



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BLOKLU YÜZEYLERDE AKIŞ VE ISI TRANSFERİ
KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Onur YEMENİCİ

DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2010



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BLOKLU YÜZEYLERDE AKIŞ VE ISI TRANSFERİ
KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Onur YEMENİCİ

Prof. Dr. Habib UMUR
(Danışman)

DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA-2010

T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BLOKLU YÜZEYLERDE AKIŞ VE ISI TRANSFERİ
KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ

Onur YEMENİCİ

DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez/...../2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Habib UMUR
Danışman

Prof. Dr. İrfan KARAGÖZ

Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ

Prof. Dr. Ufuk ALKAN

Prof. Dr. Yaşar PANCAR

ÖZET

Bloklı düz yüzeyler üzerinde laminer, geçiş ve türbülanslı akışların akış ve ısı transfer analizi, enerji transferini arttırdığından dolayı, mühendislik problemleri ve dizaynları için oldukça önemlidir. Bloklı yüzey kullanımı ısı transferini arttırmak için kullanılan pasif yöntemlerden biridir. Akış blokların varlığından dolayı ayrılır ve yeniden birleşir. Bloklar, akıştaki bu ayrılma ve yeniden birleşmeden dolayı, akışta düzensizlik, basınç değişimleri, titreşim ve gürültü yaratırlar. Ancak türbülans karışım uzunluğunun kısalması, ısı ve hidrodinamik sınır tabaka kalınlığının incilmesi ve yüzey alanının artmasından dolayı ısı transferi de artmış olur.

Bu çalışmada düz ve bloklı yüzeyler üzerinde akıştaki hız ve ısı transfer karakteristikleri, giriş hızı ve blok yüksekliklerinin etkisinde deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde giriş hızları 3, 5, 10 ve 15 m/s ve blok yükseklikleri 10, 15 ve 20 mm olarak alınmıştır.

Düz yüzey için yapılan deneysel çalışmalarda, 3 m/s giriş hızı için laminer, 5 ve 10 m/s giriş hızları için geçiş ve 15 m/s giriş hızı için türbülanslı akış yapısı gözlemlenmiştir. Bloklı yüzeyler üzerinde akışta, tüm blok yüksekliklerinde, ilk bloğun ön ve üst yüzeyi, son bloğun arka yüzeyi ve blok aralarında ayrılma ve yeniden birleşmeler tespit edilmiş ve bu yüzeylerde ölçülen türbülans yoğunluklarının tamamı düz yüzey türbülans yoğunluğu değerlerinden büyük çıkmıştır. Tüm hız ve ısı transfer ölçümleri benzer eğilimler göstermesine rağmen, laminer akışta bloklardan kaynaklanan ısı transfer artışı türbülanslı akışa göre daha fazladır. 10, 15 ve 20 mm blok yükseklikleri için, ortalama Stanton sayıları düz yüzey değerlerinden sırasıyla, laminer akışta 82, 95, 113%, geçişte 53, 71, 84% ve 44, 66, 78% ve türbülanslı akışta 27, 38, 50% daha büyüktür. Bu sonuçlar, tüm blok yükseklikleri ve giriş hızlarında bloklı yüzeyler üzerindeki ısı transferinin düz yüzeydekinden büyük olduğunu göstermiştir. Ayrıca blok yüksekliği ve giriş hızının artması ısı transferini arttırmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Ayrılan ve Yeniden Birleşen Akışlar, Hidrodinamik ve Isıl Sınır Tabaka, Bloklı Yüzeyler, Isı Transferi

ABSTRACT

The analysis of flow and heat transfer of laminar, transitional and turbulent flows, on flat surfaces with blocks is of great importance for many engineering problems and designs since it causes energy transfer enhancement. Use of surface with blocks is one of the passive methods that increases heat transfer. Flow separates from the surface due to the blocks and reattaches it again. As a result of this, separation and reattachment occurs on the same surface that brings about flow unsteadiness, pressure fluctuations, noise and vibration. On the other hand, heat transfer is increased due to shorter turbulent mixing length, thinner thermal and hydrodynamic boundary layer thickness and larger surface areas.

In this study, the characteristics of velocity and heat transfer on flat surfaces with/without blocks have been experimentally investigated under the influence of different initial velocities of 3, 5, 10 and 15 m/s and block heights of 10, 15 and 20 mm.

Preliminary measurements showed that the flow at 3 m/s remain of in laminar region, 5 and 10 m/s in transition and 15 m/s in turbulent region. It was found that the separation and reattachments were occurred on the front and top faces of the first block, the rear face of the last block and the faces of between blocks. The turbulence level in case of blocks surface was recorded higher than that of the flat plate. Although all velocity and heat transfer measurement show of the same trends it can easily be said that heat transfer enhancement due to blocks become more pronounced in laminar than turbulent flows. Such as, for block heights of 10, 15 and 20 mm, the average Stanton numbers were higher than those of flat surface by 82, 95, 113 % in laminar, 53, 71, 84 % and 44, 66, 78 % in transition and 27, 38, 50 % in turbulent, respectively. These results have been showed that, for all block heights and initial velocities, heat transfer on flat surface with blocks were higher than those of flat surface. Also, heat transfer increased, whereas block height and initial velocity increased.

KEYWORDS: Separated and Reattaching Flows, Hydrodynamic and Thermal Boundary Layers, Surfaces with Blocks, Heat Transfer

İÇİNDEKİLER	Sayfa
İÇ KAPAK.....	i
TEZ ONAY SAYFASI	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER DİZİNİ.....	xii
GİRİŞ	1
1. KAYNAK ÖZETLERİ	3
1.1. Giriş.....	3
1.2. Düz Yüzey Üzerinde Akışlar	3
1.3. Bloklı Yüzey Üzerinde Akışlar	13
1.4. Sonuç.....	56
2. MATERYAL VE YÖNTEM	57
2.1. Giriş.....	57
2.2. Ayrılmış Akışlar ve Blok Geometrileri.....	57
2.2.1. Geri Basamak Akışı.....	59
2.2.2. İleri Basamak Akışı.....	60
2.2.3. Boşluk (Çukur) Akışı.....	60
2.2.4. Tek Blok Üzerinde Akış.....	61
2.2.5. Bloklar Üzerinde Akış.....	62
2.3. Korunum Denklemleri	63
2.4. Sınır Tabaka Parametreleri	65
2.5. Deneysel Yöntem	67
2.6. Deney Düzenegi	71
2.6.1. Rüzgar Tüneli	71
2.6.2. Test Bölümü	73
2.6.3. Travers Sistemi.....	73
2.6.4. Düz Yüzey.....	74
2.6.5. Bloklı Yüzeyler	76

2.7. Ölçüm Cihazları	81
2.7.1. Hız Ölçümü	81
2.7.2. Basınç Ölçümü.....	86
2.7.3. Sıcaklık Ölçümü	87
2.8. Belirsizlik Analizi	90
2.8.1. Hız Ölçümlerindeki Belirsizlik.....	91
2.8.2. Basınç Ölçümlerindeki Belirsizlik.....	93
2.8.3. Sıcaklık Ölçümlerindeki Belirsizlik.....	94
2.8.4. Boyutsuz Sayıların Belirsizlik Değerleri	94
2.8.5. Isı Transferi Hesaplamalarındaki Belirsizlik	95
3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	97
3.1. Giriş.....	97
3.2. Düz Yüzey Deney Sonuçları.....	99
3.2.1. Hız Karakteristikleri	99
3.2.2. Isı Transferi Karakteristikleri.....	111
3.3. Bloklı Yüzey Deney Sonuçları.....	115
3.3.1. Hız Karakteristikleri	116
3.3.2. Basınç Karakteristikleri	203
3.3.3. Isı Transferi Karakteristikleri.....	208
SONUÇ	223
KAYNAKLAR	235
TEŞEKKÜR.....	245
ÖZGEÇMİŞ	246

ÇİZELGELER DİZİNİ	Sayfa
Çizelge 1.1. Düz yüzey üzerinde akışlar	6
Çizelge 1.2. Bloklı yüzey üzerinde akışlar	17
Çizelge 2.1. Düz yüzey ölçüm noktaları	75
Çizelge 2.2. Bloklı yüzey ölçüm noktaları	80
Çizelge 2.3. Hız ölçümlerindeki belirsizlikler	92
Çizelge 2.4. Basınç ölçümlerindeki belirsizlikler	93
Çizelge 2.5. Sıcaklık ölçümlerindeki belirsizlikler	94
Çizelge 2.6. Isı transferi ölçümlerindeki belirsizlikler	95
Çizelge 2.7. Stanton sayısı belirsizlik hesaplamaları	96
Çizelge 3.1. Düz yüzey üzerinde 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızları için izafi akış mesafeleri ve Re_x	100

ŞEKİLLER DİZİNİ	Sayfa
Şekil 2.1. Geri basamak akışında akış bölgeleri	59
Şekil 2.2. İleri basamak akışında akış bölgeleri	60
Şekil 2.3. Boşluk akışında akış bölgeleri	61
Şekil 2.4. Tek bir blok üzerinde akışta akış bölgeleri	61
Şekil 2.5. Tek bloklü yüzey geometrisi.....	62
Şekil 2.6. Bloklar üzerinde akışta akış bölgeleri.....	62
Şekil 2.7. Ardışık bloklü yüzey geometrisi	63
Şekil 2.8. Yer değiştirme ve momentum kalınlıkları	67
Şekil 2.9. Rüzgar tünelinin genel yapısı.....	72
Şekil 2.10. Rüzgar tünelinin genel görüntüsü	72
Şekil 2.11. Test bölümü	73
Şekil 2.12. Travers sistemi	74
Şekil 2.13. Düz yüzeyin (a) üstten, (b) önden görünüşü	75
Şekil 2.14. Bakır düz plakanın alt yüzeyi	76
Şekil 2.15. Test bölümü içinde bloklü bakır yüzey.....	77
Şekil 2.16. Bloklü bakır yüzeylerin önden görünüşleri.....	77
Şekil 2.17. Bloklü tahta yüzeylerin önden görünüşleri	78
Şekil 2.18. Basınç delikleri, kılcal borular ve manometre hortumları	79
Şekil 2.19. CTA ölçüm zinciri	82
Şekil 2.20. Tek sensörlü, minyatür telli normal prob.....	83
Şekil 2.21. Kalibrasyon cihazı	85
Şekil 2.22. Kalibrasyon eğrisi	85
Şekil 2.23. Ters akış bölgesinde anemometre hız çıkışı	86
Şekil 2.24. Eğik manometre	87
Şekil 2.25. AC güç üreticisi	88
Şekil 2.26. (a) Düz ve (b) bloklü bakır yüzeyler için kompozit ısıtıcı ve güç üreticisinin bağlantı sistemleri	89
Şekil 2.27. Dijital multimetre ve ölçüm uçları	90
Şekil 3.1. Düz yüzey üzerinde 3 m/s hız için deneysel (—◆—) ve Blasius yaklaşımı (----) kullanılarak elde edilen hız profilleri	101

Şekil 3.2. Düz yüzey üzerinde 3 m/s hız için (a) H ve (b) Re_θ değerlerinin akış yönünde değişimi	102
Şekil 3.3. Düz yüzey üzerinde 5 m/s hız için deneysel (—●—), Blasius yaklaşımı (-----) ve 1/7 güç kanunu (—) kullanılarak elde edilen hız profilleri	103
Şekil 3.4. Düz yüzey üzerinde 5 m/s hız için (a) H ve (b) Re_θ değerlerinin akış yönünde değişimi	104
Şekil 3.5. Düz yüzey üzerinde 10 m/s hız için deneysel (—●—) ve 1/7 güç kanunu (—) kullanılarak elde edilen hız profilleri	105
Şekil 3.6. Düz yüzey üzerinde 10 m/s hız için (a) H ve (b) Re_θ değerlerinin akış yönünde değişimi	106
Şekil 3.7. Düz yüzey üzerinde 15 m/s hız için deneysel (—●—) ve 1/7 güç kanunu (—) kullanılarak elde edilen hız profilleri	107
Şekil 3.8. Düz yüzey üzerinde 15 m/s hız için (a) H ve (b) Re_θ değerlerinin akış yönünde değişimi	108
Şekil 3.9. Düz yüzey üzerinde türbülans yoğunlukları	110
Şekil 3.10. Düz yüzey üzerinde türbülans yoğunluklarının Re_θ ile değişimi	110
Şekil 3.11. Düz yüzey üzerinde 3 m/s hız için akış yönündeki St değişimi	111
Şekil 3.12. Düz yüzey üzerinde 5 m/s hız için akış yönündeki St değişimi	112
Şekil 3.13. Düz yüzey üzerinde 10 m/s hız için akış yönündeki St değişimi	113
Şekil 3.14. Düz yüzey üzerinde 15 m/s hız için akış yönündeki St değişimi	114
Şekil 3.15. Ortalama geçiş faktörlerinin akış yönünde değişimi	115
Şekil 3.16. $U=3$ m/s ve $h=10$ mm için hız profilleri	117
Şekil 3.17. $U=3$ m/s ve $h=15$ mm için hız profilleri	120
Şekil 3.18. $U=3$ m/s ve $h=20$ mm için hız profilleri	123
Şekil 3.19. $U=5$ m/s ve $h=10$ mm için hız profilleri	130
Şekil 3.20. $U=5$ m/s ve $h=15$ mm için hız profilleri	133
Şekil 3.21. $U=5$ m/s ve $h=20$ mm için hız profilleri	136
Şekil 3.22. $U=10$ m/s ve $h=10$ mm için hız profilleri	143
Şekil 3.23. $U=10$ m/s ve $h=15$ mm için hız profilleri	146
Şekil 3.24. $U=10$ m/s ve $h=20$ mm için hız profilleri	149
Şekil 3.25. $U=10$ m/s ve $h=10$ mm için türbülans yoğunlukları	151

Şekil 3.26. $U=10$ m/s ve $h=15$ mm için türbülans yoğunlukları	157
Şekil 3.27. $U=10$ m/s ve $h=20$ mm için türbülans yoğunlukları	162
Şekil 3.28. $U=15$ m/s ve $h=10$ mm için hız profilleri	172
Şekil 3.29. $U=15$ m/s ve $h=15$ mm için hız profilleri	175
Şekil 3.30. $U=15$ m/s ve $h=20$ mm için hız profilleri	178
Şekil 3.31. $U=15$ m/s ve $h=10$ mm için türbülans yoğunlukları	180
Şekil 3.32. $U=15$ m/s ve $h=15$ mm için türbülans yoğunlukları	186
Şekil 3.33. $U=15$ m/s ve $h=20$ mm için türbülans yoğunlukları	191
Şekil 3.34. Giriş hızları ve blok yüksekliklerine bağlı olarak elde edilen yeniden birleşme uzunlukları.....	202
Şekil 3.35. 3 m/s giriş hızı için basınç katsayısı profilleri	204
Şekil 3.36. 5 m/s giriş hızı için basınç katsayısı profilleri	204
Şekil 3.37. 10 m/s giriş hızı için basınç katsayısı profilleri	205
Şekil 3.38. 15 m/s giriş hızı için basınç katsayısı profilleri	205
Şekil 3.39. $h=10, 15$ ve 20 mm için 3 m/s giriş hızında blok üstlerinde, aralarında ve düz yüzey üzerinde St değişimi.....	209
Şekil 3.40. $h=10, 15$ ve 20 mm için 5 m/s giriş hızında blok üstlerinde, aralarında ve düz yüzey üzerinde St değişimi.....	210
Şekil 3.41. $h=10, 15$ ve 20 mm için 10 m/s giriş hızında blok üstlerinde, aralarında ve düz yüzey üzerinde St değişimi.....	211
Şekil 3.42. $h=10, 15$ ve 20 mm için 15 m/s giriş hızında blok üstlerinde, aralarında ve düz yüzey üzerinde St değişimi.....	212
Şekil 3.43. Bloklü ve düz yüzeyler üzerinde 3 m/s giriş hızında akış yönünde St değişimi	213
Şekil 3.44. Bloklü ve düz yüzeyler üzerinde 5 m/s giriş hızında akış yönünde St değişimi	214
Şekil 3.45. Bloklü ve düz yüzeyler üzerinde 10 m/s giriş hızında akış yönünde St değişimi	214
Şekil 3.46. Bloklü ve düz yüzeyler üzerinde 15 m/s giriş hızında akış yönünde St değişimi	215
Şekil 3.47. 10 mm blok yüksekliğine sahip yüzey üzerinde akışta, 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızlarında akış yönünde Nu_H değişimi.....	217

- Şekil 3.48. 15 mm blok yüksekliğine sahip yüzey üzerinde akışta, 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızlarında akış yönünde Nu_H değişimi.....218
- Şekil 3.49. 20 mm blok yüksekliğine sahip yüzey üzerinde akışta, 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızlarında akış yönünde Nu_H değişimi.....219
- Şekil 3.50. $h=10, 15$ ve 20 mm için Nu/Nu_s 'nin Re_H ile değişimi.....221

SİMGELER DİZİNİ

A	-Yüzey alanı (m ²)
c	-Blok üst yüzeyinden kanala olan uzaklık (m)
C _f	-Sürtünme katsayısı
C _p	.Sabit basınçta özgül ısı (J/(kg.K))
C _p	-Basınç katsayısı $\left(\frac{P - P_0}{\frac{1}{2} \rho U^2} \right)$
Gr	-Grashof sayısı $\left(\frac{g \beta (T_w - T_\infty) x^3}{\nu^2} \right)$
h	-Isı taşınım katsayısı (W/(m ² .K))
h	-Blok yüksekliği (m)
H	-Biçim faktörü (δ^*/θ)
H	-Kanal yüksekliği (m)
I	-Akım (A)
k	-Basınç gradyan parametresi $\left(\frac{\nu}{U^2} \frac{dU}{dx} \right)$
k	-Isı iletim katsayısı (W/(m.K))
L	-Kanal genişliği (m)
Nu	-Nusselt sayısı $\left(\frac{hL}{k} \right)$
Nu _H	-Kanal yüksekliği ile hesaplanan Nu $\left(\frac{hH}{k} \right)$
P	-Basınç (Pa)
Pr	-Prandtl sayısı $\left(\frac{C_p \mu}{k} \right)$
q''	-Isı akısı (W/m ²)
Q	-Transfer edilen ısı miktarı (J)
Ra	-Rayleigh sayısı (Gr.Pr)

Re	-Reynolds sayısı $\left(\frac{Ux}{\nu}\right)$
Re _θ	-Momentum kalınlığı ile hesaplanan Re $\left(\frac{U\theta}{\nu}\right)$
Re _h	-Blok yüksekliği ile hesaplanan Re $\left(\frac{Uh}{\nu}\right)$
Re _H	-Kanal yüksekliği ile hesaplanan Re $\left(\frac{UH}{\nu}\right)$
Re _w	-Blok genişliği ile hesaplanan Re $\left(\frac{Uw}{\nu}\right)$
s	-Bloklar arasındaki mesafe (m)
St	-Stanton sayısı $\left(\frac{h}{\rho U_{\infty} C_p}\right)$
T	-Sıcaklık (⁰ C, K)
Tu	-Türbülans yoğunluğu (%)
u, v, w	-x, y ve z yönlerindeki hız değerleri (m/s)
$\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$	-x, y ve z yönlerindeki ortalama hız değerleri (m/s)
$\bar{u}', \bar{v}', \bar{w}'$	-x, y ve z yönlerindeki türbülans yoğunlukları (1/s)
$\overline{(u'T')}$	-Ortalama türbülanslı ısı akısı (m.K/s)
U	-Hız (m/s)
V	-Voltaj (V)
x, y, z	-Kartezyen koordinat takımı
x ₁	-Isıtılmamış izafi başlangıç uzunluğu (m)
x _R	-Yeniden birleşme uzunluğu (m)
w	-Blok genişliği (m)

Yunan Harfleri

δ	-Sınır tabaka kalınlığı (m)
Δ	-Fark
δ*	-Yer değiştirme kalınlığı (m)
Φ	-Viskoz yayılım fonksiyonu (1/s ²)

γ	-Geçiş faktörü
λ	-Basınç gradyan parametresi $\left(\frac{\theta^2}{\nu} \frac{dU_\infty}{dx} \right)$
μ	-Dinamik viskozite (Pa.s)
ν	-Kinematik viskozite (m ² /s)
θ	-Momentum kalınlığı (m)
ρ	-Yoğunluk (kg/m ³)

Alt İndisler

F	-Son enerji
L	-Laminer
O	-İlk enerji
t	-Toplam
T	-Isıl, türbülanslı
w	-Duvar değeri
x, y, z	-Kartezyen koordinatlarda x, y, z uzaklıklarındaki lokal değerler
∞	-Serbest akış değeri
s	-Düz yüzey

Kısaltmalar

ALE	-Arbitrary Lagrangian Eulerion
CTA	-Constant Temperature Anemometry
KL	-Kato-Louder
LDA	-Laser Doppler Anemometry
LES	-Large Eddy Simulation
PIV	-Particle Image Velocimetry
PTV	-Particle Tracking Velocimetry
RANS	-Reynolds-Averaged Navier-Stokes

GİRİŞ

Dünyadaki enerji kaynaklarının azalmasından dolayı enerji kaybını azaltmak, enerjiyi depolamak ve enerji transferini arttırmak mühendislik problemleri ve dizaynları için oldukça önemlidir. Bu nedenle, daha fazla ısıyı transfer edebilmek için daha verimli ısı transfer elemanlarının geliştirilmesine hız verilmiştir. Son yıllarda ısı transferini arttırmak için, ekstra güç kaynağı istemeyen pasif yöntemler ve dışarıdan güç almayı gerektiren aktif yöntemler olmak üzere, birçok yöntem geliştirilmiştir. Akışkanın hızının artırıldığı aktif yöntemler hızın düşük olması gereken sistemlerde kullanılamaz ve bu yöntemlerin dışarıdan güç alması, gürültü yapması gibi dezavantajları da vardır. Akış oranı sabit tutularak ısı transferini arttıran pasif yöntemlerde ise yüzey pürüzlülüğü oluşturularak, vorteks üreteçleri kullanarak ya da yüzeye farklı geometrilerdeki bloklar ekleyerek akış yapısı değiştirilir ve akışta ayrılma ve yeniden birleşme oluşturulur. Yeniden birleşmeyle birlikte ayrılmış bir akışın varlığı sürekli rejimden sapmaya, basınç salınımlarına ve titreşime sebep olurken ısı ve kütle transferini artırır. Bloklu yüzeylerden ısı transfer artışı yüzey alanının artması, blokların varlığının türbülansı arttırması ve ısıl sınır tabakanın gelişimine engel olmasıyla sağlanır. Bu yüzeyler üzerinde akışta ısı transferinin artmasıyla birlikte basınç düşüşü de artar. Bu nedenle bu yüzeylerin kullanımındaki ana amaç, ısı transferinde maksimum artışı, basınç düşüşündeki artışı ya da akış oranını minimuma indirerek elde etmektir. Hem aktif hem de pasif yöntemlerle ısı transferi arttırılabilir. Ancak tüm sistem performansını arttıracak optimum değerler elde edilmelidir.

Akışkanla temas eden her türlü taşıtın hareketlerini emniyetli ve en uygun şekilde yapılabilmesi için, düz yüzeyler üzerinde hidrodinamik ve ısıl sınır tabakalar analiz edilmelidir. Bloklu yüzeyler üzerindeki akışlarda ise bloğun varlığının ısı transferi, akış yapısı ve sürüklenme üzerine etkileri, ısıtma ve soğutmanın gerektiği birçok mühendislik probleminin analizi ve çözümü için incelenmesi gerekmektedir. Bloklu yüzeyler, bilgisayarlarda ve havacılıkta kullanılan elektronik sistemlerde fazla ısınmadan kaynaklanan arızalara engel olmak amacıyla bu sistemlerin soğutulmasında kullanılır (Young ve ark. 1998). Bu yüzeyler etrafındaki akış alanının analizi, binalar arasındaki düşük hızlı hava araçlarının hareketlerini emniyetle yapabilmeleri için ve uçak, helikopter pistlerinin dizaynı için de şarttır (Frost ve ark. 1980). Gaz türbin

kanatlarının soğutulması, gaz soğutmalı nükleer reaktörler ve yanma odalarındaki ön ısıtıcılarda alçak yüksekliğe sahip sıralı bloklar pürüzlülük elementi olarak kullanılırken (Braun ve ark. 1999) ısı değiştiricilerinde veriminin artırılmasında da yine aynı yüzeyler yapay yüzey pürüzlülüğü olarak kullanılır (Ryu ve ark. 2007). Güneş kolektörlerinde (Tsay ve ark. 2008), araba ve tren aerodinamiğinde (Becker ve ark. 2002), enerji ve çevresel kontrol sistemlerinde (Mulaweh ve ark. 2000), roketlerde (Aung 1983) ve biomedikal cihazlarda (Korichi ve ark. 2006) da bloklular yüzeylerin akış ve ısı transfer analizi çok önemlidir.

Çalışılacak yüzey geometrileri ve buna bağlı olarak akış ve ısı transfer yapısının karmaşıklığından dolayı literatürde bu konuda yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak nümerik (Lakehal ve Rodi 1997) olmasına rağmen, nümerik sonuçların deneylerle desteklendiği çalışmaların (Leung ve ark. 1999) daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Bunun yanı sıra yapılan çalışmalar genellikle laminer (Wu ve Perng 1997), geçiş (Chen ve Wang 1998) ve türbülanslı (Ryu ve ark. 2007) akış tipleri için ayrı ayrı ele alınmıştır. Mevcut araştırmaların çoğunda akış analizi veya ısı transfer analizi de ayrı ayrı ele alınırken, deneysel çalışmalar bloklar üzerinde akış yapısının karmaşıklığından dolayı genelde tek bir blok üzerinde akış için (Nozawa ve Tamura 2002) yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında ise düz ve bloklular yüzeyler üzerinde hem akış hem de ısı transferi, akış tipi ve blok geometrisine bağlı olarak incelenmiştir. Uygulama alanı çok fazla olan ardışık blok yapıları üzerinde akışı incelemeye yönelik deneysel çalışmalardaki boşluğu kapatmak amaçlanmaktadır. Aynı yüzey alanına sahip bu düz ve bloklular yüzeyler üzerinde akış ve ısı transferi bulguları da laminer, geçiş ve türbülanslı akışta karşılaştırılmıştır. Bu nedenle analizler hem düz yüzey hem de tüm bloklular yüzeyler için 3, 5, 10, 15 m/s hız değerlerinde, her üç akış yapısını oluşturacak şekilde, yapılmıştır. Bunun yanı sıra akışa dik yönde ve ardışık oluşturulmuş blokların yükseklikleri 10, 15 ve 20 mm olarak alınarak, Reynolds sayısının yanı sıra blok yüksekliğinin de akış ve ısı transferine olan etkisi incelenmiştir. Deneyler maksimum hızı 20 m/s ve türbülans yoğunluğu %0.7 olan bir rüzgar tüneline yapıılırken, hız ve türbülans yoğunluğu ölçümleri kızgın tel anemometresi, basınç ölçümleri statik basınç delikleri ve manometre, sıcaklık ölçümleri ise termal çiftlerle yapılmıştır.

1. KAYNAK ÖZETLERİ

1.1. Giriş

Düz ve bloklu yüzeyler üzerindeki akış ve ısı karakteristikleri literatürde laminer, geçiş ve türbülanslı akış tipleri için ele alınmıştır. Akışı tanımlamak için, momentum kalınlığı, hidrolik çap, kanal yüksekliği, blok yüksekliği veya genişliği gibi farklı büyüklükler kullanılarak elde edilen, Reynolds sayısı kullanılmıştır. Bu yüzeyler üzerinde akışlarda hız ve sıcaklık profilleriyle, transfer edilen ısı miktarının blok geometrisi ve hıza bağlı olarak değişimleriyle ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda genellikle akış analizi veya ısı transfer analizi ayrı ayrı ele alınmaktadır. Akış tipinin yanı sıra, yüzey pürüzlülük değerleri, deney düzeneklerinin geometrileri ve kullanılan nümerik metotlar gibi parametrelerin de araştırma sonuçlarına etkisi vardır. Ayrıca bu bölümde bloklu yüzeylerde, blokların biçimi, blokların sayısı, blok geometrisi, bloklar arasındaki mesafe, blokların yerleştirilme düzenleri ve yerleri, vorteks üreteçleri kullanıldıysa bunların biçimi ve büyüklüğünün sonuçlar üzerindeki etkileri de detaylı olarak incelenmiştir.

Bu bölümde, düz ve bloklu yüzey üzerinde akışlarda yapılan çalışmalar ayrı ayrı ele alınmıştır. Kronolojik sıraya göre önce özet olarak verilen bu çalışmaların daha iyi anlaşılabilmesi için sonuçlar, nümerik yöntemler, geometrik parametreler, deney düzenekleri ve deneylerde kullanılan ölçüm cihazları da kapsamlı bir şekilde incelenerek, tablolar halinde sunulmuştur.

1.2. Düz Yüzey Üzerinde Akışlar

Düz yüzey üzerinde akışlarda, serbest akış hızının, akış şeklinin, basınç gradyanının, kaldırma kuvvetinin ve Reynolds sayısının akış ve ısı karakteristikleri üzerine etkisi hakkında pek çok çalışma yapılmıştır.

Akiyama ve ark. (1971) tarafından yapılan çalışmada teorik ve deneysel olarak elde edilen vortekslerin, tam gelişmiş akışta, aynı yerden başladıkları belirtilmiştir. Imura ve ark. (1978) laminer zorlanmış taşınım ile türbülanslı doğal taşınım üzerinde incelemeler yapmışlardır. $Gr_x/Re_x^{1.5} < 100$ için kaldırma kuvvetlerinin ihmal edilebileceğini, $Gr_x/Re_x^{1.5} > 300$ doğal taşınımın baskın olduğunu ve Nusselt sayısının,

Rayleigh sayısı ile arttığı öne sürülmüştür. Bu iki değer arasında ise hem zorlanmış hem de doğal taşınım etkileri gözlemlenmiştir. Moutsoglou ve ark. (1981) düz bir yüzey üzerinden akışta laminar taşınımındaki vorteksleri incelemişler ve kararsızlığın başladığı kritik Grashof ve Reynolds sayısını tespit etmişlerdir. Chou ve Hwang (1987) dikdörtgen kesitli bir kanalda doğal ve zorlanmış laminar taşınımı incelemişlerdir. Dik duvarların civarında, saat yönünün tersinde dönen bir çift vorteks tespit edilirken, akış yönünde oluşan vortekslerin aksel hızı azaltıp ısı transferini arttırdığı saptanmıştır. Chen ve ark. (1988) yaptıkları çalışmada düz bir yüzey üzerindeki kaldırma kuvvetlerinin zorlanmış taşınımına etkilerini incelemişlerdir. $Re_x=2.5 \times 10^4 - 2.2 \times 10^6$ ve $Gr_x=2 \times 10^8 - 1.5 \times 10^{12}$ aralığında türbülanslı bölgedeki sınır tabaka kalınlığı Schlichting'in (1979) yaklaşımları ile uyum göstermiştir. Ayrıca geçiş bölgesinde kaldırma kuvvetlerinin ısı transferi üzerindeki etkisi tespit edilmiştir. Alüminyum bir plaka üzerinden akış Moharreri ve ark. (1988) tarafından incelenmiştir. İkincil vortekslerin Nusselt sayısında ve sürtünme katsayısında ani artışlara sebep olduğu ve vorteks içinde akış yönündeki maksimum ve minimum hızların yüzey sıcaklığı ile arttığı görülmüştür.

River ve ark. (1994) sabit ısı akısı oluşturan iki adet plaka arasındaki türbülanslı akıştaki ayrılmayı incelemişlerdir. Ayrılma noktası civarında ısı transfer katsayısının azaldığı, yeniden birleşme bölgesinde artmaya başladığı ve bu bölgenin devamında maksimum olduğu saptanmıştır. Pauley ve Eaton (1994) akışı bir şerit ile rahatsız ederek türbülanslı sınır tabakayı vortekslerin etkisinde incelemişlerdir. Vortekslerin hem lokal hem de akış alanının tamamında ısı transferinde artışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Hwang ve Lin (1995) alttan ısıtılan bir düz yüzey üzerindeki vortekslerin başlangıcının tespitine yönelik nümerik bir çalışma yapmışlardır. Nusselt sayısının artışının vortekslerin başlangıç noktası üzerinde etkili olmadığı ve ancak bu noktanın uygulanan ilk sıcaklıktan etkilendiği belirtilmiştir.

Wang ve ark. (1996) geçiş ve düşük Reynolds sayılarında türbülanslı yapının akış ve ısı transferini analiz etmişlerdir. Dik yöndeki hız dalgalanmalarının akış yönündekine göre daha hızlı bir oluşum ve artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Türbülanslı kayma gerilmeleri ve ısıl sınır tabakaların, laminar ısıl sınır tabakalardan daha kalın olduğu tespit edilmiştir. Türbülans seviyesi ile pozitif basınç gradyanının sınır tabakaya etkisi Zhou ve Wang (1996) tarafından incelenmiştir. Yüksek türbülans değerlerinin

geçişi öne alıp geçiş bölgesini kısalttığı ancak pozitif basınç gradyanlarının ters etki yaptığı belirtilmiştir. Ancak türbülans seviyesi çok yüksek olduğunda, yüksek bir basınç gradyanında dahi geçiş başlangıcını etkilemediği ve böylece türbülans seviyelerinin, basınç gradyanına göre akış üzerinde daha etkili olduğu öne sürülmüştür. Umur ve Karagöz (1999) basınç gradyanlı, laminer ve türbülanslı düz yüzey akışlarını incelemiştir. Laminer akışta pozitif basınç gradyanı Stanton sayısında artışa, negatif basınç gradyanı ise azalmaya sebep olurken, türbülanslı akışta değişimlerin çok az olduğu saptanmıştır. Umur (2000) laminer akışta ısı transfer ve akış karakteristiklerini, basınç gradyanları, Reynolds sayıları ve yüzey eğriliğine göre incelemiştir. Pozitif basınç gradyanının sınır tabaka kalınlığının azalmasına neden olduğu ve pozitif basınç gradyanının Stanton sayısı artışı üzerindeki etkisinin, negatif basınç gradyanının Stanton sayısının azalması üzerine etkisinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Düz yüzey sınır tabakalarındaki akışlar ile ilgili daha önce yapılan araştırmalarda kullanılan deney düzenekleri, akış şartları, deneylerde kullanılan ölçüm cihazları, nümerik yöntemler ve elde edilen sonuçlar, kronolojik sıraya göre, Çizelge 1.1’de detaylı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 1.1. Düz yüzey üzerinde akışlar.

Yazar, Yıl	Akış Konfigurasyonu	Temel Bulgular
Akiyama, Hwang ve Cheng (1971)	<p>-Deneyler, giriş alanları $11 \times 1 \text{ in}^2$ ve $11 \times 0.5 \text{ in}^2$ olan iki farklı kanala sahip bir rüzgar tüneline, 6 in uzunluğundaki plakalar üzerinde yürütülmüştür. Plakaların dış yüzeyleri yalıtılmış ve üzerlerinde sabit sıcaklık sağlanmıştır.</p> <p>-Debi bir orifis metre ve manometre ikilisi ile, sıcaklık değerleri 0.01 in çaplı bir termal çift ile tespit edilmiştir.</p>	<p>-Tam gelişmiş laminer akışta vorteksler, teorik ve deneysel olarak aynı yerde başlamıştır.</p> <p>-Sıfır basınç gradyanında ve alt yüzeyin üstten daha sıcak olduğu durumda kritik Rayleigh sayısı 1708 olarak bulunmuştur.</p> <p>-Yan yüzeyler civarındaki ısıl düzensizlik sonucu oluşan vorteksler, doğal taşınım ile birlikte dikkate alınmalıdır.</p>
Imura, Gilpin ve Cheng (1978)	<p>-Kesit alanı $25.4 \times 45.7 \text{ cm}^2$ olan düzeneğin içine, boyutları $24.1 \times 152.4 \text{ cm}^2$ olan bir plaka yerleştirilmiştir.</p> <p>-Deneyler 4, 7 ve 12 cm/s, $Re_x = 3-200 \times 10^3$ ve akış-yüzey sıcaklık farkı 4, 7.5 ve 11 °C şartlarında bir su tüneline yürütülmüştür.</p> <p>-Sıcaklık değerleri termal çiftler ile tespit edilmiştir.</p>	<p>-$Gr_x/Re_x^{1.5} < 100$ için kaldırma kuvvetlerinin etkileri ihmal edilebilir ve Pohlhausen yaklaşımları geçerlidir.</p> <p>-$Gr_x/Re_x^{1.5} > 300$ için türbülanslı doğal taşınım baskındır ve Nu, Ra ile artar.</p> <p>-$100 < Gr_x/Re_x^{1.5} < 300$ aralığında hem doğal hem de zorlanmış taşınım etkileri mevcuttur.</p>

<p>Moutsoglou, Chen ve Cheng (1981)</p>	<p>-Sabit sıcaklıktaki yatay bir plaka üzerindeki laminer taşınım içindeki vorteks kararsızlığı nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Prandtl sayısının 0.7-7 aralığındaki değerleri için vortekslerin oluştuğu noktalardaki kritik Grashof ve Reynolds sayısı tespit edilmiş; nümerik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.</p>	<p>-0.7-7 aralığındaki Prandtl sayısına sahip düz yüzey üzerindeki laminer, karışık taşınım tipindeki akışlar için kararsızlığın başladığı kritik Grashof ve Reynolds sayısı tespit edilmiştir.</p> <p>-Suyun havaya göre vorteks tipi kararsızlığa daha yatkın olduğu ve kaldırma kuvvetinin vorteks tipi kararsızlığı bütün akışkanlar için kolaylaştırdığı tespit edilmiştir.</p>
<p>Fukuki, Nakajima ve Ueda (1983)</p>	<p>-Su tünelinin, uzunluğu 2 m, kesit alanı $20 \times 1 \text{ cm}^2$ olan test kısmının eğimi 0°-32.1° aralığında değiştirilmiştir.</p> <p>-Deneyler 0.029-0.14 m/s, $Re_x=17$-80.1 ve alt-üst yüzey sıcaklık farkı 85 K'ni geçmeyen şartlarda yürütülmüştür.</p> <p>-Sıcaklık ölçümlerinde termal çiftler, hız ölçümlerinde ise lazer Doppler hız anemometresi kullanılmıştır.</p>	<p>-Yatay konumda, $17 < Re_x < 80.1$ ve $2700 < Gr_x < 9300$ aralığında $Ra > 1708$ için vorteks oluşumunun ters bir ısı gradyanı oluşturduğu gözlemlenmiştir.</p> <p>-Eğik konumda vortekslerin çiftler halinde hareket ettiği ve vorteks oluşumu ile Nusselt sayısındaki artışın ve basınçtaki azalmanın eğim açısı ile ilgili olmadığı tespit edilmiştir.</p>
<p>Chiu ve Rosenberger (1987)</p>	<p>-Bir su tüneline, ölçüleri $15.24 \times 1.58 \times 87.5 \text{ cm}^3$ olan test kısmının alt-üst yüzeylerinin sıcaklıkları kontrol edilmiştir.</p> <p>-Deneyler, $Ra=1368$-8300, $Re_x=15$-170 ve üst-alt plaka sıcaklık farkı 0-40°C şartlarında yürütülmüştür.</p> <p>-Hız ölçümlerinde lazer Doppler anemometresi, sıcaklık ölçümlerinde kızıl ötesi termometre kullanılmıştır.</p>	<p>-$1368 < Ra < 8300$ ve $15 < Re_x < 170$ aralığında yürütülen çalışmalarda, hem doğal hem de zorlanmış taşınım üzerindeki giriş etkileri incelenmiştir.</p> <p>-Kaldırma kuvvetinin sebep olduğu kararsızlığın ve vortekslerin başlangıç noktalarının Ra ve Re_x ile ilişkilerini veren denklemler türetilmiştir.</p>

<p>Chou ve Hwang (1987)</p>	<p>-Üniform ısı akısı ile ısıtılmış, yatay, dikdörtgen kesitli bir kanalın giriş kısmındaki doğal ve zorlanmış laminer akış nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-10^4-10^5 Rayleigh sayısı aralığında, lokal sürtünme katsayısı ve Nusselt sayısı değişimleri ile sıcaklık, ikincil akış ve hız profil analizleri yapılmıştır.</p>	<p>-Dik duvarlar civarında, saat yönünde tersine dönen bir çift vorteks tespit edilmiştir.</p> <p>-Doğal taşınımın iyi ifade edilebilmesi için Boussineq yaklaşımının kullanıldığı çalışmada, akış yönünde oluşan vortekslerin aksenal hızı azalttığı, ısı transferini ise arttırdığı görülmüştür.</p>
<p>Cheng, Obata ve Gilpin (1988)</p>	<p>-Kesit alanı $45.7 \times 24.4 \text{ cm}^2$ olan test bölümüne uzunluğu 213.5 cm, sıcaklığı sabit bir test plakası sabitlenmiştir.</p> <p>-Deney şartları 0.08-5 m/s hız, $Gr_x = 2 \times 10^8 - 1.5 \times 10^{12}$, $Re_x = 2.5 - 220 \times 10^6$ ve %0.8-%1.4 türbülans seviyesidir.</p> <p>-Su tüneline, sıcaklık değerleri termal çiftler ile, hız değerleri ise Pitot tübü ile ölçülmüştür.</p>	<p>-$Re_x = 2.5 \times 10^4 - 2.2 \times 10^6$ ve $Gr_x = 2 \times 10^8 - 1.5 \times 10^{12}$ aralığında türbülanslı bölgedeki sınır tabaka kalınlığı Schlichting'in (1979) yaklaşımları ile ve vortekslerin başlangıç noktası Gilpin ve Hayashi'nin denklemleri ile uyum göstermiştir.</p> <p>-Geçiş bölgesinde kaldırma kuvvetlerinin ısı transferi üzerindeki etkisi tespit edilmiştir.</p>
<p>Moharreri, Armaly ve Chen (1988)</p>	<p>-Rüzgar tüneline, yüzey alanı $30 \times 104 \text{ cm}^2$ olan alüminyum plaka üzerinde yürütülmüştür.</p> <p>-Deney şartları 15-64 cm/s hız, 25-85 °C yüzey sıcaklığı, %0.2 türbülans seviyesi ve $Re_x = 1 - 30 \times 10^3$ aralığındadır.</p> <p>-Sıcaklık değerleri bir soğuk tel ile, hız değerleri lazer Doppler anemometresi ile ölçülmüştür.</p>	<p>-İkincil vortekslerin Nusselt sayısında ve sürtünme katsayısında ani artışlara sebep olduğu görülmüştür.</p> <p>-Kararlı vorteks rejiminde akış hızı ve sıcaklık farkı, iki vorteks arasındaki mesafede etkili değildir.</p> <p>-Vorteks içinde akış yönündeki maksimum ve minimum hızların plaka sıcaklığı ile arttığı tespit edilmiştir.</p>

Taylor, Coleman, Hosni ve Love (1989)	<p>-Yüzey pürüzlülüğü 0.5 μm ve uzunluğu 2.4 m olan düzeneğin yüzey sıcaklığı ± 0.1 °C hassasiyetindedir.</p> <p>-Deneyler 12-67 m/s hız, $\text{Re}_x=10^5\text{-}10^7$ ve %0.42-%0.58 türbülans seviyesinde rüzgar tüneline yapılmıştır.</p> <p>-Yüzeğe verilen ısı wattmetre ile, sürtünme katsayısı Preston tüpü ile ve sıcaklıklar termal çiftler ile ölçülmüştür.</p>	<p>-12, 27, 42 ve 62 m/s hızlarda, sabit yüzey sıcaklığı ve sabit ısı akısı için yürütülen çalışmalarda, Stanton sayısı her iki ısı şart için %5-%15 arasında farklılık göstermiştir.</p> <p>-Karşılaştırmalar, nümerik değerlerin özellikle yüzey sıcaklığının doğrusal değiştiği durumlarda güvenilir olduğunu göstermiştir.</p>
Young, Han, Huang ve Rivir (1992)	<p>-Kesit alanı 30.48x15.24 cm^2 olan sistemde akış debisi 20 m^3/dak olan bir kompresör ile sağlanmaktadır.</p> <p>-Deneyler 9.75 ve 19.5 m/s hız, $\text{Re}_x=4\text{-}150 \times 10^4$ ve %0.75 türbülans seviyesinde bir rüzgar tüneline yürütülmüştür.</p> <p>-Sıcaklıklar termal çiftler ile, hız değerleri statik basınç delikleri ve pitot tüpü kullanılarak ölçülmüştür.</p>	<p>-$4 \times 10^4 < \text{Re}_x < 1.5 \times 10^6$ aralığında yürütülen ve hem akış, hem de ters yönde hava enjekte edilen çalışmada, akış yönünde türbülans yoğunluğunun azaldığı görülmüştür.</p> <p>-Ters yöndeki enjeksiyonun türbülans seviyesini arttırdığı ve bu durumun, Stanton sayısında, korelasyonlara göre, büyük bir artışa sebep olduğu tespit edilmiştir.</p>
Pauley ve Eaton (1994)	<p>-Kesit alanı 13x61 cm^2, uzunluğu 210 cm olan sistemde akış bir şerit (0.16x1.27 cm^2) ile rahatsız edilmiştir.</p> <p>-Deneyler 16 m/s hız ve %0.2 türbülans seviyesi ve sabit ısı akısı şartlarında bir rüzgar tüneliyle yürütülmüştür.</p> <p>-Eksenel ve akışa dik yöndeki yüzey sıcaklık değerleri termal çiftler ile ölçülmüştür.</p>	<p>-Vorteks çiftlerinin, ikincil akışların cidardan uzak olduğu kısımlardaki, temel etkisi sınır tabakayı kalınlaştırmak iken akış duvara doğru olduğunda ise ters etki yaratır.</p> <p>-Vortekslerin birbirini duvara doğru sürdüğü durumlarda sınır tabakanın yapısı hızla değişirken, cidara yakın vorteksten dolayı ısı transfer miktarı da artmaktadır.</p>

<p>Rivir, Johnston ve Eaton (1994)</p>	<p>-Yüzey alanı $61 \times 119 \text{ cm}^2$ olan düz yüzey, sabit ısı akısı oluşturan iki adet plakadan oluşmuştur.</p> <p>-Deneyler 12.6, 14.6 ve 17.2 m/s hız ve 295, 458 ve 561 W/m^2 ısı akılarında rüzgar tüneline yürütülmüştür.</p> <p>-Hız değerleri kızgın tel anemometresi ile yüzey sıcaklıkları ise 180 adet termal çiftler ile tespit edilmiştir.</p>	<p>-Türbülans seviyesinin tepe noktasına ulaşmasına rağmen ayrılma noktası civarında ısı transfer katsayısı azalmaktadır.</p> <p>-Yeniden birleşme bölgesinde yükselmeye başlayan ısı transfer katsayısı, bu bölgenin devamında maksimum olur.</p> <p>-Düşük basınç gradyanlarında ayrılma civarındaki minimum Stanton sayısı çok hassas tespit edilmemiştir.</p>
<p>Sharekh, Pathak, Asawa ve Porey (1994)</p>	<p>-Rüzgar tüneline yapılan çalışma, sert ve esnek düz yüzeyler ($330 \times 1500 \text{ mm}^2$) üzerinde yapılmıştır.</p> <p>-Deneyler 6, 7.5 ve 9 m/s hızlarda ve $\text{Re}_x = 0-8.3 \times 10^5$ şartlarında yürütülmüştür.</p> <p>-Hız değerleri kızgın tel anemometresi ile basınç gradyanı ise basınç dönüştürücüsü ile tespit edilmiştir.</p>	<p>-Türbülanslı sınır tabakada, esnek yüzeylerin esneme faktöründeki (ϵ) artış, herhangi bir y/δ için U_1/U_x boyutsuz hız değerinin, sert yüzeylere göre, azalmasına sebep olmaktadır.</p> <p>-Esnek yüzeyler üzerinde, sert yüzeylere göre, sınır tabaka kalınlığı daha yüksek, sürüklenme kuvveti daha düşüktür.</p>
<p>Hwang ve Lin (1995)</p>	<p>-Alttan ısıtılan bir düz yüzey üzerindeki vortekslerin başlangıcının tespitine yönelik nümerik bir çalışmadır.</p> <p>-Nümerik sonuçlar hem literatürdeki deneysel veriler ile hem de termal çiftler, lazer Doppler anemometresi ve kızgın tel anemometresi ile bu çalışmada elde edilen sonuçlarla mukayese edilmiştir.</p>	<p>-Nu sayısının artışı vortekslerin başlangıç noktası üzerinde çok etkili değildir.</p> <p>-77-187 aralığında sabit $\text{Gr}_L/\text{Re}_L^{1.5}$ parametresi için Prandtl sayısındaki artış akışta kararsızlık yaratır.</p> <p>-Vortekslerin başlangıç noktasının uygulanan ilk sıcaklıktan etkilendiği tespit edilmiştir.</p>

<p>Kazeminejad, Ghamari ve Yaghoubi (1996)</p>	<p>-Sınır tabakanın ayrıldığı ve yeniden birleştiği noktalar arasındaki karışma bölgesinin ısı ve kütle transferi üzerindeki etkisini belirlemeye yönelik, iki boyutlu, sürekli, laminer akış için nümerik bir çalışmadır.</p> <p>-Sınır tabaka içindeki hız ve sıcaklık profilleri $Re_x=70-325$ şartı için elde edilmiştir.</p>	<p>-Ayrılma noktasından 6 plaka kalınlığı uzakta yeniden birleşim noktasının olduğu tespit edilmiştir.</p> <p>-$Re_x=325$ için ayrılma bölgesinde sınır tabaka kalınlığının, gelişmiş bölgede ise ısı sınır tabaka kalınlığının plaka kalınlığına eşit olduğu ve $Re_x=225$ için, ayrılma kabarcığının içinde Nusselt sayısı için bir yerel minimum tespit edilmiştir.</p>
<p>Zhou ve Wang (1996)</p>	<p>-Rüzgar tüneline, uzunluğu 2.4 m, kesit alanı $0.15 \times 0.92 \text{ m}^2$ olan test kısmının yüzeyi serpantin ısıtıcı ile ısıtılmıştır.</p> <p>-Deneyler %0.5 türbülans seviyesi, $k=0-1.4 \times 10^{-6}$ ve $Re_x=1-200 \times 10^4$ şartlarında yürütülmüştür.</p> <p>-Hız ölçümleri kızgın tel anemometresi ile yüzey sıcaklık ölçümleri ise E-tipindeki termal çiftlerle alınmıştır.</p>	<p>-Yüksek türbülans değerleri geçişi öne alıp geçiş bölgesini kısaltırken, pozitif basınç gradyanları ters etki yapmaktadır. Ancak yüksek türbülans $k=1.4 \times 10^{-6}$ gibi yüksek bir gradyan dahi geçiş başlangıcını etkilememektedir.</p> <p>-Basınç gradyanı, hız ve kayma gerilmelerini etkilese de türbülans seviyesinin akış üzerine etkileri daha baskındır.</p>
<p>Wang, Keller ve Zhou (1996)</p>	<p>-Kesit alanı $0.15 \times 0.92 \text{ m}^2$ olan kanalın test yüzeyinin ölçüsü $2.4 \times 0.92 \text{ m}^2$ dir.</p> <p>-Deneyler 13 m/s hız, %0.5 türbülans yoğunluğu ve $Re_x=5-200 \times 10^4$ şartlarında rüzgar tüneline gerçekleştirilmiştir.</p> <p>-Yüzey sıcaklık değerleri E-tipindeki termal çiftler ile hız değerleri ise kızgın tel anemometresi ile ölçülmüştür</p>	<p>-Dik yöndeki hız dalgalanmaları akış yönündekine göre daha hızlı bir oluşum ve artış göstermektedir.</p> <p>-Türbülanslı kayma gerilmeleri ve türbülanslı ısı sınır tabakalar, laminer ısı sınır tabakalardan daha kalındır.</p> <p>-Reynolds benzeşim faktörü türbülans bölgesinde 0.9 olarak belirlenmiştir, bu karakteristik değer olan 1.2 den azdır.</p>

<p>Umur ve Karagöz (1999)</p>	<p>-Basınç gradyanlı, laminer ve türbülanslı düz yüzey akışları için momentum ve enerji denklemleri çözülmüştür.</p> <p>-Deneyler $Ma=0.015, 0.030$ ve 0.045 ile $k=0.2, 0.75$ ve 1.8×10^{-6} şartlarında yürütülmüştür.</p> <p>-Hız-sıcaklık profilleri, biçim faktörü, sürtünme katsayısı ve St deneysel ve yaklaşık değerlerle karşılaştırılmıştır.</p>	<p>-St yaklaşık olarak girişte nümerik değerlerin 2 katı iken, çıkışta %10 fazladır ki bu da girişte Re'nin etkisinin çıkışa göre daha baskın olduğunu göstermektedir.</p> <p>-Laminer akışta pozitif basınç gradyanı St'nda artışa, negatif basınç gradyanı ise azalmaya sebep olurken türbülanslı akıştaki değişimler çok daha azdır.</p>
<p>Umur (2000)</p>	<p>-Laminer düz yüzey akışlarının, basınç gradyanı, Reynolds sayısı ve yüzey eğriliğine bağlı olarak akış ve ısı transferi analizi yapılmıştır.</p> <p>-Deneyler $k=-0.4-1 \times 10^{-6}$ ve $4 \times 10^5 < Re_x < 5 \times 10^5$ şartlarında yürütülmüştür.</p> <p>-Hız ölçümleri pitot tüpüyle, sıcaklık ölçümleri ise termal çiftlerle yapılmıştır.</p>	<p>-Pozitif basınç gradyanının Stanton sayısını artırıcı yöndeki etkisi, negatif basınç gradyanının azaltıcı etkisinden daha fazladır.</p> <p>-Isı transfer artışı üzerinde Reynolds sayısı basınç gradyanlarına göre daha etkilidir. $Re_x=4 \times 10^5$'deki Stanton sayısı, aynı basınç gradyanında $Re_x=5 \times 10^5$'dekinin iki katından fazladır.</p>

1.3. Bloklı Yüzey Üzerinde Akışlar

Bir levha üzerine çıkıntı (tümsek) şeklinde oluşturulmuş ya da monte edilmiş bloklar üzerinde ayrılan ve yeniden birleşen akışta, hız ve ısı transfer karakteristiklerinin incelenmesiyle ilgili çalışmalar, bu yüzeylerin kullanıldığı yerler açısından, son derece önemlidir. Bu ayrılma ve yeniden birleşme, ileri basamak akışı, geri basamak akışı ve boşluk akışında oluşabildiği gibi, tek bir blok üzerinden akışta veya bu akışların tamamını kapsayan bloklar üzerinde akışta da oluşabilir. Bazı araştırmacılar tarafından akış yapısının biraz daha basit olmasından dolayı ileri basamak, geri basamak veya boşluk akışı ayrı ayrı ele alınırken, diğerleri tek bir blok üzerinden akış durumunu veya bu akışların tümünü kapsayan bloklar üzerinde akışı incelemiştir.

Kuehn (1980) negatif basınç gradyanının, yeniden birleşen türbülanslı geri basamak akışına etkilerini incelemiştir. Güçlü negatif basınç gradyanının yeniden birleşmeyi akış yönünde ileri taşıdığı ve hız profillerini bozduğu kaydedilmiştir. Aung (1983) yaptığı deneysel bir çalışmada, laminer geri basamak akışında, basamak yükseklikleri ve akış hızının, akış ve ısı transferine etkilerini incelemiştir. Basamak yüksekliğinin azalmasıyla, basamak arkasında oluşan, vorteks akışının hakim olduğu bölgenin küçülerek ısı transferinin düştüğünü belirtmiştir ve basamak varlığının ısı transferini, düz yüzey üzerinden akış değerinin %30 üzerine çıkarabileceğini vurgulamıştır. Ayrılan ve yeniden birleşen geri basamak akışlarında laminer ısı transferi Kondoh ve ark. (1993) tarafından nümerik olarak incelenmiştir. Kanal yüksekliğinin kanal ile basamak arasındaki yüksekliğe oranı (kanal genişleme oranı) ve Prandtl sayısı sabitken, Reynolds sayısı arttıkça yeniden birleşme uzunluğunun arttığı ve kanal genişleme oranı arttıkça, maksimum Nusselt sayısının arttığı ve yeniden birleşme uzunluğunun azaldığı sonucuna varılmıştır. Oki ve ark. (1993) geri basamak üzerinden türbülanslı bir akışı analiz etmiştir. Kanal genişleme oranının yükselmesiyle dolaşım bölgesinin genişlediği ve yeniden birleşme uzunluğunun arttığı kaydedilmiştir. Park ve Sung (1995) tarafından türbülanslı ayrılmış ve yeniden birleşen akışlardaki akış alanını incelemek için, geri basamak akışı analiz edilmiştir. Yeniden birleşmeden biraz önce ısı transferinde tepe değerine ulaşıldığı ve yeniden dolaşım bölgesinde ısı transferinin düşük olduğu sonucuna varılmıştır.

İleri basamak akışının analizi, geri basamak akışına göre daha zor olduğundan bu konuda yapılan araştırmalar geri basamak akışına nazaran sınırlıdır. Frost ve ark. (1980) yaptıkları çalışmada bir ileri basamak üzerinden türbülanslı akışta yüzey pürüzlülüğünün etkilerini incelemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğünün artmasıyla kayma tabakası içerisindeki vorteks büyüklüğünün ve türbülans seviyesinin arttığına dikkat çekmişlerdir. Cho ve Goldstein (1994) basamak yüksekliğiyle elde edilen Reynolds sayısı için $5.6 \times 10^3 - 2.46 \times 10^4$ arasında değerler alarak, yeniden dolaşan akışları tanımlamak için, bir geri basamak ve bir ileri basamak akışı için türbülans modeli oluşturmuştur. Bu türbülans modeli ayrılmış akışların yapısının önceden tahmin edilmesini sağlamış ve yüksek Reynolds sayılarında yüzeyler üzerinden akış ve ısı/kütle transferi başarıyla hesaplanmıştır.

Aung (1983) dikdörtgen bir boşluk içerisindeki laminer akışı, serbest akış hızı ve boşluk geometrisini değiştirerek deneysel olarak incelemiştir. Maksimum ısı transferinin, vorteks merkezinin alt duvar üzerindeki izdüşümü üzerinde olduğu belirlenmiş ve boşluğun derinlik/uzunluk oranı kullanılarak Nusselt sayısı için bir ifade elde edilmiştir. Öztürk (1996) iki boyutlu boşluk ve geri basamak üzerinden akış ve ısı transferi analizi yapmıştır. Boşluk içerisindeki vorteksin şiddetinin azalmasının ısı transferini azalttığı ve ayrılma noktası civarında ısı transferinin azaldığı saptanmıştır. Wahidi ve ark. (2005) tarafından, farklı geometriye sahip kare çukurlara sahip dört yüzey üzerinden türbülanslı sınır tabaka akışında, yüzey sürtünme katsayısı incelenmiştir. Çalışılan tüm çukurlu yüzeylerde düz yüzeye göre sürtünme artmıştır ve maksimum artış tek çukurlu yüzeyde elde edilmiştir.

Fu ve ark. (2001) ısıtılmış bir yüzey üzerine yerleştirilmiş hareketli bir bloğa sahip kanal içindeki laminer akışta ısı transfer karakteristiklerini nümerik olarak incelemişlerdir. Isıtılmış yüzey üzerindeki ısı sınır tabaka bloğun hareketiyle kırılmış ve bloktan sonra tekrar oluşturulmuştur. Isıl sınır tabakadaki bu kırılma, ısıtılmış yüzeyin ısı transferinin artmasını sağlamıştır. Young ve Vafai (1998) yalıtılmış bir kanal içindeki ısıtılmış bir bloğun zorlanmış taşınım ile soğutulmasını incelemişlerdir. Bloğun varlığı parabolik hız alanını önemli ölçüde değiştirmiş ve bunun sonucunda üst yüzey boyunca bir ısı sınır tabaka, alt ve üst yüzeyin her ikisinde de yeniden dolaşım bölgesi oluşmuştur.

Buchlin (2002), farklı tiplerdeki (dikdörtgen, yay, silindir, yarım daire) delikli bloklara sahip bir kanal içindeki türbülanslı akışta zorlanmış taşınım ile ısı transferini incelemiştir. Benzer bloklar ısıtılmış duvara simetrik olarak yerleştirilmiş ve aynı ısı transfer katsayısı elde edilmiştir. Ryu ve ark. (2007) 3 boyutlu blok ve 2 boyutlu kare, üçgen ve yarım daire şeklindeki bloklara sahip kanallar içindeki türbülanslı akışı ve ısı transferini, bloklar arasındaki mesafenin blok yüksekliğine oranını değiştirerek, nümerik olarak incelemiştir. Isı transfer pürüzlülük fonksiyonunun logaritmasının pürüzlülük Reynolds sayısının logaritmasıyla lineer değiştiği ve 2 boyutlu bloklarla 3 boyutlu blokların korelasyon eğrisinin benzediği gözlemlenmiştir. 2 boyutlu bloklar içinde en büyük direnci kare blokların gösterdiği tespit edilmiştir.

Igarashi ve Takasaki (1992) tarafından yapılan bir çalışmada, bir düz yüzey üzerine yerleştirilmiş üç adet iki boyutlu dikdörtgen blok etrafındaki hava akışı, blok yükseklikleri ve blok aralıkları değiştirilerek, deneysel olarak incelenmiştir. Blok yüksekliğinin ilk bloğun üzerindeki sınır tabaka kalınlığına oranı 0.8 ise akışın laminar, 1.2 den büyükse akışın ikinci bloğun önünde türbülanslı olduğu tespit edilmiştir. Korichi ve Oufar (2006), üst ve alt duvarlarında ısıtılmış bloklara sahip bir dikdörtgen kanalda, 2 boyutlu, süreksiz, laminar akışın akış örnekleri ve Nusselt sayılarını, Reynolds sayısını 50 ile 1000 arasında değiştirerek, nümerik olarak incelemiştir. Reynolds sayısının düşük değerlerinde akışın sürekli ve kararlı olduğunu, sayının artmasıyla birlikte akışta salınımlar ve dalgalar oluştuğunu gözlemlemiştir. Reynolds sayısı 50 den 500 e arttığı zaman, ısı transferindeki artış %123,1 ve toplam Nusselt sayısındaki artış %48.5 olarak tespit edilmiştir. Dogan ve ark. (2006), yatay bir kanalın hem üst hem de alt duvarlarına 8x4 düzeninde yerleştirilmiş ısı kaynakları dizisinden karışık taşınım ile ısı transferini, Reynolds sayısı, Grashof sayısı ve görünüş oranını (Isı kaynaklarının uzunluğunun yüksekliğine oranı) değiştirerek, deneysel olarak araştırmışlardır. Görünüş oranı azaldıkça doğal taşınımın daha etkili olduğu ve düşük görünüş oranı ve Reynolds sayılarında ikincil akışın önemli etkileri olmasına rağmen yüksek görünüş oranlarında bu etkilerin görülmediği kaydedilmiştir. Mohammed (2006), farklı kare modül dizileriyle oluşturulmuş, ısıtılmış elektronik cihazların hava soğutma karakteristiklerini bir kanal içerisinde, farklı hava hızları ve kanal yüksekliklerinde deneysel olarak incelemiştir. Ortalama ısı transfer katsayısının modül

dizilerinin sıcaklığının artmasıyla çok az bir artma göstermesine rağmen, hava hızının artmasıyla oldukça arttığını gözlemlemiştir. Modül yüksekliğinin hava yüksekliğine oranı arttıkça ise ısı transfer katsayısı artmıştır. Perng ve Wu (2007), ısıtılmış bloklara sahip bir kanal içerisinde türbülanslı akış alanı ve karışık taşınım ile ısı transferini, türbülantör kullanılmadan ve ilk bloğun üzerine dikdörtgen bir türbülantör yerleştirilerek, farklı türbülantör genişliğinin yüksekliğine oranlarında nümerik olarak incelemiştir. Blok üzerine dikdörtgen bir türbülantör yerleştirilmesinin ısı transferini önemli derecede arttırdığı ve $Gr/Re^2 < 0$ da, yerçekiminin türbülanslı akış ve ısı transferi üzerine etkilerinin ihmal edilebilir olduğu kaydedilmiştir. Tsay ve Cheng (2008), üç tane plakaya yerleştirilmiş, ısı üreten bloklara sahip bir kanal içerisindeki 2 boyutlu, zorlanmış taşınımı, farklı blok yükseklikleri, bloklar arasındaki mesafe, plakanın ve bloğun akışkana ısı iletim oranı ve Reynolds sayılarında nümerik olarak incelemiştir. Farklı plakalara yerleştirilmiş blokların ısı transfer karakteristiklerinin birbirinden oldukça farklı olduğu ve farklı yüzeylerdeki blokların maksimum sıcaklıklarına bakıldığında maksimum fark %61 iken ortalama Nusselt sayısındaki farkın ise %51 olduğu sonucuna varılmıştır.

Ayrılan ve yeniden birleşen akışların olduğu, geri basamak, ileri basamak, boşluk akışları, tek bir blok üzerinde akışlar ve birden çok blok üzerinde akışlar ile ilgili daha önce yapılan araştırmalarda kullanılan deney düzenekleri, akış şartları, deneylerde kullanılan ölçüm cihazları, nümerik yöntemler ve elde edilen sonuçlar, kronolojik sıraya göre, Çizelge 1.2’de kapsamlı bir şekilde verilmiştir.

Çizelge 1.2. Bloklu yüzey üzerinde akışlar.

Yazar, Yıl	Akış Konfigurasyonu	Temel Bulgular
Frost, Bitte ve Shieh (1980)	-İki boyutlu ileri basamak üzerinde türbülanslı akış Navier-Stokes denklemleri kullanılarak analiz edilmiştir. -Hesaplamalar boyutsuz yüzey pürüzlülük değerleri 0.005, 0.02, 0.045, 0.075 ve 0.1 için yapılmıştır.	-Yüzey pürüzlülüğünün artması, basamak köşesinde oluşan kayma tabakası içindeki türbülans seviyesini ve vorteks büyüklüğünü artırır ve yayılımın hızlanmasına neden olur. -Yüksek kayma gerilmesi ayrılmış akışın yeniden birleşmesinin daha hızlı olmasına neden olur.
Kuehn (1980)	-Negatif basınç gradyanının geri basamak üzerinde yeniden birleşen türbülanslı akışa etkileri incelenmiştir. -Kanal genişleme oranı 1.14 ve 1.33, momentum kalınlığıyla hesaplanan Reynolds sayısı $4.95 \times 10^3 - 1.2 \times 10^4$ arasında alınarak hesaplamalar yapılmıştır.	-Tam gelişmiş türbülanslı akışta Reynolds sayısının yeniden birleşme uzunluğuna etkisi yoktur. -Negatif basınç gradyanının yüksek değerleri yeniden birleşmeyi akış yönünde ileri taşır ve hız profillerini bozar.

<p>Aung (1983)</p>	<p>-Uniform sıcaklığa sahip, ısıtılmış bir geri basamak üzerinde laminer hava akışında ısı transferi deneysel olarak incelenmiştir.</p> <p>-Deneyle, 15x20 cm² kesit alanlı test bölümüne sahip bir rüzgar tüneline, 1.27, 0.64, 0.38 cm basamak yüksekliği ve 0.2-2 m/s hız için yapılmıştır.</p> <p>-Sıcaklık dağılımı Mach-Zehnder interferometresi, yüzey sıcaklığı termal çiftler ve serbest akış hızı U tüplü manometre kullanılarak ölçülmüştür.</p>	<p>-Basamak yüksekliği azaldıkça, basamak arkasında oluşan ve vorteks akışının hakim olduğu bölge küçülerek daha az girdaplı hale gelir ve böylece ısı transferi düşer.</p> <p>-Basamak üzerindeki sınır tabaka kalınlığı, basamak yüksekliği mertebesinde. Basamağın varlığıyla bozulan laminer akış basamaktan 8-9 basamak yüksekliği mesafede yeniden düz yüzey üzerinde akış halindeki sınır tabaka profillerine dönüşür.</p> <p>-Basamaklı yüzeyden olan ısı transferi, düz yüzeyden olan ısı transfer değerinin %30 üstüne çıkmıştır.</p>
<p>Aung (1983)</p>	<p>-Dikdörtgen şeklindeki bir boşluk üzerinde laminer akışta zorlanmış taşınım deneysel olarak incelenmiştir.</p> <p>-Deneyle, hız 0.28-4.45 m/s, boşluk derinliği 1.27 cm, boşluk duvarıyla serbest akış bölgesi arasındaki sıcaklık farkı 18 °C, boşluk derinliğinin genişliğine oranı 1/4 ve 1 değerleri alınarak, rüzgar tüneline yapılmıştır.</p> <p>-Sıcaklık profilleri ve lokal ısı transfer katsayıları Mach-Zehnder interferometresiyle ölçülmüştür.</p>	<p>-Boşluk içindeki sıcaklık uniform ve duvar sıcaklığına yakındır.</p> <p>-Isı transferinin maksimum değeri vorteks merkezinin alt duvar üzerindeki izdüşümü civarında olur.</p> <p>-Nusselt sayısı için, boşluk derinliğinin genişliğine oranı kullanılarak tanımlanan, Reynolds sayısının hemen hemen 1/2 kuvveti ile değişen, ampirik bir ifade elde edilmiştir.</p>

<p>Higdon (1985)</p>	<p>-Silindirik boşluk üzerinde akışta silindirin merkez açısı 65.12, 90, 135⁰ alınarak ve silindir blok üzerinde akışta ise 34 ve 90⁰ alınarak incelemeler yapılmıştır.</p> <p>-Dikdörtgen bir boşluk üzerinden akışta boşluk genişliğinin derinliğine oranı 1, 2, 3 ve 4 için, dikdörtgen bloklar üzerinde akışta ise blok uzunluğunun yüksekliğine oranı 2, 1 ve 0.1 için incelemeler yapılmıştır.</p>	<p>-Silindir boşluk üzerinde akışta 65.12⁰'de boşluğun ana akış üzerindeki etkileri azdır ve kayma gerilmesi düşüktür.</p> <p>-Silindir blok üzerinde akışta 34⁰'de ayrılma olmazken 90⁰'de boşluğun alt köşesinde vorteksler oluşur.</p> <p>-Dikdörtgen boşluk üzerinde akışta, boşluk genişliğinin derinliğine oranı 1 olduğunda boşlukta tek bir vorteks, 3 olduğunda birbirine bağlı iki vorteks ve 4 olduğunda boşluğun altındaki köşelerde, izole edilmiş, iki vorteks oluşur.</p>
<p>Tropea ve Gackstatter (1985)</p>	<p>-Kanal içerisinde bulunan bir çit (dar blok) ve bir blok üzerinde tam gelişmiş hava akışı incelenmiştir.</p> <p>-Rüzgar tüneline yapılan deneylerde kullanılan çit 1 mm ve blok 20 mm kalınlığındadır. Kanal yüksekliği ile elde edilen $Re_H=150-4500$, blok/çit yüksekliğinin kanal yüksekliğine oranı 0.25, 0.5, 0.75, kanal genişliğinin blok/çit yüksekliğine oranı 24-72 arasındadır.</p> <p>-Hız ölçümleri Lazer Doppler Anemometresi (LDA) kullanılarak yapılmıştır.</p>	<p>-Blok/çit yüksekliğinin kanal yüksekliğine oranının artmasıyla yeniden dolaşım bölgesi küçülür.</p> <p>-Reynolds sayısının yükselmesiyle yeniden birleşme uzunluğunda ani düşme varsa, yeniden birleşmeden önce laminar kayma tabakası türbülanslı olur.</p> <p>-Çit yüksekliğinin kanal yüksekliğine oranı düştükçe yeniden birleşme uzunluğu artar.</p>

<p>Davalath ve Bayazitoglu (1987)</p>	<p>-Dikdörtgen bloklar üzerinde gelişmekte olan akış için ısı transferi nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Blok genişliği 0.5 in., blok yüksekliği 0.25 in. olarak sabittir. Akışkan viskozitesi, akışkan ve katının ısı özellikleri değişkendir.</p> <p>-Bloklar arasındaki mesafe 0.25, 0.5, 0.75 ve 1 olarak seçilmiş ve kanal yüksekliğiyle hesaplanan Re sayısı 100 ile 1500 aralığı için çalışmalar yapılmıştır.</p>	<p>-Giriş ve çıkıştaki parabolik hız dağılımı ilk bloktan sonra hızla değişir.</p> <p>-Blokların arasında oluşan dolaşım bölgesinin büyüklüğünün bloklar arasındaki mesafenin artmasıyla artar. Reynolds sayısının artmasıyla yeniden birleşme uzunluğu artar.</p> <p>-Maksimum sıcaklık son bloğun arkasındaki bölgenin merkezinde oluşmuştur.</p>
<p>Igarashi ve Takarashi (1992)</p>	<p>-Deneyle rüzgar tüneline yerleştirilmiş, akrilik reçineden yapılmış bir plaka ve üzerine yerleştirilmiş yine akrilik reçineden yapılmış 3 adet dikdörtgen blokla yapılmıştır.</p> <p>-Hız 2-6 m/s, blok genişliğiyle hesaplanan Re 3.8×10^3-11.5×10^3 aralığında ve blok uzunluğu 30 mm olarak sabittir. Blok yüksekliği 3, 5 ve 10 mm, bloklar arasındaki mesafe ise 10, 20, 30 mm alınarak deneyler yapılmıştır.</p> <p>-Hız ve türbülans yoğunlukları kızgın tel anemometresi kullanılarak ölçülmüştür.</p>	<p>-Blok yüksekliğinin, ilk blok üzerindeki sınır tabaka kalınlığına oranının 0.8 den küçük olması durumunda bloklar üzerindeki akışın laminer olduğu, 0.8 ile 1.2 arasında olduğu zaman akışın laminerden türbülanslıya geçtiği, 1.2 den büyük olduğu zaman ise ikinci bloğun önünde akışın türbülanslı olduğu gözlemlenmiştir.</p> <p>-Bu test koşulları için akış tipinde değişime neden olan, blok yüksekliğinin ilk blok üzerindeki sınır tabaka kalınlığına oranı için bağıntılar verilmiştir.</p>

<p>Kondoh, Nagano ve Tsuji (1993)</p>	<p>-Ayrılan ve yeniden birleşen geri basamak akışlarında laminer ısı transferi nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Basamak yüksekliği (h) 6.4 ve 12.7 mm, $Re_h=10-500$, kanal genişleme oranı 1.25-2 ve Prandtl sayısı 0-1000 arasında alınarak hesaplamalar yapılmıştır.</p> <p>-Korunum denklemleri sonlu farklar metoduyla çözülmüştür.</p>	<p>-Kanal genişleme oranı arttıkça, maksimum Nusselt sayısı artar ve yeniden birleşme uzunluğu azalır.</p> <p>-$Pr \leq 0.1$ ise ısı transferinde artış çok küçük veya olmazken, $Pr > 0.1$ ise ısı transferinde artış olur.</p> <p>-Laminer akışta kanal genişleme oranı ve Prandtl sayısı sabitken, Reynolds sayısı arttıkça yeniden birleşme uzunluğu artar.</p>
<p>Abe, Kondoh ve Nagano (1993)</p>	<p>-Ayrılan ve yeniden birleşen akışlarda akış ve ısı transferi için yeni bir türbülans modeli, akış alanı hesaplanarak, elde edilmiştir.</p> <p>-Kanal genişleme oranı 1.5-1.67 ve blok yüksekliğiyle hesaplanan Re $5.5 \times 10^3 - 4.6 \times 10^4$ arasında değerler alınmıştır.</p> <p>-Düşük Reynolds sayısı k-ϵ modeli modifiye edilmiştir.</p>	<p>-h basamak yüksekliği olmak üzere, yeniden birleşme uzunluğu $6.43h$ olarak hesaplanmıştır.</p> <p>-Maksimum ısı transferi yeniden birleşme noktasından biraz önce oluşur.</p> <p>-Yüksek Reynolds sayılarında, kanal genişleme oranı arttıkça yeniden birleşme uzunluğu artar.</p>

<p>Cho ve Goldstein (1993)</p>	<p>-Yeniden dolaşan akışları tanımlamak için bir geri basamak ve bir ileri basamak akışı incelenmiştir.</p> <p>-Basamak yüksekliği ile hesaplanan Re sayısı için 5.6×10^3-2.46×10^4 arasında değerler alınmıştır.</p> <p>-Düşük Reynolds sayısı k-ε türbülans modeli iyileştirilerek analizler yapılmıştır.</p>	<p>-Bu türbülans modeli ayrılmış akışların yapısının önceden tahmin edilmesini sağlamıştır.</p> <p>-Bu modelle, yüksek Reynolds sayılarında yüzeyler üzerinde akış ve ısı veya kütle transferi başarıyla hesaplanmıştır.</p>
<p>Oki, Iwasava, Suehira, Umeda, Nakayama ve Aoki (1993)</p>	<p>-Bir geri basamak üzerinden türbülanslı akış, Navier- Stokes denklemlerinin direk çözümüyle analiz edilmiştir.</p> <p>-Basamak yüksekliği ile hesaplanan Re sayısı 1×10^4-6×10^4 arasında, kanal genişleme oranı 1.2, 1.6 ve 2 olarak alınmıştır. 80×30, 80×40, 80×50 ve 80×80 mm² olmak üzere dört farklı ağ boyutunda hesaplamalar yapılmıştır. Bu üç farklı oran için hesaplanan sonuçlar, kızgın tel anemometresi ve dört farklı akış görselliği metoduyla alınmış sonuçlarla karşılaştırılmıştır.</p>	<p>-Ağ seçiminin uygun olmasının hatayı azalttığı ve en uygun ağ boyutunun 80×40 mm² olduğu gözlemlenmiştir.</p> <p>-Kanal genişleme oranının yükselmesiyle dolaşım bölgesi genişlemiş ve yeniden birleşme uzunluğu artmıştır.</p> <p>-Yeniden birleşme mesafesi, Re 4×10^4'e kadar Reynolds sayısı ile birlikte artarken daha sonra azalır.</p> <p>-Dolaşım bölgesi içerisindeki vortekslerin tekrar geliştiği ve ayrıldığı görsellik sonuçlarıyla açıklanmıştır.</p>

<p>Abe, Kondoh ve Nagano (1994)</p>	<p>-Ayrılan ve yeniden birleşen akışlarda akış ve ısı transferi için yeni bir türbülans modeli, termal alan hesaplanarak, elde edilmiştir.</p> <p>-Basamak girişindeki sınır tabaka kalınlığının basamak yüksekliğine oranı 0.15-1.1 arasında ve $Re_h=1.3 \times 10^4$-2.8×10^4 olarak alınmıştır.</p> <p>-Düşük Reynolds sayısı iki-denklemlik ısı transfer modeli modifiye edilmiştir.</p>	<p>-h basamak yüksekliği olmak üzere, yeniden birleşme uzunluğu $5.92h$ olarak hesaplanmıştır.</p> <p>-Akışın yeniden birleşme bölgesinde türbülans enerji dengesi sınır tabaka akışlarından tamamen farklıken sıcaklık değişimi benzerdir.</p> <p>-Yeniden dolaşım bölgesinde, Prandtl sayısı normal değerinden daha yüksektir.</p> <p>-Ayrılan karmaşık akışlarda, tipik logaritmik kanun sadece hız için değil sıcaklık için de uygulanamaz.</p>
<p>Jovic ve Driver (1994)</p>	<p>-Geri basamak üzerinde türbülanslı akış incelenmiştir.</p> <p>-Basamak yüksekliği (h) 17-38 mm olarak seçilmiştir.</p> <p>$Re_h=6 \times 10^3$-12.3×10^3 için 10×30 cm² kesit alanlı ve $Re_h=10.5 \times 10^3$-32×10^3 için 20×42 cm² kesit alanlı iki adet rüzgar tüneli kullanılmıştır</p> <p>-Duvardaki kayma gerilmesini ölçmek için lazer-yağ interferometresi ve hız ölçümleri için kızgın tel anemometresi kullanılmıştır.</p>	<p>-Reynolds sayısı arttıkça yüzey sürtünmesi azalmıştır.</p> <p>-Minimum sürtünme katsayısının yaklaşık olarak $2/3$ yeniden birleşme uzunluğunda olduğu gözlemlenmiştir.</p> <p>-Lazer yağ interferometresi kullanılarak bulunan sürtünme katsayısının, diğer klasik metotlarla elde edilenden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.</p>

Kim ve Anand (1994)	<p>-Paralel iki levha arasında, yüzeye yerleştirilmiş bloklar üzerinde laminer, gelişmekte olan hava akışı ve ısı transferi nümerik olarak incelenerek, gelişmekte olan akış sonuçları tam gelişmiş akış sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.</p> <p>-d_h hidrolik çap olmak üzere, $Re_{dh}=2 \times 10^3, 1 \times 10^3, 0.5 \times 10^3, 0.1 \times 10^3$, blok yüksekliğinin blok genişliğine oranı 0.25, 0.5 ve bloklar arasındaki mesafenin blok genişliğine oranı 0.25, 0.5, 1 olarak alınmıştır.</p>	<p>-Isıl giriş uzunluğu, Reynolds sayısı ve kanal yüksekliğinin azalmasıyla, bloklar arasındaki mesafenin ve alt yüzeydeki iletimin ise artmasıyla azalmıştır.</p> <p>-Blokler için ısı dirençler, Reynolds sayısının, bloklar arası mesafenin ve alt yüzey iletkenliğinin artmasıyla azalırken, alt yüzey kalınlığı ve blok yüksekliğinin artmasıyla da artmıştır.</p>
Kim ve Anand (1994)	<p>-Paralel iki levha arasında yüzeye yerleştirilmiş bloklar üzerinde türbülanslı, tam gelişmiş hava akışı ve ısı transferi, alt levhanın iletimi de göz önüne alınarak, nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-H kanal yüksekliği olmak üzere $Re_H=5 \times 10^4-40 \times 10^4$, blok yüksekliğinin blok genişliğine oranı 0.25, 0.5 ve bloklar arasındaki mesafenin blok genişliğine oranı 0.5, 0.75, 1 alınarak hesaplamalar yapılmıştır.</p>	<p>-Reynolds sayısındaki artışla sürtünme faktörünün çok az arttığı veya sabit kaldığı, blok aralıklarındaki artış ve kanal genişliğindeki azalmayla ise sürtünme faktörünün arttığı tespit edilmiştir.</p> <p>-Reynolds sayısının ve alt levha iletiminin artmasıyla blok yüzeyinin sıcaklığı ve Nusselt sayısı artmıştır.</p> <p>-Alt levha iletim etkisi, bloklar arasındaki mesafenin artmasıyla ve kanal genişliğinin azalmasıyla düşmüştür.</p>

<p>Kim ve Chung (1994)</p>	<p>-Geri basamak üzerinde türbülanslı akışta, akış alanı içerisindeki yüzey pürüzlülüğünün etkileri deneysel olarak incelenmiştir.</p> <p>-250x150 mm² kesit alanına sahip rüzgar tüneline, basamağın üst yüzeyindeki sınır tabaka kalınlığı 10.8 mm, basamak yüksekliği (h) 20 mm ve $Re_h=2.65 \times 10^4$ alınarak, dört farklı pürüzlülük değeri için deneyler yapılmıştır.</p> <p>-Hız ölçümleri pitot tüpüyle, yeniden birleşme uzunluğu ve türbülans yoğunlukları ise split film sensörü kullanılarak ölçülmüştür.</p>	<p>-Yüzey pürüzlülüğü, yeniden birleşmeyi pürüzsüz yüzeylere göre %3.4 kadar geciktirir.</p> <p>-Pürüzlü alt yüzey, yeniden dolaşım bölgesinde ters akışa karşı direnç gösterir. Bu nedenle pürüzlü yüzeydeki maksimum negatif hız pürüzsüz yüzeyinkinden daha küçüktür.</p> <p>-Yüzey pürüzlülüğü nedeniyle, yeniden dolaşım bölgesindeki türbülans yoğunluğu daha düşüktür.</p> <p>-Yeniden gelişen sınır tabaka içindeki hız profilleri, pürüzlü yüzeyde pürüzsüz yüzeydekine oranla daha çabuk gelişir.</p>
<p>Park ve Sung (1995)</p>	<p>-Türbülanslı ayrılmış ve yeniden birleşen akışlardaki akış alanını incelemek için, geri basamak akışı analiz edilmiştir.</p> <p>-Kayma hızı kullanılarak hesaplanan Reynolds sayısı 180 ve 395 değerlerinde alınmıştır.</p> <p>-Analizlerde lineer olmayan düşük Reynolds sayısında k-ϵ modeli kullanılmıştır.</p>	<p>-Isı transfer direncinin çoğu duvar yanında olduğundan dolayı yüzey sürtünmesinin derecesinin ısı transferi üzerine etkisi büyüktür.</p> <p>-Yeniden birleşmeden biraz önce ısı transferinde maksimum değere ulaşılır.</p> <p>-Yeniden dolaşım bölgesinde ısı transferi düşüktür.</p>

<p>Kasagi ve Matsunaga (1995)</p>	<p>-Geri basamak üzerinde türbülanslı su akışı deneysel olarak incelenmiştir.</p> <p>-Deneyle, basamak yüksekliği (h) 41 mm, $Re_h=5540$ ve kanal genişleme oranı 1.504 için su tüneline yapılmıştır.</p> <p>-Hız vektörleri üç boyutlu PTV (Particle Tracking Velocimetry) ile ölçülmüştür.</p>	<p>-Basamağın arkasında ikincil köşe kabarcığı oluşur ve akış burada hemen hemen durgundur.</p> <p>-Reynolds normal ve kayma gerilmeleri, maksimum değerlerini yeniden birleşmeden önceki ayrılmış serbest kayma tabakasında alır.</p> <p>-Yeniden dolaşım bölgesinin içinde Reynolds kayma gerilmesi hemen hemen sıfırdır.</p>
<p>Chen ve Wang (1996)</p>	<p>-Adyabatik bir kanal içerisindeki ısıtılmış bir blok üzerinden türbülanslı akışta, zorlanmış taşınım nümerik ve deneysel olarak incelenmiştir.</p> <p>-H kanal yüksekliği olmak üzere $Re_H=5 \times 10^3 - 15 \times 10^3$, blok genişliğinin yüksekliğine oranı $w/h=1-8$ alınarak hesaplamalar yapılmıştır.</p> <p>-Hesaplamalarda $k-\epsilon$ ve düşük Reynolds sayısı olmak üzere iki model kullanılırken, rüzgar tüneline hız ölçümü LDA, kütle transferi ölçümleri naftalin teknolojisiyle ve sıcaklık ölçümleri termal çiftlerle yapılmıştır.</p>	<p>-Blok boyunca oluşan ayrılma kabarcıkları lokal Nusselt sayısında değişimlere neden olmuştur. En yüksek Nusselt sayısı yeniden birleşme noktasında oluşmuştur.</p> <p>-Yeniden dolaşım bölgesinin üst ve ön tarafında LDA ve naftalin teknolojisiyle yapılan ölçümler literatürle benzer sonuçlar verirken, bloğun arkasında sapma görülmüştür.</p> <p>-Akış ve geometri parametrelerinin ısı transfer katsayısına etkileri incelenmiş, w/h ve Reynolds sayısına bağlı olarak ısı transfer korelasyonu geliştirilmiştir.</p>

<p>Heist ve Gouldin (1996)</p>	<p>-Yüze monte edilmiş üçgen bir silindir üzerinde 2 boyutlu, sıkıştırılamaz, türbülanslı bir akışın momentum ve kinetik enerji dengesi LDV kullanılarak bir su tüneline deneysel olarak incelenmiştir.</p> <p>-Silindirin yüksekliği 38.1 mm ve kanal yüksekliği (H) 117 mm'dir. Ayrılma noktasındaki hız 0.6 m/s dir ve bu referans hız olarak alınmıştır. $Re_H=2.8 \times 10^4$ için ölçümler yapılmıştır.</p>	<p>-Ayrılmadan hemen önceki akışta pozitif basınç gradyanı oluşurken, yeniden birleşmenin yakınında negatif basınç gradyanı oluşur ve bu yeniden dolaşım bölgesinde ters akış oluşturur.</p> <p>-Yeniden dolaşım bölgesindeki hız profilinin eğimi, serbest akış değerinden 5/3 fazladır. Eğimdeki bu artışla birlikte türbülans geçişinde bir artma ve kayma gerilmesinde bir azalma olur.</p>
<p>Öztürk (1996)</p>	<p>-Ayrılmış laminer sınır tabaka akışlarının ısı transferi karakteristikleri üzerine yapılan çalışmalar ve kullanılan yöntemler sonuçlarıyla birlikte incelenmiştir.</p> <p>-İki boyutlu ayrılmış boşluk ve geri basamak akışlarını inceleyen araştırmalar incelenmiştir.</p> <p>-Küt cisimler üzerinden yüksek Reynolds sayılarında oluşan ve cismin arka tarafında kalan ayrılmış girdaplı akışın ısı transferine etkilerini inceleyen çalışmalar incelenmiştir.</p>	<p>-Kapalı ve döngülü bir akım içeren ayrılmış bir bölgedeki ısı transferi bu bölgedeki vorteksin şiddetinden etkilenmektedir.</p> <p>-Kapalı ayrılmış bölgedeki vorteksin şiddetinin düşük olması durumunda ısı transferinin azaldığı, yüksek olması durumunda ise arttığı görülmüştür.</p> <p>-Ayrılma noktası civarında ısı transferi azalmaktadır.</p>

<p>Webster, DeGraaff ve Eaton (1996)</p>	<p>-Alüminyum bir tümsek üzerinde iki boyutlu türbülanslı sınır tabaka akışı incelenmiştir.</p> <p>-Deneyle düşük hızlı bir rüzgar tüneline yapılmıştır. Giriş hızı 16.6 m/s ve türbülans yoğunluğu %0.2 dir.</p> <p>-Basınç ölçümleri basınç dönüştürücüsü, hız ölçümleri ise basit ve çapraz tel proplarıyla yapılmıştır.</p> <p>-Momentum kalınlığıyla hesaplanan $Re_0=4030$, sınır tabaka kalınlığının tümsek yüksekliğine oranı 1.5 ve konveks yarıçapının eğriliğine oranı 0.06 olarak alınmıştır.</p>	<p>-Tümseğin başlangıç köşesindeki konkavdan konvekse değişen eğrilik, bir iç sınır tabakaya neden olmuştur. Sınır tabaka kısa bir bölge, uzun bir konveks bölge, başka bir küçük konkav bölge ve daha sonra düz yüzeye dönen bir görüntü sergiler. İlk bölgede zayıf bir negatif basınç gradyanı, daha sonra güçlü bir pozitif basınç gradyanı, sonra güçlü bir negatif basınç gradyanı ve sonuçta zayıf bir pozitif basınç gradyanı oluşmaktadır.</p> <p>-Tümseğin tepesinde logaritmik hız profilinden sapılarak, laminar profil elde edilmiştir.</p>
<p>Barton (1997)</p>	<p>-Laminer geri basamak akışı için giriş etkileri nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Analiz $Re=50-800$ için çok uzun giriş kanalına sahip bir akışla giriş kanalsız bir akış karşılaştırılarak yapılmıştır.</p> <p>-Korunum denklemleri SIMPLE metodu kullanılarak çözülmüştür.</p>	<p>-Düşük Reynolds sayılarında basamak köşesinin etrafında ayrılma olmazken, yüksek Reynolds sayılarında ani genişlemenin etkisi çok fazla olur ve akış ayrılması gerçekleşir.</p> <p>-Yüksek Reynolds sayılarına sahip akışlar giriş etkilerinden daha fazla etkilenir.</p>

<p>Choi ve Orchard (1997)</p>	<p>-Düz yüzey ve üçgen bloklu yüzey üzerinde türbülanslı akışta ısı transfer karakteristikleri deneysel olarak, düşük hızlı bir rüzgar tüneline, kızgın tel ve soğuk tel anemometreleri ve termal çiftler kullanılarak incelenmiştir.</p> <p>-Ölçümler 1.5 m/s ve 8.5 m/s arasında sekiz tane serbest akış hızı için yapılmıştır.</p> <p>-0.73 mm ve 1.83 mm aralıklarla aynı blok uzunluğunun yüksekliğine oranına sahip iki tane üçgen bloklu test yüzeyi kullanılmıştır.</p>	<p>-Sürüklenmenin azaldığı rejimde, bloklu yüzeylerde ısı transfer katsayısı %10 artış gösterir. Bu da Reynolds benzeşimiyle ters düşer.</p> <p>-Düz ve bloklu yüzeyler üzerindeki hız ve türbülans yoğunluğu profilleri oldukça benzerdir.</p> <p>-Bloklu yüzey üzerinden akışta, sınır tabakadaki logaritmik sıcaklık profili aşağı iner. Buna bağlı olarak viskoz alt tabakanın kalınlığı azalır.</p>
<p>Dubief, Djenidi ve Antonia (1997)</p>	<p>-Düz ve üçgen bloklu yüzey üzerinde türbülanslı akışta, sınır tabaka içerisindeki hız ve türbülans yoğunlukları kızgın tel anemometresi kullanılarak ölçülmüştür.</p> <p>-Deneyler emme tip bir rüzgar tüneline yapılmıştır. Alüminyum blokların yüksekliği ve genişliği 2.5 mm ve yüzeyin uzunluğu 1 m'dir.</p>	<p>-Bloklu yüzey üzerinde akıştaki hız gradyanının değeri düz yüzey üzerinde akıştakinden düşüktür.</p> <p>-Hız gradyanı akışa dik yöndeki vortekslerin temel nedenidir.</p> <p>-Deneysel sonuçlar DNS sonuçlarıyla uyumludur.</p>

<p>Lakehal ve Rodi (1997)</p>	<p>-Tam gelişmiş kanal akışı içerisinde yerleştirilmiş 3 boyutlu bir blok etrafında sürekli akış incelenmiştir.</p> <p>-İncelemeler, standart k-ε modeli, Kato-Launder (KL) modifikasyonu ve iki tabaka türbülans modeli kullanılarak yapılmıştır.</p> <p>-Blok yüksekliği h olmak üzere; kanal yüksekliği 9h ve kanal girişiyle ilk blok arasındaki mesafe 3.5h ve $Re_h=4 \times 10^4$ olarak alınmıştır.</p>	<p>-Standart k-ε modelinin kullanıldığı incelemelerde, küpün üstünde bir yeniden birleşmeyle birlikte çok küçük bir ayrılma alanı oluşur.</p> <p>-İki tabaka modelinin kullanılmasıyla, zeminin yanında oluşan at nalı vorteksinin daralan ve genişleyen hareketleri daha fazla belirginleşir.</p> <p>-Bloğun üstündeki ayrılma kabarcıklarının boyutu KL modifikasyonu ile önceden tespit edilirse, bloğun önündeki ayrılma bölgesi de önceden tespit edilebilir</p>
<p>Leung, Kang ve Probert (1997)</p>	<p>-Alt yüzeyi yalıtılmış düz bir levha üzerine yerleştirilmiş ısıtılmış bakır bloklar üzerinde laminer hava akışı deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Deneylein yapıldığı rüzgar tüneline, uniform ısı akışı sağlanmış, hava giriş sıcaklığı 20 °C ve blok yüzeyindeki sıcaklık 70 °C alınmıştır.</p> <p>-Her blok 200 mm uzunluk ve 6.35 mm yüksekliğe sahiptir. Blok genişliğinin (w) blok yüksekliğine (h) oranı 3 ve 4, kanal yüksekliğinin blok yüksekliğine oranı ise 6, 8, 10 alınarak $Re_w=510-2050$ aralığında deneyler yapılmıştır.</p>	<p>-Taşınım ile ısı transferinin büyük kısmı blokların üzerinden olduğu için her bloğun geniş yüzey alanına sahip olması önerilmiştir.</p> <p>-Kanal yüksekliğinin blok yüksekliğine oranının 0.8'den büyük olması durumunda doğal taşınımın önem kazandığı ve bu oranın yükselmesiyle doğal taşınımın arttığı gözlemlenmiştir.</p> <p>-Blok genişliğinin blok yüksekliğine oranı arttıkça sürtünme katsayısı azalır.</p>

<p>Chen ve Wang (1998)</p>	<p>-Bir kanaldaki ısıtılmış bloklar üzerinden laminer ve türbülanslı akış deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Nümerik hesaplamalarda; laminer akışta Navier Stokes denklemleri, türbülanslı akışta ise k-ε ve düşük Reynolds sayısı modelleri kullanılırken, rüzgar tünelineki deneylerde hız ölçümleri LDA, kütle transferi ölçümleri naftalin teknolojisi ve sıcaklık ölçümleri termal çiftlerle yapılmıştır.</p> <p>-Blok genişliği 10 mm, blok yüksekliği (h) 5 mm, $Re_h=1.3 \times 10^3 - 1 \times 10^4$, kanal yüksekliği 20 mm ve bloklar arasındaki mesafe 10-120 mm olarak alınmıştır.</p>	<p>-Laminer akışta, ayrılma kabarcıklarının bloklardan olan ısı transferi üzerine etkisi yoktur. Blok yüzeyleri boyunca Nusselt sayısı monoton bir şekilde artar ya da azalır. Türbülanslı akışta ise akışın çarpması ve ayrılma kabarcıklarının yeniden birleşmesi Nusselt sayısında keskin bir artmaya neden olur.</p> <p>-Bloklar arasındaki mesafenin artması türbülanslı akışta ortalama Nusselt sayısında önce bir azalmaya daha sonra da artmaya neden olurken, laminer akışta tam tersi bir durum oluşur.</p>
<p>Craft (1998)</p>	<p>-Ayrılan ve yeniden birleşen akışların uygulamaları olan difüzör akışları ve geri basamak akışları analiz edilmiştir.</p> <p>-Difüzör akışı için Reynolds sayısı 1.56×10^4 ve genişleme açısı 18° olarak alınırken, geri basamak akışı için Reynolds sayısı 5.1×10^3 olarak alınmıştır.</p> <p>-Düşük Reynolds sayısı ikinci-moment kapanımı yöntemi geliştirilmiştir.</p>	<p>-Tüm sonuçlar, deneysel sonuçlar ve simülasyon verileriyle uyum içindedir.</p> <p>-Geliştirilen bu yöntem karmaşık yapıları akışlarda güvenilir bir şekilde kullanılabilir.</p> <p>-Yeniden dolaşım bölgesinin daha iyi incelenmesi için üçlü moment yaklaşımı önerilir.</p>

