



**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**İÇTEN YİVLİ DAİRESEL JET AKIŞIN  
DENEYSEL VE SAYISAL AKIŞKANLAR  
DİNAMİĞİ (SAD) İLE İNCELENMESİ**

---

**TUGAY ŞİŞMAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
Makine Eğitimi Anabilim Dalı  
Makine Eğitimi Programı

**DANIŞMAN**  
Yard.Doç. Dr. A. Talat İNAN

**EŞ-DANIŞMAN**  
Prof. Dr. M. Zafer GÜL

**İSTANBUL, 2013**

---

**MARMARA ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Tugay ŞİŞMAN'ın "İçten Yivli Dairesel Jet Akışım Deneysel ve Sayısal Akışkanlar Dinamiği (SAD) İle İncelenmesi" başlıklı tez çalışması, 02/07/2013 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri**

Yrd. Doç. Dr. A. Talat İNAN (Danışman)  
Marmara Üniversitesi



Prof.Dr. İsmail EKMEKÇİ (Üye)  
İstanbul Ticaret Üniversitesi



Yrd.Doç.Dr. Ayhan ONAT (Üye)  
Marmara Üniversitesi

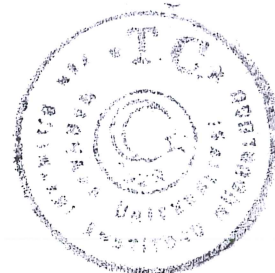


**ONAY**

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 15-07-2013 tarih ve 2013/16-01 sayılı kararı ile Tugay ŞİŞMAN'ın Makine Eğitimi Anabilim Dalı Makine Eğitimi Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Prof. Dr. Abdülkerim KAR**



## TEŞEKKÜR

Danışman hocam, Yrd. Doç. Dr. A. Talat İNAN'a tez çalışmam esnasında ve tez içeriği ile ilgili her aşamada benden desteğini esirgemediği için kendisine sonsuz teşekkürlerimi ve minnettarlığımı sunarım. Yine eş danışmanım Prof. Dr. M. Zafer GÜL'e tez çalışmam süresi içerisinde bana verdiği desteklerden ötürü minnet ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca tez çalışmam esnasında benden hiçbir desteğini esirgemeyen ve çalışmama büyük katkısı bulunan değerli hocam, Prof. Dr. Mustafa KURT'a ve Doç. Dr. Halil DEMİRER'e de çok teşekkür ederim. Tez çalışmam esnasında yakın desteklerini gördüğüm, SAD çözümlemesinde bana yardımcı olan Mühendislik Fakültesi öğretim elemanları Öğr. Gör. Hasan KÖTEN'e ve Uzman Yalçın YÜKSELENTÜRK'e teşekkür ederim. Çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen değerli abim Murat ESİN'e, teknisyen arkadaşım Enver SELKİ'ye ve jet akışı için boru temininde yardımlarını gördüğüm Sarkuysan A.Ş. İşletme Müdürü Münci ÖNAL ve İşletme Şefi Mete TARHAN içtenlikle teşekkür ederim.

Ayrıca maddi ve manevi desteğini vermek için hiçbir zaman tereddüt etmeyen; babam Halit ŞİŞMAN, annem Ayşe ŞİŞMAN, ablam Arzu YEDEKÇİOĞLU ile eniştem Mustafa YEDEKÇİOĞLU'na sonsuz teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

	SAYFA
<b>ÖNSÖZ</b>	
<b>İÇİNDEKİLER</b>	<b>i</b>
<b>ÖZET</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>iv</b>
<b>SEMBOLLER</b>	<b>v</b>
<b>KISALTMALAR</b>	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLİSTESİ</b>	<b>vii</b>
<b>TABLOLİSTESİ</b>	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
1.1. Tezin Amacı	1
1.2. Jet Akış Yapısı	2
1.3. Jet Akışı Üzerine Yapılan Deneysel Çalışmalar	6
1.4. Jet Akışı Üzerine Yapılan Sayısal Çözümlerle ilgili Çalışmalar	11
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM</b>	<b>16</b>
2.1. Deneysel Düzenek	16
2.1.1. Hava Tüneli	17
2.1.2. Jet Hava Üreticisi	17
2.1.3. Sıcak Tel Anemometre ( HWA )	18
2.1.4. Düz ve Yivli Boru	26
2.2. Sayısal Akışkanlar Dinamiği Metodu İle Jet Akışın Analizi	27
<b>3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SAD</b>	<b>31</b>
3.1. Deneysel Sonuçlar	31
3.1.1. Deney Odası Ölçümleri	31
3.1.2. Deney Odasında Akışın Olmadığı Durumlarda Düz Dairesel Boru ve İçten Yivli Dairesel Boru Jet Akış Ölçümleri	35
3.1.3. Deney Odasında Farklı Hızlarda Akışların Olduğu Durumlarda Düz Dairesel Boru ve İçten Yivli Dairesel Boru Jet Akış Ölçümleri	44

3.1.4. Deney Odasında Akışın Olmadığı Durumlarda Düz Dairesel Boru ve İçten Yivli Dairesel Boru Jet Akış Ölçümlerinin Aynı Düzlemde İfadesi	65
3.1.5. Deney Odasında Akışın 5, 10 ve 20 m/s Olduğu Durumlarda Düz Dairesel Boru ve İçten Yivli Dairesel Boru Jet Akış Ölçümlerinin Aynı Düzlemde İfadesi	67
3.2. Sayısal Değerlendirme	70
3.2.1. Deney Odasında Akış Olmadığı Durumlarda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Boru SAD Deney Sonuçları	71
3.2.2. Deney Odasında 5 ve 10 m/s Hızlarında Akış Olduğu Durumlarda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Boru SAD Deney Sonuçları	73
3.3. Eksen Hızı( $U_e$ ), Jet Yarı Kalınlığı (b), Jet Çapı İçin Reynolds Sayısı ( $Re_D$ ) ve Jet Yarı Kalınlığı İçin Reynolds Sayısı ( $Re_b$ ) Tabloları	77
3.4. Tünel Akışının Olmadığı ve Jet Akışının 20 m/s Olduğu Durumda Ölçüm İstasyonlarındaki Boyutsuz Hız ve $U_{rms}$ Dağılımı	79
3.5. Tünel Akışının 5 m/s ve Jet Akışının 20 m/s Olduğu Durumda Ölçüm İstasyonlarındaki Boyutsuz Hız ve $U_{rms}$ Dağılımı	83
3.6. Tünel Akışının 10 m/s ve Jet Akışının 20 m/s Olduğu Durumda Ölçüm İstasyonlarındaki Boyutsuz Hız ve $U_{rms}$ Dağılımı	87
<b>4. SONUÇLAR</b>	<b>91</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>95</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	

## ÖZET

### İÇTEN YİVLİ DAİRESEL JET AKIŞIN DENEYSEL VE SAYISAL AKIŞKANLAR DİNAMIĞI (SAD) İLE İNCELENMESİ

Anahtar Kelimeler: Jet akış, Sayısal Akışkanlar Dinamiği, Yivli Jet Akış, Dairesel Jet Akış, Hava Tüneli, Türbülanslı Jet Akış

Bu çalışmada; Jet akışı üzerine, Marmara Üniversitesi'nde bulunan ses altı-düşük hızlı hava tüneli, düz-dairesel ve içten yivli-dairesel borular kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmanın devamında ise jet akışının Sayısal Akışkanlar Dinamiği (SAD) ile çözümü yapılarak deneysel ve sayısal yöntemlerle elde edilen veriler grafik ortamında gösterilmiş ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

Deneysel kullanılabilen hava tüneli emişli tipte olup, deney odası giriş kesit alanı  $32 \times 32 \text{ cm}^2$  ve uzunluğu 75 cm'dir. Jet akışı hava temini için ise jet hava üreticisi kullanılmıştır. Emiş fanı devri bir hız kontrol ünitesi ile ayarlanarak; deneylerde, türbülans ölçüm cihazı olarak da tek kanallı kızgın tel anemometre ile ölçümler yapılmıştır. Jet akış ölçümlerinde 16 mm çapında düz-dairesel ve içten yivli-dairesel bakır borular kullanılmıştır.

Jet akışının çözümlenmesinde, SAD ile Fluent programı kullanılmıştır. İlk olarak deney odasındaki jet akışı Solidworks çizim programında modellenmiş olup, daha sonra Fluent'e aktarılmıştır. Deney odası verilerinin Fluent'e aktarımından sonra, deney aşamasında olduğu gibi dairesel boru jet akış elemanları çıkış noktaları, deney odasının başlangıç koordinatlarına gelecek şekilde çeyrek modelinin içine oturtulmuştur. Hesaplamalar (SAD), deney odasına ve jetlere farklı hızlar verilerek yapılmıştır. Elde edilen bu hesap sonuçları bilahare grafik ortamına aktarılmıştır.

## **ABSTRACT**

### **ANALYSIS OF JET FLOW IN A GROOVED CIRCULAR CONDUIT BY EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD) METHOD**

Key words: Jet flow, Numerical Fluid Dynamics, Grooved Jet Flow, Circular Jet flow, Jet Flow with Turbulence

In this research; experimental work was conducted by means of subsonic-low velocity wind tunnel using both straight-circular tubes and grooved-circular tubes. Following the experimental work, jet flow was analysed by means of Computational Fluid Dynamics (CFD) method.

In the experiments a suction type wind tunnel was utilised. Cross sectional area of the test chamber is  $32 \times 32 \text{ cm}^2$  and the length is 75 cm. A jet air supplier was employed in order to provide jet air flow. The rotational speed of suction fan was adjusted by a speed control unit. The measurements were conducted by a channel-hot wire anemometer. In the measurements of jet flow, 16 mm diameter straight-circular and grooved-circular copper tubes were used.

Fluent software was used in the analyses of jet flow. First of all, jet flow in the test chamber was modelled by using the Solidworks drawing programme and then transferred to Fluent software. The outlets of circular tube jet flow components were placed inside the quarter model to meet the starting coordinates of the test chamber. Calculations (CFD), were performed by employing different velocities to jets as well as the test chamber. The data obtained by experimental and numerical methods were transferred to the graphical environment and evaluated.

**July, 2013**

**Tugay ŞİŞMAN**

## SEMBOLLER

<b>b</b>	: Jet yarı kalınlığı (m)
<b>Br</b>	: Birim
<b>D</b>	: Jet çıkış ağızı çapı (m)
<b><math>\epsilon</math></b>	: Türbülans kinetik enerjisinin yayılma hızı ( $m^2/s^3$ )
<b>k</b>	: Isı iletim katsayısı (W/mK) ve Türbülans kinetik enerjisi ( $m^2/s^2$ )
<b>r</b>	: Jet yarı çapı (m)
<b>Re<sub>b</sub></b>	: Jet yarı kalınlığına göre elde edilen boyutsuz <i>Reynolds</i> sayısı
<b>Re<sub>D</sub></b>	: Jet boru elemanı dış çapına göre elde edilen boyutsuz <i>Reynolds</i> sayısı
<b>U</b>	: x-ekseni yönündeki anlık akış hızı (m/s)
<b>U<sub>ç</sub></b>	: Tünel çevre hızı (m/s)
<b>U<sub>e</sub></b>	: Jet eksen hızı (m/s)
<b>U<sub>j</sub></b>	: Jet hızı (m/s)
<b>U<sub>m</sub></b>	: Tam gelişmiş serbest jet eksen hızı (m/s)
<b>U<sub>max</sub></b>	: Radyal doğrultudaki maksimum hız (m/s)
<b>U<sub>min</sub></b>	: Radyal doğrultudaki minimum hız (m/s)
<b>U<sub>ort</sub></b>	: Ortalama akış hızı (m/s)
<b>U<sub>rms</sub></b>	: Root Mean Square ( Değerlerin kareleri toplamının karekökleri ) (m/s)
<b>U<sub>turb</sub></b>	: Türbülanslı hız değeri (m/s)
<b>U<sub>t</sub></b>	: Tünel akış hızı (m/s)
<b>v<sub>T</sub></b>	: Eddy kinematik viskozitesi
<b>x</b>	: x-ekseni yönünde ölçüm mesafesi (mm)
<b>y</b>	: + y-ekseni yönünde mesafe (mm)
<b>t</b>	: Zaman (s)
<b><math>\bar{U}</math></b>	: Ortalama Hız ( m/s)



## **KISALTMALAR**

<b>CFD</b>	: Computational Fluid Dynamics ( Sayısal Akışkanlar Dinamiği )
<b>FEM</b>	: Finite Element Method ( Sonlu Elemanlar Yöntemi )
<b>SAD</b>	: Sayısal Akışkanlar Dinamiği
<b>HT</b>	: Hava Tüneli
<b>DD</b>	: Düz Dairesel
<b>DY</b>	: Düz Yivli
<b>DDD</b>	: Düz Dairesel Deneysel
<b>DYD</b>	: Düz Yivli Deneysel
<b>DDS</b>	: Düz Dairesel Sayısal
<b>DYS</b>	: Düz Yivli Sayısal
<b>HWA</b>	: Hot Wire Anemometer

# ŞEKİL LİSTESİ

	<b>SAYFA</b>
Şekil 1.1. X Eksenine Doğrultusunda Bir Noktadaki Hız Dağılımı	2
Şekil 1.2. Jet Akış	4
Şekil 1.3. Jet Akış Yapısı	5
Şekil 1.4. Hız Dağılımı	13
Şekil 1.5. Eksendeki Boyutsuz Hız Dağılımı	14
Şekil 1.6. Boyutsuz Hız Dağılımı	15
Şekil 2.1. Deneysel Çalışma Planı	16
Şekil 2.2. Hava Tüneli	17
Şekil 2.3. Jet Hava Üreticisi	17
Şekil 2.4. Jet Hava Üreticisi Tünel Girişi	18
Şekil 2.5. Sabit Sıcaklık Anemometre Kontrol Devresi	18
Şekil 2.6. Kızgın Tel Anemometre Ölçüm Düzeneği	19
Şekil 2.7. Prob 55P11	20
Şekil 2.8. Prob Destekleyicisi	21
Şekil 2.9. Hardware Setup Verileri	22
Şekil 2.10. Hardware Setup Ayarları	23
Şekil 2.11. Deney Konfigürasyonu	23
Şekil 2.12. Prob Kare Dalga Ayarı	24
Şekil 2.13. Prob Kalibrasyonu	24
Şekil 2.14. Çevre Sıcaklık Değerlerine Göre Prob Ayarı	25
Şekil 2.15. Dijital Pitot-Statik Tüp	25
Şekil 2.16. Bakır Boru	26
Şekil 2.17. Mesh ( Ağ ) Örneği	28
Şekil 2.18. Sınır Şartları ve Jet Akış Yapısı	29
Şekil 3.1. Tünel Akış Hızınının 5 m/s Olduğu Durumdaki $U$ , $U_{rms}$ ve $U_{urb}$ Ölçümleri	32
Şekil 3.2. Tünel Akış Hızınının 10 m/s Olduğu Durumdaki $U$ , $U_{rms}$ ve $U_{urb}$ Ölçümleri	33
Şekil 3.3. Tünel Akış Hızınının 20 m/s Olduğu Durumdaki $U$ , $U_{rms}$ ve $U_{urb}$ Ölçümleri	33
Şekil 3.4. Tünel Akış Hızınının 25 m/s Olduğu Durumdaki $U$ , $U_{rms}$ ve $U_{urb}$ Ölçümleri	34

<b>Şekil 3.5.a.</b>	Tünel Akışının Olmadığı, Jet Akış Hızının 5 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel Jet Akış Ölçümleri	36
<b>Şekil 3.5.b.</b>	Tünel Akışının Olmadığı, Jet Akış Hızının 5 m/s Olduğu Durumda İçten Yivli Dairesel Jet Akış Ölçümleri	37
<b>Şekil 3.6.a.</b>	Tünel Akışının Olmadığı, Jet Akış Hızının 10 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel Jet Akış Ölçümleri	38
<b>Şekil 3.6.b.</b>	Tünel Akışının Olmadığı, Jet Akış Hızının 10 m/s Olduğu Durumda İçten Yivli Dairesel Jet Akış Ölçümleri	39
<b>Şekil 3.7.a.</b>	Tünel Akışının Olmadığı, Jet Akış Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel Jet Akış Ölçümleri	40
<b>Şekil 3.7.b.</b>	Tünel Akışının Olmadığı, Jet Akış Hızının 20 m/s Olduğu Durumda İçten Yivli Dairesel Jet Akış Ölçümleri	41
<b>Şekil 3.8.a.</b>	Tünel Akışının Olmadığı, Jet Akış Hızının 25 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel Jet Akış Ölçümleri	42
<b>Şekil 3.8.b.</b>	Tünel Akışının Olmadığı, Jet Akış Hızının 25 m/s Olduğu Durumda İçten Yivli Dairesel Jet Akış Ölçümleri	43
<b>Şekil 3.9.a.</b>	Tünel Hızının 5 m/s ve Jet Akış Hızının 5 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel Jet Akış Ölçümleri	45
<b>Şekil 3.9.b.</b>	Tünel Hızının 5 m/s ve Jet Akış Hızının 5 m/s Olduğu Durumda İçten Yivli Dairesel Jet Akış Ölçümleri	46
<b>Şekil 3.10.a.</b>	Tünel Hızının 5 m/s ve Jet Akış Hızının 10 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel Jet Akış Ölçümleri	47
<b>Şekil 3.10.b.</b>	Tünel Hızının 5 m/s ve Jet Akış Hızının 10 m/s Olduğu Durumda İçten Yivli Dairesel Jet Akış Ölçümleri	48
<b>Şekil 3.11.a.</b>	Tünel Hızının 5 m/s ve Jet Akış Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel Jet Akış Ölçümleri	49
<b>Şekil 3.11.b.</b>	Tünel Hızının 5 m/s ve Jet Akış Hızının 20 m/s Olduğu Durumda İçten Yivli Dairesel Jet Akış Ölçümleri	50
<b>Şekil 3.12.a.</b>	Tünel Hızının 5 m/s ve Jet Akış Hızının 25 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel Jet Akış Ölçümleri	51
<b>Şekil 3.12.b.</b>	Tünel Hızının 5 m/s ve Jet Akış Hızının 25 m/s Olduğu Durumda İçten Yivli Dairesel Jet Akış Ölçümleri	52

<b>Şekil 3.13.a.</b> Tünel Hızının 10 m/s ve Jet Akış Hızının 10 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel Jet Akış Ölçümleri	53
<b>Şekil 3.13.b.</b> Tünel Hızının 10 m/s ve Jet Akış Hızının 10 m/s Olduğu Durumda İçten Yivli Dairesel Jet Akış Ölçümleri	54
<b>Şekil 3.14.a.</b> Tünel Hızının 10 m/s ve Jet Akış Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel Jet Akış Ölçümleri	55
<b>Şekil 3.14.b.</b> Tünel Hızının 10 m/s ve Jet Akış Hızının 20 m/s Olduğu Durumda İçten Yivli Dairesel Jet Akış Ölçümleri	56
<b>Şekil 3.15.a.</b> Tünel Hızının 10 m/s ve Jet Akış Hızının 25 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel Jet Akış Ölçümleri	57
<b>Şekil 3.15.b.</b> Tünel Hızının 10 m/s ve Jet Akış Hızının 25 m/s Olduğu Durumda İçten Yivli Dairesel Jet Akış Ölçümleri	58
<b>Şekil 3.16.a.</b> Tünel Hızının 20 m/s ve Jet Akış Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel Jet Akış Ölçümleri	59
<b>Şekil 3.16.b.</b> Tünel Hızının 20 m/s ve Jet Akış Hızının 20 m/s Olduğu Durumda İçten Yivli Dairesel Jet Akış Ölçümleri	60
<b>Şekil 3.17.a.</b> Tünel Hızının 20 m/s ve Jet Akış Hızının 25 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel Jet Akış Ölçümleri	61
<b>Şekil 3.17.b.</b> Tünel Hızının 20 m/s ve Jet Akış Hızının 25 m/s Olduğu Durumda İçten Yivli Dairesel Jet Akış Ölçümleri	62
<b>Şekil 3.18.a.</b> Tünel Hızının 25 m/s ve Jet Akış Hızının 25 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel Jet Akış Ölçümleri	63
<b>Şekil 3.18.b.</b> Tünel Hızının 25 m/s ve Jet Akış Hızının 25 m/s Olduğu Durumda İçten Yivli Dairesel Jet Akış Ölçümleri	64
<b>Şekil 3.19.</b> Tünel Akışının Olmadığı, Jet Akış Hızının 5, 10, 20 ve 25 m/s Olduğu Durumlarda Düz ve İçten Yivli Dairesel Jet Akış Ölçümleri Boyutsuz Hız Dağılımlarının Grafikler Üzerinde Gösterimi	66
<b>Şekil 3.20.</b> Tünel Hızının 5 m/s Olduğu, Jet Akış Hızının 10, 20 ve 25 m/s Olduğu Durumlarda Düz ve İçten Yivli Dairesel Jet Akış Ölçümleri Boyutsuz Hız Dağılımlarının Grafikler Üzerinde Gösterimi	68

<b>Şekil 3.21.</b>	Tünel Hızının 10 m/s Olduğu, Jet Akış Hızının 20 ve 25 m/s Olduğu Durumlarda Düz ve İçten Yivli Dairesel Jet Akış Ölçümleri Boyutsuz Hız Dağılımlarının Grafikler Üzerinde Gösterimi	69
<b>Şekil 3.22.</b>	Tünel Hızının 20 m/s Olduğu, Jet Akış Hızının 25 m/s Olduğu Durumda Düz ve İçten Yivli Dairesel Jet Akış Ölçümleri Boyutsuz Hız Dağılımlarının Grafik Üzerinde Gösterimi	69
<b>Şekil 3.23.a.</b>	Tünel Akışının Olmadığı ve Jet Akış Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel Jet Akış Çözücü Program Hesaplamaları	71
<b>Şekil 3.23.b.</b>	Tünel Akışının Olmadığı ve Jet Akış Hızının 20 m/s Olduğu Durumda İçten Yivli Dairesel Jet Akış Çözücü Program Hesaplamaları	72
<b>Şekil 3.24.a.</b>	Tünel Hızının 5 m/s ve Jet Akış Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel Jet Akış Çözücü Program Hesaplamaları	73
<b>Şekil 3.24.b.</b>	Tünel Hızının 5 m/s ve Jet Akış Hızının 20 m/s Olduğu Durumda İçten Yivli Dairesel Jet Akış Çözücü Program Hesaplamaları	74
<b>Şekil 3.24.a.</b>	Tünel Hızının 10 m/s ve Jet Akış Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel Jet Akış Çözücü Program Hesaplamaları	75
<b>Şekil 3.24.b.</b>	Tünel Hızının 10 m/s ve Jet Akış Hızının 20 m/s Olduğu Durumda İçten Yivli Dairesel Jet Akış Çözücü Program Hesaplamaları	76
<b>Şekil 3.26.</b>	Tünel Akışının Olmadığı ve Jet Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Jetlerin $x/D = 0.3$ İstasyonundaki Deneysel ve Sayısal Boyutsuz Hız ve $U_{rms}$ Dağılımları	79
<b>Şekil 3.27.</b>	Tünel Akışının Olmadığı ve Jet Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Jetlerin $x/D = 12.5$ İstasyonundaki Deneysel ve Sayısal Boyutsuz Hız ve $U_{rms}$ Dağılımları	80
<b>Şekil 3.28.</b>	Tünel Akışının Olmadığı ve Jet Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Jetlerin $x/D = 31.2$ İstasyonundaki Deneysel ve Sayısal Boyutsuz Hız ve $U_{rms}$ Dağılımları	81
<b>Şekil 3.29.</b>	Tünel Akışının Olmadığı ve Jet Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Jetlerin $x/D = 50$ İstasyonundaki Deneysel ve Sayısal Boyutsuz Hız ve $U_{rms}$ Dağılımları	82

<b>Şekil 3.30.</b>	Tünel Hızının 5 m/s ve jet Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Jetlerin $x/D = 0.3$ İstasyonundaki Deneysel ve Sayısal Boyutsuz Hız ve $U_{rms}$ Dağılımları	83
<b>Şekil 3.31.</b>	Tünel Hızının 5 m/s ve jet Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Jetlerin $x/D = 12.5$ İstasyonundaki Deneysel ve Sayısal Boyutsuz Hız ve $U_{rms}$ Dağılımları	84
<b>Şekil 3.32.</b>	Tünel Hızının 5 m/s ve jet Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Jetlerin $x/D = 31.2$ İstasyonundaki Deneysel ve Sayısal Boyutsuz Hız ve $U_{rms}$ Dağılımları	85
<b>Şekil 3.33.</b>	Tünel Hızının 5 m/s ve jet Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Jetlerin $x/D = 50$ İstasyonundaki Deneysel ve Sayısal Boyutsuz Hız ve $U_{rms}$ Dağılımları	86
<b>Şekil 3.34.</b>	Tünel Hızının 10 m/s ve jet Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Jetlerin $x/D = 0.3$ İstasyonundaki Deneysel ve Sayısal Boyutsuz Hız ve $U_{rms}$ Dağılımları	87
<b>Şekil 3.35.</b>	Tünel Hızının 10 m/s ve jet Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Jetlerin $x/D = 12.5$ İstasyonundaki Deneysel ve Sayısal Boyutsuz Hız ve $U_{rms}$ Dağılımları	88
<b>Şekil 3.36.</b>	Tünel Hızının 10 m/s ve jet Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Jetlerin $x/D = 31.2$ İstasyonundaki Deneysel ve Sayısal Boyutsuz Hız ve $U_{rms}$ Dağılımları	89
<b>Şekil 3.37.</b>	Tünel Hızının 10 m/s ve jet Hızının 20 m/s Olduğu Durumda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Jetlerin $x/D = 50$ İstasyonundaki Deneysel ve Sayısal Boyutsuz Hız ve $U_{rms}$ Dağılımları	90

# TABLO LİSTESİ

	SAYFA
<b>Tablo 1.1.</b> Sıkıştırılmaz jetle ilgili önemli deneysel çalışmaların açıklamaları ve yayılma oranı önceden belirlenmiş değerlerle karşılaştırmaları	7
<b>Tablo 1.2.</b> Sıkıştırılmaz jetle ilgili önemli deneysel ve nümerik çalışmaların açıklamaları ve yöntemleri	8
<b>Tablo 1.3.</b> Dairesel jet akışları üzerine yapılan araştırmalar ve açıklamalar	9
<b>Tablo 1.4.</b> Dairesel jet akışları üzerine yapılan araştırmalar ve açıklamalar	10
<b>Tablo 2.1.</b> Düz Bakır Boru Teknik Özellikleri	26
<b>Tablo 2.2.</b> İçten Yivli Bakır Boru Teknik Özellikleri	26
<b>Tablo 2.3.</b> İçten Yivli Bakır Boru Teknik Özellikleri	27
<b>Tablo 3.1.</b> Hava Tüneli deney Odası Ölçüm sonuçları Kodlaması	32
<b>Tablo 3.2.</b> Düz ve İçten Yivli Dairesel Boru Deney Sonuçları Kodlaması	35
<b>Tablo 3.3.</b> İçten Yivli Dairesel Boru Deney Ölçüm Tipleri	44
<b>Tablo 3.4.</b> Deney Odasında Akış Olmadığı Durumlarda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Boru SAD Deney Sonuçları Kodlaması	70
<b>Tablo 3.5.</b> Deney Odasında 5 ve 10 m/s Hızında Akış Olduğu Durumlarda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Boru SAD Deney Sonuçları Kodlaması	70
<b>Tablo 3.6.</b> Düz Dairesel Boru Deneysel Verilere Göre Jet Hızı 20 m/s, Deney Odası 0, 5, 10 m/s için Eksen Hızı ( $U_e$ ), Jet Yarı Kalınlığı (b), Jet Çapı İçin Reynolds Sayısı ( $Re_D$ ) ve Jet Yarı Kalınlığı İçin Reynolds Sayısı ( $Re_b$ )	77
<b>Tablo 3.7.</b> İçten Yivli Dairesel Boru Deneysel Verilere Göre Jet Hızı 20 m/s, Deney Odası 0, 5, 10 m/s için Eksen Hızı ( $U_e$ ), Jet Yarı Kalınlığı (b), Jet Çapı İçin Reynolds Sayısı ( $Re_D$ ) ve Jet Yarı Kalınlığı İçin Reynolds Sayısı ( $Re_b$ )	77
<b>Tablo 3.8.</b> Düz Dairesel Boru Sayısal Akışkanlar Dinamiği (SAD) Sonuçlarına Göre Jet Hızı 20 m/s, Deney Odası 0, 5, 10 m/s için Eksen Hızı ( $U_e$ ), Jet Yarı Kalınlığı (b), Jet Çapı İçin Reynolds Sayısı ( $Re_D$ ) ve Jet Yarı Kalınlığı İçin Reynolds Sayısı ( $Re_b$ )	78

**Tablo 3.9.** İçten Yivli Dairesel Boru Sayısal Akışkanlar Dinamiği (SAD) Sonuçlarına Göre Jet Hızı 20 m/s,Deney Odası 0, 5, 10 m/s için Eksen Hızı ( $U_e$ ), Jet Yarı Kalınlığı ( $b$ ), Jet apı İçin Reynolds Sayısı ( $Re_D$ ) ve Jet Yarı Kalınlığı İçin Reynolds Sayısı ( $Re_b$ )

78



# 1. GİRİŞ

Temel akış tiplerinden birisi olan jet akışın; havacılık, otomotiv, kimya ve ilaç sanayi gibi endüstrinin değişik kollarında birçok uygulama alanları bulunmaktadır. Jet akış yapısı üzerine yapılan çalışmalar çok olmasına rağmen içten yivli dairesel boruların jet akış ve türbülanslı akış yapısının deneysel ve sayısal olarak incelenmesine pek rastlanılmamıştır. Isı değiştiricisi olarak da kullanılan içten yivli-dairesel boruların, deneysel ve sayısal olarak da incelenmesi bu tür akış yapısı hakkındaki bilgi eksikliklerinin giderilmesi yönünde yarar sağlayacağı düşünölmüştür.

Deneysel çalışmalar, Marmara Üniversitesi'nde bulunan ses altı-düşük hızlı 32x32 cm<sup>2</sup> kesitli ve 75 cm uzunluğundaki deney odası bulunan ve türbölans yoğunluğu %0,5 olan emişli tipte subsonik bir hava tüneline yapılmıştır. Ölçümler için tek kanallı Kıızgın Tel Anemometre (CTA) kullanılmıştır. Dairesel jet akışı için, içten yivli bakır bir boru kullanılmıştır. Jet akışına sürekli hava üretmesi için hava üreticisi ilavesi yapılarak jet akışlarının farklı hızlardaki ölçümleri yapılmıştır.

Sayısal analizler, sonlu hacimler yöntemi kullanan bir çözücü program vasıtası ile çözüölüp yine bu program vasıtası ile deneysel verilere denk noktaların ölçümleri alınmıştır. Bu noktalar grafik ortama taşınarak hız profilleri, türbölans ve boyutsuz hız dağılımları ile jet yayılma oranları oluşturulmuştur. Elde edilen deneysel ve sayısal veriler, diğer dairesel ölçümler üzerinde yapılan deneysel ve sayısal verilerle aynı grafik ve tablo içerisinde karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

## 1.1. Tezin Amacı

Bu çalışma, özellikle dairesel ve türbölanslı jet akış yapılarının incelendiği bir çalışmanın devamı niteliğinde olan hem deneysel hem de sayısal bir çalışmadır. Isı değiştiricisi olarak da kullanılan içten yivli-dairesel boru ile aynı kesitli düz dairesel borunun jet akımlarında jet eksenini boyunca belirli istasyonlardaki hız profilleri deneysel olarak elde edilmiştir. Devamında da jet akışının SAD ( Sayısal Akışkanlar Dinamiği) ile çözüölümü yapılarak elde edilen veriler yardımı ile deneysel çalışmanın doğrulaması yapılmış ve grafik ortamda gösterilerek değerlendirilmiştir.

## 1.2. Jet Akış Yapısı

Jet akışları, nozuldan çıkan akışın çevre akışına doğru oluşturduğu akış profili halidir. Jet akışı, çıkıştan uzaklaştıkça hız profili genişler ve eksendeki hız da gittikçe azalır. Temel akış tiplerinden biri olan jet akışının birçok endüstriyel alanda uygulamaları vardır. Jet akışındaki hız dağılımının bulunması için gerekli denklemler Navier-Stokes ve kütle korunumu denklemleridir.

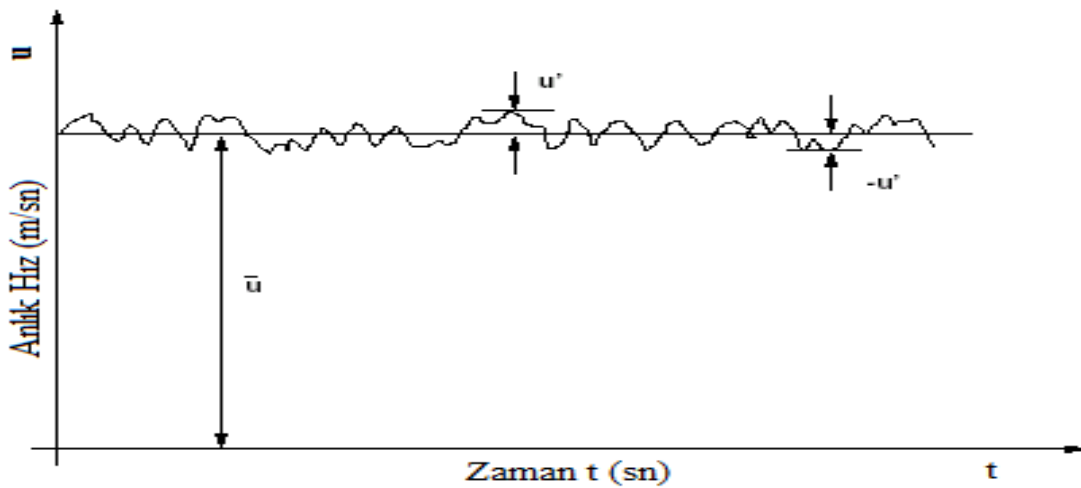
Jet akış uygulamalarında, hız alanını veren Navier-Stokes eşitliği, indis notasyonu ile aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_k \partial x_k} \quad (1.1)$$

Sıkıştırılamaz akışkan için süreklilik denklemi:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1.2)$$

Burada  $u_i$ :  $i$  yönündeki anlık hız,  $x_i$ : koordinat,  $\rho$ : Akış yoğunluğu,  $P$ : Anlık basınç,  $\nu$ : Akışkanın kinematik viskozitesidir. Bu eşitliklerle, jet akış deneylerinden, akış yönü, akışın eksenselliği, akış alanı genişliğinin akış alanı uzunluğu ile karşılaştırılması, küçük basınç değişiklikleri, türbülanslı akışta kor bölgesi, ortalama akış kararlılığı, çevre akışının jetten uzaklığı tespit edilebilir. Reynolds ayrışımı ile türbülanslı akışta bir noktadaki hız, aşağıda yazıldığı gibi gösterilir.



Şekil 1.1. X Eksenine Doğrultusunda Bir Noktadaki Hız Dağılımı [1].

$$u_i(t) = \bar{u}_i + u_i'(t) \quad (1.3)$$

Burada  $u_i(t)$ : Anlık hız,  $\bar{u}_i$ : Zaman – ortalama hız,  $u_i'(t)$  ise  $\bar{u}_i$  etrafındaki ortalama hız çalkantılarıdır. Üst çizgiler, çalkantı hızlarının ortalamaları olup sıfırdır. X eksenine doğrultusunda bir noktadaki hız dağılımı Şekil 1.1’de gösterilmiştir.

$$\overline{u_i'(t)} \equiv 0 \quad (1.4)$$

Basınç alanları da benzer şekilde yazılır.

$$p(t) = \bar{p} + p'(t) \quad (1.5)$$

$$\overline{p'(t)} \equiv 0 \quad (1.6)$$

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

$$\rho(\bar{u}_r \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial x} + \bar{u}_r \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial r}) = -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \overline{\rho u_x' x u_r'}) \quad (1.7)$$

Burada :  $\bar{u}_x$  :Belirli zamandaki ortalama eksen hızı,  $\bar{u}_r$  . Belirli zamandaki ortalama radyal hızdır.  $(r \overline{\rho u_x' x u_r'})$  ise Reynolds gerilmesidir. Reynolds gerilmeleri bağımsız eşitlik olmaksızın bu denklemle çözülmez. Eddy kinematik viskozitesi,  $v_T$ , eksenel hız gradyanındaki Reynolds gerilmesiyle ilişkilidir.

$$-\overline{u_x' u_r'} = v_T \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial r} \quad (1.8)$$

$v_T = v_T(x)$  alınıp denklemde yerine konulduğunda,

$$\bar{u}_x \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial x} + \bar{u}_r \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial r} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r v_T \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial r}) \text{ olur.} \quad (1.9)$$

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

$$\frac{\bar{u}_{x,\max}}{u_0} \cong \left[ \frac{x+a}{d} \right]^{-1} \text{ ve } \frac{x+a}{d} = \frac{r_{1/2}}{r_0} \text{ alınır,} \quad (1.10)$$

$$\frac{\bar{u}_0}{\bar{u}_{x,\max}} = \left[ 1 + \frac{\bar{u}_{x,\max}(x+a)}{8v_T} \xi^2 \right]^{-2} \quad (1.11)$$

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,

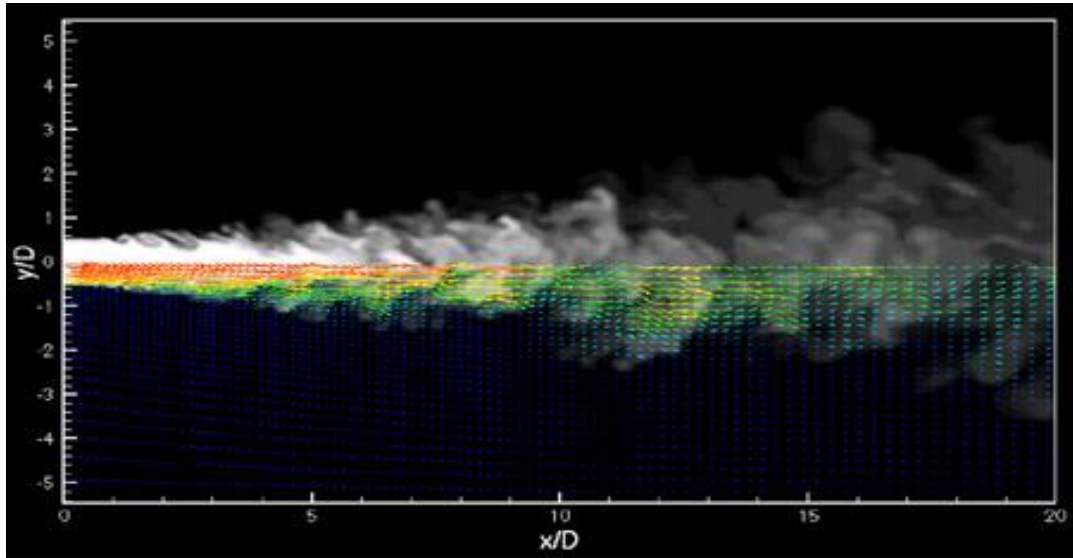
$$M_0 = \int_0^\infty \rho^2 2\pi r dr = \rho u_0^2 A_0 \text{ olarak yazılır.} \quad (1.12)$$

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.

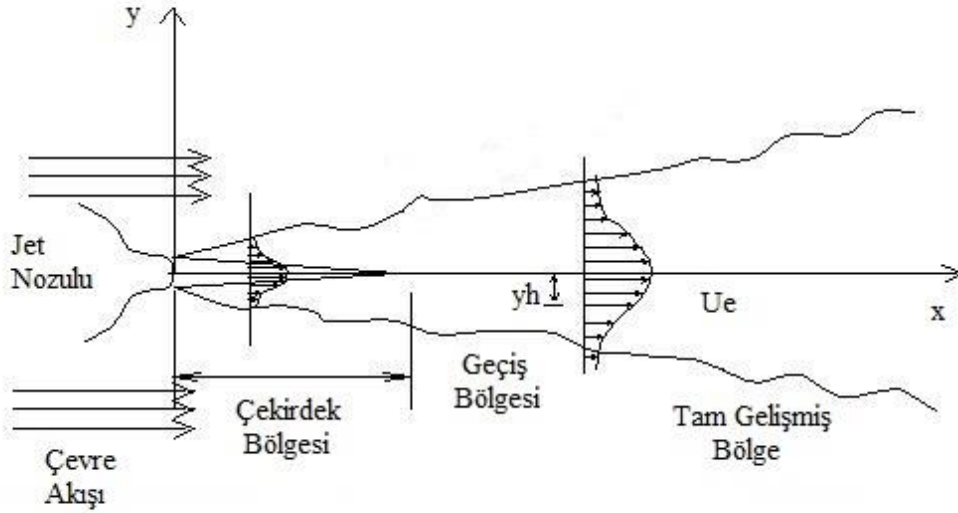
Hız profilleri, hız ve mesafeyi boyutsuzlaştırarak boyutsuz eğrileri çıkartılır. Dairesel jet akışlarında Jetin huzme veya yayılma açısı, x doğrultusunda jet eksenindeki hızın yarısına denk gelen “r” mesafesinden yararlanılarak bulunur [2].



Şekil 1.2. Jet Akış [62].

Jet akış yapısı ince bir sınır tabakası ile nozuldan çıkararak üç farklı bölgeye ayrılır. Bu bölgeler;

- 1) Potansiyel çekirdek bölgesi; hız oranına ve sınır tabaka kalınlığına bağlı olarak, nozul çapının 4 veya 8 katı olduğu yere kadar olan bölgedir. Bu bölgedeki jet akım hızı jet çıkış hızına eşittir.
- 2) Geçiş bölgesi; Potansiyel çekirdek bölgesi ya da 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.
- 3) Tam gelişmiş bölge; Türbülanslı olan bu bölgedeki hız profilleri birbirine benzer. Jet akış profili Şekil 1.3'de görülmektedir [1]. Ayrıca şekildeki  $y_h$ ; jetin yarı genişlik bölgesidir.  $y_h$ , jet merkez maksimum hızı ile çevre hızının toplamının yarısının olduğu bölgedir. Jet çıkış hızı olan  $U_j$ , eksenin alt ve üst kısmında uniform olduğundan, çevre hızı ( $U_c$ ) orifise yaklaşır [3].



Şekil 1.3. Jet Akış Yapısı [1].

Şekilde, jet yarı genişliği,  $y_h$ , jet eksen hızı ile çevre hızının toplamının yarısının olduğu bölgedir. Jet çıkışında hız,  $U_j$ , uniform olduğundan, jet akış profilindeki hız değerleri birbirine yakın olur. Burada türbülans çalkantısı genişliği hemen hemen sıfır genişliğindedir. Bu genişlik orifisten uzaklaştıkça artar. Eksendeki hız,  $U_e$ , potansiyel çekirdek bölgesinde sabitliğini korur. Alt akışlardaki orifis hızı, mesafenin artmasıyla jete arttırır. 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. [3]. Jet akışını etkileyen koşullar, Ransom ve Smy tarafından şu şekilde belirlenmiştir [5]:

- 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.

### 1.3. Jet Akışı Üzerine Yapılan Deneysel Çalışmalar

Ortamdaki akışkana doğru gelişen serbest jet akışı ile ilgili ilk çalışmayı yapan kişi, 1915 yılında, Trupel olmuştur [6]. Kızgın tel anemometre kullanarak bu konuda daha ayrıntılı araştırmalar yapan ilk kişiler ise Reichardt 1942'de, Corrsin 1946'da [7], Hinze ve Zijnen 1949'da [8], Albertson ve arkadaşları 1950 yılında yapmışlardır [9]. Wagnanski ve Fiedler, 1969 yılında, Serbest jet türbülans yapılarının çeşitli görünüşlerini, jet eksen boyunca türbülans çalkantı değerlerinin r.m.s. değişimlerini, kızgın tel anemometre kullanarak göstermiştir [10], Davies, Fisher [11] ve Bradshaw da aynı konu üzerine benzer çalışmalar yapmıştır [12]. Benzer çalışma, Hussein ve George tarafında da yapılmış [13], Taulbee' de LDA (Laser Doppler Anemometry) kullanarak yapılan çalışmayı yenilemiştir [14], 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 başlamıştır. Dairesel bir serbest jet için, türbülans değerleri, Corrsin [15] ve diğer araştırmacılar tarafından ölçülmüştür. Wagnanski ve Fiedler [10], dairesel serbest jetler için daha gelişmiş ekipmanlar kullanarak benzer ölçümler yapmışlardır. Onlar, uzunlamasına

profil değişimlerini, nozul çıkışından 40D sonra, jet'te, “ $u^2$ ” 'nin eş yapılı olduğunu göstermişlerdir.

**Tablo 1.1.** Sıkıştırılmaz jetle ilgili önemli deneysel çalışmaların açıklamaları ve yayılma oranı önceden belirlenmiş değerlerle karşılaştırmaları [17].

Araştırmacılar	Yıl	Yayılma Oranı	$\overline{uv}_{\max} / U_{cl}^2$	Yapılan Çalışmalar
Wygunanski and Fiedler [10]	1969	0.086	0.0165	HWA
Rodi [18]	1972	0.086	0.0186	HWA
Capp [19]	1983	0.095	-	LDA
Panchakesan and Lumley [20]	1986	0.096	0.021	HWA
Taulbee et al [14]	1987	0.094 0.102	0.021	LDA HWA
Hussein and George [13]	1989	0.094	0.021	HWA
The modified $k - \varepsilon - \tau$ model [17]		0.092	0.020	Nümerik Çalışma
ASM [2]		0.149	0.034	Nümerik Çalışma
$k - \varepsilon$ model [2]		0.114	0.023	Nümerik Çalışma

Aynı eksenli jet akış konusu için, Maczynski [21] ve Antonia ve Bilger [22] 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.

