

**FARKLI JET VE ÇARPMA PLAKASI ÖZELLİKLERİNDE ÇARPMALI
AKIŞKAN JETLERİNİN ISI TRANSFERİ VE AKIŞININ DENEYSEL VE
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ**

SİNAN ÇALIŞKAN

**DOKTORA TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2012
ANKARA**

SİNAN ÇALIŞKAN tarafından hazırlanan FARKLI JET VE ÇARPMA PLAKASI ÖZELLİKLERİNDE ÇARPMALI AKIŞKAN JETLERİNİN ISI TRANSFERİ VE AKIŞININ DENEYSEL VE SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA

Tez Danışmanı, Makina Müh. Anabilim Dalı

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

Prof. Dr. Taner ALTUNOK

Makine Müh. Anabilim Dalı, Ç.Ü.

Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA

Makine Müh. Anabilim Dalı, G. Ü.

Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU

Makine Müh. Anabilim Dalı, G. Ü.

Doç. Dr. Cemil YAMALI

Makine Müh. Anabilim Dalı, O.D.T.Ü.

Doç. Dr. Atilla BIYIKOĞLU

Makine Müh. Anabilim Dalı, G. Ü.

Tarih: 06/09/2012

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

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Sinan ÇALIŞKAN

**FARKLI JET VE ÇARPMA PLAKASI ÖZELLİKLERİNDE ÇARPMALI
AKIŞKAN JETLERİNİN ISI TRANSFERİ VE AKIŞININ DENEYSEL VE
SAYISAL OLARAK İNCELENMESİ
(Doktora Tezi)**

Sinan ÇALIŞKAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2012**

ÖZET

Çarpmalı jetler ısıtılmak veya soğutulmak istenen yüzeylerde çarpan akışkan jetleridir. Çarpmalı jetler yüksek ısı ve kütle transferinin istenildiği birçok uygulamalarda kullanıldı.

Bu çalışmanın ilk bölümünde, çoklu dairesel çarpmalı akışkan jetlerin ortalama ve yerel ısı transferi özellikleri Reynolds sayısı ve jet-plaka mesafesine bağlı olarak deneysel olarak incelendi. Parametrik çalışmada Reynolds sayısı ve boyutsuz jet-plaka arasındaki mesafe sırasıyla 2000-10000 ve 2-12 arasında değiştirildi. Maksimum ortalama Nusselt sayısı $H/d=2$ 'de elde edildi ve H/d 'nin artmasıyla azaldı.

İkinci bölümde, düzgün diziliimli eliptik ve dikdörtgen jetlerin düz bir yüzey üzerindeki ayrıntılı ısı transfer ölçümleri termal kamera kullanılarak incelendi. Eliptik ve dikdörtgen jetlerin en-boy oranları 1, 2 ve 0,5 üç farklı değerleri ile jet Reynolds sayısının 2000-10000, jet-plaka mesafesi 2-10 arasında değiştiği durumda ısı transfer performansı düşünüldü. Sonuç olarak eliptik ve dikdörtgen geometrilerin özellikle durma bölgesinde pasif bir ısı transferi artırım mekanizması olarak kullanılabileceği sonucuna varıldı.

Üçüncü bölümde, dairesel çarpmalı jet dizilimleri tarafından daralan-genişleyen biçimli kanatçıklar (DG-BK) ve V biçimli kanatçıklar (V-BK) üzerindeki ısı transfer ölçümleri termal kamera kullanılarak incelendi. Hem V-BK hemde DG-BK biçimleri 45° olarak düşünüldü. Duvar boyunca ısı transferinde farklı kanat yüksekliklerinin etkileri çalışıldı. Deneyler esnasında, Reynolds sayısı 2000-10000, jet çapının kanatçık yüksekliğine oranı 0,6-1,2 ve jet-plaka arasındaki mesafe 2-12 arasında değiştirildi. Kanatçıklı yüzeylerin ısı transfer sonuçları düz plaka ile karşılaştırıldı. En iyi ısı transfer performansı V-BK'lı yüzeylerde elde edildi. V-BK plakada ortalama Nusselt sayısı düz plakalara göre %4-%26,6 oranında artığı görüldü. Kanatçıklı yüzeylerde ortalama Nusselt sayısı için korelasyonlar geliştirildi.

Dördüncü bölümde, düz ve V-BK yüzeyler üzerindeki akış alanı Lazer-Doppler Anemometrisi (LDA) sistemiyle deneysel olarak çalışıldı. Herbir H/d durumunda, profiller $x/d=0-6$ bölgelerinden toplandı. Çarpma plakası boyunca farklı sınır tabaka profilleri H/d=3 ve 12'de V-BK ve düz plakalı yüzeyler üzerinde elde edildi. Radyal ve eksenel hız ve türbülans yoğunlukları V-BK ve düz plakalarda tanımlandı. Düşük jet-plaka mesafeleri için türbülans kinetik enerji üretimi V-BK'lı yüzeylerde düz plakalarla karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu görüldü. H/d=3 için, V-BK'lı yüzeylerdeki radyal hızlar düz yüzeylerle karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu görüldü. Fakat H/d=12 için radyal hızlar tüm x/d bölgelerinde neredeyse değişmedi.

Son bölümde, sayısal çalışmalar çoklu jet dizilimlerinden dolayı akış dağılımı ve ısı transferi etkileri gerçekleştirildi. X yönünde jetler arası mesafe 3d, 4d, 5d ve y yönünde sabit 5d olarak düşünüldü. Denklemler başlangıçta genel formda verildi. Daha sonra, çalışılan probleme göre kabuller ve basitleştirmeler yapıldı. Düşük Re sayılı Lam-Bramhorst k- ϵ türbülans modeli çözümler için kullanıldı. Bu model ısı transferini çarpma plakası üzerinde her noktada belirlemede yetersiz kaldığı ancak genel değişimleri yakalayabildiği görülmüştür. Ayrıca deneysel ve sayısal çalışmalar karşılaştırıldı.

Bilim Kodu : 914.1.065
Anahtar Kelimeler : arpmalı jet, LDA, kanatçıklı yüzey, ısı transferi
Sayfa Adedi : 298
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA

**EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF HEAT
TRANSFER FROM RIB-ROUGHENED SURFACES WITH DIFFERENT
IMPINGING JETS
(Ph. D. Thesis)**

Sinan ÇALIŞKAN

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
September 2012**

ABSTRACT

Impinging jets are jets of fluid impinging on a surface that needs to be cooled or heated. Impinging jets are used in many applications where high heat and mass transfer rates are required.

In the first part of this study, the effect of jet-to-plate distance and Reynolds number on local and average heat transfer characteristics of multiple circular impinging jets was experimentally investigated. In the parametric study, Reynolds number and dimensionless jet-to-plate distance was varied from 2000 to 10000, and dimensionless jet-to-plate distance from 2 to 12, respectively. Maximum averaged Nusselt number was obtained at $H/d=2$ and decreases with increasing H/d .

In the second part, detailed heat transfer measurements over a smooth surface under impingement of in-line multiple elliptic and rectangular jet arrays were investigated using thermal infrared camera. The aspect ratios (AR) of elliptical and rectangular jets with three different values, 1, 2 and 0.5, jet Reynolds number ranging from 2,000 to 10,000, and jet-to-target spacing ranging from 2 to 10 were considered to investigate the impingement heat transfer

performance. As a result, it was shown that elliptic and rectangular jets could be used as a passive enhancement mechanism, especially in the stagnation region.

In the third part, heat transfer measurements over a surface with V-shaped ribs (V-SR) and convergent-divergent shaped ribs (CD-SR) by a circular impinging jet-array was investigated using thermal infrared camera. Both V-SR and CD-SR configurations with an angle of 45° were considered. The effects of different rib heights on the impinging heat transfer along the wall were studied. During the experiments, the Reynolds number was varied from 2000 to 10000, the jet diameter-to-rib height ratio from 0.6 to 1.2, and jet-to-plate spacing from 2 to 12. The heat transfer results of the rib-roughened plate were compared with those of a smooth plate. Best heat transfer performance was obtained with the V-SR arrangements. The average Nusselt number values for the V-SR plate showed an increase ranging from 4% to 26.6% over those for the smooth plate. Correlations were developed for the average Nusselt number for the rib-roughened surfaces.

In the fourth part, the flow field of smooth surfaces and surfaces with V-shaped ribs (V-SR) was studied experimentally with a Laser-Doppler Anemometry (LDA) system. For each H/d position, profiles were collected from $x/d=0$ to 6 axial locations. Along the target plate, different boundary layer profiles were obtained for smooth and V-SR plates at $H/d=3$ and 12. Positions of maximum radial and axial velocities and turbulence intensities were determined for smooth and V-SR plates. For low jet-to-plate spacings, the production of turbulence kinetic energy is higher for the V-SR surfaces as compared to smooth surfaces. For $H/d=3$, the radial velocities are higher for the V-SR surfaces as compared to smooth surfaces, but for $H/d=12$, the radial velocities were only changing slightly at all x/d locations.

In the last part, numerical investigations were carried out in order to study the influence on the heat transfer and velocity distribution due to multiple impinging arrays. X direction jet-to-jet distances of $3d$, $4d$, $5d$ and a constant y direction pitch of $5d$ were considered. The equations were presented starting with a general form. After that, assumptions and simplifications were made on these equations according to the problems studied. The LB low Reynolds number $k-\varepsilon$ model was used for the solutions. The model was not appropriate in determining the heat transfer rate at every point on the target plate, but was able to predict the general changes in profiles. In addition, numerical and experimental studies were compared.

Science Code	: 914.1.065
Key Words	: Impinging jet, LDA, rib-roughened surface, heat transfer
Page Number	: 298
Adviser	: Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA

TEŞEKKÜR

Bu tez, doğrudan veya dolaylı birçok kişinin emeğinin bir sonucudur. En başta, bana deneysel ve sayısal çalışmanın inceliklerini sabırla öğreten, bu konudaki birikimini cömertçe paylaşan, tezin her aşamasında bana destek olan tez danışmanım Prof. Dr. Şenol BAŞKAYA'ya, tez izleme komitelerinde zaman ve emek harcayıp beni daha iyiye yönlendiren ve teşvik eden hocalarım Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU ve Prof. Dr.Taner ALTUNOK'a çok teşekkür ederim.

Projenin maddi desteğini sağlayıp gerçekleştirilmesini mümkün kılan TÜBİTAK 1001-Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projeleri Birimine ve Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğüne teşekkür ederim. Çalışmalarında deney setinin kurulumunu yapan teknik öğretmen Mehmet AY'a, bilgilerini desteğini her zaman sunan Doç.Dr. İsak Kotcioğlu'na, Doç. Dr. İrfan Kurtbaş'a, Ydr. Doç. Dr. M. Fevzi Köseoğlu'na, Yrd. Doç. Dr. Muarrem Pul'a, Yrd. Doç. Dr. Veysel Özdemir'e Yrd. Doç. Dr. Tuncay Karaçay'a, teşekkür ederim. Çalışmamızın değişik aşamalarında okul, laboratuvar ve atölyede kendi yoğunluklarına rağmen bize hep zaman ayıran arkadaşlarım Arş. Gör. Dr. M. Zeki Yılmazoğlu'na, Arş. Gör. Tamer Çalışır'a ve teknisyenlere teşekkür ederim.

Her zaman beni anlayan ve sabır gösteren çok değerli eşim Beyhan Çalışkan ve biricik kızım Yağmur Çalışkan'a sonsuz teşekkür ederim. Bugünlere kadar desteklerini esirgemeyen annem ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR.....	x
İÇİNDEKİLER	xi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xvi
RESİMLERİN LİSTESİ	xxvii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxviii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Deneysel Çalışmalar.....	14
2.2. Sayısal Çalışmalar	23
2.3. Arttırılmış Isı Transferi Çalışmaları.....	32
3. DENEY DÜZENEKLERİ VE ÖLÇÜM TEKNİKLERİ.....	38
3.1. Deney Düzenekleri ve Özellikleri	38
3.1.1. Test bölümü.....	39
3.1.2. Orifis tipi jetler	40
3.1.3. Çarpma plakası	42
3.1.4. Çarpma plakasını gerdirme mekanizması	45
3.1.5. Travers mekanizması	46
3.1.6. Doğru akım (DC) güç kaynağı.....	47

Sayfa

3.1.7. Termal kamera.....	48
3.1.8. Fan.....	49
3.1.9. Frekans kontrol cihazı	50
3.2. Lazer Doppler Anemometri Ölçüm Sistemi.....	56
3.2.1. Doppler etkisi ve belirlenmesi.....	57
3.2.2. LDA sisteminin çalışma prensipleri.....	57
3.2.3. Hız hesaplama yöntemi	58
3.2.4. LDA sisteminin temel bileşenleri.....	62
4. MATEMATİKSEL FORMÜLASYON VE SAYISAL MODEL	68
4.1. Problemin Genel Tanımı	68
4.2. Korunum Denklemleri.....	69
4.3. Akış Modellemesi.....	70
4.3.1. Korunum denklemleri	71
4.3.2. Yapılan çalışmada türbülans modelinin seçimi.....	74
4.3.3. k-ε türbülans modeli	76
4.3.4. Lam-Bramhorst düşük Reynolds sayısı modeli	77
4.3.5. Düşük Reynolds sayısı k-ε türbülans modeli	78
4.3.6. Sınır şartları	80
4.5. Problemin PHOENICS'te Çözüm Yaklaşımı.....	83
4.5.1. PHOENICS sayısal akışkanlar dinamiği kodu.....	83
4.5.2. Sonlu hacimler yöntemi	85
4.5.3. Çözüm tekniği	86
4.5.4. Hücre yapısı.....	87

Sayfa

4.5.5. Sayısal çözümlerin doğruluğunun kontrolü	88
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	94
5.1. Dairesel Jetlerde Isı Transferinin Deneysel İncelenmesi	94
5.1.1. Veri analizi	94
5.1.2. Deneysel sonuçlar	97
5.2. Jet Geometrisinin Isı Transferine Etkisinin Deneysel İncelenmesi.....	106
5.2.1. Problem tanımı	106
5.2.2. Veri analizi	108
5.2.3. Deneysel sonuçlar	108
5.3. Kanatçıklı Yüzeylerde Isı Transferinin Deneysel İncelenmesi.....	131
5.3.1. Problem tanımı	131
5.3.2. Veri analizi	132
5.3.3. Deneysel sonuçlar	133
5.4. İstatistiksel Regresyon.....	152
5.5. LDA Ölçümleri	154
5.5.1. Problem tanımı ve deney düzeneği	154
5.5.2. Veri analizi	157
5.5.3. Deneysel sonuçlar	158
6. SAYISAL ÇALIŞMALAR	195
6.1. Problem Tanımı	195
6.2. Veri Analizi	198
6.3. Sayısal Sonuçlar	199
7. DENEYSEL VE SAYISAL DEĞERLERİN KARŞILAŞTIRILMASI	219

Sayfa

8. SONUÇ VE ÖNERİLER	230
KAYNAKLAR	235
EKLER.....	243
EK-1 Görüntü işleme programı.....	244
EK-2 Korunum denklemleri.....	246
EK-3 Örnek Q1 kütüğü	260
EK-4 Örnek sonuç dosyası.....	266
EK-5 Hata analizi	287
EK-6 Hata analizi ile ilgili örnek hesaplama	290
ÖZGEÇMİŞ	295

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Çarpan Jet Sistemlerinin Sınıflandırılması	6
Çizelge 3.1. Jet geometrileri ve boyutları	41
Çizelge 3.2. A320 model termal kameranın teknik verileri	49
Çizelge 3.3. Hız frekans değişimleri	52
Çizelge 3.4. Durum-1 için folyonun alt yüzey, üst yüzey ve termal kamera sıcaklıklarının değişimi ($Q=21,9\text{Watt}$)	55
Çizelge 3.5. Durum-2 için folyonun alt yüzey, üst yüzey ve termal kamera sıcaklıklarının değişimi ($Re=3000$, $Q=6,4\text{ Watt}$).....	55
Çizelge 4.1. Düşük Reynolds sayısı k- ϵ modeli için sönümleme fonksiyoları	79
Çizelge 4.2. Sınır şartları.....	83
Çizelge 5.1. Farklı jet giriş sıcaklıklarında ortalama Nusselt sayısı değişimi	98
Çizelge 5.2. Jet geometrileri ve boyutları	107
Çizelge 5.3. Farklı kanat yükseklikleri için toplam alanın (A_t) görüntü alanına (A_p) oranının değişimi.....	133
Çizelge 6.1. Pürüzsüz yüzey üzerindeki sayısal çalışma parametreleri	197
Çizelge 6.2. Sınır şartları.....	198

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Tek bir yuvarlak veya yarıklı gaz jetinin yüzeye çarpması.	5
Şekil 2.2. Farklı tip jetlerden sağlanan hız ve türbülans kinetik enerji profilleri.....	7
Şekil 2.3. Farklı tip jet diziliş biçimleri.....	7
Şekil 2.4. Jet akış parametrelerindeki çapraz akış biçimleri	8
Şekil 2.5. (a) Sınırsız serbest yüzey jeti, (b) sınırsız dalmış jet	9
Şekil 2.6. Yarı sınırlandırılmış, daldırılmış jet.....	11
Şekil 2.7. Bir dizi yarıklı jetin yüzeye çarpması	12
Şekil 2.8. Jet tipleri	12
Şekil 2.9. (a) Büyük $h/D_h \geq 5$, (b) Küçük ($h/D_h \leq 5$) lüle-levha aralıkları için Nu sayısının genel dağılımı	13
Şekil 3.1. Genel deney düzeneği.....	39
Şekil 3.2. Kanatçıklı yüzeyde çarpma plakası düzeneği	43
Şekil 3.3. EJ1 isimli jet ve kanatçıkların görünüşü.....	43
Şekil 3.4. Hız frekans değişimi	52
Şekil 3.5. Isıl çiftlerin kalibrasyon eğrisi	53
Şekil 3.6. Isıl çiftlerin folyo üzerindeki görüntüleri.....	55
Şekil 3.7. Hareketli partikülden ışığın yansımaları	58
Şekil 3.8. Hareketli partikülden gelen iki ışığın yansımaları.....	60
Şekil 4.1. Sayısal çözüm alanı	69
Şekil 4.2. Türbülanslı akış için örnek hücre yapısı	88
Şekil 4.3. Kalıntılar ve anlık değerlerin süpürme sayısı ile değişimi.....	89
Şekil 4.4. Ortalama yüzey sıcaklığının süpürme sayısı ile değişimi.....	90

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. Ortalama yüzey sıcaklığının hücre sayısı ile değişimi.....	92
Şekil 4.6. Deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması.....	93
Şekil 5.1. Paslanmaz çelik folyo üzerindeki enerji dengesi	95
Şekil 5.2. Ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi ($Re=2000$)	99
Şekil 5.3. Ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi ($Re=10000$) ..	99
Şekil 5.4. Ortalama Nu sayısının Re sayısı ile değişimi ($H/d=2$)	100
Şekil 5.5. Ortalama Nu sayısının Re sayısı ile değişimi ($H/d=12$)	101
Şekil 5.6. Ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ve jet-plaka mesafesi ile değişimi ($q'' = 633 \text{ W/m}^2$)	102
Şekil 5.7. Ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ve jet-plaka mesafesi ile değişimi ($q'' = 1214 \text{ W/m}^2$)	102
Şekil 5.8. Yerel Nusselt sayısının x-yönünde merkez jet eksenini boyunca H/d ile değişimi ($Re=2000$).....	103
Şekil 5.9. Yerel Nusselt sayısının x-yönünde merkez jet eksenini boyunca H/d ile değişimi ($Re=10000$).....	104
Şekil 5.10. Yerel Nusselt sayısının x-yönünde merkez jet eksenini boyunca Reynolds sayıları ile değişimi ($H/d=2$)	105
Şekil 5.11. Yerel Nusselt sayısının x-yönünde merkez jet eksenini boyunca Reynolds sayıları ile değişimi ($H/d=12$)	105
Şekil 5.12. Yerel Nusselt sayısının x yönünde değişimi (EJ, $Re=2000$, $H/d=2$)	109
Şekil 5.13. Yerel Nusselt sayısının y yönünde değişimi (EJ, $Re=2000$, $H/d=2$)	109
Şekil 5.14. Yerel Nusselt sayısının x yönünde değişimi (EJ, $Re=2000$, $H/d=10$) ...	110
Şekil 5.15. Yerel Nusselt sayısının y yönünde değişimi (EJ, $Re=2000$, $H/d=10$) ...	110
Şekil 5.16. Yerel Nusselt sayısının x yönünde değişimi (EJ, $Re=10000$, $H/d=2$) ...	110
Şekil 5.17. Yerel Nusselt sayısının y yönünde değişimi (EJ, $Re=10000$, $H/d=2$) ...	111
Şekil 5.18. Yerel Nusselt sayısının x yönünde değişimi (EJ, $Re=10000$, $H/d=10$) .	111

Şekil	Sayfa
Şekil 5.19. Yerel Nusselt sayısının y yönünde değişimi (EJ, $Re=10000$, $H/d=10$) .	111
Şekil 5.20. Yerel Nusselt sayısının x yönünde değişimi (RJ, $Re=2000$, $H/d=2$).....	112
Şekil 5.21. Yerel Nusselt sayısının y yönünde değişimi (RJ, $Re=2000$, $H/d=2$).....	113
Şekil 5.22. Yerel Nusselt sayısının y yönünde değişimi (RJ, $Re=2000$, $H/d=10$)...	113
Şekil 5.23. Yerel Nusselt sayısının x yönünde değişimi (RJ, $Re=2000$, $H/d=10$)...	113
Şekil 5.24. Yerel Nusselt sayısının x yönünde değişimi (RJ, $Re=10000$, $H/d=2$)...	114
Şekil 5.25. Yerel Nusselt sayısının y yönünde değişimi (RJ, $Re=10000$, $H/d=2$)...	114
Şekil 5.26. Yerel Nusselt sayısının x yönünde değişimi (RJ, $Re=10000$, $H/d=10$) .	114
Şekil 5.27. Yerel Nusselt sayısının y yönünde değişimi (RJ, $Re=10000$, $H/d=10$) .	115
Şekil 5.28. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=2000$, EJ05)	117
Şekil 5.29. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=2000$, EJ1)	118
Şekil 5.30. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=2000$, EJ2)	119
Şekil 5.31. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=2000$, RJ05)	120
Şekil 5.32. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=2000$, RJ1)	121
Şekil 5.33. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=2000$, RJ2)	122
Şekil 5.34. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=10000$, EJ05)	123
Şekil 5.35. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=10000$, EJ1)	124
Şekil 5.36. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=10000$, EJ2)	125

Şekil	Sayfa
Şekil 5.37. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=10000$, RJ05)	126
Şekil 5.38. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=10000$, RJ1)	127
Şekil 5.39. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=10000$, RJ2)	128
Şekil 5.40. Farklı en-boy oranlarında ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($H/d=2$)	129
Şekil 5.41. Farklı en-boy oranlarında ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($H/d=10$)	129
Şekil 5.42. Farklı en-boy oranlarında ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi ($Re=2000$).....	130
Şekil 5.43. Farklı en-boy oranlarında ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi ($Re=10000$).....	130
Şekil 5.44. Farklı kanat yüksekliklerinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($H/d=2$)	134
Şekil 5.45. Farklı kanat yüksekliklerinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($H/d=6$)	135
Şekil 5.46. Farklı kanat yüksekliklerinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($H/d=12$)	135
Şekil 5.47. Farklı kanat yüksekliklerinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($H/d=2$)	136
Şekil 5.48. Farklı kanat yüksekliklerinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($H/d=6$)	137
Şekil 5.49. Farklı kanat yüksekliklerinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($H/d=12$)	137
Şekil 5.50. Mevcut sonuçlarla literatürdeki sonuçların karşılaştırılması	138
Şekil 5.51. Düz-kanatçıklı yüzeylerde ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi ($Re=2000$).....	139

Şekil	Sayfa
Şekil 5.52. Düz-kanatçıklı yüzeylerde ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi ($Re=6000$).....	139
Şekil 5.53. Düz-kanatçıklı yüzeylerde ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi ($Re=10000$).....	140
Şekil 5.54. Düz-kanatçıklı yüzeylerde ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi ($Re=2000$).....	141
Şekil 5.55. Düz-kanatçıklı yüzeylerde ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi ($Re=6000$).....	141
Şekil 5.56. Düz-kanatçıklı yüzeylerde ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi ($Re=10000$).....	142
Şekil 5.57. V-BK ve düz yüzeylerde yerel Nusselt sayısının değişimi ($Re=2000$, $H/d=2$)	143
Şekil 5.58. DG-BK ve düz yüzeylerde yerel Nusselt sayısının değişimi ($Re=2000$, $H/d=2$)	143
Şekil 5.59. V-BK ve düz yüzeylerde yerel Nusselt sayısının değişimi ($Re=2000$, $H/d=10$)	144
Şekil 5.60. DG-BK ve düz yüzeylerde yerel Nusselt sayısının değişimi ($Re=2000$, $H/d=10$)	144
Şekil 5.61. V-BK ve düz yüzeylerde yerel Nusselt sayısının değişimi ($Re=10000$, $H/d=2$)	145
Şekil 5.62. DG-BK ve düz yüzeylerde yerel Nusselt sayısının değişimi ($Re=10000$, $H/d=2$)	145
Şekil 5.63. V-BK ve düz yüzeylerde yerel Nusselt sayısının değişimi ($Re=10000$, $H/d=10$)	146
Şekil 5.64. DG-BK ve düz yüzeylerde yerel Nusselt sayısının değişimi ($Re=10000$, $H/d=10$)	146
Şekil 5.65. Çarpma plakası üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) düz plaka, (b) V-BK (c) DG-BK ($Re=2000$, $H/d=2$).....	148
Şekil 5.66. Çarpma plakası üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) düz plaka, (b) V-BK (c) DG-BK ($Re=2000$, $H/d=10$).....	149

Şekil	Sayfa
Şekil 5.67. Çarpma plakası üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) düz plaka, (b) V-BK (c) DG-BK ($Re=10000$, $H/d=2$).....	150
Şekil 5.68. Çarpma plakası üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) düz plaka, (b) V-BK (c) DG-BK ($Re=10000$, $H/d=10$).....	151
Şekil 5.69. Tahmin ve hesaplanan ortalama Nusselt sayıları.....	152
Şekil 5.70. Tahmin ve hesaplanan ortalama Nusselt sayıları.....	153
Şekil 5.71. (a) Düz plakadaki LDA ölçüm noktaları, (b) V-BK plakadaki LDA ölçüm noktaları, (c) DG-BK plakadaki LDA ölçüm noktaları	156
Şekil 5.72. Merkez jet-komşu jet merkezi arasında (a-b) hız vektörü dağılımı ($H/d=3$, düz plaka, $z=0$ jet çıkışını göstermektedir).....	160
Şekil 5.73. Merkez jet-komşu jet merkezi arasında (a-b) hız vektörü dağılımı ($H/d=3$, V-BK, $z=0$ jet çıkışını göstermektedir)	160
Şekil 5.74. Merkez jet-komşu jet merkezi arasında (m-n) hız vektörü dağılımı ($H/d=3$, DG-BK, $z=0$ jet çıkışını göstermektedir)	161
Şekil 5.75. Merkez jet-komşu jet merkezi arasında (a-b) hız vektörü dağılımı (a) Düz plaka, $H/d=12$, (b) V-BK, $H/d=12$	162
Şekil 5.76. Düz ve V-BK yüzeylerde akış alanındaki hız vektörü dağılımı, $H/d=3$ (a) Düz plaka, (b)V-BK c-d arasında (c) V-BK e-f arasında	163
Şekil 5.77. Düz ve V-BK yüzeylerde hız vektörü dağılımı, $H/d=12$, (a) Düz plaka, c-d arasında, (b) V-BK, c-d arasında (c) V-BK, e-f arasında	164
Şekil 5.78. (a) o-p arasında DG-BK plaka üzerindeki hız vektörü dağılımı, (b) a-b arasında V-BK plaka üzerindeki hız vektörü dağılımı ($H/d=12$).....	165
Şekil 5.79. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka).....	167
Şekil 5.80. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, V-BK)	167
Şekil 5.81. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka)	168
Şekil 5.82. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, V-BK)	168

Şekil	Sayfa
Şekil 5.83. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, DG-BK)	169
Şekil 5.84. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, DG-BK)	169
Şekil 5.85. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka)	171
Şekil 5.86. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, V-BK)	171
Şekil 5.87. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, e-f bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka)	172
Şekil 5.88. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, e-f bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, V-BK).....	172
Şekil 5.89. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka)	173
Şekil 5.90. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, V-BK)	173
Şekil 5.91. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, e-f bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka)	174
Şekil 5.92. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, e-f bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, V-BK).....	174
Şekil 5.93. Dikey hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka).....	176
Şekil 5.94. Dikey hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, V-BK)	176
Şekil 5.95. Dikey hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka).....	177
Şekil 5.96. Dikey hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, V-BK)	177
Şekil 5.97. Dikey hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka).....	178

Şekil	Sayfa
Şekil 5.98. Dikey hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, V-BK)	178
Şekil 5.99. Dikey hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka).....	179
Şekil 5.100. Dikey hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, V-BK)	179
Şekil 5.101. Reynolds gerilmelerinin çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka).....	180
Şekil 5.102. Reynolds gerilmelerinin çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, V-BK)	181
Şekil 5.103. Reynolds gerilmelerinin çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka).....	181
Şekil 5.104. Reynolds gerilmelerinin çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, V-BK)	182
Şekil 5.105. Reynolds gerilmelerinin çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka).....	182
Şekil 5.106. Reynolds gerilmelerinin çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, V-BK)	183
Şekil 5.107. Reynolds gerilmelerinin çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka).....	183
Şekil 5.108. Reynolds gerilmelerinin çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, V-BK)	184
Şekil 5.109. Boyutsuz yatay hızın çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka, V-BK).....	186
Şekil 5.110. Boyutsuz yatay hızın çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka, V-BK).....	187
Şekil 5.111. Boyutsuz yatay hızın çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, e-f bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka, V-BK).....	188
Şekil 5.112. Boyutsuz yatay hızın çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, e-f bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka, V-BK).....	189

Şekil	Sayfa
Şekil 5.113. Boyutsuz yatay hızın çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b, m-n bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka, DG-BK)	190
Şekil 5.114. Boyutsuz yatay hızın çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$ o-p, m-n bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, DG-BK)	191
Şekil 5.115. Boyutsuz yatay hızın çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$ o-p, m-n bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, DG-BK)	192
Şekil 5.116. Boyutsuz yatay hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$ a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka-V-BK)	193
Şekil 5.117. Boyutsuz yatay hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$ e-f bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka-V-BK)	194
Şekil 6.1. Çoklu jetlerde çarpma öncesi jet etkileşimi	196
Şekil 6.2. Çoklu jetlerde çarpma sonrası jet etkileşimi	196
Şekil 6.3. Sayısal çözüm alanı	198
Şekil 6.4. Akış alanında hız vektör dağılımı (a) X3-Y5-H3, (b) X4-Y5-H3, (c) X5-Y5-H3 ($Re=5000$)	201
Şekil 6.5. Akış alanında hız vektör dağılımı (a) X3-Y5-H12, (b) X4-Y5-H12, (c) X5-Y5-H12 ($Re=5000$)	202
Şekil 6.6. Akış alanında hız vektör dağılımı (a) X3-Y5-H3, (b) X4-Y5-H3, (c) X5-Y5-H3 ($Re=15000$)	203
Şekil 6.7. Akış alanında hız vektör dağılımı (a) X3-Y5-H12, (b) X4-Y5-H12, (c) X5-Y5-H12 ($Re=15000$)	204
Şekil 6.8. Akış alanında hız konturları (a) X3-Y5-H3, (b) X4-Y5-H3, (c) X5-Y5-H3 ($Re=5000$)	205
Şekil 6.9. Akış alanında hız konturları (a) X3-Y5-H12, (b) X4-Y5-H12, (c) X5-Y5-H12 ($Re=5000$)	206
Şekil 6.10. Akış alanında hız konturları (a) X3-Y5-H3, (b) X4-Y5-H3, (c) X5-Y5-H3 ($Re=15000$)	207

Şekil	Sayfa
Şekil 6.11. Akış alanında hız konturları (a) X3-Y5-H12, (b) X4-Y5-H12, (c) X5-Y5-H12 (Re=15000).....	208
Şekil 6.12. Akış alanında z yönünde hız konturları (a) X3-Y5-H3, (b) X4-Y5-H3, (c) X5-Y5-H3 (Re=5000).....	209
Şekil 6.13. Akış alanında z yönünde hız konturları (a) X3-Y5-H12, (b) X4-Y5-H12, (c) X5-Y5-H12 (Re=5000).....	210
Şekil 6.14. Akış alanında z yönünde hız konturları (a) X3-Y5-H3, (b) X4-Y5-H3, (c) X5-Y5-H3 (Re=15000).....	211
Şekil 6.15. Akış alanında z yönünde hız konturları (a) X3-Y5-H12, (b) X4-Y5-H12, (c) X5-Y5-H12 (Re=15000).....	213
Şekil 6.16. Çarpma plakası üzerinde yerel Nusselt sayısı değişimi (a) X3-Y5-H3, (b) X4-Y5-H3, (c) X5-Y5-H3 (Re=5000).....	215
Şekil 6.17. Çarpma plakası üzerinde yerel Nusselt sayısı değişimi (a) X3-Y5-H12, (b) X4-Y5-H12, (c) X5-Y5-H12 (Re=5000).....	216
Şekil 6.18. Çarpma plakası üzerinde yerel Nusselt sayısı değişimi (a) X3-Y5-H3, (b) X4-Y5-H3, (c) X5-Y5-H3 (Re=15000).....	217
Şekil 6.19. Çarpma plakası üzerinde yerel Nusselt sayısı değişimi (a) X3-Y5-H12, (b) X4-Y5-H12, (c) X5-Y5-H12 (Re=15000).....	218
Şekil 7.1. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka)	220
Şekil 7.2. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka)	221
Şekil 7.3. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, V-BK)	222
Şekil 7.4. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, V-BK)	223
Şekil 7.5. Boyutsuz yatay hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka)	225
Şekil 7.6. Boyutsuz yatay hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, V-BK)	226

Şekil	Sayfa
Şekil 7.7. Boyutsuz yatay hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, e-f bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3, V-BK$).....	227
Şekil 7.8. Ortalama Nusselt sayısının jet-plaka ile değişimi ($Re=10000$, X6-Y6, Düz plaka)	228
Şekil 7.9. Ortalama Nusselt sayısının jet-plaka ile değişimi ($Re=10000$, X6-Y6, V-BK).....	229

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Test bölümü	40
Resim 3.2. AE model emisometre kalibrasyon numuneleri.....	44
Resim 3.3. Paslanmaz çelik folyonun boyalı yüzeyinin emisivite değeri.....	44
Resim 3.4. Paslanmaz çelik folyonun parlak yüzeyinin emisivite değeri.....	44
Resim 3.5. Gerdirme mekanizmasının hareketli kısmı	45
Resim 3.6. Gerdirme mekanizmasının sabit kısmı	46
Resim 3.7. Bakır pabuç ve üzerine açılan dişler	46
Resim 3.8. Deney seti travers mekanizmasının yandan görünüşü	47
Resim 3.9. Yüksek akım sağlayan DC güç kaynağı	47
Resim 3.10. Paslanmaz çelik folyoya elektrik bağlantısının görünüşü.....	48
Resim 3.11. Termal kameranın deney sistemindeki bağlantısının görünüşü.....	49
Resim 3.12. Hava debisini sağlayan fan	50
Resim 3.13. Frekans kontrol cihazı.....	51
Resim 3.14. Lazer ışın demetleri.....	51
Resim 3.15. Paslanmaz çelik folyoya ısı çiftlerin bağlanması.....	53
Resim 3.16. LDA ölçüm sistemi	62
Resim 3.17. Lazer üretici	63
Resim 3.18. Çok renkli ışın jeneratörü ve manipulatörler	64
Resim 3.19. İki boyutlu fiber prob ve travers mekanizması	65
Resim 3.20. Atomize yağ üretici	66
Resim 3.21. Foto dedektör modül, sinyal işleyici ve bilgisayar	67
Resim 5.1. V-BK kanatçıkların paslanmaz çelik folyo üzerindeki dizilişleri.....	132

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A	Isı transfer alanı (m^2)
B	Çarpma plakasının genişliği (m)
c	Işık hızı (m/s)
C₁, C₂, C_μ	Türbülans modeli deneysel sabitleri
d	Jet giriş çapı (m)
E	Toplam enerji
e	Kanatçık yüksekliği
e_i	Gelen ışık birim vektörü
EJ1	Dairesel jet
EJ2, EJ05	Eliptik jetler
e_s	Yansıyan ışık birim vektörü
f₁, f₂, f_μ	Modeldeki sönümlleme fonksiyonları
f_d	Doppler frekansı
f_i	Gelen ışığın frekansı (MHertz)
f_s	Dedektöre gelen ışığın frekansı (MHertz)
g	Yerçekimi ivmesi (m/s^2)
h_i	$= \frac{q_j}{(T - T_{jet})}$, yerel ısı transfer katsayısı ($W/m^2\text{°C}$)
H/d	Boyutsuz jet-plaka mesafesi
h_{ort}	$= \frac{q_j}{(T_{ort} - T_{jet})}$, ortalama ısı transfer katsayısı ($W/m^2\text{°C}$)
I	Akım (Amper)
k	Isıl iletkenlik katsayısı (W/mK)
k	Türbülans kinetik enerjisi
L	Çarpma plakasının boyu (m)

Simgeler	Açıklama
Nu	$= \frac{hd}{k_a}$, yerel Nusselt sayısı
Nu_{ort}	$= \frac{h_{ort}d}{k_a}$, ortalama Nusselt sayısı
p	Kanatçıklar arası mesafe (m)
Pr	Prandtl sayısı
q_j	Zorlanmış taşınım ısı akısı (W/m ²)
q_e	Elektriksel güç (W/m ²)
q_f	Doğal taşınım ısı akısı (W/m ²)
q_r	Radyasyonla taşınım ısı akısı (W/m ²)
RJ1, RJ2, RJ05	Dikdörtgen jetler
R₁	Eliptik jet uzun eksen yarıçapı
R₂	Eliptik jet kısa eksen yarıçapı
Re	$= \frac{W_{jet}d}{v_{air}}$, Reynolds sayısı
Re_t, Re_y	Türbülans Reynolds sayıları
r_i	i fazının hacimsel olarak oranı
s	Kaynak terimi
S	Jetler arası mesafe (m)
S_{Mx}	Kaynak terimi
t	Çarpma plakası kalınlığı (m)
T	Çarpma plakası yerel sıcaklığı (°C)
T_f	Film sıcaklığı (°C)
T_i	Türbülans yoğunluğu
T_j	Jet giriş sıcaklığı (°C)
T_{ort}	Çarpma plakası ortalama sıcaklığı (°C)
T_s	Ortam sıcaklığı (°C)
u_τ	Sürtünme hızı
u, v, w	Hız bileşenleri (m/s)

Simgeler	Açıklama
U, V, W	Ortalama hız bileşenleri (m/s)
u', v', w'	Salınım hızı bileşenleri (m/s)
u_p	Partikül hızı (m/s)
V	Voltaj (Volt)
W_i	Bağımsız değişkenin hata oranı
W_{jet}	Jet giriş hızı (m/s)
x, y, z	Koordinat eksenleri
x/d	Çarpma noktasından boyutsuz uzaklık (uzun eksen)
y/d	Çarpma noktasından boyutsuz uzaklık (kısa eksen)
z^+	Duvardan boyutsuz uzaklık
λ	Dalga boyu
α	$= \frac{k}{\rho c_p}$, ısıl yayılım katsayısı (m ² /s)
μ	Dinamik viskozite
ε	Disipasyon oranı
ε	Emisivite
θ	Gelen ışınlar arasındaki açı
ρ	Hava yoğunluğu (kg/m ³)
ν	Kinematik viskozite
δ	Saçak aralığı
σ	Stephan-Boltzman sabiti
φ	U_p ve ölçüm yönü arasındaki açı
Φ	Viskoz disipasyon
τ_{ij}	Kayma gerilmesi
$\sigma_k, \sigma_\varepsilon$	Türbülans Prandtl sayıları
ρ_0	Referans yoğunluğu
μ_t	Edi viskozitesi
Δ_f	Doppler frekansı

Kısaltmalar	Açıklama
a	Hava
DG-BK	Daralan-genişleyen Biçimli Kanatçık
LDA	Lazer-Doppler Anemometri
ort	Ortalama
p	Görüntü
t	Toplam
V-BK	V Biçimli Kanatçık

1. GİRİŞ

Çarpan akışkan jetleri ısıtılması veya soğutulması istenen yüzeye çarpan akışkan jetleridir. Yüksek ısı transfer oranları sağlayabildikleri için bu jetler hızlı ısıtma veya soğutma işlemlerinde etkili bir yöntem olarak çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Uygulama alanları arasında gaz türbini kanatlarının soğutulması, tekstil ve kağıt ürünlerinin kurutulması, cam levhaların temperlenmesi, metal plakaların tavlama, başta gelmektedir.

Çarpan çoklu akışkan jetleri, durma bölgesinde çok yüksek ısı transfer katsayısına sahip olmalarına rağmen soğutma performansı çarpma bölgesinden uzaklaştıkça hızlı bir şekilde düşer. Çarpma plakası üzerinde üniform ısı akısı dağılımını artırmak için jetler sıralı jetler olarak kullanılmıştır. Jetlerin dizili bir şekilde yerleştirilmesinin bir sonucu jetler arasındaki etkileşim, soğutma performansında önemli bir rol oynamaktadır. Çarpmadan sonra duvar jetlerinin çarpışması yüzey üzerinde daha karmaşık bir akış alanı oluşturur.

Gaz türbinlerinden yüksek verim almak için yüksek sıcaklıklara (1400°C 'nin üzerinde) maruz kalan gaz türbini kanatlarının soğutulması gerekmektedir. Böyle önemli durumlar altındaki gaz türbini çalışması, gaz türbini kanatlarında yüksek ısıdan dolayı erimeye ve kanat yapısında yüksek ısıl gerilmelere sebep olmaktadır. Bu durum türbin kanatlarına çok ciddi zarar vermesine sebep olan yüksek gerilmelere maruz kalabilir.

Jet kütleli debisi, jet çapı, jetler arası mesafe, jet plakası-çarpma plakası arası mesafe, çarpma plakası geometrik yapısı gibi parametreler ısı yada kütle transferi problemlerinde problemi çözmek için değiştirilen ana parametrelerdir.

Bu çalışmada ilk olarak pürüzsüz çarpma plakası ve V biçimli kanatçıklar (V-BK) ile daralan-genişleyen biçimli kanatçıklı (DG-BK) yüzeyler üzerinde yerel ve ortalama Nusselt sayısı değişimleri deneysel olarak incelenmiştir. Ayrıca, pürüzsüz çarpma plakası üzerindeki Nusselt sayısı değişimleri sayısal olarak incelenmiştir.

Çarpma plakası üzerinde elde edilen ısı transferi plaka boyunca ve enince doğrusal olmayan bir şekilde değişmektedir. Bu değişimin çarpma plakası üzerinde her noktada belirlenebilmesi için termal kamera ve ısı çifti yüzey üzerinde sıcaklık ölçüm tekniği kullanılarak deneyler yapılmıştır.

Mevcut çalışmanın ana amacı jet dizilimlerinin ısı transferi, türbülans yapısı ve akış etkileşimlerini, düz ve kanatçıklı yüzeyler üzerinde incelemektir. Lazer-Doppler anometresi (LDA) gibi hız ölçüm teknikleri kullanarak akışın yapısı tanımlanmıştır. Çarpma plakası üzerindeki akış yapısına jet-plaka arasındaki mesafenin ve çarpma yüzeyine yerleştirilen kanatçıkların etkisi LDA ölçümleriyle belirlenmiştir.

Çarpan jet akışı sayısal modellemeye uygun basit geometrisi ve kendi içerisinde gösterdiği potansiyel öz bölgesinin oluşması, akışın plakaya dik yönden plakaya paralel yöne dönmesi, bu dönüş esnasında akım çizgilerinin eğilmesi gibi karmaşık akış özellikleri göstermesi sebebiyle birçok farklı türbülans modelinin test edilmesi için çok uygun bir akıştır. Dairesel jetlerle elde edilen, türbülanslı akışın modellenmesine yönelik olarak düşük Reynolds sayılı bir $k-\epsilon$ modeli kullanılarak sayısal çözümler yapılacak elde edilen deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, çarpan akışkan jetlerin yapısı ve bu jetlerin akış ve ısı transferine olan etkisi ile ilgili kısa bir bilgi verilmiş daha sonra literatürde yapılan çalışmalar uygun konu başlıkları altında özetlenmiştir.

Düzlem bir yüzeye, jetten sağlanan akışın çarptırılması sonucu elde edilen akış yapısı Şekil 2.1’de verilmiştir. Çarpmalı jetlerde akış genel olarak dört bölgeye ayrılır, bu bölgeler aşağıdaki şekilde açıklanmıştır.

Serbest jet bölgesi

Jet çıkışından başlayarak uzaklık arttıkça, jet akışkanı ile çevre akışkanı arasındaki momentum aktarımı, jetin serbest sınırının genişlemesine ve sabit hız çekirdeğinin daralmasına yol açar. Çekirdeğin aşağısında, hız profile jet kesiti boyunca sabit değildir ve en yüksek hız jet çıkışından itibaren uzaklık arttıkça azalır. Bu akış bölgesi serbest jet olarak tanımlanmakta olup, bu bölge boyunca koşullar, çarpma yüzeyinden etkilenmez. Serbest jette çevredeki akışkanın jete karıştığı ve böylece jet hızının jet çıkışından itibaren azalma eğilimi gösterdiği akış bölgesi mevcuttur. Çekirdek bölgesinde jet merkez hattında akış hızı (U_m) her zaman jet çıkış hızına (U_j) eşittir. Çekirdek bölgesi genelde akış sürtünmesiz kabul edildiği için potansiyel çekirdek olarak adlandırılır. Literatürde $U_m=0,95U_j$ olduğu noktanın potansiyel çekirdek bölgesinin bitiş yeri olduğu konusunda genel bir tanımlama mevcuttur [1]. Gauntner ve arkadaşları [2] tarafından türbülanslı Reynolds sayılarına bağlı olarak yapılan çalışmalarda, potansiyel çekirdek bölgesinin uzunluğunun jet çapının altı katı kadar mesafede olduğu ($L_{pc}=6d$) belirtilmiştir. Daha sonraki yıllarda bu tespit diğer araştırmacılar tarafından desteklenerek genel kabul görmüş ve konuyla ilgili birçok ders kitabında da bu şekilde yer almıştır [3].

Gelişen jet bölgesi

Büyük jet-çarpma plakası mesafelerinde jet çıkışından itibaren mesafe arttıkça eksenel hızlar düşer. Schlichting [4] tarafından yapılan bir analizde, merkez hattı hızının ve jet yarı genişliği düşüşünün, potansiyel çekirdeğin sonundan itibaren eksenel mesafeyle orantılı olduğu bulunmuştur.

Durma bölgesi

Durma bölgesi içerisinde akış, hedef yüzeyden etkilenmekte olup, z ve r veya x yönlerde sırasıyla, önce yavaşlar ve sonra hızlanır. Bu bölgede eksenel hızda hızlı bir düşüş olurken buna bağlı olarak statik basınçta hızlı bir artış görülür. Bu bölgeyle ilgili teorik analizler akış dinamiği hakkında çok az bilgi vermektedir. Yapılan deneysel çalışmalar da yeterli detaylandırmaya sahip değildir. Tani ve Komatsu [5] ve Girald ve arkadaşları [6] bu bölge ile ilgili tespitler bulmuşlardır.

Duvar jeti bölgesi

Eksenel mesafede önce yavaşlayan sonra da hızlanan akış, momentumu sıfır olan akışkanı çevreden çekmeye devam ettiği için yatay hızlanma süresiz olarak devam edemez ve durma bölgesinde ivmelenen akış, duvar jeti bölgesinde yavaşlar. Bundan ötürü r veya x arttıkça, yüzeye paralel hız bileşenleri sıfırdan en yüksek değere ulaşır ve sonradan sıfıra düşer. Duvar jeti içerisindeki hız profilleri çarpma ve serbest yüzeylerin her ikisinde de sıfır hıza sahiptir. Eğer, ısıtılmış bir yüzeyin jetle soğutulması işlemi yerine getiriliyorsa ve $T_s \neq T_e$ ise taşınım ile ısı ve/veya kütle geçişi durma ve duvar jeti bölgelerinin her ikisinde de oluşur. Duvar jeti içerisindeki hız profili göstermiştir ki yerel hız cidara yakın yerlerde hızla maksimuma doğru artış göstermekte daha sonra cidardan uzak mesafelerde düşmektedir. Duvar jetleri paralel akışlara göre daha fazla ısı transferine sebep olurlar. Bunun sebebi; duvar jeti ile ortam havası arasındaki kayma gerilmesinden doğan türbülansın ısı transfer yüzey alanında sınır tabakaya iletilmesidir. Duvar jetinde durma bölgesinden duvar boyunca uzaklaştıkça eksenel yayılımından dolayı hız durma noktasından mesafenin

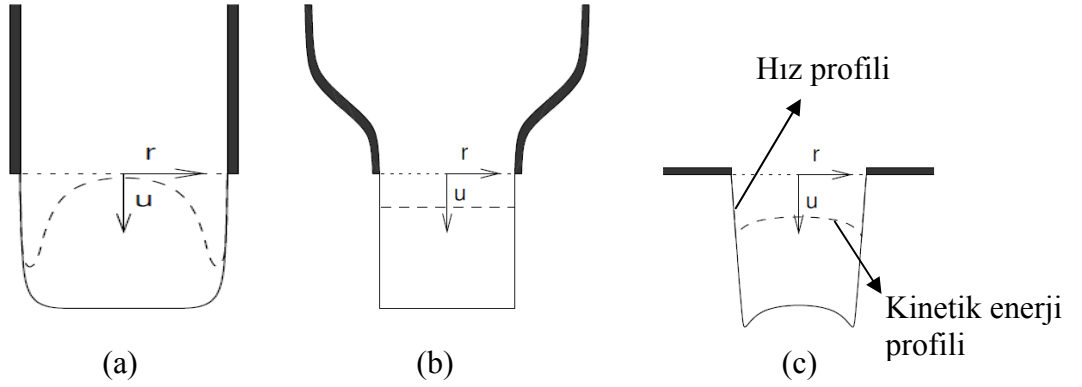
Çizelge 2.1. Çarpan Jet Sistemlerinin Sınıflandırılması

Jet tipi	Jet geometrisi
Zamana bağımlı yada zamandan bağımsız jetler	Tekli veya çoklu jet
Newtonian yada Newtonien olmayan akış	Normal yada eğik jet
Tek fazlı yada çok fazlı akış	Yeni jet tasarım
Sınırsız veya sınırlandırılmış jetler	Çarpma yüzeyi
Etrafı kapalı veya yarı kapalı	Katı yada sıvı yüzey
	Düz, eğimli yada oyuklu yüzey
	Pürüzlü yada pürüzsüz yüzeyler
	Vakumlu yada vakumsuz yüzeyler
	Hareketli yada hareketsiz yüzeyler
	Yüzeyde faz değişimli veya değişimsiz

Jet geometrileri, jet tipi, çarpma yüzeyi aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

Jet geometrisi

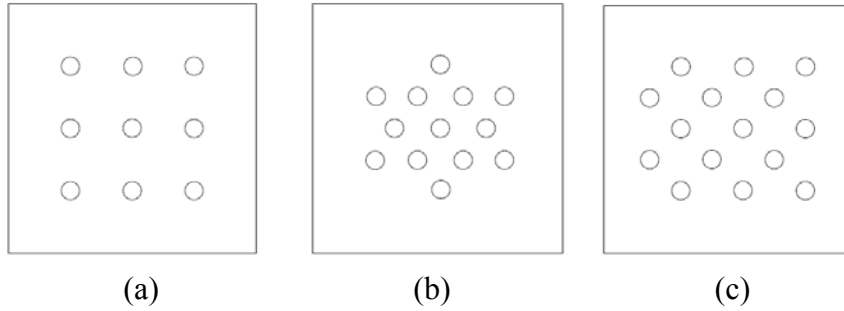
Jet geometrisinin şekli jetlerin başlangıçta hız ve türbülanslarını etkileyen parametrelerden biridir. Farklı tiplerdeki jetlerin çıkışındaki hız ve türbülans kinetik enerji profilleri Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Farklı tip jetlerden sağlanan hız ve türbülans kinetik enerji profilleri
(a)boru tipi (b) eğrisel tip (c) düzlem tip

Jet diziliş biçimleri

Jet diziliş biçimleri ısı transferini etkileyen temel parametrelerden biridir. Şekil 2.3’de farklı tip jet dizilişleri verilmektedir.



Şekil 2.3. Farklı tip jet diziliş biçimleri (a) düzgün diziliş (b) altıgen diziliş
(c) karışık diziliş

Çoklu jetlerin akış karakteristikleri

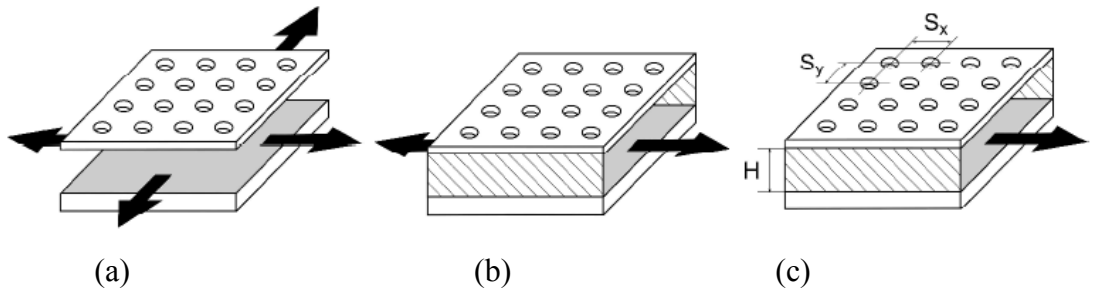
Çarpmalı akışkan jetlerin dizilimlerindeki akış tek çarpmalı akışlar gibi benzer üç akış bölgesine sahiptir. Çoklu jet sistemlerinde tekli jetlerde meydana gelmeyen etkileşimler vardır. Bu jetlerin karakteristikleri temel olarak iki tip etkileşimleri bulunmaktadır. İlk olarak komşu jetler arasındaki etkileşim çarpma yüzeyine jet çarpmadan önce meydana gelebilir. Bu durum jetler arasındaki mesafenin küçük olması ve/veya jet plakası ile çarpma plakası arasındaki mesafenin büyük olduğu

durumda meydana gelmektedir. İkincisi duvar jetleri çarpma yüzeyinde komşu jetlerin çarpışmasından meydana gelmektedir. Böyle duvar jetlerinin oluşmasından sonra bu jetler arasındaki etkileşim jetler arasındaki mesafenin küçük ve/yada jet-çarpma plakası arasındaki mesafenin küçük olduğu durumlarda meydana gelmektedir, fakat jet hızı büyüktür.

Jet akışı Şekil 2.4 'de görüldüğü gibi üç farklı çapraz akış durumu görülmektedir. Çapraz akış etkisi ısı transferini düşürmektedir, çünkü çoklu akışkan jetlerinde çarpma plakasına çarpan akışkan çarptıktan sonra yukarı doğru üst akış bölgesi oluşturur. Bu üst akışkan duvar bölgesinde oluşan akışkanı süpürdüğü için çarpma ertelenebilir bu yüzden ısı transferi azalır. Obot ve Trabold çalışmalarında çapraz akış etkisinin büyüklüğünü jet çarpma plakası mesafesinin artmasıyla arttığını bulmuşlardır. Çalışmalarında ayrıca ortalama Nusselt sayısı için Reynolds sayısı, jet çarpma plakası ve jet-jet arasındaki mesafeye bağlı olarak korelasyonlar elde etmişlerdir. Bu korelasyonda kullanılan α_1, α_2 ve α_3 ve ortalama Nusselt sayısı aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir [8].

$$Nu_{ort} = \alpha_1 Re^{0,8} (H/d)^{\alpha_2} (S/d)^{\alpha_3} \quad (2.3)$$

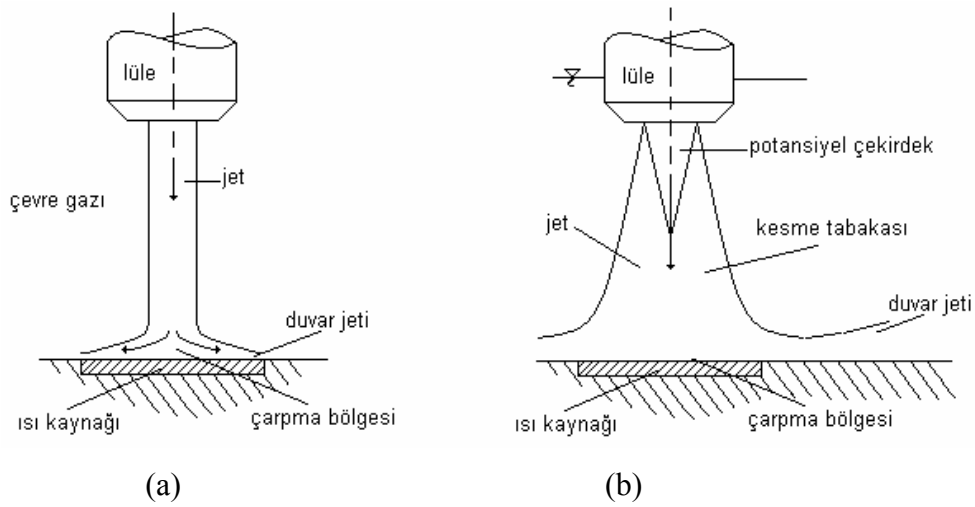
α_1, α_2 ve α_3 değerleri çapraz akış tipine bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 2.4. Jet akış parametrelerindeki çapraz akış biçimleri (a) minimum çapraz akış (b) ara çapraz akış (c) maksimum çapraz akış

Sınırsız jetler

Jetin hız profili lüleden çarpma yüzeyine ilerlerken yer çekiminden etkilenmeden korunur. Eğer jet yer çekimi merkezine doğru yönlendirilmişse yerçekimi ivmesi sebebiyle jet hızı, lüle çıkış hızını geçecektir. Soğutma koşulları için bu etki ihmal edilebilirse de duvar sürtünme etkilerine, hız profilleri ve türbülans seviyesine bağlı olarak jet lüleden ayrılırken bazı değişiklikler gösterir [9].



Şekil 2.5. (a) Sınırsız serbest yüzey jeti, (b) sınırsız dalmış jet [10]

Jet çarpma yüzeyine yaklaşırken, yüzeye normal yönde yavaşlayıp paralel yönde hızlanır. Bu değişiklikler yüzeye paralel, güçlü bir basınç dağılımının karakterize ettiği çarpma bölgesinde meydana gelir. Eğer jet türbülanslı ise basınç dağılımı çarpma bölgesinde akışı laminarlaştırma yönünde etkili olacaktır. Bununla birlikte basınç dağılımı sıfıra düşerek akış yönündeki duvar jet bölgesinde türbülansa geçişe sebep olur. Dairesel ve serbest yüzey jeti Şekil 2.5’de gösterilmiştir.

Sınırsız dalmış jetler

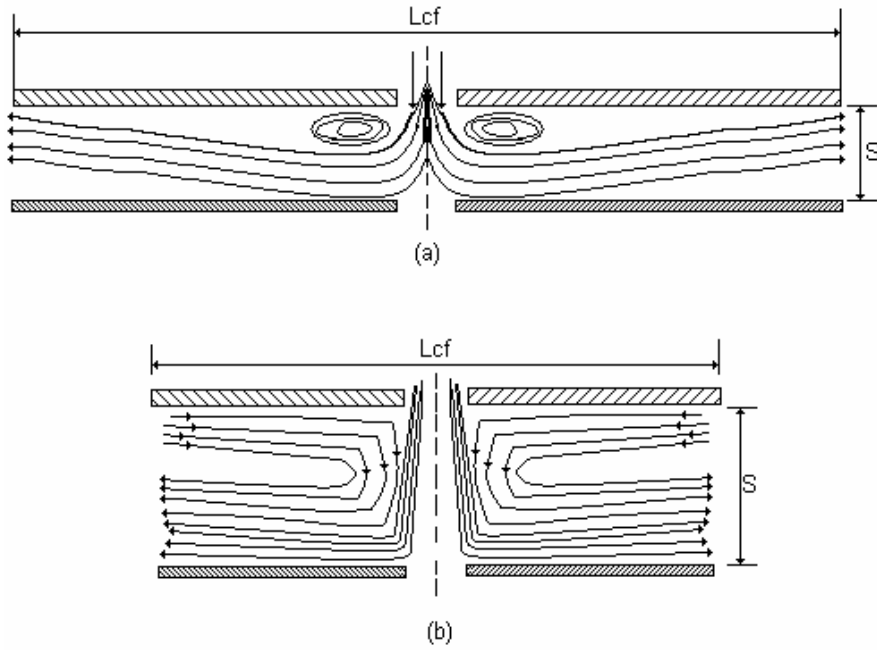
Şekil 2.5b’de görüldüğü gibi sınırsız, dalmış ve asimetric püskürtmeli bir jet; serbest jet, çarpma bölgesi ve duvar jeti olmak üzere üç ana bölgeye ayrılır. Serbest jet lüle çıkışında akış yönünde gelişen çevre akışkanının kesit tabakasında yanal yayılımı ile karakterize edilmiştir. Lüleden uzaklaştıkça kesit tabakası genişler ve içinde akışkan

hızının kesit tabakasından etkilenmediği potansiyel çekirdek büzülerek kaybolur. Potansiyel çekirdeğin ucunda jetin eksenindeki hız, bir yandan hız profili çan eğrisi şekline gelirken azalır. Potansiyel çekirdeğin uzunluğu Re sayısı ve lüle çapına bağlı olarak değişir. Lüle-levha arası mesafe h/d 'ye bağlı olarak ve özellikle çarpma yüzeyi potansiyel çekirdeğin altında ise, daldırılmış jet püskürtmeli sistemlerde ısı transferi serbest yüzeyli jetlere göre daha hassastır. Akış çarpma bölgesini terk ederken türbülansa bir miktar artış gözlenir. Duvar jeti bölgesinde ise jet ile çevre akışkan arasında gerçekleşen momentum iletimi neticesinde yavaşlama meydana gelir.

Yarı sınırlandırılmış dalmış jetler

Modern elektronik cihazlar daha çok küçük yapıda dizayn edildikleri için küçük hacimlere sığdırmak zorunluluğu vardır. Bu durum akış üzerinde sınırlandırma etkisi oluşturmaktadır. Yarı sınırlandırılmış kare kesitli slot (yarık) jetlerde jetin püskürtme düzleminde ve soğutma yüzeyine paralel olarak bir duvar yerleştirilmiştir. Bu duvar nihayetinde iki plaka arasındaki paralel akışı sınırlayacaktır. Eğer sınırlama yüzeyinin genişliği, lüle genişliği ve plaka mesafesine göre büyükse akış girişi jetin her iki tarafından da sirkülasyona sebep olacaktır. Lüle-levha mesafesi arttıkça akış, sınırlandırılma duvarı dışından etkilenecek sınırlandırma duvarının akıştaki etkisi ve jet altında ısı transferine etkisi azalacaktır. Bu eğilim mesafe arttıkça devam ederek sistem sınırlandırılmamış jetlerdeki gibi davranmaya başlayacaktır.

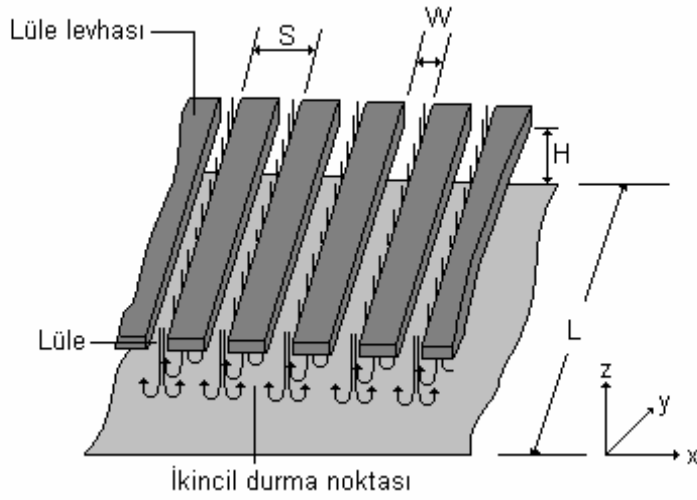
Sınırlandırılmamış jetler için çarpma levhası boyunca basınç dağılımı çan eğrisi şeklindedir. Bununla birlikte potansiyel çekirdek boyunun lüle-levha mesafesinden büyük olduğu durumlarda, sirkülasyon sebebiyle akışın büzülmesi durağan noktanın her iki yanındaki basıncı çevre basıncının altına düşürür. Bu ise duvar boyunca güçlü bir ivmelenmeye sebep olur. Basınç daha sonra akış yönünde türbülansa geçişi veya sınır tabaka ayırımını sağlayan ters bir değişim ile eski değerine yani çevre basıncına yükselir.



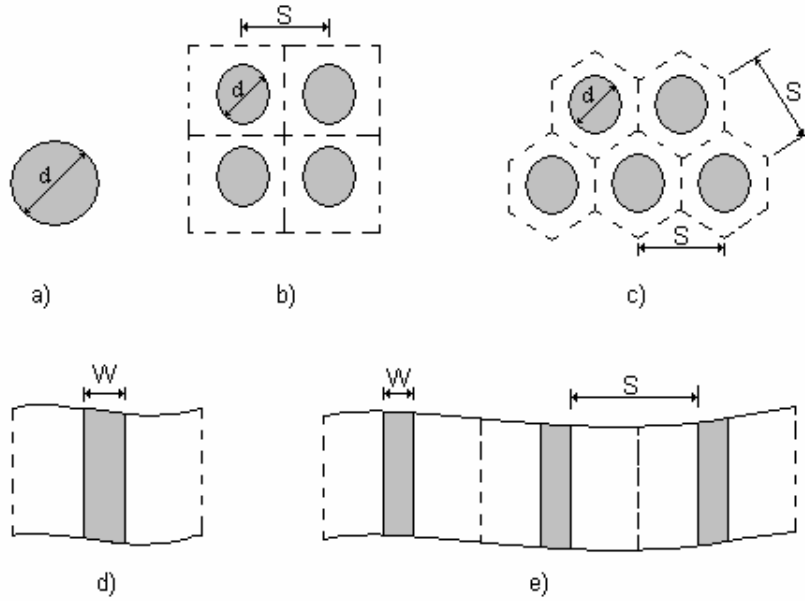
Şekil 2.6. Yarı sınırlandırılmış, daldırılmış jet, a) kısa lüle-levha mesafesi, b) uzun lüle-levha mesafesi

Çarpan yarık (slot) jet ve jet dizileri

Birçok çarpma ile ısı transferi düzenekleri Şekil 2.7’de gösterildiği gibi yarıklı jet dizilerinden oluşur. Her bir lüleden püskürtülen ve serbest jet, durma ve duvar jeti bölgelerini içeren akışa ek olarak, bitişik duvar jetleri arasındaki etkileşimin bir sonucu olarak, ikincil durma bölgeleri oluşur. Bu tür düzeneklerin birçoğunda jetler hedef levha ile lüle levhası arasındaki sınırlı hacme püskürtülür. Toplam ısı veya kütle geçişi sıcaklığı (veya madde yoğunluğu) lüle çıkışı ile hedef levhadaki değerler arasında olan kullanılmış gazın, sistemden kolayca atılabilmesi ile yakından ilişkilidir. Şekil 2.7’de gösterilen düzenekte kullanılmış gaz yukarı akarak lülelerden dışarı çıkamayacağı için simetrik olarak $\pm y$ yönünde akacaktır. Kullanılmış gazın sıcaklığı (yüzey soğutuluyorsa) veya madde yoğunluğu (yüzeyden buharlaşma) oluyorsa y yönünde artacağı için, yüzey gaz sıcaklık (yoğunluk) farkı ve buna bağlı olarak ısı veya kütle akıları azalır. Bu sorunu gidermek için kullanılmış gazın yukarı akarak lülelerin arasından yeniden çevreye atılması düşünülebilir.



Şekil 2.7. Bir dizi yarıkli jetin yüzeye çarpması [8]

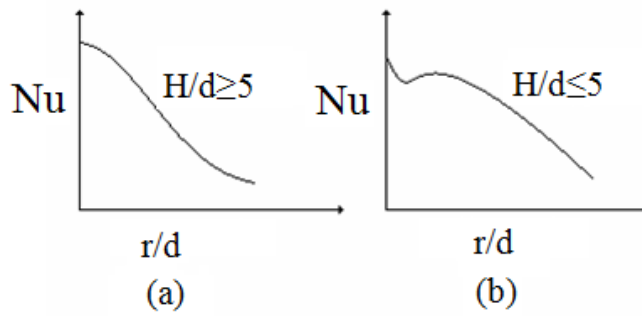


Şekil 2.8. Jet tipleri a) Tek yuvarlak jet, b) yuvarlak jetlerin kare dizilişi, c) yuvarlak jetlerin üçgen dizilişi, d) tek yarıkli jet, e) çok yarıkli jet [8]

Tek, yuvarlak ve yarıkli lülenin, ayrıca yuvarlak ve yarıkli lüle dizilerinin üstten görünüşü Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Tek lüleler için yerel ve ortalama taşınım katsayıları herhangi bir $r > 0$ ve $x > 0$ ile ilişkilidir. Diziler için yerel ve ortalama değerler simetri nedeniyle, kesik çizgilerle sınırları tanımlanan hücreler için verilen eşdeğer büyüklüklerdir. Kare veya üçgen dizilişi yuvarlak jetler için çıkış kesit alanının hücre yüzey alanına oranı olarak tanımlanan, bağıl lüle alanıdır. Her iki

geometri için S , diziliş adımını, başka bir deyişle lüle eksenleri arasındaki uzaklığı göstermektedir.

Bir yüzeye çarpan jet akımı için taşınım katsayısı verilerinin geniş kapsamlı bir incelemesi Martin [11] tarafından yapılmıştır. Tek bir yuvarlak lüle veya yarıklı lüle için, yerel Nusselt sayısının dağılımı Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Karakteristik uzunluk, kesit alanının dört katının ıslak çevreye bölünmesi şeklinde tanımlanan hidrolik çaptır ($d=4A/S$). Böylece yuvarlak bir lüle için karakteristik uzunluk çaptır ve $L \gg W$ alınırsa, yarıklı bir lüle için genişliğin iki katıdır. Bu durumda yuvarlak bir lüle için $Nu=hd/k$, yarıklı bir lüle için $Nu=h(2W/k)$ elde edilir. Şekil (2.9a)'da gösterilen büyük lüle-levha aralıkları $H/d \geq 5$ için dağılım, Nu sayısının durma noktasında aldığı en üst değerden giderek azalan bir çan eğrisi ile tanımlanır. Şekil 2.9b'de gösterilen küçük aralıklar için dağılım iki tepe nokta ile tanımlanır. İkinci üst noktanın Nu değeri jetin Reynolds sayısı ile artar ve birinci üst noktayı aşabilir. İki farklı dağılımı ayıran $H/d \approx 5$ aralığı sabit hız çekirdeğinin uzunluğu ile ilişkilidir. İkinci tepe noktanın oluşumu, hızlanan durma bölgesi akışından yavaşlayan duvar jetine geçişte türbülans düzeyindeki keskin artışa dayandırılır [11]. Ek tepe noktalar gözlenmiş olup türbülanslı duvar jetine geçişle birlikte durma bölgesinde girdapların oluşumuna bağlanmaktadır [12].



Şekil 2.9. (a) Büyük $H/d \geq 5$, (b) Küçük ($H/d \leq 5$) lüle-levha aralıkları için Nu sayısının genel dağılımı [8]

Literatür taramasında üç farklı çalışma yapılmıştır. Bunlar deneysel çalışmalar, sayısal çalışmalar ve artırılmış ısı transfer çalışmalarıdır.

2.1. Deneysel Çalışmalar

Çarpan jetlerin akış karakteristiklerini ve ısı transferi özelliklerini etkileyen jet-plaka mesafesi oranı konuyla ilgili çalışmalarda dikkate alınan en önemli parametrelerden birisidir. Bu parametrenin etkisinin doğrudan hesaba katıldığı ilk çalışmayı bizim bilgimiz dahilinde ilk kez Huang gerçekleştirmiştir. Huang dairesel hava jeti ve jet dizilerinin ortalama ve yerel, taşınım ısı transferi katsayılarını 176°C sıcaklığında ısıtılmış hava kullanarak Re sayısının 1000 ile 10000 arası değerlerinde incelemiştir. Dairesel tek jet için yapılan çalışma sonucunda Nu sayısı, Re ve Pr sayısına ek olarak H/d ' nin fonksiyonu olan bir katsayı cinsinden ifade edilmiş, böylece çarpan jetlerin performansları, bilinen zorlanmış taşınım korelasyonlarından farklı bir şekilde belki de ilk kez ifade edilmiştir. Jet dizileriyle yapılan deneyler sonunda, ısı transferinin uniform dağılımı için H/d değeri belirlenmeye çalışılmış ayrıca açık alanın tüm jet plakası alanına oranının en ekonomik güç tüketimi açısından değeri belirlenmiştir [13].

Gardon ve Akfırat kendilerinden sonraki birçok çalışmaya doğrudan veya dolaylı olarak ilham kaynağı olan ve çarpan jetlerin performansının lüle çıkışından önce başlayıp, çarpma plakası üzerinde devam eden birçok etkene bağlılığını gösteren iki çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalardan ilkinde iki boyutlu hava jeti ve jet dizilerinin ısı transferi karakteristiklerini araştırmak amacıyla deneyler yapmışlardır. Bu deneysel çalışmada laminar ve türbülanslı rejimi kapsayan Reynolds (450-22000) sayıları için, bir yüzeye çarpan jetlerin performansını etkileyen oldukça önemli bir faktör olan H/d oranları oldukça geniş bir yelpazede ($1/3$ -80) incelenmiştir. Jet çapı plaka mesafesi oranlarının altıdan küçük değerleri için durma noktasına ek olarak, çarpma noktasının her iki tarafında taşınım ısı transferi katsayılarının yerel en yüksek değerleri gözlenmiştir. Bu durum akışın laminar rejimden türbülanslı rejime geçişiyle açıklanmıştır [14].

İki boyutlu hava jetlerinin kullanıldığı ikinci deneysel çalışmada Gardon ve Akfırat, bir yüzeye çarpan jet akışından elde edilen yerel taşınım ile ısı transferi katsayısı verilerini, hız ve türbülans dağılımı ölçümlerini kullanarak, türbülansın ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Deney sonuçlarından, ısı transferi karakteristiklerinin, sadece hıza ve mesafeye bağlı sınır tabakası kalınlığıyla belirlenemeyeceğini, jetteki türbülansın etkisinin de hesaba katılması gerektiği sonucuna ulaşmışlardır. Jet içinde türbülans düzeyinin sürekli değiştiğini ve $H/d \leq 8$ değerleri için lüle geometrisinin ve türbülans arttırıcıların jet içindeki türbülansı etkileyeceğini belirtmişlerdir [15].

Jet dizilerinin akış karakteristikleri ve ısı transferi performansları jetler arasındaki etkileşim sebebiyle tek jetlerden farklılıklar göstermektedir. Bu etkileşim sonucu sistemde plakaya dik akışa ek olarak çapraz akışta görülmektedir. Bu farkların etkilerini araştırmak amacıyla dairesel hava jeti dizileriyle yaptıkları deneylerde Kercher ve Tabakoff ısı transferini, çapraz akışın etkisini de hesaba katarak incelemişlerdir. Çalışmada çapraz akışın tek yönlü çıkışta ısı transferini olumsuz yönde etkilediği belirtilmiş, ortalama Nusselt sayısı için korelasyonlar geliştirilmiştir. Korelasyonlar, jetlere dik yönde olan akışın, jet çapının, jetler arası mesafenin, jet-plaka mesafesi oranının fonksiyonu olarak verilmiştir [16].

Jet dizileriyle yapılan çalışmalarda tek jetlere oranla akış karakteristiklerini ve ısı transferini etkileyen daha fazla parametre bulunmaktadır. Bu parametreler üzerinde ayrıntılı çalışmalardan birinde Florschuetz ve diğerleri çapraz akış etkisindeki jet dizilerini kullanarak jetler arası mesafe, jet-plaka mesafesi, jet dizilim şekli, delik çapı gibi parametrelerin taşınım ile ısı transferi katsayısına etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Havanın tek yönde dışarı çıkmaya zorlandığı çalışmada, çapraz akışın etkisinin akış yönündeki mesafeyle ve jet dizilimiyle değişimi belirlenmiştir. Üçgen dizilim şeklinde çapraz akışın ısı transferine olumsuz etkisinin daha belirgin olduğu gözlemlenmiş, ayrıca akış yönünde, çapraz akış debisinin jet debisine oranının arttığı gözlemlenmiştir [17].

Benzer şekilde, Goldstein ve Behbahani çarpan hava jetlerinin çapraz akış altındaki yerel taşınım ile ısı transferi katsayılarını belirlemek için çalışmalar yapmışlardır.

Çapraz akışın, $H/d \geq 12$ değerlerinde maksimum ısı transferini azalttığı, daha küçük oranlarda ise olumlu yönde katkıda bulunabileceği sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca bütün H/d değerlerinde en yüksek Nusselt sayısının elde edildiği noktanın durma noktasından çapraz akış yönünde kaydığını belirlemişlerdir [18].

Jetin, hız profilinden türbülans seviyesine kadar çeşitli özelliklerini etkileyen jet-plaka mesafesi oranı literatürde oldukça geniş bir aralıkta incelenmiştir. Bu oranın 1'den küçük değerleri de inceleme konusu yapılmış ve daha yüksek oranlarda gözlemlenmeyen jet davranışları görülmüştür. Jet çapı-plaka mesafesi oranının 1'den küçük değerleri için Lytle ve Webb $3600 \leq Re \leq 27600$ aralığında yaptıkları deneysel çalışmada, basınç ölçümleri sonucunda akışın jet-plaka arasındaki boşlukta kayda değer şekilde ivmelendiğini gözlemlemişlerdir. Özellikle $H/d \leq 0,25$ değerlerinde gözlenen bu durum süreklilik denklemiyle uyum halindedir veya başka bir deyişle süreklilik denkleminin bir sonucudur. Akışkanın ivmelenmesi, ısı transferi ve türbülans seviyesinin artımını da beraberinde getirmiştir. Yine bahsedilen sebeple, durma noktasında yerel ısı transferinde bir minimum ve radyal yönde iki maksimum meydana gelmiştir. Daha dıştaki maksimum “shear” dan kaynaklanan türbülans artımıyla açıklanmış ve bu noktanın artan H/d ve Re sayılarıyla dışa doğru kaydığını görülmüştür. Daha içteki maksimum değeri $H/d \geq 0,25$ değerlerinde gözlemlenmemiştir. Ayrıca, yerel ve ortalama Nusselt sayılarının $H/d \leq 1$ durumlarında, H/d ' nin daha büyük değerlerine oranla daha yüksek değerlere ulaştığını belirtilmiştir [19].

Çarpan jetlerin endüstrideki uygulamalarına bakıldığında ısıtılmış hava jetlerinin de yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Böyle durumlarda doğal olarak jet sıcaklığı ortam sıcaklığından farklı olmakta, jet ve ortam arasındaki etkileşim sadece momentum transferiyle sınırlı kalmamaktadır. Bu sıcaklık dolayısıyla da yoğunluk farkının jetlerin davranışlarına etkisini incelemek için Yu ve Monkewitz, $Re=4000$ civarında, ısıtılmış jetlerle deneyler yapmışlardır. Jet kararlılığını etkileyen en baskın özelliklerden biri olan jet çıkışındaki yoğunluğun ortam yoğunluğuna oranının etkisini incelemişlerdir. Bahsedilen oranın 0,73 ile 1 değerleri arasında gerçekleştirilen çalışmada, bu oranın 0,9' dan düşük değerlerinde iki boyutlu sıcak

jetlerde kendiliğinden salınımlar olduğunu belirlemişlerdir. Akış gözlemlene deneylerinin sonucunda jet çıkışında büyük bir vorteks çifti belirlenmiş bu vorteks çiftinin etkisi sonucu sıcak jetlerin, uniform yoğunluklu jetlere oranla daha fazla genişlediği gözlemlenmiştir [20].

Hava ve su çarpan akışkan jetleri uygulamalarında en yaygın kullanılan akışkan türleridir. Buna ek olarak farklı termo fiziksel özelliklere sahip akışkanların performanslarının belirlenmesi de oldukça önemlidir. Dielektrik sıvı jetleriyle yaptıkları deneysel çalışmada Garimella ve Rice yerel taşınım ile ısı transferi katsayılarının, Re sayısı, H/d oranı ve jet çapıyla değişimini incelemişlerdir. Aynı Re sayısı ve H/d oranı için, daha küçük çaplı jetlerin daha yüksek taşınım ile ısı transferi katsayısı değerleri gösterdiği, durma noktasındaki taşınım ile ısı transferi katsayısının $H/d \leq 5$ değerleri için fazla değişmediği, daha büyük mesafelerde ise azaldığını gözlemlemişlerdir. Bu sonuçlardan deneylerindeki sabit hız çekirdeği mesafesinin $H/d=5$ civarında olduğu sonucunu çıkarmışlar bunlara ek olarak $H/d=1$ ve 2 değerlerinde durma noktasına ek olarak ısı transferinde ikincil maksimum değerler gözlemlemişler ve bu değerlerin H/d 'nin azalmasıyla daha belirgin olduğunu belirtmişlerdir [21].

Yüzeye bir açıyla çarpan jetler çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Eğik çarpan jetlerin sebep olduğu uniform olmayan ısıtma ve soğutma karakteristikleri sistem performansını etkilemektedir. Bu sebeple ısı transferi işlemlerinde eğikliğin etkisi araştırmalara konu olmuştur. Yan ve Saniei dairesel jetlerle yaptıkları çalışmada çarpma açısının ve H/d oranının yerel taşınım ile ısı transferi katsayılarına etkisini incelemişlerdir. Dik çarpmalarda mevcut olan simetrik yapının bozulduğunu ve asimetrikliğin H/d oranının azalmasıyla arttığını belirlemişler, ayrıca maksimum ısı transferinin durma noktasından daralan yöne doğru kaydığını gözlemlemişlerdir. ısı transferinin, maksimum olduğu noktadan itibaren değişimi incelendiğinde özellikle küçük H/d değerlerinde, daralma yönünde sürekli bir azalma görülürken genişleme yönünde ikincil maksimum noktaların olduğu gözlemlenmiştir. Plaka eğikliğinin artmasıyla birlikte, maksimum ısı

transferinin azaldığı ve gözlemlendiği noktanın daralma yönünde kaydığı tespit edilmiştir [22].

Çarpan jet uygulamalarında sistemin geometrik özelliklerinin yanı sıra akışkan özellikleri de inceleme konusu yapılmıştır. Akışkanın termo fiziksel özelliklerinin, çarpan jetlerin ısı transferine etkisini incelemek için yaptıkları çalışmada Li ve Garimella Pr sayısının 0,7'den 25,2'ye kadar olan değerleri için korelasyonlar elde etmişlerdir. Korelasyon parametreleri olarak Re sayısı, Pr sayısı, orifisin çap-uzunluk oranı ve ısı kaynağı boyu-orifis çapı oranı kullanılmıştır. Daha önceki çalışmalarda genelde Pr sayısının üstü olarak atanan 0,4 değeri kullanılmayıp, değer korelasyon sonucunda elde edilmiştir. Durma noktası ve ortalama Nu sayıları bahsedilen bütün Pr sayıları aralığında elde edilmiş, ayrıca su, hava ve dielektirik sıvı için ayrı ayrı korelasyonlar türetilmiştir [23].

Dairesel ve iki boyutlu jetlerin yanısıra özellikle serbest jetler için eliptik geometriye sahip jetlerde çalışma konusu yapılmıştır. Büyük eksen-küçük eksen oranı 2 olan serbest eliptik jetlerle yaptıkları deneysel çalışmada Ho ve Gutmark, eksen değiştirme sebebiyle eksen değiştirme sebebiyle akış özelliklerinin, ortalama hızların, türbülans yoğunluğunun ve Reynolds gerilmelerinin küçük ve büyük eksen yönünde farklılıklar gösterdiğini bulmuşlardır. Ayrıca çevre havasının jet içerisine çekilmesinde eliptik jetlerin dairesel jetlere oranla çok daha etkili olduğu sonucuna ulaşmışlardır [24].

Yine serbest jetleri konu alan bir diğer çalışmada Hussain ve Husain eliptik geometriye sahip hava ve su jetlerini incelemişlerdir. Akış gözlemlene deneylerinin sonucunda küçük eksen yönündeki genişlemenin büyük eksendekine oranla daha fazla olduğunu bunun da eksen değiştirmeye sebep olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bu mekanizmanın jetlerin uyarılma frekansından etkilendiği deney sonuçlarından görülmüştür [25].

Eliptik geometriye sahip çarpan jetlerle ilgili ilk çalışmalardan birini bizim bilginiz dahilinde Lee ve diğerleri büyük eksen-küçük eksen oranı 2,14 olan jetlerle

gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada $H/d=2$, $Re=10000$ ve 20000 değerlerinde yerel Nusselt sayılarında ikinci ve üçüncü maksimum değerleri gözlemlemişlerdir. Ayrıca Nusselt sayısının Re sayısına bağımlılığının $H/d=10$ değerinde daha küçük değerlere oranla daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Sonuçlar küçük ve büyük eksen yönünde durgunluk noktasından uzaklığa bağlı olarak ifade edilmiştir [26].

Büyük eksen-küçük eksen oranının eliptik çarpan jetlerde durgunluk noktasındaki ısı transferine etkisi sınırsız jetler için Lee ve Lee tarafından incelenmiştir. Bahsedilen oranın 1, 1,5, 2, 3, 4, değerlerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmada $H/d=2$ değerinde büyük eksen-küçük eksen oranı 4 olan jetle en yüksek ısı transferi elde edilmiştir. $H/d>6$ değerlerinde eliptik jetlerle dairesel jetten daha düşük ısı transferleri elde edilmiştir [27].

Dairesel jet dizileriyle ilgili oldukça fazla çalışma bulunmasına rağmen eliptik jet dizileriyle ilgili çok az sayıda çalışma yapılmıştır. Yan ve diğerleri gerçekleştirdikleri oldukça kapsamlı çalışmada farklı büyük eksen-küçük eksen oranlarına sahip sınırlı jet dizilerinin akış ve ısı transferi özelliklerini incelemişlerdir. Eksen değiştirme mekanizmasını büyük eksen-küçük eksen oranının 1 den büyük değerlerinde gözlemlemişler, en yüksek ısı transferi değerlerinin ise Re sayılarına bağlı olarak farklı büyük eksen-küçük eksen oranlarında gerçekleştiğini bulmuşlardır [28].

San ve Lai jetler arasındaki mesafenin dairesel hava jetleri düzlem levhaya çarpmasının yerel Nusselt sayısına etkileri incelemişlerdir. Çalışmalarında beş jet eşit eşkenar dizilimli olarak ele almışlardır. Üç farklı jet Reynolds sayılarını (10000, 20000, 30000) tek tek ele almışlardır. Jetler arası mesafe, Reynolds sayısı ve jet-plaka arasındaki mesafenin etkilerini merkezdeki jetin durma noktasındaki Nusselt sayısı üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelenmiştir. Optimum jetler arası mesafenin jet çapına oranı $(S/d)_{opt}$ elde edilmiştir. Çalışmalarında Reynolds sayısının 10000-30000 aralığında ve $S/d=4-16$, $H/d=2$, $s/d=8$ olduğu durumlar için deneysel çalışmalarını yapmışlardır [29].

Dikey olarak yatay bir plakaya çarpan dairesel hava jeti için jet plakası büyüklüğü ve jet yüksekliğinin ısı transferi karakteristiklerine olan etkisi San ve Shiao tarafından çalışılmıştır [30]. Çalışmalarında çarpma plakasına akış çarptıktan sonra çarpma plakasının heriki yönde açık olma durumunu 1000 W/m^2 'lik sabit yüzey ısı akısı, jet çapı $d=1,5, 3, 6$ ve 9 mm , Reynolds sayısı $Re=10000-30000$, jet-plaka mesafesinin jet çapına oranı $H/d=1-6$, jet plakası genişliğinin jet çapına oranı $W/d=4,17-41,7$ ve jet plakası uzunluğunun jet çapına oranı $L/d=5,5-166,7$ gibi değişkenleri tek tek ele alarak incelemişlerdir. Çalışmalarında aşağıdaki sonuçları bulmuşlardır. Durma noktasındaki Nusselt sayısının Reynolds sayısının $0,638$ kuvvetiyle orantılı olduğu, jet-plaka mesafesinin ($H/d=0,3$) kuvvetiyle ters orantılı olduğu bulmuşlardır. Ayrıca durma noktasındaki Nusselt sayısının $\exp[-0,044(W/d)-0,011(L/d)]$ fonksiyonu olduğu çalışmalarında görülmüştür. Durma noktasındaki Nusselt sayısının H/d ve çapraz akış etkilerinin önemli iki faktör olduğu bulmuşlardır. Reynolds sayısı 30000 değeri için, duvar jeti bölgesinde akış yönünde Nusselt sayısında bir yükselme noktası gözlemlenmiştir. Bu geçiş bölgesi $x/d \approx 1,0$ olduğu noktadadır. Nusselt sayısında ikinci bir yükselmenin olduğu bölge $x/d \approx 2,4$ olduğu noktadır. $Re=10000$ olduğu durum için Nusselt sayısındaki bu iki yükseliş açık bir şekilde görülememektedir. Durma noktasındaki Nusselt sayısı Reynolds sayısı ile artmaktadır, ama jet plakası genişliğinin jet çapına oranının (W/d) ve jet plakası uzunluğunun jet çapına oranının (L/d) artması ile azalmaktadır. Göz önünde tutulan jet plakası-çarpma plakası konfigürasyonu çarpma sonrası jeti iki zıt yöne akmaya zorlamaktadır. W/d 'nin durma noktasındaki Nusselt sayısına etkisinin L/d 'den daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Jetin çekirdek bölgesinde, jet merkezi türbülans şiddeti plaka mesafesinin jet çapına oranı (H/d) ile arttığı bilinmektedir. Bu durum durma noktasındaki Nusselt sayısının H/d ile artması ile sonuçlanmaktadır.

Jung-Yang San ve arkadaşları dairesel hava jetlerinin ısı transferi üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında sabit ısı akısı için beş jet, biri merkezde ve dördü çevrede olmak üzere plaka üzerindeki ısı transferini incelemişlerdir [31]. İnceledikleri jet Reynolds sayıları $Re=5000-15000$, jet-plaka mesafesinin jet çapına oranı $H/d=1-4$, jetler arası mesafenin jet çapına oranı $S/d=4-8$, jet plakası genişliğinin jet çapına oranı $W/d=6,25-18,75$, jet plaka uzunluğunun jet

çapına oranı $L/d=31,7$ ve $83,3$ olduğu durumlar için deneysel çalışmalarını yapmışlardır. Belli bir Reynolds sayısına sahip merkez jeti için, çevredeki dört jetin Reynolds sayısının artmasıyla durma noktasındaki Nusselt sayısının lineer olarak arttığını bulmuşlardır. Reynolds sayısının beş jet için de aynı olması durumunda, merkez jetin durma noktasındaki Nusselt sayısının Reynolds sayısının $0,7$ kuvvetiyle ve W/d 'nin $-0,49$ kuvvetiyle orantılı olduğunu bir korelasyonda göstermişlerdir. H/d , S/d ve L/d 'nin durma noktasındaki Nusselt sayısına etkilerinin zayıf olduğunu ve komşu jet Reynolds sayılarının merkez jetin durma noktasındaki Nusselt sayısına etkilerini incelemişlerdir. Sabit bir Reynolds sayısındaki merkez jetin durma noktasındaki Nusselt sayısının dört komşu jetin Reynolds sayısının artmasıyla neredeyse lineer olarak arttığını göstermişlerdir. Göz önüne aldıkları çalışma koşullarında, durma noktasındaki Nusselt sayısının jet plaka yüksekliğinin jet çapına oranı (H/d) ve jetler arası mesafenin jet çapına oranına (S/d) etkilerinin zayıf olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Bunun sebebini jet dizileri ve jet dizileri ile yan duvarlar arasındaki güçlü akış karışması nedeniyle olduğunu varsaymışlardır. Merkez jetinin durma noktasındaki Nusselt sayısının jet plakası genişliğinin jet çapına oranının (W/d) artmasıyla azaldığı ama jet plakası uzunluğunun jet çapına oranının (L/d) etkisinin zayıf olduğunu bulmuşlardır. Ele alınan jet düzenlemesinde, havanın akış yönüne göre dik olan iki komşu jet arasındaki mesafenin (S) havanın akış yönüne göre paralel olana göre ($\sqrt{3} S$) daha az olduğunu belirtmişlerdir.

Vadiraj ve Prabhu jet uzunluğunun jet çapına oranı (L/d) 1 olan dikdörtgensel sıralı olarak yerleştirilmiş çoklu jetlerin çarpma sonrası tek yönden çıkan havanın düz plaka üzerine çarptırılması ile yerel ısı transferi dağılımını deneysel olarak incelemişlerdir [32]. Çalışmalarında çarpma plakasından sonra akış tek yönde çıkarılması sağlanmıştır. Ortalama jet Reynolds sayısını 3000 ile 10000 ve jet ile plaka mesafesini d ile $3d$ arasında değiştirmişlerdir. Akış yönündeki iki jet arasındaki mesafe $3d$, $4d$ ve $5d$ olarak değiştirilmiş, akışa dik yöndeki iki jet arasında sabit $4d$ mesafesi için çözümler yapmışlardır. Çarpma yüzeyi olarak $0,06$ mm kalınlığında paslanmaz çelik folyo kullanmışlardır. Çarpma yüzeyindeki yerel sıcaklık dağılımını termal kızıl ötesi kamera ile ölçmüşlerdir. İncelenen parametreler arasında akış yönündeki jet akışının dağılımı ve çapraz akış yönündeki jet mesafelerinin

değişiminden ısı transferine olan etkileri deneysel olarak incelemişlerdir. Akış yönünde yerel Nusselt sayısı dağılımının tepeler oluşturarak dalgalandığını bulmuşlardır. $z/d=3$ ve $z/d=1$ için dalgalanmalar çok daha hızlı azaldığını belirtmişlerdir. $z/d=1$ için plaka çıkışında tepe noktalarının değerinin arttığını ama $z/d=3$ için azaldığını göstermişlerdir. Tepe noktalarının yeri çarpan hava çapraz akışı nedeniyle plaka sonuna doğru kaydığını bulmuşlardır. $y/yn=0,5$ için akış yönü boyunca Nusselt sayısının yerel dağılımının daha hafif dalgalanmalar gösterdiğini bulmuşlardır. Çarpma plakasının sonlarında, $z/d=1$ mesafesi için tepe noktalarının değerinin kanaldaki çapraz akış hızlarının artmasından dolayı neredeyse lineer olarak arttığını ancak $z/d=3$ mesafesi için azaldığını belirtmişlerdir. Tepe noktalarının yeri çarpan hava çapraz akışı nedeniyle plaka sonlarına doğru kaydığını bulmuşlardır. Tekli jetlerle karşılaştırıldığında durma noktasındaki ısı transferi katsayısı azalmasının daha yüksek jet-plaka mesafelerinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Bunun nedeninin daha yüksek jet-plaka mesafesinde, çarpma plakasına çarpmadan önce jetler arasındaki etkileşimin bir sonucu olarak bulmuşlardır. Elde ettikleri korelasyonlardaki korelasyon sonuçlarının deneysel verilerle %10'a kadar uyumlu olduğunu bulmuşlardır. Soğutma performansını, ortalama Nusselt sayısının birim soğutucu kütle debisinin birim soğutulana oranı olarak cinsinden ifade etmişler ve akış yönündeki jetler arası mesafenin azalmasıyla ve jet plaka mesafesinin artmasıyla azaldığını bulmuşlardır. Bunun nedeninin akış yönündeki artmış jet-jet etkileşiminden ve çapraz akıştan olabileceğini belirtmişlerdir.

Köseoğlu ve Baskaya dairesel ve eliptik jetlerin akış alanlarını Lazer-Doppler Anemometre (LDA) sistemiyle deneysel olarak incelemişlerdir [33]. Ayrıca, ısı transferi karakteristiklerini sayısal olarak incelemişlerdir. Deneylerde, bir dairesel jet ve en-boy oranı 4 olan bir eliptik jet, jet-plaka mesafesi $2d$ ve $6d$ ve Reynolds sayısı olarak 10000 değerini kullanmışlardır. İki jet geometrisi için boyutsuz jet-plaka mesafesi 2'de çıkış kısmında halkasal akışın yeniden oluşum şekilleri gözlemlemişlerdir. Eliptik jet kısa eksen boyunda daha yüksek saçılma oranlarının olduğunu grafiklerde göstermişlerdir. Çarpma plakası boyunca, $H/d=2$ için hem dairesel hem de eliptik jet için farklı sınır tabaka profillerinin oluştuğunu, ama $H/d=6$ 'ya getirildiğinde bu profillerin birbirine benzer hale geldiğini

gözlemlemişlerdir. Her iki jet geometrisi için maksimum radyal ve eksenel hızların ve türbülans yoğunluklarının olduğu yeri belirlemişlerdir. Sınırlandırılmış dairesel ve eliptik jetlerin geometrileri için, akış alanı ve nümerik ısı transferi sonuçlarının analizinden yerel ısı transferindeki iç tepe noktalarının jet içindeki türbülans yoğunluğuna ve duvar boyunca radyal akış hızlanmasına bağlı olduğunu göstermişlerdir. Akış alanı ve ısı transferi karakteristikleri açısından dairesel ve eliptik jetler arasındaki farkların, jet-plaka mesafesinin artmasıyla azaldığını bulmuşlardır. Reynolds sayısı 10000 için, boyutsuz jet-plaka mesafesi 2, 6 ve 12 için ısı transferi karakteristiklerini sayısal olarak incelemişlerdir. Elde ettikleri LDA ölçümlerini ve sayısal sonuçları bir arada incelemişler ve hem dairesel hem de eliptik jetler için yerel ısı transferi oranının jet içindeki türbülans yoğunluğuna ve duvar boyunca radyal akış hızlanmasına bağlı olabileceğini belirtmişlerdir. Daha ayrıntılı analiz için parametreler daha detaylı incelenerek optik ölçüm ve akış görselleştirme tekniklerinin kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir.

2.2. Sayısal Çalışmalar

Konu üzerindeki sayısal çalışmalar ilk başlarda laminar rejim üzerinde yoğunlaşmıştır. Van Heinen ve diğerleri iki boyutlu sınırlı çarpan jetlerin laminar rejimde ısı ve akış karakteristiklerini incelemek için yaptıkları sayısal çalışmada sonlu farklar yöntemiyle iki boyutlu Navier-Stokes ve enerji denklemlerini vortisite formülasyonu ile çözmüşlerdir. Çalışmada jet çıkışındaki hız profilinin, Re sayısının, emmenin ve değişken termo fiziksel özelliklerin etkisi incelenmiştir. Parabolik hız profiliyle elde edilen durgunluk noktası ısı transferi değerlerinin düz profile oranla 1,5- 2 kat daha yüksek değerler verdiği bulunmuş, bu durum parabolik jetin sahip olduğu yüksek momentumla izah edilmiştir. Nu sayısı değerlerinin $Re^{-0.5}$ ile oranlanması neticesinde farklı Re sayılarındaki boyutsuz ısı transferi değerlerinin bir eğri üzerinde gösterilebileceği görülmüştür. Ayrıca emmenin ısı transferini artırıcı bir etkisi olduğu sonucuna ulaşılmıştır [34].

Sayısal çalışmalarda momentum ve süreklilik denklemlerini tek bir denklem halinde ifade edip, eş zamanlı çözülecek denklemlerin sayısını azaltan akım fonksiyonu

tanımlaması oldukça sık kullanılmıştır. Bunlardan birinde Saad ve diğerleri dairesel jetlerin, laminar akış şartlarında ısı transferi ve akış karakteristiklerini belirlemek için Navier- Stokes ve enerji denklemlerinin vortisite akım fonksiyonu formülasyonunu sayısal olarak çözmüşlerdir. Çalışmalarında ısı transferi St sayısı cinsinden ifade edilmiş ve Re sayısının artışıyla St sayısında bir azalma görülmüştür. Bu azalma, taşınım ısı transferi katsayısının, jet hızının 1'den küçük bir kuvvetiyle artmasıyla ilintilidir. Sonuçlarını benzer durumlar için deneysel kütle transferi ölçümleriyle karşılaştırmışlar ve uyum içinde olduğunu gözlemlemişlerdir. $1,5 < H/d < 12$ aralığında elde edilen sonuçlardan durgunluk noktasındaki ve ortalama ısı transferinin H/D oranından fazla etkilenmediği sonucuna ulaşmışlardır. Jet çıkışındaki hız profilinin etkisini incelemek için düz ve parabolik hız profilleri için yaptıkları çözümlerde, parabolik çıkış hızı profillerinin kayda değer şekilde daha yüksek ısı transferi değerleri verdiği görülmüştür. Bu durum parabolik profilin durgunluk noktasındaki daha yüksek momentum düzeyiyle açıklanmıştır. Aynı durumla ilgili olarak parabolik profilin sürtünme katsayısı değerlerinin düz profilden elde edilenlerin 4 katı civarında olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada ayrıca emmenin etkisi de incelenmiş ve ısı transferine olumlu katkı yaptığı görülmüştür [35].

Arttırılmış ısı transferi uygulamalarına sayısal bir örnek olabilecek çalışmada, Owsenek ve diğerleri radyal ve eksenel jetlerde, jet içerisinde oluşturulan spiral etkisini incelemişlerdir. Laminar sıkıştırılmaz akış için boyutsuz Navier- Stokes ve enerji denklemlerini çözerek tanımladıkları spiral sayısının 0'dan 1'e kadar değişen değerleri için sonuçlar elde etmişlerdir. Oluşturulan spiralin eksenel jetlerde Nu sayısında azalmaya sebep olduğu görülürken, tam aksine radyal jetlerde oluşturulan spiralin hem yerel hem de ortalama Nu sayılarında kayda değer bir artışı beraberinde getirmiştir [36].

Laminar rejimde kararsız hal davranışlarının da hesaba katıldığı Chiriac ve Ortega tarafından gerçekleştirilen sayısal çalışmada $Re = 250-750$ aralığında yarıklı jetler incelenmiştir. Re sayısının 585 ile 610 değerleri arasında akışta kararsız hal özellikleri görülmeye başlandığı ve bu rejimde Nu sayısının Re sayısına bağımlılığın

azaldığı, doğrusal olmayan kararsız hal mekanizmasının ısı transferini arttırdığı gözlemlenmiştir [37].

İki boyutlu ve dairesel jetlerin yanı sıra farklı geometrilere sahip jetlerde sayısal olarak çalışılmıştır. Bu bağlamda Chattopadhyay, dairesel boşluklu laminar çarpma jetlerinin ısı transferi karakteristiklerini sayısal olarak incelemiştir. Çalışmada silindirik koordinatlardaki süreklilik, momentum ve enerji denklemleri iki boyutlu olarak çözülmüş, sonuçlar aynı kütleli debide dairesel çarpma jetleri sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Dairesel boşluklu çarpma jetleriyle, dairesel jetlere oranla daha düşük ısı transferi miktarlarının elde edildiği görülmüştür. Re sayısının tanımlanmasında kullanılan karakteristik uzunluğun seçiminde, dairesel jetle aynı kütleli debiyi verme kriteri kullanılmış, bunun sonucunda da iç çap karakteristik uzunluk olarak alınıp, dış çap kütleli debilerin eşit olmasını sağlayacak şekilde seçilmiştir [38].

Çarpan akışkan jetleri pratik uygulamalarının yanı sıra türbülans modellerin test edilmesi için de çok uygun akış özellikleri göstermektedir. Craft ve diğerleri çarpan jetlerin akış özelliklerini aşağıdaki şekilde özetlemişlerdir: “Durma noktası civarındaki akış neredeyse dönmesiz normal uzama gösterirken çarpan jetin kenarlarına doğru akışta güçlü bir dönme ve akım çizgilerinin eğilmesi söz konusudur. Buna ek olarak çarpma noktasından uzakta akış karmaşık bir plakaya paralel akışa dönmekte ve maksimum kayma gerilmesi duvar bölgesinin dışında oluşmaktadır.” [39]. Çarpan jet akışlarında yukarıda bahsedilen karmaşık yapı ve sayısal açıdan ele alınması çok uygun olan basit geometri sebebiyle türbülanslı çarpan jetlerle ilgili birçok sayısal çalışma gerçekleştirilmiştir.

Shi ve diğerleri türbülanslı yarık jetleri standart $k-\epsilon$ ve RMS modelleri kullanarak inceledikleri çalışmada her iki modelinde ısı transferini belirlemede yetersiz kaldığını belirtmişlerdir [40]. Türbülanslı çarpan jet çalışmalarında üç farklı ikincil moment tipi türbülans modeli ve eddy viskozite modeliyle elde edilen sonuçlar Craft ve diğerleri tarafından karşılaştırılmıştır. Yazarlar, eddy viskozite modelinin ve temel Reynolds gerilmesi modelinin deneysel sonuçlarla pek uyumlu olmadığını

belirtmişler, duvara yakın bölgeye yönelik düzeltmeler içeren modelin deneylerle uyumunun daha iyi olduğunu görmüşlerdir [39]. İkincil moment tipi modellerin deneysel sonuçlarla daha uyumlu olduğu Dianat ve diğerleri tarafından yapılan çalışma da da belirtilmiştir [41].

Çarpan jetlerin türbülanslı akış şartlarındaki modellemesine yönelik olarak standart $k-\epsilon$ modeli ve düşük Reynolds sayısı modellerde oldukça yaygın kullanılmıştır. Gibson ve Harper tarafından $k-\xi$ modeli kullanılarak yapılan çalışmada modelin standart $k-\epsilon$ modelinden daha iyi sonuçlar verdiği ancak türbülans kinetik enerji üretimini olduğundan fazla gösterdiği görülmüştür [42].

Sınırsız çarpan jetlerin yanısıra sınırlı türbülanslı jetlerde sayısal olarak incelenmiştir. Hosseinalipour ve Mujumdar sınırlı jetlerle yaptıkları çalışmada durma bölgesi Nusselt sayılarını düşük Reynolds sayılı bir model kullanarak belirlemişlerdir [43]. Yine sınırlı 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 gözlemlenmiştir [44].

Mushatat yarık şeklindeki (slot) jetlerinin çarpaz akış etkilerini dikkate alarak türbülanslı akış ve ısı transferi karakteristiklerini sayısal olarak incelemiştir [45]. Çarpma yüzeyinin kanatçıklı ve kanatçıksız durum için inceleme yapmıştır. Jet boyutları, jet ve kanatçık sayısı, jet ve kanatçık düzenlemesi, jetler arası mesafe ve jet Reynolds sayısı parametrelerini kullanarak hava akış ve ısı transferi karakteristiklerini incelemiştir. Hesaplama bölgesinin tamamında geçerli olan kapalı sonlu hacimler yöntemini, süreklilik, eliptik Reynolds ortalama Navier-Stokes ve enerji denklemlerini kullanmıştır. Türbülans etkilerini bir $k-\epsilon$ türbülans modelini kullanarak modellemiştir. Çalışmasında, bir duvar fonksiyonu yaklaşımını kullanarak duvar etkilerini modellemiştir. Sonuçlarda, akışın yeniden oluşum bölgelerinde, yerel Nusselt sayısı değişiminin ve türbülans kinetik enerjisinin büyük oranda jet ve kanatçıların boyutundan, jet arası mesafeden, kanatçık kalınlığı ve jet Reynolds sayısından etkilendiklerini bulmuştur. Bunun dışında çarpmalı slot jetlere bağlı kanatçıkların düzenlenmesinin yeniden oluşum bölgelerinin büyüklüğüne dolayısıyla

ısı transferi artırımına önemli etkilerinin olduğunu sonuçlarda göstermiştir. Çalışmasının geçerliliğini literatürde varolan çalışmalarla karşılaştırarak göstermiştir. Çoklu slot şeklindeki jet geometrileri için yüzeydeki kanatçıklar geniş yeniden oluşum bölgesi oluşturduğunu, bunun da ısı transferini artırdığını bulmuştur. Yerel Nusselt sayısı ve akışın yeniden oluşum bölgelerinin büyüklüğünün slot jet genişliğinin kanatçık kalınlığına oranıyla (B/W) arttığını ve kanal yüksekliğinin slot jet genişliğine oranıyla (h/B) azaldığını göstermiştir. Çalışma sonucunda, çarpmalı slot jet sayısının ve kanatçıkların, akış alanı, ısı transferi karakteristikleri ve türbülans kinetik enerjisi üzerinde büyük etkilerinin olduğunu bulmuştur.

Devahastin ve Mujundar iki boyutlu laminer çarpmalı akışkan jetlerin akış karakteristiklerini sayısal olarak incelemişlerdir [46]. Farklı geometrik düzenlemeler için, zamana bağlı kütlenin korunumu, momentum ve enerji denklemlerini çözmüşler ve akışın hangi Reynolds sayısı değerinden sonra salınımlı ve gelişigüzel hale geldiğini bulmuşlardır. Ayrıca, sistemin karışma karakteristiklerini bulmak için kararlı rejim bölgesindeki jet Reynolds sayıları için de inceleme yapmışlardır. Jet Reynolds sayısının ve sistemin geometrisinin çarpmalı akımların karışmasında önemli etkilerinin olduğunu bulmuşlardır. Tüm geometrik düzenlemelerde, daha iyi karışma elde etmek için, jet Reynolds sayısının artmasıyla daha uzun çıkış kanalının gerekli olduğunu bulmuşlardır. Aynı Reynolds sayısı değeri için, ideal karışmanın elde edilmesi çıkış kanalı yüksekliğinin giriş kanalı genişliğine oranıyla (h/W) boyutsuz kanal uzunluğu ile arttığı ancak boyutlu kanal uzunluğu ile azaldığını göstermişlerdir. İnceledikleri tüm akış koşulları için oldukça kısa mesafelerde iyi karışımlar elde edildiğini belirtmişlerdir.

Yang ve Tsai çalışmalarında, yüksek türbülanslı hava jetinin yatay dairesel disk yüzeyine çarptırılmasının zamana bağlı birleşik ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir [47]. İki boyutlu silindirik koordinatlarda, zamana bağlı, türbülanslı akış ve ısı transferinin sayısal simülasyonu kullanarak teorik modelin doğruluğunu test etmişlerdir. Türbülans etkili denklemleri kontrol hacmi esasına dayanan formülasyon ile sonlu farklar yöntemini kullanarak çözdürmüşlerdir. Türbülans yapısını $k-\omega$ türbülans modeliyle tanımlamışlardır. Basınç-hız ikilisini SIMPLE

algoritmasını kullanarak çözdürmüşlerdir. Çalışmalarında, $16100 \leq Re \leq 29600$ aralığındaki türbülanslı akış Reynolds sayısı, dairesel disk sıcaklığı $T_w=373$ K durumu için veya ısı akısı $q''=69-189$ kW/m² durumu için jet-disk mesafesinin jet çapına oranının $4 \leq H/d \leq 10$ aralığındaki değerler için çözümler yapmışlardır. Sayısal sonuçlarda, çarpma işleminde Reynolds sayısının hidrodinamik ve ısı transferine önemli bir etkisinin olduğunu göstermişlerdir. Bunun özellikle çarpmalı jetlerdeki durma noktası bölgesinde etkili olduğunu bulmuşlardır. Yüksek türbülans değerlerinin durma noktası bölgesinde daha yüksek ısı transfer katsayılarını beraberinde getirdiği ve duvar jeti bölgesinde laminar-türbülans geçiş bölgesinde bir by-pass oluşturduğunu bulmuşlardır. Jetin etrafındaki çevrede zorlanmış türbülans durma noktasındaki ısı transfer değişimini etkilemekte olduğunu göstermişlerdir. Modelleme yaklaşımlarında hem durma noktası bölgesi davranışı hem de türbülansa geçişi kullanmışlardır. Bunun güvenilir bir türbülans modeli oluşturmada önemli olduğunu belirtmişlerdir. Zamana bağlı incelemede jet Reynolds sayısının önemli bir parametre olduğunu bulmuşlardır. Hesaplama sonucunda ısı transferinin durma noktasında maksimum ancak disk boyunca uzaklıkla azaldığını göstermişlerdir. Kararlı duruma erişilmesi için gereken sürenin Reynolds sayısının artmasıyla azaldığını bulmuşlardır.

