
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

ÇARPAN EĞİK AKIŞKAN JET KULLANARAK DÜZ PLAKA ÜZERİNDEKİ AKIŞ VE ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

Amir LAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KASIM 2016

Amir LAK tarafından hazırlanan "ÇARPAN EĞİK AKIŞKAN JET KULLANARAK DÜZ PLAKA ÜZERİNDEKİ AKIŞ VE ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA

Makine Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ...……

Başkan : Doç. Dr. Cemil YAMALI

Makine Mühendisliği, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……...

Üye : Yrd. Doç. Dr. Muhittin BİLGİLİ

Makine Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum ……...

Tez Savunma Tarihi: 25/11/2016

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

……

Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Amir LAK

25/11/2016

ÇARPAN EĞİK AKIŞKAN JET KULLANARAK DÜZ PLAKA ÜZERİNDEKİ AKIŞ VE ISI TRANSFERİNİN SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Amir LAK

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2016

ÖZET

Bu çalışmada, PHOENICS Sayısal Akışkanlar Dinamiği programı ile dairesel eğik bir jet kullanılarak bir yüzey üzerindeki hidrodinamik ve ısı transferi özellikleri sayısal olarak iki boyutlu incelenmiştir. Bulunan sonuçlardan akış hız dağılımı ve sıcaklık dağılımları sunulmuştur. Yerel Nusselt sayısı dağılımları, boyutsuz hız dağılımları, farklı Re sayılarında akışkan jet açısının değişiminin ortalama Nu sayısına etkileri ve kinetik enerji etkileri grafiksel olarak ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Çalışmalar sırasında toplam üç parametrenin Reynolds sayısı, nozul ve plaka arasındaki mesafe, jet açısı etkileri incelenmiştir. Jet açıları ($45<\propto<90$), nozul-plaka arası mesafe ($2<H/D<8$) ve Re sayısı ise ($1500<Re<30000$) aralıklarında modellenmiştir. Bu çalışmanın amacı dairesel eğik jet altında yüzeyler üzerinde ısı tekniği ve sayısal yöntemler kullanarak hidrodinamik ve ısı transferini detaylı bir şekilde incelemektir. Ayrıca sayısal sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılıp uyumluluğu ispatlanmıştır. Çalışmada jet açısı azaldıkça ısı transferi azalmaktadır ve bu bütün H/D, Re sayıları ve durumlar için geçerlidir. İncelenen geometride jetin durma noktası farklı açılar için aynı değildir ve $\propto=90^0$ durumunda durma noktası tam plakanın ortasıdır. Ama açı azaldıkça çarpma noktası sağ tarafa kaymaktadır. Bu çalışmada sağa kayma nedeni ise jetin açı durumunun ayarı sağ tarafa doğru ayarlanmasındandır. Düşük Re sayıları için nozel-plaka mesafesi yükseldikçe ısı transferi etkileri azalmaktadır. Bu çalışmada çarpan akışkan jetlerin açılı durumda olduğunda jet çalışmalarında önemli bir parametre olduğu ispatlanmıştır.

Bilim Kodu	:	91412
Anahtar Kelimeler	:	Eğik jet, Sayısal akışkanlar dinamiği (SAD), CFD, Türbülanslı akış Isı Transferi
Sayfa Adedi	:	111
Danışman	:	Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA

NUMERICAL INVESTIGATION OF FLOW AND HEAT TRANSFER OF INCLINED IMPINGING JET ON A FLAT SURFACE

(M. Sc. Thesis)

Amir LAK

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2016

ABSTRACT

In this study, the hydrodynamic and heat transfer properties of a surface were investigated numerically using a circular inclined impinging jet with the PHOENICS CFD code. The obtained results were presented as velocity distrbutions and temperature distributions. Local Nusselt number distributions, dimensionless velocity distributions, the effect of different jet inclinations for different Re number values on the average Nu number, and kinetic energy effects were shown graphically. Three different parameters which are Reynolds number, nozzle-to-plate distance and jet inclination angle were investigated in the study. Jet angles ($45<\alpha<90$), nozzle-to-plate distances ($2<H/D<8$) and different Re numbers ($1500<Re<30000$) were modelled. The aim of this study is to investigate the hydrodynamic and heat transfer of a surfaces under an inclined impinging jet using heat transfer and numerical techniques. In addition, numerical results were validated with experimental results. For all H/D and Re numbers it was observed that with decreasing jet angle heat transfer decreases. In the investigated geometry, the stagnation point of the jet is not the same for all jet angles, and is in the mid of the impingement plate for $\alpha=90°$. However, with decreasing jet angle the stagnation point moves to the right. The heat transfer decreases with increasing H/D for low Re numbers. It was shown in this study that the jet angle is an important parameter in the study of impinging jets.

Science Code : 91412
Key Words : Heat transfer, Inclined impinging jet, CFD, Turbulence Flow
Page Number : 111
Supervisor : Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA

TEŞEKKÜR

Bu çalışmam başta, süresince her türlü yardım sağlayan, bilgi, tecrübe ve güler yüzü ile çalışmama ışık tutan, ayrıca bana bu çalışmayı vererek kendimi geliştirmeye yönelik de birkaç adım ileride olmamın imkanını sağlayan hocam sayın Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA'ya teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca yardımlarını ve bilgilerini esirgemeyen Arş. Gör. Tamer ÇALIŞIR'a teşekkürü borç bilirim.

Tüm hayatım boyunca maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen ve bana insan olmayı öğreten babam Hac Kadir'e, sabır taşlarım ve varlıklarıyla her zaman arkamda olan bitanecik Annem Zehra Hanım'a ve dünya tatlısı kardeşim ve sırdaşıma Ferşat'a, sonsuz kez teşekkür ederim.

Birlikte çok güzel zamanlar geçirdiğim değerli arkadaşlarım Pouria PISHGAM, Behzad AHDI HARAB, Kousha MORADİ 'ye teşekkürlerimi sunarım.

Son teşekkürlerimi Türk milletine ve yeni Türkiye'nin mimarına ve Türk milletinin her tarafta gururla ''Ne mutlu Türküm diyene'' söylenmesinin sebebi, Sayın Mustafa Kemal Atatürk 'e sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ viii

ŞEKİLLERİN LİSTESİ ix

SİMGELER VE KISALTMALAR xiv

1. GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 3

2.1. Eğik Jet ve Düz Yüzeyler İçin Yapılan Çalışmalar 3

2.2. Düz Jet ve Eğik Yüzeyler İçin Yapılan Çalışmalar 6

2.3. Eğik Jet ve Iç Veya Dış Bükey Yüzeyler İçin Yapılan Çalışmalar 8

3. PROBLEMİN TANITILMASI 11

3.1. Problemin Geometrisi ve Genel Tanımı 11

3.2. Fiziksel Model 11

3.2.1. Varsayımlar 12

3.2.2. Kullanılan varsayımlar ve koordinat sistemi 12

3.3. Matematiksel Modelin Tanımlanması 13

3.3.1. Korunum denklemleri 13

3.3.2. Türbülanslı akış 14

3.4. Türbülans Modeli Çeşitleri ve Türbülans Modelinin Seçimi 17

3.4.1. k-ε türbülans modeli 18

3.5. Sınır Şartları 20

Sayfa

4. NÜMERİK ÇALIŞMA VE SİMÜLASYONLAR 23

4.1. PHOENICS SAD Kodu 23

4.2. Problemin Hücre Yapısı 24

4.3. Deneysel Çalışma Ve Deneme Çözümleri 25

4.4. Numerik Çözümlerin Doğruluğunun Kontrolü 26

5. SAYISAL SONUÇLAR 33

5.1. Sayısal Çalışmanın Doğruluğunun Kontrol Edilmesi 34

5.2. Sayısal Bulgular 36

5.2.1. Reynolds sayısının ısı transferine etkileri 37

5.2.2. Nozul-plaka mesafesinin ısı transferine etkileri 44

5.2.3. Nozul açısı değişiminin ısı transferine etkileri 52

5.2.4. Nozul açısı değişiminin ortalama Nusselt sayısına etkileri 58

5.2.5. Farklı açılarda Reynolds sayısının değişimi ortalama Nusselt sayısına etkileri 61

5.2.6. Plakaya dik hız bileşenlerinin radyal hız dağılımı 63

5.2.7. Plakaya yatay hız bileşenlerinin radyal hız dağılımı 69

5.2.8. Akışkan çarpan jet için türbülanslı kinetik enerji dağılımları 74

6. SONUÇ VE ÖNERİLER 79

KAYNAKLAR 83

EKLER 86

EK-1. Farklı açı etkileri Nu sayısına durma noktaları kaydırılmamış durumunda 87

EK-2. Q1 kütüğü 89

EK-3. Örnek sonuç kütüğü 92

ÖZGEÇMİŞ..... 111

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 3.1. Sınır şartları 22

Çizelge 4.1. 20°C'deki havanın fiziksel özellikleri 26

Çizelge 5.1. Parametrik çalışma tablosu 34

Çizelge 5.2. H/D=2 için jetin farklı Re ve ∝ lerde etkisi 49

Çizelge 5.3. H/D=4 için jetin farklı Re ve ∝ lerde etkisi 50

Çizelge 5.4. H/D=6 için jetin farklı Re ve ∝ lerde etkisi 51

Çizelge 5.5. H/D=8 için jetin farklı Re ve ∝ lerde etkisi 52

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 3.1. Problemin geometrisi ve kullanılan koordinat sistemi x-y düzlemi 13

Şekil 4.1. Çözümün yakınsaması kontrolü programda 27

Şekil 4.2. Farklı x/D oranlarına karşılık gelen Nusselt sayılarının deneysel ve sayısal sonuçlarının karşılaştırılması 30

Şekil 4.3. x-y düzlemin uygun görülen hücre dağılımı 31

Şekil 4.4. x-y düzlemin boyunca sıcaklık konturu 31

Şekil 4.5. x-y düzlemi boyunca basınç konturu 32

Şekil 5.1. Nu_o sayısının Süpürme Sayısı ile değişimi 35

Şekil 5.2. 10000 süpürme sayısı için farklı hücre sayılarında elde edilen Nu_o sayıları 36

Şekil 5.3. Yüzey üzerinde Re=1500, H/D=6 durumunda 45 derecede olan jet boyunca vektörel hız dağılımı 37

Şekil 5.4. Yüzey üzerinde Re=10000, H/D=6 durumunda 45 derecede olan jet boyunca vektörel hız dağılımı 38

Şekil 5.5. Yüzey üzerinde Re=15000, H/D=6 durumunda 45 derecede olan jet boyunca vektörel hız dağılımı 38

Şekil 5.6. Yüzey üzerinde Re=23000, H/D=6 durumunda 45 derecede olan jet boyunca vektörel hız dağılımı 39

Şekil 5.7. Yüzey üzerinde Re=30000, H/D=6 durumunda 45 derecede olan jet boyunca vektörel hız dağılımı 39

Şekil 5.8. Yüzey üzerinde H/D=6 ve α=45 derece için Re sayısının Nu sayısına etkileri 41

Şekil 5.9. Yüzey üzerinde H/D=6 ve α=50 derece için Re sayısının Nu sayısına etkileri 41

Şekil 5.10. Yüzey üzerinde H/D=6 ve α=60 derece için Re sayısının Nu sayısına etkileri 42

Şekil 5.11. Yüzey üzerinde H/D=6 ve α=70 derece için Re sayısının Nu sayısına etkileri 42

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.12. Yüzey üzerinde H/D=6 ve α=80 derece için Re sayısının Nu sayısına etkileri 43

Şekil 5.13. Yüzey üzerinde H/D=6 ve α=90 derece için Re sayısının Nu sayısına etkileri 43

Şekil 5.14. Yüzey üzerinde Re=1500 olduğunda farklı jet açılarında Nozul-plaka mesafesinin Nu_o sayısına etkisi 45

Şekil 5.15. Yüzey üzerinde Re=10000 olduğunda farklı jet açılarında Nozul-plaka mesafesinin Nu_o sayısına etkisi 46

Şekil 5.16. Yüzey üzerinde Re=15000 olduğunda farklı jet açılarında Nozul-plaka mesafesinin Nu_o sayısına etkisi 46

Şekil 5.17. Yüzey üzerinde Re=23000 olduğunda farklı jet açılarında Nozul-plaka mesafesinin Nu_o sayısına etkisi 47

Şekil 5.18. Yüzey üzerinde Re=30000 olduğunda farklı jet açılarında Nozul-plaka mesafesinin Nu_o sayısına etkisi 47

Şekil 5.19. H/D=2 Olduğunda farklı Re ve nozul açılarının etkisi ısı transferine 54

Şekil 5.20. H/D=4 Olduğunda farklı Re ve nozul açılarının etkisi ısı transferine 55

Şekil 5.21. H/D=6 Olduğunda farklı Re ve nozul açılarının etkisi ısı transferine 56

Şekil 5.22. H/D=8 Olduğunda farklı Re ve nozul açılarının etkisi ısı transferine 57

Şekil 5.23. Yüzey üzerinde H/D=2 olduğunda farklı Re sayılarında Nu_o sayısına etkisi 59

Şekil 5.24. Yüzey üzerinde H/D=4 olduğunda farklı Re sayılarında Nu_o sayısına etkisi 59

Şekil 5.25. Yüzey üzerinde H/D=6 olduğunda farklı Re sayılarında Nu_o sayısına etkisi 60

Şekil 5.26. Yüzey üzerinde H/D=8 olduğunda farklı Re sayılarında Nu_o sayısına etkisi 60

Şekil 5.27. H/D=2 ‘de farklı Re Olduğunda farklı nozul açılarında Nu sayısına etkisi . 61

Şekil 5.28. H/D=4 ‘de farklı Re Olduğunda farklı nozul açılarında Nu sayısına etkisi . 62

Şekil 5.29. H/D=6 ‘de farklı Re Olduğunda farklı nozul açılarında Nu sayısına etkisi . 62

Şekil 5.30. H/D=8 ‘de farklı Re Olduğunda farklı nozul açılarında Nu sayısına etkisi . 63

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.31. Dikey boyutsuz hızlar H/D=2 ve farklı Re sayılarında 65

Şekil 5.32. Dikey boyutsuz hızlar H/D=4 ve farklı Re sayılarında 66

Şekil 5.33. Dikey boyutsuz hızlar H/D=6 ve farklı Re sayılarında 67

Şekil 5.34. Dikey boyutsuz hızlar H/D=8 ve farklı Re sayılarında 68

Şekil 5.35. Yatay boyutsuz hızlar H/D=2 ve farklı Re sayılarında 70

Şekil 5.36. Yatay boyutsuz hızlar H/D=4 ve farklı Re sayılarında 71

Şekil 5.37. Yatay boyutsuz hızlar H/D=6 ve farklı Re sayılarında 72

Şekil 5.38. Yatay boyutsuz hızlar H/D=8 ve farklı Re sayılarında 73

Şekil 5.39. Kinetik enerji H/D=2 ve farklı Re sayıları için 75

Şekil 5.40. Kinetik enerji H/D=4 ve farklı Re sayıları için 76

Şekil 5.41. Kinetik enerji H/D=6 ve farklı Re sayıları için 77

Şekil 5.42. Kinetik enerji H/D=8 ve farklı Re sayıları için 78

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
A	Plaka uzunluğu, mm
a	Katsayı
b	Kaynak terimi
C	Katsayı
C_1, C_2, C_μ	Türbülans modeli deneysel sabitleri
C_p	Basınç katsayısı
D	Nozul çapı, mm
f_1, f_2, f_μ	Sönümleme fonksiyonları
H	Nozul – plaka arası mesafe, mm
h	Yerel ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
H/D	Boyutsuz nozul – plaka mesafesi
k	Türbülans kinetik enerjisi
k	Isı iletkenlik sayısı (W/mK)
Nu	Nusselt sayısı
Nu_o	Ortalama Nusselt sayısı
NT	Zaman dilimi sayısı
NX	X yönündeki hücre dağılımı
NY	Y yönündeki hücre dağılımı
NΦ	Değişken sayısı
q''	Plaka sabit ısı akısı (W/m^2)
p	Basınç (Pa)
P_o	Atmosfer Basıncı (Pa)
$\overline{P}$	Ortalama Basınç bileşeni (Pa)
p'	Salınım basınç bileşeni (Pa)
Rad	Radyan hızı
Re	Reynolds sayısı

Simgeler	**Açıklamalar**
Re_t	Türbülans Reynolds sayısı
Re_z	Duvar yakınındaki türbülans Reynolds sayısı
T	Sıcaklık (°C)
$\mathbf{T_j}$	Jet giriş sıcaklığı (°C)
$\mathbf{T_S}$	Çarpma plakası yerel sıcaklığı (°C)
u_τ	Sürtünme hızı
u, v	Hız bileşenleri (m/s)
$\overline{U}, \overline{V}, \overline{W}$	Ortalama hız bileşenleri (m/s)
u', v', w'	Salınım hızı bileşenleri (m/s)
V	Değişkenin hesaplanan noktadaki değeri
W	Plaka genişliği (mm)
w_j	Jet giriş hızı (m/s)
$\mathbf{w_{jx}}$	Jet giriş hızı x yonunde(m/s)
$\mathbf{w_{jy}}$	Jet giriş hızı y yonunde(m/s)
x, y	Koordinat eksenleri
$\mathbf{z^+}$	Duvardan boyutsuz uzaklık
α °	Nozul açısı, derece
β	Isıl genleşme katsayısı (K^{-1})
ε	Disipasyon oranı
μ	Dinamik viskozite (kg/m.s)
μ_t	Edi viskozitesi
ν	Kinematik viskozite (m^2/s)
ρ	Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
σ_k	k için türbülanslı Prandtl sayısı
σ_ε	ε için türbülanslı Prandtl sayısı
τ_w	Duvardaki kayma gerilmesi (Pa)
ϕ_P	P düğüm noktasındaki ϕ değeri

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
CFD	Computational Fluid Dynamics
PIV	Particle Image Velocimetry
SAD	Sayısal Akışkanlar Dinamiği

1. GİRİŞ

Çarpmalı akışkan jetler ısıtma veya soğutmanın ihtiyaç duyduğu yüzeylerdeki akışkan çarpmalı jetlerdir. Çarpan akışkan jetleri taşınımla ısı ve kütle transferinin arttırılmasında etkili bir yöntem olarak çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Yüksek etkinliklerinden ve yüksek ısı transfer oranları sağladıkları için, bu jetler hızlı ısıtma ve soğutma işlemlerinde geniş bir alanda uygulanmaktadır. Çarpmalı jetler türbin kanatçıklarının soğutulması, cam levhaların temperlenmesi, uçağın kanadında Antifriz Olarak, kâğıt, tekstil ve gıda sektöründe kurutma işlemleri, metallerin ısıl işlemleri gibi vs, yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çarpan akışkan jetlerde plakanın çarpma bölgesinde çok yüksek ısı transferine sahip olmalarına rağmen soğutma performansı çarpma bölgesinden uzaklaştıkça hızlı bir şekilde düşer. Yüzeye çarptıktan sonra duvar jetin çarpışması yüzey üzerinde daha karmaşık bir akış alanı oluşturulmaktadır.

Akışkan jetlerde ısı yada kütle transferini etkileyen farklı parametreler var bunların en önemlisi ise jet veya plaka eğimli ve acili olduğu, jet kütlesel debisi, jet çapı, jetler arası mesafe, jet plakası-çarpma plakası arası mesafe, çarpma plakası geometrik yapısı ve sekli gibi parametreler.

Çarpmalı akışkan jetlerde akış bölgesi genelde dört bölgeye ayrılır: serbest jet bölgesi, gelişmiş akış bölgesi, durma bölgesi ve duvar jeti bölgesi. Jet ile çarpma yüzey arasındaki mesafenin yüksek olması durumunda serbest jet bölgesi üç ayrı bölgeye ayrılmaktadır: sabit hız çekirdeği bölgesi, gelişmekte olan akış bölgesi ve tam gelişmiş akış bölgesi [1]. Akışkan jetlerde plakaya akış çarptıktan sonra Akış durma bölgesinden çıktığında etrafa doğru hareket edip ve duvar jetleri olarak gelişmektedir ve akış yönünde yavaşlamaktadır. Ayrıca sınır tabaka ise kalınlığı yavaş yavaş artmaktadır [2].

Son yıllarda her geçen gün enerji tasarımının ne kadar önemli olduğu ispat olduğundan ve yüksek ısı üreten mikro işlemciler ve elektronik elemanlardaki gelişmeler çarpan jetlerin bu elemanların soğutulmasına yönelik uygulamalarını da başlatmıştır. Çarpan hava jeti uygulamaları, elde edilen yerel ısı transferi miktarları bakımından havayla zorlanmış taşanımın üst limitini oluşturmaktadır. Bu sebeple çarpan hava jetlerinin soğutma ve ısıtmaya yönelik uygulamaları. Jetler, çarptıkları yüzeydeki sınır tabakayı kaldırmak veya

inceltmek suretiyle taşınılmış olan ısı transferini arttırarak yüksek yerel ısı ve kütle transferi sağlamaları nedeniyle çarpan akışkan eğik jetleri çok ilgi uyandırmışlardır ancak bu çalışma kapsamında literatürde çök az sayıda deneysel çalışma bulunması ve sayısal çalışmaya rastlanılmaması nedeniyle eğik jetlerdeki çarpmalı akış ve ısı transferi sayısal olarak ilk kez incelenecektir.

Çarpmalı akışkan jetleri farklı geometrilerde kullanılmaktadır (dairesel, kare, dikdörtgen, elips, vs.) olabilmektedir. Ayrıca jetler tek veya çoklu ve her durumda ‘da eğik olarak dizilebilir. Tek jetler genelde yüksek yerel ısıtma veya soğutmanın ihtiyaç duyulduğu yerlerde kullanılmaktadır. Büyük ve geniş alanla sahip olan yüzeylerde ısıtma veya soğutulması için çoklu jetler tercih edilmektedir. Çarpmalı jetlerin akış alanı ve ısı transferi karakteristikleri; çarpma plakası ve jet arasındaki sıcaklık farkı, jet çıkış geometrisi, jetin veya yüzeyin ne kadar açılı ve eğimli olduğu ve jetteki türbülans, jet ile plaka arasındaki mesafe, çarpma plakasının kanatçıklı olup olmamasını ve çarpma sonrası akış düzenlemesini içeren birçok parametreye bağlıdır. Mevcut çalışmada bahsi edilen parametrelerden jet plaka arasındaki mesafe, Re sayısı ve jet çıkış açısı değiştirilerek ve jetin çıkış geometrisin dairesel ve türbülans modelin standart k-ε seçerek bu parametrelerin etkisini ısı transferinde ve ortalama Nu sayısında incelenecektir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde çarpan eğik akışkan jetlerde veya düz jeti olup ve eğik yüzeye çarpanla, alakalı literatürde bulunan çalışmalar uygun konu başlıkları altında özetlenmiştir.

2. 1. Eğik Jet ve Düz Yüzeyler İçin Yapılan Çalışmalar

Eğik jet kullanımı literatürde pek çalışılmamış. Attalla ve Salem bir çalışmada jetin açısının değişiminin yerel ısı transferine ve Nusselt sayısına etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Reynolds sayısının 1500-15000-23000-30000, dairesel tekli jet çapısı 9.53 mm ve H/D=2-4-6-8 ve jet çıkış açısı ise $\propto$=45-60-70-80-90 aralıklarında çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Isı transferi karakteristiklerini akış dağılımı temelinde açıklamaya çalışmışlardır. Jetin farklı açılarında ve farklı Renolds sayılarında, Nusselt sayısına etkisini incelemişler. Ve en iyi sonucu H/D=2 için elde edip ve ispatlamışlar ki ne kadar eğik jetin açısı arttıkça okadar yerel Nusselt sayısının artmasına sebep olur [3].

Choo ve arkadaşları bir çalışmalarında duz yüzey ve farklı açılarda olan ikili jet kullanmışlardır. Jetlerin çapısın 20 mm ve akışın gelişmiş olması için nozul uzunluğun 40 mm seçip ve jetlerin açısı (0-10-20-25-30-40), Reynolds sayısı (5000-7900-10000-15000), Nozul-plaka arsındaki mesafe çalışmaları (0.125-0.25-0.5-1-6), plaka ise (8,0 mm genişliğinde, 0,04 mm kalınlığında ve 120 mm uzunluğunda) seçip ve çalışmalarında jet eğikliğinin ve diziliminin akış özelliklerini ve bu özelliklerin ısı transferine olan etkilerini incelemişlerdir. H/D değerinin düşürülmesi ile ısı transferinde artış meydana geldiğini ancak yüzey üzerinde düzensiz yerel Nusselt sayısı dağılımı meydana geldiğini göstermişlerdir [4].

Başka bir çalışmada Schueren ve Naik bir türbin kanatçığı (airfoil) soğutulması için iki 30 derecede sabit duran eğik jet kullanmışlardır ve bir deneysel ve sayısal çalışma yapmışlardır, numerik çalışmada k-ω-SST modeli ve deneysel sonuçlar ise geçici bir sıvı kristal tekniği kullanılarak elde edildi [5].

Tadhg Donovan ve Murray açılı jet kullanarak bir yüzeyin üzerinde farklı parametreler kullanarak ısı transfer dağılımların incelemişlerdir ve bu sonucu elde etmişler ki eğimli jet

açısının azalması ile hız durgunluk noktası (sıfır hız-stagnation point) yokuş yukarı yöne (uphill direction) kaymıştır olduğunu kanıtladı. Buna ek olarak, yüzey ısı transferi yukarı yönde daha hızlı bir şekilde ve yokuş alta doğru yönde (downhill) daha yavaş yavaş azalır [6].

Bir deneysel çalışmada bir dairesel diskin soğutması amacıyla dairesel eğik çarpan akışkan jeti kullanarak Oztop ve arkadaşları jet çıkış eğikliğinin 90-120-150 aralığında, Reynolds sayısı ise (2800-9000-36000) ve H/D ise (5-10-15) aralığında çalışmışlardır. Düşük Reynolds sayısı için, plaka ve jet arasındaki mesafe arttıkça durgunluk noktası sıcaklığı kücük farklılıklar gösterir, ancak yüksek Reynolds sayısı için, bu değer azalır. Ve bu çalışmada en önemli ve etkileyen parametre eğik ve açılı durumlardır. Durgunluk noktasında soğutma süresi Reynolds sayısına sıkı bir şekilde bağlıdır. Kararlı (steady state) rejimi için zaman düşük Reynolds sayısı için çok kısadır [7].

Eğik çarpışma durumunda, yerel Nusselt sayısı profilleri simetrik değildir. Yerel Nusselt sayısı uphill tarafta eğik açısı azaldıkça azalıyor ve tam tersi downhill tarafta çarpma açısı eğik açısının çok büyük bir önemi yok, bunun ispatında Ibuki ve arkadaşları deneysel bir çalışmada çeşitli parametreleri kullanarak bu sonucu elde etmişlerdir [8].

Nakabe ve arkadaşları eğik akışkan jeti kullanarak dolaşımlı (vortex) akış elde etmek için ve onun etkisin gaz türbin kanatçıkların soğutulmasında kullanarak bir deneysel çalışma yapmışlar, çalışmalarında jet çapısın ise 10 mm, jet acisi ise 45 ve 90 derece parametrelerinde çalışmalarını denemişler [9].

Bir numerik çalışmada Yang ve Wang çapraz akışlı ısıtılmış bir plaka üzerine çarpan bir eğimli jet için akışkan akışı ve ısı transferi özelliklerinin incelemişlerdir. Akış yapısında, bir çift vorteks hareketi olan ve dönmeyen (counter-rotating) görmüşler ve Nusselt sayısının maksimum miktarını z/d = 4 olduğunda vardılar. Çalışma parametreleri ise, Re = 5000, jet açısı = 45°, ısı akısı (340-1000) W/m^2, Reynolds sayısı Re= 5000 gibi değişkenleri tek tek ele alarak incelemişlerdir [10].

Başka bir deneysel çalışmada Donovan ve arkadaşları eğik akışkan jeti kullanarak ve jeti eğik açıları 45-90 derece aralığında, jet yüzey mesafesi H/D= (0.5-2), Reynolds sayısı 10000 ve 20000 aralığında zaman ortalamalı ve dalgalı ısı transferi incelenmiştir. Geçiş

sınır tabaka zaman ortalamalı ısı transfer profillerinden tanımlanır. Çalışmada lamınar rejimden türbülans rejime geçmesi gösterilmiş ve durgunluk noktada (stagnation point) de akış yapısı gelişir ve başlangıçta durgunluk noktasında radyalli harekete başlayıp ve sonunda sınır tabaka tamamen türbülanslı hale geldikçe daha da radyal konumunu artan kaybolur. Eğik Çarpışan jetler ısı transferi üzerinde benzer bir etkiye sahiptir ama durgunluk noktası yokuş yukarı yönde (uphill direction) değiştirir. H/D ise açılı durumda meydana gelen maksimum ısı transferini etkilemektedir [11].

Eğimli akışkan jetleri kullandığımız zaman çarpılan yüzeyin üzerinde hız sıfır olan noktada jetin açısı düştükçe bu nokta yukarı (uphill) tarafa doğru aktarılıyor ve Buna ek olarak, yüzey ısı transferi uphill tarafta daha hızlı bir şekildedir ama downhill yönde hızı daha düşüktür. Yan ve Saniei 1977 yılında bunu ispatladılar ve eğik jetler konusunda literatüre büyük bir katkıları olmuştur [12].

Sparrow EM ve BJ naftalin kütle transferi tekniği (naphthalene mass-transfer technique) kullanılmıştalardır ve düz bir plaka üzerinde bir eğik çarpan dairesel hava jetinin ısı transferi özelliklerini jetin açısı (30-90) derece olduğunda incelemişlerdir. Bunların sonuçları göstermiş ki maksimum miktarda taşınan ısı transferi noktası çarpılan noktadan simetri ekseni boyunca bu eksenin üzerindedir [13].

Nusselt sayısına jet-plaka (H/D) mesafesinden başka jet veya plaka eğikliğin inde önemli bir etkisi vardır. Goldisten ve Franchett jetin düz plaka üzerine açılı akışkan jeti çarptırılması sonucu yerel ısı transferi dağılımını sıvı kristal tekniği ile incelemişlerdir. Jet-plaka mesafesi ise farklı mesafelerde (4-10) arası ve ısı akısı, ince bir metalik folyo ile bir elektrik akımı geçirilerek sağlandı. Sonuçlar en yüksek ısı transfer konumu arasında değiştirme eğim açısına esas olarak olduğunu göstermiştir [14].

JC ve FK [15], Hwang JC ve arkadaşları [16], Chuang ve Wei [17] Çalışmalarında k-e türbülans modeli kullanarak bu modelin akışkan çarpan jetlerde kuvvetti olduğunu gösterip ve jet-plaka mesafesin çok geniş alanda ve Reynolds sayısı ise çok büyük hızlarda çalışmışlardır.

Garg ve Jayaraj bir eğik ve 0-90 derece arası açısı olan plakanın üzerinde ikili jet tarafından oluşturulan bir laminer sınır tabaka için sıcaklık ve hız profilleri üzerine çarpma açısının etkisi incelenmiştir ve belirlemek için sonlu farklar yöntemi kullanılmıştır. Plaka

üzerinde 0 ve 90 derece açıyla hesaplamaların yapmışlar. Plaka yaklaşan jet paralel olmayan bir durgunluk noktası varlığı oldukça yerel Nusselt sayısı ve cilt sürtünme katsayısı etkilediği tespit etmişlerdir [18].

Beitelmal ve arkadaşları bir deneysel çalışmada düz plaka üzerinde çarpan iki boyutlu hava jetin eğim etkisini ısı transferinde belirlemek için gerçekleştirmişlerdir. Plaka ise paslanmaz çelikten ve jet açışı 40-90 derece aralığında, jet plaka mesafesi 4-12 aralığında, Reynolds sayısı 4000-12000 de sonuçları karşılamışlardır ve yerel Nusselt sayısının değişimini grafik şeklinde sunmuşlardır ve maksimum ısı transferi bölgesi plaka yokuş yukarı tarafına doğru kayar ve eğim açısı azaldıkça maksimum Nusselt sayısı azalır. Eğim açısı düşük değerleri için, yerel Nusselt sayısının yokusun yukarı yönde olduğu tarafta maksimum ısı transferi olduğu nokta jet-plaka mesafesine (insensitive) duyarsızdır [19].

2.2. Düz Jet ve Eğik Yüzeyler İçin Yapılan Çalışmalar

Bir başka çalışmada Mubarak ve arkadaşları bir deneysel çalışmalarında çoklu jetlerin bir eğil kanal üzerine çarptırılması sonucu yerel ısı transferi incelemişlerdir. Çalışmalarında 13 çarpan akışkan jet kullanarak ve Reynolds sayısını 9300-14400-18800 ve jet ile plaka mesafesini 5-7-9 olarak ayarlamislar, jet ise dairesel ve tekli jet ve 5 mm çapısında kullanmışlardır. Eğik yüzeyin çapısı ise 30-45-60 aralıklarında incelemişler. Çalışmada Reynolds sayısın arttıkça Nusselt sayısının artışını görmüşler ve jet-plaka arasındaki mesafeni 9 dan 5 e indirerek daha iyi Nusselt miktarı elde etmişler [20].

Song ve arkadaşları bir diesel süper sonic jetde ısı transferin etkisini bir eğik yüzeyin üzerinde incelemişler, plaka eğikliği durumunu 0-10-20-30 olarak ve jet çıkış capisini 10 mm ayarında kullanmışlar ve çalışmanın sonunda yüzey basıncı ölçümleri göstermektedir ki: eğim açısı arttıkça, maksimum yüzey basıncı artar ve plaka üzerinde yuksek yüzey basıncı yukarı noktaya hareket ederken ve nozul-plaka mesafesi arttıkça, maksimum yüzey basıncı azaliyor; plaka eğimli olduğunda, maksimum yüzey basıncı aşağı plaka merkezini taşır. Plaka egikligi arttikca, alt bölgede bölgeyi soğutma boyutu yukarı yönü yüzeyine ters yüzey artar ve bunuda sebebei vorteks bağlı enerji ayırma etkisinin bir azalmadan kaynaklanan zayıf soğutma etkisi ile açıklanabilir [21].

Lim ve arkadaslari deneysel çalışmalarında bir egik ve dışbükeyli olan yüzeyde bir dairesel tekli dairesel jet kullanarak akış ve ısı transferini (liquid crystal transient) metoduyla incelemişlerdir. Reynolds sayısının (11000-50000-23000), H/D değerleri ise (2-4-6-8-10), plaka eğikliği (0-15-30-40), aralığındaki değerleri için çalışmalar yapmışlardır. Sonuçlarda Nusselt sayısı plakanın duran noktasında (stagnation point) maksimum miktar H/D = 6 ve sırasıyla H/D = 8, 10, 4 ve 2 azalmaktadır, bu miktarlar bütün eğik yüzeylerde geçerlidir. Eğimli açısı olduğunda, maksimum Nusselt (H/D<0) durgunluk noktasının yukarı tarafında oluşur [22].

Başka bir çalışmada Al-Hadhrami çoklu jet kullanarak 1.5 derecede eğik olan bir kanalın üzerinde ısı transferi etkilerini incelemişlerdir ve çalışmalarında Nusselt sayısı için H/D=9 da 11% oranlarında daha iyi sonuç vermiş [23].

Karışık bütan / hava alev çarpan jeti kullanarak ve arkadaşları bir deneysel çalışmada ısı transfer karakteristikleri gerçekleştirilmesi için farklı açılarda eğimli bir düz levha yukarı doğru çarpan bir akışkan jetiyle önceden karıştırılmış bütan/hava karışımı alevin plaka üzerine püskürtüp ve farklı çalışma parametrelerde incelemişler. Parametreler, plaka eğimliyi (57-67-80-90), Reynolds sayısı ise 2500 ve 5d ve jet giriş genişliği 10 mm dir. Ve görmüşler ki eğim açısı azaldığında maksimum ısı akışı azalır [24].

Düz yüzeyi olmayan ve (0-15-30-40) derece aralığında çalışılan bir çalışmada akışkan jetin ısı transferi üzerindeki etkilerini deneysel olarak (liquid crystal transient) kullanarak incelemişlerdir. Kullandıkları farklı parametreler, jet-plaka mesafesinin jet çapına oranı H/D=(2-6-10), İnceledikleri jet Reynolds sayıları ise Re=(11000-23000-50000) dir. Burada Re sabit olduğunda (fix) eğim açısı arttıkça durgunluk noktasındaki Nu değeri azalır [25].

Roy ve Patel çalışmalarında ikili jet kullanarak soğutulma sırasında plaka üzerindeki ısı transferini karakteristikleri sayısal olarak incelemişlerdir. Kullandıkları hava jetlerin geometrisi dikdörtgen ve eğik yüzeyin ebadı (1.447-0.791-0.006) ve plaka 30 derece eğikliğinde ve jet çikişi ise x-y üzerinde 30-90 derece arası çalışılmış. Akışın, türbülanslı, iki boyutlu, sıkıştırılamaz ve sürekli rejimde olduğu kabul edilerek korunum denklemleri Sonlu Elemanlar Metodu ile ANSYS-FLUENT kodunu kullanarak çözmüşlerdir. Türbülans modeli ise RNG k–ε türbülans modeli kullanmışlardır. Hesaplamalarını $500 \leq Re \leq 20000$ aralığında gerçekleştirmişlerdir [26].

2.3. Eğik Jet ve İç veya Dış Bükey Yüzeyler İçin Yapılan Çalışmalar

Eğik jetin bir iç bükey yüzeyin üzerindeki ısı transferi etkisini incelemek için Heo ve arkadaşları çalışmalarında deneysel ve numerik çalışmışlar ve en son e=15 ve 40 derecede sonuçların doğru olduğun ispatlamışlar. jet çıkış genişliği 10 mm, Re=23000 sayısında eğim açısın en optimize durumda 59.09 derece ve iç bükey durumda yüzeyi üzerindeki alanda ortalama Nusselt sayısı referans şekline göre 58,28% daha iyileşmiş [27].

Airfoillar üzerinde çalışmada günümüzde türbin kanatçıklarının soğutulması çok büyük seviyede önem taşımaktadır. Nakabe ve arkadaşları dairesel ve eğik jet kullanarak (thermochromic liquid crystal) sistemiyle deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada, Reynolds sayısı olarak (1500-2500-3500), jet çapı D=6 mm değerini ve açı ise (45-90) kullanmışlardır [28].

Plaka üzerinde akış çarpan noktaların ve ya jetin eğimi olduğu zaman ve eğim açısı arttığında yerel Nusselt sayısının dağılımı simetrisi uzaklaşır ve eğik yüzeylerde üzerinde sıcaklık dağılımına plakanın yokuşu yukarı tarafında (uphill side) jet ve plaka arasındaki mesafesinin yokuş aşağı olan tarafa (downhill side) göre etkisi azdır. Abdlmonem H. Beitelmal ve arkadaşları bir deneysel çalışmada farklı parametrelerde, plaka eğiklik (40-50-60-70-90), jet çapısını=5.5 mm, Reynolds sayısı ise (4000-7900-12000) ve farklı jet plaka mesafelerde denediler ve nihayet sonuçlarda gördüler ki Maksimum ısı transfer noktası plakanın yokuş yukarı tarafına doğru (uphill side) hareket eder, bunu nedeni ise hava jet hızının büyüklüğü ve yönü değişikliğinden kaynaklanmaktadır. Bu taşınım eğim açısına ve plaka ve jetin çıkış arasındaki mesafeye bağlıdır [29].

Wang ve arkadaşları eğik dairesel jet kullanarak bir kavisli yüzeyin üzerinde ısı transferini deneysel olarak incelemişlerdir, çalışma esnasında jetin açısın 0-45 arası derecesini yükselterek yüzeyin üzerinde durgunluk noktasının (stagnation point) yerinin değişimini ve merkez noktadan kaymasını ispatlayıp ve grafiklerde sunmuşlardır. Çalışma parametrelinde ise Reynolds seyisinin 20000 sabit olarak bir Reynolds sayısıyla çalışmışlardır, kavisli geometrisinde eğri yüzeyler (5-10) çap oranına sahiplerdir [30].

Literatür araştırmasından da görüldüğü gibi çarpan akışkan eğik jetlerle ilgili çalışmalar yeni yeni başlıyor. Yukarıda bahsettiğimiz gibi literatürde eğik jetlerin deneysel çalışması

uç ayrı gruba bölünmektedir, duz yüzey ve eğik çarpan jet, eğik yüzey ve duz çarpan jet ve eğik jet ve iç veya dış bükey yüzeyler için çalışmalar vardır. Eğik jet veya eğik plaka çalışmamsıda her ikisininde de hemen hemen ısı transferine etkisi aynıdır. Mevcut çalışmanın deneyselinde ise duz plaka ve eğik jet kullanılmıştır ve sayısal çalışmada ise literatürde çalışmayan aralıklar ve parametreler çalışılmıştır.

Bu çalışmada farklı Reynolds sayıları, boyutsuz nozul-plaka mesafesi, jet açısı için ısı transferine olan etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal olarak eğik akışkan jet için özellikle 45-90 derece arası eğik jet literatürde bir çalışmaya rastlamadık ama düz jetler için birçok çalışma bulunmaktadır. Mevcut çalışmada sayısal olarak deneysel çalışmaya göre jet açısı 50 derece eğiklik, Reynolds sayılarında ise 10000 ve 15000 aralığı ekstra olarak incelenmiştir ve sistematik biçimde karşılaştırılmıştır. Ayrıca eğik açının farklı parametrelere ve ısı transferine olan etkileri irdelenmiştir ve bu nedenlerden dolayı böyle bir çalışmanın literatüre kazandırılmasına önem verilmiştir.

3. PROBLEMİN TANIMI VE MATEMATİKSEL FORMÜLASYON

Bu bölümde incelenen problem tanımlanıp ve sayısal olarak çözülmesi için gerekli tanımlamalar yapılacaktır, çözüm alanı ve problemin geometrisi ve çözüm için kullanılan korunum denklemleri sunulmuştur. Bunlara ek olarak problemin sınır şartları ve türbülanslı akış çözümleri için kullanılan türbülans model ve modelin seçimi hakkında bilgiler sunulmuştur. Ayrıca çözümlerde kullanılan sayısal akışkanlar dinamiği kodu ve çözüm yaklaşımı hakkında bilgiler verilerek açıklamalar yapılmıştır.

3.1. Problemin Geometrisi ve Genel Tanımı

M. Attalla ve M. Salem (2014) yaptıkları çalışmada bir tekli eğik jetin duz bir yüzey üzerine çarptırılması sonucu gelişen akış ve ısı transferini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarını farklı Reynolds sayıları, farklı nozul-plaka mesafeleri, farklı jet çıkış açısı oranları için gerçekleştirmişlerdir.

Bu çalışmada ise nozulun ($45 < \alpha < 90$) aralığında açılarda sabit bir yüzeye çarpmasını ve bunun ısı transferi ve akış ve Nusselt sayısına etkisini yüzey üzerindeki sayısal olarak incelenmiştir. Jet çıkış geometrisi deneysel çalışmadaki gibi dairesel alınmıştır. Sabit ısı akısına sahip çarpma yüzeyi 425 mm uzunluğunda ve 8577 mm genişliğinde iki boyutlu olarak modellenmiştir. Nozul (D) 9.53 mm çapındadır ve dik ve açılı bir şekilde çarpma plakasına çarptırılmıştır.
Çalışmada ayrıca farklı nozul-plaka mesafeleri, Reynolds sayıları, kanatçık yükseklikleri, Kütlenin korunumu, momentum ve enerji denklemleri uygun sınır şartları verilerek PHOENICS paket programı ile çözülmüştür. Nozuldan çıkan havanın hızı ve sıcaklığı sabit olarak alınmıştır.

3.2. Fiziksel Model

Sayısal olarak incelenecek problemin geometrisi Şekil 3.1.'de detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Ayrıca varsayımlar ve kullanılan koordinat sistemi de bu bölümde sunulmuştur.