<p>Young ve Vafai (1998)</p>	<p>-Yalıtılmış bir kanal içindeki 5 tane ısıtılmış blok üzerinde sıkıştırılmaz akış ve zorlanmış taşınım nümerik olarak ele alınmıştır. Blok yüksekliği, genişliği, aralığı ve sayılarının etkileri, blok ısı iletkenliği, akış oranı ve ısıtma metodu göz önüne alınarak incelenmiştir.</p> <p>-d_h hidrolik çap olmak üzere $Re_{dh}=200-2000$, k_s/k_f (ısı iletkenlik)=10-1000, blok genişliği 0.125-0.5, blok yüksekliği 0.125-0.25 ve bloklar arasındaki mesafe 0.125-0.5 arasında alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Kanal yüksekliği, Prandtl sayısı ve ısı akısı sabittir.</p>	<p>-Blok yüksekliği ve aralığı gibi oluşum parametreleri blokların soğutulmasında önemli değişikliklere neden olurken ısıtma metotları gibi diğerlerinin etkileri azdır.</p> <p>-Blokların varlığından dolayı ilk bloğun alt köşesinde dönen bir vorteks oluşur. Reynolds sayısı arttırıldığında bu vorteksin gücü biraz artar ve yeniden dolaşım bölgesi büyür.</p> <p>-Dokuzuncu blok referans alınarak, ortalama Nusselt sayısı sekizinci ve yedinci bloklarda sırasıyla %5 ve %10 değişmiştir.</p>
<p>Young ve Vafai (1998)</p>	<p>-Yalıtılmış bir kanal içindeki ısıtılmış bir bloğun laminer zorlanmış taşınım ile soğutulması incelenmiştir. Blok yüksekliği, genişliği, ısı iletkenlik oranı, akış oranı ve ısıtma metodu değiştirilerek inceleme yapılmıştır.</p> <p>-d_h hidrolik çap olmak üzere $Re_{dh}=200-2000$, k_s/k_f (ısı iletkenlik) 1-10/1000 ve 1-6600, blok genişliği 0.125-0.5, blok yüksekliği 0.125-0.25 arasında alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Kanal yüksekliği, Prandtl sayısı ve ısı akısı sabittir.</p>	<p>-Blok yüksekliği, genişliği ve ısı iletkenlik oranı ısı ve akış karakteristikleri üzerinde oldukça etkilidir.</p> <p>-Bloğun varlığı parabolik hız alanını önemli ölçüde değiştirir. Bunun sonucunda üst yüzey boyunca bir ısı sınır tabaka, alt ve üst yüzeyin her ikisinde de yeniden dolaşım bölgesi oluşur.</p> <p>-Bloğun şekli ve malzemesinin ısı ve akış karakteristikleri üzerine etkisi büyüktür.</p>

<p>Benhalilou ve Kasagi (1999)</p>	<p>-Üçgen bloklara sahip türbülanslı bir kanal akışında ısı ve momentum transferi k-ε modeli kullanılarak nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Karmaşık yüzeyler için sürüklenmenin azalması ve ısı transferinin artması araştırılmıştır.</p> <p>-Kanal yüksekliği H, blok yüksekliğinin 40 katı olarak alınmıştır. Hesaplamalar bloklar arası mesafenin blok yüksekliğine oranı 1 ve 2 değerleri için yapılmıştır. $Re_H=3 \times 10^3 - 2 \times 10^4$ arasındadır.</p>	<p>-Sürüklenmenin azaldığı durumda ısı transferi artarak Reynolds benzeşimine uymayan bir sonuç elde edilmiştir.</p> <p>-Yüksek Prandtl sayılarında ısı sınır tabaka kalınlığı düştüğünden bloklu alanda ısı transferi artar. Düşük Prandtl sayılarında ise ısı transferine katkı sadece üçgen blokların tepesinden olur.</p> <p>-Özellikle yüksek Pr sayısına sahip akışkanlarda, ikincil vortekslerin boyutu ısı sınır tabaka kalınlığından yeterince büyük olduğunda, ikincil akışın hareketiyle ısı transfer verimliliği artar.</p>
<p>Braun, Neumann ve Mitra (1999)</p>	<p>-2 boyutlu, dikdörtgen bloklara sahip bir kanal içerisinden türbülanslı akışta ısı transfer katsayısı deneysel ve nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Hava debisi orifismetreye, lokal kütle transferi amonyak soğurma teknolojisi kullanılarak ölçülürken, nümerik hesaplamalar LES yöntemiyle yapılmıştır.</p> <p>-$Re_H=6000$, blok yüksekliğinin (h) kanal yüksekliğine (H) oranı 0.05, blok genişliğinin yüksekliğine oranı 0.2, bloklar arasındaki mesafenin blok yüksekliğine oranı 9.8 alınarak analizler yapılmıştır.</p>	<p>-Nümerik hesaplamalar periyodik olarak tam gelişmiş akış için yapılmıştır. Deneysel 8. bloktan sonra bile tam gelişmiş akış şartları göstermemesine rağmen, deneysel ve nümerik sonuçlar uyumlu çıkmıştır.</p> <p>-Yapılan diğer çalışmaların aksine, 8. bloktan sonra bile periyodik tam gelişmiş ısı şartlarına ulaşamamıştır. Bunun nedeni, bu çalışmada daha kısa blokların kullanılması olabilir.</p> <p>-Blok geometrisinin giriş uzunluğuna etkisi gözlemlenememiştir.</p>

<p>Feng, Michaelides (1999)</p>	<p>-Küresel bir cisim üzerinden akışta, süreksiz ısı transferini incelemek için nümerik analiz yapılmıştır. -Küre çapıyla hesaplanan Re sayısı 0-200 aralığında alınarak hesaplamalar yapılmıştır. -Problemin korunum denklemleri boyutsuzlaştırılmış ve akış girdap fonksiyonu formülasyonu kullanılarak çözülmüştür.</p>	<p>-Reynolds sayısı 1'den büyük olduğu zaman, ısı transfer oranı Reynolds sayısına bağlıdır. -Küre etrafından ısı transferi, kürenin etrafında gelişen sıcaklık ve hız alanına bağlıdır. -Nusselt sayısı, Re sayısına bağlıdır.</p>
<p>Iwai, Nakabe ve Suzuki (2000)</p>	<p>-Geri basamak üzerinde laminer akış, 3 boyutlu ve nümerik olarak incelenmiştir. -h basamak yüksekliği olmak üzere, $Re_h=125-375$, basamak genişliğinin yüksekliğine oranı 4, 8, 16, 24 olarak alınmıştır. Kanal genişleme oranı 2 değerinde sabit tutulmuştur.</p>	<p>-Basamak genişliğinin yüksekliğine oranı ve Reynolds sayısının artmasıyla maksimum Nusselt sayısı artar. -$Re_h=250$ değerinde, 2 boyutlu bölge elde edebilmek için basamak genişliğinin yüksekliğine oranı en az 16 olmalıdır.</p>

<p>Leung, Chan, Probert ve Kang (1999)</p>	<p>-Aralarında uniform açılmış delikler bulunan, ısıtılmış, bakır, dikdörtgen bloklar üzerinde akışta zorlanmış taşınım deneysel olarak incelenmiştir.</p> <p>-Kanal üst yüzeyi ile blok üst yüzeyi arasındaki mesafe ile elde edilen $Re_c=500-19000$, kanal yüksekliğinin blok yüksekliğine oranı 4-10 ve nüfuz etme (penetration) oranı 0.05-0.20 aralığında değişmektedir.</p> <p>-Sıcaklıklar termal çiftlerle, hızlar ise kızgın tel anemometresi ile ölçülmüştür.</p>	<p>-Maksimum ısı transfer performansının eldesi için, delik çapı, sayısı ve blokların malzemesi optimize edilmiştir.</p> <p>-Bloklu bir yüzey üzerindeki ortalama ısı transfer katsayısı, deliklerin çapıyla daima artar. Bu metotla zorlanmış taşınımdaki artış %133 kadardır.</p> <p>-“Deliklendirilmiş alt kısım” metodu zorlanmış taşınımı arttırır. Bununla birlikte, taşınımdaki artışın büyüklüğü lineer olarak orantılandırılmış delik çapından daha azdır. Alt yüzey alanı azalırken delik çapı artar. Yani deliklerin çapı, sayısı ve dağılımı optimize edilmelidir.</p>
<p>Naik, Probert ve Bryden (1999)</p>	<p>-Kanal içerisinde akışta alüminyum bloklarla ısı transferinin arttırılması deneysel olarak incelenmiştir.</p> <p>-Rüzgar tüneli kullanılan araştırmada, sıcaklık ölçümleri termal çiftlerle, hız dağılımı kızgın tel anemometresiyle, basınç ölçümü basınç delikleriyle yapılmıştır.</p> <p>-$Re=1.38 \times 10^4$, bloklar arasındaki mesafenin blok yüksekliğine oranı 0.039-0.6, bloklarla kanalın üst yüzeyi arasındaki mesafenin blok yüksekliğine oranı 0-1, blok boyunun bloklar arasındaki mesafeye oranı 13-107, blok yüksekliğinin boyuna oranı 0.085-0.36 arasında seçilmiştir.</p>	<p>-Blok dizilerinden maksimum ısı transfer oranını sağlayan bir korelasyon elde edilmiştir.</p> <p>-Yüksek bloklar yüksek ısı transferine neden olurken, uzun bloklar daha az ısı transferi sağlar.</p> <p>-Kanalın merkezinde boşluklarda ve blok yüksekliği boyunca uniforma yakın hız profili oluşur.</p> <p>-Lokal ısı transfer katsayısı blok yüksekliği ve uzunluğu boyunca değişkendir ve blokların üzerindeki boşluktan etkilenir.</p>

<p>Pulat ve Diner (2001)</p>	<p>-Sürekli, iki boyutlu, laminer, sıkıştırılamaz, geri basamak üzerinde akış nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Hız 0.034-0.113 m/s, kanal genişleme oranı 1.5-2, basamak yüksekliği (h) 1 cm ve boyu 6 cm ve $Re_h=50-150$ için analiz yapılmıştır. Havanın kanala giriş sıcaklığı 293 K olarak alınmıştır.</p>	<p>-Aynı kanal genişleme oranında, Reynolds sayısının artmasıyla yeniden birleşme uzunluğu artar.</p> <p>-Aynı Reynolds sayısında, kanal genişleme oranı arttırılırsa yeniden birleşme uzunluğu azalır.</p> <p>-Basınç dağılımı Reynolds sayısından etkilenir ve bu etkilenme kanal genişleme oranının etkilenmesinden daha fazla olur.</p>
<p>Wu ve Perng (1999)</p>	<p>-Eğik bir yüzeye sahip kanalda beş adet ısıtılmış blok üzerinden akışta, doğal ve zorlanmış taşınım ile ısı transferi nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Yüzeyin eğim açısı $30-90^0$, w blok genişliği olmak üzere $Re_w=260-530$ ve $Gr=0-3.2 \times 10^6$ aralığında seçilirken, kanal yüksekliği/blok genişliği 2.5, kanal uzunluğu/blok genişliği 25, bloklar arası mesafe/blok genişliği 0.5, eğik yüzey uzunluğu/blok genişliği 0.45 değerindedir ve akışkanın tüm fiziksel özellikleri sabittir.</p>	<p>-Eğik bir yüzey kullanmak ısı transfer karakteristiklerini etkili bir şekilde arttırır.</p> <p>-Gr/Re^2 oranının her üç değeri için eğik yüzeye sahip bloklu yüzey boyunca yerçekimi etkileri hala görülmektedir.</p> <p>-$Gr/Re^2 < 0$ değerlerinde eğik yüzeyin arkasında vorteks kaymasıyla oluşan dalga akışı ilk bloktan 3. bloğa hızla geçer. Daha sonraki iki bloğu yavaş ve zayıfça geçer. Dalga akışları son bloğun arkasındaki yeniden dolaşım bölgesini değiştirir.</p>

<p>Katoh, Choi ve Azuma (2000)</p>	<p>-Türbülanslı kanal akışlarında, pürüzlü yüzeylerle sürüklenmenin artması ile ısı transferinin artırılması arasındaki bağıntı, momentum ve enerji denklemleri kullanılarak, teorik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Tam gelişmiş türbülanslı akış ve sabit ısı akısı şartı sağlanmış olup, 3 boyutlu pürüzlülük elementleri kanalın alt duvarına yerleştirilmiştir.</p> <p>-Blok yüksekliğinin kanal yüksekliğine oranı 0 ile 1 arasında, boyutsuz pürüzlülük yüksekliği k^+ 20 ve 80 değerinde alınmıştır.</p>	<p>-Kullanılan akışkanın moleküler Pr sayısı, türbülanslı Pr sayısından küçük olduğunda, pürüzlü yüzeylerin ısı transfer verimi 1'den küçüktür. Aksi halde 1'den büyük olabilir.</p> <p>- $k^+= 20$ için moleküler $Pr>5$ ise ısı transferi verimi 1'den büyük olur. $k^+= 80$ için verimlilik herhangi bir Pr değeri için 1'i geçmez.</p> <p>-Isıl sınır tabaka momentum sınır tabakadan ince olduğunda pürüzlü element ısı transferini artırır. Aksi durumda pürüzlerin üzerinde ısı akısının homojen olmamasından dolayı Reynolds benzeşimiyle uyumsuzluk oluşur.</p>
<p>Mulaweh, Armaly ve Chen (2000)</p>	<p>-İki boyutlu, düşey bir geri basamak üzerinde türbülanslı akış deneysel olarak incelenmiştir.</p> <p>-Kesit alanı $85.1 \times 411.5 \text{ cm}^2$ olan test bölümüne sahip rüzgar tüneline, hız 0-0.41 m/s, basamak yüksekliği 22 mm, ısıtılmış duvarlarla serbest akış bölgesi arasındaki sıcaklık farkı 303 K alınarak deneyler yapılmıştır.</p> <p>-Hız, sıcaklık dağılımları ve türbülans yoğunlukları, Lazer Doppler hız ölçeri, soğuk tel anemometresi ve termal çiftler kullanılarak ölçülmüştür.</p>	<p>-Girişteki serbest akış hızının küçük seçilmesi, hız ve sıcaklık dalgalanmalarında ve türbülans yoğunluğunda azalmaya neden olur.</p> <p>-Serbest akış hızının artmasıyla ısıtılmış duvardan olan ısı transferi azalırken, yeniden birleşme uzunluğu artar.</p> <p>-Yeniden birleşme uzunluğunun artmasıyla maksimum ısı transfer oranının yeri basamaktan itibaren daha ileriye kayar.</p>

<p>Pulat, Oge ve Karagöz (1997)</p>	<p>-Yüze monte edilmiş bir blok üzerinde 3 boyutlu, laminer akış ve ısı transferi hesaplamalı olarak çalışılmıştır.</p> <p>-Akışkan su, h blok yüksekliği olmak üzere $Re_h=500, 1000, 1500$, blok yüksekliğinin kanal yüksekliğine oranı 0.2 ve kanal genişleme oranı 1.25 olarak alınmıştır.</p>	<p>-Reynolds sayısının artmasıyla yeniden birleşme uzunluğu artmıştır. Her üç Reynolds sayısında da bloğun önünde at nalı vorteksi ve bloklar arasında ikiz vorteksler oluşmuştur.</p> <p>-3 boyutlu sayısal çalışmanın, 2 boyutlu sayısal çalışmaya göre deneylerle daha uyumlu olduğu tespit edilmiştir.</p>
<p>Wang, Lan ve Chen (2000)</p>	<p>-Üçgen bloklu bir yüzey üzerinden türbülanslı sınır tabaka akışı LDV ve hidrojen kabarcıklı akış görüntüleme tekniği kullanılarak incelenmiştir.</p> <p>-Deneyler açık bir kanalda, akışkan olarak su kullanılarak yapılmıştır. Bloklu yüzeyin genişliği ve yüksekliği 1 mm ve bloklar arasındaki mesafe 2 mm'dir.</p> <p>-Ortalama giriş hızı 17.5 m/s, su yüksekliği 5 cm ve türbülans yoğunluğu %4'tür.</p>	<p>-Bloklu yüzeylerde, düz yüzey üzerinden türbülanslı sınır tabaka akışına göre viskoz alt tabaka kalınlığı, tampon bölgenin kalınlığı ve integral sabiti daha büyüktür.</p> <p>-Yüzeyin bloklu olması eğrilik ve düzlük faktörü üzerinde oldukça etkilidir.</p> <p>-Sürüklenmenin azalması düşük hızlı yörüngelerin azalmasına bağlıdır.</p>

<p>Bilen, Yapıcı ve Çelik (2001)</p>	<p>-1x2x2 cm³ boyutlu 24 tane alüminyum dikdörtgen blokların geometrik pozisyonlarının, yüzeyden olan ısı transferine etkileri Taguchi metodu kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir.</p> <p>-Çapraz akış doğrultusundaki bloklar arasındaki mesafe S_x, akış doğrultusundaki mesafe S_y'nin her ikisi de 3.33-4.33 mm, blok uzunluğu L olmak üzere, Re_L=1520-4520 ve blokların dönme açısı 0-45⁰ olarak alınmıştır.</p> <p>-Sıcaklık ölçümleri termal çiftlerle, hız ölçümleri anemometre ile yapılmıştır.</p>	<p>-Isı transferi üzerine en etkin parametre Reynolds sayısıdır. Reynolds sayısının artmasıyla ısı transferi artar.</p> <p>-Blokların dönme açısının artmasıyla da ısı transferi artar. Bu ikinci etkin parametredir.</p> <p>-Bloklar arasındaki mesafeler olan S_x ve S_y'nin artmasının ısı transferine etkileri birbirlerine çok benzerdir. S_y, S_x'den çok az daha etkilidir. Ancak sonuçta bloklar arasındaki mesafenin ısı transferi üzerindeki artırıcı etkisi çok azdır.</p> <p>-Taguchi metodu bu çalışmalarda başarıyla uygulanabilir.</p>
<p>Bilen ve Yapıcı (2001)</p>	<p>-1x2x2 cm³ boyutlu alüminyum dikdörtgen bloklarla oluşturulmuş ısıtılmış bir yüzey üzerinden akışta ısı transferi deneysel olarak incelenmiştir.</p> <p>-Kesit alanı 18x20cm² olan bir kanala sahip rüzgar tüneline deneyler, çapraz akış doğrultusundaki bloklar arasındaki mesafe 3.81 cm de sabit tutulurken, akış doğrultusunda bloklar arasındaki mesafe ise 3.33 ile 4.33 cm arasında alınarak, d_h hidrolik çap olmak üzere Re_{d_h}=7625-31550 ve blokların dönme açısı 0-45⁰ için yapılmıştır.</p> <p>-Blok sıcaklıkları termal çiftlerle ölçülmüştür.</p>	<p>-Bloklu ve bloksuz yüzeyden olan ısı transferi için korelasyonlar geliştirilmiştir.</p> <p>-Blokların dönüş açılarının artması akış içerisinde türbülansın artmasına ve yeniden dolaşım bölgesinin küçülmesine neden olacağından ısı transferini arttırmıştır.</p> <p>-Akış yönünde bloklar arasındaki mesafenin artması ısı transferini arttırır.</p> <p>-Isı transferindeki maksimum artışa, akış doğrultusunda bloklar arasındaki mesafe 4.33 cm, blokların dönme açısı 45⁰ ve Re_{d_h}=15000-22500 koşullarında ulaşılmıştır.</p>

Fu, Chen ve Wang (2001)	<p>-Isıtılmış yüzeye sahip bir kanal içerisinde, hareketli, yalıtılmış bir blok üzerinden laminer akışta ısı transferi nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-H kanal yüksekliği olmak üzere $Re_H=500$, boyutsuz blok hızı 1, boyutsuz zaman 0.002, blok genişliği 0.1H ve blok yüksekliği 0.2H, hareketli blok mesafesi 0-0.8 arasında alınmıştır.</p>	<p>-Hareketli sınır problemlerini çözmek için modifiye edilmiş ALE metodu uygundur.</p> <p>-Hareketli blok mesafesi, ısıtılmış yüzey, blok yanındaki akış ve ısı alanı önemli derecede etkiler.</p> <p>-Blok hareket mesafesi kritik bir değerden büyük olduğu zaman, ısıtılmış yüzeyin ısı transfer oranının artması, blok hareket mesafesinin artmasıyla doğru orantılı olarak artar.</p>
Fu, Kc ve Wang (2001)	<p>-Isıtılmış bir yüzey üzerine yerleştirilmiş hareketli bir bloğa sahip kanal içindeki laminer akışta ısı transfer karakteristikleri nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Akış alanı iki boyutlu ve laminerdir. Akışkan Newtonian ve sıkıştırılmazdır. Akışkan özellikleri sabittir. Akışkan ve blok arasındaki arayüzde kayma yoktur. Yerçekimi etkileri ihmal edilmiştir.</p> <p>-$Re=100-500$, boyutsuz blok hızı 1-2, boyutsuz zaman 9.6-11.2 arasında alınmıştır.</p>	<p>-Hareketli sınır problemlerinin çözümünde modifiye edilmiş ALE metodu uygun sonuçlar verir.</p> <p>-Isıtılmış yüzey üzerindeki ısı sınır tabaka bloğun hareketiyle kırılır ve bloktan sonra tekrar oluşturulur. Isıl sınır tabakadaki bu düzenleme ısıtılmış yüzeyin ısı transferinin iyileştirilmesini sağlar.</p> <p>-Hareket hızı ve bloğun pozisyonu ısıtılmış yüzeyin ısı transferini önemli derecede etkiler.</p> <p>-Isı transfer oranındaki maksimum artış %98 dir.</p>

<p>Herman ve Kang (2001)</p>	<p>-Isıtılmış bakır bloklar ve bu blokların önüne yerleştirilmiş silindir veya vanaya sahip bir kanal içindeki laminar, geçiş, türbülanslı akışta, zorlanmış taşınım ile ısı transferi bir rüzgar tüneline deneysel olarak incelenmiştir.</p> <p>-Sıcaklık alanı sinematografi, holografik interferometreyle görüntülenirken, sıcaklık T-tipi termal çiftlerle, basınç manometreyle, debi rotametreyle ölçülmüştür.</p> <p>-d_h hidrolik çap olmak üzere $Re_{dh}=200-6500$, blok genişliği 32 mm, kanal yüksekliği 25 mm, blok yüksekliği 9 mm, bloklar arasındaki mesafe 18 mm, silindir çapı 3.8 mm, vana yarıçapı 13.5 mm olarak alınmıştır.</p>	<p>- Akış titreşimleri ilk olarak, bloklu kanalda $Re_{dh}=1050-1320$ arasında gözlemlenirken, silindir ve vanaların dahil edildiği kanallarda $Re_{dh}=350-450$ arasında gözlemlenir.</p> <p>-Titreşimlerin başlangıcından daha yüksek Reynolds sayılarında ve geçiş rejimli akışlarda, incelenen geometrilere sahip kanallar içerisindeki ısı transfer oranı, referans alınan düz yüzeyli kanalıkinden yüksektir.</p> <p>-Silindir ve vanalı kanallarda ısı transferi bloklu kanalıkinden daha yüksektir.</p> <p>-Silindirli ve vanalı akışların performansı biçimlerinin modifikasyonu ile artırılabilir.</p>
<p>Nie ve Armaly (2001)</p>	<p>-Bir kanal içinde geri basamak olması durumunda laminar, 3 boyutlu bir akış için nümerik araştırma yapılmıştır.</p> <p>-Hız 0.258 m/s, kanal genişliği 0.08 m, kanal yüksekliği (H) 0.02 m, $Re_H=343$'de sabit, basamak yüksekliği 0.08, 0.01 ve 0.012 m olarak değişkendir.</p> <p>-Hava giriş sıcaklığı 293 K'dir. Alt duvarda uniform ve sabit 50 W/m^2 ısı akısı vardır, diğer duvarlar adyabatiktir.</p>	<p>-Basamak yüksekliği arttıkça yan duvardaki ters akış alanının büyüklüğü, yeniden birleşme uzunluğu, Nusselt sayısı ve akışın üç boyutlu genel özellikleri artar.</p> <p>-Küçük basamak yüksekliğinde minimum Nusselt sayısı, basamakla kanalın simetri ekseninde oluşur.</p> <p>-Sürtünme katsayısı birincil yeniden dolaşım akış alanı içerisinde basamak yüksekliğinin artmasıyla akış yönünde artarken yeniden dolaşım alanının dışında azalır.</p>

<p>Slanciauskas (2001)</p>	<p>-Bu çalışmada, sıvı akışları için dikdörtgen ve üçgen kesitli, gaz akışları için ise yamuk ve silindirik kesitli pürüzlülük elemanlarının ısı transferi üzerine etkisi nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Üçgen pürüz için yükseklik 1.4 mm, genişlik 4 mm, dikdörtgen pürüz için genişlik 3 mm, yükseklik 2.6 mm, pürüzler arasındaki mesafe 6 mm alınırken, $Re=10^5$ ve $Pr=0.71-100$ arasında olan akışkanlar kullanılmıştır.</p>	<p>-$Re=10^5$ için türbülanslı akışta, sürtünmesi az pürüzlülük elemanları kullanılarak ısı transferi 2-3 kat arttırılabilir.</p> <p>-Yuvarlak köşeli, akışa eğik veya 3 boyutlu pürüzlülük elemanlarının kullanılması, pürüzsüz yüzeyden tam gelişmiş pürüzlülüğe geçişi geciktirir.</p> <p>-$Pr>5$ olan sıvılarda ısı verimin maksimum değeri pürüzlülük Reynolds sayısının 50 değerinde elde edilir.</p> <p>-Hava kullanılan akışlarda tüm sınır tabakanın karışması ve akışın yeniden birleşmesiyle ısı transferinde artış elde edilir.</p>
<p>Şara, Pekdemir, Yapıcı ve Yılmaz (2001)</p>	<p>-Giriş alanı $80 \times 160 \text{ mm}^2$ olan bir kanalda alüminyum plakaların üzerine alüminyum bloklar yerleştirilerek rüzgar tüneline deneyler yapılmıştır. Plakanın dış yüzeyi yalıtılmış ve üzerinde sabit ısı akışı sağlanmıştır.</p> <p>-Deneyler, 1-6 m/s hız, hidrolik çapla hesaplanan Re sayısı 6670-40000, bloklar arasındaki mesafe 33, 76, 119 mm iken sırasıyla blok sayısı 7, 4 ve 3 olarak değiştirilerek yapılmıştır. Blokların yüksekliği 25 mm olarak sabittir.</p> <p>-Hız ölçümü eğik manometre ile, sıcaklık ölçümü ise termal çiftlerle yapılmıştır.</p>	<p>-Bloklerin varlığının ısı transferi üzerine olan net etkilerinin yüzey alanını arttırmak ve akışı rahatsız etmekten kaynaklandığı tespit edilmiştir.</p> <p>-Bloklerin varlığının ısı transferi üzerine etkilerinin bloklar arasındaki mesafeye ve blokların yerleştiriliş düzenlerine bağlı olarak değiştiği ve bu mesafenin azalmasıyla ısı transferinin düştüğü gözlemlenmiştir.</p> <p>-Akış alanına yerleştirilmiş bloklar üzerinden akışta sürtünme faktörünün düz yüzeye göre 30 kat daha fazla olabileceği görülmüştür.</p>

<p>Armaly, Li ve Nie (2002)</p>	<p>-Bir kanaldaki geri basamak üzerinden 3 boyutlu, laminer hava akışı nümerik olarak incelenmiştir. -w blok genişliği olmak üzere $Re_w=100-600$, kanal yüksekliği 0.02 m, genişliği 0.08 m, basamak uzunluğunun yüksekliğine oranı 8, kanal genişleme oranı 2 ve basamak yüksekliği 1 cm olarak alınmıştır. -Havanın giriş sıcaklığı 293 K'dır.</p>	<p>-Birincil yeniden dolaşım alanı içerisinde bir dönen akış ve yan duvarlara yakın bir ters akış bölgesi oluşur. Bu üç boyutlu özellikler Reynolds sayısının artmasıyla artar. -Ayrılmış kayma tabakası içindeki yan yüzeylerin yakınında gelişen jet-tipi akışı, minimum yeniden birleşme uzunluğu, maksimum Nusselt sayısı ve minimum kayma gerilmesine neden olur.</p>
<p>Becker, Lienhart ve Durst (2002)</p>	<p>-3 boyutlu bloklar etrafındaki akış deneysel olarak iki rüzgar tüneline incelenmiştir. -Blok yüksekliği 0.14 m, blok yüksekliğinin blok genişliğine oranı 0.28-4 ve $Re=2 \times 10^4 - 2 \times 10^6$ arasındadır. -Çalışmalar farklı akış görüntü teknolojileri ve LDA kullanılarak yapılmıştır.</p>	<p>-Bloğun önündeki negatif basınç gradyanından dolayı at nalı vorteksi oluşur. -Bloğun yan ve üst yüzeylerinde ayrılma ve yeniden birleşme oluşur. -Bloğun arkasında yeniden dolaşım bölgesi oluşur. -Zamana bağlı veriler türetilmiş, durgun olmayan akış alanı geliştirilmiş ve literatürle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.</p>

<p>Buchlin (2002)</p>	<p>-Farklı tiplerdeki (dikdörtgen, yay, silindir, yarım daire) delikli bloklara sahip bir kanal içindeki türbülanslı akışta zorlanmış taşınım ile ısı transferi deneysel olarak incelenmiştir.</p> <p>-20 mm yükseklik ve genişliğinde beş çeşit delikli blok kullanılmıştır. Maksimum ısı akısı 3000 W/m^2 ve yüzey sıcaklığı $80 \text{ }^\circ\text{C}$'dir.</p> <p>-Hız ölçümleri için pitot tüpü ve kızgın tel anemometresi kullanılırken, sıcaklık ölçümleri için kızılötesi radyometre kullanılmıştır.</p>	<p>-Benzer bloklar ısıtılmış yüzeye simetrik olarak yerleştirilirse aynı ısı transfer katsayısı elde edilir.</p> <p>-Sıcak alan delikli türbülantörlerin olduğu yerde değil katı blokların hemen arkasındaki bölgede oluşur.</p> <p>-Blok yüksekliğiyle bulunan Reynolds sayısı 2×10^4'den çok ve delikli blokların açık alan oranı %36'dan fazla olduğu zaman ısı transferi önemli derecede artar.</p> <p>-Tam gelişmiş akışa 5. bloktan sonra ulaşılır.</p> <p>-En iyi dizayn, kanal Reynolds sayısı 3×10^4-6×10^4 arası için açık alan faktörü 0.53'de elde edilir.</p>
<p>Cruchaga ve Celentano (2002)</p>	<p>-Sürekli, 2 boyutlu düz yüzey ve bloklu yüzeylere sahip kanaldan hava akışında doğal ve karışık taşınım, sonlu elemanlar yöntemiyle nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Doğal taşınım Rayleigh sayısı 10^2-10^6 aralıklarında, silindirik ve dikdörtgen bloklara sahip düşey kanallarda çalışılmıştır. Karışık taşınım ise $Re_H=100$-500 ve $Gr=0$-3.2×10^5 için dikdörtgen bloğa sahip yatay bir kanalda analiz edilmiştir.</p> <p>-Düz, silindirik ve dikdörtgen bloklu yüzeyler için blok uzunluğunun yüksekliğine oranı 0.2-0.3 arasında alınmıştır.</p>	<p>-Kanaldeki blokların varlığı, bloklu yüzey üzerindeki yüzey alanını ve düşey akışı arttırdığından ısı transfer oranını artırır.</p> <p>-Blocsuz bir kanaldaki ortalama Nusselt sayısı bloklu bir kanaldakinden fazladır. Bunun nedeni bloklu kanalda kütle akışının azalması ve bloklardan kaynaklanan durgun alanların oluşmasıdır.</p> <p>-Karışık taşınım problemlerinde, Gr/Re^2 nin farklı oranlarındaki analizlerde, istenilen sonuçlar elde edilmiştir.</p>

<p>Hana, Tehranean, Carissima, Macdonald ve Lahner (2002)</p>	<p>-Kare ve karşı karşıya gelmeyecek şekilde düzenlenmiş, kübik sekiz dizi bloğun üzerinden türbülanslı akış, sonlu elemanlar akış çözümü (FEFLO) kullanılarak ve sonuçlar hidrolik su kanalı gözlemleriyle karşılaştırılarak incelenmiştir.</p> <p>-Blok yüksekliği (h) 1.5-0.5 mm ve genişliği 50 mm, $Re_h=2.5 \times 10^3$ arasında alınmıştır.</p> <p>-Hız profilleri güç kanunu ile türbülans yoğunlukları Monte Carlo modeli ile bulunmuştur.</p>	<p>-3 dizi bloktan sonra hız profilleri çok hızlı bir şekilde tam gelişmiş duruma geçer.</p> <p>-Simüle edilen modelde ortalama hız profilleri hidrolik kanal gözlemlerinden %40 farklıdır.</p> <p>-Kare düzenlemelerde, “street canyon” etkisi (akışkanın blokların arasındaki boşluk içerisinde akmaya çalışması), karşı karşıya gelmeyecek şekilde yapılan düzenlemelere göre daha fazladır.</p> <p>-Bloklar arasındaki mesafe azalırsa, türbülans hızlarında küçük bir değişim olur.</p>
<p>Kim ve Kim (2002)</p>	<p>-2 boyutlu bir kanal içerisinde bloklarla pürüzlendirilmiş bir yüzey üzerinden akış ve ısı transferi nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Analizler, nümerik optimizasyon teknolojisi ve ortalama Reynolds Navier Stokes (RANS) kullanılarak yapılmıştır.</p> <p>-$Re=1.26 \times 10^4$-3.72×10^4, blok yüksekliği 0.008 m, kanal yüksekliği 0.04 m, blok genişliğinin yüksekliğine oranı 1, bloklar arasındaki mesafe 0.0496 m alınarak analizler yapılmıştır.</p>	<p>-Akış dağılımının yaklaşık bir değer alınmasından dolayı, hesaplanan yeniden birleşme uzunluğu deneylerle ölçülenden daha kısadır.</p> <p>-İlk dizayn değerlerinde, giriş değeri ne olursa olsun 5. iterasyonda optimum değerler bulunurken, ikincisinde dizayn değişkenleri karışıktır ve iterasyon sayısı dizayn değişkenlerinin ilk değerlerine bağlıdır.</p> <p>-Dizayn değişkenlerinin optimum değerleri Reynolds sayısından çok az etkilenir.</p>

<p>Meinders ve Hanjalic (2002)</p>	<p>-Tam gelişmiş türbülanslı kanal akışında, duvara monte edilmiş iki küpün pozisyonunun taşınımıyla ısı transferine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.</p> <p>-Küpün yüksekliğiyle tanımlanan $Re=3900$, küp yüksekliği 15 mm, kanal yüksekliği 51 mm olarak sabitken, çapraz akış doğrultusundaki bloklar arasındaki mesafe S_z ve akış doğrultusundaki mesafe S_x değişkendir.</p> <p>-Hız ölçümleri için LDA, küpün sıcaklık dağılımı için kızılötesi termografi ve akış görüntüleri için yağ-film teknolojisi kullanılmıştır.</p>	<p>-Düz düzenlemeler simetrik akış örneği ve ısı transfer dağılımı gösterirken, çapraz düzenlemelerde farklı asimetric örnekler elde edilir.</p> <p>-Akışta yeniden birleşme olması ısı transferinde azalmaya neden olur.</p> <p>-Hem düz hem de çapraz düzenlenmiş küpler üzerinden akışta küpler arasındaki mesafe akış ve ısı transferini etkiler.</p> <p>-Kanal boyunca olan akış küpten olan taşınımıyla ısı transferinin tamamında etkilidir.</p>
<p>Nozawa ve Tamura (2002)</p>	<p>-Düz yüzey ve bloklarla elde edilmiş pürüzlü iki yüzey etrafındaki türbülanslı hava akışı Large Eddy Simülasyonu (LES) ile incelenmiştir.</p> <p>-Blok yüksekliği h olmak üzere; blok boyutları $2h \times 2h \times h$ olan 28 tane blok kullanılmıştır.</p> <p>-Serbest akış hızı ve momentum kalınlığı ile elde edilen Reynolds sayısı düz yüzey için 7×10^3, 1. pürüzlü yüzey (Pürüz A) için 3×10^4 ve 2. pürüzlü yüzey (Pürüz B) için 4.2×10^4 olarak alınmıştır.</p>	<p>-Türbülans yoğunluğu düz yüzeyde %8, pürüz A'da %14 ve pürüz B'de %28'dir.</p> <p>-Bloklar üzerinde oluşan ayrılma kabarcıklarının büyüklüğü, bloğun etrafındaki akışın türbülans yoğunluğuna bağlıdır.</p> <p>-Elde edilen basınç katsayılarının maksimum değerleri tahmin edilenden daha düşüktür. Bunun nedeni, düşük süre, küçük türbülans skalası veya nümerik sebepler olabilir.</p>

<p>Furukawa ve Yang (2003)</p>	<p>-Bir kanal içerisinde 10 tane ısı üreten blok yerleştirilerek akış ve ısı transferi nümerik olarak incelenmiştir. Akış, 2 boyutlu, sürekli, laminar, gelişmekte olan akıştır.</p> <p>-Re=100-1000, blok genişliğinin yüksekliğine oranı 2.5-5, blok yüksekliğinin kanal yüksekliğine oranı 0.2-0.4, bloklar arasındaki mesafenin blok genişliğine oranı 1 alınarak hesaplamalar yapılmıştır.</p>	<p>-Düşük Reynolds sayılarında, gelişmekte olan akış, girişten itibaren belirli bir bloktan sonra tam gelişmiş akışa dönüşebilir. Reynolds sayısı arttıkça akış daha ileriki bloklarda tam gelişmiş olur.</p> <p>-Düşük Reynolds sayılarında, her boşluğun dibinde bir dolaşım akışı gelişirken, yüksek Reynolds sayılarında bu dolaşım boşluğun üst kısmında oluşur. Bu akış örnekleri, ısı transferinin ana mekanizmasını oluşturur.</p>
<p>Stalio ve Nobile (2003)</p>	<p>-Tam gelişmiş laminar, türbülanslı akış ve ısı transferi üçgen bloklu bir kanal içerisinde nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>- 4 farklı bloklu yüzey için incelemeler yapılmıştır. Blok sırt açısı 45^0 ve 60^0, boyutsuz blok genişliği s^+ 20 ve 40 olarak alınmıştır.</p> <p>-Pr=0.71 dir.</p>	<p>-s^+'nın 20'den küçük değerlerinde sürüklenme azalırken, s^+'nın 40'dan büyük değerlerinde sürüklenme artar.</p> <p>-Bloklu yüzeylerin ısı transfer verimliliği tüm şartlarda düz yüzeyinkinden daha azdır.</p> <p>-Blokların sürtünmeyi azaltmadığı laminar rejimdeki hesaplamalara göre; blokların ısı transferi üzerine etkisi çok azdır. En az etki en yüksek sırt açılı blokta elde edilmiştir.</p>

<p>Martinuzzi ve Havel (2004)</p>	<p>-Yüze monte edilmiş iki küp üzerinden akışta vorteks oluşumu deneysel olarak incelenmiştir.</p> <p>-Deneyle emme tipli rüzgar tüneliyle yapılırken, türbülans yoğunluğu ölçümleri kızgın tel, hız ölçümleri lazer Doppler anemometresi ve basınç ölçümleri pitot tüpüyle yapılmıştır.</p> <p>-Giriş hızı 8.8 m/s, maksimum türbülans yoğunluğu %1.5, küp genişliği ve yüksekliği (h) 0.04 m, kanal yüksekliği 0.24 m, $Re_h=2.2 \times 10^4$, küpler arasındaki mesafe 0.36-1.46 m ve iki küpün orta noktasındaki laminer sınır tabaka kalınlığı 0.07h değerindedir.</p>	<p>-2 boyutlu akış örneklerinde vorteks dağılımı, vortekslerin biçimi ve kayma tabakasının etkileşimiyle oluşurken, 3 boyutlularda, kayma tabakasının yanı ve küpün ön kısmının altı arasındaki etkileşimle oluşur.</p> <p>-Vorteks dağılımı bir küpün varlığıyla oluşturulduğu sürece, dağılımın frekansı küpler arasındaki mesafeyle lineer değişir. Küpler arasındaki mesafe çok arttırılırsa, düşey akış yok olur ve kilitli rejimden çıkılır. Düşey akış 3 boyutlu bir etkidir ve 2 boyutlu örneklerde düşey akış ve kilitli rejim oluşmaz.</p>
<p>Wahidi, Chakroun ve Al-Fahed (2005)</p>	<p>-Kare çukurlara sahip dört yüzey üzerinden türbülanslı sınır tabaka akışında, yüzey sürtünme katsayısı incelenmiştir.</p> <p>-Çukur genişliği 2.5-5 mm, çukurlar arası mesafenin çukur genişliğine oranı $s/w=10-40$ aralıklarında alınmıştır.</p> <p>-Deneyle rüzgar tüneli kullanılarak, hız ve türbülans yoğunluğu ölçümleri LDA ile yapılmıştır ve sürtünme katsayıları hız profillerinden hesaplanmıştır.</p>	<p>-Çalışılan tüm çukurlu yüzeylerde düz yüzeye göre sürtünme artmıştır.</p> <p>-Sürtünmedeki maksimum artış tek çukurlu yüzeyde %5.27 iken, üç çukurlu yüzeyde minimum artış %2.28'dir.</p> <p>-Sürtünme katsayısındaki en şiddetli düşüş ve yükselmesi $s/w=10$'da görülürken, en düşük değişim $s/w=20$'de elde edilmiştir.</p>

<p>Wen ve Jog (2005)</p>	<p>-Küresel cisimler üzerinde sürekli, laminer akış sonlu hacim yöntemi kullanılarak nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Cismin yüzey sıcaklıkları, etrafındaki alan sıcaklıkları ve termofiziksel özellik değişimi dikkate alınmıştır.</p> <p>-Yassı cisimler için eksen oranı 1-1.6 arasında iken, yayvan cisimler için bu oran 1-0.4 arasında alınmıştır.</p> <p>-Re=20, 50 ve 100 için çalışmalar yapılmıştır. Cismin yüzey sıcaklığı 2000 K ve 3000 K olarak alınmıştır.</p>	<p>-Cismin biçimi akış ve ısı transferi üzerinde etkilidir.</p> <p>-Sabit özellikli akışlarla karşılaştırıldığında, cisimli yüzeylerin etrafında daha yüksek hız ve sıcaklık gradyanları, daha küçük yeniden dolaşım vorteksi elde edilir.</p> <p>-Yassı bir cisimde, cismin arkasında yeniden dolaşım bölgesi oluşur ve bunun boyutu Re'nın artmasıyla artar.</p> <p>-Yayvan cisimlerde Re=20'de akış ayrılmaz ve dolaşım bölgesi yassı cisimlere göre daha küçüktür.</p>
<p>Bakkas, Amahmid ve Hasnaoui (2006)</p>	<p>-Dikdörtgen bloklara sahip iki boyutlu bir kanal içerisinde laminer, sürekli, sıkıştırılamaz bir akışta doğal taşınım nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-İncelemeler, h blok yüksekliği, s bloklar arasında mesafe ve H kanal yüksekliği olmak üzere, $1/8 \leq h/H \leq 1/2$, $1/4 \leq s/H \leq 3/4$ ve $10^2 \leq Ra \leq 2 \times 10^6$ aralığında yapılmıştır.</p> <p>-Korunum denklemleri sonlu farklar metoduyla, sonlu farklar eşitlikleri ise ADI metoduyla çözülmüştür.</p>	<p>-Tek alanda elde edilen çözümlerin çift alanda kararsızlık göstermesi, korunum denklemlerini de etkiler. Ancak çift alanda elde edilen çözümler tek alan için de uygundur.</p> <p>-Aynı korunum parametrelerinde, iki farklı çözümün kullanılması, Nusselt sayısında %34 farklılığa neden olur.</p> <p>- Dikdörtgen bloklara sahip iki boyutlu bir kanal içerisinde akışta, blok yükseklikleri ve bloklar arasındaki mesafenin akış ve sıcaklık alanları üzerine büyük etkisi vardır.</p>

<p>Chomdee ve Kiatsiriroat (2006)</p>	<p>-Karşı karşıya gelmeyecek şekilde sıralanmış, dikdörtgen, 1.8x5.4x0.6 mm boyutlarında, 2.5 W ısı üreten 15 adet elektronik modülün soğutulması için, modüllerin önüne 20⁰ açıyla yerleştirilmiş vorteks üreteçleri kullanılarak ısı transferinin artırılması deneysel olarak incelenmiştir.</p> <p>-Rüzgar tünelineki deneylerde, sıcaklıklar K-tipi termal çiftlerle, girişteki hız kızgın tel anemometresiyle ölçülmüştür.</p> <p>-Kanal yüksekliği (H) 0.024 m, $Re_{2H}=3400-6800$, modül yüksekliği (h) 0.006 m, vorteks üretecinin yüksekliği 2h ve genişliği 3.5h olarak alınmıştır.</p>	<p>-Vorteks üreteci kullanımı, ısı transfer katsayısını artırırken, modül sıcaklığını içeren ısı dalga fonksiyonunu azaltır ve Reynolds sayısı arttıkça basınç düşüşü de artar.</p> <p>-Vorteks üreteçli ve vorteks üreteçsiz modüllerin ısı dalga fonksiyonları ve ısı transfer verilerini tespit etmek için gelişmiş ısı transfer modelleri kullanılabilir ve bu modellerden elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlarla uyumludur.</p> <p>-Gelişmiş ısı transfer korelasyonlarıyla birlikte üst üste koyma metodu modül sıcaklıklarının tespitinde güvenle kullanılabilir.</p>
<p>Dogan, Sivrioglu, Baskaya (2006)</p>	<p>-Hem üst hem de alt yüzeylerinde ısı kaynakları dizisi bulunan yatay bir kanal içindeki akışta karışık taşınım ile ısı transferi deneysel olarak incelenmiştir.</p> <p>-Deneyler, $380 \leq Re_{dh} \leq 2446$, $2.8 \times 10^6 \leq Gr \leq 1.9 \times 10^9$ için ısı kaynağının uzunluğunun yüksekliğine oranı 2, 4 ve 10'de ve uzunluğu 1500 mm olan bir rüzgar tüneline yapılmıştır.</p> <p>-Akış debisi ölçümleri kızgın tel anemometresi ile sıcaklık ölçümleri ise termal çiftlerle yapılmıştır.</p>	<p>-Grashof sayısı arttıkça üst ve alt ısı kaynaklarının yüzey sıcaklıkları artar.</p> <p>-Grashof sayısının büyük değerlerinde üst ısıtıcının sıcaklığı çok yüksek değerlere çıkar.</p> <p>-Düşük Reynolds sayılarında ısı transfer artışının nedeni, yerçekiminin ikincil akışa etkisinin ve kararsızlığın artmasıdır.</p> <p>-Isı kaynağının uzunluğunun yüksekliğine oranı azaldıkça doğal taşınım önem kazanır.</p>

<p>İlday ve Atlı (2006)</p>	<p>-Bu çalışmada akış ayrılması ve geri basamak akışı deneysel olarak incelenmiştir. -Deneyle, basamak yüksekliği (h) 20 mm olmak üzere beş değişik basamak geometrisi üzerinde, 20 m/s hızda açık devreli bir rüzgar tüneline yapılmıştır. -Akışın hız ve türbülans değerleri kızgın tel anemometresi ile ölçülürken, yüzeydeki akış çizgilerini görebilmek için ise yüzey yağ-film tekniği kullanılmıştır.</p>	<p>-Akışa dik yöndeki yüzeyi çeyrek daire formunda bir eğime sahip olan basamak modeli diğer modellere göre daha kısa bir yeniden birleşme uzunluğuna sahiptir. -Maksimum türbülans değeri yaklaşık olarak 0.9 yeniden birleşme uzunluğunda bir tepe değere ulaşmakta ve daha sonra hızla düşmektedir. -Akışın yeniden birleşmesinden sonraki 20h mesafesinde dahi hız profilleri dengeli hale gelmemiştir.</p>
<p>Korichi ve Oufer (2006)</p>	<p>-Üst ve alt yüzeylerine ısıtılmış bloklar yerleştirilmiş bir kanal içerisinde laminer hava akışı sonlu hacim yöntemi kullanılarak nümerik olarak incelenmiştir. -h blok yüksekliği, s bloklar arasında mesafe, w blok genişliği ve H kanal yüksekliği olmak üzere $w/H=0.2$, $h/H=0.25$, $s/H=1.6$ değerlerinde, $Re=50, 500$ ve 1000 için akış örnekleri ve Nusselt sayısı incelenmiştir.</p>	<p>-Akış alanı içindeki daralma ve genişlemeler sürekli akıştan süresiz akışa geçişe neden olur ve süresiz durumdaki akışta periyodik salınımlar oluşur ve bu salınımlar Tollmien-Schlichting dalgalarına neden olur. Vortekslerle oluşturulan bu dalgalanmalar ısı transferini önemli derecede artırır. -Reynolds sayısı arttıkça ısı transferi artar.</p>

<p>Maheshwari, Chhabra ve Biswas (2006)</p>	<p>-Bir kanalın merkezine eşit aralıklarla yerleştirilmiş 3 adet küre ve tek bir küre üzerinden sıkıştırılmaz, sürekli bir akış için küre yüksekliğinin kanal yüksekliğine oranının (blokaj oranı) akış ve ısı transferi üzerine etkisi FLUENT ile nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Tek bir küre için blokaj oranı 2-10 ve küre çapıyla hesaplanan $Re_d=1-100$ arasında alınırken, 3 küre için küreler arasındaki mesafe $s=2$ ve 4 değerlerinde alınarak çözümler yapılmıştır.</p>	<p>-Blokaj oranı, ısı transferine oranla sürüklenmenin üzerinde daha etkilidir.</p> <p>-Akış hesaplamaları için gerekli alandan daha küçük bir alan kullanılarak güvenilir ısı transferi sonuçları elde edilebilir.</p> <p>-İlk küre ve ondan sonra gelen küreler arasındaki etkileşimden dolayı, küreler arasındaki mesafe sürüklenme katsayısını ve Nusselt sayısını etkiler.</p>
<p>Mohammed (2006)</p>	<p>-Aynı yüzey alanına sahip, 9, 16, 25 ve 36 adet alüminyum modülün kare dizilişleriyle oluşturulmuş dizilerin üzerinden akış deneysel olarak incelenmiştir.</p> <p>-Hız 3.24-6.84 m/s, kanal genişliği 0.1 m, kanal yüksekliği 0.02 ve 0.03 m için rüzgar tüneline deneyler yapılmıştır.</p> <p>-Sıcaklık ölçümleri termal çiftlerle yapılırken, hız ölçümleri bir debi ölçer ile yapılmıştır.</p>	<p>-Ortalama ısı taşınım katsayısı modül dizilerinin sıcaklığının artmasıyla çok az artarken, akış hızının artmasıyla önemli derecede artar.</p> <p>-Modülün yüksekliğinin kanal yüksekliğine oranı arttıkça ortalama ısı transfer katsayısı artar.</p> <p>-Reynolds sayısı ve modülün yüksekliğinin kanal yüksekliğine oranı arttıkça ortalama Nusselt sayısı artar.</p>

<p>Perng ve Wu (2007)</p>	<p>-Isıtılmış bloklara sahip bir kanal içerisinde türbülanslı akış alanı ve karışık taşınım ile ısı transferinin artırılması, Large Eddy simülasyonu ve Simple C metodu kullanılarak nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Hesaplamalar türbülator kullanılmadan ve ilk bloğun üzerine dikdörtgen bir türbülator yerleştirilerek yapılmıştır.</p> <p>-H kanal yüksekliği olmak üzere $Re_H=5000$, $Gr=0-5 \times 10^8$, kanal yüksekliğinin, kanal uzunluğunun ve blok yüksekliğinin blok genişliğine oranı sırasıyla 2.5, 25, 0.5, türbülator genişliğinin yüksekliğine oranı $B/h=0.25-1$ arasında alınarak hesaplamalar yapılmıştır.</p>	<p>-Blok üzerine dikdörtgen bir türbülator yerleştirilmesi ısı transferini önemli derecede artırır.</p> <p>-Hesaplanan Nusselt sayıları daha önce deneysel olarak yapılan çalışmalarınkiyle uyum içindedir.</p> <p>-$Gr/Re^2 < 0$'da, yerçekiminin türbülanslı akış ve ısı transferi üzerine etkileri ihmal edilebilir.</p> <p>-$Gr/Re^2 = 20$'de, blokların düşey yüzeyleri boyunca yerçekimi etkileri oluşur.</p> <p>-$Gr/Re^2 = 0$ ve $B/h = 0.25$ değerinde Nusselt sayısındaki maksimum artış (%60.1) elde edilir.</p>
<p>Ryu, Choi ve Patel (2007)</p>	<p>-3 ve 2 boyutlu kare, üçgen ve yarım daire bloklara sahip kanallardaki türbülanslı akışta ısı transferi incelenmiştir.</p> <p>-Navier Stokes denklemleri $k-\omega-t^2-\epsilon_t$ türbülans modeliyle birleştirilerek hız ve sıcaklık alanları analiz edilmiş ve bu denklemler sonlu hacim metoduyla çözülmüştür.</p> <p>-$Pr=0.71$, iki bloğun merkezi arasındaki mesafenin blok yüksekliğine oranı sırasıyla 7.5-30 ve 6-18, blok yüksekliğinin (h) ve uzunluğunun hidrolik çapa oranı ise sırasıyla 0.1 ve 0.3, $Re_h = 2.8 \times 10^4$ olarak alınmıştır.</p>	<p>-Hız profili logaritmiktir ve aralıklar merkezden ölçülürse pürüzsüz tabakanın ilerisindeki bölgede logaritmik sıcaklık profili oluşur.</p> <p>-Isı transfer pürüzlülük fonksiyonunun logaritması pürüzlülük Reynolds sayısının logaritmasıyla lineer değişir.</p> <p>2 ve 3 boyutlu blokların korelasyon eğrisi benzerdir.</p> <p>-Hem 2 hem de 3 boyutlu bloklar için maksimum ısı transferinin olduğu geometri, maksimum direnç katsayısının olduğu geometrilerdir.</p>

<p>Ryu, Choi ve Patel (2007)</p>	<p>-3 ve 2 boyutlu kare, üçgen, yarım daire ve dalgalı duvar şeklindeki bloklara sahip kanallar içindeki türbülanslı akış nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Navier Stokes denklemleri k-ε türbülans modeliyle birleştirilerek, denklemler sonlu hacim metoduyla çözülmüştür.</p> <p>-Pr=0.71, iki bloğun merkezi arasındaki mesafenin blok yüksekliğine oranı sırasıyla 7.5-30 ve 6-18, blok yüksekliğinin (h) ve uzunluğunun hidrolik çapa oranı da sırasıyla 0.1 ve 0.3 ve $Re_h=2.8 \times 10^4$ olarak alınmıştır.</p>	<p>-2 boyutlu bloklar içinde kare blok büyük direnci gösterirken, en düşük direnci dalgalı blok gösterir.</p> <p>-2 boyutlu bloklar üzerinde akışta, yüksekliği, kanal yüksekliğinin %20'sinden büyük olan bloklarda logaritmik hız profili oluşurken, 3 boyutlularda %5'ten küçük olursa oluşur.</p> <p>-2 boyutlu akışlarda pürüzlülük fonksiyonu, logaritmik pürüzlülük Reynolds sayısı ile lineer değişir</p> <p>-Hem 3 hem de 2 boyutlu akışlarda hız dağılımı logaritmik ise sıcaklık profili de logaritmiktir.</p>
<p>Ortiz, Guerrero, Arana ve Mendez (2008)</p>	<p>-Periyodik olarak yerleştirilmiş ısıtılmış bloklara ve akış yönünde eğri bir yönlendiriciye sahip bir kanalda, laminar akış ve ısı transferi nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Çalışmalar üç farklı yönlendirici büyüklüğünde, d_h hidrolik çap olmak üzere $Re_{dh}=490$ ve 1000 için yapılmıştır.</p>	<p>-Yönlendiricinin varlığı ısıtılmış bloklar arasındaki akışkanın dinamiğini artırarak ısı transferini artırır.</p> <p>-Yönlendiricinin varlığı basınç düşüşünü artırır.</p> <p>-Maksimum sıcaklık yönlendiricisiz kanalda oluşur.</p> <p>-Reynolds sayısı arttıkça sürtünme faktörü azalır.</p>

<p>Tsay ve Cheng (2008)</p>	<p>-Isı üreten bloklara sahip yüzeylerin bulunduğu laminer kanal akışında 2 boyutlu zorlanmış taşınım nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-Blok yüksekliği 0.05-0.15, bloklar arası mesafe 0.5-2.5 arasında, alt yüzeyin ısı iletkenliğinin akışkanınkine oranı 0-200, bloğun ısı iletkenliğinin akışkanınkine oranı 100-200 ve Reynolds sayısı 200-1000 arasında alınarak çözümler yapılmıştır.</p> <p>-Korunum denklemleri ve sınır şartları, SIMPLER algoritma kullanılarak çözülmüştür.</p>	<p>-Blok yüksekliği arttıkça ortalama Nusselt sayısı artar ve maksimum boyutsuz sıcaklık azalır.</p> <p>-Bloklar arasındaki mesafe ve Reynolds sayısı arttıkça maksimum boyutsuz sıcaklık azalır.</p> <p>-Boşluklarda ve son bloğun arkasında oluşan yeniden dolaşım hücreleri blokların arka yüzeylerine çok yakın olduğundan, arkadaki Nusselt sayıları ön yüzeylerinkinden daha küçük olur.</p> <p>-Blok yüksekliği ve bloklar arası mesafe sabit olmak üzere Reynolds sayısı azaldıkça, yeniden dolaşım bölgesi küçülür.</p>
<p>Yang ve Chen (2008)</p>	<p>-Isıtılmış bloklara ve bu blokların önünde salınan bir silindire sahip bir kanal içinde akışın ısı ve akış karakteristikleri nümerik olarak incelenmiştir.</p> <p>-$Re=800-8000$, boyutsuz salınım frekansı 0.1-0.4, boyutsuz salınım uzunluğu 0.05-0.4 aralığında alınarak incelemeler yapılmıştır.</p> <p>-Problemin analizinde ALE (Arbitrary Lagrangian-Eulerian) metodu kullanılmıştır.</p>	<p>-Salınan silindirin neden olduğu titreşim kanal içindeki akış ve ısı alanı rahatsız ederek ısı transferini artırır.</p> <p>-Isı transferi salınım frekansı ve salınım uzunluğundan çok fazla etkilenir.</p> <p>-Toplam ısı transferinin artması en çok girişteki akış oranının artmasına bağlıdır.</p> <p>-Boyutsuz salınım frekansı ve uzunluğunun optimum değerleri 0.21 ve 0.1 olarak bulunmuştur.</p>

1.4. Sonuç

Bu bölümde, düz ve bloklü yüzeyler üzerinde akışla ilgili detaylı bir kaynak araştırması yapılmıştır. Yapılan çalışmaların daha iyi anlaşılabilmesi için çalışmalardan elde edilen sonuçların yanında, kullanılan nümerik yöntemler, akış şartları, geometrik parametreler, deney düzenekleri ve deneylerde kullanılan ölçüm cihazları da incelenmiştir.

Bloklar üzerinde akış ile ilgili bu zamana kadar yapılan çalışmalar ağırlıklı olarak, çalışılacak yüzey geometrileri ve buna bağılı olarak akış ve ısı transfer yapısının karmaşıklığından dolayı, nümerik olmasına rağmen (Kim ve Anand 1994), nümerik sonuçların deneylerle desteklendiği çalışmaların (Chen ve Wang 1996) daha sağlıklı sonuçlar sağladığı görülmüştür. Literatürdeki çalışmalar düz yüzey ve bloklü yüzey üzerinde akış ve ısı transfer analizinde birçok parametrenin etkili olduğunu göstermiştir. Ancak yapılan çalışmaların büyük kısmında her yüzey ve her parametre ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu çalışmaların bir kısmında da düz ve bloklü yüzeyler üzerinde akışın karşılaştırması yapılmıştır (Cruchaga ve Celentano 2002).

Yapılan çalışmalarda, akış analizi veya ısı transfer analizinin ayrı ayrı ele alınması, üzerinde çalışılacak geometrilerin, akış ve ısı transferi üzerindeki bileşik etkilerinin karşılaştırılmasına olanak sağlamaz. Bu tez kapsamında ise düz ve bloklü yüzeyler üzerinde akış ve ısı transfer analizleri, akış şekli ve blok geometrisi etkisinde, eş zamanlı deneysel olarak yapılmıştır. Böylece hem blok yapıları üzerinde akışı incelemeye yönelik deneysel çalışmalardaki boşluğu kapatmak hem de hız ve ısı transfer karakteristiklerinin birlikte analizi hedeflenmektedir. Kızgın tel anemometresiyle hız ve türbülans yoğunluğu ölçümleri alınarak akış, termal çiftlerle sıcaklık ölçümleri yapılarak ise ısı transfer karakteristikleri tespit edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Giriş

Bu çalışmada düz ve bloklü yüzeyler üzerinde laminar, geçiş, türbülanslı akış için hem hız hem de ısı transferi analizi serbest akış hızı ve blok geometrisine bağılı olarak yapılmıştır. Bu nedenle analizler hem düz yüzey hem de tüm bloklü yüzeyler için 3, 5, 10, 15 m/s hız değerlerinde, her üç akış yapısını oluşturacak şekilde yapılmıştır. Bunun yanı sıra akışa dik yönde ve ardışık oluşturulmuş blokların yükseklikleri 10, 15 ve 20 mm olarak alınarak, Reynolds sayısının yanı sıra blok yüksekliğinin de akış ve ısı transferine olan etkisi incelenmiştir.

Akış içerisindeki momentum ve enerji transferi hakkında bilgi edinebilmek için, kütle korunumu, Newton'un ikinci kanunu ve termodinamiğin birinci kanununu kullanarak akış alanının analiz edilmesi gerekir. Bu nedenle, hız ve sıcaklık profilleri bu kanunlarla birlikte ele alınmalıdır. Bunun yanında, sınır tabaka yapısını tanımlamada, yer değiştirme kalınlığı, momentum kalınlığı ve biçim faktörü olarak bilinen sınır tabaka parametreleri ve bu parametrelerle birlikte geçiş faktörü ve ısı transfer katsayısı da kullanılmaktadır. Hız ve sıcaklık profillerinin bu parametrelerle beraber ele alınıp yorumlanırsa akış yapısı hakkında daha doğru sonuçlar elde edilir. Akış ve ısı transferi analizi için, akışın ayrıldığı ve yeniden birleştiği bloklü yüzeylerin geometrilerinin de en genel şekilde tanımlanması gereklidir. Ayrıca deneysel çalışmalar yaklaşık yöntemlerle desteklenerek sonuçların daha iyi yorumlanması sağlanır.

Bu bölümde, ayrılan ve yeniden birleşen akışlar ile bu akışların oluşturduğu bloklü yüzeyler üzerinde akışlarla ilgili temel bilgiler verilmiştir. Ayrıca çalışmanın temelini oluşturan korunum denklemleri, sınır tabaka parametreleri ile deneysel sonuçların elde edilmesi için kullanılan deneysel yöntemler ve deneylerin yapıldığı deney düzenekleri ile kullanılan ölçüm cihazlarıyla birlikte ölçüm metotları da anlatılarak belirsizlik analizi yapılmıştır.

2.2. Ayrılmış Akışlar ve Blok Geometrileri

Viskoz bir akışkan, hareketi sırasında büyük ölçüde katı yüzeylerle temas halindedir. Bu katı yüzeylerin üzerinde, yüzeye bitişik ince bir bölge içinde viskoz

kuvvetlerin oluştuğu laminer ya da türbülanslı bir sınır tabaka gelişir. Sınır tabaka dışında kalan bölgede ise akış sürtünmesiz, ideal akıştır. Sınır tabaka içindeki akışkan parçacıklarının, yüzey boyunca akışlarını srdremeyip yüzeyden sapmalarına sınır tabaka ayrılması denir. Akış boyunca negatif basınç gradyanının meydana geldiği bölgelerde enerji kaybı nedeniyle akış yüzeyden ayrılmaktadır. Ayrılma noktasından itibaren artan basınç, net basınç kuvvetinin sınır tabaka içinde akışa karşı etki etmesi cidara yakın kısımlarda kinetik enerjinin azalmasına ve geriye doğru ters akışın ortaya çıkmasına neden olur. Ayrılma noktasında hız gradyanı ve dolayısıyla yüzeydeki kayma gerilmesi sıfırdır. Laminer ve türbülanslı akışta aynı nedenlerle ortaya çıkan bu ters akış, sürüklenme katsayısının ve sürüklenme kuvvetinin de artmasına neden olur.

Katı yüzey sıcaklığı ile akışkanın sıcaklığı farklı olduğunda yüzeyle bitişik ısıl sınır tabaka meydana gelir. Sınır tabakanın ayrılması hız alanını değiştirdiğinden, ısıl sınır tabaka içindeki sıcaklık alanını ve dolayısıyla yüzey ısı akısını da etkiler. Ayrılma çizgisinin altında oluşan düzensiz büyük ediler ısı enerjisinin artmasına neden olur.

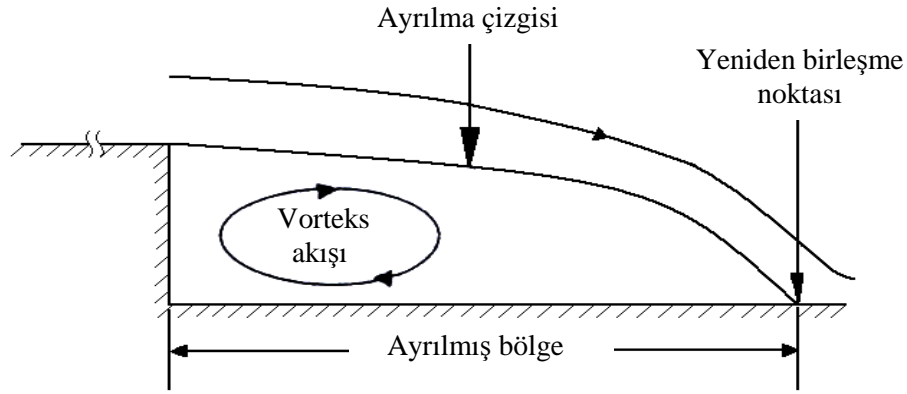
Ardışık bloklar üzerinden akıştaki akış alanı, vortekslerden kaynaklanan l bölgeler ve akış ayrılmasından dolayı çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Blokların varlığından dolayı akış çizgileri bozulur, akış yüzeyden ayrılır ve tekrar birleşir. Yeniden birleşmeyle birlikte ayrılmış akışın varlığı sürekli rejimden sapmaya, basınç salınımlarına, titreşim ve gürültüye sebep olurken aynı zamanda akışkanın karışmasını sağlayarak ısı ve kütle transferini arttırdıkları için tercih edilirler. Yapay olarak bloklarla oluşturulan bu yüzey pürüzlülüğü, akışın rahatsız edilmesiyle türbülans karışımını arttırarak, ısıl sınır tabakayı kırarak ve ısı transfer yüzey alanını arttırarak ısı transferini arttırır. Bu durum dirençteki istenmeyen artışı da beraberinde getirir. Isı transferindeki artış, basınç düşümündeki artışla birlikte olur ki ısı transfer artışından kaynaklanan enerji kazancını, bu basınç düşümündeki artış yok edebilir. Bu nedenle bloklarla pürüzlendirilmiş yüzeyin şekli ısıl performans analizi yapılarak optimize edilmelidir.

Geri basamak, ileri basamak ve boşluk akışları ayrılan ve yeniden birleşen akışların olduğu en basit kayma akışlarıdır. Bu basit iki boyutlu geometriler üzerinde akışlar ayrı ayrı incelenebilecekleri gibi tek bloklu ve ardışık bloklu yüzeylerle bu geometrilerin oluşturduğu akışların hepsi oluşturularak incelenebilir. Bu tez

çalışmasında deneyler ardışık bloklu yüzeyler üzerinden yürütülerek, ayrılmış akışlar ile bu akışlara örnek olan geri basamak, ileri basamak, boşluk, tek blok ve ardışık blokların geometrileri ve bu geometriler üzerinde oluşan akış bölgeleri hakkında ayrı ayrı bilgi verilmiştir.

2.2.1. Geri Basamak Akışı

İki boyutlu geri basamak akışı, ayrılma noktasının basamak köşesinde ve ayrılma çizgilerinin düzgün olduğu, en basit yeniden birleşen kayma akışıdır. Bir geri basamak üzerinde akışın analizinde, sınır tabaka basamak kenarında yüzeyden koparak basamağın arkasındaki alt yüzeye birleşir. Ayrılmış akış çizgisiyle basamak yüzeyi arasında Şekil 2.1’de görüldüğü gibi döngülü bir akış (vorteks akışı) oluşur.



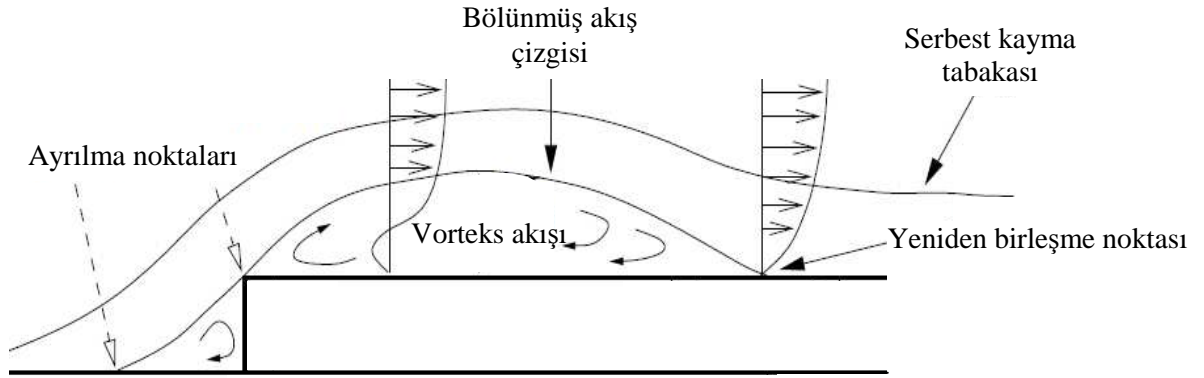
Şekil 2.1. Geri basamak akışında akış bölgeleri (Aung 1983).

Basamaktan sonraki ani düşüşte, basıncın bağıl olarak düşük değerler alması, hızın normal bileşenini düşürür. Bunun anlamı akış çizgilerinin duvara doğru hareket ettiğidir. Bu etki basamağın üstüne yayılır ve akış çizgilerinin eğriliği basamağın üstünü kaplar. Basamağın üstündeki akış çizgisi eğrisi belli belirsizdir ve akış çizgisi eğriliğinin etkisi basamak üstündeki akış çizgilerini duvara paralel hale getirir. Bu akış çizgileri yeniden birleşme için duvara temas etmeden önceye kadar basamak üstünde aynı yönde devam eder. Basamak üstündeki bu eğrilik etkisi ısı transferini artırır. Sınır tabakayla kontrol edilen yeniden gelişen bölge bir yeniden birleşme noktasıyla sınırlandırılır. Maksimum ısı transferi yeniden birleşme noktası civarında olduğundan dolayı yeniden birleşme uzunluğunun kontrol edilmesi gerekir. Yeniden birleşmeden

sonraki yeniden gelişim alanında hız dağılımı yavaş yavaş dengeli sınır tabakaya dönüşür.

2.2.2. İleri Basamak Akışı

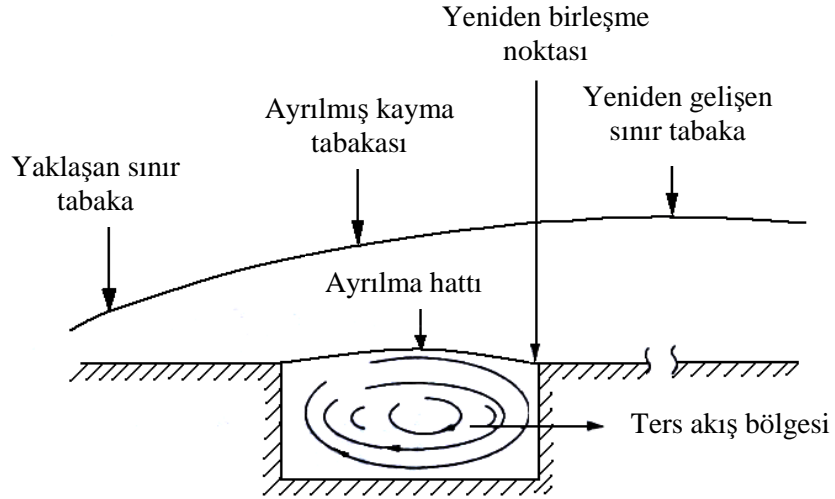
İleri basamak akışında, Şekil 2.2’de görüldüğü gibi serbest kayma tabakası içinde, basamak üzerinde ve basamak ön yüzünde, yeniden birleşmede etkili olan ve akışa ters yönde hareket eden vorteksler oluşur. Serbest kayma tabakası, düşük hızlı akışkanla örtülen yeniden dolaşım kabarcığından bölünmüş akış çizgisiyle ayrılır. Bölünmüş akış çizgisinin altında ise bir yeniden birleşme bölgesi oluşur.



Şekil 2.2. İleri basamak akışında akış bölgeleri (Sherry 2009).

2.2.3. Boşluk (Çukur) Akışı

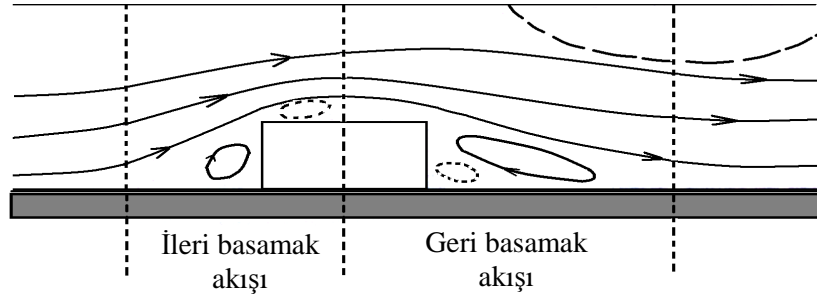
Dikdörtgen şeklindeki bir boşluk üzerinden akışta sınır tabaka, Şekil 2.3’de gösterildiği gibi, boşluğun dikdörtgen profiline doğru yaklaşırken bir ayrılmış kayma tabakası boşluğun açık yüzüne doğru oluşur ve akış yönündeki karşı duvarda yeniden birleşir. Kayma tabakasındaki bazı akışkanlar boşluk içinde ters akışa girer. Kayma tabakası dışındaki akışkan akış yönünde ilerlerken, bölünmüş akış çizgisi, ters akışları ayırır. Yeniden birleşmeden sonra sınır tabaka yeniden gelişmeye başlar. Kayma tabakasının durgun akışkanın veya izotermal alanın üstünü örttüğü varsayıldığından boşluktan olan ısı transferi tamamen kayma tabakasıyla yönetilir. Ayrılmış akış çizgisiyle boşluk arasında geri basamak akışındakine benzer döngülü bir akış oluşur.



Şekil 2.3. Boşluk akışında akış bölgeleri (Aung 1983).

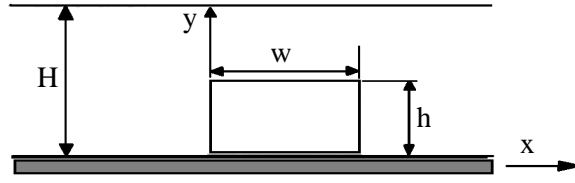
2.2.4. Tek Blok Üzerinde Akış

Tek bir blok üzerinde akış analizinde akış, Şekil 2.4’de görüldüğü gibi, ileri ve geri basamak olmak üzere iki kısma ayrılır. Bloğun ön kısmında ileri basamak akışı, arka kısmında ise geri basamak akışı elde edilir.



Şekil 2.4. Tek bir blok üzerinde akışta akış bölgeleri.

Akış hızı ve geometriye bağlı olarak oluşan ve ikincil çevrim bölgeleri olarak adlandırılan ayrılmış akış bölgeleri Şekil 2.4’de kesik çizgilerle gösterilmiştir. Yüzeyle oluşturulmuş blok üzerinden akışta hız ve ısı transferi analizinde kullanılan geometri, en genel şekilde, Şekil 2.5’de gösterilmiştir.

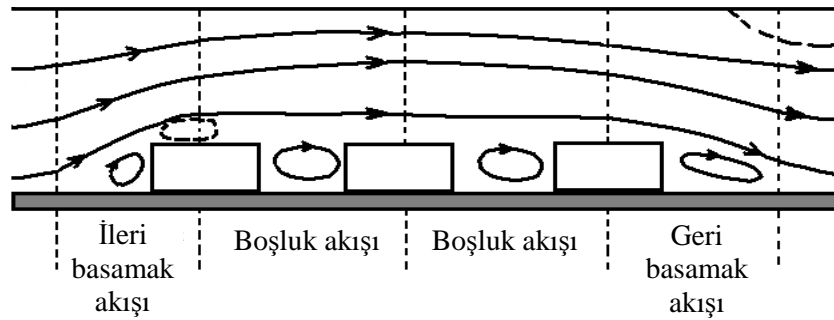


Şekil 2.5. Tek bloklı yüzey geometrisi.

Tek bloklı yüzey üzerinde akışta, L kanal genişliği olmak üzere, akışı etkileyen geometrik faktörler; $\frac{h}{H}$ blokaj oranı, $\frac{w}{h}$ blok görünüş oranı, $\frac{H}{H-h}$ kanal genişleme oranı veya basamak oranı ve $\frac{L}{h}$ kanal görünüş oranı olarak tanımlanır. Tropea ve Gackstatter (1985) tarafından görünüş oranına göre üç çeşit akış tanımlanmıştır. Buna göre, $\frac{w}{h} \rightarrow \infty$ olursa bir geri basamak akışının takip ettiği ileri basamak akışı elde ederiz ve bu iki akış tipi arasında bir etkileşim söz konusu değildir. $0 < \frac{w}{h} < \infty$ ise iki akış arasında etkileşim artar ve blok üzerinden akış elde edilir ve $\frac{w}{h} \rightarrow 0$ olduğunda, bu etkileşimin maksimum olduğu çit üzerinden akış elde edilir.

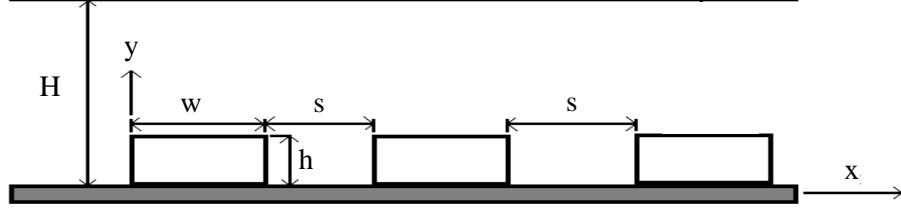
2.2.5. Bloklar Üzerinde Akış

Ardışık bloklar üzerinde akış analizinde akış, Şekil 2.6'da gösterildiği gibi, ileri basamak akışı, boşluk akışı ve geri basamak akışı olmak üzere üç akış bölgesine ayrılabilir. Bloklar tam gelişmiş akış bölgesinde olabileceği gibi gelişmekte olan akış bölgesinde de olabilir. Her iki durum için de aynı akış bölgeleri oluşur.



Şekil 2.6. Bloklar üzerinde akışta akış bölgeleri.

Şekil 2.6'da kesik çizgiyle gösterilen ayrılmış akış bölgeleri, ikincil çevrim bölgeleri olarak adlandırılır ve akış hızı ve geometriye bağlı olarak oluşur. Ardışık olarak oluşturulmuş birden fazla blok üzerinde akışta akış ve ısı transferi analizinde kullanılan geometri ise Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Ardışık bloklulu yüzey geometrisi.

Çok bloklulu yüzeylerde tek bloktaki geometriye ek olarak bloklar arası mesafenin de belirtilmesi gerekmektedir. Bu geometriler üzerinden akışta, akışı etkileyen geometrik faktörlere blok sıklığı ($\frac{s}{w}$) denilen yeni bir ifade eklenir.

2.3. Korunum Denklemleri

Düz ve bloklulu yüzeyler üzerinde akışta, akış ve ısı transfer analizinin birlikte yapılması deneysel çalışmaların daha sağlıklı sonuçlar vermesini sağlar. Bu nedenle akış içerisindeki momentum ve enerji transferinin temelini oluşturan korunum denklemleri bu bölümde ele alınmaktadır. Akış ve ısı transferi analizinde kullanılan korunum denklemleri, akışın sıkıştırılabilirliğine, özelliklerinin değişkenliğine ve viskozitesinin yapısına bağlı olarak ele alınmalıdır. Bu çalışmada kullanılan hava sıkıştırılmaz, Newtonian karakterde ve özellikleri sabittir. Kartezyen koordinat sisteminde sürekli, sıkıştırılmaz, üç boyutlu, laminar akış için süreklilik, her üç yöndeki momentum ve enerji denklemleri sırasıyla Eşitlik 2.1, 2.2 ve 2.3'de verilmiştir.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.1)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2.2.a)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (2.2.b)$$

$$\rho \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (2.2.c)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{k}{\rho C_p} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \mu \Phi \quad (2.3)$$

$$\Phi = 2 \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right\} + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 - \frac{2}{3} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \quad (2.4)$$

Eşitlik 2.4'de verilen yayılım denklemi, viskoz kuvvetlerin akışkan parçacıkları üzerinde yaptığı geri dönüşümü olmayan enerji miktarını tanımlamaktadır. Eşitlik 2.2 ve Eşitlik 2.3'de verilen momentum ve enerji denklemleri, akış yapılarının karmaşıklığından dolayı çoğu zaman analitik çözüme olanak sağlamaz. Bu nedenle Schlichting (1979) tarafından bildirilen integral metodunun yaklaşık çözüm yöntemleri kullanılır. İki boyutlu, sıkıştırılmaz, sürekli akışlar için momentum ve enerji integral denklemleri sırasıyla Eşitlik 2.5 ve 2.6'da verilmiştir.

$$\frac{d\theta}{dx} + \frac{\theta}{U_\infty} \frac{dU_\infty}{dx} (H+2) = \frac{C_f}{2} \quad (2.5)$$

$$\frac{d}{dx} \int_0^{\delta_T} (T_\infty - T) u dy = \frac{k}{\rho C_p} \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=0} \quad (2.6)$$

Türbülanslı akışlarda hız, sıcaklık ve basınçta, zamanın ve yerin fonksiyonu olarak değişen dalgalanmalar meydana gelmektedir. Bu düzensiz değişimleri tanımlayan terimlerin laminar akış için yukarıda verilen süreklilik, momentum ve enerji denklemlerine eklenmesiyle türbülanslı akış için korunum denklemleri elde edilir.

Türbülanslı akış için süreklilik denklemi, \bar{u} , \bar{v} ve \bar{w} ile gösterilen ortalama hız değerleri ile Eşitlik 2.7 ile ifade edilmektedir. Bu yönlerdeki ortalama türbülans yoğunlukları ise \bar{u}' , \bar{v}' ve \bar{w}' ile belirtilmiştir.

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (2.7)$$

Türbülanslı akıştaki korunum denklemleri, laminar akıştaki momentum denklemlerine ortalama Reynolds kayma gerilmelerinin bulunduğu Eşitlik 2.8(a-c) ve enerji denkleminde ortalama türbülanslı ısı akısı ($\overline{u'T'}$) ifadelerinin bulunduğu Eşitlik 2.9'un eklenmesiyle elde edilirler.

$$F_x = -\rho \left[\frac{\partial \overline{u'^2}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial z} \right] \quad (2.8.a)$$

$$F_y = -\rho \left[\frac{\partial \overline{u'v'}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{v'^2}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial z} \right] \quad (2.8.b)$$

$$F_z = -\rho \left[\frac{\partial \overline{u'w'}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{v'w'}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{w'^2}}{\partial z} \right] \quad (2.8.c)$$

$$F = - \left[\frac{\partial (\overline{u'T'})}{\partial x} + \frac{\partial (\overline{v'T'})}{\partial y} + \frac{\partial (\overline{w'T'})}{\partial z} \right] \quad (2.9)$$

2.4. Sınır Tabaka Parametreleri

Akış içerisindeki momentum ve enerji transferinin temelini oluşturan korunum denklemleri Bölüm 2.3'de verilirken, sınır tabakanın daha iyi tanımlanabilmesi için gerekli olan sınır tabaka parametreleri bu bölümde anlatılmıştır.

Düz yüzey üzerinde akışın iki bölgeye ayrıldığı ve cidara yakın bölgelerde viskoz kuvvetlerin daha baskın olduğunu açıklayan sınır tabaka teorisi Prandtl

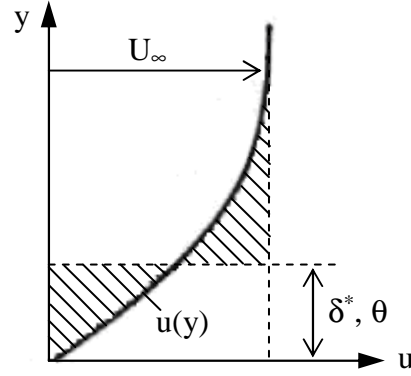
tarafından geliştirilmiştir. Yüzeğe yakın, yüksek hız gradyanlı, sürtünme kuvvetlerinin hakim olduğu bölgeler sınır tabaka olarak adlandırılırken bunun dışındaki düşük hız gradyanlı, sürtünme kuvvetlerinin etkili olmadığı bölgeler potansiyel akış ya da ideal akış olarak adlandırılır. Sınır tabaka içinde hız ve sıcaklıkta değişim gözlenirken bu tabaka dışındaki akış alanında hız ve sıcaklıkta değişim yoktur. Sınır tabakanın tanımlanmasında sınır tabaka parametreleri olarak adlandırılan sınır tabaka kalınlığı (δ), yer değiştirme (δ^*) ve momentum (θ) kalınlıkları kullanılmaktadır. Sınır tabaka kalınlığı, bu tabaka içindeki hızın, potansiyel akış bölgesindeki hızın %99'una ulaştığı yerin cidara olan mesafesi olarak tanımlanır. Akış ile yüzey arasındaki viskoz kuvvetlerden dolayı oluşan debi kaybı yer değiştirme kalınlığı ile ifade edilirken, aynı sebepten dolayı momentumda oluşan kayıp momentum kalınlığı ile ifade edilmektedir.

Hem yer değiştirme hem de momentum kalınlığı, Şekil 2.8'de gösterildiği gibi, katı sınırın hayali olarak bu kalınlıklar kadar yukarı kaydırılması ve üzerinde viskozitesiz ideal bir akış oluşturulmasıyla elde edilmektedir. Yer değiştirme kalınlığı ve momentum kalınlığını veren ifadeler sırasıyla Eşitlik 2.10 ve Eşitlik 2.11'de verilmiştir. Yer değiştirme kalınlığının momentum kalınlığına oranını veren biçim faktörü Eşitlik 2.12'de verilmiştir. Biçim faktörü sınır tabaka içinde oluşan hız profilinin şekli ve sınır tabakanın yapısı (laminer, geçiş veya türbülanslı) hakkında bilgi verir. Laminer akışta, sıfır basınç gradyanında biçim faktörü 2.6'nın üzerinde iken türbülanslı akışta 1.3'ün altında olur.

$$\delta^* = \int_0^{\delta} \left(1 - \frac{u}{U_{\infty}}\right) dy \quad (2.10)$$

$$\theta = \int_0^{\delta} \frac{u}{U_{\infty}} \left(1 - \frac{u}{U_{\infty}}\right) dy \quad (2.11)$$

$$H = \frac{\delta^*}{\theta} \quad (2.12)$$



Şekil 2.8. Yer değiştirme ve momentum kalınlıkları (Schlichting 1979).

Sınır tabaka yapısının belirlenmesinde Eşitlik 2.13’de verilen ve 0-1 aralığında değerler alabilen geçiş faktörü (γ) de kullanılabilir.

$$\gamma = \frac{H_L - H}{H_T} \quad (2.13)$$

$H_L=2.6$ ve $H_T=1.3$ olmak üzere, akış, γ sifıra yakın ise laminar, bire yakın ise türbölanslı karakter göstermektedir.

2.5. Deneysel Yöntem

Düz ve bloklı yüzeyler üzerinden akış ve ısı transfer analizinin beraber yapılması daha güvenilir deneysel sonuçların elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu amaçla yüzeyler üzerindeki akış alanında hız ve basınç ölçümlerinin yanı sıra sıcaklık ölçümleri de yapılmıştır. Yapılan bu ölçümlerin doğruluğunu tespit etmek için, literatürde yapılan çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılma yapılmalıdır. Bu bölümde akış alanında yapılan ölçümlerden elde edilen hız, basınç ve sıcaklık değerleri kullanarak elde edilen hız profilleri, sınır tabaka parametreleri, türbölans yoğunlukları ve boyutsuz sayıların nasıl hesaplanacağı anlatılarak karşılaştırma yapılan yaklaşık yöntemlerle ilgili bilgiler de verilmiştir.

Düz yüzey için yapılan hız ölçümlerinden elde edilen sınır tabaka kalınlığı ve hız profilleri kullanılarak Bölüm 2.4’de tanımlanan sınır tabaka parametreleri ve geçiş faktörü hesaplanarak, hız profiline şekli ve sınır tabakanın yapısı belirlenmiştir. Hız profillerinin bu parametrelerle beraber ele alınıp yorumlanması akış yapısını belirlemede daha sağlıklı yorumlar ve sonuçlara neden olmaktadır. Yer değiştirme

kalınlığı ve momentum kalınlığının hesaplanmasında kullanılan Eşitlik 2.10 ve 2.11, yamuk kuralı, Simpson 1/3 kuralı ve Simpson 3/8 kuralı olmak üzere üç integrasyon formülü kullanılarak çözülmüştür. Bu formüller sırasıyla Eşitlik 2.14, 2.15 ve 2.16' da verilmiştir.

$$A = \frac{h}{2}(y_0 + 2y_1 + 2y_2 + \dots + 2y_{n-1} + y_n) \quad (2.14)$$

$$A = \frac{h}{3}(y_0 + 4y_1 + 2y_2 + \dots + 4y_{n-1} + y_n) \quad (2.15)$$

$$A = \frac{3h}{8}(y_0 + 3y_1 + 3y_2 + 2y_3 + 3y_4 \dots + 3y_{n-1} + y_n) \quad (2.16)$$

Ayrıca ölçülen hız profilleri iki boyutlu, sıfır basınç gradyanlı, sürekli, laminar bir akış için Blasius yaklaşımıyla elde edilerek Eşitlik 2.17'de verilen hız profiliyle karşılaştırılırken türbülanslı akış için Eşitlik 2.18'de verilen güç kanunuyla elde edilen hız profiliyle karşılaştırılmıştır.

$$\frac{u}{U} = \frac{3}{2} \left(\frac{y}{\delta} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{y}{\delta} \right)^3 \quad (2.17)$$

$$\frac{u}{U} = \left(\frac{y}{\delta} \right)^{1/7} \quad (2.18)$$

Düz yüzey üzerinde akışta, akış yönündeki x mesafesiyle hesaplanan Reynolds sayısının (Re_x), tüm hızlar için hesap edilmesi gerekmektedir. Re_x 'nin hesaplanmasında, ölçüm noktalarının test bölümüne girişten olan uzaklıkları ve test bölümüne gelmeden önce akışın ilerlediği mesafe olan ısıtılmamış izafi başlangıç mesafesinin (x_l) birarada kullanılması gerekir. Isıtılmamış izafi başlangıç mesafeleri, çalışılan tüm hızlar için, ilk ölçüm noktasındaki ($x=30$ mm) momentum kalınlığı (θ) kullanılarak Blasius denkleminde elde edilen Eşitlik 2.19 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$x_l = \frac{U}{0.44V} \theta^2_{30mm} - 0.030 \quad (2.19)$$

Düz yüzey üzerinde akışta, akış yapısını tanımlamada Re_x 'nin yanı sıra momentum kalınlığı ile hesaplanan ve Eşitlik 2.20' de verilen Reynolds sayısı (Re_θ) da kullanılmıştır.

$$Re_\theta = \frac{U\theta}{\nu} \quad (2.20)$$

Bu tez çalışmasının düz yüzey üzerinde yapılan bölümünde, çalışılan hızlarda deneysel olarak elde edilen hız profillerinden sınır tabaka parametreleri, Re_θ ve geçiş faktörü hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırılarak akış yapısının laminer, geçiş veya türbülanslı karakter gösterip göstermediği tespit edilmiştir.

Bloklı yüzeyler üzerinden akışta yine hız ölçümlerinden hız profilleri ve sınır tabaka kalınlıkları elde edilmiştir. Bu yüzeyler üzerinden akışta Reynolds sayısı blok yüksekliğiyle elde edilen ve Eşitlik 2.21'de verilen Reynolds sayısı ile ifade edilirken, statik basınç değişimleri Eşitlik 2.22'de verilen basınç katsayısıyla ifade edilmiştir.

$$Re_h = \frac{Uh}{\nu} \quad (2.21)$$

$$C_p = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2}\rho U^2} \quad (2.22)$$

Hem düz yüzey hem de bloklı yüzeyler için türbülans yoğunlukları Eşitlik 2.23 ile hesaplanmıştır.

$$Tu = 100 \frac{u_{rms}}{U} \quad (2.23)$$

Düz ve bloklı yüzeyler üzerinden akışta ısı transfer analizinde, yüzeyler ile akışkan arasında taşınım ile meydana gelen ısı transferinin incelenmesinde Eşitlik 2.24'de verilen Newton'un Soğuma Kanunu kullanılmaktadır. Bu eşitlikten de anlaşılacağı gibi, ısı taşınım katsayısının elde edilebilmesi için hem yüzey ve akış sıcaklıklarının ölçülmesi hem de ısı akısının saptanması gerekmektedir.

$$h = \frac{q''}{(T_w - T_\infty)} \quad (2.24)$$

Yüzey ile akış arasındaki ısı akısı bir AC güç üreticisi vasıtasıyla ısıtılan bir kompozit ısıtıcı ile kontrol edildiği için, sisteme iletilen toplam ısı miktarı Eşitlik 2.25 ile hesaplanabilir.

$$Q = VI \quad (2.25)$$

Akış sırasındaki net ısı akısı ise Eşitlik 2.26 ile hesaplanmıştır. Bu eşitliğe göre net ısı akısı, akış sırasında transfer edilen ısı ile akış yokken yüzey üzerinde her ölçüm noktasında akış sırasındaki aynı sıcaklıkları elde etmek için gerekli ısı transferi arasındaki farkın alana oranıdır.

$$q'' = \frac{(Q_F - Q_0)}{A} \quad (2.26)$$

Akış alanı içinde transfer edilen momentum ile transfer edilen ısı değerleri arasındaki bağıntıyı tanımlamak için, bir boyutsuz sayı olan, Stanton sayısı kullanılmıştır. Eşitlik 2.27 ile hesaplanan bu sayı, sıcaklık alanının boyutsuz özelliğini, hız alanının boyutsuz özelliği ile ilişkilendirir ve deneylerden elde edilir.

$$St = \frac{h}{\rho U_\infty C_p} = \frac{Nu}{RePr} \quad (2.27)$$

Laminer akışta Stanton sayısının değişimi için, Pohlhausen tarafından hız ve sıcaklık profillerinin analitik çözümüyle yapılan çalışma sonucunda elde edilen Eşitlik 2.28 kullanılmıştır. Türbülanslı akış için ise Kays (1980) tarafından yaklaşık yöntemle elde edilen ve Eşitlik 2.29'da verilen denklem kullanılmaktadır. Her iki denklemde de x izafi başlangıç uzunluğu iken, x_1 ısıtılmamış başlangıç uzunluğudur.

$$St = 0.453 Re_x^{-0.5} Pr^{-2/3} \left[1 - \left(\frac{x_1}{x} \right)^{0.75} \right]^{-1/3} \quad (2.28)$$

$$St = 0.03 Re_x^{-0.2} Pr^{-0.4} \left[1 - \left(\frac{x_1}{x} \right)^{0.9} \right]^{-1/9} \quad (2.29)$$

Tüm yüzeyler için elde edilen deneysel Stanton sayıları, laminar akış için analitik ve türbülanslı akış için yaklaşık yöntemlerle elde edilen Eşitlik 2.28 ve 2.29 ile karşılaştırılmıştır.

2.6. Deney Düzenegi

Bu tez kapsamında, hem düz hem de bloklu yüzeyler üzerinde akışta, hız ve ısı transferi analizini blok yüksekliklerine ve akış hızına bağlı olarak, laminar, geçiş ve türbülanslı akış şartlarında gerçekleştirecek düzenekler yapılmıştır. Araştırmalar, Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nda bulunan rüzgar tüneline, tasarımı bu tez kapsamında yapılmış test bölümü içerisine, yine bu çalışmada tasarlanan bakır ve tahta yüzeyler yerleştirilerek yapılmıştır.

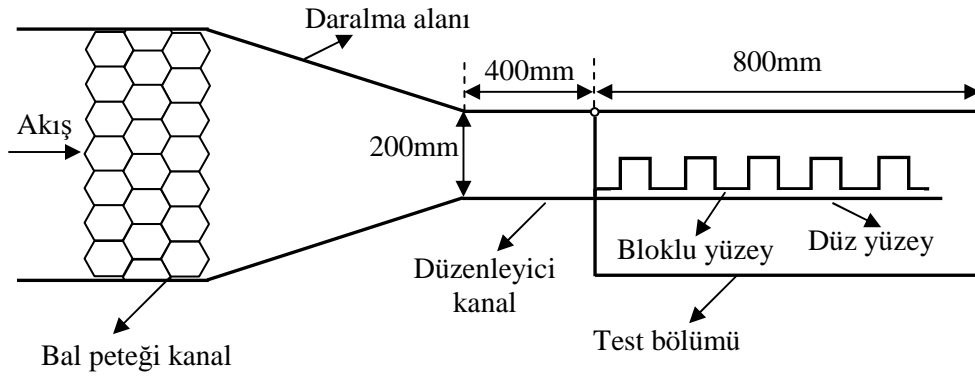
Deneysel çalışmalar, düz ve ardışık bloklu yüzeyler üzerinde yapılmış ayrıca bloklu yüzeyler, blok yükseklikleri değiştirilerek üç farklı durumda analiz edilmiştir. Hızlar tüm yüzeyler için 3, 5, 10, 15 m/s olarak alınarak, laminar, geçiş ve türbülanslı akış analizleri yapılmıştır. Bu çalışmada, düz yüzey ve bloklu yüzeyler üzerinden akıştaki hız profilleri ve türbülans yoğunluğunun yanı sıra taşınım ile olan ısı transferinin analizine yönelik çalışmalar aynı hızlar için yapılmış ve sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Ayrıca bloklu yüzeylerde statik basınçlar ölçülerek basınçtaki değişimler hakkında bilgi edinilmiştir.

Bu bölümde deneylerde kullanılan rüzgar tüneli, içerisine yüzeylerin monte edildiği test bölümü, hız probunun tüm yönlerdeki hareketini sağlayan travers sistemi hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca üzerinde çalışılan düz ve bloklu yüzeyler de detaylı olarak anlatılmıştır.

