

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**EĞİMLİ LEVHALARLA SINIRLANDIRILMIŞ ÇARPAN JET AKIŞINDA
AKIŞ VE ISI TRANSFERİ KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hakan KINAY

HAZİRAN 2018
TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNA MÜHENDİSİ ANABİLİM DALI

**EĞİMLİ LEVHALARLA SINIRLANDIRILMIŞ ÇARPAN JET AKIŞINDA
AKIŞ VE ISI TRANSFERİ KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Hakan KINAY

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“MAKİNA YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15.05.2018
Tezin Savunma Tarihi : 19.06.2018**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Yücel ÖZMEN

Trabzon 2018

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Makina Mühendisliği Anabilim Dalında
Hakan KINAY Tarafından Hazırlanan**

**EĞİMLİ LEVHALARLA SINIRLANDIRILMIŞ ÇARPAN JET AKIŞINDA AKIŞ VE ISI
TRANSFERİ KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**

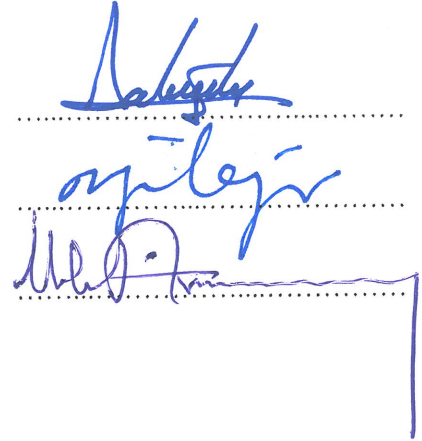
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 29 / 05 / 2018 gün ve 1755 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ali Can DALOĞLU

Üye : Doç. Dr. Yücel ÖZMEN

Üye : Doç. Dr. İbrahim ATMACA

The image shows three handwritten signatures in blue ink, each written on a horizontal dotted line. The signatures are: 1. A signature that appears to be 'Ali Can Daloglu'. 2. A signature that appears to be 'Yucel Ozmen'. 3. A signature that appears to be 'Ibrahim Atmaca'. The signatures are written in a cursive style.

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Türbülanslı çarpan jet akışları konusunda yapılan çalışmaların büyük bir kısmı ısı transferi üzerinedir. Fakat bu tip akışların tam olarak anlaşılması için jetin akış karakteristikleri ve akış alanındaki basınç dağılımları da belirlenmelidir. Bu tez kapsamında türbülanslı çarpan slot jet akışının eğimli levhalarla sınırlandırılmış konfigürasyonu farklı parametreler için deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir.

Deney düzeneklerinin hazırlanmasındaki özverili yardımlarından dolayı KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü Takım Tezgahları Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim. Tez kapsamındaki deneyler KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü Akışkanlar ve Hidrolik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple KTÜ Makina Mühendisliği Bölümüne de değerli katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu uzun çalışma sürecinde bilgi ve tecrübesinden faydalandığım, önüme çıkan engelleri aşmamda yardımını esirgemeyen, kendisini rol model edindiğim saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Yücel ÖZMEN'e şükranlarımı arz ederim.

Bu tezi, "okumanın sonu olmadığını" şiar edinmeme vesile olan babama ve hayattaki en büyük şansım olan anneme ithaf ederim.

Hakan KINAY
Trabzon, 2018

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Eğimli Levhalarla Sınırlandırılmış Çarpan Jet Akışında Akış ve Isı Transferi Karakteristiklerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Yücel ÖZMEN’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

19/06/2018

Hakan KINAY

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
SEMBOLLER DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Araştırması	2
1.3. Çarpan Jetler.....	5
1.3.1. I. Bölge: Serbest Jet Bölgesi.....	6
1.3.2. II. Bölge: Çarpma Bölgesi.....	6
1.3.3. III. Bölge: Duvar Jeti Bölgesi.....	6
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	8
2.1. Deneysel Çalışma	8
2.1.1. Deney Düzeneği	8
2.1.2. Basınç Ölçümü	11
2.2. Sayısal Çalışma	13
2.2.1. Hareket Denklemleri	14
2.2.2. Standard k-epsilon Model	15
2.2.3. Standard k-omega Model	16
2.2.4. Kato-Launder Modifikasyonu	16
2.2.5. Çözüm Yöntemi	18
2.2.6. Başlangıç ve Sınır Şartları.....	18
2.2.7. Ağ Yapısı.....	20
2.2.8. Üç Boyutlu Çözüm Etkisi.....	22
2.2.9. Türbülans Modellerinin Karşılaştırılması	23
3. BULGULAR	25
3.1. Hesaplanmış Akış Çizgileri.....	25
3.2. Basınç Dağılımları.....	28

3.2.1.	$\theta = 15^\circ$ Eğimli Levhalarla Sınırlandırılmış Jet.....	28
3.2.2.	$\theta = 30^\circ$ Eğimli Levhalarla Sınırlandırılmış Jet.....	35
3.2.3.	$\theta = 45^\circ$ Eğimli Levhalarla Sınırlandırılmış Jet.....	42
3.3.	Nusselt Dağılımları.....	49
3.3.1.	$\theta = 15^\circ$ Eğimli Levhalarla Sınırlandırılmış Jet.....	49
3.3.2.	$\theta = 30^\circ$ Eğimli Levhalarla Sınırlandırılmış Jet.....	53
3.3.3.	$\theta = 45^\circ$ Eğimli Levhalarla Sınırlandırılmış Jet.....	56
4.	TARTIŞMA.....	60
4.1.	Levhalar Arası Açıklığın Etkisi.....	60
4.1.1.	Basınç Dağılımları.....	60
4.1.2.	Nusselt Dağılımları.....	65
4.2.	Sınırlayıcı Levhalarda Eğim Açısı Etkisi.....	70
4.2.1.	Basınç Dağılımları.....	70
4.2.2.	Nusselt Dağılımları.....	74
5.	SONUÇLAR	78
6.	ÖNERİLER	80
7.	KAYNAKLAR.....	81
8.	EKLER	84
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

EĞİMLİ LEVHALARLA SINIRLANDIRILMIŞ ÇARPAN JET AKIŞINDA AKIŞ VE ISI TRANSFERİ KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Hakan KINAY

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Yücel ÖZMEN
2018, 83 Sayfa, 4 Sayfa Ek

Bu çalışmada, farklı eğim açlarına sahip levhalarla sınırlandırılmış düz bir yüzeye çarpan slot jet akışında akış ve ısı transferi karakteristikleri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmanın deneysel kısmında, sınırlayıcı levha eğim açısının $\theta = 15^\circ, 30^\circ$ ve 45° değerleri için, $0.5 \leq H/W \leq 6$ levhalar arası açıklık ve $10000 \leq Re \leq 30000$ Reynolds sayısı aralıklarında çarpma levhası ve sınırlayıcı levhalar üzerinde yüzey basıncı ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen basınç dağılımlarının Reynolds sayısına, sınırlayıcı levha eğim açısına ve çarpma levhası açıklığına göre değişimleri incelenmiştir. Basınç dağılımları Reynolds sayısından bağımsız olurken, sınırlayıcı levha eğim açısından ve levhalar arası açıklıktan büyük ölçüde etkilenmektedir. Çarpma levhası üzerindeki basınç dağılımlarında, levhalar arası küçük açıklıklarda, durma noktasındaki piklere göre daha küçük olan ikincil pikler ortaya çıkmaktadır.

Çalışmanın sayısal kısmında, $\theta = 15^\circ, 30^\circ$ ve 45° sınırlayıcı levha eğim açılarındaki akış alanları, Re sayısının 20000 değeri için, $0.5 \leq H/W \leq 6$ levhalar arası açıklık aralığında, sayısal olarak çözülmüştür. FLUENT yazılımı ile Standard k-epsilon ve Standard k-omega türbülans modellerinin Kato Launder modifikasyonu kullanılarak gerçekleştirilen iki boyutlu sayısal çözümlerden sırasıyla hesaplanmış akış alanları, basınç dağılımları ve Nusselt dağılımları elde edilmiştir. Çarpma levhası üzerinde, sınırlayıcı levhanın küçük eğim açılarındaki ve levhalar arası küçük açıklıklarda, Nusselt dağılımlarında ikincil pikler oluşmaktadır. $H/W \leq 1$ açıklıklarda çarpma levhası uçlarındaki Nusselt sayıları yeniden artmaktadır. Standard k-epsilon türbülans modeli basınç dağılımlarını, Standard k-omega türbülans modeli ise Nusselt dağılımlarını deneysel verilere daha yakın hesaplamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Slot Jet, Eğimli Sınırlayıcı Levha, Basınç Katsayısı, Nusselt dağılımı, İkincil Pik, Türbülans Modeli.

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF FLOW AND HEAT TRANSFER CHARACTERISTICS FOR
IMPINGING SLOT JETS CONFINED WITH INCLINED PLATES

Hakan KINAY

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Yücel ÖZMEN
2018, 83 Pages, 4 Pages Appendix

In this study, flow and heat transfer characteristics were investigated experimentally and numerically in slot jet flow that confined with different inclination and impinge a flat surface. In experimental part of the work, surface pressure measurement were made on impingement and confinement plates for confinement plate inclination of $\theta = 15^\circ, 30^\circ$ and 45° values, $0.5 \leq H/W \leq 6$ spacing between plates and Reynolds number of $10000 \leq Re \leq 30000$ ranges. The variations of pressure distributions were investigated according Reynolds number, confinement plate inclination and impingement plate spacing. While pressure distribution is independent of Reynolds number, they have been affected from confinement plate inclination angle and spacing between plates. In pressure distributions on impingement plate, secondary peaks appear smaller than at stop point when small spacing between plates.

In the numerical part of the work, the flow fields at the inclination angle $\theta = 15^\circ, 30^\circ$ and 45° are numerically solved in the range of $0.5 \leq H/W \leq 6$ plates for the 20000 values of Reynolds number. Two dimensional numerical solutions were made with FLUENT software. The Kato Launder modification of the standard k epsilon and k omega turbulence models was used as the turbulence model in the numerical study. The calculated flow areas, pressure distributions and Nusselt distributions are obtained from two dimensional numerical solutions respectively. Secondary peaks are formed in the Nusselt distributions when at small inclination angles of confinement plate and small spacing between plates. In the $H/W \leq 1$ spacings, Nusslet numbers at the ends of the impinging plate are increased again. The standard k-epsilon turbulence model calculates the pressure distributions and the standard k-omega model calculates the Nusselt distributions closer to the experimental data.

Key Words: Slot Jet, Inclined Plate, Pressure Coefficient, Nusselt distribution, Secondary Peak, Turbulence Model.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Çarpma jet akış alanı	5
Şekil 2.1. Düz bir yüzeye çarpma slot jet deney düzeneği (Şematik gösterim)	9
Şekil 2.2. Düz bir yüzeye çarpma slot jet deney düzenekleri (Fotoğraf gösterim)	9
Şekil 2.3. Eğimli levhalarla sınırlanmış çarpma slot jet sistemi	11
Şekil 2.4. Basınç ölçme sistemi	12
Şekil 2.5. a) Setra 239 model basınç ölçer, b) Scanning valfler	13
Şekil 2.6. Akış alanı geometrisi	19
Şekil 2.7. Artıkların iterasyon sayısı ile değişimi	20
Şekil 2.8. Ağ yoğunluğunun çözüm üzerindeki etkisi	21
Şekil 2.9. Akış alanındaki tipik bir ağ düzeni	21
Şekil 2.10. Çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	22
Şekil 2.11. Çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	23
Şekil 2.12. Çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları	24
Şekil 3.1. $\theta = 15^\circ$ ve $Re=20000$ için hesaplanmış akış çizgileri	26
Şekil 3.2. $\theta = 30^\circ$ ve $Re=20000$ için hesaplanmış akış çizgileri	27
Şekil 3.3. $\theta = 45^\circ$ ve $Re=20000$ için hesaplanmış akış çizgileri	28
Şekil 3.4. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=0.5$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	29
Şekil 3.5. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=1$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	30
Şekil 3.6. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=2$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	30
Şekil 3.7. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=4$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	31
Şekil 3.8. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=6$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	31
Şekil 3.9. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=0.5$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları	33
Şekil 3.10. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=1$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları	33
Şekil 3.11. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=2$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları	34
Şekil 3.12. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=4$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları	34

Şekil 3.13.	$\theta = 15^\circ$ ve $H/W=6$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları	35
Şekil 3.14.	$\theta = 30^\circ$ ve $H/W=0.5$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	36
Şekil 3.15.	$\theta = 30^\circ$ ve $H/W=1$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	37
Şekil 3.16.	$\theta = 30^\circ$ ve $H/W=2$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	37
Şekil 3.17.	$\theta = 30^\circ$ ve $H/W=4$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	38
Şekil 3.18.	$\theta = 30^\circ$ ve $H/W=6$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	38
Şekil 3.19.	$\theta = 30^\circ$ ve $H/W=0.5$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları	40
Şekil 3.20.	$\theta = 30^\circ$ ve $H/W=1$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları	40
Şekil 3.21.	$\theta = 30^\circ$ ve $H/W=2$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları	41
Şekil 3.22.	$\theta = 30^\circ$ ve $H/W=4$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları	41
Şekil 3.23.	$\theta = 30^\circ$ ve $H/W=6$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları	42
Şekil 3.24.	$\theta = 45^\circ$ ve $H/W=0.5$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	43
Şekil 3.25.	$\theta = 45^\circ$ ve $H/W=1$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	44
Şekil 3.26.	$\theta = 45^\circ$ ve $H/W=2$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	44
Şekil 3.27.	$\theta = 45^\circ$ ve $H/W=4$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	45
Şekil 3.28.	$\theta = 45^\circ$ ve $H/W=6$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	45
Şekil 3.29.	$\theta = 45^\circ$ ve $H/W=0.5$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları	47
Şekil 3.30.	$\theta = 45^\circ$ ve $H/W=1$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları	47
Şekil 3.31.	$\theta = 45^\circ$ ve $H/W=2$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları	48
Şekil 3.32.	$\theta = 45^\circ$ ve $H/W=4$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları	48

Şekil 3.33.	$\theta = 45^\circ$ ve $H/W=6$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları	49
Şekil 3.34.	$\theta = 15^\circ$ ve $H/W=0.5$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları	50
Şekil 3.35.	$\theta = 15^\circ$ ve $H/W=1$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları	51
Şekil 3.36.	$\theta = 15^\circ$ ve $H/W=2$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları	51
Şekil 3.37.	$\theta = 15^\circ$ ve $H/W=4$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları	52
Şekil 3.38.	$\theta = 15^\circ$ ve $H/W=6$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları	52
Şekil 3.39.	$\theta = 30^\circ$ ve $H/W=0.5$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları	54
Şekil 3.40.	$\theta = 30^\circ$ ve $H/W=1$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları	54
Şekil 3.41.	$\theta = 30^\circ$ ve $H/W=2$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları	55
Şekil 3.42.	$\theta = 30^\circ$ ve $H/W=4$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları	55
Şekil 3.43.	$\theta = 30^\circ$ ve $H/W=6$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları	56
Şekil 3.44.	$\theta = 45^\circ$ ve $H/W=0.5$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları	57
Şekil 3.45.	$\theta = 45^\circ$ ve $H/W=1$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları	57
Şekil 3.46.	$\theta = 45^\circ$ ve $H/W=2$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları	58
Şekil 3.47.	$\theta = 45^\circ$ ve $H/W=4$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları	58
Şekil 3.48.	$\theta = 45^\circ$ ve $H/W=6$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları	59
Şekil 4.1.	Çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	61
Şekil 4.2.	Sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları.....	63
Şekil 4.3.	Çarpma levhası üzerinde k-epsilon ile hesaplanmış Nusselt dağılımları	66
Şekil 4.4.	Çarpma levhası üzerinde k-omega ile hesaplanmış Nusselt dağılımları	68
Şekil 4.5.	Çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları	70
Şekil 4.6.	Sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları.....	72

Şekil 4.7.	Çarpma levhası üzerinde k-epsilon ile hesaplanmış Nusselt dağılımları	74
Şekil 4.8.	Çarpma levhası üzerinde k-omega ile hesaplanmış Nusselt dağılımları	76



SEMBOLLER DİZİNİ

Re	: Reynolds sayısı
Nu	: Nusselt sayısı
k	: Türbülans kinetik enerjisi [m^2/s^2]
ε	: Türbülans kinetik enerjisinin yayılma hızı [m^2/s^3]
ω	: Özgül yutulma miktarı [s^{-1}]
S	: Kaynak terimi
Ω	: Vortisite terimi
P	: Basınç [N/m^2]
h	: Isı taşınım katsayısı [$Wm^{-2}K^{-1}$]
H	: Levhalar arası açıklık [m]
L	: Slot uzunluğu [m]
θ	: Eğim açısı [$^{\circ}$]
W	: Slot genişliği [m]
C_p	: Basınç katsayısı
ΔP	: Çarpma yüzeyindeki basınç ile atmosfer basıncı arasındaki fark [N/m^2]
U_0	: Lüle çıkış hızı [m/s]
ρ	: Yoğunluk [kg/m^3]
x	: Yatay koordinat
y	: Dikey koordinat
T_{levha}	: Çarpma levhası sıcaklığı [K]
T_{jet}	: Ortam sıcaklığı [K]
τ_{ij}	: Viskoz gerilme tensörü
μ	: Dinamik viskozite [$kg.s/m^2$]
ν	: Kinematik viskozite [m^2s^{-1}]
μ_t	: Türbülans viskozitesi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Doğada meydana gelen fiziksel olayların birçoğunda, akışkan hareketleri etkili olmaktadır. Akışkanlar, hareketleri sırasında katı veya başka bir akışkan ortamla etkileşim içinde olmakta ve bu hareketler sonucunda ortamlar arasında kütle ve enerji geçişi meydana gelmektedir. Akışkan-katı yüzey etkileşiminin bir örneği olan ve huzme akışı olarak da adlandırılan jet tipi akışlarla uygulamada çok sıklıkla karşılaşmaktadır. Jet tipi akışların uygulamada yaygın kullanılması araştırmacıların bu akış tipine yoğun ilgi göstermesine sebep olmaktadır. Bu tip akışları endüstriyel ve fiziksel açıdan değerlendirmek mümkündür.

Endüstride, yüksek oranda kütle ve ısı geçişi elde etmek için kullanılan yöntemlerden birisi çarpan jet akışlarıdır. Çarpan jetler herhangi bir geometrideki lüleden çıkan akışkanın bir yüzeye çarpması sonucu elde edilmektedir. Bu akış tipinin yüksek oranda kütle ve ısı geçişi sağlamanın yanında, ısı transferi oranının kontrol edilmesi, jet hızının ayarlanması ve lüle boyutlarının ve geometrisinin değiştirilmesi gibi faktörler de bu akış tipinin tercih edilmesinde etkili olmaktadır. Çarpan jet akışı ısıtma soğutma ve kurutma işlemlerinde uygulanan en eski ve en etkin tekniklerden biridir. Elektronik cihazların soğutulması, cam, plastik ve metal malzemelerin yüzeylerinin işlenmesi, uçak kanatlarında oluşan buzlanmanın önlenmesi, türbin kanatlarının soğutulması ile tekstil, kağıt ve film gibi malzemeler ve çeşitli gıda ürünlerinin kurutulması en önemli endüstriyel uygulamalar arasındadır.

Çarpan jet akışları, türbülans modellerinin hassasiyetlerinin denenmesinde çokça tercih edilen bir akış tipidir. Çarpan jet akışlarında serbest jet bölgesi, çarpma bölgesi ve duvar jet bölgesi olarak adlandırılan ve farklı fiziksel özellikler gösteren üç akış bölgesi meydana gelmektedir. Bu bölgelerde gözlemlenen büyük ölçekli girdap yapıları, akış alanında meydana gelen kararsızlıklar ve kuvvetli yön değiştirmeye bağlı akışın üç boyutlu özellik göstermesi, durma noktası ve duvar jet akışı arasındaki geçişte gelişen türbülans etkisi ve çevre akışkanın akış ortamına girişi türbülans modellemede önemli olan fiziksel etkilerdir.

Jet akışlarında akış alanını ve dolayısıyla ısı transferini etkileyen birçok faktör mevcuttur. Bu faktörlerden bazıları, jet çıkış çapı, lüle geometrisi, akışın hızı ve türbülans şiddeti, lüle ve çarpma levhası arasındaki açıklık, çarpma levhasının geometrisi, çarpma levhası ve ortam sıcaklıkları şeklindedir. Ayrıca jetler, çevreden akışkan girişini önlemek amacıyla çıkış düzlemine yerleştirilen levha ile sınırlandırılabilir. Bu tip jet akışlarına sınırlandırılmış (confined) jet akışı denilmektedir. Akışın sınırlandırılmış olması akış alanını ve ısı transferini büyük ölçüde etkilemektedir.

Literatürde jet akışları ile ilgili olarak gerçekleştirilen çalışmalar ağırlıklı olarak ısı transferi üzerine yoğunlaşmıştır. Akış karakteristiklerinin ve özellikle çarpma levhası ve sınırlayıcı eğimli levhalar üzerindeki basınç dağılımlarının belirlenmesine yönelik çalışmalar oldukça az sayıdadır. Çarpan jet akışlarında çarpma levhası üzerindeki basınç dağılımları yerel ısı transferi üzerinde büyük etkiye sahiptir. Bu durum farklı eğim açılara sahip levhalarla sınırlandırılmış akış alanlarında akış ve ısı transferi karakteristiklerinin incelenmesine yönelik ihtiyacı ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, farklı eğim açılara sahip levhalarla sınırlandırılmış düz bir yüzeye çarpan yarı (slot) jetlerde akış ve ısı transferi karakteristiklerinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, çalışmanın deneysel kısmında, sınırlayıcı levha eğim açısının $\theta = 15^\circ$, 30° ve 45° değerleri için, $0.5 \leq H/W \leq 6$ lüle-levha açıklığı ve $10000 \leq Re \leq 30000$ Reynolds sayısı aralıklarında çarpma levhası ve sınırlayıcı levhalar üzerinde yüzey basıncı ölçümleri yapılmıştır. Çarpan slot jet akış sistemlerinde çarpma levhası ve sınırlayıcı levha üzerinde deneysel olarak elde edilen basınç dağılımlarının Reynolds sayısına, eğimli levha açısına, ve çarpma levhası açıklığına göre değişimleri incelenmiştir. Çalışmanın sayısal kısmında ise, $\theta = 15^\circ$, 30° ve 45° sınırlayıcı levha eğim açılarındaki akış alanlarında, Re sayısının 20000 değeri için, $0.5 \leq H/W \leq 6$ lüle-levha açıklığı aralığında FLUENT paket programı ile k-epsilon ve k-omega türbülans modellerinin Kato Launder modifikasyonu kullanılarak, iki boyutlu sayısal çözümlerle sırasıyla hesaplanmış akış alanları, basınç dağılımları ve Nusselt dağılımları elde edilmiştir.

1.2. Literatür Araştırması

Çarpan jet akışları ile ilgili olarak akış alanı ve ısı transfer karakteristiklerinin belirlenmesine yönelik, çok sayıda deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmıştır. Bu

çalışmalarda lüle tipleri, akış alanı geometrileri ve akış özellikleri farklılıklar göstermektedir. Kullanılan lüleler; dairesel kesitli, eliptik ve yarık (slot) şeklinde olup, birden fazla lüle uygulaması da yapılmaktadır. Akış alanı geometrileri; sınırlandırılmış (confined) ve sınırlandırılmamış (unconfined) olarak göz önüne alınmaktadır. Literatürde mevcut çalışmaların çoğunluğu, düz yüzeylere çarpan jetlerle ilgilidir Baydar [1], Baydar ve Özmen [2], Colucci ve Viskanta [3], Lytle ve Webb [4]. Baydar [1] ve Baydar ve Özmen [2] tarafından sınırlandırılmış çarpan jet akışlarında 500-50000 aralığındaki Reynolds sayıları için yapılan çalışmalarda, $Re > 2700$ ve $H/D < 2$ lüle-levha arası açıklıklar için levha yüzeyinde ortam altı basınç bölgelerinin olduğu gözlenmiştir. Bu ters akış bölgelerinin ön ve arkalarında yerel ısı transfer katsayılarında artışların meydana geldiği ifade edilmektedir. Narayanan ve diğ. [5], Nusselt sayılarında görülen ikincil piklerin, levha yakınındaki bölgedeki türbülans etkileri ile levhaya daha uzak bölgedeki hareketin etkileşimi sonucunda oluşabileceğini ifade etmişlerdir. Colucci ve Viskanta [3] sınırlandırılmış geometriler için ısı transferi karakteristiklerinin, sınırlandırılmamış geometrilere göre, Reynolds sayısı ve lüle-levha arası açıklıktan daha fazla etkilendiklerini açıklamışlardır. Gardon ve Akfirat [6] lüle çıkışındaki türbülans derecesinin ısı transferi üzerindeki etkisinin $H/D > 6$ açıklıklarında oldukça küçük olduğunu ifade etmiştir. Jambunathan ve diğ. [7] tarafından yapılan bir çalışmada, çarpan jet akışlarına yönelik geometri, akış, türbülans ve ısı transferi ile ilgili detaylar verilmiştir. Jet ve levha arasındaki ısı transfer miktarının durma noktasında en büyük olacak şekilde levha yüzeyi boyunca radyal doğrultuda üssel olarak azaldığı ve ortalama Nusselt sayısının $Re^{0.76}$ ile orantılı olduğu belirtilmiştir. Lytle ve Webb [4] çok küçük lüle-levha açıklıklarında ($H/D < 1$), ısı transfer katsayısı dağılımlarında durma noktası dışında da ikincil artışların ortaya çıktığını belirlemiştir. Düşük lüle-levha açıklıklarında hem çarpma levhası hem de sınırlandırıcı levha üzerinde ters akış bölgelerinin meydana geldiği, Reynolds sayısı ve lüle-levha açıklığının artması ile ters akış bölgelerinin büyüklüklerinin arttığı ve çarpma levhası üzerindeki ters akış bölgesinin levha boyunca ilerlediği, Ichimiya ve Yamada [8] tarafından açıklanmıştır. Chalupa ve diğ. [9] sınırlandırıcı levha üzerindeki ters akış bölgesinin varlığının Nusselt sayılarındaki ikincil piklerle ilişkili olabileceğini ifade etmişlerdir.

Adimurthy ve Vadiraj [10] çarpan jet akışını deneysel olarak inceledikleri çalışmalarında, düşük lüle-levha açıklıklarında ve yüksek Reynolds sayılarında çarpma yüzeyinde ısı transferi dağılımlarında ikincil pikler gözlemlemişlerdir. Bu ikincil piklerin

akışın laminardan türbülanslı hale geçmesi nedeniyle kaynaklanabileceğini ifade etmişlerdir. Lee ve diğ. [11], laminar akış şartlarında çarpan slot jet akışını deneysel ve sayısal olarak incelemişler ve akış alanı üzerinde Reynolds sayısı, lüle-levha açıklığı ve yerel Nusselt sayısı etkilerini belirlemişlerdir. Behnia ve diğ. [12] v2-f türbülans modelini kullanarak, çarpan jet akışında lüle-levha arası açıklık, Reynolds sayısı, jet sınırlandırılması ve jet çıkış profili etkisini sayısal olarak incelemişlerdir. Jeti sınırlandırmanın sadece çok küçük lüle-levha açıklıklarında ($H/D < 0.25$) etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

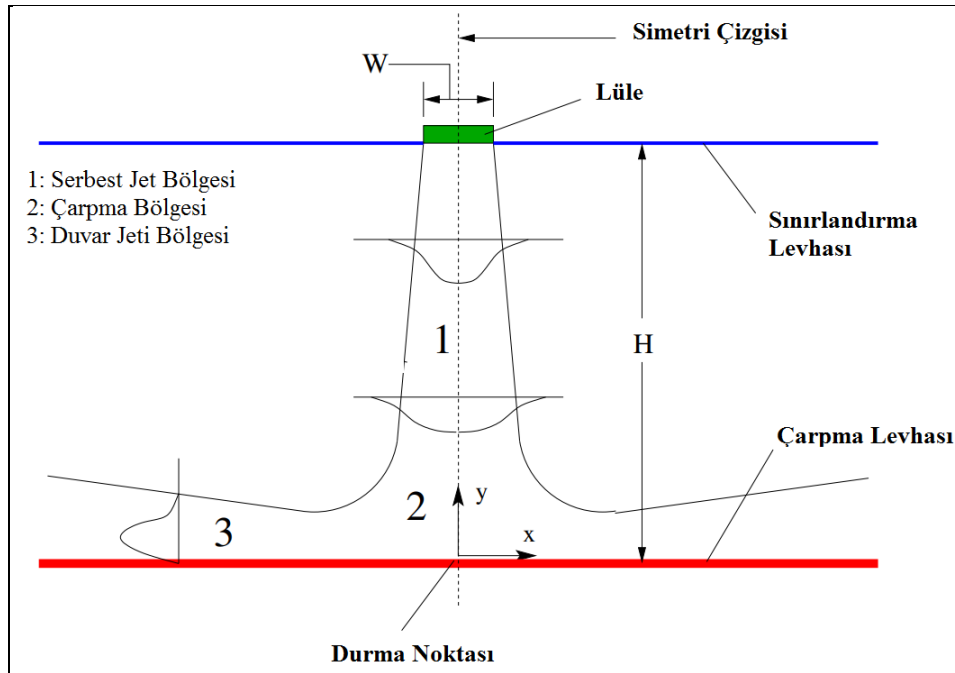
Literatürde eğimli levhalarla sınırlandırılmış veya eğimli bir yüzeye çarpan jet akışlarıyla ilgili çalışmalar oldukça az sayıdadır. Al Mubarek ve diğ. [13] eğimli bir yüzeye çarpan jet dizisinin oluşturduğu akışta çarpma yüzeyi boyunca ısı transferi karakteristiklerini deneysel olarak incelemişler ve ortalama yerel Nusselt sayısının artan Reynolds sayısı ile birlikte arttığını ifade etmişlerdir. Guan ve diğ. [14] konik geometrideki bir levhanın dış ön kenarının soğuk akışa maruz kaldığı, konik levhanın iç yüzeyine ise sıcak jet akışının çarptığı akış alanında birleşik ısı transferi karakteristikleri deneysel olarak incelenmişler ve Reynolds sayısının ve jet çarpma mesafesinin ısı transferi üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir. Guo ve diğ. [15] sınırlandırılmış çarpan jet akışında aksel simetrik duvar jetinin gelişimini stereo PIV ile deneysel olarak incelemişler, akış alanında oluşan ters akış bölgelerinin artan Reynolds sayısı ile ilerlediğini belirtmişlerdir. Cavadas ve diğ. [16] konik duvarla sınırlandırılmış çarpan laminar su jeti akışını deneysel ve sayısal olarak inceledikleri çalışmalarında konik duvar yakınında akışın ayrıldığını ve oluşan ters akış bölgelerinin uzunluğunun Reynolds sayısı ile arttığını ifade etmişlerdir. Li ve diğ. [17] düz bir yüzeye açılı olarak çarpan birbirine paralel çoklu jetlerde akış ve ısı transferi karakteristiklerini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Çarpma yüzeyi üzerindeki ısı transferinin Reynold sayısından, lüleler arası mesafeden ve lüle levha açıklığından etkilendiğini belirtmişlerdir. Miranda ve Campos [18] konik duvarla sınırlandırılmış düz bir yüzeye çarpan jet akışında laminar akış karakteristiklerini sayısal olarak incelemişlerdir. Farklı lüle çıkış şartlarına göre lüle-levha açıklığı ve Reynolds sayısı gibi parametreleri inceledikleri çalışmada, düşük lüle-levha açıklıklarında akış alanında ters akış bölgeleri oluştuğunu belirtmişlerdir.

Miranda ve Campos [19] konik duvarla sınırlandırılmış çarpan laminar su jeti akışında bir levhadan olan kütle transferini sayısal olarak inceledikleri bir diğer çalışmalarında, ortalama kütle transfer katsayısının nümerik sonuçlarını literatürde mevcut

deneysel verilerle karşılaştırmışlar ve iyi bir uyum bulmuşlardır. Yang ve Shyu [20] eğimli levhayla sınırlandırılmış çarpan jet akışını sayısal olarak inceledikleri çalışmalarında, artan sınırlandırma levhası eğim açısı ile çarpma levhası üzerindeki maksimum yerel Nusselt sayısı değerlerinin azaldığını belirtmişlerdir. Bhagwat ve Sridharan [21] eğik bir yüzeye çarpan jet akışında ısı transferi karakteristiklerini sayısal olarak inceledikleri çalışmada, düşük çarpma levhası eğim açılarında, lüle-levha açıklığının Nusselt dağılımı üzerinde önemli etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

1.3. Çarpan Jetler

Çarpan jet, bir lüle veya yarıktan geçen akışkanın çeşitli geometrilerdeki herhangi bir yüzeye çarpması sonucu oluşan akış tipidir. Bu akış tipinin çalışma prensibi sınır tabakayı inceltmek ve ısı transferini artırmak esasına dayanmaktadır. Böylece akışkan ile yüzey arasında büyük yerel ısı transfer katsayısı elde edilerek akışkanın çarptığı yüzeyden ısı ve kütle geçişi sağlanmaktadır. Tipik bir çarpan jet akış alanı Şekil 1.1’de görüldüğü gibi üç farklı akış bölgesinden oluşmaktadır. Bu bölgeler; serbest jet bölgesi, çarpma bölgesi ve duvar jeti bölgesi şeklindedir. Bu bölgeler aşağıda ayrıntılı açıklanmaktadır.



Şekil 1.1. Çarpan jet akış alanı

1.3.1. I. Bölge: Serbest Jet Bölgesi

Lüleden çıkan akış serbest jet gibi davranmakta ve çarpma bölgesine kadar tamamen etkisini sürdürmesi, lüle ve çarpma levhası arasındaki mesafeye bağlı olmaktadır. Serbest jet bölgesi, potansiyel çekirdek bölge, gelişme bölgesi ve tam gelişmiş bölge olarak üç alt bölgeye ayrılmaktadır. Lüle ucundan çıkan jet, çevre akışkan içerisine doğru gelişen bir akış bölgesi oluşturmaktadır. Jet ve çevre akışkan arasında oluşan karışım bölgesinde türbülans gelişmekte, ısı ve kütle transferi etkili olmaktadır. Bu karışım bölgesi jet eksenini boyunca akış hızının lüle çıkış hızına yaklaşık eşit olduğu bir potansiyel çekirdek bölgeyi çevrelemektedir. Gelişme bölgesinde aksel hız lüle çıkış hızından daha küçük olup artan mesafeyle azalmaktadır. Bu bölgeyi takip eden tam gelişmiş akış bölgesinde aksel hız serbest jetin hız dağılımına benzer bir davranış göstermektedir. Bu bölgenin uzunluğu jetin şekline, lüle çıkış şartlarına ve lüle-levha arasındaki mesafeye bağlıdır.

1.3.2. II. Bölge: Çarpma Bölgesi

Bu bölgede akış, fiziksel bir sınırın varlığı sebebiyle çok yüksek bir gerilime ve kuvvetli yön değiştirmeye maruz bırakılmaktadır. Jetin çarpma levhasına yaklaştığı bu bölgede aksel yöndeki akış hızı büyük ölçüde azalmakta ve basınç artmaktadır. Çarpma levhası üzerindeki durma noktasında akış hızı sıfır olmakta, basınç ise maksimum değere ulaşmaktadır. Jet bu bölgede aksel doğrultudan radyal doğrultuya sapmaktadır. Çarpma bölgesinde sınır tabaka kalınlığı üniform olmakta ve lüle-levha açıklığına bağlı olarak değişmektedir.

1.3.3. III. Bölge: Duvar Jeti Bölgesi

Çarpma bölgesinden ayrılan akış çarpma levhası boyunca ilerlemekte ve çevre akışkan ile karışmaktadır. Duvar jeti bölgesinde hızın radyal bileşeni etken olup çarpma levhası üzerindeki sınır tabakanın kalınlığı radyal doğrultuda artmaktadır. Çarpma noktasında maksimum değerde olan basınç levha yüzeyi boyunca hızlı bir şekilde azalarak zamanla ortam basıncına gelmektedir.

Lüleden çıkan hava jetinin gelişim aşamaları, lülenin düzgünlüğü, geometrisi, çevredeki gürültü seviyesi ve akış şartları gibi birçok parametreye bağlıdır. Lüle çıkışındaki akış şartlarında en önemli parametre;

$$Re = \frac{U \cdot D}{\nu} \quad (1.1)$$

şeklinde tanımlanan Reynolds sayısıdır. U, jet çıkış hızını; D, lüle çapını ve ν , viskoziteyi ifade etmektedir. Standart bir jet geometrisi üzerinde Reynolds sayısının etkisi göz önüne alındığında, akış şekillerinin deneyden deneye değiştiği görülmektedir. Bu durum, akış yapısının çevredeki gürültü seviyesinden ve lülenin pürüzlülüğünden etkilediğini göstermektedir.

Isı transferinin incelenmesi gereken durumlarda ise kullanılan parametre;

$$Nu(x) = \frac{h(x) \cdot x}{k} \quad (1.2)$$

şeklinde tanımlanan Nusselt sayısıdır. h, ısı taşınım katsayısı; x, yerel uzunluk ve k, ısı iletim katsayısını ifade etmektedir.

Çarpan jet akışı ve bu akış tipiyle ilişkili ısı transferi özellikle çarpma bölgesindeki akışın karmaşık yapısı nedeniyle zorluk derecesi yüksek bir problem olmakta ve merak uyandıran fiziksel olayları ortaya çıkarmaktadır. Yaklaşık 50 yıldır yapılan çok sayıda çalışmaya rağmen çarpan jet akışının fiziksel yapısı halen tam olarak anlaşılmamıştır.