3.2.1. Varsayımlar

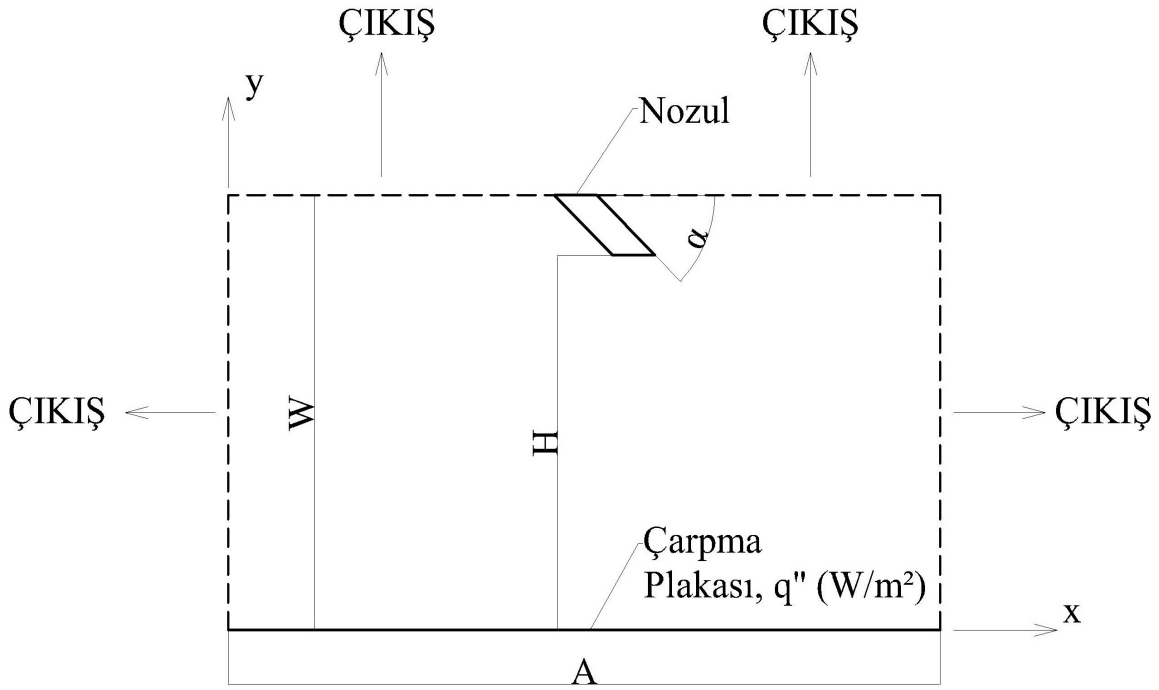
Jetin geometrisi dairesel ve sabit çapı kullanılmış, çıkış açısı (45, 50, 60, 70, 80, 90) derece oluşturulup ve yüzey üzerinde yatay düzlem üzerine durma noktasına çarpma imkânını sağlayarak yerleştirilmiş ve sürekli şartlarda gerçekleştirilmiştir. Çevreye radyasyon ile olan ısı transferi hesaba katılmayıp, sadece türbülanslı, zorlanmış taşınımla olan ısı transferi incelenmiştir. x-y düzlemi üzerine yerleştirilmiş plakanın sabit ısı akısına sahip olacak şekilde kabul edilmiştir. Plakanın sahip olduğu ısı akısının 1000 W/m^2 olarak alınmıştır.

3.2.2. Kullanılan Varsayımlar ve koordinat sistemi

Şekil 3.1.'de sayısal olarak incelenmiş iki boyutlu problemin geometrisi ve kullanılan koordinat sistemi gösterilmiştir. Sabit ısı akısı uygulanan plaka x-y düzlemi üzerine yerleştirilmiş ve α açısında jet, H yüksekliğinde bulunan ve D çapında olan nozulun sadece girişleri modellenmiş ve nozulun çevresi çıkış olarak alınmıştır. Jet x–z ekseni boyunca akmaktadır, plaka A uzunluğunda, W genişliğinde, nozul-plaka arası mesafe H olarak tanımlanmıştır. ayrıca şekilde nozulun etrafı çıkış olarak alındığı nozul plakası, nozul açısı ve geometrisi gösterilmiştir. Bu değerler literatürde yapılmış çalışmalarda görülen ve en yüksek Nusselt sayılarının elde edildiği mesafelere göre ve literatürde yapılan çalışmalardan ekstra bir parametrelerde seçilmiştir [1,5]. Akış alanının çevresine minimum çapraz akış olacak şekilde çıkış sınır şartı verilmiştir. Programda jetin eğik geometrisini daha mantıklı ve kolay bir şekilde oluşturulması için iki boyutlu x-y düzleminde modellenmiştir.

Sayısal çözümlemede kullanılan ölçüler aşağıda sunulmuştur.

Jet açısı; $\propto$ = 45, 50, 60, 70, 80, 90
Nozul çapı; D = 9.53 mm
Plaka uzunluğu; A = 425 mm
Jet plaka mesafesi; H
Plaka genişliği; W = 8577 mm
Isı akısı q'' = 1000 W/m^2
Jetin çıkış sıcaklığı T_j = 23 °C olarak alınmıştır



Şekil 3.1. Problemin geometrisi ve kullanılan koordinat sistemi x-y düzlemi

3.3. Matematiksel Modelin Tanımlanması

Bu bölümde mevcut çalışmanın genel tanıtımı, çözüm alanı ve çözüm için kullanılan korunum denklemleri sunulmuştur. Bunlara ek olarak türbülanslı akış çözümleri için kullanılan model, denklemleri ve bu modelin seçimi hakkında detaylı bilgiler sunulmuştur.

3.3.1. Korunum denklemleri

Bu bölümde var olan korunum denklemlerinde akışkan sürekli olarak farz edilmiştir, yani akışkanın hareketi basınç, hız, öz kütle, sıcaklık ve bunların zamana ve konuma göre türevleriyle ifade edilmiştir. Kartezyen koordinatlarda kararlı halde sıkıştırılamaz akışlar için momentum, süreklilik ve enerjinin korunum denklemleri aşağıda verilmiştir.

Momentum

x – yönündeki momentum denklemi:

$$u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x}+\nu\left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right] \tag{3.1}$$

y – yönündeki momentum denklemi:

$$u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y}+\nu\left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right] \tag{3.2}$$

z – yönündeki momentum denklemi:

$$u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial z}+\nu\left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right] \tag{3.3}$$

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \tag{3.4}$$

Enerji denklemi

$$u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}+w\frac{\partial T}{\partial z}=\alpha\left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right] \tag{3.5}$$

3.3.2. Türbülanslı akış

Mühendislik uygulamaları açısından türbülansın bütün ayrıntılarının bilinmesi çoğu zaman gerekmemektedir. Bu bölümde türbülanslı akış hakkında temel bilgi verilmiştir ve türbülanslı korunum denklemleri ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

Günümüzde mühendislikte incelenen jetler, dalgalar, boru akışları ve düz plaka üstündeki sınır tabaka gelişimi gibi basit ve karmaşık iki yada üç boyutlu akışlar belli bir Reynolds sayısını geçtikten sonra türbülanslı hale gelmektedirler. Türbülanslı model akışta sınır tabaka içerisinde akışkan hareketi çok düzensizdir ve akış, içinde anlık hız değişimleri gözlenir. Bu anlık ve düzensiz değişimler enerji ve kütle geçişini arttırır. Türbülanslı akışlarda düzensiz ve gelişigüzel hareketler gelişmektedir ve hız ve basınç akışın birçok

bölgesinde zamana bağlı olarak sürekli değişim göstermektedir. Laminerli akışda akışkan hareketi oldukça düzenlidir ve parçacıkların hareket alanı boyunca akım çizgilerini belirlemek mümkündür. Laminerli akışkanlarda kullanılabilecek denklemler bir önceki bölümde izah edilmiştir.

Isı taşınıma sahip olan problemlerin tamamında tanımlamaya gerekli olan ilk adım, akışın laminer veya türbülanslı olup olmadığını belirlemektir. Laminer ve türbülanslı akışın arasında çok büyük farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Belirli bir Reynolds sayısını geçtikten sonra hız ve diğer akış özellikleri düzensiz ve gelişigüzel bir şekilde sürekli değişim göstermektedir, dolayısıyla türbülanslı akışta akışkan hareketi oldukça düzensizdir ve dalgalanma hızlarıyla karakterize edilir, sürekli sınır şartlarının olması durumunda bile kararsız duruma gelmektedir. Bu rejime türbülanslı akış denilmektedir. Türbülanslı akışlarda hız ve sıcaklık sınır tabaka boyunca üç farklı bölge görülmektedir. Laminer alt tabakadaki taşınımda difüzyon çok etkilidir ve hız profili lineere çok yakındır. Bundan sonra gelen tabaka türbülans ve difuzyon karışımının olduğu bir ara tabakayla karşılaşılır ve daha üst kısımlarda ise taşınımda türbülans karışımlarının baskın olduğu türbülanslı bölge görülür.

Türbülanslı akışlarda tüm akışkan parçacıklarının hareketini çok detaylı bir şekilde incelenmesi, açıklaması ve hesap yapılması mevcut imkanlarla imkânsızdır. Bunun yerine önceki bölümde bahsedilen ana korunum denklemlerinde geçen anlık hız bileşeni ortalama ve salınım hızı bileşenlerine ayrılarak gösterilebilmektedir. Eşitlik 3.6'da anlık hız bileşeni ortalama ve salınım hızı bileşenlerine ayrılmıştır.

$$u = \overline{U} + u' \tag{3.6}$$

Genelde türbülanslı akışları izah etmek için ortalama bileşenleri ($\overline{U}, \overline{V}, \overline{W}, \overline{P}$ vb.) ve salınım bileşenleri (u', v', w', p' vb.) kullanılır. Ortalama hızın ve basıncın sadece bir veya iki boyutta değiştiği akışlarda bile türbülanslı salınımlarının daima üçüncü boyutta bir bileşeni bulunmaktadır. Salınımların bütün etkilerini incelemek amacıyla korunum denklemlerindeki akış değişkenleri u, v, w ve p değerleri ortalama ve salınım bileşenlerinin toplamı ile değiştirilmektedir.

$$u = \overline{U} + u';\quad u = \overline{U} + u';\ v = \overline{V} + v';\ w = \overline{W} + w';\ p = \overline{P} + p' \tag{3.7}$$

Yukarıdaki ifadeler süreklilik ve momentum ve enerji denklemlerinde yerine konur ve zaman averajları alınırsa aşağıdaki türbülanslı akış için zaman averajlı süreklilik ve momentum denklemleri elde edilir. Ayrıca bu denklemlerle elde edilen sonuçlar deneysel verilerle uyum içindedir.

$$div\,\overline{U} = 0 \tag{3.8}$$

$$div\left(U\overline{U}\right) = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \overline{P}}{\partial x} + \nu\, div\, grad U + \left[-\frac{\partial \overline{u'^2}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial z}\right] \tag{3.9}$$

$$div\left(V\overline{U}\right) = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \overline{P}}{\partial y} + \nu\, div\, grad V + \left[-\frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{v'^2}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial z}\right] \tag{3.10}$$

$$div\left(W\overline{U}\right) = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \overline{P}}{\partial z} + \nu\, div\, grad W + \left[-\frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{w'^2}}{\partial z}\right] \tag{3.11}$$

Zaman averajlı momentum denklemlerinde, ilave terimler ortaya çıkmıştır. Terimler hız salınımlarından dolayı oluşan salınımlı hızların ve taşınımla momentum transferi çarpımını ifade etmektedir ve Reynolds gerilmeleri veya stresleri olarak adlandırılmaktadır. Reynolds gerilmeleri, ortalama hız bileşenleri üstünde ilave türbülans gerilmeleri oluşturduğunu vurgulamak için genelde denklemlerin sağ tarafına gösterilirler. Skalar bir büyüklük olan sıcaklığı da aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$T = \overline{T} + T' \tag{3.12}$$

ortalama ve salınım bileşenlerine ayırarak yazdığımız zaman benzer şekilde aşağıdaki zaman averajlı denklemi enerjinin korunumu için elde edebiliriz.

$$\overline{U}\frac{\partial \overline{T}}{\partial x}+\overline{V}\frac{\partial \overline{T}}{\partial y}+\overline{W}\frac{\partial \overline{T}}{\partial z}=\alpha\left[\frac{\partial^2 \overline{T}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \overline{T}}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 \overline{T}}{\partial z^2}\right]+\left[-\frac{\partial\left(\overline{u'T'}\right)}{\partial x}-\frac{\partial\left(\overline{v'T'}\right)}{\partial y}-\frac{\partial\left(\overline{w'T'}\right)}{\partial z}\right] \quad (3.13)$$

Gördüğümüz gibi zaman averajlı momentuma ayıt olan denklemlerinden fazladan altı bilinmeyen gelmektedir. Önceki bolümde de bahsedildiği gibi, momentum denklemlerinde türbülanslı dolaşımdan dolayı meydana gelen ve Reynolds gerilmeleri adı verilen ilave terimler gelmektedir. Benzer bir şekilde enerji denkleminde de (skalar transport denklemi) türbülanstan dolayı ilave terimler gelmektedir ve bunlar türbülanslı ısı transferi terimleri olarak adlandırılmaktadır. Türbülanslı ısı transferi terimleri Eş. 3.13'deki en son terimlerdir [2].

Eş. 3.13'deki ifadeler süreklilik ve momentum denklemlerinde yerine konur ve zaman averajları alınırsa aşağıdaki türbülanslı akış için zaman averajlı süreklilik ve momentum denklemleri elde edile bilir.

3.4. Türbülans Modeli Çeşitleri ve Türbülans Modelinin Seçimi

Süreklilik ve Navier-Stokes denklemlerinde dört denklemli ve dört bilinmeyenli (u, v, w, p) bir denklemi vardır bunların üç tanesi hız ve diğeri basınçtan oluşur. Ama bu denklemlere şimdiye kadar henüz net bir sonuç elde edememişler ve bu denklemlerin yakın bir gelecekte doğrudan mantıklı bir şekilde çözülebileceği için bir yöntem bulunabileceği düşünülmemektedir. Basit durumlarda bu sorunu çözmek için mühendisler ortalama değerleri kullanıyorlar. Ancak momentum denklemlerinde zaman averajı alma işlemi sırasında anlık salınımları gösteren tüm ayrıntılar atılmaktadır. Sonuç olarak altı tane bilinmeyen (Reynolds gerilmeleri) zaman averajlı momentum denklemlerinde ortaya çıkmaktadır. Benzer şekilde zaman averajlı transport denklemlerinde de ilave terimler bulunmaktadır. Ayrıca en hızlı salınımların yakalamasını sağlamak için zaman aralığının çok küçük seçilmesi gerekmektedir. Bu nedenle zaman ve bilgisayar kapasitesi acısından da dezavantajları vardır. Türbülansın karmaşıklığı olduğu özelliği genelde ilave gerilmeleri ve türbülanslı transport terimlerini basit bir şekilde formüle etmeye engel olmaktadır. Türbülanslı modelin incelenmesinin temel amacı Reynolds gerilmelerini ve transport

terimlerini mümkün olduğunca hatasız elde edecek hesaplama yöntemleri geliştirmektir [31].

Mevcut çalışmada PHOENICS programı kullanılmış ve literatürde bugüne kadar uzun süredir birçok uygulamasının olması sebebiyle ve jetlerle ilgili uygulamalarda kısmen iyi sonuçlar vermesi nedeniyle viskozite tipi modellerden düşük Reynolds sayısı k-ε türbülans modeli seçilmiştir. Bu bölümde k-ε ve düşük Reynolds sayısı k-ε türbülans modelleri detaylı bir şekilde incelenmiş ve bu modelin tanımlayan sabitleri ve denklemleri sunulmuştur. Ayrıca türbülans sınır şartları da bu bölümde gösterilmiştir.

3.4.1. k-ε türbülans modeli

çarpılan duvar üzerindeki etkileri türbülanslı akışlarda akış dinamiğini önemli bir miktarda değiştirmektedir, k-ε türbülans modeli denklemleri türbülanslı akışları ifade etmek için uygulanabilmektedir. İkili denklem modelleri, türbülans uzunluğunu ve hız skalasını belirleyen iki ayrı transport denklemi ihtiva etmektedir. k-ε modeli, büyük olasılıkla duvarlarla sınırlandırılmış akışları modellemedeki başarısı duvar fonksiyonlarının başarısına bağlıdır. En popüler ve en çok sanayide ve ısı transferi ve kompleks akış alanında mantıklı ve kaba sonuç elde etmek için kullanılıp ve güçlü ve basit bir türbülans modelidir.

Eimsa ve Promvonge, iki boyutlu bir kanal içerisinde, alt kanal duvarında ısı akısını sabit bir miktar tutarak ve üst duvarda yalıtımlı duvar yapmışlar ve türbülanslı olan zorlanmış konveksiyonu bir sayısal çalışması yapmışlar ve bu çalışmada farklı türbülans modeli kullanarak en son RNG ve k-ε türbülans modellerinin daha iyi uyum sağlamasını ortaya çıkarmışlar [32].

Harlow ve arkadaşı 1968' yılında güncellenen k-ε modelini en yaygın ve kullanılan türbülans modeli haline getirmişler. PHOENICS, 1974' te Launder ve arkadaşı tarafından geliştirilen yerçekimi etkilerini de ilave olarak içeren k-ε standart modelini kullanmaktadır [33]. Bu modelde sıkıştırılamaz bir akış tipinde, k, ε ve edi viskozite terimi için aşağıdaki denklemlerde sırasıyla verilmiştir.

$$\rho U_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_i}\right] + \mu_t\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right)\frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \rho\varepsilon \qquad (3.14)$$

$$\rho U_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i}\right] + f_1 C_1 \mu_t \frac{\varepsilon}{k}\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right)\frac{\partial U_i}{\partial x_j} - f_2 C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \tag{3.15}$$

$$\mu_t = f_\mu C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \tag{3.16}$$

Standart k-ε modelinde duvar sönümleme fonksiyonlarının değeri birdir. Mevcut denklemlerin hesaplaması ve elde edilmesi detaylı bilgi ve ayrıntılar Tennekes ve Lumley tarafından verilmiştir [34]. $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$, ve C_μ k-ε modeli içindeki ampirik sabitlerdir, ayrıca σ_k ve σ_ε sırasıyla k ve ε için türbülanslı Prandtl sayılarıdır. Denklemlerde kullanılan deneysel sabitlerin değerleri aşağıdaki şekildedir.

$$\sigma_k = 1{,}00; \quad \sigma_\varepsilon = 1{,}314; \quad C_1 = 1{,}44; \quad C_2 = 1{,}92; \quad C_\mu = 0{,}09 \tag{3.17}$$

k-ε modeli için transport denklemleri düşük Reynolds etkilerini hesaba ilave etmek için modifiye edilmektedir. Böylece duvarla sınırlanmış akışlar tipik bir şekilde ifade edilebilmektedir. Düşük Reynolds sayısı modelinde, En yaygın olarak düşük Reynolds sayısı k-ε modeli için transport denklemleri aşağıdaki gibi sunulabilmektedir. Burada f1,f2 ,fμ sönümleme fonksiyonlarıdır.

$$f_\mu = \left[1 - \exp\left(-0{,}0165\,\mathrm{Re}_z\right)\right]^2 \left(1 + \frac{20{,}5}{\mathrm{Re}_t}\right) \tag{3.18}$$

$$f_1 = \left(1 + \frac{0{,}05}{f_\mu}\right)^3 \tag{3.19}$$

$$f_2 = 1 - \exp\left(-\mathrm{Re}_t{}^2\right) \tag{3.20}$$

Fonksiyonlardaki Re_t ve Re_z sırasıyla türbülans Reynolds sayısını ve duvar yakınındaki türbülans Reynolds sayısını göstermektedir ve aşağıdaki şekilde ifade edilmektedirler [2].

$$\mathrm{Re}_t = \frac{\rho k^2}{\mu \varepsilon} \tag{3.21}$$

$$\mathrm{Re}_z = \frac{\rho k^{1/2} z}{\mu} \tag{3.22}$$

3.5. Sınır Şartları

Navier stokes denklemlerinin çözülmesi için bu denklemlerde bütün kullanılan değişkenlerin akış alanındaki sınır şartları bilinmesi gerekiyor, ve öncedeki bölümlerde de bahsettiğimiz gibi bu miktarlarda ortalama değerlerden oluşuyor. Akışkan eğik jetlerde sınır şartları problemin fiziksel boyutundan tanımlamayı oluşturan ve sağlayan parametredir.

Giriş sınır şartı

Bu bölümde jetin giriş sınır şartları izah edilmiştir ve havanın girişteki özellikleri ve türbülanslı sınır şartları sunulmuştur. Girişteki sınır şartında akışkanın sıcaklığı ve hızı sabit tutulmuş ve akışın tam gelişmiş olduğu farzı kabul edilmiştir. Ayrıca sadece nozul girişi modellenmiştir.

$$U = 0; \quad V = V_{jet}; \quad T = T_{jet} = 23^{\circ}C \tag{3.23}$$

Girişte türbülans ile ilgili k ve ε için giriş şartı doğrudan verilmemiş, bu miktarları elde etmemiz için girişte verilen türbülans yoğunluğunu ve ortalama hız kullanarak aşağıdaki şekilde elde edilmiştir:

$$k = \left(T_i w_{jet}\right)^2 \tag{3.24}$$

Benzer şekilde ε için giriş sınır şartı:

$$\varepsilon = \left(C_\mu C_d\right)^{3/4} \frac{k^{3/2}}{L} \tag{3.25}$$

Duvar sınır şartı

Seçtiğimiz türbülans modelinde duvar fonksiyonları uygulanmadığı için duvarlarda bu fonksiyonlar yerine kinetik enerji ve disipasyon oranı için alttaki sınır şartları kabul edilip ve uygulanmıştır.

$$k = 0; \qquad \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = 0 \tag{3.26}$$

Çarpma yüzeyin ve jet plakasının oluşturduğu duvarlarda ortalama hızların değerini kaymazlık şartını sağlamaktan dolayı sıfır alınmıştır.

$$U = 0; \;\; V = 0; \tag{3.27}$$

Alt plaka da ise sabit ısı akısı sınır şartı uygulanmıştır.

$$q'' = sabit = 1000 \, \frac{W}{m^2} \tag{3.28}$$

Çıkış sınır şartı

Duvar sınır şartlarının aksine çıkıştaki k ve ε sınır şartları için düşük ve yüksek Reynolds sayılı (hızlarda) modellerde aynı sınır şartları kullanılabilir. Çıkışlar tüm yönlerde olmaktadır ve y yönündeki çıkışlar jetin etrafından olmaktadır. Ayrıca çıkış sınır şartındaki olan akış atmosferik hava kabul edilmiştir, hız ve sıcaklık iki nokta arasındaki farklılıklarda (gradyan) sıfır olarak kabul edilmiştir. Çıkışta k ve ε için x ve y yönlerinde ayrı ayrı sınır şartları sunulmuştur.

x yönü için; $\frac{\partial k}{\partial x} = 0; \;\; \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} = 0$ (3.29)

y yönü için; $\frac{\partial k}{\partial y} = 0; \;\; \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} = 0$ (3.30)

x yönü için; $\frac{\partial U}{\partial x} = 0; \;\; \frac{\partial V}{\partial x} = 0; \;\; \frac{\partial W}{\partial x} = 0; \;\; \frac{\partial T}{\partial x} = 0; \;\; P = P_o$ (3.32)

y yönü için; $\frac{\partial U}{\partial y} = 0; \;\; \frac{\partial V}{\partial y} = 0; \;\; \frac{\partial W}{\partial y} = 0; \;\; \frac{\partial T}{\partial y} = 0; \;\; P = P_o$ (3.33)

Yukarıda ayrıntılı bir şekilde sunulan bütün sınır şartlarını Çizelge 3.1.'de oluşturulan tablo da verilmiştir.

Çizelge 3.1. Sınır şartları

Bölge	U	V	T	k	ε
Jet Girişi	$U = 0$	$V=V_{jet}$	$T = T_{jet}$	$\left(T_i w_{jet}\right)^2$	$\left(C_\mu C_d\right)^{3/4} \frac{k^{3/2}}{L}$
Çarpma Yüzeyi	$U = 0$	$V = 0$	$q'' = sabit$	$k = 0$	$\frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = 0$
Çıkış (x yönü)	$\frac{\partial U}{\partial x} = 0$	$\frac{\partial V}{\partial x} = 0$	$\frac{\partial T}{\partial x} = 0$	$\frac{\partial k}{\partial x} = 0$	$\frac{\partial \varepsilon}{\partial x} = 0$
Çıkış (y yönü)	$\frac{\partial U}{\partial y} = 0$	$\frac{\partial V}{\partial y} = 0$	$\frac{\partial T}{\partial y} = 0$	$\frac{\partial k}{\partial y} = 0$	$\frac{\partial \varepsilon}{\partial y} = 0$

4. NUMERİK ÇALIŞMA VE ÖN SİMÜLASYONLAR

Mühendislikte problemlerin çözülmesi için sayısal, deneysel ve analitik yöntemlerden birisini kullanmalıyız. Ayrıca uygulamalarda ayrı ayrı ve ya birlikte de kullanabiliriz. Bu çalışmada bir sayısal akışkanlar dinamiği (SAD) kodu ve uluslararası kabul edilmiş bir paket program olan PHOENICS kodu kullanılmıştır. Programın çalışma prensibiyle alakalı kısım sonraki bölümde açıklanmıştır.

4.1. PHOENICS SAD Kodu

Mevcut sayısal çalışmada PHOENICS (Parabolic Hyperbolic Or Elliptic Numerical Integration Code Series) kodu kullanılmıştır. Isı ve kütle transferi, akışkanlar mekaniği, kimyasal reaksiyon ve bunun gibi olayların simulasyonunu yapan, süreklilik, momentum ve enerji denklemlerini sayısal olarak çözmek için tasarlanmış genel amaçlı bir SAD kodudur. Denklemleri çözerken SIMPLER algoritmasını kullanır. PHOENICS, lineer olmayan kısmi diferansiyel denklem setlerinin çözümlerine iteratif sayısal yaklaşımlar sağlar. Denklemlerdeki bağımlı değişkenler kütle, sıcaklık, basınç, hız veya başka korunan büyüklükler olabilmektedir. Programda Kod kısmi diferansiyel denklemleri cebirsel denklemlere dönüştüre bilmesi için sonlu hacimler metodu kullanmaktadır [35]. Sonlu hacimler metodunda problem alanı çok küçük kontrol hacimlerine bölünür ve denklem bu kontrol hacimlerinde integre edilir. PHOENICS programı uç ana elemandan oluşmaktadır;

SATELLITE, Ön işlemci (preprocessor) olarak aşağıdaki işlemleri yerine getirir:

- Önce Q1 kütüğünde verilen işlemleri okur.
- PHOENICS kütüphanesinden mevcut olan örneklerden, örnek problemleri seçer.
- Menü sistemini çalıştırarak problemin tanımını yapar.
- Klavye üzerinden verilen komutları işler.
- Yardım ve komut tarama işlemleri yapar.

EARTH, Ana simülasyon yazılımını içermektedir ve SATELLITE tarafından hazırlanan veri kütüğünü okur ve istenen hesaplamaları yapar. Yazılımda fiziksel kanunlarla ilgili parçalar ve kullanılan sayısal metoda uygulanan bütün işlemlerle ilgili Fortran kodlamasını

kapsamaktadır. Earth, Hesaplama sonunda Result ve Phi adlarında iki kütük oluşturur. Phi kütüğü photon tarafından okunabilecek formattadır.

PHOTON, çözüm prosesinde son işlemci (post-processor) olarak tanımlanmış. Photon Earth

tarafından düzenlenen Phi kütüğünü okur ve kullanıcıya interaktif olarak sonuçları grafik formatında sunar. Kullanıcının vereceği komutlara bağımlı olacak bir şekilde akış, vektörlerini veya kontur grafiklerini, sıcaklık dağılımlarını, problemin hücre yapısını vb. hesaplamalarını yapar ve problemin geometrisinde tanımlanan hücre yapısını gösterir.
Program 24 tane yardımcı baslığı olan elamanlardan oluşmuştur ki Q1 kütüğü bunlardan bir tanesidir. Ve her gurubun kendine özel bir görevi vardır.
Ve programın genel kodu aşağıda gösterilmiştir, bu kod verilen diferansiyel denklemlerin, ayrıklaştırılmış, hallerini çözer: (SI VE TA)

$$\frac{\partial(r_i\rho_i\varphi_i)}{\partial t} + div(r_i\rho_i\vec{u}_i\varphi_i) - div(r_i\Gamma_{\varphi i}\,grad\,\varphi_i) = r_i S_{\varphi i} \qquad (4.1)$$

Eşitliğin sol tarafında olan terimler sırasıyla zamana bağlı taşınım ve difüzyon terimlerini ifade etmektedir. Sağ tarafındaki ise kaynak terimini göstermektedir. Eşitlikteki büyüklükler aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

t : zaman

r_i : i fazının hacimsel olarak oranı

ρ_i : i fazının yoğunluğu

φ_i : i fazında korunan bir özellik

$\vec{u}_i$: i fazındaki hız vektörü

$\Gamma_{\varphi i}$: i fazındaki φ büyüklüğünün değişim katsayısı

4.2. Problemin Hücre Yapısı

Sayısal problemlerin çözümünde kullanılan bilgisayar CFD programlarında ilk işlem problemi uygun bir şekilde kontrol hacimlere bölünmesidir. Burada amaç problemin diferansiyel denklemlerini sayısal olarak çözülmesi için ilk aşamada akış alanını kontrol

hacimlere bölerek bir hücre yapısı (mesh yapısı) oluşturmaktadır. Açıkçası çözüm alanında diferansiyel denklemler cebirsel olarak ifade edilirler. Bu ise, sonsuz sayıda diferansiyel denklemi cebirsel denkleme dönüşür. Mevcut imkanlarla bu kadar cebirsel denklemlerin çözülmesi pratik olmadığından dolayı, çözüm alanında belirli bir sayıda noktaları seçip ve o noktalarda diferansiyel denklemlerin cebirsel denklemlere donuşunu sağlarız. Oluşturulmuş noktaların yapısına ağ yapısı (mesh) ve ya hücre yapısı denilir. Büyük değişimlerin çok olduğu bölgelerde, daha sik ve değişimin fazla olmadığı bölgelerde ise daha seyrek bir hücre yapısı oluşturmalıyız.

Bu bilgiler ışığında çözüm alanı içerisinde çarpma plakasına yakın bölgelerde sınır tabakasındaki değişiklikleri daha iyi yakalayabilmek ve viskoz alt tabakayı modelleyebilmek için hücrelerin sıklığı arttırıldı. Özellikle türbülanslı akışta düşük Reynolds sayısı modelini kullanabilmek için tavsiye edilen z^+ değerinin 1'den küçük bir değeri için en az bir hücre yerleştirilmesi kriteri sağlanmaya çalışıldı. Bu kriterin bütün türbülanslı çözümlerde sağlanması için duvara dik yöndeki hücre sayılarında düzenlemeler yapıldı. z^+ boyutsuz duvar mesafesi olarak ve boyutsuz uzaklığı temsil etmektedir.

$$z^+ = \frac{u_\tau z}{\nu} \tag{4.2}$$

$$u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \tag{4.3}$$

Burada ρ, akışkanın yoğunluğunu, u_τ sürtünme hızıdır ve duvara yakın bölgedeki hızları temsil eden hız ölçeğidir.

4.3. Deneysel Çalışma ve Deneme Çözümleri

Attalla ve arkadaşı [3] yaptıkları deneysel çalışmada, tekli bir açılı nozul altındaki sabit ısı akısına sahip ve (225 mm, 425 mm, 1.0 mm) boyutlarında ve paslanmaz çelik folyodan oluşan çarpma plakasına sahip olan bir yüzey oluşturmuşlar, ısı transferini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında nozul çapışını sabit olarak 9.53 mm gerçekleştirmişlerdir. Jetin açısı farklı sayılarda (α=45-60-70-80-90), jet-plaka mesafesi (H/D=2-4-6-8) ve farklı Reynolds sayıları (Re=1500-23000-30000) için incelemeler yapmışlardır. Hesaplamalarında alttaki formülleri Nusselt sayısı ve *h* için kullanmışlardır.

$$Nu = \frac{h.D}{k} \tag{4.4}$$

$$h = \frac{Q}{T_S - T_J} \tag{4.5}$$

Jet giriş sıcaklığı T_j = 23 °C olarak alınmıştır. Jet sıcaklığının 23 °C olması durumunda havanın özellikleri Çizelge 4.2.'de verilmiştir. Bunlar PHOENICS programının içinde bulunan 23°C'deki havanın özellikleri altındaki değerlerden alınmıştır ve çalışmada kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. 23°C'deki havanın fiziksel özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Yoğunluk, ρ	kg/m^3	1,189
Isı iletim katsayısı, k	W/m.K	0,02582
Kinematik Viskozite, ν	m^2/s	$1,544 \times 10^{-5}$
Özgül Isı, c_p	J/kg.K	1005
Isıl genleşme katsayısı, β	K^{-1}	0,00341

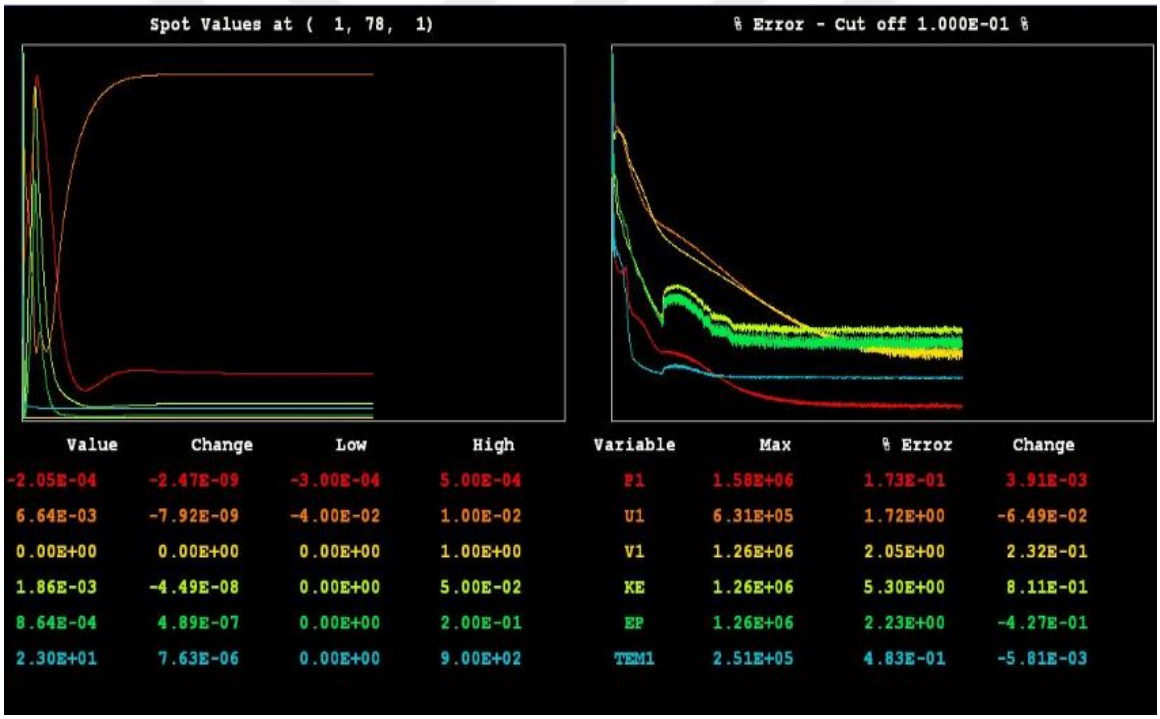
4.4. Numerik Çözümlerin Doğruluğunun Kontrolü

Yazılmış sayısal akışkanlar dinamiği kodlarında elde edilmiş sonuçların doğru olduğunu ispati edilmesi için beş ana kriterin sağlanması gerekmektedir. Bu bölümde bu beş kriter ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Birinci kriter çözümün yakınsamasıdır, bu kriteri sağlamamız için PHOENICS programının sonuç kütüğünün son kısımlarında süpürme sayısına bağlı olarak kalıntılar ve anlık değerler birer grafik halinde verilmektedir. Bahsedilen grafikler üzerinde çözümün gerçekleşmesine sebep olan bütün değişkenlerin kalıntıları ve anlık değerleri süpürme sayısı ile birlikte değişimleri gösterilmektedir. Çözümün yakınsaması için gerekli olan bütün değişkenlerin kalıntıları monoton veya değişken bir azalma göstermek zorundadır. Buna ilave olarak bütün değişkenlerin anlık değerleri belirli bir dalgalanmalardan sonra sabit bir değere ulaşmaktadır. İkinci bir kontrol yapmanında yolu sonuç kütüğünde her değişken için toplam "anlık değer" ve "kalıntı" değerlerinde kalıntılar sıfıra yakın veya çok

küçük bir miktarla ulaşması gerekir. Ayrıca anlık değerler ise belirli bir değere vardıktan sonra o değerde kalması lazım veya çok az sapma göstermelidir.

Bahsedilen kriterin kontrol edilmesi için şekil 4.1'de, çalışma kapsamında dairesel jetin örnek olarak Re=1500 değerinde, jet-plaka mesafesi ise H/D=6 ve jet açısı ise 90 derece olduğu durumun türbülanslı akış modellemesi sonucu elde edilen anlık değerlerin ve kalıntıların süpürme sayısı ile değişimleri görülmektedir. Çözümün yakınsaması için gerekli olan, mevcut bütün değişkenlerin kalıntıları monoton veya değişken bir şekilde azalmakta, ayrıca bütün değişkenler için anlık değerler bir süre dalgalanmadan sonra sabit bir değere ulaşmaktadır. Yukarda açıklanan gibi bu değerli daha detaylı bir şekilde sonuç kütüğünden' de kontrol edildi.



Şekil 4.1. Çözümün yakınsaması kontrolü programda

İkinci kriter çözümün süpürme sayısından bağımsız olmasıdır. Çözüm süpürme sayısı ile çok yakın bir ilişkidedir. Açıkçası süpürme sayısı değiştirilerek birinci sorunun cevabı aranır. Burada en önemli amaç, süpürme sayısının artmasıyla yakınsamış bir çözümün yakınsamasının devam ettiği gözlemektir.

Bu çalışmada bu şartın yerine getirilmesi için. Süpürme sayısı 4000 değerine ulaştıktan sonra ortalama Nusselt sayısı değerlerinde artık sabitlemeye başlayıp ve değişme olmadığı

ve süpürme sayısının artmasıyla artık değişmediği gözlemlendi. Bu sonucun ardından problem çözümü için çözüm süpürme sayısı tam garanti olsun diye 10000 süpürme sayısı seçilerek yeterli olacağı sonucuna varılmasına sebep oldu.

İlk iki şartın olumlu olduğunu ispatlamaktan sonra çözümü elde edilmeye çalışılan fiziksel problemi ifade eden kütlenin korunumu, momentumun korunumu ve enerjinin korunumu denklemlerinin sağlanıp sağlanmadığı yukarıda bahsedilen çalışmanın sonuç, dosyasındaki kontrol edilmektedir. Süreklilik denkleminde, girişteki toplam kütlesel debinin çıkıştakine hemen hemen ayni ve yakın miktarda olduğu, enerji denklemi içinde girişte jetin sahip olduğu enerji ve sisteme verilen ısı enerjisi toplamının çıkışta akışkanın sahip olduğu enerjiye hemen hemen eşit olduğu görülmüştür. Bu sonuçları sonuç kütüğünün son kısmında "Net source of R1" den alarak aşağıda sunulmuştur.

Enerji denklemi için;

Jetin girişte sahip olduğu enerji ve çarpma plakası W
Isı akısı toplamı = 28.251389 W
Akışkanın çıkışlardaki toplam enerjisi = -28.251141W

Süreklilik denklemi için;

Girişteki toplam kütlesel debi = 9.482618E-05 kg/s
Çıkışlardaki toplam kütlesel debi = -9.482536E-05 kg/s

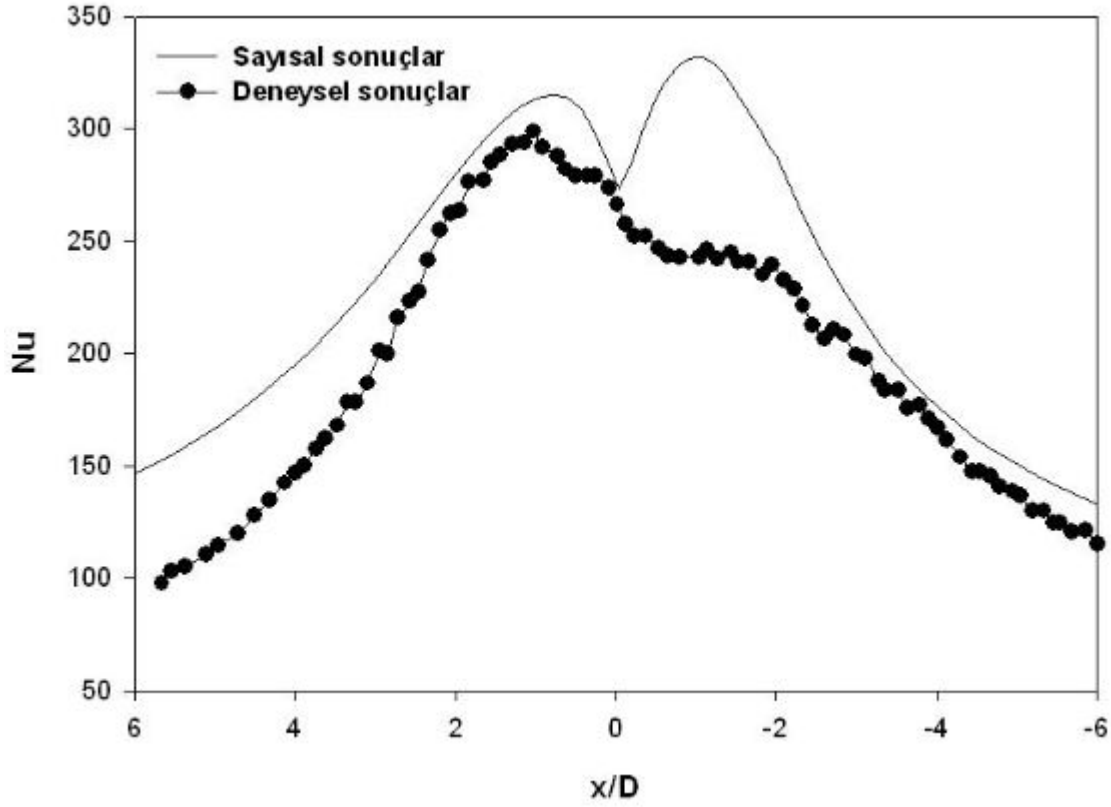
Hücre yapısı ve dağılımı, sayısal çözümlerin gerçek fiziksel değerlerden farklılığına sebep olabilecek en önemli faktörüdür. İlk üç şartın olumlu olduğundan emin olduktan sonra, elde edilen sonuçlar gerçek değerlerden uzak olabilir. Bunun nedeni farklı sebepler olabilir ama en önemli sebep ilk adımda çözüm alanının içindeki hücrelerin sayısı, biçimi ve dağılımından olabilir. Bunu çözebilmek için hücre yapısında ve dağılımında yapılan değişiklikle, elde edilen sonuçlardaki değişim minimuma indirgenmeli ve optimum hücre sayısı belirlenmelidir. Böylece çalışmada zaman açısından da önemli ölçüde tasarruf sağlanmış olur. Bu bölümde çözüm hücre sayısından bağımsız hale getirilmiştir. 10000 süpürme sayısı için farklı hücre sayılarında ortalama Nusselt sayıları hesaplanmıştır. Kaba

bir meş yapısından başlayarak belli bir oranda hücre yapısın yükseltip ve Nusselt sayısı sabit bir miktara yetişene kadar devam edildi. Şekil 5.2'de ortalama Nusselt sayısının hücre yapısından değişim grafiği görülmektedir. Sırasıyla (x-y) = (16-3-16 / 10-5) başlandı ve ortalama Nusselt sayısı (61-10-61 / 40-19) hücreden sonra yaklaşık olarak sabitlendiği gözlemlenmiştir. Bu durumda, hücre sayısı minimum olarak x ekseni boyunca (73-12-73) ve y ekseni boyunca (49-24) hücre olarak seçilmiştir.

Çözüm geometri içerisinde, akışın önemli olduğu bölgelerde ve ısıtılmış plaka ve eğik jetin yakınlarında daha sık ve üniform olmayan hücre tipi kullanılmıştır. Şekil 4.2.'de x-y eksenlerindeki uygun görülen hücre yapısı ve dağılımı görülmektedir.
Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de x-y sırasıyla sıcaklık konturu ve basınç konturu dağılımları görülmektedir. Bu sonuçlar 10000 süpürme ve 158x78 hücre sayısı için sayısal olarak elde edilmiştir.