Corrsin ve Uberoi [23], jet çıkış hızı,  $U_m$ 'nin  $1/x'$  e göre grafiğini oluşturduğunda, düz çizgilerin türbülanslı gelişme bölgesine doğru bozulduğunu göstermiştir. Bu düz doğrunun eğiminin bir dereceye kadar başlangıç ve sınır şartlarına bağlı olduğu anlaşılmıştır.

Corrsin ve Kister [24], 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.

**Tablo 1.2.** Sıkıştırılmaz jetle ilgili önemli deneysel ve nümerik çalışmaların açıklamaları ve yöntemleri.

Araştırmacılar	Yıl	Açıklama	Yapılan Çalışmanın Yöntemi
Miller ve Arkadaşları [25]	1995	İki eş değer çaplı jet, en-boy oranı 1 ve 2 için incelemiştir.	HWA
Grinstein ve Arkadaşları [26]	1995	Jet dinamiklerinin, eksen üzerinde değişime olan katkısını incelemiştir.	HWA NÜMERİK
Buresti ve Arkadaşları [27]	1998	İç içe 0.5 çap oranlı jetin hız ve türbülans ölçümlerini incelemiştir.	LDA+HWA NÜMERİK
Zaman [28]	1999	Farklı jet tiplerinin yayılma dağılıma karakteristiklerini incelemiştir.	HWA
Husain ve Hussain [29]	1999	Eliptik jetlerin oluşturduğu akım alanını incelemiştir.	HWA
Mi ve Arkadaşları [30]	2000	Farklı tipte dairesel olmayan jetlerin eksenindeki dağılıma karakteristiklerini incelemiştir.	HWA NÜMERİK
A. Talat İNAN [2]	2002	Koni ilaveli jet akışının karakteristik yapısını incelemiştir.	DENEYSEL
Quinn [31]	2005	İkizkenar kesitli jetin, akım ve türbülans karakteristiklerini incelemiştir.	DENEYSEL NÜMERİK
Berg ve Arkadaşları [32]	2006	Jet akımının, farklı türbülans modellerinde sayısal çözümlemesini incelemiştir.	NÜMERİK
Harun Kayıkçı [33]	2006	Koni ilaveli jet akışının karakteristik yapısının sayısal çözümlemesini incelemiştir.	NÜMERİK
C. Bogey ve C. Bailly [34]	2009	Eksenel simetrik jetlerin benzerlik gösteren bölgelerini incelemiştir.	LES NÜMERİK
Philip J. Morris, KBQM Zaman [35]	2009	Simetrik bir jetin eksenindeki türbülanslı hız dalgalanmalarının istatistiksel özelliklerini incelemiştir.	HWA NÜMERİK
T.Lunginsland, L.Kleiser [36]	2011	Jet akışı sonucu oluşan girdaplar deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir.	LES NÜMERİK



Forstall ve Shapiro [41], farklı hız oranları için, “x”e göre  $(U_j - U_ç)/(U_e - U_ç)$  grafiklerini çizdiğinde, düz çizgilerde tahmini olarak çökme olduğu sonucuna varmışlardır.

**Tablo 1.3.** Dairesel jet akışları üzerine yapılan araştırmalar ve açıklamalar [2].

No	Araştırmacılar	$U_ç/U_j$	$U_ç$ m/s	$U_j$ m/s	$D_{jet}$ (mm)	$x/D$	U	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 [23]	0	0	198	25.5	7.55, 10.0, 15.50 ve 20.0	*	*	*		*	Anlık sıcaklık ölçümü
3	Wynanski and Fielder [10]	0	0	119	10.4	50, 60, 75 ve 97.5	*	*	*	*	*	
4	Rodi [18]	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 [21]	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 [22]	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 [44]	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 [45]	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

Tani ve Kobashi de eksen çizgisi boyunca hız değişiminin düşüşünü göstermiştir [46].

Ayrıca Anatonina ve Bilger, farklı hız oranları için yaptıkları çalışmada da aksenal hız değişiminde düşüş olduklarını göstermişlerdir [22].

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,  $l/x$  ve  $y_n$  de lineer olmalıdır. Bu değer, dairesel jet akışı için,  $dy_h/dx = 0.086$  (Rodi deneyine göre) olmalıdır [18].

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, Göre ve Ranz, Kerr ve Fraser, Chipier ve Chervinsky tarafından yapılmıştır [40-47]. Çalışmalarda, jet çıkış nozulun

**Tablo 1.4.** Dairesel jet akışları üzerine yapılan araştırmalar ve açıklamalar.

No	Araştırmacılar	$U_\varphi/U_j$	$U_\varphi$ m/s	$U_j$ m/s	$D_{jet}$ (mm)	$x/D$	U	U	v	w	$\frac{---}{uv}$	Deneysel Araçları
1	A. Talat İNAN [2]	0.33, 0.67, 1	10, 20, 30	10, 20, 30	8	0.3, 12.5, 31.2 ve 50	*					Deneysel Hız Ölçümü
2	Harun Kayıkcı [33]	0.33, 0.67, 1	10, 20, 30	10, 20, 30	8	0.3, 12.5, 31.2 ve 50	*					Nümerik Çalışma
3	Yalçın Yükselentürk [48]	0	0	0.5, 50, 100	20	2D, 5D ve 10D	*	*		*	*	Deneysel Hız Ölçümü ve Nümerik Çalışma
4	C. Bogey, O. Marsden, C. Bailley [49]	0	0	308	1.25 ve 10	0.15 ve 0.018	*	*	*	*	*	Deneysel Hız Ölçümü ve Nümerik Çalışma

çapı 10 cm'dir. Aynı eksenli jet akışında girdap konusunda, kızgın tel anemometre tekniği kullanılarak Samet ve Einav tarafından deneysel çalışmalar yapılmıştır [50]. Aynı konuda Riberio ve Whitelw ve Chang da çalışmalar yapmışlardır [51,52]. Onlar 10 m/s 'ye eşit bir aynı eksenli akışta uygulamışlar ve hız oranlarını  $Uç/Uj= 0.2$  almışlardır.  $x/D= 15$ 'de 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 bölgeleri de dairesel halkalar olabilir. Yule, geniş Eddy'leri yapışik yapılar olarak tanımlamıştır [53], Bruun [54] 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, “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 [43] , Komori ve Veda [55] deneysel olarak incelemişlerdir.

#### **1.4. Jet Akışı Üzerine Yapılan Sayısal Çözümlerle İlgili Çalışmalar**

Miller ve arkadaşları (1995) dairesel ve dairesel olmayan jetler üzerinde yaptıkları sayısal çözümleme jetin eksenel sapmasını, jet çekirdeğinin uzunluğunu ve jetin dağılma karakteristiğini incelemişlerdir. Çalışmada dairesel olmayan jet türü olarak eliptik, dikdörtgen ve eşkenar üçgen kesitli jetler kullanılmıştır. Bu jetler için eşdeğer çaplar eşit olup, en-boy oranı 1 ve 2 olan durumlar ele alınmıştır. Çalışmanın sonucu olarak, eksenel sapma, eşkenar üçgen jetle birlikte özellikle en-boy oranı eş dağılımlı olmayan jetlerde görülmüştür. Tüm dairesel olmayan jetlerdeki dağılma dairesel jete göre daha çabuk gerçekleşmiştir. En etkin dağılma ise ikizkenar üçgen jet akışında görülmüştür [25].

Grinstein ve arkadaşları (1995) yaptıkları çalışmada, ses altı kare jetlerde başlangıç koşullarının ve diğer jet dinamiği özelliklerinin jet eksenindeki değişime olan katkısını deneysel ve sayısal yöntemler ile incelemişlerdir. Yapılan çalışmada yüksek ve düşük türbülans düzeyindeki orifis jetler ile boru tipi jetler kullanılmıştır. Çalışmada deneysel yöntem olarak sıcak tel anemometresi kullanılmıştır. Bu incelemenin sonuçlarına göre türbülans seviyesi Reynolds sayısı karakteristik momentum

kalınlığının eşdeğer çapa oranı gibi başlangıç koşullarının jet yakın bölgesinde aksel bir sapma yaratmadığı daha uzak bölgelerde ise etkilediği görülmüştür [26].

Zaman (1999), yayınladığı çalışmada Mach sayısının 0.3 – 2.0 olduğu sıkıştırılabilir akımda, çeşitli asimetrik lüleler ve dikdörtgen orifislerden (delik) elde edilen jetlerin yayılma-dağılma karakteristikleri üzerine eğilmiştir. Bu çalışmada lüle çıkısındaki çıkıntı etkisi de incelenmiştir. Çalışmanın bir sonucu olarak, asimetrik jetlerin ses altı koşullarda dairesel jetlere göre çok az daha hızlı dağılmakta olup, ses üstü akım koşullarında ise çok daha hızlı bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, en-boy oranı (aspect ratio) küçük olan orifislerdeki jet akımlarının dağılmasında önemli bir artış gözlemlenmemiş olup, en-boy oranı 10'dan fazla olan orifislerdeki jet dağılmasında kayda değer artışlar elde edilmiştir [28].

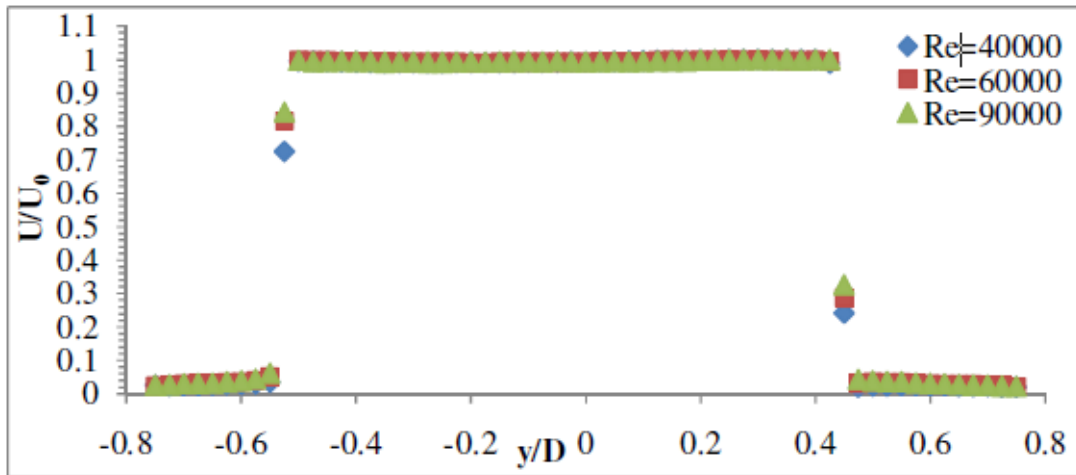
Buresti ve arkadaşları (1998) iç ve dış çap oranları 0.5 olan eş aksel jet üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada hız oranları (iç jet hızı/ dış jet hızı) 0.30 ve 0.67 alınmış, ayrıca her iki durum için, kalınlığı 5 mm olan ve çok daha keskin bir duvar olmak üzere iki iç duvar kullanılmıştır. Deneyler LDA (Lazer-Doppler Anemometresi) ve sıcak tel anemometresi yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Deney sonuçları düşük hız oranlarının iç jet çekirdeğinin uzunluğunun azalmasına, dış jetin çalkantılarında artışa neden olduğunu ve iki akım arasında yüksek düzeyde bir karışmaya sebebiyet verdiğini göstermektedir. Keskin iç duvarın kullanıldığı durumların - özellikle hız oranı 0.67 olduğu durumda - yakın bölgedeki radyal yöndeki çalkantılarda ve Reynolds gerilmelerinde azalmaya neden olduğu gözlemlenmiştir. Fakat çekirdeklerin sona erdiği bölgelerin sonrasında, iç duvar kalınlığı özeliğinin akım alanına etkisinin ihmal edilebilir durumda olduğu anlaşılmıştır [27].

Husain ve Hussain (1999) eliptik jetler ile ilgili yayınladıkları çalışmada, kendinden uyarımlı eliptik jetlerin oluşturduğu akım alanını incelemişlerdir. Çalışmada en-boy oranı 2 olan geometriye sahip eliptik jetler kullanılmıştır. Elde edilen veriler uyarımı olmayan eliptik jet ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları sıcak tel anemometresi kullanılarak elde edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre, kendiliğinden uyarımlı jet akımı aksel sapma göstermemekle birlikte, uyarımı olmayan jet akımına göre ana jet ekseninde daha fazla dağılmaktadır. Uyarımlı jetin yakın bölgesindeki karışma, uyarımsız bölgeye göre % 70 mertebelerinde daha fazladır [29].

Mi ve arkadaşları (2000) dokuz adet dairesel olmayan kesitlerdeki jet akımlarının jet eksenindeki dağılma karakteristiklerini incelemişlerdir. Bulgular dairesel jet akımı karakteristiği ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada ölçümler sıcak tel anemometresi kullanılarak sağlanmıştır (5µm tungsten tel). Çalışmada akım Reynolds sayısı düşük türbülans şiddeti oluşturacak şekilde seçilmiş ve yaklaşık 15000 alınmıştır. Deney sonuçları eksenel simetrideki bozulmaların ortalama hızdaki azalmaya ve çalkantıların etkin değerinde (RMS) artışa neden olduğunu göstermiştir [30].

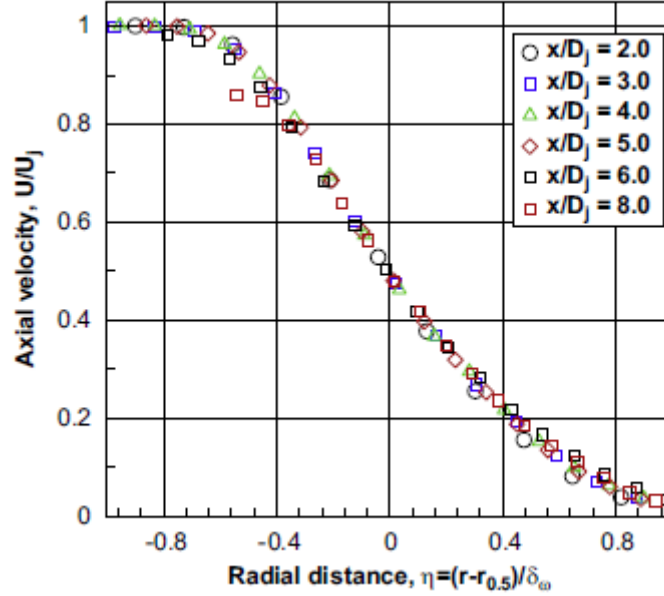
Berg ve arkadaşları (2006) iki farklı türbülans modeli ( $k-\epsilon$  ve  $k-\omega$ ) kullanarak serbest ve türbülanslı bir dikdörtgen jet akımının sayısal çözümlemesini yapmışlardır. Kullandıkları dikdörtgen profilinin en-boy oranı sabit alınmıştır. Çözümlemede akım alanı girişi için iki farklı sınır koşulu kullanılmıştır. Bu sınır koşullarından ilki es dağılımlı hız profili, ikincisi ise deney sonuçlarından elde edilen değişken hız profili olarak alınmıştır. Çalışma sonucunda  $k-\epsilon$  türbülans modelinin değişken dağılımlı hız profili sınır koşuluyla birlikte kullanıldığında çözümlemenin, deney sonuçlarında elde edilen akım alanı ile tutarlı olduğu görülmüştür [32].

Yalçın Yükselentürk (2011) çalışmasında dairesel ve yönce kesitli iki ayrı jet karşılaştırması yapmıştır. Bu yapılan çalışmada kızgın tel anemometresi, çizim programı ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği programı kullanmıştır. Yapılan bu çalışmada hız ve Şekil 1.4'de olduğu gibi Reynolds Sayısı değerleri grafiklere ve şekillere taşınarak her iki jet akış tipi için değerlendirilmiştir. Elde edilen bu verilere göre jet ağzındaki ölçümler aşağıdaki gibidir [48].



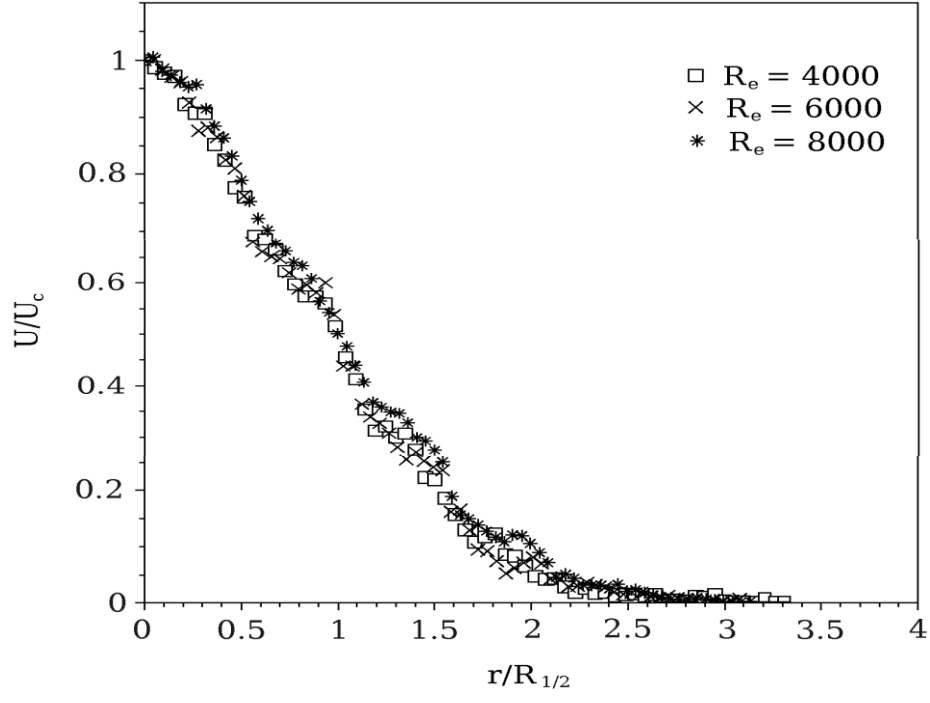
Şekil 1.4. Hız dağılımı [48].

Morris ve Zaman (2010) simetrik eksenli bir jetin özelliklerini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Çalkantılı hız dalgalanmalı üzerinden hareket ederek gürültü düzeyi tahmini yapmışlardır. Ölçümler 2 şekilde yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Birincil olarak kızgın tel anemometre, ikincil olarak çift bileşenli anemometre kullanmışlar ve eksenel hız dalgalanmaları ile diğer hız dalgalanmalarını korelasyonlu olarak sunmuşlardır. Jet ağzı ve eksen üzerinde ölçümler yapmışlardır. Sonuçlar boyutlu ve boyutsuz olarak değerlendirilmiş ve Sayısal Akışkanlar Dinamiği (SAD/CFD) doğrulanmıştır [35]. Şekil 1.5'te de farklı istasyonlardaki boyutsuz hız dağılımları gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Eksendeki boyutsuz hız dağılımı [35].

Sivakumar ve arkadaşları (2012) kızgın tel anemometresi ile dairesel jet akış yapısı ölçümleri yapmışlardır. Bu çalışmada dairesel jetin potansiyel çekirdek bölgesini incelemişlerdir. Bu çalışmada Reynolds Sayıları ortalama jet yarıçapı için 4000-8000 arasında değerlendirilmiştir. Jet akış yapısı özellikleri ve hız istatistikleri bu değerler için sunulmuştur. Bu çalışmada jet hava üreticisi olarak bir kompresör, ölçüm elemanları için CTA ünitesi, kızgın tel anemometresi ve bir bilgisayar kullanmışlardır [64]. Şekil 1.6'da  $x/D=15$  ölçüm istasyonundaki boyutsuz hız dağılımları gösterilmektedir.



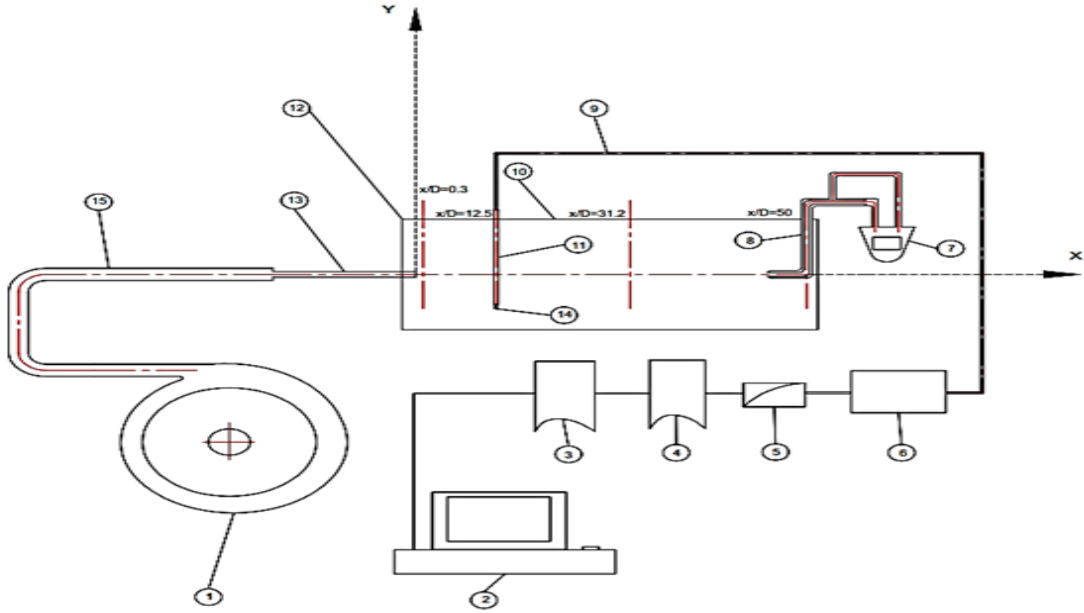
Şekil 1.6. Boyutsuz hız dağılımı [64].

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, deney düzeneği elemanları olarak kullanılan ve deneysel çalışmanın yapıldığı hava tüneli, jet akışı için ikincil hava üreticisi, hız ve türbülans ölçümlerinde kullanılan HWA (Hot Wire Anemometer) ünitesi ve jet akışı için kullanılan düz-dairesel ve içten yivli-dairesel boru hakkında genel ve çalışmanın amacına uygun özel bilgiler verilmiştir. Son olarak da SAD (Sayısal Akışkanlar Dinamiği) çözümleri hakkında ve analizler için sayısal model seçimi hakkında bilgi verilmiştir.

### 2.1. Deneysel Düzenek

Deneysel çalışma planı Şekil 2.1’de gösterildiği gibi yapılmıştır. Burada Jet akışı için kullanılan boru, deney odasına yerleştirilmiş ve belirlenen istasyonlardan daldırılan prob ile ölçümler alınmıştır. Elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır.



1. Jet Hava Üreticisi, 2. Bilgisayar, 3. Veri Analiz Elemanı, 4. Zaman Serisi, 5. Lineerleştirme, 6. Wheatstone Köprüsü ve Servo Yükseltici, 7. Dijital Pitot Statik Tüp Ekranı, 8. Pitot Tüpü, 9. Koaksiyal Kablo, 10. Deney Odası, 11. Prob Support, 12. Hava Tüneli Deney Odası Girişi, 13. Jet Boru Elemanı, 14. Prob, 15. Bağlantı Boru Elemanı

Şekil 2.1. Deneysel Çalışma Planı.



### 2.1.1. Hava Tüneli

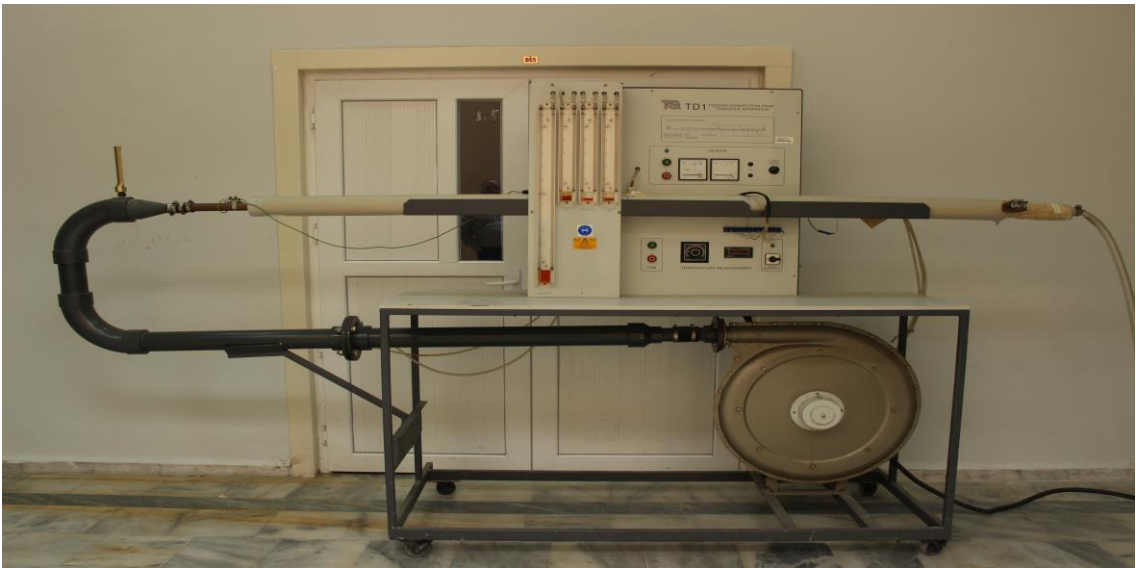
Jet akış ile ilgili yapılan çalışmalarda, açık devreli, emişli ve düşük hızlı özellikleri bulunan Marmara Üniversitesi'nde mevcut hava tünelinde yapılmıştır [2]. Jet akışı ile ilgili deneysel çalışmaların yapıldığı hava tüneli Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Hava Tüneli.

### 2.1.2. Jet Hava Üreticisi

Jet Akış temini için ikincil hava üreticisi olarak kullanılan jet hava üreticisi Şekil 2.3' de gösterilmiştir. Jet hava üreticisi ile jet akışlarında kullanılan boru uygun çaptaki bir hortum ile birleştirilmiştir.



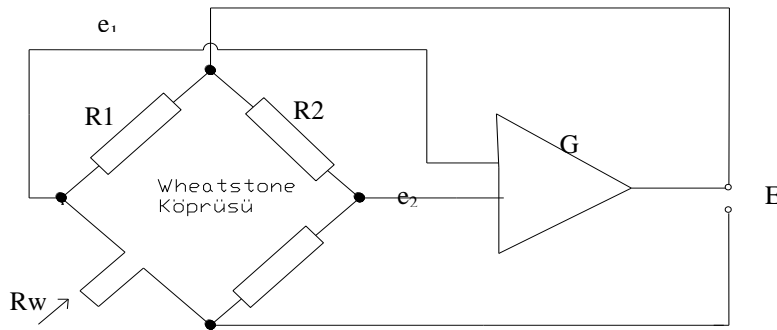
Şekil 2.3. Jet Hava Üreticisi.



**Şekil 2.4.** Jet Hava Üreticisi Tünel Girişi.

### 2.1.3. Sıcak Tel Anemometre (HWA)

Sabit sıcaklık anemometresi, sıcak tel anemometre tipinin en popüler olanıdır. Dantec [56], TSI [57] 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 (2.1)'de görülmektedir. Sabit sıcaklık anemometre kontrol ünitesi kontrol devresi Şekil 2.5'de görülmektedir. Kızgın tel anemometre modunda, yükselticiyle sensör direnci korunur.



**Şekil 2.5.** Sabit Sıcaklık Anemometre Kontrol Devresi [2].

Toplam ısı miktarı, denklem 2.1 ve direnç denklem 2.2’de ifade edilmiştir.

$$Q = (T_w - T) A_w h = A + B U^n \quad (2.1)$$

$$R_w = R_o (1 + \alpha_o (T_w - T_o)) \quad (2.2)$$

Burada;  $R_w$ = Tel direnci,  $R_o = T_o$  referans sıcaklığındaki tel direnci,

$\alpha_o$ = Sıcaklık katsayısı,  $T_o$  = Referans sıcaklığı,  $T_w$ = Tel sıcaklığıdır.

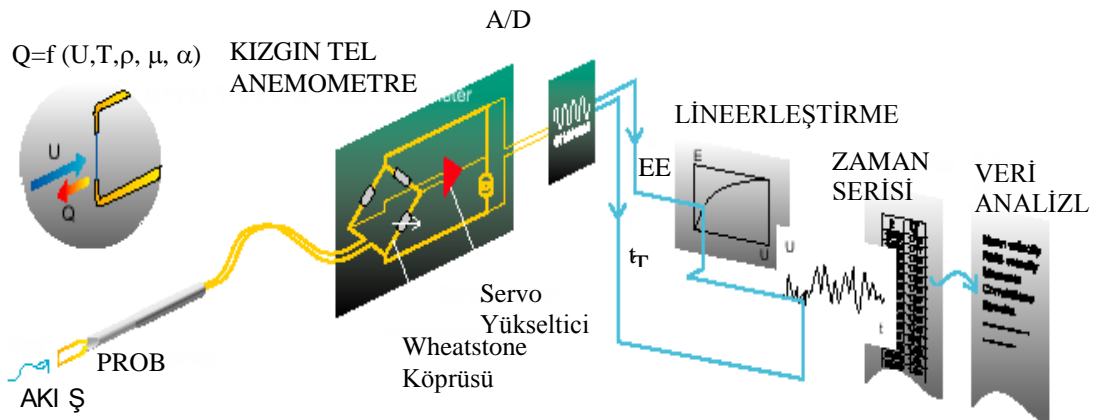
Telden geçen akım;

$$E^2 = I^2 R_w^2 = R_w (R_w - R_a) (A_1 + B_1 U_n) \quad (2.3)$$

olur.

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 [58].

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. Analog 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 2.6’de görülmektedir.

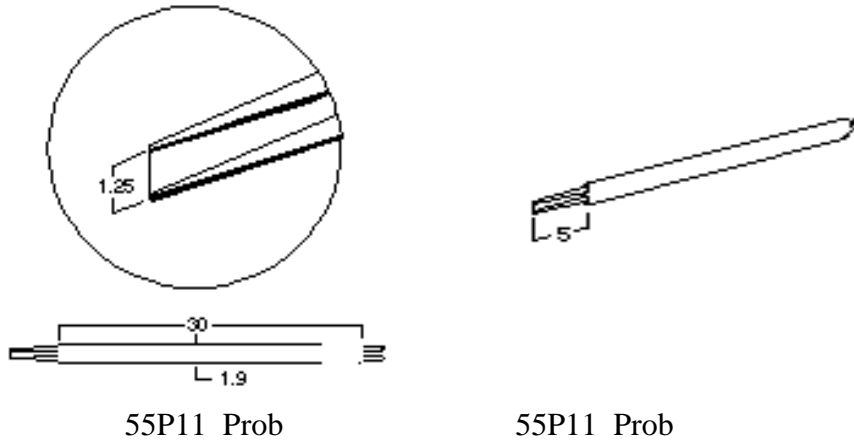


Şekil 2.6. Kızgın Tel Anemometre Ölçüm Düzeneği [2].

Şekil 2.5’de görülen ölçüm zinciri üç kanalıdır. Bu çalışmada, türbülans ölçümleri için, tek kanallı kızgın tel anemometre ünitesi kullanılmış olup, ölçüm düzeneğini oluşturan elemanlar aşağıdadır:

- a) Prob
- b) Prob Destekleyicisi ve Koaksiyal (Coaxial ) Kablo
- c) Kızgın Tel Anemometre Kontrol Devresi
- d) A/D Dönüştürücü
- e) Veri İşlem Yazılımı

**a) Prob:** DANTEC 55 P11 tip Prob kullanılmıştır. Sensör malzemesi platin - Tungsten, Sensör çapı 5  $\mu\text{m}$ , uzunluğu 1.25 mm, direnç 3.5 $\Omega$ , en düşük hız 0.20 m/s ve en yüksek hız 500 m/s ve Şekil 2.6.’de gösterilmiştir. Prob çatalı çelikten olup sensör, prob eksenine yatay olarak çatala bağlanmıştır. Prob sensörü efektif uzunluğu çok önemli bir etkendir. Eğer uzunluk /çap ilişkisi çok küçükse, Prob çatallarından ısı kaybı olmaktadır. Bu da telin dinamik davranışlarını etkilemektedir [59,42]. 2.5  $\mu\text{m}$ ’den daha küçük prob sensörü yapmak ve kullanmak fiziksel olarak çok zordur. Tel uzunluğu/ çap oranı 200’den daha büyük olmalıdır [39].



Şekil 2.7. Prob 55P11 [2].

**b) Prob Sapı Destekleyicisi ve Koaksiyal Kablo:** Prob Destekleyicisi olarak, Şekil 2.8’de görülen Dantec 55H21 tipi bir destek kullanılmıştır. Prob destekleyicisinin

koaksiyal kablosu 0.8 m olup, anemometre ile bağlantıyı gerçekleştiren koaksiyel kablonun uzunluğu 2 m'dir.



Şekil 2.8. Prob Destekleyicisi [2].

**c) Kızgın Tel Anemometre Kontrol Devresi:** Wheatstone köprüsü çıkışında oluşan gerilim farkını geri besleyen devredir. Şekil 2.5'de görülmektedir.

**d) A/D Dönüştürücü:** Sabit sıcak tel anemometresinin ana birimi, akış ölçmek için bir sinyal alır. Bilgilerin veri tabanına aktarılmadan önce sinyal işleme yapması gerekir. Bu işlemleri yapmak için bir veri toplama kartı kullanılır. Burada, analog olarak elde edilen bilgiler, sayısal hale dönüştürülerek bilgiler veri tabanına aktarılır. Bu çalışmada kullanılan kart, United Electronic Industries firmasının WIN-30DS/4 modelidir [37].

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.

**e) Veri İşlem Yazılımı:** Ölçüm sonuçlarının sunumu için bir yazılım paketine ihtiyaç vardır. Yazılım olarak, Streamware 2.8 paket yazılım programı kullanılmıştır. Program ile, prob kalibrasyonu, veri okuma, istatistiksel hesaplar, seçici sistem kontrolü gibi işlemler yapılabilmektedir. Streamware 2.8 programı, standart PC bilgisayarda, Windows 95 altında kullanılmaktadır.

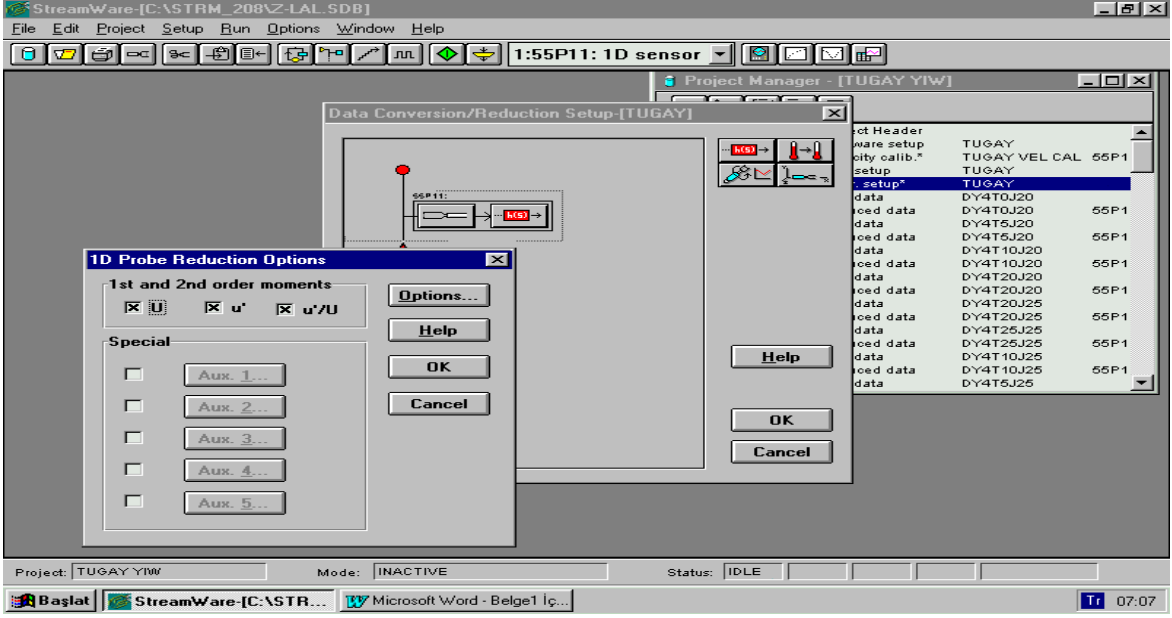
Veri işleme başlamak için, Donanım ayarları yapılarak, kullanılacak prob tipine göre kalibrasyon yapılmış ve prob kalibrasyonuna göre otomatik olarak donanım ayarı tekrar yapılmıştır. Sonra hazırlanan deney planına göre deneysel çalışmalara başlanmış ve veriler alınmıştır.

- **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 hızlarına karşılık gelen dirençlere uygun hızlar ayarlanarak şekillerde gösterilmiştir. Hardware setup verileri Şekil 2.9, 2.10 ve 2.11’de gösterilmiştir.

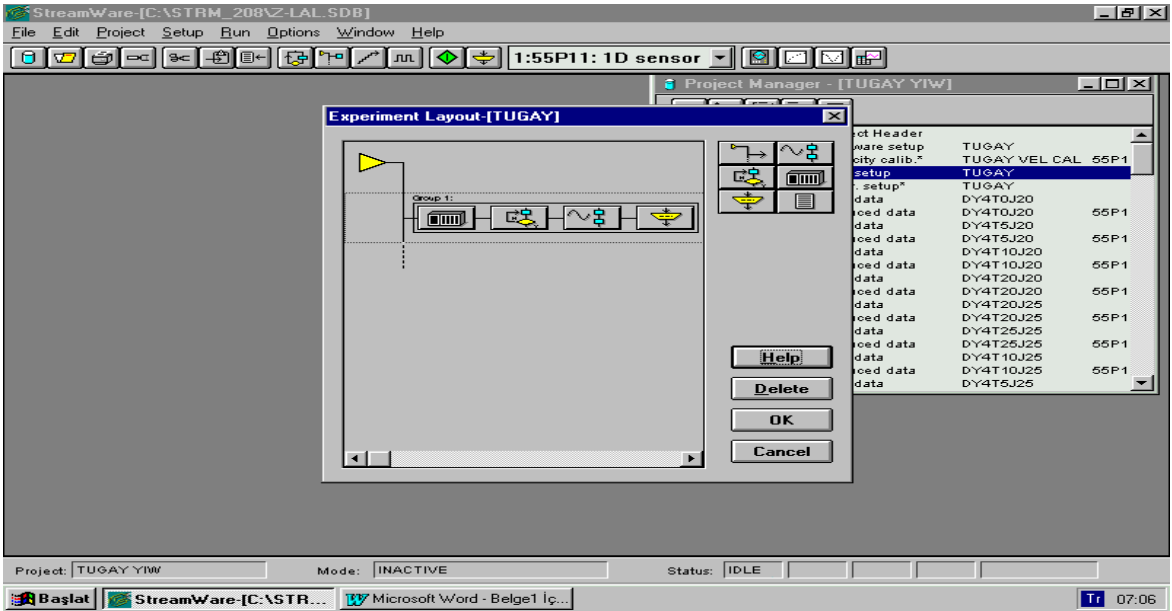
Module	Type	Overheat	Decade res	Probe res	Cable res	Sensor res	Ref.temp	Amb.temp
1	3	0.000	103.728	3.388	0.640	2.248	17.450	17.450
2	3	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
8	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Şekil 2.9. Hardware setup verileri.

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.



Şekil 2.10. Hardware setup ayarları.

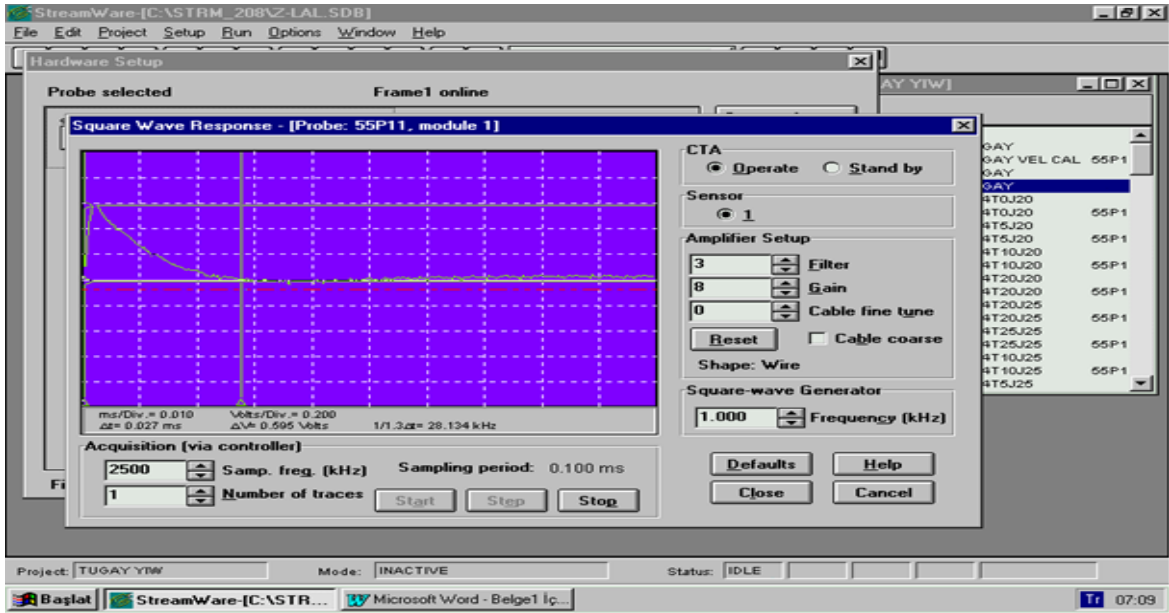


Şekil 2.11. Deney konfigürasyonu.

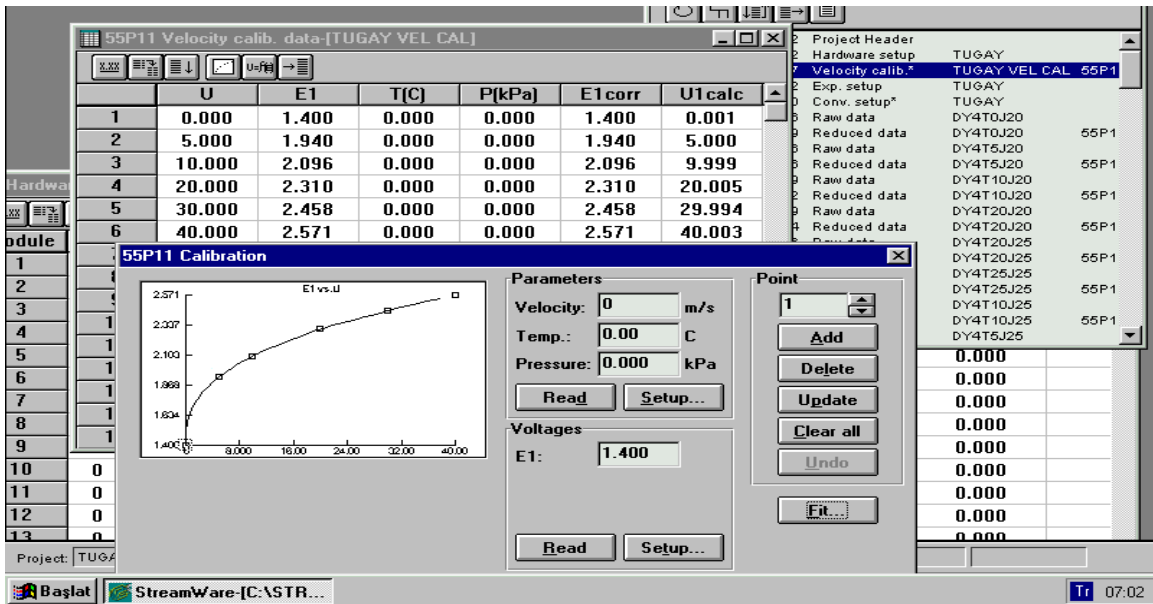
- **Prob Kalibrasyonu:** Hız kalibrasyonu, Kızgın Tel anemometre probunda olduğu gibi genellikle  $U$  hızı ve Anemometre voltajı  $E$  gibi birtakım ölçümlerle yapılır [4].  $U$  hızı ve  $E$  voltajı arasındaki ilişkiyi açıklamak için kalibrasyon yöntemleri analitik olarak açıklanmıştır. Anemometrenin voltaj çıkışı  $E$ , 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 mevcut olmaması nedeniyle kalibrasyonda Şekil 2.15’de gösterilen dijital pitot-statik tüp kullanılmıştır. Bu çalışmada kalibrasyon verileri için 5, 10, 20, 25 m/s hızlarında çalışıldığından bu sayılar referans alınmıştır. Tünel maksimum hızı 50 m/s olduğundan bu değerde kalibrasyonda kullanılmıştır. Böylece 4 noktada kalibrasyon gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.11, 2.12, 2.13, 2.14’de ekran görüntüleri verilmiştir.



