

126156

A. TALAT İNAN
(57DT49403)

DOKTORA TEZİ

T.C. YÖNEKLETİM KURULU
İKÖMANTASYON MERKEZİ

126156

İSTANBUL 2002

T.C
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABUL VE ONAY BELGESİ

**ÇOK AMAÇLI DÜŞÜK HIZ SUBSONİK
HAVA TÜNELİ DİZAYNI VE TÜRBÜLANS ÖLÇÜMLERİ**

A. Talat İnan' ın “Çok Amaçlı Düşük Hız Subsonik Hava Tüneli Dizaynı ve Türbülans Ölçümleri” isimli Doktora tez Çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun ...29.4.2002... tarih ve ...2002/09-21... sayılı kararı ile oluşturulan Jüri tarafından Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Makina Eğitimi Programında DOKTORA Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. M. Osman ISIKAN (M.Ü.)

Üye : Doç. Dr. M. Zafer GÜL (M.Ü.)

Üye : Doç. Dr. İbrahim ÖZKOL (İ.T.Ü.)

Üye : Doç. Dr. M. Orhan KAYA (İ.T.Ü.)

Üye : Prof. Dr. A. Korhan BİNARK (M.Ü.)

Tezi Savunulduğu Tarihi: 10. 05. 2002

ONAY

M. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...16.7.2002... tarih ve ...2002/12-40... sayılı kararı ile A. Talat İNAN' ın Makina Eğitimi Anabilim Dalı Makine Eğitimi Programında Doktora (Dr.) derecesi alması onanmıştır.

Marmara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın bilfiil danışmanlığını yapan, büyük katkısı ve emeği olan değerli hocam , Doç. Dr. M. Zafer Gül' e çok teşekkür ediyorum. Çok yardımlarını gördüğüm Prof. Dr. M. Osman ISIKAN'a, kıymetli bilgilerinden yararlandığım İ.T.Ü. Makine Fakültesinden Prof. Dr. İ. Bedii Özdemir'e de çok teşekkür ediyorum. Deneysel çalışmalarda büyük yardımlarını gördüğüm, İ.T.Ü. Uçak Fakültesinden Yrd. Doç. Dr. Hayri ACAR ve Araş Gör. Duygu ERDEM'e, İ.T.Ü. Makina Fakültesinden Araş. Gör. Dr. Murat ÇAKAN ve Araş. Gör. Dr. Hüseyin ONBAŞIOĞLU'na, Y. T. Ü. 'den Doç.Dr. Tamer YILMAZ' a çok teşekkür ederim. İmalat aşamasında bana yardımcı olan Metal Eğitimi Bölümünden Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KURT, Yrd. Doç. Dr. İrfan ÇALIŞ ile değerli öğrencilerime ve doktora çalışması esnasında benzer sıkıntıları çektiğimiz ve paylaştığımız Dr. Mustafa Onat'a teşekkür ediyorum. Ayrıca Prof.Dr. Mehmet KOZ, Prof. Dr. A. Alp SAYAR, Prof. Dr. Mustafa KURT, Prof. Dr. A. Korhan BİNARK, Prof.Dr. Burhanettin CAN, Prof.Dr. İ. Mete DOĞRUER, Doç.Dr. Serdar SALMAN, Yrd. Doç. Dr. Nazmi EKREN ve Araş. Gör. Mustafa ATMACA' ya da teşekkür ederim.

Ayrıca bana manevi olarak destek veren babam, Hamdi İNAN ve annem Fatma İNAN' a da teşekkür ediyorum.

Mart, 2002

A. Talat İNAN

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	V
ABSTRACT	VI
YENİLİK BEYANI	VII
SEMBOL LİSTESİ	IX
KISALTMALAR LİSTESİ	XI
ŞEKİL LİSTESİ	XII
TABLolar LİSTESİ	XVI
BÖLÜM I. GİRİŞ VE AMAÇ	1
BÖLÜM II. GENEL BİLGİLER	5
II. 1. GİRİŞ	5
II. 2. HAVA TÜNELİ ÇEŞİTLERİ	5
II.2.1 Açık ve Kapalı Çevrim Tünelleri	5
II.2.2 Yüksek Reynolds Sayılı Tüneller	7
II.2.3 V/Stol Hava Tüneli	8
II.2.4 Özel Amaçlı Tüneller	9
II.2.5 Farklı Yoğunluktaki Tüneller	9
II.2.6 Serbest Uçuş Tünelleri	10
II.2.7 Dönüş Tünelleri	10
II.2.8 Stabil tüneller	10
II.2.9 Pervane Tünelleri	10
II.2.10 İtme tünelleri	11
II.2.11 Buz Tünelleri	11

II.2.12 Düşük türbülanslı Tüneller	11
II.2.13 İki Boyutlu Tüneller	12
II.2.14 Duman Tüneli	12
II.2.15 Meteorolojik-Çevresel Tüneller	12
II.2.16 Taşıt Tünelleri	12
II. 3. HAVA TÜNELLERİNDE TÜRBÜLANS ETKİSİ	13
II. 4. HAVA TÜNELLERİNDE TÜRBÜLANSI AZALTMA YÖNTEMLERİ	14
II.5. JET AKIŞ YAPISI	15
II.6. JET ÖLÇÜMÜ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR	21
BÖLÜM III. HAVA TÜNELİ TASARIM VE İMALATI	30
III. 1. GİRİŞ	30
III . 2. HAVA TÜNELİ ANA ELEMANLARI DİZAYNI	34
III. 2. 1. Test Bölgesi Dizaynı	34
III. 2. 2. Giriş Kollektörü Dizaynı	36
III. 2. 3. Difüzör Dizaynı	42
III. 2. 4. Fan Bölgesi Dizaynı	43
III. 2. 5. Hava Tüneli Destekleyicisi Dizaynı	44
III. 2. 6. Tünel Montajı	46
III. 3. HAVA TÜNELİ ENERJİ KAYIPLARI	47
BÖLÜM IV. DENEYSEL YÖNTEM VE ÖLÇME ELEMANLARI	51
IV.1. GİRİŞ	51
IV.2. HAVA TÜNELİ	51
IV.2.1. Fan Motor Sürücüsü	53
IV.3. KIZGIN TEL ANEMOMETRE	53
IV.3.1. Kızgın Tel Anemometre Tekniği	55
IV.3.1.1. Sabit Akım Anemometresi	56
IV.3.1.2.Sabit Sıcaklık Anemometresi	56
IV.3.2. Kızgın Tel Anemometre Ölçüm Düzenegi	57
IV.3.3. Veri İşlem Yazılımı	62

IV.4. TEST BÖLGESİ AKIŞ ANALİZİ DÜZENEGİ	66
IV.5. JET AKIŞI ÖLÇÜM DÜZENEGİ	66
BÖLÜM V. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	69
V.1. GİRİŞ	69
V.2. DENEY ODASI ÖLÇÜMLERİ	70
V.3. JET AKIŞ ÖLÇÜMLERİ	72
V.3.1. Dairesel Jet Ölçümleri	75
V.3.2. Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda, Dairesel Jet Akışı ile Farklı Konum ve Açılardaki Konik İlavelerin Akışa Açık Durumunda Yapılan Ölçümler	81
V.3.3. Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, Dairesel Jet Akışı ile Farklı Konum ve Açılardaki Konik İlavelerin Akışa Açık Durumunda Yapılan Ölçümler	91
V.4. EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ VE JET YARI KALINLIKLARI	100
V.5. FREKANS ANALİZİ	102
BÖLÜM VI. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	104
KAYNAKLAR	107
EKLER	114
Ek-A Hava Tüneli Elemanlarının Açılımları	115
Ek – B Konik İlaveli Dairesel Jet Ve İz Akış ölçümleri	117
Ek-C Deneyisel Ölçümlerin 4. Moment Dağılımları	141
Ek-D Tünel Hızı 10 (m/s) Ve 20 (m/s) Olduğunda, Dairesel Jet Akışı İle Farklı Açılardaki Konik İlavelerin Açık Ve Kapalı Olduğu Durumda Yapılan İz Akış Ölçümleri	151
Ek-E Bazı Ölçüm Elemanlarının Teknik Özellikleri	163
Ek-F Tezde Kullanılan Bazı Yabancı Kelimelerin Türkçe Karşılıkları	164
ÖZGEÇMİŞ	165

ÖZET

ÇOK AMAÇLI DÜŞÜK HIZ – SUBSONİK HAVA TÜNELİ DİZAYNI VE TÜRBÜLANS ÖLÇÜMLERİ

Bu çalışmada; Marmara Üniversitesinde, çok amaçlı düşük hız- subsonik bir hava tüneli dizayn edilmiş ve türbülans ölçümleri yapılmıştır. Emişli tipte imal edilen tünelin, deney odası giriş kesiti, $32 \times 32 \text{ cm}^2$ ve uzunluğu, 75 cm' dir. Fan devrini bir hız kontrol ünitesiyle ayarlayarak, farklı hızlarda, türbülans ölçüm cihazı olan tek kanallı kızgın tel anemometre ile deney odası akış analizi yapılmıştır. Deney odasında deney odasının üst ve alt akış bölgelerinde, deney odasının ekseninde farklı noktalarda ölçümler yapılarak test bölgesinin hız dağılımı bulunmuştur. Tünelin maksimum hızı 40 m/s'dir fakat bu çalışmada, deneysel çalışmalar 30 m/s, 20 (m/s), 10 (m/s) ve tünelde hiç akışın olmadığı durumlarda ölçümler yapılmıştır. Tünel türbülans yoğunluğu, ortalama % 0.4 gibi çok ideal bir seviye olarak ölçülmüştür.

Deney odası ölçümlerinden sonra, birçok uygulama alanı olan ve temel akış yapısını gösteren jet akışlarla ilgili ölçümler yapılmıştır. Jet akışı için, 120 cm uzunluğunda ve 8 mm çapında çelik bir boru kullanılmıştır. Jet akışına hava üretmesi için tünele bir 200 L' lik kompresör ile hava üreticisi ilavesi yapılmış ve jet akışlarının farklı hızlardaki ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca jetin, nozul çıkışına, 21 cm uzunluğunda, 6° ve 12° eğimi bulunan konik bir difüzör giydirilerek, jet akış yapısına olan etkisi incelenmiştir. Ölçümler 4 değişik kategori ve 19 değişik tipte yapılarak hız ve türbülans dağılımları, ölçüm hassasiyeti ile ilgili olarakta 4. Momentleri ve frekans dağılımları çıkartılarak akış analizleri yapılmıştır. Alınan ölçüm sonuçları, jet akışı üzerine yapılan çalışmalar incelenerek karşılaştırılmıştır.

Mart, 2002

A. Talat İNAN

ABSTRACT

MULTI PURPOSE LOW-RANGE SUBSONIC WIND TUNNEL DESIGN AND TURBULANCE MEASUREMENTS

In this work, a multi purpose low-range subsonic wind tunnel has been designed, manufactured and a number of turbulence measurements have been performed at the Marmara University. The tunnel is of suction type with a rectangular test section. The length of the test section is 75 cm and its inlet cross-sectional area is $32 \times 32 \text{ cm}^2$. The maximum average velocity in the test section is 40 m/s.

Flow rate is adjusted by controlling the fan speed with a control unit. Velocity and turbulence measurements were performed by using DANTEC hot wire anemometer. Measurements taken at various locations in the test section showed that the turbulence intensity is as low as %0.4 at 30 m/s average velocity.

Prior to the main measurements the flow and turbulence structure have been reproduced for the axisymmetrical confined jets for various jet and coflow velocities. Jet flow is provided by a 200 lt compressor with a 8 mm diameter steel pipe attached to it.

The flow structure for the axisymmetrical jet with a coaxial diffuser was analysed by use HWA again for a number of jet and diffuser velocities. The coaxial diffuser is located in such a way that its exit coincides with the exit of the jet pipe. Two different diffuser was used with conical angles of 6° and 12° . The effect of the coaxial diffuser flow on the axisymmetrical jets is than analysed.

YENİLİK BEYANI

ÇOK AMAÇLI DÜŞÜK HIZ-SUBSONİK HAVA TÜNELİ DİZAYNI VE TÜRBÜLANS ÖLÇÜMLERİ

Bu çalışmada, Marmara Üniversitesinde, çok amaçlı düşük hız- subsonik bir hava tüneli dizayn edilmiş ve deney odası türbülans ölçümleri ve konik ilaveli jet akış ölçümleri yapılmıştır.

Emişli tipte imal edilen tünelin, deney odası giriş kesiti $32 \times 32 \text{ cm}^2$ ve uzunluğu 75 cm ' dir. Fan devrini, bir hız kontrol ünitesiyle ayarlayarak, farklı hızlarda deney odası akış analizi, türbülans ölçüm cihazı olan, kızgın tel anemometre ile yapılmıştır. Deney odasında deney odasının üst ve alt akış bölgelerinde, deney odasının ekseninde farklı noktalarda ölçümler yapılarak test bölgesinin hız dağılımı bulunmuştur. Tünelin maksimum hızı 40 m/s 'dir. Deneysel çalışmalar, tünelde akış bulunmadığı durumda, tünel akış hızının, 10 ve 20 m/s olduğu durumda ve jet akışının maksimum hızının 30 (m/s) olduğunda yapılmıştır. Deney odasında farklı hızlarda yapılan ölçümlerde, ortalama tünel türbülans yoğunluğu, $\%0.4$ gibi çok ideal bir seviye olarak bulunmuştur.

Deney odası ölçümlerinden sonra, birçok uygulama alanı olan ve temel akış yapısını gösteren jet akışlarla ilgili ölçümler yapılmıştır. Jet akışı için 1 m uzunluğunda ve 8 mm çapında çelik bir boru kullanılmıştır. Jet akışına hava üretmesi için tünele, 200 lt. lik kompresör ve hava üreticisi ilavesi yapılmıştır. İlk defa deneysel çalışılması yapılacak olan, konik ilaveli jet akışının, dairesel jet akış yapısına etkisini görebilmek için önce, tünele hiç akış verilmediği durumda, tünel akışının 10 ve 20 (m/s) olduğu durumda deneyler yapılmıştır. Sonra farklı eğimlerde (6° ve 12°), farklı konumlarda (aynı hizalı ve jet çıkışı, konik ilavenin 2 cm gerisine yerleştirildiği durumda), ve farklı tünel hızlarında (10 (m/s) , 20 (m/s)) deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda konik ilavelerin, jet çıkışında hızı arttırdığı fakat uzaklaştıkça yavaşlattığı hatta iz akış yapısına dönüştürdüğü görülmüştür. Konik ilavelerin jet akış yapısına baskı uyguladığı ve jet yayılma oranını ve jet yarı kalınlıklarını düşürdüğü görülmüştür.

Sonuçta, deneysel akışkanlar mekaniği ve aerodinamik eğitiminde, akademik ve endüstriyel amaçlı kullanılmak üzere açık çevrimli bir hava tüneli inşa edilmiştir. Aynı zamanda temel akışlardan olan jet akış yapısına, konik ilavelerin etkisi incelenerek ilgili alanlarda yapılan akademik çalışmalara ve öğrencilerin eğitimine katkıda bulunulmuştur.



Mart, 2002

Prof. Dr. M. Osman ISIKAN

A. Talat İNAN

SEMBOL LİSTESİ

A	:	Kalibrasyon sabiti
A₀	:	Jet çıkış alanı
A_{d0}	:	Deney odası girişi kesit alanı (m ²)
A_t	:	Deney odası giriş kenr uzunluğu (m)
A_{d1}	:	Difüzör adaptör girişi kenar uzunluğu (m)
A₂	:	Difüzör çıkış kesiti alanı (m ²)
A_{n d}	:	Akım düzenleyicisinin boyutu (m)
A_w	:	Prob tel yüzey alanı (μm ²)
α_d	:	Difüzör Genişleme açısı (°)
b	:	Jet Yarı Kalınlığı (m)
B	:	Kalibrasyon sabiti
D	:	Jet çıkış ağzı çapı (m)
D_{d2}	:	Difüzör çıkış çapı (m)
D_h	:	Hidrolik çap (m)
D_k	:	Akışın Geçtiği alan (m ²)
d	:	Prob tel çapı (μm)
E	:	Anemometre voltaj çıkışı (V)
E_t	:	Toplam enerji
g	:	Yerçekimi ivmesi (m/s) ²
H	:	Manometrik yükseklik (mSS)
λ	:	Sürtünme katsayısı
K	:	Basınç düşüşü katsayısı
K_d	:	Difüzör kaybı
K_e	:	Eksozt kaybı
K_k	:	Kollektör kaybı
K_n	:	Tünel elemanının enerji kayıp katsayısı
K_{pg}	:	Akım düzenleyicisi giriş kaybı
K_{pc}	:	Akım düzenleyicisi çıkış kaybı
K_t	:	Test bölgesi kaybı
L_k	:	Kollektör Uzunluğu (cm)

ℓ	:	Sensör tel uzunluğu (mm)
Ma	:	Mach sayısı
M₀	:	Toplam Momentum
n_k	:	Kollektör daralma oranı
n_d	:	Difüzör daralma oranı
p	:	anlık basınç (atm)
p'	:	basınç çalkantısı (atm)
$\overline{p}$	:	Ortalama basınç (atm)
p₁	:	Üst akış basıncı (mSS)
R₀	:	T ₀ anındaki direnç (Ω,ohm)
R_w	:	Sensör tel direnci (Ω,ohm)
θ	:	Momentum Kalınlığı (mm)
T₀	:	Referans sıcaklık (°C)
T_w	:	Prob tel sıcaklığı (°C)
τ	:	Zaman sabiti
u	:	Anlık Hız (m/s)
ū	:	Ortalama Hız (m/s)
u'	:	Çalkantı Hızı (m/s)
u₁	:	Üst akıştaki hız değeri (m/s)
u₂	:	Alt akıştaki hız değeri (m/s)
u_i	:	_i yönündeki anlık hız (m/s)
U_e	:	Jet eksen hızı (m/s)
U_t	:	Tünel akış hızı (m/s)
U_j	:	Jet çıkış hızı (m/s)
U_{max}	:	Radyal doğrultudaki maksimum hız (m/s)
U_{min}	:	Radyal doğrultudaki minimum hız (m/s)
V₀	:	Deney odası maksimum hızı (m/s)
V	:	Voltaj (V)
ν	:	Havanın kinematik viskozitesi (m ² /s)
ν_T	:	Eddy kinematik viskozitesi (m ² /s)
Vk₁	:	Kollektör giriş hızı (m/s)
Vk₂	:	Kollektör çıkış hızı (m/s)

KISALTMALAR

AC	:	Alternative Current (Alternatif akım)
A/D	:	Analog /Dijital
CCA	:	Constant Current Anemometry (Sabit akım anemometresi)
CTA	:	Constant Temperature Anemometry (Sabit sıcaklık anemometresi)
DC	:	Direct Current (doğru akım)
HWA	:	Hot Wire Anemometer (Kızgın Tel Anemometre)
LDA	:	Laser Doppler Anemometry
LTPT	:	Low Turbulence Pressure Tunnel
NASA	:	National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
NPL	:	National Physical Laboratory (Ulusal Fizik Laboratuvarı)
P	:	Probe
TAV	:	Taşkın Vantilatör

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
Şekil II.1 x doğrultusunda bir noktadaki hız dağılımı	16
Şekil II.2 Jet akışı yapısı	20
Şekil II.3 Dairesel jette trupel deneylerindeki ortalama hız profili	21
Şekil II.4 Dairesel jette Reichardt deneylerindeki ortalama hız profili	21
Şekil II.5 Dairesel jette Wygnanski ve Fiedler'in deneylerinde türbülans karakterleri	23
Şekil II.6 Dairesel jetler için eksen çizgisinin bozulduğunu gösteren Corrsin ve Uberoi'in deneyleri	26
Şekil II.7 Antonia ve Bilger deneylerinde bulunan değişik eksen hız ve yayılma eğimi oranları	27
Şekil II.8 Değişik eksen hızları için Bringer deneyleri	27
Şekil II.9 Değişik yarım jetler için Bringers deneyleri	28
Şekil III.1 Hava tüneli	32
Şekil III.2 Hava tüneli ana elemanları	33
Şekil III.3 Test bölgesi görünüşü	36
Şekil III.4 Dizayn edilen giriş ağzı	38
Şekil III.5 Giriş kollektöründek dinlenme odası	38
Şekil III.6 Akım düzenleyicisi	39
Şekil III.7 Kollektör tasarımı	40
Şekil III.8 Giriş ağzı ilaveli kollektör	41
Şekil III.9 Giriş kollektörü görünüşü	41
Şekil III.10 Difüzör tasarımı.....	43
Şekil III. 11 Fan kabini	43

Şekil III.12 Hava tüneli destekleyicisi	45
Şekil III.13 Dizayn edilen hava tünelinin genel görünüşü	46
Şekil III. 14 Moody diyagramı	48
Şekil IV. 1 Hava tüneli	52
Şekil IV. 2 Hız kontrol sürücüsü	53
Şekil. IV. 3 Kızgın tel anemometre prob sensörü	55
Şekil IV. 4 Sabit akım anemometre kontrol devresi	56
Şekil. IV. 5 Sabit sıcaklık anemometre kontrol devresi	57
Şekil IV. 6 Kızgın tel anemometre ölçüm düzeneği	59
Şekil IV. 7 Kızgın tel anemometre ölçüm zincirini	60
Şekil IV. 8 Kızgın tel anemometre problemleri (a) 55P11 Düz prob, (b) 55P14 90° prob	61
Şekil IV. 9 Prob destekleyicisi	62
Şekil IV. 10 Frekans cevabı	63
Şekil IV. 11 Pitot-statik tüp	64
Şekil IV. 12 Kalibrasyon eğrisi	65
Şekil IV. 13 Deney odası üst duvarı ölçüm noktaları yerleşimi	66
Şekil IV. 14 Jet ölçümleri için kullanılan boru	67
Şekil IV. 15 Jet çıkışına giydirilen konik difüzör şekli	67
Şekil IV. 16 Hava temini için kullanılan kompresör ve tünel ilavesi	68
Şekil IV. 17 Konik ilaveli jet akış düzeneği	68
Şekil V. 1 Deney odasında, hız taraması yapılan düzlemlerdeki ölçüm alınan noktalar	71
Şekil V. 2 Deney odasına akım verilmediği durumdaki hız çalkantıları	71
Şekil V. 3 10 m/s ortalama hızdaki hız çalkantıları	71
Şekil V. 4 20 m/s ortalama hızdaki hız çalkantıları	72
Şekil V. 5 30 m/s ortalama hızdaki hız çalkantıları	72
Şekil V. 6 Tünel akışının olmadığı dairesel jet akışının, a) Boyutsuz hız dağılımı, b) U_{rms} , c) Ortalama hız dağılımları.....	78

Şekil V. 7	Tünel akış hızının 10 (m/s) olduğu dairesel jet akışının , a) Boyutsuz Hız dağılımı, b) U_{rms} , c) Ortalama hız dağılımları	79
Şekil V. 8	Tünel akış hızının 20 (m/s) olduğu dairesel jet akışının , a) Boyutsuz hız dağılımı, b) U_{rms} , c) Ortalama hız dağılımları	81
Şekil V. 9	Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı konum ve açılardaki konik ilavelerin akışa açık durumundaki boyutsuz hız dağılımları: (a)x/D= 0.3, (b)x/D= 12.5, (c)x/D= 31.2, (d)x/D= 50	86
Şekil V. 10	Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı konum ve açılardaki konik ilavelerin akışa açık durumundaki U_{rms} dağılımları: (a)x/D= 0.3, (b)x/D= 12.5, (c)x/D= 31.2, (d)x/D= 50..	88
Şekil V. 11	Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı konum ve açılardaki konik ilavelerin akışa açık durumundaki ortalama dağılımları: (a)x/D= 0.3, (b)x/D= 12.5, (c)x/D= 31.2, (d)x/D= 50	90
Şekil V. 12	Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı konum ve açılardaki konik ilavelerin akışa açık durumundaki boyutsuz hız dağılımları: (a)x/D= 0.3, (b)x/D= 12.5, (c)x/D= 31.2, (d)x/D= 50	95
Şekil V. 13	Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı konum ve açılardaki konik ilavelerin akışa açık durumundaki boyutsuz hız dağılımları: (a)x/D= 0.3, (b)x/D= 12.5, (c)x/D= 31.2, (d)x/D= 50	97
Şekil V. 14	Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı konum ve açılardaki konik ilavelerin akışa açık durumundaki ortalama hız dağılımları: (a)x/D= 0.3, (b)x/D= 12.5, (c)x/D= 31.2, (d)x/D= 50	99
Şekil V. 15	Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda, farklı tiplerde yapılan ölçümlerin eksenel hız düşüşü	101
Şekil V. 16	Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, farklı tiplerde yapılan ölçümlerin eksenel hız düşüşü	102
Şekil V. 17	Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda, farklı tiplerde yapılan ölçümlerin jet yayılma oranları	102
Şekil V.18	Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, farklı tiplerde yapılan ölçümlerin jet yayılma oranları	102
Şekil V.19	D5 tipinde, (a) x/d=0.3 ve (b) x/d=12.5 ekseninde yapılan ölçümlerin frekans dağılımları	103
Şekil A. 1	Giriş ağzı açılımı	115
Şekil A. 2	Giriş kollektörü açılımı	115
Şekil A. 3	Difüzör adaptörü açılımı	116
Şekil A. 4	Difüzör açılımı	116
Şekil B. 1	6° konik ilavenin kapalı olduğu, jet akışının olmadığı ve tünel hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki iz akış ölçümleri	119
Şekil B. 2	6° konik ilavenin kapalı olduğu, jet akışının olmadığı ve tünel hızının 20 (m/s) olduğu durumdaki iz akış ölçümleri	120

Şekil B. 3	12° konik ilavenin kapalı olduğu, jet akışının olmadığı ve tünel hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki iz akış ölçümleri	12
Şekil B. 4	12° konik ilavenin kapalı olduğu, jet akışının olmadığı ve tünel hızının 20 (m/s) olduğu durumdaki iz akış ölçümleri	12
Şekil B. 5	6° konik ilavenin açık olduğu, jet akışının olmadığı ve tünel hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki iz akış ölçümleri	12
Şekil B. 6	6° konik ilavenin açık olduğu, jet akışının olmadığı ve tünel hızının 20 (m/s) olduğu durumdaki iz akış ölçümleri	12
Şekil B. 7	12° konik ilavenin açık olduğu, jet akışının olmadığı ve tünel hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki iz akış ölçümleri	12
Şekil B. 8	12° konik ilavenin açık olduğu, jet akışının olmadığı ve tünel hızının 20 (m/s) olduğu durumdaki iz akış ölçümleri	128
Şekil B. 9	6° konik ilavenin ve jet akışının açık olduğu, tünel hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki jet akış ölçümleri	130
Şekil B. 10	6° konik ilavenin ve jet akışının açık olduğu, tünel hızının 20 (m/s) olduğu durumdaki jet akış ölçümleri	131
Şekil B. 11	12° konik ilavenin ve jet akışının açık olduğu, tünel hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki jet akış ölçümleri	133
Şekil B. 12	12° konik ilavenin ve jet akışının açık olduğu, tünel hızının 20 (m/s) olduğu durumdaki jet akış ölçümleri	134
Şekil B. 13	6° konik ilavenin ve jet akışının açık olduğu, konik ilavenin jet çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği ve tünel hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki jet akış ölçümleri	136
Şekil B. 14	6° konik ilavenin ve jet akışının açık olduğu, konik ilavenin jet çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği ve tünel hızının 20 (m/s) olduğu durumdaki jet akış ölçümleri	137
Şekil B. 15	12° konik ilavenin ve jet akışının açık olduğu, konik ilavenin jet çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği ve tünel hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki jet akış ölçümleri	139
Şekil B. 16	12° konik ilavenin ve jet akışının açık olduğu, konik ilavenin jet çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği ve tünel hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki jet akış ölçümleri	140
Şekil C. 1	Tünel akışının olmadığı dairesel jet akışının 4. moment dağılımları	141
Şekil C. 2	Tünel akışı hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki dairesel jet akışının 4. moment dağılımları	141
Şekil C. 3	Tünel akışı hızının 20 (m/s) olduğu durumdaki dairesel jet akışının 4. moment dağılımları	142
Şekil C. 4	Tünel akışı hızının 10 (m/s) olduğu, jet akışının olmadığı ve 6° konik ilavenin kapalı olduğu durumdaki iz akışının moment dağılımları	142
Şekil C. 5	Tünel akışı hızının 20 (m/s) olduğu, jet akışının olmadığı ve 6° konik ilavenin kapalı olduğu durumdaki iz akışının 4. moment dağılımları ..	143

Şekil C. 6	Tünel akışı hızının 10 (m/s) olduğu, jet akışının olmadığı ve 12° konik ilavenin kapalı olduğu durumdaki iz akışının 4. moment dağılımları	14
Şekil C. 7	Tünel akışı hızının 20 (m/s) olduğu, jet akışının olmadığı ve 12° konik ilavenin kapalı olduğu durumdaki iz akışının 4. moment dağılımları	14
Şekil C. 8	Tünel akışı hızının 10 (m/s) olduğu, jet akışının olmadığı ve 6° konik ilavenin açık olduğu durumdaki iz akışının moment dağılımları	14
Şekil C. 9	Tünel akışı hızının 20 (m/s) olduğu, jet akışının olmadığı ve 6° konik ilavenin açık olduğu durumdaki iz akışının 4. moment dağılımları	14
Şekil C. 10	Tünel akışı hızının 10 (m/s) olduğu, jet akışının olmadığı ve 12° konik ilavenin açık olduğu durumdaki iz akışının moment dağılımları	14
Şekil C. 11	Tünel akışı hızının 20 (m/s) olduğu, jet akışının olmadığı ve 12° konik ilavenin açık olduğu durumdaki iz akışının 4. moment dağılımları	14
Şekil C. 12	Tünel akışı hızının 10 (m/s) olduğu, jet akışının ve 6° konik ilavenin açık olduğu durumdaki jet akışının 4. moment dağılımları	14
Şekil C. 13	Tünel akışı hızının 20 (m/s) olduğu, jet akışının ve 6° konik ilavenin açık olduğu durumdaki jet akışının 4. moment dağılımları	14
Şekil C. 14	Tünel akışı hızının 10 (m/s) olduğu, jet akışının ve 12° konik ilavenin açık olduğu durumdaki jet akışının 4. moment dağılımları	14
Şekil C. 15	Tünel akışı hızının 20 (m/s) olduğu, jet akışının ve 12° konik ilavenin açık olduğu durumdaki jet akışının 4. moment dağılımları	14
Şekil C. 16	Tünel akışı hızının 10 (m/s) olduğu, jet akışının ve 6° konik ilavenin açık olduğu, jet çıkışının koninin çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği durumdaki jet akışının 4. moment dağılımları	14
Şekil C. 17	Tünel akışı hızının 20 (m/s) olduğu, jet akışının ve 6° konik ilavenin açık olduğu, jet çıkışının koninin çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği durumdaki jet akışının 4. moment dağılımları	14
Şekil C.18	Tünel akışı hızının 10 (m/s) olduğu, jet akışının ve 12° konik ilavenin açık olduğu, jet çıkışının koninin çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği durumdaki jet akışının 4. moment dağılımları	14
Şekil C. 19	Tünel akışı hızının 20 (m/s) olduğu, jet akışının ve 12° konik ilavenin açık olduğu, jet çıkışının koninin çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği durumdaki jet akışının 4. moment dağılımları	15
Şekil D. 1	Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı açılardaki konik ilavelerin akışa açık ve kapalı olduğu durumdaki iz akış ölçümlerindeki boyutsuz hız dağılımları	15

Şekil D. 2 Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı açılardaki konik ilavelerin akışa açık ve kapalı olduğu durumdaki iz akı ölçümlerindeki rms dağılımları	15
Şekil D. 3 Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı açılardaki konik ilavelerin akışa açık ve kapalı olduğu durumdaki iz akış ölçümlerindeki ortalama hız dağılımları	15
Şekil D. 4 Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı açılardaki konik ilavelerin akışa açık ve kapalı olduğu durumdaki iz akış ölçümlerindeki boyutsuz hız dağılımları	15
Şekil D. 5 Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı açılardaki konik ilavelerin akışa açık ve kapalı olduğu durumdaki iz akış ölçümlerindeki rms dağılımları	16
Şekil D. 6 Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı açılardaki konik ilavelerin akışa açık ve kapalı olduğu durumdaki iz akış ölçümlerindeki	16



TABLO LİSTESİ

SAYFA NC

Tablo II.1 Sıkıştırılamaz asimetrik jetle ilgili önemli deneysel çalışmaların açıklamaları ve yayılma oranı önceden belirlenmiş değerlerle karşılaştırmaları	23
Tablo II. 2 Dairesel jet akışları üzerine yapılan araştırmalar ve açıklamalar	24
Tablo IV. 1 Kalibrasyon değerleri	65
Tablo V. 1 konik ilaveler olmadan yapılan dairesel jet ölçüm tipleri.....	73
Tablo V. 2 Jet ve konik ilaveler akışa kapalı iken konik yapının oluşturduğu iz akış ölçüm tipleri	73
Tablo V.3 Jet akışının olmadığı , konik elemanların akışa açık olduğu durumda yapılan ölçüm tipleri	74
Tablo V.4 Konik elemanların akışa açık olduğu, aynı hizalı ve jet nozulunun koninin 2 cm gerisine yerleştirildiği durumda yapılan ölçüm tipleri	74
Tablo V.5 A1, A2 ve A3 tiplerinde yapılan ölçümlerdeki eksen hızları, jet yarı kalınlıkları ve Reynolds sayıları	76
Tablo V.6 A2, D1,D5, D3 ve D7 tiplerinde yapılan ölçümlerdeki eksen hızları, jet yarı kalınlıkları ve reynolds sayıları	82
Tablo V.7 A3, D2, D6, D4 ve D8 tiplerinde yapılan ölçümlerdeki eksen hızları, jet yarı kalınlıkları ve Reynolds sayıları	90
Tablo V.8 Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda farklı istasyonlarda yapılan ölçümlerin yayılma oranları, açıları ve jet yarı kalınlıkları	99
Tablo V.9 Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda farklı istasyonlarda yapılan ölçümlerin yayılma oranları, açıları ve jet yarı kalınlıkları	99
Tablo V.10 Bazı Araştırmacıların buldukları Strouhal sayıları	103

BÖLÜM I

GİRİŞ VE AMAÇ

Bu çalışmanın ilk amacı aerodinamik ve akışkanlar mekaniği ile ilgili hem eğitim ve akademik amaçlı hem de endüstriyel deneylerin yapılabileceği düşük türbülans yoğunluklu, çok amaçlı, düşük hızlı-subsonik, açık çevrimli hava tüneli imalatını yapmak olup inşası gerçekleştirilmiştir.

İkinci amaç, imalatı yapılan hava tünelinin test bölgesinde farklı akış hızlarında kızgın tel anemometre kullanılarak yapılan türbülans ölçümleri ile test bölgesindeki akış analizini yapmaktır. Farklı ortalama hava hızlarında deneysel çalışılmış olup test bölgesinin akış analizleri gösterilmiştir.

Üçüncü amaç ise üzerinde bir çok çalışmanın yapıldığı temel akış tiplerinden birisi olan dairesel jet akışlarının ve iz akışların deneysel olarak incelenmesidir. Jet akışı için kullanılan boruya aynı eksenli olmak üzere farklı eğimlerde konik ilaveler yapılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Koaksiyel konik giydirme yapılan dairesel jet akışının farklı hızlardaki potansiyel akış bölgesi, geçiş bölgesi ve tam gelişmiş (türbülanslı) bölgesinin, akışları deneysel olarak ölçülerek, akış profilleri çıkartılmıştır.

Hava tünelleri, hava içinde hareket eden ve hava akımına maruz bırakılan cisimlerle ilgili olayları incelemek üzere inşa edilir. Genel olarak hava tüneli, deney prototipinin dinamik haldeki şartlarını statik halde iken, akışkanlar mekaniği benzeşim yasalarına göre incelemektir. Hava tünelleri, aerodinamik problemlerin analizi için deneysel çalışmalarda kullanılır. Hava tünelleri, uçak, araba , köprü ve binalar gibi günlük yaşantımızda yer tutan cisimlerin dizaynında aerodinamik özelliklerin tesbitinde kullanılan vazgeçilmez bir deney setidir.

Aerodinamik araştırmalarda kullanılan hava tünelleri kategorik olarak dört ana grupta toplanır. Bunlar:

- Sıkıştırılmaz alçak ses altı hava tüneli, Mach sayısı; $Ma < 0,3$
- Subsonik hava tüneli, Mach sayısı ; $0,3 < Ma < 0,8$
- Transonik hava tüneli, Mach sayısı; $0,8 < Ma < 1,2$
- Süpersonik hava tüneli, Mach sayısı; $1,2 < Ma < 5$

Aerodinamikte, hızı ve nitelikleri bilinen hava akışının bir cisim üzerindeki etkisini incelemek üzere 1896'da Albay Renard tarafından ilk olarak hava tüneli yapılmıştır fakat çağdaş donanımlı ilk hava tünelini, 1909'da Eiffel yapmıştır.

Hava tünellerinin sınırlı boyutları, denenen nesne ister bir engel, ister bir araç olsun küçültülmüş ölçekte bir maket üzerinde çalışmayı gerektirir. Deney sonuçlarının gerçek boyuttaki engel ya da araca uygulanması akışkanlar mekaniğinin benzeşim yasalarına dayanır. Hızın düşük olması halinde Reynolds sayısının, büyük olması halinde ise Mach sayısının önemi bulunmaktadır. Bir hava tünelinin tasarım ve dizaynında, önce yapımı düşünülen tünelde, hangi tip deneylerin yapılacağı, deney odasında elde edilecek akımın düzgünlüğü ve büyüklüğü, deney odasının açık veya kapalı oluşu ve tünelin yerleştirileceği mahal şartları dikkate alınmalıdır. Hava tüneline ait akım koşulları, hava tüneline yapılacak olan deneylere büyük ölçüde etki eder. Bu nedenle deney sonuçlarının iyi bir şekilde yorumlanıp değerlendirilmesi, akım şartlarının bilinmesini gerektirir. Akım koşulları ise hava tünelinin dizaynı ile direkt olarak bağlantılıdır. Bu nedenle hava tünellerinin tasarımı, akım koşulları iyice belirlendikten sonra yapılmalıdır [1,2].

Bu çalışma kapsamında imal edilen hava tünelinin tasarımında, çeşitli deneylerin yapılacağı, deney odasında elde edilen akımın düzgünlüğü ve büyüklüğü, deney odasının yapılacak deneylere göre değiştirilmesi ve mahal şartları dikkate alınmıştır.

Düşük hızlı hava tünelleri iki temel tipte bulunmaktadır. Birincisi, "Açık Devreli" hava tünelleridir. Bu tip tünelde hava dönüşümsüzdür. Bu tünelin yerleştirildiği mahal büyük olmalıdır. Bu tip tünelin kurulduğu mahalde emişte en az 2 m , üfleme tarafında en az 2 m'lik alan boş olmalıdır [3]. İkinci tip hava tüneli ise "Kapalı Devreli" tüneldir. Burada akış dönüşümlü olduğundan daha ekonomiktir.

Açık devreli tünelin uzunluğu genellikle çalışma bölgesinin 20 katından az olmamalıdır. Uygulamada test bölgesi 1 m^2 'den daha büyük olmamaktadır. Kapalı

devre tünellerinde ise 0.5 m^2 ' den az olanı çok nadirdir fakat atmosferik olarak kontrol edilen araştırma tünelleri bunu dışındadır. Kapalı devre tünellerde dönüşlü geçişler tünelin maliyetini % 60'dan % 100'e çıkartır. Türbülans araştırmaları ve deneyleri için tünellerin düşük türbülanslı olması gerekmektedir. Türbülans yoğunluğu ayarlanabilir olmalı ve test bölgesindeki grid yüzeyler bilinmelidir [4].

Açık tip tünellerde model ve ölçüm ekipmanlarının kurulması kolay olup çalışma bölgesinde ortalama basıncın ve basınç gradyeninin ayarlanması zor olmaktadır. Düşük hızlı hava tünelleri için dizayn prensipleri, Gorlin ve Slezinger[5], Bradshaw ve Pankhurst[6], Pankhurst ve Holder[7], Pope ve Harper [3] tarafından verilmiştir.

Bu çalışma kapsamı dahilinde, imalatı gerçekleştirilen ve 320 x 320 mm giriş kesiti, 336 x336 mm çıkış kesitli ve 750 mm uzunlukta test bölgesi olan hava tünelinin, tasarım ve dizaynı ile Kızgın tel anemometre kullanılarak yapılan deney odası türbülans ölçümleri ve dairesel jet türbülans ölçümleri anlatılacaktır.

Emişli tipte imalatı gerçekleştirilen ses altı hava tüneline akış, AC motorlu bir fan tarafından sağlanmış ve fanın devri de bir hız kontrol ünitesiyle ayarlanmıştır. Veri toplamak için bir AD konverter, anemometre, bilgisayar ve yazılım kullanılmıştır.

Açık devreli hava tünelinin esasen 4 ana elemanı bulunmaktadır. İstenen akım özelliklerini sağlayabilmek yani akım düzgünlüğü ve akımın üniform olmasını temin etmek ve akım iplikçiklerinin birbirlerine paralel olmasını sağlamak için hem giriş kollektöründe hem de difüzörden sonra dinlenme odası ilavesi yapılmıştır. Akım düzgünlüğünün sağlanması için yine giriş kollektörüne ve fan kabininden önce bal peteği yerleştirilmiştir. Ayrıca fandan kaynaklanan titreşimin tüneldaki hava akışını olumsuz yönde etkilememesi için fan ile difüzör alüminyum folyo bantla bağlantı sağlanmıştır. Bundan başka tünel taşıyıcısı olarak çelik profilden tünel şasesi yapılmıştır. Bütün bu durumlar göz önünde bulundurularak imalatı yapılan hava tünelinin elemanları;

- Ana Elemanlar: Test Bölgesi, Giriş Kollektörü, Difüzör, Fan Kabini
- Yardımcı Elemanlar: Akım Düzenleyicisi, Tünel Şasesi, Elektrik Panosu, Hız Kontrol Ünitesi
- Ölçüm Elemanları: Kızgın Tel Anemometre (Hot-Wire Anemometre), Sulu Manometre ve Pitot Tüp

Hava tüneli imalatına, tüneli oluşturan elemanlar karakterize edilerek test bölgesinden itibaren tünel imalatına başlanmıştır. Bütün elemanlar farklı deneylerin yapılabilmesi için modüler tarzda olabilecek şekilde, hava tüneline flanşlarla bağlantısı yapılmıştır.

Bunların dışında, eksenel jet ölçümlerinde, hava temini için kullanılmak üzere 200 lt'lik kompresör ile bir fan kullanılmıştır. Dairesel jet akışı için kullanılan çelik boru, $\phi 8$ mm'lik çapında ve 120 cm uzunluğundadır. Ayrıca Jet çıkışına koaksiyal olarak giydirilen konik parçaların uzunluğu 25 cm ve eğimleri ise 6^0 ve 12^0 dir.

Tabiatta akışların tamamına yakını türbülanslı olmasına rağmen, türbülanslı akış yapılarının tam olarak incelenmesi ve analiz edilmesi zordur. Genellikle endüstriyel uygulamalarda, akışın geçtiği geometriye ve çıkış ortamının koşullarına bağlı olarak türbülansla ilgili problemler olmaktadır. Bu nedenle akış yapılarının iyi bir şekilde incelenip modellenmesi için deneysel çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

Jet akışları, akışın temel yapısının kolaylıkla incelenebileceği temel akış tiplerinden birisidir. Motorlardaki silindirde meydana gelen yanmalarda, laser, kimya ve ilaç sanayii gibi bir çok endüstriyel alanlarda uygulamaları vardır. Başlangıçta ortalama basınç ve hızlar üzerine araştırmalar yapılmıştır. İlk dairese jet akışları üzerine yapılan araştırmaların çoğu da çevredeki akışkana doğru gelişen serbest jet gelişimi ile ilgilidir. Yapılan araştırmalarda, kızgın tel anemometresi kullanılarak zamana bağlı ölçümler yapılmıştır. Son yıllarda da laser kullanarak daha kapsamlı araştırmalar yapılmaktadır.

Bu çalışma altı bölümden meydana gelmiştir. Giriş bölümünde tezin amacı ve yapılan çalışmalarla ilgili bilgi verilmiştir. 2. Bölümde hava tüneli imalatı, türbülans, eksenel jet ölçümleri üzerine yapılan çalışmalarla ilgili literatür bilgileri sunulmuştur. 3. Bölümde hava tüneli tasarım ve imalatı anlatılmış, 4.bölümde deney metodu ve cihazlarla ilgili bilgiler ve kızgın tel anemometre kalibrasyon metodu verilmiştir. 5. Bölümde tünel test bölgesindeki türbülans ölçümü ile aksi-simetrik ve konik jet akışlarıyla ilgili yapılan deneysel çalışmalar açıklanmış ve 6. Bölümde yapılan deneysel çalışmalarla ilgili sonuçlar irdelenmiş ve yorumlanmıştır.

BÖLÜM II

GENEL BİLGİLER

II.1. GİRİŞ

Bu çalışmanın temelini düşük hızlı ve emişli tipte bir hava tüneli tasarım ve imalatı ile kızgın tel anemometre ile tünel deney odası içerisinde yapılan jet ölçümleri oluşturmaktadır. Bu nedenle bu bölümde, hava tüneli tasarım ve imalatı ile jet ölçümleri üzerine yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilecektir. Aerodinamik ve akışkanlar mekaniği gibi bir çok alanda önemli bir deney ünitesi olan hava tünelleri, üzerinde çalışılacak deneysel çalışmalara göre imalatı yapıldıkları için bir çok tipi vardır. Bu nedenle farklı çalışma alanlarına göre yapılan hava tünelleri hakkında bilgi verilecektir.

İmalatı gerçekleştirilen hava tüneline, temel akış öğretisinde önemli bir yeri olan ve üzerinde birçok deneysel çalışmaların yapıldığı jet akışları üzerinde yapılan çalışmalar ve jet yapısı hakkında bilgi verilecektir.

II.2. HAVA TÜNELİ ÇEŞİTLERİ

II.2.1. Açık Ve Kapalı Çevrim Tünelleri

Hava tüneli, tasarım şekline göre açık ve kapalı devreli olmak üzere iki sınıfa ayrılır. Deney odası tasarımına göre de açık deney odalı ve kapalı deney odalı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. İlk temel tünel tipi, açık çevrim tüneline aittir. Burada hava, giriş ağzından geçerek test odasına girer, difüzörü takip ederek fan kısmına ve oradan da hava çıkışına giderek dışarı verilir [3].

İkinci tip hava tünelleri, kapalı çevrim hava tünelleridir. Bu tünellerde havanın dönüşümü sürekli olarak gerçekleşmektedir. Her iki kapalı ve açık çevrim tünellerinin de bütün mühendislik

dizaynlarında olduğu gibi avantaj ve dezavantajları vardır.

Açık çevrim tünellerin avantajları ;

- Konstrüksiyon maliyeti düşüktür.
- Eğer motordaki iç yanma ve hava akışının dumanla gözlemlendiği tasarım varsa atmosfere açık olduğu için çamurlaşma problemi olmaz.

Dezavantajları ;

- Test odasının içinde bulunan yüksek kaliteli akışı gözlemlemek için odanın geniş olması gerekmektedir.
- Tünelin büyük ve hava hızının yüksek olması isteniyorsa tünelin büyük enerjiye gereksinimi vardır.
- Genellikle gürültülüdür. Gürültülü çevre problemlerine ve deneylerin her saatteki limit değerlerinin değışmesine neden olmaktadır.

İlk baştaki maliyetinin düşük olması nedeniyle okullarda ve üniversitelerin laboratuvarlarında çalışma amaçlı kullanılmaktadır.

Kapalı çevrim tünellerin avantajları;

- Elek ve köşeli dönen kanatlar sayesinde akışın kaliteli olarak kolayca kontrol edilebilmesi mümkündür.
- Test odasının büyüklüğü ve hızı için düşük enerjiye ihtiyaç duyulur.
- Deney sırasında az gürültülüdür.

Dezavantajları ;

- İçindeki dönen kanatların ve dönüş kanallarının maliyeti çok yüksektir.
- Eğer dumanlı testler ve motorlardaki silindir içerisindeki yanma testi için yapılırsa tünelin kanallarında çamurlaşma olur.
- Sıcak yaz aylarında test yapılıyorsa havayı soğutmak için klima sistemine ihtiyaç duyulur.

Açık bir tünelle bağlantılı açık test odasının çevresi, dış ortamdan etkilenmemesi için kapalı olmalıdır. Giriş havası içten olmalıdır. Kapalı dönüş tünelleri boyutların ayarlanması ile meydana gelen saptmalardan, dıştan ve rüzgardan korunacak şekilde balans edilmelidir. Genellikle tünellerin çoğunda kapalı test odası bulunmamaktadır.

Büyük tip tünellerde test odasının dikdörtgen kesitli olanı tercih edilmektedir. Test odası mümkün olduğu kadar büyük kesitte olmalıdır. İdeal olanı bütün ölçekteki uçakların girebileceği büyüklükte olanıdır. Bu sebeple bu amaca ulaşmak için 1920'den 1940'a kadar çeşitli tipte tüneller yapılmıştır fakat bununla birlikte 1940'dan 1970'e kadar uçakların boyutları artmış olup gelecekte daha da artacağı bilinmektedir. Hovard Hughes' in Herkül isimli olanı veya ondan daha çok popüler olarak bilinen Spruce Goose'nin genişliği 97.5 m' dir. Span modelinin test odasının genişliği 128 m olması amaçlanmaktadır. Tünel yapım maliyeti yüksek olmasına rağmen tünelin montajında ve test programı esnasında değişiklik yapabilme gibi üstünlükleri vardır. Bir çok uçak testinin yapıldığı test odalarının genişliği, 3 - 6 m arasında olmaktadır.

II.2.2. Yüksek Reynolds Sayılı Tüneller :

Kullanılan bütün Reynolds sayılarını bütün ölçekli uçaklar için uygulama imkanı yoktur. Reynolds sayısını küçük tünellerle ve modellerle artırma imkanı vardır. Reynolds sayısını arttırmak için uygulanan en eski metotlardan biride tünelin basınçlandırılmasıdır. Böyle bir çalışma NASA Langley' de yapılmıştır fakat şu an hizmet dışıdır [10]. Bu tünelde 20 atm basınç uygulanmıştır. Bu yaklaşımla Reynolds sayısı aşağıdaki gibi gösterilir.

$$P = \rho \cdot R \cdot T \quad (II.1)$$

$$Re = \frac{V \cdot D_h}{\nu} \quad (II.2)$$

Burada, p, basınç (atm), R, gaz sabiti, T, sıcaklık (K°), V, hız (m/s), D_k, hidrolik çap (m), ν , kinematik viskozite (kgm²/s).

Basınç 20 atm'nin üzerine çıkıyorsa yoğunluk ve Reynolds sayısı değişir. O zamanda 20 atm'de olması için tünelin boyutunu ve hızını arttırmak gerekir. Bu metotla bazı temel sakıncalar vardır.

Bu sakıncalar ;

- Tünelin yapımında özellikle kapalı çevrim tip tünellerde, yüksek iç basınç olmaktadır.

- Tüneli, yüksek iç basınç üzerine çıkarmak için gereken zaman ve pompanın maliyetinin artması istenmeyen bir durumdur.
- Yüksek yoğunluklu geniş dinamik basınçta büyük ve mümkün olduğu kadar aşırı model yükü kazanırlar.
- Tünelin boyutları büyüdükçe sızdırmazlık riskide artmaktadır. Daha geniş tüneller sızdırmaz test odalı olmalı ve modele erişmek için test odasının basınçlarının alınmasına imkan verilmelidir.

Reynolds sayısını arttırmak için yapılan ikinci yaklaşım, kullanılan akışkanın değiştirilmesidir. Başlangıç maliyeti, pompa , gaz maliyetleri ve test odasına, model değişiklikleri için oturabilecek düzeneğin yapılması gibi basınç tüneline olan problemler burada da ortaya çıkacaktır.

Reynolds sayısını kreojonik tünellerde de artırma imkanı vardır. NASA bu tüneli, N.T. facility ismiyle Langley araştırma merkezinde yapmıştır. Bu tip bir tünel transonik test için olmakla beraber aynı mantık düşük hızlı tünel içinde geçerlidir. Bu tünelin 9 atm'ye kadar değiştirilebilen basınçlandırma özellikleri vardır. Kullanılan akışkan nitrojendir. Fanın arka kısmından sıvılaştırılmış olarak verilen nitrojen, gaz haline gelerek soğutma yapmaktadır.

Bu teknikle yüksek dinamik basınç oranlarında işlem yapmak ve her hangi bir basınç tünellerine benzer tünelleri durgun basınç sınırları için sabit sıcaklıklardaki Reynolds sayılarında işlem yapmak mümkündür. Sıcaklığın değişmesi ve sabit dinamik basınçlarda da tüneller çalışabilir. Reynolds sayısı oranı, verilen model büyüklüğü için 1×10^6 dan 100×10^6 ya kadar değişebilir. Bu etkinlikler için yapım ve işlem maliyeti, oldukça yüksektir fakat rüzgar tünellerinin nasıl başarılı olduğunu da göstermiştir.

II.2.3. V/Stol Hava tüneli

Bu tünellerdeki uçuş geçiş bölgesinde, güçlendirilmiş kaldırma sistemleri tarafından üretilen büyük alt akış açılarında dolayı verilen model boyutları için, çok büyük deney odasına ihtiyaç duyulmaktadır. Geçiş bölgesinde uçuş hızları düşük olduğundan tüneller geniş test alanlarında yüksek hızlara ihtiyaç duymaz. V/Stol tünellerinin kurulmasında oluşan problemin çözümü için Lockheed Georgia göz önüne alınmıştır.

Lockhed, iki konstriksiyonlu test alanlarıyla yapılan bir tünel tipidir. Birinci Test odası V/Stol veya gücü arttırılmış kaldırma modelleri içindir ve 10 m/s den 50 m/s hıza, 23.5 m² lik enine kesit alanına sahiptir. İkinci Test odası 26 m/s den 113 m/s devir sayılarına ve 25.8 m² lik enine kesit alanına sahiptir.

Bu dizayn; yüksek hızlardaki geniş test alanlarında yapılması istenen yüksek kuruluş glerinden kaçınmıştır. Tünelin uzunluğu bu çözümle arttırılır bu da kabuk maliyetini arttırmaktadır. V/Stol da yüksek hızlarda küçük test alanı, düşük hızlarda geniş test alanları, bir diğer yaklaşımla hız kapasitesini arttıran ve çalışma alanını azaltan geniş çalışma alanları dizayn edilebilir. Bu oldukça çekicidir fakat bu düzeneği kurma zamanı ve hareket ettirmek tünel etkinliklerinin kullanılabilirliğini azaltabilir [11].

V/Stol tünellerinin yapılmasını sağlayan en ekonomik yaklaşım, mevcut rüzgar tünellerinin yeniden düzenlenmesidir. Bu tünellerin kapasitelerinin arttırılması için en düşük maliyetli metodlardan biride mevcut tünellerin bazı kısımlarının V/Stol tünellerinin test odasına dönüştürülmesidir. NASA Langley’de yapılan, baş kısmı konik ve son kısmı difüzör olan bir düzenektir. Bir amaca göre yapılan tüneldeki test odalarında hassas akış kalitesi yapabilmelidir. Bununla birlikte, ite yapılan ayarlamalar ve model dayanaklarının ayarlanmasıyla V/Stol tünelleri de uygun maliyetle yapılabilir.

II.2.4. Özel Amaçlı Tüneller

Yıllarca test gereksinimleri veya özel araştırmaları için bir çok tünel inşa edilmiştir. Bu tünellerin çoğu başka amaçlar için adapte edilebilmekte ve kullanılmaktadır. Bu tünellerdeki yapılan bazı testler genel amaçlı tünellerin adapte edilmesiyle tamamlanabilir ve oldukça verimlidir.

II.2.5. Farklı Yoğunluktaki Tüneller

NASA farklı yoğunluk tünelleri ve İngiltere de NPL deki eş basınç hava tünelleri, Basınçlı tünellerdir. Atmosfer basıncında (genellikle daha yüksek) farklı yoğunluklardaki akışlarla ilgili deneyler yapılır[3].

II.2.6. Serbest Uçuş Tünelleri

1930 yıllarında bir çok serbest uçuş tüneli yapıldı. Bu tüneller açık dönüşlü tip ve boyutluydu. Tünelde yer çekimi etkisi altında dinamik skalalı model uçuşu vardır. Bu tünel, modelin kayma yönüne göre ayarlanabilir. Bu tünellerde modelin dinamik davranışları üzerinde çalışılmakta olup kontrol yüzeylerine içinden geçen sevk telinin kumandasıyla yön verilebilir. Bugün bu tünellerin hiç biri serbest akış tünelleri olarak işlem görmemektedir [3]. NASA Langley halen güçlendirilmiş modelleriyle 9 x 18 m'lik tünellerde, serbest uçuş çalışmaları yapmaktadır. Bu etkinlik, V/Stol'un hangarların ve uçak modellerinin kontrol kayıpları ile ilgili çalışmalar için kullanılırlar [3].

II.2.7. Dönüş Tünelleri

Uçakların dönüş tünellerine girişi uçak dizaynerleri için problem olmuştur. Spin tünellerinin iyileştirilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Bu tünel, tünelin üstüne yakın bir pervane tarafından havanın aşağı yukarı hareketi ile dikey rüzgar hareketi yapan tünellerdir. Dönüş vanası ile halka şeklindeki bir dönüşü kullanır. Dinamik olarak benzer modeller, operatör tarafından tünel içerisine sokulur. Tünel hava hızında, modeli sabit yükseklikte tutmak için düzenlenir ve model hareketi daha sonraki analizler için TV ve filmler kaydedilir [3].

II.2.8. Stabil Tüneller

1941'de NASA Langley'de yapıldı. Bu tüneller yaklaşık 2 m'lik boyutlara kadar ayarlanabilir test odasına sahiptir [3]. Test odalarından biri sahip olduğu rölatif vana ile girdaplı hava akımı oluşturur. İkinci test odasına, uçuş dönüşünü simüle etmek için eğim verilmiştir.

II.2.9. Pervane Tünelleri

Açık test odaları ve yuvarlak enine kesitleri, hariç konvensiyonel tünellere benzerler. Pervane tünellerinin en eskilerinden biri 1.7 m çaplı test odasıyla 1917' de Stanford

Üniversitesinde yapılmıştır. 1922 yılında NASA' da faaliyete geçen pervane tüneli olan 6 m'lik test kesitine sahiptir. Ayrıca pervane testleri dışında bu tünel, uçaklarda motor yerleşim yerleri ile ilgili fikir vermektedir.

II.2.10. İtme Tünelleri

Uçak motorlarının, ya alternatif hareketle veya jetle atmosferik basınç ve sıcaklığın değişmesiyle her iki uçuş hızının simülasyonu yapılmaktadır. Motor tünelde çalıştırıldıktan sonra eksoz gazları kapalı devreli tünellerden uzaklaştırılmalıdır veya açık devreli tüneller kullanılmalıdır. Düşük yoğunluk sağlamak ve soğutma sisteminde düşük sıcaklık sağlamak için pompaya yükseklik verilmelidir.

II.2.11. Buz Tünelleri

Uçuş araçlarındaki buzlanma, uçak ve helikopterlerin bulunduğu genel havacılık için hala bir problemdir. Lewis'te 1.8 x2.7 m çapında NASA' nın buz tüneli, hava sıcaklığını -40 °C'ye düşüren soğutucu sistemin su damlacıklarını buz haline getiren, test odasında buhar atomize ilavesi bulunan konvensiyonel düşük hızlı kapalı çevrim bir tüneldir. Bu tünelin iskeleti tüneli soğuktan korumak için 7.5 cm kalınlığında Fiberglas'la izole edilmiştir. Bu tünelin modernize edilmiş halinde model değişimi sırasında donmayı önlemek için fan rölantide çalıştırılmalıdır.

II.2.12. Düşük Türbülanslı Tüneller

Bu tüneller genellikle test odasındaki çemberin baş kısmına monte edilmiş geniş ve açık difüzörü olan tünellerdir. Bu büyük düzenekli çemberler türbülansı önleyen peteklere ve ızgaralara sahiptir ve bu konstrüksiyonun artışı türbülansının azalmasını sağlar. Kapalı çevrim tipi düşük türbülanslı tünellerde, 90°dönüşten daha büyük olan 180° lik bükülmüş köşeler kullanılmıştır. Bu tip köşe Nasa Langley düşük türbülanslı basınç tünellerinde (LTPT), iki boyutlu tünellerde ve Ames'in 3.7 m'lik yüksek hızlı basınç tünellerinde kullanılmaktadır. Langley LTPT' de çemberin baş kısmına monte edilmiş geniş açılı bir difüzör kullanılır. Bu tünel 17,6 ile 1 konstrüksiyon oranlarına ve ızgaraya sahiptir.

II.2.13. İki Boyutlu Tüneller

İki boyutlu tüneller öncelikle Aerofoil odalarının testi için kullanılır. Açık ve kapalı dönüş tipleri de yapılmaktadır. Bu tüneller yüksekliğin genişliğe oranının iki katı veya daha fazla olduğu uzun dar test odalarına sahiptir. Bu tüneller genellikle düşük türbilanslı tiplerdir. Reynolds sayısını arttırmak için basınçları artırılabilir.

II.2.14. Duman Tüneli

Duman tünelleri öncelikle akışı görüntülemek için kullanılır. Genellikle bu tüneller dönüşü olmayan tiplerdir. Fotoğrafik olarak öncelikle veri kaydedici metotlardır. Hem iki hem de üç boyutlu duman tünelleri yapılmaktadır [3]. Uygulamada duman olarak hafif yağların buharları kullanılır. Duman tünelleri geniş kontrast oranlarına sahiptir. Laminar akış elde etmek için, içinde anti tribün ızgaralarının yüksek numaraları kullanılır. Genelde tünellerin duman hızları, 10 ile 20 m/s civarındadır. Bu tünellerden biri 1959'da Noterdam Üniversitesin'de inşa edilmiştir. Schiliren yöntemi ile dumanın ve şok dalga modellerinin fotoğrafının alınmasına izin verir.

II.2.15. Meteorolojik – Çevresel Tüneller

Bu tüneller yeryüzünün doğal sınır tabakalarının özel olarak simüle etmek için kullanılır. Bu tüneller, köprülerin süspansiyon etkisinin öğrenilmesinde, binaların üzerindeki rüzgar yüklerini ve etrafındaki olanları, hava kirliliğini, toprak erozyonunu, çığ düşmesini ve benzeri şeyleri belirlemek için kullanılır.

II.2.16. Taşıt Tünelleri

Bu tip hava tünelleri kara taşıtları için otomobil endüstrisinde, yarış arabaları ve yüksek hızlı trenler için kullanılır. Taşıtlar yol şartlarının eğimine göre kullanılır. Taşıtların eş zamanlı motorları, eş zamanlı tünel hızlarında kullanılır. Sınır tabakası test bölgesindeki akışlarda azaltılmalıdır. Geniş tüneller için otoların performanslarına ve stabilitelerine etki eden aerodinamik testler için, ya ölçekli modeller yada tam ölçekli otolarla yapılır.

II.3. HAVA TÜNELLERİNDE TÜRBÜLANS ETKİSİ

Hava tünellerinde akış tam olarak kararlı ve üniform değildir. Özellikle kararlı akış durumunda yüzeyinin bir kısmı laminar tabakaya sahip olan cisimlerde türbülans etkileri büyük olur. Akışta, değişken yapıları bulanan ve farklı yoğunlukta bulunan küçük eddiler, türbülans gibi kolektif olarak bulunurlar. Bir cisim üzerindeki akışta türbülans etkisi çok geniş bir şekilde sınır tabakasında sınırlandırılır. Geçmişte, yüksek türbülanslı akışta yapılan model deneylerinde Reynolds sayılarının azaltılması ile skala etkisinin de azaltılabileceği üzerine tartışmalar olmuştur. Bu bağlamda skala etkisinin, iki farklı tipi arasındaki farklılığı ayırt etmek çok önemlidir. Birinci tip, “doğru” skala etkisi olarak tanımlanabilir. Reynolds sayısı arttığı zaman, akıştan kopma ve laminarlılık sabit kalırken yüzey sürtünmesi ve sınır tabaka kalınlığı değişimi meydana gelir. İkinci tip daha önemlidir ve sınır tabaka kalınlığındaki türbülans oluşumundan meydana gelir. Reynolds sayılarının değişimi gibi geçiş durumunda (laminar akıştan türbülanslı akışa) ve akış kopmalarında ikinci tip skala etkileri görülmektedir.

En yüksek Reynolds sayısı deney odası girişinde meydana gelmekte olup bu da türbülans oluşturan sınır tabakası meydana getirmektedir. Büyük yüzeyler ve aerofoillerde ve geçiş bölgelerinin uç kısımlarında yüksek Reynolds sayısında maksimum kalınlık meydana gelir. Böyle yüzeyler, düşük Reynolds sayılarında test edildiğinde deney odasına girişte, geniş skala etkisi oluşturarak akışta kopmalar meydana getirebilir. Düşük sürüklemeli yüzeylerde maksimum kalınlık durumu deney odasının girişinden uzakta olmaktadır.

Düşük türbülanslı akışlarda ve büyük yüzeylerde skala etkisi görülebilir. Yüksek hızlı tünellerde geniş türbülans etkisi olur. Akışta türbülansın artması laminar akıştan ayrılmalara olduktan sonra başlamaktadır. Böyle durumlarda tüneli düşük türbülans sağlayacak şekilde dizayn etmek gerekir. Bununla birlikte birçok tünel imalatı, yüksek mach sayısı üzerinde, yüksek Reynolds sayılı ve düşük hızlı olarak yapılmıştır.

Bu nedenle rüzgar tünellerinde dizayn yapılırken türbülansı azaltacak şekilde tasarlanıp imalatının yapılması gerekmektedir. Sonuçta tünelin çalışma veya deney bölgesinde hatasız ölçümleri gerçekleştirmek için tünelin gerekli şartları sağlayacak

şekilde temel prensiplere uygun olarak inşa edilmelidir. Bu daima objektif bir durum olmayabilir [6].

Türbülans araştırmaları ve çalışmaları için tünellerin düşük türbülanslı olması gerekmektedir. Bu da sadece türbülans yoğunluğunu ayarlayabilecek şekilde olmalı ve çalışma bölgesindeki grid yüzeyler bilinmelidir.

II.4. HAVA TÜNELLERİNDE TÜRBÜLANSI AZALTMA YÖNTEMLERİ

Ekranlarda, kolektörlerde, peteklerde türbülans azaltma metodunun prensipleri uygulanmıştır. Çalışma bölgesindeki modelin üst akışlarında mesh kalınlığı, türbülansı artırır. Kolektördeki düşük hızlı akışın üst kısmında ve çalışma bölgesinde büyük mesafede oluşan türbülansı önlemek için tünele uygun olan çok amaçlı ince mesh aralığında ekranlar kullanılmıştır [6].

Ekranın hız dağılımı ve türbülans etkisi geniş bir şekilde basınç düşüşü katsayısı, 'K' ile açıklanır. Bu ifadeyi veren eşitlik ise;

$$K = \frac{p_1 - p_2}{\frac{1}{2} \rho U_{ek}^2} \quad (II.3)$$

Burada p_1 ve p_2 sırasıyla ekranın üst ve alt akışının basınçlarıdır, U_{ek} ise hızıdır. Ekranın bu türbülans etkisi Prandtl ve Batchelor tarafından araştırılmıştır. Dryden ve Schubauer bu teoriye hız dağılımlarının etkisini bulmuş ve bu teori Collar ile Batchelor tarafından daha da ileriye götürülmüştür [6]. Bu teoriler tam olarak tatmin edici olmayabilir. Çünkü alt akış bölgesinin mekanizması hala tam olarak anlaşılmamıştır. Üniform olmayan kararlı akışlar için, Collar ve Batchelor üst akıştan uzak uzunlamasına hızlar için ($U+u_1$) ve alt akıştan uzak hızlar için ($U+u_2$) değerlerini koymuştur.

Buradan;

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{2 - K}{2 + K} \quad (II.4)$$

eşitliği yazılır. Burada: u_1 : üst akış bölgesinde herhangi bir noktadaki hız, u_2 : alt akış bölgesinde herhangi bir noktadaki hızdır. Bu eşitlik, Collar ve Mac Phail tarafından

deneylerle doğrulanmıştır. Bununla birlikte türbülans çalkantıları olduğunda ekranın karakteristikleri çıkartılır fakat bu da kesin değildir. Çalkantılar uzun periyotta ve ortalama zamanda iken sıfırdır. Batchelor ekrandan kaynaklanan türbülansı ihmal etmiştir [6]. Ekranın üst akış ve alt akış kısmından uzak uzunlamasına türbülans hız çalkantılarının oranını veren denklemi şu şekilde göstermiştir;

$$\frac{\bar{u}_2^2}{\bar{u}_1^2} = \frac{1 - (2/5K)}{1 - (2/5K)} \quad (II.5)$$

II.5. JET AKIŞ YAPISI

Jet akışları, Nozuldan çıkan akışın çevre akışına doğru oluşturduğu akış profili halidir. Jet akışı, çıkıştan uzaklaştıkça hız profili genişler ve eksenindeki hız da gittikçe yavaşlar. Jet, temel akış yapısının en temelinden birisidir. Motor yanmaları, laser, kimya ve ilaç sanayii gibi bir çok endüstriyel alanda uygulamaları vardır.

Jet akışı, Çıkıştan uzaklaştıkça hız profili genişler ve eksenindeki hız gittikçe yavaşlar. Jet akışındaki hız dağılımının bulunması için gerekli denklemler Navier-Stokes ve x doğrultusundaki momentum korunumu denklemleridir.

Jet akış uygulamalarında, hız alanını veren Navier-Stokes eşitliği, indis notasyonu ile aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_k \partial x_k} \quad (II.6)$$

Sıkıştırılamaz akışkan için süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (II.7)$$

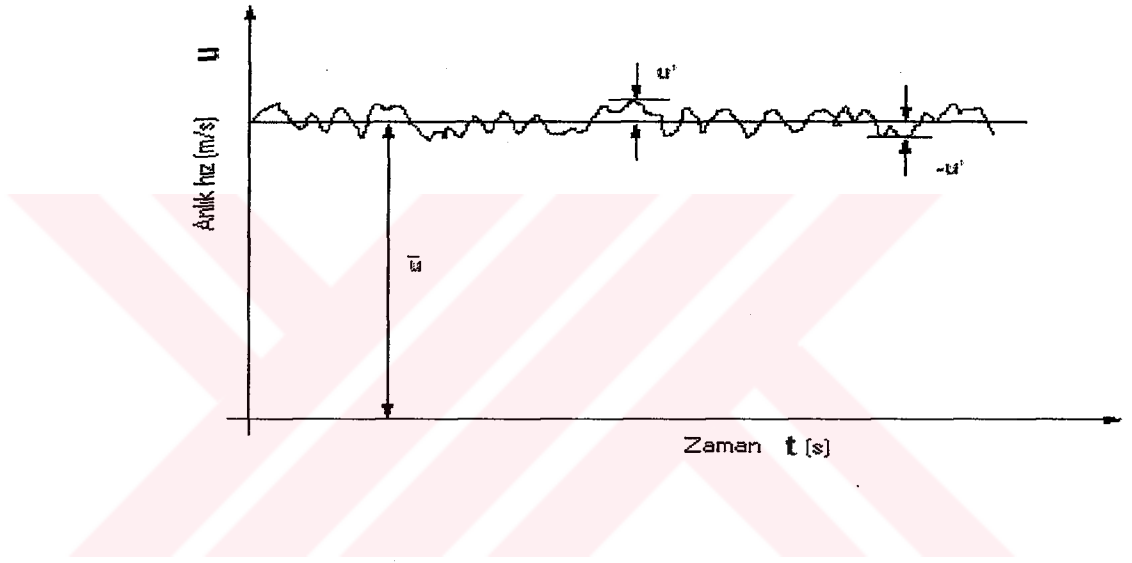
Şeklindedir.

Burada: u_i : i yönündeki anlık hız, x_i : koordinat, p : Anlık basınç, ρ : Akış yoğunluğu, ν : Akışkanın kinematik viskozitesidir.

Bu eşitliklerle, jet akış deneylerinden, akış yönü, akışın eksenelliği, akış alanı genişliğinin akış alanı uzunluğu ile karşılaştırılması, küçük basınç değişiklikleri, türbülanslı akışta kor bölgesi, ortalama akış kararlılığı, çevre akışının jetten uzaklığı tesbit edilebilir.

Reynolds ayrışımı, şekil II.1’de, jet akışlarında herhangi bir noktadaki hız, aşağıda yazıldığı gibi gösterilmiştir.

$$u_i(t) = \bar{u}_i + u'_i(t) \quad (\text{II.8})$$



Şekil II. 1 x doğrultusunda bir noktadaki hız dağılımı [12]

Burada: $u_i(t)$: Anlık hız, $\bar{u}_i$: Zaman-ortalama hız, $u'_i(t)$: $\bar{u}_i$ etrafındaki ortalama hız çalkantılarıdır.

Üst çizgiler, çalkantı hızlarının ortalamaları olup sıfırdır.

$$\overline{u'_i(t)} \equiv 0 \quad (\text{II.9})$$

Basınç alanları da benzer şekilde yazılır.

$$p(t) = \bar{p} + p'(t) \quad (\text{II.10})$$

ve

$$\overline{p'(t)} \equiv 0 \quad (\text{II.11})$$

Reynolds ayrışimleri, Navier-Stokes denkleminde, belirli bir zamandaki ortalama akış durumunda kullanılarak, silindirik koordinatta aşağıdaki gibi kullanılır.

$$\rho(\bar{u}_r \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial x} + \bar{u}_r \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial r}) = -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \rho \overline{u'_x u'_r}) \quad (\text{II.12})$$

Burada: $\bar{u}_x$: Belirli zamandaki ortalama eksen hızı, $\bar{u}_r$: Belirli zamandaki ortalama radyal hızdır. $\overline{u'_x u'_r}$ ise Reynolds gerilmesidir.

Reynolds gerilmeleri bağımsız eşitlik olmaksızın bu denklemle çözülmez. Eddy kinematik viskozitesi, ν_T , eksenel hız gradyanındaki Reynolds gerilmesiyle ilişkilidir.

$$-\overline{u'_x u'_r} = \nu_T \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial r} \quad (\text{II.13})$$

$\nu_T = \nu_T(x)$ olup denklemde yerine konulduğunda,

$$\bar{u}_x \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial x} + \bar{u}_r \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial r} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \nu_T \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial r}) \quad (\text{II.14})$$

olur.

Jet çıkışından uzak akış alanlarında, boyut analizi kullanılır ve aşağıda yazılan denklemlere göre davranacağı gösterilebilir.

$$\frac{\bar{u}_{x,\max}}{u_0} \cong \left[\frac{x+a}{d} \right]^{-1} \quad (\text{II.15})$$

$$\frac{r_{1/2}}{r_0} \cong \frac{x+a}{d} \quad (\text{II.16})$$

$$\frac{\bar{u}_x}{u_{x,\max}} \cong \left[1 + \frac{\bar{u}_{x,\max} (x+a)}{8\nu_T \xi^2} \right]^{-2} \quad (\text{II.17})$$

Burada: $r_0 := \frac{1}{2}D$ ve $\xi := \frac{r}{x+a}$, $r_{1/2}$: r 'ye bağılı olup maksimum hızın yarısıdır

($\bar{u}_x = \frac{1}{2}\bar{u}_{x,\max}$). $\bar{u}_{x,\max}$: Maksimum ortalama hız (jet eksenindeki ortalama hızdır),

D : Jet Çıkış Çapı, a ve v_T , deneysel olarak bulunan sabitlerdir.

Momentum değişimi: $\bar{u}_x(\rho\bar{u}_x)$ olup x doğrultusundaki momentum korunumu,

$$M_0 = \int_0^\infty \rho^2 2\pi r dr = \rho u_0^2 A_0 \quad (\text{II.18})$$

olarak yazılır.

Burada: M_0 : Toplam momentum, u_0 : Jet çıkış hızı, A_0 : Jet çıkış alanıdır.

Hız profilleri, $\bar{u}/U_e = f(r/x)$ veya $(\bar{u} - U_{\min})/(U_{\max} - U_{\min}) = f(r/b)$ şeklinde birbirlerine benzer olurlar.

Burada: U_e = Eksen Hızı, r = Eksenden radyal mesafede olan uzaklık, b = Jet eksen hızının yarısına denk gelen radyal mesafedir.

Hız profilleri, hız ve mesafeyi boyutsuzlaştırarak boyutsuz eğrileri çıkartılır. Dairesel jet akışlarında Jetin huzme veya yayılma açısı, x doğrultusunda jet eksenindeki hızın yarısına denk gelen r mesafesinden yararlanarak bulunur.