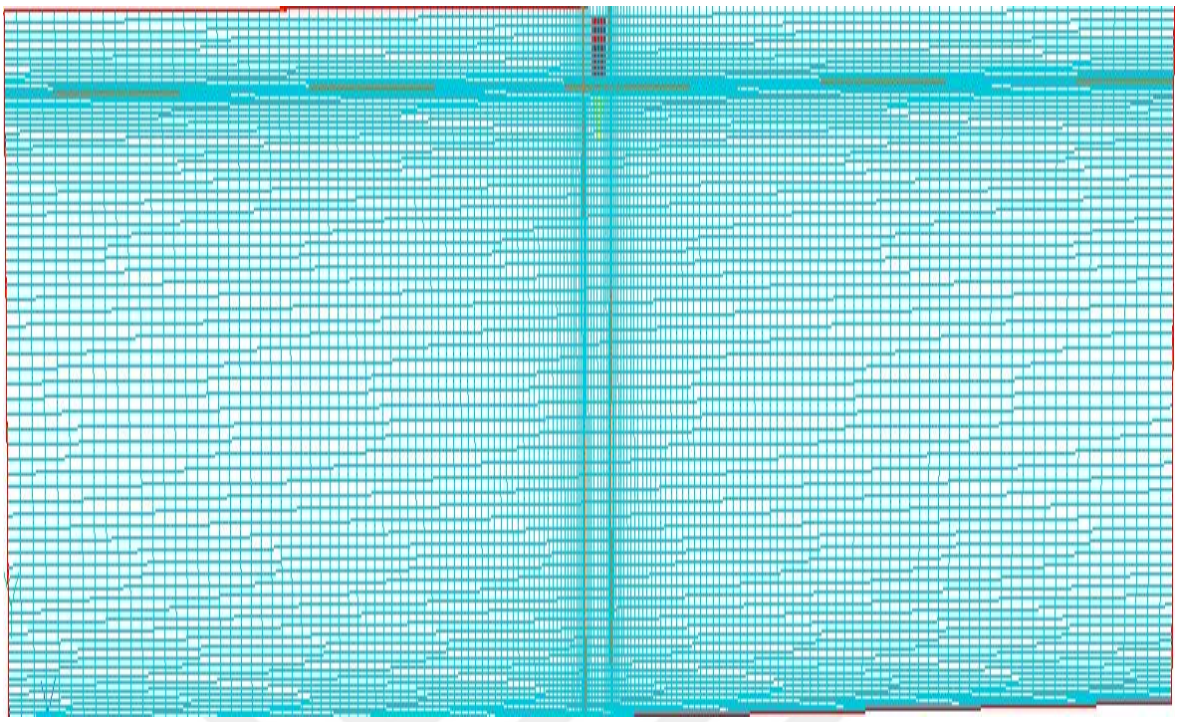
İlk dört şartın olumluluğunu gösterdikten sonra sıra SAD çözümlerinin deneysel verilerle karşılaştırılmasındadır, Elde edilen sayısal çözümleri literatürdeki mevcut veya kendi deneysel değerleri ile karşılaştırması işlemi ile ispat edilmiş olur. Eğer hiçbir şekilde deneysel veri mevcut değilse, bu kesin karşılaştırma literatürde kabul görmüş teorik, analitik veya diğer nümerik çözümlerle yapılabilir.

Bu çalışmada ise ilk dört kriterin sağlanmasından sonra elde edilen sonuçlar M. Attalla ve M. Salem'in yapmış oldukları deneysel çalışmayla karşılaştırılmıştır. Farklı x/D için karşılık gelen Nusselt sayıları Şekil 4.2.'de görülmektedir. Burada CFD SAD kodu PHOENICS ile elde edilen sayısal sonuçlar ile M. Attalla ve M. Salem'in yaptıkları deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır.
Sonuçlarda bazı bölgeler dışında büyük oranda uyumlu ve değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bazı noktalardaki büyük farkın oluşmasının sebebi ise türbülans modelinin bu bölgede yetersiz olduğundan dolayı olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Ayrıca bazı noktalarda kaymalar olduğu görülmüştür. Bunun sebebi ise duvara yakın bölgede türbülans modelinin bu noktaları tam yakalayamamasından dolayı olabileceği şeklinde yorum getirilmiştir.

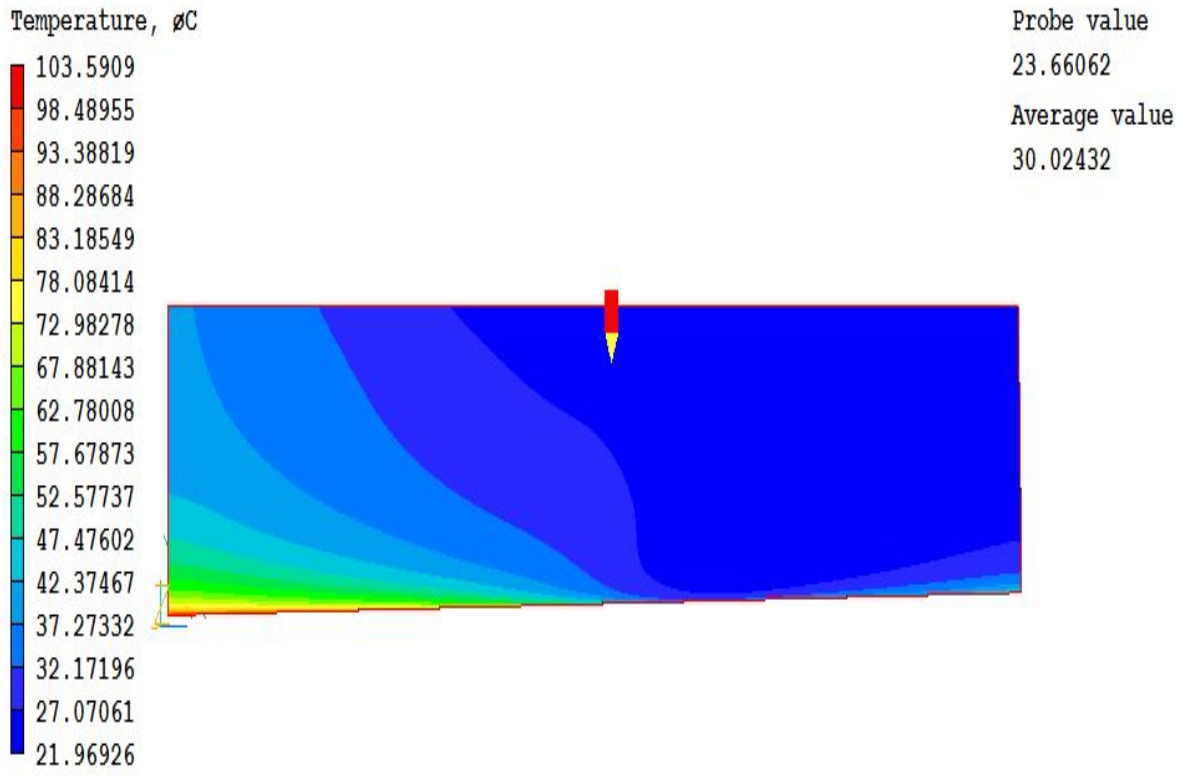


Şekil 4.2. Farklı x/D oranlarına karşılık gelen Nusselt sayılarının deneysel ve sayısal sonuçlarının karşılaştırılması

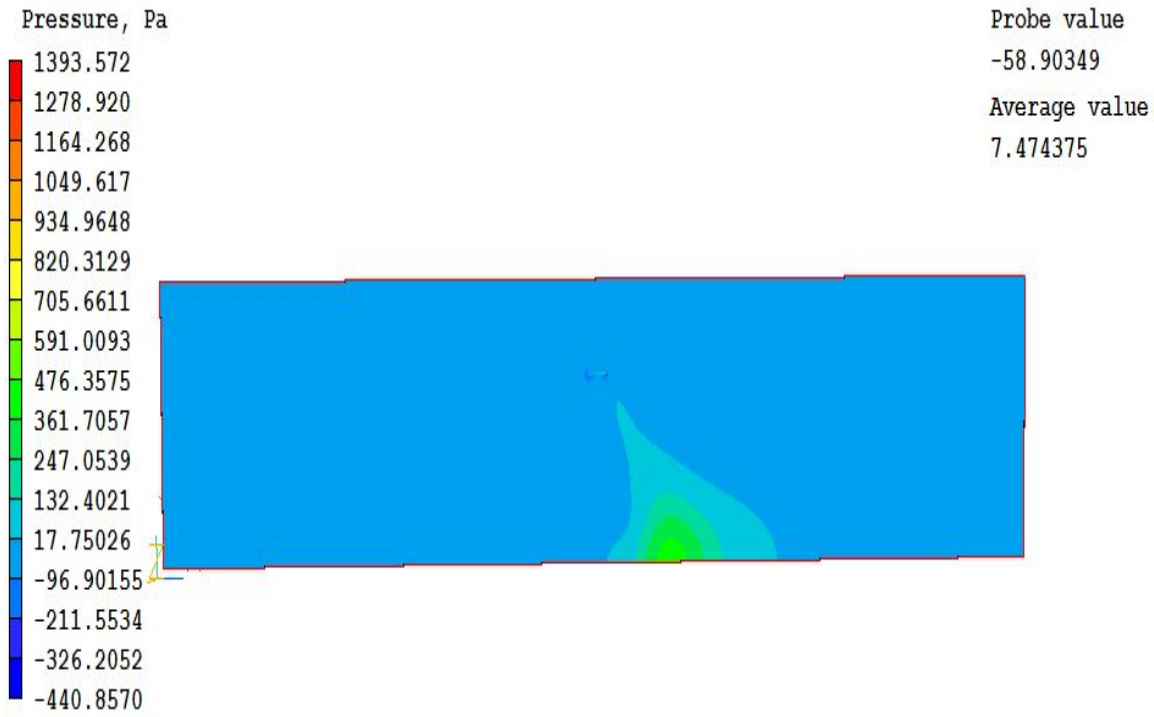
Majumdar ve Wang tarafından yapılan bir çalışmada 5 farklı düşük Reynolds sayısı kullanılarak modellemelerin yapmışlardır, modellerin durma noktasındaki ve plaka sonlarına yakın bölgedeki Nusselt sayısı için deneysel değerlerden daha farklı değerler ortaya çıkmasın görmüşlerdir [36]. Wang ve arkadaşı bu durumun sebebin olarak, kullanılan türbülans modellerdeki çok büyük türbülans uzunluk boyutlarının, iletimin baskın mod olduğu tabakanın kalınlığının azalmasına sebep olmasını göstermişlerdir [36]. Bazı noktaların fazla farklılık nedeni ise modelimizde kullanılan sönümleme fonksiyonlarının durma noktasında türbülans enerji üretiminin olduğundan fazla görünmesine engel olamadığıdır.



Şekil 4.3. x-y düzlemin uygun görülen hücre dağılımı (73, 13, 73 – 66, 12)



Şekil 4.4. x-y düzlemin boyunca sıcaklık konturu



Şekil 4.5. x-y düzlemi boyunca basınç konturu

5. SAYISAL SONUÇLAR

Literatürde var olan deneysel çalışmayla yapılan numerik çalışmanın karşılaştırmadan sonra parametrik çalışma gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma çalışmasından farklı olarak parametrik çalışmada jet eğikliği ekstra olarak 50 derecede yapılmış ve buna ilave olarak farklı Reynolds sayıları için akış ve ısı transferi incelenmiştir. Çalışmada jet açıları (45, 50, 60, 70, 80, 90) derece eğikliğinde. Çalışmalarda tekli jet ve jet geometrisi ise dairesel olarak çalışılmış. Çalışmalar düz bir çarpma yüzeyi için gerçekleştirilmiştir.

Yukarıda da bahsedildiği gibi sayısal incelemede farklı jet eğiklikleri için çalışmaları yürütülmüştür. Bunların ilkinde jetin yüzey üzerine duz ve 90 derece açısıyla çarpmaktadır, devamında ise akışkan jet diğer açılarla yerleştirilmiştir.

Bir önceki bölümde bahsedildiği gibi sayısal çözümün doğruluğunu ispatlama için bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Reynolds sayısı (1500, 10000, 15000, 23000, 30000), =(2, 4, 6, 8) için yapılmış ve uygun süpürme sayısı ve hücre sayısı bulunmaya çalışılmıştır. Sınama çalışması gerçekleştirildikten sonra elde edilen süpürme sayısı ve hücre sayısı ile parametrik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Sayısal çalışmada kullanılan değişkenler ve değer aralıkları Çizelge 5.1.'de parametrik çalışma tablosunda sunulmuştur.

Çizelge 5.1. Parametrik çalışma tablosu

Jet Açısı	Reynolds sayısı	H/D	Jet Geometrisi
45	1500	2-4-6-8	Dairesel
	10000	2-4-6-8	
	15000	2-4-6-8	
	23000	2-4-6-8	
	30000	2-4-6-8	
50	1500	2-4-6-8	Dairesel
	10000	2-4-6-8	
	15000	2-4-6-8	
	23000	2-4-6-8	
	30000	2-4-6-8	
60	1500	2-4-6-8	Dairesel
	10000	2-4-6-8	
	15000	2-4-6-8	
	23000	2-4-6-8	
	30000	2-4-6-8	
70	1500	2-4-6-8	Dairesel
	10000	2-4-6-8	
	15000	2-4-6-8	
	23000	2-4-6-8	
	30000	2-4-6-8	
80	1500	2-4-6-8	Dairesel
	10000	2-4-6-8	
	15000	2-4-6-8	
	23000	2-4-6-8	
	30000	2-4-6-8	
90	1500	2-4-6-8	Dairesel
	10000	2-4-6-8	
	15000	2-4-6-8	
	23000	2-4-6-8	
	30000	2-4-6-8	

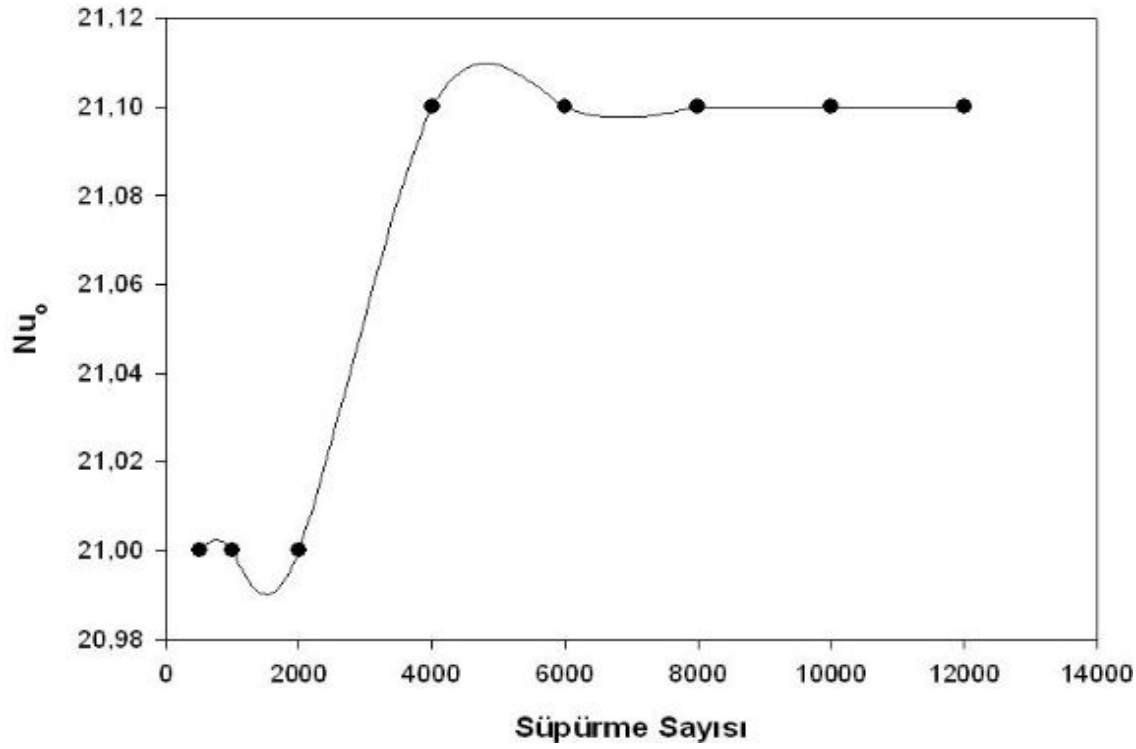
5.1. Sayısal Çalışmanın Doğruluğunun Kontrol Edilmesi

Sayısal çalışmanın sonuçlarının doğruluğunun kontrol edilmesini önceki bölümlerde izlenen yol takip edilmiştir ve aynı adımlar tekrar edilmiştir.

Jet giriş sıcaklığı T_j = 23 °C ve çarpma plakasının ısı akısı q" = 1000 W/m^2'dir. Havanın 23 °C'deki fiziksel özellikleri Çizelge 4.2'de yukarda sunulmuştur. Bölüm 4'te verilen denklemler yerel ve ortalama Nusselt sayılarının ve Reynolds sayısının hesabında kullanılmıştır.

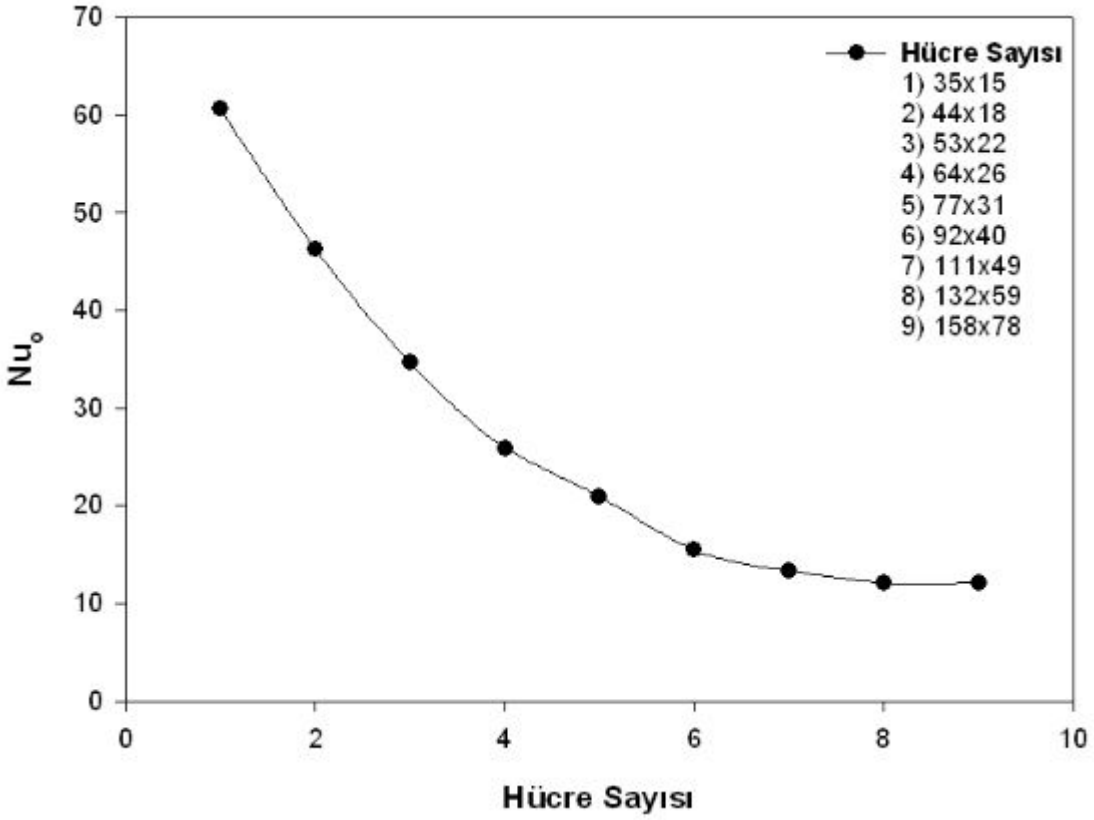
Problemin yakınsadığı sonuç kütüğünün son bölümünde mevcut olan grafiklerden kontrolü yapılmıştır. Yakınsama sağlandığı görülmüş ve çözümün süpürme sayısından bağımsızlaştırılması çalışmasına başlanmıştır.

Şekil 5.1'de farklı süpürme sayıları içi elde edilmiş ortalama Nusselt sayıları hesaplanmıştır ve sunulmuştur. Çözümler 500 süpürme sayısından başlayarak 12000 süpürme sayısına kadar devam ettirilmiştir. Ortalama Nusselt sayısı ise belli bir süpürme sayısından sonra (4000) yaklaşık olarak sabit kaldığı görülmüştür. Bu çalışmada ideal ve garantili süpürme sayısı olarak 10000 süpürme seçilip ve tüm çalışmalar bu sayıyla yapılmıştır.



Şekil 5.1. Nu_o sayısının süpürme sayısı ile değişimi

Çözümün bu aşamalardan sonra sonuç kütüğünden korunum denklemlerinin sağlanmış olduğu görülmüştür. Şekil 5.2'de jetin merkezinden geçen çizgi boyunca ortalama Nusselt sayısının hücre yapısıyla değişimi grafiği gösterilmiştir. Ortalama Nusselt sayısının (132x59) hücre yapısından sonra yaklaşık olarak sabit kaldığı görülmüştür. Çalışmada uygun hücre sayısı olarak hem de ideal ve daha garantili bir çözüm elde etmek için uygun hücre sayısı (158x78) olarak seçilmiştir. Buradaki değerler sırasıyla x ve y yönlerindeki hücre sayılarını ifade etmektedir.



Şekil 5.2. 10000 süpürme sayısı için farklı hücre sayılarında elde edilen Nuo sayıları

5.2. Sayısal Bulgular

Çarpmalı akışkan jetlerinde akış ve ısı transferini etkileyen parametrelerin arasında jet geometrisi, jet açısı, Reynolds sayısı, kanatçık olup olmadığı ve nozul-plaka mesafesi sayılabilmektedir. Bu çalışmada bahsedilen parametreler alt bölümler halinde incelenmiş ve sonuçları sunulmuştur. Her bölümde farklı jet açıları için sonuçlar sunulmuş ve irdelenmiştir. Yapılan çalışmalar için vektörel hız dağılımları sunulmuş ve ısı transferi sonuçları bu bilgiler ışığında yorumlanmaya çalışılmıştır. Isı transferi sonuçları; yerel Nusselt sayıları, ortalama Nusselt sayıları ve yüzey üzerindeki Nusselt sayısı konturları ile sunulmuştur.

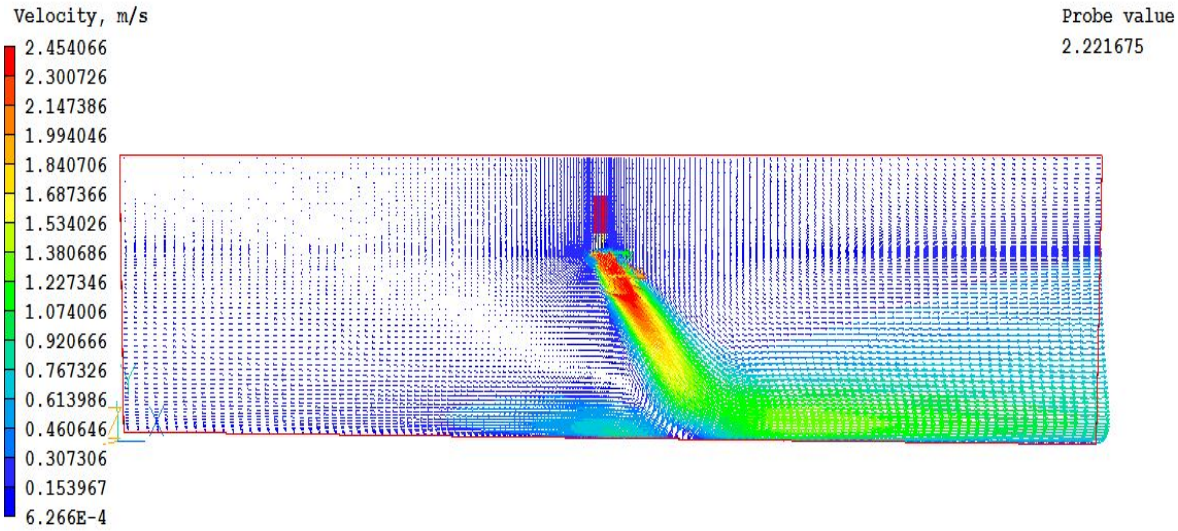
Çarpmalı akışkan jetlerde akış ve ısı transferini etkileyen parametreler arasında jetin duz veya açılı olduğu ve jetin çıkış geometrisi, kanatçık olup olmadığı ve düzenleniş şekli, Reynolds sayısı ve nozul-plaka mesafesi sayılabilmektedir. Mevcut çalışmada bahsedilen parametrelerin bir çoğunu alt bölümler halinde incelenmiş ve sonuçları sunulmuştur.

5.2.1. Reynolds sayısının ısı transferine etkileri

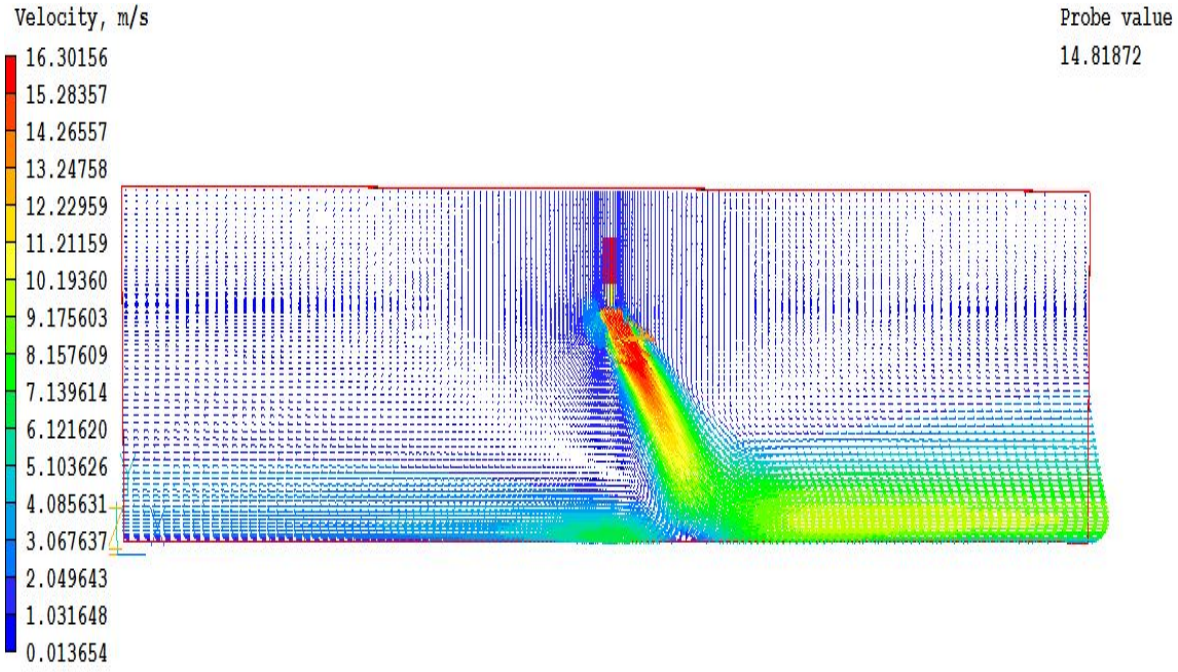
Bu bölümde Reynolds sayısının ısı transferine etkileri incelenmiş ve izah edilmeye çalışılmıştır. Öncelikle tüm akışkan jet çapları için vektörel hız dağılımları Re=1500, 10000, 15000, 23000, 30000 değerleri için verilmiş ve akış izah edilmeye çalışılmıştır.

Bu bilgiler doğrultusunda da ısı transferi açıklanmaya çalışılmış ve yerel Nusselt sayısı dağılımlarının Reynolds sayısına göre değişimleri sunulmuştur. Ayrıca Nusselt sayısı konturları da verilmiş ve Reynolds sayısına göre plaka üzerindeki Nusselt sayısı dağılımları incelenmeye çalışılmıştır.

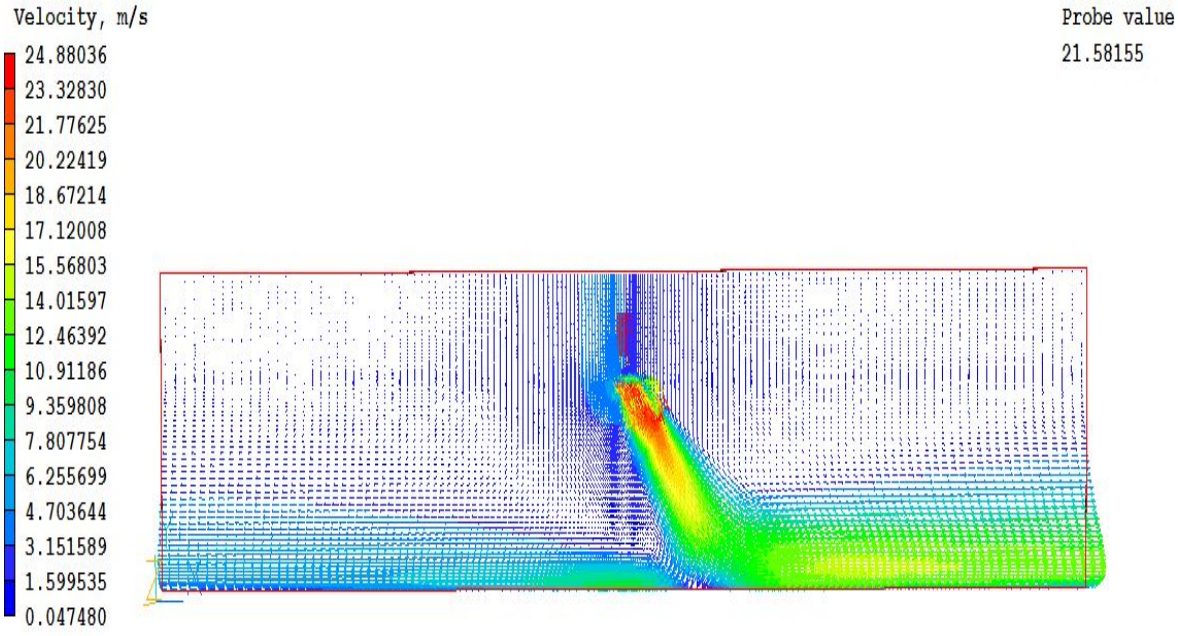
Şekil (5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7) 'de 45 derece eğik jet için yüzey boyunca nozulun altındaki vektörel hız dağılımları Reynolds sayısının sırayla 1500-10000-15000-23000-30000 değeri için H/D=6 olduğu düzenlemeler için sunulmuştur. Akış alanının eğik olduğundan dolayı akışı daha iyi anlayabilmek ve görüntüyü daha net bir şekilde edebilmek için en yüksek Reynolds ve düşük Reynolds sayıların sonuçları sadece bir sabit H/D'de sunulmuştur ve sonuçların fazla olduğu için bütün jet açıları ve H/D'lerin sunması mümkün değildir. Tüm şekillerde gördüğümüz gibi akış aşağı yönde yavaşlayarak akmakta ve yüzeye çarpmaktadır. Çarpma sonrası eğik jetin akım yönü açıya göre durma noktası taşınmaktadır ve duvar akımları birbirleriyle etkileşmektedir. Reynolds sayısının artması ile duvar jetlerinin etkileşiminin arttığı ve çarpışmanın daha etkili olduğu görülmüştür.



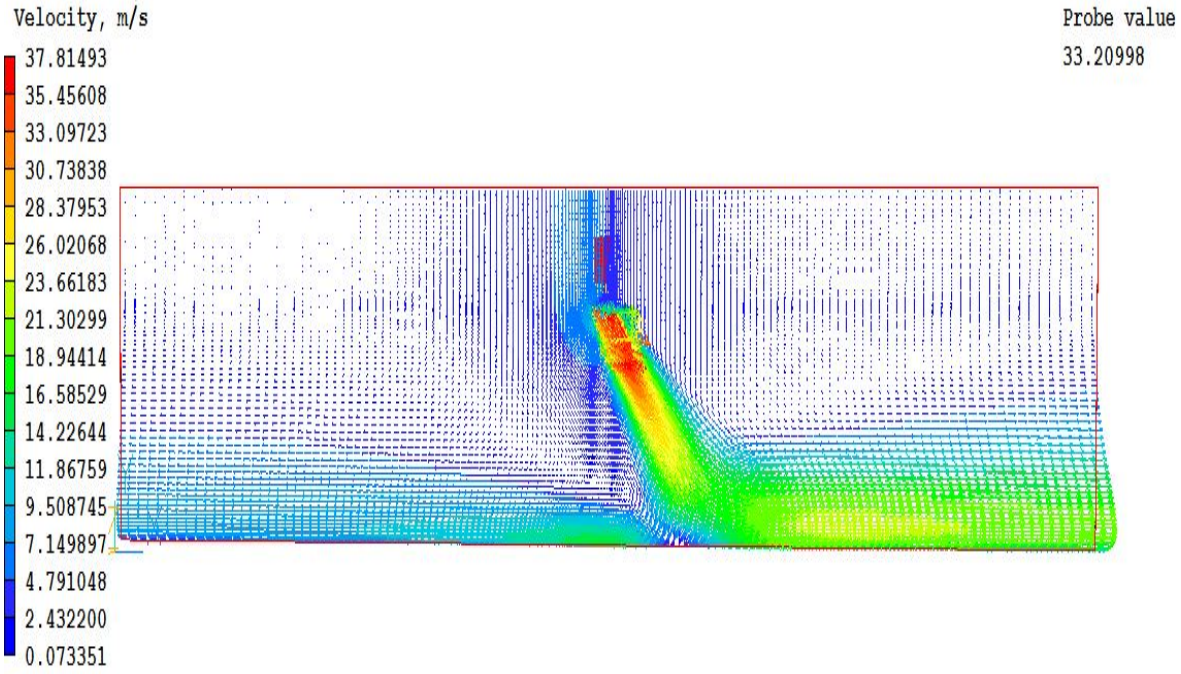
Şekil 5.3. Yüzey üzerinde Re=1500, H/D=6 durumunda 45 derecede olan jet boyunca vektörel hız dağılımı



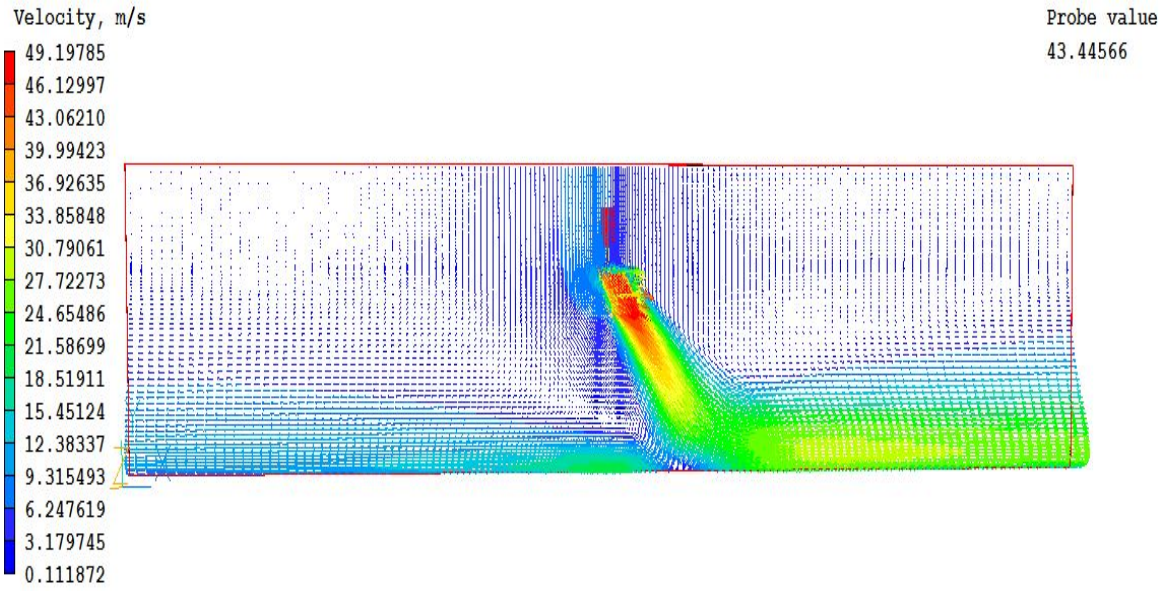
Şekil 5.4. Yüzey üzerinde Re=10000, H/D=6 durumunda 45 derecede olan jet boyunca vektörel hız dağılımı



Şekil 5.5. Yüzey üzerinde Re=15000, H/D=6 durumunda 45 derecede olan jet boyunca vektörel hız dağılımı



Şekil 5.6. Yüzey üzerinde Re=23000, H/D=6 durumunda 45 derecede olan jet boyunca vektörel hız dağılımı



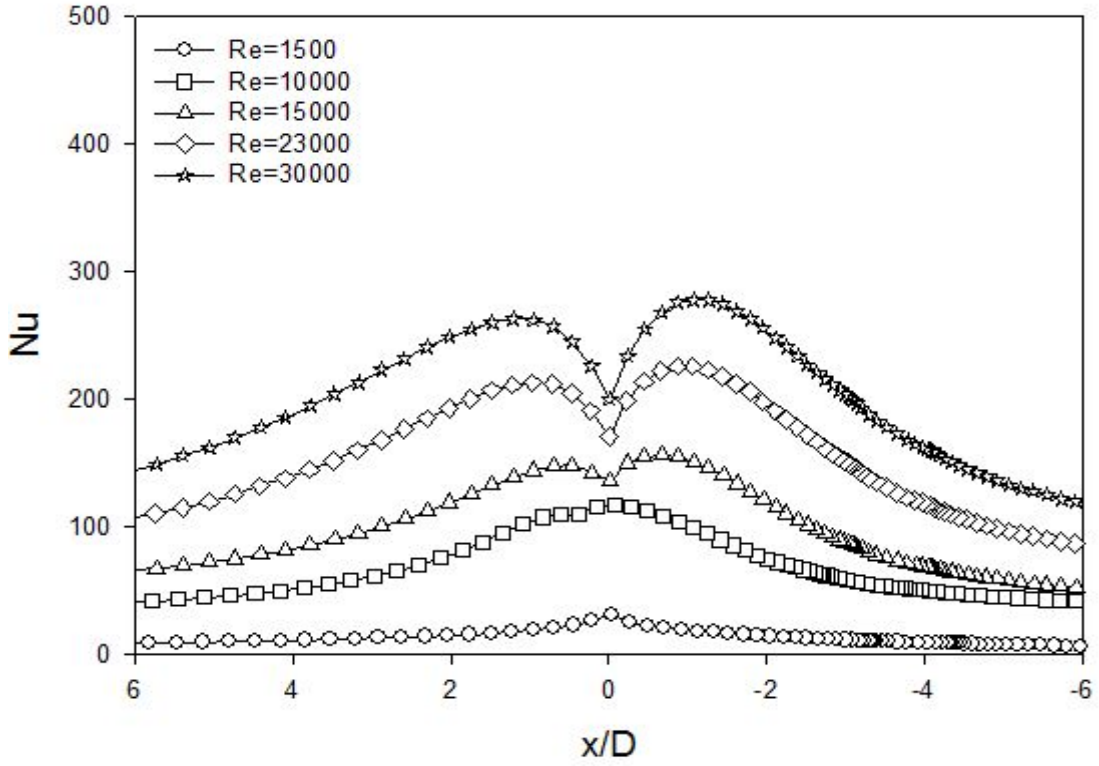
Şekil 5.7. Yüzey üzerinde Re=30000, H/D=6 durumunda 45 derecede olan jet boyunca vektörel hız dağılımı

Reynolds sayısı ve Nusselt sayısının birbiriyle ilişkide oldukların biliyoruz, bu yüzden Reynolds sayısı artması ile ısı transferinin dolayısıyla Nusselt sayısının artması beklenen

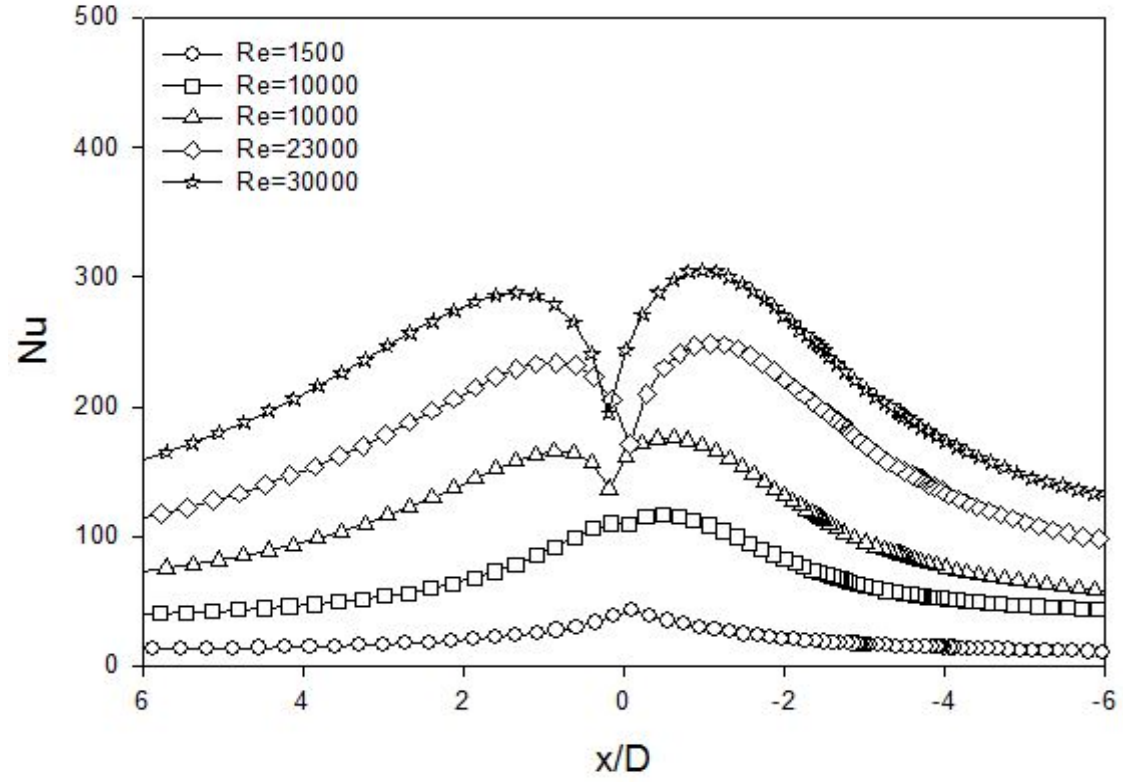
bir durumdur. Ancak farklı jet açısı için ısı transferinin Reynolds sayısı ile nasıl değiştiği önemlidir ve bu çalışmada bu etkiler irdelenmiştir.
Şekillerden tüm açılar için Reynolds sayısının artması ile yerel Nusselt sayısının plaka boyunca arttığı görülmüştür. Yüksek Reynolds sayılarında çarpma kuvveti ve dolayısıyla momentumun daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple ısı transferinde artış meydana geldiği ispatlanmıştır.

Bu çalışmada tüm jet açıları için genelde Reynolds sayısının artması ile ısı transferinin en yüksek olduğu nokta ile ısı transferinin en düşük olduğu nokta arasındaki fark arttığı görülmektedir. Gördüğümüz gibi düşük Reynolds sayıları için ısı transferi dağılımı yüksek Re sayısına göre daha üniform bir şekilde dağılımı göstermektedir. Yüksek Reynolds sayılarında meydana gelen bu yüksek farkın duvar jetlerinin şiddetli çarpışması sonucu akışın hızının ve momentumunun ani şekilde düşmesinin neden olabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Grafiklerde de gördüğümüz gibi Reynolds sayısının düşmesiyle akışkanın giriş, hızı da düşmekte ve böylece Nusselt sayısının değeri yani ısı transfer oranı azalmaktadır. Aynı zamanda Reynolds sayısının azalmasıyla yüzey sürtünme katsayısı da giderek maksimum miktara ulaşmaktadır.
Ayrıca farklı jet açıları için Reynolds sayısının etkisini daha iyi incelemek için alttaki şekillerde farklı açılar için farklı Reynolds sayısının etkileri sırf H/D=6 için sunulmuştur. Şekil 5.13'de Re > 30000 için plaka üzerinde durma noktasında maksimum ısı transferinin yakalanması görünmektedir. Bu durumda açı 90 derece olduğunda en yüksek ısı transferi görünmektedir. Plaka üzerinde Reynolds sayısı arttıkça ısı transferi artmaktadır ve bu görüldüğü gibi bütün jet açıları için geçerlidir.