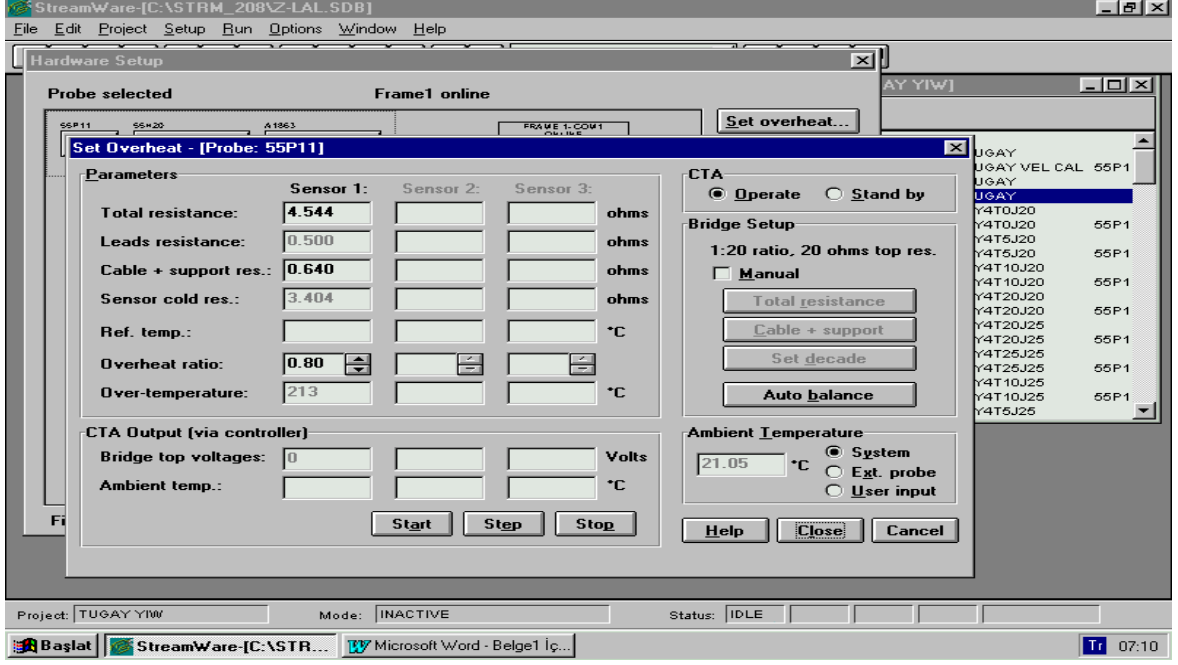
Şekil 2.12. Prob kare dalga ayarı.



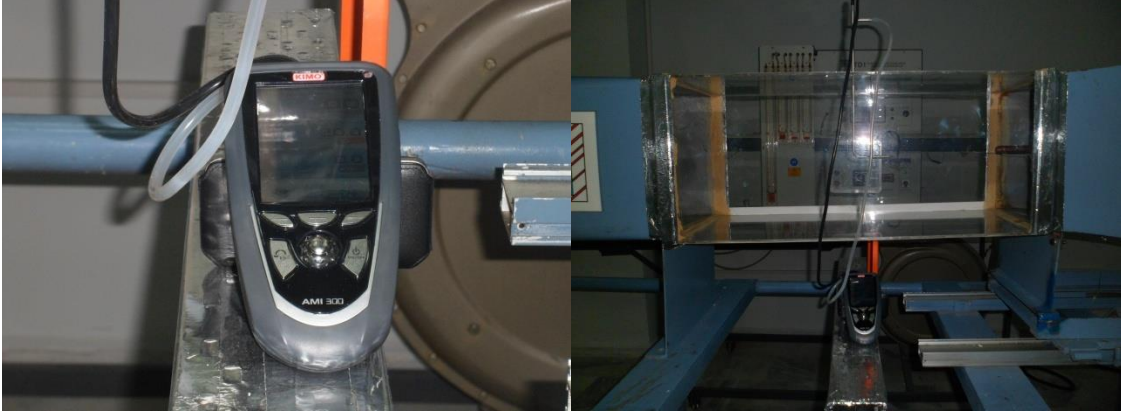
Şekil 2.13. Prob kalibrasyonu.



Dijital Pitot-statik tüp ile bu değerlere ulaşıldığında, bu değerlere karşılık gelen anemometrenin voltaj değeri hesaplanmıştır.



şekil 2.14. evre sıcaklık değerlerine göre prob ayarı.



şekil 2.15. Dijital pitot-statik tp.

## 2.1.4. Düz ve Yivli Boru

### a) Düz Boru



Şekil 2.16. Bakır Boru [60].

Jet akış ölçümleri için 1.20 m uzunluğunda; 16 mm çapında içi düz bakır boru kullanılmıştır. Borunun spesifikasyonları Şekil 2.15 ve Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

**Tablo 2.1.** Düz Bakır Boru Teknik Özellikleri [61].

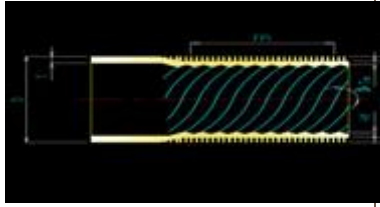

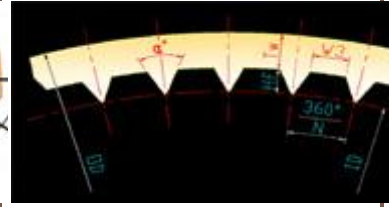
MALZEME	KİMYASAL BİLEŞİM	STANDARTLAR
C 12 200 / SF-Cu / Cu-DHP	Cu : MIN. % 99,90 / P : % 0,015-0,040	ASTM B280, ASTM B68, ASTM B88, EN 1057, EN 12735, EN 12449

### b) Yivli Boru

**Tablo 2.2.** İçten Yivli Bakır Boru Teknik Özellikleri [61].

MALZEME	KİMYASAL BİLEŞİM	STANDARTLAR
C 12 200 / SF-Cu / Cu-DHP	Cu : MIN. % 99,90 / P : % 0,015-0,040	ASTM B280, ASTM B68, ASTM B88, EN 1057, EN 12735, EN 12449

**Tablo 2.3.** İçten Yivli Bakır Boru Teknik Özellikleri [61].

İÇİ VE DIŞI YİVLİ BORU SPESİFİKASYONU ( INTEGRAL LOW FIN TUBES )									
DIŞ ÇAP (D)	ET KALINLIĞI (T)	1 İNÇ UZUNLUKTAKİ YİV SAYISI HF(mm)	DIŞ ÇAP (Dd)	KÖK ÇAP (Dd)	ET KALINLIĞI B(°)	YİV YÜKSEKLİĞİ (H)	PROFİL SAYISI (N)	PROFİL DERİNLİĞİ (HFF)	HELİKSAÇISI (B*)
19,05	1,42	40	18,9-19,05	16,8-16,85	0,8	1-1,1	13	0,5-0,6	45
İÇİ VE DIŞI YİVLİ BORU KESİTİ			BETA AÇISI			İÇİ YİVLİ BORU KESİTİ			
									

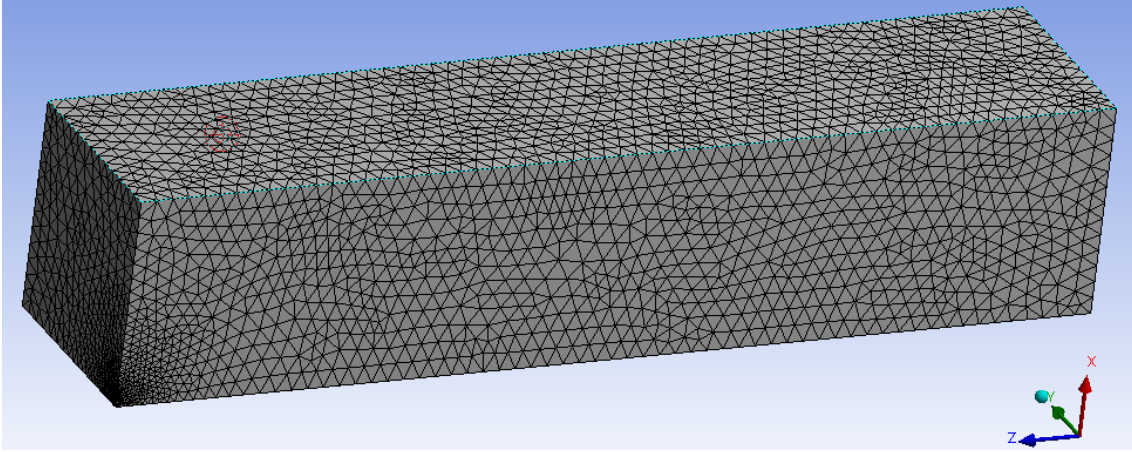
Jet akış ölçümleri için 1.20 m uzunluğunda; 16 mm çapında içi yivli bakır boru kullanılmıştır. Borunun spesifikasyonları Tablo 2.2 ve 2.3’de görüldüğü gibidir.

## 2.2. Sayısal Akışkanlar Dinamiği Metodu İle Jet Akışın Analizi

Bu adım belki de en kritik adım olarak tanımlanabilir. Çünkü elde edilen verilerin kullanıcının istifadesine ne ölçüde yaradığı veya çözümün doğru yapılmadığının anlaşılması bu aşamada gerçekleştirilir. Bu aşamada elde edilen veriler değerlendirilir ve kontrol edilir. Değerlendirilen sonuçlar daha önce elde edilmiş verilerle, fiziksel olaylarla (teorik bilgiyle) karşılaştırılarak veya tecrübelerle dayanılarak yapılabilir.

Sonlu elemanlar yöntemi günümüzde endüstriyel mühendislik tasarımları ve analizleri için bir dayanak haline gelmiştir. Gitgide daha büyük ve daha kompleks tasarımlar sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak simüle edilmektedir. Sonlu elemanlar yönteminin yaygınlığı otomatik ağ üretme algoritmalarının geliştirilmesini de ayrıca

teşvik etmektedir. Yapılan sayısal çalışmalarda 84166 eleman ve 16235 node elde edilmiş ve Şekil 2.17’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.17.** Mesh ( Ağ ) Örne.

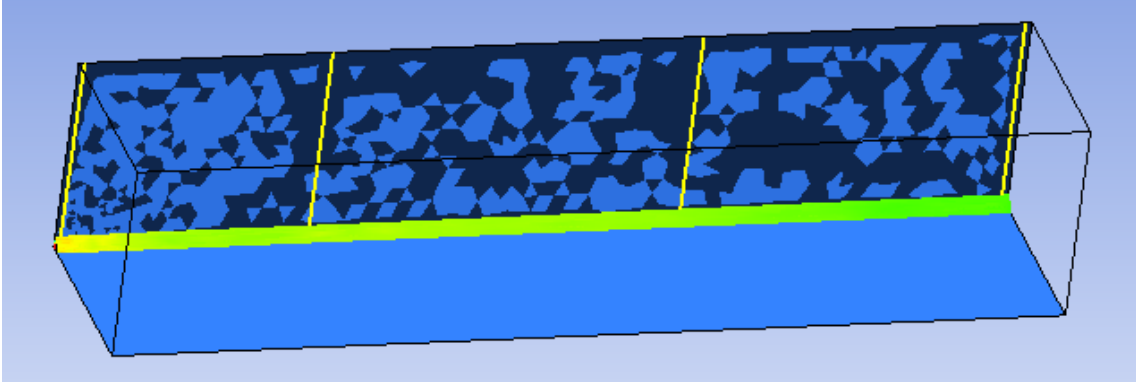
Genel olarak sonlu elemanlarla ağ üretme konusunun geliştirilmesi üzerinde birlik sağlanırken, bunun nasıl yapılacağı üzerinde çeşitli değişik fikirler sunulmaktadır. Sonlu elemanlar teknolojilerinin kullanıcıları arasında hangi şeklindeki elemanların en hassas sonuca ulaştıracağı konusunda çok uzun süreli bir bilgi alışverişi olmuştur. Bu bilgi alışverişlerinin sonucunda, quadrilateral ve hexahedral şeklindeki elemanların üçgen ve tetrahedral şekilli elemanlara göre daha iyi performansa sahip oldukları sonucuna varılmıştır (Aynı serbestlik derecesine sahip olduklarında). Bu sebeple bu tezde de deney odası ve jet boru elemanları için hexahedral şeklindeki elemanlar kullanılmaya çalışılmıştır. Ayrıca hexahedral şekilli elemanların kullanılması eleman sayısını önemli miktarda düşürmektedir. Bu düşüş sonucunda da analiz zamanı ve analiz sonrası işlem zamanı düşmektedir. Bunlara ek olarak lineer olmayan sistemler için ve elemanların dizilişinin fiziksel olarak önemli olduğu yerlerde hexahedral ve quadrilateral şekilli elemanların kullanımı daha uygun olmaktadır. Elemanların dizilişinin önemli olduğu uygulamalar genelde sayısal akışkanlar dinamiği ve kompozit malzemelerin simülasyonudur.

Birçok uygulama ağ üretimi için aşağıdan-yukarıya doğru bir yaklaşım kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda önce ağ örülecek noktalar belirlenir daha sonra sırasıyla eğriler, yüzeyler ve son olarak hacimlere ağ (volume mesh ) örülür. Bu uygulamada bir sonraki ağ üretme işlemi girdi olarak bir önceki ağ üretme işlemi esas alır.

Sayısal akışkanlar dinamiği çözümü, uzun süre alan akışkanlar mekaniği problemlerinin çeşitli nümerik ve ağ örme metotları ile bilgisayara çözdürülme işlemidir. Dünyada CFD kısaltmasıyla bilinmektedir ve bu kısaltmanın tam açılımı ise Computational Fluid Dynamics'dir. Farklı CFD programları farklı nümerik hesaplama yöntemleri kullanırlar ve genel olarak bilgisayarda akışkan mekaniği problemlerinin çözümü için aşağıdaki ortak yolları izlerler [63]. Aynı zamanda bu yollar programı kullanan mühendisin de takip etmesi gereken yollardır.

1. Problemin çözümünün 2 boyutlu veya 3 boyutlu yapıp yapılmayacağı
2. Çözümü yapabilmek için oluşturulacak geometri veya katı model
3. Kullanılacak ağ tipi
4. Başlangıç şartları ve ortam şartları

Bu çalışmanın çözümünde 3 boyutlu yol takip edilerek, katı modelleme ve tetrahedral ağ yapısı kullanılmıştır. Bu çalışmada sınır şartları Şekil2.18'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.18.** Sınır Şartları ve Jet Akış Yapısı.

Bu çalışmada sayısal hesaplamalar için Fluent çözücü programı kullanılmıştır. Böylelikle deney odası prototipine geometrik ve dinamik benzerlikte katı model oluşturulmuştur. Katı modele de teknolojinin sağladığı hızlı ve güçlü bilgisayarlar ( i7 işlemcili ve 8 GB RAM'e sahip bir bilgisayarda çözümlenmiştir ) vasıtasıyla yeterli sayıda ağ örülmüştür. Modellemenin çeyrek oda için yapılması ile hem analiz süresinin azaltılması hem de yüksek ağ sayılarının önemli ölçüde azaltılması sağlanmıştır. Başlangıç şartları ve ortam şartları da deneysel çalışma şartlarına benzetilmeye çalışılmıştır.

Sayısal Akışkanlar Dinamiği ile çözümlerin yapılmasında; modellenen deney odası, jet boru elemanı çözücü programda analizde kullanılabilmesi için, bu çalışmada sayısal akışkanlar dinamiği ile çözüm yapan çözücü programın bir alt modülüyle modelleme yapılmış ve bu model tüm sınır şartlarıyla birlikte kaydedilerek çözücü programa aktarılmıştır. Fluent çözücü programa sınır şartları tanımlanmış olan tüm özellikler tekrar doğrulanmıştır. Ayrıca analizler türbülanslı akışlar için çözüm yapabilen ve 2 denklemlilerden olan Standart k-ε modeli ve her bir modele ait olan değişkenler varsayılan değerleri ile kabul edilmiştir. Tüm analizler için 3 boyutlu olan modeller yine çözücü programa 3D olarak tanımlanmıştır. Analizlere başlamadan önce birimler milimetre olarak ve hızlarda m/s olarak tanımlanmıştır. Akışkan materyali olarak hava tanımlanmış ve yoğunluğu  $1.225 \text{ kg/m}^3$ , viskozitesi de  $0.00001789 \text{ kg/(ms)}$  olarak kabul edilmiştir. Tüm analizlerde yer çekim kuvveti var kabul edilmiş olup değeri 9.80655 olarak kabul edilmiştir. Ayrıca tüm analizler atmosfer basıncında deniz seviyesinde olduğu kabul edilmiş olup çalışma basıncı 101.325 kPa olarak kabul edilmiştir.

Analizler sonucunda deneysel verilerle özdeş karşılaştırma yapabilmek amacıyla deneysel çalışmadaki deney odasından ölçümlerin alındığı her bir noktaya karşılık gelen noktalar tanımlanmış ve çözücü programda da tanımlanmıştır [33].

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE SAD

Bu bölümde, deneysel çalışmanın yapılacağı hava tünelinin deney odası akış analizi, deney odasında farklı konfigürasyonlarda yapılmış olan düz ve içten yivli dairesel jet akış ölçümleri, SAD ( Sayısal Akışkanlar Dinamiği) çözümü ile elde edilen veriler bulunmaktadır. Sonuçlar grafik ortamda gösterilmiş ve tartışılmıştır.

#### 3.1. Deneysel Sonuçlar

Deneysel çalışmalar üç ayrı tipte yapılmıştır. İlk önce deney odasının akış analizini yapmak için deney odasına verilen farklı hızlardaki ( 5, 10, 20, 25 m/s ) akış ölçümleri yapılmıştır. Sonra deney odasına hiç akışın verilmediği durumda hem düz dairesel hem de içten yivli dairesel boruların; 5, 10, 20, 25 m/s hızlarındaki ölçümleri yapılmıştır. Son olarak da hem tünelin hem de jetin farklı hız değerlerinde ölçümleri yapılmıştır. Tünelde sırasıyla;  $u$ ,  $u'$ , RMS ( Root Mean Square ) değerleri ölçülmüştür. Ölçülen bu değerler ile deney odasındaki hız dağılımları ve deney odasının türbülans yoğunlukları bulunmuştur. Tablo 3.1, Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'de yapılan deneylerde elde edilen verilerin düzeni kodlanmıştır. Bu kodlamalara göre şekiller içerisinde  $U$ ,  $U_{rms}$  ve  $U$  (boyutsuzlandırılmış) değerleri grafikler içerisinde verilmiştir.

Jet akış ölçümleri için ise 16 mm iç çapı, 19 mm dış çapı olan ve uzunluğu 120 cm olan düz dairesel ve içten yivli dairesel borular kullanılmıştır. Önce tünel akışı olmadan jet akış ölçümleri yapılmış daha sonra da tünel akışını ve jet çıkış hızını değiştirerek farklı hızlarda jet akış deneyleri yapılmıştır.

Yapılan ölçümler sonucu elde edilen verilerle, akış profilinin, hız ve türbülans dağılımları gösterilmiştir. Ayrıca hızlar, boyutsuzlandırılmış ve boyutsuz hız dağılımları, grafik ortamda gösterilmişlerdir. Yine bunlara ilave olarak, jet eksen boyunca oluşan hız değişimlerinin ve jet huzme oranları da grafik halinde gösterilmişlerdir. Ölçüm istatistiğinin hassasiyeti dikkatle grafik ortama aktarılmıştır.

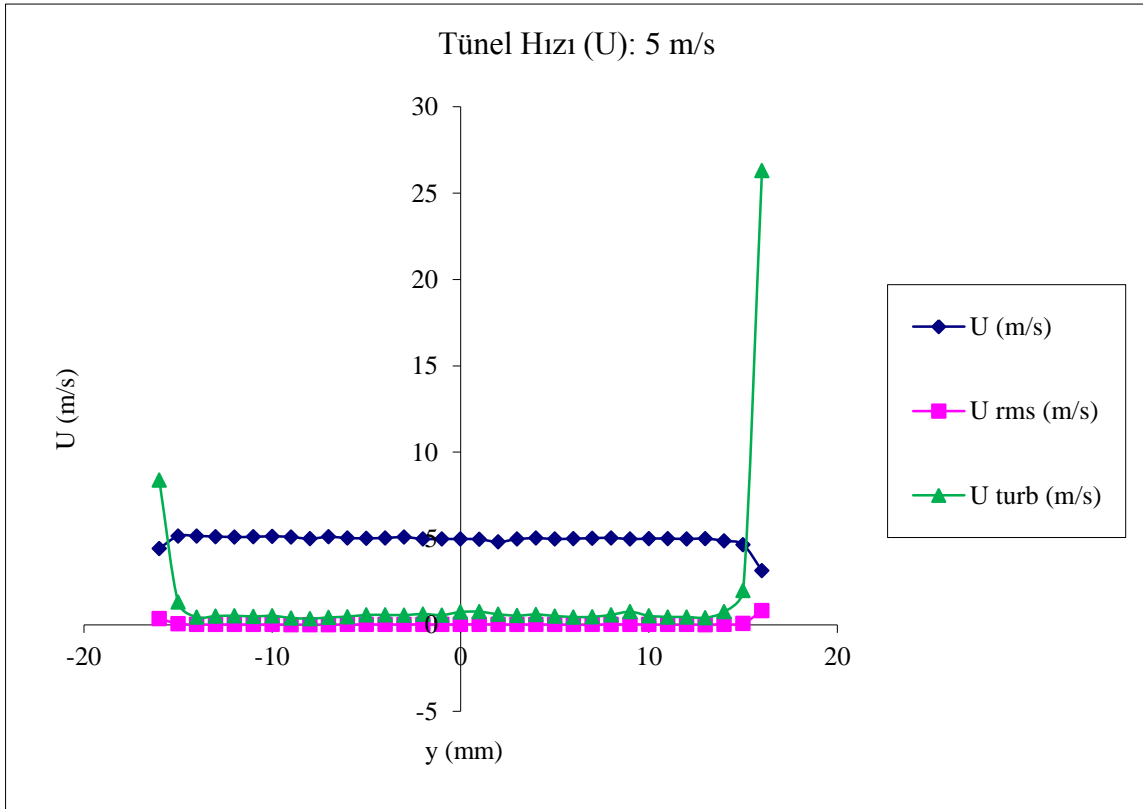
##### 3.1.1. Deney Odası Ölçümleri

Deney odasında akımın istenen özelliklerde olmaması deney sonuç verilerinin gerçekçiliğini engellemektedir. Deney odasında istenen akım koşullarının sağlanıp sağlanmadığının bilinmesi gerekliliğinden yola çıkarak, hava tüneline deneye başlanmadan önce akım karakteristiklerinin tespit edilmesi amacıyla deney odasının orta noktasında y eksen boyunca hız taraması yapılmıştır. Sırasıyla deney odasına 5,

10, 20 ve 25 m/s hızlarında hava akışı sağlanarak ölçümler yapılmıştır. Ölçümler 1. noktadan itibaren sırasıyla 33. noktaya kadar alınmıştır. Çeşitli ortalama hızlarda yapılan ölçümler Tablo 3.1’de kodlanmış ve  $U$ ,  $U_{rms}$  ve  $U_{turb}$  Şekil 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4’de gösterilmiştir.

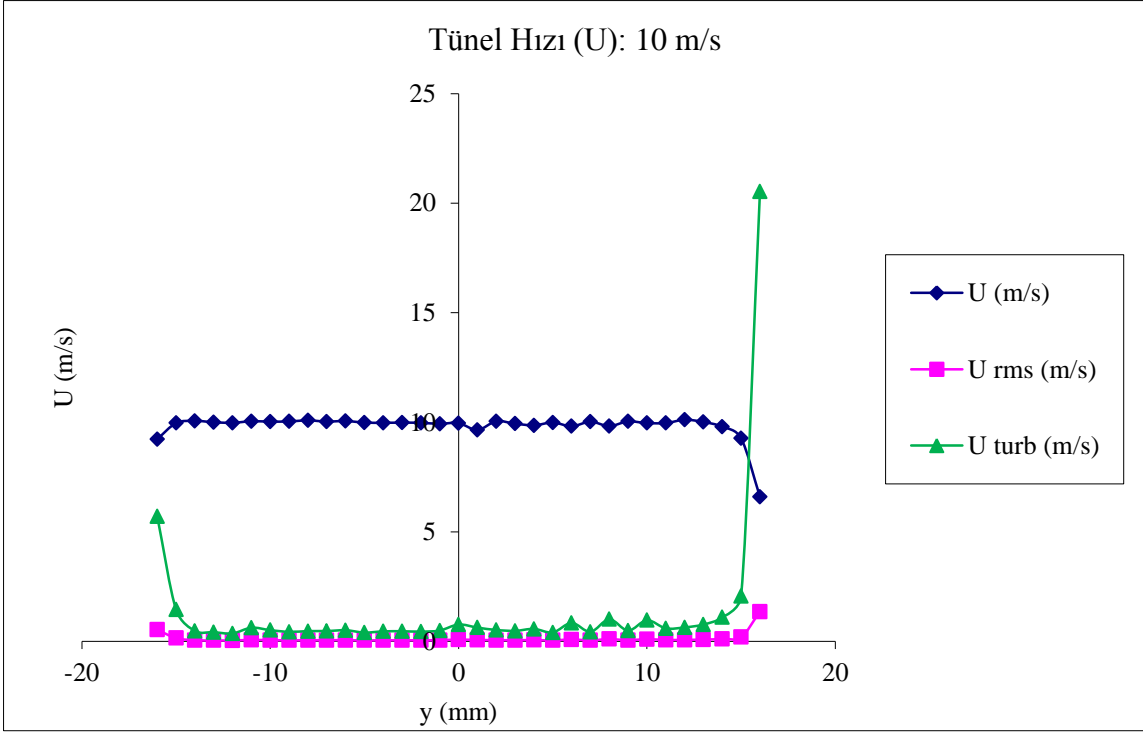
**Tablo 3.1.** Hava Tüneli Deney Odası Ölçüm Tipleri.

Ölçüm Tipi	Jet Hızı (m/s)	Tünel Hızı (m/s)	Şekil
HT <sub>01</sub>	0	5	3.1
HT <sub>02</sub>	0	10	3.2
HT <sub>03</sub>	0	20	3.3
HT <sub>04</sub>	0	25	3.4

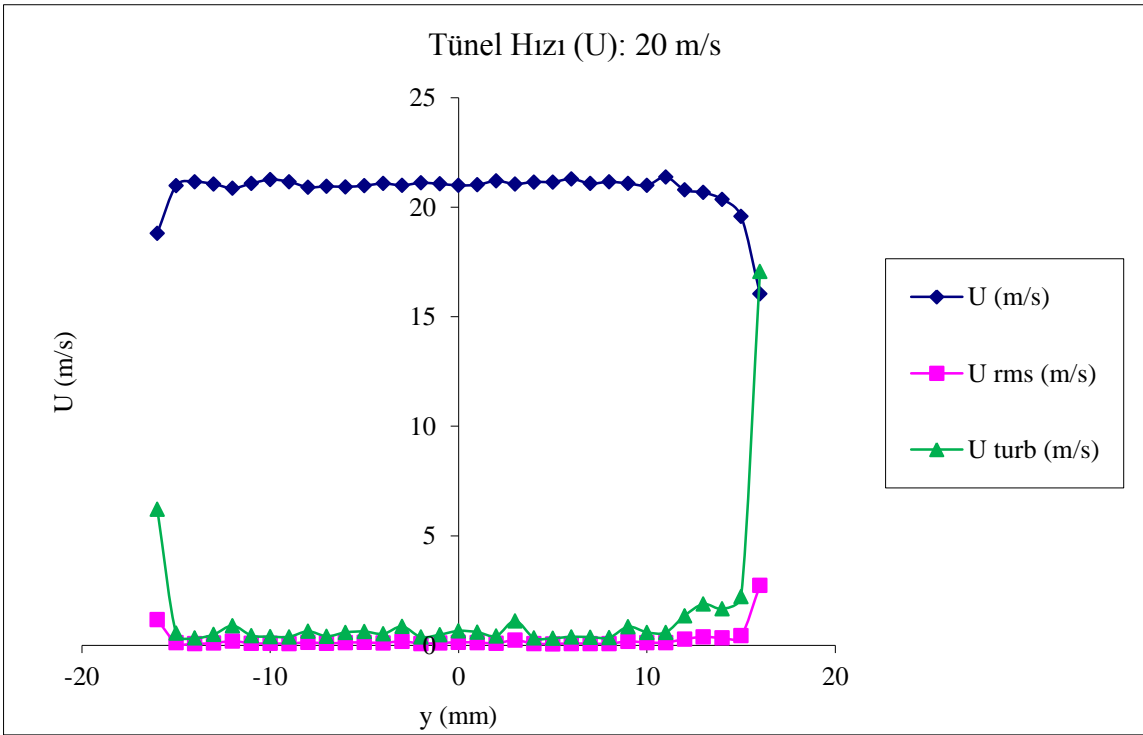


**Şekil 3.1.** Tünel akış hızının 5 m/s olduğu durumdaki  $U$ ,  $U_{rms}$  ve  $U_{turb}$  ölçümleri.

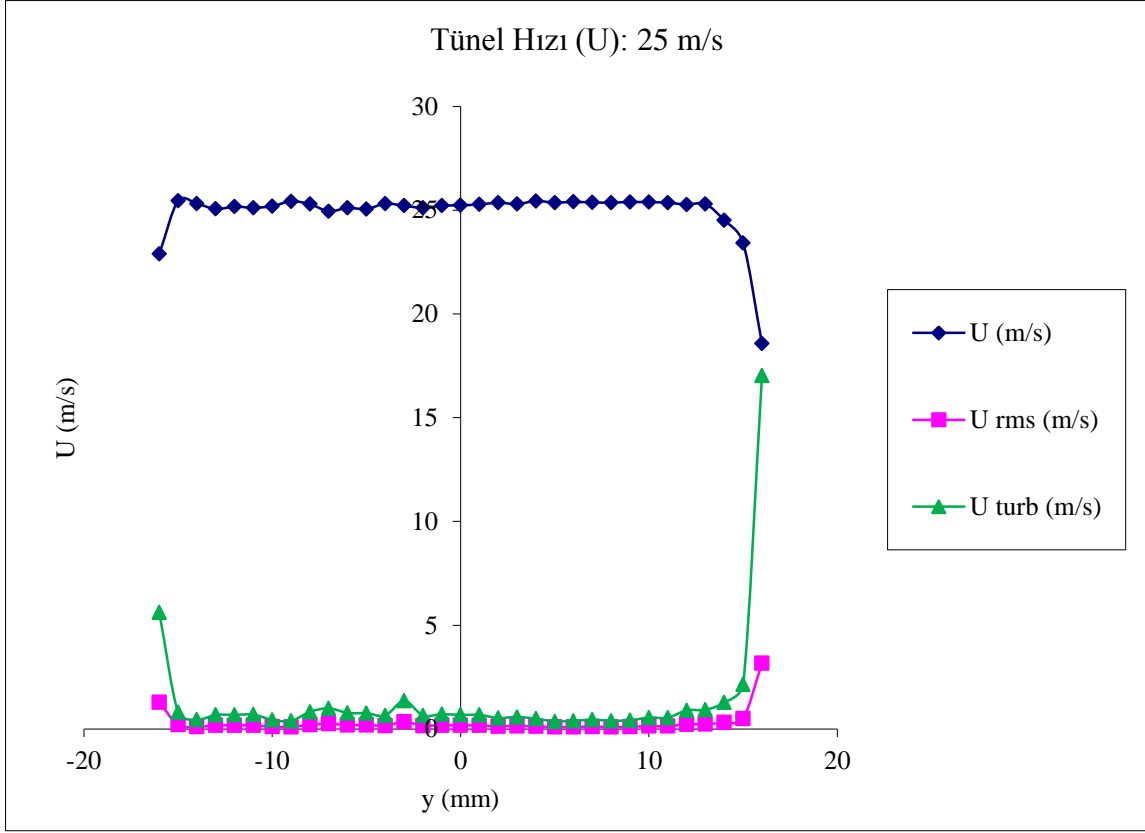




Şekil 3.2. Tünel akış hızının 10 m/s olduğu durumdaki  $U$ ,  $U_{rms}$  ve  $U_{turb}$  ölçümleri.



Şekil 3.3. Tünel akış hızının 20 m/s olduğu durumdaki  $U$ ,  $U_{rms}$  ve  $U_{turb}$  ölçümleri.



**Şekil 3.4.** Tünel akış hızının 25 m/s olduğu durumdaki U,  $U_{rms}$  ve  $U_{turb}$  ölçümleri.

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, 25 m/s ortalama hızda % 0,4 olarak bulunmuştur. Bu ölçümler, tüneldeki akım karakteristiklerinin uygun olduğunu ve deneysel çalışmalar için yeterli hassasiyette olduğunu göstermektedir.

### 3.1.2. Deney Odasında Akışın Olmadığı Durumlarda Düz Dairesel Boru ve İçten Yivli Dairesel Boru Jet Akış Ölçümleri

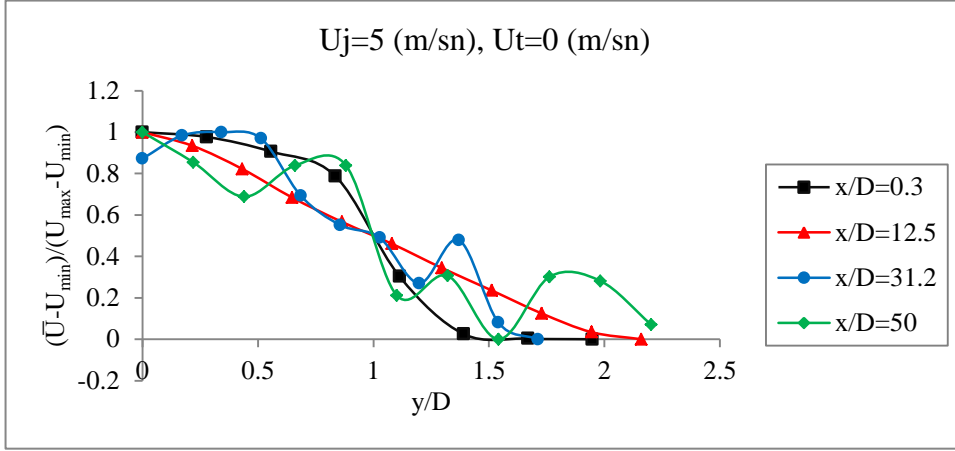
Başlangıçta da belirtildiği gibi deneysel çalışmalar 3 kategoride yapılmıştır. Deneysel çalışmanın bu bölümünde ikinci grup olan deney tipi yer almaktadır. Diğer bir deyişle deney odası akışının olmadığı, tünel hızının sıfır ( 0 m/s ) olduğu durum olarak da söylenilebilir. Jet akışını temin için ikinci bir fan sisteminden ve jet hava üreticisinden 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 deney odası duvarına bağlanan boru, akışı bozmayacak bir şekilde deney odasının duvarına tutturulmuştur. Boruya akım düzenleyicisi içerisinden ( honeycomb ) geçirilerek, deney odasında tespit edilen noktaya sabitlenmiştir.

Yapılan ölçümler, Tablo 3.2' de sınıflandırılmıştır. Tablolarda yer alan DD, düz dairesel DY ise içten yivli dairesel boru olarak kodlanmıştır.

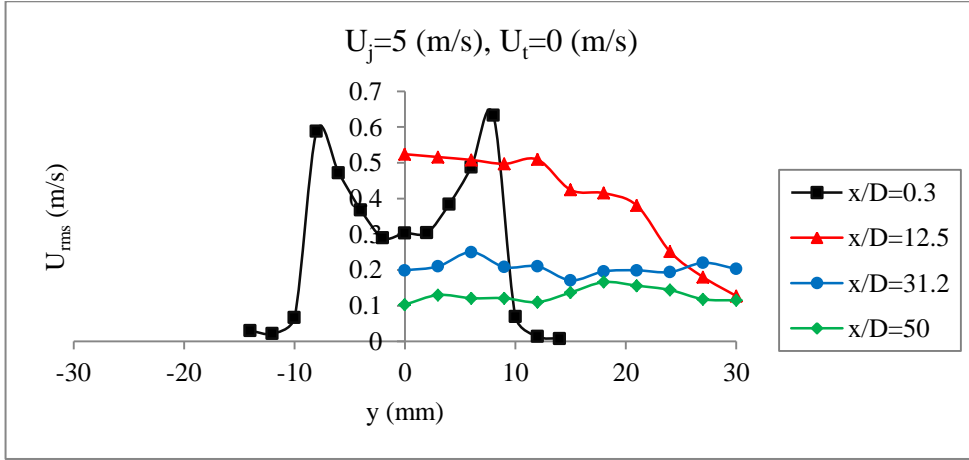
**Tablo 3.2.** Tünel Hızı Olmadığı Durumda Deney Ölçüm Tipleri.

Ölçüm Tipi	Jet Hızı (m/s)	Tünel Hızı (m/s)	Şekil
DD <sub>01</sub>	5	0	3.5.a
DD <sub>02</sub>	10	0	3.6.a
DD <sub>03</sub>	20	0	3.7.a
DD <sub>04</sub>	25	0	3.8.a
DY <sub>01</sub>	5	0	3.5.b
DY <sub>02</sub>	10	0	3.6.b
DY <sub>03</sub>	20	0	3.7.b
DY <sub>04</sub>	25	0	3.8.b

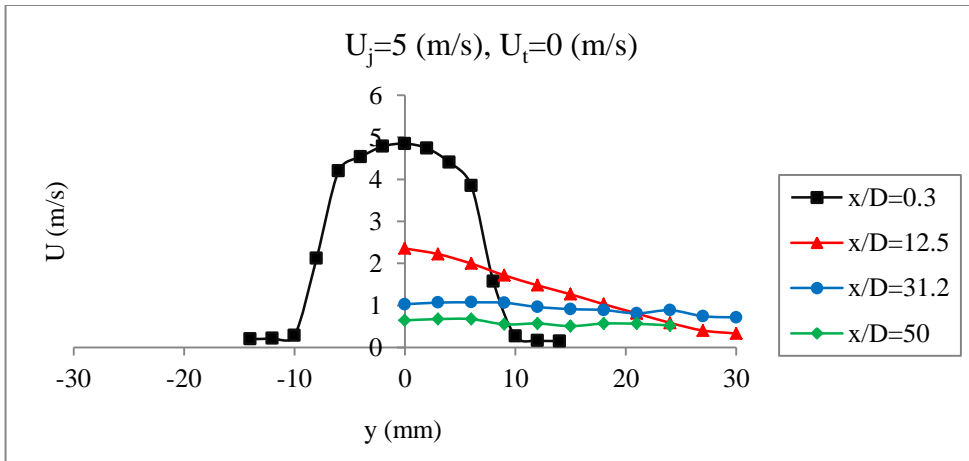
Sınıflandırılan bu ölçümler sırasıyla grafik ortamına aktarılarak, Şekil 3.5.a, 3.5.b, 3.6.a, 3.6.b, 3.7.a, 3.7.b, 3.8.a, 3.8.b olarak verilmiştir. Şekil numaralarında gösterilen “a”, Düz dairesel boru ölçümlerini, “b” ise İçten yivli dairesel boru jet ölçümlerini ifade etmektedir.



a<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımı.

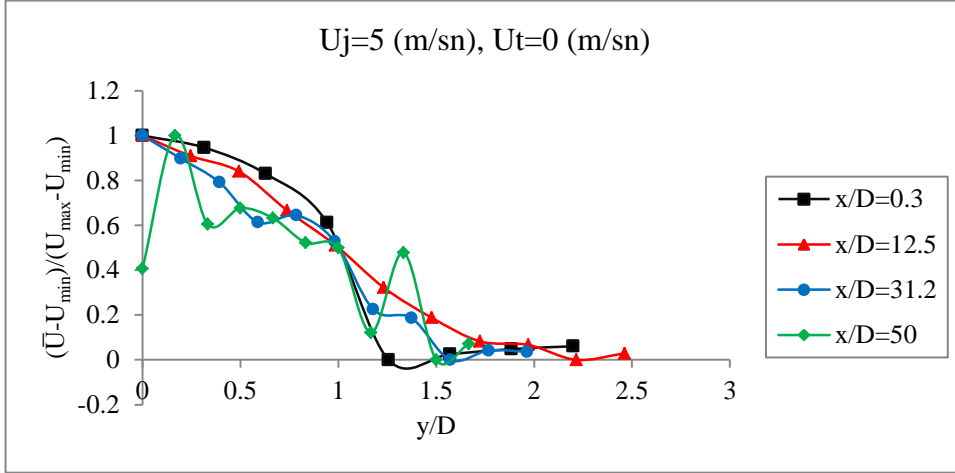


a<sub>2</sub>)  $U_{rms}$  dağılımı.

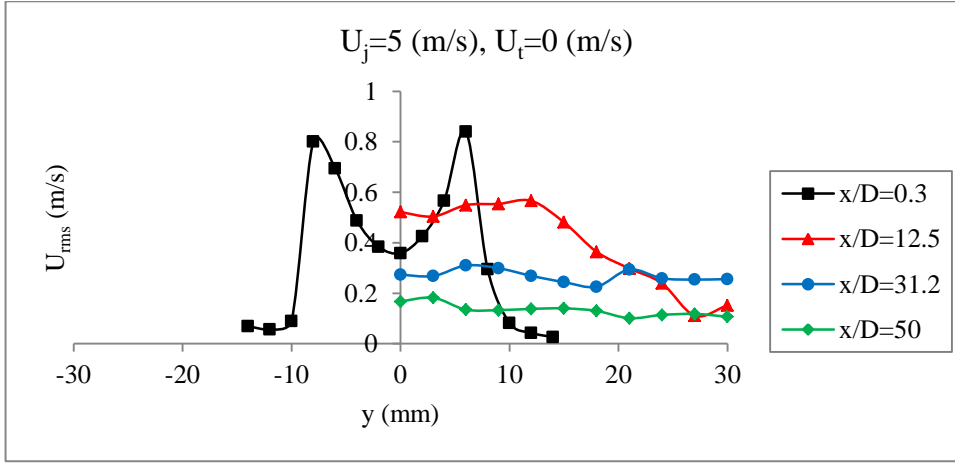


a<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

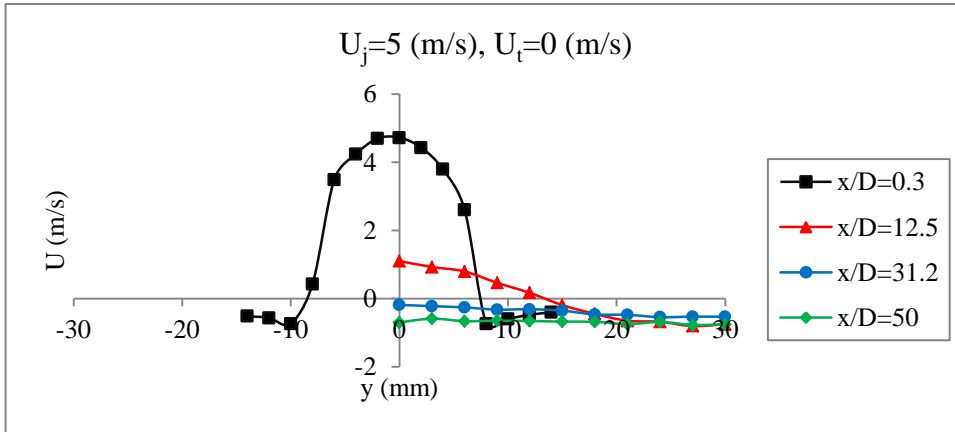
**Şekil 3.5.a.** Tünel akışının olmadığı, jet akış hızının 5 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış ölçümleri.



b<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımı.