Jet akışı temel olarak şu şekilde bölümlere ayrılır [13]:

1- Çıkış hızına göre;

- Ses altı
- Ses Üstü

2- Akış Tipine Göre;

- Laminer
- Türbülanslı

3- Çıkış geometrisine göre;

- Dairesel
- Dikdörtgen
- Eliptik
- Konik vb.

4- Akışkan tipine göre;

- Sıvı

- Gaz
- Katı

5- Çıktığı ortama göre;

- Sıvı
- Gaz

6- Çıkış Şartlarına göre;

- Serbest
- Çapraz akıma karşı çıkan
- Yüzeye çarpan

7- Sıcaklığa göre;

- Normal
- Isıtılmış

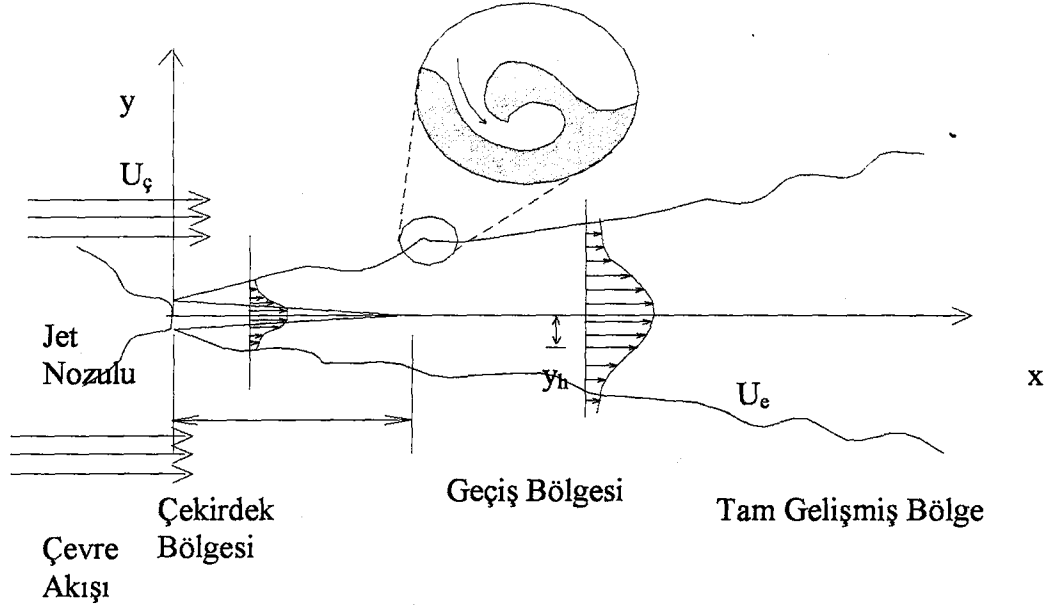
8- Jet sayısına göre;

- Tek
- Çift
- Çoklu

İnce bir sınır tabakası ile nozuldan çıkan jet akış yapısı üç farklı bölgeye ayrılır. Bunlar sırasıyla, potansiyel çekirdek bölgesi, geçiş bölgesi ve tam gelişmiş bölgedir. Potansiyel çekirdek bölgesi, hız oranına ve sınır tabaka kalınlığına bağlı olarak, nozul çapının 4 veya 8 katının olduğu yere kadar olan bölgedir. Bu bölgede akım hızı, jet çıkış hızına eşittir.

Geçiş bölgesi, potansiyel çekirdek bölgesi yada karışım tabakası bölgesinin bittiği ve tam türbülanslı bölgenin başladığı yere kadar olan kısımdır. Bu bölgede, potansiyel

çekirdekten sonra jet ekseninde, türbülans şiddeti artarken, hız düşmeye başlar. Tam gelişmiş türbülanslı bölgedeki hız profilleri birbirine benzer. Jet akış profili Şekil II.2’de görülmektedir.



Şekil II.2 Jet akış yapısı [12]

Şekilde, jetin yarım genişlik bölgesi, Y_h , jet merkez maksimum hızı ile çevre hızının toplamının yarısının olduğu bölgedir. Jet çıkış hızı, U_j , uniform olduğundan, çevre hızı, $U_ç$, orifise yaklaşıp. Burada türbülans çalkantısı genişliği hemen hemen sıfır genişliğindedir. Bu genişlik orifisten uzaklaştıkça artar. Eksendeki hız, U_e , potansiyel çekirdek bölgesinde sabitliğini korur. Alt akışlarda, orifis hızı mesafenin artmasıyla jeti artırır. Bu mesafeden itibaren jet akışı tam gelişmiş bölgede olur ve akış profilleri, birbirini takip eden kısımlarda benzer yapıda olacaktır. Genellikle geçiş bölgesi, çekirdek bölge ile tam gelişmiş türbülanslı bölge arasında kısa çıkışlı olan bölgedir. [14].

Jet akışını etkileyen koşullar, Ransom ve Smy tarafından şu şekilde belirlenmiştir [15]:

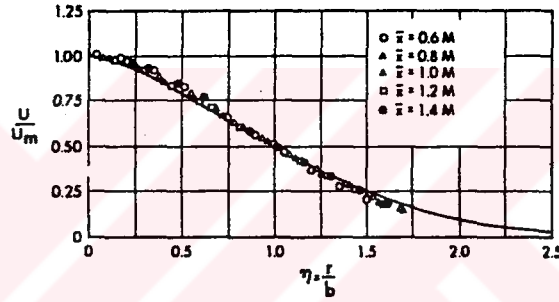
- Bağımsız değişken olarak, nozul ve model geometrisi
- Akış alanı etkisi olarak, potansiyel çekirdek uzunluğunun doğru ölçülmesi, jet profili ve jet bozunurluluk oranı
- Yüzey etkisi olarak, basınç dağılımı, yüzey aşınması, müdahale kuvvet ve momentler

Olarak belirtmiştir.

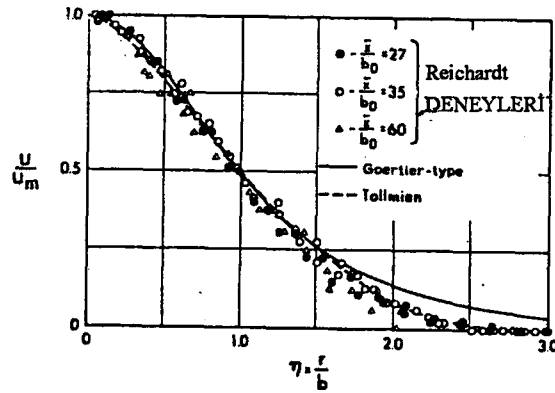
II. 6. JET ÖLÇÜMLERİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Jet akışları üzerine, bir çok araştırmacı tarafından deneysel çalışma yapılmıştır. Bu türden akışların davranışları, serbest jetler için tamamlanmış olmakla birlikte özellikle türbülans verileri ile jet akışlarının başlangıç şartlarına uygun etkileşimine dair eksiklikler vardır [13].

İlk jet araştırmalarının çoğu, ortamdaki akışkana doğru gelişen serbest jet akışı ile ilgilidir. Bu konuda detaylı ilk çalışmayı yapan kişi, 1915 yılında, Trupel olmuştur [16]. Dairesel jette hız dağılımını gösteren grafik şekil II. 3 ve II. 4’de görülmektedir.



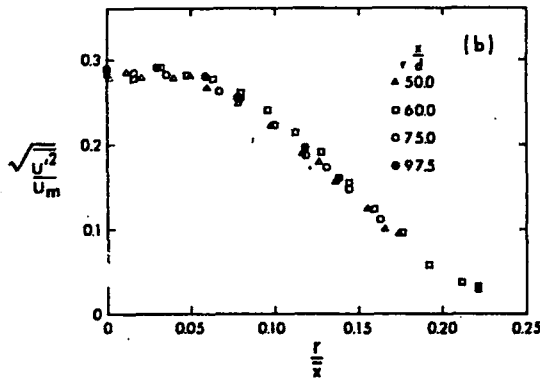
Şekil II.3 Dairesel jette Trupel deneylerindeki ortalama hız profili [16]



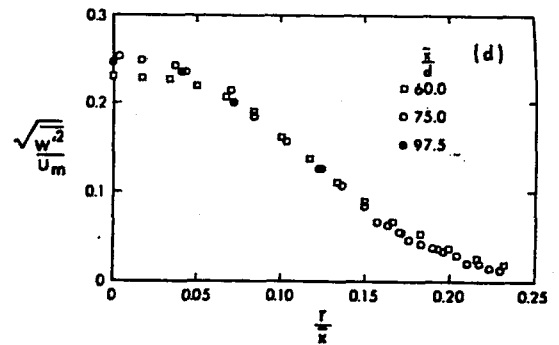
Şekil II.4 Dairesel jette Reichardt deneylerindeki ortalama hız profili [16]

Kızgın tel anemometre kullanarak bu konuda daha ayrıntılı araştırmalar yapan ilk kişiler ise Reichardt 1942'de, Corrsin 1946'da [17], Hinze ve Zijnen 1949'da [18], Albertson ve arkadaşları 1950 yılında yapmışlardır [19]. Wygnanski ve Fiedler, 1969 yılında, Serbest jet türbülans yapılarının çeşitli görünüşlerini, jet eksenı boyunca türbülans çalkantı değerlerinin r.m.s. değişimlerini, kızgın tel anemometre kullanarak göstermiştir [20]. Davies, Fisher [21] ve Bradshaw da aynı konu üzerine benzer çalışmalar yapmıştır [22]. Benzer çalışma, Hussein ve George tarafında da yapılmış [23], Taulbee' de LDA (Laser Doppler Anemometry) kullanarak yapılan çalışmayı yenilemiştir [24]. Bu ölçümlerde görünen, dairesel jet yayılmasının düzlemsel jetten daha yavaş olduğu, eş yapılı bölgenin de nozul çapının, 50 –70 kat sonrasında olduğu görülmüştür.

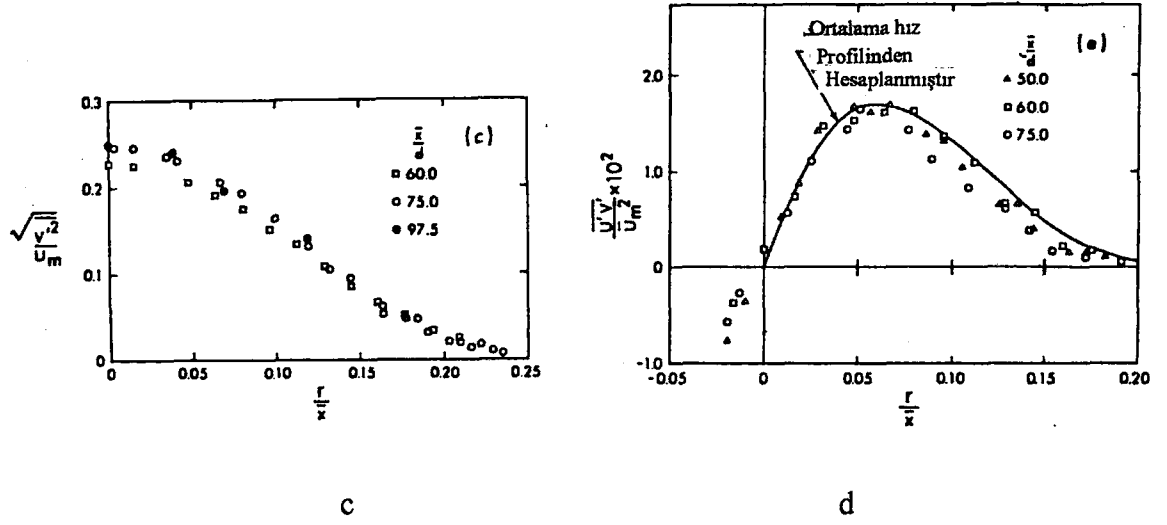
Türbülans profillerinin ölçümleri, kızgın tel anemometrenin tanınması ile başlar. Dairesel bir serbest jet için, türbülans değerleri, Corrsin [25] ve diğer araştırmacılar tarafından ölçülmüştür. Wygnanski ve Fiedler [20], dairesel serbest jetler için daha gelişmiş ekipmanlar kullanarak benzer ölçümler yaptılar (Şekil II.4). Onlar, uzunlamasına profil değişimlerini, nozul çıkışından 40D sonra, jet'de, u^2 'nin eş yapılı olduğunu göstermişlerdir. Diğer taraftan radyal ve teğetsel komponentlerin, sırasıyla v^2 ve w^2 profilleri, 60D akış yönünden sonra eş yapılı bölgeye yaklaşıldığını göstermişlerdir.



a



b



Şekil II.5. Dairesel jette Wygnanski ve Fiedler'in deneylerinde türbülans karakteristikleri[26]

Aynı eksenli jet akış konusu için, Maczynski [27] ve Antonia ve Bilger [28] tarafından bulunan sonuçlara göre $(U_e^2)^{1/2} / (U_e - U_c)$ değeri artan x değerleriyle sabit kalırlar, fakat bu değer, U_c / U_j değeri ile değişir.

Kızgın tel anemometre kullanarak jet akışları ile ölçümler, Smith ve Huges, Perry ve Tani, Biringen ve Mohammed gibi bir çok araştırmacılar tarafından da yapılmıştır [29-33]. Jet akışının yapısı ile ilgili olarak yapılan en önemli deneysel araştırmalar Tablo II.1 ve II.2' de görülmektedir.

Tablo II.1. Sıkıştırılamaz asimetrik jetle ilgili önemli deneysel çalışmaların açıklamaları ve yayılma oranı önceden belirlenmiş değerlerle karşılaştırmaları.[37]

Araştırmacılar	Yıl	Yayılma Oranı	$\overline{uv}_{\max} / U_{cl}^2$	Yapılan Çalışmalar
Wygnanski and Fiedler [17]	1969	0.086	0.0165	HWA
Rodi [34]	1972	0.086	0.0186	HWA
Capp [35]	1983	0.095	-	LDA

Panchakesan and Lumley [36]	1986	0.096	0.021	HW
Taulbee et al [24]	1987	0.094 0.102	0.021	LDA HWA
Hussein and George [23]	1989	0.094	0.021	HW
$k - \varepsilon$ model		0.114	0.023	Nümerik Çalışma
ASM		0.149	0.034	Nümerik Çalışma
The modified $k - \varepsilon - \tau$ model [37]		0.092	0.020	Nümerik Çalışma

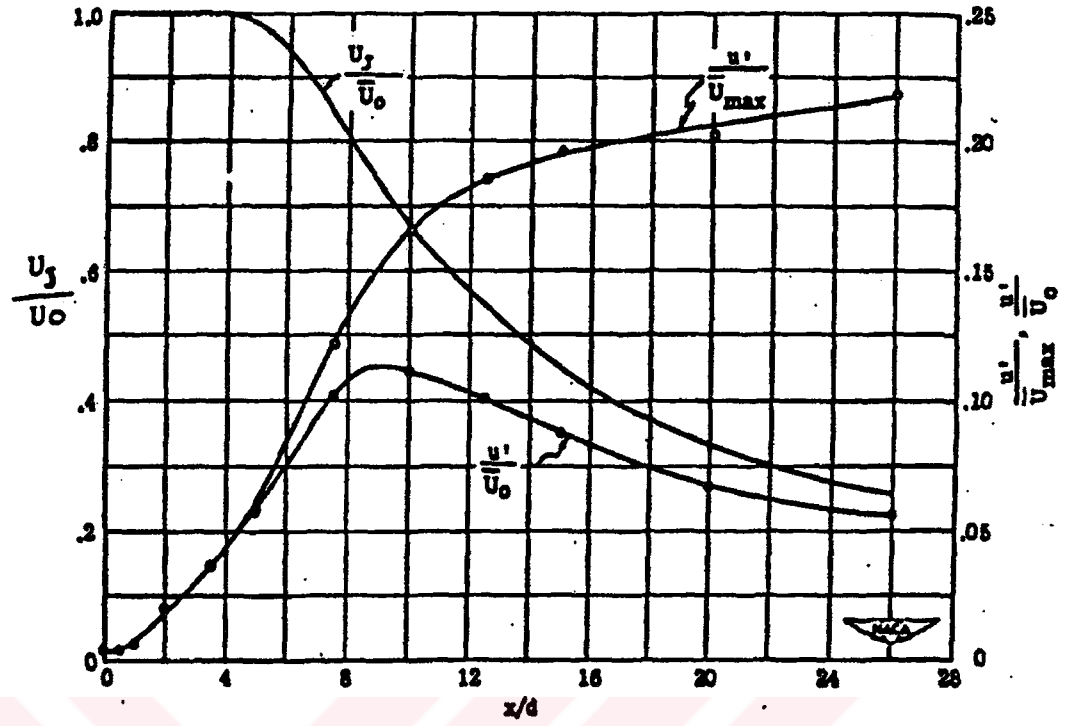
Tablo II.2. Daresel jet akışları üzerine yapılan araştırmalar ve açıklamalar

No	Araştırmacılar	U_∞/U_j	U_∞ m/s	U_j m/s	D_{jet} (mm)	x/D	U	v	w	$\overline{uv}$	Deney Araçları
1	Tupel [38]	0	0	87.0	40.5	13.3, 17.7, 2.2, 26.6 ve 31.11	*				
2	Corrsin and Uberoi [39]	0	0	198	25.5	7.55, 10.0, 15.50 ve 20.0	*	*		*	Anlık sıcaklık ölçümü
3	Wyganski and Fielder [20]	0	0	119	10.4	50, 60, 75 ve 97.5	*	*	*	*	
4	Rodi [34]	0	0	101	12.9	62 and 75	*	*	*	*	
5	Forstall and Shapiro [41]	0.5 0.25 ve 0.2	90 45 ve 30	180	25.3 ve 6.4	20, 40, 60, 80, 100, 120, 140	*				
6	Maczynski [27]	0.1 0.05	7.0 4.5	63.1 93.5	12.7	26.2, 37.7, 169.0 ve 208.5	*				
7	Antonia and Bilger [28]	0.22 0.33	30.5	138.1 ve 91.5	5.28	28, 76, 96, 152, 186 ve 226	*			*	Integral skala uzunluğu

8	Smith and Hughes [30]	0, 0.57 ve 0.28	0 ve 40	35.0 ve 70.0	6.50	3.76, 7.15, 13.19, 18.2 ve 40.0	*	*	*	*	Türbülanslı Eddiy ölçümü
9	Biringen [32]	0.1, 0.2 ve 0.3	4.4 8.7 ve 13	43.8	5.0 ve 10	35, 60, 80, 115 ve 170	*	*	*	*	Enerji dağılımı ölçümü

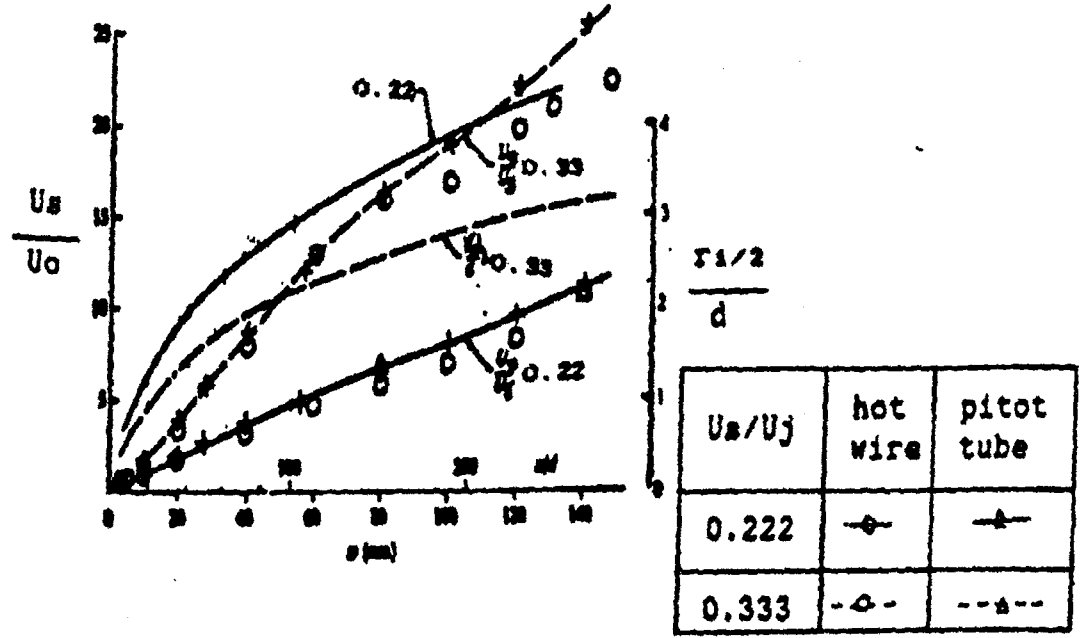
Nozul çıkışından hemen sonra, jet akışı, çevre akışı şekline dönüşür. Jetin ürettiği kadar giren akışla momentum değişikliği olur. Burada yarım jet genişliği ile bulunan yayılma eğimi oranı, karışım bölgesinin kalınlığı kadar olur. Nozul çıkışından belli bir mesafeden sonra, karışım bölgesi jet eksenine kadar girer. Bu noktadan sonra eksen hızı, karışımından etkilenmez ve çıkış hızına yakın bir hızda olur.

Dairesel jet için, potansiyel çekirdek bölgesi uzunluğunu, nozul çapının 4-8 katı kadar mesafede bir bölge olduğu ve yine bu bölgede türbülans yoğunluğu artarken eksen hızının düşmeye başladığı belirtilmiştir. Corrsin ve Uberoi [39], jet çıkış hızı, U_m 'nin $1/x$ ' e göre grafiğini oluşturduğunda, düz çizgilerin türbülanslı gelişme bölgesine doğru bozulduğunu göstermiştir. Şekil II. 6'da Dairesel jetler için eksen çizgisinin bozulmasının grafiği görülmektedir. Bu düz doğrunun eğiminin bir dereceye kadar başlangıç ve sınır şartlarına bağlı olduğu anlaşılmıştır. Corrsin ve Kister [40], bir jet akışını, duvardaki delikten gönderdiğinde merkez çizgisi boyunca hız dağılımını, bir borudan sokulduğu zamankinden daha az olduğunu göstermiştir. Bu da ortak akış ile ortak olmayan akış arasındaki merkez hız çizgisinin davranışını ortaya koyar. Merkez hız çizgisinin ortak akışlı jet durumunda biraz daha karmaşık olduğu görülmüştür. Forstall ve Shapiro [41], farklı hız oranları için, x 'e göre $(U_j - U_\infty) / (U_e - U_\infty)$ grafiklerini çizdiğinde, düz çizgilerde tahmini olarak çökme olduğu sonucuna varmışlardır. Tani ve Kobashi de eksen çizgisi boyunca hız değişiminin düşüşünü göstermiştir [42]. Ayrıca Anatonio ve Bilger, farklı hız oranları için yaptıkları çalışmada da eksenel hız değişiminde düşüş olduklarını göstermişlerdir [28].

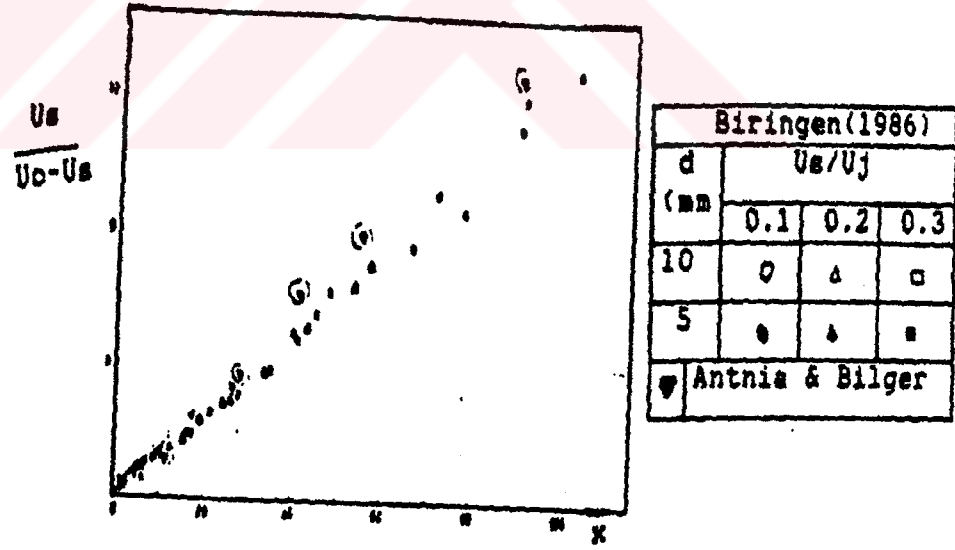


Şekil II.6 Dairesel jetler için eksen çizgisinin bozulduğunu gösteren Corrsin ve Uberoi'nin deneyleri[26]

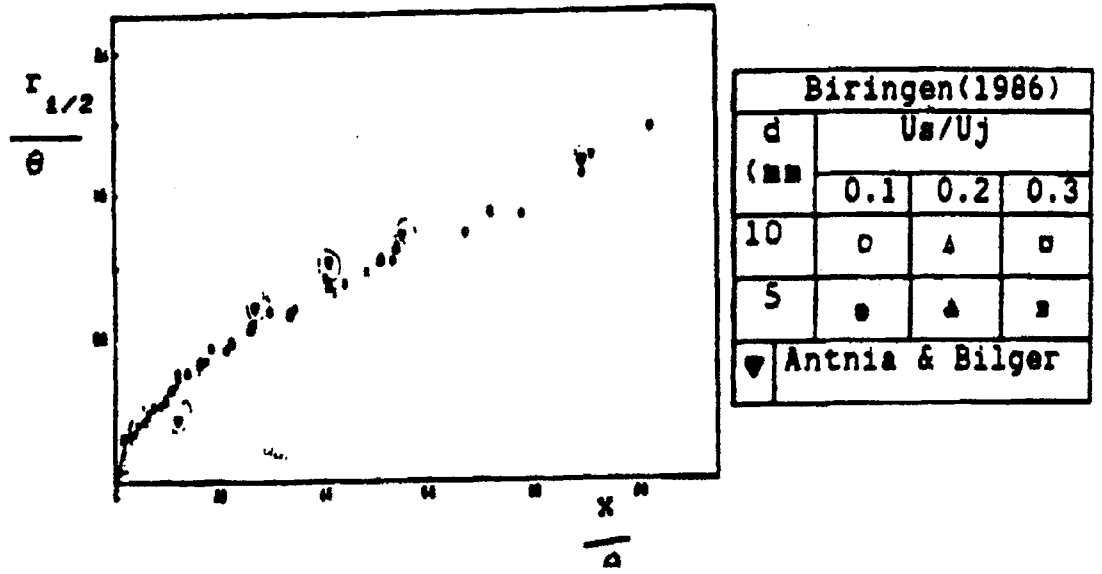
Serbest jetin en yaygın fiziksel özelliklerinden, jet yarı kalınlığı, y_h , jetin eksen hızından itibaren, eksen hızı ve çevre hızlarının toplamının yarısının olduğu nokta olup “jet yarı kalınlığı” olarak isimlendirilir. Diğer fiziksel özelliklerden birisi olan Jet yayılma oranı, jet yarı kalınlığının jet akışı doğrultusundaki mesafeye oranı jet yayılma oranını vermektedir. Tam gelişmiş serbest jet eksen hızı, U_m 'nin lineer olarak değişmesi durumunda, $1/x$ ve y_h 'de lineer olmalıdır. Bu değer, dairesel jet akışı için, $dy_h/dx = 0.086$ (Rodi deneyine göre) olmalıdır [34]. Aynı eksenli akışta, jet huzmesi için deneysel ölçümler farklı davranışlar gösterebilirler. Forstall ve Shapiro [41] ve Tani ve Kobashi [42], $1/x$ 'e göre $(U_e - U_c)$ grafiğini çizdiklerinde yaklaşık doğrusal olarak bulmuşlardır fakat x 'e göre y_h grafiği ise doğrusal çıkmamıştır. Antonia ve Bilger de [28] ortak akışlı akımlarda benzer durumlar bulmuşlardır (Şekil II.6, II.7). Biringen [31], hem kendi hem de Antonia ve Bilger'in verisini x/θ 'ya göre y_h/θ 'ya göre çizilmesinin daha uygun olduğunu tespit etmişlerdir (Şekil II.8).



Şekil II.7 Antonia ve Bilger deneylerinde bulunan değişik eksen hız ve yayılma eğimi oranları[26]



Şekil II.8 Değişik eksen hızları için Bringen deneyleri



Şekil II.9 Değişik yarım jetler için Bringen deneyleri

Yanma odaları alanında önemli olan girdaplı jet akışlarla ilgili olarak son zamanlarda oldukça fazla çalışma yapılmıştır. Girdap etkilerini araştırmak için yapılan çalışmalar hem aynı eksenli, hem de serbest dairesel jetlerde yapılmıştır. Girdaplı dairesel jetler üzerinde deneysel ölçümler, Rose, Gore ve Ranz, Kerr ve Fraser, Chipier ve Chervinsky tarafından yapılmıştır [43-46]. Çalışmalarda, jet çıkış nozulun çapı 10 cm'dir. Aynı eksenli jet akışında girdap konusunda, kızgın tel anemometre tekniği kullanılarak Samet ve Einav tarafından deneysel çalışmalar yapılmıştır [47]. Aynı konuda Riberio ve Whitelw ve Chang da çalışmalar yapmışlardır [48,49]. Onlar 10 m/s 'ye eşit bir aynı eksenli akışta uygulamışlar ve hız oranlarını $U_s/U_j = 0.2$ almışlardır. $x/D = 15.0$ da ortalama hız profilini ölçmüşler ve Samet ve Einav tarafından yapılan ölçümlere göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Jetler geniş eddy'ler içerir. Dairesel jetin ilk baştaki gelişim bölgeleride dairesel halkalar olabilir. Yule, geniş eddy'leri yapışık yapılar olarak tanımladı [50]. Bruun [51] ve Yule, dairesel serbest jetlerin, nozulun yanında karışım katmanında tutarlı yapıların ortalama biçimlerini araştırdı. Onlar u ve v arasında ilişki kurarak benzer zamanda oluştuklarını göstermiştir. Böylece büyük eddy'lerin sebebiyet verdiği akış hareketleri, $\overline{uv}$ kayma gerilmesine büyük katkı sağladığı anlaşılmıştır.

Dairesel jetlerin tam gelişmiş bölgelerinde eş yapıların biçimleri, aralıklı bölgelere, düşük hızda ve aynı eksenli akışta jet enjekte edilerek Antonia [52] , Komori ve Ueda [53] deneysel olarak incelemiştir. Onlar hız ve sıcaklık ölçümleri için sırasıyla LDA (laser- doppler anemometry) ve soğuk tel (cold wire) teknikleri kullanmışlardır.



BÖLÜM III

HAVA TÜNELİ TASARIM VE İMALATI

III.1.GİRİŞ

Hava tüneli imalatına başlamadan önce, tünelde yapılması düşünülen deneysel çalışmaların çok amaçlı olması doğrultusunda, ses altı-düşük hızlı ve açık devreli olacak şekilde çok amaçlı olarak tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır.

Hava tüneli imalatı yapılırken, deney odasında elde edilecek akımın düzgünlüğü, büyüklüğü, deney odasında yapılacak akım görüntülemelerine imkan verme, tünelin yerleştirileceği mahallin durumu, yapılacak deneylerin çevre faktörlerinden en düşük seviyede etkilenmesi, tünelin elemanlarını taşıyacak setin tünel içindeki akımı bozmaması, tünel türbülans yoğunluğunun düşük olması vb. durumlar dikkate alınarak tünel imalatına başlanmış ve bitirilmiştir.

Hava tünelinin yerleştirildiği mahallin büyük olması gerektiğinden kurma çalışması büyük bir laboratuvar da yapılmış ve hava tüneli yerleşim mahalline uygun olarak emişte ve üflemede, akım düzensizliğine sebebiyet vermemek için, emişte en az 1 m, üfleme tarafında en az 2 m'lik alan boş bırakılmıştır. Açık devreli tünelin uzunluğu, genellikle çalışma bölgesinin 20 katından fazla olmamalıdır. Bu çalışma kapsamında dizayn edilen tünelin uzunluğunun çalışma bölgesine oranı 10'un biraz üzerindedir. Açık çevrimli tünellerde, uygulamada test bölgesi kesit alanı, 1 m^2 'den daha büyük olmamaktadır. Kapalı devre tünellerinde ise 0.5 m^2 'den az olanı çok nadirdir. Atmosferik olarak kontrol edilen araştırma tünelleri bunun dışındadır. Kapalı devre tünellerde dönüşlü geçişler tünelin maliyetini % 40daha artırır. Türbülans araştırmaları ve deneyleri için tünellerin düşük türbülanslı olması gerekmektedir. Türbülans yoğunluğu ayarlanabilir şekilde olmalı ve test bölgesindeki grid yüzeyler bilinmelidir [1-4,6].

Bu çalışmada, imalatı gerçekleştirilen ve 320 x 320 mm giriş kesiti, 336 x336 mm çıkış kesitli ve 750 mm uzunlukta test bölgesi olan hava tünelinin tasarım ve dizaynı ile Kızgın tel anemometre ile ölçülen tünel türbülans yoğunluğu anlatılacaktır.

Emişli tipte imalatı gerçekleştirilen ses altı hava tüneline akış, AC motorlu bir fan tarafından sağlanmış ve bu fanın devri, bir hız kontrol ünitesiyle sağlanmaktadır. Veri toplamak için bir AD konverter ve bilgisayar kullanılmıştır

Açık devreli hava tüneline esasen 4 ana elemanı bulunmaktadır. İstenen akım özelliklerini sağlayabilmek yani akım düzgünlüğü ve akımın üniform olmasını temin etmek ve akım iplikçiklerinin birbirlerine paralel olmasını sağlamak için hem giriş kollektöründe hem de difüzörden sonra dinlenme odası ilavesi yapılmıştır. Akım düzgünlüğünün sağlanması için yine giriş kollektörüne ve fan kabinden önce akım düzenleyicileri yerleştirilmiştir. Ayrıca fandan kaynaklanan titreşimin tüneldaki hava akışını olumsuz yönde etkilememesi için fan ile difüzör alüminyum folyo bantla bağlantı sağlanmıştır. Bundan başka tünel taşıyıcısı olarak çelik profilden tünel taşıyıcısı yapılmıştır. Bütün elemanlar farklı deneylerin yapılabilmesi için modüler tarzda olabilecek şekilde hava tüneline flanşlarla bağlantısı yapılmıştır.

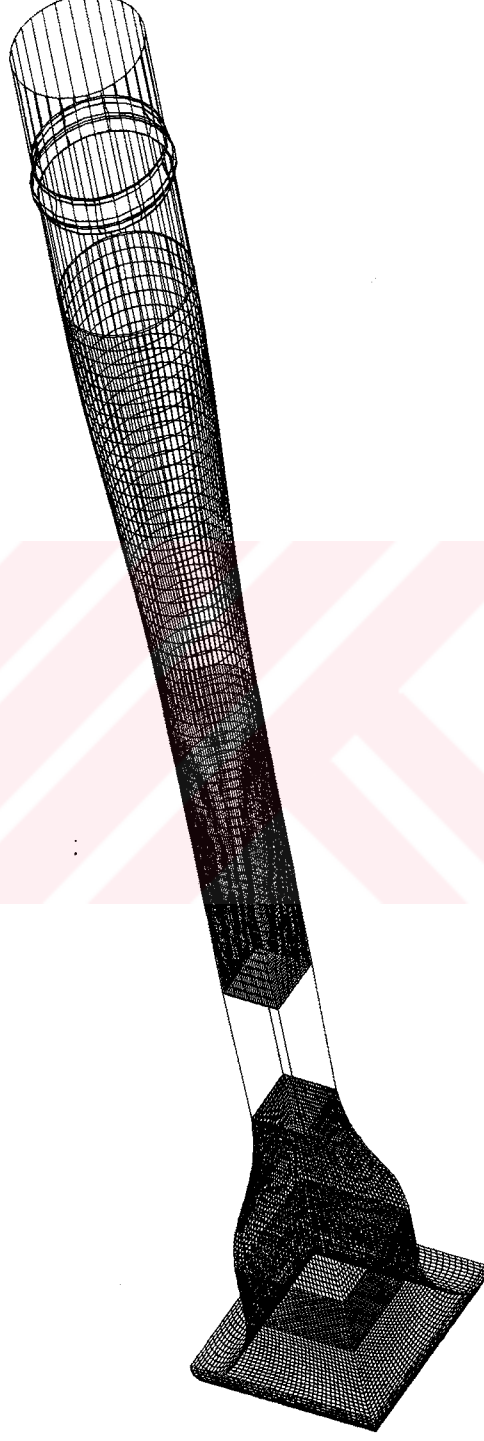
Hava tüneli imalatına; tüneli oluşturan elemanlar karakterize edilerek test bölgesinden itibaren tünel imalatına başlanmıştır.

Hava tüneline oluşturan ana elemanları şu şekilde sıralanmaktadır.

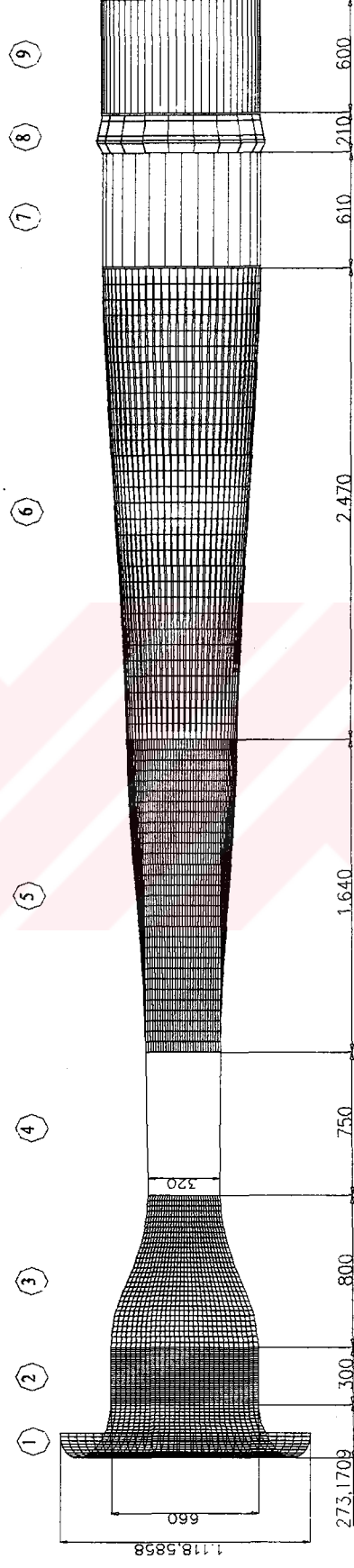
- 1- Test bölgesi (Deney Odası)
- 2- Giriş Kollektörü (Efüzör)
- 3- Difüzör
- 4- Fan kabini

Ana elemanlara ilave olarak kullanılan yardımcı elemanlar ise, anti vibrasyon, hava tüneli destekleyicisi ve dinlenme odasıdır.

İmalatı yapılan hava tüneline genel görünümü şekil III.1 ve şekil III.2’de gösterilmiştir.



Şekil III.1 Hava tüneli



- 1- Giriş kollektörü ağız, 2- Dinlenme odası, 3- Giriş kollektörü, 4- Deney odası, 5-Difüzör adaptörü,
6-Difüzör, 7- Dinlenme odası, 8- Flanşlı bağlantı, 9- Fan kabini

Şekil III.2 Hava tüneli ana elemanları

III.2. HAVA TÜNELİ ANA ELEMANLARI DİZAYNI

III.2.a. Test Bölgesi Dizaynı

Deneylerin yapıldığı ve ölçüm ekipmanlarının ve sensörlerin yerleştirildiği kısımdır. Hava tünelinin dizaynında başlama noktasıdır. Test bölgesinde model üzerine gelen hava akışının kontrol edilebilmesi ve üniform olması amaçlanmalıdır. Test bölgesi yüksek hızda ve düşük türbülans seviyesinde hava akışı oluşturarak model yüzeylerinde oluşan ölçümlerin araştırılmasında kullanılır.

Test bölgesi dizaynını yaparken dikkate alınacak kriterleri şöyle sıralanabilir[3,6,49].

1. Kanat ve uçak modelleri gibi deneysel çalışmaların yapılacağı test bölgesi uzunluğu test bölgesi çapının 1.5 - 2 katı arasında seçilebilir.
2. Roket, denizaltı ve gemi modelleri gibi deneysel çalışmaların yapılacağı test bölgesi uzunluğu test bölgesi çapının 2 - 4 katı arasında seçilebilir.
3. Eksenel akım hızının sabit kalması ve akım yönünde oluşacak sınır tabakası menfi etkilerini ortadan kaldırmak için test bölgesi akım yönünde 0.5 derecelik bir açıyla genişletilmelidir.
4. Deneylerin izlenebilmesi ve model ve ölçüm ekipmanlarının rahat bir şekilde yerleştirilmesi için test bölgesinin şeffaf ve kolay işlenebilir malzemeden yapılmasına dikkat edilmelidir.

Çok amaçlı olması ve yukarıda belirtilen özellikler dahilinde deney odası giriş kesiti 320 x 320 mm ve çıkış kesiti 336 x 336 mm olan kare kesitli test bölgesinde maksimum akım hızı 40 m/s' dir. Hız kontrol ünitesiyle 35 m /s nin altında da deneysel çalışmalar yapılabilecektir. Akım yönünde çıkış kesitinde küçük bir genişleme olmasının nedeni, test bölmesi boyunca sınır tabakasından ileri gelecek hataların bir ölçüde önlenmesidir. Bu nedenle test bölgesi 0.6°'lik bir açıyla akım yönünde düzgün olarak artırılmıştır.

Bu verilerden deney odasındaki akım hızına karşılık gelen Reynolds sayısı;

$$Re = \frac{V_0 \cdot A_t}{\nu} \quad (III.1)$$

Burada; V_0 ; Deney odası max. Akım hızı 40 m/s, A_t ; deney odası giriş kenar uzunluğu 0.32 m, ν ; havanın kinematik viskozitesi:

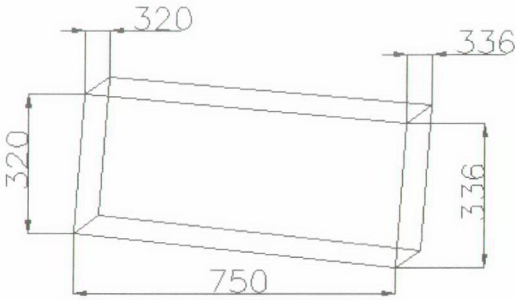
$T_0 = 18^\circ\text{C}$ için, havanın kinematik viskozitesi;

$$\nu = (0.0455285 T_0 + 17.06) \times 10^{-6} \text{ formülünden, } \nu = n \text{ dinamik viskozitesi.} \quad (III.2)$$

formülünden, $\nu = 17.88 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ bulunur. Bu değerleri (III.1)'de yerine koyarsak $Re = 0.626398 \times 10^6$ bulunur.

Test bölgesinde çeşitli sondajlara imkan verebilmek ve modellerin test bölgesine rahat bir şekilde motajını temin etmek için akım koşullarını değiştirmeyecek şekilde bazı kanallar ve delikler açılmıştır. Eğer test odasının uzunluğu hidrolik çapın üç veya dört katından fazla olursa difüzörde akışın ayrılmasında problem çıkartabilir [55]. Çok amaçlı olması ve uçak, roket ile kanat v.b. modellerin deneysel çalışabilmesine imkan verebilmek için test bölgesi veya deney odası uzunluğu çapının yaklaşık olarak 2.5 katı alınmıştır [56]. Buradan deney odasının uzunluğu 750 mm olarak seçilmiştir.

Test bölgesi veya deney odasının dışardan iyi bir şekilde gözlenmesi, fotoğraf çekilebilmesi ve kolay olarak işlenebilir olması nedeniyle malzemesi şeffaf ve elastiki olan 6mm kalınlığında pleksi-glass'tan yapılmıştır. Yine deneysel amaçlara uygun olması ve istenildiğinde değiştirilebilir olması nedeniyle test bölgesi, hava tüneline flanşlarla monte edilmiştir. Şekil III.3a ve 3b' de test bölgesinin tasarım ve imalat resmi görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil III.3 Test bölgesi: (a) Ölçülendirilmesi, (b) Görünüşü

III.2.b. Giriş Kollektörü Dizaynı

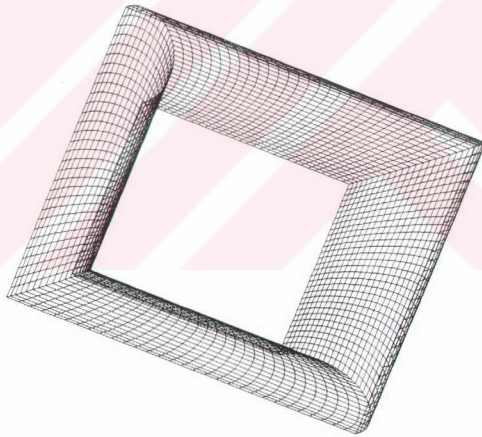
Deney odasına, üniform kararlı ve türbülans seviyesi düşük akım sağlamakla görevli olan kollektörler, aerodinamik bakımdan hava tünellerinin en önemli elemanlarından biridir. Deney odasındaki modele sağlanan hava akımının, gerçek hava ortamıyla yakından uyuşması için iyi bir kollektör dizaynına ihtiyaç duyulur. Kollektörlerde iki boyutlu akış problemleri genellikle Hodograph plana göre çözülürler. Hodograph yöntemi ile kollektörlerin duvarları boyunca hız dağılımları bulunur ve kollektörler de bu hız dağılımına göre şekillendirilir. Bu nedenle kollektör şekillendirilmesi ile bir çok analitik araştırma yapılmıştır [56-60]. Bu çalışmada da giriş ağzı Hodograph metoduna göre şekillenmiştir.

Bu tünel dizaynında giriş kollektörü 4 kısımdan oluşmaktadır. Bunlar:

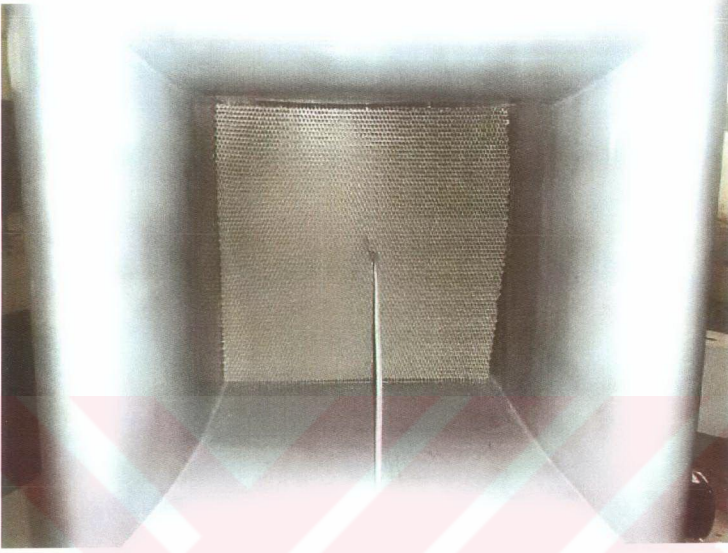
1. Giriş ağzı
2. Dinlenme Odası
3. Akım Düzenleyicisi (Honeycomb)
4. Efüzör (Contraction)

1. Giriş Ağzı: Açık evrimli olan hava tünellerinde giriş ağzı akışın düzgün bir şekilde kopma olmadan ve akım çizgilerinde ayrılma olmadan akışın tünele girmesini temin eder. Giriş ağzı,

Hava tüneline güzel bir giriş yapmak üzere, akım koşullarının fiziksel prensiplerle izah edildiği Hodograph metoduyla [56] şekil III.4'deki gibi tasarılanmış ve imalatı yapılmıştır.



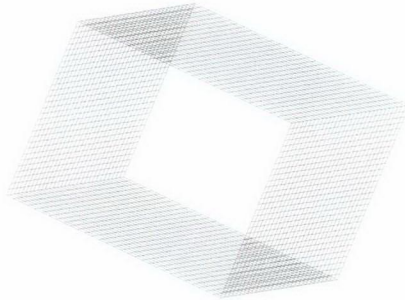
(a)



(b)

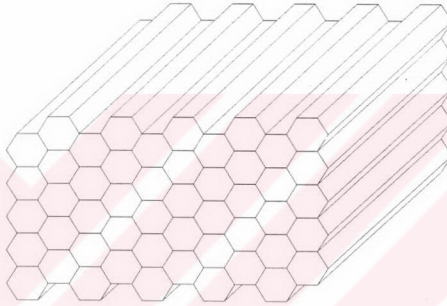
Şekil III.4 (a) Giriş ağzı tasarımı , (b) Dizayn edilen giriş ağzı

2. Dinlenme Odası: Akışta olabilecek küçük bozulmaları düzgün hale getirmek ve efüzöre gidecek akışı kuvvetlendirmek için dizayn edilmiştir. Dinlenme odası uzunluğu 300 mm' dir. Dinlenme odası dizaynı Şekil III.5'te görülmektedir.



Şekil III.5 Giriş kollektöründeki dinlenme odası

3. Akım Düzenleyicisi: Hava tüneli içinde istenen akışın sahip olduğu şartları iyileştirmek ve akışın paralel olmasını temin etmek aynı zamanda türbülansı azaltmak için tünelin giriş kollektörüne yerleştirilmiştir. Bal peteği, altıgen olarak kollektörün tüm kesitini kaplayacak şekilde yerleştirilmiştir [1]. Bal peteği olarak da isimlendirilen akım düzenleyicisi, hız dağılımının daha üniform olmasını temin eder, aynı zamanda yabancı cisimlerin tünele girmesine mani olur. Bu doğrultuda dizayn edilen bal peteği Şekil III. 6'da görülmektedir.



Şekil III.6 Akım düzenleyicisi

4. Kollektör (Efüzör): Test bölgesinin önünde yer alır. Akımın istenen özelliklere göre oluşmasını temin etme görevi vardır. Deney odasına üniform karalı ve türbülans seviyesi düşük akım sağlamakla görevli olan kollektörler aerodinamik bakımından hava tünelinin en önemli elemanlarındandır. Test bölgesinde modele sağlanan hava akımının gerçek hava ortamıyla uyuşması için kollektör iyi bir şekilde dizayn edilmelidir [61].

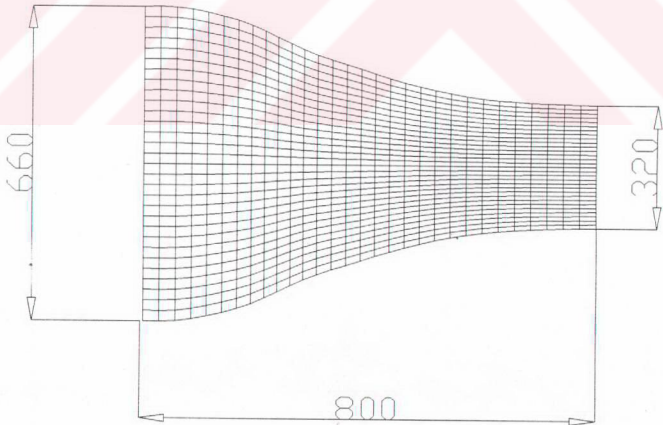
Kollektör daralma oranının seçiminde dikkat edilecek durumlar şöyle sıralanabilir.

- i- Daralma oranı küçüldükçe türbülans azalır.
- ii- Kollektör daralma oranı n_k ' daki değişim hava tünelinin bütün boyutlarını etkiler.
- iii- Düşük hız tünellerinde en büyük akım hızı 100-150 m/s, kollektör giriş hızı 10-15 m/s seçilir.

Kollektör daralma oranı yukarıda belirtilen özellikler dikkate alınarak $n_k = 4$ alınmıştır. Kollektörün çıkış kesiti test bölgesinin giriş kesiti olduğundan 320×320 mm kare kesitlidir. Kollektörün giriş kesiti ise çıkış kesiti alanının 4 katı alındığından 660×660 mm kare kesitli olarak seçilmiştir. Kollektör duvarlarında sınır tabaka ayrılması olmaması için kollektör boyunun uzun olması istenir fakat gereğinden fazla olan uzunluk ise sınır tabaka kalınlaşmasına sebep olur. Genellikle pratik çalışmalarda kollektör boyunun, kollektör çıkış kesiti çapının 1.5-2.5 katı arasında alınması uygun bulunmaktadır. Bu çalışmada imalatı gerçekleştirilen kollektörün boyu, kollektör çıkış kesiti çapının yaklaşık 2.5 katı olan 800 mm alınmıştır. Kollektörler genellikle iki şekilde imalatı yapılır. Birincisi eksenel-simetrik kollektör imalatı tipi, ikincisi ise düşey iki duvarı düzlemsel yüzey olarak, alt ve üst duvarları ise eğrisel duvar olarak yapılırlar [11]. Kollektör çıkışındaki akım hızı, deney odası akım hızı ile aynı olacağından $V_{k2} = 30$ m/s dir. Kollektör girişindeki akım hızı ise;

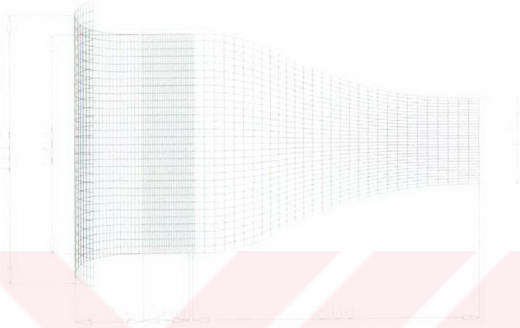
$$\begin{aligned} V_{k1} &= V_{k2} / n_k \\ V_{k1} &= 30 / 4 = 7.5 \text{ m/s dir.} \end{aligned} \quad (III.3)$$

Şekil III.7' de Şekillendirilen kollektör görülmektedir, Şekil III. 9'da ise dizayn edilen kollektörün genel görünüşüdür.



Şekil III.7 Kollektör tasarımı

Bu çalışmada eksenel-simetrik kollektörü imalatı zor olmasına rağmen Şekil III.8’de görülen bir kollektör tasarımlanmış ve Şekil III. 9’da resmi görülen kollektör imalatı gerçekleştirilmiştir.



Şekil III.8 Giriş ağzı ilaveli kollektör tasarımı



Şekil III.9 Giriş kollektörü görünüşü

III.2.c. Difüzör Dizaynı

Difüzör test odasının çıkışından itibaren düzgün olarak genişleyerek akışın kinetik enerjisini basınç enerjisine çeviren konik kısımdır. Difüzörler mümkün olan en kısa mesafede hız kayıplarını azaltacak şekilde dizayn edilirler. Test bölgesi çıkışından itibaren olduğu için giriş kesiti kare kesitli, çıkışın kesiti ise daireseldir. Difüzörler tasarım ve montaj nedeniyle oluşabilecek hatalara karşı hassastırlar. Öyleki birleştirmelerde ve şekillendirmede doğabilecek hatalar akışta kopmalara ve ayrılmalara neden olabilir. Difüzörün performansı yani kinetik enerjiyi basınç enerjisine çevirme kabiliyeti difüzörün hız dağılımına, difüzörün genişleme açısına (α_d) ve difüzörün genişleme oranına (n_d) bağlıdır. Şu anda pratikte en fazla kullanılan 7° veya daha az açılı konik difüzörlerdir [62]. Difüzörlerin genişleme oranının, kollektörün daralma oranına eşit olduğu kabul edilerek bu oran 4 alınmıştır [63,64].

Difüzörün genişleme açısı 8° ' den büyük olursa hız dağılımının üniformalılığı bozulur, akımda ayrılma olur ve kayıplar artar. 6° den küçük olursa difüzörün boyu fazlasıyla uzun olur. Bu durumda kayıplar artar ve imalat masrafları çoğalır[65]. Bu nedenle difüzörün genişleme açısı 7° seçilmiştir.

Difüzör genişleme oranını, kollektörün daralma oranına eşit olarak $n_k = n_d = 4$ seçilmiştir. Difüzörün giriş kesiti A_{d1} , test odasının çıkış kesiti ile aynı olduğundan 336 mm alınmıştır. Difüzörün genişleme oranından yararlanarak difüzörün çıkış kesiti hesaplanabilir:

$$n_d = A_{d2} / A_{d1}^2 \quad (III.4)$$

$$A_{d2} = 4.(0.336)^2 = 0.45 \text{ m}^2$$

Olarak bulunur. Difüzör çıkış kesiti dairesel olduğundan difüzör çıkış kesitinin çapı;

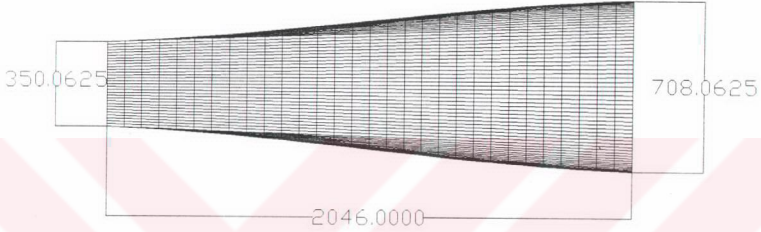
$$D_{d2} = \left(\frac{4.A_{d2}}{\pi} \right)^{0.5} \quad (III.5)$$

$$D_{d2} = 0.75 \text{ m} = 750 \text{ mm}$$

Olarak bulunur. İmalat seçiminde aldığımız değer ,

$D_{d2} = 710$ mm dir.

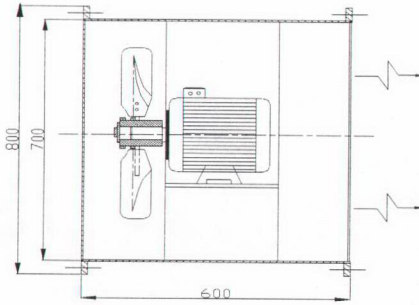
Difüzör uzunluğunun hesaplanmasında, difüzörün adaptör boyu ve difüzör olmak üzere iki kısımdan olduğu kabul edilmiştir. Şekil III.10'da imalatı yapılan difüzörün genel görünüşü vardır.



Şekil III. 10 Difüzör Tasarımı

III.2.d. Fan Bölgesi Dizayını

Tünele hava hızını temin eden fan, Taşkın Vantilatör ve Klima Sanayii'nden TAV 02-AA4 aksiyal vantilatör serisinden temin edilmiştir[66]. Fan çapı 700mm, fan devri 2200 d/d ,fan motor gücü 5.5 kw'dır. Şekil III. 11'de fan kabini görülmektedir.



Şekil III. 11 Fan Kabini

III.2.e. Hava Tüneli Destekleyicisi

Hava tüneli destekleyicisi 10 mm çaplı çelik borulardan yapılmıştır. Fandan kaynaklanan titreşimlerin akımı bozmaması için fan bölgesinin destekleyicisi ayrı olarak yapılmıştır. Fan ile bağlantı alüminyum folyo bant ile sağlanmıştır. Test bölgesinin değiştirilmesine imkan vermek için giriş kollektörü, tünel destekleyicisi üzerine yerleştirilen kızak üzerine oturtulmuştur. Bu da 1.5 m'ye kadar istenildiğinde test bölgesinin büyütülmesine imkan vermiştir. Ayrıca laboratuvarında tünelin yer değiştirmesi gerektiği durumlarda kolaylık sağlamak için tünel destekleyicisinin ayaklarına tünel taşıyabilecek ayak takılmıştır. Kurulan hava tüneli destekleyicisi Şekil III. 12 de gösterilmiştir.

III.2.f. Hava Tüneli Montajı

Hava tüneli elemanlarının imalatı yapıldıktan sonra Şekil 3.11'de görülen destekleyicinin üzerine montajı yapılmıştır. Önce fan kabınınin kendi taşıyıcısı üzerine motajı yapılmıştır. Daha sonra dinlenme odası ve sırasıyla diğer elemanlar aynı eksene gelecek şekilde flanşlı bağlantılarla birleştirilmiştir. En son olarak Test bölgesi difüzör ile kollektör arasına yerleştirilmiştir. Birleştirme işlemi yapıldıktan sonra tünel elemanlarının içi ve dışı metalik boya ile boyanmış ve iç yüzeylerine boya cilası yapılmıştır. Boya işlemleri tamamlandıktan sonra, kütük halinde alınan akım düzenleyicisi, bal peteği açılarak tünelin giriş ağzına ve difüzör çıkışına fandan önce yerleştirilmiştir. Böylece tünel montajı tamamlanmış ve ölçüm elemanları tünele yerleştirilerek deneysel çalışmalara hazır hale getirilmiştir.



Şekil III.13 Dizayn edilen hava tünelinin genel görüntüsü

III.3. HAVA TÜNELİ ENERJİ KAYIPLARI

Hava tünellerinde meydana gelen enerji kayıpları genellikle Reynolds sayısına ve yüzey pürüzlülüğüne bağlıdır. Tünel elemanlarının geometrik yapısından dolayı meydana gelen akım kopmaları, difüzör gibi akım yönünde genişleyen elemanlarda meydana gelen kayıplar genişleme kayıplarıdır [67]. Hava tüneline belirli bir kinetik enerjiye sahip hava akımının atmosfere atılması ile meydana gelen kayba ekzost kaybı denilmektedir [1].

Süreklilik denkleminde hareketle belirli bir kesitte enerji kaybı;

$$E=K_n \cdot \frac{1}{2} \rho V_n^2 \cdot (A_n \cdot V_n) \quad (III.6)$$

Burada K_n tünelin herhangi bir elemanının birim zamandaki enerji kaybı katsayısıdır. Tüneli tamamı için birim zamandaki enerji kaybı;

$$E_t = \sum E_n = \sum K_n \cdot \frac{1}{2} \rho V_n^2 \cdot (A_n \cdot V_n) \quad (III.7)$$

Bağıntısı ile bulunur.

Bu bağıntılardan hareketle tünel elemanlarının kayıp katsayıları bulunacaktır.

1- Test bölgesi kayıpları;

$$K_t = \lambda \frac{L}{D_h} \quad (III.8)$$

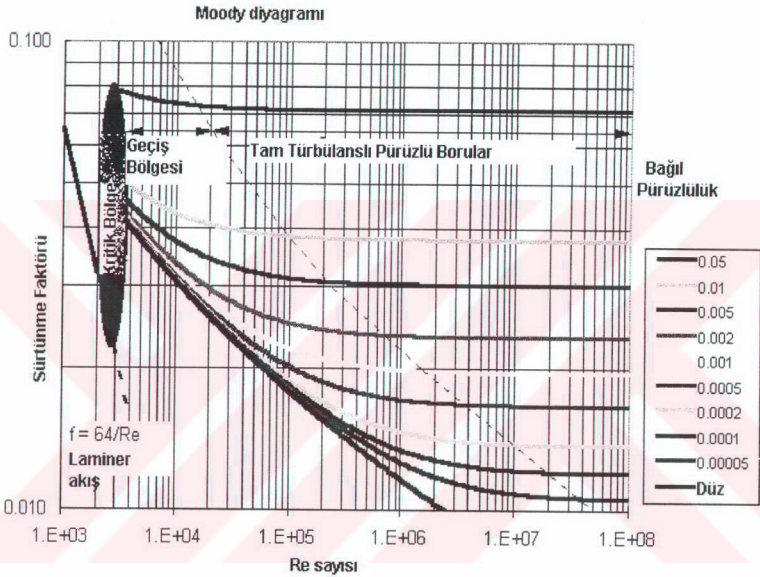
Burada, λ Reynolds sayısına ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak sürtünme katsayısıdır. Reynolds sayısına bağlı olarak λ 'nın değişimini veren grafikten (Şekil III.12) $\lambda \approx 0.013$ alınmıştır. L test bölgesi uzunluğudur. D_h ise hidrolik çaptır. Difüzörün girişi, kare kesitli olduğundan hidrolik çapı, $\sqrt{2} a$ olup (III.8) Denkleminde yerine konulursa

$K_t = 0.03$ bulunur.

2- Kollektör kaybı;

$$K_k = 0.032 \lambda \frac{L_k}{D_h} \quad (III.9)$$

Burada L_k kollektör uzunluğu olup 0.80 m, D_h ise hidrolik çap olup 0.32 m alınacaktır. (III.9) denkleminde yerine konulduğunda; $K_k = 0.010$ bulunur.



Şekil III.14 Moody diyagramı [68]

3- Difüzör kaybı;

$$K_d = \frac{\lambda}{8 \tan(\alpha_d/2)} + 0.6 \tan(\alpha_d/2) \cdot \left(1 - \frac{A_{d1}^2}{A_{d2}^2}\right) \cdot \left(\frac{A_0^2}{A_{d1}^2}\right) \quad (III.10)$$

α_d = difüzör genişleme açısı, 6° alınmıştır.

A_{d1} = Difüzör giriş kesiti, 0.336 m^2

A_{d2} = Difüzör çıkış kesiti, 0.71 m^2

A_0 = Test bölgesi giriş kesiti, 0.320 m^2

Denkleimde yerine koyulduğunda $K_d = 0.055$ olarak difüzör kayıp katsayısı bulunmuştur.

4- Girişteki akım düzenleyicisi kayıp katsayısı;

$$K_{pg} = K \cdot \frac{A^2}{A_n^2} \quad (\text{III.11})$$

Burada;

K: akım düzenleyicisi kayıp katsayısı, 0.20

A: Test bölgesi giriş kesiti, 0.32 m^2

A_n : Peteğin bulunduğu yerin kesiti, 0.66 m^2

(III. 11) denkleminde yerine konulduğunda $K_{pg} = 0.047$ olarak bulunmuştur.

5- Çıkıştaki bal peteği kayıp katsayısı,

(III. 11) denkleminde yararlanarak $K_{pg} = 0.040$ bulunmuştur.

6- Ekzost Kaybı;

$$K_e = \frac{A_0^4}{A_{d2}^2} \quad (\text{III.12})$$

A_{d2} : difüzör çıkış kesiti, 0.71 m^2

A_0 : deney odası giriş kesiti, 0.32 m^2

Denkleimde yerine konulduğunda , $K_e = 0.019$ olarak bulunmuştur.

Tünelin toplam kayıp katsayısı tünel elemanlarının toplam kayıp katsayısına eşit olduğundan,

$$K_T = K_t + K_k + K_d + K_{pg} + K_{pg} + K_e \quad (\text{III.13})$$

$$K_T = 0.0212$$

<u>Tünel Elemanı</u>	<u>Kayıp Katsayıları</u>	<u>Toplam Kayıp (%)</u>
Test Bölgesi	0.030	14.9
Kollektör	0.010	5
Difüzör	0.055	27.3
Giriş Bal Peteği	0.047	23.4
Çıkış Bal Peteği	0.040	19.9
Egzost	0.019	9.5
	0.201	100

$$\text{Tünel enerji oranı} = \frac{1}{0.201} = 4.97 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Tünelin toplam enerji kaybı;

$$E_t = \frac{1}{2} \rho \cdot V_0^3 \cdot A_1 \cdot K_T$$

$$E_t = 1/2 \times 1.22 \times 40^3 \times 0.102 \times 0.201$$

$$E_t = 878 \text{ w}$$

Bunlara ilave olarak fan kabini ile difüzör, flanşlı olarak bağlantısı yapılmış ve titreşimi önlemek için alüminyum folyo bant kullanılmıştır. Bu ilavelerin de kayıpları gözönünde bulundurulmuş ve hava tüneline 5.5 kW'lık güçte birr fan kullanılmıştır.

Fan debisi;

$$Q_f = A_{d1} \times V_{\max} \quad (\text{III.14})$$

Burada, A_{d1} , deney odası çıkışı kesit alanıdır (difüzör adaptörü girişi ile aynıdır). $V_{\max}$, Deney odası maksimum hızıdır.

(III.14) denkleminde $Q_f = 4.5 \text{ m}^3 / \text{s}$ olarak bulunmuştur.

BÖLÜM IV

DENEYSEL YÖNTEM VE ÖLÇME ELEMANLARI

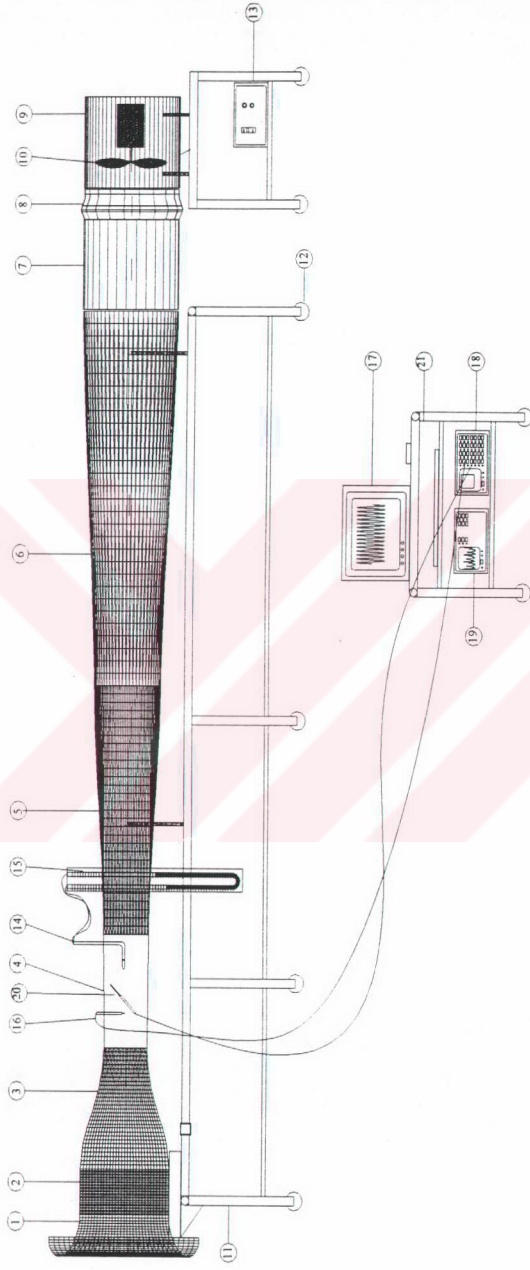
IV.1 GİRİŞ

Deneyisel çalışmalar, ayrıntıları bölüm 3’de verilen hava tüneline yapılmıştır. Bu bölümde, deneyisel çalışmalarda kullanılan ölçme cihazları ve deneyisel yöntem ile ilgili bilgiler verilecektir.

Hava tüneline, 5.5 kW’lık bir fan ile yapay rüzgar oluşturulmuş ve fanın devir ayarı, hız kontrol ünitesiyle gerçekleştirilmiştir. Yapılan türbülans ölçümlerinde, ölçüm ekipmanı olarak kızgın tel anemometre cihazı kullanılmıştır. Kızgın tel anemometrenin kalibrasyonunda, pitot tüp ve sulu manometre kullanılmıştır. Eksenel jet ölçümleri için, 8 mm çapında ve 1 m uzunluğunda paslanmaz çelik boru kullanılmış olup test bölgesine yerleştirilmiştir. Jet’in hava temininde, 200 L’lik kompresör ile hava üreticisi kullanılmıştır.

IV.2. HAVA TÜNELİ

Deneyisel çalışmalar, detayları bölüm III’te belirtilen ses altı-düşük hızlı, açık çevrimli ve emişli tip olan hava tüneline yapılmıştır. Hava tüneline test bölgesi, tasarlanan deneylerin yapılabileceği büyüklükte imal edilmiştir. Çeşitli deneylerin yapılmasına imkan verebilmek için, kollektöre, kızaklı bir sistem yapılarak deney odası uzunluğu, 60 ile 150 cm arasında değiştirilebilir. Şekil IV.1 ve IV. 2’ de, sırasıyla deneylerin yapıldığı hava tüneline ve giriş kollektörü ile difüzör arasında modüler olarak yerleştirilen test bölgesinin fotoğrafları görülmektedir. Hava tüneli, çevre şartlarından en az etkilenebilecek şekilde kurallara uygun olarak Yerleştirilmiştir. Hava akışı ve tünel için havanın debisi, farklı hızlarda çalışma yapmaya imkan vermek üzere fan devrini değiştirerek bir hız kontrol ünitesiyle ayarlanmaktadır. Hız kontrol ünitesi üzerinde bulunan çok turlu bir potansiyometre ile ayarlanmaktadır. Hız kontrol ünitesi üzerinde bulunan çok turlu bir potansiyometre ile fan devri, istenilen değerlerde bulundurulur.



Şekil IV. 1 Hava tüneli

1- Giriş ağzı, 2- Dinlenme Odası, 3- Kollektör, 4- Test Bölgesi, 5- Difüzör Adaptörü, 6-Difüzör, 7- Çıkış dinlenme Odası, 8- Fan Bağlantısı, 9- Fan Kabini, 10- Fan, 11- Tünel Şasesi, 12- Tünel Taşıyıcı Tekerleri, 13- Hız Kontrol Ünitesi, 14- Pitot tüp, 15- Manometre, 16- Sıcaklık probu, 17- Bilgisayar, 18- Kızgın Tel Anemometre Ünitesi, 19- Osiloskop, 20- Anemometre probu, 21-Masa

IV.2.1. Fan Motor Sürücüsü

Fan motor sürücüsü, SIEMENS marka, MM400/3 tipi, 4 kW gücünde ve giriş voltajı 400 - 500 V, 3 AC dir. Devir kontrolü 10 kohm' luk çok turlu potansiyometre ile yapılmaktadır. Hız kontrol ünitesi kodları girilerek, motor, frekans ve devir mod'una ayarlanabilir. Kullanılan hız kontrol Sürücüsü, şekil IV..2'de görülmektedir.



Şekil IV. 2 Hız kontrol sürücüsü

IV.3. KIZGIN TEL ANEMOMETRE

Kızgın tel anemometresi, LDA (Lase doppler Anemometre) ile beraber, akışkanlar mekaniği araştırmalarında, gaz ve sıvıların akış alanlarının, mikro yapılarının detaylandırılması ile hız profilleri ve türbülans karakteristiklerinin incelenmesinde kullanılan iki ölçüm cihazından biridir. Yüksek frekanslı türbülanslı hız çalkantılarının ölçümü için kullanılan bu metotla ani hız ölçülür [69] .

Kızgın tel anemometre sensörü, akışa maruz bırakılan küçük bir elektrikli ısıtıcı tel olup, elektronik çevrimle, sensördeki elektrik sinyalleri kullanarak dönüşümü hazırlar. Çok büyük ölçüm ekipmanları, elektronik çevrim formları, anemometre sisteminin küçük elemanları ve sensör karakteristikleri, ölçümleri etkilemektedir [69]. Kızgın tel anemometre ile ölçüm yapılırken aşağıda belirtilen durumlara dikkat edilmelidir [16,70].

- Deneyisel çalışmalara uygun sensör malzemesi seçilmelidir.

- Seçimi yapılan sensörün direncinin sıcaklık katsayısı yüksek olmalıdır. Böylece hız değişimlerinde sensörün hassasiyetini artacaktır.
- Verilen voltaj ve akım seviyesi, elektrikli rezistansı, çok kolayca ısıtılmalıdır.

Hava akışlarında, bütün bu özellikleri bir arada bulunduran, tungsten, platin ve iridyum-platin alaşımlı sensörler kullanılır. En popüler kızgın tel anemometre malzemesi, tungstendir.

Kızgın tel anemometresi, türbülansın neden olduğu hız çalkantılarının ölçümü için kullanılır. Aynı zamanda çok düşük hızlarda da ölçüm yapılabilmektedir. Bu karakteristik, örneğin sınır tabakaları, hız profilleri ve meteoroloji uygulamalarında çok faydalıdır. Çok düşük hızlarda anemometrenin uygulanmasında temel problem serbest ve zorlanmış konveksiyon arasındaki etkiyleşimdir[71]. Zorlanmış ve serbest konveksiyon aynı yönde olduğu zaman çok iyi sonuçlar alınmaktadır. Zorlanmış ve serbest konveksiyon birbirlerine dik olduğu zaman sonuçlar belirsiz olur. Zıt olduklarında sonuçlar daha da belirsiz olmaktadır [71]. Kısaca kızgın tel anemometresi türbülanslı akış öğretileri için kullanılır.

Kızgın tel anemometrenin temel avantajları [72]:

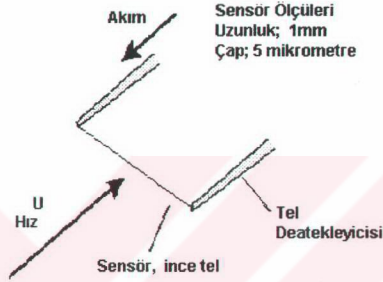
- Türbülans ölçümleri ve geçiş hızlarında oluşan yüksek frekanslara cevap verir.
- Sıvı ve gazların düşük hızlardaki ölçümleri için uygundur.
- Sensörlerle ve aksesuarlarla çeşitlendirilebilir.
- Kullanımı kolaydır.
- Kızgın tel anemometre ile yüksek subsonik, transonik ve süpersonik akışlarda da ölçüm yapılabilir[73,74].

Sabit akım ve sabit sıcaklık formu olmak üzere iki temel tipte bulunur. Her ikisinde benzer fiziksel prensiplere göredir fakat farklı yöntemleri vardır [70]. Sabit akım formunda, elektrik akımı sabit, sıcaklık değişkendir. Tel sıcaklığı, hız değişimlerinin neden olduğu soğutma etkisiyle değişir [8]. Akım sabit tutulup, teldeki direnç R_w değişimleri, voltaj V değişimi

olarak kaydediliyorsa sabit akım anemometresi, direnç R , sabit tutulup voltaj değişimleri akım olarak ölçülüyorsa sabit sıcaklık anemometresi olarak isimlendirilir[71].