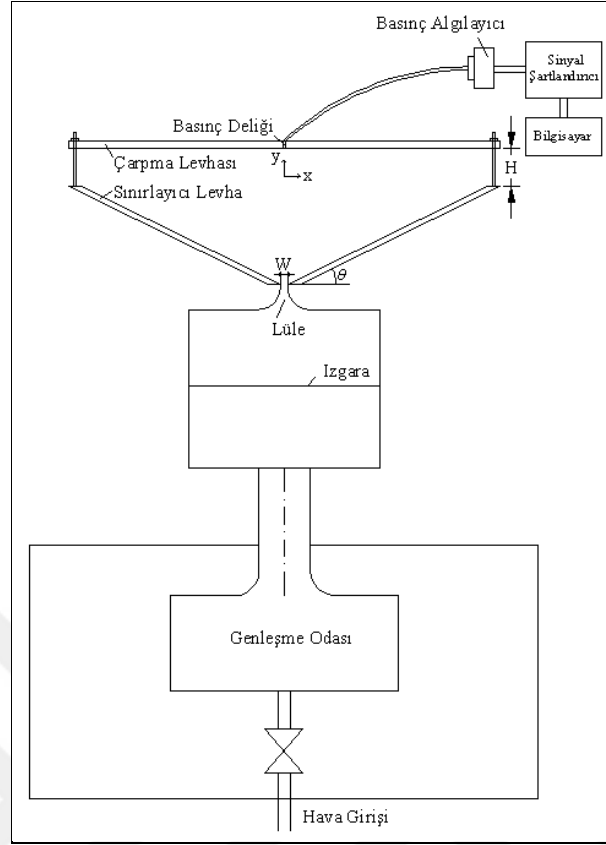
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Deneysel Çalışma

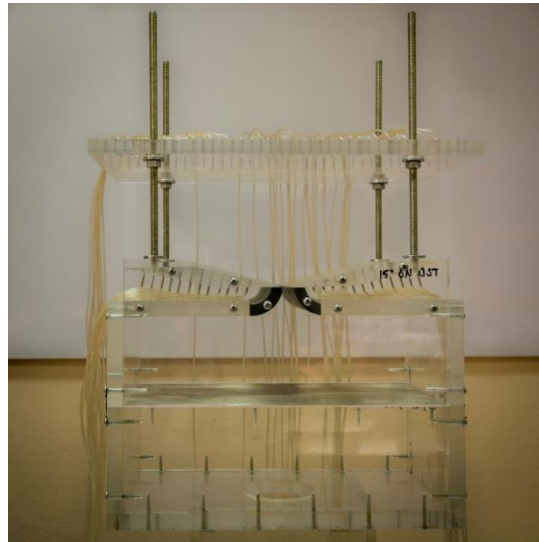
Çalışmanın deneysel kısmında, tez kapsamında oluşturulan sırasıyla $\theta = 15^\circ$, 30° ve 45° eğimli levhalarla sınırlandırılmış üç farklı çarpan slot jet akış düzeneğinde, $0.5 \leq H/W \leq 6$ levhalar arası açıklık ve $10000 \leq Re \leq 30000$ Reynolds sayısı aralıklarında çarpma levhası ve sınırlayıcı levhalar üzerinde orta eksen boyunca yüzey basıncı ölçümleri yapılmıştır. Sınırlayıcı levha eğim açısının, levhalar arası açıklığın ve Reynolds sayısının basınç dağılımları üzerindeki etkileri incelenmiştir.

2.1.1. Deney Düzenegi

Basınç ölçümleri için oluşturulan $\theta = 15^\circ$, 30° ve 45° eğimli levhalarla sınırlandırılmış çarpan slot jet akış düzenekleri, Plint ve Partners Ltd. firması tarafından üretilen TE.88/3961 seri numaralı hava huzmesi cihazı ile birlikte kullanılmıştır. Hava huzmesi cihazındaki fan; 0.6 HP gücünde, 2800 d/dk hızında bir elektrik motoruyla çalışmaktadır. Yüksek hızlardaki ölçümlerde hava huzmesi cihazı, 0.75 HP gücünde ikinci bir fanla desteklenmiştir. Şekil 2.1'de şematik resim verilen deney düzeneğinde, huzme cihazına fan yardımıyla çekilen hava, sırasıyla genişleme odası ve ızgaradan geçerek, huzme cihazının üzerine düşey doğrultuda yerleştirilmiş akış düzeneklerine iletilmektedir. Debi ayar vanası kullanılarak 10 mm slot genişliğine sahip lüle çıkışında istenilen hız değerleri elde edilebilmektedir. Çalışma kapsamında oluşturulan ve Şekil 2.2'de fotoğrafları görülen üç deney düzeneğinde de genişliği $W=10$ mm ve uzunluğu $L=150$ mm olan tekli slot lüleler kullanılmıştır. Lülelerin çıkış düzlemlerinin her iki tarafına ayrı ayrı yerleştirilen $\theta=15^\circ$, 30° ve 45° eğimli levhalarla akış alanları sınırlandırılmıştır. Lülelerden çıkan hava jetleri, sınırlayıcı levhaların uçlarından itibaren H mesafesi kadar uzakta olan ve lüle eksenine dik doğrultuda yerleştirilmiş düz bir levhanın yüzeyine çarpmaktadır. Pitot tüpü ile ölçülen lüle çıkış hızları sırasıyla 15.6 m/s, 31.2 m/s ve 46.8 m/s olarak gerçekleşmiştir.



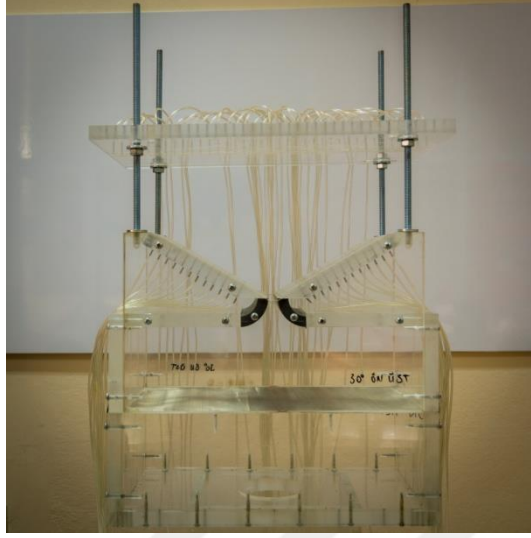
Şekil 2.1. Düz bir yüzeye çarpan slot jet deney düzeneği (Şematik gösterim)



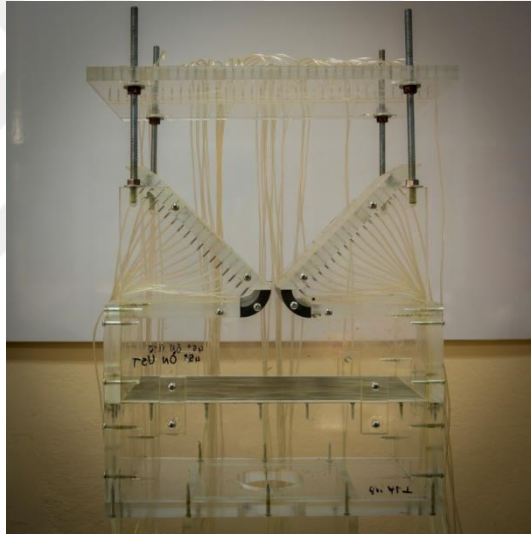
(a)

Şekil 2.2. Düz bir yüzeye çarpan slot jet deney düzenekleri (Fotoğraf gösterim), a) $\theta=15^\circ$, b) $\theta=30^\circ$, c) $\theta=45^\circ$

Şekil 2.2'nin devamı



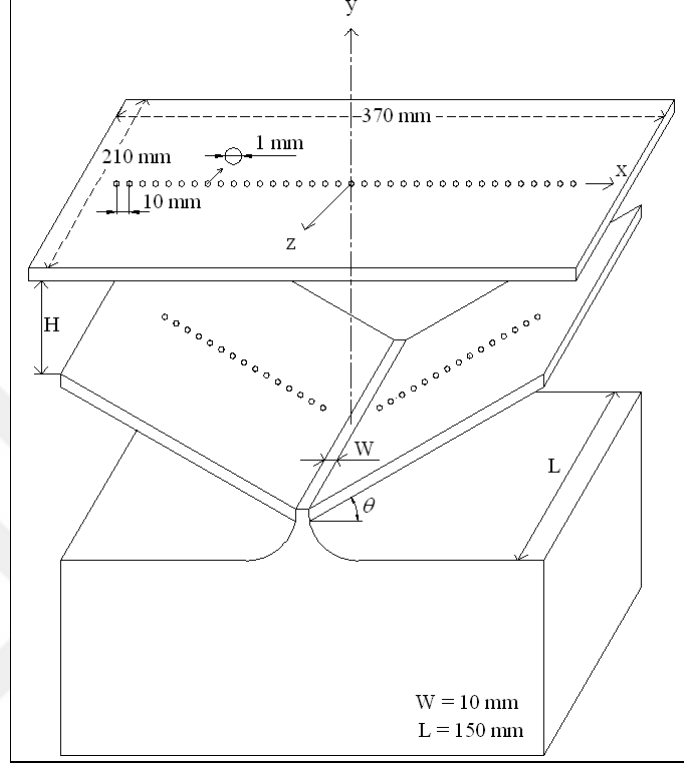
(b)



(c)

Çarpma levhası 370 mm uzunluğunda ve 210 mm genişliğindedir. Her üç jet akış düzeneğinde de, lüleler dışında diğer tüm kısımlar 15 mm kalınlığa sahip pleksiglas levhalardan imal edilmiştir. Lüleler için ise başka bir plastik esaslı sert bir malzeme tercih edilmiştir. Değişik levhalar arası açıklıklarda jet eksenine dik doğrultuda yerleştirilmiş çarpma levhası üzerindeki basınç dağılımlarını belirlemek amacıyla çarpma levhasının orta eksenini üzerinde aralarında 10 mm olan 37 adet basınç deliği açılmıştır. Sınırlayıcı levhalar için de basınç delikleri orta eksen boyunca aralarında 10 mm olacak şekilde açılmıştır. Sağda ve solda eşit sayıda olmak üzere; $\theta=15^\circ$, 30° ve 45° eğimli sınırlandırma levhaları

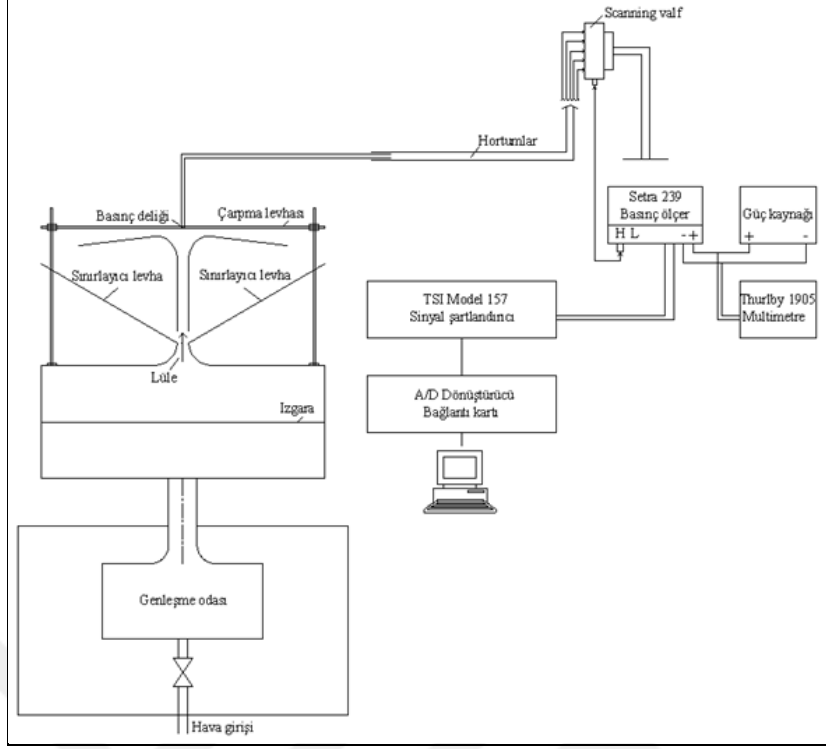
üzerinde sırasıyla 24, 24 ve 34 adet basınç deliği bulunmaktadır. Hem çarpma levhası hem de sınırlayıcı levhalar üzerinde iç çapı 1 mm olan basınç prizleri kullanılmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Eğimli levhalarla sınırlandırılmış çarpan slot jet sistemi

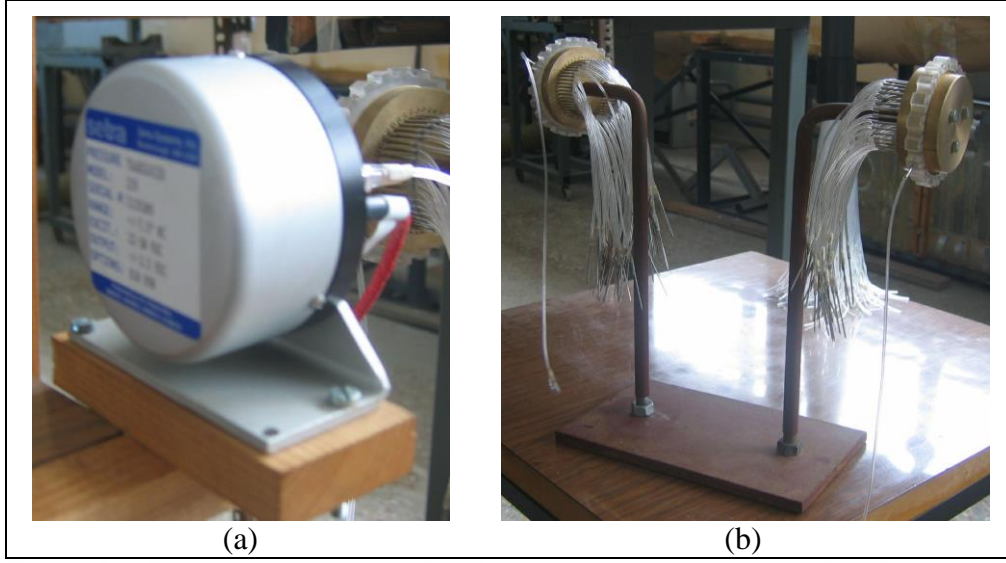
2.1.2. Basınç Ölçümü

Çarpma levhası ve sınırlayıcı levhaların yüzey basıncını belirlemeye yönelik ölçümler Şekil 2.4’de görülen ölçme sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Ölçme sisteminde, TSI IFA-100 System Intelligent Flow Analyzer cihazının Sinyal Şartlandırıcı modülü, basınç algılayıcı (Pressure Transducer), A/D dönüştürücü, veri analizi yapan bir paket program ve bilgisayar bulunmaktadır. Basınç sinyalleri, Şekil 2.5a’da görülen, %0.14 hassasiyetli SETRA 239 Model Basınç Ölçer (Pressure Transducer) ile alınmıştır. Girişine 22-30 volt DC gerilim uygulandığında, çıkış gerilimi ± 2.5 volt DC olan basınç ölçerin ölçüm aralığı ± 7.5 inch SS dur. Basınç sinyalleri, IFA 100 ThermalPro paket programı ile kaydedilmiştir. Tüm sinyaller 300 Hz de filtrelenerek, örnekleme oranı 1000 Hz ve ölçüm süresi 8 s olarak seçilmiştir.



Şekil 2.4. Basınç ölçme sistemi

Çarpma ve sınırlayıcı levhalar üzerinde açılmış çok sayıda basınç prizinin basınç algılayıcısına bağlantısı, scanning valf ile sağlanmıştır. Bu çalışmada, KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü Merkez Atölyesinde imal edilen 48 kanallı bir scanning valf kullanılmıştır (Şekil 2.4b). Çarpma levhası ve sınırlayıcı levha yüzeylerindeki basınç prizlerine takılmış çok sayıda hortum scanning valf kanallarına; scanning valften alınan tek çıkış hortumu ise, basınç algılayıcıya bağlanmıştır. Scanning valf üzerindeki döndürme mekanizmasının hareket ettirilmesiyle, girişteki kanallara bağlı basınç hortumlarının her birinin sırasıyla çıkışla eşleşmesi sağlanmıştır. Scanning valf ölçümlerde kullanılmadan önce ölçüm hassasiyeti test edilmiştir. Bu amaçla önce, scanning valf kullanılmadan çarpma ve sınırlayıcı levha yüzeylerine bağlı basınç hortumları doğrudan basınç algılayıcısı ile ilişkilendirilerek ölçümler alınmıştır. Scanning valf kullanımının ilave bir basınç kaybı oluşturmadığı görülmüştür.



Şekil 2.5. a) Setra 239 model basınç ölçer, b) Scanning valfler

Deneylet sırasında yapılan basınç ölçümleri ile ilgili belirsizlik analizi Ek'de verilmiştir. Çarpma levhası ve sınırlayıcı levha yüzeylerinde basınç ölçümlerindeki belirsizlik $\pm\%$ 2.4 civarındadır. Deneysel sonuçlar yukarıdaki belirsizlik aralığında tekrarlanabilirlik göstermiştir.

2.2. Sayısal Çalışma

Bu çalışmada, $\theta = 15^\circ$, 30° ve 45° eğimli levhalarla sınırlandırılmış çarpma slot jet akış alanları, Reynolds sayısının 20000 değeri için, $0.5 \leq H/W \leq 6$ levhalar arası açıklık aralığında Standard k-epsilon ve Standard k-omega türbülans modellerinin Kato Launder modifikasyonu kullanılarak sürekli rejimde iki boyutlu olarak çözülmüştür. Sayısal çözümlerden, sırasıyla hesaplanmış akış çizgileri, çarpma ve sınırlayıcı levha yüzeylerinde basınç dağılımları ve çarpma levhası üzerindeki Nusselt dağılımları elde edilmiştir. Sınırlayıcı levha eğim açısının, levhalar arası açıklığın ve Reynolds sayısının akış ve ısı transferi karakteristikleri üzerindeki etkisi iki farklı türbülans modeliyle karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

2.2.1. Hareket Denklemleri

Herhangi bir akış ve ısı transferi problemi sayısal olarak çözülmek istendiğinde, akışkanlar mekaniğinin genel denklemleri olan süreklilik, Navier-Stokes ve enerji denklemleri kullanılmaktadır. İkinci mertebeden kısmi türevli, lineer olmayan bu denklemlere, uygun başlangıç ve sınır şartlarının kullanılması ile akış alanının yaklaşık çözümleri elde edilmektedir.

Bu çalışmada, sürekli rejimde sıkıştırılamaz türbülanslı slot hava jetinin, farklı eğim açalarına sahip sınırlayıcı levhalarla oluşturduğu akış alanlarının iki boyutlu çözümü gerçekleştirilmiştir. Akış ve ısı transferi karakteristikleri, iki boyutlu akış alanında süreklilik, Reynolds ortalamalı Navier-Stokes ve enerji denklemlerinin çözümü ile elde edilmiştir. Bu denklemler kartezyen koordinatlarda tensör formunda aşağıdaki gibidir.

Süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (2.1)$$

Navier-Stokes denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (2.2)$$

Enerji denklemi:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[u_i (\rho E + p) \right] = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(k + \frac{c_p \mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_j} + u_i (\tau_{ij})_{eff} \right] + S_h \quad (2.3)$$

Navier-Stokes denkleminde yer alan Reynolds gerilmesi:

$$-\rho \overline{u'_i u'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \delta_{ij} \quad (2.4)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Bu denklemlerle yer alan çalkantı terimlerinin hesaplanmasına yönelik çok sayıda türbülans modeli geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam edilmektedir. Bu çalışma kapsamında, Standard k-epsilon ve Standard k-omega türbülans modellerinin Kato-Launder modifikasyonu kullanılarak çözümler gerçekleştirilmiştir.

2.2.2. Standard k-epsilon Model

Standard k-epsilon türbülans modeli, türbülanslı akışların çoğunda kabul edilebilir doğrulukta sonuç vermesi nedeniyle, akış ve ısı transferi simülasyonları için en çok kullanılan iki denklemlilik türbülans modellerinden biridir. Özellikle, Reynolds kayma gerilmelerinin daha etkin olduğu sınırlanmış akışlar için iyi performans göstermektedir [22].

Türbülans kinetik enerji (k) ve yutulma (ε) için modellenmiş transport denklemleri:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{\varepsilon 3} G_b) - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (2.6)$$

şeklinde. Burada, G_k ortalama hız gradyanından kaynaklanan türbülans kinetik enerjisinin üretimini ifade etmekte ve,

$$G_k = -\overline{\rho u'_i v'_j} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (2.7)$$

olarak yazılmaktadır. G_b kaldırma kuvvetine bağlı oluşan türbülans kinetik enerjisini, S_k ve S_ε kaynak terimlerini, Y_M sıkıştırılabilir türbülanslı bölge içindeki türbülans hacim değişiminin toplam yayılım oranına katkısını, σ_k ve σ_ε k ve ε için türbülans Prandtl sayılarını, $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$ ve $C_{\varepsilon 3}$ k- ε türbülans modeli sabitlerini ifade etmektedir. Model sabitleri; $C_{\varepsilon 1}=1.44$, $C_{\varepsilon 2}=1.92$ ve $\sigma_k=1.0$, $\sigma_\varepsilon=1.3$ alınır. Ayrıca, $C_\mu=0.09$ olmak üzere, türbülans viskozitesi μ_t aşağıdaki gibidir.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2.8)$$

2.2.3. Standard k-omega Model

Kolmogorov tarafından önerilen bu türbülans modelinde, k türbülans kinetik enerjisi; ω ise yutulmanın kinetik enerjiye oranını ($\omega = \varepsilon / k$) ifade etmektedir [22]. Bu modelde türbülans viskozitesi,

$$\mu_t = \rho \frac{k}{\omega} \quad (2.9)$$

olarak tanımlanmaktadır. Türbülans kinetik enerji (k) ve özgül yutulma (ω) için transport denklemleri,

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + S_k \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega + S_\omega \quad (2.11)$$

şeklinindedir. Bu denklemlerde, G_k , ortalama hız gradyanları nedeniyle türbülans kinetik enerjisi üretimini; G_ω , ω nın üretimini ifade etmektedir. Γ_k ve Γ_ω , k ve ω için efektif difüzyivite; S_k ve S_ω ise, kaynak terimleridir.

2.2.4. Kato-Launder Modifikasyonu

Standard k-epsilon ve Standard k-omega türbülans modellerine ait transport denklemlerde, Kato-Launder [23] tarafından önerilen modifiye edilmiş üretim terimi kullanılarak daha doğru sonuçlar elde edilmektedir. k türbülans kinetik enerji denkleminde yer alan P üretim terimi normalde aşağıdaki gibidir.

$$P = \tau_{ij}^{turb} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (2.12)$$

Burada, τ_{ij}^{turb} türbülanslı kayma gerilmesi tensörünü S_{ij}^* ise kaynak terimini göstermektedir.

$$\tau_{ij}^{turb} = -\overline{\rho u''_i u''_j} \approx 2\mu_t S_{ij}^* - \frac{2}{3}\rho k \delta_{ij} \quad (2.13)$$

$$S_{ij}^* = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{1}{3} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \quad (2.14)$$

Sıkıştırılmaz akışlarda P üretim terimi,

$$\begin{aligned} P &= \tau_{ij}^{turb} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \\ &= \left[2\mu_t S_{ij}^* - \frac{2}{3}\rho k \delta_{ij} \right] \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \\ &= \left[2\mu_t \left(\frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{1}{3} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3}\rho k \delta_{ij} \right] \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \\ &\approx \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \\ &= \mu_t \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \end{aligned} \quad (2.15)$$

şeklinde yeniden yazılabilir. Kapalı formda üretim terimi

$$P = \mu_t S S \quad (2.16)$$

şeklindedir. Burada S yine kaynak terimini göstermektedir.

$$S = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)^2} \quad (2.17)$$

Kato-Lauder [23] modifikasyonu ile türbülanslı üretim terimindeki S kaynak ifadelerinden biri vortisite ile değiştirilir. Böylece modifiye edilmiş üretim terimi,

$$P = \mu_t S \Omega \quad (2.18)$$

şekline dönüşür. Burada, kaynak terimi S ve vortisite terimi Ω aşağıdaki gibidir.

$$S = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)^2} \quad (2.19)$$

$$\Omega = \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)^2} \quad (2.20)$$

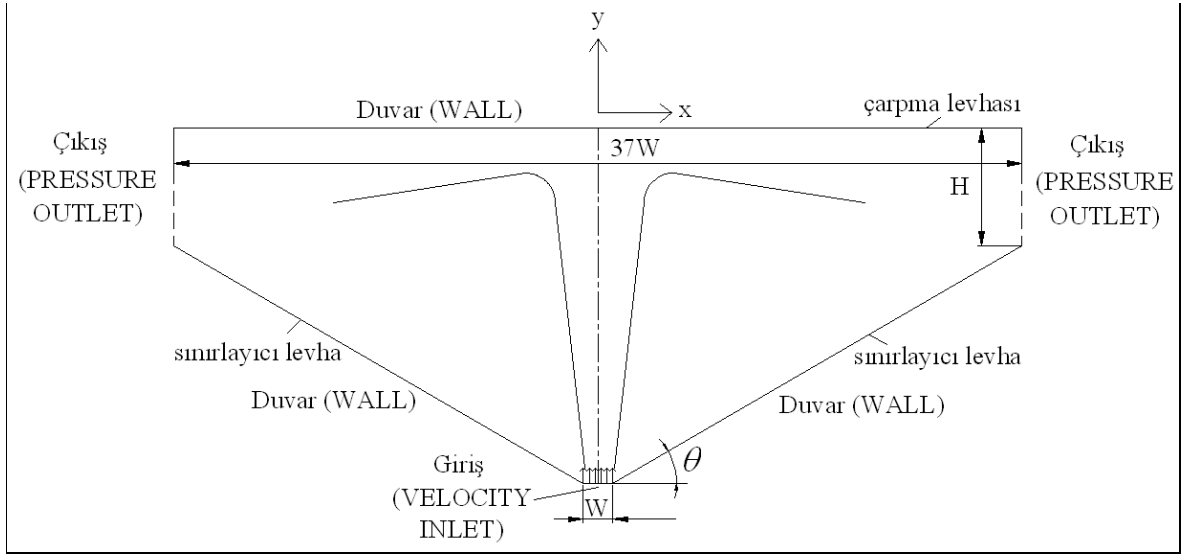
2.2.5. Çözüm Yöntemi

$\theta = 15^\circ$, 30° ve 45° eğimli levhalarla sınırlandırılmış çarpan slot jet akış alanlarının iki boyutlu sayısal çözümleri, ANSYS bünyesinde bulunan FLUENT 16.0 paket programıyla gerçekleştirilmiştir. Geometri ve ağ oluşturma işlemleri için, FLUENT paket programıyla uyumlu çalışan ICEM CFD 16.0 programı kullanılmıştır. Sayısal çözümlerde, Standard k-epsilon ve Standard k-omega türbülans modellerinin Kato-Launder modifikasyonu kullanılmıştır. Duvar yaklaşımı olarak, genişletilmiş duvar ifadesi (Enhanced Wall Treatment) dikkate alınmıştır. İteratif çözücü olarak SIMPLEC algoritması, COUPLED algoritmasına göre daha kolay yakınsaması ve SIMPLE algoritmasına kıyasla deneysel verilere daha uygun sonuç vermesi nedeniyle tercih edilmiştir. Momentum, türbülans kinetik enerjisi, türbülans yutulması ve enerji denklemlerinin ayrıklaştırılmasında Second Order Upwind yaklaşımı kullanılmıştır.

2.2.6. Başlangıç ve Sınır Şartları

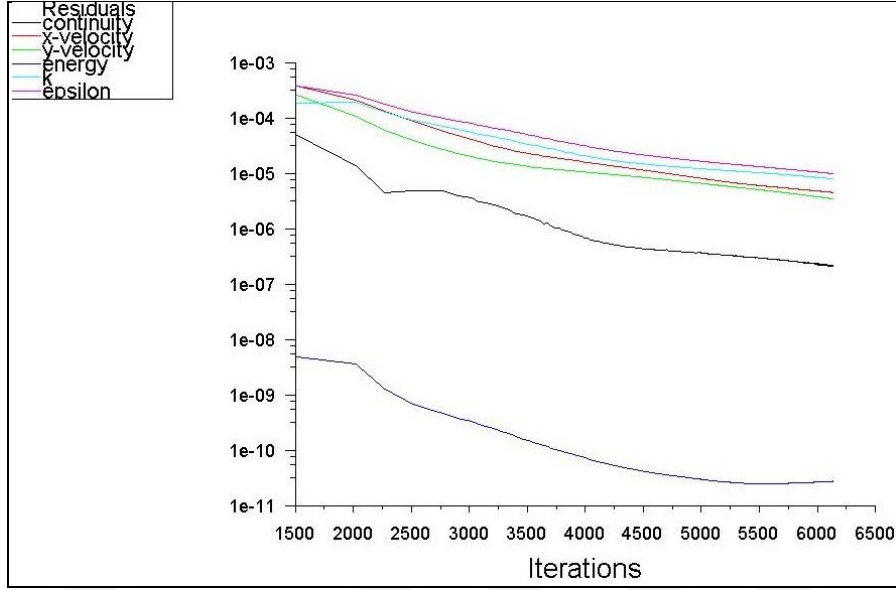
Sayısal çalışma, $\theta = 15^\circ$, 30° ve 45° eğimli levhalarla sınırlandırılmış iki boyutlu akış alanlarında gerçekleştirilmiştir. Sınır şartları ICEM-CFD programında verilen şekliyle, girişte VELOCITY INLET, çıkışlarda PRESSURE OUTLET ve duvarlarda WALL olarak tanımlanmıştır. Akış alanı geometrisi ve sınır şartları Şekil 2.6'da görülmektedir. Slot lüleden çıkan hava jeti sınırlayıcı levhaların uç seviyesinden H uzaklıkta, lüle eksenine dik olarak yerleştirilmiş çarpma levhasının yüzeyine çarparak sınırlandırılmış akış alanına

boşalmaktadır. W slot genişliğini göstermek üzere hesap alanının x doğrultusundaki uzunluğu $37W$ şeklindedir. Basınç ölçümlerine yönelik deneylerde kullanılan jet çıkış hızları, sayısal çözümde üniform hız giriş şartı olarak kullanılmıştır. Çıkışlarda kullanılan basınç sınır şartları, $\theta = 15^\circ, 30^\circ$ ve 45° eğimli akış alanları için sırasıyla 226, 446 ve 627 Pascal'dır. Çarpma levhası yüzeyinde ısı transferi dağılımlarını hesaplamak üzere duvar sınır şartı olarak $T_{levha}=360$ K kullanılmıştır. Jet çıkış sıcaklığı ise $T_{jet}=300$ K olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 2.6. Akış alanı geometrisi

Normalize edilmemiş artıkların 1×10^{-5} den küçük olma şartı, çözüm yakınsama kriteri olarak alınmıştır. Akış büyüklükleri ile ilgili artıkların çözümlene boyunca tipik değişimini veren Şekil 2.7'den, iterasyon sayısının yaklaşık 6000 değerinde yakınsamanın gerçekleştiği görülmektedir.

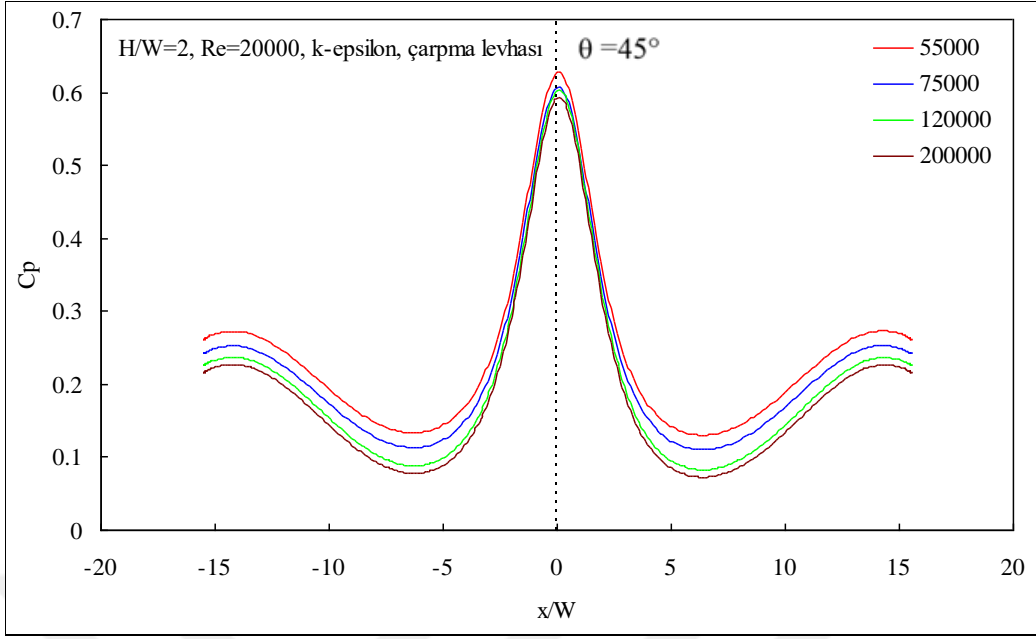


Şekil 2.7. Artıkların iterasyon sayısı ile değişimi

2.2.7. Ağ Yapısı

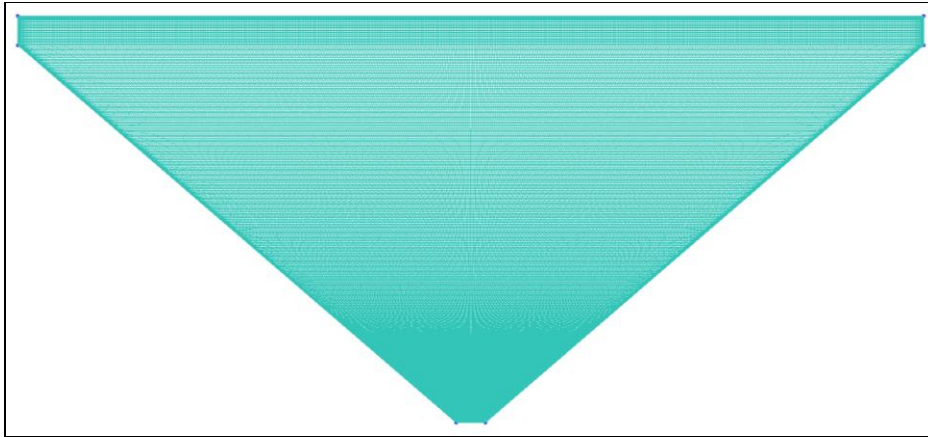
FLUENT programında iki farklı ağ hücresi bulunmaktadır. Yapılandırılmış ağ olarak tanımlanan hücreler dörtgen, yapılandırılmamış olanlar ise üçgen şeklindedir. Bu iki ağ hücre tipi ile yapılan denemeler, sonuçlar arasında belirgin bir farkın olmadığı sadece dörtgen ağın yakınsama süresini kısalttığını göstermiştir. Hesaplanan akış alanlarının tümünde dörtgen ağ kullanılmıştır.

Ağdan bağımsız çözümler elde edebilmek için, farklı sayıdaki ağ yapıları ile denemeler yapılmıştır. Standard k-epsilon türbülans modeli kullanılarak, farklı ağ yoğunlukları için yapılan çözümlerin sonuçları, Şekil 2.8'de verilmiştir. $\theta = 45^\circ$ eğimli sınırlayıcı levha durumunda, $H/W=2$ açıklıkta, $Re=20000$ için çarpma levhası orta eksen boyunca hesaplanmış basınç katsayılarının durumu, çözümlerin ağ hücre sayısından bağımsız olduğunu göstermektedir. Sayısal çalışmada çözüm yapılan geometrilerin tümünde yaklaşık 120000'lik ağ kullanılmıştır.



Şekil 2.8. Ağ yoğunluğunun çözüm üzerindeki etkisi

Akış alanının dörtgen ağ hücreleriyle tasarlandığı tipik ağ yapısı Şekil 2.9'da verilmiştir.



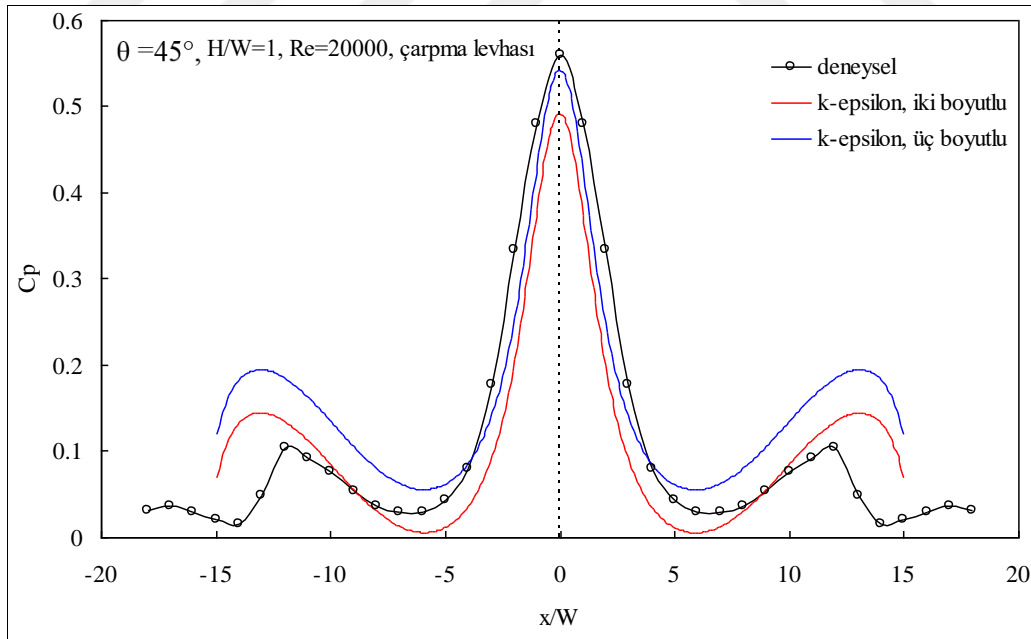
Şekil 2.9. Akış alanındaki tipik bir ağ düzeni

Duvar yakınındaki bölgelerde çözüm hassasiyetinin iyileştirilmesine yönelik olarak farklı duvar yaklaşımları denenmiştir. Duvar yaklaşımları, laminer alt tabakanın kalınlığı ile ilgili olarak getirdikleri sınır değerlerle, duvar yakınındaki akışın laminer ya da türbülanslı olarak çözülmesi kabulüne dayanmaktadır. İki boyutlu ağ düzeninde, katı

duvardan ilk ağ noktasına olan mesafe, model duvarlarında 0.017 mm alınmıştır. Duvardan itibaren uzaklık, boyutsuz duvar uzunluğu (y^+) olarak tanımlanmaktadır. Laminer alt tabaka kalınlığı, standart duvar ifadesinde (Standard Wall Treatment) $y^+ < 11.5$; genişletilmiş duvar ifadesinde (Enhanced Wall Treatment) $y^+ < 5$ olarak verilmektedir. Çalışmada kullanılan genişletilmiş duvar ifadesi ile $y^+ < 2$ sağlanmıştır.