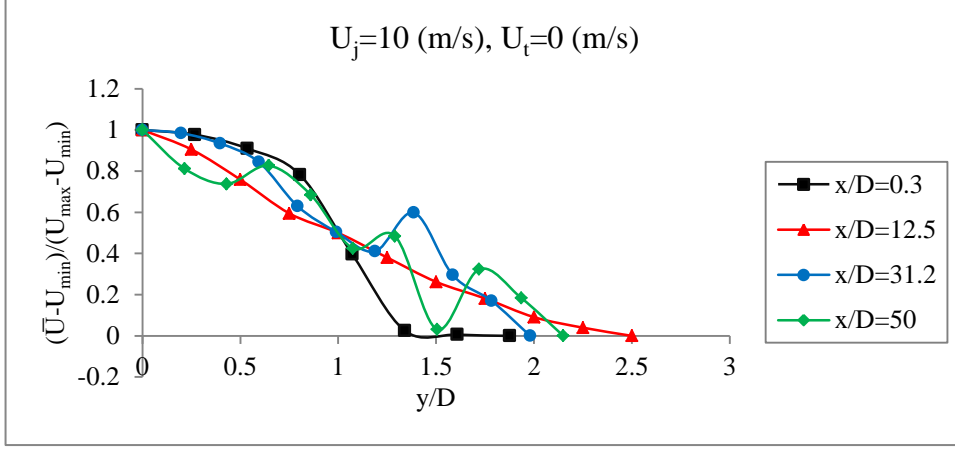


b<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

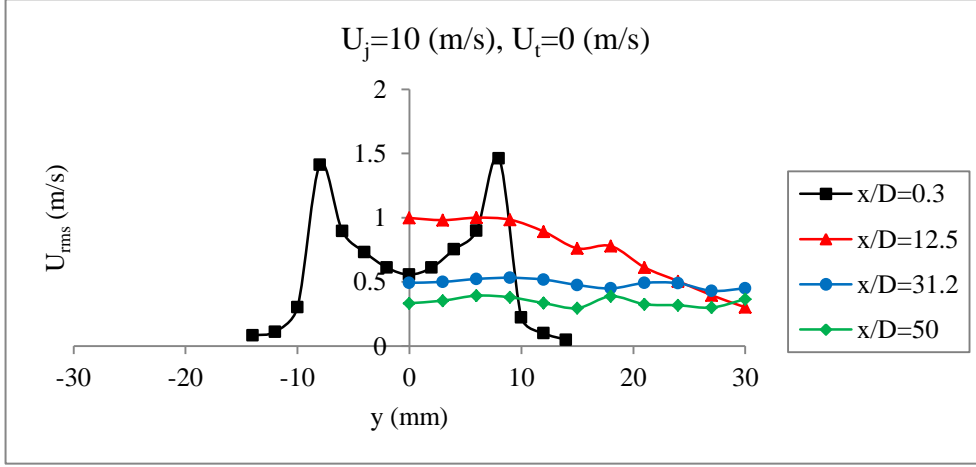


b<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

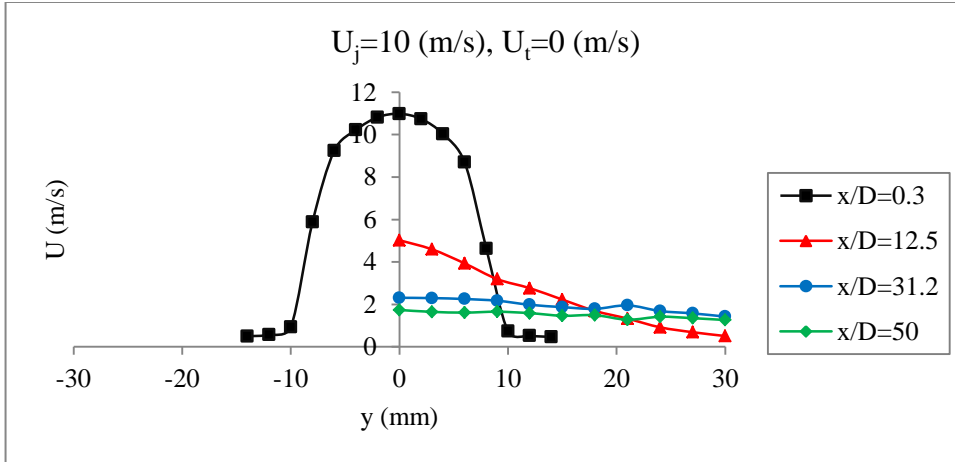
**Şekil 3.5.b.** Tünel akışının olmadığı, jet akış hızının 5 m/s olduğu durumda içten yivli dairesel jet akış ölçümleri.



a<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımı.

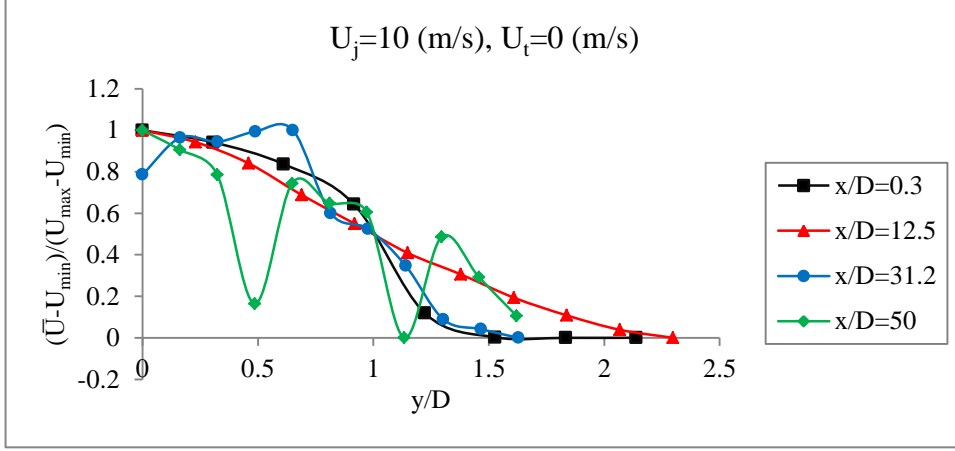


a<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

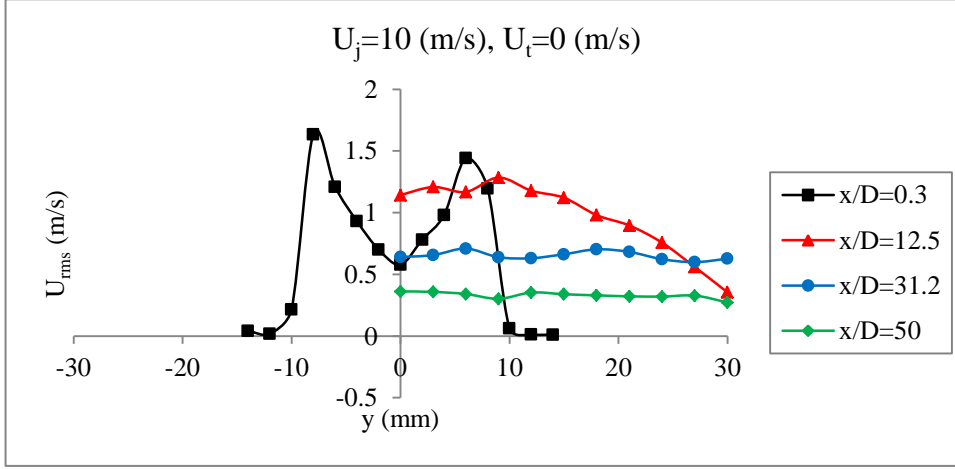


a<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

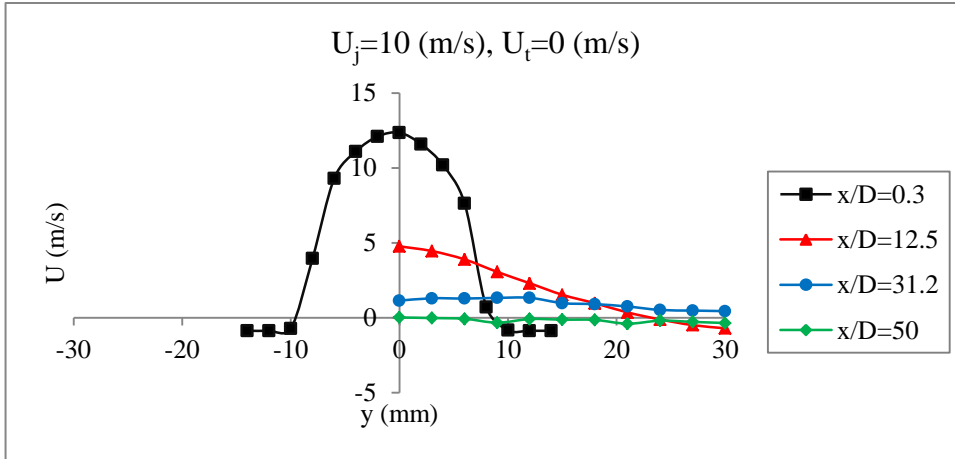
**Şekil 3.6.a.** Tünel akışının olmadığı, jet akış hızının 10 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış ölçümleri.



b<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımı.

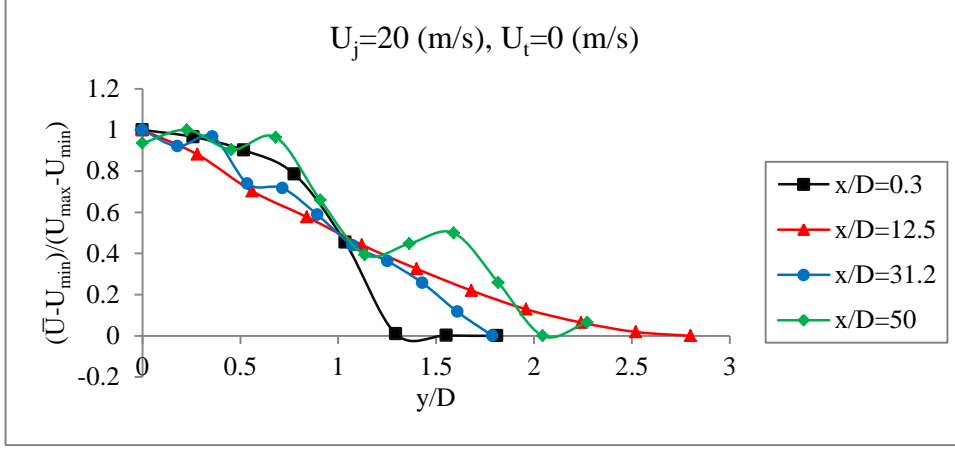


b<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

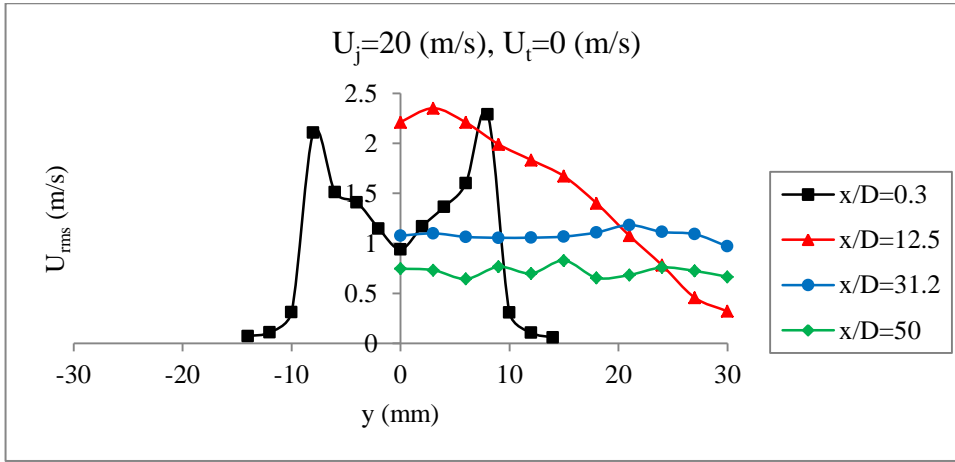


b<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

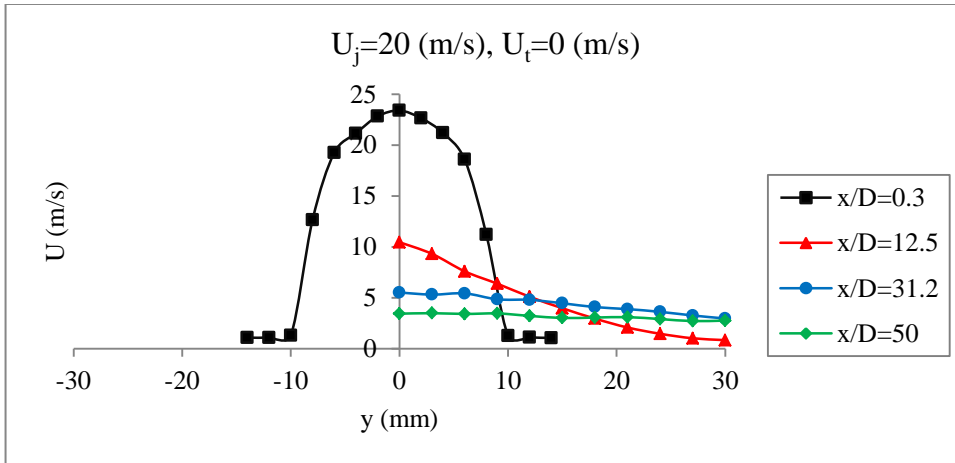
**Şekil 3.6.b.** Tünel akışının olmadığı, jet akış hızının 10 m/s olduğu durumda içten yivli dairesel jet akış ölçümleri.



a<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımı.



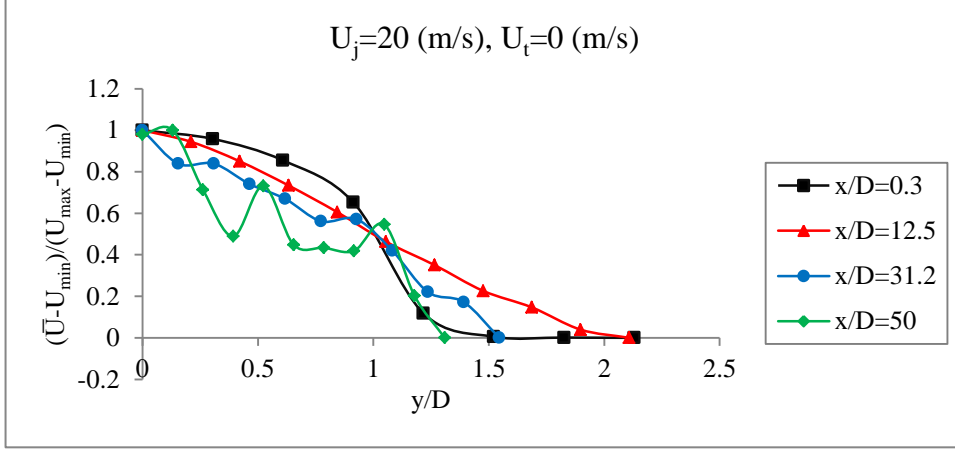
a<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.



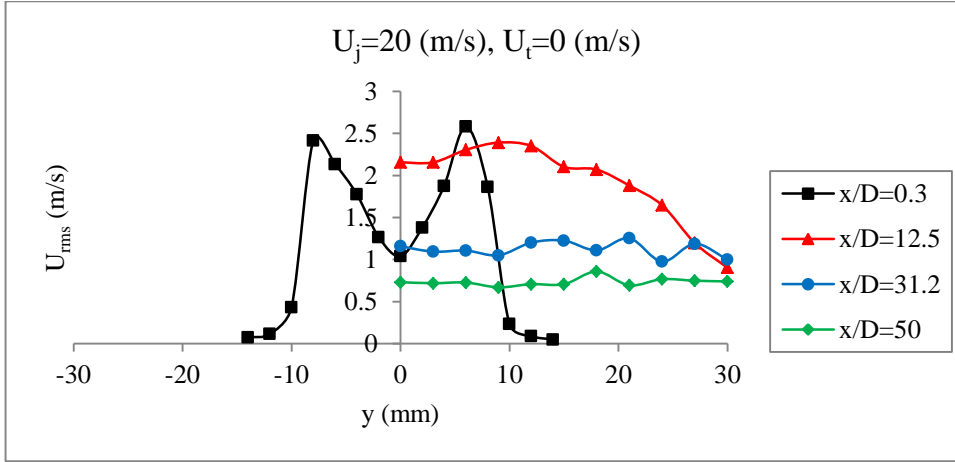
a<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

**Şekil 3.7.a.** Tünel akışının olmadığı, jet akış hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış ölçümleri.

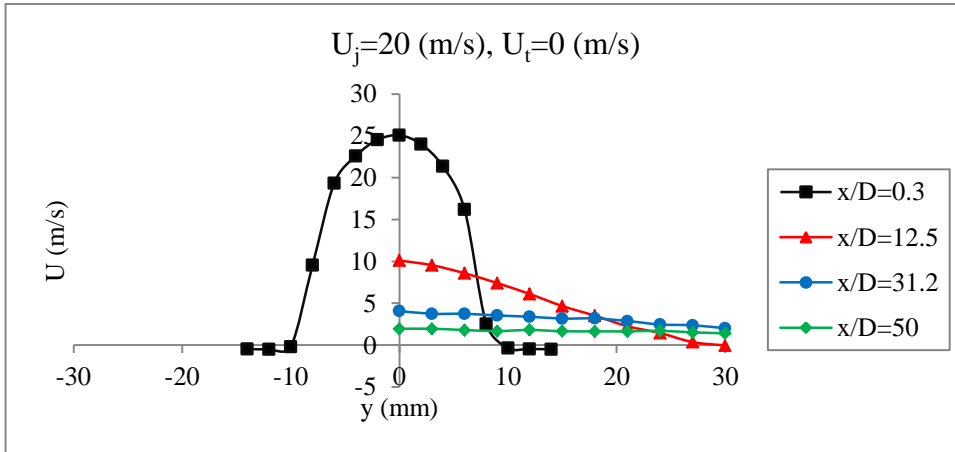




b<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımı.

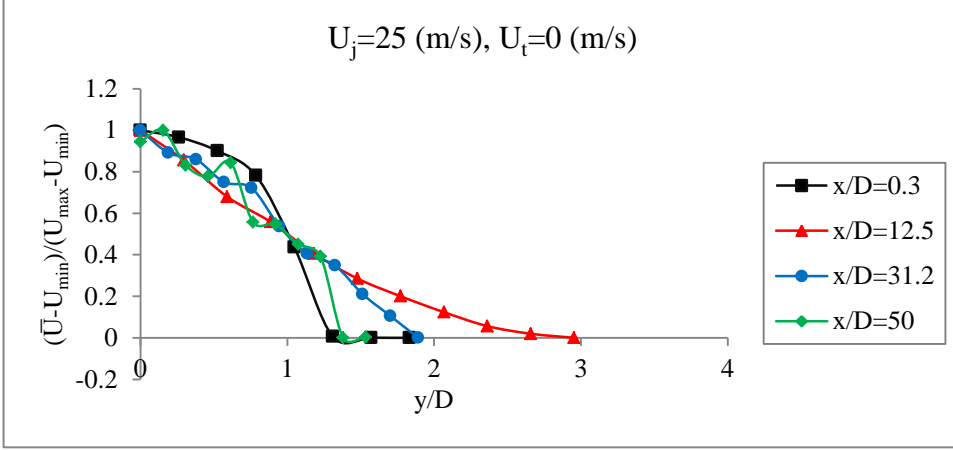


b<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

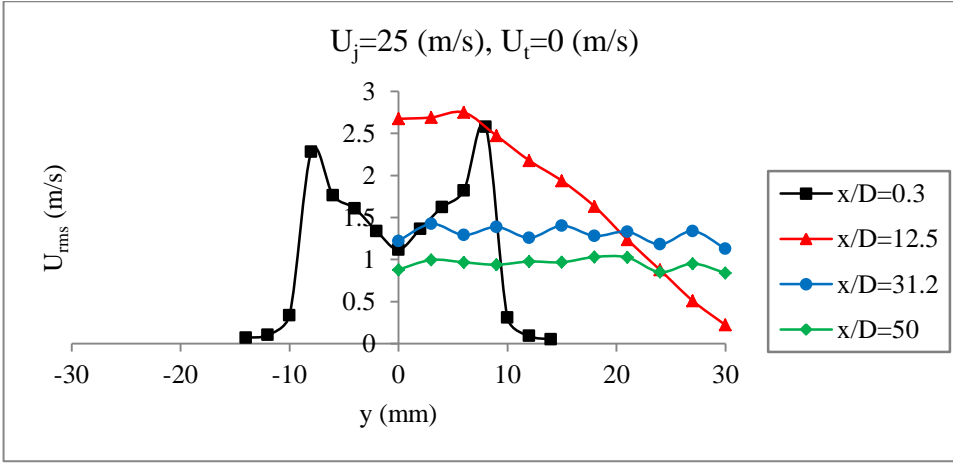


b<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

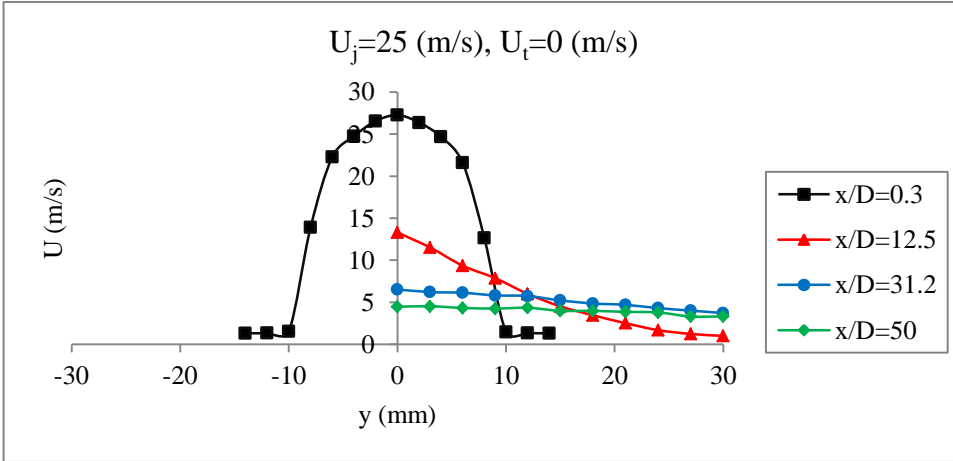
**Şekil 3.7.b.** Tünel akışının olmadığı, jet akış hızının 20 m/s olduğu durumda içten yivli dairesel jet akış ölçümleri.



a<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımı.

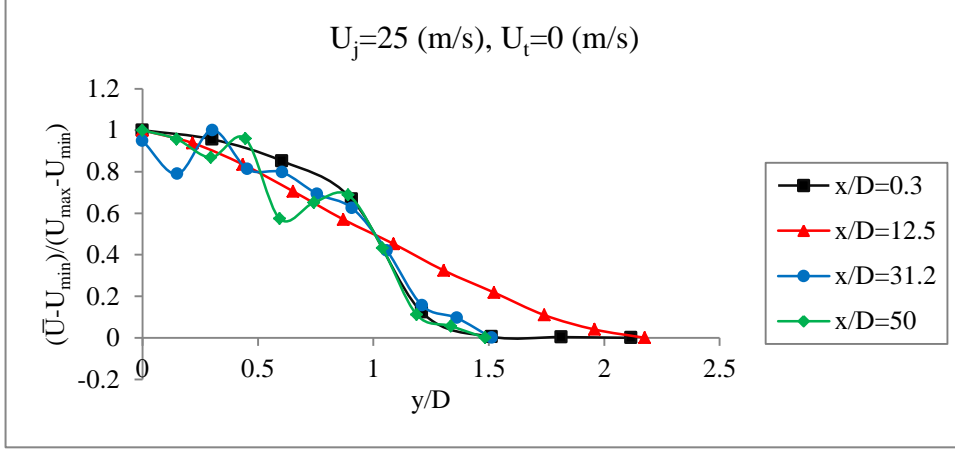


a<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

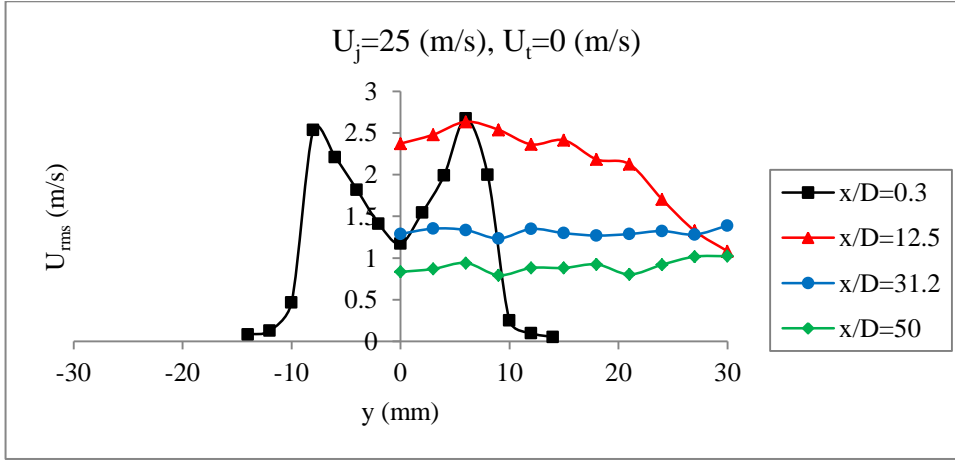


a<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

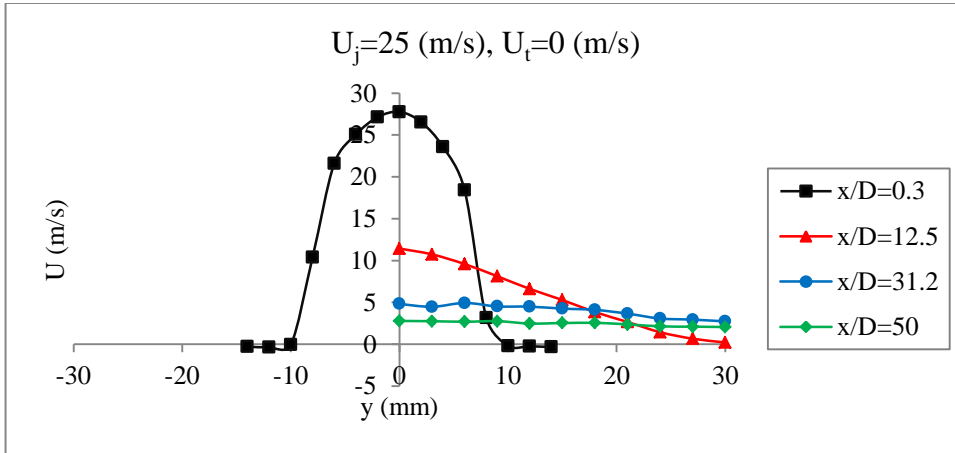
**Şekil 3.8.a.** Tünel akışının olmadığı, jet akış hızının 25 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış ölçümleri.



b<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımı.



b<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.



b<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

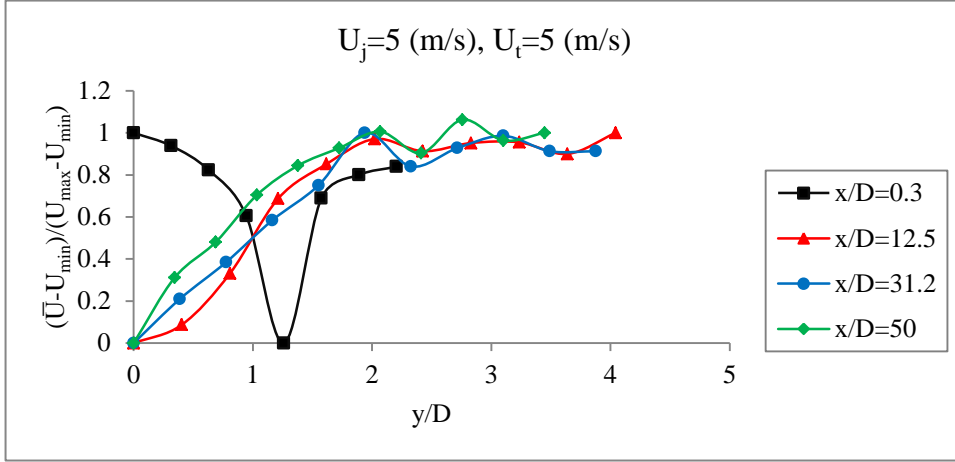
**Şekil 3.8.b.** Tünel akışının olmadığı, jet akış hızının 25 m/s olduğu durumda içten yivli dairesel jet akış ölçümleri.

### 3.1.3. Deney Odasında Farklı Hızlarda Akışların Olduğu Durumlarda Düz Dairesel Boru ve İçten Yivli Dairesel Boru Jet Akış Ölçümleri

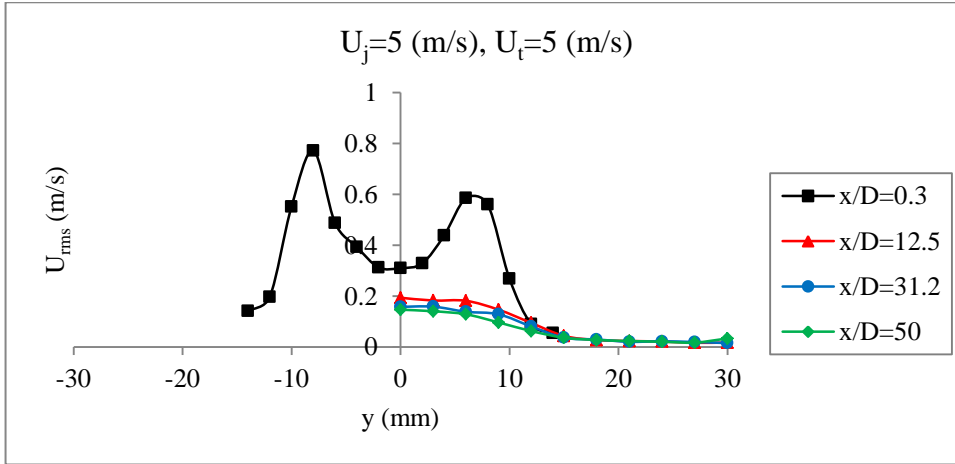
Deneysel çalışmaların bu bölümünde, içten yivli dairesel bakır borunun jet akış ile ilgili yapılan deneysel çalışmaların grafik ortamda gösterimi bulunmaktadır. Yapılan deneysel çalışmanın tipleri, Tablo 3.3'te gösterilmiştir. Tabloda yer alan DD ifadesi düz dairesel, DY ifadesi ise içten yivli dairesel boruyu temsil etmektedir. Tablo 3.3'de belirtilen ölçüm tiplerine göre yapılan deneysel verilerle oluşturulan grafikler, Şekil 3.9.a, 3.9.b, 3.10.a, 3.10.b, 3.11.a, 3.11b, 3.12.a, 3.12.b, 3.13.a, 3.13.b, 3.14.a, 3.14.b, 3.15.a, 3.15.b, 3.16.a, 3.16.b, 3.17.a, 3.17.b, 3.18.a, 3.18.b'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.3.** Tünel Hızı 5, 10, 20, 25 m/s Olduğu Durumlarda Deney Ölçüm Tipleri

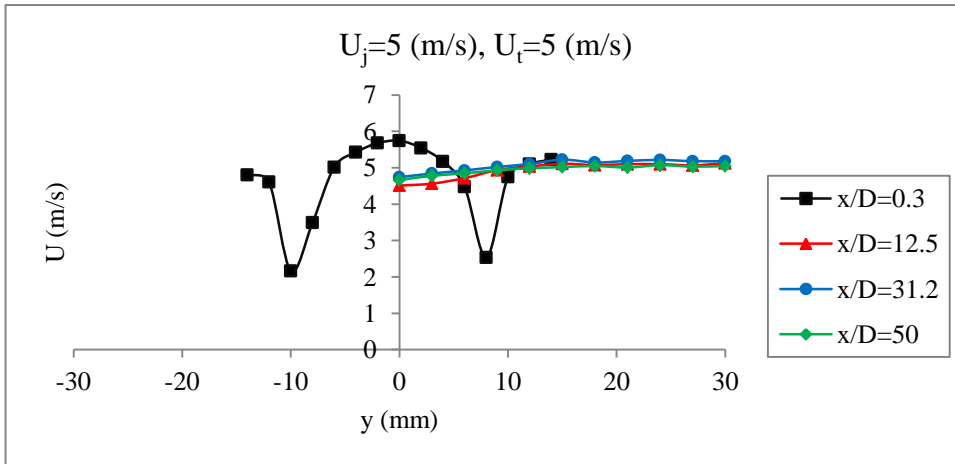
Ölçüm tipi	Jet Hızı (m/s)	Tünel Hızı (m/s)	Şekil
DD <sub>05</sub>	5	5	3.9.a
DD <sub>06</sub>	10	5	3.10.a
DY <sub>07</sub>	20	5	3.11.a
DD <sub>08</sub>	25	5	3.12.a
DD <sub>09</sub>	10	10	3.13.a
DD <sub>10</sub>	20	10	3.14.a
DD <sub>11</sub>	25	10	3.15.a
DD <sub>12</sub>	20	20	3.16.a
DD <sub>13</sub>	25	20	3.17.a
DD <sub>14</sub>	25	25	3.18.a
DY <sub>05</sub>	5	5	3.9.b
DY <sub>06</sub>	10	5	3.10.b
DY <sub>07</sub>	20	5	3.11.b
DY <sub>08</sub>	25	5	3.12.b
DY <sub>09</sub>	10	10	3.13.b
DY <sub>10</sub>	20	10	3.14.b
DY <sub>11</sub>	25	10	3.15.b
DY <sub>12</sub>	20	20	3.16.b
DY <sub>13</sub>	25	20	3.17.b
DY <sub>14</sub>	25	25	3.18.b



a<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımı.

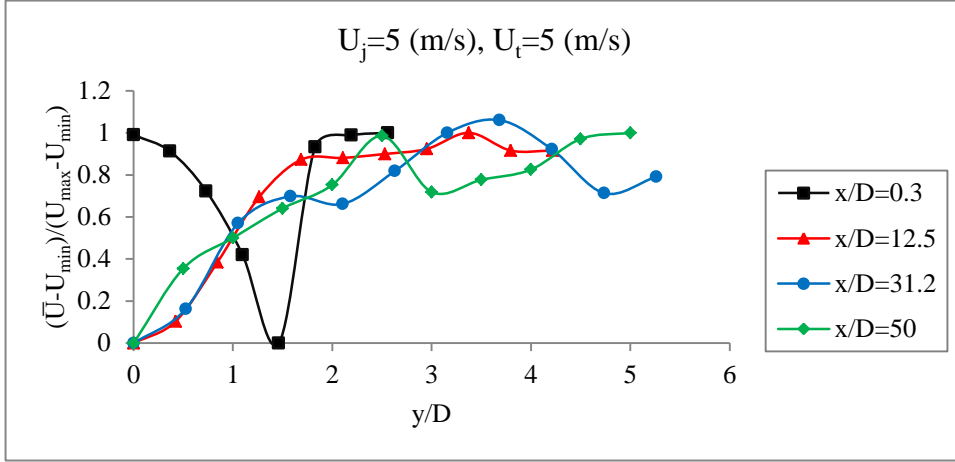


a<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

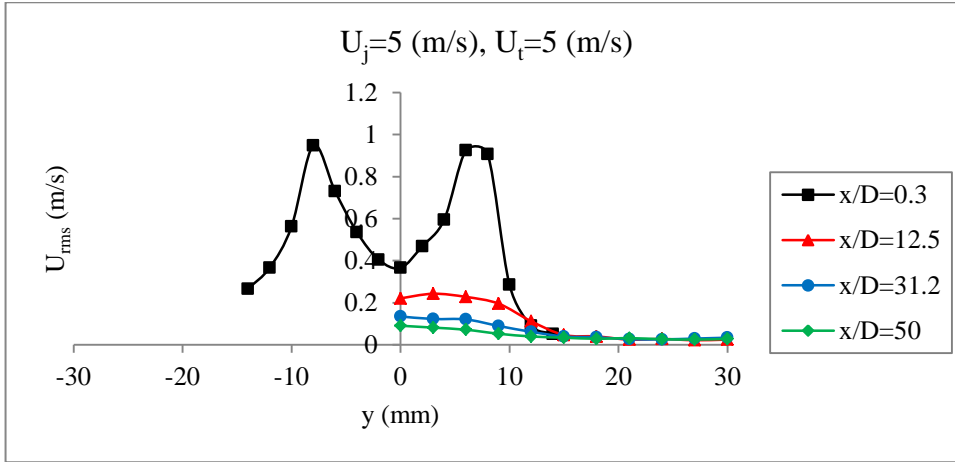


a<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

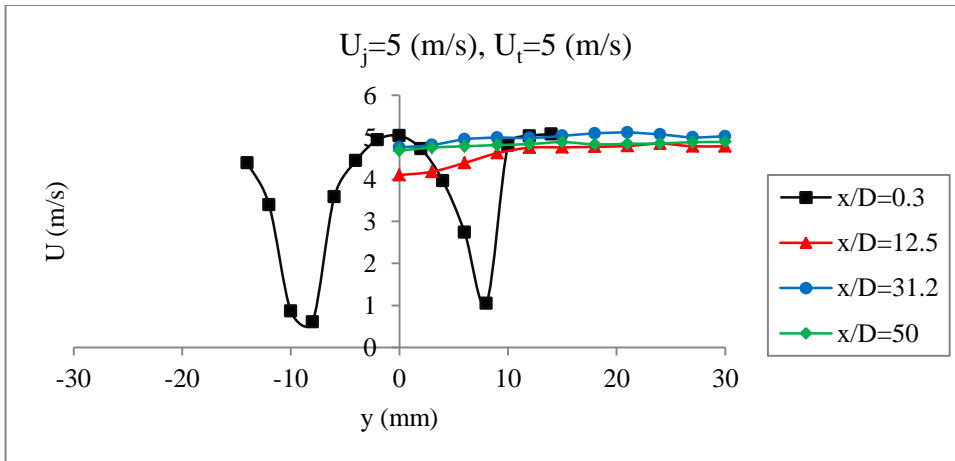
**Şekil 3.9.a.** Tünel hızının 5 m/s ve jet akış hızının 5 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış ölçümleri.



b<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımı.

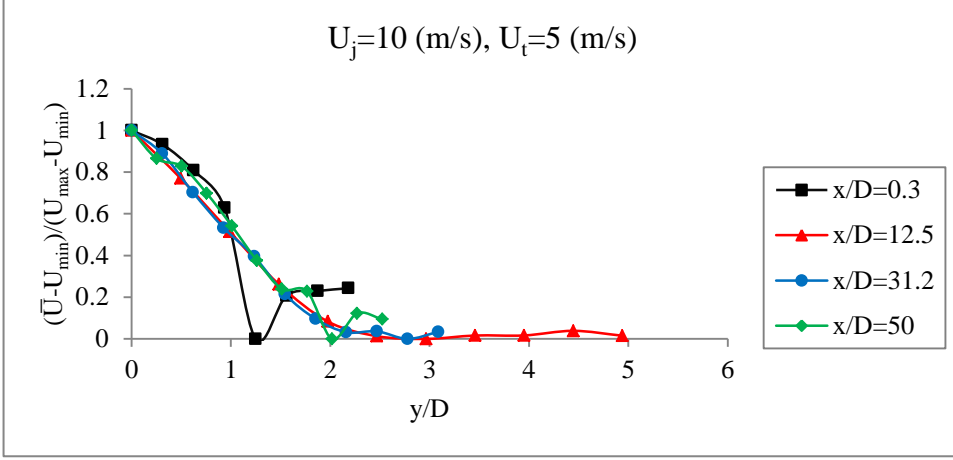


b<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

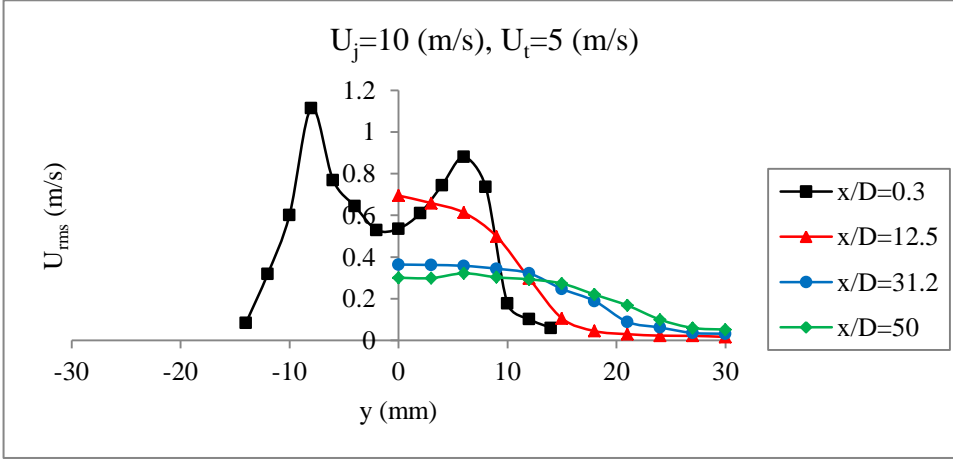


b<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımı.

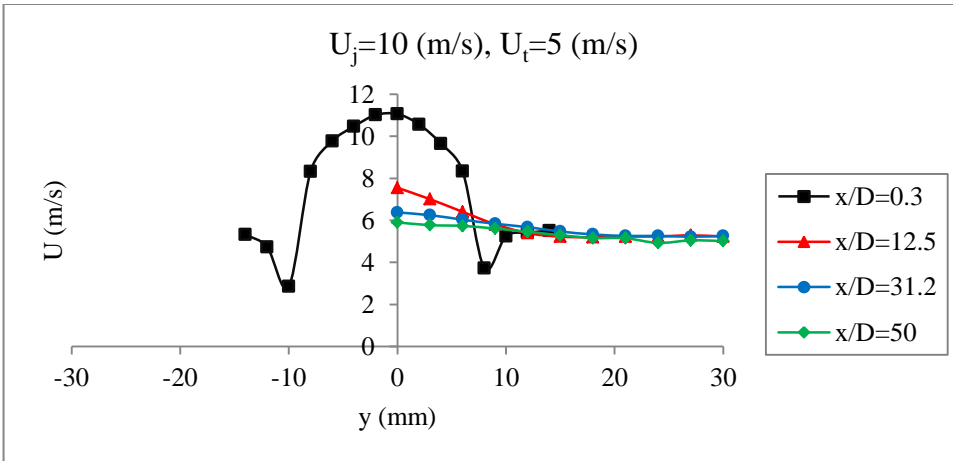
**Şekil 3.9.b.** Tünel hızının 5 m/s ve jet akış hızının 5 m/s olduğu durumda içten yivli dairesel jet akış ölçümleri.



a<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımı.

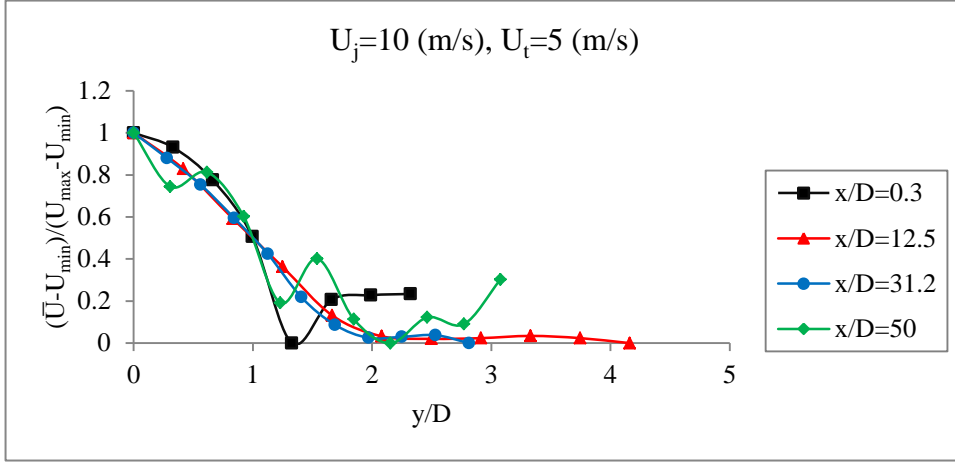


a<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

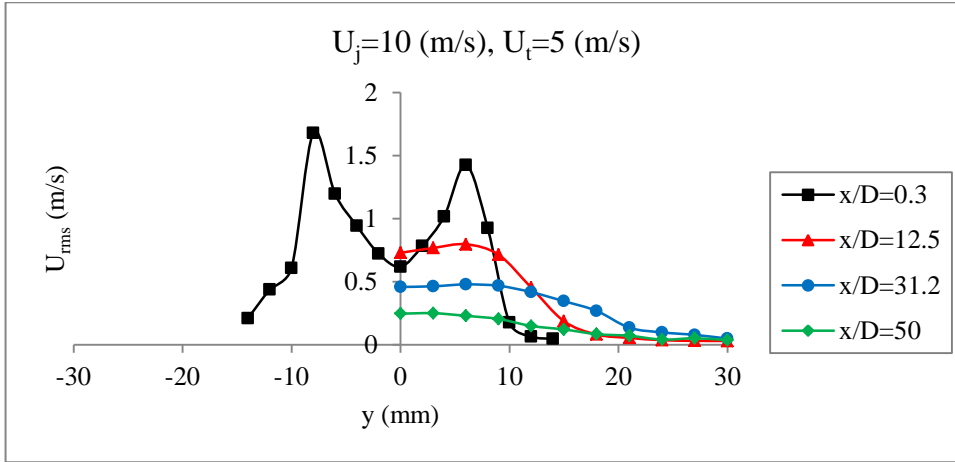


a<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımı.

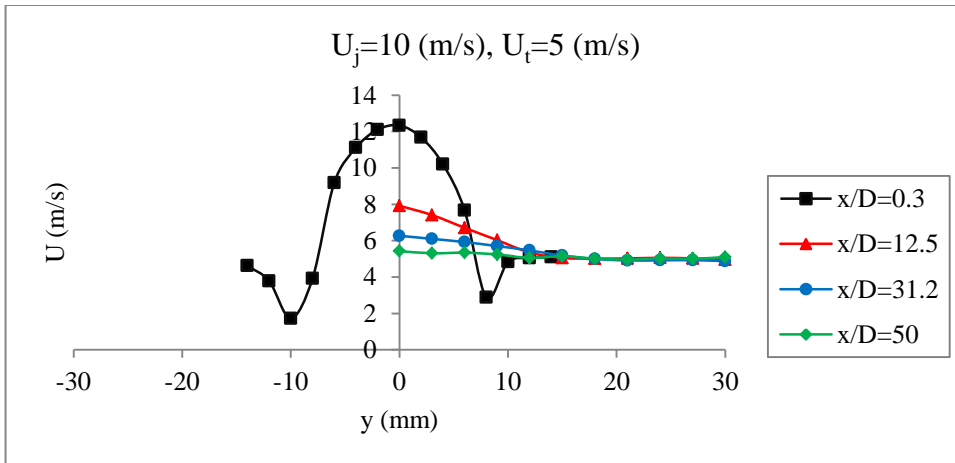
**Şekil 3.10.a.** Tünel hızının 5 m/s ve jet akış hızının 10 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış ölçümleri.



b<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımı.



