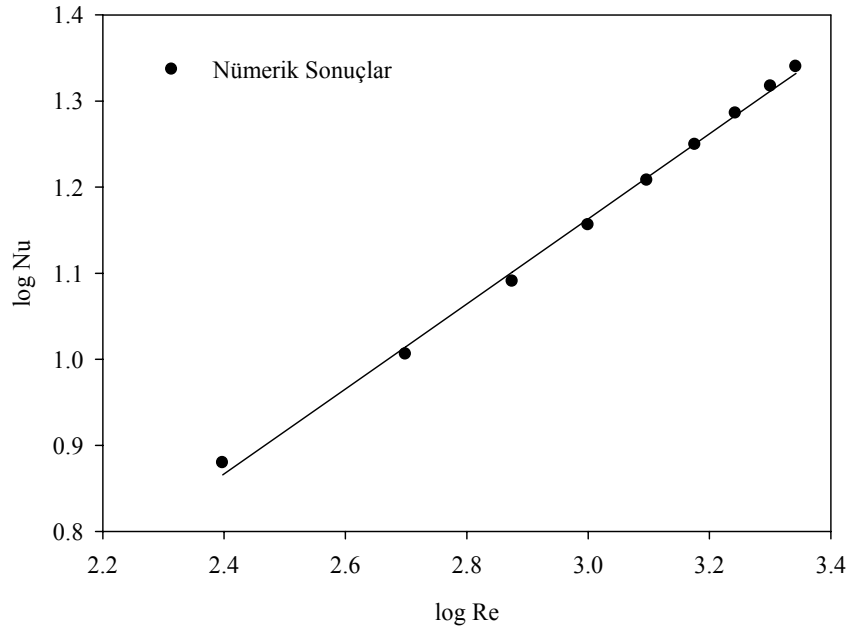
İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal içinde yapılan sayısal hesap sonuçları Çizelge 5.22’de verilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilerek Eş. 5.70’de verilmiştir.

Ortalama Nusselt sayısı

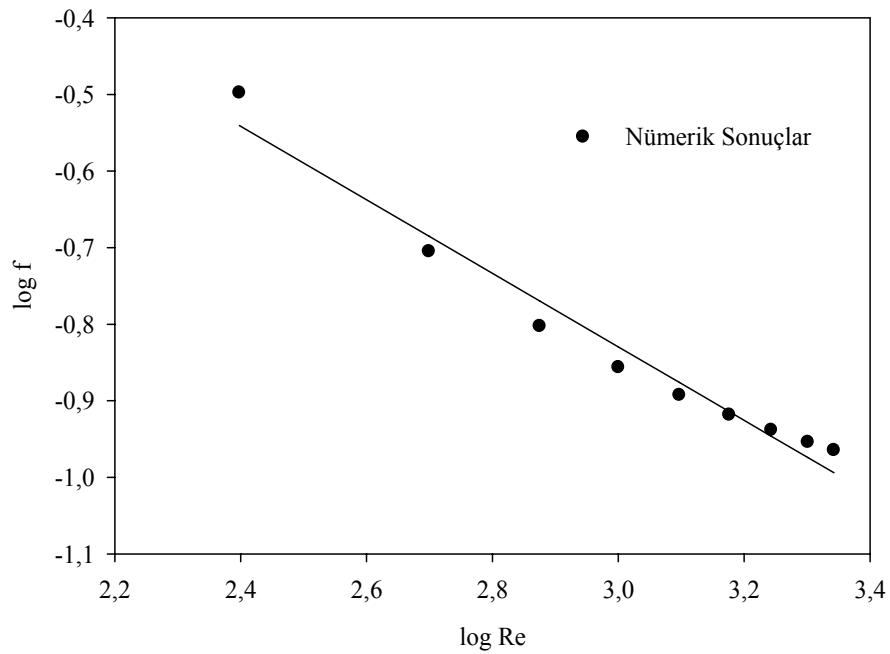
İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda, farklı Reynolds sayılarında hesaplanan Nusselt sayıları Çizelge 5.22’de verilmiştir.

Eş. 5.70’de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile Nusselt sayıları arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile artmaktadır. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yönetimi ile bulunmuştur.

$$\overline{Nu} = 0,4798Re^{0,4940} \quad (5.70)$$



Şekil 5.183. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi



Şekil 5.184. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi

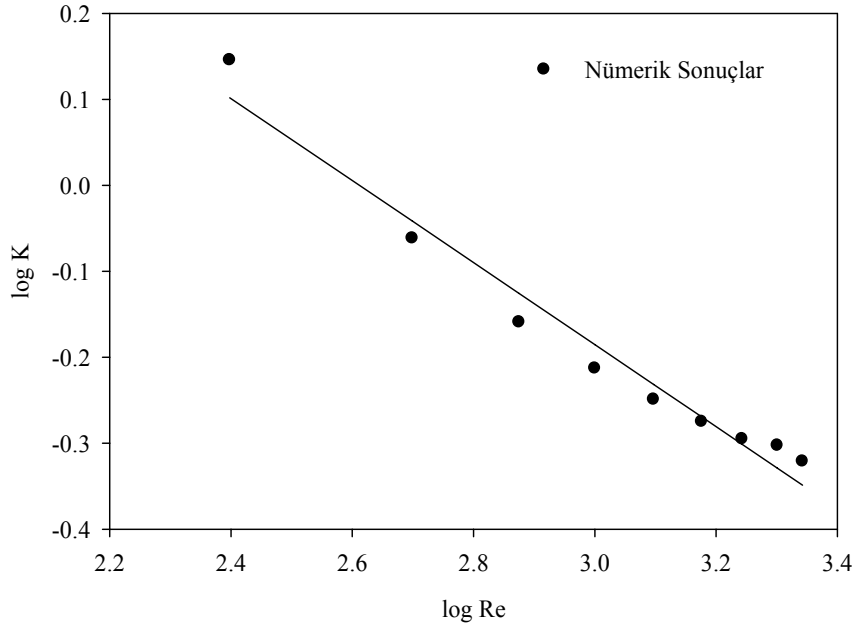
İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal için farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 5.22’de verilmiştir.

$$f = 4,0747Re^{-0,4799} \quad (5.71)$$

Eş. 5.71’de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile ortalama sürtünme katsayısı arasındaki ilişki diğer kanatçık yüksekliklerinde olduğu gibi ters orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır

Basınç kayıp katsayısı

Şekil 5.185’de görüleceği üzere Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısı arttıkça basınç kayıp katsayısı azalmıştır.



Şekil 5.185. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

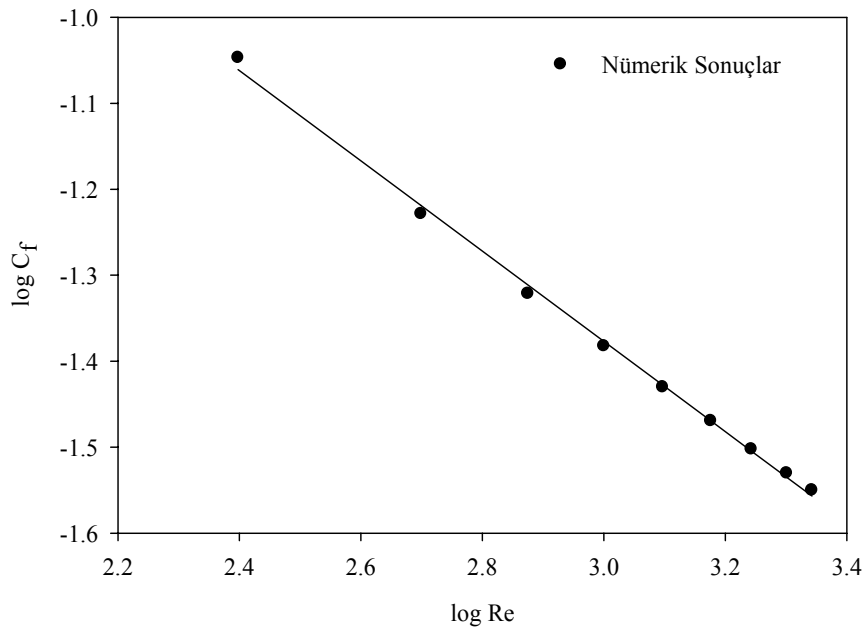
$$K = 17,6198Re^{-0,4771} \quad (5.72)$$

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan basınç kayıp katsayısı (K) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.72’de verilmiştir.

Fanning sürtünme faktörü

Eş. 5.73’de ortalama Fanning sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki verilmiştir.

$$\bar{C}_f = 1,5791Re^{-0,5251} \quad (5.73)$$

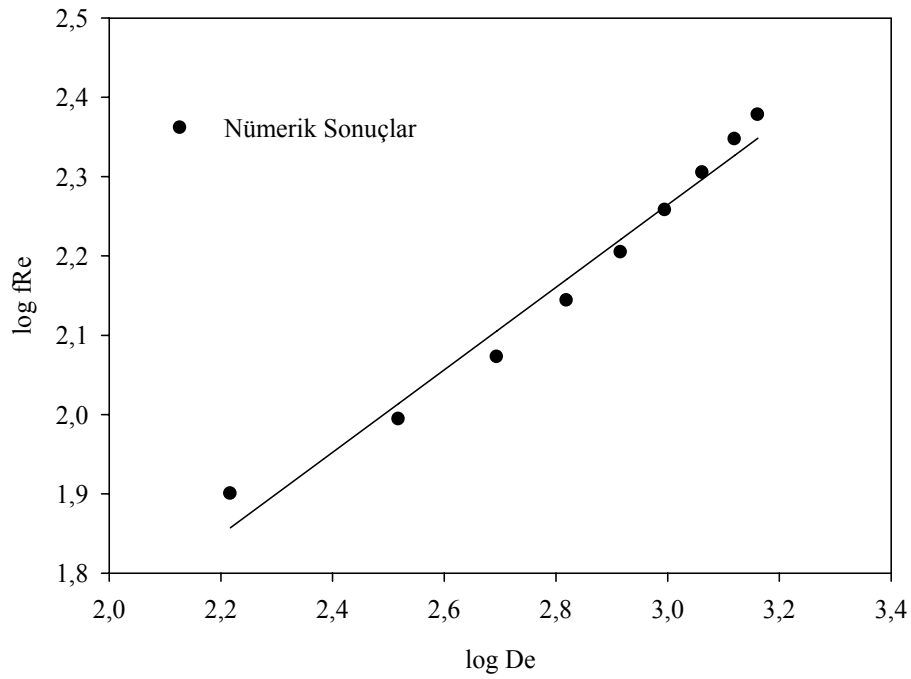


Şekil 5.186. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.186’den görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça ortalama Fanning sürtünme katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı ve Fanning sürtünme katsayısı arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

Dean sayısı ve fRe ilişkisi

Şekil 5.187’de fRe sayısı ile Dean sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Dean sayısı ile fRe sayısı arasında doğru orantı olduğu görülmüştür.

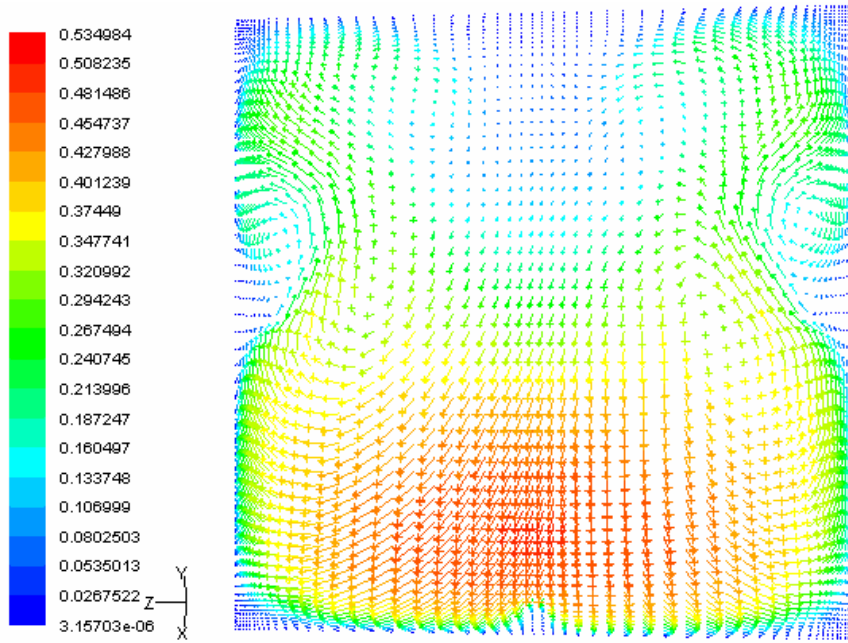


Şekil 5.187. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

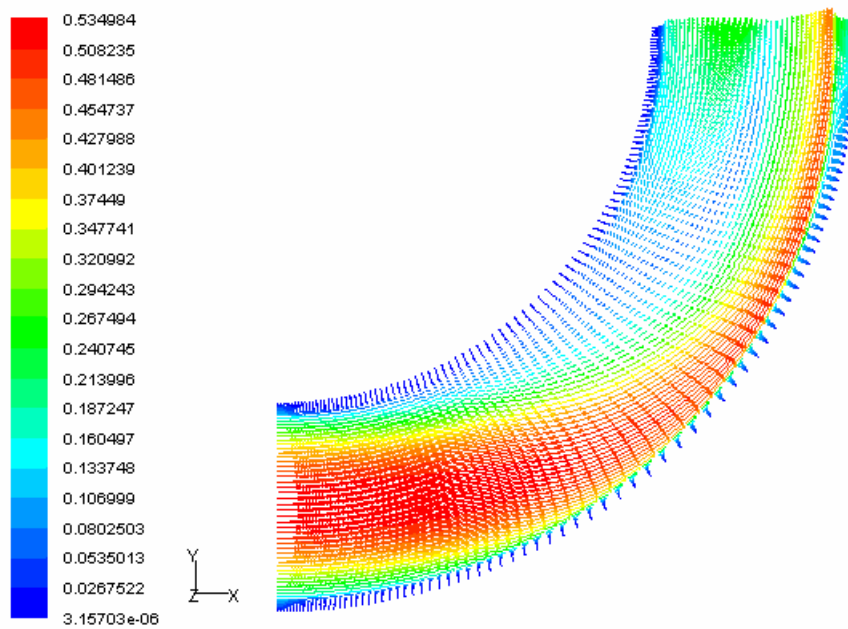
$$fRe = 5,0606De^{0,5201} \quad (5.74)$$

Kanal boyunca hız vektörleri

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanala tam gelişmiş hız profili ile giren akışkanın Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında kanal boyunca hareketi incelenmiştir. Şekil 5.188’de ise Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için hız vektörleri verilmiştir.