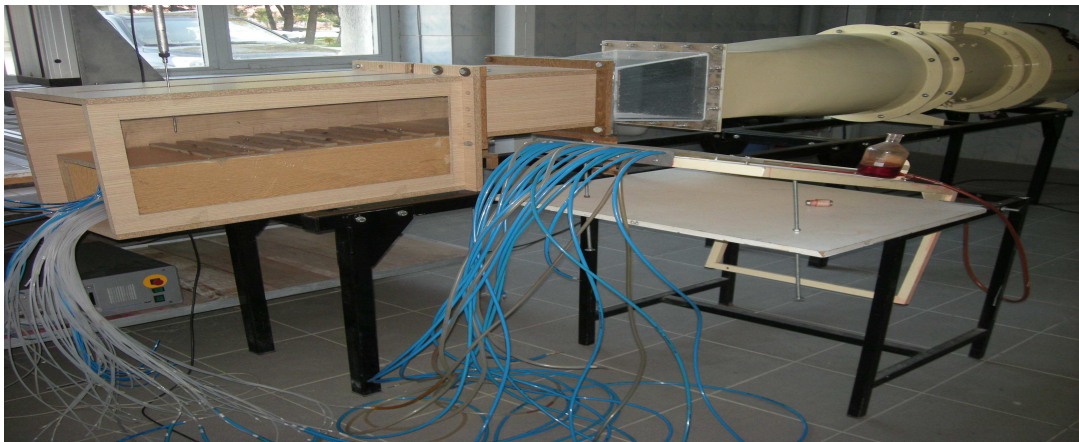
2.6.1. Rüzgar Tüneli

Deneylerde kullanılan açık devre ve üfleme tipindeki düşük hızlı rüzgar tüneline genel yapısı ve görüntüsü Şekil 2.9 ve 2.10'da gösterilmiştir. Bu tünelde hava akışı 5.7 kW gücündeki aksel bir fan vasıtasıyla sağlanmaktadır. Maksimum hızı 25 m/s ve bu hızdaki türbülans yoğunluğu % 0.7 olan rüzgar tünelineki akış hızı bir

kelebek vana ile kontrol edilmektedir. Hava tünele koruyucu bir metal kafesin monte edildiği ağızdan girerek, fanın devamında bulunan 1070 mm uzunluğundaki metal kanalın içinden geçer. Metal kanalın çıkışına hem düz akış çizgileri elde etmek hem de akışın türbülans seviyesini düşürmek için kesit alanı $305 \times 305 \text{ mm}^2$ ve kalınlığı 15 cm olan bal peteği şeklinde oluşturulmuş kanal yerleştirilmiştir. Bu kanaldan sonra sınır tabakanın ayrılmasını önlemek ve akışı hızlandırmak için, daralma oranı 2:1, uzunluğu 400 mm ve yanal yüzey eğim açısı 7.1° olan bir lüle kullanılmıştır. Lülenin devamındaki 400 mm uzunluğunda ve $305 \times 200 \text{ mm}^2$ giriş alana sahip düz kanal ise, test kısmından önce, akışı düzenlemek ve ilk bloktan kaynaklanan, akış çizgilerinden büyük bir sapmaya neden olan kesit daralması etkisinden kurtulmak için kullanılmaktadır. Kim (1994) tarafından, bu etkiden kurtulmak için gerekli tampon uzunluk ile blok genişliği arasındaki bağıntı için $l_{\text{tam}}/w \geq 4$ olarak verilmiştir. Kullanılan düz kanalın uzunluğu bu bağıntıya göre de kesit daralması etkisinden kurtulmak için yeterlidir.



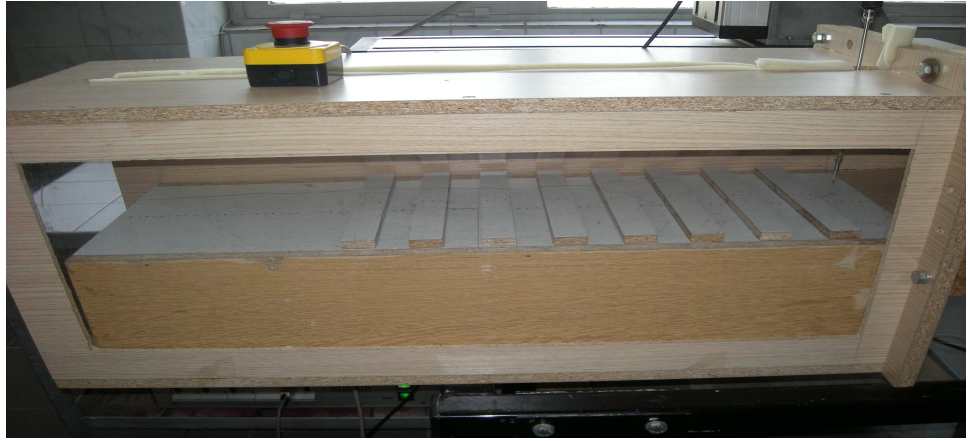
Şekil 2.9. Rüzgar tünelinin genel yapısı.



Şekil 2.10. Rüzgar tünelinin genel görüntüsü.

2.6.2. Test Bölümü

Deneyler, bu çalışma kapsamında tasarlanan, Şekil 2.11’de gösterilen, kesit alanı $305 \times 400 \text{ mm}^2$ ve uzunluğu 800 mm olan test bölümünün içerisinde gerçekleştirilmiştir. Test bölümünün yan yüzeyi, akış alanının tamamının gözlemlenmesine olanak verecek şekilde saydam pleksiglass malzemenin üretilmiştir. Üst yüzeyinde ise, hem hız probunun hem de termal çiftlerin ölçüm ucunun bağlandığı uzatma kollarının yüzeye dik yöndeki ve akış yönündeki hareketlerini sağlayan bir kanal açılmıştır. Açılan bu kanal, içeriye veya dışarıya akışı önlemek için, 5 mm kalınlığında sünger ile izole edilmiştir.



Şekil 2.11. Test bölümü.

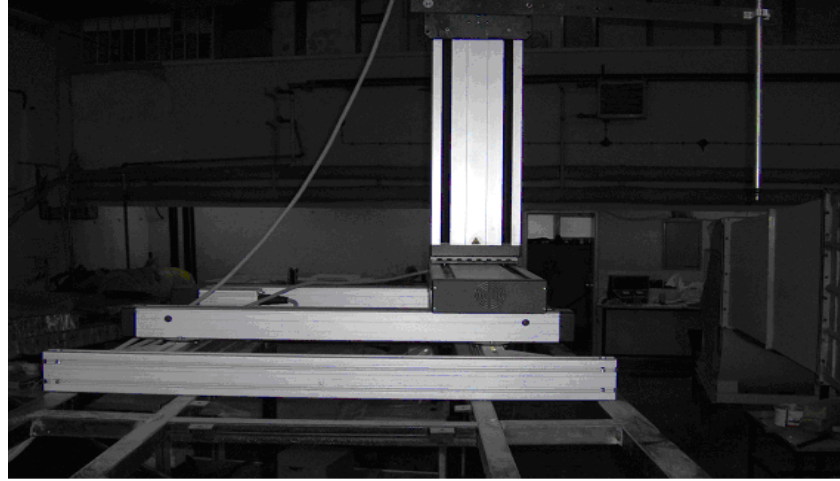
Test bölümü içindeki bakır ve tahta yüzeyler, tasarlanan ahşap kasalar üzerine monte edilmiştir. Bu kasalar, yüzeylerin üzerine yerleştirilmesinin yanı sıra bakır yüzeylerin ısıtılması için iç tarafına yerleştirilen kompozit ısıtıcı ile bu ısıtıcının altında bulunan yalıtım malzemesini bir arada tutacak şekilde tasarlanmıştır. $305 \times 200 \text{ mm}^2$ kesit alanına ve 750 mm uzunluğuna sahip bu ahşap kasaların test bölümüne yerleştirilmesiyle, düz kanaldan çıkan akışkan aynı kesit alanıyla test bölümüne girer.

2.6.3. Travers Sistemi

Test bölümü içerisinde yapılan deneyler prob hareketi gerektiriyorsa bir travers sistemi kullanılmalıdır. Travers seçimi, travers eksenini, çözünürlüğü, kontrolü ve akış örnekleri üzerine etkisi göz önüne alınarak yapılmalıdır. Travers ekseninin sayısı ve aralıkları deneye uygun ve çözünürlüğü lineer olmalıdır. Kullanılan travers sisteminin

akışı ve prob pozisyonunu rahatsız etmemesi için travers üzerine, aerodinamik olarak şekillendirilmiş, prob bağlantıları takılabilir. Özellikle yüksek hızlı akışlarda, akıştan dolayı hız ölçümlerini etkileyecek titreme ve bükülme olmaması için travers sistemi rijit olmalıdır. Genellikle CTA problemleri için kullanılan traversler 0.01 mm'den daha iyi bir çözünürlüğe sahiptir ve ± 0.1 mm hataya sahiptirler.

Bu çalışmada, hız ve türbülans yoğunluğu ölçümlerinde kullanılan kızgın tel probunun test bölümünde üç boyutta hareketini sağlayacak ve kontrolü bilgisayardan yapılan travers sistemi kullanılmıştır. Şekil 2.12'de gösterilen bu travers sisteminin okuma hassasiyeti 0.001 dir.



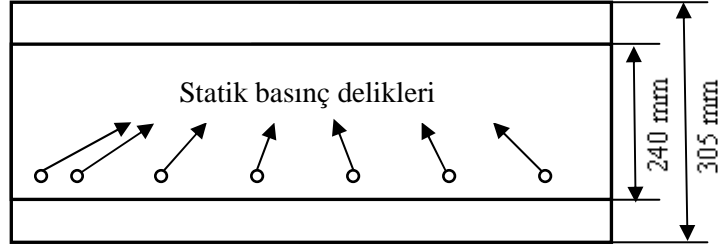
Şekil 2.12. Travers sistemi.

Şekil 2.12'de de görüleceği gibi, hız probu bir prop tutucuya, bu tutucu da bir uzatma koluna bağlanarak travers sistemine bağlanmıştır. Böylece hız probu, yüzeye dik yöndeki ve akış yönündeki hareketlerini uzatma kolu ve travers sistemi aracılığıyla yapabilmektedir.

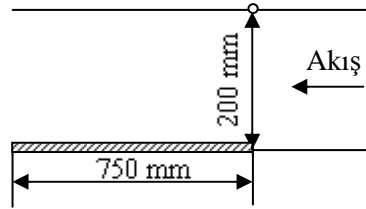
2.6.4. Düz Yüzey

Deneylerde, 240 mm genişliğinde, 750 mm uzunluğunda ve 0.8 mm kalınlığında, üstten ve test bölümü içinde önden görünüşü Şekil 2.13'de verilen, bakır bir düz yüzey kullanılmıştır. Düz yüzey üzerinde yapılan deneylerde, ilk ölçüm noktası $x=30$ mm, ikincisi $x=75$ mm ve bu iki ölçüm noktasından sonraki 5 ölçüm noktası 120

mm aralıklarla olmak üzere 7 ölçüm noktası tespit edilmiştir. Çizelge 2.1’de verildiği gibi, statik basınçlar, hız profilleri ve sıcaklık değerleri akış yönünde tespit edilen bu ölçüm noktalarının tamamında alınırken, türbülans yoğunluğu ölçümleri 3 ölçüm noktasında yapılmıştır.



(a)



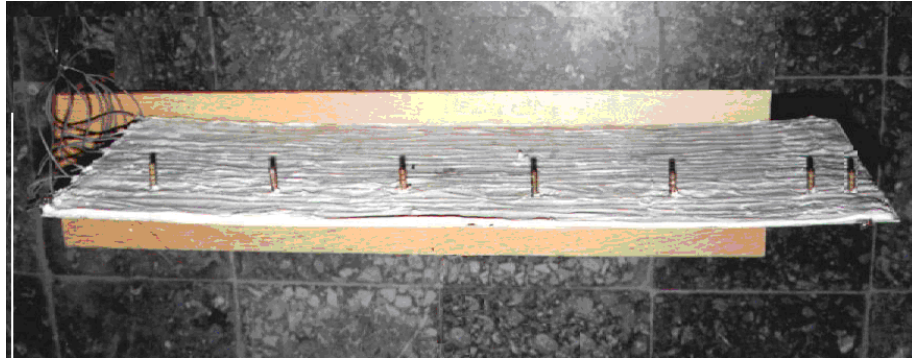
(b)

Şekil 2.13. Düz yüzeyin (a) üstten, (b) önden görünüşü.

Çizelge 2.1. Düz yüzey ölçüm noktaları.

Ölçüm Noktası	x(mm)	Hız Profili	Sıcaklık	Statik Basınç	Türbülans Yoğunluğu
1	30	•	•	•	•
2	75	•	•	•	
3	195	•	•	•	
4	315	•	•	•	•
5	435	•	•	•	
6	555	•	•	•	
7	675	•	•	•	•

Statik basınç ölçümleri için bakır yüzeye Şekil 2.13-a'da gösterildiği gibi statik basınç delikleri açılmıştır. Ölçümlerde hata payını en aza indirmek için, deliklerin kenarları yuvarlatılmış ve çapı 1 mm'dir. Bu deliklere manometre hortumlarının bağlanabilmesi için, deliklerin açıldığı noktalara iç çapı deliklerle aynı olan 2.5 cm uzunluğunda ve Şekil 2.14'de gösterilen piring silindirler lehimlenmiştir. Bu silindirler her ölçüm noktasına bir tane gelecek şekilde 7 tanedir.



Şekil 2.14. Bakır düz plakanın alt yüzeyi.

Düz bakır yüzeyin üzerinde düzgün dağılımlı ısı akısı elde edebilmek için, Şekil 2.14'de gösterildiği gibi, yüzeyin altına, dışı silikon kaplı ve dış çapı 5 mm olan, krom-nikel direnç teli döşenmiştir. 1 metrede 110 Ohm direnç taşıyan kablo ile düşük voltajda yüksek enerji elde edebilmek için direnç teli 6 adet paralel hat oluşturacak şekilde alt yüzeye yerleştirilmiş ve ısının düzgün dağılımını sağlamak için kabloların arası silikon ile doldurulmuştur.

2.6.5. Bloklü Yüzeyler

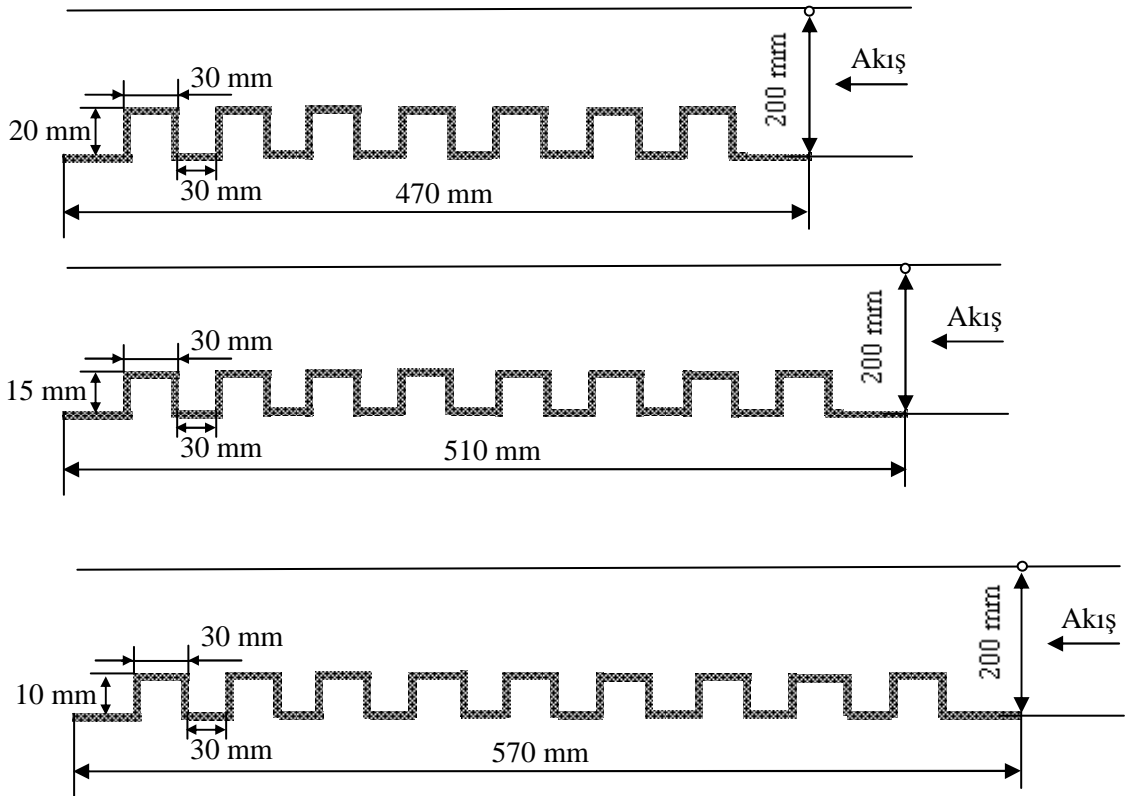
Bu tez çalışmasında, hız karakteristiklerinin tespiti için 3 adet tahta, ısı transfer karakteristiklerinin tespiti için ise 3 adet bakır olmak üzere toplam 6 adet bloklü yüzey tasarlanmıştır. Bloklü yüzey çalışmalarının hepsinde test kısmının girişteki kesit alanı $305 \times 200 \text{ mm}^2$ iken, yüzeylerin tamamının genişliği, düz yüzeyin genişliğiyle aynı, 240 mm'dir.

Tasarlanan bloklü bakır yüzeylerin önden görünüşleri Şekil 2.16'da gösterilirken bu bakır yüzeylerden birinin genel görüntüsü Şekil 2.15'de gösterilmiştir. Bu

yüzeylerin, blok yükseklikleri 10, 15, 20 mm ve uzunlukları sırasıyla 470, 510, 570 mm dir.



Şekil 2.15. Bloklı bakır yüzey.

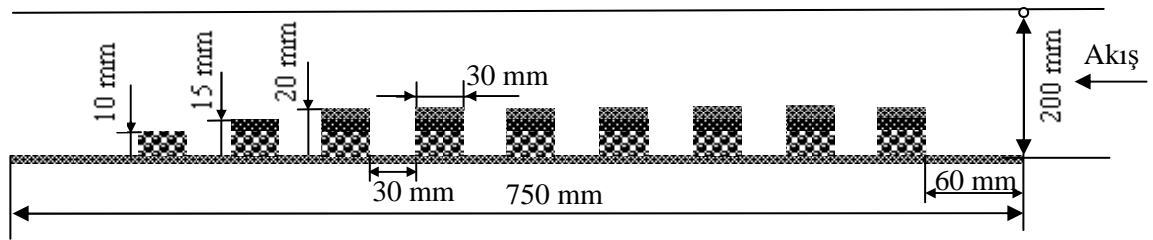


Şekil 2.16. Bloklı bakır yüzeylerin önden görünüşleri.

0.8 mm kalınlığındaki düz bakır plakalar, hazırlanan kalıpların yardımıyla kıvrılarak bloklı yüzeyler oluşturulmuştur. Bölüm 2.6.4'de anlatıldığı gibi bu yüzeylerde de, düz yüzeyde olduğu gibi, düzgün ısı akısı elde edebilmek için,

yüzeylerin altına dışı silikon kaplı ve dış çapı 5 mm olan, krom-nikel direnç teli döşenmiştir. 1 metrede 110 Ohm direnç taşıyan bu kablolar 6 adet paralel hat oluşturacak şekilde alt yüzeye yerleştirilerek, düşük voltajda yüksek toplam enerji eldesi sağlanmıştır. Isının düzgün dağılımını sağlamak için ise yine düz yüzeyde olduğu gibi kabloların arası silikon malzeme ile doldurulmuştur. Bloklu bakır yüzey üzerindeki sıcaklık değerleri blokların üst yüzeyleri ve blok aralarında ölçülmüştür. Sıcaklık ölçüm noktaları Çizelge 2.2’de detaylı olarak verilmiştir. Blok yükseklikleri 20, 15 ve 10 mm olan bloklu yüzeylerde, düz yüzey ile aynı toplam yüzey alanını elde edebilmek için, sırasıyla 7, 8 ve 9 tane blok oluşturulmuştur.

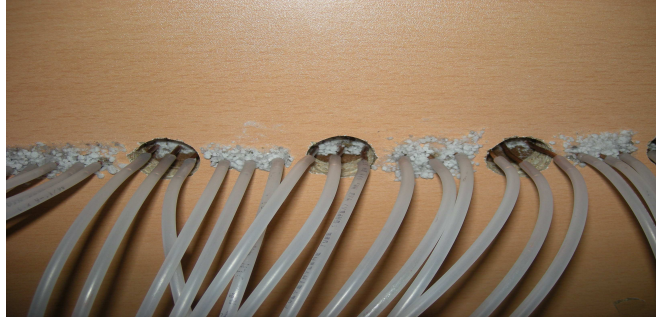
Bloklu yüzeyler üzerinden akışta, hız, türbülans yoğunluğu ve statik basınç ölçümleri, pürüzsüz bir yüzey oluşturduğu ve işlenmesi kolay olduğu için yine bu tez kapsamında tasarlanan bloklu tahta yüzeyler üzerinde yapılmıştır. Yüzeyler, tahta blokların yine tahta düz bir yüzeyin üzerine yapıştırılmasıyla oluşturulmuştur. Tasarlanan bloklu tahta yüzeylerin tümünün önden görünüşleri Şekil 2.17’de şematik olarak gösterilirken bu yüzeylerden birinin test bölümü içerisindeki genel görüntüsü Şekil 2.11’de gösterilmiştir. Tasarlanan bloklu tahta yüzeylerin akış yönündeki uzunluğu hariç tüm ölçüleri ve blok sayıları sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı bakır yüzeylerle aynıdır. Bloklu tahta yüzeylerin tümünde, son bloğun arkasındaki oluşumların gözlenebilmesi için, akış yönündeki uzunluk 750 mm olarak alınmıştır.



Şekil 2.17. Bloklu tahta yüzeylerin önden görünüşü.

Basınç ölçümleri için, bloklu tahta yüzeylerin üzerlerine 2 mm çapında delikler açılmış ve aynı dış çapa, 0.8 mm iç çapa sahip kılcal borular bu deliklere, yüzeyde pürüz yaratmayacak şekilde yapıştırılarak monte edilmiştir. Böylece yüzeyler üzerinde 0.8 mm çapında basınç delikleri elde edilmiştir. Basınç ölçümünde bu kılcal boruların kullanımını istenilen çapta basınç deliği elde etmemize ve ölçüm noktalarına kolay bağlantı yapmamıza neden olmuştur. Tahta yüzeylerin basınç delikleri, kılcal borular ve

yapıştırıcı Şekil 2.18’de gösterilmiştir. Bu kılcal borular, iç çapı 2 mm, dış çapı 4 mm olan manometre hortumlarıyla manometreye bağlanarak basınç ölçümünün yapılmasını sağlamaktadır. Blok üstlerine ve aralarına ikisi köşede biri merkezde olmak üzere üçer tane, ilk bloktan önce ve son bloktan sonra ise 9 mm aralıklarla basınç delikleri açılmış ve statik basınç ölçüm noktaları Tablo 2.2’de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 2.18. Basınç delikleri, kılcal borular ve manometre hortumları.

Bloklu yüzeyler üzerinde akışta, hem sıcaklık ölçümlerinin yapıldığı bakır yüzeyler hem de hız ve basınç ölçümlerinin yapıldığı tahta yüzeyler üzerindeki ölçüm noktaları akış yönüne bağlı olarak Çizelge 2.2’de detaylı olarak verilmiştir. Tabloda ilk bloktan önceki yüzey ön, blokların arası çukur, son bloktan sonraki yüzey ise arka yüzey olarak tanımlanmıştır. Ayrıca ön yüzey, blok üstleri, çukur yüzeyleri ve arka yüzeylerin her birinin başlangıcı $x=0$ olarak alınmıştır. Ön yüzey, blok yüzeyleri ve çukurlarda tüm blok yüksekliklerinde aynı ölçüm noktalarında deney yapılmışken arka yüzeyin uzunluğunun blok yüksekliğine ve sayısına bağlı olarak değişmesinden dolayı her yüzeyde ölçüm noktaları değişmiştir. Bu nedenle Çizelge 2.2’de 20 mm blok yüksekliğine sahip arka yüzeydeki ölçüm noktaları \odot ile ve sırasıyla 15 ve 10 mm için ölçüm noktaları \circ ve Δ ile gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Bloklı yüzey ölçüm noktaları.

Ölçüm Yeri	x(mm)	Hız Profili		Sıcaklık	Statik Basınç		Türbülans Yoğunluğu	
Ön Yüzey	0							
	5	●			●		●	
	15	●			●			
	20							
	25	●			●		●	
	30							
	35	●			●		●	
	40							
	45	●		●	●		●	
	50							
	55	●				●		●
	Blok ve Çukur Yüzeyleri	0	●		●	●		●
5		●						
15		●		●	●		●	
25		●						
30		●		●	●		●	
Arka Yüzey	0-10	⊗ ○ △	△		⊗ ○ △	⊗ ○ △	⊗ ○ △	△
	20-30	⊗ ○ △	△		⊗ ○ △	⊗ ○ △	⊗ ○ △	△
	40-50	⊗ ○ △	△		⊗ ○ △	⊗ ○ △	⊗ ○ △	△
	60-70	⊗ ○ △	△		⊗ ○ △	⊗ ○ △	⊗ ○ △	△
	80-90	⊗ ○ △	△		⊗ ○ △	⊗ ○ △	⊗ ○ △	△
	100-110	⊗ ○ △			⊗ ○ △	⊗ ○	⊗ ○ △	
	120-130	⊗ ○			⊗ ○	⊗ ○	⊗ ○	
	140-150	⊗ ○			⊗ ○	⊗ ○	⊗ ○	
	160-170	⊗ ○			⊗ ○	⊗	⊗ ○	
	180-190	⊗			⊗	⊗	⊗	
200-210	⊗			⊗	⊗	⊗		
220	⊗			⊗		⊗		

2.7. Ölçüm Cihazları

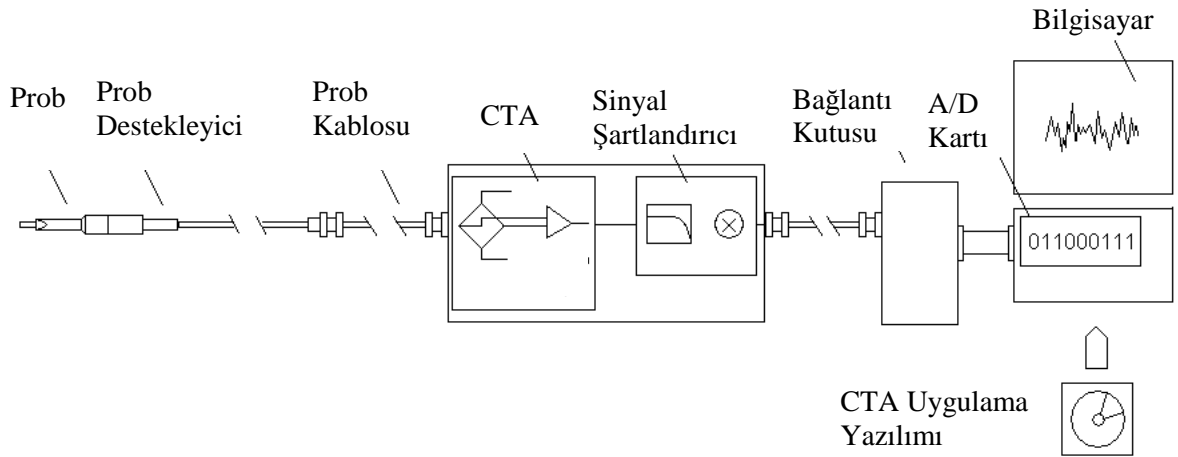
Bu çalışmada, düz ve bloklü yüzeyler üzerindeki laminar, geçiş ve türbülanslı akışın, hem akış hem de ısı transferi analizi birlikte incelenmektedir. Her iki analizin yapılmasını sağlamak için Bölüm 2.6'da detayları verilen deney düzenekleri oluşturulmuştur. Bu deney düzenekleri arasında yer alan rüzgar tüneline monte edilen tek bir test bölümü içine, kullanılacak tüm yüzey tipleri yerleştirilebilmekte ve istenilen akış şartları sağlanabilmektedir. Bu test bölümü içine düzgün ısıtılmaya uygun düz ve ardışık bloklü bakır yüzey ve ardışık bloklü tahta yüzeyler yerleştirilmiştir. Ölçümlerin üzerinde yürütüldüğü bu yüzeyler, yüzeylerin iç tarafındaki kompozit ısıtıcı ve bu ısıtıcının altında bulunan yalıtım malzemesini bir arada tutmak için hazırlanan ahşap kasalar ile birlikte tasarlanmıştır. Deneylerde istenilen ölçümlerin beraber yapılmasının yanı sıra ölçüm cihazlarının ve bu cihazları ölçüm noktalarına taşıyan ara mekanizmaların en verimli, hassas ve akışı en az rahatsız edecek şekilde kullanılması da önemlidir. Bu amaçla, hız ve türbülans yoğunluğu ölçümlerinde kullanılan kızgın tel probunun test bölümünde üç boyutta hareketini sağlayacak ve kontrolü bilgisayardan yapılan hassas bir travers sistemi kullanılmıştır.

Test bölümüne monte edilen yüzeyler üzerinden akışta hız ve türbülans yoğunluğu ölçümleri kızgın tel anemometresi ile, statik basınç ölçümleri bir eğik manometre ile ve sıcaklık ölçümleri ise termal çiftlerle yapılmıştır. Bu bölümde, hem hız hem de sıcaklık analizinin yapılmasını sağlamak için oluşturulan deney düzeneklerinde yürütülen deneylerde kullanılan ölçüm cihazları ve metotları anlatılmıştır.

2.7.1. Hız Ölçümü

Giriş kesiti 305x200 mm² olan test düzeneğine sahip düşük hızlı rüzgar tüneline yapılan deneylerde, sıfır basınç gradyanındaki düz yüzey ve blok yükseklikleri 10, 15, 20 mm olan bloklü tahta yüzeyler üzerindeki akışta giriş hızları 3, 5, 10 ve 15 m/s olarak alınmıştır. Bu çalışmada düz ve bloklü yüzeyler üzerinde akışta, serbest akış hızının, yüzeyler üzerindeki hız profillerinin ve türbülans yoğunluklarının saptanmasında sabit sıcaklıklı anemometre, CTA, olarak da bilinen kızgın tel anemometresi kullanılmıştır.

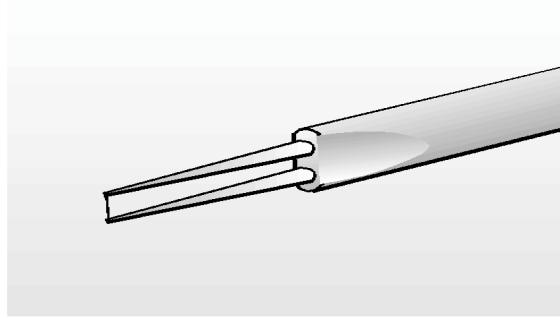
CTA ısıtılmış bir sensörden çevredeki akışkana taşınım ile ısı transferini esas alarak çalışır. Böylece ısı transferi öncelikle akışkan hızına bağlıdır. Bu anemometre ile servo-loop teknikli elektronik elemanlar ve akışkan içine yerleştirilmiş hassas tel sensörleri kullanılarak, hız dalgalanmaları hassas ölçeklerde ve yüksek frekanslarda ölçülebilir. CTA'da bilgi kaybı olmaz, frekans dağılımını yüksek hassasiyetle ölçer ve kullanımı kolaydır. CTA ölçüm ekipmanları Şekil 2.19'da gösterildiği gibi bir ölçüm zinciri oluşturmaktadır. Bu zincir, prob desteği ve kablosuna sahip bir prob, bir CTA, bir sinyal şartlandırıcı, bir A/D dönüştürücü ve bir bilgisayardan oluşur. Ayrıca veri eldesi ve analizi için uygun bir uygulama yazılımı, deneylerin daha hızlı ve hassas yapılması için bir prob kalibrasyon cihazı ve prop hareketi gerekiyorsa bir travers sistemi kullanılır. Yapılan deneylerde hem Bölüm 2.6.3'de açıklanan bir travers sistemi hem de bir prob kalibrasyon cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2.19. CTA ölçüm zinciri.

Kullanılacak prob, akışkan ortamı, ölçülecek hızın bileşen sayısı, çalışılacak hız aralığı, ölçülecek nicelikler (hız, duvar kayma gerilmesi v.b.), gerekli çözünürlük, akış içindeki türbülans yoğunluğu ve dalgalanma frekansı, sıcaklık değişimleri, kirlilik riski ve ölçüm noktası etrafındaki mevcut alan (serbest akış, sınır tabaka akışları v.b.) göz önüne alınarak seçilmelidir. Anemometre problemleri, kullanılan tel cinsine göre, minyatür teller, altın kaplı teller, fiber film sensörleri ve film sensörleri olmak üzere dört gruba

ayrılırken sensör sayısına göre tek, çift ve üçlü olmak üzere üç gruba ayrılır. Bu tez kapsamında, Şekil 2.20’de gösterildiği gibi, 5 µm çapında ve iki sivri uç arasında gerilmiş 1.2 mm uzunluğunda, türbülans yoğunluğu % 5-10 arasındaki hava akışlarında kullanılan ve onarılabilen minyatür tellere sahip problar kullanılmıştır. Hız ve türbülans yoğunluğu ölçümlerinin yapıldığı bu problar, tek boyutlu ve yönlü akışlarda kullanılan, tek sensörlü normal problardır. Bloklar arasındaki boşluk ve ilk bloktan önceki düz yüzeylerde yapılan ölçümlerde düz bir prop tutucu kullanılırken, düz yüzey, bloklar üzerindeki ve son bloktan sonraki arka yüzey ölçümleri için ise L biçiminde bir prop tutucu kullanılmıştır.



Şekil 2.20. Tek sensörlü, minyatür telli normal prob.

Anemetreler Research (streamline) ve dedicated (miniCTA) olmak üzere iki tiptirler. Anemometrenin seçiminde uygun bant genişliği, düşük gürültü, kararlı ve güvenilir sonuçlar elde etmek için önemlidir. Bu çalışmada kullanılan research tip CTA’da bant genişliği 100-250 kHz arasındadır, 10 kHz bant genişliğinde, gerideki türbülansın % 0.1’inin % 0.005’i gürültüden kaynaklanır ve sapma her $^{\circ}\text{C}$ de $0.5 \mu\text{V}$ dur. CTA köprüsü 1:20 oranı 250 kHz in altında bant genişliğindeki hava akışlarında ve yüksek güçlü su akışlarında kullanılırken, 1:1 oranı 400 kHz bant genişliğine kadar, prob kablosunun 100 m’den uzun olduğu durumlarda kullanılır. Yapılan deneylerde tüm yüzeyler için 20 m. uzunluğunda prob kablosu ve CTA köprüsü 1:20 oranı kullanılmıştır. Research tip anemetreler altı ya da daha fazla CTA kanallarına sahiptirler. Bunlar A/D dönüşümünden önce CTA sinyallerini filtreden geçirmek ve genliğini arttırmak için sinyal şartlandırıcılara sahiptirler. Düşük geçişli filtre, sinyalden elektronik gürültüyü çıkardığından bu filtre olabildiğince yüksek olmalıdır. CTA sinyali A/D dönüşüm kartı yoluyla elde edilir ve veriler bilgisayara kaydedilir. Kullanılacak bilgisayar CTA kontrolcüsü, A/D kart ve travers sürücüsüyle uyumlu, uygun hız ve

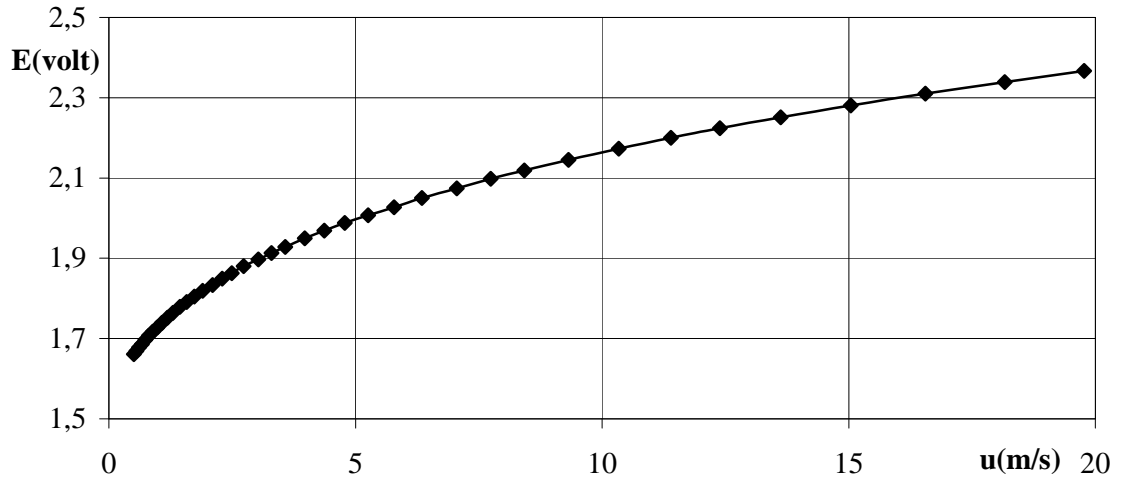
bellekte olmalıdır. Kurulum ve CTA köprüsünün çalışması uygulama yazılımı yoluyla otomatik olarak sağlanmaktadır.

CTA, uygulama yazılımı ile birlikte verilir. Gelişmiş yazılım paketleri anemometreyi kontrol eder, CTA köprüsü ve sinyal şartlandırıcısının her ikisini de otomatik olarak kurar. Bunlar yön ve hız kalibrasyonunu, prob hareketlerini ve veri toplamasını otomatik olarak yapar. Sonuç olarak verileri mühendislik birimleri içerisinde dönüştürür ve moment, frekans dağılımı gibi niceliklere indirger. Bu tezde yön ve hız kalibrasyonunu, prob hareketlerini ve veri toplamasını otomatik olarak yapan gelişmiş bir yazılım kullanılmıştır.

Kalibrasyon, CTA çıktısı (gerilim) ile akış hızı arasındaki bağıntıyı elde etmek için kullanılır. Bunun için bilinen hızlarda anemometrede okunan gerilimler kaydedilmekte ve bu değerleri temsil eden bir denklem oluşturulmaktadır. Doğrusallaştırma olarak da ifade edilen bu işlem için King kanunu olarak bilinen bağıntı kullanılır ya da ikinci yol olarak hız ile gerilim arasında dördüncü dereceden bir polinom uydurulur. Böylece CTA'dan alınan gerilim değerleri bir kalibrasyon dosyası yardımıyla hıza dönüştürülür. Ölçümlerde kullanılan kalibrasyon sisteminin varlığı deneye doğruluk ve hız kazandırır. Kalibrasyon, basınç düşüşlerini göz önüne alarak hızı hesaplayan düşük türbülans jetine sahip bir kalibrasyon cihazıyla ya da deneylerin yapılacağı rüzgar tüneline bir Pitot statik tüpüyle yapılabilir. Kalibrasyon cihazında hız aralığı, birçok cm/s den birkaç 100 m/s ye kadar alınabilirken, hassasiyet 5 m/s nin üzerinde ± 0.5 % kadardır. Bu cihazlar çok sensörlü problemlerin yön kalibrasyonu için de kullanılabilir. Bu özelliklere sahip ve Şekil 2.21'de gösterilen kalibrasyon cihazında akış bir kompresör aracılığıyla oluşturulmaktadır. 0-20 m/s hız aralığında elde edilen ve deneylerde kullanılan Model P11 kızgın tel probuna ait kalibrasyon eğrisi Şekil 2.22'de gösterilmiştir.

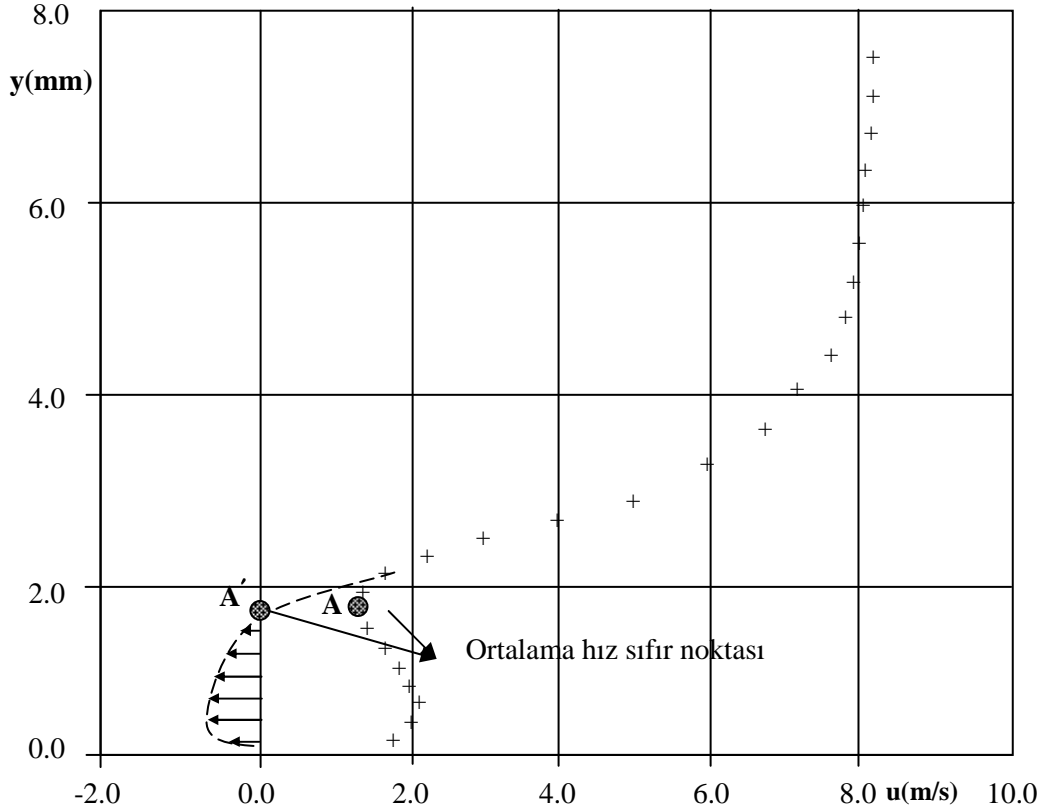


Şekil 2.21. Kalibrasyon cihazı.



Şekil 2.22. Kalibrasyon eğrisi.

Kızgın tel anemometresinin çıkışı daima pozitifdir ve akış yönünü yani negatif hızları göstermez. Bloklı yüzeyler üzerinden akışta oluşan vorteksli bölgelerde ise ters akışlar oluşmaktadır. Bu akışlarda oluşan ayrılmaların yerinin ve yeniden birleşme uzunluklarının tespiti için Atlı (1988) tarafından da uygulanan yöntem kullanılmıştır. Şekil 2.23'de görüldüğü gibi hız, ortalama hız sıfır noktası olarak tanımlanan ayrılma noktasından cidara doğru artmaya başlarken cidara yaklaştıkça bu değerler azalır. Yani hızın sıfır olduğu noktada anemometreden okunan hız sıfır değil pozitif bir değerdir. Ortalama hızın minimum olduğu A noktası, ortalama hızın sıfır olduğu A' noktasına denk gelmektedir. A noktası ve cidar arasındaki noktalarda, anemometrenin ortalama hız çıkışı vorteksli bölgedeki ters akışı ifade etmektedir.



Şekil 2.23. Ters akış bölgesinde anemometre hız çıkışı.

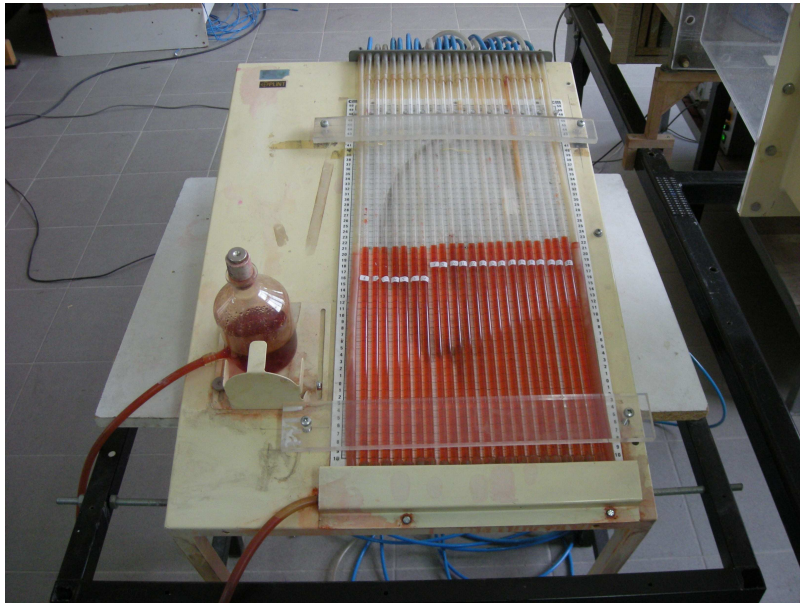
Bu çalışmada, ters akış bölgelerinde yapılan ölçümler sonucu elde edilen ortalama hız profillerinde bu ortalama hız sıfır ya da ayrılma noktası saptanarak, ters akışın olduğu bölgeler tespit edilmiş ve yeniden birleşme uzunlukları ölçülmüştür.

2.7.2. Basınç Ölçümü

Düz ve bloklu yüzeyler üzerindeki statik basınç değerleri, yüzeylerde açılan statik basınç delikleriyle birlikte eğik bir manometre yardımıyla elde edilmiştir. Düz bakır yüzey üzerine, Bölüm 2.6.4’de anlatıldığı gibi statik basınç delikleri açılmış ve bu deliklere manometre hortumlarının bağlanabilmesi için, deliklerin açıldığı noktalara pirinç silindirler lehimlenmiştir. Düz yüzey üzerindeki bu delikler, yerleri Çizelge 2.1’de verilen, 7 noktada açılmıştır. Bloklu tahta yüzeyler üzerinden akışta ise, Bölüm 2.6.5’de anlatıldığı gibi, ön yüzeye, blokların üst yüzeylerine, blok aralarına ve arka yüzeye, 2 mm çapında statik basınç delikleri, Çizelge 2.2’de verilen yerlerde, açılmış ve aynı dış çapa, 0.8 mm iç çapa sahip kılcal borular bu deliklere, yüzeyde pürüz yaratmayacak şekilde yapıştırılarak 0.8 mm çapında basınç delikleri elde edilmiştir. Bu

kılcal borular, iç çapı 2 mm, dış çapı 4 mm olan manometre hortumlarıyla manometreye bağlanarak basınç ölçümü yapılmıştır.

Statik basınç ölçümlerinde, eğim açısı 5° - 90° aralığında ayarlanabilen 24 adet manometreden oluşan Şekil 2.24'de gösterilen eğik manometre seti kullanılmıştır. Özellikle düşük hızlarda manometrik basınç değerlerinin hassas okunabilmesi için eğim açısı 11° olarak belirlenirken, yoğunluğu 805 kg/m^3 olan saf alkol renklendirilerek manometre sıvısı olarak kullanılmıştır.



Şekil 2.24. Eğik manometre.

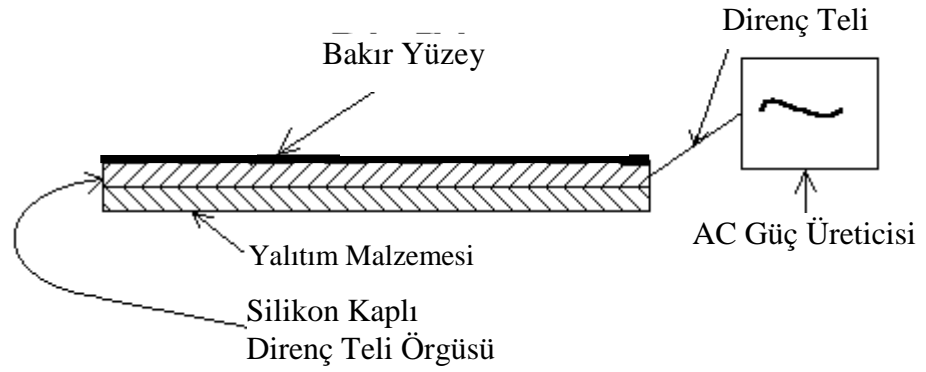
2.6.3 Sıcaklık Ölçümü

Düz ve bloklı yüzeyler üzerinden akışta, ısı transfer analizi için kullanılan yüzeylerin tamamı bakırdır. Düz yüzey için sıcaklık ölçümleri hız profillerinin elde edildiği noktalarda gerçekleştirilirken, bloklı yüzeylerde sıcaklık ölçümleri blok araları ve blok yüzeylerinde gerçekleştirilmiştir. Blok yükseklikleri 20, 15 ve 10 mm olan bloklı yüzeylerde, düz yüzey ile aynı toplam yüzey alanını elde edebilmek için, sırasıyla 7, 8 ve 9 tane blok oluşturulmuştur.

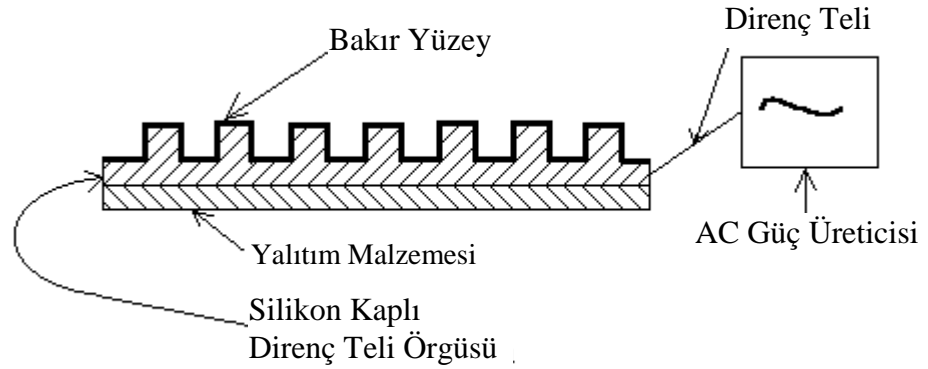
Hem düz hem de bloklı bakır yüzeylerin üzerinde düzgün dağılımlı ısı akısı elde edebilmek için, Bölüm 2.6.3 ve 2.6.4'de anlatıldığı gibi, yüzeylerin altına, krom-nikel direnç teli 6 adet paralel hat oluşturacak şekilde döşenmiş ve kabloların arası silikon ile doldurularak kompozit bir ısıtıcı oluşturulmuştur. Bakır yüzeylerin altına sabitlenmiş direnç telinin ve buna bağılı olarak sıcak yüzeylerin ısıtılmasında bir alternatif akım güç üreticisi kullanılmıştır. Çıkış voltajı 0-240 Volt arasında ayarlanabilen bu güç üreticisi maksimum 9 amperlik akım ile çalışabildiğinden dolayı direnç teli 6 paralel hat şeklinde döşenmiştir. AC güç üreticisi Şekil 2.25'de, kompozit ısıtıcı ve güç kaynağının bağlantı sistemleri ise Şekil 2.26'da gösterilmektedir. Bakır yüzeylerin alt yüzeyindeki bu kompozit ısıtıcıdan akışın olmadığı yöne doğru olabilecek iletim kayıplarını önlemek için izolasyon malzemesi olarak 3 cm kalınlığındaki cam yünü kompozit ısıtıcının alt tarafına yerleştirilmiştir.



Şekil 2.25. AC güç üreticisi.



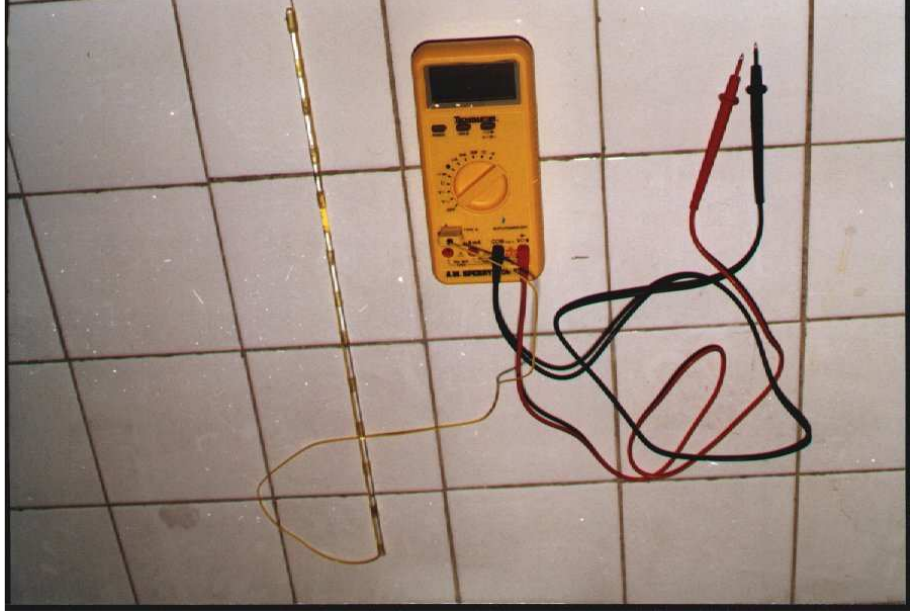
(a)



(b)

Şekil 2.26. (a) Düz ve (b) bloklı bakır yüzeyler için kompozit ısıtıcı ve güç üreticisinin bağlantı sistemleri.

Düz ve bloklı sıcak yüzeylerdeki sıcaklık dağılımının saptanmasında gerekli akım, voltaj ve sıcaklık değerleri Şekil 2.27’de gösterilen multimetre ile ölçülmüştür. Ölçüm değerlerini dijital bir ekranda belirten cihazın hassasiyeti akım değerleri için 0.1 amper, voltaj değerleri için 0.1 volt ve sıcaklık değerleri için de 0.5 °C’dir. Akım ölçümleri sırasında cihaz, güç kaynağı ile sıcak yüzeyler arasında kurulan devreye seri olarak bağlanırken voltaj ölçümlerinde paralel olarak bağlanmıştır. Sıcaklık ölçümleri için ise krom-alüminyum tipinde bir termal çift, cihaz üzerindeki özel bağlantı girişine takılmıştır. Termal çiftlerin ölçüm ucunda, yüzey üzerindeki ölçüm noktalarına akışı bozmadan ulaştırabilmek için 3 mm çapında silindirik bir çubuktan travers kolu bulunmaktadır.



Şekil 2.27. Dijital multimetre ve ölçüm uçları.

Crane ve Sabzvari'ye (1989) göre, bu tez çalışmasında olduğu gibi, yüzey ve akış sıcaklıklarının beraber ölçüldüğü çalışmalarda, yüzey-akış sıcaklıkları arasındaki fark $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerine çıkarsa ısı transferi analizlerindeki hata oranı $\pm\%15$ 'e kadar yükselir. Bu nedenle hem bu çalışmada hem de Umur (1994) ve Wang ve ark. (1985) tarafından yapılan çalışmalarda, akış yönünde Stanton sayısı değişiminin tespit edilebilmesi için ilk ölçüm noktasındaki yüzey sıcaklığı akış sıcaklığının $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ üzerine ısıtılmıştır. Ayrıca, akışın olmadığı durgun ortamda yapılan yüzey sıcaklığı ölçümlerine göre, düz ve bloklu sıcak yüzeyler üzerinde oluşan maksimum sıcaklık farkı $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir.

2.8. Belirsizlik Analizi

Düz ve bloklu yüzeyler üzerinde 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızlarında yürütülen deneysel çalışmalarda, Bölüm 2.6'da açıklanan deney düzenekleri ve Bölüm 2.7'de detayları verilen ölçüm cihazları kullanılmıştır. Bu cihazlar deneysel verileri belli ölçüm aralıklarında kaydedebilmekteyken, tespit edilen tüm deneysel değerler düzeneklerin ve cihazların hassasiyeti ile ilgili olarak hatalar içermektedirler. Bu hataların hangi düzeyde olduklarının belirlenmesi ve hatalardan kaynaklanan belirsizliklerin tespit edilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yapılan çalışmanın geçerliliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Deneysel çalışmalarda ortaya çıkan hatalar, ölçüm yapanlardan kaynaklanan hatalar dışında, tekrarlanan ölçümlerde aynı miktarda hataya sebep olan sistematik hatalar ve rastgele oluşan, her bir ölçüm için farklı olmaları nedeniyle ortadan kaldırılamayan düzensiz (random) hatalar olmak üzere ikiye ayrılır (Holman 1971). Bu çalışmada, tüm belirsizlik değerlerini elde etmek için Holman (1971) tarafından önerilen hesaplama yöntemi kullanılmıştır. Ölçümlerdeki belirsizlikleri tanımlayan bu metotta, F herhangi bir ölçüm, x bu ölçüme etki bağımsız değişken ve n bu değişkenlerin sayısı olmak üzere,

$$F = F(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2.30)$$

şeklinde tanımlanır. Bu bağımsız değişkenlerin F ölçümü üzerindeki belirsizliği ise;

$$\beta_F = \left[\left(\frac{\partial F}{\partial x_1} \beta_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_2} \beta_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial x_n} \beta_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.31)$$

olarak verilir. Eşitlik 2.31'deki β_i her bir değişkene ait hatayı, β_F ise toplam belirsizliği ifade etmektedir. Her bağımsız değişkenin belirsizliğe yüzdesel etkisi ise,

$$k_n = \frac{x_n}{F} \frac{\partial F}{\partial x_n} \beta_n \quad (2.32)$$

olarak ifade edilmektedir.

Bu bölümde, hız, basınç ve sıcaklık ölçümlerinde oluşan belirsizliklerin yanı sıra bu ölçümler kullanılarak elde edilen ısı transferi ve boyutsuz sayıların belirsizlik değerleri elde edilmiştir.

2.8.1. Hız Ölçümlerindeki Belirsizlik

3, 5, 10 ve 15 m/s serbest akışında yapılan deneylerin tamamında, hız ve türbülans yoğunluğu ölçümleri için kızgın tel anemometresi kullanılmıştır. Bu anemometre ile hız ölçümünde hem çevresel hem de ölçüm metodunun kendisinden kaynaklanan pek çok belirsizlik kaynağı vardır. Tek telli bir prob ile hız ölçümünde oluşabilecek belirsizlik ve bu belirsizlikleri hesaplama yöntemleri Jorgensen (2004)

tarafından tanımlanmıştır. Bu yöntemler kullanılarak bulunan ve Çizelge 2.3’de detayları verilen belirsizliklerin toplam değerleri ise Eşitlik 2.31 kullanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 2.3. Hız ölçümlerindeki belirsizlikler.

Elektronik gürültü ve frekans algılanmasından kaynaklanan belirsizlik		%0.5
Kalibrasyon işleminden kaynaklanan belirsizlik		%1
Lineerleştirme işleminden kaynaklanan belirsizlik		%0.5
A/D dönüştürücü kartının (10 Volt aralığında 12 bit) çözünürlüğünden kaynaklanan belirsizlik	$U_{\infty} = 3 \text{ m/s}$ için $\frac{\partial U}{\partial E} = 16.6 (m/s.Volt)$	%0.78
	$U_{\infty} = 5 \text{ m/s}$ için $\frac{\partial U}{\partial E} = 23.9 (m/s.Volt)$	%0.67
	$U_{\infty} = 10 \text{ m/s}$ için $\frac{\partial U}{\partial E} = 38.1 (m/s.Volt)$	%0.54
	$U_{\infty} = 15 \text{ m/s}$ için $\frac{\partial U}{\partial E} = 49.7 (m/s.Volt)$	%0.47
Prob pozisyonunun 1^0 sapmasından kaynaklanan belirsizlik		%0.009
Prob çalışma sıcaklığında 1°C ’lik değişimden kaynaklanan belirsizlik		%1.5
1°C sıcaklık farkından dolayı havanın yoğunluğundaki değişimden kaynaklanan belirsizlik		%0.4
Ortam basıncındaki 10 kPa basınç değişiminden kaynaklanan belirsizlik		%0.6

Çizelge 2.3’de verilen bu belirsizlik değerleri Eşitlik 2.31’de yerine yazılarak, 3, 5, 10 ve 15 m/s hızlar için yapılan hız ölçümlerindeki toplam belirsizlikler sırasıyla, %2.21, 2.17, 2.14 ve 2.12 olarak hesaplanmıştır.

2.8.2. Basınç Ölçümlerindeki Belirsizlik

Düz yüzey üzerinden akışta statik basınç ölçümleri için bakır yüzeye statik basınç delikleri açılmış ve bu deliklere manometre hortumlarının bağlanabilmesi için, deliklerin açıldığı noktalara pirinç silindirler lehimlenmiştir. Bloklu yüzey üzerinden akışta ise yüzeylere yine delikler açılmış, ancak bu deliklerle manometre hortumlarının bağlantısı kılcal borularla yapılmıştır. Deneylerde kullanılan, eğim açısı 5° - 90° aralığında ayarlanabilen 24 adet manometreden oluşan eğik manometrenin ayrıntıları Bölüm 2.7.2’de verilmiştir.

Bu tez çalışmasındaki basınç ölçümlerinde, manometre eğiminden, manometre içindeki sıvının yüzey gerilmesinden ve manometre yüksekliğinin okunmasından kaynaklanan belirsizlikler Çizelge 2.4’de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Basınç ölçümlerindeki belirsizlikler.

Manometre eğimindeki 0.5° hatadan kaynaklanan belirsizlik	%4.5
Manometre sıvısının yüzey gerilmesinden kaynaklanan belirsizlik	%0.5
Manometre yüksekliğinin 0.25 mm hatalı okunmasından kaynaklanan belirsizlik	%0.125

Çizelge 2.4’de verilen bu belirsizlik değerleri Eşitlik 2.31’de yerine yazılarak, basınç ölçümlerindeki toplam belirsizlik %4.53 olarak hesaplanmıştır. Basınç deliğinden ve manometreye bağlantı elemanlarından kaynaklanan belirsizlikler ise tespit edilememiştir.

2.8.3. Sıcaklık Ölçümlerindeki Belirsizlik

Düz ve bloklı sıcak yüzeylerdeki sıcaklık değerleri, K-tipi bir termal çiftlerin, dijital bir multimetrenin üzerindeki özel bağlantı girişine takılmasıyla ölçülmüştür. Multimetrenin sıcaklık değerleri için hassasiyeti ve termal çiftlerin yüzeye temas ettirilme şekline kaynaklanan hata 0.5 °C'dir. Çizelge 2.5'de sıcaklık ölçümlerindeki belirsizlikler verilmiştir.

Çizelge 2.5. Sıcaklık ölçümlerindeki belirsizlikler.

Multimetreden kaynaklanan belirsizlik	%2.5
Termal çiftlerin yüzeye temas etmesinden kaynaklanan belirsizlik	%1.25

Çizelge 2.5'de verilen bu belirsizlik değerleri Eşitlik 2.31'de yerine yazılarak, sıcaklık ölçümlerindeki toplam belirsizlik %2.8 olarak tespit edilmiştir.

2.8.4. Boyutsuz Sayıların Belirsizlik Değerleri

Boyutsuz sayıların belirsizlik değerlerinin saptanması için öncelikle, boyutsuz sayıların hesaplanmasında gerekli olan, havanın yoğunluğu ve kinematik viskozitesindeki belirsizlikler hesaplanmalıdır. Eşitlik 2.33'de verilen havanın yoğunluğundaki bağımsız değişkenlerin belirsizliğe etkisi,

$$\rho = \frac{P}{RT} \quad (2.33)$$

$$k_T = \frac{T}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial T} \beta_T = \frac{T}{\rho} \left(-\frac{P}{RT^2} \right) \beta_T \quad (2.34)$$

$$k_P = \frac{P}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial P} \beta_P = \frac{T}{\rho} \frac{1}{RT} \beta_T \quad (2.35)$$

olarak Eşitlik 2.34 ve 2.35'de verilmiştir. Bu eşitliklere göre, havanın sıcaklığı 1 °C ve basıncı 100 Pa değişirse, yoğunluğundaki toplam belirsizlik %0.4 olur. Havanın kinematik viskozitesindeki belirsizlik ise;

$$v\rho = v_0\rho_0\left(\frac{T}{T_0}\right)^n \quad (2.36)$$

ifadesi ile hesaplanmıştır. Havanın viskozitesinde 1 °C sıcaklık farkı için hesaplanan toplam belirsizlik yaklaşık olarak % 0.6'dır.

Havanın yoğunluğu ve viskozitesindeki belirsizlikle birlikte bu çalışmada kullanılan Reynolds sayısı ($Re = Re(U, h, \nu)$) ve basınç katsayısında ($C_p = C_p(\Delta P, U, \rho)$) oluşabilecek belirsizlikler, Eşitlik 2.31 kullanılarak elde edilmiştir. Buna göre, 3, 5, 10 ve 15 m/s hız değerleri için sırasıyla, Reynolds sayısındaki toplam belirsizlikler 2.29, 2.25, 2.22, 2.20 ve basınç katsayısındaki toplam belirsizlikler 5.06, 5.04, 5.02, 5.01 olarak elde edilmiştir.

2.8.5. Isı Transferi Hesaplamalarındaki Belirsizlikler

Isı transfer analizinde kullanılan tüm bakır yüzeylerin ısıtılması, altına döşenen rezistans tellerinin bir varyak ile tahrik edilmesiyle sağlanmıştır. Isı transferi hesaplamalarındaki belirsizliğin tespiti için gerekli olan deneysel değerlerin belirsizlikleri Çizelge 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Isı transferi ölçümlerindeki belirsizlikler.

Akım ölçümünden kaynaklanan belirsizlik	% 1
Gerilim ölçümünden kaynaklanan belirsizlik	%0.5
Varyaktan ($Q=IV$) kaynaklanan belirsizlik	% 1.12
Kompozit ısıtıcının döşenmesinden ve yalıtımından kaynaklanan belirsizlik	% 1.25

Çizelge 2.6 ve Eşitlik 2.31 beraber kullanılarak ısı transferi ölçümündeki toplam belirsizlik %2.02 olarak bulunmuştur. Yüzeyden olan ısı transferinin büyüklüğü varyağın çektiği gerilim ve akımın ölçülmesi ile hesaplanarak, analizler Stanton sayısı

ile ifade edildiğinden, Eşitlik 2.37’de formülü ve Çizelge 2.7’de detayları verilen Stanton sayısının toplam belirsizliği de ayrıntılı olarak hesaplanmıştır.

$$St = \frac{Q}{\rho C_p U A \Delta T} \quad (2.37)$$

Çizelge 2.7. Stanton sayısı belirsizlik hesaplamaları.

$U (m / s)$	3	5	10	15
$\frac{Q}{St} \frac{\partial St}{\partial Q} \beta_Q$	%1.39	%2.00	%2.47	%2.71
$\frac{U}{St} \frac{\partial St}{\partial U} \beta_U$	%1.52	%2.14	%2.61	%2.84
$\frac{\Delta T}{St} \frac{\partial St}{\partial T} \beta_T$	%1.92	%2.77	%3.43	%3.76
β_T	%2.82	%4.03	%4.97	%5.44

Buna göre Stanton sayısının belirsizliği 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızları için sırasıyla %2.82, %4.03, %4.97 ve %5.44 olarak hesaplanmıştır.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

3.1. Giriş

Bu bölümde, hem düz yüzey hem de bloklı yüzeyler üzerinde akışta hız ve ısı transferi karakteristikleri incelenmiştir. Laminer, geçiş ve türbülanslı akışta sınır tabakayı tanımlamak için, yer değiştirme kalınlığı (δ^*), momentum kalınlığı (θ), biçim faktörü (H), geçiş faktörü (γ) ve momentum kalınlığıyla hesaplanan Reynolds sayısı (Re_θ) kullanılmıştır. Sınır tabaka parametreleri, kızgın tel anemometresi ile ölçülen hızlarla elde edilen hız profilleri ve uygun sayısal yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır. Termal çift ile sabit ısı akısında alınan sıcaklık verileri ise Stanton sayılarıyla (St) ifade edilmiş ve düz yüzeyde bu veriler yaklaşık yöntemler ve analitik çözümlerle karşılaştırılırken, bloklı yüzeylerde daha önce yapılmış çalışmalardan elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Hız ve türbülans yoğunluğu ölçümleri kızgın tel anemometresi kullanılarak, basınç ölçümleri statik basınç delikleri ve eğik manometre ile, sıcaklık ölçümleri ise termal çiftlerle yapılmıştır. Yapılan tez çalışmasında hız değerleri 3, 5, 10 ve 15 m/s alınarak, hem düz yüzey hem de bloklı yüzeyler üzerinde laminer, geçiş ve türbülanslı akış yapısı elde edilmiştir. Ayrıca bloklı yüzeylerin blok yükseklikleri 10, 15 ve 20 mm alınarak, blok yüksekliğinin ısı transferine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Deneyler, Bölüm 2.6.1'de detayları verilen, Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nda bulunan, maksimum hızı 25 m/s ve türbülans yoğunluğu %0.7 olan, 5.7 kW gücünde ve üfleme tipindeki düşük hızlı bir rüzgar tünelineki test bölümünde yapılmıştır. Hava öncelikle içinde türbülans yoğunluğunu düşürmek için bal peteği şeklinde kanallar bulunan ve kesit alanı 305x305 mm² olan bir metal kanaldan geçmektedir. Bu metal kanaldan sonra sınır tabaka ayrılmasını önlemek ve akışı hızlandırmak için, daralma oranı 2:1, uzunluğu 400 mm ve yanal yüzey eğim açısı 7.1⁰ olan bir lüle bulunmaktadır. Lüleden sonra, uzunluğu 400 mm ve kesit alanı 305x200 mm² olan bir düz kanalla test bölümüne girmeden önce akış düzenlenmiştir. Bölüm 2.6.2'de anlatılan, yüzeylerin bulunduğu test bölümünün kesit alanı 305x400 mm² ve uzunluğu 800 mm'dir.

Düz yüzey üzerinde akışta, hız, sıcaklık ve statik basınç ölçümleri düz yüzeyin ortasında akış yönünde farklı 7 noktada yapılmıştır. İlk ölçüm noktası girişten 30 mm uzaklıkta, ikinci ölçüm noktası 75 mm uzaklıkta olup, diğer 5 ölçüm noktası 120 mm aralıklarla 195 mm, 315 mm, 435 mm, 555 mm ve 675 mm olarak belirlenmiştir. Türbülans yoğunluğu ölçümleri için ise, girişten 30, 315 ve 675 mm uzaklıkta olmak üzere 3 ölçüm noktası belirlenmiştir. Yüzey, alt kısmına kompozit bir ısıtıcı ve yalıtım malzemesi yerleştirilerek ısıtılmıştır. Ölçüm cihazları ve yöntemleriyle ilgili detaylı bilgi Bölüm 2.7’de verilirken, düz yüzey ve bu yüzey üzerindeki ölçüm noktaları Bölüm 2.6.4’de tanımlanmıştır.

Bloklu yüzeyler üzerinde akışta, hız, türbülans yoğunluğu ve statik basınç ölçümleri tasarlanan tahta yüzeylerle yapılırken, sıcaklık ölçümleri bakır yüzeylerle yapılmıştır. Bu yüzeyler üzerinde akışta, blok üstleri ve blok aralarında, hız ölçümleri yüzeyin ortasında olacak şekilde 5 ölçüm noktasında yapılırken, türbülans yoğunluğu ve sıcaklık ölçümleri eşit aralıklarla 3 ölçüm noktasında yapılmıştır. İlk bloktan önceki ön yüzeyde, hız ölçümleri eşit aralıklarla tespit edilen 6, sıcaklık ölçümleri 1 ve türbülans yoğunluğu ölçümleri 5 ölçüm noktasında yapılmıştır. Son bloktan sonraki arka yüzeyde ise hız ve türbülans yoğunluğu ölçümleri, yüzey sonuna kadar 10 mm aralıklarla yapılmıştır. Ayrıca ayrılmış akışın yeniden birleştiği noktanın tespiti için arka yüzeyde, gerekli görülen yerlerde 2 mm aralıklarda da hız ölçümleri alınmıştır. Yine tahta yüzeylerin ortasında, tüm blok üstleri ve aralarında eşit aralıklarla 3 tane, ilk bloktan önce 6 tane ve son bloktan sonra yüzey sonuna kadar 10 mm aralıklarla statik basınç ölçüm noktaları tespit edilmiş ve bu ölçüm noktalarında 0.8 mm çaplı statik basınç delikleri oluşturulmuştur. Bloklu bakır yüzeyler, düz yüzeydeki gibi kompozit bir ısıtıcı ile ısıtılmış ve alt yüzeyleri yalıtılarak belirlenen ölçüm noktalarında sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Ölçüm cihazları ve yöntemleriyle ilgili bilgi Bölüm 2.7’de verilirken, bloklu tahta ve bakır yüzeyler ve bu yüzeyler üzerindeki ölçüm noktalarıyla ilgili detaylı bilgi Bölüm 2.6.5’de verilmiştir.

Hız ve türbülans yoğunluğu ölçümleri, kullanılan kızgın tel probunun test bölümünde üç boyutta hareketini sağlayan, Bölüm 2.6.3’de anlatılan travers sistemi ve bu sistemin içinde hareket edebildiği test bölümünün üst yüzeyine akış yönünde açılmış kanallar yardımıyla yapılmıştır. Sıcaklık ölçümleri ise bu kanallarla birlikte kullanılan

uzatma kolları aracılığıyla termal çiftlerle yapılırken, statik basınç ölçümleri, statik basınç delikleri ve manometre ile yapılmıştır.

3.2. Düz Yüzey Deney Sonuçları

Düz yüzey üzerinde 3, 5, 10 ve 15 m/s hız değerleri için deneylerde, bu hız değerleri ile hesaplanan Reynolds sayıları (Re_x) sırasıyla 3.83×10^5 - 5.06×10^5 , 8.45×10^5 - 1.05×10^6 , 2.37×10^6 - 2.78×10^6 ve 3.72×10^6 - 4.34×10^6 aralığında hesaplanmıştır. Hız ölçümlerinin kızgın tel anemometresi ile yapılması türbülans yoğunluklarının da ölçülmesine olanak sağlamıştır. 10 ve 15 m/s giriş hızlarındaki türbülans yoğunlukları, tüm hızlar için Reynolds sayıları ve Stanton sayıları verilmiştir. Deneysel olarak elde edilen Stanton sayıları, laminer akış için analitik ve türbülanslı akış için yaklaşık yöntemlerle karşılaştırılmıştır.

3.2.1. Hız Karakteristikleri

Düz yüzey üzerinde, 3, 5, 10 ve 15 m/s hız değerinde, $x=30, 75, 195, 315, 435, 555$ ve 675 mm'deki 7 ölçüm noktasında elde edilen hız profilleri ve bu profillerden elde edilen sınır tabaka parametreleri ($\delta, \delta^*, \theta, H$) elde edilmiştir. Sınır tabaka yapısını tanımlamada kullanılan sınır tabaka parametreleri ve deneylerden elde edilen hız profilleri kullanılarak bu parametrelerin nasıl hesaplanacağı Bölüm 2.5'de açıklanmıştır. Sınır tabakanın yapısını belirlemek için sınır tabaka parametrelerinin yanı sıra, Re_x, Re_θ ve geçiş faktörü (γ) de incelenmiştir. Hız profillerinin bu parametrelerle beraber ele alınıp yorumlanması akış yapısını belirlemede daha sağlıklı yorumlar ve sonuçlara neden olmaktadır. Çalışılan tüm hızlarda basınç gradyanında bir değişim olmaması nedeniyle, ölçümler yaklaşık sıfır basınç gradyanında alınmıştır.

Akış yönündeki x mesafesiyle hesaplanan Reynolds sayısının (Re_x), tüm hızlar için hesap edilmesi gerekmektedir. Re_x 'nin hesaplanmasında, ölçüm noktalarının test bölümüne girişten olan uzaklıkları ve test bölümüne gelmeden önce akışın aldığı mesafe olan ısıtılmamış izafi başlangıç mesafesinin (x_1) bir arada kullanılması gerekir. Isıtılmamış izafi başlangıç mesafeleri, çalışılan tüm hızlar için, ilk ölçüm noktasındaki ($x=30$ mm) momentum kalınlığı (θ) kullanılarak Bölüm 2.5'de Eşitlik 2.19 ile verilen Blasius denkleminden hesaplanmıştır. 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızı için ölçüm noktalarının test bölümünün girişine olan uzaklıklarının üzerine ısıtılmamış izafi başlangıç uzunluğunun (x_1) eklenmesi ile elde edilen izafi mesafeler (x) ve bu izafi

mesafelerin kullanılmasıyla hesap edilen Reynolds sayıları (Re_x) Çizelge 3.1'de verilmiştir. Düz yüzey üzerinde laminer akıştan türbülanslı akışa geçiş Re_x 'nin yaklaşık 10^6 değerinde olmasına rağmen, düz yüzey üzerinde incelenen koşullarda bu kritik değeri belirlemek için sınır tabaka parametrelerine de bakmak gerekir.

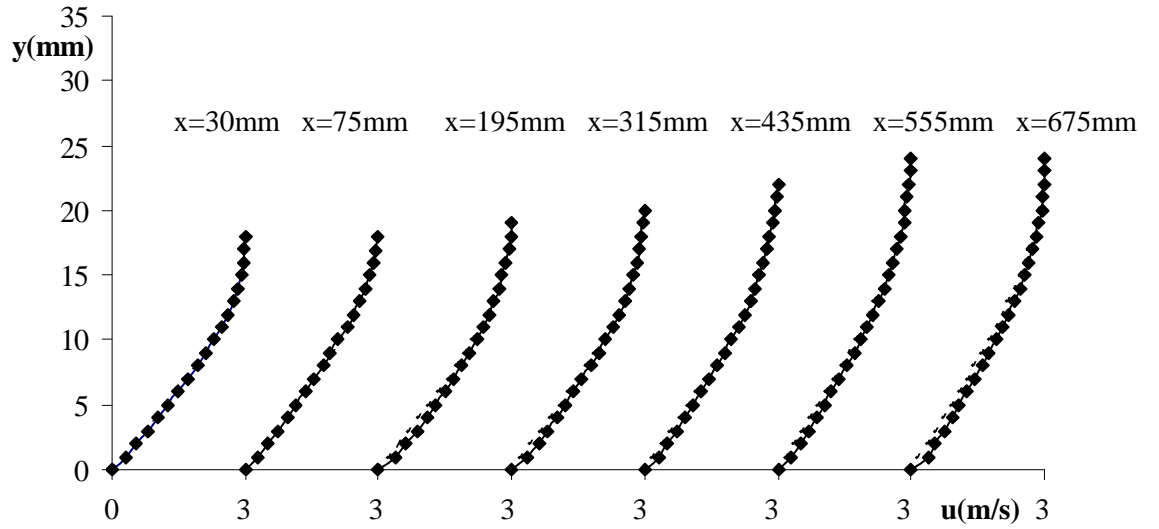
Çizelge 3.1. Düz yüzey üzerinde 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızları için izafi akış mesafeleri ve Re_x .

U=3 m/s		U=5 m/s		U=10 m/s		U=15 m/s	
x (mm)	Re_x	x (mm)	Re_x	x (mm)	Re_x	x (mm)	Re_x
2000	3.83×10^5	2650	8.45×10^5	3720	2.37×10^6	3890	3.72×10^6
2045	3.91×10^5	2695	8.61×10^5	3765	2.40×10^6	3935	3.76×10^6
2165	4.14×10^5	2815	8.98×10^5	3885	2.48×10^6	4055	3.88×10^6
2285	4.37×10^5	2935	9.36×10^5	4005	2.55×10^6	4175	3.99×10^6
2405	4.60×10^5	3055	9.74×10^5	4125	2.63×10^6	4295	4.11×10^6
2525	4.83×10^5	3175	1.01×10^6	4245	2.71×10^6	4415	4.22×10^6
2645	5.06×10^5	3295	1.05×10^6	4365	2.78×10^6	4535	4.34×10^6

Akış yapısını tanımlamada Re_x 'nin yanı sıra biçim faktörü (H) ve momentum kalınlığı ile hesaplanan Reynolds sayısının (Re_θ) da hesaplanması gerekir. Laminer sınır tabaka akışlarında akış yapısını belirleyen biçim faktörü 2.6 değerini alırken, türbülanslı sınır tabaka akışı için bu değer 1.3 olmaktadır (Schlichting 1979). Cebeci ve Bradshaw (1984) sıfır basınç gradyanlı laminer bir akışta Re_θ 'nin 470 olacağını belirtmiştir. Gostelow ve ark. (1994) sıfır basınç gradyanındaki akışlarda geçiş bölgesinde Re_θ 'nin 250-600 aralığında değerler aldığını göstermişlerdir. Pauley ve Eaton'ın (1994) türbülanslı akış incelemelerinde ise Re_θ 1790 değerinin üzerinde bulunmuştur. Bu tez çalışmasının düz yüzey üzerinde yapılan bölümünde, 3, 5, 10 ve 15 m/s hızlarda deneysel olarak elde edilen H ve Re_θ değerlerinin akış yönündeki değişimi şekiller ile sunulmuş ve elde edilen sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırılarak akış yapısının laminer, geçiş veya türbülanslı karakter gösterip göstermediği tespit edilmiştir.

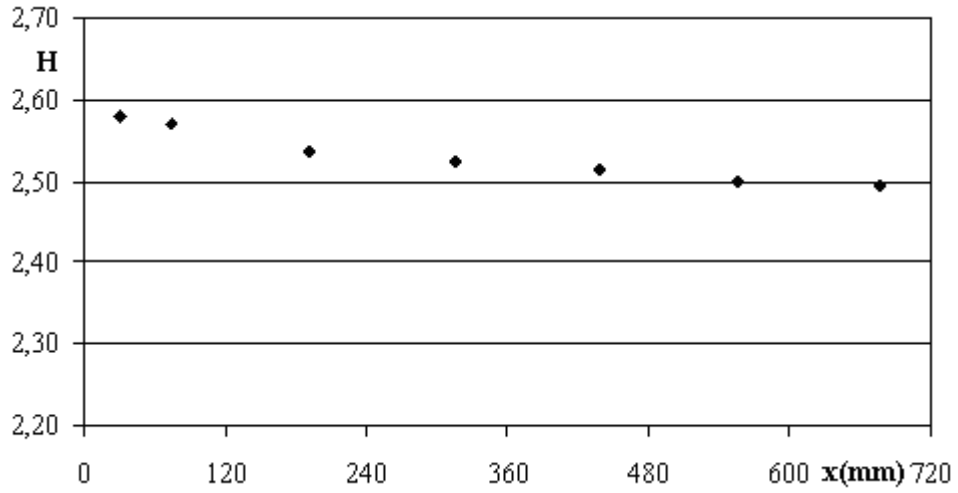
3 m/s giriş hızında, $x=30$ mm'deki ilk ve $x=75$ mm'deki ikinci ölçüm noktasında sınır tabaka kalınlığı 17 mm olarak elde edilmiştir. İlk iki ölçüm noktasından sonra 120 mm aralıklarla tespit edilen diğer 5 ölçüm noktasında, sınır tabaka kalınlığı sırasıyla 18,

19, 21, 23, 23 olarak bulunmuştur. Şekil 3.1’de de görüldüğü gibi, akış yönünde ilerledikçe sınır tabaka kalınlığının arttığı, yani akışın gelişmekte olan akış olduğu tespit edilmiştir. Bu şekilde, her ölçüm noktasındaki hız profili laminer akış çözümünde kullanılan Blasius yaklaşımıyla elde edilen hız profilleriyle beraber verilmiştir. Deneysel hız profilleri Blasius yaklaşımıyla elde edilen hız profilleriyle uyumlu sonuçlar göstermiştir.

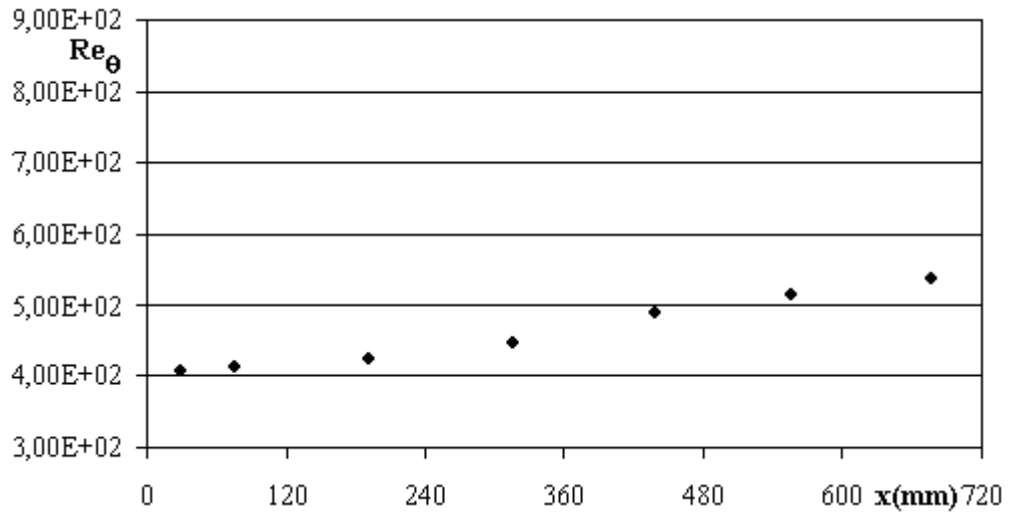


Şekil 3.1. Düz yüzey üzerinde 3 m/s hız için deneysel (—◆—) ve Blasius yaklaşımı (---) kullanılarak elde edilen hız profilleri.

Şekil 3.2’de 3 m/s giriş hızı için H ve Re_θ değerlerinin akış yönündeki değişimi verilmiştir. H değerleri 2.58-2.45 arasında, Re_θ değerleri ise 410-537 arasında hesaplanmıştır.



(a)

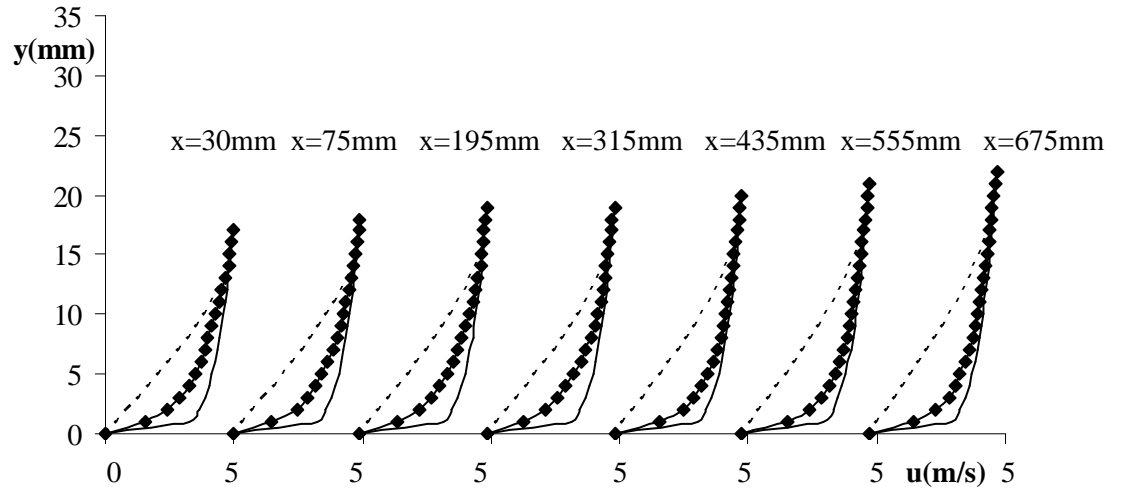


(b)

Şekil 3.2. Düz yüzey üzerinde 3 m/s hız için (a) H ve (b) Re_{θ} değerlerinin akış yönünde değişimi.

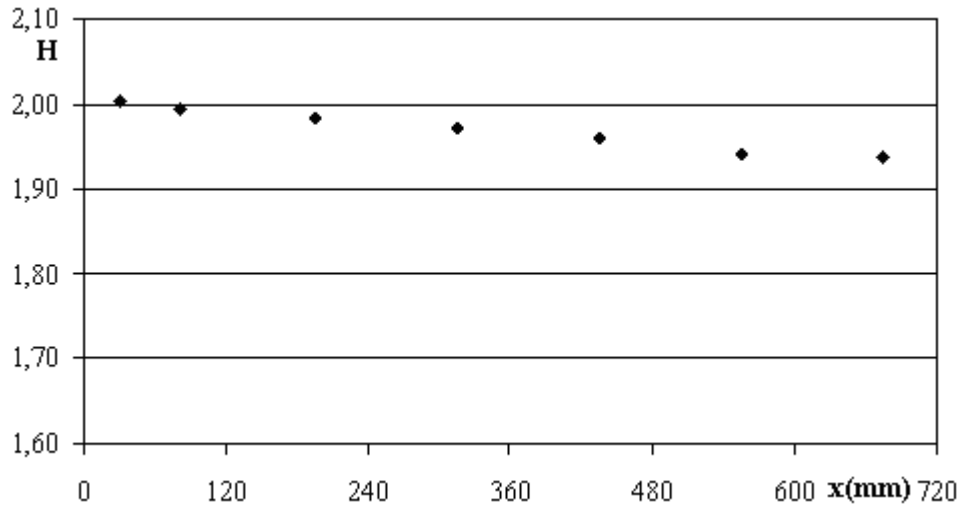
Düz yüzey üzerinde 3 m/s hız için akış yönünde elde edilen hız profilleri laminar akış için Blasius yaklaşımıyla elde edilen hız profilleriyle uyumlu olduğundan hız profilleri laminar akışı işaret etmektedir. Aynı hız için H verileri Schlichting (1979)'e göre, ilk ölçüm noktasında laminar ve ilerleyen ölçüm noktalarında geçiş karakteri göstermektedir. Abu-Ghannam ve Shaw'ın (1980) tespitlerine göre, 3 m/s hız için hesaplanan Re_{θ} değerlerinde, tüm ölçüm noktalarındaki akış laminar iken, Gostelow ve ark.'na (1994) göre tüm noktadaki akış geçiş karakteri göstermektedir. Cebeci ve Bradshaw'un (1984) tespitine göre ise akış 4. ölçüm noktasına ($x=315$ mm, $Re_{\theta}=449$, $H=2.52$) kadar laminar, bu noktadan sonra ise geçiş karakteri göstermektedir.

5 m/s giriş hızı için hız profillerinin düz yüzey boyunca değişimi Şekil 3.3'de verilmiş ve her ölçüm noktasındaki deneysel hız profili Blasius yaklaşımı ve 1/7 güç kanunuyla elde edilen hız profilleri ile karşılaştırılmıştır. $x=30$ mm'deki ilk ölçüm noktasında sınır tabaka kalınlığı 16 mm olarak ölçülmüştür. Daha sonraki 6 ölçüm noktasında ise sınır tabaka kalınlığı sırasıyla 17, 18, 18, 19, 20 ve 21 mm olarak tespit edilerek, sınır tabaka kalınlığının düz yüzey boyunca arttığı gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlarda elde edilen hız profilleri, ilk ölçüm noktasında, Blasius yaklaşımı ile elde edilen laminar hız profillerinden ortalama %48 aşağıda, 1/7 güç kanunu ile elde edilen türbülanslı hız profillerinden ise ortalama %28 daha yukarıdadır. Son ölçüm noktası olan $x=675$ mm'de ise laminar hız profillerinden ortalama %67 aşağıda, türbülanslı hız profillerinden ise ortalama %26 daha yukarıdadır.

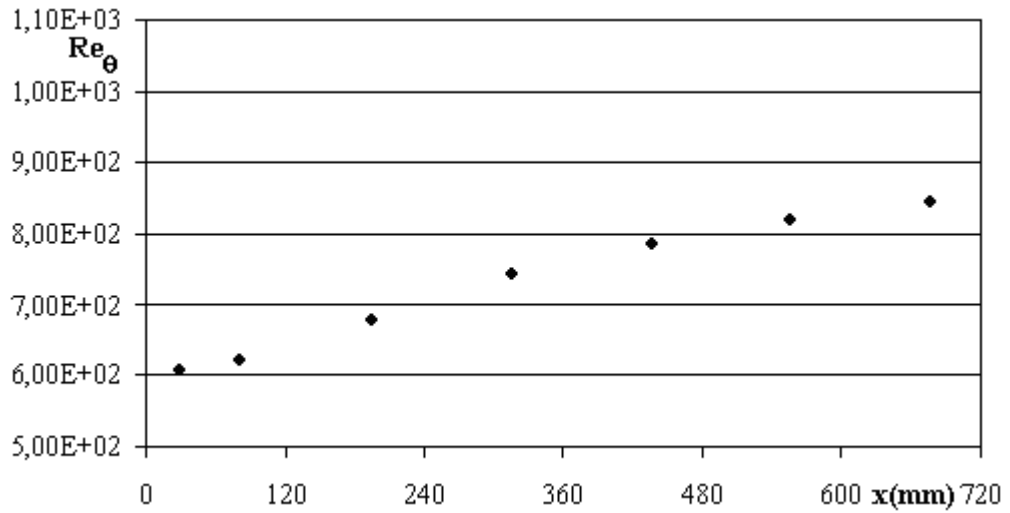


Şekil 3.3. Düz yüzey üzerinde 5 m/s hız için deneysel (—●—), Blasius yaklaşımı (----) ve 1/7 güç kanunu (—) kullanılarak elde edilen hız profilleri.

5 m/s giriş hızı için H ve Re_θ değerlerinin akış yönündeki değişimi Şekil 3.4'de verilmiştir. Bu hız değerinde H verileri 2.00-1.94 arasında değişirken, aynı hızda ve ölçüm noktalarında Re_θ 610-845 aralığında değişmektedir.



(a)



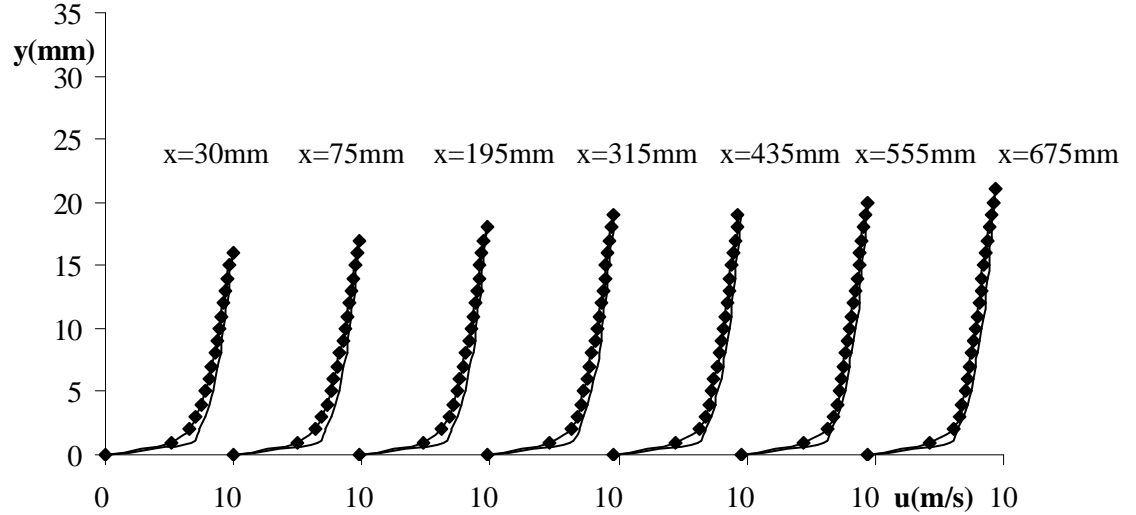
(b)

Şekil 3.4. Düz yüzey üzerinde 5 m/s hız için (a) H ve (b) Re_{θ} değerlerinin akış yönünde değişimi.

Düz yüzey üzerinde 5 m/s giriş hızındaki hız profilleri, laminar akış için Blasius ve türbülanslı akış için 1/7 güç kanunu hız profillerinin arasında elde edilmiştir. Bu hız profilleri, akışın geçiş bölgesinde olduğunu ve akış yönünde türbülanslı akışa yaklaşıldığını gösterir. Elde edilen H verilerine göre de tüm ölçüm noktalarında akış geçiş karakteri göstermektedir. Cebeci ve Bradshaw'un (1984) düz yüzey üzerinde akış sonuçlarındaki Re_{θ} değerleriyle de akışın geçiş karakteri gösterdiği doğrulanmaktadır.

10 m/s giriş hızında, ilk ölçüm noktasında kalınlığı 15 mm olan sınır tabaka gelişerek 7. ölçüm noktasına kadar sırasıyla 16, 17, 18, 18, 19, 20 mm olarak kalınlaşır.

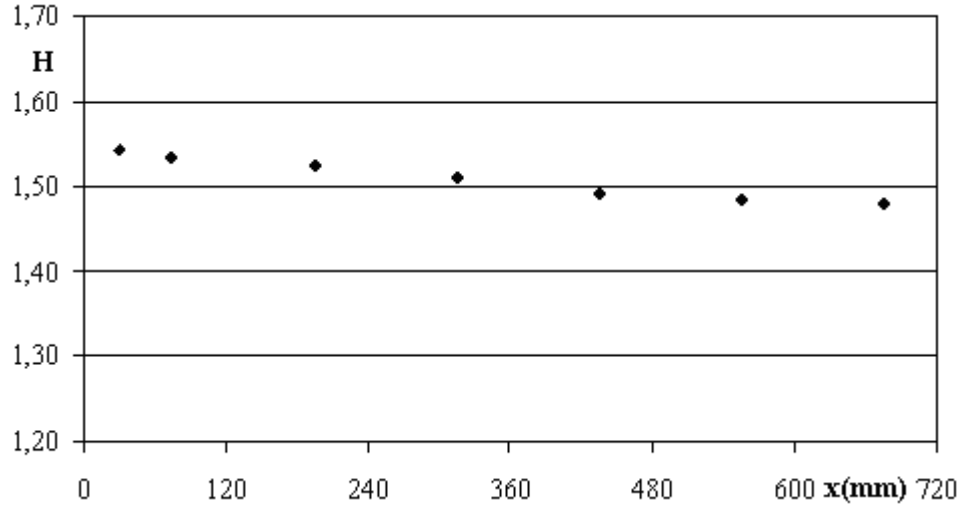
Şekil 3.5’de hem deneysel profiller hem de türbülanslı akış yaklaşımlarıyla elde edilen hız profilleri verilmiştir. Bu şekilde de görüldüğü gibi, akış yönünde ilerledikçe sınır tabaka gelişmeye devam etmektedir. Deneysel ve 1/7 güç kanunuyla elde edilen hız profilleri karşılaştırıldığında, deneysel profiller türbülanslı hız profillerinden ilk ölçüm noktasında ortalama %23, son ölçüm noktasında ise %21 daha yukarıdadır.



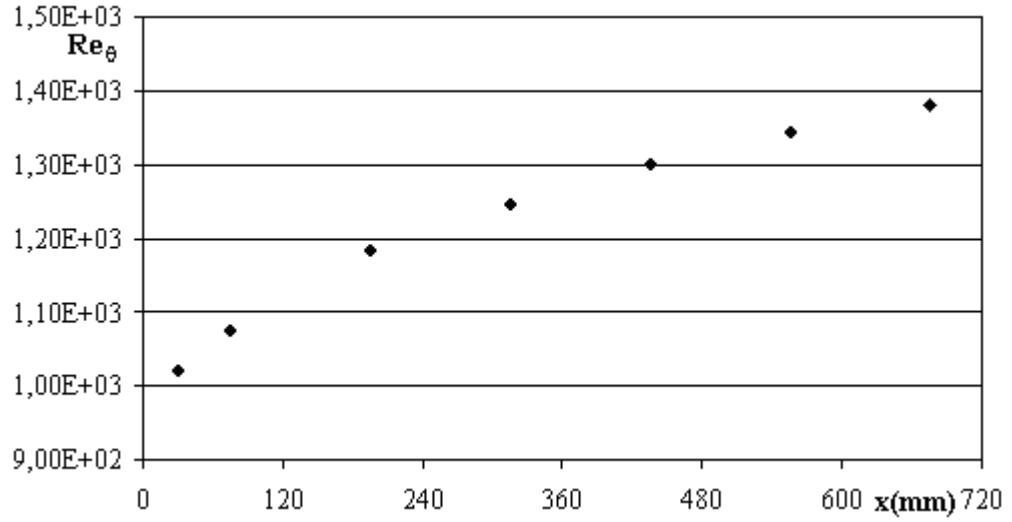
Şekil 3.5. Düz yüzey üzerinde 10 m/s hız için deneysel (—●—) ve 1/7 güç kanunu (—) kullanılarak elde edilen hız profilleri.

H ve Re_θ değerlerinin akış yönünde değişimi, Şekil 3.6’da 10 m/s giriş hızı için verilmiştir. H değerleri 1.54-1.48 aralığında değişirken, Re_θ 1022-1380 aralığında değişmektedir.