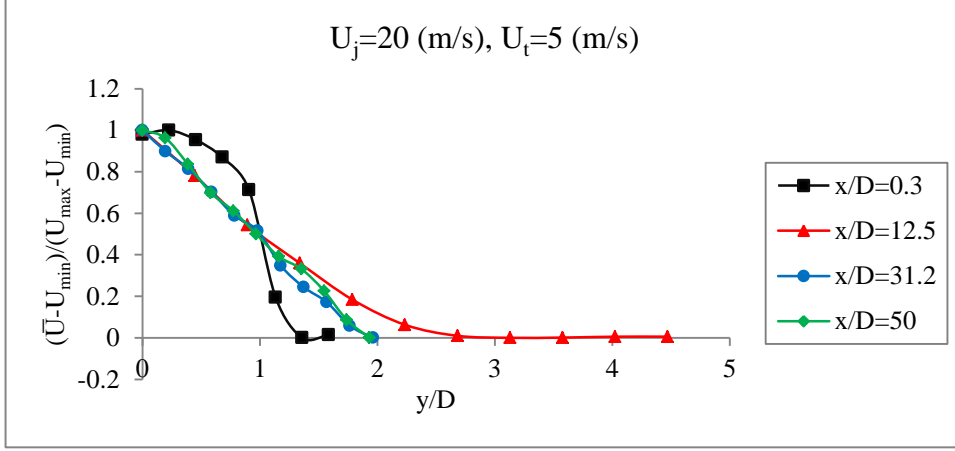
b<sub>2</sub>)  $U_{rms}$  dağılımı.



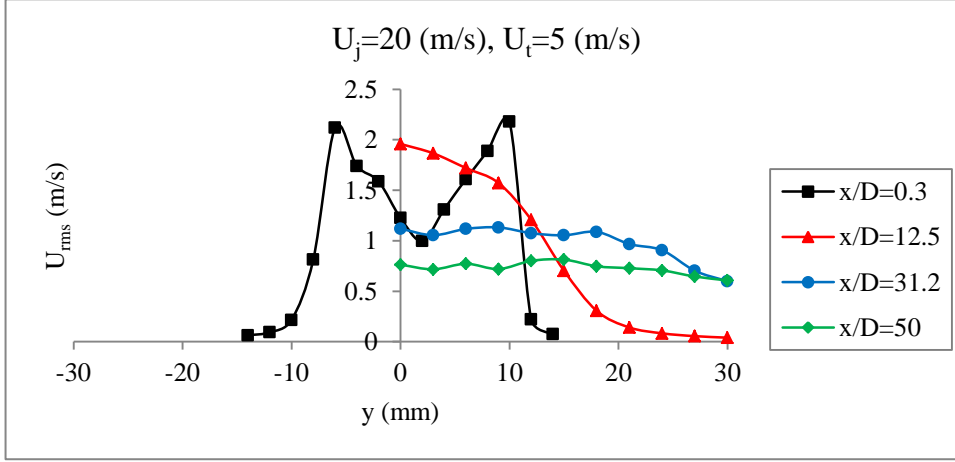
b<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımı.

**Şekil 3.10.b.** Tünel hızının 5 m/s ve jet akış hızının 10 m/s olduğu durumda içten yivli dairesel jet akış ölçümleri.

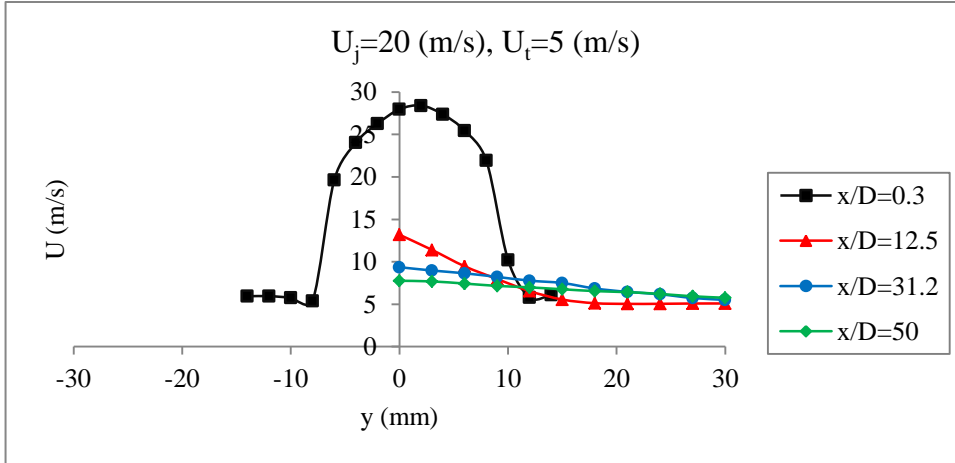




a<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımı.

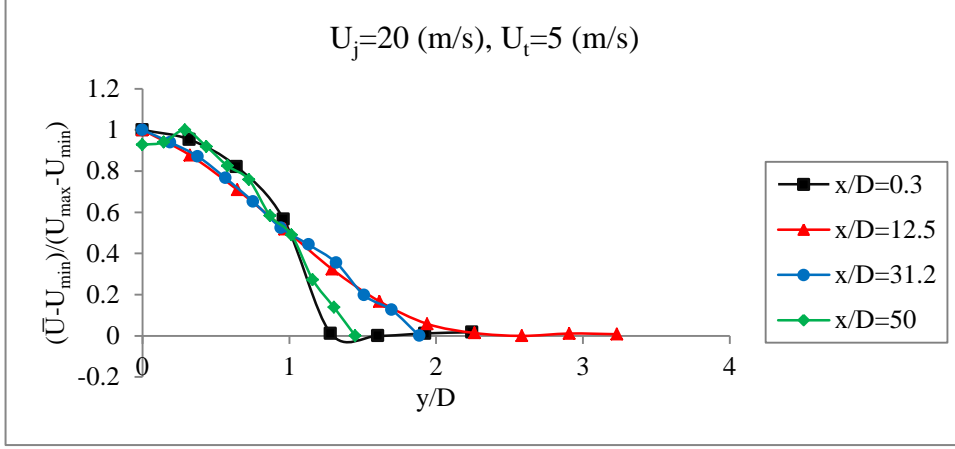


a<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

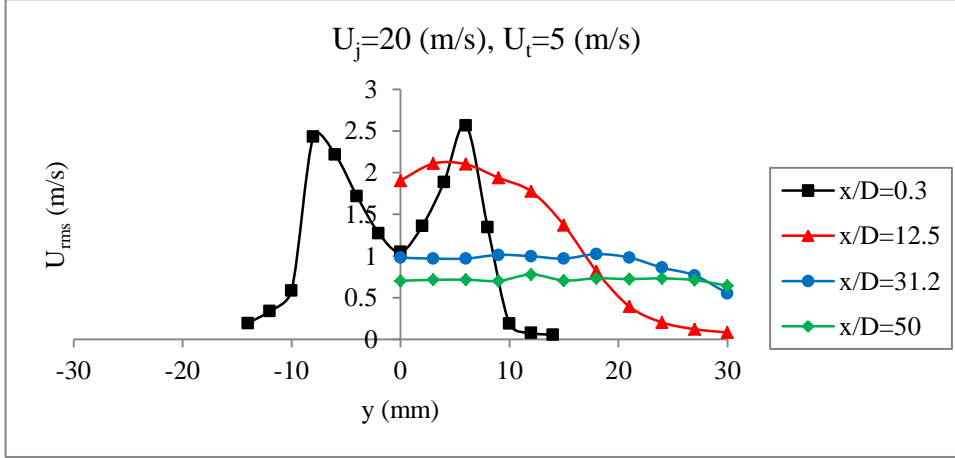


a<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

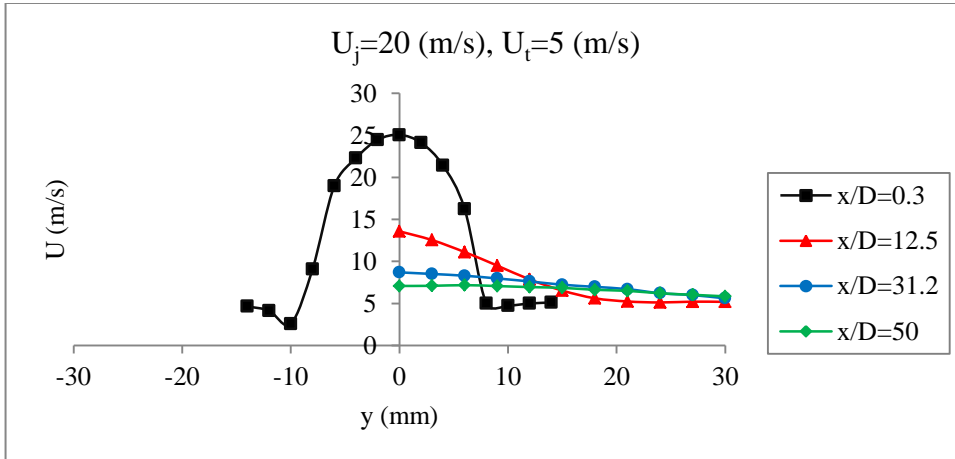
**Şekil 3.11.a.** Tünel hızının 5 m/s ve jet akış hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış ölçümleri.



b<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımı.

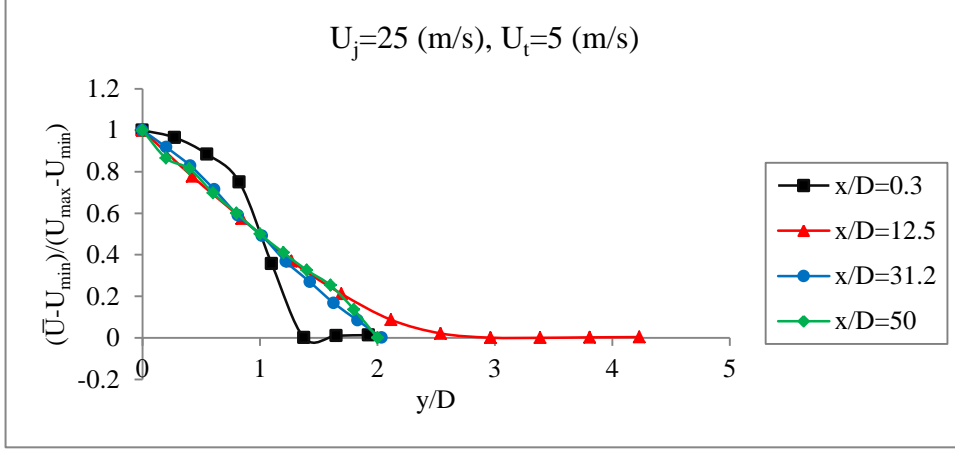


b<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

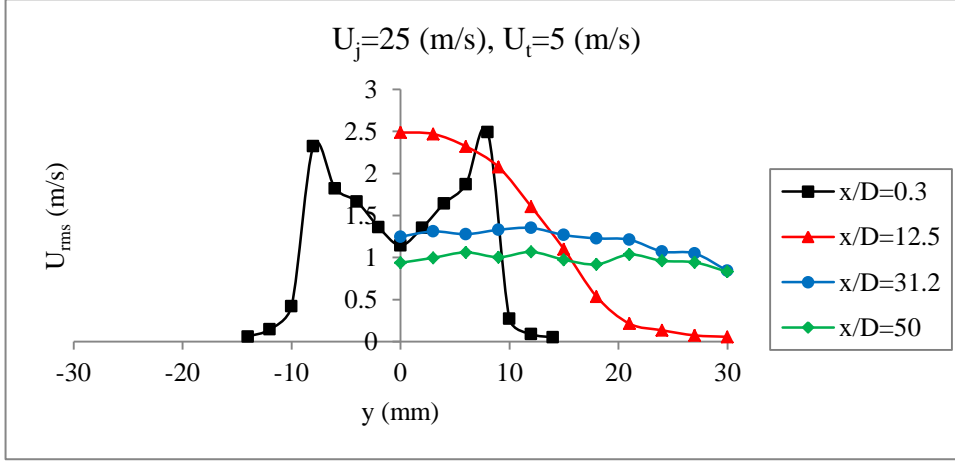


b<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

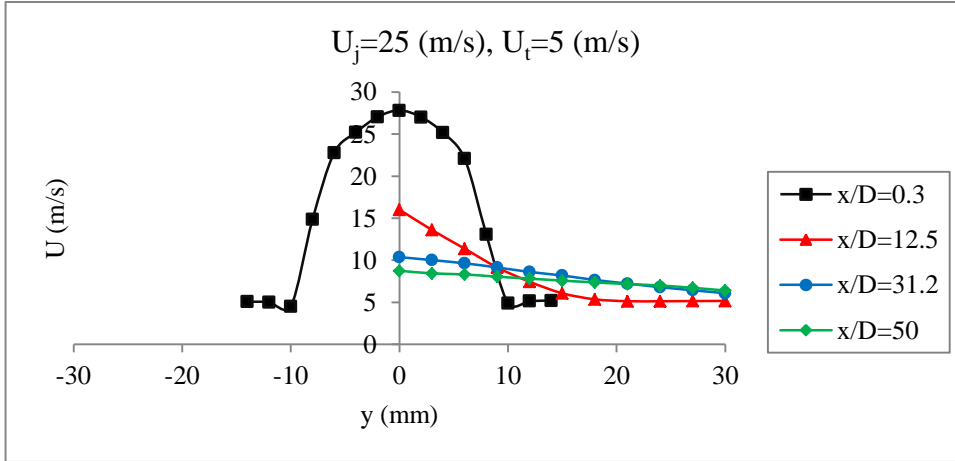
**Şekil 3.11.b.** Tünel hızının 5 m/s ve jet akış hızının 20 m/s olduğu durumda içten yivli dairesel jet akış ölçümleri.



a<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.

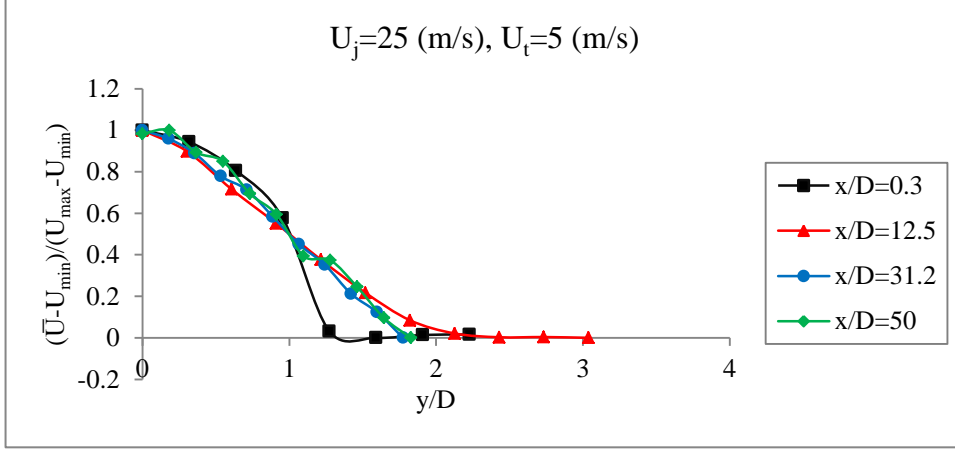


a<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

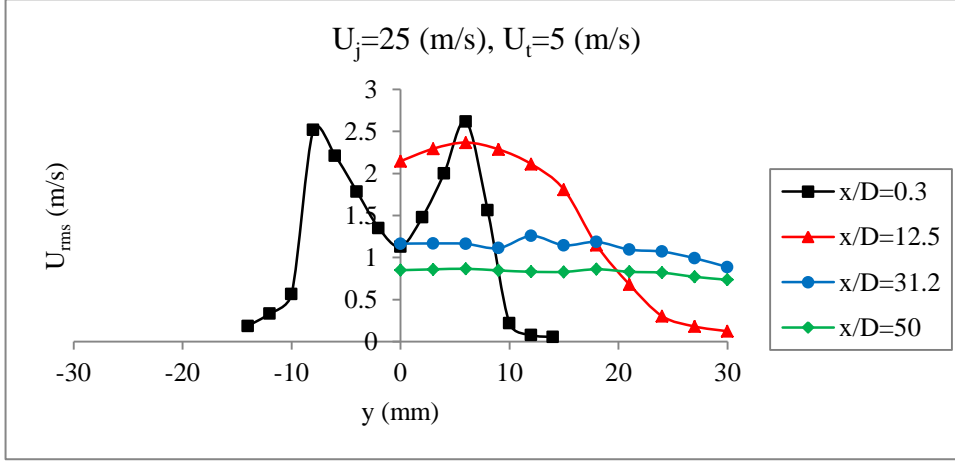


a<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

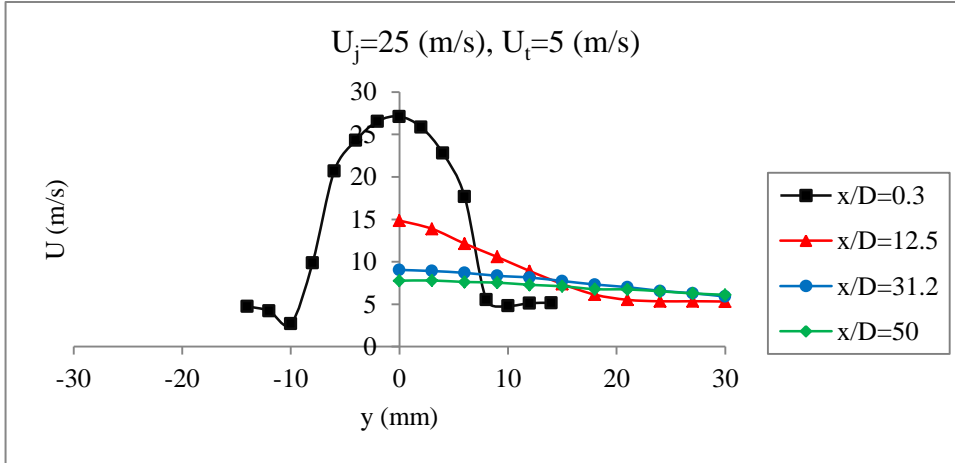
**Şekil 3.12.a.** Tünel hızının 5 m/s ve jet akış hızının 25 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış ölçümleri.



b<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.

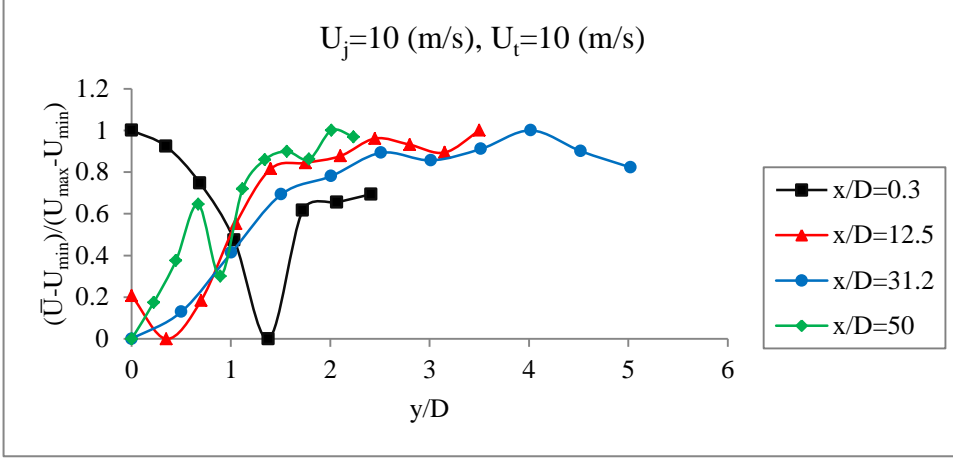


b<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

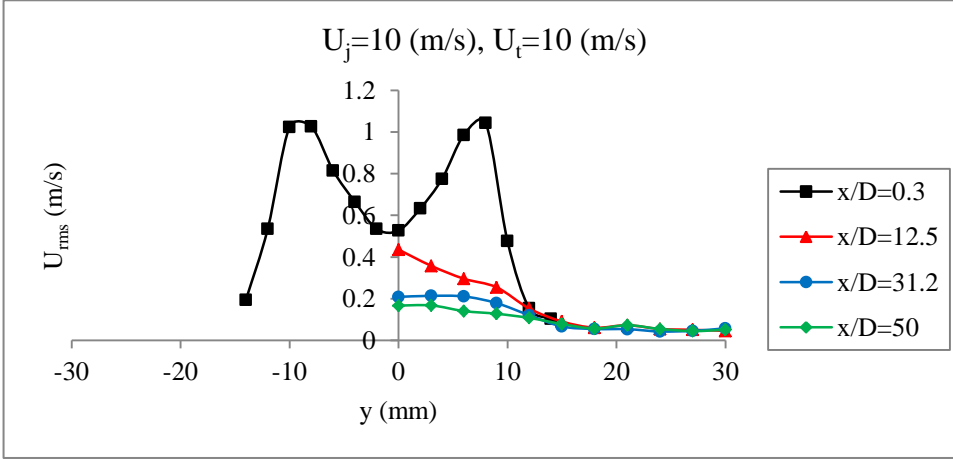


b<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

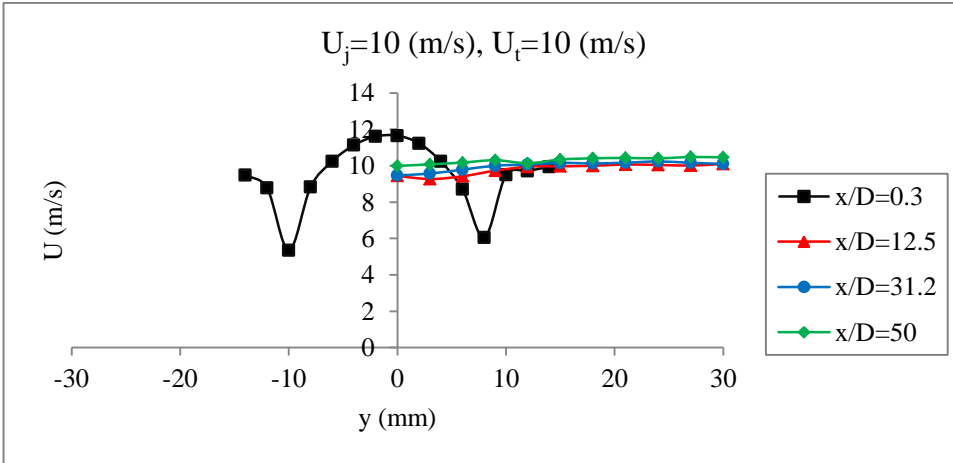
**Şekil 3.12.b.** Tünel hızının 5 m/s ve jet akış hızının 25 m/s olduğu durumda içten yivli dairesel jet akış ölçümleri.



a<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.

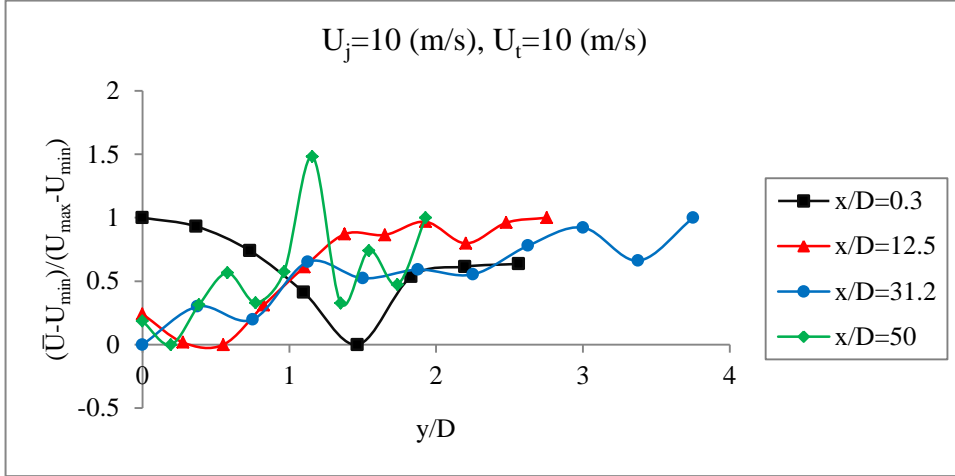


a<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

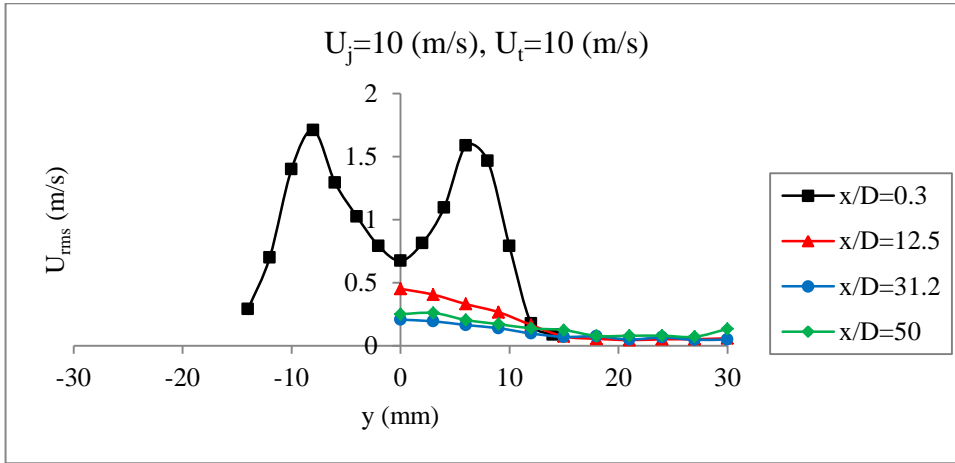


a<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

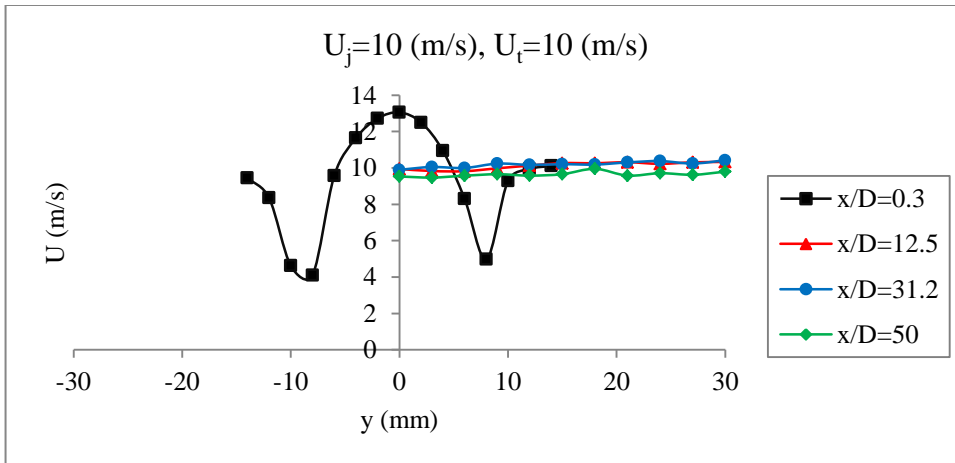
**Şekil 3.13.a.** Tünel hızının 10 m/s ve jet akış hızının 10 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış ölçümleri.



b<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.

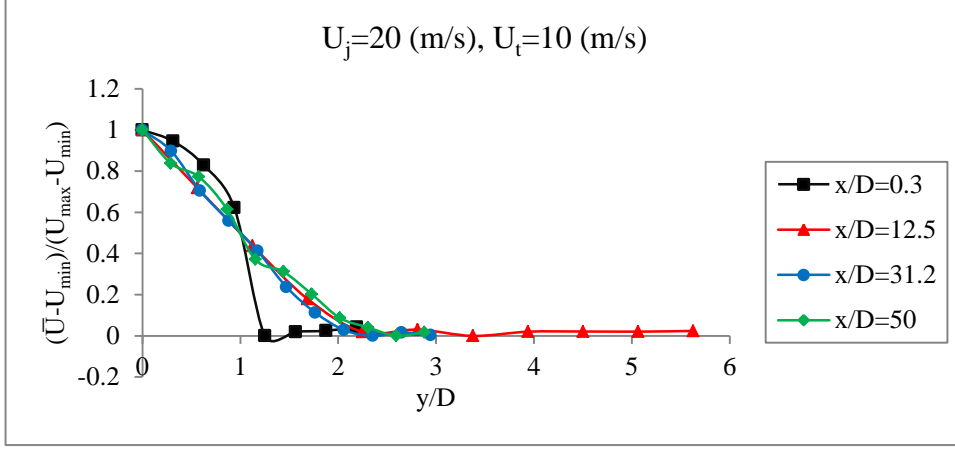


b<sub>2</sub>)  $U_{rms}$  dağılımı.

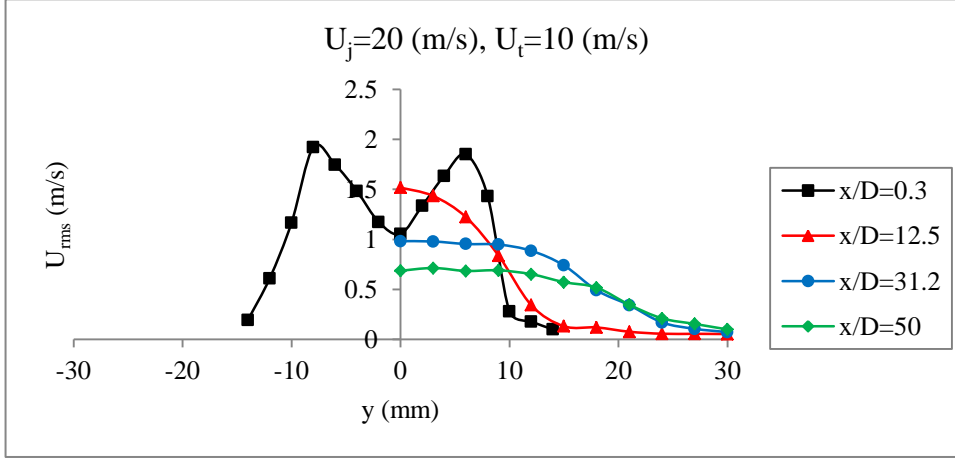


b<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

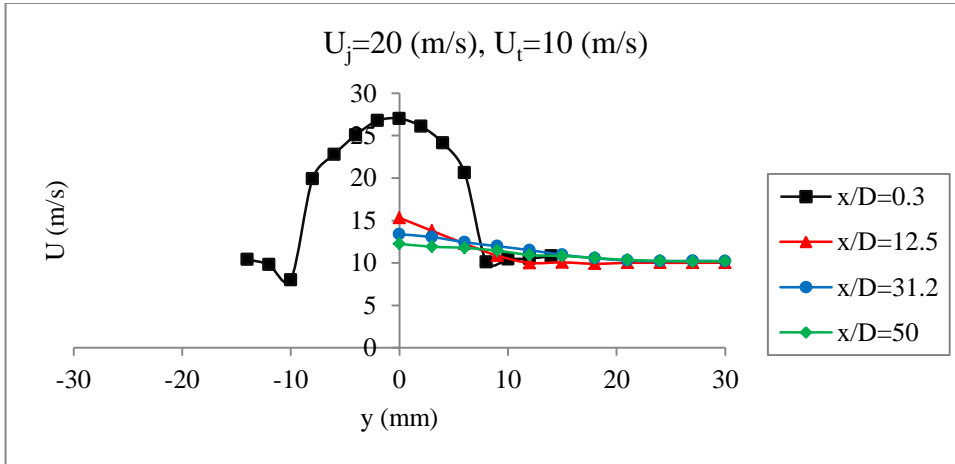
**Şekil 3.13.b.** Tünel hızının 10 m/s ve jet akış hızının 10 m/s olduğu durumda içten yivli dairesel jet akış ölçümleri.



a<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.

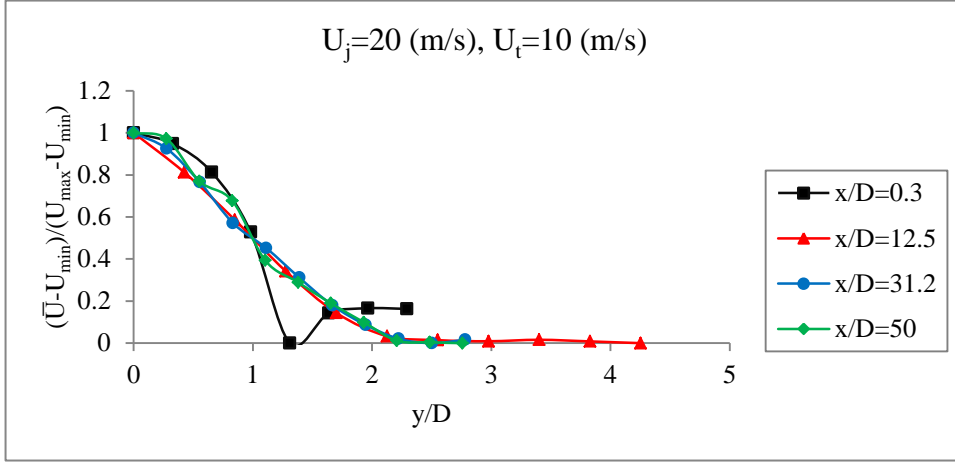


a<sub>2</sub>)  $U_{rms}$  dağılımı.

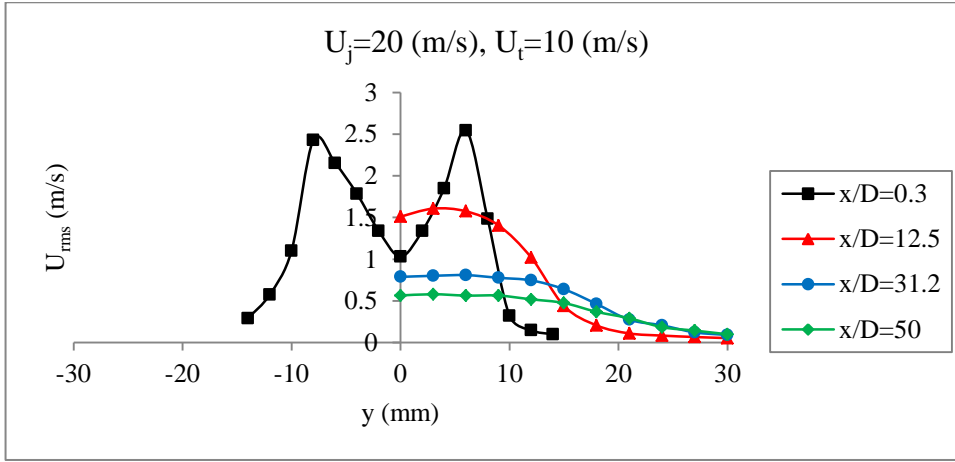


a<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

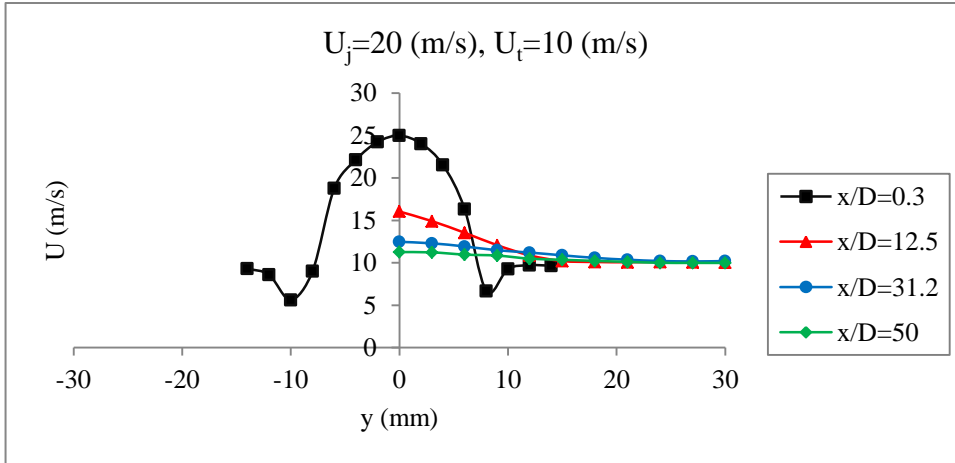
**Şekil 3.14.a.** Tünel hızının 10 m/s ve jet akış hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış ölçümleri.



b<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.



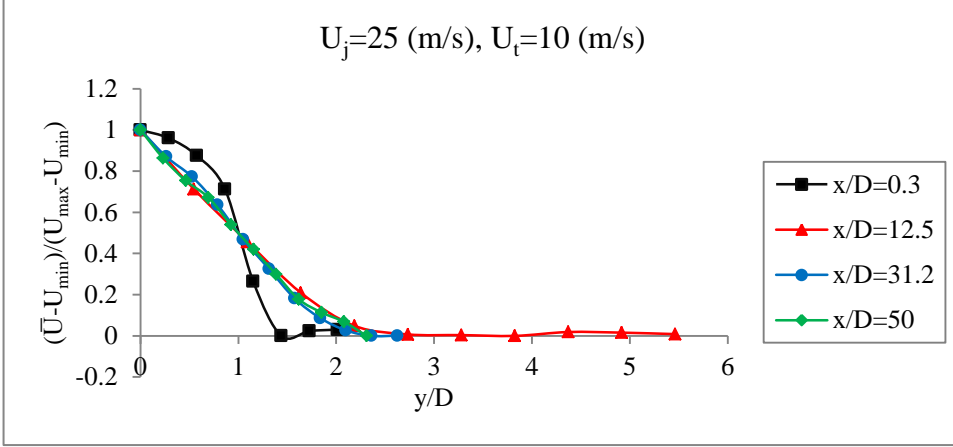
b<sub>2</sub>)  $U_{rms}$  dağılımı.



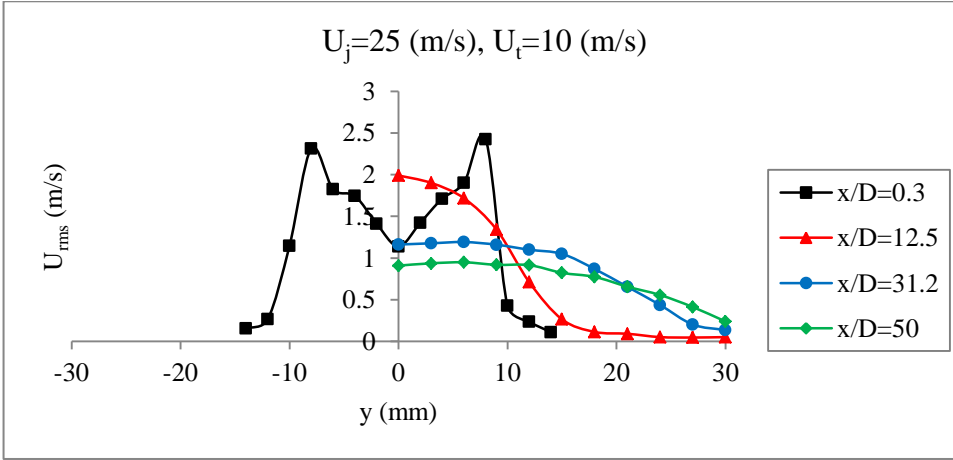
b<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

**Şekil 3.14.b.** Tünel hızının 10 m/s ve jet akış hızının 20 m/s olduğu durumda içten yivli dairesel jet akış ölçümleri.

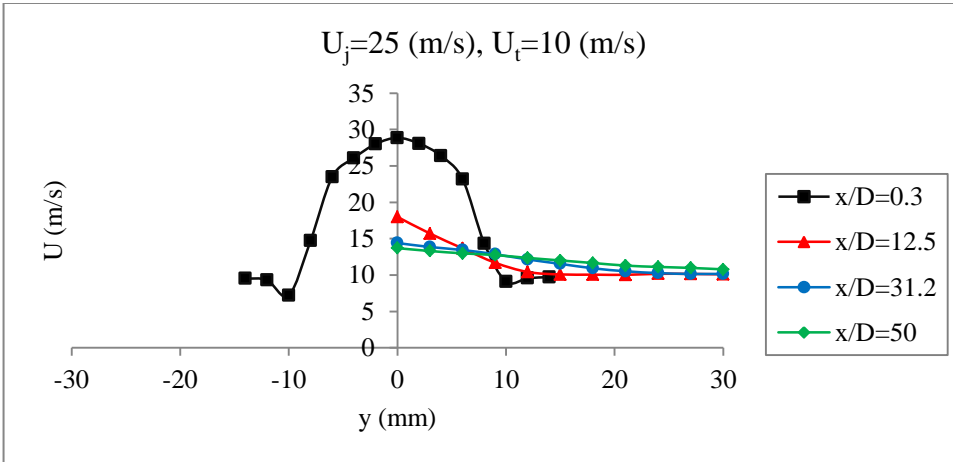




a<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.

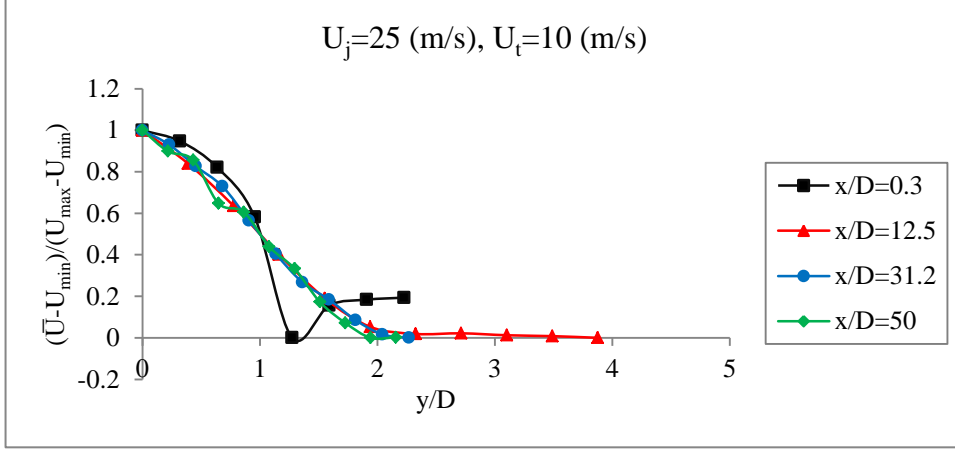


a<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

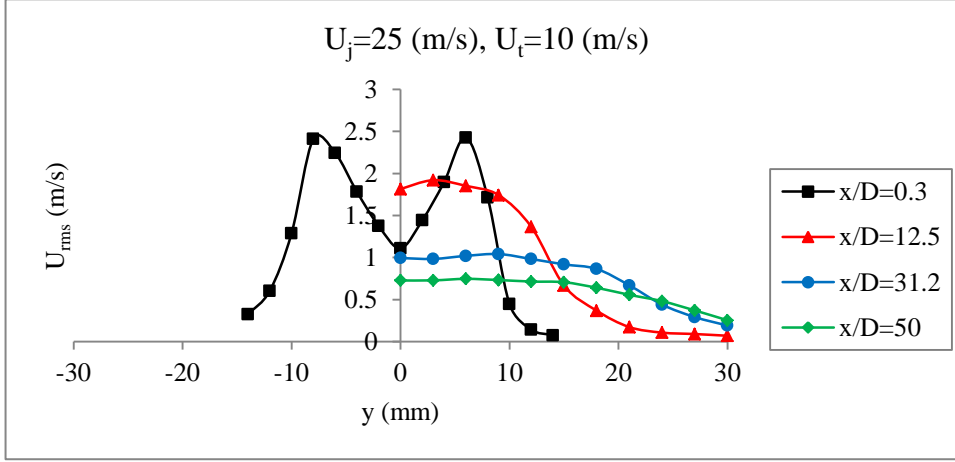


a<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

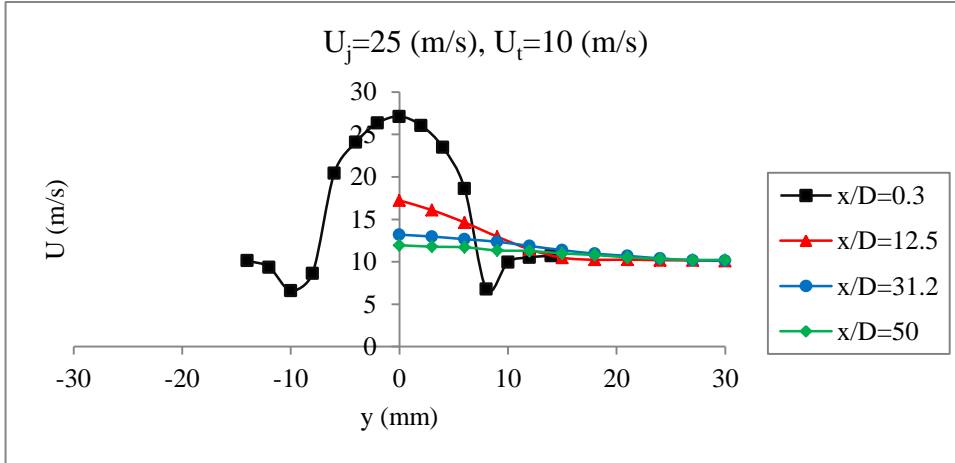
**Şekil 3.15.a.** Tünel hızının 10 m/s ve jet akış hızının 25 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış ölçümleri.



b<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.