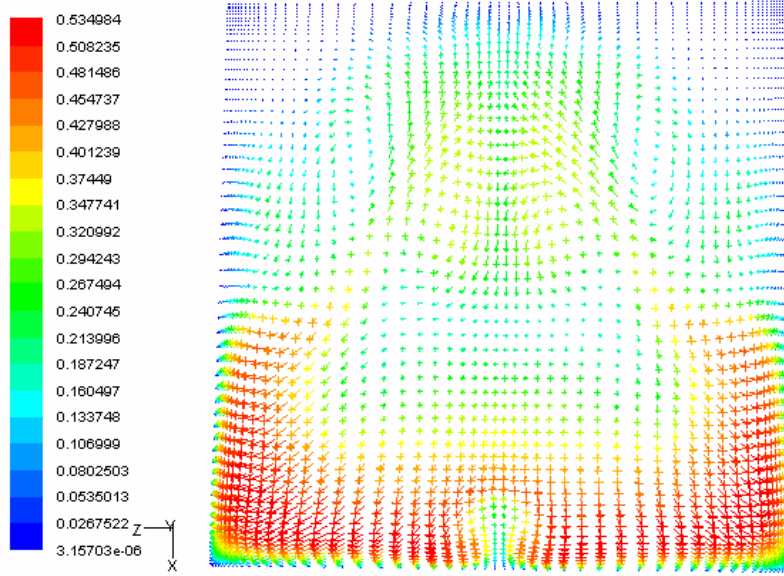
Şekil 5.188. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45^0 'lik kesitli kanal boyunca hız vektörleri



Şekil 5.189. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re=1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri

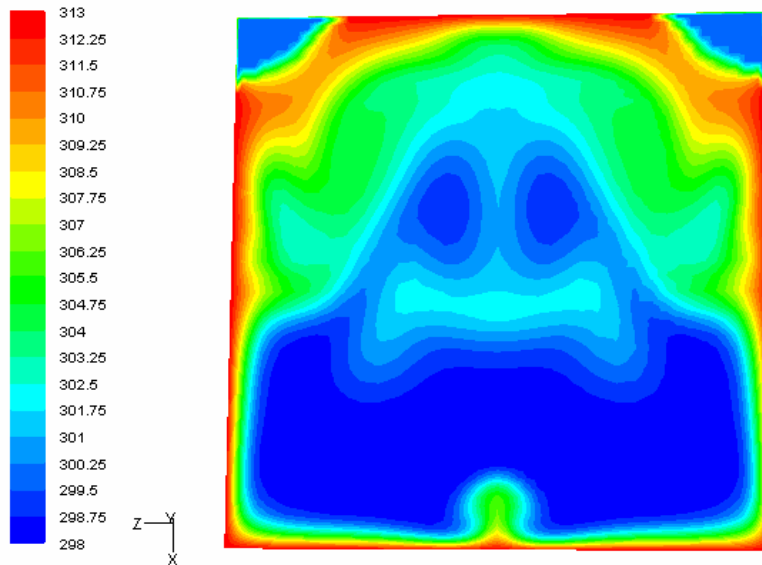
Kanal çıkışında hız vektörleri

Şekil 5.190.'da kanal çıkışındaki hız vektörleri görülmektedir.



Şekil 5.190. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re=1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri

Kanal çıkışında sıcaklık dağılımı

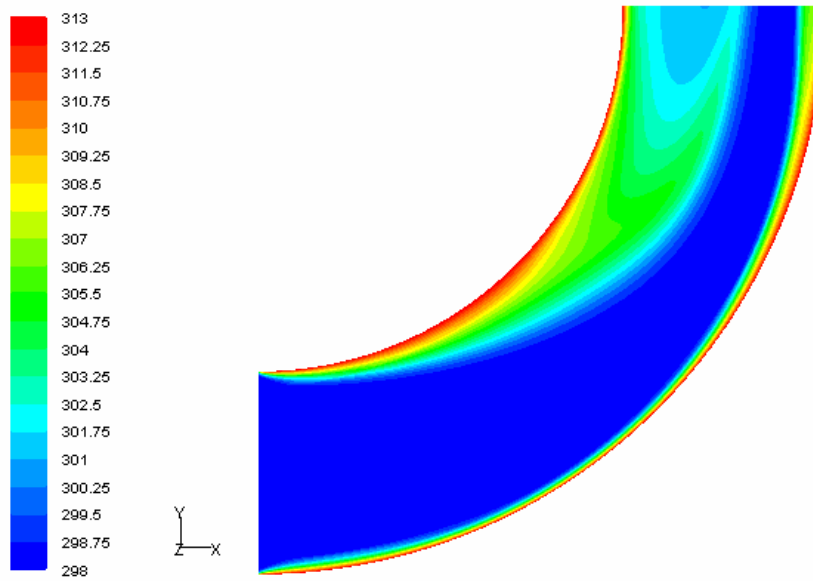


Şekil 5.191. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı

Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında, kanal içindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Şekil 5.191’de akışkanın kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için verilmiştir. 90⁰’lik eğimli kanal içerisine dört kanatçık yerleştirilmesi sonucu, sıcaklık dağılımında diğer kanatçıklı kanallara göre gözle görülür bir değişim gözlemlenmiştir. Kanatçıklar etrafında sıcaklık eğrilerinin belirginleştiği gözlemlenmiş ve kanalın ortasına doğru ise sıcaklık eğrilerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Kanal boyunca sıcaklık dağılımı

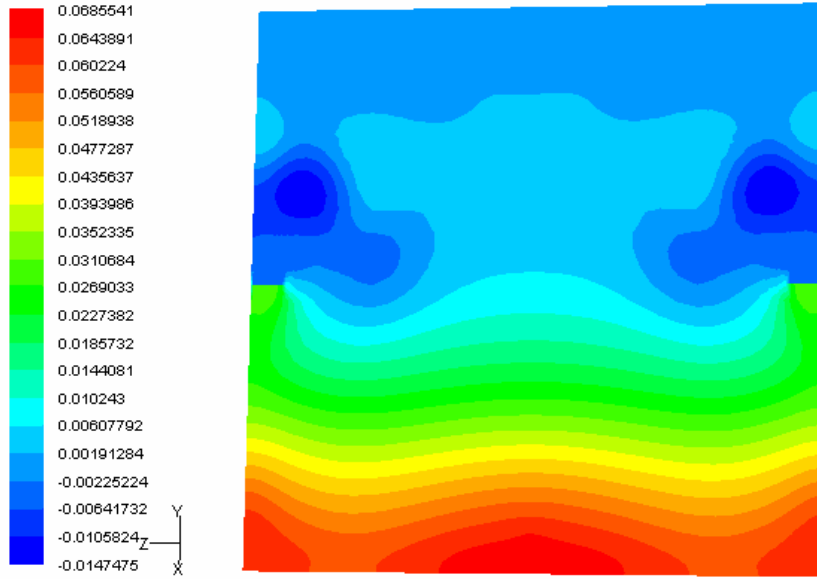
Şekil 5.192’de y eksenine göre simetrik olarak kanal boyunca sıcaklık dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.192. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı

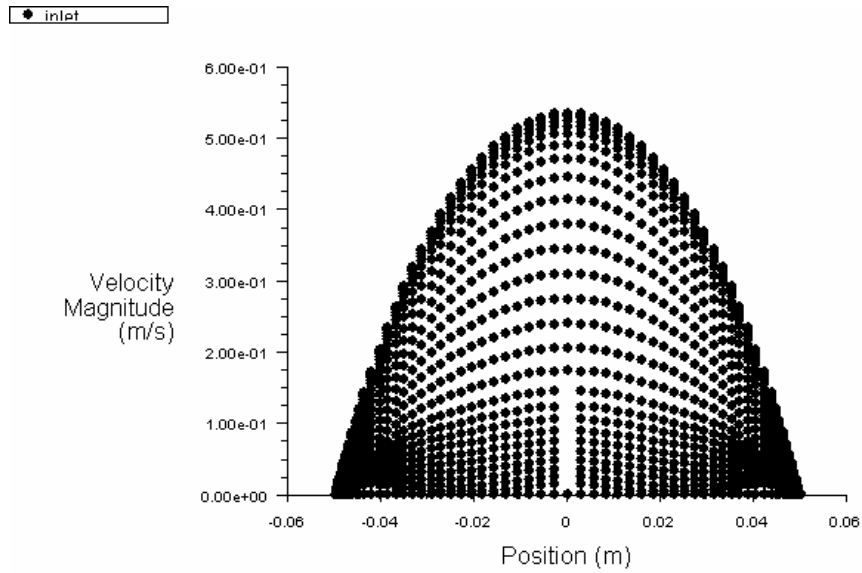
Kanaldaki basınç dağılımı

Şekil 5.193’de 45⁰’lik kesitli kanalda basınç dağılımı verilmiştir. Kanatçıkların bulundukları bölgede basınç artışı gözle görülür şekilde farkedilmektedir.



Şekil 5.193. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında iki boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45° 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı

Kanal girişi hız profili



Şekil 5.194. İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı

İçerisinde 6,25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan kanala Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri için hız profili hidrodinamik olarak tam gelişmiş olarak girmektedir. Şekil 5.194’de Reynolds sayısı 1750 için hidrodinamik olarak tam gelişmiş giriş hız profili görülmektedir.

5.7.2. 12,5 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Dört Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kare kesitli kanal içerisindeki akış ve ısı transferinin sayısal çözümü Reynolds sayısının değişik değerleri için yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü (f) hesaplanmıştır.

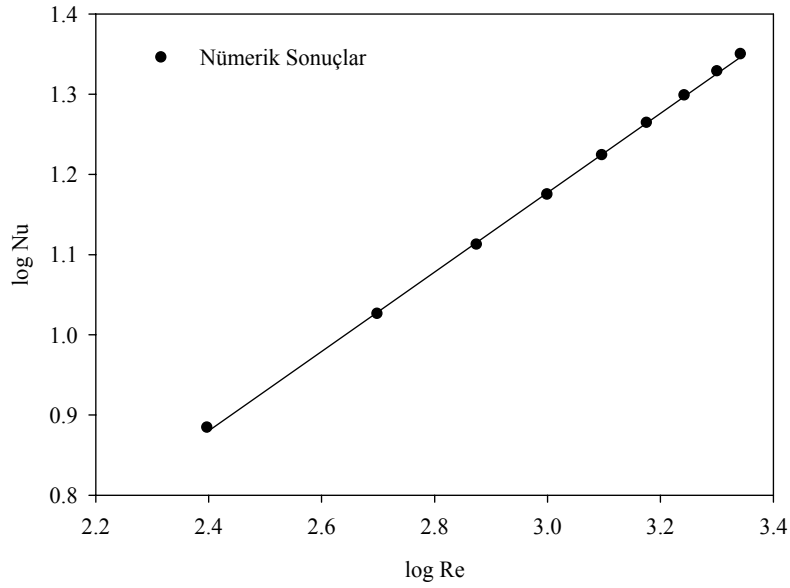
Çizelge 5.23. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar

Reynolds	Nusselt (Eşitlik 4.68)	Nusselt (Eşitlik 4.69)	f
250	7,653	7,182	0,373068
500	10,612	10,285	0,239319
750	12,947	12,711	0,191226
1000	14,953	14,789	0,165223
1250	16,738	16,636	0,148663
1500	18,364	18,318	0,137182
1750	19,873	19,876	0,128787
2000	21,293	21,339	0,1224
2200	22,375	22,450	0,118302

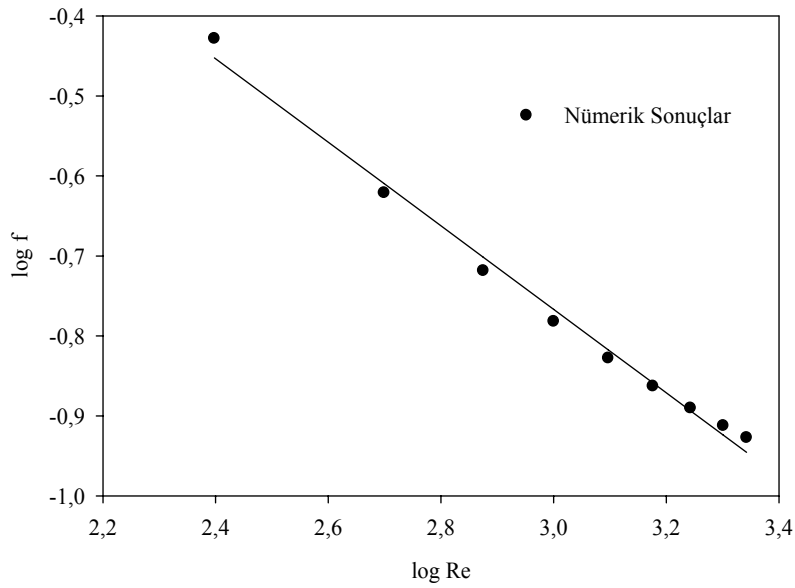
İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal içinde yapılan sayısal hesap sonuçları Çizelge 5.23’de verilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilerek Eş. 5.75’de verilmiştir.

Ortalama Nusselt sayısı

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda, farklı Reynolds sayılarında hesaplanan Nusselt sayıları Çizelge 5.23’de verilmiştir.



Şekil 5.195. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi



Şekil 5.196. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)’nün Reynolds sayısı ile değişimi

Eş. 5.75’de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile Nusselt sayıları arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile artmaktadır. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yönetimi ile bulunmuştur.

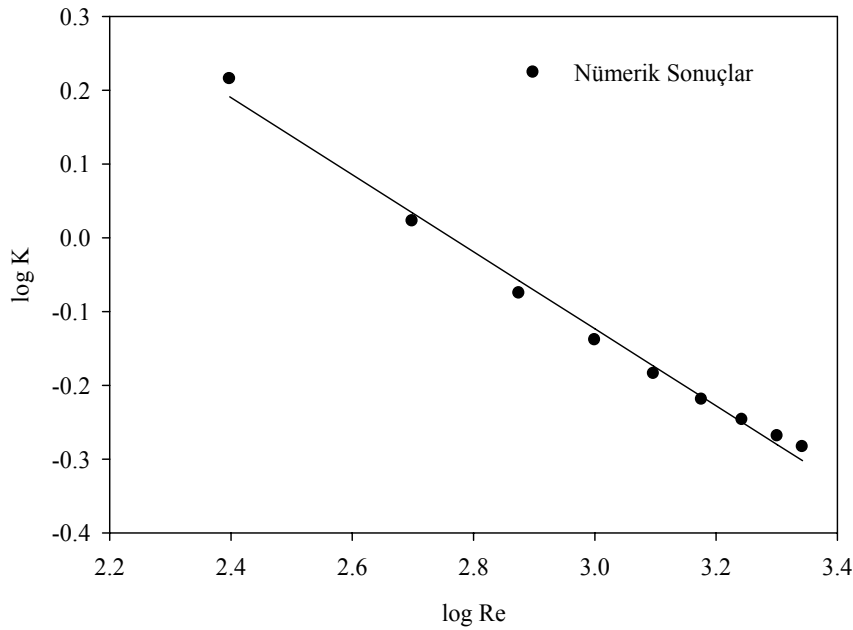
$$\bar{Nu} = 0,4926Re^{0,4949} \quad (5.75)$$

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal için farklı Reynolds sayılarında hesaplanan sürtünme katsayıları Çizelge 5.23’de verilmiştir.

$$f = 6,3038Re^{-0,5221} \quad (5.76)$$

Eş. 5.76’da verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile ortalama sürtünme katsayısı arasındaki ilişki diğer kanatçık yüksekliklerinde olduğu gibi ters orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır

Basınç kayıp katsayısı



Şekil 5.197. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.197’de görüleceği üzere Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısı arttıkça basınç kayıp katsayısı azalmıştır.

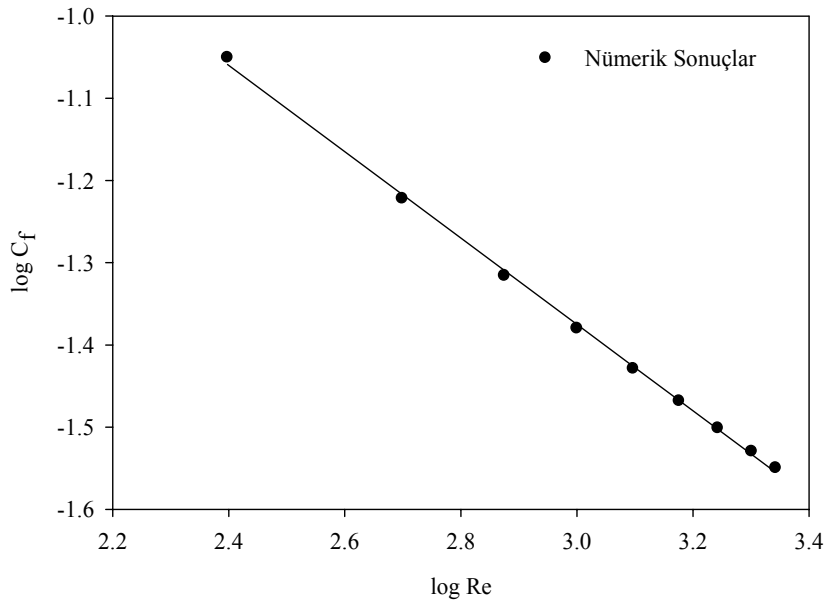
$$K = 27,7332Re^{-0,5221} \quad (5.77)$$

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan basınç kayıp katsayısı (K) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.77’de verilmiştir.