Gaz türbinlerinin performansını arttırmak için, çalışma sıcaklıkları sürekli arttırılmıştır. Ancak türbin giriş sıcaklığının sürekli arttırılması ile türbin kanatçıklarına transfer edilen ısı da oldukça artmaktadır. Bu nedenle, türbin kanatlarının uzun ve güvenli çalışmasını sağlamak için ihtiyaç soğutma yöntemlerine vardır. Türbin kanatlarının uç bölgeleri sıcak gaz akışına maruz kalmaktadır ve soğutulması oldukça zordur. Uç bölgesini soğutmak için kullanılan yaygın bir yöntem ise, kanat uç kapağı altında 180° dönmeli serpantin kanalları yerleştirmektir. Bu sayede, üç boyutlu dönme ve çarpma etkisinden önemli avantajlar sağlanmaktadır. İç taşınım ile soğutmanın arttırılması kanatların uç bölgelerinin ömrünün uzaması için gereklidir. Xie ve diğerleri bir kanat ucunun arttırılmış ısı transferi sayısal olarak incelemişlerdir [48]. Hesaplama yapılacak modelleri, iki geçişli 180° dönüşlü ve türbin kanadı uç kapakları iğne kanatçıklı, ayrıca iki geçişli düz yüzeyli kanal için oluşturmuşlardır. Giriş Reynolds sayılarını 100000-600000

aralığında değiştirmişlerdir. Hesaplamaları 3 boyutlu, sürekli şartlarda ve sıkıştırılmaz akış için yapmışlardır. İki modelin genel performansını değerlendirmişlerdir. Uç bölgelerindeki yüzeyler üzerinde 3 boyutlu akış ve ısı transferini ayrıntılı bir şekilde sunmuşlardır. İğne kanatçıklı yüzeyin, dönme, çarpma ve çapraz akış sonucunda ısı transferi katsayısının düz yüzeyinkinden 1,84 kat daha yüksek olabileceğini bulmuşlardır. Bu artış basıncın % 35 civarında düşüşü pahasına sağlandığını bulmuşlardır. İğne kanatçıklarının türbin kanat ucu ısı transferini ve soğutmayı artırmak için kullanılabileceğini önermişlerdir. Düz yüzeyli türbin ucundaki kanal için RNG k- ϵ türbülans modeli ile elde edilen ortalama Nusselt sayıları deneysel ölçümler ile iyi bir uyum içinde olduğunu göstermişlerdir.

Bredberg ve Davidson çalışmalarında, Low-Reynolds number (LRN) türbülans modeli için yeni bir duvar işlemi kullanarak çözümün hassasiyetini kaybetmeden daha kaba bir mesh dağılımı için tahminde bulunmuşlardır [49]. Yakın-duvar bölgesindeki ayrıklaştırılmış denklemlerin bütünleşmiş edilmesinde kullanılan yaklaşımların ayrıntılı bir şekilde incelenmesi ile oluşturdukları bir yöntemdir. LRN modelinin kullanıldığında ilk iç düğüm noktasının $y^+ \approx 5$ olduğu meshlerde oluşan hataları yok eden bazı modifikasyonlar yapmışlardır. Değiştirilmiş model asimptotik olarak, mesh refinement altında, baseline model ile birebir aynı sonuçları verdiğini bulmuşlardır. Kullanılan modelin, daha kaba meshlerde ($y^+ \leq 10$) değiştirilmemiş modele göre daha az mesh bağımlılığı ile sayısal kararlılığı iyileştirdiğini göstermişlerdir. Sonuçları tam gelişmiş kanal akışı, backward-facing step akışı ve periyodik kanatçıklı kanalda ısı transferi için göstermişlerdir. İnceledikleri dört durum için, $y^+ < 10$ altındaki ilk iç düğüm noktası bulunan meshler için öngörülen sonuçların gridlere çok az bağımlı olduğunu bulmuşlardır. Uyguladıkları modifikasyonlar ile hesaplanan büyüklüklerde her boyutta çifte azalma olabilmektedir.

Literatürde, sık kullanılan türbülans modellerinin, sınır tabaka geçişinin tahmini konumunun türbülans niceliklerinin ilk profillerine ve hesaplama başlangıç yerine çok duyarlı olduğunu göstermektedir. Radmehr ve Patankar bu etkileri yok etmek için iki bağımsız çözüm yaklaşımı kullanmışlardır [50]. (1) düz bir plaka üzerinde

sınır tabaka denklemlerinin çözümü için hesaplamanın başlangıç yeri olarak plakanın başlangıç noktasına çok yakın bir nokta seçmişlerdir ve (2) Tüm levha boyunca eliptik Navier-Stokes denklemlerini çözmek için başlangıç noktası ve yukarı akımdaki bazı bölgeleri dahil etmişlerdir. Hesaplamalardan her iki yaklaşımın benzer sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Low-Reynolds number (LRN) türbülans modelleri düz bir plaka üzerindeki geçiş ile değerlendirmişlerdir. Modellerin hiçbirinin geçişte geçişi bir düzen kullanmadan nicel olarak doğru bir sonuç vermediğini belirtmişlerdir. Sınır tabaka geçiş öngörülmesinde eliptik ve parabolik yaklaşımın sonuçlarını karşılaştırılmışlardır. Parabolik yaklaşım için yapılan hesaplamada başlangıç kısmında Reynolds sayısı kritik değerinden daha az ise, her iki yaklaşımın aynı sonuçlar verdiğini göstermişlerdir. Ayrıca, bu yöntemle elde edilen çözümün başlangıç yeri ve başlangıç profilinden bağımsız olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, daha önceki bazı başarılı sonuçlar laminar sınır tabakası içinde daha büyük türbülans kaybını açığa çıkararak elde edildiğini göstermişlerdir. LRN modellerinin sınanması sonucunda, daha genel ve tatmin edici bir modele ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir

Yang ve Hwang, çalışmalarında, türbülanslı slot jetin yarı silindirik konveks yüzeyine çarptırılması sonucundaki akış karakteristiklerini sayısal olarak incelemişlerdir [51]. Türbülanslı denklemleri kontrol hacmine dayanan power-law formülasyonu ile sonlu farklar metoduyla çözmüşlerdir. Türbülans yapısı ve davranışını göstermek için duvar fonksiyonu ile birleştirilmiş $k-\epsilon$ türbülans modelini kullanmışlardır. Slot jetinin genişliği 9,38 mm ve yarı silindirin çapını 150 mm olarak modellemişleridir. Akışkan olarak havanın kullanıldığı çalışmada, Reynolds sayısı olarak $6000 \leq Re \leq 20000$ aralığındaki değerler ve jet-çarpma yüzeyi mesafesi olarak $7 \leq H/d \leq 13$ aralığındaki değerleri kullanmışlardır. Sürüklenme veya duvar sınır şartı olarak konveks yüzeyin çevresini atamışlardır. Nümerik simülasyonda artan H/d ile serbest jet bölgesinin hız dağılımının merkezden uzaklaştığını göstermişlerdir. Reynolds sayısının artmasıyla, konveks yüzey üzerindeki hız dağılımının değişimi oldukça hızlı olduğunu ve türbülanslı kinetik enerjinin arttığını bulmuşlardır.

Geçim ve diğerleri çalışmalarında, ısıtılan bir plakanın dikdörtgen kesitli bir hava jetiyle soğutulması işlemindeki ısı transferi karakteristikleri sayısal olarak incelemişlerdir [52]. Akışın, türbülanslı, iki boyutlu, sıkıştırılamaz ve sürekli rejimde olduğu kabul edilerek korunum denklemleri Galerkin Sonlu Elemanlar Metodu ile ANSYS-FLOTTRAN kodu kullanılarak çözülmüştür. Std. $k-\varepsilon$, RNG $k-\varepsilon$, $k-\omega$ ve SST türbülans modelleriyle elde edilen sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır ve SST türbülans modeli ile daha uyumlu sonuçların elde edildiği görmüşlerdir. Daha sonra H/d ve Re sayısının, türbülans şiddetinin, kaldırma kuvvetiyle termofiziksel özellik değişiminin ve farklı ısı akısı değerlerinin ısı transferi üzerine etkileri SST türbülans modeli kullanarak analiz etmişlerdir. Hesaplamaları Reynolds sayısı için $4000 \leq Re \leq 12000$ ve jet ile çarpma yüzeyi arası mesafesi için $4 \leq H/d \leq 12$ aralıklarında yapmışlardır. Buldukları sonuçlarda artan Reynolds sayısı ve azalan H/d değerleriyle Nusselt sayısının arttığını göstermişlerdir. Ayrıca durgunluk noktası civarında artan türbülans şiddetiyle beraber ısı transferinde artış meydana geldiğini bulmuşlardır. Durgunluk noktasında std. $k-\varepsilon$ ve RNG $k-\varepsilon$ modelleri deneysel verilerle uyumlu olmalarına rağmen duvar jeti bölgesinde diğer modellerden daha uyumsuz olduğunu ve çalışılan aralıkta H/d ve Reynolds sayısının artmasıyla birlikte durgunluk bölgesindeki uyum da, RNG $k-\varepsilon$ modelinde daha iyi olmasına rağmen, $k-\omega$ ve SST modellerinden daha az uyumlu olduğunu bulmuşlardır. Geometrinin ve Re sayısının çalışılan aralıklarında $k-\omega$ ve SST modelleri deneysel verilerle karşılaştırıldığında, std. $k-\varepsilon$ ve RNG $k-\varepsilon$ modellerinden daha iyi olarak, benzer eğilim sergilemekle birlikte özellikle durgunluk bölgesinde SST modeli $k-\omega$ modelinden daha uyumlu olduğunu göstermişlerdir. SST modelini kullanarak yaptıkları parametrik çalışmalarla da aşağıdaki sonuçlara varmışlardır: Durma bölgesinde ($-4 < x/d < 4$) göz önüne alınan Re sayılarında lüle-plaka mesafesi azaldıkça yerel Nusselt sayısının arttığını, ayrıca belirli bir H/d değerinde artan Reynolds sayısı ile yerel Nusselt sayısının arttığını göstermişlerdir. Durma bölgesinde düşük Reynolds sayısı ($Re=4000$) ve orta lüle-plaka mesafesinde ($H/d=8$) türbülans şiddeti arttıkça yerel Nusselt sayısının artmakta ve sonuçlar deneysel sonuçlarla daha uyumlu olmasına rağmen türbülans şiddetindeki bu artış orta Reynolds sayısı ($Re=7900$) ve düşük lüle-plaka mesafesinde ($H/d=4$) yerel Nusselt sayısındaki değişim deneysel verilerin üzerinde olduğu için deneysel verilerle uyumluluğunun azaldığının

bulmuşlardır. Duvar jet bölgesinde ise türbülans giriş şiddetinin yerel Nusselt sayısını etkilemediği görülmüştür.

Çalışmalarında, sabit ısı akısıyla ısıtılmış bir yüzeyin tek ve çift jet kullanılarak soğutulması işlemindeki akış ve ısı transferi karakteristikleri sayısal olarak incelenmişlerdir [53]. Akışın, türbülanslı, iki boyutlu, sıkıştırılamaz ve sürekli rejimde olduğu kabulüyle çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Analizde standart k-ε türbülans modeli kullanılmışlardır ve korunum denklemleri Galerkin Sonlu Elemanlar Metodu ile ANSYS-FOTRAN paket programı kullanılarak çözdürülmüştür. Hesaplamaları $4 \leq H/d \leq 10$ ve $4000 \leq Re \leq 12000$ aralığında yapmışlardır. Havanın termofiziksel özelliklerinin sıcaklıkla değişimini ve kaldırma kuvveti etkilerini dikkate almışlardır. Analizler sonunda artan Reynolds sayısı ve azalan H/d değerleriyle birlikte ısı transferinde bir artış meydana geldiğini göstermişlerdir. Tek jet yerine aynı özelliklere sahip çift jet kullanılması durumunda ortalama Nusselt sayısında yaklaşık % 21 oranında artış meydana geldiğini bulmuşlardır. Tek lüle durumu için durma bölgesinde yerel Nusselt sayısı deneysel sonuçların altındadır ve belirli bir H/d değerinde Reynolds sayısının artmasıyla deneysel sonuçlara olan yakınlık azalmaktadır. Duvar jet bölgesinde ise tersi bir durum söz konusudur. Yine tek lüle durumunda bütün Reynolds sayılarında lülenin levhaya olan uzaklığı arttıkça yerel Nusselt sayısının azaldığını göstermişlerdir. Çift lüle kullanılması durumunda lüleler arasındaki mesafenin (S), incelenen s/d değerlerinde çalışmanın yapıldığı aralıkta ortalama Nusselt sayısı üzerinde önemli bir etkisi olmadığını gözlemlemişlerdir.

2.3. Arttırılmış Isı Transferi Çalışmaları

Çarpan jetlerle ilgili yukarıda bahsedilen deneysel çalışmalardan bazıları da arttırılmış ısı transferi kapsamında değerlendirilebilir. Aşağıda verilecek çalışmalarda ise aktif ve pasif ısı transferi artırım tekniklerinin doğrudan uygulandığı çalışmalar açıklanmıştır.

Pasif tekniklerden kanatçıklı yüzeyler kullanımına örnek teşkil eden elektronik elemanların soğutulmasına yönelik yaptıkları çalışmada Hollworth ve Durbin, düz plaka üzerine jet dizileriyle soğutulmak üzere 25x25x6,25 mm boyutlarında dikdörtgensel bloklar yerleştirmişler, bloklardan bazılarının ısıtılması ve bunların plakanın değişik yerlerine yerleştirilmesi yoluyla hem ısıtılan bloklardaki yerel ısı transferi karakteristiklerini hem de ısıtılan ve ısıtılmayan bloklar arasındaki boşluktaki ısı transferi karakteristiklerini ısıtılan plakanın konumuna bağlı olarak incelemişlerdir. Ayrıca yapılan basınç ölçümlerinin sonucunda, toplam basınç düşümünün %90'a yakın bir kısmının orifis boyunca olduğunu belirlemişlerdir. Çarpan jet dizileri kullanılarak yapılan soğutmanın, benzer koşullar altında kanal akışıyla soğutmaya oranla %50 daha yüksek taşınım ile ısı transferi katsayıları verdiği görülmüştür [54].

Aktif artırılmış ısı transferi metotlarında sistemde elektrik, akustik alanlar ve titreşim oluşturmak için dışarıdan güç kullanımı söz konusudur. Liu ve Sullivan, hoparlörler vasıtasıyla $H/d \leq 2$ mesafelerinde akustik olarak uyarılmış jetlerin ısı transferi ve akış özelliklerini inceledikleri deneysel çalışmada uyarılma frekansının duvar jeti bölgesindeki ısı transferine etkisini belirlemişlerdir. Frekansa bağlı olarak akışın, değişen özelliklerinin de duman gözlemlene tekniği kullanılarak belirlendiği çalışmada, sonuçlar, duvar jeti bölgesinde uyarılma frekansının doğal frekansa yakın olduğu durumlarda bir ısı transferi artımının meydana geldiğini, uyarılma frekansının harmonik altı frekansa yakın olduğu durumlarda ise yerel ısı transferinde bir azalma meydana geldiğini göstermiştir. Akış gözlemlene sonuçlarını kullanarak bu durum açıklanmıştır. Uyarılma frekansının doğal frekansa yakın olduğu durumlarda, vortex eşleşmesinin çok sayıda küçük boyutta türbülans içeren yığın edisi üretmesi sonucu ısı transferinde artmış olmuş, uyarılma frekansının doğal frekansın harmonik altı frekansına yakın olduğu durumlarda ise büyük boyutta kuvvetli vortekslerin sınır tabakası ayrılmasına sebep olduğu görülmüş bu etki sonucunda ısı transferinde azalma meydana gelmiştir [55].

Aktif ısı transferi artırım teknikleri su jetlerinde de kullanılmıştır. Sheriff ve Zumbrennen su jetleri kullanarak yaptıkları çalışmada sinüzoidal ve kare dalga

formlarının taşınımıyla ısı transferine etkisini incelediler. Bu tür bir akış sağlamanın jet çıkışında bir instabilite oluşturabileceği, durgunluk bölgesinde kaotik bir akışkan hareketi sağlayabileceği ve sınır tabakasının yenilenmesine sebep olabileceği bunun da taşınımıyla ısı transferini etkileyeceği düşünülerek yapılan çalışma sonucunda sinüzoidal dalga formundaki akışla elde edilen Nusselt sayılarının kararlı akışa oranla daha düşük olduğu gözlemlenmiş, bunun sebebi kendilerinin yaptığı teorik çalışmadan elde edilen sinüzoidal dalga formları için sınır tabakası kalınlığının kararlı jetlere oranla daha yüksek olmasıyla açıklanmıştır. Kare dalga formlarında ise belli frekanslarda Nusselt sayısında %33' e varan oranlarda artışlar görülmüş bu durum sınır tabakası yenilenmesiyle açıklanmıştır [56].

Isı değiştirgeçlerinde çok yaygın şekilde kullanılan kanatçıklı yüzeyler elektronik elemanların çarpan jetlerle soğutulması uygulamalarında da kullanılmıştır. Değişik çapta ve sayıda lüle ve lüle dizileriyle yaptıkları çalışmada Brignoni ve Garimella kanatçıklı yüzeylerin ortalama taşınımıyla ısı transferi katsayılarını düz yüzeylerle değişik parametrelere bağlı olarak karşılaştırmışlardır. Çarpma jetlerinin optimizasyonuna yönelik bir çaba olarak, kanatçıklı ve düz durum için ortalama taşınımıyla ısı transferi katsayılarının Re sayısı, hava debisi, basınç düşümü ve pompa gücüyle değişimi incelenmiştir. Sabit Re sayısında büyük çaplı tek lülelerin ($d \geq 6,35\text{mm}$) kanatçıklı yüzeyde daha iyi ısı transferi performansı gösterdiği, sabit hava debisinde karşılaştırma yapıldığında ise daha küçük çaplı lülelerin daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir [57].

Yukarıda bahsedilen çalışmanın devamı niteliğindeki deneysel çalışmada El Sheikh ve Garimella farklı kanatçıklı yüzeyleri jet dizileriyle soğutmuşlar, kanatçık yüksekliği ve taban alanının etkisini incelemişlerdir. Sonuçları kanatçıksız durum için, aynı Re sayısı ve aynı kütleli debi için karşılaştırmışlardır. Ayrıca tek jet ve jet dizileri ile verim değişimi de incelenmiştir. Test edilen bütün durumlar için sabit Re sayısında, tek jetlerin aynı lüle çapındaki jet dizilerine oranla daha düşük taşınımıyla ısı transferi katsayısı değerleri verdiği görülürken, karşılaştırma aynı toplam kütleli debide yapıldığında tek jetlerin daha yüksek taşınımıyla ısı transferi katsayısı değerleri verdiği gözlemlenmiştir. Yüksek kanatçıkların ve küçük jetler arası mesafenin

kullanıldığı durumdaki ısı transferi kanatçıksız yüzeye göre en yüksek değeri vermiştir [58].

Sınır tabakasının şekli ve kalınlığı ısı transferi ve akış özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür. Çarpan jetlerde, jetin çıkıştaki hız profilinin ısı transferini etkilediği ayrıca basınç düşümünün büyük bir kısmının lüle içerisinde gerçekleştiği bilinmektedir. Bahsedilen durumların toplam etkisini belirlemek amacıyla Brignoni ve Garimella 3,18 mm çapında lüleler kullanarak lüle giriş eğiminin ısı transferi ve basınç düşümüne etkisini incelemişlerdir. Tanımlamış oldukları performans katsayısı($h_{ave}/\Delta P$) ile lüle giriş eğiminin toplam etkisini belirlediler. Yerel taşınım ısı transferi katsayılarını hesaplayabilmek için sadece 1 adet 36 gauge T tipi ısı çift ve travers mekanizması kullandılar. Lüle girişini eğimlendirmek suretiyle taşınım ısı transferi katsayısı basınç düşümü oranında %30'a varan artışlar elde etmişlerdir [59].

Özellikle ısı değiştirgeçlerinde kanal içerisindeki akış içerisine akışta dönmeler oluşturacak parçalar yerleştirilmesi çok yaygın bir uygulamadır. Çarpan jetlerde de benzer mekanizma ile ısı transferi arttırımı ihtimalini araştırmak için Lee ve diğerleri türbülanslı akımda dairesel jetleri kullanarak, lüle çıkışına eklenen spiral oluşturunucuların ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Re sayısının 23000 değerinde sabit tutulduğu çalışmada H/d oranları 2'den 10'a kadar değiştirildi, dört farklı spiral sayısında yerel ve ortalama taşınım ısı transferi katsayıları için ölçümler yapılmış, sonuçlar spiral oluşturunucular kullanılmayan durumlarla karşılaştırılmıştır. H/d=2 değeri için ortalama Nu sayılarının spiral kullanılan akımda daha yüksek olduğu gözlenmiş, ancak $H/d \geq 10$ durumunda spiral etkisinin yok olduğu sonucuna ulaşılmıştır [60].

Zhou ve Lee, lüle çıkışından önce yerleştirilen, ağ yapının akış karakteristiklerini değiştireceğini bunun da ısı transferini etkileyeceğini düşünerek, lüleden önce farklı yoğunlukta ağ yapıları yerleştirerek deneyler yaptılar. Sonuçlar ağ yapının durma bölgesindeki ısı transferini $H/d < 4$ değerleri için az da olsa arttırdığını fakat daha büyük H/d değerlerinde ağ yapının arttırdığı türbülans yoğunluğu, jet

momentumunun azalmasıyla dengelenmiş ve düz duruma göre daha düşük ortalama Nusselt sayıları elde edilmiştir [61].

Çarpma plakası üzerinde kanatçıklı yüzeyler eklenmesine ek olarak, fazla alan artırımı veya azalmasına sebep olmayan çıkıntı ve çukurlukların etkisi de artırılmış ısı transferi çalışmaları kapsamında incelenmiştir. Ekkad ve Kontrovitz çarpma plakası yüzeyinde oluşturdukları kare ve üçgen dizilimli farklı derinlikteki çukurlukların ısı transferine etkisini inceledikleri çalışmada çapraz akış etkisinde dairesel jet dizilerini kullanmışlardır. Bulguları, kullanılan çukurlukların bulunduğu çarpma yüzeyinin düz yüzeye oranla taşınım ısı transferi değerlerinde bir azalmaya sebep olduğunu göstermiştir [62].

Benzer şekilde, çarpma plakası üzerinde oluşturulan 19,9x19,9x6,4mm boyutlarında bir çıkıntılı yüzeyin kullanıldığı çalışmada Fleischer ve Nejad çıkıntılı yüzeyde elde edilen Nu sayısı değerlerini düz yüzey ile karşılaştırmışlardır. Değişik çapta dairesel jetlerin kullanıldığı çalışmada Nu sayısında düz yüzeye karşılaştırıldığında %5 ile %15 arasında değişen artışlar gözlemlenmiş, artışların azalan Re sayılarında ve artan jet çaplarında daha belirgin olduğu görülmüştür [63].

Royne ve Dey jet dizileri ile yaptıkları çalışmada orifis tipi jetlerin çıkış açılarını ve kalınlığını değiştirerek bunun basınç düşümü ve ısı transferine etkisini incelemişlerdir. Çıkışa doğru daralan orifis tipi jetler ile daha yüksek ortalama ısı transferi elde edildiği ayrıca daha büyük orifis kalınlığına sahip jetlerle daha düşük basınç düşümleri oluştuğunu belirttiler [64]. Yine jet dizileriyle yapılan bir çalışmada Yan ve diğerleri çarpma plakası üzerine açılı olarak yerleştirilen çıkıntılarının ısı transferine etkisini sıvı kristal ölçüm tekniği kullanarak incelemişlerdir. Yerleştirme açısına bağlı olarak ısı transferinde artma ve azalmalar görülürken en yüksek ısı transfer artımı 45° açıyla eşit aralıklarla yerleştirilmiş çıkıntılarla elde edilmiştir [65].

Yan ve Mei sıvı kristal ölçüm tekniğini kullanarak eliptik jet dizilerinin kanatlı yüzeye çarptırılarak detaylı ısı transferi katsayısı dağılımının incelemişlerdir [66]. Çalışmalarında sürekli ve ucu açık V şeklindeki kanatçık biçimlerini farklı çapraz

akış durumları için incelemişlerdir. Açılı kanatçık etkilerini incelemek için üç açık kanatçık farklı Reynolds sayıları için jet-plaka mesafesi $H/d=3$ için ele almışlardır. Kanatçıklı yüzey boyunca yerel ısı transferi oranının Nusselt sayısı dağılımının bariz periyodik-tip değişimi ile karakterize edildiğini ölçüm sonuçları göstermiştir. Çapraz akım etkilerini artırmak için aşağı akım pikleri hafifletilmiştir. Kanatçıksız yüzeylerdeki sonuçlarla karşılaştırıldığında, kanatçıklı yüzey üzerindeki ısı transferi artırılabilir veya geciktirilebilir. Oysa test arasında açılı kanatçık düzenlemelerinde, en iyi ısı transferi performansı 45° 'lik V-şekilli kanatçıklı yüzeylerde elde edilmiştir. İlaveten sürekli kanatçıklı yüzeyler ucu açık kanatçıklı yüzeylere göre daha iyi bir çarpmalı ısı transferi sağlamaktadır.

Literatür araştırmasından da görüleceği gibi, çarpan jetlerle ilgili birçok deneysel ve sayısal çalışma gerçekleştirilmiştir. Literatürde çok farklı jet geometrileriyle çalışılmıştır. Ancak bunların sistematik bir şekilde pürüzlü ve pürüzsüz yüzeylerin karşılaştırılması pek yoktur. Bu amaca yönelik olarak farklı jet çıkış geometrileri ve pürüzlü ve pürüzsüz geometriler için aynı kütleli debiler kullanılarak deneysel ve sayısal olarak incelenmiş performansları karşılaştırılacaktır. Çarpan jetlerle elde edilen ısı transferi ve akış alanı birbiriyle çok ilgilidir. Çalışmamızda, bu sebeple dairesel jetler için ayrıntılı LDA tekniği ile hız ve türbülans ölçümleri yapılarak sonuçlarını yorumlamada kullanılabilecek veriler elde edilecektir.

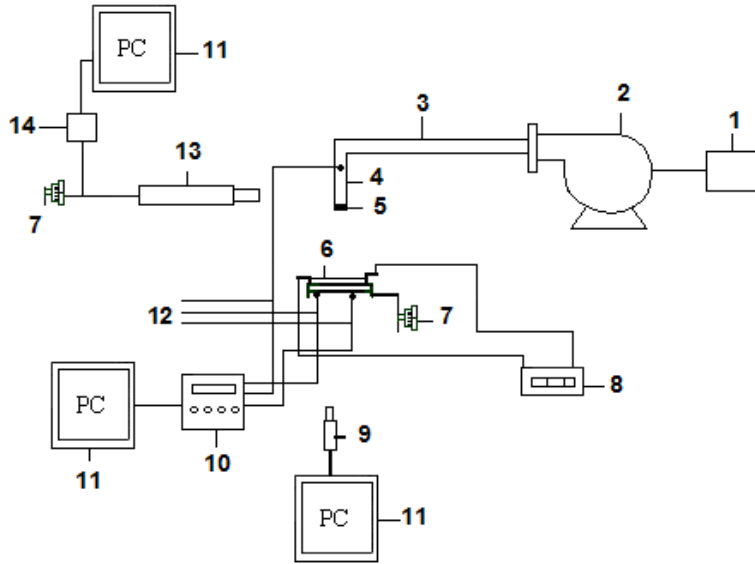
3. DENEY DÜZENEGİ VE ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

Bu bölümde deneysel çalışmanın gerçekleştirildiği deney düzeneği, çarpma plakası düzenekleri, paslanmaz çelik folyo üzerinde sıcaklık ölçümü için kullanılan termal kamera ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Türbülanslı akış şartlarında çoklu çarpan akışkan jetleriyle pürüzsüz (kanatçıksız) ve pürüzlü (kanatçıklı) yüzeyler üzerindeki ısı transferinin deneysel incelenmesi için Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Enerji anabilim dalı'nda başlatılan çalışmalar kapsamında bir deney düzeneği kurulmuştur.

3.1. Deney Düzeneği ve Özellikleri

Kanatçıklı ve kanatçıksız yüzeylerde akış ve ısı transfer deneyleri kullanılan ölçüm tekniklerinin gerektirdiği bazı düzenlemeler yapılmıştır. Isı transferi ve akış deneyleri ayrı laboratuvar kısımlarında yapılmıştır. Bu bağlamda, LDA ölçüm tekniğinde kullanılan atomize yağın çevreye yayılımını önlemek üzere laboratuvar, içerisinde deney düzeneğinin, travers mekanizmalarının ve lazer probunun da bulunduğu kapalı şeffaf bir bölme oluşturulmuştur. Kapalı bölme 280x380x250 cm boyutlarındadır. Bu bölmenin oluşturulması birkaç aşamada gerçekleştirilmiştir. Önce laboratuvar içerisinde belirtilen hacmin etrafında ahşaptan iskelet yapı oluşturulmuş, daha sonra bu ahşap boyanmıştır. Son olarak bölmenin şeffaflığını sağlayabilmesi için iskelet yapı akrilit adı verilen pleksiglass benzeri şeffaf bir malzemeyle kaplanmıştır. Kaplama işleminde 1x2 m boyutlarında 3 mm kalınlığında akrilit levhalar ahşap iskelet üzerine vidalar yardımıyla sabitlenmiştir. Şeffaf kapalı bölme içerisine üzerinde lazer probunun yerleştirildiği travers mekanizması, üzerine deney düzeneğinin kurulu olduğu masalar ve bitirilen deney düzeneği yerleştirilmiştir. Şeffaf bölmenin üst tarafında çok küçük bir açıklık bırakılarak içerisinde bulunan travers mekanizması ve lazer probunun bağlantı kabloları geçirilerek akış deneyleri yapılmıştır. Isı transfer deneyleri farklı bir laboratuvarda yapılmıştır. Bunun için mevcut deney sistemi taşınabilir bir şekilde tasarlanarak ısı transferi deneyleri yapmak için şartlar hazırlanmıştır.

Isı ve akış deneylerinde kullandığımız deney sisteminin ayrıntılı şekli Şekil 3.1’de verilmiştir. Deney sistemindeki temel elemanların özellikleri aşağıda ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.



Şekil 3.1. Genel deney düzeneği

1. Frekans kontrol cihazı 2. Fan 3. Hava bağlantı hattı 4. Hava kanalı 5. Jet plakası 6. Çarpma plakası 7. Travers Mekanizması 8. Yüksek akım sağlayan DC güç kaynağı 9. Termal kamera 10. Veri toplama ve değerlendirme sistemi 11. Bilgisayar 12. Isıl çiftler 13. LDA lazer probu 14. LDA sistemi

3.1.1. Test bölümü

Esnek boru çıkışına monte edilen test bölümü Resim 3.1’de verilmiştir. Test bölümü 10mm kalınlıktaki şeffaf pleksiglas malzeme kullanılarak imal edilmiştir. Test bölümünün bütün parçaları vidalarla birbirine tutturulduğu için zaman içinde yapılan değişiklikler kolayca gerçekleştirilebilmiştir. Üzerinde dairesel, elips ve kare orifis tipi jetleri bulunduran 0,17m uzunluğundaki ve 0,12m enindeki parça bütüne dokunmaksızın takılıp çıkarılabilecek durumda imal edilmiştir. Böylece farklı orifis jetlerin kolayca test bölümüne monte edilmesi mümkün olmuştur. İmalatı yapılan test bölümünün uzunluğu 80 cm olup dikdörtgen kesitlidir. Dikdörtgen kesitin iç alanı 10x15 cm’dir. Test bölümü girişindeki dikdörtgen kesit ortasında açılan deliğe fan

çıkışından sonraki boru yerleştirilmiştir. Bu delik vasıtasıyla test bölümü fan çıkışındaki boruya kolayca bağlanabilmektedir. Test bölümünün üzerinde hava girişinden 70cm mesafede açılan iki delik vasıtasıyla da deneylerde kullanılan havanın giriş sıcaklığı ölçülerek bu iki sıcaklığın ortalaması alınarak jet giriş sıcaklıkları elde edilmiştir. Test bölümünün bu geometrik yapısı sonucu fandan gelen hava jetlere girmeden önce neredeyse sıfır hıza ulaşmakta ve jet çıkışında hemen hemen uniform bir hız elde edilmesi mümkün olmaktadır. Test bölümü bu özelliği sebebiyle bir sönümleme odası görevi de yapmaktadır.



Test bölümü

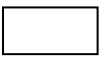
Resim 3.1. Test bölümü

3.1.2. Orifis tipi jetler

Orifis tipi değişik geometriye sahip jetler lazerle kesme yöntemiyle üretilmişlerdir. Jetler 15x10cm boyutlarında ve 5 mm kalınlığındaki şeffaf pleksiglass plaka üzerinde lazerle kesme yöntemiyle imal edilmişlerdir. Orifis kalınlığının orifis çapına oranı ($L/d=1$) olarak seçilmiştir bu şekilde üretim yapılması uniform hız kabulündeki hız profilindeki gelişmeden dolayı olan hatalar en aza indirilmiştir. Orifis tipi jetleri bulunduran plakalarda test bölümüne kolayca monte edilebilecek şekilde vida delikleri açılmıştır. İmal edilen orifis tipi jetlerin geometri ve boyutları Çizelge 3.1’de gösterilmiştir. Deneylerde 6 farklı jet geometrisi kullanılmıştır. Dairesel jetin

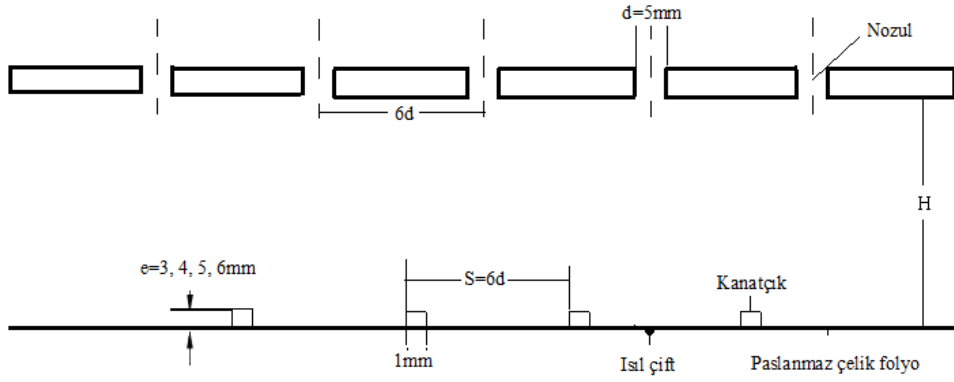
çapı 5 mm'dir ve EJ1 olarak adlandırılmıştır. Dairesel jetle aynı alan ve eşdeğer çapa sahip büyük eksen-küçük eksen oranları sırasıyla 2 ve 0,5 olan iki adet eliptik jet imal edilmiştir. Bunlar EJ2 ve EJ05 olarak adlandırılmışlardır. Bunlara ek olarak en-boy oranları 1, 2 ve 0,5 olan üç adet dikdörtgen kesitli jet için daha deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Bu jetlerin özelliği dairesele jetle aynı kesit alanına sahip olmalarıdır. Bu sebeple eşdeğer çapları dairesele jetin eşdeğer çapından farklıdır. Bu jetlerin isimlendirilmesi sırasıyla RJ1, RJ2 ve RJ05 olarak yapılmıştır. Farklı geometrilerin birbiriyle karşılaştırılmaları aynı kütlesele debi kullanılarak yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Jet geometrileri ve boyutları

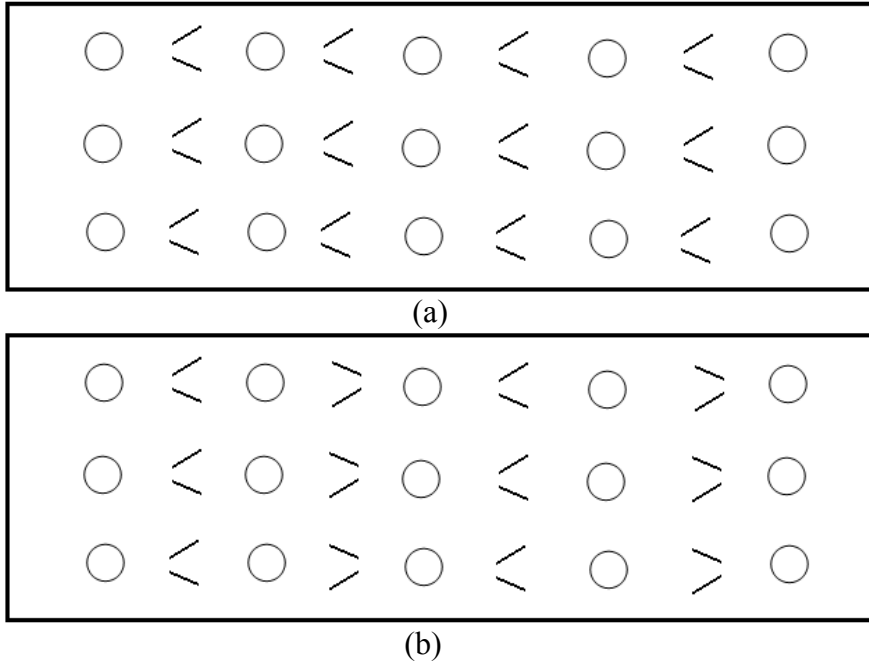
İSİM	GEOMETRİ	ALAN (mm ²)	KISA EKSEN (mm)	UZUN EKSEN (mm)	EN- BOY ORANI (AR)	d _{eş} (mm)
EJ1		19,63	5	5	AR=1	5
EJ2		19,63	3,54	7,08	AR=2	5
EJ05		19,63	3,54	7,08	AR=0,5	5
RJ1		19,63	4,43	4,43	AR=1	4,43
RJ2		19,63	3,13	6,27	AR=2	4,17
RJ05		19,63	6,27	3,13	AR=0,5	4,17

3.1.3. Çarpma plakası

Kanatçıklı ve düz plaka üzerindeki yerel ve ortalama ısı transferi katsayılarının belirlenmesinde kullanılacak çarpma plakası düzeneği Şekil 3.2’de görülmektedir. Çarpma plakası paslanmaz çelik malzemeden 17x12 cm boyutlarında ve 0,02 mm kalınlığındadır. Paslanmaz çelik folyo yüzeyi üzerinde sabit ısı akısı elde etmek için seçilmiştir. Çarpma plakası üzerinde radyasyon kayıplarını hesaplayabilmek için 0,02mm kalınlığındaki paslanmaz çelik folyonun alt kısmı yaklaşık 0,01mm kalınlığındaki siyah boya tabakası ile kaplandı. Parlak ve boya tabakası ile kaplanmış yüzeylerin emisivite değerlerini ölçmek için AE model emisometre kullanılmıştır. Ölçümler öncelikle cihazın kalibrasyonu yapılarak yapılmıştır. Resim 3.2’de görüldüğü gibi kalibrasyon için emisivite değerleri 0,05 ve 0,87 olan iki malzeme üzerinde kalibrasyonu yapıldıktan sonra paslanmaz çelik folyonun parlak ve boyalı kısımlarının kalibrasyonu yapılmıştır. Resim 3.3 ve 3.4’de görüldüğü gibi paslanmaz çelik folyonun boyalı yüzeyinin emisivite değeri 0,82 ve parlak yüzeyin emisivite değeri 0,13 olarak ölçülmüştür. Çarpma plakası yüzeyi boyunca sabit ısı akısı elde etmek için düzeneğe 0,02mm kalınlığında bir paslanmaz çelik folyo kullanılmıştır. Çelik folyonun üzerine yükseklikleri 3, 4, 5 ve 6 mm, kalınlıkları 1mm uzunlukları 13mm olan paslanmaz çelikten yapılmış Şekil 3.3’de görüldüğü gibi V şeklinde ve daralan-genişleyen şekilde oluşturulmuş kanatçıklar yapıştırılmıştır. Alüminyum malzemeden yapılmış olan kanatçıklar paslanmaz çelik folyo üzerine gümüş alaşımlı ısıyı ileten elektriği iletmeyen yapıştırıcılar vasıtasıyla tutturulmuştur. Grafiklerde kısaltmalar yapmak için V şeklindeki kanatçıklar V-BK ve daralan-genişleyen şeklinde oluşturulmuş kanatçıklar ise DG-BK olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3.2. Kanatçıklı yüzeyde çarpma plakası düzeneği



Şekil 3.3. EJ1 isimli jet ve kanatçıkların görünüşü (a) V-BK kanatçıklar
(b) DG-BK kanatçıklar



Resim 3.2. AE model emisometre kalibrasyon numuneleri



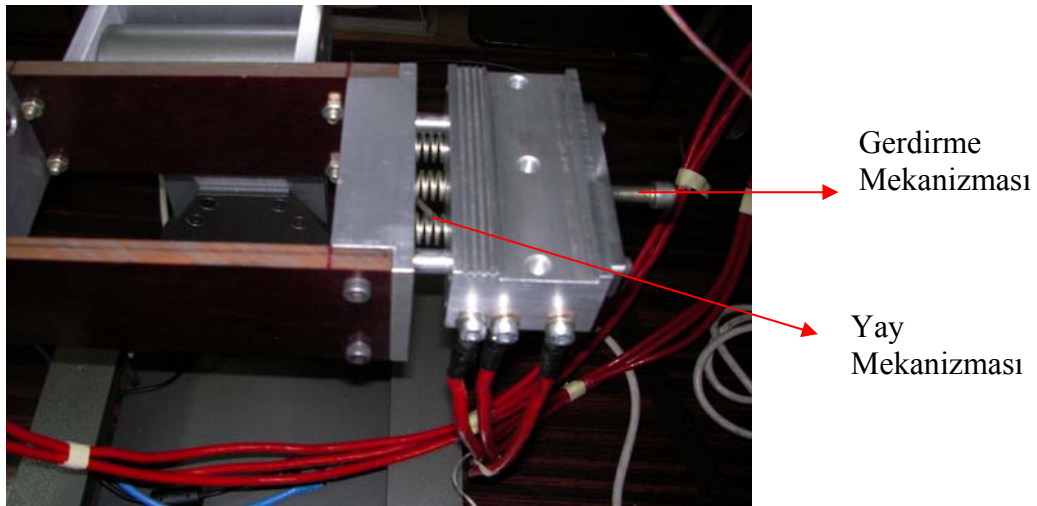
Resim 3.3. Paslanmaz çelik folyonun boyalı yüzeyinin emisivite değeri



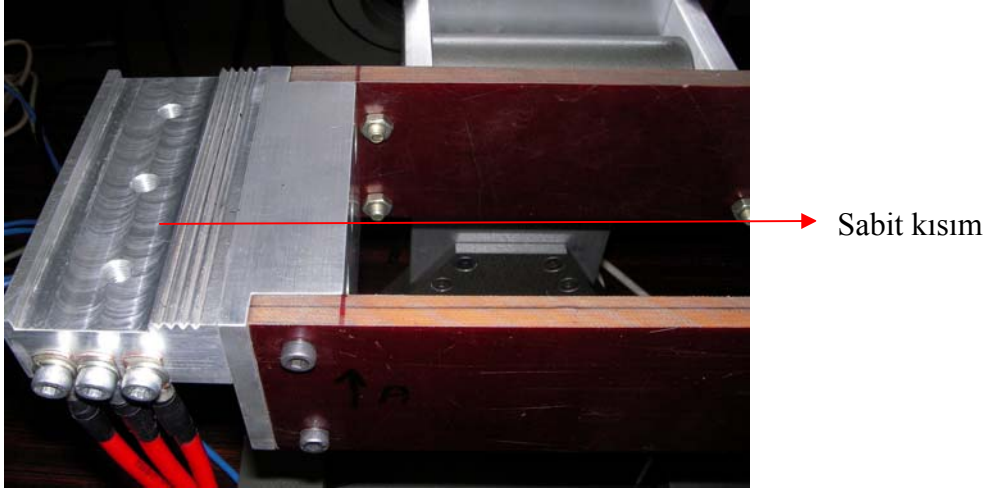
Resim 3.4. Paslanmaz çelik folyonun parlak yüzeyinin emisivite değeri

3.1.4. Çarpma plakasını gerdirme mekanizması

Paslanmaz çelik folyoyu gerdirme mekanizması Resim 3.5 ve 3.6’da verilmiştir. Resim 3.5’de germe mekanizmasının hareketli kısmı Resim 3.6’da ise sabit kısmı verilmiştir. Çarpma plakasının çok iyi bir şekilde gerdirilmesi çalışmalar açısından oldukça önemlidir. Çarpma plakası (paslanmaz çelik folyo) ısınmadan dolayı uzamalar ve esnemeler meydana gelecektir. Bu uzamadan dolayı folyonun gerginliği kaybolacaktır. Folyonun devamlı gergin bir şekilde tutmak için Resim 3.5’de görüldüğü gibi bir yay mekanizması yapılarak çarpma plakasının devamlı gerginliği sağlanmıştır. Resim 3.7’de paslanmaz çelik folyoyu yüzeye sıkıştırmak için iki adet bakır pabuç kullanılmıştır. Paslanmaz çelik folyoya elektrik akımının düzgün bir şekilde verilebilmesi hemde folyonun yüzeyde sıkı bir şekilde gerdirilebilmesi için bakır pabuçların üzerine 2mm derinliğinde kanallar açılarak hem folyoya sürekli bir akımın verilmesi ve daha iyi bir germe mekanizması sağlanmış olacaktır. Resim 3.7’de görüldüğü gibi jet akışı çarpma plakasına çarptıktan sonra, akışın çarpma plakasının sonlarında akışın engellememesi için bakır pabuçlara aç verilerek akışın geçişi engellenmemiştir.



Resim 3.5. Gerdirme mekanizmasının hareketli kısmı



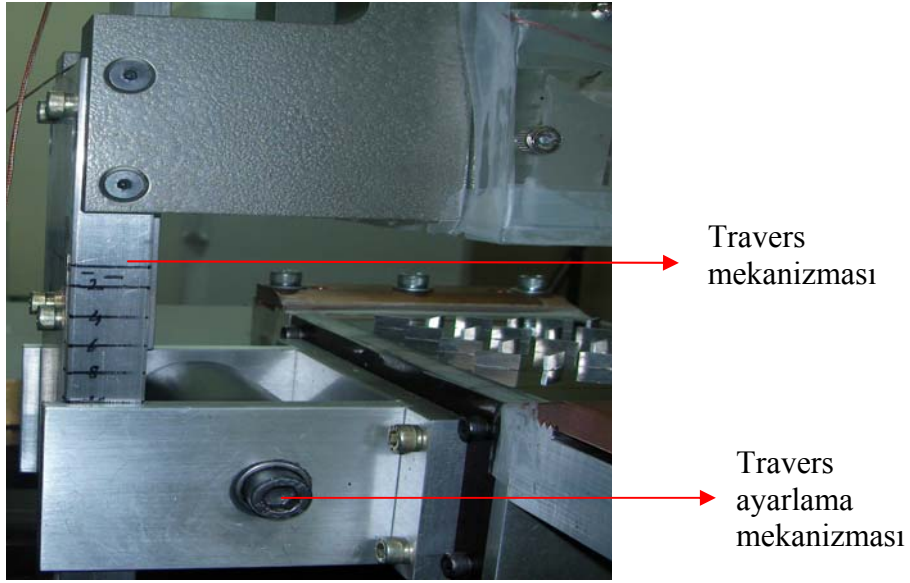
Resim 3.6. Gerdirme mekanizmasının sabit kısmı



Resim 3.7. Bakır pabuç ve üzerine açılan dişler

3.1.5. Travers mekanizması

Deneysel çalışmalarımızda farklı jet-plaka mesafelerinde çalışılmıştır. Çarpma plakası ile jet plakası arasındaki mesafeyi değiştirmek için Resim 3.8 ‘de görüldüğü gibi bir travers mekanizması yapılmıştır. Travers mekanizması çarpma plakasına vida bağlantısı ile bağlanmıştır. Travers mekanizması üzerine milimetrik ölçüm kağıdı yapıştırılarak değişik jet-plaka mesafeleri ayarlanmıştır. Çarpma plakasına verilen elektrik akımının travers mekanizmasına olan geçişini engellemek için araya elektriği iletmeyen kestanit malzeme kullanılmıştır. Bunun sonucunda elektrik akımı sadece folyo üzerinde kalması sağlanmıştır.



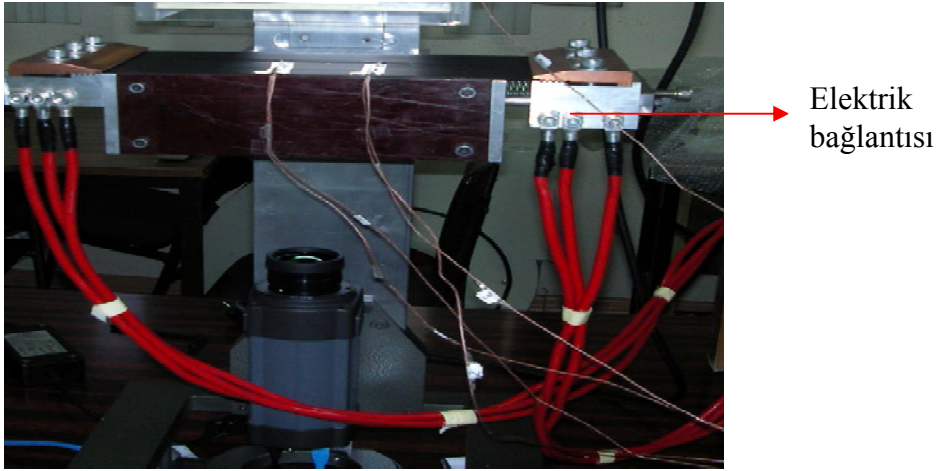
Resim 3.8. Deney seti travers mekanizmasının yandan görünüşü

3.1.6. DC (Doğru akım) güç kaynağı

Paslanmaz çelik folyo üzerinde sabit ısı akısı sağlayabilmek için çarpma plakası Resim 3.9’ da görülen 0-100 Amper ve 0-12 Volt aralığında değiştirilebilen DC güç kaynağı tarafından ısıtıldı. DC güç kaynağı Resim 3.10’da görüldüğü gibi paslanmaz çelik folyo üzerindeki bakır pabuçlara altı farklı noktadan bağlanarak folyo üzerine değişik akım ve voltajlarda elektrik akımı verilmiştir.



Resim 3.9. Yüksek akım sağlayan DC güç kaynağı



Resim 3.10. Paslanmaz çelik folyoya elektrik bağlantısının görünüşü

3.1.7. Termal kamera

Deneysel çalışmamızda paslanmaz çelik folyo üzerindeki sıcaklıklar Flir marka A320 model termal kamera yardımıyla ölçülmüştür. Çarpma yüzeyi üzerindeki sıcaklık dağılımları çarpma plakasının alt kısmına yerleştirilen termal kamera ile ölçülmüştür. A320 model termal kameraya ait teknik özellikler Çizelge 3.2’de verilmiştir. Termal kameranın sistem üzerindeki bağlantısı Resim 3.11’de verilmiştir. Termal kameranın dik olarak durabilmesi için Resim 3.11’de görüldüğü gibi alt kısımdan kablolarının rahat bir şekilde geçebileceği bir destek sistemi yapılmıştır. Termal kameranın görüntü alan kısmına çıkarılıp takılabilen 45°’lik geniş açılı lens takılmıştır. Bu lens yardımıyla paslanmaz çelik folyo daha fazla piksele bölünmüş olmaktadır. Termal kameradan alınan veri aktarma kabloları yardımıyla görüntüler bilgisayara taşınmıştır. Elde edilen görüntüler işlenerek yüzey üzerindeki farklı noktalarda sıcaklık değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 3.2. A320 model termal kameranın teknik verileri

Görüş alanı/minimum odaklama mesafesi	25°x18,8° / 0,4 m (standart lens)
Termal duyarlılık 30 °C de	0,07 °C
Görüntüleme frekansı	25-30/9 Hz.
Piksel	320x240
Spektral band genişliği	7,5 ile 13 mikrometre
Sıcaklık aralığı	(-20 °C ile 120 °C), (0 °C ile 350 °C) (Opsiyonel 1200 °C'ye kadar)



Resim 3.11. Termal kameranın deney sistemindeki bağlantısının görünüşü

3.1.8. Fan

Deney düzeneğinde ihtiyaç duyulacak hava debilerini sağlamak üzere 2840 m³/saat kapasiteli, üç fazlı fanın fotoğrafı Resim 3.12’de verilmiştir. Orijinali dikdörtgen kesitli olan fan çıkışı deney düzeneği tasarımına uygun olması ve akışta herhangi bir engelleme yapmaması için dairesel kesit hale getirilmiştir Fan çıkışını dairesel kesitli hazneye bağlamak için civata kullanılmıştır. Fan çıkışı ve dikdörtgen kesit arasındaki sızdırmazlık kauçuk malzemesi ve şeffaf silikon jel malzemesi ile sağlanmıştır. Test

bölümüyle fan çıkışı arasındaki titreşimleri en aza indirmek, fan çıkışındaki havayı orifis tipi jetlerin bulunduğu test bölümüne aktarma için Resim 3.12’de görüldüğü gibi esnek boru kullanılmıştır.



Resim 3.12. Hava debisini sağlayan fan

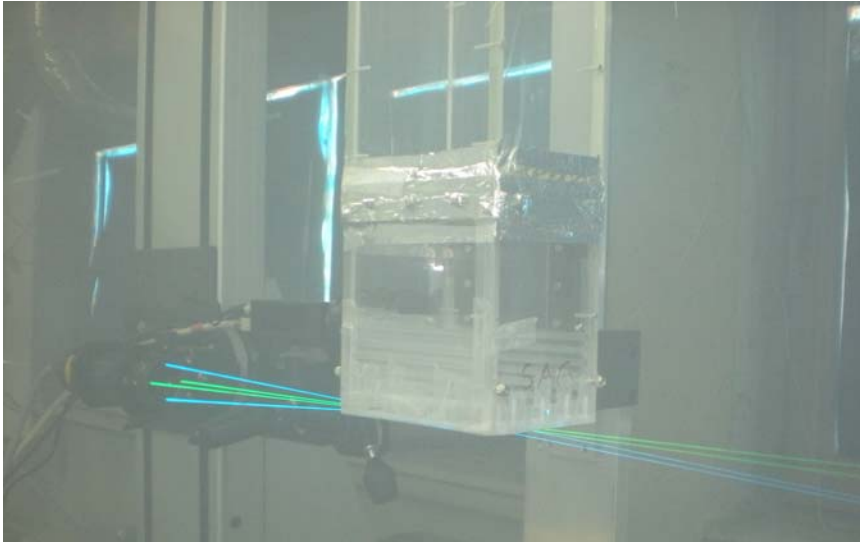
3.1.9. Frekans kontrol cihazı

Deneysel çalışmalarımızda farklı hızlarda (farklı Reynolds sayıları) çalışılmıştır. Bu nedenle fan debisinin bir şekilde ayarlanabilmesi gerekmektedir. Bu, fan çıkışına açıklığı ayarlanabilir bir vana ile gerçekleştirilebilir. Ancak bu yöntem istenen farklı debileri sağlamakta çok verimli olmayabilir. Bu sebeple deneylerde fana bağlanabilen Siemens, Cinamics G110 marka bir frekans kontrol cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz Resim 3.13’de verilmiştir. Duvara monte edilen frekans kontrol cihazının tek fazlı, fanın ise üç fazlı olması sebebiyle bağlantılarında gerekli ayarlamalar yapılmıştır. Frekans kontrol cihazı 0-50 Hz aralığında çalışmakta ve 1Hz’ e kadar değişikliklere hassasiyet göstermektedir. Her bir frekansa karşılık gelen jet çıkış hızları LDA ölçüm sistemiyle elde edilmiştir.



Resim 3.13. Frekans kontrol cihazı

Her bir frekansa karşılık gelen jet çıkış hızları LDA ölçüm sistemiyle elde edilmiştir. LDA ölçüm sistemiyle elde frekans kontrol cihazından farklı frekanslara karşılık gelen hız değerleri Çizelge 3.3’de verilmiştir. LDA ölçüm sistemiyle elde edilen lazer ışınlarının kesiştiği noktadaki hız ölçümü Resim 3.14’de verilmiştir. Sonraki bölümlerde LDA sistemi detayları verilmiştir.

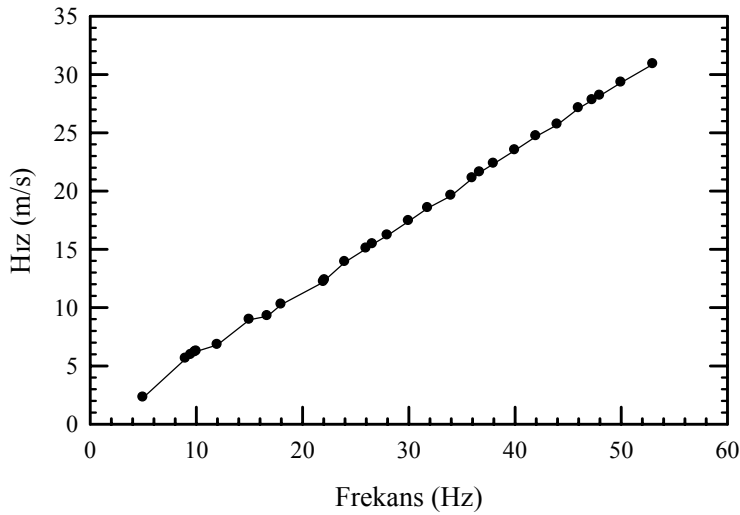


Resim 3.14. Lazer ışın demetleri

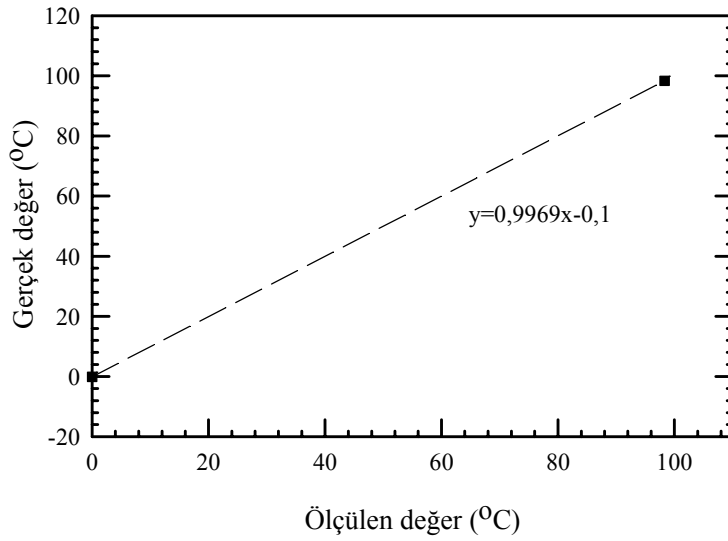
Çizelge 3.3. Hız frekans değişimleri

Frekans (Hz)	Hız (m/s)	Frekans (Hz)	Hız (m/s)	Frekans (Hz)	Hız (m/s)
5	2,3	22,1	12,4	36,7	21,6
9	5,6	24	13,9	38	22,4
9,5	5,9	26	15,1	40	23,5
9,9	6,2	26,6	15,4	42	24,7
10	6,2	28	16,2	44	25,7
12	6,8	30	17,4	46	27,1
15	8,9	31,8	18,5	47,3	27,8
16,7	9,3	34	19,6	48	28,2
18	10,3	36	21,1	50	29,3
22	12,2	36,5	21,5	53	30,8

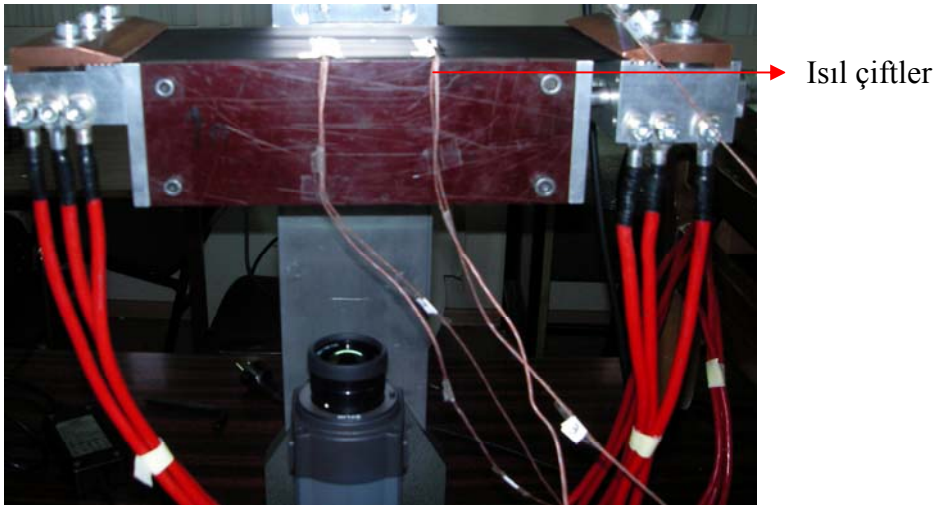
Çizelge 3.3’den farklı frekanslara karşılık gelen hızların frekanslara göre değişimleri Şekil 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Hız frekans değişimi



Şekil 3.5. Isıl çiftlerin kalibrasyon eğrisi



Resim 3.15. Paslanmaz çelik folyoya ısı çiftlerinin bağlanması

Isı transfer deneylerinde çarpma plakası üzerindeki sıcaklıklar termal kamera ile ölçülerek ısı transfer deneyleri yapılmıştır. Isı transfer deneylerine başlamadan önce termal kameranın kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir. Öncelikle kalibrasyon için kullandığımız T tipi ısı çiftlerinin kalibrasyonu yapılmıştır. Deney sisteminde kullanmış olduğumuz T tipi ısı çiftlerinin kalibrasyonu iki şekilde yapılmıştır. Birinci durumda saf su dondurularak saf su ile birlikte buzlu su bir kap içerisinde bir karışım hazırlanarak ısı çiftlerinin kalibrasyonu yapılmıştır. İkinci durumda bir barometre

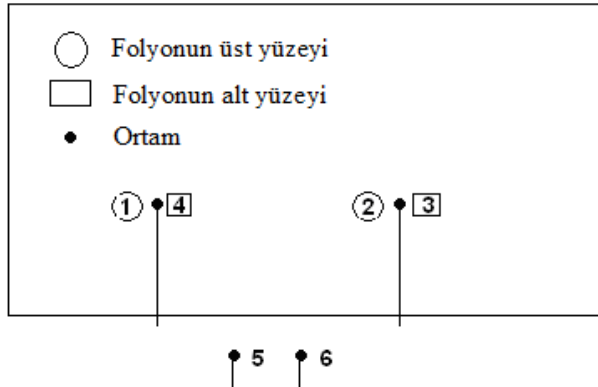
yardımıyla Ankara için atmosferik basınç hesaplanarak bu atmosfer basınca karşılık gelen saf suyun kaynama sıcaklığı tespit edilerek ısıl çift kalibrasyonu yapılmış ve elde edilen sonuçlar 0-100°C arasında Şekil 3.5’de görüldüğü gibi ısıl çiftlerin kalibrasyon eğrisi elde edilmiştir.

0,02mm kalınlığındaki paslanmaz çelik folyo çok ince olduğu için çarpma plakasının alt kısmındaki sıcaklık değeri üst kısmındaki sıcaklık değerleri ile aynı alınarak ısı transfer deneyleri yapılmıştır. Çarpma plakasının alt kısmındaki sıcaklığın üst kısmındaki sıcaklıkları ile aynı olduğunu ispatlamak için çarpma plakasının üst kısmına daha önce kalibrasyonu yapılmış olan T tipi ısıl çiftler uçlarına ısıyı ileten elektriği iletmeyen gümüş alaşımı ile kaplanarak paslanmaz çelik folyonun üzerine yapıştırıldı. Paslanmaz çelik folyo üzerindeki sıcaklıkların termal kameranın ölçtüğü sıcaklıkların kontrolü için folyonun alt kısmına merkez jet ile merkez jete komşu olan iki jet arasına daha önce kalibrasyonları yapılmış olan 2 adet üst kısma, 2 adet alt kısma, 1 tane kanal girişine T tipi ısıl çift yerleştirilerek termal kameranın kontrolü yapılmıştır. Termal kameranın doğruluğunu ve paslanmaz çelik folyonun alt ve üst yüzey sıcaklıkları arasındaki değişimi hesaplamak için aşağıdaki durumlarda incelemeler yapılmıştır.

Durum-1: Paslanmaz çelik folyoya elektrik akımı verilerek folyo üzerindeki sıcaklıkların değişimi

Durum-2: Paslanmaz çelik folyoya hem elektrik akımı hemde yüzeye akışkan jet çarptırılarak folyo üzerindeki sıcaklıkların değişimi

Yukarıdaki durumlara ait paslanmaz çelik folyo üzerindeki sıcaklıkların değişimi sırasıyla Çizelge 3.4’de ve Çizelge 3.5’de verilmektedir.



Şekil 3.6. Isıl çiftlerin folyo üzerindeki görüntüleri

Şekil 3.6’da görüldüğü gibi 1 ve 2 numaralı ısı çiftler folyonun üst yüzey sıcaklığını, 3 ve 4 numaralı ısı çiftler folyonun alt yüzey sıcaklığını ve 5, 6 numaralı ısı çiftler ise hava kanalı içerisindeki jet giriş sıcaklıklarını ölçmektedir. Deneysel çalışmalarda jet giriş sıcaklığı 5 ve 6 numaralı ısı çiftlerin ortalaması alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 3.4. Durum-1 için folyonun alt yüzey, üst yüzey ve termal kamera sıcaklıklarının değişimi ($Q=21,9\text{Watt}$)

Isıl çift no	1	2	3	4	5	6
Isıl çift ölçülen değer	64,0°C	64,2 °C	64,7°C	64,6°C	24,9°C	25°C
Isıl çift gerçek değer	63,7°C	63,9°C	64,3°C	64,25°C	24,7°C	24,83°C
Termal kamera	-	-	64,2 °C	64,2 °C	-	-

‘-’ işareti sıcaklık ölçümlerinin yapılmadığı kısımları belirtmektedir.

Çizelge 3.5. Durum-2 için folyonun alt yüzey, üst yüzey ve termal kamera sıcaklıklarının değişimi ($Re=3000$, $Q=6,4\text{ Watt}$)

Isıl çift no	1	2	3	4	5	6
Isıl çift ölçülen değer	24,7°C	25 °C	25,3°C	25,2°C	21,6°C	21,5°C
Isıl çift gerçek değer	24,36°C	24,65°C	24,95°C	24,85°C	21,28°C	21,19°C
Termal kamera	-	-	24,9 °C	24,9 °C	-	-

Literatürde yapılan çalışmalarda paslanmaz çelik folyo çok ince olduğu için paslanmaz çelik folyonun alt yüzeyinin sıcaklığı üst yüzey sıcaklığına eşit alınarak ısı transfer hesaplamaları yapılmıştır. Yukarıda yaptığımız deneylerin sonucunda doğal konveksiyon şartlarını düşündüğümüz zaman 1-4 ve 2-3 ısıl çiftleri arasındaki sıcaklık farkları $0,55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $0,49\text{ }^{\circ}\text{C}$ derece arasında değişmektedir. Aynı şekilde zorlanmış konveksiyon şartları altındaki folyonun alt ve üst yüzey sıcaklıkları arasındaki değişim $0,49\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ derece arasında değişmektedir. Görüldüğü gibi iki deney karşılaştırmasında alt ve üst yüzey sıcaklıkları arasındaki değişim küçük olduğu için ısı transferi deneylerimizde ısı transferinin meydana geldiği üst yüzeyin sıcaklığının alt yüzeyin sıcaklığına eşit alarak deneylerimizi yaptık. Ayrıca termal kameranın ölçümlerinin doğruluğunu test etmek için Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5’de görüldüğü gibi ısıl çiftlerle termal kamera arasında sıcaklık farkı $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında değişmektedir. Bu durumda termal kamera ile ısıl çift arasındaki sıcaklık farkının olmadığı ve termal kamera yüzey sıcaklıklarını doğru bir şekilde ölçtüğü kabulleri yapılmıştır. Yukarıda görüldüğü gibi doğal konveksiyon şartları altında folyo üzerinde ölçülen sıcaklıklar zorlanmış konveksiyonla olan sıcaklık farklardan daha yüksektir. Bunun sebebi ortam sıcaklığının sürekli değişmesi laboratuvar şartları etkili olmaktadır.

3.2. Lazer-Doppler Anemometri Ölçüm Sistemi

İlk olarak Yeh ve Cummins tarafından 1964 yılında icat edilip kullanılan Lazer-Doppler Anemometri (LDA) otuz yılı aşkın bir süredir akışkanlar dinamiği çalışmalarında sıvı ve gaz hızlarının belirlenmesi için kullanılmaktadır. Akışa müdahale etmeksizin hız ölçümlerini mümkün kılan optik bir yöntem olması sebebiyle, özellikle fiziksel sensörlerin kullanılmasının zor olduğu yüksek sıcaklık ve dönen parçalar bulunduran uygulamalar için çok uygundur. Akışa müdahale etmemenin yanında kalibrasyon gerektirmemesi, aynı anda üç boyutta hız ölçümünü mümkün kılması, geri dönebilen akışları ölçme kabiliyeti ve yüksek çözünürlüğü sistemin diğer avantajlarıdır. Bahsedilen ölçümleri yapabilmek için atomize parçacıkların kullanıldığı sistem laminar ve türbülanslı akışlarda, aerodinamikle ilgili çalışmalarda, supersonik akışların incelenmesinde, sıvı akışlarında, alev ve plazma

gibi sıcak ortamlarda partikül hızlarının ölçümünde ve daha birçok yerde kullanılmaktadır.

3.2.1. Doppler etkisi ve belirlenmesi

Bir matematik profesörü olan Christian Doppler tarafından “bizden uzaklaşan yıldızların, bize ulaşan ışınları daha uzun dalga boylarına yani daha kırmızıya, bize doğru hareket eden yıldızlardan gelen ışınların dalga boyları ise, daha kısa dalga boylarına yani daha maviye kaydırılır” tabiriyle ifade edilen etki Doppler etkisi olarak adlandırılmıştır [67]. Yıldızlar çok yüksek hızlarla hareket ettiği için bu renk kaymaları standart spektroskopik metotlarla gözlenebilirken, daha düşük hızlarda bu etkinin gözlenme yöntemi lazer doppler anemometrisidir. Lazer ışını içerisinde geçen bir partikül, ışığı yansıtır. Bir fotodedektör yardımıyla bu ışığın bir kısmı yakalanıp ortalama enerjisi yani yeğinliği ölçülebilir. Yüksek frekanslı ışık dalgaları söz konusu olduğunda ise en hızlı detektörler bile çaresiz kalabilirler ve yansıyan ışığın anlık gücü veya frekansını ölçmek hemen hemen imkansızlaşır. Bu duruma çözüm olarak, eğer lazer ışını ikiye ayrılır ve bu iki ışın belli bir açıda kesiştirilir ve oluşan hacimden partikül geçirilirse fotodedektör iki bileşenden oluşan ışığı alacaktır. Her iki bileşen de partikülün hızı sebebiyle doppler kaymasına sahip olacak ancak kayma ışının yönüne de bağlı olacaktır. İki ışın belirli bir açıyla kesiştiği için yansıyan ışığın iki bileşeni farklı doppler kaymalarına sahip olacaktır. Bu nedenle fotodedektör yüzeyinde iki ışık bileşeni kesişecek ve titreşimli (pulsating) bir ışık genliği oluşturacaktır. Bu oluşan titreşimli yeğinliğin frekansı ışığın elektrik alanının frekansının aksine çok yüksek değildir ve fotodedektör tarafından takip edilebilecek düzeydedir.

3.2.2. LDA sisteminin çalışma prensipleri

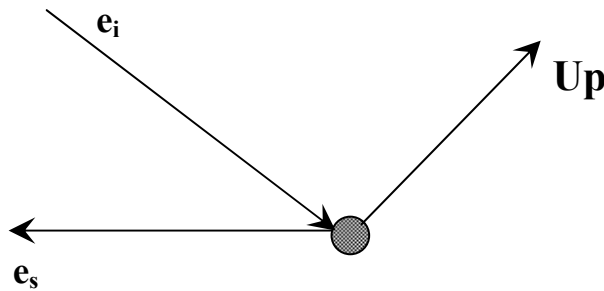
Yukarıdaki bölümde açıklanan Doppler etkisi LDA sisteminin temel çalışma prensibini oluşturmaktadır. Lazer tarafından üretilen lazer ışını, çok renkli ışın generatöründe eşit yeğinlikte ikiye ayrılır. Atomize yağ partikülü, aynı optik özelliklere sahip iki lazer ışınının oluşturduğu hacimden geçtiğinde yansıtılan ışık

detektör vasıtasıyla alınır ve bu ışık her iki lazer ışınının bileşenlerini taşır. Doppler etkisi sebebiyle de yansıtılan ışık farklı frekanslara sahip ışık dalgalarından oluşacaktır. Bu bileşenler detektörün yüzeyinde kesişirler. Bu iki bileşenin optik yörünge uzunluklarının farklılığı sebebiyle, detektör yüzeyindeki bu kesişme atımlı, titreşimli ışık yoğunluğu oluşturur. Çıkış sinyali, aynı zamanda Doppler frekansı olan, iki ışının frekansları farkıyla titreşecektir.

LDA ölçüm sistemi farklı konfigürasyonlarda kullanılabilir. Bunlardan birisi, ileri veya yana yansıtma modu diye tabir edilen konfigürasyondur. Bu konfigürasyonda nakledici ve alıcı optikler farklı problemlerdir. Bu konfigürasyonun ayarlanmasının yapılması zordur ve sistem titreşimlere karşı çok hassastır. Bu çalışmadaki LDA sisteminin kullandığı konfigürasyon ise nakledici ve alıcı optiklerin aynı prob üzerinde bulunduğu geri yansıtma modu diye bilinen konfigürasyondur. Geri yansıtma modunun ayarının yapılması kolaydır ve kullanıcı açısından daha rahattır.

3.2.3. Hız hesaplama yöntemi

Hareket eden atomize partiküllerden yansıyan ışığın, Doppler kaymasını temel alan, Doppler etkisinin LDA ölçümlerinde önemli bir yere sahip olduğu belirtilmişti. Hareketli partikülden ışığın yansımalarını gösteren Şekil 3.7’de, U_p partikül hızını, birim vektörler e_i ve e_s sırasıyla gelen ve yansıtılan ışığın yönündeki birim vektörleri göstermektedir.



Şekil 3.7. Hareketli partikülden ışığın yansımaları

Işık normalde bütün yönlerde yansıtılmaktadır ancak burada gösterilen alıcının yönündeki yansıtılan ışıktır. Gelen ışığın hızı c ve frekansı f_i olmasına rağmen partikülün hareketi sebebiyle, Doppler teorisi kullanılarak alıcı dedektöre ulaşan ışığın frekansı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$f_s = f_i \frac{1 - e_i \cdot (U/c)}{1 - e_s \cdot (U/c)} \quad (3.1)$$

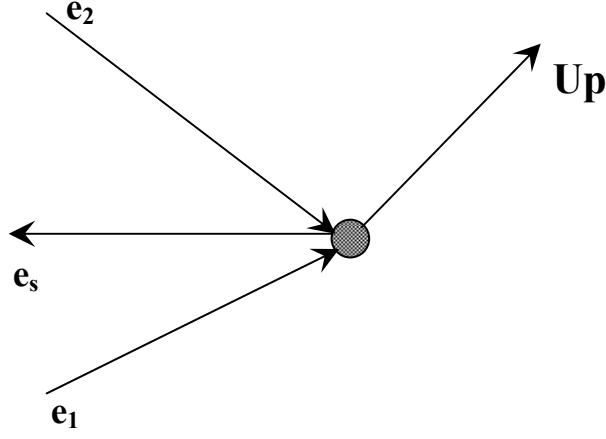
Süpersonik akışlarda bile partikülün hızı ışık hızıyla karşılaştırılamayacak kadar düşüktür. Bu durum göz önüne alınarak yukarıdaki ifade aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$f_s \cong f_i \left[1 + \frac{U}{c} \cdot (e_s - e_i) \right] = f_i + \frac{f_i}{c} U \cdot (e_s - e_i) = f_i + \Delta f \quad (3.2)$$

Yukarıdaki ifade de tek bilinmeyen partikül hızıdır ve teoride doppler kayması Δf 'in ölçülmesiyle elde edilebilir. Ancak pratikte bu frekans değişimi çok çok yüksek partikül hızları için ölçülebilir. Bu duruma bir çare olarak, kesişen iki lazer ışınından her iki ışından da özellikler taşıyan yansıyan ışık kullanılır. Böylece Şekil 3.8'de görüldüğü gibi gelen lazer ışıklarının ikisi de alıcı dedektöre doğru yansıtılır. Fakat bunlar lazer ışınlarının farklı açıları sebebiyle aşağıdaki farklı frekanslara sahiptirler.

$$f_{s,1} = f_1 \left[1 + \frac{U}{c} \cdot (e_s - e_1) \right] \quad (3.3)$$

$$f_{s,2} = f_2 \left[1 + \frac{U}{c} \cdot (e_s - e_2) \right] \quad (3.4)$$



Şekil 3.8. Hareketli partikülden gelen iki ışığın yansıması

Küçük frekans farklarına sahip iki dalga takımı üst üste gelirse, dalgaların birbirini güçlendirici veya zayıflatıcı şekilde etkilemesi sebebiyle tempo frekansı denilen olay meydana gelir. Tempo frekansı iki dalga frekansının farkına eşittir. Gelen iki dalga aynı lazer kaynağından çıktığı için

$$f_1 = f_2 = f_I \quad (3.5)$$

Dolayısıyla

$$\begin{aligned}
 f_D &= f_{s,2} - f_{s,1} \\
 &= f_2 \left[1 + \frac{U}{c} \cdot (e_s - e_2) \right] - f_1 \left[1 + \frac{U}{c} (e_s - e_1) \right] \\
 &= f_1 \left[\frac{U}{c} \cdot (e_1 - e_2) \right] \\
 &= \frac{f_I}{c} [|e_1 - e_2| \cdot |U| \cdot \cos(\varphi)] \\
 &= \frac{1}{\lambda} \cdot 2 \sin(\theta/2) \cdot u_x = \frac{2 \sin(\theta/2)}{\lambda} u_x \quad (3.6)
 \end{aligned}$$

Eşitlikte θ , gelen lazer ışınları arasındaki açı ve ϕ , hız vektörü U_p ile ölçüm yönü arasındaki açıyı göstermektedir. Görüldüğü gibi eşitlikte birim vektörler yoktur. Bu ölçülen frekansta alıcının konumunun doğrudan bir etkisinin olmadığını göstergesidir. Tempo frekansı veya Doppler frekansı olarak da bilinen f_D ışığın kendi frekansından çok küçük bir değerdir ve atomize partikülden yansıyan ışığın yoğunluğundaki salınımlar olarak ölçülebilir. Yukarıdaki denklemde de görüldüğü gibi Doppler frekansı partikül hızının x bileşeni ile doğru orantılıdır ve buradan hız şu şekilde hesaplanabilir:

$$u_x = \frac{\lambda}{2 \sin(\theta/2)} f_D \quad (3.7)$$

Daha kolay bir canlandırma vasıtası olarak saçak modeli de kullanılabilir. Saçak modeli hız ve Doppler frekansı arasındaki ilişkinin belirlenmesinin bir başka yöntemidir. Saçak modeli, fiziksel olarak tamamen doğru olmasa da çift ışınlı sistemlerin bazı özelliklerinin açıklanması açısından uygun bir yöntemdir. LDA saçak modeli kesişen iki ışının yüksek ve düşük yoğunluklu iki saçak yapı oluşturduğu kabulünü yapar. Partikül bu saçak yapı boyunca hareket ettiğinde, yansıtılan ışık, partikül hızının saçak aralığına bölünmesiyle elde edilen bir frekans değerinde titreşir. Saçak aralığı gelen ışıkların dalga boyu ve aralarındaki açıya bağlı olarak:

$$\delta_f = \frac{\lambda}{2 \sin(\theta/2)} \quad (3.8)$$

Şeklinde ifade edilir. Saçaklar x eksenine dik konumlanmış durumdadır. Bu yüzden ölçüm hacminden geçen partikülden yansıyan ışığın yoğunluğu, partikülün x yönündeki hız bileşeniyle orantılı bir frekansla değişecektir.

$$f_D = \frac{u_x}{\delta_f} = \frac{2 \sin(\theta/2)}{\lambda} u_x \quad (3.9)$$

Görüldüğü gibi bu ifade de yukarıda elde edilen sonucun aynısıdır.

3.2.4. LDA sisteminin temel bileşenleri

Geri yansıtma modunda çalışan 2 boyutlu LDA sistemi Resim 3.16’da gösterilen ve altta ayrıntılı olarak izah edilen temel elemanlardan oluşmaktadır.



Resim 3.16. LDA ölçüm sistemi

Lazer üretici

Lazer üretici olarak Melles Griot 543 serisi hava soğutmalı 300 mW çıkış gücünde Argon-Ion lazer sistemi kullanılmaktadır. Aşağıda resmi verilen lazer kaynağında üretilen ışıktan nakledici optikler vasıtasıyla farklı dalga boylarında çıktılar üretebilmektedir. LDV uygulamalarında kullanılan üç dalga boyundan 514,5 nm yeşil, 488,0 nm mavi, 476,5 nm mor lazer ışığı vermektedir. Hali hazırda iki boyutlu olan sistemde 514,5 nm dalga boyunda yeşil ve 488,0 nm mavi lazer ışığı elde edilmektedir. Lazer kaynağı yüksek miktarlarda ısı açığa çıkaran bir sistem olduğu için verimli soğutulması büyük önem taşır. Bu sebeple sistem bir santrifüj fan vasıtasıyla soğutulmaktadır.



Resim 3.17. Lazer üretici

Çok Renkli Işın Jeneratörü ve manipulatörler

Sistem, frekans kaydırıcı (bragg cell), renk ayırıcı ve manipulatörlerden oluşmaktadır (Resim 3.18). Lazerden gelen ışın frekans kaydırıcıdan geçer. Işının yarısı farklı bir yayılma yönüne sahip bir ışın haline getirilir ve gelen ışına göre 40 MHz kaydırılır. Frekans kaydırıcıdan gelen iki ışın yayıcı prizmadan geçerek renk bileşenlerine ayrılır. Böylece lazer kaynağından gelen ışın üç farklı renkte (yeşil, mavi, mor) ışın çiftlerine çevrilmiş olur. Kullandığımız sistem iki boyutlu olduğu için şu an sadece yeşil ve mavi renkte ışın çifti elde edilmektedir. Her bir renk bir hız bileşenini ölçmek için kullanılmaktadır. Her bir çiftteki ışınlardan biri frekans kaydırıcılar tarafından 40 MHz kaydırılmış durumdadır. Çok renkli ışın jeneratörünün bir başka görevi de lazer ışığını proba yönlendirecek manipulatörler için sağlam bir zemin teşkil etmesidir. Frekans kaydırıcının aktif olabilmesi için de çok renkli ışın jeneratörünün frekans kaydırıcılı bir sinyal işlemciye bağlı olması gerekmektedir. Lazer ışını optik kablo içerisine yönlendirildiğinde bazı parametreler önem taşır. Bunlardan en önemlileri lazer ışınının açısı ve konumudur. Şekilde görülen manipulatörler lazer ışığını merkezleyip fiber kablolardan yönlendirerek ışığın konum ve açısını optimize edip fiberoptik probtan en yüksek miktarda ışık elde edilmesini sağlarlar. Herbir bileşen için iki adet manipulatör bulunmaktadır.

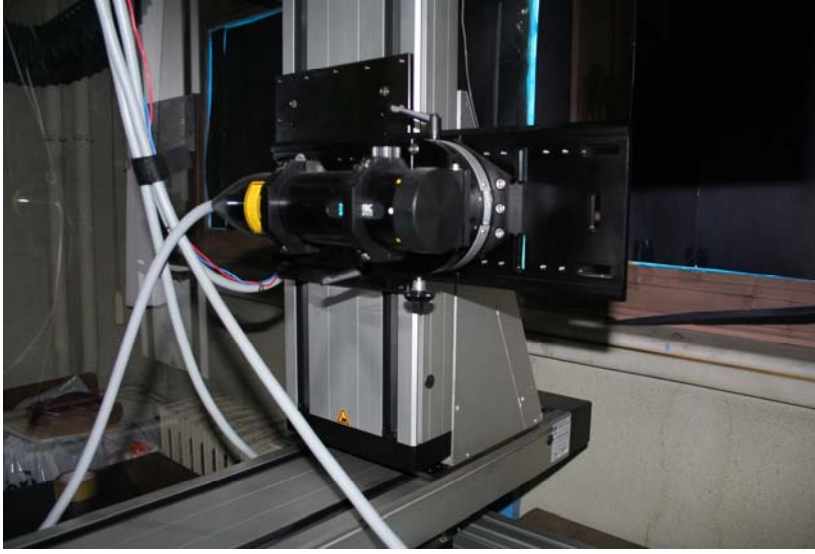
Dolayısıyla kullanılan iki boyutlu sistemde dört adet manipulatör mevcuttur. Manipulatörlerin üzerindeki dört vida yardımıyla dört farklı ayar yapılması mümkündür.



Resim 3.18. Çok renkli ışın jeneratörü ve manipulatörler

İki boyutlu fiber prob ve travers mekanizması

Resim 3.19 iki boyutlu fiber probu ve travers mekanizmasını göstermektedir. İki boyutlu LDA sisteminde kullanılan 60 mm'lik problemler geri yansıtma modunda akış ölçümleri yapabilmek için tasarlanmış fiber optik transdüserlerdir. Fiber prob manipulatörlere bağlanabilmek için dört fiber tane, her bir ışın için bir tane olmak üzere toplam dört fiber kablo, içinde geri yansıtma modunu da barındıran çok modlu alıcı fiber, prob girişi, ve ön lensten oluşmaktadır. Sistemimizde kullanılan probun çapı 60 mm'dir. Odaklama mesafesi takılan lenslere bağlı olarak 400 mm veya 140 mm olabilmektedir. Ayrıca, prob hacmini azaltmak ve güç yoğunluğunu arttırmak için ışın genişleticilerle de birlikte kullanılabilir. Probda kullanılan optik parçalar akromatik olarak adlandırılan ve hem He-Ne hem de Ar-Ion lazerlerinden elde edilen renklerle doğru çalışabilecek özelliktedirler. Fiber prob üç boyutlu bir travers mekanizmasına sabitlenmiştir. Travers mekanizması üç boyutta 0,01 mm hassasiyetle hareket edebilmektedir.



Resim 3.19. İki boyutlu fiber prob ve travers mekanizması

Atomize yağ üretici

Akışın içerisinde hız ölçmek için kullanılan atomize partiküller akışı iyi takip edebilmek için yeterince küçük olmalıdır, aksi takdirde akışkan hızı ve yönündeki değişiklikleri takip etmede gecikip zorlanabilirler. Resim 3.20’de görülen bu cihaz rezervuar içerisinde basınçlı hava yardımıyla atomize yağ elde edilmesi için kullanılmaktadır. TSI Model 9307-6 tipi atomize yağ üretici en iyi sonucu zeytinyağı kullanımında vermektedir. Atomize yağ üreticinin yüksekliği 27,4 cm, çapı 14 cm ve ağırlığı 3,9 kg’dır. Atomize edilen partiküllerin çapı 1 mikro metre civarındadır.

Yağı atomize etmede kullanacağımız basınçlı hava kompresörden elde edilmektedir. Sistem atomize yağ partikülleri üretmek için laskin lülelerini kullanmaktadır. Yağ hazneye yerleştirildikten sonra, lülelere basınçlı hava uygulanmaktadır. Basınçlı hava sıvıyı atomize eder ve havada asılı partiküller bulunduran kabarcıklar oluşturur. Bu kabarcıklar yüzeye yükselir, en küçük partiküller hazne çıkışından dışarı atılırken daha büyük partiküller hazne içerisinde bulunan engelleyici plakaya çarpıp sıvıya geri dönerler. Ortalama 1 mikro metre çapında partikül üretebilmek için hazne içi ve dışı arasındaki basınç farkının 0,5-1,5 bar arasında olması gerekmektedir.



Resim 3.20. Atomize yağ üretici

Foto dedektör modül, sinyal işleyici ve bilgisayar

Aşağıdaki Resim 3.21’de solda görülen ekipmanda foto dedektör modül optik sinyalleri fiberoptik probdan alır ve elektrik sinyali olarak sinyal işleyiciye gönderir. Sinyal işleyici bu sinyalleri alır ve bunlardan partikül hızını, frekans, faz vb. bilgileri çıkararak bilgisayara gönderir. Bu verilerin bilgisayarda bir program vasıtasıyla (BSA flow software) analizi yapılır. Sinyal işleme, ölçüm hacminden geçen bireysel partiküller üzerinde odaklanırken veri analizi binlerce partikülün hızını dikkate alarak analiz yapar. Bilgisayarda yapılan bu analiz sonucu ortalama hız ve diğer istatistiksel özellikler elde edilir. Eğer birden fazla hız bileşeni aynı anda ölçülüyorsa, analiz sonucunda Reynolds stresleri de belirlenebilir.



Resim 3.21. Foto dedektör modül, sinyal işleyici ve bilgisayar

4. MATEMATİKSEL FORMÜLASYON VE SAYISAL MODEL

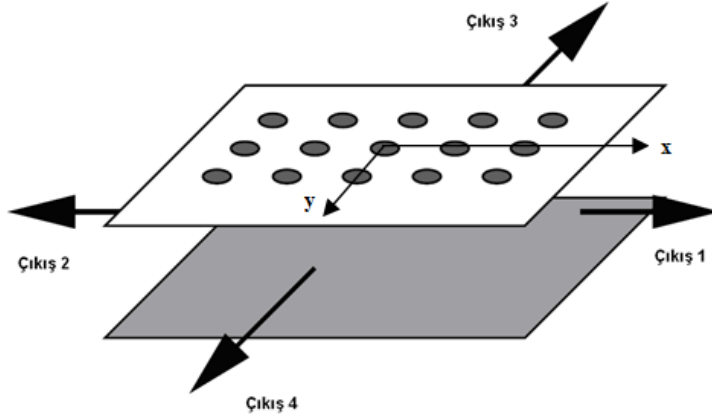
Bu bölümde tezin sayısal kısmı kapsamında incelenen problemin genel tanımı, çözüm alanı ve çözüm için kullanılan korunum denklemleri verilmiştir. Bunlara ek olarak problemin sınır şartları ve türbülanslı akış çözümleri için kullanılan model ve modelin seçimi hakkında bilgiler sunulmuştur. Ayrıca çözümler için kullanılan sayısal akışkanlar dinamiği kodu ve çözüm yaklaşımı hakkında açıklamalar yapılmıştır.

4.1. Problemin Genel Tanımı

Sayısal çalışma kısmında, çarpan akışkan jetleriyle oluşturulan ısı transferinin incelenmesinde ve akışı etkileyen, jet çıkış hızı, jet ile plaka arasındaki mesafe, jet çıkış geometrisi ve jetler arasındaki mesafe gibi parametrelerin ısı transferi üzerindeki etkileri incelenecektir. İlgili bölümlerde ayrıntıları verilen bu çalışmaların hepsi için kullanılan çözüm alanı Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Çarpma ve jet plakalarının boyutları 15x10 cm dir.

Girişteki hava jetinin sıcaklığı bütün çözümlerde 20 °C olarak alınmış ve girişte bu sıcaklıktaki termodinamik özellikler kullanılmıştır. Buna göre yoğunluk $\rho = 1,189 \text{ kg/m}^3$, özgül ısı $C_p = 1,005 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$, ısı iletkenlik katsayısı $k = 0,0258 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, kinematik viskozite $\nu = 1,544 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, genleşme katsayısı $\beta = 0,003410 \text{ 1/K}$ ve prandtl sayısı $Pr = 0,712$ olarak alınmıştır. Problemin sınır şartlarıyla ilgili ayrıntılı bilgiler ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir. Problemin çözümünde aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

1. Akış viskoz ve sıkıştırılamaz akıştır
2. Akış türbülanslı ve zamandan bağımsızdır
3. Yerçekimi etkileri ihmal edilmiştir
4. Jet çıkışındaki jet hızı üniformdur



Şekil 4.1. Sayısal çözüm alanı

4.2. Korunum Denklemleri

Bu bölümde verilen korunum denklemlerinde akışkan sürekli ortam olarak Kabul edilmiştir. Yani akışkanın hareketi hız, basınç, özkütle, sıcaklık ve bunların zamana ve konuma göre türevleriyle ifade edilmiştir. Korunum denklemlerini elde etmekte kullanılan akışkan hacmi yukarıda kabulü yapılan sürekli ortam yaklaşımını zedelemeyecek en küçük hacim olarak alınmıştır. Kartezyen koordinatlarda kararlı halde sıkıştırılamaz akışlar için korunum denklemleri aşağıda verilmiştir.

Süreklilik denklemi

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

Momentum denklemi

x, y ve z yönündeki momentum denklemleri sırasıyla

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

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

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

olarak elde edilir. Eşitliklerdeki ν kinematik viskozite olup dinamik viskozitenin yoğunluğa bölünmesiyle elde edilmiştir.

Enerji denklemi

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \quad (4.5)$$

4.3. Akış Modellemesi

Prandtl, Taylor ve von Karman gibi büyük bilim adamları hayatlarının büyük bir kısmını karmaşık akışların modellenmesi ve bu akışlar için gerekli mühendislik yaklaşımlarının elde edilmesine adanmışlardır. Bahsedilen bilim adamlarının çalışmalarını temel alarak, ideal bir model, akışın fiziğini minimum karmaşıklıkla yakalayabilen model olarak tanımlanmaktadır. Türbülanslı akış modellemelerinin tarihi, Reynolds'un 1895'te yaptığı Navier-Stokes denklemlerinin zaman averajlarının elde edilmesine dayanan ve bunun sonucunda türbülansı tanımlayan Reynolds gerilmeleri adı verilen ilave terimleri elde ettiği çalışmasına dayanmaktadır. Yukarıda bahsedilen Reynolds gerilmelerini matematiksel olarak ifade edebilmek için Boussinesq, eddy viskozitesi kavramını ortaya atmıştır. Türbülans konusunda asıl gelişmeler 1904 yılında Prandtl'ın sınır tabakasını keşfinden sonra gerçekleşmiştir. Prandtl, Boussinesq tarafından ortaya atılan eddy viskozitesini hesaplamada kullanılan "mixing length" yaklaşımını geliştirmiştir. Bu yaklaşım tarzı, takip eden yirmi yılda bu dalda yapılmış hemen hemen bütün türbülans modelleme çalışmalarına temel teşkil etmiştir. Günümüz terminolojisinde

“mixing length” hipotezini temel alan modellere algebraic model veya “zero equation model” denmektedir. Tanım gereği “n” denklemlilik model, süreklilik, momentum ve enerji denklemlerine ek olarak çözülmesi gereken transport denklemlerinin sayısını ifade etmektedir. Türbülanslı akışın özelliklerinin daha açık bir şekilde belirlenebilmesinde, türbülans gerilmeleri için daha gerçekçi matematiksel ifadeler elde etmek oldukça büyük bir önem taşımaktadır. Bu amaçla Prandtl, eddy viskozitesinin, türbülans salınımlarının kinetik enerjisi (k) cinsinden ifade edildiği bir model önerdi. Bu model, k için bir kısmi diferansiyel denklemi içermektedir. Bahsedilen model “one equation model” olarak bilinmekte ve modelde akışın geçmişinin etkisi hesaba katılmaktadır. Kolmogorov tarafından 1942 yılında geliştirilen modelde türbülans kinetik enerjisine ek olarak, “birim zaman ve hacimde enerjinin sönümlenme oranı” şeklinde tanımlanan w içinde bir denklem önerilmiştir. Sonuç olarak k - w modeli korunum denklemlerine ek olarak eddy viskozitesinin elde edilmesine ve türbülansın modellenmesine yönelik olarak iki tane daha denklemi içermektedir. Kolmogorov tarafından geliştirilen modele ek olarak daha birçok “two equation model” geliştirilmiştir. Bir diğer türbülans modelleme tipi Chou ve Rotta tarafından geliştirilen gerilim transport modelidir. Bu model eddy viskozitesi için deneysel yaklaşımları kullanmak yerine, Navier-Stokes denklemlerinin zaman ortalama alınmasıyla ortaya çıkan fazladan terimleri yani Reynolds gerilmelerini modelleyen gerilim transport denklemlerini çözerek ele alır. Modelin teorik avantajı akış üzerinde, önceki zamanın ve yerel olmayan etkilerin ele alınabilmesidir. Model ayrıca karmaşık etkilerin hesaba katılmasında da etkilidir. Kolmogorov modelinde olduğu gibi bu model de karmaşık kısmi diferansiyel denklemleri sebebiyle bilgisayarların gelişmesinden sonra uygulama alanı bulabilmiştir [68].

4.3.1. Korunum denklemleri

Ana korunum denklemlerinde geçen anlık hız aşağıdaki şekilde ortalama ve salınım hızı bileşenlerinden oluşmaktadır.

$$\vec{u} = \vec{U} + u' \quad (4.6)$$

türbülanslı akışta anlık hız içerisinde ortalama ve salınım hız bileşenleri mevcuttur. Ayrıca basınç ve sıcaklıkta ta ortalama ve salınım bileşenlerinden oluşmaktadır.

$$\vec{u} = U + u'; u = U + u'; v = V + v'; w = W + w'; p = P + p'; t = T + t' \quad (4.7)$$

Yukarıdaki ifadeler süreklilik ve momentum denklemlerinde yerine konur ve Reynolds tarafından geliştirilen zaman averajları alınırsa aşağıdaki türbülanslı akış için zaman averajlı süreklilik ve momentum denklemleri elde edilir.

$$\text{div } \vec{U} = 0 \quad (4.8)$$

$$\text{div} (U\vec{U}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \text{div grad } U + \left[-\frac{\partial \overline{u'^2}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial z} \right] \quad (4.9)$$

$$\text{div} (V\vec{U}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \text{div grad } V + \left[-\frac{\partial \overline{v'^2}}{\partial y} - \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial z} \right] \quad (4.10)$$

$$\text{div} (W\vec{U}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \text{div grad } W + \left[-\frac{\partial \overline{w'^2}}{\partial z} - \frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial x} - \frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial z} \right] \quad (4.11)$$

Zaman averajlı momentum denklemlerinde, salınım hızlarının çarpımını içeren fazladan terimler mevcuttur. Bu terimler salınım hızları sebebiyle taşınım momentum transferini ifade etmektedirler. Reynolds stresleri olarak adlandırılan bu terimler ortalama hız bileşenleri üzerindeki fazladan gerilmeleri temsil ettiğinden genelde momentum denklemlerinin sağ tarafında gösterilirler. Skalar bir büyüklük olan sıcaklığı da aşağıdaki gibi

$$T_{anlık} = T + T' \quad (4.12)$$

ortalama ve salınım bileşenlerine ayırarak yazdığımızda benzer şekilde enerjinin korunumu için de aşağıdaki zaman averajlı denklem elde edilir.

$$U \frac{\partial T}{\partial x} + V \frac{\partial T}{\partial y} + W \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \left[-\frac{\partial(\overline{u'T'})}{\partial x} - \frac{\partial(\overline{v'T'})}{\partial y} - \frac{\partial(\overline{w'T'})}{\partial z} \right] \quad (4.13)$$

Sonuç olarak zaman averajlı momentum denklemlerinden fazladan altı bilinmeyen gelmektedir. Ayrıca skalar transport denklemi de (enerji denklemi) fazladan terimler getirmektedir. Türbülans modellemesinin ana amacı; Reynolds streslerini ve skalar transport terimlerini (Reynolds flux) belirlemek için sayısal yöntemler geliştirmektir.

Yukarıda verilenler ışığında indeks gösterimiyle türbülanslı çözüm için kartezyen koordinat sisteminde, 3 boyutlu, kararlı halde süreklilik, Reynolds averajlı momentum ve zaman averajlı enerji denklemleri aşağıdaki şekilde verilebilir.

Süreklilik

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (4.14)$$

Momentum

$$\rho U_i \frac{\partial U_j}{\partial x_i} = -\frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\mu \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \quad (4.15)$$

Enerji

$$\rho c_p U_i \frac{\partial T}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k \frac{\partial T}{\partial x_i} - \rho c_p \overline{u'_i T'} \right] \quad (4.16)$$

4.3.2. Yapılan çalışmada türbülans modelinin seçimi

Teoride, korunum denklemleri uygun sınır şartları kullanılıp çözülerek herhangi bir türbülanslı akış analiz edilebilir. Doğrudan sayısal çözümleme (direct numerical simulation) olarak bilinen bu teknik pratikte nadiren uygulanmaktadır. Çözümün zorluğu en küçük boyuttan en büyük boyuta kadar bütün edilerin modellenmesi zorunluluğundan kaynaklanmaktadır. Ayrıca en hızlı salınımları yakalayabilmek için de zaman aralığının çok küçük seçilmesi gerekmektedir. Bu sebeple zaman ve bilgisayar kapasitesi açısından da dezavantajları vardır. Bahsedilen zorluklar sebebiyle türbülanslı akışların analizine yönelik olarak büyük ed simülasyonu (large eddy simulation) ve türbülans modellemesi olarak iki alternatif yaklaşım geliştirilmiştir. Büyük ed simülasyonu tekniğinde üç boyutlu zamana bağlı Navier Stokes denklemleri çözülür ve büyük boyuttaki ediler modellenir. Bu teknik büyük edilerin modellenmesi sebebiyle avantajlı olsa da ilk ve sınır şartlarının uygulanmasındaki güçlükler ve üç boyutlu zamana bağlı çözümlere ihtiyaç duyması sebebiyle zorlukları mevcuttur.

Mühendislik uygulamaları açısından türbülansın bütün ayrıntılarının bilinmesi çoğu zaman gerekmemektedir. Türbülansın, akışın bütünü üzerindeki etkisinin bilinmesi yeterli olabilmektedir. Dolayısıyla anlık büyüklüklerin çözümüne gerek olmadan ortalama büyüklüklerin bilinmesi yeterli olabilmektedir. Türbülans modeli, önceki bölümde elde edilen bu ortalama denklemlerdeki bilinmeyen Reynolds gerilme ve akılarının elde edilmesi için gerekli denklemler ve ilişkilerden oluşmaktadır. Değişen karmaşıklıklarda bir sürü türbülans modeli geliştirilmiştir. Bunlar genel olarak ed viskozite ve Reynolds gerilme modelleri olmak üzere iki ana kısma ayrılabilir. Ed viskozite modelinde türbülans gerilmeleri ve akıları taşınımını gerçekleştirdikleri büyüklüğün değişimi cinsinden ifade edilirler. Reynolds gerilme modelinde ise bilinmeyen ifadeler kendilerinin bağımlı değişken olarak bulunduğu diferansiyel taşınım denklemlerinin çözümünden elde edilirler.

Mevcut çalışmada kullanılmak üzere, gerek bugüne kadar birçok alanda tatminkar sonuçlar verdiği ispatlanmış olması, gerekse PHOENICS programında uzun süredir

kullanılan bir model olması ve gerekse önceden jetlerle ilgili uygulamalarda kısmen iyi sonuçlar vermesi sebebiyle edd viskozite tipi modellerden k- ϵ modeli seçilmiştir.

“k- ϵ ” modelinin duvarlarla sınırlandırılmış akışları modellemedeki başarısı duvar fonksiyonlarının başarısına bağlıdır. Reynolds sayısının yüksek olduğu durumlarda, viskoz etkiler önemsiz olmakta ve duvar fonksiyonları verimli bir şekilde uygulanabilmektedir. Ancak düşük Reynolds sayılarında standart duvar fonksiyonları akışların modellenmesinde yetersiz kalmaktadırlar. Ayrıca çarpan jetlerde özellikle durma bölgesi civarında standart k- ϵ modeli kinetik enerji üretimini olduğundan fazla göstermekte bu durum bu bölgedeki türbülansın gerçekte olduğundan fazla görünmesi sonucunu doğurmaktadır bunun sonucunda bu bölgede taşınım ısı transfer katsayıları deneysellere oranla çok yüksek çıkmaktadır. Düşük Reynolds sayılarında ve duvara yakın bölgelerde akışı modelleyebilmek için birçok modeller geliştirilmiştir. Duvara yakın bölgeler için yapılan modifikasyonlardan en basiti mixing length modeli için geliştirilmiş van Driest sönümler fonksiyonudur. Daha gelişmiş modeller, yüksek Reynolds sayılı ve duvardan uzak durumlar için geçerli olan türbülans transport denklemlerindeki deneysel sabitler ve fonksiyonlar üzerinde, ya duvar sönümler faktörü ya da moleküler viskozitenin doğrudan etkisini veya her ikisinin etkisini hesaba katarak uygulanmaktadırlar. Duvara yakın bölgelerle ilgili bir başka zorluk sayısal çalışmalara ışık tutacak deneysel verilerin teknik zorluklar sebebiyle yetersiz olmasıdır.

Düşük Reynolds sayılarında ve duvara yakın bölgelerde türbülansı modellemek üzere 8 farklı model Patel ve diğerleri tarafından ayrıntılı incelenmiştir [69]. Bu modeller Chien, Dutta ve Michard, Hassid ve Porch, Hoffmann, Lam ve Bramhorst, Launder ve Sharma, Reynolds, Wilcox ve Rubesin tarafından geliştirilmiş modellerdir. Bahsedilen modellerden ilk yedisi k- ϵ modelinin değişik varyasyonlarıdır. Bu modellerde Reynolds gerilmeleri, yerel hız gradyanı ve k- ϵ transport denklemlerinden hesaplanan edd viskozitesi kullanılarak hesaplanmaktadır. Bahsedilen düşük Reynolds sayısı modelleri standart k- ϵ modelden viskoz difüzyon terimlerinin dahil edilmesi ve denklemlerdeki sabitleri modifiye eden fonksiyonların kullanılmasıyla ayrılırlar. Mevcut çalışmamız için düşük Reynolds sayısı modeli

seçiminde temel alınan Patel, Rodi ve Scheuere [69] yaptığı çalışmada farklı modelleri aşağıdaki deneysel çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırdılar:

- Düz plaka üzerindeki akışta sınır tabakası
- Ters basınç gradyanına sahip sınır tabakası
- Basınç düşümü altındaki sınır tabakası

Çalışmaları sonucunda Hassid ve Poreh, Hoffman, Dutoya ve Michard, Reynolds modelleri düz plaka üzerindeki akış için bile tatminkar sonuçlar vermemiştir. Bütün testler için sonuçlar karşılaştırıldığında Launder ve Sharma modeli, bir seviyeye kadar da Chien, Lam ve Bramhorst, Wilcox ve Rubesin modellerinin deneylerle uyumlu olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar ışığında, problem çözümü için PHOENICS'te uygulaması mevcut, Lam ve Bramhorst modeli seçilmiştir. Sonraki bölümde standart k-ε modeli ve Lam-Bramhorst düşük Reynolds sayısı modeli ayrıntılı olarak incelenecektir.

4.3.3. k-ε türbülans modeli

Harlow ve Nakayama tarafından 1968' de geliştirilen k-ε modeli en yaygın olarak kullanılan türbülans modeli haline gelmiştir. PHOENICS, 1974' te Launder ve Spalding tarafından geliştirilen yerçekimi etkilerini de içeren k-ε modelini kullanmaktadır [70]. Bu modelde, k, ε ve edî viskozite terimi için kullanılan transport denklemleri sırasıyla

$$\rho U_i \frac{\partial k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + \mu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon \quad (4.17)$$

$$\rho U_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + f_1 C_1 \mu_t \frac{\varepsilon}{k} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - f_2 C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4.18)$$

$$\mu_t = f_\mu C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4.19)$$

Denklemlerin elde edilmesiyle ilgili ayrıntılar Tennekes ve Lumley tarafından verilmiştir [71]. Standart modelde duvar sönümlleme fonksiyonlarının değeri birdir. Denklemlerde aşağıdaki deneysel sabitler kullanılmaktadır.

$$\sigma_k = 1,00, \quad \sigma_\varepsilon = 1,314, \quad C_1 = 1,44, \quad C_2 = 1,92, \quad C_\mu = 0,09 \quad (4.20)$$

4.3.4. Lam-Bramhorst düşük Reynolds sayısı modeli

Mevcut problemin çözümünde kullanılan Lam-Bramhorst düşük Reynolds sayısı modeli Patel tarafından izah edilen modeldir [69]. Lam-Bramhorst modelinde duvar fonksiyonları kullanılmadığı ve hesaplamalar viskoz alt tabakayı kapsayacak şekilde duvara doğru uzatıldığı için duvar fonksiyonu kullanan çözümlere oranla daha büyük bilgisayar depolama kapasiteleri ve çözüm zamanlarına ihtiyaç duymaktadırlar. Çözüm alanındaki ağ yapısı duvar yakınlarında yüksek yoğunlukta olacak şekilde düzenlenmelidir. Bu durumla ilgili ayrıntılı bilgi hücre yapısı başlığı altında verilmiştir. LB düşük Reynold sayısı modeli, standart k-ε modelinden deneysel sabitler $C_\mu, C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}$ nin sırasıyla aşağıdaki duvar sönümlleme fonksiyonlarıyla çarpılmasıyla elde edilir.

$$f_\mu = [1 - \exp(-0,0165 Re_z)]^2 \left(1 + \frac{20,5}{Re_t}\right) \quad (4.21)$$

$$f_1 = \left(1 + \frac{0,05}{f_\mu}\right)^3 \quad (4.22)$$

$$f_2 = 1 - \exp(-Re_t^2) \quad (4.23)$$

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

$$Re_t = \frac{\rho k^2}{\mu \varepsilon} \quad (4.24)$$

$$Re_z = \frac{\rho k^{1/2} z}{\mu} \quad (4.25)$$

4.3.5. Düşük Reynolds sayısı k-ε modeli

Duvar etkileri türbülanslı akışlarda akış dinamiğini önemli derecede değiştirmektedir. Bir önceki bölümde ifade edilen k-ε modeli denklemleri türbülanslı akışları ifade etmek için uygulanabilmektedir. Transport denklemlerinin duvarla sınırlanmış akışlarda uygulanabilmesi için çeşitli modifikasyonlar gereklidir. Yaklaşımlardan bir tanesi transport denklemlerine kaynak terimleri yerleştirerek duvara yakın bölgelerde türbülans etkilerini sönmölmektir.

k-ε modeli için transport denklemleri düşük Reynolds etkilerini hesaba katmak için modifiye edilmektedir. Böylece duvarla sınırlanmış akışlar tipik bir şekilde karakterize edilebilmektedir. Bu eddy-viskozite ilişkisini modifiye ederek ve dissipasyon denklemine çeşitli kaynak terimleri ilave ederek yapılabilir. İlave terimler sönmöme fonksiyonlarıdır ve katı sınırların çok yakın çevresinde transport denklemlerin kullanılmasına izin vermektedirler.

En genel olarak düşük Reynolds sayısı k-ε modeli için transport denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial k \bar{u}_i}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{Pr_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - (\overline{u'_i u'_j}) - \varepsilon \quad (4.26)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \varepsilon \bar{u}_i}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{Pr_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + f_1 C_{1\varepsilon} \nu_t (2 S_{ij} S_{ij}) \frac{\varepsilon}{k} - f_2 C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4.27)$$

Eddy viskozitesi ise aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\nu_t = f_\mu C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (4.28)$$

Burada f_1, f_2, f_μ sönümler fonksiyonlarıdır.