IV.3.1. Kızgın Tel Anemometre Tekniği

0.005 mm çapında olan aktif uzunluktaki tel, I elektrik akımıyla atmosfer sıcaklığının üzerinde ısıtılır. Isı transfer oranı akış hızına bağlıdır. Elektronik (wheatstone köprüsü) evrim ile ısı transferi zamanın fonksiyonu olarak ölçülmektedir. Zamanın fonksiyonu olarak ölçülen akış hızının, hız/ısı transfer ilişkisi kalibrasyonla tesbit edilir [71].



Şekil. IV. 3 Kızgın tel anemometre prob sensörü[79]

Toplam ısı geçiş miktarı,

- Akış hızına
- Akış ve tel sıcaklıkları arasındaki farka
- Akışın fiziksel zelliklerine
- Telin fiziksel özelliğine ve çapına

bağlıdır.

Telden geçen ısıtıcı akımda, direnç R_w , uygulama sıcaklığı T_w , çap d ve uzunluk ℓ ise, enerji denge denklemi formundan,

$$I^2 R_w = \pi d \ell h (T_w - T_a) \quad (IV. 1)$$

Eşitliği sağlanır[71,75-76].

Telden konveksiyonla transfer edilen Q ısısıyla, akışkan hızı arasındaki ilişkii 1914' de L.V. King açıklamıştır [77].

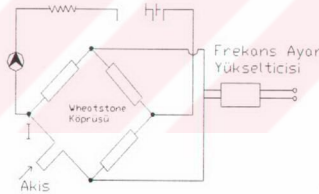
$$Q = (T_w - T_0) A_w h = A + BU^n \quad (IV.2)$$

Burada Q , konveksiyonla transfer edilen ısı miktarıdır. T_w , tel sıcaklığı ve T_0 , çevre sıcaklığıdır. A_w ise telin yüzey alanıdır. A ve B proba bağlı katsayılar olup kalibrasyonla elde edilir. Burada n , düşük Re sayılarında 0.45, büyük Re sayılarında 0.5 alınır.

IV.3.1.1. Sabit Akım Anemometresi

Sabit sıcaklık ile sabit akım formu aynı fiziksel prensiplere göre çalışırlar fakat yöntemleri ayrıdır. İnce direnç teli, akım sabit olacak şekilde akış hızına tutulur. Kızgın tel anemometresinde, I akım sabit tutulup, teldeki direnç R değişimleri, Voltaj V değişimi olarak kaydedilmektedir. Bu kontrol çevrimi Şekil IV.4’ de görülmektedir. Düşük elektronik gürültü, yapım maliyetinin ucuzluğu ve çok düşük hızlarda ölçüm yapabilir olması gibi avantajları vardır.

Dezavantajları; τ , zaman sabiti ayarlama ve kurma zorluğu vardır. Yüksek türbülans seviyeleri için τ sabittir fakat değişimleri doğru olarak karşılamaz.

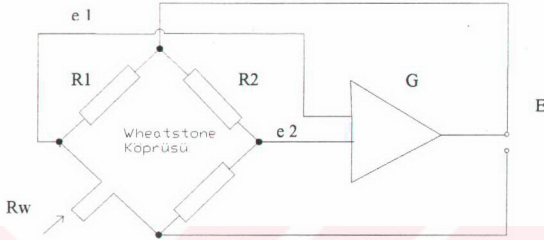


Şekil IV.4 Sabit Akım Anemometre Kontrol Devresi[78]

IV.3.1.2 Sabit Sıcaklık Anemometresi

Sabit sıcaklık anemometresi, kızgın tel anemometre tipinin en popüler olanıdır. Dantec [79], TSI[80] gibi ticari firmalar tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmada da türbülans ölçüm cihazı olarak, Dantec measurement firmasının, tek kanallı sabit sıcaklık anemometre ünitesi kullanılmıştır. Çalışma prensibi, ısıtılan yüzeyden (telin) akışın soğuma etkisiyle oluşan konveksiyon ısı transferi ile açıklanmaktadır. Konveksiyonla oluşan Q ısı transferi, akışın U hızının fonksiyonudur. Q ve U arasındaki ilişki ise denklem (IV.2)’de görülmektedir. Sabit

sıcaklık anemometre kontrol ünitesi kontrol devresi Şekil IV.5'de görülmektedir. Kızgın tel anemometre modunda, yükselticiyle sensör direnci korunur.



Şekil:4.5 Sabit Sıcaklık Anemometre Kontrol Devresi

$$R_w = R_0 (1 + \alpha_0 (T_w - T_0)) \quad (IV.3)$$

Burada; R_w = Tel direnci, R_0 = T_0 referans sıcaklığındaki tel direnci, α_0 = Sıcaklık katsayısı, T_0 = Referans sıcaklığı, T_w = Tel sıcaklığıdır.

Telden geçen akım;

$$E^2 = I^2 R_w^2 = R_w(R_w - R_a)(A_1 + B_1 U_n) \quad (IV.4)$$

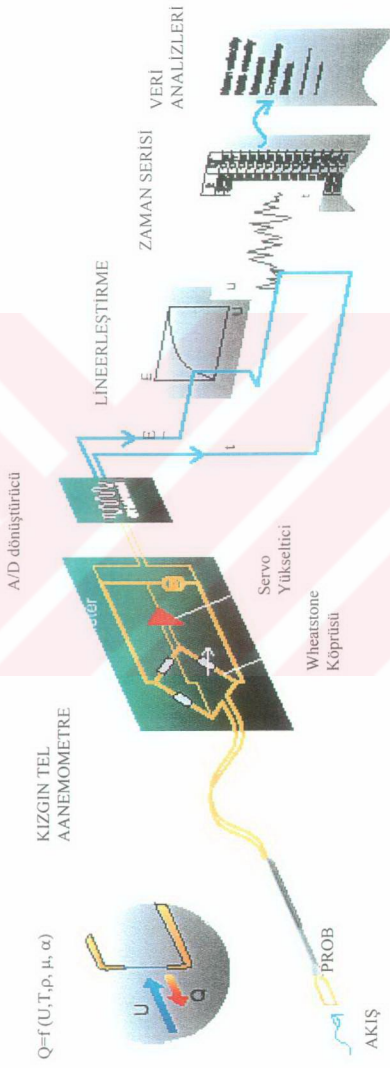
olur.

4.3.2 Kızgın Tel Anemometre Ölçüm Düzenegi

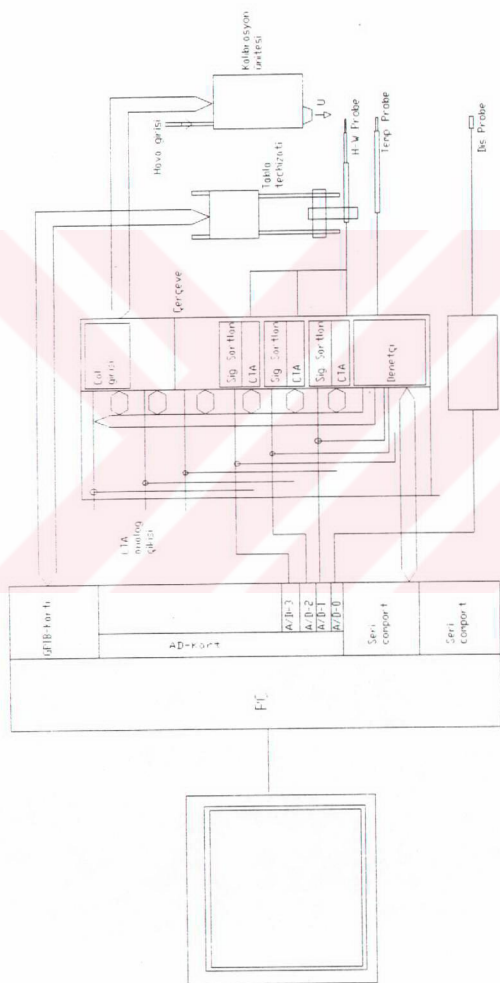
Sabit sıcaklık anemometresi, genlik ve zaman boyutunda istatistiksel olarak işlenebilen, sürekli hız-zaman serileri sağlayarak, bir noktada anlık hızların ölçülmesini sağlamaktadır. Bu ölçümlerden, ortalama hız, türbülans yoğunluğu, yüksek seviyeli momentler, sabit sıcaklık anemometresiyle hesaplanabilmektedir[71].

Akışa maruz bırakılan anemometre sensörüne akım verilmeye başlandığında, tel yüzeyinden, soğuk çevredeki akışkana ısı transferi olacaktır. Meydana gelen ısı transferi, akışkan hızının fonksiyonu olduğundan, akışkan hızı ile kontrol devresi çıkış gerilimi arasında bir ilişki çıkar. Burada, Wheatstone köprüsü, Kızgın tel anemometre sensöründeki ısı transferi değişikliklerini algılar ve gerilime dönüştürür. Meydana gelen gerilim farkı, DC yükseltici ile

Wheatstone köprüsüne geri beslenir. Analag olarak elde edilen bilgiler, bir dönüştürücü ile sayısal hale dönüştürüldükten sonra veri toplama kartı ile bilgiler veri tabanına aktarılır. Ölçüm sonuçları sistem yazılımıyla değerlendirilerek verilerin analizi yapılır. Ölçüm düzeneği ve ölçüm zincirini oluşturan kızgın tel anemometre ünitesi prensip şeması, Şekil IV, 6 ve IV. 7'de görülmektedir.



Şekil IV. 6 Kızgın tel anemometre ölçüm düzeni[79]

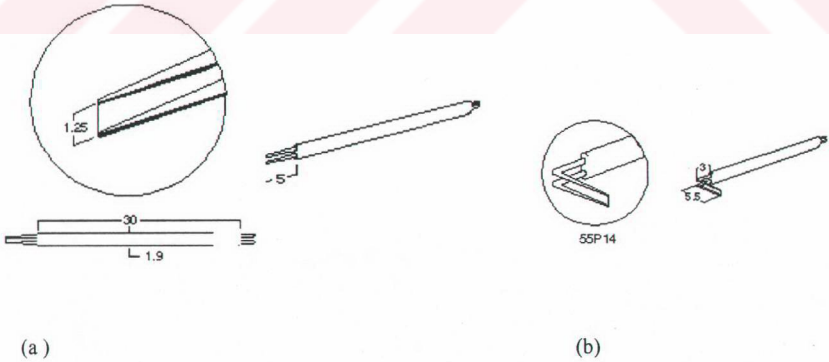


Şekil 4.7’de görülen ölçüm zinciri üç kanalıdır. Bu çalışmada, türbülans ölçümleri için, tek kanallı kızgın tel anemometre ünitesi kullanılmış olup, ölçüm düzeneğini oluşturan elemanlar aşağıdadır:

- Prob
- Prob destekleyicisi ve Koaksiyal (Coaxial) Kablo
- Kızgın tel anemometre kontrol devresi
- A/D dönüştürücü
- Veri işlem yazılımı

a) **Prob:** DANTEC 55 P11 ve 55P 14 tip Prob kullanılmıştır. Sensör malzemesi platin -Tungsten, Sensör çapı 5 μm , uzunluğu 1.25 mm, direnç 3.5 Ω , en düşük hız 0.20 m/s ve en yüksek hız 500 m/s dir. Prob çatalı çelikten olup sensör, prob eksenine yatay olarak çatala bağlanmıştır.

Prob sensörü efektif uzunluğu çok önemli bir etkidir. Eğer uzunluk /çap ilişkisi çok küçükse, Prob çatallarından ısı kaybı olmaktadır. Bu da telin dinamik davranışlarını etkilemektedir[81,82]. Bu nedenle oran, 200’den daha büyük olmalıdır [71]. 2.5 μm ’ den daha küçük prob sensörü yapmak ve kullanmak fiziksel olarak çok zordur. Şekil IV. 8 de düz prob olarak kullanılan, 55P11 ve 90° prob olarak kullanılan, 55P14 tiplerindeki Prob şekilleri görülmektedir.



Şekil IV. 8. Kızgın tel anemometre proble: (a) 55 P11 düz prob, (b) 55 P14 90° prob[79]

b) Prob Sıpı Destekleyicisi: Prob Destekleyicisi olarak, Şekil IV. 9’ da görülen Dantec 55H21 tipi bir destek kullanılmıştır. Prob destekleyicisinin koaksiyal kabloı 0.8 m olup, anemometre ile bağlantıyı geręekleřtiren koaksiyal koblonun uzunluğu 2 m’dir.



Şekil IV. 9 Prob destekleyicisi[79]

c) Kızgın Tel Anemometre Kontrol Devresi: Wheatstone köprüsü çıkışında oluşan gerilim farkını geri besleyen devredir. Şekil IV. 5’de görölmektedir.

d) Veri Alma Düzeneği : Sabit sıcak tel anemometresinin ana birimi, akış ölçmek için bir sinyal alır. Bilgilerin veri tabanına aktarılmadan önce sinyal işlemeı yapmak gerekir. Bu işlemeı yapmak için bir veri toplama kartı kullanılır. Burada, analog olarak elde edilen bilgiler, sayısal hale dönüştürölerek bilgiler veri tabanına aktarılır. Bu çalışmada kullanılan kart, United Electronic Industries firmasının WIN-30DS/4 modelidir [83].

Kartın özellikleri:

- En büyük hız 1000 kHz.
- 16 adet analog giriş kanalı
- 2 adet 12 Bit çıkış kanalı
- 3 adet programlanabilen 8 bit kanal
- 4 kanala kadar örnekleme desteği
- yazılım programı ile tam uyumlu olması

gibi özelliklere sahiptir.

Lineerleştirme, voltaj sinyalini akış hızı lineer fonksiyonuna çevirir. Akışın ortalama ve rms değerlerini direkt olarak gösterir. Bilgisayara veri göndermesi yapılmadan önce ham verilerin sınırlandırılmasında (azaltılmasında) kullanılır.

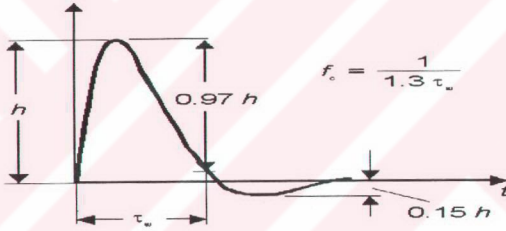
IV.3.3. Veri İşlem Yazılımı

Ölçüm sonuçlarının sunumu için bir yazılım paketine ihtiyaç vardır. Yazılım olarak, Streamware 3.0 paket yazılım programı kullanılmıştır. Program ile, prob kalibrasyonu, veri

okuma, istatistiksel hesaplar, seçici sistem kontrolü gibi işlemler yapılabilmektedir. Streamware 3.0 programı, standart PC bilgisayarda, Windows 95 altında kullanılmaktadır.

Veri işlemine başlamak için, Donanım ayarları yapılarak, kullanılacak prob tipine göre kalibrasyon yapılmış ve prob kalibrasyonuna göre otomatik olarak donanım ayarı tekrar yapılmıştır. Sonra hazırlanan deney planına göre deneysel çalışmalara başlanmış ve veriler alınmıştır.

a) **Donanım Ayarı:** Sistem çalıştırılmaya, donanım ayarlarının hazırlanmasıyla başlar. Prob tipi ve sıcaklık probu seçilir ve daha sonra sinyal şartlandırıcı ayarlanarak ofset ayarı yapılır. Frekans cevabı ayarlanırken, cevap hızı, 5 µm prob sensörü için, 30 m/s 'de 100 kHz olarak ayarlanması en uygunu olduğundan bu değerler ayarlanmıştır. Frekans cevap ayarı Şekil IV.10'da görülmektedir.



Şekil IV. 10 Frekans cevabı[79]

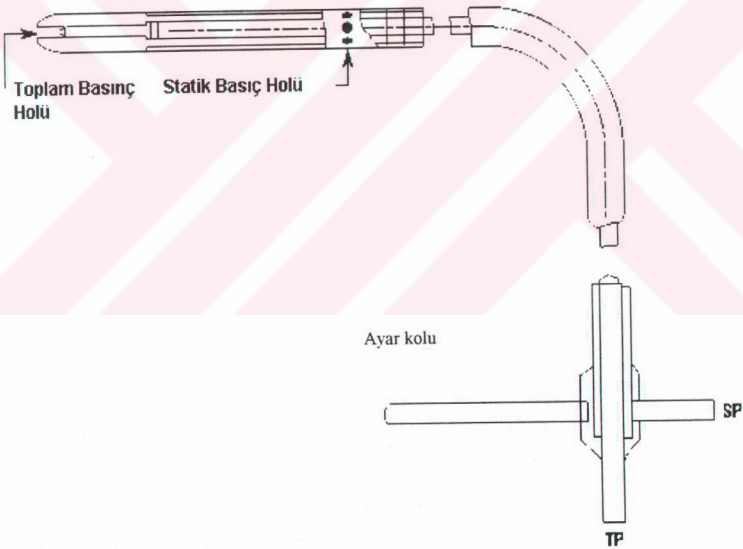
Köprü üstüne kare dalga voltajı uygulaması ve kazanç verilerek sistem optimizasyonu yapılmıştır. Daha sonra Prob kalibrasyonu yapılmış ve kalibrasyona göre, deney planı oluşturulup verilerin alınmasına başlanmıştır.

b) **Prob Kalibrasyonu:** Hız kalibrasyonu, Kızgın Tel anemometre probunda olduğu gibi genellikle U hızı ve Anemometre voltajı, E gibi birtakım ölçümlerle yapılır [84]. U hızı ve E voltajı arasındaki ilişkiyi açıklamak için kalibrasyon yöntemleri analitik olarak açıklanmıştır. Anemometrenin voltaj çıktısı E, hava hızının U+u' nun fonksiyonudur. Hız ve voltaj çıkışı arasındaki ilişki program otomatik olarak vermektedir. Kalibrasyon laminar akımda iken yapılmalıdır. Otomatik kalibrasyon üniteleri vardır fakat olmaması nedeniyle kalibrasyonda pitot-statik tüp kullanılmıştır. Bu çalışmada kalibrasyon verileri için 10,20,30 m/s hızlarında

çalışıldığından bu sayılar referans alınmıştır. Tünel maksimum hızı 40 m/s olduğundan bu değerde kalibrasyonda kullanılmıştır. Böylece 4 noktada kalibrasyon gerçekleştirilmiştir.

Pitot-statik tüp ile bu değerlere ulaşıldığında, bu değerlere karşılık gelen anemometrenin voltaj değeri hesaplanmıştır. Kullanılan pitot–statik tüp 6 delikli dir. Ayrıntılı bilgi [70] kaynaklarda mevcuttur. Statik ve dinamik çıkışları 1 mSS’lu manometreye bağlanmış ve oluşan yükseklik farkıyla ortalama hızlar, Bernoulli denkleminde türetilen eşitlikle (IV.5)’de hesaplanmıştır. Şekil IV. 11’de ölçüm yapılan Pitot statik tüp şekli görülmektedir.

$$U = \sqrt{2gH(\rho_s / \rho_h)} \quad (IV. 5)$$

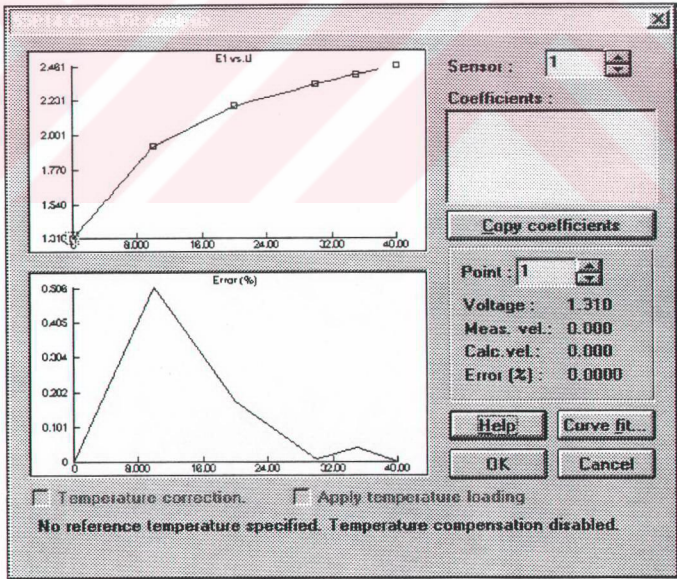


Şekil IV. 11 Pitot-statik Tüp[85]

Kalibrasyonla hız karşılık gelen voltaj çıkışları Tablo IV.1'de görülmektedir. Şekil IV. 12'de ise kalibrasyon eğrisi görülmektedir.

Tablo IV. 1 Kalibrasyon Değerleri

U (m/s)	E1 (v)
0	1,31
10	1,928
20	2,194
30	2,337
35	2,406
40	2,461

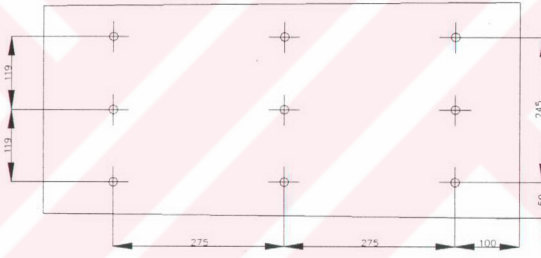


Şekil IV. 12 Kalibrasyon eğrisi

Kalibrasyondan sonra deney akış düzeneğini oluşturmak için, kalibrasyona göre yazılım programında deney planı hazırlanmıştır. Hazırlanan bu plana göre veriler alınmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

IV.4. TEST BÖLGESİ AKIŞ ANALİZİ DÜZENEGİ

Test bölgesi ölçümleri için, bu bölgenin malzemesi plexi-glass, akış analizini verecek deneysel çalışmaya göre hazırlanmıştır. Deney odası üst duvarından şekil IV.13'te görüldüğü gibi kızgın tel anemometre probunun daldırılacağı delikler açılmıştır. Deney odasının üst akış, alt akış ve merkezdeki akış ölçümleri için prob üst duvardan sırasıyla 81 mm, 162 mm ve 243 mm daldırılmıştır. Her bir delikten üç ölçüm alınmış ve toplam test bölgesi için 27 noktada ölçüm alınmıştır. Aynı işlem, belirlenen bütün hızlarda tekrarlanmış ve böylece deney odasının, akış analizi yapılmıştır.

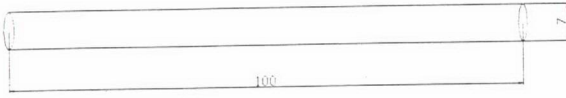


Şekil IV. 13 Deney odası üst duvarı ölçüm noktaları yerleşimi

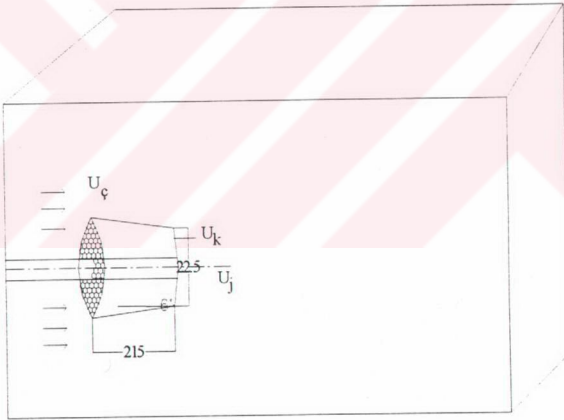
IV.5. JET AKIŞ ÖLÇÜM DÜZENEGİ

Jet akış ölçümleri için, 1m uzunluğunda ve $\phi 8$ mm çapında çelik boru kullanılmıştır. Ayrıca jet çıkış ağzına 21 cm uzunluğunda ve 6° ve 12° eğimi olan, 21 cm uzunluğunda olan koniler, aynı eksenli olacak şekilde giydirilmiştir. Bu boru, giriş ağzında, akım düzenleyicisi olarak kullanılan akım düzenleyicisinden daldırılmıştır. Aynı zamanda akım düzenleyicisi, jet'in sabit durmasını sağlamıştır. Hava temini için 200 L'lik kompresör alınmış ve kompresör ile boru bağlantısı aynı çapta bir hortumla sağlanmıştır. Şekil IV. 14'de kullanılan boru, Şekil IV.15'de kullanılan koninin akım düzenleyicisi kullanılarak boruya giydirilmesi

gösterilmektedir. Şekil IV.16'da tünele, kompresör ilaveli boru bağlantısının resmi görülmektedir. Şekil IV.17' de de konik ilaveli jet akış düzeneğinin hava tünelinin deney odasına yerleştirilişi görülmektedir.



Şekil IV. 14 Jet ölçümleri için kullanılan boru



Şekil IV. 15 Jet çıkışına giydirilen konik difüzör şekli



Şekil IV.16 Hava temini için kullanılan kompresör ve tünel ilavesi resmi



Şekil IV.17 Konik ilaveli jet akış düzenneği

BÖLÜM V

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

V.1. GİRİŞ

Bu bölüm, hava tüneli deney odası akış analizi ve deney odasında yapılmış olan jet akış ölçümlerini içermektedir. Deney odasına önce hiç akış göndermeden ve daha sonra 10, 20, 30 m/s gibi farklı hızlarda akış temin edilmiş ve bu hızlarda deney odasında farklı noktalarda ölçümler yapılmıştır. Tünelde sırasıyla u , u' , RMS (Root Mean Square) değerleri ölçülmüştür. Ölçülen bu değerlerle deney odasındaki hız dağılımları ve deney odasının türbülans yoğunlukları bulunmuştur.

Jet akış ölçümleri için ise 8 mm iç çapı, 9 mm dış çapı olan ve uzunluğu 120 cm olan çelik boru kullanılmıştır. Önce çevre akışı olmadan jet akış ölçümleri yapılmış daha sonra da çevre akışını ve jet çıkış hızını değiştirerek farklı hızlarda jet akış deneyleri yapılmıştır. Jet akış ölçümü tamamlandıktan sonra, jet nozul çıkışına aynı eksenli olmak üzere, giriş çapı 51 mm, çıkış çapı 37 mm ve uzunluğu 210 mm olan ve 6° eğimi olan difüzör giydirilmiştir. Yine jet nozul çıkışına aynı eksenli olmak üzere, giriş çapı 51 mm, çıkış çapı 21 mm, uzunluğu 210 mm ve 12° eğimi olan difüzör giydirilerek deneyler yapılmış ve yine bu uygulamalara ilave olarak jet nozulu, konik difüzörün 2 cm gerisine yerleştirilerek farklı kategori ve tiplerde deneyler yapılmıştır. Ayrıca akışa kapalı iken konik yapının oluşturduğu iz akışında hız ve türbülans ölçümleri de yapılmıştır. Yapılan deneysel uygulamaların oluşturduğu kategoriler şunlardır;

1. Konik daralma giydirilmeden farklı jet akış hızı ve farklı tünel hızlarında yapılan jet akış ölçümleri.
2. Jet ve konik daralma akışa kapalı iken konik yapının oluşturduğu iz akış ölçümleri.

3. Jet akışının olmadığı ve koninin akışa açık olduğu durumda yapılan ölçümler.
4. Jetin ve koninin akışa açık olduğu durumda, aynı hizalı ve jet çıkışının konik elemanın 2 cm gerisine yerleştirildiği durumda yapılan hız ve türbülans ölçümleri.

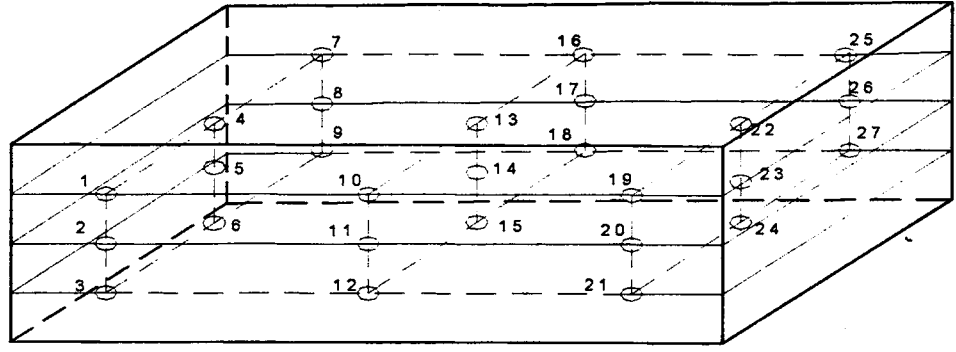
İz akışları ile yapılan ölçümler Ek-E’de gösterilmiştir.

Yapılan ölçümler sonucu elde edilen verilerle, akış profilinin, hız ve türbülans dağılımları gösterilmiştir. Ayrıca hızlar, boyutsuzlaştırılarak ta boyutsuz hız dağılımları grafik ortamda gösterilmişlerdir. Yine bunlara ilave olarak, jet eksenini boyunca oluşan hız değişimlerinin ve jet yayılma oranları da grafik halinde gösterilmişlerdir. Ölçüm istatistiğinin hassasiyeti ile ilgili olarak ta ölçümlerin, 4. momentleri çıkartılıp frekans dağılımları gösterilmiştir.

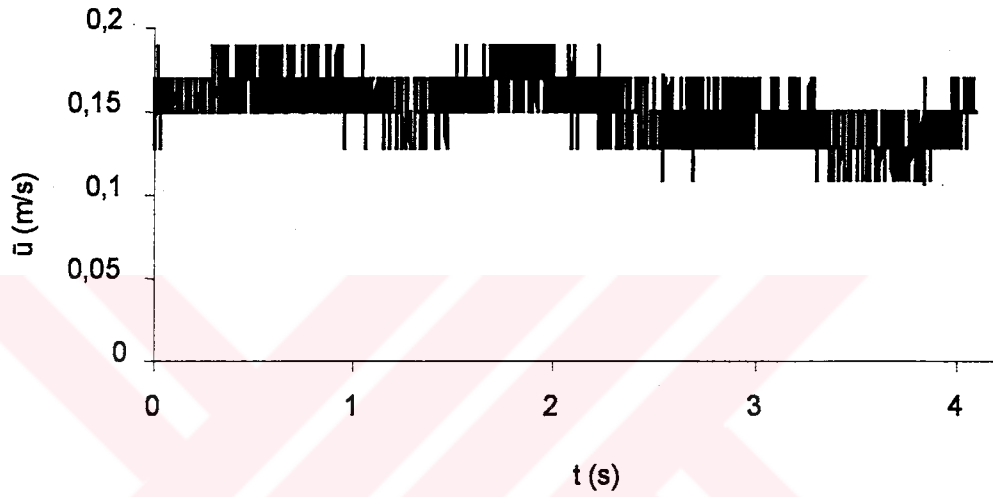
V.11. DENEY ODASI ÖLÇÜMLERİ

Hava tünelinin dizaynında yapılacak herhangi bir hata deney odasındaki akımın istenen özelliklerde olmasını engellemektedir. Dizayn edilen hava tüneline istenen akım koşullarının sağlanıp sağlanmadığının bilinmesi gerektiğinden hava tünelinin deney odasının hassasiyetinin tespit edilmesi gerekmektedir.

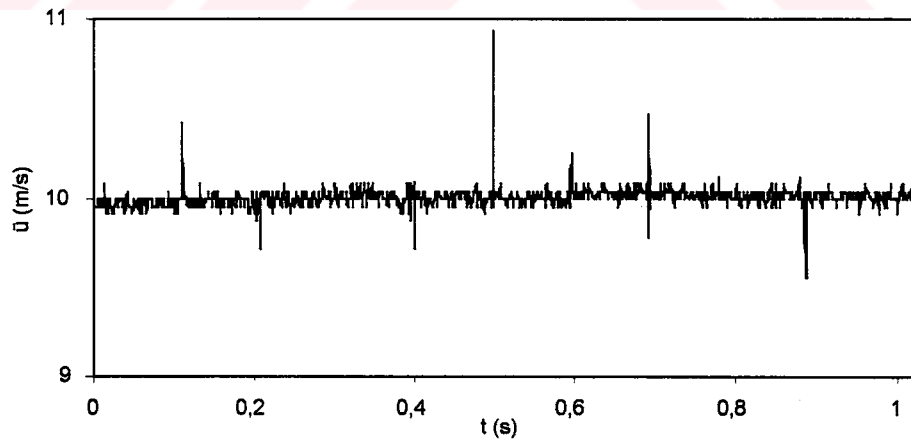
Hava tüneline, deneye başlanmadan önce akım karakteristiklerinin tespit edilmesi maksadıyla deney adasında üç farklı düzlemde ve 27 noktada hız taraması yapılmıştır. Deney odası ölçümleri, önce tünele hiç akış verilmeden yapılmıştır. Sonra sırasıyla deney odasına 10, 20 ve 30 m/s hızlarında hava akışı sağlanarak ölçümler yapılmıştır. Deney odasından alınan noktasal ölçüm yerleri şekil V.1’de gösterilmiştir. Ölçümler 1. Noktadan itibaren sırasıyla 27. noktaya kadar alınmıştır. Çeşitli ortalama hızlarda ölçümleri yapılan hız değişimleri, şekil V.2, V.3, V.4 ve V.5’ de gösterilmiştir.



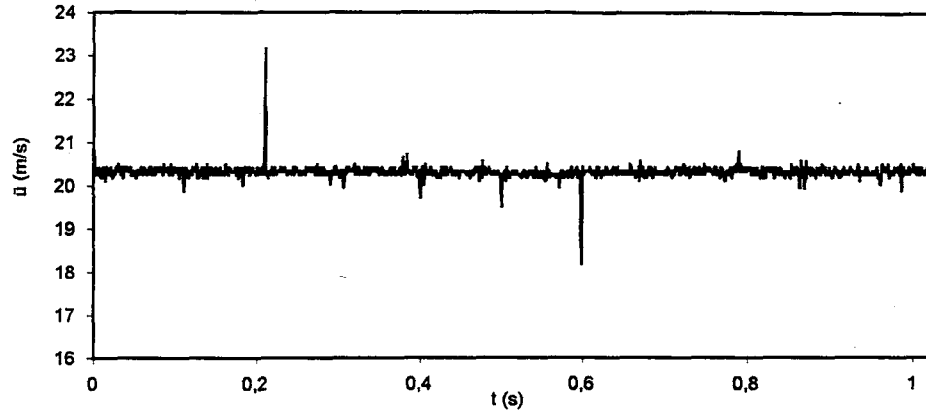
Şekil V.1 Deney odası hız taraması yapılan düzlemlerdeki ölçüm alınan noktalar



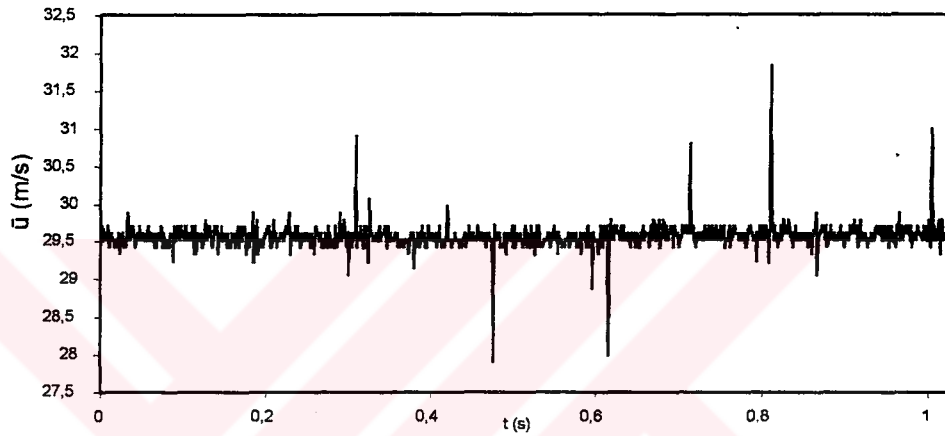
Şekil V.2 Deney odasına akım verilmediği durumda 14. noktadaki hız çalkantıları



Şekil V.3 10 m/s ortalama hızda, 14. noktadaki hız çalkantıları



Şekil V.4 20 m/s ortalama hızda, 14. noktadaki hız çalkantıları



Şekil V.5 30 m/s ortalama hızda, 14. noktadaki hız çalkantıları

Yapılan ölçümlerde deney odasının türbülans yoğunlukları, tünele hiç akım verilmediği durumlarda %0,5, 10 m/s ortalama hızda %0,6, 20 m/s ortalama hızda %0,7, 30 m/s ortalama hızda %0,4 olarak bulunmuştur. Bu ölçümler, tüneldeki akım karakteristiklerinin uygun olduğunu ve deneysel çalışmalar için yeterli hassasiyette olduğunu göstermektedir.

V.III. JET AKIŞ ÖLÇÜMLERİ

Girişte de belirtildiği gibi deneysel çalışmalar 4 kategoride yapılmıştır. Jet akışını temin için ikinci bir fan sisteminden ve kompresörden yararlanılmıştır. Jet akışı için kullanılan boru, tünelin giriş ağzından deney odasına daldırılmış ve meydana gelebilecek titreşim nedeniyle, akışın bozulmaması için çok ince bir tel ile bağlanan boru, akışı bozmayacak bir şekilde deney odasının duvarına tutturulmuştur. Konik ilave ile yapılacak ölçümler için ise, boruya akım düzenleyicisi (honeycomb)

geçirilerek koni, boruya giydirilmiştir. Yine akış boyunca, konide oluşabilecek sarsıntı ve titreşim nedeniyle akışta olabilecek bozulmaları önlemek için koninin giriş ve çıkışları, tünel deney odasının yan duvarlarına sabitlenmiştir.

Bu şekilde, deney hazırlıkları oluşturularak yapılan ve dört değişik kategoride oluşturan ölçüm tipleri, tablo V.1, V.2, V.3 ve V.4' de özetlenmiştir.

Tablo V.1 Konik ilaveler olmadan yapılan dairesel jet ölçümleri

Kod	Jet hızı (max) U_j (m/s)	Tünel hızı U_t (m/s)	Şekil
A1	30	0	V.6
A2	30	10	V.7
A3	30	20	V.8

Tablo V.2 Jet ve konik ilaveler akışa kapalı iken yapılan iz akış ölçüm tipleri

Kod	Jet akışı	Konik akış	Konik açısı (derece)	Konum	Jet hızı U_j (m/s)	Tünel hızı U_t (m/s)	Şekil
B1	Kapalı	Kapalı	6	Aynı hizalı	0	10	B. 1
B2	Kapalı	Kapalı	6	Aynı hizalı	0	20	B. 2
B3	Kapalı	Kapalı	12	Aynı hizalı	0	10	B. 3
B4	Kapalı	Kapalı	12	Aynı hizalı	0	20	B. 4

Tablo V.3 Jet akışın olmadığı, konik elemanların akışa açık olduğu durumda yapılan ölçüm tipleri

Kod	Jet Akış	Konik Akış	Konik Açısı (derece)	Konum	Jet-Hızı U_j (m/s)	Tünel Hızı U_t (m/s)	Şekil
C1	Kapalı	Açık	6	Aynı hizalı	0	10	Ek B. 5
C2	Kapalı	Açık	6	Aynı hizalı	0	20	Ek B. 6
C3	Kapalı	Açık	12	Aynı hizalı	0	10	Ek B. 7
C4	Kapalı	Açık	12	Aynı hizalı	0	20	Ek B. 8

Tablo V.4 Konik elemanların akışa açık olduğu, aynı hizalı ve jet çıkışının, koninin çıkışının 2 cm gerisine yerleştiği durumda yapılan ölçüm tipleri

Kod	Jet Akışı	Konik Akış	Konik Açısı (derece)	Konum	U_j (m/s)	U_t (m/s)	Şekil
D1	Açık	Açık	6	Aynı Hizalı	30	10	Ek B.9
D2	Açık	Açık	6	Aynı Hizalı	30	20	Ek B.10
D3	Açık	Açık	12	Aynı Hizalı	30	10	Ek B.11
D4	Açık	Açık	12	Aynı Hizalı	30	20	Ek B.12
D5	Açık	Açık	6	Jet çıkışı, konik çıkışın 2 cm gerisinde	30	10	Ek B.13
D6	Açık	Açık	6	Jet çıkışı, konik çıkışın 2 cm gerisinde	30	20	Ek B.14
D7	Açık	Açık	12	Jet çıkışı, konik çıkışın 2 cm gerisinde	30	10	Ek B.15
D8	Açık	Açık	12	Jet çıkışı, konik çıkışın 2 cm gerisinde	30	20	Ek B.16

Jet akış ölçüm tipleri için hazırlanan jet ölçüm düzeneği, şekil IV.15 ve IV.17’de görüldüğü gibi deney odasına yerleştirilmiştir. Ölçümler için 4 adet ölçüm istasyonu belirlenmiştir. Bunlar; $x/D=0.3$, $x/D=12.5$, $x/D=31.2$ ve $x/D=50$ olmak üzere aksel doğrultuda hem üst akış bölgesinde, hem de alt akış bölgesinde ölçümler yapılmıştır. Deneyler, jet akışının maksimum hızı 30 (m/s)’ de iken tünel hızlarının 0, 10 ve 20 (m/s) olduğu durumda üç değişik grupta yapılmıştır.

Tünele akış verilmediği durumda boyutsuz hız dağılımlarını yaparken hızın boyutsuzlaştırılması, belirli bir istasyonda aksel doğrultudaki ortalama hızların ($\bar{u}$), jet eksenindeki maksimum ortalama hız olan U_{max} ’e bölünmesi ile elde edilmiştir.

Tünelde akış olduğu durumlarda ise hızın boyutsuzlaştırılması, eksenel doğrultuda herhangi bir noktadaki hız en düşük hızdan çıkartılıp enyüksek hız ile en düşük hızın farkına bölünerek elde edilmiştir. Jet ağzından itibaren ölçülen x mesafesi, jet çapı ile boyutsuzlaştırılmıştır. Her istasyondaki radyal mesafe ise, jet yarı kalınlığı ile boyutsuzlaştırılmıştır.

Yapılan deneylerden elde edilen verilerle sonuçlar grafik ortamda gösterilmiş ve analizi yapılmıştır. Farklı kategorilerde yapılan deneylerde, akış düzeneğinde yapılan değişikliklerle akış profil yapısının nasıl değiştiği, boyutsuz hız dağılımı, U_{rms} , ortalama hız dağılımları ($\bar{u}$), grafiklerden yararlanarak incelenmiş ve irdelenmiştir.

V.III.1. DAİRESEL JET ÖLÇÜMLERİ

Konik elemanların, dairesel jet yapısına etkisinin görülebilmesi için üç farklı durumda ölçümler yapılmış (tablo V.1) ve ölçüm sonucunda elde edilen verilerin eksenel simetrik yapıda olduğu görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerle oluşturulan boyutsuz hız dağılımları, şekil V.6 (a), V.7 (b) ve V.8 (a)' da, türbülansı gösteren U_{rms} dağılımları, şekil V.6 (b), V.7 (a), V.8 (b)' de, ortalama hız dağılımları ise şekil V.6 (c), V.7 (c) ve V.8 (c)' de gösterilmektedir.

Bu kategoride üç değişik durumda yapılan ölçümlerde, birinci tipte, tünele akış verilmediği durumda yapılmış ve jet çıkış ağzının maksimum hızı, $U_{jmax}=29.72$ (m/s) olup akış profilinin ortalama hızı, $U_{ort}=24.5$ (m/s)'dir. Boru çıkışındaki akış profilinin ortalama hızı, türbülanslı boru akışlarında jet maksimum çıkış hızının 2/3'ü olduğu gözönüne alınarak hesaplanmıştır. Jet çıkış ağzındaki Reynolds sayısı ise, $Re=14962$ 'dir.

İkinci tip yapılan ölçümlerde ise, jet çıkış ağzının maksimum hızı, $U_{jmax}=30.4$ (m/s), ortalama hız, ortalama hız, $U_{ort}=24.5$ (m/s)'dir. Reynolds sayısı burada 15305'dir. Bu tipte tünel akış hızı, 10 (m/s) olup $U_t/U_{ort}=0.4$ ' tür.

Üçüncü tipte yapılan ölçümlerde ise jet çıkış ağzının maksimum hızı, $U_{max}=30.8$ (m/s) olup ortalama hız, $U_{ort}=25$ (m/s)'dir. Tünel hızı 20 (m/s) olup, $U_t/U_{ort}=1.25$ 'dir. Reynolds sayısı ise 15509'dur. Reynolds sayılar ı ise jet akışı için kullanılan boru çapına göre hesaplanmıştır.

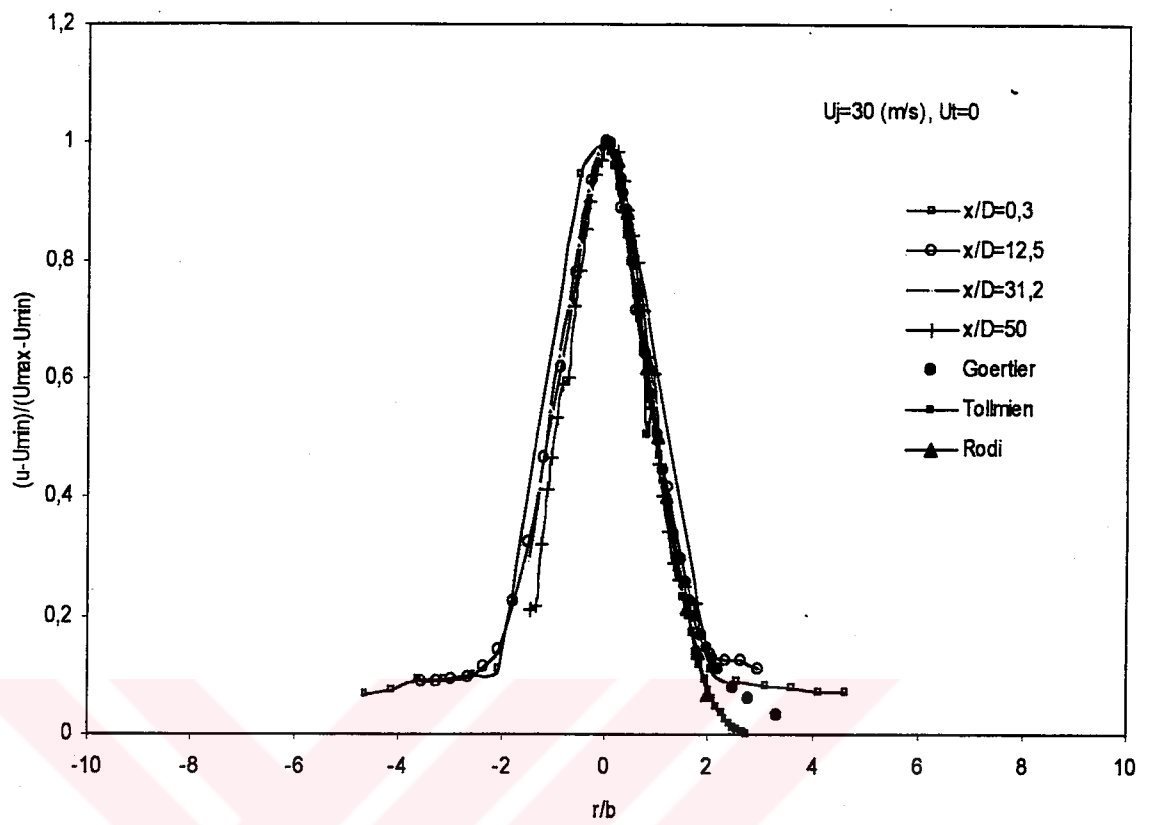
Bütün ölçümler, $x/D = 0.3, 12.5, 31.2$, ve 50 olmak üzere dört istasyonda yapılmıştır. Yapılan ölçümler, Goertler, Tollmien ve Rodi'nin çalışmaları ile karşılaştırılmış ve akış profil çizgilerinin uyum içinde olduğu görülmüştür.

Bu grupta yapılan bütün ölçümlerde, en yüksek hız birinci İstasyonda görülmekte olup sırasıyla diğer istasyonlarda yapılan ölçümlerde azalmaktadır. Reynolds sayıları da en yüksek birinci istasyondaki jet ekseninde görülmekte olup hızları azalması nedeniyle diğer istasyonlara doğru azaldığı görülmektedir. U_t/U_{ort} oranı yükseldikçe Reynolds sayılarının değişiminin daha az olduğu görülmektedir.

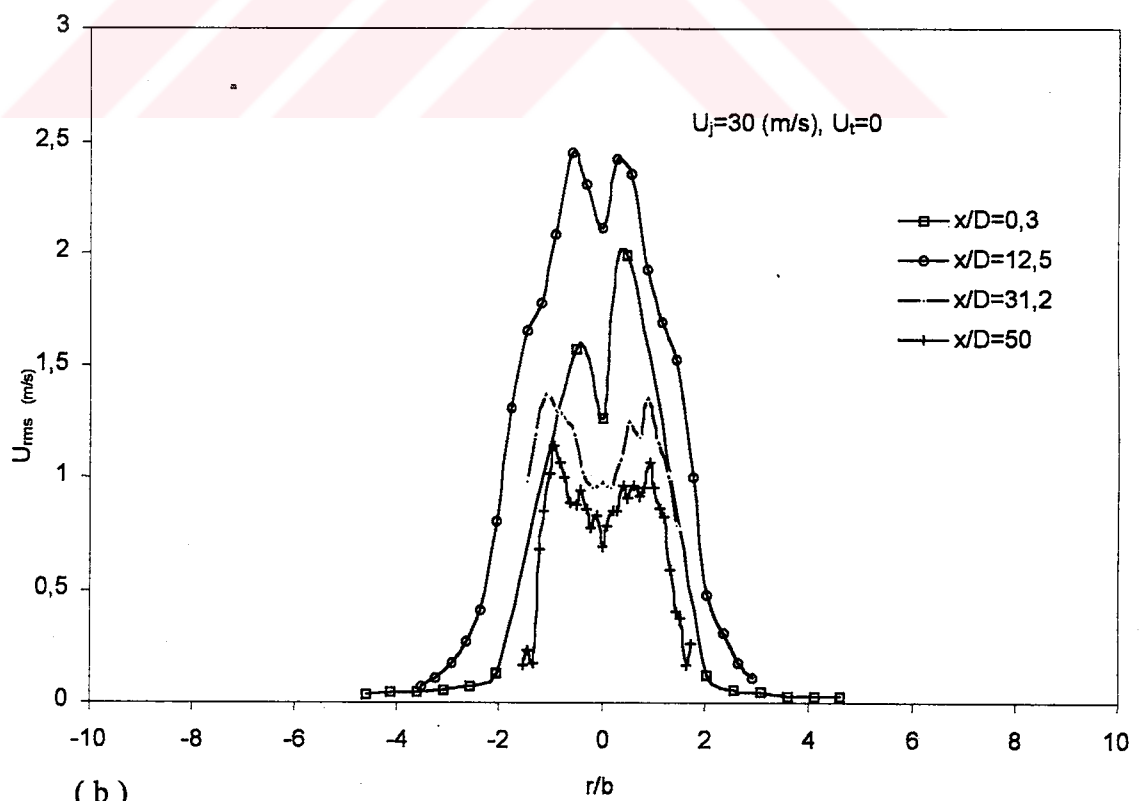
Jet yayılmasının nozuldan uzaklaştıkça arttığı ancak jet maksimum çıkış hızının 30 (m/s) ve tünel akış hızının 20 (m/s) olduğu A3 tipinde yapılan ölçümlerde hızlar oranı yüksek olduğundan $x/D=50$ 'de jet etkisinin azaldığı hatta tamamen sona erdiği ve iz akış haline geldiği gözlenmiştir. Fakat U_t/U_j 0.40'ta yapılan ölçümlerde hem hız profillerinin hem de türbülans profillerinin diğer ölçüm tiplerine göre daha düzgün yapıda olduğu görülmektedir. En yüksek türbülans değerleri, jet yarı kalınlığına denk olan radyal mesafede görülmektedir. Eksendeki türbülansların yarı kalınlıklara göre daha düşük olduğu ve jet sınırlarının dışında ise en düşük seviyede olduğu görülmektedir (Tablo V.5).

Tablo V.5 A1, A2 Ve A3 tiplerinde yapılan ölçümlerdeki eksen hızları, jet yarı kalınlıkları ve Reynolds sayıları

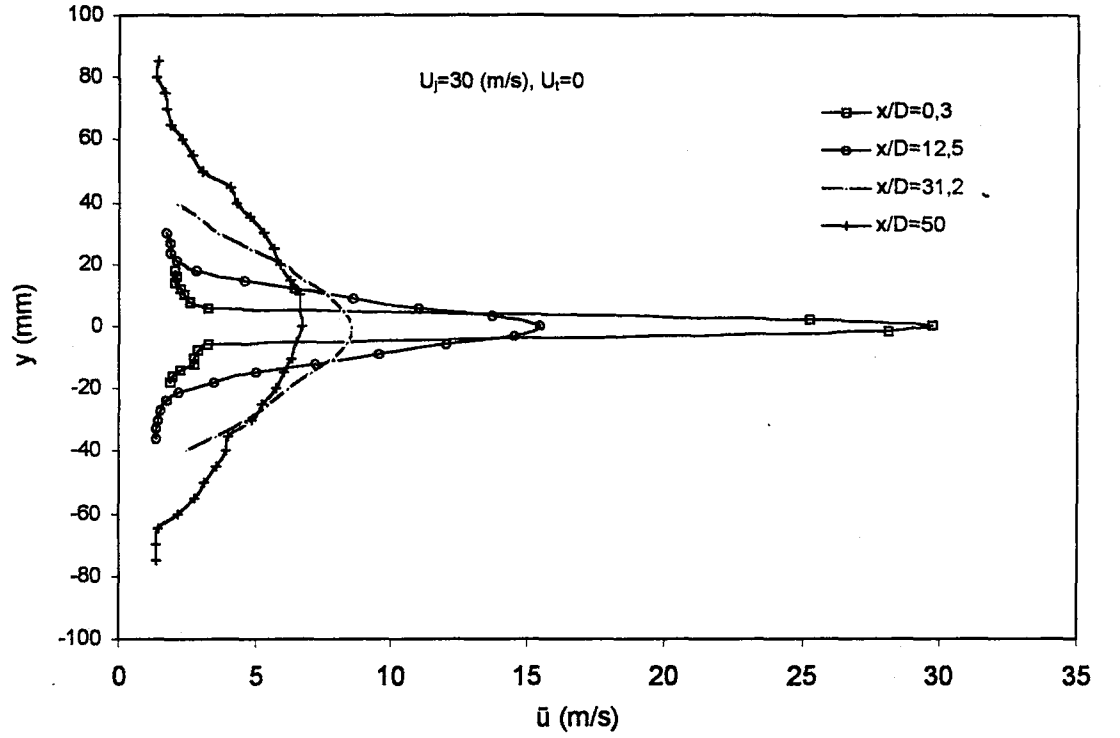
A1					A2				A3			
x/D	U_e (m/s)	b (m)	Re_D	Re_b	U_e (m/s)	b (m)	Re_D	Re_b	U_e (m/s)	B (m)	Re_D	Re_b
0,3	29,72	0,00388	14962	7271	30,04	0,003629	15305	6843	30,805	0,00568	15509	11028
12,5	15,46	0,01019	7783	9911	19,658	0,004765	9897	5894	23,172	0,00478	12667	6980
31,2	8,522	0,02732	4290	14653	14,655	0,005648	7378	5208	19,924	0,00936	11666	11740
50	6,718	0,04853	3382	20519	12,976	0,01204	6532	9832	19,187	0,01343	9659	16218



(a)

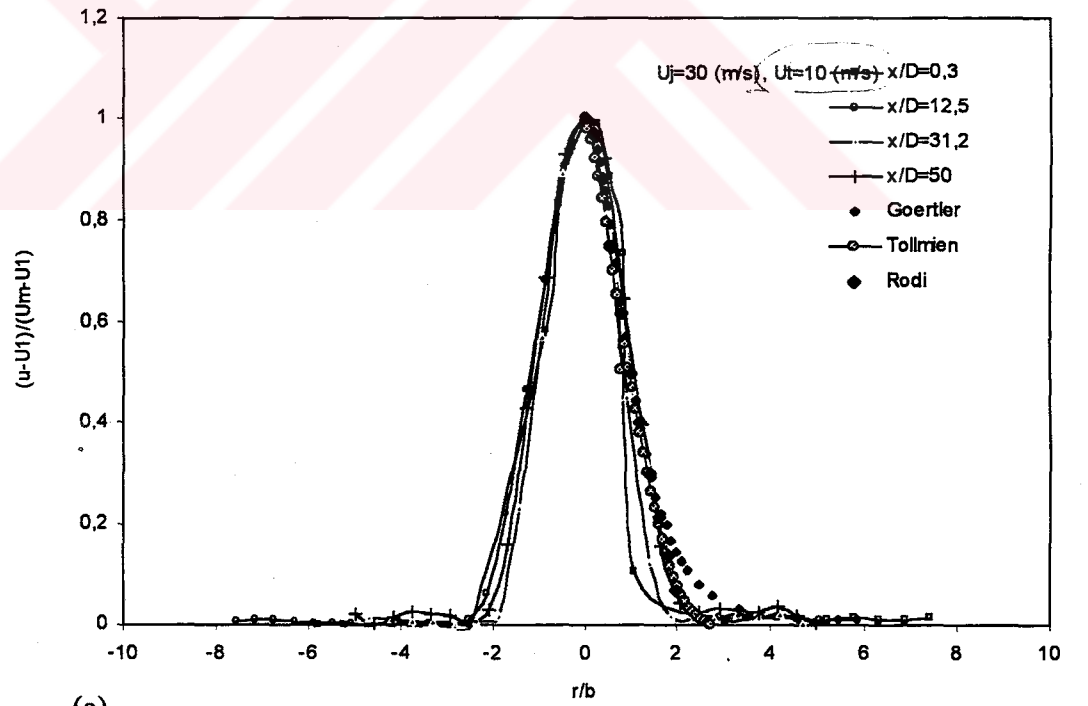


(b)

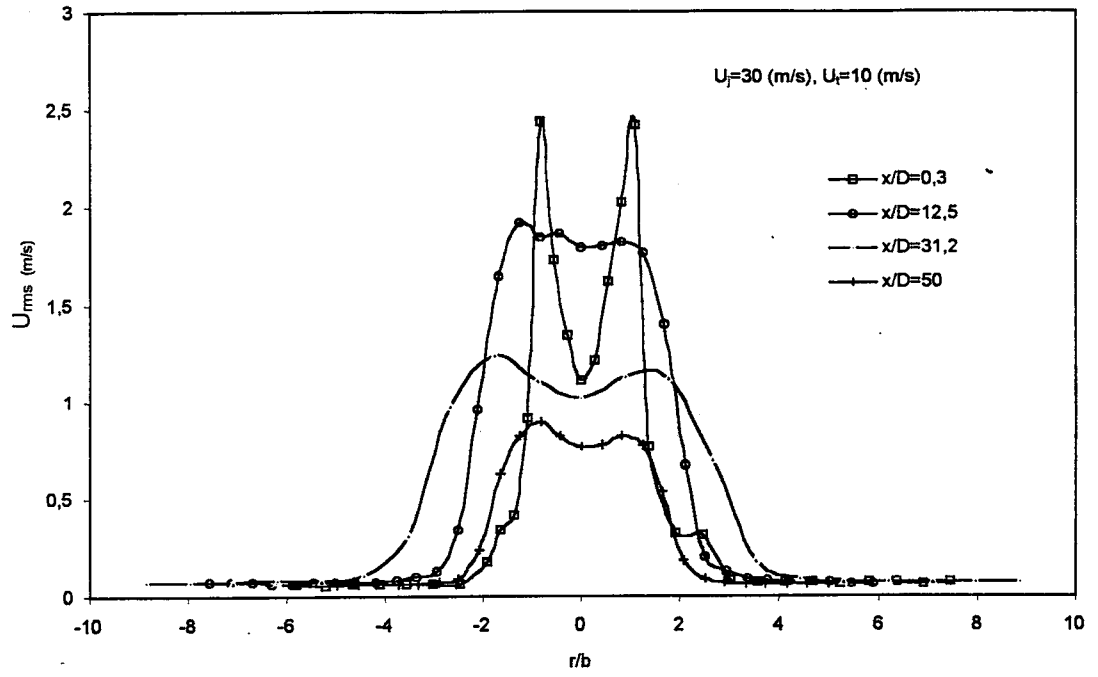


(c)

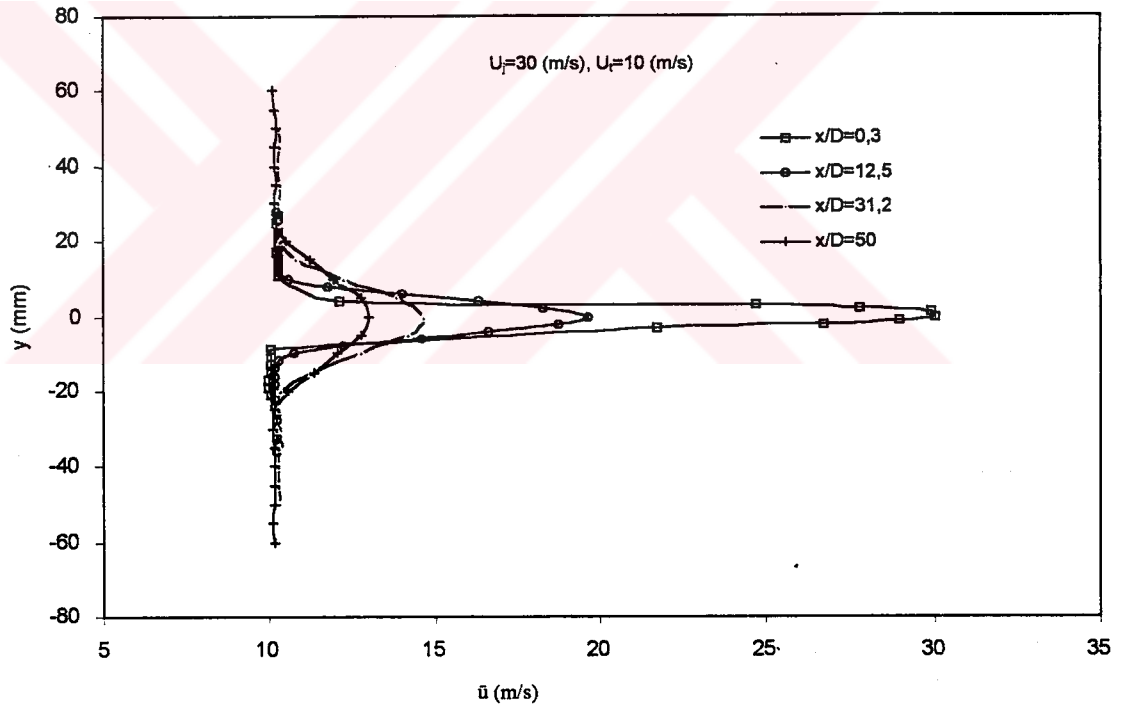
Şekil V.6 Tünel akışının olmadığı dairesel jet akış ölçümleri : (a) Boyutsuz hız dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Çeşitli istasyonlardaki hız profilleri



(a)

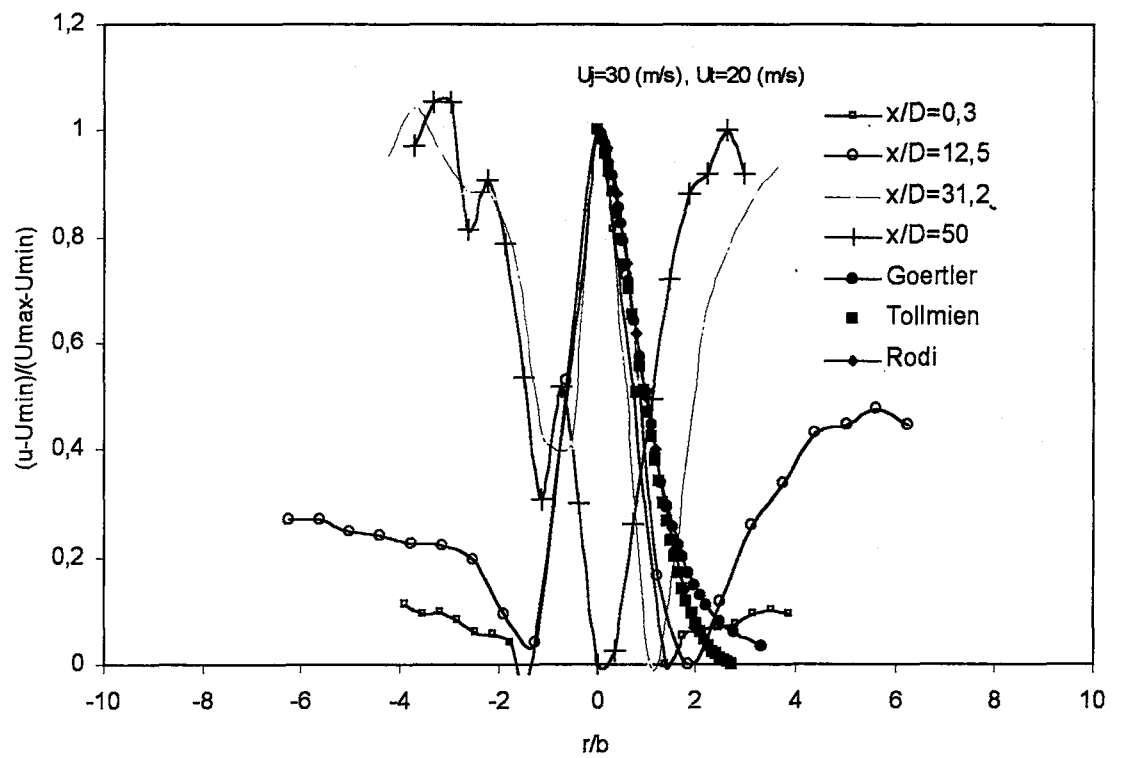


(b)

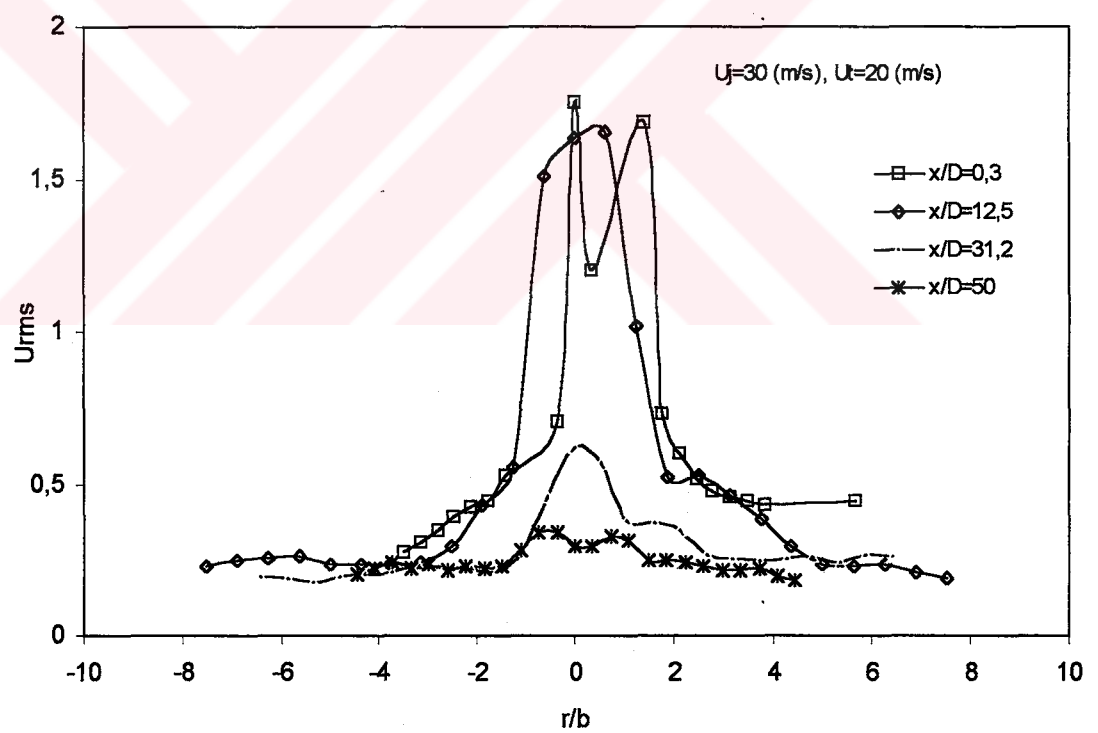


(c)

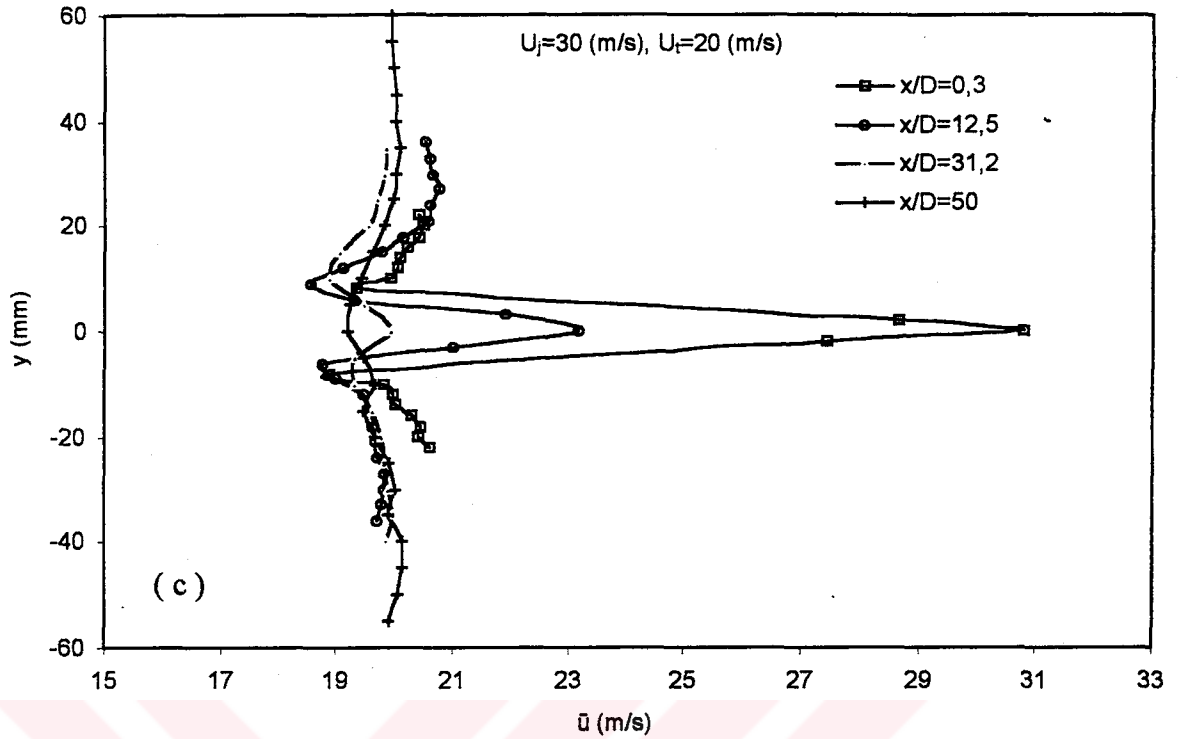
Şekil V.7 Tünel akış hızının 10 (m/s) olduğu dairesel jet akış ölçümleri: (a) Boyutsuz hız dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Çeşitli istasyonlardaki ortalama hız profilleri



(a)



(b)



Şekil V.8 Tünel akış hızının 20 (m/s) olduğu dairesel jet akış ölçümleri:

(a) Boyutsuz hız dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Çeşitli istasyonlardaki ortalama hız profilleri

V.III. 2 TÜNEL HIZI 10 (m/s) OLDUĞUNDA, DAİRESEL JET AKIŞI İLE FARKLI KONUM VE AÇILARDAKİ KONİK İLAVELERİN AKIŞA AÇIK DURUMUNDA YAPILAN ÖLÇÜMLER

Burada, tünel hızı 10 (m/s) olduğunda farklı konum ve farklı eğimdeki konik ilaveler, jet akışı için kullanılan borunun çıkışına aynı eksenli olarak yerleştirildi. Jet için kullanılan boru ile konik ilave çıkışının aynı hizalı ve borunun çıkışı, konik ilave çıkışının 2-cm gerisine yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerle elde edilen verilerle, boyutsuz hız dağılımları (Şekil V.9), U_{rms} (Şekil V.10) ve ortalama hız dağılımları (Şekil V.11) tespit edilmiştir. Farklılıkları daha iyi görebilmek ve daha kolay analiz edebilmek için, farklı tipte aynı istasyonda yapılan ölçümler yine aynı grafikte birlikte gösterilmiştir.

Aynı tipte farklı istasyonlarda yapılan ölçümler Ek-B' de gösterilmiştir. Şekil Ek-B. 9 (a)' da 6° eğimli ve aynı hizalı (D1) ölçümlerin boyutsuz hız dağılımları, Şekil Ek-B. 9 (b)' de U_{rms} dağılımları, Şekil Ek-B. 9 (c)' de ortalama hız dağılımları gösterilmiştir. Şekil Ek-B.11 (a)'da 12° eğimli ve aynı hizalı (D3) ölçümlerin

boyutsuz hız dağılımları, Şekil Ek-B.11 (b)' de U_{rms} dağılımları, Şekil Ek-B.11 (c)'de ortalama hız dağılımları gösterilmiştir. Şekil Ek-B.13 (a)'da dairesel jet için kullanılan borunun, 6° konik ilavenin 2 cm gerisine yerleştirildiği durumda (D5) yapılan ölçümlerin boyutsuz hız dağılımları, Şekil Ek-B.13 (b)'de, U_{rms} dağılımları, Şekil Ek-B.13 (c)'de ortalama hız dağılımları gösterilmiştir. Şekil Ek-B.15 (a)'da dairesel jet için kullanılan borunun, 12° konik ilavenin 2 cm gerisine yerleştirildiği durumda (D7) yapılan ölçümlerin boyutsuz hız dağılımları, Şekil Ek-B.15 (b)'de, U_{rms} dağılımları, Şekil Ek-B.15 (c)'de ortalama hız dağılımları gösterilmiştir.

Jet çıkış hızının 30 (m/s) olduğu ve tünel hızının 10 (m/s) olduğu durumda yapılan ölçümlerdeki eksen hızları, jet yarı kalınlığı, içteki borunun çapına göre ve jet yarı kalınlığına göre hesaplanan Reynolds sayıları Tablo V.6'da gösterilmektedir.

Tablo V.6 A2, D1,D5, D3 ve D7 tiplerinde yapılan ölçümlerdeki eksen hızları, jet yarı kalınlıkları ve Reynolds sayıları

	A2				D1				D5			
x/D	U_e (m/s)	B (m)	Re_D	Re_b	U_e (m/s)	b (m)	Re_D	Re_b	U_e (m/s)	b (m)	Re_D	Re_b
0,3	30,04	0,00362	15305	6843	29,44	0,003188	14821	5891	29,63	0,00579	14917	10796
12,5	19,65	0,00476	9897	5894	19,09	0,006417	9613	7710	15,524	0,00356	7815	3478
31,2	14,65	0,00564	7378	5208	14,16	0,008728	7130	7778	13,092	0,00566	6591	4663
50	12,97	0,01204	6532	9832	12,29	0,009241	6191	7152	11,436	0,0140	5757	10075
	D3				D7							
x/D	U_e (m/s)	B (m)	Re_D	Re_b	U_e (m/s)	b (m)	Re_D	Re_b				
0,3	30,34	0,00301	15275	5747	30,47	0,00209	15340	4007				
12,5	19,14	0,0061	9637	7359	19,125	0,00351	10031	4225				
31,2	12,92	0,01389	6508	11300	13,236	0,00558	6663	4842				
50	11,15	0,0118	5835	8289	11,737	0,01912	5909	14127				

Şekil V.7’de, konik parça ilaveleri yapılmadan tünel akış hızının 10 (m/s) olduğu durumda ölçüm verileri ile yapılan boyutsuz hız dağılımlarının grafiği farklı istasyonlarda gösterilmiştir. Şekil V.9 (a), (b), (c) ve (d)’de ise $x/D=0.3$, $x/D=12.5$, $x/D=31.2$ ve $x/D=50$ istasyonlarında ise konik ilaveler giydirilerek yapılan ölçümler aynı grafikte gösterilmiştir. Şekil V.9’da gösterilen ölçümler, konik ilavenin olmadığı A1 tipi, konik ilavelerin giydirildiği 6° eğimi olan ve konik çıkış ile jet çıkışının aynı hizalı olduğu D1 ile jet çıkışının, konik çıkışın 2 cm gerisine yerleştirildiği D5 tipleridir. Yine 12° eğimi olan ve konik çıkış ile jet çıkışının aynı hizalı olduğu D3 ile jet çıkışının, konik çıkışın 2 cm gerisine yerleştirildiği D7 tipleridir.