Fanning sürtünme faktörü

Eş. 5.78’de ortalama Fanning sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki verilmiştir.

$$\bar{C}_f = 1,586Re^{-0,5251} \quad (5.78)$$

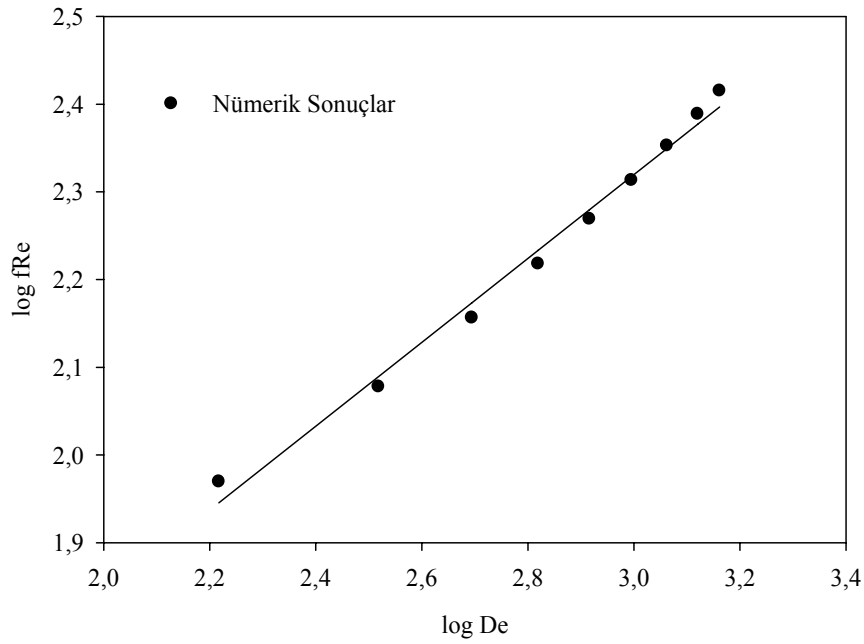


Şekil 5.198. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.198'den görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça ortalama Fanning sürtünme katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı ve Fanning sürtünme katsayısı arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

Dean sayısı ve f_{Re} ilişkisi

Şekil 5.199'da f_{Re} sayısı ile Dean sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Dean sayısı ile f_{Re} sayısı arasında doğru orantı olduğu görülmüştür.



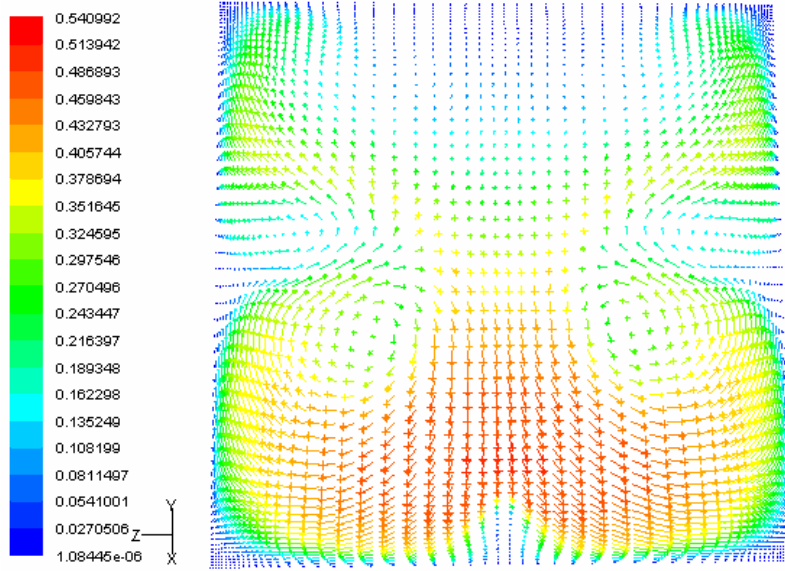
Şekil 5.199. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda f_{Re} sayısının Dean sayısı ile değişimi

$$f_{Re} = 4,6806De^{0,4781} \quad (5.79)$$

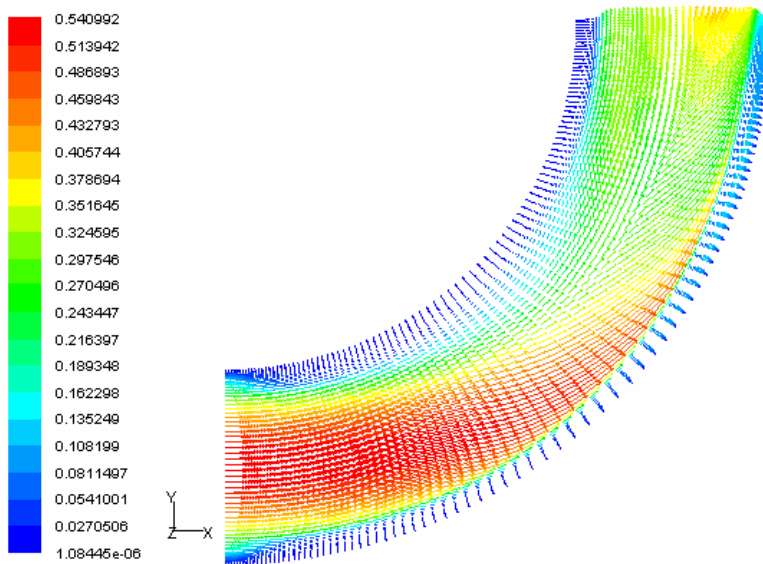
Kanal boyunca hız vektörleri

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanala tam gelişmiş hız profili ile giren akışkanın Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında

kanal boyunca hareketi incelenmiştir. Şekil 5.201’de ise Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için hız vektörleri verilmiştir.



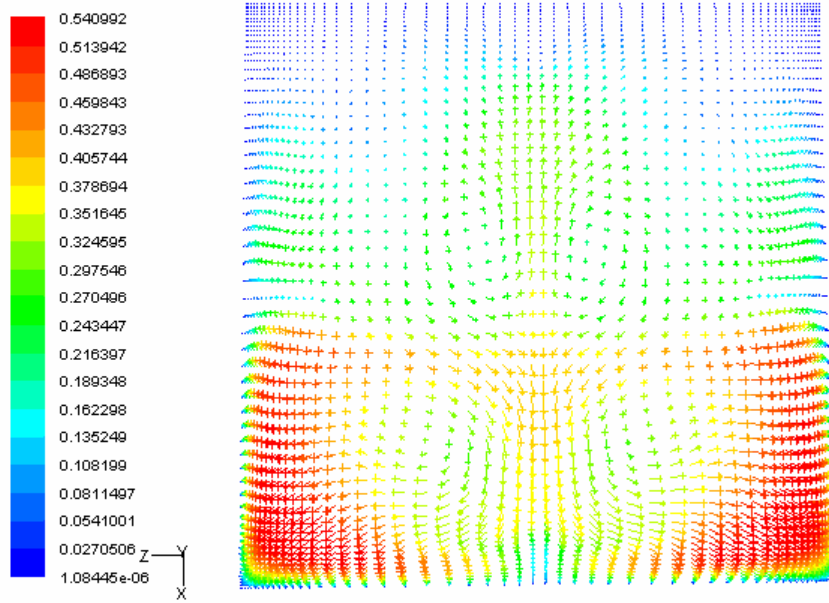
Şekil 5.200. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45° ’lik kesitli kanal boyunca hız vektörleri



Şekil 5.201. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri

Kanal çıkışında hız vektörleri

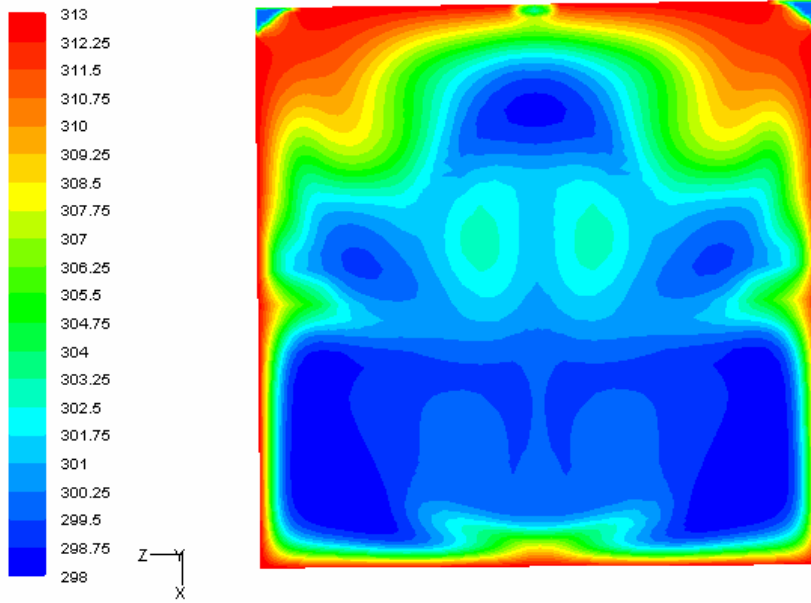
Şekil 5.202’de kanal çıkışındaki hız vektörleri görülmektedir.



Şekil 5.202. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re=1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri

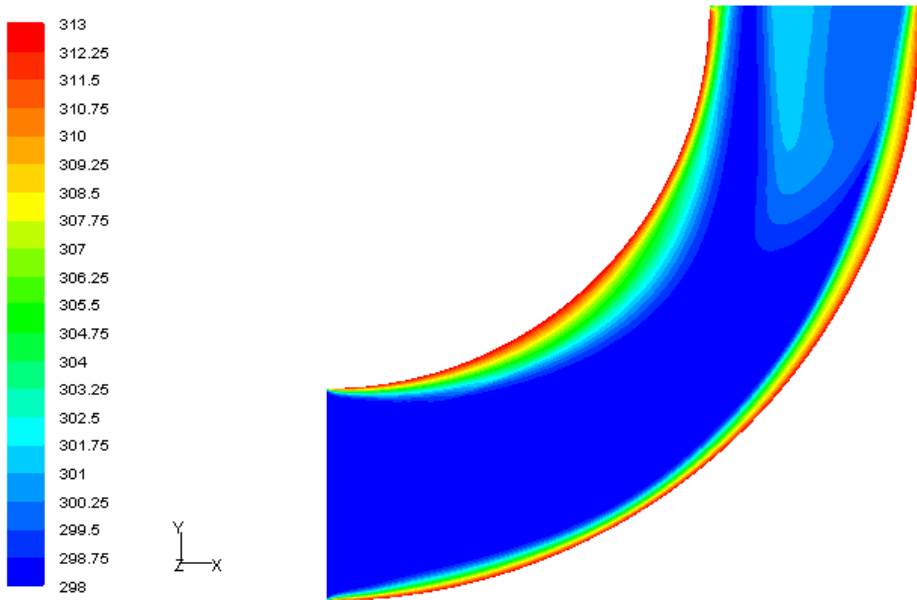
Kanal çıkışında sıcaklık dağılımı

Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında, kanal içindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Şekil 5.203’de akışkanın kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere kanatçıkların yükseklikleri arttıkça sıcaklık eğrilerinin bulunduğu bölgeler genişlemektedir.



Şekil 5.203. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı

Kanal boyunca sıcaklık dağılımı

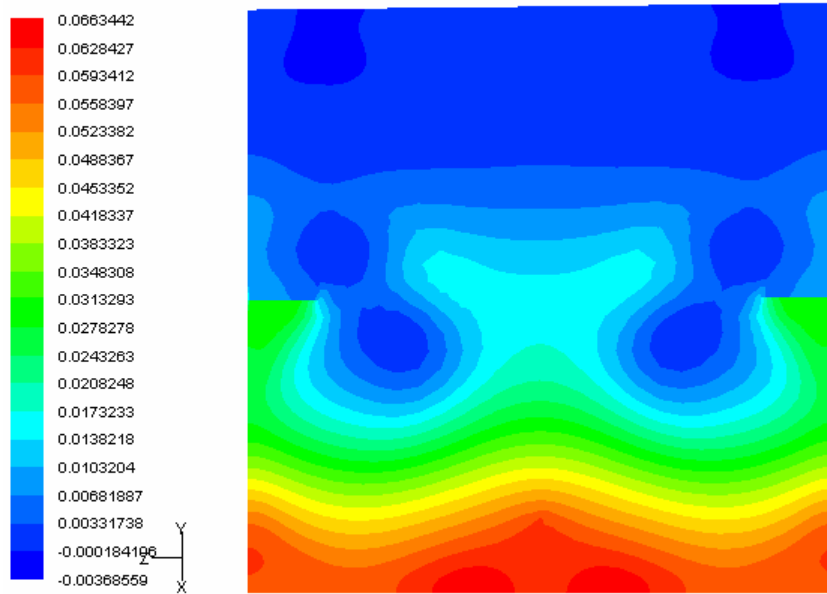


Şekil 5.204. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı

Şekil 5.204’de y eksenine göre simetrik olarak kanal boyunca sıcaklık dağılımı verilmiştir.

Kanaldaki basınç dağılımı

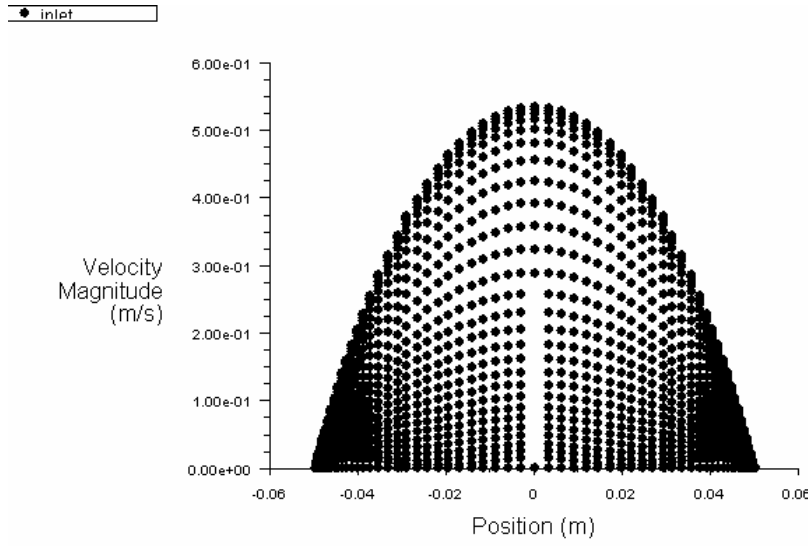
Şekil 5.205’de 45^0 ’lik kesitli kanalda basınç dağılımı verilmiştir. İçerisinde dört adet kanatçık bulunan eğimli kanalda kanatçık yüksekliğinin artırılmasıyla akışkanın kanatçıklara çarptığı bölgelerde basınç artışı olduğu Şekil 5.205’den açıkça görülmektedir.



Şekil 5.205. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45^0 ’lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı

Kanal girişi hız profili

İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan kanala Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri için hız profili hidrodynamic olarak tam gelişmiş olarak girmektedir. Şekil 5.206’da Reynolds sayısı 1750 için hidrodynamic olarak tam gelişmiş giriş hız profili görülmektedir.



Şekil 5.206. İçerisinde 12,5 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminer akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı

5.7.3. 18,75 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Dört Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü

İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kare kesitli kanal içerisindeki akış ve ısı transferinin sayısal çözümü Reynolds sayısının değişik değerleri için yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü (f) hesaplanmıştır.