Literatürde low Reynolds k-ε modeli için birçok çalışma bulunmaktadır. Bu modeller için sönümler fonksiyonları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Düşük Reynolds sayısı k-ε modeli için sönümler fonksiyonları

Model	Sönümler Fonksiyonu
Abe-Kondoh-Nagano [72,73]	$f_1 = 1,0$ $f_2 = \left[1 - \exp\left(\frac{-Re_\eta}{3,1}\right) \right]^2 \left[1 - 0,3 \exp\left(\frac{-Re_t^2}{42,25}\right) \right]$ $f_\mu = \left[1 - \exp\left(\frac{-Re_\varepsilon}{14}\right) \right]^2 \left[1 + 5 Re_t^{-3/4} \right]$ $\exp(-2,5 \cdot 10^{-5} Re_t^2)$
Abid [74]	$f_1 = 1,0$ $f_2 = \left[1 - \frac{2}{9} \exp\left(\frac{-Re_t^2}{36}\right) \right] \left[1 - \exp\left(\frac{Re_y}{12}\right) \right]$ $f_\mu = \tanh(0,008 Re_y) (1 + 4 Re_t^{-3/4})$

Çizelge 4.1. (Devam) Düşük Reynolds sayısı k-ε modeli için sönümleme fonksiyonları

Lam-Bremhorst [75]	$f_1 = 1,0 + \frac{0,05}{f_\mu^3}$ $f_2 = 1 - \exp(-Re_t^2)$ $f_\mu = \left[1 - \exp(-0,0165 Re_y)\right]^2 \left[1 + \frac{20,5}{Re_t}\right]$
Launder-Sharma [76]	$f_1 = 1,0$ $f_2 = 1 - 0,3 \exp(-Re_t^2)$ $f_\mu = \exp\left(\frac{-3,4}{1 + (0,02 Re_t)^2}\right)$
Yang-Shih [77]	$f_1 = 0,95 + 0,05$ $f_2 = \left[1 - \frac{2}{9} \exp\left(\frac{-Re_t^2}{36}\right)\right] \left[1 - \exp\left(\frac{Re_y}{12}\right)\right]$ $f_\mu = \tanh(0,008 Re_y) (1 + 4 Re_t^{-3/4})$
Chang-Hsieh-Chan [78,79]	$f_1 = 1,0$ $f_2 = \left[1 - 0,01 \exp(-Re_t^2)\right]^2 \left[1 - 0,0631 \exp(0,0631 Re_y)\right]$ $f_\mu = \left[1 - \exp(-0,0215 Re_y)\right]^2 \left[1 + 31,66 Re_t^{-9/8}\right]$
Launder-Kato [80]	$f_1 = 1,0$ $f_2 = \left[1 - \frac{2}{9} \exp\left(\frac{-Re_t^2}{36}\right)\right] \left[1 - \exp\left(\frac{Re_y}{12}\right)\right]$ $f_\mu = \tanh(0,008 Re_y) (1 + 4 Re_t^{-3/4})$

4.3.6. Sınır şartları

Sınır şartları değişkenlerin ortalama değerleri ve k ve ϵ için kullanılan modele uygun sınır değerleri Çizelge 7.2’de görülmektedir.

Giriş sınır şartı

Girişteki havanın hız ve sıcaklığına benzer şekilde k ve ε değerleri içinde uygun şartlar verilmelidir. Çözümün girişte verilen türbülansla ilgili sınır şartlarından fazla etkilenmediği deneyerek görülmüştür. Girişte k için giriş şartı doğrudan verilmemiş girişte verilen türbülans yoğunluğu (T_i) ve ortalama hız kullanılarak aşağıdaki şekilde elde edilmiştir:

$$k = (T_i w_{jet})^2 \quad (4.29)$$

Benzer şekilde ε için giriş şartı:

$$\varepsilon = (C_\mu C_d)^{3/4} \frac{k^{3/2}}{L} \quad (4.30)$$

Eşitliğinden elde edilmiştir. Eşitlikte L girişteki karakteristik uzunluk olarak seçilmiştir. Sonuç olarak giriş şartı olarak verdiğimiz türbülans yoğunluğu değeri k ve ε için giriş şartlarını hesaplamakta kullanılmaktadır. Ayrıca diğer değişkenlerin ortalama değerleri için sınır şartları aşağıdaki gibidir.

$$U = 0; \quad V = 0; \quad W = W_{jet}; \quad T = T_{jet} \quad (4.31)$$

Duvar sınır şartları

Seçtiğimiz Lam-Bramhorst modelinde duvar fonksiyonları uygulanmadığı için duvarlarda bu fonksiyonlar yerine kinetik enerji ve disipasyon oranı için

$$k = 0 \quad \text{ve} \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} = 0 \quad (4.32)$$

sınır şartları uygulanmıştır. Çarpma plakası ve jet plakasının oluşturduğu duvarlarda ortalama hızlar kaymazlık şartı gereği sıfır alınmıştır.

$$U = 0; \quad V = 0; \quad W = 0 \quad (4.33)$$

Isı transferi açısından üst plaka yani jet plakasında adiyabatik, alt plaka da ise sabit ısı akısı sınır şartı uygulanmıştır. Isı akısının miktarı türbülanslı akışta farklı büyüklüktedir.

$$\frac{\partial T}{\partial z} = 0; \quad q'' = \text{sabit} \quad (4.34)$$

Çıkış sınır şartları

Duvar sınır şartlarının aksine çıkıştaki k ve ε sınır şartları için düşük ve yüksek Reynolds sayılı modellerde aynı sınır şartları kullanılabilir. Kinetik enerji ve disipasyon oranı için çıkış sınır şartları

çıkış 1 ve çıkış 2

$$x \text{ yönü: } \frac{\partial k}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} = 0 \quad (4.35)$$

çıkış 3 ve çıkış 4

$$y \text{ yönü: } \frac{\partial k}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} = 0 \quad (4.36)$$

Şekil 4.1’de gösterilen çözüm alanının çıkışları atmosfere açıktır. Bu sebeple çıkışlarda basınç atmosferik basınç olarak alınmıştır. Ayrıca hız ve sıcaklık gradyanları sıfır alınmıştır.

çıkış 1 ve çıkış 2

$$x \text{ yönü: } \frac{\partial U}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial V}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial W}{\partial x} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0; \quad P = P_0 \quad (4.37)$$

çıkış 3 ve çıkış 4

$$y \text{ yönü: } \frac{\partial U}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial V}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial W}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial T}{\partial y} = 0; \quad P = P_0 \quad (4.38)$$

Ayrıntıları verilen sınır şartları, Çizelge 4.2’de tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 4.2. Sınır şartları

	U	V	W	T	k	ϵ
Giriş	$U = 0$	$V = 0$	$W = W_{\text{jet}}$	$T = T_{\text{jet}}$	$(T_i W_{\text{jet}})^2$	$(C_{\mu} C_d)^{3/4} k^{3/2} L$
Çarpma plakası	$U = 0$	$V = 0$	$W = 0$	$q'' = \text{sabit}$	$k = 0$	$\partial \epsilon / \partial z = 0$
Jet plakası	$U = 0$	$V = 0$	$W = 0$	$\partial T / \partial z = 0$	$k = 0$	$\partial \epsilon / \partial z = 0$
Çıkış 1	$\partial U / \partial x = 0$	$\partial V / \partial x = 0$	$\partial W / \partial x = 0$	$\partial T / \partial x = 0$	$\partial k / \partial x = 0$	$\partial \epsilon / \partial x = 0$
Çıkış 2	$\partial U / \partial x = 0$	$\partial V / \partial x = 0$	$\partial W / \partial x = 0$	$\partial T / \partial x = 0$	$\partial k / \partial x = 0$	$\partial \epsilon / \partial x = 0$
Çıkış 3	$\partial U / \partial y = 0$	$\partial V / \partial y = 0$	$\partial W / \partial y = 0$	$\partial T / \partial y = 0$	$\partial k / \partial y = 0$	$\partial \epsilon / \partial y = 0$
Çıkış 4	$\partial U / \partial y = 0$	$\partial V / \partial y = 0$	$\partial W / \partial y = 0$	$\partial T / \partial y = 0$	$\partial k / \partial y = 0$	$\partial \epsilon / \partial y = 0$

4.5. Problemin PHOENICS’ te Çözüm Yaklaşımı

Problemin PHOENICS’ te çözüm yaklaşımları için yapılacak olan adımların ayrıntıları sırasıyla aşağıda ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

4.5.1. PHOENICS sayısal akışkanlar dinamiği kodu

Gerçekleştirilen sayısal çalışmada PHOENICS (Parabolic Hyperbolic Or Elliptic Numerical Integration Code Series) sayısal akışkanlar dinamiği kodu kullanılmıştır. Program isminde geçen “parabolik”, “hiperbolik”, “eliptik” çözülen denklem

türlerini göstermektedir. Çözülen bu denklemler kütle, momentum, enerji ve diğer korunan büyüklüklerin denkliklerini ifade etmektedir. Ayrıca bu denklemler difüzyonun, taşınımın ve kaynakların etkilerini, aynı zamanda zamanla değişimi ifade etmektedirler. Bu denklemlerdeki bağımlı değişkenler kütle, hız, basınç, sıcaklık veya entalpi, konsantrasyon, elektrik yükü veya bir başka korunan büyüklük olabilmektedir. Denklem sisteminin lineer olmaması sebebiyle PHOENICS lineer olmayan kısmi diferansiyel denklem setlerinin çözümlerinde iteratif sayısal yaklaşımları kullanmaktadır. Programda kısmi diferansiyel denklemleri cebirsel denklemlere dönüştürmek için sonlu hacimler metodu kullanılmaktadır [81]. PHOENICS aşağıda verilen üç ana eleman ve yardımcı elemanlardan oluşmaktadır:

Satellite: Ön işlemci olarak görev yapan satellite aşağıdaki işlemleri yerine getirir:

- Q1 kütüğünde verilen işlemleri okur.
- PHOENICS kütüphanesinden örnek problemleri seçer.
- Menü sistemini çalıştırarak problem tanımlar.
- Klavye üzerinden verilen komutları işler.
- Yardım ve komut tarama işlemleri yapar.

Earth: Ana simülasyon yazılımını içermektedir. Yazılımda fiziksel kanunlarla ilgili parçalar ve kullanılan sayısal metoda uygulanan bütün işlemlerle ilgili Fortran kodlamasını kapsamaktadır. Earth, Satellite tarafından hazırlanan veri kütüğünü okur ve istenen hesaplamaları yapar. Hesaplama sonunda Result ve Phi adlarında iki kütük oluşturur. Phi, son işlemci Photon tarafından okunabilen formattadır.

Photon: Earth tarafından hazırlana Phi kütüğünü okur ve kullanıcıya interaktif olarak sonuçları sunar. Kullanıcının vereceği komutlara göre akış vektörlerini, sıcaklık dağılımlarını, problemin hücre yapısını vb. gösterir.

Akışı, ısı ve kütle transferini, kimyasal reaksiyonları, çok fazlı akışları tanımlayan diferansiyel denklemler PHOENICS'te doğrusal algebrik denklemler haline getirildiğinde çözülebilirler. Kod aşağıda genel hali verilen diferansiyel denklemlerin, ayrıklaştırılmış hallerini çözer:

$$\frac{\partial(r_i \rho_i \varphi_i)}{\partial t} + \text{div}(r_i \rho_i \vec{u}_i \varphi_i) - \text{div}(r_i \Gamma_{\varphi_i} \text{grad} \varphi_i) = r_i S_{\varphi_i} \quad (4.39)$$

Eşitliğin sol tarafındaki terimler sırasıyla zamana bağlı, taşınım ve difüzyon terimlerini, sağ tarafındaki ise kaynak terimini göstermektedir.

Ayrıca eşitlikte:

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

Γ_{φ_i} : i fazındaki φ büyüklüğünün değişim katsayısı

olarak tanımlanmıştır.

4.5.2. Sonlu hacimler yöntemi

Sonlu hacimler yöntemi, üç ana sayısal çözüm tekniğinden (sonlu farklar, sonlu elemanlar, spektral metodlar) sonlu farklar metodunun özel bir şekli olarak geliştirilmiştir. Şu an mevcut sayısal akışkanlar dinamiği kodlarının PHOENICS dahil birçoğunda bu yöntem kullanılmaktadır. Sonlu hacimler yönteminin sayısal algoritması aşağıdaki üç basamaktan oluşmaktadır. Birinci basamakta, çözüm alanındaki bütün kontrol hacimlerinde akışı temsil eden korunum denklemlerinin integrasyonu gerçekleştirilir. Daha sonra ikinci basamakta integre edilmiş denklemlerde, taşınım, iletim ve kaynak terimleri gibi akışı temsil eden terimler sonlu farklar tipi yaklaşımlarla yerine konur. Bunun sonucunda integral formundaki denklemler cebirsel denklem sistemlerine dönüştürülür. Son basamakta cebirsel denklemler iteratif yöntemlerle çözülür. Fiziksel korunum prensipleriyle sayısal algoritma arasındaki belirgin ilişki sonlu hacimler metodunu özellikle mühendisler arasında daha cazip ve anlaşılır kılmıştır.

4.5.3. Çözüm tekniği

Sayısal olarak ele alınan problem kartezyen koordinatlarda zamandan bağımsız olarak çözülmüştür. Denklemlerin formülasyonunda eliptik denklem tipi ve kaydırılmış hücre yapısı kullanılmıştır. Matematiksel olarak kararlı haldeki viskoz akışlar eliptik yapıya sahiptir. Bu da akışın bir noktasındaki değerlerin çevresindeki noktalardan etkilendiği manasına gelmektedir. PHOENICS'te ise eliptik terimi parabolüğün aksine akış içerisinde baskın bir yön olmadığı ve bu vesileyle bilgisayar zamanından ve depolamadan tasarruf etmenin mümkün olmadığı durumlar için kullanılmaktadır. Kaydırılmış hücre yapısından kasıt ise hızların hücre yüzeylerinin orta noktasında depolanmasıdır. Kaydırılmış hücre yapısının kullanılmadığı durumlarda hızlar aynı basınç ve sıcaklık gibi hücre merkezlerinde depolanırlar. Kartezyen koordinatlara uygunluğu açısından kaydırılmış hücre yapısı seçilmiştir. Ayırıklaştırma işlemi algoritması olarak hibrid şeması kullanılmıştır. Bu şema upwind şemasının kararlılığı ile merkezi farklar şemasının hassaslığını birleştiren bir şemadır. Çözüm işleminde bilgisayar hafızasında ekonomi sağlamak amacıyla “slabwise” denilen dilim dilim çözüm tekniği uygulanmıştır. Bu teknikte denklemler tek bir dilim için aynı anda çözülmekte sadece bu çözülmekte olan dilim ve onun arkası ve önündeki dilimlerde bulunan değişkenler ana hafızada saklanmaktadır. Diğer bütün dilimler sabit diskte saklanmaktadır. Çözümümüzde basınç ve sıcaklık hariç bütün değişkenler için bu metod uygulanmıştır. Basınç için ise “whole-field” denilen bütün dilimlerin hafızada saklandığı yöntem uygulanmıştır. Akış sınır şartlarının ve blokların etkisini bütün çözüm alanına iletmesi nedeniyle özellikle basınç düzeltme denkleminin “whole-field” metoduyla çözülmesi tavsiye edilmektedir. Momentum ve süreklilik denklemleri birbiriyle bağlantılıdır. Basınç için ise doğrudan bir denklem bulunmamaktadır. Bütün sayısal akışkanlar dinamiği kodlarının amacı doğrudan denklemi olmayan bu değişkeni süreklilik denklemiyle ilişkilendirmek bir şekilde içine katmaktır. Bu işlem PHOENICS'te Patankar ve Spalding tarafından geliştirilen SIMPLE algoritmasının bir varyasyonu olan SIMPLEST (SIMPLEShorTened) algoritması ile gerçekleştirilmektedir.

4.5.4. Hücre yapısı

Hücre yapısının ve sayısının önemi yapılan deneme çözümlerinde ortaya çıkmıştır. Örneğin jet içerisinde hücre sayısının yeterince yüksek olmaması sebebiyle jet içerisindeki hız profili ve sabit hız çekirdeği bölgesi elde edilmedi. Aynı şekilde türbülanslı akış modellemesinde kullandığımız türbülans modeli olan Lam-Bramhorst düşük Reynolds sayısı modeli duvar fonksiyonlarını kullanmaması sebebiyle standart k-ε modelinden farklı bir hücre yapısına ihtiyaç duyuldu. Bu bilgiler ışığında çözüm alanı içerisinde çarpma plakasına yakın bölgelerde sınır tabakasındaki değişiklikleri yakalayabilmek ve viskoz alt tabakayı modelleyebilmek için hücrelerin sıklığı artırıldı. Özellikle türbülanslı akışta LB modelini kullanabilmek için tavsiye edilen z^+ değerinin 1'den küçük bir değeri için en az bir hücre yerleştirilmesi kriteri sağlandı. Bu bağlamda $z^+ = 1$ değerine kadar toplam 4 hücre yerleştirildi. Bu değerleri elde etmek için türbülanslı akışta z^+ değerleri hesaplatıldı. Bu kriterin bütün türbülanslı çözümlerde sağlanması için duvara dik yöndeki hücre sayılarında düzenlemeler yapıldı. y^+ boyutsuz duvar mesafesi olarak tanımlanmakta ve aşağıdaki ifadeden elde edilmektedir.

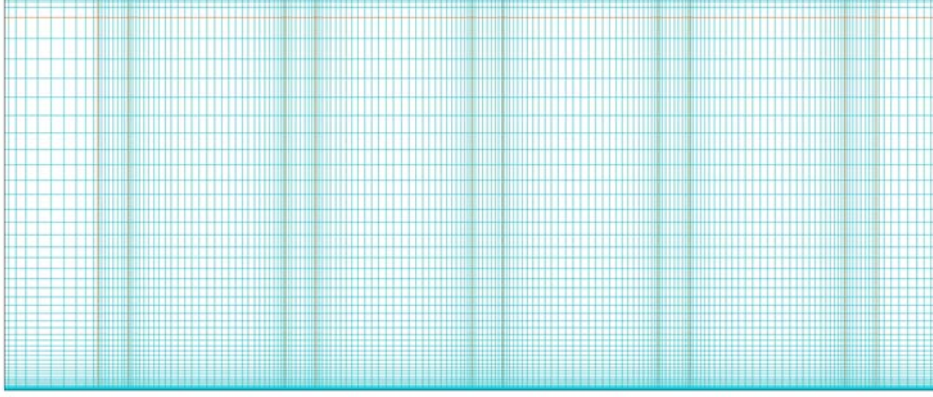
$$z^+ = \frac{u_\tau z}{\nu} \quad (4.40)$$

$$u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad (4.41)$$

Denklemlerde u_τ sürtünme hızıdır ve duvara yakın bölgedeki hızları temsil eden hız ölçeğidir. Laminar akış modellemesinde duvara çok yakın bölgede bu kadar çok sıklıkta hücre olması yakınsama problemlerine yol açtı. Bu durumda bu bölgedeki hücre sıklığının kademeli bir şekilde azaltılmasıyla çözüldü. Ayrıca çözüm alanı duvara dik yönde üç farklı bölgeye ayrılarak bu bölgelerde bağımsız olarak hücre düzenlemelerinin yapılması mümkün hale geldi. Şekilde de görülen bu bölgelerden

jet girişı bölgesi diyebileceğimiz bölgede hücreler sıklaştırıldı. Bu bölgenin yanında hücreler dışa doğru azalan sıklıkta yerleştirildi.

Aşağıdaki Şekil 4.2 boyutsuz jet-plaka mesafesi 12 için çözümlerde uygulanan hücre yapısını göstermektedir.



Şekil 4.2. Örnek hücre yapısı

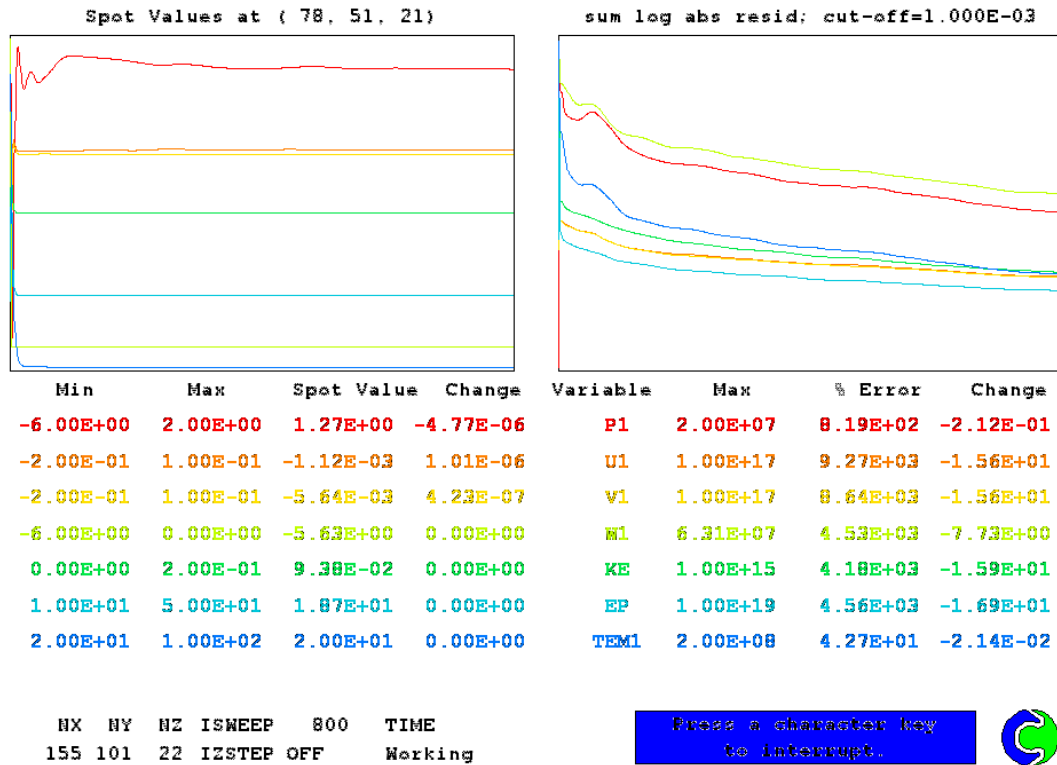
4.5.5. Sayısal çözümlerin doğruluğunun kontrolü

Gerek ticari programlar gerekse bireysel olarak yazılmış kodlarla elde edilen sayısal akışkanlar dinamiği çözümlerinin doğruluğunun sınanması gerekmektedir. Aynı problem ve çözüm alanı için bile hücre ve süpürme sayılarındaki küçük değişiklikler farklı sonuçların elde edilmesine sebep olmaktadır. Örneğin bu problemde belirli bir süpürme sayısından sonra hız değerleri çözüm alanının her bölgesinde sabit değişmeyen değerler alırken, sıcaklık değerleri hala değişmektedir ve sabit hale gelmesi için daha yüksek süpürme sayılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Buna ek olarak jetlerin önemli bir karakteristiği olan sabit hız çekirdeği bölgesinin daralması ve sonunda kaybolmasının yakalanabilmesi için de yine belirli bir hücre yapısı ve süpürme sayısı gereklidir. Bunlara ek olarak kullanılan türbülans modeli de sonuçlar üzerinde etkili olmaktadır. Herşeyden daha önemlisi de elde edilen sonuçların fiziksel bir mana ifade etmesi ve gerçekteki fiziksel olayla uyum içinde olması gerekmektedir. İşte bu ve bunun gibi sebeplerden dolayı sayısal akışkanlar dinamiği metotları kullanılarak elde edilen sonuçların geçerliliğinin kontrolü için beş temel

unsurun gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Çözümler, aşağıda belirtilen kriterler dikkate alınarak yapılmıştır.

Çözümün yakınsaması

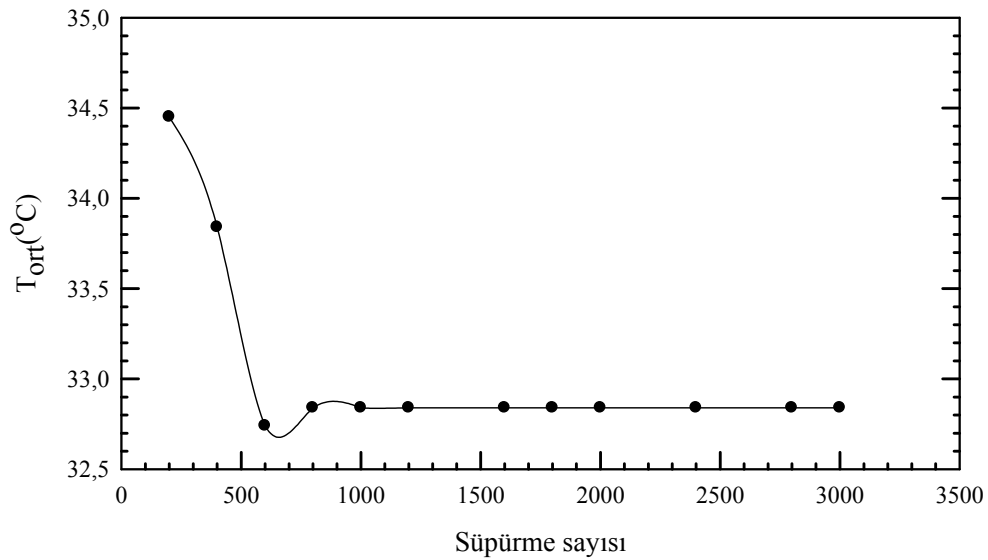
Şekil 4.3’de, çalışma kapsamında dairesel jet dizileriyle $Re=2000$ değerinde boyutsuz jet-plaka mesafesinin 2 jet çapına eşit olduğu durumun türbülanslı akış modellemesi sonucu elde edilen anlık değerlerin ve kalıntıların süpürme sayısı ile değişimleri görülmektedir. Çözümün yakınsaması için gerekli 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.



Şekil 4.3. Kalıntılar ve anlık değerlerin süpürme sayısı ile değişimi

Çözümün süpürme sayısından bağımsızlığı

Geçerli bir çözümün şartlarından birisi de, süpürme sayısının artmasıyla problemin yakınsamasının devam ettiğinin gözlenmesidir. Mevcut problemde bu durumun önemini gösteren bir durumla karşılaşıldı. Süpürme sayısı 1000 değerine ulaştıktan sonra yüzey sıcaklık değerlerinde değişme olmadığı ve süpürme sayısının artmasıyla artık değişmediği gözlemlendi. Bu sonuç problem çözümü için 1000 süpürme sayısının yeterli olacağı sonucuna varılmasına sebep oldu.



Şekil 4.4. Ortalama yüzey sıcaklığının süpürme sayısı ile değişimi

Korunum denklemlerinin sağlanması

Fiziksel olayı ifade eden kütlenin ve enerjinin korunumu denklemlerinin sağlanması doğru bir çözüm yolunda sağlanması gereken kriterlerden birisidir. Korunum denklemlerinin sağlanıp sağlanmadığını gösteren değerler PHOENICS programının sonuçlar dosyasında yer almaktadır. Yukarıda bahsedilen çalışmanın sonuç dosyasındaki değerlere bakıldığında korunum denklemlerinin sağlandığı görülmüştür. Süreklilik denkleminde, girişteki toplam kütleli debinin çıkıştakine hemen hemen eşit olduğu, ayrıca enerji denklemi içinde girişte jetin sahip olduğu enerji ve sisteme verilen ısı enerjisi toplamının çıkışta akışkanın sahip olduğu

enerjiye hemen hemen eşit olduğu görülmüştür. Örnek durum için elde edilen değerler aşağıda sunulmuştur.

Süreklilik denklemi için:

Girişteki toplam kütleli debi = $2,194723E-03 \text{ kg/s}$

Çıkışlardaki toplam kütleli debi = $-2,194721E-03 \text{ kg/s}$

Enerji denklemi için:

Jetin girişte sahip olduğu enerji ve çarpma plakası

ısı akısı toplamı = $6,645999E+02 \text{ W}$

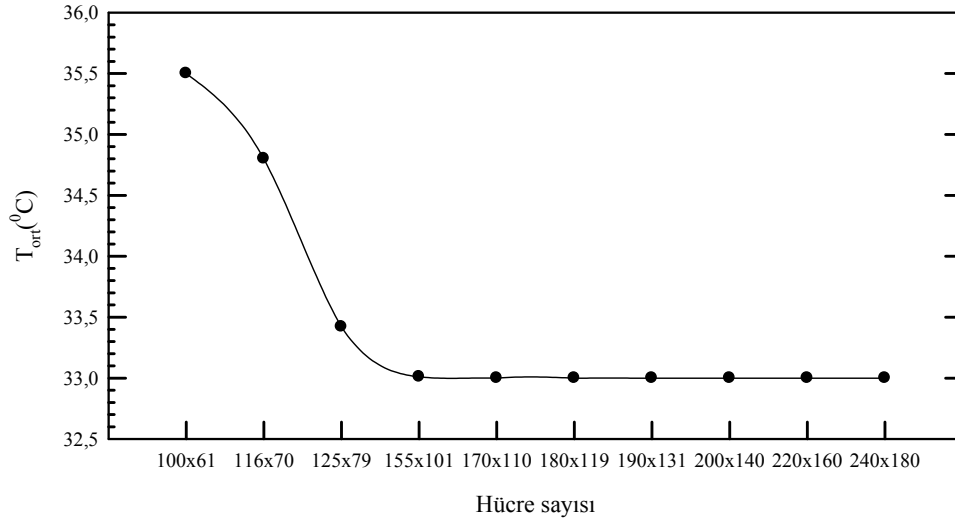
Akışkanın çıkışlardaki toplam enerjisi = $-6,646204E+02 \text{ W}$

Bu değerler üçüncü şart olan korunum denklemlerinin sağlandığının bir göstergesidir. Yaptığımız bütün çözümlerde yukarıdakine benzer hassaslıkta sonuçlar elde edilmiştir.

Çözümün hücre yapısından bağımsızlığı

Hücre yapısı ve dağılımı, sayısal çözümlerin gerçek fiziksel değerlerden farklılığına sebep olacak faktörlerden birisidir. Mevcut problemimizde hücre yapısından bağımsız bir çözüm elde edebilmek için seyrek ve uniform bir hücre yapısıyla çözümlere başlandı. Daha sonra, çözümde en çok değişimin olduğu en hassas bölge olarak düşünülen yüzeye bitişik yüzeydeki hücrelerdeki ortalama sıcaklığın değeri kriter alınarak, bu değerdeki değişimlerin ihmal edilebilir hale geldiği ana kadar hücreler arttırıldı. Aynı zamanda, bu şekilde hücre sayısının çok fazla artmasını önlemek için kullanılan modele ve problemin fiziğine uygun olarak bazı yönlerde hücreler sıklaştırıldı. Kullandığımız türbülans modelin kriterlerine uygun olarak yeterli sayıda hücreyi duvara yakın bölgelerde uniform olarak yerleştirilseydi, çarpma plakasına dik yöndeki hücre sayısı oldukça fazla artacaktı. Modellenen deneysel çalışmanın çözümünün hücre yapısından bağımsızlığını gösteren Şekil 4.5 aşağıdadır. Plakaya dik yöndeki hücre yapıları bahsedilen kriterler, akışın laminar

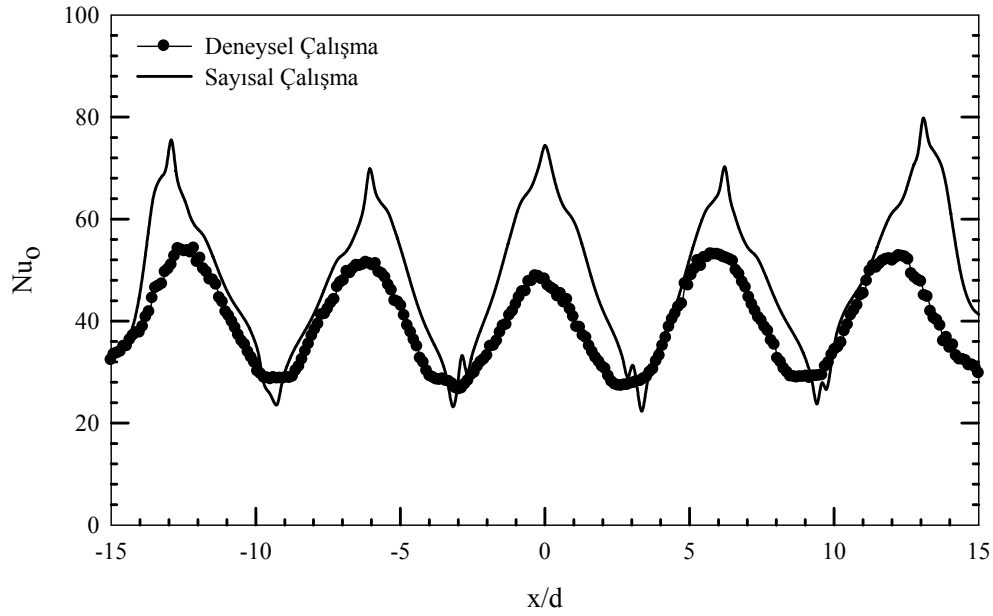
veya türbülanslı oluşu ve jet-plaka mesafesine bağlı olarak değişmektedir. Hücre yapısı ile ilgili diğer bilgiler hücre yapısı bölümünde açıklanmıştır.



Şekil 4.5. Ortalama yüzey sıcaklığının hücre sayısı ile değişimi

Sonuçların deneysel değerlerle uyumluluğu

Sayısal akışkanlar dinamiği çözümlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması, sonuçların güvenilirliğine yönelik en önemli çalışmalardan birisidir. Bu bağlamda yukarıda bahsedilen türbülans yöntemi ve buna uygun hücre yapısı kullanılarak çarpan dairesel jetler ile yapılan deneysel çalışma birebir modellenmiştir. Çalışma dairesel jetler kullanılarak Re sayısı 10000 değerinde, 1155 W/m^2 sabit ısı akısı verilerek, jet-plaka mesafesi 12 cm iken jet çapının 5 mm değerinde gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırmalı grafik Şekil 4.6'da verilmektedir.



Şekil 4.6. Deneysel ve sayısal sonuçların karşılaştırılması

Yukarıda, durma noktasında sayısal çalışmadan elde edilen değerler deneysel değerlerin neredeyse iki katıdır. Ancak durma noktasından itibaren yaklaşık 1D mesafesinden itibaren deneysel ve sayısal sonuçların birbiriyle nispeten daha uyumlu olduğu görülmektedir. Wang ve Majumdar tarafından 5 farklı düşük Reynolds sayısı modelinin denendiği çalışmada da bütün modellerin durma noktasındaki ve plaka sonlarına yakın bölgedeki Nusselt sayısı için deneysel değerlerden daha farklı değerler verdiği görülmüştür [44]. Yazarlar bu durumun sebebi olarak, kullanılan türbülans modellerdeki çok büyük türbülans uzunluk boyutlarının, iletimin baskın mod olduğu tabakanın kalınlığının azalmasına sebep olmasını göstermişlerdir. Bu durumun sonucu olarak da toplam termal direnç azalmış böylece ısı transferi de artmıştır. Yukarıdaki grafiklerden çıkarılacak başka bir sonuç modelimizde kullanılan sönümleme fonksiyonlarının durma noktasında türbülans enerji üretiminin olduğundan fazla görünmesine engel olamadığıdır. Sonuç olarak kullanılan modelin çarpan jetler kullanılarak plaka üzerindeki Nusselt sayısının genel değişim karakteristiğini belirleyebildiği ancak yeterli olmadığı söylenebilir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, deneysel çalışma aşamaları aşağıdaki şekilde verilerek alt bölümler halinde geniş kapsamlı olarak araştırılmıştır.

Çarpan akışkan jetlerinde jet-plaka mesafesi, yüzeye verilen ısı akıları ve Reynolds sayısının ortalama ve yerel ısı transferine etkilerini belirlemek amacıyla düzgün sıralı dairesel jetler (EJ1) kullanılarak gerçekleştirilen deneysel çalışmanın sonuçları sunulmuştur.

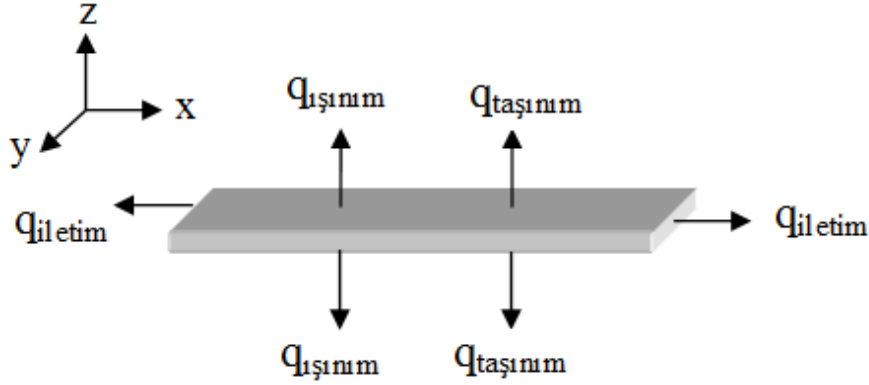
5.1. Dairesel Jetlerde Isı Transferinin Deneysel İncelenmesi

Çarpan akışkan jetlerinde jet-plaka mesafesi, yüzeye verilen ısı akıları ve Reynolds sayısının ortalama ve yerel ısı transferine etkilerini belirlemek amacıyla düzgün sıralı dairesel jetler (EJ1) kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmanın sonuçları aşağıda grafikler halinde sunulmuştur. Çalışma jet-plaka mesafeleri $H/d=2, 4, 6, 8, 10$ ve 12 değerlerinde Reynolds sayıları $2000, 4000, 6000, 8000$ ve 10000 için plakaya verilen ısı akıları 633W/m^2 - 1214W/m^2 'ye kadar kademeli olarak arttırılarak gerçekleştirilmiştir.

5.1.1. Veri analizi

Yerel ve ortalama Nusselt sayısının ısı transferine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada sıcaklık ölçümleri termal kamera ile elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler termal kamera ile işlenerek plaka üzerindeki yerel sıcaklıklar elde edilmiştir. Bu elde edilen sıcaklıklar Matlab ile işlenerek plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı elde edilmiştir. Ayrıntıları ilgili bölümde verilen deney düzeneğinde akışkana taşınım ile verilen ısı transferi, enerji dengesi kurularak aşağıdaki denklemden elde edilmiştir.

Paslanmaz çelik folyo üzerindeki enerji dengesi Şekil 5.1 'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Paslanmaz çelik folyo üzerindeki enerji dengesi

Çelik folyo üzerindeki enerji dengesi aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$q_e = q_j + q_r + q_f \quad (5.1)$$

Denklemde elektriksel olarak üretilen ısı q_e , zorlanmış taşınım q_j , radyasyon q_r , doğal taşınım q_f olarak çevreye transfer edilmektedir.

Denklem 5.1’de elektriksel ısı akısı (q_e) aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir.

$$q_e = \frac{VI}{A_p} \quad (5.2)$$

Burada V ve I sırasıyla paslanmaz çelik folyoya DC güç kaynağı tarafından verilen voltaj ve akımı göstermektedir. A_p ısıtılmış plakanın görüntü alanıdır. Çarpma plakasının alt ve üst yüzeylerinden radyasyonla çevreye transfer edilen ısı miktarı q_r , ve folyonun alt yüzeyinden çevreye transfer edilen ısı q_f aşağıdaki şekilde tanımlanarak bunlar ısı kaybı olarak düşünülmüştür.

Çarpma plakasının alt ve üst kısmından radyasyonla çevreye transfer edilen ısı q_r aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$q_r = (\varepsilon_t + \varepsilon_b) \sigma (T^4 - T_s^4) \quad (5.3)$$

Burada ε_t ve ε_b sırasıyla boyanmış ve boyanmamış yüzeylerin emisivite değerleridir, σ , Stefan-Boltzmann sabitidir. T ve T_s sırasıyla çelik folyonun yerel ve ortam sıcaklıklarıdır.

Paslanmaz çelik folyonun alt kısmından doğal taşınım yoluyla transfer olan ısı q_f aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$q_f = h_f (T - T_s) \quad (5.4)$$

Denklem 5.4’de verilen doğal taşınım katsayısı $h_f=10$ cm/s hava akımında yaklaşık olarak $h_f=1,1$ W/m²K olarak tanımlanmaktadır [82].

Paslanmaz çelik folyonun çok ince olmasından dolayı yan yüzeylerden olan ısı kaybı (q_{iletim}) ihmal edilmiştir [19]. Yan yüzeylerden iletimle kaybolan ısı miktarı çok küçük olduğundan dolayı enerji dengesinde gösterilmemiştir.

Çarpma plakasının üst kısmından zorlanmış konveksiyonla çevreye transfer edilen ısı q_j aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$q_j = h_i (T - T_j) \quad (5.5)$$

Burada h_i yerel ısı transfer katsayısı T , paslanmaz çelik folyonun yerel yüzey sıcaklığı ve T_j jet çıkışındaki hava sıcaklığı olarak tanımlanmıştır.

Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır

$$Nu_o = \frac{h_i d}{k_{air}} \quad (5.6)$$

Burada d jet giriş çapı, k_{air} jet akışkanının ısıl iletkenlik katsayısıdır.

Ortalama Nusselt sayısı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır

$$Nu_{ort} = \frac{\bar{h}d}{k_{air}} \quad (5.7)$$

Burada $\bar{h}$ ortalama ısı transfer katsayısıdır.

Reynolds sayısı aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$Re = \frac{W_{jet}d}{\nu} \quad (5.8)$$

Burada W_{jet} jet çıkış hızı, ν jet giriş akışkanının kinematik viskozitesidir.

5.1.2. Deneysel sonuçlar

Çarpan akışkan jetlerinde jet-plaka mesafesi, yüzeye verilen ısı akıları ve Reynolds sayısının ortalama ısı transferine etkilerini belirlemek amacıyla düzgün sıralı dairesel jetler (EJ1) kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmanın sonuçları aşağıda grafikler halinde sunulmuştur. Çalışma jet-plaka mesafeleri $H/d=2$ ve 12 değerlerinde, Reynolds sayıları 2000 ve 10000 için plakaya verilen ısı akıları 633W/m^2 - 1214W/m^2 'ye kadar kademeli olarak arttırılarak gerçekleştirilmiştir.

Eşitlik 5.6 ve 5.7'de görüldüğü gibi ortalama ve yerel Nusselt sayısının hesaplanmasında jet giriş sıcaklığının belirlenmesi oldukça önemlidir. Deney sistemimizde kullandığımız fan sürekli çalışmasından dolayı ısınmaktadır. Fan çıkışından jet girişine kadar olan mesafede fanın ısınması ve sürtünmelerin etkisinden dolayı jet giriş sıcaklığı sürekli olarak değişmektedir. Bu değişim etkisi yüzey sıcaklığı ile jet giriş sıcaklığı arasındaki fark olduğu için ortalama veya yerel Nusselt sayısının hesaplanmasında önemli olmadığını ispatlamak için Çizelge 5.1'de sabit bir ısı akısı için ($q''=894\text{W/m}^2$) farklı jet giriş sıcaklıklarında çarpma plakası

üzerindeki ortalama Nusselt sayısının değişimleri verilmiştir. Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi ortalama Nusselt sayısı jetin giriş sıcaklığından neredeyse bağımsızdır.

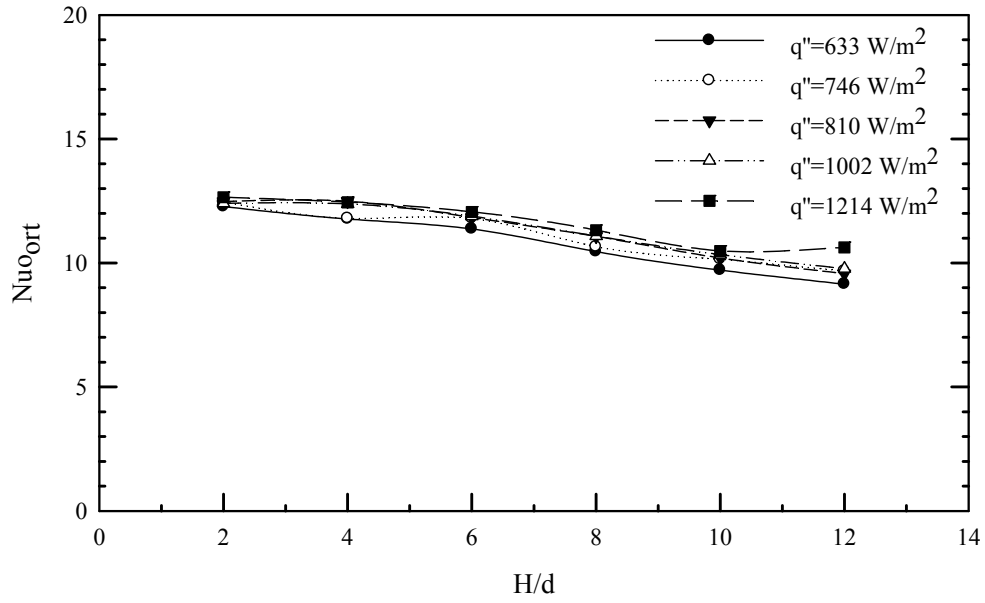
Çizelge 5.1. Farklı jet giriş sıcaklıklarında ortalama Nusselt sayısı değişimi

Jet giriş sıcaklığı (°C)	Ortalama Nusselt sayısı ($Nu_{o,ort}$)
15,2	20,44
15,8	20,36
16,6	20,33
16,9	20,24

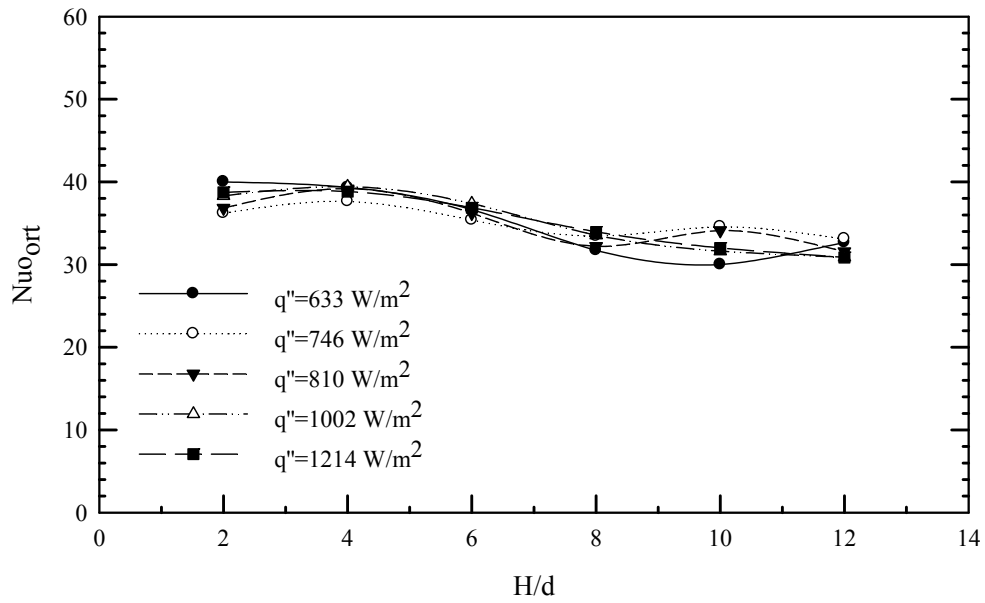
Ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi

Reynolds sayılarında ısı akısı artışıyla meydana gelen ısı transferindeki artış oranı, önemli olmakla birlikte asıl önemli olan sistemden atılan ısının bir göstergesi olan taşınım ile ısı transferi veya Nusselt sayılarının mutlak büyüklükleridir ve bunların ısı akısı ve jet-plaka mesafesiyle nasıl değiştiğidir. Söz konusu durumlarda ısı transferi açısından optimum bir jet-plaka mesafesinin olup olmadığı araştırmaya değer bir konudur. Bu arayışa yönelik olarak incelenen bütün Reynolds sayıları ve ısı akıları için Nusselt sayısı, jet-plaka mesafesinin bir fonksiyonu olarak aşağıdaki Şekil 5.2-Şekil 5.3’de gösterilmiştir. Tüm şekillerden görüldüğü gibi ortalama Nusselt sayısının ısı akısına çok az bağlı olmadığı görülmektedir.

Jet-plaka mesafesinin artmasıyla ortalama Nusselt sayısının azaldığı, en yüksek ısı transferi $H/d=2$ değerinde elde edilmiştir. Reynolds sayısının artmasıyla jet-plaka mesafesine bağlı olarak ortalama Nusselt sayısında keskin bir düşüşün olmadığı görülmektedir.



Şekil 5.2. Ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi ($Re=2000$)



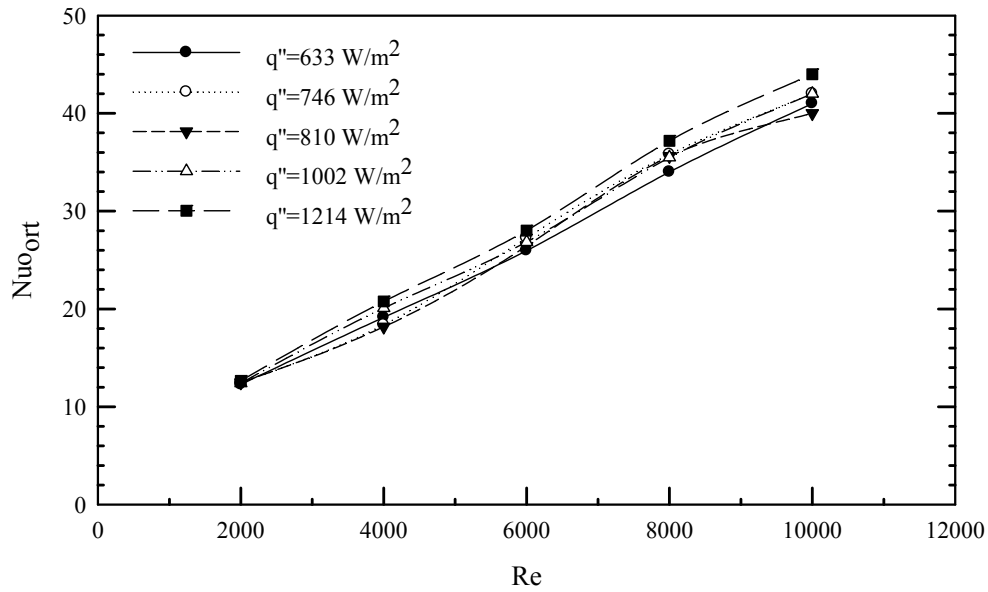
Şekil 5.3. Ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi ($Re=10000$)

Reynolds sayısının ortalama Nusselt sayısına etkisi

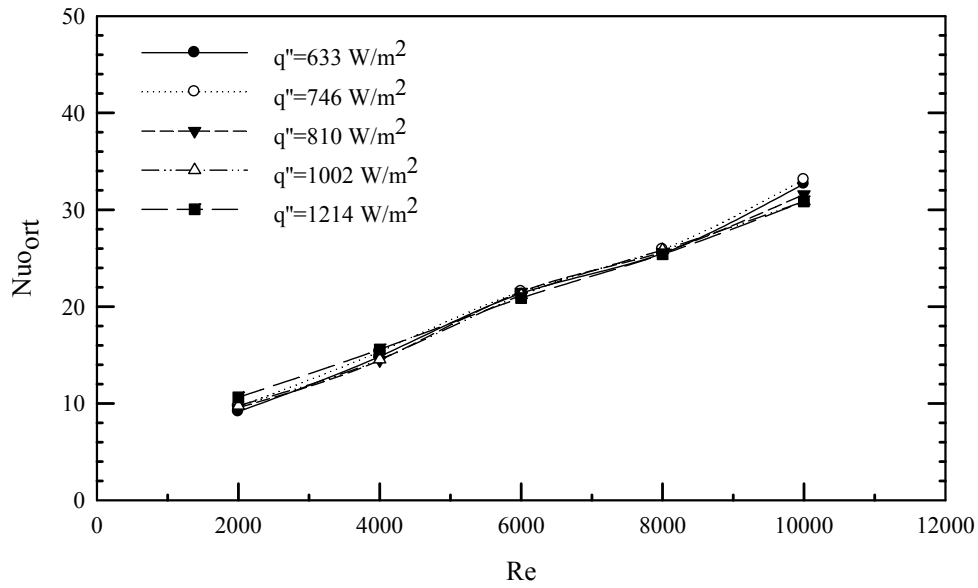
Artan Reynolds sayısının bir sonucu olarak ısı transferinin ve Nusselt sayısının artacağı aşikârdır. Ancak artış eğiliminin ve şeklinin jet-plaka mesafesine bağlı

olarak nasıl değiştiği önemlidir. Bu amaca yönelik olarak önce jet-plaka mesafesi sabit tutularak değişen ısı akıları için Şekil 5.4 ve Şekil 5.5’de görüldüğü gibi ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimini gösteren grafikler çizilmiştir. Bütün jet-plaka mesafelerinde, Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile artışı farklı eğimler göstermektedir. Tüm şekillerden görüldüğü gibi Nusselt sayısı ısı akısıyla değişimi önemli olmadığı, ısı akısının artması ortalama Nusselt sayısında önemli bir artış sağlamadığı görülmüştür.

Ortalama Nusselt sayısının ısı akısına bağlı olmadığı deneysel olarak San ve diğerleri tarafından yüksek Reynolds sayılarında ($Re=39500$ ve 51000) [83] ve Shi ve diğerleri tarafından sayısal olarak düşük Reynolds sayılarında benzer sonuçlar elde edilmiştir [84]. Bu durum San ve diğerleri tarafından belirtildiği gibi durma noktası akış karışımı ve yeniden oluşumu diğer bölgelerden daha zayıftır [83]. Bu yüzden paslanmaz çelik folyo üzerinde üretilen enerji kolaylıkla uzaklaştırılabilir. Yüzey ısı akısını artırmak için akışta yeniden bir dönme hareketi olmaksızın duvar sıcaklık farkının artması bir oran olacaktır. Bu yüzden yerel ısı transfer katsayısı ve Nusselt sayısı devamlı sabit kalacaktır.



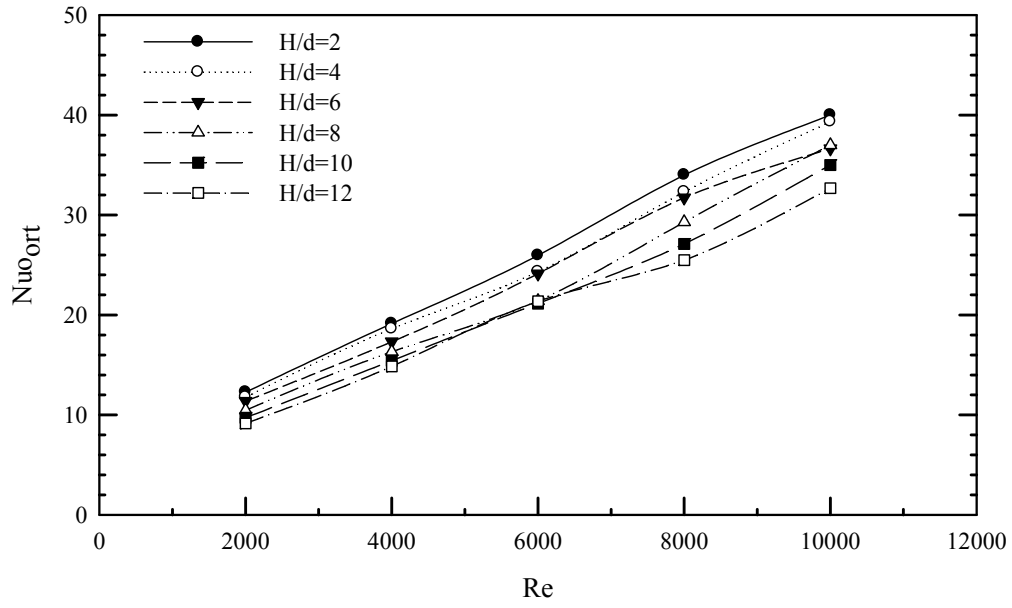
Şekil 5.4. Ortalama Nu sayısının Re sayısı ile değişimi ($H/d=2$)



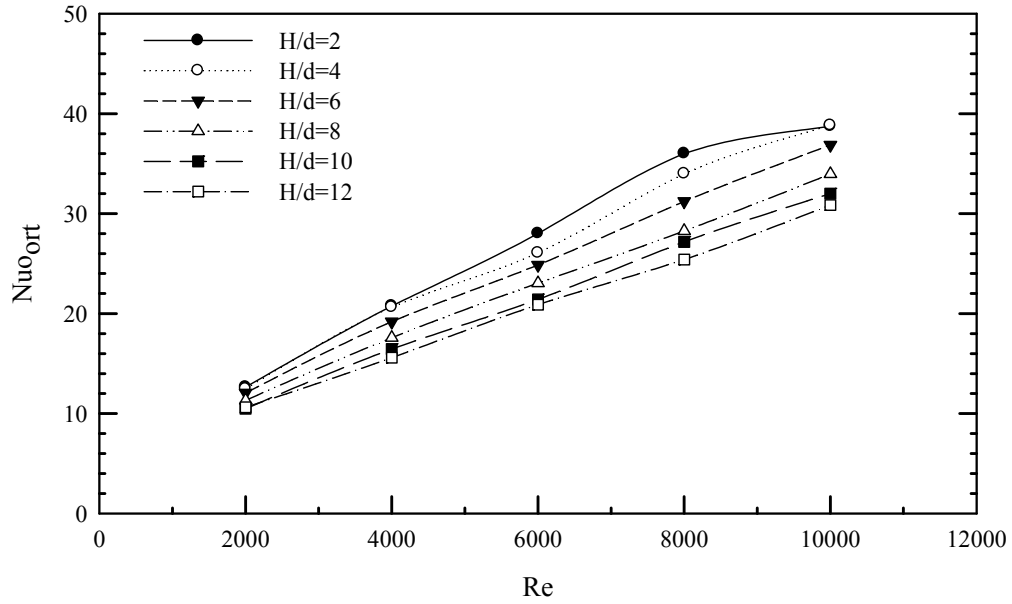
Şekil 5.5. Ortalama Nu sayısının Re sayısı ile değişimi ($H/d=12$)

Reynolds sayısı ile ortalama Nusselt sayısı ilişkisinin jet-plaka mesafesi ile değişimi

Deney yapılan ısı akılarında jet-plaka mesafesine bağlı olarak Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de gösterilmiştir. $Re=2000$ ’de yüksek ısı transferi incelenen bütün ısı akıları için $H/d=2$ değerlerinde görülmüştür. Yine bütün ısı akılarında en düşük ortalama Nusselt sayıları $H/d=12$ ’de elde edilmiştir. Bunu sebebi jet etkileşimleri ile ilgilidir. Jet etkileşimleri çarpma plakasına jet çarpmadan önce ve çarpma plakasından sonra olmak üzere iki farklı durumda meydana gelmektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlarda çarpma öncesi jet etkileşimi jetler arası mesafenin düşük olduğu durumlarda meydana geldiği görülmüştür. Düşük jetler arası mesafeler için, kayma tabakası genişlemesinden dolayı iki komşu jetin çarpma öncesi etkileşimi meydana gelmektedir. Bu etkileşim jet etkisini azaltabilmektedir ve sonuç olarak ısı transferini azalttığı görülmüştür. İki komşu duvar jetinin yüz yüze çarpması sonucu çarpma sonrası jet etkileşimi oluşmaktadır. Sürüklenme etkisinden dolayı jetin sağındaki ve solundaki akışlar tekrar sirkülasyon olacaktır ve dolayısıyla ısınmış hava jetlerin merkezine tekrar dönecektir. Bu durum da ısı transferini etkilemektedir.



Şekil 5.6. Ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ve jet-plaka mesafesi ile değişimi ($q'' = 633 \text{ W/m}^2$)

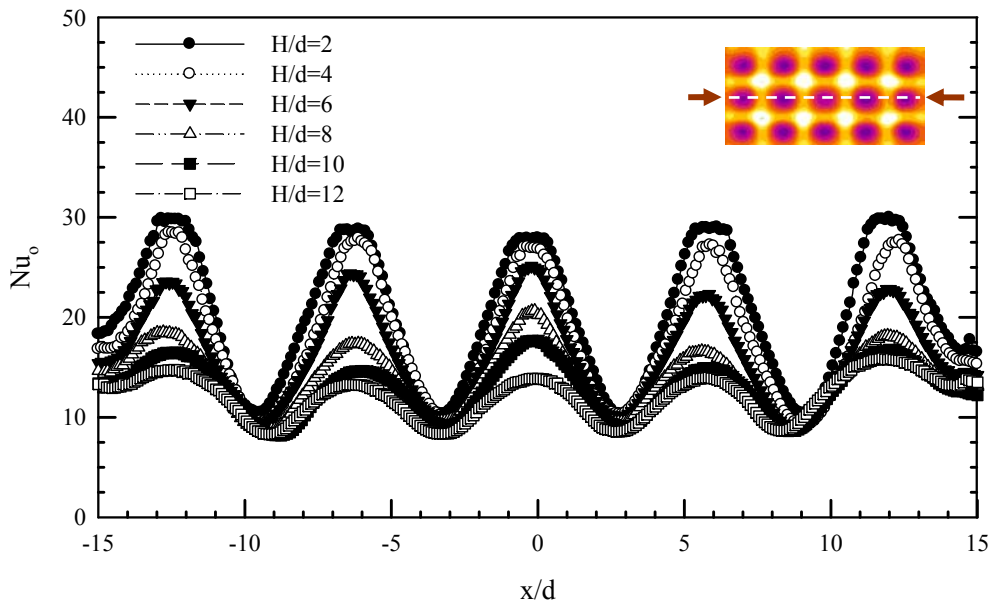


Şekil 5.7. Ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ve jet-plaka mesafesi ile değişimi ($q'' = 1214 \text{ W/m}^2$)

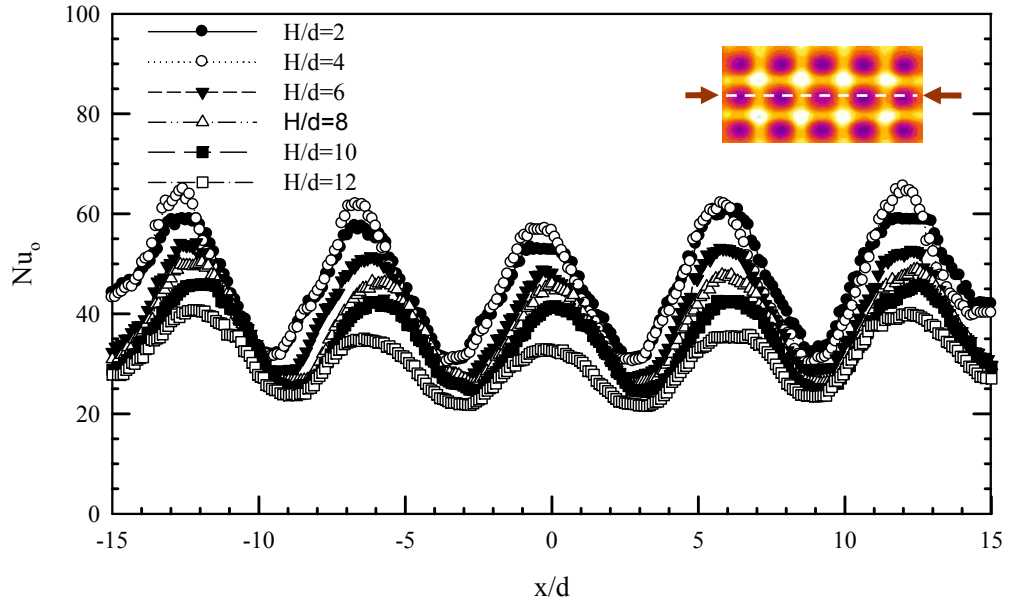
Dairesel jetlerin (EJ1) jet-plaka mesafesinin yerel Nusselt sayısına etkisi

Bu çalışma, (5x3) sıralı dairesel jetlerin ve Reynolds sayılarının 2000 ve 10000 değerleri için boyutsuz jet-plaka mesafelerinin 2-12 aralığında değiştiği değerlerinde sabit bir ısı akısı için dairesel jetlerin (EJ1) merkez jet eksenı boyunca boyutsuz x/d mesafesi ile yerel Nusselt sayısının değişimleri incelenmiştir. Deney yapılan sabit bir ısı akısında jet-plaka mesafesine bağlı olarak yerel Nusselt sayısının boyutsuz x/d yönündeki değişimleri Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’da gösterilmiştir.

Tüm şekillerde görüldüğü gibi jetin durma noktalarında en yüksek ısı transferleri elde edilirken duvar bölgelerine doğru ısı transferinde düşme görülmektedir. En iyi ısı transferi jet-plaka mesafesinin ($H/d=2$) olduğu durumda elde edilmiştir. Jet-plaka mesafesinin artmasıyla ısı transferi azalmaktadır. Düşük Reynolds sayılarında merkez jet eksenı boyunca hesaplanan yerel Nusselt sayısı dağılımları merkez jet eksenin ($x/d=0$) sağ ve sol kısımlarına göre simetriktr. Fakat yüksek Reynolds sayılarında özellikle $Re=10000$ değerleri için bu simetriklik azda olsa bozulmuştur. Bu durum yüksek Reynolds sayılarında jet çıkışında üretilen yüksek türbülans kinetik enerjisinden dolayıdır.



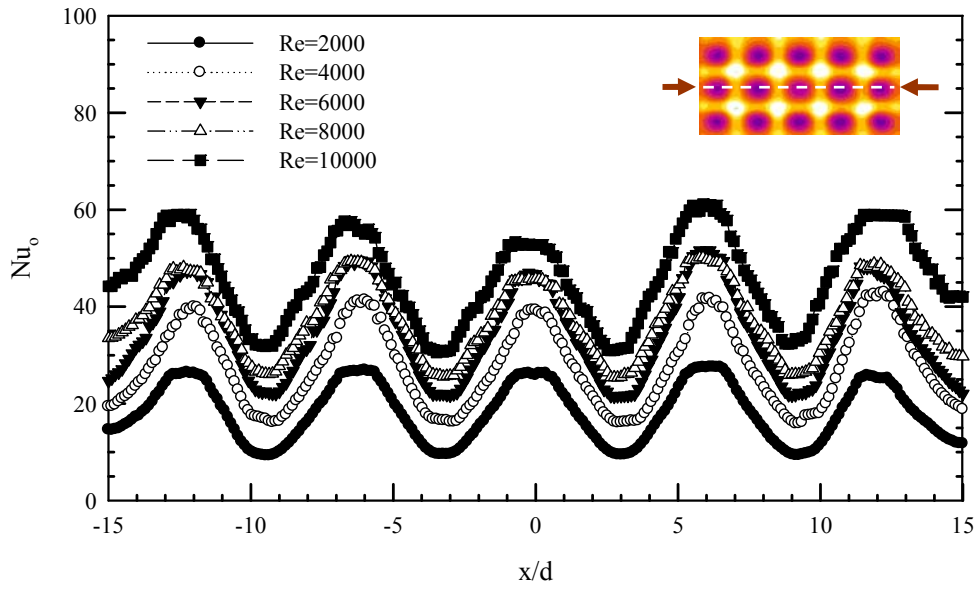
Şekil 5.8. Yerel Nusselt sayısının x-yönünde merkez jet eksenı boyunca H/d ile değişimi ($Re=2000$)



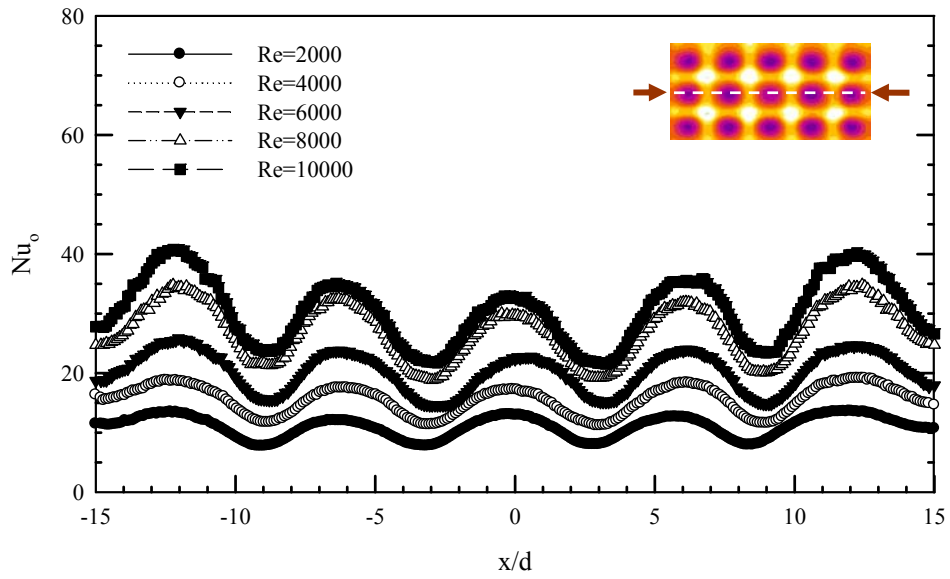
Şekil 5.9. Yerel Nusselt sayısının x-yönünde merkez jet eksenini boyunca H/d ile değişimi ($Re=10000$)

Dairesel jetlerin (EJI) Reynolds sayısının yerel Nusselt sayısına etkisi

Artan Reynolds sayısının bir sonucu olarak ısı transferinin ve Nusselt sayısının artacağı aşıkardır. Ancak artış eğiliminin ve şeklinin jet-plaka mesafesine bağlı olarak nasıl değiştiği önemlidir. Bu amaca yönelik olarak önce jet-plaka mesafesi sabit tutularak sabit bir ısı akısı için Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de görüldüğü gibi yerel Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimini gösteren grafik çizilmiştir. $H/d=2$ ve $H/d=12$ ’de yerel Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile artışı farklı eğimler göstermektedir. H/d mesafesinin artmasıyla Nusselt sayısı değişim aralıkları artmaktadır. Bu durum jetin potansiyel çekirdek dediğimiz kısmın yeterince gelişmeden çarpma plakasına çarpmasıyla açıklanabilir.



Şekil 5.10. Yerel Nusselt sayısının x-yönünde merkez jet eksenı boyunca Reynolds sayıları ile değışimi ($H/d=2$)



Şekil 5.11. Yerel Nusselt sayısının x-yönünde merkez jet eksenı boyunca Reynolds sayıları ile değışimi ($H/d=12$)

5.2. Jet Geometrisinin Isı Transferine Etkisinin Deneysel İncelenmesi

Çarpan akışkan jetleri kullanılarak elde edilen ısı transferi birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Çarpma plakası yüzeyinin pürüzlülüğünden jet içerisindeki türbülansa, jet-plaka mesafesinden jet çıkış geometrisine kadar birçok parametre sonuçlar üzerinde etkili olmaktadır. Bu bölümde yukarıda bahsedilen ısı transferi üzerinde etkili parametrelerden, jet çıkış geometrisinin ve en-boy oranının etkisi bütün jetler için aynı kütleli debide termal kamera ile yüzey sıcaklıkları ölçülerek değişik jet-plaka mesafeleri için incelenmiş ve sonuçlar sunulmuştur.

Farklı jet geometrileri ile yapılan çalışma sonucunda eliptik ve dikdörtgen kesitli jetlerin özellikle durma bölgesinde bir ısı transferi artırımı tekniği olarak kullanılabileceği ortaya çıkmış, jet-plaka mesafesinin etkisinin jet geometrisine bağlı olarak değiştiği ve yüksek en-boy oranına sahip jetlerin daha kısa potansiyel öz uzunluklarına sahip oldukları ısı transferi deneyleriyle de desteklenmiştir.

5.2.1. Problem tanımı

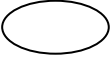
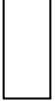
Deneysel olarak gerçekleştirilen çalışmada jet çıkış geometrisinin ve en-boy oranının etkisini belirlemek amacıyla dairesel, eliptik ve dikdörtgen kesitli jetler için 2000 ve 10000 Reynolds sayısında, jet-plaka mesafesi 2 ve 10 dairesel jet çapı için 6 farklı jet geometrisi için deneyler yapılmıştır. Dairesel jetin çapı 5 mm'dir ve EJ1 olarak adlandırılmıştır. Dairesel jetle aynı kesit alanına sahip büyük eksen-küçük eksen oranları sırasıyla 2 ve 0,5 olan iki adet eliptik jet için deneyler yapılmıştır. Bunlar EJ2 ve EJ05 olarak adlandırılmışlardır. Jetlerin eşdeğer çapı aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanmıştır.

$$d_e = 2(R_1 R_2)^{0.5} \quad (5.9)$$

Denklemde R_1 ve R_2 sırasıyla eliptik jetin büyük ve küçük ekseninin yarıçaplarını göstermektedir.

Bunlara ek olarak en-boy oranları 1, 2 ve 0,5 olan üç adet dikdörtgen kesitli jet için daha deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Bu jetlerin özelliği dairesel jetle aynı kesit alanına sahip olmalarıdır. Tabiki bu sebeple eşdeğer çapları dairesel jetin eşdeğer çapından farklıdır. Bu jetlerin isimlendirilmesi sırasıyla RJ1, RJ2, RJ05 olarak yapılmıştır. Bu kadar farklı geometrilerin birbiriyle karşılaştırılmaları aynı kütleli debi kullanılarak yapılmıştır. İncelenen geometriler ve bunlar için kullanılan semboller aşağıdaki Çizelge 5.2’de gösterilmiştir. Çalışma bütün jet geometrileri için aynı kütleli debiler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.2. Jet geometrileri ve boyutları

İSİM	GEOMETRİ	ALAN (mm ²)	KISA EKSEN (mm)	UZUN EKSEN (mm)	EN-BOY ORANI	d _e (mm)
EJ1		19,63	5	5	1	5
EJ2		19,63	3,54	7,08	2	5
EJ05		19,63	7,08	3,54	0,5	5
RJ1		19,63	4,43	4,43	1	4,43
RJ2		19,63	3,13	6,27	2	4,17
RJ05		19,63	6,27	3,13	0,5	4,17

5.2.2. Veri analizi

Jet çıkış geometrisinin yerel ve ortalama ısı transferine etkilerini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada sıcaklık ölçümleri termal kamera ile elde edilmiştir. Elde edilen görüntüler Matlab ile işlenerek plaka üzerindeki yerel Nusselt sayıları elde edilmiştir. İlgili bölümde verilen akışkana taşınım ile verilen ısı transferi, enerji dengesi kurularak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

5.2.3. Deneysel sonuçlar

Bu bölümde 6 farklı jet geometrisi için (EJ1, EJ2, EJ05, RJ1, RJ2, RJ05), $Re=2000$ ve $Re=10000$ ve 2 farklı jet-plaka mesafesi (2 ve 10 dairesel jet çapı) için yapılan çözümler sunulmuştur.

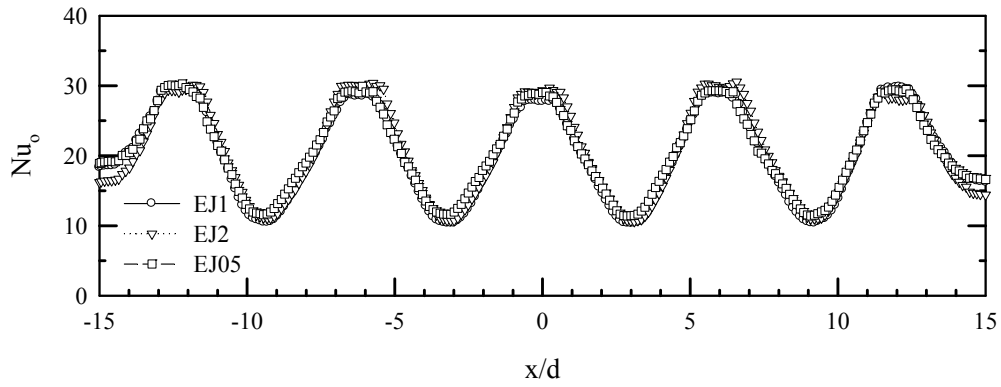
Jet geometrisinin en-boy oranının yerel ısı transferine etkisi

Aynı kütleli debiler için, jet geometrisinin en boy oranının değiştirilmesiyle ısı transferi özellikleri değişmektedir. Bu değişim eliptik ve dikdörtgen kesitli jetlerde farklılık göstermektedir. Aşağıda eliptik ve dikdörtgen kesitli jetler için en-boy oranının etkisini gösteren grafikler sunulmuştur.

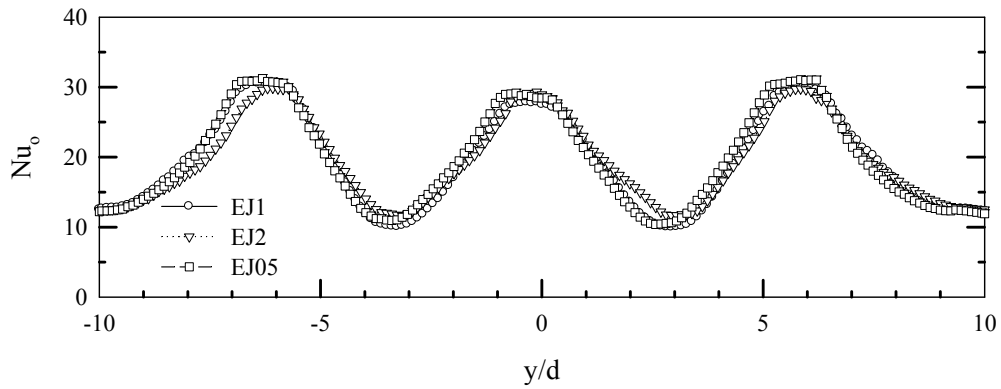
EJ1, EJ2, EJ05 eliptik jetlerin en boy oranının yerel ısı transferine etkisi

Jet-plaka mesafesinin $H/d=2$ ve 10 olduğu ve $Re=2000$ ve $Re=10000$ için EJ1, EJ2 ve EJ05 jetlerinin merkez jet eksenini boyunca uzun ve kısa eksenler boyunca yerel Nusselt sayısı değişimleri Şekil 5.12-Şekil 5.19'da verilmiştir. Tüm şekillerden görüldüğü gibi x ve y yönlerinde mesafe boyutlaştırması yapılmış, x/d ve y/d ile ifade edilmiştir. Şekil 5.12-Şekil 5.19'da görüldüğü gibi x yönünde $x/d= -12, -6, 0, 6$ ve 12 noktaları ile y yönünde $y/d= -6, 0$ ve 6 noktaları jetin durma bölgelerini göstermektedir.

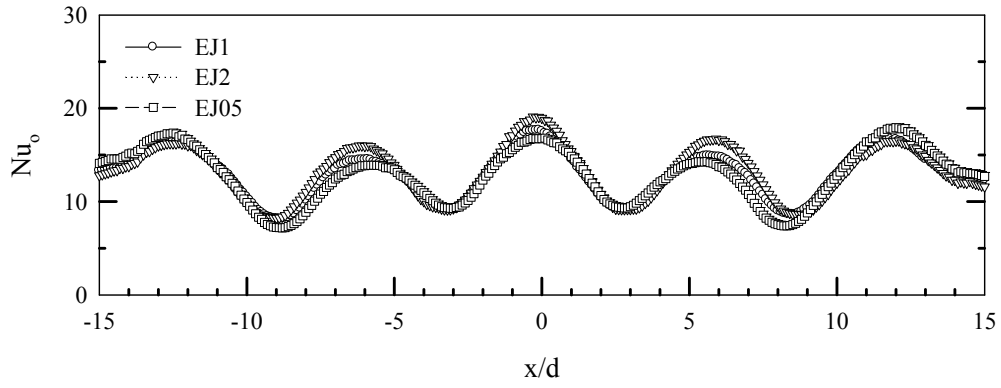
Tüm şekillerde görüldüğü gibi $H/d=10$ değerinde EJ2 jetinde durma bölgesi civarında elde edilen ısı transferi EJ1 ve EJ05 isimli jetlerden daha yüksektir. Duvar jeti bölgesinde uzun eksen yönünde en-boy oranının artışı ısı transferini az da olsa olumsuz etkilemektedir. Tüm jet-plaka mesafelerinde en yüksek ısı transferi en-boy oranı 2 olan EJ2 eliptik jetiyle elde edilmiştir. Boyutsuz y ve boyutsuz x eksenini boyunca ısı transferinde boyutsuz y eksenini boyunca görülen değişim x 'e göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni y yönünde potansiyel öz uzunluğun daha büyük olmasındandır.



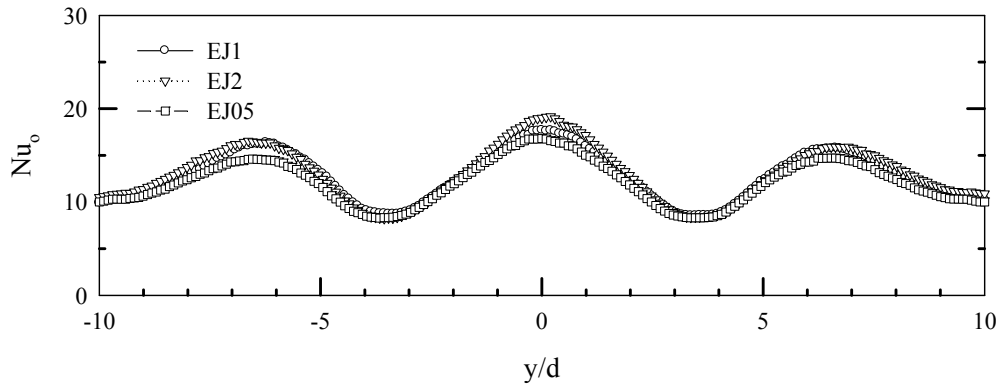
Şekil 5.12. Yerel Nusselt sayısının x yönünde değişimi (EJ, $Re=2000$, $H/d=2$)



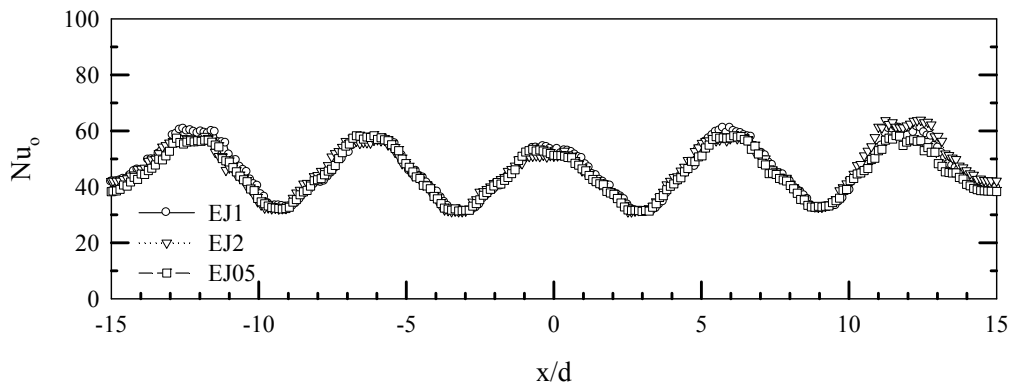
Şekil 5.13. Yerel Nusselt sayısının y yönünde değişimi (EJ, $Re=2000$, $H/d=2$)



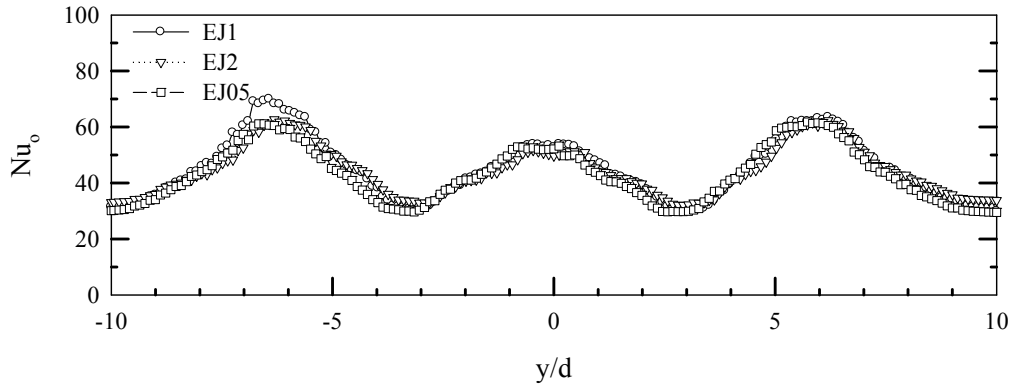
Şekil 5.14. Yerel Nusselt sayısının x yönünde değişimi (EJ, $Re=2000$, $H/d=10$)



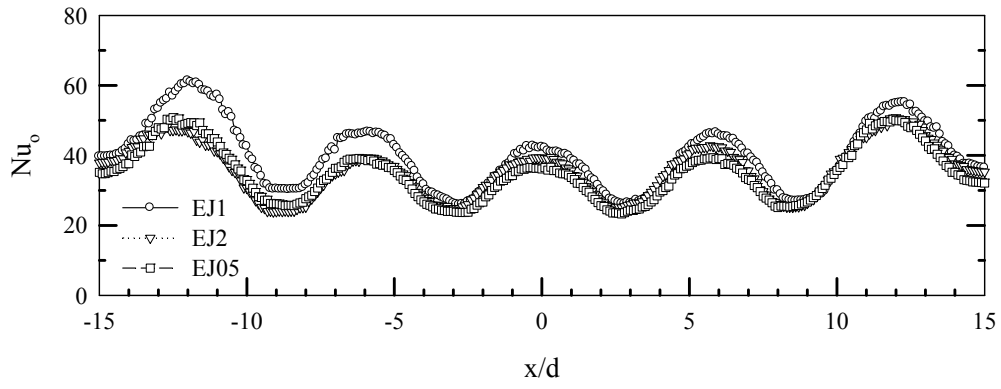
Şekil 5.15. Yerel Nusselt sayısının y yönünde değişimi (EJ, $Re=2000$, $H/d=10$)



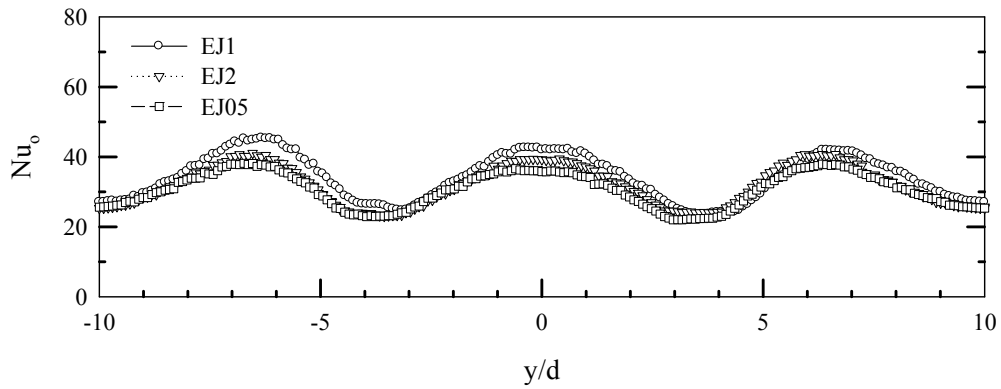
Şekil 5.16. Yerel Nusselt sayısının x yönünde değişimi (EJ, $Re=10000$, $H/d=2$)



Şekil 5.17. Yerel Nusselt sayısının y yönünde değişimi (EJ, $Re=10000$, $H/d=2$)



Şekil 5.18. Yerel Nusselt sayısının x yönünde değişimi (EJ, $Re=10000$, $H/d=10$)

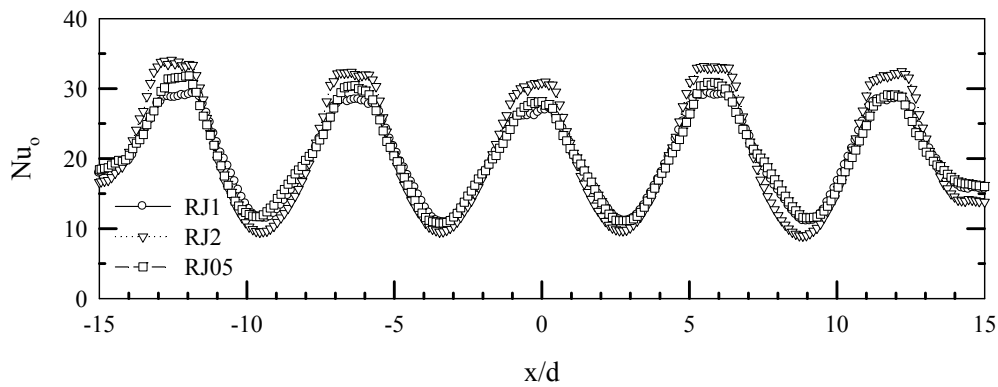


Şekil 5.19. Yerel Nusselt sayısının y yönünde değişimi (EJ, $Re=10000$, $H/d=10$)

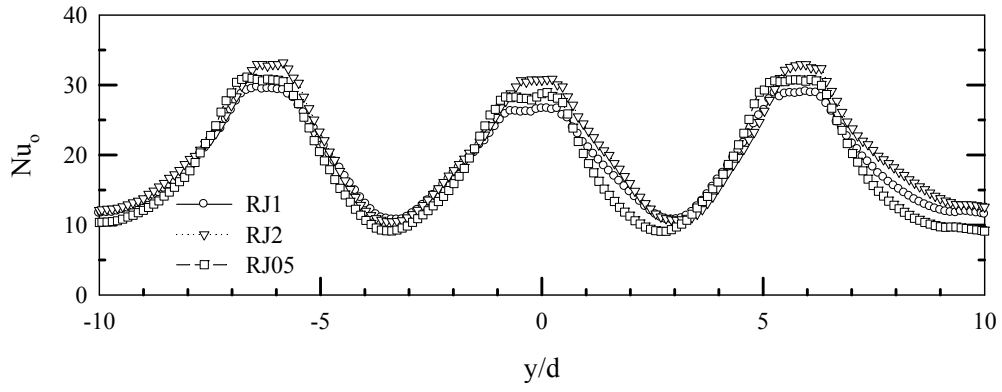
RJ1, RJ2, RJ05 dikdörtgen kesitli jetlerin en boy oranının yerel ısı transferine etkisi

Jet-plaka mesafesinin $H/d=2$ ve 10 olduğu ve $Re=2000$ ve $Re=10000$ için RJ1, RJ2 ve RJ05 jetlerinin merkez jet eksenı boyunca uzun ve kısa eksenler boyunca yerel Nusselt sayısı değişimleri Şekil 5.20-Şekil 5.27’de verilmiştir. Düşük jet-plaka mesafelerinde eliptik jetlerde uzun ve kısa eksen yönünde dikkate değer bir değişim olmazken dikdörtgen kesitli jetlerde RJ2 jetiyle diğer jetler arasında özellikle durma bölgesinde fark olduğu görülmektedir. Köseoğlu ve Baskaya tarafından yapılan çalışmada dikdörtgen kesitli jetlerin durma bölgesinde eliptik jetlere göre daha yüksek ısı transferi sağladıkları yaptıkları deneysel ve sayısal çalışmalarda görülmüştür [85]. Benzer şekilde Köseoğlu tarafından yapılan doktora tezinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir [86]. Gulati ve diğerleri, jet geometrisinin ısı transferine etkisini deneysel olarak araştırmışlardır [87]. Çalışmalarında dikdörtgen kesitli jet geometrilerin dairesel ve kare kesitli jetlere göre durma bölgesinde yüksek ısı transferi sağladıkları görülmüştür.

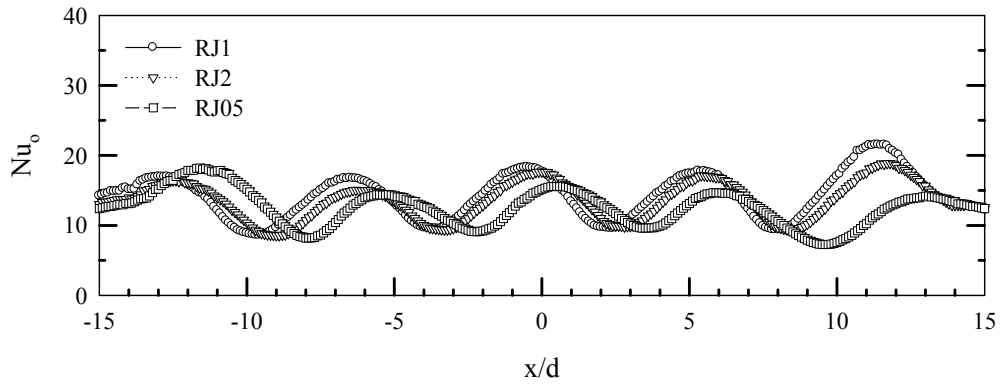
Tüm şekillerden görüldüğü gibi RJ2 jetinde durma bölgesi civarında elde edilen ısı transferi RJ1 ve RJ05 isimli jetlerden daha yüksektir. Tüm jet-plaka mesafelerinde en yüksek ısı transferi en-boy oranı 2 olan EJ2 eliptik jetiyle elde edilmiştir. Dairesel jetlerde elde edildiği gibi boyutsuz y ve boyutsuz x eksenı boyunca ısı transferinde boyutsuz y eksenı boyunca görülen değişim x ’e göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



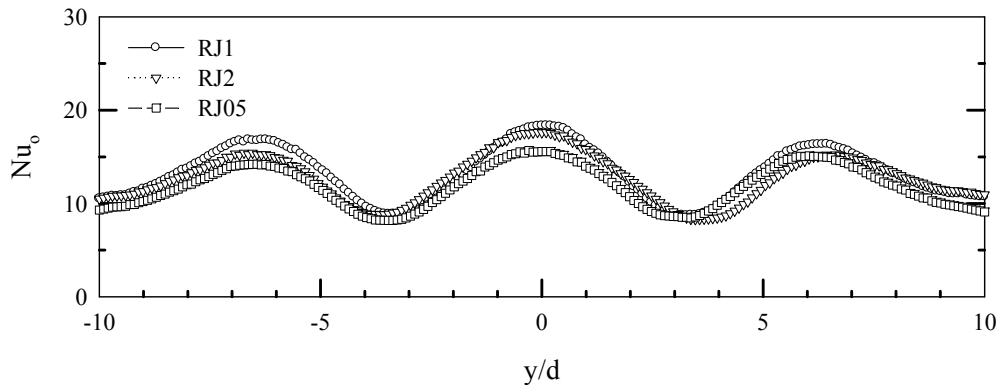
Şekil 5.20. Yerel Nusselt sayısının x yönünde değişimi (RJ, $Re=2000$, $H/d=2$)



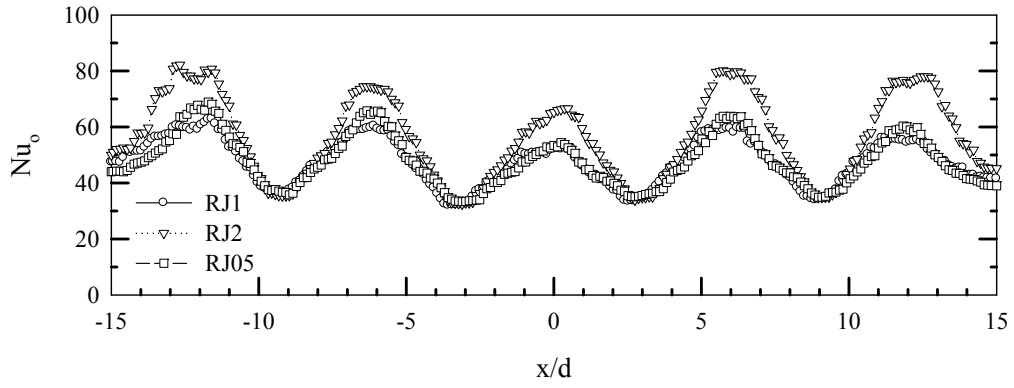
Şekil 5.21. Yerel Nusselt sayısının y yönünde değişimi (RJ, $Re=2000$, $H/d=2$)



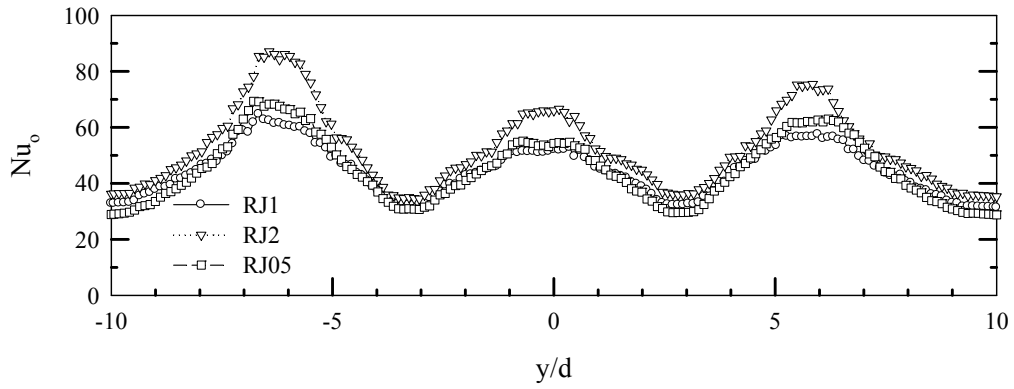
Şekil 5.22. Yerel Nusselt sayısının x yönünde değişimi (RJ, $Re=2000$, $H/d=10$)



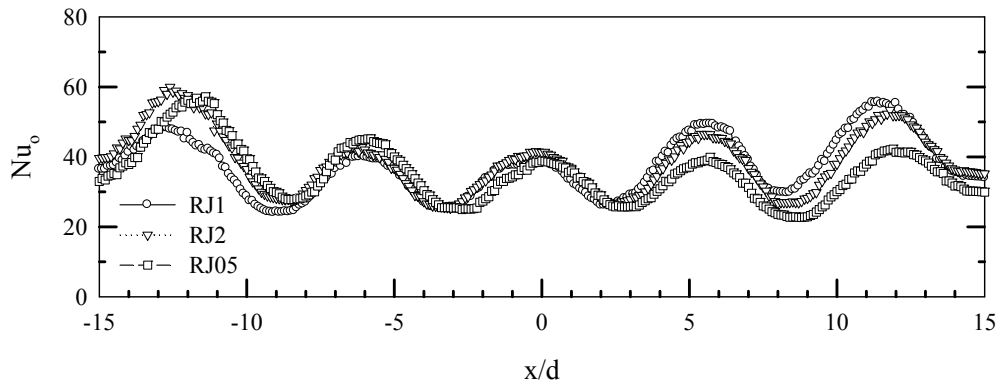
Şekil 5.23. Yerel Nusselt sayısının x yönünde değişimi (RJ, $Re=2000$, $H/d=10$)



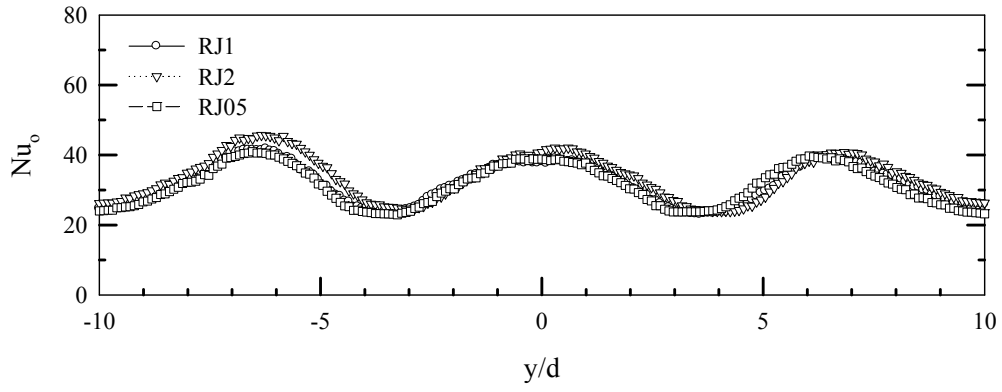
Şekil 5.24. Yerel Nusselt sayısının x yönünde değişimi (RJ, $Re=10000$, $H/d=2$)



Şekil 5.25. Yerel Nusselt sayısının y yönünde değişimi (RJ, $Re=10000$, $H/d=2$)



Şekil 5.26. Yerel Nusselt sayısının x yönünde değişimi (RJ, $Re=10000$, $H/d=10$)

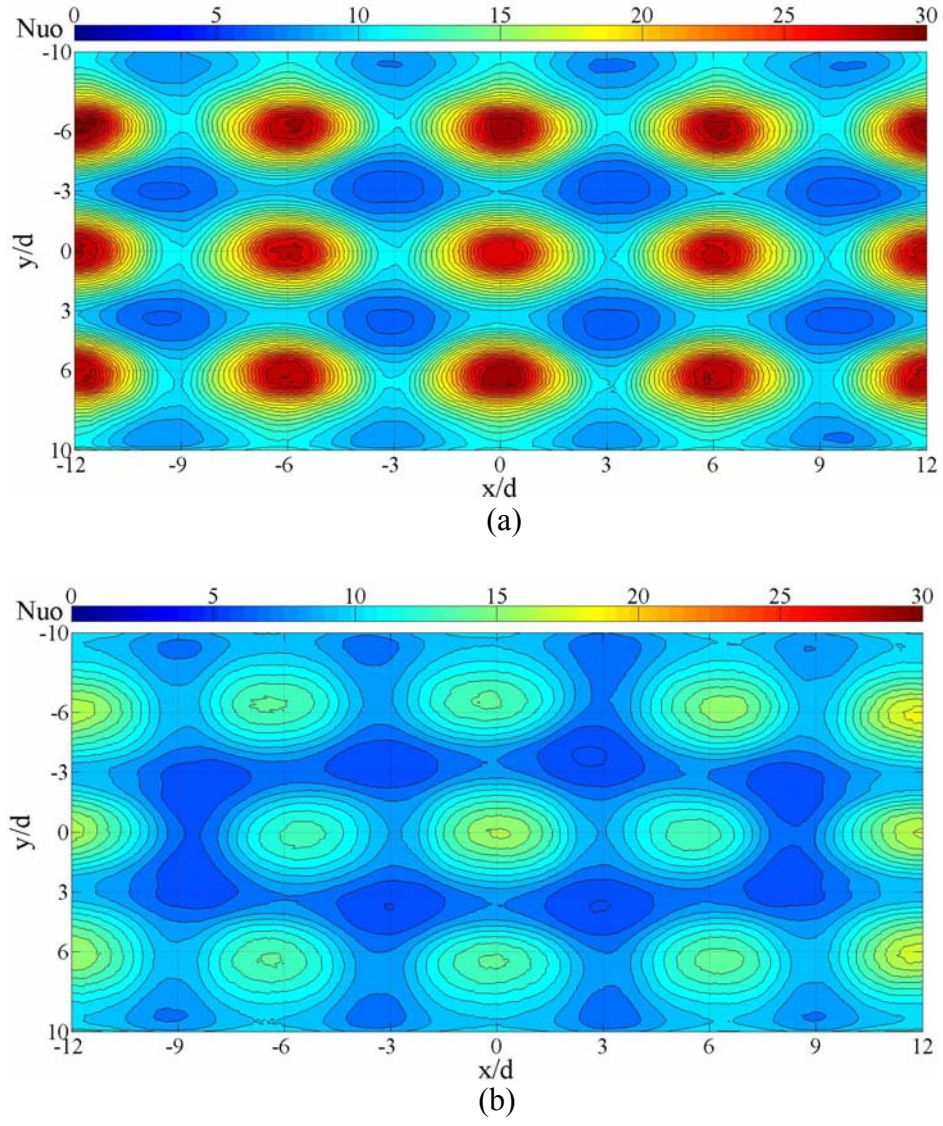


Şekil 5.27. Yerel Nusselt sayısının y yönünde değişimi (RJ, $Re=10000$, $H/d=10$)

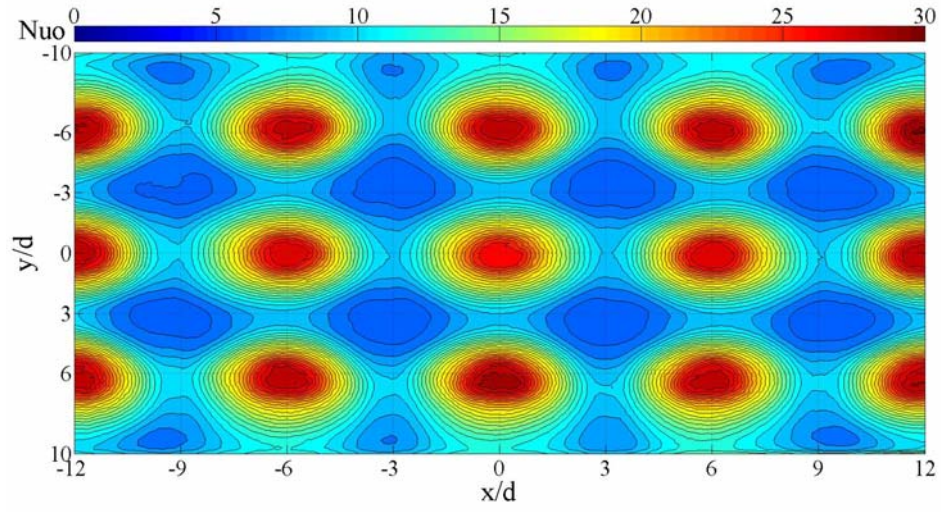
Jet geometrisinin yerel ısı transferine etkisi

Aynı kütleli debiler için, jet geometrisinin en-boy oranının değiştirilmesiyle ısı transferi özellikleri çarpma plakasının değişik noktalarında farklı bir şekilde değişmektedir. Bu değişim eliptik ve dikdörtgen kesitli jetlerde farklılık göstermektedir. Jet-plaka mesafesinin $H/d=2$ ve 10 olduğu ve $Re=2000$ ve $Re=10000$ için EJ1, EJ2, EJ05, RJ1, RJ2 ve RJ05 jetleriyle çarpma plakası üzerindeki yerel Nusselt sayısı değişimleri Şekil 5.28-Şekil 5.39’da verilmiştir. Tüm şekillerde termal kameradan elde edilen sıcaklık verileri MATLAB-R2008 programında işlenerek çarpma plakası üzerindeki yerel Nusselt sayısı değişimleri hesaplanmıştır. Tüm şekillerde x ve y eksenleri jet eşdeğer çaplarına bölünerek boyutsuzlaştırılmıştır.

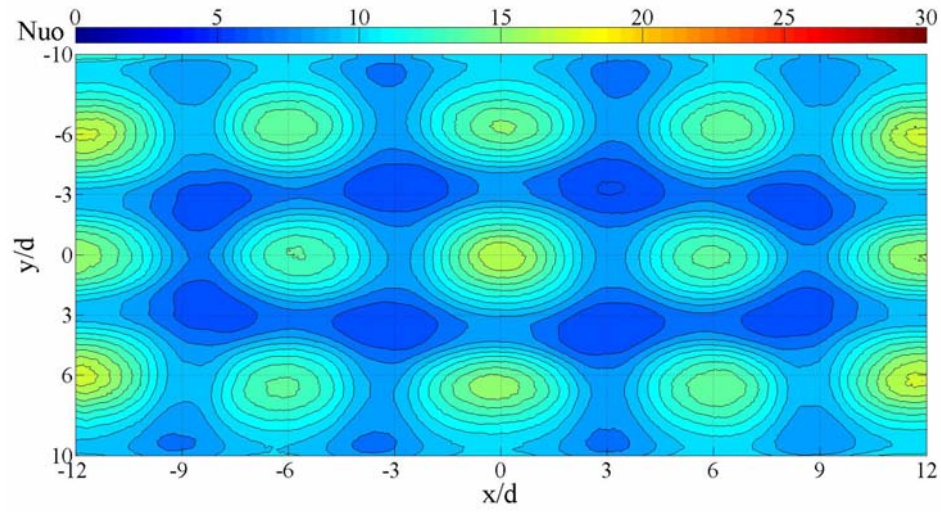
Tüm şekillerden görüldüğü gibi jet-plaka mesafesinin artmasıyla jetin durma bölgesi ve etrafındaki bölgelerde ısı transferinin azaldığı ve bu bölgelerde ikincil akış hareketlerinin azaldığı görülmektedir. Benzer şekilde Reynolds sayısının artmasıyla da tüm bölgelerde ısı transferinin arttığı görülmüştür. Burada özellikle dikdörtgen kesitli jetlerin eliptik kesitli jetlere göre özellikle durma bölgesinde daha yüksek ısı transferi elde edildiği görülmüştür. Bu durum yüksek en-boy oranına sahip jetlerin daha kısa potansiyel öz uzunluklarına sahip oldukları ısı transferi deneyleriyle de desteklenmiştir.