10 m/s giriş hızında elde edilen hız profilleri, akışın geçiş bölgesinde olduğunu ancak 5 m/s giriş hızına göre türbülanslıya daha yakın olduğunu ve akış yönünde ilerledikçe türbülanslıya yaklaştığını göstermektedir. Hesaplanan biçim faktörü değerleri de, tüm ölçüm noktalarında akışın geçiş karakterinde olduğunu doğrulamaktadır. Cebeci ve Bradshaw’un (1984), Gostelow ve ark.’nın (1994) ve Abu-Ghannam ve Shaw’ın (1980) Re_θ sonuçlarına göre ise, $x=195$ mm’deki 3. ölçüm noktasından ($Re_\theta=1185$, $H=1.52$) sonra akış türbülanslı yapıdadır.



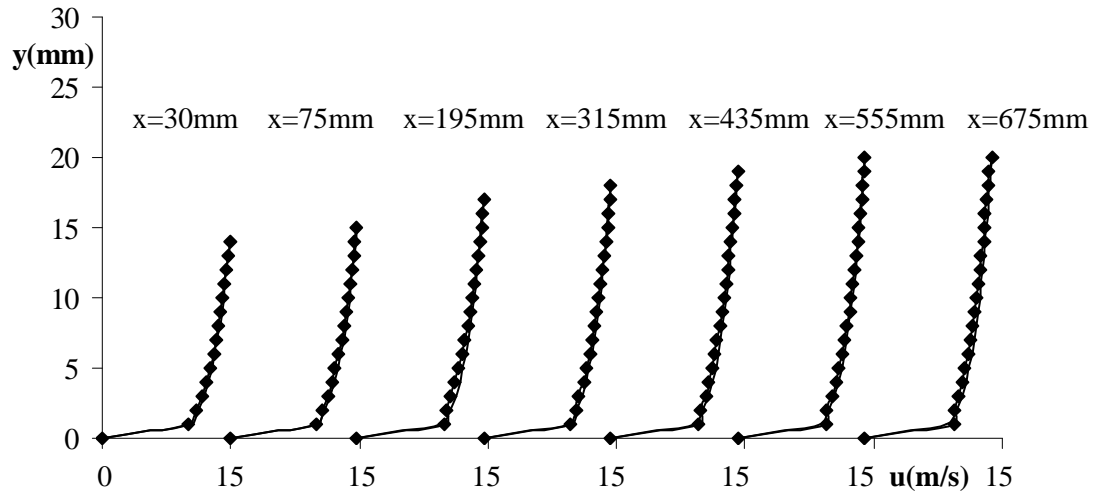
(a)



(b)

Şekil 3.6. Düz yüzey üzerinde 10 m/s hız için (a) H ve (b) Re_{θ} değerlerinin akış yönünde değişimi.

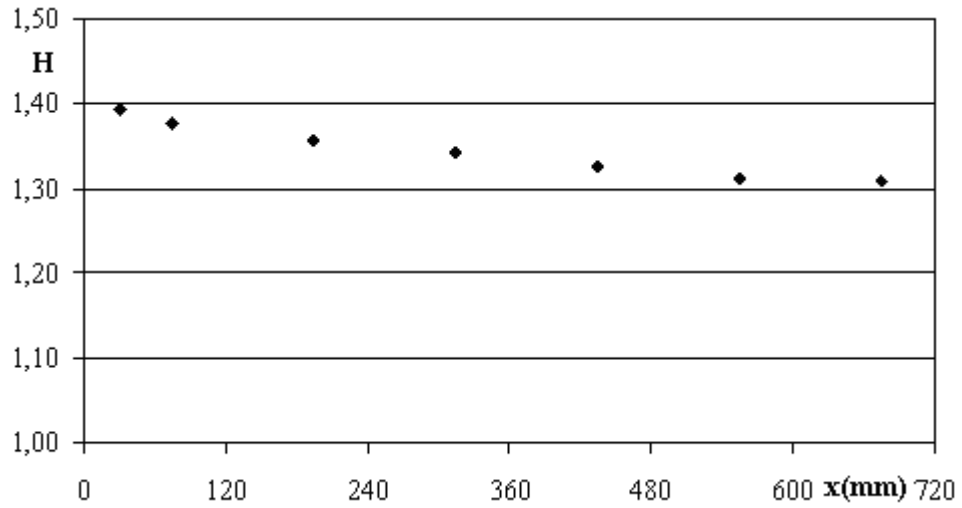
15 m/s giriş hızında yapılan deneylerde ilk ölçüm noktasında tespit edilen sınır tabaka kalınlığı 13 mm'dir. Akış yönünde ilk ölçüm noktasını takip eden diğer noktalarda bu kalınlık sırasıyla 14, 16, 17, 18, 19, 19 mm olarak ölçülmüştür. Deneysel hız profilleri Şekil 3.7'de 1/7 güç kanunuyla elde edilen hız profilleriyle karşılaştırılmış ve hız profilleri 1/7 güç kanunuyla uyum göstermiştir.



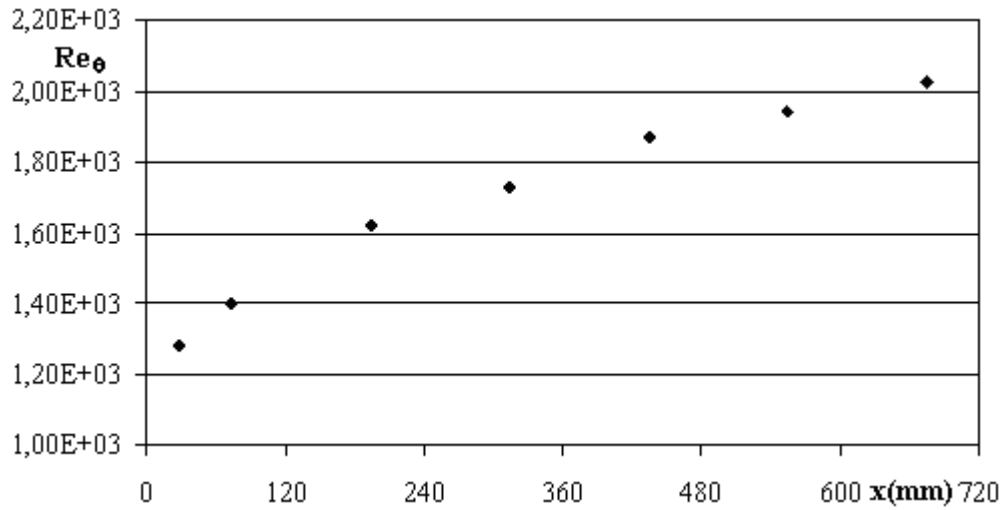
Şekil 3.7. Düz yüzey üzerinde 15 m/s hız için deneysel (—■—) ve 1/7 güç kanunu (—) kullanılarak elde edilen hız profilleri.

Şekil 3.8’de görüldüğü gibi 15 m/s hız için akış yönündeki H değerleri 1.39-1.31 aralığında, Re_θ değerleri ise 1281-2028 aralığında değişmektedir.

Deneysel hız profilleri 1/7 güç kanunuyla elde edilen hız profilleriyle karşılaştırılmış ve hız profilleri birbirleriyle uyum göstererek, türbülanslı akışı işaret etmiştir. Hesaplanan H değerleri ise, son ölçüm noktasına kadar akışın geçiş karakterinde olduğunu, son ölçüm noktasında ise türbülanslı olduğunu belirtir. Cebeci ve Bradshaw’un (1984), Gostelow ve ark.’nın (1994) ve Abu-Ghannam ve Shaw’ın (1980) Re_θ bulgularına göre bu hızdaki tüm ölçüm noktalarında akış türbülanslı iken, Pauley ve Eaton’ın (1994) bulgularına göre akış $x=315$ mm deki 4. ölçüm noktasından ($H=1.34$, $Re_\theta =1727$) sonra türbülanslı olmaktadır.



(a)



(b)

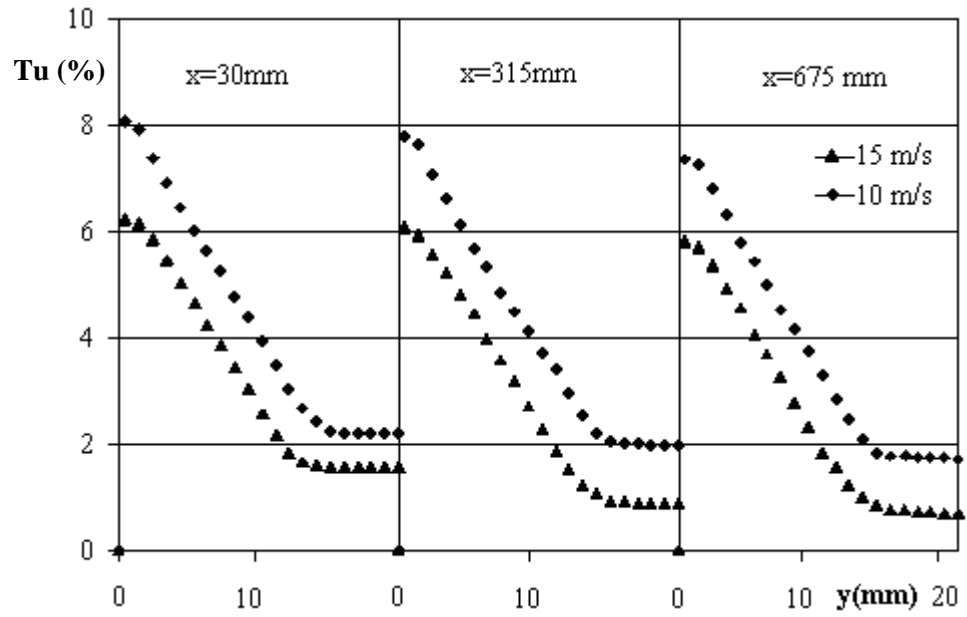
Şekil 3.8. Düz yüzey üzerinde 15 m/s hız için (a) H ve (b) Re_{θ} değerlerinin akış yönünde değişimi.

Çalışılan tüm hızlarda deneyler sıfır basınç gradyanında yapıldığı için, sınır tabaka dışındaki serbest akış hızı giriş hızına eşittir ve ölçüm noktalarındaki statik basınç değerlerinde değişim gözlemlenmemiştir. Düz yüzey boyunca akış yönünde ilerledikçe sınır tabakanın geliştiği ve buna bağlı olarak sınır tabaka kalınlığının arttığı belirlenmiştir. Giriş hızının artırılması, akışın türbülanslı yapısını arttırmakta ve böylece sınır tabaka kalınlığını azaltmaktadır. Tüm hız değerlerinde, giriş hızı sabitken akış yönünde ilerledikçe, akışın türbülanslı yapıya yaklaştığı ve biçim faktörünün azaldığı tespit edilmiştir. Momentum kalınlığının ve buna bağlı olarak Re_{θ} 'nin ise akış yönünde ilerledikçe daha büyük değerler aldığı gözlemlenmiştir. Tüm ölçüm

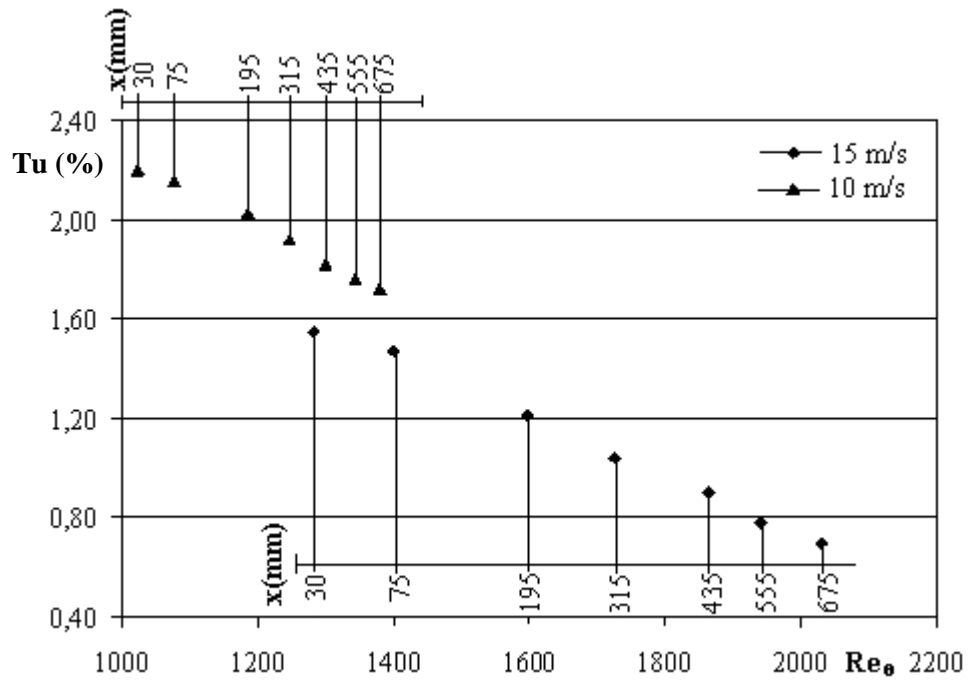
noktalarındaki hız profilleri laminar akışta kullanılan Blasius yaklaşımıyla ve türbülanslı akışta kullanılan 1/7 güç kanunuyla elde edilen hız profilleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmaların sonucunda, 3 m/s giriş hızındaki hız profilleri Blasius yaklaşımıyla hesaplananlarla uyum içinde olup laminar akış, 15 m/s'deki profiller ise 1/7 güç kanunuyla uyum göstererek türbülanslı akış yapısı göstermektedir. 5 ve 10 m/s giriş hızında ise deneylerle elde edilen hız profilleri her iki yöntemle hesaplanan hız profillerinden saparak geçiş bölgesini işaret etmektedir. Sınır tabaka akış yapısının belirlenmesi için hız profillerinin yanı sıra hesaplanan sınır tabaka parametreleri de (H , Re_θ) bu sonuçları doğrulamaktadır.

Sınır tabaka akış yapısının belirlenmesi için hız profilleri, Re_x ve sınır tabaka parametreleriyle beraber, 0-1 aralığında değerler alabilen ve Bölüm 2.4'de Eşitlik 2.13 ile tanımlanan geçiş faktörü (γ) de incelenmiştir. $H_L=2.6$ ve $H_T=1.3$ olmak üzere, γ 'nın sıfıra yakın değerler alması akışın laminar olduğunu, bire yaklaşması ise türbülanslı olduğunu göstermektedir. Düz yüzey üzerinde sıfır basınç gradyanında 3 m/s giriş hızı için γ 0.015-0.081 değerlerini alarak laminar akışı, 5 m/s için ise 0.46-0.51 arasında değerler alarak geçiş karakterini belirtmektedir. 10 m/s hızda, geçiş faktörünün 0.81-0.86 arasında değerler alması geçiş bölgesinin %80'inin tamamlandığını gösterirken, 15 m/s de ise geçiş faktörü 0.93-0.99 değerleriyle türbülanslı akışı göstermektedir. Bu değerler hız profilleri ve sınır tabaka parametreleriyle elde edilen akış tipi sonuçlarını doğrulamaktadır. Giriş hızı sabitken akış yönünde ilerledikçe, akışın türbülanslı yapıya yaklaştığı ve geçiş faktörünün artarak 1'e yaklaştığı görülmüştür.

Laminar akıştan türbülanslı akışa geçiş türbülans yoğunluğuna da bağlı olduğundan, düz yüzey üzerinde akışta türbülans yoğunlukları da incelenmelidir. Geçiş bölgesinin %80'inin tamamlandığı 10 m/s ve türbülanslı akış yapısındaki 15 m/s giriş hızı için Eşitlik 2.23 ile hesaplanan türbülans yoğunluklarının akışa dik mesafeyle (y) değişimi Şekil 3.9'da verilirken, Re_θ ile değişimi Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.9. Düz yüzey üzerinde türbülans yoğunlukları.



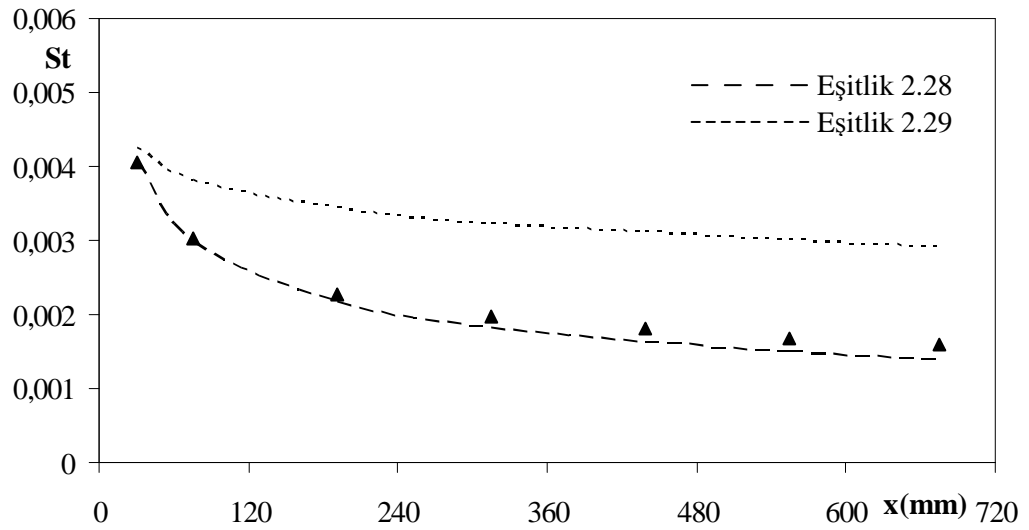
Şekil 3.10. Düz yüzey üzerinde türbülans yoğunluklarının Re_0 ile değişimi.

Yüksek türbülans yoğunluğu geçişi hızlandırmaktadır, yani geçiş daha küçük Reynolds sayılarında başlamaktadır. Sabit hız değerlerinde akış yönünde ilerledikçe, aynı ölçüm noktasında ise hız arttıkça türbülans yoğunluğunun azaldığı tespit edilmiştir. Sınır tabaka kalınlıkları, 10 m/s için $x=30, 312$ ve 675 mm 'deki ölçüm noktalarında sırasıyla $15, 18, 20\text{ mm}$ ve 15 m/s için aynı ölçüm noktalarında sırasıyla $13, 17, 19\text{ mm}$

bulunarak hız profilleri doğrulanmıştır. 10 m/s için maksimum türbülans yoğunluğu yüzeye en yakın noktada %8.07 ve minimum türbülans yoğunluğu sınır tabakanın dışında %1.72 olarak bulunurken, 15 m/s hız için maksimum türbülans yoğunluğu %5.84 ve minimum türbülans yoğunluğu %0.7 olarak tespit edilmiştir.

3.2.2. Isı Transferi Karakteristikleri

Bu bölümde düz yüzey üzerinde, test bölümünün girişinden 30, 75, 195, 315, 435, 555 ve 675 mm uzaklıktaki 7 ölçüm noktasında yapılan sıcaklık ölçümlerinin sonuçları verilmiştir. Deneyle, sıfır basınç gradyanında, 3, 5, 10 ve 15 m/s hızlarda Bölüm 2.7’de açıklanan ölçüm cihazlarıyla yapılırken, sonuçlar Stanton sayısı ile ifade edilmiştir. Her ölçüm noktasındaki deneysel Stanton sayıları, Eşitlik 2.28 ile verilen sabit ısı akısındaki laminer akış için analitik çözümle ve Eşitlik 2.29 ile verilen türbülanslı akışlar için yaklaşık yöntem değerleriyle hesaplanan Stanton sayılarıyla karşılaştırılmıştır.

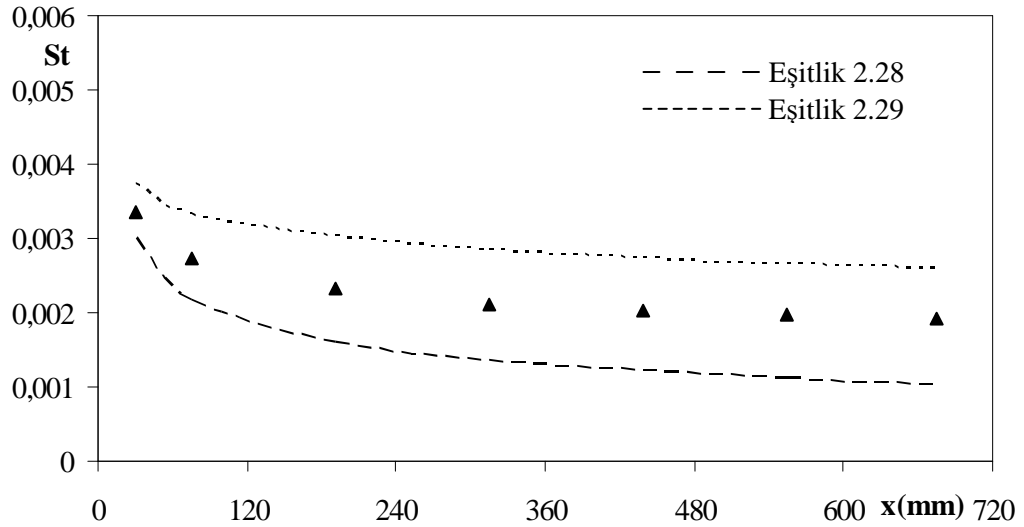


Şekil 3.11. Düz yüzey üzerinde 3 m/s hız için akış yönündeki St değişimi.

Düz yüzey üzerinde 3 m/s giriş hızı için Stanton sayısının akış yönündeki değişimini veren Şekil 3.11’de görüldüğü gibi, sıfır basınç gradyanında elde edilen deneysel St değerleri, türbülanslı akış için yaklaşık yöntem değerlerinin altındadır ve laminer akış karakterini göstermektedir. İlk 3 ölçüm noktasında ($x=30, 75, 195$ mm) St değerleri laminer akış için analitik yöntem değerleriyle uyum gösterirken, devam eden

ölçüm noktalarındaki değerler laminer analitik değerlerden saparak geçiş karakterini göstermektedir. Son ölçüm noktasında ($x=675$ mm), deneysel St laminer analitik değerinin %15 üstünde, türbülanslı yaklaşımın ise %45 altındadır. Bu sonuçlar hız profili ile elde edilen sonuçlarla uyum göstermektedir.

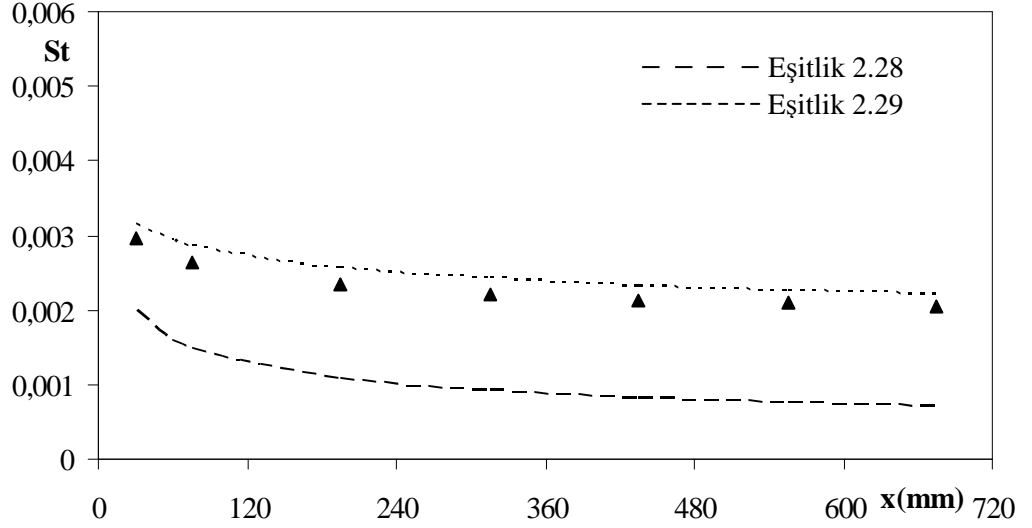
5 m/s hızda yapılan deneyler sonucunda bulunan St değerleri, laminer akış için analitik ve türbülanslı akış için yaklaşık yöntem değerlerinin arasında bulunmakta ve Şekil 3.12’de de görüldüğü gibi geçiş karakterini göstermektedir. İlk ölçüm noktasında ($x=30$ mm) St laminer akış için analitik yöntem değerinin %12, türbülanslı akış için ise yaklaşık yöntem değerinin %10 üzerindedir. Son ölçüm noktasında ($x=675$ mm) ise St laminer analitik değerinin %87 üzerinde, türbülanslı yaklaşımın %25 altındadır. Bu değerler geçiş karakterini ortaya koymakta ve akış yönünde türbülanslı yapıya doğru bir kayma olduğunu göstermektedir. Isı transfer ölçüm sonuçları hidrodinamik sınır tabaka sonuçlarıyla uyum içerisindedir.



Şekil 3.12. Düz yüzey üzerinde 5 m/s hız için akış yönündeki St değişimi.

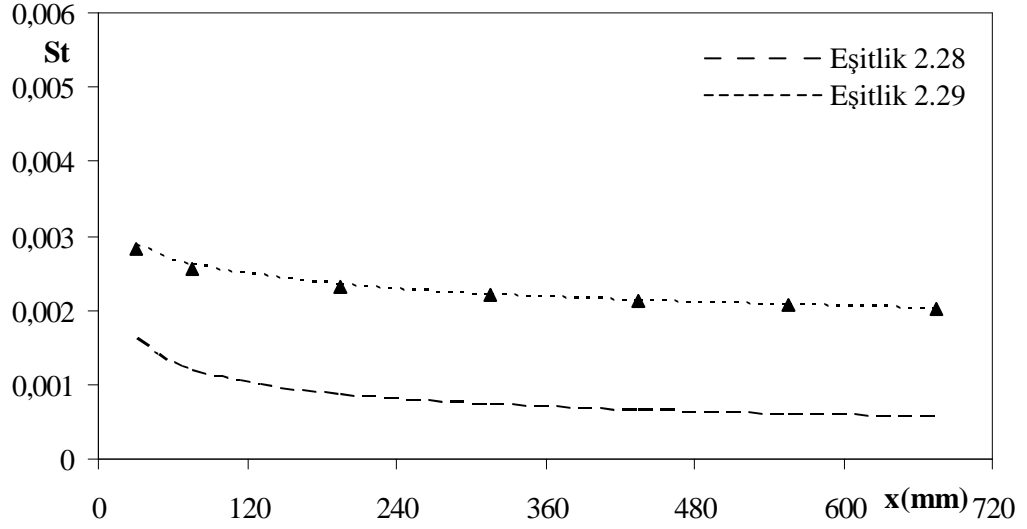
Şekil 3.13’de görüldüğü gibi, 10 m/s giriş hızında, deneyler sonucunda bulunan St değerleri, laminer akış için analitik değerden çok yukarıdadır. Bu deneysel değerler türbülanslı değerlere yakın ancak laminer ve türbülanslı değerlerin arasında bulunarak geçiş bölgesini göstermektedir. İlk ölçüm noktasında ($x=30$ mm) St laminer akış değerinin %47 üstünde, türbülanslı akış değerinin ise %7 altındadır. Son ölçüm

noktasında ($x=675$ mm) ise St türbülanslı yaklaşımın %6 altındadır. Akış yönünde türbülanslı yapıya yaklaşılmaktadır. Bu sonuçlar sınır tabaka parametrelerinden elde edilen akış yapısı sonuçlarıyla benzerdir.



Şekil 3.13. Düz yüzey üzerinde 10 m/s hız için akış yönündeki St değişimi.

15 m/s hız için yapılan deneyler sonucunda bulunan St değerleri Şekil 3.14'de görüldüğü gibi türbülanslı akış için yaklaşık yöntem değerleriyle çakışarak türbülanslı yapıyı tanımlamaktadır. İlk ve son ölçüm noktasının türbülanslı akış için yaklaşık yöntem değerinden sapması ortalama %1'dir. Bu akış yapısı hız profilleriyle de desteklenmektedir.



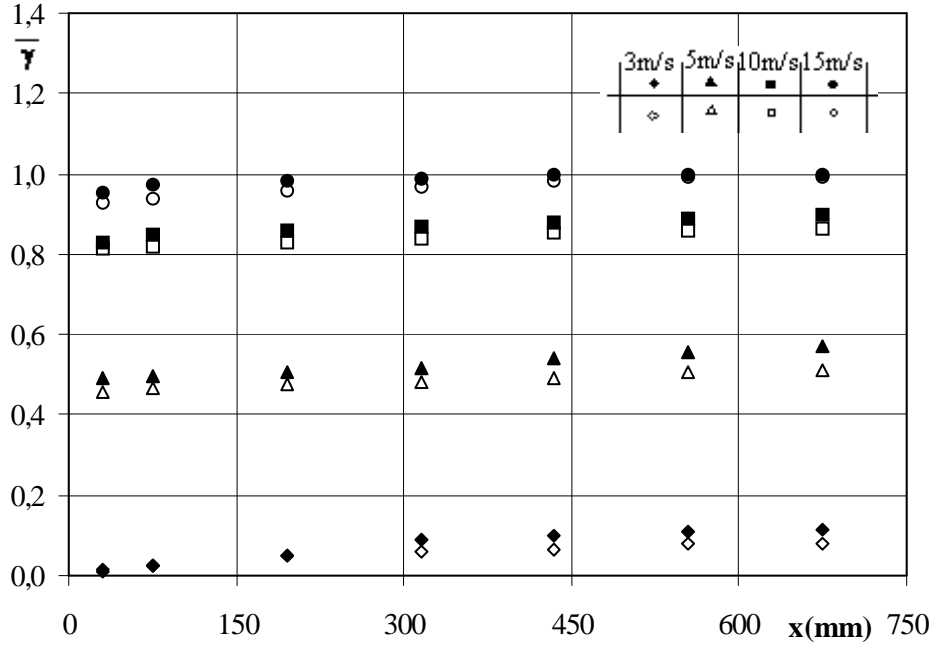
Şekil 3.14. Düz yüzey üzerinde 15 m/s hız için akış yönündeki St değişimi.

3, 5, 10 ve 15 m/s hız değerlerinin tamamında, akış yönünde ilerledikçe sıcaklık farkının azalmasıyla Stanton sayıları azalmaktadır. 3 m/s hızdaki deneysel Stanton sayıları laminer akış için analitik yöntem değerleriyle, 15 m/s'dekiler ise türbülanslı akış için yaklaşık değerlerle uyum sağlayarak, sırasıyla laminer ve türbülanslı akış yapısını göstermektedir. 5 ve 10 m/s hızlardaki St değerleri ise laminer ve türbülanslı değerlerden saparak geçiş karakteri göstermektedir. İncelenen hızların tümünde elde edilen akış yapıları Bölüm 2.4'de açıklanan sınır tabaka parametreleriyle elde edilenlerle uyum içindedir. Bu uyum Eşitlik 3.1'de tanımlanan Stanton sayılarıyla elde edilen geçiş faktörüyle, Eşitlik 2.13'de tanımlanan biçim faktörüyle elde edilen geçiş faktörü arasında da gözlemlenmelidir.

$$\gamma = \frac{St - St_L}{St_T - St_L} \quad (3.1)$$

Şekil 3.15'de, incelenen tüm hızlar için, ısı transfer ölçümleriyle elde edilen geçiş faktörleri dolu simgelerle gösterilirken, sınır tabaka ölçümleriyle elde edilen geçiş faktörleri boş simgelerle gösterilmiştir. Stanton sayıları kullanılarak elde edilen geçiş faktörleri biçim faktörleriyle hesaplanandan daha fazladır. Sıcaklık ölçümleri için ısıtılmış olan yüzey üzerinde akışta sıcak akışkanın akışın merkezine doğru hareketi daha yüksek geçiş faktörüne neden olur. Bu iki yöntemle hesaplanan geçiş faktöründeki

maksimum sapma %11'dir. Umur ve Özalp'in (2006) düz yüzey üzerinde yaptığı çalışmada bu sapma maksimum %15 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.15. Ortalama geçiş faktörlerinin akış yönünde değişimi.

Ortalama geçiş faktörlerine göre, 3 m/s için laminer, 5 ve 10 m/s için geçiş ve 15 m/s için türbülanslı akış yapısı tespit edilerek, hız ölçümleriyle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda 3 m/s hız için laminer akış, 5 ve 10 m/s hız için geçiş ve 15 m/s hız için türbülanslı akış yapısı gözlemlenmiştir.

3.3. Bloklü Yüzey Deney Sonuçları

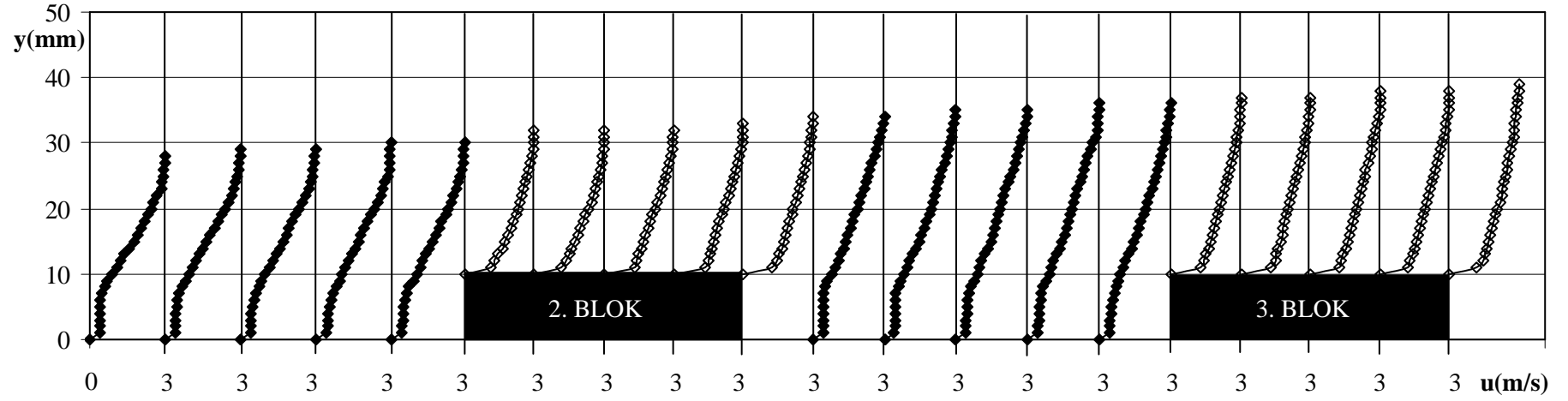
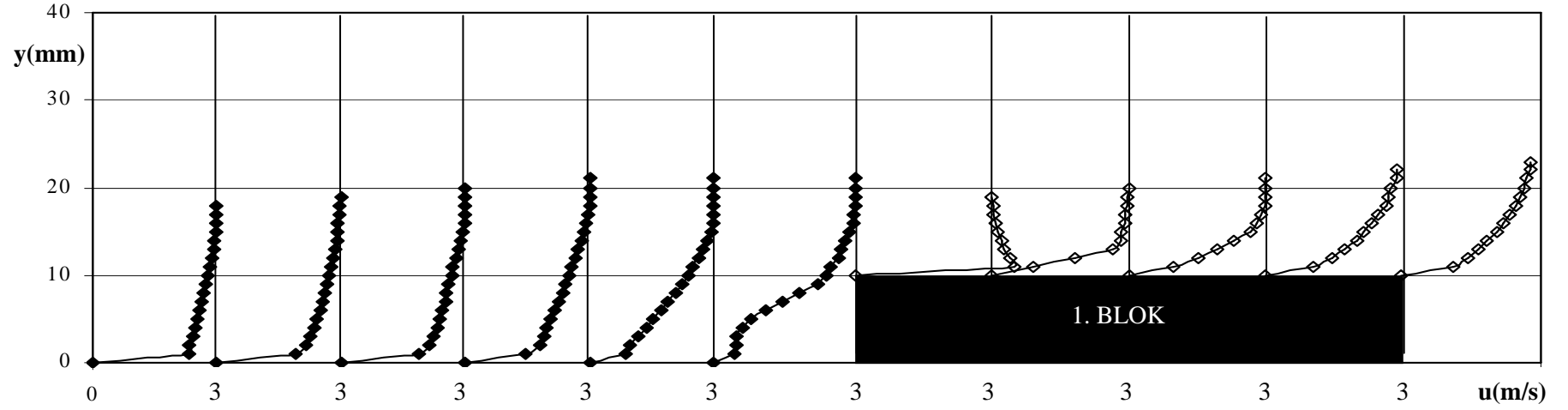
Bloklü yüzeyler üzerinde akışta yapılan deneyler, Bölüm 2.6'da anlatılan deney düzeneğinde, Bölüm 2.7'de tanıtılan ölçüm cihazlarıyla yapılmıştır. Hız profilleri, türbülans yoğunlukları ve statik basınç ölçümleri için tahta, sıcaklık ölçümleri için ise bakır yüzeyler kullanılmıştır. Bu yüzeylerin ilk bloktan önceki giriş ve son bloktan sonraki çıkış uzunlukları, giriş etkilerini azaltacak ve çıkışta sürekliliği sağlayarak yeniden birleşme uzunluğunu içine alacak şekilde seçilmiştir (Davalath ve Beyazıtoglu 1987, Young ve Vafai 1998). Kullanılan bu bloklü yüzeylerin tümünün ayrıntıları Bölüm 2.6.5'de verilmiştir. Deneyler, 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliğine sahip bakır ve tahta yüzeyler üzerinde, her bir yüzey için 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızlarında yapılmıştır.

Kaşağı ve Matsunaga (1995) tarafından bildirildiğine göre, $h/H=1/20$ oranı iki boyutlu akış elde etmek için yeterliyken, İwai ve ark.'na (2000) göre de büyük görünüş oranlarında akış iki boyutlu olur. Buna göre 10, 15 ve 20 mm olarak seçilen blok yükseklikleri iki boyutlu akış eldesi için uygun iken akışa dik yönde derinlemesine alınan basınç ölçümleriyle de bu durum onaylanmıştır. Bloklu yüzeyler üzerinden akışta, tüm hızlar için hız, basınç ve ısı transferi karakteristikleri ayrı ayrı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, Bölüm 3.2'de verilen düz yüzey üzerinde akış sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

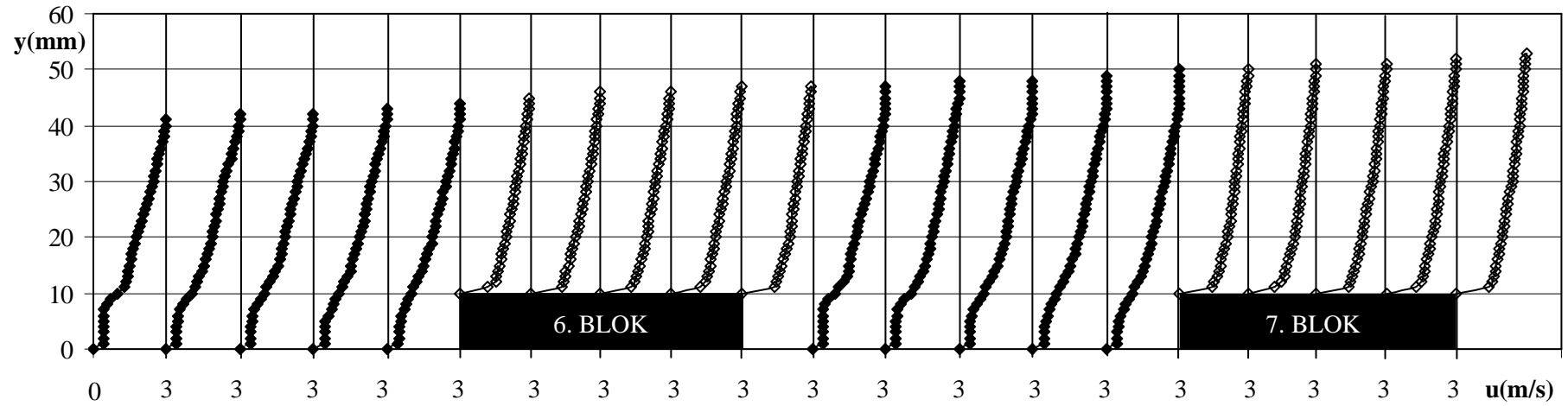
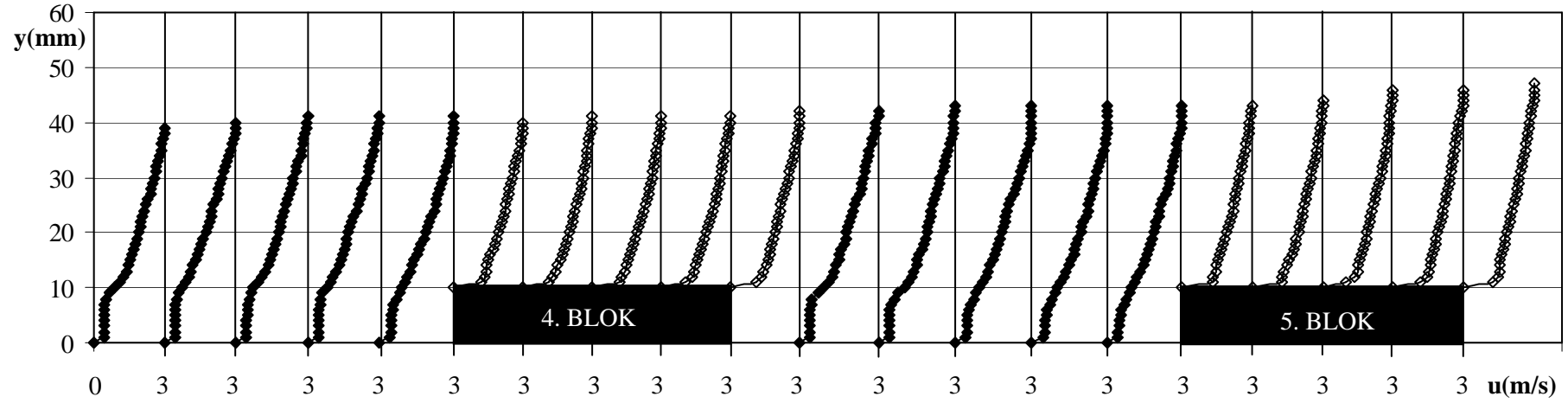
3.3.1. Hız Karakteristikleri

Bloklu yüzeyler üzerinde akışta, blok yüksekliğinin düz yüzeyde ilk bloğun bulunduğu noktadaki sınır tabaka kalınlığına oranına $(\frac{h}{\delta_1})$ bağlı olarak blok yükseklikleri seçilmiş ve Igarashi ve Takasaki'nin (1992) yaptığı çalışma sonucunda bu oranla ilgili olarak elde ettiği akış örnekleriyle karşılaştırılmıştır. 10, 15 ve 20 mm olarak seçilen blok yüksekliklerine sahip tahta yüzeyler üzerinde akışta, 3, 5, 10 ve 15 m/s hız değerleri için blok yükseklikleriyle elde edilen Reynolds sayıları (Re_h) sırasıyla $1.9 \times 10^3 - 3.8 \times 10^3$, $3.2 \times 10^3 - 6.4 \times 10^3$, $6.4 \times 10^3 - 1.3 \times 10^4$ ve $9.6 \times 10^3 - 1.9 \times 10^4$ aralığında hesaplanmıştır. Tüm blok yükseklikleri ve giriş hızları için, ilk bloktan önceki ön yüzey, blok üstleri, blok araları ve son bloktan sonraki arka yüzeyde, belirlenen ölçüm noktalarında sınır tabaka kalınlıkları ölçülmüş ve hız profilleri elde edilmiştir. Hız ölçümleri kızgın tel anemometresi ile yapıldığından 10 ve 15 m/s giriş hızlarında tespit edilen noktalarda türbülans yoğunluklarının değişimi de incelenmiştir. Bölüm 2.7.1'de anlatılan ve Atlı (1988) tarafından da uygulanan yöntem ile bloklu yüzeyler üzerinden akıştaki ayrılma noktalarının yeri ve son bloğun arkasında yeniden birleşme uzunlukları tespit edilmiştir.

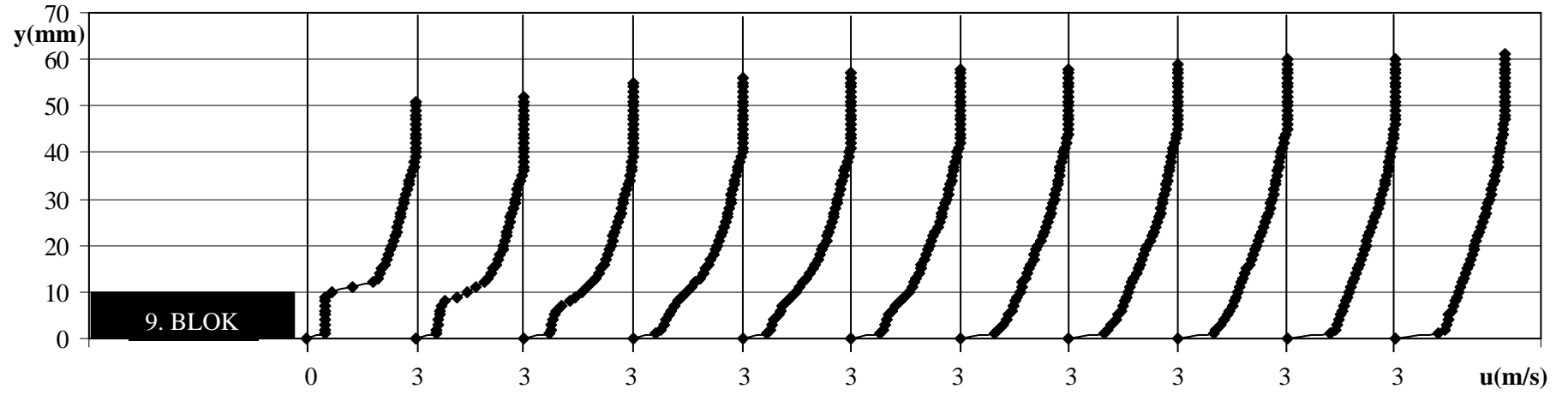
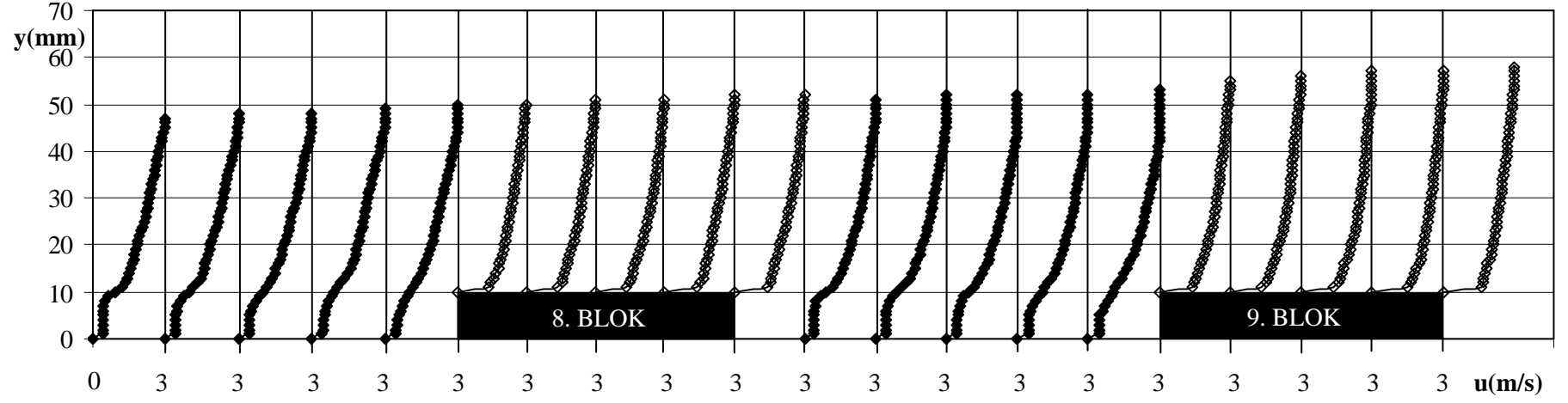
3 m/s giriş hızı için 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliğine sahip yüzeylerde elde edilen hız profilleri sırasıyla Şekil 3.16, 3.17 ve 3.18'de verilmiştir. Bu hız profillerinden hareketle sınır tabaka kalınlıkları, yeniden birleşme uzunlukları ve yüzeylerde oluşan ayrılma noktaları da tespit edilmiştir.



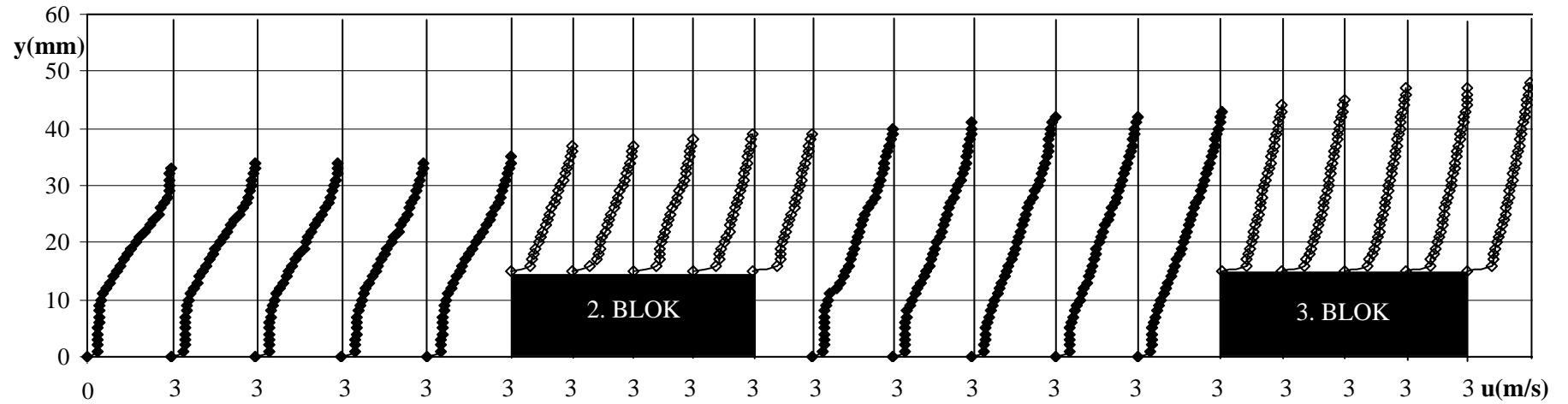
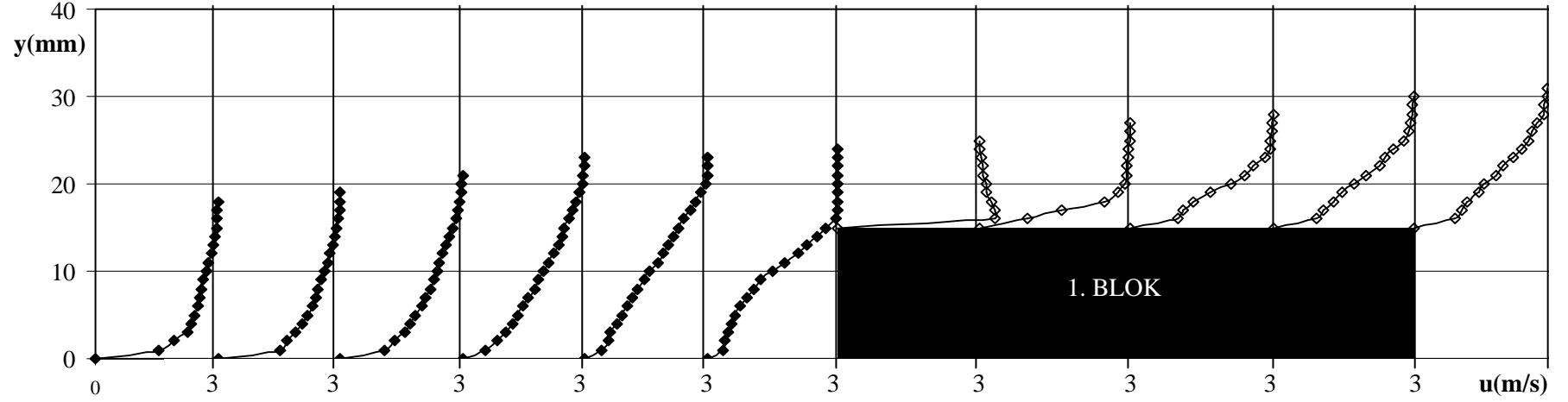
Şekil 3.16. $U=3$ m/s ve $h=10$ mm için hız profilleri.



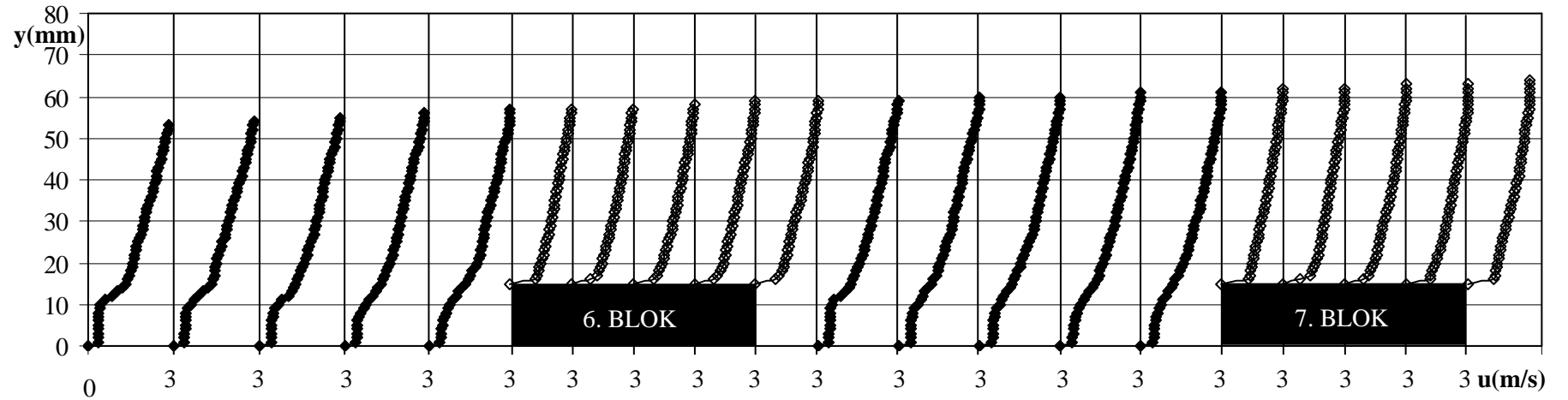
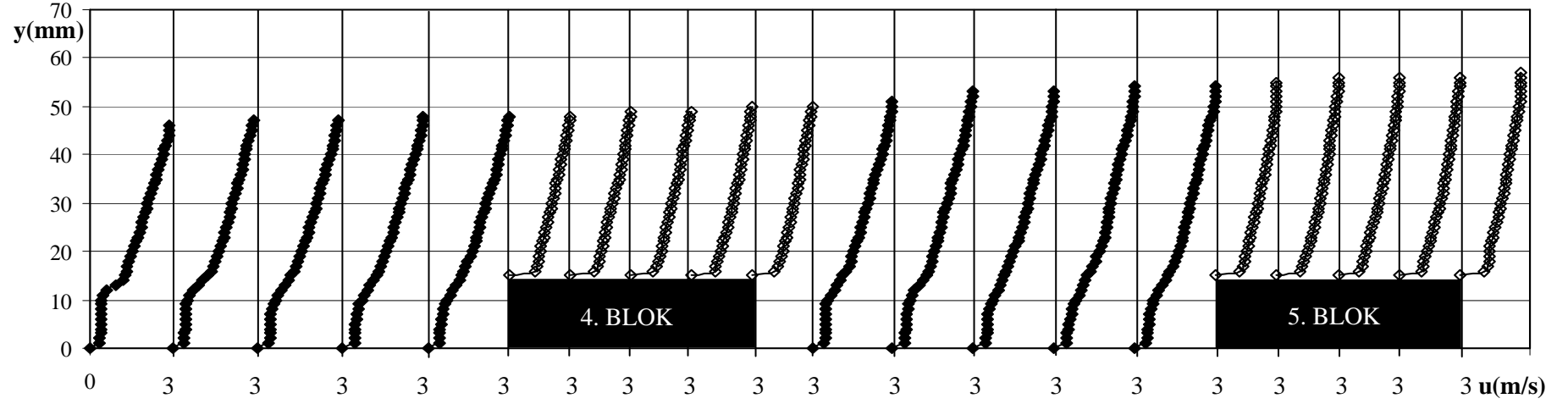
Şekil 3.16 (Devam). $U=3$ m/s ve $h=10$ mm için hız profilleri.



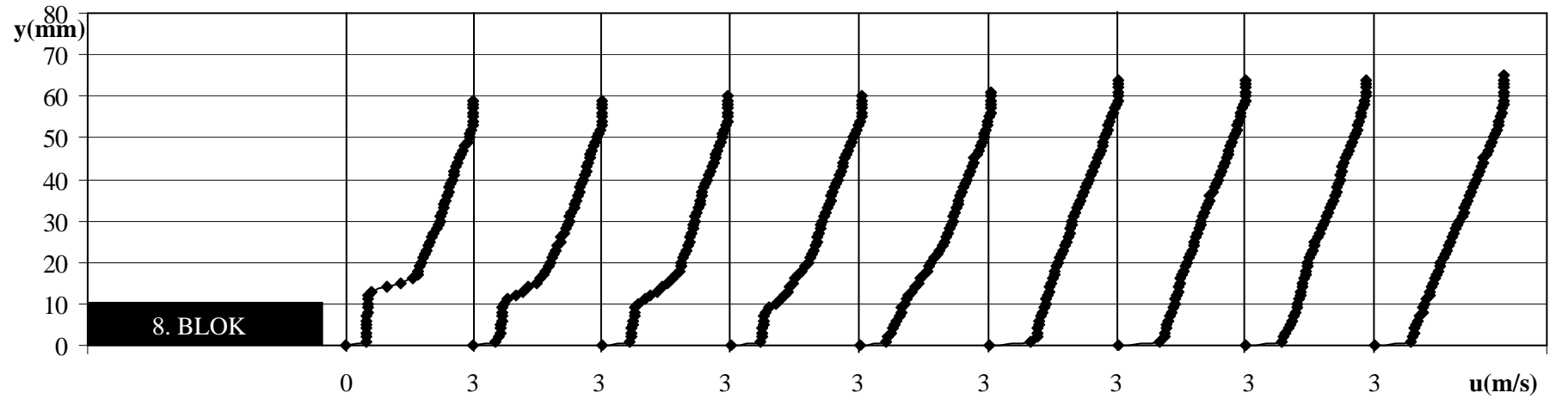
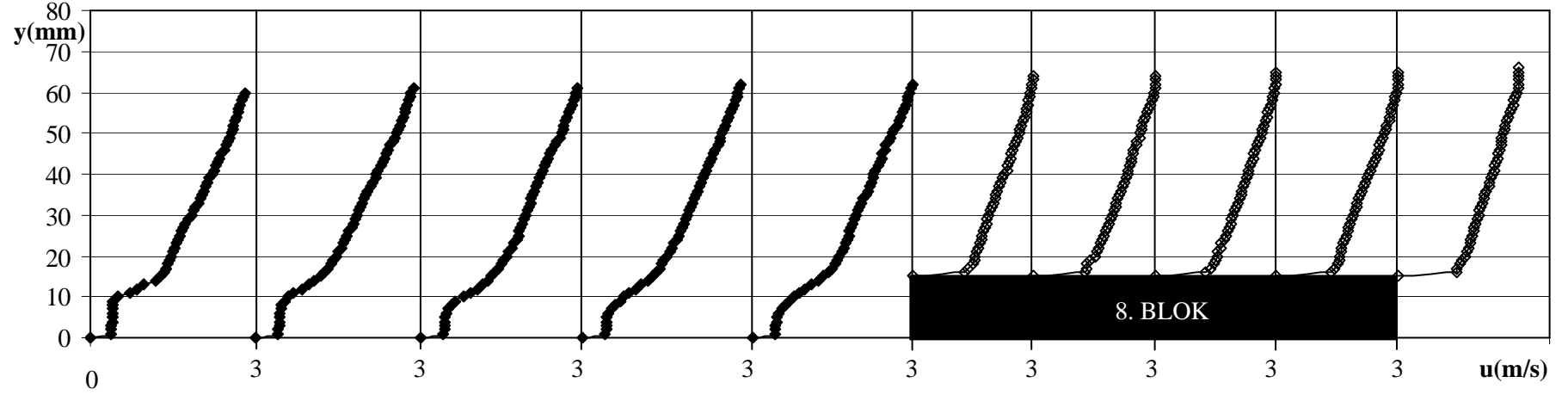
Şekil 3.16 (Devam). $U=3$ m/s ve $h=10$ mm için hız profilleri.



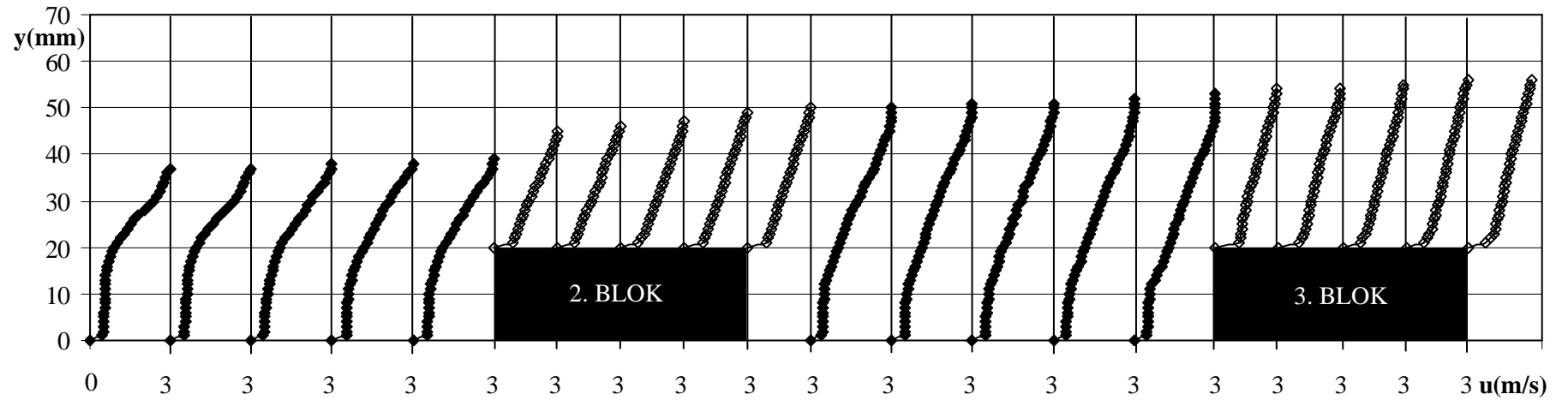
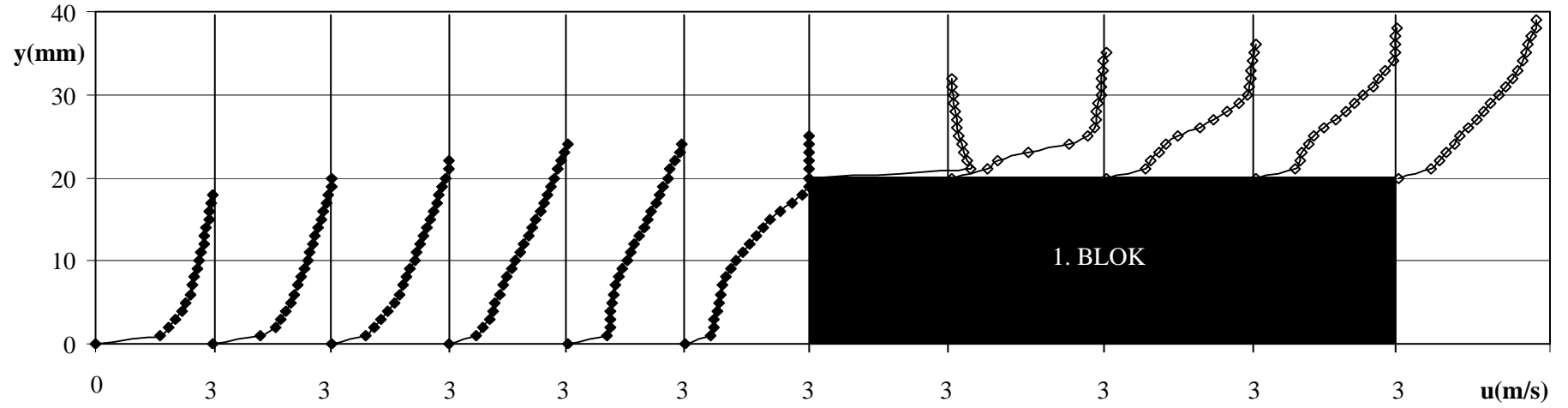
Şekil 3.17. $U=3$ m/s ve $h=15$ mm için hız profilleri.



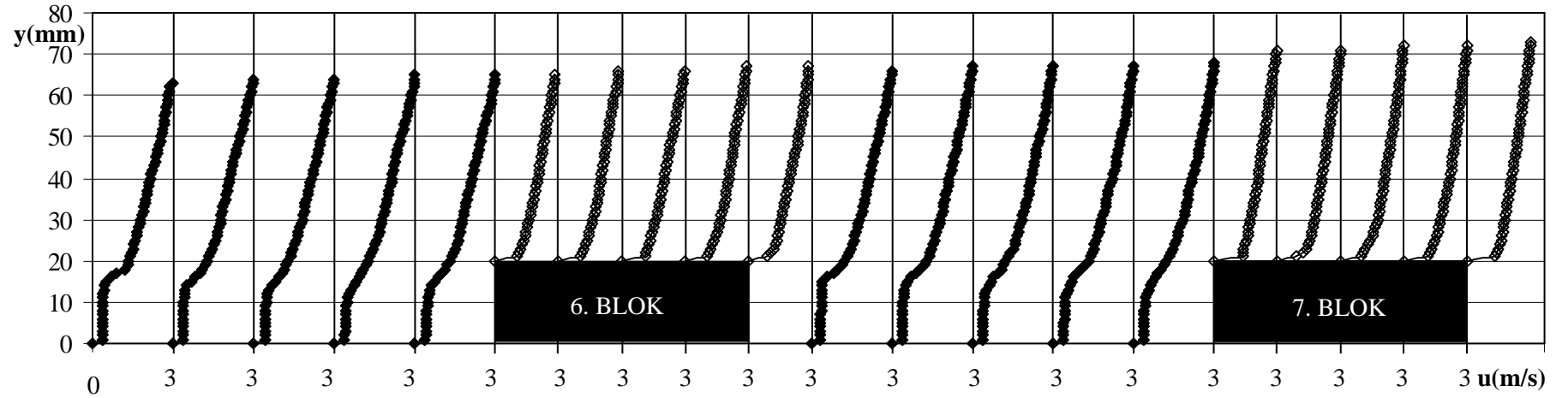
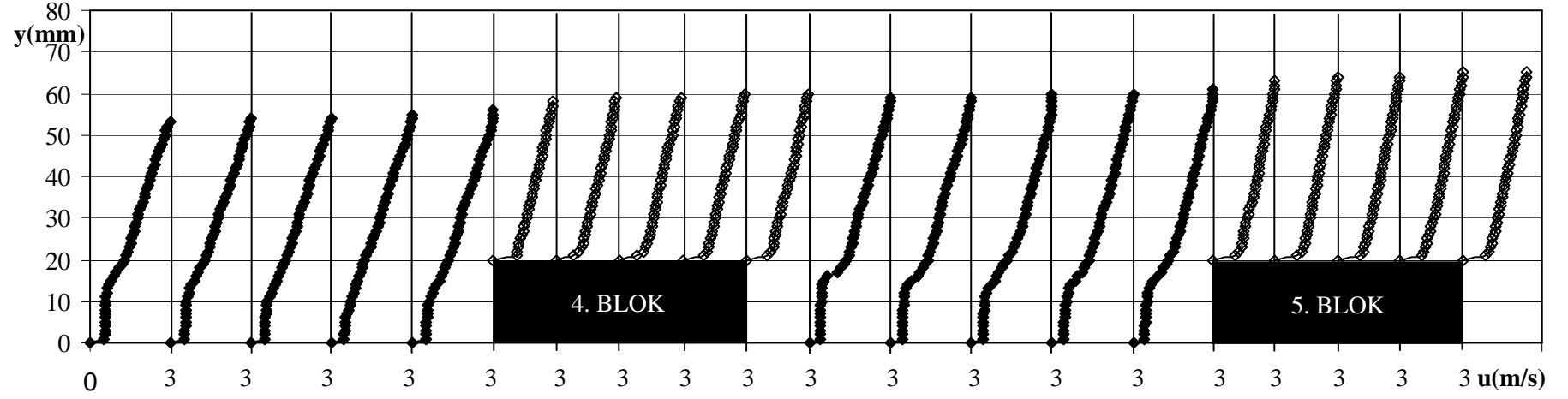
Şekil 3.17 (Devam). $U=3$ m/s ve $h=15$ mm için hız profilleri.



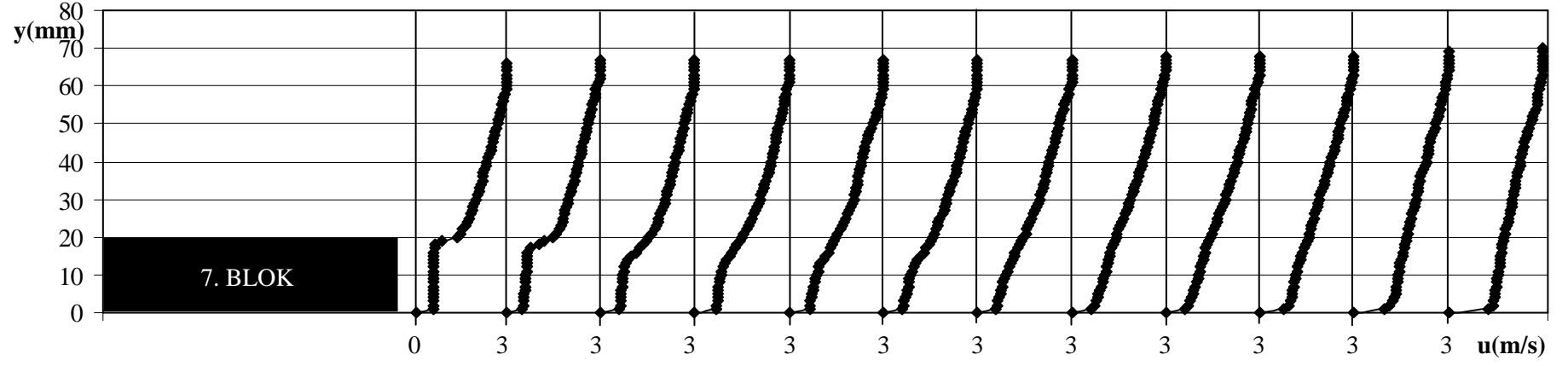
Şekil 3.17 (Devam). $U=3$ m/s ve $h=15$ mm için hız profilleri.



Şekil 3.18. $U=3$ m/s ve $h=20$ mm için hız profilleri.



Şekil 3.18 (Devam). $U=3$ m/s ve $h=20$ mm için hız profilleri.



Şekil 3.18 (Devam). $U=3$ m/s ve $h=20$ mm için hız profilleri.

Şekil 3.16’da görüldüğü gibi, 10 mm yüksekliğe sahip bloklu yüzey üzerinden 3 m/s giriş hızındaki laminer akışta ($Re_h=1913$), ilk bloktan önceki ön yüzey boyunca elde edilen sınır tabaka kalınlıkları 17-21 mm arasındadır. İlk bloğun engellemesinden dolayı bu bloktan belirli bir mesafede akış çizgilerinde sapma olur ve bloğun önünde ilk ayrılma kabarcığı oluşur (Chen ve Wang 1998). Elde edilen hız profillerinden, ilk bloktan 12 mm önce bir ayrılma noktası tespit edilirken, ilk bloğun üst ön köşesinde hız 3.43 m/s olarak ölçülmüştür. Bu hız artışı, Young ve Vafai (1998) tarafından kesit daralmasından dolayı akışkanın momentumunun artmasıyla açıklanmıştır. 1. bloktan başlayarak 9. bloğa kadar, blok üstlerindeki sınır tabaka kalınlıkları 9-13, 22-24, 27-29, 30-32, 33-38, 35-38, 40-43, 40-43, 45-49 mm arasında elde edilmiştir. Blok üstündeki sınır tabaka kalınlığı blok yüksekliğine yaklaşık olarak eşittir ve bu sonuç Aung (1983) tarafından laminer akış için doğrulanmıştır. Aynı blok yüksekliği ve giriş hızında, blok üstlerinde ayrılma gözlenmemiştir. Laminer akışta blokların ön ve arkasında ayrılma kabarcıkları oluşurken, üstünde oluşmadığı Chen ve Wang (1998) tarafından yapılan bir çalışmayla da doğrulanmıştır. $\frac{h}{\delta_1}$ oranı blokların sürüklenme karakteristikleri açısından önemlidir ve bu değer 1.2’den büyük, 0.8’den küçük veya bu iki değer arasında olması durumlarında farklı akış örnekleri elde edilir (Igarashi ve Takasaki 1992). 10 mm blok yüksekliği için $\frac{h}{\delta_1}$ değeri 0.59 olarak elde edilirken, Igarashi ve Takasaki’ye (1992) göre bu oran bloklar üzerindeki sınır tabakanın laminer olduğunu, blokların üstünde negatif basınç gradyanı, akış ayrılması ve vortekslerin olmadığını doğrulamaktadır. Akışkan bloğun üst yüzeyinden geçtikten sonra bloklar arasındaki bölgeye gelerek bir sonraki bloğa çarpar ve bu alana hapsolarak tüm bloklar arasında yavaş yeniden dolaşım akışları oluşur (Ortiz ve ark. 2008), bu yeniden dolaşan akış boşluk akışıyla benzerlik gösterir (Davalath ve Beyazitoglu 1987). Ölçülen hız profillerinden tüm boşluklarda boşluğu tamamen dolduran ayrılma kabarcıklarının olduğu gözlemlenmiştir. $h/H>0.04$ ise son bloktan sonra geri basamak akışı elde edilir (Tropea ve Gackstatter 1985). Bu bloktan sonraki ani genişlemeden kaynaklanan, akış içinde gelişen negatif basınç gradyanı ters akış alanlarını oluşturur. Akış bloğun köşesinden ayrılıp bloklandırılmış yüzeyde birleşerek yeniden dolaşım bölgesini oluşturur (Armaly ve ark. 2001). 9. bloktan sonraki arka yüzeyde sınır tabaka kalınlığı

51-61 mm arasında ve yeniden birleşme uzunluğu 58 mm olarak tespit edilmiştir. Yeniden birleşmeden sonra, herhangi bir yerdeki sınır tabaka kalınlığı düz yüzeyde aynı yerdeki sınır tabaka kalınlığından büyüktür (Aung 1983). Yeniden birleşme uzunluğu blok genişliğinin yaklaşık olarak iki katıdır (Furukawa ve Yang 2003). Elde edilen $X_R/h=5.8$ değeri Kim ve Anand (1994) tarafından verilen değerlerle de uyum göstermektedir. Yeniden birleşme noktasından sonra akış gelişmeye başlar ve hız yavaş yavaş dengeli sınır tabakaya dönüşür (Chen ve Wang 1996).

15 mm yüksekliğe sahip bloklu yüzey üzerinden 3 m/s giriş hızındaki laminar akışta ($Re_h=2850$), blokların varlığıyla hızlanan akışla oluşturulan negatif basınç gradyanının çok fazla artmasından dolayı, blok yanındaki akışkan gelişemez ve böylece küçük bir ayrılma kabarcığı oluşur. Bu ayrılma kabarcığı ilk bloğun 18 mm öncesinden başlar, bloğun üst yüzeyi boyunca yayılır ve orada yeniden birleşir. Böylece 1. bloğun üstünde bir ayrılma kabarcığı oluşur ve bloğun başlangıcından 17 mm sonra birleşir (Chen ve Wang 1996). $w/h \geq 2$ için blok genişliği, ayrılma kabarcığının gelişmesi ve birleşmesi için yeterli uzunluktadır (Chen ve Wang 1996) ve ayrılma kabarcığının uzunluğu Chen ve Wang (1996) tarafından verilen $1.1h$ değeri ile uyum göstermektedir.

Diğer blokların üst yüzeylerinde ayrılma gözlemlenmezken, $\frac{h}{\delta_1}$ oranı 0.88 olarak ölçülmüştür. Bu değer 0.8 ile 1.2 arasında olduğu için Igarashi ve Takasaki (1992), 1. bloğun üstünde ayrılmanın olduğunu, 2. bloğun üstünde ayrılmanın olmadığını ancak türbülans yoğunluğunun arttığını ve akışın laminardan türbülanslıya geçtiğini doğrulamıştır. Şekil 3.17'de gösterildiği gibi, birinci bloktan önceki ön ve son bloktan sonraki arka yüzey boyunca elde edilen sınır tabaka kalınlıkları sırasıyla 17-23 ve 60-65 mm arasındayken, ilk bloktan 8. bloğa doğru, blok üstlerindeki sınır tabaka kalınlıkları sırasıyla 10-15, 23-25, 32-35, 35-38, 40-43, 43-45, 46-48, 50-53 mm arasında elde edilmiştir. 1. blok üstündeki sınır tabaka kalınlığı blok yüksekliğine (Aung 1983) ve bloksuz yüzeyde aynı yerdeki sınır tabaka kalınlığına (Igarashi ve Takasaki 1992) yaklaşık olarak eşittir. Aynı bloğun üst yüzeyinin giriş kenarında ortalama hız lokal olarak maksimuma ulaşarak 3.55 m/s değerini alır (Ryu ve ark. 2007). Bir bloğun üstünden geçen akışkan direk olarak diğer bloğun ön yüzeyine çarpar ve bu iki blok arasında bir yeniden dolaşım bölgesi oluşur (Kim ve Anand 1994). Elde edilen hız profillerinden tüm boşluklarda boşluğu tamamen dolduran ayrılma kabarcıklarının

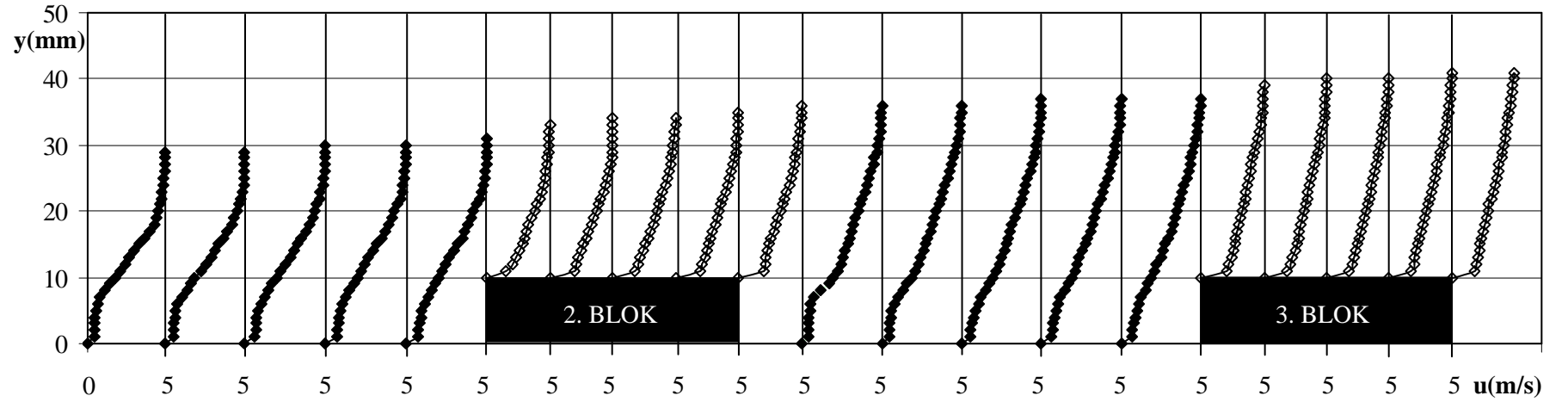
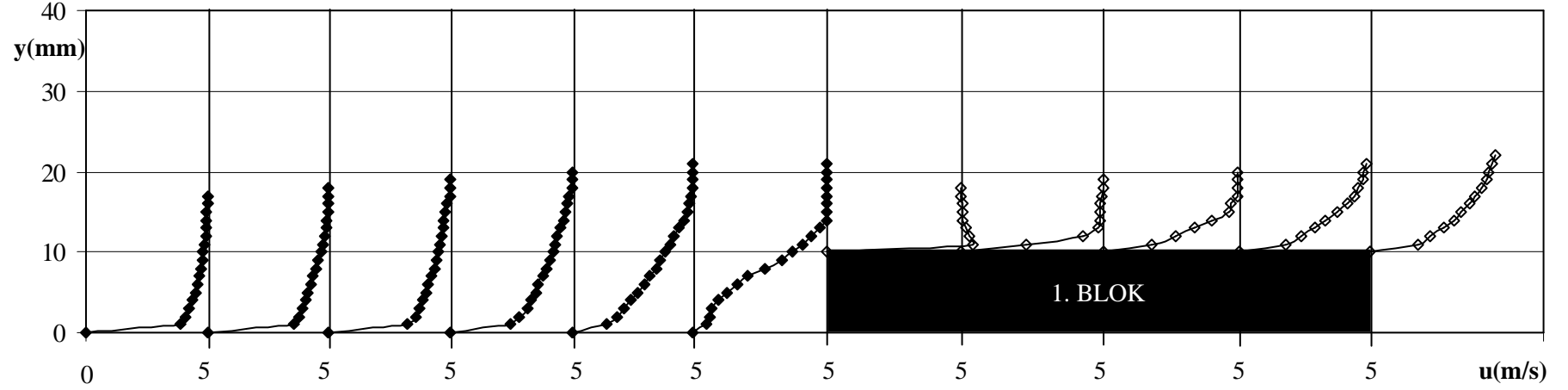
olduğu görülmüştür. $h/H > 0.04$ olduğu için son bloktan sonra elde edilen geri basamak akışında (Tropea ve Gackstatter 1985), yeniden birleşme bölgesi boyunca oluşan negatif basınç gradyanı, hızları düşürerek profilleri değiştirir (Kuehn 1980). Hız profillerindeki bu değişime göre yeniden birleşme uzunluğu 88 mm olarak elde edilmiştir. $X_R/h = 5.87$ olarak elde edilen değer Abe ve ark. (1994) tarafından verilen değerlerle uyum göstermektedir. Yeniden birleşmeden sonra, herhangi bir yerdeki sınır tabaka kalınlığı düz yüzeyde aynı yerdeki sınır tabaka kalınlığından büyüktür (Aung 1983). Yeniden birleşmeden sonraki yeniden gelişim alanında, hız dağılımı yavaş yavaş dengeli sınır tabakaya dönüşür (Kim ve Anand 1994).

20 mm yüksekliğe sahip bloklu yüzey üzerinden 3 m/s giriş hızındaki akışta ($Re_h = 3800$) hız profilleri Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Blokların varlığı, akışın blok üst bölgesinde hızlanmasına ve dönmesine neden olurken (vena contracta), bu ana akış ilk bloğun önünde bir ayrılma bölgesi oluşturur (Young ve Vafai 1998). İlk bloktan önceki yüzeyle blok arasında 24 mm uzunluğunda bir ayrılma kabarcığı elde edilirken, bu yüzey boyunca sınır tabaka kalınlıkları 17-25 mm arasında elde edilmiştir. Hız profillerinden hareketle, 1. bloktan başlayarak 7. bloğa kadar, blok üstlerindeki sınır tabaka kalınlıkları sırasıyla 12-19, 25-30, 33-36, 38-40, 42-45, 45-48, 50-53 mm arasında bulunmuştur. İlk blok üstündeki sınır tabaka kalınlığı blok yüksekliğine (Aung 1983) yaklaşık olarak eşittir. Birinci bloğun üst ön köşesinde kesit daralmasından dolayı hız 3.61 m/s değerini alır (Morris ve Garimella 1996). Bu blok yüksekliğinde, ilk bloğun üst yüzeyinde ayrılma kabarcığı oluşurken, bu kabarcığın uzunluğu 23 mm olarak ölçülmüş ve bundan sonraki blokların üst yüzeylerinde ayrılma gözlenmemiştir. Bu ayrılma kabarcığının uzunluğu $1.1h$ olup, Chen ve Wang (1996) tarafından yapılan çalışmayla uyum göstermektedir. 1.18 olarak bulunan $\frac{h}{\delta_1}$ oranı da 1. bloğun üstünde

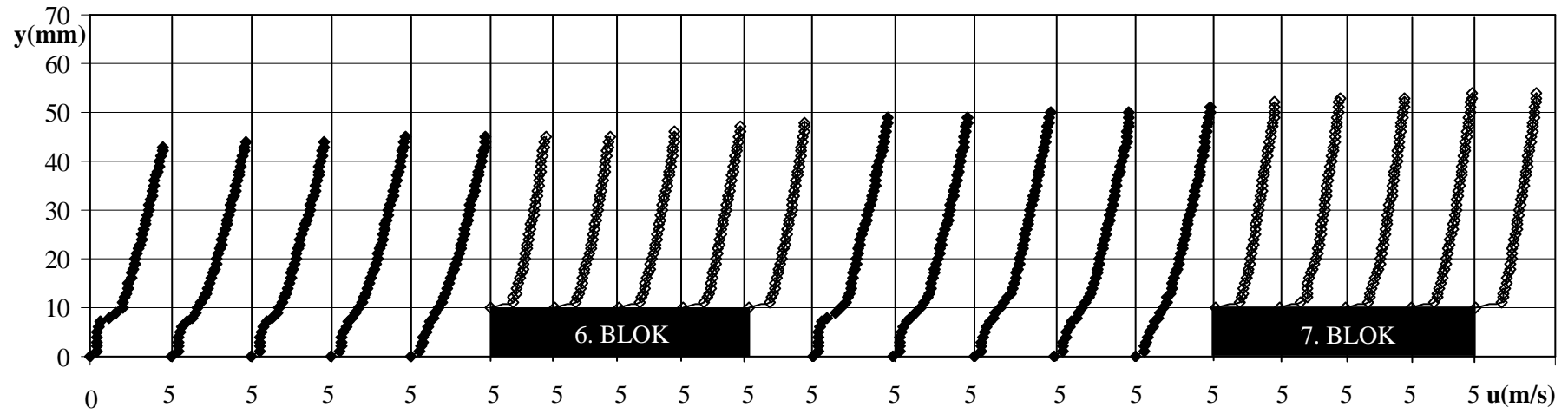
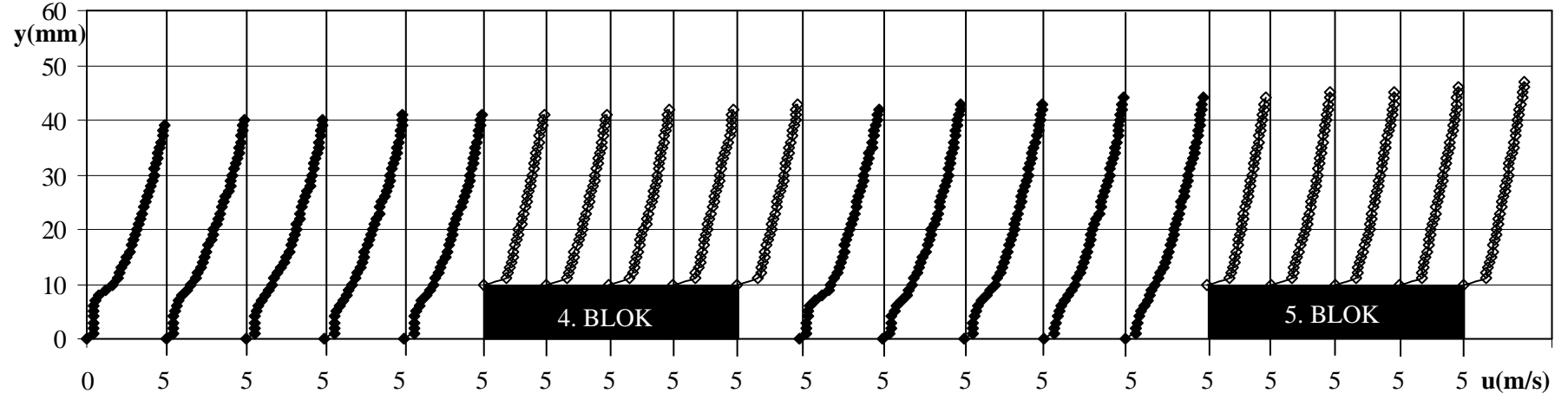
ayrılmanın olduğunu, 2. bloğun üstünde ayrılmanın olmadığını ve akışın laminardan türbülanslıya geçtiğini göstermektedir (Igarashi ve Takasaki 1992). İki blok arasındaki boşluklardaki negatif ve sıfır hızlar, bloklar arasında yeniden dolaşım bölgelerinin olduğunu göstermektedir (Chen ve Wang 1996). 7. bloğun sonunda akış geri basamak akışına benzer (Chen ve Wang 1996, Tropea ve Gackstatter 1985) ve bu bloğun arkasında genişleme etkisinden dolayı statik basınç hızlı bir şekilde artar. Yavaşlayan akışkan basınç kuvvetini yenecek kadar eksenel momentuma sahip olmadığından bu

bloğun arkasında bir yeniden dolaşım bölgesi oluşur (Chen ve Wang 1996). Arka yüzey boyunca sınır tabaka kalınlıkları 67-70 mm arasında elde edilirken, bu yüzeydeki yeniden birleşme uzunluğu 125 mm olarak ölçülmüştür. Bu uzunlukla hesaplanan $X_R/h=6.25$ değeri Chen ve Wang (1996) tarafından verilen değerlerle örtüşmektedir. Yeniden birleşmeden sonra akış tekrar yapılır (Oki ve ark. 1993) ve bu birleşmeden sonra, herhangi bir yerdeki sınır tabaka kalınlığı düz yüzeyde aynı yerdeki sınır tabaka kalınlığından büyüktür (Aung 1983).

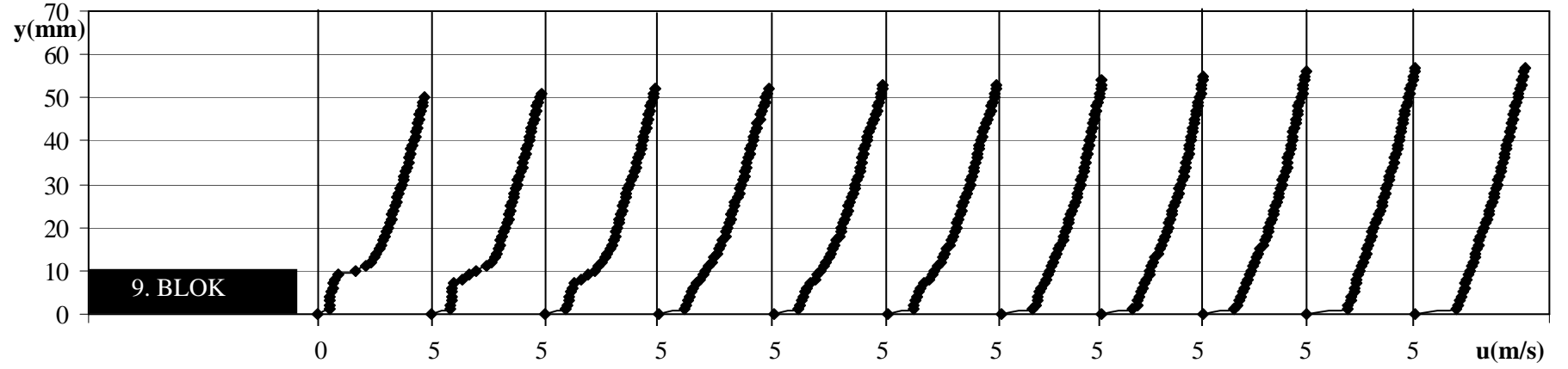
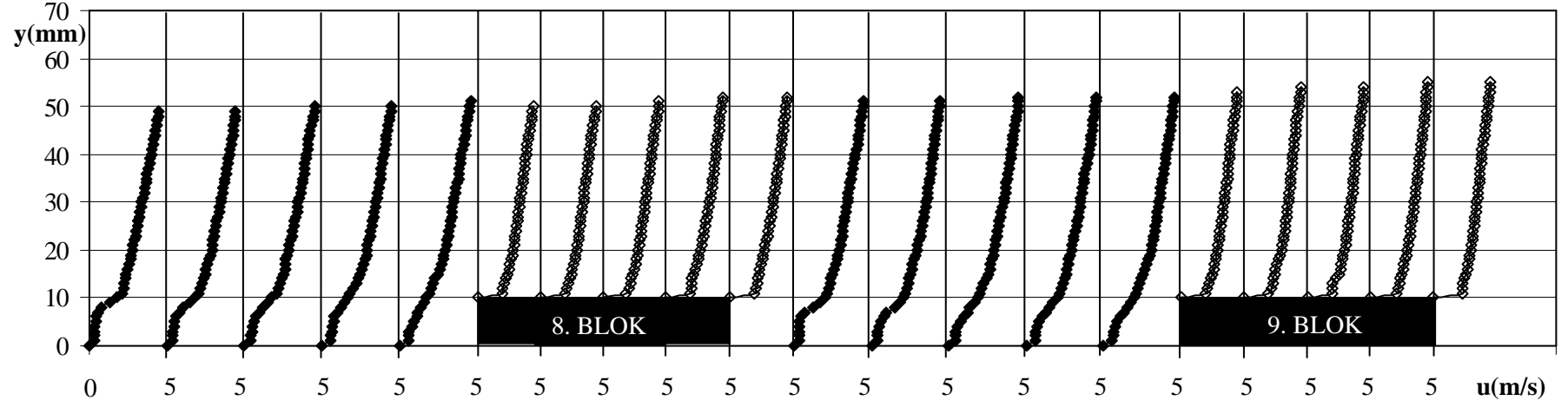
3 m/s laminer giriş hızında tüm blok yüksekliklerinde ilk bloğun önünde ve tüm bloklar arasındaki boşluklarda akışta ayrılma görülürken, son bloğun ilerisinde yeniden birleşme bölgeleri oluşur. 10, 15 ve 20 mm blok yükseklikleri için, ilk bloktan önceki ön yüzeyde ayrılma noktasının 1. bloğa olan uzaklığı, sırasıyla 12, 18 ve 24 mm olarak ölçülmüştür ve tüm blok yükseklikleri için bu uzunluk $1.2h$ olarak sabittir (Chen ve Wang 1996). Bu sonuç, büyük blok yüksekliğinde ayrılmanın daha erken olduğunu göstermektedir (Young ve Vafai 1998). 10, 15, 20 mm blok yüksekliklerinde, ilk bloğun ön üst köşesinde hızlar sırasıyla 3.43, 3.55 ve 3.61 m/s değerlerini alarak maksimum değerlerine ulaşır. 10 mm yüksekliğe sahip yüzeyde blokların üzerindeki akışta ayrılma görülmezken, 15 ve 20 mm yüksekliğe sahip yüzeylerde sadece ilk bloğun üstünde ayrılma gözlemlenir. Bu ayrılan akış blok üstünde $h=15$ ve 20 mm için sırasıyla 17 ve 23 mm sonra birleşir. Yani büyük blok yüksekliklerinde akış blok üstünde daha geç birleşir (Frost ve ark. 1980) ve tüm blok yüksekliklerinde ayrılma kabarcığının uzunluğu $1.1h$ olarak sabittir (Chen ve Wang 1996). Elde edilen hız profillerinden, tüm yüksekliklerdeki blokların arasındaki boşluklarda, boşluk akışına benzer bir akış elde edilmiş ve boşluğu tamamen dolduran ayrılma kabarcıkları gözlemlenmiştir. Tüm blok yüksekliklerinde ilk bloğun üstündeki δ blok yüksekliğine eşit olmuş, son bloktan sonra geri basamak akışı elde edilmiş ve 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliği için yeniden dolaşım uzunluğu sırasıyla, 58, 88 ve 125 mm olarak ölçülmüştür. Sabit giriş hızında, blok yüksekliği arttıkça yeniden birleşme uzunluğu artmıştır (Aung 1983, Armaly ve ark. 2001). Tüm blok yüksekliklerinde, yeniden birleşmeden sonra gelişen akışta, hız dağılımı yavaş yavaş dengeli sınır tabakaya dönüşür ve herhangi bir yerdeki sınır tabaka kalınlığı düz yüzeyde aynı yerdeki sınır tabaka kalınlığından daha büyüktür.



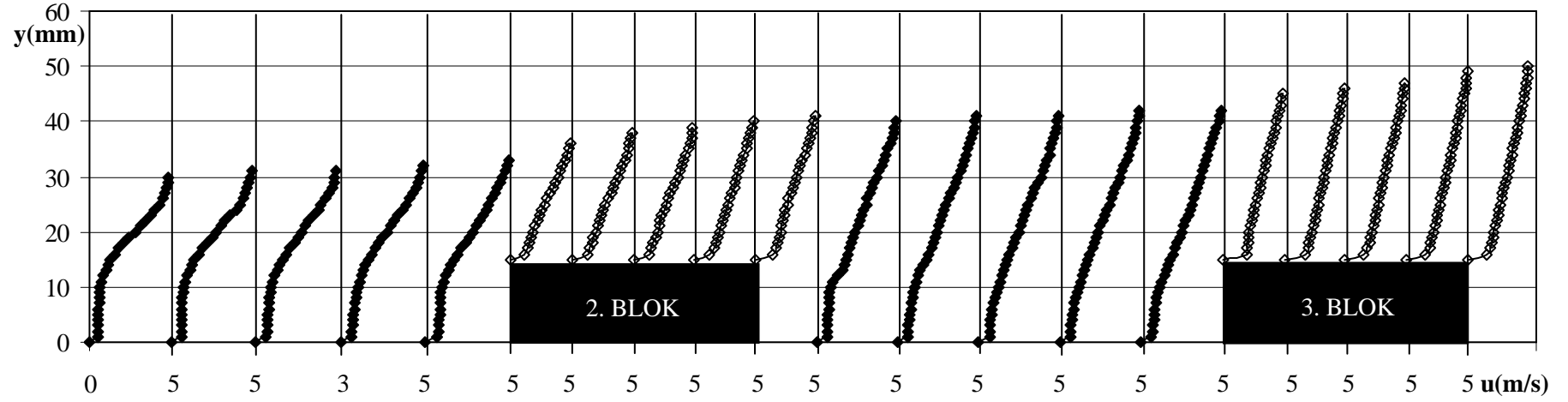
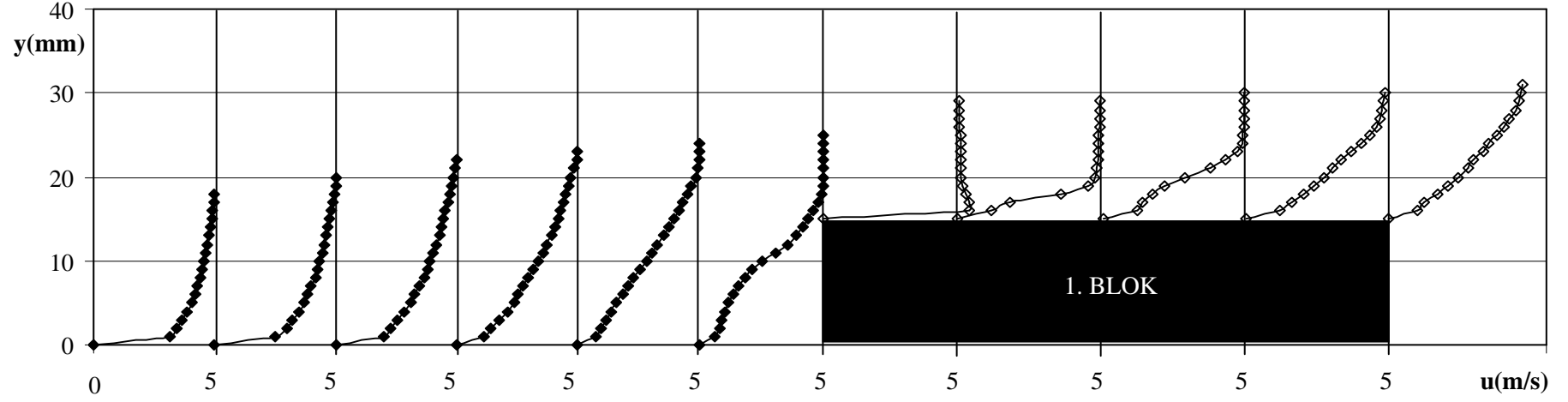
Şekil 3.19. $U=5$ m/s ve $h=10$ mm için hız profilleri.