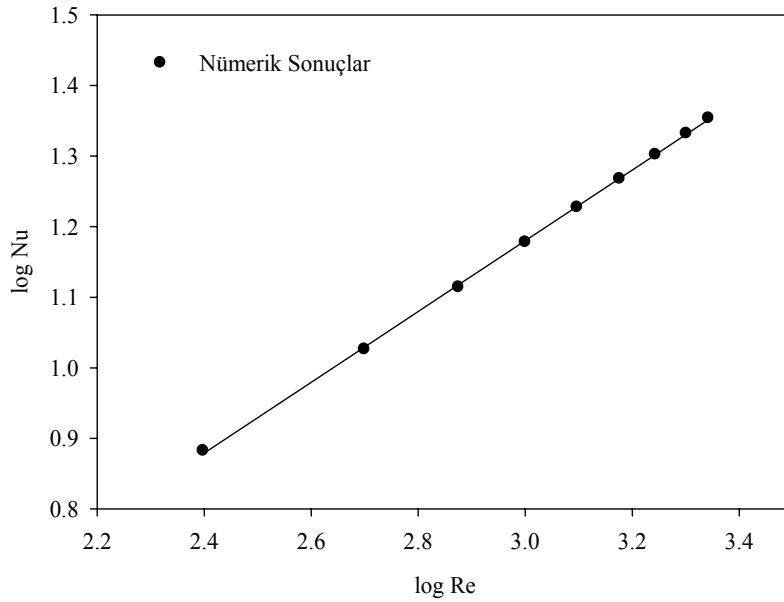
Çizelge 5.24. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar

Reynolds	Nusselt (Eşitlik 4.68)	Nusselt (Eşitlik 4.69)	f
250	7,628	7,145	0,451041
500	10,626	10,285	0,282722
750	13,008	12,764	0,22218
1000	15,069	14,901	0,19062
1250	16,883	16,790	0,171068
1500	18,527	18,504	0,157718
1750	20,051	20,091	0,147997
2000	21,487	21,583	0,140601
2200	22,592	22,727	0,135829

İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal içinde yapılan sayısal hesap sonuçları Çizelge 5.24’de verilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilerek Eş. 5.80’de verilmiştir.

Ortalama Nusselt sayısı

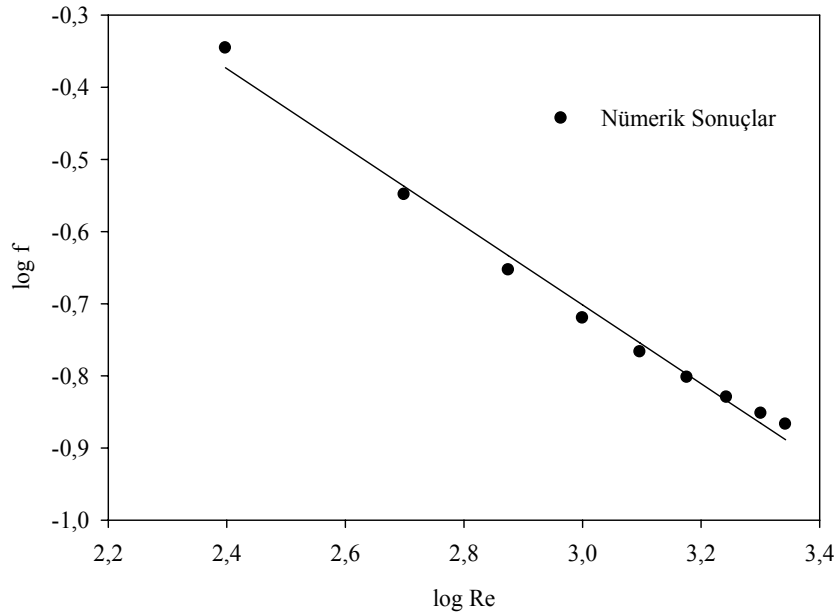
İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda, farklı Reynolds sayılarında hesaplanan Nusselt sayıları Çizelge 5.24’de verilmiştir.



Şekil 5.207. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Eş. 5.80’de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile Nusselt sayıları arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile artmaktadır. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yönetimi ile bulunmuştur.

$$\overline{Nu} = 0,4753Re^{0,5010} \quad (5.80)$$



Şekil 5.208. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi

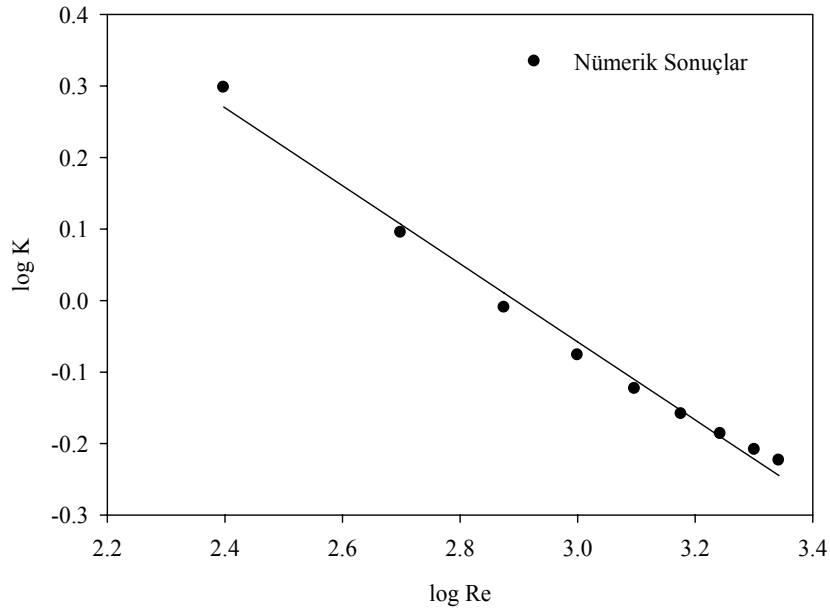
İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal için farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 5.24'de verilmiştir.

$$f = 8,6139Re^{-0,5456} \quad (5.81)$$

Eş. 5.81'de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile ortalama sürtünme katsayısı arasındaki ilişki diğer kanatçık yüksekliklerinde olduğu gibi ters orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır

Basınç kayıp katsayısı

Şekil 5.209'da görüleceği üzere Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısı arttıkça basınç kayıp katsayısı azalmıştır.



Şekil 5.209. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

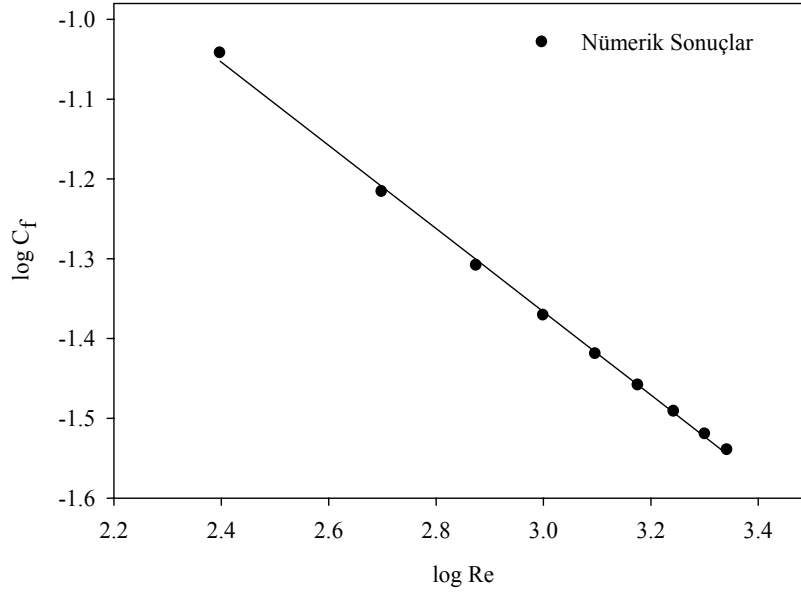
$$K = 37,9315Re^{-0,5456} \quad (5.82)$$

İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan basınç kayıp katsayısı (K) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.82’de verilmiştir.

Fanning sürtünme faktörü

Eş. 5.83’de ortalama Fanning sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki verilmiştir.

$$\bar{C}_f = 1,5808Re^{-0,5218} \quad (5.83)$$



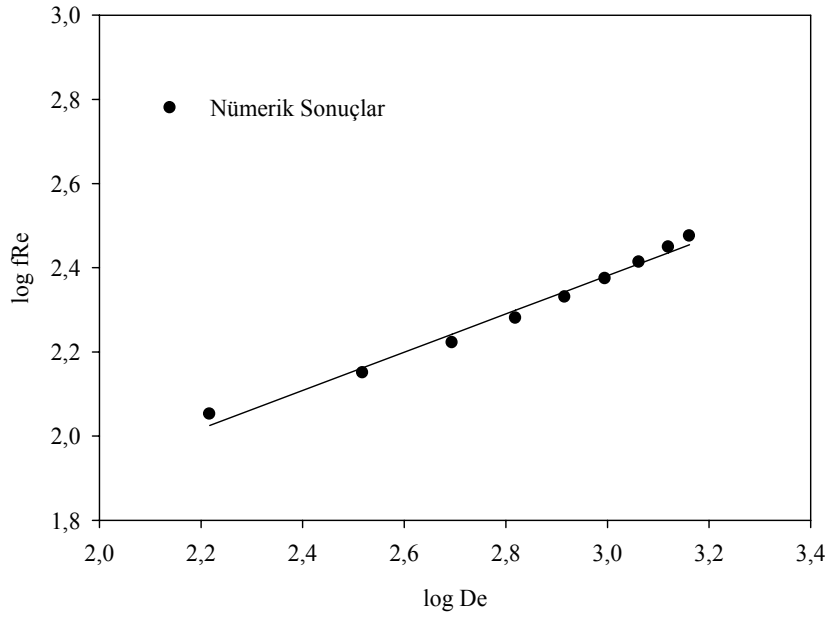
Şekil 5.210. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.210'dan görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça ortalama Fanning sürtünme katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı ve Fanning sürtünme katsayısı arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

Dean sayısı ve fRe ilişkisi

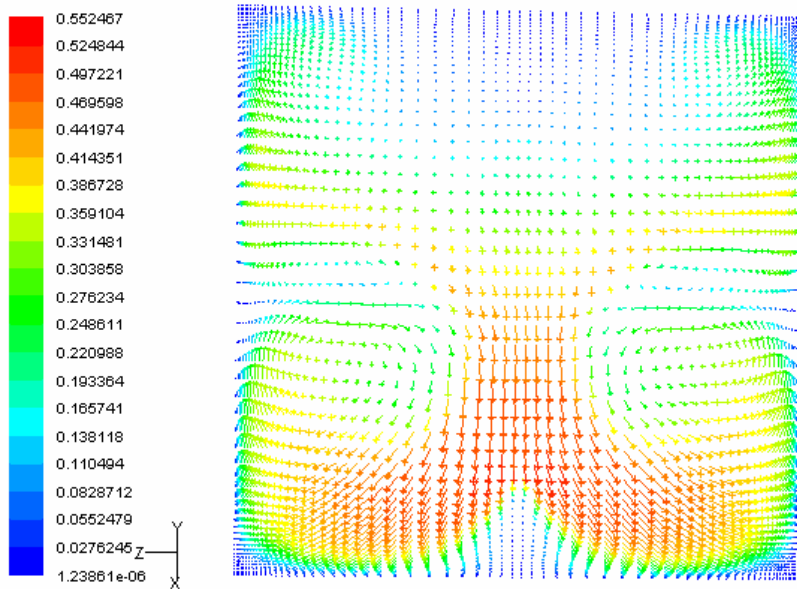
Şekil 5.211'de fRe sayısı ile Dean sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Dean sayısı ile fRe sayısı arasında doğru orantı olduğu görülmüştür. Dean sayısı ve Darcy sürtünme faktörüyle Reynolds sayısının çarpımı olan fRe sayısının arasındaki ilişki Eşitlik 5.84'de bir korelasyonla verilmiştir. Eşitlik 5.84'den de açıkça görüldüğü üzere Dean sayısı arttıkça fRe sayısında artmaktadır.

$$fRe = 10,4232De^{0,4544} \quad (5.84)$$



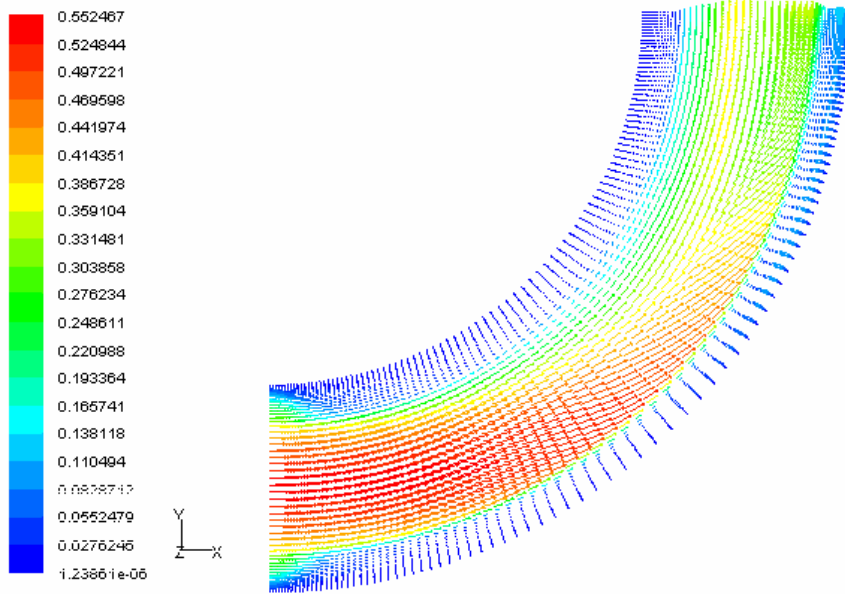
Şekil 5.211. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

Kanal boyunca hız vektörleri



Şekil 5.212. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45⁰'lık kesitli kanal boyunca hız vektörleri

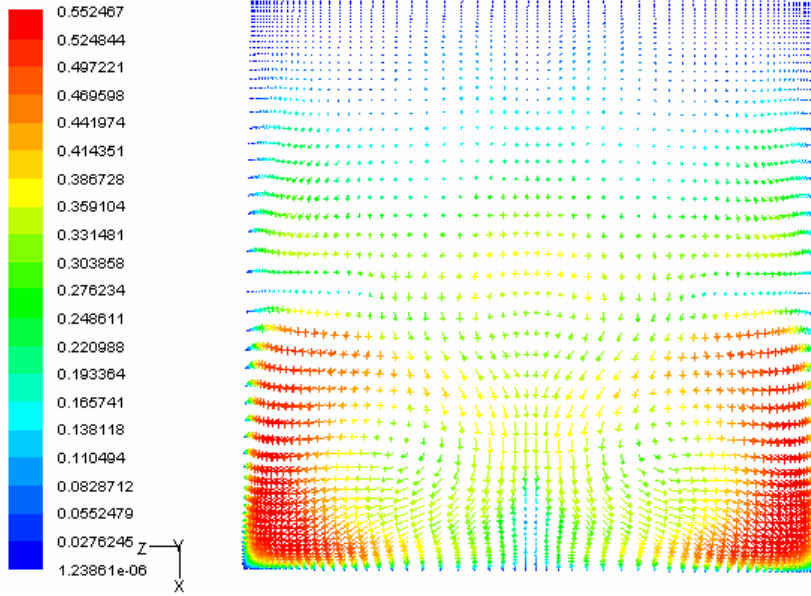
İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanala tam gelişmiş hız profili ile giren akışkanın Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında kanal boyunca hareketi incelenmiştir. Şekil 5.212’de ise Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için hız vektörleri verilmiştir.