Şekil 5.28. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=2000$, EJ05)

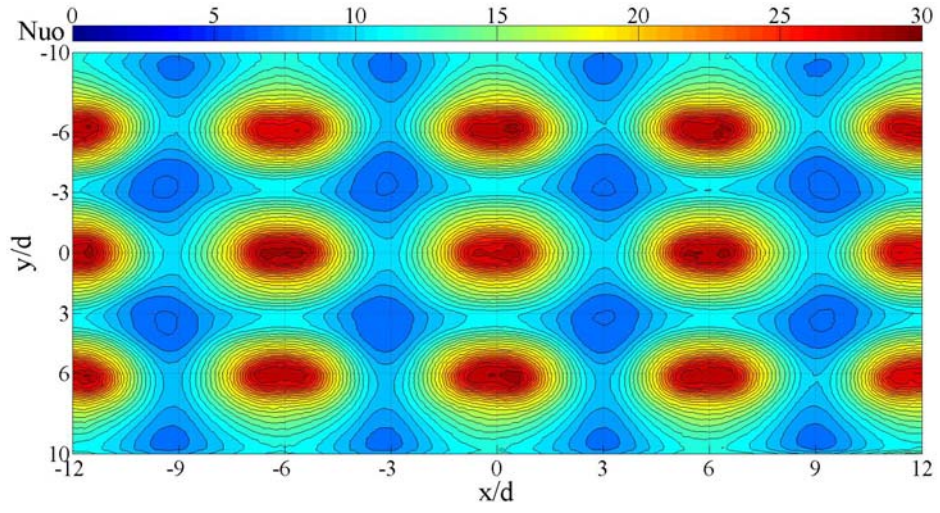


(a)

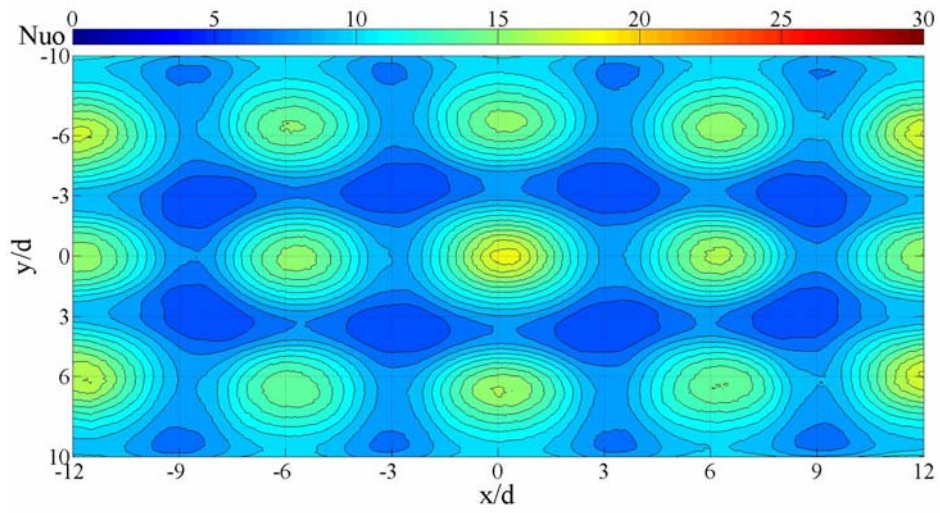


(b)

Şekil 5.29. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=2000$, EJ1)

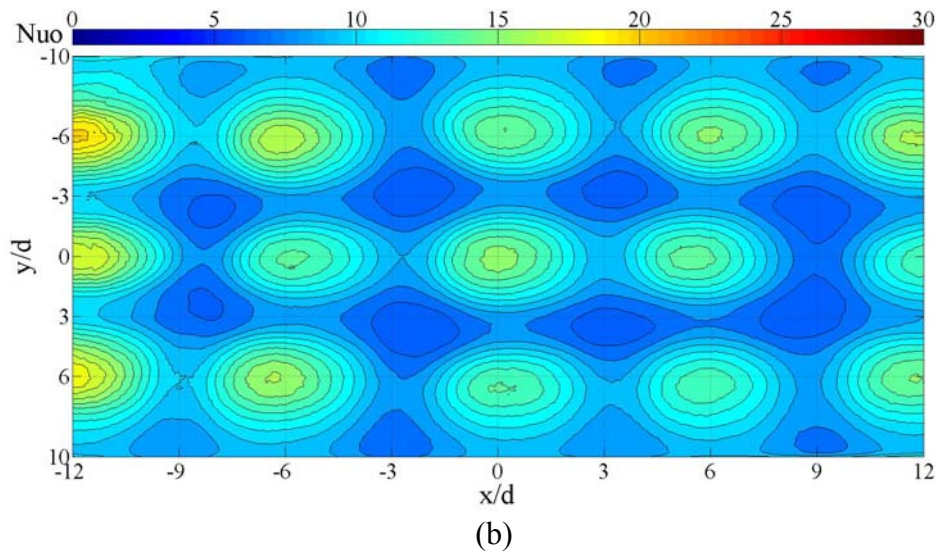
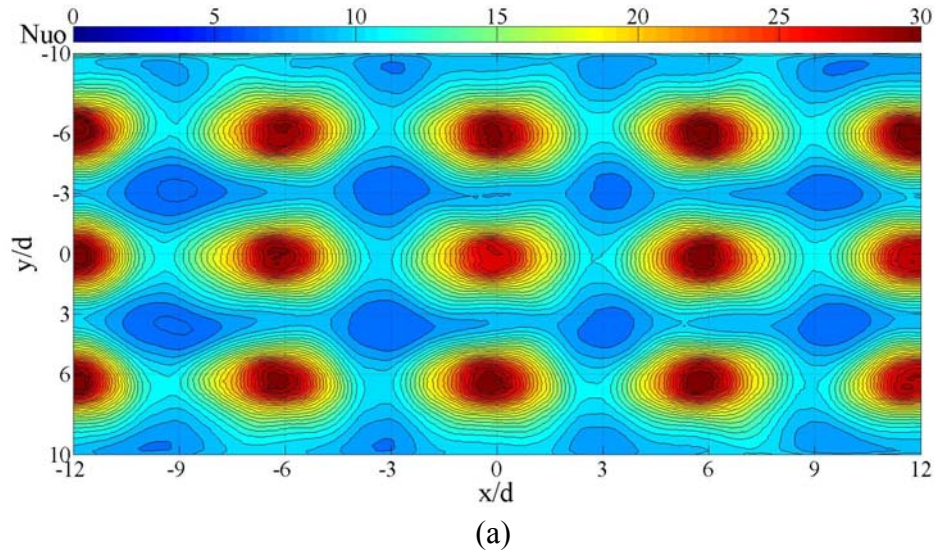


(a)

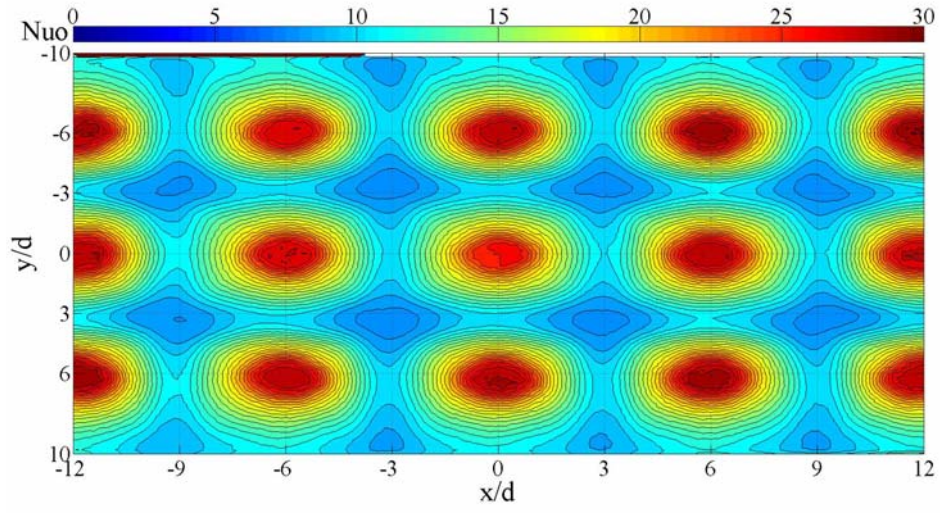


(b)

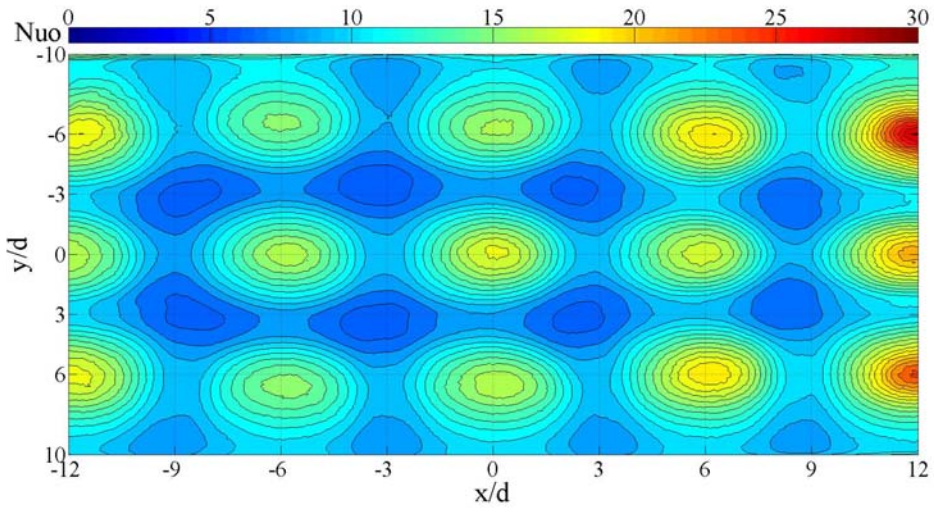
Şekil 5.30. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=2000$, EJ2)



Şekil 5.31. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=2000$, RJ05)

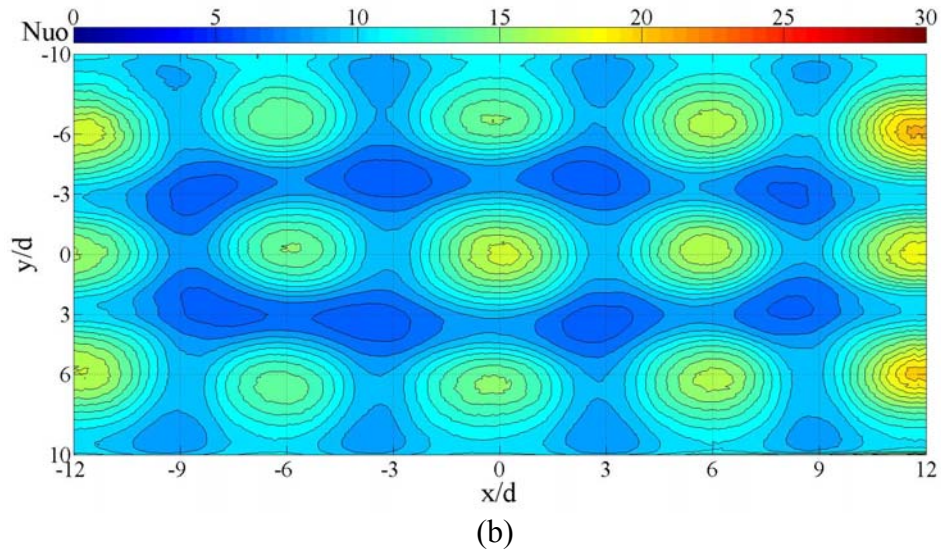
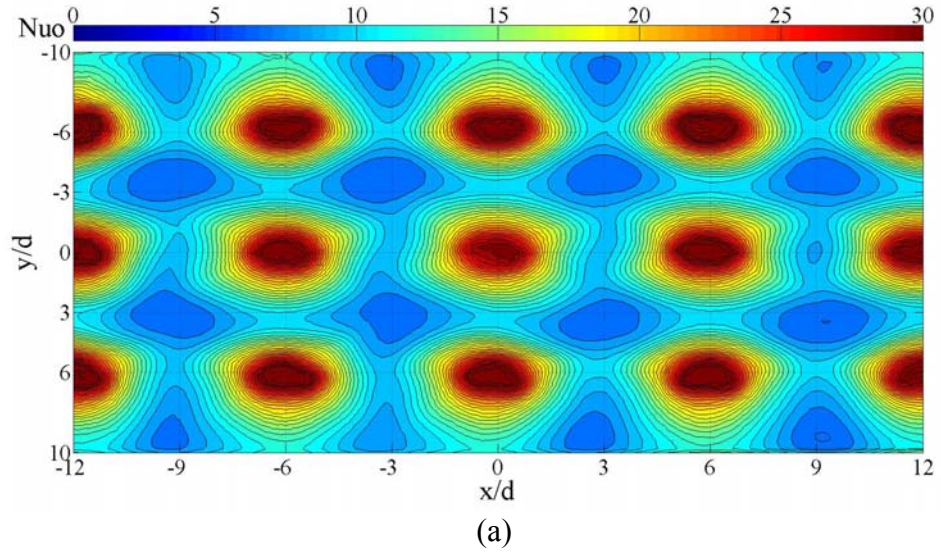


(a)

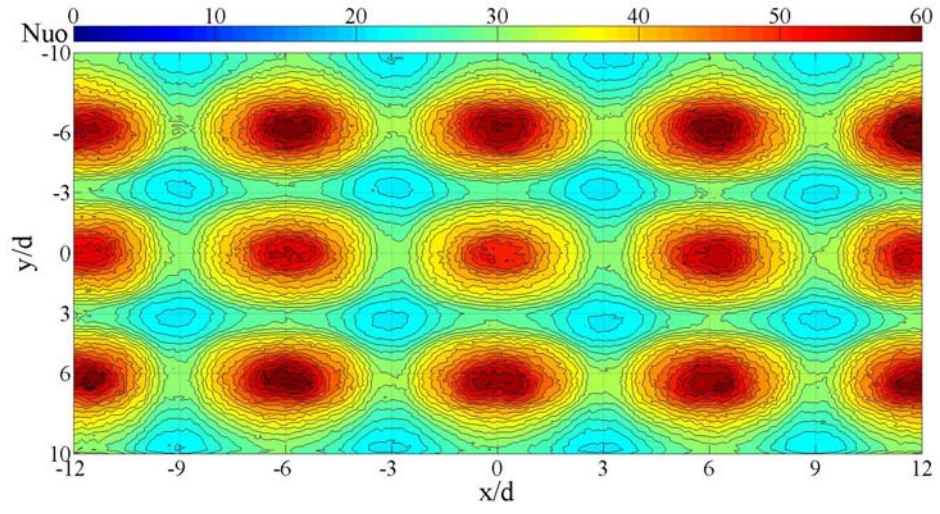


(b)

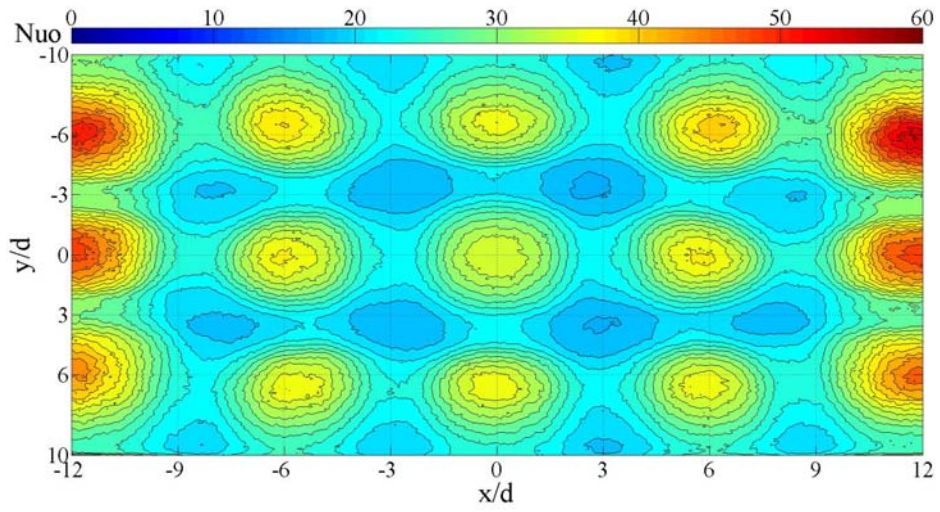
Şekil 5.32. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=2000$, RJ1)



Şekil 5.33. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=2000$, RJ2)

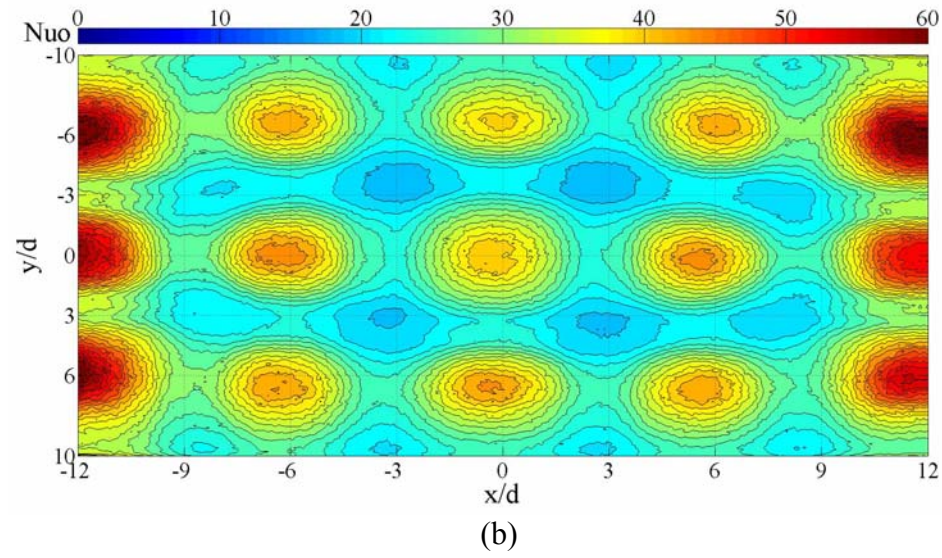
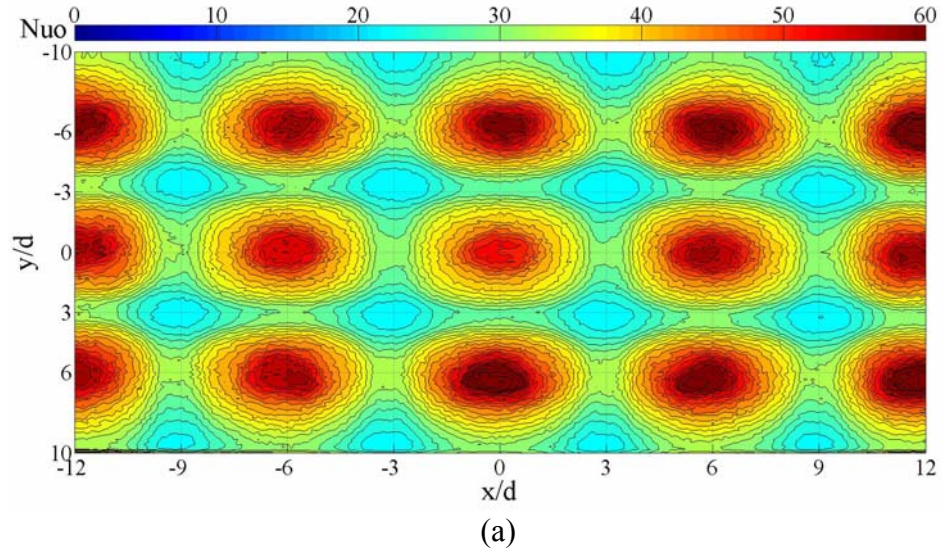


(a)

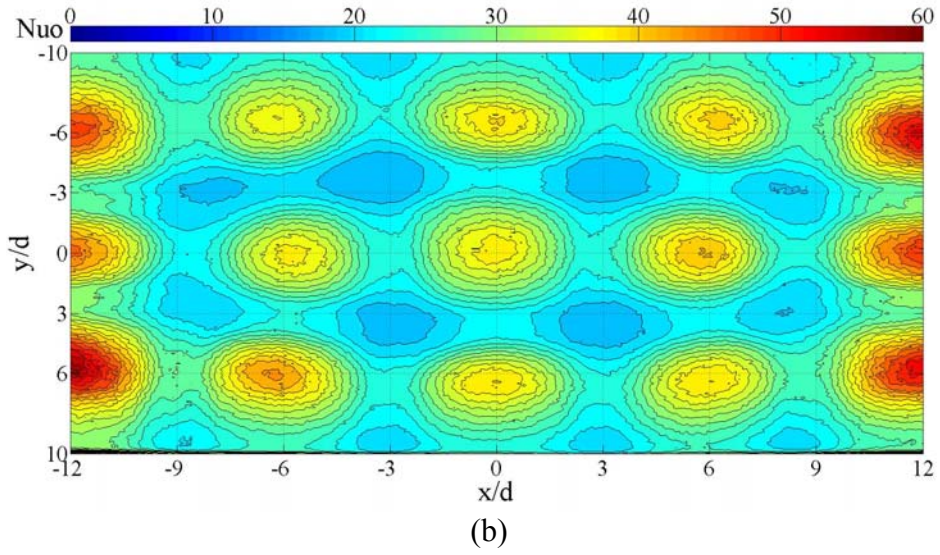
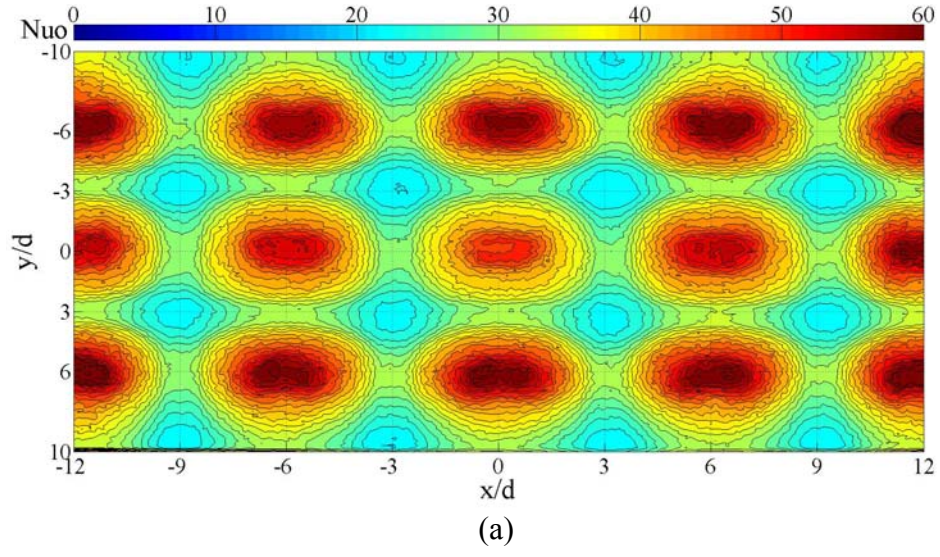


(b)

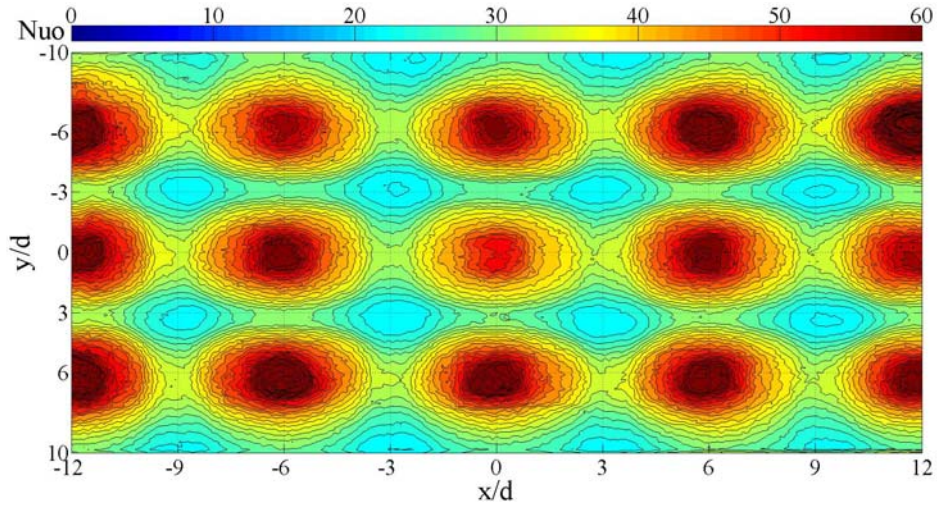
Şekil 5.34. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=10000$, EJ05)



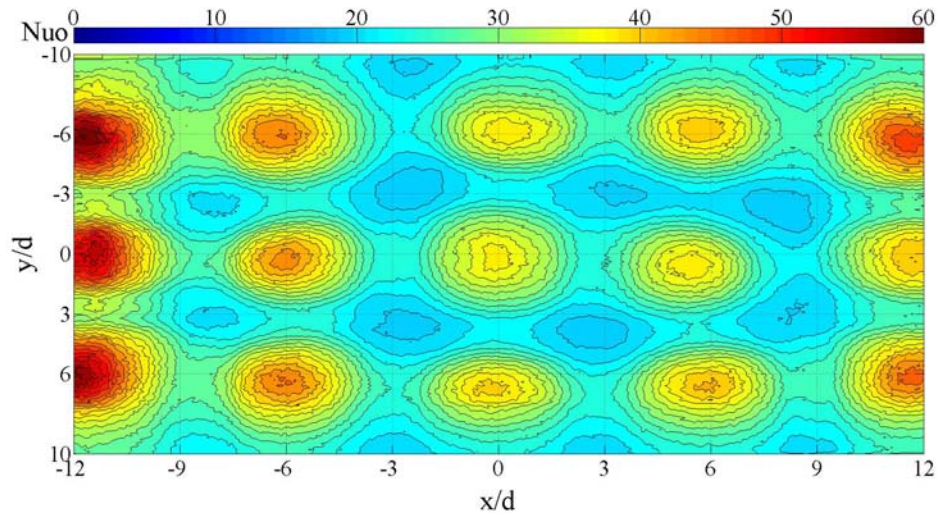
Şekil 5.35. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=10000$, EJ1)



Şekil 5.36. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=10000$, EJ2)

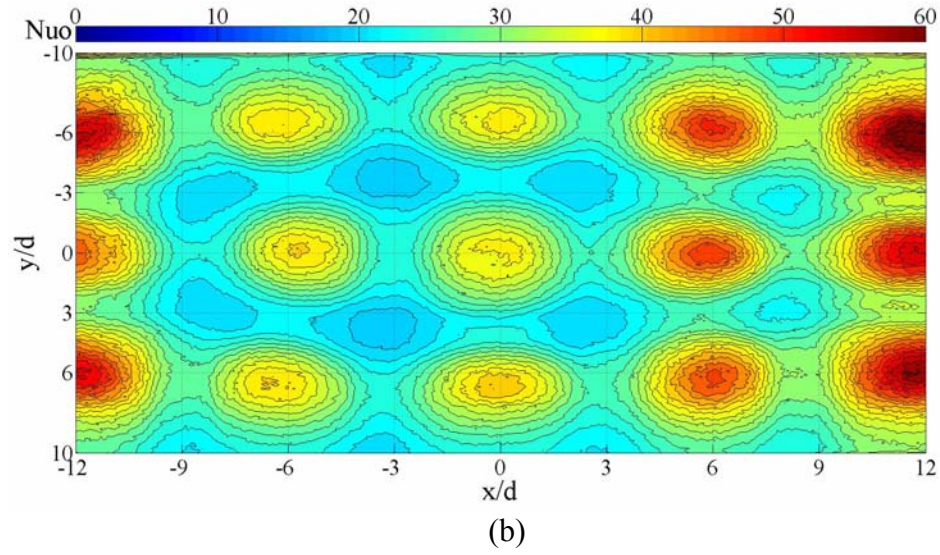
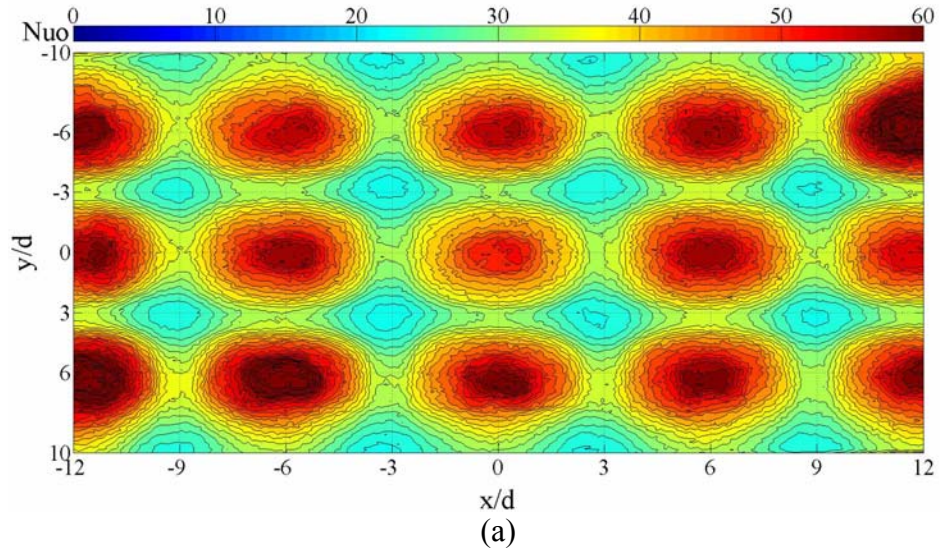


(a)

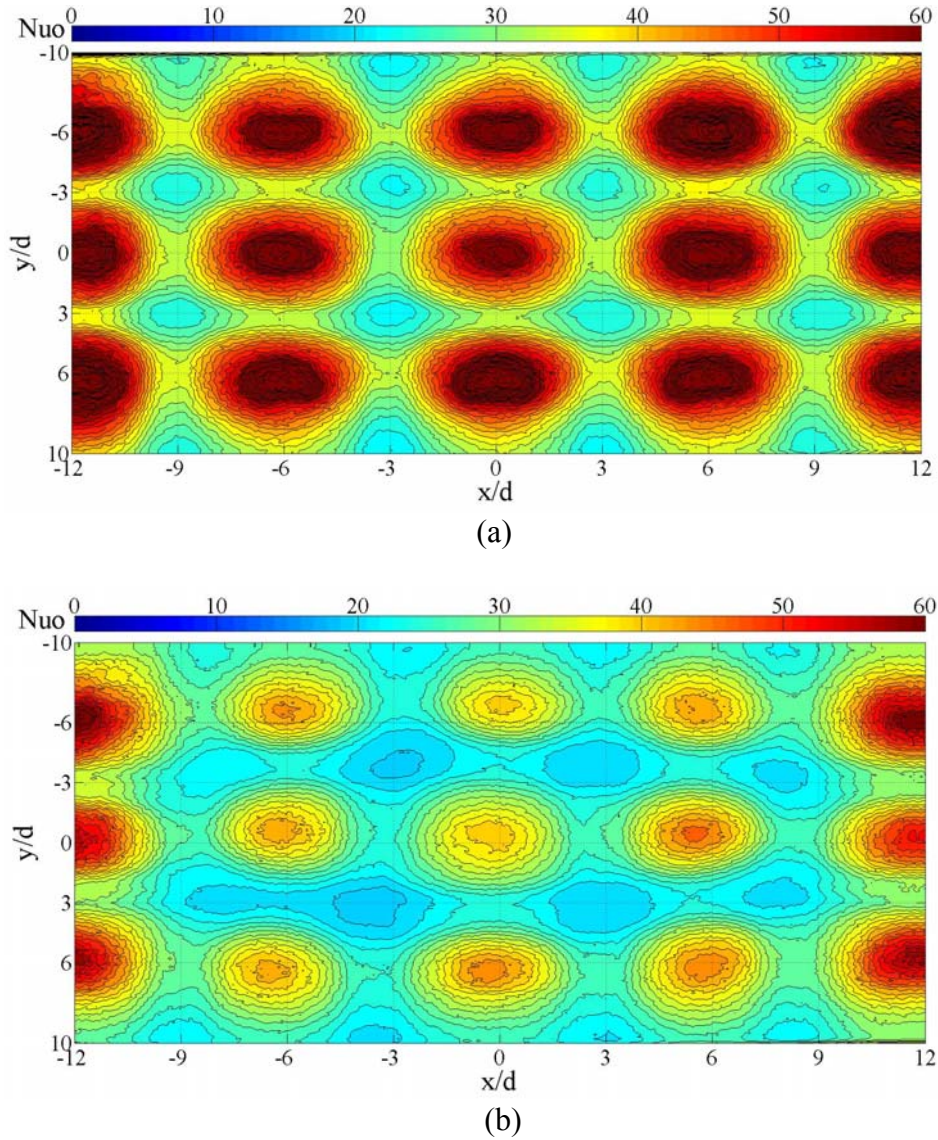


(b)

Şekil 5.37. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=10000$, RJ05)



Şekil 5.38. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=10000$, RJ1)

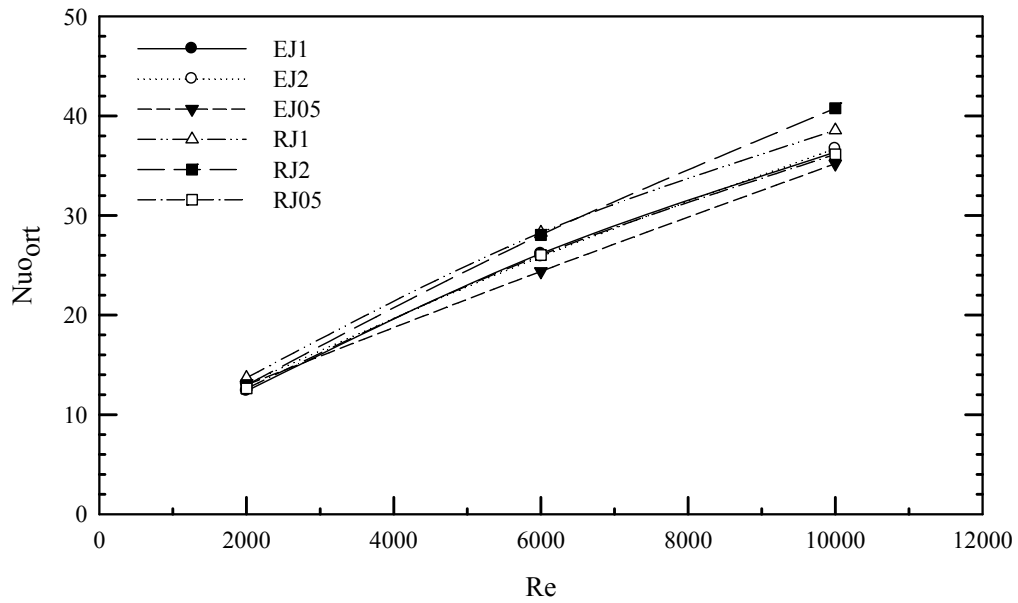


Şekil 5.39. Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) $H/d=2$, (b) $H/d=10$ ($Re=10000$, RJ2)

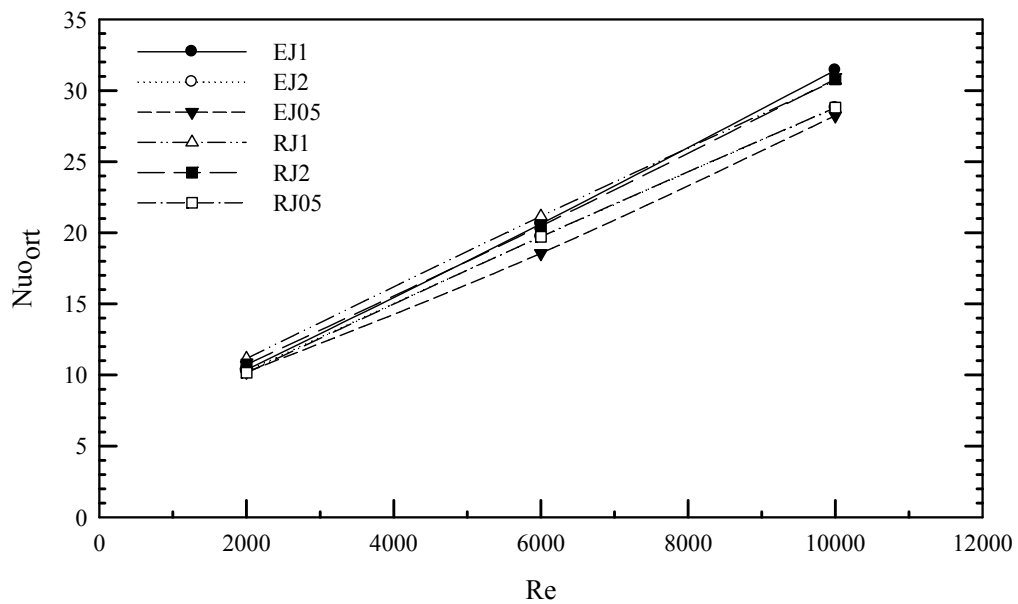
Jet geometrisinin ortalama ısı transferine etkisi

Jet-plaka mesafesinin $H/d=2$ ve 10 olduğu ve $Re=2000$ ve $Re=10000$ için EJ1, EJ2, EJ05, RJ1, RJ2 ve RJ05 jetlerinin ortalama Nusselt sayısı değişimleri Şekil 5.40-Şekil 5.43’de verilmiştir. Reynolds sayısının artmasıyla eliptik geometriye sahip jetlerle dikdörtgen kesitli jetler arasındaki değişim artmaktadır. Aynı şekilde jet-plaka mesafesinin artmasıyla eliptik-dikdörtgen kesitli jetler arasındaki ortalama Nusselt sayısı değişim azaldığı görülmektedir.

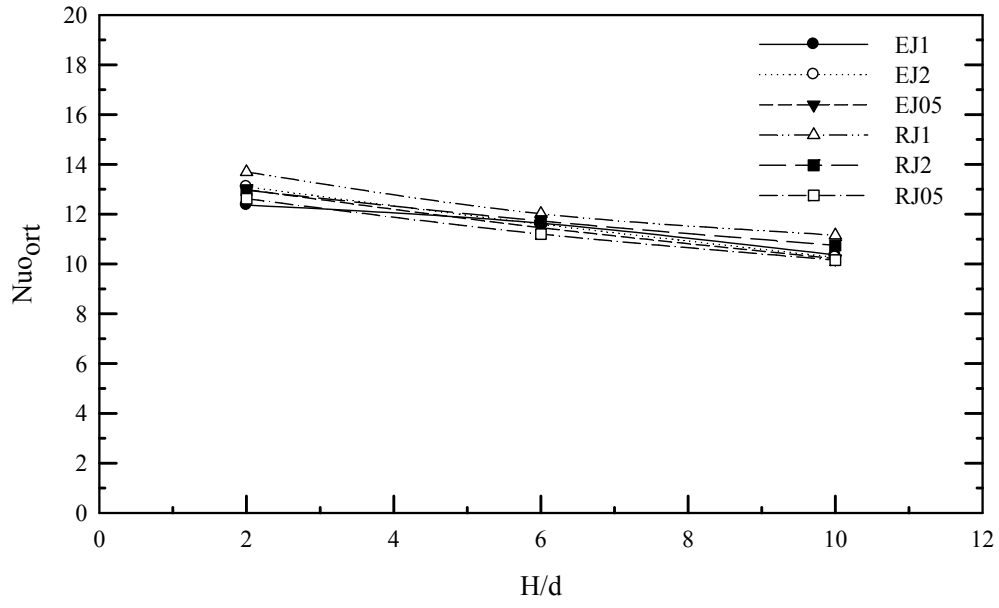
Çarpma plakası üzerinde en yüksek ortalama Nusselt sayısı $Re=10000$ ve $H/d=2$ olduğu durumda RJ2 isimli jette elde edilmesine karşın en düşük ortalama Nusselt sayısı $Re=2000$ ve $H/d=10$ olduğu durumda RJ05 isimli jette elde edilmiştir. RJ2 jetinden elde edilen ortalama Nusselt sayısı ve EJ05 jetindekinden %13,7 daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum RJ2 geometriye sahip jetlerin ısı transferi artırımı için diğer jetlerden daha iyi bir artırım sağladığı görülmektedir.



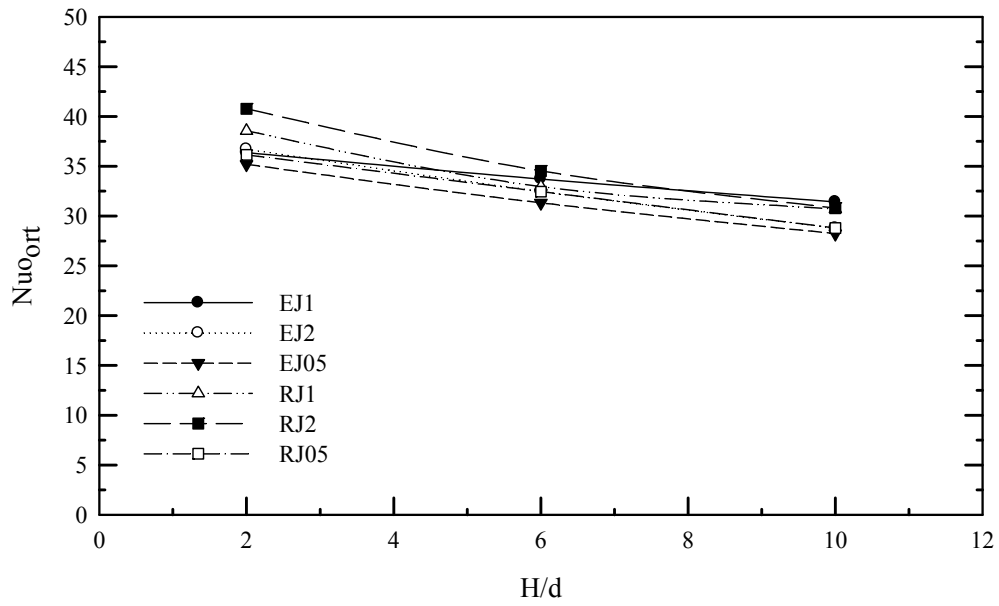
Şekil 5.40. Farklı en-boy oranlarında ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($H/d=2$)



Şekil 5.41. Farklı en-boy oranlarında ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($H/d=10$)



Şekil 5.42. Farklı en-boy oranlarında ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi ($Re=2000$)



Şekil 5.43. Farklı en-boy oranlarında ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi ($Re=10000$)

5.3. Kanatçıklı Yüzeylerde Isı Transferinin Deneysel İncelenmesi

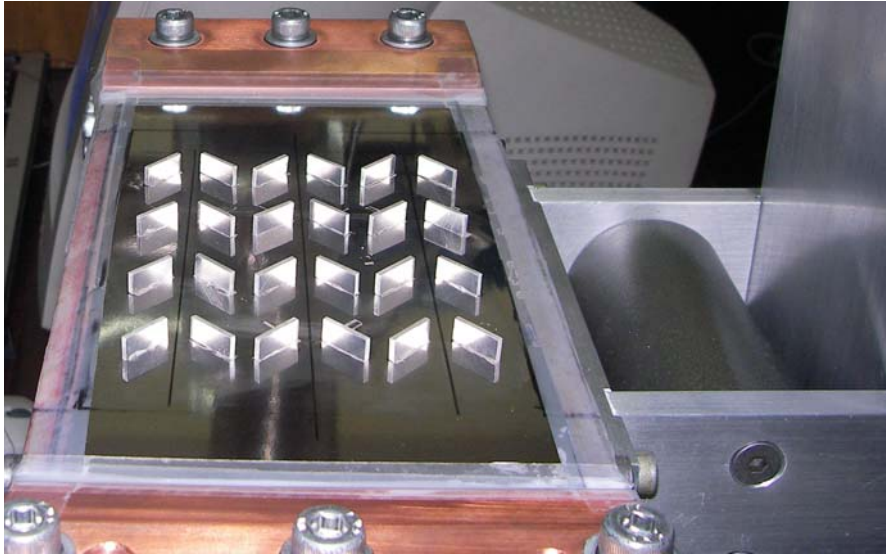
Çarpan akışkan jetleri kullanılarak elde edilen ısı transferi birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Çarpma plakası yüzeyinin pürüzlülüğünden jet içerisindeki türbülansa, jet-plaka mesafesinden jet çıkış geometrisine kadar birçok parametre sonuçlar üzerinde etkili olmaktadır. Bu bölümde yukarıda bahsedilen ısı transferi üzerinde etkili parametrelerden, çarpma plakası üzerine V-biçimli kanatçık (V-BK) ile daralan-genişleyen biçimli kanatçıklar (DG-BK) farklı yüksekliklerde, değişik kütleli debide termal kamera ile yüzey sıcaklıkları ölçülerek değişik jet-plaka mesafeleri için incelenmiş ve sonuçlar sunulmuştur.

Farklı çarpma plakası ile yapılan çalışma sonucunda V-BK'ların DG-BK'lara göre daha iyi bir ısı transferi sağladığı ve bunun yanı sıra düz plakalara göre V-BK'ların aynı şartlarda maksimum %26,6 ısı transferini artırdığı görülmüştür.

5.3.1. Problem tanımı

Bu çalışma, (5x3) sıralı dairesel jetlerin ve Reynolds sayılarının 2000, 6000 ve 10000 değerleri için boyutsuz jet-plaka mesafelerinin 2, 6 ve 12 değerlerinde sabit bir ısı akısı, kanatçık yüksekliğinin-jet çapına oranı (e/d) 0,6, 0,8, 1 ve 1,2 dairesel jetlerin (EJ1) farklı kanat yüksekliklerinde düz ve kanatçıklı yüzeyler üzerinde ısı transfer değişimleri incelenmiştir. Çalışmalarda V şeklindeki kanatçıklar (V-BK) ve daralan-genişleyen kanatçık (DG-BK) olarak kısaltılmıştır. Çalışmamızda kullanılan kanatçıklar alüminyum malzemeden seçilmiştir. Kanatçıkların alüminyum olarak seçilmesinin sebebi yüksek ısı iletim katsayılarına sahip olmaları, hafif olmaları ve ucuz olmasından dolayıdır. Kullanılan alüminyum kanatçıkların uzunlukları 13mm kalınlıkları 1mm ve yükseklikleri 3, 4, 5 ve 6mm olacak şekilde lazerle kesme yöntemiyle elde edilmiştir. Yapılan bu kanatçıkların paslanmaz çelik folyo üzerinde ısıyı çok iyi bir şekilde paslanmaz çelik folyodan kanatçığa iletilmesi ve aynı zamanda folyo üzerindeki elektriğin kanatçık malzemesine geçmemesini engellemek için kanatçıklar Part-A ve Part-B şeklinde iki bileşenli arctic-silver kullanılarak paslanmaz çelik folyo yüzeyine düzgün bir şekilde yapıştırılmıştır. Arctic-silver

malzemesinin en önemli özelliği yapıştığı bölgede ısı direnç oluşturmamasıdır. (ısı direnç $\leq 0,0045^{\circ}\text{C in}^2/\text{Watt}$). Her bir kanatçık yüksekliği ve her bir kanatçık tipi için ayrı bir folyo kullanılarak deneyler yapılmıştır. Kanatçıkları yapıştırmak için kullanılan artic-silver elektriği iletmediği için sisteme verilen voltaj ve buna bağlı olarak ısı akısında düz plakalarda yapılan deneylerle karşılaştırmak için kanatçıkların eklenmesiyle sistem üzerinde herhangi bir ısı akısında düşme olmamıştır. V-BK kanatçıkların paslanmaz çelik folyo üzerindeki görüntüsü Resim 5.1’de verilmiştir.



Resim 5.1. V-BK kanatçıkların paslanmaz çelik folyo üzerindeki dizilişleri

5.3.2. Veri analizi

Ortalama ve yerel Nusselt sayısının hesaplanmasında ısı transfer alanı önemli bir yer tutmaktadır. Rallabandi ve diğerleri tarafından yapılmış olan çalışmada ortalama Nusselt sayısı görüntü alanı ve toplam alana dayandırılarak hesaplanmıştır [88]. Bu çalışmamızda farklı kanatçık yükseklikleri için elde edilen görüntü alanı (A_p) ve toplam alan (A_t) değişimlerine göre ortalama Nusselt sayısı hesaplanmıştır. Farklı kanat yükseklikleri için toplam alanın (A_t) görüntü alanına (A_p) oranının değişimi Çizelge 5.3’de verilmiştir. Kanatçık üzerindeki alanlar aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

A_1 : Kanatçık ön yüzey alanı (A_1 =kanatçık genişliği x kanatçık yüksekliği)
 A_2 : Kanatçık arka yüzey alanı (A_2 =kanatçık genişliği x kanatçık yüksekliği)
 A_3 : Kanatçık üst yüzey alanı (A_3 =kanatçık genişliği x kanatçık uzunluğu)
 A_4 : Kanatçık yan yüzey alanı (A_4 =kanatçık yüksekliği x kanatçık uzunluğu)
 A_5 : Kanatçık arka yan yüzey alanı (A_5 = kanatçık yüksekliği x kanatçık uzunluğu)
 A_6 : Kanatçık taban alanı (A_6 =kanatçık genişliği x kanatçık uzunluğu)
 Yapılan çalışmada A_t ve A_p alanları aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$A_t = (L \times B) + (A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5) \times \text{kanatçık sayısı} \quad (5.10)$$

$$A_p = L \times B \quad (5.11)$$

Denklemde kullanılan L ve B sırasıyla çarpma plakasının boyu ve genişliğidir. Kullanılan toplam kanatçık sayısı 24'tür.

Çizelge 5.3. Farklı kanat yükseklikleri için toplam alanın (A_t) görüntü alanına (A_p) oranının değişimi

Kanatçık yüksekliği/ Jet çapı	A_t/A_p
$e/d=0,6$	1,08
$e/d=0,8$	1,10
$e/d=1$	1,13
$e/d=1,2$	1,14

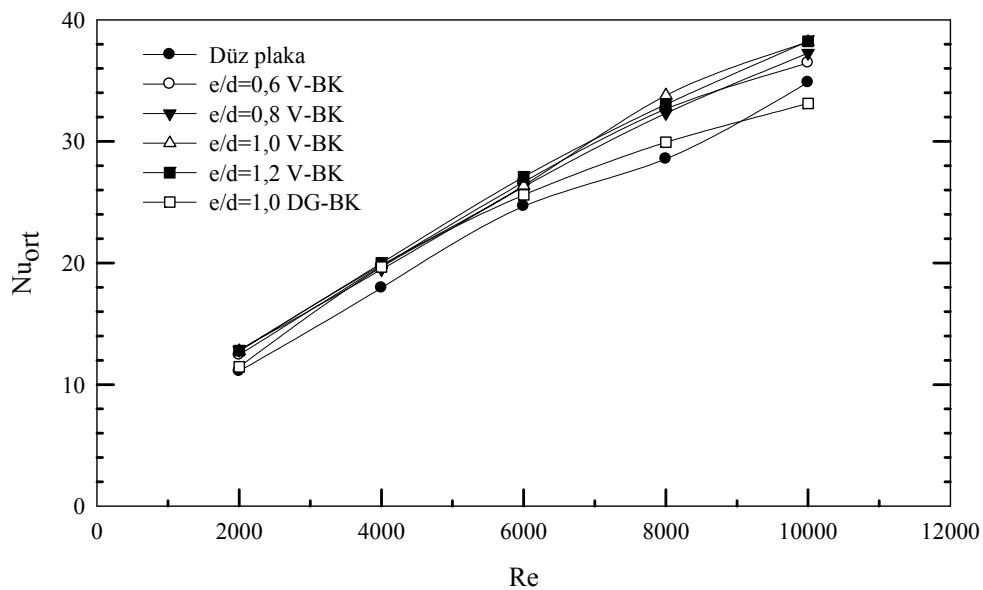
5.3.3. Deneysel sonuçlar

Düzgün sıralı dairesel jetlerin ve Reynolds sayılarının 2000, 6000 ve 10000 değerleri için boyutsuz jet-plaka mesafelerinin 2, 6 ve 12 değerlerinde sabit bir ısı akısında, kanatçık yüksekliğinin-jet çapına oranı (e/d) 0,6, 0,8, 1 ve 1,2 dairesel jetlerin (EJ1) farklı kanat yüksekliklerinde düz ve kanatçıklı yüzeyler üzerinde ısı transfer değişimleri incelenmiştir. Çalışmada kanatçıkların toplam alanları ve görüntü alanları

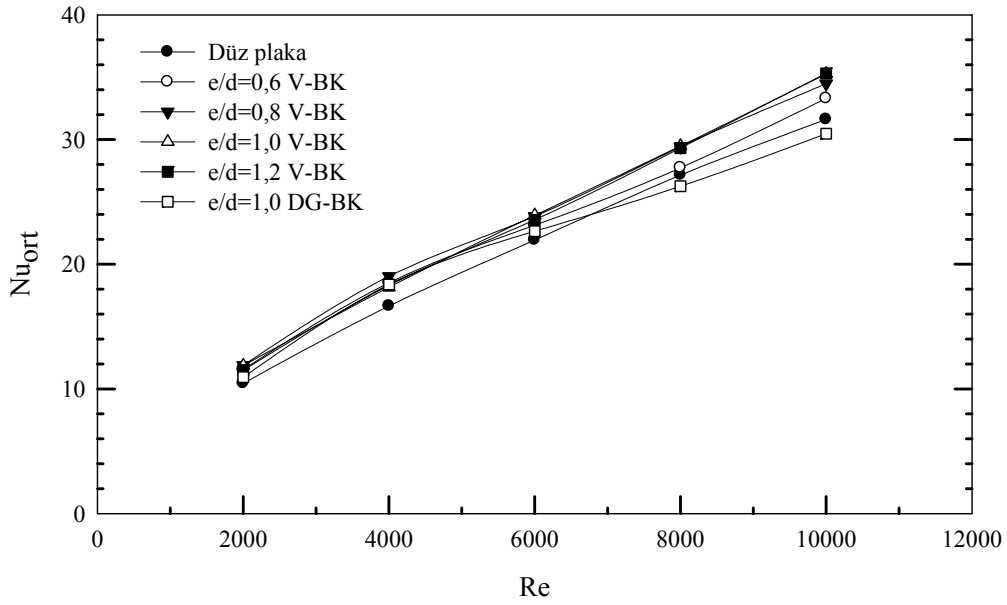
dikkate alınarak ortalama Nusselt sayısı değişimleri farklı jet-plaka mesafelerine göre incelenmiştir.

Görüntü alanına göre ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

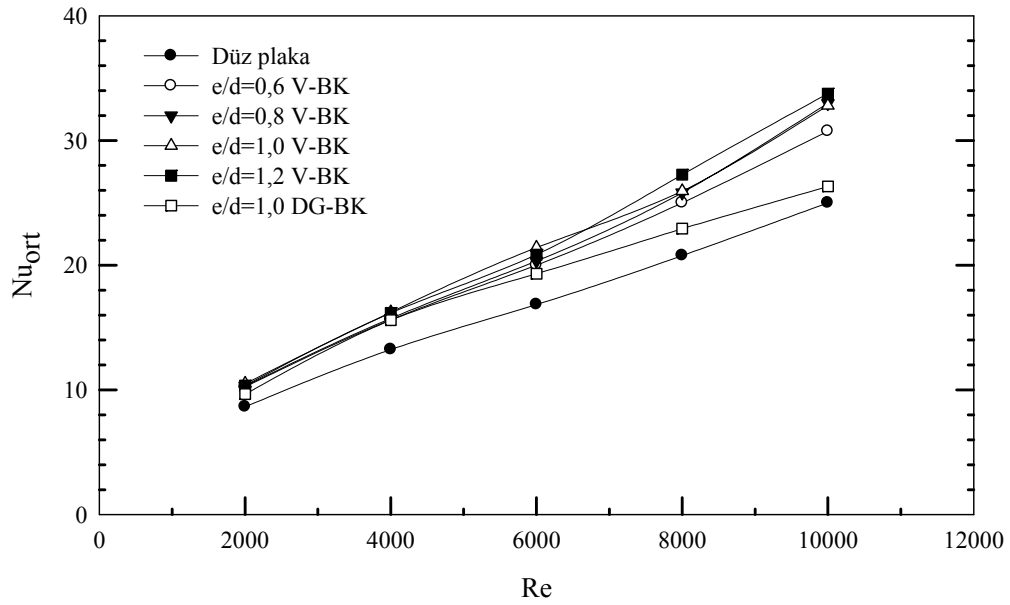
Görüntü alanına (A_p) göre, farklı kanat yüksekliklerinde düz, V-BK ve DG-BK şeklinde oluşturulmuş kanatçıkların farklı jet-plaka mesafelerinde ortalama Nusselt sayısı değişimleri Şekil 5.44-Şekil 5.46’da verilmiştir. V-BK dört farklı kanat yüksekliğindeki değişimleri incelenmesine karşın DG-BK tek bir kanat yüksekliğinde ortalama Nusselt sayısı değişimleri düz plakaya göre karşılaştırılmıştır. Şekil 5.44-Şekil 5.46’da görüldüğü gibi V-BK, DG-BK’lardan daha yüksek ısı transfer katsayıları sağladıkları görülmektedir. Ortalama Nusselt sayısı e/d ile önemli bir değişim göstermediği görülmektedir, fakat $Re=10000$ ’de V-BK’lı yüzeylerde ortalama Nusselt sayısının e/d ’nin artışıyla arttığı görülmektedir. Maksimum ortalama Nusselt sayısı $e/d=1,2$ değerinde elde edilmiştir. Tüm şekillerden görüldüğü gibi düz plaka ve V-BK arasındaki ortalama Nusselt sayısı değişimleri arasındaki fark e/d mesafelerine bağlı olarak H/d mesafesinin artmasıyla arttığı görülmektedir. Ayrıca Reynolds sayısının artmasıyla e/d değişimlerine bağlı olarak ortalama Nusselt sayısı değişimlerinin arttığı görülmektedir. $Re=10000$ ’de düz ve V-BK arasındaki ortalama Nusselt sayısı $\%9,3$ - $\%26,6$ aralığında değiştiği görülmektedir.



Şekil 5.44. Farklı kanat yüksekliklerinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($H/d=2$)



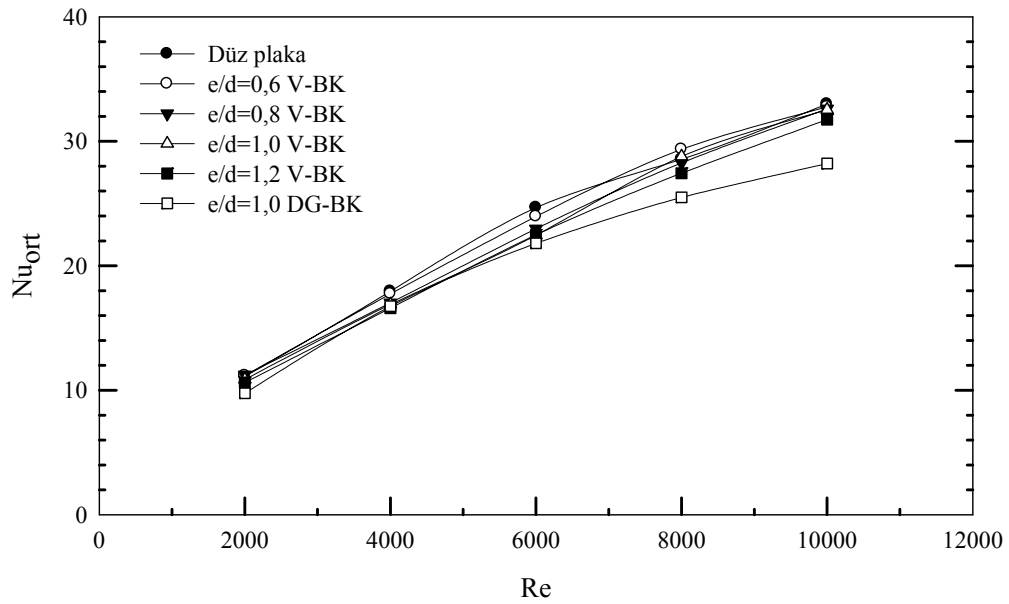
Şekil 5.45. Farklı kanat yüksekliklerinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($H/d=6$)



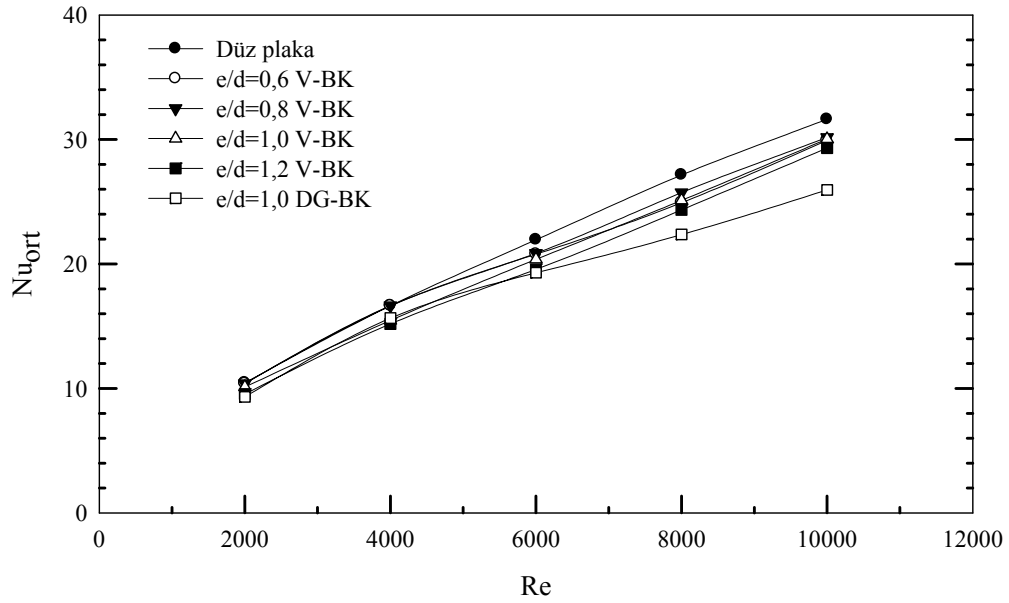
Şekil 5.46. Farklı kanat yüksekliklerinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($H/d=12$)

Toplam alana göre ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi

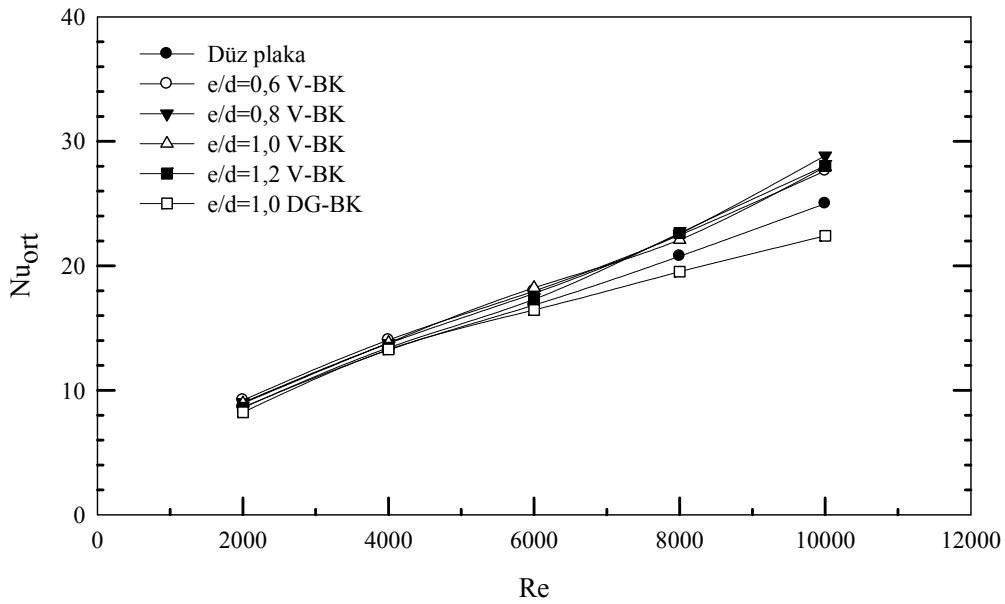
Kanatçıkların toplam alanları (A_t) dikkate alınarak, farklı kanat yüksekliklerinde düz, V-BK ve DG-BK şeklinde oluşturulmuş kanatçıkların farklı jet-plaka mesafelerinde ortalama Nusselt sayısı değişimleri Şekil 5.47-Şekil 5.49’da verilmiştir. Akış ve yüzey arasındaki ısı değişimini artırmak için genellikle yüzeye kanatçıklar konulmaktadır. Kanatçıkların ısı transferini artırmada iki önemli etkisi bulunmaktadır. Isı transferini artırmak için kanatçık alanını artırmak ve oluşan sınır tabakayı dağıtmaktır. Kanatçık toplam alanının etkisi ısı transferi üzerine maksimum % 14 olduğu görülmektedir. Kanatçıkların toplam alanları dikkate alınarak yapılan hesaplamalara bakıldığında zaman görüntü alanlarındaki grafiklere benzer değişim meydana geldiği fakat düşük jet-plaka mesafelerinde düz plakadaki ortalama Nusselt sayısının kanatçıklı plakalardan daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 5.47. Farklı kanat yüksekliklerinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($H/d=2$)



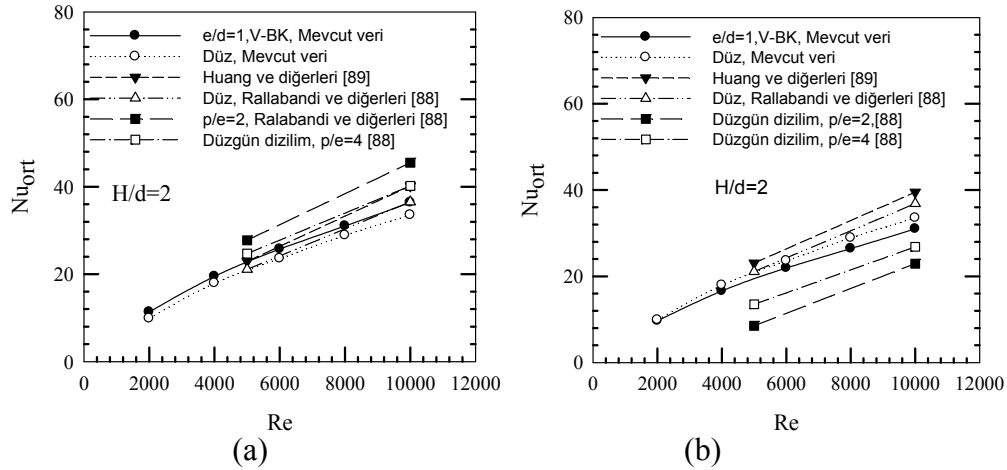
Şekil 5.48. Farklı kanat yüksekliklerinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($H/d=6$)



Şekil 5.49. Farklı kanat yüksekliklerinde ortalama Nusselt sayısının Reynolds sayısı ile değişimi ($H/d=12$)

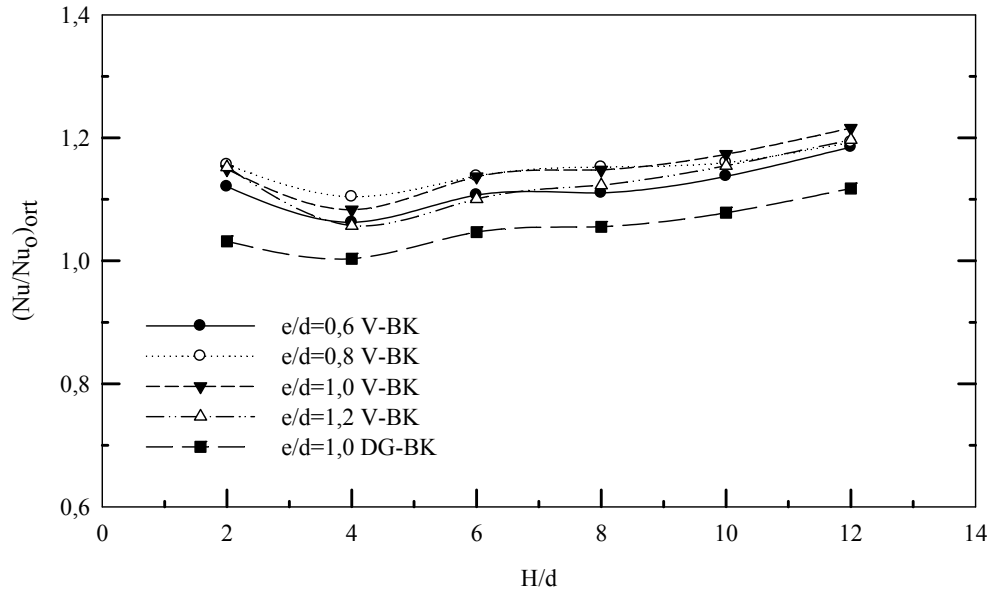
Kanatçıkların A_t ve A_p alanları dikkate alınarak, tek bir kanat yüksekliğinde ($e/d=1$) düz, V-BK şeklinde oluşturulmuş kanatçıkların $H/d=2$ mesafesinde ortalama Nusselt sayısının literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılması Şekil 5.50’de verilmiştir. Şekil 5.50’de görüldüğü gibi ortalama Nusselt sayısı değişimlerinin literatürle uyum

içerisinde olduğu görülmektedir. Şekil 5.50b’de görüldüğü gibi ısı transfer yüzey alanının artmasıyla ortalama Nusselt sayısının düz yüzeylere göre azaldığı görülmektedir.

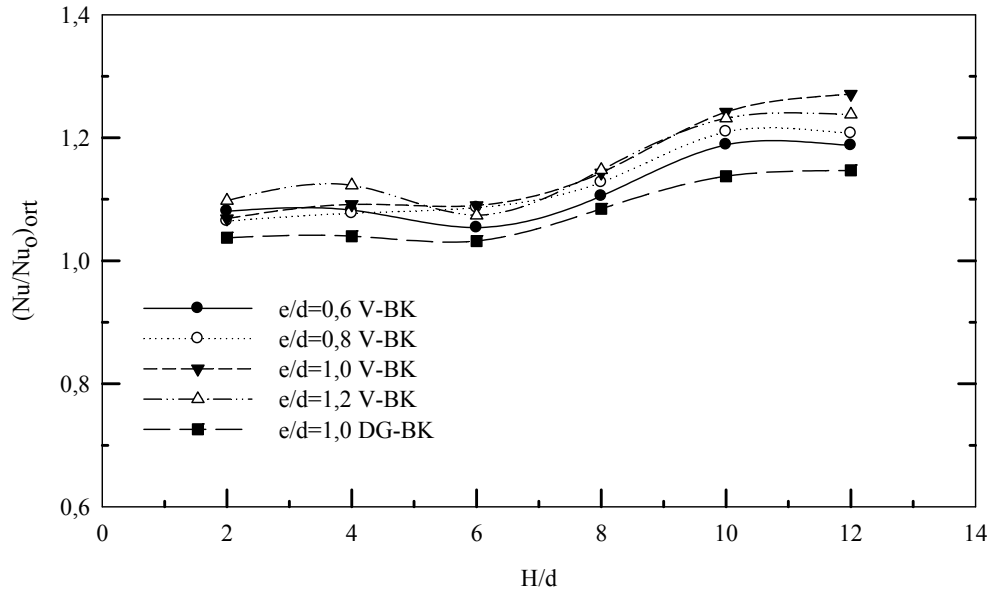


Şekil 5.50. Mevcut sonuçlarla literatürdeki sonuçların karşılaştırılması (a) görüntü alanların dikkate alınması (b) toplam alanların dikkate alınması

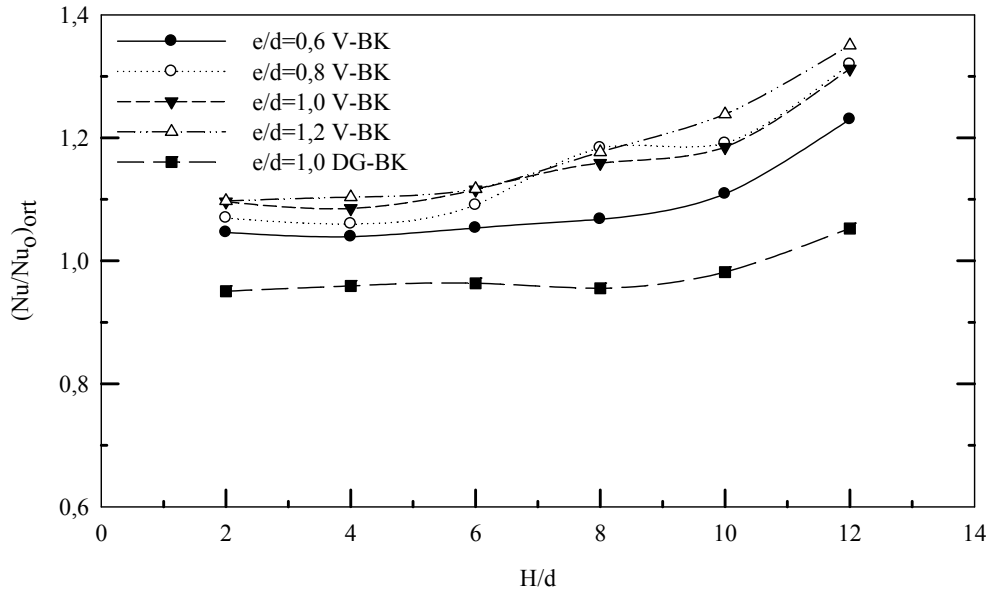
Kanatçıkların görüntü alanları (A_p) dikkate alınarak farklı kanat yüksekliklerinde V-BK ve DG-BK şeklinde oluşturulmuş kanatçıkların kanatçıklı durumdaki Nusselt sayısı (Nu) ve kanatçiksiz durumdaki Nusselt sayısı (Nu_0) ısı transferi değişimlerinin Reynolds sayısı ile değişimleri Şekil 5.51-Şekil 5.53’de verilmiştir. Şekil 5.51-Şekil 5.53’de farklı jet-plaka mesafelerinde maksimum ısı transfer artış ve azalış noktalarının belirlenmesi açısından yol göstermektedir. Reynolds sayısının artmasıyla DG-BK’larda ısı transferini azaltıcı bir yönde etki gösterdiği, V-BK’ların tüm jet-plaka ve Reynolds sayılarında ısı transferini artırdığı görülmektedir. DG-BK’larda $Re=10000$ için tüm H/d mesafelerinde ısı transferini azaltıcı etki göstermesine karşın düşük Reynolds sayılarında tüm H/d mesafeleri için ısı transferini artırıcı etki gösterdiği görülmektedir. V-BK’lar $Re=10000$ ve $H/d=12$ ’de % 31,3 oranında DG-BK’lardan daha iyi ısı transferi sağladığı görülmüştür.



Şekil 5.51. Düz-kanatçıklı yüzeylerde ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi ($Re=2000$)



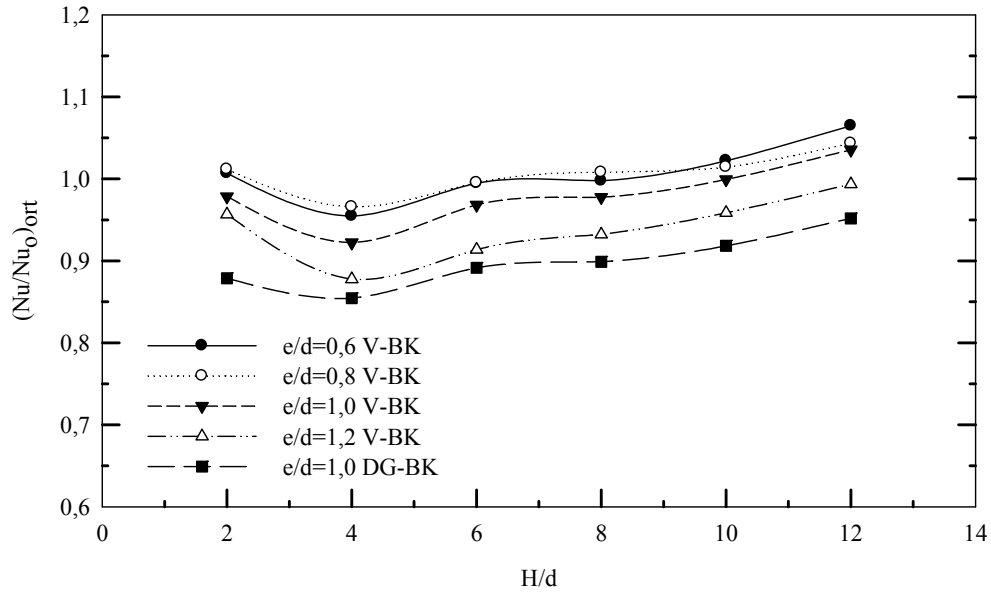
Şekil 5.52. Düz-kanatçıklı yüzeylerde ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi ($Re=6000$)



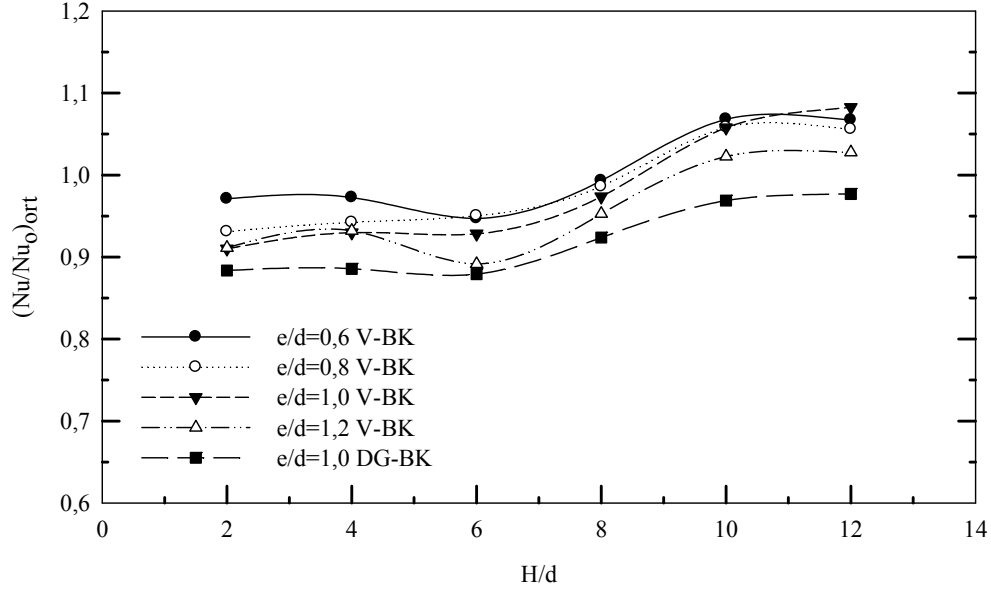
Şekil 5.53. Düz-kanatçıklı yüzeylerde ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi (Re=10000)

Kanatçıkların toplam alanları (A_t) dikkate alınarak farklı kanat yüksekliklerinde V-BK ve DG-BK şeklinde oluşturulmuş kanatçıkların kanatçıklı durumdaki Nusselt sayısı (Nu) ve kanatçüksüz durumdaki Nusselt sayısı (Nu_0) ısı transferi değişimlerinin Reynolds sayısı ile değişimleri Şekil 5.54-Şekil 5.56'da verilmiştir.

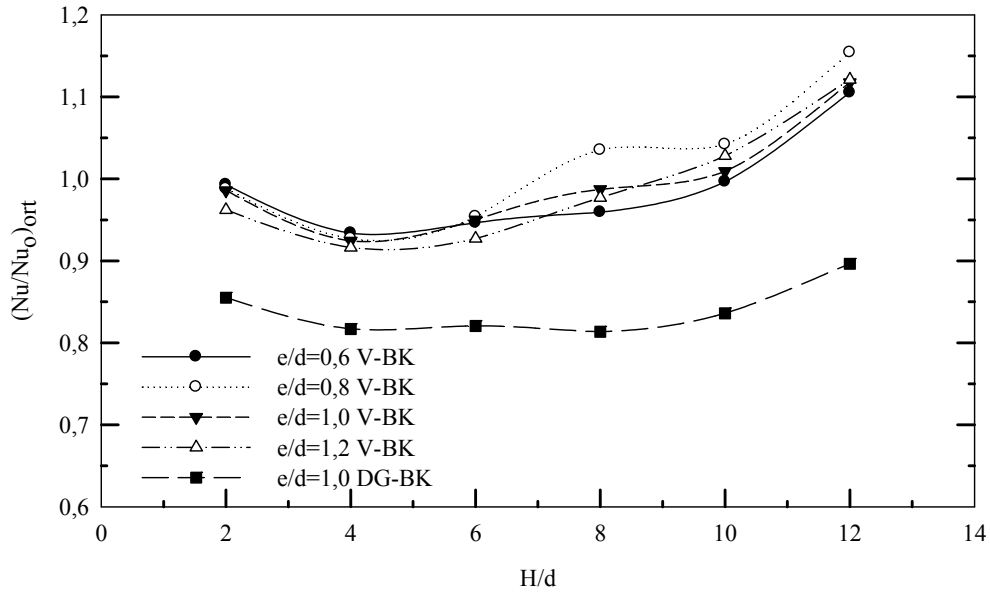
Şekil 5.54-Şekil 5.56'da görüldüğü gibi kanatçıkların toplam alanları dikkate alınarak yapılan hesaplamalarda düşük jet-plaka mesafelerinde ısı transferini azaltma etkisi olmasına rağmen jet-plaka ve Reynolds sayısının artmasıyla ısı transferinde artış görülmüştür. Şekil 5.56'da görüldüğü gibi V-BK'lar Re=10000 ve H/d=12'de % 22 oranında DG-BK'lardan daha iyi ısı transferi sağladığı görülmüştür.



Şekil 5.54. Düz-kanatçıklı yüzeylerde ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi ($Re=2000$)



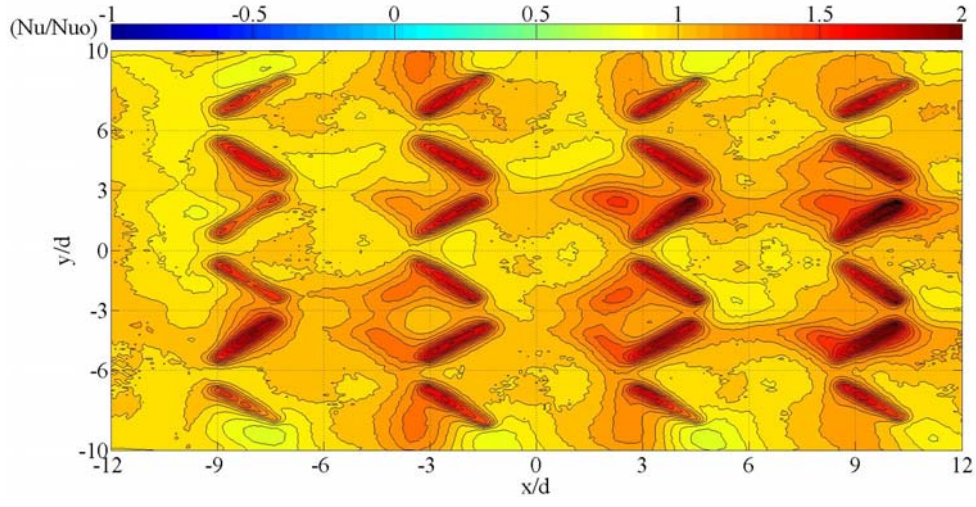
Şekil 5.55. Düz-kanatçıklı yüzeylerde ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi ($Re=6000$)



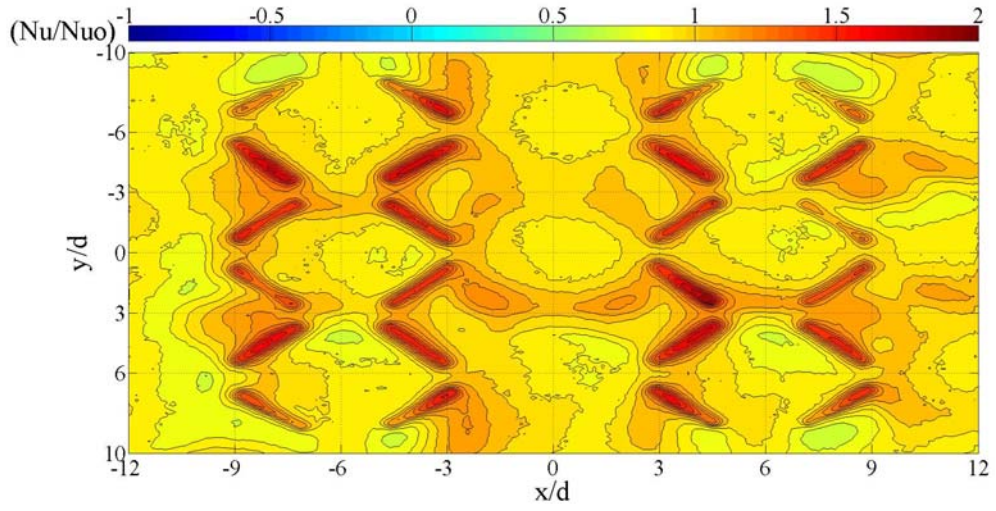
Şekil 5.56. Düz-kanatçıklı yüzeylerde ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi (Re=10000)

Kanatçıklı ve düz plaka üzerindeki maksimum ve minimum ısı transferinin nerede meydana geldiğini belirlemek çalışmalar açısından önemlidir. Bunun için farklı jet-plaka mesafesi ve farklı Reynolds sayılarında elde edilen kanatçıklı durumdaki Nusselt sayısının (Nu) düz plakadaki Nusselt sayısına (Nu_0) oranı Şekil 5.57-Şekil 5.64'de verilmiştir. Şekil 5.57- Şekil 5.64'de görüldüğü gibi termal kameradan elde edilen sıcaklıklar Matlab programında kodu yazılarak elde edilmiştir.

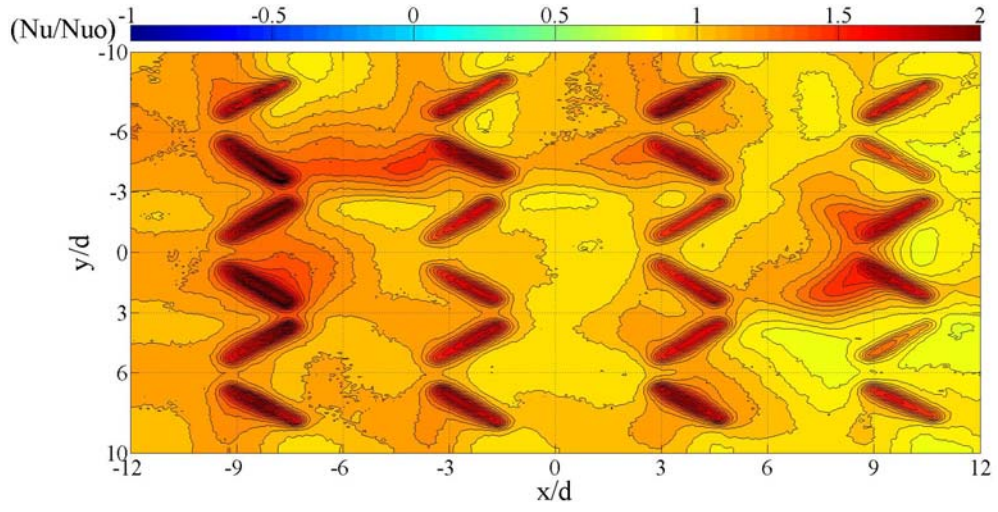
Tüm şekillere bakıldığında özellikle kanat duvarlarına yakın bölgelerde %15-%20 oranında ısı transferinde bir artış sağlandığı görülmektedir. Bu durum kanatçıkların geometrik yapısı ve diziliş etkilerinden dolayı bu bölgelerde akışın yeniden dönme hareketlerini yapması, kanat kenarlarında meydana gelen dönme hareketlerinden dolayı oluşan sınır tabakanın yırtılması ve bunun sonucu olarak bu bölgelerde ısı transferini artırdığı görülmektedir. DG-BK ile V-BK'lı yüzeyler üzerinde ısı transferi açısından karşılaştırıldığında zaman V-BK'lı yüzeylerde daha yüksek ısı transferi elde edildiği görülmektedir.



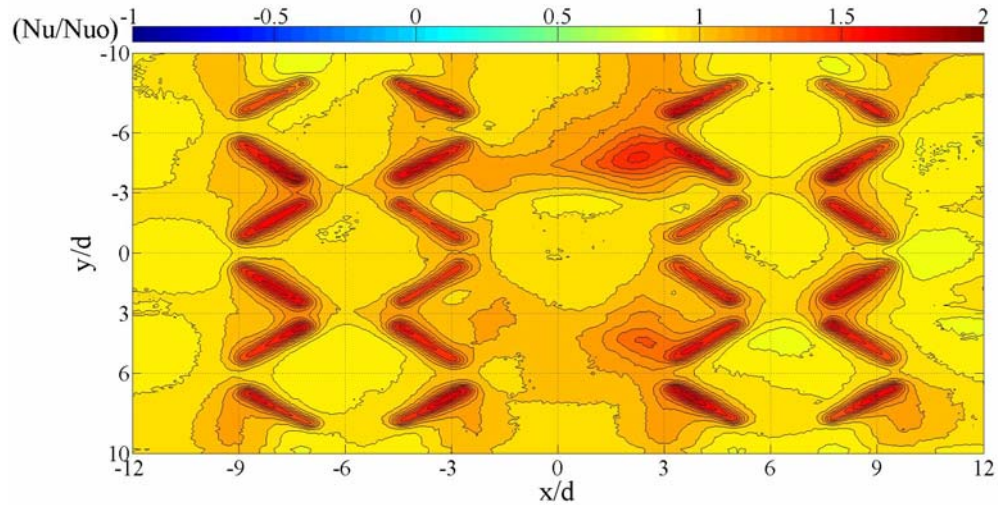
Şekil 5.57. V-BK ve düz yüzeylerde yerel Nusselt sayısının değişimi
($Re=2000$, $H/d=2$)



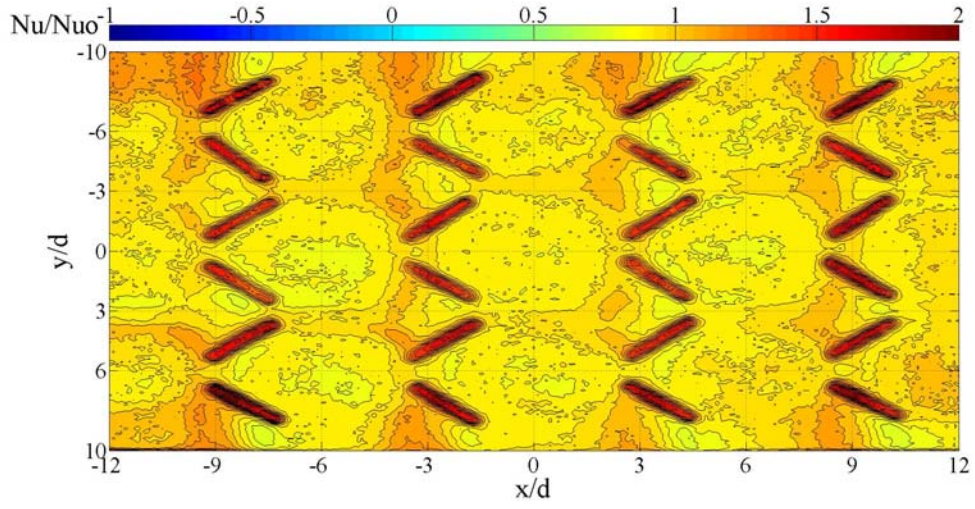
Şekil 5.58. DG-BK ve düz yüzeylerde yerel Nusselt sayısının değişimi
($Re=2000$, $H/d=2$)



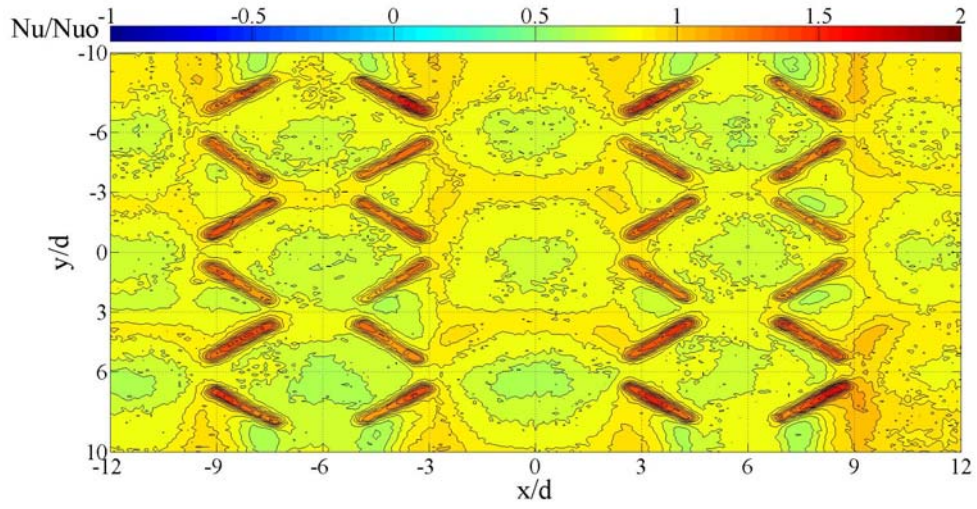
Şekil 5.59. V-BK ve düz yüzeylerde yerel Nusselt sayısının değişimi
($Re=2000$, $H/d=10$)



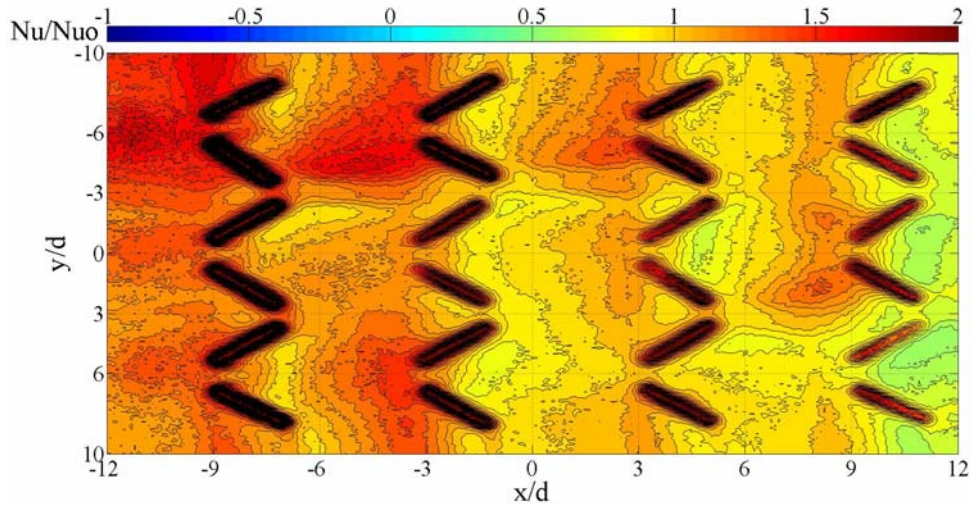
Şekil 5.60. DG-BK ve düz yüzeylerde yerel Nusselt sayısının değişimi
($Re=2000$, $H/d=10$)



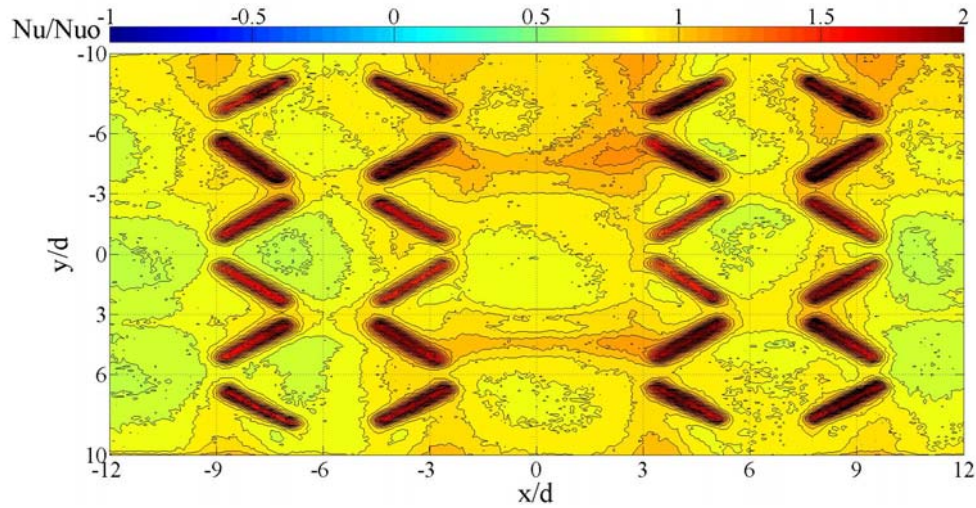
Şekil 5.61. V-BK ve düz yüzeylerde yerel Nusselt sayısının değişimi
($Re=10000$, $H/d=2$)



Şekil 5.62. DG-BK ve düz yüzeylerde yerel Nusselt sayısının değişimi
($Re=10000$, $H/d=2$)



Şekil 5.63. V-BK ve düz yüzeylerde yerel Nusselt sayısının değişimi
($Re=10000$, $H/d=10$)

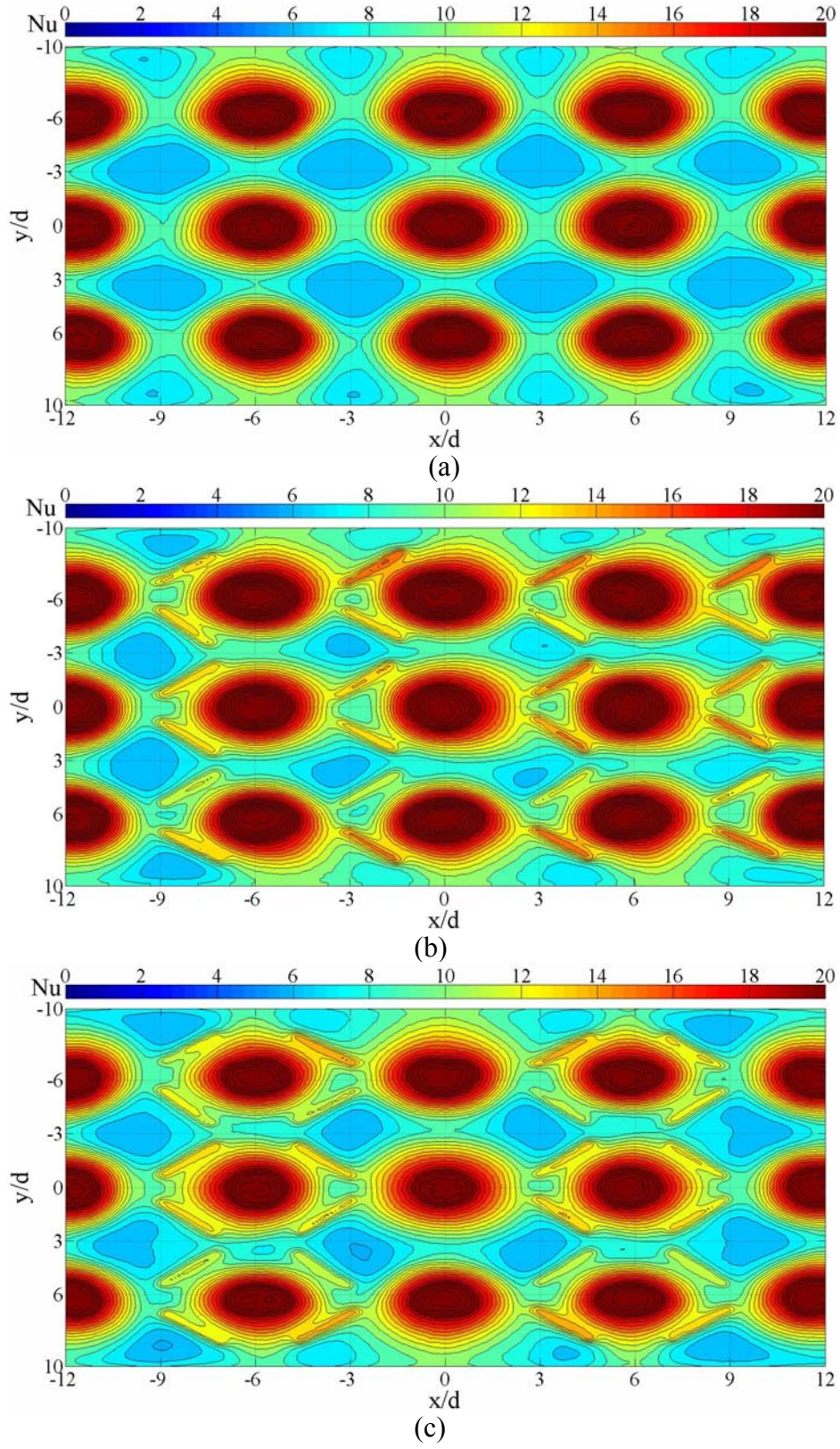


Şekil 5.64. DG-BK ve düz yüzeylerde yerel Nusselt sayısının değişimi
($Re=10000$, $H/d=10$)

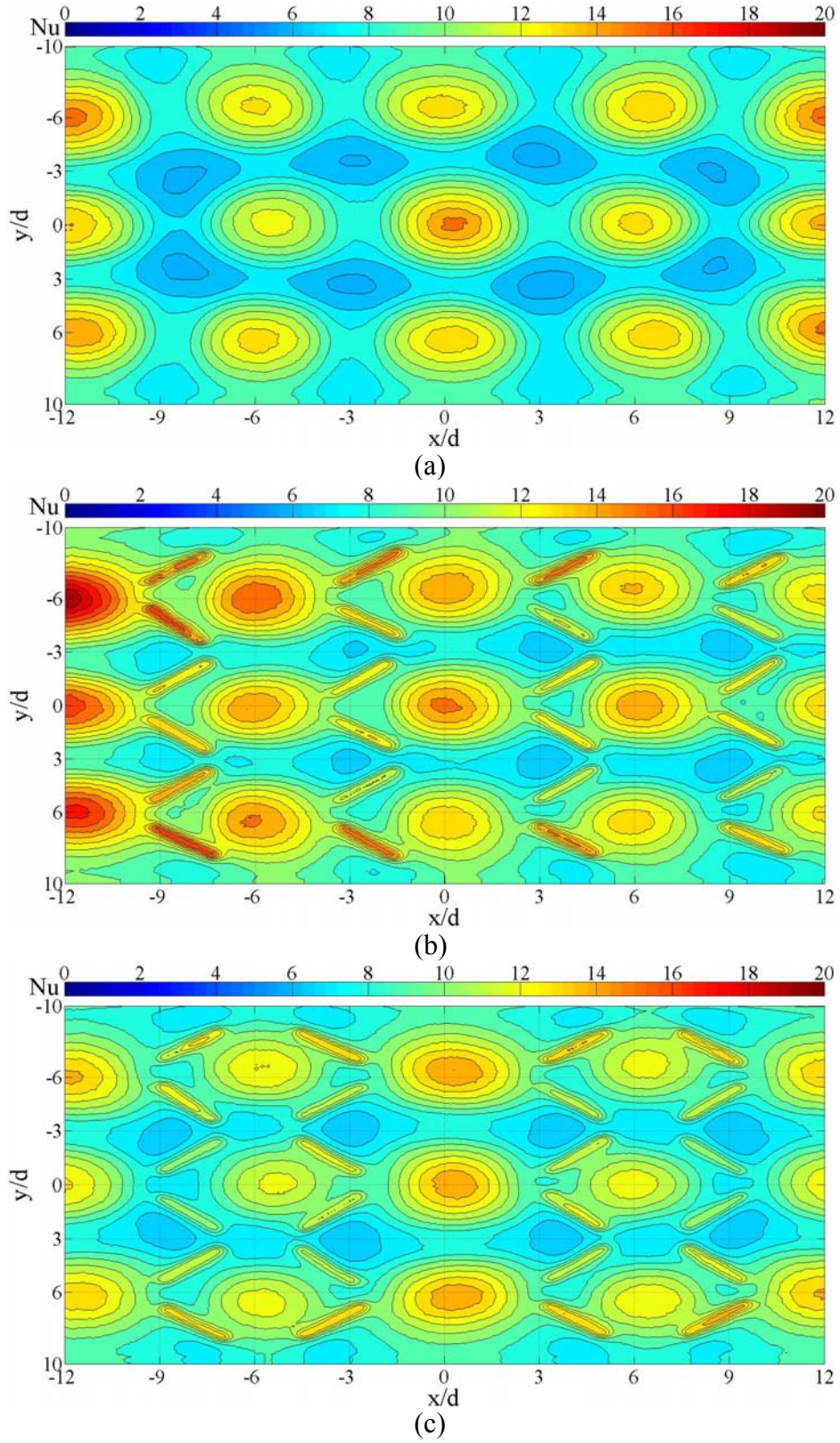
Yerel Nusselt sayısının çarpma plakası üzerinde değişiminin incelenmesi

Düz, V-BK ve DG-BK şeklinde oluşturulmuş yüzeylerdeki farklı jet-plaka mesafesi ve farklı Reynolds sayılarında elde edilen yerel Nusselt sayısı dağılımları Şekil 5.65-Şekil 5.68’de verilmiştir. Şekil 5.65’de görüldüğü gibi düşük Reynolds sayılarında düz plaka ile V-BK arasındaki yerel Nusselt sayısı değişimine bakıldığında önemli bir değişim olmadığı görülmektedir. Fakat $Re=2000$ ve $H/d=10$ ’da jetlerin

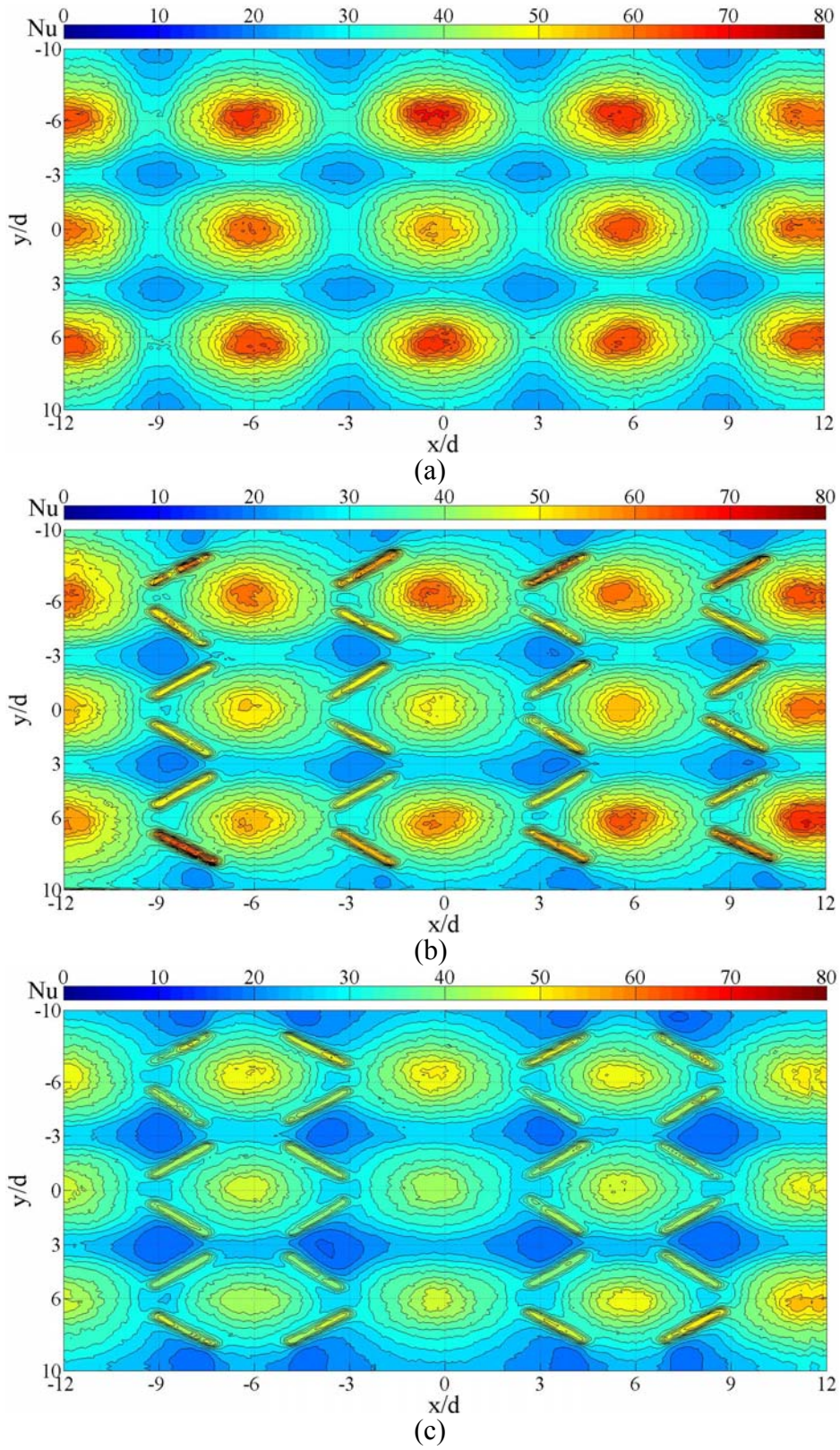
arasındaki bölgelerde kanatçık etkisinden dolayı ısı transferinde artış meydana geldiği görülmektedir. Jetlerin arasındaki bölgelerdeki ısı transferindeki artış $Re=10000$ ve $H/d=10$ olduğu durumda V-BK'larda daha fazla görülmektedir. $Re=10000$ ve $H/d=10$ 'da DG-BK'larda $x/d=-6$ ve $x/d=6$ bölgelerinde jetin kanatçık yapısından dolayı duvar jetinin tam gelişmemesi ve akışın kanatçık etrafında sıkışması ve bunun sonucu olarak ısı transferinde azalma meydana geldiği görülmüştür.



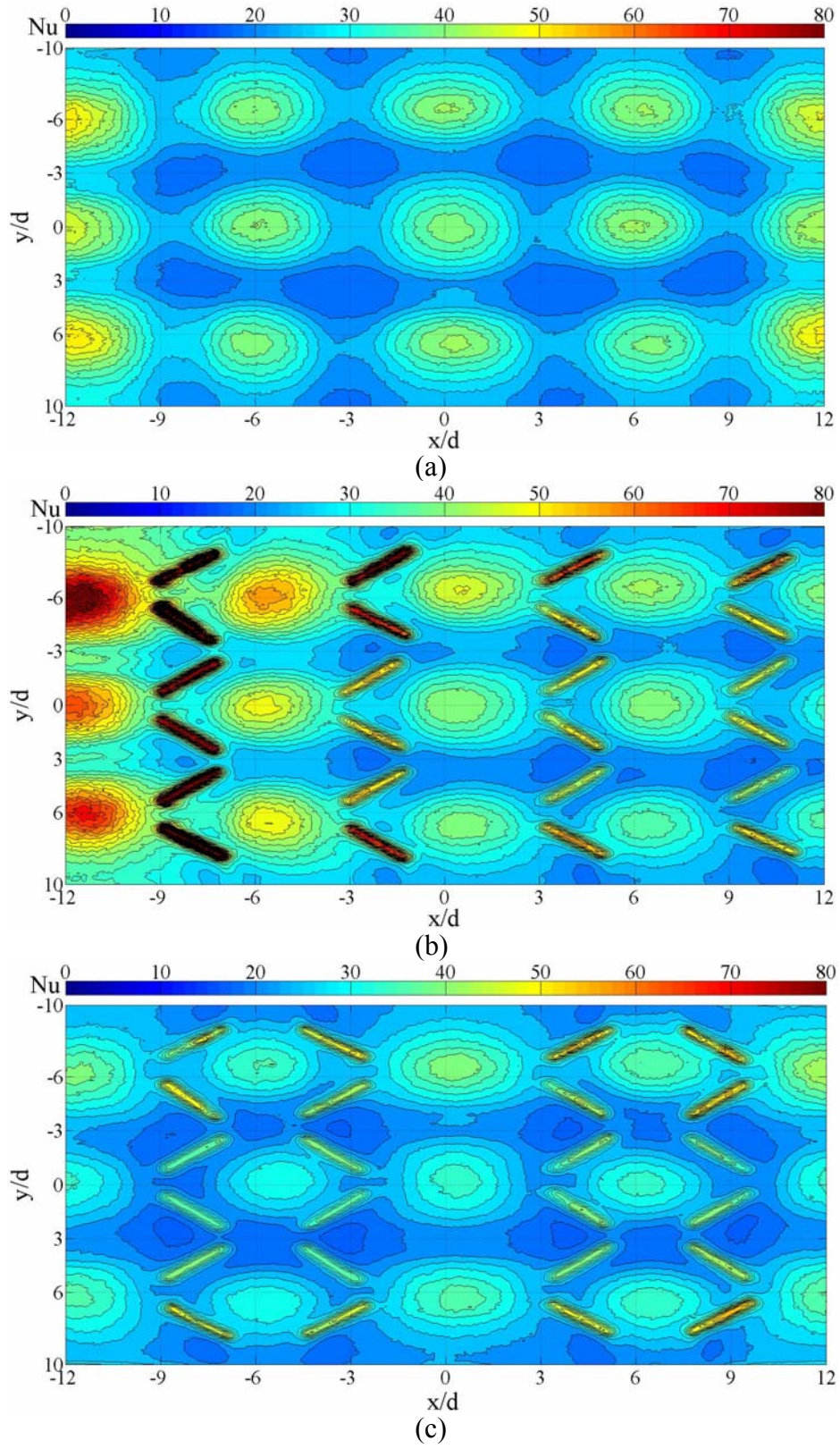
Şekil 5.65. Çarpma plakası üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) düz plaka, (b) V-BK (c) DG-BK ($Re=2000$, $H/d=2$)



Şekil 5.66. Çarpma plakası üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) düz plaka, (b) V-BK (c) DG-BK ($Re=2000$, $H/d=10$)



Şekil 5.67. Çarpma plakası üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) düz plaka, (b) V-BK (c) DG-BK ($Re=10000$, $H/d=2$)



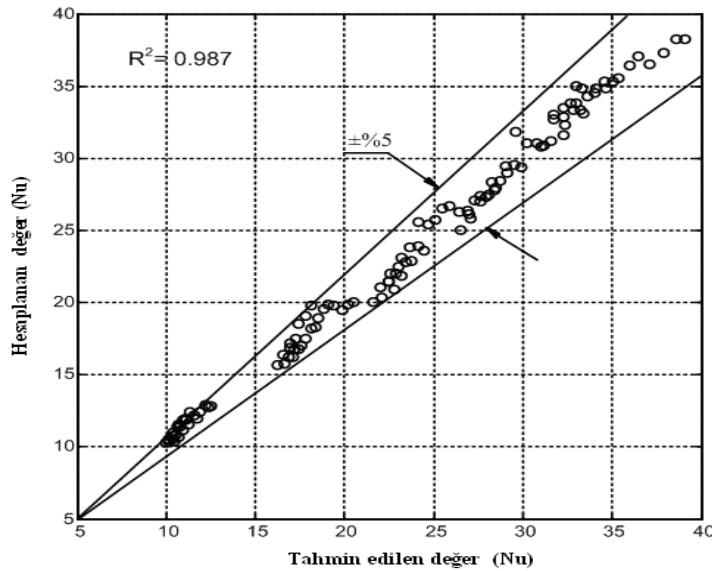
Şekil 5.68. Çarpma plakası üzerindeki yerel Nusselt sayısı dağılımı (a) düz plaka, (b) V-BK (c) DG-BK ($Re=10000$, $H/d=10$)

5.4. İstatistiksel Regresyon

Kanatçıklı yüzeylerde Reynolds sayısı, jet-plaka arasındaki mesafenin jet çapına oranı (H/d), kanat yüksekliğinin jet çapının oranı (e/d) değişimleri ile ortalama Nusselt sayısı için elde edilen korelasyon 5.12’de verilmiştir.

$$Nu = 0,0687 Re^{0,697} (H/d)^{-0,11} (e/d)^{0,069} \quad (5.12)$$

Analiz Statistica 5.0 programı kullanılarak elde edilmiştir. Denklem 5.12’de görüldüğü gibi ortalama Nusselt sayısı Reynolds sayısının ve e/d mesafesinin artmasıyla artmakta ve H/d mesafesinin artmasıyla azalmaktadır. Tüm deneysel veriler kullanılarak tahmin edilen Nusselt sayısı ile hesaplanan Nusselt sayısı değişimi Şekil 5.69’da verilmiştir. Şekil 5.69’da görüldüğü gibi hesaplanan ve tahmin edilen Nusselt sayısı $\pm \%5$ hata aralığı ve regresyon katsayısı $\%98$ olarak hesaplanmıştır.