2.2.8. Üç Boyutlu Çözüm Etkisi

$\theta = 45^\circ$ eğimli sınırlayıcı levha durumunda, $H/W=1$ açıklıkta, $Re=20000$ için çarpma levhası orta eksenini boyunca ölçülmüş basınç dağılımı, k-epsilon türbülans modeli ile iki boyutlu ve üç boyutlu çözümler sonucunda hesaplanmış basınç dağılımlarıyla bir arada Şekil 2.10'da verilmiştir. İki boyutlu ve üç boyutlu çözümlerden hesaplanmış basınç katsayılarının deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu ve üç boyutlu çözümün basınç dağılımlarında deneysel uyum açısından belirgin bir farklılık oluşturmadığı görüldüğünden tez kapsamındaki tüm sayısal çalışmalarda akış alanları iki boyutlu olarak çözülmüştür.

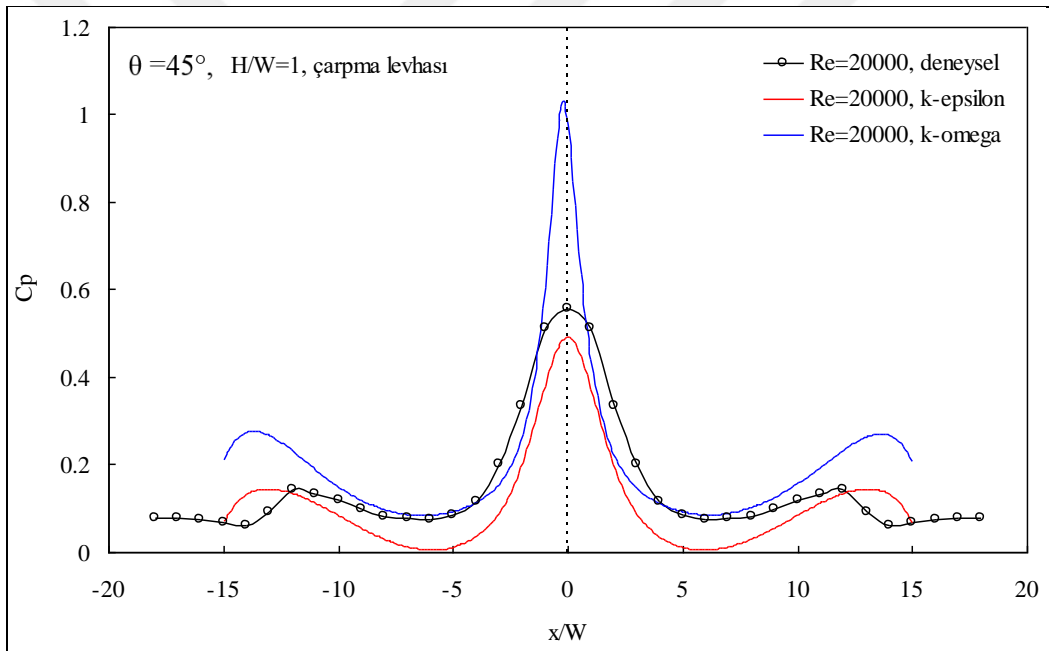


Şekil 2.10. Çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları

2.2.9. Türbülans Modellerinin Karşılaştırılması

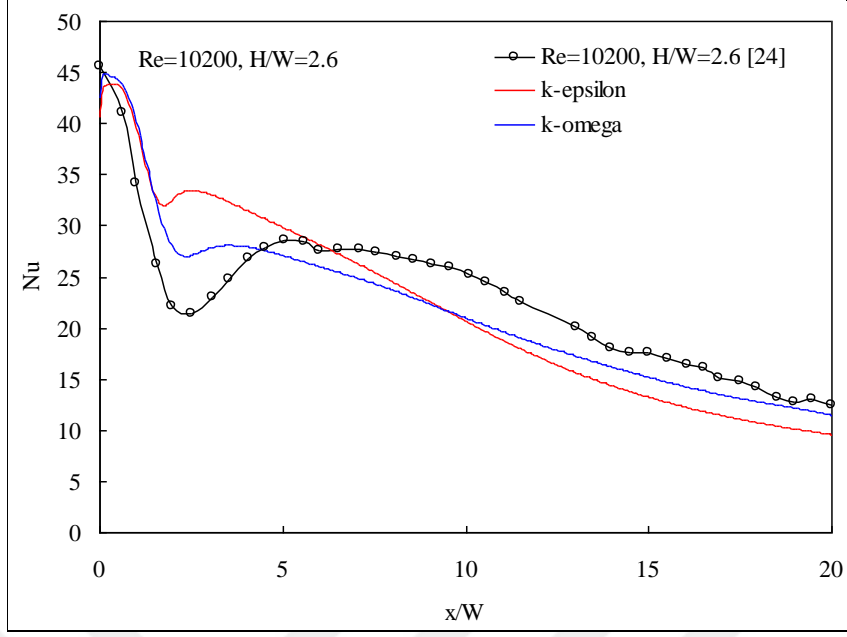
FLUENT paket programı, türbülanslı akışlar için çok sayıda türbülans modeli ve çözüm performansını etkileyen farklı yaklaşımlar içermektedir. Bu çalışma kapsamında, Standard k-epsilon ve Standard k-omega türbülans modelleri ile test çözümleri yapılarak, çalışılan akış alanları için iki modelin performansı denenmiştir.

$\theta = 45^\circ$ eğimli sınırlayıcı levha durumunda, $H/W=1$ açıklıkta, $Re=20000$ için çarpma levhası üzerinde ölçülen ve k-epsilon ve k-omega türbülans modelleri ile hesaplanan basınç dağılımları Şekil 2.11’de bir arada verilmiştir. k-epsilon türbülans modeliyle hesaplanan basınç dağılımının deneysel verilerle daha uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 2.11. Çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları

$H/W=2.6$ açıklıkta sınırlandırılmış çarpan slot hava jetinde, $Re=10200$ değeri için çarpma yüzeyi üzerinde deneysel olarak elde edilmiş Nusselt dağılımı [24], aynı şartlarda k-epsilon ve k-omega türbülans modelleriyle hesaplanmış Nusselt dağılımlarıyla karşılaştırmalı olarak Şekil 2.12’de verilmiştir. k-omega türbülans modeli ile hesaplanan Nusselt dağılımının hem durma noktasında hem de ikincil pik noktasında deneysel dağılımla daha uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 2.12. Çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları

3. BULGULAR

Bu çalışmada, farklı eğim açlarına sahip levhalarla sınırlandırılmış düz bir yüzeye çarpan slot jetlerde akış ve ısı transferi karakteristikleri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmanın deneysel kısmında, sınırlayıcı levha eğim açısının $\theta = 15^\circ, 30^\circ$ ve 45° değerleri için, $0.5 \leq H/W \leq 6$ levhalar arası açıklık ve $10000 \leq Re \leq 30000$ Reynolds sayısı aralıklarında çarpma levhası ve sınırlayıcı levhalar üzerinde yüzey basıncı ölçümleri yapılmıştır. ΔP , yüzey basıncı ve ortam basıncı arasındaki fark olmak üzere ölçüm sonuçları,

$$C_P = \frac{\Delta P}{\rho U_0^2 / 2} \quad (3.1)$$

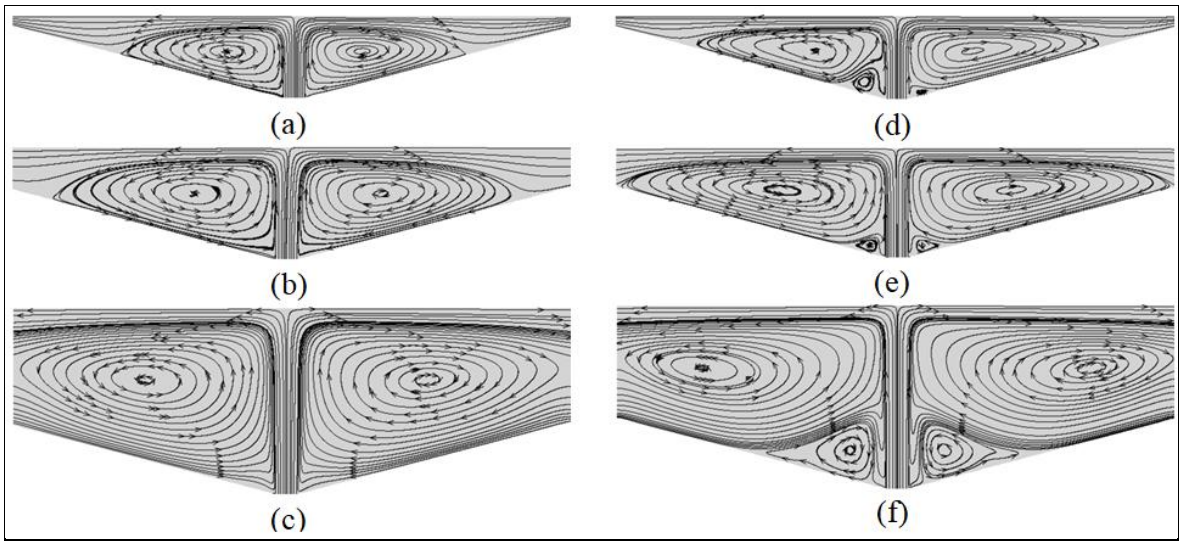
şeklinde tanımlanan basınç katsayısı cinsinden verilmiştir. Levha uzunluğu boyunca mesafe (x), slot genişliği (W) ile boyutsuz yapılmıştır.

Çalışmanın sayısal kısmında ise, $\theta = 15^\circ, 30^\circ$ ve 45° sınırlayıcı levha eğim açılarındaki akış alanlarında, Re sayısının 20000 değeri için, $0.5 \leq H/W \leq 6$ levhalar arası açıklık aralığında k -epsilon ve k -omega türbülans modellerinin Kato Launder modifikasyonu kullanılarak, iki boyutlu sayısal çözümlerle sırasıyla hesaplanmış akış alanları, basınç dağılımları ve Nusselt dağılımları elde edilmiştir.

3.1. Hesaplanmış Akış Çizgileri

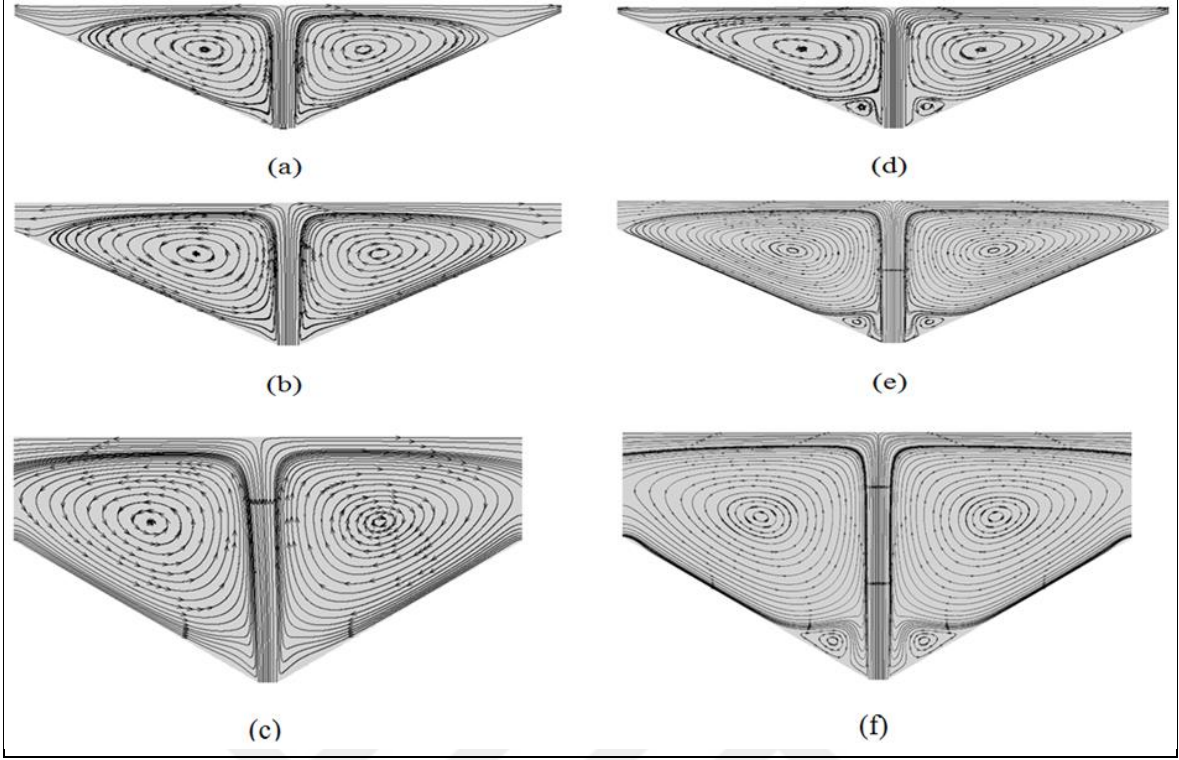
$\theta = 15^\circ, 30^\circ$ ve 45° açılarda eğimli levhalarla sınırlandırılmış çarpan slot jet akışının oluşturduğu iki boyutlu akış alanlarında $Re=20000$ için ve levhalar arası açıklığın $H/W=0.5, 2$ ve 6 değerleri için k -epsilon ve k -omega türbülans modelleri ile hesaplanmış akış çizgileri sırasıyla Şekil 3.1-3.3'de verilmiştir. Sınırlayıcı levha eğiminin $\theta = 15^\circ$ olduğu akış alanında, levhalar arası açıklığın $H/W=0.5, 2$ ve 6 değerleri için k -epsilon ve k -omega türbülans modelleri ile hesaplanmış akış çizgileri Şekil 3.1'de görülmektedir. Çalışma kapsamında hesaplanmış tüm akış alanlarında, slot lüleden çıkan jet çarpma levhasına çarparak yön değiştirmekte ve sınırlayıcı levhaların etkisiyle birbirine ters yönde dönen girdap çiftleri oluşmaktadır. Akış alanlarında oluşan girdap çiftlerinin boyutları

artan levhalar arası açıklıkla birlikte artmaktadır. k-omega türbülans modeliyle hesaplanmış akış çizgisi görüntülerinde k-epsilon sonuçlarından farklı olarak lüle çıkışına yakın bölgelerde akış alanındaki büyük girdaplara göre ters yönde dönen küçük ölçekli ikincil girdap çiftleri oluşmaktadır. İkincil girdap çiftlerinin boyutları da artan levhalar arası açıklıkla orantılı olarak artmaktadır. Artan sınırlayıcı levha eğim açısı ile birlikte akış alanının büyümesine bağlı olarak oluşan girdap çiftlerinin boyutları da artmaktadır. Eğimli levhalarla sınırlandırılmış çarpan jet akış alanlarında oluşan girdap çiftlerinin boyutları hem artan levhalar arası açıklıkla hem de sınırlayıcı levha eğim açısıyla artmaktadır.

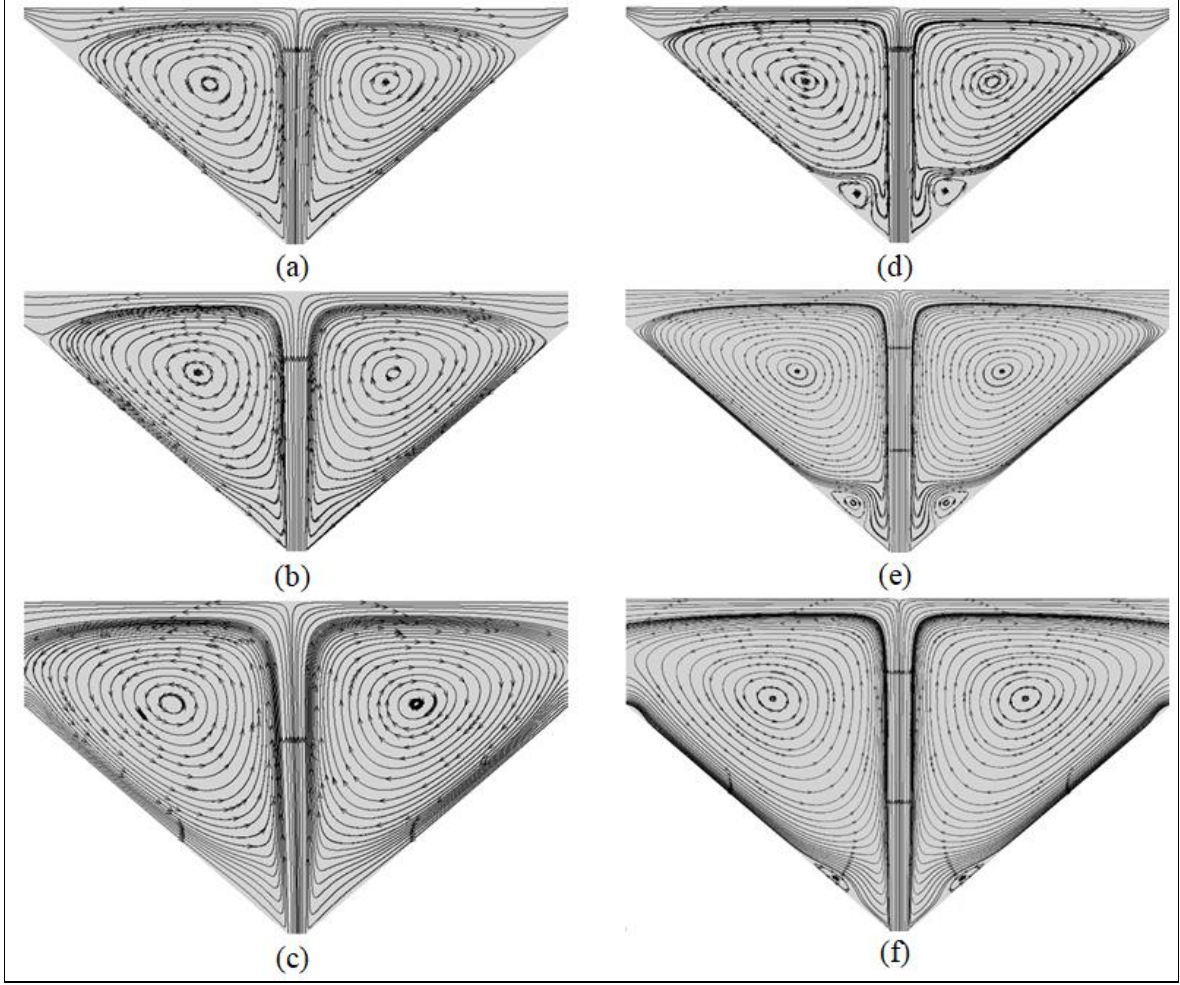


Şekil 3.1. $\theta = 15^\circ$ ve $Re=20000$ için hesaplanmış akış çizgileri

- a) $H/W=0.5$ (k-epsilon), b) $H/W=2$ (k-epsilon), c) $H/W=6$ (k-epsilon)
d) $H/W=0.5$ (k-omega), e) $H/W=2$ (k-omega), f) $H/W=6$ (k-omega)



Şekil 3.2. $\theta = 30^\circ$ ve $Re=20000$ için hesaplanmış akış çizgileri
a) $H/W=0.5$ (k-epsilon), b) $H/W=2$ (k-epsilon), c) $H/W=6$ (k-epsilon)
d) $H/W=0.5$ (k-omega), e) $H/W=2$ (k-omega), f) $H/W=6$ (k-omega)



Şekil 3.3. $\theta = 45^\circ$ ve $Re=20000$ için hesaplanmış akış çizgileri
 a) $H/W=0.5$ (k-epsilon), b) $H/W=2$ (k-epsilon), c) $H/W=6$ (k-epsilon)
 d) $H/W=0.5$ (k-omega), e) $H/W=2$ (k-omega), f) $H/W=6$ (k-omega)

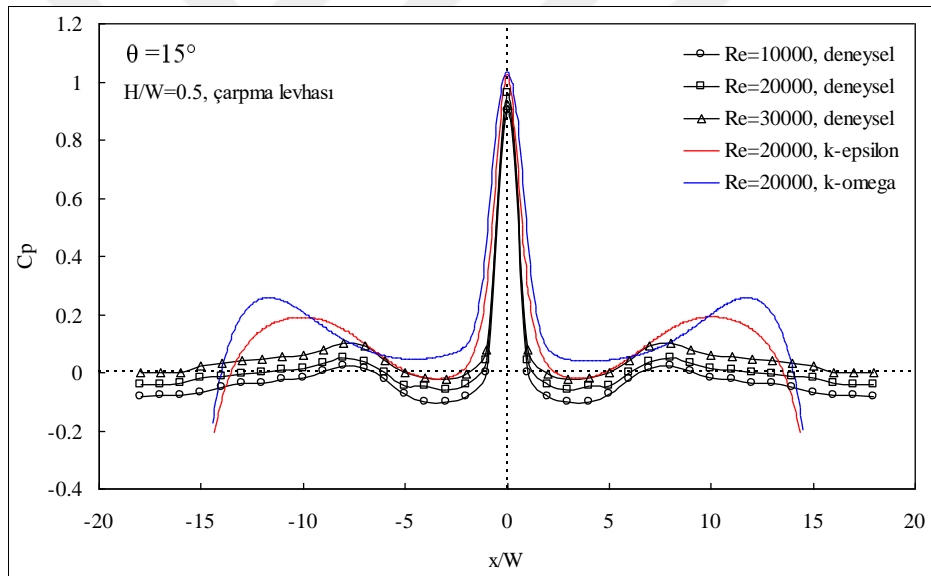
3.2. Basınç Dağılımları

3.2.1. $\theta = 15^\circ$ Eğimli Levhalarla Sınırlandırılmış Jet

Sınırlayıcı levha eğim açısının $\theta = 15^\circ$ değeri için farklı Reynolds sayılarında çarpma levhası orta eksenini boyunca deneysel ve sayısal olarak elde edilmiş basınç dağılımları levhalar arası açıklığının 0.5, 1, 2, 4 ve 6 değerleri için sırasıyla Şekil 3.4-3.8'de verilmiştir.

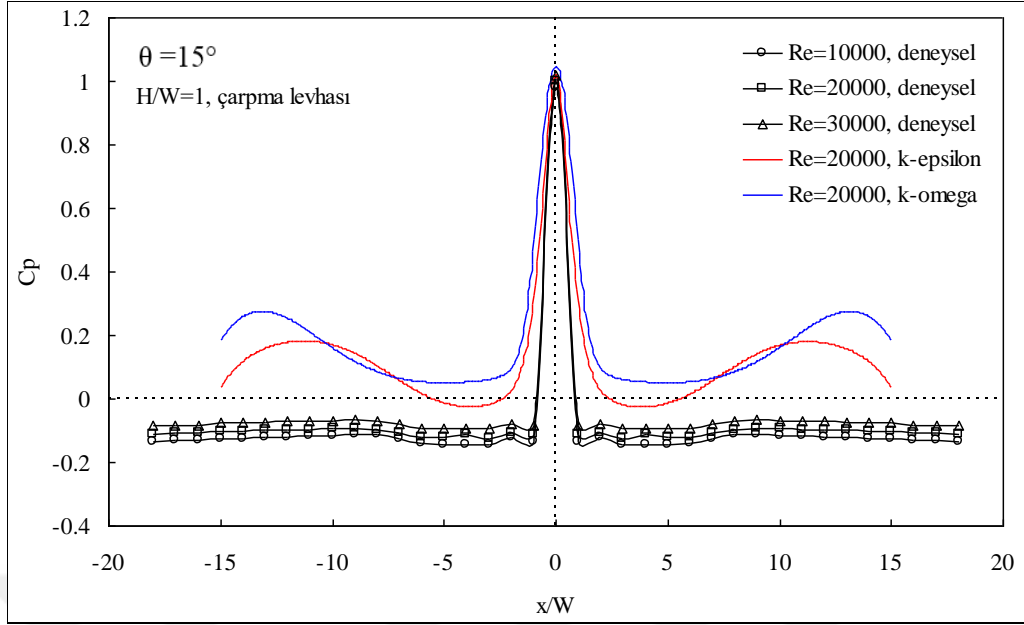
Şekil 3.4'de, levhalar arası açıklığın $H/W=0.5$ değeri için, Reynolds sayısının 10000, 20000 ve 30000 değerlerinde çarpma yüzeyi boyunca ölçülen ve $Re = 20000$ 'de k-epsilon ve k-omega türbülans modelleri ile hesaplanan basınç dağılımları bir arada görülmektedir.

10 mm genişlikte slot lüleden çıkan hava jeti, çarpma levhasına çarpmakta ve yön değiştirerek levha boyunca ilerlemektedir. Basınç, lüle ekseninin çarpma levhasını kestiği durma noktasında en büyük değeri almaktadır. Durma noktasından itibaren ani bir azalma ile $-1 \leq x/W \leq -6$ ve $+1 \leq x/W \leq +6$ aralıklarında ortam altı basınç bölgeleri oluşmakta, ve basınç katsayıları tekrar artarak $x/W \approx \pm 8$ konumlarında ikincil pikler oluşturmaktadır. $x/W \approx \pm 8$ konumundan itibaren basınç tekrar azalarak çarpma levhası uçlarına doğru ortam basıncına yaklaşmaktadır. Üç farklı Reynolds sayısı için çarpma yüzeyi boyunca elde edilen basınç katsayıları, basınç dağılımının Reynolds sayısından bağımsız olduğunu göstermektedir. İki farklı türbülans modeli ile sayısal olarak hesaplanan basınç katsayıları deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında, k-epsilon türbülans modeli ile elde edilen sonuçların deneysel verilere daha yakın olduğu görülmektedir.



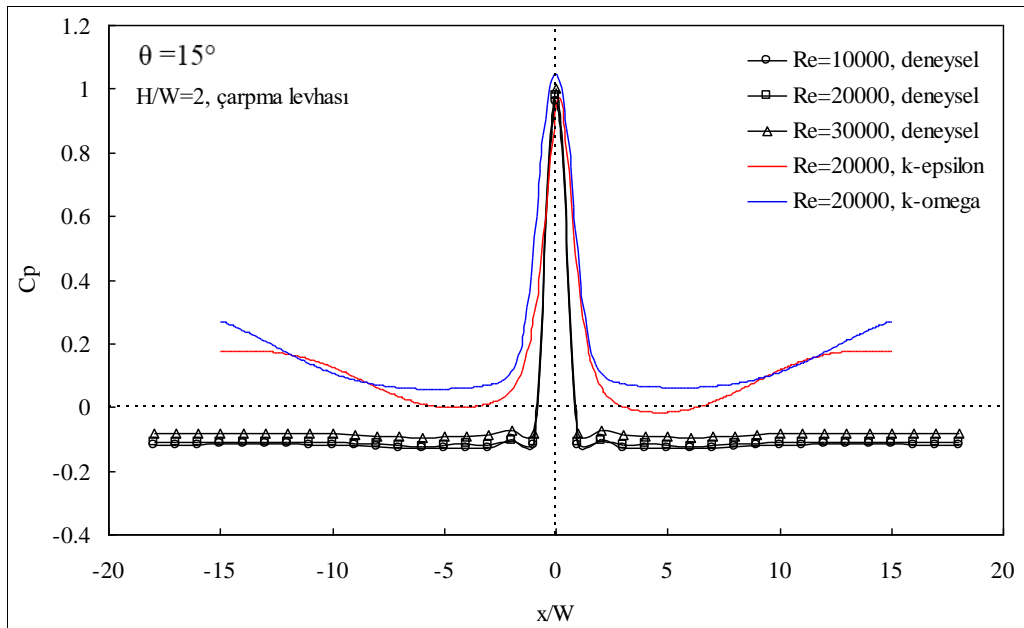
Şekil 3.4. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=0.5$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları

$H/W=1$ açıklığında, çarpma yüzeyi üzerinde farklı Reynolds sayıları için deneysel ve sayısal olarak elde edilen basınç dağılımları Şekil 3.5'de verilmiştir. Çarpma levhası üzerinde, lüle orta eksenine doğrultusunda oluşan durma noktasında yine basınç katsayısı maksimum olmaktadır. Basınç, durma noktasından itibaren ani bir düşüşle ortam basıncının altına inmekte ve çarpma yüzeyi boyunca ortam altı basınç etkili olmaktadır. Sayısal olarak hesaplanmış basınç katsayılarının durma noktasındaki deneysel sonuçlarla olan uyumu, çarpma levhasının diğer bölgelerinde azalmaktadır.

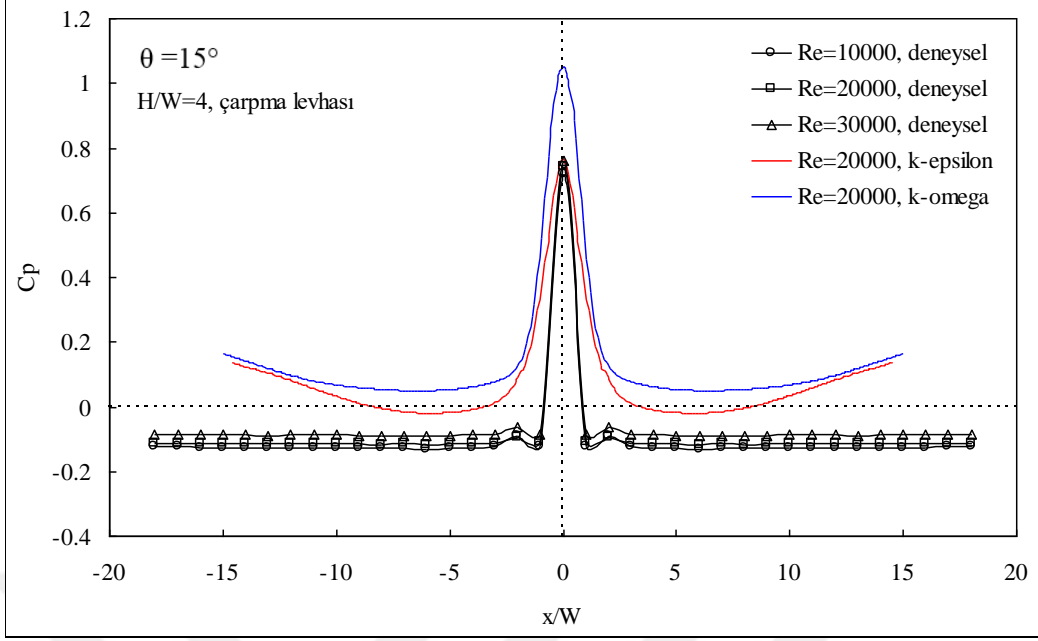


Şekil 3.5. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=1$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları

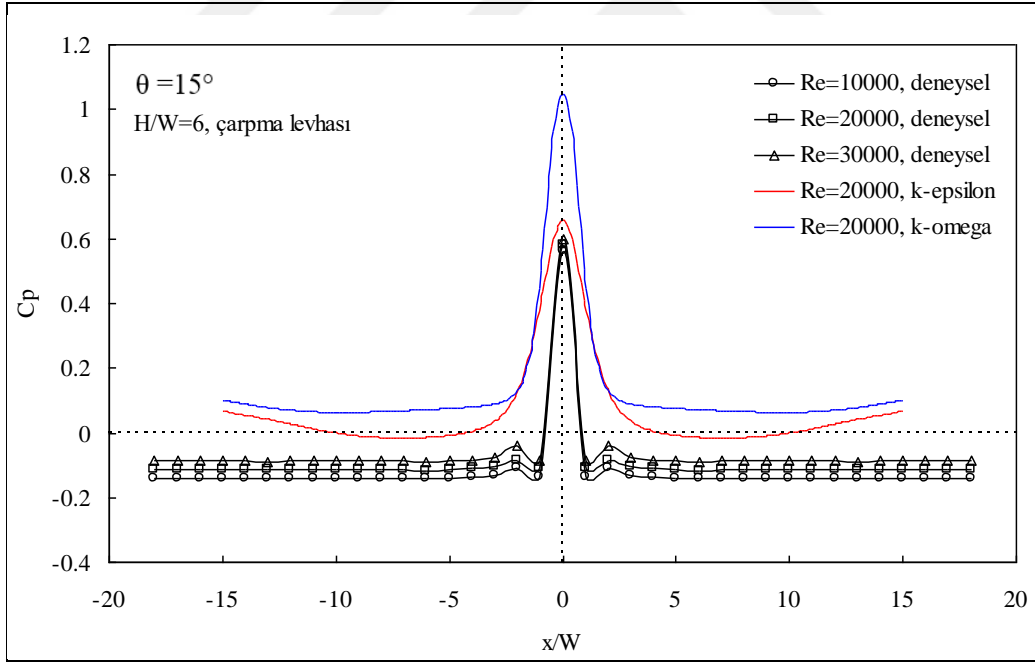
Şekil 3.6'da görülen $H/W=2$ açıklığa ait basınç dağılımları, Şekil 3.5'de verilen dağılımlarla benzerlik göstermektedir. $H/W=4$ ve $H/W=6$ levhalar arası açıklıklara ait Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de verilen basınç dağılımları değerlendirildiğinde, durma noktasındaki basınç katsayısının artan açıklıkla azaldığı görülmektedir. Her iki açıklıkta da durma noktası dışındaki basınç değerleri yine ortam basıncı altındadır.



Şekil 3.6. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=2$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları



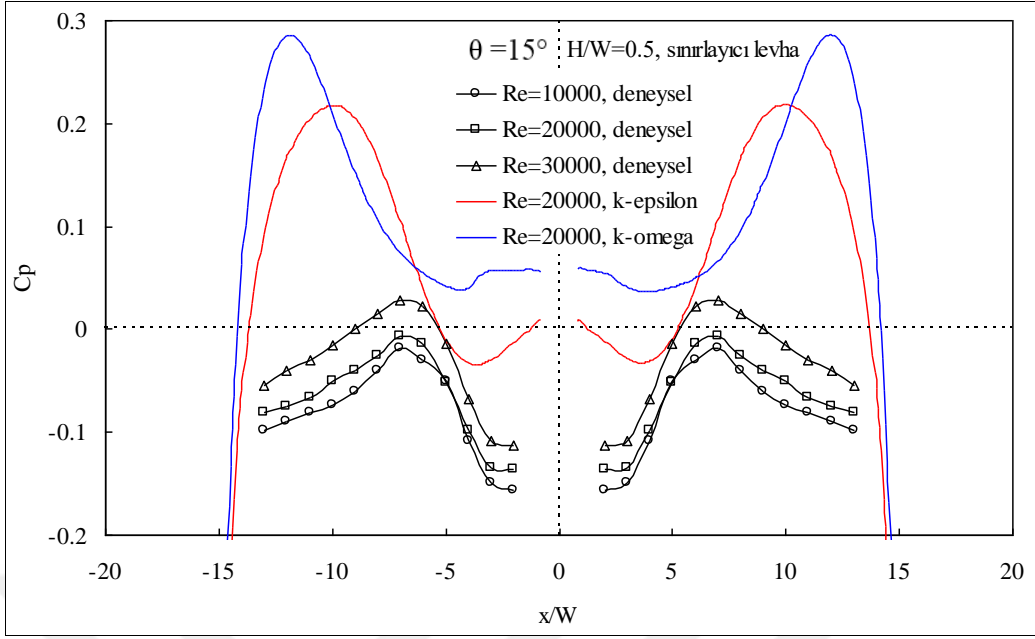
Şekil 3.7. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=4$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları



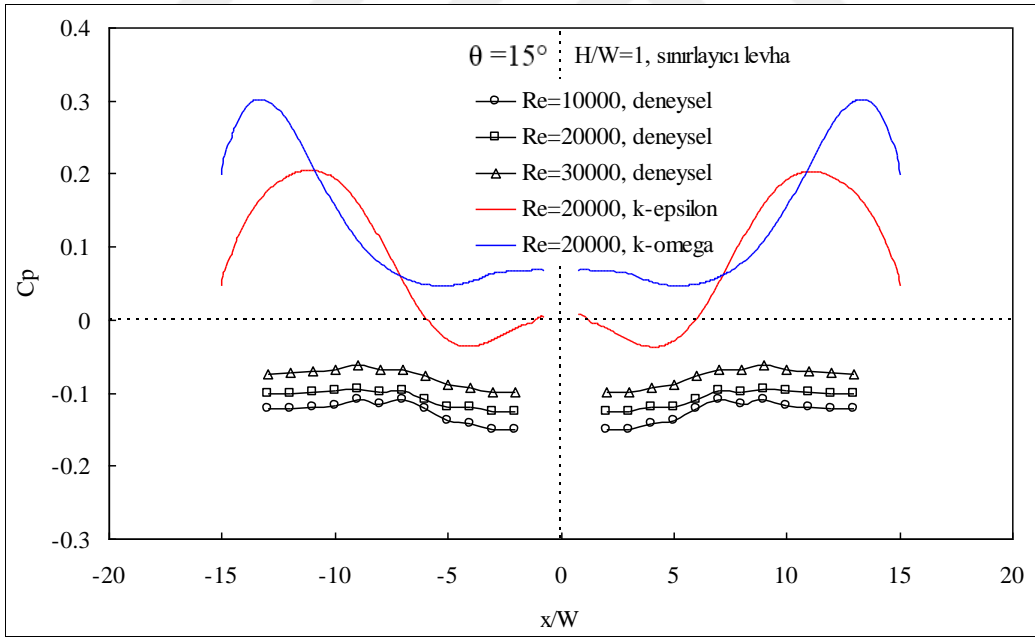
Şekil 3.8. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=6$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları

Sınırlayıcı levha eğim açısının $\theta = 15^\circ$ değeri için farklı Reynolds sayılarında sınırlayıcı levhaların orta eksenini boyunca deneysel ve sayısal olarak elde edilmiş basınç dağılımları lüle-levha açıklığının 0.5, 1, 2, 4 ve 6 değerleri için sırasıyla Şekil 3.9-3.13'de verilmiştir.