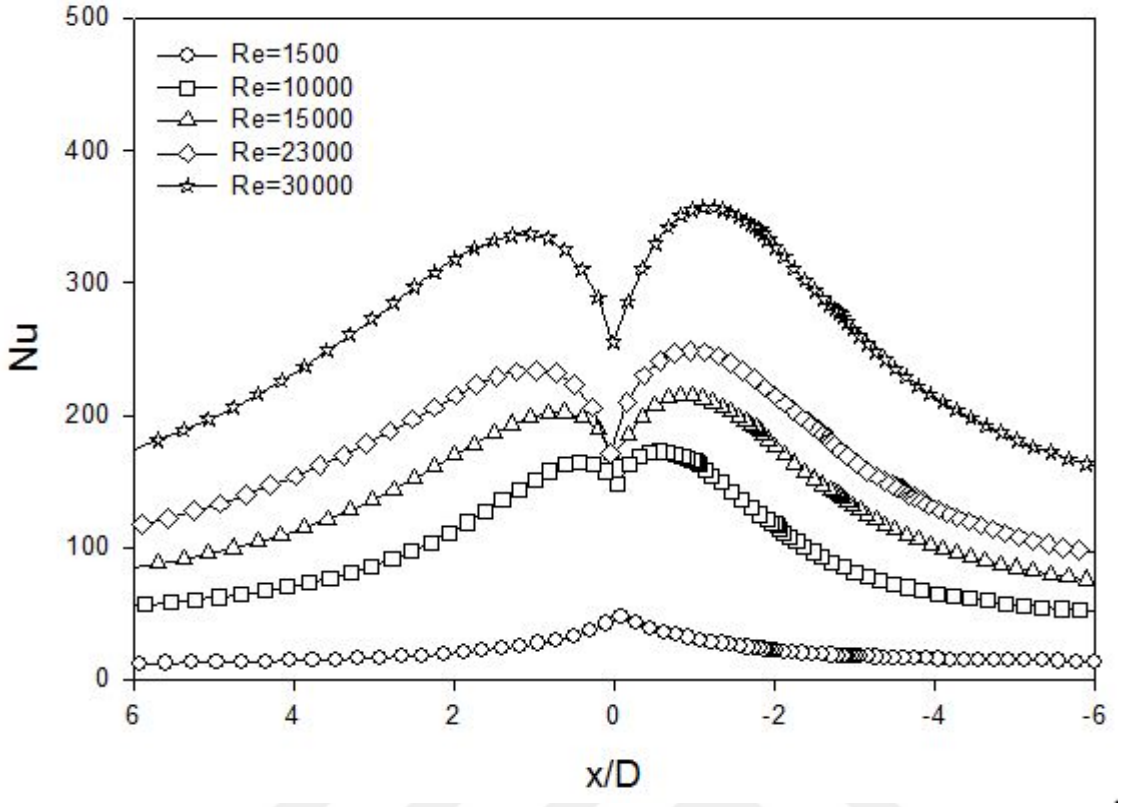
Maksimum ısı transferi durma noktasının hemen çevresinde oluşmakta olduğu gözlemlenmiştir. Çarpma noktası plaka üzerinde farklı açılara göre yeri değişip ve bu durumda ise Reynolds sayısının yükselmesiyle plaka üzerinde ısı transferi sayısı yükselmektedir.



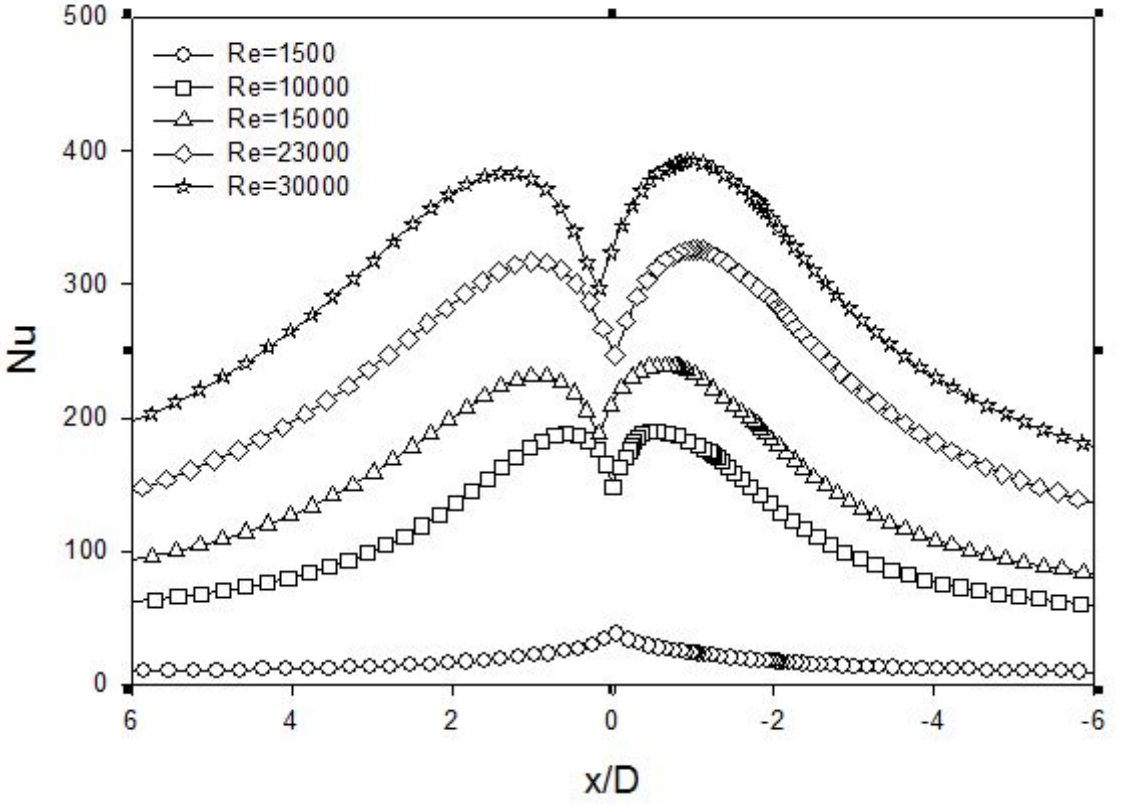
Şekil 5.8. Yüzey üzerinde H/D=6 ve α=45 derece için Re sayısının N sayısına etkileri



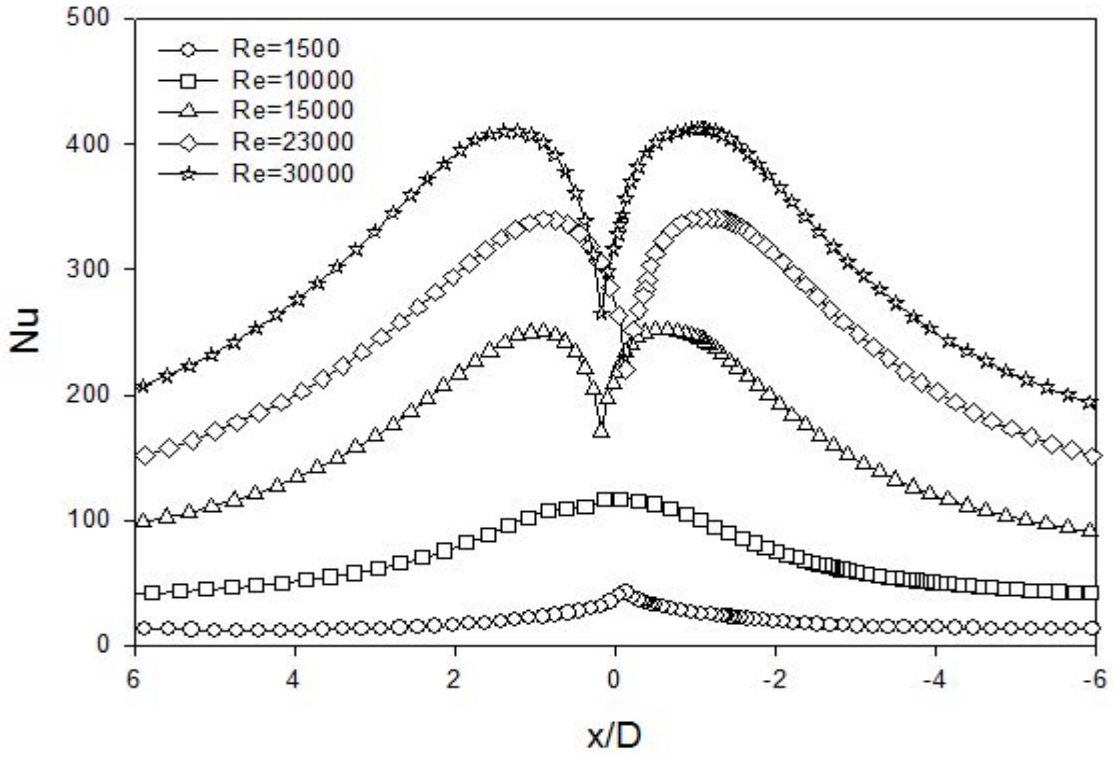
Şekil 5.9. Yüzey üzerinde H/D=6 ve α =50 derece için Re sayısının Nu sayısına etkileri



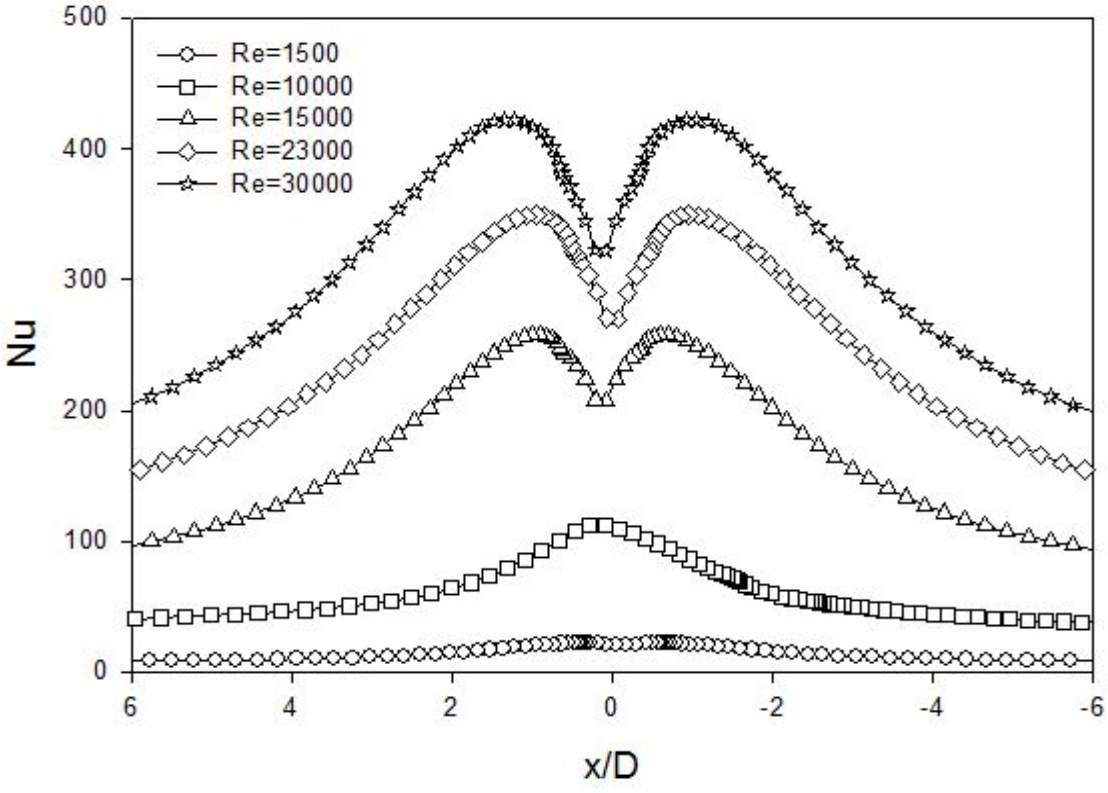
Şekil 5.10. Yüzey üzerinde H/D=6 ve α=60 derece için Re sayısının Nu sayısına etkileri



Şekil 5.11. Yüzey üzerinde H/D=6 ve α=70 derece için Re sayısının Nu sayısına etkileri



Şekil 5.12. Yüzey üzerinde H/D=6 ve α=80 derece için Re sayısının Nu sayısına etkileri



Şekil 5.13. Yüzey üzerinde H/D=6 ve α=90 derece için Re sayısının Nu sayısına etkileri

Düşük Reynolds sayılarında plaka üstündeki ısı transferinin daha homojen ve üniform bir şekilde olduğu ve açılardan daha az etkilendiği görülmektedir. Daha önce de bahsedildiği gibi tüm Reynolds sayılarında durma noktasında jet çıkış açısının etkisinden dolayı ısı transferi durma bölgesinde düşüş gösterdiği ancak durma noktasının çevresinde en yüksek seviyelere ulaştığı gözlemlenmiştir.

5.2.2. Nozul-Plaka mesafesinin ısı transferine etkileri

Çarpmalı akışkan jetlerinde ısı transferini önemli bir şekilde etkileyen parametre nozul-plaka mesafesidir. Jetlerle Wang ve Mujumdar tarafından yapılan bir başka çalışmada farklı düşük Reynolds sayılı modeller test edilmiş modellerin yüksek jet-plaka mesafelerinde daha iyi sonuçlar verdiği görünmüştür [36].

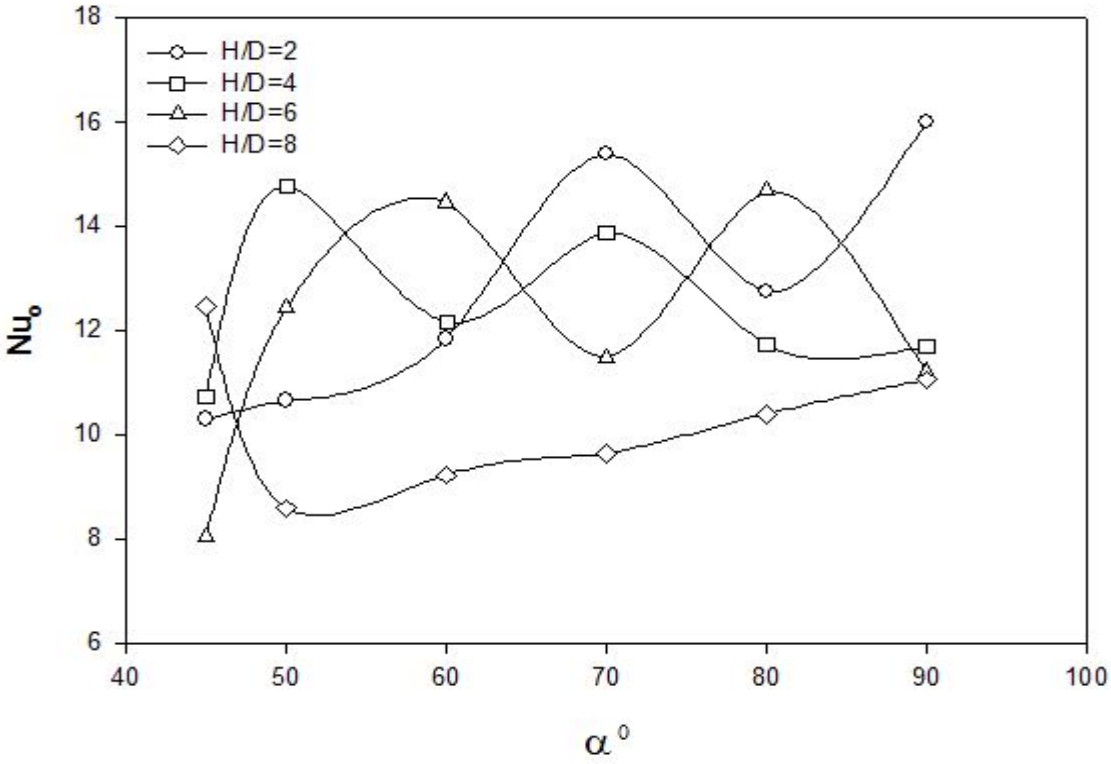
Bu bölümde nozul-plaka mesafesinin eğik jet çıkışı için yüzeylerde ısı transferine olan etkileri için ayrı ayrı olarak incelenmiştir. Öncelikle vektörel hız dağılımları sunulmuştur. Daha sonra orta sabit açılarda farklı H/D lerin etkisi ısı transferinde grafikte tek tek farklı derecede ve farklı Reynolds sayılarında sunulmuştur.

Bu kısımda ise farklı H/D lerden sadece H/D=8 düzenlemeler için elde edilen vektörel hız dağılımları sunulmuştur. Şekillerden nozul-plaka mesafesinin artması ile çarpma öncesi hızın düşük mesafelere göre daha fazla düştüğü gözlemlenmiştir. Hızın bu kadar azalmasından dolayı akışkan jet daha düşük bir momentumla yüzeye çarptığı ve duvar jetleri daha düşük bir hızla yüzey üzerinde hareket ettiği gözlemlenmiştir. Buna ilave olarak yüzeye çarptıktan sonra akış içindeki dönmelerin de azaldığı görülmüş. Bu dönel hareketlerin azalıp düşmesi sonucu dönel akışın ilave soğutma etkisinin ortadan kalktığı öngörülmüştür.

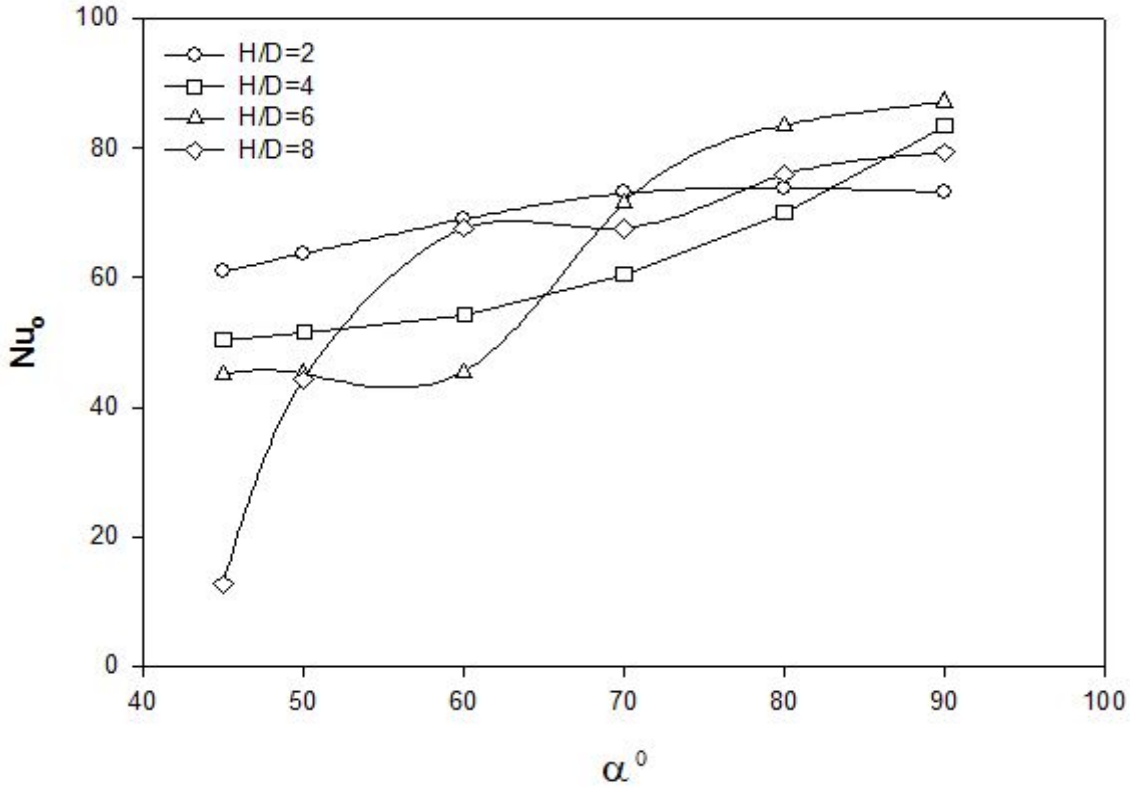
Şekil 5.14'de sırasıyla H/D=2-4-6-8 etkisin farklı jet açılarında ve farklı çalışılmış Reynolds sayıları için sırasıyla Re=1500, Re=10000, Re=15000, Re=23000, Re=30000 ısı transferine ve ortalama Nusselt sayısına olan etkileri incelenmiştir. Grafikleri incelediğimizde görüyoruz ki H/D oranı yükseldikçe ısı transferi miktarı düşmektedir.

Şekil 5.14'de Re=1500 'de grafikler düzensizlik göstermektedir bunun asıl sebebi ise hızın düşük olan durumlarda doğal konveksiyon ve yer çekimi ortaya gelip ve etkisi daha fazla

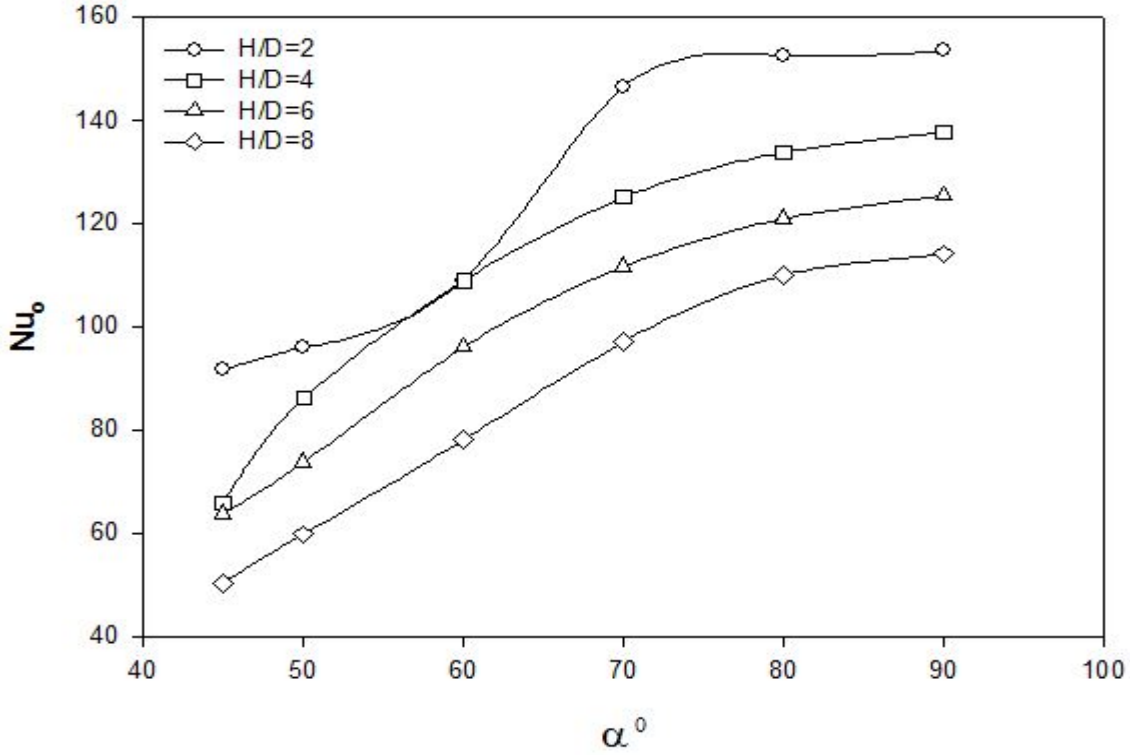
görünmektedir, bu durumda hızın düşük olduğundan dolay zorlanmış taşınım etkisi azalıp ve doğal konveksiyon ortaya geliyor, özellikle nozul-plaka mesafesi çok oldukça bu etki daha iyi görünmektedir. Başka bir sebep ise türbülans modelin yetersizliği olabilir düşük hız durumları için, Re=10000 'de jet akışkan hızı yükseldikçe yer çekimi etkisi daha azalmaktadır ve bu Reynolds sayısı şekillerde daha iyi bir şekilde görünmektedir.



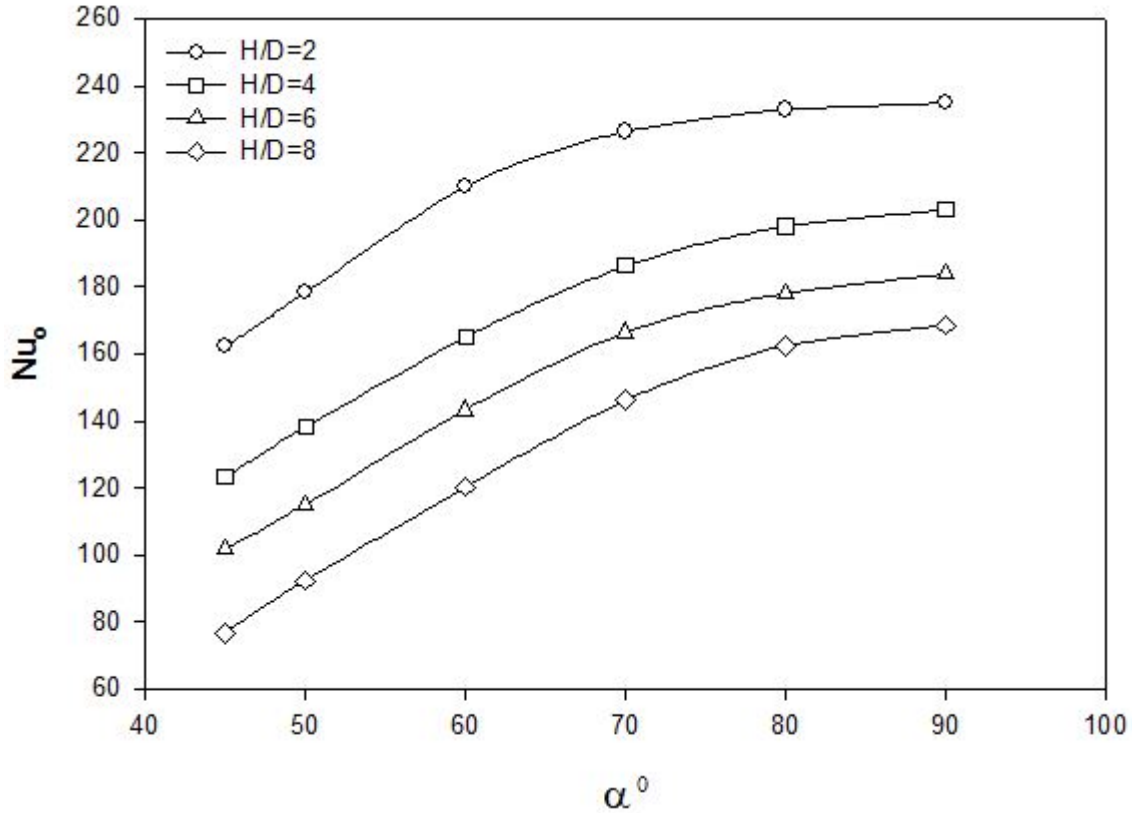
Şekil 5.14. Yüzey üzerinde Re=1500 olduğunda farklı jet açılarında Nozul-plaka mesafesinin Nu_o sayısına etkisi



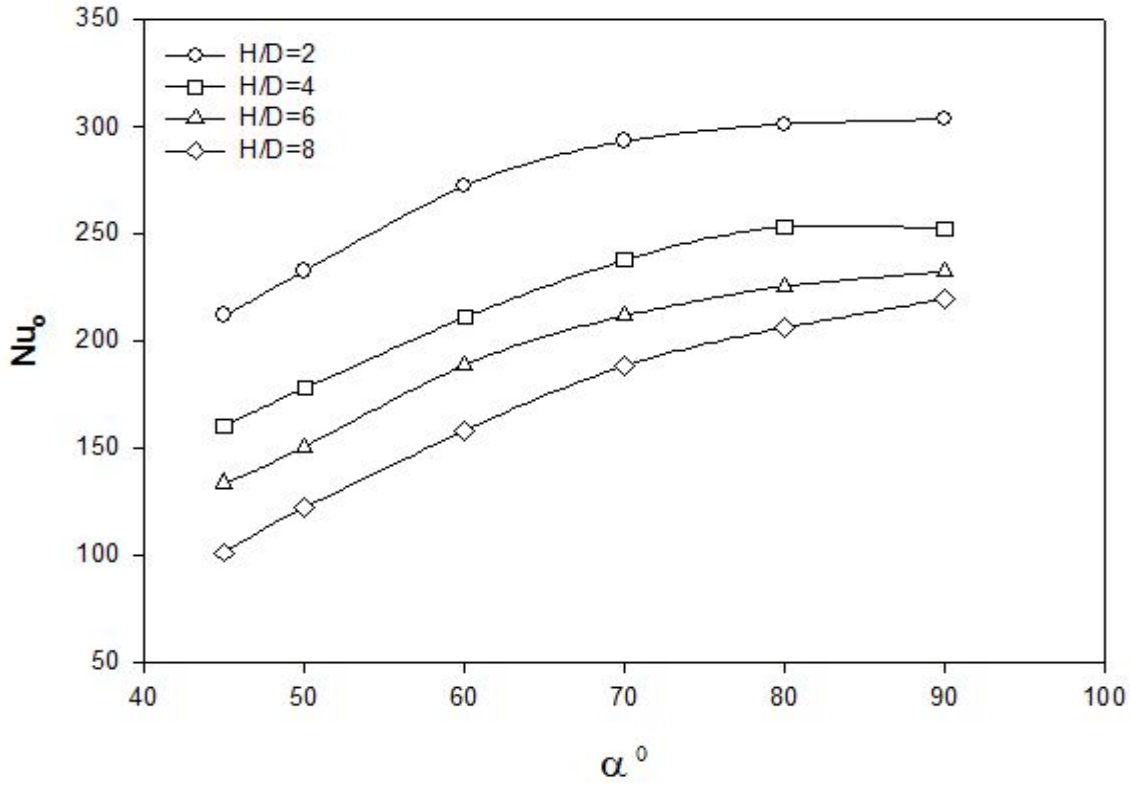
Şekil 5.15. Yüzey üzerinde Re=10000 olduğunda farklı jet açılarında Nozul-plaka mesafesinin Nu_o sayısına etkisi



Şekil 5.16. Yüzey üzerinde Re=15000 olduğunda farklı jet açılarında Nozul-plaka mesafesinin Nu_o sayısına etkisi



Şekil 5.17. Yüzey üzerinde Re=23000 olduğunda farklı jet açılarında Nozul-plaka mesafesinin Nu_o sayısına etkisi



Şekil 5.18. Yüzey üzerinde Re=30000 olduğunda farklı jet açılarında Nozul-plaka mesafesinin Nu_o sayısına etkisi

Nozul-plaka mesafesinin ısı transferine etkilerini daha iyi gösterip ve sunmak için farklı H/D ‘ler için, farklı Reynolds sayılarında ve farklı jet açılarında ortalama Nusselt sayısına etkisini çizelge (5.2, 5.3, 5.4, 5.5)’de görünmektedir. Burada ise daha öncedeki şekiller dede gördüğümüz gibi ne kadar nozul-plaka mesafesi çoğaldıkça Nusselt sayısı yükselmektedir.

Literatürde yapılmış jet akışkan jetler çalışmalarında nozul-plaka mesafesi arttıkça ısı transferinin genelde azaldığı görülmüştür [37, 38]. Ve H/D ise jet veya plaka açılı durumda olduğunda meydana gelen maksimum ısı transferini etkilemektedir [11].

Ayrıca açının ve H/D nin ayni zamanda ortalama Nusselt sayıları için etkilerin incelemek için farklı H/D ‘ler için 4 farklı çizelgede aşağıda sunulmuştur. Bu çizelgelerde farklı Re sayılarında ve H/D ler de jetin açısının ortalama Nusselt sayısının nasıl değişimini iyi bir şekilde gostermektedir ve kıyaslamak kolaylıkla mümkündür.

Çizelge 5.2. H/D=2 için jetin farklı Re ve α ° lerde etkisi

Re	H/D	Açı	Ortalama Nu
1500	2	45	10.3000
		50	10.6600
		60	11.8400
		70	15.4000
		80	12.7400
		90	16.0000
10000	2	45	60.9200
		50	63.7500
		60	69.0900
		70	73.0880
		80	73.9200
		90	73.2800
15000	2	45	91.7200
		50	96.0400
		60	109.0800
		70	146.5800
		80	152.4900
		90	153.4600
23000	2	45	162.4600
		50	178.4100
		60	209.8600
		70	226.3500
		80	232.9300
		90	234.9700
30000	2	45	212.0100
		50	232.6100
		60	272.2000
		70	293.2900
		80	301.3000
		90	303.6300

Çizelge 5.3. H/D=4 için jetin farklı Re ve α ° lerde etkisi

Re	H/D	Açı	Ortalama Nu
1500	4	45	10.7200
		50	14.7800
		60	12.1500
		70	13.8900
		80	11.7200
		90	11.6900
10000	4	45	50.4500
		50	51.6400
		60	54.2800
		70	60.5300
		80	70.0600
		90	83.5000
15000	4	45	65.7800
		50	86.1600
		60	108.9500
		70	125.1500
		80	133.8800
		90	137.7500
23000	4	45	123.2200
		50	138.2000
		60	164.9800
		70	186.3200
		80	198.1700
		90	203.0500
30000	4	45	160.2900
		50	177.9300
		60	210.9400
		70	238.0200
		80	253.4000
		90	253.5300

Çizelge 5.4. H/D=6 için jetin farklı Re ve α ° lerde etkisi

Re	H/D	Açı	Ortalama Nu
1500	6	45	8.0400
		50	12.4300
		60	14.4600
		70	11.4900
		80	14.6800
		90	11.2100
10000	6	45	45.1000
		50	45.0200
		60	50.0000
		70	71.6400
		80	83.5700
		90	87.1900
15000	6	45	63.8500
		50	73.8300
		60	96.0900
		70	111.7000
		80	121.0400
		90	125.4800
23000	6	45	101.8900
		50	115.0900
		60	143.2100
		70	166.5000
		80	178.1800
		90	183.9600
30000	6	45	133.8000
		50	150.6200
		60	188.7700
		70	211.7500
		80	225.6500
		90	232.4800

Çizelge 5.5. H/D=8 için jetin farklı Re ve α ° lerde etkisi

Re	H/D	Açı	Ortalama Nu
1500	8	45	6.0000
		50	8.5900
		60	9.2298
		70	9.6400
		80	10.4000
		90	11.0600
10000	8	45	12.6600
		50	44.2800
		60	67.7100
		70	67.9000
		80	76.0000
		90	79.3600
15000	8	45	50.4300
		50	59.8700
		60	78.1200
		70	97.2300
		80	111.0700
		90	114.1400
23000	8	45	76.8200
		50	92.4200
		60	120.3900
		70	146.1900
		80	162.4800
		90	168.6300
30000	8	45	101.3100
		50	122.2100
		60	158.0900
		70	188.5800
		80	206.1900
		90	219.7800

5.2.3. Nozul açısının değişiminin ısı transferine etkileri

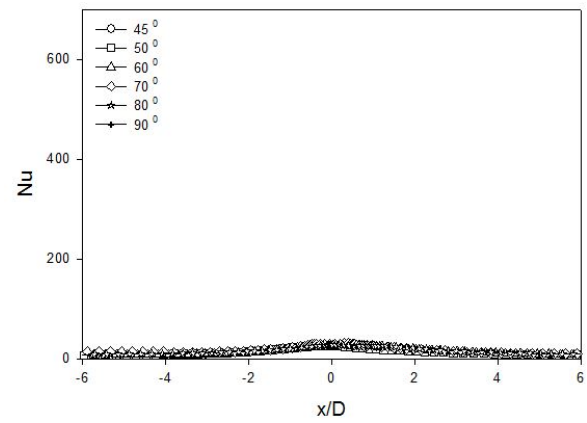
Çalışma sırasında incelenen en önemli parametrelerden bir tanesi de akışkan jetin açısının ısı transferine olan etkileridir. Bu bölümde sayısal çalışmada, farklı jet çıkış açısı için elde edilmiş olan sonuçlar tüm durumlar için ayrı ayrı olarak sunulmuş ve jet çıkış açısının ısı transferine olan etkileri irdelenmiştir.

Bu bölümde jet açısı 45 dereceden başlayıp yükselince yüzeyin üzerinde çarpma noktası değişip ve ayrıca ısı transfer etkisi çoğalıp ve açıkçası Nu sayısı miktarı yükselmektedir. Daha iyi yorum yapmak için bütün Re sayılarında ve H/D 'lerde birer birer çalışmalar yapılmış ve hepsi sunulmuştur.

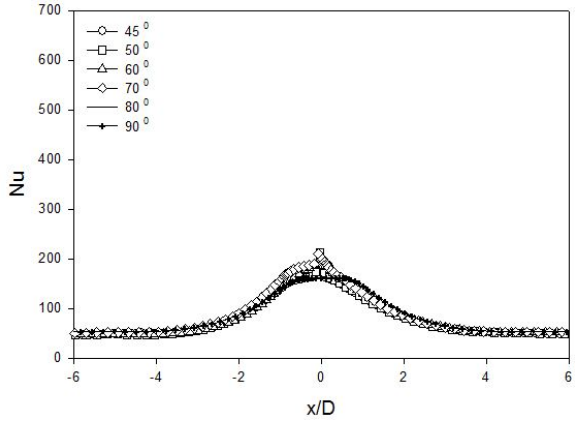
Şekil 5.18'de Re=30000 ve H/D=8 durumu için jet açısı (45-50-60-70-80-90) olduğunda ısı transferine etkileri gösterilmiştir. Durma noktasındaki en yüksek Nusselt sayısı 90 dereceye ait olduğu görülmektedir. Ayrıca en düşük ısı transferi ise 45 derece açı için görülmektedir. Burada akışkan jetlerin açılı olduğunun ısı transferine etkisini daha iyi bir şekilde tespit edilmiştir.

Diğer şekiller dede baktığımızda hepsinde hemen hemen yukarıda bahsedilen etkini görüyoruz fakat en düşük Reynolds sayısı için hızın çok düşük olduğu sebebiyle bu sefer yer çekiminin etkisi araya gelip ve etkisi şekil 5.15'de görünmektedir, burada Reynolds sayısının miktarı 1500 ve H/D=2 olduğunda irdelenmiştir ve ısı transferinin plaka boyunca neredeyse aynı veya yakın miktarlarda kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumda ne kadar jet-plaka mesafesi çoğaldıkça okadar yer çekiminin etkisini daha iyi anlaşılıyor, Şekil 5.18'de H/D=8 VE Re=1500 baktığımızda Reynolds sayısı ayni olup fakat nozul-plaka arasındaki mesafe yükselmiş, burada Nusselt sayılarının farklı açılarda büyük miktarda aralarında fark olması görülmektedir. Bunun sebebi ise nozul-plaka mesafesi ne kadar çok olursa düşük jet hızlarında okadır yer çekiminin etkisi büyük orandadır.