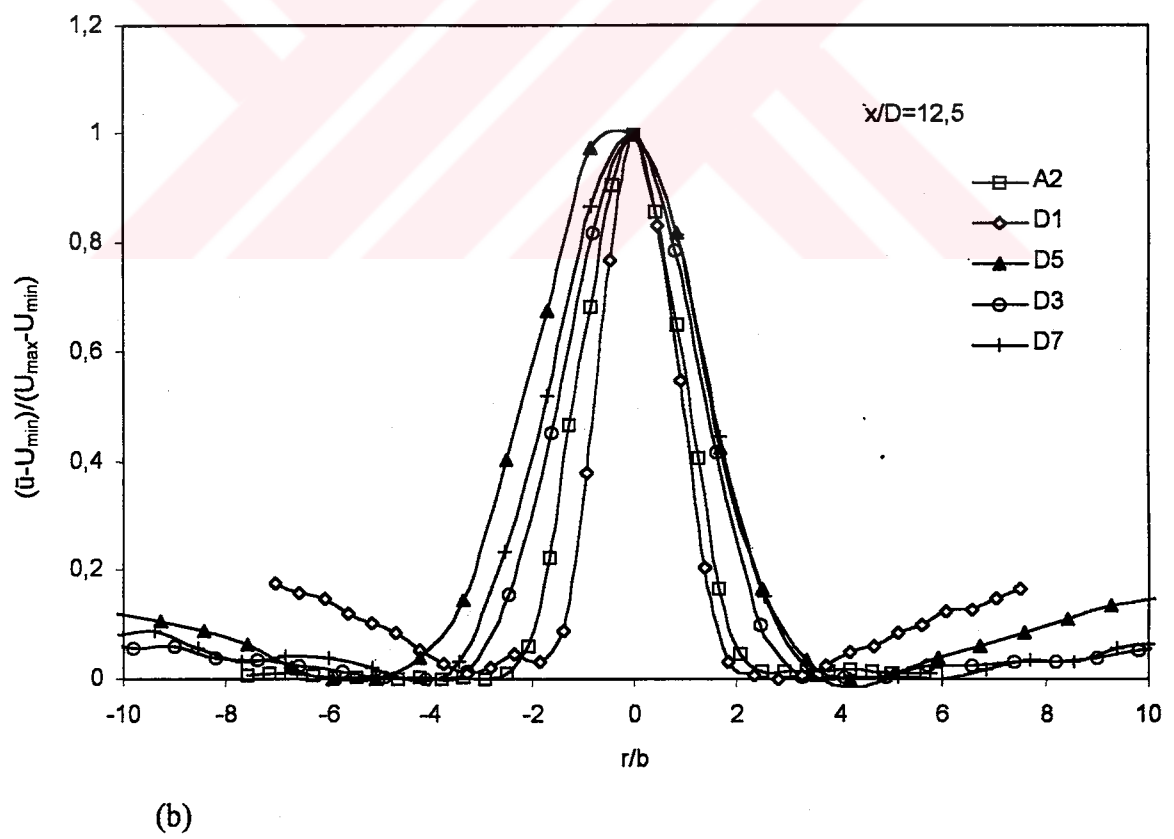
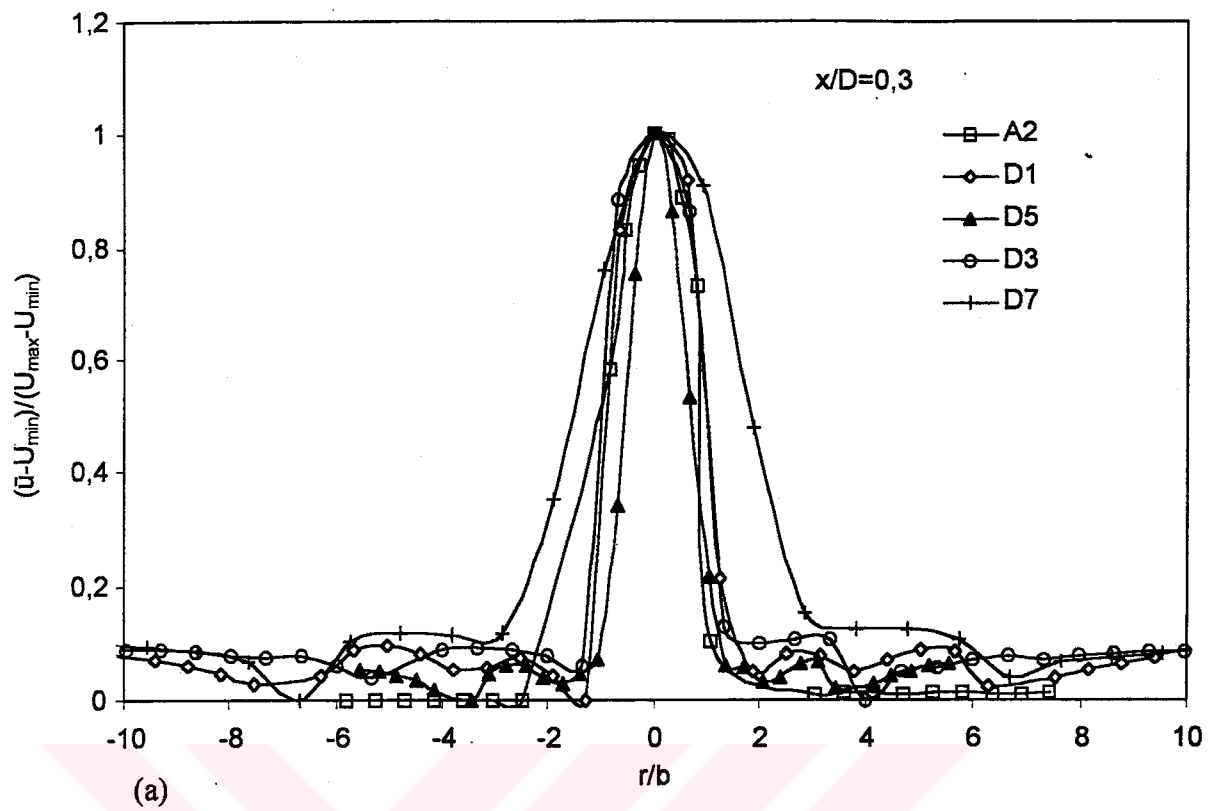
Şekil V.9 (a)’ da, $x/D= 0.3$ istasyonunda, jet akışı için kullanılan borunun, koninin çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği durumlar hariç konik ilavelerin içteki jet yayılmasını daralttığı görülmüştür. Bu istasyonda, konik ilavelerin çıkışındaki hızların çevre akış hızından daha yüksek olduğu görülmüştür. Konik ilavelerin eğimine ve konumuna bağlı olarak çevre akış hızından daha yüksek hızların olduğu ölçümler sırasıyla, D7, D3, D1 ve D5 tipleridir. Reynolds sayıları da tablo V.6’ da görüldüğü gibi aynı sıraya göre artmaktadır. Şekil V.10 (a)’da ise U_{rms} dağılımları gösterilmiştir. Jet eksenindeki en yüksek türbülans değerleri büyükten küçüğe doğru sırasıyla, D3, D5, D1, D7 ve A2 tipleridir.

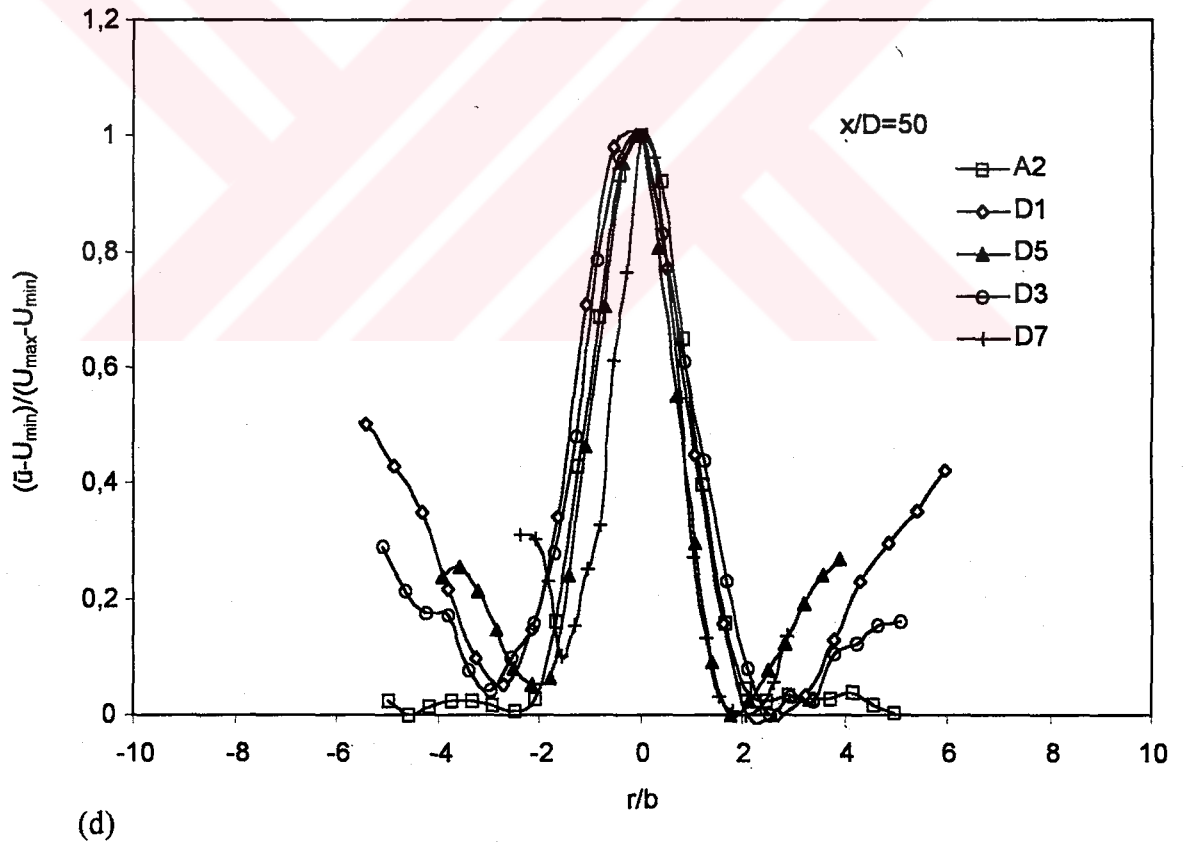
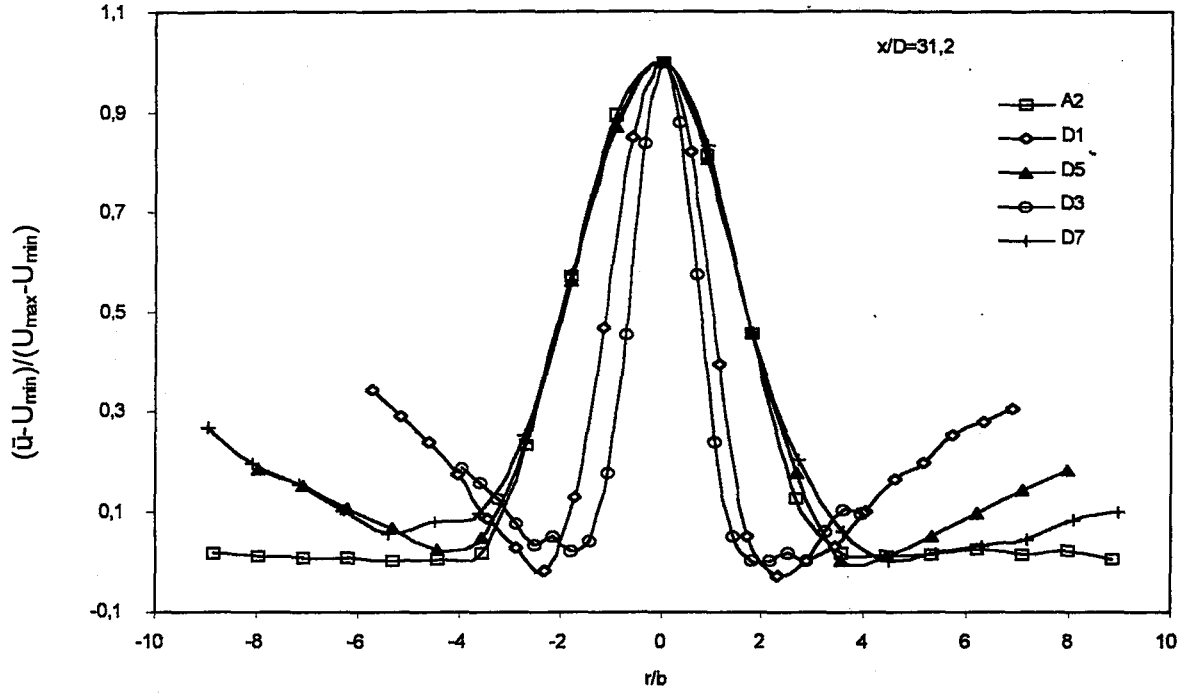
Şekil V.9 (b)’ de görüldüğü gibi, $x/D=12.5$ istasyonunda, konik ilaveler, yalnızca D1 tipinde baskı uygulamış ve jet akış profilini daraltmıştır. Diğer akış tiplerinde ise konik ilave kullanılmadan yapılan ölçümlere göre oluşturulan akış profillerinden daha geniş yapıda akış profili oluşturmuşlardır. En geniş akış profili D5 tipinde olup sırasıyla D7 ve D3 tiplerinde oluşmuştur. İlk istasyonda konik etki çevre hızından daha fazla hız ürettiyse de bu istasyonda konik etki, jet akış hızının azalmasına neden olmaktadır. Şekil V.11 (b)’de gösterildiği gibi en yüksek eksen hızı konik ilave olmadan ölçümü yapılan A2 tipinde olmuştur. En düşük eksen hızı ise D5 tipinde olmuştur. Bu istasyonda yapılan ölçümlerdeki U_{rms} dağılımları, Şekil V.10 (b)’de gösterilmektedir. Jet eksenindeki en yüksek türbülans değeri D5 tipinde görülmüş ve sırasıyla, D3, A2,D7 ve D1 tiplerine doğru azaldığı tespit edilmiştir. Konik ilavenin yüzeyinde konik yapı nedeniyle oluşan türbülans değeri, konik ilave olmadan yapılan ölçüme göre koninin konum ve eğimine bağlı olarak daha yüksek çıkmıştır. Konik

yüzeyden uzaklaştıkça en yüksek türbülans değeri D7 tipinde gözlenmiş ve sırasıyla D3, D1 ve D5 tiplerine doğru azaldığı görülmüştür.

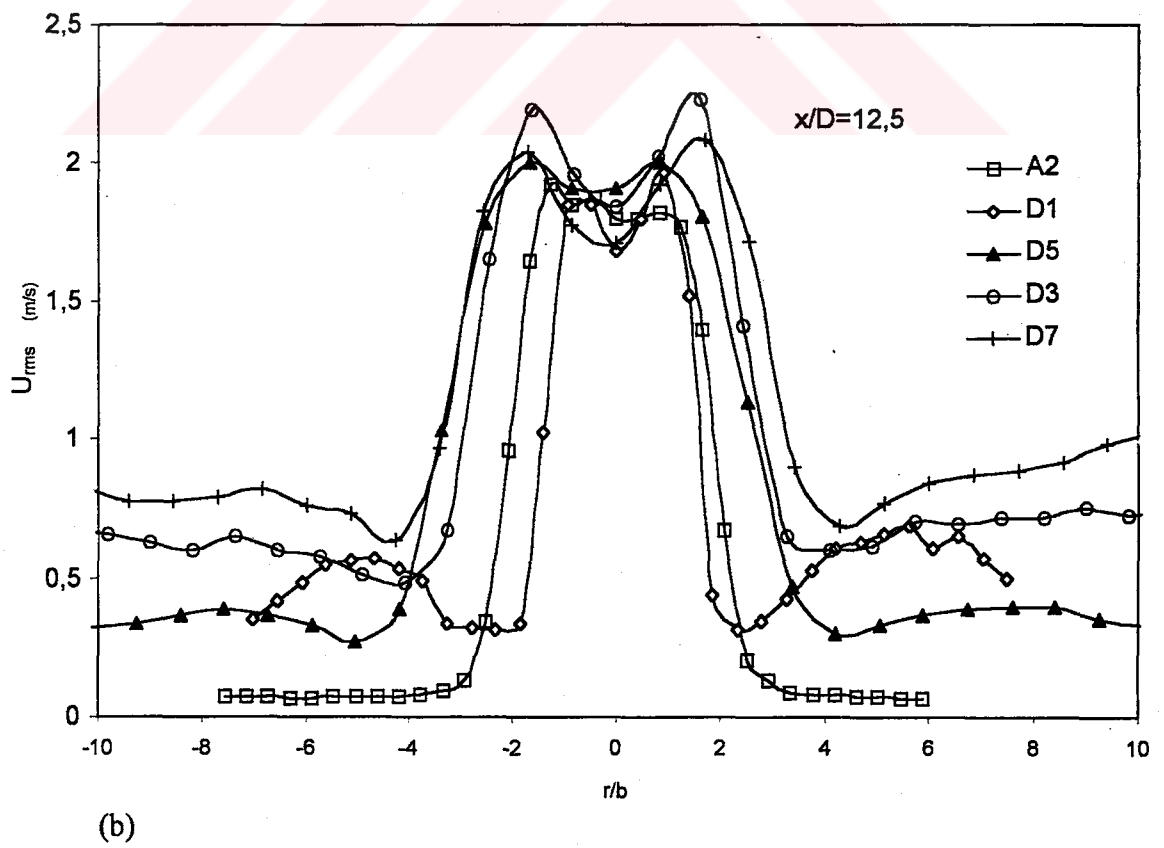
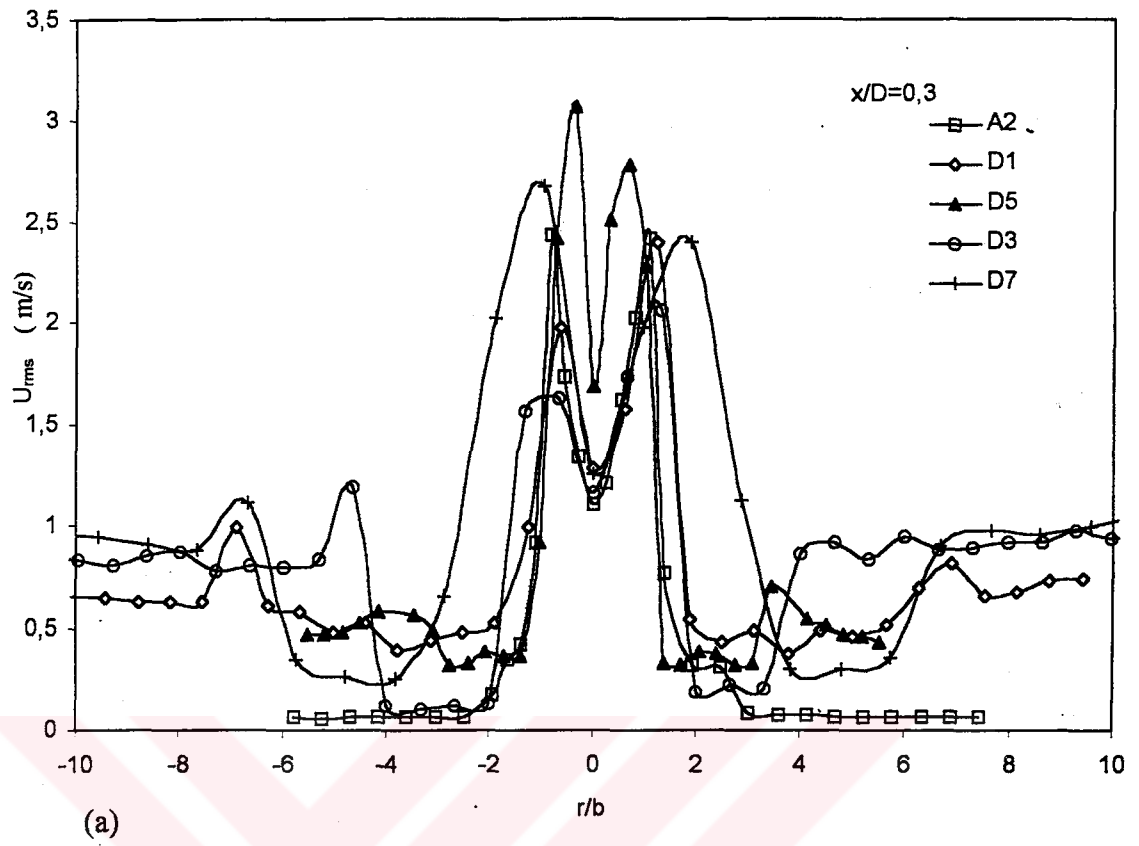
$X/D=31.2$ istasyonu için boyutsuz hız dağılımı, şekil V.9 (c)'de, U_{rms} dağılımı, şekil V.10 (c)'de ve ortalama hız dağılımı şekil V.11 (c)'de gösterilmiştir. Konik ilavenin konumundan dolayı D1 tipinde içteki jet yayılma genişliğine baskı devam etmiş ve jet akış profilini daraltmıştır. Aynı hizalı olmayan yani jet akışı için kullanılan borunun konik ilavenin 2 cm gerisine yerleştirildiği durumda ise bu istasyonda baskı görülmemiş ve jet yayılmasına etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Konik yapının eğimine bağlı olarak konik yüzeye yaklaştıkça hız düşmekte buna karşılık yüzeyden uzaklaştıkça çevre hızına doğru yaklaştığı gözlenmiştir. Bu istasyonda yapılan ölçümlerde, jet eksenindeki en yüksek hız, A2 tipinde görülmüş ve sırasıyla D1, D7, D5 ve D3 tipine doğru hızın düştüğü görülmüştür. Bunun nedeni ise konik yapının eğiminden kaynaklanan çevre hız düşümünün kayma gerilmesini arttırdığı ve başlangıçta konik akış profilinin, içteki jet akışına baskı uygulamasındandır. BU istasyonda yapılan ölçümlerde, eksenlerde bulunan Reynolds sayısı ise tablo V.6'da görülmektedir. Yine bu istasyonda yapılan ölçümlerde türbülans dağılımlarında en yüksek türbülans jet yarı kalınlıklarındadır. U_{rms} dağılımlarında görüldüğü gibi eksendeki en düşük türbülans sırasıyla A2, D1, D5, D7 ve D3 tiplerinde olmuştur. Konik ilavelerin oluşturduğu en düşük türbülans değeri, D1, D5, D7 ve D3 tiplerinde olmuştur.

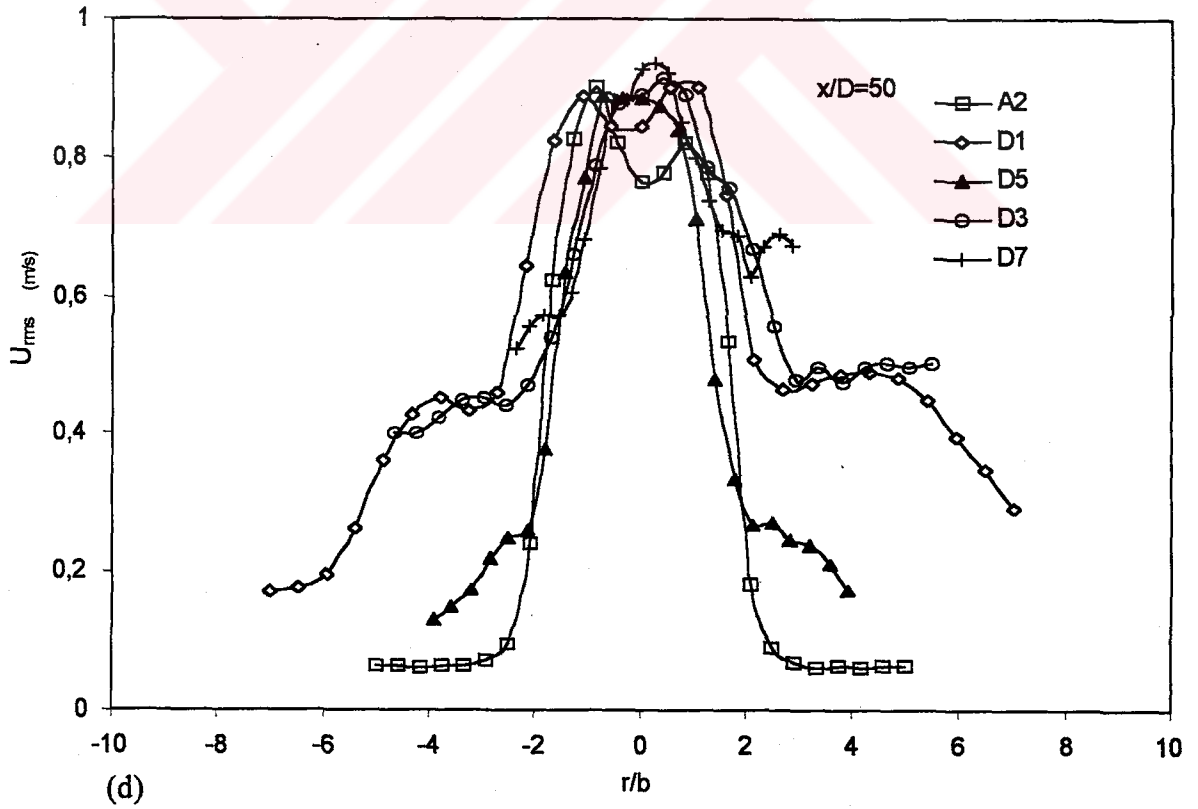
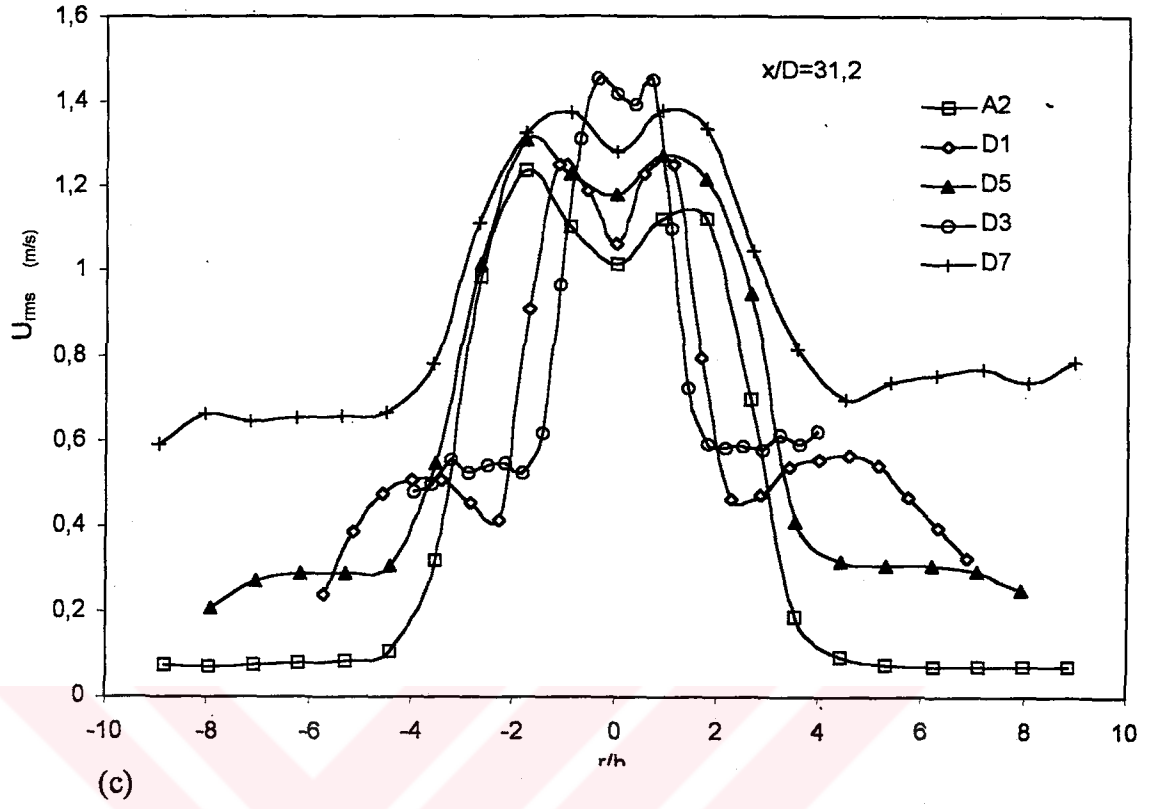
$x/D= 50$ istasyonunda, boyutsuz hız dağılımı, şekil V.9 (d)'de, U_{rms} dağılımı, şekil V.10 (d)'de ve ortalama hız dağılımı ise şekil V.11 (d)'de gösterilmiştir. D5 ve D7 tiplerinin yayılma genişliğinin konumu nedeniyle diğer tiplere nazaran daha az olduğu görülmektedir. Bu istasyonda yapılan ölçümlerde ölçüm tiplerinin çevre akışı ile olan ilişkisi de koniklik açılara bağlı olarak konik yüzeye yaklaştıkça hızın düştüğü ve konik yüzeyden uzaklaştıkça çevre hızına yaklaştığı görülmektedir. Akış profillerinin de eksendeki hız düşümüne göre genişlediği görülmüştür. Eksendeki hızın diğer istasyondaki eksen hızlarından düşük olması nedeniyle de Reynolds sayıları (Jet için kullanılan boru çapına göre hesaplanan), bütün tiplerde doğrusal olarak daha düşük çıkmaktadır. U_{rms} dağılımlarında ise jet etkisinin azalması nedeniyle A2 tipinin dışındaki bütün tiplerde türbülans değerlerinin birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir.



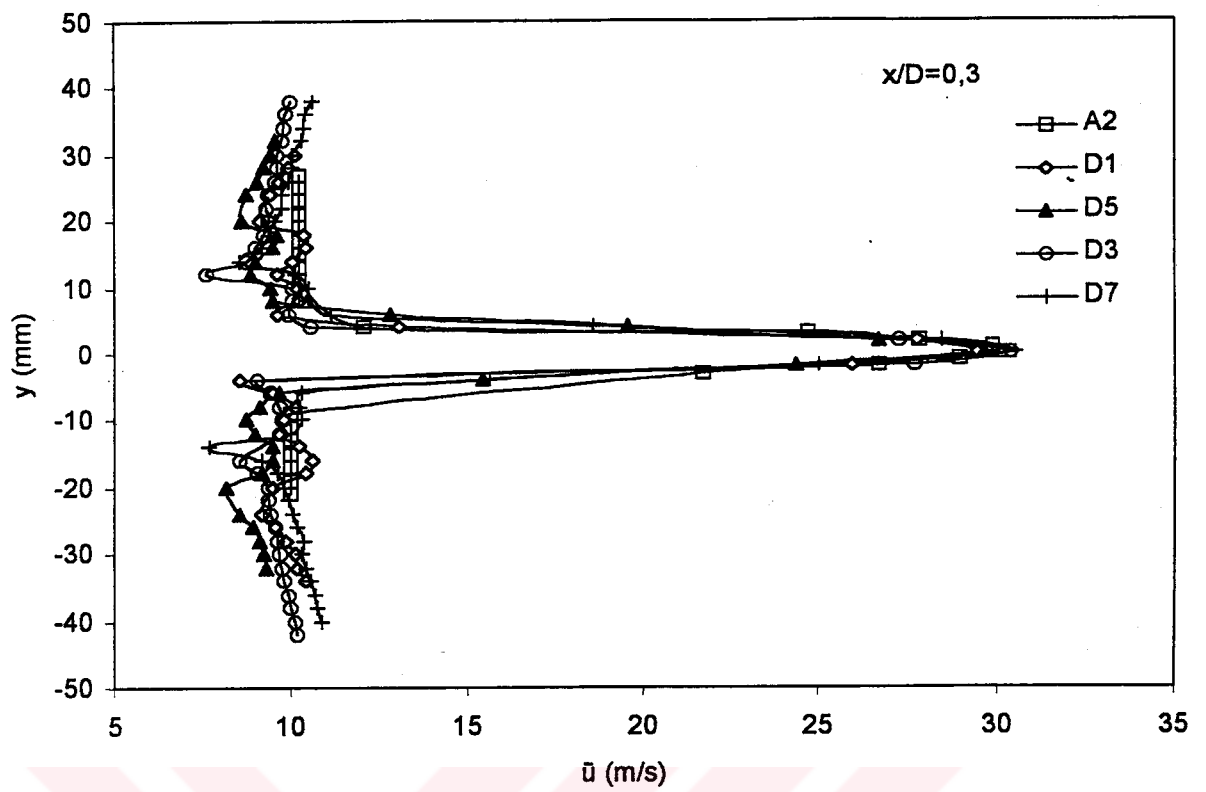


Şekil V.9 Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı konum ve açılardaki konik ilavelerin akışa açık durumundaki boyutsuz hız dağılımları: (a) $x/D=0.3$, (b) $x/D=12.5$, (c) $x/D=31.2$, (d) $x/D=50$

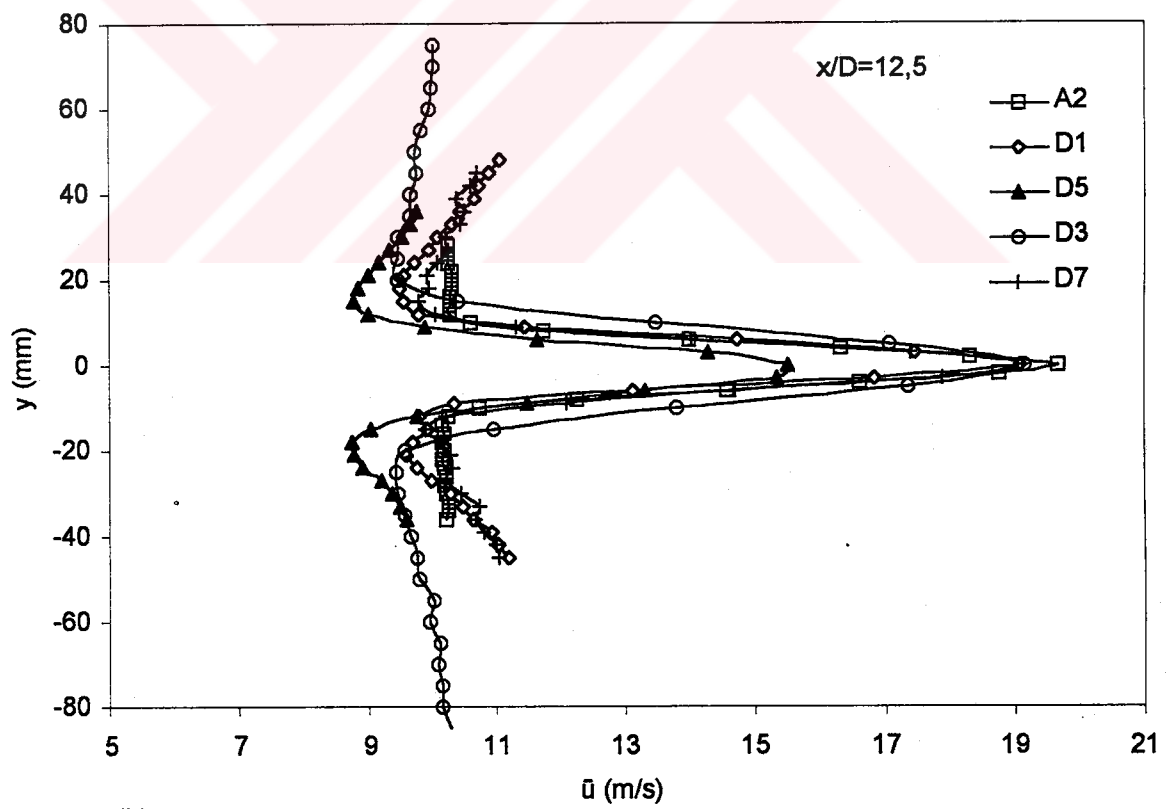




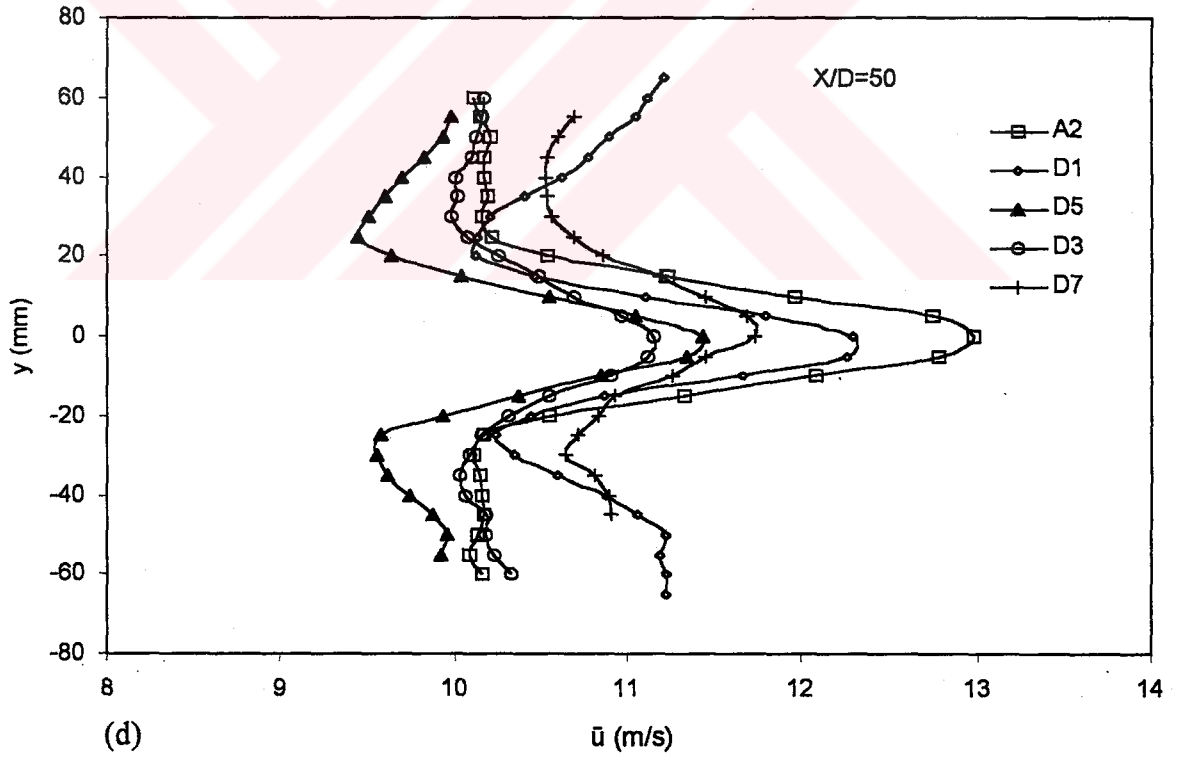
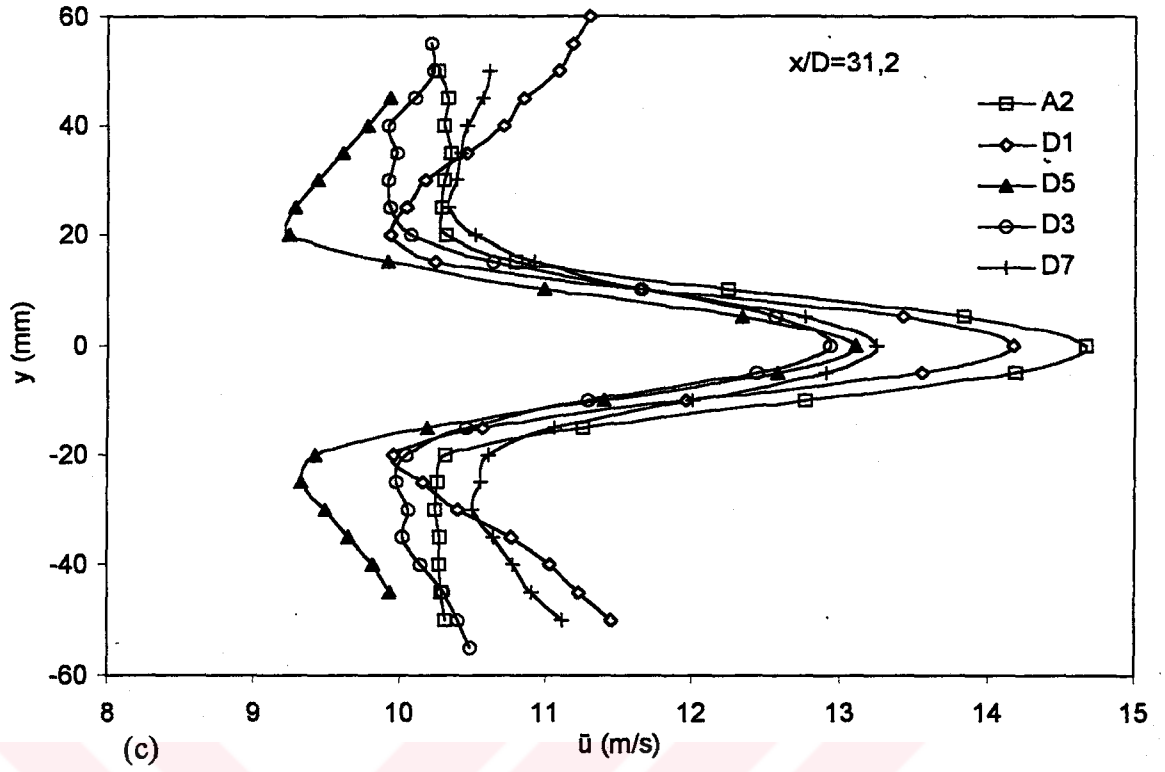
Şekil V.10 Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı konum ve açılardaki konik ilavelerin akışa açık durumundaki U_{rms} dağılımları: (a) $x/D=0.3$, (b) $x/D=12.5$, (c) $x/D=31.2$, (d) $x/D=50$



(a)



(b)



Şekil V.11 Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı konum ve açılardaki konik ilavelerin akışa açık durumundaki ortalama dağılımları: (a) $x/D=0.3$, (b) $x/D=12.5$, (c) $x/D=31.2$, (d) $x/D=50$

V.III. 3 TÜNEL HIZI 20 (m/s) OLDUĞUNDA, DAİRESEL JET AKIŞI İLE FARKLI KONUM VE AÇILARDAKİ KONİK İLAVELERİN AKIŞA AÇIK DURUMUNDA YAPILAN ÖLÇÜMLER

Burada, tünel hızı 20 (m/s) olduğunda farklı konum ve farklı eğimdeki konik ilaveler, jet akışı için kullanılan borunun çıkışına aynı eksenli olarak yerleştirilmiştir. Jet için kullanılan boru ile konik ilave çıkışının aynı hizalı ve borunun çıkışı, konik ilave çıkışının 2 cm gerisine yerleştirilerek ölçümler yapılmıştır. Ölçümlerle elde edilen verilerle, boyutsuz hız dağılımları (şekil V.12), U_{rms} (şekil V.13) ve ortalama hız dağılımları (şekil V.14) tespit edilmiştir. Farklılıkları daha iyi görebilmek ve daha kolay analiz edebilmek için, farklı tipte aynı istasyonda yapılan ölçümler yine aynı grafikte birlikte gösterilmiştir.

Aynı tipte farklı istasyonlarda yapılan ölçümler Ek-B'de gösterilmiştir. Şekil Ek-B10(a)'da 6° eğimli ve aynı hizalı (D2) ölçümlerin boyutsuz hız dağılımları, şekil Ek-B10(b)'de, U_{rms} dağılımları, şekil Ek-B10(c)'de ortalama hız dağılımları gösterilmiştir. Şekil Ek-B12(a)'da 12° eğimli ve aynı hizalı (D4) ölçümlerin boyutsuz hız dağılımları, şekil Ek-B12(b)'de U_{rms} dağılımları, şekil Ek-B12(c)'de ortalama hız dağılımları gösterilmiştir. Şekil Ek-B14(a)'da dairesel jet için kullanılan borunun, 6° konik ilavenin 2 cm gerisine yerleştirildiği durumda (D6) yapılan ölçümlerin boyutsuz hız dağılımları, şekil Ek-B14(b)'de U_{rms} dağılımları, şekil Ek-B14(c)'de, ortalama hız dağılımları gösterilmiştir. Şekil Ek-B16(a)'da dairesel jet için kullanılan borunun, 12° konik ilavenin 2 cm gerisine yerleştirildiği durumda (D8) yapılan ölçümlerin boyutsuz hız dağılımları, şekil Ek-B16(b)'de U_{rms} dağılımları, şekil Ek-B16(c)'de ortalama hız dağılımları gösterilmiştir.

Jet çıkış hızını 30 (m/s) olduğu ve tünel hızının 20 (m/s) olduğu durumda yapılan ölçümlerdeki eksen hızları, jet yarı kalınlığı, içteki borunun çapına göre ve jet yarı kalınlığına göre hesaplanan Reynolds sayıları, tablo V.7'de gösterilmektedir.

Tablo V.7 A3, D2,D6, D4 ve D8 tiplerinde yapılan ölçümlerdeki eksen hızları, jet yarı kalınlıkları ve Reynolds sayıları

A3					D2				D6			
x/D	U_e (m/s)	b (m)	Re_D	Re_b	U_e (m/s)	b (m)	Re_D	Re_b	U_e (m/s)	b (m)	Re_D	Re_b
0,3	30,8	0,00569	15509	11029	29,3	0,003806	14751	7018	30,27	0,002611	15239	4973
12,5	23,172	0,00479	12667	6981	23,446	0,002711	11804	4000	23,672	0,004471	11917	7022
31,2	19,924	0,00936	11666	11741	20,736	0,00399	10439	5206	21,273	0,008373	10710	11209
50	19,187	0,01343	9659	16218	19,836	0,042549	9986	53115	19,917	0,035283	10027	44224
D4					D8							
x/D	U_e (m/s)	b (m)	Re_D	Re_b	U_e (m/s)	b (m)	Re_D	Re_b				
0,3	30,13	0,01366	15169	25902	31,1	0,002407	15667	4711				
12,5	23,343	0,00484	11752	7108	24,69	0,004547	12422	7064				
31,2	20,218	0,03121	10178	39708	19,965	0,03656	10490	45935				
50	20,036	0,04735	10087	69699	19,411	0,051408	9772	62798				

$x/D=0,3$ 'te grafiğinde de görüldüğü gibi konik ilaveli jet akışlarının dairesel jet akışından farklılıkları vardır. Bu farklar, bu istasyonda konik ilavelerin, çevre hızından daha yüksek akım ürettiği ve konik ilavelerin de akış profili oluşturduğu görülmektedir. Hız, konilerin eğimine bağlı olarak koninin yüzeyine yaklaştıkça düşmekte fakat yüzeyden uzaklaştıkça çevre hızına yaklaştığı görülmüştür. Yine bu istasyonda konik ilaveler, yalnızca D4 tipinin yayılma genişliğine etkisinin olduğu ve jet yayılma genişliğini daralttığı görülmüştür. Diğer tiplerde, dairesel jete göre yayılma genişliği daha da büyük olmuştur. U_{rms} dağılımları konik eğime bağlı olarak, konik yüzeye yakın yerlerde türbülansın çok yüksek olduğu, hatta D8 ve D4 tiplerinde yüzeyin türbülansının, akış profilininkinden de yüksek çıkmıştır.

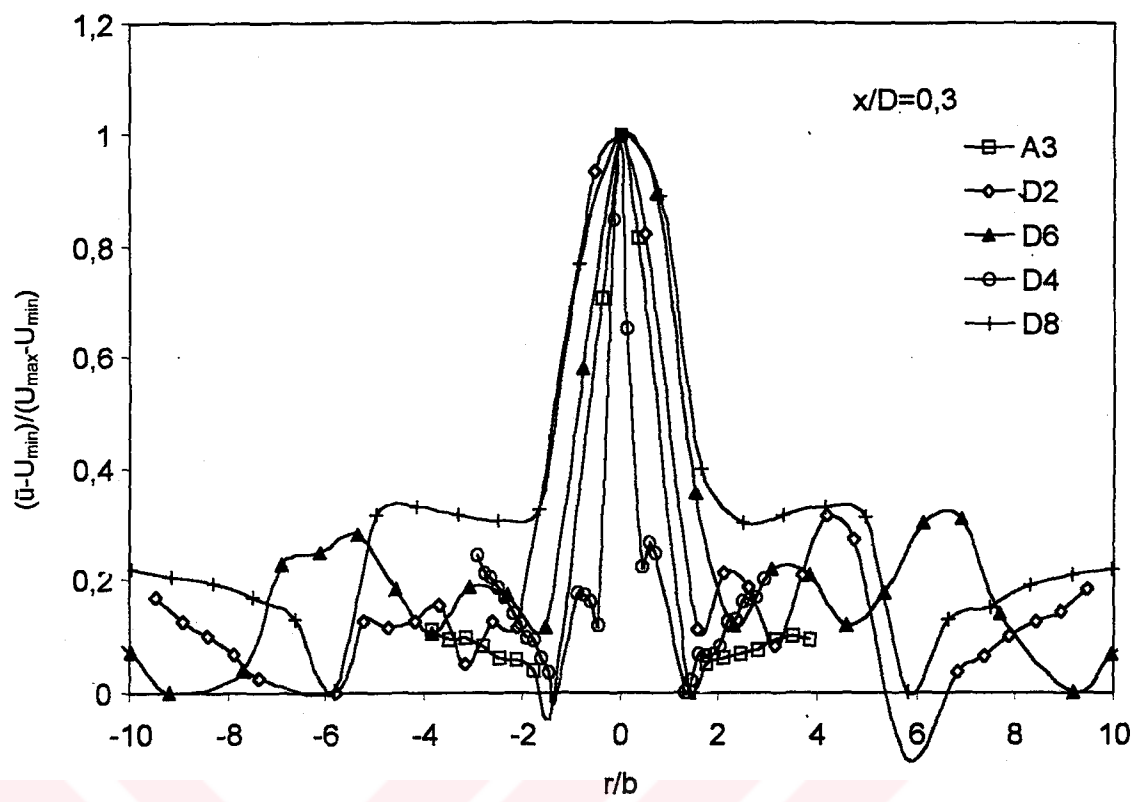
$x/D=12,5$ istasyonunda D2 ve D6'nın konik ilavelerinin bir akış profili oluşturduğu, diğer tiplerde ise konik ilaveler, jet etkisini yitirmiş hatta iz akış yapısına dönüşmüştür. Konik yapılara bağlı olarak yüzeyden uzaklaştıkça çevre hızının etkisi daha da artmaktadır. Burada da, konik ilaveler jet yayılma genişliğini azaltmamakta olup en yüksek hız ise dairesel jetinkinden daha yüksek çıkmıştır. Bu istasyonda en

Yüksek hızlar, sırasıyla D8, D6, D2, D4 ve A3 tiplerindedir. Dairesel jet için kullanılan boru, konik çıkışın 2 cm gerisine yerleştirildiğinde, hızları daha da arttırdığı görülmüştür. D8 ve D4 tiplerinde konik yüzeyin çevresindeki türbülans değerinin, akış profillerinin oluşturduğu türbülans değerlerinden daha da yüksek çıkmaktadır. A3 ve D2 tiplerinde eksendeki türbülans değerlerinin jet yarı kalınlığındaki türbülans değerlerinkinden de büyük çıktığı görülmüştür.

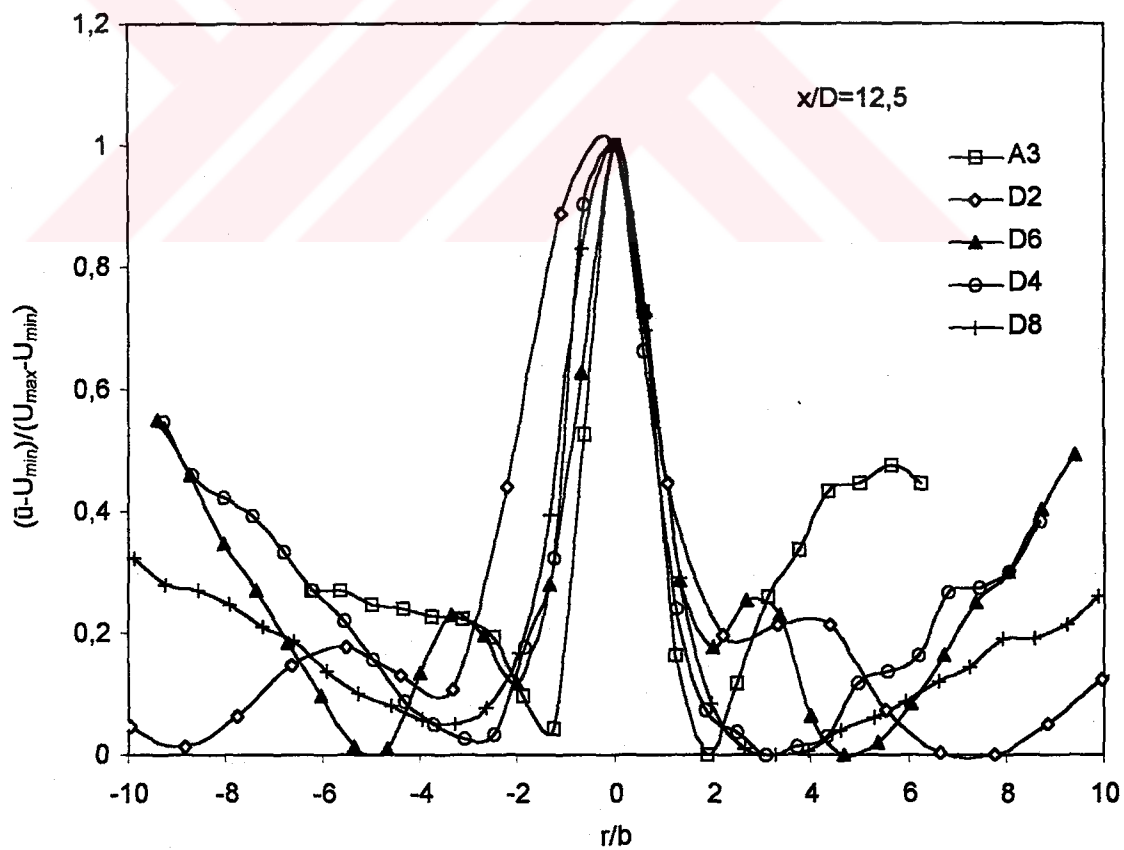
$x/D = 31.2$ istasyonunda, jet etkisinin D8 ve D6 tiplerinde devam ettiği, D4 tipinde jet etkisinin kaybolmaya başladığı ve D2 tipinde ise tamamen kaybolup iz akış yapısına dönüştüğü görülmüştür. Bu istasyonda en yüksek türbülans değerleri, sırasıyla D4, D8, D6, D2 ve A3 tiplerinde çıkmıştır. Bu tiplerde, eksendeki türbülans değeri, jet yarı kalınlığındaki türbülansdan daha yüksek çıkmaktadır. Eksenden uzaklaştıkça da türbülans değerlerinin azalmakta olduğu gözlenmiştir.

$x/D = 50$ 'de jet etkisinin tamamen kaybolduğu ve iz akışının oluşmaya başladığı görülmüştür. D6 ve A3 tiplerinde küçük de olsa akış profili olmuş fakat eksendeki hızın çevre hızından düşük olduğu görülmektedir. A3 tipindeki türbülans değerlerinin birbirine çok yakın olduğu ve ölçüm tipleri içerisinde en düşük türbülans değerlerinin bu tipte olduğu görülmüştür. Bu istasyonda en yüksek türbülans değeri, D4 tipinde çıkmıştır. Yüksek türbülanslar sırasıyla, D8, D6, D2 ve A3 tiplerinde görülmüştür. D6 ve D2 tiplerinin türbülans dağılımları ise benzerlik gösterdiği görülmüştür.

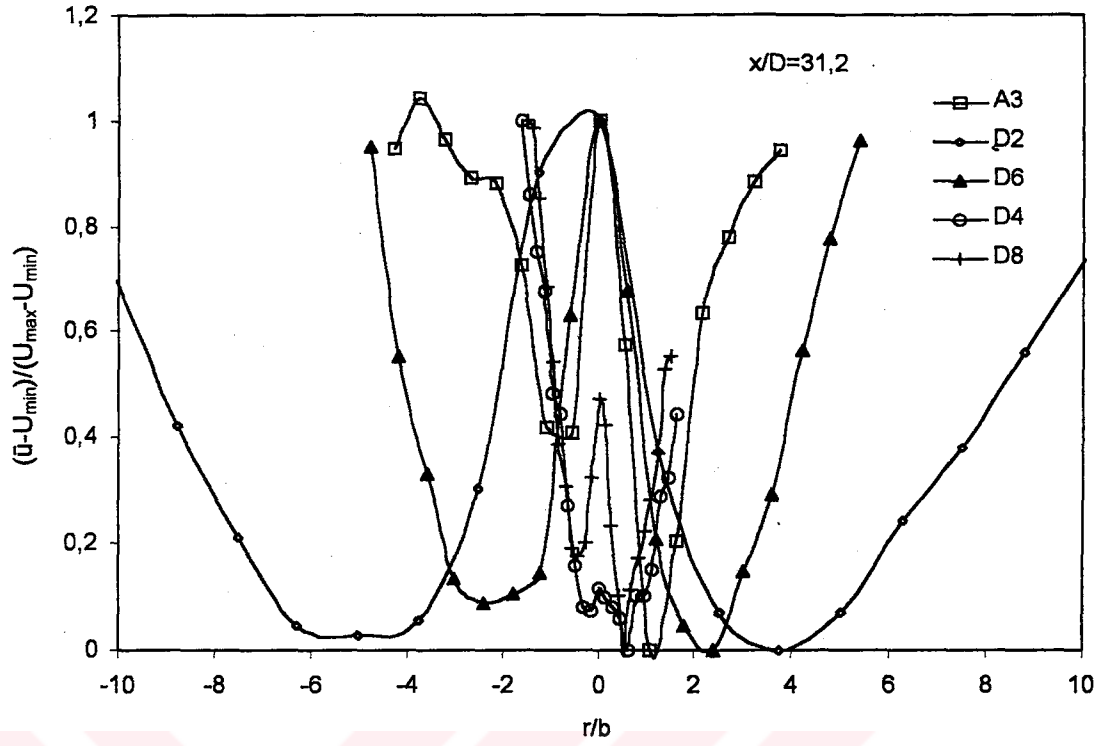
Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda jet etkisinin , tünel hızı 10 (m/s) olduğu durumdakine nazaran daha kısa mesafede olduğu ve jet'ten uzaklaştıkça $x/D = 50$ istasyonunda ise jet etkisinin tamamen kaybolup iz akış yapısına dönüştüğü görülmüştür. 12° 'lik konik ilave, jet çıkışında daha yüksek hız üretmesine karşılık $x/D = 50$ istasyonunda 12° 'lik konik ilave 6° 'lik konik ilaveye nazaran jet etkisini azaltmıştır.



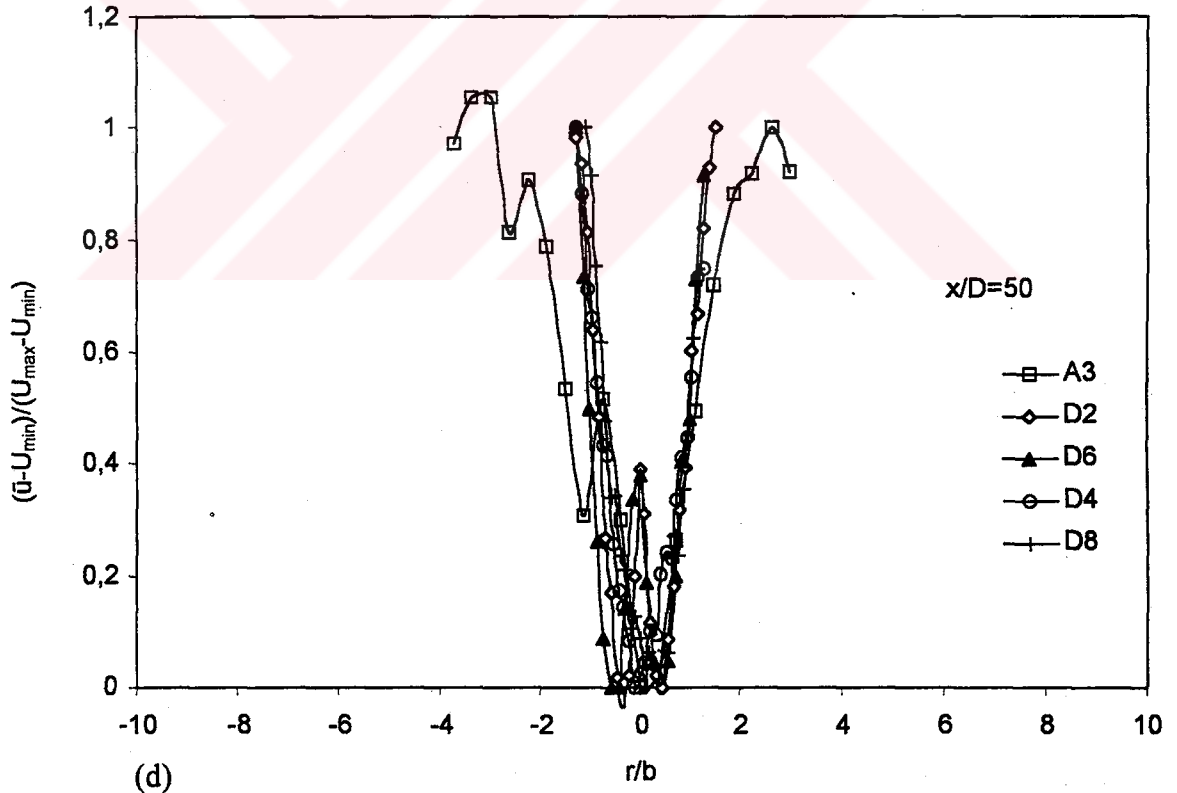
(a)



(b)

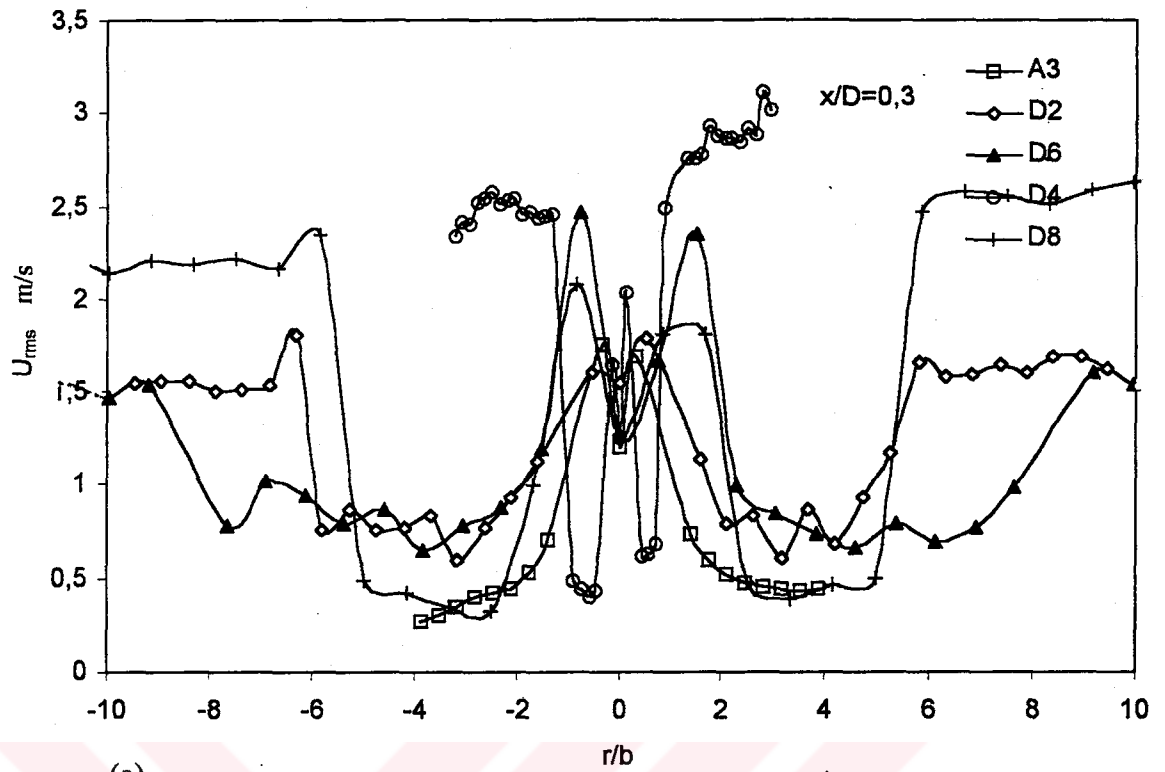


(c)

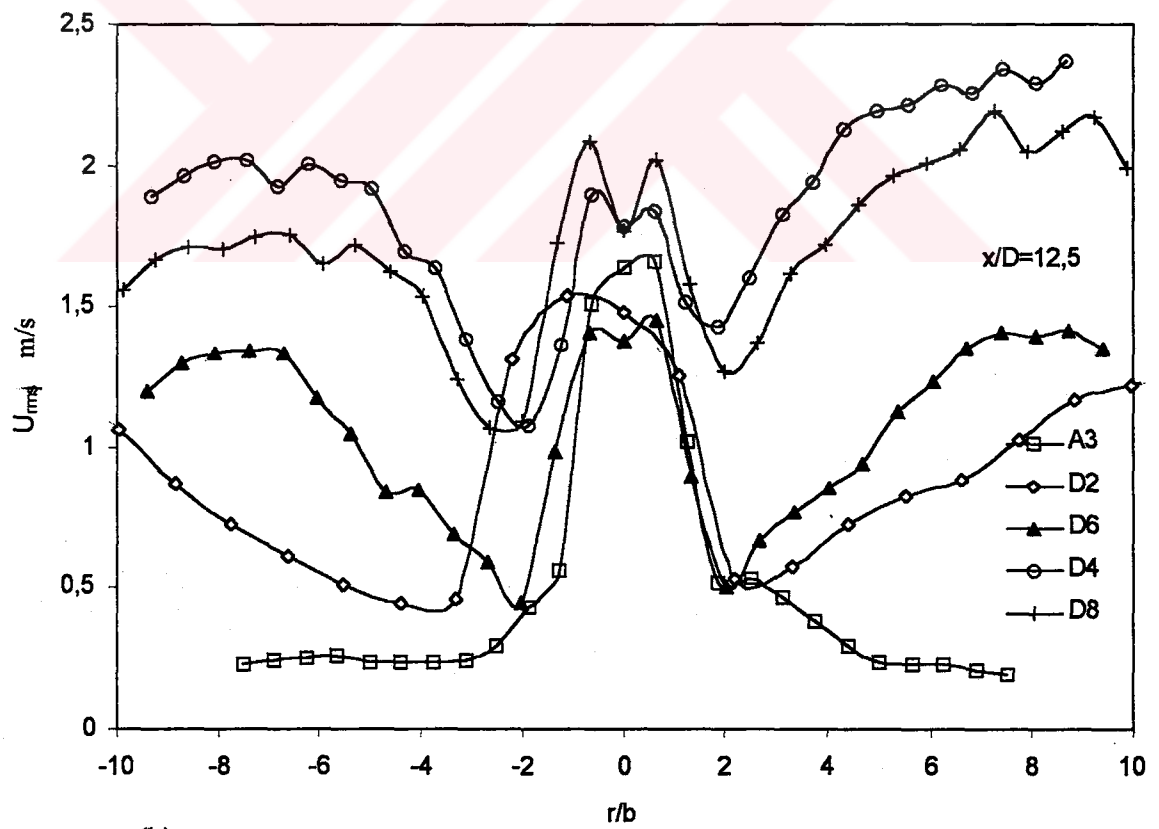


(d)

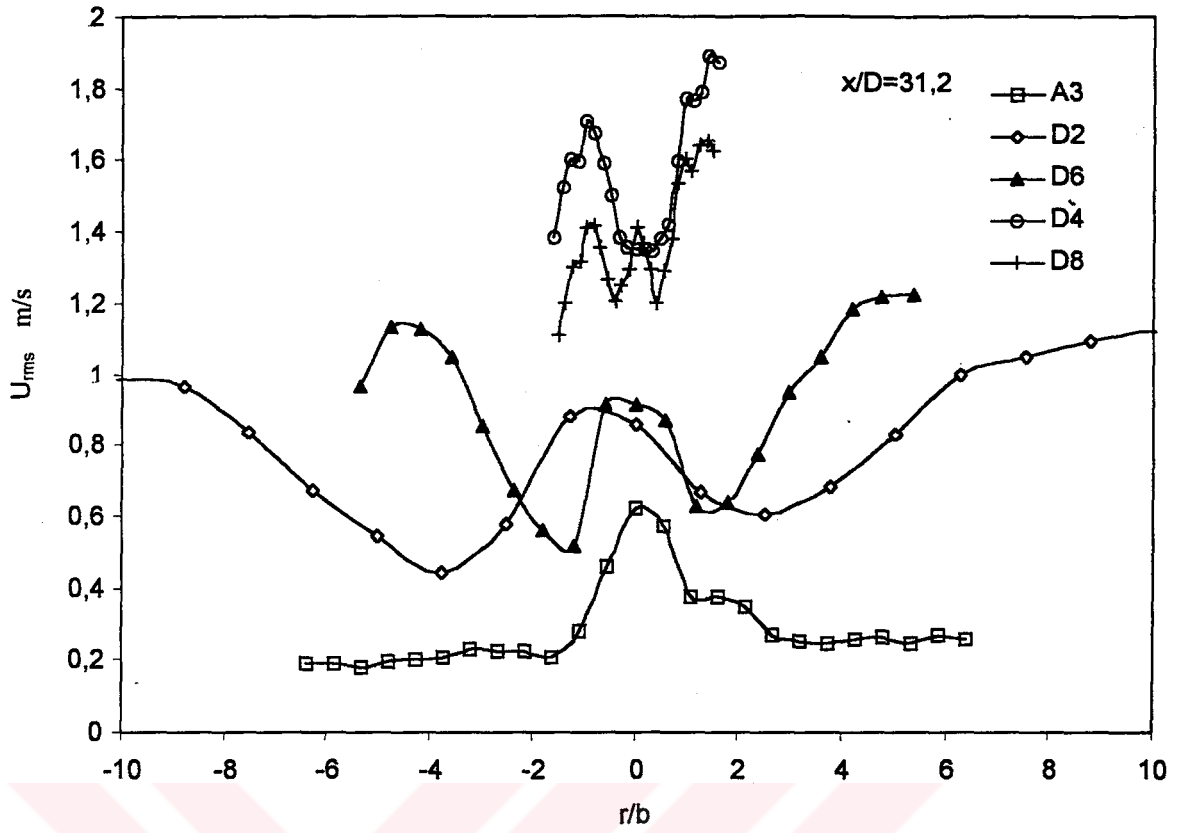
Şekil V.12 Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı konum ve açılardaki konik ilavelerin akışa açık durumundaki boyutsuz hız dağılımları: (a) $x/D=0.3$, (b) $x/D=12.5$, (c) $x/D=31.2$, (d) $x/D=50$



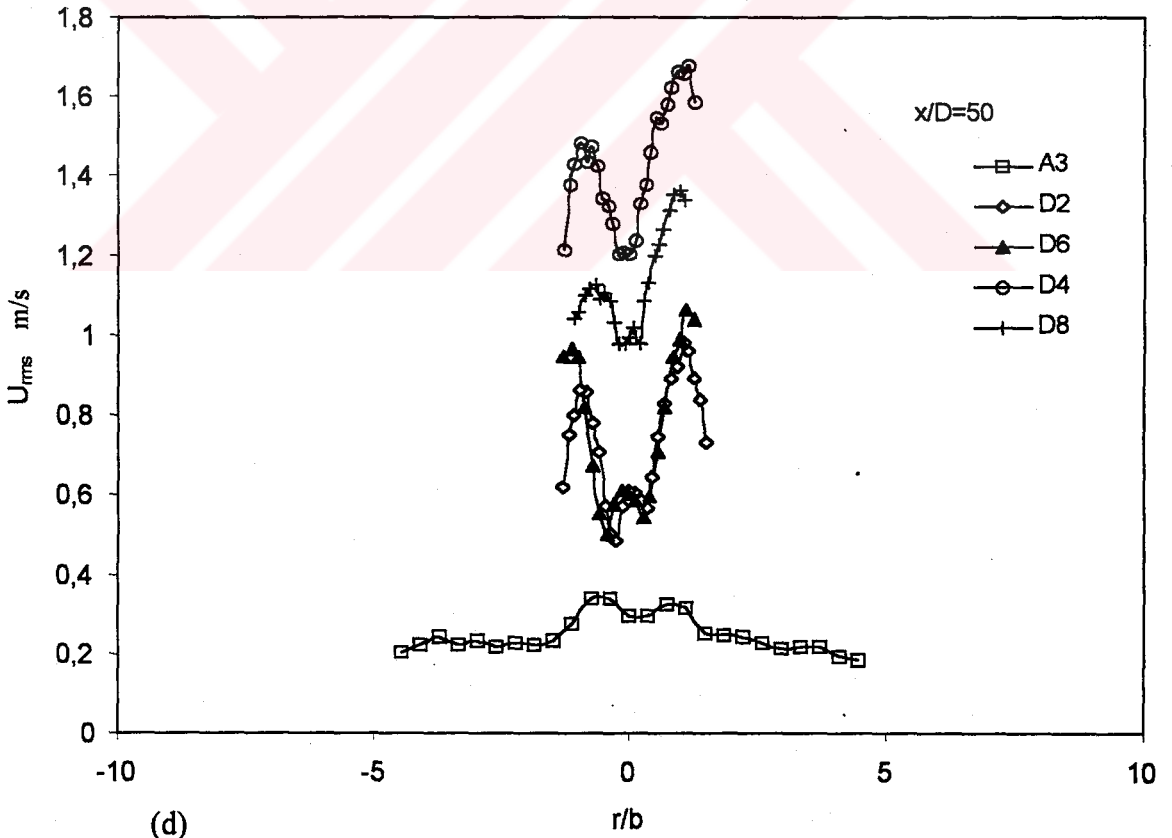
(a)



(b)

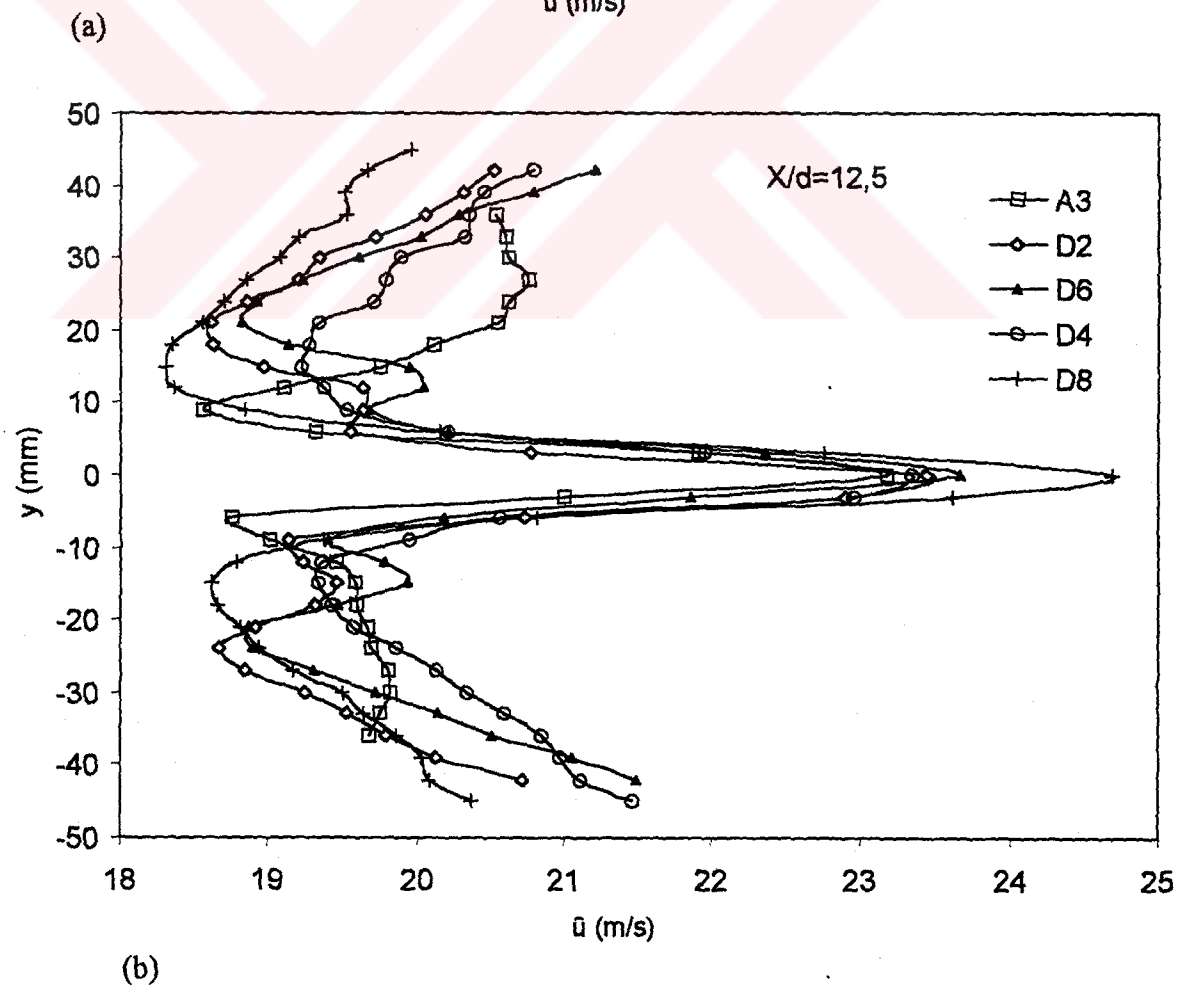
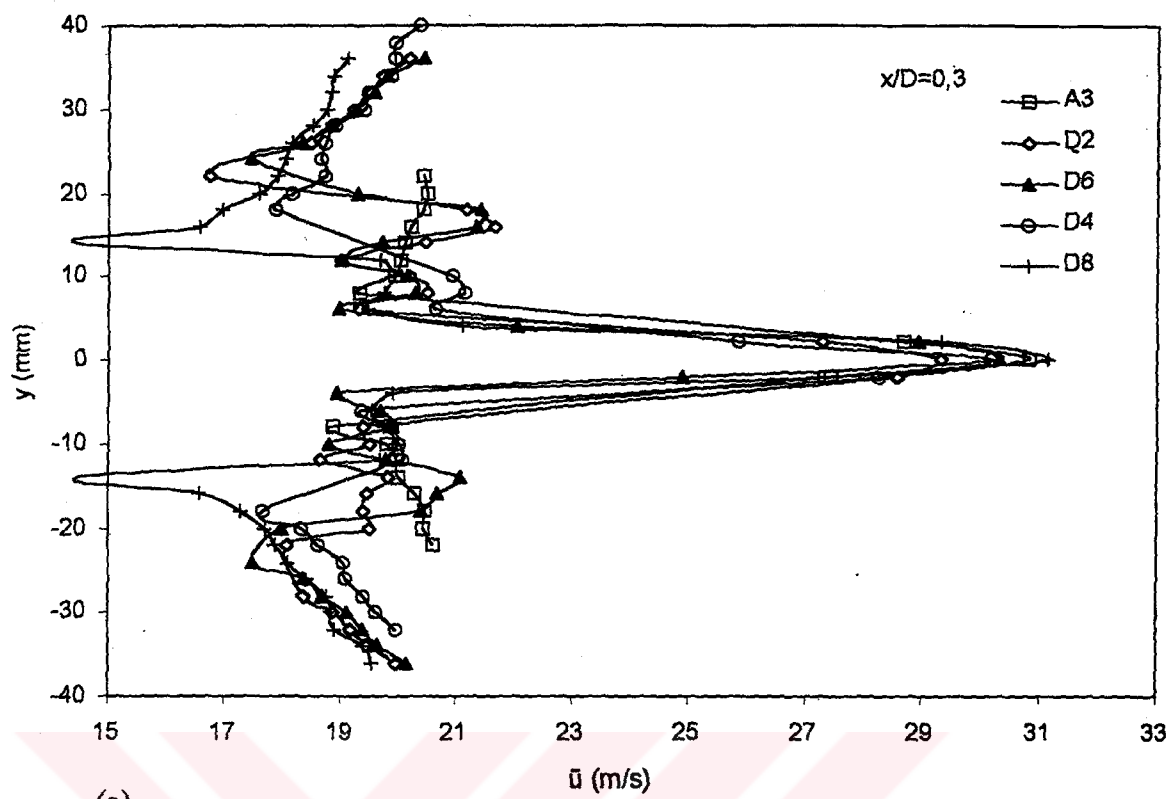


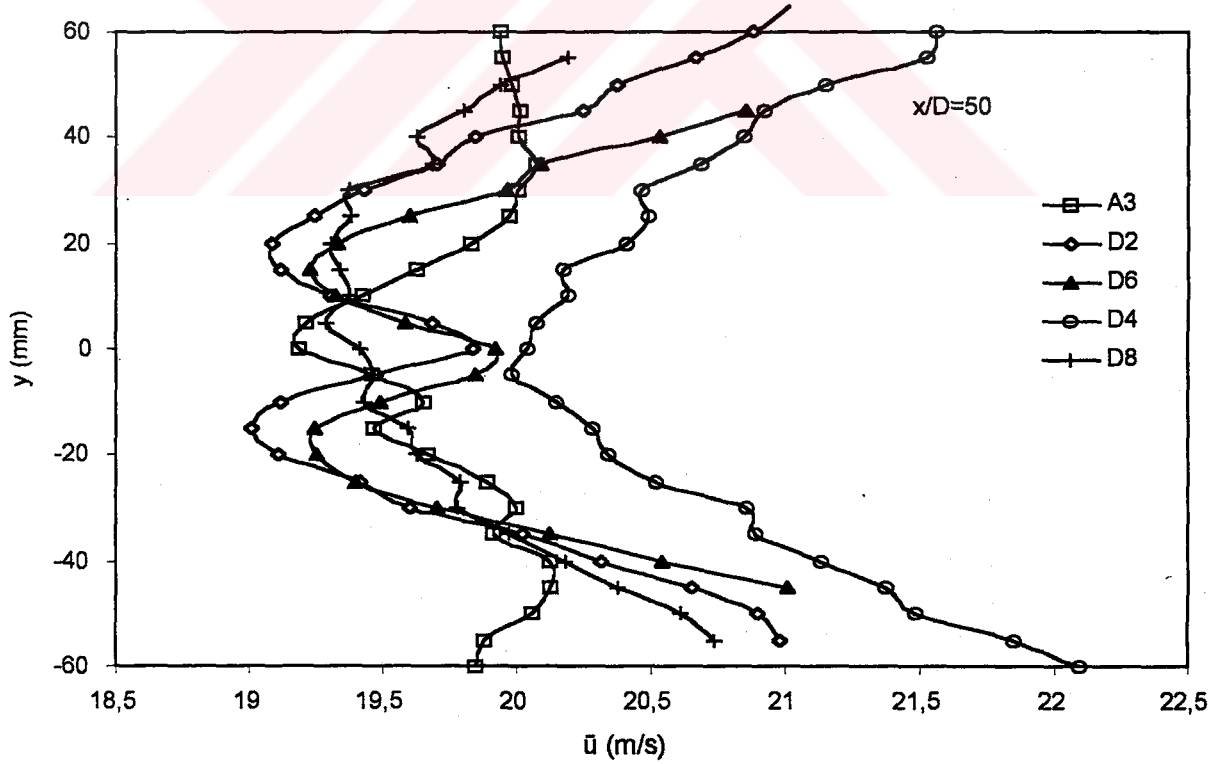
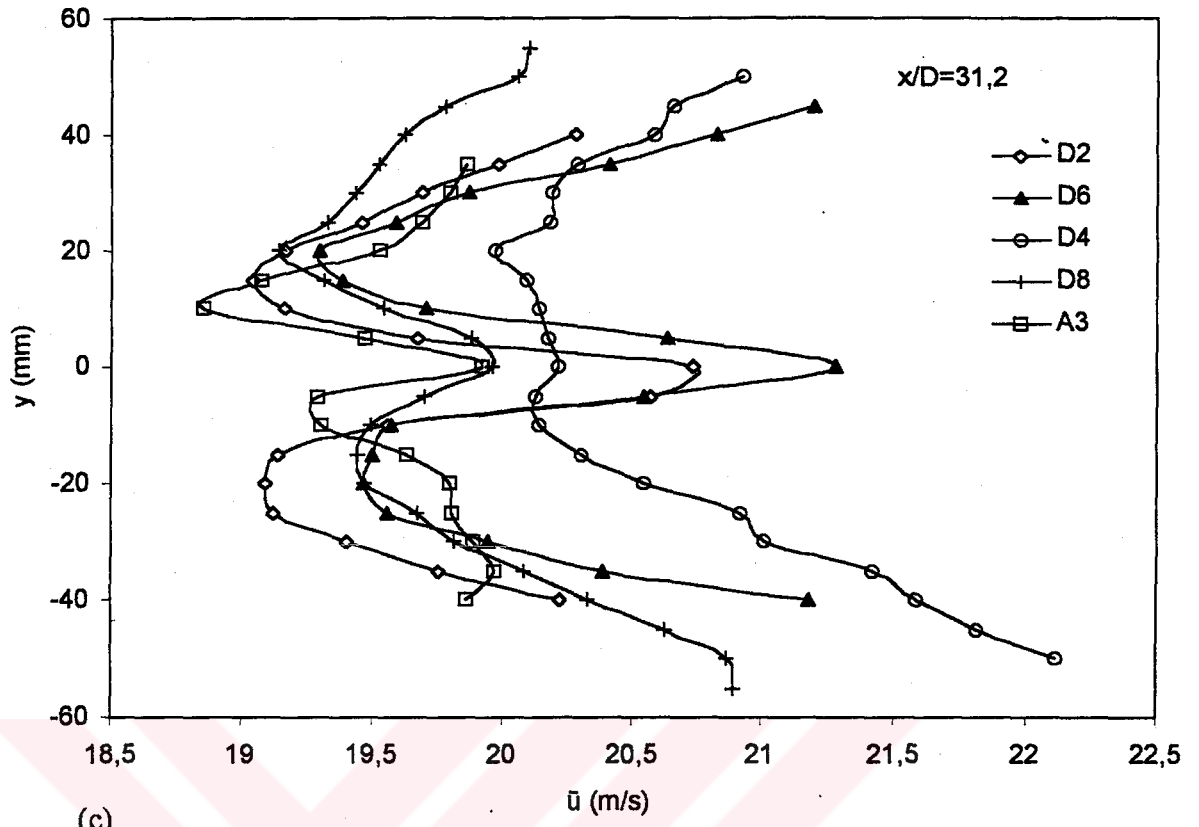
(c)



(d)

Şekil V.13 Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı konum ve açılardaki konik ilavelerin akışa açık durumundaki boyutsuz Hız dağılımları: (a) $x/D=0.3$, (b) $x/D=12.5$, (c) $x/D=31.2$, (d) $x/D=50$





Şekil V.14 Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı konum ve açılardaki konik ilavelerin akışa açık durumundaki Ortalama Hız dağılımları: (a) $x/D=0.3$, (b) $x/D=12.5$, (c) $x/D=31.2$, (d) $x/D=50$

V.4. EKSENEL HIZ DEĞİŞİMİ VE JET YARI KALINLIKLARI

Burada, tünel hızının 10 (m/s) ve 10 (m/s) olduğu durumda yapılan ölçümlerin aksenal hız değişimleri, şekil V.15 ve şekil V.16'da, eksendeki hız değişimi ise tablo V.5, V.6 ve V.7'de gösterilmiştir.

Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda , $x/D = 12.5$ istasyonunda yapılan ölçümlerde en fazla hız düşümünün D5 tipinde, en az hız düşümünün ise A2 tipinde olduğu görülmüştür. Diğer tiplerdeki hız düşümleri ise birbirlerine yakın çıkmaktadır. $x/D = 31.2$ ve $x/D = 50$ istasyonlarında yapılan ölçümlerde ise en fazla hız düşümü, D3 tipinde sonra sırasıyla D5, D7, D1 ve A2 tiplerinde çıkmıştır.

Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, $x/D = 12.5$ istasyonunda, en büyük hız düşümü A3 tipindedir. Sonra sırasıyla D4, D2, D6 ve D8 tiplerinde olmaktadır. $x/D = 31.2$ istasyonunda ise en büyük hız düşümü A3 tipinde görülmüş, sonra sırasıyla D8, D4, D2 ve D6 tiplerinde çıkmıştır. $x/D = 50$ istasyonunda ise en fazla hız düşümü yine A3 tipinde görülmüş ve sırasıyla, D8, D2, D6 ve D4 tiplerinde çıkmıştır.

Tünel hızının 10 (m/s) ve 20 (m/s) olduğu durumlarda yapılan ölçümlerin, jet yayılma oranları, yayılma açıları ve jet yarı kalınlıkları tablo V.8 ve V.9'da gösterilmiştir. Şekil V.17 ve V.18'de ise jet yarı kalınlıklarına göre hesaplanan jet yayılması grafik şeklinde gösterilmiştir.

Tablo V.8 Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda farklı istasyonlarda yapılan ölçümlerin yayılma oranları, açıları ve jet yarı kalınlıkları

Kod	Yayılma oranı			Açılar			Jet yarı kalınlıkları b (m)		
	$x/D=12.5$	$x/D=31.2$	$x/D=50$	$x/D=12.5$	$x/D=31.2$	$x/D=50$	$x/D=12.5$	$x/D=31.2$	$x/D=50$
A2	0,047	0,0223	0,03	2,69	1,28	1,72	0,00476463	0,005648	0,01204
D1	0,063	0,0347	0,023	3,6	1,99	1,32	0,00641677	0,008728	0,009241
D3	0,059	0,055	0,0293	3,4	3,15	1,68	0,0061	0,01389	0,0118
D5	0,035	0,0225	0,0349	2,03	1,29	2	0,00356	0,00566	0,014
D7	0,035	0,0221	0,0471	2,01	1,27	2,7	0,00351	0,00558	0,01912

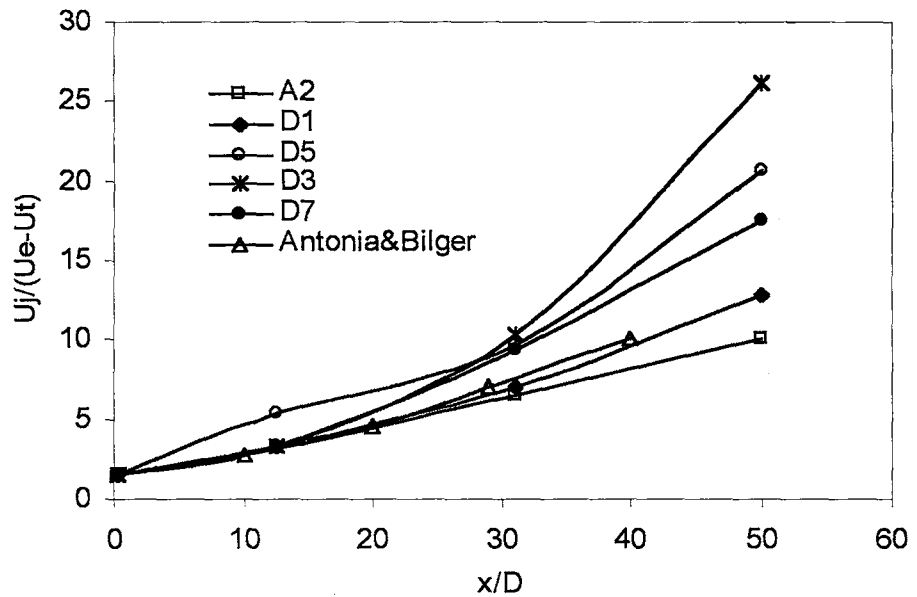
Tablo V.9 Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda farklı istasyonlarda yapılan ölçümlerin yayılma oranları, açıları ve jet yarı kalınlıkları

Kod	Yayılma oranı			Açılar			Jet yarı kalınlıkları b (m)		
	x/D=12.5	x/D=31.2	x/D=50	x/D=12.5	x/D=31.2	x/D=50	X/D=12.5	x/D=31.2	x/D=50
A3	0,047	0,0373	0,0335	2,70	2,14	1,92	0,00478706	0,009364	0,013431
D2	0,027	0,0396	0,1061	1,54	2,27	6,06	0,002711	0,00399	0,042549
D4	0,048	0,1247	0,1181	2,76	7,11	6,74	0,00483904	0,031208	0,047346
D6	0,045	0,0333	0,0881	2,55	1,91	5,04	0,00447136	0,008373	0,035283
D8	0,045	0,0146	0,1281	2,59	8,31	7,3	0,00454686	0,03656	0,051408

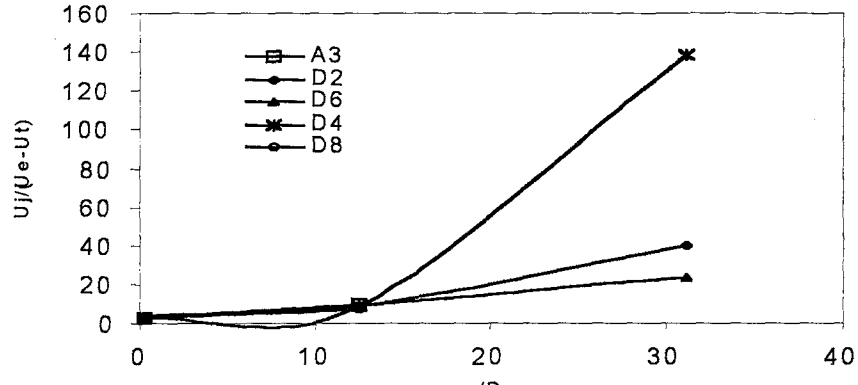
Şekil V.17 ve V.18 jet yarı kalınlıklarına göre çizilmiştir. Burada jet yarı kalınlıkları, b, jet için kullanılan borunun çapı, D, ile boyutsuzlaştırılmıştır.

Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda yapılan ölçümlerde yayılma genişliğinin başlangıçta büyük olduğu fakat daha sonra konik parçanın jet akış yapısına baskısı nedeniyle kesit daralması meydana getirdiği görülmüş ve jet çıkışından uzaklaştıkça tekrar jet yayılmasının genişlediği görülmüştür.

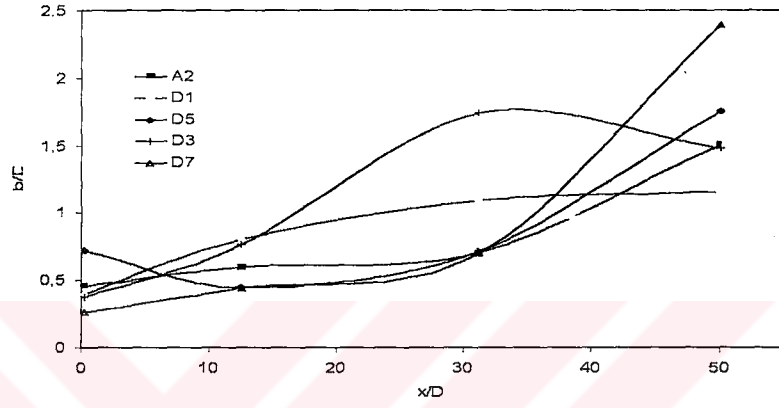
Tünel hızı 20 (m/s) olduğu durumdaki ölçümlerde de benzer durumlar görülmüş ve özellikle D4 ve D8 tipinde x/D=31,2 de jet yayılma genişliğinin diğer tiplere nazaran daha fazla büyüdüğü görülmüştür.



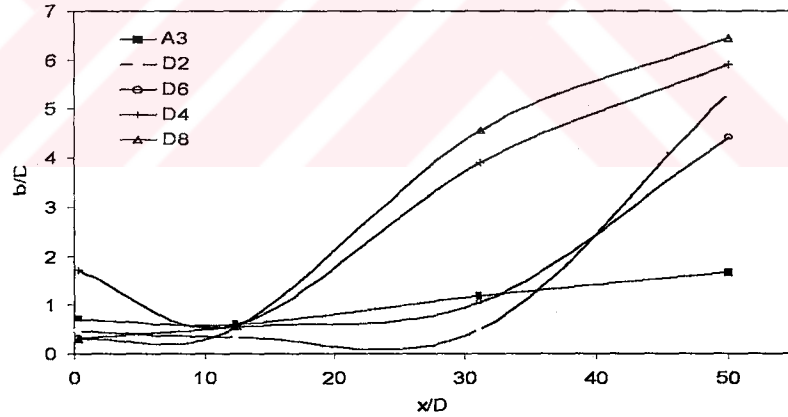
Şekil V.15 Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda, farklı tiplerde yapılan ölçümlerin aksel hız düşüşü



Şekil. V.16 Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, farklı tiplerde yapılan ölçümlerin aksenal hız düşüşü



Şekil. V.17 Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda, farklı tiplerde yapılan ölçümlerin Jet yayılma oranları



Şekil. V.18 Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, farklı tiplerde yapılan ölçümlerin jet yayılma oranları

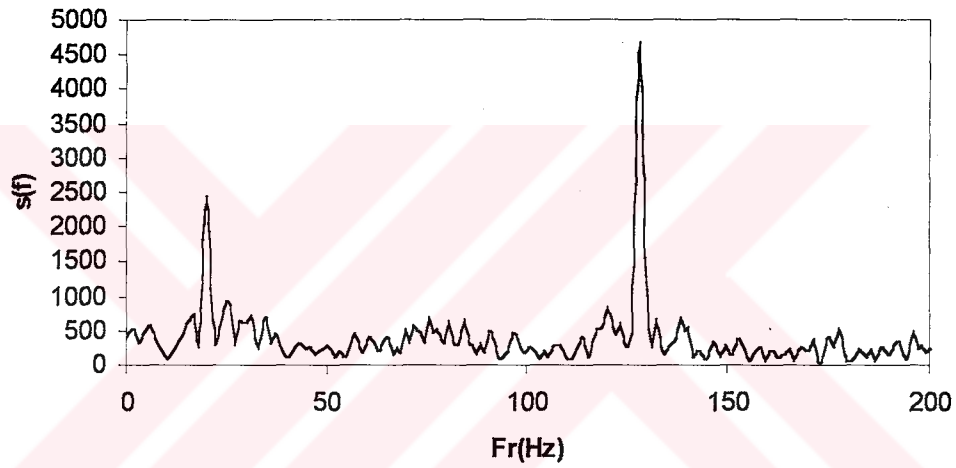
V.5 FREKANS ANALİZİ

Kayma tabakası, jet çıkışında gelişen koherent yapı üzerindeki kararsız akışlarda oluşur. Değişik vorteks yapıların oluşumu, jet nozulu ile çekirdek bölge arasında oluşmaktadır. Bu oluşum kayma tabakası yayılması ve frekans düşümü ile açıklanmaktadır. Frekans şiddeti, boyutsuz Strouhal sayısı ile açıklanmaktadır [86].

$$S_t = \frac{F_r \cdot \theta}{\bar{U}} \quad (V.1)$$

Burada, F_r , Frekans (1/s), θ , başlangıçtaki momentum kalınlığı (mm), $\bar{U}$, jet çıkış hızı (m/s) 'dir. Bu çalışmada bulunan Strouhal sayısı, 0.019 olarak bulunmuştur. Bu sayı bir çok araştırmacılar tarafından, 0.012 ile 0.023 arasında bulunmuştur[86-88]. Bu çalışmada da bulunan Strouhal sayısı da bu değerler arasında bulunmaktadır.

Jet çıkışında $x/D=0.3$ istasyonunda jet ekseninde yapılan ölçümlerin frekans dağılımları şekil V.25'de görülmektedir. Bazı araştırmacılar tarafından bulunan Strouhal sayıları, tablo V.10'da gösterilmiştir.



Şekil V.19 D5 tipinde, $x/D= 0.3$ istasyonunda jet çıkışındaki frekans dağılımı

Tablo V.10 Çeşitli araştırmacılar tarafından bulunan Strouhal sayıları

Yazar	Strouhal Sayısı
Sato	0.012-0.017
Michalke	0.016
Browand	0.013
Freymuth	0.018
Miksad	0.017
Davies ve Baxter	0.014
Hussain ve Zaman	0.012
Husain ve Hussain	0.017
Drubka	0.013

BÖLÜM VI

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, yapılan tez çalışmasının kapsamını teşkil eden hava tünelinin tasarımı, imalatı ve hava tüneline yapılan jet ölçümleri ile ilgili elde edilen sonuçlar yazılıp değerlendirilmesi yapılmıştır.

Bu çalışmanın en önemli amaçlarından biri olan, çok amaçlı ses altı hava tüneli, literatürde belirtilen tasarım parametreleri doğrultusunda imalatı gerçekleştirilmiştir.

İmalatı yapılan hava tünelinin özellikleri,

- Deney odası giriş kesiti, 320 x 320 mm, çıkış kesiti, 336x336 mm' dir.
- Tünel maksimum hızı, 40 (m/s)'dir.
- Deney odası uzunluğu 75 cm uzunluğunda olup istenildiğinde 1.5 m'ye kadar yükseltilebilmektedir.
- Deney odasında yapılan deneysel çalışmalarda türbülans yoğunluğu, %0,4 civarında çıkmıştır.
- Deneysel çalışmalarda, türbülans ölçüm cihazı olan tek kanallı kızgın tel anemometre (Hot Wire Anemometre) kullanılmıştır.
- Kızgın tel anemometre prob kalibrasyonu, manometreye bağlı pitot-statik tüple yapılmıştır.

Deneyler, 4 farklı kategori olmak üzere 18 tipte yapılmıştır. Bu kategorilerden iki tanesi iz akış ölçümleri ile ilgilidir. Diğer iki tanesi ise tez çalışmasının amaçlarından biri olan dairesel jet akışları ve konik ilaveli dairesel jet akışları ile ilgilidir. Bütün deneyler, jet çıkışından sonra, $x/D = 0.3, 12.5, 31.2$ ve 50 olmak üzere 4 istasyonda yapılmıştır. Konik ilaveli jet akış deneylerine başlamadan önce bu çalışmaya referans teşkil edecek olan dairesel jet akışları için 3 tipte çalışmalar yapılmıştır. Dairesel jet akışta, jet akışının maksimum hızı 30 (m/s) iken, önce tünele akış verilmediği durumda (A1), sonra da tünel hızı 10 (m/s) olduğunda (A2) ve 20 (m/s) olduğu durumda (A3) iken ölçümler yapılmıştır. Jet akışının, çıkıştan uzaklaştıkça eksen hızının düşmesiyle beraber hız profilinin genişlediği görülmüştür. U_r/U_j oranı

yükseldikçe, jet akışının etkisi düşmüştür. Tünel akışının 20 (m/s) olduğu durumda, $x/D= 50$ 'de jet etkisinin kaybolduğu ve iz akışı haline dönüştüğü görülmüştür. Bu kategorilerdeki bütün tiplerde türbülans dağılımlarında benzer yapılar görülmüş ancak $U_i/U_j = 0.4$ olduğunda yapılan ölçümlerde hem hız profilleri hem de türbülans profillerinin daha düzgün yapıda olduğu görülmüştür. Bu kategoride yapılan tiplerde jet çıkışında ve $x/D= 50$ 'deki jet yarı kalınlığı, (b), yayılma oranları ve Reynolds sayıları,

- Tünele akış verilmediği durumda jet çıkışında, $b=0.00388$ m, $x/D= 50$ 'de, $b= 0.04853$ m
- Tünel akış hızı 10 (m/s) olduğunda, $b= 0.003629$ m, $x/D= 50$ 'de, $b= 0.012$ m
- Tünel akış hızı 10 (m/s) olduğunda, $b= 0.00568$ m, $x/D= 50$ 'de, $b= 0.01343$ m

Yayılma oranları,

- Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda, $x/D= 12.5$ 'te 0.047, $x/D=31.2$ 'de 0.022, $x/D= 50$ 'de 0.03
- Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, $x/D= 12.5$ 'te 0.047, $x/D=31.2$ 'de 0.037, $x/D= 50$ 'de 0.03

Reynolds sayıları,

Tünel hızı 10 (m/s), Jet akışı için kullanılan boru çapına göre hesaplanan Reynolds sayısı, Re_D , eksen hızının düşüşüne orantılı bir şekilde düştüğü görülmüştür. Jet yarı kalınlığına göre hesaplanan Re_b sayısının ise $x/D=12.5$ 'te meydana gelen kesit daralması nedeniyle burada düşük çıktığı, diğer istasyonlarda ise tekrar yükseldiği görülmüştür. Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda $x/D=31.2$ 'de jet yarı kalınlığının artmasına rağmen eksen hızı düşük çıktığından, Re_b bu istasyonda da düşük çıkmıştır.

Tünel akış hızı 10 (m/s) iken yapılan konik ilaveli jet akış ölçüm tipleri;

- 6° eğimli konik ilavenin çıkışı ile jet akışı için kullanılan borunun aynı hizalı olduğu D1 tipi
- 12° eğimli konik ilavenin çıkışı ile jet akışı için kullanılan borunun aynı hizalı olduğu D3 tipi
- Jet akışı için kullanılan borunun, 6° eğimli konik ilave çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği D5 tipi
- Jet akışı için kullanılan borunun, 12° eğimli konik ilave çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği D7 tipi

Olmak üzere dört ölçüm tipinde yapılmıştır.

$x/D= 0.3$ istasyonunda aynı hizalı konumda konik ilaveler, içteki jet akış yapısına baskı uygulamış fakat jet çıkışının, konik ilave çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği durumda baskı yapmadığı ve jet yayılma genişliğini daraltmadığı görülmüştür. Ayrıca bu istasyonda, çekirdek bölgesinde konik ilaveler, çevre akış hızından daha yüksek hız temin etmiştir.

$x/D=12.5$ istasyonunda konik ilave yalnızca D1 tipinde baskısını devam ettirmiş ve akış profilini daraltmıştır. Diğer tiplerde ise baskının kalktığı hatta konik ilave kullanılmadan yapılan ölçümlere göre akış profillerinin daha geniş yapıda olduğu görülmüştür. En geniş akış profilini D5 tipi oluşturmuştur. Sırasıyla D7 ve D3 tiplerinde akış profillerinin D5'e göre daha dar olduğu görülmüştür. Bu istasyonda eksendeki en yüksek türbülans değerini, D5 tipinde çıkmıştır. Diğer tiplerde, sırasıyla D3, D7 ve D1 tiplerine doğru türbülans değerleri D5'e göre azalmıştır. Konik ilave yüzeylerinde en yüksek türbülans değerleri, koniklik açısına bağlı olarak en yüksek D7 tipinde görülmüş ve D3, D1 ve D5 tiplerine doğru azalmıştır.

$x/D= 31.2$ istasyonunda, D1 tipindeki ölçümlerde baskının devam ettiği görülmüştür. Bu istasyonda jet eksenindeki en yüksek hız, konik ilave kullanılmadan yapılan A2 tipinde görülmüş, sırasıyla D1, D7, D5 ve D3'e doğru hızın düştüğü görülmüştür. Eksendeki en düşük türbülans değeri A2 tipinde görülmüş ve hız düşümündeki sıraya göre türbülans değerleri artmıştır.

$x/D= 50$ istasyonunda D5 ve D7 tiplerinde yayılma genişliği diğer tiplere nazaran daha az olmuştur. Bu istasyonda eksendeki hız düşümüne bağlı olarak akış profillerinin genişlediği de görülmektedir.

Tünel akış hızı 20 (m/s) iken yapılan konik ilaveli jet akış ölçüm tipleri;

- 6° eğimli konik ilavenin çıkışı ile jet akışı için kullanılan borunun aynı hizalı olduğu D2 tipi
- 12° eğimli konik ilavenin çıkışı ile jet akışı için kullanılan borunun aynı hizalı olduğu D4 tipi
- Jet akışı için kullanılan borunun, 6° eğimli konik ilave çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği D6 tipi
- Jet akışı için kullanılan borunun, 12° eğimli konik ilave çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği D8 tipi

Olmak üzere dört ölçüm tipinde yapılmıştır.

$x/D = 0.3$ istasyonunda, konik ilaveler, tünel akış hızından daha yüksek hız temin etmişlerdir. Konik yüzeylerde hız düşük çıkmış ve yüzeyden uzaklaştıkça hız artmıştır. Bu istasyonda konik ilaveler yalnızca D4 tipine baskı uygulamış ve jet yayılmasını daraltmıştır.

$X/D = 12.5$ istasyonunda D2 ve D6 tiplerinde jet akış profili oluşmuş, diğer tiplerde ise jet etkisinin azaldığı hatta iz akış yapısına dönüştüğü görülmüştür.

$X/D = 31.2$ istasyonunda yine D2 ve D6 tiplerinin jet hız profilinin iz akışına dönüştüğü gözlenmiştir.

$x/D = 50$ istasyonunda, bütün ölçümlerin jet hız profilleri iz akışına dönüşmüştür. Bu istasyonda en yüksek türbülans değeri D4 tipinde çıkmıştır. Türbülans değerleri büyükten küçüğe doğru D8, D6, D2 ve A3 tiplerinde çıkmıştır. İkinci grupta yapılan ölçümlerden de anlaşılabileceği gibi hız oranı yükseldiğinde jet akış yapısı iz akış yapısı haline dönüşmüştür.

Ayrıca ölçümlerin frekans analizi yapılmış ve Strouhal sayısı, $S_t = 0.019$ bulunmuş ve literatürde belirtilen değerler arasında olduğu görülmüştür.

Sonuçta, hava tünelinin tasarım ve imalatı ile deneysel akışkanlar mekaniği ve aerodinamik eğitimde kullanılabilecek, işlerliği jet akış deneyleriyle denenmiş bir düzenek ortaya çıkartılmıştır. Ayrıca temel akış tiplerinden olan dairesel jet akışları, farklı eğimlerde, konumlarda ve farklı tünel hızlarında, jet akışı için kullanılan boruya konik giydirmeler yapılarak deneysel olarak çalışılmıştır. Hız ve türbülans dağılımları, jet yarı kalınlıkları, yayılma oranları ve açıları ile Reynolds sayıları bulunarak dairesel jet akışı ile konik ilaveli akışların farklılıkları analiz edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Çayırılı, G.;** " Açık Devreli Subsonik Rüzgar Tüneli Dizaynı", Y.Lisans tezi, Anadolu Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye, (1991) 1-26
- [2] **Atlı, V.; Erim, M.Z. ;** "İ.T.Ü. Aerodinamik Laboratuvarında Dizayn ve İmal Edilen Bir Hava Tünelinin Dizayn ve Akım Koşulları, IV. Ulusal Mekanik Kongresi", Bayramoğlu, Türkiye eylül 201-213 (1985)
- [3] **Pope, A.; Harper, J.J. :** "Low-Speed Wind Tunnel Testing" John Wiley & Soons, Inc., New York, USA. (1984)
- [4] **Erim, M.Z.; Atlı, V.; Kavasoğlu, M.Ş.:** "Alçak Sesaltı Bir Hava Tünelinin İmalatı ve Deney Odasında Hız Profilinin Tayini", VII. Bilim Kongresi Tebliğ Özetleri, Eylül 633-663 İstanbul, Türkiye (1980)
- [5] **Gorlin, S. M.; Slezinger, I. I.:** "Wind Tunnels and Their Instrumentation" Israel Program for Scientific Translations Ltd., Jerusalem, Israel (1966)
- [6] **Bradshaw, P.; Pankhurst, R.C.:** "The Design of Low-Speed Wind Tunnels, Progress in Aeronautical Sciences, Vol.5, Program Press Ltd., London, U.K. (1964)
- [7] **Punkhurst, R.C.; Holder, D.W.:** "Low Speed Wind Tunnel Technique", Sir Isaac Pitman and Sons Ltd., London, U.K. (1952)
- [8] **Baals D. D.; Corliss W. R. :** "Wind Tunnels of Nasa", SP.440, (1981)
- [9] **Owen F.K. :** " Measurement of Hypersonic Flowfields in Special Coure of Thermodynamics of Hypersonic Vehicles" AGARDR-761, (1989)
- [10] **Nicks, O.W.; McKinney, L.W.;** " Status and Operational Characteristics Of The National Transonic Facility", AIAA 10. Aerodynamic Testing Conference, 78-770 U.S.A. (1978)
- [11] **Mort, K.W.; Engelbert, D. F.; Dusterberry, J.C.:** "Status and Capabilities of the National Full Scale Facility" , AIAA Aerodynamic Testing Conference, 82-607,. (1982)
- [12] **Victor, L.S.; Benjamin E.W.:** "Fluid Mechanics" First SI Metric Edition, McGraw-Hill Book Company, p.363, (1983)

- [13] **Abromovich, G.N.:** "The Theory of Turbulent Jets", The MIT press, Massachusetts, 671-680, U.S.A. (1963)
- [14] **Abid, K.A.:** "Measurements and Computation of Jet Flows: Effect of Initial Conditions", Msc., Victoria University of Manchester, U.K. (1990) -8-75
- [15] **Ransom, E.C.P.; Smy, J.R.:** "Introduction and Review of Some Jet Interference Phenomena Relevant to V/Stol Aircraft", AGARD Rep. No 710. (1984)
- [16] **Hinze, J.O.:** "Turbulence", McGraw Hill, Newyork. (1959)
- [17] **Corrsin, S.:** "Investigation of Flow in an Axially Symmetric Heated Jet of Air, N.A.C.A., Wartime Report, W-94. (1946)
- [18] **Hinze, J. O.; Zijen, V.H.; B. E.:** "Transfer of Heat and Matter in The Turbulent Mixing Zone of an Axially Symmetric Jet", Appl. Sci. Res., Section A, Vol. 1, 435 – 461, (1949)
- [19] **Albertson, M.L.; Jensen, Y.B.; Roose, H.:** "Diffusion of Submerged Jets", Pro. Am. Soc. Civil Eng. , Vol. 74, 175-185, (1950)
- [20] **Wynnanski, I.; Fiedler, H.:** "Some Measurements in the Self-Preserving Jet", J. Fluid Mech., Vol. 38, 577 – 612. (1969)
- [21] **Davies, P. O.; Fisher, M. S.:** "Heat Transfer From Electrically Heated cylinders", Proc. Roy. Soc. A 280 , 468-476, (1964,)
- [22] **Bradshaw, P., ,** "Experimental fluid mechanics", Pergamon Press. (1964)
- [23] **Hussein, H.J.; George, W.K.:** "Measurement of Small Scale Turbulence in an Axisymmetric Jet Using Moving Hot-Wires", Proc. Seventh. Symp. On Turbulent Shear Flow, Stanford University, 7-30, Feb. (1989)
- [24] **Taulbee, D.B.; Hussein, H.J.; Capp, S.:** "The Round Jet- Experiment and Inferences on Turbulence Modelling", Turbulent Shear Flow, 6 th. Symp. On Turbulent Shear Flow, Stanford University, paper no. 10-5, (1987)
- [25] **Corrsin , S.:** "Further Experiments on te Flow and Heat Transfer in a Heated Turbulent Air Jet", NACA Wartime , Report W – 94 , (1942)
- [26] **Rajaratnam, N.:** "Turbulent Jets", Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam- Oxford- Newyork, 28-48, (1976)
- [27] **Maczynski , J. F. J.:** "A Round Jet in an Ambient Co-axial Streams", J. Fluid Mech., Vol. 13, 190–219, (1962)
- [28] **Antonia, R. A.; Bilger, R. W.:** "An Experimental Investigation of Axisymmetric Jet in Co - flowing Stream", J.F.M. , Vol. 61, Part 4, 805-822, (1973)

- [29] **Smith, D. J.:** "Turbulence Measurements in a Jet in Co-Flowing Free stream", MSc. Thesis, Univ. of Manchester, U.K. (1975)
- [30] **Smith, D.J.; Hughes, T.:** "Some Measurements in a Turbulent Circular Jet in the Presence of a Co-Flowing Free Stream", *Aeronautical Quarterly*, Vol. xxviii, p.185, (1977)
- [31] **Perry, A.E.; Tan, D.K. M.:** "Simple Three-Dimensional Vortex Motions in Co-Flowing Jet and Wakes", *J.Fluid Mech.*, Vol. 141,197-231, (1984)
- [32] **Biringen, S. :** "An Experimental Investigation of a Turbulent Round Jet in a Co-Flowing Airstreams", Winter Annual Meeting, California-December 7- 12 , (1986)
- [33] **Mohamed, M. S.:** " Experimental and Theoretical Investigations of Turbulent Jets in Co-Flowing Streams", Ph.D. Thesis, Dept. of Mech. Eng. , London University, U.K. (1987)
- [34] **Rodi, W.:** "The Prediction of Free Boundary by Use of Two-Equation Model of Turbulence" , Ph. D Thesis, Univ. of London, U.K. (1972)
- [35] **Capp, S.P.:** "Experimental Investigation of the Turbulent Axisymmetric Jet", Ph.D. Thesis, State University of Newyork at Buffalo, U.S.A. (1983)
- [36] **Panchapakesan, N. R.; Lumley, J. L.:** "Round Jet Measurements with a HWA Probe Mounted on a Shuttle", *Bull. Am. Phs. Soc.*, Sec. 2, V. 31. No.10. (1986)
- [37] **Gül, M. Z.:** " Prediction of in a Cylinder Flow by Use of a Multiple-Time-Scala Turbulence Model", Ph.D. Thesis, Dept. Of Mech. Eng.,Institute Of Science and Technology, Victoria Uni. Of Manchester, U.K. (1994)
- [38] **Trüpel, Th.:**"Z. Ges Turbinenwesen, 12-52 (1915)
- [39] **Corrsin, S.; Uberoi, M.:** "Further Experiment on the Flow and Heat Transfer in a Heated Turbulent Air Jet", *NACA TN no. 1865*, (1949)
- [40] **Corrsin, S.; Kistler, A.L. :** "The Free Stream Boundaries of Turbulent Flow", *NACA TN no. 3133*, (1954)
- [41] **Forstall, W.; Shapiro, A. H.:** "Momentum and mass transfer in a Submerged Water Jet", *J. of Appl. Mech.*, Vol. 18, p. 219, (1950)
- [42] **Tani, I.; Kobashi, Y.:** " Experimental Studies on Compound Jets", *Proc. of Japan Congress for Appl. Mech.*, p. 465, Japan (1951)
- [43] **Rose, W.G.:** "A Swirling Round Turbulent Jet", *Trans. ASME , J. Appl. Mech.*, 615-625, (1962)
- [44] **Gore, R.W.; Ranz, W. E.:**" Berchnung Von Aufgaben Der Frein Turbulenz Auf Grundeines Neuen", *Nahevungsansatzes. ZAMM* 222, 224- 253, (1964)

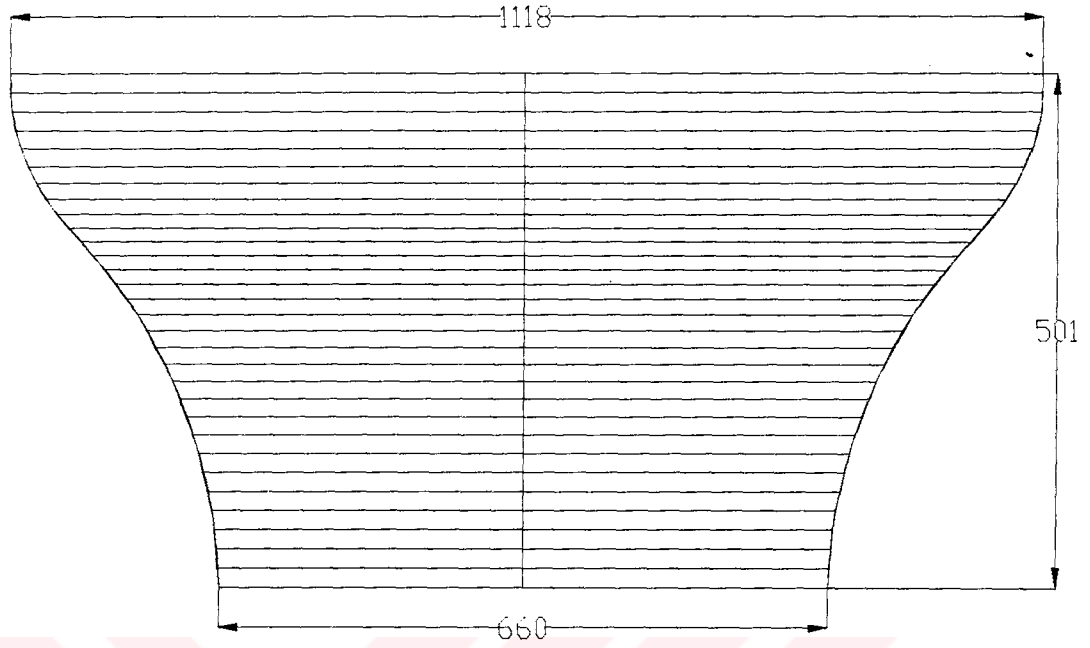
- [45] **Kerr , N . M.; Fraser , D.:** "Swirl Effect of Axisymmetrical Turbulent Jets", J. Inst. Fuel, Vol. 38, 519 – 526 (1965)
- [46] **Chiger, N. A.; Chervinsky, A .:** "Experimental and Theoretical Study of Turbulent Swirling Jets Issuing From Round Orifice" , Israel Journal of Technology, Vol. 4, No. 1, 941 – 671, (1965)
- [47] **Samet, M.; Einav, S.:** "A Hot-Wire Technique For Simultaneous Measurement of Instantaneous Velocities in 3D Flows", J. Phys. Instrum., Vol. 29, pp . 683 – 690, (1968)
- [48] **Ribeiro, M. M.; Whitelaw, J. H.:** "Coaxial Jets With and Without Swirl" , J. Fluid Mech, Vol. 128, 769 – 795, (1980)
- [49] **Chang, P. H.; Adrian, R. J.; Jones, B. G.:** "Comparison Between Triple-Wire and x-Wire Measurement Techniques in High Intensity Shear Flow", Proc. 8 th., Biennial Symp. On Turbulence, Univ. Of Missouri-Rolla (1983)
- [50] **Yule , A. J,** "Large – Scale Structure in Mixing Layer of Round Jet", J. Fluid Mech., Vol. 89, Part 3, 413 – 432 (1978)
- [51] **Bruun, H. H. :** "A Time-Domain Analysis of the Large- Scale Flow Structure in a Circular Jet", J.Fluid Mech., Vol. 83, Part 4, 641–671. (1977)
- [52] **Antonia, R.A.; Browne, L.W.B.; Rajagoplan, S.; Chawbersk, I.:** "On The Organized Motion Of a Turbulent Plane Jet", J. Fluid Mech., Vol.134, p.49. (1983)
- [53] **Komori, S., Ueda, H., 1985,** "The Large-Scale Coherent Structure in the Intermittent Region of the Self-Preserving Round Jet", J. Fluid Mech., Vol.152, pp. 337-359.
- [54] **Neihouse, A.I., 1954,** "Design and Operating Techniques of Vertical Spin Tunnels", AGARD Memorandum AG17/p 7.
- [55] **Bradshaw,P. :** "Simple Wind Tunnel Design", N.P.L. Aero Rep., No.1258 (1968)
- [56] **Albayrak, K.:** "Investigation of the Boundry Layer Transition, the Turbulent Boundary Layer Development and the Recovery Lenght of the Turbulent Boundary Layer Behind Three Dimensional Roughness Elements", Ph.D. Thesis, Mechanical Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Türkiye (1984) 41-62
- [57] **Thwaities, B.:** On The Design of Contractions for Wind Tunnels, A.R.C., R&M., 2278, (1946)
- [58] **Libby, P.A.; Deiss, H.R.:** "The Design of Two Dimensional Contraction Sections", Quarterly of Applied Mathematics, Vol. IXB, .95-98. (1951)

- [59] **Cohen, M.J.; Ritchie, N.J.B.:** "Low speed Three Dimensional Contraction Design, Journal of Royal Aeronautical Society, Vol.66, 231- 236, (1962)
- [60] **Morel, T.:** "Comprehens Design of Axiynmetric Wind Tunnel Contractions", Journal of Fluid Eng., 225-233, (1975)
- [61] **Sansar, M.:**"Rüzgar Tüneli Kollektöründe Üç Boyutlu Akımın Sonlu Farklar Yöntemiyle Analizi", Y. Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye (1992)
- [62] **Özkan, M.N.:** "Çeşitli Şekillerde Düzenlenmiş İki Silindir Etrafındaki Akım Alanının Hesaplanması", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye (1985)
- [63] **McDonald, A.T.; Fox, R.W.:** "Incompressible Flow in Conical Diffusers", Tech. Rep.No. 1, Army Research Office (Durham) Project 4332 (1964)
- [64] **Sovran, G. ; Klomp, E.D.:** "Experimentally Determined Optimum Geometrics For Rectilinear Diffusers With Rectangular, Conical or Annular Cross -Section, Fluid Mechanics of Internal Flow", Elsevier Publishing co., Amsterdam, 276-319, (1967)
- [65] **Brandi, O. H.:** Hava Kanalları Hesabı ve Konstrüksiyonu, Fon Matbaası, Ankara. (1972)
- [66] "Aksiyal Vantilatör ve Fan Seçim Tabloları", Taşkın Vantilatör ve Klima Sanayii, İstanbul (1991)
- [67] **Thwaities, B.:** On The Design of Contractions for Wind Tunnels, A.R.C., R&M., 2278, (1946,)
- [68] <http://www.geocities.com/pipeflow1/> eylül 2001
- [69] **Yavuzkurt, S.; Atashie,S.; Tayfun, A.:** "Hot-Wire Anemometry, A Method for The Measurement of High Frequency Turbulent Temperature Fluctuations", Pennsylvania State University, USA (1999)
- [70] **Doebelin, O.E.:** "Measurement Systems Application and Design", third Edition, McGraw Hill Book Company , USA (1983)
- [71] **Bruun,H.H.:**"Hot-Wire Anemometry; Principles and signal Analysis", Oxford University press, USA (1995)
- [72] ASHRE Fundamentals Hand Book, SI, USA, (1989.)
- [73] **Stainback, P.C.; Nagabushana, K.A.:** "Review: Hot-Wire Anemometry in Transonic and Subsonic Slip Flows", Transaction of the ASME, March. (1997)
- [74] **Smiths,A.J.; Hayakawa,K.; Muck, K.C.:** "Constant temperature Hot- Wire Anemometer Practice in Supersonic Flows", Experiments in Fluids 1, 83- 92, (1983)

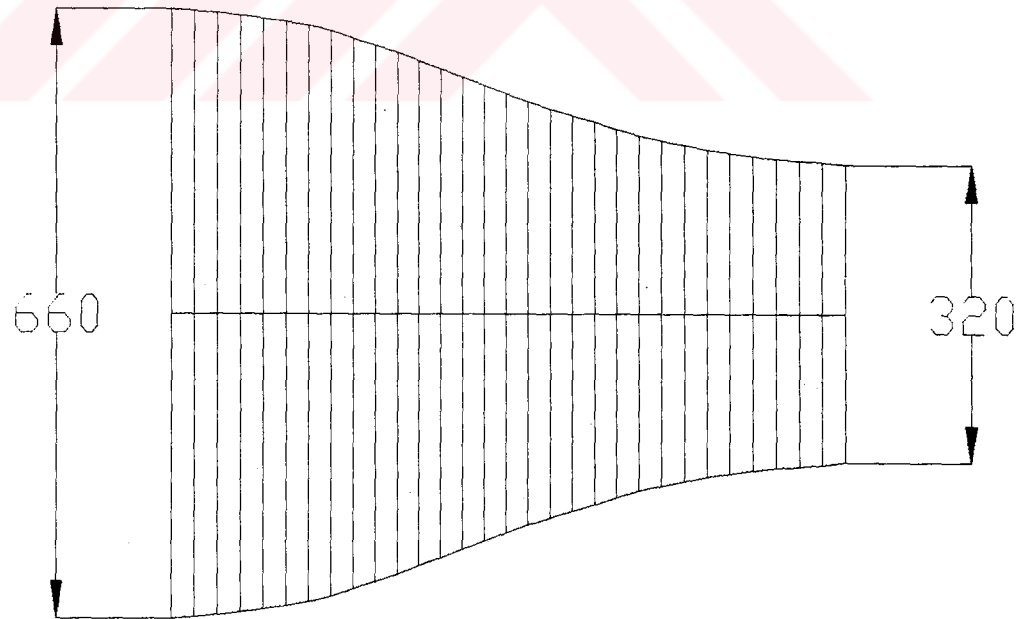
- [75] **Yule, A.J.:** Experimental Methods in Thermofluids , University of Manchester, Institute of Science & Technology, Manchester. (1988)
- [76] **Olivari, D.; Carbonaro, M.:** Hot-Wire Measurement, VKI, LS, (1985)
- [77] **King, L.V.:** " On the Connection of Heat From Small Cylinders in a-Stream of Application to Hot-wire Anemometry", Phil. Trans.Ray.soc., A214, 373-432. 78. 1914,
- [78] **Olivari. D. ; Carbonaro, M.:** " Measurement Techniques an Introduction" , R.A. Van den Braembussche, October 12-16, V.K.I. Belgie (1998)
- [79] DANTEC Measurement technology katalogu A/S, Denmark.
- [80] TSI Incorporated Fluid Mechanics Instrument Division katalogu, U.S.A.
- [81] **Bradshaw,P. :** "An Introduction to Turbulence and its Measurement", Pergamon press, Oxford. (1971)
- [82] **Bremhorst, K.; Gilmore, D.B.:** "Comparsion of Dynamic and Static Hot-Wire Anemometre Calibrations for Velocity Perturbation Measurements", J.Phys Institute, (1976)
- [83] United Electronic Industries, November, (1997)
- [84] **Bruun,H.H.; Tropea, C.:** "The Calibration of Inclined of Hot-Wire Probes", University of Bradford , England. (1984)
- [85] **White, F.M.:**"Fluid Mechanics", Third edition, McGraw- Hill Book, 355-356, (1994)
- [86] **Gutmark, E. ; Ho, C.,M.:** "Preferred modes and the spreading rates of jets, Physics of Fluids", Vol. 26, 2932-2938, (1983)
- [87] **Mihalke, A.:** "On spatially growing disturbances in an inviscid shear layer", Journal of Fluid Mechanics, Vol.23, 521-544, (1965)
- [88] **Erdem D.:** "Jet Flow", PhD Thesis, I.T.Ü., Institue of Science and Technology, İstanbul, Türkiye, April (2001) 13-20

EKLER

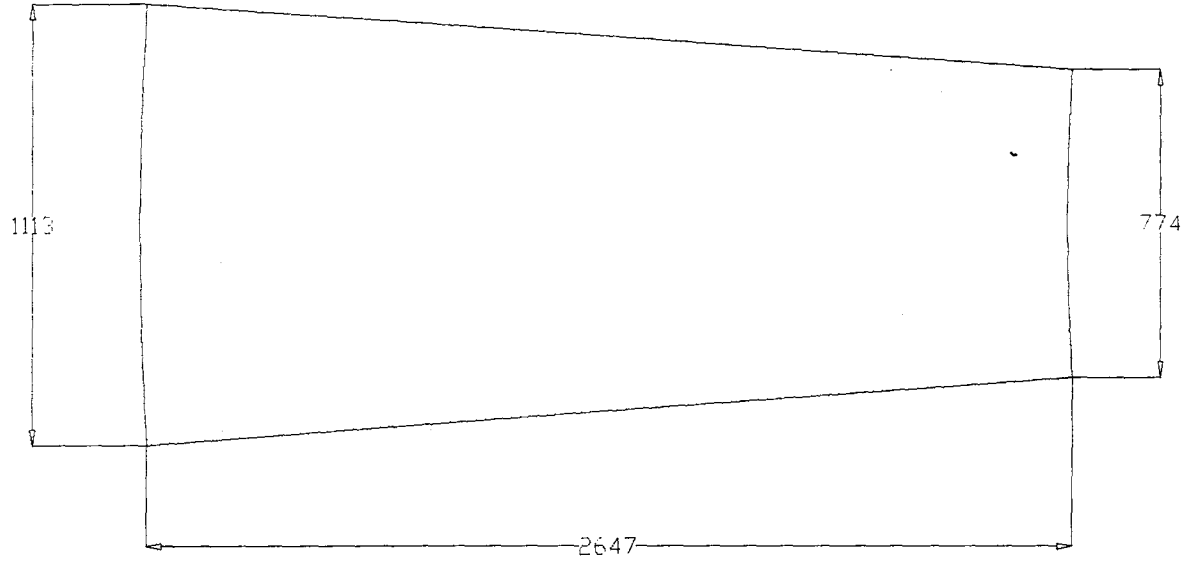
Ek-A Hava Tüneli Elemanlarının Açılımları



Şekil A. 1 Giriş ağzı açılımı



Şekil A. 2 Giriş kollektörü açılımı

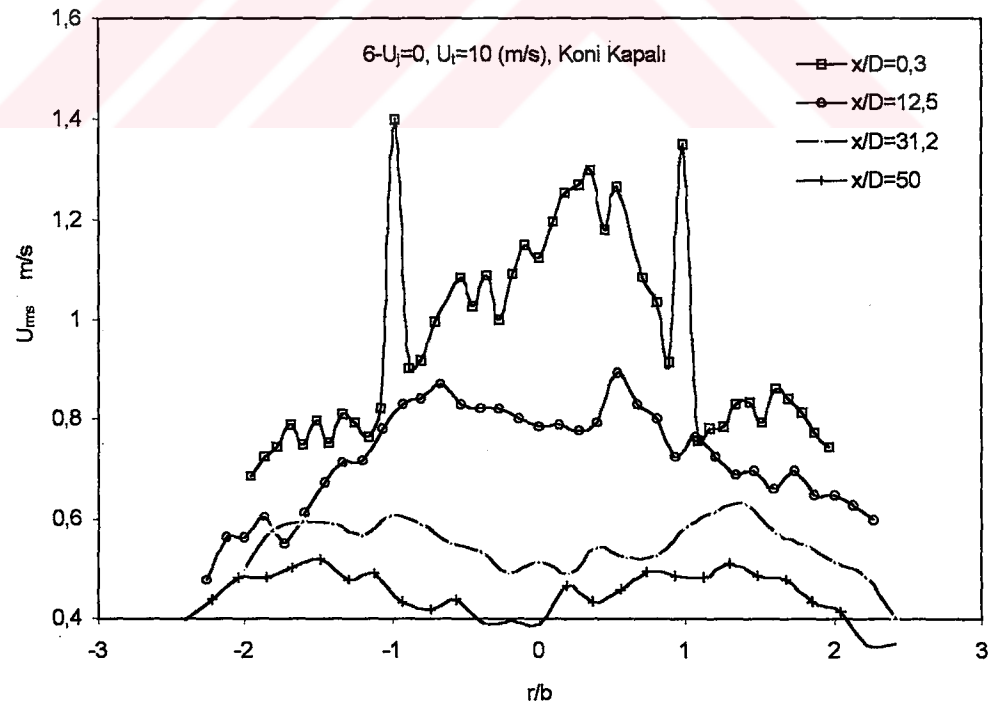
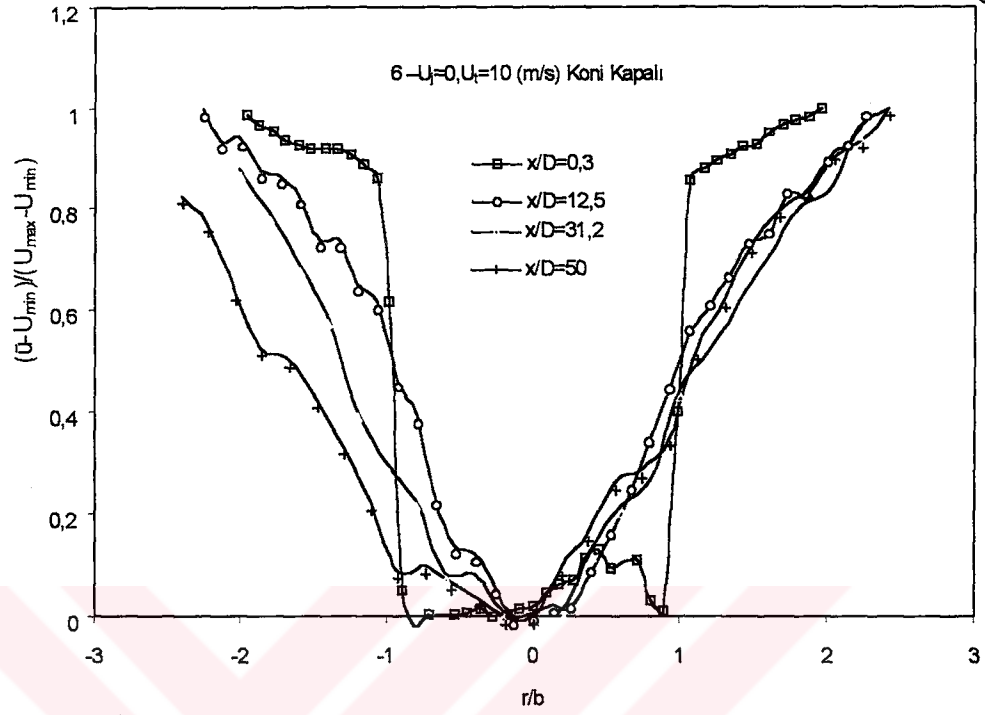


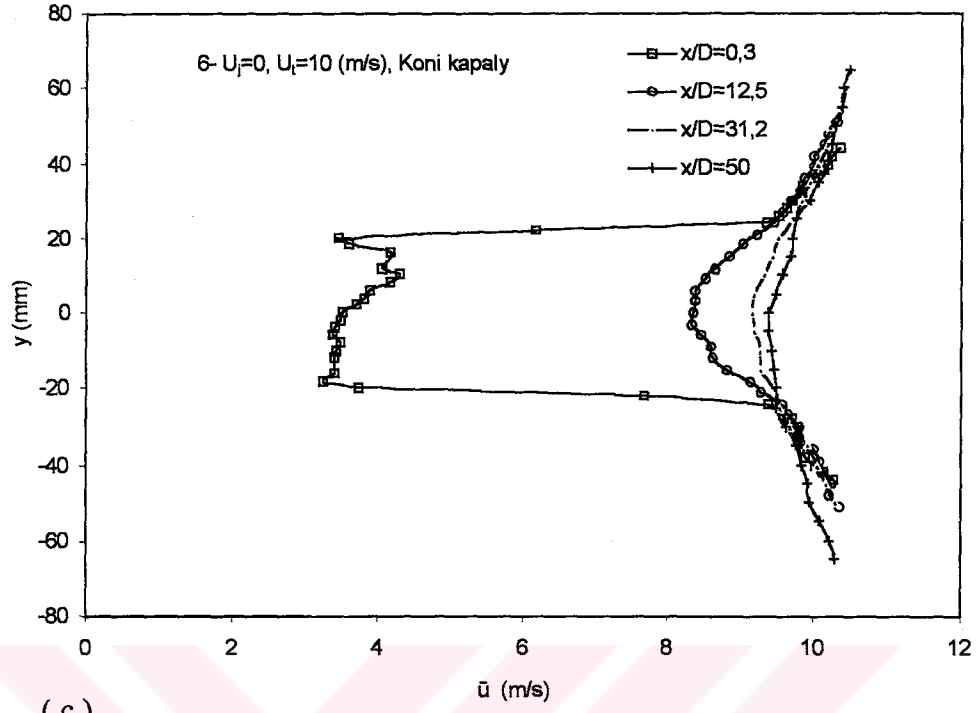
Şekil A. 3 Difüzör adaptörü açılımı



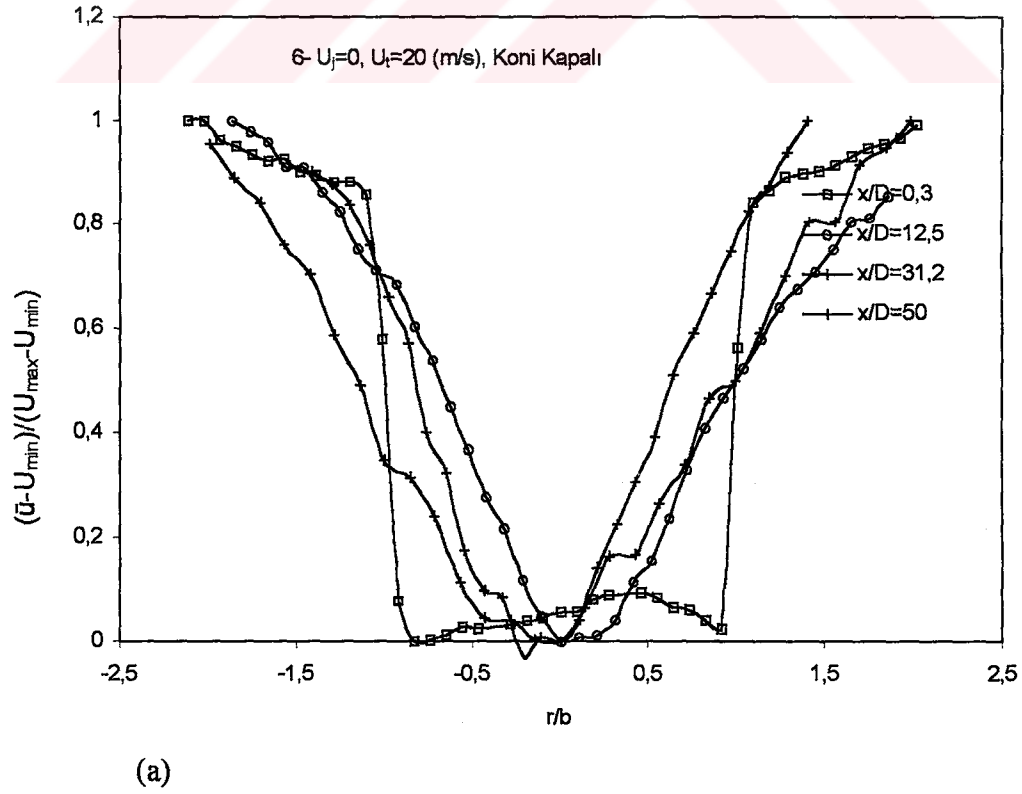
Şekil A. 4 Difüzör açılımı

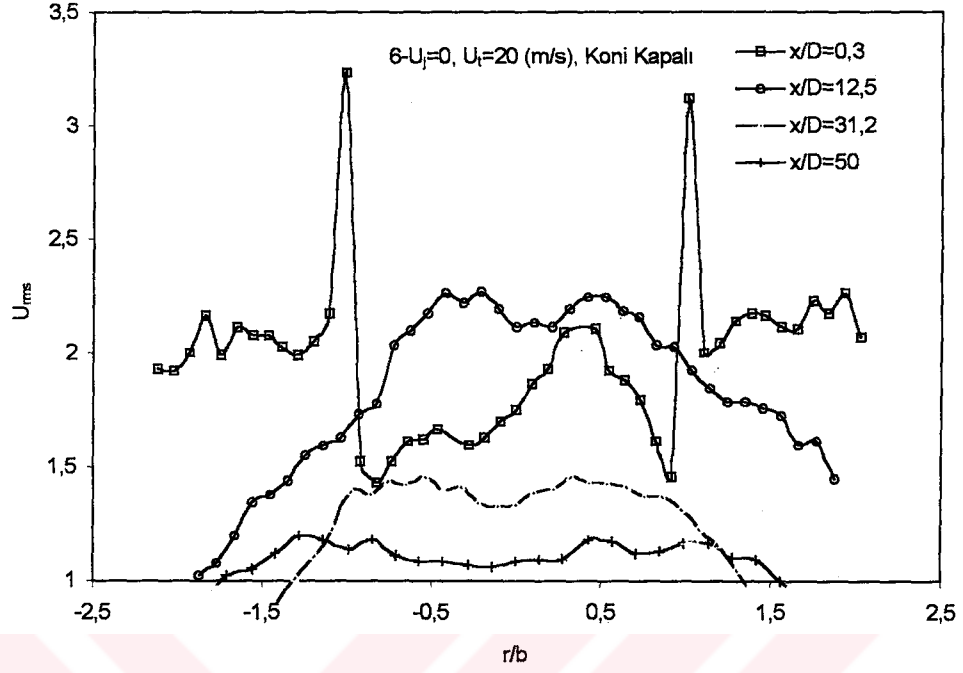
Ek – B Konik İlaveli Dairesel Jet Ve İz Akış Ölçümleri



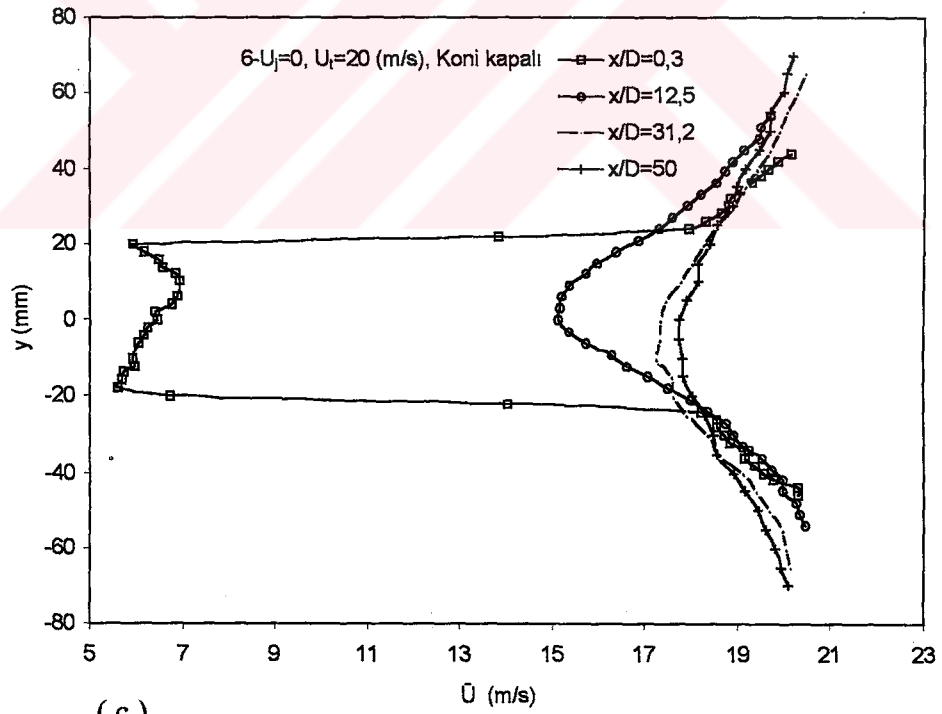


Şekil B. 1 6° konik ilavenin kapalı olduğu, jet akışının olmadığı ve tünel hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki iz akış ölçümleri; (a) Boyutsuz hız dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Ortalama hız dağılımı



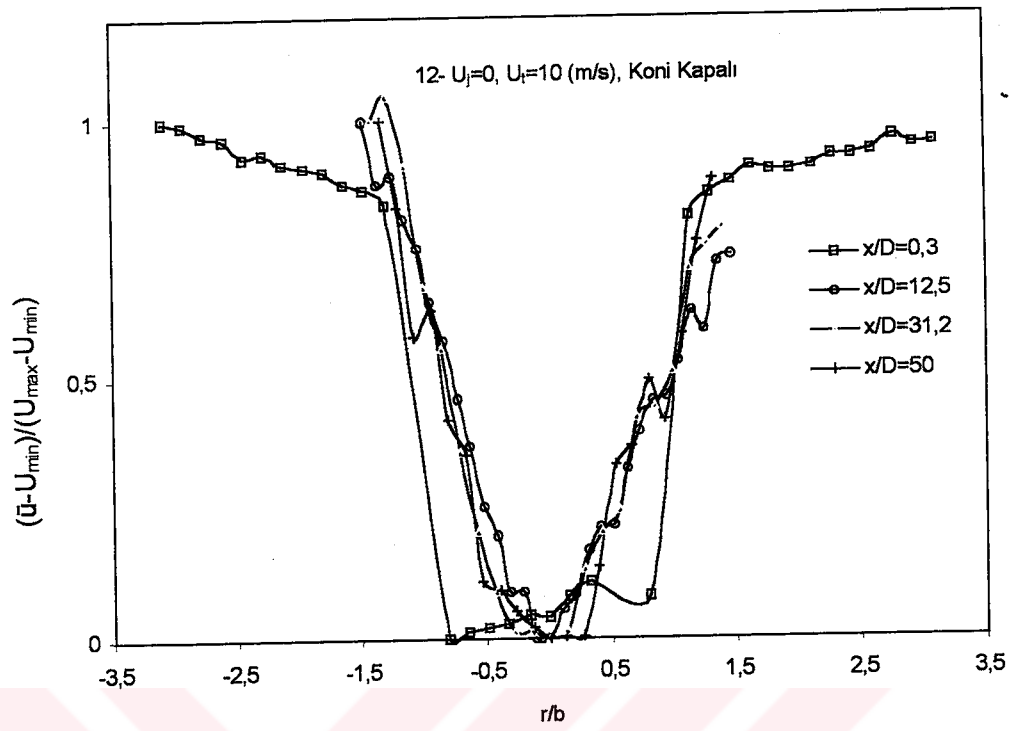


(b)

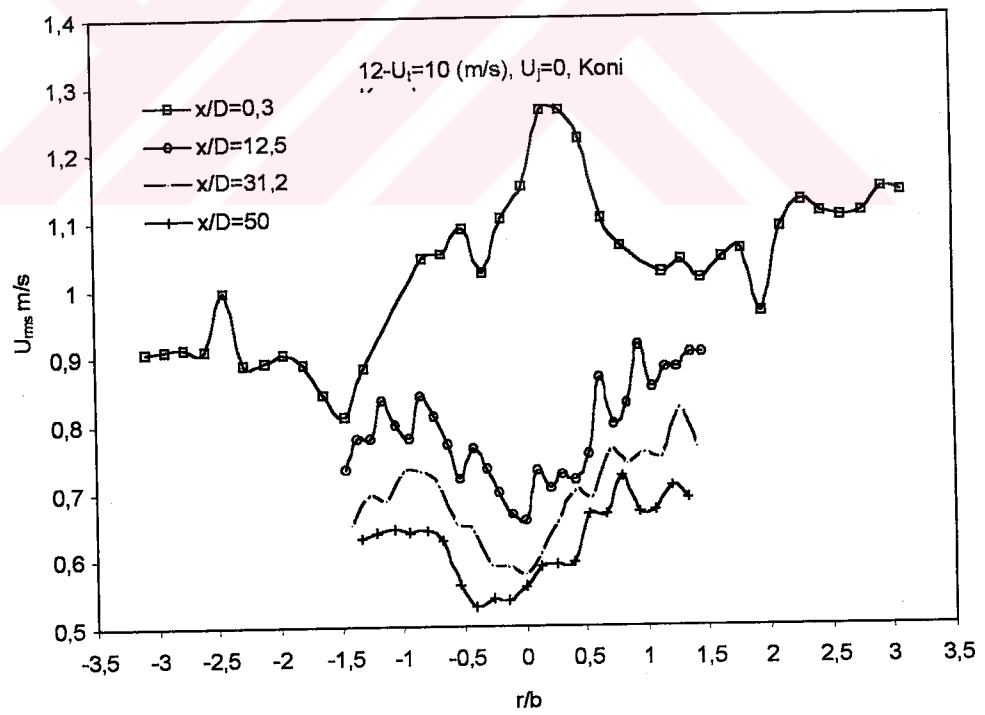


(c)

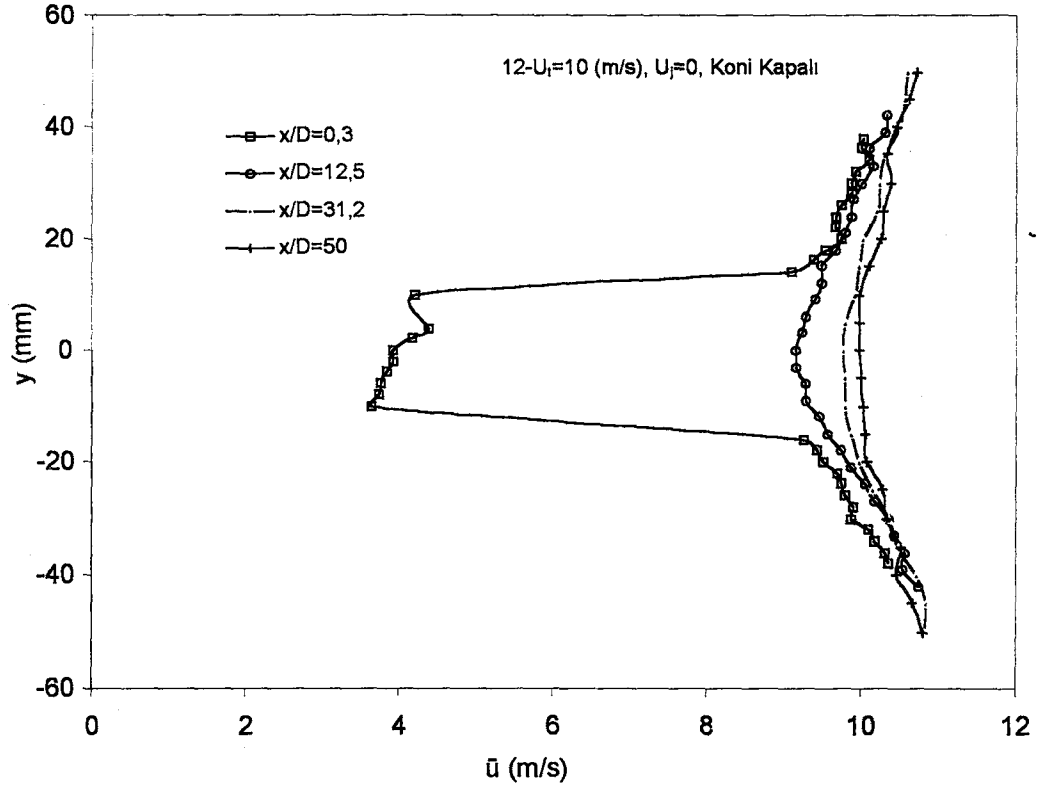
Şekil B. 2 6° Konik ilavenin kapalı olduğu, jet akışının olmadığı ve tünel hızının 20 (m/s) olduğu durumdaki iz akış ölçümleri; (a) Boyutsuz Hız Dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Ortalama hız dağılımı



(a)