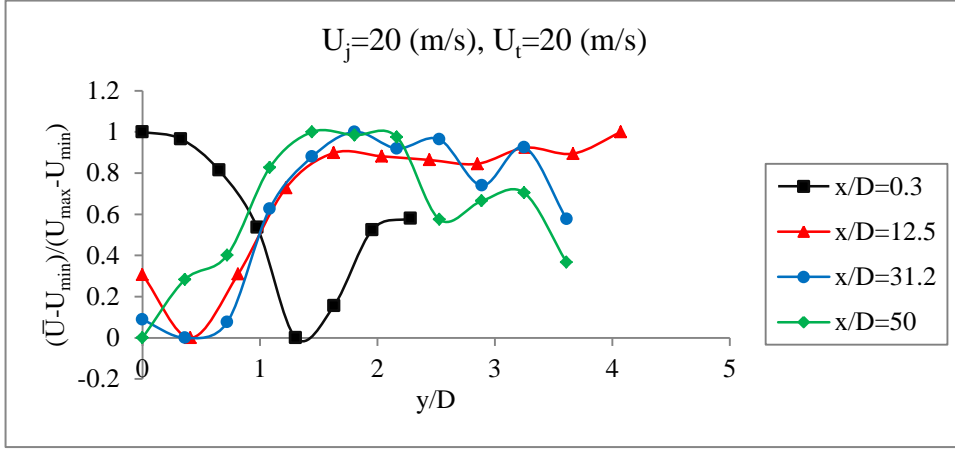


b<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

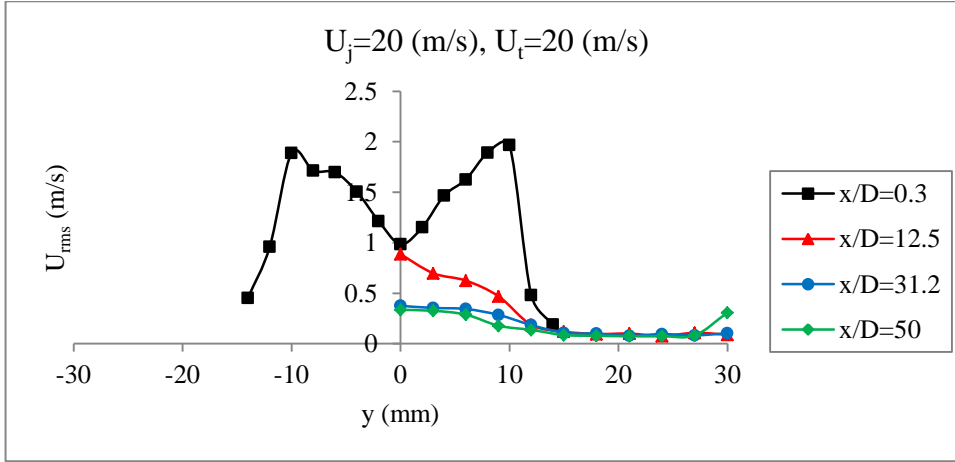


b<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

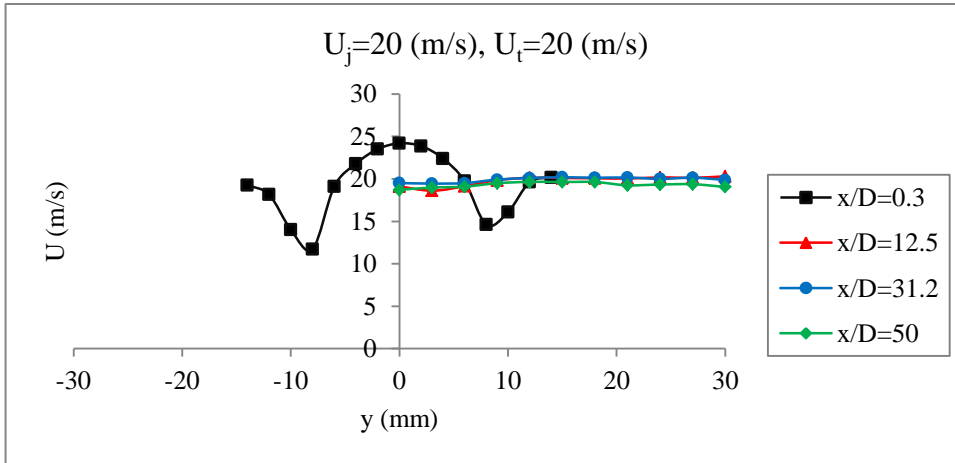
**Şekil 3.15.b.** Tünel hızının 10 m/s ve jet akış hızının 25 m/s olduğu durumda içten yivli dairesel jet akış ölçümleri.



a<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.

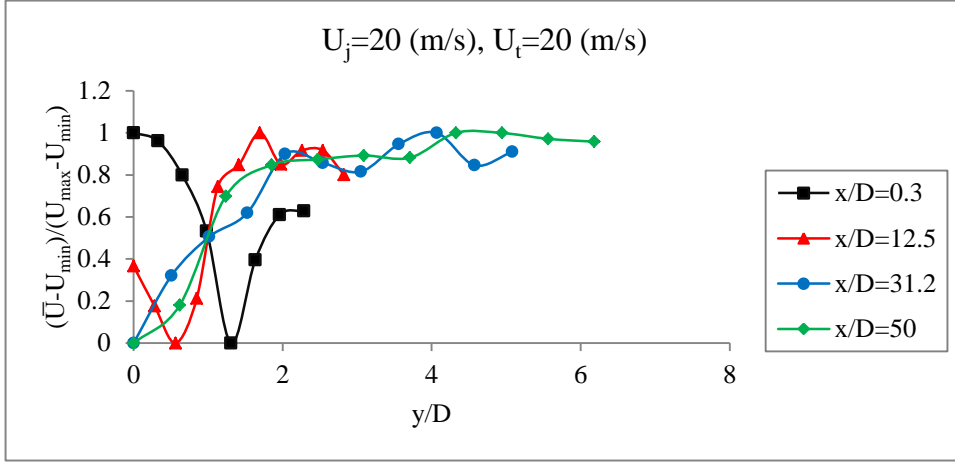


a<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

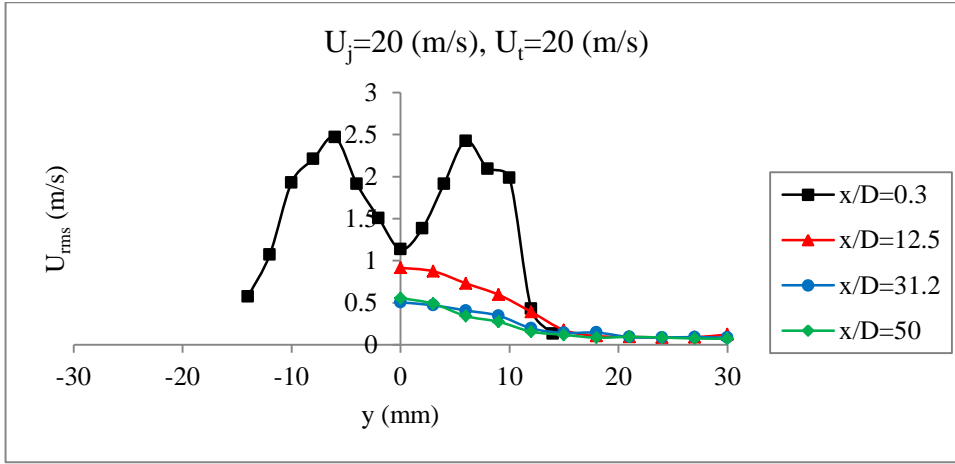


a<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

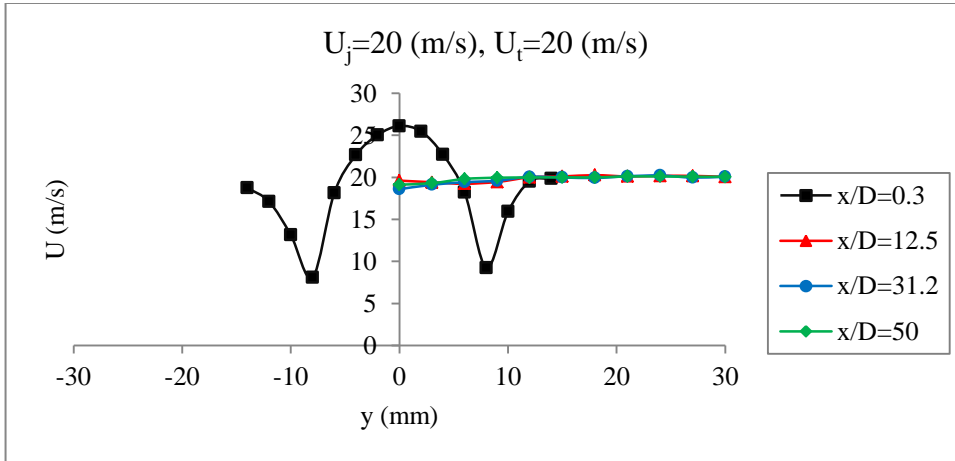
**Şekil 3.16.a.** Tünel hızının 20 m/s ve jet akış hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış ölçümleri.



b<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.

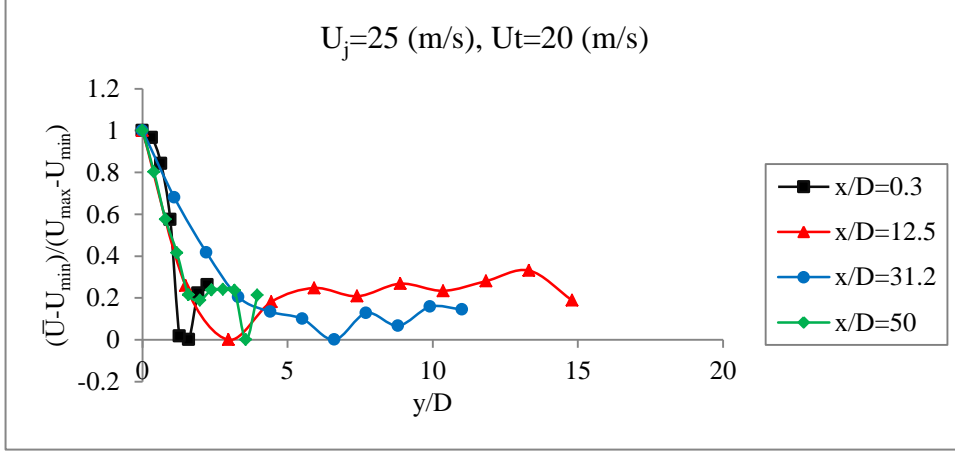


b<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

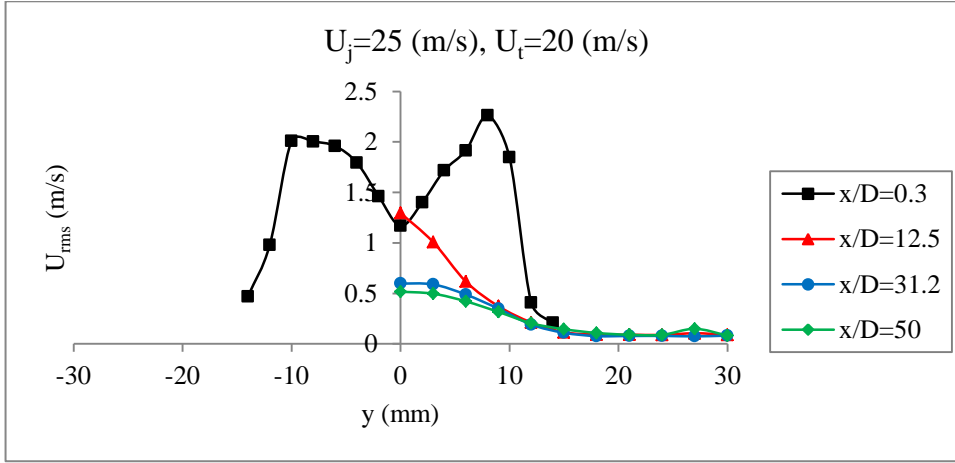


b<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

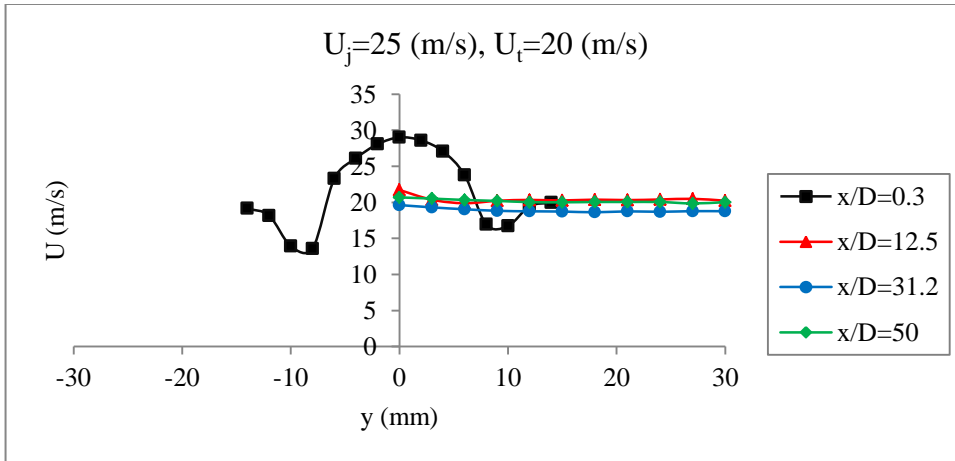
**Şekil 3.16.b.** Tünel hızının 20 m/s ve jet akış hızının 20 m/s olduğu durumda içten yivli dairesel jet akış ölçümleri.



a<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.

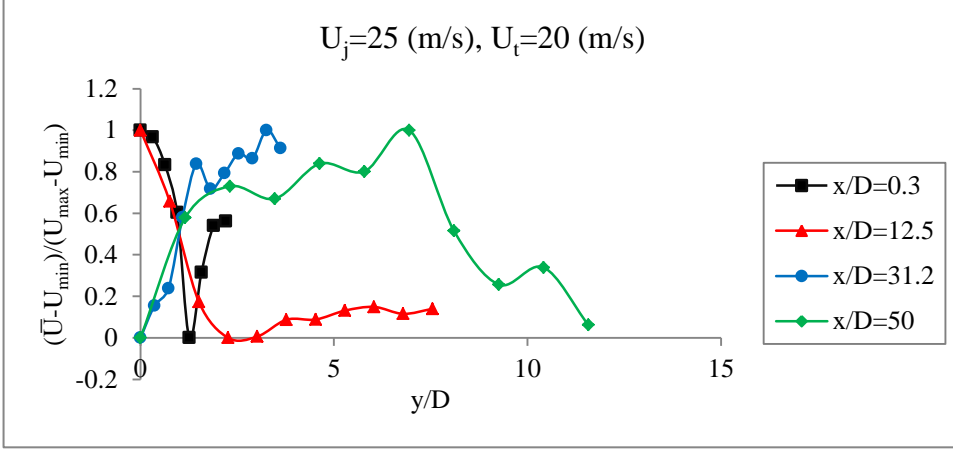


a<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

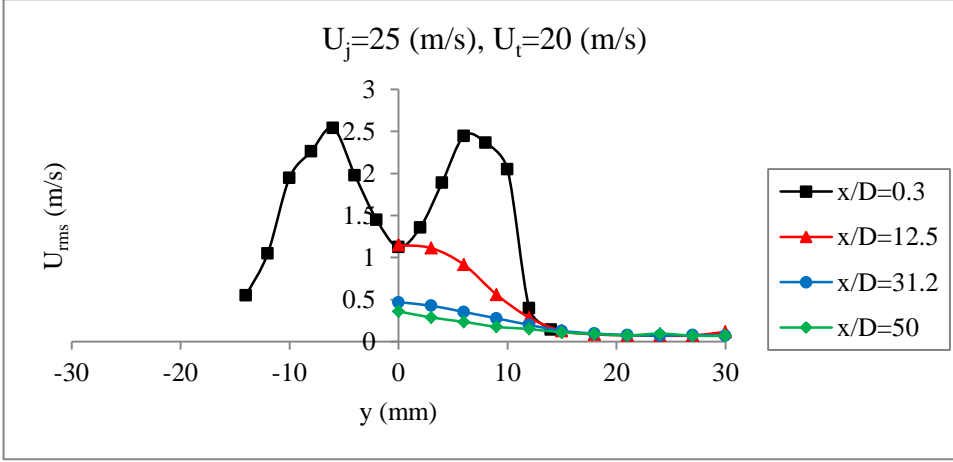


a<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

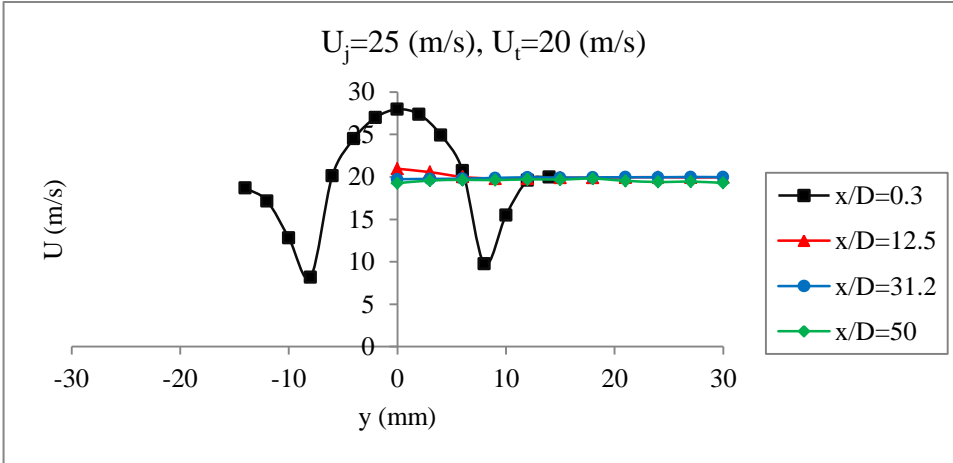
**Şekil 3.17.a.** Tünel hızının 20 m/s ve jet akış hızının 25 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış ölçümleri.



b<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.

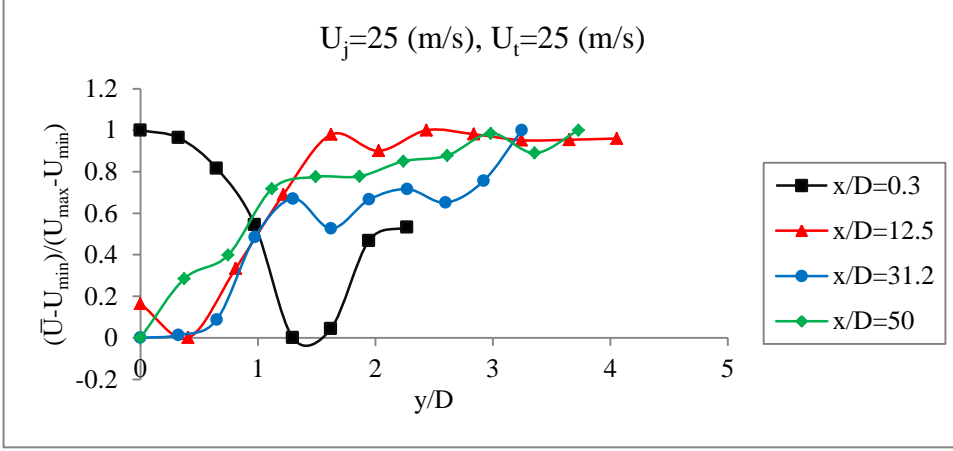


b<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

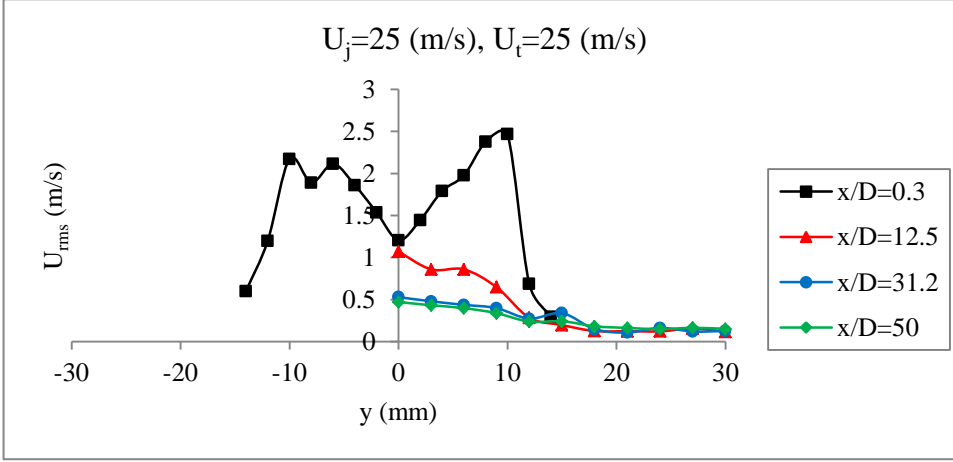


b<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

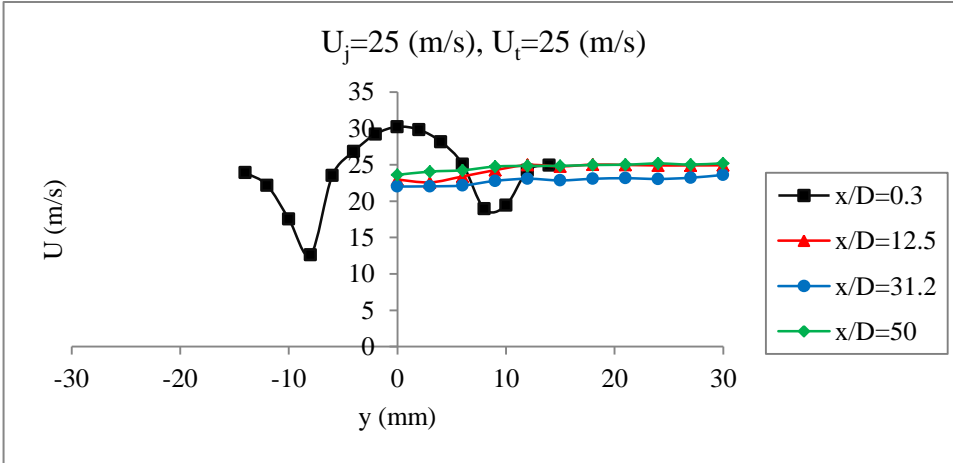
**Şekil 3.17.b.** Tünel hızının 20 m/s ve jet akış hızının 25 m/s olduğu durumda içten yivli dairesel jet akış ölçümleri.



a<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.

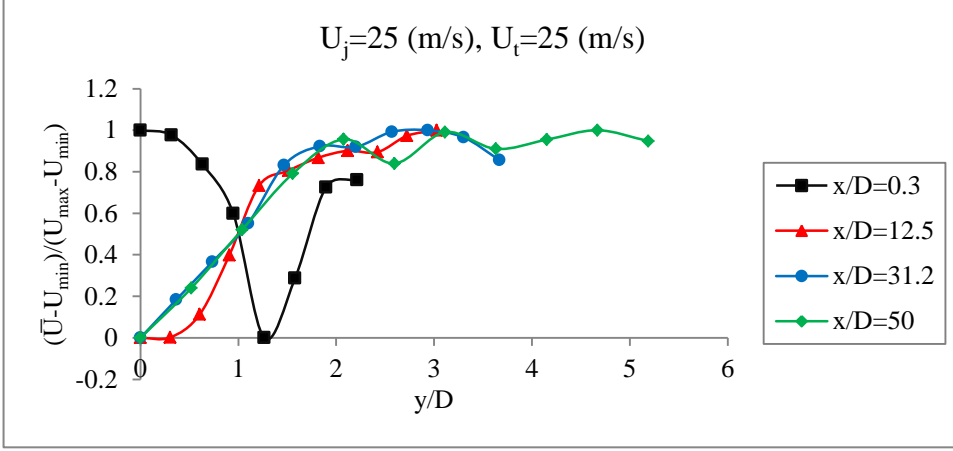


a<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.

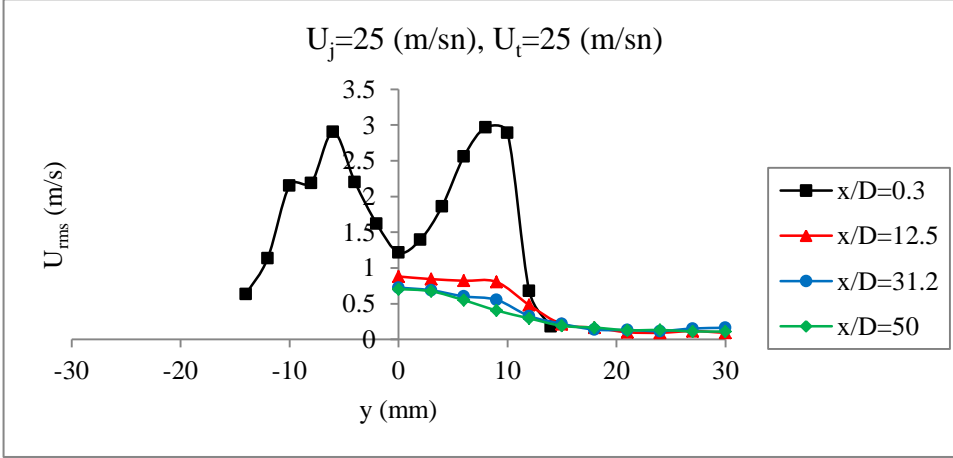


a<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

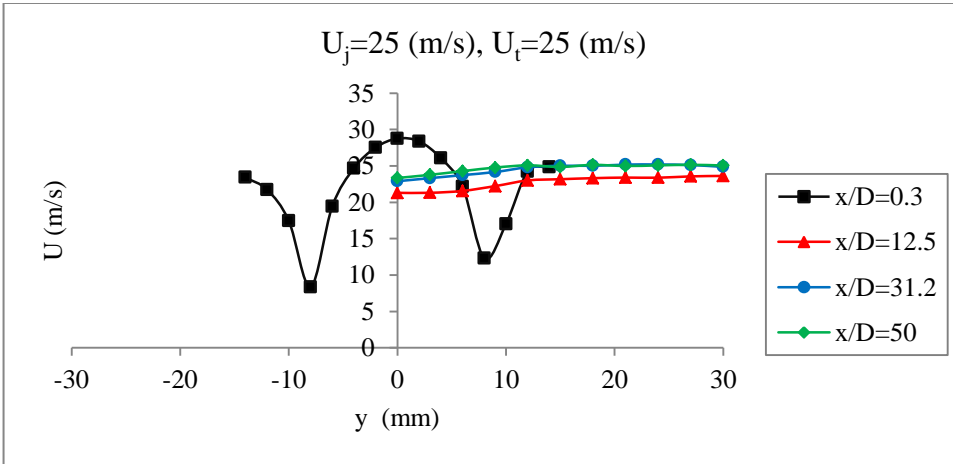
**Şekil 3.18.a.** Tünel hızının 25 m/s ve jet akış hızının 25 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış ölçümleri.



b<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.



b<sub>2</sub>)  $U_{\text{rms}}$  dağılımı.



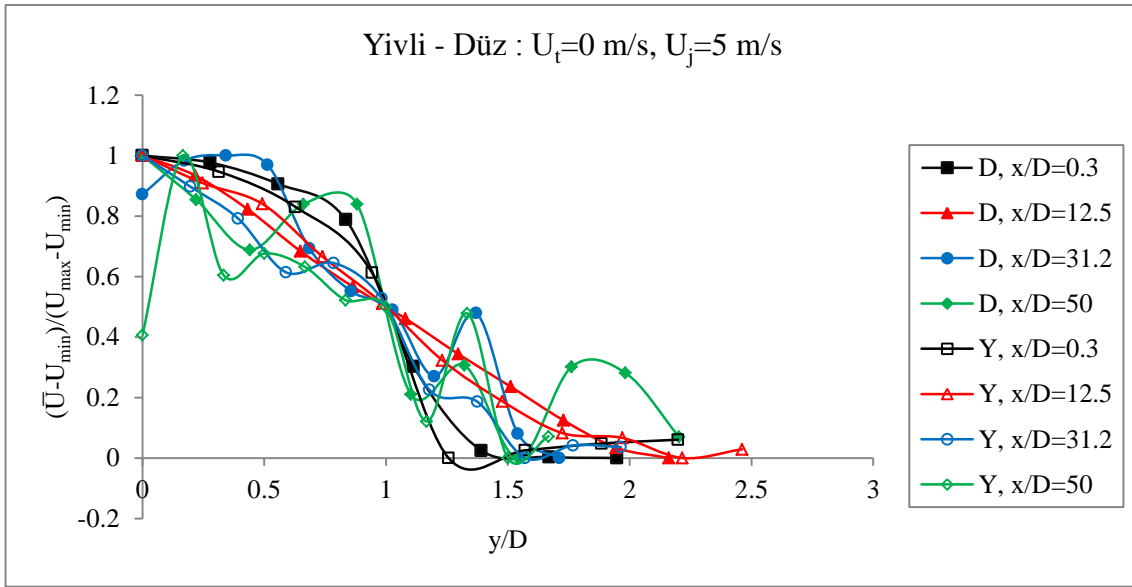
b<sub>3</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

**Şekil 3.18.b.** Tünel hızının 25 m/s ve jet akış hızının 25 m/s olduğu durumda içten yivli dairesel jet akış ölçümleri.

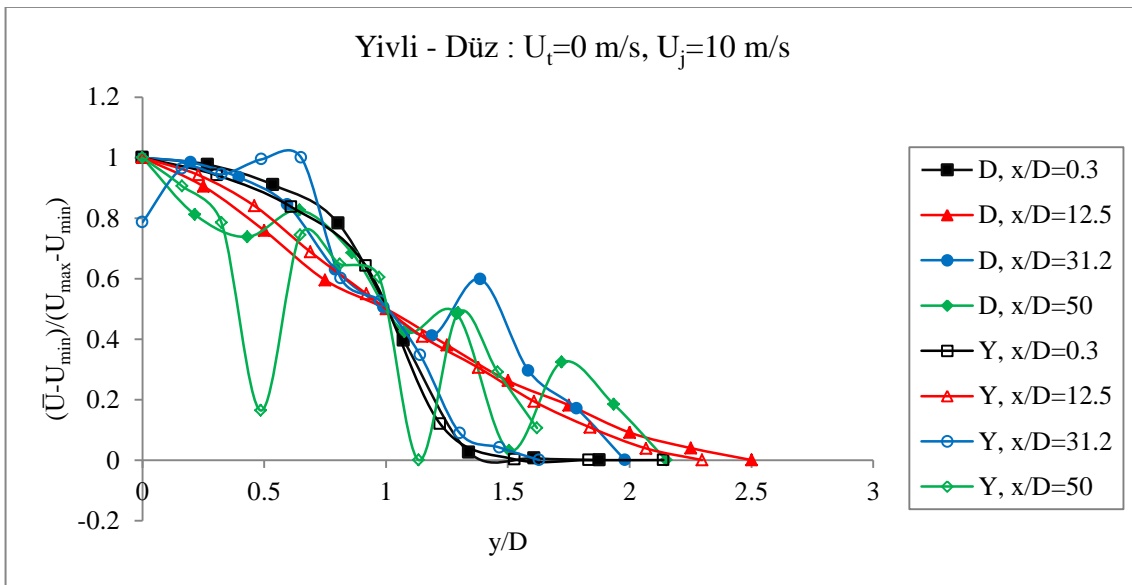


### 3.1.4. Deney Odasında Akışın Olmadığı Durumlarda Düz Dairesel Boru ve İçten Yivli Dairesel Boru Jet Akış Ölçümlerinin Aynı Düzlemde İfadesi

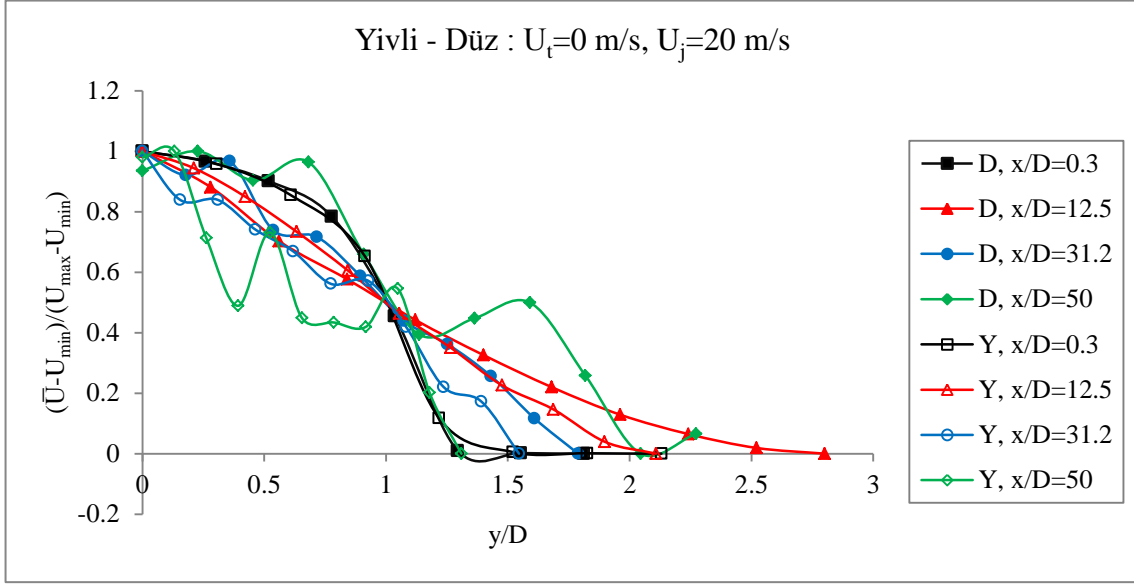
Yapılan deneysel çalışmalar ile elde edilen veriler, tünel akışı olmadığı durumda; jet akışın 5, 10, 20, 25 m/s hızlarında ve  $x/D=0.3$ ,  $x/D=12.5$ ,  $x/D=31.2$ ,  $x/D=50$  ölçüm istasyonlarında düz dairesel ve içten yivli dairesel jet akış için boyutsuzlaştırılarak Şekil 3.19'da verilmiştir.



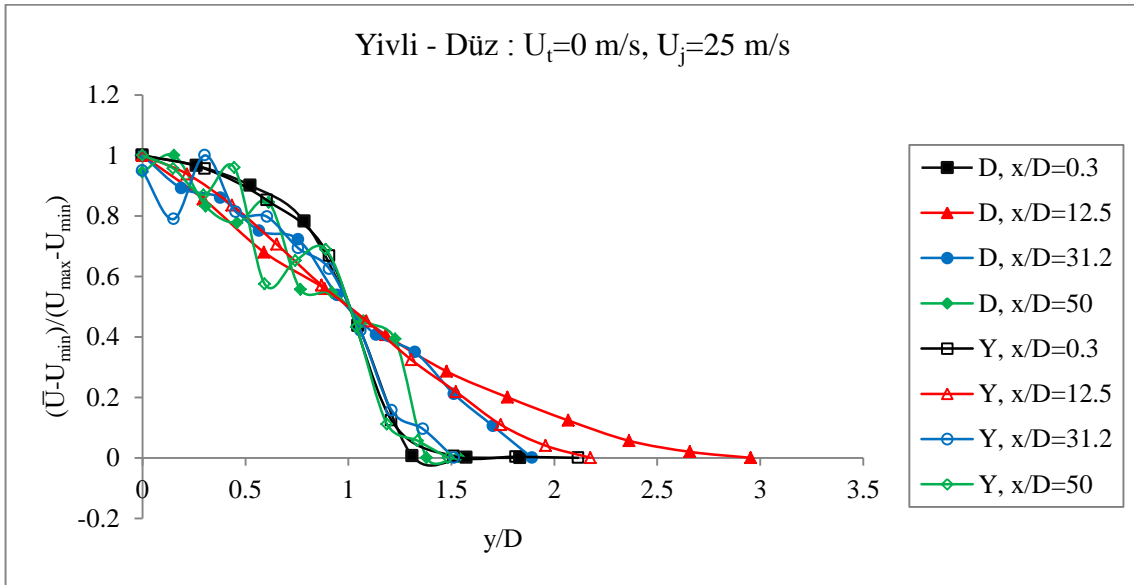
a) Jet hızı 5 m/s olduğu durumda boyutsuz hız dağılımları.



b) Jet hızı 10 m/s olduğu durumda boyutsuz hız dağılımları.



c) Jet hızı 20 m/s olduğu durumda boyutsuz hız dağılımları.

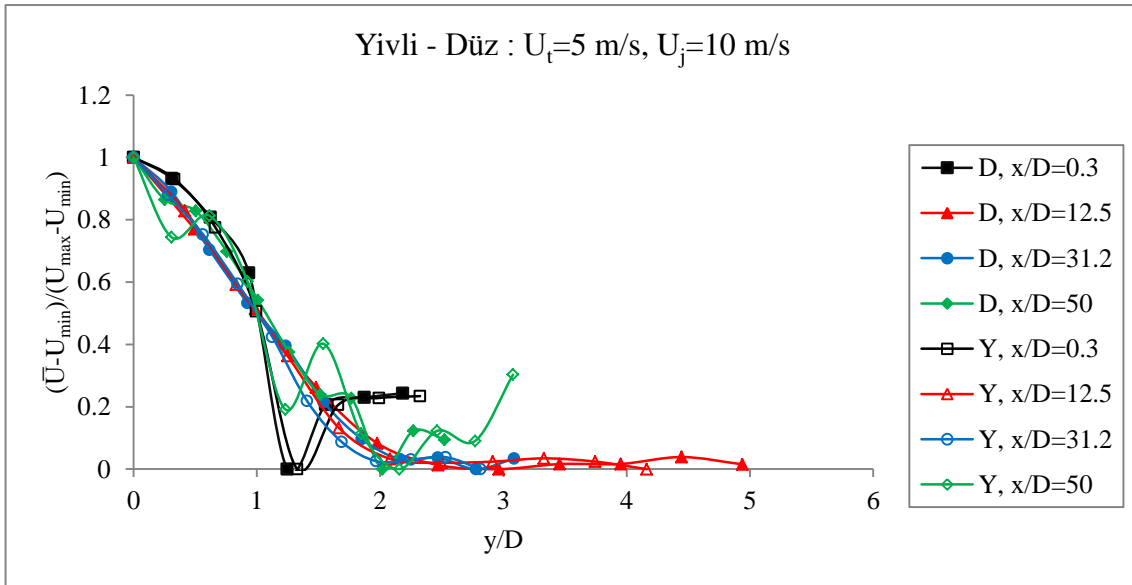


d) Jet hızı 25 m/s olduğu durumda boyutsuz hız dağılımları.

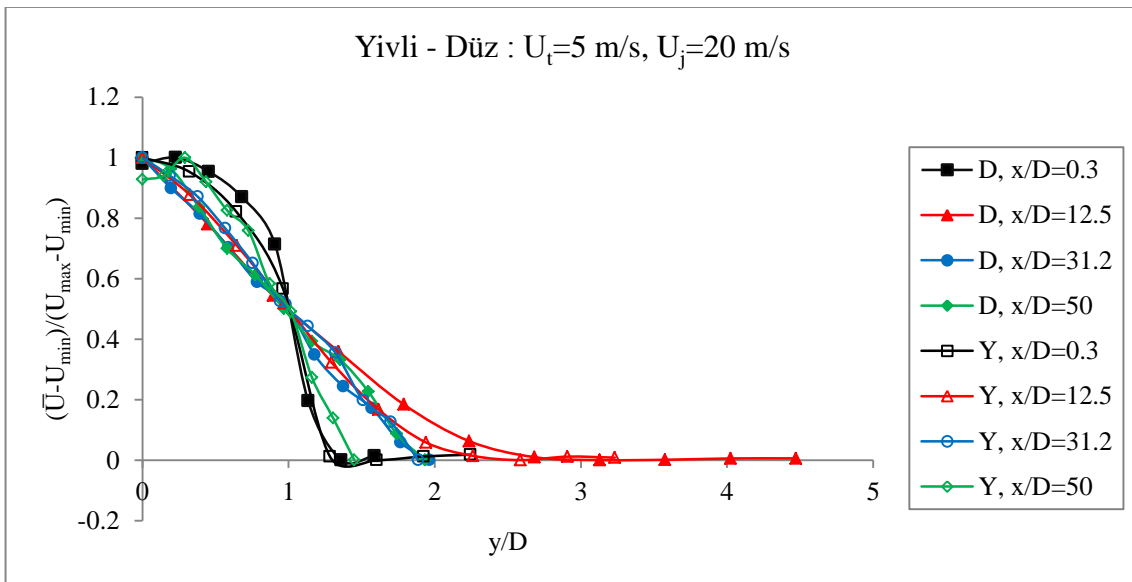
**Şekil 3.19.** Tünel akışının olmadığı, jet akış hızının 5, 10, 20 ve 25 m/s olduğu durumlarda düz ve içten yivli dairesel jet akış ölçümleri boyutsuz hız dağılımlarının grafikler üzerinde gösterimi.

### 3.1.5. Deney Odasında Akışın 5, 10 ve 20 m/s Olduğu Durumlarda Düz Dairesel Boru ve İçten Yivli Dairesel Boru Jet Akış Ölçümlerinin Aynı Düzlemde İfadesi

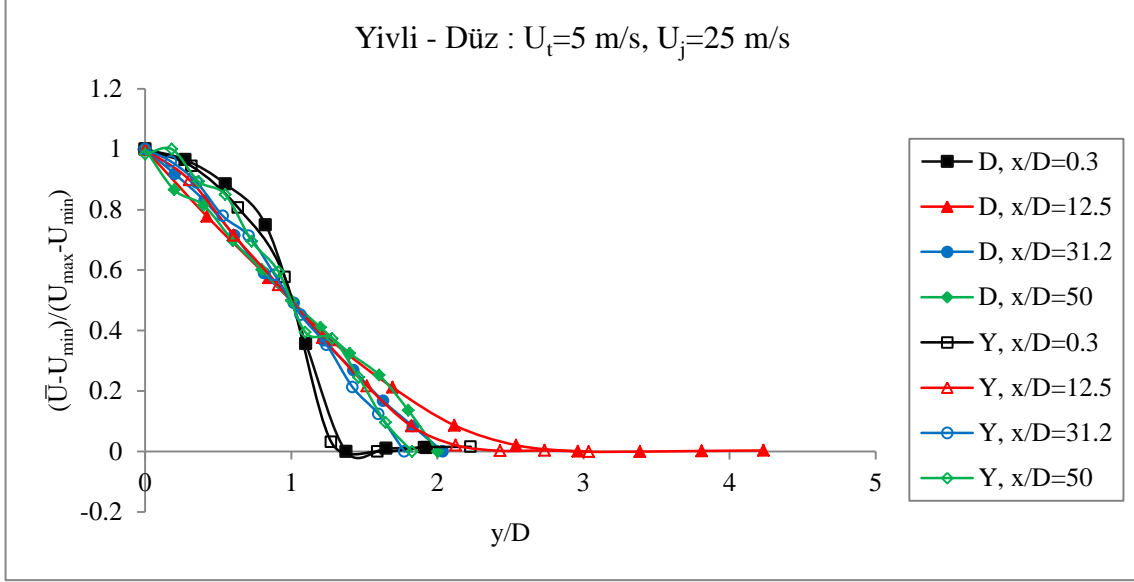
Yapılan deneysel çalışmalar ile elde edilen veriler, tünel akışının 5, 10, 20 m/s olduğu durumda; jet akışın 5, 10, 20, 25 m/s hızlarında ve  $x/D=0.3$ ,  $x/D=12.5$ ,  $x/D=31.2$ ,  $x/D=50$  ölçüm istasyonlarında düz dairesel ve içten yivli dairesel jet akış için boyutsuzlaştırılarak Şekil 3.20,3.21 ve 3.22’de verilmiştir.



a) Jet hızı 10 m/s olduğu durumda boyutsuz hız dağılımları.

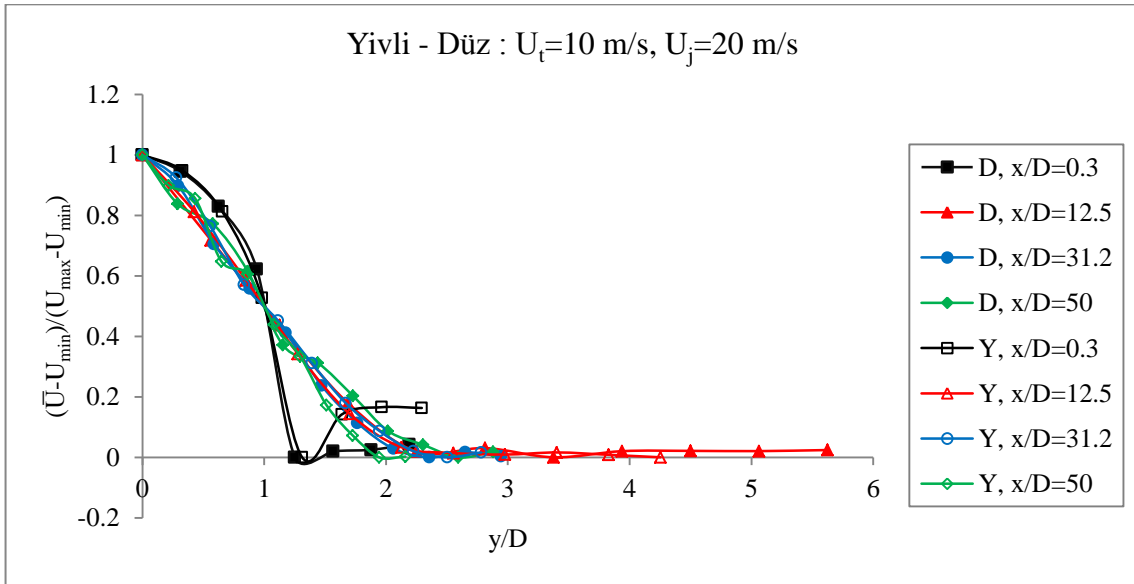


b) Jet hızı 20 m/s olduğu durumda boyutsuz hız dağılımları.