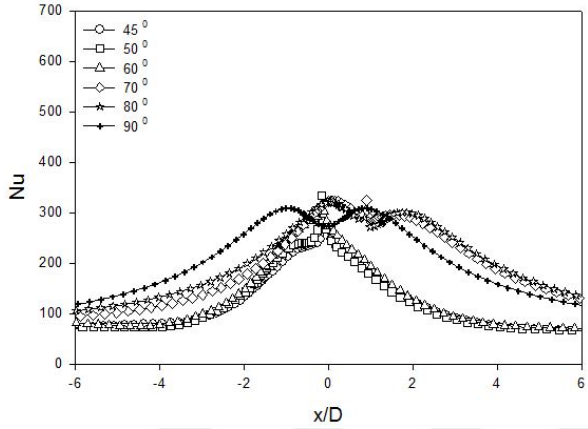
Şekil 5.15'de H/D=2 Re=30000'da incelendiğimizde görüyoruz ki akışkan jet açısının azalması ile hız durgunluk noktası yokuş yukarı yöne kaymıştır olduğunu kanıtlamaktadır. Ayrıca yüzey ısı transferi yukarı yönde daha hızlı bir şekilde ve yokuş alta doğru yönde daha yavaş bir şekilde azalmaktadır. Burada jetin ne kadar açısı düşük oldukça bu etki daha iyi bir şekilde görünmektedir [6]. Burada 45 ve 80 derece için sıcaklık dağılımı gösterilmiştir. Diğer şekillerde ise ;



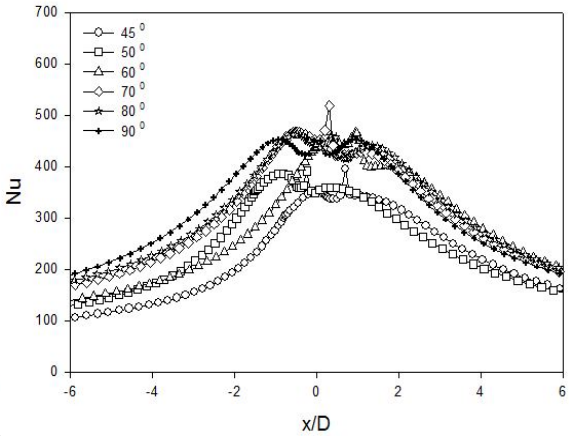
(a) Re=1500



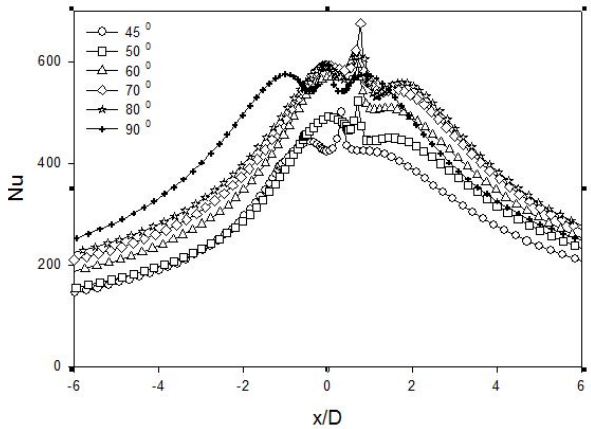
(b) Re=10000



(c) Re=15000

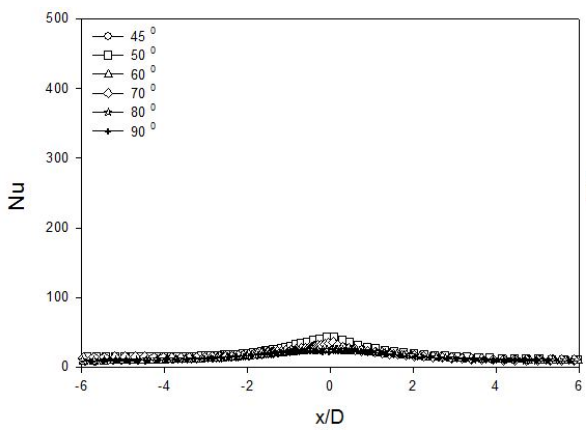


(d) Re=23000

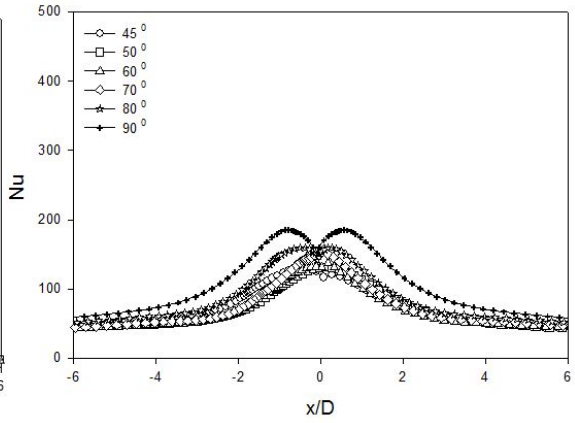


(e) Re=30000

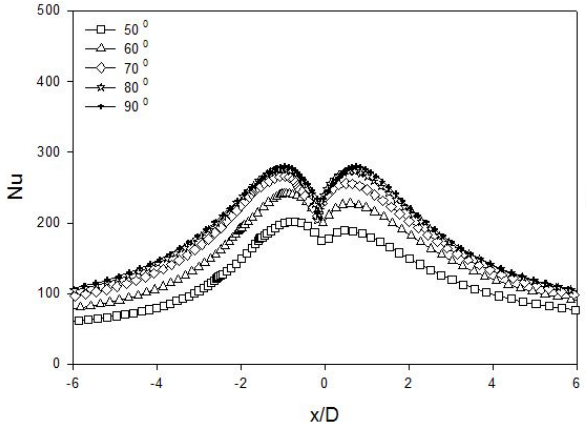
Şekil 5.19. H/D=2 olduğunda farklı Re ve nozul açılarının ısı transferine etkisi



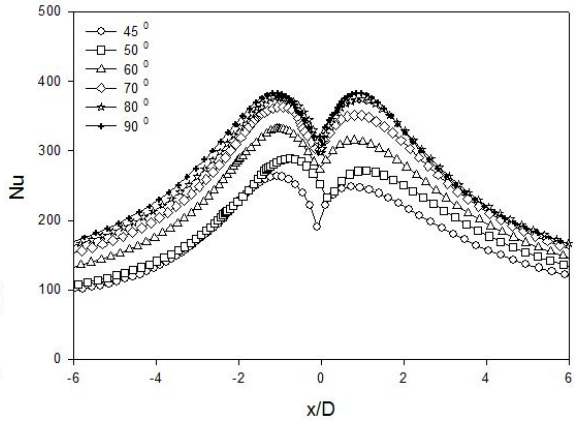
(a) Re=1500



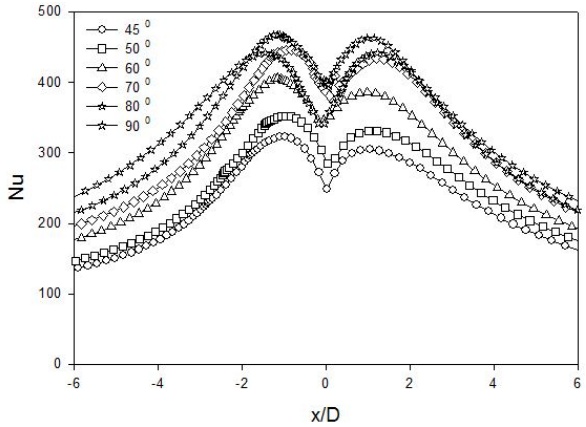
(b) Re=10000



(c) Re=15000

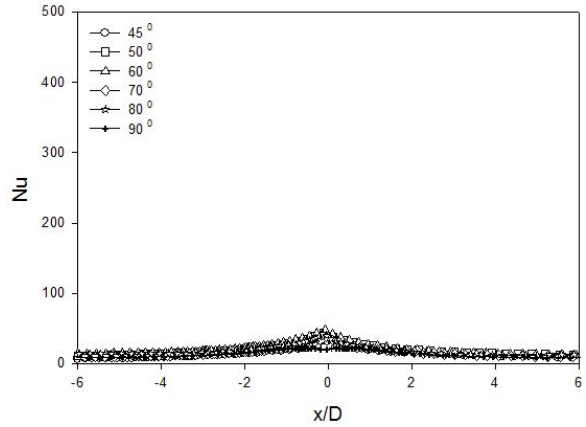


(d) Re=23000

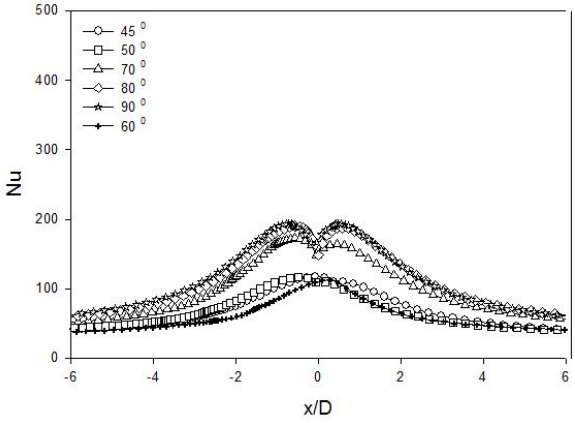


(e) Re=30000

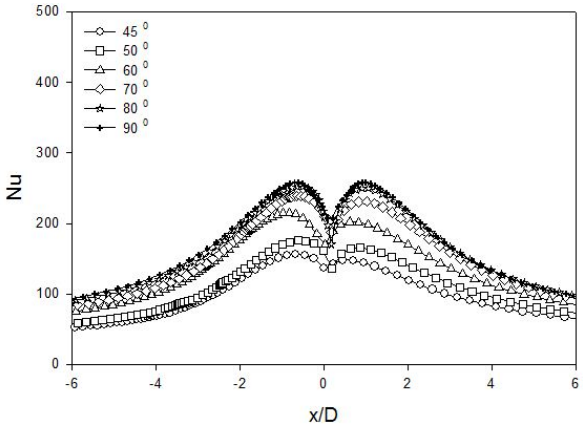
Şekil 5.20. H/D=4 olduğunda farklı Re ve nozul açılarının ısı transferine etkisi



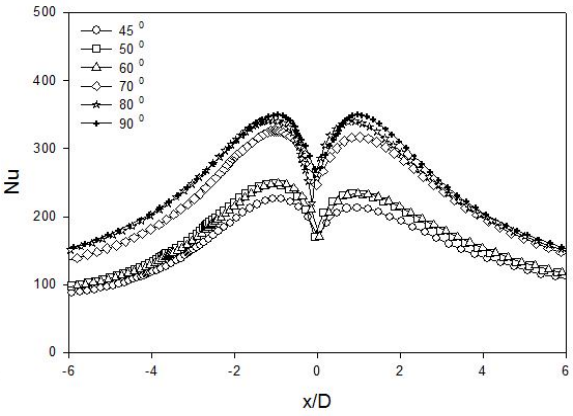
(a) Re=1500



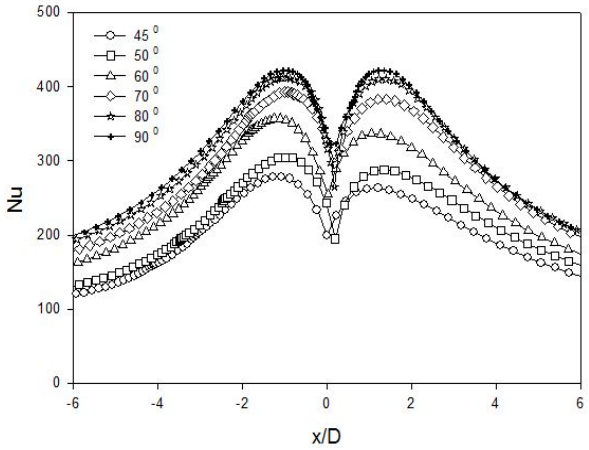
(b) Re=10000



(c) Re=15000

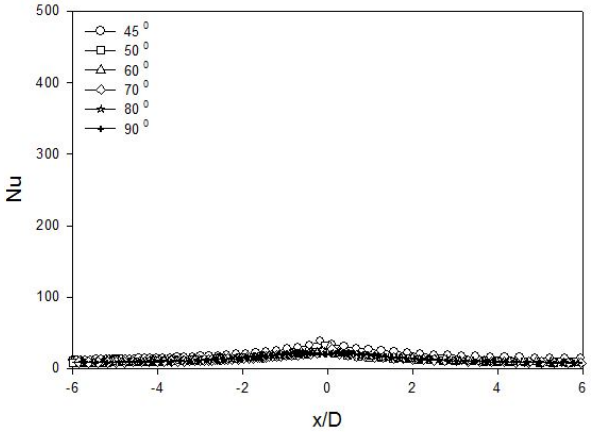


(d) Re=23000

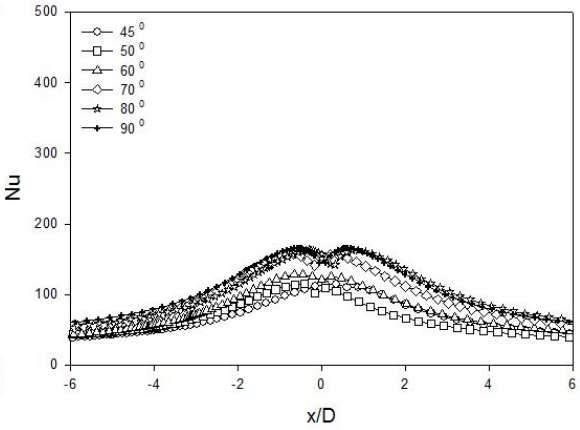


(e) Re=30000

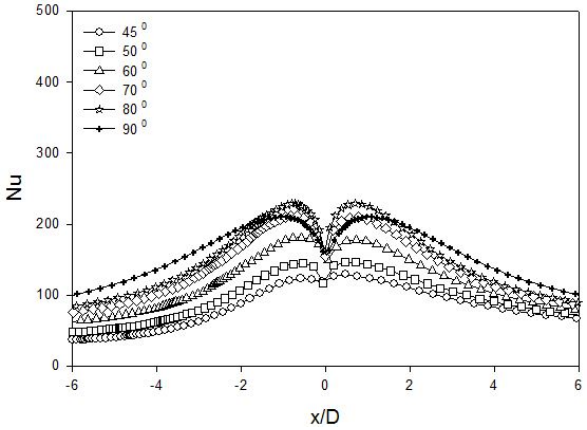
Şekil 5.21. H/D=6 olduğunda farklı Re ve nozul açılarının ısı transferine etkisi



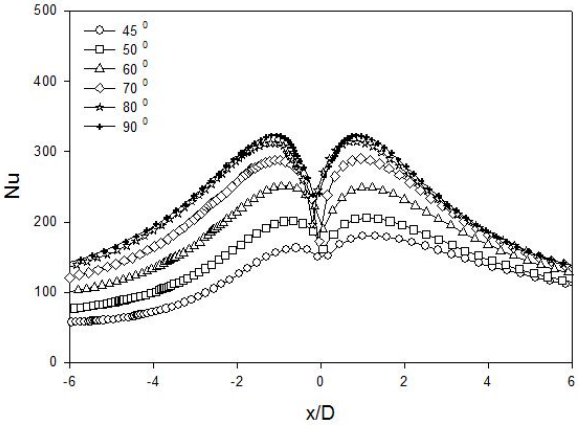
(a) Re=1500



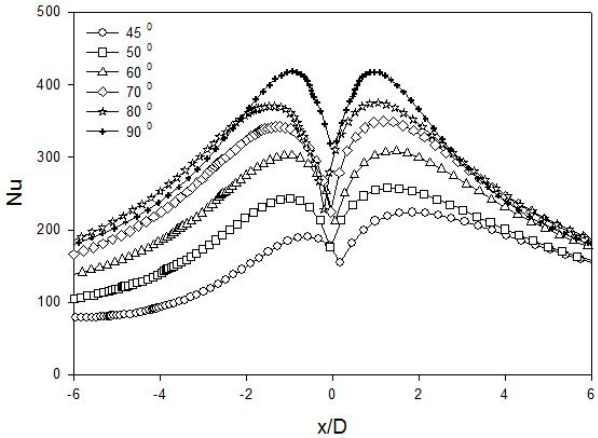
(b) Re=10000



(c) Re=15000



(d) Re=23000



(e) Re=30000

Şekil 5.22. H/D=8 olduğunda farklı Re ve nozul açılarının ısı transferine etkisi

Açılı olan durumlarda plaka üzerindeki durma noktası (stagnation point) plakanın tam ortasında değil ve açıya göre bu nokta plaka üzerindeki x/D'de sağ tarafa kaymaktadır, mevcut grafiklerde farklı açıların etkisin daha iyi bir şekilde analiz ede bilmek için bütün açıların durma noktaları sıfıra kaydırılmıştır. Farklı açıların durma noktasının değişik noktalarda plaka üzerinde kaydırılmadan önceki halin ve kaydırılmış halinin arasındaki farkı göre bilmek amacıyla H/D=8'de Re=23000 ve Re=30000 sayıları için sunulmuştur.

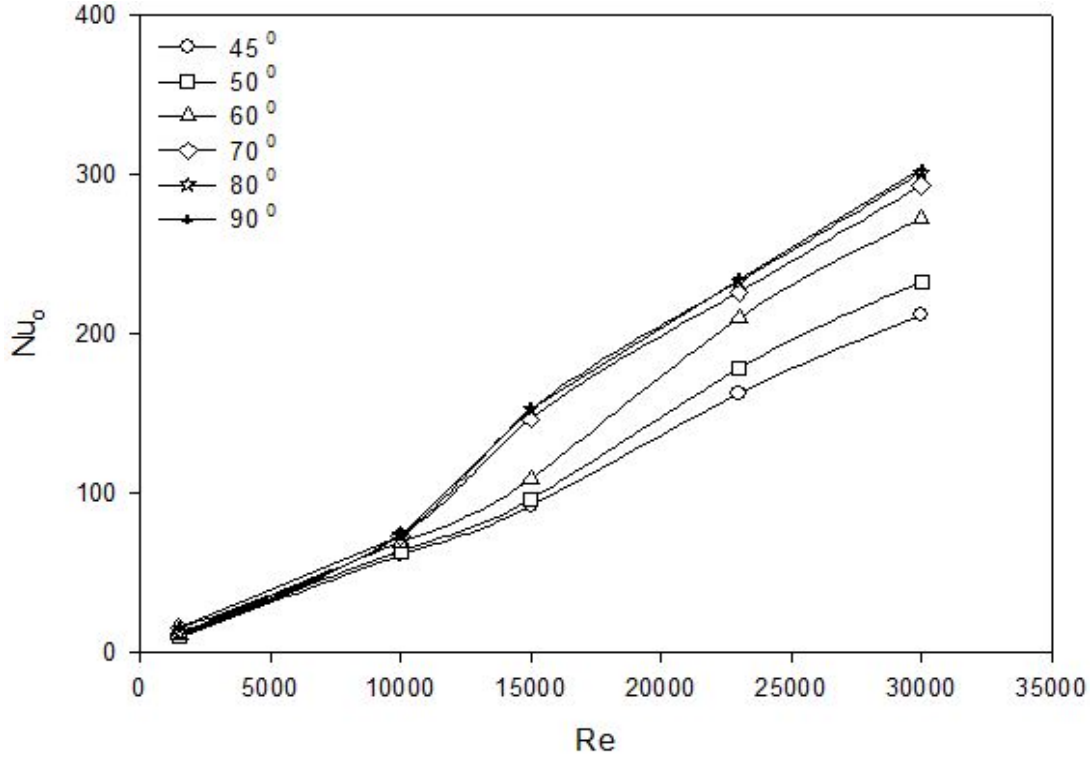
5.2.4. Nozul açısının değişiminin ortalama Nusselt sayısına etkileri

Bu bölümde akışkan jetin açısının değişiminin etkisi ortalama Nusselt sayısının üzerinde olan etkileri sunulmuştur. Burada farklı Reynolds sayılarının üzerinde jetin farklı açıların kullanarak, bu açının etkisini ortalama Nusselt sayısının üzerinde daha iyi bir şekilde irdelenmiştir. Burada dört farklı H/D' ler için bahsettiğimiz grafikler sunulmuştur.

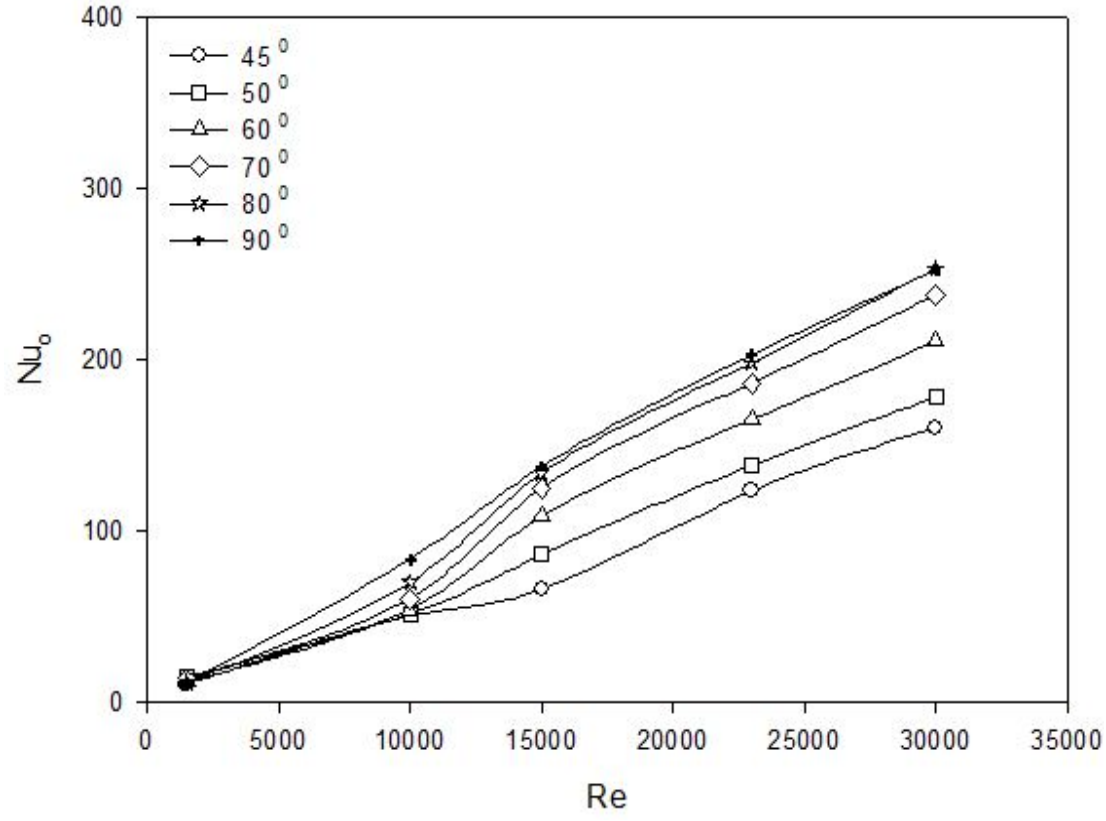
Şekil 5.19'da Reynolds sayısının artışı jet açışının artışına etkisi Re=1500 ve Re=10000 aralığında çök azdır ve farklı jet eğikliğinde bahsettiğimiz Reynolds aralığında çok yakın miktardır, bu durum şekil 5.20'de H/D=4 olduğunda da görünmektedir ama nozul-plaka mesafesi arttıkça bu Reynolds aralıklarında jet açıların etkisi daha çoktur ve bahsettiğimiz durum görünmemektedir ve ortalama Nusselt sayıları daha düzensiz bir şekildedir. Her dört şekilde de Reynolds sayısı yükseldikçe jet açışının etkisi ortalama Nusselt sayısının üzerinde daha iyi bir şekilde görünmektedir.

Her dört şekilde ise açının artmasıyla ortalama Nusselt sayısının artışı görünmektedir. En düşük Nusselt ortalama değişimi jetin 45 derece olduğuna aittir ve en yüksek ortalama Nusselt sayısı ise jetin 90 derecede olduğu duruma aittir. Ortalama Nusselt sayısı için jetin açısı 80 ve 90 derece olduğunda sonuçlar çok bir birine yakındır ve bu sonuç her dört şekilde görünmektedir. Ayrıca açı sıralamasında en büyük farklar 60 derece ve 70 derece arasında görülmektedir, diğerlerinde ise her açının bir sonraki açıyla mantıklı bir şekilde ortalama Nusselt sayısı farkı var, bunun nedeni ise türbülans modelinin bu açılar aralığında yetersizliğinden ola bilmesi sunulmuştur.

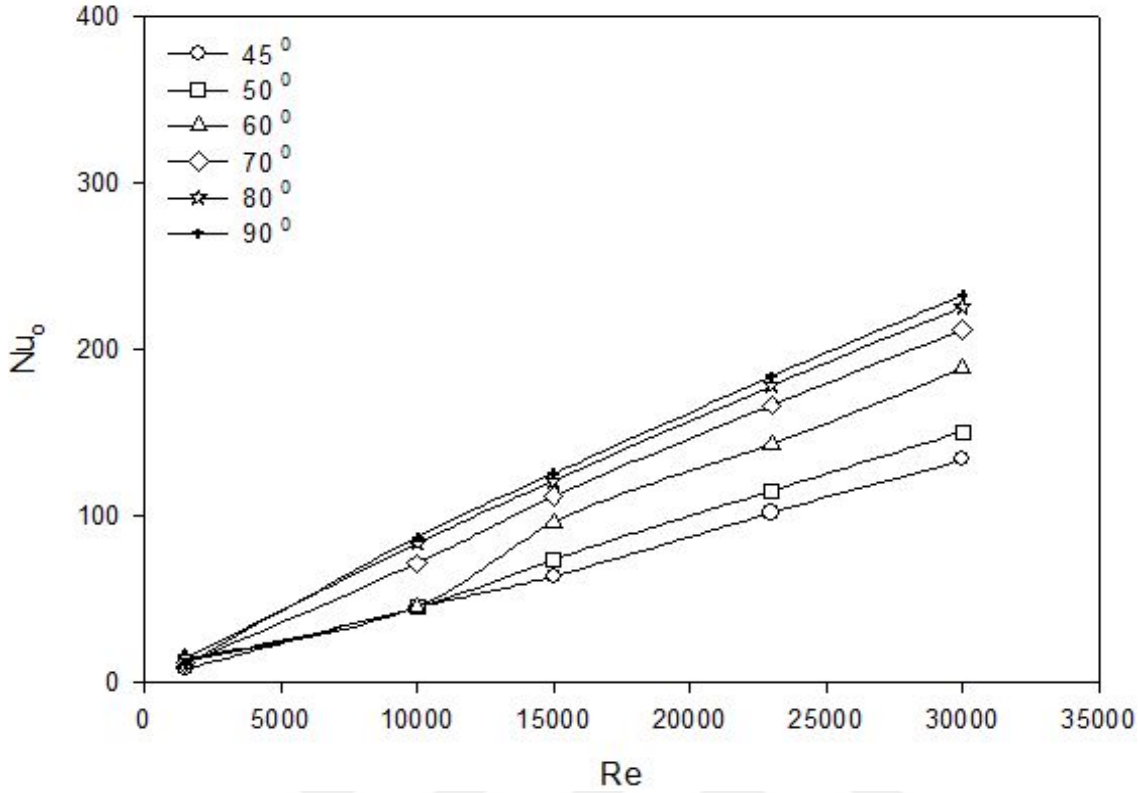
Devamında her dört şekil sırayla sunulmuştur. Bütün şekillerde görülmektedir ki bütün açılar için en düşük ortalama Nusselt sayısı Re=1500 aittir ve en yüksek ortalama Nusselt sayısı ise Re=30000 aittir.



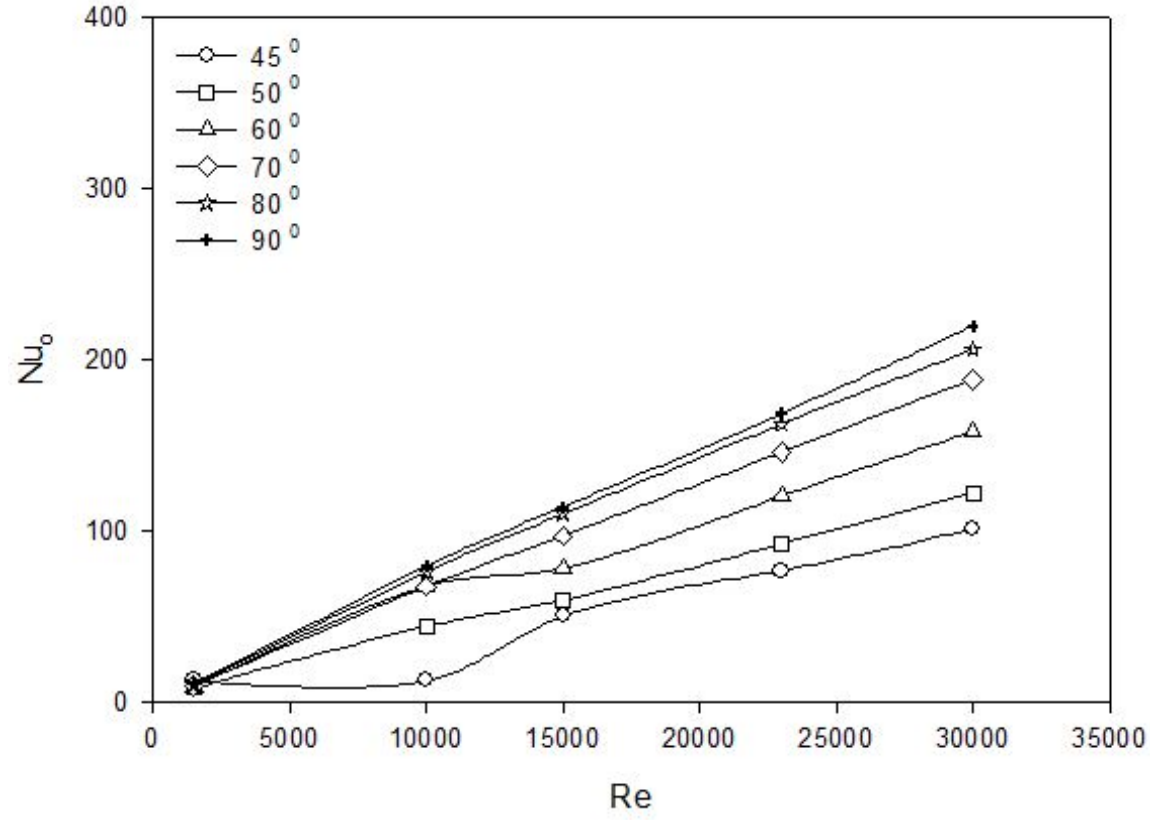
Şekil 5.23. Yüzey üzerinde H/D=2 olduğunda farklı Re sayılarında Nu_o sayısına etkisi



Şekil 5.24. Yüzey üzerinde H/D=4 olduğunda farklı Re sayılarında Nu_o sayısına etkisi



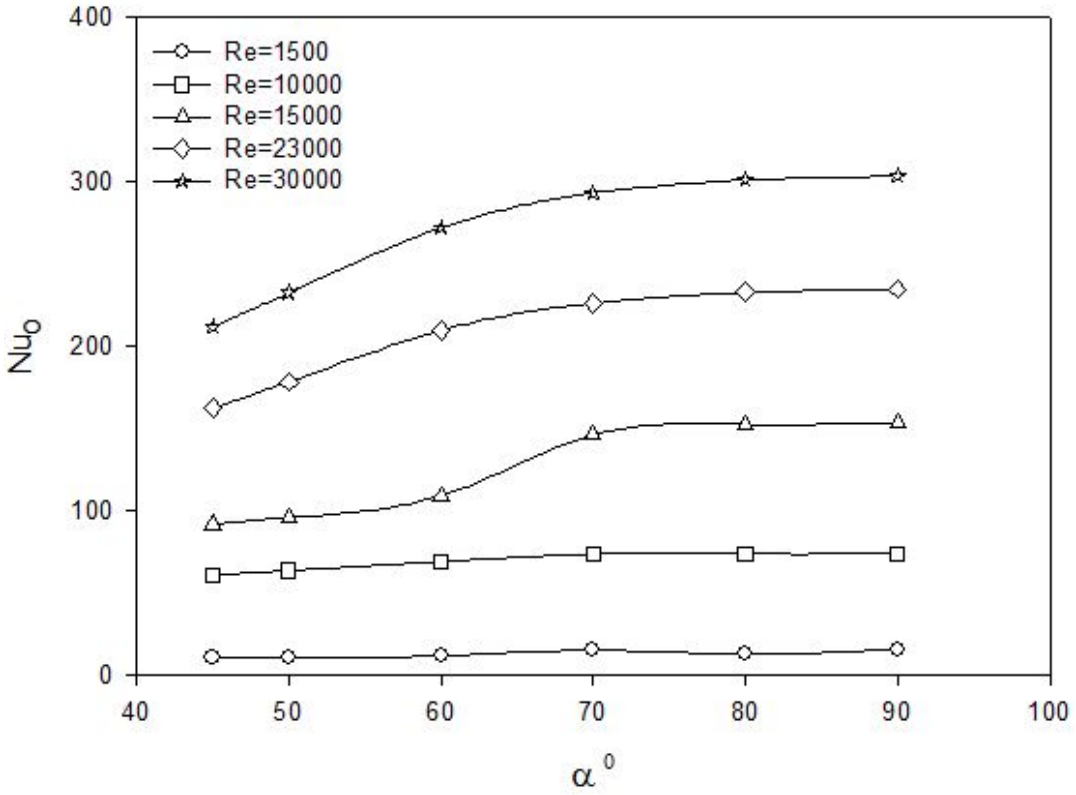
Şekil 5.25. Yüzey üzerinde H/D=6 olduğunda farklı Re sayılarında Nu_o sayısına etkisi



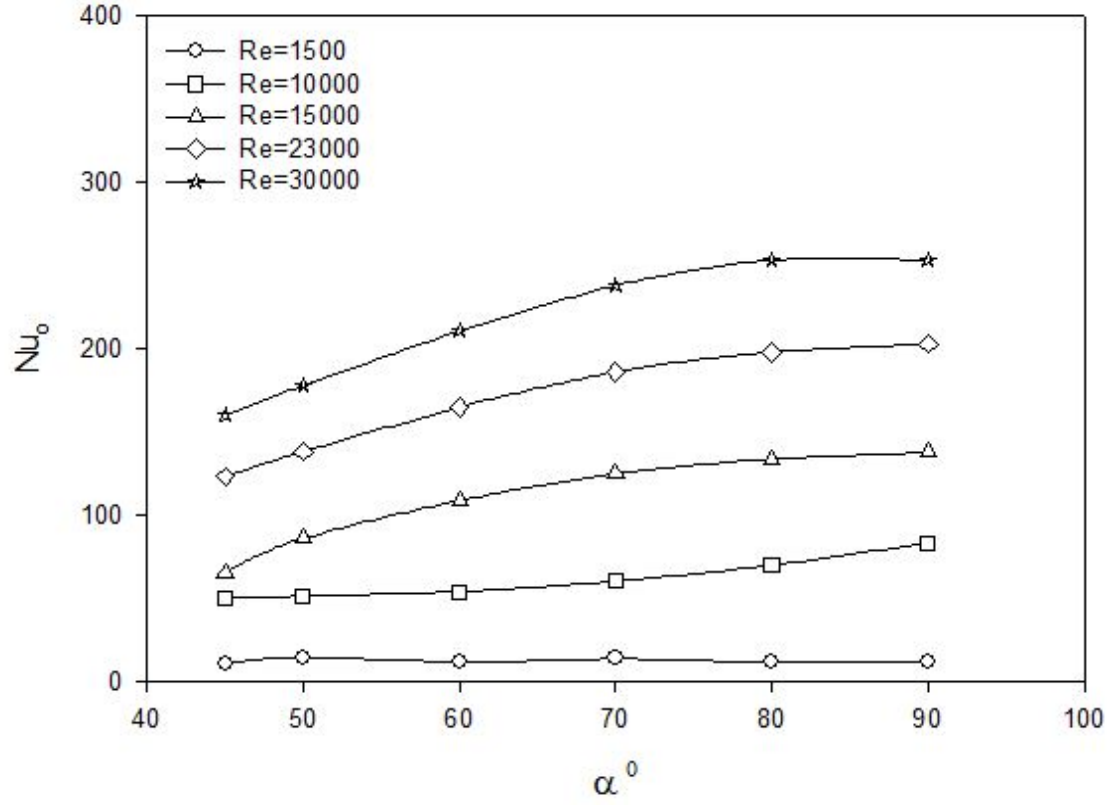
Şekil 5.26. Yüzey üzerinde H/D=8 olduğunda farklı Re sayılarında Nu_o sayısına etkisi

5.2.5. Farklı açılarda Reynolds sayısı değişiminin ortalama Nusselt sayısına etkileri

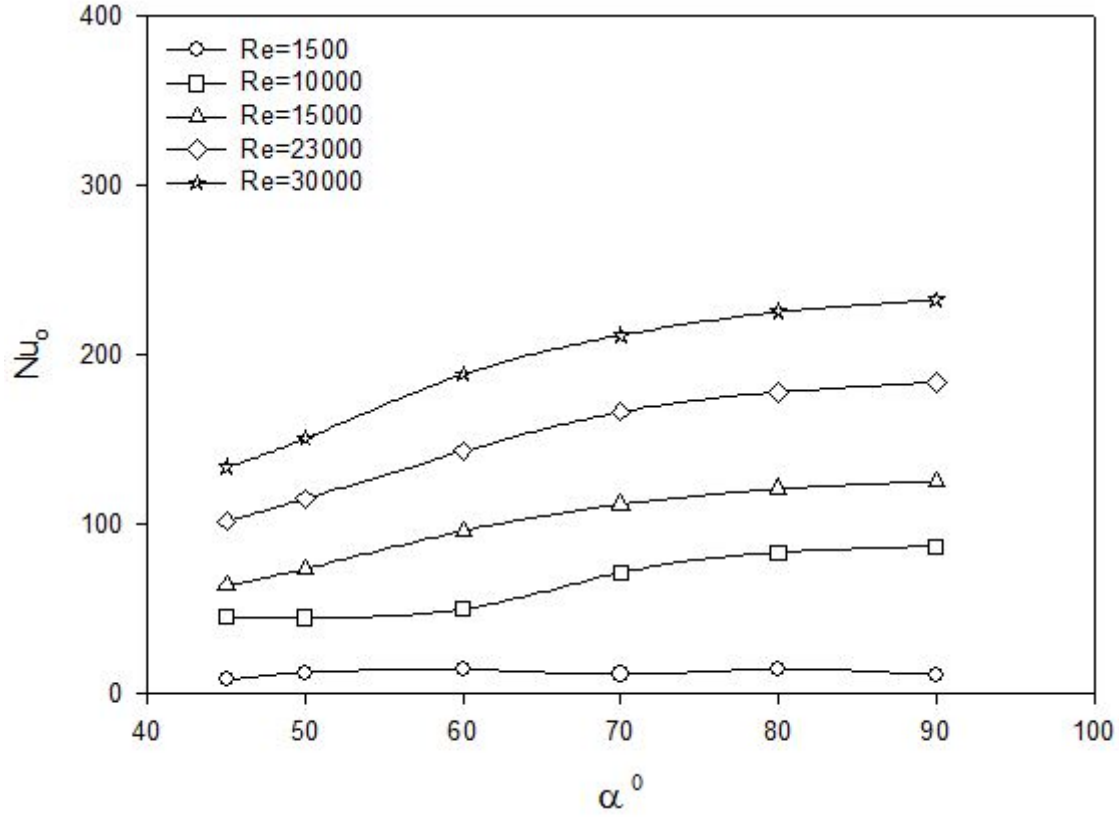
Farklı Reynolds sayıları için akışkan jetin çıkış açısının ortalama Nusselt sayısına etkisini daha iyi görebilmek için dört farklı H/D için sırasıyla şekil (5.23, 5.24, 5.26, 5.27)'da sunulmaktadır. Burada Re=1500-10000-15000-23000-30000 için bu incelemeler yapılmıştır. Bu dört şekilde en düşük ortalama Nusselt değişimleri en düşük hıza yani Re=1500 e ait olduğu görünmektedir, yani Reynold sayısı sırayla yükseldikçe ortalama Nusselt sayısı yükselmektedir. Ayrıca bu etkiyi iyi bir şekilde jet açıları içinde görülmektedir. Burada jet eğim açısı azaldıkça maksimum ve ortalama Nusselt sayısı azalmaktadır. Nozel-plaka mesafesi arttıkça ortalama Nusselt sayısı ise daha öncede bahsettiğimiz gibi düşüşü mantıklı bir şekilde görünmektedir. Burada jet hızı yükseldikçe zorlanmış taşınımın etkisi çoğalıp ve doğal konveksiyonun ve yer çekiminin etkisi azalmaktadır. Re=30000 en yüksek hız olduğundan her dört grafikte de en yüksek ısı transferine sahiptir.



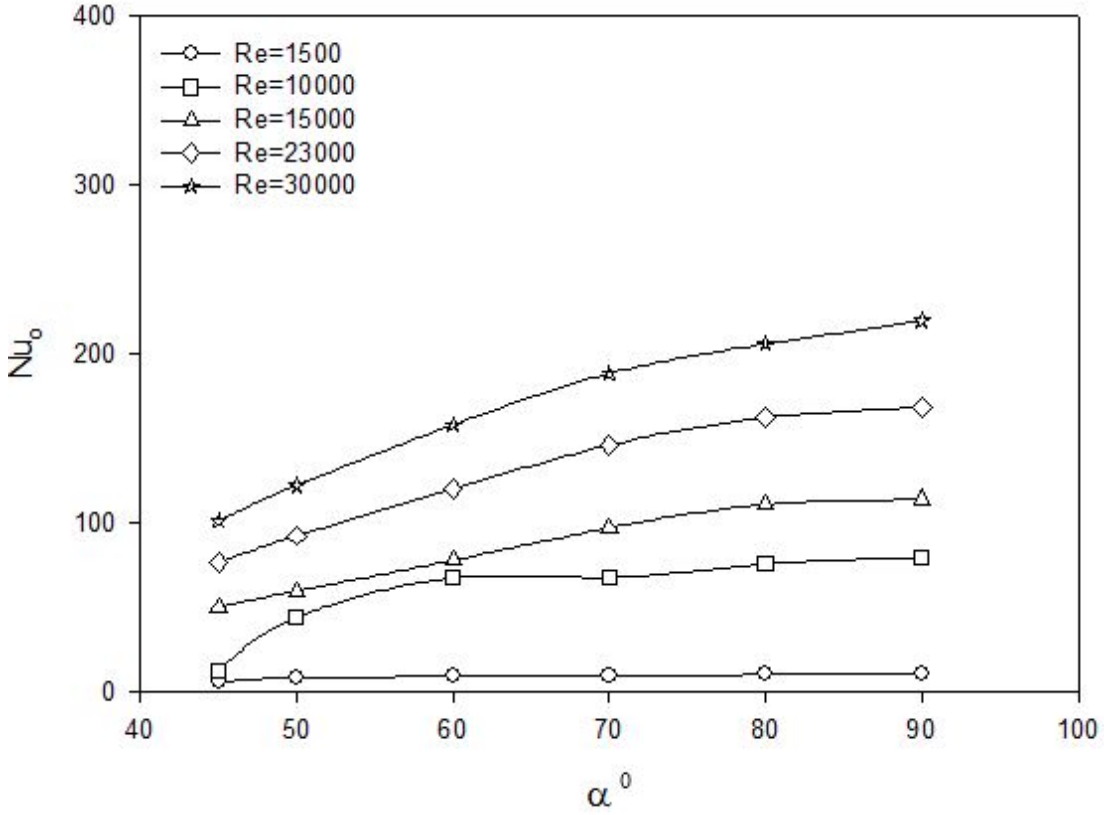
Şekil 5.27. H/D=2 'de farklı Re Olduğunda farklı nozul açılarında Nu sayısına etkisi



Şekil 5.28. H/D=4 ‘de farklı Re Olduğunda farklı nozul açılarında Nu sayısına etkisi



Şekil 5.29. H/D=6 ‘de farklı Re Olduğunda farklı nozul açılarında Nu sayısına etkisi



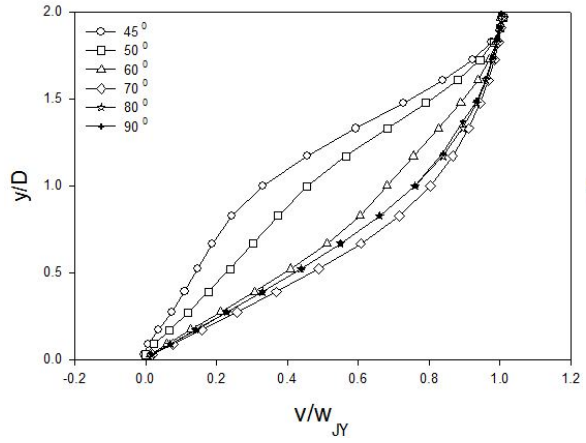
Şekil 5.30. H/D=8 'de farklı Re Olduğunda farklı nozul açılarında Nu sayısına etkisi

5.2.6. Plakaya dik boyutsuz hız bileşenlerinin dağılımı

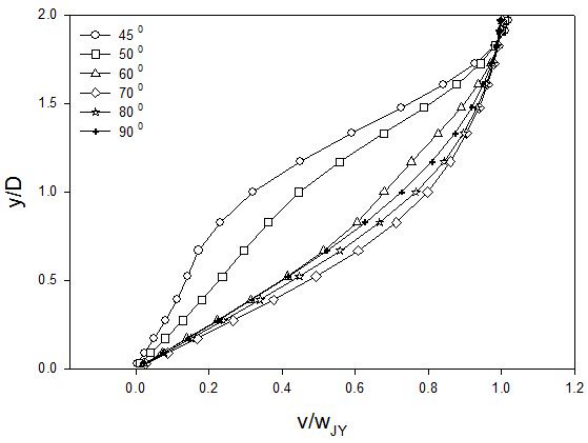
Bu bölümde çarpılan yüzeyin üstünde boyutsuz hız değişimleri kanal yüksekliği boyunca incelenmiştir. Jetin eğik olduğu için hız dağılımı sadece bir yönde değil iki ayrı yön dede incelenecektir, açıkçası y/D mesafelerinde plakaya dik hız ve yatay hız değişimleri boyutsuz y/D mesafesiyle yüksekliklerinde sunulmuştur. Dik hız (v/w_{jy}) ise y ekseni ve yatay hız (u/w_{jx}) ise x ekseni olarak adlandırılmıştır. İfadede kullanılan w j, jet giriş hızı, D çap olarak tanımlanmıştır. Bütün dik ve yatay radyal hız şekillerinde y/D sıfır olduğu nokta jetin merkezi ve maksimum noktalar ise nozul-plaka mesafesini göstermektedir.

Bu kısımda x yönünde ve bütün Reynolds sayıları, nozul-plaka mesafeleri ve farklı jet açıları için elde edilen sonuçlar görsellerde sunulmuştur. Hızlar giriş jet hızları ile oranlanmış ve sonuçlar boyutsuz olarak sunulmuştur. Farklı jet açıları için farklı Reynolds

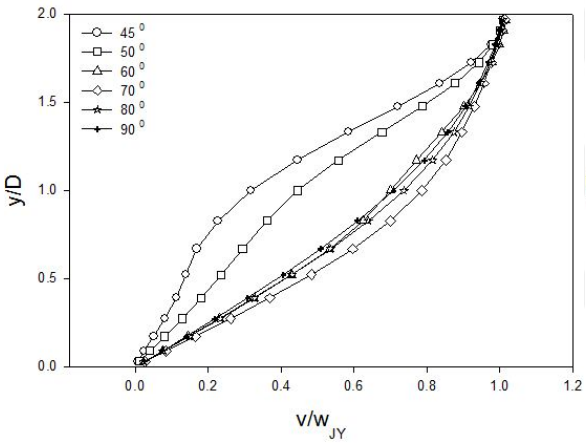
sayılarında genel olarak benzer dağılımların elde edildiği gözlemlenmiştir, fakat jetin eğik çarptığı için farklı açılar için farklı hız dağılımlar elde edilmiştir. Şekil 5.27 görüldüğü gibi 45 derece ve 90 derece arası hız dağılımının başlangıç ve bitiş noktası farklı ve bir birinin tersine ilerlemektedir, bu etki ise az açıdan yüksek açıya analiz ettiğimizde daha iyi görünmektedir ve bunun dışında bunun başka sebebi ise nozul-plaka mesafesinin büyük payı vardır, Nozul-plaka mesafesi yükseldikçe açıların arasındaki dağılım farklılıkları çoğalmaktadır ve bu ise jetin merkezindeki türbülans yoğunluğundan dolayıdır. Kullanılan türbülans modellerdeki çok büyük türbülans uzunluk boyutlarının, iletimin baskın durumda olduğu sinir tabakanın kalınlığının azalmasına sebep olmasından meydana gelmektedir. Ayrıca kanal boyunca büyük değişimlerin oluşmadığı gözlemlenmiştir. Çalışılan bütün parametreler için bu grafikler devamında sunulmaktadır.