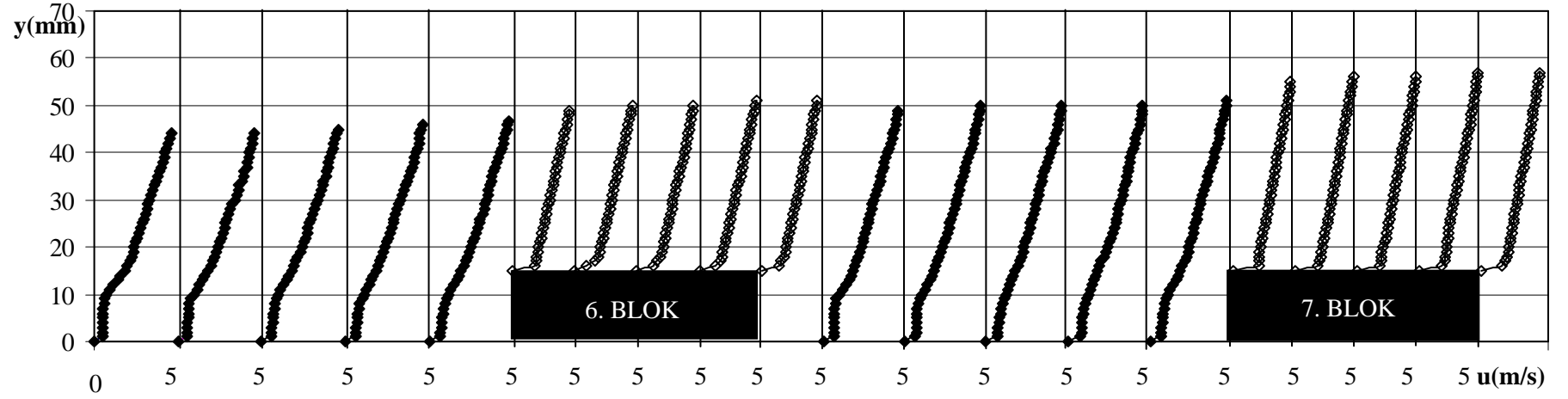
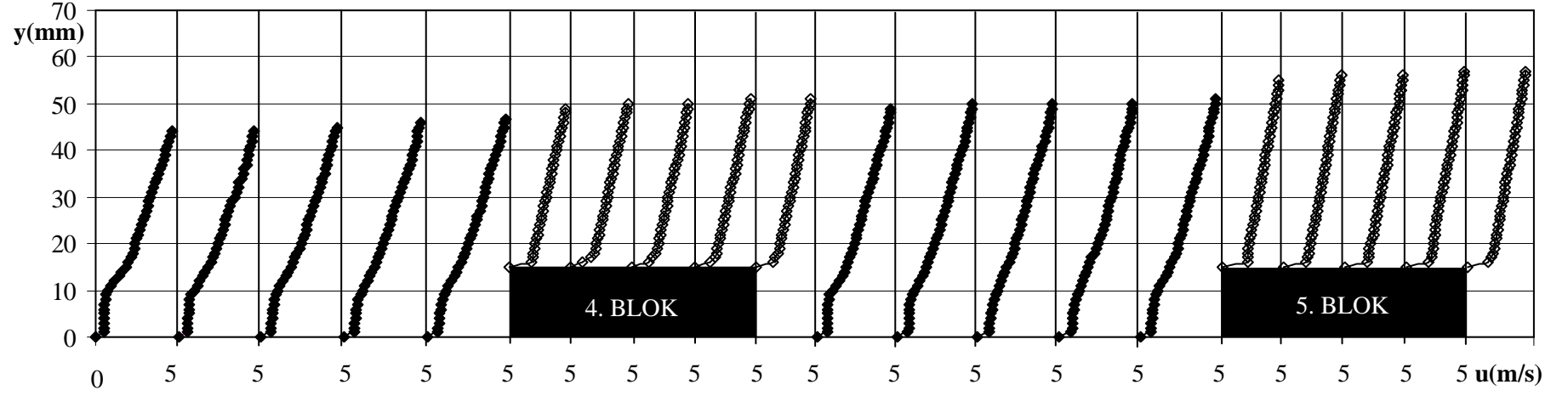
Şekil 3.19 (Devam). $U=5$ m/s ve $h=10$ mm için hız profilleri.



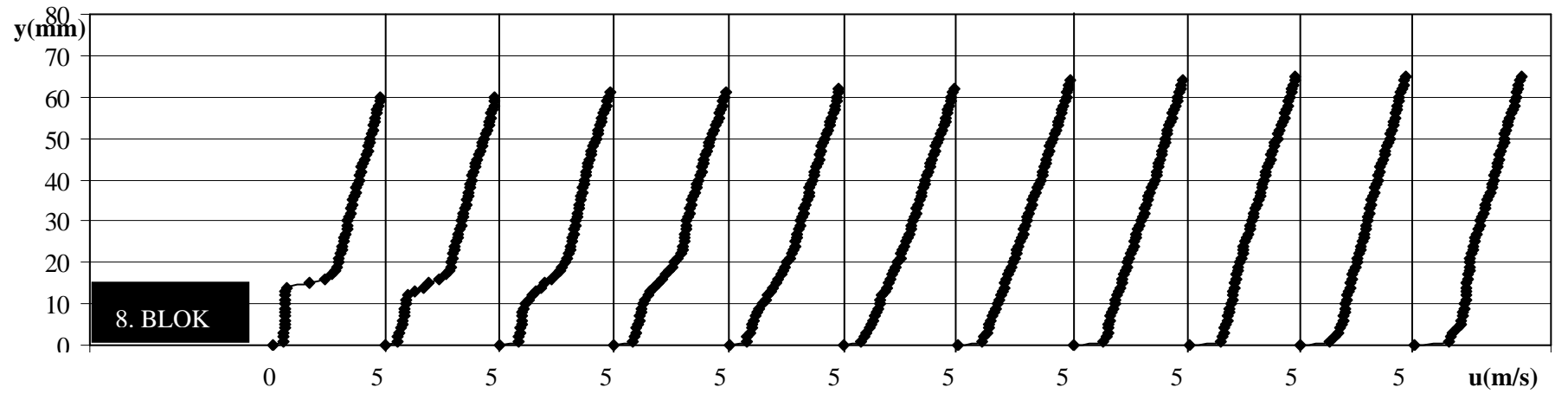
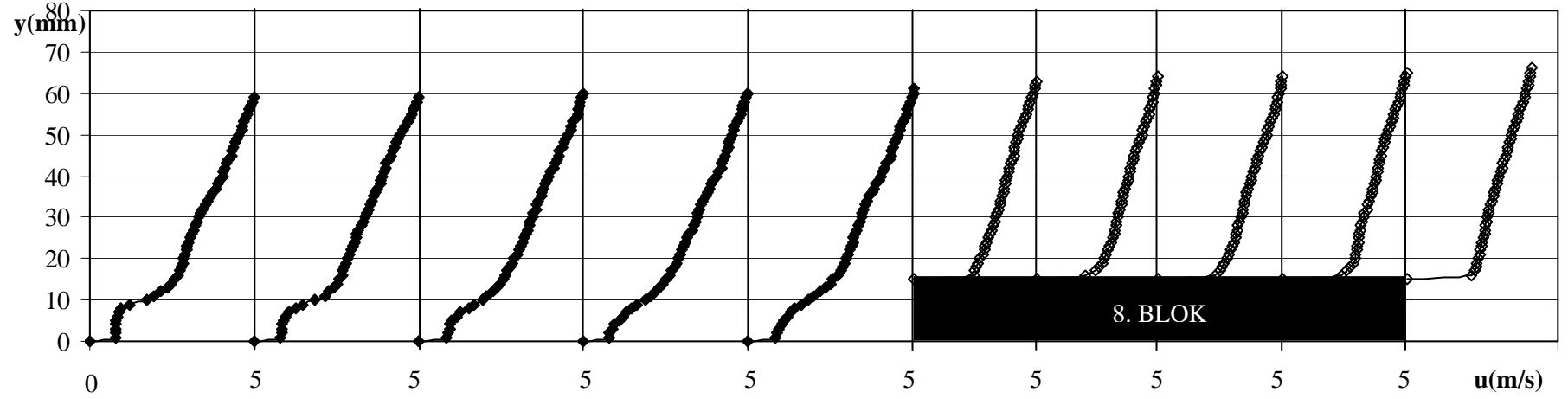
Şekil 3.19 (Devam). $U=5$ m/s ve $h=10$ mm için hız profilleri.



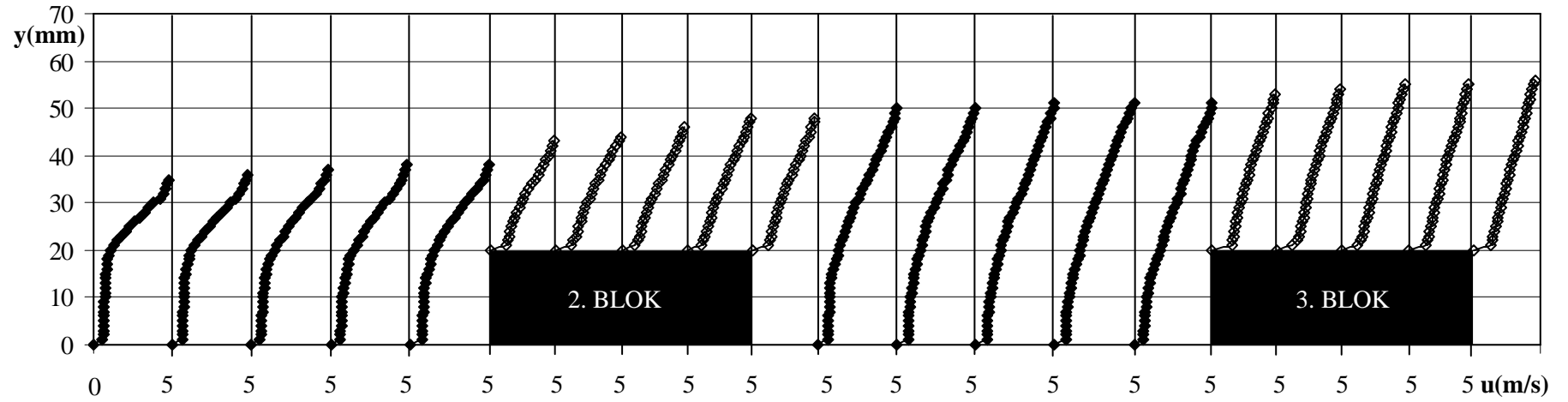
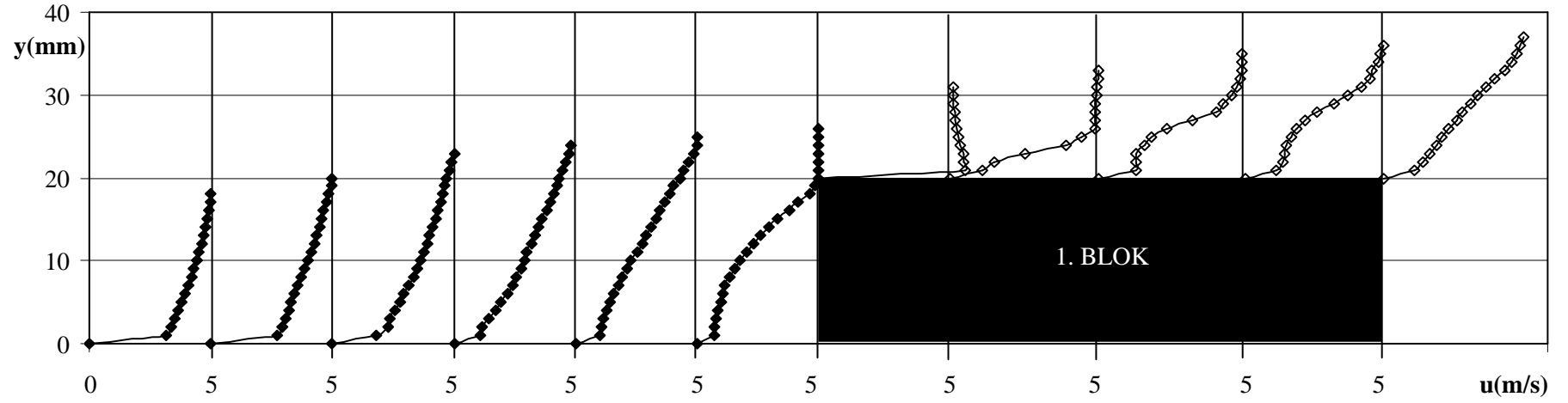
Şekil 3.20. $U=5$ m/s ve $h=15$ mm için hız profilleri.



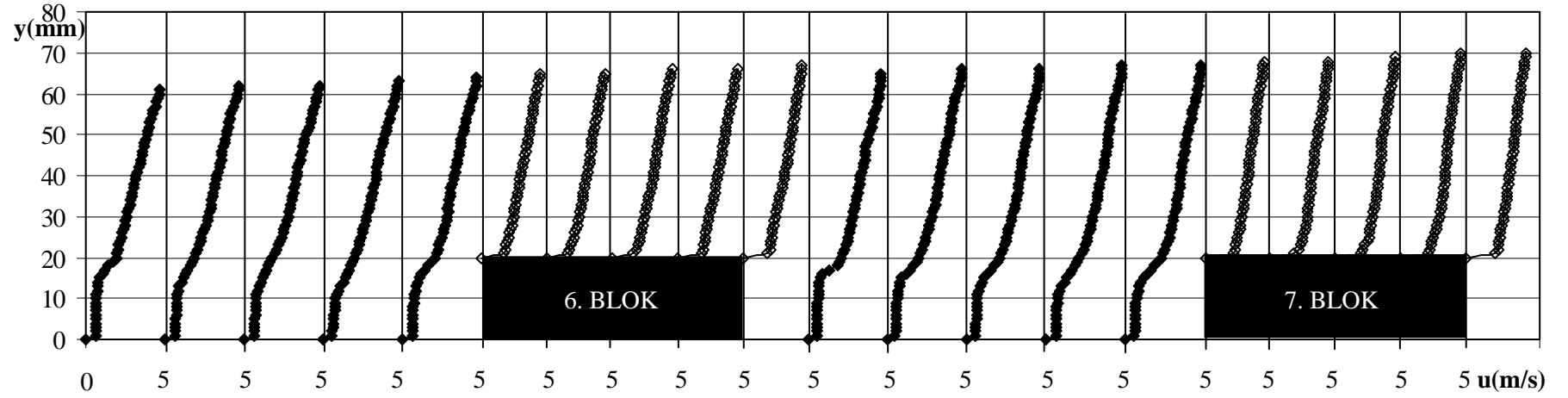
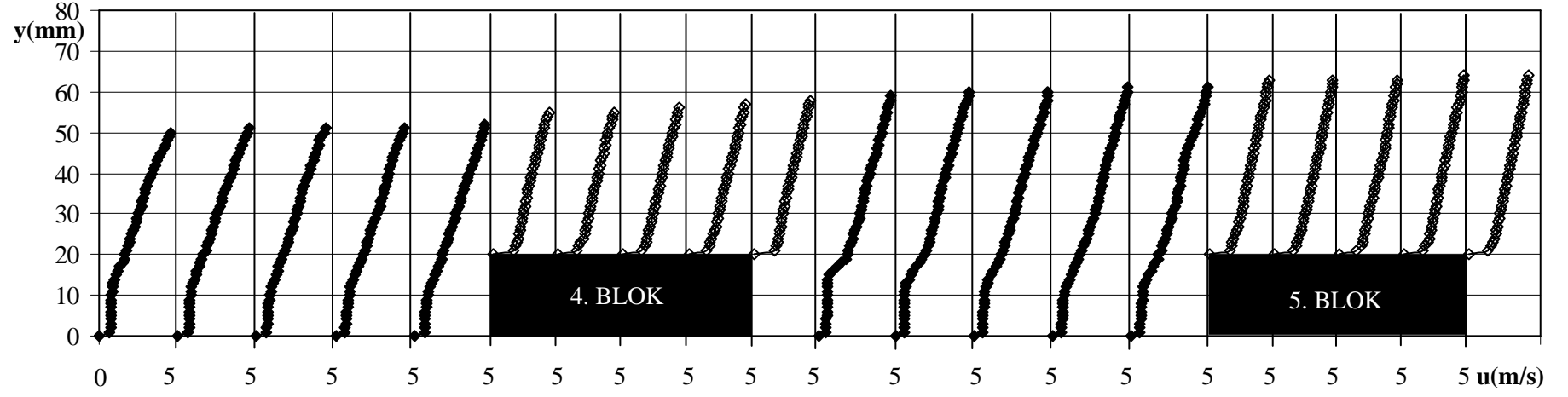
Şekil 3.20 (Devam). $U=5$ m/s ve $h=15$ mm için hız profilleri.



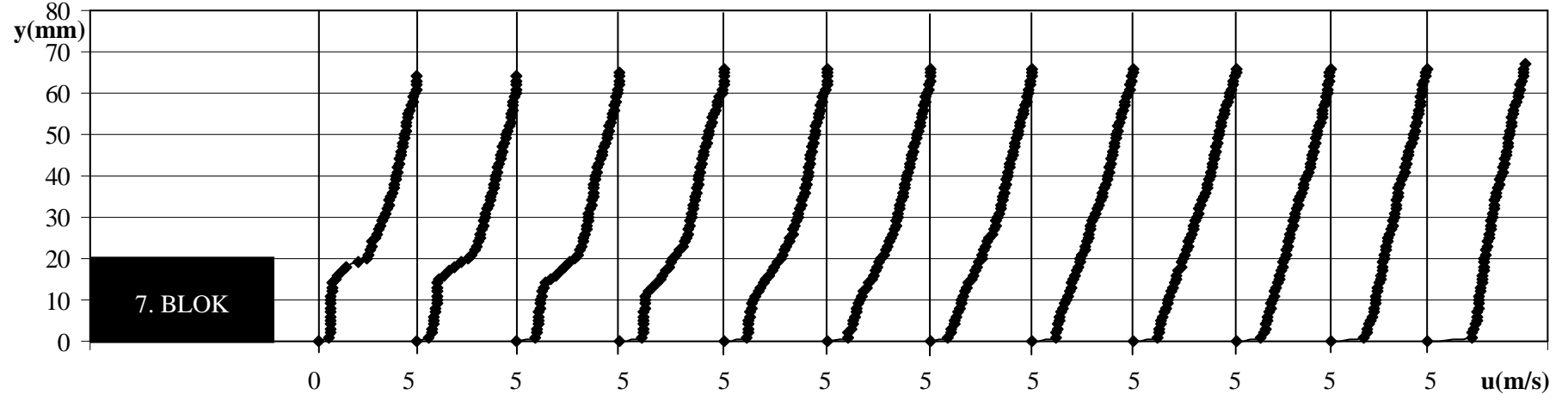
Şekil 3.20 (Devam). $U=5$ m/s ve $h=15$ mm için hız profilleri.



Şekil 3.21. $U=5$ m/s ve $h=20$ mm için hız profilleri.



Şekil 3.21 (Devam). $U=5$ m/s ve $h=20$ mm için hız profilleri.



Şekil 3.21 (Devam). $U=5$ m/s ve $h=20$ mm için hız profilleri.

Şekil 3.19, 3.20 ve 3.21’de, 5 m/s giriş hızı için sırasıyla 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliğine sahip yüzeylerdeki hız profilleri gösterilmiştir. δ , X_R ve yüzeylerde oluşan ayrılma noktaları da bu hız profillerinin incelenmesiyle elde edilmiştir. 10 mm yüksekliğe sahip bloklu yüzey üzerinden 5 m/s giriş hızındaki akışta ($Re_h=3200$), Şekil 3.19’deki hız profillerinde görüldüğü gibi, ilk bloktan başlayarak 9. bloğa kadar, blok üstlerindeki sınır tabaka kalınlıkları sırasıyla 8-12, 23-25, 29-31, 31-33, 35-38, 36-39, 42-45, 42-45, 43-45 mm arasında elde edilmiştir. İlk bloğun üstündeki δ yaklaşık olarak blok yüksekliğine eşittir (Aung 1983). İlk bloktan önceki yüzey boyunca sınır tabaka kalınlıkları 16-22 mm arasında değişirken, bu bloğun önündeki negatif hız, burada bloğun varlığıyla oluşan ani daralmanın konkav köşesindeki bölgede, küçük bir ayrılma kabarcığı oluştuğunu gösterir (Chen ve Wang 1998) ve bu ayrılma yüzey girişinden 51 mm sonra başlamıştır. 1. bloğun ön üst köşesinde hız 5.91 m/s değerini almış ve maksimum kinetik enerji bu köşede oluşmuştur (Kim ve Anand 1994). Bu yükseklik ve hızda $\frac{h}{\delta_1}$ oranı 0.63 olarak tespit edilmiş ve blokların üst yüzeylerinde ayrılma gözlenmemiştir. Igarashi ve Takasaki’e (1992) göre de bu oranda, bloklar üzerindeki sınır tabaka laminer olur ve blokların üstünde akış ayrılması olmaz. Laminer akışta akışkan bir boşluğu geçtikten sonra boşlukta yavaşça yayılır ve buradaki basınç bloğun üst yüzeylerinde olabilecek ayrılmaları ve vorteksleri engeller (Young ve Vafai 1998). Blokların aralarında elde edilen boşluk akışındaki hız profillerinden ise tüm blok aralarında akışın ayrıldığı tespit edilmiştir. Son bloktan sonraki arka yüzeyde elde edilen geri basamak akışında (Tropea ve Gackstatter 1985) önce pozitif basınç gradyanından negatif basınç gradyanına geçilir, daha sonra yeniden birleşme noktasında sıfır olur ve tekrar pozitive dönerek, ayrılma ve yeniden birleşme oluşur (Oki ve ark. 1993). Bu yüzeyde yeniden birleşme uzunluğu 60 mm olarak ölçülürken, bu yüzeydeki sınır tabaka kalınlığı 52-58 mm arasında değişmektedir. Bu kalınlık düz yüzeyde aynı ölçüm noktasında elde edilenlerden daha büyüktür (Aung 1983). Yeniden birleşme uzunluğunun bu değeri blok genişliğinin iki katıdır (Furukawa ve Yang 2003) ve $X_R/h=6$ değeri Chen ve Wang (1998) tarafından yapılan çalışmadaki değerlerle de örtüşmektedir. Yeniden birleşme noktasından sonra akışın bloksuz yüzeydeki dağılıma dönebilmesi için uzun bir mesafe kat etmesi gerekir (Davalath ve Beyazıtoglu 1987).

Şekil 3.20’de gösterildiği gibi, 15 mm yüksekliğe sahip bloklu yüzey üzerinden 5 m/s giriş hızındaki akışta ($Re_h=4785$), bloğun varlığından dolayı akış çizgilerinde oluşan karmaşıklık nedeniyle ön köşede oluşan ayrılma kabarcığı (Young ve Vafai 1998) ilk bloğun 14 mm önünde başlarken, bu bloğun üstünde de girişten itibaren 17 mm uzunluğunda birleşen bir ayrılma kabarcığı elde edilmiştir. 1. bloğun üst yüzeyindeki negatif hız, ani daralmanın konveks köşesinde akış ayrılmasının oluştuğunu gösterirken bu daralmadan dolayı ön üst köşede hız 6.41 m/s olarak maksimum değerini alır ve viskoz etkilerden dolayı blok üstünde gittikçe azalır (Chen ve Wang 1998). Elde edilen $0.93 \frac{h}{\delta_1}$ değeri 0.8 ile 1.2 arasında olduğundan, 1. bloğun üstünde ayrılma olurken diğer bloklarda olmadığı ve akışın 2. bloğun üstünde türbülanslıya geçtiği, Igarashi ve Takasaki (1992) tarafından yapılan çalışmayla da doğrulanmaktadır. İlk bloktan başlayarak 8. bloğa kadar, blok üstlerindeki sınır tabaka kalınlıkları sırasıyla 14-18, 23-26, 32-35, 35-36, 35-36, 35-36, 40-43, 45-50 mm arasında iken, ön ve arka yüzey boyunca elde edilen sınır tabaka kalınlıkları sırasıyla 16-25 mm ve 61-65 mm arasında ölçülmüştür. İlk blok üzerindeki sınır tabaka kalınlığı blok yüksekliğine yaklaşık olarak eşittir ve arka yüzeyde herhangi bir ölçüm noktasında elde edilen sınır tabaka kalınlığı, düz yüzeyde aynı ölçüm noktasında elde edilenden daha büyüktür (Aung 1983). Elde edilen hız profillerinden de görüleceği gibi, bloklar arasındaki boşluklarda oluşan ayrılma kabarcıkları tüm boşluğu sarar (Herman ve Kang 2001). h/H oranına da bağlı olarak, bloğun arkasındaki hız profilleri geri basamak akışındakilerle benzerlik gösterir (Chen ve Wang 1996, Tropea ve Gackstatter 1985). Son bloktan sonraki ani genişlemeden dolayı akış ayrılır ve yeniden birleşir (Abu-Mulaweh ve ark. 2001). Bu yeniden birleşme uzunluğu 91 mm ve X_R/h oranı 6.1 olarak tespit edilmiş ve tespit edilen bu değerler Kaşığı ve Matsunaga (1995) tarafından elde edilen değerlerle uyumludur. Yeniden birleşme noktasından sonra akış gelişmeye başlar ve yeniden gelişen kayma tabakası, eski kayma tabakasının içine yavaş yavaş yayılarak uzun bir mesafeden sonra tam gelişmiş hız profili elde edilir (Chen ve Wang 1996).

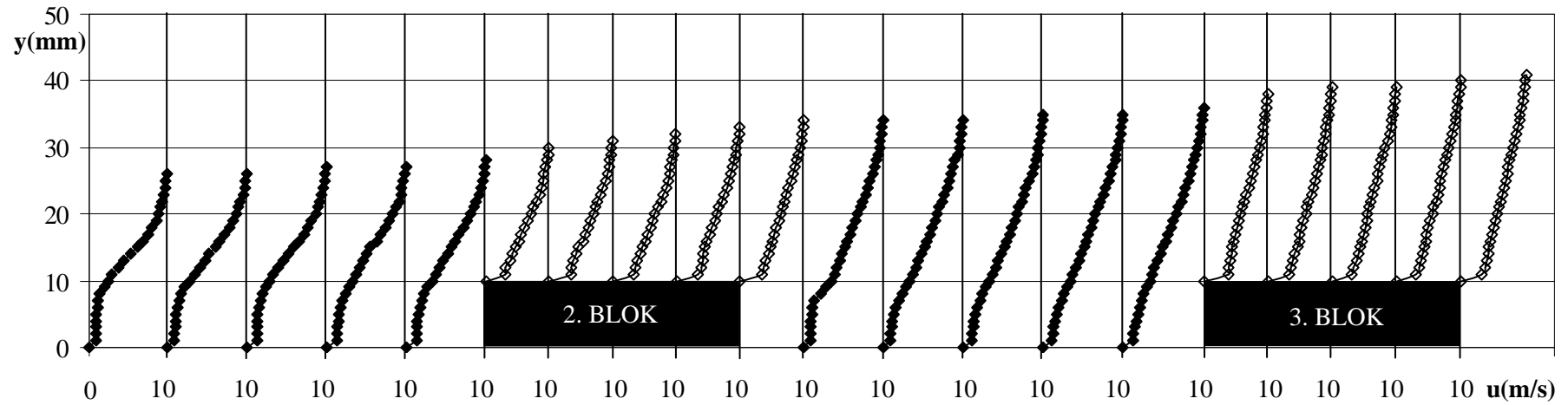
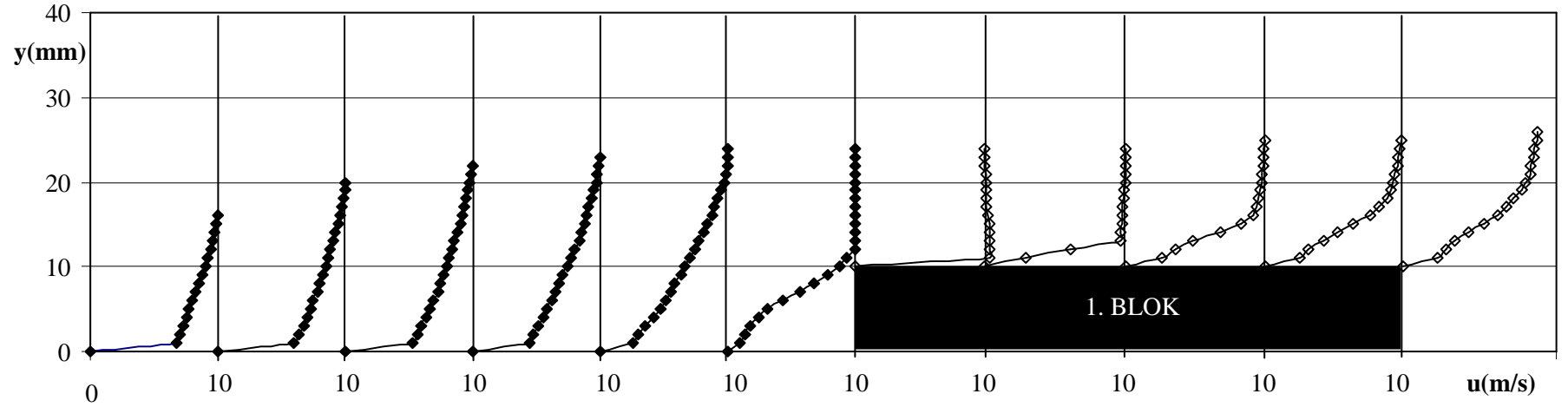
5 m/s giriş hızı ve 20 mm yüksekliğe sahip bloklu yüzey üzerinden akışta ($Re_h=6500$), ilk bloğun ön üst köşesinde ani daralmadan dolayı hız 6.67 m/s olarak ölçülmüştür (Chen ve Wang 1996). Akış ilk bloğa çarparak yönünde ani bir değişim olur (Furukawa ve Yang 2003) ve ilk bloktan önce 18 mm uzunluğunda bir ayrılma

kabarcığı oluşurken, bu yüzey boyunca elde edilen sınır tabaka kalınlıkları 16-26 mm arasında elde edilmiştir. 1. bloktan başlayarak 7. bloğa kadar, Şekil 3.21’de görüldüğü gibi, blok üstlerindeki sınır tabaka kalınlıkları sırasıyla 13-19, 25-28, 34-36, 36-38, 41-44, 45-47, 48-50 mm arasında iken, 7. bloğun devamındaki arka yüzeyde 64-67 mm arasında tespit edilmiştir. 1. blok üzerindeki sınır tabaka kalınlığı blok yüksekliğine yaklaşık olarak eşittir ve arka yüzeyde herhangi bir ölçüm noktasında elde edilen sınır tabaka kalınlığı, düz yüzeyde aynı ölçüm noktasında elde edilenden daha büyüktür (Aung 1983). Yüzey geometrisinin akışın bloktan sonra hareket etmesine izin vermemesi ve onu durgun olmaya zorlamasından dolayı bloklar arasındaki boşluk akışı durgundur ve tüm boşluklarda yavaş bir yeniden dolaşım akışı oluşur (Ortiz ve ark. 2008). $\frac{h}{\delta_1}$ değeri 1.25 olarak hesaplanmış ve hesaplanan bu değer, akışın 1. bloğun ön köşesinde ayrıldığını ve 2. bloğa geçmeden önce türbülanslıya geçtiğini vurgulamaktadır (Igarashi ve Takasaki 1992). İlk bloğun ön köşesinden ayrılan kayma tabakası blok girişinden 23 mm sonra birleşir. Son bloğun arkasında akışın blokların varlığından dolayı yüzeyden ayrılması ve tekrar birleşmesiyle oluşan yeniden dolaşım bölgesinin uzunluğu 127 mm ve $X_R/h=6.35$ olarak elde edilmiştir (Şara ve ark. 2001). $h/H>0.04$ olduğundan bloğun arkasındaki akış geri basamak akışıyla benzerlik göstermektedir (Tropea ve Gackstatter 1985). Elde edilen X_R/h değeri Chen ve Wang (1996) tarafından elde edilenlerle uyum göstermektedir. Yeniden birleşme noktasından sonraki hız profillerinin klasik düz yüzey teorisiyle elde edilen profillere ulaşması için uzun mesafe gerekir (Aung 1983).

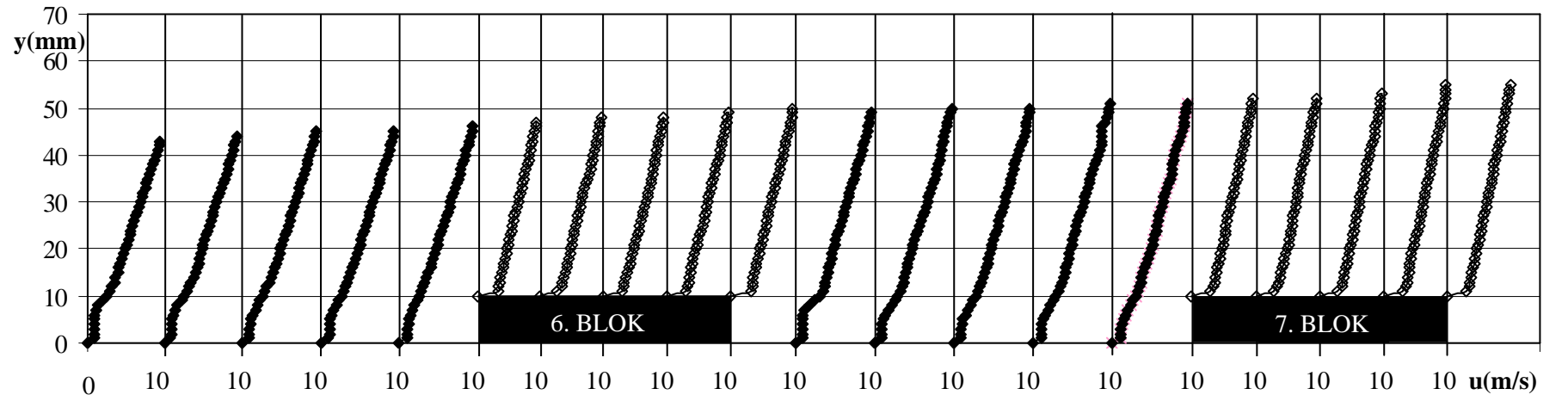
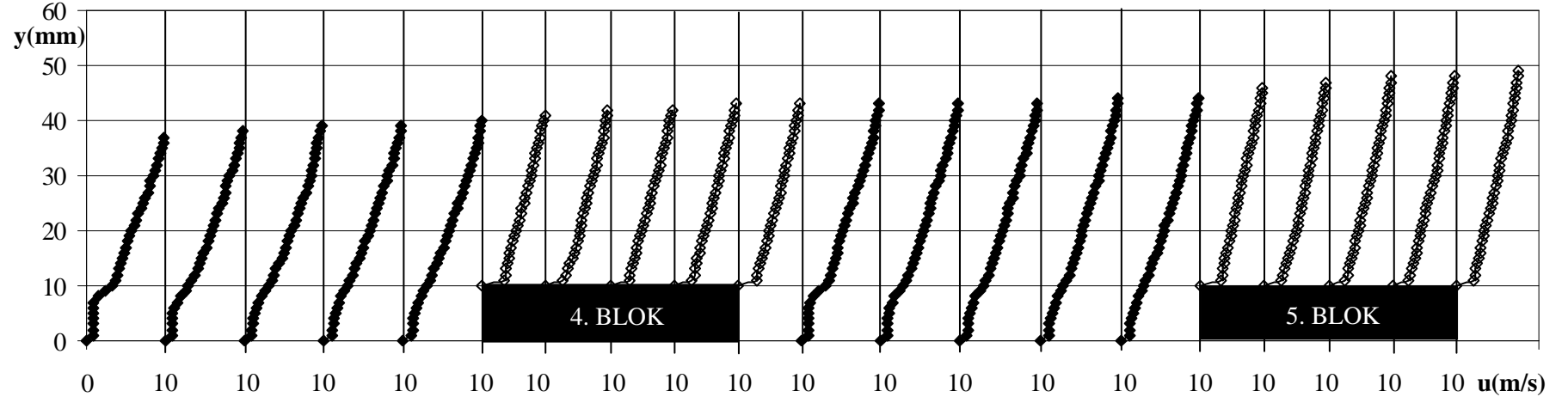
5 m/s giriş hızında 10 mm blok yüksekliğine sahip yüzey üzerinden akışta ilk bloğun üstünde akışta ayrılma gözlemlenmezken, 15 ve 20 mm yüksekliklerinde ise ilk bloğun üstünde ayrılan akış sırasıyla 17 ve 23 mm mesafede birleşerek, blok yüksekliği arttıkça birleşmenin daha geç olduğu görülmüştür (Chen ve Wang 1996). Blok yüksekliği ne olursa olsun blok üstündeki birleşme uzunluğu $1.1h$ olarak sabittir (Chen ve Wang 1996). Maksimum hızlar, 10, 15, 20 mm blok yüksekliklerinde sırasıyla 5.91, 6.41 ve 6.67 m/s değerlerini alarak ilk bloğun üst ön köşesinde oluşurlar. Tüm blok yüksekliklerinde, ilk bloğun önünde ve bloklar arasındaki tüm boşluklarda ayrılma oluşurken, son bloğun ilerisinde yeniden birleşme bölgeleri oluşur. 10, 15 ve 20 mm blok yükseklikleri için, giriş ile ilk blok arasında oluşan ayrılma noktasının 1. bloğa

olan uzaklığı, sırasıyla 9, 14 ve 18 mm olarak tespit edilmiş olup, tüm blok yükseklikleri için bu uzunluk 0.9h olarak sabittir (Chen ve Wang 1996). Yani, blok yüksekliği arttıkça ayrılma daha erken olmaktadır (Frost ve ark. 1980). Elde edilen hız profillerine göre, tüm yüksekliklerdeki blokların arasındaki çukurlarda, boşluk akışına benzer bir akış elde edilmiş ve boşluğu tamamen dolduran ayrılma kabarcıkları gözlemlenmiştir. İlk boşluktaki ayrılma kabarcığı bundan sonraki boşluklarla periyodik olarak benzerlik gösterir (Young ve Vafai 1998). Tüm blok yüksekliklerinde son bloktan sonra geri basamak akışı elde edilmiş ve 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliği için yeniden dolaşım uzunluğu sırasıyla 60, 91 ve 127 mm olarak tespit edilmiştir. Giriş hızı sabitken, blok yüksekliği arttıkça yeniden birleşme uzunluğu artmıştır (Terekhov ve ark. 2003, Abe ve ark. 1994). Tüm blok yüksekliklerinde, ilk bloğun üst yüzeyindeki sınır tabaka kalınlığı blok yüksekliğine eşit iken, yeniden birleşmeden sonraki herhangi bir ölçüm noktasındaki sınır tabaka kalınlığı düz yüzeyde aynı yerdeki sınır tabaka kalınlığından daha büyüktür. Yeniden birleşmeden sonra kanal çıkışına doğru ana akış yeniden yapılır.

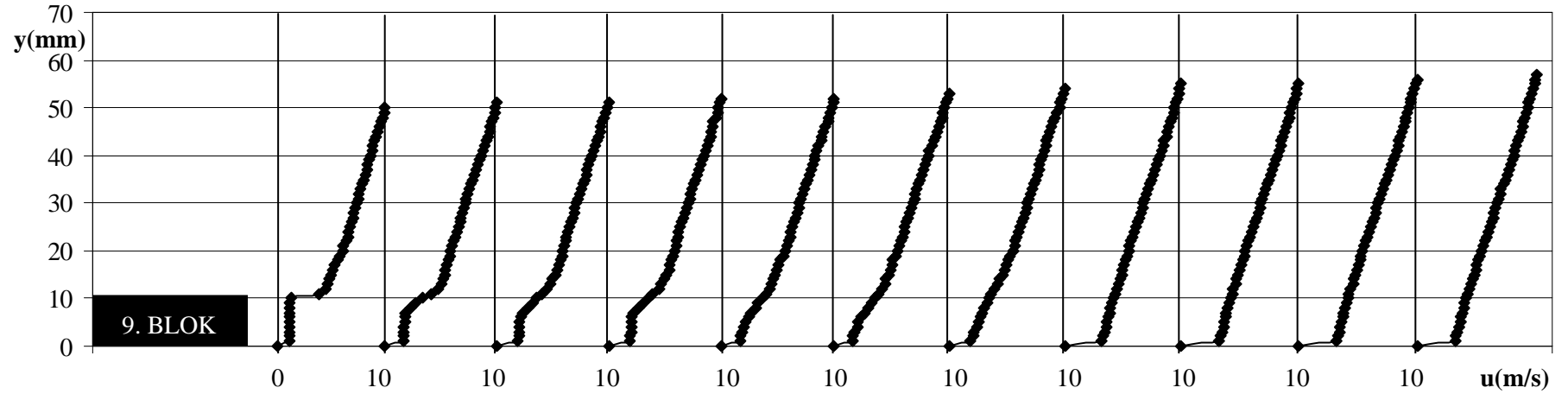
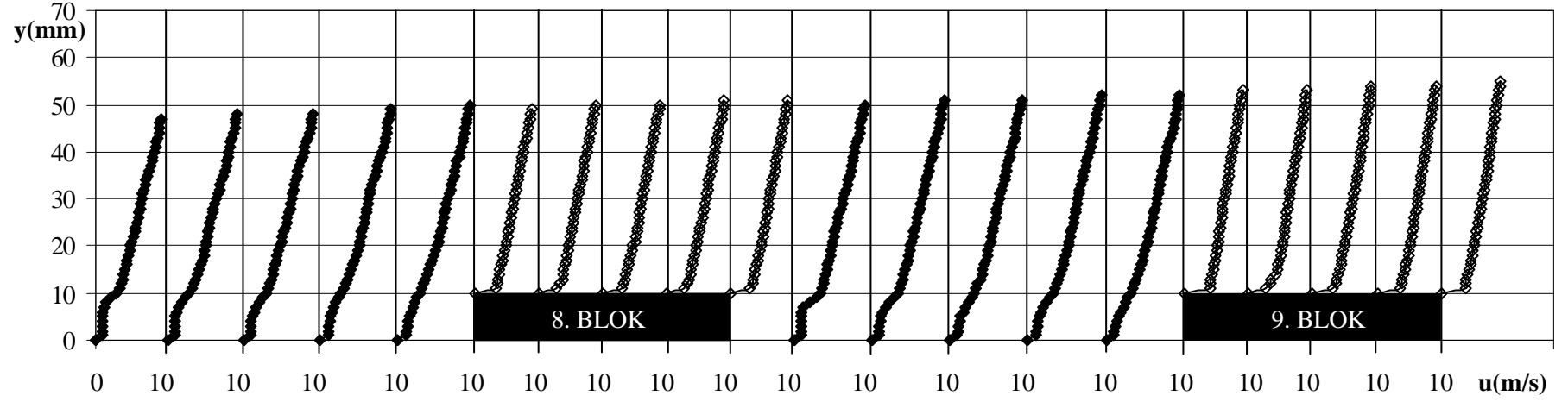
10 m/s giriş hızı için 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliğindeki yüzeylerde elde edilen hız profilleri sırasıyla Şekil 3.22, 3.23 ve 3.24'de gösterilmiştir. Sınır tabaka kalınlıkları, yeniden birleşme uzunlukları ve yüzeylerde oluşan ayrılma ve birleşme noktaları da bu hız profillerinin incelenmesiyle elde edilirken, türbülans yoğunluklarındaki değişim Şekil 3.25, 3.26 ve 3.27'de gösterilmiştir.



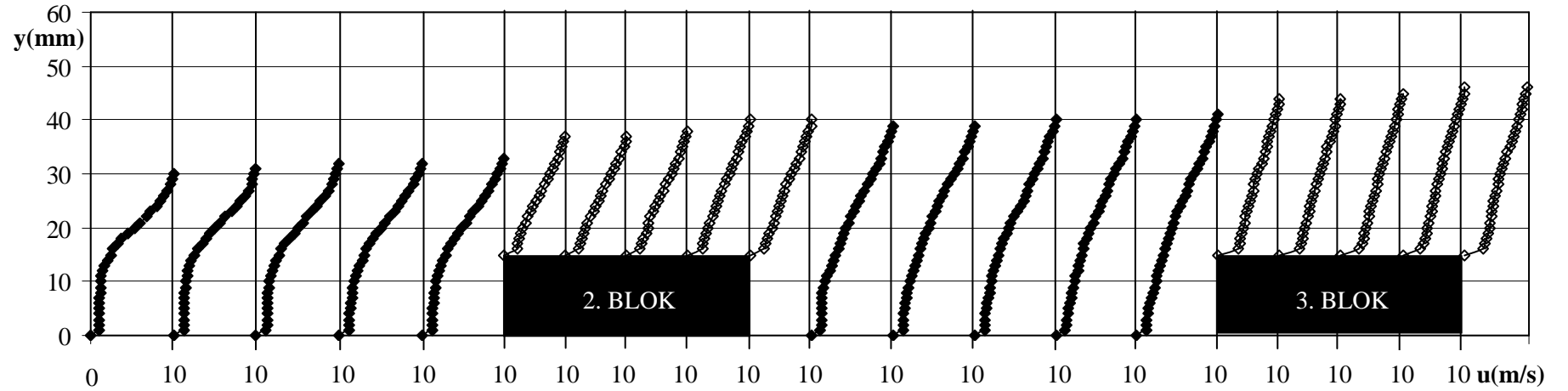
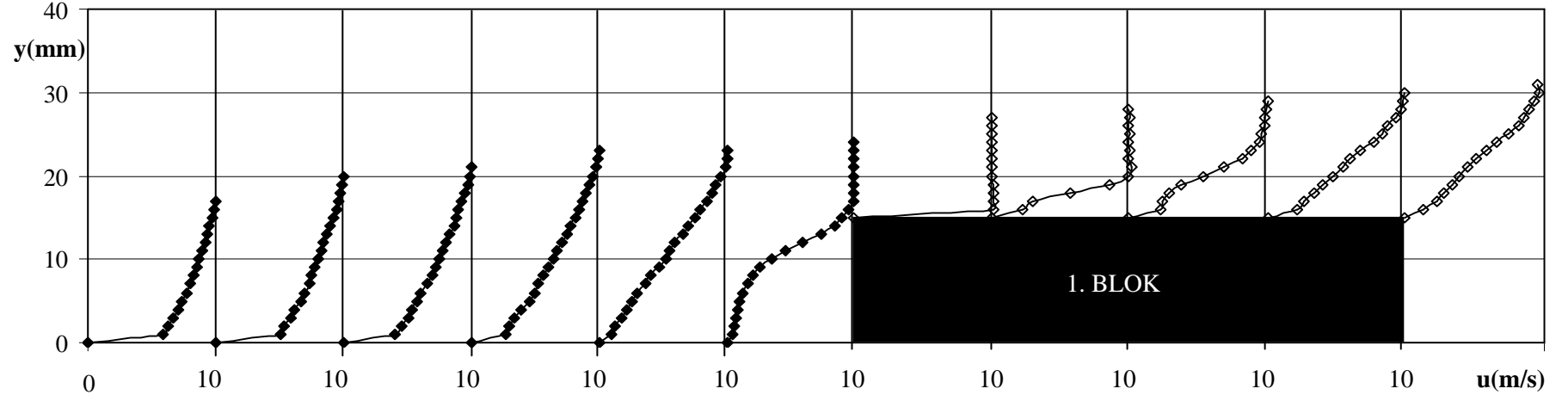
Şekil 3.22. $U=10$ m/s ve $h=10$ mm için hız profilleri.



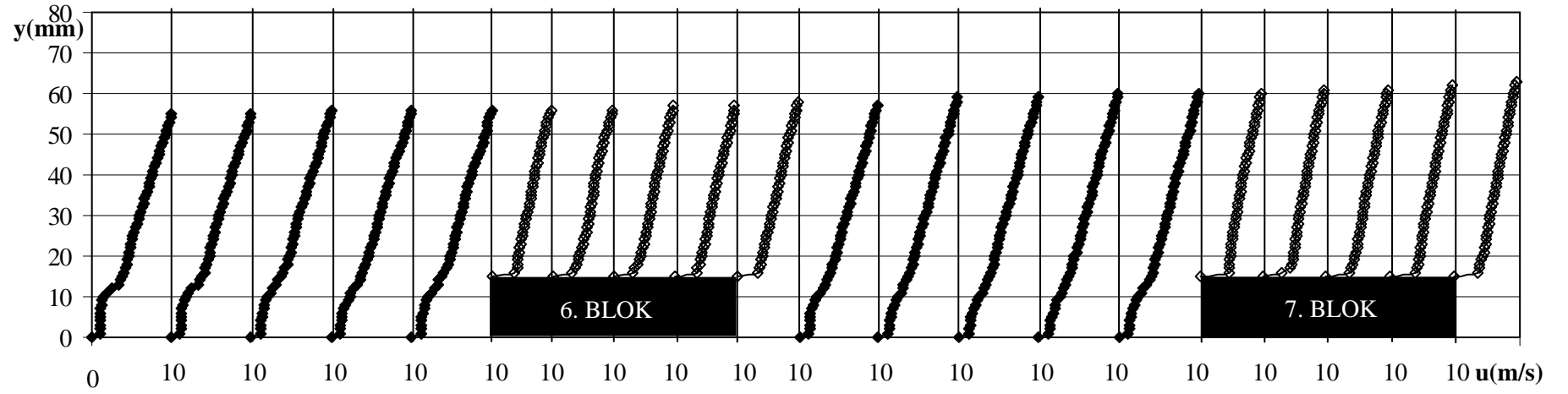
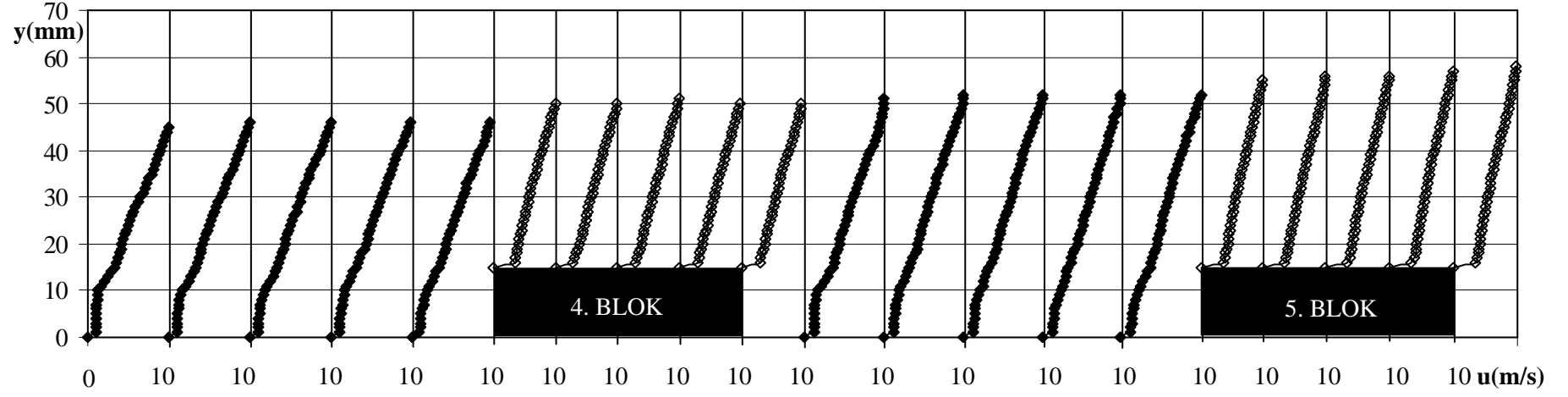
Şekil 3.22 (Devam). $U=10$ m/s ve $h=10$ mm için hız profilleri.



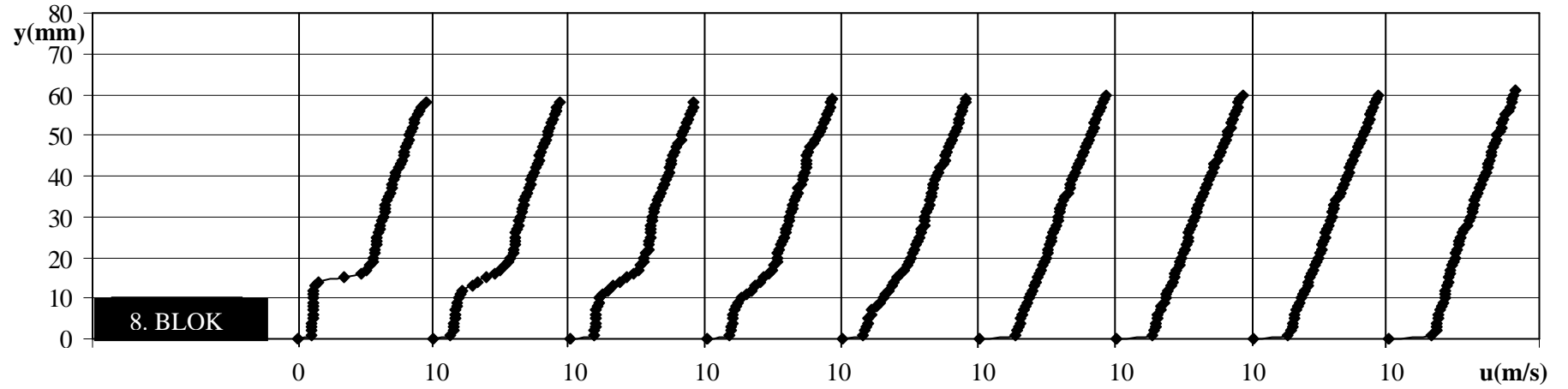
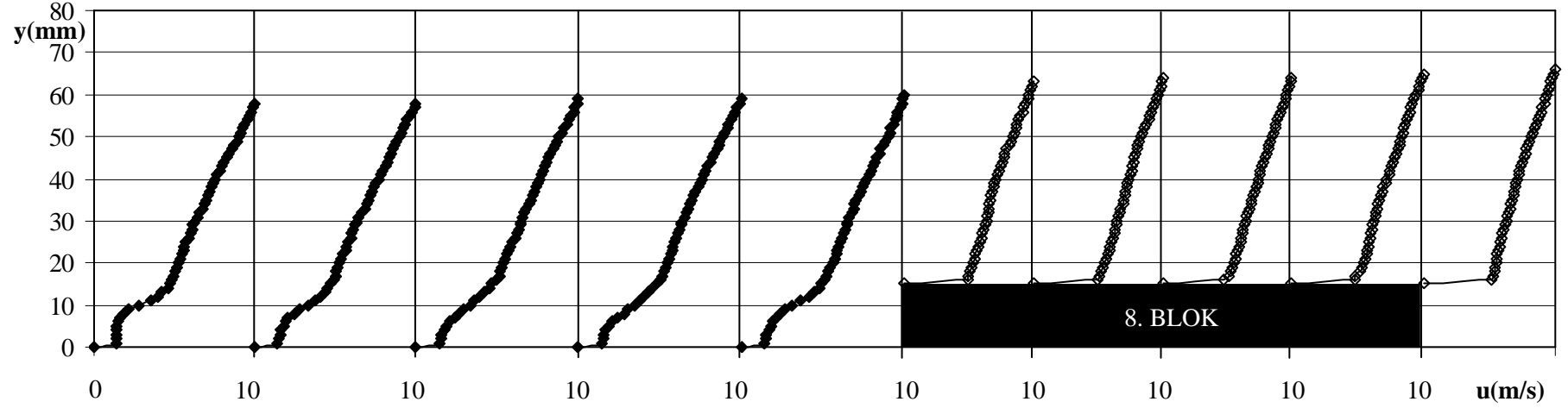
Şekil 3.22 (Devam). $U=10$ m/s ve $h=10$ mm için hız profilleri.



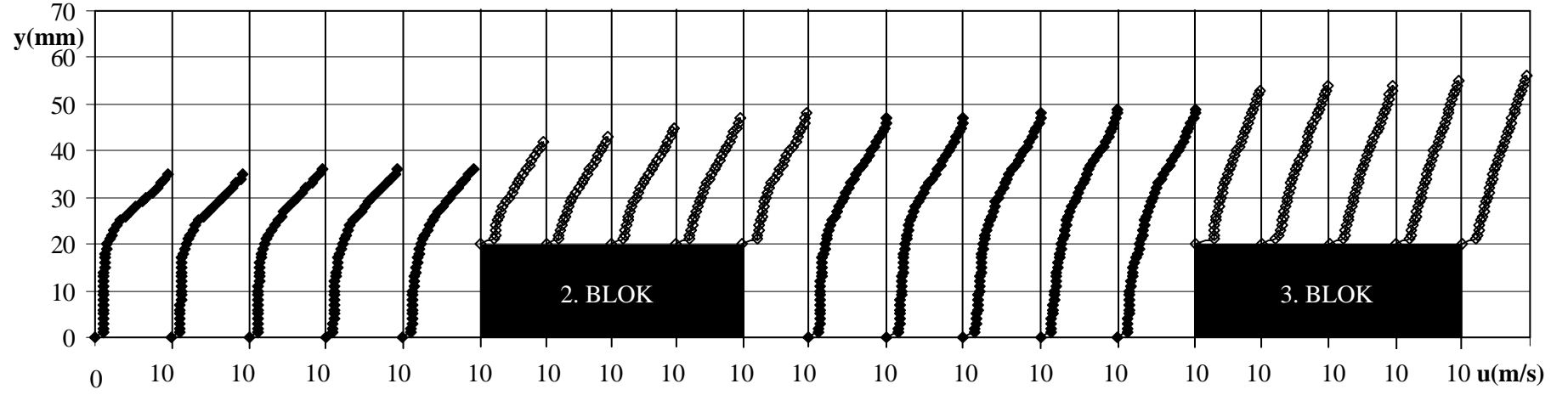
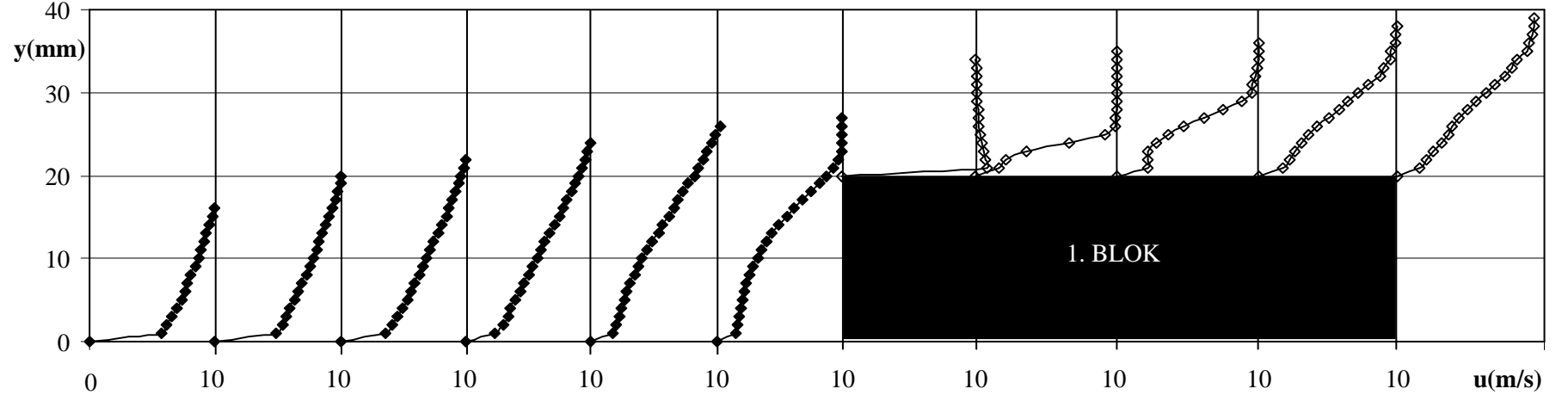
Şekil 3.23. $U=10$ m/s ve $h=15$ mm için hız profilleri.



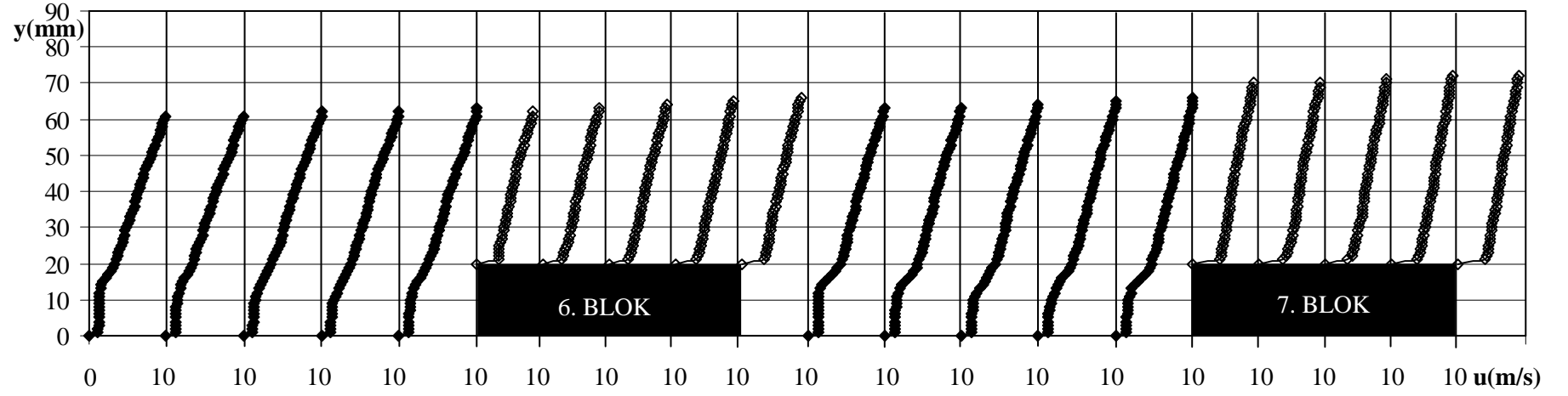
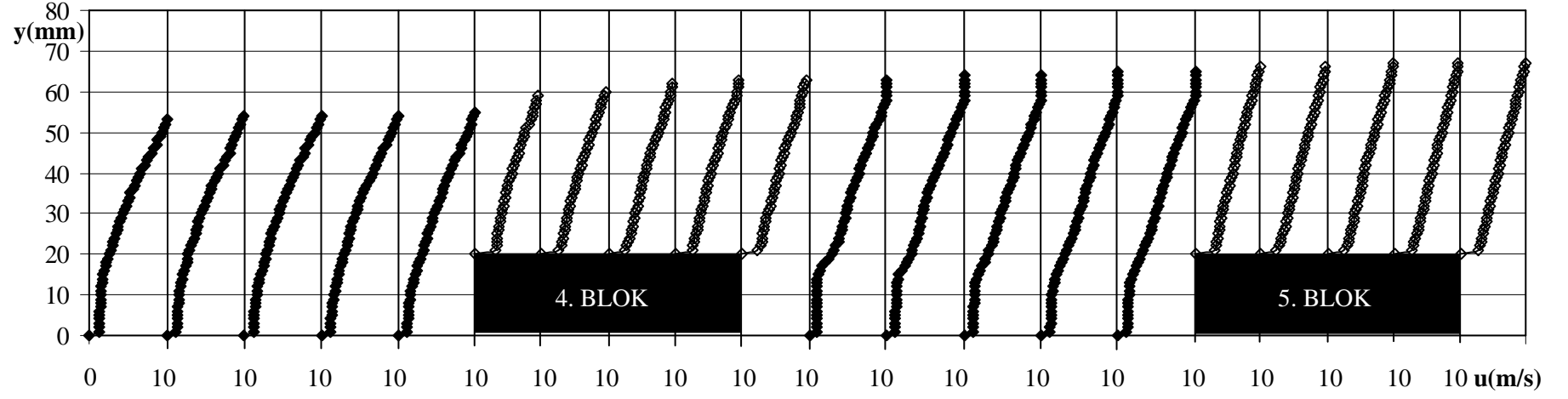
Şekil 3.23 (Devam). $U=10$ m/s ve $h=15$ mm için hız profilleri.



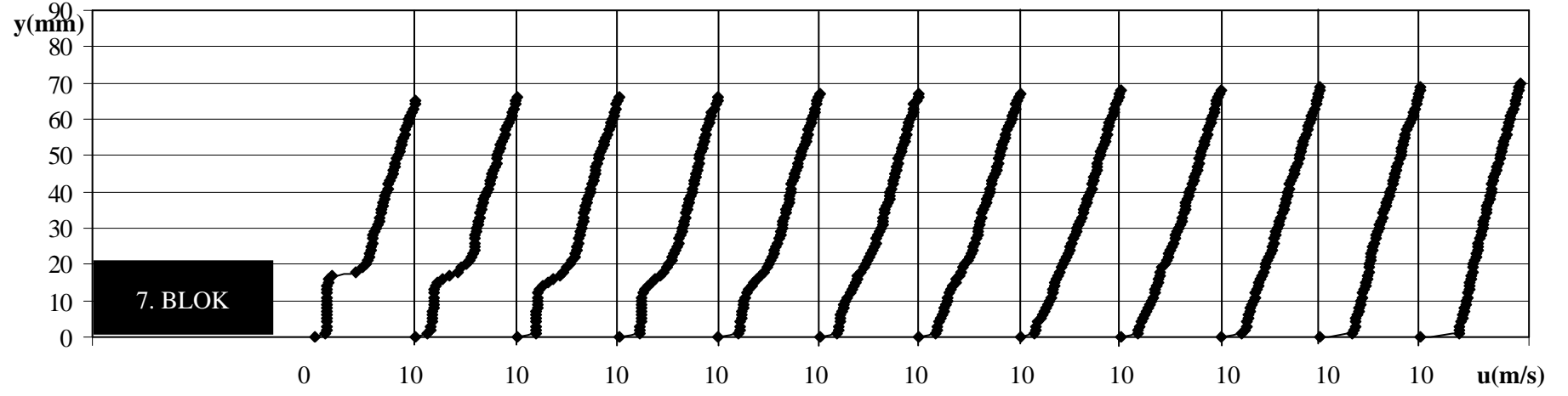
Şekil 3.23 (Devam). $U=10$ m/s ve $h=15$ mm için hız profilleri.



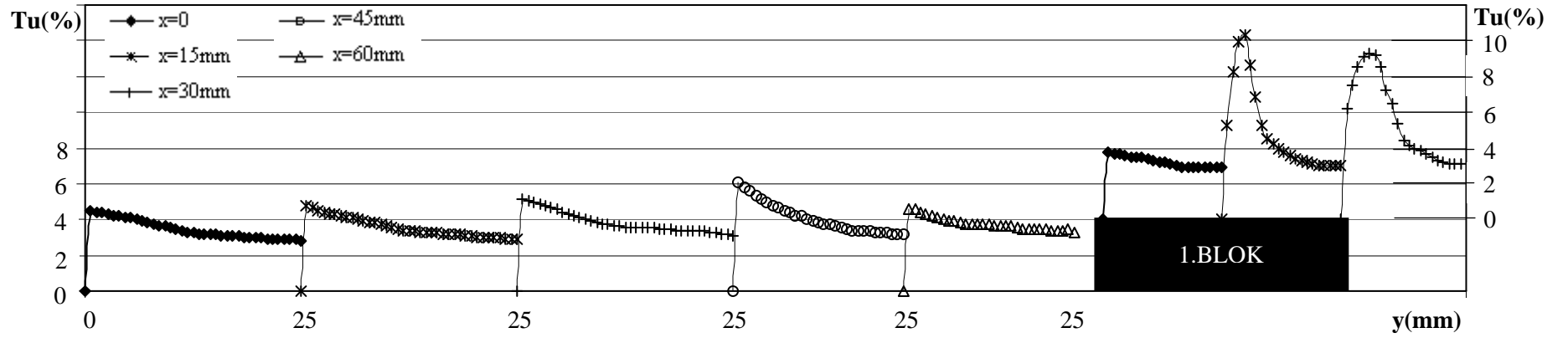
Şekil 3.24. $U=10$ m/s ve $h=20$ mm için hız profilleri.



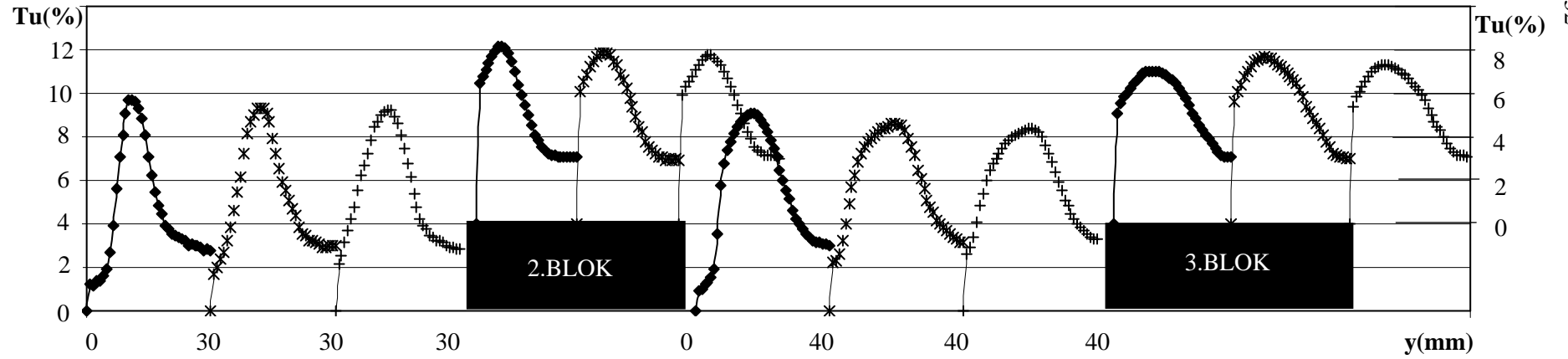
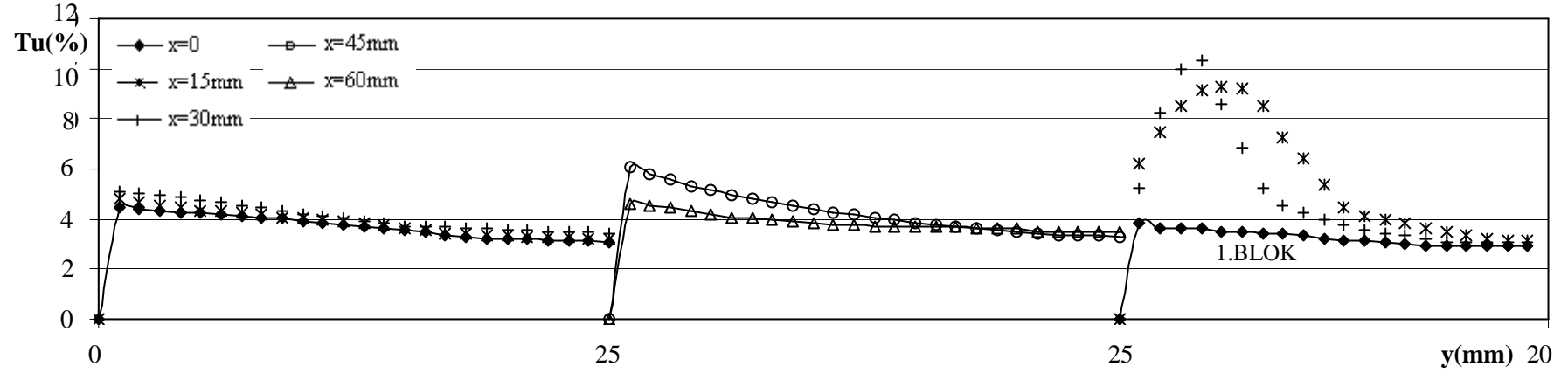
Şekil 3.24 (Devam). $U=10$ m/s ve $h=20$ mm için hız profilleri.



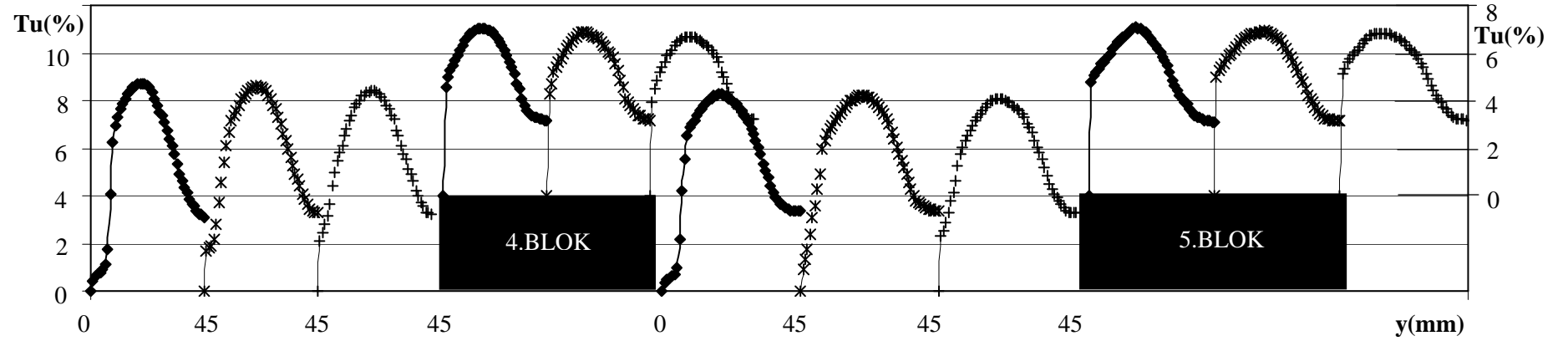
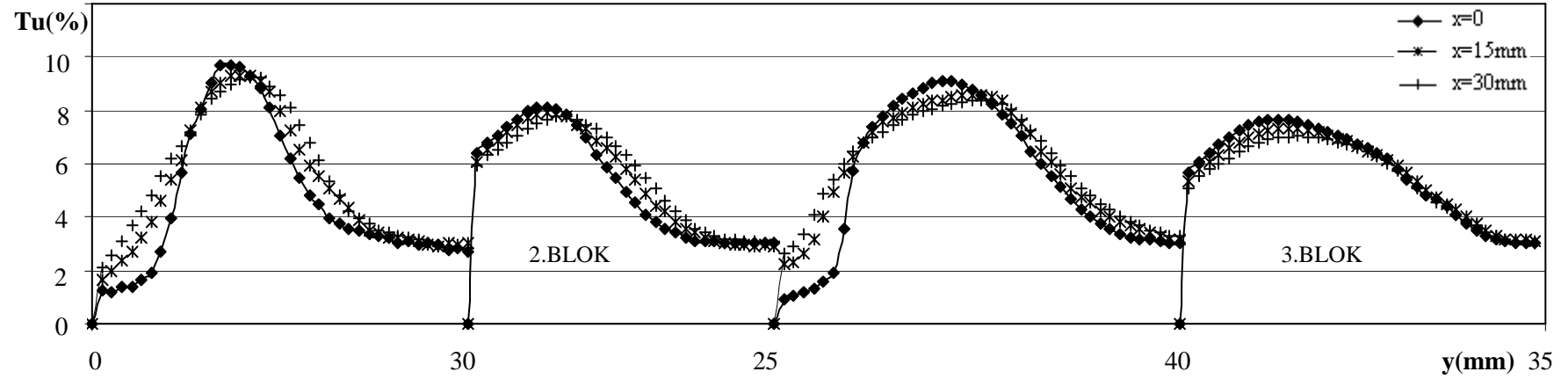
Şekil 3.24 (Devam). $U=10$ m/s ve $h=20$ mm için hız profilleri.



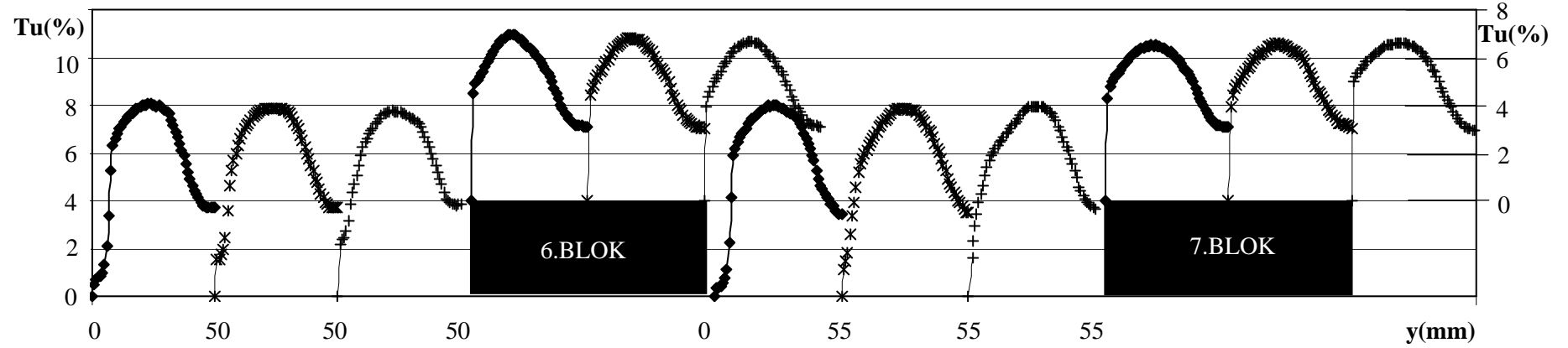
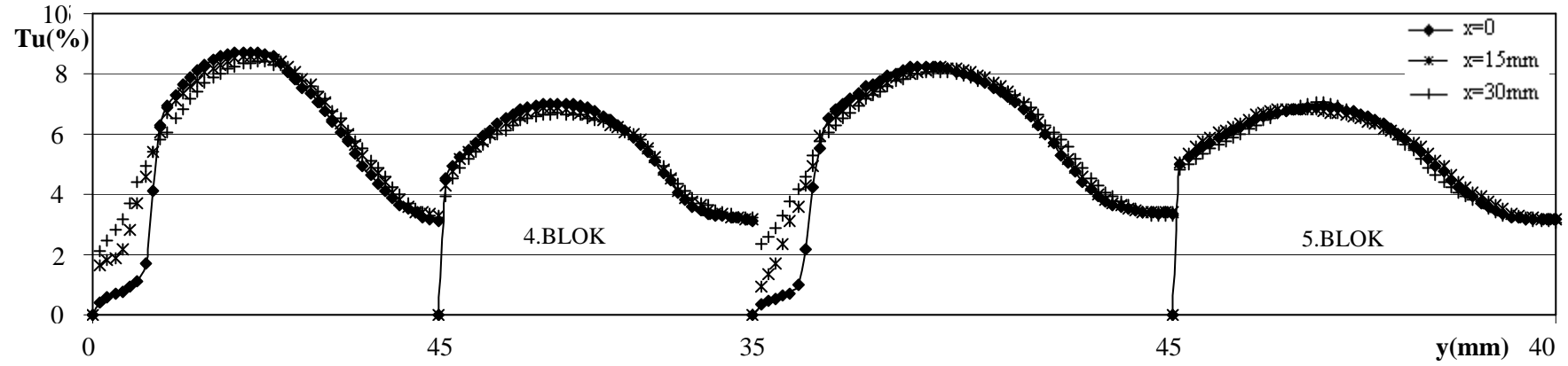
Şekil 3.25. $U=10$ m/s ve $h=10$ mm için türbülans yoğunlukları.



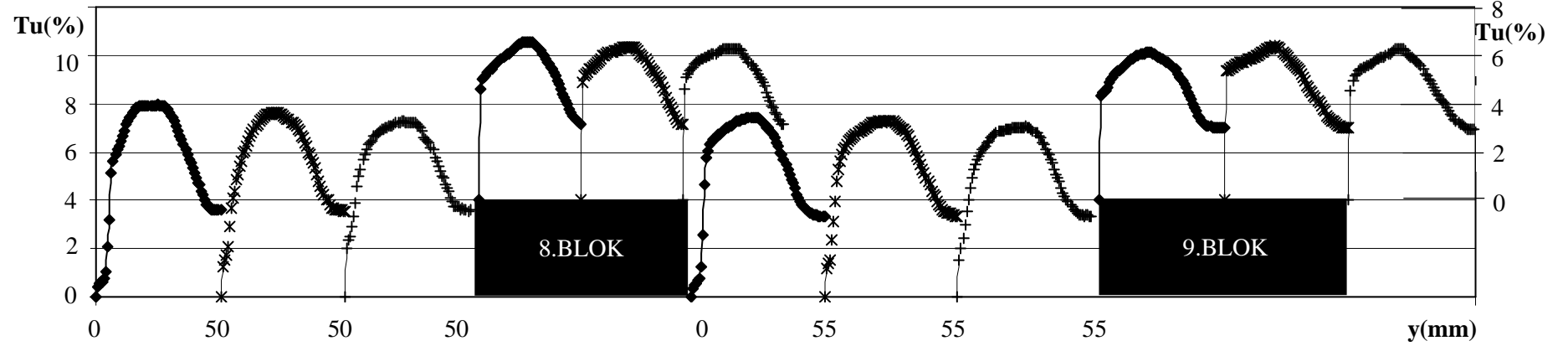
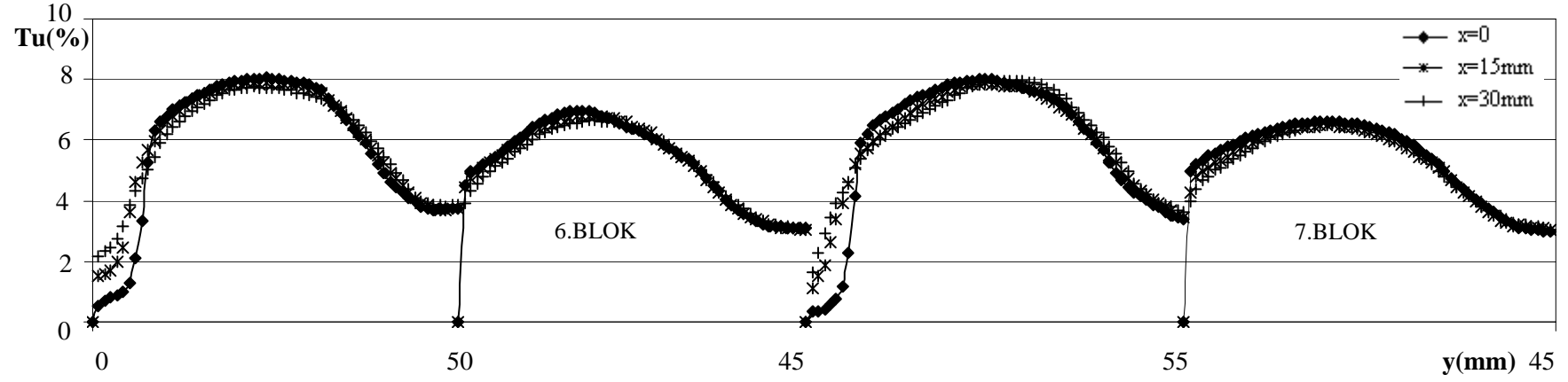
Şekil 3.25 (Devam). $U=10$ m/s ve $h=10$ mm için türbülans yoğunlukları.



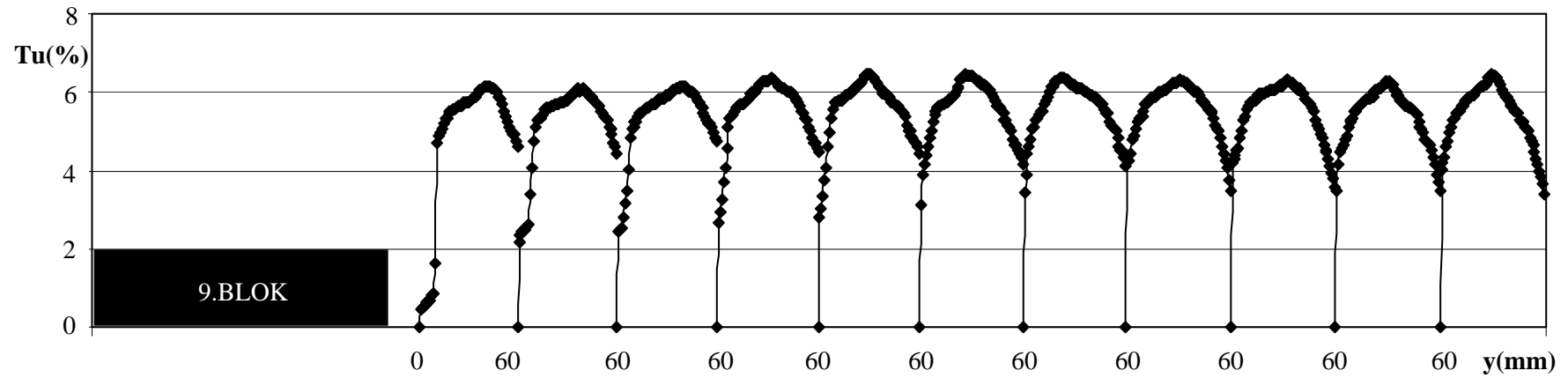
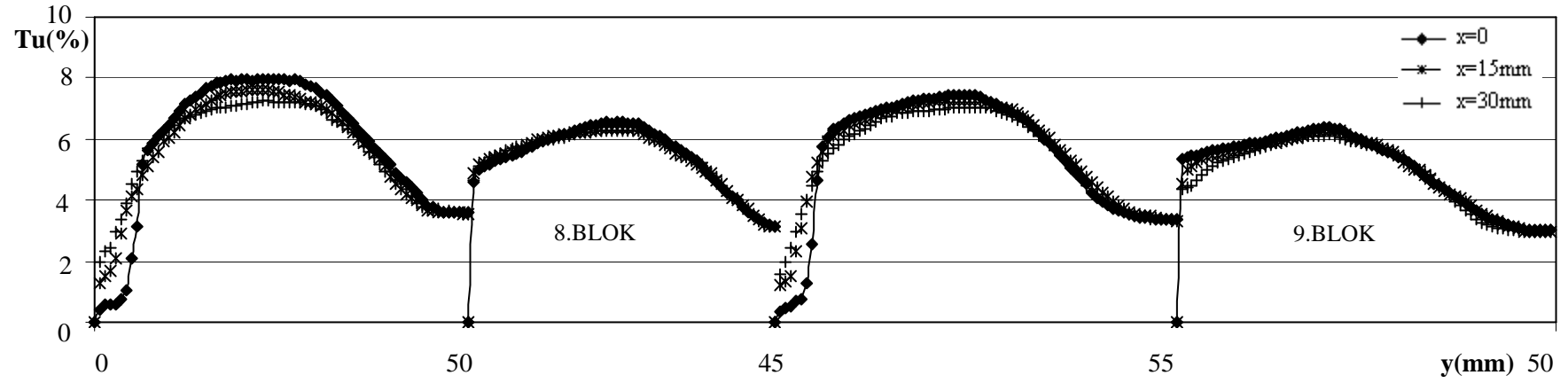
Şekil 3.25 (Devam). $U=10$ m/s ve $h=10$ mm için türbülans yoğunlukları.



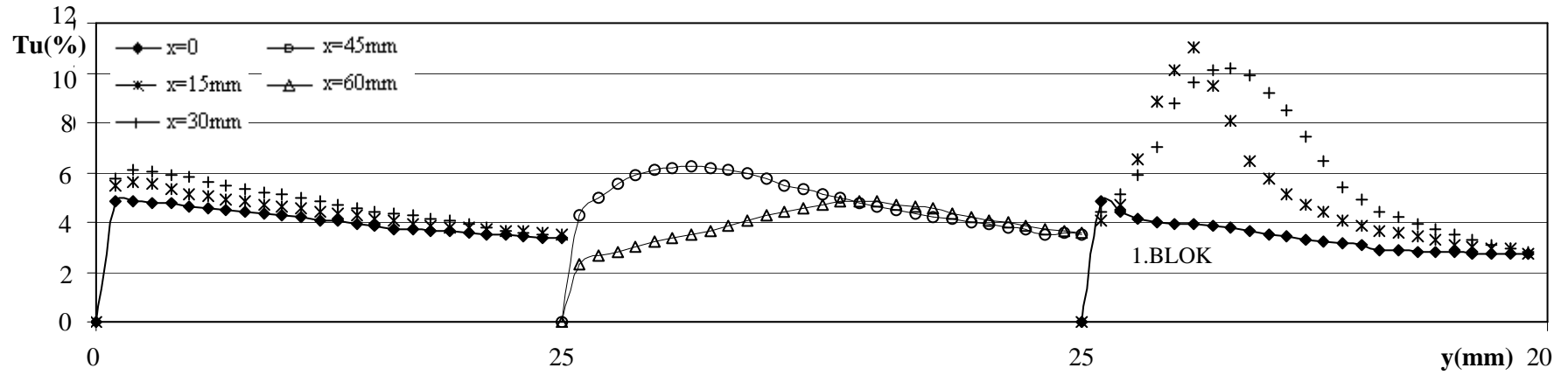
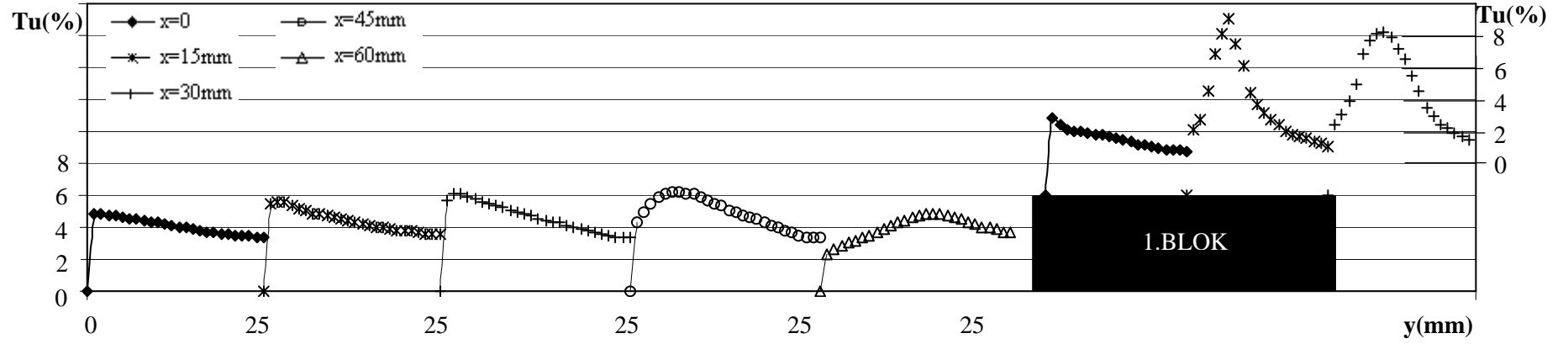
Şekil 3.25 (Devam). $U=10$ m/s ve $h=10$ mm için türbülans yoğunlukları.



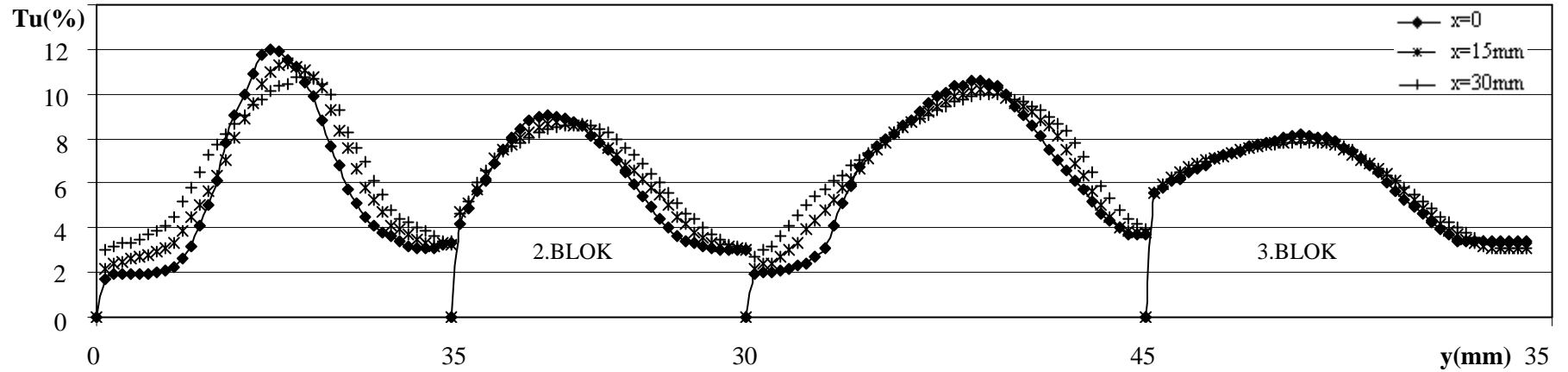
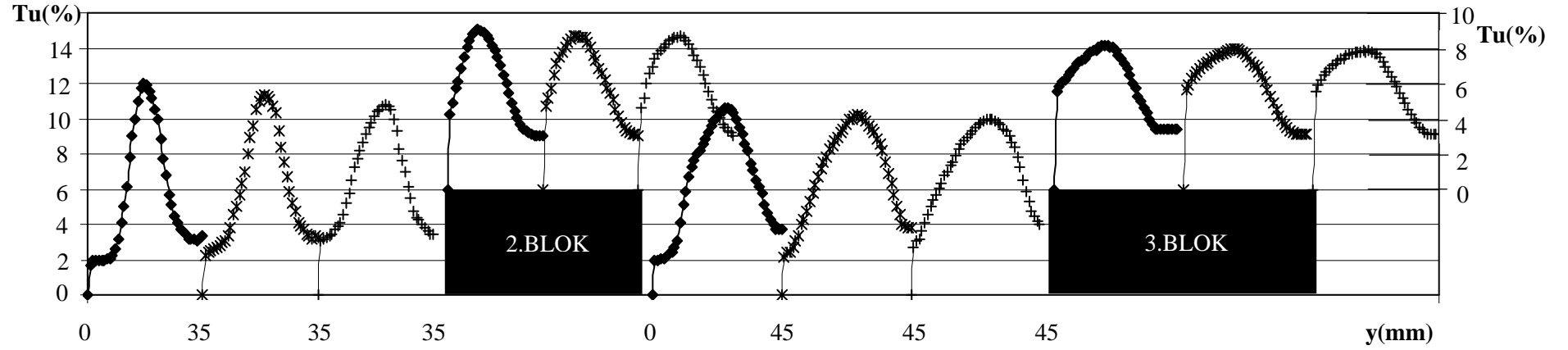
Şekil 3.25 (Devam). $U=10$ m/s ve $h=10$ mm için türbülans yoğunlukları.



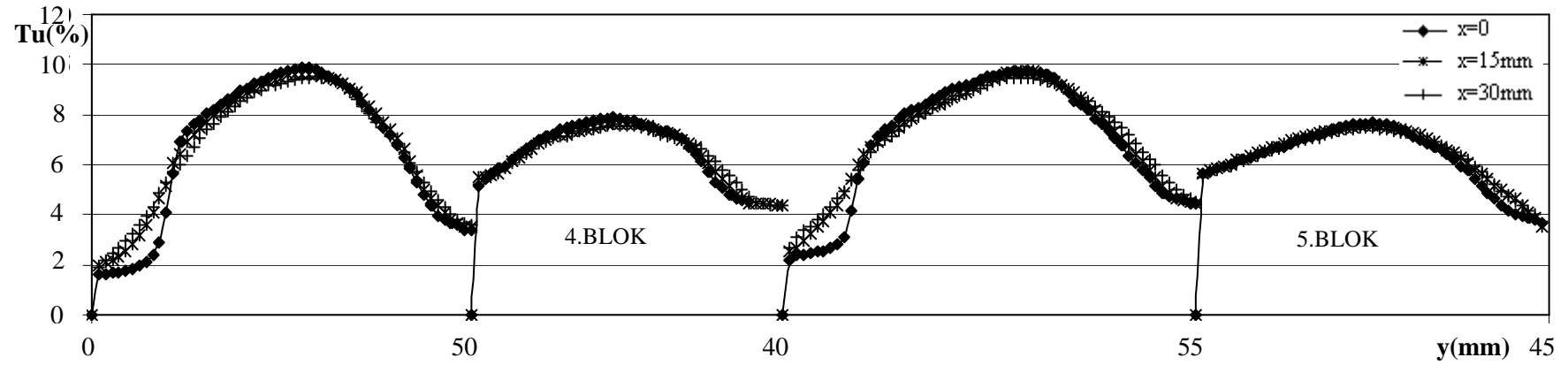
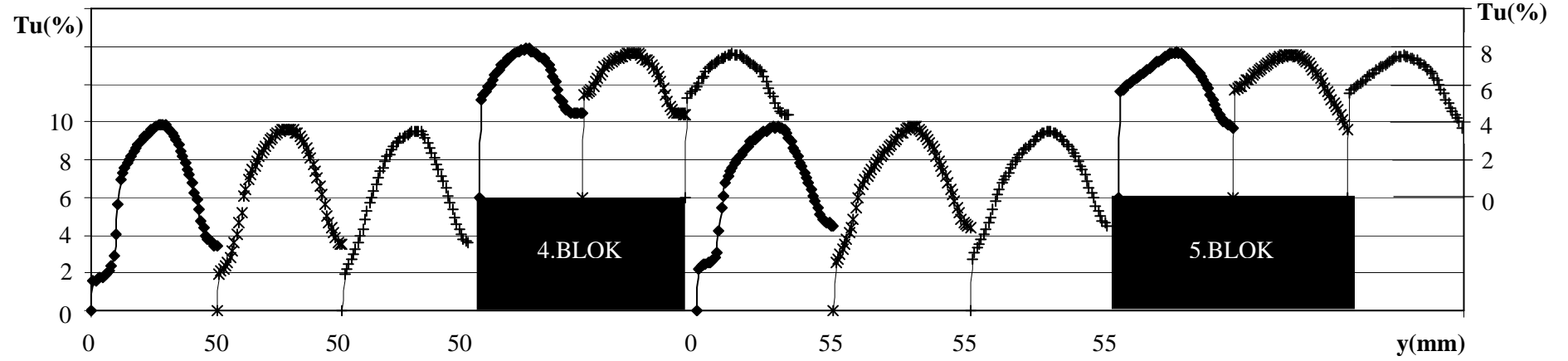
Şekil 3.25 (Devam). $U=10\text{ m/s}$ ve $h=10\text{ mm}$ için türbülans yoğunlukları.