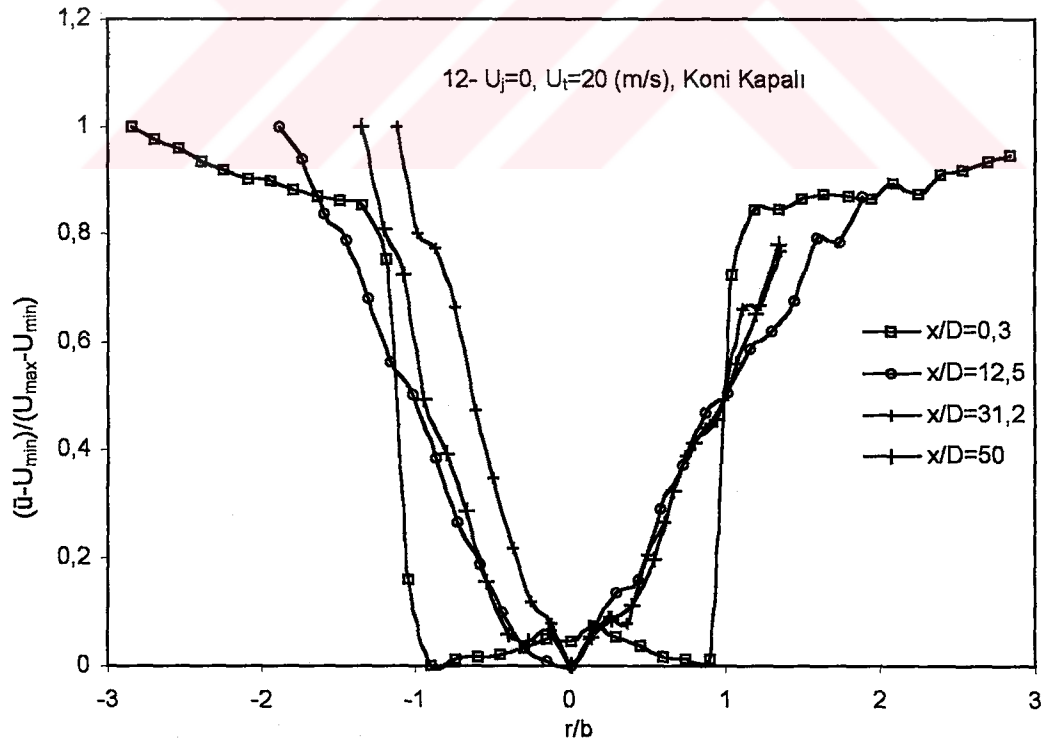


(b)

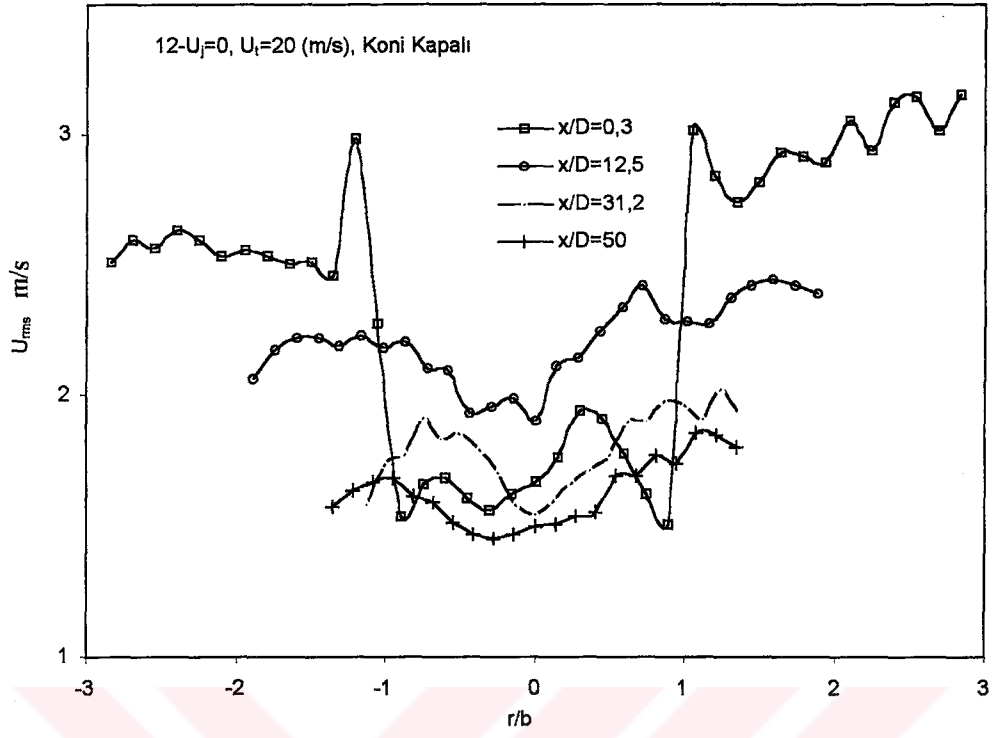


(c)

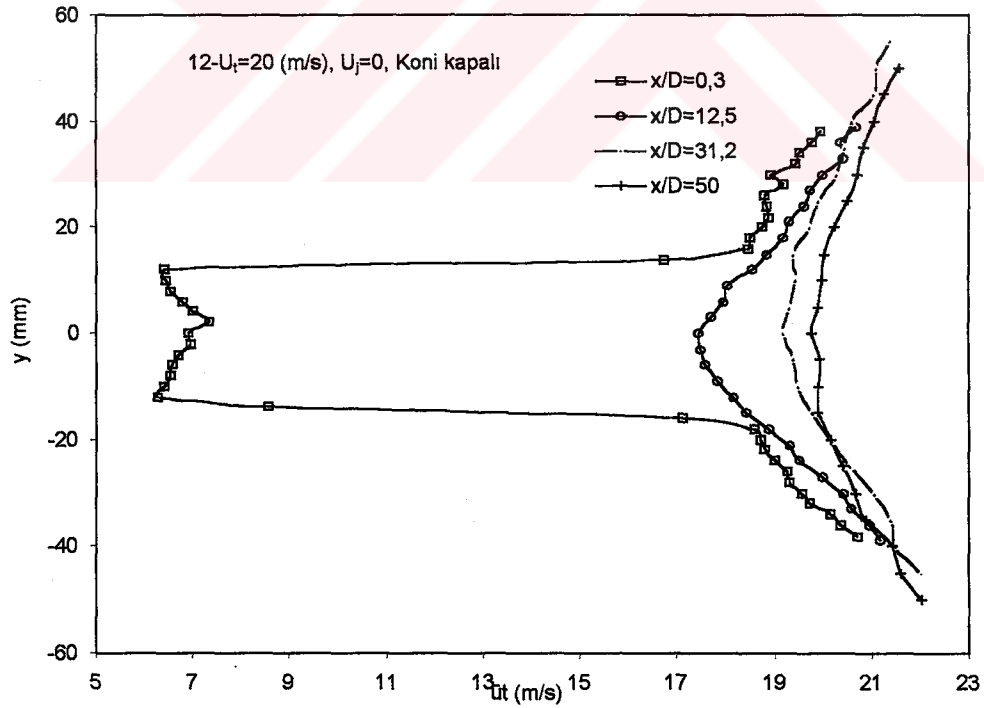
Şekil B. 3 12° konik ilavenin kapalı olduğu, jet akışının olmadığı ve tünel hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki iz akış ölçümleri; (a) Boyutsuz hız dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Ortalama hız dağılımı



(a)

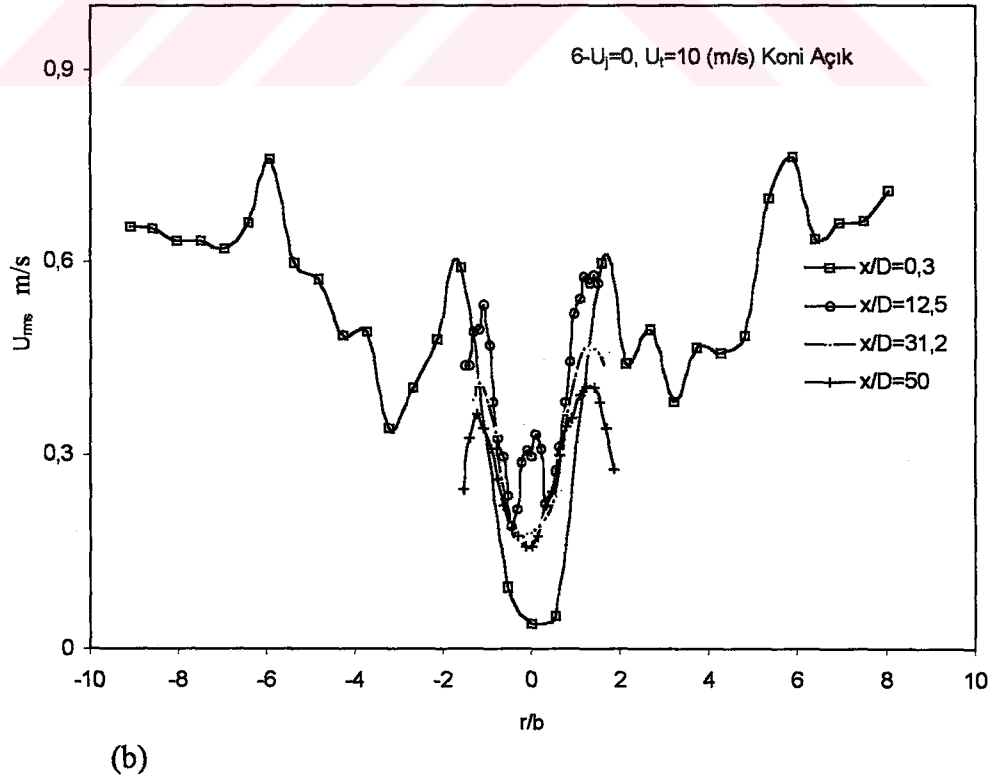
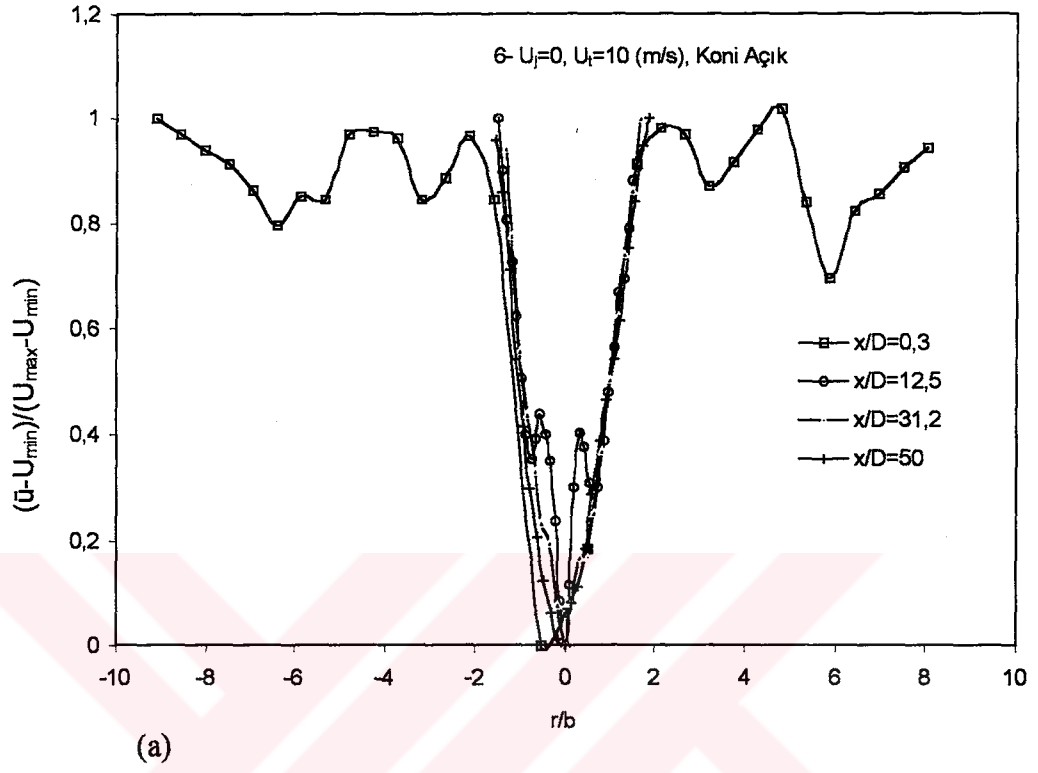


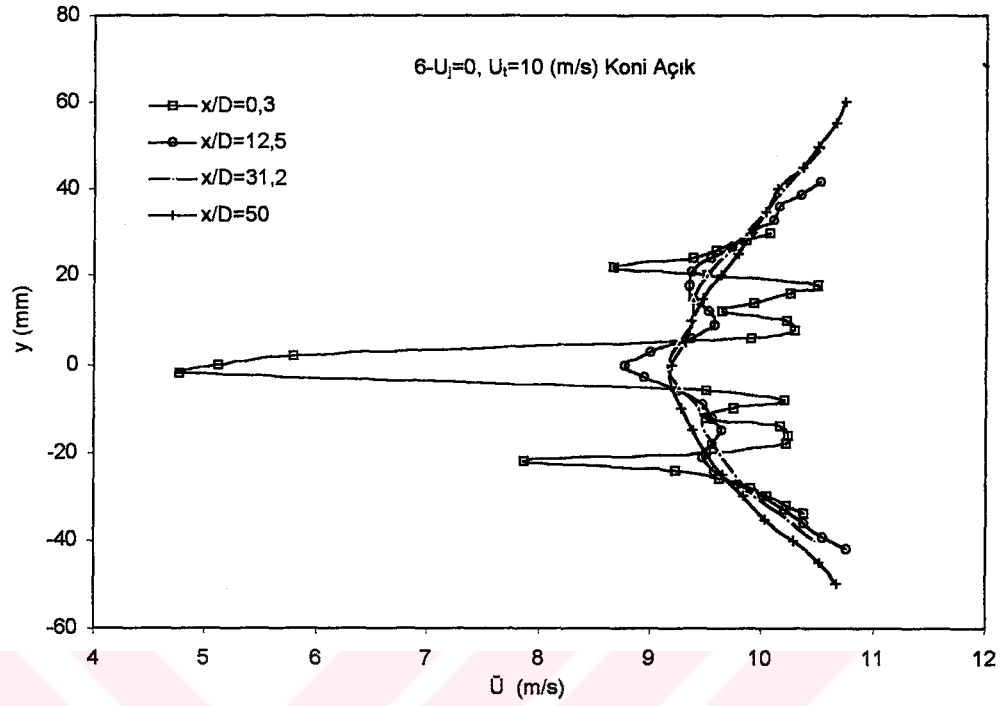
(b)



(b)

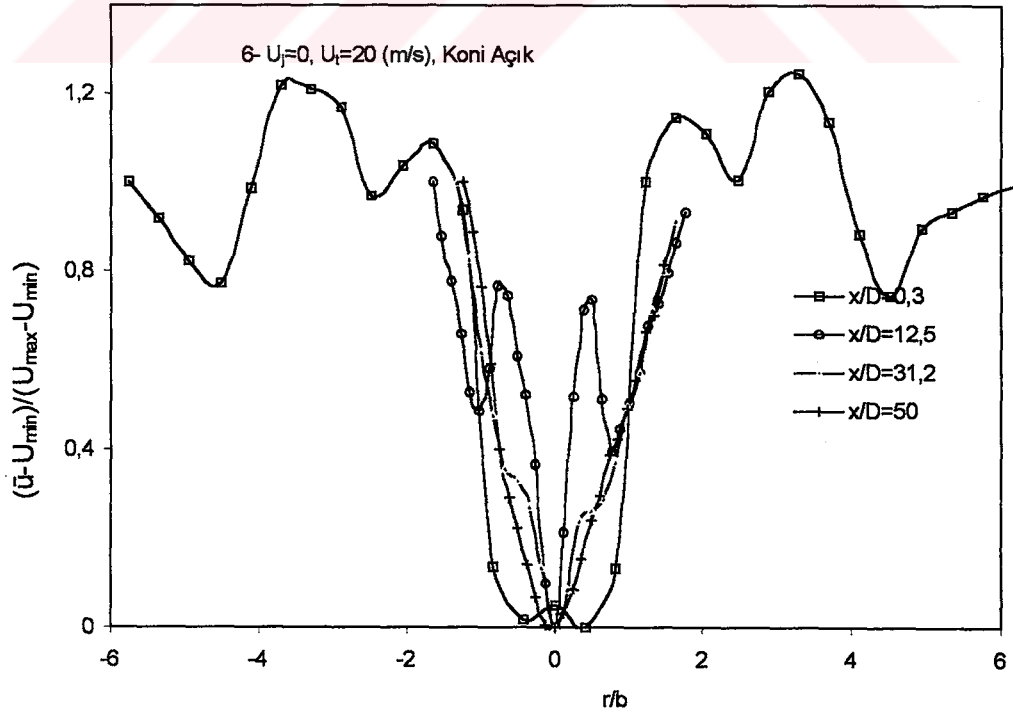
Şekil B. 4 12° konik ilavenin kapalı olduğu, jet akışının olmadığı ve tünel hızının 20 (m/s) olduğu durumdaki iz akış ölçümleri; (a) Boyutsuz hız dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Ortalama hız dağılımı



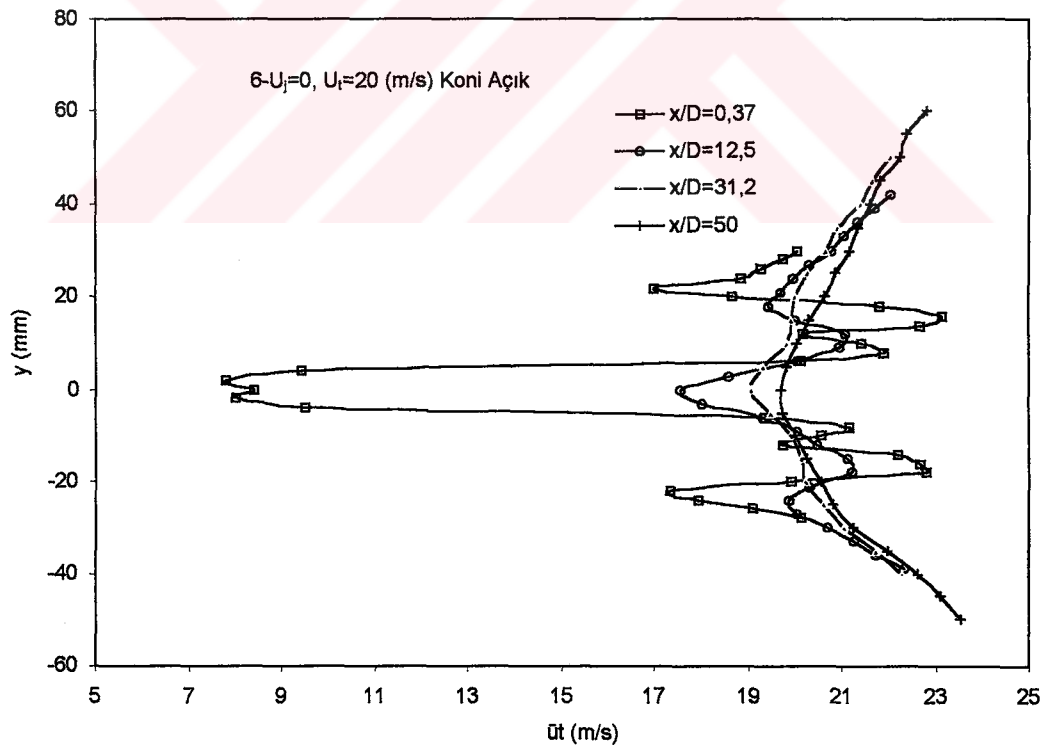
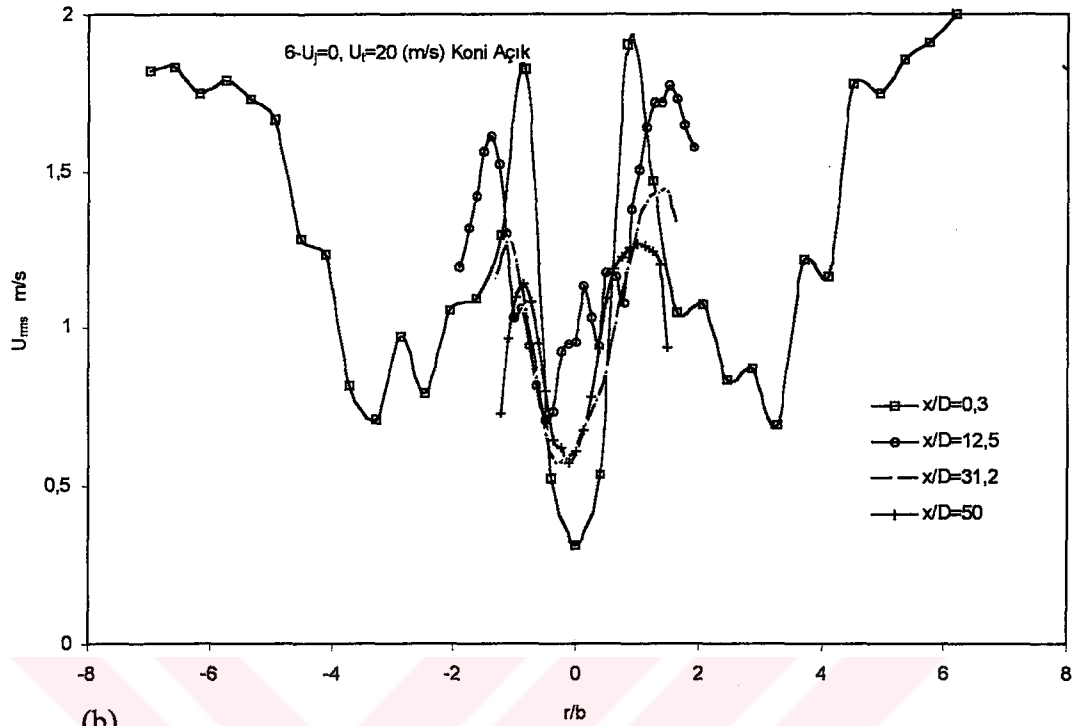


(c)

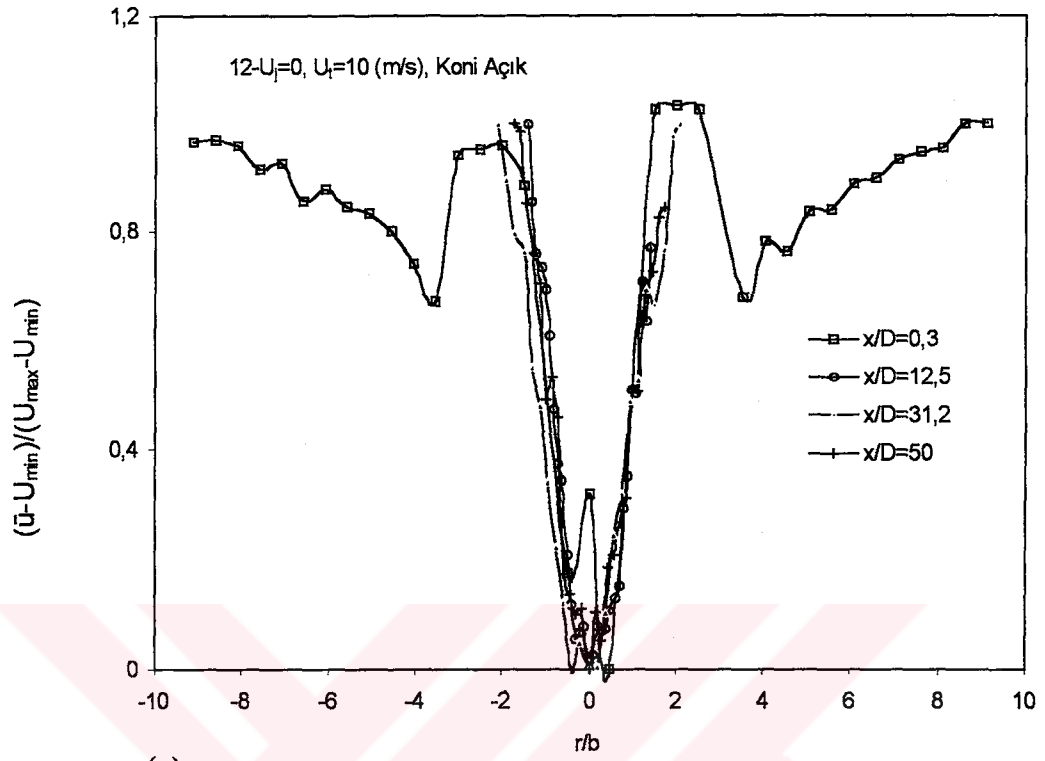
Şekil B. 5 6° konik ilavenin açık olduğu, jet akışının olmadığı ve tünel hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki iz akış ölçümleri; (a) Boyutsuz hız dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Ortalama hız dağılımı



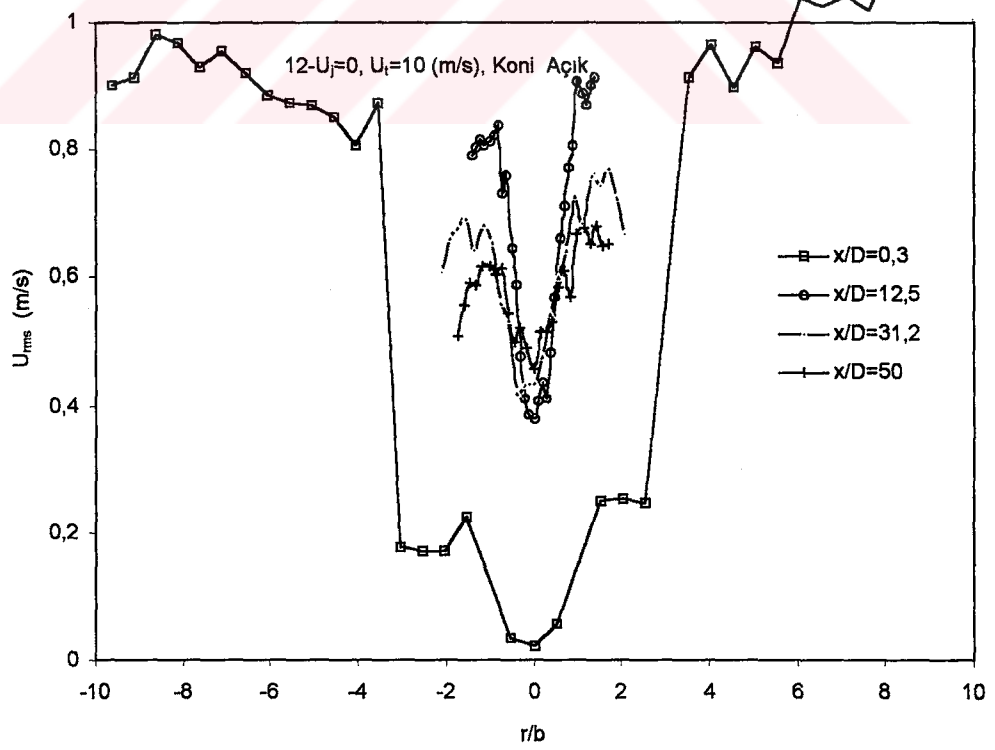
(a)



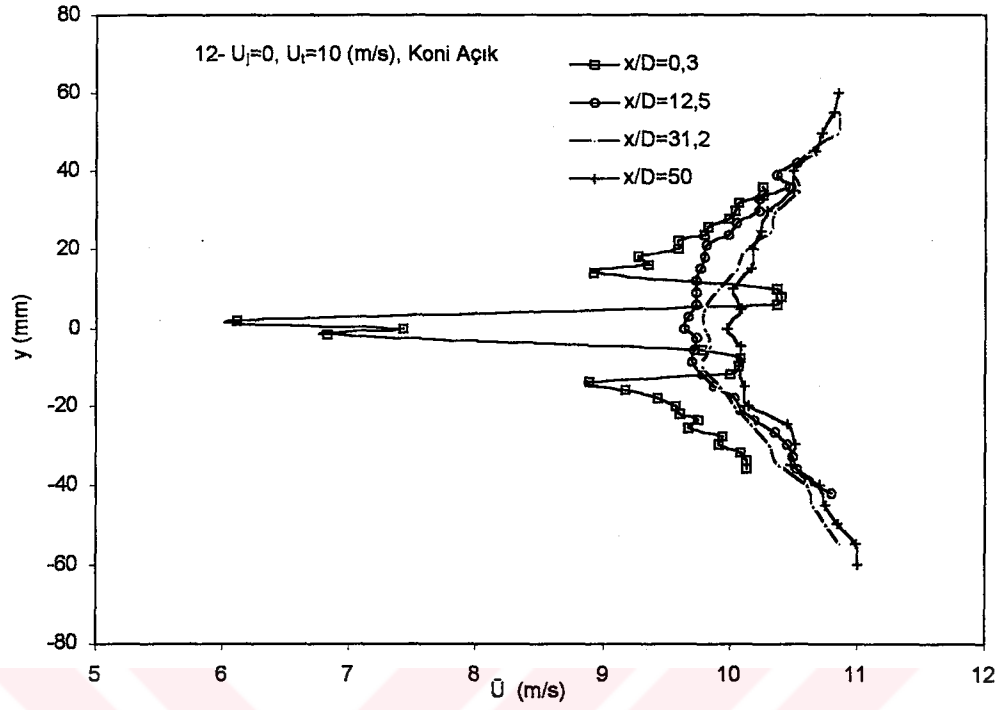
Şekil B. 6 6° konik ilavenin açık olduğu, jet akışının olmadığı ve tünel hızının 20 (m/s) olduğu durumdaki iz akış ölçümleri; (a) Boyutsuz hız dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Ortalama hız dağılımı



(a)

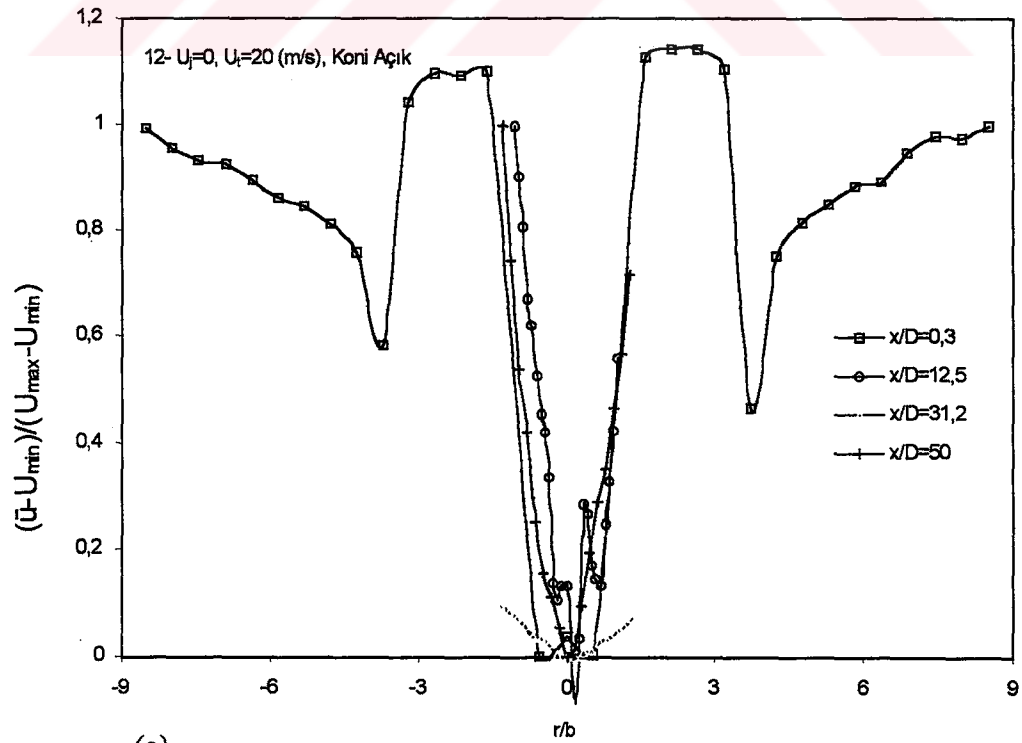


(b)

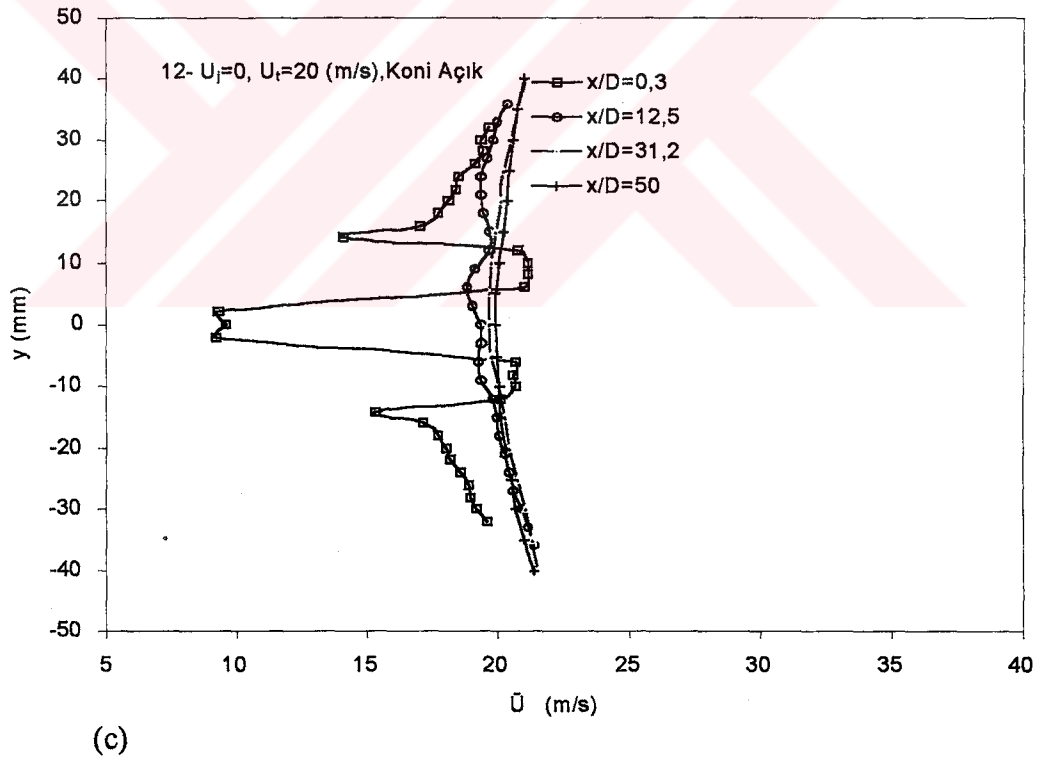
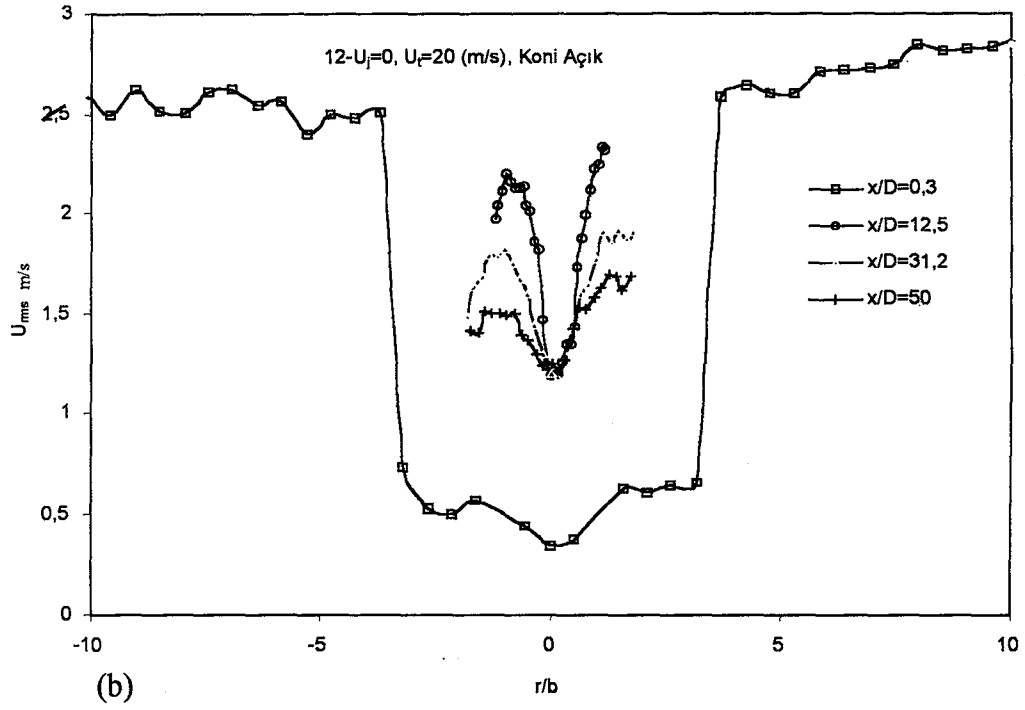


(c)

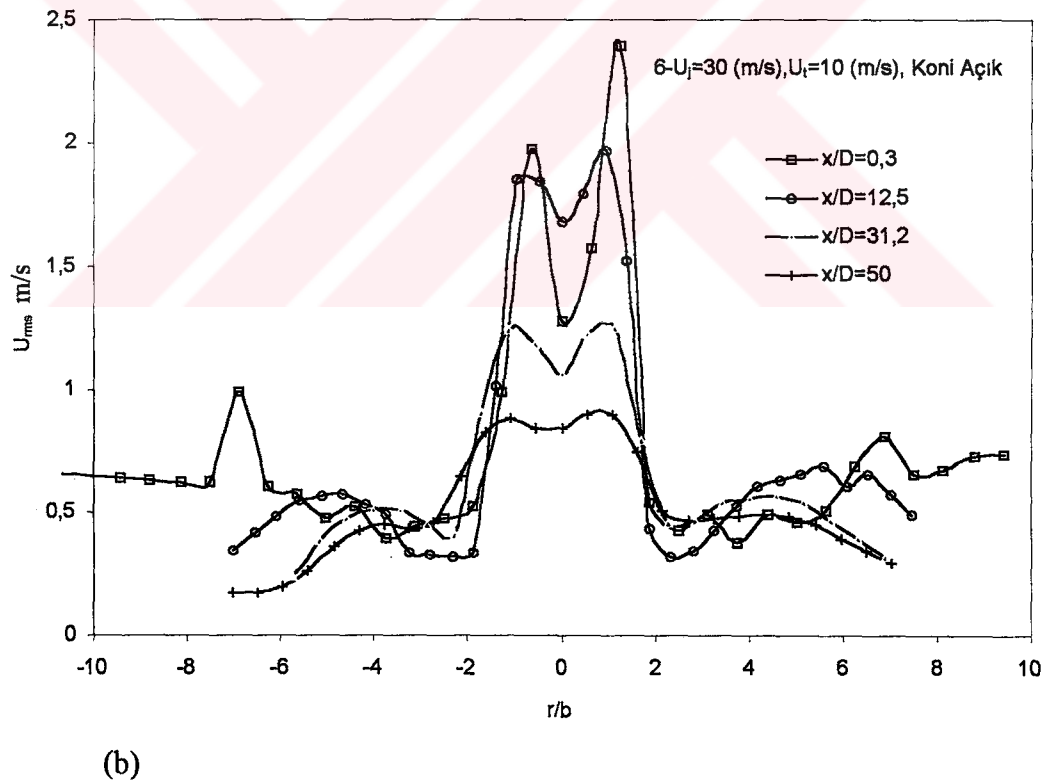
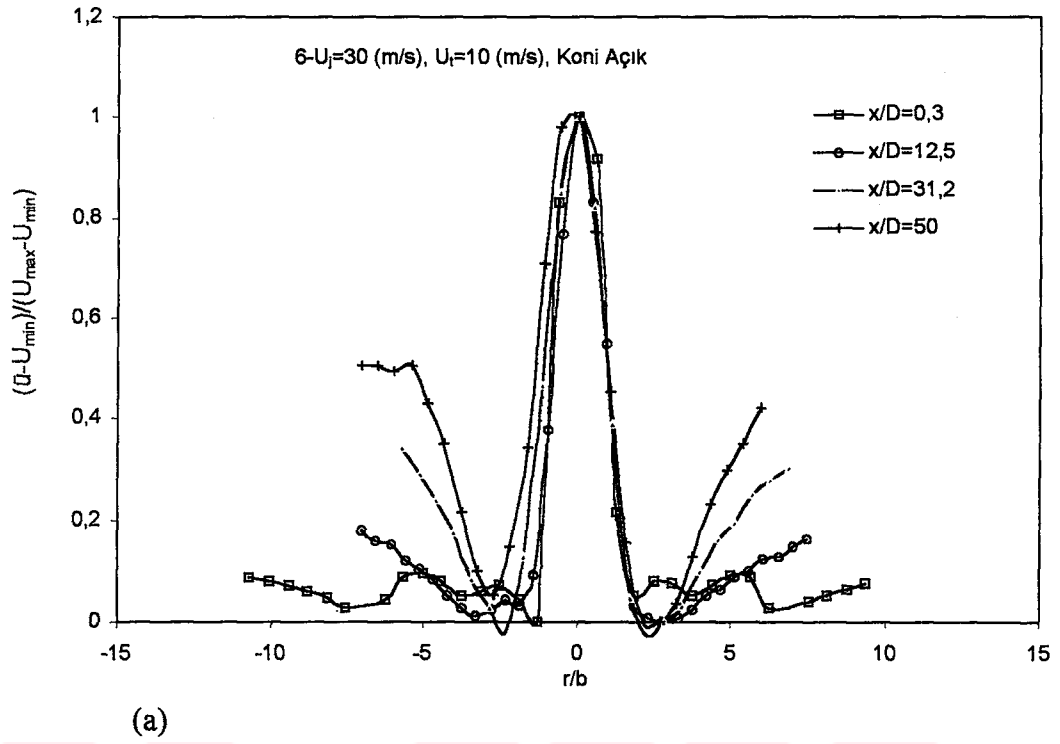
Şekil B. 7 12° konik ilavenin açık olduğu, jet akışının olmadığı ve tünel hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki iz akış ölçümleri; (a) Boyutsuz hız dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Ortalama hız dağılımı

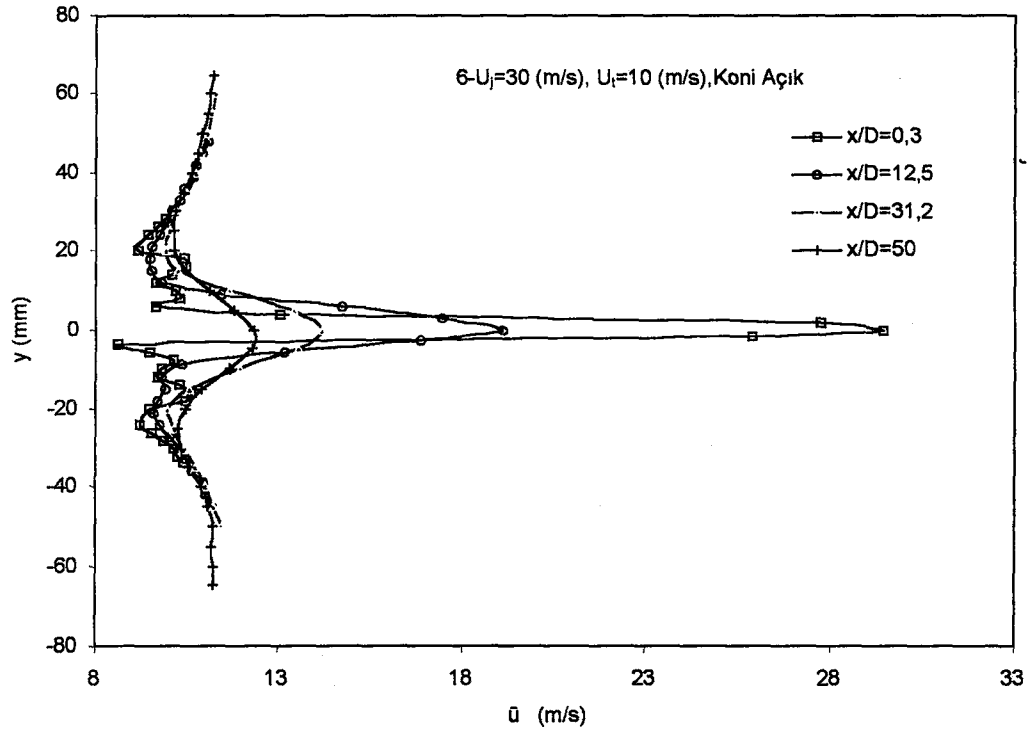


(a)



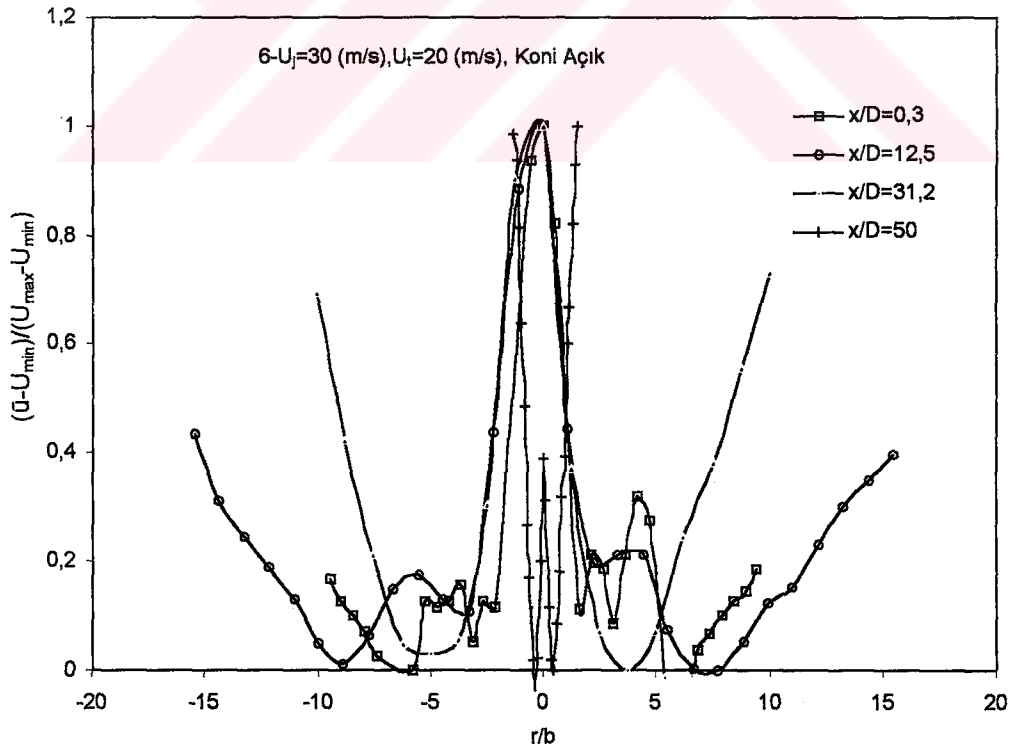
Şekil B. 8 12° konik ilavenin açık olduğu, jet akışının olmadığı ve tünel hızının 20 (m/s) olduğu durumdaki iz akış ölçümleri; (a) Boyutsuz hız dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Ortalama hız dağılımı



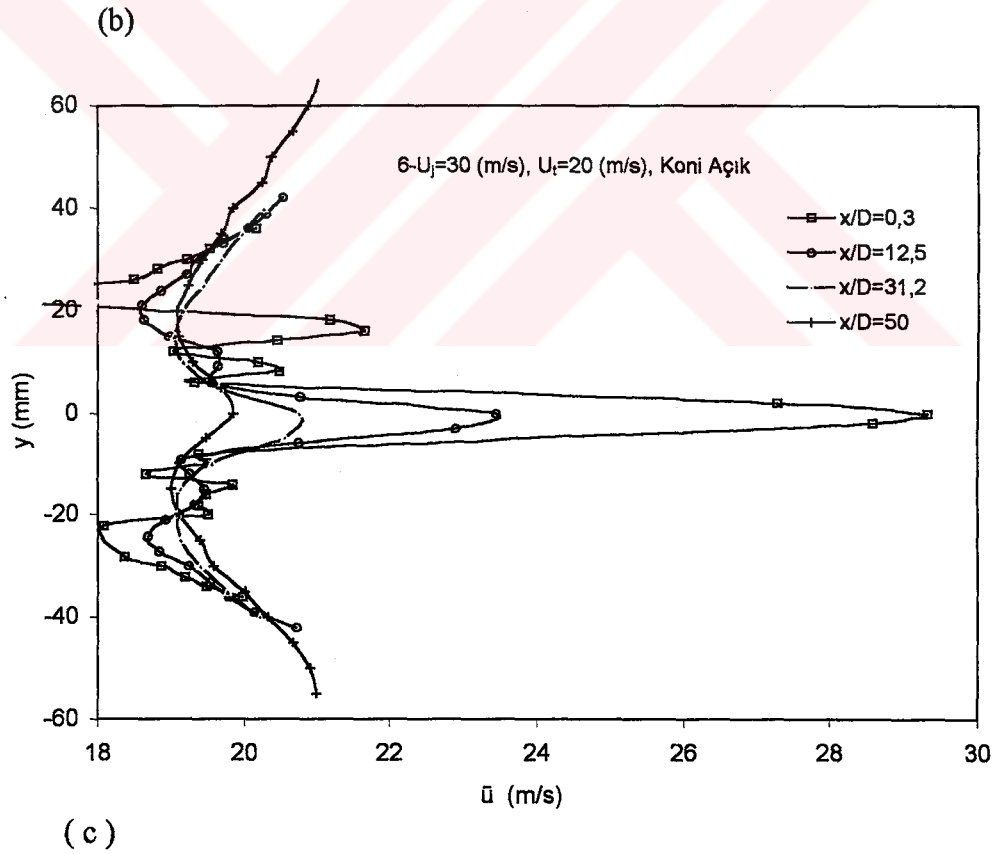
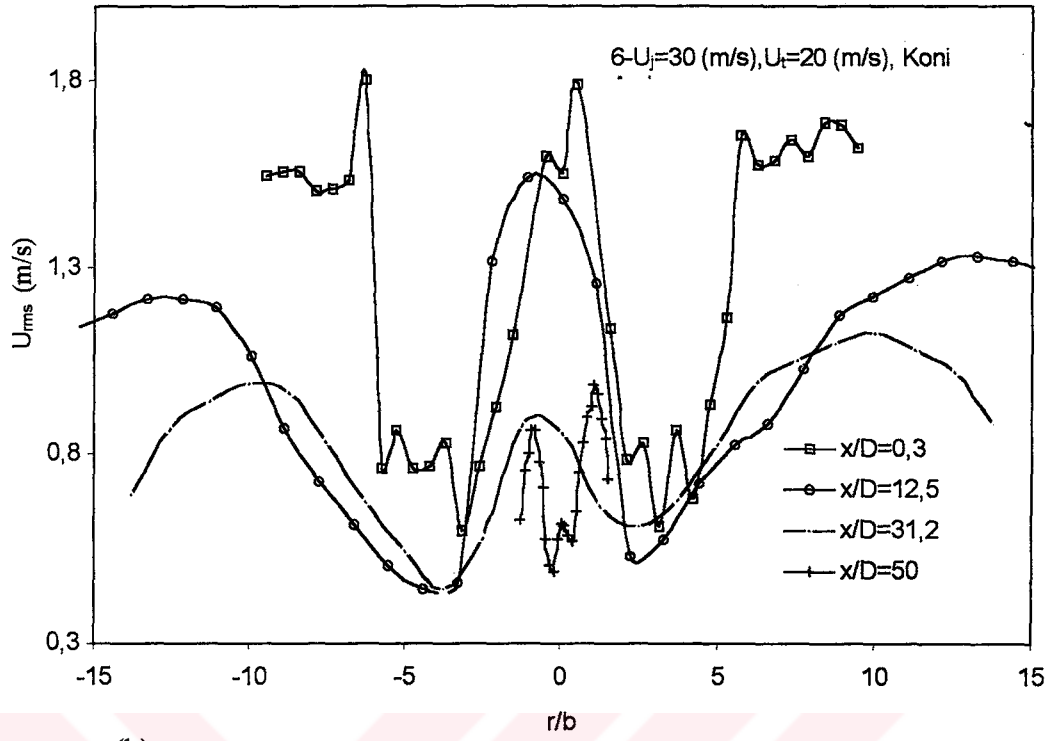


(c)

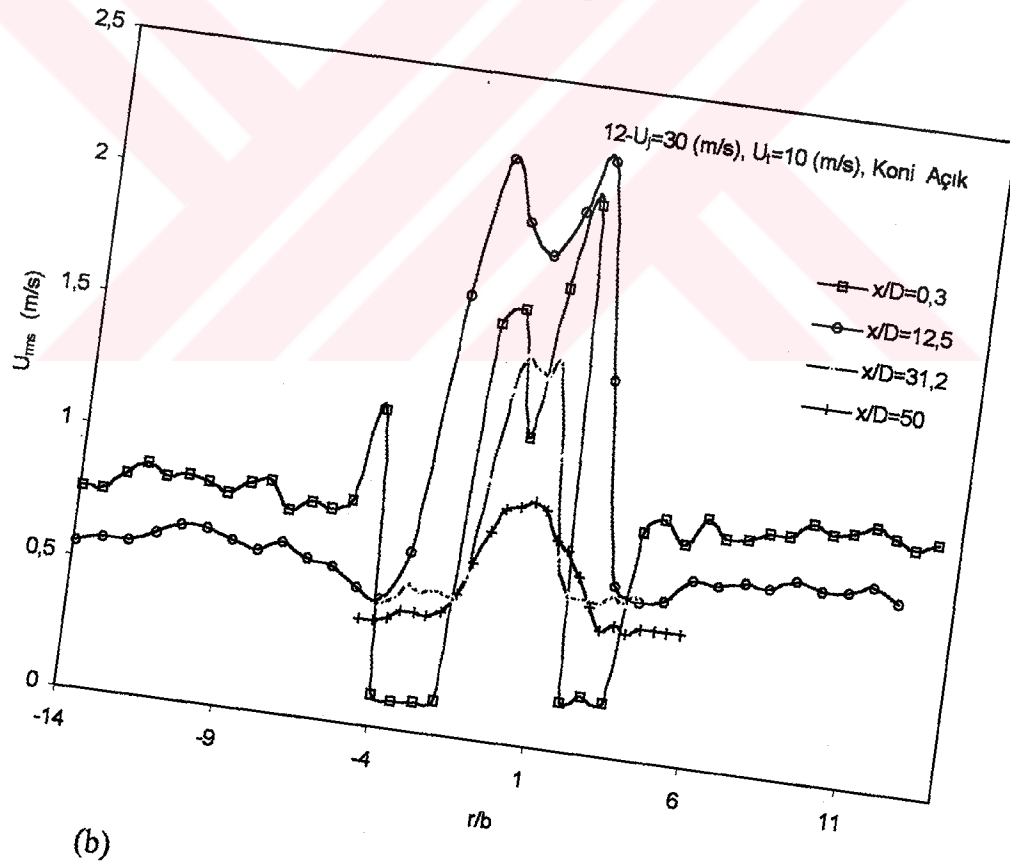
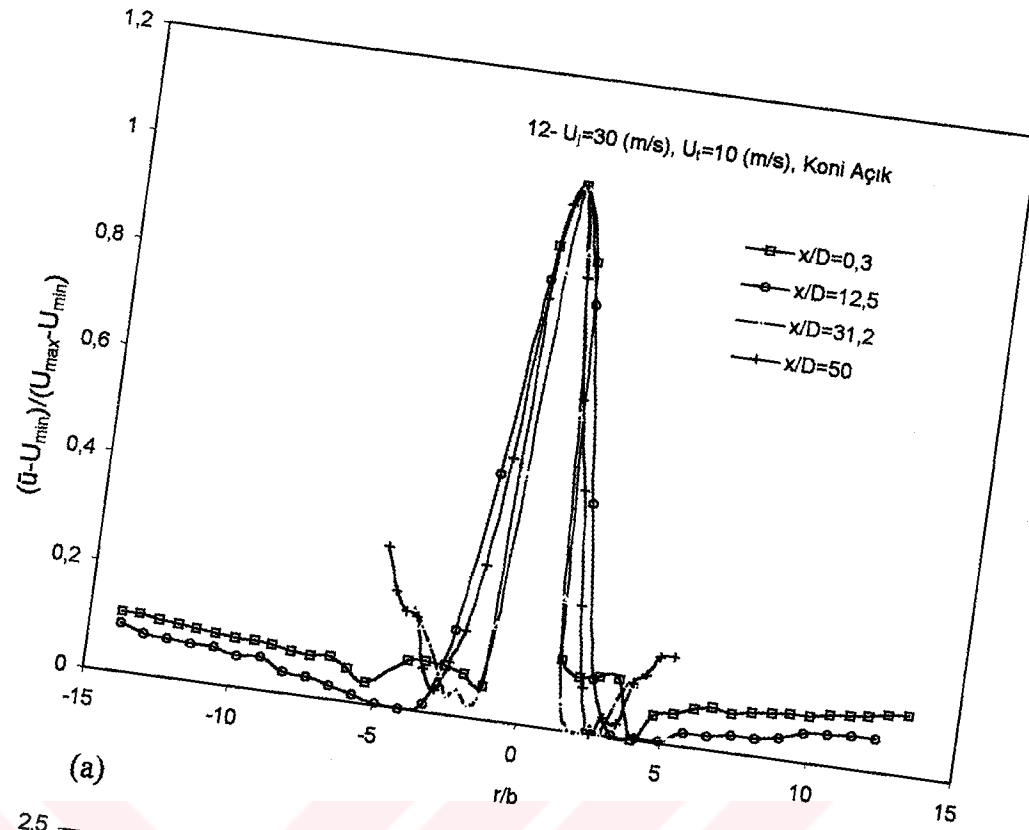
Şekil B. 9 6° konik ilavenin ve jet akışının açık olduğu, tünel hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki jet akış ölçümleri; (a) Boyutsuz hız dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Ortalama hız dağılımı

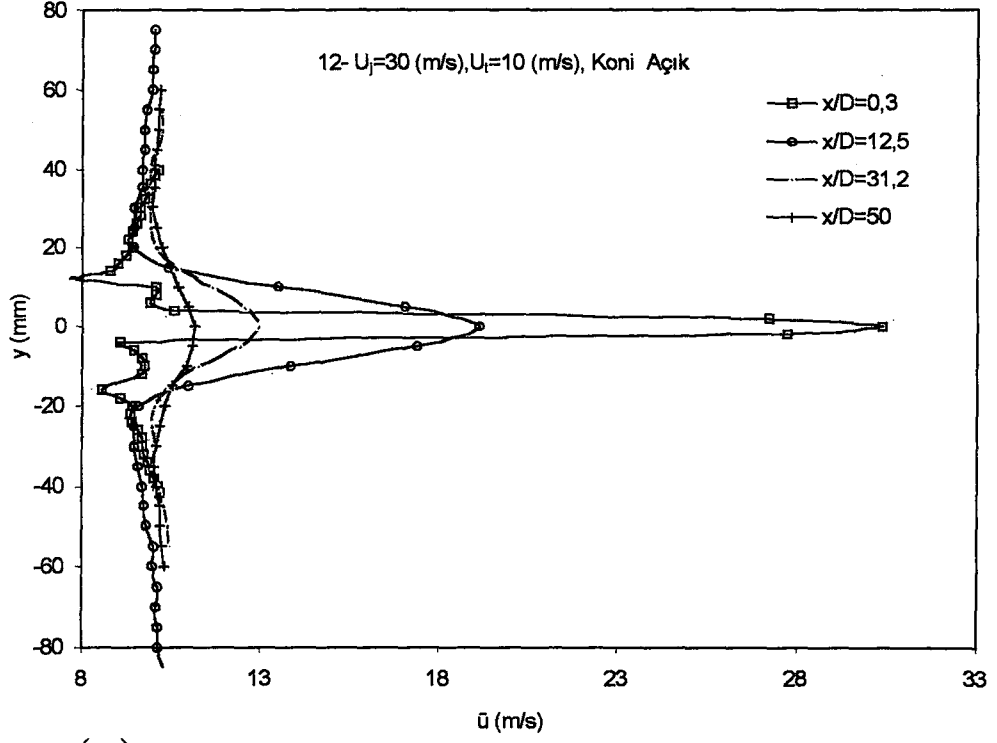


(a)



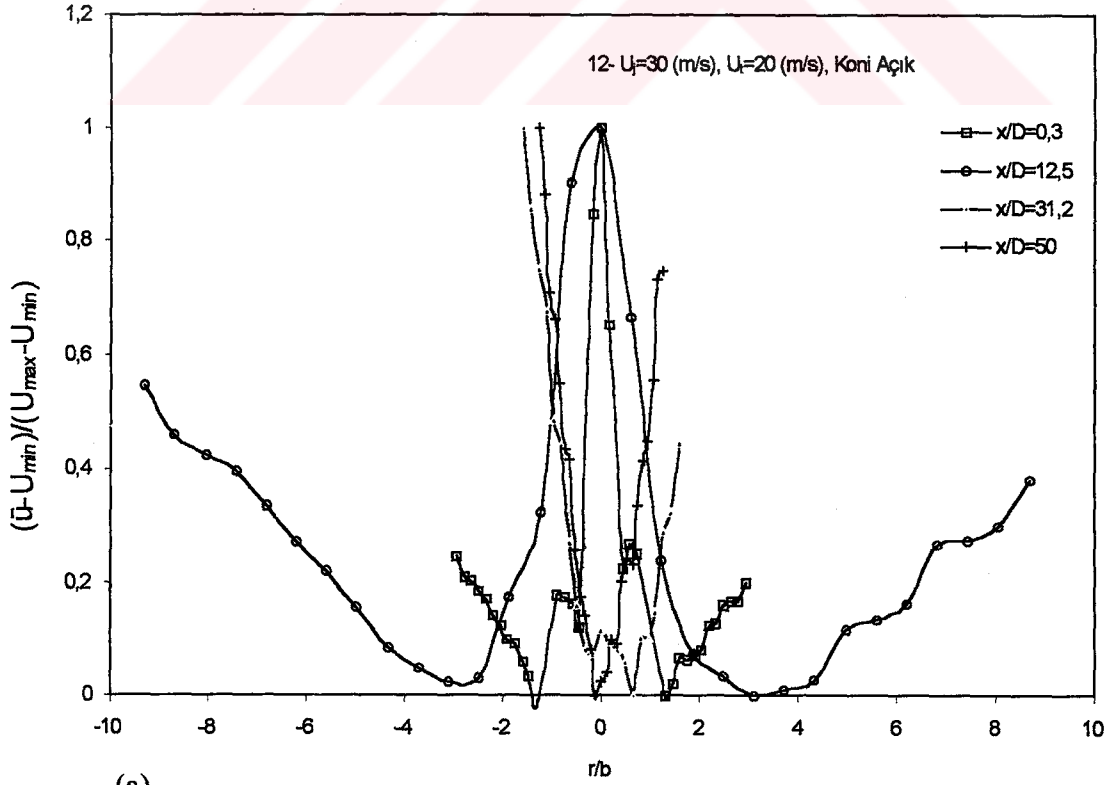
Şekil B. 10 6° konik ilavenin ve jet akışının açık olduğu, tünel hızının 20 (m/s) olduğu durumdaki jet akış ölçümleri; (a) Boyutsuz hız dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Ortalama hız dağılımı



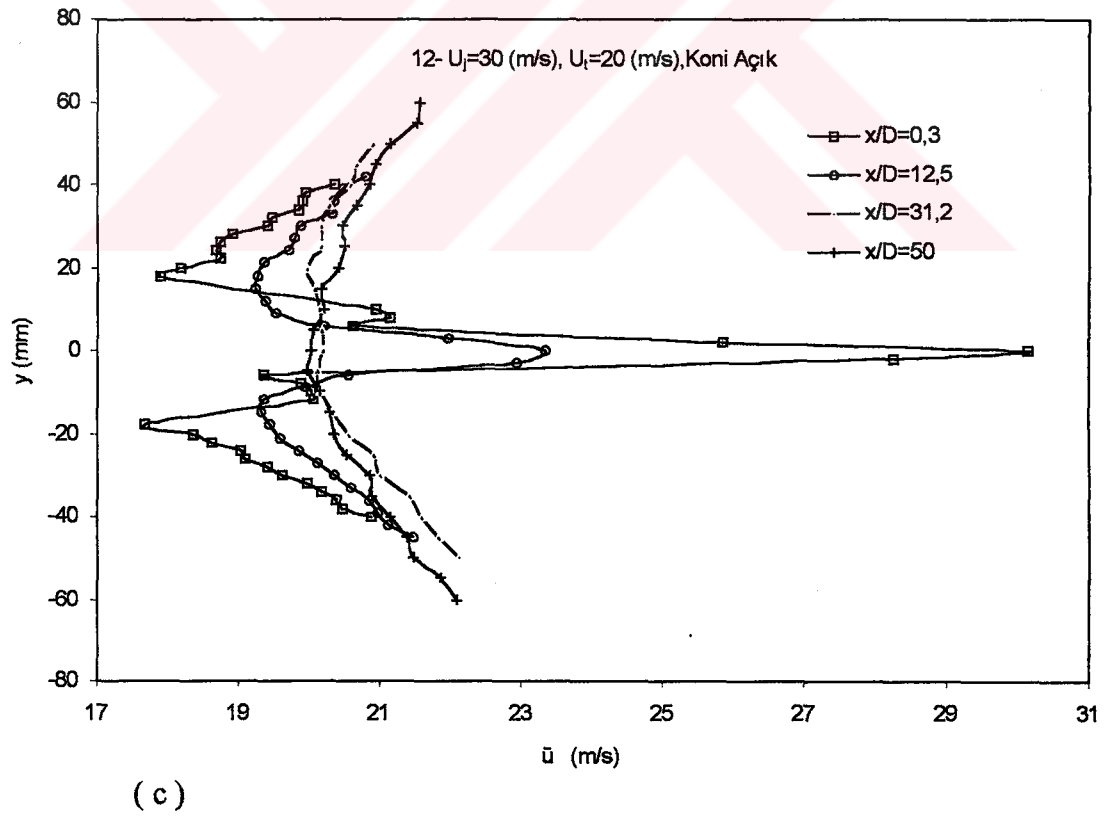
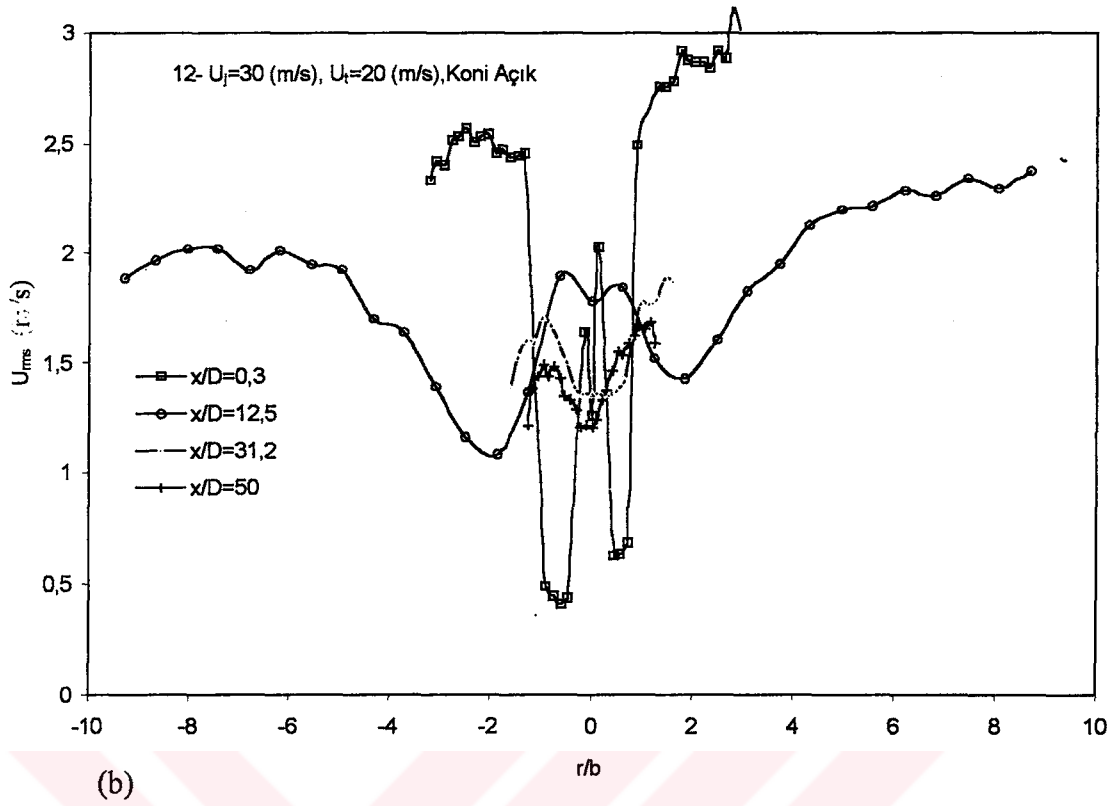


(c)

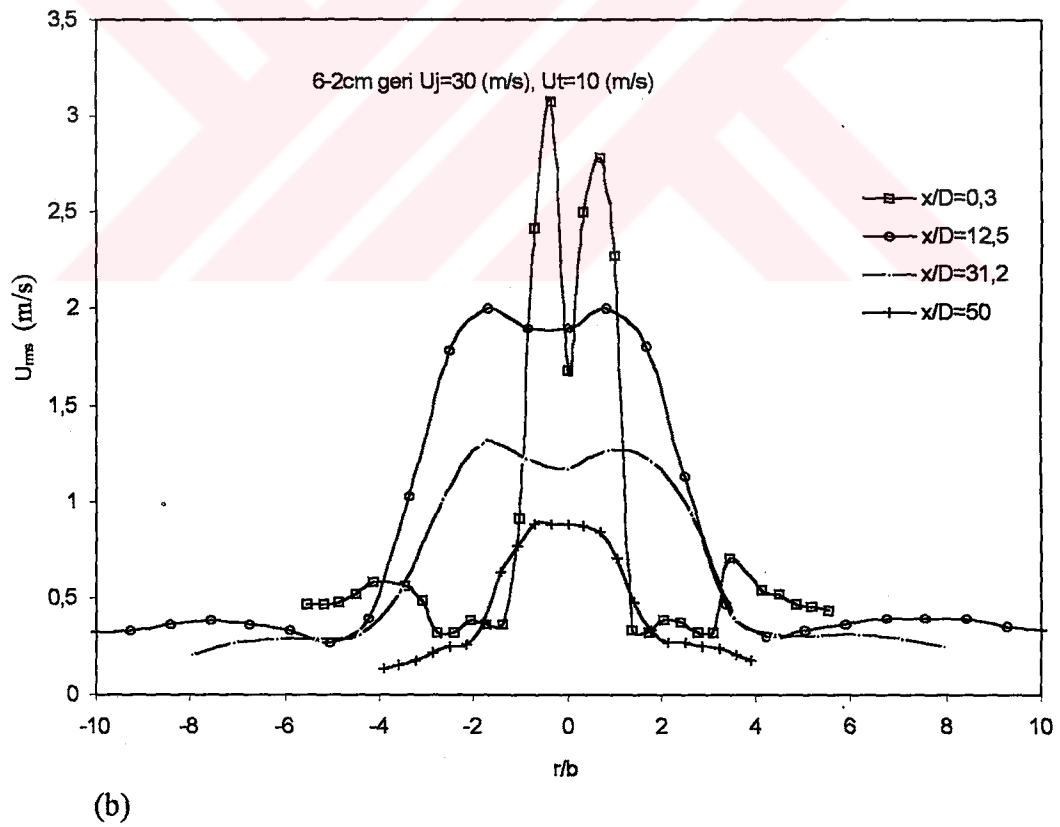
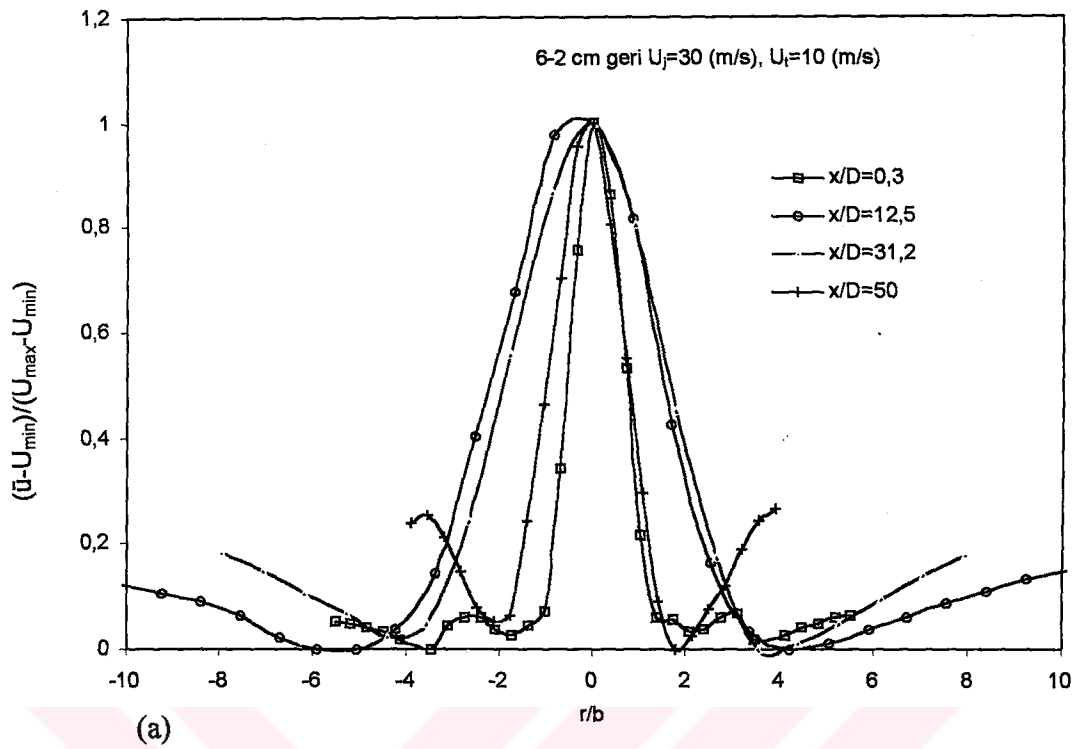
Şekil B. 11 12° konik ilavenin ve jet akışının açık olduğu, tünel hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki jet akış ölçümleri; (a) Boyutsuz hız dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Ortalama hız dağılımı

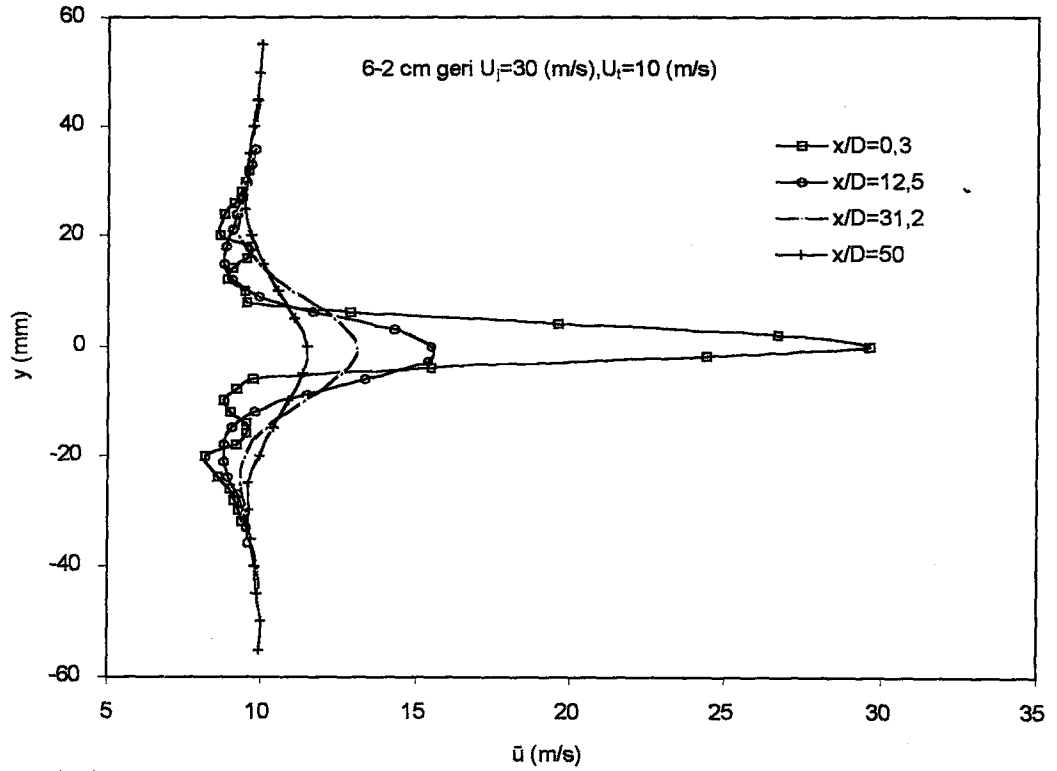


(a)