Şekil 5.213. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri

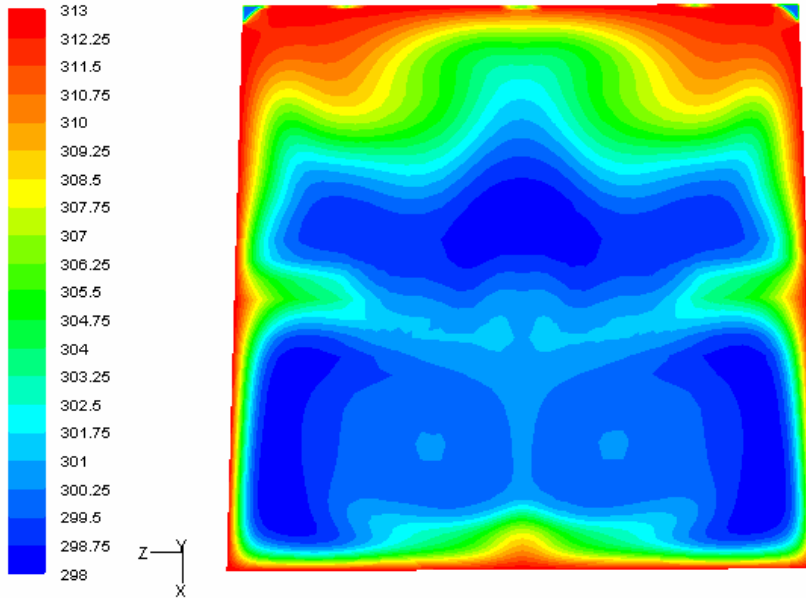
Kanal çıkışında hız vektörleri

Şekil 5.214’de kanal çıkışındaki hız vektörleri görülmektedir. Şekil 5.124 dikkatlice incelenecek olursa kanal kesitinin sağ ve sol yanlarındaki çeperlerde hız vektörlerinin hızlarının arttığı görülmüştür. Kanalın alt çeperinde kanatçığın sağ ve sol yanında girdapların oluştuğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.214. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri

Kanal çıkışında sıcaklık dağılımı

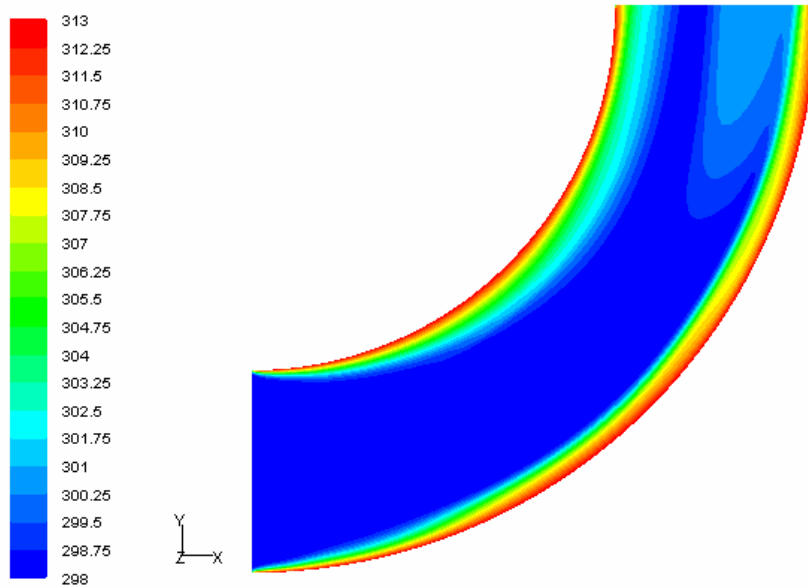


Şekil 5.215. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı

Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında, kanal içindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. Şekil 5.215’de akışkanın kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere kanatçıklar etrafında oluşan sıcaklık eğrileri kanatçık yüksekliklerinin artmasıyla belirginleşmişlerdir.

Kanal boyunca sıcaklık dağılımı

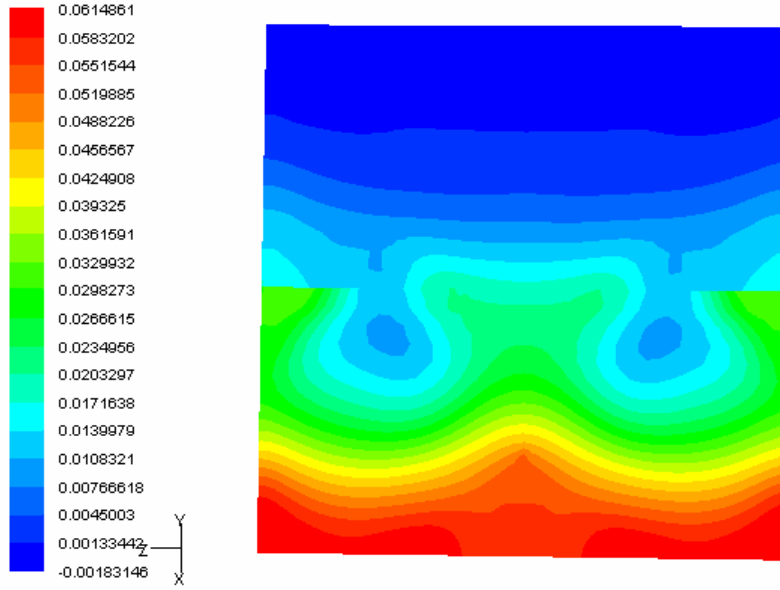
Şekil 5.216’da y eksenine göre simetrik olarak kanal boyunca sıcaklık dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.216. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılımı

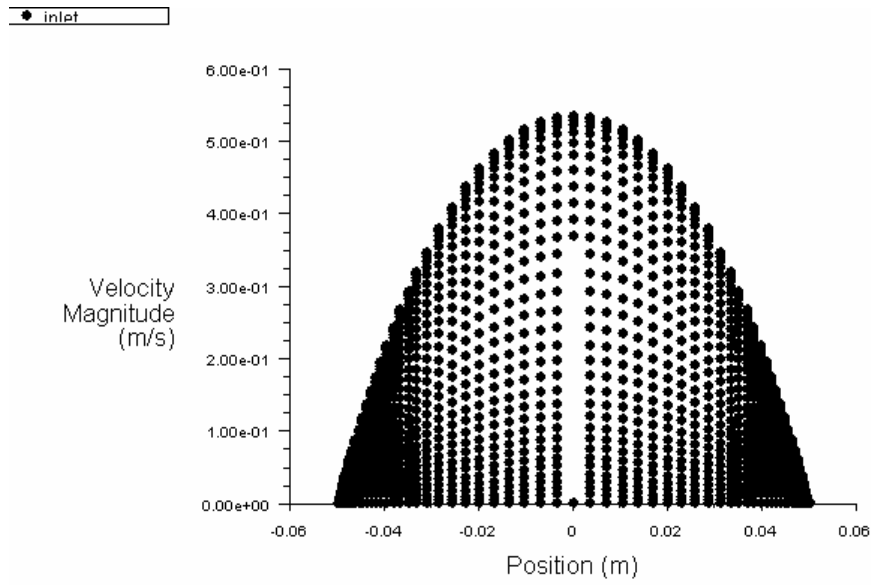
Kanaldaki basınç dağılımı

Şekil 5.217’de 45^0 ’lik kesitli kanalda basınç dağılımı verilmiştir. Kanatçıkların bulunduğu bölgede basınç artışı gözle görülür şekilde farkedilmektedir.



Şekil 5.217. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45° 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı

Kanal girişi hız profili



Şekil 5.218. İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı

İçerisinde 18,75 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan kanala Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri için hız profili hidrodinamik olarak tam gelişmiş olarak girmektedir. Şekil 5.218’de Reynolds sayısı 1750 için hidrodinamik olarak tam gelişmiş giriş hız profili görülmektedir.

5.7.4. 25 mm Kanatçık Yüksekliğine Sahip Dört Kanatçıklı Kanalda Akışın Sayısal Olarak İncelenmesi ve İnceleme Sonuçları

Ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kare kesitli kanal içerisindeki akış ve ısı transferinin sayısal çözümü Reynolds sayısının değişik değerleri için yapılmıştır. Farklı Reynolds sayılarında ortalama Nusselt sayısı ve Darcy sürtünme faktörü (f) hesaplanmıştır.

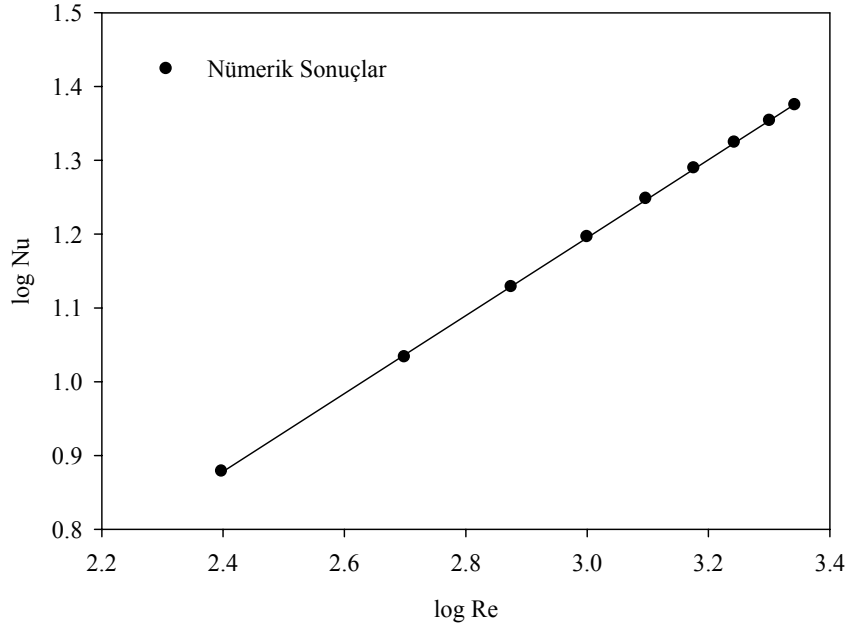
Çizelge 5.25. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal için sayısal yöntemle elde edilen sonuçlar

Reynolds	Nusselt (Eşitlik 4.68)	Nusselt (Eşitlik 4.69)	f
250	7,560	7,066	0,4823
500	10,800	10,438	0,297826
750	13,444	13,714	0,230019
1000	15,717	15,525	0,192351
1250	17,705	17,583	0,165634
1500	19,479	19,426	0,156633
1750	21,097	21,107	0,146507
2000	22,592	22,669	0,138748
2200	23,718	23,847	0,133727

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal içinde yapılan sayısal hesap sonuçları Çizelge 5.25’de verilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki ilişki bir fonksiyon ile ifade edilerek Eş. 5.85’de verilmiştir.

Ortalama Nusselt sayısı

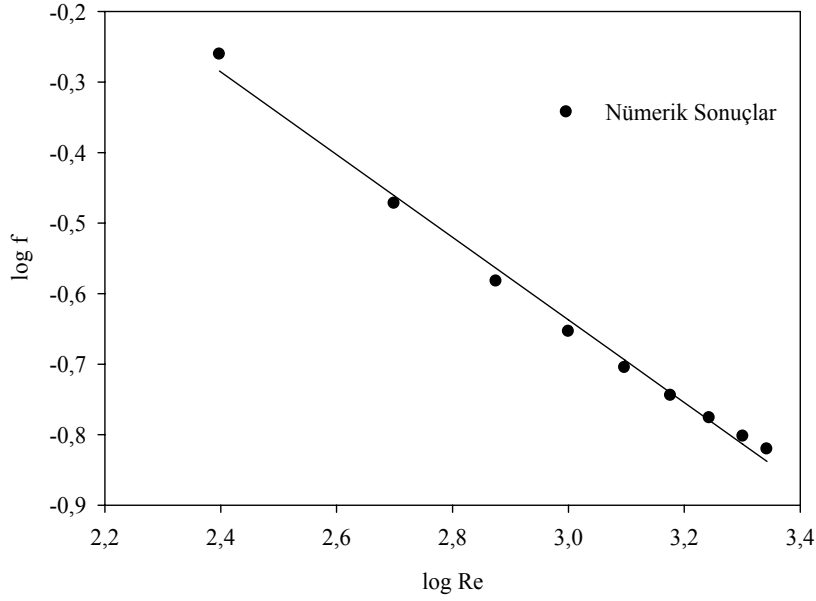
İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda, farklı Reynolds sayılarında hesaplanan Nusselt sayıları Çizelge 5.25’de verilmiştir.



Şekil 5.219. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal içinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Eş. 5.85’de verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile Nusselt sayıları arasındaki ilişki doğru orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile artmaktadır. Ortalama Nusselt sayısı ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi ile bulunmuştur.

$$\overline{Nu} = 0,4072Re^{0,5285} \quad (5.85)$$



Şekil 5.220. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda Darcy sürtünme faktörü (f)'nün Reynolds sayısı ile değişimi

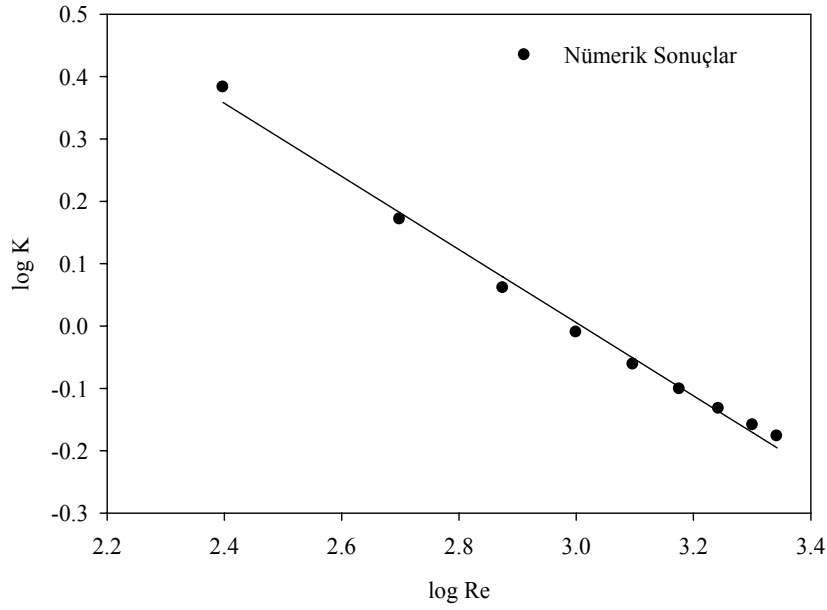
İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanal için farklı Reynolds sayılarında hesaplanan ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 5.25'de verilmiştir.

$$f = 13,2129Re^{-0,5861} \quad (5.86)$$

Eş. 5.86'da verilen fonksiyonda görüleceği üzere Reynolds sayısı ile ortalama sürtünme katsayısı arasındaki ilişki diğer kanatçık yüksekliklerinde olduğu gibi ters orantılı olup, Reynolds sayısının artışı ile azalmaktadır

Basınç kayıp katsayısı

Şekil 5.221'de görüleceği üzere Reynolds sayısı ile basınç kayıp katsayısı arasındaki ilişki ters orantılı olup, Reynolds sayısı arttıkça basınç kayıp katsayısı azalmıştır.



Şekil 5.221. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

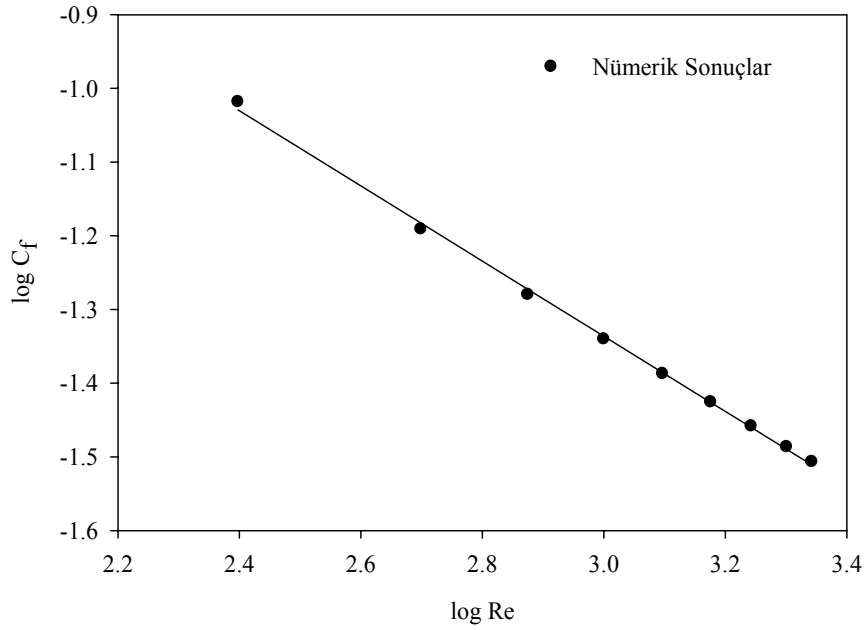
$$K = 58,0764Re^{-0,5862} \quad (5.87)$$

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda farklı Reynolds sayılarında hesaplanan basınç kayıp katsayısı (K) ile Reynolds sayısı arasındaki fonksiyonel ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak Eş. 5.87’de verilmiştir.