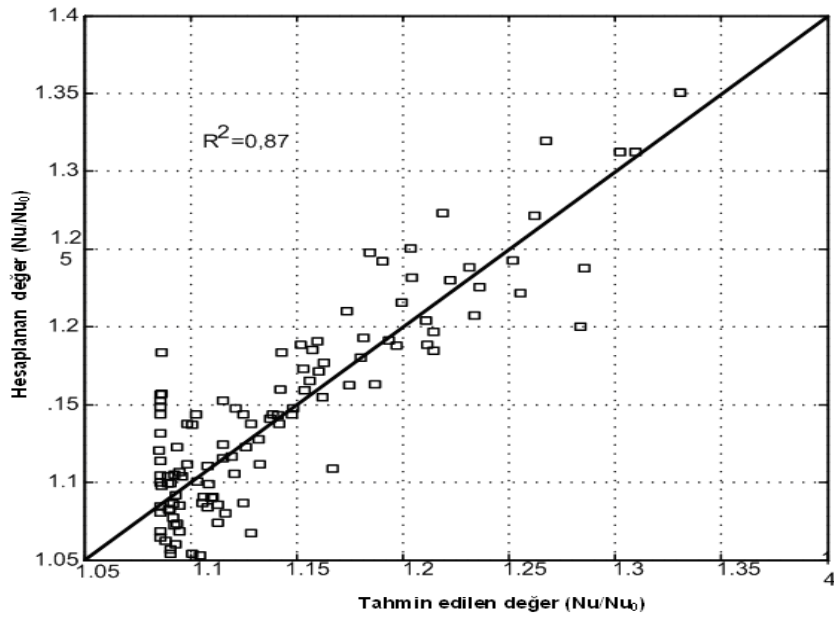
Şekil 5.69. Tahmin ve hesaplanan ortalama Nusselt sayıları

Kanatçıklı yüzeyde elde edilen Nusselt sayısı ile kanatçıksız yüzeyde elde edilen Nusselt sayısına oranı Reynolds sayısı, jet-plaka arasındaki mesafenin jet çapına

oranı (H/d), jet çapının kanat yüksekliğine oranı (d/e) değişimleri ile edilen korelasyon denklem 5.13’de verilmiştir.

$$\frac{Nu}{Nu_o} = \left[1,085 + 0,016 Re^{0,397} \left(\frac{H}{d} \right)^{2,839} \left(\left(\frac{d}{e} \right)^{-0,0763} - 1 \right) \right] \quad (5.13)$$

Tüm deneysel veriler kullanılarak tahmin edilen Nu/Nu_o ile hesaplanan Nu/Nu_o değişimi Şekil 5.70’de verilmiştir.



Şekil 5.70. Tahmin ve hesaplanan ortalama Nusselt sayıları

5.5. LDA Ölçümleri

Çarpan akışkan jetlerin, geometrik parametrelerine bağlı olarak jet çıkışından itibaren başlayıp, çarpma plakası sonuna kadar devam eden bölgede çok farklı akış özellikleri elde edilmektedir. Bu akış özelliklerin belirlenmesi literatürde geniş çaplı olarak araştırılmıştır. Çarpma plakası üzerinde jet akışının davranışı düz yüzey ve V-BK, DG-BK yüzeyler üzerinde hız, türbülans yoğunluğu, Reynolds gerilmeleri ve akış vektörlerinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan ayrıntılı iki boyutlu LDA ölçümlerinin sonuçları sunulmuştur.

Yapılan çalışma sonucunda, düz ve kanatçıklı yüzeyler üzerinde akış özellikleri arasındaki farklar ve benzerlikler ortaya konmuştur. Çarpan jetlerin, duvar jeti bölgesindeki farklı karakteristikleri de net bir şekilde ortaya konmuştur. Özellikle, plakaya yakın bölgede yapılan ayrıntılı hız ve türbülans ölçümleri sonucu, ısı transferi sonuçlarının yorumlanmasında çok faydalı olabilecek bulgular elde edilmiştir. Ayrıca, jet-plaka mesafesinin etkisi çarpma noktası ve durma bölgesinde açık bir şekilde görülürken, duvar jeti bölgesinde elde edilen değerlerin, jet-plaka mesafesinden hemen hemen bağımsız hale geldiği görülmüştür. Büyük jet-plaka mesafelerinde, özellikle duvar jeti bölgesinde V-BK'lı yüzeylerde düz yüzeylere göre daha yüksek hız değerleri elde edildiği görülmüştür.

Ölçümlerin gerçekleştirildiği 2 boyutlu LDA sistemi deney düzeneği ve ölçüm sistemleri bölümünde ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Ölçümler düz plaka ve pleksiglass plaka üzerine V-BK ve DG-BK yapıştırılarak gerçekleştirilmiştir.

5.5.1. Problem tanımı ve deney düzeneği

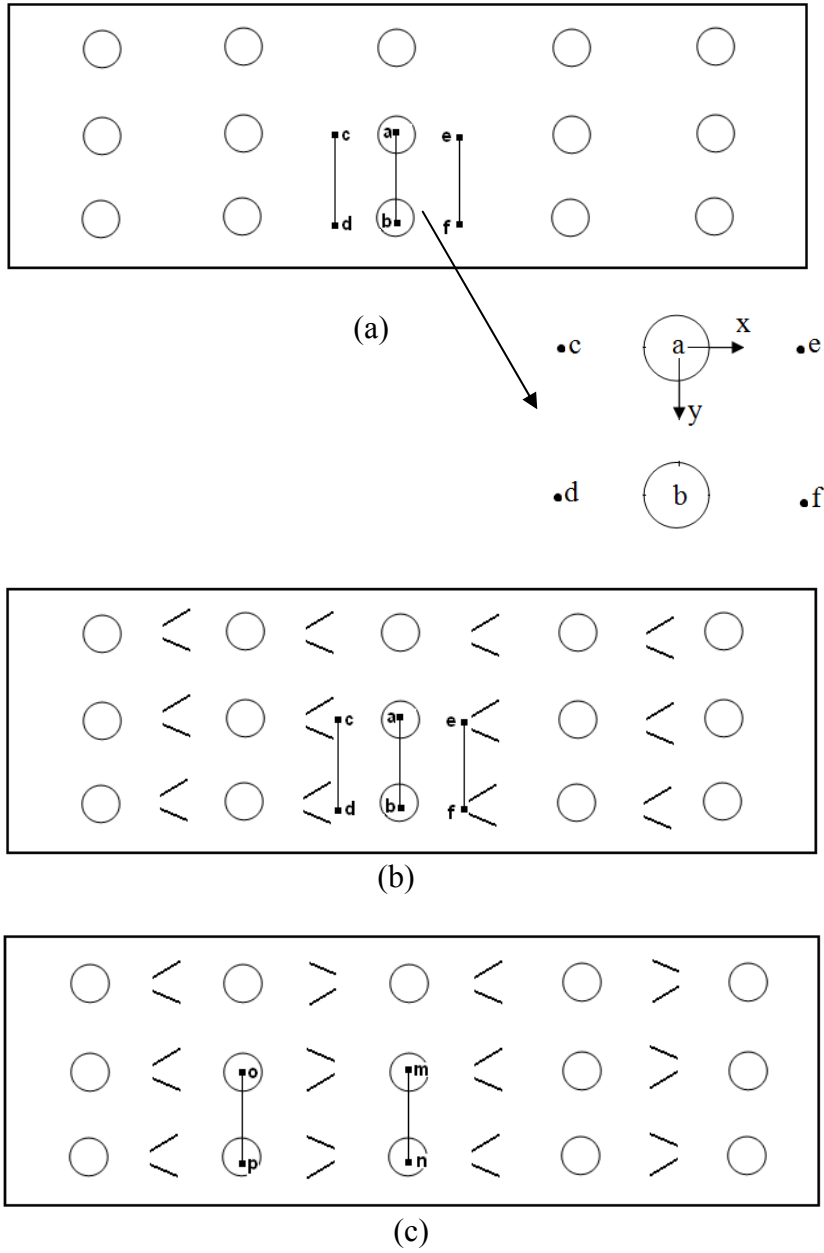
Çalışma kapsamında dairesel (EJ1) jet kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerde jet-plaka mesafeleri 3d ve 12d durumlarında $Re=10000$ değeri için yapılmıştır. Şekil 5.71'de ölçümlerin yapıldığı bölgeleri ve ölçüm noktalarını göstermektedir.

Çalışmamız kapsamında LDA ölçüm tekniğini kullanarak aşağıdaki ölçümler yapılmıştır.

1. x- yönünde düz plaka, V-BK ve DG-BK'lı yüzeyler üzerinde Şekil 5.71'de verilen noktalar arasında tüm akış alanındaki hız vektörleri belirlenmiştir. (LDA sistemi iki boyutlu olduğundan hız vektörlerinin x ve y yönünde iki boyutu ölçülmüştür). a-b, c-d, e-f, m-n ve o-p noktaları arasında jet-plaka mesafesinin 3 ve 12d olduğu mesafelerde ölçülmüştür. Yapılan tüm ölçümlerde Şekil 5.71'de görüldüğü gibi a, b, m, n, o ve p noktaları merkez ve komşu jet merkezlerini ve c, d, e ve f noktaları ise lazer ışınlarının y yönünde kanatçıklara değmeyecek şekilde jet merkezlerinden gelebileceği en uzak mesafe olarak tanımlanmaktadır. Akış alanındaki hız vektör ölçümler x yönünde lazer ışınlarının farklı adım ve farklı jet-plaka mesafelerinde elde edilmiştir.

2. x ve y yönünde düz plaka, V-BK ve DG-BK yüzeyler üzerinde Şekil 5.71'de verilen noktalar arasında yüzeye dik hızların (w) ve bu hızlara ait rms ve Reynolds gerilmelerinin hesaplanarak grafiklerinin çizilmesi. X ve y yönündeki dikey, rms hızları ve Reynolds gerilmeleri $H/d=3$ ve 12 olduğu durumlar için jet plakasına en yakın noktadan başlayıp çarpma plakasına en yakın noktaya kadarki kısımda ölçülmüştür. (Ölçümlerde jet plakasına ve çarpma plakasına en yakın noktalar dikey ışınların jet plakasına çarpmadan ölçüm alabileceğimiz nokta ile çarpma plakasına çarpmadan alabileceğimiz en yakın noktayı temsil etmektedir).

3. Çalışmalarımızda 2. maddede yapılan iki plaka arasındaki ölçümlerin yanısıra çarpma plakasından dikey yönünde 5mm mesafeye kadar x ve y yönünde düz plaka, V-BK ve DG-BK yüzeyler üzerinde Şekil 5.71'de verilen noktalar arasında yüzeye yatay hızların ve bu hızlara ait rms hızlarının hesaplanarak grafikleri çizilmiştir. Yukarıda belirtilen LDA ölçümlerinde her bir bölüm kendi içerisinde ayrı ayrı yapılmıştır.



Şekil 5.71. (a) Düz plakadaki LDA ölçüm noktaları, (b) V-BK plakadaki LDA ölçüm noktaları, (c) DG-BK plakadaki LDA ölçüm noktaları

Çoklu çarpan akışkan jetlerle, jet çıkışından itibaren başlayıp, çarpma plakası sonuna kadar devam eden bölgede çok farklı akış özellikleri elde edilmektedir. Bu akış özelliklerinin belirlenmesi, hem çarpan jet akışlarının daha iyi anlaşılması, hem de çarpan jetlerle elde edilen ısı transferi sonuçlarının yorumlanması açısından önem taşımaktadır. Bu bölümde bu maksatla, dairesel jetlerin akış alanı içerisindeki hız,

türbülans yoğunluğu, Reynolds gerilmeleri ve akış vektörlerinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan ayrıntılı iki boyutlu LDA ölçümlerinin sonuçları sunulmuştur.

5.5.2. Veri analizi

İki boyutlu LDA sistemi kullanılarak elde edilen ortalama hız, türbülans yoğunluğu ve Reynolds gerilmeleri aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

Ortalama hız:

$$\langle u \rangle = \sum_{i=0}^{N-1} \eta_i u_i \quad (5.14)$$

Yukarıdaki ifade de u_i anlık hızdır. Ağırlık faktörü η_i için, sonuçların daha güvenilir olması için aritmetik ağırlık yerine partikülün ölçüm hacminden geçiş süresinin temel alındığı aşağıdaki ağırlık faktörü kullanılmıştır.

$$\eta_i = \frac{t_i}{\sum_{j=0}^{N-1} t_j} \quad (5.15)$$

Denklemden t_i 'inci partikülün ölçüm hacminden geçiş zamanını, N ölçülen hızların sayısını göstermektedir.

Türbülans yoğunlukları:

$$u_{rms} = \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} \eta_i (u_i - \langle u \rangle)^2} \quad (5.16)$$

Reynolds gerilmeleri:

$$\langle u'v' \rangle = \sum_{i=0}^{N-1} \eta_i (u_i - \langle u \rangle)(v_i - \langle v \rangle) \quad (5.17)$$

İfadelerinden hesaplanmıştır. Denklemden u_i ve v_i anlık hız bileşenlerini göstermektedir.

LDA sistemi ile hız ölçümlerinde belirsizliğin belirlenmesi kolay olmamakla birlikte, ölçümlerden önce ve ölçüm esnasında hızdaki belirsizlikleri azaltmak amacıyla sistemin kurulumu el kitabında verilen kriterlere uygun olarak gerçekleştirilmiş, veri oranını arttırmak için frekans kaydırma yöntemi kullanılmış, ayrıca ölçümler esnasında aritmetik ağırlık yerine partikülün ölçüm hacminden geçiş süresinin temel alındığı ağırlık faktörü kullanılarak hızdaki belirsizlik azaltılmıştır. Bunlara ek olarak yeterli oran ve boyutta atomize yağ elde edebilmek için kompresör basıncı el kitabındaki verilere uygun seviyede tutulmuştur. Sonuç olarak hız ölçümlerindeki belirsizliğin % 2 civarında olduğu tahmin edilmektedir.

Çalışma kapsamında eşdeğer çapı 5mm olan dairesel (EJ1) bir jet dizisi kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Ölçümler her bir jet geometrisi için jet-plaka mesafeleri 3d ve 12d durumlarında $Re=10000$ değeri için düz, V-BK ve DG-BK yüzeylerde yapılmıştır. Ölçümlerde akış alanındaki hız vektörlerini incelemek için dikey taramalar ve çarpma plakasından jet çıkışına kadar yapılmıştır. LDA ölçümleri düz plaka için a noktasından b noktasına kadar, V-BK kanatçıklı yüzeylerde a-b, c-d ve e-f arasındaki bölgelerde ölçümler yapılmıştır. DG-BK kanatçıklı yüzeylerde ise m-n ve o-p arasındaki bölgede ölçümler yapılmıştır.

5.5.3. Deneysel sonuçlar

Akış deneylerinin optik olarak yapılabilmesi için 5mm kalınlıkta şeffaf pleksiglas malzeme kullanılmıştır. Düz, V-BK ve DG-BK yüzeyleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda pürüzsüz pleksiglas malzeme kullanılmış ve V-BK ve DG-BK'lar

düzgün pürüzsüz pleksiglas malzeme üzerine yapıştırılarak aşağıda belirtilen noktalar arasında akış deneyleri yapılmıştır.

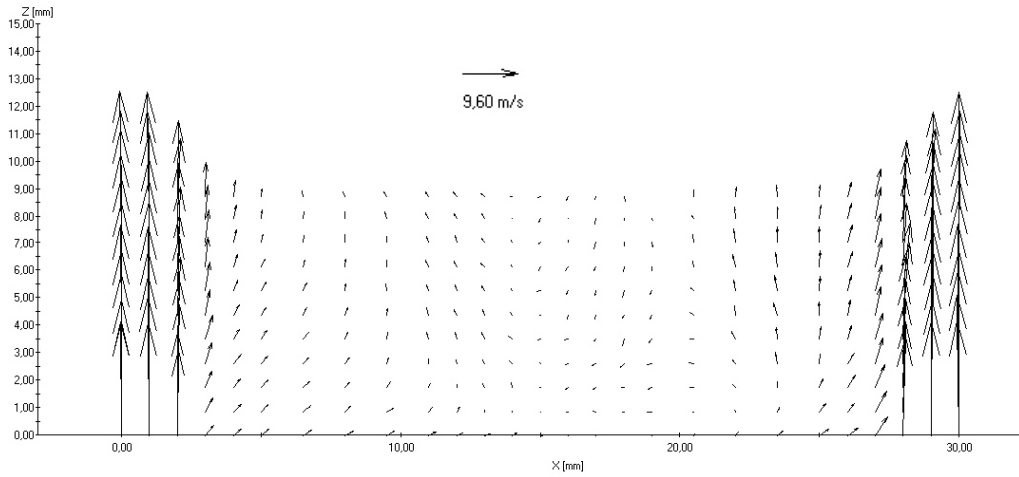
Akış alanındaki hız vektörü dağılımları

Şekil 5.72-Şekil 5.78’de dairesel jet diziliminde (EJ1) düz plaka, V-BK ve DG-BK yüzeylerde a-b ve m-n bölgelerindeki hız vektörlerini göstermektedir. Ölçümler $Re=10000$ jet-plaka mesafesinin $3d$ ve $12d$ olduğu mesafelerde elde edilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi $x=0$ noktası merkez jet ve $x=30$ noktası merkez jete komşu jet merkezini göstermektedir. Jet merkezlerine yakın bölgeler ve jetlerin birbirleriyle çarpışma bölgeleri diğer bölgelerden daha sık taranarak akış dağılımları daha iyi bir şekilde incelenmiştir. Şekiller iki jet arasındaki mesafeler boyutsuzlaştırılarak farklı noktalardaki ($x/d=0$, $x/d=0,2$, $x/d=0,4$, $x/d=0,6$, $x/d=0,8$, $x/d=1,0$, $x/d=1,3$, $x/d=1,6$, $x/d=1,9$, $x/d=2,2$, $x/d=2,4$, $x/d=2,6$, $x/d=2,8$, $x/d=3,0$, $x/d=3,2$, $x/d=3,4$, $x/d=3,6$, $x/d=3,8$, $x/d=4,1$, $x/d=4,4$, $x/d=4,7$, $x/d=5,0$, $x/d=5,2$, $x/d=5,4$, $x/d=5,6$, $x/d=5,8$, $x/d=6,0$) hız vektörleri elde edilmiştir.

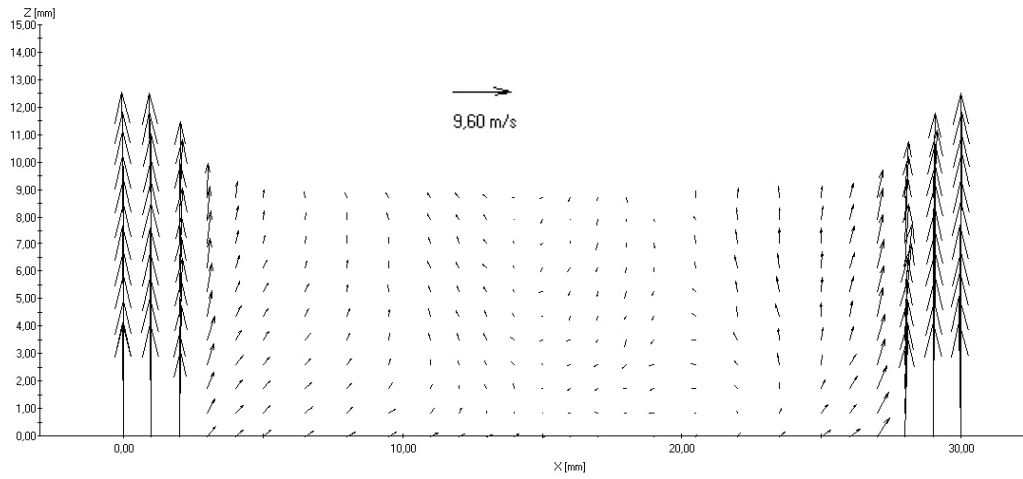
Tüm akış alanı değişimlerinde $z=0$ noktası jet çıkışını göstermektedir. Şekil 5.72’de görüldüğü gibi $x=0$ ve $x=30$ noktaları jetin merkezindeki çıkış noktalarını göstermektedir. Bu noktalarda özellikle dikey hızların (w) baskın olduğu jet merkezlerinden uzaklaştıça yatay ve dikey hız bileşenlerinin ortaya çıktığı görülmektedir. Düz ve V-BK plaka üzerinde $x/d=0,6$ noktasından itibaren çarpma plakasına yakın bölgelerde akış hız vektörleri $+x$ ve $-x$ yönlerinde önemli bir değişim göstermeksizin $x/d=5,4$ noktasında ise $+x$ yönünde hız vektörlerinin daha baskın olduğu görülmektedir. Bu durum sayısal çalışmalarımızda görüldüğü gibi jet etkileşimleriyle jetlerin birbirini sürüklemesinden kaynaklanmaktadır.

Jet-plaka mesafesinin $H/d=3$ olduğu durumda kanat eksinin akış yapısında önemli bir değişiklik meydana getirmediği görülmektedir. Fakat $z=13mm$ sonraki kısımda çarpma plakasına yakın bölgelerde dikey hız bileşenlerinin ölçülmesi mümkün değildir. Çünkü dik hızların ölçüldüğü lazer ışınları belirli bir açıyla geldiği için kesişme noktaları alt kısımda çarpma plakasına, üst kısımda ise jet-plakasına

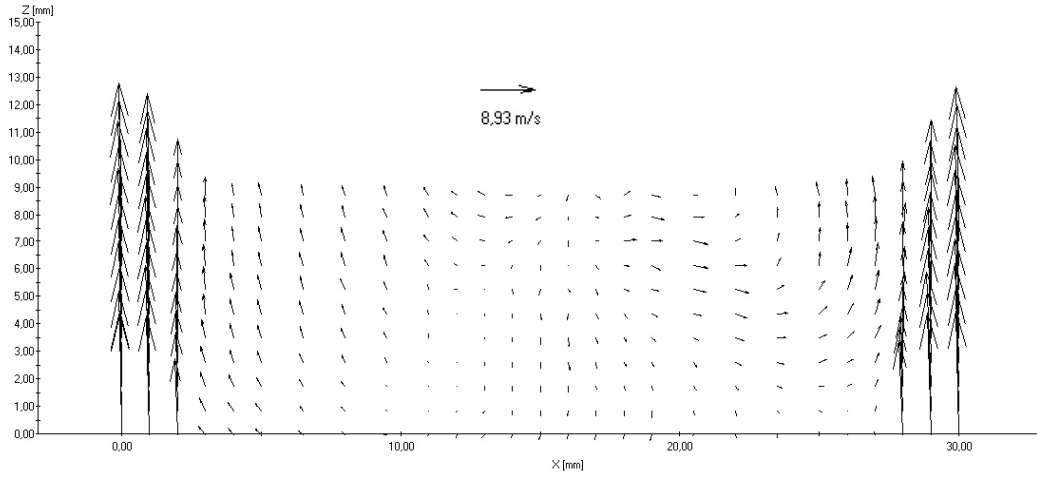
çarpmasından dolayı ölçümler yapılamamıştır. Şekil 5.74’de $x=20\text{mm}$ mefaden sonra DG-BK kanatçıklı yüzeylerde çarpma plakasına yakın bölgelerde dönme hareketlerinin meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 5.72. Merkez jet-komşu jet merkezi arasında (a-b) hız vektörü dağılımı ($H/d=3$, düz plaka, $z=0$ jet çıkışını göstermektedir)

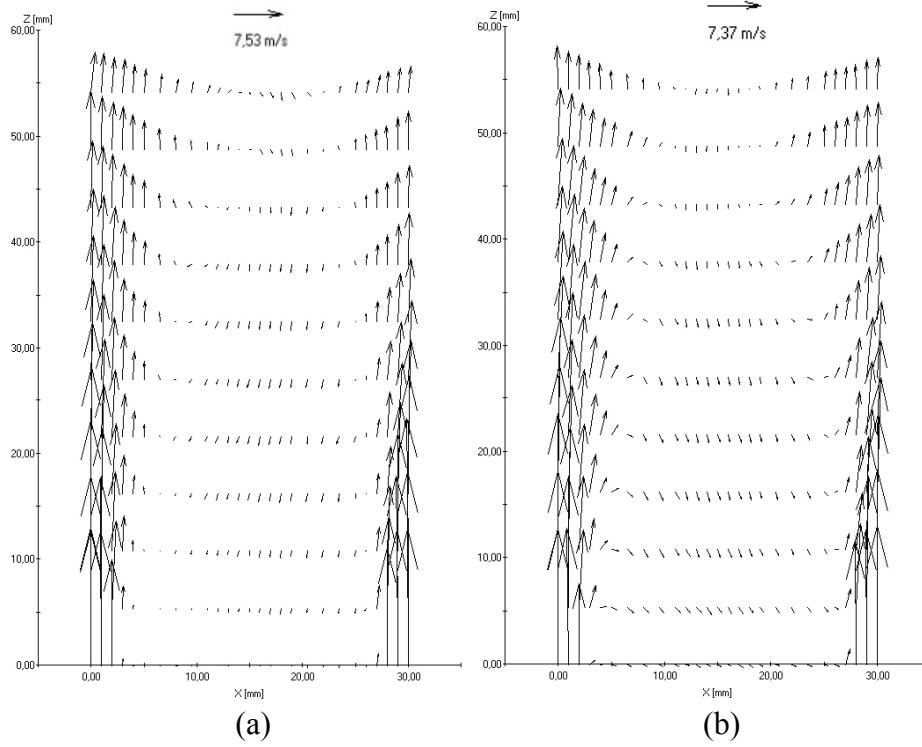


Şekil 5.73. Merkez jet-komşu jet merkezi arasında (a-b) hız vektörü dağılımı ($H/d=3$, V-BK, $z=0$ jet çıkışını göstermektedir)



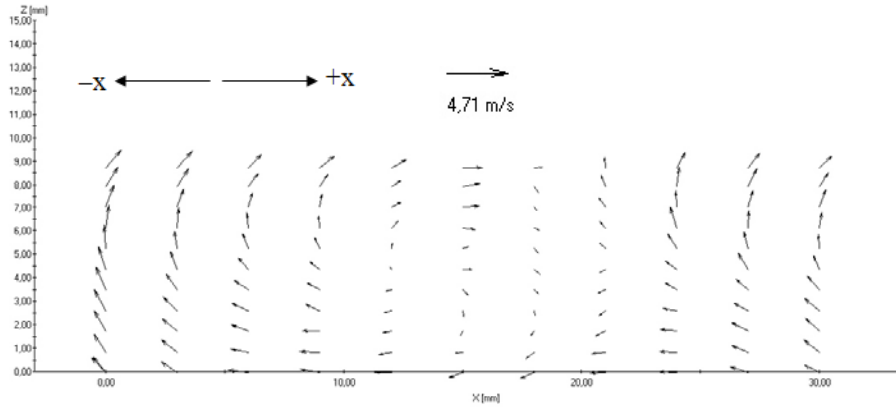
Şekil 5.74. Merkez jet-komşu jet merkezi arasında (m-n) hız vektörü dağılımı ($H/d=3$, DG-BK, $z=0$ jet çıkışını göstermektedir)

$H/d=12$ 'de düz ve V-BK plaka üzerinde elde edilen hız vektörü dağılımları Şekil 5.75'de verilmiştir. Jet-plaka mesafesinin artmasıyla çarpma yüzeyinde oluşan dönme hareketlerinin azaldığı görülmüştür. $H/d=12$ 'de elde edilen hız vektörleri $H/d=3$ 'deki hız vektörleriyle karşılaştırıldığında zaman hız vektörlerindeki dönme hareketlerinin azaldığı görülmüştür. Düz ve kanatçıklı durum karşılaştırıldığında kanatçık etkisinden dolayı $z=25$ ve $x=4$ mm olduğu noktada akışta dönme hareketlerinin azda olsa etkili olduğu ve bu durum ısı transfer deneylerinde elde edildiği gibi ısı transferinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca jet plakasına yakın bölgelerde hız vektörlerinin düz plakaya göre daha büyük olduğu görülmektedir.

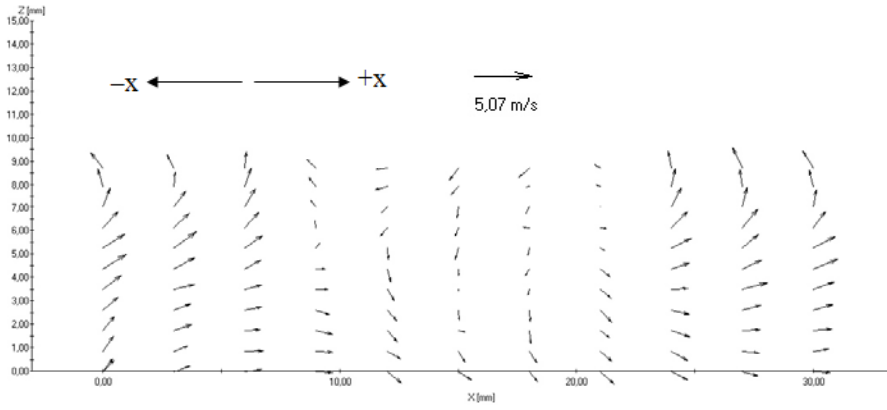


Şekil 5.75. Merkez jet-komşu jet merkezi arasında (a-b) hız vektörü dağılımı
(a) Düz plaka, $H/d=12$, (b) V-BK, $H/d=12$.

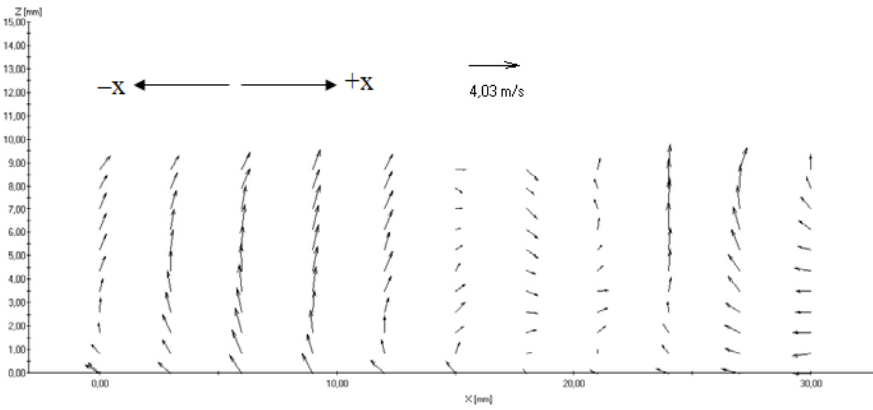
c-d ve e-f noktaları arasındaki düz ve V-BK yüzeyinde elde edilen hız vektörü dağılımları $H/d=3$ olduğu durum için Şekil 5.76a, b, c’de verilmektedir. Düz plakada çarpma plakasına yakın bölgelerde ($z=7, 8$ ve 9 mm) akış $x=0$ dan $x=30$ ’a kadar $+x$ yönünde tek yönlü devam ettiği görülmektedir. V-BK kanatçıklı yüzey üzerindeki akış düz plaka üzerindeki akışla karşılaştırıldığında zaman kanatçıkların etkisinden dolayı çarpma plakasına yakın bölgelerde akışın $+x$ ve $-x$ yönünde hareketlerin meydana geldiği görülmektedir. Bu durum çarpma plakası üzerinde girdapların oluşmasına ve ısı transferini artırmaya yardımcı olmaktadır. Şekil 5.76c’de ise kanatçıkların diziliş biçimlerinden dolayı Şekil 5.76b’ye göre hız vektörlerinin farklı yönlerde meydana geldiği görülmektedir. Kanatçıkların dizayn ve diziliş biçimlerinden dolayı Şekil 5.76b ve Şekil 5.76c’deki hız vektörleri kanatçıkların geniş kısımlarında $+x$ yönünde iken dar kısımlarında ise $-x$ yönünde hız vektörleri oluşmaktadır.



(a)

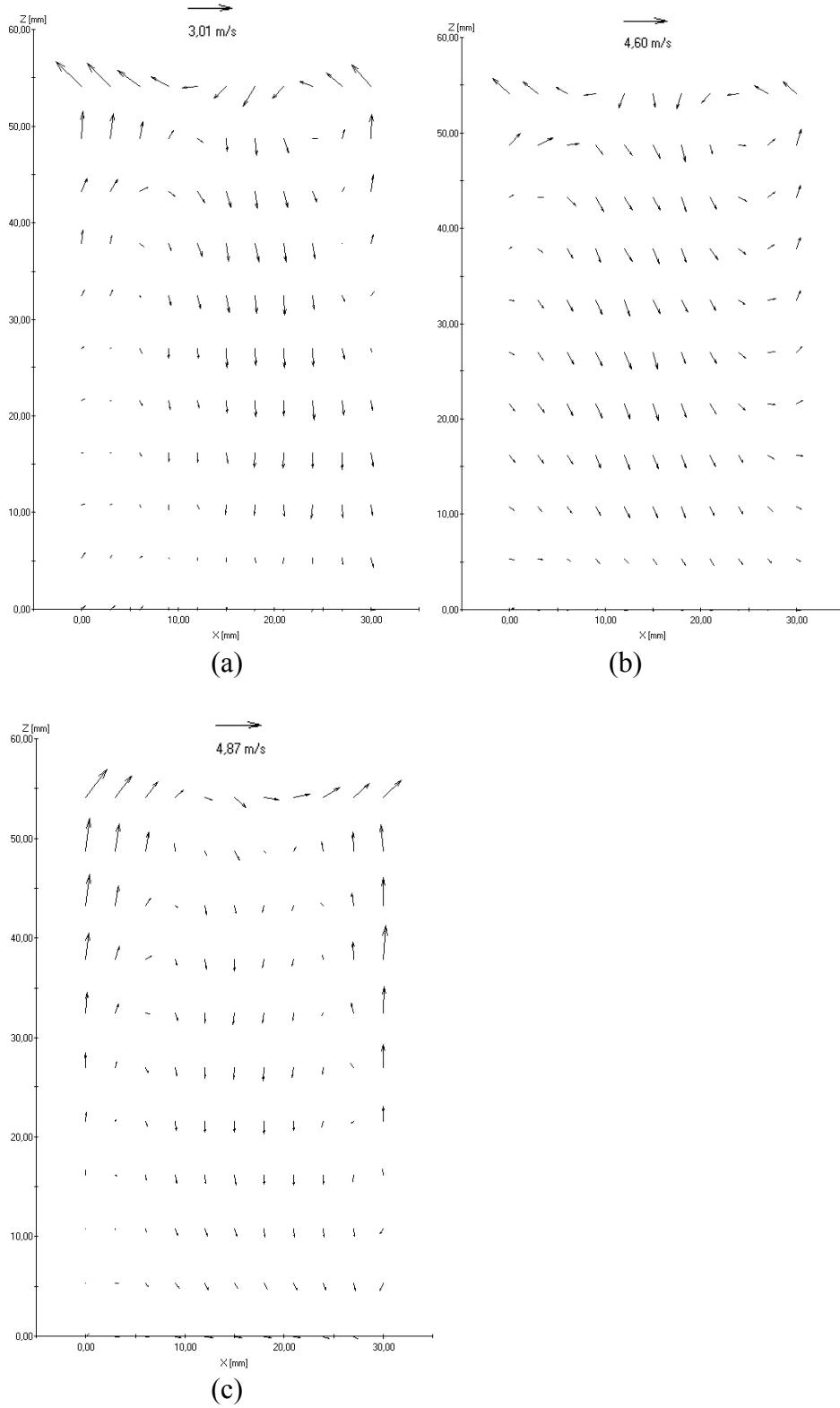


(b)



(c)

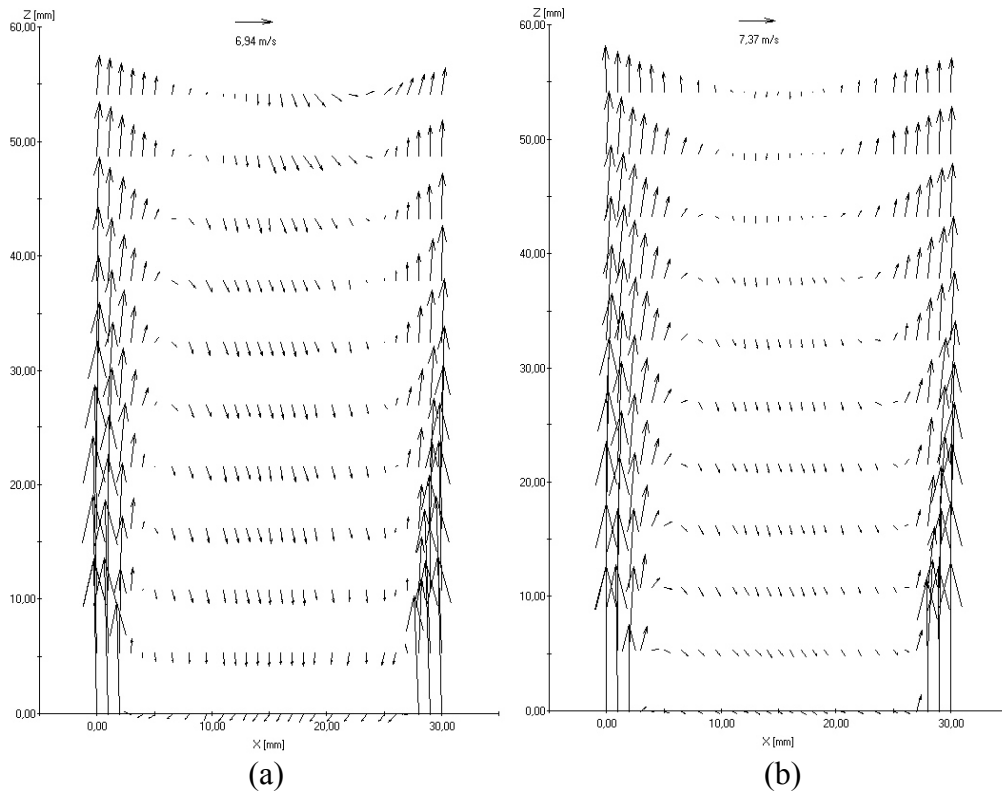
Şekil 5.76. Düz ve V-BK yüzeylerde akış alanındaki hız vektörü dağılımı, $H/d=3$
 (a) Düz plaka c-d arasında, (b) V-BK c-d arasında (c) V-BK e-f arasında



Şekil 5.77. Düz ve V-BK yüzeylerde hız vektörü dağılımı, $H/d=12$, (a) Düz plaka, c-d arasında, (b) V-BK, c-d arasında (c) V-BK, e-f arasında

$H/d=12$ 'de c-d ve e-f noktaları arasındaki düz ve V-BK yüzeyde elde edilen hız vektörü dağılımları Şekil 5.77a, b, c'de verilmektedir. Şekil 5.77a ve 5.77b'de c-d noktaları arasında oluşan hız vektörlerine bakıldığında $z=45$ ve $x=10$ mm olduğu bölgeden itibaren V-BK kanatçıklı yüzeyde hız vektörlerinin daha büyük ve yüzeye belirli bir açıyla geldiği görülmektedir. Şekil 5.77b ve Şekil 5.77c'de ise kanatçıkların diziliş biçimlerinden dolayı Şekil 5.77b'deki hız vektörleri Şekil 5.77c'deki hız vektörleriyle çarpma plakasına yakın bölgelerde ters yönde olduğu görülmektedir.

$H/d=12$ 'de o-p ve a-b noktaları arasında DG-BK ve V-BK plaka yüzeylerinde elde edilen hız vektörü dağılımları Şekil 5.78a ve 5.78b'de verilmiştir. DG-BK plaka üzerinde akışın iki jet arasında sıkıştığı ve çarpma plakasına ters yönde hareket ettiği ve bunun sonucunda ısı transferinin DG-BK plakalarda $H/d=12$ olduğu durumda düz plakadan daha kötü ısı transferi gösterdiği görülmüştür.



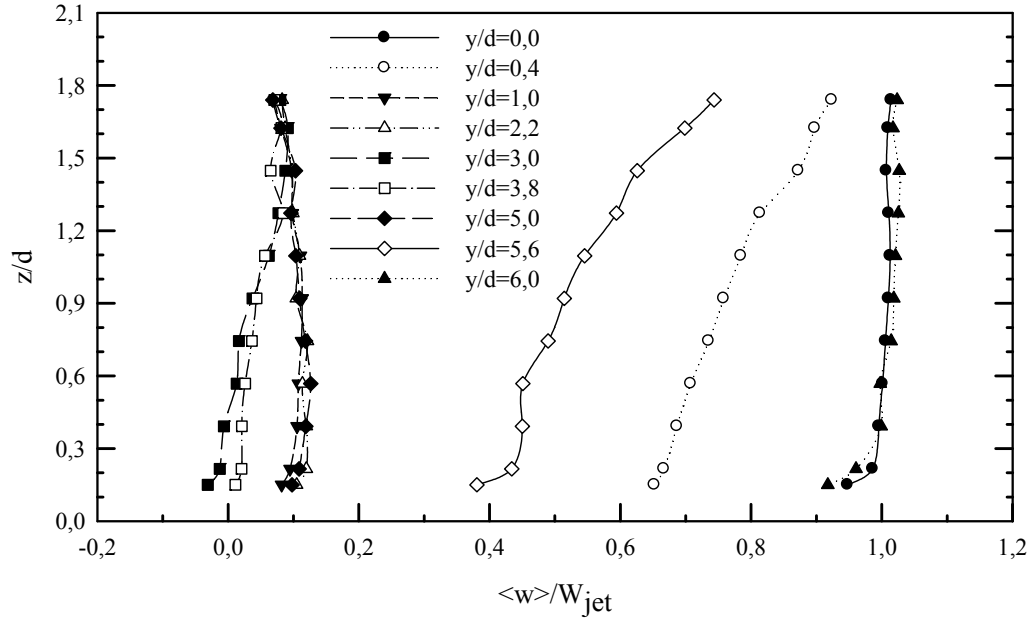
Şekil 5.78. (a) o-p arasında DG-BK plaka üzerindeki hız vektörü dağılımı, (b) a-b arasında V-BK plaka üzerindeki hız vektörü dağılımı ($H/d=12$)

Plakaya dik hız bileşeni ölçümleri

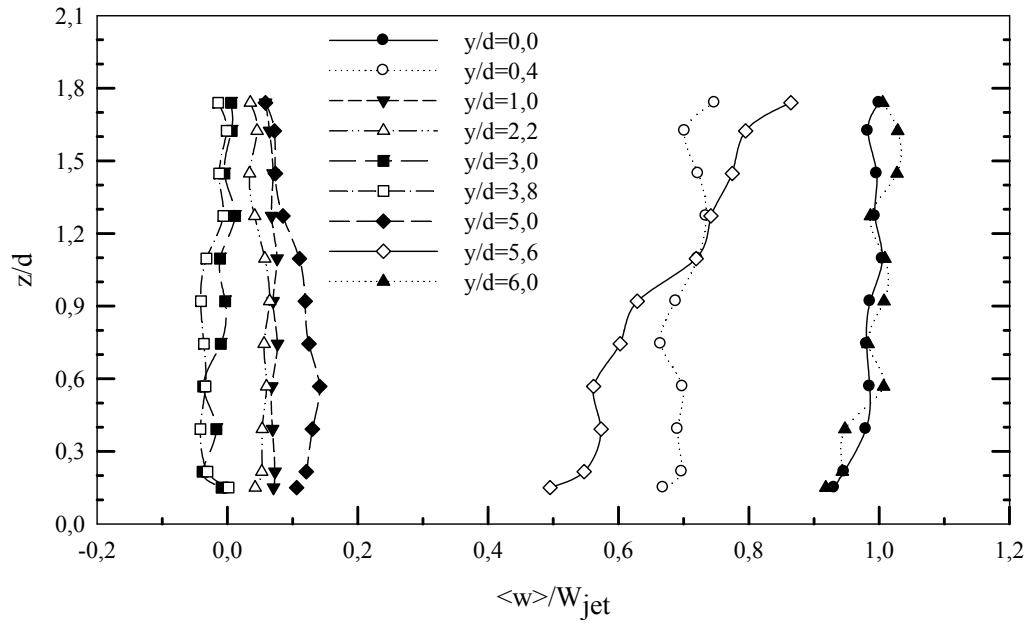
Düz plakalarda a-b arasında, V-BK plaka üzerinde a-b, c-d ve e-f noktaları arasında ve DG-BK üzerinde ise m-n noktaları arasında farklı jet-plaka mesafeleri ($H/d=3$ ve 12) için boyutsuz dikey hızın (w/W_{jet}) boyutsuz x/d mesafesiyle değişimleri boyutsuz z/d yüksekliklerinde, Şekil 5.79-Şekil 5.92’de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. İfadede kullanılan W_{jet} jet giriş hızı, d , jet eşdeğer çap olarak tanımlanmıştır.

Tüm şekillerde $y/d=0$ noktası merkez jetin durma noktasını $y/d=6$ noktası ise merkez jete komşu jetin durma noktasını göstermektedir. Düz plaka üzerindeki boyutsuz dikey hız V-BK ve DG-BK’lı plakalı yüzeyler üzerindekiyle karşılaştırıldığı zaman dikey hızda önemli bir değişimin olmadığı görülmektedir. Düşük jet-plaka mesafelerinde merkez jet ile komşu jet arasındaki dikey hızlar arasında önemli bir değişimin olmadığı fakat jet-plaka mesafesinin artmasıyla jet sürüklenmesinden dolayı dikey hızlarının kaydığı görülmektedir. Jetler arası etkileşimlerinden dolayı $y/d=0,0$, $6,0$ ve $y/d=0,4$, $5,6$ bölgelerinde dikey hızlar birbirinden farklı olduğu görülmektedir. $y/d=1,0$, $5,0$, $2,2$ ve $3,8$ bölgelerinde dikey hızlarda kayma olmadığı görülmektedir. Jet merkezindeki dikey hız $H/d=3$ ’de $z/d=0,6$ ’ya kadar $H/d=12$ ’de $z/d=9$ ’a kadar çarpma plakasından etkilenmediği görülmektedir.

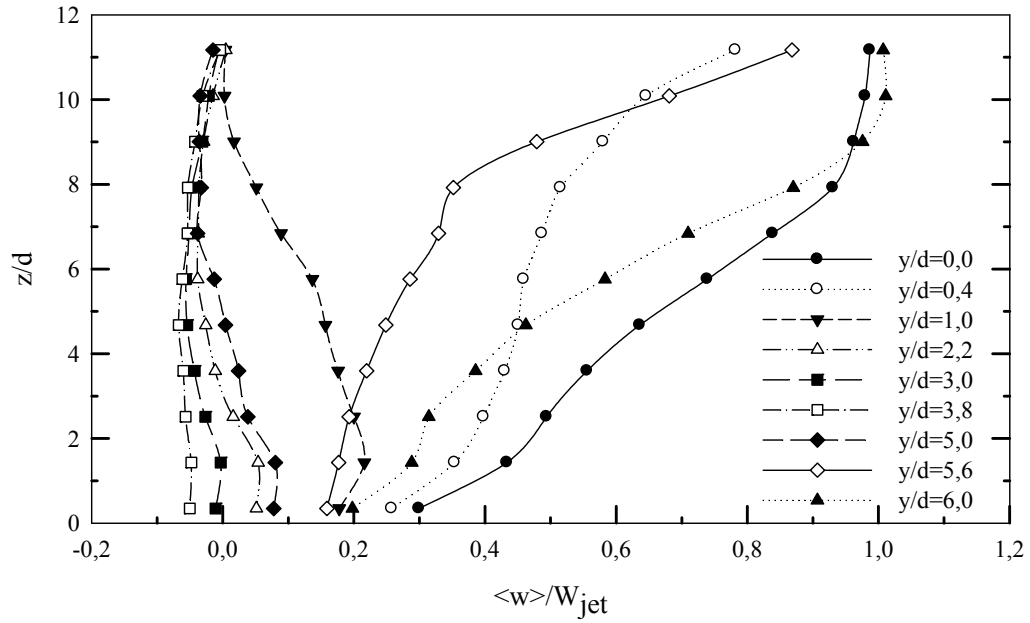
Bu bölgelerde jet merkezindeki dikey hız (w) neredeyse sabittir ve bu bölgede akış çarpma plakasından etkilenmez. Üstelik bu bölgelerde türbülans seviyesi çok düşüktür ve kayma tabakası gelişiyor.



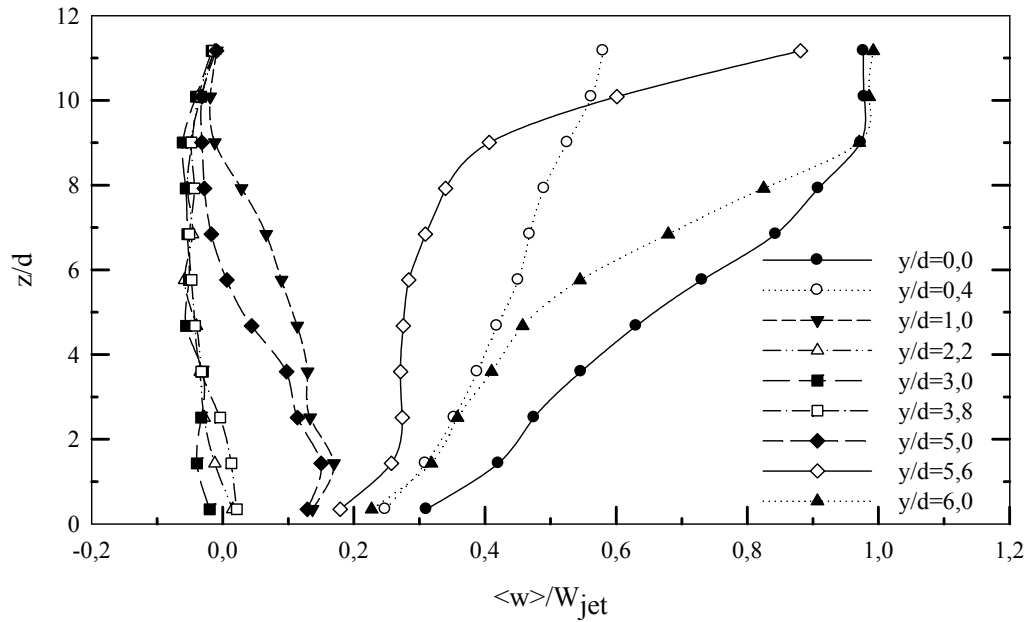
Şekil 5.79. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka)



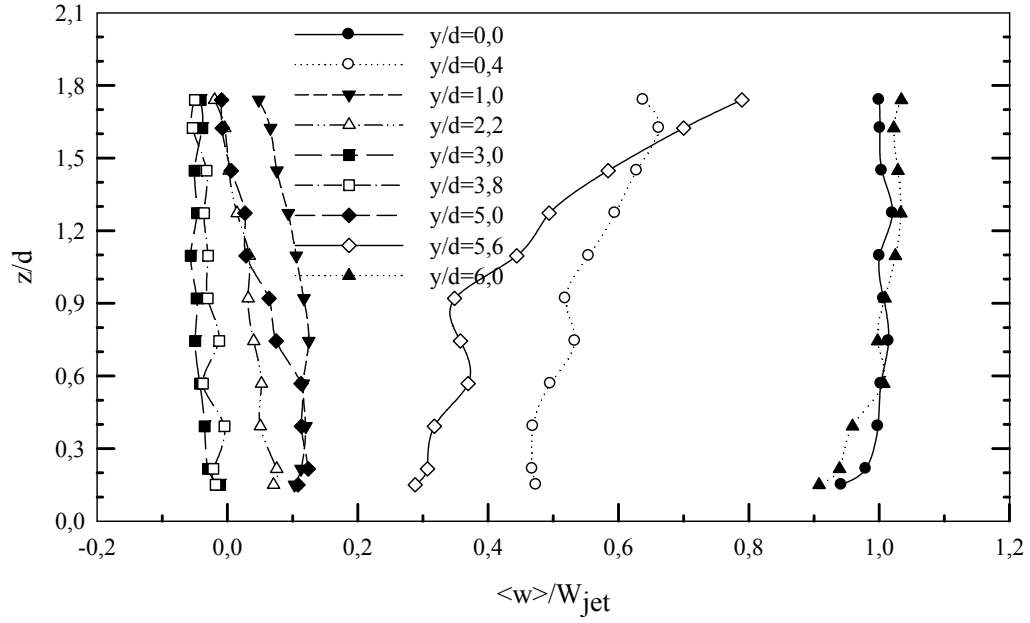
Şekil 5.80. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, V-BK)



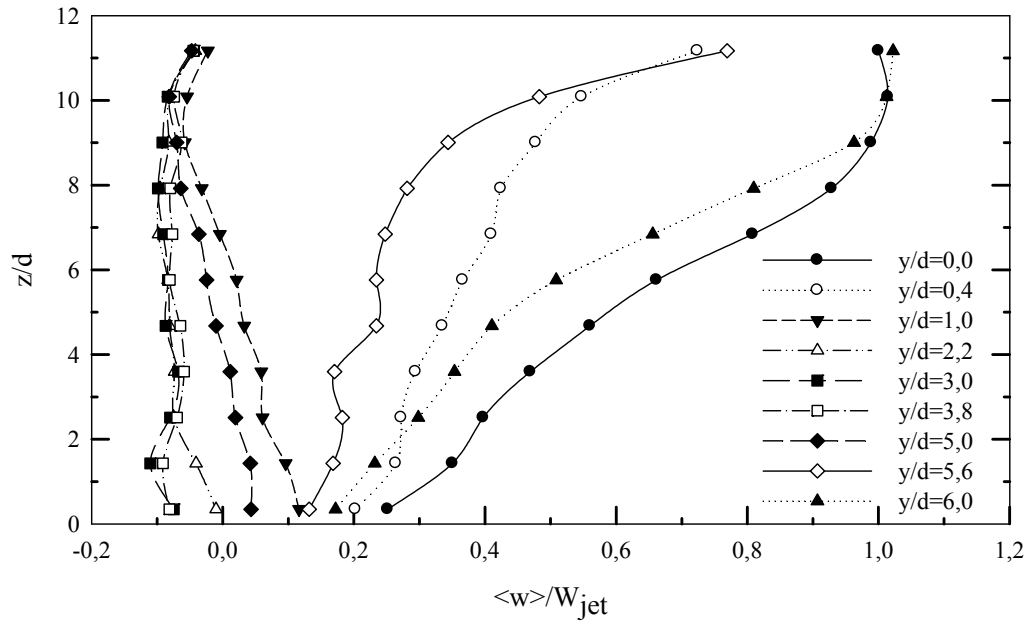
Şekil 5.81. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka)



Şekil 5.82. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, V-BK)



Şekil 5.83. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, DG-BK)

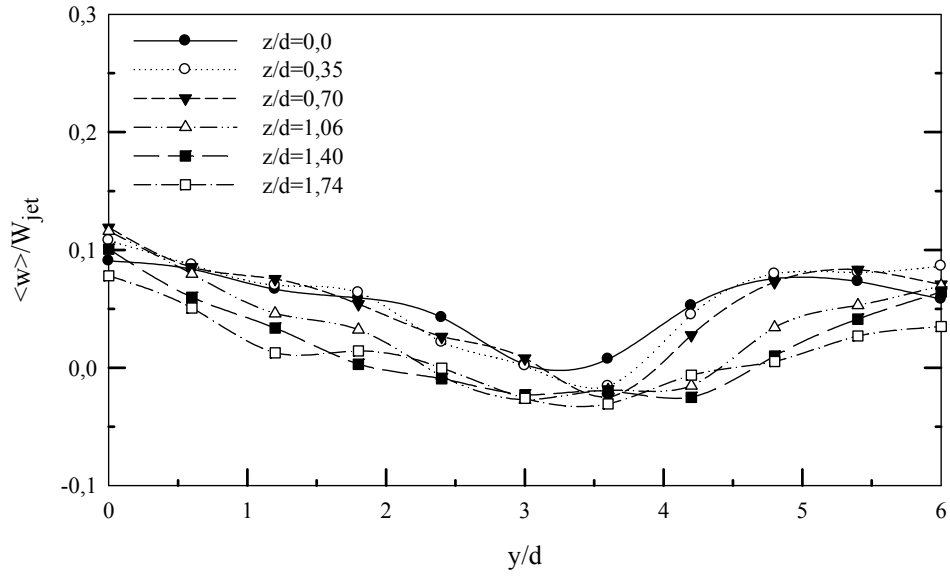


Şekil 5.84. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, DG-BK)

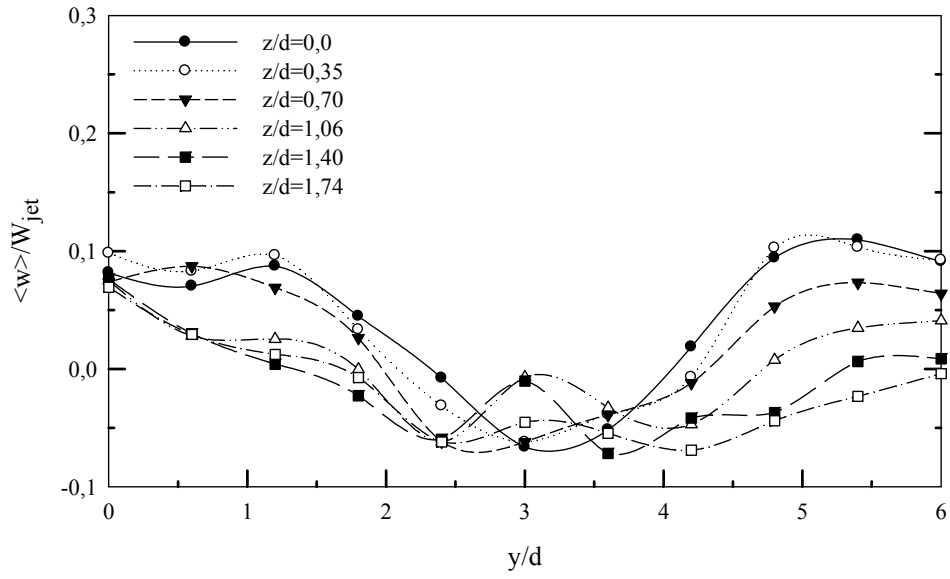
Şekil 5.85-Şekil 5.92’de farklı z/d mesafeleri için w/W_{jet} değişimin y/d ile değişimleri verilmiştir. Şekiller düz ve V-BK’lı yüzeylerde c-d ve e-f bölgelerinde elde edildi. Grafiklerde $z/d=0$ noktası jet çıkışını $z/d=1,74$ ve $z/d=10,82$ sırasıyla $H/d=3, 12$ için çarpma plakasına en uzak noktayı göstermektedir. Tüm şekillerden görüldüğü gibi düz plaka ve V-BK’lardaki dikey hız karşılaştırıldığı zaman V-BK’larda hız değişimlerinin daha farklı ve dikey hızların daha yüksek olduğu görülmektedir. Jet-plaka mesafesinin 12’ye çıkarılmasıyla düz plaka ve V-BK’larda dikey hız değişiminin fazla olmadığı görülmektedir.

Şekil 5.87 ve Şekil 5.88 karşılaştırıldığı zaman, düz plakada dikey hız $y/d=0-3$ bölgesinde azalıyor ve $y/d=3$ civarında minimum değere ulaşıyor. $y/d=3$ noktasından sonra artmaya devam ediyor. But V-BK’larda dikey hız $y/d=0-1,5$ noktası arasında artıyor ve $y/d=1,5$ noktasında maksimum değere ulaşıyor.

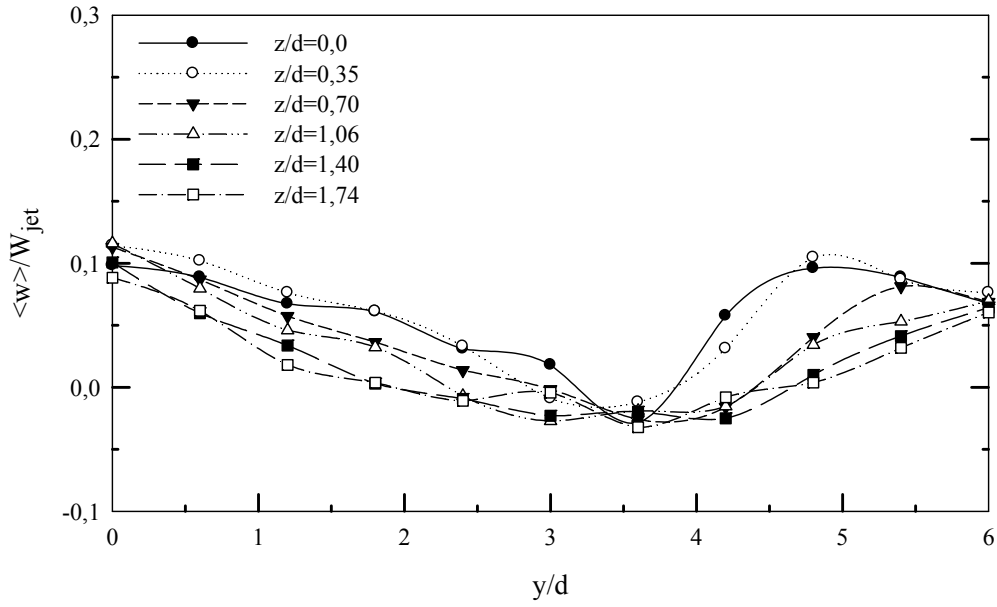
Şekil 5.89- Şekil 5.92’de görüldüğü gibi $z/d=4,33$ ’e kadar $y/d=1$ ve $y/d=5$ mesafeleri arasında sabit kalmaktadır. Çarpma plakasına yaklaştıkça $y/d=1$ ve $y/d=5$ mesafeleri arasında değişimin sabit kalmadığı önce azaldığı ve daha sonra iki jet etkileşiminin olduğu noktadan itibaren arttığı görülmektedir. Ayrıca çarpma plakasına yakın noktalarda V-BK kanatçıkların düz plakaya göre daha yüksek dikey hız elde edilmiştir. Jet çıkış noktalarında ($y/d=0$ ve $y/d=6$) çarpma plakasına yaklaştıkça dikey hızın azaldığı fakat iki jet arasındaki bölgede ise arttığı görülmüştür. $z/d=0$ noktasından (jet çıkışı) $z/d=4,33$ noktasına kadar $y/d=1-5$ arasındaki dikey hız değişimleri neredeyse sıfır iken çarpma plakasına yaklaştıkça w/W_{jet} sıfırdan farklı bir değer almıştır. V-BK plaka üzerinde, $y/d=1-5$ arasındaki w/W_{jet} hızı düz plakadakinden daha büyük olduğu görülmektedir.



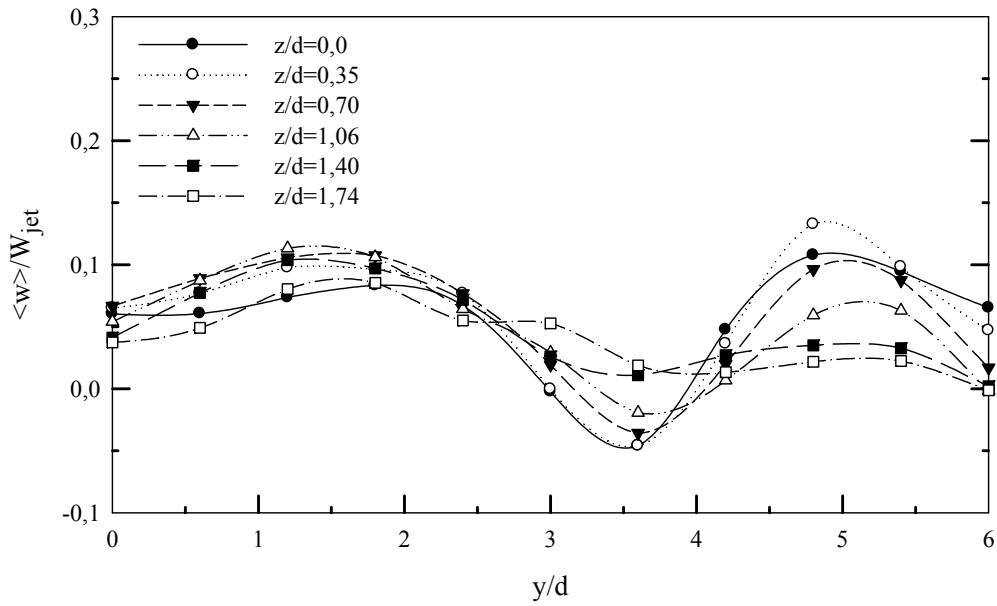
Şekil 5.85. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka)



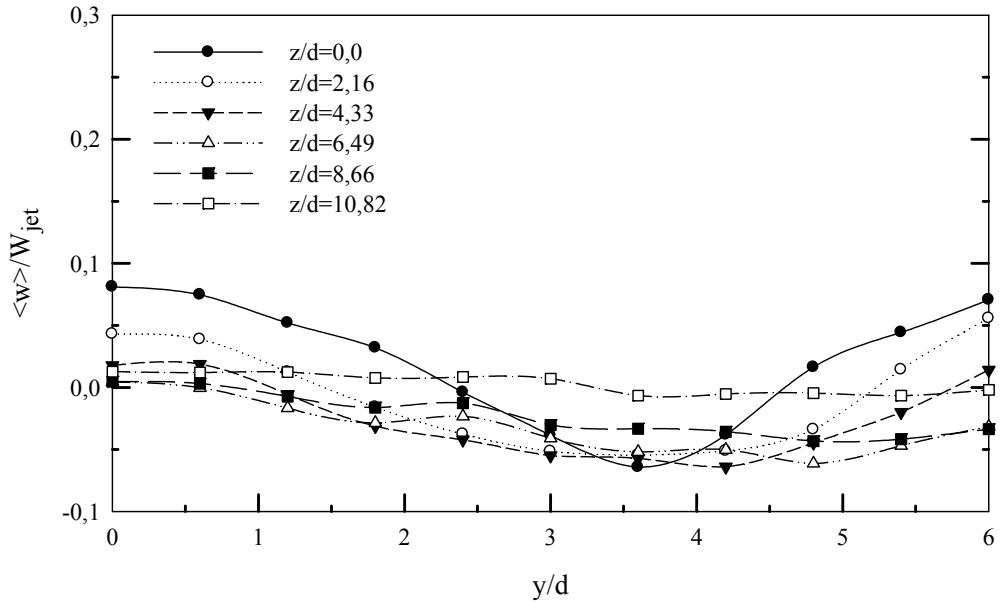
Şekil 5.86. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, V-BK)



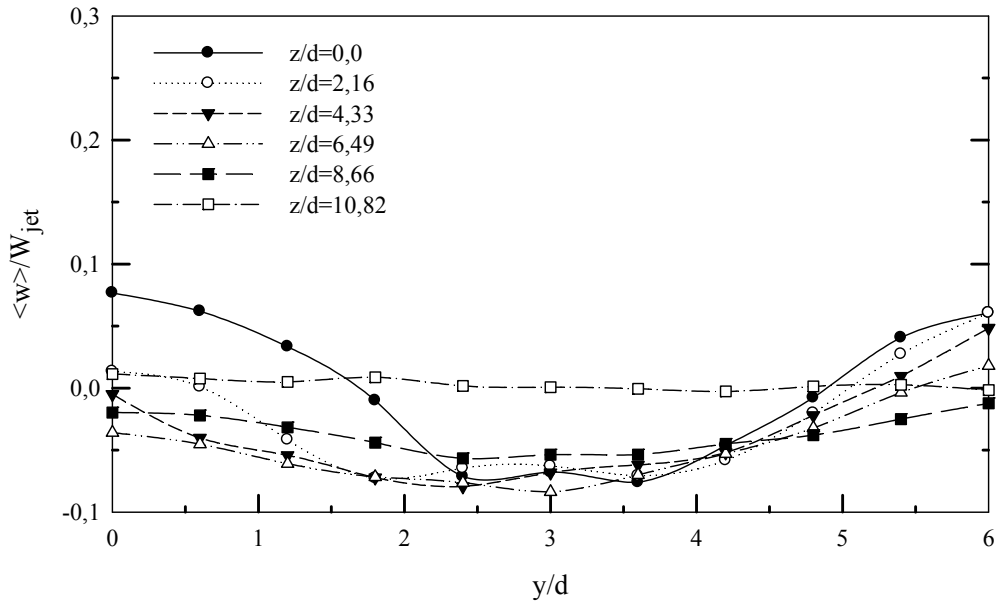
Şekil 5.87. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, e-f bölgesi boyunca değişimi (H/d=3, Düz plaka)



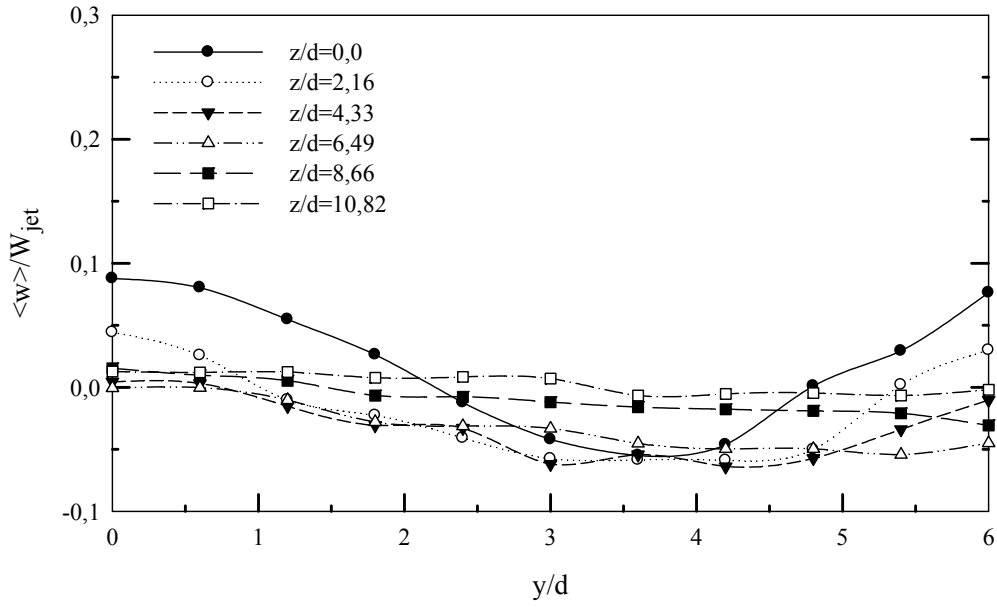
Şekil 5.88. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, e-f bölgesi boyunca değişimi (H/d=3, V-BK)



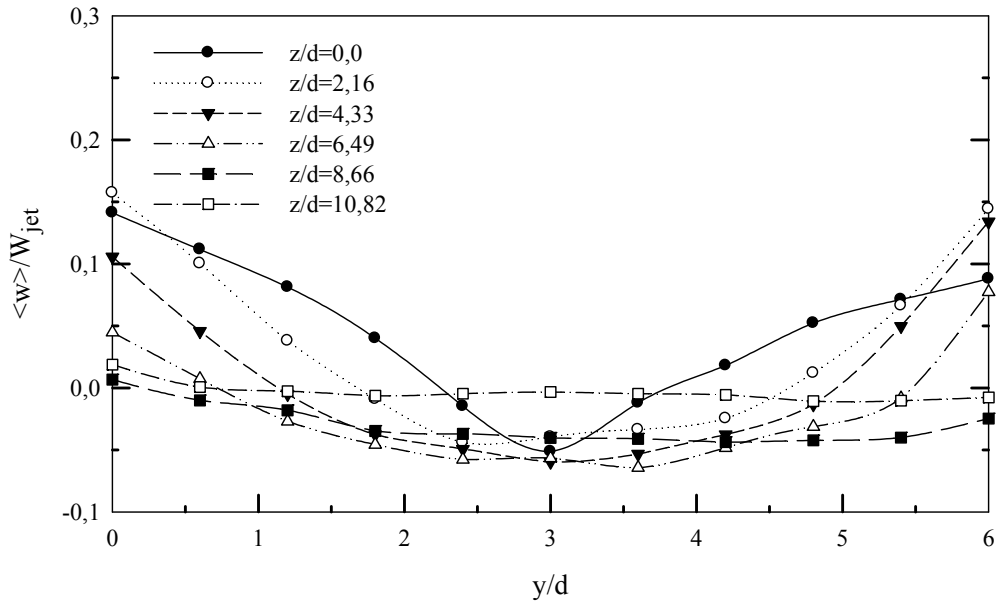
Şekil 5.89. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka)



Şekil 5.90. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, V-BK)



Şekil 5.91. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, e-f bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka)



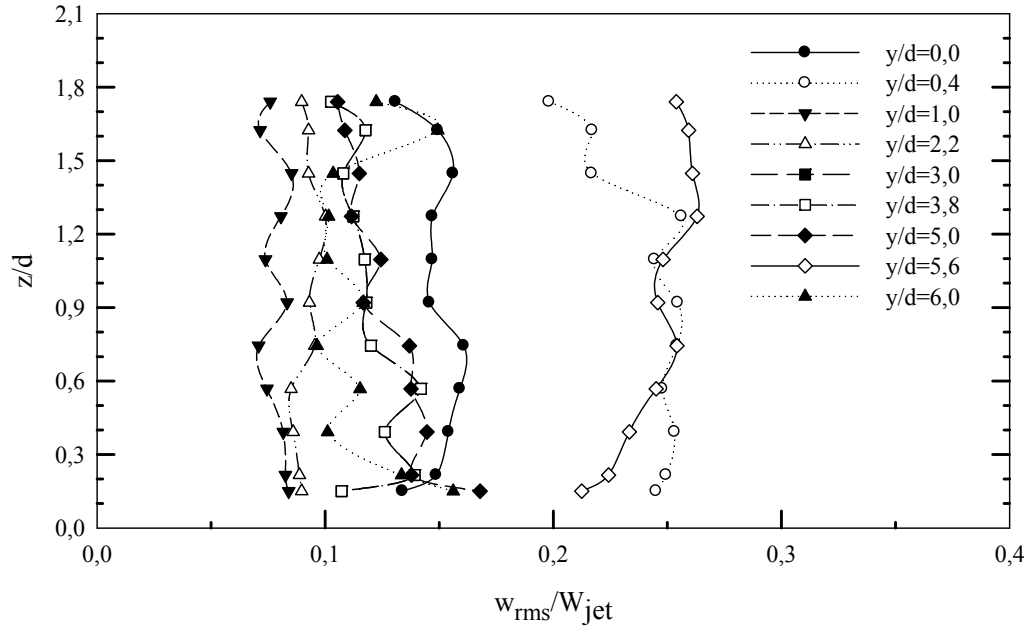
Şekil 5.92. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, e-f bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, V-BK)

Plakaya dik hızların türbülans yoğunluğu ölçümleri

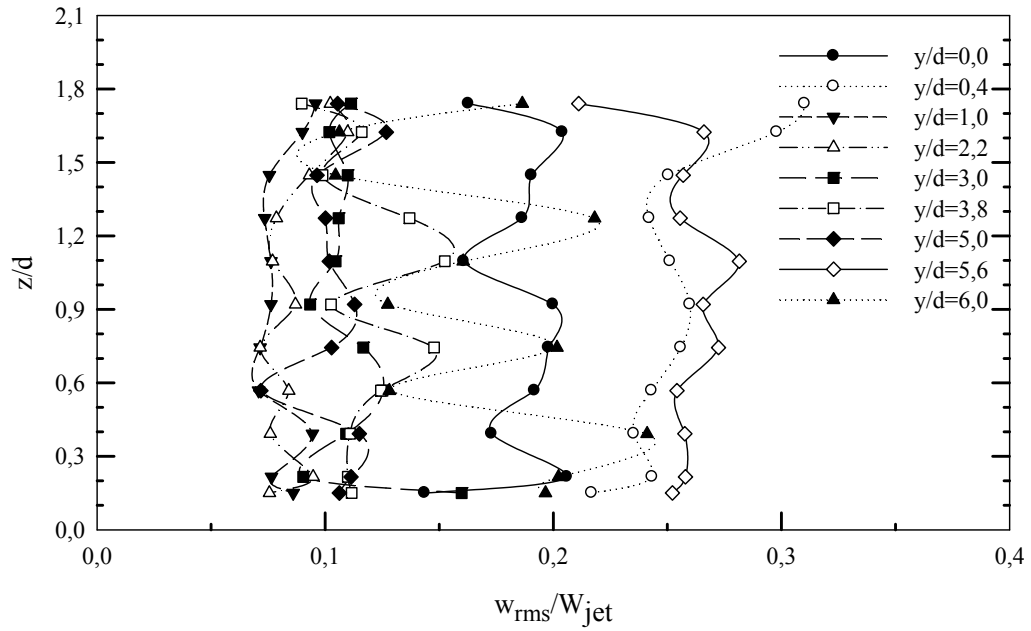
Düz ve V-BK plaka üzerinde a-b ve c-d noktaları arasında $H/d=3$ ve $H/d=12$ jet-plaka mesafeleri için boyutsuz dikey hızlara karşılık gelen türbülans yoğunluğu, boyutsuz y/d mesafesiyle değişimleri boyutsuz z/d yönünde farklı yükseklikler için Şekil 5.93-Şekil 5.100’de verilmiştir.

Jet-plaka mesafesinin $H/d=3$ olduğu durumda V-BK’lı plaka üzerindeki türbülans yoğunluk değişimleri düz plakalardan daha yüksek olduğu fakat jet-plaka mesafesinin artmasıyla türbülans yoğunluklarında önemli bir değişimin olmadığı görülmektedir. Ayrıca jet çıkışına yakın bölgelerde türbülans yoğunluklarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Tüm şekillerde jet çıkışına yakın bölgede, her iki jet-plaka mesafesi için maksimum rms hızları jet merkezleri veya yakın bölgelerde meydana geldiği görülmüştür.

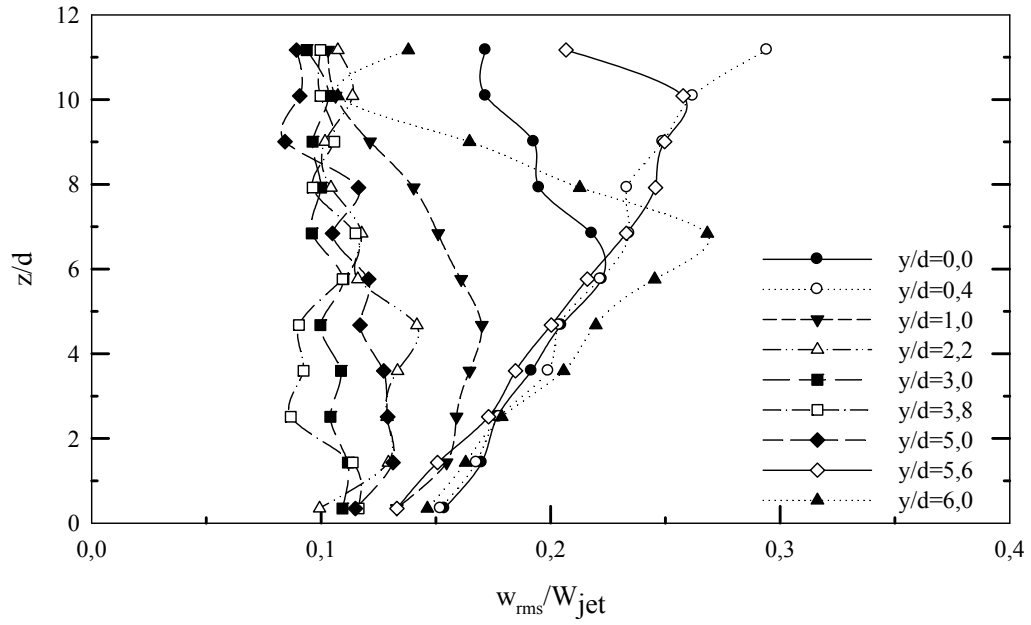
Düşük jet-plaka mesafelerinde merkez-komşu jet arasındaki bölgede ($y/d=3$) V-BK’larda daha yüksek türbülans yoğunluğu elde edilirken jet-plaka mesafesinin artmasıyla bu değişimin azaldığı görülmektedir.



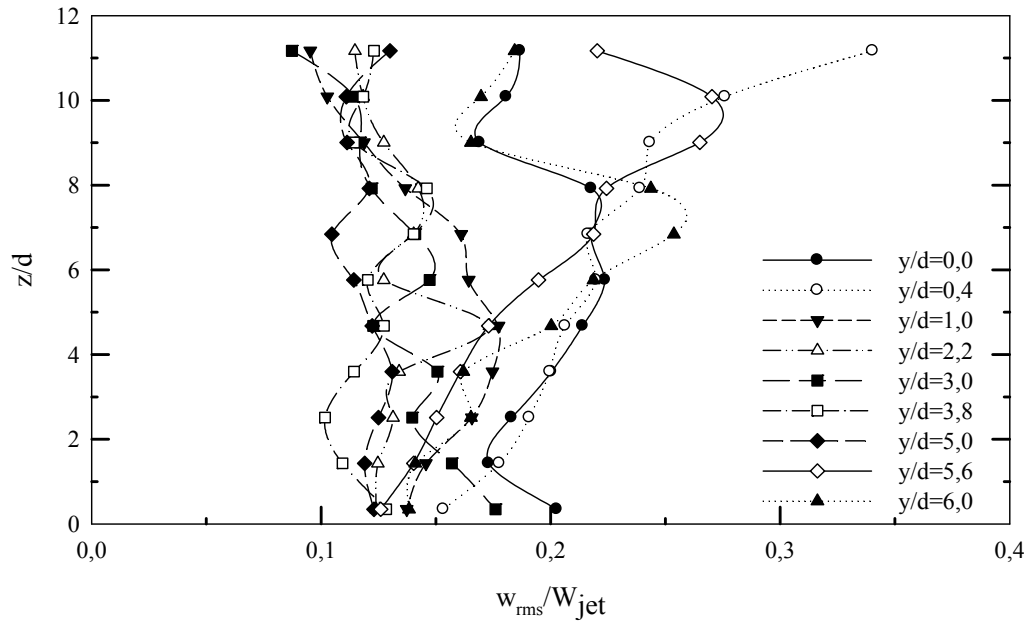
Şekil 5.93. Dikey hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka)



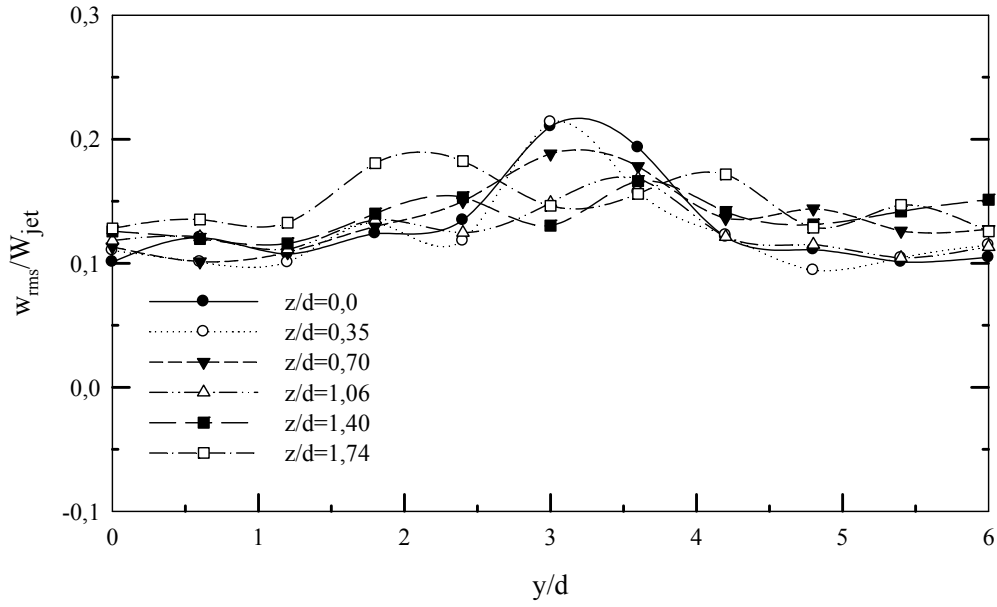
Şekil 5.94. Dikey hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, V-BK)



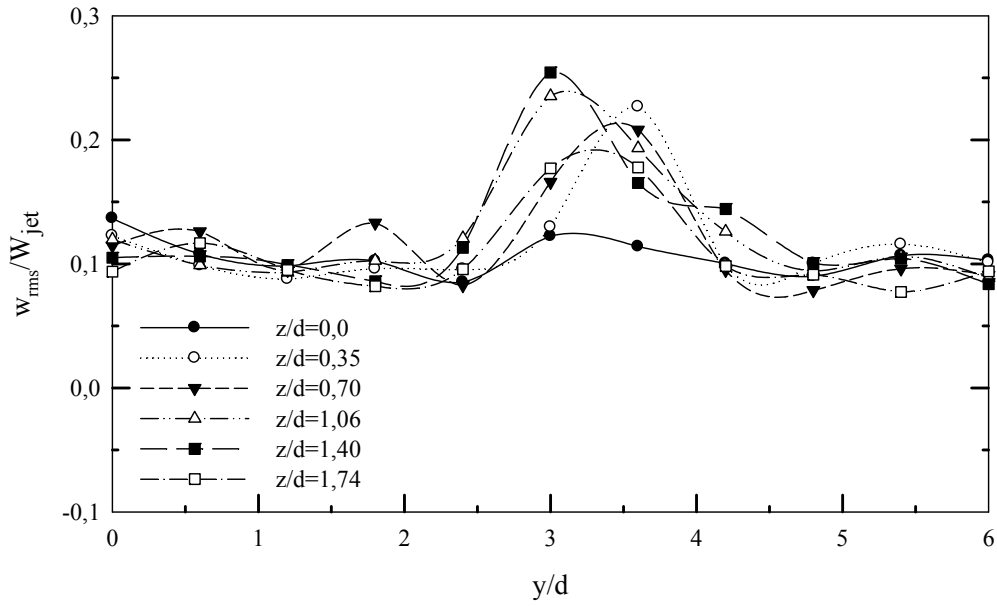
Şekil 5.95. Dikey hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka)



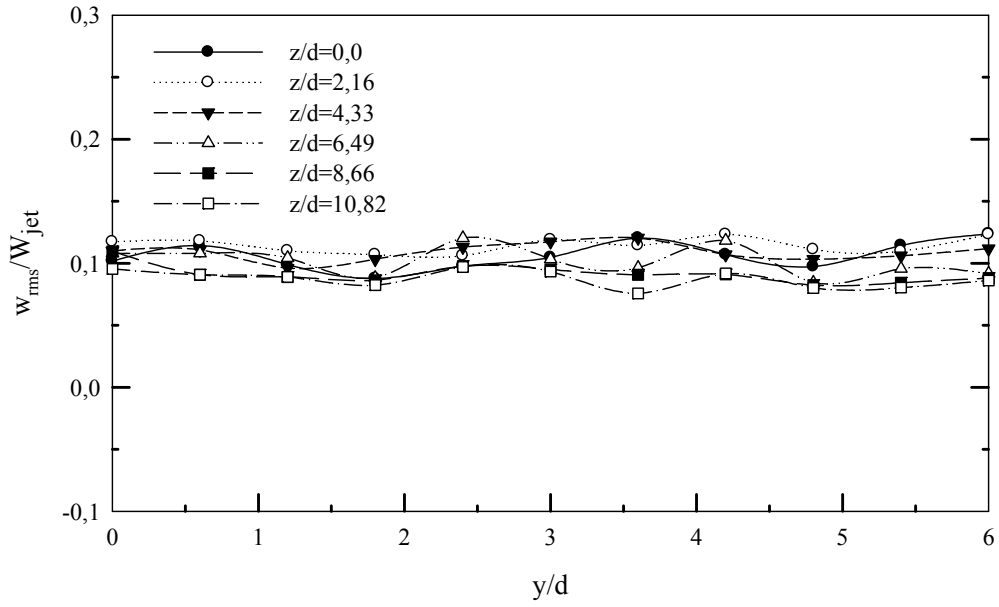
Şekil 5.96. Dikey hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, V-BK)



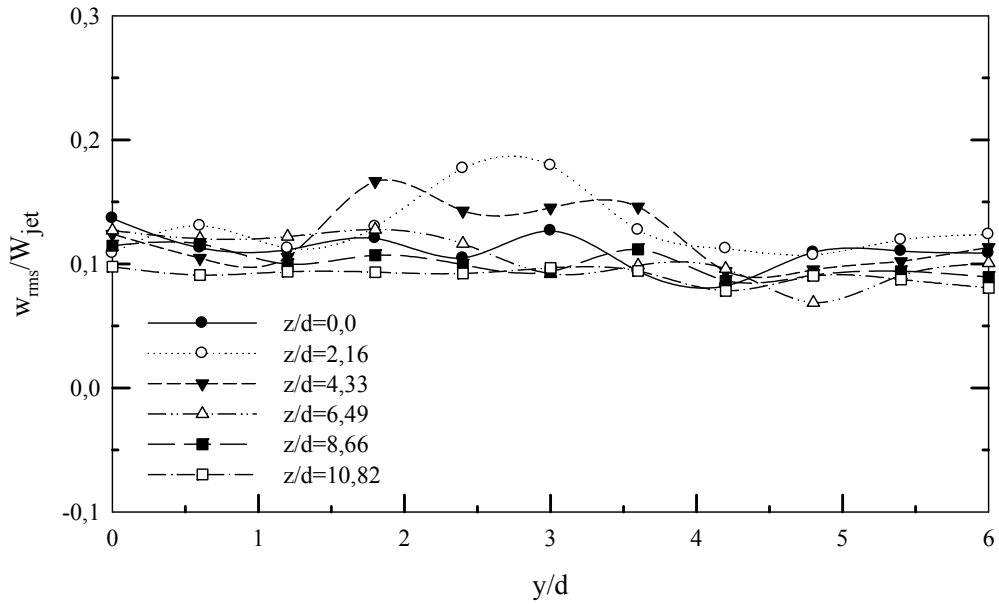
Şekil 5.97. Dikey hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka)



Şekil 5.98. Dikey hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, V-BK)



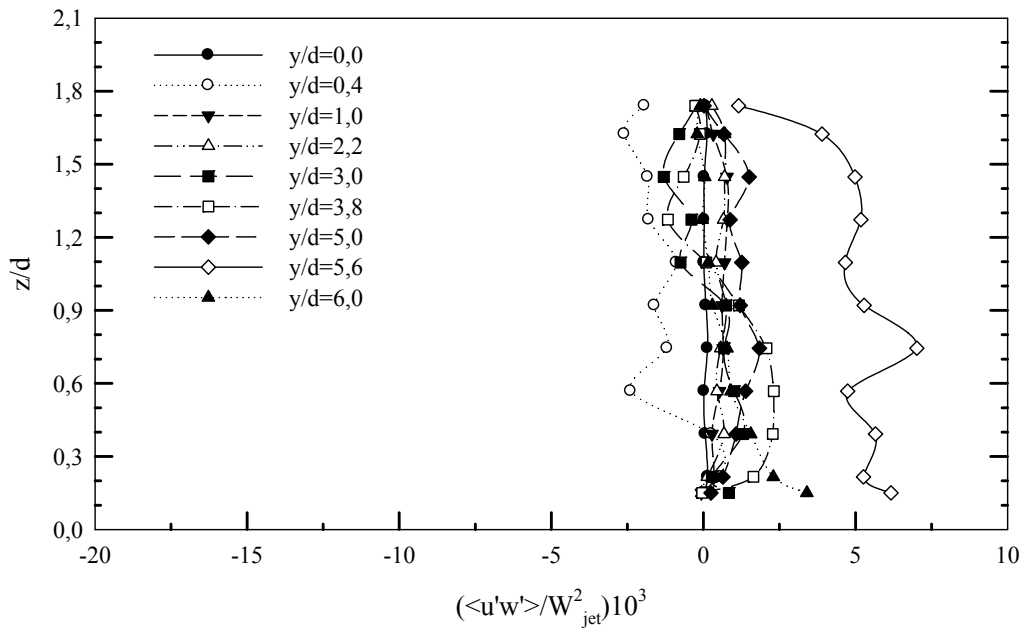
Şekil 5.99. Dikey hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka)



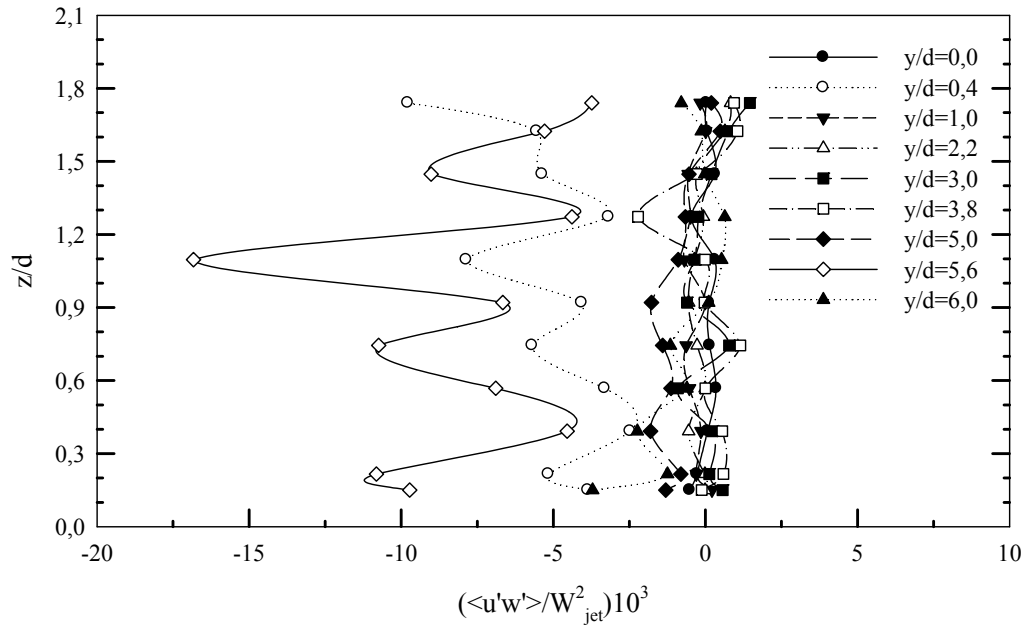
Şekil 5.100. Dikey hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, V-BK)

Reynolds kayma gerilmesi dağılımları

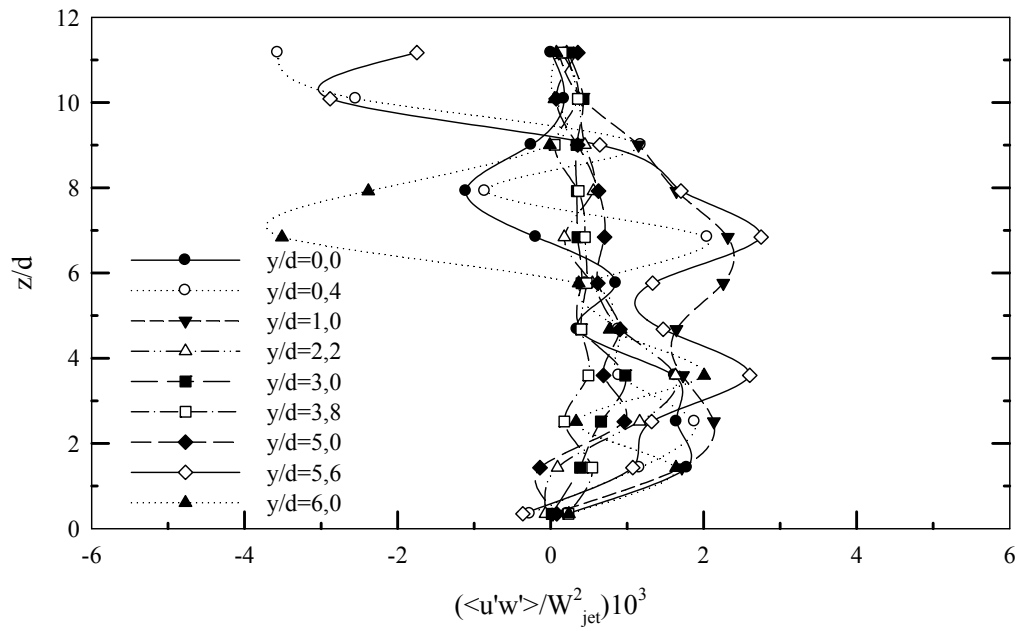
Türbülans kinetik enerji üretiminin bir göstergesi olan Reynolds gerilmeleri anlık hızlar kullanılarak problem tanımı kısmında verilen formüllerden elde edilmiştir. Şekil 5.101-Şekil 5.108’de a-b, c-d ve e-f bölgeleri boyunca düz plaka ve V-BK’lı yüzeyler üzerinde elde edilen Reynolds gerilmelerini göstermektedir. Jet merkezi ve ona en yakın bölgede değerlerin sıfıra çok yakın olduğu görülmektedir. Momentum transferinin bir göstergesi olarak daha dıştaki mesafelerde pozitif değerler elde edilmektedir. Plakaya yakın bölgelerde elde edilen negatif değerler negatif türbülans üretimiyle ilişkilendirilmiştir ve vortex eğilme mekanizması ile açıklanmıştır [90-94]. En yüksek türbülans üretimi $y/d=5,6$ ’da V-BK kanatçıklı yüzeylerde elde edilmiştir. Jet plaka mesafesinin artmasıyla beraber türbülans üretiminin azaldığı görülmüştür. V-BK’lı yüzeylerde maksimum türbülans kinetik enerjisi a-b bölgesi için $y/d=5,6$ ve $y/d=5,8$ noktalarında elde edildi. Aynı şekilde c-d ve e-f bölgelerinde ise maksimum türbülans kinetik enerjisi $y/d=3,0$ ve $y/d=4,8$ ’de elde edildi.



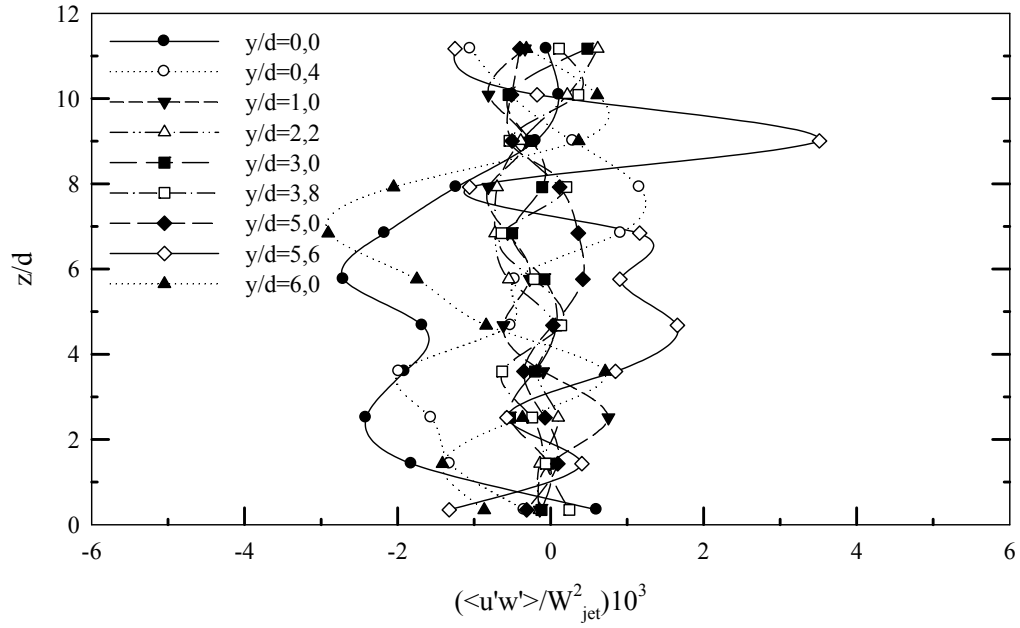
Şekil 5.101. Reynolds gerilmelerinin çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka)



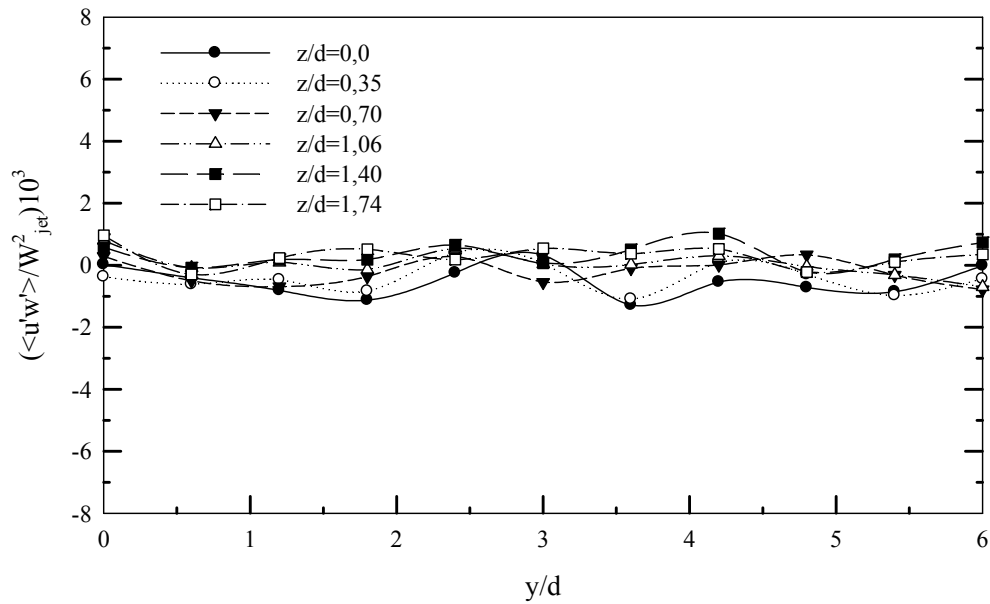
Şekil 5.102. Reynolds gerilmelerinin çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, V-BK)



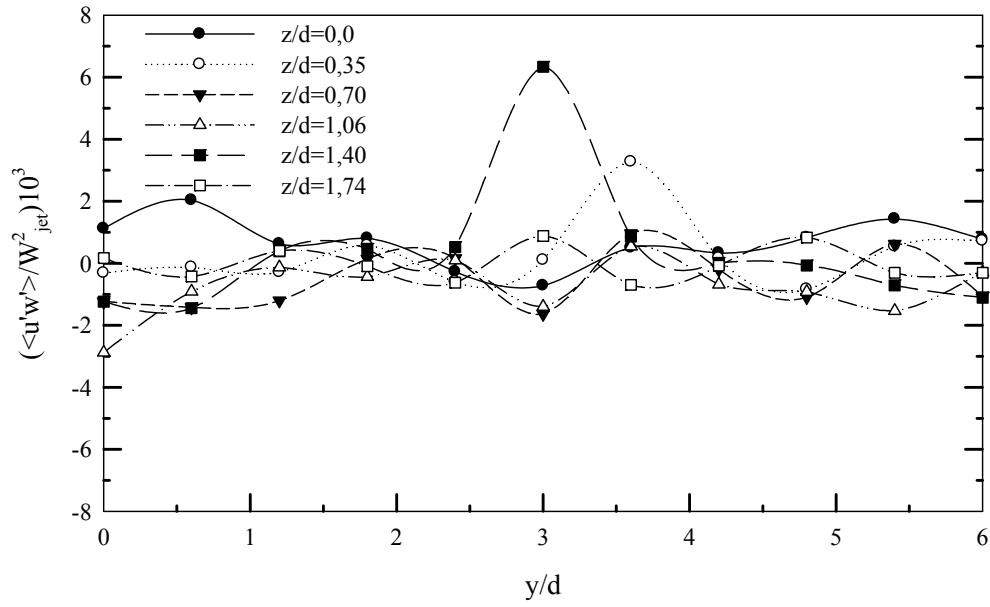
Şekil 5.103. Reynolds gerilmelerinin çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka)



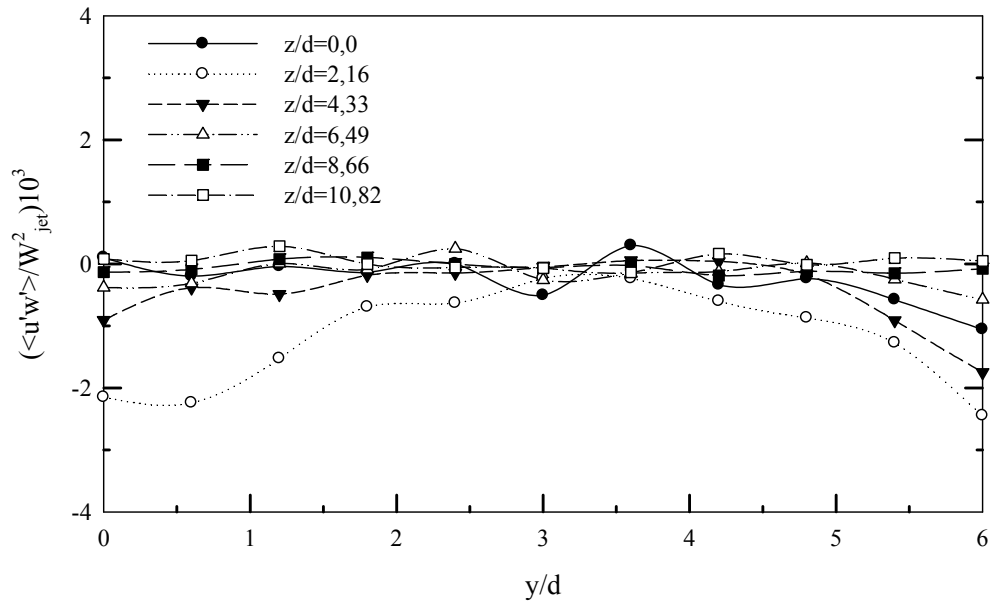
Şekil 5.104. Reynolds gerilmelerinin çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi (H/d=12, V-BK)



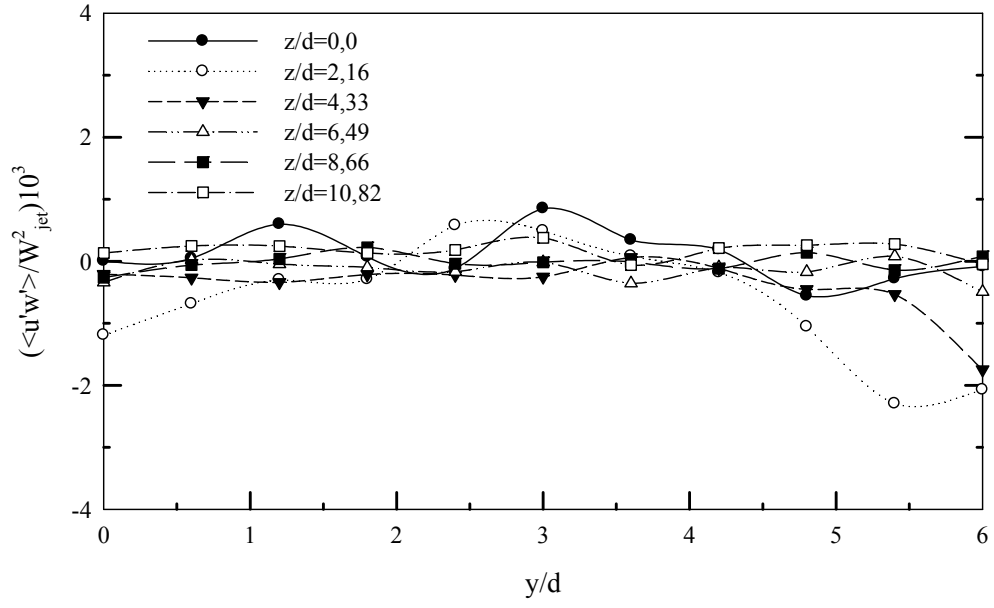
Şekil 5.105. Reynolds gerilmelerinin çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi (H/d=3, Düz plaka)



Şekil 5.106. Reynolds gerilmelerinin çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, V-BK)



Şekil 5.107. Reynolds gerilmelerinin çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka)



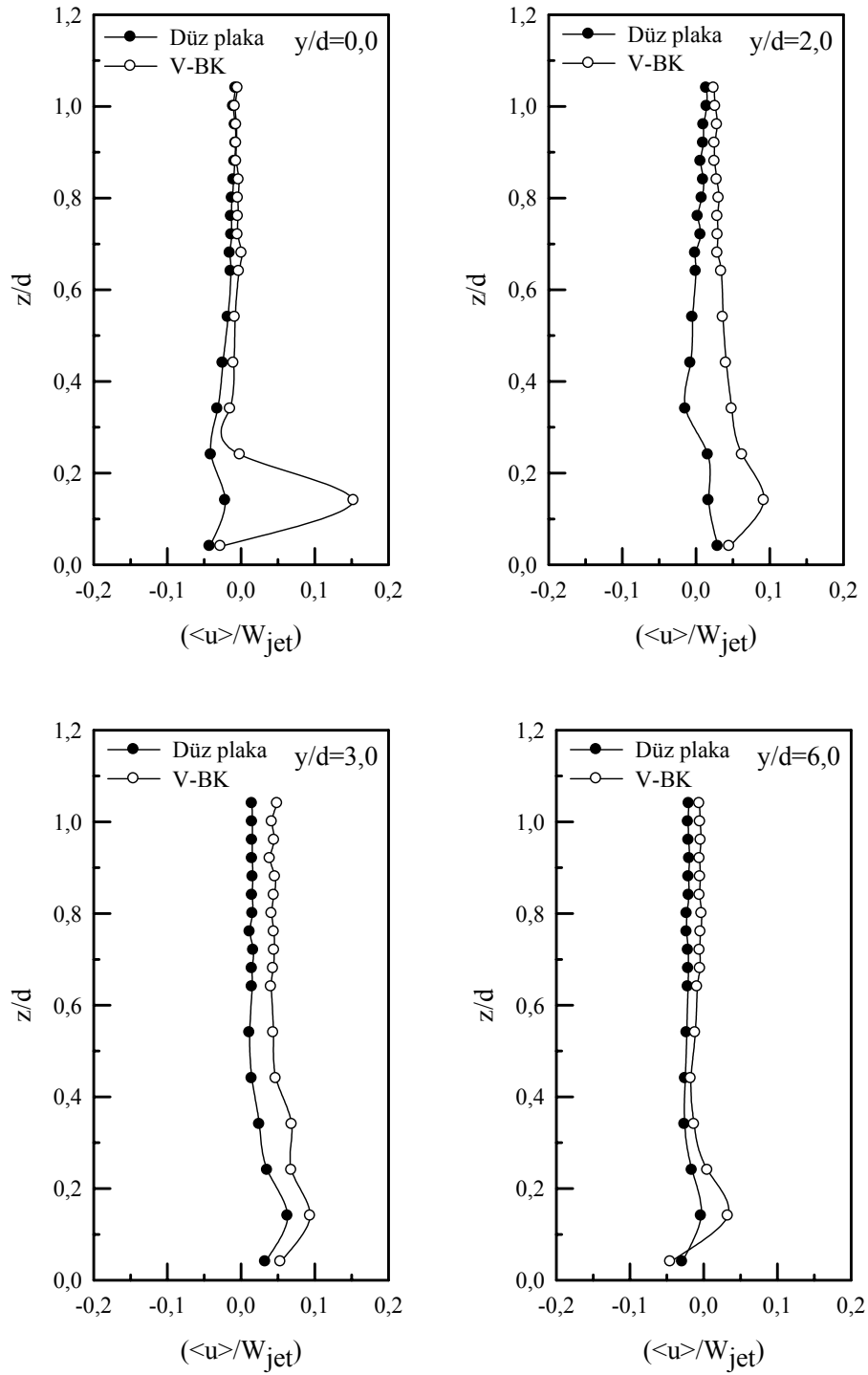
Şekil 5.108. Reynolds gerilmelerinin çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, c-d bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12, V-BK$)

Plakaya paralel hız bileşeni ölçümleri

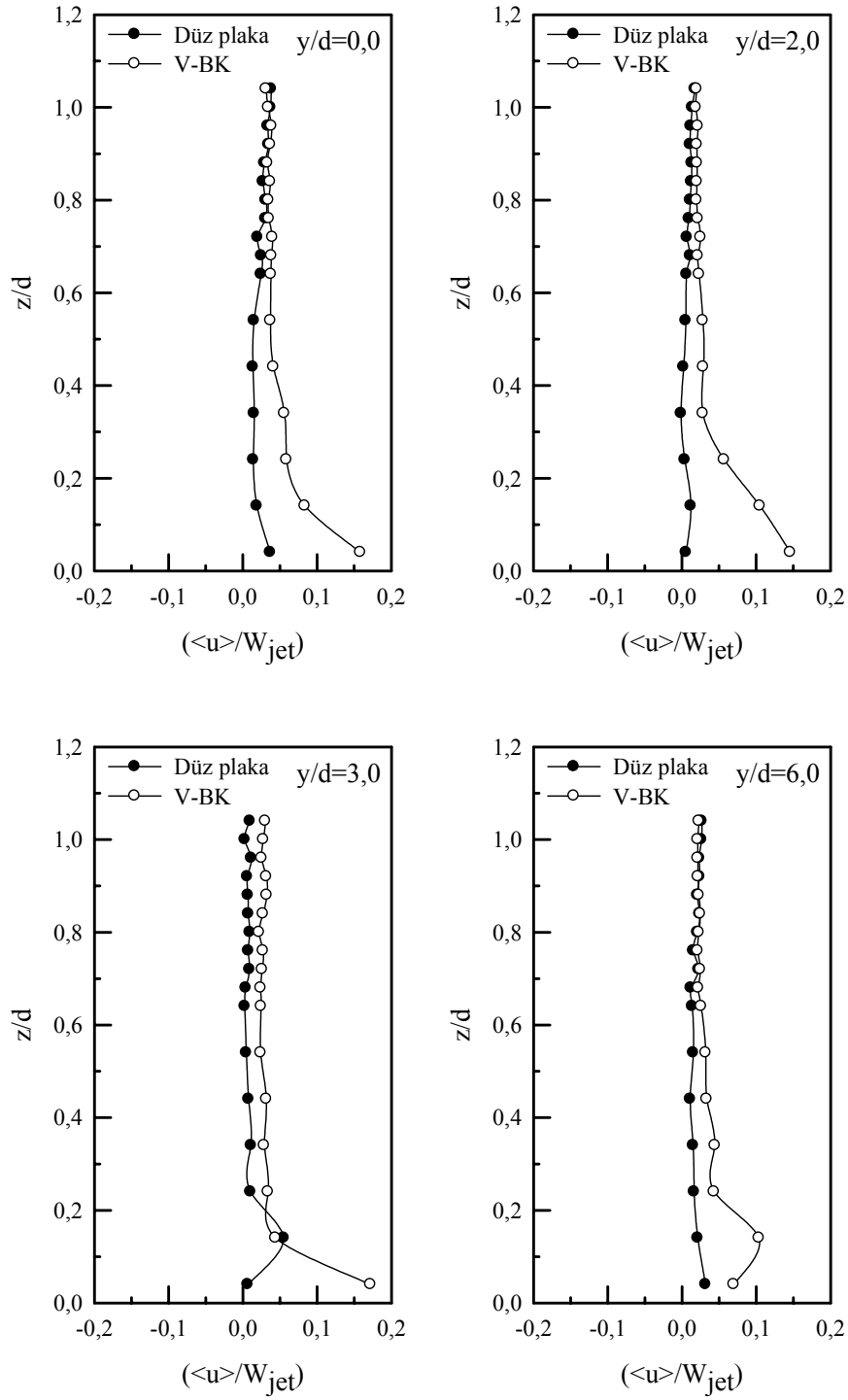
Plaka boyunca yatay hızların ve sınır tabakası oluşumunun belirlenmesine yönelik olarak düz plakalarda a-b arasında, V-BK plaka üzerinde a-b ve e-f noktaları üzerinde ve DG-BK plaka üzerinde ise m-n ve o-p noktaları arasında farklı jet-plaka mesafeleri için boyutsuz yatay hızın, boyutsuz y/d mesafesiyle değişimleri çarpma plakasından $z=5\text{mm}$ mesafeye kadar boyutsuz z/d mesafeleri için ($z/d=0, 0,04, 0,08, 0,12, 0,16, 0,2, 0,24, 0,28, 0,32, 0,36, 0,40, 0,50, 0,60, 0,70, 0,80, 0,90, 1,0$) olduğu durumlar için Şekil 5.109-Şekil 5.115’de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Yatay hız ölçümleri çarpma plakasına 0,1mm mesafeye kadar yaklaşılarak ölçümler yapılmıştır.