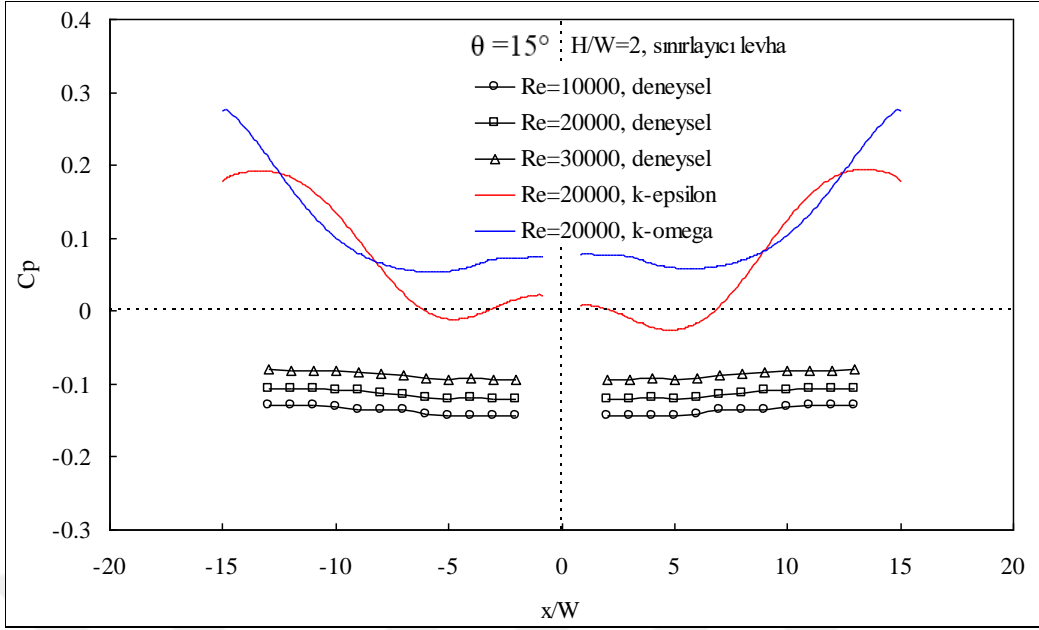
Levhalar arası açıklığın $H/W=0.5$ değeri için, Reynolds sayısının 10000, 20000 ve 30000 değerlerinde sınırlayıcı levha yüzeyleri boyunca ölçülen ve $Re = 20000$ 'de k-epsilon ve k-omega türbülans modelleri ile hesaplanan basınç dağılımları Şekil 3.9'da görülmektedir. Sınırlayıcı levhalar üzerinde ölçülen basınç değerleri her üç Reynolds sayısında da negatif olmaktadır. Slot lüle civarında kritik negatif değerler alan basınç katsayıları, levhalar boyunca artarak eğimli levhaların orta kısmında maksimum pikler oluşturmakta ve eğimli levhaların uç kısmına doğru tekrar azalmaktadır. Sınırlayıcı levhalar boyunca basınç dağılımları yine Reynolds sayısından bağımsız olmaktadır. Sınırlayıcı levhalar üzerinde sayısal olarak hesaplanan basınç katsayıları deneysel dağılımlarla karşılaştırıldığında, her iki türbülans modeli ile elde edilen sonuçların da deneysel verilerden uzak olduğu görülmektedir. $H/W=1$ için sınırlayıcı levhalar üzerindeki basınç dağılımlarının verildiği Şekil 10'da, deneysel olarak elde edilen ve negatif değerlerden oluşan basınç katsayılarının eğimli levhaların orta kısmında küçük ölçekli artışlar oluşturduğu görülmektedir. k-epsilon türbülans modeli ile hesaplanan dağılımlar deneysel sonuçlara daha yakın olmakta, ancak her iki türbülans modeli sonuçlarının da deneysel verilere uyumu yetersiz kalmaktadır. $H/W=2$, $H/W=4$ ve $H/W=6$ için sırasıyla Şekil 3.11, Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'de verilen dağılımlar bir arada değerlendirildiğinde, her üç grafikte de eğimli levhalar boyunca ölçülen basınç dağılımlarının birbirine benzer şekilde yaklaşık aynı negatif değerlerden oluştuğu görülmektedir. Her üç açıklıkta da, yine basınç dağılımları Reynolds sayısından bağımsız olmakta ve türbülans modelleri basınç katsayılarını deneysel sonuçlardan daha büyük hesaplamaktadır.



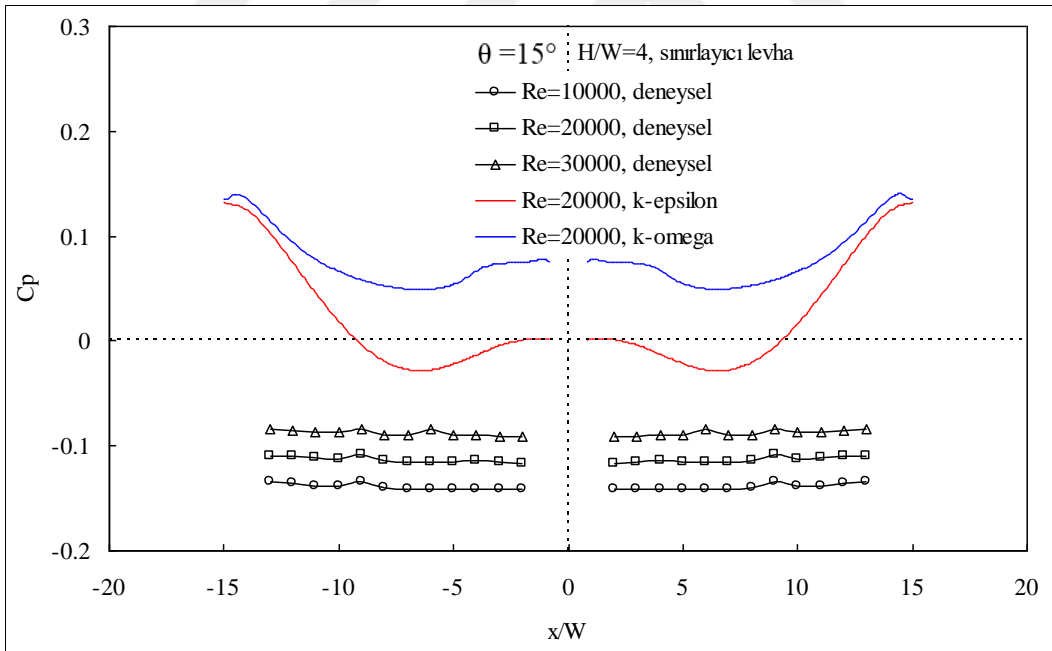
Şekil 3.9. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=0.5$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları



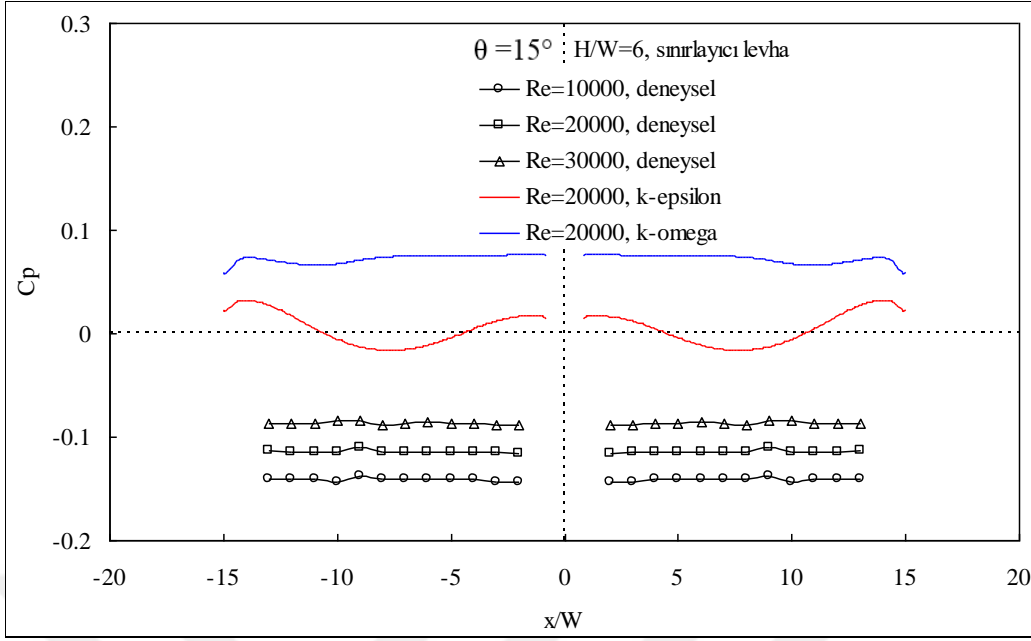
Şekil 3.10. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=1$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları



Şekil 3.11. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=2$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları



Şekil 3.12. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=4$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları



Şekil 3.13. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=6$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları

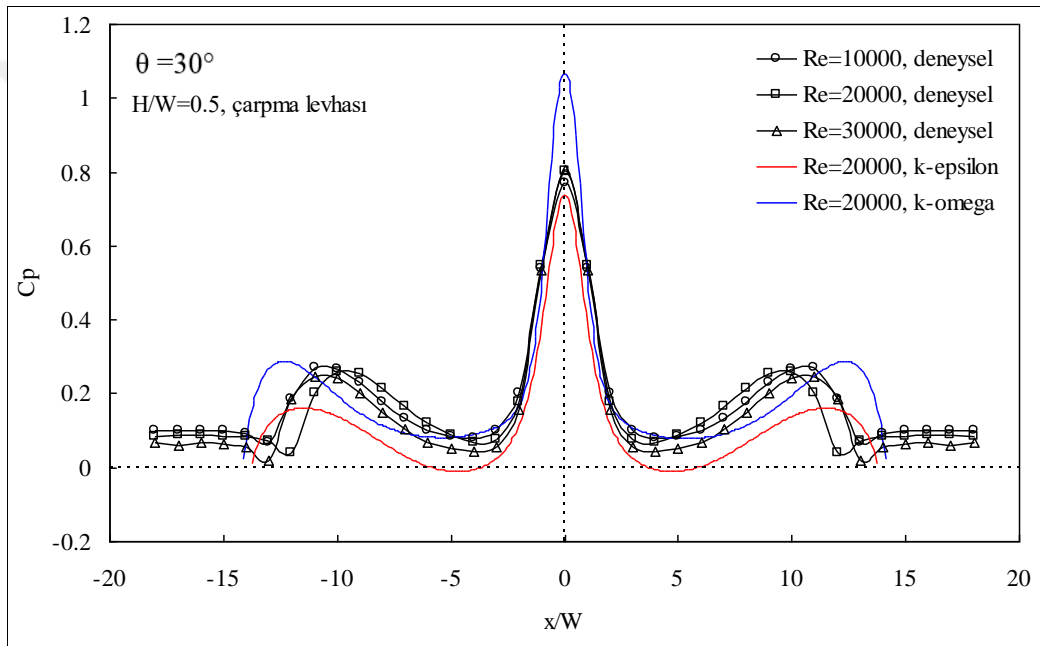
3.2.2. $\theta = 30^\circ$ Eğimli Levhalarla Sınırlandırılmış Jet

Sınırlayıcı levha eğim açısının $\theta = 30^\circ$ değeri için farklı Reynolds sayılarında çarpma levhası orta eksenini boyunca deneysel ve sayısal olarak elde edilmiş basınç dağılımları lüle-levha açıklığının 0.5, 1, 2, 4 ve 6 değerleri için sırasıyla Şekil 3.14-3.18'de verilmiştir.

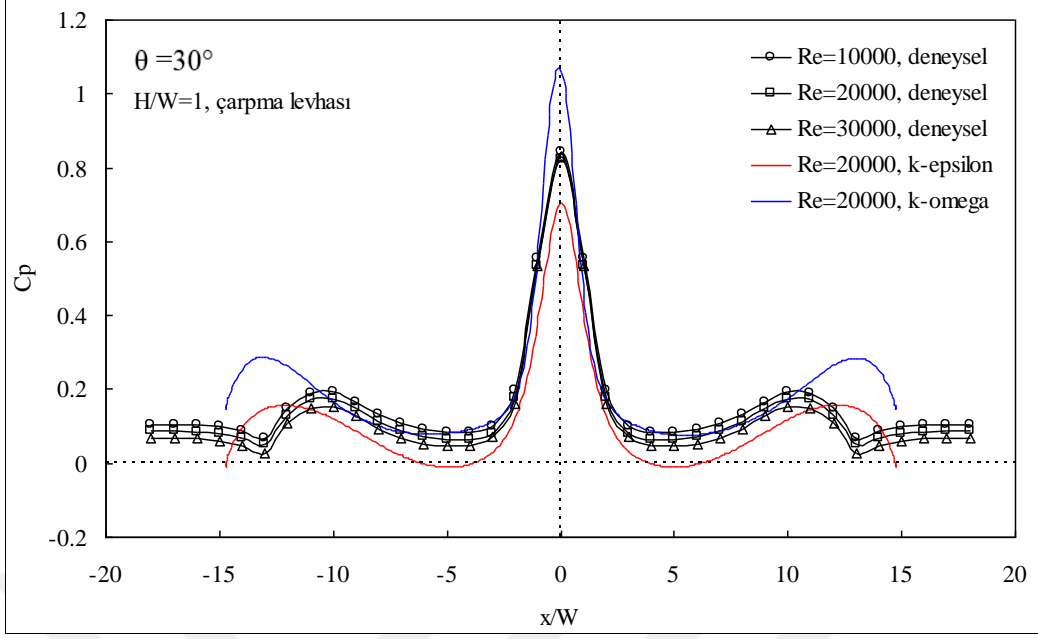
Şekil 3.14'de, levhalar arası açıklığın $H/W=0.5$ değeri için, Reynolds sayısının 10000, 20000 ve 30000 değerlerinde çarpma yüzeyi boyunca ölçülen ve $Re = 20000$ 'de k-epsilon ve k-omega türbülans modelleri ile hesaplanan basınç dağılımları bir arada görülmektedir. Çarpma levhası üzerinde, lüle orta eksenini doğrultusunda oluşan durma noktasında basınç katsayısı maksimum olmaktadır. Basınç, durma noktasından itibaren ani bir düşüşle azalmakta ve yüzey boyunca tekrar artarak $x/W \approx \pm 10$ civarında çarpma levhası üzerinde ikincil pikler oluşmaktadır. Çarpma levhası uçlarına doğru basınç tekrar azalarak ortam basıncına yaklaşmaktadır. Çarpma levhası üzerinde herhangi bir ortam altı basınç bölgesi oluşmamaktadır.

Çarpma yüzeyi boyunca elde edilen basınç katsayıları, basınç dağılımlarının Reynolds sayısından bağımsız olduğunu göstermektedir. İki farklı türbülans modeli ile sayısal olarak hesaplanan basınç katsayıları deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında, her iki türbülans modeli ile elde edilen sonuçların da deneysel verilere yakın olduğu, k-epsilon

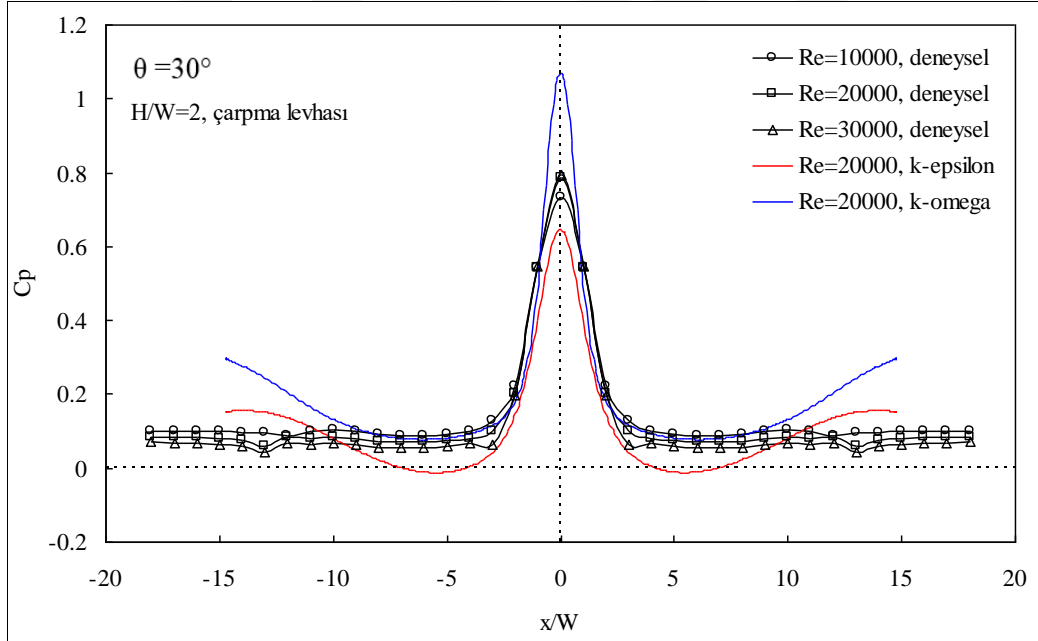
türbülans modelinin durma noktası basıncının daha gerçekçi hesapladığı görülmektedir. Şekil 3.15’de $H/W=1$ açıklık için verilen basınç dağılımları, durma noktasında basınç katsayısının maksimum değer aldığını, $x/W \approx \pm 10$ civarında ise yine ikincil basınç artışlarının olduğunu göstermektedir. Her üç Reynolds sayısına ait basınç dağılımlarının benzerliği, sayısal olarak hesaplanmış dağılımlarla da desteklenmektedir. $H/W=2, 4$ ve 6 açıklıklara ait sırasıyla Şekil 3.16, 3.17 ve 3.18’de verilen basınç dağılımları, artan açıklıkla birlikte, çarpma yüzeyi üzerinde oluşan ikincil piklerin yok olduğunu ve durma noktasındaki basınç değerlerinin azaldığını göstermektedir.



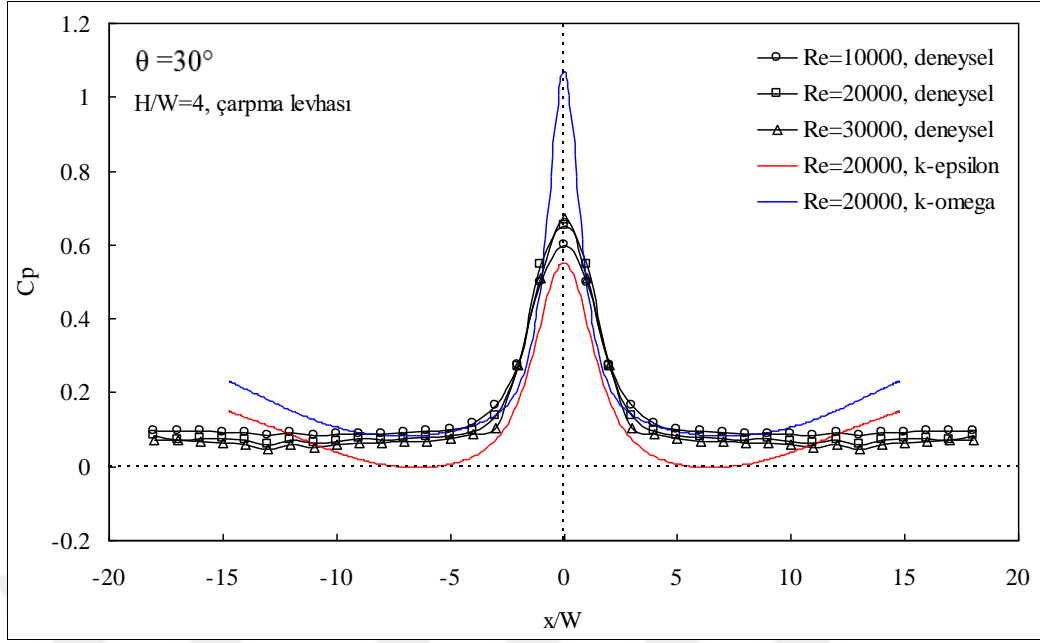
Şekil 3.14. $\theta = 30^\circ$ ve $H/W=0.5$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları



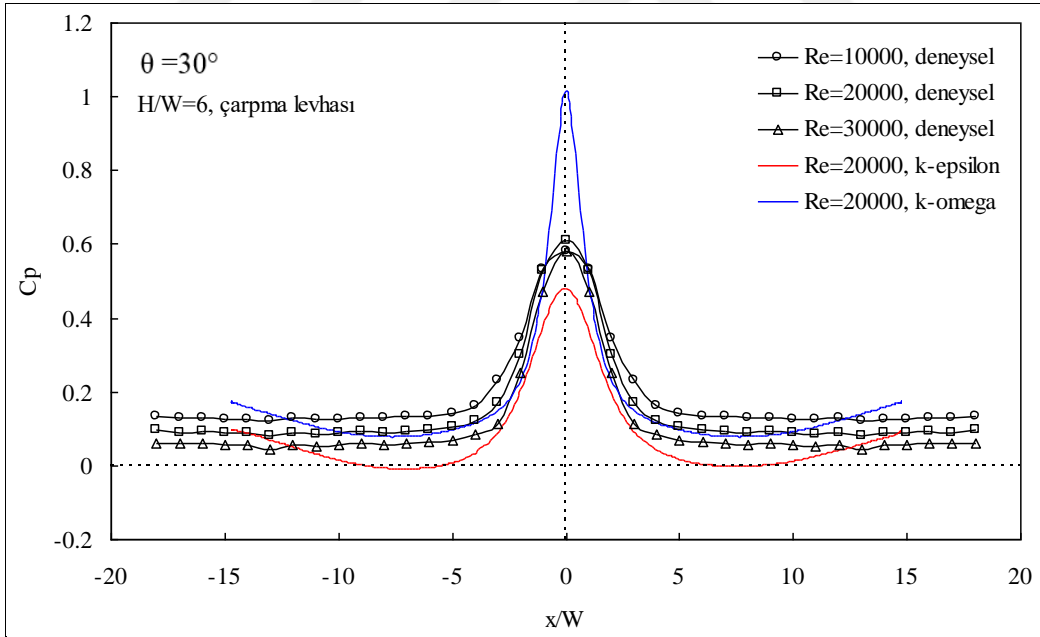
Şekil 3.15. $\theta = 30^\circ$ ve $H/W=1$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları



Şekil 3.16. $\theta = 30^\circ$ ve $H/W=2$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları



Şekil 3.17. $\theta = 30^\circ$ ve $H/W=4$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları



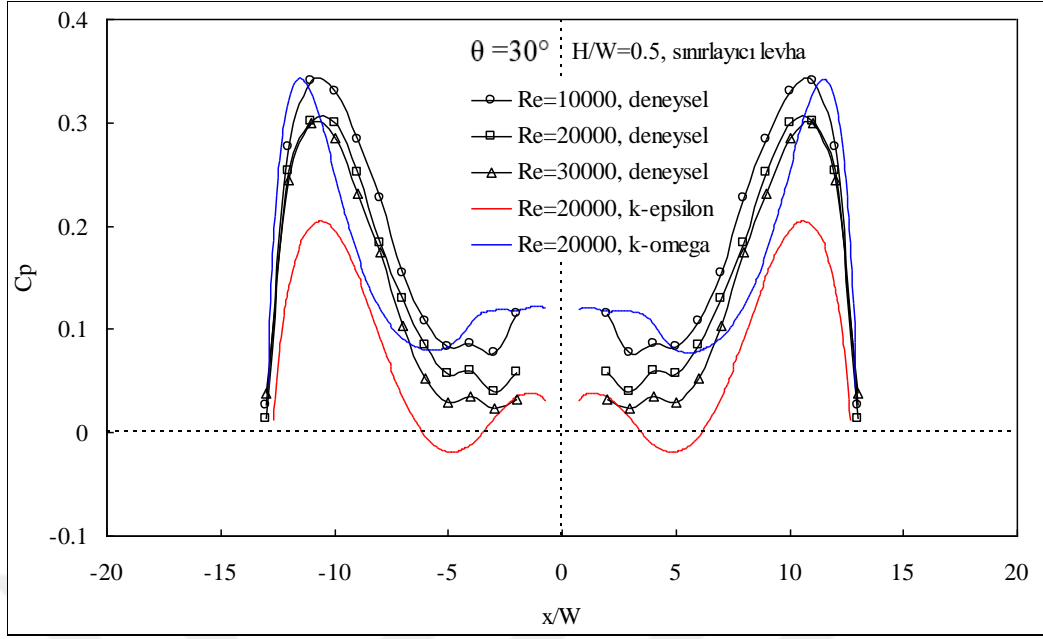
Şekil 3.18. $\theta = 30^\circ$ ve $H/W=6$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları

Sınırlayıcı levha eğim açısının $\theta = 30^\circ$ değeri için farklı Reynolds sayılarında sınırlayıcı levhaların orta eksenini boyunca deneysel ve sayısal olarak elde edilmiş basınç

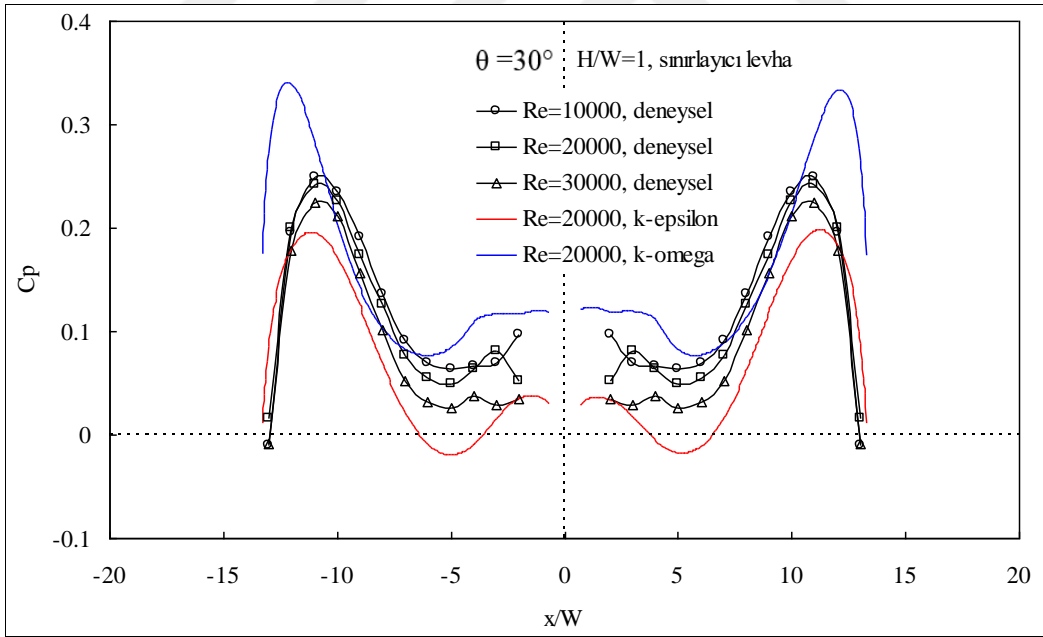
dağılımları lüle-levha açıklığının 0.5, 1, 2, 4 ve 6 değerleri için sırasıyla Şekil 3.19-3.23'de verilmiştir.

Levhalar arası açıklığın $H/W=0.5$ değeri için, Reynolds sayısının 10000, 20000 ve 30000 değerlerinde sınırlayıcı levha yüzeyleri boyunca ölçülen ve $Re = 20000$ 'de k -epsilon ve k -omega türbülans modelleri ile hesaplanan basınç dağılımları Şekil 3.19'da görülmektedir. Sınırlayıcı levhalar üzerinde ölçülen basınç değerleri her üç Reynolds sayısında da pozitif olmaktadır.

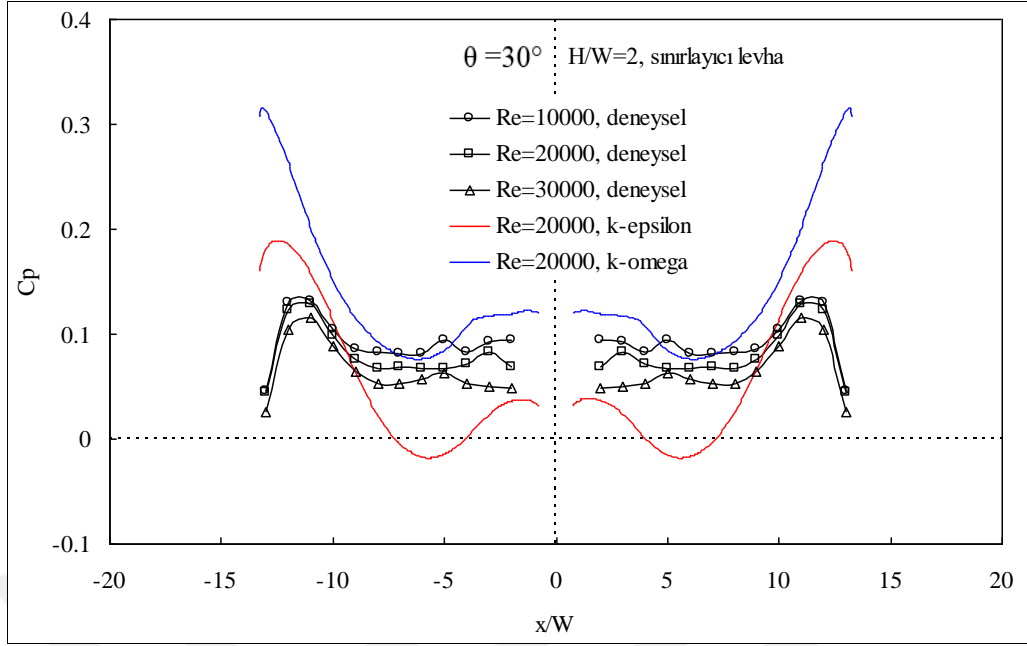
Slot lüle civarında düşük değerlerde seyreden basınç katsayıları eğimli levhaların uçlarına yakın bölgelerde maksimum pikler oluşturmaktadır. Sınırlayıcı levhalar boyunca basınç dağılımları yine Reynolds sayısından bağımsız olmaktadır. Sınırlayıcı levhalar üzerinde sayısal olarak hesaplanan basınç katsayıları deneysel dağılımlarla karşılaştırıldığında, her iki türbülans modeli ile elde edilen sonuçların da deneysel verilerle uyumlu olduğu görülmektedir. $H/W=1$ için sınırlayıcı levhalar üzerindeki basınç dağılımlarının verildiği Şekil 20'de, Şekil 19'daki dağılıma benzer şekilde basınç katsayılarının, lüle civarında düşük değerlerde seyrederken eğimli levhaların uçlarına yakın bölgelerde maksimum pikler oluşturduğu görülmektedir. Şekil 3.21'de verilen $H/W=2$ açıklığa ait basınç dağılımlarında, sınırlayıcı levhaların büyük bölümünde basınç değerlerinin yaklaşık aynı olduğu ve levha uçlarına doğru küçük ölçekli basınç artışlarının olduğu görülmektedir. $H/W=4$ ve $H/W=6$ için sırasıyla Şekil 3.22 ve Şekil 3.23'de verilen dağılımlar bir arada değerlendirildiğinde, her iki grafikte de eğimli levhalar boyunca ölçülen basınç dağılımlarının birbirine benzer şekilde yaklaşık aynı değerlerden oluştuğu görülmektedir. Her iki açıklıkta da, basınç dağılımları yine Reynolds sayısından bağımsız olmaktadır. Artan levhalar arası açıklıkla birlikte, türbülans modelleri ile hesaplanan basınç katsayılarının deneysel sonuçlara olan yakınlığı azalmaktadır.



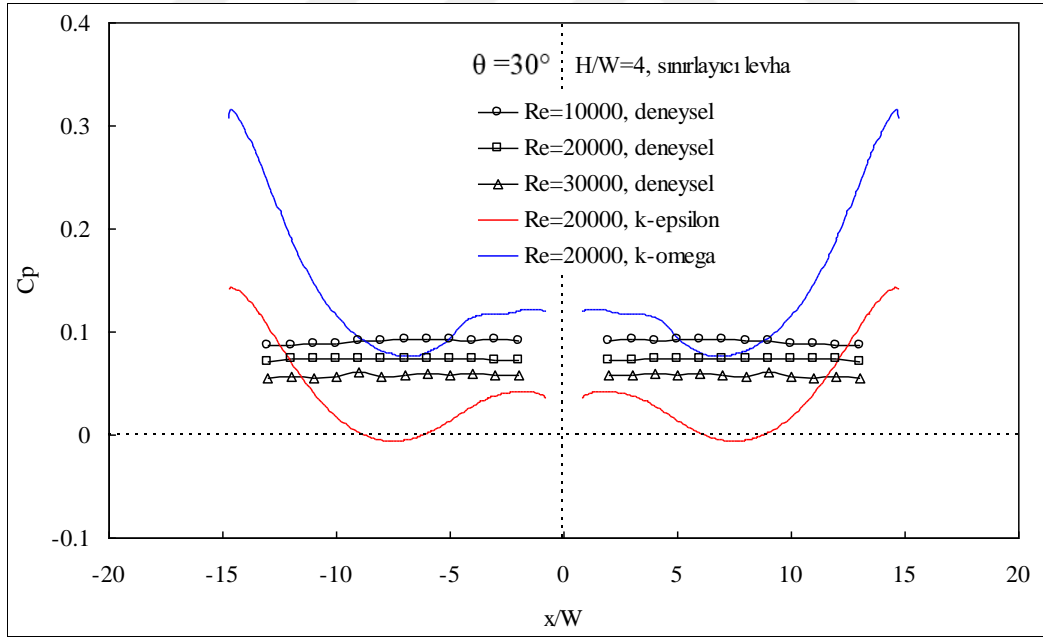
Şekil 3.19. $\theta = 30^\circ$ ve $H/W=0.5$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları



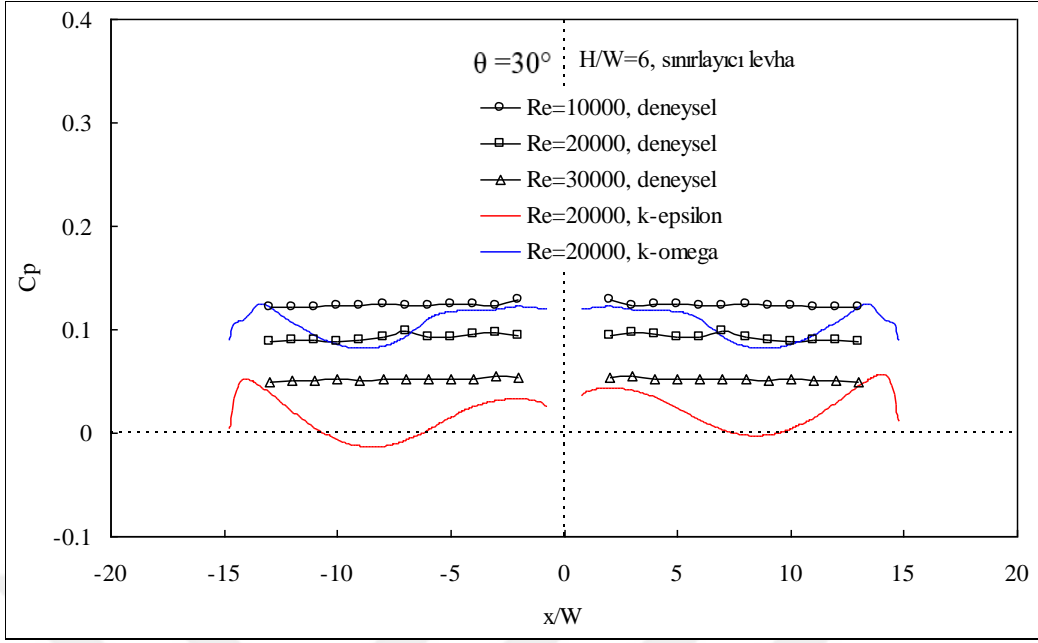
Şekil 3.20. $\theta = 30^\circ$ ve $H/W=1$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları



Şekil 3.21. $\theta = 30^\circ$ ve $H/W=2$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları



Şekil 3.22. $\theta = 30^\circ$ ve $H/W=4$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları



Şekil 3.23. $\theta = 30^\circ$ ve $H/W=6$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları

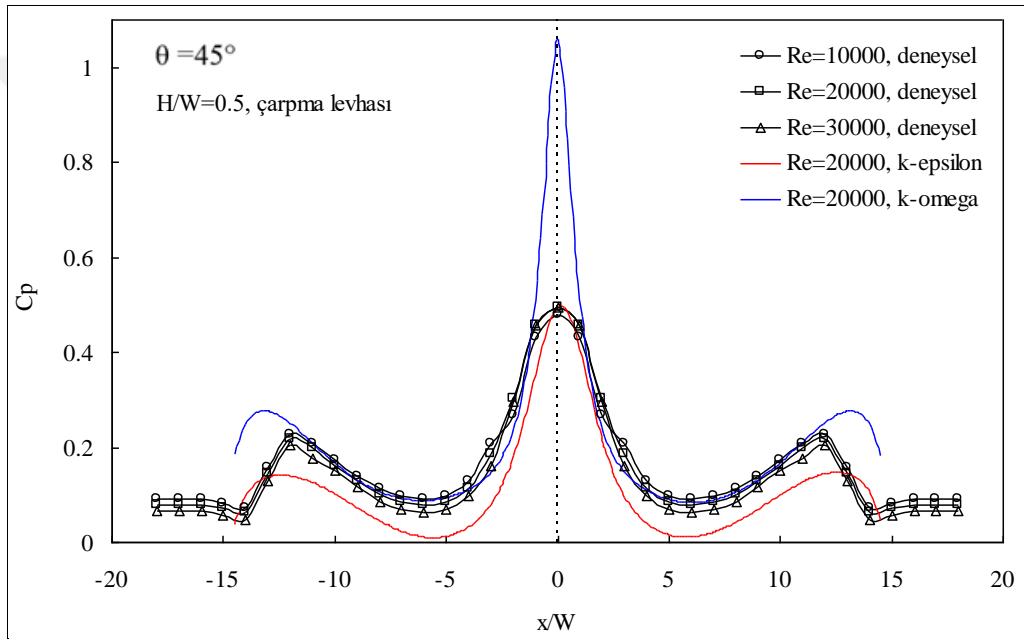
3.2.3. $\theta = 45^\circ$ Eğimli Levhalarla Sınırlandırılmış Jet

Sınırlayıcı levha eğim açısının $\theta = 45^\circ$ değeri için farklı Reynolds sayılarında çarpma levhası orta eksenini boyunca deneysel ve sayısal olarak elde edilmiş basınç dağılımları lüle-levha açıklığının 0.5, 1, 2, 4 ve 6 değerleri için sırasıyla Şekil 3.24-3.28’de verilmiştir.