Fanning sürtünme faktörü

Eş. 5.88’de ortalama Fanning sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının arasındaki ilişki verilmiştir.

$$\overline{C}_f = 1,5646Re^{-0,5102} \quad (5.88)$$



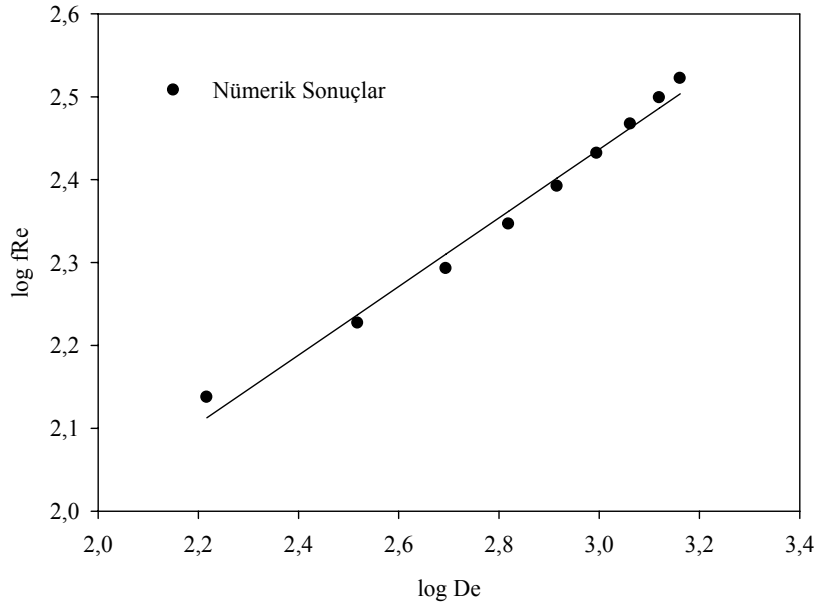
Şekil 5.222. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda ortalama Fanning sürtünme katsayısının Reynolds sayısı ile değişimi

Şekil 5.222'den görüleceği üzere Reynolds sayısı arttıkça ortalama Fanning sürtünme katsayısı azalmaktadır. Reynolds sayısı ve Fanning sürtünme katsayısı arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

Dean sayısı ve fRe ilişkisi

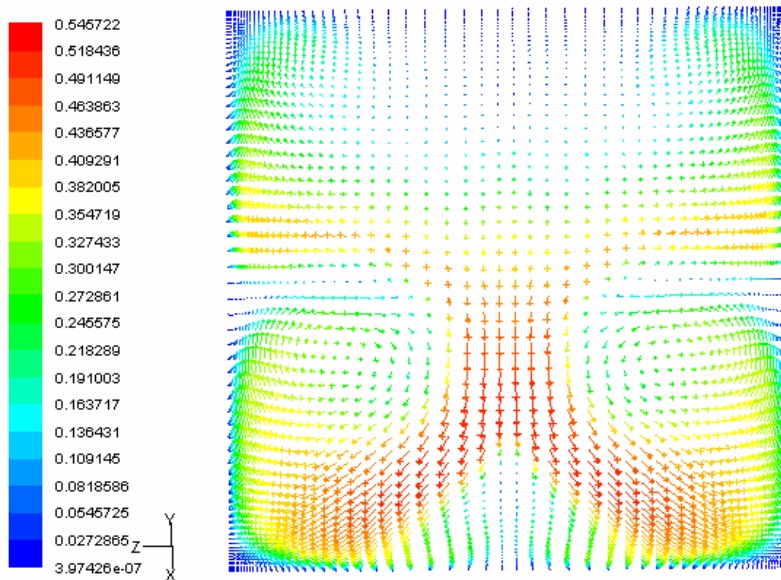
Şekil 5.223'de fRe sayısı ile Dean sayısı arasındaki ilişki görülmektedir. Dean sayısı ile fRe sayısı arasında doğru orantı olduğu görülmüştür. Başka bir ifade ile Dean sayısı arttıkça Darcy sürtünme faktörü ile Reynolds sayısının çarpımı olan fRe sayısında arttığı görülmüştür. Dean sayısı ile fRe sayısı arasındaki ilişki en küçük kareler yöntemi kullanılarak bulunan Eşitlik 5.89 ile ifade edilmiştir.

$$fRe = 15,6675De^{0,4139} \quad (5.89)$$



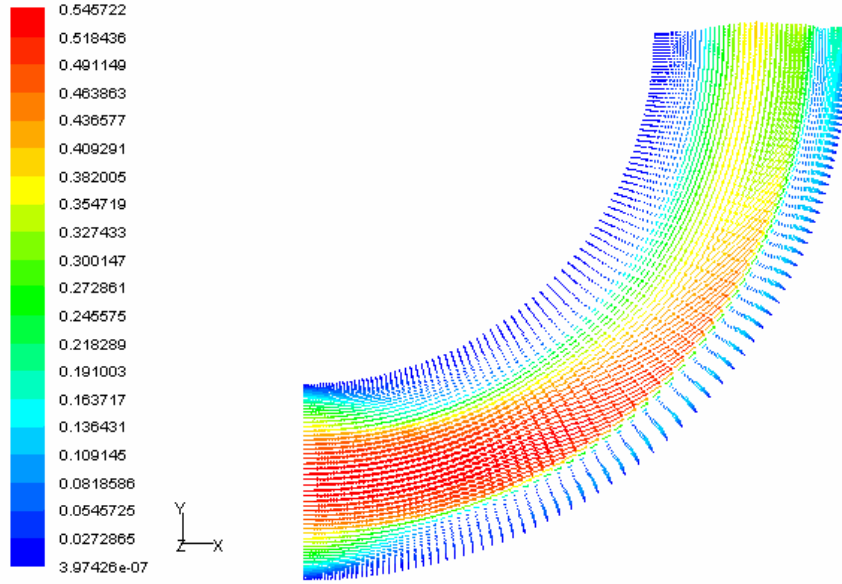
Şekil 5.223. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

Kanal boyunca hız vektörleri



Şekil 5.224. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için 45° 'lık kesitli kanal boyunca hız vektörleri

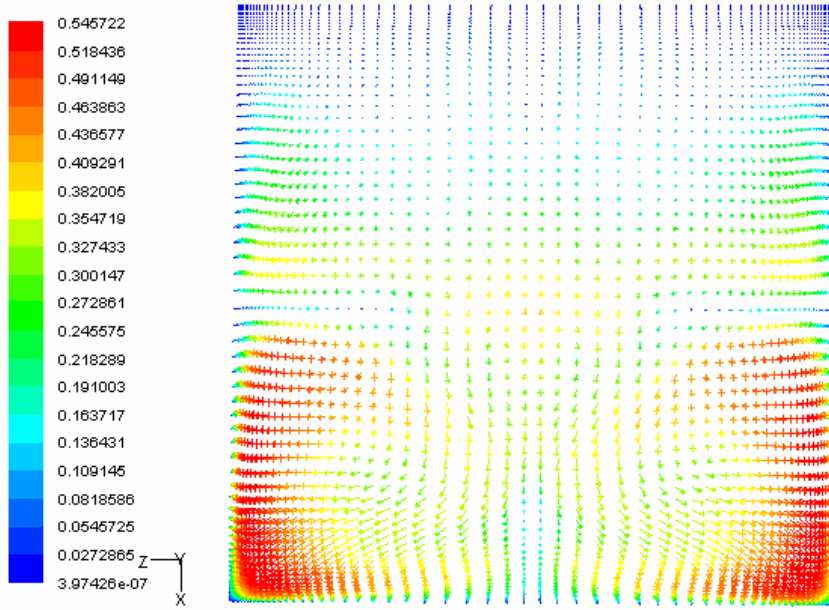
İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanala tam gelişmiş hız profili ile giren akışkanın Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında kanal boyunca hareketi incelenmiştir. Şekil 5.224’de ise Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için hız vektörleri verilmiştir.



Şekil 5.225. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re = 1750$ değeri için kanal boyunca hız vektörleri

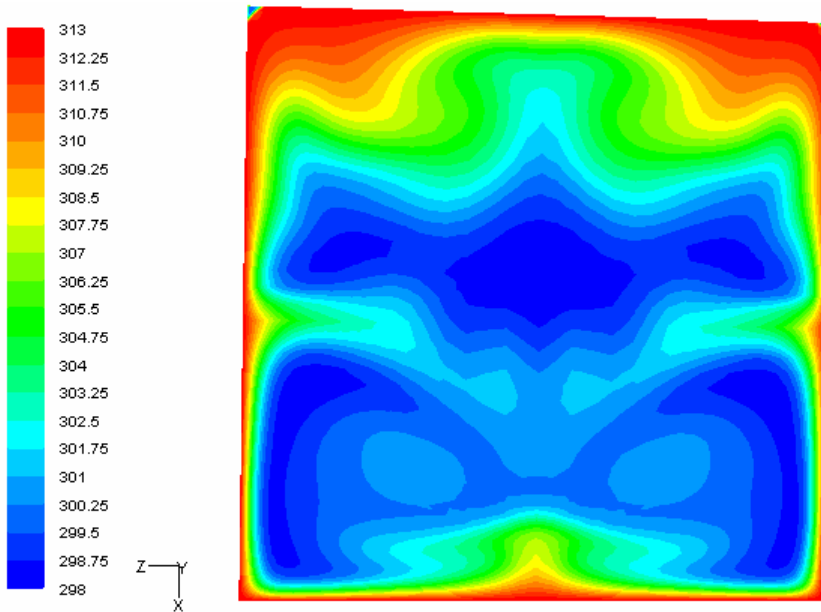
Kanal çıkışında hız vektörleri

Şekil 5.226’da kanal çıkışındaki hız vektörleri görülmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere kanatçık yüksekliği arttığı için kanalın alt çeperinde kanatçığın her iki yanında oluşan girdaplar belirginleşmiştir. Oluşan bu girdapların birbirine ters yönde hareket ettiği görülmüştür. Kanalın üst çeperinde bulunan kanatçık etrafında ise girdap oluşmadığı gözlemlenmiştir. Kanalın her iki yanında bulunan kanatçıklara akışın çarpması sonucu o bölgelerde de akış vektörlerinin yön değiştiği görülmüştür.



Şekil 5.226. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit yüzey sıcaklığına sahip kanalda $Re = 1750$ değeri için kanal çıkışındaki hız vektörleri

Kanal çıkışında sıcaklık dağılımı

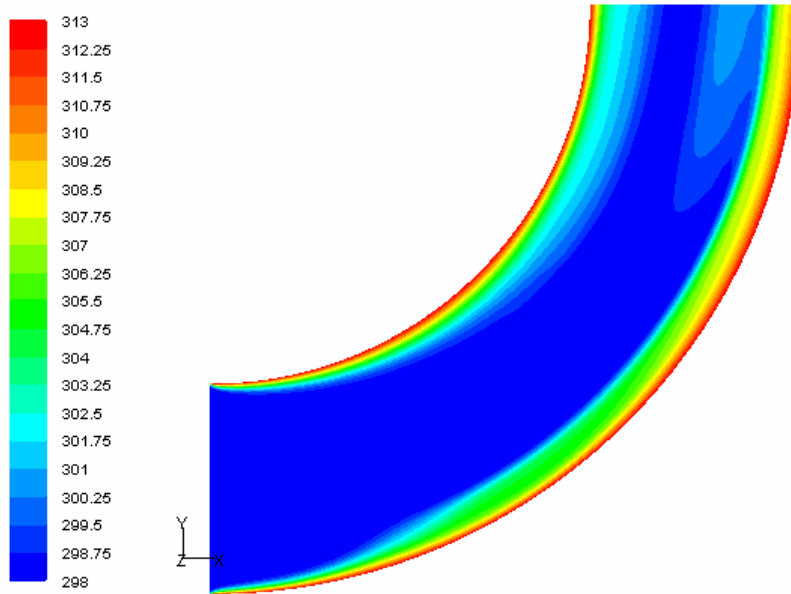


Şekil 5.227. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan eğimli kanalda laminar akış için Reynolds sayısının 1750 değeri için kanal çıkışında akışkan sıcaklık dağılımı

Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri arasında, kanal içindeki sıcaklık dağılımı incelenmiştir. şekil 5.227’de akışkanın kanal çıkışındaki sıcaklık dağılımı Reynolds sayısının 1750 olduğu değer için verilmiştir. İçerisinde dört tane kanatçık bulunan üç boyutlu eğimli kanalda kanatçık yüksekliğinin 25 mm’ye çıkmasıyla kanatçıklar etrafında oluşan sıcaklık eğrileri diğer kanatçık yüksekliklerine göre iyice belirginleşmiştir.

Kanal boyunca sıcaklık dağılımı

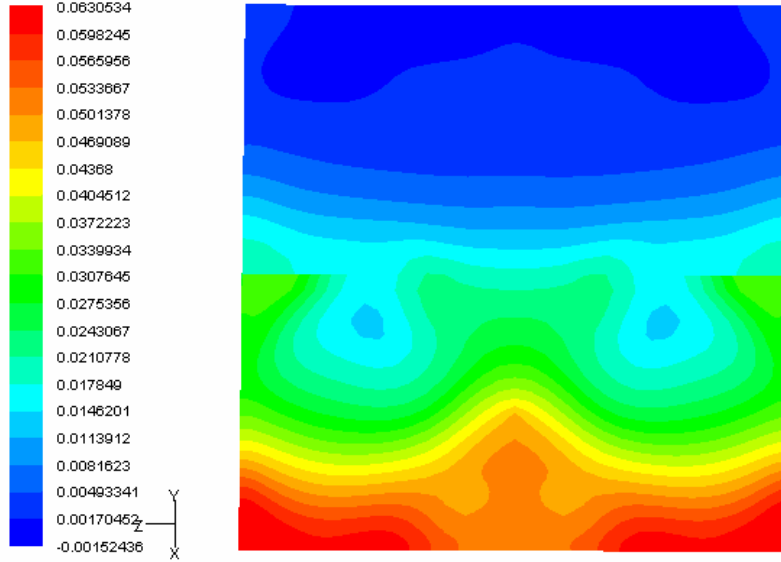
şekil 5.232’de y eksenine göre simetrik olarak kanal boyunca sıcaklık dağılımı verilmiştir. Kanatçık yüksekliğinin artmasıyla dört kanatçık bulunan diğer eğimli kanallara göre ısı sınır tabaka genişlemiştir.