Tüm y/d mesafelerinde V-BK’lardaki plakaya yakın bölgelerdeki hızın düz plakadaki yatay hızdan daha büyük olduğu görülmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi z/d ’nin belirli mesafesine kadar yatay hızın değişmediği görülmektedir. Jet-plaka mesafesinin artmasıyla yatay hızın azaldığı görülmektedir.

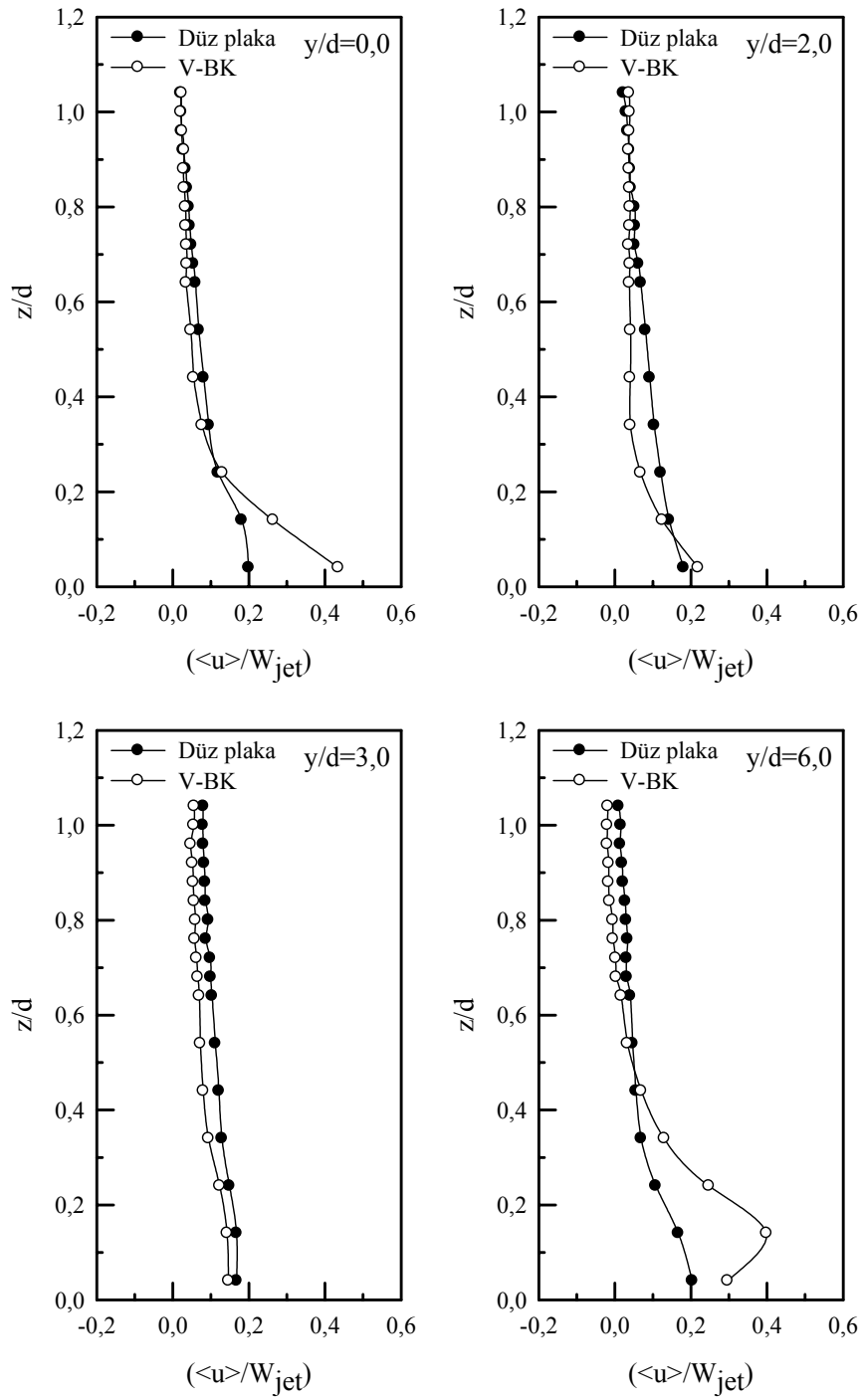
Jet-plaka mesafesinin 12’ye çıkarılmasıyla elde edilen yatay hız değişimlerinin $H/d=3$ ’deki durumuna göre değişmediği görülmektedir. Ayrıca e-f bölgelerinde yatay hızın belirli bir açıyla çarpma plakasına yaklaştığı bu durumun a-b bölgelerinde olmadığı görülmüştür. Jet-plaka mesafesinin artmasıyla jetin yatay hızının özellikle jet merkezlerine yakın bölgelerde belirli bir açıyla çarpma plakasına geldiği görülmektedir. Düz plaka ve DG-BK’lı yüzeylerde üzerinde a-b ve m-n bölgeleri arasında $H/d=3$ ve $H/d=12$ ’de boyutsuz yatay hızın, boyutsuz z/d mesafesine göre farklı y/d mesafelerindeki değişimi ilgili şekillerde verilmiştir. Düz plakalardaki yatay hızın bazı bölgeler hariç DG-BK’lardaki plakadaki yatay hıza eşit olduğu veya değişmediği görülmektedir.



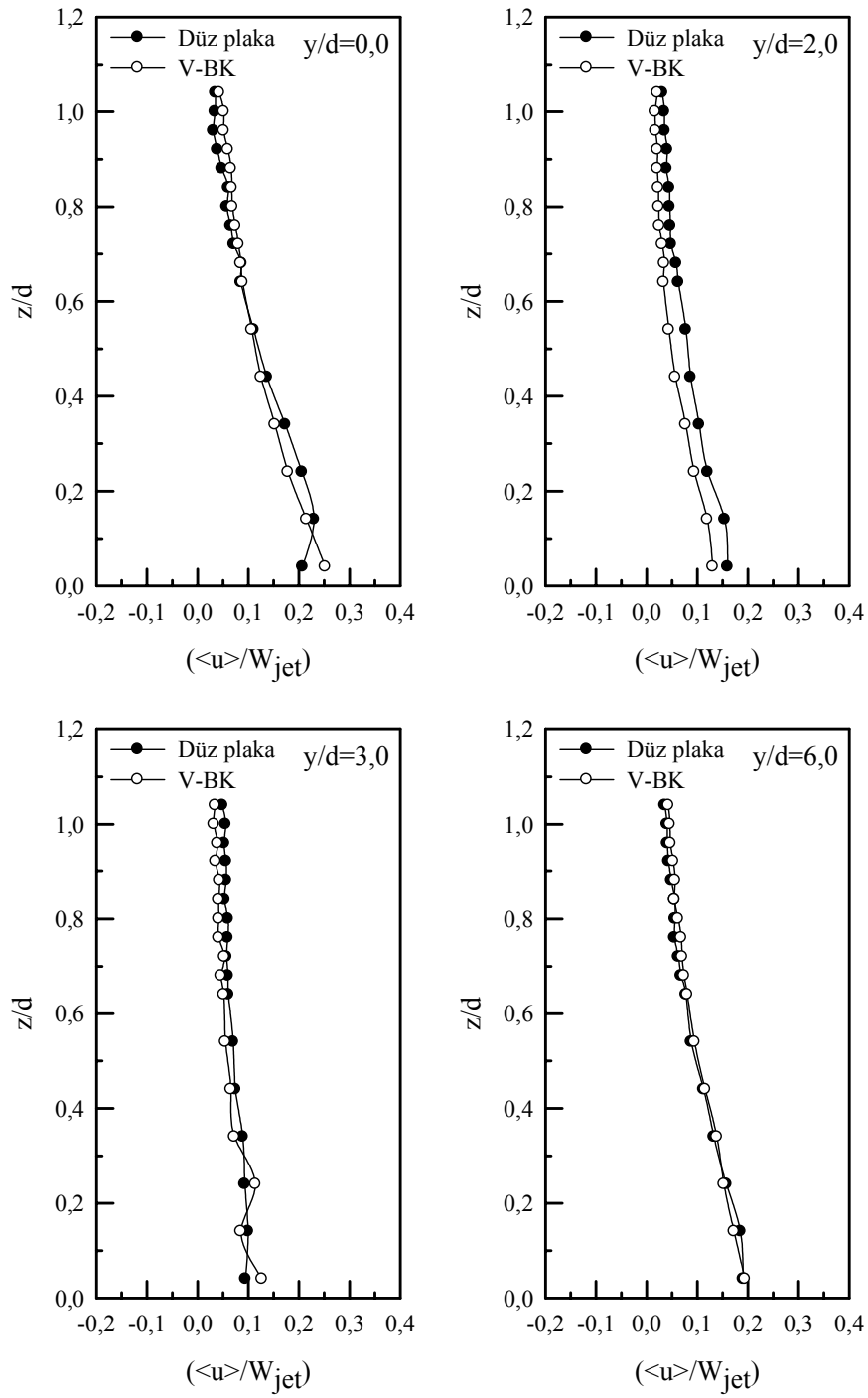
Şekil 5.109. Boyutsuz yatay hızın çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka, V-BK)



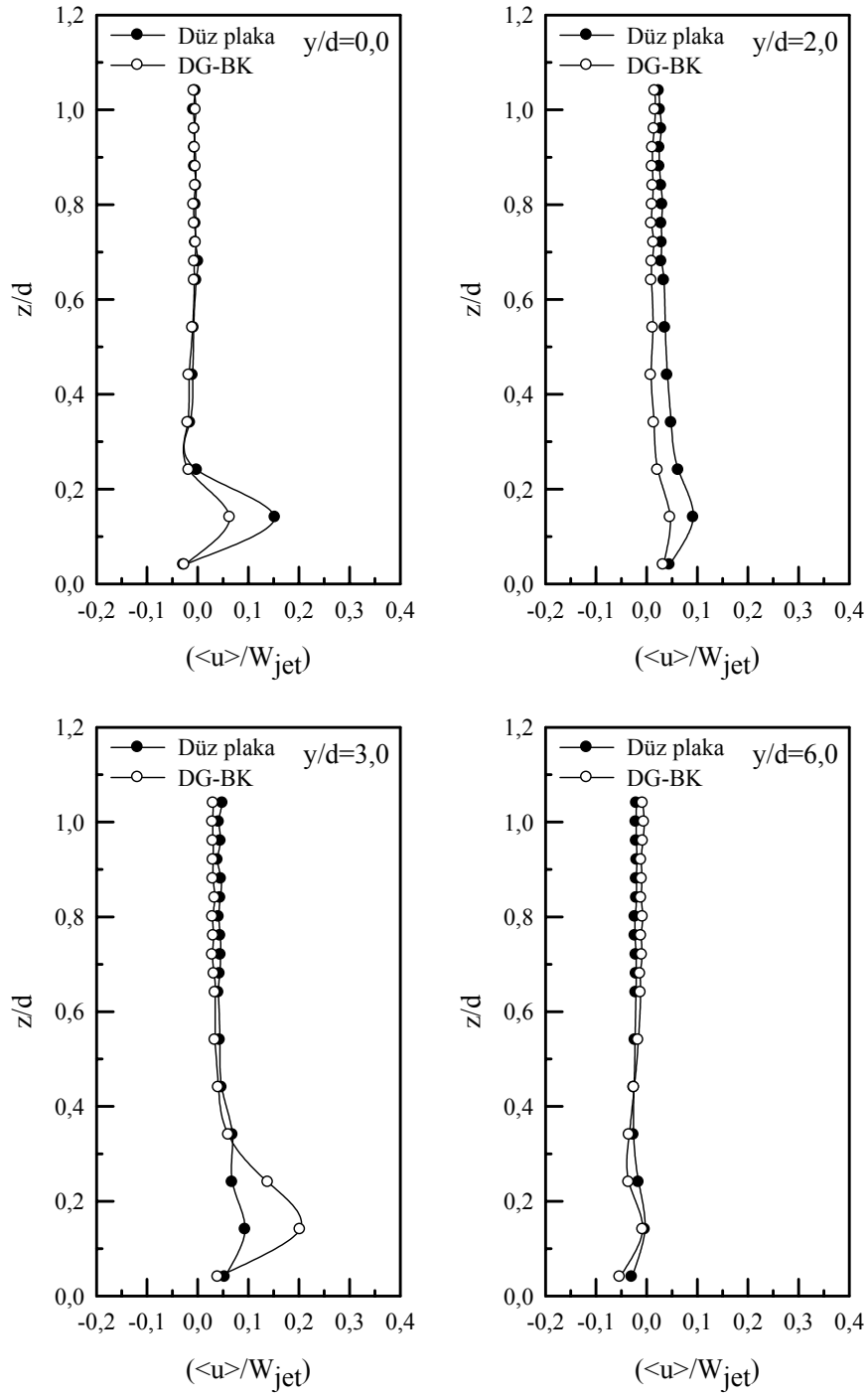
Şekil 5.110. Boyutsuz yatay hızın çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka, V-BK)



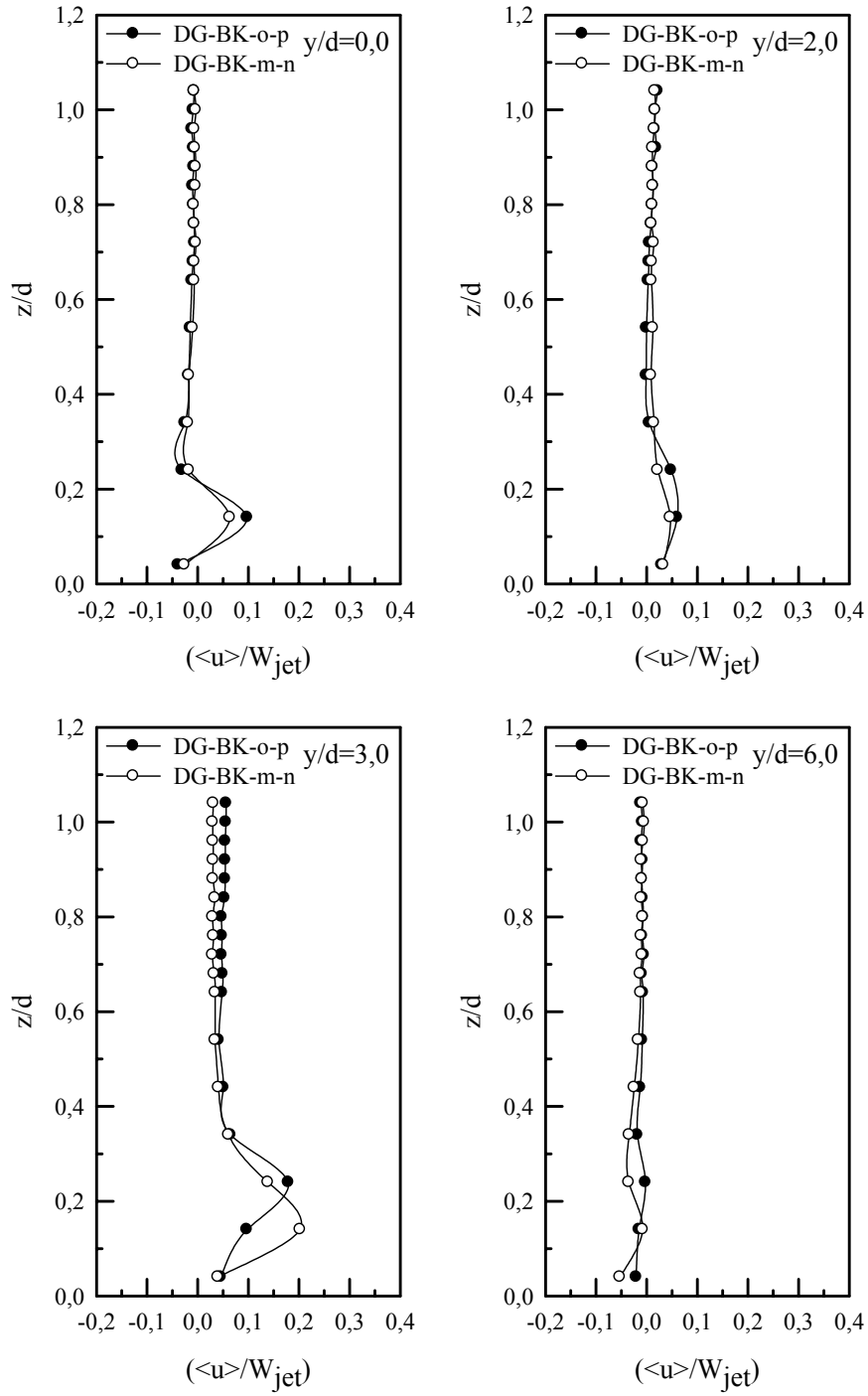
Şekil 5.111. Boyutsuz yatay hızın çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, e-f bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka, V-BK)



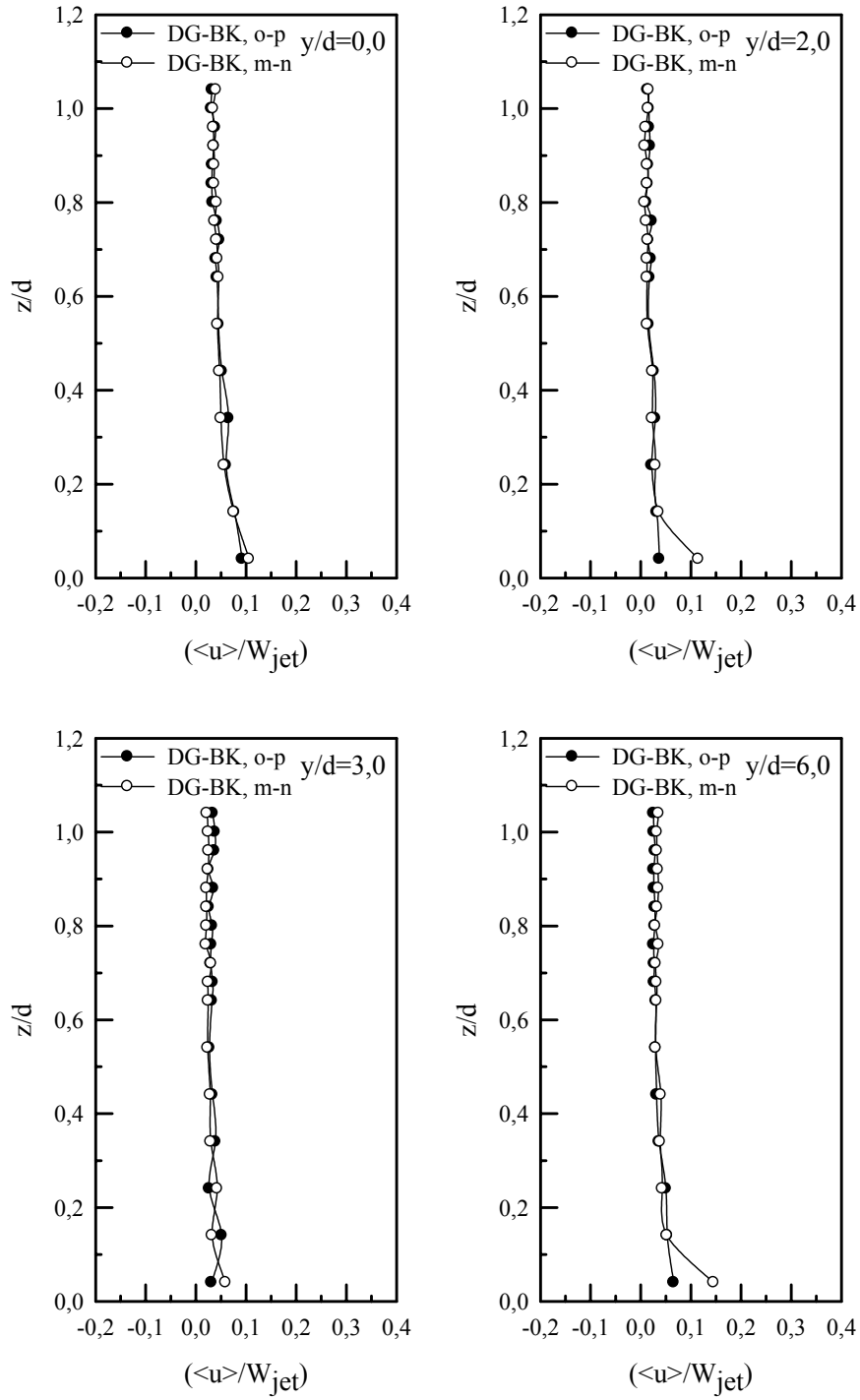
Şekil 5.112. Boyutsuz yatay hızın çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, e-f bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka, V-BK)



Şekil 5.113. Boyutsuz yatay hızın çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b, m-n bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka, DG-BK)



Şekil 5.114. Boyutsuz yatay hızın çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$ o-p, m-n bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, DG-BK)

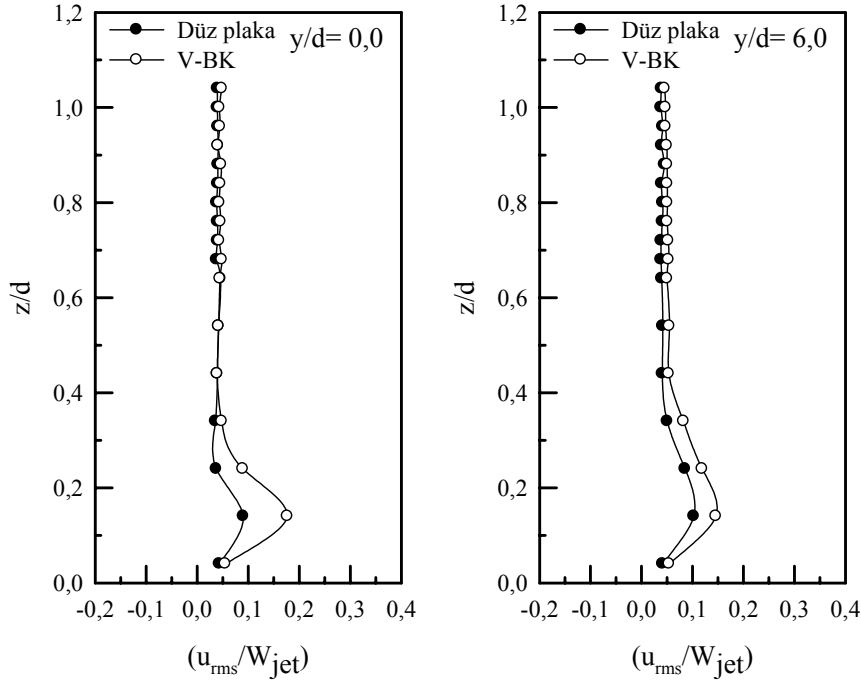


Şekil 5.115. Boyutsuz yatay hızın çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$ o-p, m-n bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, DG-BK)

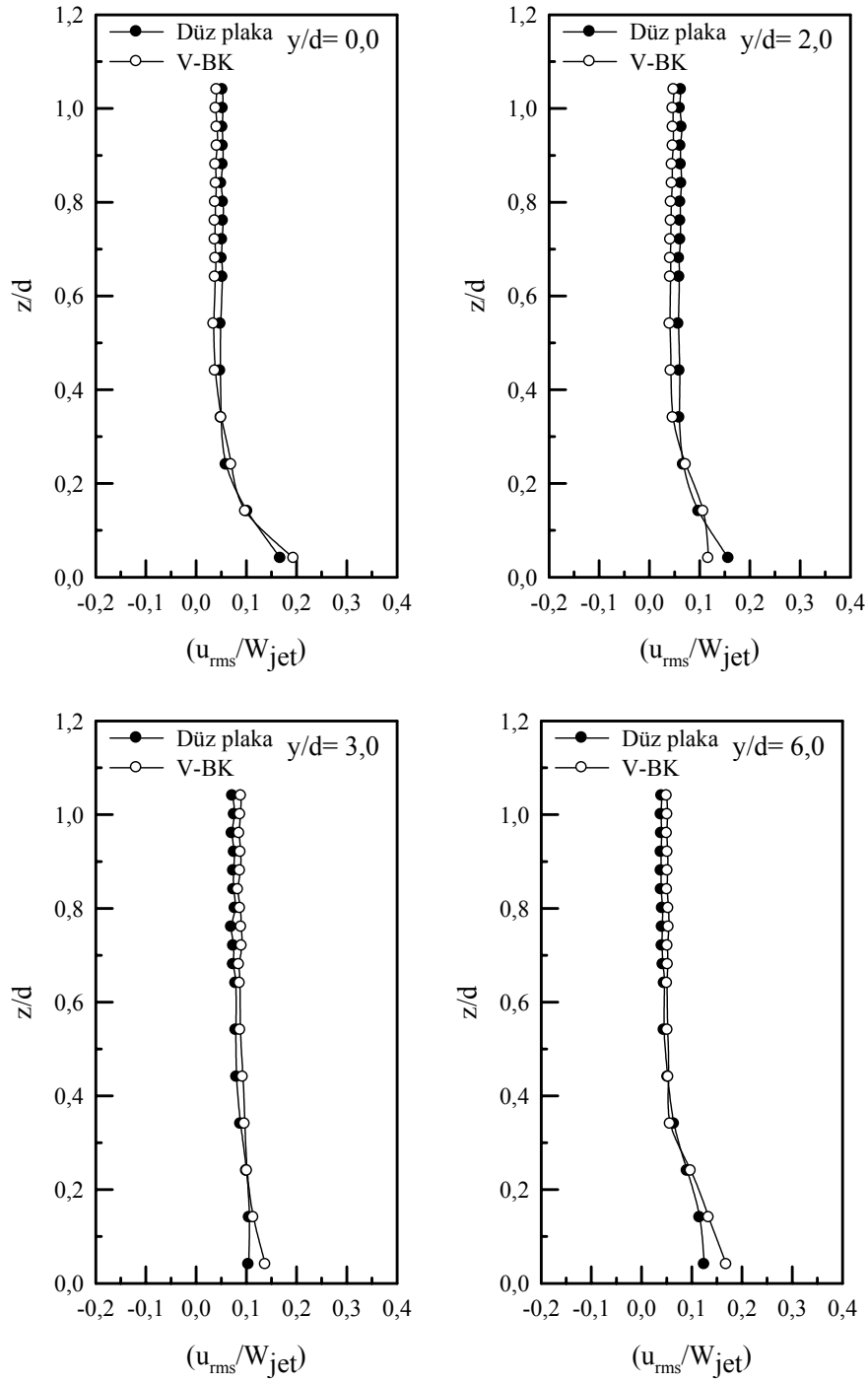
Plakaya paralel hızların türbülans yoğunluğu ölçümleri

Plakaya paralel hızların çarpma noktasından 5mm yüksekliğe kadar düz, V-BK yüzeylerde a-b ve e-f bölgelerindeki türbülans yoğunlukları ölçülmüştür. Ölçümler $Re=10000$ değerinde boyutsuz jet-plaka mesafesinin 3 değerinde elde edilmiştir. Çarpma plakasına paralel hızların türbülans yoğunluğu ölçümleri Şekil 5.116 ve Şekil 5.117’de verilmiştir.

Yatay hız türbülans yoğunluklarının özellikle merkez ve komşu jet merkezleri ve bunlara yakın olan bölgelerde etkili olduğu jet-plaka mesafesinin artmasıyla düz ve V-BK ‘lardaki değişimin azaldığı görülmüştür. Şekil 5.116 ve Şekil 5.117’de görüldüğü gibi u_{rms} $z/d=0,3$ noktasından sonraki kısımda sabit kalmaktadır. Bu durum Cooper ve diğerleri [95] ve Kataoka [96] tarafından bulunan sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür.



Şekil 5.116. Boyutsuz yatay hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$ a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka-V-BK)



Şekil 5.117. Boyutsuz yatay hız türbülans yoğunluklarının çarpma plakasına dik yönde ve $y/d=0-6$ e-f bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka-V-BK)

6. SAYISAL ÇALIŞMALAR

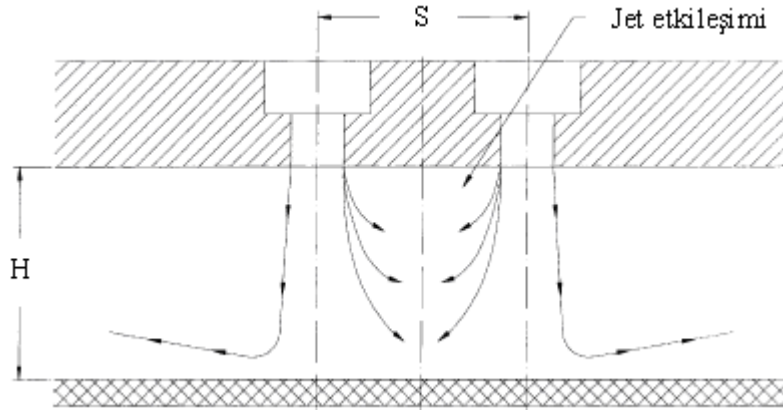
Çarpan jetler uygulama alanları itibarı ile çok geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Bu uygulamalarda jet hızından, çarpma plakası sıcaklığına, plaka boyutlarından, jetler arasındaki mesafeye bağlı olarak uygulamalar söz konusudur. Bu kısımda, deneysel olarak yapmadığımız jetler arasındaki mesafenin farklı Reynolds sayılarında ve farklı jet-plaka mesafelerinde akış yapısı ve ısı transferine etkisi sayısal olarak incelenmiştir.

Jet etkileşimleri çarpma plakasından önce ve çarpma plakasından sonra olmak üzere iki farklı durumda meydana gelmektedir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlarda çarpma öncesi jet etkileşimi jetler arası mesafenin düşük olduğu durumlarda meydana geldiği görülmüştür. Düşük jetler arası mesafeler için, kayma tabakası genişlemesinden dolayı iki komşu jetin çarpma öncesi etkileşimi meydana gelmektedir. Bu etkileşim jet etkisini azaltabilmektedir ve sonuç olarak ısı transferi azaldığı görülmüştür. İki komşu duvar jetinin yüz yüze çarpması sonucu çarpma sonrası jet etkileşimi oluşmaktadır. Bu etkileşimin güçlü olması durumunda iki jet arasında bir çeşme oluşmaktadır. Sürüklenme etkisinden dolayı çeşmenin sağındaki ve solundaki akışlar tekrar sirkülasyon olacaktır ve dolayısıyla ısınmış hava jetlerin merkezine tekrar dönecektir. Bu durum da ısı transferini etkilemektedir. Bu bölümdeki bulgular, doğru bir sayısal modelleme yapılabilmesine yönelik önemine ek olarak, bu etkilerin görüldüğü jet hızlarındaki çarpan jet uygulamalarında, en uygun jet-plaka mesafesinin ve ayrıca jet dizilerine yönelik çalışmalarda, jetler arası en uygun mesafenin belirlenmesinde kullanılabilecektir.

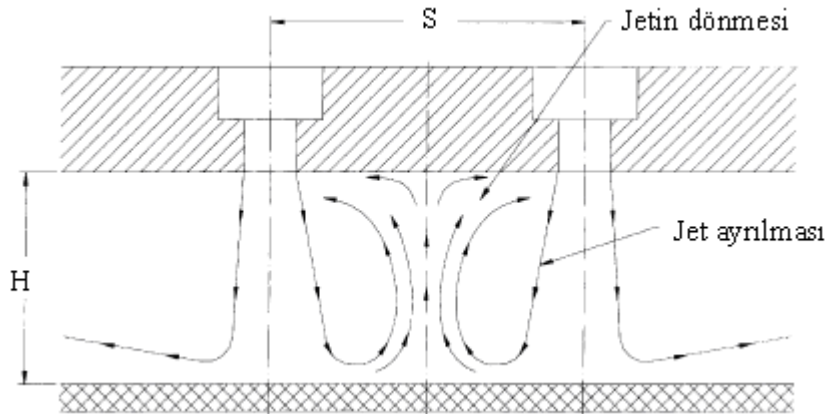
6.1. Problem Tanımı

Şekil 6.1’de gösterildiği gibi, çarpma öncesi jet etkileşimi jetler arası mesafenin düşük olduğu durumlarda meydana gelmektedir. Düşük jetler arası mesafeler için, kayma tabakası genişlemesinden dolayı iki komşu jetin çarpma öncesi etkileşimi meydana gelmektedir. Bu etkileşim jet etkisini azaltabilmektedir ve muhtemel olarak ısı transferini azaltmaktadır. Şekil 6.2’de iki komşu duvar jetinin yüz yüze çarpması

sonucu çarpma sonrası jet etkileşimi oluşmaktadır. Bu etkileşimin güçlü olması durumunda iki jet arasında bir kaynak oluşmaktadır. Sürüklenme etkisinden dolayı kaynağın sağ ve solundaki akışlar yeniden girdap olacaktır ve dolayısıyla ısınmış hava jetlerin merkezine tekrar dönecektir. Bu durum da ısı transferini etkilemektedir.



Şekil 6.1. Çoklu jetlerde çarpma öncesi jet etkileşimi



Şekil 6.2. Çoklu jetlerde çarpma sonrası jet etkileşimi

Jetler arası mesafenin akış ve ısı transfer etkilerinin belirlenmesine yönelik bu çalışma, x yönünde jetler arasındaki mesafe jet çapıyla boyutsuzlaştırılarak $x/d=3, 4$ ve 5 olarak değiştiği akışa dik yöndeki mesafenin sabit $y/d=5$ için, Reynolds sayılarının 5000 ve 15000 değerleri için boyutsuz jet-plaka mesafelerinin 3 ve 12 değerlerinde çarpma plakası yüzeyine sabit ısı akısı ($q=1500\text{W/m}^2$) uygulanarak sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışma parametreleri Çizelge 6.1'de

verilmiştir. Geometrik yerleşim biçimi jet-plaka arasındaki mesafe (H/d), x yönündeki jetler arasındaki mesafe (x/d) ve y yönündeki jetler arasındaki mesafe (y/d) ile gösterilmiştir. Çalışmamızda H/d , x/d ve y/d üzerinde kısaltmalar yapılmıştır. Örneğin $H/d=3$, $x/d=4$, $y/d=5$ olduğu durum ($H3$, $X4$, $Y5$) şeklinde verilmiştir.

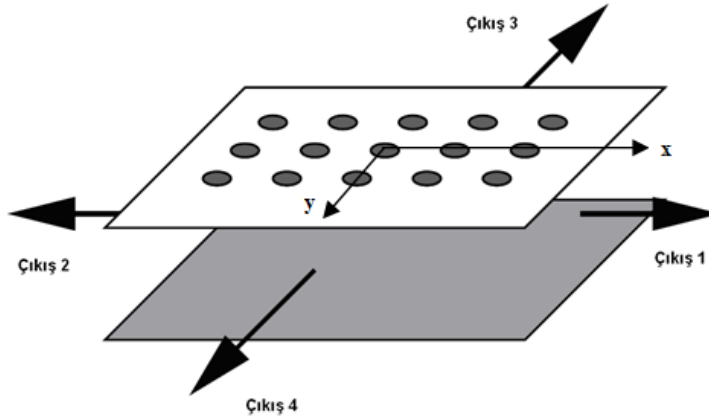
Çizelge 6.1. Pürüzsüz yüzey üzerindeki sayısal çalışma parametreleri

No	Jet adı	Reynolds sayısı	H/d	x/d	y/d
1	EJ1	5000	3	3	5
2	EJ1	5000	12	3	5
3	EJ1	15000	3	3	5
4	EJ1	15000	12	3	5
5	EJ1	5000	3	4	5
6	EJ1	5000	12	4	5
7	EJ1	15000	3	4	5
8	EJ1	15000	12	4	5
9	EJ1	5000	3	5	5
10	EJ1	5000	12	5	5
11	EJ1	15000	3	5	5
12	EJ1	15000	12	5	5

Girişteki hava jetinin sıcaklığı bütün çözümlerde $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak alınmış ve girişte bu sıcaklıktaki termofiziksel özellikler kullanılmıştır. Buna göre yoğunluk $\rho=1,189\text{ kg/m}^3$, özgül ısı $C_p=1,005\text{ kJ/kg.}^{\circ}\text{C}$, ısı iletkenlik katsayısı $k=0,0258\text{ W/m }^{\circ}\text{C}$, kinematik viskozite $\nu=1,544\times10^{-5}\text{ m}^2/\text{s}$, genleşme katsayısı $\beta=0,003410\text{ 1/K}$ ve prandtl sayısı $Pr=0,712$ olarak alınmıştır. Problemin sınır şartlarıyla ilgili ayrıntılı bilgiler ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir. Problemin çözümünde aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

1. Akış viskoz ve sıkıştırılamaz akıştır
2. Akış türbülanslı ve zamandan bağımsızdır
3. Yerçekimi etkileri ihmal edilmiştir
4. Nozul çıkışındaki jet hızı üniformdur

Kullanılan sınır şartları ve çözüm alanı sırasıyla Çizelge 6.2 ve Şekil 6.3’de verilmiştir. Sınır şartları ile ilgili ayrıntılı açıklamalar matematiksel formülasyon ve sayısal model kısmında verilmiştir. Sayısal çözüm alanında üstten görünüşte dairesel jet için verilen jetler arası mesafe Çizelge 6.1’deki duruma göre değişmektedir.



Şekil 6.3. Sayısal çözüm alanı

Çizelge 6.2. Sınır şartları

	U	V	W	T	k	ϵ
Giriş	$U = 0$	$V = 0$	$W = W_{jet}$	$T = T_{jet}$	$(T_i W_{jet})^2$	$(C_{\mu} C_d)^{3/4} k^{3/2} L$
Çarpma plakası	$U = 0$	$V = 0$	$W = 0$	$q'' = \text{sabit}$	$k = 0$	$\partial \epsilon / \partial z = 0$
Jet plakası	$U = 0$	$V = 0$	$W = 0$	$\partial T / \partial z = 0$	$k = 0$	$\partial \epsilon / \partial z = 0$
Çıkış 1	$\partial U / \partial x = 0$	$\partial V / \partial x = 0$	$\partial W / \partial x = 0$	$\partial T / \partial x = 0$	$\partial k / \partial x = 0$	$\partial \epsilon / \partial x = 0$
Çıkış 2	$\partial U / \partial x = 0$	$\partial V / \partial x = 0$	$\partial W / \partial x = 0$	$\partial T / \partial x = 0$	$\partial k / \partial x = 0$	$\partial \epsilon / \partial x = 0$
Çıkış 3	$\partial U / \partial y = 0$	$\partial V / \partial y = 0$	$\partial W / \partial y = 0$	$\partial T / \partial y = 0$	$\partial k / \partial y = 0$	$\partial \epsilon / \partial y = 0$
Çıkış 4	$\partial U / \partial y = 0$	$\partial V / \partial y = 0$	$\partial W / \partial y = 0$	$\partial T / \partial y = 0$	$\partial k / \partial y = 0$	$\partial \epsilon / \partial y = 0$

6.2. Veri Analizi

Jetler arasındaki mesafenin yerel ısı transferine etkilerini belirlemek üzere gerçekleştirilen bu sayısal çalışmada, çözümler çarpma plakasına sabit ısı akısı şartı uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Verilen ısı akıları doğal taşınım etkilerinin ihmal edilebilir boyutta olmasına yönelik olarak seçilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan boyutsuz sayılar aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

Düz plaka üzerindeki yerel Nusselt sayısı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır

$$Nu_o = \frac{h_i d}{k_{air}} \quad (6.1)$$

Burada d jet giriş çapı, k_{air} jet akışkanının ısı iletkenlik katsayısıdır.

Ortalama Nusselt sayısı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır

$$Nu_{ort} = \frac{\bar{h}d}{k_{air}} \quad (6.2)$$

Burada $\bar{h}$ ortalama ısı transfer katsayısıdır.

Reynolds sayısı aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

$$Re = \frac{W_{jet} d}{\nu} \quad (6.3)$$

Burada W_{jet} jet çıkış hızı, ν , jet giriş akışkanının kinematik viskozitesidir.

Eşitliklerde, havanın termofiziksel özellikleri, plaka ve jet sıcaklıklarının ortalamasıyla elde edilen sıcaklıklarda hesaplanmıştır. Sadece Reynolds sayısındaki viskozite jet çıkış sıcaklığında alınmıştır.

6.3. Sayısal Sonuçlar

Bu bölümde tek bir jet geometrisi için (EJ1) x yönünde merkez jet eksenini boyunca, farklı jet-plaka mesafesi (2 ve 12 dairesel jet çapı), farklı Reynolds sayısı ($Re=5000$ ve $Re=15000$) ve farklı jetler arası mesafe için yapılan çözümlerin sonuçları sunulmuştur.

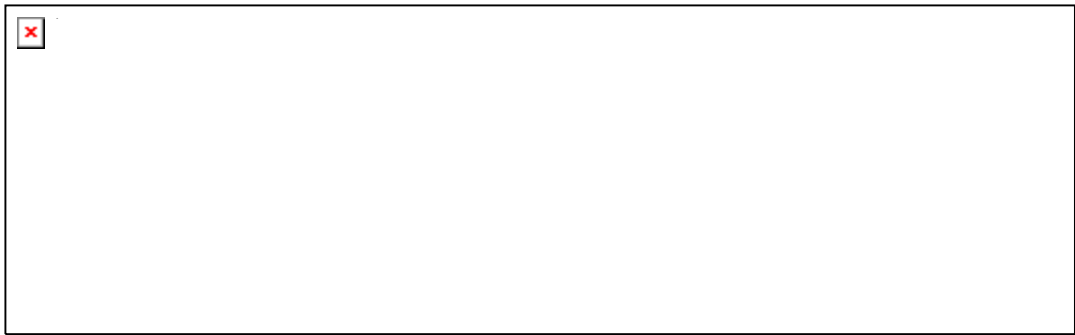
Akış alanındaki hız vektörleri dağılımı

Jet-plaka mesafesinin ve jetler arasındaki mesafenin değişimiyle $Re=5000$ ve $Re=15000$ için merkez jet eksenini boyunca hız vektörü dağılımları Şekil 6.4-Şekil 6.7’de verilmiştir. Şekil 6.4 ve Şekil 6.7’de görüldüğü gibi x yönünde jetler arası mesafe $3d$, $4d$ ve $5d$ olduğu ve y yönünde jetler arası mesafe sabit $5d$ mesafesi için farklı jet-plaka ve farklı Reynolds sayıları için hız vektörü dağılımları verilmiştir.

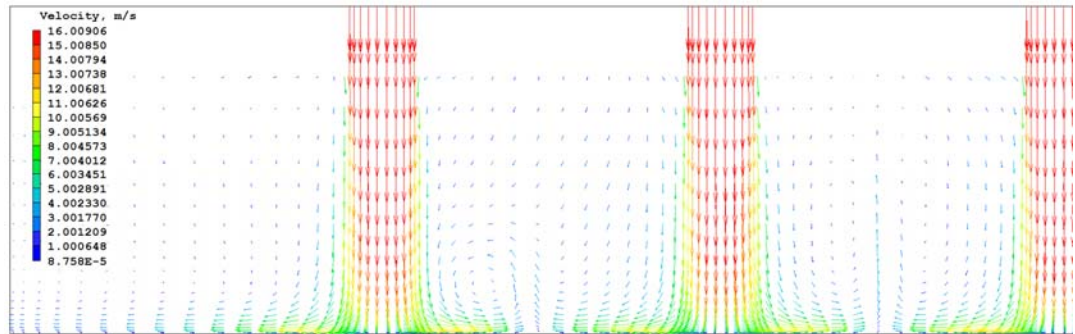
Düşük jet-plaka mesafelerinde merkez jet eksenini boyunca yarısı alınarak hız vektörleri elde edilmiştir. Şekil 6.4’de $Re=5000$ ve $H/d=3$ için x yönünde farklı jetler arası mesafelerde elde edilen hız vektörleri verilmiştir. Şekil 6.4’de görüldüğü gibi jet çıkışında maksimum hız 16 m/s civarında iken minimum hız $0,0000056 \text{ m/s}$ civarında olduğu görülmektedir. Minimum hızın olduğu kısım jetin durma noktasındaki hızı göstermektedir. Jetler arası mesafenin artmasıyla oluşan dönme hareketleri büyümekte ve ısı transferini artırıcı etki sağlamaktadır. Aynı Reynolds sayısı fakat $H/d=12$ için hız vektörleri Şekil 6.5’de verilmiştir. Jet-plaka mesafesinin artmasıyla jet plakasına yakın bölgelerde dönme hareketlerinin artık oluşmadığı görülmektedir. Daha büyük jetler arası mesafelerde ısınmış havanın jetlerin arasından çıkması kolaylaşıyor ve yerel Nusselt sayısında bir artış oluşmuyor.



(a)

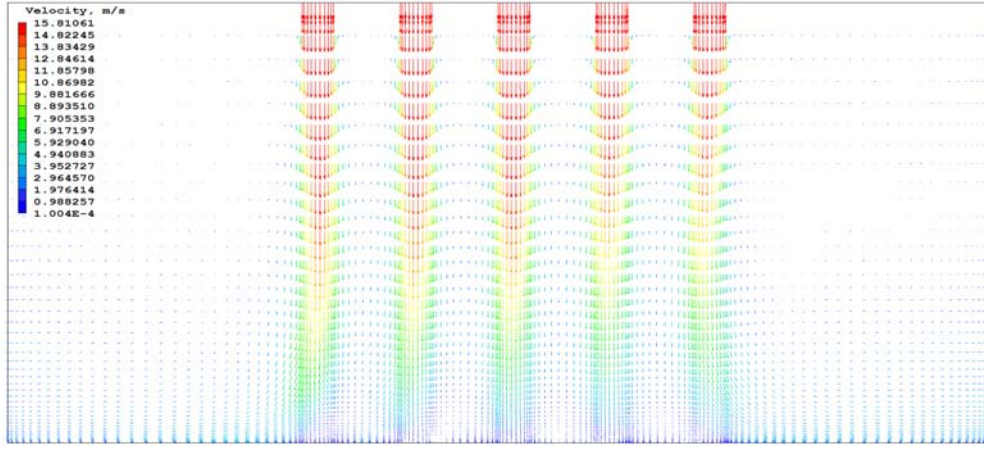


(b)

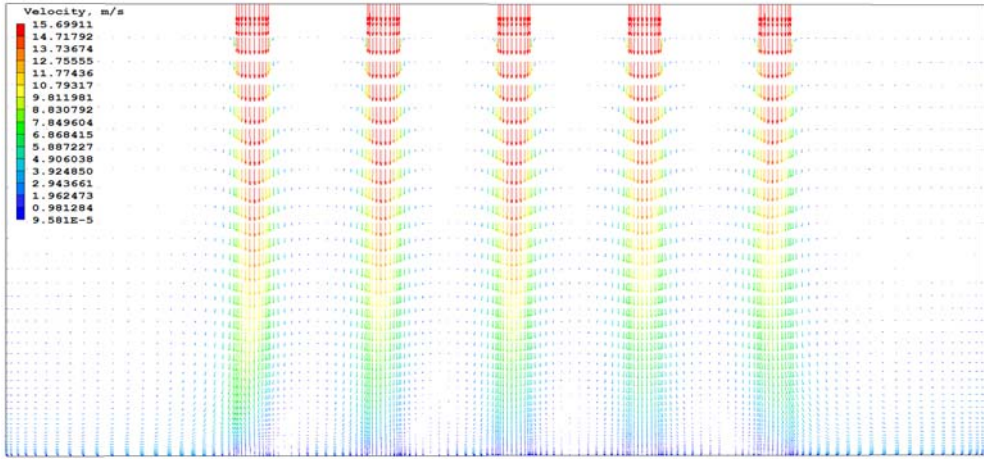


(c)

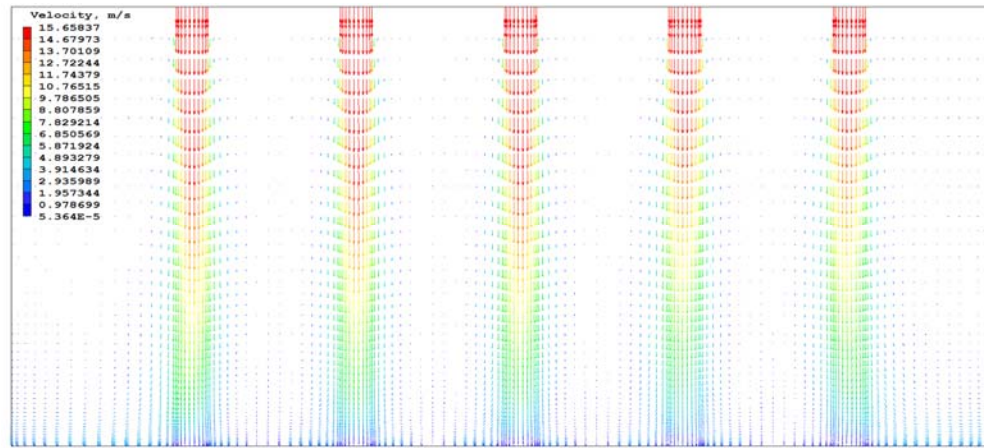
Şekil 6.4. Akış alanında hız vektör dağılımı (a) X3-Y5-H3, (b) X4-Y5-H3, (c) X5-Y5-H3 (Re=5000)



(a)



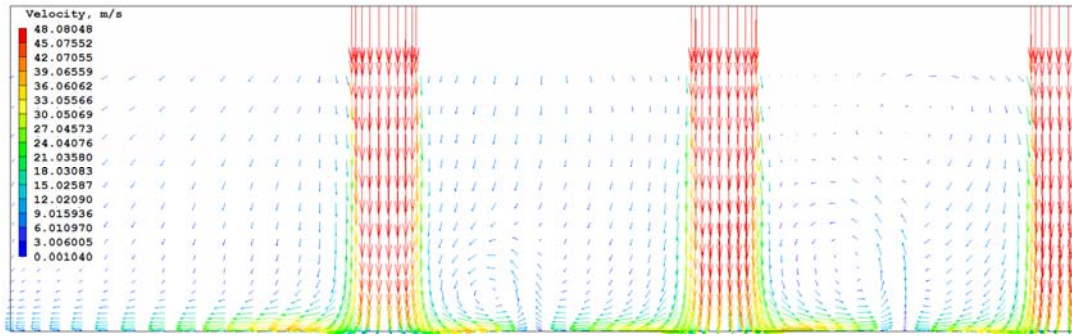
(b)



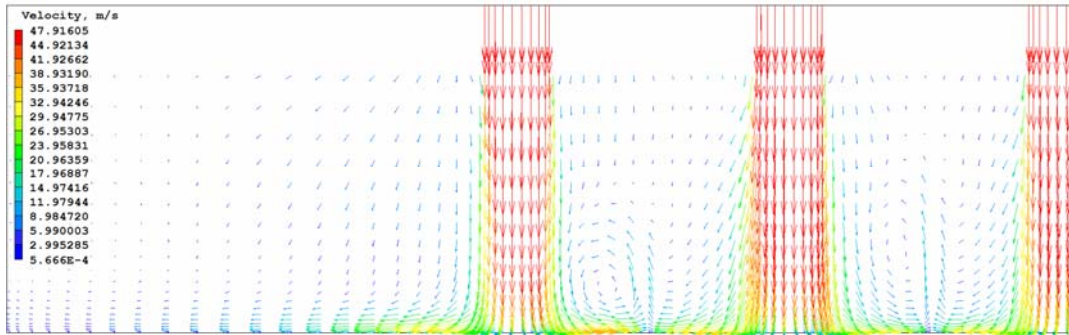
(c)

Şekil 6.5. Akış alanında hız vektör dağılımı (a) X3-Y5-H12, (b) X4-Y5-H12, (c) X5-Y5-H12 ($Re=5000$)

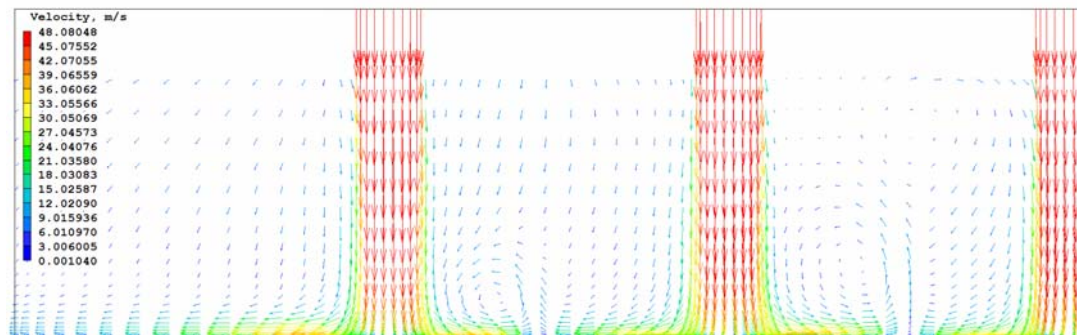
$Re=15000$ ve $H/d=3$ ve $H/d=12$ için x yönünde farklı jetler arası mesafelerde elde edilen hız vektörleri değişimleri Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de verilmiştir. Reynolds sayısının artmasıyla oluşan dönme hareketlerinin ve vektör büyüklüklerinin arttığı görülmüştür. Reynolds sayısının artmasıyla $H/d=12$ için jet etkileşimlerinden dolayı jet merkezlerinde kayma meydana geldiği görülmektedir.



(a)

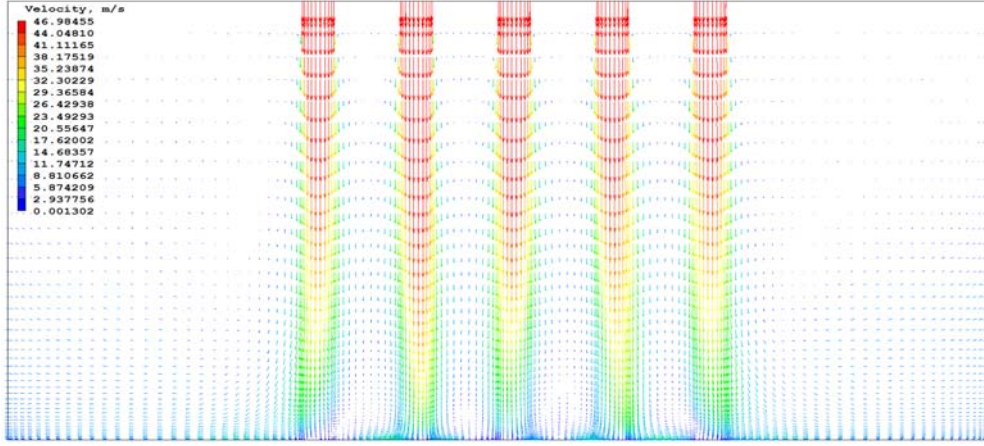


(b)

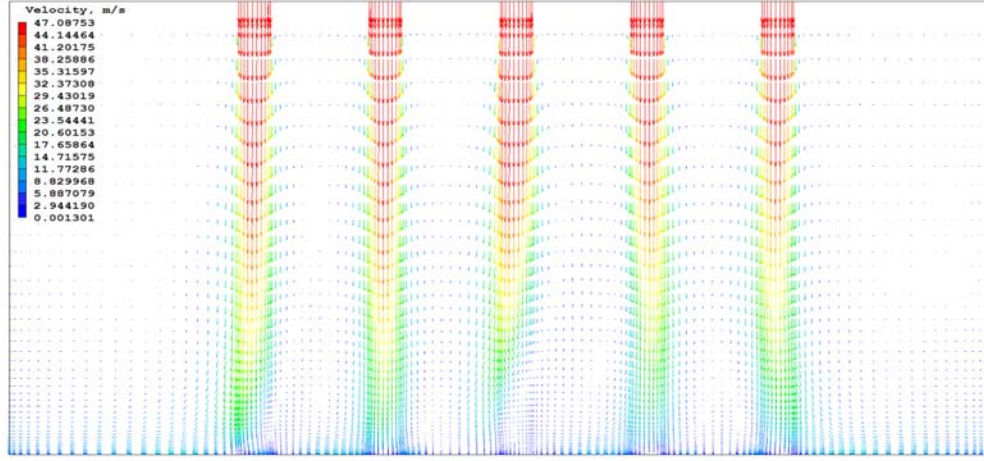


(c)

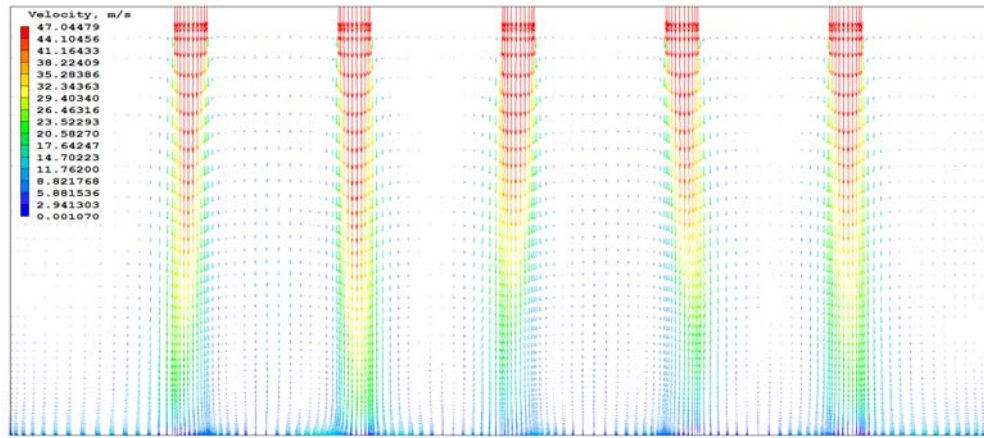
Şekil 6.6. Akış alanında hız vektör dağılımı (a) X3-Y5-H3, (b) X4-Y5-H3, (c) X5-Y5-H3 ($Re=15000$)



(a)



(b)

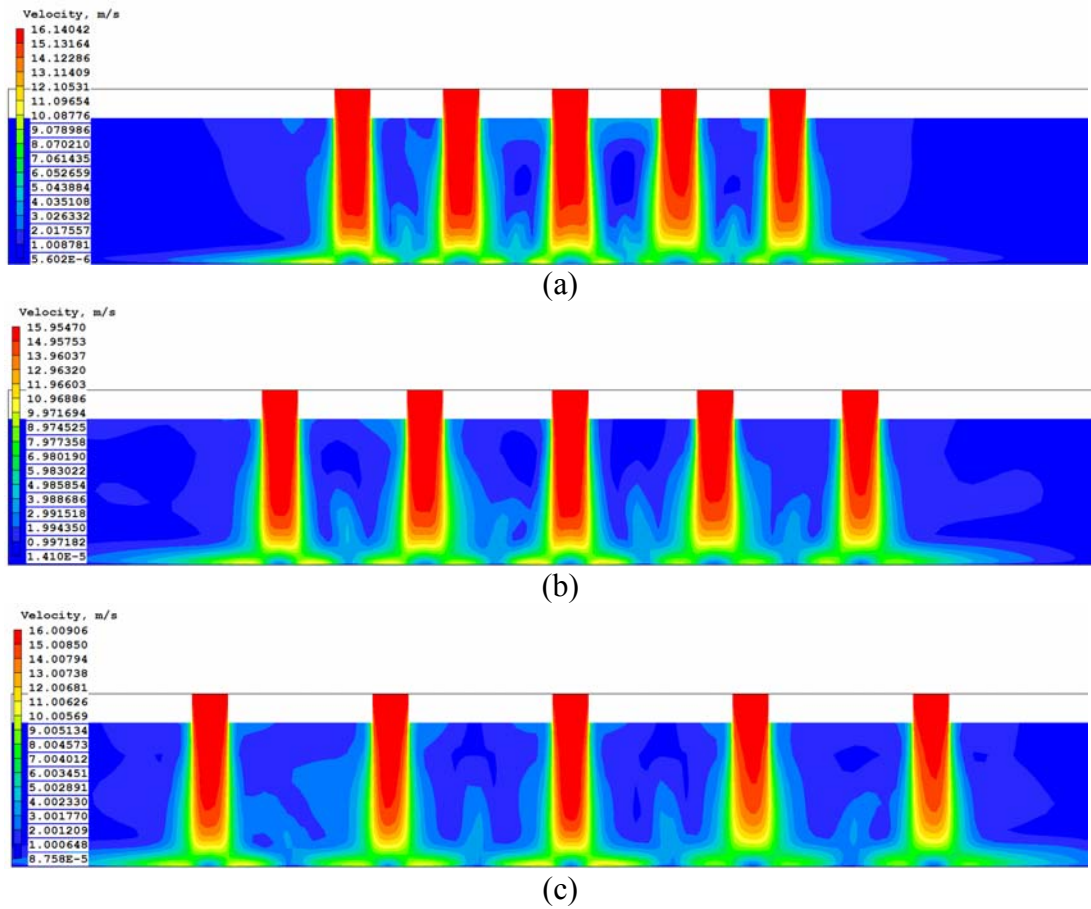


(c)

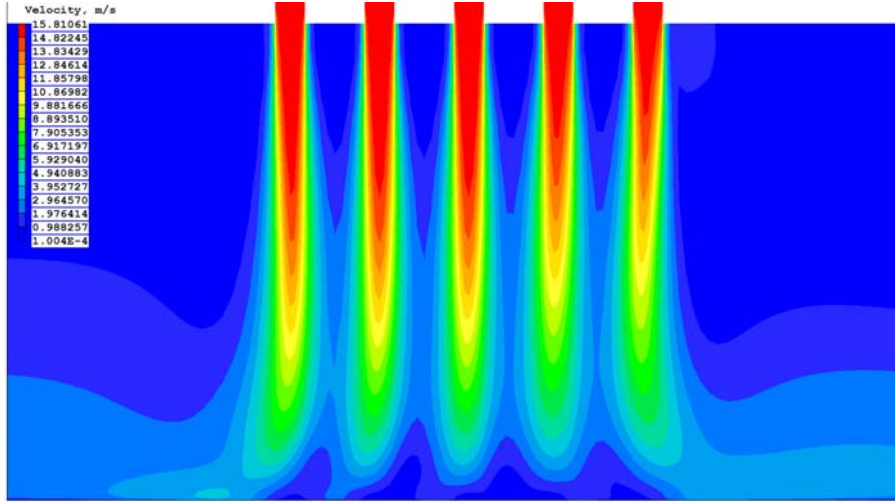
Şekil 6.7. Akış alanında hız vektör dağılımı (a) X3-Y5-H12, (b) X4-Y5-H12, (c) X5-Y5-H12 ($Re=15000$)

Akış alanındaki hız konturları dağılımı

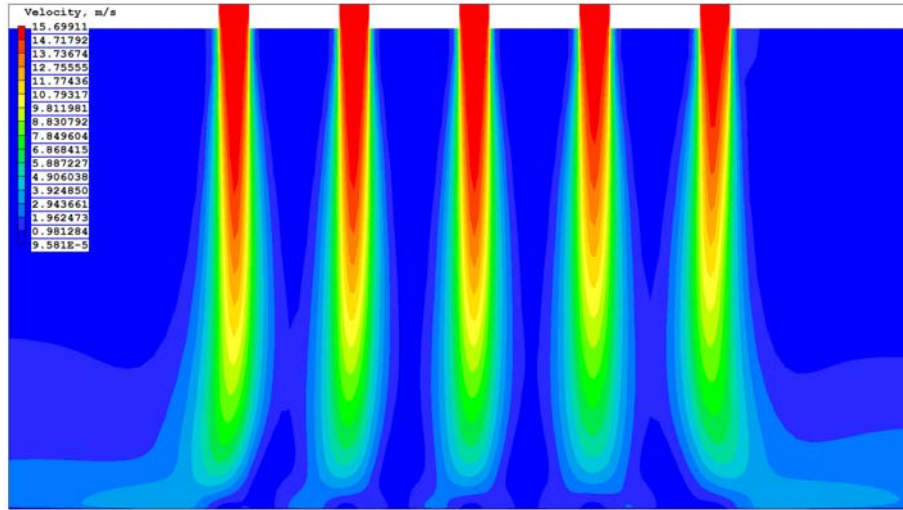
Jet-plaka mesafesinin ve jetler arasındaki mesafenin değişimiyle $Re=5000$ ve $Re=15000$ için merkez jet eksenı boyunca hız konturları dağılımları Şekil 6.8-Şekil 6.11’de verilmiştir. Şekil 6.8 ve Şekil 6.11’de görüldüğü gibi x yönünde jetler arası mesafe $3d$, $4d$ ve $5d$ olduğu ve y yönünde jetler arası mesafe sabit $5d$ mesafesi için farklı jet-plaka ve farklı Reynolds sayıları için hız konturları dağılımları verilmiştir. Şekil 6.8’de $Re=5000$ ve $H/d=3$ için x yönünde farklı jetler arası mesafelerde elde edilen hız konturları verilmiştir. Düşük jet-plaka ve düşük Reynolds sayılarında jetler arası mesafenin artmasıyla jet plakasına yakın bölgelerde daha büyük hız değerleri elde edilmiştir. Bu durum ısı transferini olumlu bir etki sağlamaktadır. $Re=15000$ ve $H/d=12$ olduğu durumda benzer hız değerleri elde edilmiştir.



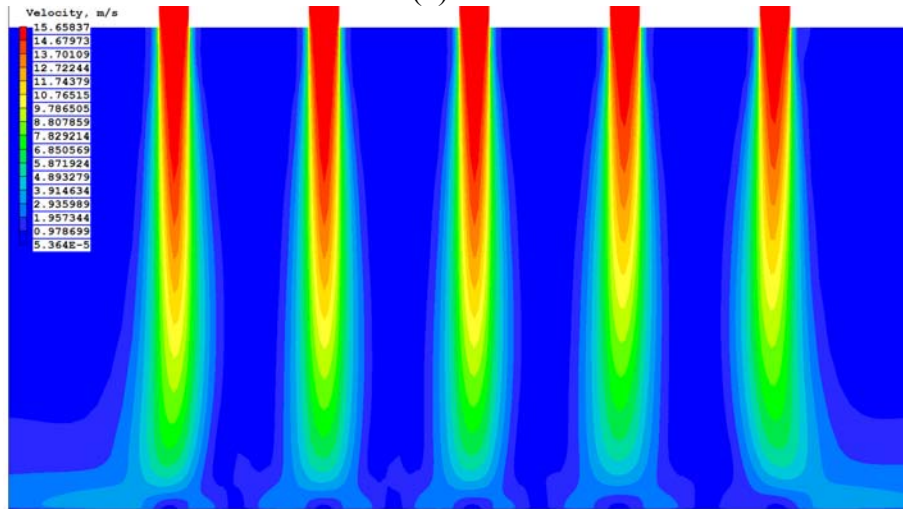
Şekil 6.8. Akış alanında hız konturları (a) X3-Y5-H3, (b) X4-Y5-H3, (c) X5-Y5-H3 ($Re=5000$)



(a)

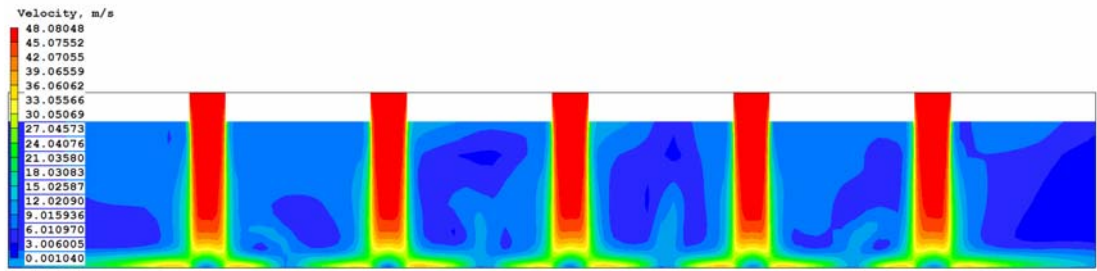
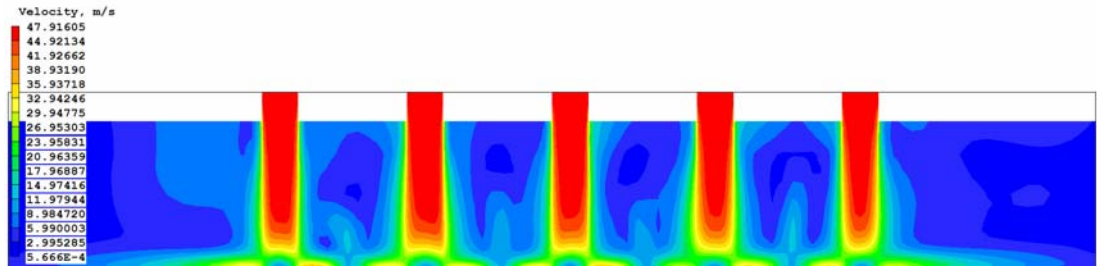
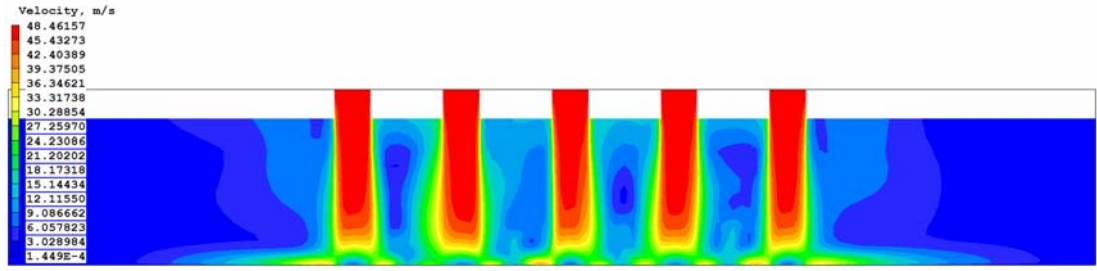


(b)

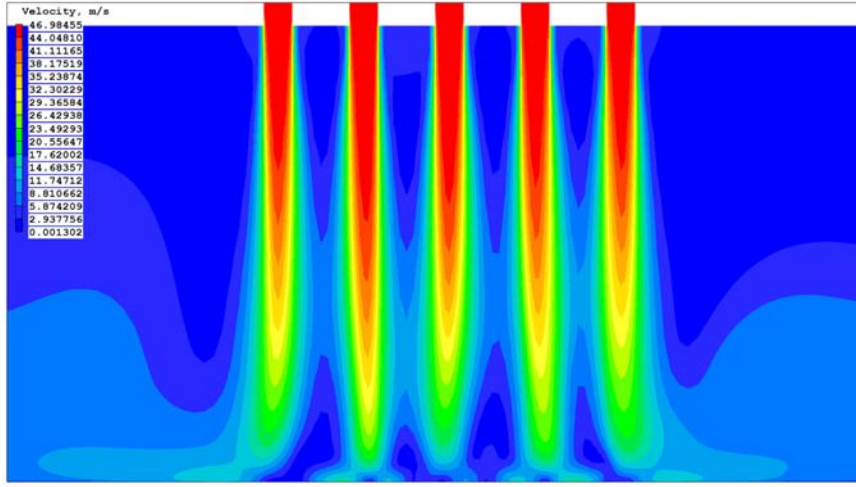


(c)

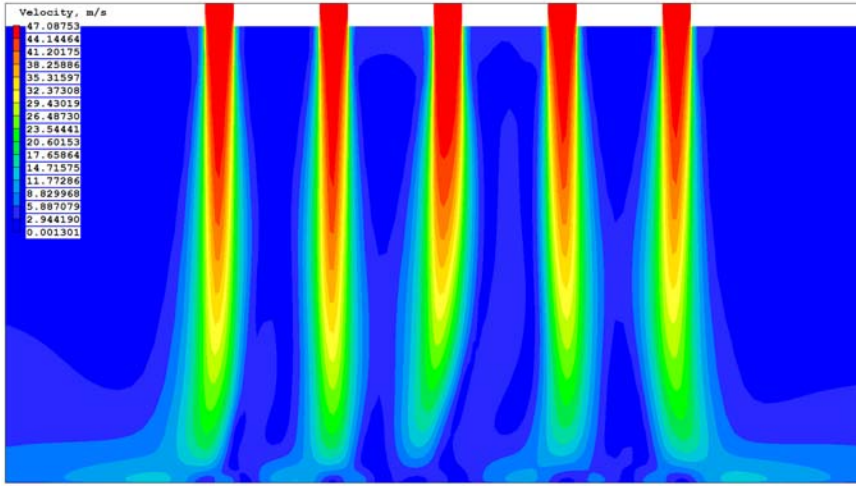
Şekil 6.9. Akış alanında hız konturları (a) X3-Y5-H12, (b) X4-Y5-H12, (c) X5-Y5-H12 (Re=5000)



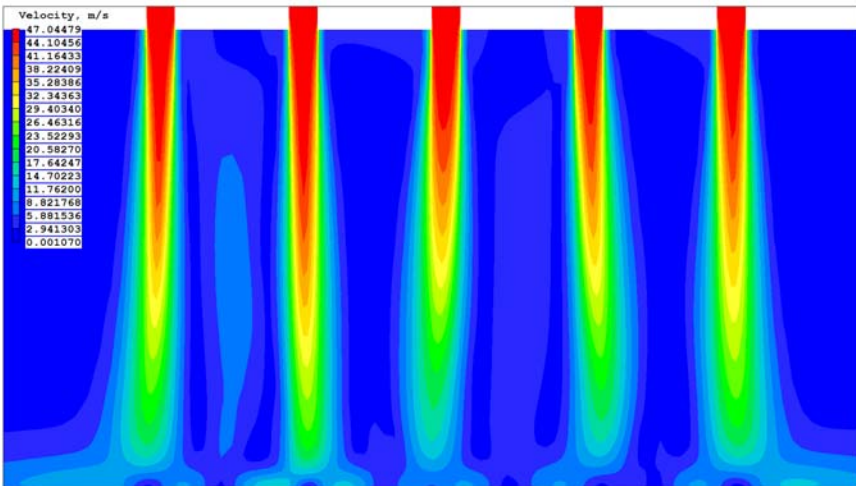
Şekil 6.10. Akış alanında hız konturları (a) X3-Y5-H3, (b) X4-Y5-H3, (c) X5-Y5-H3 (Re=15000)



(a)



(b)

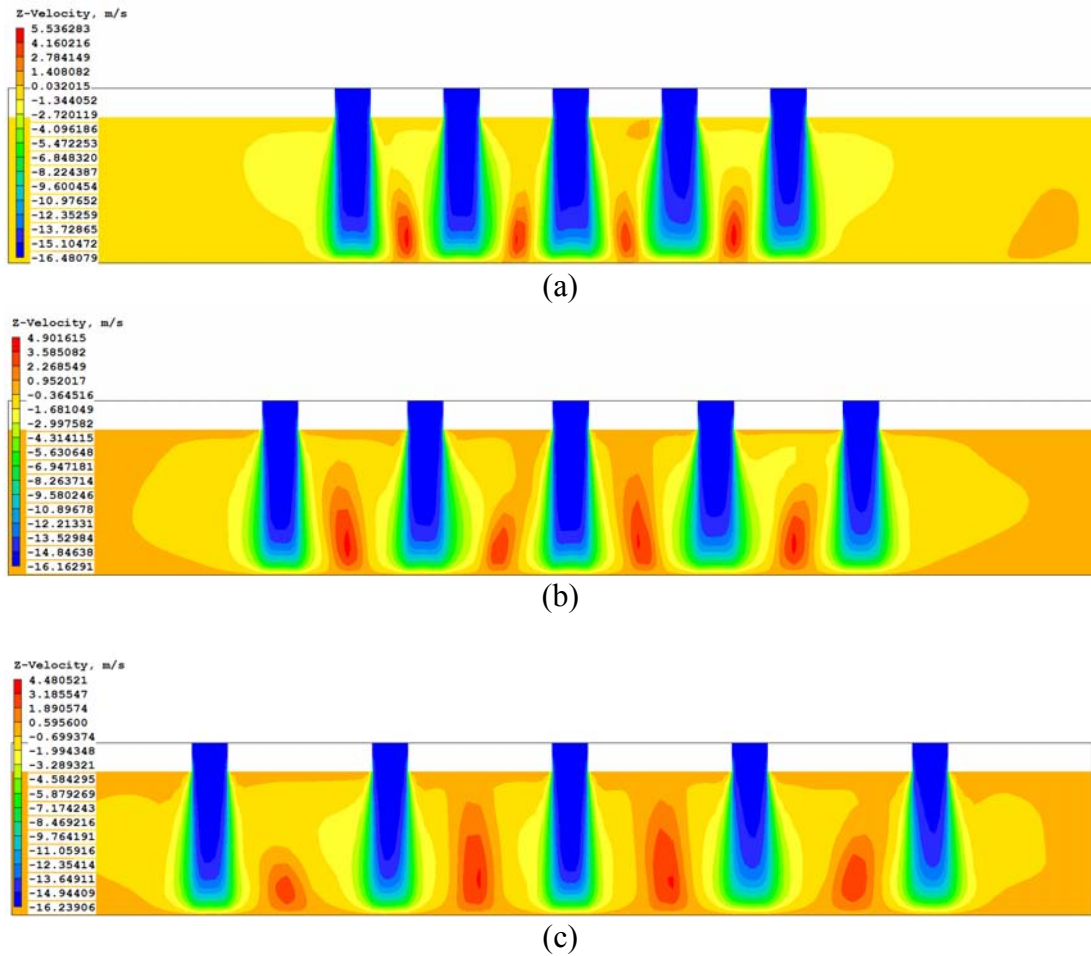


(c)

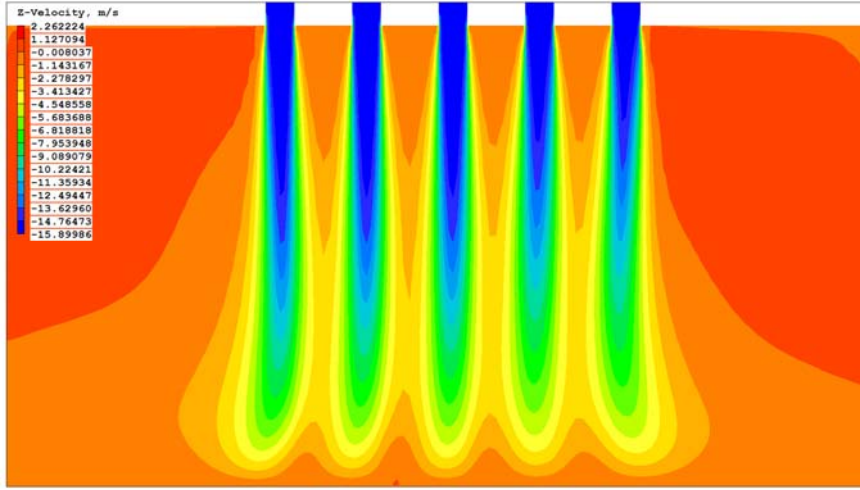
Şekil 6.11. Akış alanında hız konturları (a) X3-Y5-H12, (b) X4-Y5-H12, (c) X5-Y5-H12 (Re=15000)

Akış alanındaki z yönünde hız konturları dağılımı

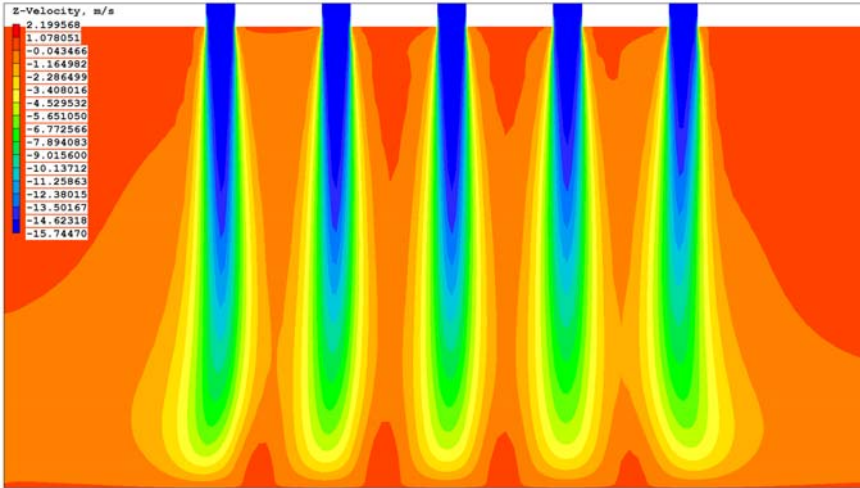
Akışa dik yönde (z yönünde) akış alanındaki hız değerlerinin nasıl değiştiği ısı transferi açısından oldukça önemlidir. Bu amaçla jet-plaka mesafesinin ve jetler arasındaki mesafenin değişimiyle $Re=5000$ ve 15000 için merkez jet eksenı boyunca z yönündeki hız konturları dağılımı Şekil 6.12-Şekil 6.15’de verilmiştir. $Re= 5000$ ve $H/d=3$ ’de jet çıkışından itibaren potansiyel hız çekirdeği bölgesinde hız 16m/s ile 14m/s arasında değişmektedir. Sabit hız çekirdeği jet çapının $1,5-2d$ mesafesine kadar geliştiği görülmektedir. Şekil 6.12’de görüldüğü gibi jetler arası mesafenin artmasıyla jetler arasındaki hız değerlerinin arttığı görülmektedir. $Re=5000$ ve $H/d=12$ ’de z yönündeki hız konturları değişimi Şekil 6.13’de verilmiştir. Jet-plaka mesafesinin artmasıyla jetler arasında hız değerlerinin azaldığı görülmektedir.



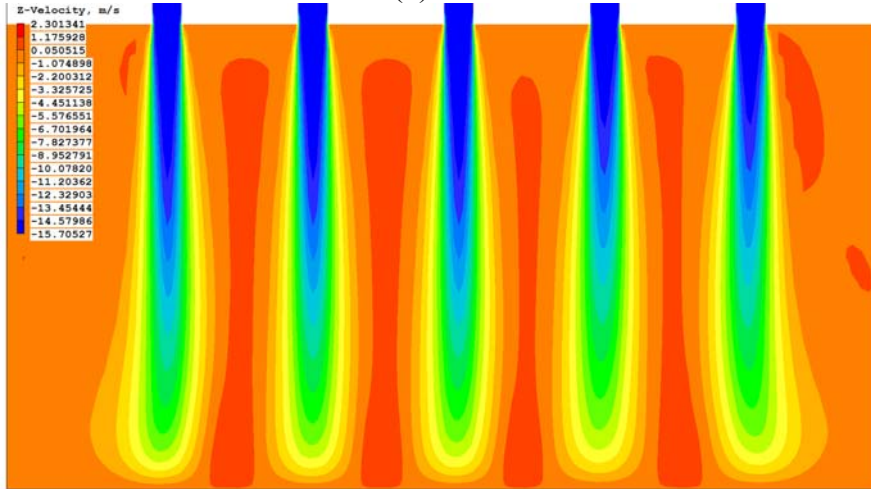
Şekil 6.12. Akış alanında z yönünde hız konturları (a) X3-Y5-H3, (b) X4-Y5-H3, (c) X5-Y5-H3 ($Re=5000$)



(a)



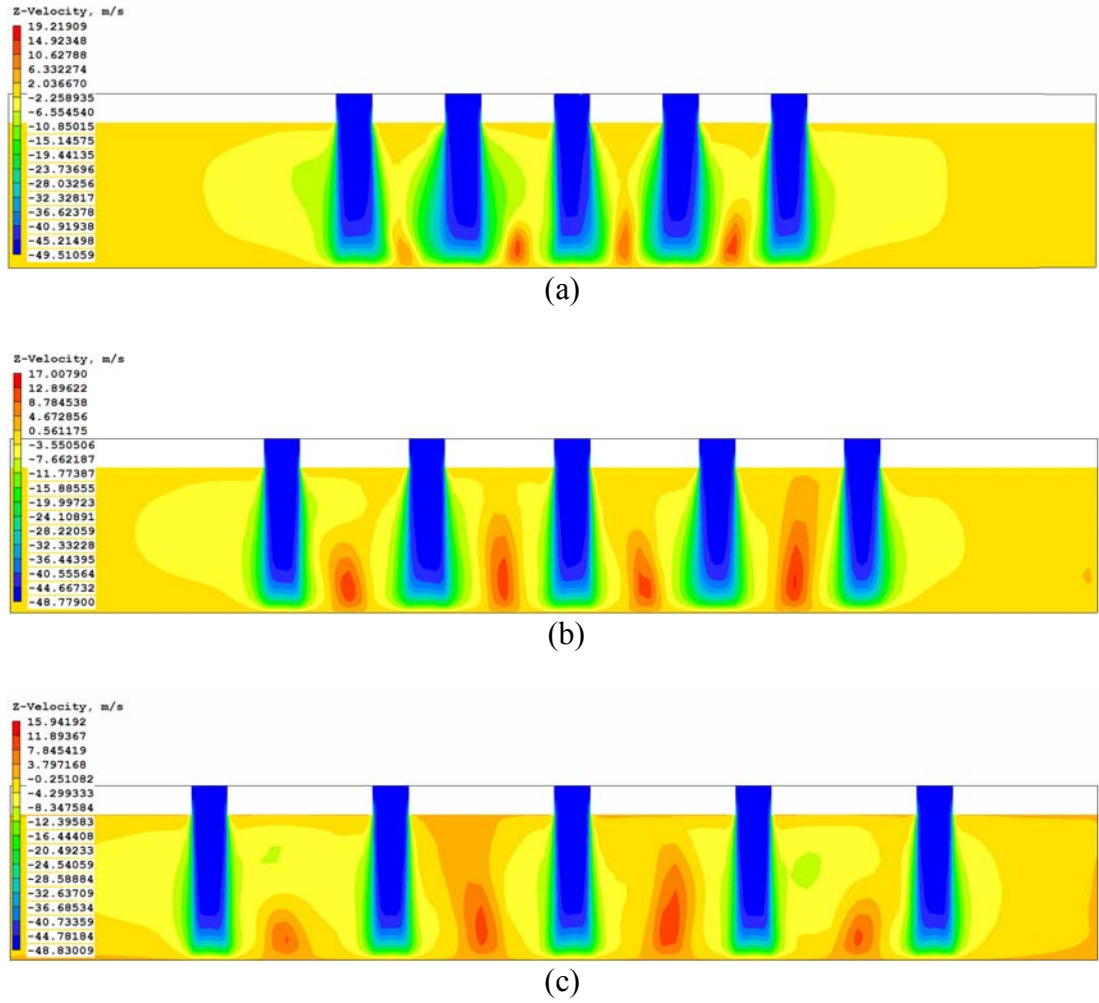
(b)



(c)

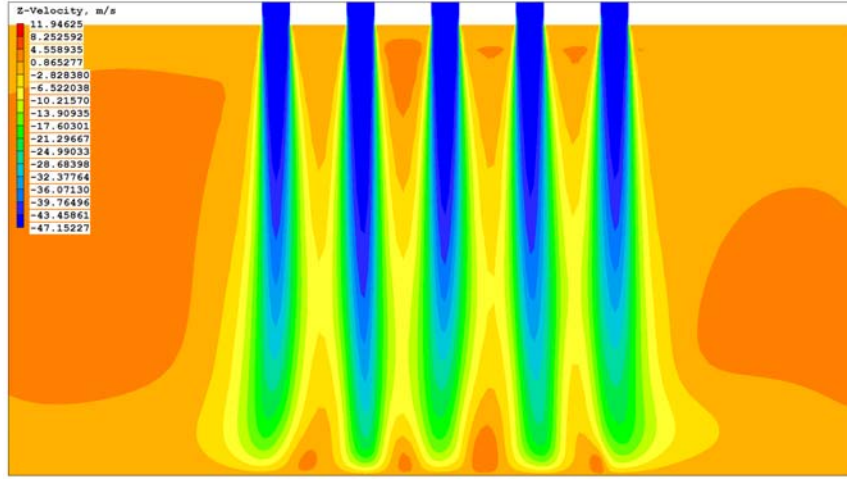
Şekil 6.13. Akış alanında z yönünde hız konturları (a) X3-Y5-H12, (b) X4-Y5-H12, (c) X5-Y5-H12 ($Re=5000$)

Re=15000 için merkez jet eksenı boyunca $H/d=3$ ve $H/d=12$ için z yönündeki hız konturları dağılımı Şekil 6.14 ve Şekil 6.15’de verilmiştir. Re= 15000 ve $H/d=3$ ’de jet çıkışından itibaren potansiyel hız çekirdeği bölgesinde hız 49m/s ile 45m/s arasında değişmektedir. Re=5000 ve $H/d=3$ ’de z yönündeki jetler arasındaki maksimum hız değerleri X3-Y5-H3, X4-Y5-H3 ve X5-Y5-H3 durumunda sırasıyla 19,21 m/s, 17 m/s ve 15,94 m/s’ dir.

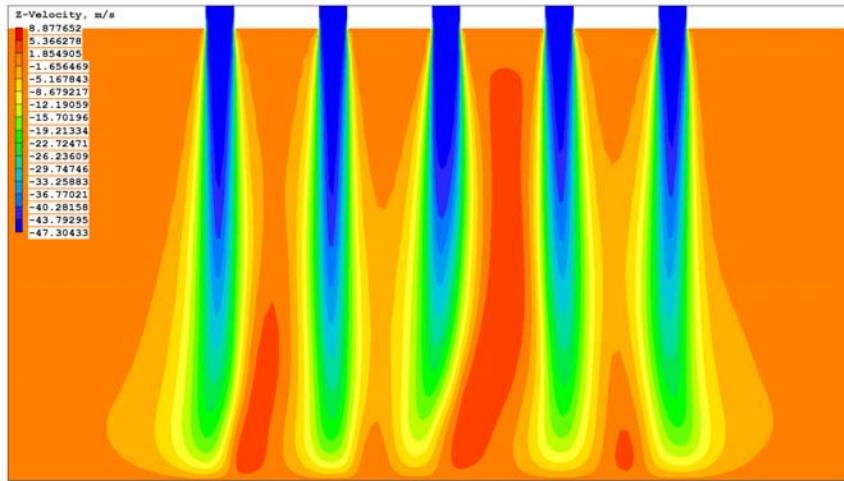


Şekil 6.14. Akış alanında z yönünde hız konturları (a) X3-Y5-H3, (b) X4-Y5-H3, (c) X5-Y5-H3 (Re=15000)

$Re=15000$ ve $H/d=12$ 'de z yönündeki jetler arasındaki maksimum hız değerleri X3-Y5-H3, X4-Y5-H3 ve X5-Y5-H3 durumunda sırasıyla 11,94 m/s, 8,87 m/s ve 9,14 m/s' dir. Jet-plaka mesafesinin artmasıyla jetler arasındaki dikey hızın % 40- % 50 arasında azaldığı görülmektedir.

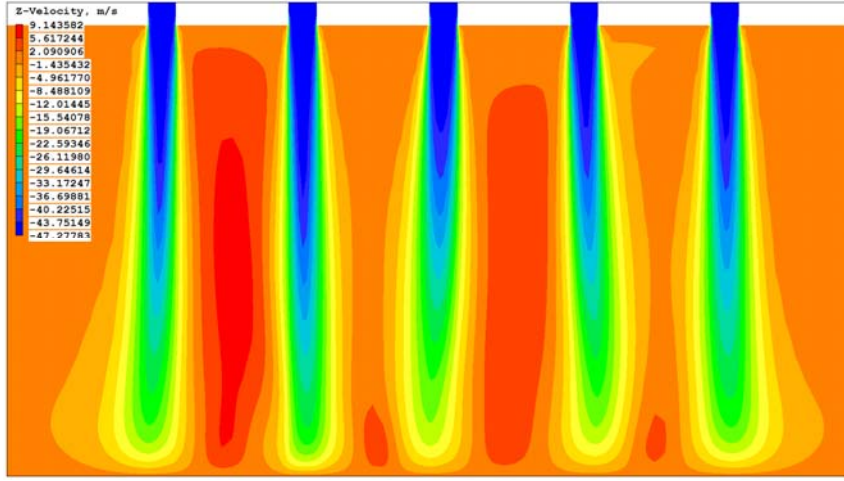


(a)



(b)

Şekil 6.15. Akış alanında z yönünde hız konturları (a) X3-Y5-H12, (b) X4-Y5-H12, (c) X5-Y5-H12 ($Re=15000$)



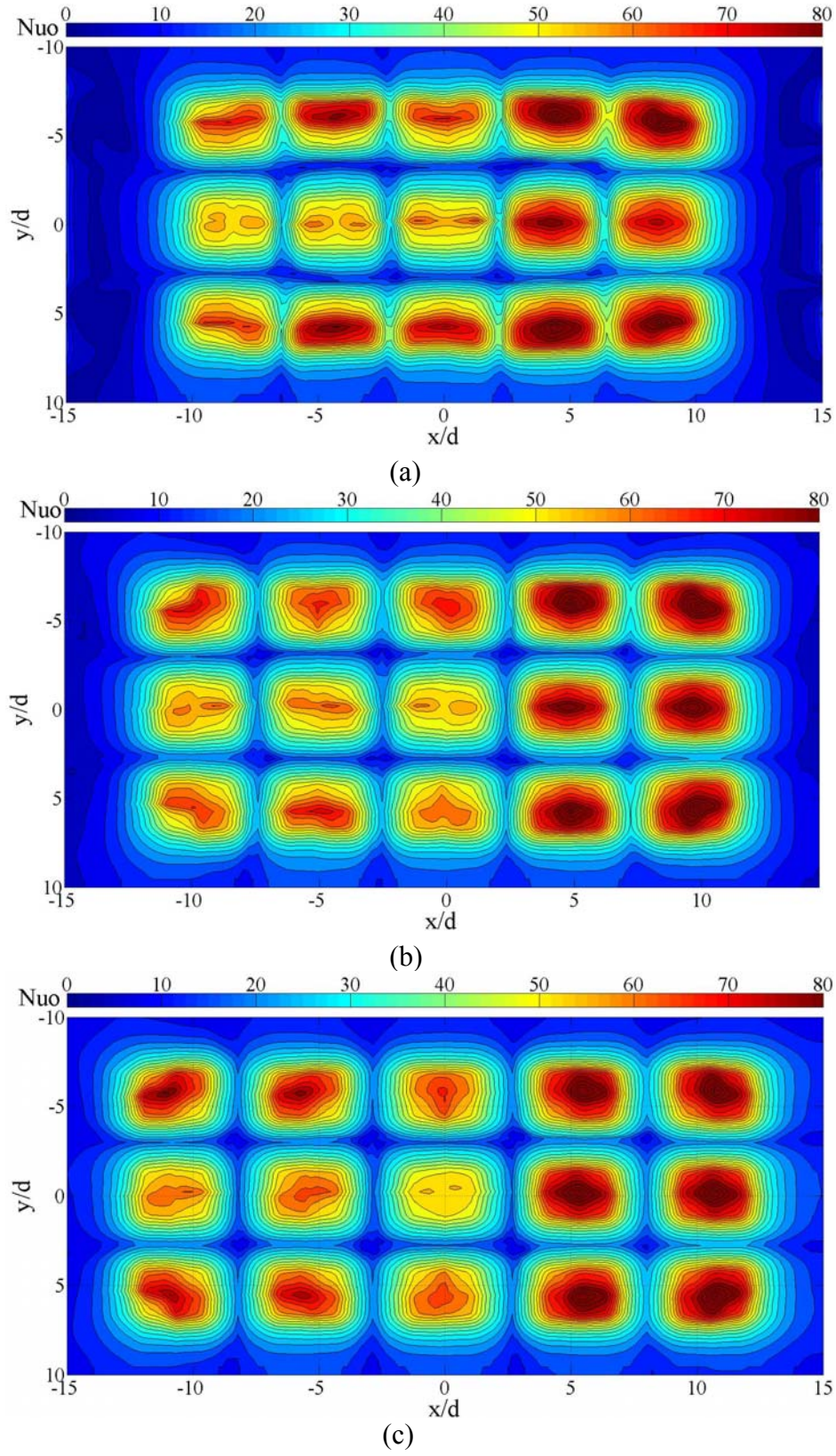
(c)

Şekil 6.15. (Devam) Akış alanında z yönünde hız konturları (a) X3-Y5-H12, (b) X4-Y5-H12, (c) X5-Y5-H12 ($Re=15000$)

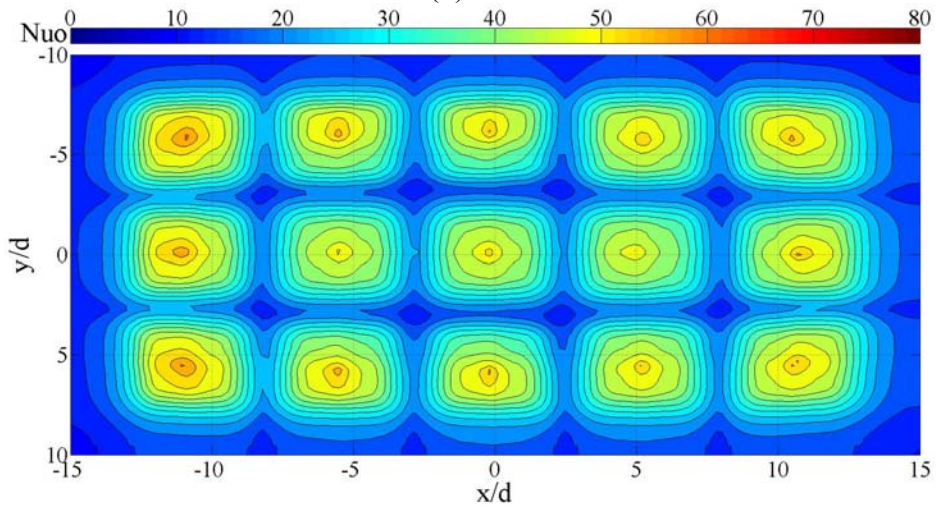
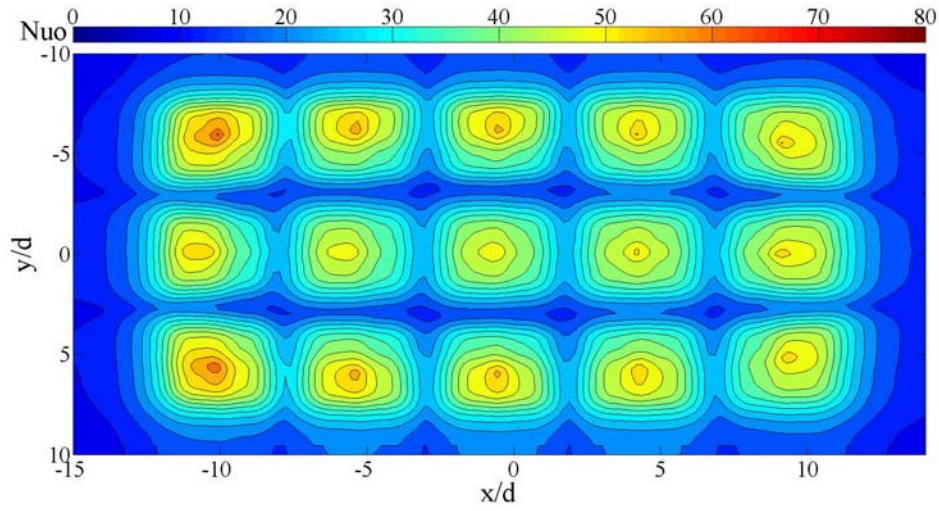
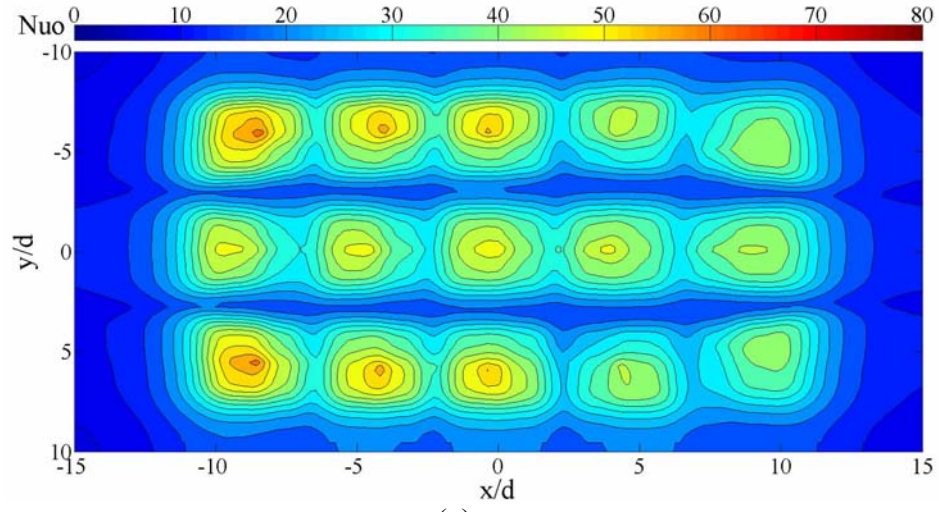
Jetler arasındaki mesafenin ısı transferi üzerine etkisinin sayısal incelenmesi

Bu bölümde, çarpan akışkan jetlerinde jetler arasındaki mesafenin ve jet-plaka arasındaki mesafeye bağlı olarak jetler arası etkileşimin yerel ısı transferine etkisini belirlemek amacıyla dairesel jetler (EJ1) kullanılarak gerçekleştirilen sayısal çalışmanın sonuçları Şekil 6.16 - Şekil 6.19'da verilmiştir. Bahsedilen ısı transfer etkileri jetler arasındaki mesafenin $x/d=3, 4$ ve 5 olarak değiştiği akışa dik yöndeki mesafenin sabit $y/d=5$ için, Reynolds sayılarının 5000 ve 15000 değerleri için boyutsuz jet-plaka mesafelerinin 3 ve 12 değerlerinde sabit ısı akısı için 1500 W/m^2 alınarak incelenmiştir. Şekil 6.16'da görüldüğü gibi jetler arası mesafenin etkisi jetin duvar jetinin oluşmasını etkilemektedir. Jetler arası mesafe arttıkça duvar jeti etkileşimi azalmaktadır.

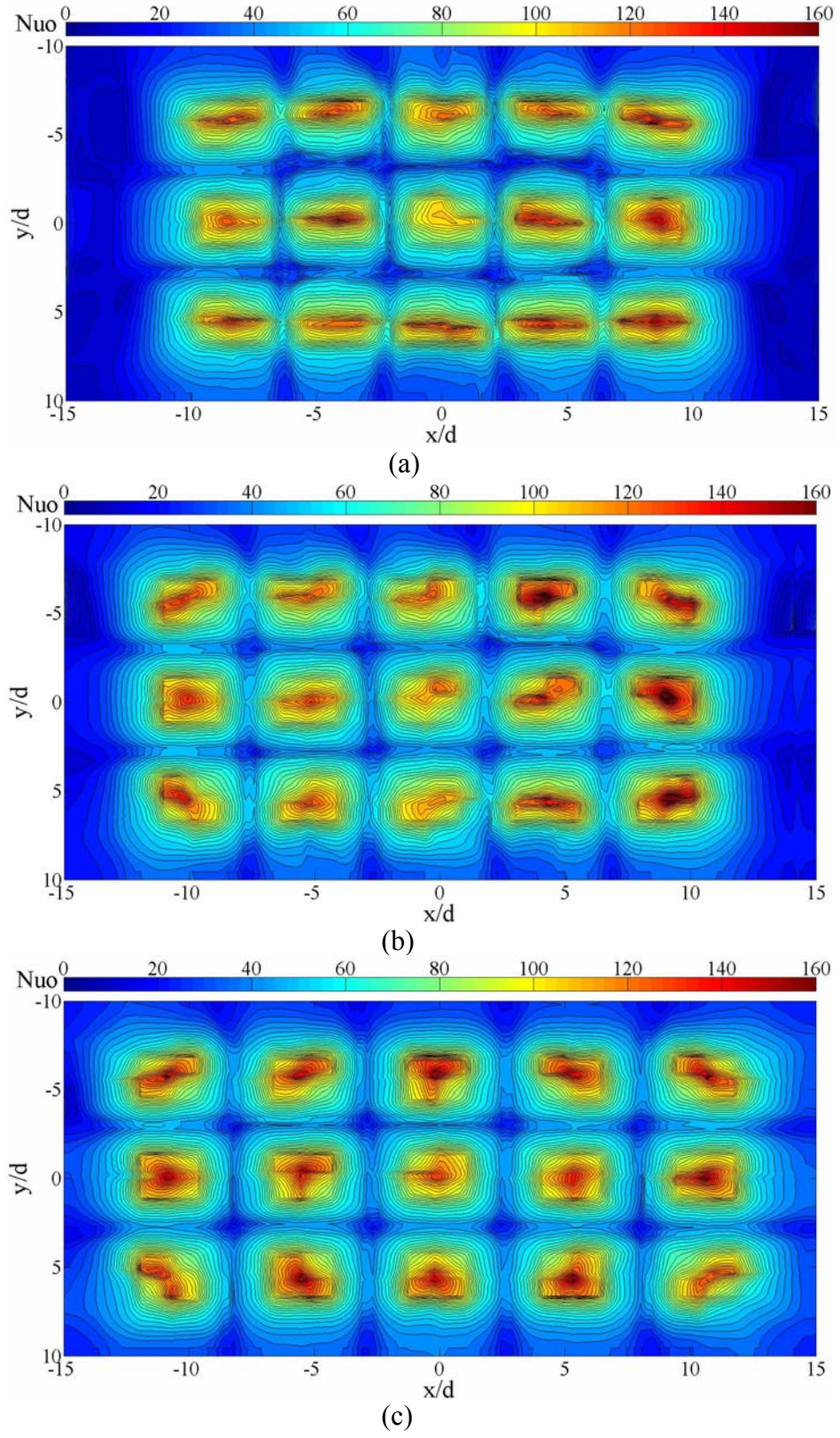
Jet-plaka mesafesinin artmasıyla çarpma plakası üzerindeki yerel Nusselt sayısı değişimleri Şekil 6.17'de verilmiştir. Jet-plaka mesafesinin artmasıyla jetin durma noktası etrafında ikincil akışların oluşmadığı ve durma ve duvar jet bölgelerinde Nusselt sayısının azaldığı görülmektedir. $X3-Y5-H3$, $X4-Y5-H3$ ve $X5-Y5-H3$ durumlarına bakıldığında zaman düşük jet-plaka mesafelerinde yerel Nusselt sayısı jetlerin etkileşimlerinden fazla etkilenmemesine rağmen jet-plaka mesafesinin artmasıyla yerel Nusselt sayısı jetlerin etkileşimlerinden etkilenmektedir. $Re=5000$ ve $X3-Y5-H12$ olduğu durumda jetlerin aynı Reynolds sayısında $X4-Y5-H12$ ve $X5-Y5-H12$ 'ye göre duvar jetlerinin tam oluşmadığı düşük jetler arası mesafede elips görünümlü olmasına rağmen jetler arası mesafe artmasıyla jet oluşumu dairesel bir şekil almıştır. Reynolds sayısının artmasıyla ($Re=15000$) çarpma plakası üzerindeki farklı jet-plaka ve farklı jetler arası mesafede yerel Nusselt sayısı değişimleri Şekil 6.18 ve Şekil 6.19'da verilmiştir. Düşük jet-plaka mesafelerinde Reynolds sayısının artmasıyla elips biçimli jet oluşumlarının arttığı ve duvar ve durma bölgelerinde Nusselt sayısının arttığı görülmektedir.