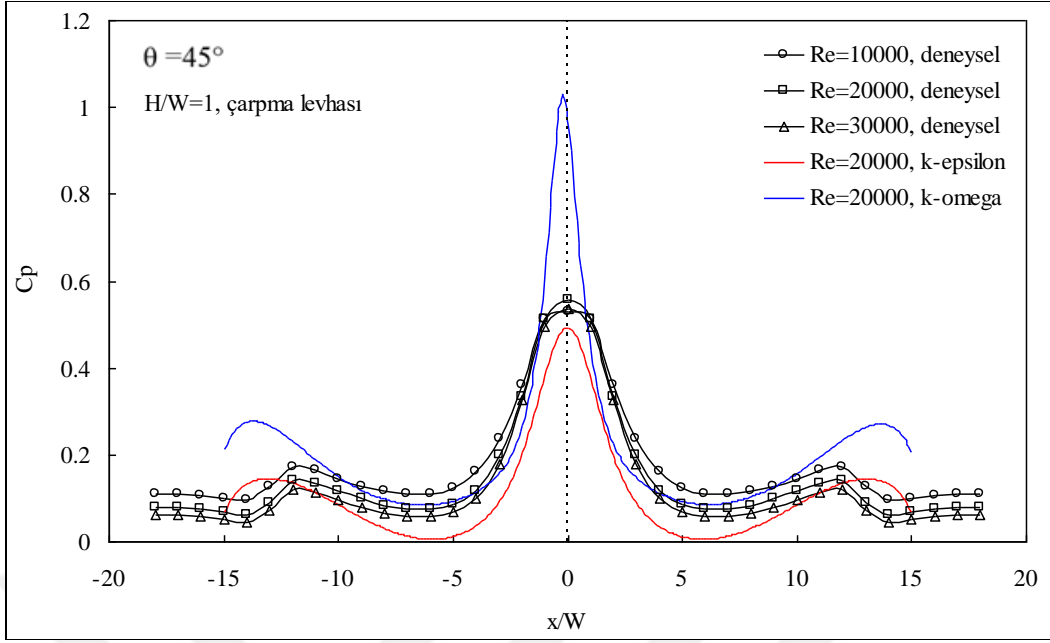
Şekil 3.24’de, levhalar arası açıklığın $H/W=0.5$ değeri için, Reynolds sayısının 10000, 20000 ve 30000 değerlerinde çarpma yüzeyi boyunca ölçülen ve $Re = 20000$ ’de k-epsilon ve k-omega türbülans modelleri ile hesaplanan basınç dağılımları bir arada görülmektedir. Çarpma levhası üzerinde, lüle orta eksenini doğrultusunda oluşan durma noktasında basınç katsayısı maksimum olmaktadır. Basınç, durma noktasından itibaren ani bir düşüşle azalmakta ve yüzey boyunca tekrar artarak $x/W \approx \pm 12$ civarında çarpma levhası üzerinde ikincil pikler oluşmaktadır. Çarpma levhası uçlarına doğru tekrar azalan basınç ortam basıncına yaklaşmaktadır. Çarpma levhası üzerinde herhangi bir ortam altı basınç bölgesi oluşmamaktadır.

Çarpma yüzeyi boyunca elde edilen basınç katsayıları, basınç dağılımlarının Reynolds sayısından bağımsız olduğunu göstermektedir. İki farklı türbülans modeli ile sayısal olarak hesaplanan basınç katsayıları deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında, her iki türbülans modeli ile elde edilen sonuçların da deneysel verilere yakın olduğu, ancak k-

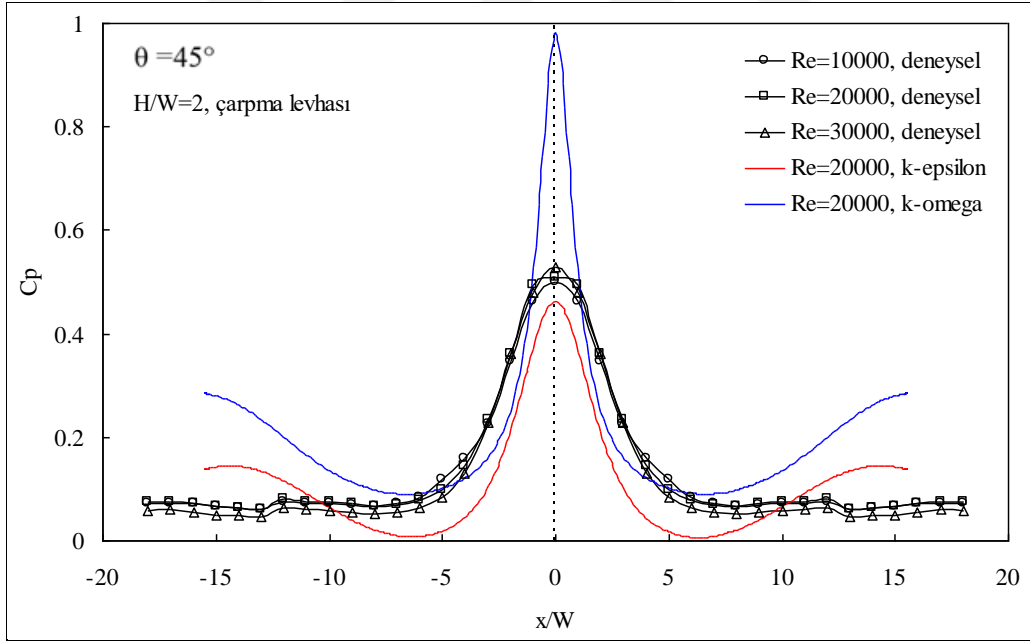
omega türbülans modelinin durma noktası basıncının çok büyük hesapladığı görülmektedir. Şekil 3.25’de $H/W=1$ açıklık için verilen basınç dağılımları, durma noktasında basınç katsayısının maksimum değer aldığı, $x/W \approx \pm 12$ civarında ise yine ikincil basınç artışlarının olduğunu göstermektedir. $H/W=2$ açıklıkta, $x/W \approx \pm 12$ civarında beklenen ikincil basınç artışının çok düşük ölçekli olduğu görülmektedir (Şekil 3.26). $H/W=4$ ve 6 açıklıklara ait sırasıyla Şekil 3.27 ve 3.28’de verilen basınç dağılımları, artan açıklıkla birlikte, çarpma yüzeyi üzerinde oluşan ikincil piklerin yok olduğunu ve durma noktasındaki basınç değerlerinin azaldığını göstermektedir.



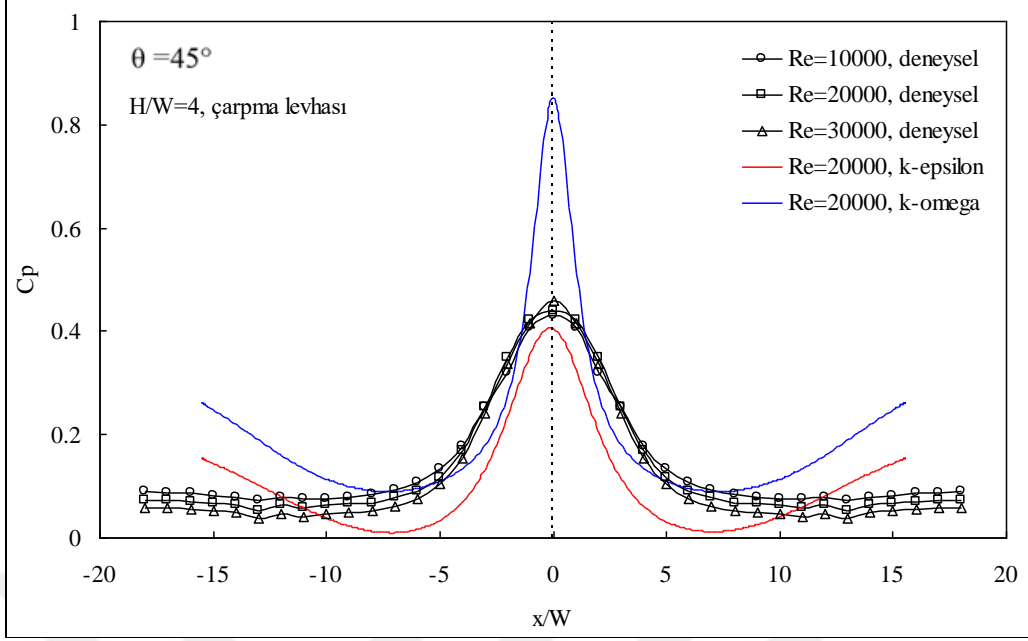
Şekil 3.24. $\theta = 45^\circ$ ve $H/W=0.5$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları



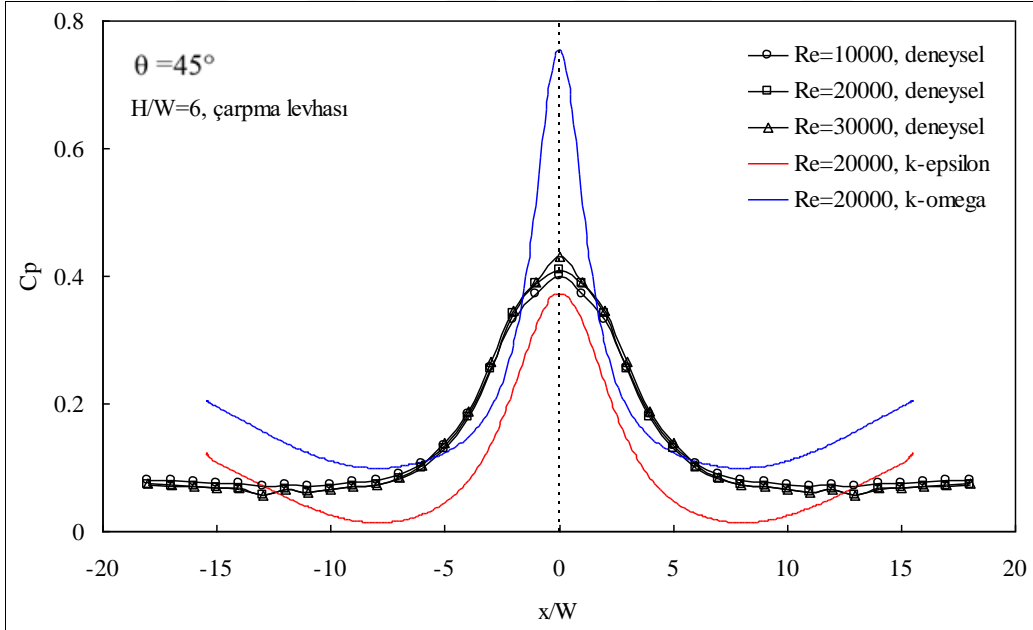
Şekil 3.25. $\theta = 45^\circ$ ve $H/W=1$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları



Şekil 3.26. $\theta = 45^\circ$ ve $H/W=2$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları



Şekil 3.27. $\theta = 45^\circ$ ve $H/W=4$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları

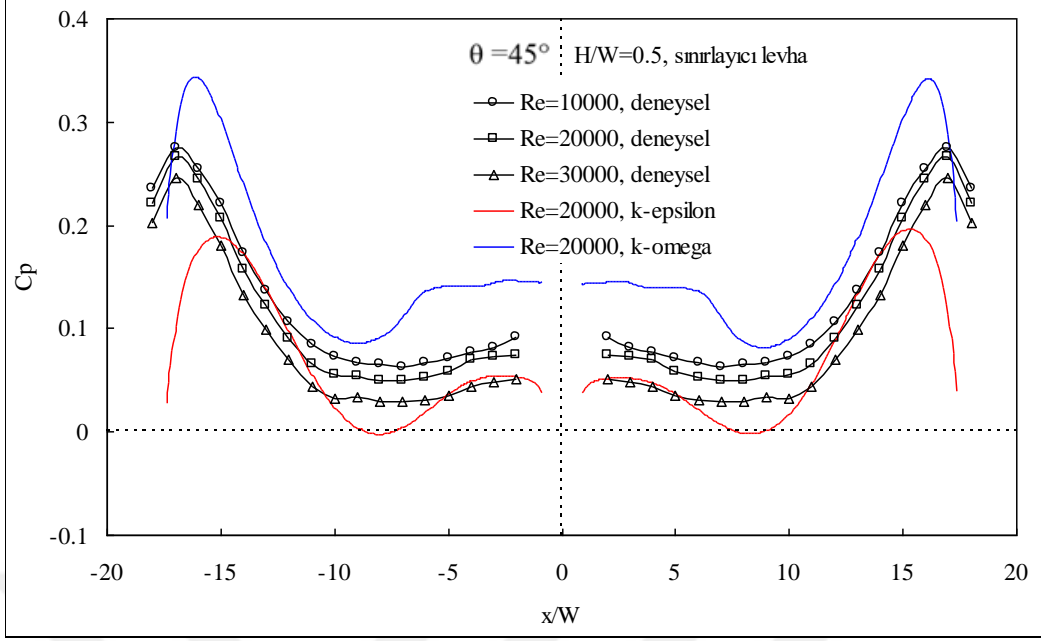


Şekil 3.28. $\theta = 45^\circ$ ve $H/W=6$ değerleri için çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları

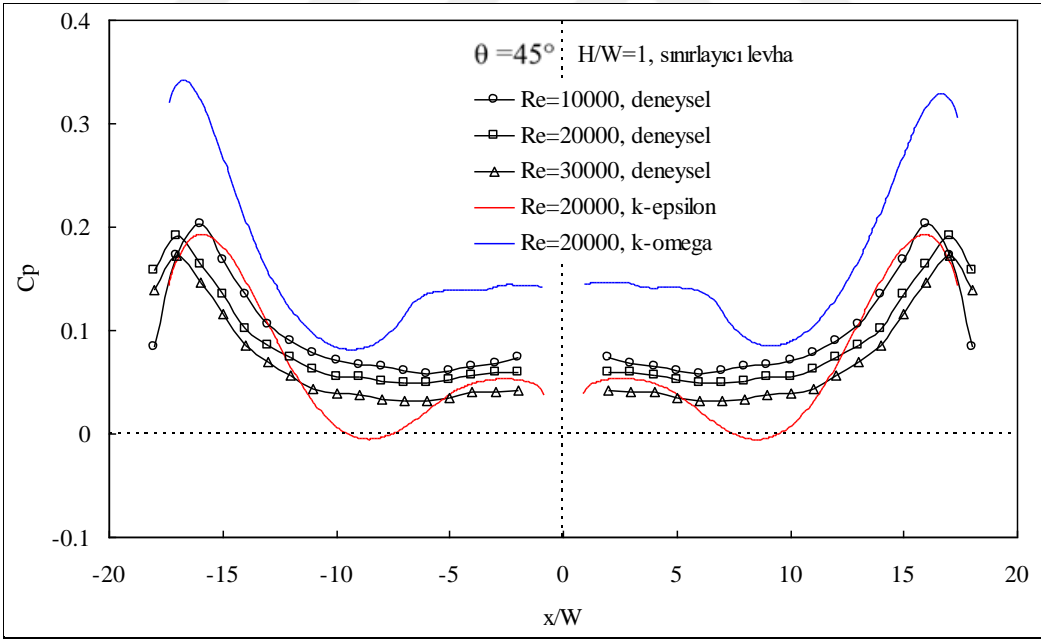
Sınırlayıcı levha eğim açısının $\theta = 45^\circ$ değeri için farklı Reynolds sayılarında sınırlayıcı levhaların orta eksenini boyunca deneysel ve sayısal olarak elde edilmiş basınç

dağılımları lüle-levha açıklığının 0.5, 1, 2, 4 ve 6 değerleri için sırasıyla Şekil 3.29-3.33'de verilmiştir.

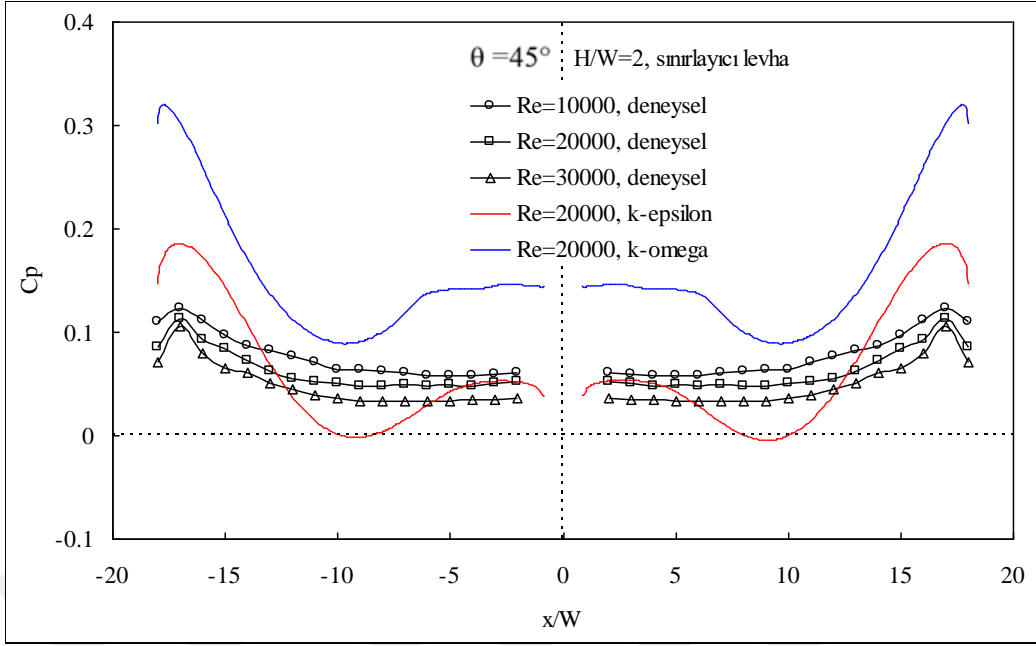
Levhalar arası açıklığın $H/W=0.5$ değeri için, Reynolds sayısının 10000, 20000 ve 30000 değerlerinde sınırlayıcı levha yüzeyleri boyunca ölçülen ve $Re = 20000$ 'de k -epsilon ve k -omega türbülans modelleri ile hesaplanan basınç dağılımları Şekil 3.29'da görülmektedir. Sınırlayıcı levhalar üzerindeki basınç dağılımları pozitif basınç değerlerinden oluşmaktadır. Slot lüle civarında düşük değerlerde elde edilen basınç katsayıları eğimli levhaların uçlarına yakın bölgelerde maksimum pikler oluşturmaktadır. Sınırlayıcı levhalar boyunca basınç dağılımları yine Reynolds sayısından bağımsız olmaktadır. Sınırlayıcı levhalar üzerinde sayısal olarak hesaplanan basınç katsayıları deneysel sonuçlarla benzerlik göstermektedir. $H/W=1$ için sınırlayıcı levhalar üzerindeki basınç dağılımlarının verildiği Şekil 30'da, Şekil 29'daki dağılıma benzer şekilde basınç katsayıları, lüle civarında düşük değerler alırken eğimli levhaların uçlarına yakın bölgelerde maksimum pikler oluşturmaktadır. Şekil 3.31'de verilen $H/W=2$ açıklığa ait basınç dağılımlarında, eğimli levha uçlarına doğru ortaya çıkan basınç artışının küçük ölçekli olduğu görülmektedir. $H/W=4$ ve $H/W=6$ için sırasıyla Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'de verilen dağılımlar bir arada değerlendirildiğinde, her iki grafikte de eğimli levhalar boyunca ölçülen basınç dağılımlarının birbirine benzer şekilde yaklaşık aynı değerlerden oluştuğu görülmektedir. Her iki açıklıkta da, yine basınç dağılımları Reynolds sayısından bağımsız olmaktadır. Artan levhalar arası açıklıkla birlikte, türbülans modelleri ile hesaplanan basınç katsayılarının deneysel sonuçlarla olan uyum azalmaktadır.



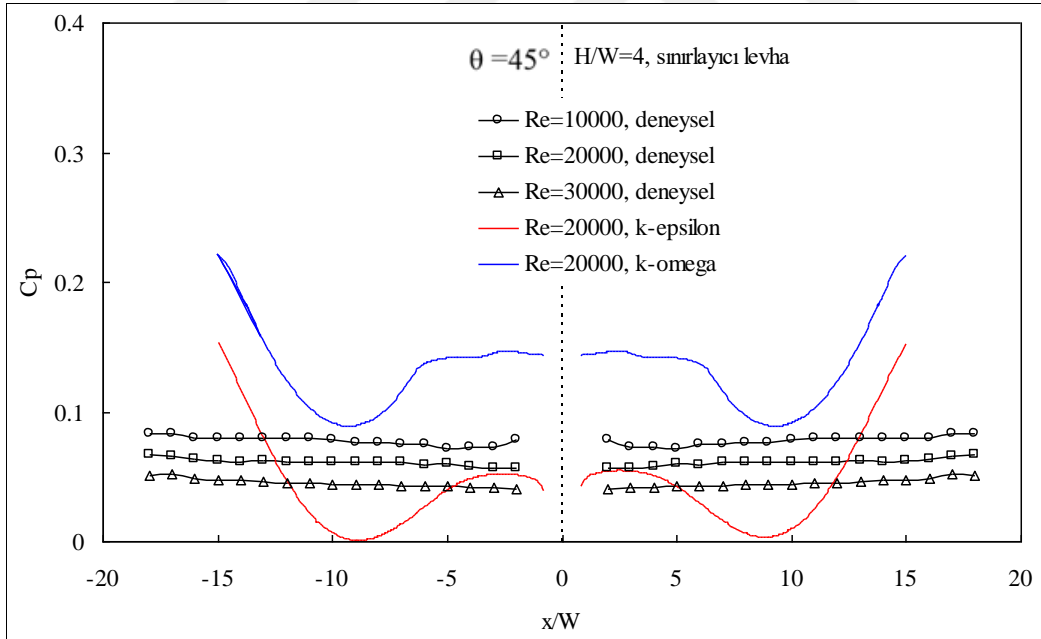
Şekil 3.29. $\theta = 45^\circ$ ve $H/W=0.5$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları



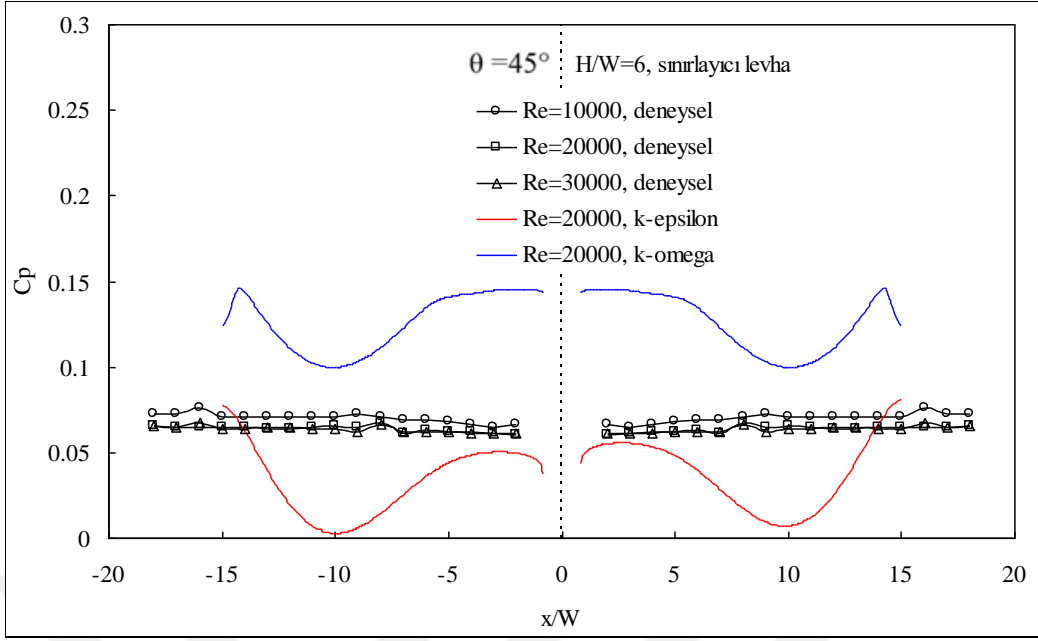
Şekil 3.30. $\theta = 45^\circ$ ve $H/W=1$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları



Şekil 3.31. $\theta = 45^\circ$ ve $H/W=2$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları



Şekil 3.32. $\theta = 45^\circ$ ve $H/W=4$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları



Şekil 3.33. $\theta = 45^\circ$ ve $H/W=6$ değerleri için sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları

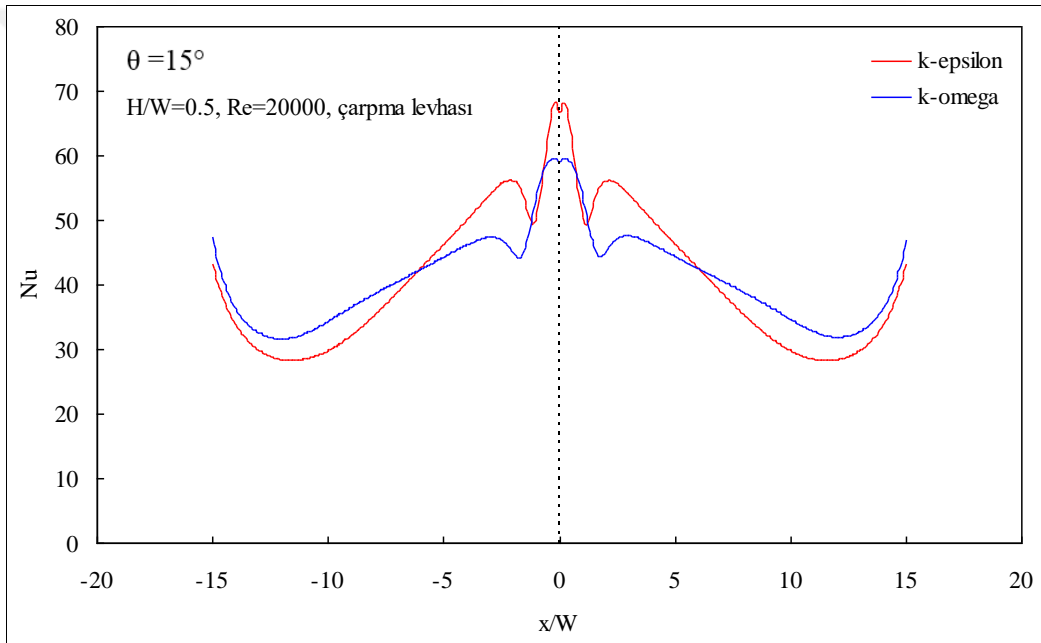
3.3. Nusselt Dağılımları

3.3.1. $\theta = 15^\circ$ Eğimli Levhalarla Sınırlandırılmış Jet

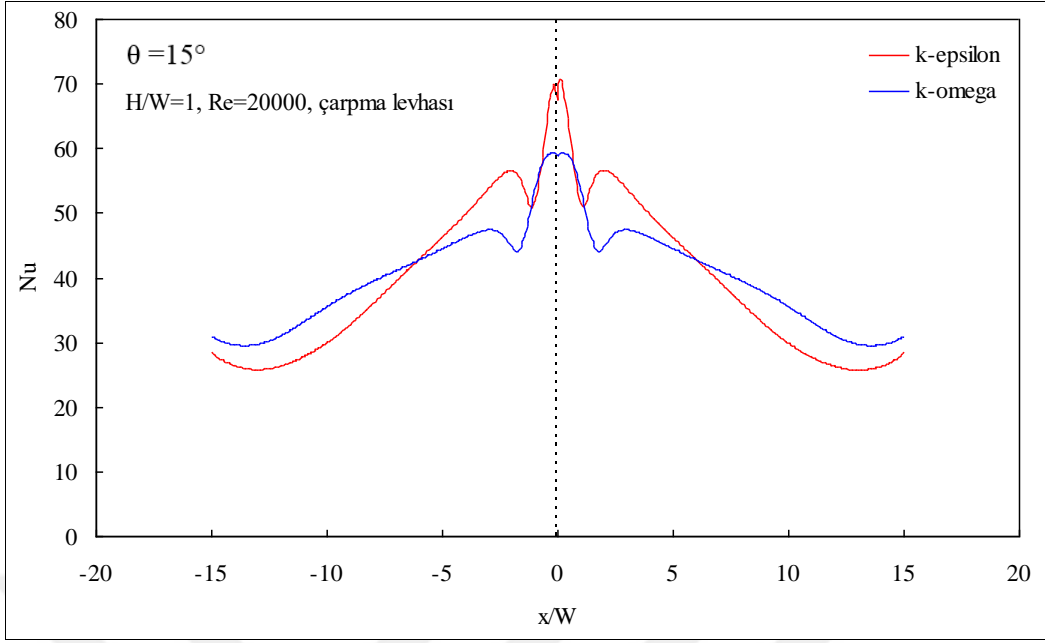
Sınırlayıcı levha eğim açısının $\theta = 15^\circ$ değeri için $Re=20000$ 'de çarpma levhası orta eksenini boyunca iki farklı türbülans modeli ile (k-epsilon ve k-omega türbülans modelleri ile) hesaplanmış Nusselt dağılımları lüle-levha açıklığının 0.5, 1, 2, 4 ve 6 değerleri için sırasıyla Şekil 3.34-3.38'de verilmiştir.

$H/W=0.5$ açıklıkta, çarpma levhası üzerinde k-epsilon ve k-omega türbülans modelleri ile hesaplanmış Nusselt dağılımları Şekil 3.34'de verilmiştir. Her iki türbülans modeli sonuçları da yerel Nusselt sayısının durma noktasında maksimum değer aldığını ve $x/W \approx \pm 2.5$ konumunda Nusselt dağılımlarında ikincil artışların olduğunu göstermektedir. Çarpma levhası boyunca azalan Nusselt sayısı değerleri çarpma levhası uçlarına doğru yeniden artmaktadır. Çarpma levhası uçlarında Nusselt sayısındaki artış eğimli sınırlayıcı levhaların varlığı nedeniyledir. Hem durma noktasındaki hem de ikincil pik noktasındaki Nusselt değerleri, k-epsilon türbülans modeli ile daha büyük hesaplanmaktadır. $H/W=1$ açıklığa ait Şekil 3.35'te verilen Nusselt dağılımları, $H/W=0.5$ açıklıktaki dağılımlarla benzerlik göstermektedir. $H/W=2$ ve $H/W=4$ açıklıklar için sırasıyla Şekil 3.36 ve 3.37'de

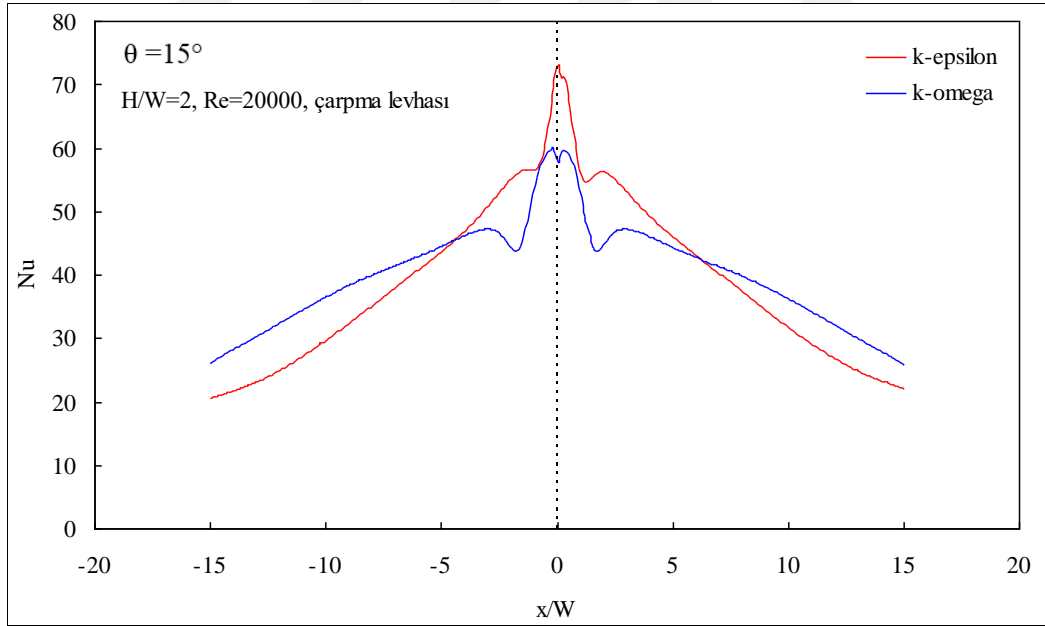
verilen Nusselt dağılımlarında, k-omega türbülans modelinin ikincil pikleri daha belirgin hesapladığı görülmektedir. Her iki açıklığa ait Nusselt dağılımlarında da çarpma levhası uçlarında Nusselt sayısında artık bir artışın olmadığı görülmektedir. Düşük levhalar arası açıklıklarda ($H/W \leq 1$) çarpma levhası uçlarında ortaya çıkan Nusselt sayısındaki artış, artan levhalar arası açıklık ile birlikte kaybolmaktadır. $H/W=6$ açıklığa ait Nusselt dağılımlarının verildiği Şekil 3.38’de, durma noktasındaki Nusselt sayısının, durma noktası civarındaki hesaplanmış maksimum değerlere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Artan levhalar arası açıklık, k-epsilon ve k-omega türbülans modelleri ile hesaplanmış dağılımları birbirine yaklaştırmaktadır.



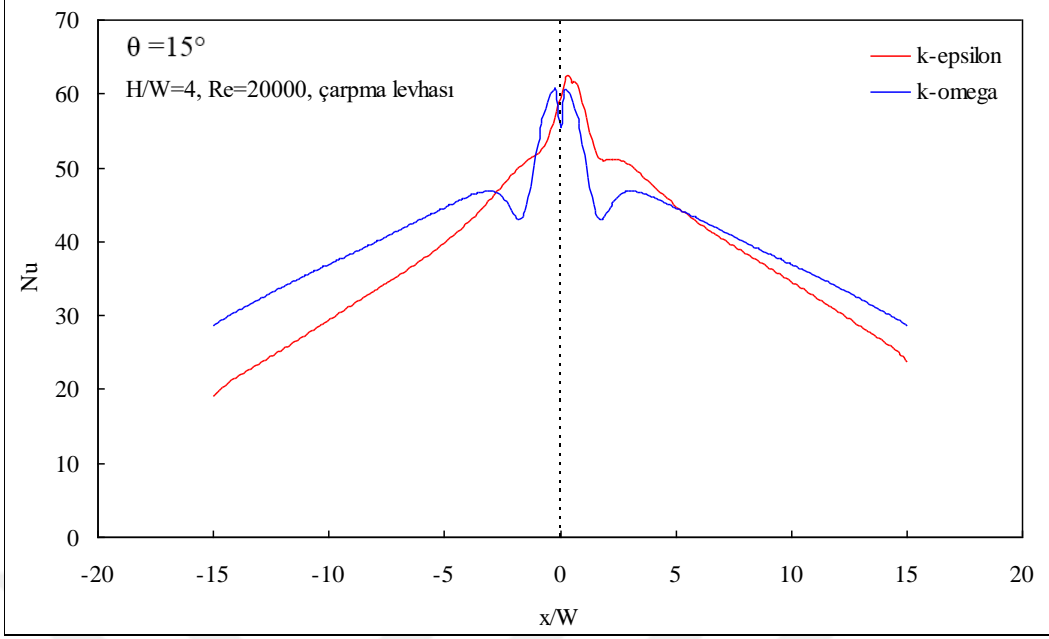
Şekil 3.34. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=0.5$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları



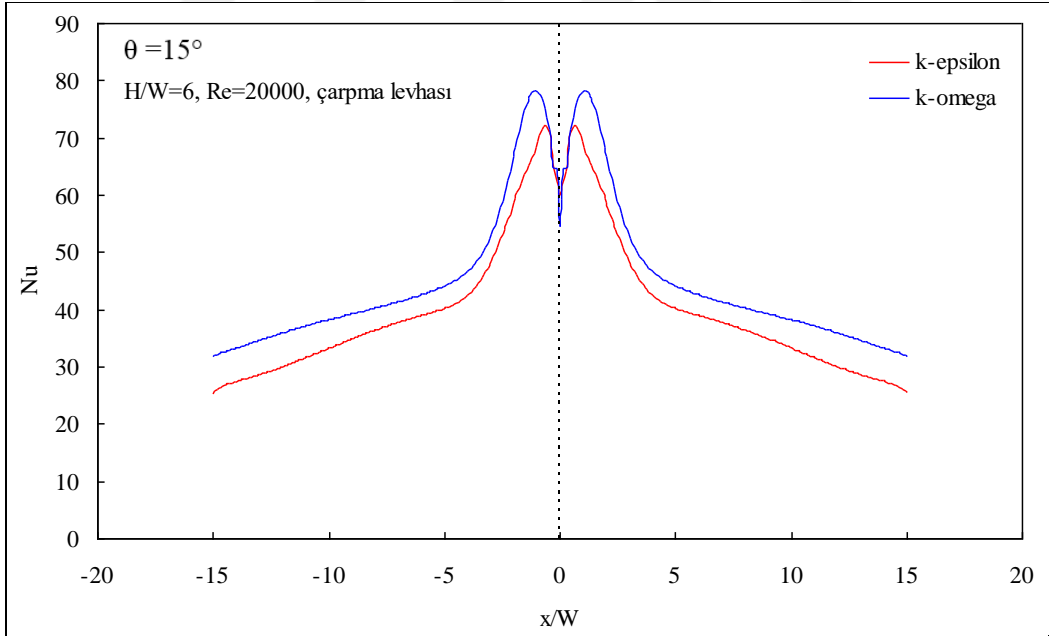
Şekil 3.35. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=1$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları



Şekil 3.36. $\theta = 15^\circ$ ve $H/W=2$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları



Şekil 3.37. $\theta = 15^\circ$ ve H/W=4 değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları



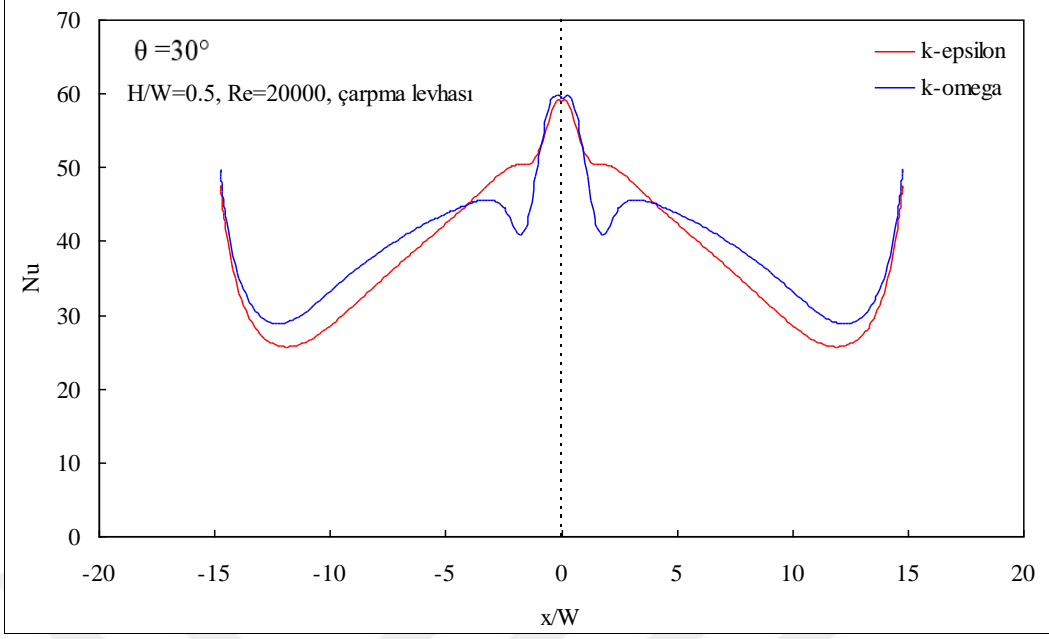
Şekil 3.38. $\theta = 15^\circ$ ve H/W=6 değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları

3.3.2. $\theta = 30^\circ$ Eğimli Levhalarla Sınırlanmış Jet

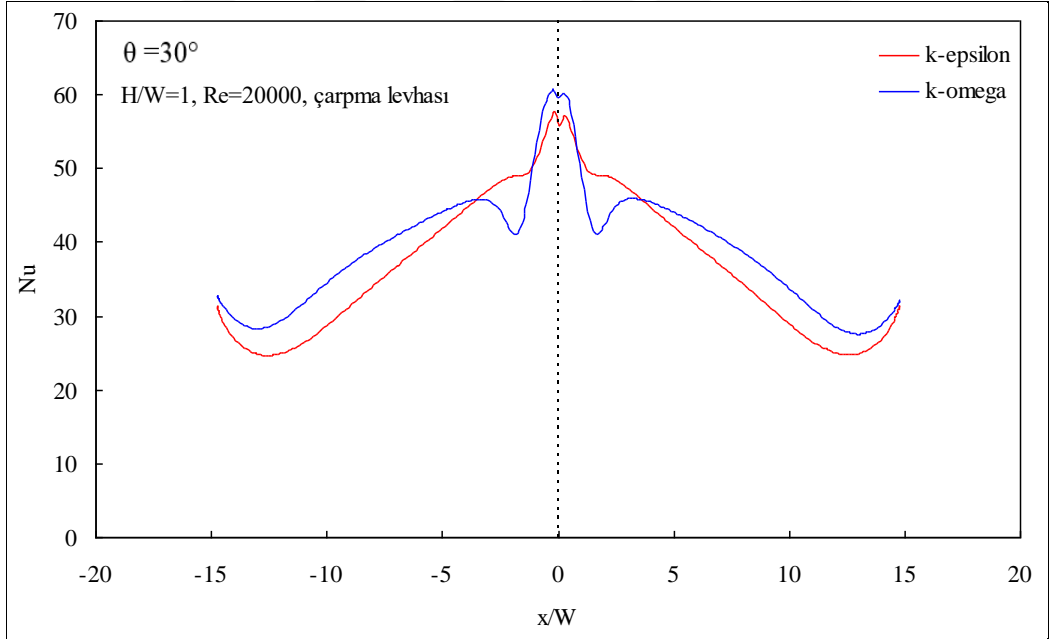
Sınırlayıcı levha eğim açısının $\theta = 30^\circ$ değeri için $Re=20000$ 'de çarpma levhası orta eksenini boyunca iki farklı türbülans modeli ile (k-epsilon ve k-omega türbülans modelleri ile) hesaplanmış Nusselt dağılımları lüle-levha açıklığının 0.5, 1, 2, 4 ve 6 değerleri için sırasıyla Şekil 3.39-3.43'de verilmiştir.