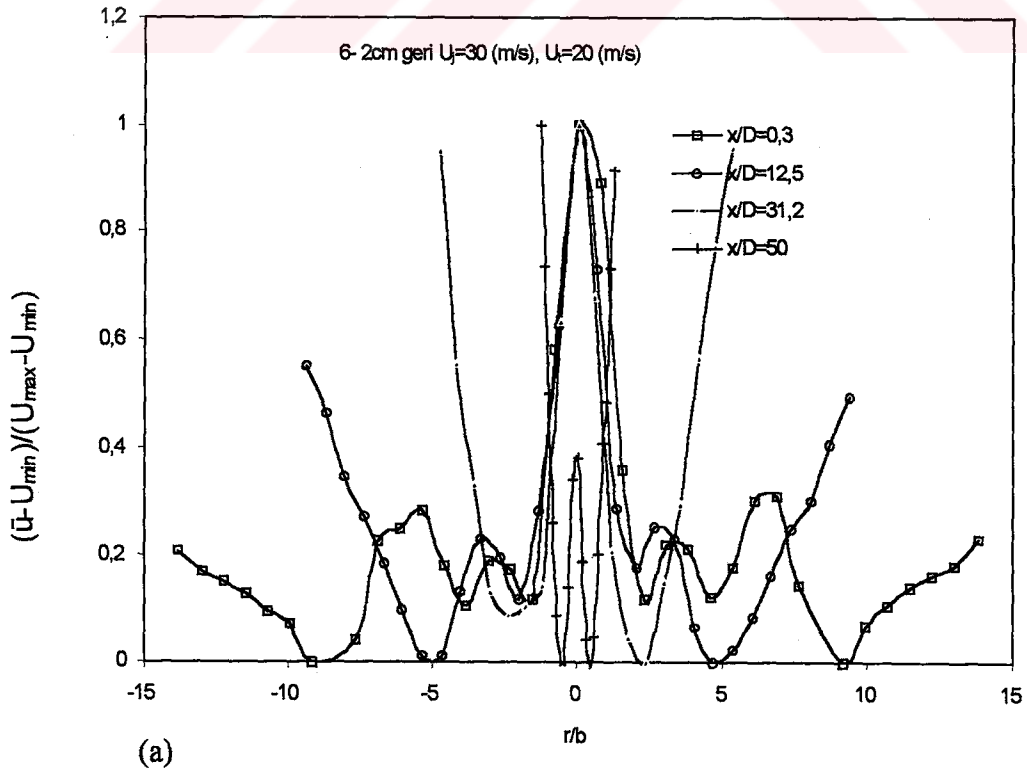
Şekil B. 12 12° konik ilavenin ve jet akışının açık olduğu, tünel hızının 20 (m/s) olduğu durumdaki jet akış ölçümleri; (a) Boyutsuz hız dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Ortalama hız dağılımı



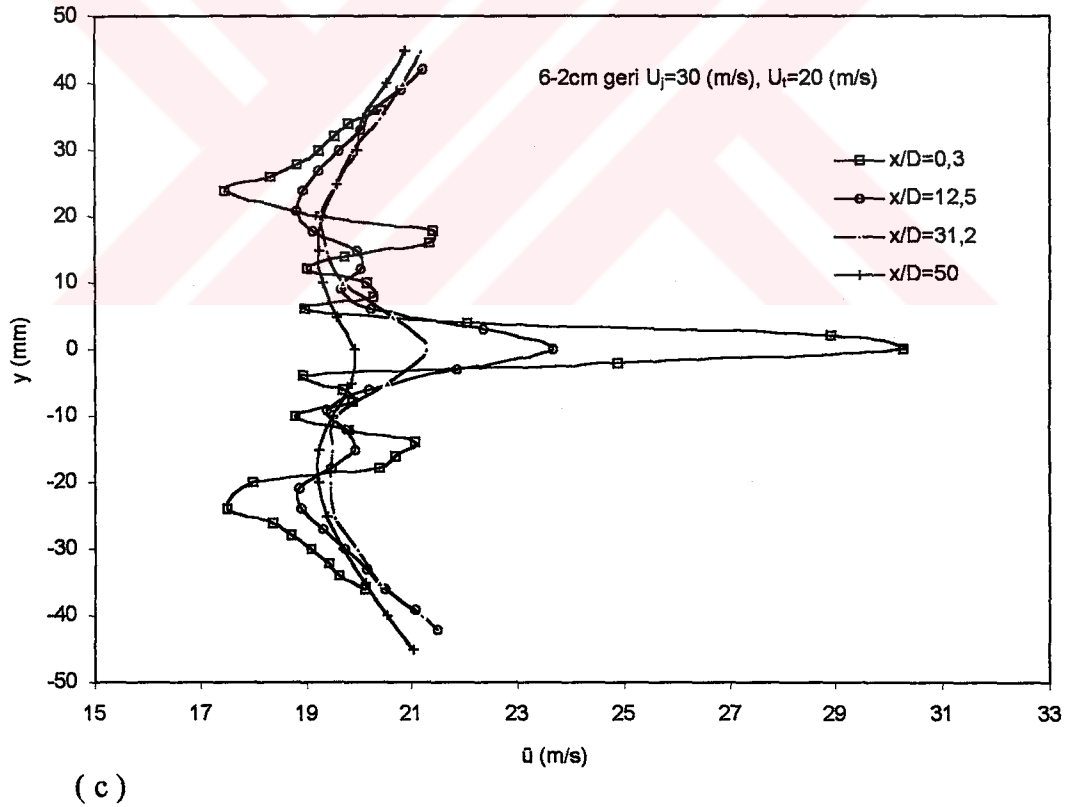
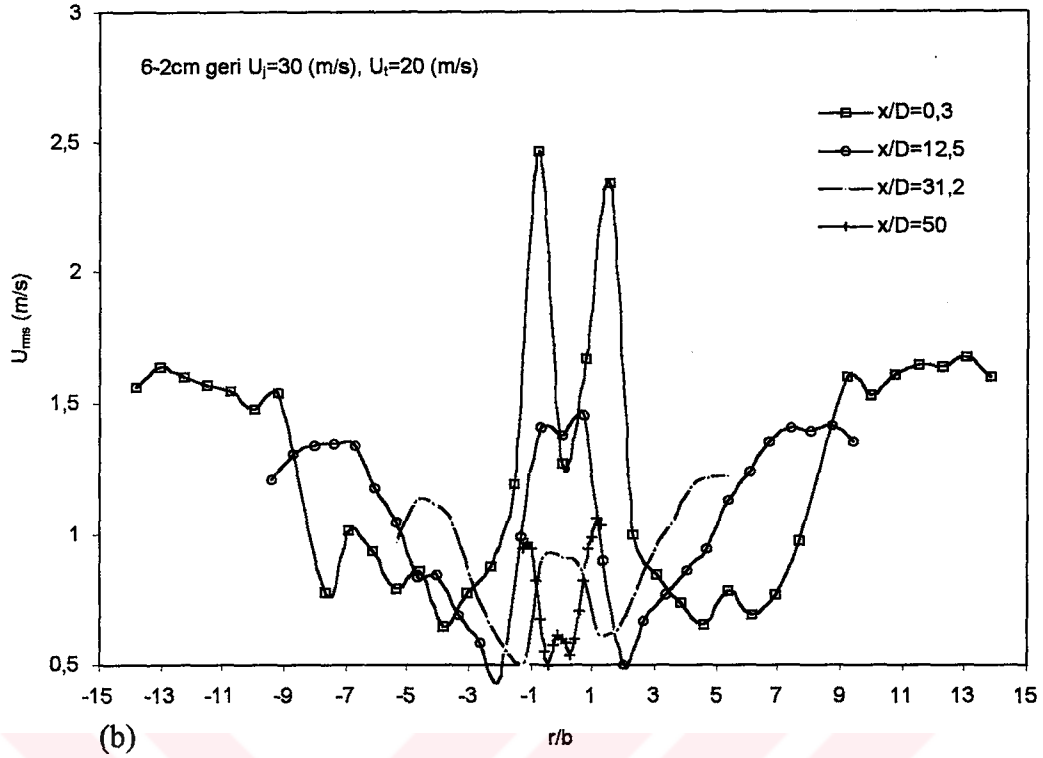


(c)

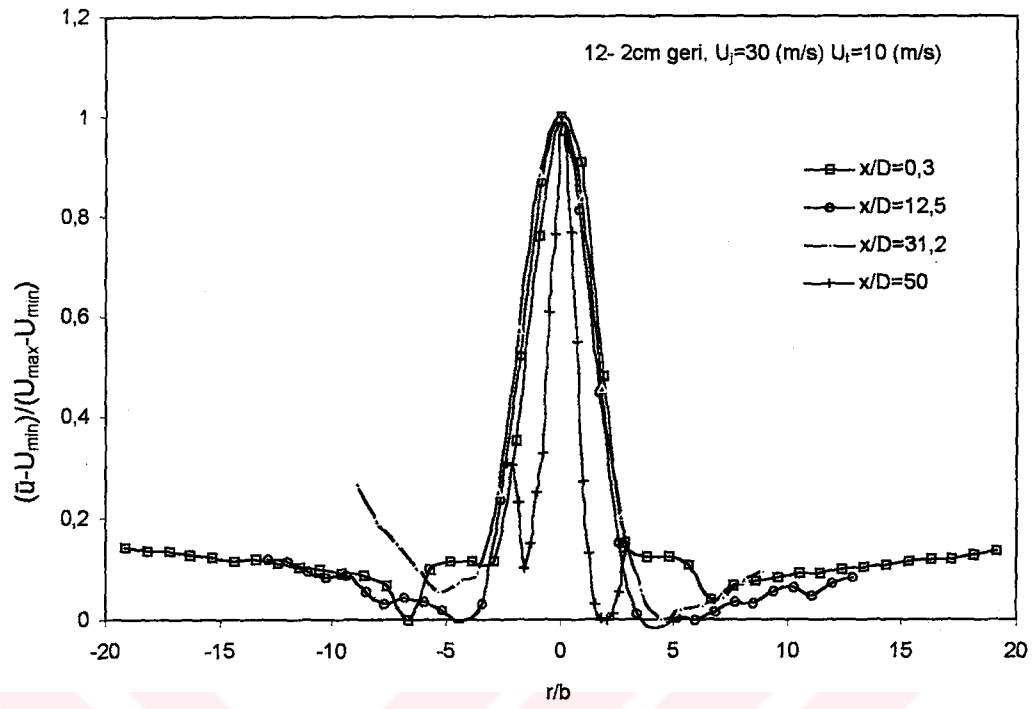
Şekil B. 13 6° konik ilavenin ve jet akışının açık olduğu, konik ilavenin jet çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği vetünel hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki jet akış ölçümleri; (a) Boyutsuz hız dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Ortalama hız dağılımı



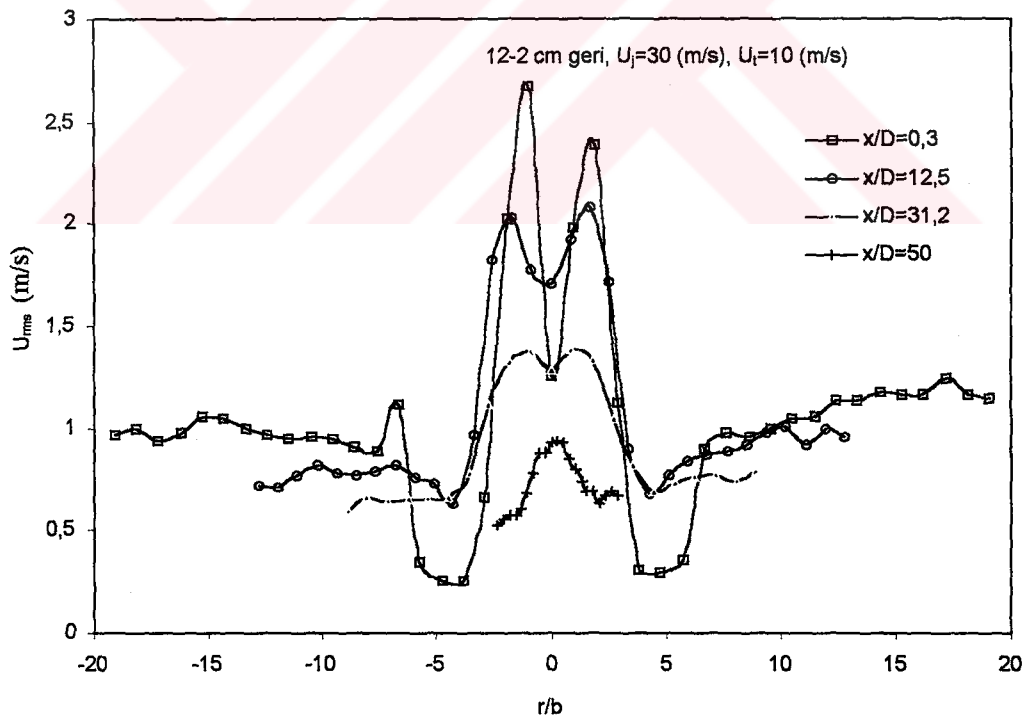
(a)



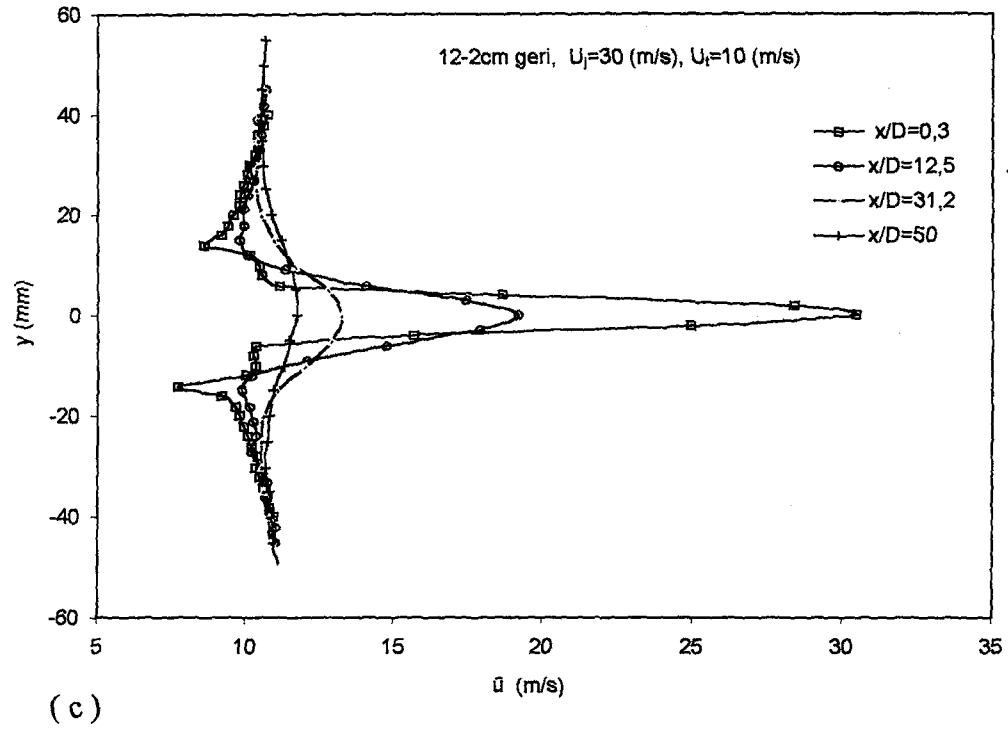
Şekil B. 14 6° konik ilavenin ve jet akışının açık olduğu, konik ilavenin jet çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği ve tünel hızının 20 (m/s) olduğu durumdaki jet akış ölçümleri; (a) Boyutsuz hız dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Ortalama hız dağılımı



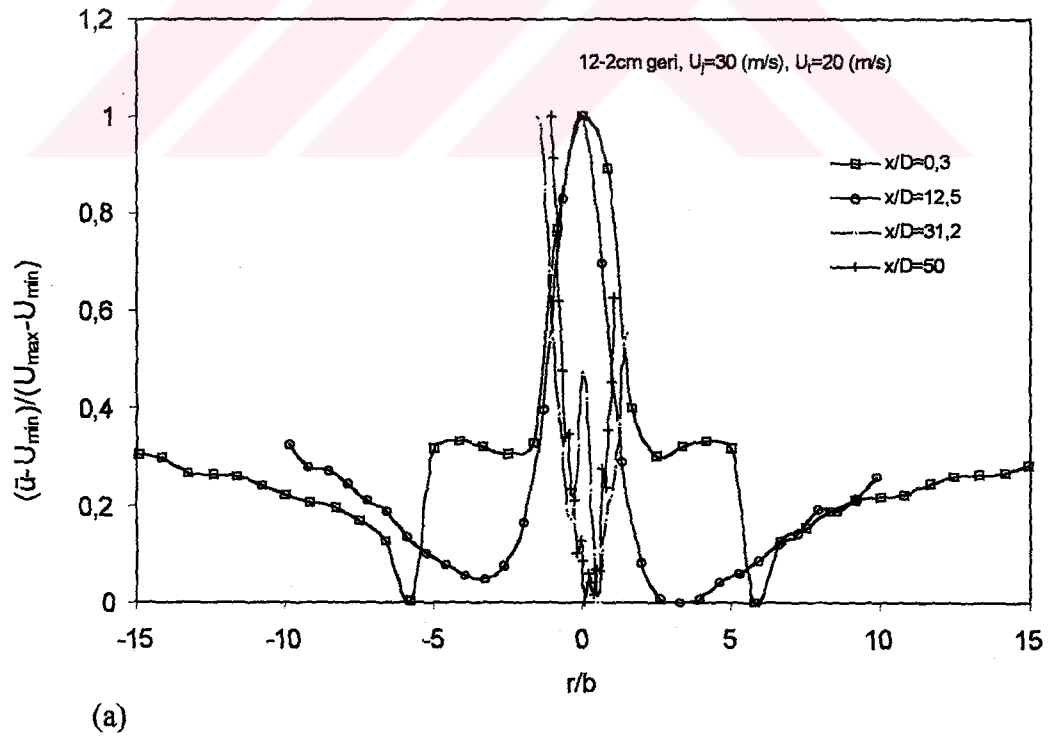
(a)

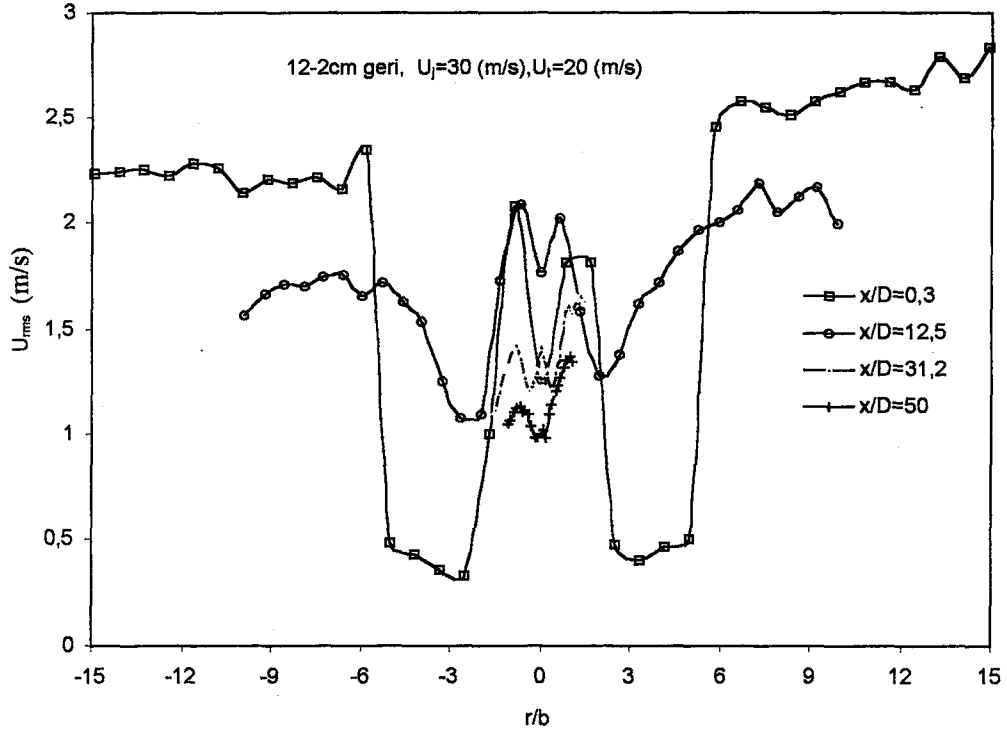


(b)

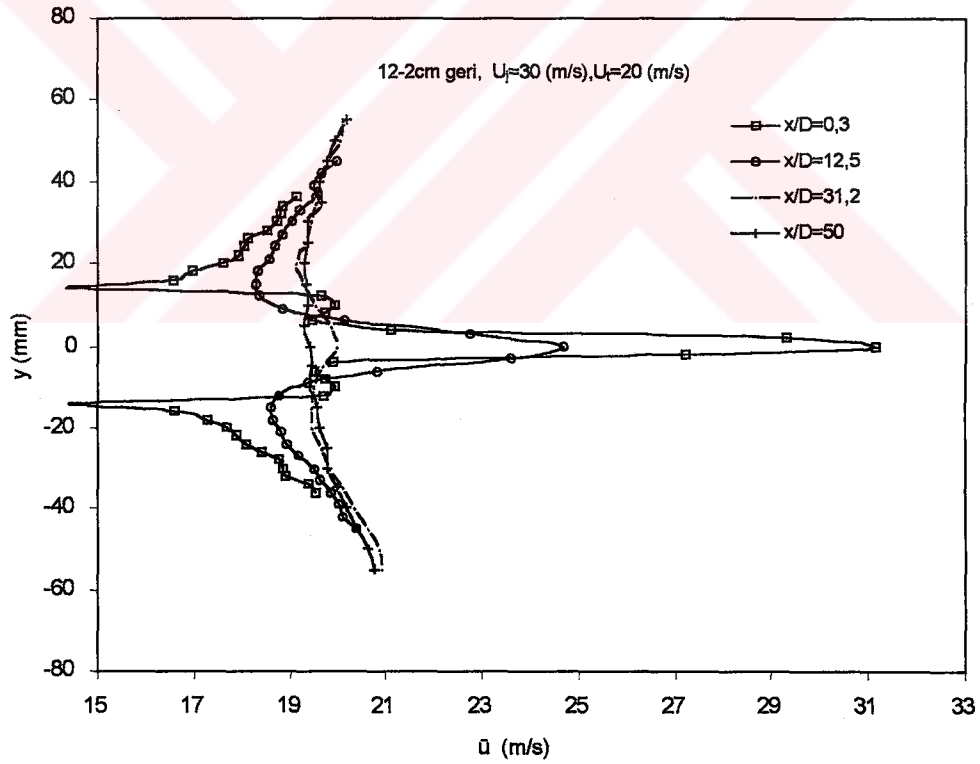


Şekil B. 15 12° konik ilavenin ve jet akışının açık olduğu, konik ilavenin jet çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği ve tünel hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki jet akış ölçümleri; (a) Boyutsuz hız dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Ortalama hız dağılımı





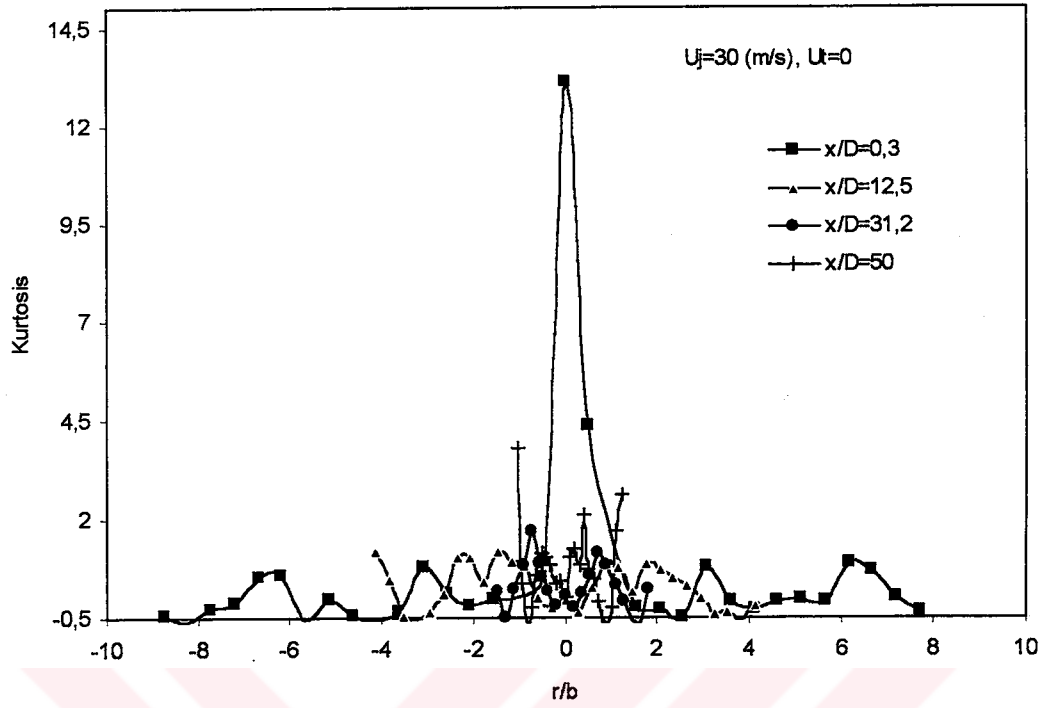
(b)



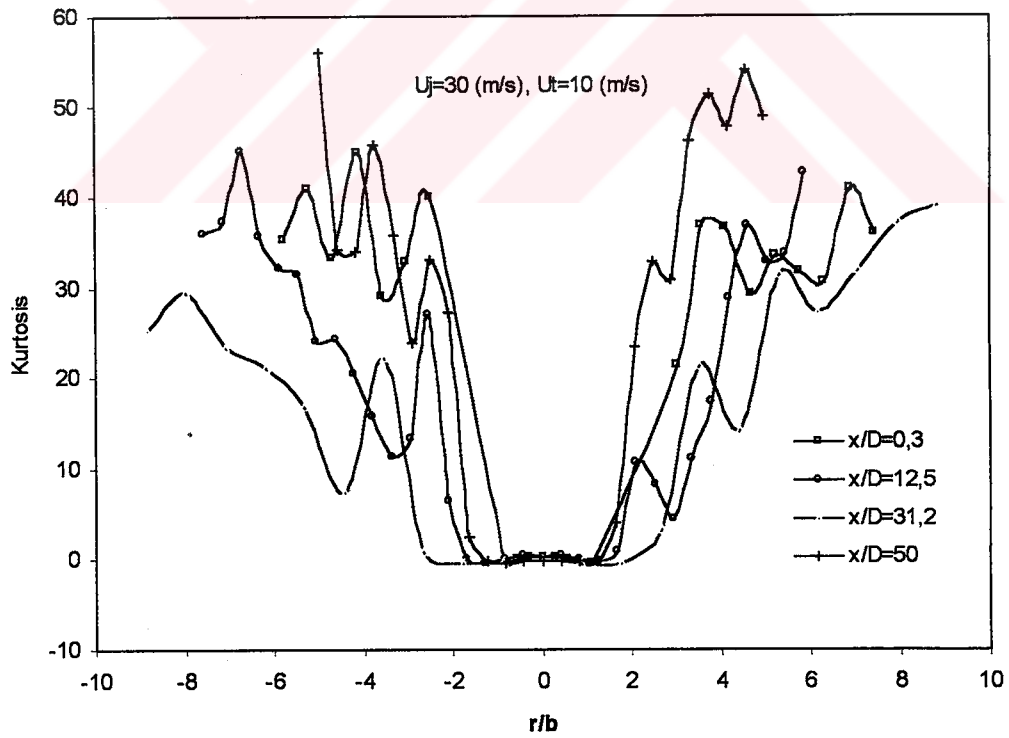
(c)

Şekil B. 16 12° konik ilavenin ve jet akışının açık olduğu, konik ilavenin jet çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği ve tünel hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki jet akış ölçümleri; (a) Boyutsuz hız dağılımı, (b) U_{rms} dağılımı, (c) Ortalama hız dağılımı

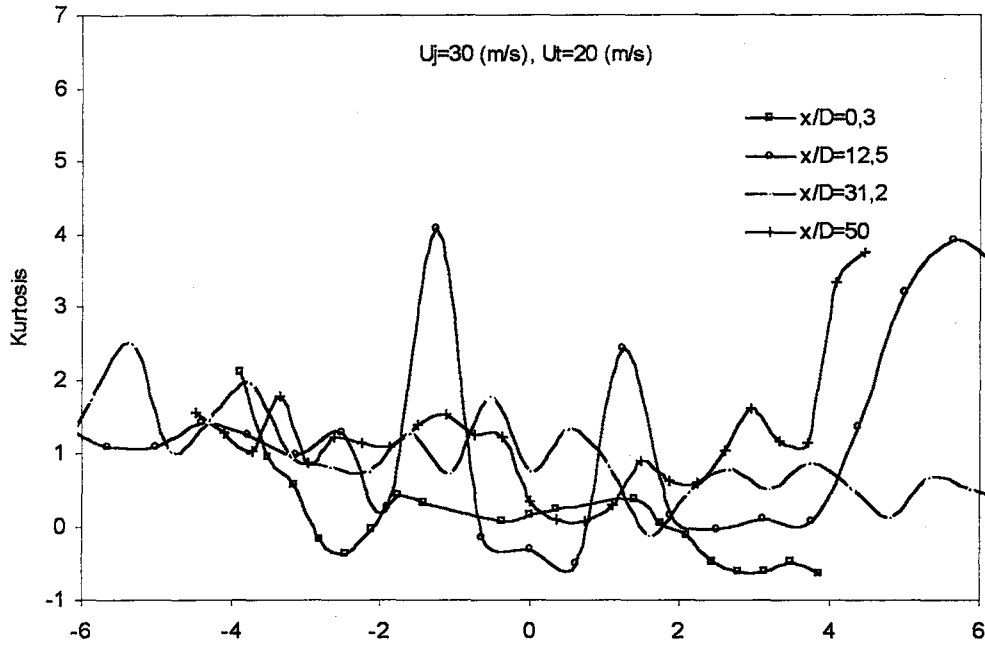
Ek-C Deneysel Ölçümlerin 4. Moment Dağılımları



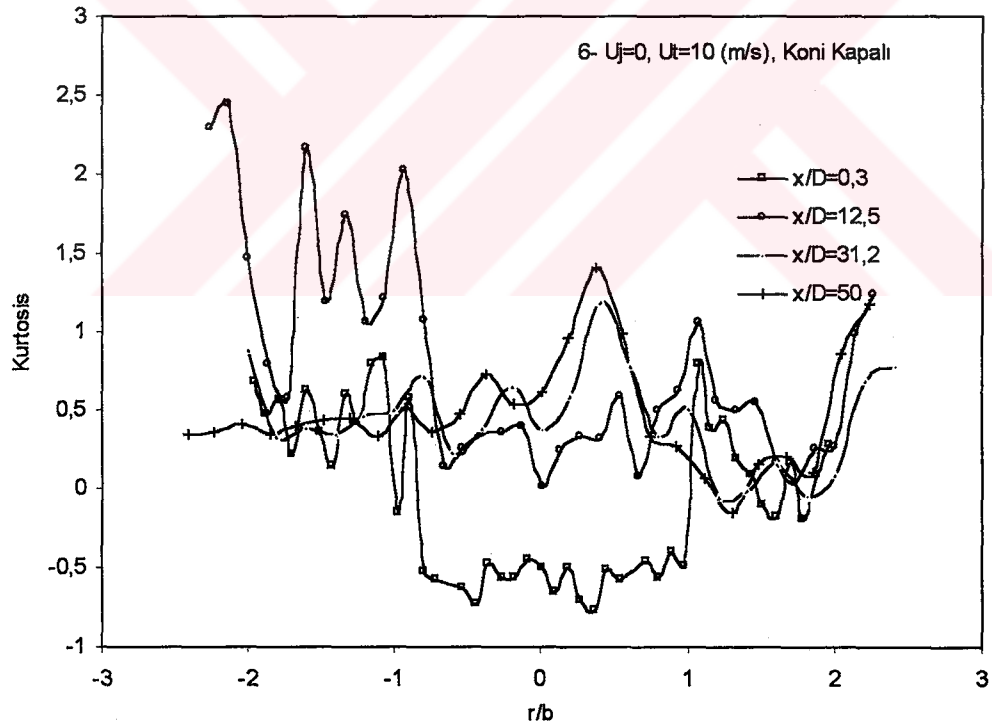
Şekil C. 1 Tünel akışının olmadığı dairesel jet akışının 4. moment dağılımları



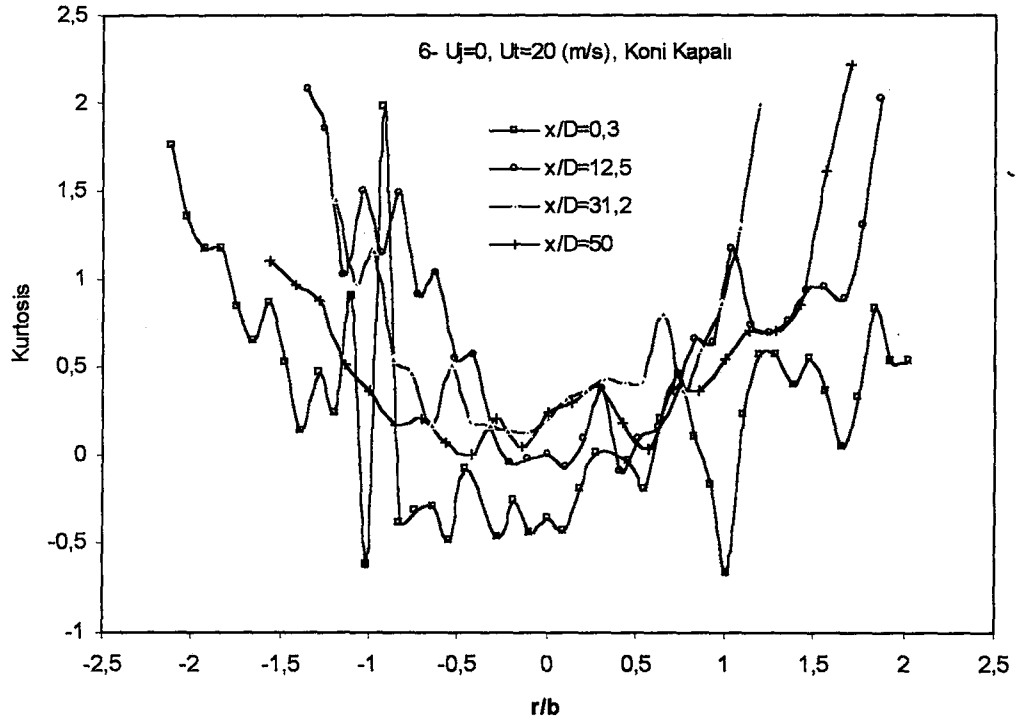
Şekil C. 2 Tünel akışı hızının 10 (m/s) olduğu durumdaki dairesel jet akışının 4. moment dağılımları



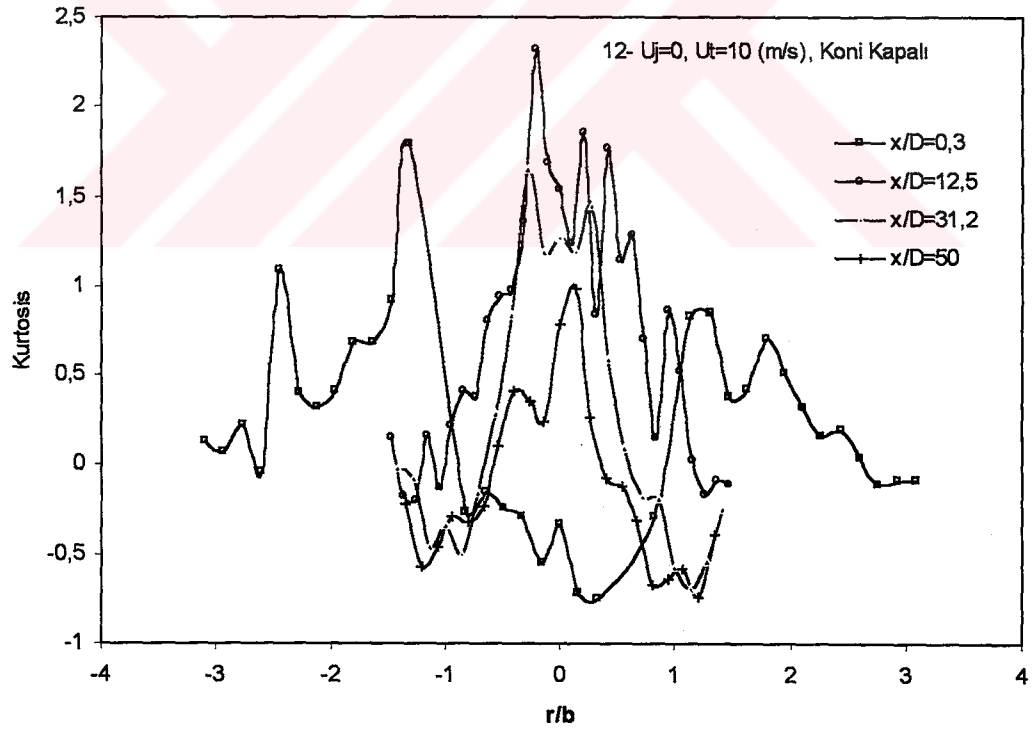
Şekil C. 3 Tünel akışı hızının 20 (m/s) olduğu durumdaki dairesel jet akışının 4. moment dağılımları



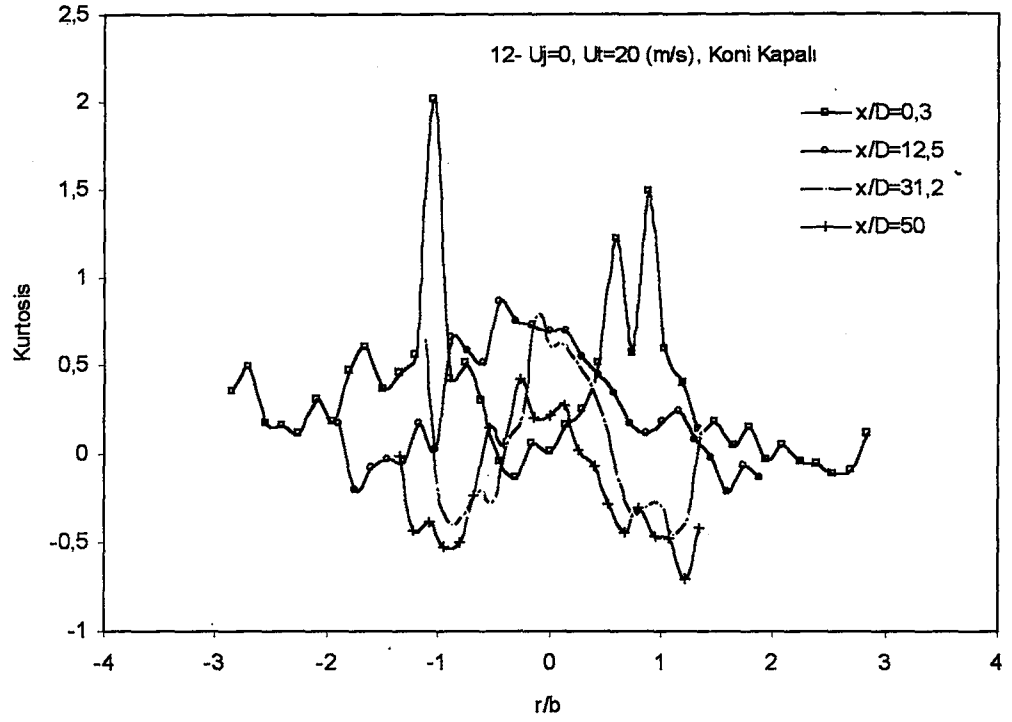
Şekil C. 4 Tünel akışı hızının 10 (m/s) olduğu, jet akışının olmadığı ve 6° konik ilavenin kapalı olduğu durumdaki iz akışının moment dağılımları



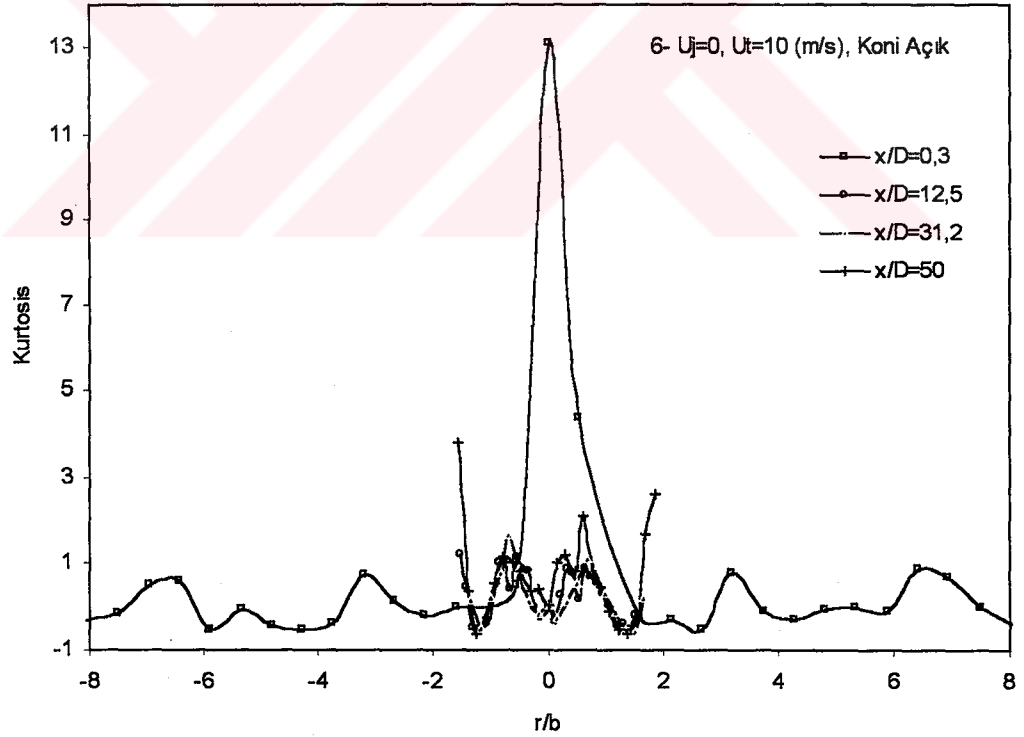
Şekil C. 5 Tünel akışı hızının 20 (m/s) olduğu, jet akışının olmadığı ve 6° konik ilavenin kapalı olduğu durumdaki iz akışının 4. moment dağılımları



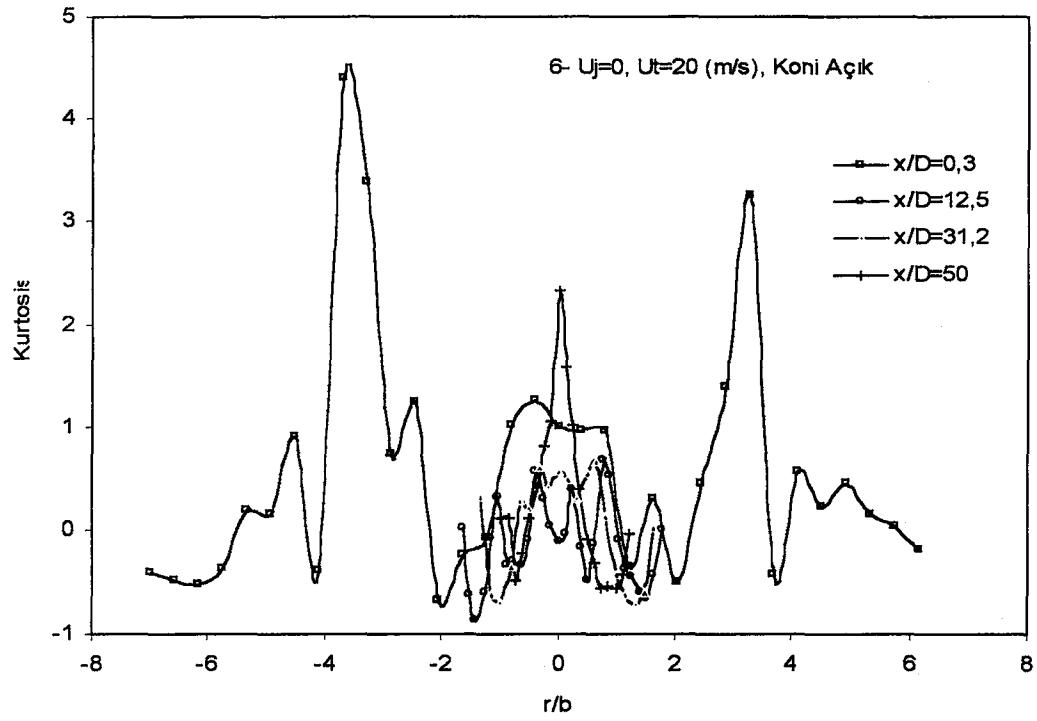
Şekil C. 6 Tünel akışı hızının 10 (m/s) olduğu, jet akışının olmadığı ve 12° konik ilavenin kapalı olduğu durumdaki iz akışının 4. moment dağılımları



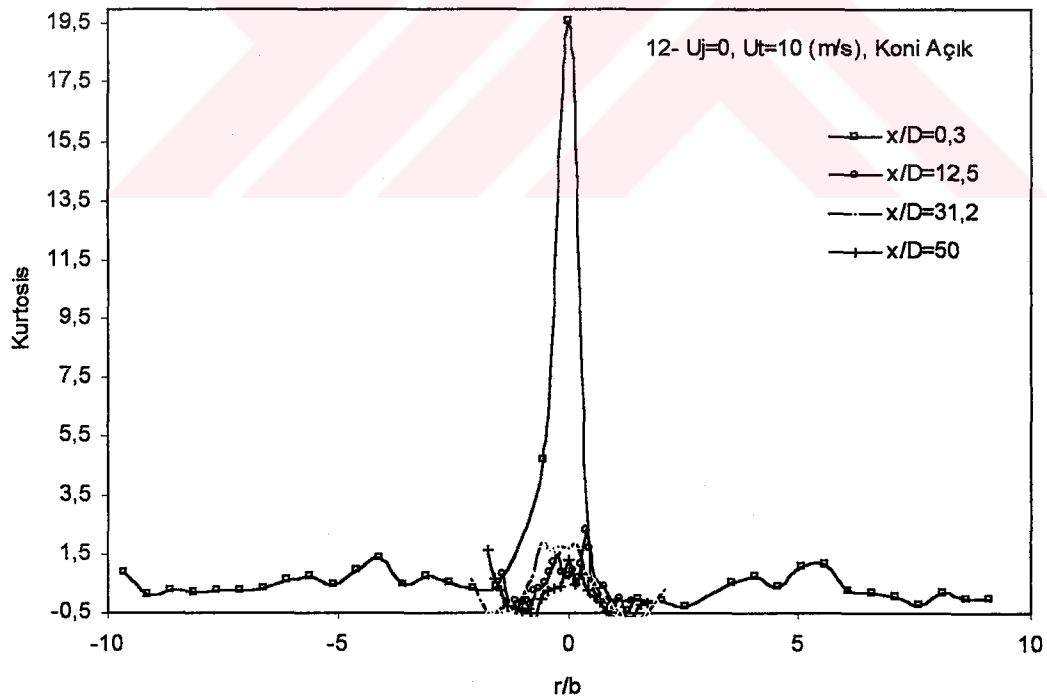
Şekil C. 7 Tünel akışı hızının 20 (m/s) olduğu, jet akışının olmadığı ve 12° konik ilavenin kapalı olduğu durumdaki iz akışının 4. moment dağılımları



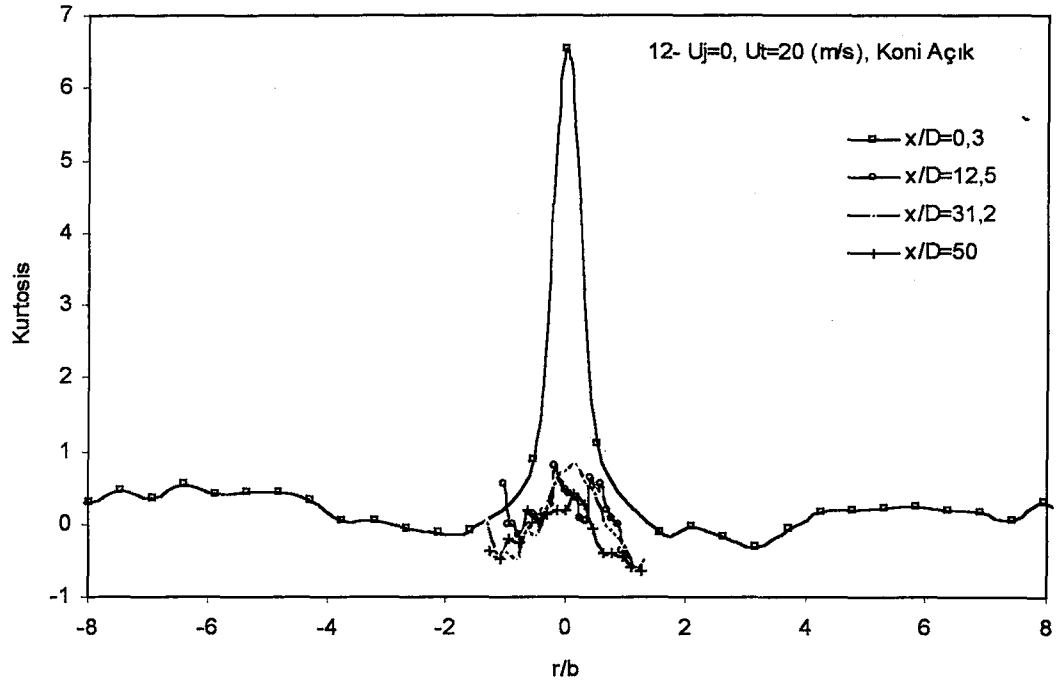
Şekil C. 8 Tünel akışı hızının 10 (m/s) olduğu, jet akışının olmadığı ve 6° konik ilavenin açık olduğu durumdaki iz akışının moment dağılımları



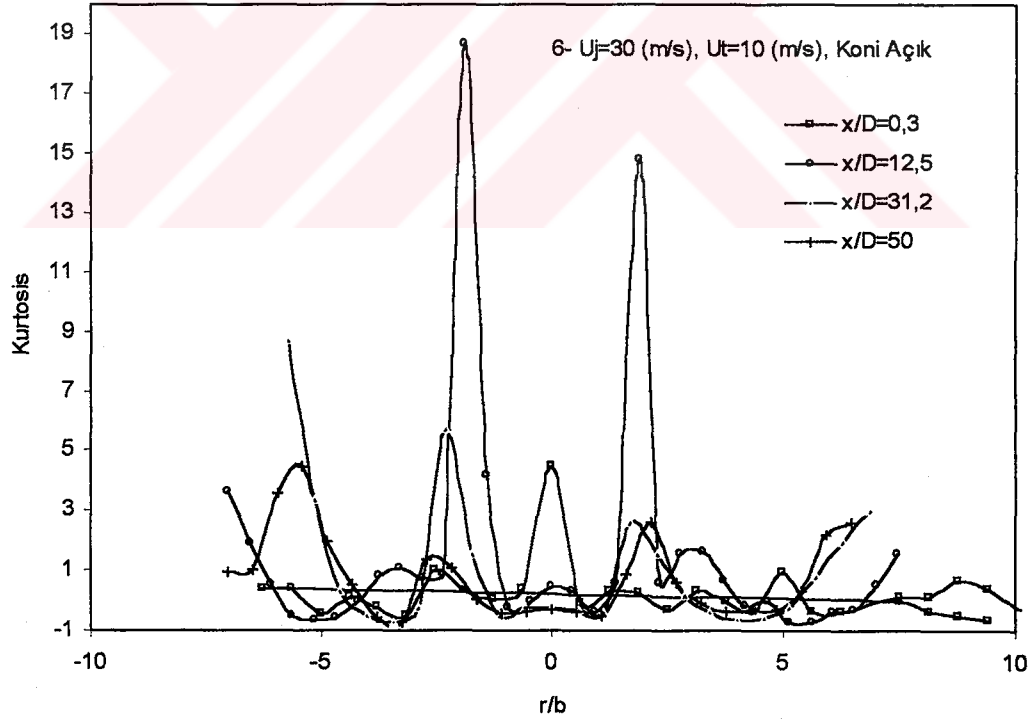
Şekil C. 9 Tünel akışı hızının 20 (m/s) olduğu, jet akışının olmadığı ve 6° konik ilavenin açık olduğu durumdaki iz akışının moment dağılımları



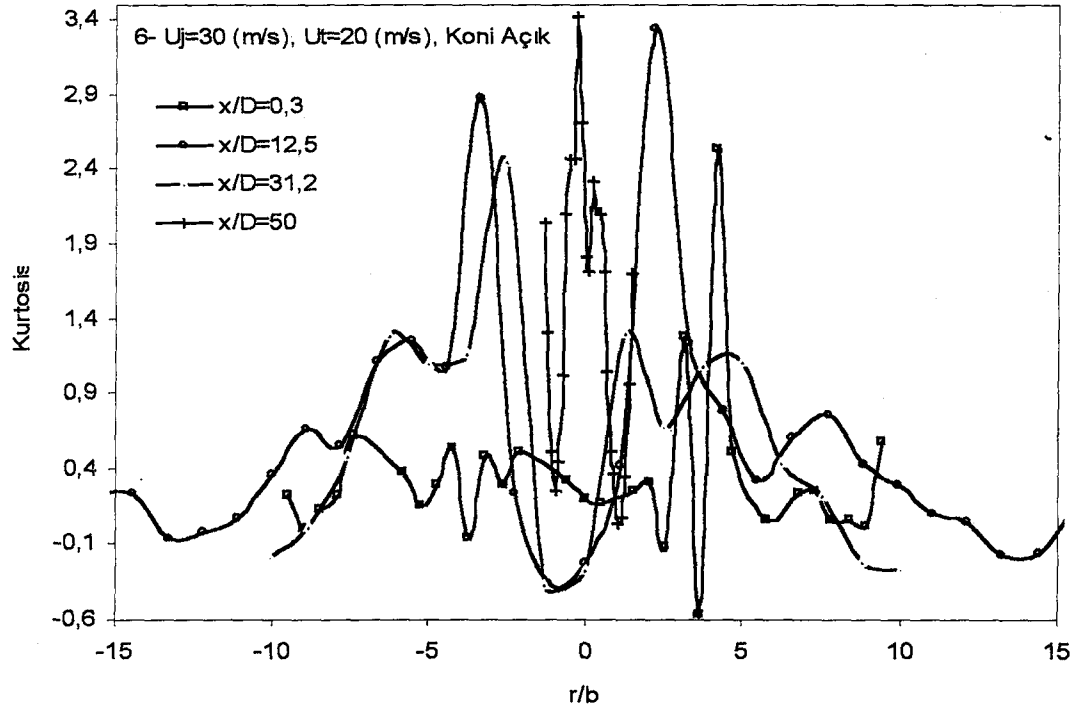
Şekil C. 10 Tünel akışı hızının 10 (m/s) olduğu, jet akışının olmadığı ve 12° konik ilavenin açık olduğu durumdaki iz akışının moment dağılımları



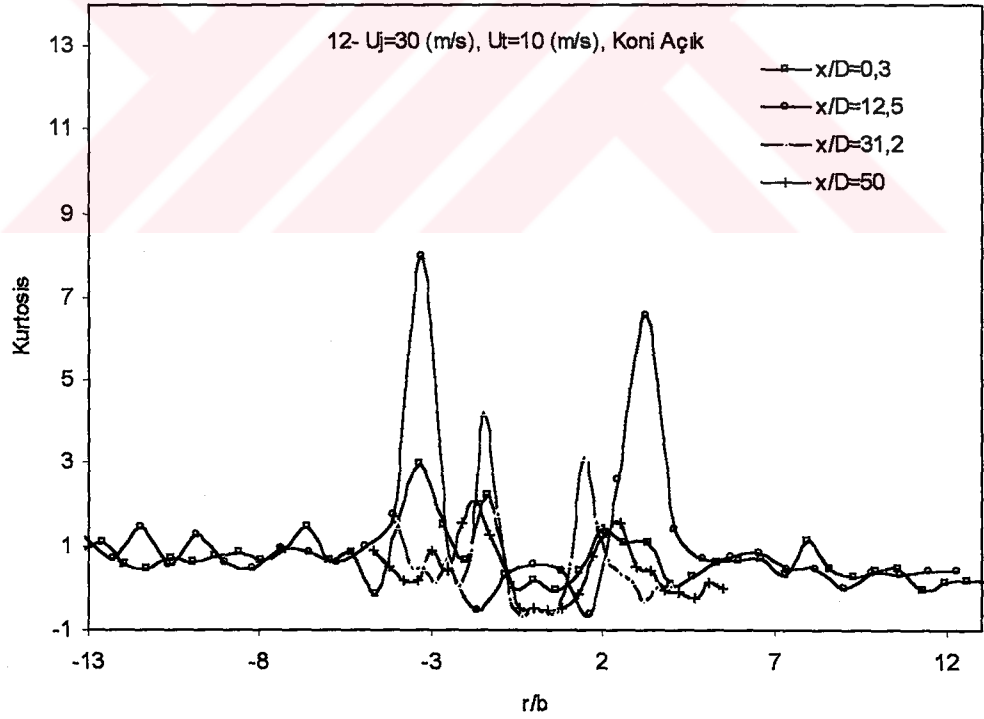
Şekil C. 11 Tünel akışı hızının 20 (m/s) olduğu, jet akışının olmadığı ve 12° konik ilavenin açık olduğu durumdaki iz akışının moment dağılımları



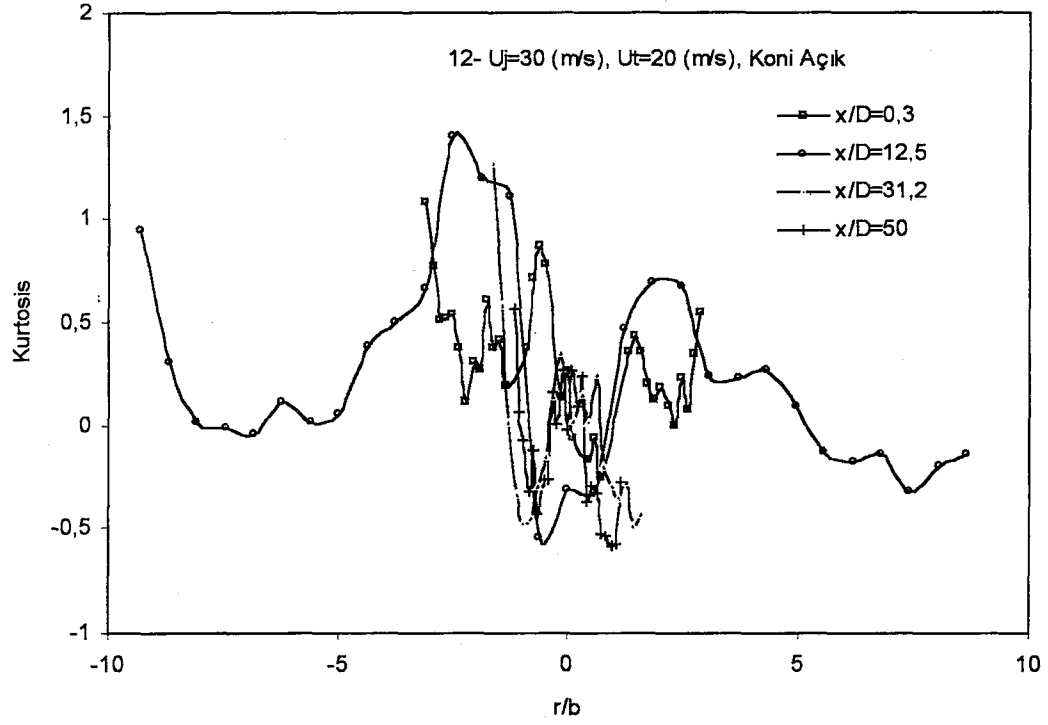
Şekil C. 12 Tünel akışı hızının 10 (m/s) olduğu, jet akışının ve 6° konik ilavenin açık olduğu durumdaki jet akışının 4. moment dağılımları



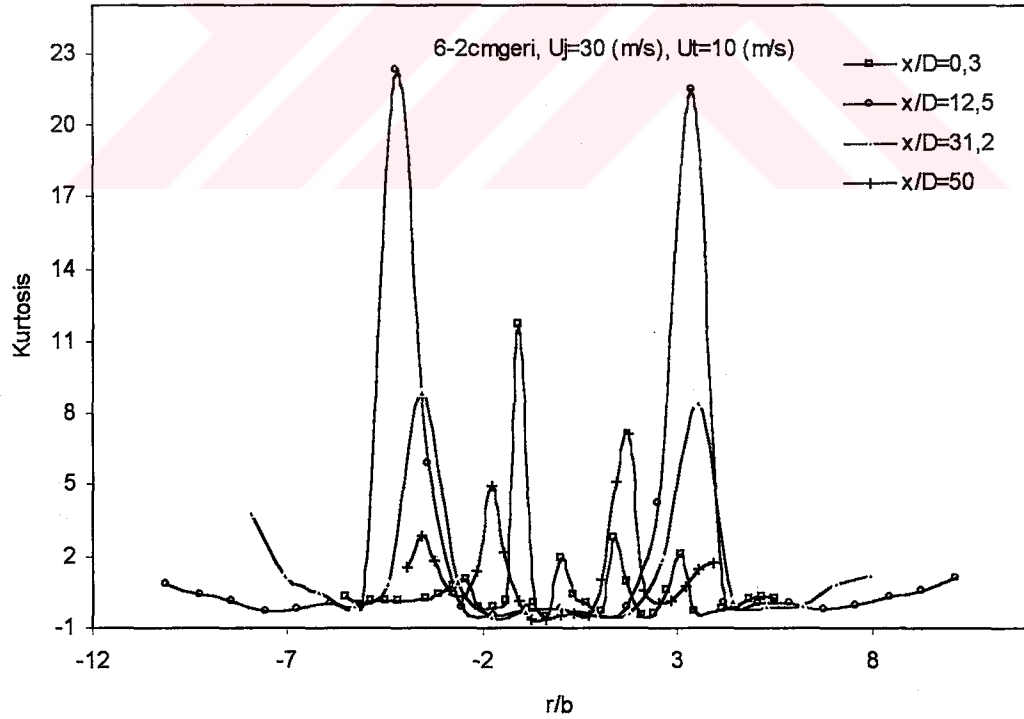
Şekil C. 13 Tünel akışı hızının 20 (m/s) olduğu, jet akışının ve 6° konik ilavenin açık olduğu durumdaki jet akışının 4. moment dağılımları



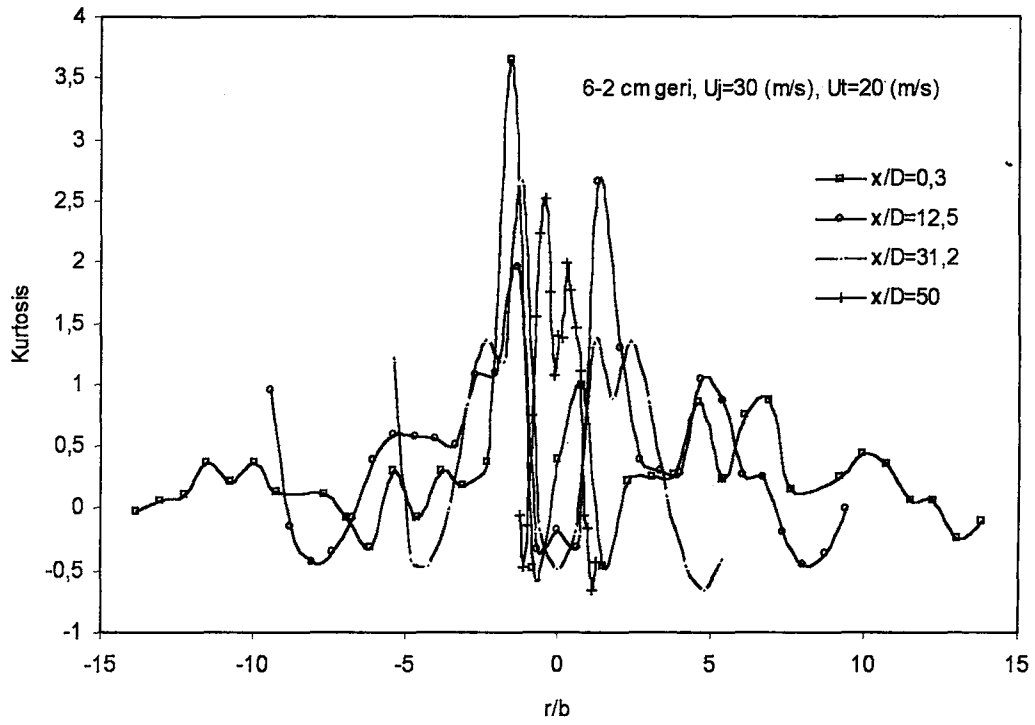
Şekil C.14 Tünel akışı hızının 10 (m/s) olduğu, jet akışının ve 12° konik ilavenin açık olduğu durumdaki jet akışının 4.moment dağılımları



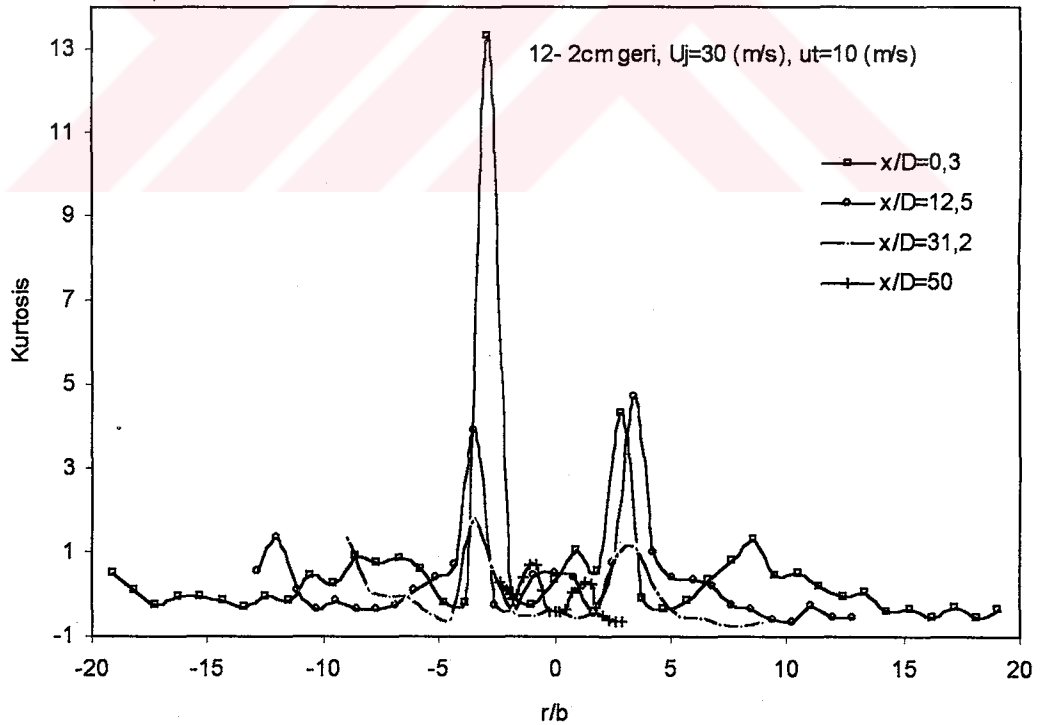
Şekil C.15 Tünel akışı hızının 20 (m/s) olduğu, jet akışının ve 12° konik ilavenin açık olduğu durumdaki jet akışının 4. moment dağılımları



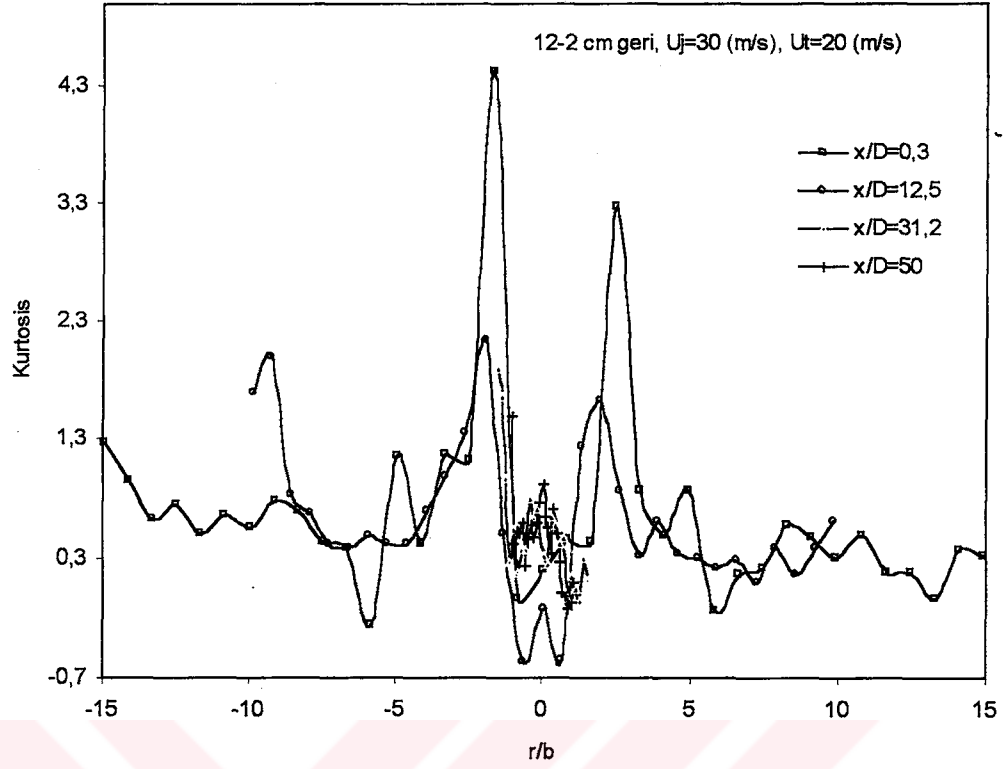
Şekil C. 16 Tünel akışı hızının 10 (m/s) olduğu, jet akışının ve 6° konik ilavenin açık olduğu, jet çıkışının koninin çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği durumdaki jet akışının 4. moment dağılımları



Şekil C. 17 Tünel akışı hızının 20 (m/s) olduğu, jet akışının ve 6° konik ilavenin açık olduğu, jet çıkışının koninin çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği durumdaki jet akışının 4. moment dağılımları

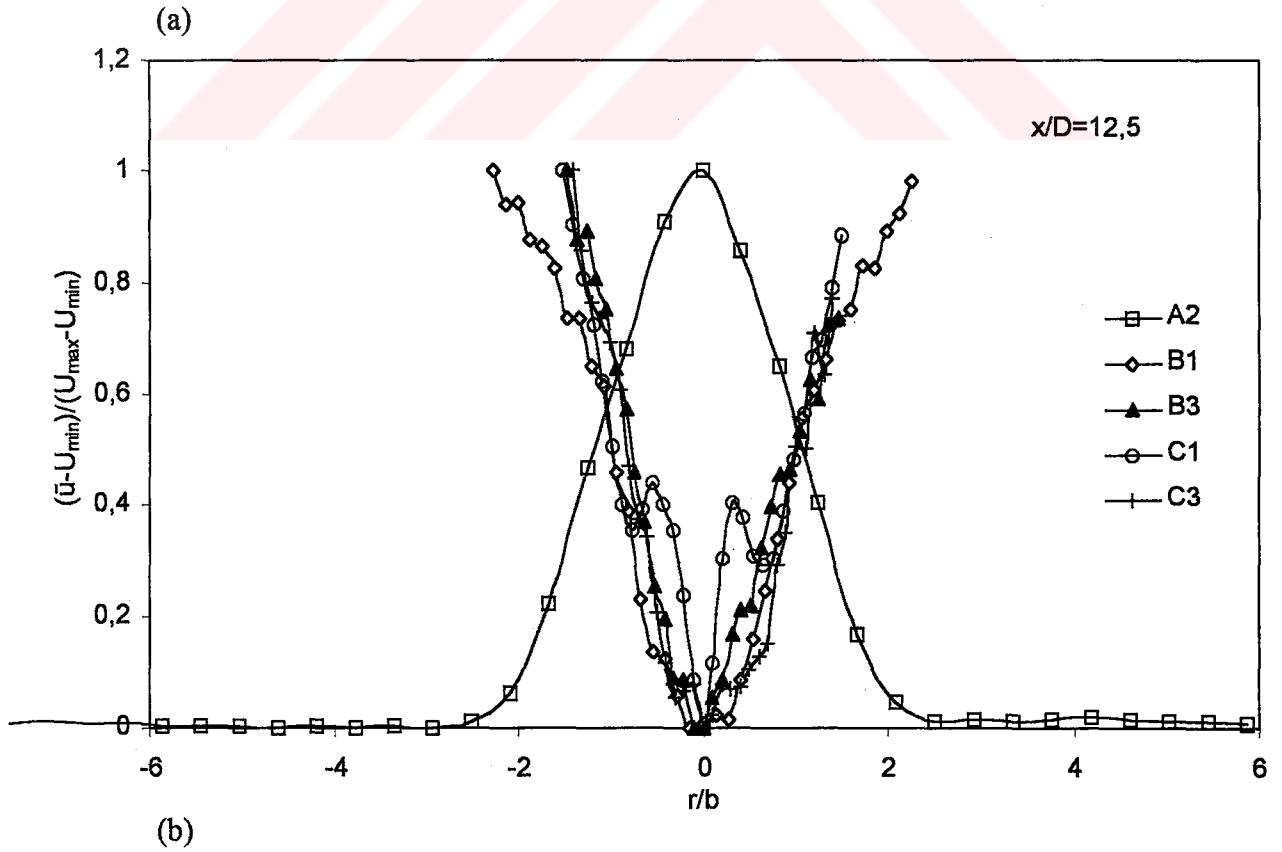
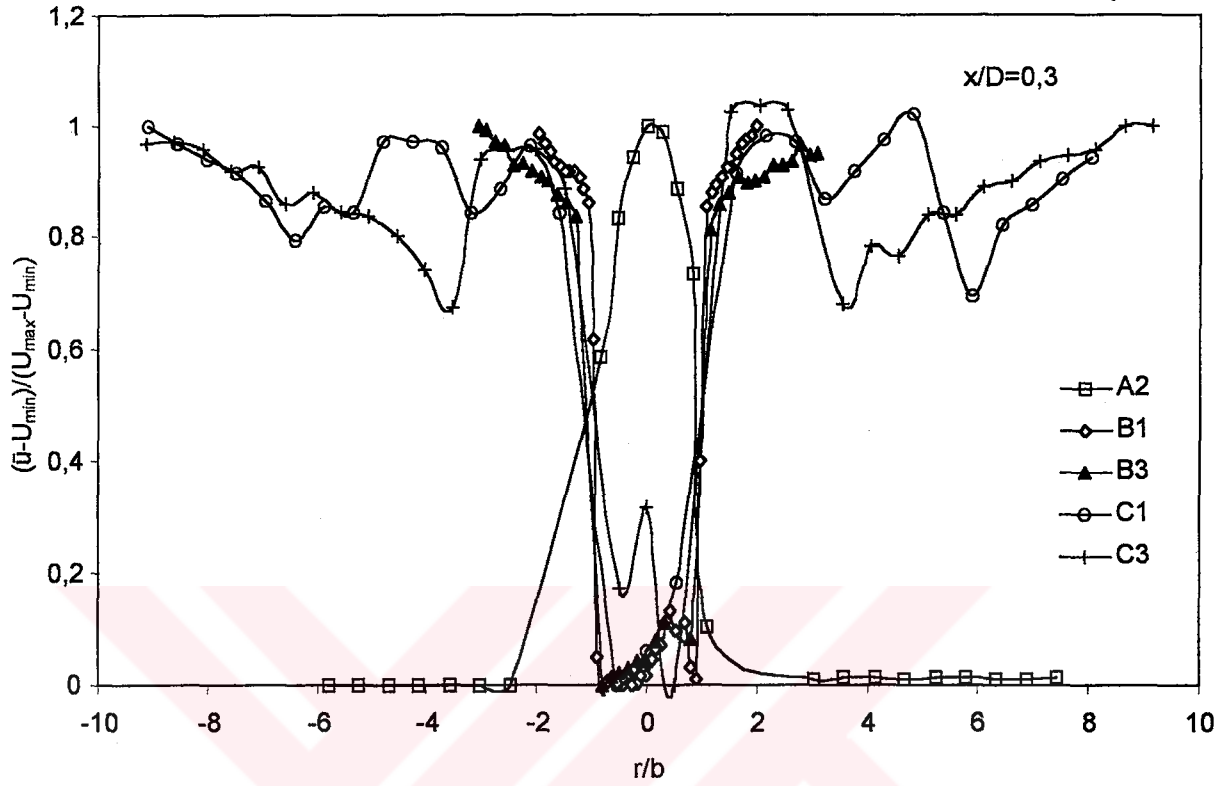