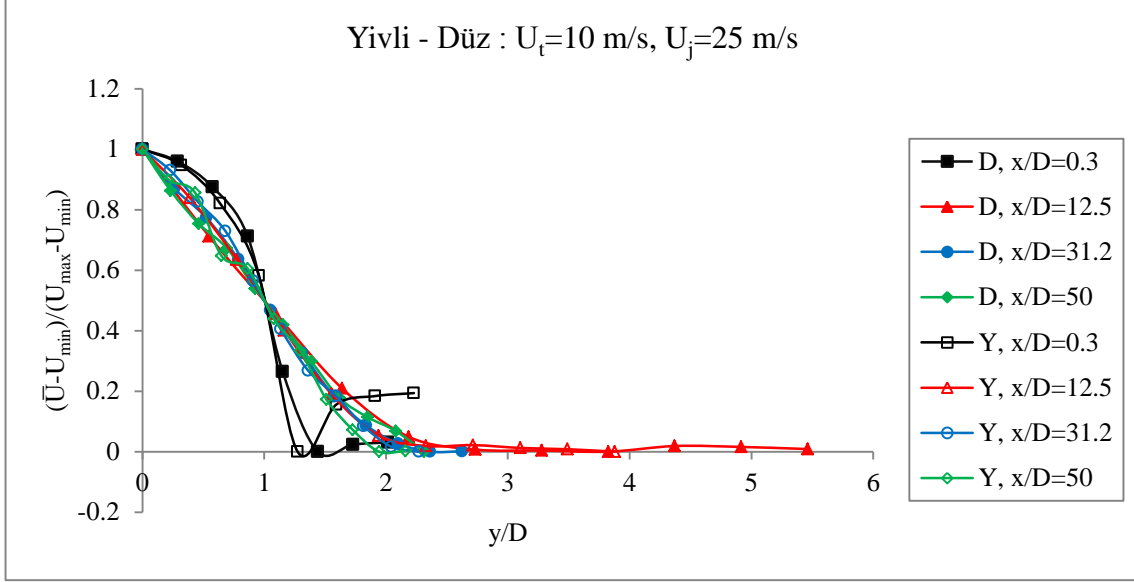


c) Jet hızı 25 m/s olduğu durumda boyutsuz hız dağılımları.

**Şekil 3.20.** Tünel hızının 5 m/s olduğu, jet akış hızının 10, 20 ve 25 m/s olduğu durumlarda düz ve içten yivli dairesel jet akış ölçümleri boyutsuz hız dağılımlarının grafikler üzerinde gösterimi.

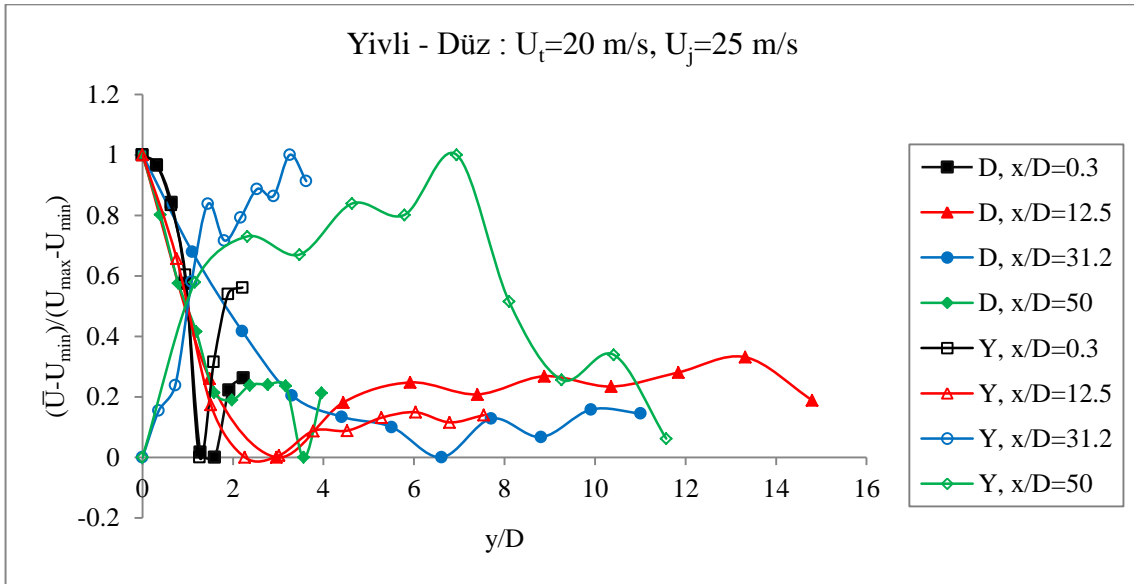


a) Jet hızı 20 m/s olduğu durumda boyutsuz hız dağılımları.



b) Jet hızı 25 m/s olduğu durumda boyutsuz hız dağılımları.

**Şekil 3.21.** Tünel hızının 10 m/s olduğu, jet akış hızının 20 ve 25 m/s olduğu durumlarda düz ve içten yivli dairesel jet akış ölçümleri boyutsuz hız dağılımlarının grafikler üzerinde gösterimi.



a) Jet hızı 25 m/s olduğu durumda boyutsuz hız dağılımları.

**Şekil 3.22.** Tünel hızının 20 m/s olduğu, jet akış hızının 25 m/s olduğu durumda düz ve içten yivli dairesel jet akış ölçümleri boyutsuz hız dağılımlarının grafik üzerinde gösterimi.

### 3.2. Sayısal Değerlendirme

Bu bölümde jet akışının Sayısal Akışkanlar Dinamiği ( SAD ) ile çözülmesi yapılmıştır. Bu çözümleme için FLUENT çözücü programı kullanılmıştır. İlk önce deney odasındaki jet akışını Solidworks çizim programında modellenerek, Sayısal Akışkanlar Dinamiği ( SAD ) çözücü paket programı olan FLUENT'e aktarılmıştır. Deney odasının aktarımından sonra deney aşamasında olduğu gibi dairesel boru jet akış elemanları çıkış noktaları deney odasının başlangıç koordinatlarına gelecek şekilde çeyrek modelinin içerisine oturtulmuştur. Hesaplamalar ( SAD ), 2 şekilde yapılmıştır. İlk olarak, deney odasında akış olmadığı durumda düz dairesel jet akışı için ve sonrasında deney odasında ve jetlere farklı hızlar verilerek sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'te verilmiştir. Bu ölçüm tipleri sonrasında da grafik ortamına aktarılan veriler, şekiller yardımıyla ifade edilmiştir.

**Tablo 3.4.** Deney Odasında Akış Olmadığı Durumlarda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Boru SAD Deney Sonuçları Kodlaması

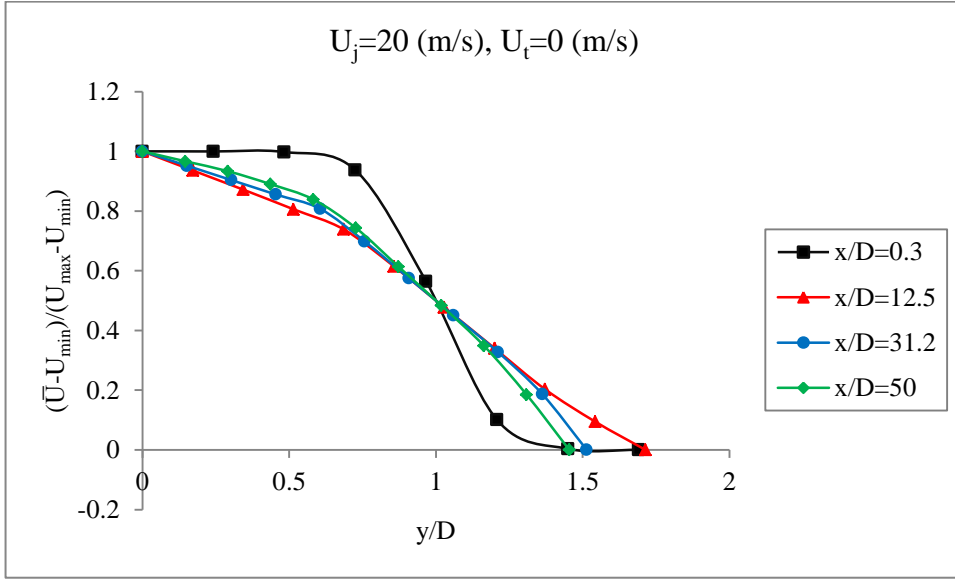
Ölçüm Tipi	Jet Hızı (m/s)	Tünel Hızı	Şekil
DD <sub>S01</sub>	20	0	3.23.a
DY <sub>S01</sub>	20	0	3.23.b

**Tablo 3.5.** Deney Odasında 5 ve 10 m/s Hızında Akış Olduğu Durumlarda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Boru SAD Deney Sonuçları Kodlaması

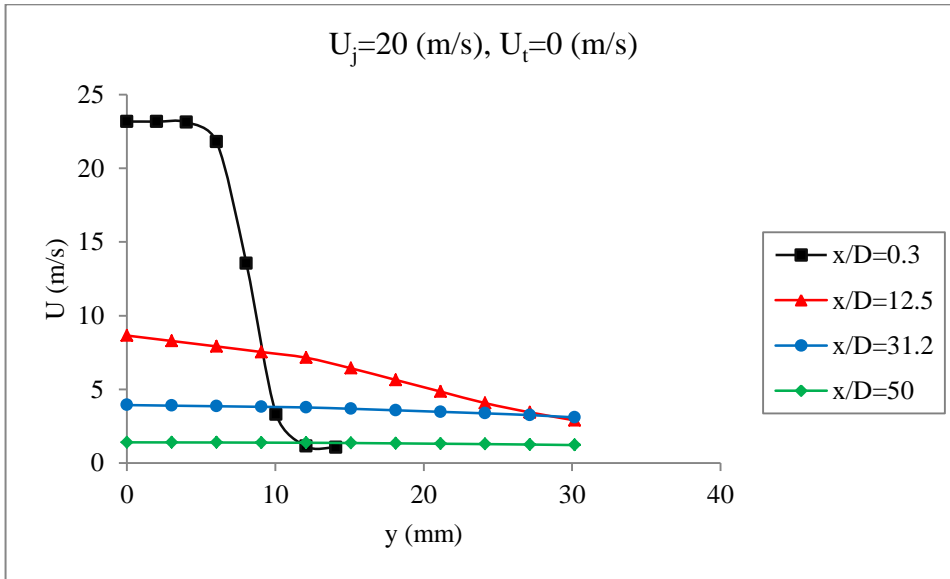
Ölçüm Tipi	Jet Hızı (m/s)	Tünel Hızı	Şekil
DD <sub>S02</sub>	20	5	3.24.a
DD <sub>S03</sub>	20	10	3.25.a
DY <sub>S02</sub>	20	5	3.24.b
DY <sub>S03</sub>	20	10	3.25.b

### 3.2.1. Deney Odasında Akış Olmadığı Durumlarda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Boru SAD Deney Sonuçları

Tablo 3.4'te belirtilen ölçüm tiplerine göre Sayısal Akışkanlar Dinamiği (SAD) ile elde edilen verilerle oluşturulan grafikler Şekil 3.23.a ve 3.23.b'de verilmiştir.

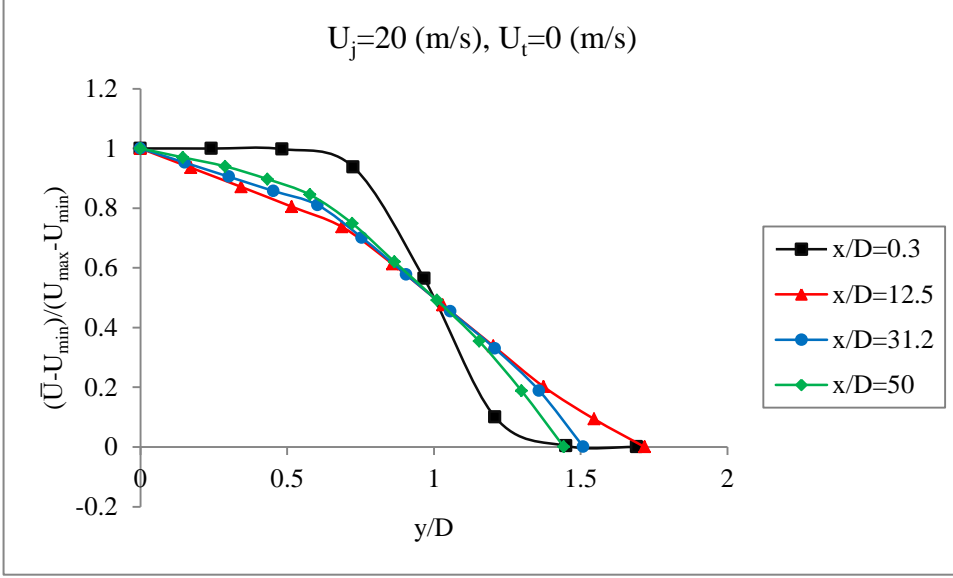


a<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.

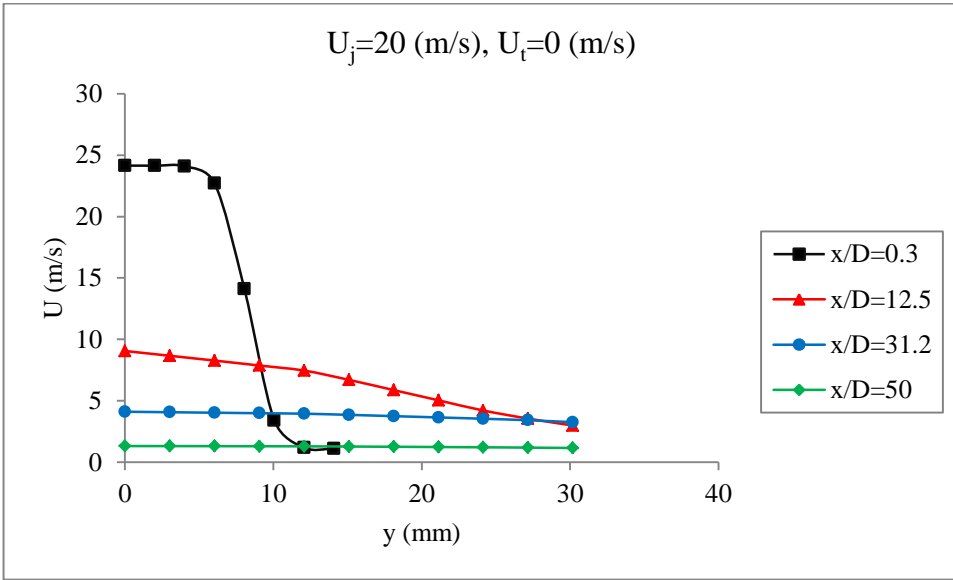


a<sub>2</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

Şekil 3.23.a. Tünel akışının olmadığı ve jet akış hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış çözücü program hesaplamaları.



b<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.



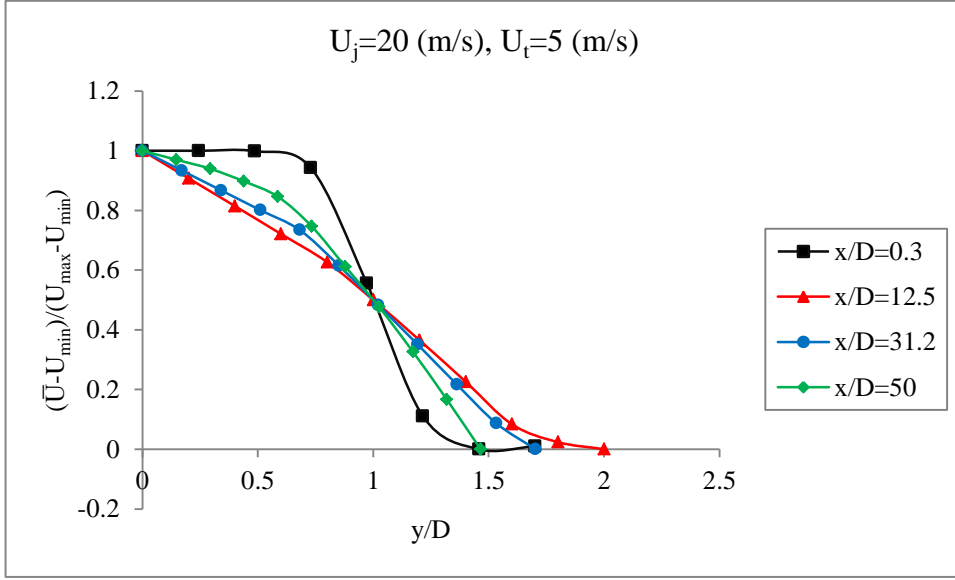
b<sub>2</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

**Şekil 3.23.b.** Tünel akışının olmadığı ve jet akış hızının 20 m/s olduğu durumda içten yivli dairesel jet akış çözücü program hesaplamaları.

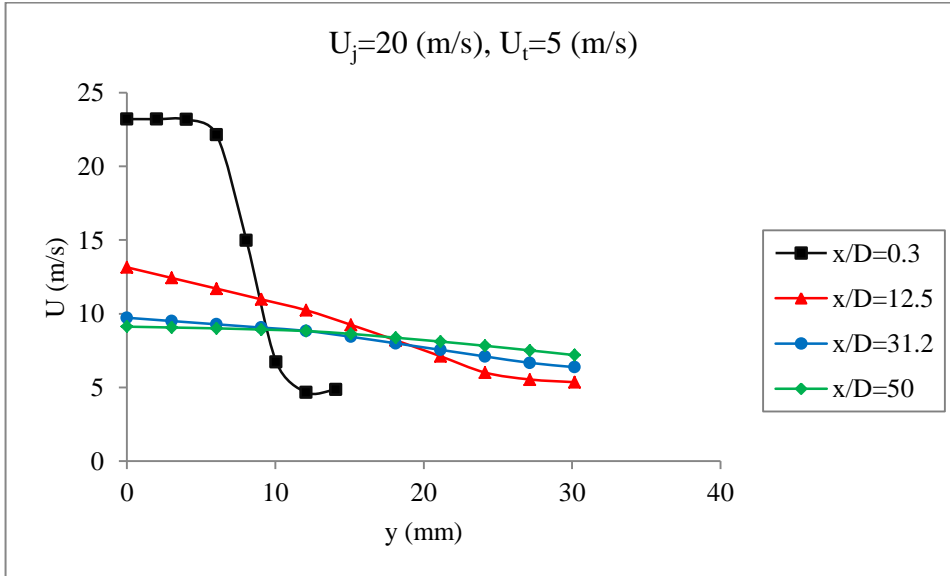


### 3.2.2. Deney Odasında 5 ve 10 m/s Hızlarında Akış Olduğu Durumlarda Düz Dairesel ve İçten Yivli Dairesel Boru SAD Deney Sonuçları

Tablo 3.5'te belirtilen ölçüm tiplerine göre Sayısal Akışkanlar Dinamiği (SAD) ile elde edilen verilerle oluşturulan grafikler Şekil 3.24.a,3.24b, 3.25.a ve 3.25.b'de verilmiştir.

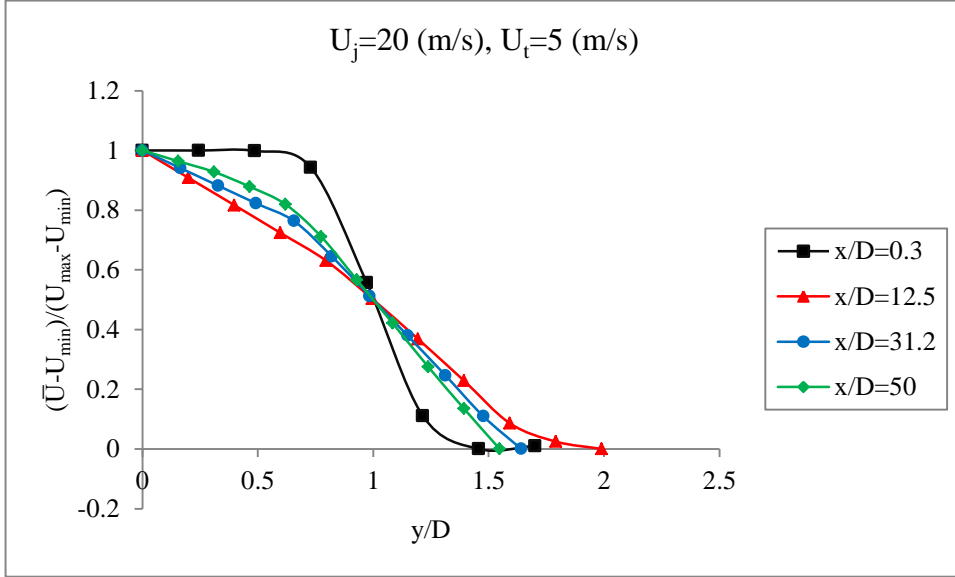


a<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.

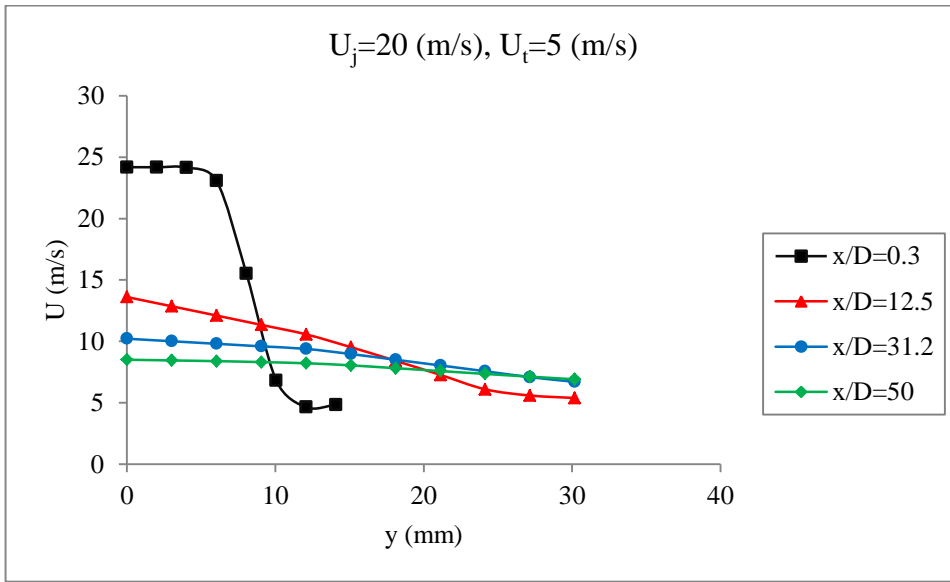


a<sub>2</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

Şekil 3.24.a. Tünel hızının 5 m/s ve jet akış hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış çözücü program hesaplamaları.

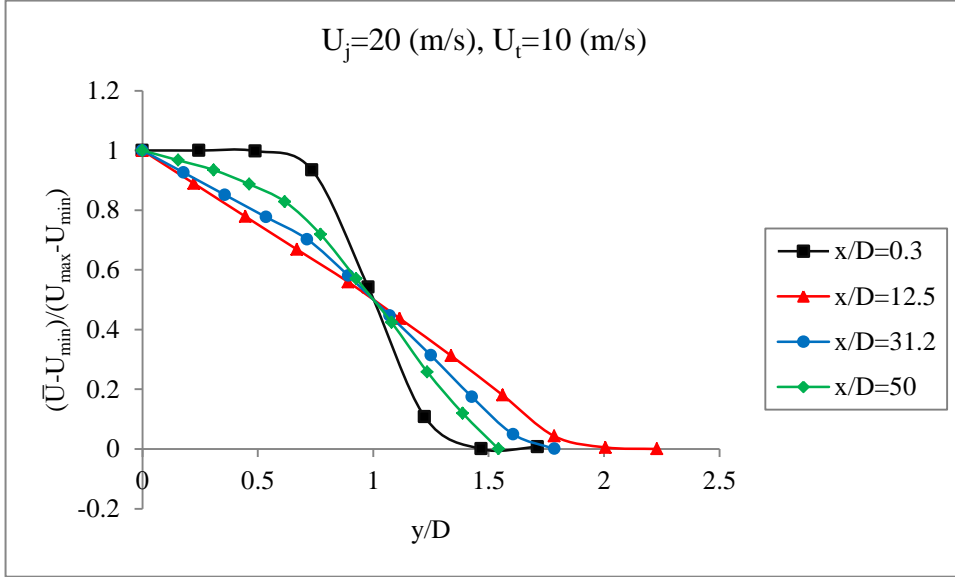


b<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.

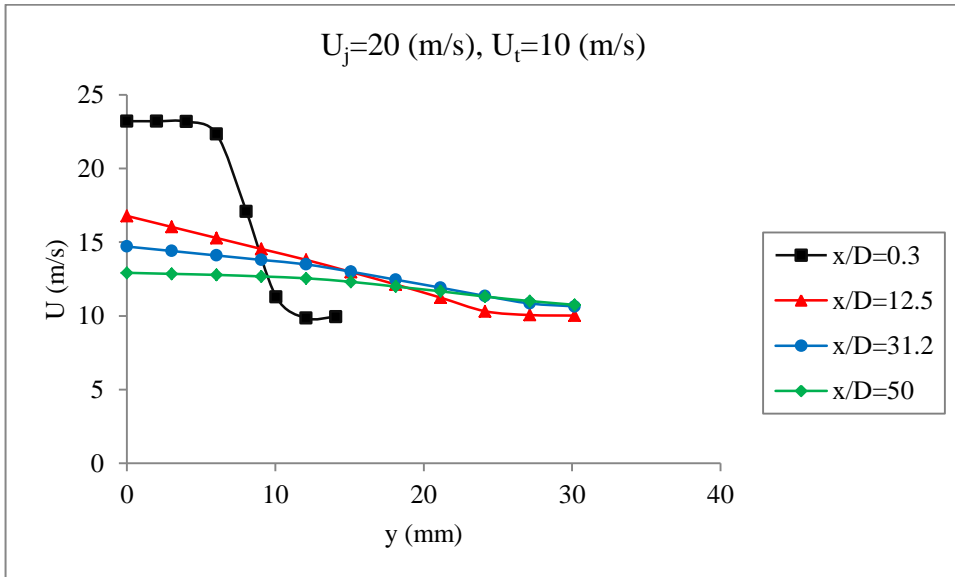


b<sub>2</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

**Şekil 3.24.b.** Tünel hızının 5 m/s ve jet akış hızının 20 m/s olduğu durumda içten yivli dairesel jet akış çözücü program hesaplamaları.

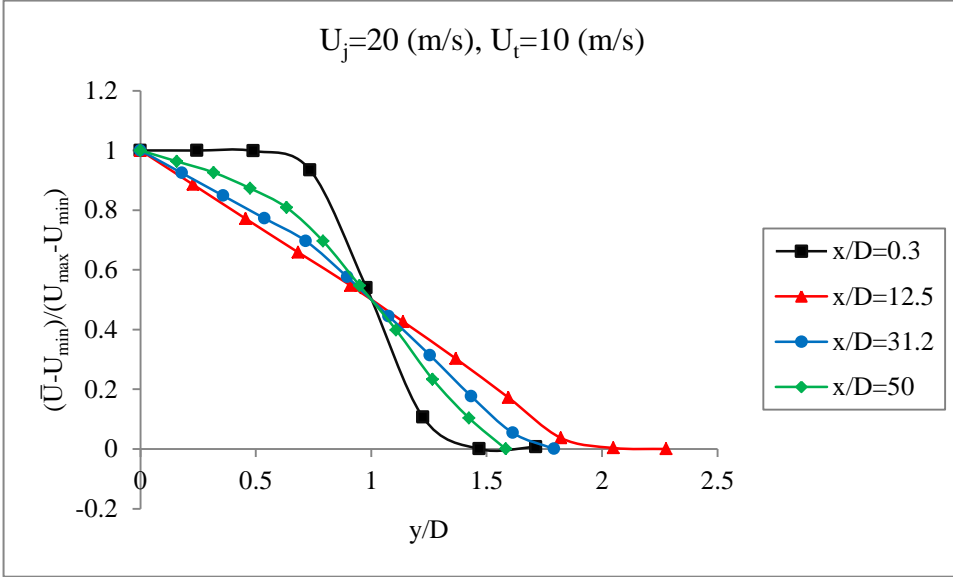


a<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.

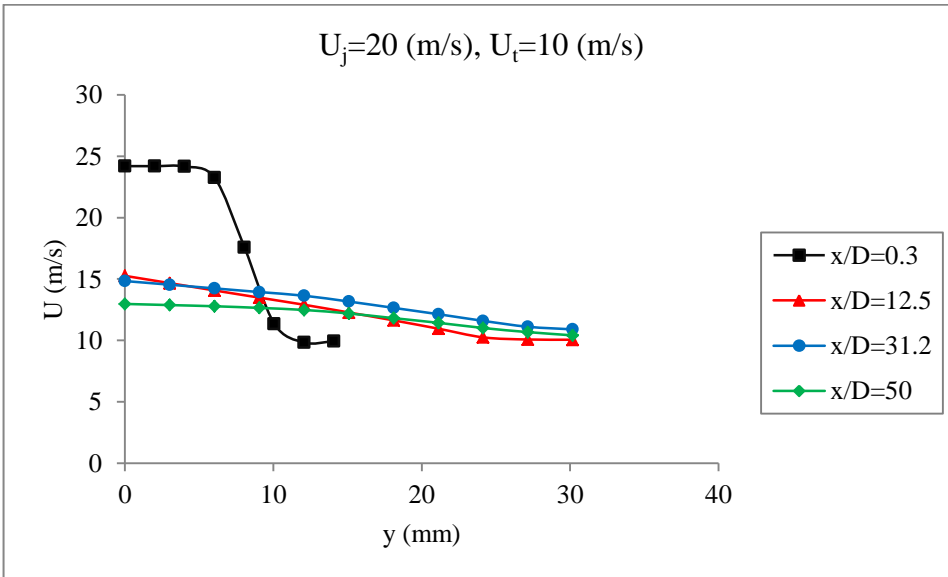


a<sub>2</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

**Şekil 3.25.a.** Tünel hızının 10 m/s ve jet akış hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış çözücü program hesaplamaları.



b<sub>1</sub>) Boyutsuz hız dağılımları.



b<sub>2</sub>) Çeşitli istasyonlardaki hız dağılımları.

**Şekil 3.25.b.** Tünel hızının 10 m/s ve jet akış hızının 20 m/s olduğu durumda içten yivli dairesel jet akış çözücü program hesaplamaları.

### 3.3. Eksen Hızı ( $U_e$ ), Jet Yarı Kalınlığı ( $b$ ), Jet Çapı İçin Reynolds Sayısı ( $Re_D$ ) ve Jet Yarı Kalınlığı İçin Reynolds Sayısı ( $Re_b$ ) Tabloları

Deney odası hızının 0, 5, 10 m/s ve jet hızının 20 m/s olduğu durumda  $x/D=0.3$ ,  $x/D=12.5$ ,  $x/D=31.2$  ve  $x/D=50$  ölçüm istasyonlarında Eksen Hızı ( $U_e$ ), Jet Yarı Kalınlığı ( $b$ ), Jet Çapı Reynolds Sayısı ( $Re_D$ ) ve Jet Yarı Kalınlığı Reynolds Sayısı ( $Re_b$ ) değerleri hem düz dairesel hem de içten yivli dairesel jet için Tablo 3.6, 3.7, 3.8 ve 3.9’da verilmiştir.

**Tablo 3.6.** Düz Dairesel Boru Deneysel Verilere Göre Jet Hızı 20 m/s, Deney Odası 0, 5, 10 m/s için  $U_e$ ,  $b$ ,  $Re_D$  ve  $Re_b$ .

DD <sub>03</sub> ( $U_j=20$ m/s, $U_t=0$ m/s)					DD <sub>07</sub> ( $U_j=20$ m/s, $U_t=5$ m/s)				DD <sub>10</sub> ( $U_j=20$ m/s, $U_t=10$ m/s)			
$x/D$	$U_e$ (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	23.390	0.007727	25625	12375	27.961	0.008825	30633	16896	27.003	0.006394	29584	11822
12.5	10.467	0.010711	11467	7676	13.188	0.006711	14448	6060	15.312	0.005333	16775	5591
31.2	5.528	0.016774	6056	6349	9.363	0.015286	10257	9800	13.380	0.010191	14658	9336
50	3.450	0.013201	3779	3118	7.762	0.015525	8503	8251	12.248	0.010417	13418	8736

**Tablo 3.7.** İçten Yivli Dairesel Boru Deneysel Verilere Göre Jet Hızı 20 m/s, Deney Odası 0, 5, 10 m/s için  $U_e$ ,  $b$ ,  $Re_D$  ve  $Re_b$ .

DY <sub>03</sub> ( $U_j=20$ m/s, $U_t=0$ m/s)					DY <sub>07</sub> ( $U_j=20$ m/s, $U_t=5$ m/s)				DY <sub>10</sub> ( $U_j=20$ m/s, $U_t=10$ m/s)			
$x/D$	$U_e$ (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	25.056	0.006572	27450	11275	25.042	0.006239	27435	10698	24.974	0.006104	27361	10438
12.5	10.103	0.01423	11068	9844	13.578	0.009284	14875	8631	16.039	0.007053	17572	7745
31.2	4.066	0.019409	4454	5403	8.699	0.015901	9530	9471	12.468	0.010786	13659	9208
50	1.935	0.022913	2119	3035	7.086	0.020695	7763	1004	11.262	0.010872	12338	8383

**Tablo 3.8.** Düz Dairesel Boru Sayısal Akışkanlar Dinamiği ( SAD ) Sonuçlarına Göre Jet Hızı 20 m/s, Deney Odası 0, 5, 10 m/s için  $U_e$ ,  $b$ ,  $Re_D$  ve  $Re_b$ .

DD <sub>S01</sub> ( $U_j=20$ m/s, $U_t=0$ m/s)					DD <sub>S02</sub> ( $U_j=20$ m/s, $U_t=5$ m/s)				DD <sub>S03</sub> ( $U_j=20$ m/s, $U_t=10$ m/s)			
$x/D$	$U_e$ (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	23.167	0.00833	25381	13214	23.2019	0.008282	25419	13157	23.2058	0.008226	25423	13071
12.5	8.65239	0.017611	9479	10433	13.1485	0.015084	14405	13580	16.7806	0.013539	18384	15556
31.2	3.93672	0.019941	4313	5375	9.72725	0.017725	10657	11806	14.7024	0.016906	16107	17019
50	1.40914	0.020759	1543	2003	9.12352	0.020603	9995	12871	12.9212	0.019568	14156	17313

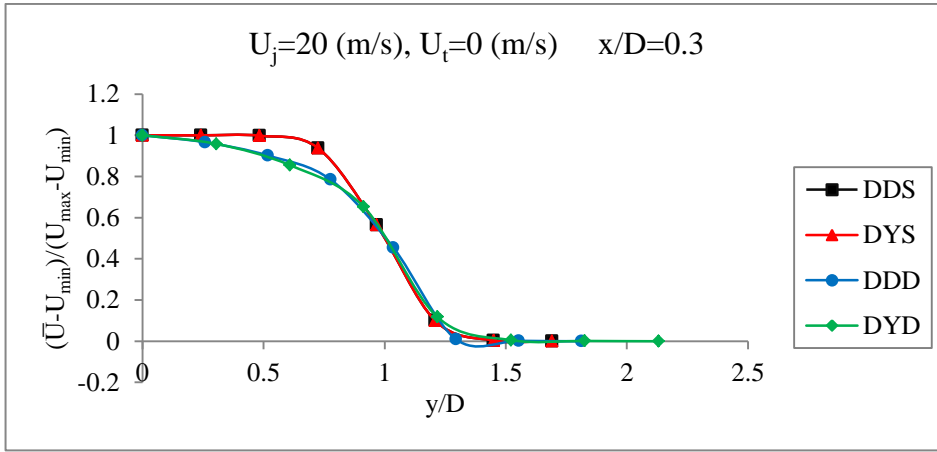
**Tablo 3.9.** İçten Yivli Dairesel Boru Sayısal Akışkanlar Dinamiği ( SAD ) Sonuçlarına Göre Jet Hızı 20 m/s, Deney Odası 0, 5, 10 m/s için  $U_e$ ,  $b$ ,  $Re_D$  ve  $Re_b$ .

DY <sub>S01</sub> ( $U_j=20$ m/s, $U_t=0$ m/s)					DY <sub>S02</sub> ( $U_j=20$ m/s, $U_t=5$ m/s)				DY <sub>S03</sub> ( $U_j=20$ m/s, $U_t=10$ m/s)			
$x/D$	$U_e$ (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	24.1439	0.008329	26451	13769	24.1792	0.008285	26490	13717	24.1888	0.008221	26500	13616
12.5	9.05913	0.017573	9925	10900	13.611	0.015169	14912	14137	15.2596	0.013255	16718	13850
31.2	4.11307	0.019999	4506	5632	10.2196	0.018392	11196	12870	14.8365	0.016841	16254	17109
50	1.31957	0.020921	1445	1890	8.50842	0.019504	9321	11363	12.973	0.019073	14213	16942

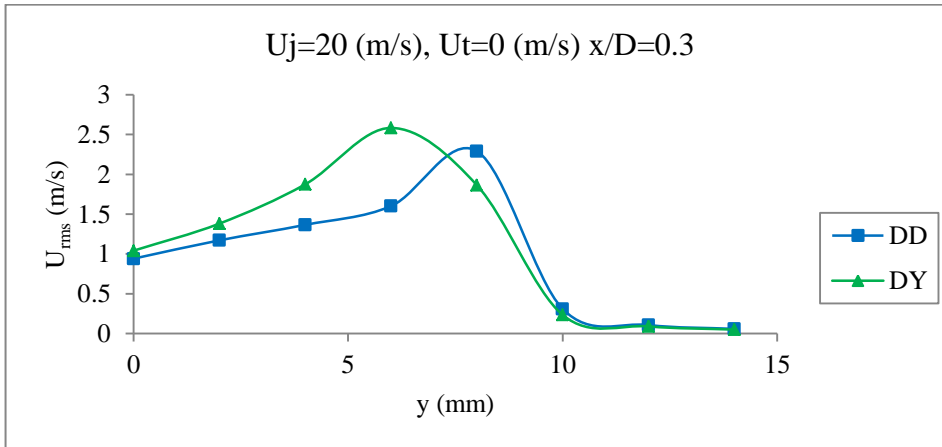
### 3.4. Tünel Akışının Olmadığı ve Jet Akışının 20 m/s Olduğu Durumda Ölçüm İstasyonlarındaki Boyutsuz Hız Dağılımı ve $U_{rms}$ Dağılımı

• Tünel akışının olmadığı, jet hızının 20 m/s olduğu ve  $x/D=0.3$  ölçüm istasyonunda, DDS ( Düz Dairesel Deneysel ) ve DYD ( Düz Yivli Deneysel ) elde edilen verilerle oluşturulan grafik ve tablolara göre şu şekilde değerlendirmeler yapılmıştır.

Düz ve yivli borular için Şekil 3.26'da boyutsuz hız dağılımında ve  $U_{rms}$  dağılımında da görüldüğü gibi eğriler, üst üste gelmiştir. Bu da akış profil yapısının her ikisi için de aynı olduğu anlaşılmış olup, SAD ile oluşturulan eğri de bunu desteklemiştir. Jet yarı kalınlıkları da birbirlerine çok yakın olarak hesaplanmıştır.



a) Boyutsuz hız dağılımı

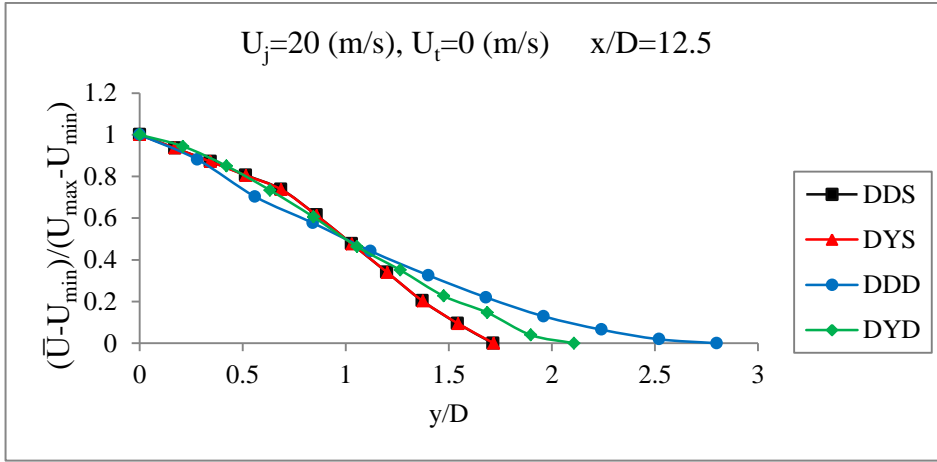


b)  $U_{rms}$  dağılımı

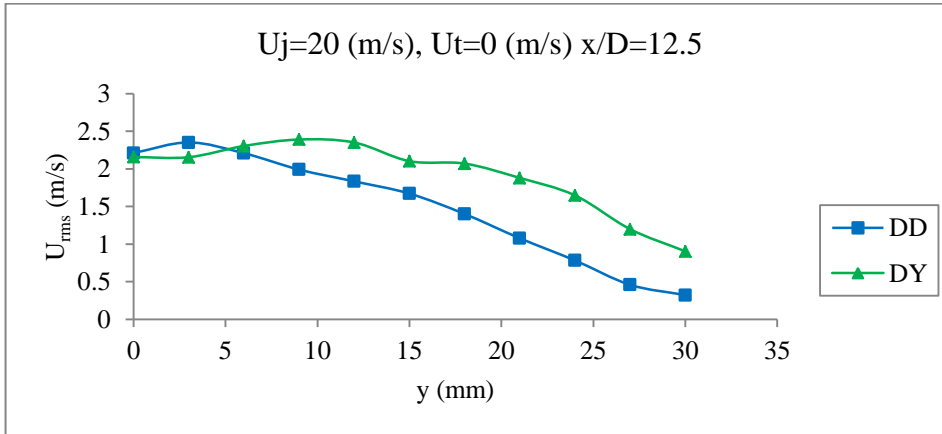
Şekil 3.26. Tünel akışının olmadığı ve jet hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel ve içten yivli dairesel jetlerin  $x/D = 0.3$  istasyonundaki deneysel ve sayısal boyutsuz hız ve  $U_{rms}$  dağılımları.

- Tünel akışının olmadığı, jet hızının 20 m/s olduğu ve  $x/D=12.5$  ölçüm istasyonunda, DDS ( Düz Dairesel Deneysel ) ve DYD ( Düz Yivli Deneysel ) elde edilen verilerle oluşturulan grafik ve tablolara göre şu şekilde değerlendirmeler yapılmıştır.

Düz ve yivli borular için Şekil 3.27’de boyutsuz hız dağılımında ve  $U_{rms}$  dağılımında da görüldüğü gibi eğriler, birbirlerinden çok az da olsa ayrılmaya başlamıştır. Bu da akış profil yapısının yivli boru için daralmaya başladığı ve türbülansın etkili olmaya başladığı anlaşılmıştır. Jet yarı kalınlıkları da küçük bir farkla birbirlerine çok yakın olarak hesaplanmıştır.



a) Boyutsuz hız dağılımı



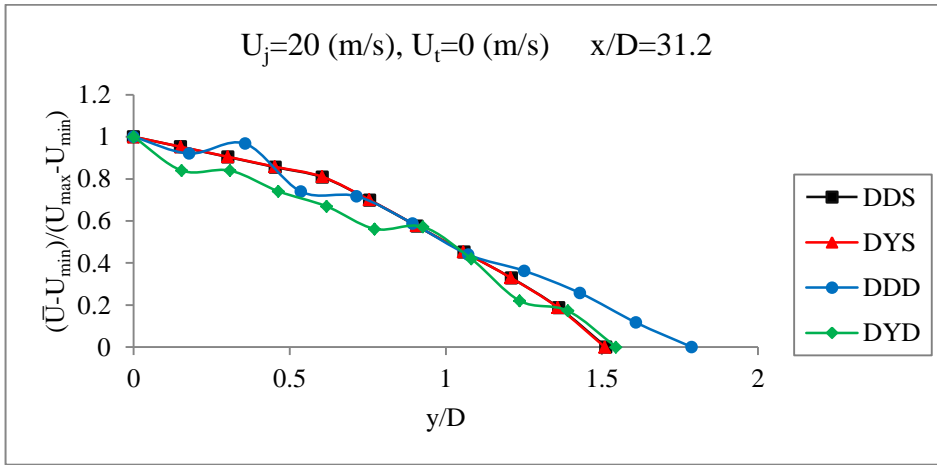
b)  $U_{rms}$  dağılımı

**Şekil 3.27.** Tünel akışının olmadığı ve jet hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel ve içten yivli dairesel jetlerin  $x/D = 12.5$  istasyonundaki deneysel ve sayısal boyutsuz hız ve  $U_{rms}$  dağılımları.