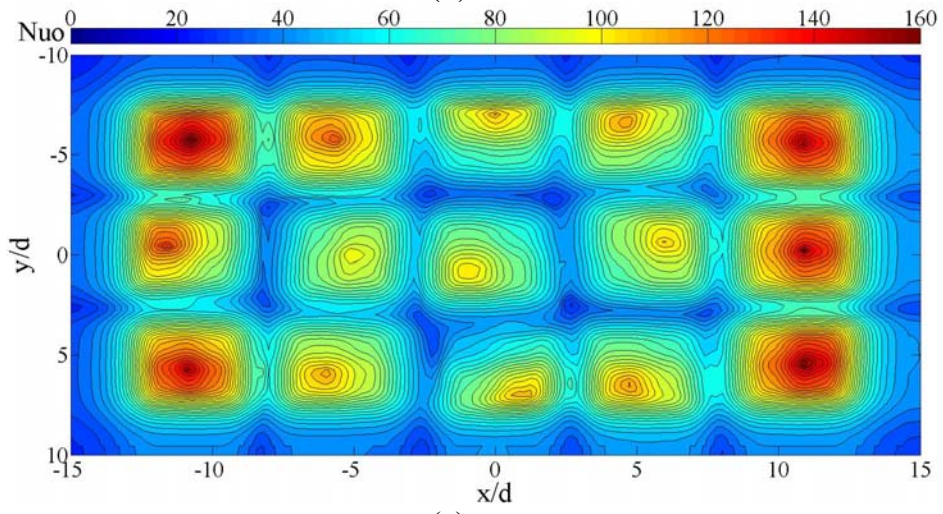
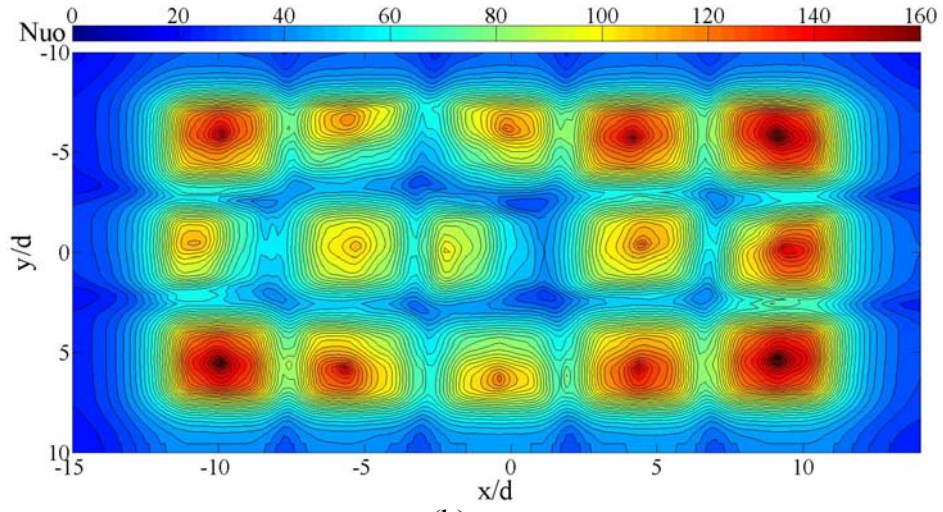
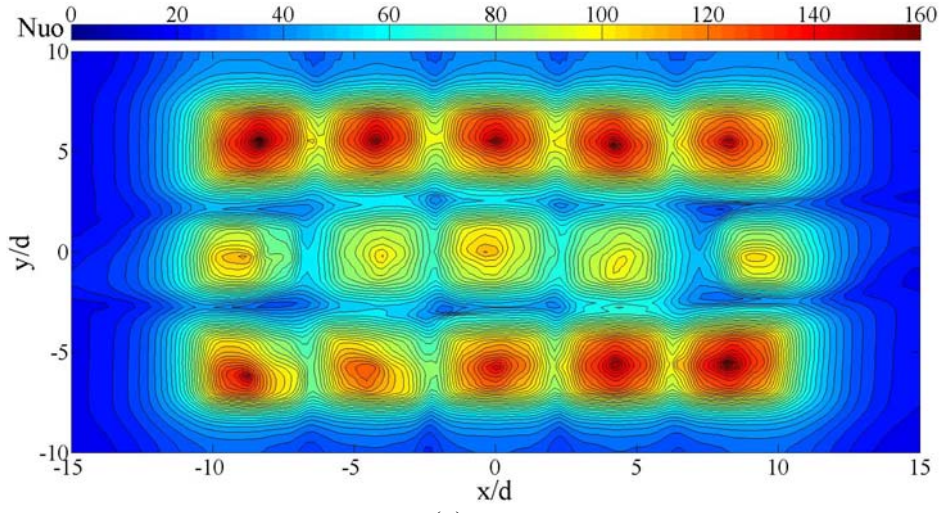
Şekil 6.16. Çarpma plakası üzerinde yerel Nusselt sayısı değişimi (a) X3-Y5-H3, (b) X4-Y5-H3, (c) X5-Y5-H3 ($Re=5000$)



Şekil 6.17. Çarpma plakası üzerinde yerel Nusselt sayısı değişimi (a) X3-Y5-H12, (b) X4-Y5-H12, (c) X5-Y5-H12 (Re=5000)



Şekil 6.18. Çarpma plakası üzerinde yerel Nusselt sayısı değişimi (a) X3-Y5-H3, (b) X4-Y5-H3, (c) X5-Y5-H3 (Re=15000)



Şekil 6.19. Çarpma plakası üzerinde yerel Nusselt sayısı değişimi (a) X3-Y5-H12, (b) X4-Y5-H12, (c) X5-Y5-H12 (Re=15000)

7. DENEYSEL VE SAYISAL DEĞERLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

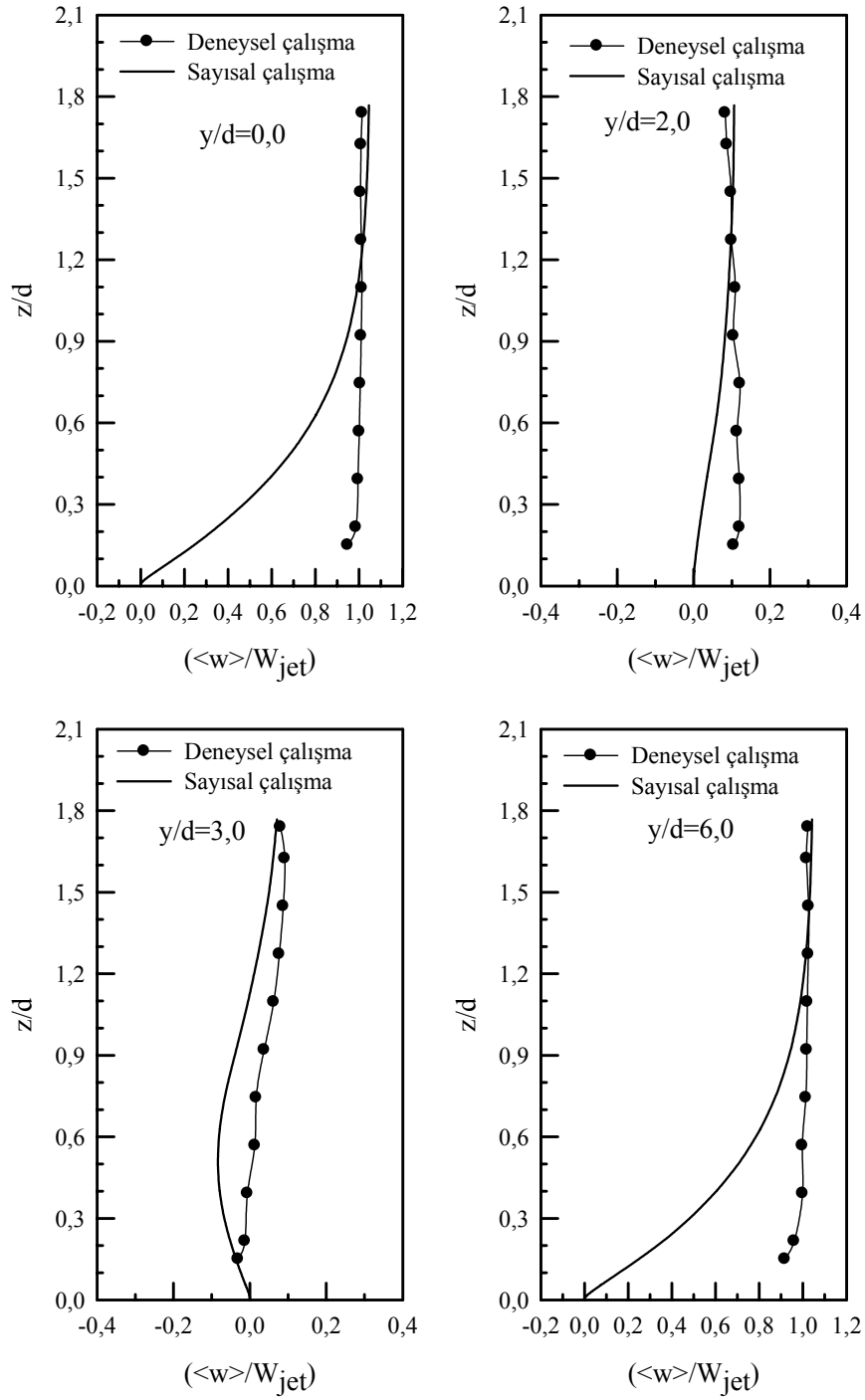
Bu bölümde düz ve V-BK'lı yüzeyler üzerinde deneysel ve sayısal çalışmaların farklı y/d mesafelerinde plakaya dik hız ve yatay hız değişimleri aşağıda sunulmuştur.

Plakaya dik hız bileşenlerinin deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırılması

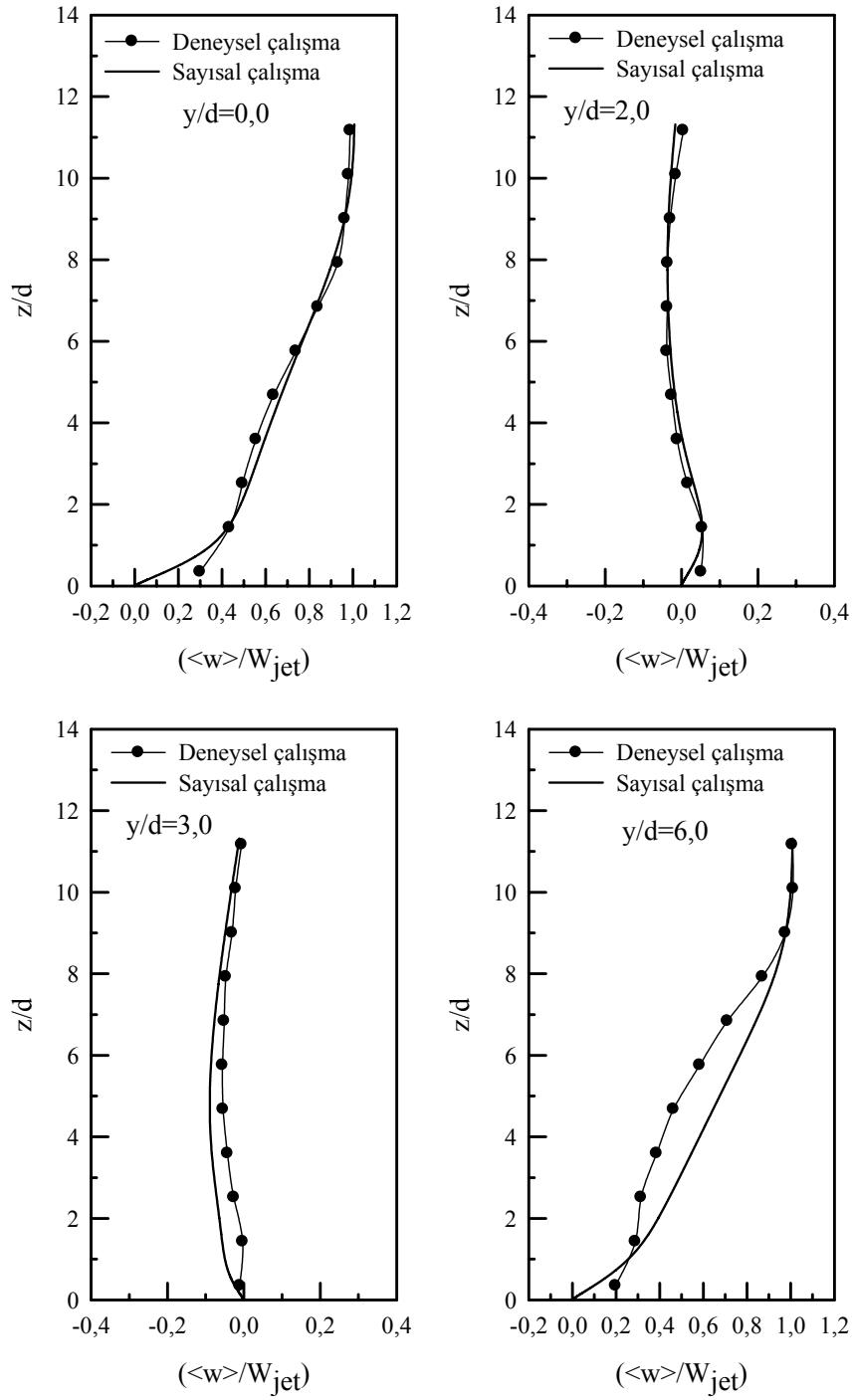
Düz plaka ve V-BK'lı plakalar üzerinde a-b bölgeleri arasında $H/d=3$ ve 12 için boyutsuz dikey hızın (w/W_{jet}) boyutsuz y/d mesafesiyle sayısal ve deneysel çalışmaların karşılaştırılması boyutsuz z/d yüksekliklerinde Şekil 7.1-Şekil 7.5'de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. İfadede kullanılan W_{jet} jet giriş hızı, d jet eşdeğer çapı olarak tanımlanmıştır. Tüm şekillerde $y/d=0$ noktası merkez jet merkezini $y/d=6$ ise merkez jete komşu y yönündeki komşu jet merkezini göstermektedir.

Şekil 7.1'de görüldüğü gibi $H/d=3$ 'de $y/d=0$ ve $y/d=6$ noktalarında deneysel ve sayısal çalışmalar arasında fark olduğu görülmektedir. Bu durum jetin merkezindeki türbülans yoğunluğundan dolayıdır. Kullanılan türbülans modellerdeki çok büyük türbülans uzunluk boyutlarının, iletimin baskın mod olduğu tabakanın kalınlığının azalmasına sebep olmasından meydana gelmektedir. Jet merkezlerinden uzaklaştıkça $y/d=1, 2, 3$ ve 5 bölgelerinde sayısal çalışmanın ve deneysel çalışmayla uyum içerisinde olduğu görülmektedir. $H/d=12$ 'de $y/d=0$ - $y/d=6$ bölgelerinde düz plaka üzerindeki boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde deneysel ve sayısal çalışmaların karşılaştırılması Şekil 7.2'de verilmiştir. Jet-plaka mesafesinin artmasıyla $y/d=0$ ve $y/d=6$ noktalarında deneysel ve sayısal çalışmalar arasında farkın $H/d=3$ 'deki duruma göre azaldığı görülmektedir.

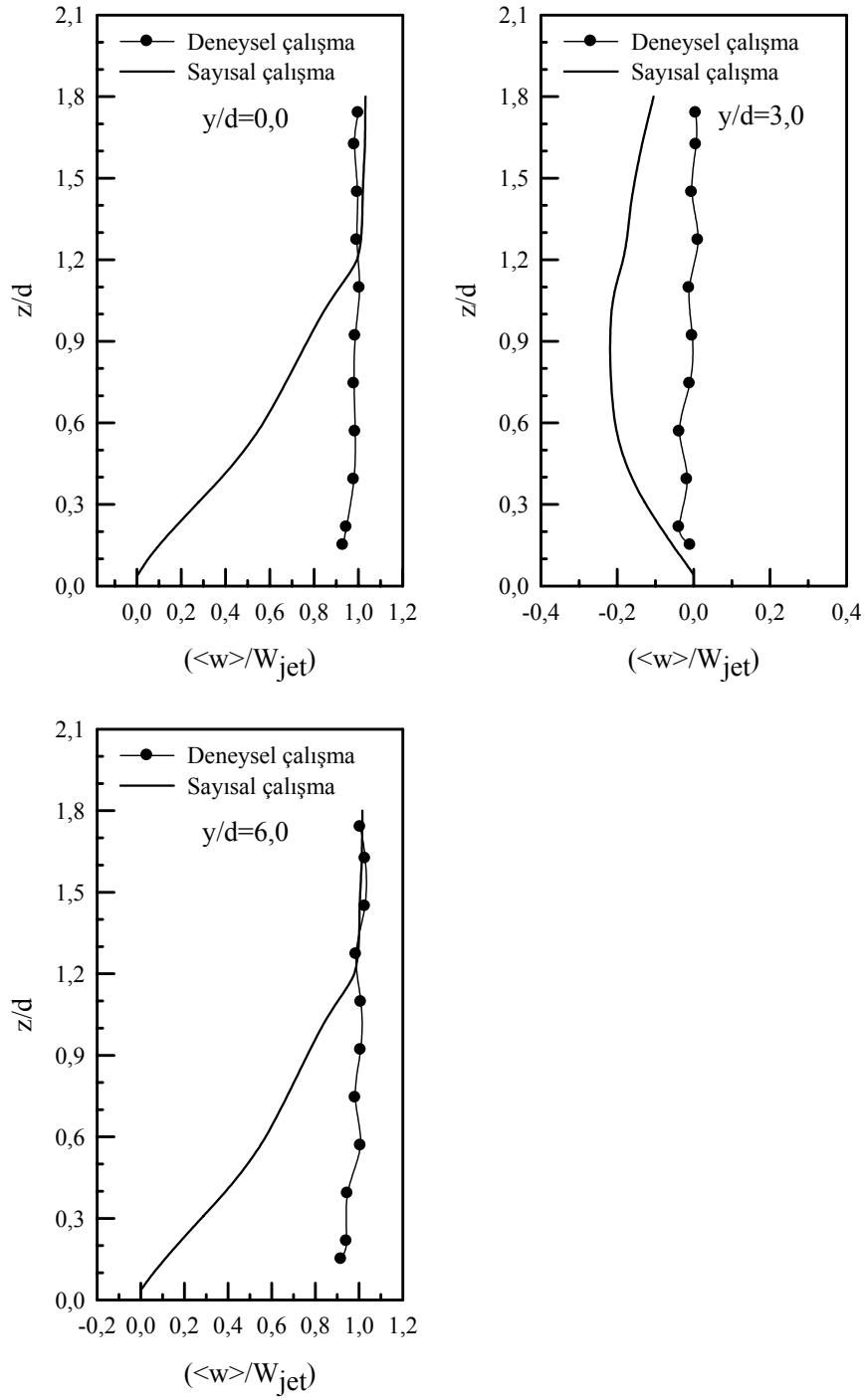
$H/d=3$ ve $H/d=12$ 'de $y/d=0, y/d=3$ ve $y/d=6$ bölgelerinde V-BK'lı plaka üzerindeki boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde deneysel ve sayısal çalışmaların karşılaştırılması Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'de verilmiştir. V-BK'lı plaka üzerindeki boyutsuz dikey hızın düz plakadaki duruma benzer bir değişim gösterdiği kanatçık etkisinin dikey hıza önemli bir etkisinin olmadığı görülmektedir.



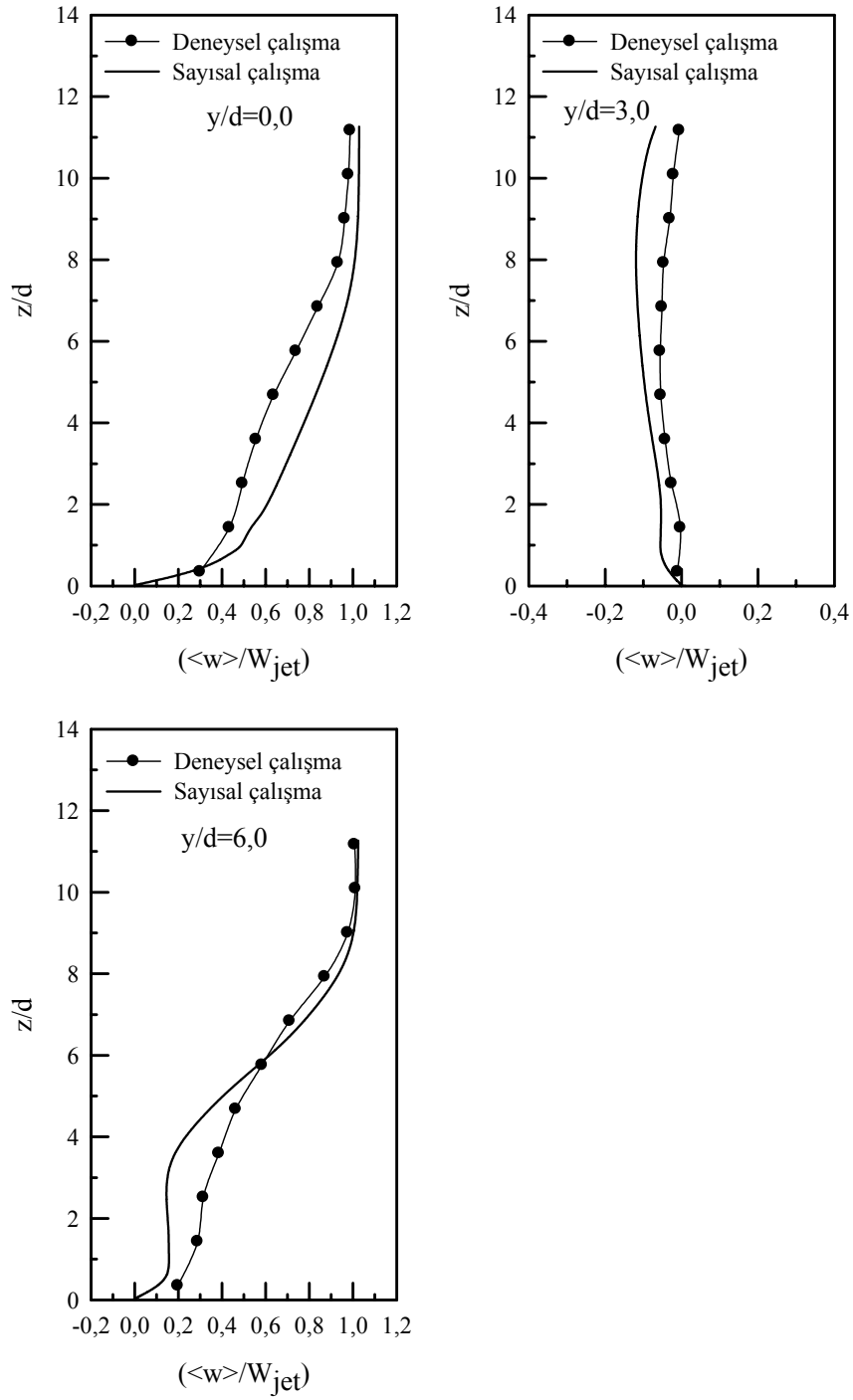
Şekil 7.1. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka)



Şekil 7.2. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12$, Düz plaka)



Şekil 7.3. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3, V-BK$)

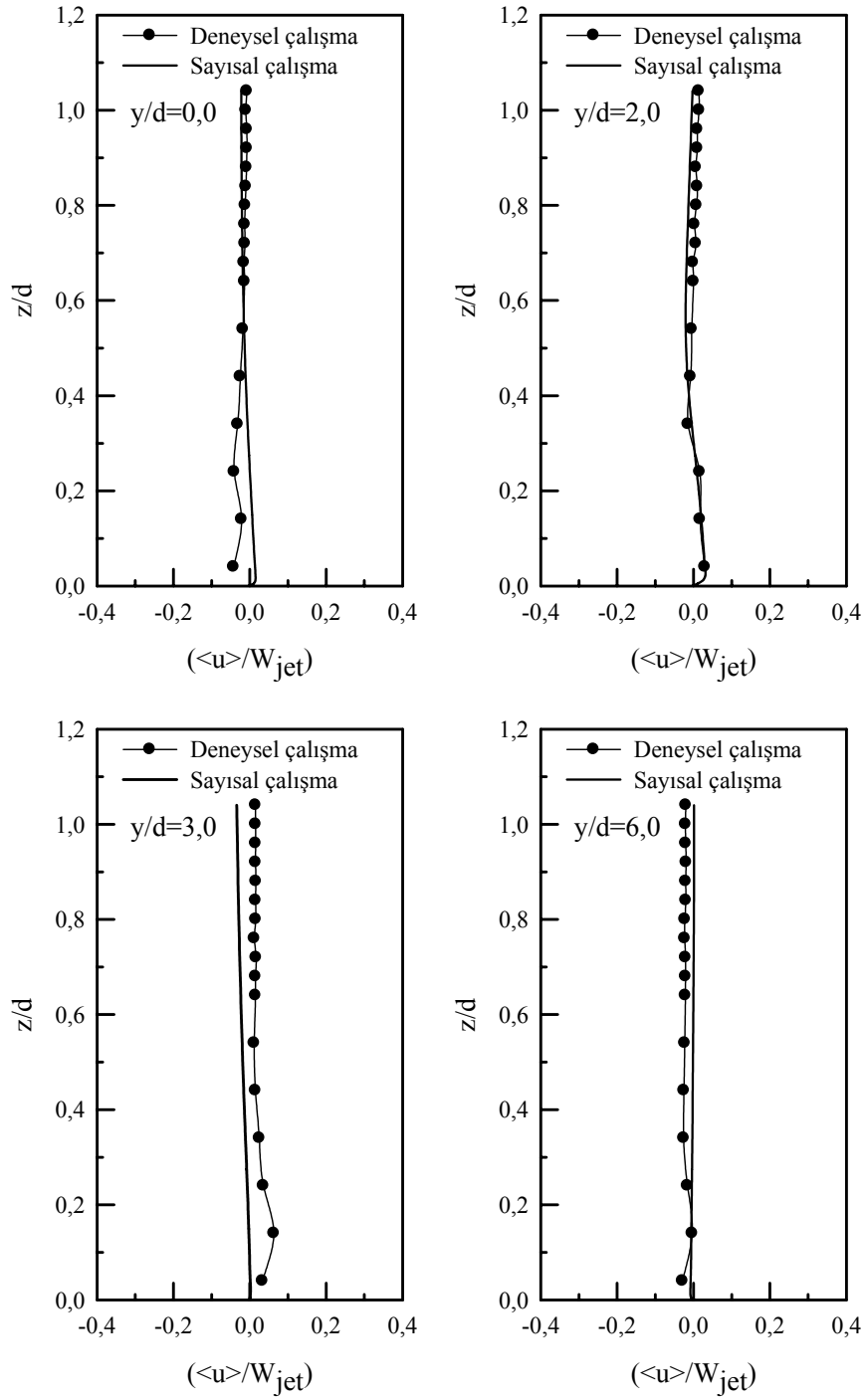


Şekil 7.4. Boyutsuz dikey hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=12, V-BK$)

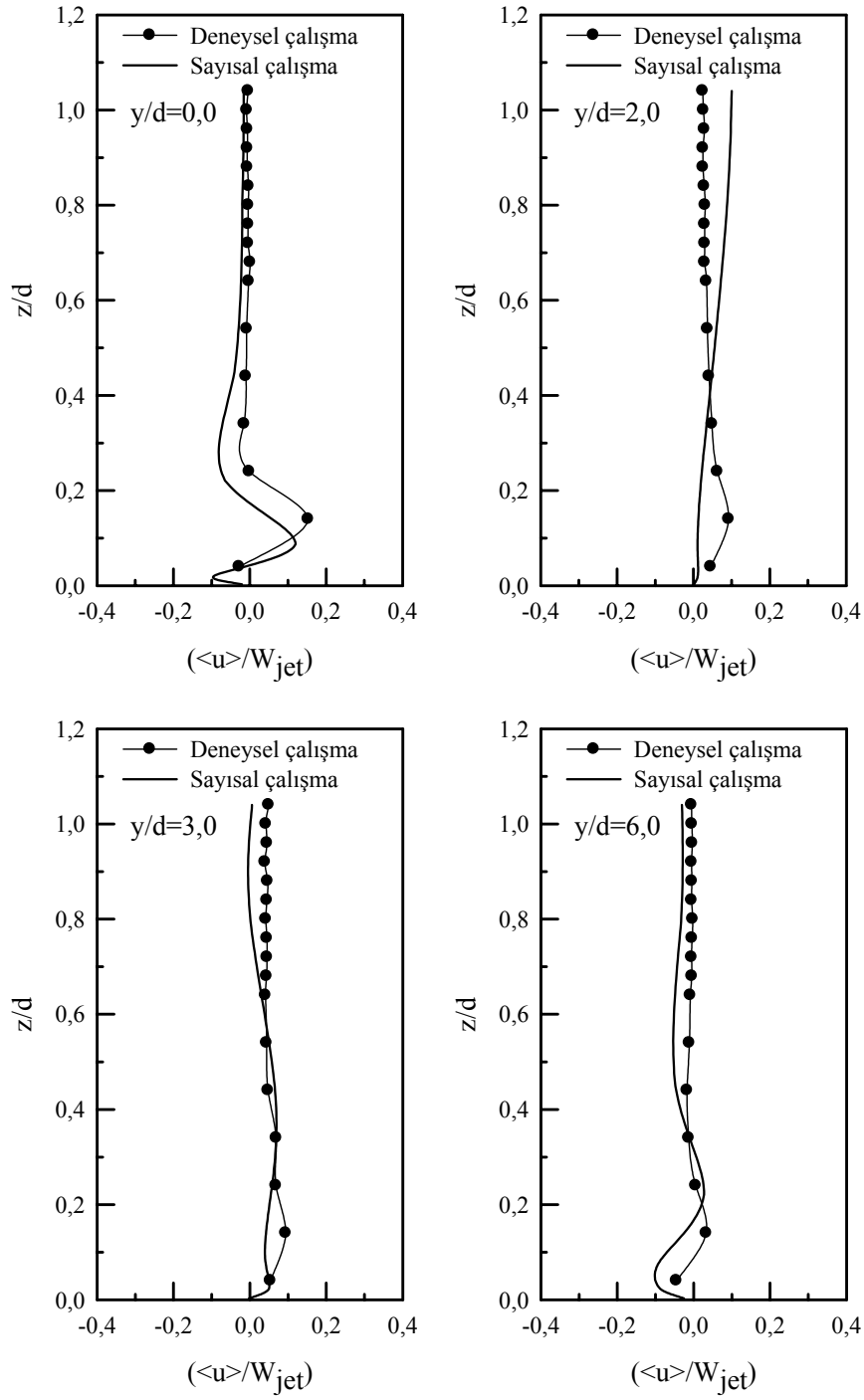
Plakaya yatay hızların deneysel ve sayısal çalışmalarla karşılaştırılması

Düz plaka ve V-BK'lı plakalar üzerinde a-b ve e-f bölgeleri arasında $H/d=3$ için boyutsuz yatay hızın ($\langle u \rangle / W_{jet}$) boyutsuz y/d mesafesinde sayısal ve deneysel çalışmaların karşılaştırılması boyutsuz z/d yüksekliklerinde Şekil 7.5-Şekil 7.7'de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Sayısal çalışma sonuçlarında $y/d=1,0$ 'dan yukarı kısımlarda sayısal olarak ölçümler mevcuttur fakat deneysel çalışmalarda sadece çarpma plakasından 5mm yukarı kısımda ölçümler alınmadığı için sayısal çalışmada $y/d=1,0$ 'dan sonraki kısımdaki yatay hız değişimleri grafiklerde verilmemiştir. Yatay hız değişimlerinin farklı y/d noktalarındaki değişimleri sayısal çalışmalarla uyum içerisinde olduğu görülmektedir. V-BK'lı yüzeyler üzerinde $y/d=0$ ve $y/d=6$ bölgelerinde yatay hızın düz plakalardan daha büyük olduğu görülmektedir.

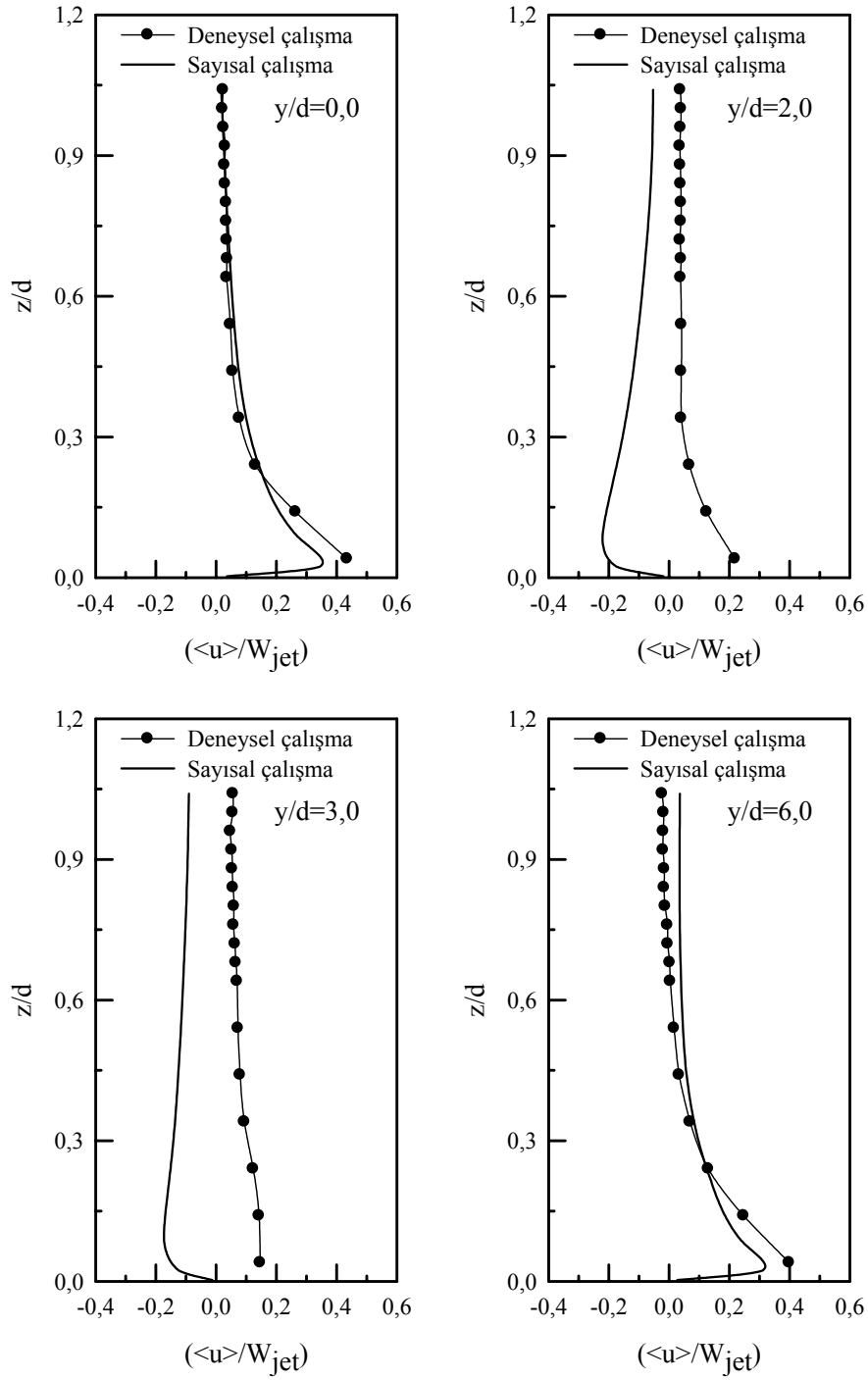
Boyutsuz yatay hızın $y/d=2$ ve $y/d=3$ bölgelerinde jet merkezinden uzaklaştıkça (e-f bölgesinde) sayısal ve deneysel sonuçlar arasında farklılıklar meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 7.5. Boyutsuz yatay hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3$, Düz plaka)



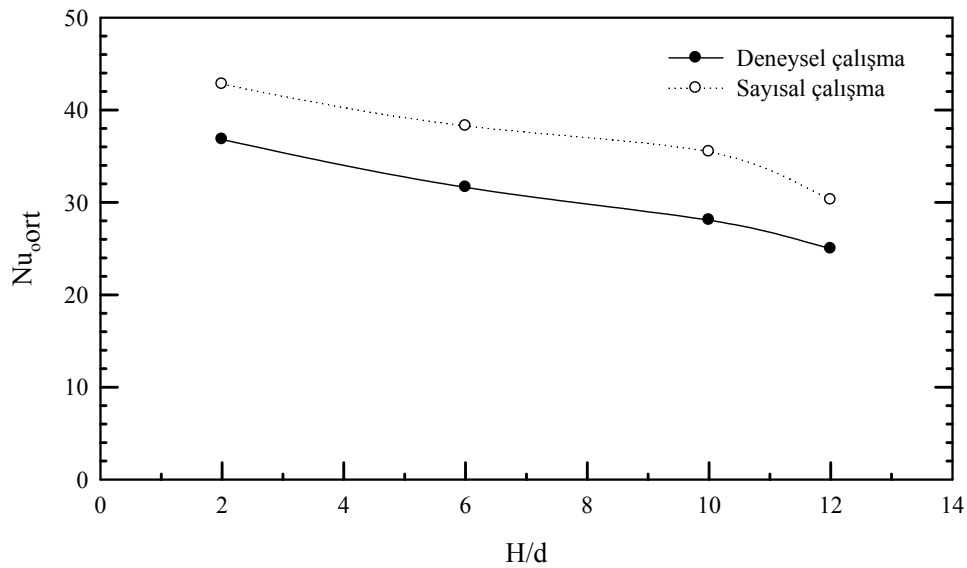
Şekil 7.6. Boyutsuz yatay hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, a-b bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3, V-BK$)



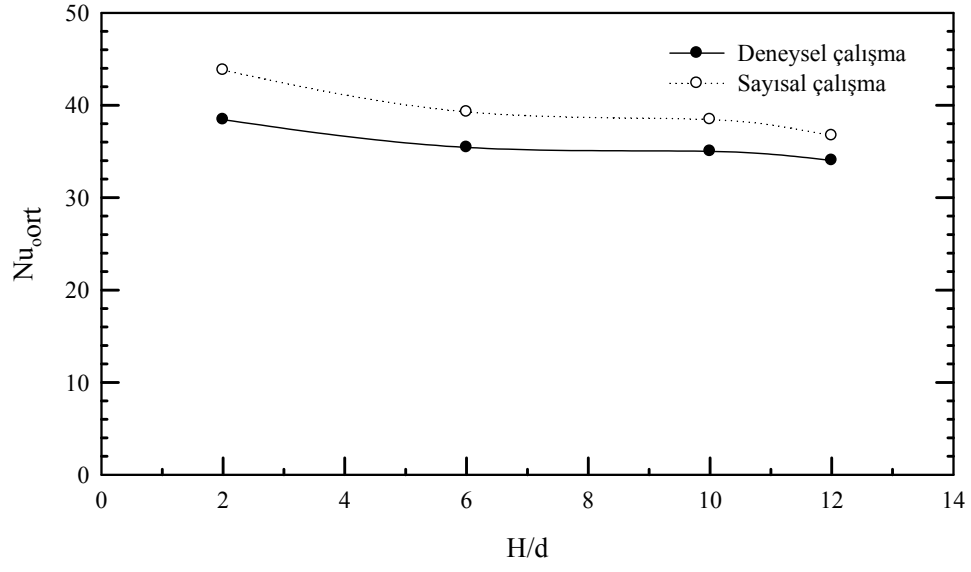
Şekil 7.7. Boyutsuz yatay hızın çarpma noktasına dik yönde ve $y/d=0-6$, e-f bölgesi boyunca değişimi ($H/d=3, V-BK$)

Jet-plaka mesafesinin ortalama Nusselt sayısına etkisinin deneysel ve sayısal olarak karşılaştırılması

Düz plaka ve V-BK'lı plakalar üzerinde akışa dik ve paralel yönlerde jetler arasındaki mesafenin jet çapının 6d katı olduğu durumda ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi Şekil 7.8 ve Şekil 7.9'da verilmiştir. Jet-plaka mesafesinin artmasıyla ortalama Nusselt sayısı deneysel ve sayısal çalışmalar için azaldığı görülmektedir. Düz plaka ve V-BK'lı yüzeylerde görüldüğü gibi jet-plaka mesafesinin artmasıyla deneysel ve sayısal çalışmalar arasındaki farkın azaldığı görülmektedir. Bu durum akış deneylerinde elde ettiğimiz sonuçlarla uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Bu durum jetin merkezindeki türbülans yoğunluğunun jet-plaka mesafesinin artmasıyla azalmasından dolayıdır.



Şekil 7.8. Ortalama Nusselt sayısının jet-plaka ile değişimi (Re=10000, X6-Y6, Düz plaka)



Şekil 7.9. Ortalama Nusselt sayısının jet-plaka ile değişimi ($Re=10000$, X6-Y6, V-BK)

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gaz türbinlerinden yüksek verim almak için yüksek sıcaklıklara (1400°C ' nin üzerinde) maruz kalan gaz türbini kanatlarının soğutulması gerekmektedir. Böyle önemli durumlar altındaki gaz türbini çalışması, gaz türbini kanatlarında yüksek ısıdan dolayı erimeye ve kanat yapısında yüksek ısıl gerilmelere sebep olmaktadır. Bu durum türbin kanatlarına çok ciddi zarar vermesine sebep olan yüksek gerilmelere maruz kalabilir. Doğal taşınımın soğutma için yeterli olmadığı durumlarda, havayla zorlanmış taşınım uygulamaları devreye girmiş daha yüksek ısı akıllarında ise sıvıyla soğutma ve iki fazlı soğutma uygulamaları bunların yerini almıştır. Çarpan hava jeti uygulamaları, elde edilen yerel ısı transferi miktarları bakımından havayla zorlanmış taşınımın üst limitini oluşturmaktadır. Bu sebeple çarpan hava jetlerinin gaz türbini kanatlarına yönelik uygulamaları büyük önem taşımaktadır.

Çarpan jetlerin akış ve ısı transferi özellikleri, jet çıkış geometrisinden jet çıkışındaki hız profiline, jet-plaka arasındaki mesafeden jet içerisindeki türbülansa, çarpma plakası geometrisinden jet ile plaka arasındaki sıcaklık farkına kadar birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir.

Bu çalışmada ilk olarak çarpan akışkan jetlerinde jet-plaka mesafesi, yüzeye verilen ısı akıları ve Reynolds sayısının ortalama ve yerel ısı transferine etkilerini belirlemek amacıyla düzgün sıralı dairesel jetler (EJ1) kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Ortalama Nusselt sayısının jet-plaka mesafesi ile değişimi, Reynolds sayısının ortalama Nusselt sayısına etkisi ve Reynolds sayısı ile ortalama Nusselt sayısı ilişkisinin jet-plaka mesafesi ile değişimleri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda ortalama Nusselt sayısının ısı akısına bağlı olmadığı görülmüştür. Jet-plaka mesafesinin artmasıyla ortalama Nusselt sayısının azaldığı, Reynolds sayısının artmasıyla jet-plaka mesafesine bağlı olarak ortalama Nusselt sayısında keskin bir düşüşün olmadığı yapılan çalışmalarda bulunmuştur.

Çoklu jetler kullanılarak çarpma plakası üzerinde elde edilen ısı transferi plaka boyunca doğrusal olmayan bir şekilde değişmektedir. Bahsedilen değişimin belirli aralıklarla ısı çiftleri kullanılarak belirlenmesi özellikle küçük jet çaplarının kullanıldığı durumlarda mümkün olmamaktadır. Bu değişimin jet çıkış geometrisinin bir fonksiyonu olarak her noktada belirlenebilmesi için termal kamera ile sıcaklık ölçüm tekniği kullanılarak deneyler yapılmıştır. Jet çıkış geometrisine, Reynolds sayısına ve jet-plaka mesafesine bağlı olarak ısı transferinin özellikle durma bölgesinde farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Eliptik ve dikdörtgen kesitli jet geometrilerinin durma bölgesinde pasif bir ısı transferi artırım mekanizması olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Dairesel ve dikdörtgen kesitli jetlerin düşük Reynolds sayılarında ısı transferini artırmada önemli bir etkinin olmadığı fakat dikdörtgen kesitli jetlerin yüksek Reynolds sayılarında daireli jetlerden daha yüksek ısı transferi elde edilmiştir. Ayrıca RJ2 jetinden elde edilen ortalama Nusselt sayısı ve EJ05 jetinden %13,7 daha fazla olduğu görülmüş ve bu durumda RJ2 geometriye sahip jetlerin ısı transferi artırımı için diğer jetlerden daha iyi bir artırım sağladığı elde edilmiştir.

Isı transferi üzerinde etkili parametrelerden, çarpma plakası üzerine V-biçimli kanatçık (V-BK) ile daralan-genişleyen biçimli kanatçıklar (DG-BK) farklı yüksekliklerde, değişik kütleli debide termal kamera ile yüzey sıcaklıkları ölçülerek değişik jet-plaka mesafeleri için incelenmiştir. Farklı çarpma plakası ile yapılan çalışma sonucunda V-BK'ların DG-BK'lara göre daha iyi bir ısı transferi sağladığı ve bunun yanı sıra düz plakalara göre V-BK'ların aynı şartlarda maksimum %26,6 ısı transferini artırdığı görülmüştür. Ortalama Nusselt sayısı değişimlerinin kanat yüksekliğinin jet çapına oranı (e/d) ile önemli bir değişim göstermediği görülmüştür.

Maksimum ortalama Nusselt sayısı $e/d=1,2$ değerinde elde edilmiştir. Düz plaka ve V-BK arasındaki ortalama Nusselt sayısı değişimleri arasındaki fark e/d mesafelerine bağlı olarak H/d mesafesinin artmasıyla arttığı görülmüştür. Ayrıca Reynolds sayısının artmasıyla e/d değişimlerine bağlı olarak ortalama Nusselt sayısı değişimlerinin arttığı görülmektedir. Yüksek Reynolds sayılarında düz ve V-BK arasındaki ortalama Nusselt sayısı %9,3-%26,6 aralığında değiştiği görülmüştür.

Çarpan akışkan jetlerin, geometrik parametrelerine bağlı olarak jet çıkışından itibaren başlayıp, çarpma plakası sonuna kadar devam eden bölgede çok farklı akış özellikleri elde edilmektedir. Bu akış özelliklerin belirlenmesi literatürde geniş çaplı olarak araştırılmıştır. Çarpma plakası üzerinde jet akışının davranışı düz yüzey ve V-BK, DG-BK yüzeyler üzerinde hız, türbülans yoğunluğu, Reynolds gerilmeleri ve akış vektörlerinin belirlenmesine yönelik olarak yapılan ayrıntılı iki boyutlu LDA ölçümleriyle belirlenmiştir.

Ayrıntılı LDA ölçümleriyle, düz ve kanatçıklı yüzeyler üzerinde akış özellikleri arasındaki farklar ve benzerlikler ortaya konmuştur. Çarpan jetlerin, duvar jeti bölgesindeki farklı karakteristikleri net bir şekilde ortaya konmuştur. Özellikle, plakaya yakın bölgede yapılan ayrıntılı hız ve türbülans ölçümleri sonucu, ısı transferi sonuçlarının yorumlanmasında çok faydalı olabilecek bulgular elde edilmiştir. Ayrıca, jet-plaka mesafesinin etkisi çarpma noktası ve durma bölgesinde açık bir şekilde görülürken, duvar jeti bölgesinde elde edilen değerlerin, jet-plaka mesafesinden hemen hemen bağımsız hale geldiği görülmüştür. Büyük jet-plaka mesafelerinde, özellikle duvar jeti bölgesinde V-BK'lı yüzeylerde düz yüzeylere göre daha yüksek hız değerleri elde edildiği görülmüştür.

Jet-plaka mesafesinin artmasıyla çarpma yüzeyinde oluşan dönme hareketlerinin azaldığı görülmüş ve jet plakasına yakın bölgelerde kanatçıklı yüzeylerde elde edilen hız vektörlerinin düz plakaya göre daha büyük olduğu görülmüştür. Düz plaka üzerindeki boyutsuz dikey hız V-BK ve DG-BK'lı plakalı yüzeylerde dikey hızda önemli bir değişimin olmadığı görülmüştür. Düşük jet-plaka mesafelerinde merkez jet ile komşu jet arasındaki dikey hızlar arasında önemli bir değişimin olmadığı fakat jet-plaka mesafesinin artmasıyla jet sürüklenmesinden dolayı dikey hızlarının kaydığı görülmüştür.

Jet-plaka mesafesinin artmasıyla yatay hız değişimlerinin düşük jet-plaka mesafelerine göre değişmediği görülmüştür. Ayrıca e-f bölgelerinde yatay hızın belirli bir açıyla çarpma plakasına yaklaştığı bu durumun a-b bölgelerinde olmadığı görülmüştür. Jet-plaka mesafesinin artmasıyla jetin yatay hızının özellikle jet

merkezlerine yakın bölgelerde belirli bir açıyla çarpma plakasına geldiği sonucuna varılmıştır. Düz plakalardaki yatay hızın bazı bölgeler hariç DG-BK'lardaki plakadaki yatay hıza eşit olduğu veya değişmediği görülmüştür. Yatay hız türbülans yoğunluklarının özellikle merkez ve komşu jet merkezleri ve bunlara yakın olan bölgelerde etkili olduğu jet-plaka mesafesinin artmasıyla düz ve V-BK 'lardaki değişimin azaldığı görülmüştür.

Sayısal çalışma kapsamında dairesel jet dizileri için düz plaka üzerinde Reynolds sayısının, jet-plaka arasındaki mesafenin ve jetler arasındaki mesafenin etkisinin akış ve ısı transferine etkisini belirlemeye yönelik olarak parametrik bir çalışma yapılmış, plakaya dik yönde akış değişimleri ve plaka üzerinde ısı transferi bu parametrelere bağlı olarak değişimleri belirlenmiştir.

Elde edilen sonuçlarda çarpma öncesi jet etkileşimi jetler arası mesafenin düşük olduğu durumlarda meydana geldiği görülmüştür. Jetler arası mesafenin artmasıyla oluşan dönme hareketleri büyümekte ve ısı transferini artırıcı etki sağlamaktadır. Jet-plaka mesafesinin artmasıyla dönme hareketlerinin artık oluşmadığı görülmüştür. Reynolds sayısının ve jet-plaka mesafesinin artmasıyla jet etkileşimlerinden dolayı jet merkezlerinde kayma meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca çarpma plakası üzerindeki yerel Nusselt sayısı değişimleri incelenmiştir. Jet-plaka mesafesinin artmasıyla jetin durma noktası etrafında ikincil akışların oluşmadığı ve durma ve duvar jet bölgelerinde Nusselt sayısının azaldığı görülmüştür. Duvar jetlerinin tam oluşmadığı düşük jetler arası mesafede elips görünümlü olmasına rağmen jetler arası mesafe artmasıyla jet oluşumu dairesel bir şekil aldığı görülmüştür.

Bu bölümdeki bulgular, doğru bir sayısal modelleme yapılabilmesine yönelik önemine ek olarak, bu etkilerin görüldüğü jet hızlarındaki çarpan jet uygulamalarında, en uygun jet-plaka mesafesinin ve ayrıca jet dizilerine yönelik çalışmalarda, jetler arası en uygun mesafenin belirlenmesinde kullanılabilecektir.

Son olarak plakaya dik yatay hız değişimlerinin sayısal ve deneysel olarak karşılaştırılması verilmiştir. Elde edilen sonuçlarda jet merkezlerindeki hızlar hariç deneysel çalışmaların sayısal çalışmayla uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Bu çalışma sonucunda elde edilen bulgular ve edinilen tecrübeler ışığında, çarpan jetlerin akış ve ısı transferi karakteristiklerinin belirlenmesine ve aradaki ilişkilerin daha net bir şekilde ortaya konulmasına yönelik olarak bundan sonra yapılabilecek çalışmalara yönelik aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

1. Mevcut çalışmada incelenmeyen, değişik çarpma plakası özelliklerinin ısı transferine etkisi incelenmeye değer bir konudur. Bu bağlamda, çarpma noktasından itibaren sınır tabakasının gelişimi ve kalınlaşması düşünülerek plaka üzerinde değişik geometrideki pürüzlülüklerin ısı transferine etkisi incelenebilir.
2. Yapılan LDA ölçümleri sonucunda kanatçıklı çarpma plakası üzerinde akış ivmelenmesi ve kanatçıklar arasında türbülans ile ısı transferi arasında ilişki olabileceği belirlenmişti. Bunun devamı niteliğinde daha geniş bir aralıkta PIV ve diğer optik ölçüm teknikleri ve akış gözlemleme teknikleri kullanılarak kanatçıklar arasındaki akış gözlemleme ortaya konulabilir.
3. Jet-plaka arasındaki mesafenin özellikle durma bölgesinde ısı transferi artırımı yöntemi olarak kullanılabileceği bu çalışmada gösterilmişti. Dolayısıyla mevcut çalışmadan farklı (birden küçük jet-plaka) mesafelerde çarpma plakası üzerindeki basınç dağılımlarının ve jetler arası etkileşimin jet dizilerinde nasıl farklılık göstereceğinin görülmesi açısından önemlidir.

KAYNAKLAR

1. Jambunathan, K., Lai, E., Moss, M.A., Button, B.L., "A Review of Heat Transfer Data for Single Circular Jet Impingement", *Int. J. Heat and Fluid Flow*, 13(2): 106-115 (1992).
2. Gauntner, J.W., Livingood, J.N.B., Hrycak, P., "Survey of Literature on Flow Characteristics of Single Turbulent Jet Impinging on a Flat Plate", NASA *TN D-5652 NTIS N70-18963* (1970).
3. Blevins, R.D., "Applied Fluid Dynamics Handbook", *Van Nostrand Reinhold Company*, Florida, (1992).
4. Schlichting, H., "Boundary Layer Theory", *McGraw Hill Co.*, New York, 801 (1968).
5. Tani, I., Komatsu, Y., "Impingement of a Round Jet on a Flat Surface", *Proc. of the Eleventh International Congress of Applied Mechanics*, Springer-Verlag, New York, 672-676 (1966).
6. Girald, F., Chia C.J., Trass, O., "Characterization of the Impingement Region in an Axisymmetric Turbulent Jet", *Ind. Eng. Chem. Fundam.* 16: 21-28 (1977).
7. Incropera, F.P., De Witt, D.P., "Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri", 4. Basımdan Çeviri, *Literatür Yayıncılık*, İstanbul, 415-421 (2001).
8. Obot, N.T., Trabold, T.A., "Impingement heat transfer within arrays of circular jets: Part 1- effects of minimum, intermediate, and complete crossflow for small and large spacings", *Trans. ASME - J. Heat Transfer*, 109: 872-879 (1987).
9. Stevens, J., Webb, B.W., "Measurements of the Free Surface Flow Structure under an Impinging Free Liquid Jet", *Journal of Heat Transfer*, 114: 874-879 (1992).
10. Can, O., "Elektronik Devrelerin Soğutulması ve Jet Püskürtmeli Soğutma Sistemlerinin Analizi", Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 154 (1997).
11. Martin, H., "Heat and Mass Transfer Between Impinging Gas Jets and Solid Surfaces", *Advances in Heat Transfer*, 13: 1-60 (1977).
12. Popiel, C.O., Boguslawski, L., "Effect of Flow Structure on the Heat or Mass Transfer on a Flat Plate in Impinging Round Jet", C.201/88, 663-685 (1988).
13. Huang, G.C., "Investigations of heat-transfer coefficients for air flow through round jets impinging normal to a heat transfer surface", *Journal of Heat Transfer*, 85: 237-245 (1963).

14. Gardon, R., Akfirat, J.C., "The role of turbulence in determining the heat transfer characteristics of impinging jets", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 8: 1261-1272 (1965).
15. Gardon, J., Akfirat, J.C., "Heat transfer characteristics of impinging two dimensional air jets", *Journal of Heat Transfer*, 88: 101-108 (1966).
16. Kercher, D.M., Tabakoff, W., "Heat transfer by a square array of round air jets impinging perpendicular to a flat surface including the effect of spent air", *Journal of Engineering for Power*, 92: 73-82 (1970).
17. Florschuetz, L.W., Berry, R.A., Metzger, D.E., "Periodic streamwise variations of heat transfer coefficients for inline and staggered arrays of circular jets with crossflow of spent air", *Journal of Heat Transfer*, 102: 132-137 (1980).
18. Goldstein, R.J., Behbahani, A. I., "Impingement of a circular jet with and without crossflow", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 25(9): 1377-1382 (1982).
19. Lytle, D., Webb, B.W., "Air jet impingement heat transfer at low nozzle-plate spacings", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 37(12): 1687-1697 (1994).
20. Yu, M.H., Monkewitz, P.A., "Oscillations in the near field of a heated two dimensional jet", *J. Fluid Mech.*, 255: 323-347 (1993).
21. Garimella, S.V., Rice, R.A., "Confined and submerged liquid jet impingement heat transfer", *Journal of Heat Transfer*, 117: 871-877 (1995).
22. Yan, X., Saniei, N., "Heat transfer from an obliquely impinging circular air jet to a flat plate", *Int. J. Heat and Fluid Flow*, 18(6): 591-599 (1997).
23. Li, C.Y., Garimella, S.V., "Prandtl-number effects and generalized correlations for confined and submerged jet impingement", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 44: 3471-3480 (2001).
24. Ho, C.M., Gutmark, E., "Vortex induction and mass entrainment in a small aspect ratio elliptic jet", *Journal of Fluid Mechanics*, 179: 383-405 (1987).
25. Hussain, F., Husain, H.S., "Elliptic jets part I. Characteristics of unexcited and excited jets", *Journal of Fluid Mechanics*, 208: 257-320 (1989).
26. Lee, S.J., Lee, J.H., Lee, D.H., "Local heat transfer measurements from an elliptic jet impinging on a flat plate using liquid crystal", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 37(6): 967-976 (1994).
27. Lee, J., Lee, S.J., "The effect of nozzle aspect ratio on stagnation region heat transfer characteristics of elliptic impinging jet", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 43: 555-575 (2000).

28. Yan, W.M., Mei, S.C., Liu, H.C., Soong, C.Y., Yang, W.J., “Measurement of detailed heat transfer on a surface under arrays of impinging elliptic jets by a transient liquid crystal technique”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 47: 5235-5245 (2004).
29. San, J.Y., Lai, M.D., “Optimum jet-to-jet spacing of heat transfer for staggered arrays of impinging air jets”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 44: 3997-4007 (2001).
30. San, J.Y., Shiao, W.Z., “Effects of jet plate size and plate spacing on the stagnation Nusselt number for a confined circular air jet impinging on a flat surface”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 49: 3477–3486 (2006).
31. San, J.Y., Tsou, Y.M., Chen, Z.C., “Impingement heat transfer of staggered arrays of air jets confined in a channel”, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 50: 3718-3727 (2007).
32. Katti, V., Prabhu, S.V., “Influence of streamwise pitch on the local heat transfer characteristics for in-line arrays of circular jets with crossflow of spent air in one direction” *Heat and Mass Transfer*, 45: 1167-1184 (2009).
33. Koseoglu, M.F., Baskaya, S., “The effect of flow field and turbulence on heat transfer characteristics of confined circular and elliptic impinging jets”, *International Journal of Thermal Sciences*, 47: 1332–1346 (2008).
34. Van Heinen, A.R.P., Mujumdar, A.S., Douglas, W.J.M., “Numerical prediction of the flow field and impingement heat transfer caused by a laminar slot jet”, *Journal of Heat Transfer*, 98: 654-658 (1976).
35. Saad, N.R., Douglas, W.J.M., Mujumdar, A.S., “Prediction of heat transfer under an axisymmetric laminar impinging jet”, *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, 16(1): 148-154 (1977).
36. Owsenek, B.L., Cziesla, T., Mitra, K., Bisvas, G., “Numerical investigation of heat transfer in impinging axial and radial jets with superimposed swirl”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 40(1): 141-147 (1997).
37. Chiriac, V.A., Ortega, A., “A numerical study of the unsteady flow and heat transfer in a transitional confined slot jet impinging on an isothermal surface”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45: 1237-1248 (2002).
38. Chattopadhyay, H., “Numerical investigations of heat transfer from impinging annular jet”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47: 3197-3201 (2004).

39. Craft, T.J., Graham, L.J.W., Launder, B.E., "Impinging jet studies for turbulence model assessment-II. An examination of the performance of four turbulence models", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 36(10): 2685-2697 (1993).
40. Shi, Y.L., Ray, M.B., Mujumdar, A.S., "Computational study of impingement heat transfer under a turbulent slot jet", *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 41: 4643-4651 (2002).
41. Dianat, M., Fairweather, M., Jones, W.P., "Predictions of the concentration field of an impacting turbulent jets", *Proc. 10th Turbulent Flow Symposium*, The Pennsylvania State University, 12-19 (1995).
42. Gibson, M.M., Harper, R.D., "Calculation of impinging jet heat transfer with the low Reynolds number $k-\xi$ turbulence model", *Int. J. Heat and Fluid Flow*, 18: 80-87 (1997).
43. Hosseinalipour, S.M., Mujumdar, A.S., "Comparative evaluation of different turbulence models for confined impinging and opposing jet flows", *Numerical Heat Transfer Part A*, 28: 647-666 (1995).
44. Wang, S.J., Mujumdar, A.S., "A comparative study of five low Reynolds number $k-\epsilon$ models for impingement heat transfer", *Applied Thermal Engineering*, 25: 31-44 (2005).
45. Mushatat, K., "Analysis of the Turbulent Flow and Heat Transfer of the Impingement Cooling in a Channel with Cross Flow", *JKAU: Eng. Sci*, 18 (2): 101-122 (2007).
46. Devahastin, S., Mujundar, A.S., "A numerical study of flow and mixing characteristics of laminar confined impinging streams", *Chemical Engineering Journal*, 85: 215-223 (2002).
47. Yang, Y.T., Tsai, S.Y., "Numerical study of transient conjugate heat transfer of a turbulent impinging jet", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50: 799-807 (2007).
48. Xie, G., Sunden, B., Wang, L., Utriainen, E., "Enhanced Internal Heat Transfer on the Tip-Wall in a Rectangular Two-Pass Channel (AR=1:2) by Pin-Fin Arrays", *Numerical Heat Transfer, Part A*, 55: 739-761 (2009).
49. Bredberg, J., Davidson, L., "Low-Reynolds Number Turbulence Models: An Approach for Reducing Mesh Sensitivity", *Journal of Fluids Engineering*, 126(1): 14 (2004).
50. Radmehr, A., Patankar, S.V., "Computation of Boundary Layer Transition Using Low-Reynolds-Number Turbulence Models", *Numerical Heat Transfer, Part B*, 39: 525-543 (2001).

51. Yang, Y.T., Hwang, C.H., “Numerical Simulations on the Hydrodynamics of a turbulent Slot Jet on a Semicylindrical Convex Surface”, *Numerical Heat Transfer, Part A*, 46: 995-1008 (2004).
52. Geçim, S., Pulat, E., İşman, M.K., Etemoğlu, A.B., “Çarpan Dikdörtgen Bir Hava Jetinde Türbülans Modellerinin Karşılaştırılması ve ilgili Parametrelerin Isı Transferine etkileri”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 13(2): (2008).
53. İşman, M.K., Pulat, E., Etemoğlu, A.B., Can, M., “Çarpan Dikdörtgen Hava Jetlerinde Akış Ve Isı Transferi Karakteristiklerinin Sayısal Analizi”, *Isı Bilim ve Tekniği Dergisi*, 25(1): 17-24 (2005).
54. Hollworth, B.R., Durbin, M., “Impingement cooling of electronics”, *Journal of Heat Transfer*, 14(3): 607-613 (1992).
55. Liu, T., Sullivan, J.P., “Heat transfer and flow structures in an excited circular impinging jet”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 39(17): 3695-3706 (1996).
56. Sheriff, H.S., Zumbrennen, D.A., “Effect of flow pulsations on the cooling effectiveness of an impinging jet”, *Journal of Heat Transfer*, 116: 886-895 (1994).
57. Brignoni, L.A., Garimella, S.V., “Experimental optimization of confined air jet impingement on a pin fin heat sink”, *IEEE Transactions on Components and Packaging Technology*, 22(3): 399-404 (1999).
58. El Sheikh, H.A., Garimella, S.V., “Heat transfer from pin fin heat sinks under multiple impinging jets”, *IEEE Transactions on Advanced Packaging*, 23(1): 113-120 (2000).
59. Brignoni, L.A., Garimella, S.V., “Effects of nozzle inlet chamfering on pressure drop and heat transfer in confined air jet impingement”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 43: 1133-1139 (2000).
60. Lee, D.H., Won, S.Y., Kim, Y.T., Chung, Y.S., “Turbulent heat transfer from a flat surface to a swirling round impinging jet”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 45: 223-227 (2002).
61. Zhou, D.W., Lee, S.J., “Heat transfer enhancement of impinging jets using mesh screens”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 47: 2097-2108 (2004).
62. Ekkad, S.V., Kontrovitz, D., “Jet impingement heat transfer on dimpled target surfaces”, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 23: 22-28 (2002).

63. Fleischer, A.S., Nejad, S.R., "Jet impingement cooling of a discretely heated portion of a protruding pedestal with a single round air jet", *Experimental Thermal and Fluid Science*, 28: 893-901 (2004).
64. Royne, A., Dey, C.J., "Effect of nozzle geometry on pressure drop and heat transfer in submerged jet arrays", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49: 800-804 (2006).
65. Yan, W.M., Liu, H.C., Soong, C.Y., Yang, W.J., "Experimental study of impinging heat transfer along rib-roughened walls by using transient liquid crystal technique", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48: 2420-2428 (2005).
66. Yan, W.M., Mei, S.C., "Measurement of detailed heat transfer along rib-roughened surface under arrays of impinging elliptic jets", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49: 159-170 (2006).
67. BSA Flow Software, *Installation and User's Guide*, Version 4, 2-109 (2005).
68. Wilcox, D.C., "Turbulence Modeling for CFD", Second Edition, *DCV Industries*, 21-26 (1998).
69. Patel, V.C., Rodi, V., Scheuerer, G., "Turbulence models for near wall and low Reynolds number flows: A review", *AIAA Journal*, 23: 1308-1319 (1984).
70. Launder, B.E., Spalding, D.B., "The numerical computation of turbulent flows", *Comp. Methods Appl. Mech. Eng.*, 3: 269-289 (1974).
71. Tennekes, H., Lumley, J.L., "A First Course in Turbulence", *MIT Press*, 16th Edition, 59-100 (1997).
72. Abe, K., Kondoh, T., Nagano, Y., "A New Turbulence Model for Predicting Fluid Flow and Heat Transfer in Separating Reattaching Flows-I. Flow Field Calculations", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 37: 139-151 (1994).
73. Abe, K., Kondoh, T., Nagano, Y., "A New Turbulence Model for Predicting Fluid Flow and Heat Transfer in Separating Reattaching Flows-II. Thermal Field Calculations", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 38: 1467-1481 (1995).
74. Abid, R., "Evaluation of Two-Equation Turbulence Models for Predicting Transitional Flows", *International Journal of Engineering Science*, 31: 831-840 (1993).
75. Lam, C.K.G., Bremhorst, K., "A Modified Form of the k- ϵ Model for Predicting Wall Turbulence", *Journal of Fluids Engineering*, 103: 456-460 (1981).

76. Launder, B.E., Sharma, B.I., "Application of the Energy-Dissipation Model of Turbulence to the Calculation of Flow near a Spinning Disc", *Letters in Heat and Mass Transfer*, 1: 131-138 (1974).
77. Yang, Z., Shih, T.H., "New Time Scale Based $k-\varepsilon$ Model for Near-Wall Turbulence", *AIAA Journal*, 31: 1191-1198 (1999).
78. Chang, K.C., Hsieh, W.D., Chen, C.S., "A Modified Low-Reynolds-Number Turbulence Model Applicable to Recirculating Flow in Pipe Expansion", *Journal of Fluids Engineering*, 117: 417-423 (1995).
79. Hsieh, W.D., Chang, K.C., "Calculation of Wall Heat Transfer in Pipe-Expansion Turbulent Flows", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 39: 3813-3822 (1996).
80. Launder, B.E., Kato, M., "Modelling Flow-Induced Oscillations in Turbulent Flow Around a Square Cylinder", *ASME Fluids Engineering Division-FED*, 157: 189-199 (1993).
81. PHOENICS Documentation, Chams, Version 3.6, 10-60 (2006).
82. Janssen, L.P.B.M., Warmoeskerken, M.M.C.G., *Transport Phenomena-Data Companion*, DUM, Delft, 2 (1991).
83. San, J.Y., Huang, C.H., Shu, M.H., "Impingement Cooling of a Confined Circular Air Jet", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 40: 1355-1364 (1997).
84. Shi, Y.L., Ray, M.B., Mujumdar, A.S., "Computational Study of Impingement Heat Transfer Under a Turbulent Slot Jet", *Ind. Eng. Chem. Res.* 41: 4643-4651 (2002).
85. Köseoglu, M.F., Baskaya, S., "The role of jet inlet geometry in impinging jet heat transfer, modeling and experiments", *International Journal of Thermal Sciences*, 49: 1417-1426 (2010).
86. Köseoglu, M.F., "Çarpan akışkan jetleri kullanılarak elektronik elemanların soğutulmasının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 353 (2007).
87. Gulati, P., Katti, V., Prabhu, S.V., "Influence of the shape of the nozzle on local heat transfer distribution between smooth flat surface and impinging air jet", *International Journal of Thermal Sciences*, 48: 602-617 (2009).
88. Rallabandi, A.P., Rhee, D.H., Gao, Z., Han, J.C., "Heat transfer enhancement in rectangular channels with axial ribs or porous foam under through flow and impinging jet conditions", *International Journal of Heat and Mass Transfer* 53: 4663-4671 (2010).

89. Huang, Y., Ekkad, S., Han, J., “Detailed heat transfer distributions under an array of orthogonal impinging jets”, *J. Thermophys. Heat Transfer*, 12(1): 73-79 (1998).
90. Oster, D., Wygnanski, I., “The forced mixing layer between parallel streams”, *Journal of Fluid Mechanics*, 123: 91-130 (1982).
91. Hoo, C.M., Gutmark, E., “Vortex induction and mass entrainment in a small aspect ratio elliptic jet”, *Journal of Fluid Mechanics*, 179: 383-405 (1987).
92. Tummers, J.M., Jacobse, J., Voorbrood, S.G.J., “Turbulent flow in the near field of a round impinging jet”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 54: 4939-4948 (2011).
93. Geers, L.F.G., Tummers, M.J., Hanjalic, K., “Experimental investigation of impinging jet arrays”, *Exp. Fluids* 36: 946-958 (2004).
94. Nishino, K., Samada, M., Kasuya, K., Torii, K., “Turbulence statistics in the stagnation region of an axisymmetric impinging jet flow”, *Int. J. Heat Fluid Flow* 17: 193-201 (1996).
95. Cooper, D., Jackson, D.C., Launder, B.E., Liao, G.X., “Impinging jet studies for turbulence model assessment-I. Flow-field experiments”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, 36: 2675-2684 (1993).
96. Kataoka, K., “Impingement heat transfer augmentation due to large scale eddies”, *Heat Transfer Proceedings Of The Ninth International Heat Transfer Conference*, 1(7): 255-273 (1990).
97. Versteeg, H.K., Malalasekera, W. “An Introduction to Computational Fluid Dynamics”, *Printice Hall*, 10-83 (1995).
98. Schlichting, H., “Boundary Layer Theory”, *McGraw-Hill*, 47-68 (1968).
99. Holman, J.P., “Experimental Methods for Engineers”, 6th Edition, *McGraw-Hill*, 37-83 (1994).

EKLER

EK-1. Yerel Nusselt sayısı işleme programı

Clear all

Clc

```
[a,b]=size(tw);
A=292;
for ind=1:a
    for ind2=1:b
        nu(ind,ind2)=A/(tw(ind,ind2)-tj(ind,ind2));
    end
end
```

%Matlabta kontur çizimi

```
[x,y]=meshgrid(x,y);
z=nu;
contourf(x,y,z)
```

% Üç boyutlu grafik oluşturma

```
[a,b]=size(tw);
A=292;
for ind=1:a
    for ind2=1:b
        nu(ind,ind2)=A/(tw(ind,ind2)-tj(ind,ind2));
    end
end
```

```
[x,y]=meshgrid(x,y);
z=nu;
mesh(x,y,z)
```

%Nu/Nuo oluşturma

```
[a,b]=size(tw1);
A=227;
for ind=1:a
    for ind2=1:b
        nu1(ind,ind2)=A/(tw1(ind,ind2)-tj1(ind,ind2));
    end
end
z=nu1;
[a,b]=size(tw2);
A=227;
for ind=1:a
    for ind2=1:b
```

EK-1. (Devam) Yerel Nusselt sayısı işleme programı

```

nu2(ind,ind2)=A/(tw2(ind,ind2)-tj2(ind,ind2));
    end
end

```

```

[x,y]=meshgrid(x,y);
z=nu2;
ratio=nu1./nu2;
mesh(x,y,ratio)

```

Nu/nu0 counter

```

[a,b]=size(tw1);
A=227;
for ind=1:a
    for ind2=1:b
        nu1(ind,ind2)=A/(tw1(ind,ind2)-tj1(ind,ind2));
    end
end
z=nu1;
[a,b]=size(tw2);
A=227;
for ind=1:a
    for ind2=1:b
        nu2(ind,ind2)=A/(tw2(ind,ind2)-tj2(ind,ind2));
    end
end

```

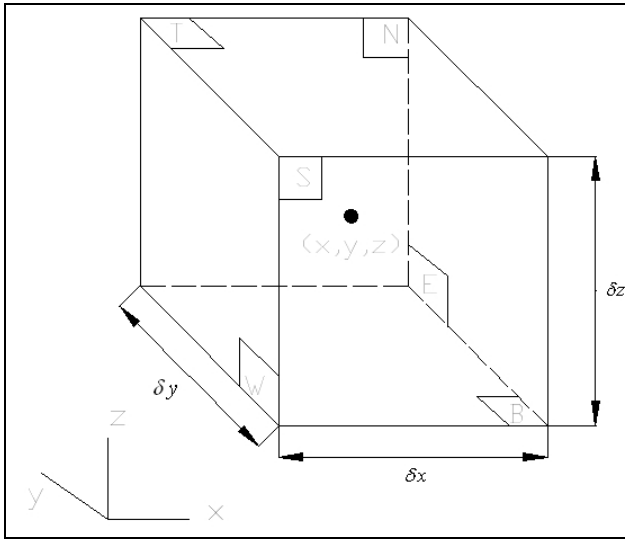
```

[x,y]=meshgrid(x,y);
z=nu2;
ratio=nu1./nu2;
contourf(x,y,ratio)

```


EK-2. Korunum denklemleri

Bu bölümde elde edilecek korunum denklemlerinde akışkan kontinuum olarak alınacaktır. Yani akışkanın hareketi hız, basınç, özkütle, sıcaklık ve bunların zamana ve konuma göre türevleriyle ifade edilecektir. Korunum denklemlerini elde etmekte kullanılacak olan akışkan hacmi yukarıda kabulü yapılan kontinuum yaklaşımını zedelemeyecek en küçük hacim olarak alınmıştır. Şekillerdeki kontrol hacimleri Versteeg ve Malalasekera'dan alınmıştır [97]. Buna ek olarak aşağıda görülen hacmin çok küçük olması sebebiyle yine yukarıdaki referans temel alınarak hücre yüzeyindeki akışkan özellikleri merkezindekilere göre Taylor serisinin ilk iki terimi kullanılarak ifade edilmiştir.



Şekil 2.1. Korunum denklemleri için akışkan hacmi

Süreklilik denklemi

En genel haliyle kütlenin korunumu ifadesi yazılırsa:

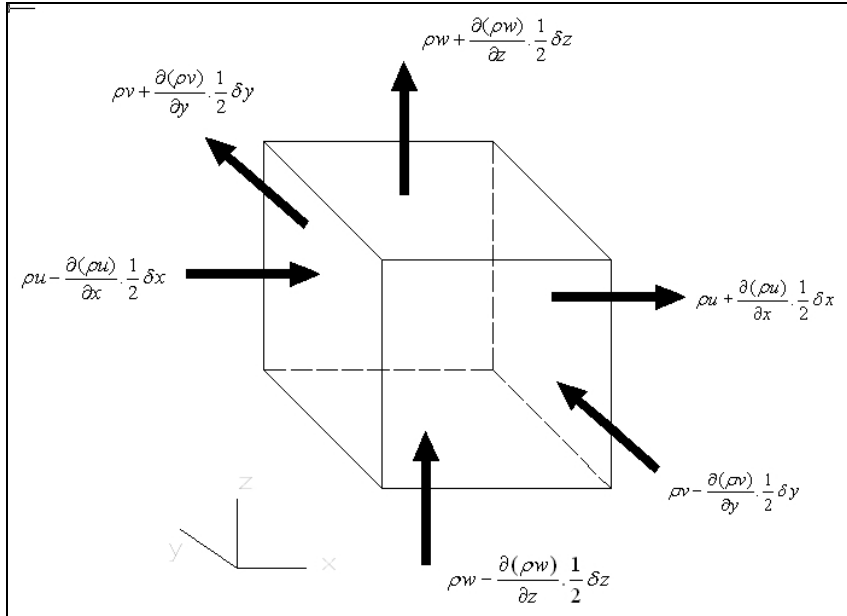
$$\left[\begin{array}{c} \text{Kontrol hacmi içerisinde} \\ \text{kütlenin artış oranı} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Kontrol hacmi içersine} \\ \text{net kütle akışı} \end{array} \right]$$

EK-2. (Devam) Korunum denklemleri

Yukarıdaki ifadenin sol tarafı:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \delta x \delta y \delta z) = \frac{\partial \rho}{\partial t} \delta x \delta y \delta z \quad (2.1)$$

Şeklinde ifade edilebilir. İfadenin sağ tarafındaki net kütle akısını bulmak için aşağıdaki şekil kullanılarak:



Şekil 2.2. Kontrol hacmine olan kütle giriş ve çıkışları

$$\begin{aligned} \text{Net Kütle Akısı} = & \left(\rho u - \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \delta y \delta z - \left(\rho u + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \delta y \delta z + \\ & \left(\rho v - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z - \left(\rho v + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z + \\ & \left(\rho w - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y - \left(\rho w + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y \end{aligned} \quad (2.2)$$

EK-2. (Devam) Korunum denklemleri

Yukarıdaki kütlenin korunumu için verilen ifadenin sağ ve sol tarafları için elde ettiğimiz ifadeleri yerine koyduğumuzda:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (2.3)$$

Veya aynı ifade vektörel olarak yazılırsa:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{u}) = 0 \quad (2.4)$$

Yukarıda elde edilen iki denklem kararsız halde, sıkıştırılabilir akışkanlar için kütlenin korunumu veya süreklilik denklemini ifade etmektedir. Soldaki ilk terim birim hacimdeki kütlenin (yoğunluk) zamana göre değişimini, ikinci terim ise kontrol hacminden dışarıya net kütle akısını temsil etmektedir ve bu terim taşınım terimidir. Mevcut problemde yani kararlı halde sıkıştırılamaz akış için zamana bağlı terim sadeleşmekte ayrıca sıkıştırılamaz akış olması sebebiyle de süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.5)$$

halini almaktadır.

Yukarıda genel durum için verilen süreklilik denkleminin iki terimi korunan herhangi bir özellik için (φ) genelleştirilirse:

$$\frac{\partial(\rho \varphi)}{\partial t} + \text{div}(\rho \varphi \vec{u}) \quad (2.6)$$

EK-2. (Devam) Korunum denklemleri

Elde edilen ifade de ilk terim φ 'nın birim hacimde zamana göre değişimini, ikinci terim ise kontrol hacminden dışarıya birim hacimde net φ akısını göstermektedir. Toplam türev cinsinden yukarıdaki ifade aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

$$\frac{\partial(\rho\varphi)}{\partial t} + \text{div}\left(\rho\varphi \vec{u}\right) = \rho \frac{D\varphi}{Dt} \quad (2.7)$$

Momentum denklemi

Newton'un ikinci kanununa göre, akışkan parçacığının momentumunun değişim oranı, parçacık üzerine etkiyen kuvvetlerin toplamına eşittir. Buna göre momentumun korunumu ifadesi en genel haliyle şu şekilde yazılabilir:

$$\left[\begin{array}{l} \text{Akışkan parçacığının} \\ \text{momentumunun artış oranı} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Akışkan parçacığı üzerine} \\ \text{etkiyen kuvvetlerin toplamı} \end{array} \right]$$

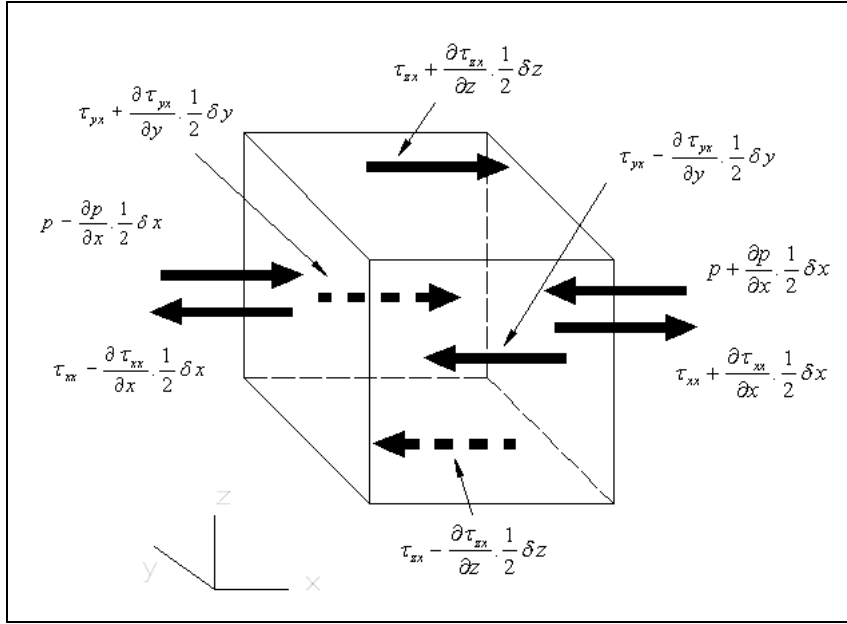
Toplam türev ifadesini kullanarak x, y, z yönünde birim hacimler için momentumun artış oranları sırasıyla:

$$\rho \frac{Du}{Dt}, \rho \frac{Dv}{Dt}, \rho \frac{Dw}{Dt}$$

Ayrıca, akışkana etkiyen kuvvetler yüzeye ve hacme etkiyen kuvvetler olarak iki ana gruba ayrılabilir. Yüzeye etkiyen kuvvetler kendi içerisinde basınç kuvvetleri ve viskoz kuvvetler olarak ayrılabilirler. Akışkan üzerine etkiyen gerilmeler basınç ve dokuz viskoz gerilme bileşeniyle gösterilebilir. Viskoz gerilmeler için τ sembolü kullanılmıştır. τ_{ij} şeklinde gösterilen viskoz gerilmede j gerilme bileşeninin etkilediği yönü i ise gerilmenin bulunduğu yüzeye olan dik bileşeni göstermektedir.

EK-2. (Devam) Korunum denklemleri

x yönünde etkiyen, basınç ve viskoz gerilmelerden kaynaklanan kuvvetleri, aşağıda gerilmeleri gösteren şeklin yardımıyla yazarsak:



Şekil 2.3. x yönündeki gerilme bileşenleri

Doğu ve batı yüzeyleri için:

$$\left[\left(p - \frac{\partial p}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) - \left(\tau_{xx} - \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z + \left[- \left(p + \frac{\partial p}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) + \left(\tau_{xx} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z = \left(- \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \right) \delta x \delta y \delta z \quad (2.8)$$

Kuzey ve güney yüzeyleri için:

$$- \left(\tau_{yx} - \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z + \left(\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z = \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \delta x \delta y \delta z \quad (2.9)$$

EK-2. (Devam) Korunum denklemleri

Üst ve alt yüzeyler için:

$$-\left(\tau_{zx} - \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z\right) \delta x \delta y + \left(\tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z\right) \delta x \delta y = \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \delta x \delta y \delta z \quad (2.10)$$

X yönünde birim hacimde etkiyen net yüzey kuvveti yukarıdaki üç denklemin toplanıp $\delta x \delta y \delta z$ çarpımına bölünmesiyle aşağıdaki şekilde elde edilir:

$$F_{net-x} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (2.11)$$

Hacime etkiyen kuvvetlerin kaynak terimi olarak gösterilmesi yaygın bir uygulamadır. Dolayısıyla yerçekimi ve diğer hacme etkiyen kuvvetlerin etkisi S_{Mx} şeklinde bir momentum kaynağı tanımlanarak hesaba katılabilir.

Sonuç olarak momentum denkleminin X bileşeni:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad (2.12)$$

Y bileşeni:

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad (2.13)$$

Z bileşeni:

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{zz})}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + S_{Mz} \quad (2.14)$$

EK-2. (Devam) Korunum denklemleri

Şeklinde elde edilir. Elde edilen momentum denkleminin x, y, z bileşenlerine bakıldığında viskoz gerilmelerin fazladan bilinmeyenler olarak karşımıza çıktığı görülmektedir. Newtonyan akışlar için bu gerilmeler deformasyon oranıyla orantılıdır. Üç boyutlu akışlarda yerel deformasyon oranı doğrusal deformasyon oranı ve hacimsel deformasyon oranından oluşmaktadır. Bunlar hız değişimleri cinsinden yazılabilir.

Sonuç olarak viskoz gerilme bileşenleri:

$$\begin{aligned}\tau_{xx} &= 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \operatorname{div} \vec{u} \quad , \quad \tau_{yy} = 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} + \lambda \operatorname{div} \vec{u} \quad , \quad \tau_{zz} = 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda \operatorname{div} \vec{u} \\ \tau_{xy} &= \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad , \quad \tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \\ \tau_{yz} &= \tau_{zy} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)\end{aligned}\tag{2.15}$$

Yukarıdaki gerilme ifadelerinde μ dinamik viskozite olup gerilmeleri doğrusal deformasyonla ilişkilendirmekte, λ ikincil viskozite olup gerilmeleri hacimsel deformasyonla ilişkilendirmektedir. Gazlar için $\lambda = -(2/3)\mu$ alınabilir [98]. Viskoz gerilmeler için elde ettiğimiz ifadeleri momentum denkleminin x,y,z bileşenlerinde yerine koyarsak Navier Stokes denklemleri elde edilir:

$$\begin{aligned}\rho \frac{Du}{Dt} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[2\mu \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \operatorname{div} \vec{u} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \\ &+ \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] + S_{Mx}\end{aligned}\tag{2.16}$$

EK-2. (Devam) Korunum denklemleri

$$\begin{aligned} \rho \frac{Dv}{Dt} = & -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[2\mu \frac{\partial v}{\partial y} + \lambda \text{div} \vec{u} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + S_{My} \end{aligned} \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} \rho \frac{Dw}{Dt} = & -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[2\mu \frac{\partial w}{\partial z} + \lambda \text{div} \vec{u} \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] \\ & + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] + S_{Mz} \end{aligned} \quad (2.18)$$

Yukarıdaki ifadelerde viskoz gerilmeler, küçük katkısı olan terimler kaynak terimi içerisinde gösterilerek:

$$\text{div} \left(\mu \text{grad} \vec{u} \right) + S_{Mx} \quad (2.19)$$

şeklinde yazılırsa Navier Stokes denklemleri sonlu hacimler metodu için en uygun olan aşağıdaki hali alır:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad} u) + S_{Mx} \quad (2.20)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad} v) + S_{My} \quad (2.21)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad} w) + S_{Mz} \quad (2.22)$$

Sonuç olarak, sıkıştırılabilir akışlar için 3 boyutlu, newtonyan bir akışkan için momentum denkleminin x, y, z bileşenleri sırasıyla:

EK-2. (Devam) Korunum denklemleri

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u \vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{grad} u) + S_{Mx} \quad (2.23)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v \vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{grad} v) + S_{My} \quad (2.24)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w \vec{u}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{grad} w) + S_{Mz} \quad (2.25)$$

Mevcut durumu ifade eden, kararlı halde soldaki ilk terim zamandan bağımsız olduğu için sıfırdır. Sıkıştırılmaz akış için yoğunluk türev ifadesinin dışına alınıp, denklemin her iki tarafı yoğunluğa bölünür ve sabit viskozite için kaldırma kuvveti etkisi de ihmal edilirse momentum denkleminin x, y, z bileşenleri sırasıyla:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] \quad (2.26)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] \quad (2.27)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] \quad (2.28)$$

olarak elde edilir. Eşitliklerdeki ν kinematik viskozite olup dinamik viskozitenin yoğunluğa bölünmesiyle elde edilmiştir.

Enerji denklemi

Termodinamiğin birinci kanunundan yola çıkılarak enerjinin korunumu ifadesi:

EK-2. (Devam) Korunum denklemleri

$$\left[\begin{array}{c} \text{Akışkan parçacığının} \\ \text{enerjisinin} \\ \text{artım oranı} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Akışkan parçacığına} \\ \text{eklenen net ısı} \\ \text{transferi oranı} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Akışkan parçacığı} \\ \text{üzerinde birim zamanda} \\ \text{yapılan net iş} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Kaynaklar sebebiyle} \\ \text{enerji} \\ \text{artım oranı} \end{array} \right]$$

şeklinde yazılabilir. Akışkan parçacığı üzerinde yüzey kuvvetleri tarafından birim zamanda yapılan iş, kuvvetin kuvvet yönündeki hız bileşeniyle çarpılmasıyla elde edilir. Buna göre momentum denklemi elde edilirken kullanılan kuvvetleri kullanarak, x, y, z yönündeki bu kuvvetlerin birim zamanda yaptığı işler sırasıyla:

$$\left[\frac{\partial [u(-p + \tau_{xx})]}{\partial x} + \frac{\partial (u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial (u\tau_{zx})}{\partial z} \right] \delta x \delta y \delta z \quad (2.29)$$

$$\left[\frac{\partial [v(-p + \tau_{yy})]}{\partial y} + \frac{\partial (v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial (v\tau_{zy})}{\partial z} \right] \delta x \delta y \delta z \quad (2.30)$$

$$\left[\frac{\partial [w(-p + \tau_{zz})]}{\partial z} + \frac{\partial (w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial (w\tau_{yz})}{\partial y} \right] \delta x \delta y \delta z \quad (2.31)$$

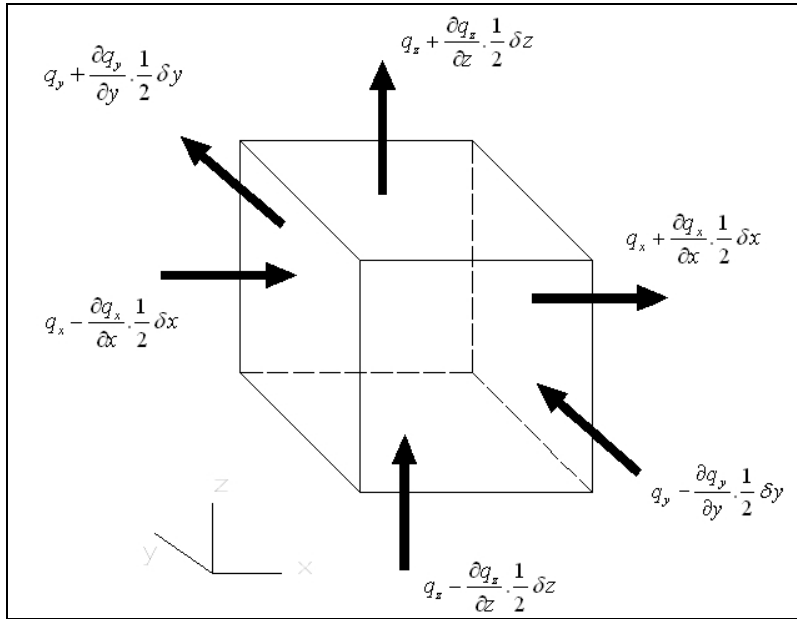
Yukarıda verilen her bir yöndeki kuvvetlerin yaptıkları birim zamandaki işler toplanırsa akışkan partikülü üzerinde yüzey kuvvetlerinin birim zamanda yaptığı toplam iş:

$$[-div(pu)] + \left[\begin{array}{c} \frac{\partial (u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial (u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial (u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial (v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial (v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial (v\tau_{zy})}{\partial z} \\ + \frac{\partial (w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial (w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial (w\tau_{zz})}{\partial z} \end{array} \right] \quad (2.32)$$

EK-2. (Devam) Korunum denklemleri

Aşağıdaki şekil yardımıyla akışkan partikülüne birim hacim için x, y, z yönündeki ısı akıları sebebiyle olan net ısı transferi oranı:

$$-\frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{\partial q_y}{\partial y} - \frac{\partial q_z}{\partial z} = -\text{div } \vec{q} \quad (2.33)$$



Şekil 2.4. Isı akısı vektörü bileşenleri

Yukarıdaki ifadeden Fourier kanunu kullanılarak akışkana iletimle eklenen ısı transferi oranı:

$$-\text{div } \vec{q} = \text{div}(k \text{ grad } T) \quad (2.34)$$

elde edilir.

Böylece en genel haliyle enerji denklemi:

EK-2. (Devam) Korunum denklemleri

$$\rho \frac{DE}{Dt} = \left[-\text{div} \left(p \vec{u} \right) \right] + \left[\frac{\partial(u\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u\tau_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial(v\tau_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial(v\tau_{zy})}{\partial z} + \frac{\partial(w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial(w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial(w\tau_{zz})}{\partial z} \right] + \text{div}(k \text{ grad } T) + S_E \quad (2.35)$$

şeklinde ifade edilir. Denklemdaki E iç enerji ve kinetik enerjilerin toplamını ifade etmektedir. Potansiyel enerjinin etkisi kaynak terimi içinde ele alınmıştır. Enerji denkleminin kinetik enerjiyi ifade eden kısmı x yönündeki momentum denklemini x yönündeki hız bileşeni, y yönündeki momentum denklemini y yönündeki hız bileşeni, z momentum denklemini z yönündeki hız bileşeniyle çarpıp sonuçları toplayarak elde edilebilir. Sonuç olarak kinetik enerji için elde edilen denklem yukarıda elde ettiğimiz enerji denkleminden çıkarılırsa iç enerji denklemi:

$$\rho \frac{Di}{Dt} = \left[-p \text{div} \vec{u} \right] + \left[\tau_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} + \tau_{yx} \frac{\partial u}{\partial y} + \tau_{zx} \frac{\partial u}{\partial z} + \tau_{xy} \frac{\partial v}{\partial x} + \tau_{yy} \frac{\partial v}{\partial y} + \tau_{zy} \frac{\partial v}{\partial z} + \tau_{xz} \frac{\partial w}{\partial x} + \tau_{yz} \frac{\partial w}{\partial y} + \tau_{zz} \frac{\partial w}{\partial z} \right] + \text{div}(k \text{ grad } T) + S_i \quad (2.36)$$

Momentum denklemi için kullandığımız Nevtonyan akış modeli kullanılarak iç enerji denklemindeki viskoz ifadeler deformasyonlar cinsinden yazılıp yerine konursa sonuçta:

$$\rho \frac{Di}{Dt} = -p \text{div} \vec{u} + \text{div}(k \text{ grad } T) + \Phi + S_i \quad (2.37)$$

Denklemi elde edilir. Denklemden viskoz gerilmelerin bütün etkisi Φ disipasyon fonksiyonu içerisinde ele alınmıştır:

EK-2. (Devam) Korunum denklemleri

$$\Phi = \left\{ 2 \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right. \\ \left. + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 \right\} + \lambda (\text{div } u)^2 \quad (2.38)$$

Sonuç olarak Nevtonyan bir akışkan için, zamana bağlı, sıkıştırılabilir akış için iç enerji denklemi:

$$\frac{\partial(\rho i)}{\partial t} + \text{div}(\rho i \vec{u}) = -p \text{div} \vec{u} + \text{div}(k \text{ grad } T) + \Phi + S_i \quad (2.39)$$

elde edilir. Mevcut durum ele alındığında kararlı hal olması sebebiyle soldaki ilk terim sadeleşir. Akışımızın düşük hızlarda ($M < 0,3$) olması sebebiyle sıkıştırılamaz olması ve bu yüzden de süreklilik denklemi yardımıyla sağdaki ilk terimin de sıfır olduğu görülür. Yine düşük hızlarda viskoz disipasyon ihmal edilebilir. Sistemimizin boyutunu düşünerek potansiyel enerji kaynak terimi de ihmal edildiğinde:

$$\text{div}(\rho i \vec{u}) = \text{div}(k \text{ grad } T) \quad (2.40)$$

Buradan da sıkıştırılamaz akışlar için:

$$i = CT \quad (2.41)$$

yazılırsa sıcaklıklar cinsinden iç enerji denklemi:

EK-2. (Devam) Korunum denklemleri

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] \quad (2.42)$$

elde edilir.

EK-3. Örnek Q1 kütüğü

```

<html><head><title>Q1</title>
<link rel="stylesheet" type="text/css"
href="/phoenics/d_polis/polstyle.css">
</head><body><pre><strong>
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(RE5000Q1500 )
*****
Group 2. Transience
STEADY = T
*****
Groups 3, 4, 5 Grid Information
* Overall number of cells, RSET(M,NX,NY,NZ,tolerance)
RSET(M,155,101,22)
*****
Group 6. Body-Fitted coordinates
*****
Group 7. Variables: STOREd,SOLVEd,NAMED
* Non-default variable names
NAME(134)=VLSQ ;NAME(135)=PTOT
NAME(136)=VABS ;NAME(137)=MACH
NAME(138)=SHRZ ;NAME(139)=SHRY
NAME(140)=SHRX ;NAME(141)=YPLS
NAME(142)=STAN ;NAME(143)=HTCO
NAME(144)=STRS ;NAME(145)=SKIN
NAME(148)=DEN1 ;NAME(149)=WDIS
NAME(150) =TEM1
* Solved variables list
SOLVE(P1,U1,V1,W1,YPLS,STAN,HTCO,STRS)
SOLVE(SKIN,TEM1)
* Stored variables list
STORE(WDIS,DEN1,SHRX,SHRY,SHRZ,MACH,VABS,PTOT)
STORE(VLSQ)
* Additional solver options
SOLUTN(P1,Y,Y,Y,N,N,Y)
SOLUTN(TEM1,Y,Y,Y,N,N,Y)
TURMOD(KEMODL-LOWRE)
*****
Group 8. Terms & Devices
TERMS (TEM1,Y,Y,Y,Y,Y,Y)
*****
Group 9. Properties
PRESS0 =1.01325E+05 ;TEMP0 =273.149994
* Domain material index is 0 signifying:
* Air at 20 deg C, 1 atm, treated as incompressible
SETPRPS(1, 0)
RH01 =1.208539
DV01DT =3.41E-03
PRNDTL(TEM1)=-0.0258
PRT(EP)=1.314
*****
Group 10. Inter-Phase Transfer Processes
*****
Group 11. Initialise Var/Porosity Fields
FIINIT(WDIS)=6.0E-03
No PATCHes used for this Group
INIADD = F
*****
Group 12. Convection and diffusion adjustments
No PATCHes used for this Group
*****
Group 13. Boundary & Special Sources
No PATCHes used for this Group
BUOYE =20.
EGWF = T
*****
Group 14. Downstream Pressure For PARAB
*****
Group 15. Terminate Sweeps
LSWEEP = 800
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(YPLS,LINRLX,1. )
RELAX(STAN,LINRLX,1. )
RELAX(HTCO,LINRLX,1. )
RELAX(STRS,LINRLX,1. )

```

EK-3.(Devam) Örnek Q1 kütüğü

```

RELAX(SKIN,LINRLX,1. )
KELIN = 1
*****
Group 18. Limits
VARMAX(P1)=1.0E+10 ;VARMIN(P1)=-1.0E+05
VARMAX(U1)=10. ;VARMIN(U1)=-10.
VARMAX(V1)=10. ;VARMIN(V1)=-10.
VARMAX(W1)=10. ;VARMIN(W1)=-10.
VARMAX(TEM1)=3000. ;VARMIN(TEM1)=-204.862488
*****
Group 19. EARTH Calls To GROUND Station
GENK = T
YPLS = T
CONWIZ = T
IENUTA = 3
*****
Group 20. Preliminary Printout
*****
Group 21. Print-out of Variables
OUTPUT(YPLS,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(STAN,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(HTCO,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(STRS,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(SKIN,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(WDIS,Y,N,N,N,N,N)
WALPRN = T
*****
Group 22. Monitor Print-Out
IXMON = 78 ;IYMON = 51 ;IZMON = 21
NPRMON = 100000
NPRMNT = 1
TSTSWP = -1
*****
Group 23. Field Print-Out & Plot Control
NPRINT = 100000
NXPRIN = 5
NYPRIN = 5
NZPRIN = 5
ISWPRF = 1 ;ISWPRL = 100000
IPROF = 2
PATCH(FIG1, PROFIL, 30, 30, 30, 30, 1, 48, 1, 1)
PLOT(FIG1, P1, 1., 0.)
PLOT(FIG1, U1, 1., 0.)
PLOT(FIG1, V1, 1., 0.)
PLOT(FIG1, W1, 1., 0.)
PLOT(FIG1, TEM1, 1., 0.)
*****
Group 24. Dumps For Restarts
GVIEW(P,8.177019E-03,-0.995759,0.09164)
GVIEW(UP,-2.129298E-03,0.091625,0.995791)
> DOM, SIZE, 1.500000E-01, 1.000000E-01, 1.300000E-02
> DOM, MONIT, 7.750001E-02, 5.250000E-02, 1.277212E-02
> DOM, SCALE, 1.000000E+00, 1.000000E+00, 1.000000E+00
> GRID, RSET_X_1, -11, 1.500000E+00
> GRID, RSET_X_2, -9, 1.500000E+00
> GRID, RSET_X_3, -22, 1.500000E+00
> GRID, RSET_X_4, -9, 1.500000E+00
> GRID, RSET_X_5, -22, 1.500000E+00
> GRID, RSET_X_6, -9, 1.500000E+00
> GRID, RSET_X_7, -22, 1.500000E+00
> GRID, RSET_X_8, -9, 1.500000E+00
> GRID, RSET_X_9, -22, 1.500000E+00
> GRID, RSET_X_10, -9, 1.500000E+00
> GRID, RSET_X_11, -11, 1.500000E+00
> GRID, RSET_Y_1, -15, 1.500000E+00
> GRID, RSET_Y_2, -9, 1.500000E+00
> GRID, RSET_Y_3, -22, 1.500000E+00
> GRID, RSET_Y_4, -9, 1.500000E+00
> GRID, RSET_Y_5, -22, 1.500000E+00
> GRID, RSET_Y_6, -9, 1.500000E+00
> GRID, RSET_Y_7, -15, 1.500000E+00
> GRID, RSET_Z_1, 18, 2.900000E+00
> GRID, RSET_Z_2, 4, -2.900000E+00
> OBJ, NAME, ALTP
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SIZE, 1.500000E-01, 1.000000E-01, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cube13
> OBJ, TYPE, PLATE
> OBJ, SURF_HEVT, 0., 1200
> OBJ, NAME, ÜSTP
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 0.000000E+00, 1.000000E-02
> OBJ, SIZE, 1.500000E-01, 1.000000E-01, 3.000000E-03
> OBJ, GEOMETRY, cube14
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, 198,Solid with smooth-wall friction
> OBJ, NAME, SAG
> OBJ, POSITION, 1.500000E-01, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SIZE, 0.000000E+00, 1.000000E-01, 1.000000E-02
> OBJ, GEOMETRY, cube12t
> OBJ, TYPE, OUTLET

```


EK-3.(Devam) Örnek Q1 kütüğü

```

> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, TEMPERATURE, 20.
> OBJ, COEFFICIENT, 1000.
> OBJ, TURBULENCE, 0.,0.
> OBJ, NAME, ARKA
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 1.000000E-01, 0.000000E+00
> OBJ, SIZE, 1.500000E-01, 0.000000E+00, 1.000000E-02
> OBJ, GEOMETRY, cube12t
> OBJ, TYPE, OUTLET
> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, TEMPERATURE, 20.
> OBJ, COEFFICIENT, 1000.
> OBJ, TURBULENCE, 0.,0.
> OBJ, NAME, SOL
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SIZE, 0.000000E+00, 1.000000E-01, 1.000000E-02
> OBJ, GEOMETRY, cube12t
> OBJ, TYPE, OUTLET
> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, TEMPERATURE, 20.
> OBJ, COEFFICIENT, 1000.
> OBJ, TURBULENCE, 0.,0.
> OBJ, NAME, ON
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SIZE, 1.500000E-01, 0.000000E+00, 1.000000E-02
> OBJ, GEOMETRY, cube12t
> OBJ, TYPE, OUTLET
> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, TEMPERATURE, 20.
> OBJ, COEFFICIENT, 1000.
> OBJ, TURBULENCE, 0.,0.
> OBJ, NAME, B15
> OBJ, POSITION, 7.500000E-02, 5.000000E-02, 1.000000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 3.000000E-03
> OBJ, GEOMETRY, cylinde
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, DOMAIN
> OBJ, INI_YPLS, 0.
> OBJ, INI_STAN, 0.
> OBJ, INI_HTCO, 0.
> OBJ, INI_STRS, 0.
> OBJ, INI_SKIN, 0.
> OBJ, NAME, B9
> OBJ, POSITION, 1.050000E-01, 5.000000E-02, 1.000000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 3.000000E-03
> OBJ, GEOMETRY, cylinde
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, DOMAIN
> OBJ, INI_YPLS, 0.
> OBJ, INI_STAN, 0.
> OBJ, INI_HTCO, 0.
> OBJ, INI_STRS, 0.
> OBJ, INI_SKIN, 0.
> OBJ, NAME, B10
> OBJ, POSITION, 1.350000E-01, 5.000000E-02, 1.000000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 3.000000E-03
> OBJ, GEOMETRY, cylinde
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, DOMAIN
> OBJ, INI_YPLS, 0.
> OBJ, INI_STAN, 0.
> OBJ, INI_HTCO, 0.
> OBJ, INI_STRS, 0.
> OBJ, INI_SKIN, 0.
> OBJ, NAME, B11
> OBJ, POSITION, 4.500000E-02, 5.000000E-02, 1.000000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 3.000000E-03
> OBJ, GEOMETRY, cylinde
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, DOMAIN
> OBJ, INI_YPLS, 0.
> OBJ, INI_STAN, 0.
> OBJ, INI_HTCO, 0.
> OBJ, INI_STRS, 0.
> OBJ, INI_SKIN, 0.
> OBJ, NAME, B12
> OBJ, POSITION, 1.500000E-02, 5.000000E-02, 1.000000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 3.000000E-03
> OBJ, GEOMETRY, cylinde
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, DOMAIN
> OBJ, INI_YPLS, 0.
> OBJ, INI_STAN, 0.
> OBJ, INI_HTCO, 0.
> OBJ, INI_STRS, 0.
> OBJ, INI_SKIN, 0.
> OBJ, NAME, B13
> OBJ, POSITION, 1.500000E-02, 8.000000E-02, 1.000000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 3.000000E-03

```

EK-3.(Devam) Örnek Q1 kütüğü

```

> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, DOMAIN
> OBJ, INI_YPLS, 0.
> OBJ, INI_STAN, 0.
> OBJ, INI_HTCO, 0.
> OBJ, INI_STRS, 0.
> OBJ, INI_SKIN, 0.
> OBJ, NAME, B14
> OBJ, POSITION, 1.500000E-02, 2.000000E-02, 1.000000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 3.000000E-03
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, DOMAIN
> OBJ, INI_YPLS, 0.
> OBJ, INI_STAN, 0.
> OBJ, INI_HTCO, 0.
> OBJ, INI_STRS, 0.
> OBJ, INI_SKIN, 0.
> OBJ, NAME, B16
> OBJ, POSITION, 4.500000E-02, 2.000000E-02, 1.000000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 3.000000E-03
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, DOMAIN
> OBJ, INI_YPLS, 0.
> OBJ, INI_STAN, 0.
> OBJ, INI_HTCO, 0.
> OBJ, INI_STRS, 0.
> OBJ, INI_SKIN, 0.
> OBJ, NAME, B17
> OBJ, POSITION, 7.500000E-02, 2.000000E-02, 1.000000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 3.000000E-03
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, DOMAIN
> OBJ, INI_YPLS, 0.
> OBJ, INI_STAN, 0.
> OBJ, INI_HTCO, 0.
> OBJ, INI_STRS, 0.
> OBJ, INI_SKIN, 0.
> OBJ, NAME, B18
> OBJ, POSITION, 1.050000E-01, 2.000000E-02, 1.000000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 3.000000E-03
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, DOMAIN
> OBJ, INI_YPLS, 0.
> OBJ, INI_STAN, 0.
> OBJ, INI_HTCO, 0.
> OBJ, INI_STRS, 0.
> OBJ, INI_SKIN, 0.
> OBJ, NAME, B19
> OBJ, POSITION, 1.350000E-01, 2.000000E-02, 1.000000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 3.000000E-03
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, DOMAIN
> OBJ, INI_YPLS, 0.
> OBJ, INI_STAN, 0.
> OBJ, INI_HTCO, 0.
> OBJ, INI_STRS, 0.
> OBJ, INI_SKIN, 0.
> OBJ, NAME, B20
> OBJ, POSITION, 4.500000E-02, 8.000000E-02, 1.000000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 3.000000E-03
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, DOMAIN
> OBJ, INI_YPLS, 0.
> OBJ, INI_STAN, 0.
> OBJ, INI_HTCO, 0.
> OBJ, INI_STRS, 0.
> OBJ, INI_SKIN, 0.
> OBJ, NAME, B21
> OBJ, POSITION, 7.500000E-02, 8.000000E-02, 1.000000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 3.000000E-03
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, DOMAIN
> OBJ, INI_YPLS, 0.
> OBJ, INI_STAN, 0.
> OBJ, INI_HTCO, 0.
> OBJ, INI_STRS, 0.
> OBJ, INI_SKIN, 0.
> OBJ, NAME, B22
> OBJ, POSITION, 1.050000E-01, 8.000000E-02, 1.000000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 3.000000E-03
> OBJ, GEOMETRY, cylinda

```

EK-3.(Devam) Örnek Q1 kütüğü

```

> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, DOMAIN
> OBJ, INI_YPLS, 0.
> OBJ, INI_STAN, 0.
> OBJ, INI_HTCO, 0.
> OBJ, INI_STRS, 0.
> OBJ, INI_SKIN, 0.
> OBJ, NAME, B23
> OBJ, POSITION, 1.350000E-01, 8.000000E-02, 1.000000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 3.000000E-03
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, BLOCKAGE
> OBJ, MATERIAL, DOMAIN
> OBJ, INI_YPLS, 0.
> OBJ, INI_STAN, 0.
> OBJ, INI_HTCO, 0.
> OBJ, INI_STRS, 0.
> OBJ, INI_SKIN, 0.
> OBJ, NAME, B28
> OBJ, POSITION, 1.500000E-02, 8.000000E-02, 1.300000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, VELOCITY, 0. ,0. , -6.17
> OBJ, TEMPERATURE, 20.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.
> OBJ, NAME, B24
> OBJ, POSITION, 4.500000E-02, 8.000000E-02, 1.300000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, VELOCITY, 0. ,0. , -6.17
> OBJ, TEMPERATURE, 20.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.
> OBJ, NAME, B25
> OBJ, POSITION, 7.500000E-02, 8.000000E-02, 1.300000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, VELOCITY, 0. ,0. , -6.17
> OBJ, TEMPERATURE, 20.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.
> OBJ, NAME, B26
> OBJ, POSITION, 1.050000E-01, 8.000000E-02, 1.300000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, VELOCITY, 0. ,0. , -6.17
> OBJ, TEMPERATURE, 20.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.
> OBJ, NAME, B27
> OBJ, POSITION, 1.350000E-01, 8.000000E-02, 1.300000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, VELOCITY, 0. ,0. , -6.17
> OBJ, TEMPERATURE, 20.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.
> OBJ, NAME, B29
> OBJ, POSITION, 1.500000E-02, 5.000000E-02, 1.300000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, VELOCITY, 0. ,0. , -6.17
> OBJ, TEMPERATURE, 20.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.
> OBJ, NAME, B30
> OBJ, POSITION, 4.500000E-02, 5.000000E-02, 1.300000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, VELOCITY, 0. ,0. , -6.17
> OBJ, TEMPERATURE, 20.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.
> OBJ, NAME, B31
> OBJ, POSITION, 7.500000E-02, 5.000000E-02, 1.300000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, VELOCITY, 0. ,0. , -6.17
> OBJ, TEMPERATURE, 20.