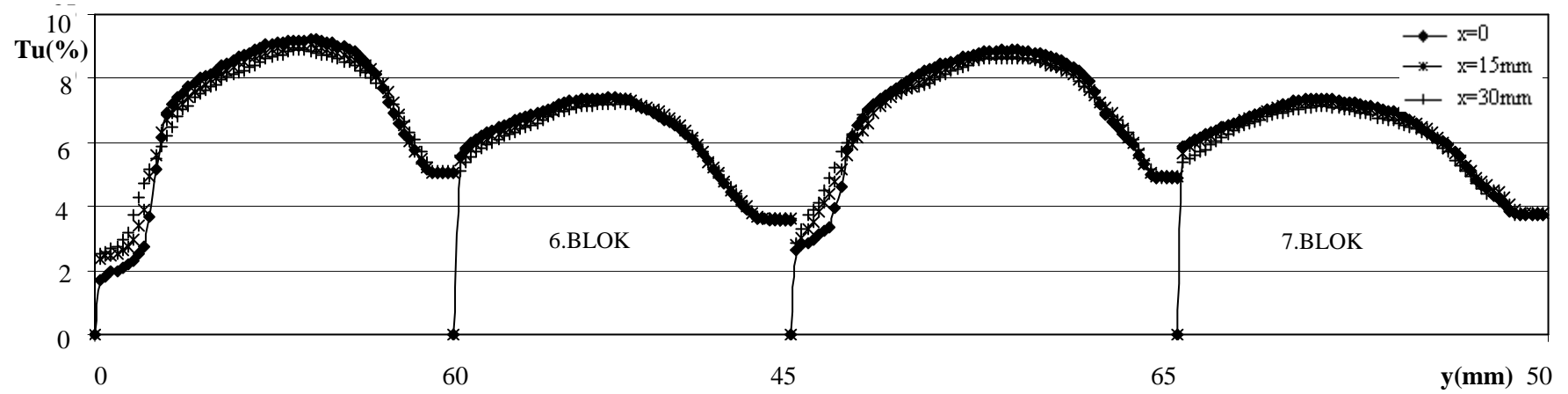
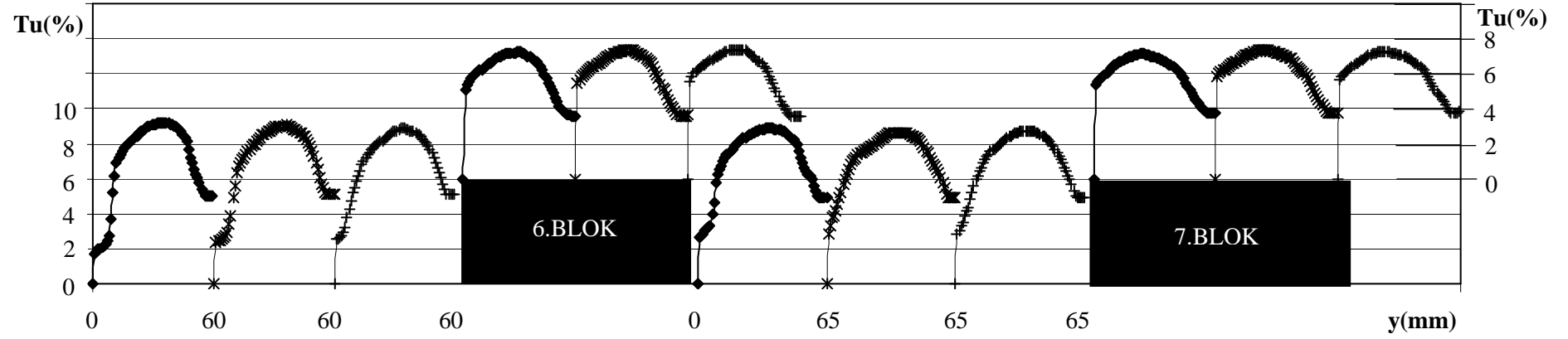
Şekil 3.26. $U=10$ m/s ve $h=15$ mm için türbülans yoğunlukları.



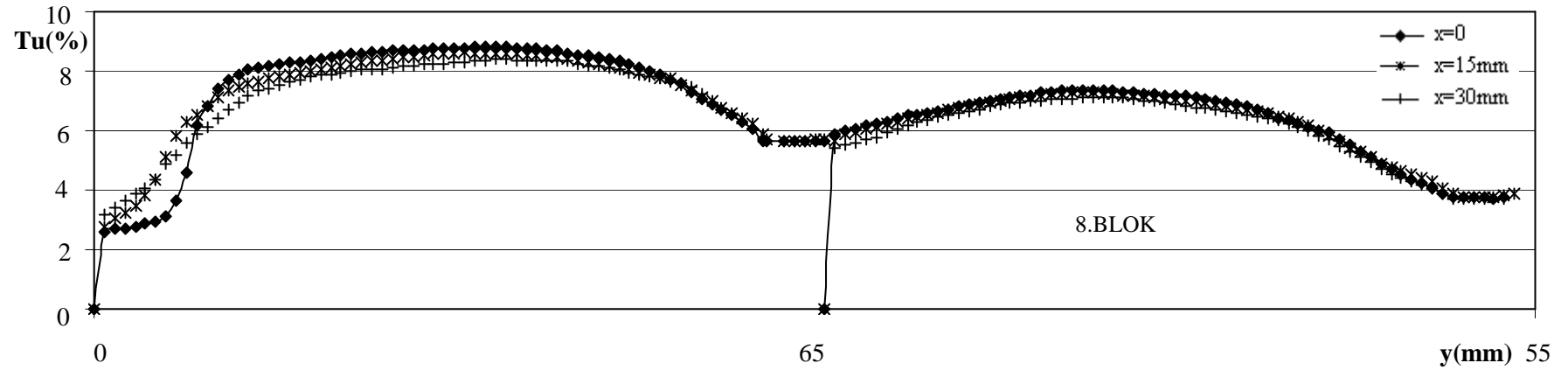
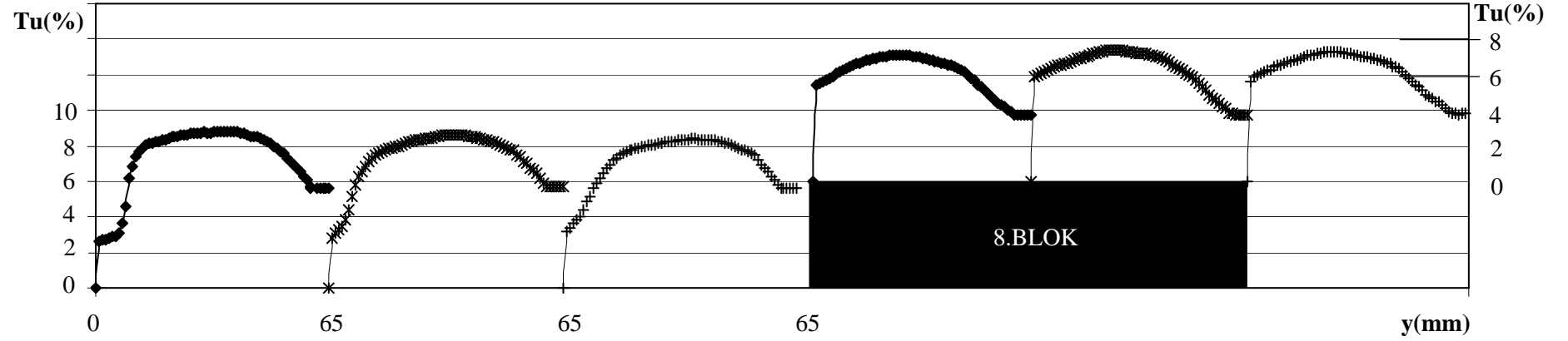
Şekil 3.26 (Devam). $U=10$ m/s ve $h=15$ mm için türbülans yoğunlukları.



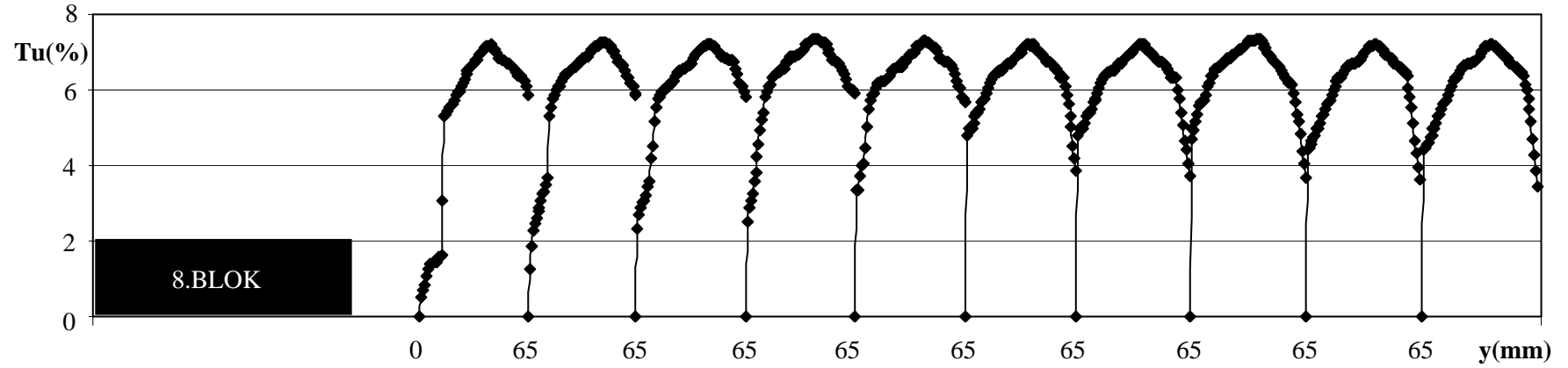
Şekil 3.26 (Devam). $U=10 \text{ m/s}$ ve $h=15 \text{ mm}$ için türbülans yoğunlukları.



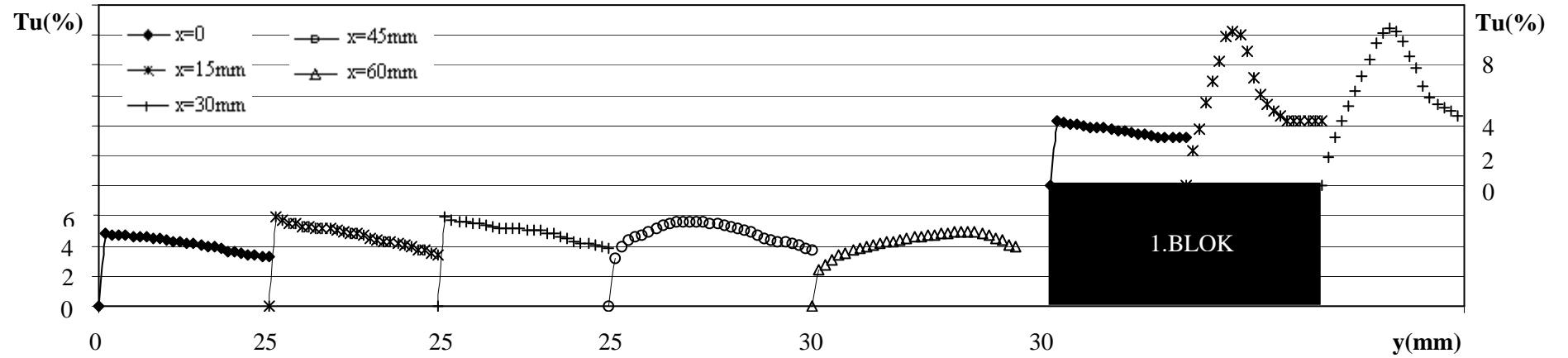
Şekil 3.26 (Devam). $U=10\text{ m/s}$ ve $h=15\text{ mm}$ için türbülans yoğunlukları.



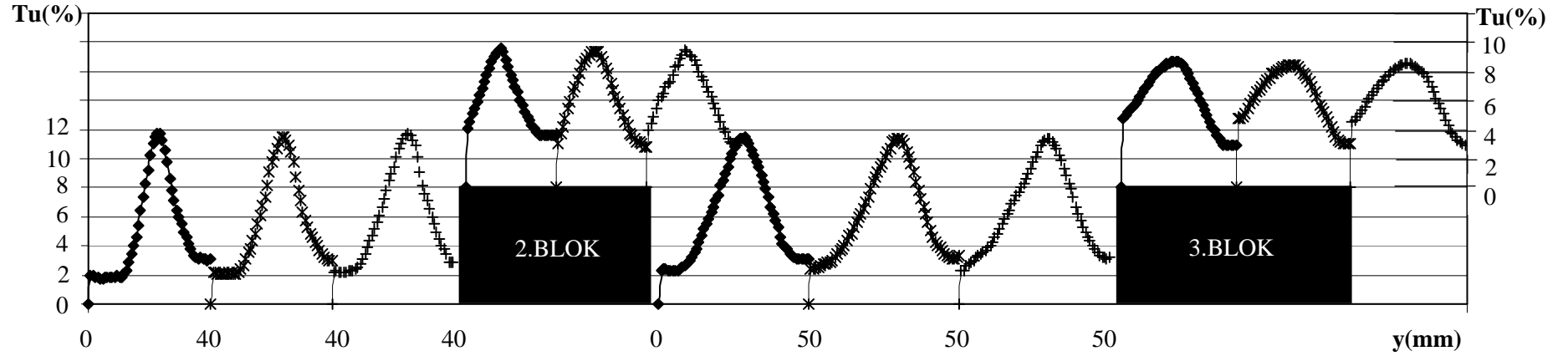
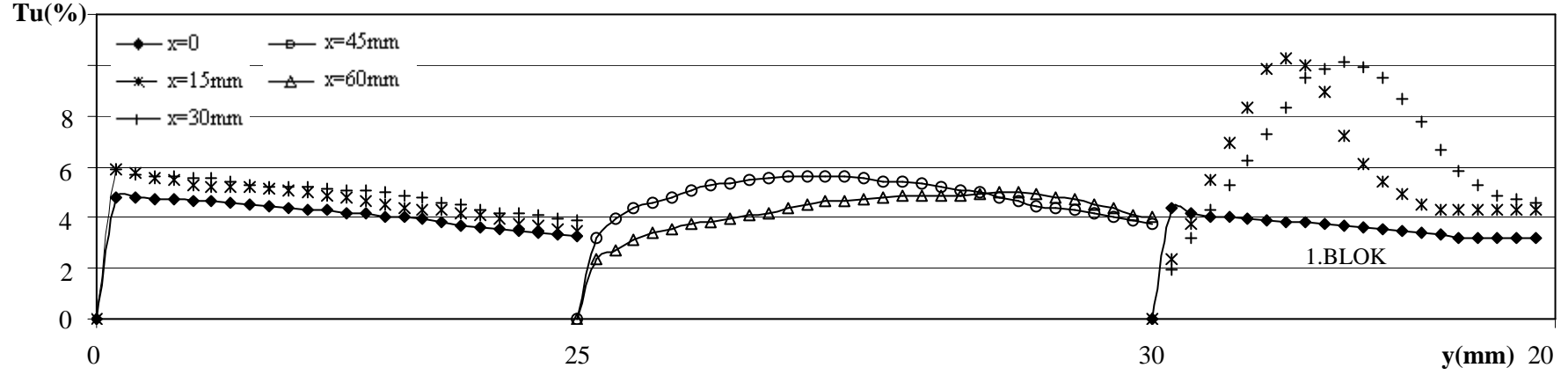
Şekil 3.26 (Devam). $U=10$ m/s ve $h=15$ mm için türbülans yoğunlukları.



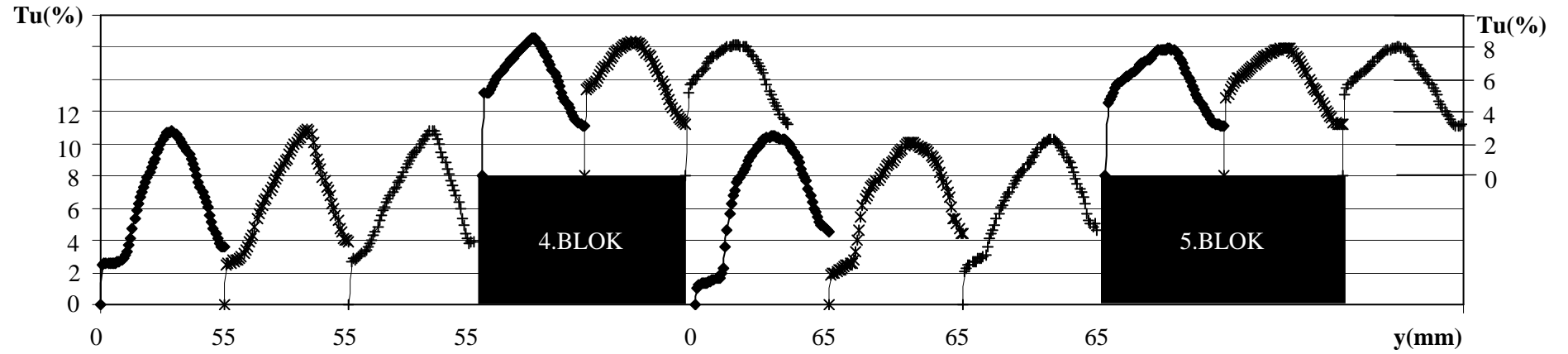
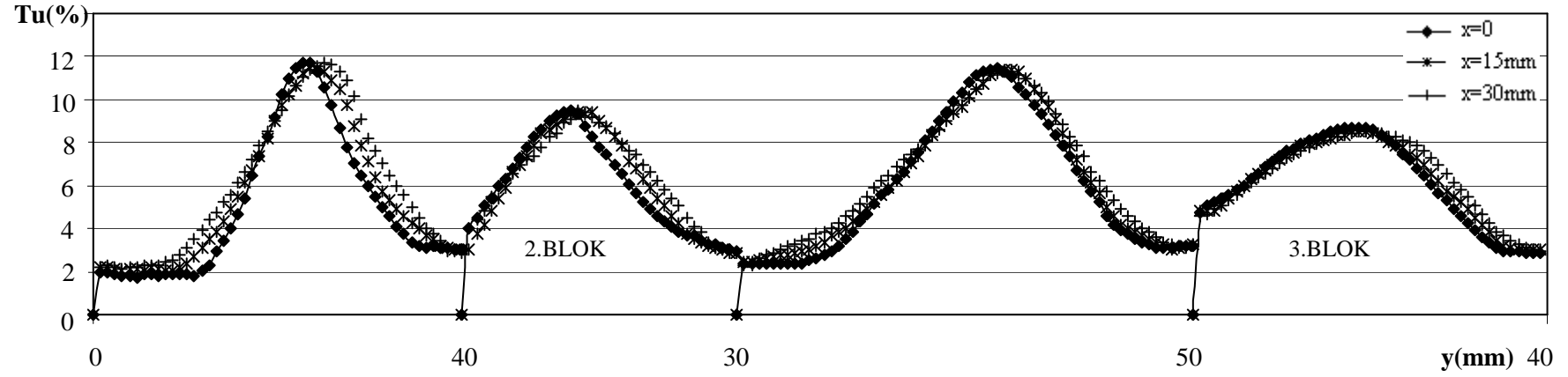
Şekil 3.26 (Devam). $U=10$ m/s ve $h=15$ mm için türbülans yoğunlukları.



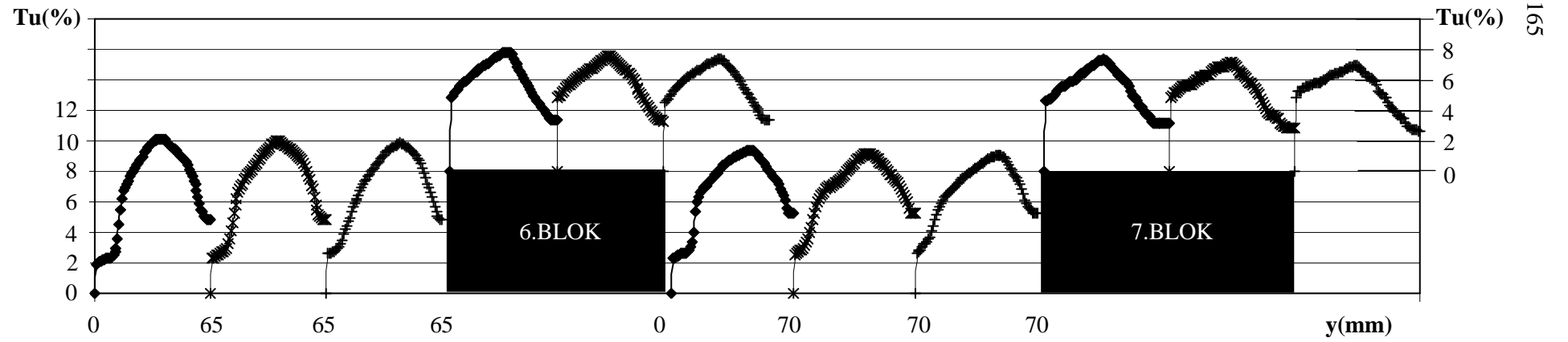
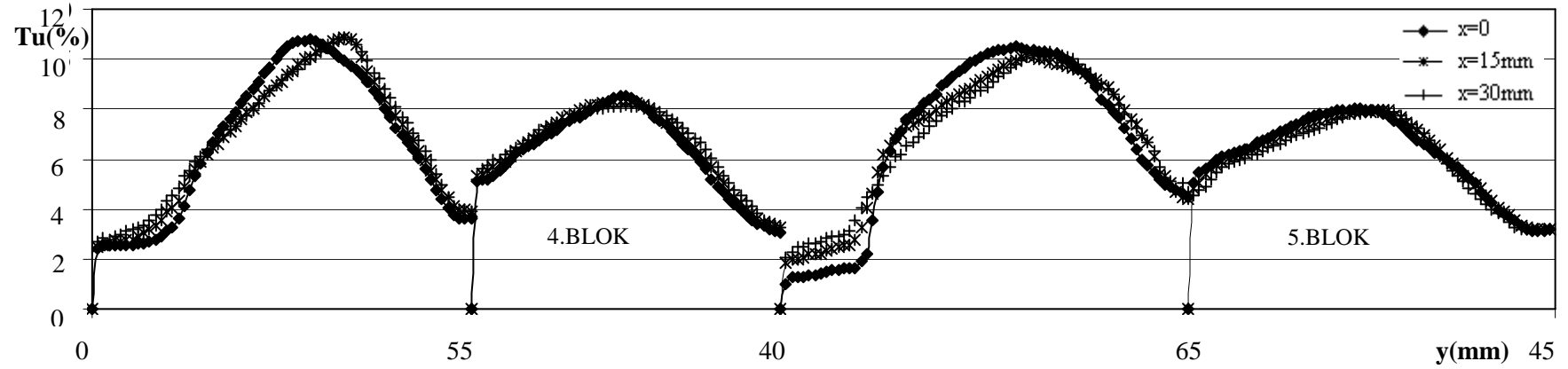
Şekil 3.27. $U=10$ m/s ve $h=20$ mm için türbülans yoğunlukları.



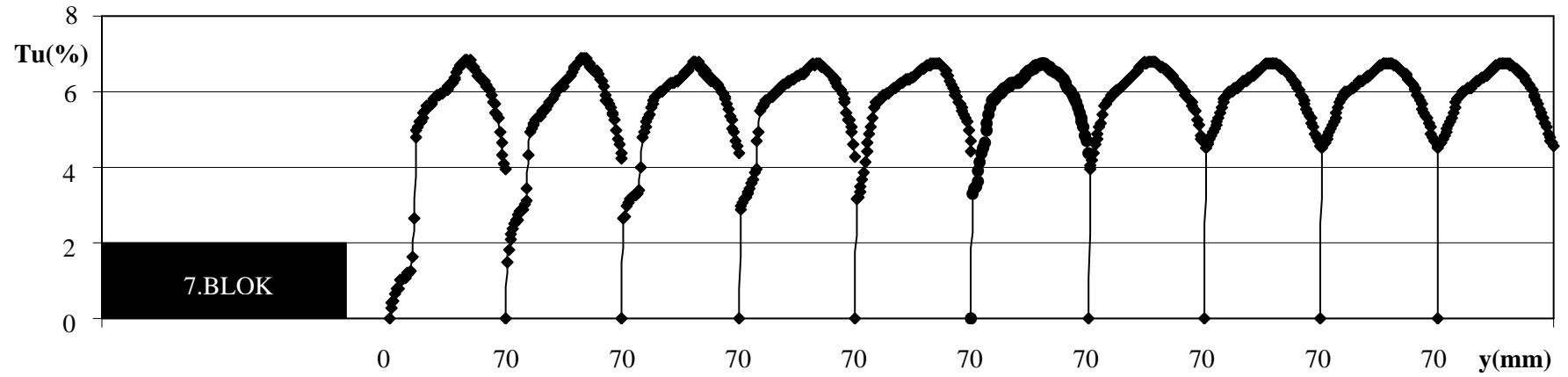
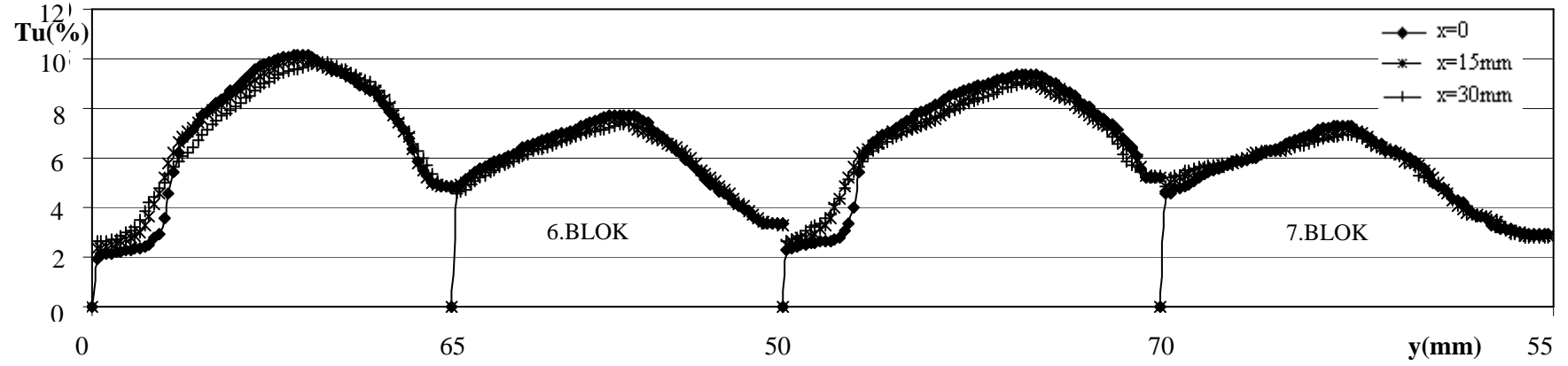
Şekil 3.27 (Devam). $U=10\text{ m/s}$ ve $h=20\text{ mm}$ için türbülans yoğunlukları.



Şekil 3.27 (Devam). $U=10\text{ m/s}$ ve $h=20\text{ mm}$ için türbülans yoğunlukları.



Şekil 3.27 (Devam). $U=10$ m/s ve $h=20$ mm için türbülans yoğunlukları.



Şekil 3.27 (Devam). $U=10\text{ m/s}$ ve $h=20\text{ mm}$ için türbülans yoğunlukları.

Şekil 3.22’de 10 mm yüksekliğe sahip bloklı yüzey üzerinden 10 m/s giriş hızındaki akışta ($Re_h=6500$) hız profilleri gösterilirken, Şekil 3.25’de aynı blok yüksekliği ve giriş hızı için türbülans yoğunluklarının değişimi gösterilmiştir. İlk bloktan önceki ön yüzey boyunca sınır tabaka kalınlıkları 16-24 mm ve maksimum türbülans yoğunlukları %4.5-6.0 arasında değişmektedir. Girişte düzgün olan akış, 1. bloğun engellemesinden dolayı yüzey girişinden 52 mm sonra ayrılır (Davalath ve Beyazıtoglu 1987) ve bu ayrılma noktası civarında ön yüzeydeki türbülans yoğunluğu maksimum değerini (%6) alır (Chen ve Wang 1996). Akışın ilk bloğa çarpmasından ve ani kesit daralmasından dolayı, bu bloğun üst ön köşesinde hız maksimum değerini alarak 11.70 m/s ölçülürken (Furukawa ve Yang 2003), türbülans yoğunluğu tüm yüzeydeki en düşük maksimum değerini alarak %3.8 olarak ölçülmüştür. Elde edilen hız ve türbülans yoğunluğu profillerinden hareketle, ilk bloktan başlayarak 9. bloğa kadar, blok üstlerindeki sınır tabaka kalınlıkları sırasıyla 14-16, 20-23, 28-30, 32-34, 36-39, 39-40, 40-42, 40-42, 43-45 mm arasında iken, maksimum türbülans yoğunlukları %3.8-10.3, 8.1-7.8, 7.3-7.0, 7.0-6.7, 7.0-6.7, 7.0-6.6, 6.6-6.5, 6.5-6.3, 6.3-6.1 aralığında elde edilmiştir. Blokların varlığından dolayı, bu yüzeyde ölçülen türbülans yoğunluklarının tamamı düz yüzeydekiden büyüktür (Bilen ve ark. 2001). İlk bloğun üstündeki sınır tabaka kalınlığı blok yüksekliğinden daha büyüktür ve bu durum Aung (1983) tarafından incelenen laminer akış sonucuyla örtüşmemektedir. $\frac{h}{\delta_1} = 0.67$ için

Igarashi ve Takasaki’nin (1992) tarafından verilen akış örneklerinden farklı olarak, 1. bloğun üst yüzeyinde türbülans yoğunluğundaki ani yükselme 1. bloğun üstünde akışın türbülanslı olduğunu göstermektedir (Igarashi ve Takasaki 1992). Bu yükseklik ve hızda ilk bloğun üstünde oluşan ayrılma kabarcığı girişin 12 mm ilerisinde birleşirken diğer blokların üst yüzeylerinde ayrılma gözlenmemiştir. Bloklar arasındaki çukurlardaki akış boşluk akışına benzer (Davalath ve Beyazıtoglu 1987) ve 1. boşlukta oluşan ayrılma kabarcıkları bundan sonraki tüm boşluklarda periyodik olarak benzerlik göstererek, tüm boşluğu doldur (Young ve Vafai 1998). Blok aralarında bulunan ölçüm noktalarındaki maksimum türbülans yoğunlukları ise %9.7-9.3, 9.1-8.4, 8.7-8.4, 8.3-8.1, 8.0-7.7, 8.0-7.7, 7.9-7.2, 7.4-7.1 aralığında ölçülerek, blok üstleri, ön ve arka yüzeydeki maksimum Tu değerlerinden büyüktür. Bunun nedeni boşluklarda oluşan ayrılma kabarcıklarıdır (Chen ve Wang 1998). Bloklı yüzeyler üzerinde akıştaki ayrılmadan dolayı son bloğun

ilerisinde, yeniden birleşmenin olduğu yerle sınırlandırılmış yüzeye kadar kıvrılan bir kayma tabakası oluşur. Yeniden birleşen akış bu kayma tabakasının geri sürüklenmesinin sonucudur (Heist ve Gouldin 1997). Son bloğun arkasında geri basamak akışı elde edilirken (Chen ve Wang 1996, 1998), yeniden birleşme uzunluğu 62 mm ve X_R/h oranı 6.2 olarak tespit edilmiştir. Bu oran Driver ve Seegmiller (1985) ve Sinha ve ark. (1981) tarafından verilen oranlarla örtüşmektedir. Arka yüzeyde sınır tabaka kalınlıkları 50-58 mm ve maksimum türbülans yoğunlukları %6.5-6.2 arasında değişmektedir. Bu yüzeydeki türbülans yoğunluğu profilleri yeniden birleşme noktasından sonra dengeli hale gelmeye başlamaktadır. Yeniden birleşmeden sonraki sınır tabaka kalınlıkları düz yüzeyinkinden daha büyüktür (Aung 1983) ve bu noktadan sonraki akış kanal çıkışına doğru dengeye ulaşır (Kim ve Anand 1994). Akış yönünde ilerledikçe türbülans yoğunlukları azalmakta ve türbülans yoğunluğu profilleri düz yüzey türbülans yoğunluğu profillerine yaklaşmaktadır (Wahidi ve ark. 2005).

15 mm yüksekliğe sahip bloklu yüzey üzerinden 10 m/s giriş hızındaki akışta ($Re_h=9500$), ilk bloğun önündeki yüzeydeki sınır tabaka kalınlıkları 17-24 mm ve maksimum türbülans yoğunlukları %4.9-6.2 arasında ölçülmüştür. Bu yüzeyde ilk bloğun engellemesinden dolayı ilk bloktan belirli bir mesafede akış çizgilerinde sapma olur ve bloğun 12 mm önünde ilk ayrılma kabarcığı oluşur (Chen ve Wang 1998). Ön yüzeydeki maksimum türbülans yoğunluğu (%6.2) bu ayrılma noktası civarında oluşur (Chen ve Wang 1996). Akışın çarptığı ilk bloğun üst ön köşesinde akışkanın momentumu artarak, hız lokal maksimum değerine (11.73 m/s) ulaşmış (Young ve Vafai 1998) ve maksimum türbülans yoğunluğu bu noktada %4.9 olarak ölçülmüştür. İlk bloğun üstünde maksimum türbülans yoğunluğunda ani bir yükselme (%11.0) olduğundan 1. bloğun üstünde akış türbülanslıdır (Igarashi ve Takasaki 1992). Blok üzerinde oluşan ayrılma kabarcıklarının büyüklüğü, etrafındaki akışın türbülans yoğunluğuna bağlıdır (Nozawa ve Tamura 2002). Blok genişliği blok üstündeki ayrılma kabarcığının gelişmesi ve birleşmesi için yeterli olduğundan (Chen ve Wang 1996), bu ayrılma kabarcığı bloğun üst ön köşesinden 17 mm ilerde birleşirken, blok aralarındaki boşluklarda oluşan ayrılma kabarcıkları tüm boşluğu doldurmaktadır. $\frac{h}{\delta_1}=1$ olarak hesaplanmış, ilk bloktan sonraki blokların üst yüzeylerinde akış ayrılması gözlemlenmemiş ve ilk blok üstündeki ayrılma noktası civarında maksimum Tu tüm

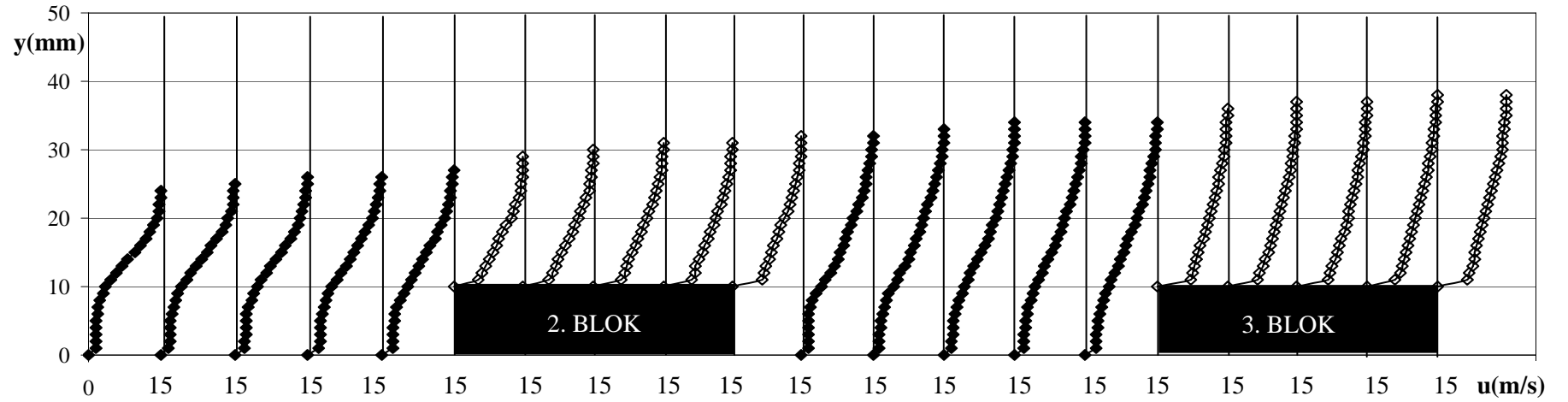
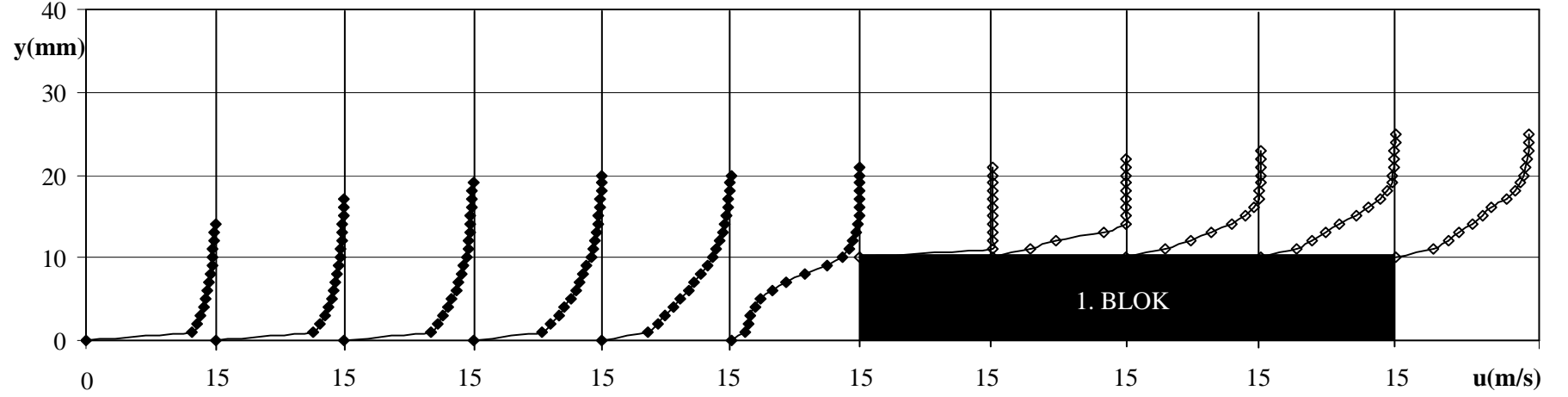
yüzey boyunca en yüksek değerini (%11) almıştır (Chen ve Wang 1998). Şekil 3.23 ve 3.26'da gösterildiği gibi, ilk bloktan başlayarak 8. bloğa kadar, blok üstlerindeki sınır tabaka kalınlıkları sırasıyla 12-16, 23-25, 29-31, 34-35, 40-43, 43-45, 46-48, 50-51 mm ve maksimum türbülans yoğunlukları %4.9-11.0, 9.0-8.7, 8.2-7.8, 7.9-7.6, 7.7-7.5, 7.4-7.2, 7.3-7.1, 7.3-7.1 arasında iken, blok aralarındaki maksimum türbülans yoğunlukları %12-10.8, 10.6-10.0, 9.9-9.5, 9.7-9.5, 9.2-8.9, 8.9-8.8, 8.8-8.4 aralığında elde edilmiştir. Akış yönünde ilerledikçe, maksimum türbülans yoğunlukları azalarak düz yüzeydekine yaklaşır (Wahidi ve ark. 2005). Blok aralarındaki boşluk akışından dolayı, bu yüzeylerdeki türbülans yoğunlukları, bloklu yüzeyin diğer yüzeylerinde elde edilen türbülans yoğunluklarından daha büyüktür (Chen ve Wang 1996). Arka yüzey boyunca elde edilen sınır tabaka kalınlıkları ve maksimum türbülans yoğunlukları ise sırasıyla 57-61 mm ve %7.2-7.1 aralığındadır. $h/H > 0.04$ olduğundan son bloktan sonra geri basamak akışı elde edilir (Tropea ve Gackstatter 1985, Davalath ve Beyazıtoglu 1987). 8. bloktan sonraki ani düşüşte, basıncın bağıl olarak yüksek değerler alması, hızın normal bileşenini düşürür, yani akış çizgileri bloğa doğru hareket ederek bir yeniden dolaşım bölgesi oluşturur (Aung 1983). Bu yeniden birleşme uzunluğu 94 mm ve X_R/h oranı 6.27 olarak tespit edilmiştir. Bu oran Jovic ve Driver (1995) ve Ötügen (1991) tarafından elde edilen değerlerle uyum içindedir. Türbülans yoğunluğu profillerinden de görüleceği gibi, yeniden birleşmeden sonra akış yeniden yapılanır (Oki ve ark. 1993) ve bu noktadan sonraki herhangi bir yerdeki δ düz yüzeyde aynı yerdeki δ dan daha büyüktür (Aung 1983).

10 m/s giriş hızı ve 20 mm yüksekliğe sahip bloklu yüzey üzerinden akışta ($Re_h=12500$), Şekil 3.24'de görüldüğü gibi, 1. bloktan başlayarak 7. bloğa kadar, blok üstlerindeki sınır tabaka kalınlıkları sırasıyla 14-19, 22-28, 33-36, 40-42, 43-48, 44-46, 50-52 mm bulunmuştur. İlk bloğun üstündeki sınır tabaka kalınlığı yaklaşık olarak blok yüksekliğine eşittir (Aung 1983). Şekil 3.27'ye göre ise, ilk bloktan son bloğa doğru, blok üstleri ve blok aralarındaki maksimum türbülans yoğunluğu sırasıyla %4.4-10.5, 9.6-9.5, 8.7-8.6, 8.6-8.2, 8.0-7.9, 7.8-7.4, 7.3-7.0 ve %11.7-11.6, 11.6-11.5, 10.9-10.8, 10.4-10.2, 10.0-9.9, 9.8-9.4 aralığında değişmiştir. İlk bloktan önce blokların varlığından dolayı 16 mm uzunluğunda bir ayrılma kabarcığı elde edilirken (Fu ve ark. 2001), bloklar arasındaki tüm çukurlarda boşluk akışı elde edilmiştir (Davalath ve Beyazıtoglu 1987). İlk bloğun üst ön köşesinde ortalama hız 12.47 m/s olarak lokal

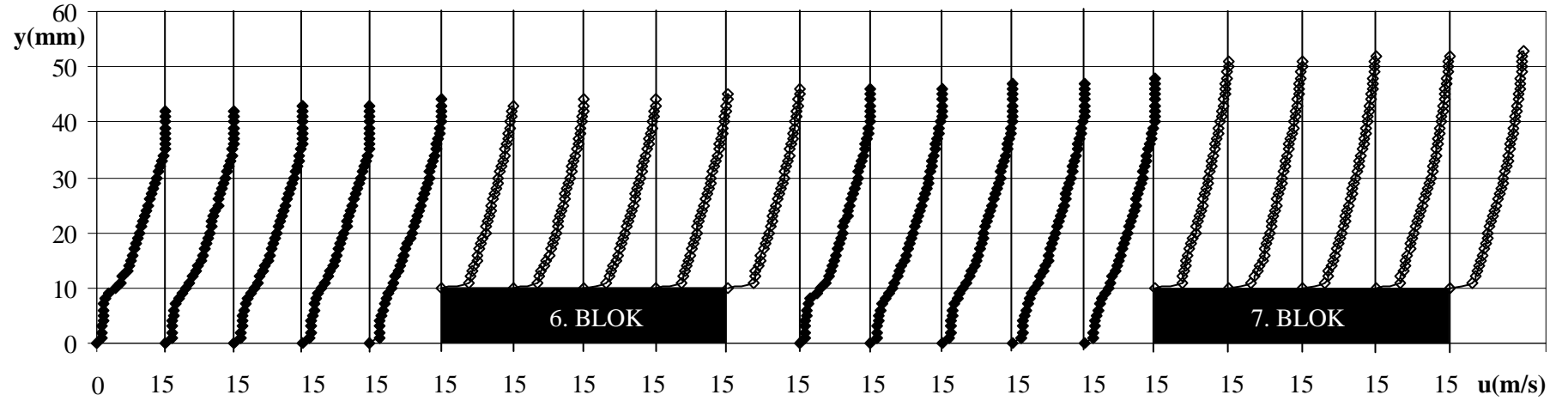
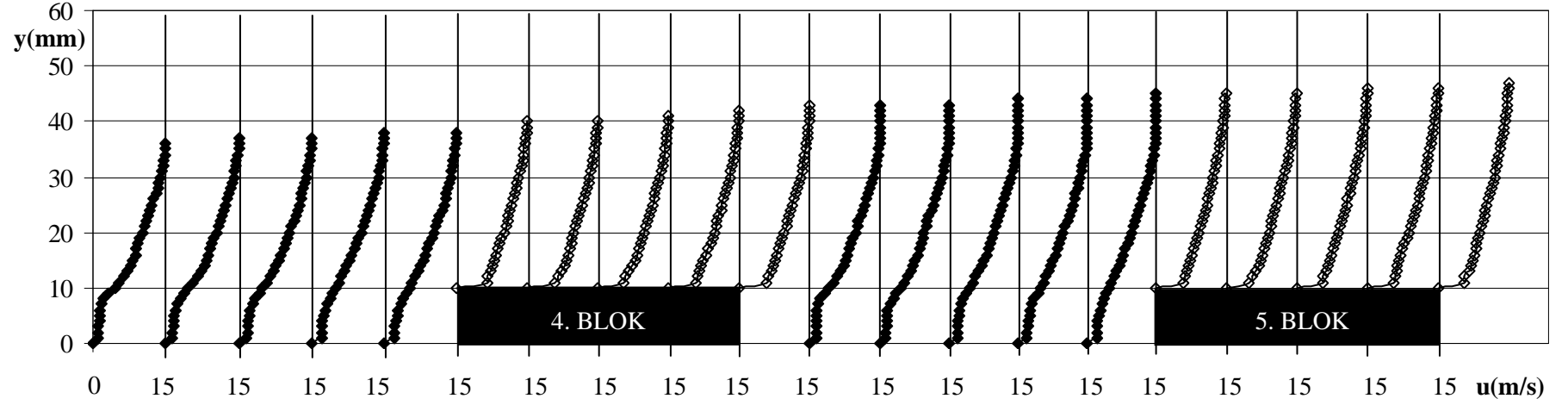
maksimuma ulaşırken (Ryu ve ark. 2007), maksimum türbülans yoğunluğu %4.4 olarak elde edilmiştir. Tüm yüzey boyunca kayma tabakası içindeki türbülans yoğunluğu serbest akışinkinden çok büyük olduğundan akış türbülanslıdır (Aung 1983). Blokların üst yüzeyleri boyunca oluşan maksimum türbülans yoğunluğunu en yüksek değeri (%10.5) ilk bloğun üst yüzeyindeki ayrılma noktasının yakınında oluşmuş ve akış yönünde ilerledikçe bu değer azalmıştır. İlk bloktan sonraki tüm blok üstlerinde maksimum Tu değerleri bloğun giriş köşelerinde elde edilir (Chen ve Wang 1996). Bloklar arasında oluşan ayrılma kabarcıklarından dolayı, boşluklardaki Tu değerleri diğer yüzeylerdeki değerlerden daha büyüktür (Chen ve Wang 1998). 1. bloğun üst yüzeyindeki negatif hızlar, bu yüzeylerde akış ayrılmasının oluştuğunu gösterir (Chen ve Wang 1998). $\frac{h}{\delta_1}=1.33$ için, 1. bloğun üstünde 23 mm uzunluğunda bir ayrılma kabarcığı elde edilirken, bu bloktan sonraki blokların üst yüzeylerinde ayrılma gözlemlenmemiştir. Son bloğun arkasındaki akış bloğun köşesinden ayrılır ve alt duvarda tekrar birleşerek yeniden dolaşım bölgesini oluşturur (Armaly ve ark. 2001). Buradaki akış geri basamak akışıyla benzerlik göstererek (Chen ve Wang 1998), yeniden birleşme uzunluğu 129 mm olarak ölçülmüştür. Elde edilen X_R/h 6.45 değeri Adams ve Eaton (1988) ve Ryu ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışma sonuçlarıyla örtüşmektedir. Yeniden birleşme noktasından sonra akış gelişmeye başlar (Chen ve Wang 1998) ve burada elde edilen sınır tabaka kalınlıkları düz yüzeydekilerden büyüktür (Aung 1983). Tu profilleri yeniden birleşme noktasından sonra kararlı bir hal alır. İlk bloktan önceki yüzey boyunca elde edilen sınır tabaka kalınlıkları ve maksimum türbülans yoğunlukları sırasıyla 16-27 mm ve %4.82-5.92 arasında iken, son bloğun devamındaki yüzeyde bu değerler 64-67 mm ve %6.85-6.76 arasında tespit edilmiştir. İlk bloktan önceki maksimum Tu en yüksek değeri %5.92, ayrılma noktasının yakınında oluşmuş, sonra tekrar düşmüştür (Chen ve Wang 1996). Bloklar akıştaki ayrılmalar ve yeniden birleşmeden dolayı lokal duvar türbülansı yaratırlar (Buchlin 2002).

10 m/s giriş hızında tüm blok yüksekliklerinde, ilk bloğun önünde, üstünde ve bloklar arasındaki tüm boşluklarda ayrılma oluşurken, son bloktan sonra yeniden birleşme bölgeleri oluşur. Bloklar üzerinde ayrılan akış, 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliği için sırasıyla 12, 17 ve 23 mm mesafede birleşerek, blok yüksekliği arttıkça birleşmenin daha geç olduğu görülmüştür (Chen ve Wang 1996). Blok yüksekliği ne

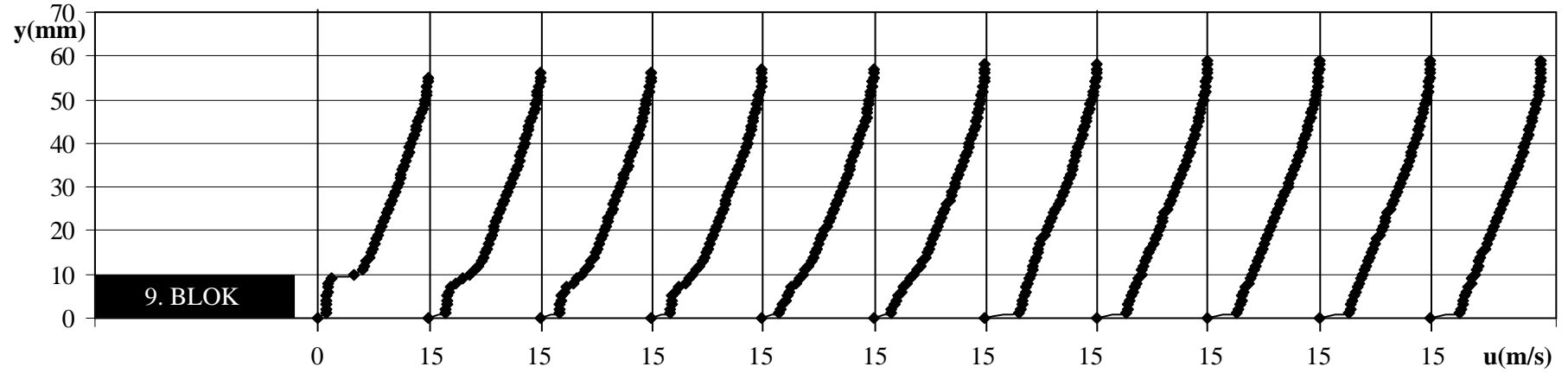
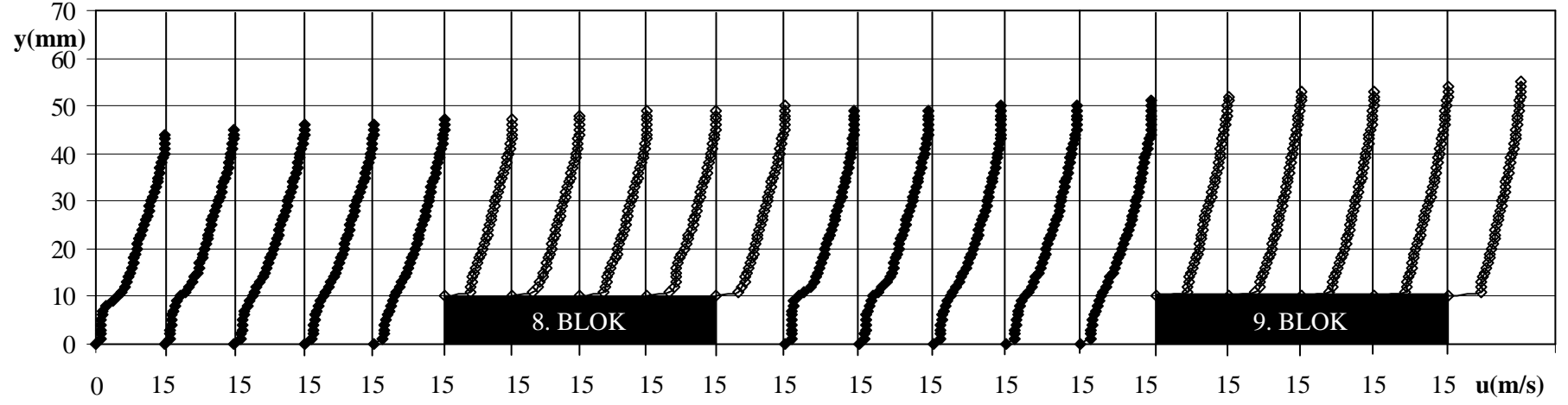
olursa olsun blok üstündeki birleşme uzunluğu $1.1h$ olarak sabittir (Chen ve Wang 1996). Ortalama hızın maksimum değerleri 10, 15, 20 mm blok yüksekliklerinde sırasıyla 11.7, 11.73 ve 12.47 m/s olarak ilk bloğun üst ön köşesinde oluşmuştur. İlk bloktan önceki ayrılma noktasının bu bloğa olan uzaklığı, sırasıyla 8, 12 ve 16 mm olarak elde edilmiş olup, tüm blok yükseklikleri için bu uzunluk $0.8h$ olarak sabittir (Chen ve Wang 1996). Elde edilen bu değerler, blok yüksekliği arttıkça ayrılmanın daha erken olduğunu göstermektedir (Frost ve ark. 1980). Tüm yüksekliklerdeki blokların arasındaki çukurlarda boşluk akışına, son bloktan sonraki bölgede ise geri basamak akışına benzer akış elde edilmiştir. 1. boşluktaki ayrılma kabarcıkları bundan sonraki boşluklarda da periyodik olarak benzerlik gösterir. 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliği için yeniden dolaşım uzunluğu sırasıyla 62, 94 ve 129 mm olarak tespit edilmiştir. Giriş hızı sabitken, blok yüksekliği arttıkça yeniden birleşme uzunluğu artmıştır (Oki ve ark. 1993, Kaşığı ve Matsunaga 1995). Tüm blok yüksekliklerinde, ilk bloğun üst yüzeyindeki sınır tabaka kalınlığı blok yüksekliğine eşit iken, yeniden birleşmeden sonraki herhangi bir ölçüm noktasındaki sınır tabaka kalınlığı düz yüzeyde aynı yerdeki sınır tabaka kalınlığından daha büyüktür. Yeniden birleşmeden sonra akış gelişmeye başlar ve hız dağılımı yavaş yavaş dengeli sınır tabakaya dönüşür. Bloklar, akıştaki ayrılmalar ve yeniden birleşmeden dolayı, lokal duvar türbülansı yarattıklarından türbülans yoğunluğunu arttırmaları (Buchlin 2002). Kayma tabakası içindeki türbülans yoğunluğu serbest akıştakinden çok büyük olduğundan tüm blok yüksekliklerinde akış türbülanslıdır. Türbülans yoğunluğunu maksimum değerleri yüksek hız gradyanlarının olduğu ayrılmış akış bölgelerinde, yeniden birleşme noktalarında ve blok köşelerinde oluşmuştur (Chen ve Wang 1996). Blok üstündeki Tu değerleri, bloklardan önceki ön ve sonraki arka yüzeydeki Tu değerlerinden daha büyük iken, blok aralarındaki değerlerden daha küçüktür (Chen ve Wang 1998). Akış yönünde ilerledikçe, türbülans yoğunluğu değerleri azalarak, Tu profilleri düz yüzey Tu profillerine yaklaşır.



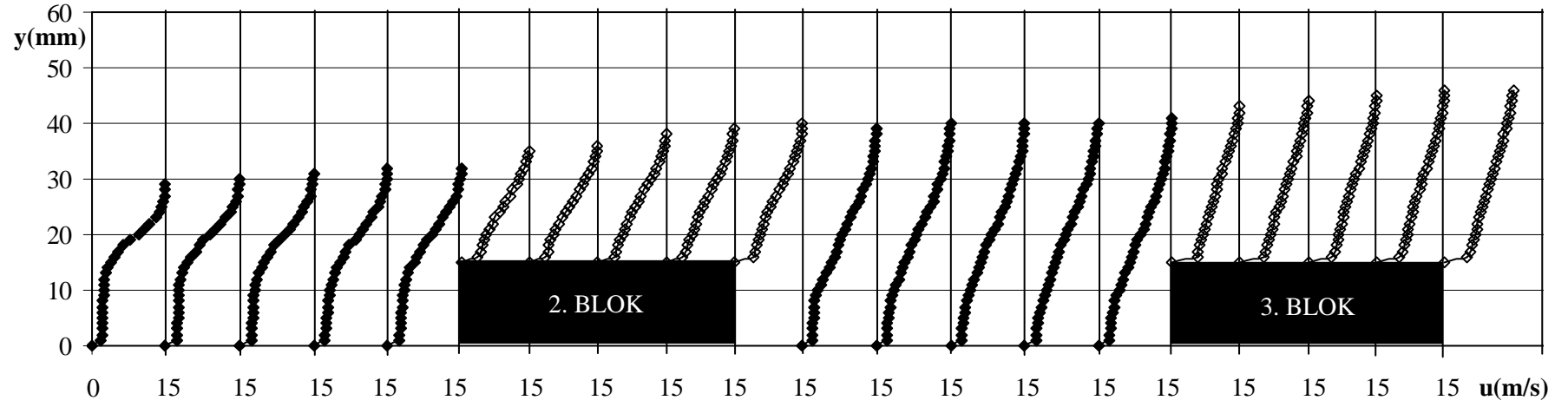
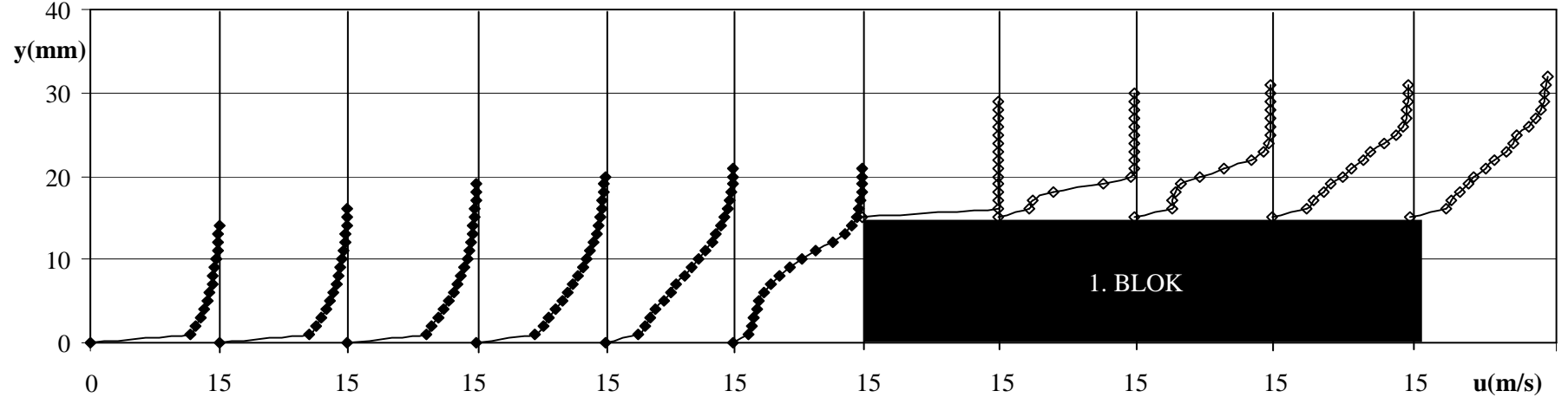
Şekil 3.28. $U=15$ m/s ve $h=10$ mm için hız profilleri.



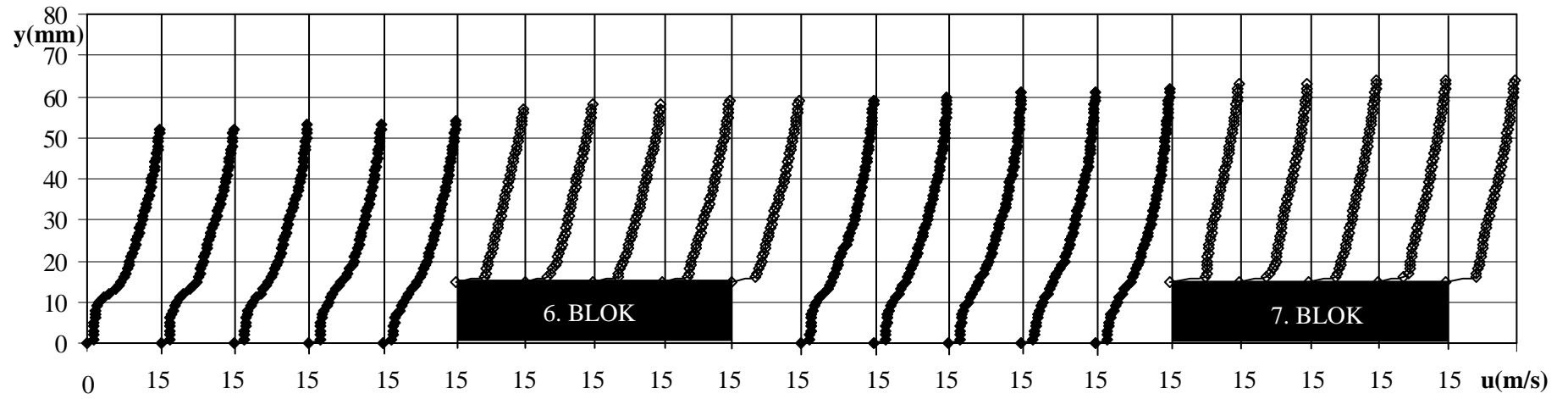
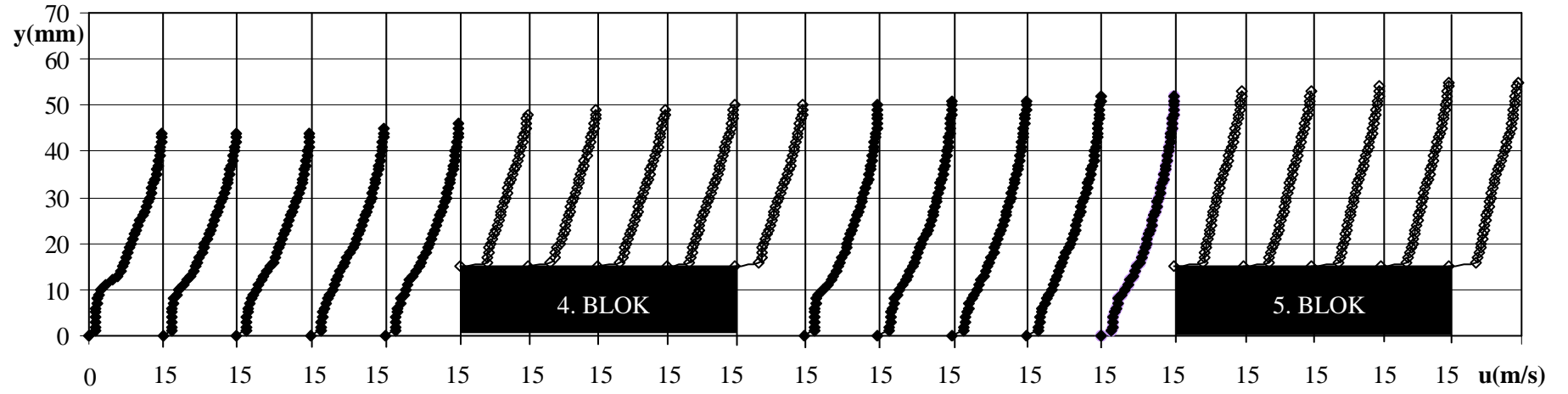
Şekil 3.28 (Devam). $U=15$ m/s ve $h=10$ mm için hız profilleri.



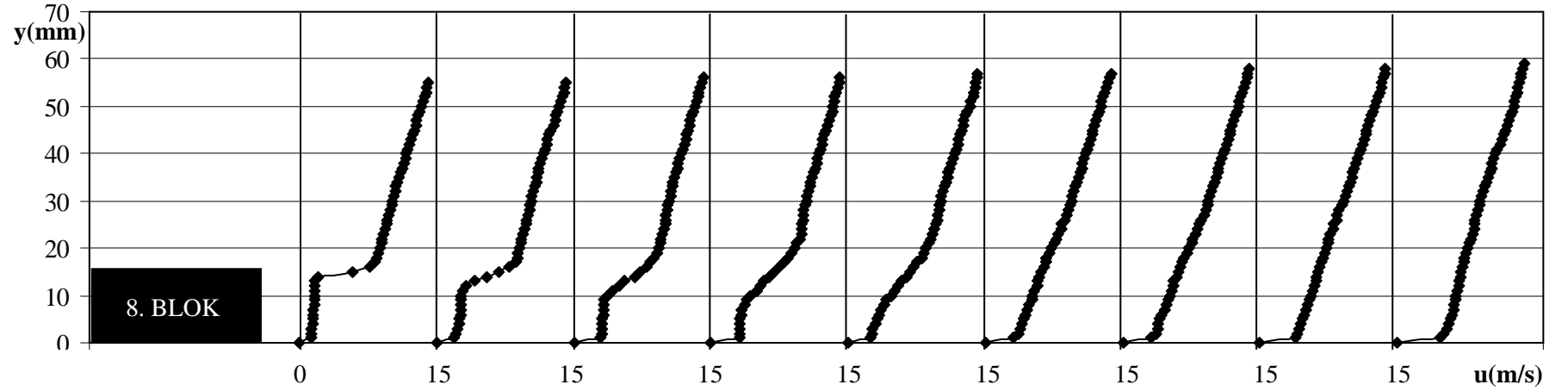
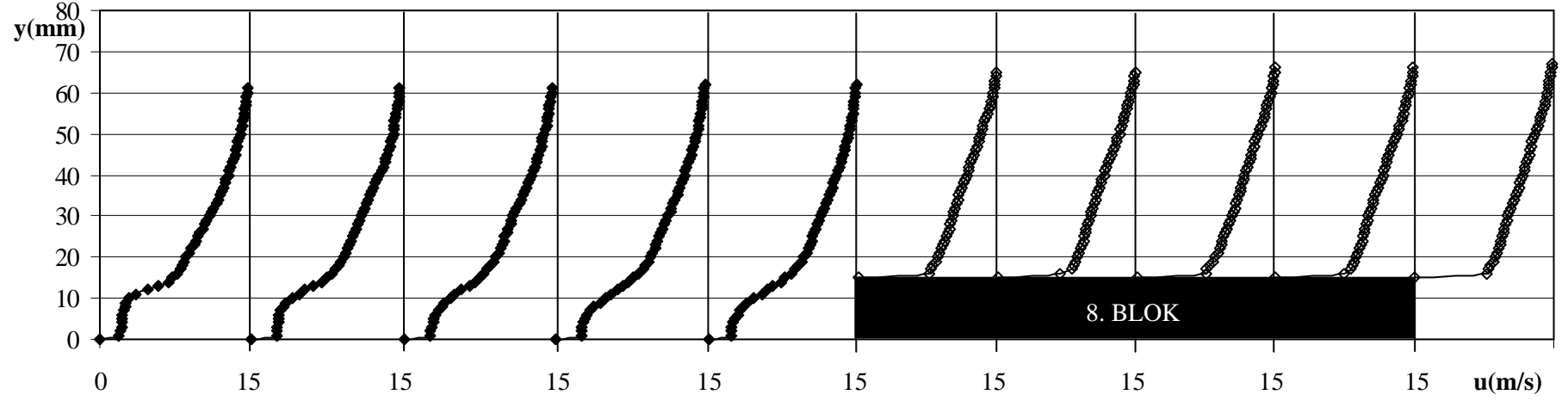
Şekil 3.28 (Devam). $U=15$ m/s ve $h=10$ mm için hız profilleri.



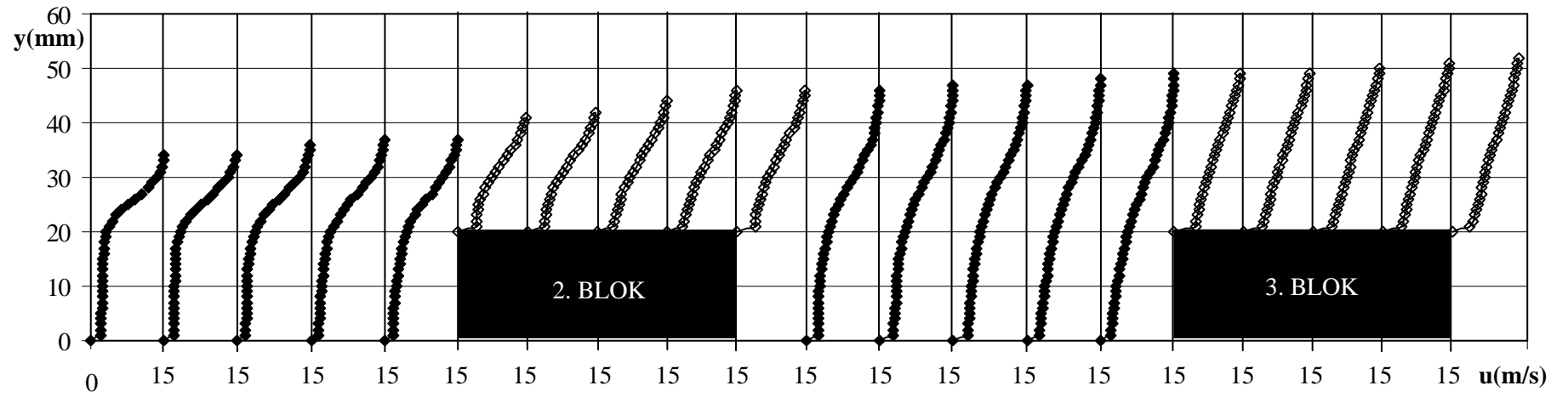
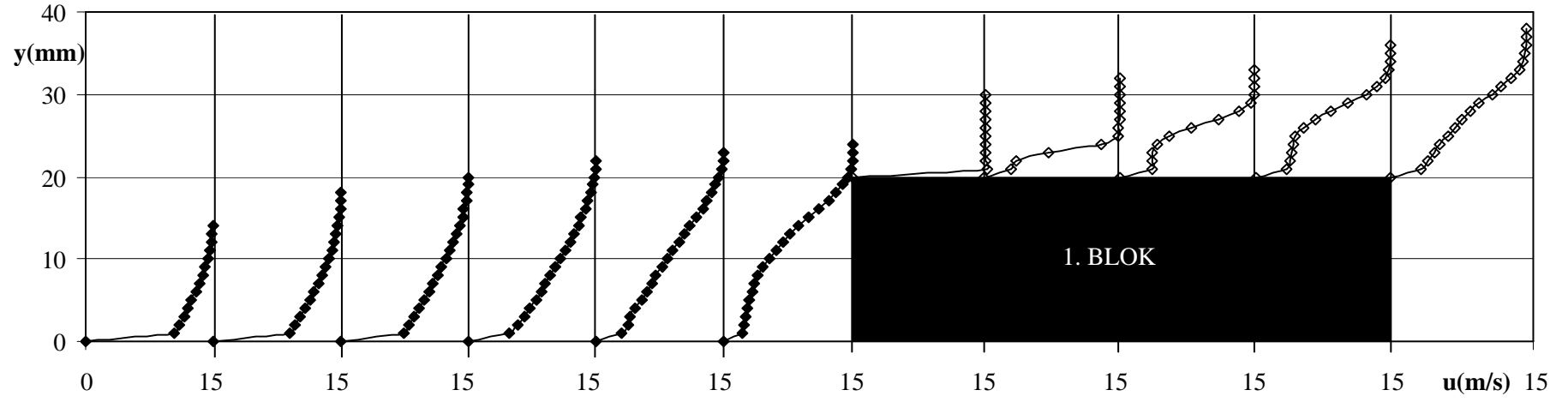
Şekil 3.29. $U=15$ m/s ve $h=15$ mm için hız profilleri.



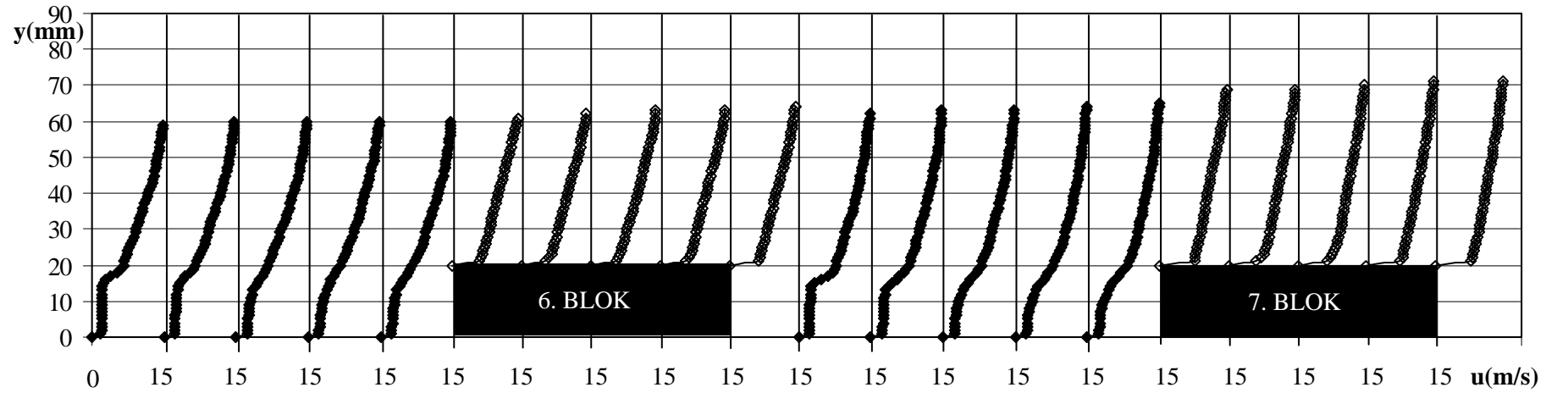
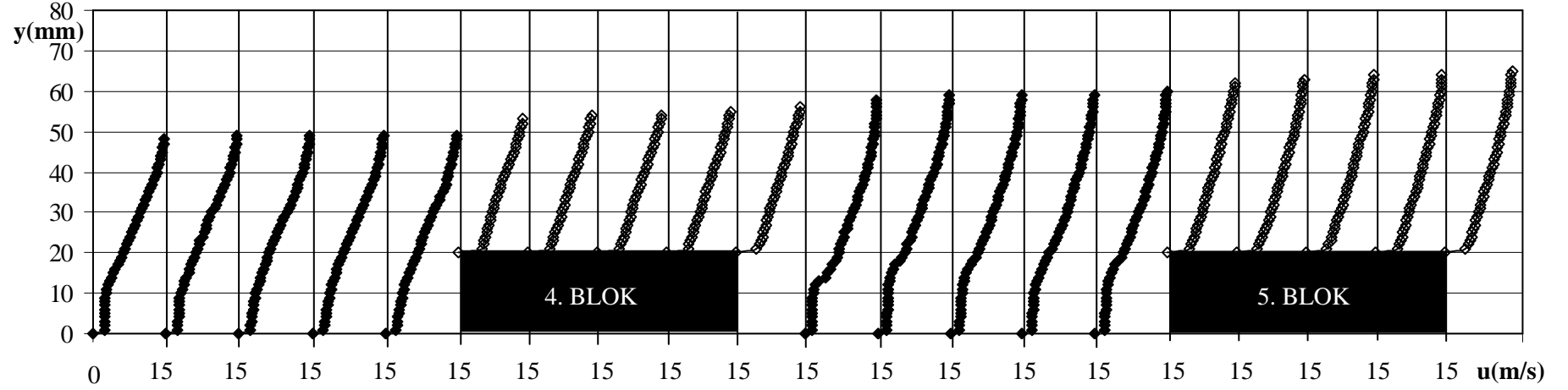
Şekil 3.29 (Devam). $U=15$ m/s ve $h=15$ mm için hız profilleri.



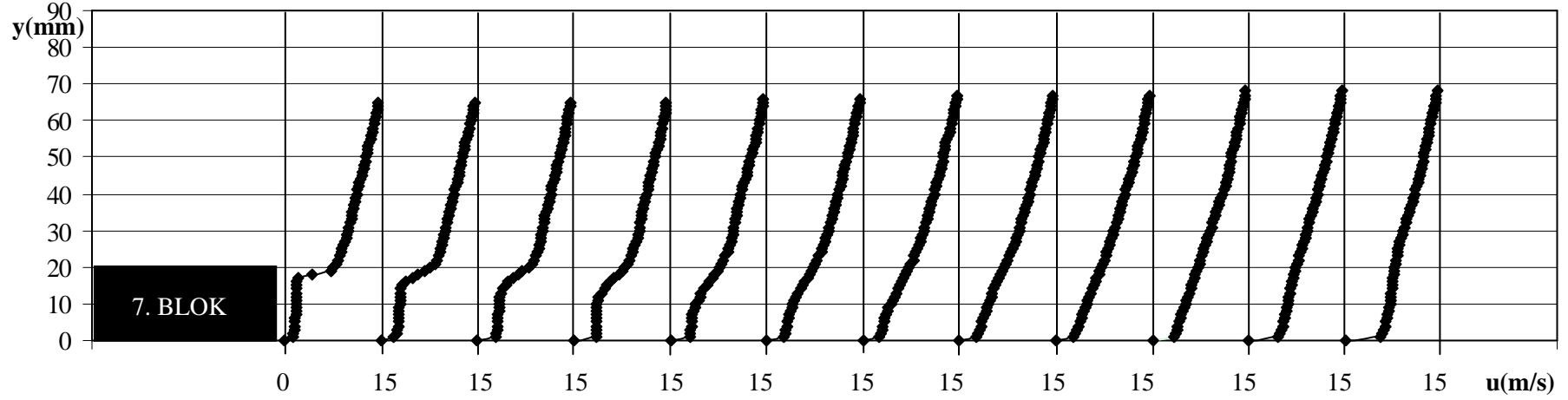
Şekil 3.29 (Devam). $U=15$ m/s ve $h=15$ mm için hız profilleri.



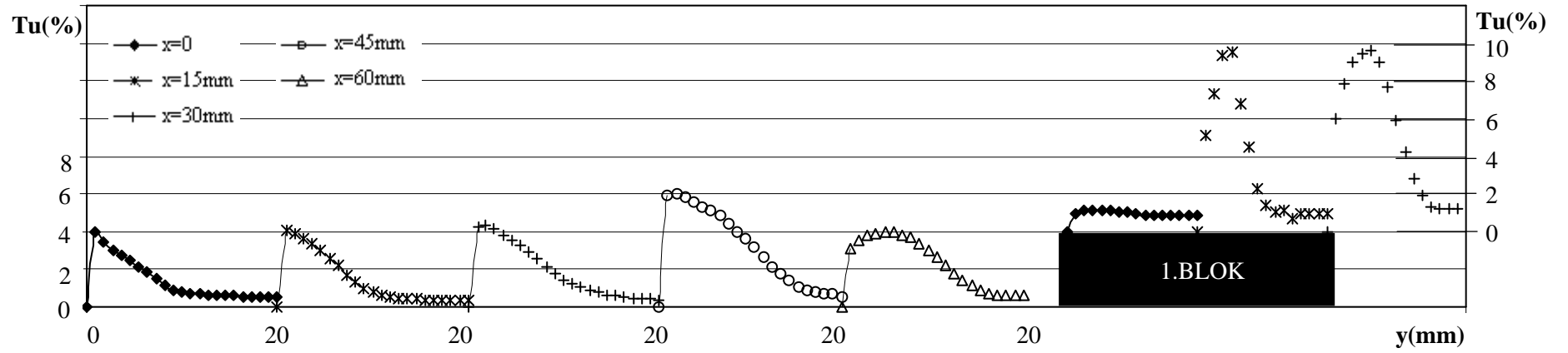
Şekil 3.30. $U=15$ m/s ve $h=20$ mm için hız profilleri.



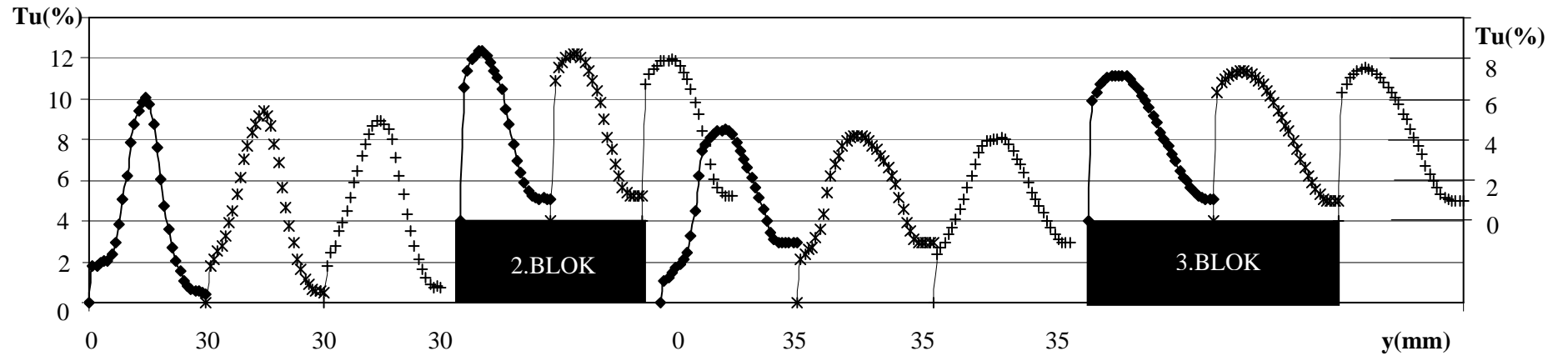
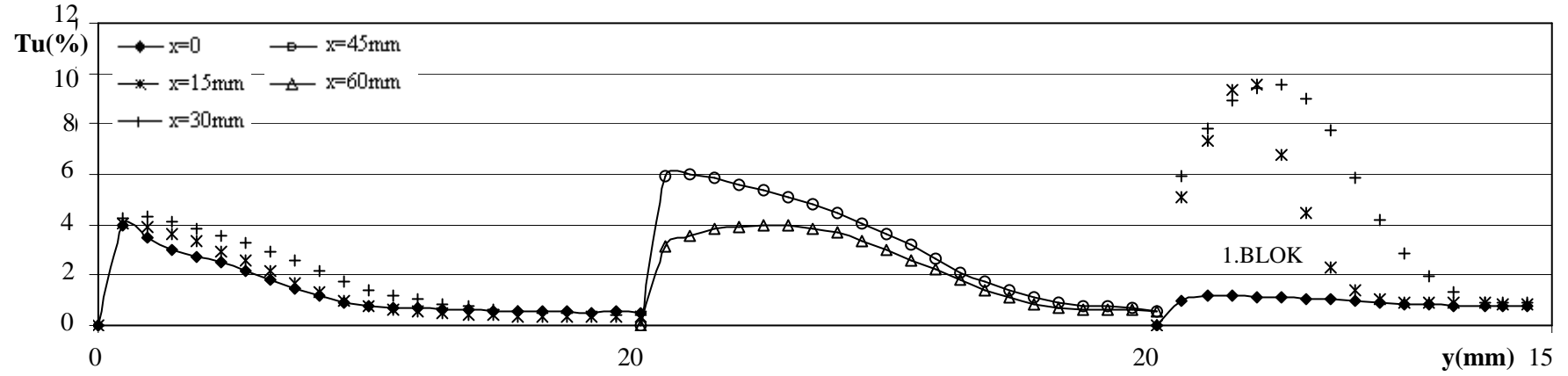
Şekil 3.30 (Devam). $U=15$ m/s ve $h=20$ mm için hız profilleri.



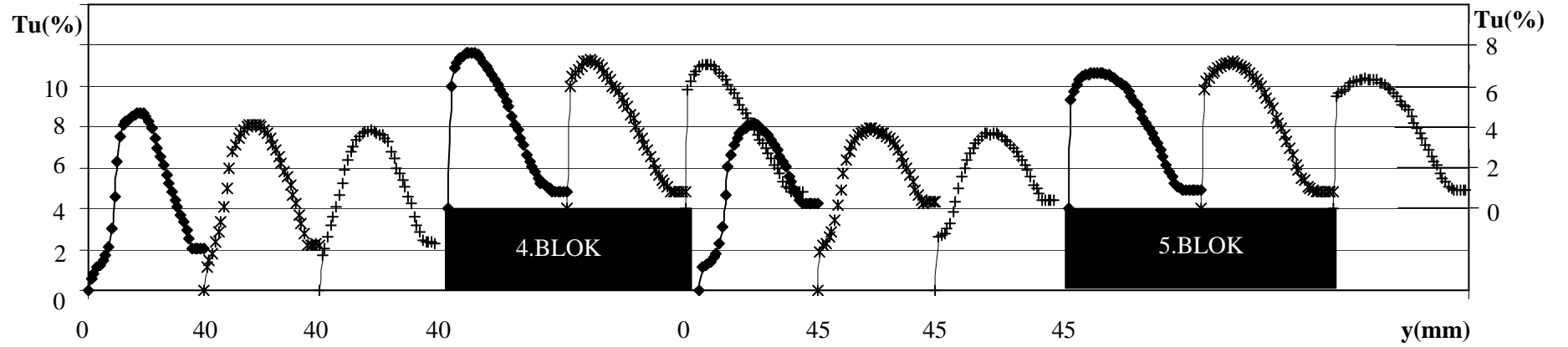
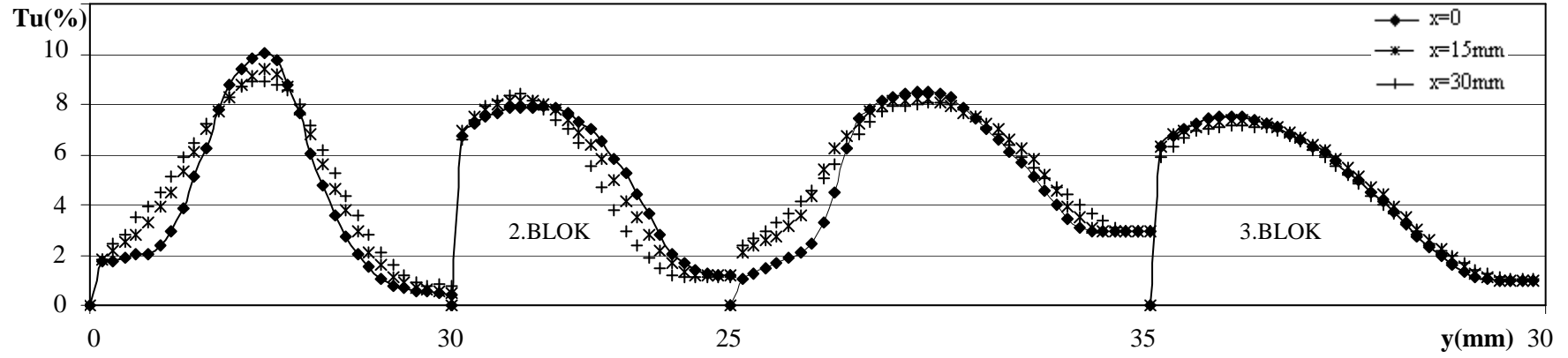
Şekil 3.30 (Devam). $U=15$ m/s ve $h=20$ mm için hız profilleri.



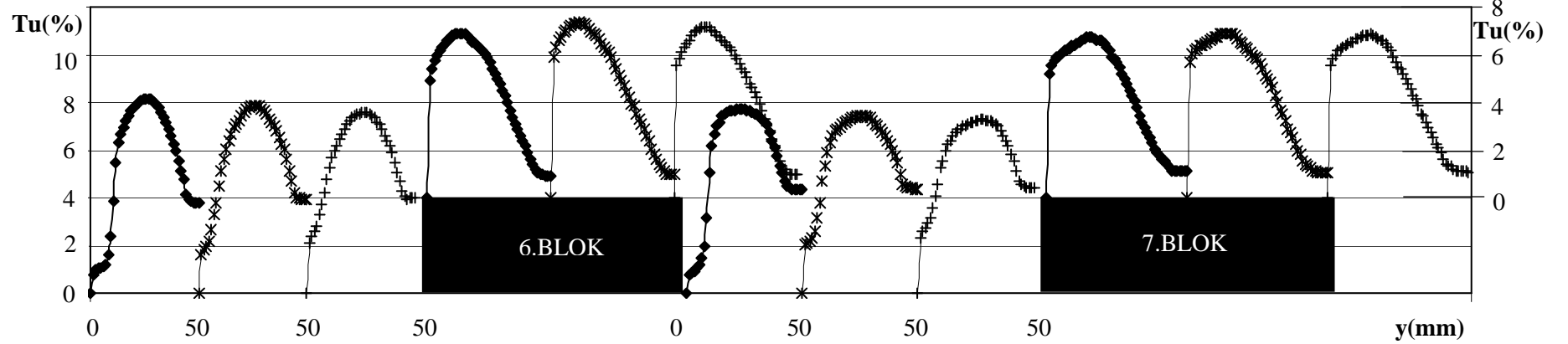
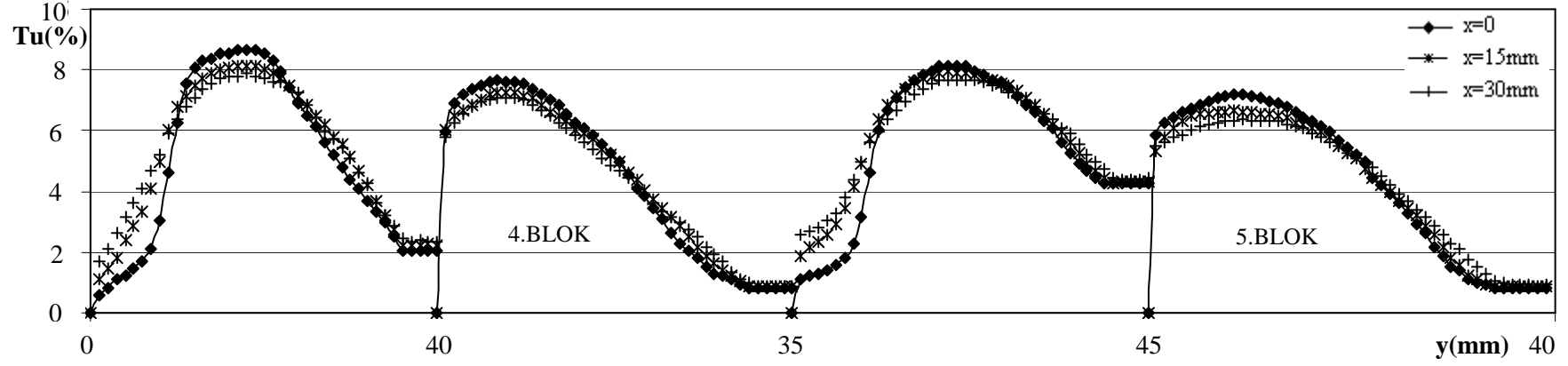
Şekil 3.31. $U=15$ m/s ve $h=10$ mm için türbülans yoğunlukları.



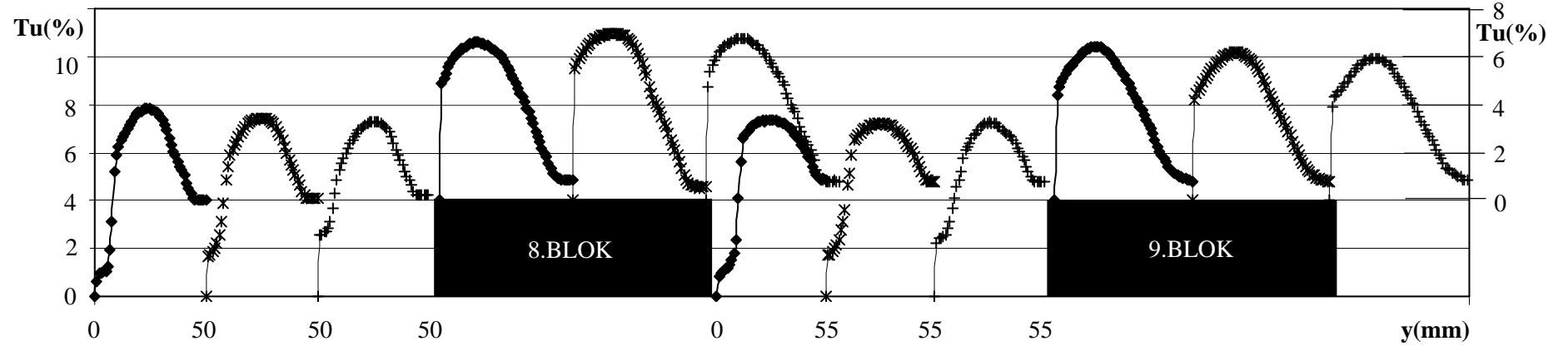
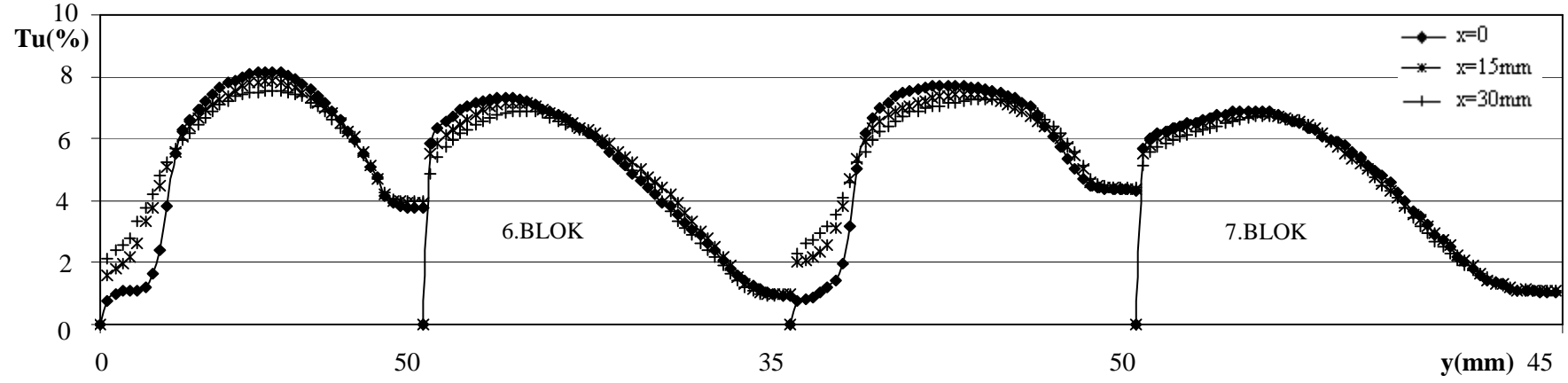
Şekil 3.31 (Devam). $U=15$ m/s ve $h=10$ mm için türbülans yoğunlukları.



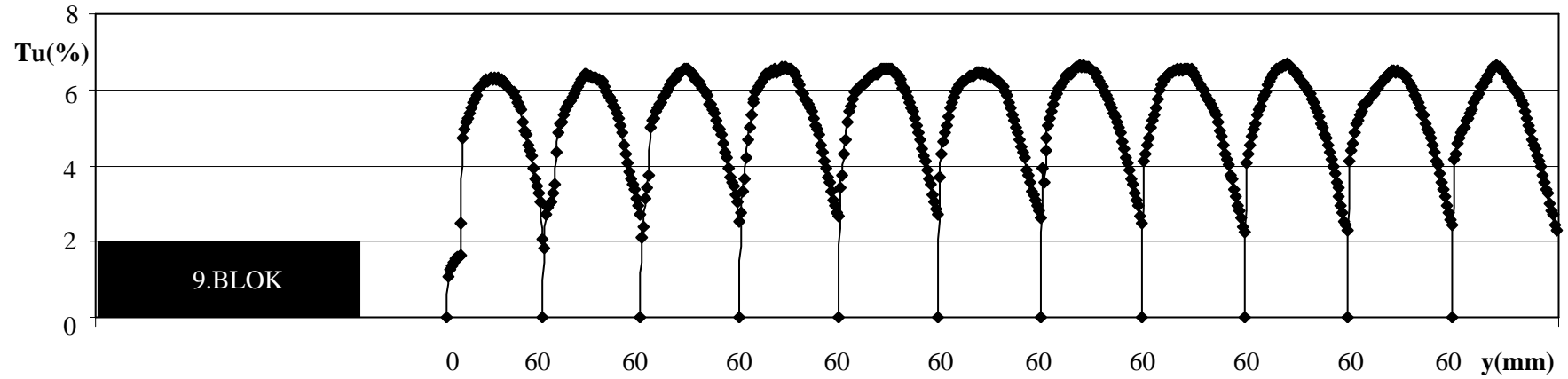
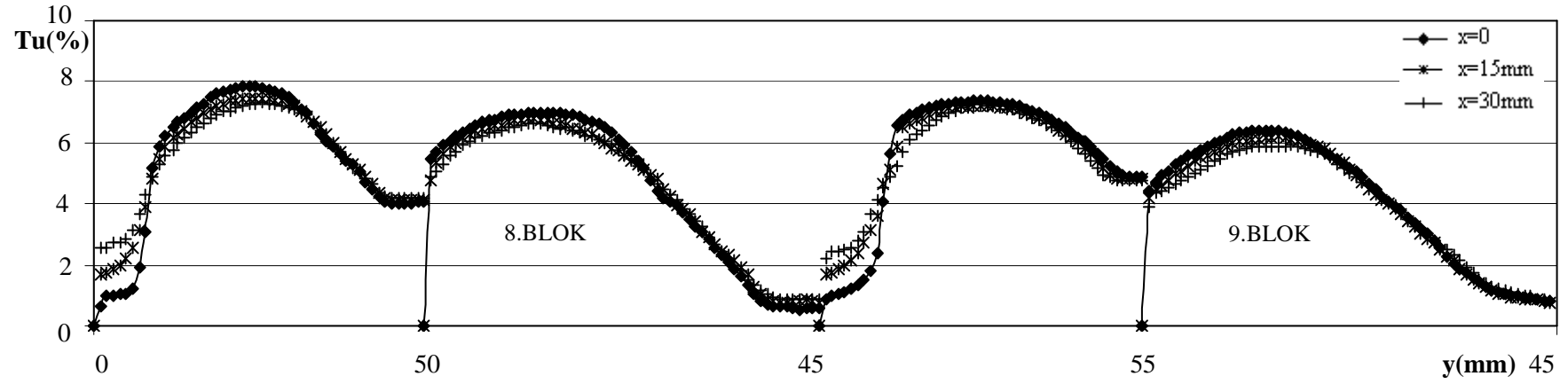
Şekil 3.31 (Devam). U=15 m/s ve h=10 mm için türbülans yoğunlukları.