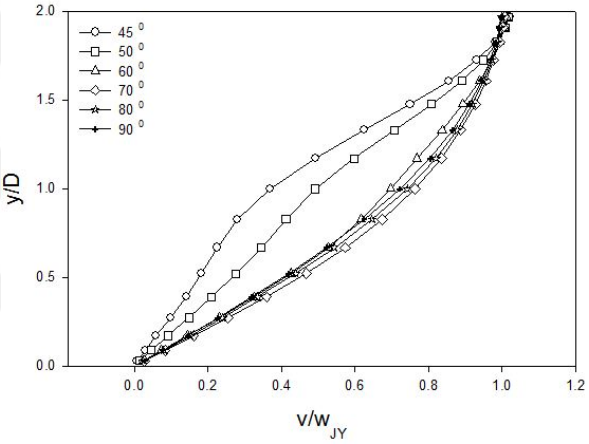
(a) Re=1500



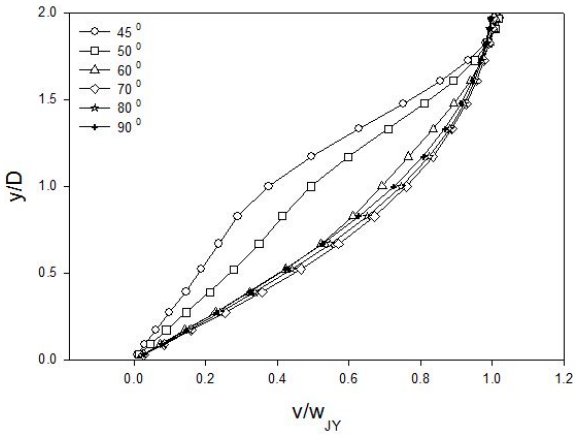
(b) Re=10000



(c) Re=15000

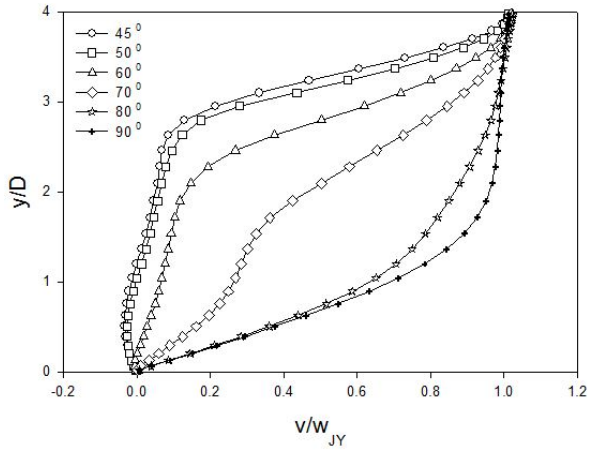


(d) Re=23000

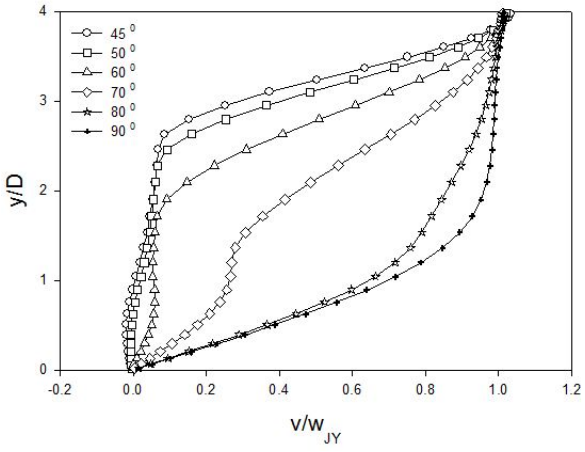


(d) Re=30000

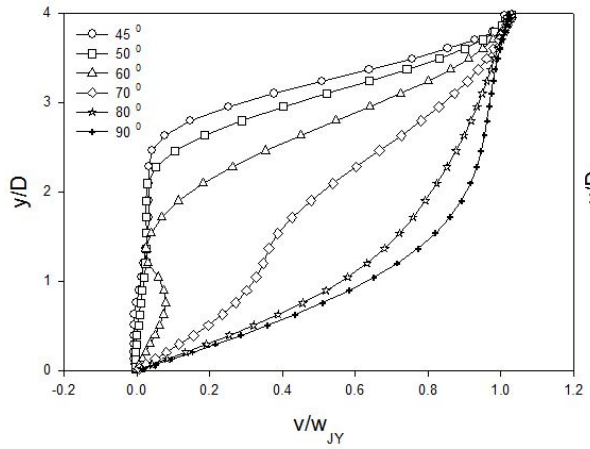
Şekil 5.31. Dikey boyutsuz hızlar H/D=2 ve farklı Re sayılarında



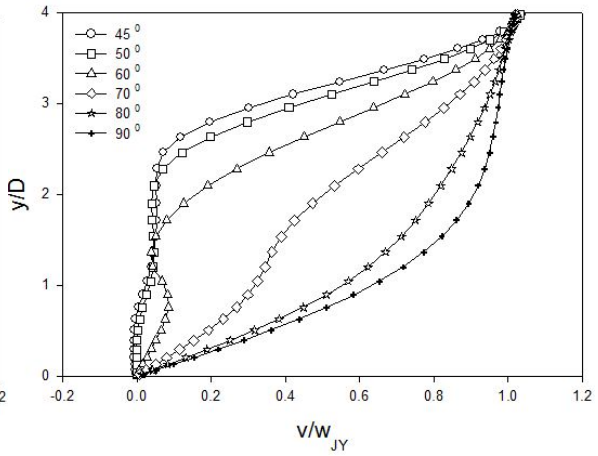
(a) Re=1500



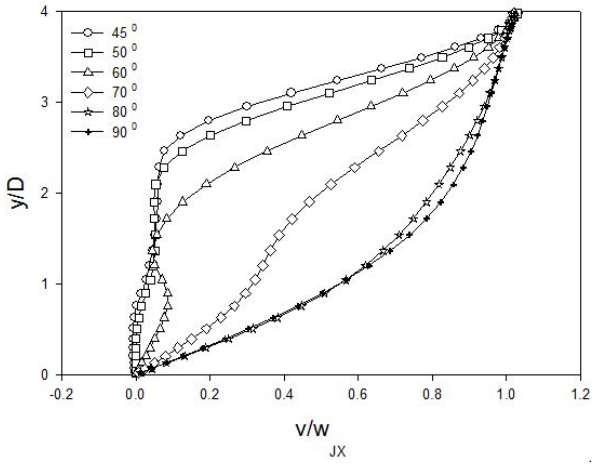
(b) Re=10000



(c) Re=15000

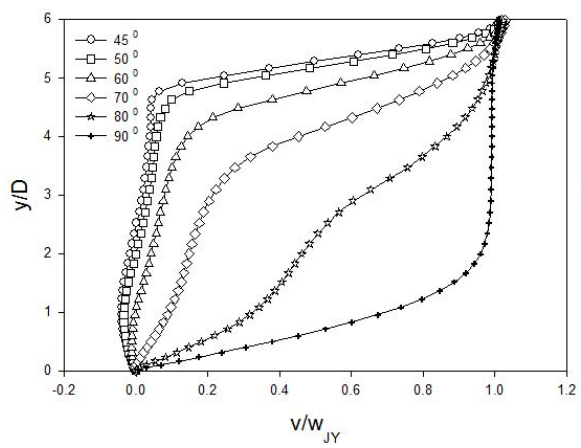


(d) Re=23000

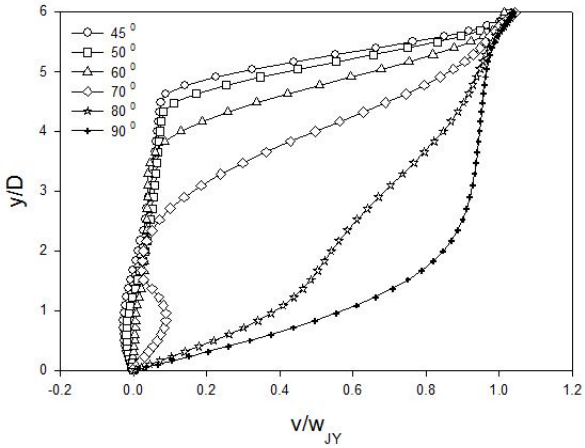


(d)=30000

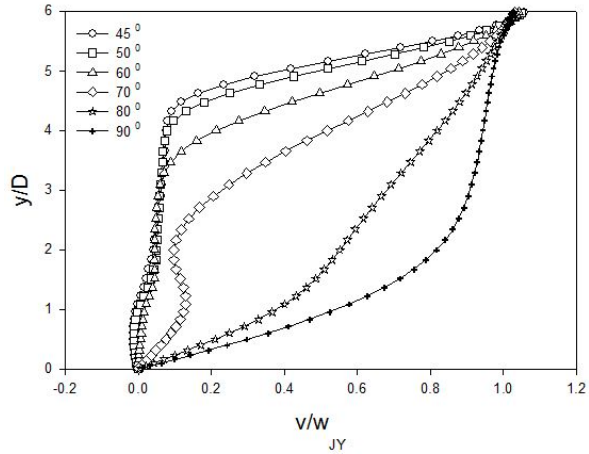
Şekil 5.32. Dikey boyutsuz hızlar H/D=4 ve farklı Re sayılarında



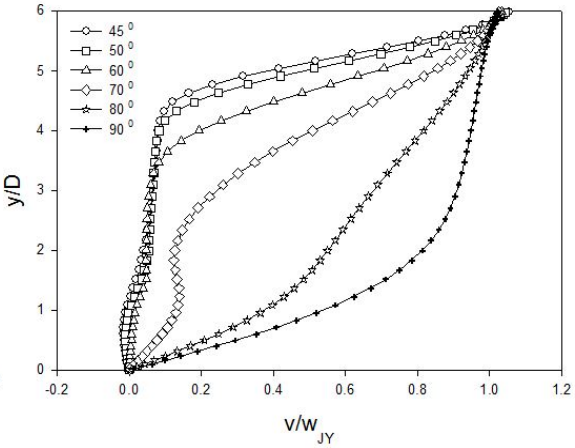
(a) Re=1500



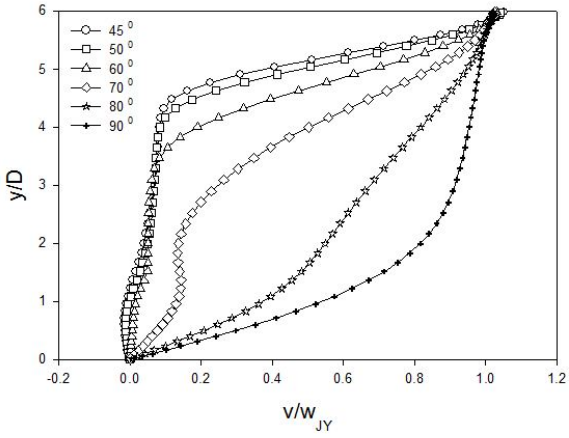
(b) Re=10000



(c) Re=15000

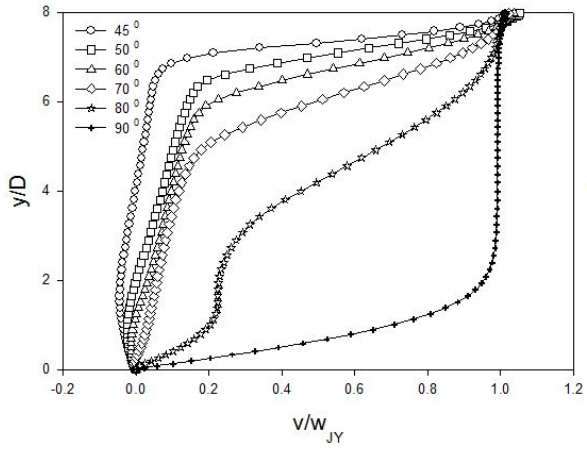


(d) Re=23000

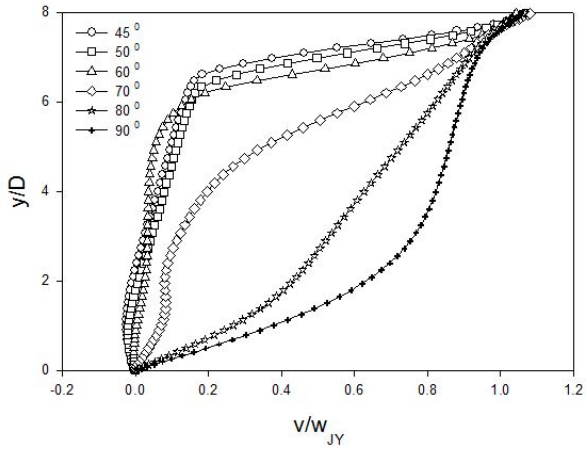


(d)=30000

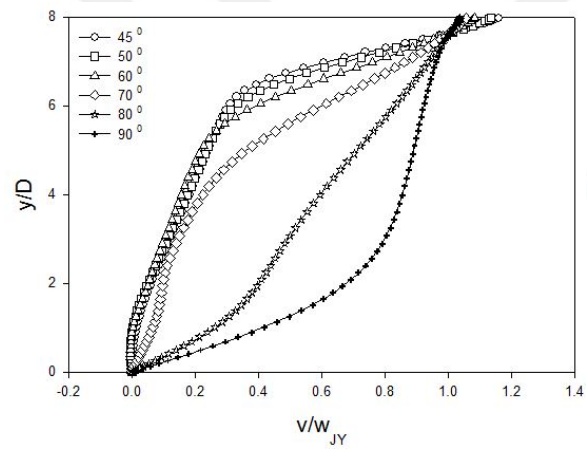
Şekil 5.33. Dikey boyutsuz hızlar H/D=6 ve farklı Re sayılarında



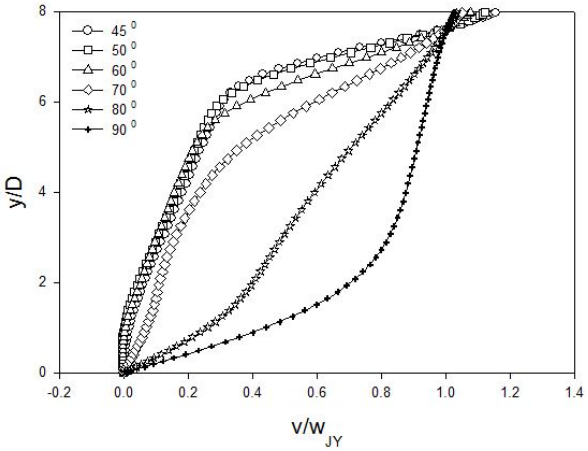
(a) Re=1500



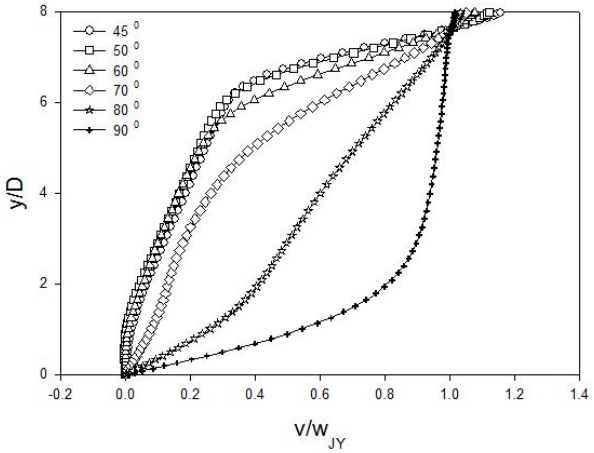
(b) Re=10000



(c) Re=15000



(d) Re=23000



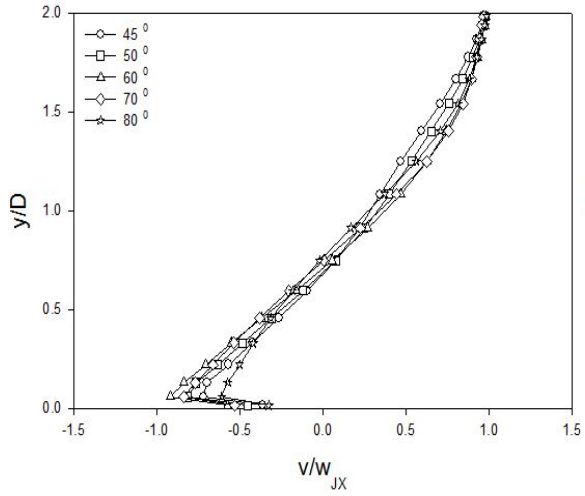
(d)=30000

Şekil 5.34. Dikey boyutsuz hızlar H/D=8 ve farklı Re sayılarında

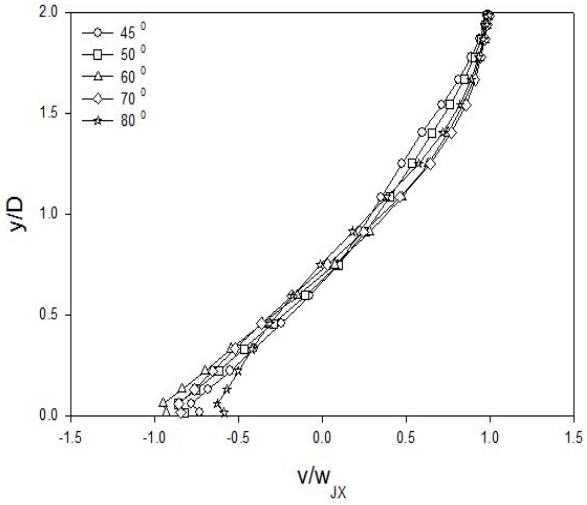
5.2.7. Plakaya yatay boyutsuz hız bileşenlerinin radyal hız dağılımı

Bu bölümde düz plaka üzerinde yatay yönde boyutsuz hız değişimleri boyutsuz y/D mesafesinde farklı şekillerde ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Çalışmada yatay hız (u/w_{jx}) x ekseni olarak adlandırılmıştır.

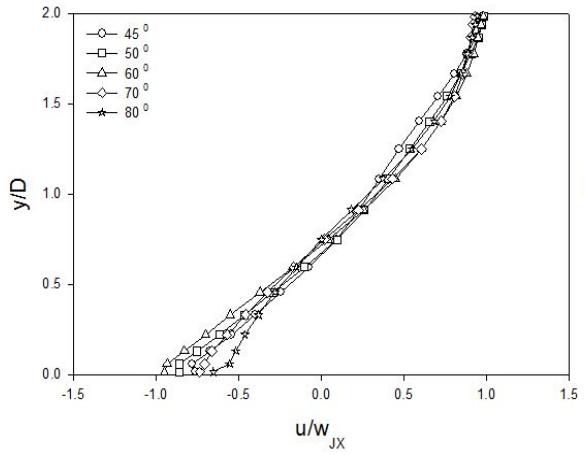
Devamında sunduğumuz şekillerde yatay hız olduğundan dolayı farklı jet açılarında sonuçlar bir birlerine çok yakın sonuçlar vermektedir ve var olan az farklılıkların sebebi ise açıların yatay yönde etkisidir. Jet merkezinden uzaklaştıkça bütün açılar ve farklı nozul-plaka mesafeleri için mantıklı ve uyumlu bir şekilde dağılımları görünmektedir. Bütün şekillerde 90 derece açı için grafik sunulmamıştır, bunun sebebi ise yatay yönde yani x ekseninin üzerinde hız miktarı kosinüs yönde olduğundan dolayı sıfırdır.



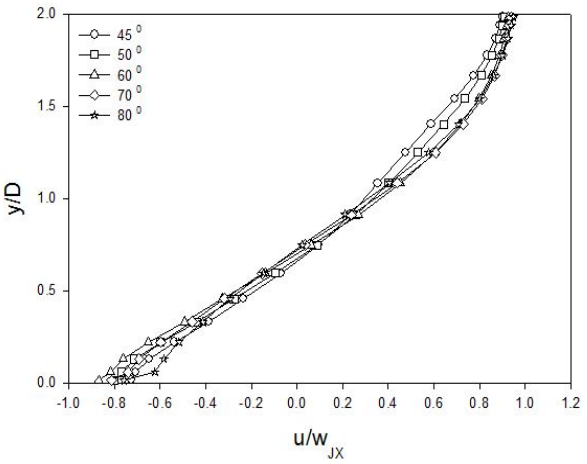
(a) Re=1500



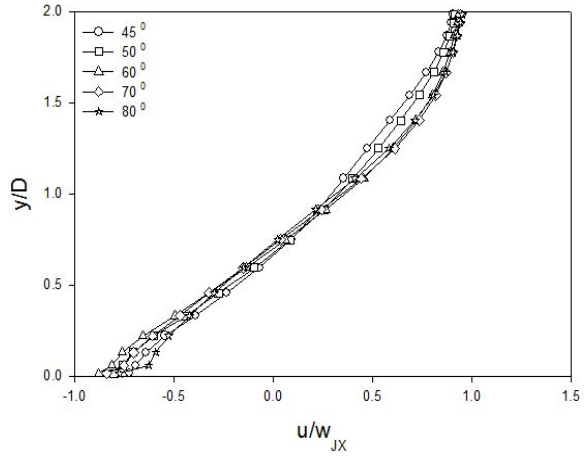
(b) Re=10000



(c) Re=15000

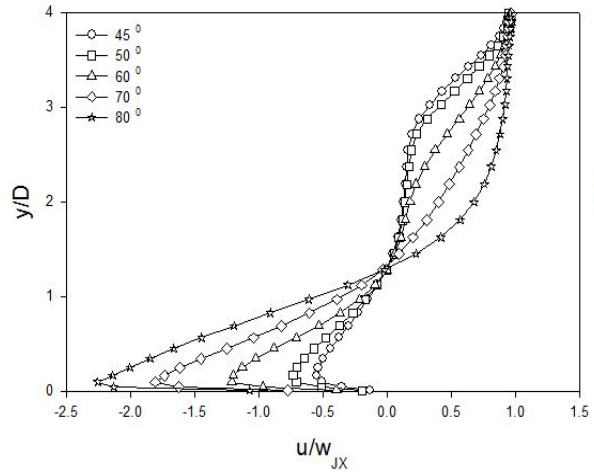


(d) Re=23000

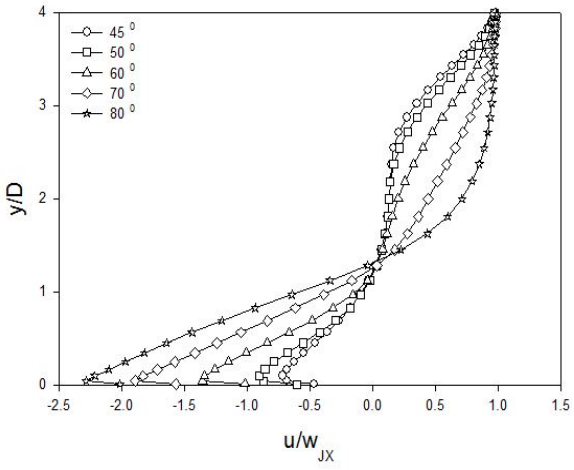


(d)=30000

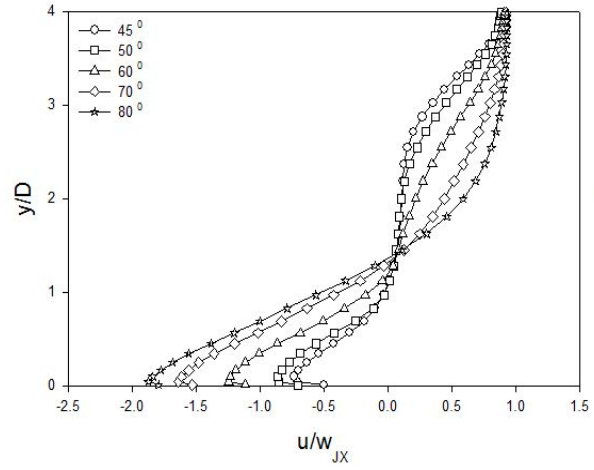
Şekil 5.35. Yatay boyutsuz hızlar H/D=2 ve farklı Re sayılarında



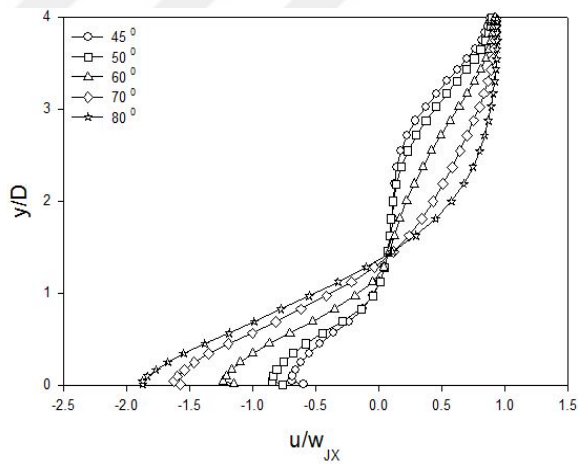
(a) Re=1500



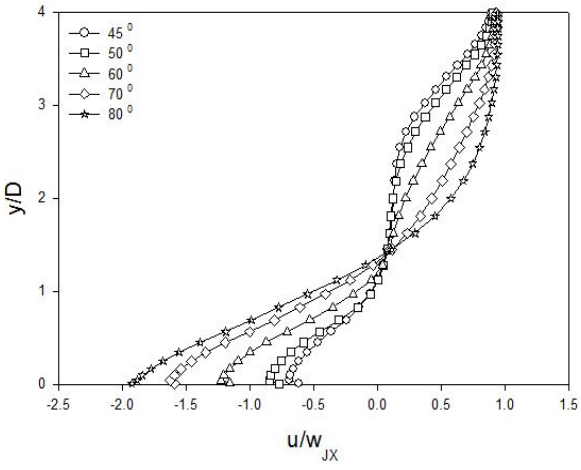
(b) Re=10000



(c) Re=15000

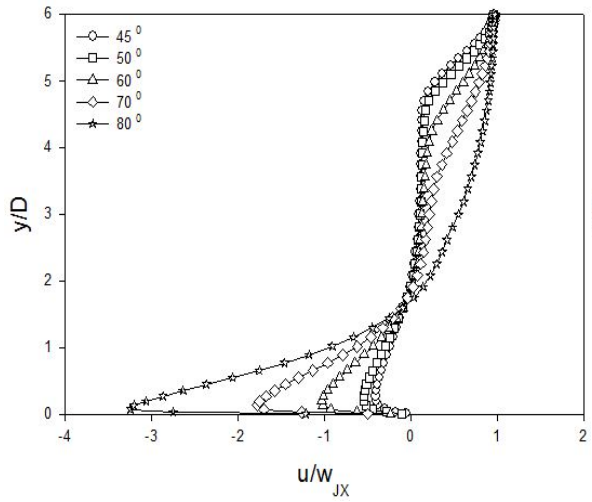


(d) Re=23000

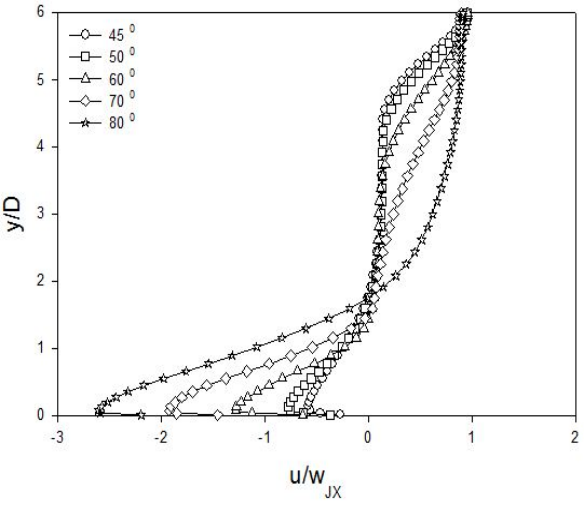


(d)=30000

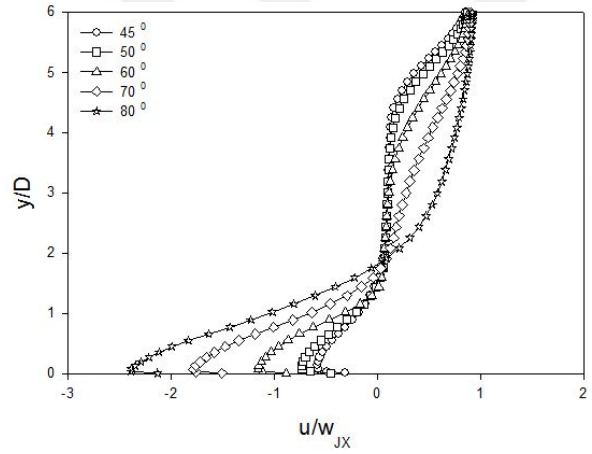
Şekil 5.36. Yatay boyutsuz hızlar H/D=4 ve farklı Re sayılarında



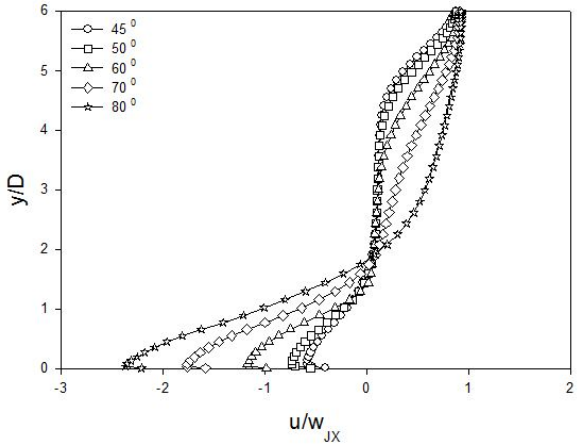
(a) Re=1500



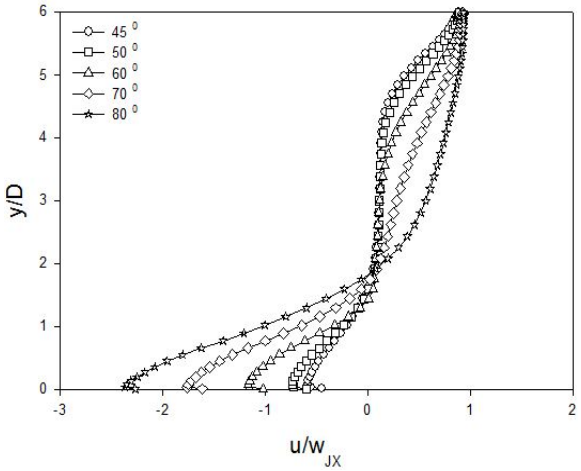
(b) Re=10000



(c) Re=15000

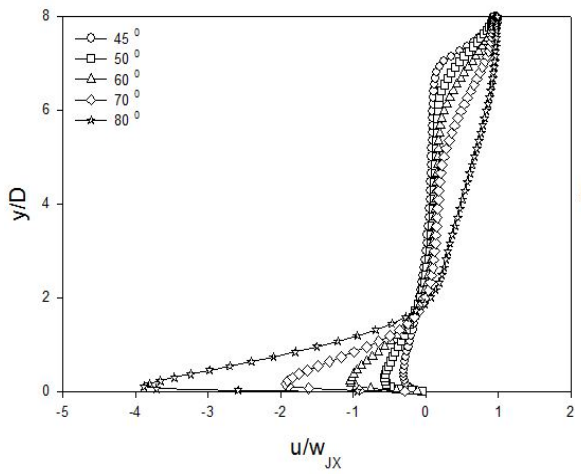


(d) Re=23000

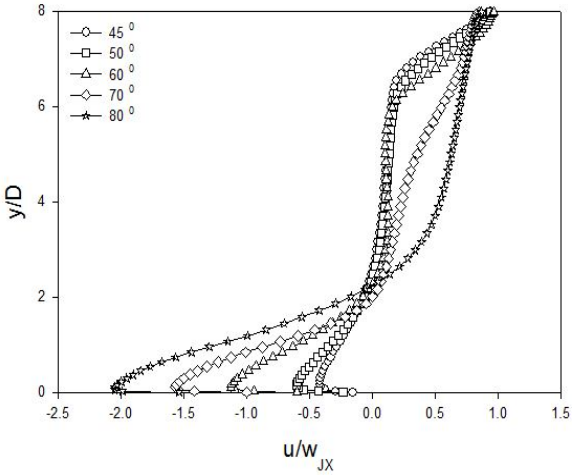


(d)=30000

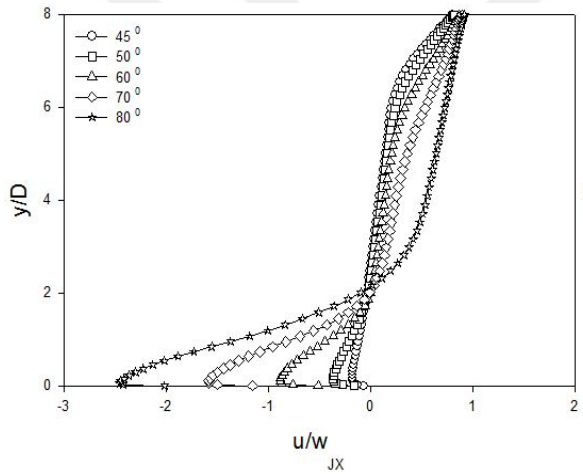
Şekil 5.37. Yatay boyutsuz hızlar H/D=6 ve farklı Re sayılarında



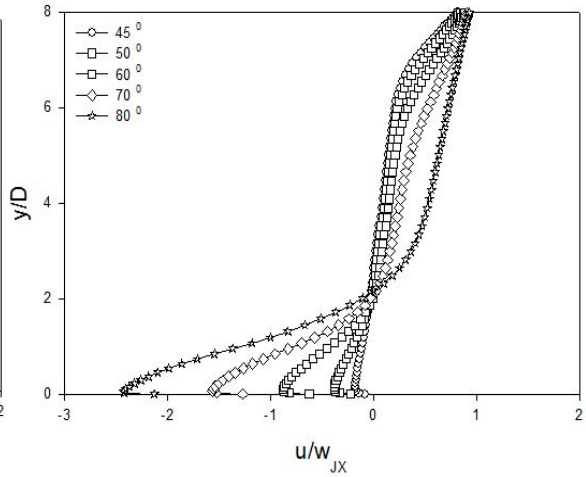
(a) Re=1500



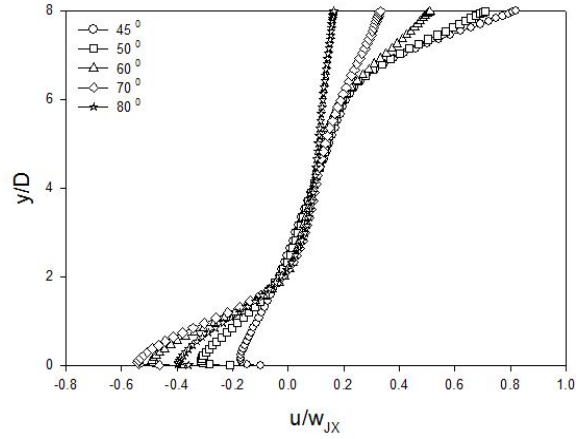
(b) Re=10000



(c) Re=15000



(d) Re=23000



(d)=30000

Şekil 5.38. Yatay boyutsuz hızlar H/D=8 ve farklı Re sayılarında

5.2.8. Akışkan çarpan jet için türbülanslı kinetik enerji dağılımları

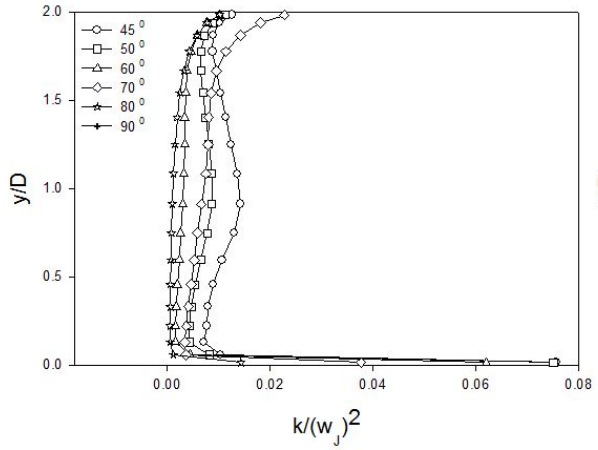
Türbülanslı kinetik enerjinin dağılımı bu bolümde bütün çalışma parametreleri için irdelenmiştir, bu parametreler farklı Reynolds sayıları için, farklı nozul-plaka mesafesi (H/D) ve jet açıları için yapılmıştır.

Şekillerde göründüğü gibi türbülanslı kinetik enerjisi değerleri jet çıkış hızının karesi ile oranlanmış ve grafiklerde bu oranlar gösterilip ve kıyaslanmıştır.

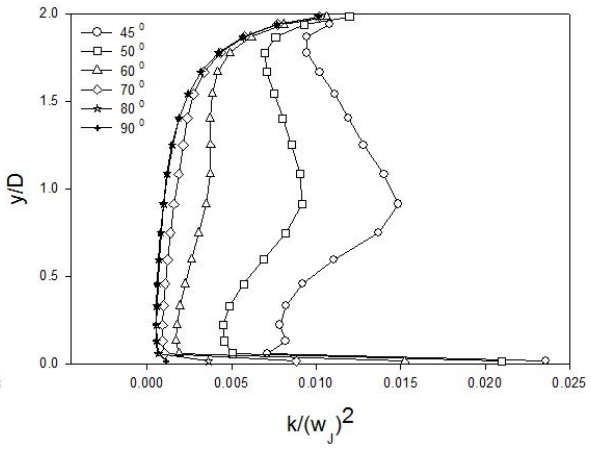
Re=1500 olduğunda bütün nozul-plaka mesafelerinde türbülanslı kinetik enerji yükseklik boyunca yaklaşık olarak sıfıra yakın miktarlarda veya sıfır olmaktadır. Ancak Re sayısı yükseldikçe türbülansta ani bir artış meydana gelmektedir. Türbülanslı kinetik enerji dağılımı Re=15000 için bütün nozul-plaka mesafelerinde diğer Re sayılarına göre en yüksek artışlara sahiptir ve bu miktar yaklaşık bütün H/D mesafelerinde yakın bir orandadır ve bu etki ise altta sunulan bütün şekillerde görünmektedir.

Akışkan jetin açısı azaldıkça türbülansta artışlar görünmektedir, yani genelde bütün grafiklerde kinetik enerjisinin sıfırdan başlayıp ve açı 90 dereceden 45 dereceye doğru geldiğinde anlık türbülans kinetik enerjisi çoğalmaktadır, bunun sebebi ise jetin eğik olduğunun açısındandır.

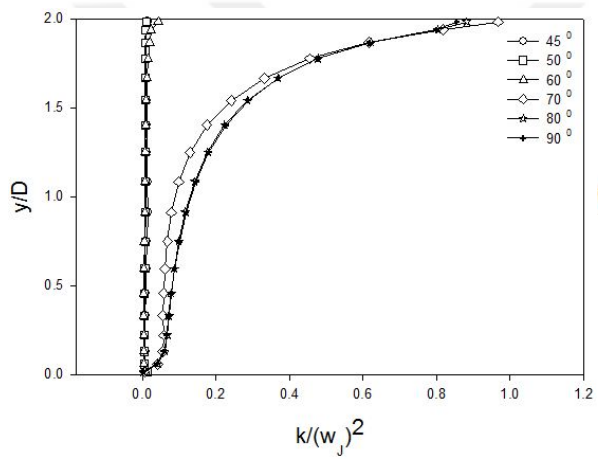
Çarpan jetlerin türbülanslı kinetik enerjisinin üretiminin olduğundan fazla göstermesinin sebebi ise çalışmada türbülans modelin standart k-ε modelinin kullanmasından dolayıdır. Gibson ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmalarında standart k-ε kullanarak bu modelin daha iyi sonuçlar verdiği ancak türbülans kinetik enerjinin üretimi olduğundan daha fazla gösterildiği görülmüştür [39].



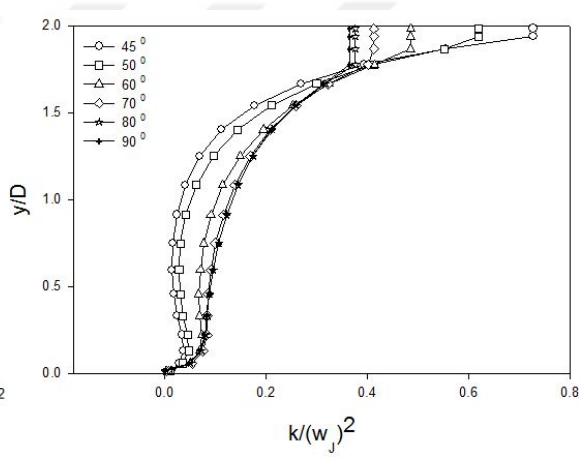
(a) Re=1500



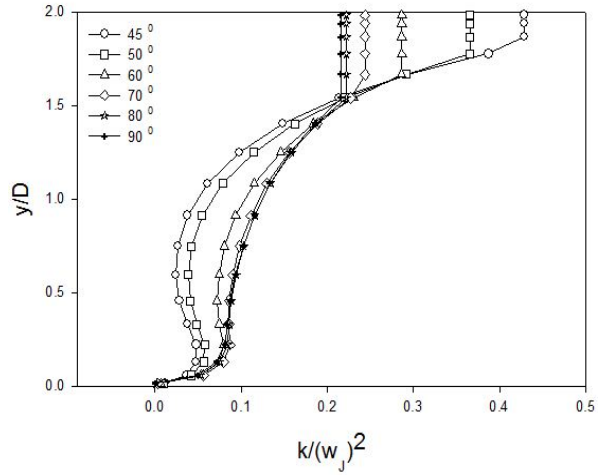
(b) Re=10000



(c) Re=15000

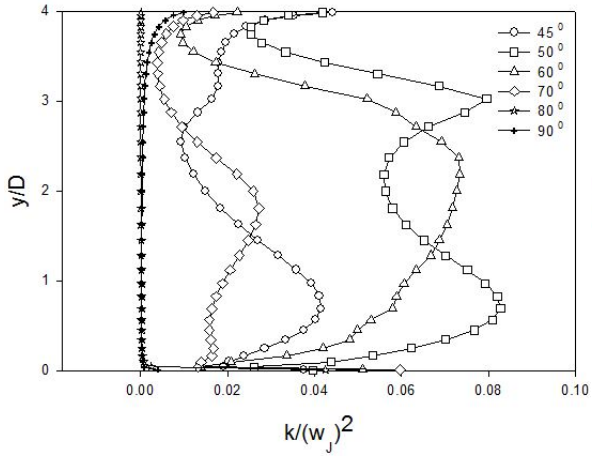


(d) Re=23000

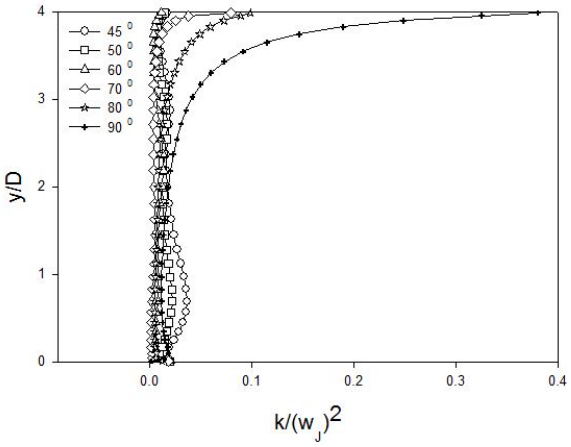


(d)=30000

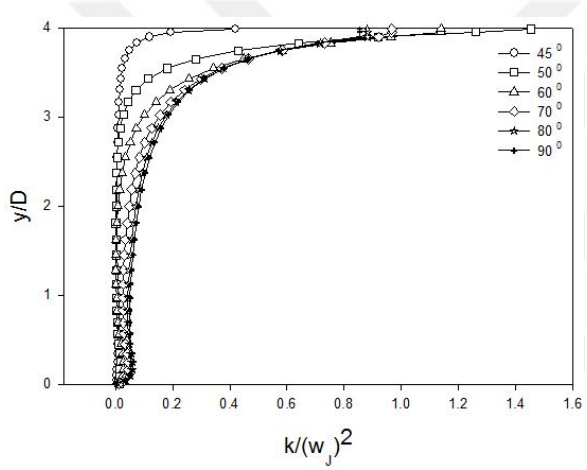
Şekil 5.39. Kinetik enerji H/D=2 ve farklı Re sayıları için