```

EK-3.(Devam) Örnek Q1 kütüğü

```

> OBJ, TURB-INTENS, 5.
> OBJ, NAME, B32
> OBJ, POSITION, 1.050000E-01, 5.000000E-02, 1.300000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, VELOCITY, 0. ,0. , -6.17
> OBJ, TEMPERATURE, 20.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.
> OBJ, NAME, B33
> OBJ, POSITION, 1.350000E-01, 5.000000E-02, 1.300000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, VELOCITY, 0. ,0. , -6.17
> OBJ, TEMPERATURE, 20.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.
> OBJ, NAME, B34
> OBJ, POSITION, 1.500000E-02, 2.000000E-02, 1.300000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, VELOCITY, 0. ,0. , -6.17
> OBJ, TEMPERATURE, 20.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.
> OBJ, NAME, B35
> OBJ, POSITION, 4.500000E-02, 2.000000E-02, 1.300000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, VELOCITY, 0. ,0. , -6.17
> OBJ, TEMPERATURE, 20.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.
> OBJ, NAME, B36
> OBJ, POSITION, 7.500000E-02, 2.000000E-02, 1.300000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, VELOCITY, 0. ,0. , -6.17
> OBJ, TEMPERATURE, 20.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.
> OBJ, NAME, B37
> OBJ, POSITION, 1.050000E-01, 2.000000E-02, 1.300000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, VELOCITY, 0. ,0. , -6.17
> OBJ, TEMPERATURE, 20.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.
> OBJ, NAME, B38
> OBJ, POSITION, 1.350000E-01, 2.000000E-02, 1.300000E-02
> OBJ, SIZE, 5.000000E-03, 5.000000E-03, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cylinda
> OBJ, TYPE, INLET
> OBJ, PRESSURE, 0.
> OBJ, VELOCITY, 0. ,0. , -6.17
> OBJ, TEMPERATURE, 20.
> OBJ, TURB-INTENS, 5.
STOP
</strong></pre></body></html>

```

EK-4 Örnek sonuç dosyası

```

*****
-----
      CCCC HHH      PHOENICS Version 3.6.0 - EARTH
      CCCCCCCC      (C) Copyright 2004
      CCCCCC See H Concentration Heat and Momentum Ltd
      CCCCCC our new H All rights reserved.
      CCCCCC Web-site H Address: Bakery House, 40 High St
      CCCCCC www.cham. H Wimbledon, London, SW19 5AU
      CCCCCC co.uk H Tel: 0208-947-7651
      CCCCCC H Fax : 0208-879-3497
      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 : jan 2055
-----
*****
number of materials specified by SPEDATS is 1
solprp = 100 porprp = 198 vacprp = 199
!!!! The properties file is PROPS
Properties being read from PROPS
matind = 198
density = 0.000000E+00
visc/poi= 0.000000E+00
specheat= 0.000000E+00
thrmcond= 0.000000E+00
thrmxpsn= 0.000000E+00
cmprsbtl= 1.000000E+19
Properties have been read from PROPS

Property-related data from gxprutil:
PRPS is stored with initial value =
=-1.000000E+00
material properties used are...
denst1
vistrb
visclm
tempr1
mixln1
thrme1
speht1
also, other related settings are ...
usegrx = T
usegrd = T
usewds = T
end of property-related data

Number of F-array locations available is 25718809
Number used before BFC allowance is 24187939
Number used after BFC allowance is 24187939

Turbulence model constants
CMU = 5.478000E-01 CD = 1.643000E-01
CMUCD = 9.000354E-02
C1E = 1.440000E+00 C2E = 1.920000E+00
AK = 4.100000E-01 EWAL = 8.600000E+00
*****
----- Recommended settings -----
CONWIZ = T activates settings based on
refrho = 1.000000E+00 refvel = 1.000000E+01
reflen = 1.000000E+00 reftemp = 1.000000E+03
rlxdw1 = 5.000000E-01 rlxdrv1 = 5.000000E-01
rlxdw1 = 5.000000E-01
Maximum change of U1 per sweep = 100.0000
Maximum change of V1 per sweep = 100.0000
Maximum change of W1 per sweep = 100.0000
Maximum change of KE per sweep = 0.100000
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(RE5000Q1500 )
*****
*****
IRUNN = 1 ;LIBREF = 0
*****
Group 2. Time dependence
STEADY = T
*****
Group 3. X-Direction Grid Spacing
CARTES = T
NX = 155

```

EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

```

XULAST = 1.500000E-01
XFRAC ( 1 ) = 3.876376E-03 ;XFRAC ( 2 ) = 1.096405E-02
XFRAC ( 3 ) = 2.014224E-02 ;XFRAC ( 4 ) = 3.101101E-02
XFRAC ( 5 ) = 4.333921E-02 ;XFRAC ( 6 ) = 5.666079E-02
XFRAC ( 7 ) = 6.898899E-02 ;XFRAC ( 8 ) = 7.985775E-02
XFRAC ( 9 ) = 8.903595E-02 ;XFRAC (10) = 9.612362E-02
XFRAC (11) = 9.999999E-02 ;XFRAC (12) = 1.017459E-01
XFRAC (13) = 1.049383E-01 ;XFRAC (14) = 1.090722E-01
XFRAC (15) = 1.139675E-01 ;XFRAC (16) = 1.193658E-01
XFRAC (17) = 1.242611E-01 ;XFRAC (18) = 1.283951E-01
XFRAC (19) = 1.315874E-01 ;XFRAC (20) = 1.333333E-01
XFRAC (21) = 1.356175E-01 ;XFRAC (22) = 1.397940E-01
XFRAC (23) = 1.452023E-01 ;XFRAC (24) = 1.516067E-01
XFRAC (25) = 1.588712E-01 ;XFRAC (26) = 1.669037E-01
XFRAC (27) = 1.756369E-01 ;XFRAC (28) = 1.850183E-01
XFRAC (29) = 1.950061E-01 ;XFRAC (30) = 2.055653E-01
XFRAC (31) = 2.166667E-01 ;XFRAC (32) = 2.277680E-01
XFRAC (33) = 2.383272E-01 ;XFRAC (34) = 2.483150E-01
XFRAC (35) = 2.576964E-01 ;XFRAC (36) = 2.664296E-01
XFRAC (37) = 2.744621E-01 ;XFRAC (38) = 2.817266E-01
XFRAC (39) = 2.881311E-01 ;XFRAC (40) = 2.935394E-01
XFRAC (41) = 2.977158E-01 ;XFRAC (42) = 3.000000E-01
XFRAC (43) = 3.017460E-01 ;XFRAC (44) = 3.049383E-01
XFRAC (45) = 3.090722E-01 ;XFRAC (46) = 3.139676E-01
XFRAC (47) = 3.193658E-01 ;XFRAC (48) = 3.242612E-01
XFRAC (49) = 3.283951E-01 ;XFRAC (50) = 3.315874E-01
XFRAC (51) = 3.333333E-01 ;XFRAC (52) = 3.356175E-01
XFRAC (53) = 3.397940E-01 ;XFRAC (54) = 3.452023E-01
XFRAC (55) = 3.516068E-01 ;XFRAC (56) = 3.588712E-01
XFRAC (57) = 3.669038E-01 ;XFRAC (58) = 3.756369E-01
XFRAC (59) = 3.850183E-01 ;XFRAC (60) = 3.950061E-01
XFRAC (61) = 4.055654E-01 ;XFRAC (62) = 4.166667E-01
XFRAC (63) = 4.277680E-01 ;XFRAC (64) = 4.383272E-01
XFRAC (65) = 4.483150E-01 ;XFRAC (66) = 4.576965E-01
XFRAC (67) = 4.664296E-01 ;XFRAC (68) = 4.744621E-01
XFRAC (69) = 4.817266E-01 ;XFRAC (70) = 4.881311E-01
XFRAC (71) = 4.935394E-01 ;XFRAC (72) = 4.977158E-01
XFRAC (73) = 5.000000E-01 ;XFRAC (74) = 5.017459E-01
XFRAC (75) = 5.049383E-01 ;XFRAC (76) = 5.090722E-01
XFRAC (77) = 5.139676E-01 ;XFRAC (78) = 5.193658E-01
XFRAC (79) = 5.242612E-01 ;XFRAC (80) = 5.283951E-01
XFRAC (81) = 5.315874E-01 ;XFRAC (82) = 5.333334E-01
XFRAC (83) = 5.356175E-01 ;XFRAC (84) = 5.397940E-01
XFRAC (85) = 5.452023E-01 ;XFRAC (86) = 5.516068E-01
XFRAC (87) = 5.588712E-01 ;XFRAC (88) = 5.669038E-01
XFRAC (89) = 5.756369E-01 ;XFRAC (90) = 5.850183E-01
XFRAC (91) = 5.950061E-01 ;XFRAC (92) = 6.055654E-01
XFRAC (93) = 6.166667E-01 ;XFRAC (94) = 6.277680E-01
XFRAC (95) = 6.383272E-01 ;XFRAC (96) = 6.483150E-01
XFRAC (97) = 6.576964E-01 ;XFRAC (98) = 6.664296E-01
XFRAC (99) = 6.744621E-01 ;XFRAC (100) = 6.817266E-01
XFRAC (101) = 6.881310E-01 ;XFRAC (102) = 6.935393E-01
XFRAC (103) = 6.977158E-01 ;XFRAC (104) = 7.000000E-01
XFRAC (105) = 7.017459E-01 ;XFRAC (106) = 7.049382E-01
XFRAC (107) = 7.090722E-01 ;XFRAC (108) = 7.139675E-01
XFRAC (109) = 7.193658E-01 ;XFRAC (110) = 7.242611E-01
XFRAC (111) = 7.283950E-01 ;XFRAC (112) = 7.315874E-01
XFRAC (113) = 7.333333E-01 ;XFRAC (114) = 7.356175E-01
XFRAC (115) = 7.397940E-01 ;XFRAC (116) = 7.452022E-01
XFRAC (117) = 7.516067E-01 ;XFRAC (118) = 7.588712E-01
XFRAC (119) = 7.669037E-01 ;XFRAC (120) = 7.756369E-01
XFRAC (121) = 7.850183E-01 ;XFRAC (122) = 7.950061E-01
XFRAC (123) = 8.055654E-01 ;XFRAC (124) = 8.166667E-01
XFRAC (125) = 8.277680E-01 ;XFRAC (126) = 8.383272E-01
XFRAC (127) = 8.483150E-01 ;XFRAC (128) = 8.576965E-01
XFRAC (129) = 8.664296E-01 ;XFRAC (130) = 8.744621E-01
XFRAC (131) = 8.817266E-01 ;XFRAC (132) = 8.881311E-01
XFRAC (133) = 8.935394E-01 ;XFRAC (134) = 8.977159E-01
XFRAC (135) = 9.000000E-01 ;XFRAC (136) = 9.017460E-01
XFRAC (137) = 9.049383E-01 ;XFRAC (138) = 9.090722E-01
XFRAC (139) = 9.139675E-01 ;XFRAC (140) = 9.193658E-01
XFRAC (141) = 9.242612E-01 ;XFRAC (142) = 9.283950E-01
XFRAC (143) = 9.315874E-01 ;XFRAC (144) = 9.333333E-01
XFRAC (145) = 9.359176E-01 ;XFRAC (146) = 9.406427E-01
XFRAC (147) = 9.467615E-01 ;XFRAC (148) = 9.540073E-01
XFRAC (149) = 9.622262E-01 ;XFRAC (150) = 9.711072E-01
XFRAC (151) = 9.793260E-01 ;XFRAC (152) = 9.865718E-01
XFRAC (153) = 9.926906E-01 ;XFRAC (154) = 9.974158E-01
XFRAC (155) = 1.000000E+00
*****
Group 4. Y-Direction Grid Spacing
NY = 101
YVLAST = 1.000000E-01
YFRAC ( 1 ) = 4.868645E-03 ;YFRAC ( 2 ) = 1.377061E-02
YFRAC ( 3 ) = 2.529822E-02 ;YFRAC ( 4 ) = 3.894916E-02
YFRAC ( 5 ) = 5.443310E-02 ;YFRAC ( 6 ) = 7.155418E-02
YFRAC ( 7 ) = 9.016857E-02 ;YFRAC ( 8 ) = 1.098314E-01
YFRAC ( 9 ) = 1.284458E-01 ;YFRAC (10) = 1.455669E-01
YFRAC (11) = 1.610508E-01 ;YFRAC (12) = 1.747018E-01

```

EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

```

YFRAC ( 13) = 1.862294E-01 ;YFRAC ( 14) = 1.951313E-01
YFRAC ( 15) = 2.000000E-01 ;YFRAC ( 16) = 2.026189E-01
YFRAC ( 17) = 2.074074E-01 ;YFRAC ( 18) = 2.136083E-01
YFRAC ( 19) = 2.209513E-01 ;YFRAC ( 20) = 2.290487E-01
YFRAC ( 21) = 2.363917E-01 ;YFRAC ( 22) = 2.425926E-01
YFRAC ( 23) = 2.473811E-01 ;YFRAC ( 24) = 2.500000E-01
YFRAC ( 25) = 2.534263E-01 ;YFRAC ( 26) = 2.596909E-01
YFRAC ( 27) = 2.678034E-01 ;YFRAC ( 28) = 2.774101E-01
YFRAC ( 29) = 2.883068E-01 ;YFRAC ( 30) = 3.003556E-01
YFRAC ( 31) = 3.134553E-01 ;YFRAC ( 32) = 3.275275E-01
YFRAC ( 33) = 3.425092E-01 ;YFRAC ( 34) = 3.583480E-01
YFRAC ( 35) = 3.750000E-01 ;YFRAC ( 36) = 3.916520E-01
YFRAC ( 37) = 4.074908E-01 ;YFRAC ( 38) = 4.224725E-01
YFRAC ( 39) = 4.365447E-01 ;YFRAC ( 40) = 4.496444E-01
YFRAC ( 41) = 4.616932E-01 ;YFRAC ( 42) = 4.725899E-01
YFRAC ( 43) = 4.821966E-01 ;YFRAC ( 44) = 4.903091E-01
YFRAC ( 45) = 4.965737E-01 ;YFRAC ( 46) = 5.000000E-01
YFRAC ( 47) = 5.026189E-01 ;YFRAC ( 48) = 5.074074E-01
YFRAC ( 49) = 5.136083E-01 ;YFRAC ( 50) = 5.209513E-01
YFRAC ( 51) = 5.290487E-01 ;YFRAC ( 52) = 5.363917E-01
YFRAC ( 53) = 5.425926E-01 ;YFRAC ( 54) = 5.473811E-01
YFRAC ( 55) = 5.500000E-01 ;YFRAC ( 56) = 5.534263E-01
YFRAC ( 57) = 5.596910E-01 ;YFRAC ( 58) = 5.678034E-01
YFRAC ( 59) = 5.774101E-01 ;YFRAC ( 60) = 5.883068E-01
YFRAC ( 61) = 6.003556E-01 ;YFRAC ( 62) = 6.134553E-01
YFRAC ( 63) = 6.275275E-01 ;YFRAC ( 64) = 6.425092E-01
YFRAC ( 65) = 6.583480E-01 ;YFRAC ( 66) = 6.750000E-01
YFRAC ( 67) = 6.916519E-01 ;YFRAC ( 68) = 7.074908E-01
YFRAC ( 69) = 7.224724E-01 ;YFRAC ( 70) = 7.365447E-01
YFRAC ( 71) = 7.496444E-01 ;YFRAC ( 72) = 7.616932E-01
YFRAC ( 73) = 7.725899E-01 ;YFRAC ( 74) = 7.821966E-01
YFRAC ( 75) = 7.903090E-01 ;YFRAC ( 76) = 7.965737E-01
YFRAC ( 77) = 8.000000E-01 ;YFRAC ( 78) = 8.026189E-01
YFRAC ( 79) = 8.074074E-01 ;YFRAC ( 80) = 8.136083E-01
YFRAC ( 81) = 8.209513E-01 ;YFRAC ( 82) = 8.290487E-01
YFRAC ( 83) = 8.363917E-01 ;YFRAC ( 84) = 8.425926E-01
YFRAC ( 85) = 8.473811E-01 ;YFRAC ( 86) = 8.500000E-01
YFRAC ( 87) = 8.536515E-01 ;YFRAC ( 88) = 8.603280E-01
YFRAC ( 89) = 8.689737E-01 ;YFRAC ( 90) = 8.792119E-01
YFRAC ( 91) = 8.908249E-01 ;YFRAC ( 92) = 9.036657E-01
YFRAC ( 93) = 9.176264E-01 ;YFRAC ( 94) = 9.323736E-01
YFRAC ( 95) = 9.463344E-01 ;YFRAC ( 96) = 9.591752E-01
YFRAC ( 97) = 9.707881E-01 ;YFRAC ( 98) = 9.810264E-01
YFRAC ( 99) = 9.896721E-01 ;YFRAC (100) = 9.963486E-01
YFRAC (101) = 1.000000E+00
*****
Group 5. Z-Direction Grid Spacing
PARAB = F
NZ = 22
ZWLAST = 1.300000E-02
ZFRAC ( 1) = 1.761028E-04 ;ZFRAC ( 2) = 1.314478E-03
ZFRAC ( 3) = 4.260082E-03 ;ZFRAC ( 4) = 9.811610E-03
ZFRAC ( 5) = 1.874042E-02 ;ZFRAC ( 6) = 3.179837E-02
ZFRAC ( 7) = 4.972223E-02 ;ZFRAC ( 8) = 7.323645E-02
ZFRAC ( 9) = 1.030551E-01 ;ZFRAC (10) = 1.398834E-01
ZFRAC (11) = 1.844188E-01 ;ZFRAC (12) = 2.373515E-01
ZFRAC (13) = 2.993657E-01 ;ZFRAC (14) = 3.711399E-01
ZFRAC (15) = 4.533473E-01 ;ZFRAC (16) = 5.466562E-01
ZFRAC (17) = 6.517308E-01 ;ZFRAC (18) = 7.692307E-01
ZFRAC (19) = 8.998027E-01 ;ZFRAC (20) = 9.690834E-01
ZFRAC (21) = 9.958580E-01 ;ZFRAC (22) = 9.999999E-01
*****
Group 6. Body-Fitted Coordinates
*****
Group 7. Variables: STOREd,SOLVED,NAMED
ONEPHS = T
NAME( 1) =P1 ;NAME( 3) =U1
NAME( 5) =V1 ;NAME( 7) =W1
NAME(12) =KE ;NAME(13) =EP
NAME(134) =VLSQ ;NAME(135) =PTOT
NAME(136) =VABS ;NAME(137) =MACH
NAME(138) =SHRZ ;NAME(139) =SHRY
NAME(140) =SHRX ;NAME(141) =YPLS
NAME(142) =STAN ;NAME(143) =HTCO
NAME(144) =STRS ;NAME(145) =SKIN
NAME(146) =PRPS ;NAME(147) =LTLS
NAME(148) =DEN1 ;NAME(149) =WDIS
NAME(150) =TEM1
* 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,Y,N,N,Y)
SOLUTN(U1 ,Y,Y,Y,N,N,Y)
SOLUTN(V1 ,Y,Y,Y,N,N,Y)
SOLUTN(W1 ,Y,Y,Y,N,N,Y)
SOLUTN(KE ,Y,Y,N,N,N,N)
SOLUTN(EP ,Y,Y,N,N,N,N)
SOLUTN(VLSQ,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(PTOT,Y,N,N,N,N,Y)

```

EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

```

SOLUTN(VABS,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(MACH,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(SHRZ,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(SHRY,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(SHRX,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(YPLS,Y,Y,N,N,N,Y)
SOLUTN(STAN,Y,Y,N,N,N,Y)
SOLUTN(HTCO,Y,Y,N,N,N,Y)
SOLUTN(STRS,Y,Y,N,N,N,Y)
SOLUTN(SKIN,Y,Y,N,N,N,Y)
SOLUTN(PRPS,Y,N,N,N,N,N)
SOLUTN(LTLS,Y,Y,Y,N,N,Y)
SOLUTN(DEN1,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(WDIS,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(TEM1,Y,Y,Y,N,N,Y)
DEN1      =      148
PRPS      =      146
*****
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 (W1 ,Y,Y,Y,N,Y,N)
TERMS (KE ,N,Y,Y,N,Y,N)
TERMS (EP ,N,Y,Y,N,Y,N)
TERMS (YPLS,N,Y,Y,N,Y,N)
TERMS (STAN,N,Y,Y,N,Y,N)
TERMS (HTCO,N,Y,Y,N,Y,N)
TERMS (STRS,N,Y,Y,N,Y,N)
TERMS (SKIN,N,Y,Y,N,Y,N)
TERMS (LTLS,N,N,Y,N,Y,N)
TERMS (TEM1,Y,Y,Y,N,Y,N)
DIFCUT = 5.000000E-01 ;ZDIFAC = 1.000000E+00
GALA = F ;ADDIF = T
NEWENT = T
ISOLX = -1 ;ISOLY = -1 ;ISOLZ = -1
*****
Group 9. Properties used if PRPS is not
stored, and where PRPS = -1.0 if it is!
RH01 = 1.208539E+00 ;TMP1 = 0.000000E+00
EL1 = GRND4
TSURR = 0.000000E+00 ;TEMP0 = 2.731500E+02
PRESS0 = 1.013250E+05
DV01DT = 3.410000E-03 ;DRH1DP = 0.000000E+00
EMISS = 0.000000E+00 ;SCATT = 0.000000E+00
RADIA = 0.000000E+00 ;RADIB = 0.000000E+00
EL1A = 0.000000E+00 ;EL1B = 0.000000E+00
EL1C = 0.000000E+00
ENUL = 1.544000E-05 ;ENUT = GRND3
ENUTA = 0.000000E+00 ;ENUTB = 0.000000E+00
ENUTC = 0.000000E+00
IENUTA = 3
PRNDTL(U1 ) = 1.000000E+00 ;PRNDTL(V1 ) = 1.000000E+00
PRNDTL(W1 ) = 1.000000E+00 ;PRNDTL(KE ) = 1.000000E+00
PRNDTL(EP ) = 1.000000E+00 ;PRNDTL(YPLS) = 1.000000E+00
PRNDTL(STAN) = 1.000000E+00 ;PRNDTL(HTCO) = 1.000000E+00
PRNDTL(STRS) = 1.000000E+00 ;PRNDTL(SKIN) = 1.000000E+00
PRNDTL(LTLS) = 1.000000E+00 ;PRNDTL(TEM1) = -2.580000E-02
PRT (U1 ) = 1.000000E+00 ;PRT (V1 ) = 1.000000E+00
PRT (W1 ) = 1.000000E+00 ;PRT (KE ) = 1.000000E+00
PRT (EP ) = 1.314000E+00 ;PRT (YPLS) = 1.000000E+00
PRT (STAN) = 1.000000E+00 ;PRT (HTCO) = 1.000000E+00
PRT (STRS) = 1.000000E+00 ;PRT (SKIN) = 1.000000E+00
PRT (LTLS) = 1.000000E+10 ;PRT (TEM1) = 1.000000E+00
CP1 = 1.005000E+03 ;CP2 = 1.000000E+00
*****
Group 10. Inter-Phase Transfer Processes
*****
Group 11. Initial field variables (PHIs)
FIINIT(P1 ) = 1.000000E-10 ;FIINIT(U1 ) = 1.000000E-10
FIINIT(V1 ) = 1.000000E-10 ;FIINIT(W1 ) = 1.000000E-10
FIINIT(KE ) = 9.517225E-02 ;FIINIT(EP ) = 1.926058E+01
FIINIT(VLSQ) = 1.000000E-10 ;FIINIT(PTOT) = 1.000000E-10
FIINIT(VABS) = 1.000000E-10 ;FIINIT(MACH) = 1.000000E-10
FIINIT(SHRZ) = 1.000000E-10 ;FIINIT(SHRY) = 1.000000E-10
FIINIT(SHRX) = 1.000000E-10 ;FIINIT(YPLS) = 0.000000E+00
FIINIT(STAN) = 0.000000E+00 ;FIINIT(HTCO) = 0.000000E+00
FIINIT(STRS) = 0.000000E+00 ;FIINIT(SKIN) = 0.000000E+00
FIINIT(PRPS) = -1.000000E+00 ;FIINIT(LTLS) = 1.000000E-10
FIINIT(DEN1) = 1.208539E+00 ;FIINIT(WDIS) = 6.000000E-03
FIINIT(TEM1) = 2.000000E+01

Parent VR object for this patch is: ÜSTP
PATCH(OB2 ,INIVAL, 1, 155, 1, 101, 19, 22, 1, 1)
INIT(OB2 ,PRPS, 0.000000E+00, 1.980000E+02)

```


EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

```

Parent VR object for this patch is: B15
PATCH(OB7      ,INIVAL, 73, 83, 46, 56, 18, 22, 1, 1)
INIT(OB7      ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB7      ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB7      ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB7      ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB7      ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB7      ,PRPS, 0.000000E+00, -1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: B9
PATCH(OB8      ,INIVAL, 104, 114, 46, 56, 18, 22, 1, 1)
INIT(OB8      ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB8      ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB8      ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB8      ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB8      ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB8      ,PRPS, 0.000000E+00, -1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: B10
PATCH(OB9      ,INIVAL, 135, 145, 46, 56, 18, 22, 1, 1)
INIT(OB9      ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB9      ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB9      ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB9      ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB9      ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB9      ,PRPS, 0.000000E+00, -1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: B11
PATCH(OB10     ,INIVAL, 42, 52, 46, 56, 18, 22, 1, 1)
INIT(OB10     ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB10     ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB10     ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB10     ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB10     ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB10     ,PRPS, 0.000000E+00, -1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: B12
PATCH(OB11     ,INIVAL, 11, 21, 46, 56, 18, 22, 1, 1)
INIT(OB11     ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB11     ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB11     ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB11     ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB11     ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB11     ,PRPS, 0.000000E+00, -1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: B13
PATCH(OB12     ,INIVAL, 11, 21, 77, 87, 18, 22, 1, 1)
INIT(OB12     ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB12     ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB12     ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB12     ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB12     ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB12     ,PRPS, 0.000000E+00, -1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: B14
PATCH(OB13     ,INIVAL, 11, 21, 15, 25, 18, 22, 1, 1)
INIT(OB13     ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB13     ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB13     ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB13     ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB13     ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB13     ,PRPS, 0.000000E+00, -1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: B16
PATCH(OB14     ,INIVAL, 42, 52, 15, 25, 18, 22, 1, 1)
INIT(OB14     ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB14     ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB14     ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB14     ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB14     ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB14     ,PRPS, 0.000000E+00, -1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: B17
PATCH(OB15     ,INIVAL, 73, 83, 15, 25, 18, 22, 1, 1)
INIT(OB15     ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB15     ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB15     ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB15     ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB15     ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB15     ,PRPS, 0.000000E+00, -1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: B18
PATCH(OB16     ,INIVAL, 104, 114, 15, 25, 18, 22, 1, 1)
INIT(OB16     ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB16     ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB16     ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB16     ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB16     ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB16     ,PRPS, 0.000000E+00, -1.000000E+00)

```

EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

```

Parent VR object for this patch is: B19
PATCH(OB17 ,INIVAL, 135, 145, 15, 25, 18, 22, 1, 1)
INIT(OB17 ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB17 ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB17 ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB17 ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB17 ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB17 ,PRPS, 0.000000E+00, -1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: B20
PATCH(OB18 ,INIVAL, 42, 52, 77, 87, 18, 22, 1, 1)
INIT(OB18 ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB18 ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB18 ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB18 ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB18 ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB18 ,PRPS, 0.000000E+00, -1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: B21
PATCH(OB19 ,INIVAL, 73, 83, 77, 87, 18, 22, 1, 1)
INIT(OB19 ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB19 ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB19 ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB19 ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB19 ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB19 ,PRPS, 0.000000E+00, -1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: B22
PATCH(OB20 ,INIVAL, 104, 114, 77, 87, 18, 22, 1, 1)
INIT(OB20 ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB20 ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB20 ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB20 ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB20 ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB20 ,PRPS, 0.000000E+00, -1.000000E+00)

Parent VR object for this patch is: B23
PATCH(OB21 ,INIVAL, 135, 145, 77, 87, 18, 22, 1, 1)
INIT(OB21 ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB21 ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB21 ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB21 ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB21 ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
INIT(OB21 ,PRPS, 0.000000E+00, -1.000000E+00)
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: SAG
PATCH(OB3 ,EAST, 155, 155, 1, 101, 1, 18, 1, 1)
COVAL(OB3 ,P1, 1.000000E+03, 0.000000E+00)
COVAL(OB3 ,U1, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB3 ,V1, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB3 ,W1, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB3 ,KE, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB3 ,EP, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB3 ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB3 ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB3 ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB3 ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB3 ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB3 ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: ARKA
PATCH(OB4 ,NORTH, 1, 155, 101, 101, 1, 18, 1, 1)
COVAL(OB4 ,P1, 1.000000E+03, 0.000000E+00)
COVAL(OB4 ,U1, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB4 ,V1, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB4 ,W1, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB4 ,KE, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB4 ,EP, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB4 ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB4 ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB4 ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB4 ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB4 ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB4 ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: SOL
PATCH(OB5 ,WEST, 1, 1, 1, 101, 1, 18, 1, 1)
COVAL(OB5 ,P1, 1.000000E+03, 0.000000E+00)
COVAL(OB5 ,U1, 0.000000E+00, 0.000000E+00)

```

EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

```

COVAL(OB5      ,V1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB5      ,W1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB5      ,KE , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB5      ,EP , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB5      ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB5      ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB5      ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB5      ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB5      ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB5      ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: ON
PATCH(OB6      ,SOUTH , 1, 155, 1, 1, 1, 18, 1, 1)
COVAL(OB6      ,P1 , 1.000000E+03, 0.000000E+00)
COVAL(OB6      ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB6      ,V1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB6      ,W1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB6      ,KE , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB6      ,EP , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB6      ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB6      ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB6      ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB6      ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB6      ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB6      ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B28
PATCH(OB22     ,HIGH , 11, 21, 77, 87, 22, 22, 1, 1)
COVAL(OB22     ,P1 , FIXFLU , 7.456686E+00)
COVAL(OB22     ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB22     ,V1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB22     ,W1 , 0.000000E+00, -6.170000E+00)
COVAL(OB22     ,KE , 0.000000E+00, 9.517225E-02)
COVAL(OB22     ,EP , 0.000000E+00, 1.926058E+01)
COVAL(OB22     ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB22     ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB22     ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB22     ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB22     ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB22     ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B24
PATCH(OB23     ,HIGH , 42, 52, 77, 87, 22, 22, 1, 1)
COVAL(OB23     ,P1 , FIXFLU , 7.456686E+00)
COVAL(OB23     ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB23     ,V1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB23     ,W1 , 0.000000E+00, -6.170000E+00)
COVAL(OB23     ,KE , 0.000000E+00, 9.517225E-02)
COVAL(OB23     ,EP , 0.000000E+00, 1.926058E+01)
COVAL(OB23     ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB23     ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB23     ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB23     ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB23     ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB23     ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B25
PATCH(OB24     ,HIGH , 73, 83, 77, 87, 22, 22, 1, 1)
COVAL(OB24     ,P1 , FIXFLU , 7.456686E+00)
COVAL(OB24     ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB24     ,V1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB24     ,W1 , 0.000000E+00, -6.170000E+00)
COVAL(OB24     ,KE , 0.000000E+00, 9.517225E-02)
COVAL(OB24     ,EP , 0.000000E+00, 1.926058E+01)
COVAL(OB24     ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB24     ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB24     ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB24     ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB24     ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB24     ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B26
PATCH(OB25     ,HIGH , 104, 114, 77, 87, 22, 22, 1, 1)
COVAL(OB25     ,P1 , FIXFLU , 7.456686E+00)
COVAL(OB25     ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB25     ,V1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB25     ,W1 , 0.000000E+00, -6.170000E+00)
COVAL(OB25     ,KE , 0.000000E+00, 9.517225E-02)
COVAL(OB25     ,EP , 0.000000E+00, 1.926058E+01)
COVAL(OB25     ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB25     ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB25     ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB25     ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB25     ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB25     ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B27
PATCH(OB26     ,HIGH , 135, 145, 77, 87, 22, 22, 1, 1)
COVAL(OB26     ,P1 , FIXFLU , 7.456686E+00)

```

EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

```

COVAL(OB26      ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB26      ,V1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB26      ,W1 , 0.000000E+00, -6.170000E+00)
COVAL(OB26      ,KE , 0.000000E+00, 9.517225E-02)
COVAL(OB26      ,EP , 0.000000E+00, 1.926058E+01)
COVAL(OB26      ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB26      ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB26      ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB26      ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB26      ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB26      ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B29
PATCH(OB27      ,HIGH , 11, 21, 46, 56, 22, 1, 1)
COVAL(OB27      ,P1 , FIXFLU , 7.456686E+00)
COVAL(OB27      ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB27      ,V1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB27      ,W1 , 0.000000E+00, -6.170000E+00)
COVAL(OB27      ,KE , 0.000000E+00, 9.517225E-02)
COVAL(OB27      ,EP , 0.000000E+00, 1.926058E+01)
COVAL(OB27      ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB27      ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB27      ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB27      ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB27      ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB27      ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B30
PATCH(OB28      ,HIGH , 42, 52, 46, 56, 22, 1, 1)
COVAL(OB28      ,P1 , FIXFLU , 7.456686E+00)
COVAL(OB28      ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB28      ,V1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB28      ,W1 , 0.000000E+00, -6.170000E+00)
COVAL(OB28      ,KE , 0.000000E+00, 9.517225E-02)
COVAL(OB28      ,EP , 0.000000E+00, 1.926058E+01)
COVAL(OB28      ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB28      ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB28      ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB28      ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB28      ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB28      ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B31
PATCH(OB29      ,HIGH , 73, 83, 46, 56, 22, 1, 1)
COVAL(OB29      ,P1 , FIXFLU , 7.456686E+00)
COVAL(OB29      ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB29      ,V1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB29      ,W1 , 0.000000E+00, -6.170000E+00)
COVAL(OB29      ,KE , 0.000000E+00, 9.517225E-02)
COVAL(OB29      ,EP , 0.000000E+00, 1.926058E+01)
COVAL(OB29      ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB29      ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB29      ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB29      ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB29      ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB29      ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B32
PATCH(OB30      ,HIGH , 104, 114, 46, 56, 22, 1, 1)
COVAL(OB30      ,P1 , FIXFLU , 7.456686E+00)
COVAL(OB30      ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB30      ,V1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB30      ,W1 , 0.000000E+00, -6.170000E+00)
COVAL(OB30      ,KE , 0.000000E+00, 9.517225E-02)
COVAL(OB30      ,EP , 0.000000E+00, 1.926058E+01)
COVAL(OB30      ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB30      ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB30      ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB30      ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB30      ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB30      ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B33
PATCH(OB31      ,HIGH , 135, 145, 46, 56, 22, 1, 1)
COVAL(OB31      ,P1 , FIXFLU , 7.456686E+00)
COVAL(OB31      ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB31      ,V1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB31      ,W1 , 0.000000E+00, -6.170000E+00)
COVAL(OB31      ,KE , 0.000000E+00, 9.517225E-02)
COVAL(OB31      ,EP , 0.000000E+00, 1.926058E+01)
COVAL(OB31      ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB31      ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB31      ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB31      ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB31      ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB31      ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B34
PATCH(OB32      ,HIGH , 11, 21, 15, 25, 22, 1, 1)

```

EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

```

COVAL(OB32 ,P1 , FIXFLU , 7.456686E+00)
COVAL(OB32 ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB32 ,V1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB32 ,W1 , 0.000000E+00, -6.170000E+00)
COVAL(OB32 ,KE , 0.000000E+00, 9.517225E-02)
COVAL(OB32 ,EP , 0.000000E+00, 1.926058E+01)
COVAL(OB32 ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB32 ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB32 ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB32 ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB32 ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB32 ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B35
PATCH(OB33 ,HIGH , 42, 52, 15, 25, 22, 22, 1, 1)
COVAL(OB33 ,P1 , FIXFLU , 7.456686E+00)
COVAL(OB33 ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB33 ,V1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB33 ,W1 , 0.000000E+00, -6.170000E+00)
COVAL(OB33 ,KE , 0.000000E+00, 9.517225E-02)
COVAL(OB33 ,EP , 0.000000E+00, 1.926058E+01)
COVAL(OB33 ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB33 ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB33 ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB33 ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB33 ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB33 ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B36
PATCH(OB34 ,HIGH , 73, 83, 15, 25, 22, 22, 1, 1)
COVAL(OB34 ,P1 , FIXFLU , 7.456686E+00)
COVAL(OB34 ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB34 ,V1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB34 ,W1 , 0.000000E+00, -6.170000E+00)
COVAL(OB34 ,KE , 0.000000E+00, 9.517225E-02)
COVAL(OB34 ,EP , 0.000000E+00, 1.926058E+01)
COVAL(OB34 ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB34 ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB34 ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB34 ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB34 ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB34 ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B37
PATCH(OB35 ,HIGH , 104, 114, 15, 25, 22, 22, 1, 1)
COVAL(OB35 ,P1 , FIXFLU , 7.456686E+00)
COVAL(OB35 ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB35 ,V1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB35 ,W1 , 0.000000E+00, -6.170000E+00)
COVAL(OB35 ,KE , 0.000000E+00, 9.517225E-02)
COVAL(OB35 ,EP , 0.000000E+00, 1.926058E+01)
COVAL(OB35 ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB35 ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB35 ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB35 ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB35 ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB35 ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: B38
PATCH(OB36 ,HIGH , 135, 145, 15, 25, 22, 22, 1, 1)
COVAL(OB36 ,P1 , FIXFLU , 7.456686E+00)
COVAL(OB36 ,U1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB36 ,V1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB36 ,W1 , 0.000000E+00, -6.170000E+00)
COVAL(OB36 ,KE , 0.000000E+00, 9.517225E-02)
COVAL(OB36 ,EP , 0.000000E+00, 1.926058E+01)
COVAL(OB36 ,YPLS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB36 ,STAN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB36 ,HTCO, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB36 ,STRS, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB36 ,SKIN, 0.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB36 ,TEM1, 0.000000E+00, 2.000000E+01)

Parent VR object for this patch is: ALTP
PATCH(OB1 ,LWALL , 1, 155, 1, 101, 1, 1, 1, 1)
COVAL(OB1 ,U1 , GRND2 , 0.000000E+00)
COVAL(OB1 ,V1 , GRND2 , 0.000000E+00)
COVAL(OB1 ,KE , 1.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(OB1 ,TEM1, FIXFLU , 1.200000E+03)

PATCH(KESOURCE,PHASEM, 1, 155, 1, 101, 1, 22, 1, 1)
COVAL(KESOURCE,KE , GRND4 , GRND4 )
COVAL(KESOURCE,EP , GRND4 , GRND4 )

Parent VR object for this patch is: B15
PATCH(OC7 ,VOLUME, 73, 83, 46, 56, 18, 22, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B9
PATCH(OC8 ,VOLUME, 104, 114, 46, 56, 18, 22, 1, 1)

```

EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

```

Parent VR object for this patch is: B10
PATCH(OC9      ,VOLUME, 135, 145, 46, 56, 18, 22, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B11
PATCH(OC10     ,VOLUME, 42, 52, 46, 56, 18, 22, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B12
PATCH(OC11     ,VOLUME, 11, 21, 46, 56, 18, 22, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B13
PATCH(OC12     ,VOLUME, 11, 21, 77, 87, 18, 22, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B14
PATCH(OC13     ,VOLUME, 11, 21, 15, 25, 18, 22, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B16
PATCH(OC14     ,VOLUME, 42, 52, 15, 25, 18, 22, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B17
PATCH(OC15     ,VOLUME, 73, 83, 15, 25, 18, 22, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B18
PATCH(OC16     ,VOLUME, 104, 114, 15, 25, 18, 22, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B19
PATCH(OC17     ,VOLUME, 135, 145, 15, 25, 18, 22, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B20
PATCH(OC18     ,VOLUME, 42, 52, 77, 87, 18, 22, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B21
PATCH(OC19     ,VOLUME, 73, 83, 77, 87, 18, 22, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B22
PATCH(OC20     ,VOLUME, 104, 114, 77, 87, 18, 22, 1, 1)

Parent VR object for this patch is: B23
PATCH(OC21     ,VOLUME, 135, 145, 77, 87, 18, 22, 1, 1)
XCYCLE = F
EGWF = T
WALLCO = GRND2
BUOYE = 2.000000E+01
*****
Group 14. Downstream Pressure For PARAB
*****
Group 15. Terminate Sweeps
LSWEEP = 800 ;ISWC1 = 1
LITHYD = 1 ;LITFLX = 1 ;LITC = 1 ;ITHC1 = 1
SELREF = T
RESFAC = 1.000000E-03
*****
Group 16. Terminate Iterations
LITER (P1 ) = 200 ;LITER (U1 ) = 10
LITER (V1 ) = 10 ;LITER (W1 ) = 10
LITER (KE ) = 20 ;LITER (EP ) = 20
LITER (YPLS) = 20 ;LITER (STAN) = 20
LITER (HTCO) = 20 ;LITER (STRS) = 20
LITER (SKIN) = 20 ;LITER (LTLS) = 1000
LITER (TEM1) = 20
ENDIT (P1 ) = 1.000000E-03 ;ENDIT (U1 ) = 1.000000E-03
ENDIT (V1 ) = 1.000000E-03 ;ENDIT (W1 ) = 1.000000E-03
ENDIT (KE ) = 1.000000E-03 ;ENDIT (EP ) = 1.000000E-03
ENDIT (YPLS) = 1.000000E-03 ;ENDIT (STAN) = 1.000000E-03
ENDIT (HTCO) = 1.000000E-03 ;ENDIT (STRS) = 1.000000E-03
ENDIT (SKIN) = 1.000000E-03 ;ENDIT (LTLS) = 1.000000E-03
ENDIT (TEM1) = 1.000000E-03
*****
Group 17. Relaxation
RELAX(P1 ,LINRLX, 5.000000E-01)
RELAX(U1 ,LINRLX, 5.000000E-01)
RELAX(V1 ,LINRLX, 5.000000E-01)
RELAX(W1 ,LINRLX, 5.000000E-01)
RELAX(KE ,LINRLX, 5.000000E-01)
RELAX(EP ,LINRLX, 5.000000E-01)
RELAX(VLSQ,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(PTOT,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(VABS,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(MACH,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(SHRZ,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(SHRY,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(SHRX,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(YPLS,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(STAN,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(HTCO,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(STRS,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(SKIN,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(PRPS,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(LTLS,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(DEN1,LINRLX, 5.000000E-01)

```

EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

```

RELAX(WDIS,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(TEM1,LINRLX, 2.500000E-01)
KELIN      =      1
OVRRLX     = 0.000000E+00
EXPERT     =      F ;NNORSL =      F
*****
Group 18. Limits
VARMAX(P1) = 1.000000E+10 ;VARMIN(P1) = -1.000000E+05
VARMAX(U1) = 1.000000E+01 ;VARMIN(U1) = -1.000000E+01
VARMAX(V1) = 1.000000E+01 ;VARMIN(V1) = -1.000000E+01
VARMAX(W1) = 1.000000E+01 ;VARMIN(W1) = -1.000000E+01
VARMAX(KE) = 1.000000E+10 ;VARMIN(KE) = 1.000000E-10
VARMAX(EP) = 1.000000E+10 ;VARMIN(EP) = 1.000000E-10
VARMAX(VLSQ) = 1.000000E+10 ;VARMIN(VLSQ) = -1.000000E+10
VARMAX(PTOT) = 1.000000E+10 ;VARMIN(PTOT) = -1.000000E+10
VARMAX(VABS) = 1.000000E+10 ;VARMIN(VABS) = -1.000000E+10
VARMAX(MACH) = 1.000000E+10 ;VARMIN(MACH) = -1.000000E+10
VARMAX(SHRZ) = 1.000000E+10 ;VARMIN(SHRZ) = -1.000000E+10
VARMAX(SHRY) = 1.000000E+10 ;VARMIN(SHRY) = -1.000000E+10
VARMAX(SHRX) = 1.000000E+10 ;VARMIN(SHRX) = -1.000000E+10
VARMAX(YPLS) = 1.000000E+10 ;VARMIN(YPLS) = -1.000000E+10
VARMAX(STAN) = 1.000000E+10 ;VARMIN(STAN) = -1.000000E+10
VARMAX(HTCO) = 1.000000E+10 ;VARMIN(HTCO) = -1.000000E+10
VARMAX(STRS) = 1.000000E+10 ;VARMIN(STRS) = -1.000000E+10
VARMAX(SKIN) = 1.000000E+10 ;VARMIN(SKIN) = -1.000000E+10
VARMAX(PRPS) = 1.000000E+10 ;VARMIN(PRPS) = -1.000000E+10
VARMAX(LTLS) = 1.000000E+10 ;VARMIN(LTLS) = -1.000000E+10
VARMAX(DEN1) = 1.000000E+10 ;VARMIN(DEN1) = 1.000000E-06
VARMAX(WDIS) = 1.000000E+10 ;VARMIN(WDIS) = -1.000000E+10
VARMAX(TEM1) = 1.000000E+10 ;VARMIN(TEM1) = -1.000000E+10
*****
Group 19. Data transmitted to GROUND
USEGRD = T ;USEGRX = T
GENK = T
YPLS = T
ASAP = T
PARSOL = T
CONWIZ = T
IENUTA = 3
GEN1 = 681
SPEDAT(SET,DOMAIN,PHASE_1_MAT,I,0)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB1,C,ALTP)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB1,C,PLATE)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB2,C,ÜSTP)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB2,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,ÜSTP,MATERIAL,R,1.98000E+02)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB3,C,SAG)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB3,C,OUTLET)
SPEDAT(SET,ARATIO,!OB3,R,1.00000E+00)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB4,C,ARKA)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB4,C,OUTLET)
SPEDAT(SET,ARATIO,!OB4,R,1.00000E+00)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB5,C,SOL)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB5,C,OUTLET)
SPEDAT(SET,ARATIO,!OB5,R,1.00000E+00)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB6,C,ON)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB6,C,OUTLET)
SPEDAT(SET,ARATIO,!OB6,R,1.00000E+00)
SPEDAT(SET,B15,DATAFILE,C,cylinda)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB7,C,B15)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB7,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,B15,MATERIAL,R,-1.00000E+00)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC7,C,B15)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC7,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,B9,DATAFILE,C,cylinda)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB8,C,B9)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB8,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,B9,MATERIAL,R,-1.00000E+00)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC8,C,B9)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC8,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,B10,DATAFILE,C,cylinda)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB9,C,B10)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB9,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,B10,MATERIAL,R,-1.00000E+00)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC9,C,B10)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC9,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,B11,DATAFILE,C,cylinda)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB10,C,B11)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB10,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,B11,MATERIAL,R,-1.00000E+00)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC10,C,B11)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC10,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,B12,DATAFILE,C,cylinda)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OB11,C,B12)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OB11,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,B12,MATERIAL,R,-1.00000E+00)
SPEDAT(SET,OBJNAM,!OC11,C,B12)
SPEDAT(SET,OBJTYP,!OC11,C,BLOCKAGE)
SPEDAT(SET,B13,DATAFILE,C,cylinda)

```

EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

```

SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB12, C, B13)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB12, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B13, MATERIAL, R, -1.00000E+00)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OC12, C, B13)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OC12, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B14, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB13, C, B14)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB13, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B14, MATERIAL, R, -1.00000E+00)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OC13, C, B14)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OC13, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B16, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB14, C, B16)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB14, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B16, MATERIAL, R, -1.00000E+00)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OC14, C, B16)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OC14, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B17, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB15, C, B17)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB15, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B17, MATERIAL, R, -1.00000E+00)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OC15, C, B17)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OC15, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B18, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB16, C, B18)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB16, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B18, MATERIAL, R, -1.00000E+00)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OC16, C, B18)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OC16, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B19, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB17, C, B19)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB17, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B19, MATERIAL, R, -1.00000E+00)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OC17, C, B19)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OC17, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B20, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB18, C, B20)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB18, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B20, MATERIAL, R, -1.00000E+00)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OC18, C, B20)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OC18, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B21, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB19, C, B21)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB19, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B21, MATERIAL, R, -1.00000E+00)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OC19, C, B21)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OC19, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B22, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB20, C, B22)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB20, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B22, MATERIAL, R, -1.00000E+00)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OC20, C, B22)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OC20, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B23, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB21, C, B23)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB21, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B23, MATERIAL, R, -1.00000E+00)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OC21, C, B23)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OC21, C, BLOCKAGE)
SPEDAT (SET, B28, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB22, C, B28)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB22, C, INLET)
SPEDAT (SET, B24, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB23, C, B24)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB23, C, INLET)
SPEDAT (SET, B25, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB24, C, B25)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB24, C, INLET)
SPEDAT (SET, B26, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB25, C, B26)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB25, C, INLET)
SPEDAT (SET, B27, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB26, C, B27)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB26, C, INLET)
SPEDAT (SET, B29, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB27, C, B29)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB27, C, INLET)
SPEDAT (SET, B30, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB28, C, B30)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB28, C, INLET)
SPEDAT (SET, B31, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB29, C, B31)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB29, C, INLET)
SPEDAT (SET, B32, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB30, C, B32)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB30, C, INLET)
SPEDAT (SET, B33, DATFILE, C, cylinda)
SPEDAT (SET, OBJNAM, ^OB31, C, B33)
SPEDAT (SET, OBJTYP, ^OB31, C, INLET)

```


EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

```

SPEDAT(SET,B34,DATFILE,C,cylinda)
SPEDAT(SET,OBJNAM,^OB32,C,B34)
SPEDAT(SET,OBJTYP,^OB32,C,INLET)
SPEDAT(SET,B35,DATFILE,C,cylinda)
SPEDAT(SET,OBJNAM,^OB33,C,B35)
SPEDAT(SET,OBJTYP,^OB33,C,INLET)
SPEDAT(SET,B36,DATFILE,C,cylinda)
SPEDAT(SET,OBJNAM,^OB34,C,B36)
SPEDAT(SET,OBJTYP,^OB34,C,INLET)
SPEDAT(SET,B37,DATFILE,C,cylinda)
SPEDAT(SET,OBJNAM,^OB35,C,B37)
SPEDAT(SET,OBJTYP,^OB35,C,INLET)
SPEDAT(SET,B38,DATFILE,C,cylinda)
SPEDAT(SET,OBJNAM,^OB36,C,B38)
SPEDAT(SET,OBJTYP,^OB36,C,INLET)
SPEDAT(SET,FACETDAT,NUMOBJ,I,36)
SPEDAT(SET,MATERIAL,198,L,T)
*****
Group 20. Preliminary Printout
ECHO = T
*****
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(W1 ,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(KE ,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(EP ,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(VLSQ,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(PTOT,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(VABS,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(MACH,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(SHRZ,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(SHRY,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(SHRX,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(YPLS,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(STAN,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(HTCO,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(STRS,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(SKIN,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(PRPS,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(LTLS,Y,N,Y,Y,N,Y)
OUTPUT(DEN1,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(WDIS,Y,N,N,N,N,N)
OUTPUT(TEM1,Y,N,Y,Y,Y,Y)
WALPRN = T
*****
Group 22. Monitor Print-Out
IXMON = 78 ;YMON = 51 ;IZMON = 21
NPRMON = 100000 ;NPRMT = 1 ;TSTSWP = 10001
UWATCH = F ;USTEER = F
HIGHLO = F
*****
Group 23. Field Print-Out & Plot Control
NPRINT = 800 ;NUMCLS = 5
NXPRIN = 5 ;IXPRF = 1 ;IXPRL = 155
NYPRIN = 5 ;IYPRF = 1 ;IYPRL = 101
NZPRIN = 5 ;IZPRF = 1 ;IZPRL = 10000
XZPR = F ;YZPR = F
IPLTF = 1 ;IPLTL = 800 ;NPLT = 40
ISWPRF = 1 ;ISWPRL = 100000
ITABL = 3 ;IPROF = 2
ABSIZ = 5.000000E-01 ;ORSIZ = 4.000000E-01
NTZPRF = 1 ;NCOLPF = 50
ICHR = 2 ;NCOLCO = 45 ;NROWCO = 20

PATCH(FIG1 ,PROFIL, 30, 30, 30, 30, 1, 22, 1, 1)
PLOT(FIG1 ,P1 , 1.000000E+00, 0.000000E+00)
PLOT(FIG1 ,U1 , 1.000000E+00, 0.000000E+00)
PLOT(FIG1 ,V1 , 1.000000E+00, 0.000000E+00)
PLOT(FIG1 ,W1 , 1.000000E+00, 0.000000E+00)
PLOT(FIG1 ,TEM1, 1.000000E+00, 0.000000E+00)
*****
Group 24. Dumps For Restarts
SAVE = T ;AUTOPS = F ;NOWIPE = F
NSAVE =CHAM

*** grid-geometry information ***
X-coordinates of the cell centres
2.907E-04 1.113E-03 2.333E-03 3.836E-03 5.576E-03
7.500E-03 9.424E-03 1.116E-02 1.267E-02 1.389E-02
1.471E-02 1.513E-02 1.550E-02 1.605E-02 1.673E-02
1.750E-02 1.827E-02 1.895E-02 1.950E-02 1.987E-02
2.017E-02 2.066E-02 2.137E-02 2.226E-02 2.329E-02
2.443E-02 2.569E-02 2.705E-02 2.850E-02 3.004E-02

```

EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

3.167E-02	3.333E-02	3.496E-02	3.650E-02	3.795E-02
3.931E-02	4.057E-02	4.171E-02	4.274E-02	4.363E-02
4.434E-02	4.483E-02	4.513E-02	4.550E-02	4.605E-02
4.673E-02	4.750E-02	4.827E-02	4.895E-02	4.950E-02
4.987E-02	5.017E-02	5.066E-02	5.137E-02	5.226E-02
5.329E-02	5.443E-02	5.569E-02	5.705E-02	5.850E-02
6.004E-02	6.167E-02	6.333E-02	6.496E-02	6.650E-02
6.795E-02	6.931E-02	7.057E-02	7.171E-02	7.274E-02
7.363E-02	7.434E-02	7.483E-02	7.513E-02	7.550E-02
7.605E-02	7.673E-02	7.750E-02	7.827E-02	7.895E-02
7.950E-02	7.987E-02	8.017E-02	8.066E-02	8.137E-02
8.226E-02	8.329E-02	8.443E-02	8.569E-02	8.705E-02
8.850E-02	9.004E-02	9.167E-02	9.333E-02	9.496E-02
9.650E-02	9.795E-02	9.931E-02	1.006E-01	1.017E-01
1.027E-01	1.036E-01	1.043E-01	1.048E-01	1.051E-01
1.055E-01	1.061E-01	1.067E-01	1.075E-01	1.083E-01
1.089E-01	1.095E-01	1.099E-01	1.102E-01	1.107E-01
1.114E-01	1.123E-01	1.133E-01	1.144E-01	1.157E-01
1.170E-01	1.185E-01	1.200E-01	1.217E-01	1.233E-01
1.250E-01	1.265E-01	1.280E-01	1.293E-01	1.306E-01
1.317E-01	1.327E-01	1.336E-01	1.343E-01	1.348E-01
1.351E-01	1.355E-01	1.361E-01	1.367E-01	1.375E-01
1.383E-01	1.389E-01	1.395E-01	1.399E-01	1.402E-01
1.407E-01	1.416E-01	1.426E-01	1.437E-01	1.450E-01
1.463E-01	1.474E-01	1.484E-01	1.493E-01	1.498E-01
Y-coordinates of the cell centres				
2.434E-04	9.320E-04	1.953E-03	3.212E-03	4.669E-03
6.299E-03	8.086E-03	1.000E-02	1.191E-02	1.370E-02
1.533E-02	1.679E-02	1.805E-02	1.907E-02	1.976E-02
2.013E-02	2.050E-02	2.105E-02	2.173E-02	2.250E-02
2.327E-02	2.395E-02	2.450E-02	2.487E-02	2.517E-02
2.566E-02	2.637E-02	2.726E-02	2.829E-02	2.943E-02
3.069E-02	3.205E-02	3.350E-02	3.504E-02	3.667E-02
3.833E-02	3.996E-02	4.150E-02	4.295E-02	4.431E-02
4.557E-02	4.671E-02	4.774E-02	4.863E-02	4.934E-02
4.983E-02	5.013E-02	5.050E-02	5.105E-02	5.173E-02
5.250E-02	5.327E-02	5.395E-02	5.450E-02	5.487E-02
5.517E-02	5.566E-02	5.637E-02	5.726E-02	5.829E-02
5.943E-02	6.069E-02	6.205E-02	6.350E-02	6.504E-02
6.667E-02	6.833E-02	6.996E-02	7.150E-02	7.295E-02
7.431E-02	7.557E-02	7.671E-02	7.774E-02	7.863E-02
7.934E-02	7.983E-02	8.013E-02	8.050E-02	8.105E-02
8.173E-02	8.250E-02	8.327E-02	8.395E-02	8.450E-02
8.487E-02	8.518E-02	8.570E-02	8.647E-02	8.741E-02
8.850E-02	8.972E-02	9.106E-02	9.250E-02	9.394E-02
9.528E-02	9.650E-02	9.759E-02	9.853E-02	9.930E-02
9.982E-02				
Z-coordinates of the cell centres				
1.145E-06	9.689E-06	3.623E-05	9.147E-05	1.856E-04
3.285E-04	5.299E-04	7.992E-04	1.146E-03	1.579E-03
2.108E-03	2.742E-03	3.489E-03	4.358E-03	5.359E-03
6.500E-03	7.790E-03	9.236E-03	1.085E-02	1.215E-02
1.277E-02	1.297E-02			
X-coordinates of the (higher) cell faces				
5.815E-04	1.645E-03	3.021E-03	4.652E-03	6.501E-03
8.499E-03	1.035E-02	1.198E-02	1.336E-02	1.442E-02
1.500E-02	1.526E-02	1.574E-02	1.636E-02	1.710E-02
1.790E-02	1.864E-02	1.926E-02	1.974E-02	2.000E-02
2.034E-02	2.097E-02	2.178E-02	2.274E-02	2.383E-02
2.504E-02	2.635E-02	2.775E-02	2.925E-02	3.083E-02
3.250E-02	3.417E-02	3.575E-02	3.725E-02	3.865E-02
3.996E-02	4.117E-02	4.226E-02	4.322E-02	4.403E-02
4.466E-02	4.500E-02	4.526E-02	4.574E-02	4.636E-02
4.710E-02	4.790E-02	4.864E-02	4.926E-02	4.974E-02
5.000E-02	5.034E-02	5.097E-02	5.178E-02	5.274E-02
5.383E-02	5.504E-02	5.635E-02	5.775E-02	5.925E-02
6.083E-02	6.250E-02	6.417E-02	6.575E-02	6.725E-02
6.865E-02	6.996E-02	7.117E-02	7.226E-02	7.322E-02
7.403E-02	7.466E-02	7.500E-02	7.526E-02	7.574E-02
7.636E-02	7.710E-02	7.790E-02	7.864E-02	7.926E-02
7.974E-02	8.000E-02	8.034E-02	8.097E-02	8.178E-02
8.274E-02	8.383E-02	8.504E-02	8.635E-02	8.775E-02
8.925E-02	9.083E-02	9.250E-02	9.417E-02	9.575E-02
9.725E-02	9.865E-02	9.996E-02	1.012E-01	1.023E-01
1.032E-01	1.040E-01	1.047E-01	1.050E-01	1.053E-01
1.057E-01	1.064E-01	1.071E-01	1.079E-01	1.086E-01
1.093E-01	1.097E-01	1.100E-01	1.103E-01	1.110E-01
1.118E-01	1.127E-01	1.138E-01	1.150E-01	1.163E-01
1.178E-01	1.193E-01	1.208E-01	1.225E-01	1.242E-01
1.257E-01	1.272E-01	1.287E-01	1.300E-01	1.312E-01
1.323E-01	1.332E-01	1.340E-01	1.347E-01	1.350E-01
1.353E-01	1.357E-01	1.364E-01	1.371E-01	1.379E-01
1.386E-01	1.393E-01	1.397E-01	1.400E-01	1.404E-01
1.411E-01	1.420E-01	1.431E-01	1.443E-01	1.457E-01
1.469E-01	1.480E-01	1.489E-01	1.496E-01	1.500E-01
Y-coordinates of the (higher) cell faces				
4.869E-04	1.377E-03	2.530E-03	3.895E-03	5.443E-03
7.155E-03	9.017E-03	1.098E-02	1.284E-02	1.456E-02

EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

```

1.611E-02  1.747E-02  1.862E-02  1.951E-02  2.000E-02
2.026E-02  2.074E-02  2.136E-02  2.210E-02  2.290E-02
2.364E-02  2.426E-02  2.474E-02  2.500E-02  2.534E-02
2.597E-02  2.678E-02  2.774E-02  2.883E-02  3.004E-02
3.135E-02  3.275E-02  3.425E-02  3.583E-02  3.750E-02
3.917E-02  4.075E-02  4.225E-02  4.365E-02  4.496E-02
4.617E-02  4.726E-02  4.822E-02  4.903E-02  4.966E-02
5.000E-02  5.026E-02  5.074E-02  5.136E-02  5.210E-02
5.290E-02  5.364E-02  5.426E-02  5.474E-02  5.500E-02
5.534E-02  5.597E-02  5.678E-02  5.774E-02  5.883E-02
6.004E-02  6.135E-02  6.275E-02  6.425E-02  6.583E-02
6.750E-02  6.917E-02  7.075E-02  7.225E-02  7.365E-02
7.496E-02  7.617E-02  7.726E-02  7.822E-02  7.903E-02
7.966E-02  8.000E-02  8.026E-02  8.074E-02  8.136E-02
8.210E-02  8.290E-02  8.364E-02  8.426E-02  8.474E-02
8.500E-02  8.537E-02  8.603E-02  8.690E-02  8.792E-02
8.908E-02  9.037E-02  9.176E-02  9.324E-02  9.463E-02
9.592E-02  9.708E-02  9.810E-02  9.897E-02  9.963E-02
1.000E-01
Z-coordinates of the (higher) cell faces
2.289E-06  1.709E-05  5.538E-05  1.276E-04  2.436E-04
4.134E-04  6.464E-04  9.521E-04  1.340E-03  1.818E-03
2.397E-03  3.086E-03  3.892E-03  4.825E-03  5.894E-03
7.107E-03  8.472E-03  1.000E-02  1.170E-02  1.260E-02
1.295E-02  1.300E-02

--- INTEGRATION OF EQUATIONS BEGINS ---

Field Values of U1
IY= 101 -5.373E-01 -5.421E-01 -2.886E-01 -2.620E-03 2.383E-01
IY= 96 -7.256E-01 -8.429E-01 -5.530E-01 -3.760E-03 4.967E-01
IY= 91 -1.133E+00 -1.810E+00 -1.768E+00 5.834E-02 1.869E+00
IY= 86 -1.352E+00 -2.760E+00 -3.192E+00 4.041E-01 3.716E+00
IY= 81 -1.267E+00 -3.010E+00 -2.994E+00 1.057E+00 3.919E+00
IY= 76 -1.182E+00 -2.578E+00 -2.355E+00 1.439E+00 3.015E+00
IY= 71 -7.692E-01 -1.293E+00 -8.363E-01 5.077E-01 1.132E+00
IY= 66 -7.477E-01 -4.839E-01 -1.691E-01 8.376E-02 3.289E-01
IY= 61 -1.015E+00 -1.590E+00 -1.171E+00 5.329E-01 1.433E+00
IY= 56 -1.411E+00 -2.776E+00 -2.722E+00 1.012E+00 3.265E+00
IY= 51 -1.564E+00 -3.059E+00 -3.172E+00 5.660E-01 3.754E+00
IY= 46 -1.494E+00 -2.767E+00 -2.851E+00 1.002E+00 3.263E+00
IY= 41 -1.062E+00 -1.576E+00 -1.192E+00 5.286E-01 1.431E+00
IY= 36 -7.602E-01 -4.848E-01 -1.611E-01 9.584E-02 3.407E-01
IY= 31 -7.427E-01 -1.299E+00 -8.464E-01 5.074E-01 1.139E+00
IY= 26 -1.169E+00 -2.588E+00 -2.392E+00 1.450E+00 3.032E+00
IY= 21 -1.261E+00 -3.016E+00 -3.028E+00 1.059E+00 3.930E+00
IY= 16 -1.325E+00 -2.762E+00 -3.185E+00 4.023E-01 3.714E+00
IY= 11 -1.007E+00 -1.556E+00 -1.424E+00 2.013E-02 1.463E+00
IY= 6 -5.486E-01 -5.964E-01 -3.423E-01 -5.657E-03 2.938E-01
IY= 1 -3.787E-01 -3.429E-01 -1.526E-01 2.918E-03 1.271E-01
IX= 1 11 16 21
IY= 101 4.392E-01 2.505E-02 -5.643E-01 -3.297E-01 -1.035E-01
IY= 96 8.119E-01 1.806E-01 -8.939E-01 -6.076E-01 -2.199E-01
IY= 91 2.059E+00 1.902E-01 -2.024E+00 -1.903E+00 -7.789E-01
IY= 86 3.195E+00 1.413E-01 -3.184E+00 -3.593E+00 -8.437E-01
IY= 81 3.131E+00 8.938E-02 -3.345E+00 -3.969E+00 -4.565E-01
IY= 76 2.542E+00 1.931E-01 -2.837E+00 -3.220E+00 -5.537E-01
IY= 71 1.171E+00 3.838E-01 -1.396E+00 -1.150E+00 -1.951E-01
IY= 66 2.254E-01 2.780E-01 -4.585E-01 -3.188E-01 -3.917E-02
IY= 61 1.686E+00 7.166E-02 -1.812E+00 -1.451E+00 -2.785E-01
IY= 56 3.006E+00 -1.164E-01 -3.159E+00 -3.336E+00 -5.424E-01
IY= 51 3.394E+00 -1.220E-01 -3.547E+00 -3.706E+00 -4.163E-01
IY= 46 3.010E+00 -1.627E-01 -3.155E+00 -3.278E+00 -6.288E-01
IY= 41 1.687E+00 1.474E-02 -1.781E+00 -1.432E+00 -3.581E-01
IY= 36 2.484E-01 2.661E-01 -4.983E-01 -3.532E-01 -5.487E-02
IY= 31 1.188E+00 3.151E-01 -1.339E+00 -1.126E+00 -2.821E-01
IY= 26 2.547E+00 1.434E-01 -2.800E+00 -3.209E+00 -6.928E-01
IY= 21 3.128E+00 4.887E-02 -3.315E+00 -3.986E+00 -5.187E-01
IY= 16 3.182E+00 1.152E-01 -3.171E+00 -3.649E+00 -7.778E-01
IY= 11 1.723E+00 1.565E-01 -1.707E+00 -1.532E+00 -5.302E-01
IY= 6 5.189E-01 1.455E-01 -5.966E-01 -3.615E-01 -1.025E-01
IY= 1 2.402E-01 9.944E-03 -3.361E-01 -1.674E-01 -3.673E-02
IX= 1 26 31 36 41 46
IY= 101 2.459E-01 4.959E-01 1.418E-01 -4.750E-01 -2.930E-01
IY= 96 5.019E-01 8.930E-01 1.994E-02 -7.605E-01 -5.837E-01
IY= 91 1.774E+00 2.371E+00 4.409E-01 -1.836E+00 -2.058E+00
IY= 86 3.358E+00 3.771E+00 8.673E-01 -2.759E+00 -4.059E+00
IY= 81 3.647E+00 3.777E+00 8.174E-01 -2.716E+00 -4.215E+00
IY= 76 3.064E+00 3.052E+00 6.116E-01 -2.288E+00 -3.193E+00
IY= 71 1.153E+00 1.444E+00 -2.140E-01 -9.156E-01 -1.228E+00
IY= 66 3.238E-01 4.771E-01 -2.247E-01 -1.963E-01 -4.256E-01
IY= 61 1.404E+00 1.845E+00 1.500E-01 -1.569E+00 -1.610E+00
IY= 56 2.990E+00 3.445E+00 6.537E-01 -2.617E+00 -3.532E+00
IY= 51 3.126E+00 3.985E+00 8.062E-01 -2.934E+00 -4.146E+00
IY= 46 2.919E+00 3.492E+00 6.932E-01 -2.665E+00 -3.538E+00
IY= 41 1.363E+00 1.849E+00 1.716E-01 -1.562E+00 -1.597E+00
IY= 36 3.577E-01 5.073E-01 -2.611E-01 -2.144E-01 -4.341E-01
IY= 31 1.114E+00 1.416E+00 -3.376E-01 -8.633E-01 -1.237E+00
IY= 26 3.035E+00 3.072E+00 5.334E-01 -2.350E+00 -3.241E+00

```

EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

IY=	21	3.623E+00	3.794E+00	7.398E-01	-2.780E+00	-4.254E+00
IY=	16	3.313E+00	3.759E+00	7.829E-01	-2.827E+00	-4.109E+00
IY=	11	1.351E+00	1.949E+00	2.282E-01	-1.619E+00	-1.701E+00
IY=	6	3.062E-01	5.755E-01	-9.607E-02	-5.096E-01	-3.888E-01
IY=	1	1.390E-01	2.831E-01	2.237E-02	-2.797E-01	-1.818E-01
IX=	51	56	61	66	71	
IY=	101	-6.298E-02	2.865E-01	4.851E-01	5.306E-01	-9.575E-03
IY=	96	-1.442E-01	4.893E-01	8.099E-01	7.711E-01	1.382E-02
IY=	91	-5.993E-01	1.415E+00	2.196E+00	1.545E+00	-5.483E-01
IY=	86	-1.416E+00	2.710E+00	3.945E+00	2.164E+00	-1.154E+00
IY=	81	-2.042E+00	2.649E+00	4.326E+00	2.238E+00	-1.116E+00
IY=	76	-2.082E+00	2.228E+00	3.447E+00	2.046E+00	-7.316E-01
IY=	71	-7.367E-01	7.650E-01	1.372E+00	1.165E+00	4.627E-03
IY=	66	-2.375E-01	1.661E-01	4.416E-01	3.477E-01	1.592E-01
IY=	61	-9.051E-01	1.094E+00	1.778E+00	1.345E+00	-3.456E-01
IY=	56	-1.822E+00	2.619E+00	3.714E+00	2.016E+00	-1.234E+00
IY=	51	-1.342E+00	2.774E+00	4.283E+00	2.176E+00	-1.512E+00
IY=	46	-1.669E+00	2.589E+00	3.709E+00	2.0	-1.288E+00
IY=	41	-8.444E-01	1.118E+00	1.775E+00	1.316E+00	-4.250E-01
IY=	36	-2.232E-01	2.125E-01	4.605E-01	3.008E-01	1.363E-01
IY=	31	-7.359E-01	7.918E-01	1.356E+00	1.076E+00	5.516E-02
IY=	26	-2.077E+00	2.303E+00	3.411E+00	2.008E+00	-6.926E-01
IY=	21	-2.010E+00	2.718E+00	4.281E+00	2.183E+00	-1.094E+00
IY=	16	-1.354E+00	2.696E+00	3.846E+00	2.095E+00	-1.147E+00
IY=	11	-4.312E-01	1.230E+00	1.759E+00	1.306E+00	-4.008E-01
IY=	6	-1.015E-01	3.519E-01	5.786E-01	5.696E-01	8.372E-02
IY=	1	-5.018E-02	1.790E-01	3.223E-01	3.768E-01	3.565E-02
IX=	76	81	86	91	96	
IY=	101	-2.766E-01	-1.545E-01	1.139E-01	2.694E-01	3.707E-01
IY=	96	-5.413E-01	-3.107E-01	2.675E-01	5.467E-01	5.918E-01
IY=	91	-1.811E+00	-1.118E+00	1.099E+00	1.848E+00	1.403E+00
IY=	86	-3.341E+00	-2.518E+00	2.290E+00	3.504E+00	2.087E+00
IY=	81	-3.399E+00	-2.689E+00	2.176E+00	3.769E+00	2.150E+00
IY=	76	-2.570E+00	-2.005E+00	1.556E+00	2.838E+00	1.822E+00
IY=	71	-8.314E-01	-6.470E-01	4.509E-01	9.647E-01	6.590E-01
IY=	66	-2.174E-01	-2.078E-01	1.031E-01	2.915E-01	2.490E-01
IY=	61	-1.556E+00	-1.047E+00	8.080E-01	1.436E+00	1.194E+00
IY=	56	-3.342E+00	-2.478E+00	2.172E+00	3.282E+00	1.964E+00
IY=	51	-3.947E+00	-2.766E+00	2.464E+00	3.862E+00	2.156E+00
IY=	46	-3.387E+00	-2.488E+00	2.242E+00	3.302E+00	1.966E+00
IY=	41	-1.590E+00	-1.056E+00	8.562E-01	1.465E+00	1.199E+00
IY=	36	-2.825E-01	-2.349E-01	1.089E-01	3.126E-01	3.101E-01
IY=	31	-7.424E-01	-5.939E-01	4.456E-01	9.305E-01	5.353E-01
IY=	26	-2.491E+00	-1.946E+00	1.514E+00	2.799E+00	1.788E+00
IY=	21	-3.303E+00	-2.644E+00	2.136E+00	3.747E+00	2.137E+00
IY=	16	-3.229E+00	-2.482E+00	2.251E+00	3.529E+00	2.092E+00
IY=	11	-1.402E+00	-8.536E-01	8.349E-01	1.497E+00	1.202E+00
IY=	6	-3.133E-01	-1.809E-01	1.512E-01	3.290E-01	3.964E-01
IY=	1	-1.428E-01	-8.128E-02	5.478E-02	1.381E-01	2.271E-01
IX=	101	106	111	116	121	
IY=	101	-4.391E-03	-2.703E-01	-1.509E-01	8.442E-02	2.345E-01
IY=	96	4.818E-02	-5.672E-01	-3.468E-01	2.211E-01	4.997E-01
IY=	91	-2.765E-01	-1.902E+00	-1.390E+00	1.016E+00	1.783E+00
IY=	86	-6.338E-01	-3.263E+00	-2.911E+00	1.875E+00	3.329E+00
IY=	81	-5.892E-01	-3.307E+00	-3.085E+00	1.405E+00	3.636E+00
IY=	76	-3.775E-01	-2.557E+00	-2.331E+00	9.691E-01	2.727E+00
IY=	71	4.826E-02	-9.197E-01	-8.016E-01	2.580E-01	8.991E-01
IY=	66	-3.734E-02	-1.717E-01	-1.881E-01	4.459E-02	2.226E-01
IY=	61	8.301E-02	-1.441E+00	-1.168E+00	4.994E-01	1.365E+00
IY=	56	-1.985E-01	-3.046E+00	-2.802E+00	1.368E+00	3.231E+00
IY=	51	-2.840E-01	-3.556E+00	-3.293E+00	1.457E+00	3.838E+00
IY=	46	-2.027E-01	-3.098E+00	-2.834E+00	1.441E+00	3.269E+00
IY=	41	8.326E-02	-1.495E+00	-1.196E+00	5.450E-01	1.409E+00
IY=	36	-3.258E-02	-1.591E-01	-1.883E-01	6.118E-02	2.347E-01
IY=	31	3.336E-02	-8.223E-01	-7.700E-01	2.217E-01	8.247E-01
IY=	26	-3.086E-01	-2.470E+00	-2.268E+00	9.127E-01	2.616E+00
IY=	21	-5.278E-01	-3.217E+00	-3.029E+00	1.400E+00	3.535E+00
IY=	16	-5.979E-01	-3.225E+00	-2.875E+00	1.900E+00	3.249E+00
IY=	11	-1.777E-01	-1.567E+00	-1.079E+00	8.114E-01	1.423E+00
IY=	6	7.466E-02	-3.285E-01	-1.994E-01	1.109E-01	2.791E-01
IY=	1	3.427E-02	-1.335E-01	-7.649E-02	3.261E-02	1.094E-01
IX=	126	131	136	141	146	
IY=	101	3.586E-01				
IY=	96	6.101E-01				
IY=	91	1.468E+00				
IY=	86	2.222E+00				
IY=	81	2.347E+00				
IY=	76	2.006E+00				
IY=	71	9.290E-01				
IY=	66	4.447E-01				
IY=	61	1.295E+00				
IY=	56	2.244E+00				
IY=	51	2.486E+00				
IY=	46	2.255E+00				
IY=	41	1.317E+00				
IY=	36	4.329E-01				
IY=	31	8.359E-01				
IY=	26	1.895E+00				
IY=	21	2.235E+00				

EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

```

IY= 16 2.125E+00
IY= 11 1.205E+00
IY= 6 3.728E-01
IY= 1 1.901E-01
IX= 151

```

Whole-field residuals before solution
with resref values determined by EARTH
& resfac= 1.000000E-03

variable	resref	(res sum)/resref	(res sum)
P1	7.589E-10	8.187E+03	6.213E-06
U1	6.417E-10	9.270E+04	5.948E-05
V1	6.680E-10	8.640E+04	5.772E-05
W1	8.330E-10	4.533E+04	3.776E-05
KE	3.991E-10	4.179E+04	1.668E-05
EP	1.248E-07	4.564E+04	5.696E-03
LTLS	5.662E-13	4.588E+04	2.598E-08
TEM1	9.619E-05	4.266E+02	4.103E-02

Sources and sinks

```

Nett source of U1 at patch named: OB3 (SAG ) =-4.591343E-04
Nett source of U1 at patch named: OB4 (ARKA ) =-1.677181E-05
Nett source of U1 at patch named: OB5 (SOL ) = 5.083118E-04
Nett source of U1 at patch named: OB6 (ON ) =-2.710020E-05
Nett source of U1 at patch named: OB1 (ALTP ) =-2.277351E-05
pos. sum= 5.083118E-04 neg. sum=-5.257798E-04
nett sum=-1.746800E-05

```

```

Nett source of V1 at patch named: OB3 (SAG ) = 1.325849E-05
Nett source of V1 at patch named: OB4 (ARKA ) =-8.594137E-04
Nett source of V1 at patch named: OB5 (SOL ) = 1.461462E-05
Nett source of V1 at patch named: OB6 (ON ) = 7.599197E-04
Nett source of V1 at patch named: OB1 (ALTP ) = 5.958203E-05
pos. sum= 8.473748E-04 neg. sum=-8.594137E-04
nett sum=-1.203892E-05

```

```

Nett source of W1 at patch named: OB3 (SAG ) =-2.776141E-05
Nett source of W1 at patch named: OB4 (ARKA ) =-1.117643E-04
Nett source of W1 at patch named: OB5 (SOL ) =-6.196949E-05
Nett source of W1 at patch named: OB6 (ON ) =-1.056744E-04
Nett source of W1 at patch named: OB22 (B28 ) =-9.027622E-04
Nett source of W1 at patch named: OB23 (B24 ) =-9.027622E-04
Nett source of W1 at patch named: OB24 (B25 ) =-9.027629E-04
Nett source of W1 at patch named: OB25 (B26 ) =-9.027578E-04
Nett source of W1 at patch named: OB26 (B27 ) =-9.027680E-04
Nett source of W1 at patch named: OB27 (B29 ) =-9.027619E-04
Nett source of W1 at patch named: OB28 (B30 ) =-9.027619E-04
Nett source of W1 at patch named: OB29 (B31 ) =-9.027626E-04
Nett source of W1 at patch named: OB30 (B32 ) =-9.027576E-04
Nett source of W1 at patch named: OB31 (B33 ) =-9.027674E-04
Nett source of W1 at patch named: OB32 (B34 ) =-9.027627E-04
Nett source of W1 at patch named: OB33 (B35 ) =-9.027628E-04
Nett source of W1 at patch named: OB34 (B36 ) =-9.027629E-04
Nett source of W1 at patch named: OB35 (B37 ) =-9.027573E-04
Nett source of W1 at patch named: OB36 (B38 ) =-9.027678E-04
pos. sum= 0.000000E+00 neg. sum=-1.384861E-02
nett sum=-1.384861E-02

```

```

Nett source of R1 at patch named: OB3 (SAG ) =-3.521735E-04
Nett source of R1 at patch named: OB4 (ARKA ) =-7.082802E-04
Nett source of R1 at patch named: OB5 (SOL ) =-3.507483E-04
Nett source of R1 at patch named: OB6 (ON ) =-7.835187E-04
Nett source of R1 at patch named: OB22 (B28 ) = 1.463149E-04
Nett source of R1 at patch named: OB23 (B24 ) = 1.463148E-04
Nett source of R1 at patch named: OB24 (B25 ) = 1.463149E-04
Nett source of R1 at patch named: OB25 (B26 ) = 1.463141E-04
Nett source of R1 at patch named: OB26 (B27 ) = 1.463157E-04
Nett source of R1 at patch named: OB27 (B29 ) = 1.463148E-04
Nett source of R1 at patch named: OB28 (B30 ) = 1.463147E-04
Nett source of R1 at patch named: OB29 (B31 ) = 1.463149E-04
Nett source of R1 at patch named: OB30 (B32 ) = 1.463140E-04
Nett source of R1 at patch named: OB31 (B33 ) = 1.463156E-04
Nett source of R1 at patch named: OB32 (B34 ) = 1.463149E-04
Nett source of R1 at patch named: OB33 (B35 ) = 1.463149E-04
Nett source of R1 at patch named: OB34 (B36 ) = 1.463149E-04
Nett source of R1 at patch named: OB35 (B37 ) = 1.463140E-04
Nett source of R1 at patch named: OB36 (B38 ) = 1.463157E-04
pos. sum= 2.194723E-03 neg. sum=-2.194721E-03
nett sum= 1.862645E-09

```

```

Nett source of KE at patch named: OB3 (SAG ) =-1.972714E-04
Nett source of KE at patch named: OB4 (ARKA ) =-1.419192E-04
Nett source of KE at patch named: OB5 (SOL ) =-4.188724E-05
Nett source of KE at patch named: OB6 (ON ) =-9.903814E-05
Nett source of KE at patch named: OB22 (B28 ) = 1.392511E-05
Nett source of KE at patch named: OB23 (B24 ) = 1.392511E-05
Nett source of KE at patch named: OB24 (B25 ) = 1.392512E-05

```

EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

```

Nett source of KE at patch named: OB25 (B26 ) = 1.392504E-05
Nett source of KE at patch named: OB26 (B27 ) = 1.392519E-05
Nett source of KE at patch named: OB27 (B29 ) = 1.392510E-05
Nett source of KE at patch named: OB28 (B30 ) = 1.392511E-05
Nett source of KE at patch named: OB29 (B31 ) = 1.392511E-05
Nett source of KE at patch named: OB30 (B32 ) = 1.392503E-05
Nett source of KE at patch named: OB31 (B33 ) = 1.392519E-05
Nett source of KE at patch named: OB32 (B34 ) = 1.392511E-05
Nett source of KE at patch named: OB33 (B35 ) = 1.392512E-05
Nett source of KE at patch named: OB34 (B36 ) = 1.392512E-05
Nett source of KE at patch named: OB35 (B37 ) = 1.392503E-05
Nett source of KE at patch named: OB36 (B38 ) = 1.392519E-05
Nett source of KE at patch named: OB1 (ALTP ) = -6.442137E-08
Nett source of KE at patch named: KESOURCE = 1.028031E-03
pos. sum= 1.236908E-03 neg. sum=-4.801805E-04
nett sum= 7.567273E-04

Nett source of EP at patch named: OB3 (SAG ) = -3.207813E-02
Nett source of EP at patch named: OB4 (ARKA ) = -1.874360E-02
Nett source of EP at patch named: OB5 (SOL ) = -7.499980E-03
Nett source of EP at patch named: OB6 (ON ) = -9.227418E-03
Nett source of EP at patch named: OB22 (B28 ) = 2.818108E-03
Nett source of EP at patch named: OB23 (B24 ) = 2.818108E-03
Nett source of EP at patch named: OB24 (B25 ) = 2.818110E-03
Nett source of EP at patch named: OB25 (B26 ) = 2.818094E-03
Nett source of EP at patch named: OB26 (B27 ) = 2.818126E-03
Nett source of EP at patch named: OB27 (B29 ) = 2.818107E-03
Nett source of EP at patch named: OB28 (B30 ) = 2.818107E-03
Nett source of EP at patch named: OB29 (B31 ) = 2.818109E-03
Nett source of EP at patch named: OB30 (B32 ) = 2.818093E-03
Nett source of EP at patch named: OB31 (B33 ) = 2.818124E-03
Nett source of EP at patch named: OB32 (B34 ) = 2.818109E-03
Nett source of EP at patch named: OB33 (B35 ) = 2.818109E-03
Nett source of EP at patch named: OB34 (B36 ) = 2.818109E-03
Nett source of EP at patch named: OB35 (B37 ) = 2.818092E-03
Nett source of EP at patch named: OB36 (B38 ) = 2.818125E-03
Nett source of EP at patch named: KESOURCE = 7.044474E+00
pos. sum= 7.086745E+00 neg. sum=-6.754913E-02
nett sum= 7.019196E+00

Nett source of YPLS at patch named: OB3 (SAG ) = -1.265488E-03
Nett source of YPLS at patch named: OB4 (ARKA ) = -2.665706E-03
Nett source of YPLS at patch named: OB5 (SOL ) = -1.365856E-03
Nett source of YPLS at patch named: OB6 (ON ) = -2.934873E-03
pos. sum= 0.000000E+00 neg. sum=-8.231924E-03
nett sum=-8.231924E-03

Nett source of STAN at patch named: OB3 (SAG ) = -4.494779E-05
Nett source of STAN at patch named: OB4 (ARKA ) = -7.000507E-05
Nett source of STAN at patch named: OB5 (SOL ) = -3.806511E-05
Nett source of STAN at patch named: OB6 (ON ) = -6.848165E-05
pos. sum= 0.000000E+00 neg. sum=-2.214996E-04
nett sum=-2.214996E-04

Nett source of HTC0 at patch named: OB3 (SAG ) = -1.979674E-02
Nett source of HTC0 at patch named: OB4 (ARKA ) = -3.592761E-02
Nett source of HTC0 at patch named: OB5 (SOL ) = -1.908213E-02
Nett source of HTC0 at patch named: OB6 (ON ) = -3.772498E-02
pos. sum= 0.000000E+00 neg. sum=-1.125315E-01
nett sum=-1.125315E-01

Nett source of STRS at patch named: OB3 (SAG ) = -2.544319E-05
Nett source of STRS at patch named: OB4 (ARKA ) = -4.793898E-05
Nett source of STRS at patch named: OB5 (SOL ) = -2.613947E-05
Nett source of STRS at patch named: OB6 (ON ) = -4.628753E-05
pos. sum= 0.000000E+00 neg. sum=-1.458092E-04
nett sum=-1.458092E-04

Nett source of SKIN at patch named: OB3 (SAG ) = -1.372241E-01
Nett source of SKIN at patch named: OB4 (ARKA ) = -2.737723E-01
Nett source of SKIN at patch named: OB5 (SOL ) = -1.377236E-01
Nett source of SKIN at patch named: OB6 (ON ) = -3.719984E-01
pos. sum= 0.000000E+00 neg. sum=-9.207184E-01
nett sum=-9.207184E-01

Nett source of TEM1 at patch named: OB3 (SAG ) = -1.061713E+02
Nett source of TEM1 at patch named: OB4 (ARKA ) = -2.143637E+02
Nett source of TEM1 at patch named: OB5 (SOL ) = -1.062604E+02
Nett source of TEM1 at patch named: OB6 (ON ) = -2.378250E+02
Nett source of TEM1 at patch named: OB22 (B28 ) = 4.310665E+01
Nett source of TEM1 at patch named: OB23 (B24 ) = 4.310664E+01
Nett source of TEM1 at patch named: OB24 (B25 ) = 4.310668E+01
Nett source of TEM1 at patch named: OB25 (B26 ) = 4.310643E+01
Nett source of TEM1 at patch named: OB26 (B27 ) = 4.310691E+01
Nett source of TEM1 at patch named: OB27 (B29 ) = 4.310663E+01
Nett source of TEM1 at patch named: OB28 (B30 ) = 4.310663E+01
Nett source of TEM1 at patch named: OB29 (B31 ) = 4.310666E+01
Nett source of TEM1 at patch named: OB30 (B32 ) = 4.310642E+01
Nett source of TEM1 at patch named: OB31 (B33 ) = 4.310689E+01

```

EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

```

Nett source of TEM1 at patch named: OB32      (B34      ) = 4.310666E+01
Nett source of TEM1 at patch named: OB33      (B35      ) = 4.310666E+01
Nett source of TEM1 at patch named: OB34      (B36      ) = 4.310667E+01
Nett source of TEM1 at patch named: OB35      (B37      ) = 4.310641E+01
Nett source of TEM1 at patch named: OB36      (B38      ) = 4.310691E+01
Nett source of TEM1 at patch named: OB1       (ALTP     ) = 1.800005E+01
pos. sum= 6.645999E+02 neg. sum=-6.646204E+02
nett sum=-2.050781E-02

```

```

*****
spot values vs sweep or iteration number
IXMON=      78      IYMON=      51      IZMON=      21 TIMESTEP=      1

```

Tabulation of abscissa and ordinates...

```

ISWP      P1      U1      V1      W1      KE
1 1.000E-10 7.164E-11 7.164E-11 1.000E-10 9.217E-02
41 1.006E+00 -2.054E-03 -4.904E-03 -5.630E+00 9.377E-02
81 1.511E+00 -2.018E-03 -4.937E-03 -5.630E+00 9.377E-02
121 1.569E+00 -1.672E-03 -5.134E-03 -5.630E+00 9.377E-02
161 1.524E+00 -1.339E-03 -5.342E-03 -5.630E+00 9.377E-02
201 1.443E+00 -1.738E-03 -5.169E-03 -5.630E+00 9.377E-02
241 1.375E+00 -5.315E-04 -5.296E-03 -5.630E+00 9.377E-02
281 1.390E+00 -7.870E-04 -5.106E-03 -5.630E+00 9.377E-02
321 1.328E+00 -1.051E-03 -5.119E-03 -5.630E+00 9.377E-02
361 1.293E+00 -7.865E-04 -5.283E-03 -5.630E+00 9.377E-02
401 1.292E+00 -9.713E-04 -5.210E-03 -5.630E+00 9.377E-02
441 1.310E+00 -6.721E-04 -5.280E-03 -5.630E+00 9.377E-02
481 1.337E+00 -9.758E-04 -5.115E-03 -5.630E+00 9.377E-02
521 1.307E+00 -1.143E-03 -5.359E-03 -5.630E+00 9.377E-02
561 1.285E+00 -9.548E-04 -5.506E-03 -5.630E+00 9.377E-02
601 1.300E+00 -1.018E-03 -5.394E-03 -5.630E+00 9.377E-02
641 1.294E+00 -1.065E-03 -5.499E-03 -5.630E+00 9.377E-02
681 1.282E+00 -1.044E-03 -5.550E-03 -5.630E+00 9.377E-02
721 1.283E+00 -1.120E-03 -5.477E-03 -5.630E+00 9.377E-02
761 1.278E+00 -1.159E-03 -5.562E-03 -5.630E+00 9.377E-02
ISWP      EP      TEM1
1 1.800E+01 9.158E+01
41 1.872E+01 2.000E+01
81 1.872E+01 2.000E+01
121 1.872E+01 2.000E+01
161 1.872E+01 2.000E+01
201 1.872E+01 2.000E+01
241 1.872E+01 2.000E+01
281 1.872E+01 2.000E+01
321 1.872E+01 2.000E+01
361 1.872E+01 2.000E+01
401 1.872E+01 2.000E+01
441 1.872E+01 2.000E+01
481 1.872E+01 2.000E+01
521 1.872E+01 2.000E+01
561 1.872E+01 2.000E+01
601 1.872E+01 2.000E+01
641 1.872E+01 2.000E+01
681 1.872E+01 2.000E+01
721 1.872E+01 2.000E+01
761 1.872E+01 2.000E+01
Variable   1 = P1   2 = U1   3 = V1   4 = W1   5 = KE
Minval= 1.000E-10 -2.054E-03 -5.562E-03 -5.630E+00 9.217E-02
Maxval= 1.569E+00 7.164E-11 7.164E-11 1.000E-10 9.377E-02
Cellav= 1.270E+00 -1.105E-03 -5.012E-03 -5.348E+00 9.369E-02
Variable   6 = EP   7 = TEM1
Minval= 1.800E+01 2.000E+01
Maxval= 1.872E+01 9.158E+01
Cellav= 1.869E+01 2.358E+01
1.00 7..6.6..6.+6.6.+6.6.+6..6+.6.6+.6..6.6..6
.      1      1
0.90 +      1 1 1      1 1 1      1 1 1      1
.      2
0.80 +      2      1 1      1 1      1 1 1      1
.      2
0.70 +      1      2      2      2      2 2 2      2
.      2
0.60 +      2      2      2      2 2 2      2
.      2
0.50 +      2      2      2      2 2 2      2
.      2
0.40 +      2
.      2
0.30 +      2
.      2
0.20 +      2
.      2
0.10 +      3 3 3      3 3      3 3      3
.      3 3 3      3 3 3      3 3
0.00 6..7.7..7.+7.7.+7..7.+7.7.+7.7.+7..7.7..7
.      .2      .3      .4      .5      .6      .7      .8      .9      1.0
the abscissa is ISWP. min= 1.00E+00 max= 7.61E+02
*****

```


EK-4. (Devam) Örnek sonuç dosyası

```

9.147E-05 6.280E-01 -2.495E-01 7.319E-02 2.260E-02 4.932E+01
1.856E-04 6.296E-01 -2.918E-01 1.947E-01 7.776E-02 4.524E+01
3.285E-04 6.231E-01 4.272E-02 4.513E-01 2.061E-01 3.964E+01
5.299E-04 6.011E-01 7.720E-01 8.961E-01 3.517E-01 3.274E+01
7.992E-04 5.365E-01 9.693E-01 1.033E+00 4.907E-01 2.931E+01
1.146E-03 4.013E-01 8.353E-01 9.465E-01 6.099E-01 2.783E+01
1.579E-03 2.001E-01 5.863E-01 7.456E-01 6.934E-01 2.730E+01
2.108E-03 -1.417E-02 3.295E-01 5.210E-01 7.417E-01 2.713E+01
2.742E-03 -1.698E-01 1.146E-01 3.241E-01 7.620E-01 2.705E+01
3.489E-03 -2.112E-01 -4.678E-02 1.534E-01 7.319E-01 2.704E+01
4.358E-03 -1.424E-01 -1.638E-01 -1.054E-02 6.823E-01 2.710E+01
5.359E-03 3.199E-02 -2.421E-01 -1.830E-01 6.169E-01 2.734E+01
6.500E-03 2.808E-01 -3.017E-01 -3.629E-01 5.038E-01 2.784E+01
7.790E-03 6.021E-01 -3.675E-01 -5.393E-01 3.010E-01 2.851E+01
9.236E-03 9.399E-01 -4.799E-01 -6.842E-01 0.000E+00 2.936E+01
1.085E-02 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 2.000E+01
1.215E-02 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 2.000E+01
1.277E-02 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 2.000E+01
1.297E-02 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00 2.000E+01

```

```

*****
*****

```

```

*****
SATLIT RUN NUMBER = 1 ; LIBRARY REF.= 0
Run completed at 14:59:40 on Thursday, 16 June 2011
MACHINE-CLOCK TIME OF RUN = 8013 SECONDS.
TIME/(VARIABLES*CELLS*TSTEPS*SWEEPS*ITS) = 8.013E+03
*****

```

EK-5. Hata analizi

Deneysel çalışma kapsamında bir dizi büyüklüğün ölçümleri yapılır ve daha sonra bu ölçümler deneyden arzu edilen başka büyüklüklerin hesaplanmasında kullanılır. Hesaplanması arzu edilen büyüklük R ve bu büyüklüğe etki eden n adet bağımsız değişkenler $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ise R aşağıdaki gibi ifade edilebilir [99].

$$R=R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

Her bir bağımsız değişkene ait hata miktarı $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ ve R büyüklüğünün hata miktarı W_R ,

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} W_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} W_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.1)$$

şeklinde ifade edilir. Deneylerde ölçülen büyüklüklerin hata oranları aşağıda verildiği gibi hesaplanmıştır.

Sıcaklık farkının hesaplanmasında yapılan hata oranı

$$\Delta T = T_1 - T_2 \quad (5.2)$$

$$\frac{W_{\Delta T}}{\Delta T} = \left[\left(\frac{W_{T_1}}{\Delta T} \right)^2 + \left(\frac{W_{T_2}}{\Delta T} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.3)$$

Görüntü alanının hesaplanmasında yapılan hata oranı,

$$A_p = LxB \quad (5.4)$$

EK-5. (Devam) Hata analizi

$$\frac{W_{Ap}}{A_p} = \left[\left(\frac{W_L}{L} \right)^2 + \left(\frac{W_B}{B} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.5)$$

Elektriksel olarak üretilen ısı q_e , zorlanmış taşınım q_j , radyasyon q_r , doğal taşınım q_f gibi kısaltmalar yapılarak aşağıdaki hata oranları hesaplanmıştır.

$$q_e = q_j + q_r + q_f \quad (5.6)$$

$$\frac{Wq_e}{q_e} = \left[\left(\frac{Wq_j}{q_j} \right)^2 + \left(\frac{Wq_r}{q_r} \right)^2 + \left(\frac{Wq_f}{q_f} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.7)$$

Doğal konveksiyonla çevreye transfer edilen ısı, q_f 'nin hesaplanmasında yapılan hata oranı,

$$q_f = h_f(T - T_s) \quad (5.8)$$

$$\frac{Wq_f}{q_f} = \left[\left(\frac{Wh_f}{h_f} \right)^2 + \left(\frac{WT}{T} \right)^2 + \left(\frac{WT_s}{T_s} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.9)$$

Işınım ile olan kaybolan ısı akımının hesaplanmasındaki hata oranı,

$$q_r = (\varepsilon_t + \varepsilon_b)\sigma(T^4 - T_s^4) \quad (5.10)$$

EK-5. (Devam) Hata analizi

$$\frac{Wq_r}{q_r} = \left[\left(\frac{4T^3}{T^4 - T_s^4} W_{T_s} \right)^2 + \left(\frac{4T_s^3}{T^4 - T_s^4} W_T \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.11)$$

Yerel ısı transfer katsayısının hesaplanmasında yapılan hata oranı,

$$h = \frac{q_j}{(T - T_j)} \quad (5.12)$$

$$\frac{W_h}{h} = \left[\left(\frac{W_{q_j}}{q_j} \right)^2 + \left(\frac{W_T}{T} \right)^2 + \left(\frac{W_{T_j}}{T_j} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.13)$$

Nusselt sayısının hesaplanmasında yapılan hata oranı,

$$Nu = \frac{hd}{k_a} \quad (5.14)$$

$$\frac{W_{Nu}}{Nu} = \left[\left(\frac{W_h}{h} \right)^2 + \left(\frac{W_d}{d} \right)^2 + \left(\frac{W_{k_a}}{k_a} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.15)$$

Reynolds sayısının hesaplanmasında yapılan hata oranı,

$$Re = \frac{W_{jet} d}{\nu} \quad (5.16)$$

$$\frac{W_{Re}}{Re} = \left[\left(\frac{W_w}{w} \right)^2 + \left(\frac{W_d}{d} \right)^2 + \left(\frac{W_\nu}{\nu} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (5.17)$$

EK-6. Hata analizi ile ilgili örnek hesaplama

Hesaplamalar için üretici kataloglarında ve ölçüm sistemlerinde verilen hata oranları Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Ölçüm sistemlerinde verilen hata oranları

Sıcaklık ölçümlerinde	$\pm\% 2,5$
Hız ölçümlerinde kullanılan LDA ölçüm sisteminde	$\pm \% 2$
Boyut ölçümlerinde	$\pm 0,5 \text{ mm}$
Voltaj ölçümünde	$\pm\% 1$
Akım ölçümlerinde	$\pm\% 0,1$

Verilen bu belirsizlik oranları kullanılarak deneylerde hesaplanan deney verileri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Hata analizi için yapılan örnek hesaplama

Çarpma plakası eni	$B=0,12\text{m}$
Çarpma plakası boyu	$L= 0,18\text{m}$
Jet giriş hızı	$W_j=18,5\text{m/s}$
Ortalama folyo yüzey sıcaklığı	$T=33,8^\circ\text{C}$
Jet giriş sıcaklığı	$T_{\text{jet}}=21,1^\circ\text{C}$
Ortam sıcaklığı	$T_s=24^\circ\text{C}$
Isıtıcıya verilen toplam güç	$Q_e=27,55\text{W}$
Doğal konveksiyonla olan kayıp	$Q_f=0,24 \text{ W}$
Yan yüzeylerde iletim ile olan kayıp	İhmal edildi
Işınım ile olan kayıp	$Q_r=1,25\text{W}$
Taşınım ile akışkana aktarılan	$Q_j=26,06\text{W}$
Ortalama Nusselt sayısı	$Nu=16,84$
Reynolds sayısı	$Re=6000$

EK-6. (Devam) Hata analizi ile ilgili örnek hesaplama

Çizelge 6.2’de verilen deney verileri kullanılarak yapılan hata oranları aşağıda hesaplanmıştır.

Sıcaklık farkının hesaplanmasında yapılan hata oranı ve miktarı,

$$\Delta T = T - T_j$$

$$\frac{W_{\Delta T}}{\Delta T} = \left[\left(\frac{W_T}{\Delta T} \right)^2 + \left(\frac{W_{T_j}}{\Delta T} \right)^2 \right]^{1/2} = \left[\left(\frac{33,8 * 0,025}{12,7} \right)^2 + \left(\frac{21,1 * 0,025}{12,7} \right)^2 \right]^{1/2} = 0,078$$

$$W_{\Delta T} = 0,078 * 12,7 = 0,99^\circ C$$

Görüntü alanının hesaplanmasında yapılan hata oranı ve miktarı

$$A_p = LxB$$

$$\frac{W_{A_p}}{A_p} = \left[\left(\frac{W_L}{L} \right)^2 + \left(\frac{W_B}{B} \right)^2 \right]^{1/2} = \left[\left(\frac{0,0005}{0,18} \right)^2 + \left(\frac{0,0005}{0,12} \right)^2 \right]^{1/2} = 0,005$$

$$W_{A_p} = 0,005 * 0,0216 = 0,00011m^2$$

Folyoya verilen toplam ısı akımının hesaplanmasında yapılan hata oranı ve miktarı,

$$\frac{W_{q_e}}{q_e} = 0,02$$

$$W_{q_e} = 0,02 * 27,55 = 0,55$$

EK-6. (Devam) Hata analizi ile ilgili örnek hesaplama

Doğal konveksiyonla çevreye transfer edilen ısı, q_f 'nin hesaplanmasında yapılan hata oranı,

$$q_f = h_f(T - T_s) \quad (5.8)$$

$$\frac{Wq_f}{q_f} = \left[\left(\frac{Wh_f}{h_f} \right)^2 + \left(\frac{WT}{T} \right)^2 + \left(\frac{WT_s}{T_s} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\left[(0)^2 + \left(\frac{33,8 * 0,025}{33,8} \right)^2 + \left(\frac{24 * 0,025}{24} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\frac{Wq_f}{q_f} = 0,035$$

$$Wq_f = 0,008$$

Folyonun yan yüzeylerinden çevreye transfer edilen ısı miktarının hesaplanmasında yapılan hata oranı ve miktarı ihmal edilmiştir.

Işınım ile olan kaybolan ısı akımının hesaplanmasındaki hata oranı ve miktarı

$$q_r = (\varepsilon_t + \varepsilon_b)\sigma(T^4 - T_s^4)$$

$$\frac{Wq_r}{q_r} = \left[\left(\frac{4T^3}{T^4 - T_s^4} W_{T_s} \right)^2 + \left(\frac{4T_s^3}{T^4 - T_s^4} W_T \right)^2 \right]^{1/2}$$

EK-6. (Devam) Hata analizi ile ilgili örnek hesaplama

$$\left[\left(-\frac{4 * 306,8^3}{306,8^4 - 297^4} 306,8 * 0,025 \right)^2 + \left(-\frac{4 * 297^3}{306,8^4 - 297^4} 297 * 0,025 \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\frac{Wq_r}{q_r} = 1,092$$

$$Wq_r = 1,25 * 1,092 = 1,37$$

Akışkana verilen q_j miktarının hesaplanmasında yapılan hata miktarı oranı ve miktarı

$$Q_j = Q_e - (Q_r + Q_f)$$

$$Q_j = 27,55 - (1,25 + 0,24)$$

$$Q_j = 26,0W$$

$$\frac{WQ_j}{Q_j} = \left[\left(\frac{WQ_e}{Q_j} \right)^2 + \left(\frac{WQ_r}{Q_j} \right)^2 + \left(\frac{WQ_f}{Q_j} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\frac{WQ_j}{Q_j} = 0,056$$

$$WQ_j = 0,056 * 26 = 1,46$$

Taşıyım ile ısı transferi katsayısının hesaplanmasında yapılan hata oranı,

$$h = \frac{Q_j}{A\Delta T}$$

$$\frac{W_h}{h} = \left[\left(\frac{W_{Q_j}}{Q_j} \right)^2 + \left(\frac{W_A}{A} \right)^2 + \left(\frac{W(T - T_s)}{(T - T_s)} \right)^2 \right]^{1/2}$$

EK-6. (Devam) Hata analizi ile ilgili örnek hesaplama

$$\frac{W_h}{h} = 0,096$$

Nusselt sayısının hesaplanmasında yapılan hata oranı, lazerle üretilen jet boyutundaki belirsizlik 0,1 mm alınarak

$$Nu = \frac{hd}{k_a}$$

$$\begin{aligned} \frac{W_{Nu}}{Nu} &= \left[\left(\frac{W_h}{h} \right)^2 + \left(\frac{W_d}{d} \right)^2 + \left(\frac{W_{k_a}}{k_a} \right)^2 \right]^{1/2} = \\ &= \left[(0,096)^2 + \left(\frac{0,0001}{0,05} \right)^2 + (0)^2 \right]^{1/2} = 0,098 \end{aligned}$$

Reynolds sayısının hesaplanmasında yapılan hata miktarı:

$$Re = \frac{W_{jet} d}{\nu}$$

$$\begin{aligned} \frac{W_{Re}}{Re} &= \left[\left(\frac{W_{W_{jet}}}{W_{jet}} \right)^2 + \left(\frac{W_d}{d} \right)^2 + \left(\frac{W_{\nu}}{\nu} \right)^2 \right]^{1/2} = \\ &= \left[\left(\frac{18,5 * 0,02}{18,5} \right)^2 + \left(\frac{0,0001}{0,05} \right)^2 + (0)^2 \right]^{1/2} = 0,0201 \end{aligned}$$

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇALIŞKAN Sinan
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 05.01.1977 ERZURUM
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 582 74 00
 Faks : 0 (312) 231 74 32
 e-mail : scaliskan@gazi.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Atatürk Üniversitesi /Mak.Müh.	2003
Lisans	Atatürk Üniversitesi / Mak. Müh.	2000
Lise	Atatürk Lisesi	1994

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-2006	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2006-2007	Hitit Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2007-2011	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Caliskan, S., Baskaya, S., “Experimental investigation of impinging jet array heat transfer from a surface with V-shaped and convergent-divergent ribs”, *International Journal of Thermal Science*, 59 234-246 (2012).
2. Caliskan, S., Baskaya, S., “Velocity field and turbulence effects on heat transfer characteristics from surfaces with V-shaped ribs”, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 55 6260-6277 (2012).
3. Kotcioglu, I., Cansiz A., Caliskan, S., Baskaya, S., ‘Transient turbulent flow and heat transfer phenomena in plate-fin type cross flow heat exchanger’, *Heat Transfer Engineering* , 32-1 20-32 (2011).
4. Kotcioglu, I., Caliskan, S., Baskaya, S., “Experimental study on the heat transfer and pressure drop of a cross-flow heat exchanger with different pin-fin arrays”, *Heat and Mass Transfer* , 47-9 1133-1142 (2011).
5. Caliskan, S., Altunok., T, Baskaya, S., Güngönes, H. M., “Numerical analysis of a commercial display cabinet with air curtain”, *J. Fac. Eng. Arch. Gazi ünv.*, 26-2 415-425 (2011).
6. Kotcioglu, I., Caliskan, S., Cansiz, A., Baskaya, S., “Second laws analysis and heat transfer in a cross-flow heat exchanger with a new winglet-type vortex generator”, *Energy*, 35-9 3686-3695 (2010).
7. Kotcioglu, I., Caliskan, S., Manay, E., “Cooling of a CPU with heat pipes using different refrigeration fluids”, *Journal of Thermal Science and Technology* , 29-2 109-116 (2009).
8. Kotcioglu, I., Caliskan, S., Ozdemir, V., Baskaya, S., “Sizing problem for a cross flow heat exchanger with wing-type vortex generator”, *Heat and Mass Transfer*, 45-10 1239-1246 (2009).
9. Kotcioglu, I., Caliskan, S., Ayhan, T., Baskaya, S., “An experimental investigation of heat transfer enhancement in a rectangular duct with plate fins, *Heat Transfer Research*, 40-3 263-280 (2009).
10. Kotcioglu, I., Caliskan, S., “Experimental investigation of a cross-flow heat exchanger with wing-type vortex generators”, *Journal of Enhanced Heat Transfer* , 15:2 113-127 (2008).

11. Kotcioglu., I, Caliskan., S, Zırzakıran, M., “Heat transfer in a cross-flow heat recovery ventilator with fin”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25 (1-2) 272 – 286 (2009).
12. Caliskan, S., Kotcioglu, I., Manay, E., “Time dependent turbulent flow and heat transfer characteristics in plate-fin type cross flow heat exchanger”, *Global Conference on Global Warming*, Istanbul, July 6-10, (2008).
13. Caliskan, S., Kotcioglu, I., Manay, E., “Heat transfer and exergy loss in a cross flow heat recovery unit with fin”, *Global Conference on Global Warming*, Istanbul, July 6-10 (2008).
14. Kotcioglu, I., Caliskan, S., Baskaya, S., “Farklı geometriye sahip kanatcıkların basınç düşüşü ve ısı performanslarının deneysel olarak incelenmesi” *17. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Sivas 24-27 Haziran (2009).
15. Caliskan, S., Yilmazoglu, M. Z., Atılgan, I., Baskaya, S., “Experimental investigation of thermal comfort inside an office room”, *Clima 2010, 10th Rehva a World Congress*, Antalya, (2010).
16. Caliskan,S., Baskaya, S., “Çarpmalı akışkan jetlerin en-boy oranı değişiminin ısı transferine etkisinin deneysel olarak incelenmesi”, *18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Zonguldak 7-10 Eylül (2011).
17. Caliskan,S., Baskaya, S., “Yüzey ısı akısı değişiminin akışkan jetler üzerindeki etkisinin deneysel olarak incelenmesi” *18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Zonguldak 7-10 Eylül (2011).
18. Caliskan.,S, Baskaya., S. “Experimental and numerical investigation of impinging jet array heat transfer on a smooth and v-shaped ribbed surface”, *7th International Symposium on Turbulence, Heat and Mass Transfer* Palermo Sicily ITALY,565-568 (2012).

Projeler

1. Başkaya, Ş., S. Çalışkan “Dizili hava jetleri ile soğutulan plakalardan olan ısı transferinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi”, Gazi Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi- 06/2009-08, 2010-2011 (15,000TL).

2. Başkaya, Ş., S. Çalışkan “Farklı geometrilere sahip hava jetleri ile soğutulan plakalardan olan ısı transferinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi, Gazi Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi-06/2010-45, 2011-2012. (15,000TL)
3. Başkaya, Ş., S. Çalışkan “Değişik çarpan akışkan jetleri ile pürüzlü yüzeylerde ısı transferinin deneysel ve nümerik incelenmesi”, TÜBİTAK 1001 Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projesi 109M521, 2010-2012 (132,000TL)