$H/W=0.5$ açıklıkta, çarpma levhası üzerinde k-epsilon ve k-omega türbülans modelleri ile hesaplanmış Nusselt dağılımları Şekil 3.39'de verilmiştir. Her iki türbülans modeli sonuçları da yerel Nusselt sayısının durma noktasında maksimum değer aldığını göstermektedir. Durma noktasından itibaren $x/W \approx \pm 2.5$ konumunda Nusselt sayılarında ikincil artışlar ortaya çıkmaktadır. k-omega türbülans modeli ile daha belirgin hesaplanan ikincil artışlardan sonra çarpma levhası boyunca azalan Nusselt sayıları çarpma levhası uçlarına doğru yeniden artmaktadır. Çarpma levhası uçlarında Nusselt sayısındaki artış eğimli sınırlayıcı levhaların varlığı nedeniyledir.

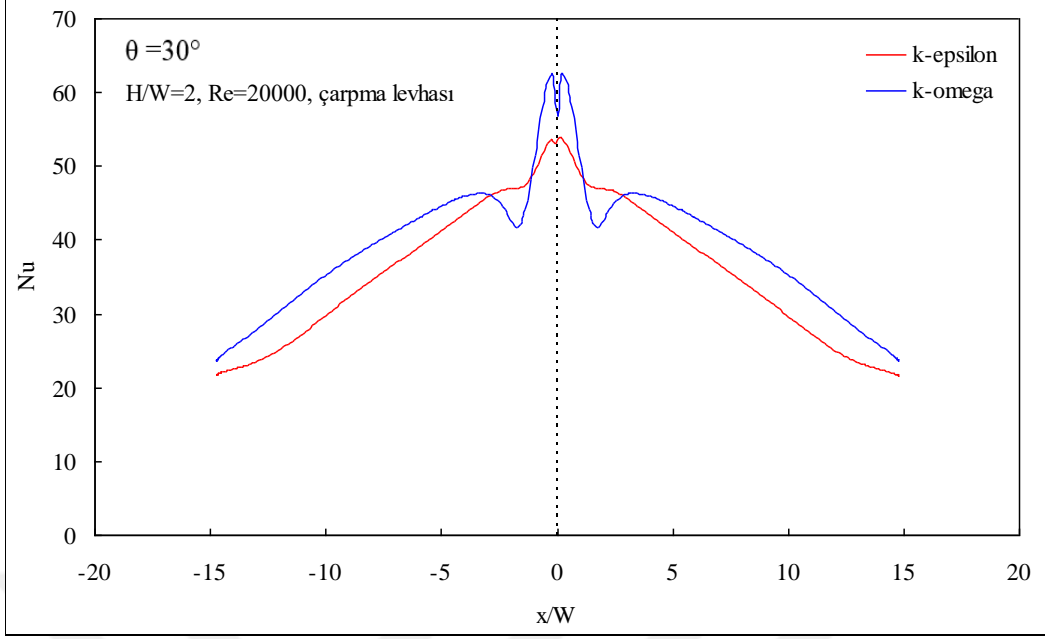
$H/W=1$ açıklığa ait Şekil 3.40'da verilen Nusselt dağılımları, $H/W=0.5$ açıklıktaki dağılımlarla benzerlik göstermektedir. $H/W=2$ ve $H/W=4$ açıklıklar için sırasıyla Şekil 3.41 ve 3.42'de verilen Nusselt dağılımlarında, çarpma levhası üzerindeki ikincil pikleri sadece k-omega türbülans modelinin hesapladığı görülmektedir. Durma noktası üzerindeki maksimum Nusselt sayıları k-epsilon türbülans modeli ile daha küçük hesaplanmaktadır. Her iki açıklığa ait Nusselt dağılımlarında da çarpma levhası uçlarında Nusselt sayısında bir artışın olmamaktadır. Düşük levhalar arası açıklıklarda ($H/W \leq 1$) çarpma levhası uçlarında ortaya çıkan Nusselt sayısındaki artış, artan levhalar arası açıklık ile birlikte kaybolmaktadır. $H/W=6$ açıklığa ait Nusselt dağılımlarının verildiği Şekil 3.43'de, k-omega türbülans modelinin Nusselt değerlerini k-epsilon türbülans modeline göre daha büyük hesapladığı görülmektedir.



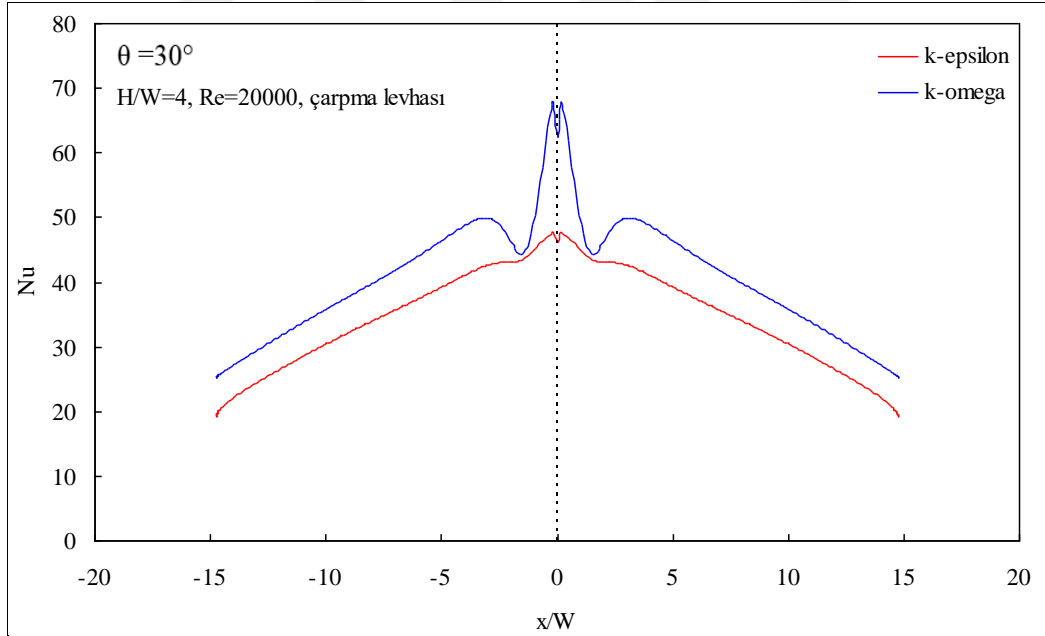
Şekil 3.39. $\theta = 30^\circ$ ve $H/W=0.5$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları



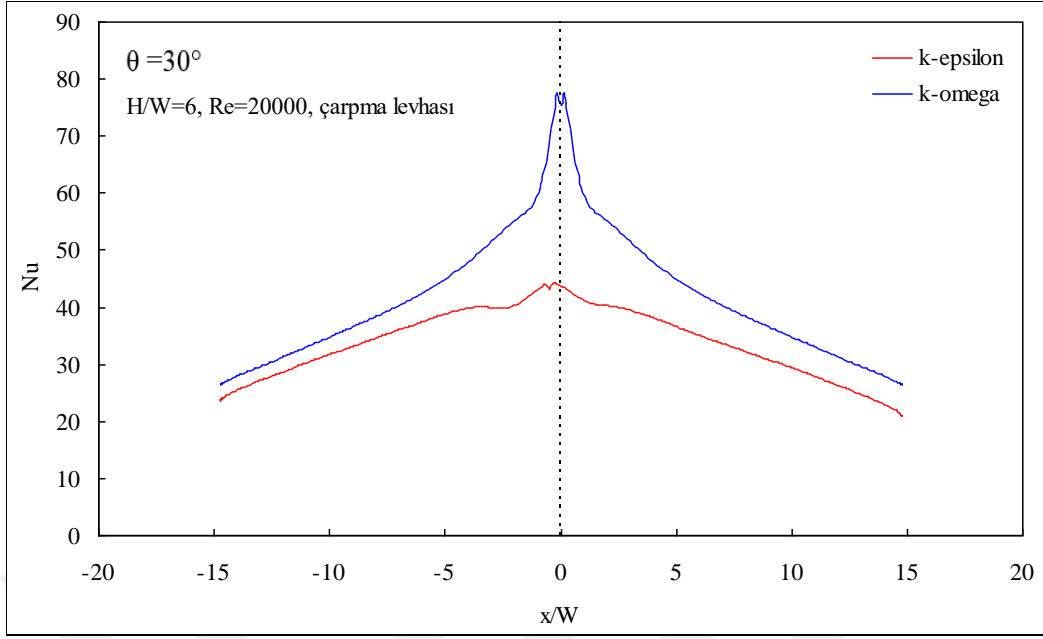
Şekil 3.40. $\theta = 30^\circ$ ve $H/W=1$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları



Şekil 3.41. $\theta = 30^\circ$ ve $H/W=2$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları



Şekil 3.42. $\theta = 30^\circ$ ve $H/W=4$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları



Şekil 3.43. $\theta = 30^\circ$ ve $H/W=6$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları

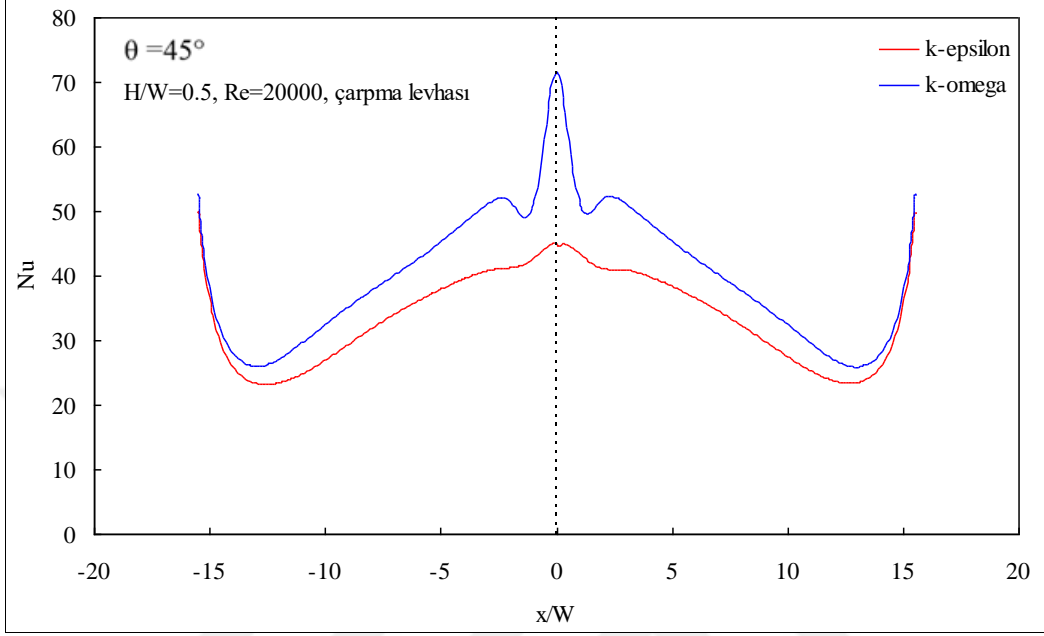
3.3.3. $\theta = 45^\circ$ Eğimli Levhalarla Sınırlanmış Jet

Sınırlayıcı levha eğim açısının $\theta = 45^\circ$ değeri için $Re=20000$ 'de çarpma levhası orta eksenini boyunca iki farklı türbülans modeli ile (k-epsilon ve k-omega türbülans modelleri ile) hesaplanmış Nusselt dağılımları lüle-levha açıklığının 0.5, 1, 2, 4 ve 6 değerleri için sırasıyla Şekil 3.44-3.48'de verilmiştir.

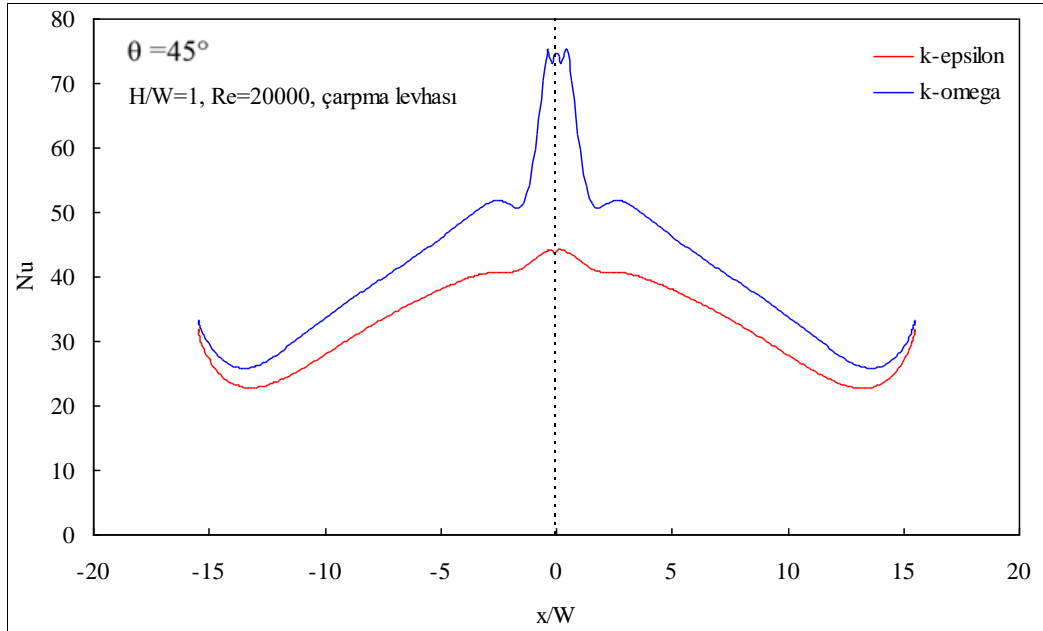
$H/W=0.5$ açıklıkta, çarpma levhası üzerinde k-epsilon ve k-omega türbülans modelleri ile hesaplanmış Nusselt dağılımları Şekil 3.44'de verilmiştir. Her iki türbülans modeli sonuçları da yerel Nusselt sayısının durma noktasında maksimum değer aldığını göstermektedir. Durma noktasından itibaren $x/W \approx \pm 2.5$ konumunda Nusselt dağılımında ortaya çıkan ikincil artışlar sadece k-omega türbülans modeli ile hesaplanmaktadır. Çarpma levhası boyunca azalan Nusselt sayıları çarpma levhası uçlarına doğru yeniden artmaktadır. Çarpma levhası uçlarında Nusselt sayısındaki artış eğimli sınırlayıcı levhaların varlığı nedeniyle.

$H/W=1$ açıklığa ait Şekil 3.45'da verilen Nusselt dağılımları, $H/W=0.5$ açıklıktaki dağılımlarla benzerlik göstermektedir. $H/W=2$, $H/W=4$ ve $H/W=6$ açıklıklar için sırasıyla Şekil 3.46, 3.47 ve 3.48'de verilen Nusselt dağılımlarında, çarpma levhası üzerindeki ve çarpma levhası uçlarında Nusselt sayısında herhangi bir artışın olmadığı görülmektedir. k-

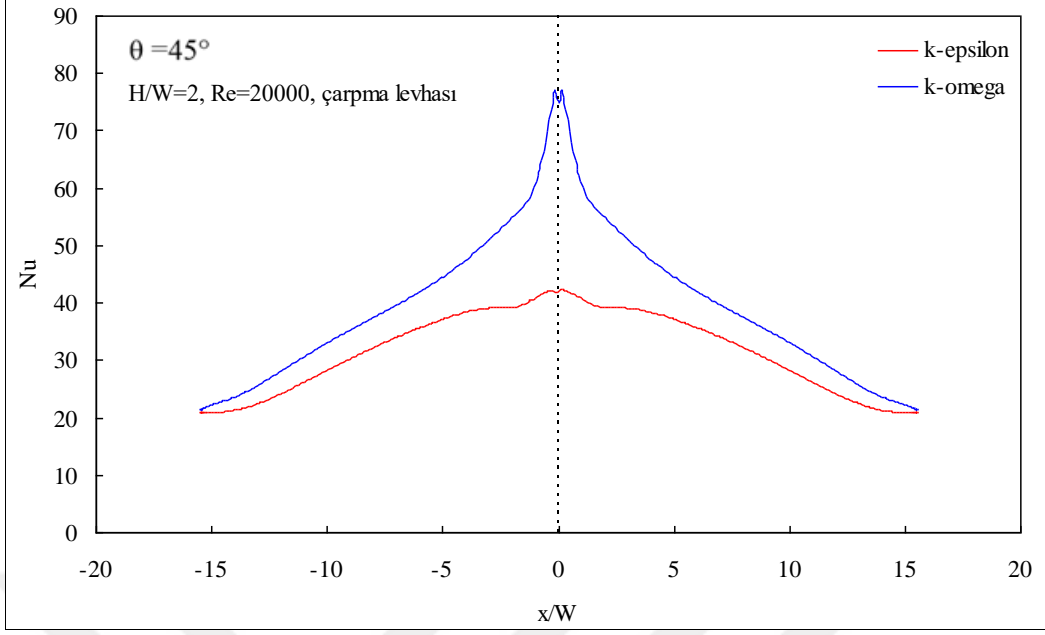
omega türbülans modeli Nusselt değerlerini k-epsilon türbülans modeline göre daha büyük hesaplamaktadır.



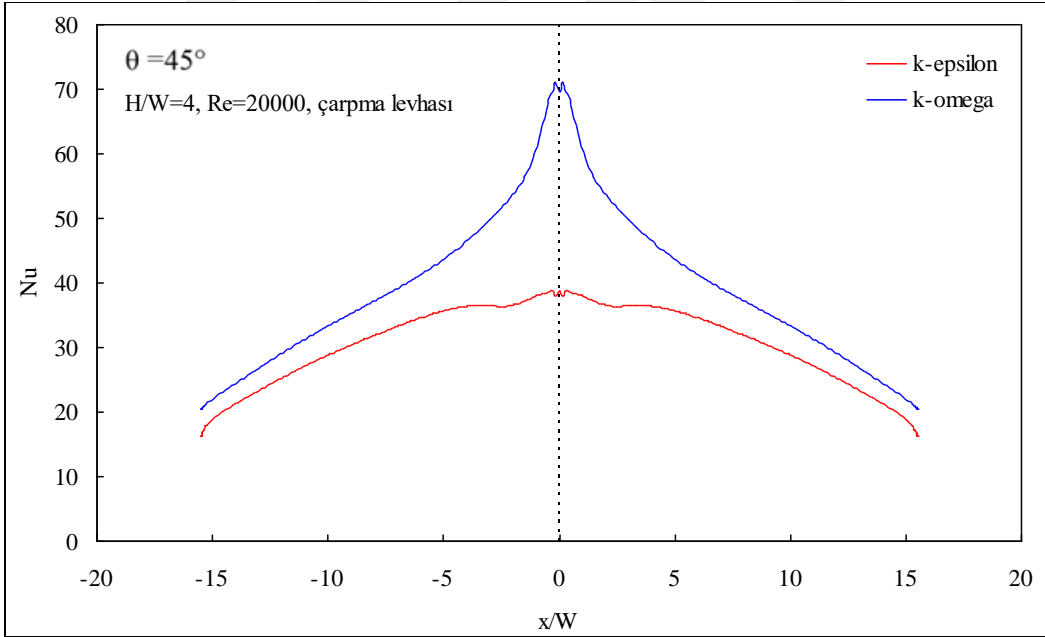
Şekil 3.44. $\theta = 45^\circ$ ve H/W=0.5 değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları



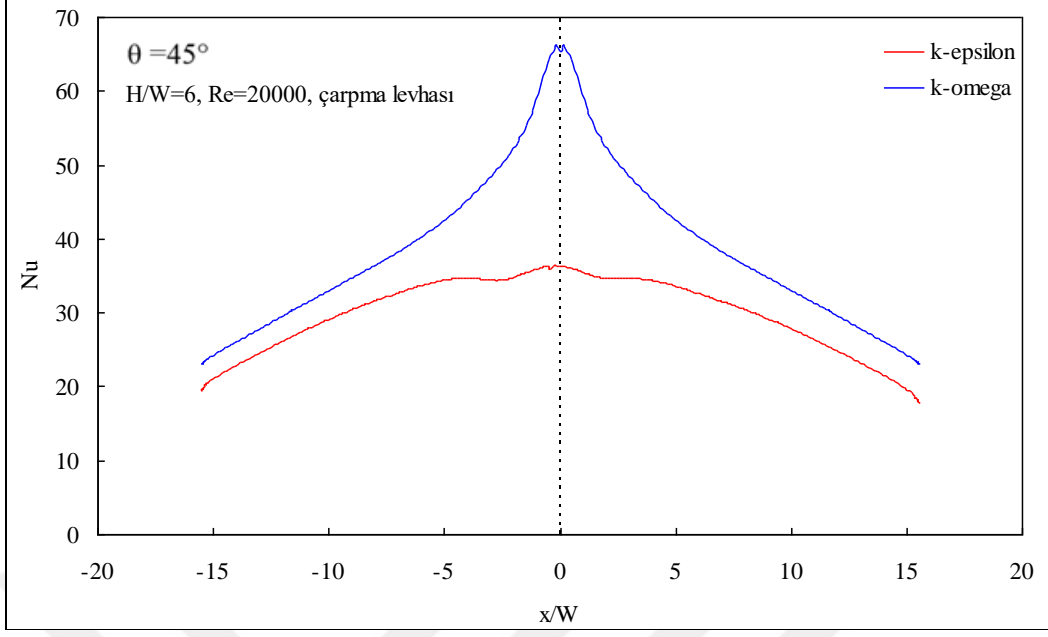
Şekil 3.45. $\theta = 45^\circ$ ve H/W=1 değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları



Şekil 3.46. $\theta = 45^\circ$ ve H/W=2 değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları



Şekil 3.47. $\theta = 45^\circ$ ve H/W=4 değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları



Şekil 3.48. $\theta = 45^\circ$ ve $H/W=6$ değerleri için çarpma levhası üzerinde Nusselt dağılımları

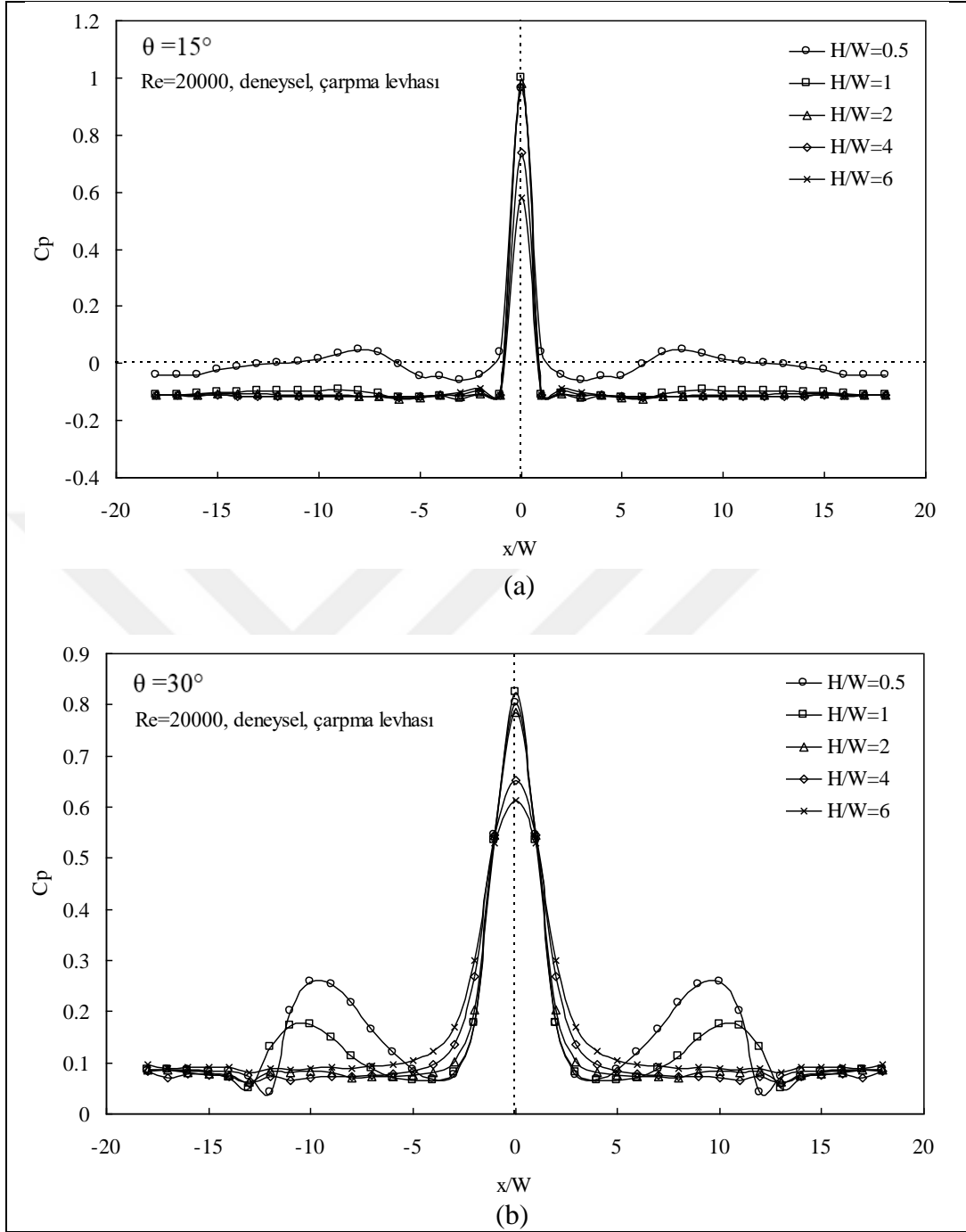
4. TARTIŞMA

4.1. Levhalar Arası Açıklığın Etkisi

4.1.1. Basınç Dağılımları

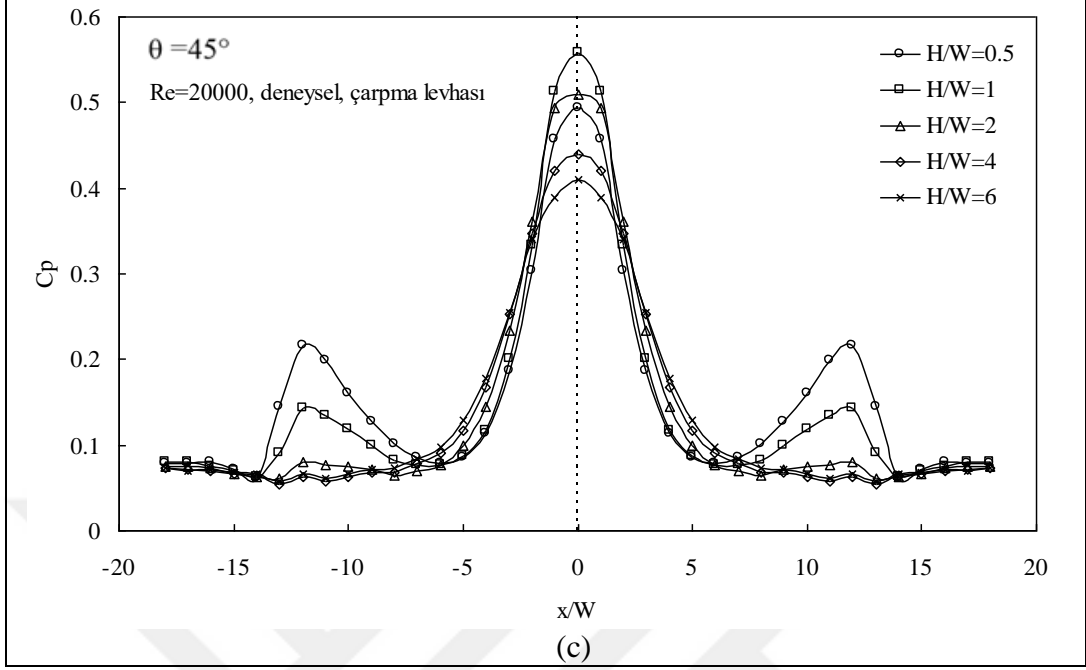
Sınırlayıcı levha eğim açısının $\theta = 15^\circ$, 30° ve 45° değerleri için $Re=20000$ 'de çarpma levhası orta eksenini boyunca ölçülen yüzey basıncının farklı levhalar arası açıklıklar ($0.5 \leq H/W \leq 6$) için değişimleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Her üç eğim açısına sahip sınırlayıcı levha durumunda da çarpma levhası üzerinde incelenen tüm levhalar arası açıklıklar için lülenin orta eksenini doğrultusunda oluşan durma noktasında basınç katsayısı maksimum olmaktadır. Levhalar arası açıklığın artmasıyla durma noktası basınç değerleri azalmaktadır.

$\theta = 15^\circ$ eğim açılı sınırlayıcı levhalar durumunda, levhalar arası açıklığın $H/W=0.5$ değerinde, $x/W \approx \pm 8$ civarında çarpma levhası üzerinde ikincil pikler oluşmaktadır. Durma noktasındaki pike göre daha küçük değerlerde oluşan ikincil pikler artan açıklıkla birlikte kaybolmaktadır. $H/W=0.5$ açıklıkta, durma noktasından itibaren ani bir azalmayla ortam altına düşen basınç, tekrar artarak ortam basıncı üstüne çıkmakta ve $x/W \approx \pm 8$ konumunda ikincil pikleri oluşturmaktadır. $H/W \geq 1$ açıklıklarda durma noktasından itibaren azalan basınç çarpma yüzeyi boyunca yaklaşık aynı negatif değerlerden oluşan ortam altı basınç bölgeleri oluşturmaktadır. Çarpma levhası üzerinde durma noktası dışında basıncın ortam basıncı altına inmesi ve çarpma levhası uçlarına kadar aynı etkide devam etmesi, açılı sınırlayıcı levha konfigürasyonunun levha uçlarında sağladığı kesit daralması ve bunun sonucunda oluşan akıştaki hızlanma ile ilgilidir, (Şekil 4.1a).



Şekil 4.1. Çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları
 (a) $\theta=15^\circ$, (b) $\theta=30^\circ$, (c) $\theta=45^\circ$

Şekil 4.1'in devamı



$\theta = 30^\circ$ eğim açılı sınırlayıcı levhalar durumunda, düşük levhalar arası açıklıklarda ($H/W \leq 1$), $x/W \approx \pm 10$ civarında çarpma levhası üzerinde ikincil pikler oluşmaktadır. Durma noktasındaki piklere göre daha küçük değerlerde oluşan ikincil pikler artan açıklıkla birlikte etkilerini azaltmakta ve kaybolmaktadır. $\theta = 30^\circ$ için çarpma levhası üzerinde herhangi bir ortam altı basınç bölgesi oluşmamaktadır. Bu durum artan sınırlayıcı levha eğim açısının akış alanında sağladığı değişikliklerle ilgilidir, (Şekil 4.1b).

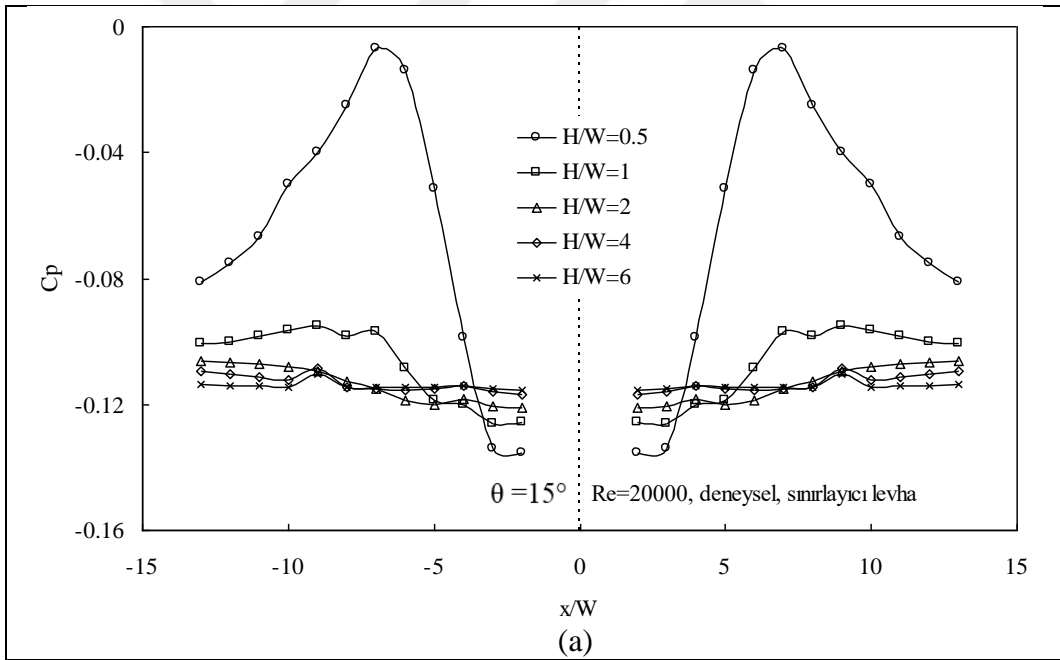
$\theta = 45^\circ$ eğim açılı sınırlayıcı levhalar durumunda, düşük levhalar arası açıklıklarda ($H/W \leq 2$), $x/W \approx \pm 12$ civarında çarpma levhası üzerinde ikincil pikler oluşmaktadır. Durma noktasındaki piklere göre daha küçük değerlerde oluşan ikincil pikler artan açıklıkla birlikte etkilerini azaltmakta ve kaybolmaktadır. $\theta = 30^\circ$ 'ye benzer şekilde $\theta = 45^\circ$ için de çarpma levhası üzerinde herhangi bir ortam altı basınç bölgesi oluşmamaktadır. (Şekil 4.1c).