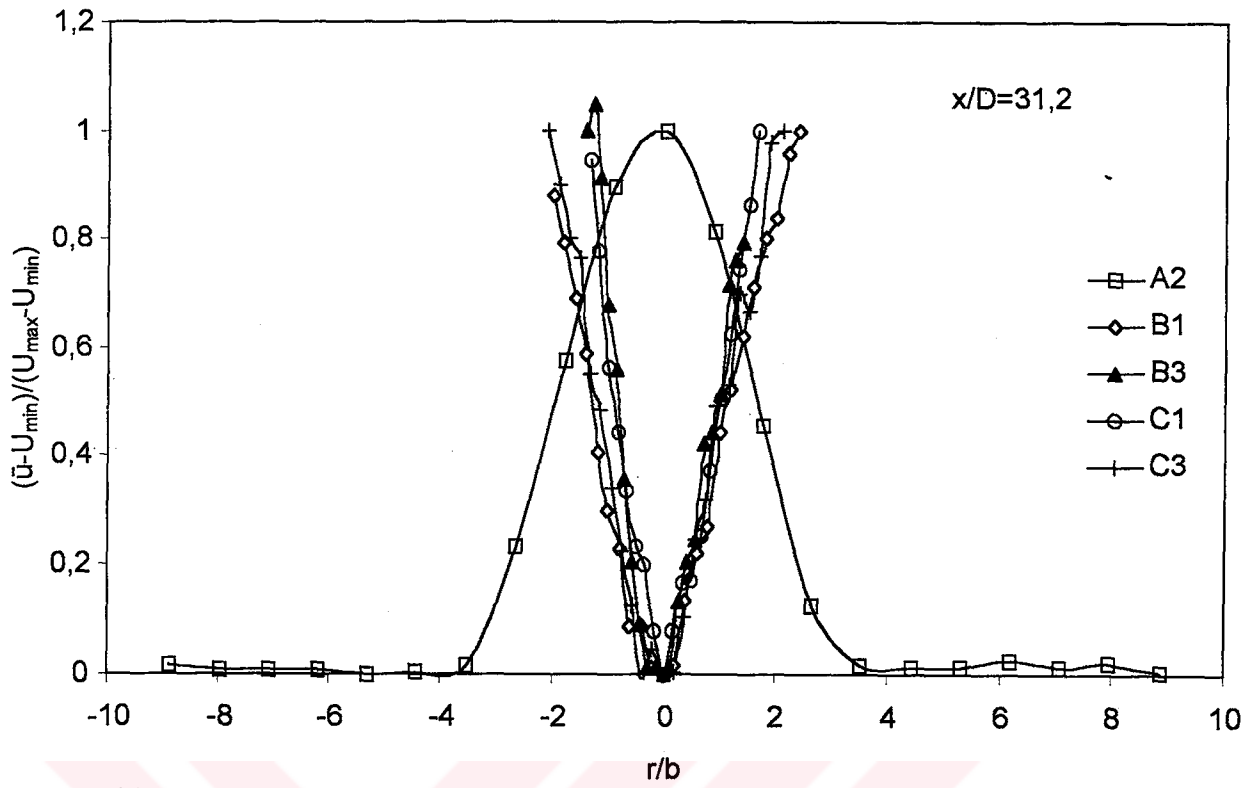
Şekil C. 18 Tünel akışı hızının 10 (m/s) olduğu, jet akışının ve 12° konik ilavenin açık olduğu, jet çıkışının koninin çıkışının 2cm gerisine yerleştirildiği durumdaki jet akışının 4. moment dağılımları



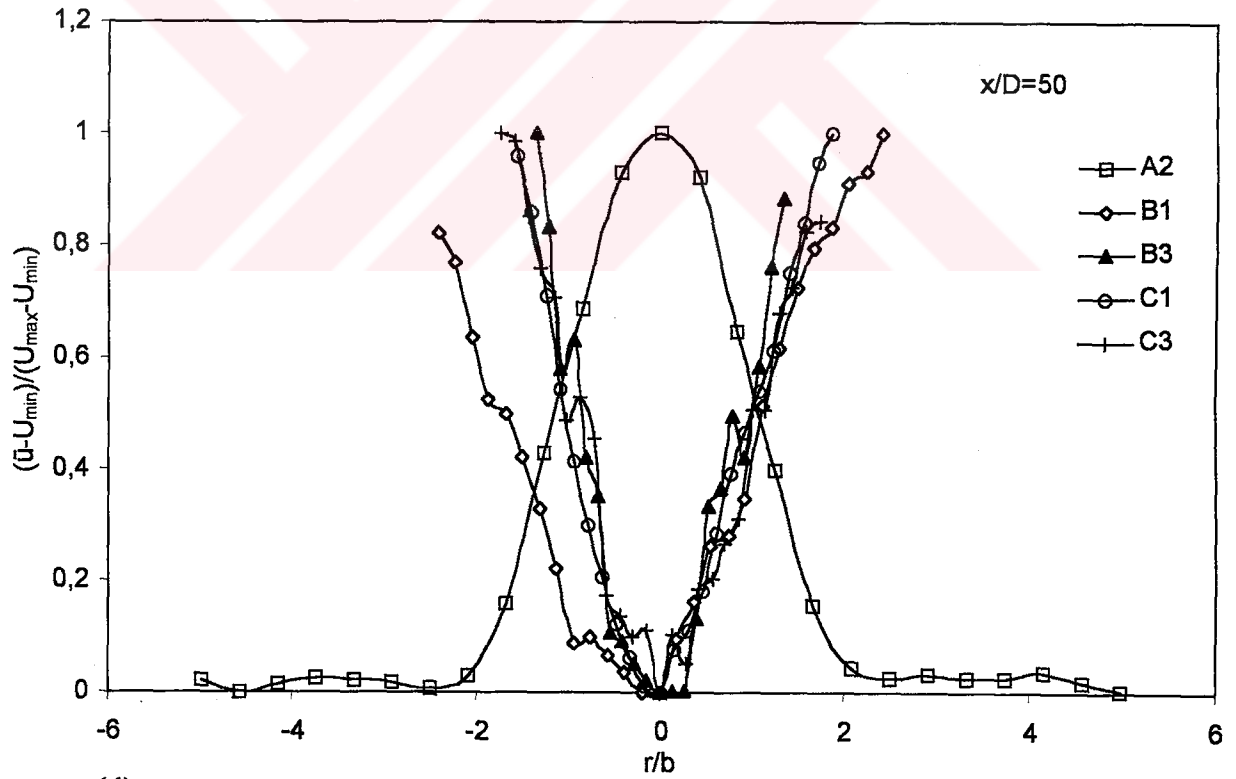
Şekil C. 19 Tünel akışı hızının 20 (m/s) olduğu, jet akışının ve 12° konik ilavenin açık olduğu, jet çıkışının koninin çıkışının 2 cm gerisine yerleştirildiği durumdaki jet akışının 4. moment dağılımları

Ek-D Tünel Hızı 10 (m/s) Ve 20 (m/s) Olduğunda, Dairesel Jet Akışı İle Farklı Açılardaki Konik İlavelerin Açık Ve Kapalı Olduğu Durumda Yapılan İz Akış Ölçümleri



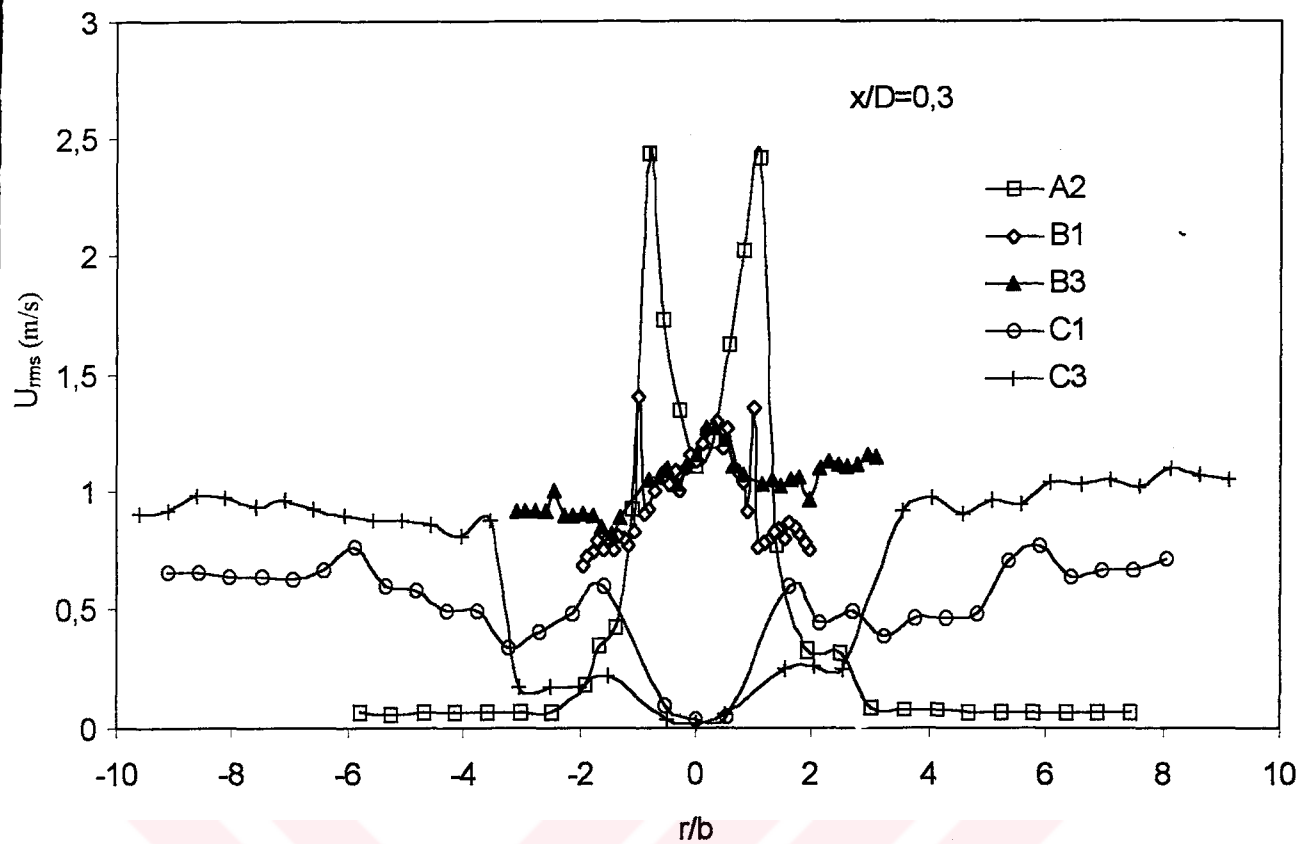


(c)

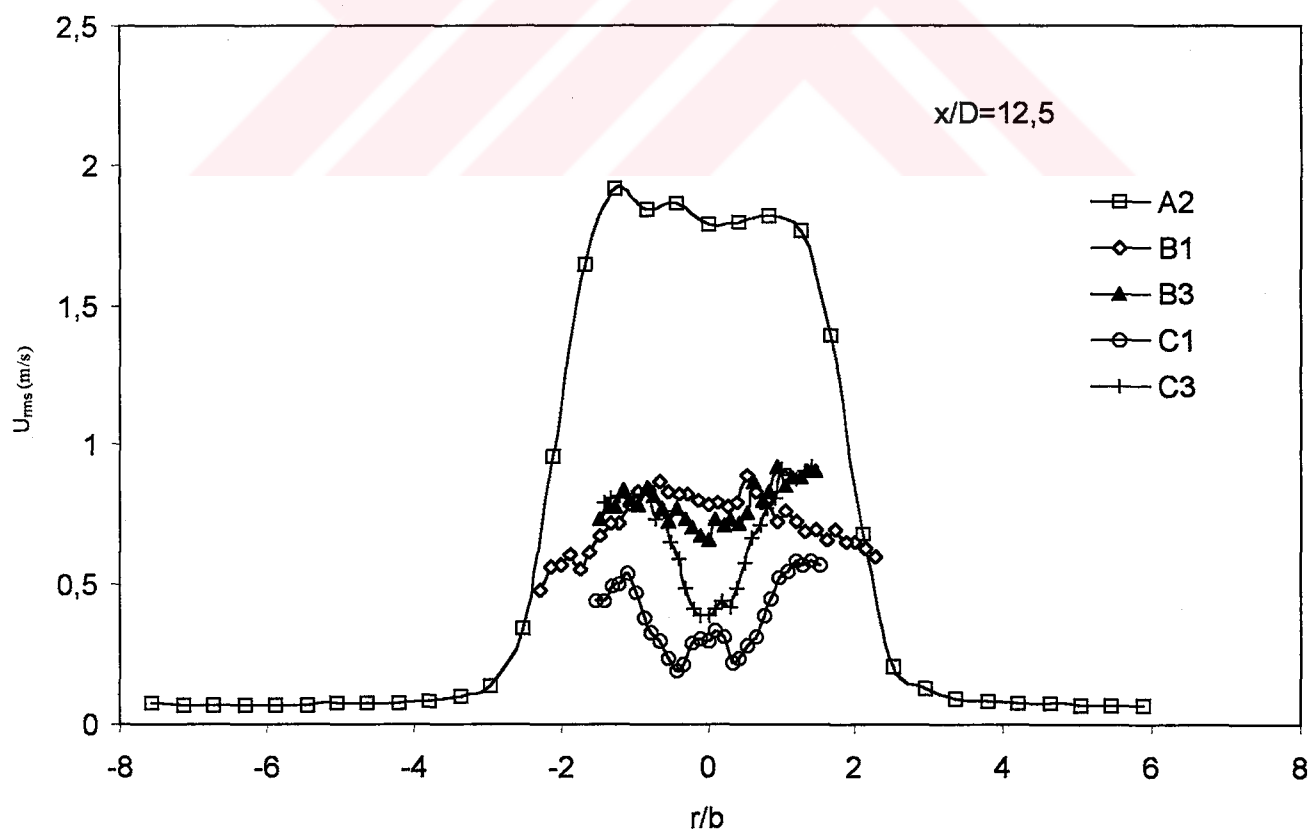


(d)

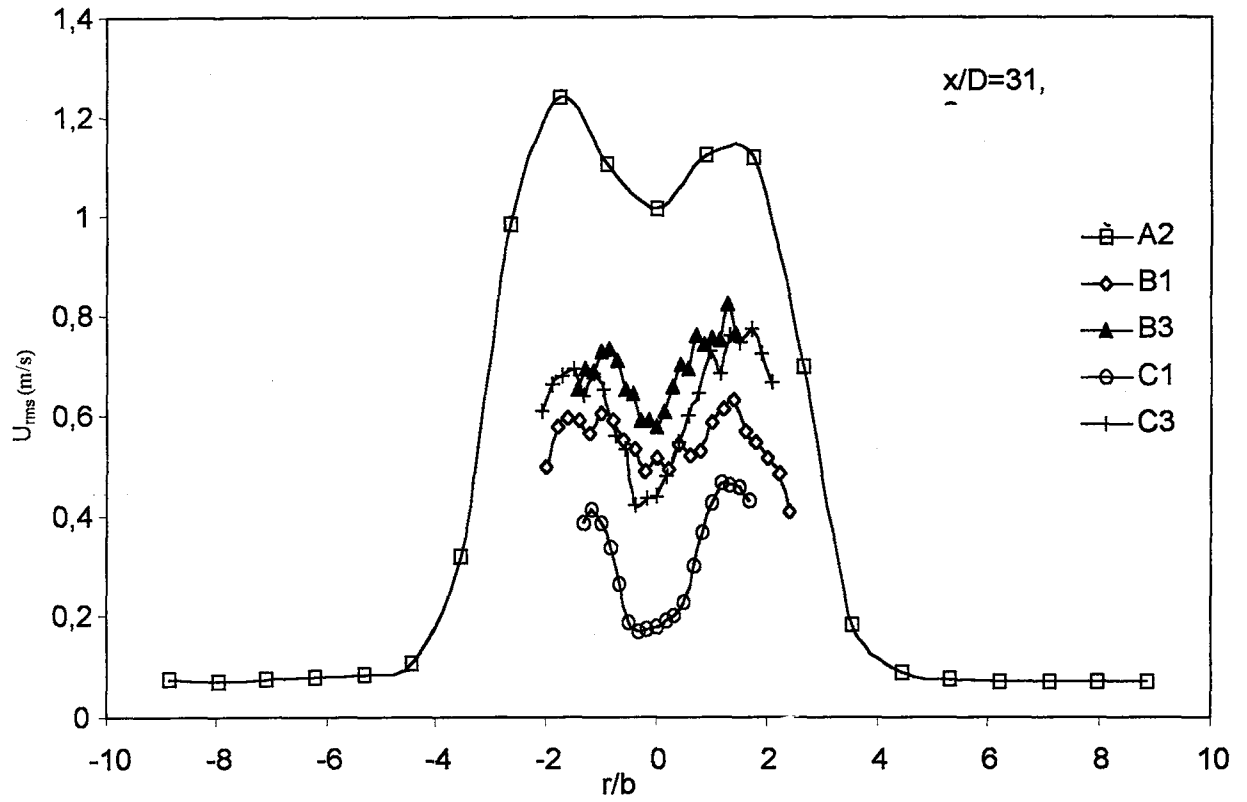
Şekil D.1 Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı açılardaki konik ilavelerin akışa açık ve kapalı olduğu durumdaki iz akış ölçümlerindeki boyutsuz hız dağılımları; (a) $x/D=0.3$, (b) $x/D=12.5$, (c) $x/D=31.2$, (d) $x/D=50$



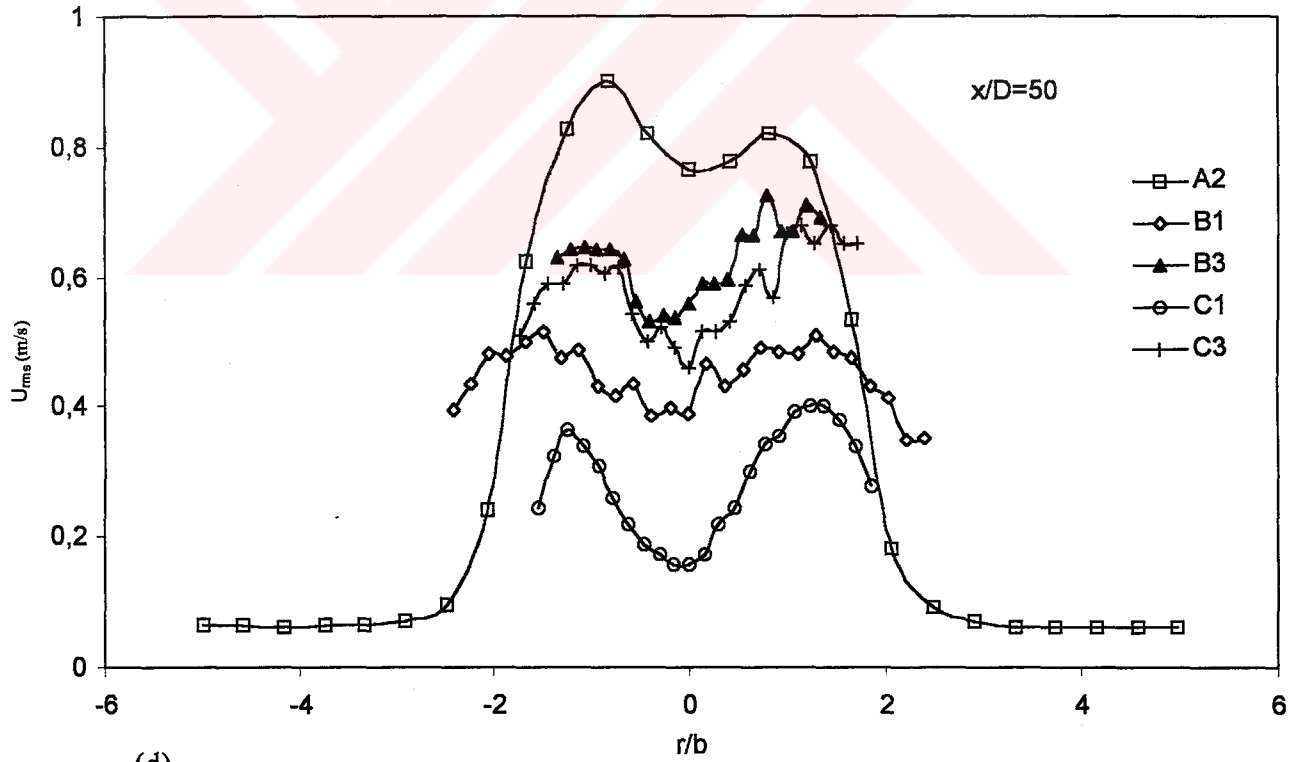
(a)



(b)

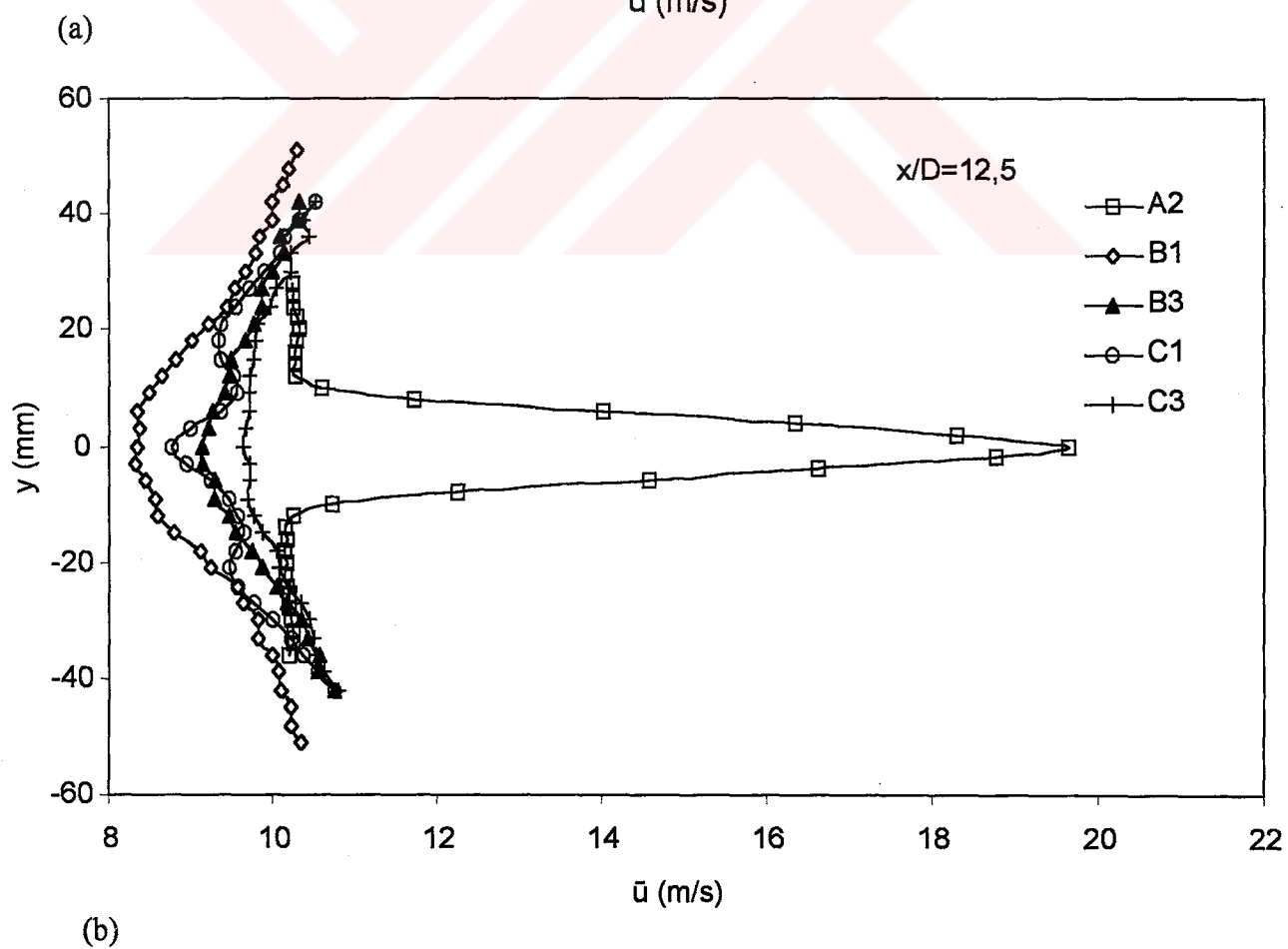
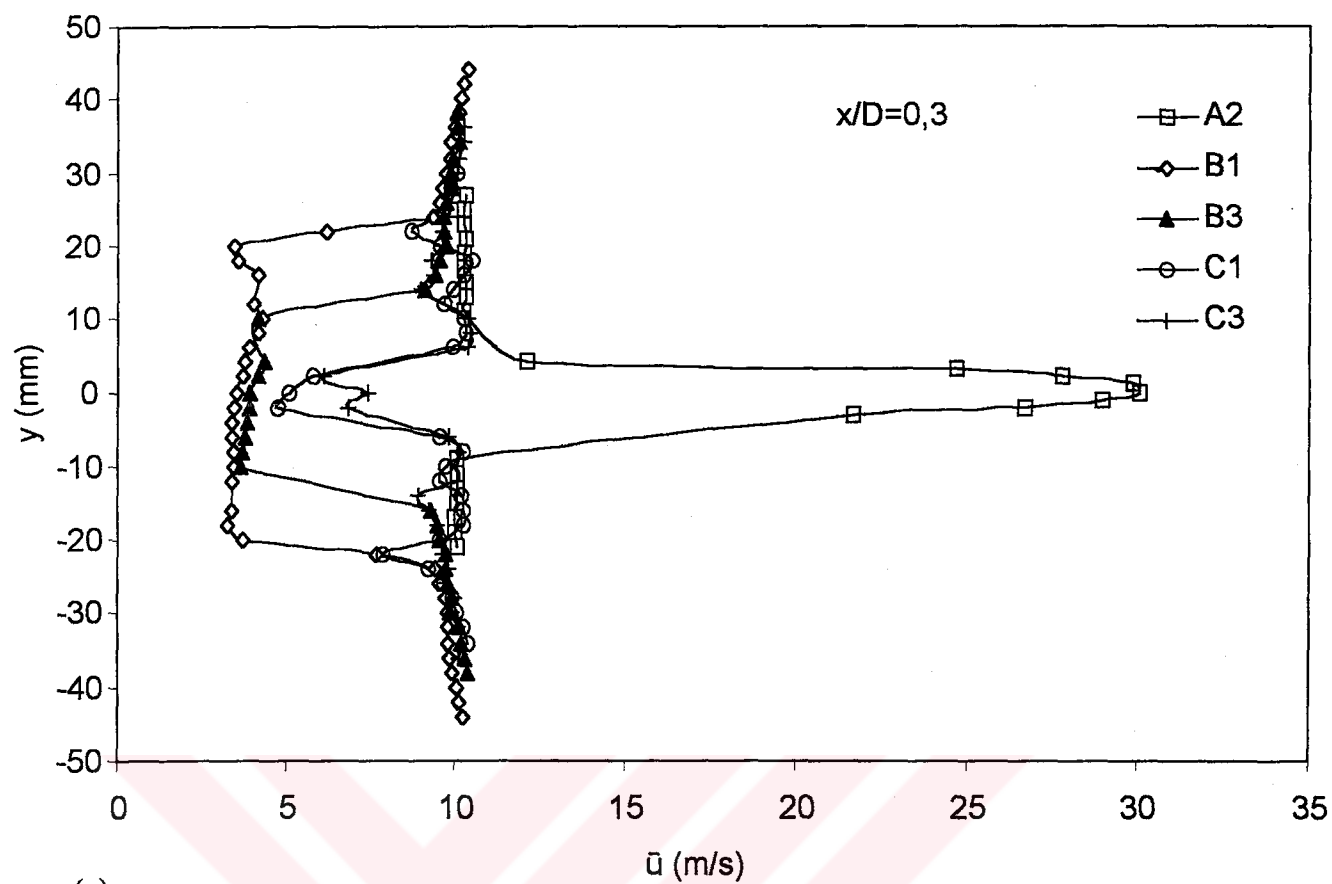


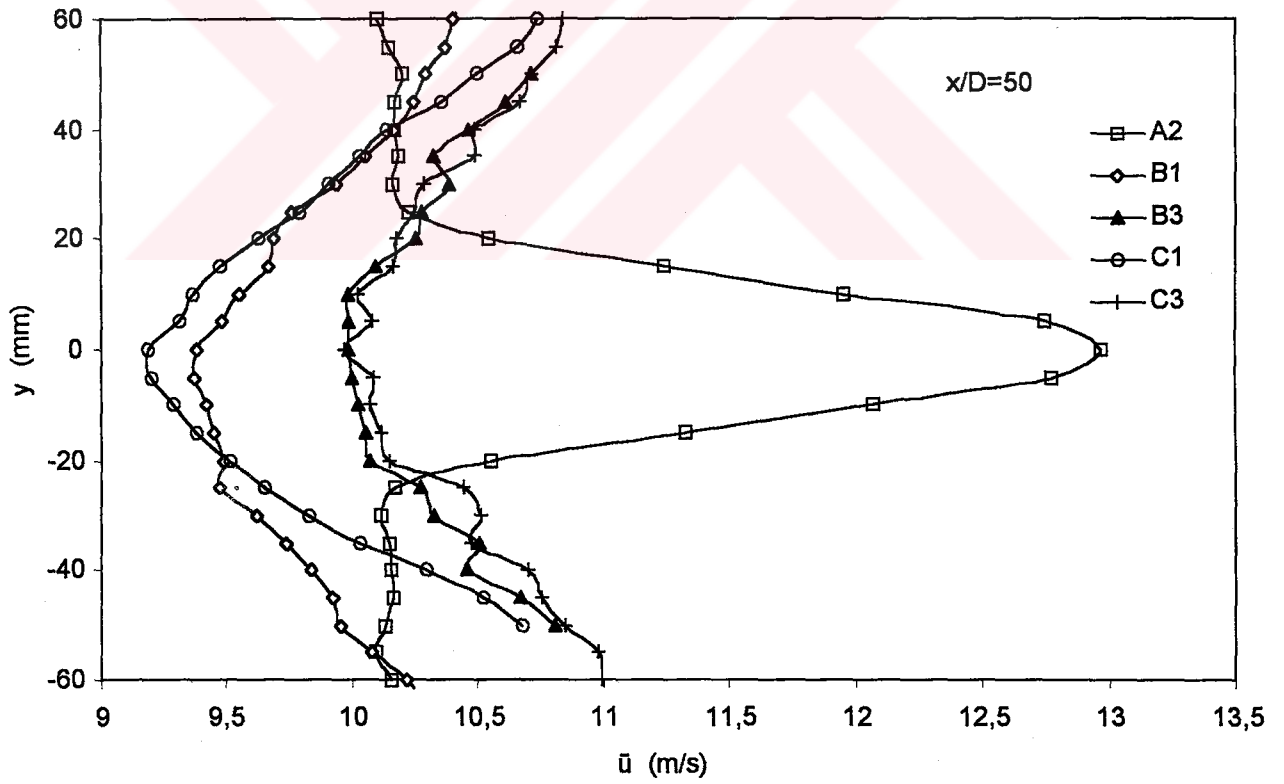
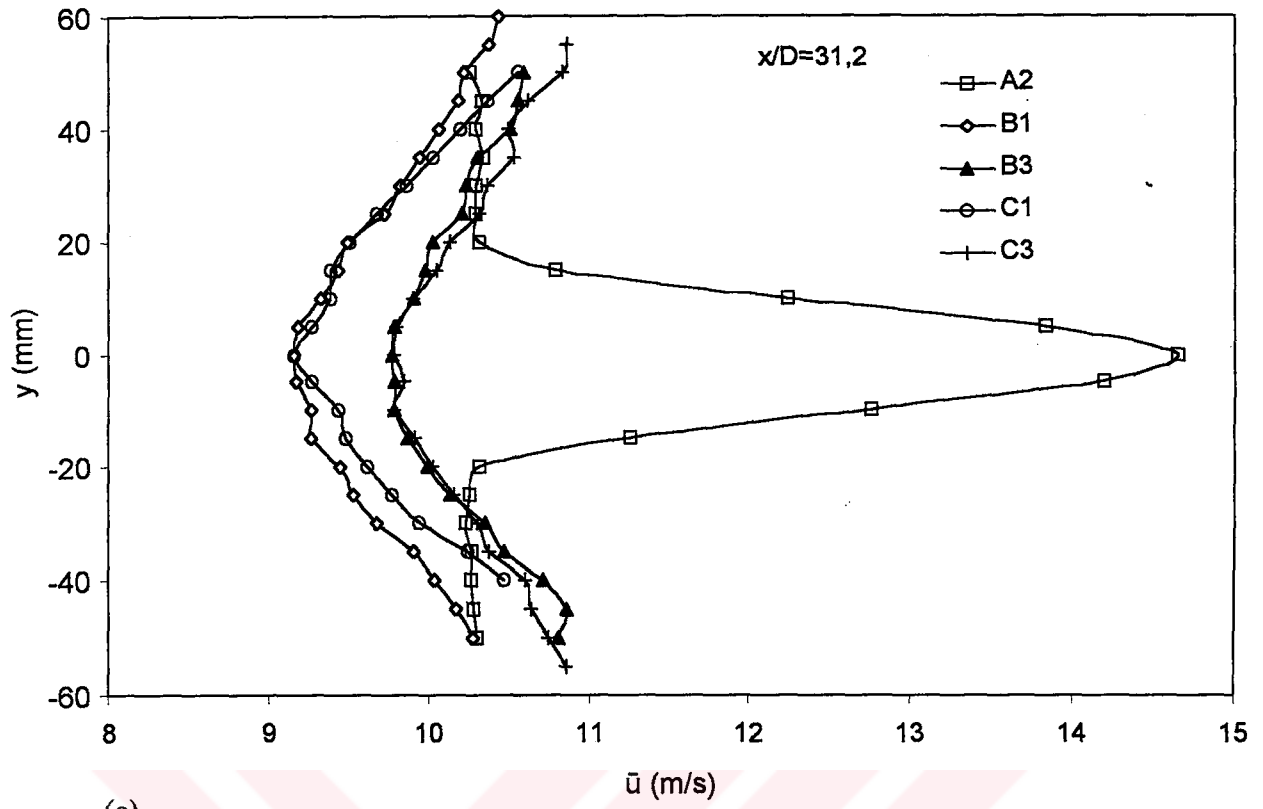
(c)



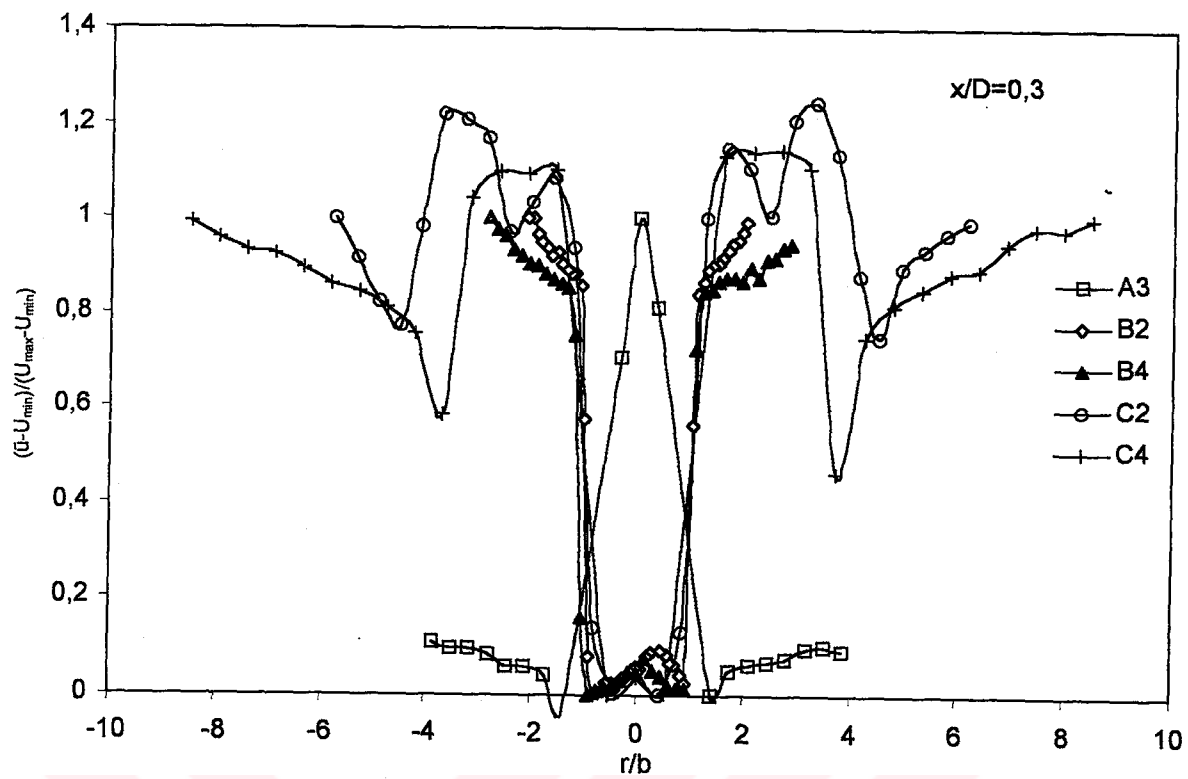
(d)

Şekil D. 2 Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı açılardaki konik ilavelerin akışa açık ve kapalı olduğu durumdaki iz akış ölçümlerindeki rms dağılımları; (a) $x/D=0.3$, (b) $x/D=12.5$, (c) $x/D=31.2$, (d) $x/D=50$

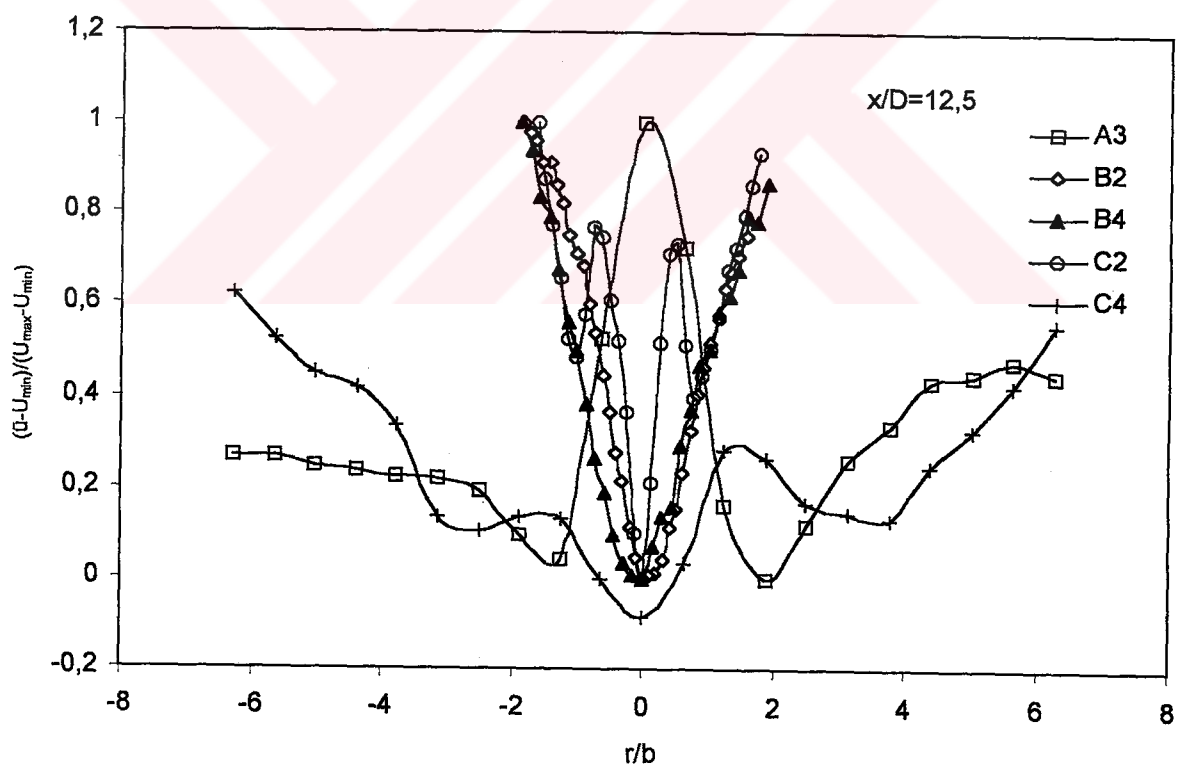




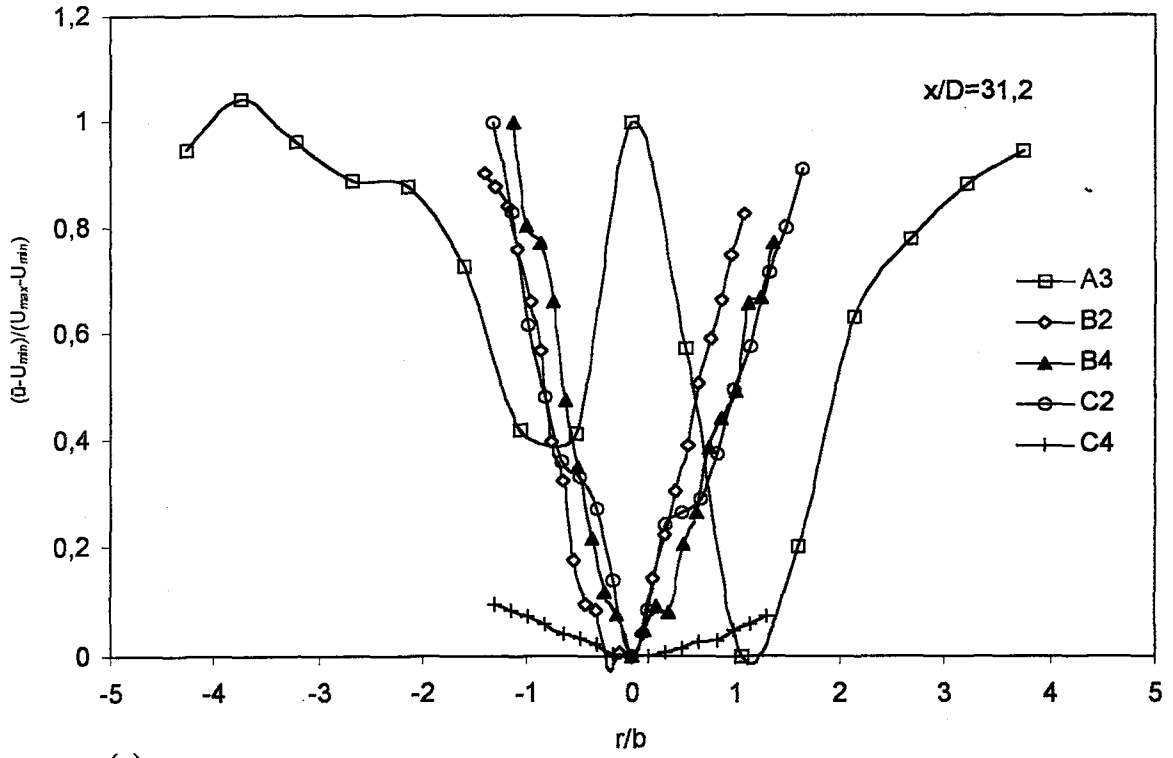
Şekil D.3 Tünel hızı 10 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı açılardaki konik ilavelerin akışa açık ve kapalı olduğu durumdaki iz akış ölçümlerindeki ortalama hız dağılımları; (a) $x/D=0.3$, (b) $x/D=12.5$, (c) $x/D=31.2$, (d) $x/D=50$



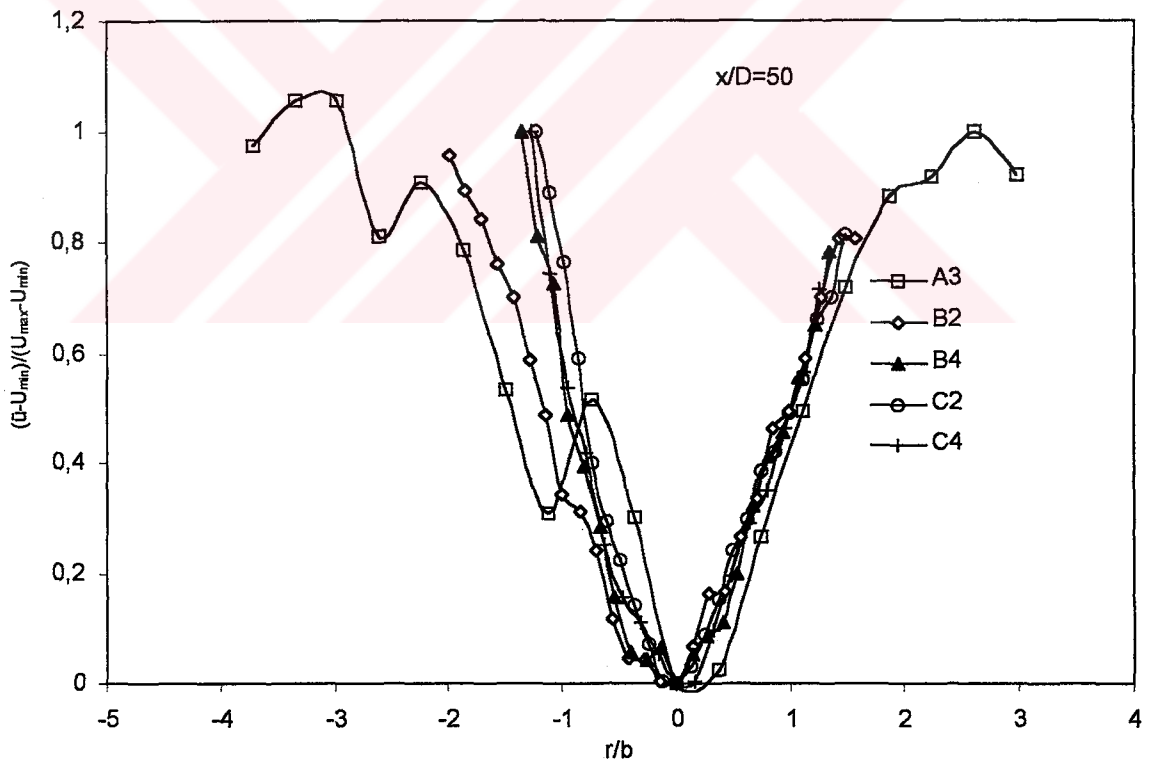
(a)



(b)

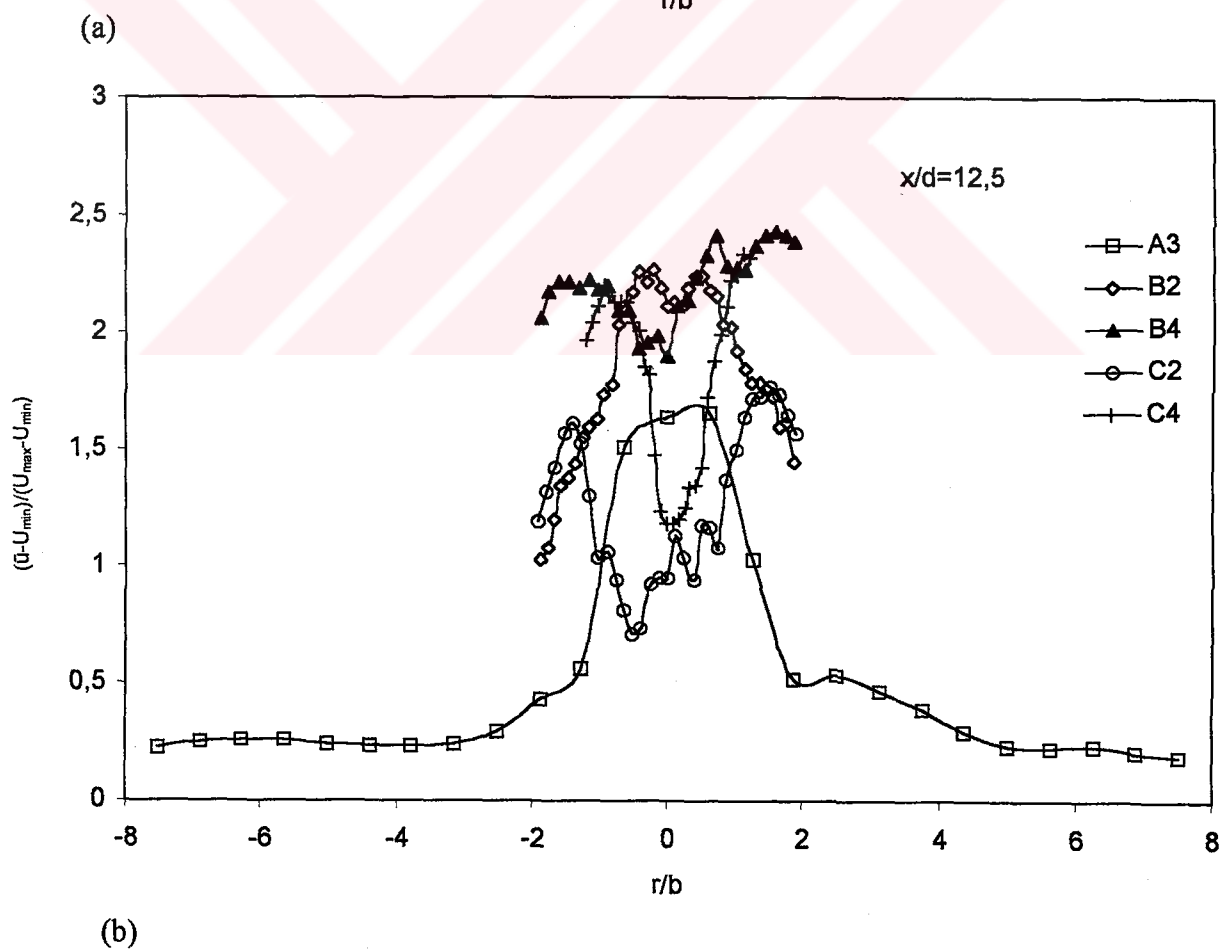
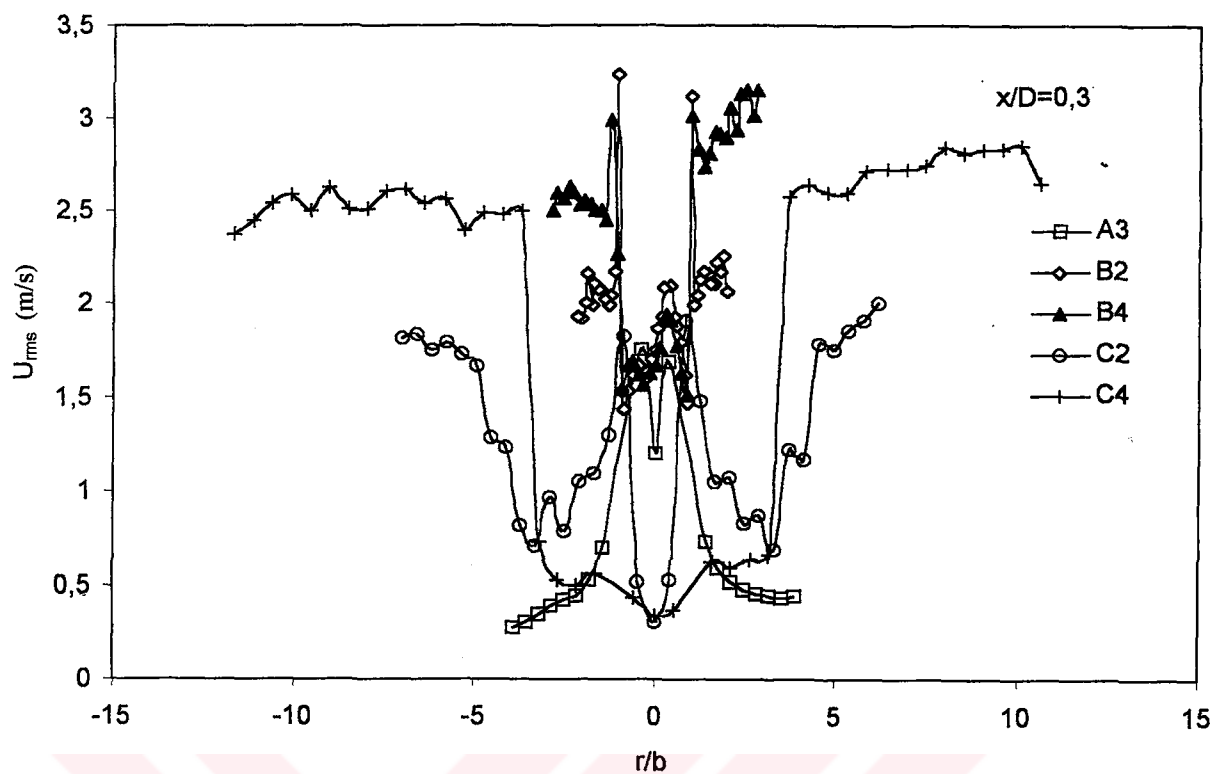


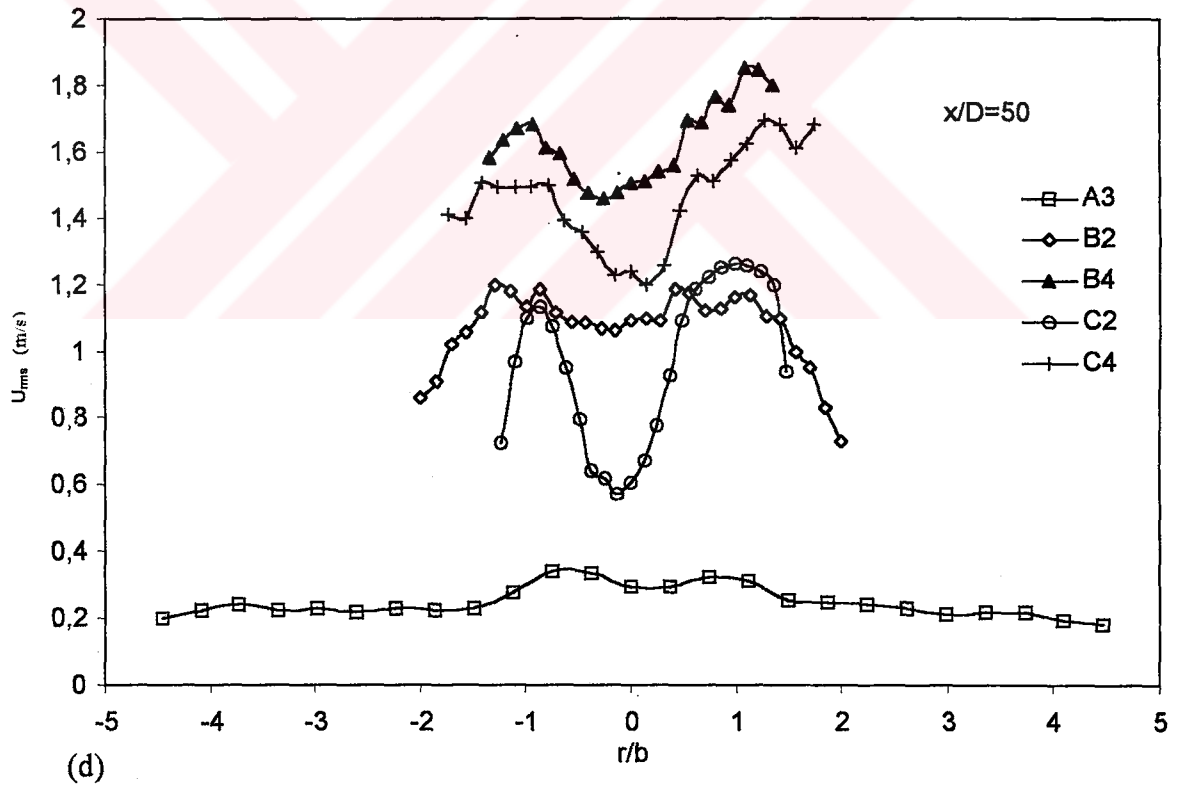
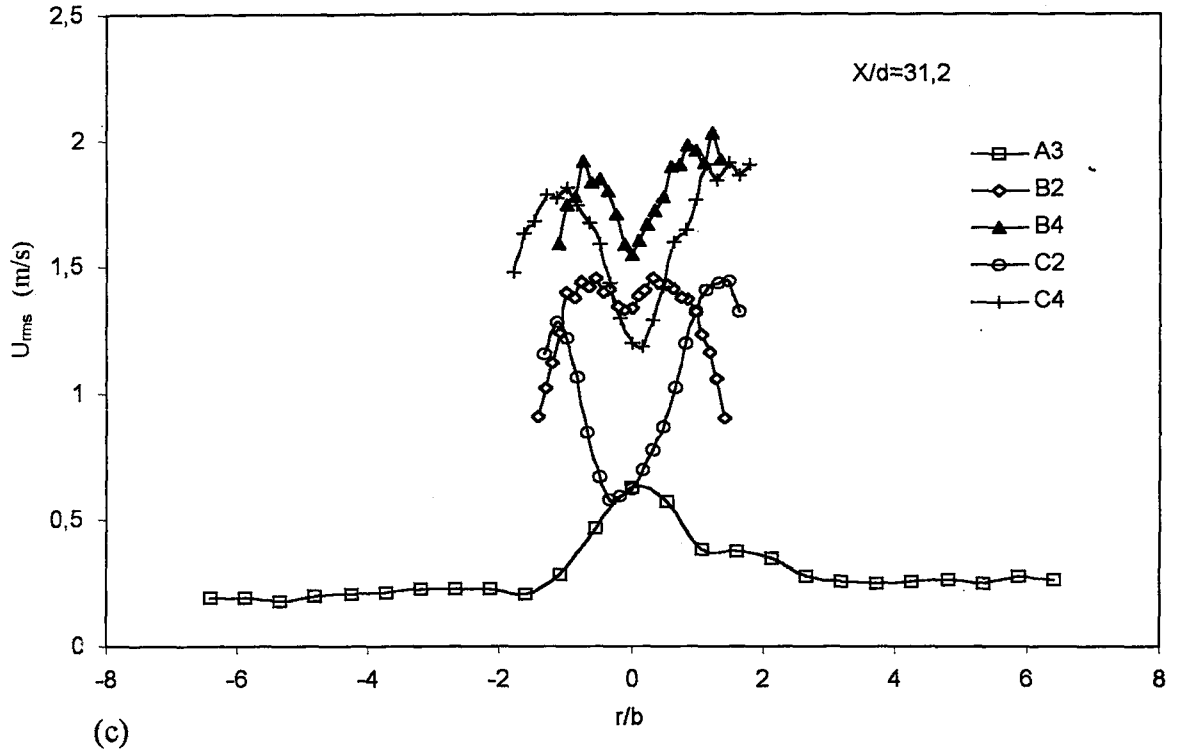
(c)



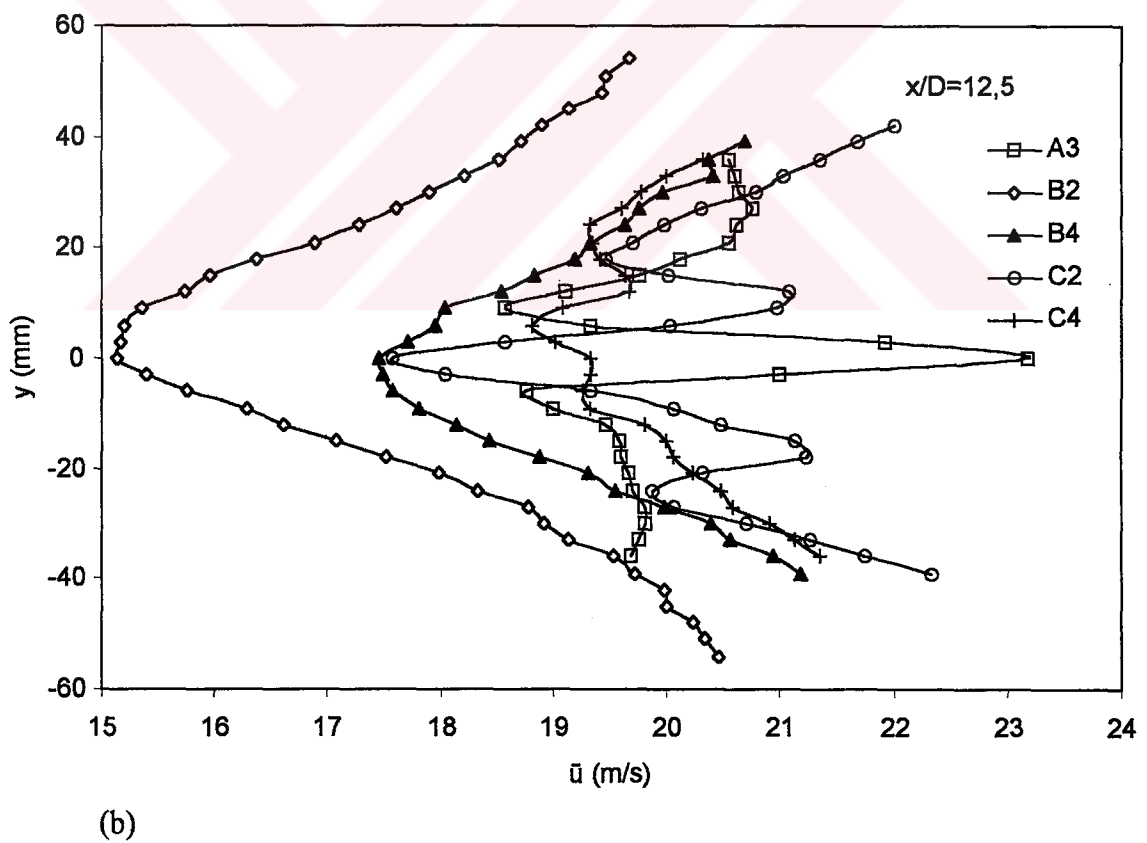
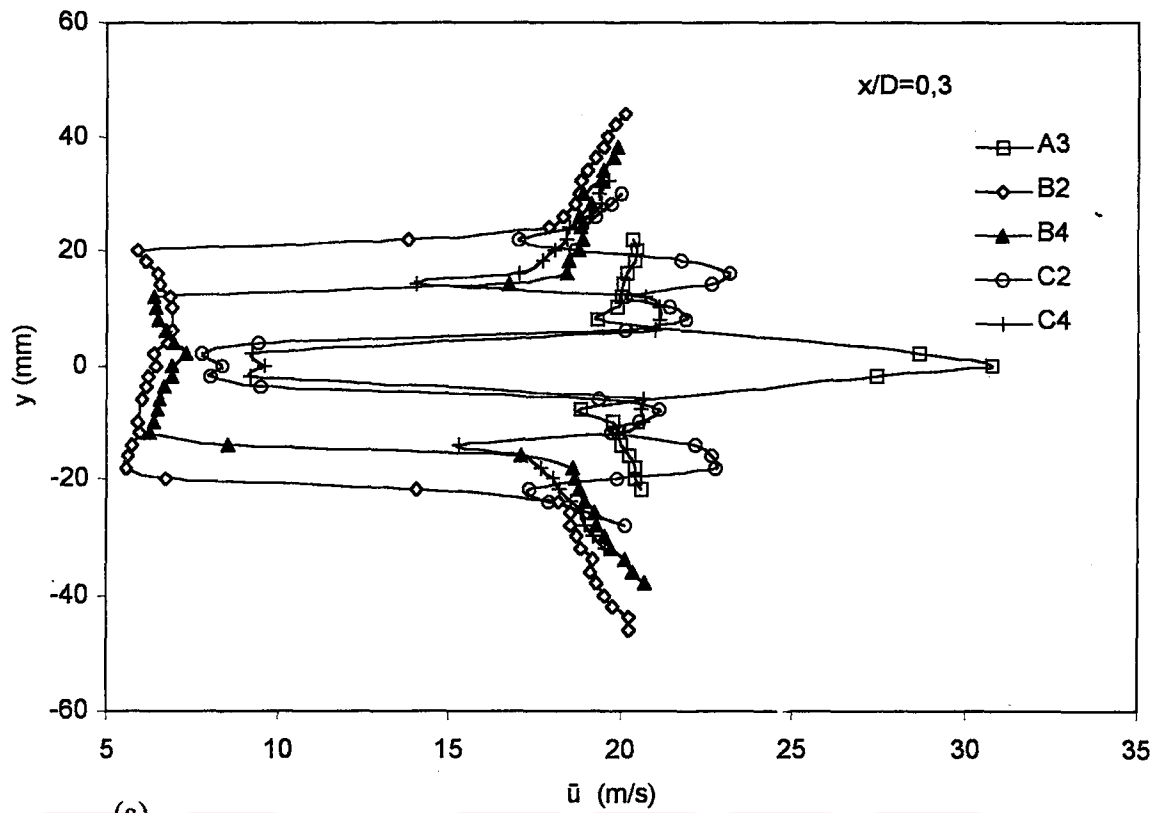
(d)

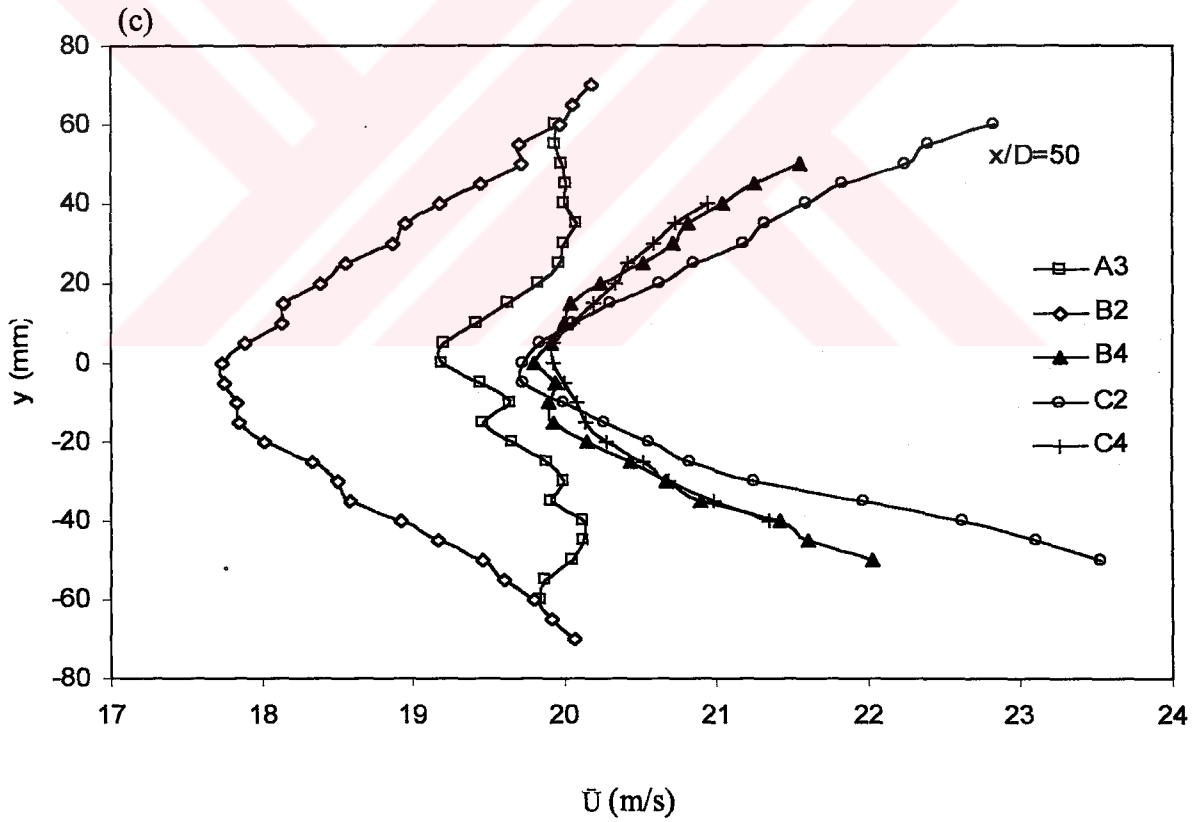
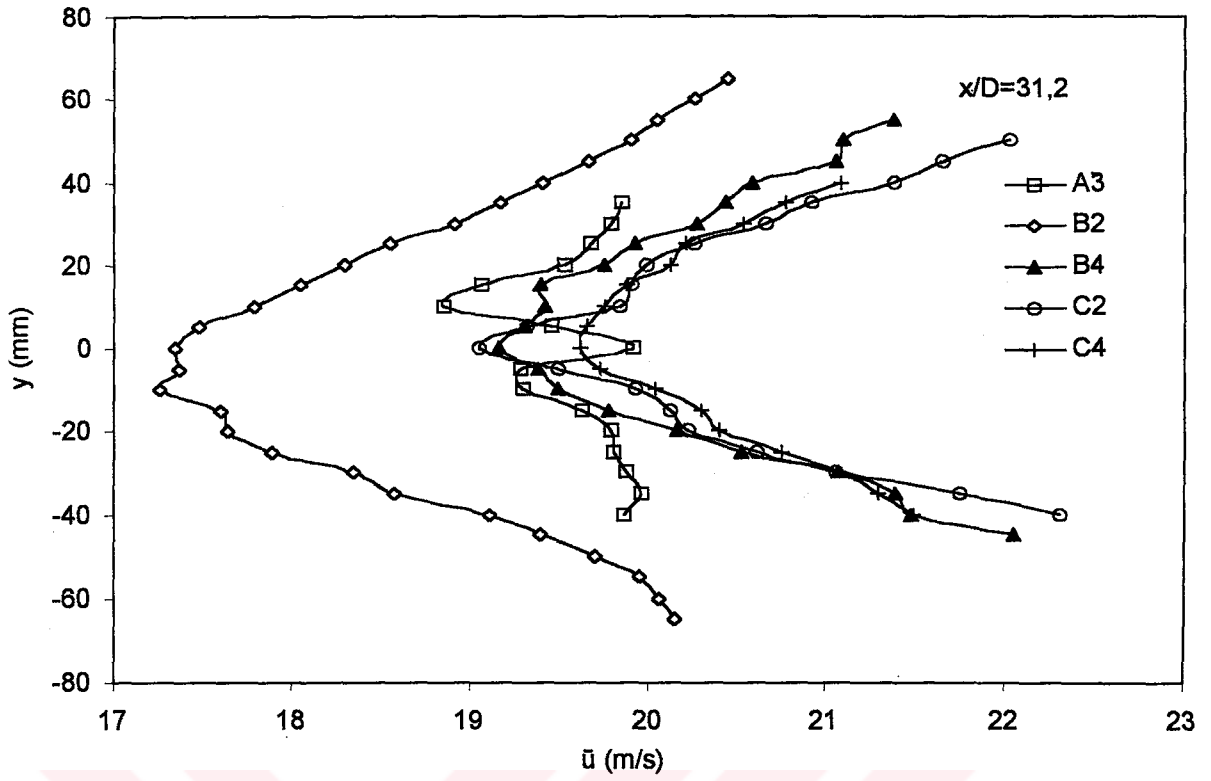
Şekil D. 4 Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı açılardaki konik ilavelerin akışa açık ve kapalı olduğu durumdaki iz akış ölçümlerindeki boyutsuz hız dağılımları; (a) $x/D=0.3$, (b) $x/D=12.5$, (c) $x/D=31.2$, (d) $x/D=50$





Şekil D. 5 Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı açılardaki konik ilavelerin akışa açık ve kapalı olduğu durumdaki iz akış ölçümlerindeki rms dağılımları; (a) $x/D = 0.3$, (b) $x/D = 12.5$, (c) $x/D = 31.2$, (d) $x/D = 50$





Şekil D. 6 Tünel hızı 20 (m/s) olduğunda, dairesel jet akışı ile farklı açılardaki konik ilavelerin akışa açık ve kapalı olduğu durumdaki iz akış ölçümlerindeki ortalama hız dağılımları; (a) $x/D=0.3$, (b) $x/D=12.5$, (c) $x/D=31.2$, (d) $x/D=50$

Ek-E Bazı Ölçüm Elemanlarının Teknik Özellikleri

1. Kızgın tel anemometresi ana ünitesinde aşağıdaki özellikler vardır.,
 - En az 3 kanala kadar 3 boyutlu ölçüm
 - Uygun seri kontrol ünitesi
 - Sıcaklık sensörü cevap verme süresi termistöre bağlı olarak yaklaşık 1 saniye
 - Test sisteminin basamak cevabında 150Hz ile 50Hz kare dalga
 - Voltmetre çözünürlüğü 80 μ V
 - Cihazın bilgisayara iletişimini sağlayacak Windows95 veya 98 altında çalışabilen yazılım
2. Tek Kanallı Kızgın Tel Anemometre Modülünde bulunan özellikler,
 - Voltaj çıkışı 0 ile 10 V,
 - Eşdeğer yükseltici giriş gürültüsü 1.8 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
 - Eşdeğer giriş sürüklemesi 0.5 μ V/ $^{\circ}\text{C}$
 - Prob direnç ölçüm hassasiyeti 0.1% $\pm$ 0.01 ohm.
 - Frekans cevap şekillendirmesi tel
 - Seçilen 1:20 köprüde prob akımı max 830 mA,max bant genişliği 250kHz, uygulama direnci 2 ile 64 ohm arasında, köprü üst direnci 10 veya 20 Ohm
 - Yüksek sıcaklık resistör hassasiyeti 0.1%
 - Aşağıdaki özellikleri taşıyan sinyal şartlandırma ünitesi vardır.,
 - Kazanç; 1 den 1024' e kadar, 0.15% hassasiyet
 - Giriş ofset ayarı 0 dan 10 V, $\pm$ 0.15% hassasiyet, < 1 mV çözünürlük, Çıkış voltajı -10 dan +10 V'a kadar
 - Çıkış ofset ayarı 0'dan 5 V $\pm$ 0.1%, < 0.5 mV çözünürlük
 - Low-pass filter; 0.3, 1, 3, 10, 30, 100, 300, kHz $\pm$ 5%
 - High-pass Filter; 10, 100 Hz $\pm$ 10%
3. Veri toplama sistemindeki özellikler,
 - Dijitalleşme oranı 20 M samples/s
 - Hızlardaki küçük değişikliklerin çözünürlüklerine cevap verme
 - Çevrim elde etmek için ve sıfır analog durumda kullanıldığı zaman 12 bit
 - 3 kanallı aynı anda detekleyebilme özellikleri vardır.
4. Kızgın tel anemometre minyatür problemlerindeki özellikler aşağıdadır
 - Platin yüzeyli, 5 μ m çaplı ve uzunluğu 1.25 mm
 - Sensör direnci 3.5 Ω
 - Maksimum sensör sıcaklığı 300 $^{\circ}\text{C}$
 - Minimum hız 0.02 m/s
 - Maksimum hız 500 m/s

Ek-F Tezde Kullanılan Bazı Yabancı Kelimelerin Türkçe Karşılıkları

Coherent structure	: Koherent yapı
Contraction	: Daralma
Cross flow	: Çapraz akış
Data Acquisition	: Veri toplama
Entrainment	: Giriş
Flow straighter	: Akım düzeltici
Fluctuation	: Çalkantı
Honeycomb	: Bal peteği
Hot wire anemometer	: Kızgın tel anemometre
Instantaneous velocity	: Anlık hız
Jet halfh-width	: Jet yarı kalınlığı
Jet nozzle	: Jet çıkış ağzı
Kurtosis	: 4. Moment
Mixing layer	: Karışım tabakası
Potential core	: Çekirdek bölge
Reynolds decomposition	: Reynolds ayrışımı
Reynolds stress	: Reynolds gerilmesi
Scale	: Ölçek
Self Preserving	: Eş yapılı
Self similarity	: Eş-benzer
Shear layer	: Kayma tabakası
Shear stress	: Kayma gerilmesi
Spreading rate	: Yayılma oranı
Stream line	: Akım çizgisi
Turbulence components	: Türbülans bileşenleri
Vena contracta	: Kesit daralması
Velocity Fluctuation	: Hız çalkantısı
Vortex	: Girdap
Vortical	: Girdaplı

ÖZGEÇMİŞ

1966 yılında Ordu –Ulubey’ de doğdu. İlk ve orta öğretimi Ordu’da tamamladı. 1985 Yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü’nden mezun oldu. Bir süre özel bir kuruluştaki çalıştı. 1990-1993 yılları arasında S.H.Ç.E.K.’te çalıştıktan sonra 1994 yılında M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü’nde Araştırma Görevlisi oldu. 1991-1994 yılları arasında “Çok Amaçlı Akışkan Yataklı Yakıcıya Kömür Hazırlama ve Besleme Sistemi Tasarım ve İmalatı” isimli tez çalışması ile M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde, Prof. Dr. Mahir Arıkol yürütücülüğünde yüksek lisansını yapmıştır. 1994 yılında Aynı enstitüde Makine Eğitimi programında doktora başlamıştır. 1998 yılında Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümünde Öğretim Görevliliğine başlamış ve halen sürdürmektedir.

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
YERLİ VE YABANCI ÜNİVERSİTELER
KURULU**