şekil 5.228. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda ($z = 0$) laminar akış için $Re=1750$ değeri için kanal boyunca akışkan sıcaklık dağılı

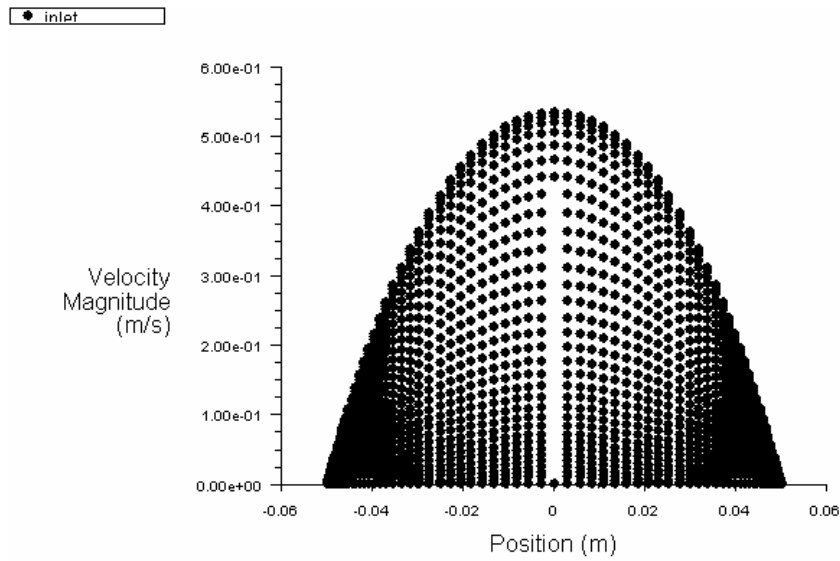
Kanaldaki basınç dağılımı

Şekil 5.229'da 45° 'lik kesitli kanalda basınç dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.229. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan sabit levha yüzey sıcaklığında üç boyutlu eğimli bir kanalda laminar akış için $Re = 1750$ değeri için 45° 'lik kesitli kanal içinde basınç dağılımı

Kanal girişi hız profili



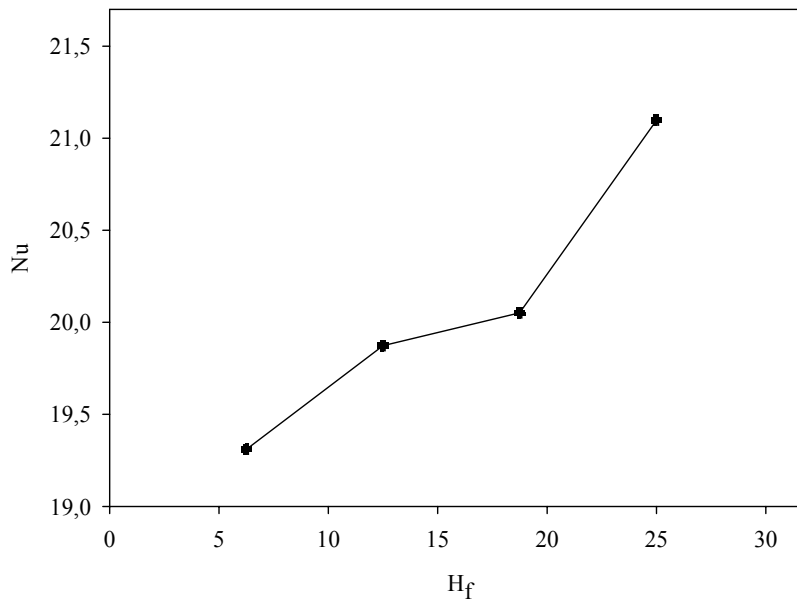
Şekil 5.230. İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan kanalda sabit levha yüzey sıcaklığında laminar akış için $Re = 1750$ değeri için giriş yüzeyindeki hız dağılımı

İçerisinde 25 mm yüksekliğinde dört kanatçık bulunan kanala Reynolds sayısının 250 ile 2200 değerleri için hız profili hidrodinamik olarak tam gelişmiş olarak girmektedir. Şekil 5.230'da Reynolds sayısı 1750 için hidrodinamik olarak tam gelişmiş giriş hız profili görülmektedir.

İçerisinde dört kanatçık bulunan eğimli bir kanalda 6,25 mm, 12,5 mm, 18,75 mm ve 25 mm kanatçık yükseklikleri ile çalışılmıştır. Çizelge 5.26'da kanatçık yüksekliklerinin sırasıyla ortalama Nusselt sayısına, ortalama Darcy sürtünme faktörüne, basınç kayıp katsayısına, ortalama Fanning sürtünme faktörüne ve fRe sayısına olan etkisi gösterilmiştir. Kanatçık yüksekliğinin değişiminin mühendislik hesaplamalarında kullanılan bu sayılara olan etkisi tartışılmıştır.

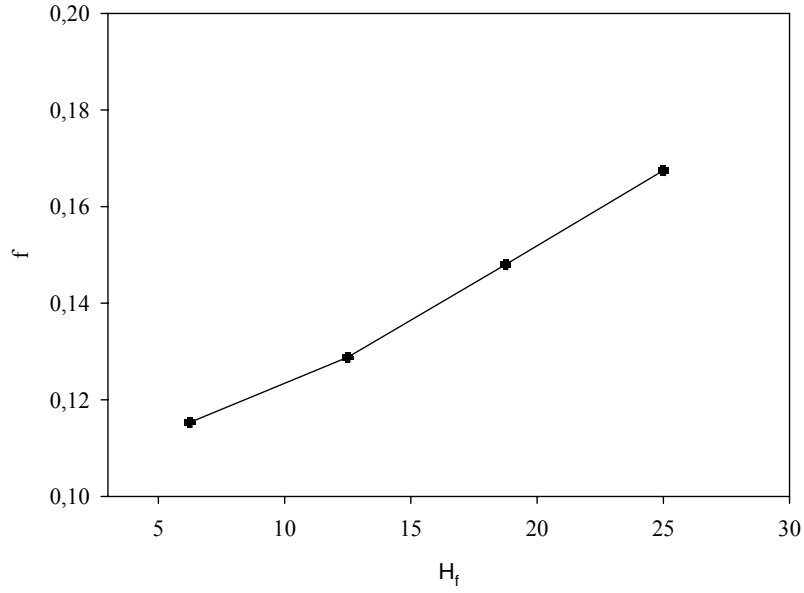
Çizelge 5.26. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ve nümerik sonuçlar

Kanatçık yüksekliği (mm)	Nu	f	K	C_f	fRe
6,25	19,31	0,115322	0,5074	$3,1466 \times 10^{-2}$	201,8135
12,5	19,873	0,128787	0,5667	$3,1535 \times 10^{-2}$	225,3773
18,75	20,051	0,147997	0,6512	$3,2247 \times 10^{-2}$	258,9948
25	21,097	0,146507	0,7369	$3,4817 \times 10^{-2}$	256,3873

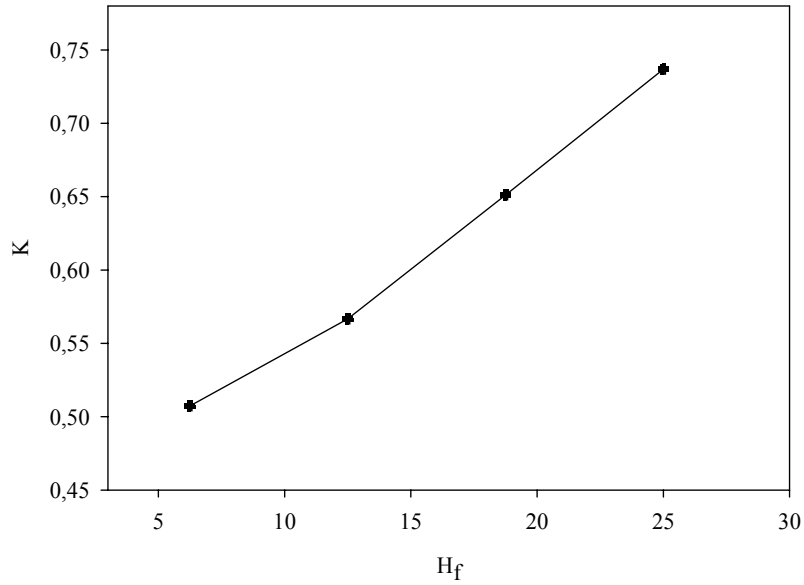


Şekil 5.231. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile Nusselt sayısının değişimi

Şekil 5.231’de kanatçık yükseklikleri ile Nusselt sayısının değişimi verilmiştir. Kanatçık yüksekliği arttıkça Nusselt sayısında arttığı görülmüştür.



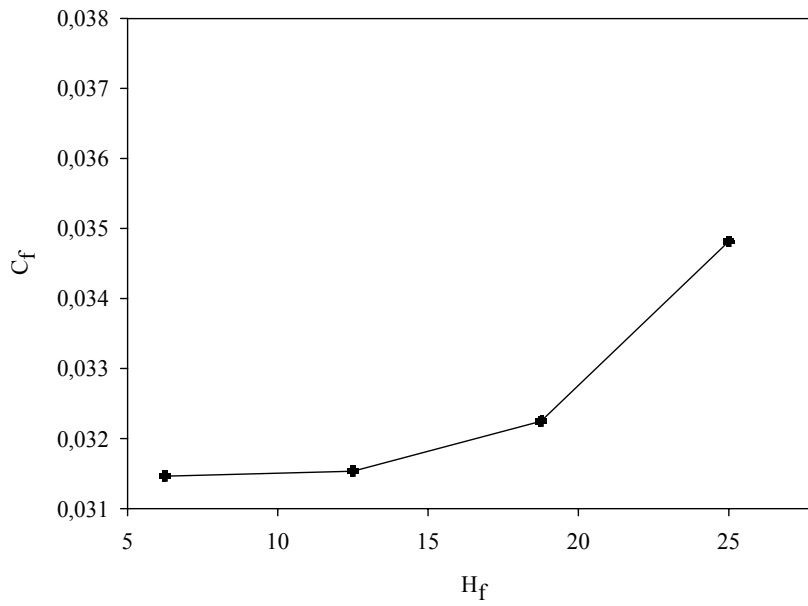
Şekil 5.232. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile ortalama Darcy sürtünme faktörünün değişimi



Şekil 5.233. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile basınç kayıp katsayısının değişimi

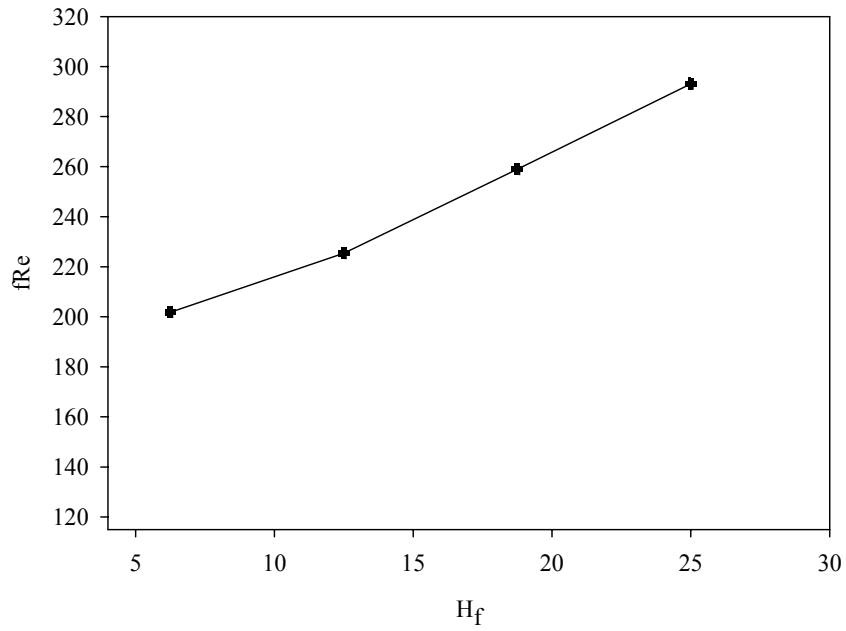
Şekil 5.232’de kanatçık yükseklikleri ile ortalama Darcy sürtünme faktörünün değişimi verilmiştir. Kanatçık yüksekliği arttıkça ortalama Darcy sürtünme faktörünün de arttığı görülmüştür.

Şekil 5.233’de kanatçık yükseklikleri ile basınç kaybı katsayısının değişimi verilmiştir. Kanatçık yükseklikleri arttıkça basınç kaybı katsayısının da arttığı görülmüştür.

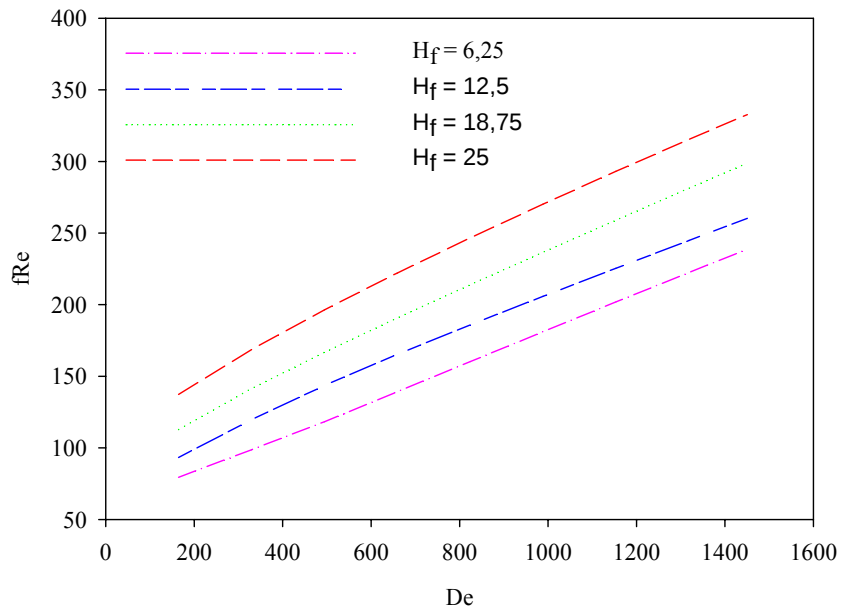


Şekil 5.234. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile ortalama Fanning sürtünme faktörünün değişimi

Şekil 5.234’de kanatçık yükseklikleri ile ortalama Fanning sürtünme faktörünün değişimi verilmiştir. Kare kesitli içerisinde dört adet kanatçık bulunan eğimli kanal çeperlerinde oluşan ortalama Fanning sürtünme faktörü her kanatçık yüksekliği için Şekil 2.34’de verilmiştir. Kanatçık yüksekliğinin 6,25 mm’den 25 mm’ye çıkmasıyla ortalama Fanning sürtünme faktöründe artmıştır.



Şekil 5.235. Reynolds sayısı 1750 için kanatçık yükseklikleri ile fRe sayısının değişimi



Şekil 5.236. $R = 0,4347$ eğrilik oranı için fRe sayısının Dean sayısı ile değişimi

Şekil 5.235'de kanatçık yükseklikleri ile fRe sayısının değişimi verilmiştir. Kanatçık yüksekliklerinin artmasıyla fRe sayısının arttığı görülmüştür. Kanatçık yüksekliğinin

artmasıyla ortalama Darcy sürtünme faktörü artmış, bu nedenle fRe sayısı da artmıştır.

Şekil 5.236’da, belirtilen kanatçık yüksekliklerinde değişik Dean sayıları için fRe sayıları gösterilmiştir. Belirli bir Dean sayısında kanatçık yüksekliği arttıkça fRe sayısı artmaktadır. Başka bir ifade ile sürtünme katsayısı artmaktadır. Sabit kanatçık yüksekliği ele alınırsa Dean sayısı arttıkça fRe sayısı da artmaktadır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen bu çalışmada, hidrodinamik olarak tam gelişmiş, termal olarak gelişmekte olan akış koşullarında, içerisinde boylamasına kanatçıklar bulunan 313 K sabit yüzey sıcaklığına sahip kare kesitli eğrisel kanalda laminar akış ve ısı transferinin üç boyutlu analizi, Fluent 6.3 paket programı kullanılarak sayısal olarak gerçekleştirilmiştir. Kanatçıksız ve kanatçık bulunan eğrisel kanallar için ortalama Nusselt sayısının, ortalama sürtünme faktörünün, yerel yüzey sürtünme katsayısının, ve basınç kayıp katsayısının Reynolds sayısı ile değişimleri analiz edilip değerlendirilerek birbirleriyle kıyaslanmıştır.

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 kare kesitli düz kanal içerisindeki laminar akış için zorlanmış taşınım ile gerçekleşen ısı transferi çözümleri yapılarak literatür ile kıyaslaması yapılmıştır. Laminar akış için ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi Şekil 5.1’de verilmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda sayısal çözüm metodunun literatür ile uyumlu olduğu görüldükten sonra asıl yapılmak istenilen çalışmaya geçilmiştir.

Literatürdeki bir çok çalışmadan farklı olarak bu tezde, hidrodinamik olarak tam gelişmiş termal olarak gelişmekte olan akış şartlarında eğrisel kanal içine kanatçıklar yerleştirilmiş, kanatçık sayısının ve yüksekliğinin ısı transferine ve akışa olan etkisi incelenmiştir.