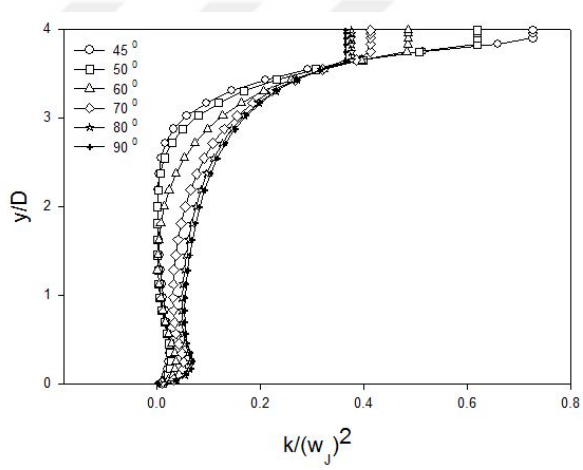
(a) Re=1500



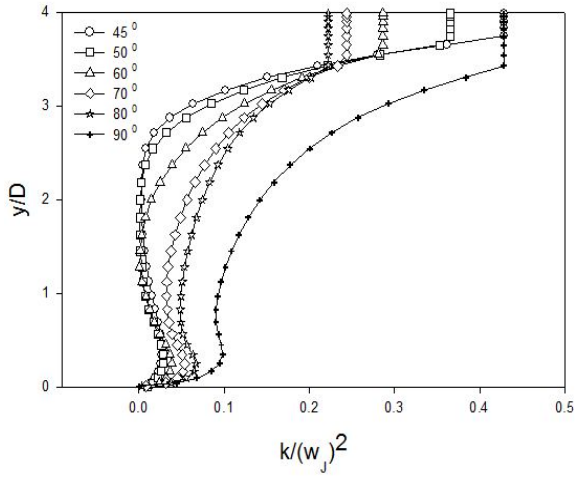
(b) Re=10000



(c) Re=15000

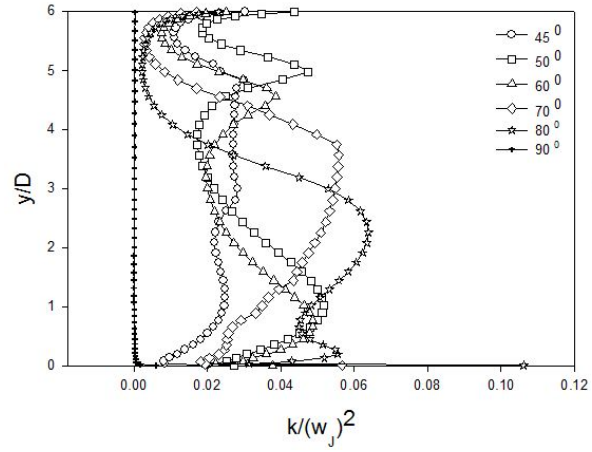


(d) Re=23000

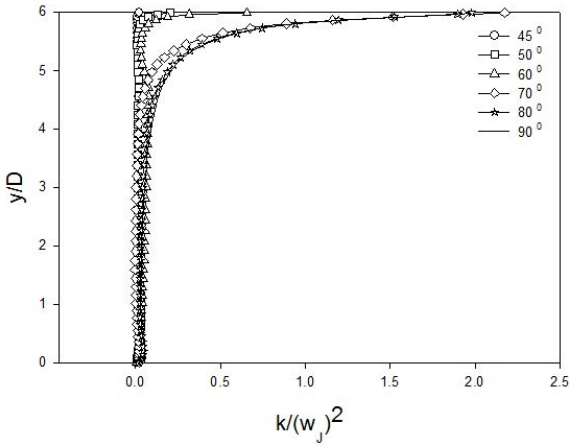


(d)=30000

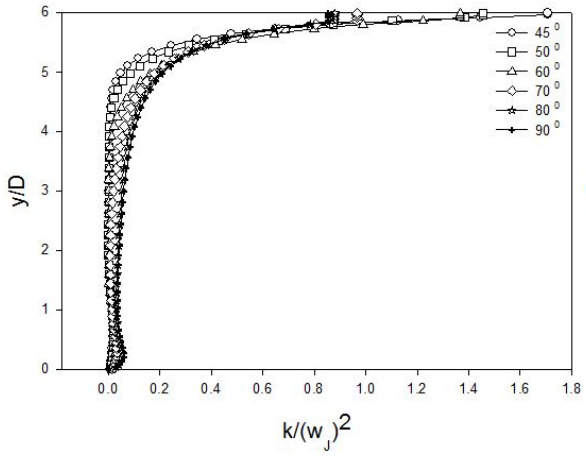
Şekil 5.40. Kinetik enerji H/D=4 ve farklı Re sayıları için



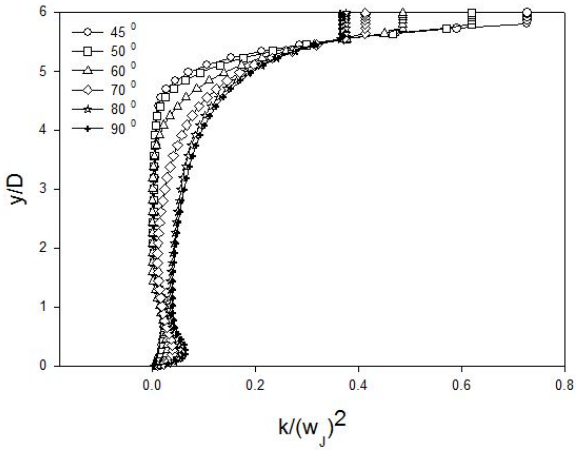
(a) Re=1500



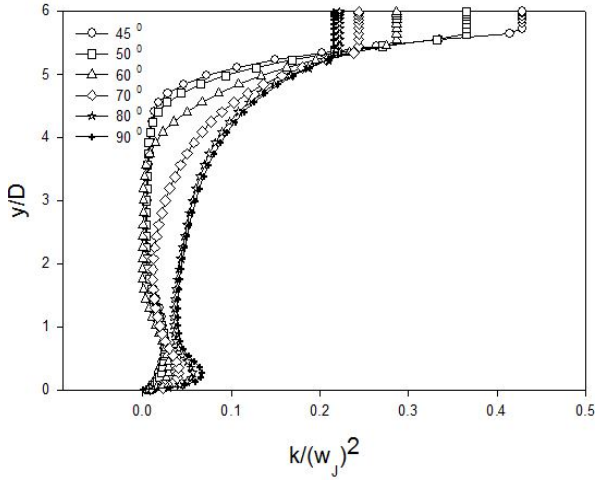
(b) Re=10000



(c) Re=15000

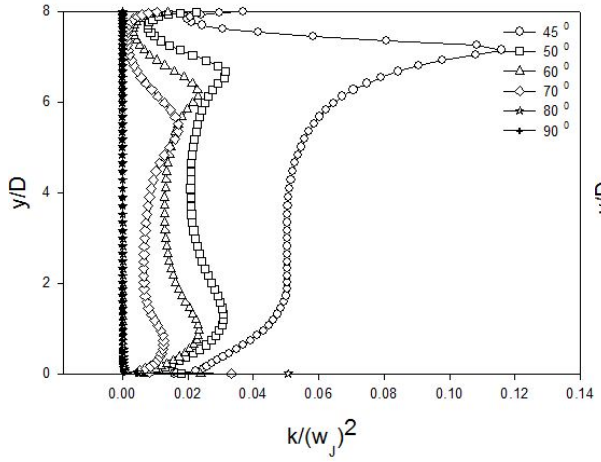


(d) Re=23000

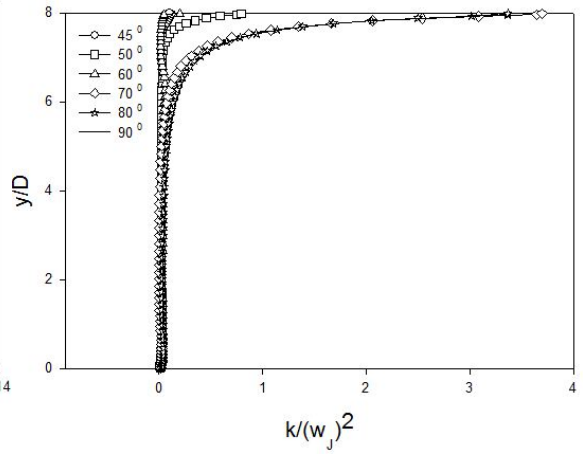


(d)=30000

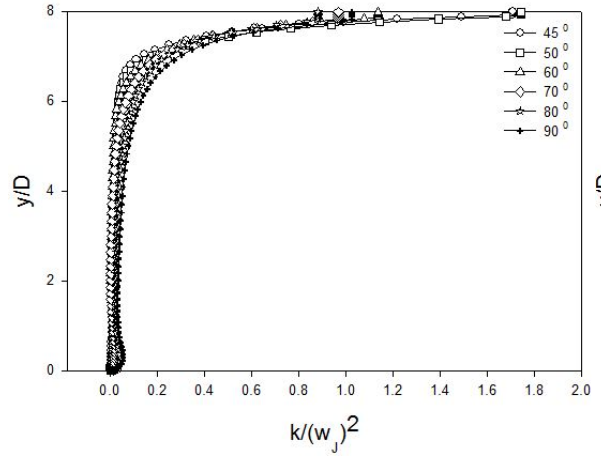
Şekil 5.41. Kinetik enerji H/D=6 ve farklı Re sayıları için



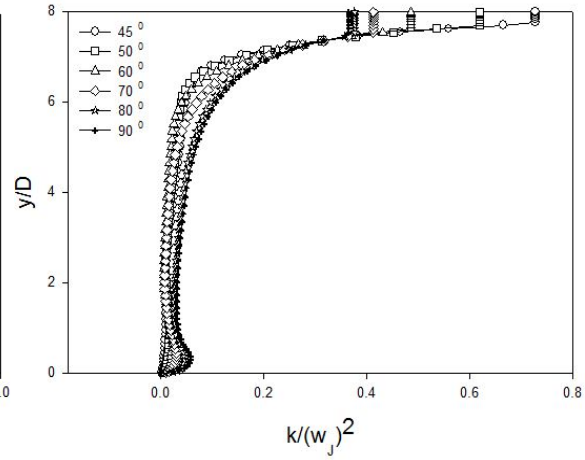
(a) Re=1500



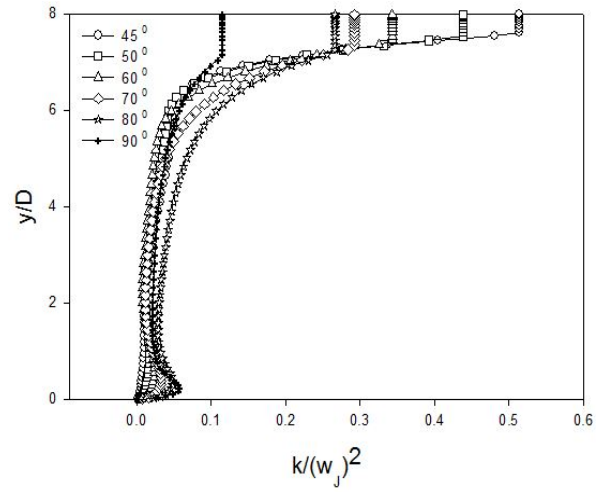
(b) Re=10000



(c) Re=15000



(d) Re=23000



(d)=30000

Şekil 5.42. Kinetik enerji H/D=8 ve farklı Re sayıları için

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çarpan akışkan hava jeti uygulamaları, elde edilen yerel ısı transferi miktarları bakımından havayla zorlanmış taşınımın üst limitini oluşturmaktadır. Bu sebeple çarpan hava jetlerinin soğutma ve ısıtmaya ihtiyaç duyulduğu yerlerde uygulamaları büyük önem taşımaktadır.

Çarpmalı jetlerin ısı transferi ve akış alanı farklı parametrelere bağlıdır; jet çıkış açısı, çarpma plakası, nozul geometrisi, jet çıkış hızı, jetteki türbülansa, jet ile plaka arasındaki mesafe gibi birçok parametreye bağlıdır.

Bu çalışmada eğik çarpmalı akışkan jetleri kullanarak sabit ısı akısına sahip olan duz yüzey üzerindeki ısı transferi $1500 \leq Re \leq 30000$, $2 \leq H/D \leq 8$, $45 \leq \propto \leq 90$ için PHOENICS SAD kodu kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada bütün parametreler için jetin farklı açılarında irdelenmiştir, D mm çapında dairesel nozul kullanılmıştır. Ayrıca ortalama Nu sayılarının Re sayısı ve H/D ile değişimi grafiklerinde karşılaştırma amaçlı sunulmuştur. Buna ilave olarak çalışmada nozul açısının değişimiyle etkisinin ısı transferine ve ortalama Nusselt sayısına incelenmiş ve bu eğik nozul açıları için plaka üzerinde düz ve yatay hız dağılımı ve türbülanslı kinetik enerji etkileride irdelenmiştir, burada eğik akışkan jet açısının farklı parametrelere etkisi karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

İlk olarak farklı Re sayılarının eğik yüzeylerdeki ısı transferine olan etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Düz plaka üzerinde H/D=2-4-6-8 olduğunda Re sayısının 1500, 10000, 15000, 23000, 30000 değerleri için sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Re sayısının artması ile ısı transferinin beklendiği gibi arttığı ancak jet açılı olduğundan dolayı plaka üzerinde jetin açılı durumunda ısı transferi dağılımında 90 derece çarpan yüzeye göre farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir. Tüm jet açı durumlarında genelde Re sayısının artması ile ısı transferinin en yüksek olduğu nokta ile ısı transferinin en düşük olduğu nokta arasındaki farkın arttığı görülmüştür. Düşük Re sayıları için ısı transferi dağılımları yüksek Re sayılarına göre homojen olma konusunda hemen hemen aynıdır, ama düşük Re sayıları için daha homojen olduğu görünmektedir. Durma noktasında ise bütün jet açıları için Re sayılarının artmasıyla ortalama Nusselt sayısıda artmaktadır.

Daha sonra nozul-plaka mesafesinin düz yüzey üzerindeki ısı transferine olan etkileri irdelenmiştir. Burada farklı jet açıları için H/D=2, 4, 6 ve 8 nozul-plaka mesafelerinde Re=1500, 10000, 15000, 23000, 30000 olduğunda tüm eğik jetler için ortalama Nusselt sayıları incelenmiştir. Burada en yüksek ortalama Nusselt sayısı Re=30000, H/D=2 ve 90 dereceye aittir ve açı 90 dereceden 45 dereceye doğru geldiğinde genelde ortalama Nusselt sayısı azalmaktadır. Re=1500 için zorlanmış taşınımın etkileri az olduğundan ve doğal konveksiyonun etkileri daha hızlı bir şekilde ortaya geldiğinden dolayı bu Re sayısı için grafiklerde biraz düzensizlik görünmektedir. En düşük ortalama Nusselt sayısı ise jet açısının 45 derece, H/D=8 ve Re=1500 olduğu durumdadır. Bu çalışmada önemli olan konu plaka sabit tutularak jet açısı değiştikçe durma noktası plaka üzerinde değişip ve akışkan jetin açısı azaldıkça nozul-plaka mesafesi çoğalıp ve bu sebepten dolayı ortalama Nusselt sayısında düşüş göstermektedir. Bütün sunduğumuz grafiklerde açı 90 dereceden 45 dereceye düştükçe ortalama Nusselt değeri düşüş göstermektedir.

Devamında jet açısının ısı transferine ve ortalama Nusselt sayısına etkisini daha iyi incelemek için farklı grafiklerde bütün çalışma parametreleri sunuldu ve nozulun açılı olduğu durumlarda çarpma noktanın yer değişimi ise 45 derecede farklı Re sayılarında sunuldu.

Çarpan akışkan eğik jet olan durumlarda en önemli elde ettiğimiz sonuç plaka üzerinde durma noktasının değişimidir, yani jetin açısı 90 derece olduğunda duvar üzerinde durma veya çarpma noktası tam plakanın ortasındadır, bütün çalışmada akışkan jetin olduğu nokta plakanın tam ortasındadır. Akışkan jetin açısı azaldıkça durma noktası yeri değişmektedir ve çalışmada jetin açısının ayarı sağ taraftan olduğu için, açı azaldıkça durma noktası plakanın sağ tarafına kaymaktadır ve bu durmalarda uphill ve downhill olayı oluşturulmaktadır. Yani açılı durumlarda durma noktası merkezden sağa kayıp ve açıya göre durma noktası değişiyor ve o noktada Nu sayısı ve ısı transferi maksimum miktardadır. Açılı durumlarda önemli olan ısı transferine maksimum miktara gerek duyulduğu noktalarda kolaylıkla jetin açısı ayarlanıp ve o noktada maksimum ısı transferini alabiliriz.

Nozul-plaka mesafesinin düşük olduğu durumlarda dağılımların yatay hız grafiklerinde dağılımları çok dalgalı değil ancak bu mesafenin artmasıyla jetin yatay hızının özellikle jet merkezine yakın bölgelerde belirli bir açıyla çarpma plakasına geldiği sonucuna

varılmıştır. Bu dalgalanmalar jetin açısıyla mantıklı bir uyum sağlamaktadır ve bu bütün nozul-plaka mesafelerinde görünmektedir.

Küçük Nozul-plaka mesafesinde açılı durumlarda plakanın sol tarafında (downhill) ısı transferi dağılımları aynı ve yakın miktarlarda olduğunda, plakanın diğer yüzünde ve jetin açıyla çarptığı tarafta (uphill) hızlı düşüşler görünmektedir. Bunun sebebi ise jetin durma noktası plakanın o noktada olduğundan (uphill side) kaynaklanır. Durma noktası bütün açılar için ne kadar nozul-plaka mesafesi az olursa okadar merkeze yakındır, ve bu 90 derece ve duz çarpan açı hariç bütün açılar için geçerlidir. Ayrıca nozul-plaka mesafesinin artmasıyla plaka üzerinde oluşan dönme hareketlerinin azaldığı bütün jet açılarında görülmektedir ve açılı durumlarda dağılmaların plakanın direkt çarpmayan bölgelerinde bu dağılmaların çok az ve karmaşık olmadığı görünmektedir.

Çalışmada jet açısı azaldıkça ısı transferi azalmaktadır ve bu bütün H/D, Re sayıları ve durumlar için geçerlidir. Re=1500 ‘de büyük H/D ler de doğal konveksiyonun meydana gelmesinden dolayı bahsettiğimiz olay grafiklerde genel olarak görünmemektedir. Akış açısı azaldıkça hız ve diğer dağılımlar simetrik durumundan çıkıp ve ne kadar açı miktarı az olursa o kadar asimetrik durumun oluşması görünmektedir.

Bu çalışmada dairesel, farklı açılarda jet kullanarak, sabit ısı akısına sahip yüzey üzerindeki akış ve ısı transferi $1500 \leq Re \leq 30000$, $2 \leq H/D \leq 8$ ve $45 \leq \propto \leq 90$ değerleri için sayısal olarak incelenmiştir. Gelecek çalışmalara yönelik öneriler aşağıda sunulmuştur.

Mevcut çalışmada $1500 \leq Re \leq 30000$ aralığındaki değerler incelenmiştir. Ancak daha yüksek ve daha düşük Re sayılarında eğik yüzeyler için çalışmalar yapılabilir. Re sayısının laminer bölgedeki değerleri için de incelemeler gerçekleştirilebilir ve düşük Re sayılarında eğik çarpan jet akışına olan etkileri irdelenebilir.

Literatürde eğik jetlerle ilgili deneysel çalışmalar çoğunlukla dairesel jet geometrisiyle çalışılmış, buna ilave olarak farklı jet geometri tiplerinde de çalışılıp sonuçlar kıyaslanabilir.

Literatürde, çarpan eğik jetler için fazla çalışma bulunmamaktadır. Ancak eğik jetler için yapılan çalışmalar çoğunlukla tek jetler için yapılmış ve deneysel çalışmalardır. Bu nedenle çoklu jet düzenlemeleri için daha fazla sayısal ve deneysel çalışma yapılabilir.

Eğik akışkan jet kullanarak farklı tiplerde kanatçık kullanarak, kanatçık ve eğik jetler bir arada kullanarak ısı transferine etkilerini incelenebilir. Literatürde eğik jetler etkisi kanatçıklı plaka üzerinde irdelenmemiştir.

KAYNAKLAR

1. Geers, L.F.G. (2003). *Multiple Impinging Jet Arrays: an experimental study on flow and heat transfer*, Ph. D. Thesis, Technische Universiteit Delft, Delf.

2. Dogruoz, M. B. (2005). *Experimental and Numerical Investigation of Turbulent Heat Transfer Due to Rectangular Impinging Jet*, Ph. D. Thesis, The University of Arizona, Arizona.

3. Attalla, M., Salem, M. (2014). Heat transfer from a flat surface to an inclined impinging jet, *Heat Mass Transfer*, 50, 915–922.

4. Choo, K., Kang, T. Y., Kim, S. J. (2003). Study of heat transfer for a pair of rectangular jets impinging on an inclined surface, *Heat and Mass Transfer.* 46, 411–425.

5. Schueren, S., Hoefler, F., Wolfersdorf, J. V., Naik, S. (2011). Heat Transfer In an Oblique Jet Impingement Configuration With Varying Jet Geometries, *ASME and Alstom Technology*, 6-10.

6. Metzger, D. E., Bunker, R. S. (1990). Local Heat Transfer in Internally Cooled Turbine Airfoil Leading Edge Re- gions: Part I – Impingement Cooling without Film Coolant Extractio. *Journal of Turbo Machinery,* 451-458.

7. Udaysinh, S. B., Srivastava, A., Agrawal, A. (2013). Acoustic and heat transfer aspects of an inclined impinging synthetic jet, *Journal of Thermal Sciences*, 145-155.

8. Ibuki, K., Umeda, T., Fujimoto, H., Takuda, H. (2009). Heat transfer characteristics of a planar water jet impinging normally or obliquely on a flat surface at relatively low Reynolds number, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 1226–1234.

9. Nakabe, K., Inaoka, Al, T., Suzuki, K. (1997). Flow visualization of longitudinal vortices induced by an inclined impinging jet in a crossflow effective cooling of high tempera ture gas turbine blade, *International Symposium on Advance Energy Conversion Systems and Related Technologies*, 38 (10-13), 1145-1153.

10. Yang, Y.T., Wang, Y. X. (2005). Three-dimensional numerical simulation of an inclined jet with cross-flow, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48, 4019–4027.

11. Yan, X., Saniei, N. Heat transfer from an obliquely impinging circular air jet to a flat plate, *Int J Heat Fluid Flow*, 18, 591–599.

12. Beltos, S. (2010), Oblique impinging of circular turbulent jets, *Journal of Hydraulic Research*, 14, 17–36.

13. Sparrow, E ., Lovell, B. J. (1980). Heat transfer characteristics of an oblique circular jet, *ASME. Journal of Heat Transf*, 102, 202–209.

14. Goldisten, R.J., Franchett, M.E. (1988). Heat transfer from a flat plate to an oblique impinging jet, *Journal of Heat Transf*, 110, 84–90.

15. Hwang, J. C., Tsou, F. K., Cho, W.C. (1982). *Kappa-Epsilon computations of flow and heat transfer in plane oblique impinging jet,* In Computer methods experience measured, proceeding of international conference, Washington, DC, 271–282.

16. Hwang, J. C., Tsou, F. K. (1983). *Numerical solutions for flow and heat transfer for plane turbulent oblique impinging jet*, In Numerical properties and methodologies in heat transfer. Hemisphere Publishing Corp, Washington, DC, 403–417.

17. Chuang, S. H., Wei, C. Y. (1991). Computational for a jet impinging obliquely on a flat surface, *Int Numer Method Fluids*, 12, 637–653.

18. Garg, V.K., Jayaraj, S. (1988). Boundary layer analysis for two dimensional slot jet impingement on inclined plates, *Journal of Heat Transf,* 110, 577–582.

19. Beitelmal, A.H., Michel, A.S., Chandrakant, D.P. (2000). The effect of inclination on the heat transfer between a flat surface and an impinging two-dimensional air jet, *Int Journal Heat Fluid Flow,* 21, 156–163.

20. Al Mubarak, A. A., Shaahid, S.M., AL Hadhrami, L.M. (2013). Heat transfer in a channel with inclined target surface cooled by single array of centered impinging jet, *Thermal Science*, 17 (4), 1195-1206.

21. Song, J., Lee, J.W., Yu, M.S., Shin, S., Kim. B.S., Cho, H.H. (2013). Thermal characteristics of inclined plate impinged by under expanded sonic jet, *Heat and Mass Transfer*, 62, 223–229.

22. Lim, K.B., Lee, C. H., Sung, N. W., Lee, S.H. (2007). An experimental study on the characteristics of heat transfer on the turbulent round impingement jet according to the inclined angle of convex surface using the liquid crystal transient method, *Thermal and Fluid Science*, 31, 711–719.

23. Al-Hadhrami, L. M. (2011). Study of Heat Transfer Distribution in a Channel with Inclined Target Surface Cooled by a Single Array of Staggered Impinging Jets, *Heat transfer engineering*, 3 (31), 234-242.

24. Dong, L. L., Leung, C. W., Cheung, C. S. (2002). Heat transfer characteristics of premixed butane/air flame jet impinging on an inclined flat surface, *Heat and Mass Transfer*, 39, 19 – 26.

25. Lee, C. H., Lim, K. B., Lee, S. H., YOON, Y. J., Sung, N.W. (2007). A study of the heat transfer characteristics of turbulent round jet impinging on an inclined concave surface using liquid crystal transient method, *Experimental thermal and fluid science,* 31, 559-565.

26. Roy, S., Patel, P. (2003). Study of heat transfer for a pair of rectangular jets impinging on an inclined surface, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46 (3), 411–425.

27. Heo, M. W., Lee, K. D., Yong-Kim, K. (08 Mar 2012). Parametric Study and Optimization of Staggered Inclined Impinging Jets on a Concave Surface for Heat Transfer Augmentation, *International Journal of Computation and Methodology*, 61, 442-462.

28. Nakabe, K., Suzuki, K., Inaoka, K., Higashio, A., Acton, J. S., Chen.W. (1998). Generation of longitudinal vortices in internal ows with an inclined impinging jet and enhancement of target plate heat transfer, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 19, 573-581.

29. Beitelmal, A. H., Saad, M. A., Patel, C. D. (2000). The effect of inclination on the heat transfer between at surface and an impinging two-dimensional air jet, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28, 156-163.

30. Wang, X. L., Yan, H. B., Lu, T. J., Song, S. J., Kim, T. (August 2014). Heat Transfer Characteristics of an Inclined Impinging Jet on a Curved Surface in Crossflow, *Journal of Heat Transfer*, 136, 081702-9.

31. Versteeg, H. K., Malalasekera, W. (1995). *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*, Essex*:* Longman Scientific & Technical, 41-53.

32. Eiamsa, S., Promvonge, P. (2008). Numerical study on heat transfer of turbulent channel flow over periodic grooves, *Heat and Mass Transfer*. 35, 844–852.

33. Launder, B. E., Spalding, D. B. (1974). The numerical computation of turbulent fflows, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 3, 269-289.

34. Tennekes, H., Lumley, J. L. (1997). *A First Course in Turbulence*, United States: MIT Press, (16 Edition), 59-100.

35. Ludwig (2006). *PHOENICS Documentation*. London: CHAM, (Version 3.6), 10-60.

36. Wang, S. J., Mujumdar, A. S. (2005). A comparative study of five low Reynolds number k-ε models for impingement heat transfer, *Applied Thermal Engineering*, 25, 31-44.

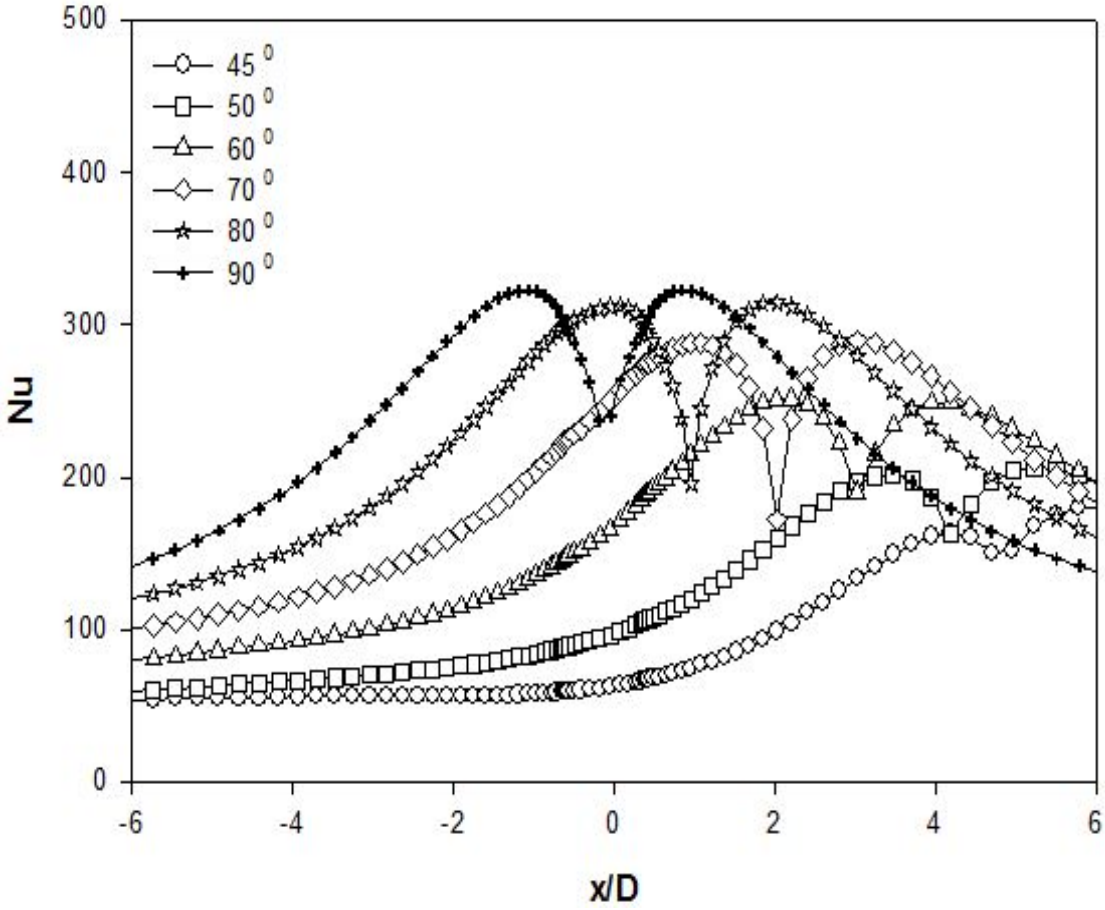
37. Lytle, D., Webb, B. W. (1994). Air jet impingement heat transfer at low nozzle-plate spacings, *International Journal of Heal Mass Transfer***.,** 31 (12), 1687-1697.

38. Köseoğlu, M. F. (2007). *Çarpan Akışkan Jetleri Kullanılarak Elektronik Elemanların Soğutulmasının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 127-135.

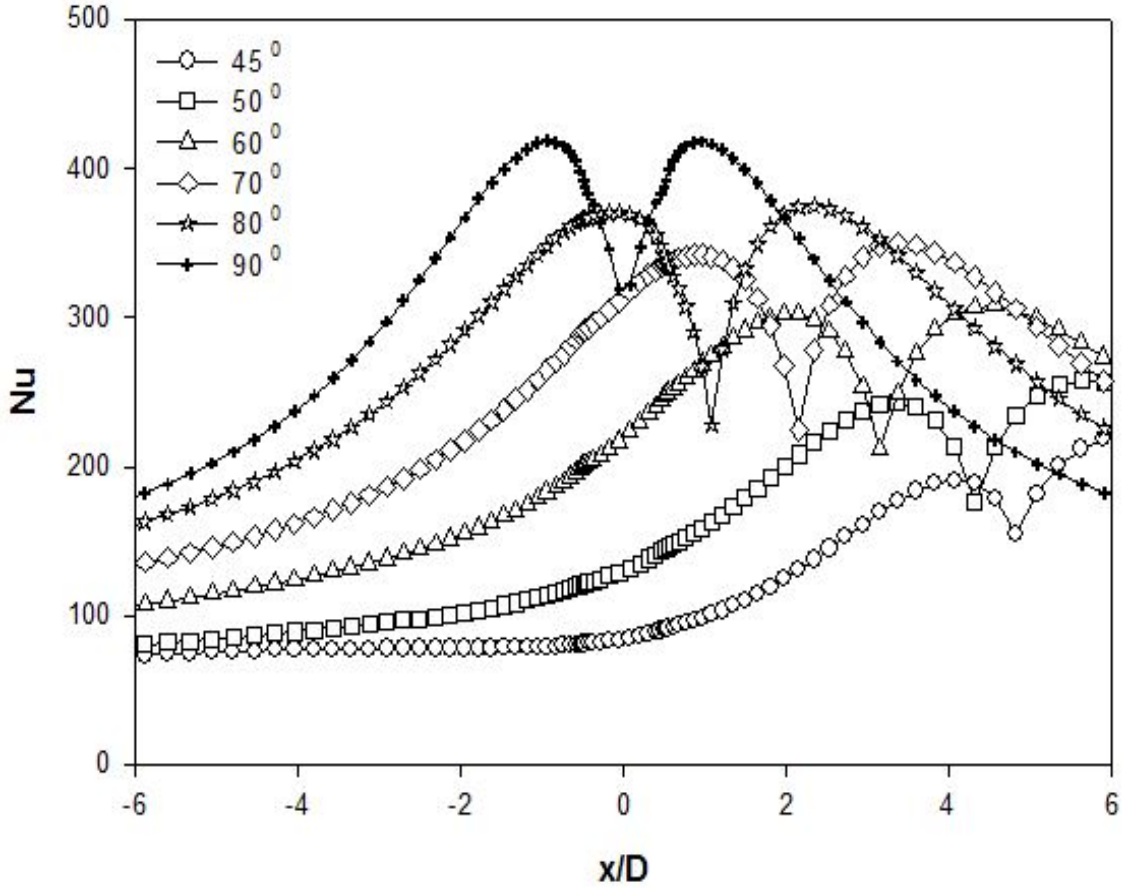
39. Gibson, M.M., Harper, R. D., (1997). Calculation of impinging jet heat transfer with the low Reynolds number k-ξ turbulence model, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 18, 80-87.

EKLER

EK-1. Farklı açı etkileri Nu sayısına durma noktaları kaydırılmamış durumda Re=23000 için



EK-1. (Devam) Farklı açı etkileri Nu sayısına durma noktaları kaydırılmamış durumda Re=30000 için



EK-2. Q1 kütüğü

```
TALK=T;RUN( 1, 1)

*************************************************************
Q1 created by VDI menu, Version 2009, Date 24/09/09
CPVNAM=VDI;SPPNAM=Core
*************************************************************
IRUNN = 1 ;LIBREF = 0
*************************************************************
Group 1. Run Title
TEXT(2D                                          )
*************************************************************
Group 2. Transience
STEADY = T
*************************************************************
Groups 3, 4, 5  Grid Information
* Overall number of cells, RSET(M,NX,NY,NZ,tolerance)
RSET(M,158,78,1)
*************************************************************
Group 6. Body-Fitted coordinates
*************************************************************
Group 7. Variables: STOREd,SOLVEd,NAMEd
* Non-default variable names
NAME(146)=EPKE ;NAME(147)=TEM1
NAME(148)=DEN1 ;NAME(149)=EL1
NAME(150) =ENUT
* Solved variables list
SOLVE(P1,U1,V1,TEM1)
* Stored variables list
STORE(ENUT,EL1,DEN1,EPKE)
* Additional solver options
SOLUTN(P1,Y,Y,Y,N,N,Y)
SOLUTN(TEM1,Y,Y,Y,N,N,Y)
TURMOD(KEMODL)

*************************************************************
Group 8. Terms & Devices
*************************************************************
Group 9. Properties
PRESS0 =1.01325E+05 ;TEMP0 =273.
* Domain material index is   0 signifying:
* Air at 20 deg C, 1 atm, treated as incompressible
SETPRPS(1, 0)
DVO1DT =3.41E-03
PRNDTL(TEM1)=-0.0258
PRT(EP)=1.314
*************************************************************
Group 10.Inter-Phase Transfer Processes
*************************************************************
Group 11.Initialise Var/Porosity Fields
FIINIT(P1)=0. ;FIINIT(TEM1)=23.
No PATCHes used for this Group


INIADD = F
*************************************************************
Group 12. Convection and diffusion adjustments
No PATCHes used for this Group
*************************************************************
```

EK-2. (Devam) Q1 kütüğü

```
Group 13. Boundary & Special Sources
   No PATCHes used for this Group

 EGWF = T
 ************************************************************
  Group 14. Downstream Pressure For PARAB
 ************************************************************
  Group 15. Terminate Sweeps
 LSWEEP = 12000
 RESFAC =1.0E-03
 ************************************************************
  Group 16. Terminate Iterations
 LITER(P1)=200
 ************************************************************
  Group 17. Relaxation
 RELAX(P1 ,LINRLX,1. )
 RELAX(KE ,LINRLX,0.5 )
 RELAX(EP ,LINRLX,0.5 )
 RELAX(TEM1,LINRLX,1. )
 KELIN = 3
 ************************************************************
  Group 18. Limits
 VARMAX(TEM1)=3000. ;VARMIN(TEM1)=-204.75
 ************************************************************
  Group 19. EARTH Calls To GROUND Station
 GENK = T
 CONWIZ = T
 ************************************************************
  Group 20. Preliminary Printout
 ************************************************************
  Group 21. Print-out of Variables
 ************************************************************
  Group 22. Monitor Print-Out
 IXMON = 80 ;IYMON = 60 ;IZMON = 1
 NPRMON = 100000
 NPRMNT = 1
 TSTSWP = -1
 ************************************************************
  Group 23.Field Print-Out & Plot Control
 NPRINT = 100000
 ISWPRF = 1 ;ISWPRL = 100000
   No PATCHes used for this Group
 ************************************************************
  Group 24. Dumps For Restarts

 GVIEW(P,-8.884266E-03,0.046904,0.99886)
 GVIEW(UP,0.014232,0.998804,-0.046775)

> DOM,    SIZE,        4.250000E-01, 8.577001E-02, 1.000000E-04
> DOM,    MONIT,       2.131350E-01, 7.339931E-02, 5.000000E-05
> DOM,    SCALE,       1.000000E+00, 1.000000E+00, 1.000000E+00
> DOM,    INCREMENT,   1.000000E-02, 1.000000E-02, 1.000000E-02
> GRID,   RSET_X_1,     73,-1.600000E+00
> GRID,   RSET_X_2,    -12, 1.700000E+00
> GRID,   RSET_X_3,     73, 1.600000E+00
> GRID,   RSET_Y_1,    -66, 1.600000E+00
> GRID,   RSET_Y_2,     12, 1.600000E+00
  > GRID,   RSET_Z_1,      1, 1.000000E+00
```

EK-2. (Devam) Q1 kütüğü

```
> DOM,     T_AMBIENT,   2.300000E+0
> DOM,     INI_AMB,     YES
> DOM,     INI_BUOY,    YES

> OBJ,     NAME,         UST
> OBJ,     POSITION,     0.000000E+00, AT_END,       0.000000E+00
> OBJ,     SIZE,         4.250000E-01, 0.000000E+00, 1.000000E-05
> OBJ,     DOMCLIP,      NO
> OBJ,     GEOMETRY,     cube12t
> OBJ,     TYPE,         OUTLET
> OBJ,     PRESSURE,      P_AMBIENT
> OBJ,     TEMPERATURE,  T_AMBIENT
> OBJ,     COEFFICIENT, 1000.
> OBJ,     VELOCITY,     GRND1 , GRND1 , GRND1
> OBJ,     TURBULENCE,   SAME , SAME

> OBJ,     NAME,         SAG
> OBJ,     POSITION,     AT_END,       0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ,     SIZE,         0.000000E+00, TO_END,       1.000000E-05
> OBJ,     DOMCLIP,      NO
> OBJ,     GEOMETRY,     cube12t
> OBJ,     TYPE,         OUTLET
> OBJ,     PRESSURE,      P_AMBIENT
> OBJ,     TEMPERATURE,  T_AMBIENT
> OBJ,     COEFFICIENT, 1000.
> OBJ,     VELOCITY,     GRND1 , GRND1 , GRND1
> OBJ,     TURBULENCE,   SAME , SAME

> OBJ,     NAME,         SOL
> OBJ,     POSITION,     0.000000E+00, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ,     SIZE,         0.000000E+00, TO_END,       1.000000E-05
> OBJ,     DOMCLIP,      NO
> OBJ,     GEOMETRY,     cube12t
> OBJ,     TYPE,         OUTLET
> OBJ,     PRESSURE,      P_AMBIENT
> OBJ,     TEMPERATURE,  T_AMBIENT
> OBJ,     COEFFICIENT, 1000.
> OBJ,     VELOCITY,     GRND1 , GRND1 , GRND1
> OBJ,     TURBULENCE,   SAME , SAME

> OBJ,     NAME,         ALT
> OBJ,     POSITION,     0.000000E+00, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ,     SIZE,         4.250000E-01, 0.000000E+00, 1.000000E-04
> OBJ,     GEOMETRY,     cube13
> OBJ,     TYPE,         PLATE
> OBJ,     SURF_HEVT,    0. ,1000.

> OBJ,     NAME,         JET
> OBJ,     POSITION,     2.077350E-01, 7.624000E-02, 0.000000E+00
> OBJ,     SIZE,         9.530000E-03, 0.000000E+00, 1.000000E-04
> OBJ,     GEOMETRY,     cube3t
> OBJ,     TYPE,         INLET
> OBJ,     PRESSURE,      P_AMBIENT
> OBJ,     VELOCITY,     0. ,-48.437565 ,0.
> OBJ,     TEMPERATURE,  T_AMBIENT
> OBJ,     TURB-INTENS, 5.
STOP
```

EK-3. Örnek sonuç kütüğü

```
************************************************************


  ------------------------------------------------------
       CCCC HHH        PHOENICS September 2009 - EARTH
    CCCCCCCC     H     (C) Copyright 2009
   CCCCCCC    See   H   Concentration Heat and Momentum Ltd
  CCCCCCC   our new  H  All rights reserved.
  CCCCCC    Web-site  H  Address:  Bakery House, 40 High St
  CCCCCCC  www.cham. H  Wimbledon, London, SW19 5AU
   CCCCCCC   co.uk  H   Tel:       020-8947-7651
    CCCCCCCC     H     Fax      : 020-8879-3497
       CCCC HHH        E-mail:  phoenics@cham.co.uk
  ------------------------------------------------------
 This program forms part of the PHOENICS installation for:
                  CHAM
 The code expiry date is the end of : dec 2009
  ------------------------------------------------------

 ************************************************************

 Initial estimated storage requirement is       10000000

 PRPS is not stored
 Material properties used for phase 1 are
 density
 laminar viscosity
 turbulent viscosity
 mixing length
 thermal expansion coefficient
 specific heat
 >>>   End of property-related data   <<<
 ************************************************************

 Number of F-array locations available is        10000000
 Number used before BFC allowance is              1362961
 Number used after BFC allowance is               1362961

 >> Current turbulence model constants <<
 They may be changed by inserting in Q1
 SPEDAT(KECONST,name of constant,R,value)

 CMU =0.5478 CD =0.1643
 CMUCD =0.090004
 C1E =1.44 C2E =1.92
 AK =0.41 EWAL =8.6

 biggest cell volume divided by average is     2.844682      at:
 ix = 1 iy = 25 iz = 1
 xg =2.267175E-03 yg =0.02859
 zg =5.0E-05
 smallest cell volume divided by average is   9.5836706E-03  at:
 ix = 86 iy = 50 iz = 1
 xg =0.217373 yg =0.057245
 zg =5.0E-05
 ratio of smallest to biggest is   3.3689775E-03
 Number used after PARSOL allowance is            1453507
 ************************************************************
```

EK-3. (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```
-------- Recommended settings -------
CONWIZ = T activates settings based on
refrho =1. refvel =10.
reflen =1. reftemp =1000.
rlxdu1 =0.5 rlxdv1 =0.5
rlxdw1 =0.5
Maximum change of U1   per sweep =   100.0000
Maximum change of V1   per sweep =   100.0000
Maximum change of KE   per sweep =  0.1000000
Maximum change of EP   per sweep =   1000.000
Maximum change of TEM1 per sweep =   1000.000
relaxation and min/max values left at
defaults may have been changed

************************************************************
************************************************************
 Group 1. Run Title and Number
************************************************************
************************************************************

TEXT(2D                                          )

************************************************************
************************************************************

IRUNN = 1 ;LIBREF = 0
************************************************************
 Group 2. Time dependence
STEADY = T
************************************************************
 Group 3. X-Direction Grid Spacing
CARTES = T
NX = 158
XULAST =0.425
XFRAC(1)=0.010669 ;XFRAC(32)=0.294584
XFRAC(63)=0.468474 ;XFRAC(94)=0.528375
XFRAC(125)=0.697893 ;XFRAC(156)=0.97875
************************************************************
 Group 4. Y-Direction Grid Spacing
NY = 78
YVLAST =0.08577
YFRAC(1)=1.996241E-03 ;YFRAC(16)=0.16858
YFRAC(31)=0.463127 ;YFRAC(46)=0.655089
YFRAC(61)=0.747899 ;YFRAC(76)=0.963987
************************************************************
 Group 5. Z-Direction Grid Spacing
PARAB = F
NZ = 1
ZWLAST =1.0E-04
************************************************************
 Group 6. Body-Fitted Coordinates
************************************************************
 Group 7. Variables: STOREd,SOLVEd,NAMEd
ONEPHS = T
NAME(1)=P1 ;NAME(3)=U1
NAME(5)=V1 ;NAME(12)=KE
NAME(13)=EP ;NAME(146)=EPKE
```

EK-3. (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```
 NAME(147)=TEM1 ;NAME(148)=DEN1
 NAME(149)=EL1 ;NAME(150)=ENUT
    * Y in SOLUTN argument list denotes:
    * 1-stored 2-solved 3-whole-field
    * 4-point-by-point 5-explicit 6-harmonic averaging
 SOLUTN(P1,Y,Y,N,N,N,Y)
 SOLUTN(U1,Y,Y,N,N,N,Y)
 SOLUTN(V1,Y,Y,N,N,N,Y)
 SOLUTN(KE,Y,Y,N,N,N,N)
 SOLUTN(EP,Y,Y,N,N,N,N)
 SOLUTN(EPKE,Y,N,N,N,N,Y)
 SOLUTN(TEM1,Y,Y,N,N,N,Y)
 SOLUTN(DEN1,Y,N,N,N,N,Y)
 SOLUTN(EL1,Y,N,N,N,N,Y)
 SOLUTN(ENUT,Y,N,N,N,N,Y)
 DEN1 = 148
 VIST = 150
 LEN1 = 149
 ************************************************************
  Group 8. Terms & Devices
    * Y in TERMS argument list denotes:
    * 1-built-in source 2-convection 3-diffusion 4-transient
    * 5-first phase variable 6-interphase transport
 TERMS(P1,Y,Y,Y,N,Y,N)
 TERMS(U1,Y,Y,Y,N,Y,N)
 TERMS(V1,Y,Y,Y,N,Y,N)
 TERMS(KE,N,Y,Y,N,Y,N)
 TERMS(EP,N,Y,Y,N,Y,N)
 TERMS(TEM1,N,Y,Y,N,Y,N)
 DIFCUT =0.5 ;ZDIFAC =1.
 GALA = F ;ADDDIF = T
 NEWENT = T
 ISOLX = -1 ;ISOLY = -1 ;ISOLZ = 0
 ************************************************************
  Group 9. Properties used if PRPS is not
  stored, and where PRPS = -1.0 if it is!
 RHO1 =1.189 ;TMP1 =0.
 EL1 = GRND4
 TSURR =0. ;TEMP0 =273.
 PRESS0 =1.01325E+05
 DVO1DT =3.41E-03 ;DRH1DP =0.
 EMISS =0. ;SCATT =0.
 RADIA =0. ;RADIB =0.
 EL1A =0. ;EL1B =0.
 EL1C =0.
 ENUL =1.544E-05 ;ENUT = GRND3
 ENUTA =0. ;ENUTB =0.
 ENUTC =0.
 IENUTA = 0
 PRNDTL(U1)=1. ;PRNDTL(V1)=1.
 PRNDTL(KE)=1. ;PRNDTL(EP)=1.
 PRNDTL(TEM1)=-0.0258
 PRT(U1)=1. ;PRT(V1)=1.
 PRT(KE)=1. ;PRT(EP)=1.314
 PRT(TEM1)=1.
 CP1 =1005. ;CP2 =1.
************************************************************
```