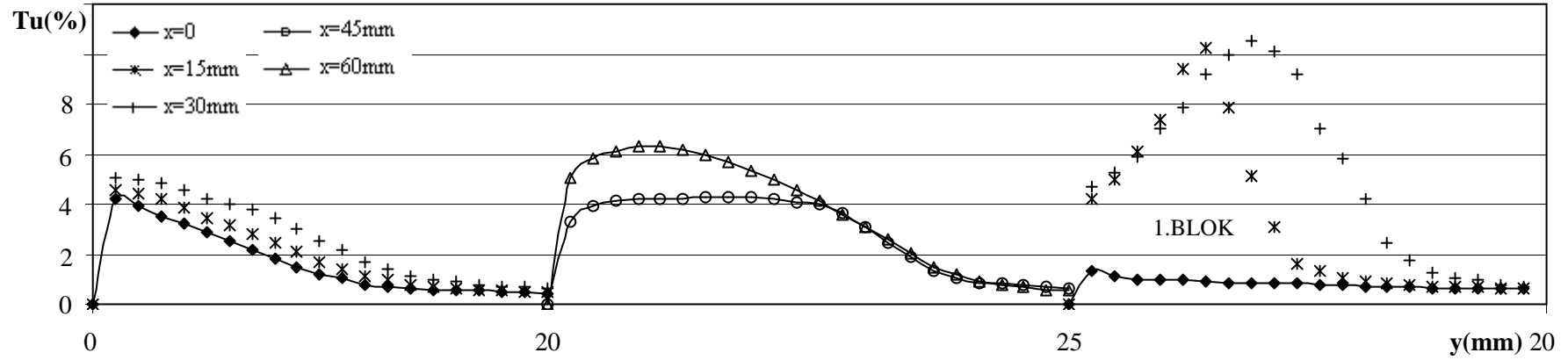
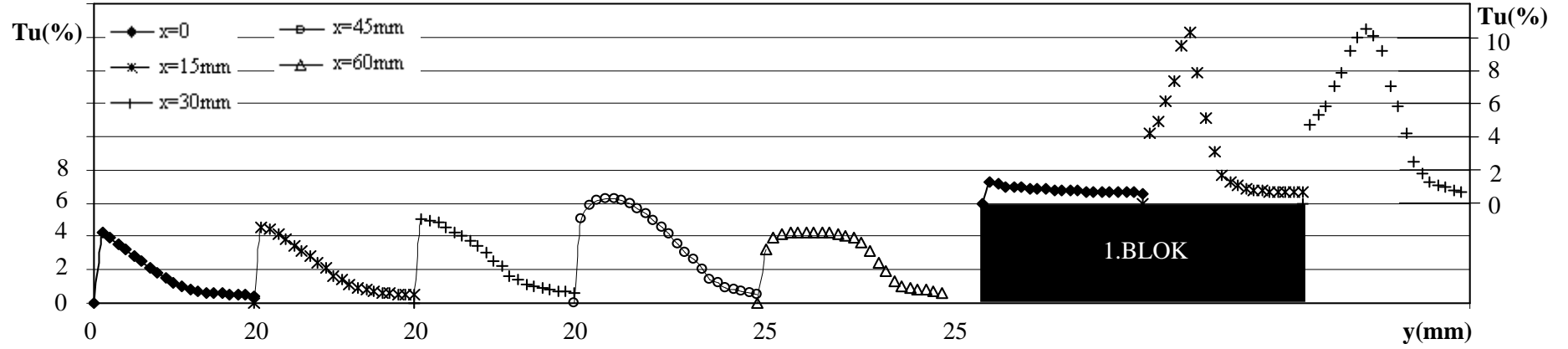
Şekil 3.31 (Devam). $U=15\text{ m/s}$ ve $h=10\text{ mm}$ için türbülans yoğunlukları.



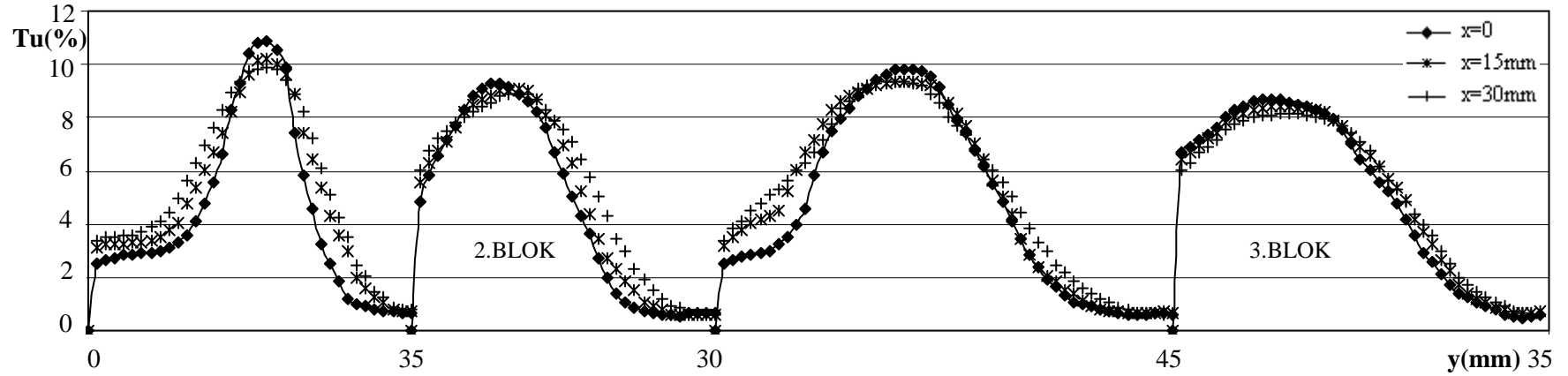
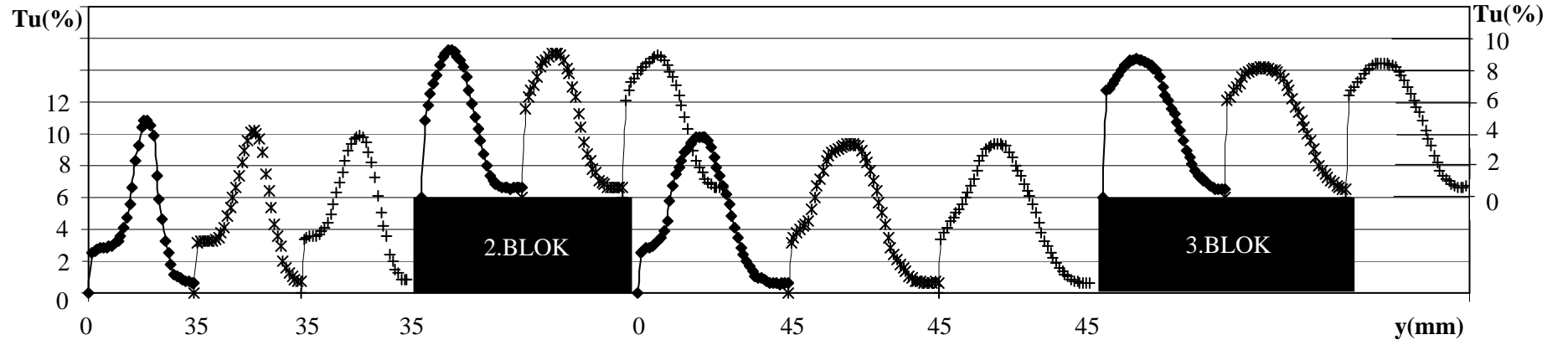
Şekil 3.31 (Devam). $U=15\text{ m/s}$ ve $h=10\text{ mm}$ için türbülans yoğunlukları.



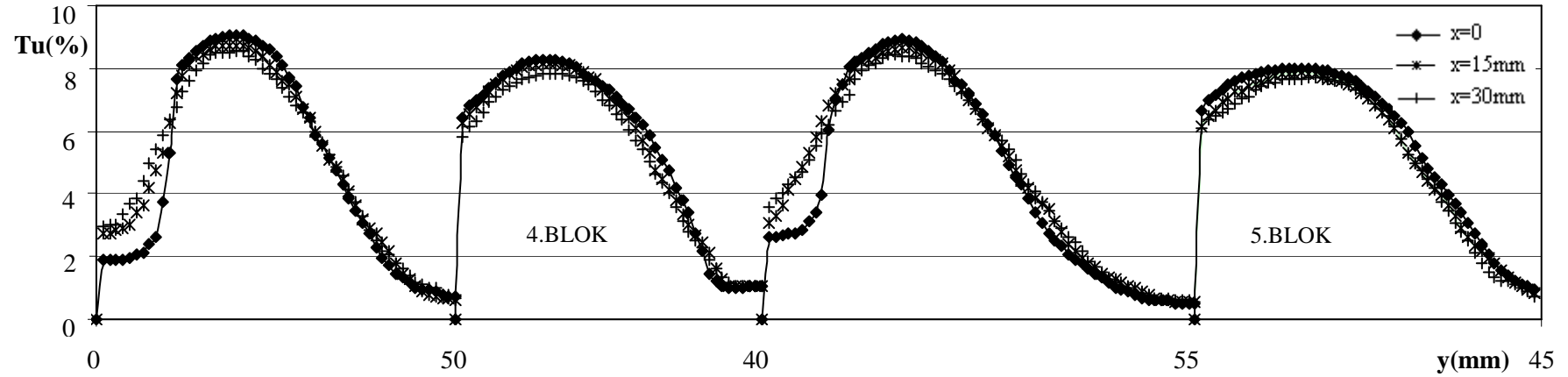
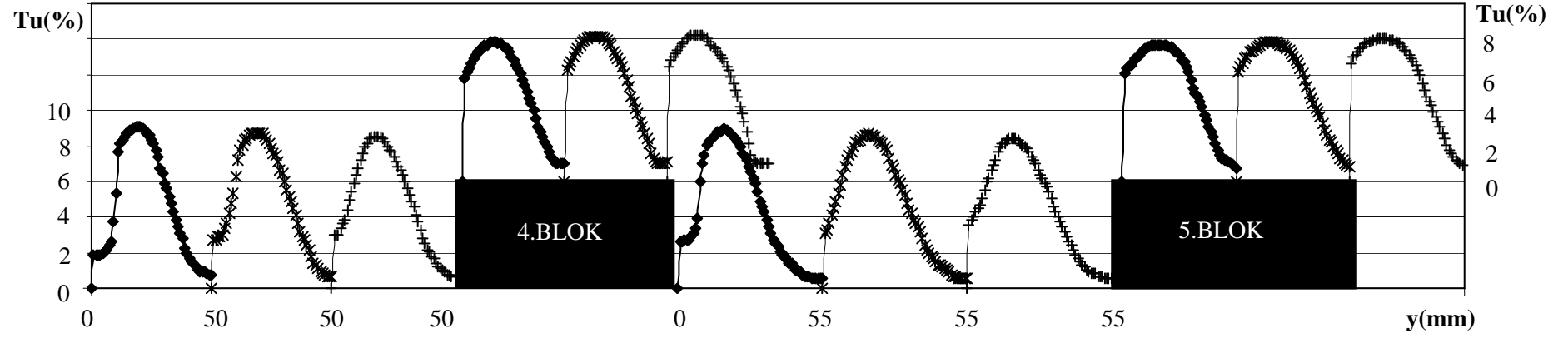
Şekil 3.31 (Devam). $U=15$ m/s ve $h=10$ mm için türbülans yoğunlukları.



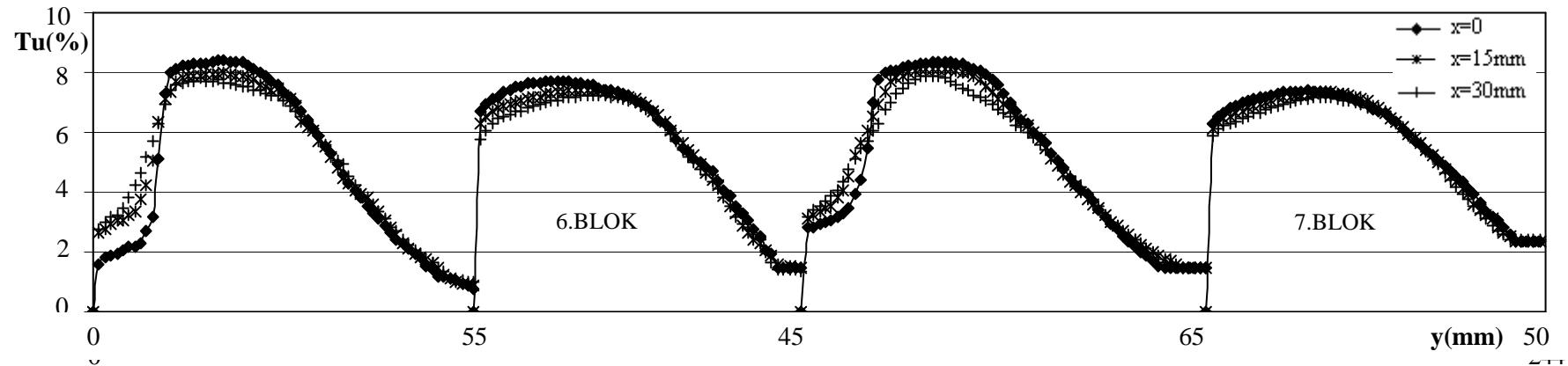
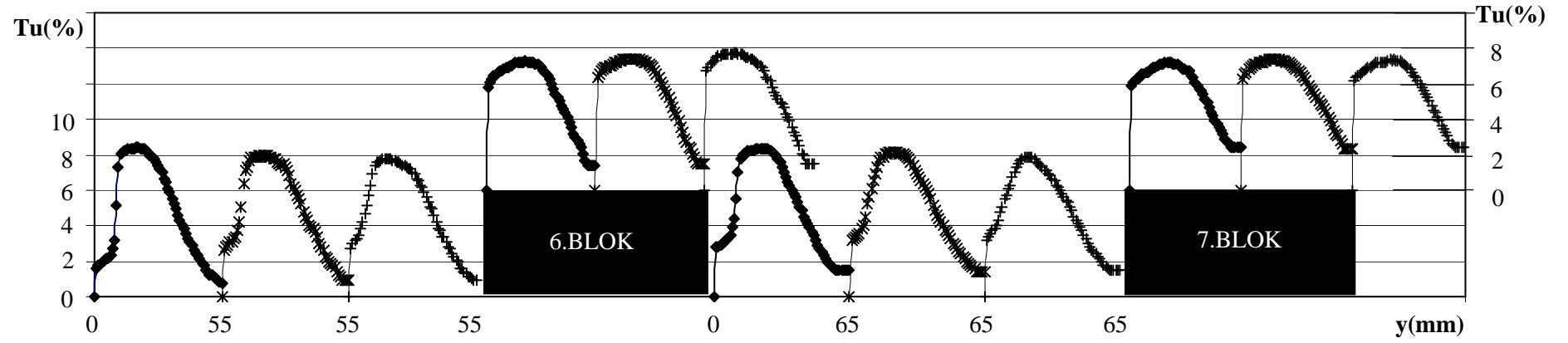
Şekil 3.32. $U=15$ m/s ve $h=15$ mm için türbülans yoğunlukları.



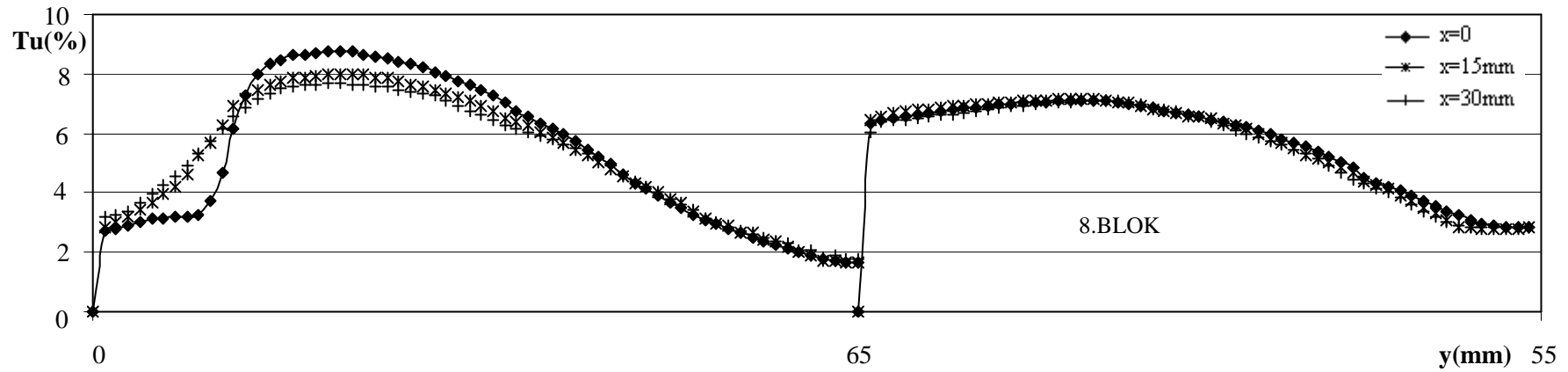
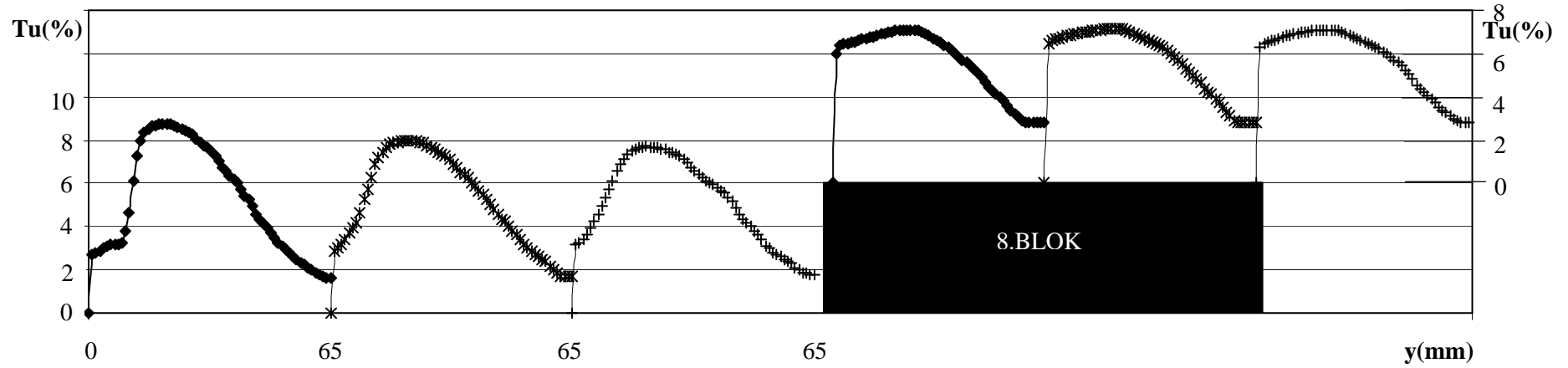
Şekil 3.32 (Devam). $U=15$ m/s ve $h=15$ mm için türbülans yoğunlukları.



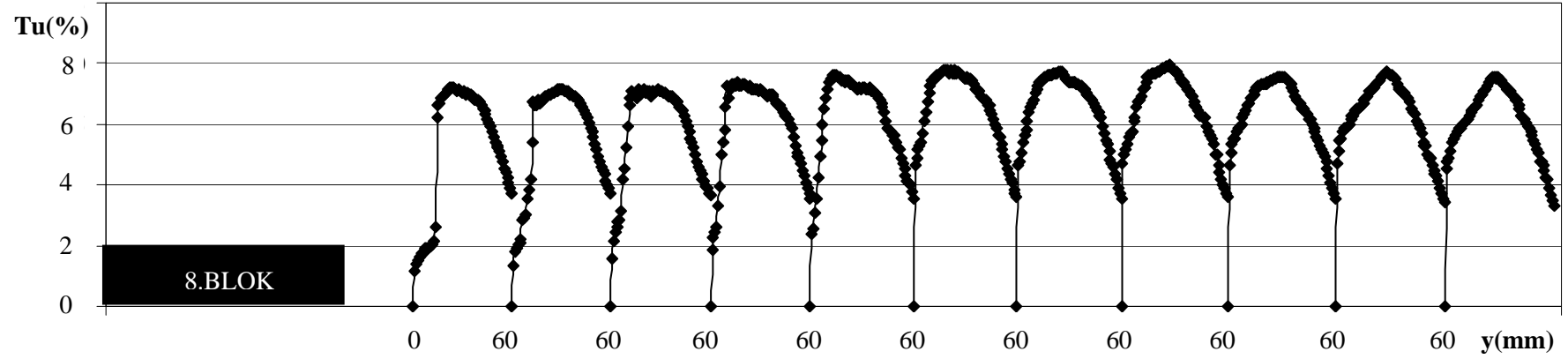
Şekil 3.32 (Devam). $U=15\text{ m/s}$ ve $h=15\text{ mm}$ için türbülans yoğunlukları.



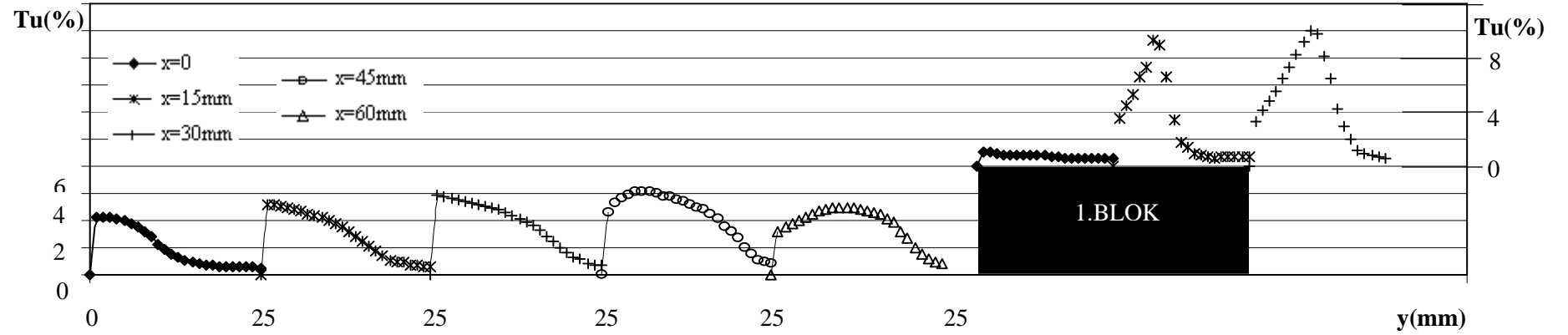
Şekil 3.32 (Devam). $U=15\text{ m/s}$ ve $h=15\text{ mm}$ için türbülans yoğunlukları.



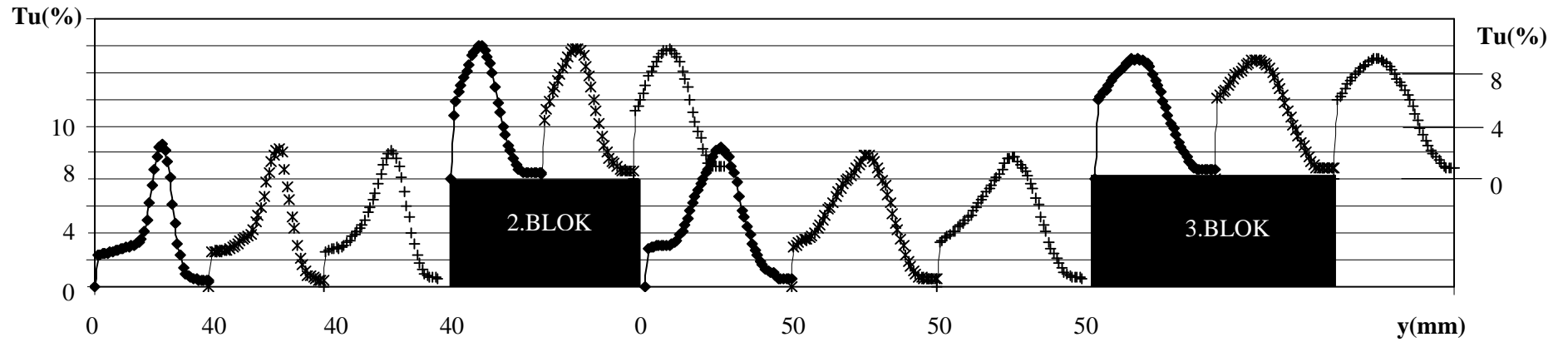
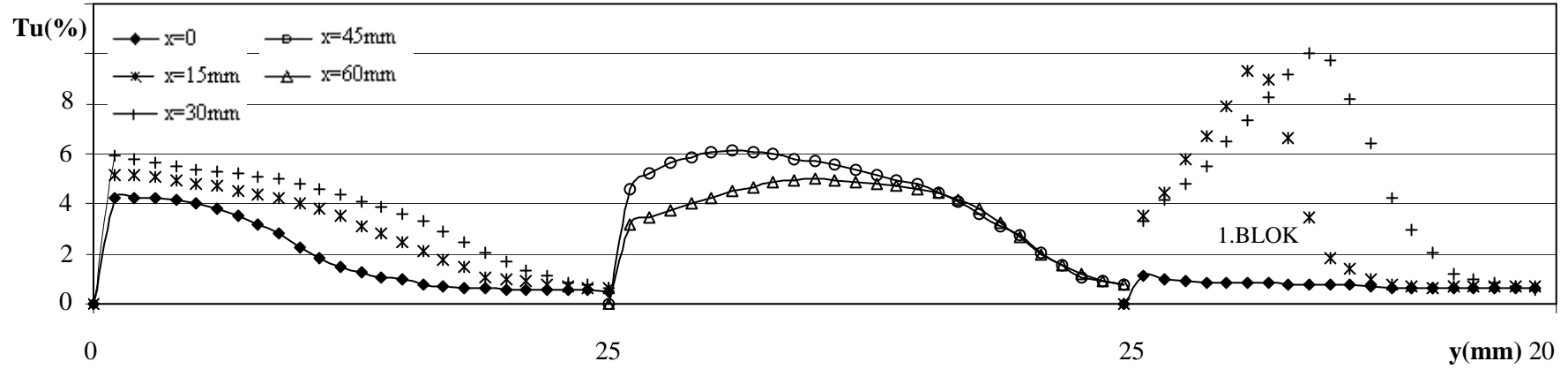
Şekil 3.32 (Devam). $U=15 \text{ m/s}$ ve $h=15 \text{ mm}$ için türbülans yoğunlukları.



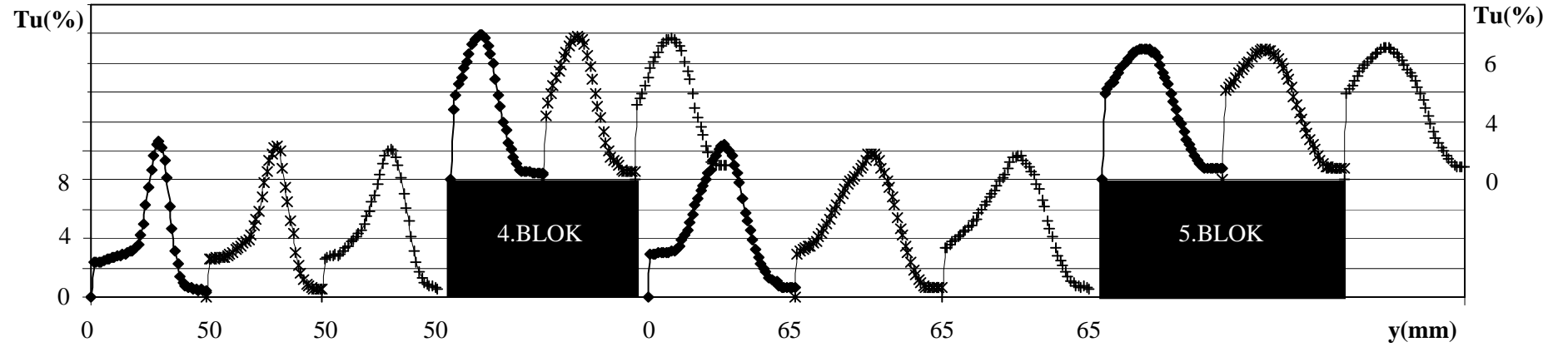
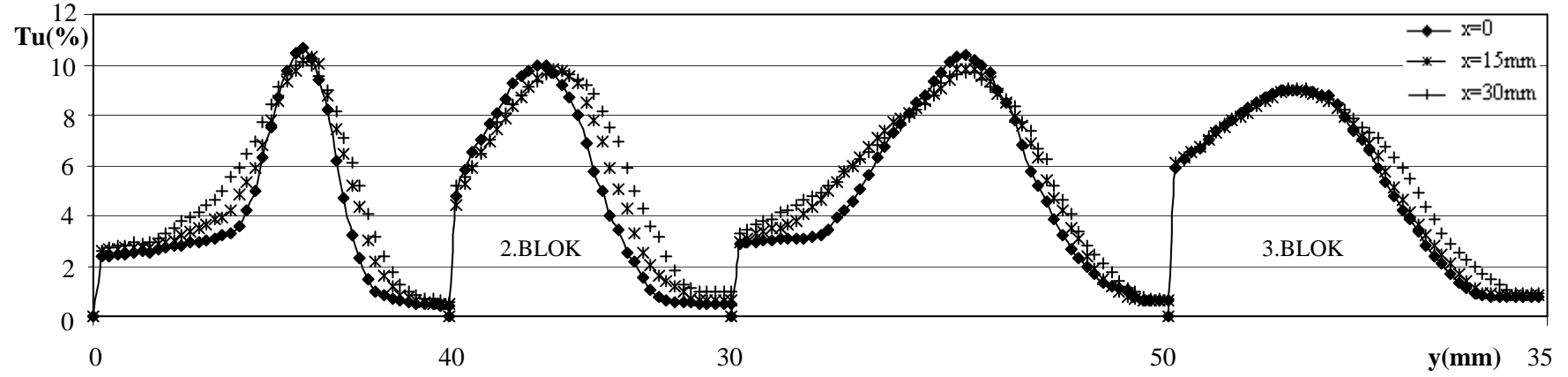
Şekil 3.32 (Devam). $U=15$ m/s ve $h=15$ mm için türbülans yoğunlukları.



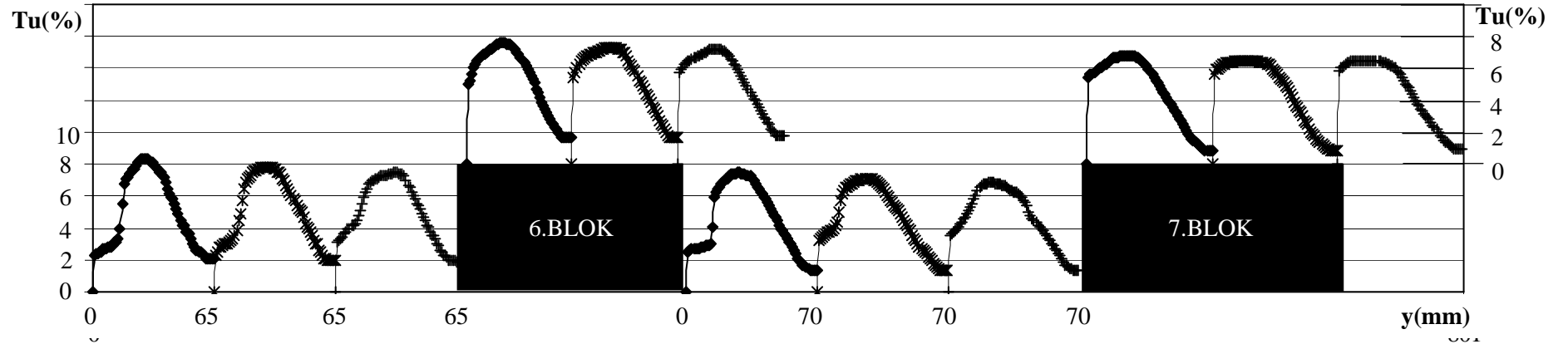
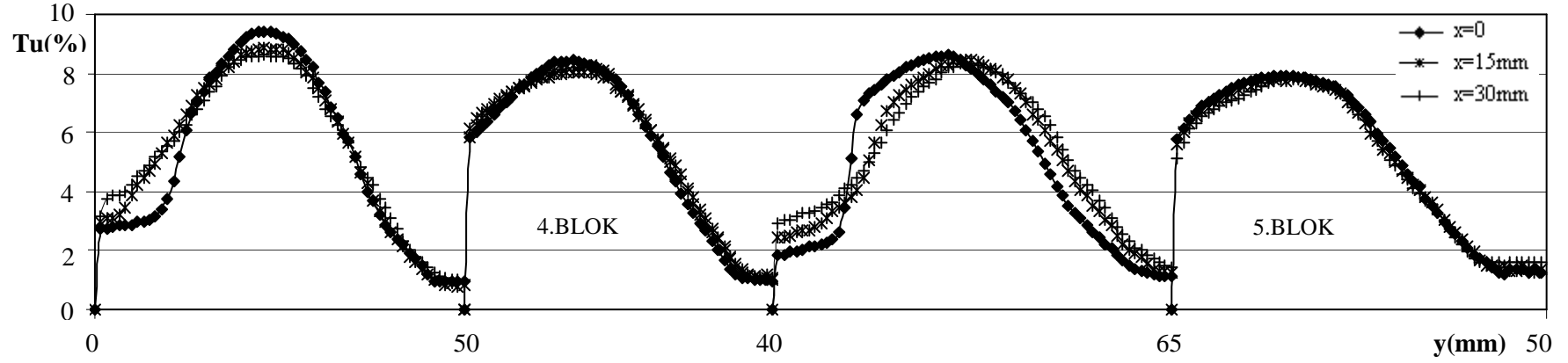
Şekil 3.33. $U=15$ m/s ve $h=20$ mm için türbülans yoğunlukları.



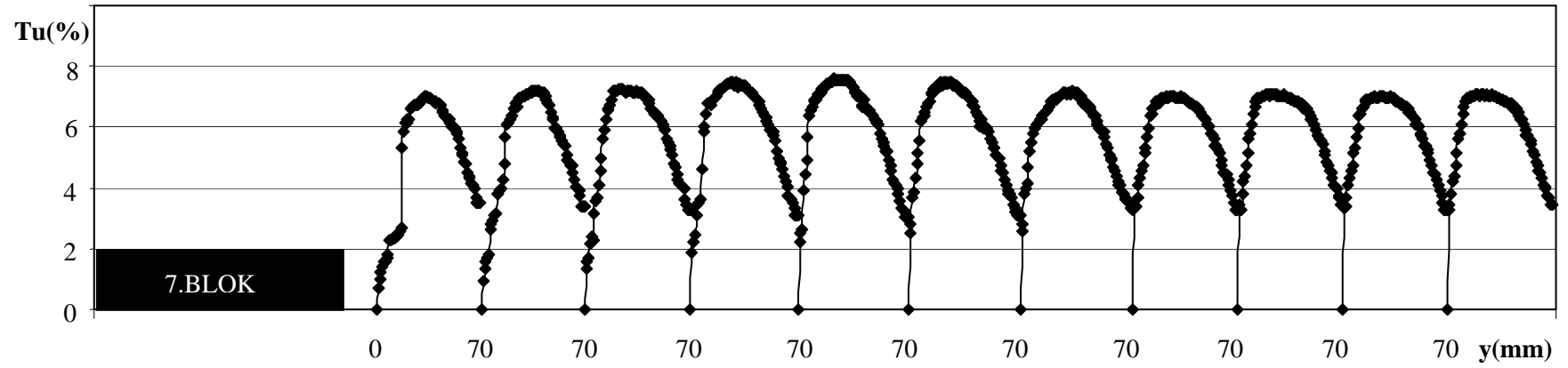
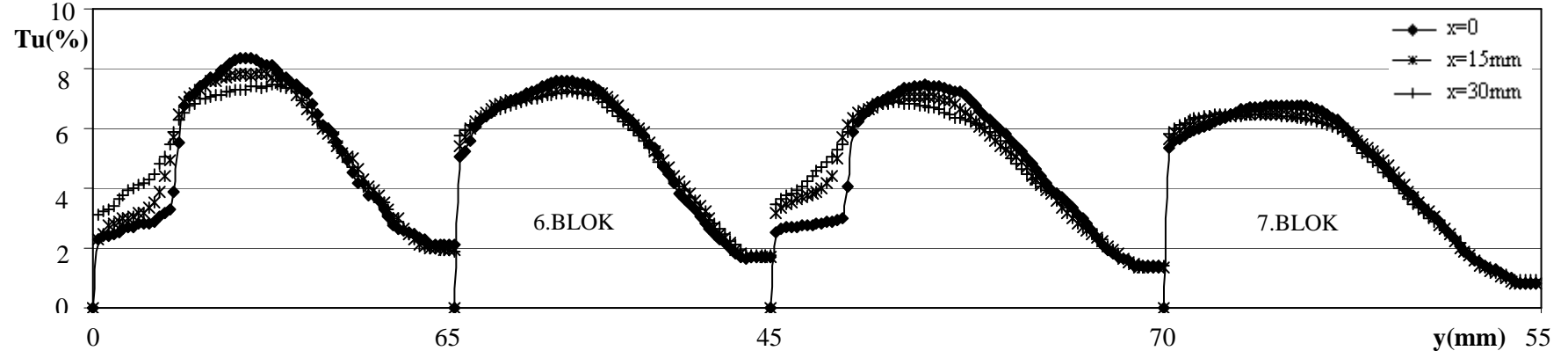
Şekil 3.33 (Devam). $U=15$ m/s ve $h=20$ mm için türbülans yoğunlukları.



Şekil 3.33 (Devam). $U=15$ m/s ve $h=20$ mm için türbülans yoğunlukları.



Şekil 3.33 (Devam). $U=15$ m/s ve $h=20$ mm için türbülans yoğunlukları.



Şekil 3.33 (Devam). $U=15\text{ m/s}$ ve $h=20\text{ mm}$ için türbülans yoğunlukları.

Şekil 3.28, 3.29 ve 3.30'da 15 m/s giriş hızı için 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliğine sahip yüzeyler üzerinde akışta elde edilen hız profilleri sırasıyla gösterilmiştir. Sınır tabaka kalınlıkları, yeniden birleşme uzunlukları ve yüzeylerde oluşan ayrılma bilgileri de bu hız profillerinden elde edilirken, türbülans yoğunluklarındaki değişim Şekil 3.31, 3.32 ve 3.33'de gösterilmiştir. Şekil 3.34'de ise çalışılan tüm blok yükseklikleri için yeniden birleşme uzunluklarının giriş hızlarıyla değişimi gösterilmiştir.

10 mm yüksekliğe sahip bloklu yüzey üzerinden 15 m/s giriş hızındaki türbülanslı akışta ($Re_h=9500$) hız profilleri Şekil 3.28'de gösterilirken, aynı blok yüksekliği ve giriş hızı için türbülans yoğunluklarının değişimi Şekil 3.31'de gösterilmiştir. Elde edilen bu hız ve türbülans yoğunluğu profillerinden hareketle, 1. bloktan başlayarak 9. bloğa kadar, blok üstlerindeki sınır tabaka kalınlıkları sırasıyla 11-15, 20-22, 25-28, 30-32, 36-38, 36-38, 41-42, 41-42, 42-44 mm arasında iken, maksimum türbülans yoğunlukları %1.7-9.6, 8.4-7.9, 7.5-7.1, 7.4-7.1, 7.2-7.0, 7.2-7.0, 6.8-6.7, 6.8-6.6, 6.4-5.9 aralığında elde edilmiştir. Blok üstleri boyunca elde edilen maksimum Tu değeri ilk bloğun üstünde ayrılma noktası civarında oluşurken (Chen ve Wang 1996), ilk bloktan sonraki tüm blok üstlerinde maksimum Tu değerleri blokların giriş köşelerinde elde edilmiştir (Chen ve Wang 1996). Blok aralarındaki ölçüm noktalarında elde edilen maksimum türbülans yoğunlukları ise ilk boşluktan başlayarak %10.0-8.9, 8.5-8.1, 8.5-7.9, 8.2-7.7, 8.2-7.6, 7.7-7.3, 7.7-7.3, 7.4-7.3 aralığında ölçülmüştür. Blok aralarındaki Tu değerleri oluşan ayrılma kabarcıklarından dolayı bloğun diğer yüzeylerinkinden büyüktür (Chen ve Wang 1998) ve tüm yüzeyler boyunca akış yönünde ilerledikçe Tu azalır (Wahidi ve ark. 2005). İlk bloktan önceki ön yüzey boyunca sınır tabaka kalınlıkları 14-21 mm ve maksimum türbülans yoğunlukları %4.0-6.0 arasında değişirken, son bloktan sonraki arka yüzeyde sınır tabaka kalınlıkları 54-60 mm ve maksimum türbülans yoğunlukları %6.6-6.3 arasında değişmektedir. Blok üstündeki Tu değerleri ilk bloktan önceki değerlerden daha büyüktür (Chen ve Wang 1998). Ön yüzey boyunca elde edilen maksimum Tu değeri (%6.0) bu yüzeydeki ayrılma noktası civarında oluşur (Chen ve Wang 1996). Blok ucundaki ani kesit daralmasından dolayı maksimum hız ilk bloğun üst ön köşesinde 18.56 m/s değerinde ölçülürken (Morris ve Garimella 1996, Ryu ve ark. 2007), bu noktadaki maksimum türbülans yoğunluğu %1.7 olarak ölçülmüştür. İlk bloğun engellemesinden dolayı akış çizgileri saparak bloğun önüne bitişik 6 mm uzunluğunda bir ayrılma kabarcığı

oluşturur (Chen ve Wang 1996, Furukawa ve Yang 2003). Elde edilen akış örneğinde, Igarashi ve Takasaki (1992) tarafından $\frac{h}{\delta_1}=0.77$ ve laminer akış için verilen örneklerden farklı olarak, ilk blok üstünde ayrılma gözlenmektedir. $w/h=3$ oranında blok genişliği, blok üstündeki ayrılma kabarcığının gelişmesi ve birleşmesi için yeterli uzunluktadır (Chen ve Wang 1996). Bu kabarcık ilk bloğun üst yüzeyinin başlangıcından 12 mm sonra aynı yüzeyde birleşirken, bundan sonraki blokların üst yüzeylerinde ayrılma gözlenmemiştir. Akışkan bloğun üst yüzeyinden geçtikten sonra bloklar arasındaki bölgeye gelir, bir sonraki bloğa çarpar ve bu alana hapsolarak tüm bloklar arasında yavaş yavaş yeniden dolaşım akışları oluşur (Ortiz ve ark. 2008), bu yeniden dolaşan akış boşluk akışıyla benzerlik gösterir (Davalath ve Beyazıtoglu 1987). Son bloktan sonra ani genişlemeden dolayı akış ayrılır ve yeniden birleşir (Abu-Mulaweh ve ark. 2001). Yeniden birleşme bölgesi boyunca oluşan negatif basınç gradyanı, hızları düşürerek profilleri değiştirir (Kuehn, 1980). $h/H=0.05$ oranında bloğun arkasındaki akış geri basamak akışıyla benzerlik gösterir (Tropea ve Gackstatter 1985). Bloklu yüzeyin bloksuz arka yüzeyi boyunca değişen bu hız profillerine göre yeniden birleşme uzunluğu 66 mm ve buna bağlı olarak $X_R/h=6.6$ elde edilmiştir. Bu oran Adams ve Eaton (1988) ve Ötügen (1991) tarafından yeniden birleşme uzunluğu için elde edilen oranlarla uyum göstermektedir. Hız ve Tu profillerinden görüldüğü gibi, yeniden birleşme noktasından sonra akış gelişmeye başlar ve hız yavaş yavaş dengeli sınır tabakaya dönüşür (Chen ve Wang 1996, 1998). Bu noktadan sonra, herhangi bir yerdeki sınır tabaka kalınlığı düz yüzeyde aynı yerdeki sınır tabaka kalınlığından büyüktür (Aung 1983).

15 mm yüksekliğe sahip bloklu yüzey üzerinden 15 m/s giriş hızındaki türbülanslı akışta ($Re_h=14500$), Şekil 3.29 ve 3.32'de gösterildiği gibi, ilk bloktan başlayarak 8. bloğa kadar, blok üstlerindeki sınır tabaka kalınlıkları sırasıyla 14-17, 23-25, 29-31, 33-35, 37-40, 42-44, 48-50, 50-52 mm ve maksimum türbülans yoğunlukları %1.3-10.5, 9.3-8.9, 8.7-8.4, 8.3-7.8, 8.0-7.7, 7.7-7.2, 7.4-7.2, 7.1-7.0 arasındadır. %10.5 olarak tespit edilen blok üstlerindeki maksimum Tu değeri ilk bloğun üstündeki ayrılma noktası civarında bulunmuş ve ilk bloktan sonraki tüm blok üstlerinde maksimum Tu değerleri bloğun giriş köşelerinde elde edilmiştir (Chen ve Wang 1996). Blok aralarındaki maksimum türbülans yoğunlukları ise sırasıyla %10.9-9.9, 9.8-9.3, 9.0-8.5,

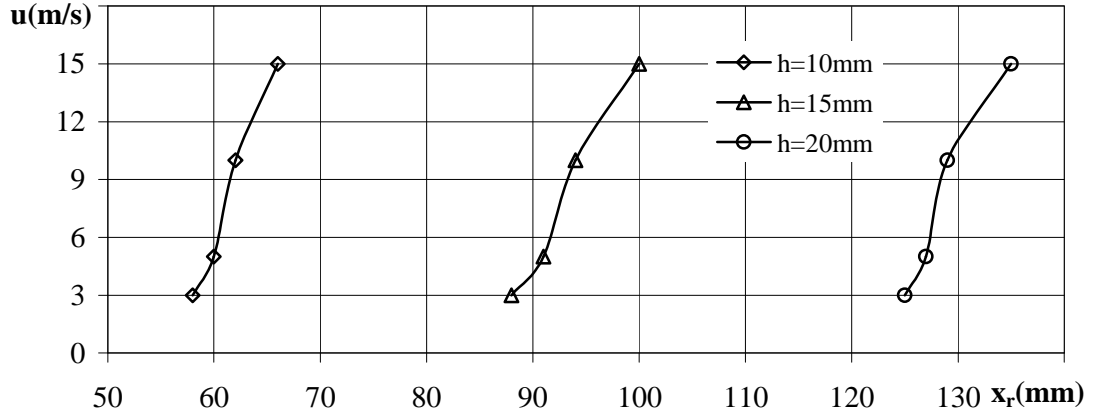
8.9-8.4, 8.4-7.8, 8.3-7.8, 8.3-7.7 aralığında, blok yüzeylerinde, ön yüzeyde ve arka yüzeyde elde edilen değerlerden daha büyük olarak, tespit edilmiştir. İlk bloktan önceki yüzeydeki sınır tabaka kalınlıkları 14-21 mm ve maksimum türbülans yoğunlukları %4.2-6.3 arasında elde edilirken, arka yüzey boyunca bu değerler ise sırasıyla 55-59 mm ve %7.6-7.2 aralığındadır. Akış yönünde ilerledikçe türbülans yoğunlukları azalmakta ve türbülans yoğunluğu profilleri düz yüzey türbülans yoğunluğu profillerine yaklaşmaktadır (Wahidi ve ark. 2005). Ön yüzey boyunca elde edilen %6.3 maksimum Tu değeri bu yüzeydeki ayrılma noktası civarında oluşmuştur (Chen ve Wang 1998). Bloklar, akışın blok üstünde hızlanmasına ve dönmesine neden olurken, bu ana akış ilk bloğun 51 mm önünde bir ayrılma bölgesi oluşturur (Young ve Vafai 1998, Davalath ve Beyazıtoglu 1987). Akışın çarptığı ilk bloğun üst ön köşesinde akışkanın momentumu artarak, hız 19.13 m/s, lokal maksimum değerine ulaşırken (Young ve Vafai 1998, Chen ve Wang 1996), bu noktadaki maksimum Tu değeri %1.3'tür. Bu blok yüksekliğinde, ilk bloğun üst yüzeyinde ayrılma kabarcığı oluşurken, $\frac{h}{\delta_1}=1.2$ oranı için bu durum Igarashi ve Takasaki (1992) tarafından doğrulanmaktadır. Bu yüzeyde elde edilen $w/h=2$ oranında, blok genişliği, ayrılma kabarcığının gelişmesi ve birleşmesi için yeterli uzunluktadır (Chen ve Wang 1996) ve birleşme blok ön köşesinden 17 mm sonra olurken, bundan sonraki blokların üst yüzeylerinde ayrılma gözlemlenmemiştir. Bir bloğun üstünden geçen akışkan direk olarak diğer bloğun ön yüzeyine çarpar ve bu iki blok arasında bir yeniden dolaşım bölgesi oluşur (Kim ve Anand 1994, Herman ve Kang 2001). Elde edilen hız profillerinden tüm boşluklarda boşluğu tamamen dolduran ayrılma kabarcıklarının olduğu görülmüştür. Son bloğun arkasındaki hız profilleri geri basamak akışındakilerle benzerlik gösterirken (Chen ve Wang 1996), bu bloktan sonraki ani genişlemeden kaynaklanan, akış içinde gelişen negatif basınç gradyanı ters akış alanlarını oluşturur. Akış bloğun köşesinden ayrılıp bloklandırılmış yüzeyde birleşerek yeniden dolaşım bölgesini oluşturur (Armaly ve ark. 2001, Chen ve Wang 1996). Oluşan yeniden dolaşım akışı son bloktan 100 mm sonra birleşirken, $X_R/h=6.67$ olarak elde edilmiştir. $X_R/h=6.67$ değeri Ryu ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmadaki değerle de örtüşmektedir. Yeniden birleşme noktasından sonra akışta akışın bloksuz yüzeydeki dağılıma dönebilmesi için uzun bir mesafe kat etmesi gerekir (Davalath ve Beyazıtoglu 1987, Kim ve Anand 1994). Arka yüzeydeki türbülans yoğunluğu profilleri yeniden birleşme noktasından sonra dengeli hale gelmeye başlamaktadır.

15 m/s giriş hızı ve 20 mm yüksekliğe sahip bloklu yüzey üzerinden türbülanslı akışta ($Re_h=19000$), ilk bloğun önündeki hız profilinden, bloğun varlığıyla oluşan ani daralmanın konkav köşesindeki bölgede, 12 mm uzunluğunda küçük bir ayrılma kabarcığı olduğu görülmüştür (Chen ve Wang 1998, Fu ve ark. 2001). Akışın ilk bloğa çarpmasından ve ani kesit daralmasından dolayı, bu bloğun üst ön köşesinde hız maksimum değerini alarak 19.55 m/s olarak ölçülürken (Furukawa ve Yang 2003, Kim ve Anand 1994), bu noktadaki Tu %1.2 olarak ölçülmüştür. İki blok arasındaki boşluklardaki hız profilleri ise, tüm blokların arasında boşlukları dolduran yeniden dolaşım bölgeleri olduğunu göstermektedir (Chen ve Wang 1996, Young ve Vafai 1998). İlk bloğun üstünde 23 mm uzunluğunda bir ayrılma kabarcığı elde edilirken, bundan sonraki blokların üst yüzeylerinde ayrılma gözlemlenmemiştir. $\frac{h}{\delta_1}=1.54$ değeri de ilk bloğun üstünde ayrılma olduğunu doğrulamaktadır (Igarashi ve Takasaki 1992). h/H oranına bağlı olarak, son bloğun arkasındaki hız profilleri geri basamak akışındakilerle benzerlik gösterirken (Chen ve Wang 1996, Tropea ve Gackstatter 1985), bu akışta önce pozitif basınç gradyanından negatif basınç gradyanına geçilir, daha sonra yeniden birleşme noktasında sıfır olur ve tekrar pozitive dönerek, ayrılma ve yeniden birleşme oluşur (Oki ve ark. 1993, Heist ve Gouldin 1997, Aung 1983). Bu yeniden birleşme uzunluğu 135 mm ve $X_R/h=6.75$ olarak ölçülmüştür. Bu uzunluk Ryu ve ark. (2007) ve Armaly ve ark. (1983) tarafından elde edilen uzunluklarla uyum göstermektedir. Yeniden birleşme noktasından sonraki hız profillerinin klasik düz yüzey teorisiyle elde edilen profillere ulaşması için uzun bir mesafe gerekirken, bu noktadan sonra herhangi bir ölçüm noktasında elde edilen δ , aynı ölçüm noktasında düz yüzey üzerinde elde edilen δ 'dan büyüktür (Aung 1983, Oki ve ark. 1993). Şekil 3.30'da görüldüğü gibi, ilk bloktan başlayarak son bloğa kadar, blok üstlerindeki sınır tabaka kalınlıkları sırasıyla 10-18, 21-26, 30-32, 33-36, 42-45, 42-46, 49-51 mm arasında bulunmuştur. Şekil 3.33'e göre ise, ilk bloktan son bloğa doğru, blok üstleri ve blok aralarındaki maksimum türbülans yoğunluğu sırasıyla %1.2-10.0, 9.9-9.7, 9.0-8.9, 8.9-8.7, 8.9-8.7, 7.6-7.2, 6.8-6.5 ve %10.7-10.1, 10.4-9.7, 10.3-9.6, 10.1-9.4, 8.4-7.5, 7.5-6.9 aralığında değişmiştir. Blokların üst yüzeyleri boyunca oluşan maksimum türbülans yoğunluğunun en yüksek değeri (%10.7) ilk bloğun üst yüzeyindeki ayrılma noktasının yakınında oluşurken, ilk bloktan sonraki tüm blok üstlerinde maksimum Tu değerleri

bloğun giriş köşelerinde elde edilir (Chen ve Wang 1996). Bloklar arasında oluşan ayrılma kabarcıklarından dolayı, boşluklardaki Tu değerleri diğer yüzeylerdeki değerlerden daha büyüktür (Chen ve Wang 1998). Blok üstündeki Tu değerleri, bloklardan önceki ön ve sonraki arka yüzeydeki Tu değerlerinden daha büyük iken, blok aralarındaki değerlerden daha küçüktür (Chen ve Wang 1998). Ön yüzey boyunca elde edilen sınır tabaka kalınlıkları ve maksimum türbülans yoğunlukları sırasıyla 14-24 mm ve %4.3-6.1 arasında iken, son bloğun devamındaki arka yüzeyde bu değerler 65-68 mm ve %7.1-7.0 arasında bulunmuştur. İlk bloktan önceki maksimum Tu en yüksek değeri %6.1, ayrılma noktasının yakınında oluşmuştur (Chen ve Wang 1996). Tu profilleri yeniden birleşme noktasından sonra kararlı bir hal almıştır.

Periyodik bloklara sahip kanal içerisinden laminar akış, oluşan ölü bölgeler ve akış ayrılmasından dolayı çok karmaşık bir yapıya sahipken, türbülanslı durumda ise bu kompleks akış, hem bloklarla oluşan ayrılmalar hem de türbülans edilerinin birleşmesiyle oluşmaktadır (Braun ve ark. 1999). 15 m/s giriş hızında türbülanslı akışta, 10, 15, 20 mm blok yükseklikleri için ortalama hızın maksimum değerleri sırasıyla 18.56, 19.13 ve 19.55 m/s olarak ilk bloğun üst başlangıç köşesinde oluşmuştur. Tüm blok yüksekliklerinde, blokların üstünde ve önünde, bloklar arasındaki boşluklarda ayrılma oluşurken, son bloğun devamında yeniden birleşme bölgesi oluşur. 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliğine sahip yüzeyler üzerinden akışta, ilk bloğun önündeki ayrılma noktasının bloğa olan uzaklığı, sırasıyla 6, 9 ve 12 mm olarak elde edilmiş olup, tüm blok yükseklikleri için bu uzunluk 0.6h olarak sabittir (Chen ve Wang 1996). Elde edilen bu değerler, büyük blok yüksekliğinde ayrılmanın daha erken olduğunu göstermektedir (Frost ve ark. 1980). Tüm blok yüksekliklerinde, ilk bloğun üstünde akış ayrılıp birleşmekteyken, diğer blokların üzerlerinde ayrılma tespit edilmemiştir. İlk blok üstünde ayrılan akış, 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliği için sırasıyla 12, 17 ve 23 mm mesafede birleşmiştir. Bu değerlere göre, yüksek blok yüksekliğinde birleşme daha geç olmuştur (Chen ve Wang 1996). Ancak ilk blok üstündeki birleşme uzunluğunun blok yüksekliğine oranı 1.1 olarak sabittir (Chen ve Wang 1996). Tüm yüksekliklerdeki blokların arasındaki çukurlarda boşluk akışına, son bloktan sonraki bölgede ise geri basamak akışına benzer akış elde edilmiştir. Elde edilen hız profillerine göre, bloklar arasındaki boşluklarda oluşan ayrılma kabarcıkları tüm boşluğu sarar ve tüm boşluklardaki akış yapısı periyodik olarak benzerlik gösterir. 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliği için yeniden dolaşım uzunluğu sırasıyla 66, 100 ve 135 mm olarak tespit

edilmiştir. Giriş hızı sabitken, blok yüksekliği arttıkça yeniden birleşme uzunluğu artmıştır (Oki ve ark. 1993, Kaşığı ve Matsunaga 1995). Yeniden birleşmeden sonra akış gelişmeye başlar ve hız dağılımı yavaş yavaş dengeli sınır tabakaya dönüşürken, yeniden birleşmeden sonraki herhangi bir ölçüm noktasındaki sınır tabaka kalınlığı düz yüzeyde aynı yerdeki sınır tabaka kalınlığından daha büyüktür. Bloklar, akıştaki ayrılmalar ve yeniden birleşmeden dolayı, lokal duvar türbülansı yarattıklarından türbülans yoğunluğunu arttırırlar (Buchlin 2002) ve bu nedenle bloklu yüzeylerde ölçülen türbülans yoğunluklarının tamamı düz yüzeydekinden büyüktür (Bilen ve Yapıcı 2001). Tüm yüzey boyunca kayma tabakası içindeki türbülans yoğunluğu serbest akışinkinden çok büyük olduğundan akış türbülanslıdır (Aung 1983). Blok üzerinde oluşan ayrılma kabarcıklarının büyüklüğü, etrafındaki akışın türbülans yoğunluğuna bağlıdır (Nozawa ve Tamura 2002). Blokların üst yüzeyleri boyunca oluşan maksimum türbülans yoğunluğunu en yüksek değeri ilk bloğun üst yüzeyindeki ayrılma noktasının yakınında oluşmuş ve akış yönünde ilerledikçe bu değer azalmıştır. İlk bloktan sonraki tüm blok üstlerinde maksimum Tu değerleri bloğun giriş köşelerinde elde edilmiştir (Chen ve Wang 1996). Blok üstündeki Tu değerleri, bloklardan önceki ön ve sonraki arka yüzeydeki Tu değerlerinden daha büyük iken, oluşan ayrılma kabarcıklarından dolayı blok aralarındaki değerlerden daha küçüktür (Chen ve Wang 1998). Türbülans yoğunluğunun maksimum değerleri yüksek hız gradyanlarının olduğu ayrılmış akış bölgelerinde, yeniden birleşme noktalarında ve blok köşelerinde oluşmuştur (Chen ve Wang 1996). Akış yönünde ilerledikçe türbülans yoğunlukları azalmakta ve türbülans yoğunluğu profilleri düz yüzey türbülans yoğunluğu profillerine yaklaşmaktadır (Wahidi ve ark. 2005). Arka yüzeydeki türbülans yoğunluğu profilleri yeniden birleşme noktasından sonra dengeli hale gelmeye başlamaktadır.



Şekil 3.34. Giriş hızları ve blok yüksekliklerine bağlı olarak elde edilen yeniden birleşme uzunlukları.

10, 15 ve 20 mm blok yüksekliğine sahip yüzeyler üzerinde 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızlarındaki akış için yeniden birleşme uzunlukları Şekil 3.34'de gösterilmiştir. 10 mm blok yüksekliğine sahip yüzeyde, 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızlarında yeniden birleşme uzunlukları sırasıyla 58, 60, 62 ve 66 mm, 15 mm blok yüksekliğindeki yüzeyde 88, 91, 94 ve 100 mm ve blok yüksekliği 20 mm olan yüzeyde 125, 127, 129 ve 135 mm olarak ölçülmüştür. Çalışılan tüm blok yüksekliklerinde, blok yüksekliği sabitken, hız ve dolayısıyla Reynolds sayısı arttıkça vorteks gücü ve yeniden birleşme uzunluğu artmıştır. Çünkü akışkanın momentumu artmış, bu da yeniden birleşmeden önce akışkanın daha uzun bir mesafe katetmesine neden olmuştur (Davalath ve Beyazıtoglu 1987). Ayrıca viskoz etkiler arttığı için ana akış vorteksleri güçlü bir şekilde dönmesi için çekmiş ve vorteksi daha ileri taşımıştır (Young ve Vafai 1998). Bu durum, Abu-Mulaweh ve ark. (2001), Tsay ve Cheng (2008), Tropea ve Gackstatter (1983), Kondoh ve ark. (1993), Aung (1983), Furukawa ve Yang (2003) ve Barton (1997) tarafından hem laminer hem de türbülanslı akışlarda yapılan çalışmalarla da doğrulanmıştır. Giriş hızı sabitken blok yüksekliği arttıkça yeniden birleşme uzunluğu artmıştır. Blok yüksekliği arttıkça yeniden dolaşım bölgesi aksel yönde genişlemiş ve güçlenmiştir (Tsay ve Cheng 2008). Chen ve Wang (1998, 1996), Terekhov ve ark. (2003), Oki ve ark. (1993), Kondoh ve ark. (1993), Abe ve ark. (1994) ve Aung (1983) tarafından laminer, türbülanslı ve geçiş bölgesindeki akışlar için yapılan çalışmalarda da blok yüksekliği arttıkça yeniden birleşme uzunluğu artmıştır.

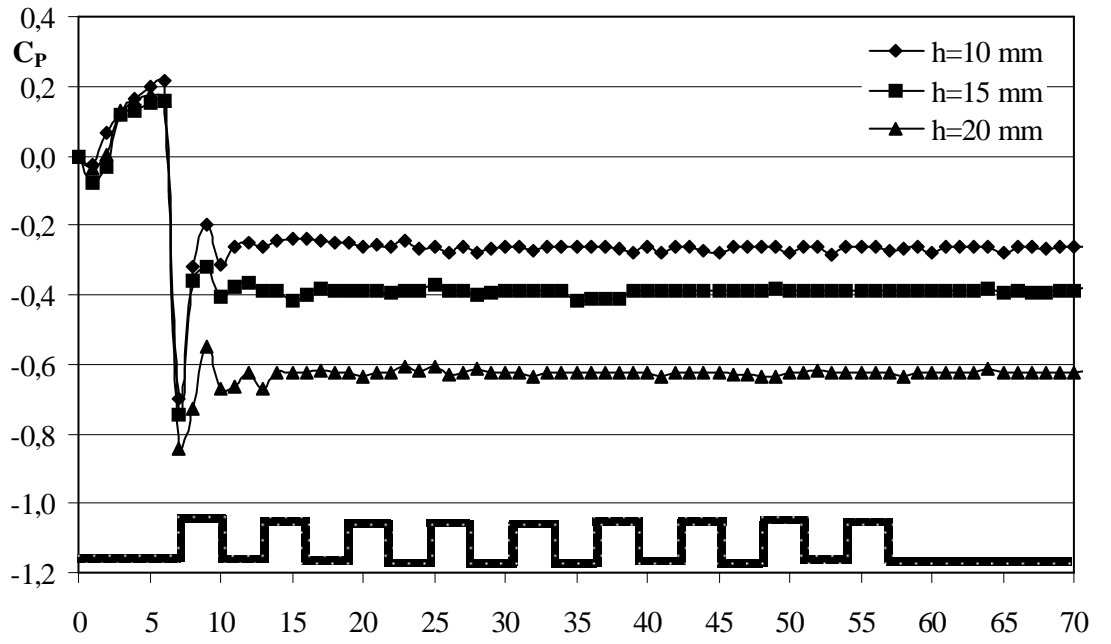
3.3.2 Basınç Karakteristikleri

Tüm blok yükseklikleri (10, 15 ve 20 mm) ve giriş hızları (3, 5, 10 ve 15 m/s) için, düz ve bloklu yüzeyler üzerindeki statik basınç ölçümleri, yüzeylerde açılan statik basınç delikleri ve eğik bir manometre yardımıyla yapılmıştır. Düz yüzey üzerindeki ölçümler, Çizelge 2.1’de verilen 7 noktada yapılırken, bloklu yüzeyler üzerindeki ölçümler, Çizelge 2.2’de verilen ilk bloktan önceki ön yüzey, blok üstleri, blok araları ve son bloktan sonraki arka yüzeyde yapılmıştır. Düz yüzey üzerinde akışta, çalışılan tüm hızlarda basınç gradyanında bir değişim olmaması nedeniyle, ölçümler yaklaşık sıfır basınç gradyanında alınırken, bloklu yüzeyler üzerindeki akışta basınç değişimleri gözlenmiştir. Bloklu yüzeylerde oluşan bu basınç farkları, eğim açısı 11^0 ve manometre sıvısı renklendirilmiş alkol olan manometreden okunan yükseklikler kullanılarak, Eşitlik 3.2 ile bulunmuştur.

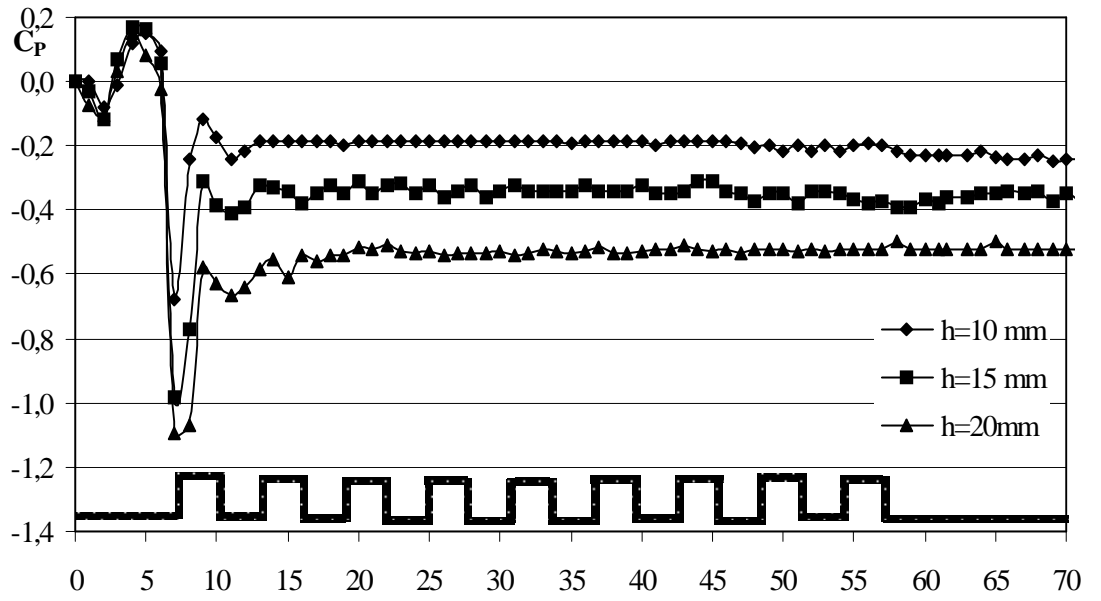
$$P - P_0 = \rho g \Delta h \sin \alpha \quad (3.2)$$

Statik basınç ölçümleri, Eşitlik 3.2 ve Eşitlik 2.22 kullanılarak elde edilen basınç katsayısı ($C_p = \frac{P - P_0}{\frac{1}{2} \rho U^2}$) ile ifade edilmiştir. Bu eşitlikteki, P, U ve P₀, Sherry ve ark. (2009), Terekhov ve ark. (2003), Chen ve Wang (1996) ve Abe ve ark. (1994) tarafından geri basamak ve bloklu yüzey üzerinde akışlarda yapılan çalışmalarda da olduğu gibi, sırasıyla ölçüm noktasındaki statik basıncı, serbest akış hızını ve basıncını göstermektedir.

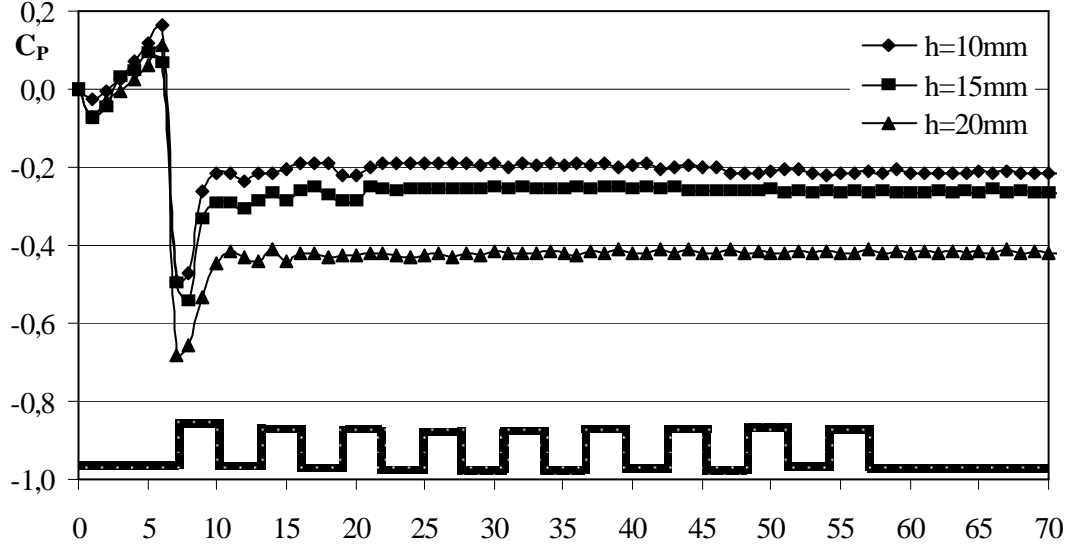
3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızları için elde edilen basınç katsayısı profilleri, 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliğine bağlı olarak, sırasıyla Şekil 3.35, 3.36, 3.37 ve 3.38’de gösterilmiştir. Tüm şekillerdeki x eksenini, şematik olarak da verilen bloklu yüzeylerdeki ölçüm noktalarını göstermektedir.



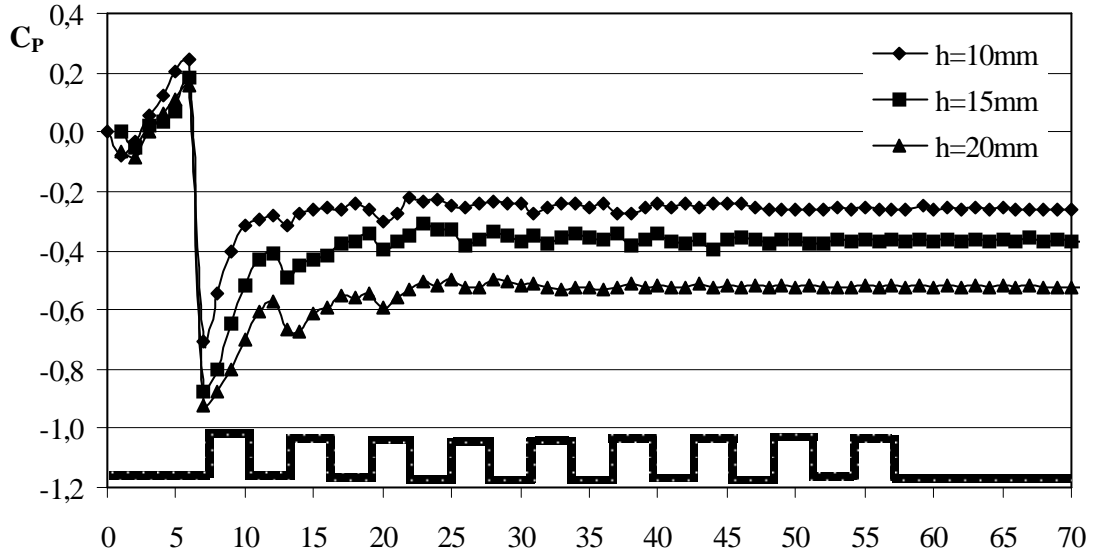
Şekil 3.35. 3 m/s giriş hızı için basınç katsayısı profilleri.



Şekil 3.36. 5 m/s giriş hızı için basınç katsayısı profilleri.



Şekil 3.37. 10 m/s giriş hızı için basınç katsayısı profilleri.



Şekil 3.38. 15 m/s giriş hızı için basınç katsayısı profilleri.

Bloklu yüzeyler üzerinden, 3 m/s giriş hızındaki laminer akış için basınç katsayısının blok yüksekliklerine bağlı olarak akış yönünde değişimi Şekil 3.35'de gösterilmiştir. Girişte sıfır olan basınç katsayısı 10, 15 ve 20 mm blok yükseklikleri için 2. ölçüm noktasında sırasıyla -0.027, -0.035 ve -0.076 değerlerine düşerken, 6. ölçüm noktasına kadar artarak, 0.215, 0.177 ve 0.156 değerleriyle bu noktada maksimuma

ulaşır. İlk bloğun üst ön köşesinde (7. ölçüm noktası) tüm blok yükseklikleri (10, 15 ve 20 mm) için C_p sırasıyla -0.698, -0.750 ve -0.840 değerlerini alarak minimuma ulaşır. İlk bloğun üst arka köşesinde ise -0.197, -0.320, -0.551 değerleriyle tekrar lokal maksimum değerini alır. İlk boşluğun girişinden çıkışına doğru yükselerek -0.250, -0.366, -0.627 değerlerini alan C_p 'nin bundan sonraki değişimleri hata sınırları içerisinde olduğundan sabit kabul edilmiştir.

10, 15 ve 20 mm blok yüksekliklerine sahip yüzeyler üzerinden 5 m/s giriş hızındaki akış için basınç katsayısının akış yönünde değişimi Şekil 3.36'da gösterilmiştir. Girişte sıfır olan basınç katsayısı, 10, 15 ve 20 mm blok yükseklikleri için sırasıyla, 2. ölçüm noktasında -0.080, -0.105 ve -0.120, 6. ölçüm noktasında 0.150, 0.125, 0.109 (maksimum), 7. ölçüm noktasında -0.680, -0.980 ve -1.09 (minimum), 9. ölçüm noktasında -0.116, -0.310, -0.577 ve 11. ölçüm noktasında ise -0.24, -0.41, -0.668 değerlerini almıştır. 13. ölçüm noktasında yani 2. bloğun ön köşesinde -0.185, -0.32 ve -0.556 değerini alan basınç katsayısının, bu noktadan sonraki değişimleri sabit kabul edilebilecek mertebededir.

Şekil 3.37'de, tüm blok yükseklikleri ve 10 m/s giriş hızındaki akış için basınç katsayısının değişimi gösterilmiştir. Basınç katsayısı girişten itibaren 2. ölçüm noktasına kadar düşerek, 10, 15 ve 20 mm blok yükseklikleri için sırasıyla, -0.024, -0.071 ve -0.071 değerlerini almıştır. 2. ölçüm noktasından sonra ilk bloğun hemen önündeki 6. ölçüm noktasına kadar artarak bu noktada sırasıyla 0.166, 0.115, 0.109 olarak maksimum değerlerini alır. İlk bloğun üst ön köşesindeki 7. ölçüm noktasında ise sırasıyla -0.495, -0.495 ve -0.680 değerlerini alarak minimuma ulaşır. Bu noktadan 1. boşluğun ortasına kadar artmaya devam eder ve boşlukta sırasıyla -0.213, -0.291, -0.416 değerlerini alır. İlk boşluktan sonra elde edilen C_p değerleri sabittir.

15 m/s giriş hızındaki türbülanslı akış için basınç katsayısının akış yönünde değişimi Şekil 3.38'de gösterilmiştir. Girişte sıfır olan basınç katsayısı, girişten 15 mm mesafeye kadar düşerek, 10, 15 ve 20 mm blok yükseklikleri için sırasıyla -0.034, -0.053, -0.084 değerlerini alır. $x = 55$ mm'de basınç katsayısı maksimum değerine ulaşarak, sırasıyla, 0.246, 0.184, 0.155 olurken, $x=60$ mm'de bloğun üst başlangıç köşesinde bu değerler aniden düşerek -0.700, -0.875, -0.920 minimum değerleri elde

edilmiştir. Elde edilen bu değerler $x=120$ mm'ye (ilk boşluğun sonu) kadar yavaş yavaş artarak sırasıyla -0.280, -0.453, -0.69 değerlerine çıktıktan sonra $x=180$ mm'ye (üçüncü bloğun üst ön köşesi) kadar yine yavaş yavaş artarak sırasıyla -0.260, -0.345, -0.548 değerlerine çıkar. Üçüncü bloktan sonra basınç katsayısında bir değişim gözlemlenmemiştir.

Çalışılan tüm hızlarda, farklı blok yüksekliklerinde C_p eğrileri benzer dağılım göstermektedir (Chen ve Wang 1996). Yüzey girişiyle 1. blok arasında belirli bir mesafede C_p önce yavaşça düşer, daha sonra 1. bloğa kadar artış gösterir. Bu oluşum yüzey girişinden belirli bir mesafe sonra, ilk bloğun önünde ayrılma olduğunu göstererek, hız profillerinden elde edilen sonuçları doğrulamaktadır. İlk bloğun engellemesinden dolayı bu bloğun üst ön köşesinde basınç katsayısı aniden minimuma iner ve minimum basınç katsayısının yeri Nozawa ve Tamura (2002) ve Faghri ve ark. (1994) tarafından yapılan çalışmalarla da uyumludur. Elde edilen bu minimum değerler de, Bölüm 3.3.1'de ayrıntılı olarak verilen, bu noktada elde edilen lokal maksimum hız değerlerinin oluşmasıyla örtüşmektedir. Tüm giriş hızları ve blok yüksekliklerinde, ilk bloğun üstünde C_p artış göstermiştir ve bu artış Ryu ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmayla da doğrulanmıştır. Ayrıca bu artış blok yüzeyindeki akış ayrılmasıyla da paralellik göstermektedir. İlk blok yüzeyinin sonunda ölçülen basınç katsayısı, $h=10$ ve 15 mm için toplam düşüşün yaklaşık yarısı kadar artarken (Chen ve Wang 1996), $h=20$ mm'de yarısından az artmıştır. Tüm giriş hızlarında blok yüksekliği arttıkça C_p değerleri azalırken, tüm blok yüksekliklerinde Reynolds sayısının artmasıyla ortalama basınç katsayısı azalmıştır (Chen ve Wang 1996). 3, 5 ve 10 m/s giriş hızlarındaki akışta 2. bloğun, 15 m/s giriş hızında ise 3. bloğun üst ön köşesinden sonra basınç katsayısındaki değişimler hata sınırları içinde olduğundan basınç katsayısı sabit kabul edilmiştir. Tüm hız ve yüksekliklerde son bloğun arkasındaki yeniden dolaşım bölgesindeki basınç katsayılarında, Terekhov ve ark. (2003), Chandrsuda ve Bradshaw (1980) ve Abe ve ark.'nın (1994) geri basamak akışlarında yaptığı çalışmalardan farklı olarak değişim gözlemlenmemiştir.

3.3.3. Isı Transferi Karakteristikleri

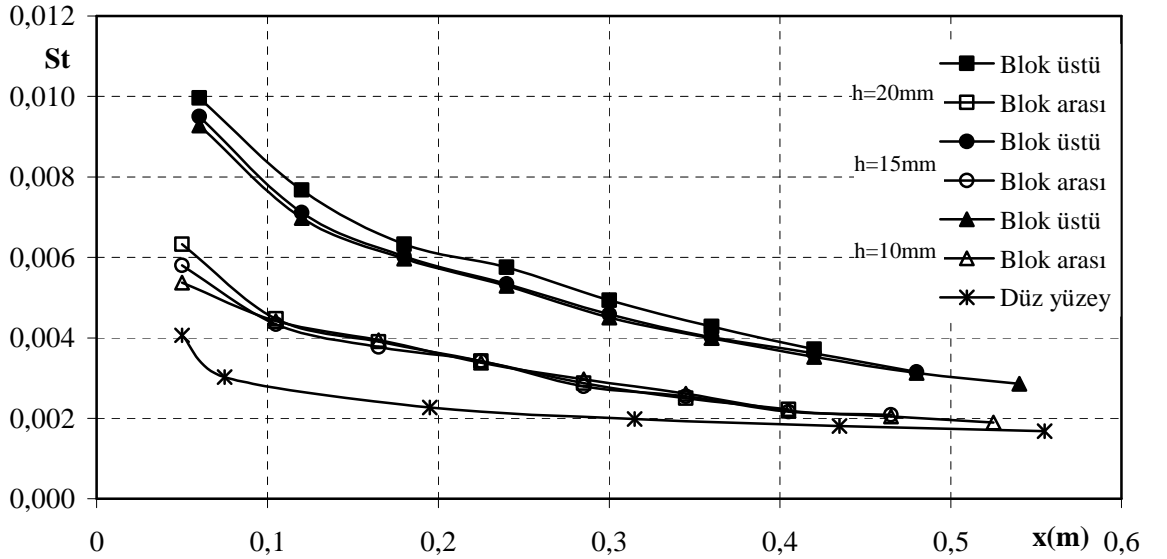
Bloklu yüzeyler üzerinden akışta ısı transfer karakteristiklerinin tespiti için blok yükseklikleri 10, 15, 20 mm ve uzunlukları sırasıyla 470, 510, 570 mm olan üç adet bakır yüzey kullanılmıştır. Blok yükseklikleri 20, 15 ve 10 mm olan bloklu yüzeylerde, düz yüzey ile aynı toplam yüzey alanını elde edebilmek için, sırasıyla 7, 8 ve 9 tane blok oluşturulmuştur. Bloklu bakır yüzeyler üzerindeki sıcaklık değerleri her bloğun üst yüzeyinde, blok girişinden itibaren eşit aralıklarla üç, blok aralarında ise merkezde olmak üzere bir noktadan ölçülmüştür. Ayrıca ilk bloktan önceki ön yüzeyde yine tek bir noktada sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Böylece 10 mm yüksekliğinde 9 adet bloğa sahip yüzeyde toplam 36, 15 mm yüksekliğinde 8 adet bloğa sahip yüzeyde toplam 32 ve 20 mm yüksekliğinde 7 adet bloğa sahip yüzeyde toplam 28 noktada ölçüm yapılmıştır. Yapılan bu ölçümlerde K-tipi bir termal çift ve dijital bir multimetre kullanılmıştır. Termal çift ile sabit ısı akısında alınan sıcaklık verileri ise, Kim ve Anand (1994), Korichi ve Ouferr (2006), Tsay ve Cheng (2008) ve Perng ve Wu (2007) tarafından yapılan çalışmalarda da olduğu gibi, kanal yüksekliği ile elde edilen Eşitlik 3.3'de verilen Reynolds sayısı, Eşitlik 3.4'de verilen Nusselt sayısı ve Eşitlik 2.27'de verilen Stanton sayısı ile ifade edilmiştir.

$$Re_H = \frac{UH}{\nu} \quad (3.3)$$

$$Nu_H = \frac{hH}{k} \quad (3.4)$$

Isı transferini arttırmak için kullanılan yöntemlerden biri soğutucu akışkanın akış oranı yani hızını arttırmak diğeri ise yüzey pürüzlülüğü oluşturarak, vorteks üreteçleri kullanarak ya da yüzeye farklı geometrilerdeki bloklar ekleyerek akış yapısı değiştirmek yani kanalı modifiye etmektir. Akışkanın hızını arttırmak gerekli pompa gücünün artması ve gürültüyü de beraberinde getirdiği gibi hızın düşük olması gereken sistemlerde bu yöntem kullanılamaz. Kanal modifiye edilirse pompa kayıpları ve yüksek hızdan kaynaklanan diğeri dezavantajlar en aza indirgenmiş olurken yeniden birleşmeyle birlikte ayrılmış bir akışın varlığı sürekli rejimden sapmaya, basınç salınımlarına ve titreşime sebep olur. Her iki yöntemde ısı transferini arttırabilir, ancak tüm sistem performansını arttıracak optimum değerler elde edilmelidir (Şara ve ark.

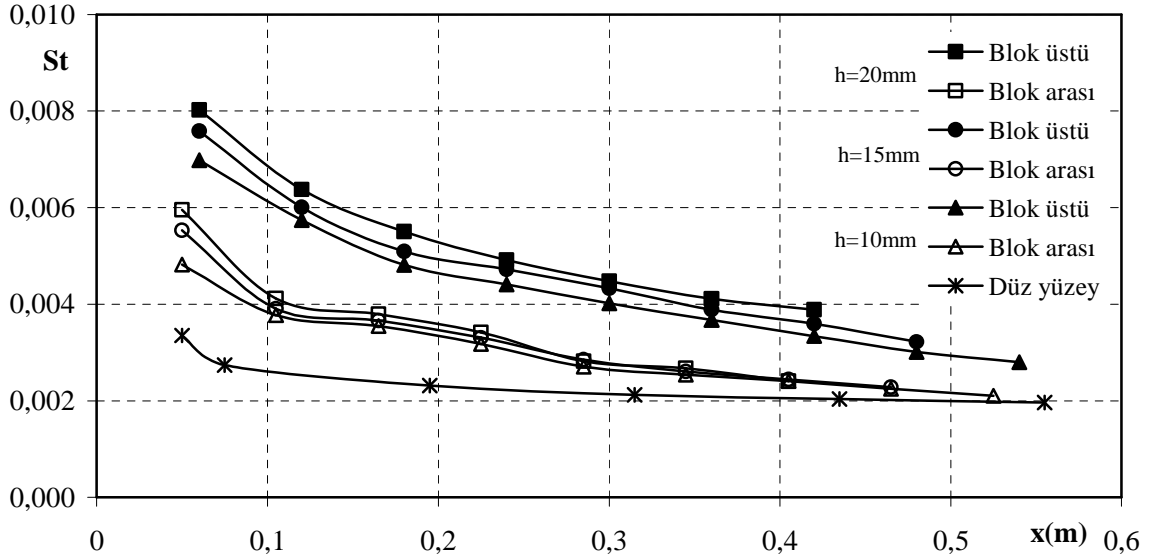
2001, Korichi ve Oufur 2006, Ortiz ve ark. 2008). Bu tez çalışmasında deneyler, blok yükseklikleri 10, 15 ve 20 mm olan blokları yüzeyler üzerinde, hız değerleri 3, 5, 10 ve 15 m/s alınarak yapılmıştır. Böylece hem hızın ve buna bağlı olarak akış tipinin hem de blok yüksekliğinin ısı transferine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Şekil 3.39, 3.40, 3.41 ve 3.42’de, havanın kanala giriş hızı sabit tutularak, tüm blok yükseklikleri için, blok üstleri ve aralarındaki St değerleri verilirken, Şekil 3.43, 3.44, 3.45, 3.46’da blokları yüzeylerin tamamında (ön yüzey, blok üst yüzeyleri ve bloklar arası yüzeyler) elde edilen lokal St değerleri verilmiştir. Blok yüksekliği sabit tutularak, havanın giriş hızının değişimiyle Nu değerlerindeki değişim ise Şekil 3.47, 3.48, 3.49 ve 3.50’de sunulmuştur. Ayrıca Şekil 3.51’de, blokları yüzeyler üzerinde, blok yüksekliği ve giriş hızına bağlı olarak elde edilen Nu değerleri Bölüm 3.2.2’de deneysel olarak elde edilen düz yüzey Nu değerleriyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.39. h=10, 15 ve 20 mm için 3 m/s giriş hızında blok üstlerinde, aralarında ve düz yüzey üzerinde St değişimi.

Tüm blok yükseklikleri için 3 m/s laminer giriş hızında yapılan deneyler sonucunda elde edilen St değerleri Şekil 3.39’da verilmiştir. h=10 mm için, ilk bloğun başlangıç köşesindeki St değeri, bloktan önceki ön yüzey St değerinin %91 üzerinde iken, h=15 ve 20 mm’de sırasıyla %67 ve %57 üzerindedir. Son bloğun başlangıç

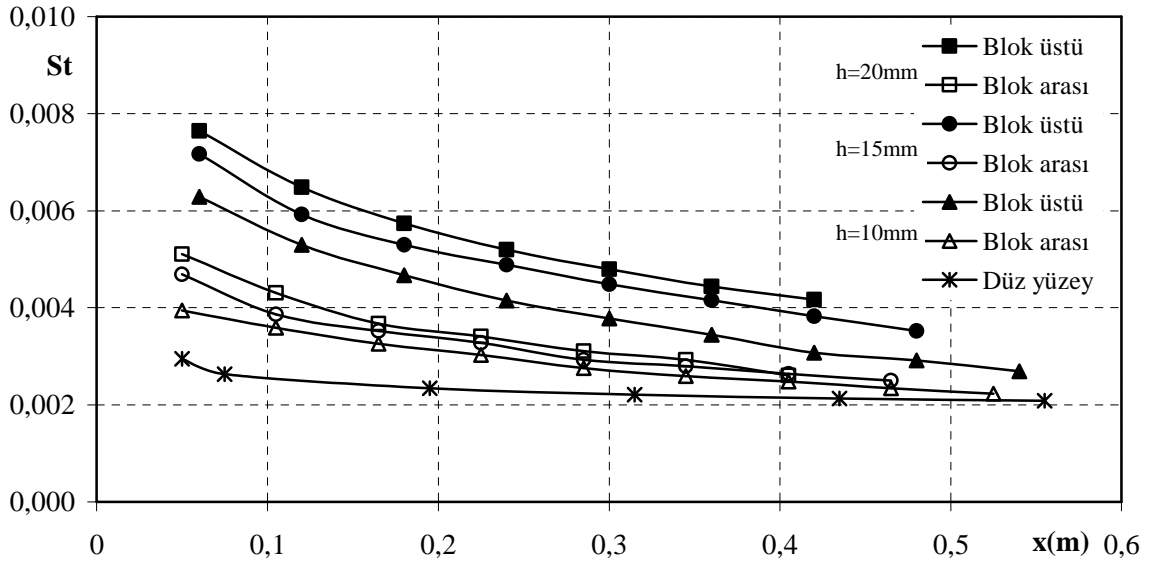
köşesindeki St değeri bu bloktan sonraki arka yüzey St değerinin, $h=10, 15$ ve 20 mm için sırasıyla %50, %51 ve %67 üzerindedir. Elde edilen sonuçlar, düz yüzey üzerinde akışta aynı hız ve uzaklıkta bulunan St değerleriyle karşılaştırıldığında, ilk bloğun üst ön yüzeyindeki St değeri düz yüzey değerinden, $h=10, 15$ ve 20 mm için sırasıyla, %171, %177 ve %191 daha fazladır. Son bloğun üst yüzeyindeki St değerleri düz yüzeyle karşılaştırıldığında, $10, 15$ ve 20 mm blok yükseklikleri için sırasıyla %77, %88 ve %112 daha büyüktür. İlk bloktan önceki ön yüzey ile son bloktan sonraki arka yüzeyde, 10 mm blok yüksekliğinde St değerleri düz yüzey St değerlerinden %19 ve %17 fazla iken bu değerler 15 mm ve 20 mm blok yükseklikleri için sırasıyla %39, %23 ve %55, %25 dir.



Şekil 3.40. $h=10, 15$ ve 20 mm için 5 m/s giriş hızında blok üstlerinde, aralarında ve düz yüzey üzerinde St değişimi.

Şekil 3.40'da tüm blok yükseklikleri için, 5 m/s giriş hızında, blok araları, blok başlangıç üst köşeleri ve düz yüzeyde elde edilen St değerleri verilmiştir. $h=10$ mm için ilk bloğun başlangıç köşesindeki St değeri kendinden önceki yüzeydekenden %45 fazlayken, bu değer düz yüzey değerinden %129 fazladır. Son bloğun üst köşesindeki St değeri kendinden sonraki arka yüzeyden %33 büyükken, düz yüzey değerinden %45 büyüktür. Ön ve arka yüzeylerdeki değerler ise düz yüzeyinkinden sırasıyla %44 ve %8

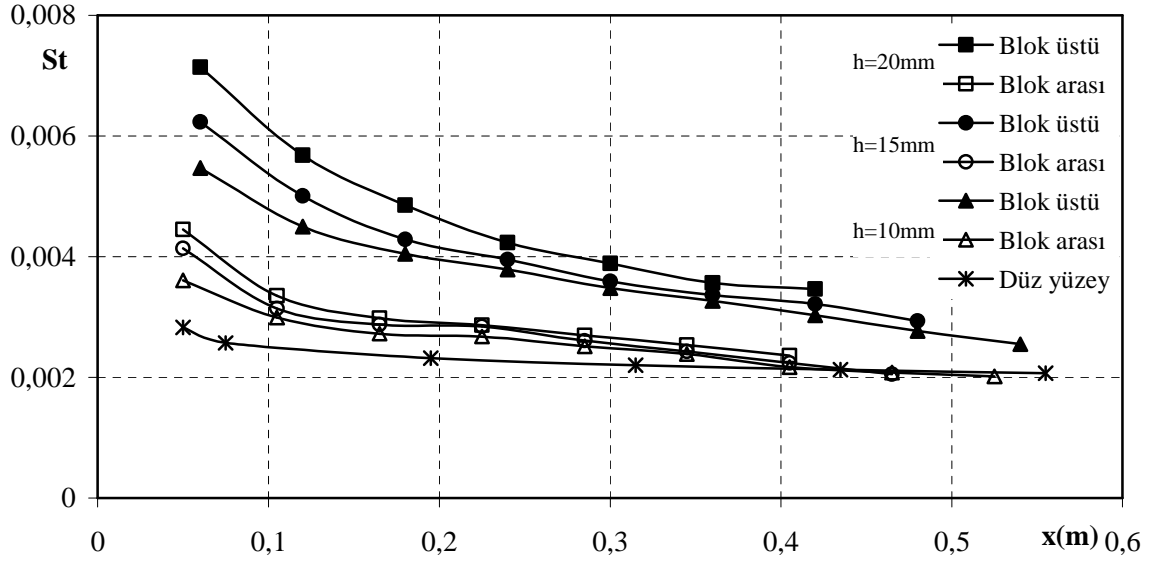
daha büyüktür. $h=15$ mm için ilk ve son bloğun üst köşelerindeki St değerleri düz yüzeyde aynı noktadaki St değerlerinden sırasıyla %148 ve %63 daha fazladır. İlk bloğun önündeki ve son bloğun arkasındaki ölçüm noktalarında ise St değerleri düz yüzey St değerlerinin %65 ve %14 üzerindedir. İlk bloğun üst köşesindeki St değeri, kendinden önceki ön yüzey St değerinden %37 büyükken, son bloğun üst köşesindeki bu değer kendinden sonraki değerden %41 daha büyüktür. $h=20$ mm için, ilk bloğun üst köşesindeki St değeri ön yüzeydeki değerden %34, son bloğun üst köşesindeki St değeri arka yüzeydeki değerden %61, 1. bloğun üst köşesindeki St değeri düz yüzeydeki değerden %163, 7. bloğun üst köşesindeki St değeri düz yüzeydeki değerden %91, ön yüzeydeki St değeri düz yüzeydeki değerden %77 ve arka yüzeydeki St değeri düz yüzeydeki değerden %17 daha fazladır.



Şekil 3.41. $h=10, 15$ ve 20 mm için 10 m/s giriş hızında blok üstlerinde, aralarında ve düz yüzey üzerinde St değişimi.

10 m/s giriş hızı ve $h=10, 15, 20$ mm blok yükseklikleri için St değerleri Şekil 3.41'de verilmiştir. 10 mm blok yüksekliği için, ilk ve son bloğun üst köşesindeki lokal Stanton sayısı düz yüzeydeki Stanton sayısından sırasıyla %124 ve %30 fazlayken, 15 mm blok yüksekliği için sırasıyla %156 ve %68 ve 20 mm blok yüksekliği için sırasıyla %173 ve %95 daha fazladır. Ön yüzey St değerleri ise düz yüzey değerlerinden $h=10,$

15 ve 20 mm için sırasıyla %34, %59 ve %73 daha büyükken, arka yüzey St değerleri aynı yerdeki düz yüzey değerlerinden tüm blok yükseklikleri için sırasıyla %8, %18 ve %21 daha büyüktür. 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliği için ilk blok üzerindeki Stanton sayısı ön yüzeydekini sırasıyla %59, %52 ve %49 üzerindeyken, son blok üzerindeki değer arka yüzeydekini %21, %41 ve %60 üzerindedir.

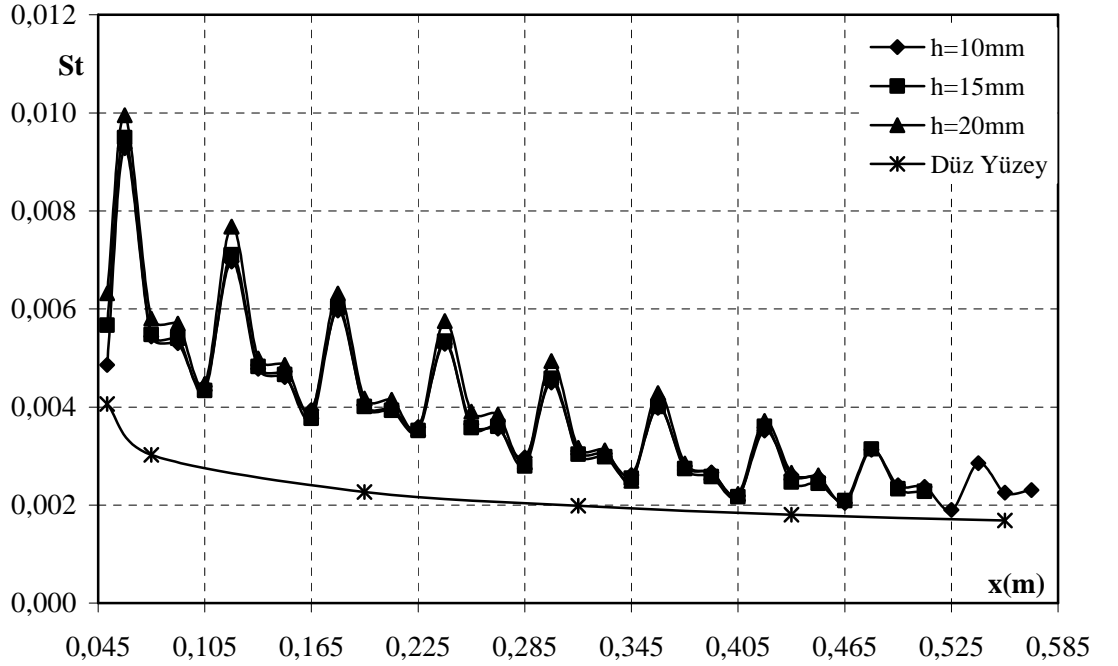


Şekil 3.42. h=10, 15 ve 20 mm için 15 m/s giriş hızında blok üstlerinde, aralarında ve düz yüzey üzerinde St değişimi.