$\theta = 15^\circ$, 30° ve 45° eğim açısına sahip sınırlayıcı levha durumlarına ait çarpma levhası üzerinde oluşan ikincil pikler bir arada değerlendirildiğinde, $\theta = 15^\circ$ için sadece $H/W=0.5$ açıklıkta $x/W \approx \pm 8$ civarında ikincil pik oluşurken, $\theta = 30^\circ$ için $H/W=0.5$ ve $H/W=1$ açıklıklarda $x/W \approx \pm 10$ civarında ikincil pikler oluşmakta, $\theta = 45^\circ$ için ise $H/W=0.5$, $H/W=1$ ve $H/W=2$ açıklıklarda $x/W \approx \pm 12$ civarında ikincil pikler oluşmaktadır. Bu durum, artan sınırlayıcı levha eğim açısı ile birlikte çarpma levhası üzerinde oluşan ikincil piklerin

daha büyük açıklıklara kadar gerçekleştiğini ve oluştukları konumların da durma noktasından itibaren daha geniş mesafelere denk geldiğini göstermektedir.

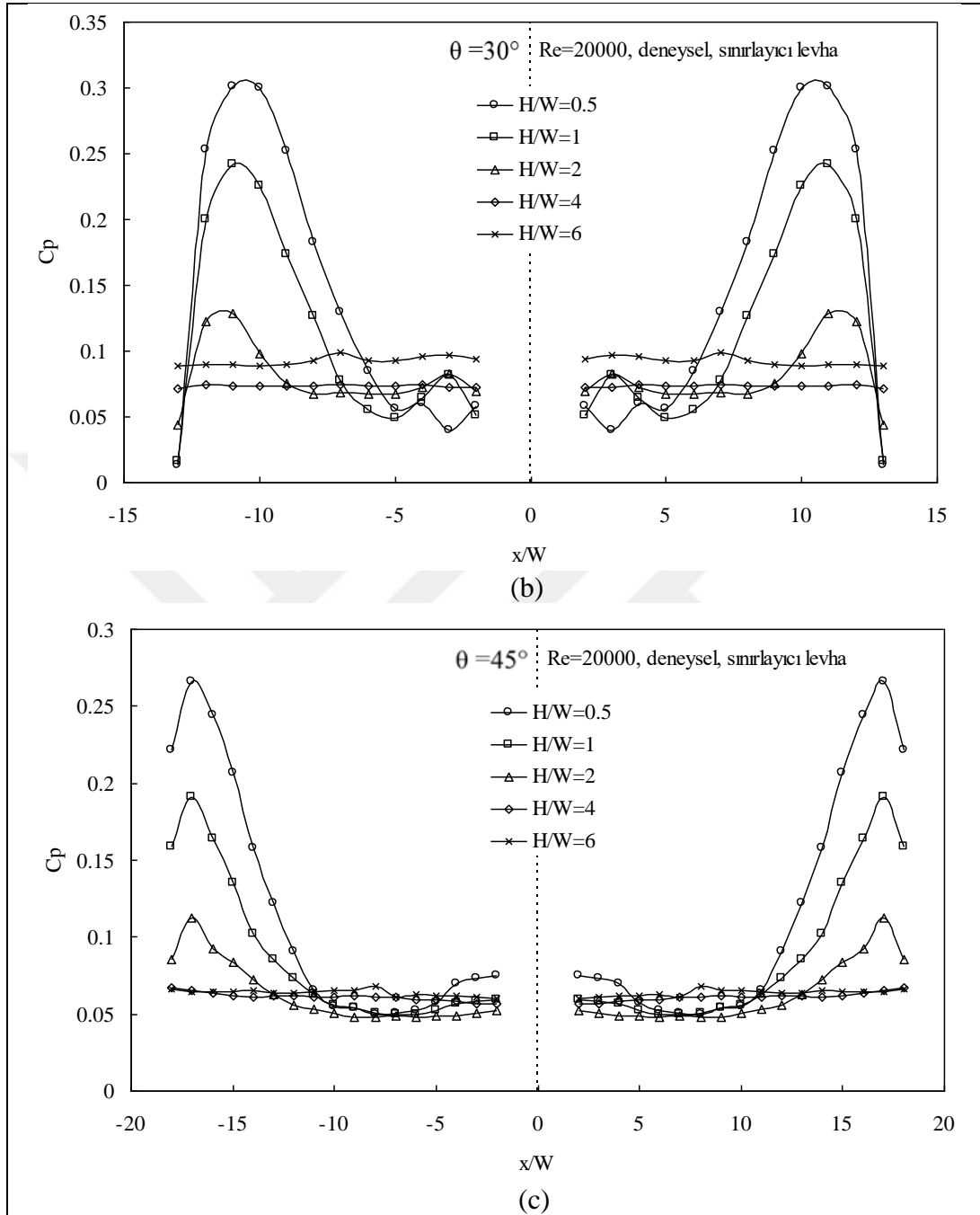
Sınırlayıcı levha eğim açısının $\theta = 15^\circ$, 30° ve 45° değerleri için $Re=20000$ 'de sınırlayıcı levha orta eksenini boyunca ölçülen yüzey basıncının farklı levhalar arası açıklıklar ($0.5 \leq H/W \leq 6$) için değişimleri sırasıyla Şekil 4.2'de verilmiştir.

$\theta = 15^\circ$ eğim açılı sınırlayıcı levhalar durumunda, incelenen tüm levhalar arası açıklıklar için sınırlayıcı levhalar üzerinde ortam altı basınç dağılımları oluşmaktadır. Artan levhalar arası açıklıkla basınç katsayıları azalmaktadır. Düşük levhalar arası açıklıklarda ($H/W \leq 1$), lüle civarında düşük değerlerde seyreden basınç katsayıları artarak sınırlayıcı levhaların orta konumunda ($x/W \approx \pm 7$) pik oluşturup levha uçlarına doğru tekrar azalmaktadır. $H/W=1$ açıklıkta etkisi azalan pikler, $H/W \geq 2$ açıklıklarda kaybolmaktadır, (Şekil 4.2a).



Şekil 4.2. Sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları
(a) $\theta=15^\circ$, (b) $\theta=30^\circ$, (c) $\theta=45^\circ$

Şekil 4.2'nin devamı



$\theta = 30^\circ$ eğim açılı sınırlayıcı levhalar durumunda, sınırlayıcı levhalar üzerinde herhangi bir ortam altı basınç bölgesi oluşmamaktadır. Artan levhalar arası açıklıkla basınç katsayıları azalmaktadır. Levhalar arası açıklığın $H/W \leq 2$ değerlerinde, lüle civarında düşük değerlerde seyreden basınç katsayıları artarak sınırlayıcı levhaların uçlarına yakın konumlarda ($x/W \approx \pm 11$) pikler oluşturup tekrar azalmaktadır. $H/W=2$ açıklıkta etkisi azalan pikler, $H/W \geq 4$ açıklıklarda kaybolmaktadır, (Şekil 4.2b).

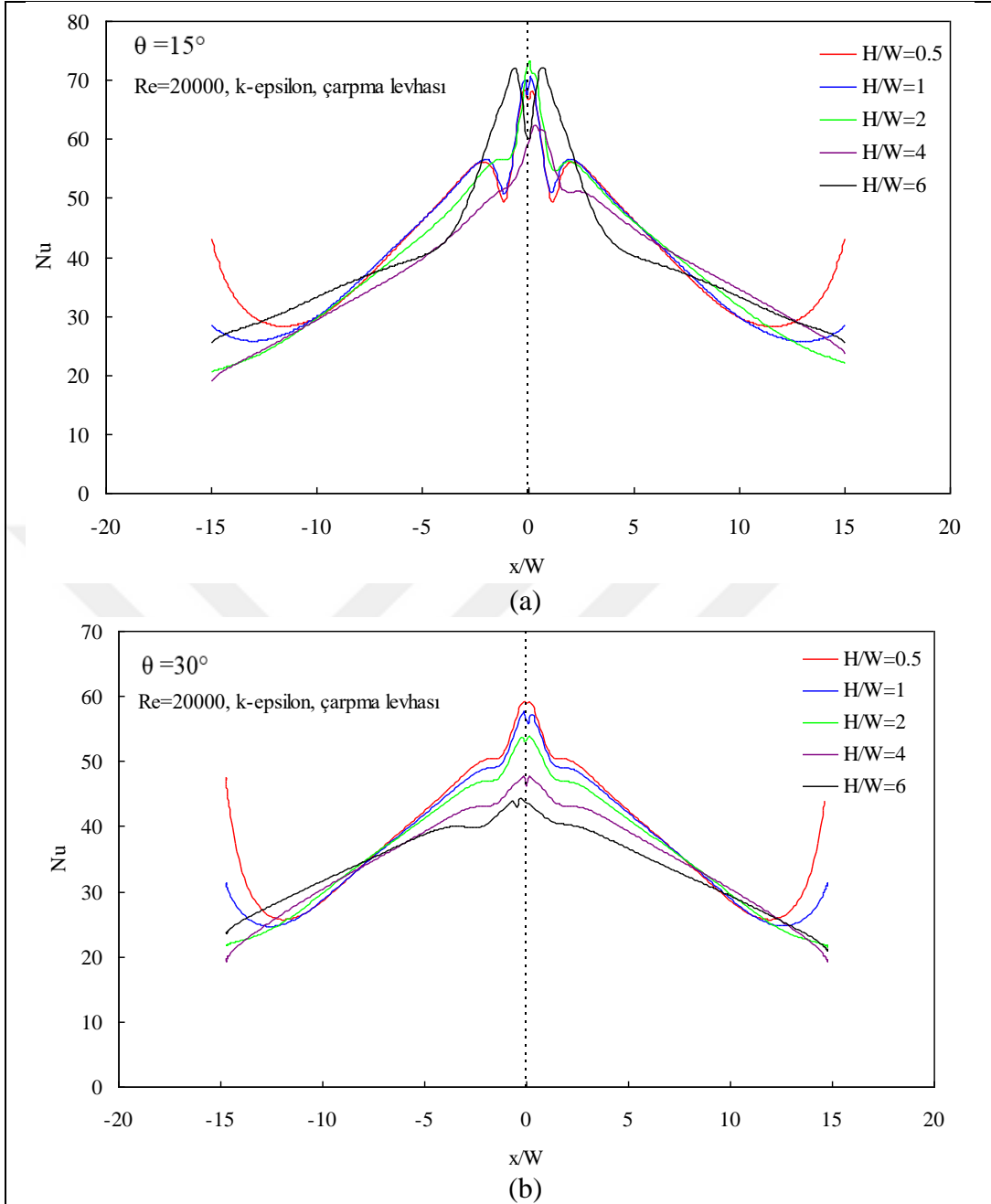
$\theta = 45^\circ$ eğim açılı sınırlayıcı levhalar durumunda, $\theta = 30^\circ$ 'ye benzer şekilde sınırlayıcı levhalar üzerinde herhangi bir ortam altı basınç bölgesi oluşmamaktadır. Artan levhalar arası açıklıkla basınç katsayıları azalmaktadır. Levhalar arası açıklığın $H/W \leq 2$ değerlerinde, lüle civarında düşük değerlerde seyreden basınç katsayıları artarak sınırlayıcı levhaların uçlarına yakın konumlarda ($x/W \approx \pm 17$) pikler oluşturup tekrar azalmaktadır. $H/W=2$ açıklıkta etkisi azalan pikler, $H/W \geq 4$ açıklıklarda kaybolmaktadır, (Şekil 4.2c).

$\theta = 15^\circ$, 30° ve 45° eğim açısına sahip sınırlayıcı levha durumlarında sınırlayıcı levhalar üzerinde oluşan pikler bir arada değerlendirildiğinde, $\theta = 15^\circ$ için $H/W=0.5$ ve $H/W=1$ açıklıklarda $x/W \approx \pm 7$ civarında pikler oluşurken, $\theta = 30^\circ$ ve $\theta = 45^\circ$ için $H/W=0.5$, $H/W=1$ ve $H/W=2$ açıklıklarda sırasıyla $x/W \approx \pm 11$ ve $x/W \approx \pm 17$ konumlarında piklerin oluştuğu görülmektedir. Artan sınırlayıcı levha eğim açısı ile birlikte sınırlayıcı levhalar üzerinde oluşan pikler levha ortasından levha uçlarına doğru kaymaktadır.

4.1.2. Nusselt Dağılımları

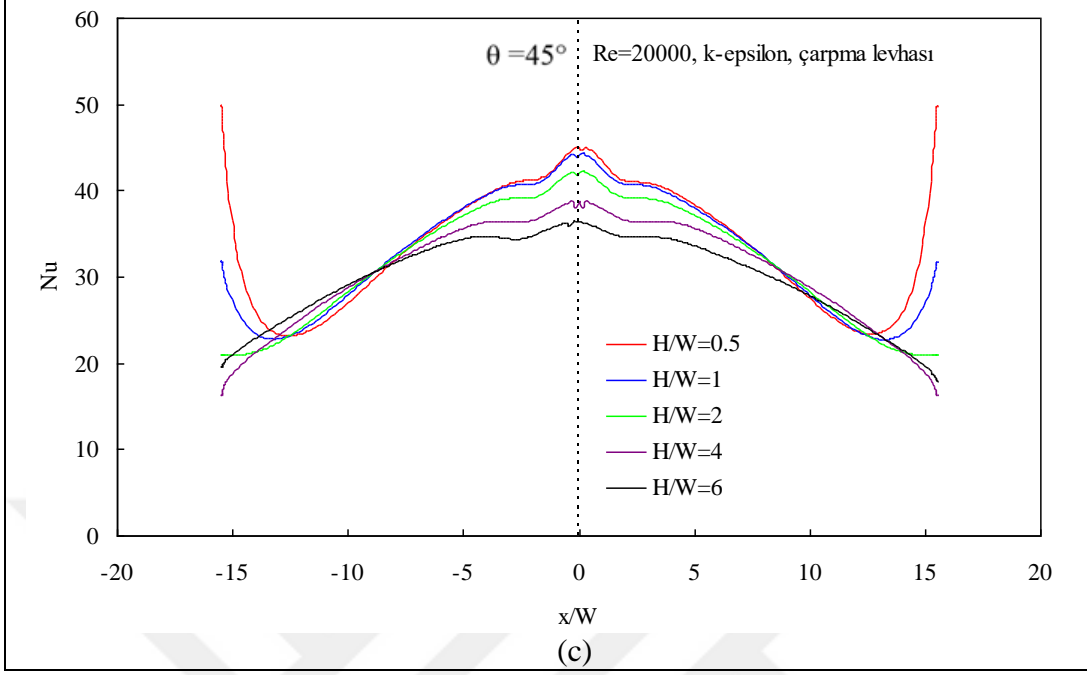
Sınırlayıcı levha eğim açısının $\theta = 15^\circ$, 30° ve 45° değerleri için $Re=20000$ 'de çarpma levhası orta eksenini boyunca farklı levhalar arası açıklıklar için ($0.5 \leq H/W \leq 6$) k-epsilon türbülans modeli ile hesaplanmış Nusselt dağılımları Şekil 4.3'de verilmiştir.

$\theta = 15^\circ$ eğim açılı sınırlayıcı levha(lar) durumunda, incelenen tüm açıklıklarda çarpma levhası üzerinde durma noktasında yerel Nusselt sayısı maksimum değer almaktadır. $H/W \leq 2$ açıklıklarda $x/W \approx \pm 2.5$ konumunda Nusselt dağılımlarında ikincil artışlar olmaktadır. $H/W \leq 1$ açıklıklarda, ikincil artışlardan sonra levha boyunca azalan Nusselt sayısı değerleri çarpma levhası uçlarına doğru yeniden artmaktadır. Çarpma levhası uçlarında Nusselt sayısındaki artış eğimli sınırlayıcı levhaların varlığı nedeniyledir, (Şekil 4.3a).



Şekil 4.3. φ arpma levhası üzerinde k-epsilon ile hesaplanmış Nusselt dağılımları
 (a) $\theta=15^\circ$, (b) $\theta=30^\circ$, (c) $\theta=45^\circ$

Şekil 4.3'ün devamı



$\theta = 30^\circ$ eğim açılı sınırlayıcı levha durumunda, durma noktasında maksimum değerde olan Nusselt sayıları artan levhalar arası açıklıkla birlikte azalmaktadır. Durma noktasından itibaren azalan Nusselt sayıları $H/W \leq 1$ açıklıklarda levha uçlarına doğru yeniden artmaktadır, (Şekil 4.3b).

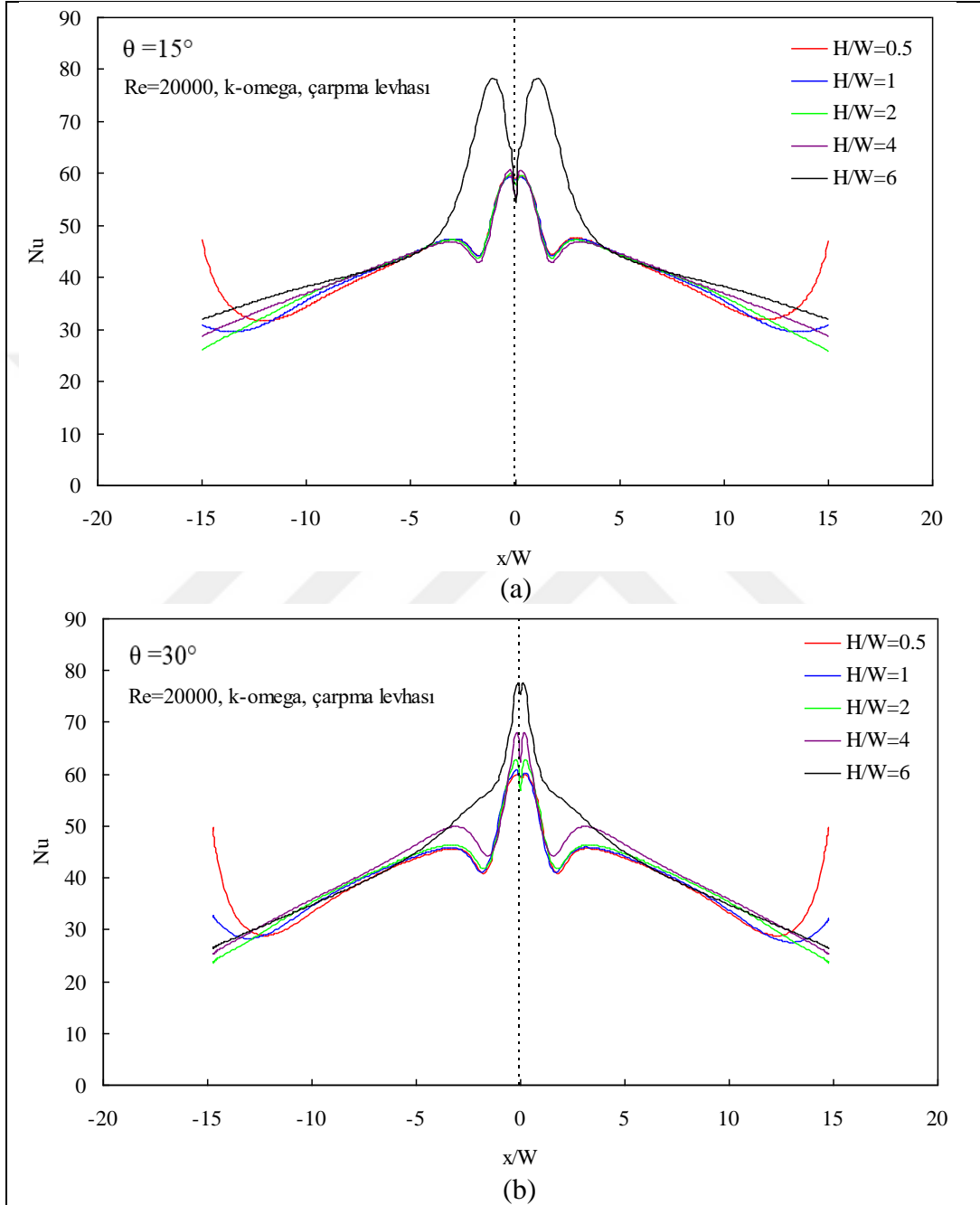
$\theta = 45^\circ$ eğim açılı sınırlayıcı levha durumunda, $\theta = 30^\circ$ 'ye ait sonuçlara benzer şekilde durma noktasındaki maksimum Nusselt sayıları artan levhalar arası açıklıkla azalmakta ve yine durma noktasından itibaren azalan Nusselt sayıları $H/W \leq 1$ açıklıklarda levha uçlarına doğru yeniden artmaktadır. $H/W=0.5$ için çarpma levhası uçlarındaki Nusselt değerleri durma noktasındaki değer üzerine çıkmaktadır, (Şekil 4.3c).

$H/W \leq 1$ açıklıklarda çarpma levhası uçlarında hesaplanan Nusselt değerleri, artan sınırlayıcı levha eğim açısı ile birlikte artmaktadır.

Sınırlayıcı levha eğim açısının $\theta = 15^\circ$, 30° ve 45° değerleri için $Re=20000$ 'de çarpma levhası orta eksenini boyunca farklı levhalar arası açıklıklar için ($0.5 \leq H/W \leq 6$) k-omega türbülans modeli ile hesaplanmış Nusselt dağılımları Şekil 4.4'de verilmiştir.

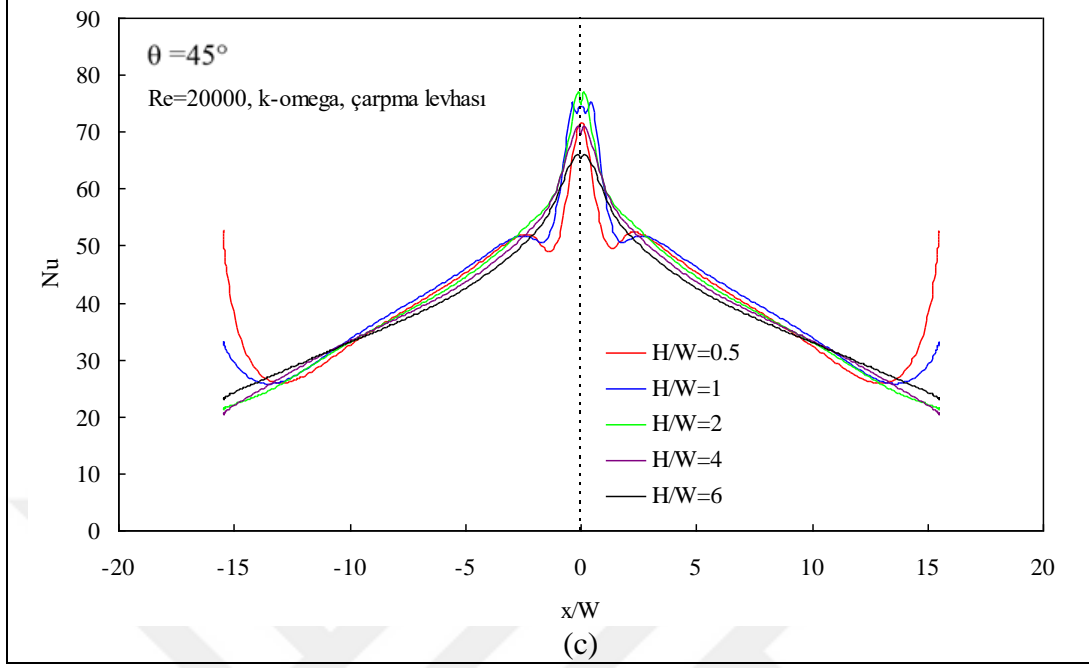
$\theta = 15^\circ$ eğim açılı sınırlayıcı levha durumunda, $H/W \leq 4$ açıklıklarda $x/W \approx \pm 2.5$ konumunda Nusselt dağılımlarında ikincil artışlar olmaktadır. k-epsilon türbülans modeli ile elde edilen sonuçlara benzer şekilde, $H/W \leq 1$ açıklıklarda, ikincil artışlardan sonra levha

boyunca azalan Nusselt sayısı değerleri çarpma levhası uçlarına doğru yeniden artmaktadır, (Şekil 4.4a).



Şekil 4.4. Çarpma levhası üzerinde k-omega ile hesaplanmış Nusselt dağılımları
(a) $\theta=15^\circ$, (b) $\theta=30^\circ$, (c) $\theta=45^\circ$

Şekil 4.4'ün devamı



$\theta = 30^\circ$ eğim açılı sınırlayıcı levha durumunda, $\theta = 15^\circ$ 'ye ait sonuçlara benzer dağılımlar oluşmaktadır, (Şekil 4.4b).

$\theta=45^\circ$ eğim açılı sınırlayıcı levha durumunda, $H/W \leq 1$ açıklıklarda $x/W \approx \pm 2.5$ konumunda Nusselt dağılımlarında ikincil artışlar olmaktadır. $H/W \leq 1$ açıklıklarda, yine ikincil artışlardan sonra levha boyunca azalan Nusselt sayısı değerleri çarpma levhası uçlarına doğru yeniden artmaktadır, (Şekil 4.4c).

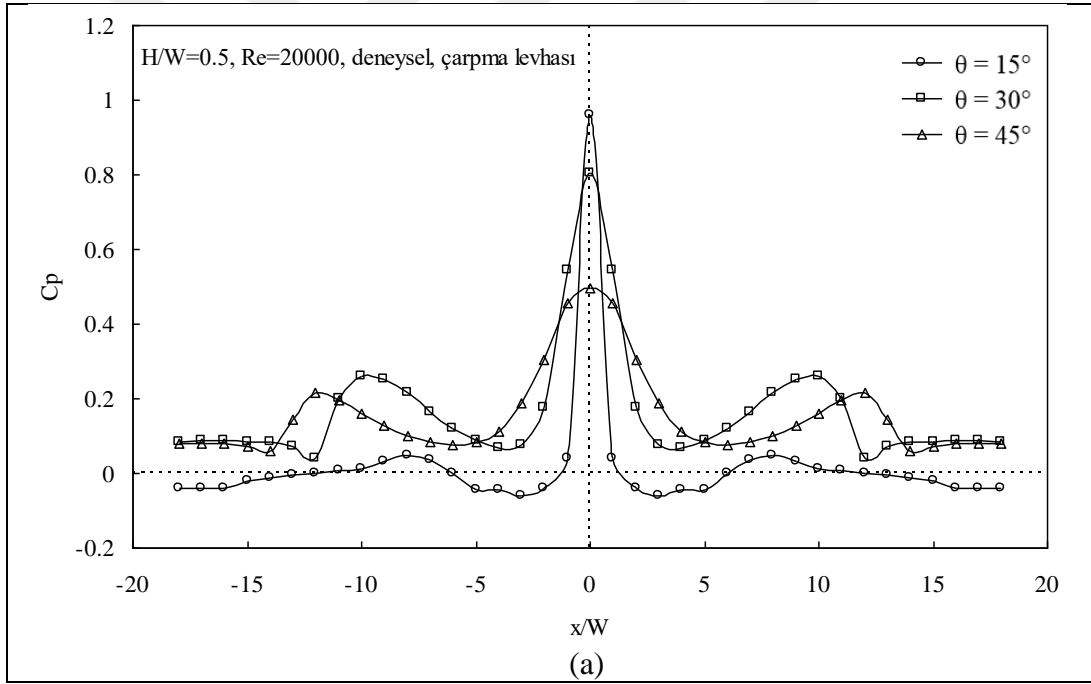
Sınırlayıcı levha eğim açısının $\theta = 15^\circ$, 30° ve 45° değerleri için k-omega türbülans modeliyle hesaplanan Nusselt dağılımları bir arada değerlendirildiğinde, artan eğim açısı ile birlikte çarpma levhası üzerindeki ikincil piklerin daha küçük levhalar arası açıklıklarda oluştuğu görülmektedir.

k-epsilon ve k-omega türbülans modellerinin sonuçları karşılaştırıldığında, k-epsilon model ile sadece $\theta = 15^\circ$ durumunda ikincil pikler hesaplanırken, k-omega modelin her üç sınırlayıcı eğim açısı durumunda da ikincil pikleri hesapladığı görülmektedir. Ayrıca her iki model sonuçları da $H/W \leq 1$ açıklıklarda çarpma levhası uçlarındaki Nusselt sayılarında artış olduğunu ortaya koymaktadır.

4.2. Sınırlayıcı Levhalarda Eğim Açısı Etkisi

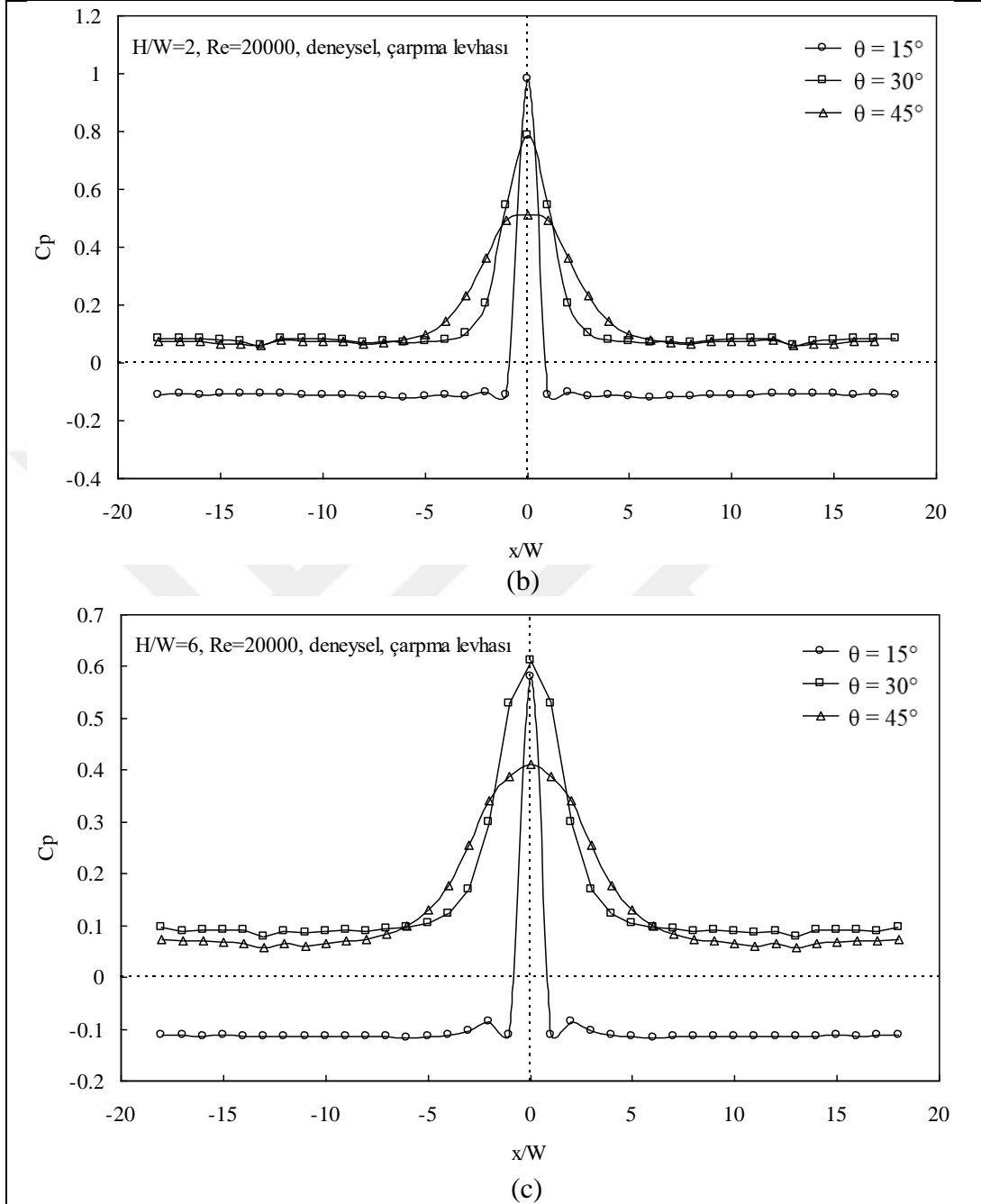
4.2.1. Basınç Dağılımları

Levhalar arası açıklığın $H/W=0.5$, 2 ve 6 değerleri için $Re=20000$ 'de çarpma levhası orta eksenini boyunca ölçülen yüzey basıncının farklı sınırlayıcı levha eğim açıları ($\theta =15^\circ$, 30° ve 45°) için değişimleri sırasıyla Şekil 4.5'de verilmiştir. $H/W=0.5$ açıklıkta üç farklı sınırlayıcı eğim açısı için çarpma levhası üzerindeki basınç dağılımları bir arada değerlendirildiğinde, artan eğim açısı ile birlikte hem durma noktasındaki maksimum basıncın azaldığı, hem de çarpma levhası üzerinde oluşan ikincil piklerin konumlarının levha uçlarına doğru kaydığı görülmektedir, (Şekil 4.5a).



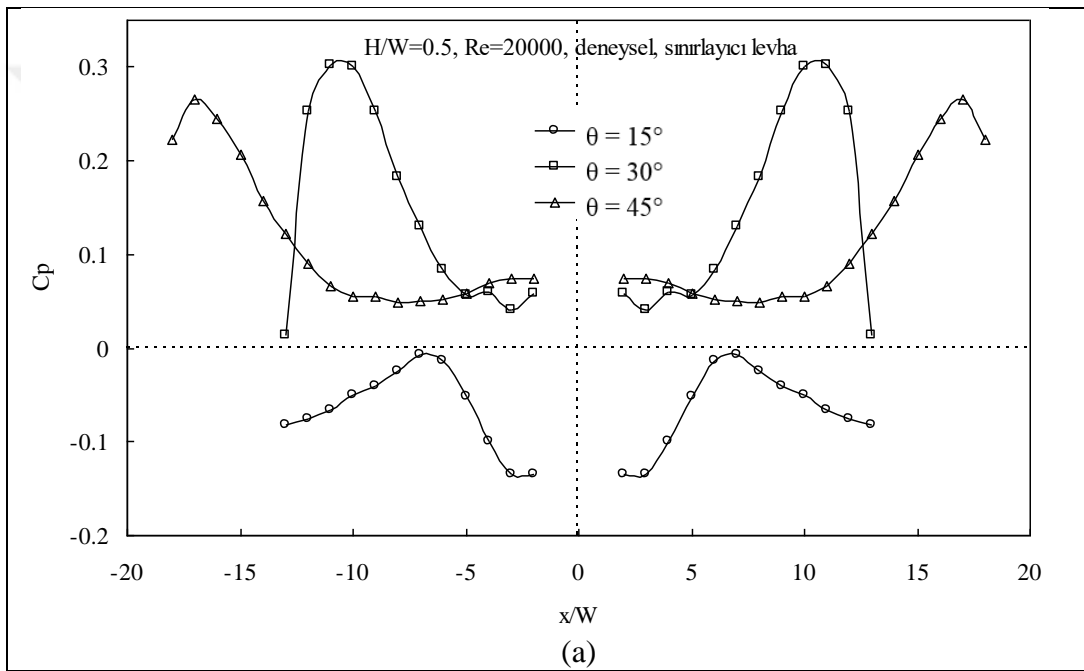
Şekil 4.5. Çarpma levhası üzerinde basınç dağılımları
(a) $H/W=0.5$, (b) $H/W=2$, (c) $H/W=6$

Şekil 4.5'in devamı



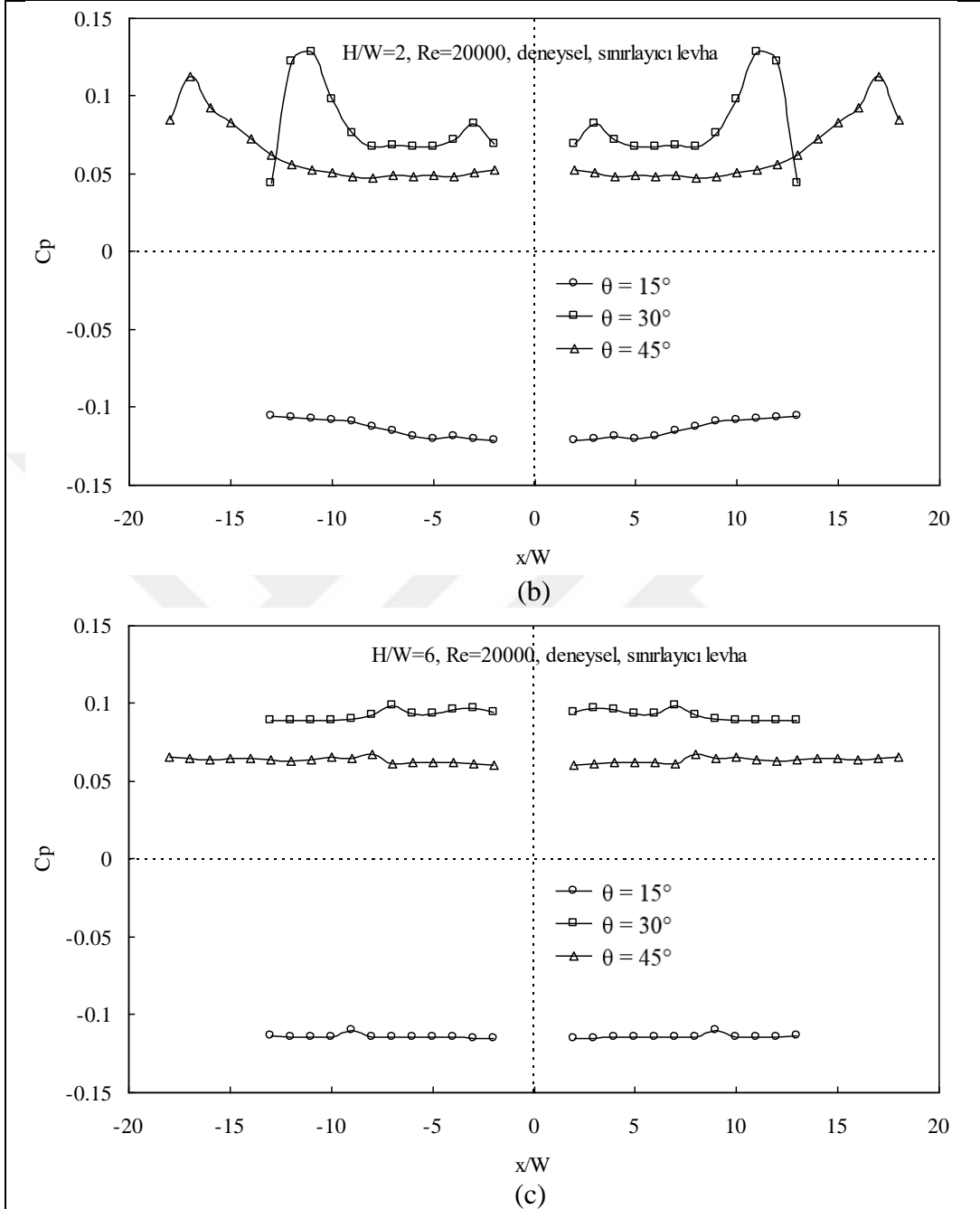
$H/W=2$ açıklıkta üç farklı sınırlayıcı eğim açısı için çarpma levhası üzerindeki basınç dağılımları bir arada değerlendirildiğinde, artan eğim açısı ile birlikte hem durma noktasındaki maksimum basıncın azaldığı, hem de çarpma levhası üzerinde oluşan ortam altı basınç bölgesinin kaybolduğu görülmektedir, (Şekil 4.5b). Bu durum $H/W=6$ açıklığa ait dağılımlarda da kendini tekrarlamaktadır, (Şekil 4.5c).