EK-3. (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```
Group 10.Inter-Phase Transfer Processes
************************************************************
 Group 11.Initial field variables (PHIs)
FIINIT(P1)=0. ;FIINIT(U1)=1.0E-10
FIINIT(V1)=1.0E-10 ;FIINIT(KE)=3.343649
FIINIT(EP)=1054.223999 ;FIINIT(EPKE)=1.0E-10
FIINIT(TEM1)=23. ;FIINIT(DEN1)=1.189
FIINIT(EL1)=1.0E-10 ;FIINIT(ENUT)=1.0E-10
  No PATCHes yet used for this Group
INIADD = F
FSWEEP = 1
NAMFI =CHAM
************************************************************
 Group 12. Patchwise adjustment of terms
 Patches for this group are printed with those
 for Group 13.
 Their names begin either with GP12 or &
************************************************************
 Group 13. Boundary & Special Sources

  Parent VR object for this patch is: UST
PATCH(OB1 ,NORTH , 1, 158, 78, 78, 1, 1, 1, 1)
COVAL(OB1 ,P1 ,1000. ,0. )
COVAL(OB1 ,U1 ,0. , GRND1 )
COVAL(OB1 ,V1 ,0. , GRND1 )
COVAL(OB1 ,KE ,0. , SAME )
COVAL(OB1 ,EP ,0. , SAME )
COVAL(OB1 ,TEM1,0. ,23. )

  Parent VR object for this patch is: SAG
PATCH(OB2 ,EAST , 158, 158, 1, 78, 1, 1, 1, 1)
COVAL(OB2 ,P1 ,1000. ,0. )
COVAL(OB2 ,U1 ,0. , GRND1 )
COVAL(OB2 ,V1 ,0. , GRND1 )
COVAL(OB2 ,KE ,0. , SAME )
COVAL(OB2 ,EP ,0. , SAME )
COVAL(OB2 ,TEM1,0. ,23. )

  Parent VR object for this patch is: SOL
PATCH(OB3 ,WEST , 1, 1, 1, 78, 1, 1, 1, 1)
COVAL(OB3 ,P1 ,1000. ,0. )
COVAL(OB3 ,U1 ,0. , GRND1 )
COVAL(OB3 ,V1 ,0. , GRND1 )
COVAL(OB3 ,KE ,0. , SAME )
COVAL(OB3 ,EP ,0. , SAME )
COVAL(OB3 ,TEM1,0. ,23. )

  Parent VR object for this patch is: JET
PATCH(OB5 ,NORTH , 74, 85, 49, 49, 1, 1, 1, 1)
COVAL(OB5 ,P1 , FIXFLU ,43.483269 )
COVAL(OB5 ,U1 ,0. ,6.448506 )
COVAL(OB5 ,V1 ,0. ,-36.571301 )
COVAL(OB5 ,KE ,0. ,3.343649 )
COVAL(OB5 ,EP ,0. ,1054.223999 )
COVAL(OB5 ,TEM1,0. ,23. )

  Parent VR object for this patch is: ALT
```

EK-3. (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```
PATCH(OB4 ,SWALL , 1, 158, 1, 1, 1, 1, 1, 1)
 COVAL(OB4 ,U1 , GRND2 ,0. )
 COVAL(OB4 ,KE , GRND2 , GRND2 )
 COVAL(OB4 ,EP , GRND2 , GRND2 )
 COVAL(OB4 ,TEM1, FIXFLU ,1000. )

 PATCH(KESOURCE,PHASEM, 1, 158, 1, 78, 1, 1, 1, 1)
 COVAL(KESOURCE,KE , GRND4 , GRND4 )
 COVAL(KESOURCE,EP , GRND4 , GRND4 )
 XCYCLE = F
 EGWF = T
 WALLCO = GRND2
 ************************************************************
  Group 14. Downstream Pressure For PARAB
 ************************************************************
  Group 15. Terminate Sweeps
 LSWEEP = 10000 ;ISWC1 = 1
 LITHYD = 1 ;LITFLX = 1 ;LITC = 1 ;ITHC1 = 1
 SELREF = T
 RESFAC =1.0E-03
 ************************************************************
  Group 16. Terminate Iterations
 LITER(P1)=200 ;LITER(U1)=10
 LITER(V1)=10 ;LITER(KE)=20
 LITER(EP)=20 ;LITER(TEM1)=20
 ENDIT(P1)=1.0E-03 ;ENDIT(U1)=1.0E-03
 ENDIT(V1)=1.0E-03 ;ENDIT(KE)=1.0E-03
 ENDIT(EP)=1.0E-03 ;ENDIT(TEM1)=1.0E-03
 ************************************************************
  Group 17. Relaxation
 RELAX(P1,LINRLX,0.5)
 RELAX(U1,LINRLX,0.5)
 RELAX(V1,LINRLX,0.5)
 RELAX(KE,LINRLX,0.5)
 RELAX(EP,LINRLX,0.5)
 RELAX(EPKE,LINRLX,1.)
 RELAX(TEM1,LINRLX,1.)
 RELAX(DEN1,LINRLX,0.5)
 RELAX(EL1,LINRLX,1.)
 RELAX(ENUT,LINRLX,0.5)
 KELIN = 3
 OVRRLX =0.
 EXPERT = F ;NNORSL = F
 ************************************************************
  Group 18. Limits
 VARMAX(P1)=1.0E+10 ;VARMIN(P1)=-1.0E+10
 VARMAX(U1)=1.0E+06 ;VARMIN(U1)=-1.0E+06
 VARMAX(V1)=1.0E+06 ;VARMIN(V1)=-1.0E+06
 VARMAX(KE)=1.0E+10 ;VARMIN(KE)=1.0E-10
 VARMAX(EP)=1.0E+10 ;VARMIN(EP)=1.0E-10
 VARMAX(EPKE)=1.0E+10 ;VARMIN(EPKE)=1.0E-10
 VARMAX(TEM1)=3000. ;VARMIN(TEM1)=-204.75
 VARMAX(DEN1)=1.0E+10 ;VARMIN(DEN1)=1.0E-06
 VARMAX(EL1)=1.0E+10 ;VARMIN(EL1)=1.0E-10
 VARMAX(ENUT)=1.0E+10 ;VARMIN(ENUT)=1.0E-10
 ************************************************************
  Group 19. Data transmitted to GROUND
```

EK-3. (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```
GENK = T
CONWIZ = T
GEN1 = 681
SPEDAT(SET,DOMAIN,PHASE_1_MAT,I,0)
SPEDAT(SET,UST,DATFILE,C,cube12t)
SPEDAT(SET,OBJNAM,^OB1,C,UST)
SPEDAT(SET,OBJTYP,^OB1,C,OUTLET)
SPEDAT(SET,ARATIO,^OB1,R,1.)
SPEDAT(SET,SAG,DATFILE,C,cube12t)
SPEDAT(SET,OBJNAM,^OB2,C,SAG)
SPEDAT(SET,OBJTYP,^OB2,C,OUTLET)
SPEDAT(SET,ARATIO,^OB2,R,1.)
SPEDAT(SET,SOL,DATFILE,C,cube12t)
SPEDAT(SET,OBJNAM,^OB3,C,SOL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,^OB3,C,OUTLET)
SPEDAT(SET,ARATIO,^OB3,R,1.)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB4,C,ALT)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB4,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB5,C,JET)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB5,C,INLET)
SPEDAT(SET,FACETDAT,NUMOBJ,I,5)
************************************************************
 Group 20. Preliminary Printout
************************************************************
 Group 21. Print-out of Variables
INIFLD = F ;SUBWGR = F
   * Y in OUTPUT argument list denotes:
   * 1-field 2-correction-eq. monitor 3-selective dumping
   * 4-whole-field residual 5-spot-value table 6-residual table
OUTPUT(P1,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(U1,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(V1,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(KE,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(EP,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(EPKE,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(TEM1,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(DEN1,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(EL1,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(ENUT,Y,N,Y,N,N,N)
************************************************************
 Group 22. Monitor Print-Out
IXMON = 80 ;IYMON = 43 ;IZMON = 1
NPRMON = 100000 ;NPRMNT = 1 ;TSTSWP = 10001
UWATCH = F ;USTEER = F
HIGHLO = F
************************************************************
 Group 23.Field Print-Out & Plot Control
NPRINT = 10000 ;NUMCLS = 5
NXPRIN = 31 ;IXPRF = 1 ;IXPRL = 158
NYPRIN = 15 ;IYPRF = 1 ;IYPRL = 78
IPLTF = 1 ;IPLTL = 10000 ;NPLT = 500
ISWPRF = 1 ;ISWPRL = 100000
ITABL = 3 ;IPROF = 1
ABSIZ =0.5 ;ORSIZ =0.4
NTZPRF = 1 ;NCOLPF = 50
ICHR = 2 ;NCOLCO = 45 ;NROWCO = 20
  No PATCHes yet used for this Group
```

EK-3. (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```
************************************************************
 Group 24. Dumps For Restarts
SAVE = T ;NOWIPE = F
NSAVE =CHAM

*** grid-geometry information ***
X-coordinates of the cell centres
   2.267E-03   6.783E-03   1.126E-02   1.570E-02   2.010E-02
   2.447E-02   2.879E-02   3.308E-02   3.732E-02   4.153E-02
   4.570E-02   4.983E-02   5.391E-02   5.796E-02   6.197E-02
   6.593E-02   6.986E-02   7.374E-02   7.758E-02   8.138E-02
   8.514E-02   8.886E-02   9.253E-02   9.616E-02   9.974E-02
   1.033E-01   1.068E-01   1.102E-01   1.136E-01   1.170E-01
   1.203E-01   1.236E-01   1.268E-01   1.300E-01   1.331E-01
   1.362E-01   1.392E-01   1.422E-01   1.451E-01   1.480E-01
   1.508E-01   1.536E-01   1.563E-01   1.590E-01   1.616E-01
   1.642E-01   1.667E-01   1.691E-01   1.715E-01   1.739E-01
   1.761E-01   1.783E-01   1.805E-01   1.826E-01   1.846E-01
   1.866E-01   1.885E-01   1.903E-01   1.921E-01   1.938E-01
   1.954E-01   1.969E-01   1.984E-01   1.998E-01   2.011E-01
   2.023E-01   2.034E-01   2.044E-01   2.053E-01   2.061E-01
   2.068E-01   2.073E-01   2.076E-01   2.078E-01   2.082E-01
   2.088E-01   2.097E-01   2.107E-01   2.119E-01   2.131E-01
   2.143E-01   2.153E-01   2.162E-01   2.168E-01   2.172E-01
   2.174E-01   2.177E-01   2.182E-01   2.189E-01   2.197E-01
   2.206E-01   2.216E-01   2.227E-01   2.239E-01   2.252E-01
   2.266E-01   2.281E-01   2.296E-01   2.312E-01   2.329E-01
   2.347E-01   2.365E-01   2.384E-01   2.404E-01   2.424E-01
   2.445E-01   2.467E-01   2.489E-01   2.511E-01   2.535E-01
   2.559E-01   2.583E-01   2.608E-01   2.634E-01   2.660E-01
   2.687E-01   2.714E-01   2.742E-01   2.770E-01   2.799E-01
   2.828E-01   2.858E-01   2.888E-01   2.919E-01   2.950E-01
   2.982E-01   3.014E-01   3.047E-01   3.080E-01   3.114E-01
   3.148E-01   3.182E-01   3.217E-01   3.253E-01   3.288E-01
   3.325E-01   3.361E-01   3.399E-01   3.436E-01   3.474E-01
   3.513E-01   3.551E-01   3.591E-01   3.630E-01   3.670E-01
   3.711E-01   3.752E-01   3.793E-01   3.835E-01   3.877E-01
   3.919E-01   3.962E-01   4.005E-01   4.049E-01   4.093E-01
   4.137E-01   4.182E-01   4.227E-01
Y-coordinates of the cell centres
   8.561E-05   3.451E-04   7.560E-04   1.283E-03   1.911E-03
   2.629E-03   3.431E-03   4.311E-03   5.264E-03   6.288E-03
   7.378E-03   8.532E-03   9.748E-03   1.102E-02   1.236E-02
   1.375E-02   1.520E-02   1.669E-02   1.825E-02   1.985E-02
   2.150E-02   2.320E-02   2.495E-02   2.675E-02   2.859E-02
   3.043E-02   3.223E-02   3.398E-02   3.568E-02   3.733E-02
   3.893E-02   4.049E-02   4.198E-02   4.343E-02   4.482E-02
   4.616E-02   4.743E-02   4.865E-02   4.980E-02   5.089E-02
   5.192E-02   5.287E-02   5.375E-02   5.455E-02   5.527E-02
   5.590E-02   5.642E-02   5.683E-02   5.709E-02   5.725E-02
   5.744E-02   5.776E-02   5.816E-02   5.864E-02   5.919E-02
   5.980E-02   6.047E-02   6.120E-02   6.198E-02   6.281E-02
   6.369E-02   6.462E-02   6.560E-02   6.662E-02   6.768E-02
   6.878E-02   6.993E-02   7.111E-02   7.234E-02   7.360E-02
   7.490E-02   7.623E-02   7.761E-02   7.901E-02   8.046E-02
   8.193E-02   8.345E-02   8.499E-02
Z-coordinates of the cell centres
```

EK-3. (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```
   5.000E-05

 X-coordinates of the (higher) cell faces
   4.534E-03   9.031E-03   1.349E-02   1.791E-02   2.229E-02
   2.664E-02   3.094E-02   3.521E-02   3.944E-02   4.362E-02
   4.777E-02   5.188E-02   5.595E-02   5.998E-02   6.396E-02
   6.791E-02   7.181E-02   7.567E-02   7.950E-02   8.327E-02
   8.701E-02   9.070E-02   9.435E-02   9.796E-02   1.015E-01
   1.050E-01   1.085E-01   1.119E-01   1.153E-01   1.187E-01
   1.220E-01   1.252E-01   1.284E-01   1.315E-01   1.346E-01
   1.377E-01   1.407E-01   1.437E-01   1.466E-01   1.494E-01
   1.522E-01   1.550E-01   1.577E-01   1.603E-01   1.629E-01
   1.654E-01   1.679E-01   1.703E-01   1.727E-01   1.750E-01
   1.773E-01   1.794E-01   1.816E-01   1.836E-01   1.856E-01
   1.876E-01   1.894E-01   1.912E-01   1.929E-01   1.946E-01
   1.962E-01   1.977E-01   1.991E-01   2.004E-01   2.017E-01
   2.029E-01   2.039E-01   2.049E-01   2.057E-01   2.065E-01
   2.071E-01   2.075E-01   2.077E-01   2.080E-01   2.085E-01
   2.092E-01   2.101E-01   2.112E-01   2.125E-01   2.138E-01
   2.149E-01   2.158E-01   2.165E-01   2.170E-01   2.173E-01
   2.175E-01   2.179E-01   2.185E-01   2.193E-01   2.201E-01
   2.211E-01   2.221E-01   2.233E-01   2.246E-01   2.259E-01
   2.273E-01   2.288E-01   2.304E-01   2.321E-01   2.338E-01
   2.356E-01   2.374E-01   2.394E-01   2.414E-01   2.434E-01
   2.456E-01   2.477E-01   2.500E-01   2.523E-01   2.547E-01
   2.571E-01   2.596E-01   2.621E-01   2.647E-01   2.673E-01
   2.700E-01   2.728E-01   2.756E-01   2.784E-01   2.813E-01
   2.843E-01   2.873E-01   2.904E-01   2.935E-01   2.966E-01
   2.998E-01   3.030E-01   3.063E-01   3.097E-01   3.131E-01
   3.165E-01   3.200E-01   3.235E-01   3.270E-01   3.306E-01
   3.343E-01   3.380E-01   3.417E-01   3.455E-01   3.493E-01
   3.532E-01   3.571E-01   3.610E-01   3.650E-01   3.691E-01
   3.731E-01   3.772E-01   3.814E-01   3.856E-01   3.898E-01
   3.941E-01   3.984E-01   4.027E-01   4.071E-01   4.115E-01
   4.160E-01   4.205E-01   4.250E-01
 Y-coordinates of the (higher) cell faces
   1.712E-04   5.190E-04   9.930E-04   1.573E-03   2.249E-03
   3.010E-03   3.852E-03   4.770E-03   5.759E-03   6.816E-03
   7.939E-03   9.125E-03   1.037E-02   1.168E-02   1.304E-02
   1.446E-02   1.593E-02   1.746E-02   1.904E-02   2.066E-02
   2.234E-02   2.407E-02   2.584E-02   2.766E-02   2.952E-02
   3.134E-02   3.311E-02   3.484E-02   3.652E-02   3.814E-02
   3.972E-02   4.125E-02   4.272E-02   4.414E-02   4.550E-02
   4.681E-02   4.805E-02   4.924E-02   5.036E-02   5.142E-02
   5.241E-02   5.333E-02   5.417E-02   5.493E-02   5.561E-02
   5.619E-02   5.666E-02   5.701E-02   5.718E-02   5.731E-02
   5.758E-02   5.794E-02   5.838E-02   5.890E-02   5.948E-02
   6.012E-02   6.082E-02   6.158E-02   6.238E-02   6.324E-02
   6.415E-02   6.510E-02   6.610E-02   6.714E-02   6.822E-02
   6.934E-02   7.051E-02   7.171E-02   7.296E-02   7.424E-02
   7.556E-02   7.691E-02   7.830E-02   7.973E-02   8.119E-02
   8.268E-02   8.421E-02   8.577E-02
 Z-coordinates of the (higher) cell faces
   1.000E-04

 Total number of F-array elements used is         1453507
 --- INTEGRATION OF EQUATIONS BEGINS ---
```

EK-3. (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```
 Flow field at ITHYD=   1, IZ=   1, ISWEEP= 10000, ISTEP=    1

 Field Values of P1
 IY=  78  -1.818E-03  -9.820E-03  -4.847E-02  -4.445E-02  -1.215E-
02
 IY=  63  -9.131E-04   1.078E-01  -2.406E+00  -1.193E+00   7.552E-
02
 IY=  48  -1.995E-03   1.306E-01  -3.374E+00  -3.276E+00   9.220E-
02
 IY=  33   3.832E-02   1.235E-01   1.332E+00   1.700E+00   8.061E-
02
 IY=  18   1.405E-01   1.101E+00   5.551E+00   1.338E+02
1.075E+00
 IY=   3   1.636E-01   1.628E+00   7.001E+01   5.551E+02
2.004E+00
 IX=         1          32          63          94          125
 IY=  78  -1.549E-03
 IY=  63  -4.161E-01
 IY=  48  -9.322E-01
 IY=  33  -9.450E-01
 IY=  18   7.360E-02
 IY=   3  -1.916E-02
 IX=       156

 Field Values of U1
 IY=  78   2.413E-02  -8.192E-03   5.285E-03  -7.150E-03   5.948E-
03
 IY=  63   9.652E-02  -8.346E-02   2.117E-01  -9.871E-02   7.330E-
02
 IY=  48   8.002E-02  -1.521E-01   9.518E-01  -6.120E-01   1.330E-
01
 IY=  33  -3.118E+00  -3.694E-01   1.391E+00   8.445E-01   3.096E-
01
 IY=  18  -1.180E+01  -9.521E+00  -1.271E-01   7.739E+00
1.078E+01
 IY=   3  -1.403E+01  -2.078E+01  -2.694E+01   1.105E+01
2.540E+01
 IX=         1          32          63          94          125
 IY=  78  -8.770E-01
 IY=  63  -1.712E+00
 IY=  48  -1.350E+00
 IY=  33   2.758E+00
 IY=  18   1.404E+01
 IY=   3   1.803E+01
 IX=       156

 Field Values of V1
 IY=  77  -1.972E-01  -8.260E-01  -4.078E+00  -3.739E+00  -
1.022E+00
 IY=  62  -2.270E-01  -8.340E-01  -4.295E+00  -3.846E+00  -
1.028E+00
 IY=  47  -2.419E-01  -8.469E-01  -4.284E+00  -4.089E+00  -
1.035E+00
 IY=  32  -1.820E-01  -9.118E-01  -2.929E+00  -1.100E+01  -
1.074E+00
IY= 17  2.854E-01  2.305E-01 -1.410E+00 -2.209E+01  2.154E-
```

EK-3. (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```
 IY=   2   4.274E-03   4.314E-02  -3.662E-02  -1.065E+00   4.831E-
02
 IX=          1          32          63          94          125
 IY=  77  -1.244E-01
 IY=  62  -1.894E-01
 IY=  47  -2.488E-01
 IY=  32  -1.708E-01
 IY=  17   3.679E-01
 IY=   2   2.161E-02
 IX=         156

 Field Values of KE
 IY=  78   9.436E-02   6.058E-01   2.077E+00   1.990E+00   5.630E-
01
 IY=  63   1.086E-01   5.447E-01   2.208E+00   2.001E+00   5.241E-
01
 IY=  48   4.937E-01   4.452E-01   2.393E+00   2.172E+00   4.513E-
01
 IY=  33   5.902E+00   2.730E-01   1.154E+00   4.486E+01   2.434E-
01
 IY=  18   1.405E+01   2.322E+01   1.940E+00   5.324E+01
2.858E+01
 IY=   3   4.826E+00   9.222E+00   3.109E+01   6.024E+01
1.039E+01


IX=          1          32          63          94          125
 IY=  78   1.166E+00
 IY=  63   1.584E+00
 IY=  48   2.734E+00
 IY=  33   9.037E+00
 IY=  18   2.152E+01
 IY=   3   6.844E+00
 IX=         156

 Field Values of EP
 IY=  78   5.214E-01   6.592E+00   2.617E+01   2.463E+01
5.318E+00
 IY=  63   1.184E+00   1.023E+01   4.735E+01   4.407E+01
8.229E+00
 IY=  48   2.033E+01   1.595E+01   1.837E+02   1.730E+02
1.451E+01
 IY=  33   5.634E+02   9.701E+00   4.156E+02   5.328E+04
1.754E+01
 IY=  18   1.703E+03   5.220E+03   2.781E+02   4.709E+04
8.061E+03
 IY=   3   5.747E+03   1.225E+04   4.632E+04   6.734E+04
1.619E+04
 IX=          1          32          63          94          125
 IY=  78   2.389E+01
 IY=  63   5.812E+01
 IY=  48   2.068E+02
 IY=  33   1.037E+03
 IY=  18   3.385E+03
 IY=   3   9.379E+03
 IX=         156

 Field Values of EPKE
```

EK-3. (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```
 IY=  78   5.449E+00   1.099E+01   1.260E+01   1.238E+01
9.502E+00
 IY=  63   9.666E+00   2.275E+01   2.354E+01   2.464E+01
1.845E+01
 IY=  48   3.716E+01   4.485E+01   8.499E+01   8.845E+01
3.869E+01
 IY=  33   9.215E+01   4.214E+01   3.352E+02   1.189E+03
7.564E+01
 IY=  18   1.212E+02   2.248E+02   1.437E+02   8.832E+02
2.822E+02
 IY=   3   1.191E+03   1.328E+03   1.490E+03   1.118E+03
1.558E+03
 IX=          1          32          63          94         125
 IY=  78   2.002E+01
 IY=  63   3.464E+01
 IY=  48   6.476E+01
 IY=  33   1.036E+02
 IY=  18   1.571E+02
 IY=   3   1.370E+03
 IX=        156

 Field Values of TEM1
 IY=  78   2.300E+01   2.300E+01   2.300E+01   2.300E+01
2.300E+01
 IY=  63   2.300E+01   2.300E+01   2.300E+01   2.300E+01
2.300E+01
 IY=  48   2.300E+01   2.300E+01   2.300E+01   2.300E+01
2.300E+01
 IY=  33   2.302E+01   2.300E+01   2.300E+01   2.300E+01
2.300E+01
 IY=  18   2.319E+01   2.303E+01   2.300E+01   2.300E+01
2.301E+01
 IY=   3   2.540E+01   2.409E+01   2.323E+01   2.310E+01
2.382E+01
 IX=          1          32          63          94         125
 IY=  78   2.300E+01
 IY=  63   2.300E+01
 IY=  48   2.300E+01
 IY=  33   2.301E+01
 IY=  18   2.311E+01
 IY=   3   2.489E+01
 IX=        156


Field Values of DEN1
 IY=  78   1.189E+00   1.189E+00   1.189E+00   1.189E+00
1.189E+00
 IY=  63   1.189E+00   1.189E+00   1.189E+00   1.189E+00
1.189E+00
 IY=  48   1.189E+00   1.189E+00   1.189E+00   1.189E+00
1.189E+00
 IY=  33   1.189E+00   1.189E+00   1.189E+00   1.189E+00
1.189E+00
 IY=  18   1.189E+00   1.189E+00   1.189E+00   1.189E+00
1.189E+00
 IY=   3   1.189E+00   1.189E+00   1.189E+00   1.189E+00
1.189E+00
 IX=          1          32          63          94         125
```

EK-3. (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```
 IY=  78   1.189E+00
 IY=  63   1.189E+00
 IY=  48   1.189E+00
 IY=  33   1.189E+00
 IY=  18   1.189E+00
 IY=   3   1.189E+00
 IX=        156

 Field Values of EL1
 IY=  78   9.135E-03   1.175E-02   1.880E-02   1.873E-02   1.305E-
02
 IY=  63   4.968E-03   6.455E-03   1.139E-02   1.055E-02   7.577E-
03
 IY=  48   2.803E-03   3.060E-03   3.311E-03   3.041E-03   3.434E-
03
 IY=  33   4.181E-03   2.416E-03   4.898E-04   9.264E-04   1.124E-
03
 IY=  18   5.081E-03   3.522E-03   1.597E-03   1.356E-03   3.114E-
03
 IY=   3   3.031E-04   3.757E-04   6.150E-04   1.141E-03   3.399E-
04
 IX=          1          32          63          94          125
 IY=  78   8.657E-03
 IY=  63   5.637E-03
 IY=  48   3.592E-03
 IY=  33   4.305E-03
 IY=  18   4.845E-03
 IY=   3   3.136E-04
 IX=        156

 Field Values of ENUT
 IY=  78   1.546E-03   4.996E-03   1.484E-02   1.447E-02   5.354E-
03
 IY=  63   9.411E-04   2.463E-03   8.996E-03   7.879E-03   2.851E-
03
 IY=  48   1.117E-03   1.061E-03   2.751E-03   2.397E-03   1.203E-
03
 IY=  33   5.651E-03   6.793E-04   3.065E-04   3.398E-03   3.107E-
04
 IY=  18   1.044E-02   9.298E-03   1.219E-03   5.422E-03   9.118E-
03
 IY=   3   3.647E-04   6.250E-04   1.878E-03   4.850E-03   6.003E-
04
 IX=          1          32          63          94          125
 IY=  78   5.171E-03
 IY=  63   3.977E-03
 IY=  48   3.484E-03
 IY=  33   7.426E-03
 IY=  18   1.232E-02
 IY=   3   4.495E-04
 IX=        156

 ************************************************************
 Whole-field residuals before solution
 with resref values determined by EARTH
 & resfac=1.0E-03
  variable   resref  (res sum)/resref  (res sum)
```

EK-3. (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```
     P1      1.051E-09   3.636E+01      3.822E-08
     U1      1.022E-08   6.056E+02      6.191E-06
     V1      7.491E-09   8.969E+02      6.719E-06
     KE      6.379E-08   1.364E+06      8.700E-02
     EP      3.650E-04   3.591E+06      1.310E+03
     TEM1    2.694E-05   4.894E+00      1.318E-04

 ************************************************************
 Sources and sinks
 !! Zero nett sources are not printed !!!

    Nett Sources have units of mass_per_unit_time * variable
    Average values have units of the variable

    Typically the units of the sources are:
        U1,V1,W1 - Force  - Newtons
        R1       - Mass   - kg/s
        TEM1     - Energy - Watts

 Nett source of U1   at patch named: OB2      (SAG     ) =-
8.454262E-04
 Nett source of U1   at patch named: OB3      (SOL     ) =
5.848868E-04
 Nett source of U1   at patch named: OB5      (JET     ) =
2.672244E-04
 Nett source of U1   at patch named: OB4      (ALT     ) =-
5.740423E-06
 pos. sum=8.521112E-04 neg. sum=-8.511666E-04
 nett sum=9.445939E-07

 Nett source of V1   at patch named: OB1      (UST     ) =-
1.565661E-04
 Nett source of V1   at patch named: OB2      (SAG     ) =-
1.326757E-05
 Nett source of V1   at patch named: OB3      (SOL     ) =-
7.923089E-06
 Nett source of V1   at patch named: OB5      (JET     ) =-
1.515505E-03
 pos. sum=0. neg. sum=-1.693262E-03
 nett sum=-1.693262E-03

 Nett source of R1   at patch named: OB1      (UST     ) =
6.567041E-05 (Mass Out  0.000000E+00 In 6.567103E-05)
 Nett source of R1   at patch named: OB2      (SAG     ) =-
5.507761E-05 (Mass Out -6.035987E-05 In 5.281870E-06)
 Nett source of R1   at patch named: OB3      (SOL     ) =-
5.203189E-05 (Mass Out -5.234999E-05 In 3.178654E-07)
 Nett source of R1   at patch named: OB5      (JET     ) =
4.143973E-05
 pos. sum=1.071101E-04 neg. sum=-1.071095E-04
 nett sum=6.548362E-10

 Nett source of KE   at patch named: OB1      (UST     ) =
9.502823E-05 (Ave Out  0.000000E+00 In  1.447039E+00)
 Nett source of KE   at patch named: OB2      (SAG     ) =-
9.525508E-04 (Ave Out  1.596550E+01 In  1.953766E+00)
```

EK-3. (Devam) Örnek sonuç kütüğü

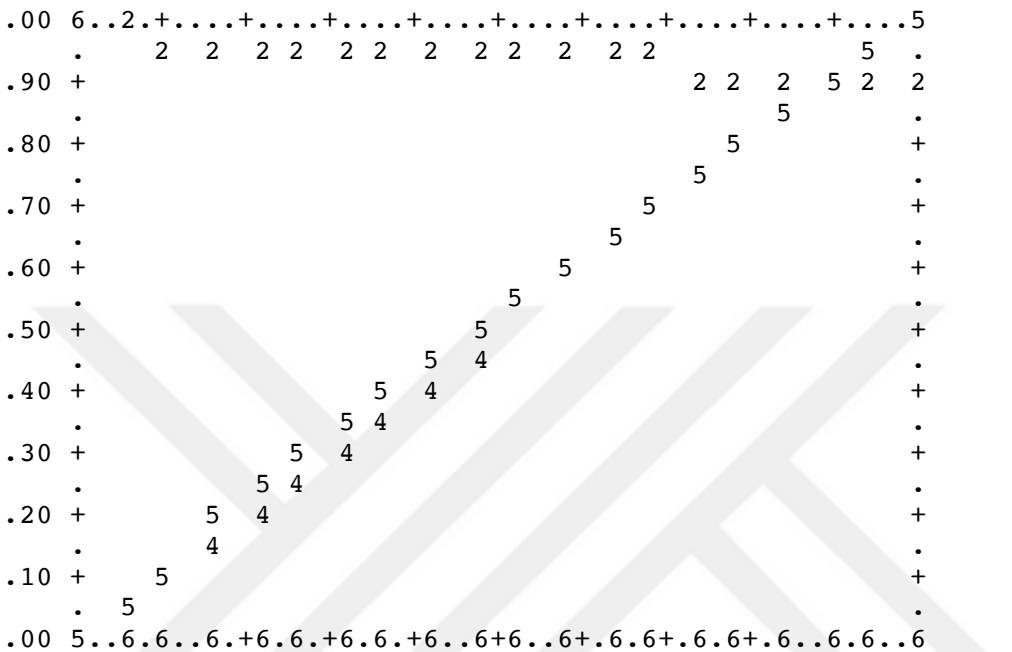
```
 Nett source of KE   at patch named: OB3      (SOL     ) =-
5.592800E-04 (Ave Out  1.068429E+01 In  1.978749E-01)
 Nett source of KE   at patch named: OB5      (JET     ) =
1.385599E-04 (Average  3.343649E+00)


Nett source of KE   at patch named: KESOURCE           =-
6.636753E-02
 pos. sum=2.335882E-04 neg. sum=-0.067879
 nett sum=-0.067646

 Nett source of EP   at patch named: OB1      (UST     ) =
1.248902E-03 (Ave Out  0.000000E+00 In  1.902706E+01)
 Nett source of EP   at patch named: OB2      (SAG     ) =-
1.945360E-01 (Ave Out  3.253903E+03 In  9.106160E+01)
 Nett source of EP   at patch named: OB3      (SOL     ) =-
9.261104E-02 (Ave Out  1.772492E+03 In  5.376890E+00)
 Nett source of EP   at patch named: OB5      (JET     ) =
4.368676E-02 (Average  1.054224E+03)
 Nett source of EP   at patch named: KESOURCE           =-
7.179037E+02
 pos. sum=0.044936 neg. sum=-718.190857
 nett sum=-718.145935

 Nett source of TEM1 at patch named: OB1      (UST     ) =
1.953563E+01 (Ave Out  0.000000E+00 In  2.299999E+01)
 Nett source of TEM1 at patch named: OB2      (SAG     ) =-
1.640503E+01 (Ave Out  2.333850E+01 In  2.300000E+01)
 Nett source of TEM1 at patch named: OB3      (SOL     ) =-
1.550041E+01 (Ave Out  2.341747E+01 In  2.300000E+01)
 Nett source of TEM1 at patch named: OB5      (JET     ) =
1.232749E+01 (Average  2.300003E+01)
 Nett source of TEM1 at patch named: OB4      (ALT     ) =
4.249999E-02
 pos. sum=31.905624 neg. sum=-31.905434
 nett sum=1.907349E-04


 ************************************************************
 spot values vs sweep or iteration number
 IXMON= 80 IYMON= 43 IZMON= 1 TIMESTEP= 1

 Tabulation of abscissa and ordinates...
   ISWP       P1           U1           V1           KE
EP
      1   1.2364E+03   1.7013E+00  -2.1957E+01   3.2936E+00
6.7095E+02
    501  -6.9116E+00   6.6686E+00  -3.6522E+01   2.8294E+01
2.5067E+05
   1001  -1.7288E+01   6.4920E+00  -3.6615E+01   5.3293E+01
4.5757E+05
   1501  -1.8565E+01   6.4193E+00  -3.6642E+01   7.8294E+01
6.5764E+05
   2001  -1.9816E+01   6.3974E+00  -3.6664E+01   1.0330E+02
8.5591E+05
   2501  -2.0704E+01   6.3800E+00  -3.6679E+01   1.2830E+02
1.0524E+06
```

EK-3. (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```
   3001  -2.1182E+01   6.3650E+00  -3.6688E+01   1.5330E+02
1.2472E+06
   3501  -2.1605E+01   6.3521E+00  -3.6693E+01   1.7830E+02
1.4404E+06
   4001  -2.2798E+01   6.3422E+00  -3.6701E+01   2.0330E+02
1.6326E+06
   4501  -2.3880E+01   6.3322E+00  -3.6709E+01   2.2830E+02
1.8236E+06
   5001  -2.4902E+01   6.3230E+00  -3.6716E+01   2.5330E+02
2.0134E+06
   5501  -2.5782E+01   6.3149E+00  -3.6721E+01   2.7830E+02
2.2021E+06
   6001  -2.6635E+01   6.3069E+00  -3.6726E+01   3.0329E+02
2.3898E+06
   6501  -2.7461E+01   6.2994E+00  -3.6731E+01   3.2829E+02
2.5765E+06
   7001  -2.8268E+01   6.2918E+00  -3.6736E+01   3.5328E+02
2.7623E+06
   7501  -2.9050E+01   6.2840E+00  -3.6741E+01   3.7827E+02
2.9473E+06
   8001  -2.9822E+01   6.2766E+00  -3.6745E+01   4.0327E+02
3.1314E+06
   8501  -3.0573E+01   6.2693E+00  -3.6749E+01   4.2826E+02
3.3148E+06
   9001  -3.1294E+01   6.2620E+00  -3.6752E+01   4.5326E+02
3.4974E+06
   9501  -3.1996E+01   6.2548E+00  -3.6756E+01   4.7825E+02
3.6793E+06
   ISWP        TEM1
      1   2.8794E+01
    501   2.3000E+01
   1001   2.3000E+01
   1501   2.3000E+01
   2001   2.3000E+01
   2501   2.3000E+01
   3001   2.3000E+01
   3501   2.3000E+01
   4001   2.3000E+01
   4501   2.3000E+01
   5001   2.3000E+01
   5501   2.3000E+01
   6001   2.3000E+01
   6501   2.3000E+01
   7001   2.3000E+01
   7501   2.3000E+01
   8001   2.3000E+01
   8501   2.3000E+01
   9001   2.3000E+01
   9501   2.3000E+01
   Variable    1 = P1     2 = U1     3 = V1     4 = KE     5 = EP
     Minval= -3.200E+01  1.701E+00 -3.676E+01  3.294E+00
6.710E+02
     Maxval=  1.236E+03  6.669E+00 -2.196E+01  4.783E+02
3.679E+06
     Cellav=  3.889E+01  6.117E+00 -3.596E+01  2.408E+02
1.897E+06
   Variable    6 = TEM1
```

EK-3. (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```
     Minval=  2.300E+01
     Maxval=  2.879E+01
     Cellav=  2.329E+01
```




```
 the abscissa is      ISWP.  min= 1.00E+00 max= 9.50E+03

 ************************************************************
 ************************************************************
 residuals vs sweep or iteration number

 Tabulation of abscissa and ordinates...
   ISWP       P1           U1           V1           KE
EP
      1   1.5599E+07   1.2324E+07   1.2324E+07   1.2004E+07
1.2142E+07
    501   1.2333E+03   8.6079E+04   8.3865E+04   6.9200E+05
2.8262E+06
   1001   2.2335E+02   1.0573E+04   1.2908E+04   5.8626E+05
3.0289E+06
   1501   6.5728E+01   2.5568E+03   2.8794E+03   7.0728E+05
3.1796E+06
   2001   7.1184E+01   1.5721E+03   1.6936E+03   8.0297E+05
3.2736E+06
   2501   4.7477E+01   1.1407E+03   1.2476E+03   8.7897E+05
3.3390E+06
   3001   3.0433E+01   1.1388E+03   1.1256E+03   9.4336E+05
3.3880E+06
   3501   3.2813E+01   1.0553E+03   1.1175E+03   9.9913E+05
3.4260E+06
   4001   4.2764E+01   1.0306E+03   1.1153E+03   1.0476E+06
3.4555E+06
```

EK-3. (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```
   4501   4.0478E+01   7.7988E+02   1.1012E+03   1.0903E+06
3.4796E+06
   5001   3.8307E+01   7.6045E+02   1.0586E+03   1.1284E+06
3.4995E+06
   5501   4.7752E+01   7.8956E+02   1.0850E+03   1.1632E+06
3.5161E+06
   6001   3.9808E+01   7.6596E+02   1.0036E+03   1.1938E+06
3.5303E+06
   6501   3.0393E+01   6.8703E+02   9.6677E+02   1.2217E+06
3.5424E+06
   7001   4.3548E+01   6.8457E+02   9.5464E+02   1.2475E+06
3.5527E+06
   7501   3.7407E+01   6.8471E+02   9.5230E+02   1.2707E+06
3.5615E+06
   8001   3.2162E+01   6.2945E+02   9.2605E+02   1.2923E+06
3.5691E+06
   8501   4.3586E+01   6.2620E+02   9.1701E+02   1.3125E+06
3.5757E+06
   9001   3.6905E+01   6.3220E+02   9.1906E+02   1.3308E+06
3.5813E+06
   9501   2.7436E+01   5.9211E+02   8.8634E+02   1.3479E+06
3.5864E+06
   ISWP        TEM1
      1   4.2342E+04
    501   1.6082E+01
   1001   5.9754E+00
   1501   5.3600E+00
   2001   5.0037E+00
   2501   5.2054E+00
   3001   5.2121E+00
   3501   5.1959E+00
   4001   5.2466E+00
   4501   5.3215E+00
   5001   5.3066E+00
   5501   4.9809E+00
   6001   4.8833E+00
   6501   5.0423E+00
   7001   4.9698E+00
   7501   4.9605E+00
   8001   5.0876E+00
   8501   4.9503E+00
   9001   4.9193E+00
   9501   5.0854E+00
   Variable    1 = P1     2 = U1     3 = V1     4 = KE     5 = EP
     Minval=  3.312E+00  6.384E+00  6.787E+00  1.328E+01
1.485E+01
     Maxval=  1.656E+01  1.633E+01  1.633E+01  1.630E+01
1.631E+01
   Variable    6 = TEM1
     Minval=  1.586E+00
     Maxval=  1.065E+01
```

EK-3. (Devam) Örnek sonuç kütüğü

```
1.00 6....+....+....+....+....+....+....+....+....+....+
     .                                                  .
 0.90 +                                                 +
     .                                                  .
 0.80 +                                                 +
     .                                                  .
 0.70 +                                                 +
     .                                                  .
 0.60 +                                                 +
     .                                                  .
 0.50 +  3                                              +
     .                                                  .
 0.40 +                                                 +
     .                                                  .
 0.30 +  1 3                                            4
     .                              4  4 4  4 4  4  4 4  .
 0.20 +                   4  4  4 4                     +
     .  6 1  2    4  4 5  5  5 5  5  5 5  5 5  5  5 5  5
 0.10 +       5  5 5  5                                 +
     .  4 5  4  3 3  3 2  2  2 2  2  2    1       1    .
 0.00 +..5.6..6.+6.6.+6.6.+6..6+6..6+.6.6+.6.6+.6..6.6..6
     0   .1   .2   .3   .4   .5   .6   .7   .8   .9  1.0
 the abscissa is      ISWP.  min= 1.00E+00 max= 9.50E+03

 ************************************************************

 ************************************************************
 SATLIT RUN NUMBER =   1 ; LIBRARY REF.=    0
 Run started at 12:29:32 on Wednesday, 24 June 2015
 Run completed at 12:42:01 on Wednesday, 24 June 2015
 CPU time of run 746 s
 This includes 740 seconds of user time and 5 seconds of system
time.
 TIME/(VARIABLES*CELLS*TSTEPS*SWEEPS*ITS) = 1.009E-06
 ************************************************************
```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler



Soyadı, adı : LAK, Amir
Uyruğu : IRAN
Doğum tarihi ve yeri : 18.04.1988, Khoy
Medeni hali : Bekar
Telefon : 00 90 535 384 75 90
e-mail : amir.lak@gazi.edu.tr
amirlakeng@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Makina Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	Azad Üniversitesi / Makina Mühendisliği	2011
Lise	Khoy hadaf Lisesi	2008

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2010	Khoy Elektrik Santrali	Kontrol Mühendisi
2011	Khoy Şeker Fabrikası	Arge Mühendisi
2016	Ankara Tesisat Firması	HVAC Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce, Türkçe, Farsça

Yayınlar

-

Hobiler

Müzik, Araba yarışması, Dans, Alışveriş yapmak



GAZİ GELECEKTİR