Eğimli kanal içirisine yerleştirilen kanatçıkların ısı transferine ve akış alanına etkilerinin incelenebilmesi amacıyla kanatçık sayısı 1’den 4’e kadar çıkartılmış kanatçık yükseklikleri ise sırasıyla 6,25, 12,5, 18,75, 25 mm alınmıştır. Reynolds sayısı 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000, 2200 için bu koşullardaki problem sayısal olarak araştırılmıştır. Sayısal analiz sonucunda elde edilen veriler Bölüm 5’de verilmiştir.

Yapılan bu çalışmada ilk önce eğrisel kanal ile aynı boyutlarda olan kare kesitli düz kanalda sayısal çalışma gerçekleştirilmiştir. Kare kesitli eğrisel kanalda ısı transferi, kare kesitli düz kanala oranla daha fazla miktardadır. Eğim nedeni ile ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir. Eğim nedeni ile santrifüj kuvvetlerin ortaya çıktığı görülmüş ve bu kuvvetlerin ikincil akışları doğurması sonucu ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir. Daha sonra ise eğimli kanal içerisine kanatçıklar yerleştirilerek asıl yapılması istenilen çalışmaya geçilmiştir. Kanatçıkların sayısı ve yükseklikleri değiştirilerek ısı transferine ve momentum transferine olan etkisi gözlemlenmiştir.

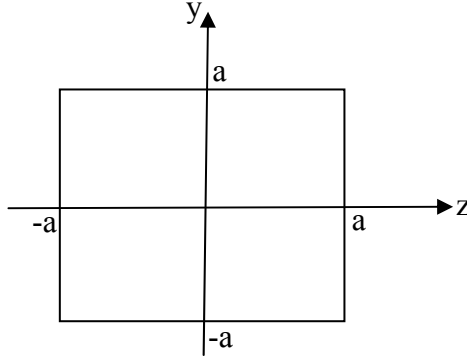
Üç boyutlu modellenen bu çalışmada kare kesitli eğimli kanalın içerisine kanatçıklar konulduğu zaman ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir. kanatçıklar konulan bu kanallarda kanatçık yüksekliğinin artmasıyla ortalama Nusselt sayısının, ortalama Darcy sürtünme katsayısının, ortalama Fanning sürtünme katsayısının, basınç kayıp katsayısının arttığı gözlemlenmiştir. Böylece kare kesitli eğimli kanalın içerisine kanatçıklar yerleştirilerek ısı transferinin artması sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

1. Hwang G. J., Chao Chung-Hsing, “Forced laminar convection in a curved isothermal square duct”, *Journal of Heat Transfer*, 113: 48-55 (1991).
2. Yee G., Chilukuri R., Humphrey J. A. C., “Developing flow and heat transfer in strongly curved ducts of rectangular cross section”, *Journal of Heat Transfer*, 102: 285-291 (1980).
3. Cheng K. C. ve Akiyama M., “Laminar forced convection heat transfer in curved rectangular channels”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 13: 471-490 (1970).
4. Mori Y., Uchida Y. ve Ukon T., “Forced convective heat transfer in a curved channel with a square cross section.”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 14: 1787-1805 (1971).
5. Humphrey J. A. C., Taylor A. M. K. ve Whitelaw J. H., “Laminar flow in a square duct of strong curvature”, *Journal of Fluid Mechanics*, 83: 509-527 (1977).
6. Chung Jae Hwa ve Hyun Jae Min, “Convective heat transfer in the developing flow region of a square duct with strong curvature”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 35: 2537-2549 (1992).
7. Sturgis J. C., Mudawar I., “ Single-phase heat transfer enhancement in a curved rectangular channel subjected to concave heating”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42: 1255-1272 (1999).
8. Sakalis V. D., Hatzikonstantinou P. M., “Laminar heat transfer in the entrance region of internally finned square ducts”, *Journal of Heat Transfer*, 123: 1030-1034 (2001).
9. Papadopoulos P. K., Hatzikonstantinou P. M., “Numerical analysis of fully developed flow in curved square ducts with internal fins”, *Journal of Fluids Engineering*, 126: 752-757 (2004).
10. Fluent 6.3 Kullanım Kılavuzu, Eylül 2006, Fluent Inc.
11. Gambit 3.4 Kullanım Kılavuzu, Mayıs 2007, Fluent Inc.
12. Incropera, P. F., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., Lavine A. S., “Fundamental of Heat and Mass Transfer 6th ed.”, *John Wiley & Sons*, New York, 486-533 (2007).

EKLER

EK-1 Kanal Girişinde Kullanılan Parabolik Hız Profiline Bulunması



Şekil 1.1. Kare kesitli eğimli kanalın kesiti

Şekil 1.1.'de kare kesitli eğimli kanalın iki boyutlu kesiti gösterilmiştir. Üçüncü boyutu olan x ekseni akışa paraleldir. Bu yüzden de y ve z düzlemindeki hızlar sıfıra eşittir ($v = w = 0$).

Sıkıştırılamaz akış için süreklilik denkleminde,

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1.1)$$

y ve z düzlemindeki hızların sıfır olmasından dolayı Eş. 1.1 aşağıdaki şeklini alır.

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (1.2)$$

Eş. 1.2 u hızının akış yönü ile değişmediğini göstermektedir. Başka bir ifade ile u hızı x yönünden bağımsızdır. Eş 1.1 ve Eş 1.2'yi sağlayan akışlara ise tam gelişmiş akış denmektedir.

Yukarıdaki Eş 1.1 ve Eş 1.2'den yola çıkarak x- momentum denklemi

EK-1 (Devam) Kanal Girişinde Kullanılan Parabolik Hız Profiline Bulunması

$$\rho \left[\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right] = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] + \rho g_x \quad (1.3)$$

Eş. 1.3 sadeleştirmeler yapıldıktan sonra aşağıdaki şeklini alır.

$$\rho \left[\frac{\partial u}{\partial t} \right] = - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] + \rho g_x \quad (1.4)$$

Akışkanın sürekli rejimde olduğu kabulü ile, x-momentum denklemindeki zaman türevi sıfıra eşit olur ve böylece Eş. 1.4 aşağıdaki şeklini alır.

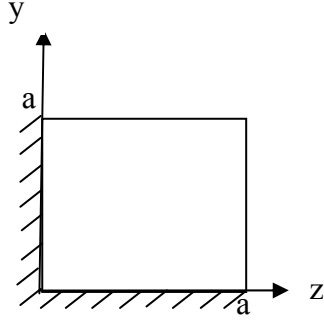
$$- \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] + \rho g_x = 0 \quad (1.5)$$

Eş. 1.5'deki yerçekimi terimi g_x ihmal edilirse,

$$\mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] = \frac{\partial p}{\partial x} \quad (1.6)$$

Şekil 3.1'de gösterilen basınçla hareket ettirilen, sürekli, sıkıştırılamaz newton tipi akışkan kare kesitli yüksekliği ve eni $2a$ olan sonsuz uzunluktaki kanalda akış incelenmektedir. Eş. 1.6'da verildiği gibi akış Poisson denkleminde türemektedir. Düzlemlere simetri kullanılarak akış alanı dört eşit parçaya bölünerek sadece dörtte birlik kısımda çalışılabilir. Akış alanı Şekil 1.2.'de görüldüğü üzere $y = 0$ ve $z = 0$ düzlemine simetriktir.

EK-1 (Devam) Kanal Girişinde Kullanılan Parabolik Hız Profiline Bulunması



Şekil 1.2. Akış alanı

Sınır koşulları böylece aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$y = 0 \quad \frac{\partial u}{\partial y} = 0 \quad (1.7)$$

$$y = a \quad u = 0 \quad (1.8)$$

$$z = 0 \quad \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \quad (1.9)$$

$$z = a \quad u = 0 \quad (1.10)$$

Eş. 1.6 Laplace denklemi ile aşağıdaki gibi değiştirilebilir. [11]

$$u = \psi(y, z) + \phi(y) \quad (1.11)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{d^2 \phi}{dy^2} \quad (1.12)$$

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \quad (1.13)$$

Bu yüzden,

EK-1 (Devam) Kanal Girişinde Kullanılan Parabolik Hız Profiline Bulunması

$$\underbrace{\frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}}_0 + \underbrace{\frac{d^2 \phi}{dy^2} - \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right)}_0 = 0 \quad (1.14)$$

1.14 nolu denklemde $\phi(y)$ denkleminin aşağıdaki denklemi sağladığı kabul edilerek,

$$\frac{d^2 \phi}{dy^2} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \quad (1.15)$$

$$\frac{d}{dy} \phi(0) = 0 \quad (1.16)$$

$$\phi(a) = 0 \quad (1.17)$$

Böylece Laplace denklemi ve sınır koşulları aşağıdaki şekli alır.

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = 0 \quad (1.18)$$

$$y = 0 \quad \frac{\partial \psi}{\partial y} = 0 \quad (1.19)$$

$$y = a \quad \psi = 0 \quad (1.20)$$

$$z = 0 \quad \frac{\partial \psi}{\partial z} = 0 \quad (1.21)$$

$$z = a \quad \psi = -\phi(y) \quad (1.22)$$

EK-1 (Devam) Kanal Girişinde Kullanılan Parabolik Hız Profiline Bulunması

Böylece homojen olmayan veya değişkenlere ayrılamayan $u(y,z)$ homojen veya değişkenlere ayrılabilen $\psi(y,z)$ denkleminde dönüşmektedir. Adi diferansiyel denklemin integrali alınır aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\frac{d\phi}{dy} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) y + c_1 \quad (1.23)$$

Sınır koşulları kullanılırsa aşağıdaki denklem elde edilir.

$$y = 0 \quad \frac{d\phi}{dy} = 0 \quad (1.24)$$

Böylece $c_1 = 0$ katsayısı elde edilir.

$$\frac{d\phi}{dy} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) y \quad (1.25)$$

1.25 nolu denklem integre edilirse,

$$\phi = \frac{1}{2\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) y^2 + c_2 \quad (1.26)$$

İkinci sınır şartı aşağıdaki gibidir.

$$y = a \quad u = 0 \quad (1.27)$$

İkinci sınır şartı olan denklem 1.27 kullanılırsa c_2 katsayısı elde edilir.

$$c_2 = -\frac{1}{2\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) a^2 \quad (1.28)$$

EK-1 (Devam) Kanal Girişinde Kullanılan Parabolik Hız Profiline Bulunması

Böylece son olarak denklem 1.28'deki gibi denklem elde edilir.

$$\phi(y) = -\frac{1}{2\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) [a^2 - y^2] \quad (1.29)$$

Son olarak elde edilen denklem 1.29'deki akış profili iki paralel sonsuz levha arasındaki Poiseuille akışındaki hız profili ile aynıdır. Değişkenlere ayırma yöntemi kullanılarak Laplace denkleminin çözümü yapılır.

$$\psi(y, z) = Y(y) Z(z) \quad (1.30)$$

$$Y''Z + Z''Y = 0 \quad (1.31)$$

Son denklem olan 1.31 nolu denklem YZ'ye bölünürse,

$$\frac{Y''}{Y} = -\frac{Z''}{Z} = \pm\beta^2 \quad (1.32)$$

Böylelikle iki ayrıştırmış adi diferansiyel denklemi aşağıdaki şekilde yazabiliriz.

$$Z'' - \beta^2 Z = 0 \quad (1.33)$$

$$Z'(0) = 0 \quad (1.34)$$

ve

$$Y'' + \beta^2 Y = 0 \quad (1.35)$$

$$Y'(0) = 0 \quad (1.36)$$

$$Y(a) = 0 \quad (1.37)$$

1.35 nolu denklemin çözümü aşağıdaki gibi verilebilir.

EK-1 (Devam) Kanal Girişinde Kullanılan Parabolik Hız Profiline Bulunması

$$Y = A \cos(\beta y) + B \sin(\beta y) \quad (1.38)$$

$$Y' = -A\beta \sin(\beta y) + B\beta \cos(\beta y) \quad (1.39)$$

$Y'(0) = 0$ sınır koşulu kullanılarak $B = 0$ elde edilir. Böylece

$$Y = A \cos(\beta y) \quad (1.40)$$

$Y(a) = 0$ ikinci sınır koşulu kullanılarak,

$$A \cos(\beta a) = 0 \quad (1.41)$$

$$\beta_n = \frac{(2n+1)\pi}{2a} \quad (1.42)$$

1.42 nolu denklem 1.41 nolu denklemi sağlamalıdır.

1.42 nolu denklemde kullanılan n sayısı ise aşağıdaki gibidir.

$$n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (1.43)$$

Böylece,

$$Y_n = A_n \cos(\beta_n y) \quad (1.44)$$

1.44 nolu denklemde kullanılan Y_n özdeğer fonksiyonu ve β_n ise özdeğer değeridir.

Diğer adi diferansiyel denklemin çözümüne geldiğimizde ise,

EK-1 (Devam) Kanal Girişinde Kullanılan Parabolik Hız Profiline Bulunması

$$Z'' - \beta^2 Z = 0 \quad (1.45)$$

$$Z = D \cosh(\beta_n z) + C \sinh(\beta_n z) \quad (1.46)$$

$Z'(0) = 0$ koşulunu kullanırsak,

$$Z_n = D_n \cosh(\beta_n z) \quad (1.47)$$

Laplace denklemi formunda genel denkleme dönüştürüldüğü zaman,

$$\psi = \sum_{n=0}^{\infty} F_n \cos(\beta_n y) \cosh(\beta_n z) \quad (1.48)$$

1.48 nolu denklemde $F_n = D_n A_n$ şeklinde ifade edilebilir. Böylece son olarak sınır koşulu kullanıldığı zaman,

$$z = a \quad \psi = -\phi(y) \quad (1.49)$$

$$\phi(y) = \sum_{n=0}^{\infty} F_n \cosh(\beta_n a) \cos(\beta_n y) \quad (1.50)$$

1.50 nolu denklemin her iki tarafı $\cos(\beta_n y)$ sayısı ile çarpılır ve $y = 0$ 'dan $y = a$ 'ya kadar integre edilirse,

$$\int_0^a \phi(y) dy \cos(\beta_n y) = F_n \cosh(\beta_n a) \int_0^a \cos^2(\beta_n y) dy \quad (1.51)$$

Böylece son olarak aşağıdaki denklem elde edilir.

EK-1 (Devam) Kanal Girişinde Kullanılan Parabolik Hız Profiline Bulunması

$$F_n \cosh(\beta_n a) = \frac{2}{a} \left[\int_0^a \phi(y) \cos(\beta_n y) dy \right] \quad (1.52)$$

veya

$$F_n = \frac{2}{a \cosh(\beta_n a)} \left[\int_0^a \phi(y) \cos(\beta_n y) dy \right] \quad (1.53)$$

Denklem 1.53 integre edildikten sonra son çözüm aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$u = -\frac{1}{2\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \left[a^2 - y^2 - \frac{4}{a} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \cosh(\beta_n z)}{\cosh(a \beta_n)} \right] \cos(\beta_n y) \quad (1.54)$$

Hacimsel debi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Q = 4abU = -\frac{1}{\mu} \frac{dp}{dx} \left[\frac{4}{3} a^4 - \frac{8}{a} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\tanh(\beta_n a)}{\beta_n^5} \right] \quad (1.55)$$

$$\beta_n = \frac{(2n+1)\pi}{2a}$$

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KURTUL, Özen
 Uyuğu : T. C.
 Doğum tarihi ve yeri : 18.04.1983 Ankara
 Medeni Hali : Bekar
 e-mail : ozenkurtul@gazi.edu.tr

Eğitim Derecesi	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/ Makine Mühendisliği Bölümü	2007
Lisans	Osmangazi Üniversitesi/ Makine Mühendisliği Bölümü	2005
Lise	Mamak Anadolu Lisesi	2001

Staj Deneyimi

Firma

07/2002-08/2002 : Türk Traktör Fabrikası. – İmalat Stajı
 07/2003-08/2003 : RMG Cem Isı LTD. – Fabrika Stajı

Mesleki Deneyim

12/2005-... : Araştırma Görevlisi, Gazi Üniversitesi Mühendislik
 Mimarlık Fak. Makine Müh. Bölümü

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Altaç Z. ve Kurtul Ö., “Natural Convection in Tilted Rectangular Enclosures with a Vertically Situated Hot Plate Inside”, *Applied Thermal Engineering*, 27: 1832-1840 (2007).