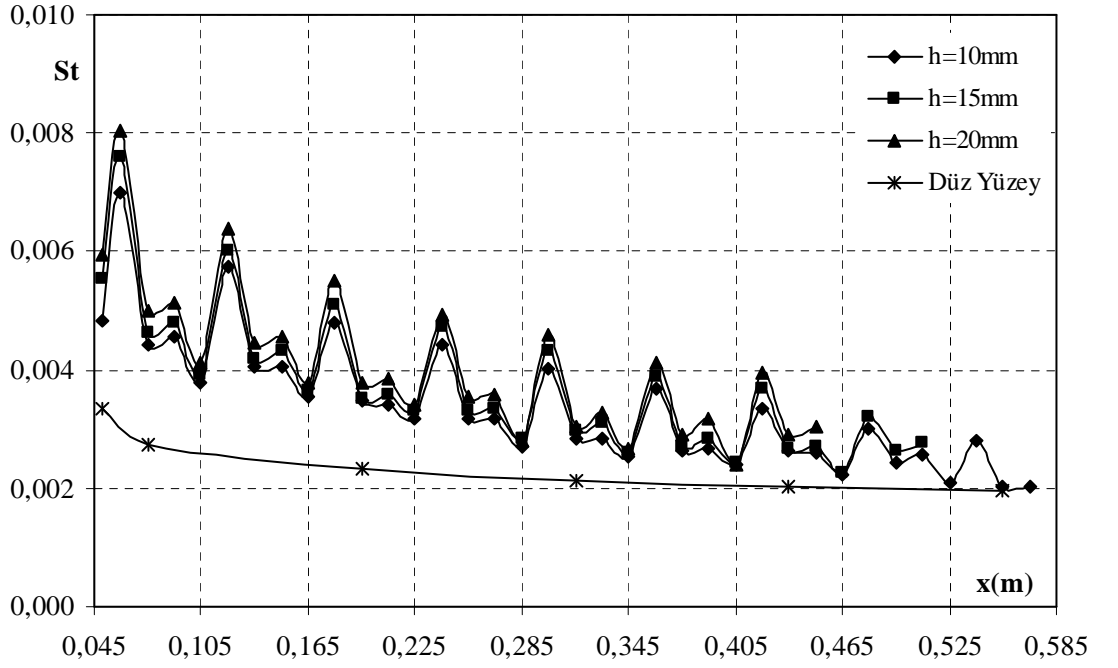
Şekil 3.42'de, 15 m/s türbülanslı giriş hızı için, blok aralarındaki, blokların başlangıç köşelerindeki ve aynı hız için düz yüzey üzerindeki Stanton sayılarının, blok yüksekliğine bağlı olarak, akış yönünde değişimi gösterilmiştir. Buna göre, 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliğinde, ilk bloğun üst yüzeyindeki Stanton sayısı ön yüzeydeki Stanton sayısından sırasıyla %51, %50 ve %60 fazla iken son bloğun üst yüzeyindeki St değerleri arka yüzeydekiden sırasıyla %27, %43 ve %47 daha fazladır. h=10 mm için, ön yüzeydeki, 1. ve 9. bloğun başlangıç köşesindeki ölçüm noktalarında ölçülen St değerleri düz yüzeydeki değerlerin sırasıyla %28, %104, %24 üzerindeyken, arka yüzeydeki değer %2 altındadır. 15 mm blok yüksekliğinde, 1. ve 8. bloğun üst yüzeyinde ve ön yüzeyde hesaplanan St değerleri düz yüzeydeki St değerlerinden sırasıyla %132, %41, %46 daha büyükken, arka yüzeydeki değer %1.8 daha küçüktür.

20 mm blok yüksekliğinde ise, 1. ve 7. bloğun üst yüzeyindeki başlangıç köşesindeki, ön yüzeydeki ve arka yüzeydeki ölçüm noktalarındaki St değerleri düz yüzeydekinin sırasıyla %165, %64, %57 ve %11 üzerindedir.

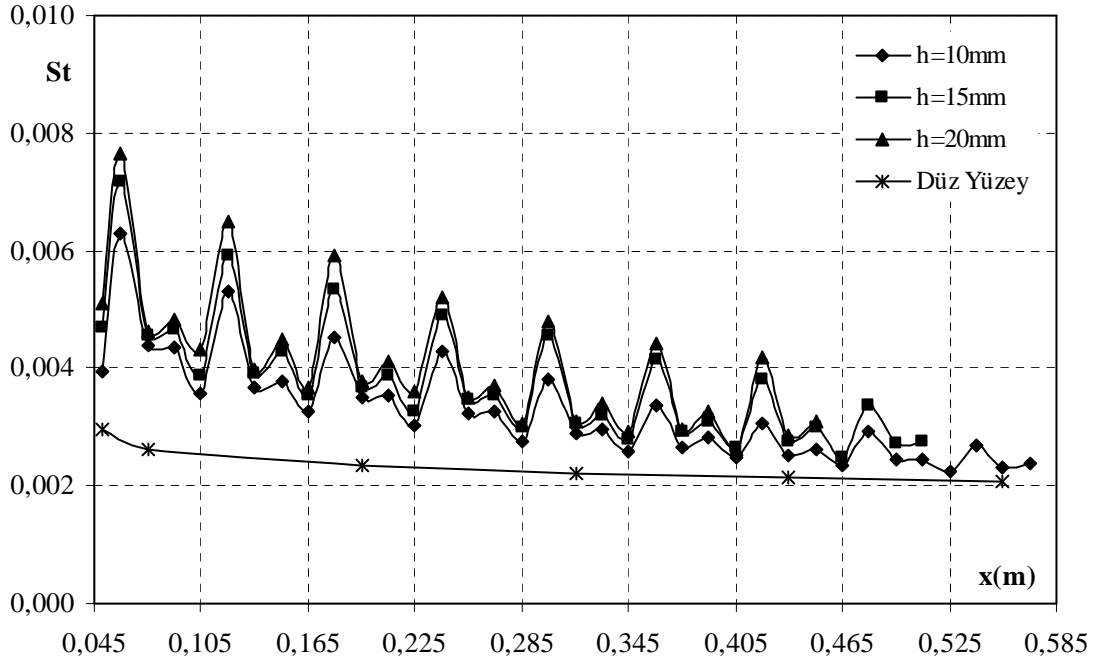
Şekil 3.39, 3.40, 3.41 ve 3.42'deki St değerlerinden anlaşılacağı gibi, blokların varlığı ısı transferini düz yüzeye göre önemli derecede arttırmıştır. Yüzeğe farklı geometrilerdeki bloklar ekleyerek akış yapısı değiştirilmiş, akışta ayrılma ve yeniden birleşme oluşturulmuştur. Yeniden birleşmeyle birlikte ayrılmış bir akışın varlığı da sürekli rejimden sapmaya, basınç salınımlarına ve titreşime sebep olurken ısı transferini arttırmıştır (Şara ve ark. 2001). Bloklarla yapay olarak oluşturulan yüzey pürüzlülüğü türbülans karışımını arttırarak, ısıl sınır tabakayı kırarak (Ryu ve ark. 2007), akış alanını rahatsız ederek (Herman ve Kang 2001) ve ısı transfer alanını arttırarak (Fu ve ark. 2001) ısı transferini arttırır. Buchlin'e (2002) göre de blokların varlığı, akıştaki ayrılma ve yeniden birleşmeden dolayı lokal duvar türbülansı yaratarak ısı transferini arttırır.



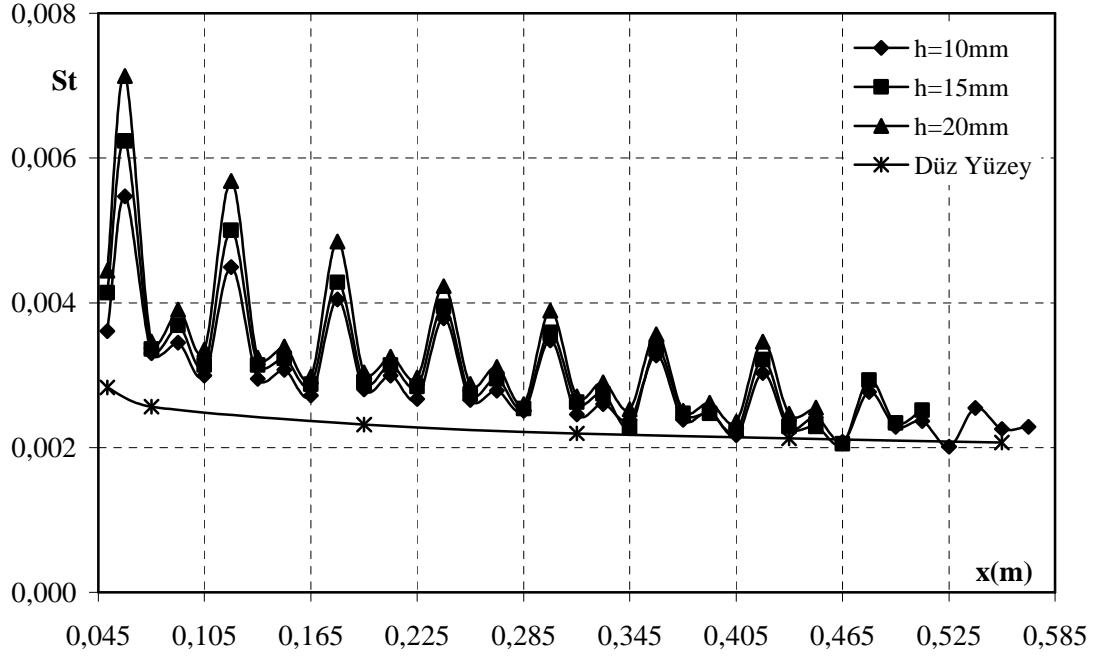
Şekil 3.43. Bloklu ve düz yüzeyler üzerinde 3 m/s giriş hızında akış yönünde St değişimi.



Şekil 3.44. Bloklı ve düz yüzeyler üzerinde 5 m/s giriş hızında akış yönünde St değışimi.



Şekil 3.45. Bloklı ve düz yüzeyler üzerinde 10 m/s giriş hızında akış yönünde St değışimi.



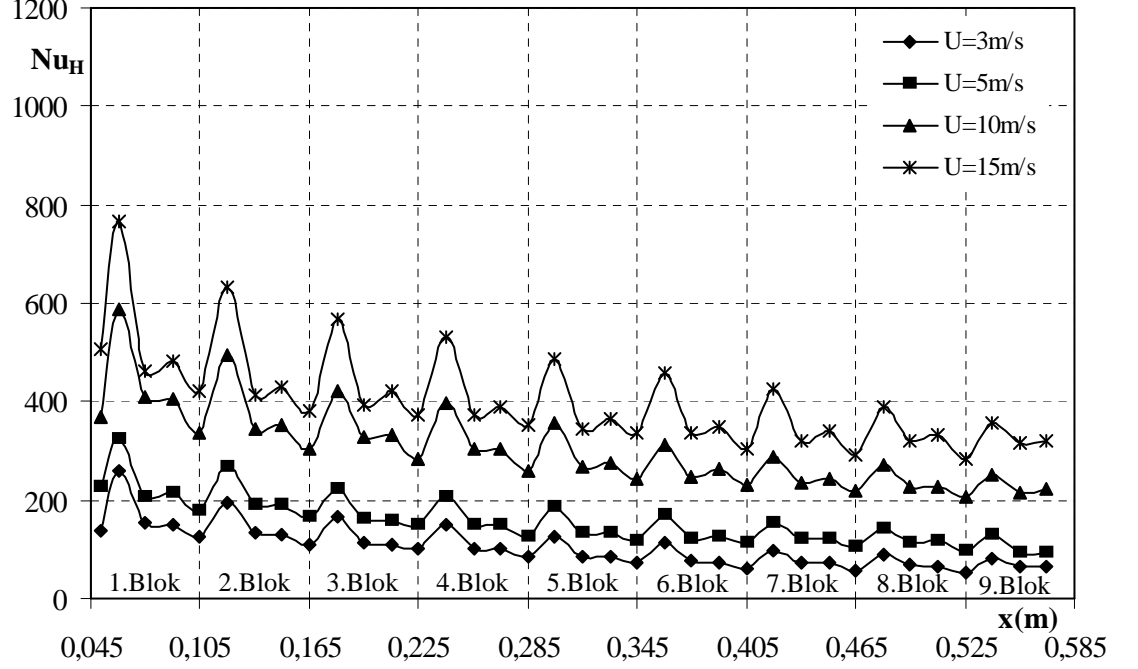
Şekil 3.46. Bloklu ve düz yüzeyler üzerinde 15 m/s giriş hızında akış yönünde St değişimi.

Şekil 3.46, 3.47, 3.48 ve 3.49'da bloklu ve düz yüzeyler üzerinde çalışılan tüm giriş hızlarında (3, 5, 10 ve 15 m/s), blok yüksekliklerine bağlı olarak, akış yönünde St değişimleri verilmiştir. Bu şekillerde görüldüğü gibi, çalışılan tüm blok yükseklikleri ve hızlarda maksimum ısı akısı her bloğun üst yüzeyinde oluşmuştur (Davalath ve Bayazıtöğlü 1987). Lokal ısı akısı bloğun üst yüzeyinde, ön, arka ve yan yüzeylerinden fazlayken, blokların arka yüzeylerindeki ısı akısı ön ve üst yüzeylerdekinden daha küçük bulunmuştur. Bir bloğun arka ve sonraki bloğun ön yüzeyi, ana akıştan izole edilmiş olduğundan dolayı daha düşük St değerlerine sahiptirler. Bu yüzeylerden olan ısı transferi boşluk akışıyla tayin edilmektedir (Young ve Vafai 1998). Blokların yan yüzeylerinden olan ısı transferi bu nedenle üst yüzeyinden olana göre çok daha küçüktür (Leung ve ark. 1997). Bu durum Tsay ve Cheng (2008) tarafından da boşluklarda ve son bloğun arkasında oluşan yeniden dolaşım hücrelerinin blokların arka yüzeylerine çok yakın olmasıyla açıklanmıştır. Tüm blokların üst yüzeylerinde akış yönünde St azalmış (Young ve Vafai 1998), bloğun ön yüzünde akışa dik yönde yukarı çıkıldıkça artmış ve bloğun arka yüzünde de akışa dik yönde aşağı inildikçe St azalmıştır. Bloğun arka

yüzeyinde aşağı doğru inildikçe azalan St, ön ve üsttekinden daha küçüktür. Bunun nedeni Ortiz ve ark. (2008) tarafından, bloktan sonra akışkanın hapsolarak yeniden dolaşımı oluşturmasıyla açıklanmıştır. Chen ve Wang (1996) tarafından yapılan bir çalışmada da maksimum ortalama ısı transfer oranı üst yüzeyde olurken, onu ön ve arka yüzey izleyerek bu tez çalışmasıyla uyum göstermektedir. St sayısı blokların her yüzeyinde ya monoton olarak artmış ya da azalmıştır. Her bloğun ön ve arka köşelerinde hızlanma ve bu köşelere çarpma nedeniyle Stanton sayıları buralarda küçük, büyük uçlar yapmıştır. Bu durum Chen ve Wang (1998) tarafından yapılan çalışmayla da doğrulanmaktadır. Tüm bloklu yüzeylerde, maksimum ısı transferi ilk bloğun üst başlangıç köşesinde oluşur. Bunun nedeni kesit daralması ve akış çarpmasından dolayı burada hızın maksimum olmasıdır (Wu ve Perng 1999). Bloklar boyunca elde edilen lokal St dağılımı uniform değildir. Maksimum St ilk blokta oluşmuş ve bu değer bundan sonraki bloklarda düşmüştür. St sayısının bu dağılımı Tsia ve Hwang (1998) ve Wu ve Perng (1999) tarafından yapılan çalışmalarla da paralellik göstermektedir. Böylece en yüksek ısı transferi ilk blokta elde edilirken, 2. bloktan sonra ısı transferi düşmeye başlar. Ayrıca St sayıları en büyük değişimi ilk iki blokta gösterirken, son bloklar arasında daha küçük bir değişim göstermiştir (Young ve Vafai 1998).

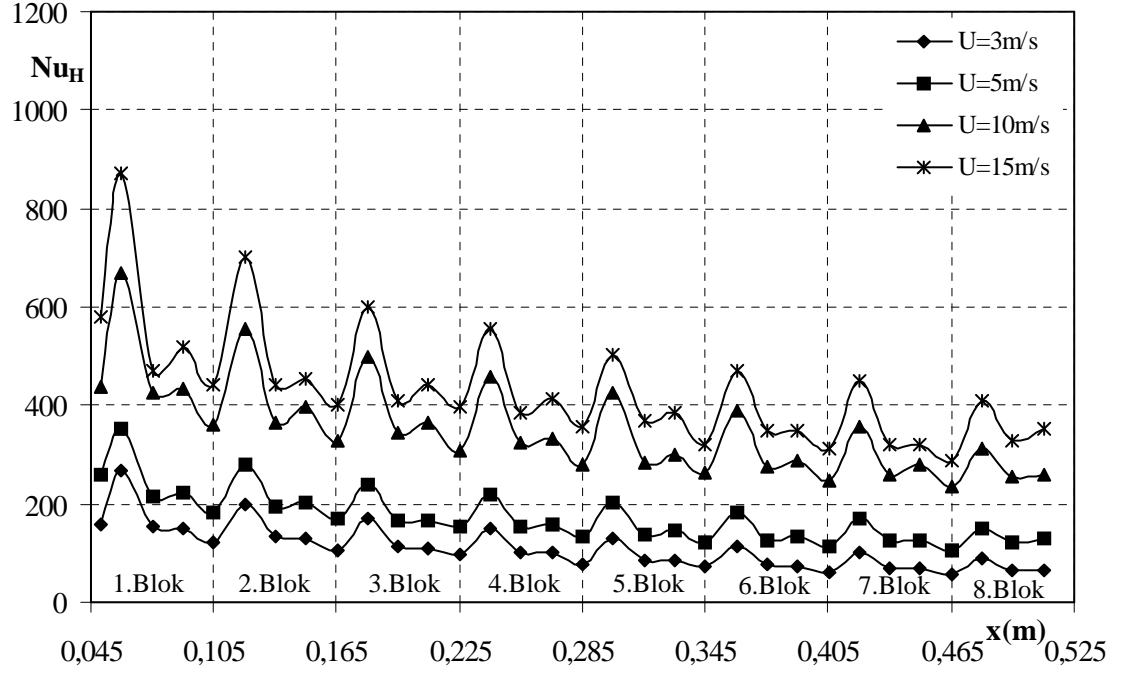
$h=10, 15$ ve 20 mm blok yükseklikleri için, ortalama St sayıları düz yüzey ortalama St değerleriyle karşılaştırıldığında, 3 m/s laminar giriş hızı için sırasıyla %82, %95 ve %113, 5 m/s için %53, %71, %84, 10 m/s için %44, %66 ve %78 ve 15 m/s türbülanslı giriş hızı için %27, %38, %50 daha fazla hesaplanmıştır. Yani çalışılan tüm hızlarda, giriş hızı ve Reynolds sayısı sabitken, blok yüksekliğinin artması St sayısını arttırmıştır (Tsay ve Cheng 2008). Blok yüksekliğinin artması türbülansı artırırken, artan bu türbülans taşınım tabakasına nüfus eder ve bu tabakayı rahatsız ederek ısı transferini artırır (Mohammed 2006). Bloktan önce, sonra ve blok üstünde yeniden dolaşan akışkanın gücü, blok yüksekliği arttıkça artmakta ve böylece bloğun St sayısı artmaktadır (Young ve Vafai 1998). Ayrıca blok yüksekliği arttıkça akış daha çok rahatsız edilerek St büyümektedir (Ryu ve ark. 2007). Blok yüksekliği azaldıkça, aynı Reynolds sayısında daha düşük hava hızı elde edilir ve böylece ısı transferi düşer (Leung ve ark. 1997). Chen ve Wang (1996) yaptığı çalışmada, $w/h \geq 2$ için, bu oran azaldıkça, Yuan (2000) da yaptığı çalışmada, P blok genişliği ile bloklar arasındaki

mesafenin toplamı olmak üzere, $P/h > 2$ için, h/H oranı arttıkça ısı transferinin arttığını bildirerek bu çalışmada elde edilen sonuçlarla benzer sonuçlar elde etmişlerdir.



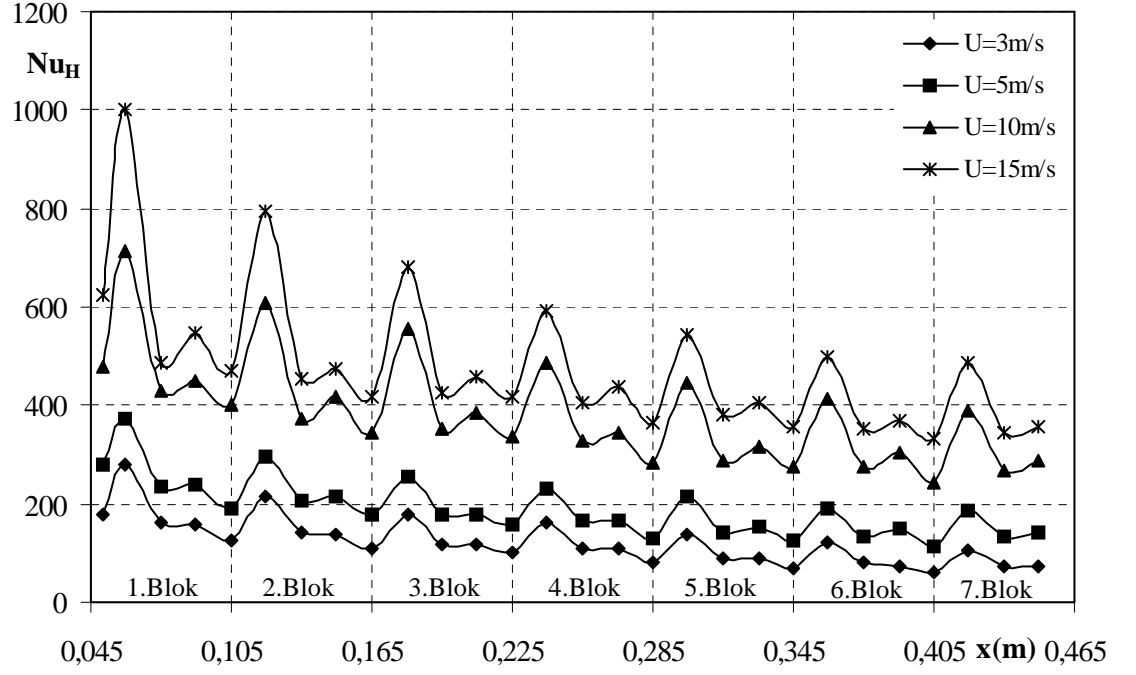
Şekil 3.47. 10 mm blok yüksekliğine sahip yüzey üzerinde akışta, 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızlarında akış yönünde Nu_H değişimi.

10 mm blok yüksekliğine sahip yüzey üzerinde akışta, 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızlarında akış yönünde Nu_H değişimi Şekil 3.47'de verilmiştir. İlk bloktan önceki ön yüzeydeki, ilk ölçüm noktasında elde edilen lokal Nu sayısı, 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızları için sırasıyla 136, 225, 369 ve 506 olarak hesaplanmıştır. Bloklar üzerinde kanal yüksekliğiyle hesaplanan ortalama Nu değerleri, 3 m/s giriş hızında, ilk bloktan son bloğa doğru sırasıyla 187, 153, 130, 116, 99, 88, 81, 74, 69 değerlerini alırken, 5 m/s hızda aynı değerler 248, 216, 182, 168, 151, 140, 133, 125, 107, 10 m/s hız için bu değerler 468, 398, 361, 335, 301, 275, 256, 243, 230 ve 15 m/s hız için ise bloklar üzerindeki ortalama Nu değerleri 571, 492, 460, 431, 399, 381, 361, 347, 332 olarak ölçülmüştür. 3 m/s giriş hızındaki akışta, bloklar arasındaki boşluk merkezlerindeki lokal Nu sayıları, ilk iki blok arasındaki 1. boşluktan son iki blok arasındaki 8. boşluğa doğru 123'den 53'e düşerken, bu değerler 5, 10 ve 15 m/s giriş hızları için sırasıyla 176'dan 98'e, 335'den 208'e ve 419'dan 282'ye düşmüştür.



Şekil 3.48. 15 mm blok yüksekliğine sahip yüzey üzerinde akışta, 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızlarında akış yönünde Nu_H değişimi.

$h=15$ mm için, ön yüzey, blok araları ve üstlerindeki yüzeylerin tamamında tespit edilen ölçüm noktalarındaki lokal Nu sayıları, giriş hızının etkisinde, Şekil 3.48'de gösterilmiştir. 1. blok üst yüzeyindeki ortalama Nu sayısı, 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızı için sırasıyla, 190, 265, 511, 621 olarak elde edilirken, bu değerler 2. blokta sırasıyla 155, 226, 439, 532, 3. blokta 131, 189, 402, 483, 4. blokta 117, 177, 371, 451, 5. blokta 99, 162, 337, 419, 6. blokta 87, 147, 317, 388, 7. blokta 79, 141, 298, 365 ve 8. blokta 72, 134, 276, 364 olarak hesaplanmıştır. 3 m/s giriş hızı için ilk ölçüm noktasındaki lokal Nu sayısı 159 olarak ölçülürken, 1. boşluktan 7. boşluğa doğru bu değer 121 ile 58 arasında değerler almaktadır. 5, 10 ve 15 m/s giriş hızları için ise, ilk bloktan önceki, ilk ölçüm noktasındaki lokal Nu sayıları sırasıyla 258, 438 ve 580 değerlerini alırken, 1. boşluktan 7. boşluğa doğru bu değerler sırasıyla 182 ile 106, 361 ile 233 ve 440 ile 287 arasında hesaplanmıştır.

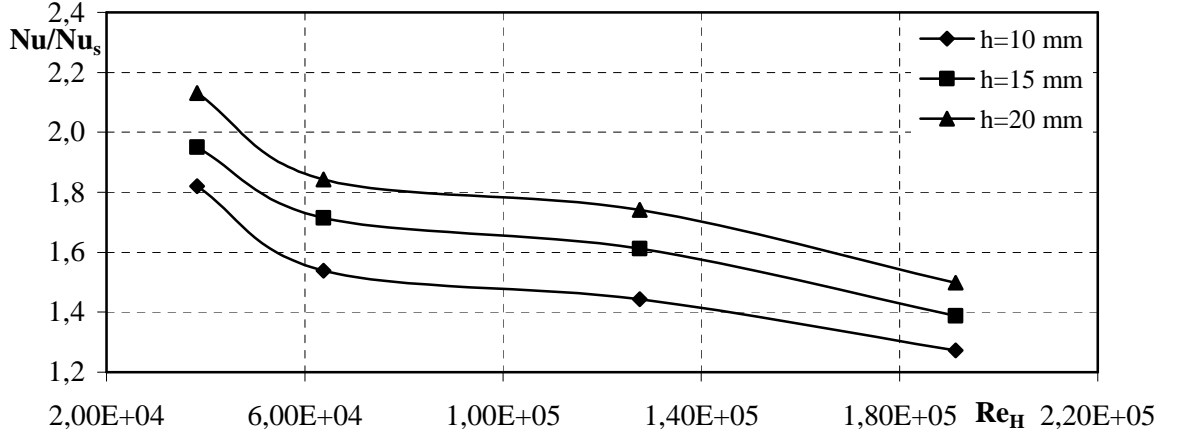


Şekil 3.49. 20 mm blok yüksekliğine sahip yüzey üzerinde akışta, 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızlarında akış yönünde Nu_H değişimi.

Şekil 3.49'da 20 mm blok yüksekliğine sahip yüzey üzerinde akışta giriş hızlarının Nu sayıları üzerine etkisi verilmiştir. Buna göre, 3 ve 5 m/s giriş hızlarında ilk ölçüm noktalarında lokal Nu sayısı sırasıyla 117 ve 278 olarak hesaplanırken, bloklar arasındaki ilk boşluktan son boşluğa doğru bu değerler sırasıyla 125-62 ve 192-112 arasında bulunmuş ve blok üstlerindeki ortalama Nu sayıları ise ilk bloktan son bloğa doğru sırasıyla 201, 164, 137, 126, 105, 92, 84 ve 283, 240, 205, 187, 170, 159, 154 olarak elde edilmiştir. 10 ve 15 m/s giriş hızlarında blok üst yüzeylerindeki ortalama Nu değerleri, 1. bloktan 7. bloğa doğru sırasıyla 532,466, 430, 387, 351, 332, 315 ve 678, 576, 521, 478, 444, 406, 397 olarak hesaplanmıştır. Aynı giriş hızlarında ilk bloktan önceki ön yüzeyde lokal Nu sayısı sırasıyla 477 ve 624 iken, 1. boşluk yüzeyinden 6. boşluk yüzeyine doğru bu değerler sırasıyla 402-243 ve 469-330 arasında değişmiştir.

Şekil 3.47, 3.48 ve 3.49'dan elde edilen sonuçlara göre, 10 mm blok yüksekliğine sahip yüzeylerde ortalama Nu sayısı, 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızı için sırasıyla 101, 154, 297, 389 iken $h=15$ mm için bu değerler sırasıyla 109, 171, 343, 424 ve $h=20$ mm için ise aynı değerler yine sırasıyla 119, 185, 367, 458 olarak

hesaplanmıştır. $h=10$ mm sabit blok yüksekliğinde, 5 m/s giriş hızında ortalama Nu sayısı 3 m/s giriş hızına göre %52, 10 m/s hızda aynı değer 5 m/s hıza göre %93 ve 15 m/s'de 10 m/s hıza göre %31 artmıştır. $h=15$ ve 20 mm için ise, yine bir önceki düşük hıza göre, ortalama Nu sayısındaki bu artışlar sırasıyla %58, %100, %24 ve %56, %99, %25 olarak hesaplanmıştır. Tüm blok yükseklikleri ve giriş hızlarında, ilk bloğun üst başlangıç köşesinde hız çok yüksek olduğundan taşınım ile ısı transferinin çok büyük olduğu tespit edilmiş ve maksimum Nu sayısı burada elde edilmiştir (Wu ve Perng 1999, Tsay ve Cheng 2008, Chen ve Wang 1996). Bu durum Davalath ve Bayazıtoglu (1987) tarafından, akışkanın blokların etrafındaki köşeyi dönerken çok dik bir hız gradyanı oluşturarak taşınım ile ısı transferini artırmasıyla açıklanmıştır. Minimum Nu değeri ise son iki blok arasındaki çukurda oluşmuştur (Wu ve Perng 1999). Blok yüksekliği sabit iken, giriş hızı ve bu giriş hızı ile kanal yüksekliği kullanılarak elde edilen Reynolds sayısının artmasıyla ortalama Nusselt sayıları artmıştır (Davalath ve Bayazıtoglu 1987, Wu ve Perng 1999, Kim ve Anand 1994, Young ve Vafai 1998, Chen ve Wang 1996 ve Yuan 2000). Bu artış, Mohammed (2006) tarafından blokların üst yüzeyleri ve aralarındaki ısıl sınır tabakada türbülans derecesinin artmasıyla açıklanırken, Leung ve ark. (1997) ve Young ve Vafai (1998) tarafından Re sayısı arttıkça daha büyük enerjili vorteks elde edilmesiyle açıklanmıştır. Nusselt sayıları Reynolds sayısının artmasıyla artarken akış yönünde ilerledikçe azalmıştır (Doğan ve ark. 2006). Isı transferi üzerinde Reynolds sayısı blok yüksekliğine göre daha etkin bir parametredir. Bu sayı arttıkça debi arttığı, sınır tabaka kalınlığı azaldığı ve türbülans arttığı için ısı transferi artmıştır. Bilen ve Yapıcı (2001), Nusselt sayısındaki artışı ısı transfer alanının artmasıyla, türbülanstaki artışı ise blokların varlığıyla açıklamışlardır.



Şekil 3.50. h=10, 15 ve 20 mm için Nu/Nu_s 'nin Re_H ile değişimi.

Şekil 3.50'de tüm blok yükseklikleri için, blokları yüzeylerde elde edilen ortalama Nu sayısının, aynı giriş hızındaki düz yüzey ortalama Nu sayısına (Nu_s) oranının kanal yüksekliğiyle elde edilen Re sayısına bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. 10 mm blok yüksekliğine sahip yüzey üzerinden akışta Nu/Nu_s oranı $Re_H=3.82 \times 10^4$, 6.38×10^4 , 1.28×10^5 ve 1.91×10^5 için sırasıyla 1.82, 1.54, 1.44 ve 1.27 iken, h=15 ve 20 mm için bu oran 1.95, 1.71, 1.61, 1.39 ve 2.13, 1.84, 1.74, 1.49 olarak elde edilmiştir. Tüm blok yükseklikleri ve Reynolds sayılarında blokları yüzeyler üzerindeki ısı transferi düz yüzeydekenden büyük olarak tespit edilmiştir (Yuan 2000, Aung 1983). Periyodik bloklara sahip kanal içindeki akış alanı, oluşan vortekslardan dolayı oluşan ölü bölgeler ve akış ayrılmasından dolayı çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu yüzeylerde ısı transferinin artması geometri, yeniden birleşme uzunluğu, türbülans yoğunluğu ve Reynolds sayısına bağlıyken, ısı transfer artışı taşınım ile ısı transferi analiziyle yapılmıştır (Kim ve Kim 2002). Braun ve ark.'na (1999) göre geometri ve Reynolds sayısına bağlı olan bu vortekslar kayarak ısı transferini arttırmışlardır. Blokların varlığının ısı transferini düz yüzeye göre arttırmasının nedeni Lee ve Moneim (2001) tarafından laminer alt tabakanın engellenmesi ve bloklarla ısı transfer yüzey alanının arttırılmasına bağlanırken, Korichi ve Oufar (2006) bu artışı blokların akışın karışmasını arttırması ve ısıl sınır tabakanın gelişimine engel olmasına bağlanmıştır. Tsai ve ark.'na (1999) göre ise ısı transferindeki artışın sebebi, bloklardan önceki ve sonraki bölgelerde akış ayrılmasının yüzey boyunca ikincil bir hareket oluşturması ve böylece türbülansı önemli derecede arttırmasıdır. Sparrow ve Tao (1983), bu tez çalışmasıyla paralellik

göstererek, $\frac{h}{H/2}$ oranına bağlı olarak Nu_{ort}/Nu_s oranının birden büyük olduğuna, yani ısı transferinde artma olduğuna dikkat çekmektedirler. Şara ve ark. (2001) tarafından yapılan çalışmada bloklar kullanılarak ısı transferi %100 artırılırken, Yuan ve Tao (1998) tarafından yapılan başka bir çalışmada blokların varlığı Nu sayısını düz yüzeyin Nu sayısından 4 kat arttırmıştır. Sparrow ve Tao (1983) ise bloklu yüzeyde elde edilen ortalama ısı taşınım katsayısının düz yüzeyinkinden 3 kat fazla olduğunu bildirmişlerdir. Şekil 3.50'den de görüleceği gibi, blok yüksekliği sabit iken, Re_H arttıkça Nu_{ort}/Nu_s değeri azalmış ve Re_H sabit iken ise blok yüksekliği arttıkça Nu_{ort}/Nu_s değeri artmıştır. Ryu ve ark. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, Re sayısı arttıkça Nu_{ort}/Nu_s oranı 2'den 1.3'e düşerken, h değeri arttıkça bu oran artarak bu tez çalışmayla uyum göstermiştir. Şara ve ark. (2001) ve Tsia ve Hwang (1998) da Reynolds sayısının artmasıyla Nu_{ort}/Nu_s oranının sırasıyla 2'den 1.8'e ve 3.1'den 2.5'a düştüğünü bildirmişlerdir. Yuan (2000) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise h sabit iken, Re arttıkça Nu_{ort}/Nu_s oranı 1.5 değerinden 1.1 değerine düşerken, Re sabitken h arttıkça bu oran artarak bu çalışmayla örtüşmektedir. Bilen ve ark. (2001) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise $Re_{dh}=3 \times 10^4$ değerine kadar Re arttıkça Nu_{ort}/Nu_s oranı artmakta, bu değerden sonra ise Re sayısının artmasıyla azalmaktadır. Bu çalışmada elde edilen Re sayısı aralığı $Re_{dh}=3 \times 10^4$ değerinden büyük olduğundan elde edilen sonuçlar Bilen ve ark. (2001) sonuçlarıyla da uyum göstermektedir.

SONUÇ

Bu tez çalışmasında düz ve bloklü yüzeyler üzerinde akışta hız ve ısı transferi karakteristikleri incelenmiştir. Havanın giriş hız değerleri 3, 5, 10 ve 15 m/s alınarak, hem düz yüzey hem de bloklü yüzeyler üzerinde laminer, geçiş ve türbülanslı akış yapısı elde edilmiştir. Ayrıca bloklü yüzeylerin blok yükseklikleri 10, 15 ve 20 mm alınarak, blok yüksekliğinin akış ve ısı transferine etkisi de deneysel olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar düz yüzey sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Düz yüzey üzerinde akışta, çalışılan tüm giriş hızları için, hız, sıcaklık ve statik basınç ölçümleri bu yüzey üzerinde belirlenen 7 ölçüm noktasında yapılırken, laminer akıştan türbülanslı akışa geçiş türbülans yoğunluğuna da bağlı olduğundan, 10 ve 15 m/s giriş hızlarındaki akışta türbülans yoğunluğu ölçümleri de 3 ölçüm noktasında yapılmıştır. Reynolds sayıları, ölçüm noktalarının test bölümünün girişine olan uzaklıklarının üzerine ısıtılmamış izafi başlangıç uzunluğunun eklenmesi ile elde edilen izafi mesafeler ve giriş hızlarıyla hesaplanmıştır. Düz yüzey üzerinde laminer akıştan türbülanslı akışa geçiş Re_x 'nin yaklaşık 10^6 değerinde olmasına rağmen, düz yüzey üzerinde incelenen koşullarda akış tipini belirlemek için, deneylerden elde edilen hız profilleri ve bu profillerden elde edilen sınır tabaka parametrelerine (δ , δ^* , θ , H) de bakılmıştır. Sınır tabakanın yapısını belirlemek için Re_x ve sınır tabaka parametrelerinin yanı sıra, Re_θ ve geçiş faktörü (γ) de incelenmiştir. Isı transfer karakteristiklerinin incelenmesiyle elde edilen sonuçlar Stanton sayısı ile ifade edilmiş ve her ölçüm noktasındaki deneysel Stanton sayısı, laminer akış için analitik ve türbülanslı akış için yaklaşık yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Çalışılan tüm hızlarda basınç gradyanında bir değişim olmaması nedeniyle, ölçümler yaklaşık sıfır basınç gradyanında alınmıştır ve sınır tabaka dışındaki serbest akış hızı giriş hızına eşittir.

Düz yüzey üzerinde 3 m/s giriş hızında, Reynolds sayısı 3.83×10^5 - 5.06×10^5 arasında değerler almış ve belirlenen ölçüm noktalarında elde edilen hız profilleri, laminer akış çözümünde kullanılan Blasius yaklaşımıyla elde edilen hız profilleriyle uyum göstermiştir. İlk ölçüm noktasından son ölçüm noktasına doğru sınır tabaka kalınlığı sırasıyla 17, 17, 18, 19, 21, 23 ve 23 mm olarak elde edilirken, akış yönünde, H ve Re_θ değerleri sırasıyla 2.58-2.45 ve 410-537 arasında hesaplanmıştır. Hesaplanan bu

değerler literatürde verilen kritik değerlerle karşılaştırıldığında, akışın ilk ölçüm noktalarında hız profilleriyle uyum göstererek laminer, son ölçüm noktalarında ise geçiş karakteri gösterdiği bulunmuştur. Elde edilen deneysel St değerlerinin tamamı, türbülanslı akış için yaklaşık yöntem değerlerinin altındayken, ilk 3 ölçüm noktasında bu değerler laminer akış için analitik yöntem değerleriyle uyum gösterirken, devam eden ölçüm noktalarındaki değerler laminer analitik değerlerden sapsmış ve son ölçüm noktasındaki deneysel St değeri laminer analitik değerin %15 üstünde, türbülanslı yaklaşımın ise %45 altında elde edilmiştir. Bu sonuçlar sınır tabaka parametreleri ile elde edilen sonuçları doğrulamaktayken, biçim faktörü ile elde edilen γ de 0.015-0.081 arasında değerler olarak laminer akışı işaret etmektedir.

5 m/s giriş hızı için ($Re_x=8.45 \times 10^5 - 1.05 \times 10^6$), düz yüzey üzerinde, akış yönüne dik yönde ilk ölçüm noktasında ölçülen hızlar, Blasius yaklaşımı ile elde edilen laminer hız profillerinden ortalama %48 aşağıda, 1/7 güç kanunu ile elde edilen türbülanslı hız profillerinden ise ortalama %28 daha yukarıdadır. Son ölçüm noktasında ise laminer hız profillerinden ortalama %67 aşağıda, türbülanslı hız profillerinden ise ortalama %26 daha yukarıdadır. İlk ölçüm noktasında sınır tabaka kalınlığı 16 mm olarak ölçülürken, akış yönünde devam eden diğer ölçüm noktalarında sırasıyla 17, 18, 18, 19, 20 ve 21 mm olarak tespit edilmiştir. Akış yönünde hesaplanan H değerleri 2.00-1.94 arasında değişirken, aynı hızda ve ölçüm noktalarında Re_θ 610-845 aralığında değişmektedir. Aynı hızda yapılan deneyler sonucunda bulunan St değerleri, ilk ölçüm noktasında laminer akış için analitik yöntem değerinin %12 üstünde, türbülanslı akış yaklaşık yöntem değerinin ise %10 altındadır. Son ölçüm noktasında ise bu değer laminer analitik değerin %87 üzerinde, türbülanslı yaklaşımın %25 altındadır. 5 m/s giriş hızındaki hız profilleri, bu profillerden elde edilen sınır tabaka parametreleri, geçiş faktörü (0.46-0.51) ve ısı transfer ölçüm sonuçları, tüm ölçüm noktalarında akışın geçiş bölgesinde olduğunu ve akış yönünde türbülanslı akışa yaklaştığını gösterir.

Düz yüzey üzerinde akışta, 10 m/s giriş hızında ($Re_x=2.37 \times 10^6 - 2.78 \times 10^6$), ilk ölçüm noktasında kalınlığı 15 mm olan sınır tabaka gelişerek 7. ölçüm noktasına kadar sırasıyla 16, 17, 18, 18, 19, 20 mm olarak kalınlaşır. Bu noktalarda elde edilen hız profilleri, 1/7 güç kanunuyla elde edilen türbülanslı hız profillerinden ilk ölçüm noktasında ortalama %23, son ölçüm noktasında ise %21 daha yukarıdadır. Akış

yönünde biçim faktörü 1.54-1.48 aralığında değişirken, Re_{θ} 1022-1380 aralığında değişmektedir. Maksimum türbülans yoğunluğu yüzeye en yakın yerde %8.07 ve minimum Tu ise sınır tabakanın dışında %1.72 olarak bulunmuştur. Hesaplanan tüm St değerleri, laminer akış için analitik değerden çok yukarıda ve ilk ölçüm noktasında hesaplanan St laminer akış değerinin %47 üstünde, türbülanslı akış değerinin ise %7 altında iken, son ölçüm noktasında bu değer türbülanslı yaklaşımın %6 altındadır. 10 m/s giriş hızında elde edilen hız profilleri, sınır tabaka parametreleri ve St değerlerine göre, akış türbülanslı değerlere yakın ancak laminer ve türbülanslı değerlerin arasında bulunarak geçiş karakteri göstermekte ve akış yönünde ilerledikçe türbülanslıya yaklaşmaktadır. Biçim faktörüyle hesaplanan geçiş faktörünün 0.81-0.86 arasında değerler alması da geçiş bölgesinin %80'inin tamamlandığını göstermektedir.

15 m/s giriş hızında ve $Re_x=3.72 \times 10^6-4.34 \times 10^6$ değerinde yapılan düz yüzey deneylerinde, akış yönünde ilk ölçüm noktası ve takip eden diğer noktalardaki δ sırasıyla 13, 14, 16, 17, 18, 19, 19 mm olarak ölçülmüştür. Tüm ölçüm noktalarında bulunan deneysel hız profilleri 1/7 güç kanunuyla elde edilen türbülanslı hız profilleriyle uyum gösterirken, akış yönündeki H değerleri 1.39-1.31 aralığında, Re_{θ} değerleri ise 1281-2028 aralığında değişmektedir. Ayrıca türbülans yoğunluğunun maksimum değeri %5.84 ve minimum değeri %0.7 olarak tespit edilmiştir. İlk ve son ölçüm noktalarında hesaplanan Stanton sayısı değerlerinin türbülanslı akış için yaklaşık yöntem değerinden sapması ise ortalama %1'dir. Tüm ölçüm noktalarında akışa dik yönde yapılan hız ölçümleriyle elde edilen hız profillerinden, bu hız profillerinden hesaplanan H ve Re_{θ} bulgularının literatürdeki değerlerle karşılaştırılmasından ve bu ölçüm noktalarında elde edilen St sayılarının türbülanslı akış için yaklaşık yöntem değerleriyle karşılaştırılmasından elde edilen sonuç, 15 m/s giriş hızında akışın türbülanslı olduğudur. H ile hesaplanan geçiş faktörünün 0.93-0.99 arasında değerler alması da türbülanslı akışı doğrulamaktadır.

Düz yüzey boyunca akış yönünde ilerledikçe sınır tabaka gelişmiş ve buna bağlı olarak sınır tabaka kalınlığı artmıştır. Giriş hızı arttıkça, akışın türbülanslı yapısı artmış ve böylece sınır tabaka kalınlığı azalmıştır. Tüm hız değerlerinde, giriş hızı sabitken akış yönünde ilerledikçe, akışın türbülanslı yapıya yaklaştığı, geçiş faktörünün artarak 1'e yaklaştığı, H 'ın azaldığı, momentum kalınlığı ve buna bağlı olarak Re_{θ} 'nin ise

arttığı tespit edilmiştir. Giriş hızının tüm değerlerinde, akış yönünde ilerledikçe sıcaklık farkının azalmasıyla Stanton sayıları azalmaktadır ve elde edilen hız profilleri, sınır tabaka parametreleri, geçiş faktörü ve ısı transfer sonuçları uyum göstermektedir. Stanton sayılarıyla elde edilen geçiş faktörüyle, biçim faktörüyle elde edilen geçiş faktörü arasındaki maksimum sapma %11 olup, kabul edilebilir hata sınırları içerisindeydir. Yüksek türbülans yoğunluğu geçişi hızlandırmaktadır, yani geçiş daha küçük Reynolds sayılarında başlamaktadır. 10 ve 15 m/s sabit giriş hızı değerlerinde, akış yönünde ilerledikçe, aynı ölçüm noktasında ise hız arttıkça türbülans yoğunluğunun azaldığı tespit edilmiştir. Türbülans yoğunluğu profillerinden elde edilen sınır tabaka kalınlıkları hız profillerinden elde edilenleri doğrulamaktadır.

Bloklu yüzeyler üzerinde akışta, ilk bloktan önceki ön yüzey, blok üstleri, blok araları ve son bloktan sonraki arka yüzeyde, belirlenen ölçüm noktalarında hız, basınç, türbülans yoğunluğu ve sıcaklık ölçümleri, 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliğine sahip bakır ve tahta yüzeyler üzerinde, her bir yüzey için 3, 5, 10 ve 15 m/s giriş hızlarında yapılarak, elde edilen sonuçlar düz yüzey üzerinde akış sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Tüm blok yükseklikleri ve giriş hızları için belirlenen bu ölçüm noktalarında hız profilleri elde edilmiş, sınır tabaka kalınlıkları ölçülmüş ve 10 ve 15 m/s giriş hızlarında türbülans yoğunluklarının değişimi incelenmiştir. Bu hız ve türbülans yoğunluğu profillerinden hareketle akıştaki ayrılma ve birleşme noktalarının yeri tespit edilmiş ve elde edilen akış örnekleri literatürde elde edilen akış örnekleriyle karşılaştırılmıştır. Tüm blok yükseklikleri ve giriş hızlarındaki yüzeyler üzerindeki akışta statik basınçta değişimler gözlenmiş ve bu statik basınç ölçümleri C_p ile ifade edilmiştir. Isı transfer karakteristiklerinin tespiti için blok yükseklikleri 20, 15 ve 10 mm olan bloklu yüzeylerde, düz yüzey ile aynı toplam yüzey alanını elde edebilmek için, sırasıyla 7, 8 ve 9 tane blok oluşturulmuştur. Sıcaklık verileri, deneysel olarak bulunan ısı taşınım katsayısı ve kanal yüksekliği ile elde edilen Nusselt sayısı ve Stanton sayısı ile ifade edilmiştir. Elde edilen sonuçların literatürde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması amacıyla, hız karakteristiklerinin tespitinde blok yükseklikleriyle elde edilen Reynolds sayısı (Re_h) kullanılırken, ısı transfer karakteristiklerinin tespitinde kanal yüksekliği ile elde edilen Reynolds sayısı (Re_H) kullanılmıştır.

3 m/s giriş hızında, bloklu yüzeyler üzerinden laminer akışta, tüm blok yüksekliklerinde ilk bloktan önceki ön yüzeyde, ilk bloğun engellemesinden dolayı, bu bloktan belirli bir mesafe önce akış çizgilerinde sapma olur ve bloğun önünde bir ayrılma kabarcığı oluşur. 10, 15 ve 20 mm blok yükseklikleri için ($Re_h=1913, 2850, 3800$), bu ayrılma noktasının ilk bloğa olan uzaklığı, sırasıyla 12, 18 ve 24 mm olarak ölçülmüş ve tüm blok yükseklikleri için bu uzunluk 1.2h olarak bulunmuştur. Buna göre, büyük blok yüksekliğinde ayrılma daha erken olmuştur. İlk bloğun ön üst köşesinde kesit daralmasından dolayı akışkanın momentumu artmış ve hız, 10, 15, 20 mm blok yükseklikleri için sırasıyla, 3.43, 3.55 ve 3.61 m/s değerlerini alarak maksimum değerlerine ulaşmıştır. Elde edilen hız profillerinde, 10 mm yüksekliğe sahip yüzeyde blokların üzerinde negatif basınç gradyanı ve dolayısıyla akış ayrılması görülmezken, 15 ve 20 mm yüksekliğe sahip yüzeylerde sadece ilk bloğun üstündeki akışta ayrılma gözlemlenmiştir. $h=10$ mm'de ayrılmanın olmaması, laminer akışta akışkanın bir boşluğu geçtikten sonra boşlukta yavaşça yayılması ve burada oluşan basıncın bloğun üst yüzeylerinde olabilecek ayrılmaları ve vorteksleri engellemesiyle açıklanabilir. Blok genişliği akışın birleşmesi için yeterli uzunlukta olduğundan, $h=15$ ve 20 mm için, blok üstünde ayrılan akış, bloğun başlangıç köşesinden itibaren sırasıyla 17 ve 23 mm sonra birleşir. Tüm blok yüksekliklerinde ayrılma kabarcığının uzunluğu 1.1h olarak sabittir ve büyük blok yüksekliklerinde akış blok üstünde daha geç birleşmiştir. Akışkan bir bloğun üst yüzeyinden geçtikten sonra bloklar arasındaki bölgeye gelerek bir sonraki bloğa çarpmış ve bu alana hapsolarak tüm bloklar arasında yavaş yeniden dolaşım akışları oluşturmuştur ve tüm yüksekliklerdeki bloklar arasındaki boşluğu tamamen dolduran ayrılma kabarcıkları gözlemlenmiştir. Bloklu yüzeylerin tamamında, blok yüksekliğinin kanal yüksekliğine oranı yeterli büyüklükte olduğundan son bloktan sonra geri basamak akışı elde edilmiş ve bu bloktan sonraki ani genişlemeden dolayı, akış içinde gelişen negatif basınç gradyanı ters akış alanlarını oluşturmuştur. Akış son bloğun köşesinden ayrılıp arka yüzeyde birleşerek yeniden dolaşım bölgesini oluşturmuştur. Bu yeniden dolaşım bölgesinin uzunluğu, $h=10, 15$ ve 20 mm için sırasıyla, 58, 88 ve 125 mm olarak ölçülmüş ve buna bağlı olarak hesaplanan X_R/h sırasıyla, 5.80, 5.87, 6.25 değerlerini alarak literatürle uyum göstermiştir. Giriş hızı sabitken, blok yüksekliği arttıkça yeniden birleşme uzunluğu artmıştır. Tüm blok yüksekliklerinde, yeniden birleşmeden sonra gelişen akışta, hız

dağılımı yavaş yavaş dengeli sınır tabakaya dönüşmüş ve bu birleşme noktasından sonra herhangi bir yerdeki sınır tabaka kalınlığı düz yüzeyde aynı yerdeki sınır tabaka kalınlığından daha büyük çıkmıştır. Tüm blok yüksekliklerinde ilk bloğun üstündeki δ blok yüksekliğine eşit olmuş ve ön yüzey ile blok üst yüzeylerinde akış boyunca artmıştır.

5 m/s giriş hızındaki akışta, maksimum hızlar, 10, 15, 20 mm blok yükseklikleri ($Re_h=3200, 4785, 6500$) için sırasıyla, 5.91, 6.41 ve 6.67 m/s değerlerini alarak ilk bloğun üst başlangıç köşesinde oluşmuştur. Tüm blok yüksekliklerinde, bu bloğun önündeki negatif hız burada bloğun varlığıyla oluşan ani daralmanın konkav köşesindeki bölgede, küçük bir ayrılma kabarcığı oluştuğunu göstermektedir. Ön yüzey boyunca elde edilen hız profillerinden ayrılma noktasının 1. bloğa olan uzaklığı, $h=10, 15$ ve 20 mm için, sırasıyla 9, 14 ve 18 mm olarak tespit edilmiş olup, tüm blok yükseklikleri için bu uzunluk $0.9h$ olarak sabittir. Bu sonuca göre, büyük blok yüksekliğinde ayrılma daha erken olmaktadır. 10 mm blok yüksekliğine sahip yüzey üzerinden akışta ilk bloğun üstünde akışta ayrılma gözlemlenmemiş, 15 ve 20 mm yüksekliklerdeki yüzeyler üzerinde akışta ise ilk bloğun üstünde ayrılan akış sırasıyla 17 ve 23 mm mesafede birleşmiş ve blok yüksekliği arttıkça birleşmenin daha geç olduğu görülmüştür. Blok yüksekliği ne olursa olsun blok üstündeki birleşme uzunluğu $1.1h$ olarak sabittir. Bir bloğun üstünden geçen akışkan direk olarak diğer bloğun ön yüzeyine çarpmış ve bu iki blok arasında bir yeniden dolaşım bölgesi oluşmuştur. Elde edilen hız profillerinden tüm boşluklarda boşluğu tamamen dolduran ayrılma kabarcıklarının olduğu görülmüş ve ilk boşluktaki ayrılma kabarcıkları bundan sonraki boşluklarda da periyodik olarak benzerlik göstermiştir. Tüm blok yüksekliklerinde son bloktan sonra geri basamak akışı elde edilmiş ve bu akışta, yeniden birleşme bölgesi boyunca oluşan negatif basınç gradyanı, hızları düşürerek profilleri değiştirmiştir. 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliği için yeniden dolaşım uzunluğu sırasıyla 60, 91 ve 127 mm ve X_R/h değerleri 6, 6.1 ve 6.35 olarak tespit edilerek literatürle uyum göstermiştir. Sabit giriş hızında, blok yüksekliği arttıkça yeniden birleşme uzunluğu artmıştır. Tüm blok yüksekliklerinde, ilk bloğun üst yüzeyindeki sınır tabaka kalınlığı blok yüksekliğine eşit ve yeniden birleşmeden sonraki herhangi bir ölçüm noktasındaki sınır tabaka kalınlığı düz yüzeyde aynı yerdeki sınır tabaka kalınlığından daha büyük bulunmuştur. Tüm blok yüksekliklerinde δ , ön yüzey, blok üst yüzeyleri ve arka yüzey

boyunca artmıştır. Yeniden birleşmeden sonraki yeniden gelişim alanında, hız dağılımı yavaş yavaş dengeli sınır tabakaya dönüşmüş ve ana akış kanal çıkışına doğru yeniden yapılanmıştır.

10 m/s giriş hızında tüm blok yüksekliklerinde, blokların varlığıyla hızlanan akışla oluşturulan negatif basınç gradyanının çok fazla artmasından dolayı, blok yanındaki akışkan gelişmemiş ve böylece ilk bloktan önce küçük bir ayrılma kabarcığı oluşmuştur. Bu ayrılma kabarcığı, $h=10, 15$ ve 20 mm için sırasıyla, ilk bloğun $8, 12$ ve 16 mm öncesinden başlamış, bloğun üst yüzeyi boyunca yayılmış ve orada yeniden birleşmiştir. Böylece ilk blokların üstünde ayrılma kabarcıkları oluşmuş ve sırasıyla bloğun başlangıcından $12, 17$ ve 23 mm sonra birleşmiştir. İlk bloktan önceki ayrılma noktasının bu bloğa olan uzaklığı, tüm blok yükseklikleri için $0.8h$ olarak sabittir ve bu değer, blok yüksekliği arttıkça ayrılmanın daha erken olduğunu göstermektedir. Blok yüksekliği ne olursa olsun blok üstündeki birleşme uzunluğu ise $1.1h$ olarak bulunmuş ve blok yüksekliği arttıkça birleşme daha geç olmuştur. Akışın ilk bloğa çarpmasından ve ani kesit daralmasından dolayı, ilk bloğun üst yüzeyinin giriş kenarında ortalama hız lokal olarak maksimuma ulaşarak, $10, 15$ ve 20 mm ($Re_h=6500, 9500, 12500$) için sırasıyla $11.70, 11.73$ ve 12.47 m/s değerini almıştır. Tüm blok yüksekliklerinde elde edilen hız profillerinde, bloklar arasındaki boşluklarda oluşan negatif ve sıfır hızlar, blok aralarında yeniden dolaşım bölgeleri olduğunu göstermektedir. Tüm blok yüksekliklerinde, son bloğun ilerisindeki akış geri basamak akışına benzer ve bu bloğun arkasında genişleme etkisinden dolayı hız azalmıştır. Yavaşlayan akışkan basınç kuvvetini yenecek kadar aksenal momentuma sahip olmadığından, tüm blok yüksekliklerinde, son bloğun arkasında bir yeniden dolaşım bölgesi oluşmuştur. $10, 15$ ve 20 mm blok yüksekliği için yeniden dolaşım uzunlukları sırasıyla $62, 94$ ve 129 mm olarak ölçülmüş ve X_R/h oranı $6.20, 6.27$ ve 6.45 olarak hesaplanmıştır. Buna göre aynı giriş hızında blok yüksekliği arttıkça yeniden birleşme uzunluğu artmıştır. Tüm blok yüksekliklerinde, ilk bloğun üst yüzeyindeki sınır tabaka kalınlığı blok yüksekliğine eşit iken, yeniden birleşmeden sonraki herhangi bir ölçüm noktasındaki sınır tabaka kalınlığı düz yüzeyde aynı yerdeki sınır tabaka kalınlığından daha büyük çıkmıştır. Yeniden birleşmeden sonra akış gelişmeye başlamış ve hız dağılımı yavaş yavaş dengeli sınır tabakaya dönüşmüştür. Bloklar, akıştaki ayrılmalar ve yeniden birleşmelerden dolayı, lokal duvar türbülansı yarattıklarından türbülans yoğunluğunu arttırmıştır. Bu nedenle

tüm yüzeyde ölçülen türbülans yoğunlukları düz yüzey türbülans yoğunluğu değerlerinden daha büyük elde edilmiştir. 10 m/s giriş hızında, kayma tabakası içindeki türbülans yoğunlukları serbest akıştakinden çok büyük olduğundan, tüm blok yüksekliklerinde, akış türbülanslıdır. Türbülans yoğunluğunun maksimum değerleri yüksek hız gradyanlarının olduğu ayrılmış akış bölgelerinde, yeniden birleşme noktalarında ve blok köşelerinde oluşmuştur. Blok üstündeki Tu değerleri, bloklardan önceki ön ve sonraki arka yüzeydeki Tu değerlerinden daha büyük iken, blok aralarındaki değerlerden daha küçüktür. Bunun nedeni boşluklarda oluşan ayrılma kabarcıklarıdır. Akış yönünde ilerledikçe türbülans yoğunlukları azalmış ve türbülans yoğunluğu profilleri düz yüzey türbülans yoğunluğu profillerine yaklaşmıştır. Ayrıca arka yüzeydeki türbülans yoğunluğu profilleri yeniden birleşme noktasından sonra dengeli hale gelmektedir.

10, 15, 20 mm blok yüksekliklerine sahip yüzeyler üzerinden 15 m/s giriş hızındaki türbülanslı akışta, ilk bloğun önünde, üstünde ve bloklar arasındaki tüm boşluklarda ayrılma oluşurken, son bloğun ilerisinde yeniden birleşme bölgeleri oluşmuştur. Blokların varlığı, akışın blok üst bölgesinde hızlanmasına ve dönmesine neden olurken, bu ana akış ilk bloğun önünde bir ayrılma bölgesi oluşturmuştur. 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliğine sahip yüzeyler üzerinden akışta, ilk bloğun önündeki ayrılma noktasının bloğa olan uzaklığı, sırasıyla 6, 9 ve 12 mm olarak elde edilmiş olup, tüm blok yükseklikleri için bu uzunluk $0.6h$ olarak sabittir. Elde edilen bu değerler, büyük blok yüksekliğinde ayrılmanın daha erken olduğunu göstermektedir. $h=10, 15$ ve 20 mm için, ilk bloğun üst başlangıç köşesinde ortalama hız sırasıyla 18.56, 19.13 ve 19.55 m/s maksimum değerini almıştır. İlk blok üstünde ayrılan akış, 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliği için sırasıyla 12, 17 ve 23 mm mesafede birleşmiştir. Bu değerlere göre, büyük blok yüksekliğinde birleşme daha geç olmuştur ve ilk blok üstündeki birleşme uzunluğunun blok yüksekliğine oranı, h ne olursa olsun, 1.1 olarak sabittir. Elde edilen hız profillerine göre, bloklar arasındaki boşluklarda oluşan ayrılma kabarcıkları tüm boşluğu sarar ve boşluklardaki akış yapılarının tamamı periyodik olarak benzerlik gösterir. Son bloktan sonraki ani genişlemeden dolayı akış ayrılır ve yeniden birleşir. Bu yeniden birleşme uzunluğu, 10, 15 ve 20 mm blok yüksekliği için sırasıyla 66, 100 ve 135 mm olarak tespit edilmiştir. Giriş hızı sabitken, blok yüksekliği arttıkça yeniden

birleşme uzunluğu artmıştır. Yeniden birleşmeden sonra akış gelişmeye başlamış ve hız dağılımı yavaş yavaş dengeli sınır tabakaya dönüşürken, yeniden birleşmeden sonraki herhangi bir ölçüm noktasındaki sınır tabaka kalınlığı düz yüzeyde aynı yerdeki sınır tabaka kalınlığından daha büyük elde edilmiştir. Bloklar, türbülans yoğunluğunu arttırdıklarından, bu yüzeylerde ölçülen türbülans yoğunluklarının tamamı düz yüzeydekenden büyük çıkmıştır. Tüm yüzey boyunca kayma tabakası içindeki türbülans yoğunluğu serbest akışinkinden çok büyük olduğundan 15 m/s giriş hızında akış türbülanslıdır. Blokların üst yüzeyleri boyunca oluşan maksimum türbülans yoğunluğunu en yüksek değeri ilk bloğun üst yüzeyindeki ayrılma noktasının yakınında oluşmuş ve akış yönünde ilerledikçe bu değer azalmıştır. İlk bloktan sonraki tüm blok üstlerinde maksimum Tu değerleri bloğun giriş köşelerinde elde edilmiştir. Blok üstündeki Tu değerleri, bloklardan önceki ön ve sonraki arka yüzeydeki Tu değerlerinden daha büyük iken, oluşan ayrılma kabarcıklarından dolayı blok aralarındaki değerlerden daha küçüktür. Türbülans yoğunluğunu maksimum değerleri, 10 m/s giriş hızında olduğu gibi, yüksek hız gradyanlarının olduğu ayrılmış akış bölgelerinde, yeniden birleşme noktalarında ve blok köşelerinde oluşmuştur. Akış yönünde ilerledikçe sınır tabaka kalınlıkları artmakta, türbülans yoğunlukları azalmakta ve türbülans yoğunluğu profilleri düz yüzey türbülans yoğunluğu profillerine yaklaşmaktadır.

10, 15 ve 20 mm blok yüksekliğine sahip yüzeyler üzerinden, $U=3, 5, 10$ ve 15 m/s giriş hızlarındaki akışta elde edilen C_p eğrilerinin hepsi benzer dağılım göstermiştir. Tüm blok yükseklikleri ve hızlarda, C_p , girişle ilk blok arasında belirli bir mesafede önce yavaşça düşmüş, daha sonra ilk bloğa kadar artmıştır. Basınç katsayısındaki bu artış, ilk bloğun önünde ayrılma olduğunu belirterek, hız karakteristiklerinin tespiti için elde edilen sonuçlarla uyumlu bulunmuştur. Tüm giriş hızları ve blok yüksekliklerinde, ilk bloğun üstünde C_p artmıştır ve bu artış blok yüzeyindeki akış ayrılmasıyla paralellik göstermektedir. İlk blok yüzeyinin sonunda ölçülen basınç katsayısı, $h=10$ ve 15 mm için toplam düşüşün yaklaşık yarısı kadar artarken, $h=20$ mm'de yarısından az artmıştır. 1. bloğun akışı engellemesinden dolayı minimum basınç katsayısı bu bloğun ön üst köşesinde oluşmuştur. Elde edilen bu minimum değerler, bu noktada elde edilen lokal maksimum hız değerlerinin oluşmasıyla da örtüşmektedir. Tüm giriş hızlarında, hız sabit, blok yüksekliği arttıkça C_p değerleri azalırken, tüm blok yüksekliklerinde, h sabit,

Reynolds sayısının artmasıyla ortalama basınç katsayısı azalmıştır. 3, 5 ve 10 m/s giriş hızlarındaki akışta 2. bloğun, 15 m/s giriş hızında ise 3. bloğun ön üst köşesinden sonra basınç katsayısındaki değişimler hata sınırları içinde olduğundan basınç katsayısı sabit kabul edilmiştir. Son bloğun arkasındaki yeniden dolaşım bölgesindeki basınç katsayılarında, literatürde yapılan çalışmalardan farklı olarak, değişim gözlemlenmemiştir.

10, 15 ve 20 mm blok yüksekliklerine sahip ısıtılmış yüzeylerden elde edilen ortalama St sayıları, düz yüzey ortalama St değerlerinden, 3 m/s laminar giriş hızı için sırasıyla %82, %95 ve %113, 5 m/s giriş hızı için sırasıyla %53, %71, %84, 10 m/s giriş hızı için sırasıyla %44, %66 ve %78 ve 15 m/s giriş hızı için sırasıyla %27, %38, %50 daha fazla hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre, blokların varlığı ısı transferini düz yüzeye göre önemli derecede arttırmıştır. Bu artışın nedeni akış yapısının değişmesi, akışta ayrılma ve yeniden birleşmenin oluşması, türbülans karışımının arttırılması, ısıl sınır tabakanın kırılarak akış alanının rahatsız edilmesiyle açıklanabilir. Yapılan bu tez çalışmasında alınan ölçüm sonuçlarına göre, giriş hızı ne olursa olsun, blok yüksekliğinin artması ısı transferini arttırmıştır. Bu artış blok yüksekliğinin artmasıyla, akışkanın gücünün ve türbülansın artırması ve ısıl sınır tabakanın daha çok rahatsız edilmesiyle açıklanabilir. Blok yüksekliği azaldıkça ise, aynı Reynolds sayısında daha düşük hava hızı elde edilmiş ve böylece ısı transferi düşmüştür. Tüm giriş hızları ve blok yüksekliklerinde, blok aralarında elde edilen St değerleri, blok üstlerinkinden daha küçük bulunmuştur. Çünkü bir bloğun arka ve sonraki bloğun ön yüzeyi, yani blok araları, ana akıştan izole edilmiştir ve bu boşluklarda oluşan yeniden dolaşım hücreleri blokların arka yüzeylerine çok yakındır. Tüm blokların üst yüzeylerinde akış yönünde St azalmış, bloğun ön yüzünde akışa dik yönde yukarı çıkıldıkça artmış ve bloğun arka yüzünde de akışa dik yönde aşağı inildikçe St azalmıştır. Her bloğun ön ve arka köşelerinde hızlanma ve bu köşelere çarpma nedeniyle Stanton sayıları buralarda küçük, büyük uçlar yapmıştır. Tüm bloklu yüzeylerde, maksimum ısı transferi ilk bloğun üst başlangıç köşesinde oluşmuştur. Bunun nedeni kesit daralması ve akış çarpmasından dolayı burada hızın maksimum olmasıdır. Böylece, bloklu yüzeyler boyunca elde edilen maksimum ısı transferi ilk blokta oluşmuş ve bundan sonraki bloklarda düşmüştür.

$h=10$ mm sabit blok yüksekliğinde, 5 m/s giriş hızında ortalama Nu sayısı 3 m/s giriş hızına göre %52, 10 m/s hızda aynı değer 5 m/s hıza göre %93 ve 15 m/s'de 10 m/s hıza göre %31 artmıştır. $h=15$ ve 20 mm için ise, yine bir önceki düşük hıza göre, ortalama Nu sayısındaki bu artışlar sırasıyla %58, %100, %24 ve %56, %99, %25 olarak hesaplanmıştır. Tüm blok yükseklikleri ve giriş hızlarında, maksimum Nu sayısı ilk bloğun üst başlangıç köşesinde elde edilirken, minimum Nu değeri son iki blok arasındaki boşlukta oluşmuştur. Tüm blok yüksekliklerinde, blok yüksekliği sabit iken, giriş hızının artması ortalama Nusselt sayılarını arttırmıştır. Bu artış, blokların üst yüzeyleri ve aralarındaki ısı sınır tabakada türbülans derecesinin artmasıyla ve Re sayısı arttıkça daha büyük enerjili vorteksler elde edilmesiyle açıklanabilir. Nusselt sayıları Reynolds sayısının artmasıyla artarken akış yönünde ilerledikçe azalmaktadır. Hız arttıkça debi arttığı, sınır tabaka kalınlığı azaldığı ve türbülans arttığı için ısı transferi artmıştır.

10 mm blok yüksekliğine sahip yüzey üzerinden akışta Nu_{ort}/Nu_s oranı $Re_H=3.82 \times 10^4$, 6.38×10^4 , 1.28×10^5 ve 1.91×10^5 için sırasıyla 1.82, 1.54, 1.44 ve 1.27 iken, $h=15$ ve 20 mm için bu oran 1.95, 1.71, 1.61, 1.39 ve 2.13, 1.84, 1.74, 1.49 olarak elde edilmiştir. Tüm Nu_{ort}/Nu_s oranları birden büyük çıkmış, yani tüm blok yükseklikleri ve Reynolds sayılarında bloklu yüzeyler üzerindeki ısı transferi düz yüzeydekenden büyüktür. Blok yüksekliği sabit iken, Re_H arttıkça Nu_{ort}/Nu_s değeri azalmış ve Re_H sabit iken ise blok yüksekliği arttıkça Nu_{ort}/Nu_s değeri artmıştır.

Bu çalışmada, bloklu ve düz yüzey üzerinde akışta, hız, basınç ve ısı transfer karakteristiklerinin tespiti için sırasıyla kızgın tel anemometresi, manometre ve K-tipi termal çiftler kullanılmıştır. Hız ölçümleri için kullanılan kızgın tel probu, akışı bozduğu ve negatif hızları okumadığı için vortekslerin tespiti mümkün olmamıştır. Basınç ölçümlerinin yapıldığı manometrede ise okuma hatasından dolayı hassasiyet az olduğundan bloklu yüzeyler üzerinde akışta, son bloktan sonraki yeniden dolaşım alanındaki basınç değişimleri gözlemlenememiştir. Sıcaklık ölçümünde kullanılan termal çiftlerin ise ölçüm aralığı büyük olduğundan hata oranları fazladır. Bu nedenle gelecekte yapılacak bir çalışmada, sıcaklık ölçümü için hata oranı daha az olan bir termal çift seçilmesi ya da termal çiftler yerine sıvı kristal veya termal kamera kullanılması, basınç ölçümü için hassas bir dijital manometre kullanılması ve hız

ölçümleri için PIV ya da Lazer Doppler anemometresi kullanılması daha uygun olacaktır. Ayrıca kullanılacak termal çiftlerin, bakır plakanın alt yüzeyine monte edilmesi hem ısı transfer ölçümleri sırasında akışın rahatsız edilmemesi hem de ölçüm hatalarını azaltmayı sağlayabilir. Son olarak, bloklu yüzeyler üzerinde akışta blok yüksekliği dışında akışa etkisi olan, bloklar arasındaki mesafe, blok genişliği, blokların yerleştirilme biçimleri gibi parametrelerin de incelenmesi çalışmayı daha kapsamlı hale getirecektir.

KAYNAKLAR

- ABE, K., T. KONDOH ve Y. NAGANO. 1994. A New Turbulence Model for Predicting Fluid Flow and Heat Transfer in Separating and Reattaching Flows-I. Flow Field Calculations. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 37: 139-151.
- ABE, K., T. KONDOH ve Y. NAGANO. 1994. A New Turbulence Model for Predicting Fluid Flow and Heat Transfer in Separating and Reattaching Flows-II. Thermal Field Calculations. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 38: 1467-1481.
- ADAMS, E.W. ve J. K. EATON. 1988. An LDA Study of the Backward-facing Step Flow, Including the Effects of Velocity Bias. *Journal of Fluids Engineering-Transactions of ASME*, 110: 275-282.
- ABU GHANNAM, B. J. VE H. SHAW. 1980. Natural Transition of Boundary Layers-The Effects of Turbulence, Pressure Gradient and Flow History. *Mechanical Science*, 22: 213-228.
- ABU-MULAWEH, H. I., B. F. ARMALY ve T.S. CHEN. 2001. Turbulent Mixed Convection Flow over a Backward-Facing Step. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 44: 2661-2669.
- ABU SHAREKH, M. S., S. K. PATHAK, G. L. ASAWA VE P. D. POREY. 1994. Turbulent Boundary Layer Over Flat Plate with Rigid and Flexible Surfaces. *Journal of Engineering Mechanics*, 120: 1675-1695.
- AKIYAMA, M., G. J. HWANG ve K. C. CHENG. 1971. Experiments on the Onset of Longitudinal Vortices in Laminar Forced Convection Between Horizontal Plates. *Journal of Heat Transfer-Transactions of the ASME*, 93: 335-341.
- ARMALY, B. F., A. LI ve J.H. NIE. 2001. Three-Dimensional Forced Convection Flow Adjacent to Backward-Facing Step. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 16: 222-227.
- ATLI, V. 1988. Subsonic flow over a two dimensional obstacle immersed in a turbulent boundary layer on a flat surface. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 31: 225-239.
- AUNG, W. 1983. An Experimental Study of Laminar Heat Transfer Downstream of Backsteps. *Journal of Heat Transfer*, 105: 823-829.
- AUNG, W. 1983. An Interferometric Investigation of Separated Forced Convection in Laminar Flow Past Cavities. *Journal of Heat Transfer*, 105: 505-512.
- BAKKAS, M., A. AMAHMID ve M. HASNAOUI. 2006. Steady Natural Convection in a Horizontal Channel Containing Heated Rectangular Blocks Periodically Mounted on its Lower Wall. *Energy Conversion and Management*, 47: 509-528.
- BARTON, I. E. 1997. The Entrance Effect of Laminar Flow over a Backward-facing Step Geometry. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 25: 633-644.

- BECKER, S., H. LIENHART ve F. DURST. 2002. Flow Around Three-dimensional Obstacles in Boundary Layers. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90: 265-279.
- BENHALILOU, M. ve N. KASAGI. 1999. Numerical Prediction of Heat and Momentum Transfer over Micro-Grooved Surface with a Nonlinear k- ϵ Model. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42: 2525-2541.
- BİLEN, K., S. YAPICI. ve C. CELIK. 2001. A Taguchi Approach for Investigation of Heat Transfer from a Surface Equipped with Rectangular Blocks. *Energy Conversion and Management*, 42: 951-961.
- BİLEN, K. ve S. YAPICI. 2001. Heat Transfer Form a Surface Fitted with Rectangular Blocks at Different Orientation Angle. *Heat and Mass Transfer*, 38: 649-655.
- BRAUN, H., H. NEUMANN ve N.K. MITRA. 1999. Experimental and Numerical Investigation of Turbulent Heat Transfer in a Channel with Periodically Arranged Rib Roughness Elements. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 19: 67-76.
- BUCHLIN, J. M. 2002. Convective Heat Transfer in a Channel with Perforated Ribs. *Int. J. Therm. Sci.*, 41: 332-340.
- CHANDRSUDA, C. ve P. BRADSHAW. 1980. Turbulence Structure of a Reattaching Mixing Layer. *J. Fluid Mech.*, 110: 171-194.
- CEBECİ, T. VE P. BRADSHAW. 1984. *Physical and Computational Aspects of Convective Heat Transfer*. Springer-Verlang, NewYork, 487s.
- CHEN, K. ve M. M. CHEN. 1984. Thermal Instability of Forced Convection Boundary Layers. *Journal of Heat Transfer-Transactions of the ASME*, 106: 284-289.
- CHEN, Y. M. ve K. C. WANG. 1996. Simulation and Measurement of Turbulent Heat Transfer in a Channel with a Surface-Mounted Rectangular Heated Block. *Heat and Mass Transfer*, 31: 463-473.
- CHEN, Y. M. ve K. C. WANG. 1998. Experimental Study on the Forced Convective Flow in a Channel with Heated Blocks in Tandem. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 16: 286-298.
- CHENG, K. C., T. OBATA ve R. R. GILPIN. 1988. Buoyancy Effects on Forced Convection Heat Transfer in the Transition Regime of a Horizontal Boundary Layer Heated from Below. *Journal of Heat Transfer-Transactions of the ASME*, 110: 596-603.
- CHIU, K. C. ve F. ROSENBERGER. 1987. Mixed Convection Between Horizontal Plates-1. Entrance Effects. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 30: 1645-1654.
- CHO, H. H. ve R. J. GOLDSTEIN. 1994. An Improved Low-Reynolds-Number k- ϵ Turbulence Model for Recirculating Flows. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 37: 1495-1508.

- CHOI, K. S. ve D. M. ORCHARD. 1997. Turbulence Management Using Riblets for Heat and Momentum Transfer. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 15: 109-124.
- CHOMDEE, S. ve T. KIATSIRIROAT. 2006. Enhancement of Air Cooling in Staggered Array of Electronic Modules by Integrating Delta Winglet Vortex Generators. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33: 618-626.
- CHOU, F. C. ve G. J. HWANG. 1987. Vorticity-Velocity Method for the Graetz Problem and the Effect of Natural Convection in a Horizontal Rectangular Channel With Uniform Wall Heat Flux. *Journal of Heat Transfer-Transactions of the ASME*, 109: 704-710.
- CHUE, S. H. 1975. Pressure Probes For Fluid Measurement. *Prog. Aerospace*, 16:147-223.
- CRAFT, T.J. 1998. Developments in a Low-Reynolds-Number Second-Moment Closure and its Application to Separating and Reattaching Flows. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 19: 541-548.
- CRANE, R. I. ve J. SABZVARI. 1989. Heat Transfer Visualization and Concave-Wall Laminar Boundary Layers. *Journal of Turbomachinery-Transactions of the ASME*, 111: 51-56.
- CRUCHAGA, M. ve D. CELENTANO. 2002. Modelling Natural and Mixed Convection in Obstructed Channels. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 13: 57-85.
- DAVALATH, J. ve Y. BEYAZITOGLU. 1987. Forced Convection Cooling Across Rectangular Blocks. *Journal of Heat Transfer*, 109: 321-328.
- DOGAN, A., M. SIVRIOGLU ve S. BASKAYA. 2006. Investigation of Mixed Convection Heat Transfer in a Horizontal Channel with Discrete Heat Sources at the Top and at the Bottom. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49: 2652-2662.
- DRIVER, D. M. ve SEEGMILLER, H. L. 1985. Features of a Reattaching Shear Layer in Divergent Channel Flow. *AIAA Journal*, 23: 163-171.
- DUBIEF, Y., L. DJENIDI ve R. A. ANTONIA. 1997. The Measurement of $\partial u/\partial y$ in a Turbulent Boundary Layer over a Riblet Surface. *Int. J. Heat and Fluid Flow*, 18: 183-187.
- FENG, Z. ve E. E. MICHAELIDES. 2000. A Numerical Study on the Transient Heat Transfer From a Sphere at High Reynolds and Peclet Numbers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43: 219-229.
- FAGHRİ, M., M. MOLKİ, J. CHRUPCALA. 1994. Entrance Analysis of Turbulent Flow in an Array of Heated Rectangular Blocks. *Intersociety Conference on Thermal Phenomena*: 198-206.

FROST, W., J. BITTE ve C. F. SHIEH. 1980. Analysis of Neutrally Stable Atmospheric Flow over a Two-Dimensional Forward-Facing Step. *AIAA Journal*, 18: 32-38.

FU, W. S., W. W. KC ve K. N. WANG. 2001. Laminar Forced Convection in a Channel with Moving Block. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 44: 2385-2394.

FU, W. S., S. F. CHEN ve K. N. WANG. 2001. Effect of Moving Distance of a Moving Block on Heat Transfer in a Channel Flow. *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 28: 411-426.

FUKUKI, K, M. NAKAJIMA ve H. UEDA. 1983. The Longitudinal Vortex and Its Effects on the Transport Processes in Combined Free and Forced Laminar Convection Between Horizontal and Inclined Parallel Plates. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 26: 109-120.

FURUKAWA, T. ve W. YANG. 2003. Thermal-Fluid Flow in Parallel Boards with Heat Generating Blocks. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46: 5005–5015.

GILPIN, R. R., H. IMURA ve K. C. CHENG. 1978. Experiments on the Onset of Longitudinal Vortices in Horizontal Blasius Flow Heated from Below. *Journal of Heat Transfer-Transactions of the ASME*, 100: 71-77.

GOSTELAW, J. P., A. R. BLUNDEN ve G. J. WALKER. 1994. Effects of Free-Stream Turbulence and Adverse Pressure Gradients on Boundary Layer Transition. *Journal of Heat Transfer-Transactions of the ASME*, 116: 392-404.

HANNA, S.R., S. TEHRANIAN, B. CARISSIMO, R.W. MACDONALD ve R. LOHNER. 2002. Comparisons of Model Simulations with Observations of Mean Flow and Turbulence within Simple Obstacle Arrays. *Atmospheric Environment*, 36: 5067–5079.

HEİST, D. K. ve F. C. GOULDIN.1997. Turbulent Flow Normal to a Triangular Cylinder. *J. Fluid Mech.*, 331: 107-125.

HERMAN, C. ve E. KANG. 2001. Comparative Evaluation of Three Heat Transfer Enhancement Strategies in a Grooved Channel. *Heat and Mass Transfer*, 37: 563–575.

HIGDON, J. J. L. 1985. Stokes Flow in Arbitrary Two-Dimensional Domains: Shear Flow over Ridges and Cavities. *J. Fluid Mech*, 159 : 195-226.

HOLMAN, J. P. 1971. *Experimental methods for engineers*. McGraw-Hill Book Company, 37-52.

HWANG, G. J. ve M. H. LIN. 1995. Estimation of the Onset of Longitudinal Vortices in a Laminar Boundary Layer Heated from Below. *Journal of Heat Transfer-Transactions of the ASME*, 117: 835-842.

IGARASHI, T. ve H. TAKASAKI. 1992. Fluid Flow Around Three Rectangular Blocks in a Flat-Plate Laminar Boundary Layer. *Experimental Heat Transfer*, 5: 17-31.

- IMURA, H., R. R. GILPIN ve K. C. CHENG. 1978. An Experimental Investigation of Heat Transfer and Buoyancy Induced Transition from Laminar Forced Convection to Turbulent Free Convection over a Horizontally Isothermally Heated Plate. *Journal of Heat Transfer-Transactions of the ASME*, 100: 429-434.
- IWAI, H., K. NAKABE ve K. SUZUKI. 2000. Flow and Heat Transfer Characteristics of Backward-Facing Step Laminar Flow in a Rectangular Duct. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43: 457-471.
- İLDAY, Ö. ve V. ATLI. 2006. Geri Basamak Akışının Deneysel İncelenmesi. *İTÜ Dergisi/d Mühendislik*, 6: 27-38.
- JORGENSEN, F. E. How to measure turbulence with hot-wire anemometers. A Practical Guide Dantec Dynamic, Technical Note.
- JOVIC, S. ve D. DRIVER. 1995. Reynolds Number Effect on the Skin Friction in Separated Flows Behind a Backward-facing Step, *Experiments in Fluids*, 18: 464-467.
- KASAGI, N. ve A. MATSUNAGA. 1995. Three-Dimensional Particle-Tracking Velocimetry Measurement of Turbulence Statistics and Energy Budget in a Backward-Facing Step Flow. *Int. J. Heat and Fluid Flow*, 16: 477-485.
- KATOH, K., K. CHOI ve T. AZUMA. 2000. Heat-Transfer Enhancement and Pressure Loss by Surface Roughness in Turbulent Channel Flows. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 43: 4009-4017.
- KAYS, W. M. ve M. E. CRAWFORD. 1980. *Convective Heat and Mass Transfer*. McGraw Hill, New York, 601 s.
- KAZEMINEJAD, H., M. GHAMARI ve M. A. YAGHOUBI. 1996. A Numerical Study of Convective Heat Transfer from a Blunt Plate at Low Reynolds Number. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 39: 125-133.
- KIM, B. N. ve M. K. CHUNG. 1994. Experimental Study of Roughness Effects on the Separated Flow over a Backward-Facing Step. *AIAA Journal*, 33: 159-161.
- KIM, K.Y. ve S. KIM. 2002. Shape Optimization of Rib-Roughened Surface to Enhance Turbulent Heat Transfer. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45: 2719-2727.
- KIM, S. H. ve N. K. ANAND. 1994. Turbulent Heat Transfer Between a Series of Parallel Plates with Surface-Mounted Discrete Heat Sources. *Journal of Heat Transfer* 116: 577-587.
- KIM, S. H. ve N. K. ANAND. 1994. Laminar Developing Flow and Heat Transfer Between a Series of Parallel Plates with Surface Mounted Discrete Heat Sources. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 37: 2231-2244.
- KONDOH T., Y. NAGANO ve T. TSUJI. 1993. Computational Study of Laminar Heat Transfer Downstream of a Backward-facing Step. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 36: 577-591.

- KORICHI, A. ve L. OUFER. 2006. Heat Transfer Enhancement in Oscillatory Flow in Channel with Periodically Upper and Lower Walls Mounted Obstacles. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 52: 1138-1148.
- KUEHN, D. M. 1980. Effects of Adverse Pressure Gradient on the Incompressible reattaching Flow over a Rear-facing Step. *AIAA Journal*, 18: 343-344.
- LAKEHAL, D. ve W. RODI. 1997. Calculation of the Flow past a Surface-Mounted Cube with Two-Layer Turbulence Models. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 68: 65- 78.
- LEE, C. K. VE S. A. ABDEL-MONEİM. 2001. Computational Analysis of Heat Transfer in Turbulent Flow Past a Horizontal Surface with Two-Dimensional Ribs. *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 28: 161-170.
- LEUNG, C.W., H. J. KANG ve S. D. PROBERT. 1997. Horizontal Simulated Printed-Circuit Board Assembly in Fully-Developed Laminar-Flow Convection. *Applied Energy*, 56: 71-91.
- LEUNG, C. W., T. L. CHAN, S. D. PROBERT ve H. J. KANG. 1997. Forced Convection from a Horizontal Ribbed Rectangular Base-plate Penetrated by Arrays of Holes. *Applied Energy*, 62: 81-95.
- MAHESHWARI, A., R.P. CHHABRA ve G. BİSWAS. 2006. Effect of Blockage on Drag and Heat Transfer from a Single Sphere and an In-Line Array of Three Spheres. *Powder Technology*, 168: 74–83.
- MARTINUZZI, R. J. ve B. HAVEL. 2004. Vortex Shedding from Two Surface-Mounted Cubes in Tandem. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 25: 364–372.
- MEINDERS, E.R. ve K. HANJALİC. 2002. Experimental Study of the Convective Heat Transfer from in-line and Staggered Configurations of Two Wall-mounted Cubes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45: 465-482.
- MOHARRERİ, S. S., B. F. ARMALY ve T. S. CHEN. 1988. Measurements in the Transition Vortex Flow Regime of Mixed Convection above a Horizontal Heated Plate. *Journal of Heat Transfer-Transactions of the ASME*, 110: 358-365.
- MORRIS G. K. ve S. V. GARIMELLA. 1996. Thermal Wake Downstream of a Three-Dimensional Obstacle. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 12: 65-74.
- MOUTSOGLOU, A., T. S. CHEN ve K. C. CHENG. 1981. Vortex Instability of Mixed Convection Flow over a Horizontal Flat Plate. *Journal of Heat Transfer-Transactions of the ASME*, 103:257-261.
- MOHAMMED, M. M. 2006. Air Cooling Characteristics of a Uniform Square Modules Array for Electronic Device Heat Sink. *Applied Thermal Engineering*, 26: 486–493.
- NAIK, S., S.D. PROBERT ve I.G. BRYDEN. 1999. Heat Transfer Characteristics of Shrouded Longitudinal Ribs in Turbulent Forced Convection. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 20: 374-384.

- NIE, J. H. ve B. F. ARMALY. 2001. Three-Dimensional Convective Flow Adjacent to Backward-Facing Step-Effects of Step Height. *International Journal of Heat and Mass Transfer*.
- NOZAWA, K. ve T. TAMURA. 2002. Large Eddy Simulation of the Flow Around a Low-Rise Building Immersed in a Rough-Wall Turbulent Boundary Layer. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90: 1151–1162.
- OKI, M., T. IWASAWA, M. SUEHIRO, T. UMEDA, Y. NAKAYAMA ve K. AOKI. 1993. Numerical Simulation without Turbulence Model for Backward-Facing Step Flow. *JSME International Journal*, 36: 577-583.
- ORTIZ, L., A. GUERRERO, C. ARANA ve R. MENDEZ. 2008. Heat Transfer Enhancement in a Horizontal Channel by the Addition of Curved Deflectors. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51: 3972-3984.
- ÖTÜGEN, M. V. 1991. Expansion Ratio Effects on the Separated Shear Layer and Reattachment Down-stream of a Backward-facing Step. *Experiments in Fluids*, 10: 273-280.
- ÖZTÜRK, A. 1996. Ayrılmış Akıslarda Isı Transferi Termodinamik Isıtma Soğutma Havalandırma Klima Yalıtım ve Doğal Gaz Teknolojisi Aylık Bilimsel Sektör Dergisi, 50.
- ÖZALP, A. A. 2001. Konkav, Düz ve Konveks Yüzey Sınır Tabakalarında Hız ve Isı Transferi Karakteristiklerinin Hızlanan ve Yavaşlayan Akıslarda İncelenmesi. Doktora tezi.
- PARK, T. S. ve H. J. SUNG. 1995. A Nonlinear Low-Reynolds-Number $k-\epsilon$ Model for Turbulent Separated and Reattaching Flows-I. Flow Field Computations. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 38: 2657-2666.
- PAULEY, W. R. ve J. K. EATON. 1994. The Effect of Embedded Longitudinal Vortex Arrays on Turbulent Boundary Layer Heat Transfer. *Journal of Heat Transfer-Transactions of the ASME*, 116: 871-879.
- PERNG, S. W. ve H. W. WU. 2007. Numerical Investigation of Mixed Convective Heat Transfer for Unsteady Turbulent Flow Over Heated Blocks in a Horizontal Channel. *International Journal of Thermal Sciences*, 47: 620-632.
- PULAT, E. 1997. Mikroelektronik Devre Elemanlarının Zorlanmış Taşınımla Soğutulmasının Simülasyonu. Doktora Tezi
- PULAT, E. ve M. DİNER. 2001. Geri Basamak Akışının Nümerik Analizi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7: 29-34.
- PULAT, E., A. ÖGE ve İ. KARAGÖZ. 1997. Yüzeye Monte Edilmiş Blok Üzerinden Olan Akışın ve Sıcaklık Dağılımının Üç Boyutlu Simülasyonu. *Trakya Ün. Yayını*, 2: 873-882.

- RIVIR, R. B., J. P. JOHNSTON ve J. K. EATON. 1994. Heat Transfer on a Flat Surface Under a Region of Turbulent Separation. *Journal of Turbomachinery-Transactions of the ASME*, 116: 57-62.
- RYU, D. N., D. H. CHOI, V. C. PATEL. 2007. Analysis of Turbulent Flow in Channels Roughened by Two-Dimensional Ribs and Three-Dimensional Blocks. Part I: Resistance. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28: 1098-1111.
- RYU, D. N., D. H. CHOI ve V. C. PATEL. 2007. Analysis of Turbulent Flow in Channels Roughened by Two-Dimensional Ribs and Three-Dimensional Blocks. Part II: Heat Transfer. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 28: 1112-1124.
- SCHLICHTING, H. 1979. *Boundary Layer Theory*. McGraw Hill, New York, 817s.
- SHERRY, M. J., D. L. JACONO, J. SHERIDAN. 2009. Flow Separation Characterisation of a Forward Facing Step Immersed in a Turbulent Boundary Layer. *Sixth International Symposium on Turbulence and Shear Flow Phenomena*, 22-24.
- SİNHA, S. N., A. K. GUPTA ve M. M. OBERAI. 1981. Laminar Separating Flow over Backsteps and Cavities part I: Backsteps. *AIAA Journal*, 19: 1527-1530.
- SLANCIAUSKAS, A. 2001. Two Friendly Rules for the Turbulent Heat Transfer Enhancement. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 44: 2155-2161.
- SPARROW, E. M. ve W.Q. TAO. 1983. Enhanced Heat Transfer in a Flat Rectangular Duct with Streamwise-Periodic Disturbances at One Principle Wall. *ASME J. Heat Transfer*, 105: 851-61.
- STALIO, E. ve E. NOBILE. 2003. Direct Numerical Simulation of Heat Transfer over Riblets. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 24: 356-371.
- ŞARA, O. N., T. PEKDEMİR, S. YAPICI ve M. YILMAZ. 2001. Enhancement of Heat Transfer From a Flat Surface in a Channel Flow by Attachment of Rectangular Blocks. *International Journal of Energy Research*, 25: 563-576.
- TAYLOR, R. P., H. W. COLEMAN, M. H. HOSNI ve P. H. LOVE. 1989. Thermal Boundary Condition Effects on Heat Transfer in the Turbulent Incompressible Flat Plate Boundary Layer. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 32: 1165-1174.
- TEREKHOV, V.I., N.I. YARYGINA ve R.F. ZHDANOV. 2003. Heat Transfer in Turbulent Separated Flows in the Presence of High Free-Stream Turbulence. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46: 4535-4551
- TROPEA, C. D. ve R. GACKSTATTER. 1985. The Flow over Two-Dimensional Surface-Mounted Obstacles at Low Reynolds Numbers. *Journal of Fluids Engineering*, 107: 489-494.
- TSAY, Y. ve J. CHENG. 2008. Analysis of Convective Heat Transfer Characteristics for a Channel Containing Short Multi-Boards Mounted with Heat Generating Blocks. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51: 145-154.

- TSIA, J. P. ve J. J. HWANG. 1998. Measurements of Heat Transfer and Fluid Flow in a Rectangular Duct with Alternate Attached Detached Rib-Arrays. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 31: 1960-1972.
- TSAI W. B., W.W. LIN VE C.C. CHIENG. 1999. Computation of Enhanced Turbulent Heat Transfer in a Channel With Periodic Ribs. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 10: 47-66.
- UMUR, H. 1994. Concave Wall Heat Transfer Characteristics with Longitudinal Pressure Gradients and Discrete Wall Jets. *JSME International Journal*, 37: 403-412.
- UMUR, H. ve İ. KARAGÖZ. 1999. An Investigation of External Flows with Various Pressure Gradients and Surfaces. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 26: 411-419.
- UMUR, H. 2000. Flow and Heat Transfer with Pressure Gradients, Reynolds Number and Surface Curvature. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 27: 397-406.
- UMUR, H. ve A. A. OZALP. 2006. Fluid Flow and Heat Transfer in Transitional Boundary Layers: Effects of Surface Curvature and Free Stream Velocity. *Heat Mass Transfer*, 43: 7-15.
- WAHIDI, R., W. CHAKROUNI ve S. AL-FAHED. 2005. The Behavior of the Skin-friction Coefficient of a Turbulent Boundary Layer Flow Over a Flat Plate with Differently Configured Transverse Square Grooves. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 1-12.
- WANG, T., F. J. KELLER ve D. ZHOU. 1996. Flow and Thermal Structures in a Transitional Boundary Layer. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 12: 352-363.
- WANG, J., S. LAN ve G. CHEN. 2000. Experimental Study on the Turbulent Boundary Layer Flow over Riblets Surface. *Fluid Dynamics Research*, 27: 217-229.
- WEBSTER, D. R., D. B. DEGRAAFF ve J. K. EATON. 1996. Turbulence of a Boundary Layer over a Two-Dimensional Bump. *J. Fluid Mech.*, 320: 53-69.
- WEN, Y. ve M. A. JOG. 2005. Variable Property, Steady, Axi-Symmetric, Laminar, Continuum Plasma Flow over Spheroidal Particles. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 26: 780-791.
- WU, H. W. ve S. W. PERNG. 1999. Effect of Oblique Plate on the Heat Transfer Enhancement of Mixed Convection over Heated Blocks in a Horizontal Channel. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42: 1217-1235.
- YANG, Y. ve C. CHEN. 2008. Numerical Simulation of Turbulent Fluid Flow and Heat Transfer Characteristics of Heated Blocks in the Channel with an Oscillating Cylinder. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51: 1603-1612.

YOUNG, C. D., J. C. HAN, Y. HUANG ve R. B. RIVIR. 1992. Influence of Jet Grid Turbulence on Flat Plate Turbulent Boundary Layer Flow and Heat Transfer. *Journal of Heat Transfer-Transactions of the ASME*, 114: 65-72.

YOUNG, T. J. ve K. VAFAI. 1998. Convective Flow and Heat Transfer in a Channel Containing Multiple Heated Obstacles. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 41: 3279-3298.

YOUNG, T. J. ve K. VAFAI. 1998. Convective Cooling of Heated Obstacle in a Channel. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 41: 3131-3148.

YUAN, Z.X. 2000. Numerical Study of Periodically Turbulent Flow and Heat Transfer in a Channel with Transverse Fin Arrays. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*, 10: 842-861.

YUAN, Z.X. ve W.Q. TAO. 1998. Numerical Prediction for Laminar Forced Convection Heat Transfer in Parallel-Plate Channels with Streamwise-Periodic Rod Disturbances. *Int. J. Numerical Methods in Fluids*, 28: 1371-87.

ZHOU, D. ve T. WANG. 1996. Combined Effects of Elevated Free-Stream Turbulence and Streamwise Acceleration on Flow and Thermal Structures in Transitional Boundary Layers. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 12: 338-351.

ÖZGEÇMİŞ

Onur YEMENİCİ, 1979 yılında Siirt'te doğdu. 2000 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı. 2002 yılında Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi'ne araştırma görevlisi olarak atandı ve 2004 yılında Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda doktora eğitimine başladı. Halen aynı üniversitede Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

TEŞEKKÜR

Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakóltesi, Makine Mühendisliği Bölümü lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimim süresince bilgi ve deneyimi ile çalışmalarımı yönlendirmekle birlikte manevi desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof.Dr. Habib UMUR'a teőekkürlerimi sunuyorum. Tez izleme komitesinde bulunan hocalarım Prof.Dr. İrfan KARAGÖZ ve Prof.Dr. Ufuk ALKAN'a ve tez savunma jürisinde görev alan hocalarım Prof.Dr. Recep YAMANKARADENİZ ve Prof.Dr. Yaşar PANCAR'a teşekkür ederim. Tez çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşım Arő.Gör.Dr. Zeynel Abidin FIRATOđLU'na ve laboratuardaki çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen teknisyen Yaşar KUMRALTEKİN'e teőekkürlerimi sunuyorum. İhtiyacım olduğu her anda yanımda olan arkadaşlarım Yrd.Doç.Dr. İbrahim ATMACA, Yrd.Doç.Dr. Fuat KAYA, Arő.Gör.Dr. Numan YÜKSEL, Arő.Gör. Barıő ERKUŐ ve tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ediyorum.

Çalışmalarım süresince maddi ve manevi desteğini eksik etmeyen, sevinçlerimi ve üzüntülerimi daima paylaşan, anlayıőlı yaklaşımlarıyla her zaman yanımda olan sevgili eőim Doğan YEMENİCİ ve tüm aileme őükranlarımı sunuyorum.