Levhalar arası açıklığın $H/W=0.5$, 2 ve 6 değerleri için $Re=20000$ 'de sınırlayıcı levha orta eksenini boyunca ölçülen yüzey basıncının farklı sınırlayıcı levha eğim açıları ($\theta = 15^\circ$, 30° ve 45°) için değişimleri sırasıyla Şekil 4.6'de verilmiştir. $H/W=0.5$ açıklıkta üç farklı sınırlayıcı eğim açısı için sınırlayıcı levha üzerindeki basınç dağılımları bir arada değerlendirildiğinde, $\theta = 15^\circ$ durumunda basınç katsayılarının negatif değerlerden oluştuğu ve sınırlayıcı levhaların orta konumlarında basınç artışı meydana geldiği görülmektedir. $\theta = 30^\circ$ ve 45° 'ye ait dağılımlarda ise herhangi bir ortam altı basınç bölgesi oluşmamakta ve basınç katsayılarındaki pikler levha uçlarına doğru kaymaktadır, (Şekil 4.6a).



Şekil 4.6. Sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımları
(a) $H/W=0.5$, (b) $H/W=2$, (c) $H/W=6$

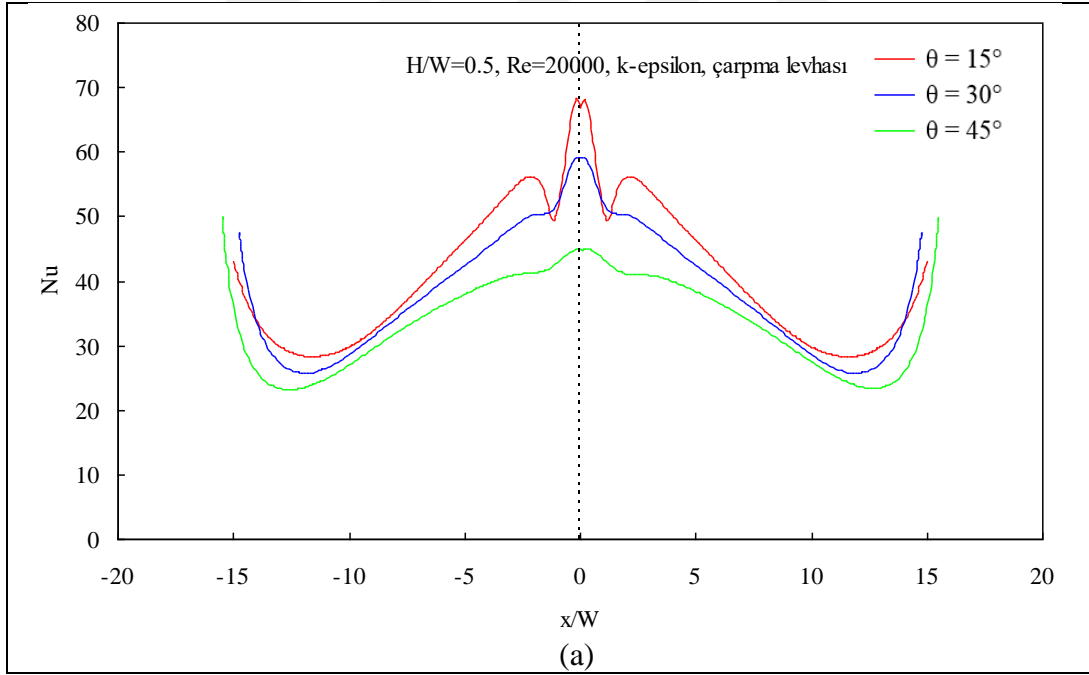
Şekil 4.6'nın devamı



$H/W=2$ açıklıkta üç farklı sınırlayıcı eğim açısı için çarpma levhası üzerindeki basınç dağılımları bir arada değerlendirildiğinde, ortam altı basınç değerlerinden oluşan $\theta = 15^\circ$ 'ye ait dağılımda herhangi bir basınç artışı gözlenmezken, negatif basınç katsayılarının olmadığı $\theta = 30^\circ$ ve 45° 'ye ait dağılımlarda oluşan piklerin yine levha uçlarına doğru kaydığı görülmektedir, (Şekil 4.6b). $H/W=6$ açıklıkta ise, sınırlayıcı eğim açısının hiç bir değerinde basınç dağılımlarında artış gözlenmemektedir, (Şekil 4.6c).

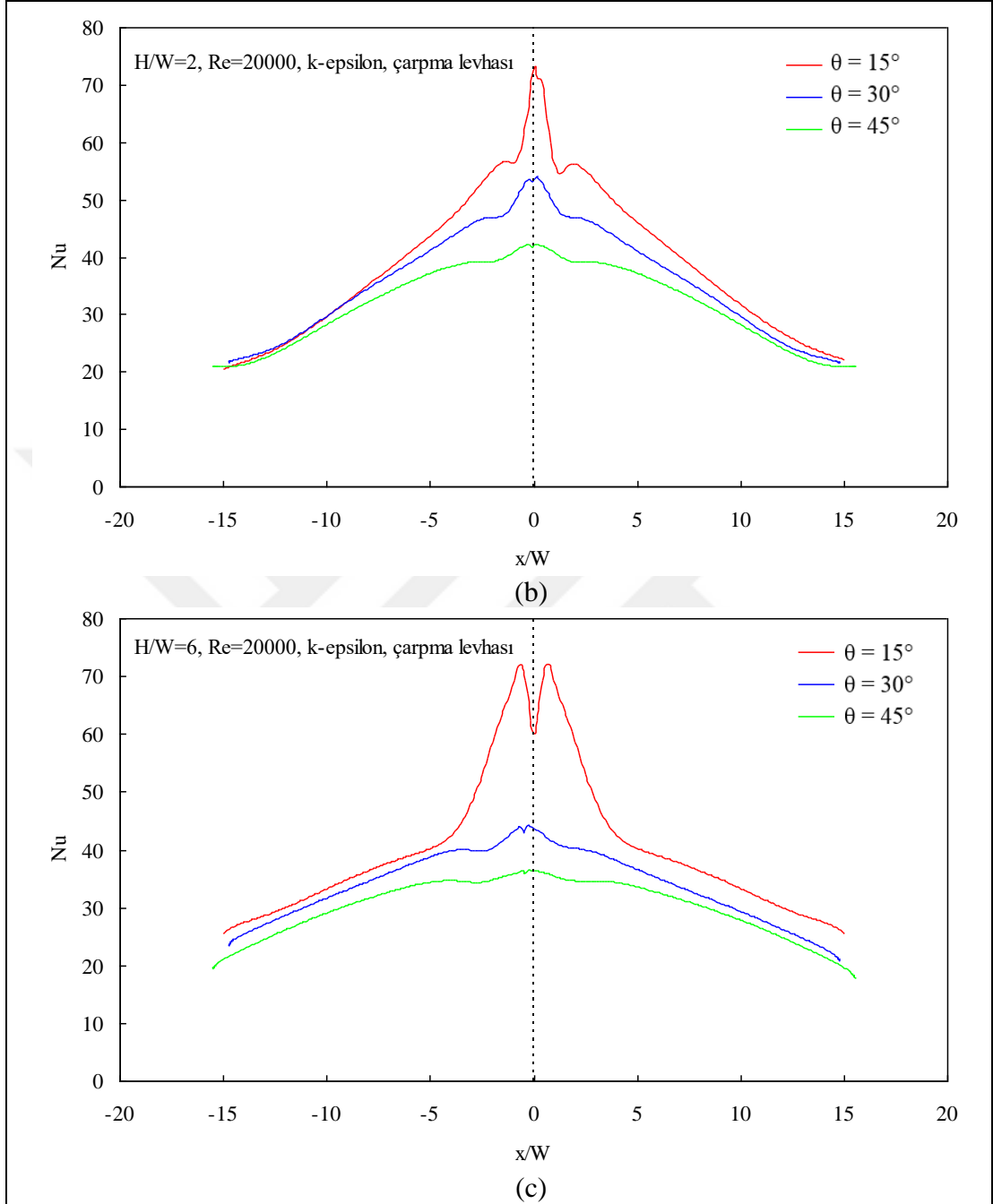
4.2.2. Nusselt Dağılımları

Levhalar arası açıklığın $H/W=0.5$, 2 ve 6 değerleri için $Re=20000$ 'de çarpma levhası orta eksenini boyunca farklı sınırlayıcı levha eğim açıları ($\theta = 15^\circ$, 30° ve 45°) için k-epsilon türbülans modeli ile hesaplanmış Nusselt dağılımları Şekil 4.7'de verilmiştir. $H/W=0.5$ açıklıkta, üç farklı sınırlayıcı eğim açısı için çarpma levhası üzerindeki Nusselt dağılımları bir arada değerlendirildiğinde, artan eğim açısı ile birlikte durma noktasındaki maksimum Nusselt değerleri azalmaktadır. Sadece $\theta = 15^\circ$ durumunda çarpma levhası üzerinde ikincil pik oluşmaktadır. Her üç eğim açısı durumunda da çarpma levhalarının uçlarında Nusselt sayılarında artış gözlenmektedir, (Şekil 4.7a). $H/W=2$ ve $H/W=6$ açıklıklarda farklı sınırlayıcı levha eğim açılarına ait değişimlerin bir arada olduğu Şekil 4.7b ve Şekil 4.7c'de durma noktasındaki Nusselt değerlerinin artan eğim açısıyla azaldığı ve çarpma levhası uçlarında Nusselt sayılarında herhangi bir artışın olmadığı görülmektedir.



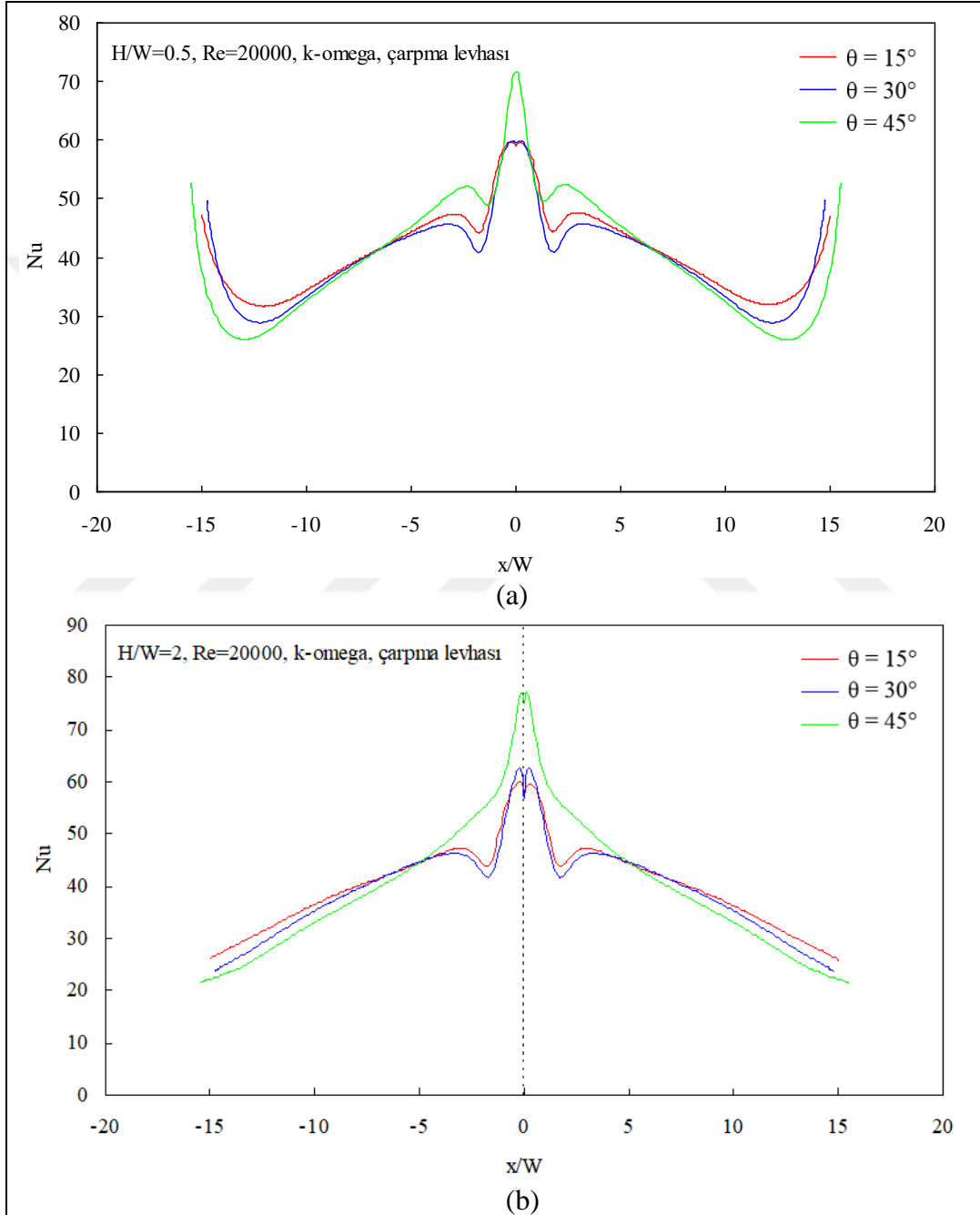
Şekil 4.7. Çarpma levhası üzerinde k-epsilon ile hesaplanmış Nusselt dağılımları
(a) $H/W=0.5$, (b) $H/W=2$, (c) $H/W=6$

Şekil 4.7'nin devamı



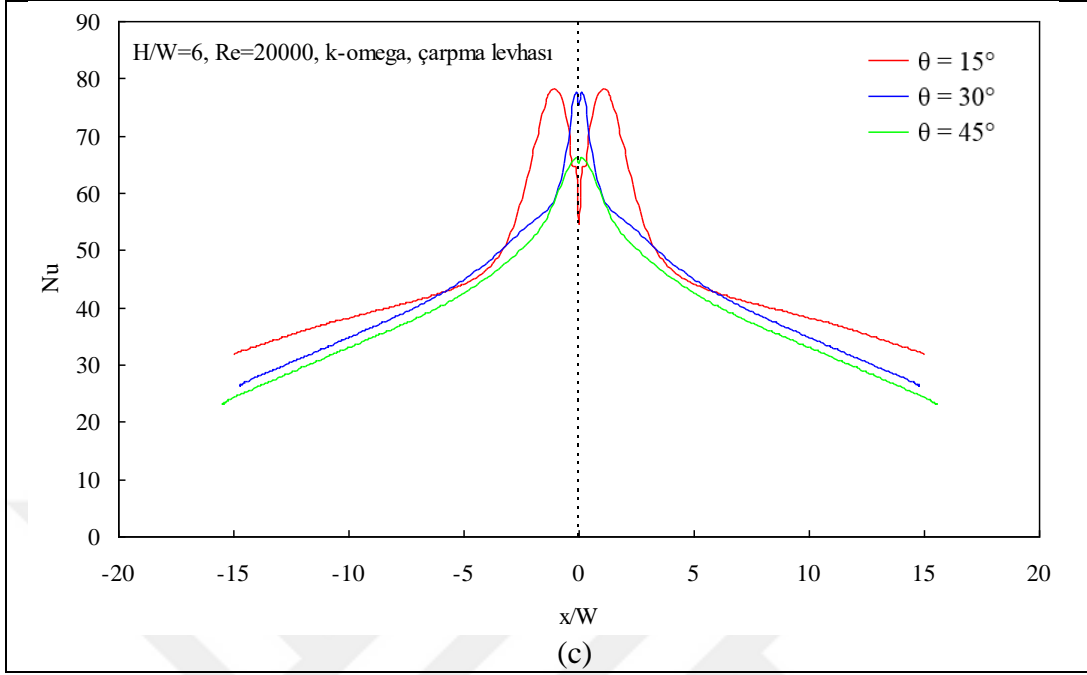
Levhalar arası açıklığın $H/W=0.5$, 2 ve 6 değerleri için $Re=20000$ 'de çarpma levhası orta eksenini boyunca farklı sınırlayıcı levha eğim açıları ($\theta = 15^\circ$, 30° ve 45°) için k-omega türbülans modeli ile hesaplanmış Nusselt dağılımları Şekil 4.8'de verilmiştir. $H/W=0.5$ açıklıkta, üç farklı sınırlayıcı eğim açısı için çarpma levhası üzerindeki Nusselt dağılımları bir arada değerlendirildiğinde, her üç eğim açısı için de durma noktası civarında ikincil piklerin oluştuğu ve çarpma levhalarının uçlarında Nusselt sayılarında artış olduğu

görülmektedir (Şekil 4.8a). $H/W=2$ açıklıkta $\theta =15^\circ$ ve 30° eğim durumlarında çarpma levhasında ikincil pikler oluşurken, $\theta =45^\circ$ eğim durumunda herhangi bir ikincil pik oluşmamaktadır (Şekil 4.8b). $H/W=6$ açıklıkta her üç eğim açısı durumu için de durma noktası dışında Nusselt değerlerinde herhangi bir artış gözlenmemektedir (Şekil 4.8c).



Şekil 4.8. Çarpma levhası üzerinde k-omega ile hesaplanmış Nusselt dağılımları
(a) $H/W=0.5$, (b) $H/W=2$, (c) $H/W=6$

Şekil 4.8'in devamı



k-epsilon ve k-omega türbülans modelleri ile hesaplanan Nusselt dağılımları karşılaştırıldığında, k-omega türbülans modelinin çarpma levhası üzerinde oluşan ikincil pikleri daha belirgin hesapladığı ve her iki türbülans modelinin de $H/W=0.5$ açıklık için çarpma levhası uçlarında ortaya çıkan Nusselt sayılarındaki artışı aynı hassasiyette tespit ettiği görülmüştür.

5. SONUÇLAR

Bir yüzeye çarpan jet akışlarıyla, cam ve metal parçaların temperlenmesi, tekstil ve kâğıt ürünlerinin kurutulması, gaz türbinleri ve elektronik elemanların soğutulması, uçakların çeşitli elemanlarında oluşabilecek buzlanmanın önlenmesi, dikine havalanan ve inen uçak, helikopter ve roket gibi araçların hareket sistemleri gibi uygulamalarda sıklıkla karşılaşılmaktadır. Özellikle yüzeyler üzerinde ısıtma, soğutma ve global ısı transferi iyileştirme çalışmalarında farklı geometrilerdeki jet uygulamaları büyük önem taşımaktadır. Bu tip akışların ısı transferini arttırdığı bilinmekte ve türbülans modellerinin geliştirilmesi amacıyla, bu alanda çalışanlar için de ilgi çekici olmaktadır.

Bu çalışmada, farklı eğim açılara sahip levhalarla sınırlandırılmış düz bir yüzeye çarpan slot jet akışında, akış ve ısı transferi karakteristikleri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmanın deneysel kısmında, sınırlayıcı levha eğim açısının $\theta = 15^\circ, 30^\circ$ ve 45° değerleri için, $0.5 \leq H/W \leq 6$ levhalar arası açıklık ve $10000 \leq Re \leq 30000$ Reynolds sayısı aralıklarında çarpma levhası ve sınırlayıcı levhalar üzerinde yüzey basıncı ölçülmüştür. Elde edilen basınç dağılımlarının Reynolds sayısına, eğimli levha açısına, ve levhalar arası açıklığa göre değişimleri incelenmiştir. Çalışmanın sayısal kısmında ise, $\theta = 15^\circ, 30^\circ$ ve 45° sınırlayıcı levha eğim açılarındaki akış alanlarında, Re sayısının 20000 değeri için, $0.5 \leq H/W \leq 6$ levhalar arası açıklık aralığında iki boyutlu sayısal çözümlerle sırasıyla hesaplanmış akış çizgileri, basınç dağılımları ve Nusselt dağılımları elde edilmiştir. Deneysel ve sayısal çalışmalardan aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1) Slot lüleden çıkan jet çarpma levhasına çarparak yön değiştirmekte ve sınırlayıcı levhaların etkisiyle birbirine ters yönde dönen girdap çiftleri oluşmaktadır. Eğimli levhalarla sınırlandırılmış çarpan jet akış alanlarında oluşan girdap çiftlerinin boyutları hem artan levhalar arası açıklıkla hem de sınırlayıcı levha eğim açısıyla artmaktadır.

2) Hem çarpma yüzeyi hem de sınırlayıcı levha yüzeyleri boyunca elde edilen basınç katsayıları, basınç dağılımlarının Reynolds sayısından bağımsız olduğunu göstermektedir.

3) Her üç eğim açısına sahip sınırlayıcı levha durumunda da çarpma levhası üzerinde incelenen tüm levhalar arası açıklıklar için lülenin orta eksenine doğrudan doğruya oluşan durma noktasında basınç katsayısı maksimum olmaktadır. Levhalar arası açıklığın artmasıyla durma noktası basınç değerleri azalmaktadır.

4) Çarpma levhası üzerindeki basınç dağılımlarında, küçük levhalar arası açıklıklarda, durma noktasındaki piklere göre daha küçük olan ikincil pikler ortaya çıkmaktadır. İkincil pikler artan sınırlayıcı levha eğim açısı ile birlikte daha büyük açıklıklarda da oluşmakta ve konumları durma noktasından itibaren daha uzun mesafelere denk gelmektedir.

5) Artan eğim açısı ile birlikte hem durma noktasındaki maksimum basınç azalmakta, hem de çarpma levhası üzerinde oluşan ikincil piklerin konumları levha uçlarına doğru kaymaktadır.

6) Çarpma levhasına benzer şekilde sınırlayıcı levhalar üzerinde de basınç dağılımlarında pikler ortaya çıkmaktadır. Sınırlayıcı levhalar üzerinde basınç dağılımlarında oluşan pikler artan sınırlayıcı levha eğim açısı ile birlikte levha ortasından levha uçlarına doğru kaymaktadır.

7) $\theta = 15^\circ$ 'de hem çarpma levhası üzerinde hem de sınırlayıcı levhalar üzerinde ortam altı basınç bölgeleri oluşurken, $\theta = 30^\circ$ ve $\theta = 45^\circ$ 'de herhangi bir ortam altı basınç bölgesi gözlenmemektedir.

8) Sayısal çalışma kapsamında k-epsilon türbülans modeli ile hesaplanan basınç katsayıları deneysel verilerle daha iyi bir uyum sergilemektedir.

9) Çarpma levhası üzerinde durma noktasında yerel Nusselt sayısı maksimum değer almaktadır. Durma noktasında maksimum değerde olan Nusselt sayıları artan levhalar arası açıklıklarla birlikte azalmaktadır.

10) Çarpma levhası üzerinde, küçük levhalar arası açıklıklarda, Nusselt dağılımlarında ikincil pikler gözlenmektedir. Artan eğim açısı ile birlikte çarpma levhası üzerindeki ikincil pikler daha küçük levhalar arası açıklıklarda oluşmaktadır.

11) Her üç eğim açısına sahip sınırlayıcı levha durumunda da, $H/W \leq 1$ açıklıklarda çarpma levhası uçlarındaki Nusselt sayılarında artış gözlenmektedir.

12) Sayısal çalışma kapsamında k-omega türbülans modeli ile hesaplanan Nusselt dağılımları deneysel sonuçlarla daha uyumlu olmakta ve çarpma levhası üzerinde oluşan ikincil pikleri daha belirgin hesaplamaktadır.

6. ÖNERİLER

Bu konuda ileriye dönük olarak, çarpma levhası üzerindeki sıcaklık dağılımları farklı parametreler için deneysel olarak incelenip akış karakteristikleri ve ısı transferi sonuçları arasında karşılaştırmalar yapılabilir. Ayrıca, hareketli bir yüzey durumunda çarpan slot jet akışları ile çalışmalar yapılabilir.

Farklı türbülans modellerinin performansı denenebilir ve yeni türbülans modelleri geliştirilebilir.



7. KAYNAKLAR

1. Baydar, E., Confined impinging air jet at low Reynolds numbers, Exp. Thermal Fluid Sci.19 (1999) 27-33.
2. Baydar, E. ve Ozmen, Y., An experimental and numerical investigation on a confined impinging air jet at high Reynolds numbers, Applied Thermal Eng., 25 (2005) 409-421.
3. Colucci, D.W. ve Viskanta, R., Effect of nozzle geometry on local convective heat transfer to a confined impinging air jet, Exp. Thermal Fluid Sci.,13 (1996) 71-80.
4. Lytle, D. ve Webb, B.W., Air jet impingement heat transfer at low nozzle-plate spacings, Int. J. Heat Mass Transfer,37 (1994) 1687-1697.
5. Narayanan, V., Seyed-Yagoobi, J. ve Page, R.H., An experimental study of fluid mechanics and heat transfer in an impinging slot jet flow, Int. J. Heat Mass Transfer, 47 (2004) 1827-1845.
6. Gardon, R. ve Akfirat, J.C., The role of turbulence in determining the heat transfer characteristics of impinging jets, Int. J. Heat Mass Transfer, 8 (1965) 1261-1272.
7. Jambunathan, K., Lai, E., Moss, M.A. ve Button, B.L., A review of heat transfer data for single circular jet impingement, Int. Heat Fluid Flow, 13 (1992) 106-115.
8. Ichimiya, K. ve Yamada Y., Three dimensional heat transfer of a confined circular impinging jet with buoyancy effects, ASME J. Heat Transfer, 125(2003) 250-256.
9. Chalupa, R., Chen, M., Modi, V. ve West, A.C., High Schmidt mass transfer in a turbulent impinging slot-jet flow, Int. J. Heat Mass Transfer, 44 (2001) 3775-3785.
10. Adimurty, M. ve Vadiraj, V. Kati, Local distribution of wall static pressure and heat transfer on a smooth flat plate impinged by a slot air jet, Heat Mass Transfer, (2017) 53:611–623.
11. Lee, D.H., Bae, J.R., Park, H.J., Lee, J.S. ve Ligrani, P., Confined, milliscale unsteady laminar impinging slot jets and surface Nusselts numbers, International Journal of Heat and Mass Transfer, 54 (2011) 2408-2418.

12. Behnia, M., Parneix, S., Shabany Y. ve Durbin, P.A., Numerical study of turbulent heat transfer in confined and unconfined impinging jets, Int.H Fluid Flow, 20(1999) 1-9.
13. Al Mubarek, A.A., Shaadid, S.M. ve Al Hadhrami, L.M., Heat transfer in a channel with inclined target surface cooled by single array of centered impinging jets, Thermal Science, 17 (2013) 4 1195-1206.
14. Guan, T., Zhang, J., Shan, Y. ve Hang, J., Conjugate heat transfer on leading edge of a conical wall subjected to external cold flow and internal hot jet impingement from chevron nozzle – Part 1: Experimental analysis, International Journal of Heat and Mass Transfer, 106, (2017) 329-338.
15. Guo, T., Rau, M., Vlachos, P.P. ve Garimella, S.V., Axisymmetric wall jet development in confined jet impingement, Physics of Fluids, 29 (2017) 1-12
16. Cavadas, A.S., Pinho, F.T. ve Campos, J.B.L.M., Laminar flow field in a viscous liquid impinging jet confined by inclined plane walls, International Journal of Thermal Sciences, 59 (2012) 95-110.
17. Li, Y., Li, B., Qi, F. ve Cheung, S.C.P., Flow and heat transfer of parallel multiple jets obliquely impinging on a flat surface, Applied Thermal Engineering, (2018) 10, 2374-2185.
18. Miranda, J.M. ve Campos, J.B.L.M., Impinging jets confined by a conical wall: Laminar flow predictions, Fluid Mechanics and Transport Phenomena, 45 (1999) 11, 2273-2285.
19. Miranda, J.M. ve Campos, J.B.L.M., Impinging jets confined by a conical wall – high Schmidt mass transfer predictions in laminar flow, International Journal of Heat and Mass Transfer, 44 (2001) 1269-1284.
20. Yang, Y.T. ve Syhu, C.H., Numerical study of multiple impinging slot jets with an inclined confinement surface, Numerical Heat Transfer, 33, 1 (1998) 23-37.
21. Bhagwat, A. ve Sridharan, A., Numerical simulation of oblique air jet impingement on a heated flat plate, Journal of Thermal Science and Engineering Applications, Transactions of the ASME, (2017), 1-10.
22. Fluent 6 Users Guide, Fluent Inc, 2001.
23. Kato, M. ve Launder, B. E., The Modeling of Turbulent Flow Around Stationary and Vibrating Square Cylinders, Proc. 9th Symposium on Turbulent Shear Flows, (1993), 10.4.1-10.4.6.
24. Van Heiningen, A.R.P. Heat transfer under an impinging slot jet, Ph.D. thesis, McGill University, Montreal, 1982.

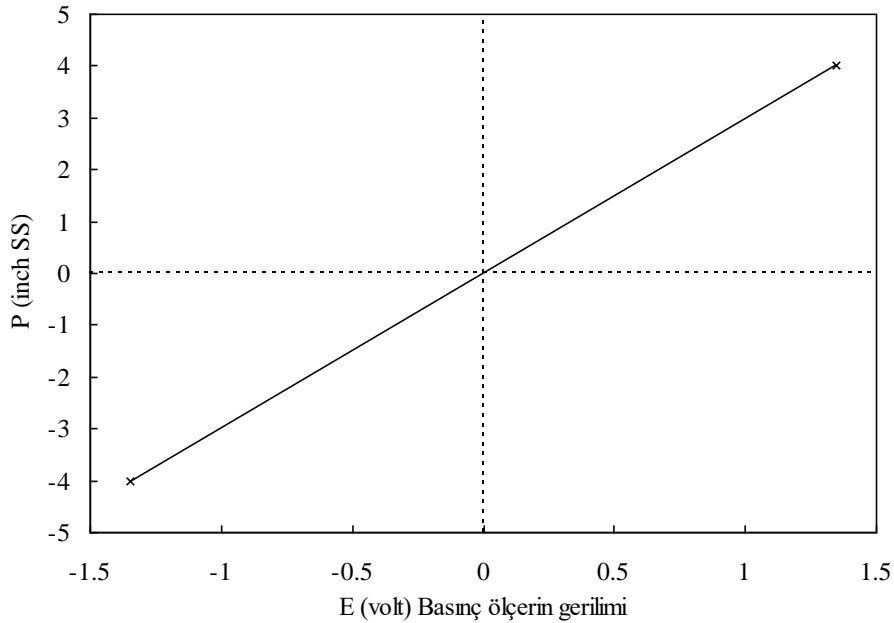
25. Fox, R.W. ve McDonald, A.T., Introduction to Fluid Mechanics, John Wiley and Sons, Fourth Edition, New York, 1992.
26. Holman, J.P., Experimental Methods for Engineers, McGraw-Hill Book Company, New York, 1971



8. EKLER

Ek 1. Basınç Ölçerlerin Kalibrasyonu

Deneylerde kullanılan Setra 239 model basınç ölçerlerin kalibrasyonu için T.S.I. Model 1125 kalibrasyon cihazından yararlanılmıştır. Basınç ölçerlerin çıkışları doğrudan veri kazanım kartına bağlandığında ölçüm sinyallerinde gürültü oluşmaktadır. Bu nedenle basınç ölçerlerin çıkışları önce T.S.I. Model 157 sinyal şartlandırıcısına bağlanmış, daha sonra şartlandırılmış sinyaller bilgisayara aktarılmıştır. Deneyler süresince belirli aralıklarla tekrarlanan bu kalibrasyon işleminde ThermalPro paket programı kullanılmıştır. Kalibrasyon işleminde basınç ölçerlere, sınır basınç değerlerinde akış uygulanmış ve basınç ölçerden elde edilen gerilim sinyalleri paket program tarafından kaydedilmiştir. Daha sonra bu değerlere Şekil E.1 de görüldüğü gibi, program tarafından doğrusal formda bir eğri yudurulmuştur.



Şekil E.1. Setra 239 model basınç ölçerlerin kalibrasyon eğrisi

Ek 2. Belirsizlik Analizi

Deneysel büyüklüklerin ölçümü sırasında, deney düzeneğinden ve ölçüm sistemlerinden kaynaklanan çeşitli hatalar meydana gelebilmektedir. Bu hataların hangi düzeyde olduklarının belirlenmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yapılan çalışmanın geçerliliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Hata ve belirsizlik kavramları arasında anlam farkı vardır. Belirsizlik, bir dizi deney için söz konusu olmakta ve verilen bir güven aralığı içerisinde ölçümün sahip olabileceği hatayı temsil etmektedir. Hata ise, tek bir gözleme dayanmakta ve gerçek ve düzeltilmiş değer arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Hata, tek bir gözlem için sabit bir değer almaktadır.

Deneysel çalışmalarda ortaya çıkan hatalar, araştırmacılar tarafından yapılan hatalar dışında temelde iki tiptedir. Bu hataların birincisi, tekrarlanan ölçümlerde aynı miktarda hataya sebep olan sistematik hatalar, ikincisi ise rasgele oluşan ve her bir ölçüm için farklı olmaları nedeniyle ortadan kaldırılamayan düzensiz hatalardır. Belirsizlik analizinin esası, deneysel sonuçlardaki muhtemel rasgele hataların belirlenmesine dayanmaktadır [25].

Bu çalışmada, hem ölçülen hem de hesaplanan parametrelere ait belirsizlik değerlerini elde etmek için Holman [26] tarafından önerilen hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemle göre, A olarak tanımlanan herhangi bir sonuç değeri, kendisinin belirlenebilmesi için gerekli her bir değişkenin fonksiyonu cinsinden

$$A=A(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (E.1)$$

olarak ifade edilmektedir. x_i parametrelerindeki belirsizlik etkisini ortaya koymak için A özelliği üzerinden

$$\Delta A^2 = \frac{\partial A^2}{\partial x_1} \Delta x_1^2 + \frac{\partial A^2}{\partial x_2} \Delta x_2^2 + \dots + \frac{\partial A^2}{\partial x_n} \Delta x_n^2 \quad (E.2)$$

Ek 1'in devamı

şeklinde matematiksel olarak ifade edilmektedir. Belirsizlik için türetilmiş ifadenin genel formu, ölçüm parametrelerinin fonksiyonu olarak

Ek 2'nin devamı

$$\delta_A = \left[\left(\frac{\partial A}{\partial x_1} \delta_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial x_2} \delta_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial A}{\partial x_n} \delta_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{E.3})$$

şeklinde belirlenmektedir. Bu bağıntıda yer alan δ_i 'ler her bir bağımsız değişkene ait belirsizliği ifade etmektedir. A sonucuna ait toplam belirsizlik δ_A/A şeklinde yüzdelik olarak ifade edilmektedir. Bu durumda eşitlik,

$$\frac{\delta_A}{A} = \left[\left(\frac{1}{A} \cdot \frac{\partial A}{\partial x_1} \delta_1 \right)^2 + \left(\frac{1}{A} \cdot \frac{\partial A}{\partial x_2} \delta_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{1}{A} \cdot \frac{\partial A}{\partial x_n} \delta_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{E.4})$$

halini almaktadır. u , yüzde olarak belirsizliği göstermek üzere, $u_A = \delta_A / A$ ve $u_i = \delta_i / x_i$ dönüşümü ile yüzde olarak toplam belirsizlik aşağıdaki gibi yeniden ifade edilebilir.

$$u_A = \left[\left(\frac{x_1}{A} \cdot \frac{\partial A}{\partial x_1} \cdot u_1 \right)^2 + \left(\frac{x_2}{A} \cdot \frac{\partial A}{\partial x_2} \cdot u_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{x_n}{A} \cdot \frac{\partial A}{\partial x_n} \cdot u_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{E.5})$$

Bu çalışma kapsamında hız ve basınç ölçümleri gerçekleştirilmiş, bu ölçüm değerleri kullanılarak hesaplanan Re sayısı ve C_p basınç katsayısı gibi boyutsuz sayılar ve bunların bağlı olduğu bağımsız değişkenler için belirsizlik değerleri elde edilmiştir.

$$C_p = \Delta P / (\rho U_0^2 / 2) \quad (\text{E.6})$$

şeklinde tanımlanan basınç katsayısına ait belirsizlik, ΔP , ρ ve U_0 bağımsız değişkenlerine bağlıdır. Basınç katsayısının bu değişkenlere göre türevleri olan ifadeler aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\partial C_p}{\partial (\Delta P)} = \frac{1}{\rho U^2 / 2} \quad \frac{\partial C_p}{\partial \rho} = \frac{(-1) \Delta P}{U^2 / 2} \rho^{-2} \quad \frac{\partial C_p}{\partial U} = \frac{(-2) \Delta P}{\rho / 2} U^{-3}$$

ifadeleri (E.5) eşitliğinde yerlerine yazıldığında basınç katsayısına ait belirsizlik U_{cp}

Ek 2'nin devamı

$$U_{Cp} = \left\{ (U_{\Delta P})^2 + ((-1)U_{\rho})^2 + ((-2)U_0)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (\text{E.7})$$

elde edilir.

Kullanılan boyutsuz sayı olan C_p 'nin belirsizlik değerini bulabilmek için eşitliklerde bulunan her bir bağımsız değişkene ait belirsizliklerin hesaplanması gerekmektedir. Bu bağımsız değişkenlere ait belirsizlik değerlerinin bulunmasında, kullanılan ölçü aletlerine ait kullanım kılavuzlarında yer alan hata değerleri kullanılmıştır. Bunlara göre basınç, havanın yoğunluğu ve hızı için belirsizlik %1 olarak alınmıştır.

$$U_{Cp} = \left[(0.01)^2 + ((-1) \cdot (0.01))^2 + ((-2) \cdot (0.01))^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$U_{Cp} = \pm \%2.4$$

olarak bulunmuştur.

ÖZGEÇMİŞ

Hakan KINAY, 1990 yılında Trabzon'da doğdu. 2008 yılında Yomra Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesinden mezun oldu. 2013 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Lisans öğreniminin son yılında Macaristan'da University of Debrecen'de Erasmus programına katıldı. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans programına başladı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.