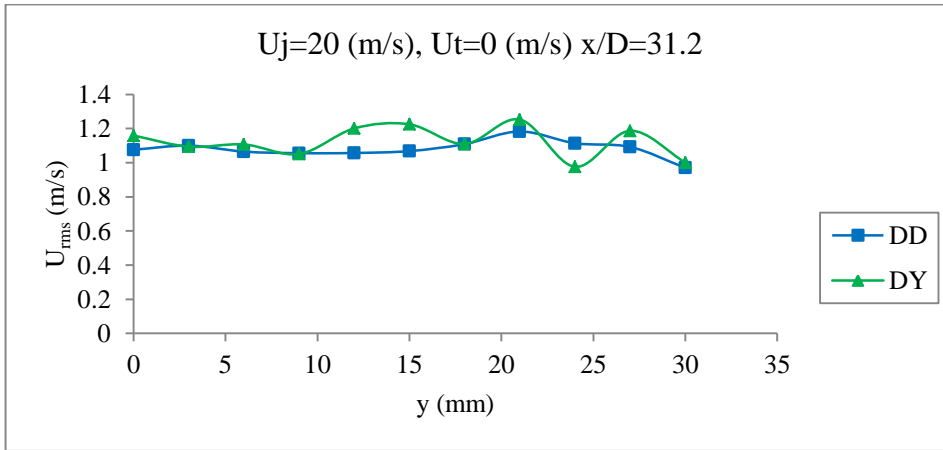


- Tünel akışının olmadığı, jet hızının 20 m/s olduğu ve  $x/D=31.2$  ölçüm istasyonunda, DDS ( Düz Dairesel Deneysel ) ve DYD ( Düz Yivli Deneysel ) elde edilen verilerle oluşturulan grafik ve tablolara göre şu şekilde değerlendirmeler yapılmıştır.

Düz ve yivli borular için Şekil 3.28’de boyutsuz hız dağılımında ve Urms dağılımında da görüldüğü gibi eğriler, birbirlerinden ayrılmaya başlamıştır. Burada da akış profil yapısının yivli boru için daralmaya başladığı ve türbülans etkisinin bu ölçüm istasyonunda belirgin olarak görüldüğü ilk grafiklerdir. Jet yarı kalınlıkları da yine birbirlerine çok az da olsa farklı olarak hesaplanmıştır.



a) Boyutsuz hız dağılımı

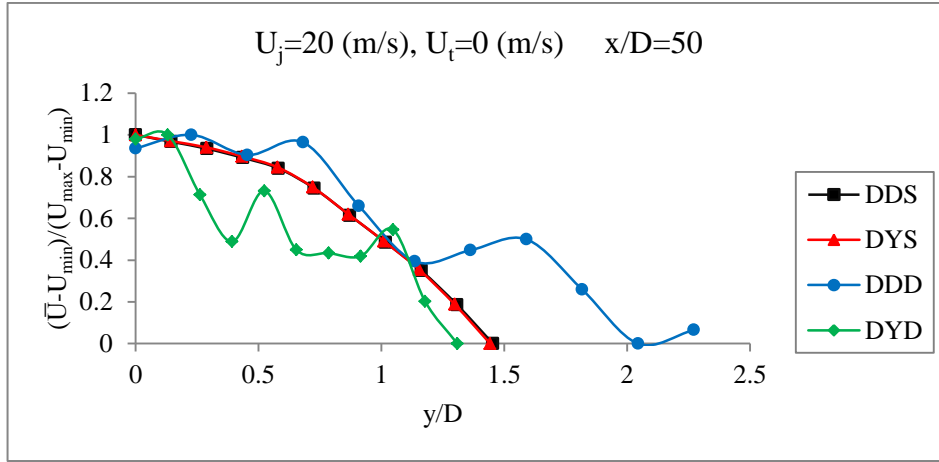


b)  $U_{rms}$  dağılımı

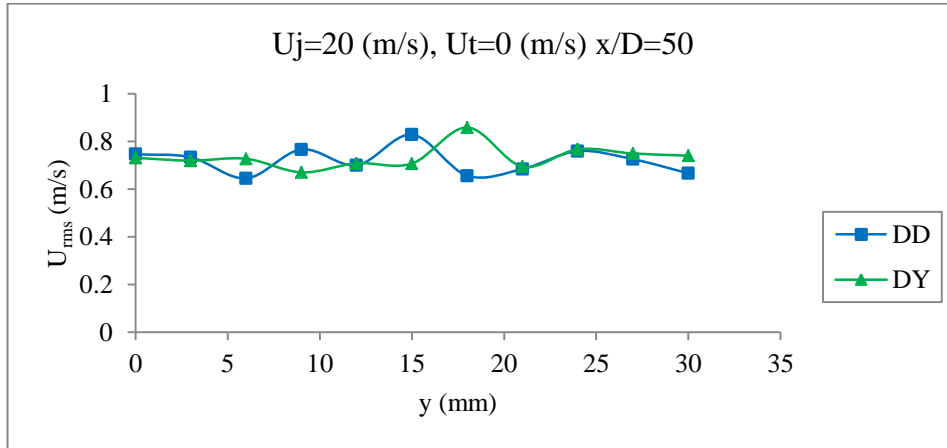
**Şekil 3.28.** Tünel akışının olmadığı ve jet hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel ve içten yivli dairesel jetlerin  $x/D = 31.2$  istasyonundaki deneysel ve sayısal boyutsuz hız ve  $U_{rms}$  dağılımları.

- Tünel akışının olmadığı, jet hızının 20 m/s olduğu ve  $x/D=50$  ölçüm istasyonunda, DDS ( Düz Dairesel Deneysel ) ve DYD ( Düz Yivli Deneysel ) elde edilen verilerle oluşturulan grafik ve tablolara göre şu şekilde değerlendirmeler yapılmıştır.

Düz ve yivli borular için Şekil 3.29'da boyutsuz hız dağılımında ve  $U_{rms}$  dağılımında da görüldüğü gibi eğriler, birbirlerinden tamamen ayrılmıştır. Burada da akış profil yapısının yivli boru için daraldığı ve türbülans etkisinin bu ölçüm istasyonunda görülmüştür. Jet yarı kalınlıkları da yine birbirlerinden farklı olarak hesaplanmıştır.



a) Boyutsuz hız dağılımı



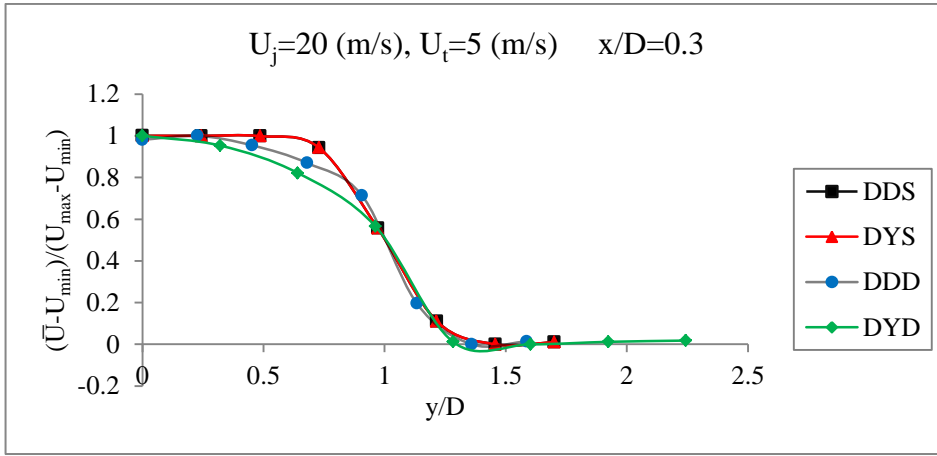
b)  $U_{rms}$  dağılımı

**Şekil 3.29.** Tünel akışının olmadığı ve jet hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel ve içten yivli dairesel jetlerin  $x/D = 50$  istasyonundaki deneysel ve sayısal boyutsuz hız ve  $U_{rms}$  dağılımları.

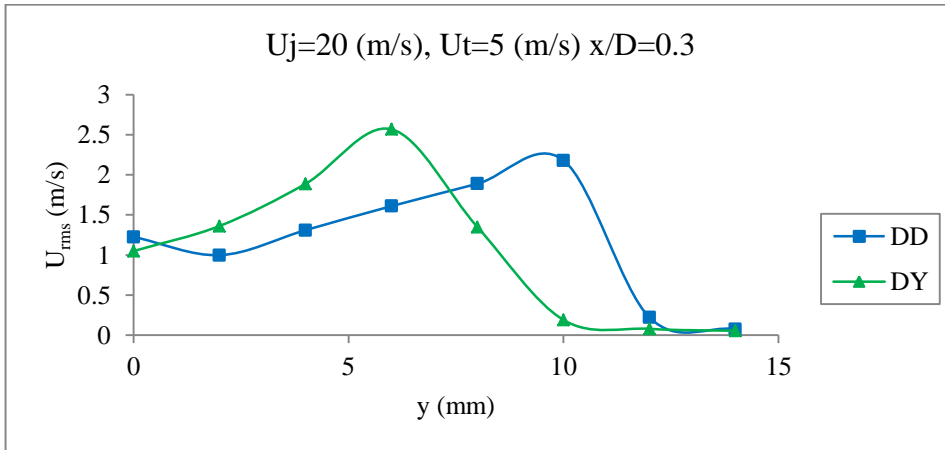
### 3.5. Tünel Akışının 5 m/s ve Jet Akışının 20 m/s Olduğu Durumda Ölçüm İstasyonlarındaki Boyutsuz Hız Dağılımı ve $U_{rms}$ Dağılımı

• Tünel akış hızının 5 m/s, jet hızının 20 m/s olduğu ve  $x/D=0.3$  ölçüm istasyonunda, DDS ( Düz Dairesel Deneysel ) ve DYD ( Düz Yivli Deneysel ) elde edilen verilerle oluşturulan grafik ve tablolara göre şu şekilde değerlendirmeler yapılmıştır.

Düz ve yivli borular için Şekil 3.30'da boyutsuz hız dağılımında ve  $U_{rms}$  dağılımında da görüldüğü gibi eğriler, üst üste gelmiştir. Bu da akış profil yapısının her ikisi için de aynı olduğu anlaşılmış olup, SAD ile oluşturulan eğri de bunu desteklemiştir. Jet yarı kalınlıkları da birbirlerine çok yakın olarak hesaplanmıştır.



a) Boyutsuz hız dağılımı

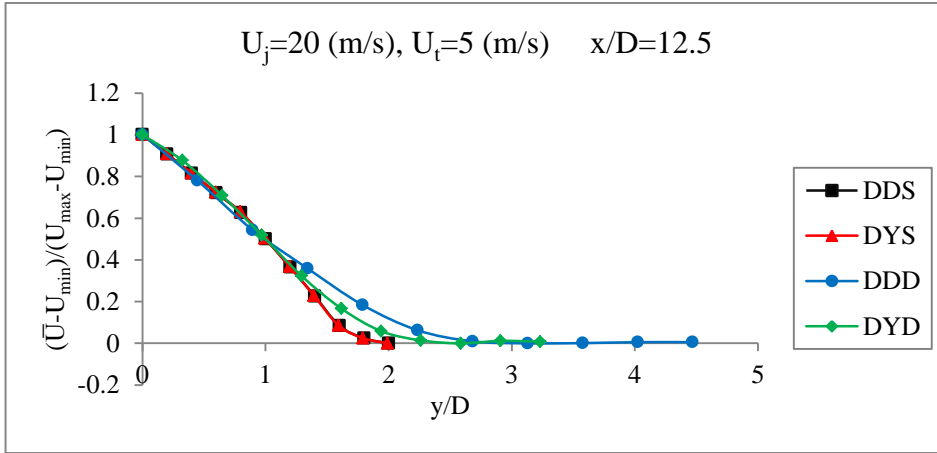


b)  $U_{rms}$  dağılımı

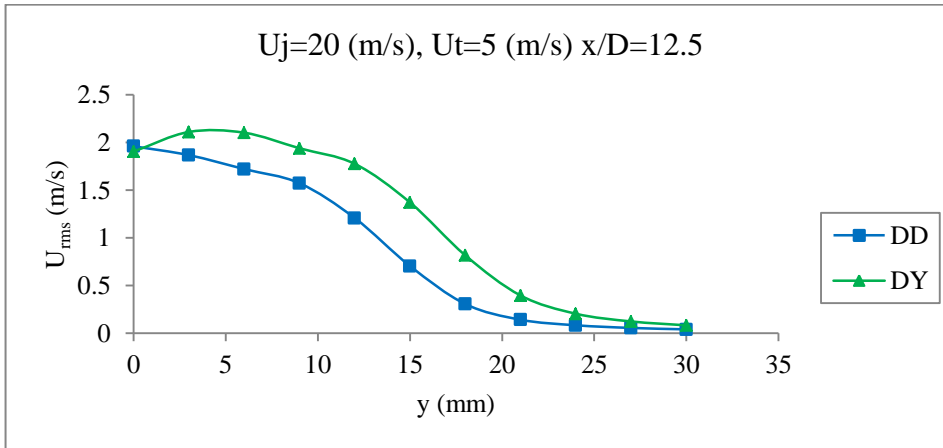
**Şekil 3.30.** Tünel hızının 5 m/s ve jet hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel ve içten yivli dairesel jetlerin  $x/D = 0.3$  istasyonundaki deneysel ve sayısal boyutsuz hız ve  $U_{rms}$  dağılımları.

- Tünel akış hızının 5 m/s, jet hızının 20 m/s olduğu ve  $x/D=12.5$  ölçüm istasyonunda, DDS ( Düz Dairesel Deneysel ) ve DYD ( Düz Yivli Deneysel ) elde edilen verilerle oluşturulan grafik ve tablolara göre şu şekilde değerlendirmeler yapılmıştır.

Düz ve yivli borular için Şekil 3.31'de boyutsuz hız dağılımında ve  $U_{rms}$  dağılımında da görüldüğü gibi eğriler, birbirlerinden çok az farkla da olsa üst üste gelmiştir. Bu da akış profil yapısının yivli boru için daralmaya başladığı ve tünel akışının türbülansın etkili olmasına engel olduğu anlaşılmıştır. Jet yarı kalınlıkları da küçük bir farkla birbirlerine çok yakın olarak hesaplanmıştır.



a) Boyutsuz hız dağılımı

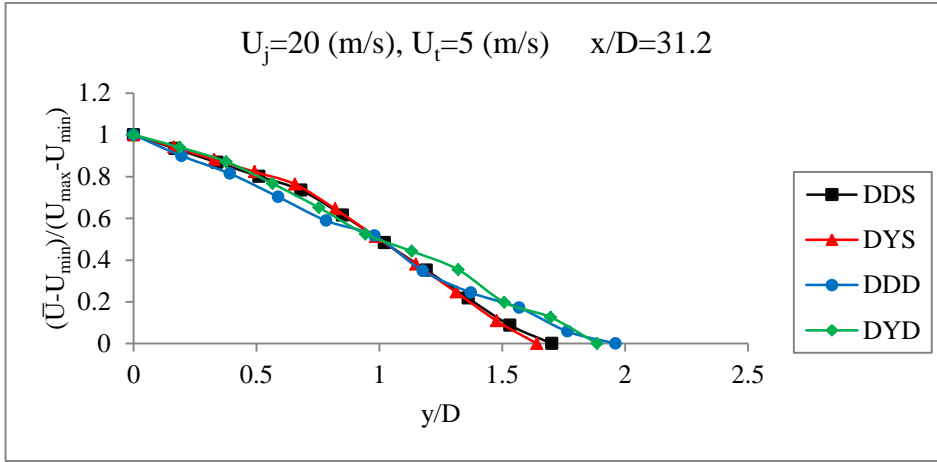


b)  $U_{rms}$  dağılımı

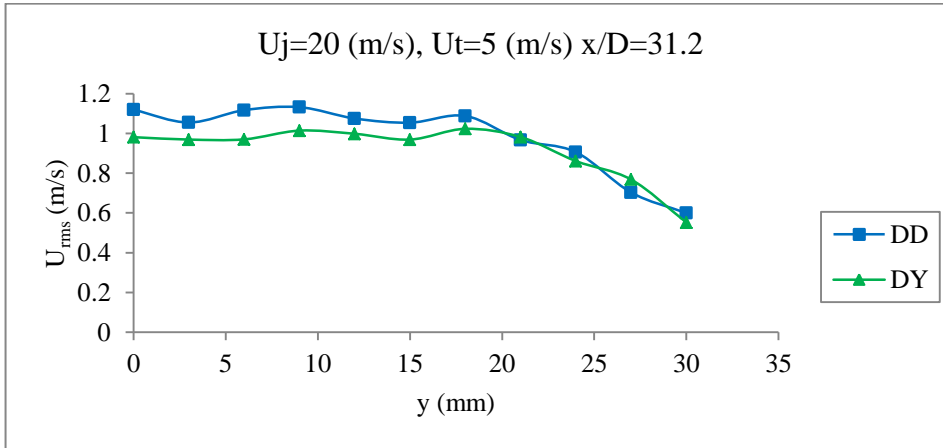
**Şekil 3.31.** Tünel hızının 5 m/s ve jet hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel ve içten yivli dairesel jetlerin  $x/D = 12.5$  istasyonundaki deneysel ve sayısal boyutsuz hız ve  $U_{rms}$  dağılımları.

- Tünel akış hızının 5 m/s, jet hızının 20 m/s olduğu ve  $x/D=31.2$  ölçüm istasyonunda, DDS ( Düz Dairesel Deneysel ) ve DYD ( Düz Yivli Deneysel ) elde edilen verilerle oluşturulan grafik ve tablolara göre şu şekilde değerlendirmeler yapılmıştır.

Düz ve yivli borular için Şekil 3.32’de boyutsuz hız dağılımında ve  $U_{rms}$  dağılımında da görüldüğü gibi eğriler, çok az bir farkla da olsa üst üste gelmiştir. Bu da akış profil yapısının hemen hemen her ikisi için de aynı olduğu anlaşılmış olup, SAD ile oluşturulan eğri de bunu desteklemiştir. Jet yarı kalınlıkları da yine birbirlerine çok yakın olarak hesaplanmıştır.



a) Boyutsuz hız dağılımı

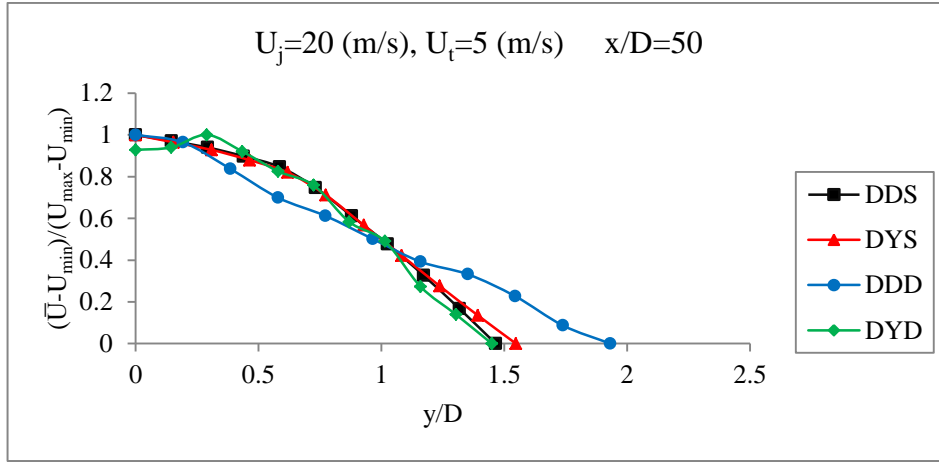


b)  $U_{rms}$  dağılımı

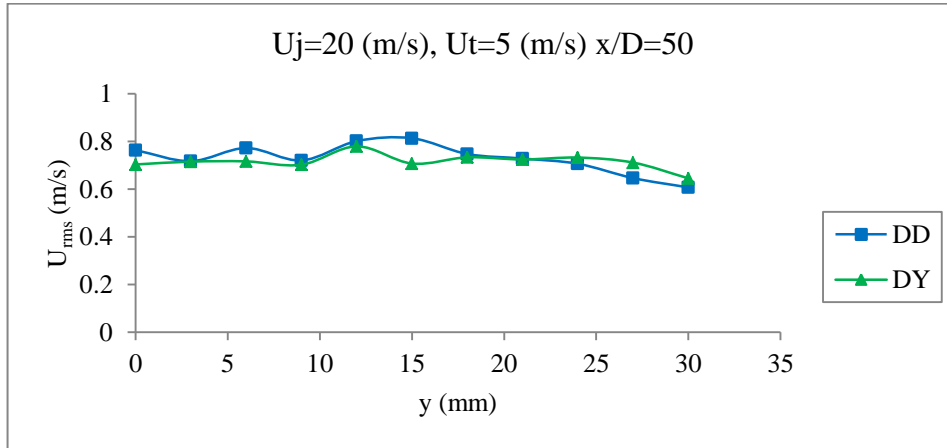
**Şekil 3.32.** Tünel hızının 5 m/s ve jet hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel ve içten yivli dairesel jetlerin  $x/D = 31.2$  istasyonundaki deneysel ve sayısal boyutsuz hız ve  $U_{rms}$  dağılımları.

- Tünel akış hızının 5 m/s, jet hızının 20 m/s olduğu ve  $x/D=50$  ölçüm istasyonunda, DDS ( Düz Dairesel Deneysel ) ve DYD ( Düz Yivli Deneysel ) elde edilen verilerle oluşturulan grafik ve tablolara göre şu şekilde değerlendirmeler yapılmıştır.

Düz ve yivli borular için Şekil 3.33’de boyutsuz hız dağılımında ve  $U_{rms}$  dağılımında da görüldüğü gibi eğriler, birbirlerinden ayrılmaya başlamıştır. Ancak tünel akışının baskılaması söz konusudur. Burada da akış profil yapısının yivli boru için daraldığı ve türbülans etkisinin bu ölçüm istasyonunda görüldüğü anlaşılmıştır. Jet yarı kalınlıkları da yine birbirlerinden farklı olarak hesaplanmıştır.



a) Boyutsuz hız dağılımı



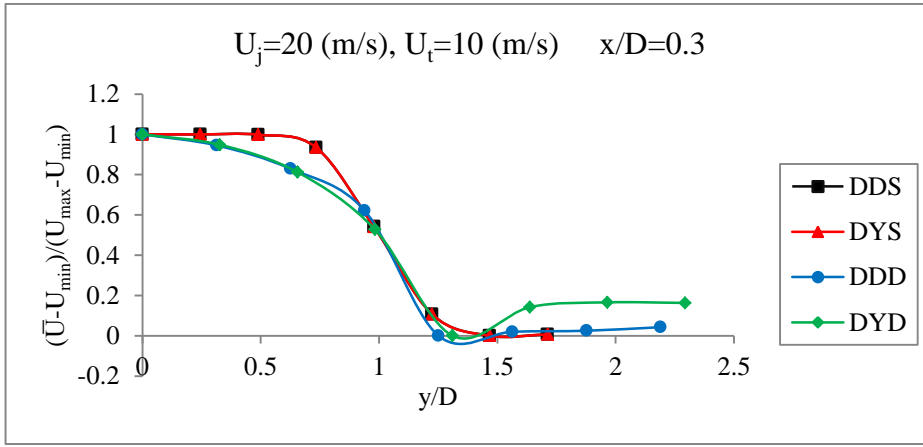
b)  $U_{rms}$  dağılımı

**Şekil 3.33.** Tünel hızının 5 m/s ve jet hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel ve içten yivli dairesel jetlerin  $x/D = 50$  istasyonundaki deneysel ve sayısal boyutsuz hız ve  $U_{rms}$  dağılımları.

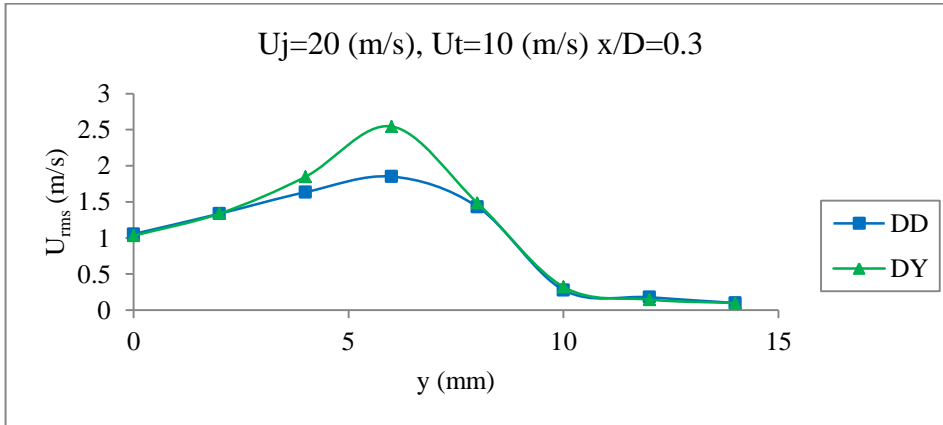
### 3.6. Tünel Akışının 10 m/s ve Jet Akışının 20 m/s Olduğu Durumda Ölçüm İstasyonlarındaki Boyutsuz Hız Dağılımı ve $U_{rms}$ Dağılımı

• Tünel akış hızının 10 m/s, jet hızının 20 m/s olduğu ve  $x/D=0.3$  ölçüm istasyonunda, DDS ( Düz Dairesel Deneysel ) ve DYD ( Düz Yivli Deneysel ) elde edilen verilerle oluşturulan grafik ve tablolara göre şu şekilde değerlendirmeler yapılmıştır.

Düz ve yivli borular için Şekil 3.34'de boyutsuz hız dağılımında ve  $U_{rms}$  dağılımında da görüldüğü gibi eğriler, çok az bir farkla da olsa üst üste gelmiştir. Bu da akış profil yapısının hemen hemen her ikisi için de aynı olduğu anlaşılmış olup, SAD ile oluşturulan eğri de bunu desteklemiştir. Jet yarı kalınlıkları da birbirlerine çok yakındır.



a) Boyutsuz hız dağılımı

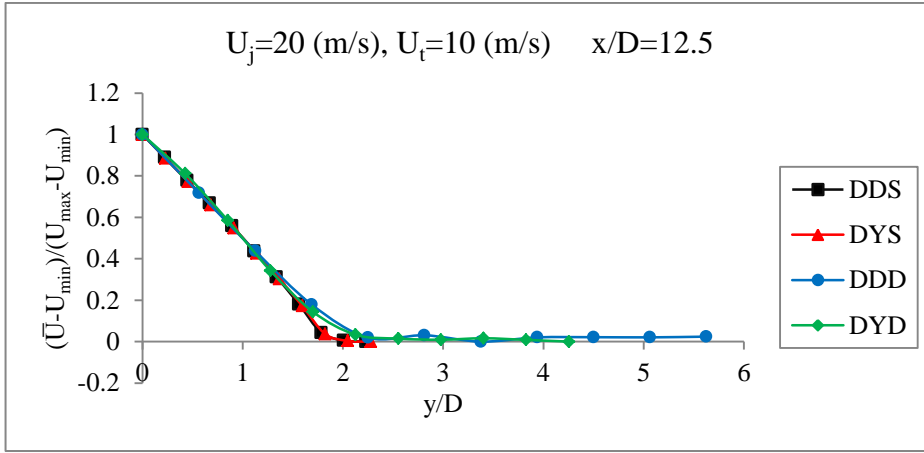


b)  $U_{rms}$  dağılımı

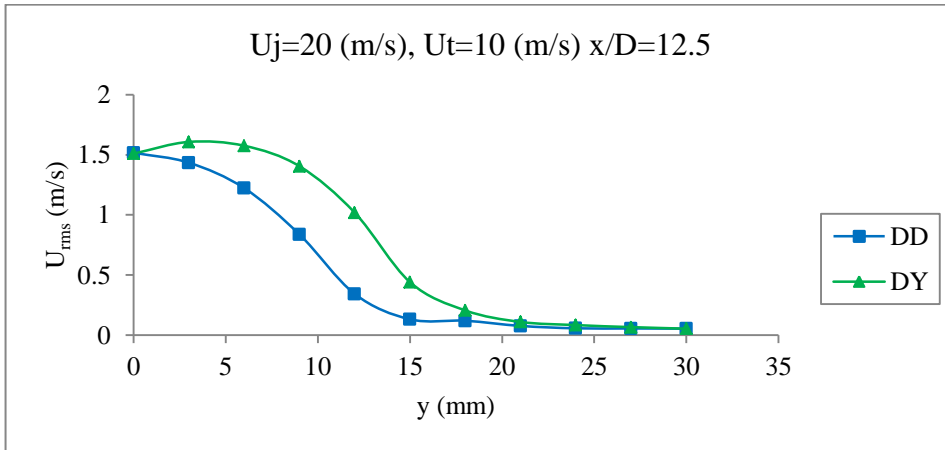
Şekil 3.34. Tünel hızının 10 m/s ve jet hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel ve içten yivli dairesel jetlerin  $x/D = 0.3$  istasyonundaki deneysel ve sayısal boyutsuz hız ve  $U_{rms}$  dağılımları.

- Tünel akış hızının 10 m/s, jet hızının 20 m/s olduğu ve  $x/D=12.5$  ölçüm istasyonunda, DDS ( Düz Dairesel Deneysel ) ve DYD ( Düz Yivli Deneysel ) elde edilen verilerle oluşturulan grafik ve tablolara göre şu şekilde değerlendirmeler yapılmıştır.

Düz ve yivli borular için Şekil 3.35'de boyutsuz hız dağılımında ve  $U_{rms}$  dağılımında da görüldüğü gibi eğriler, tünel akışının da etkili olmasıyla üst üste gelmiştir. Bu da akış profil yapısının her ikisi için de aynı olduğu anlaşılmış olup, SAD ile oluşturulan eğri de bunu desteklemiştir. Jet yarı kalınlıkları da birbirlerine çok az bir farkla yakın olarak hesaplanmıştır.



a) Boyutsuz hız dağılımı



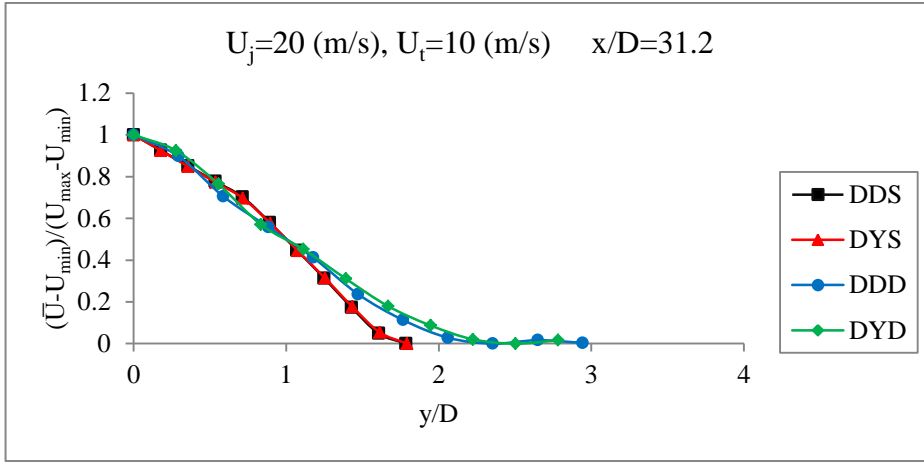
b)  $U_{rms}$  dağılımı

**Şekil 3.35.** Tünel hızının 10 m/s ve jet hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel ve içten yivli dairesel jetlerin  $x/D = 12.5$  istasyonundaki deneysel ve sayısal boyutsuz hız ve  $U_{rms}$  dağılımları.

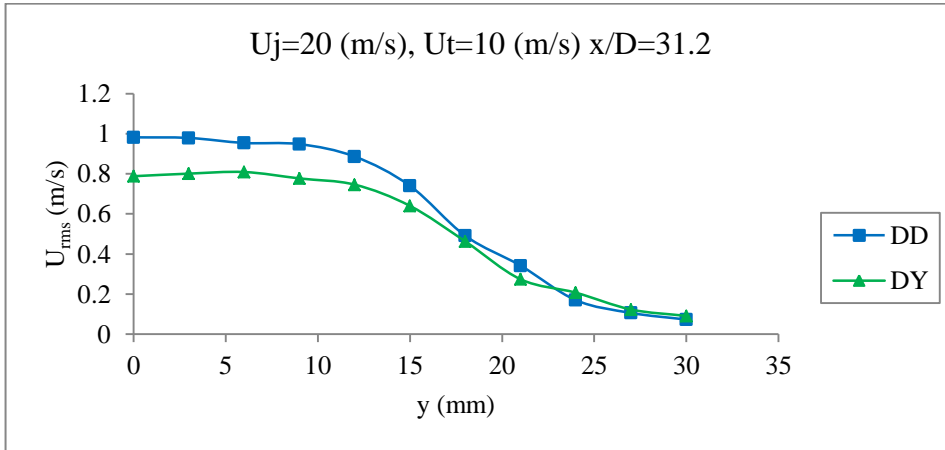


- Tünel akış hızının 10 m/s, jet hızının 20 m/s olduğu ve  $x/D=31.2$  ölçüm istasyonunda, DDS ( Düz Dairesel Deneysel ) ve DYD ( Düz Yivli Deneysel ) elde edilen verilerle oluşturulan grafik ve tablolara göre şu şekilde değerlendirmeler yapılmıştır.

Düz ve yivli borular için Şekil 3.36'da boyutsuz hız dağılımında ve  $U_{rms}$  dağılımında da görüldüğü gibi eğriler, çok az bir farkla da olsa üst üste gelmiştir. Bu da akış profil yapısının hemen hemen her ikisi için de aynı olduğu anlaşılmış olup, SAD ile oluşturulan eğri de bunu desteklemiştir. Jet yarı kalınlıkları da yine birbirlerine çok yakın olarak hesaplanmıştır.



a) Boyutsuz hız dağılımı

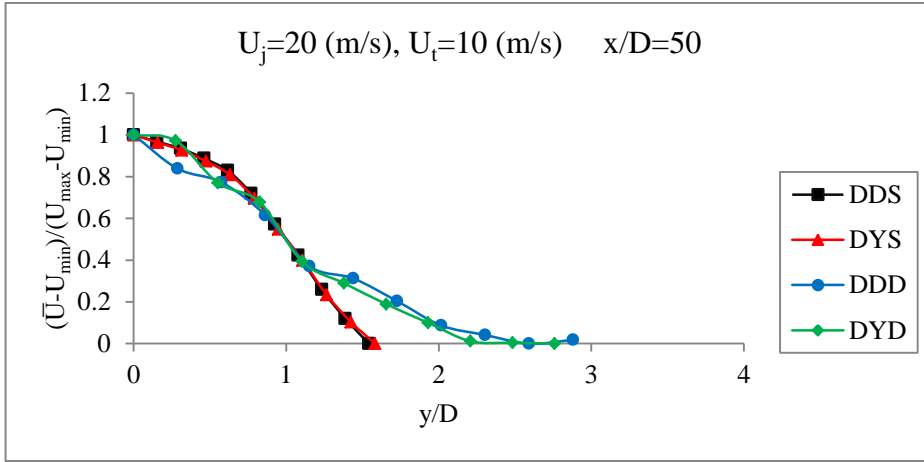


b)  $U_{rms}$  dağılımı

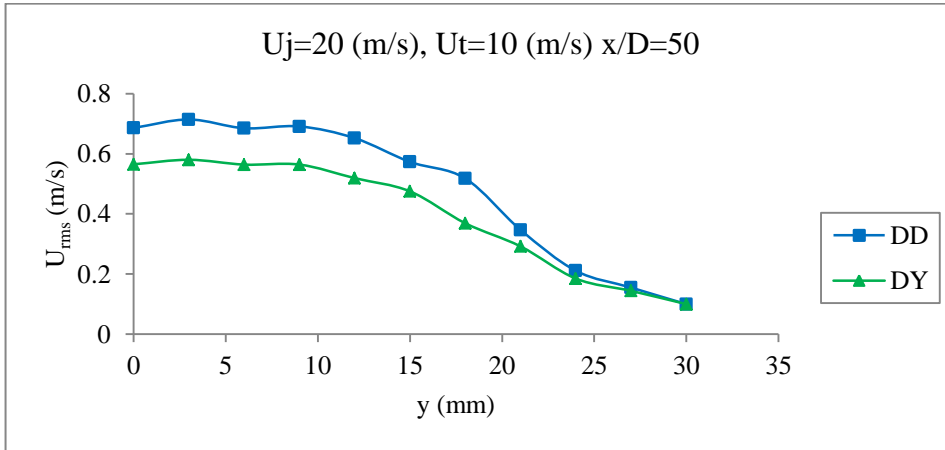
**Şekil 3.36.** Tünel hızının 10 m/s ve jet hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel ve içten yivli dairesel jetlerin  $x/D = 31.2$  istasyonundaki deneysel ve sayısal boyutsuz hız ve  $U_{rms}$  dağılımları.

- Tünel akış hızının 10 m/s, jet hızının 20 m/s olduğu ve  $x/D=50$  ölçüm istasyonunda, DDS ( Düz Dairesel Deneysel ) ve DYD ( Düz Yivli Deneysel ) elde edilen verilerle oluşturulan grafik ve tablolara göre şu şekilde değerlendirmeler yapılmıştır.

Düz ve yivli borular için Şekil 3.37'de boyutsuz hız dağılımında ve  $U_{rms}$  dağılımında da görüldüğü gibi eğriler, birbirlerinden çok az farkla da olsa üst üste gelmiştir. Bu da akış profil yapısının her iki durumda da hemen hemen aynı olduğu ve tünel akışının türbülansın etkili olmasına engel olduğu anlaşılmıştır. Jet yarı kalınlıkları da küçük bir farkla birbirlerine çok yakın olarak hesaplanmıştır.



a) Boyutsuz hız dağılımı



b)  $U_{rms}$  dağılımı

**Şekil 3.37.** Tünel hızının 10 m/s ve jet hızının 20 m/s olduğu durumda düz dairesel ve içten yivli dairesel jetlerin  $x/D = 0.3$  istasyonundaki deneysel ve sayısal boyutsuz hız ve  $U_{rms}$  dağılımları.

## 4. SONUÇLAR

Bu bölümde, deneysel ve SAD ile yapılan çalışmalarda elde edilen verilerle bulunan sonuçlar, literatürdeki benzer çalışmalarla değerlendirilmiştir.

Deneysel çalışma yapılan hava tüneli, jet akışı için kullanılan boru ve sayısal modelleme ile ilgili özellikler kısaca aşağıdaki gibidir.

- Deney odası  $\frac{1}{4}$  oranında modellenmiş olup; odanın giriş-çıkış kesiti
- 160x160 mm, uzunluğu 750 mm olarak boyutlandırılmıştır.
- Jet boru elemanının uzunluğu 120 cm, çapı 16 mm'dir.
- Deney odası ve jet boru elemanları hızları 25 m/s' ye kadar değerlendirmeye alınmıştır.
- Jet boru elemanları eksenleri, deney odasının giriş kısmının eksenine karşılık gelecek şekilde yerleştirilmiş ve modellenmiştir.
- Modellenen deney odası gridlere bölünerek ağ örülmüş ve jet akışı doğrultusunda ağ örümü sıklaştırılmaya çalışılmıştır. Bu çalışma için Ansys 14.5 paket programı içerisindeki Fluent uygulaması kullanılmıştır.
- Jet havası temini için Jet Hava Üreticisi kullanılmıştır.
- Deneysel çalışmalarda, türbülans ölçüm cihazı olarak, tek kanallı kızgın tel anemometre ( Hot Wire Anemometer ) kullanılmıştır.
- Kızgın tel anemometre kalibrasyonu, dijital pitot-statik tüp ile yapılmıştır.

İlk olarak deneylerin yapıldığı deney odası, jet akış deneylerinin yapılacağı hızlarda ( 5, 10, 20, 25 m/s ) ölçümler yapılmış ve yapılan ölçümlerde türbülans yoğunlukları % 0.7 ile % 0.4 arasında bulunduğundan deneysel çalışmalar için uygun bir deney odası olduğu görülmüştür. Jet akışı olmadan tünelin farklı hızlarında yapılan bu ölçüm tipleri Tablo 3.1'de, jet akışının olmadığı farklı tünel hızlarında yapılan ölçümler sonucu elde edilen U, Urms ve Uturb grafikleri ise Şekil 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4'de gösterilmiştir. Jet akış ölçümleri için, deney odasında  $x/D=0.3$ ,  $x/D=12.5$ ,  $x/D=31.2$  ve  $x/D=50$  olmak üzere 4 ölçüm istasyonu belirlenmiştir. Ölçümler düşey doğrultuda belirli aralıklarla tespit edilen noktalardan alınmıştır.

Deney odası ölçümlerinden sonra Düz Dairesel ( DD ) ve Düz Yivli ( DY ) borular için, önce tünelde akışın olmadığı durumlarda deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Bu şekilde yapılan deneysel çalışmaların ölçüm tipleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir. Deneysel çalışmalarla elde edilen verilerle oluşturulan grafikler ise Şekil 3.5.a, 3.5.b, 3.6.a, 3.6.b, 3.7.a, 3.7.b, 3.8.a ve 3.8.b’de gösterilmiştir. Sonra deney odasında farklı hızların olduğu ve jet hızının farklı olduğu durumlarda DD ve DY jet akışı için ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçüm tipleri Tablo 3.3’de gösterilmiştir. Ölçüm sonucu elde edilen verilerle oluşturulan grafikler ise Şekil 3.9.a, 3.9.b, 3.10.a, 3.10.b, 3.11.a, 3.11.b, 3.12.a, 3.12.b, 3.13.a, 3.13.b, 3.14.a, 3.14.b, 3.15.a, 3.15.b, 3.16.a, 3.16.b, 3.17.a, 3.17.b, 3.18.a ve 3.18.b’de gösterilmiştir. Son olarak da jet akışın SAD ile çözümü Ansys 14.5 içerisindeki Fluent programı ile çözümü yapılmıştır. Çözümlemeler deney odasında akışın olmadığı ve deney odasının farklı hızlarında olduğu durumlar için yapılmıştır. SAD ile çözümlemenin yapıldığı ölçüm tipleri Tablo 3.4 ve 3.5’de gösterilmiştir. Yine modelleme yapılarak SAD ile elde edilen verilerle oluşturulan grafikler Şekil 3.23.a, 3.23.b, 3.24.a, 3.24.b, 3.25.a ve 3.25.b’de gösterilmiştir.

Deneysel ve sayısal olarak yapılan çalışma sonucunda elde edilen verilere dayanarak jet akışı için belirlenen istasyonlardaki (  $x/D=0.3$ ,  $x/D=12.5$ ,  $x/D=31.2$  ve  $x/D=50$  ) Eksen Hızı  $U_e$  (m/s), jet yarı kalınlıkları  $b$  (m),  $Re_D$  ve  $Re_b$  hem Düz dairesel hem de Düz yivli dairesel jet akışı için bulunmuştur. Bulunan değerler, deneysel çalışmalar için DD Tablo 3.6, DY Tablo 3.7’de, sayısal modelleme ile bulunan değerler için ise s DD Tablo 3.8 ve DY Tablo 3.9’da gösterilmiştir.

Deneysel ve sayısal çalışmalarla oluşturulan jet akış yapısını daha iyi değerlendirmek ve açıklamak için Düz Dairesel ve Düz Yivli jet akış ölçümleri ve sayısal çözümleme ile elde edilen ölçümlerde boyutsuz hız dağılımları ve Urms dağılımları bütün ölçüm istasyonlarında aynı grafikte Şekil 3.26, 3.27, 3.28, 3.29, 3.30, 3.31, 3.32, 3.33, 3.34, 3.35, 3.36 ve 3.37’de gösterilmiştir.

Grafiklerde görüldüğü gibi deneysel ölçümlerde jet etkisi,  $x/D=0.3$  istasyonundan başlayarak  $x/D=50$  istasyonuna kadar düz dairesel ve içten yivli dairesel jetlerinin her ikisinde de gözlenmiştir. Sayısal Akışkanlar Dinamiği hesaplamaları da jet etkisinin bütün istasyonlarda varlığını koruma durumunu desteklemiştir. Morris ve Zaman (2010) tarafından jet akışı üzerine yapılan çalışma ile [35] Sivakumar ve arkadaşlarının yapmış (2012) olduğu çalışmalarda[64] jet akış yapıları, büyük ölçüde benzerliklerin olduğu görülmüştür.

Tünel akışının olmadığı durumlarda  $x/D=0.3$  istasyonunda jet akışı, yapısını korumuştur.  $x/D=12.5$  istasyonunda jet akış yapısında türbülans dalgalanmaları hem düz dairesel jette hem de düz içten yivli dairesel jette gözlenmeye başlanmıştır. Türbülansın bu etkisi (b)  $x/D=50$  istasyonunda maksimum düzeyine ulaşmıştır. Aynı zamanda çapa (D) ve jet yarı kalınlığına (b) göre hesaplanan Reynolds sayılarının ( $Re_D$  ve  $Re_b$ ) birbirine yaklaştığı ve jet yarı kalınlığının ölçümler arasında her iki durum için (DD ve DY) en yüksek değerine ulaştığı gözlemlenmiştir. Jet yarı kalınlığı düz yivli jette düz dairesel jete göre daha fazla hesaplandığı ve türbülans etkisinin yivli jette düze oranla çok daha fazla olduğu saptanmıştır. Bu etki, tüm istasyonlarda geçerli olmak üzere yivli jetin tüm hızlarında düz dairesel jete göre daha düşük olduğu görülmüştür.

Tünel akışının 5 m/s olduğu durumda  $x/D=0.3$  ve  $x/D=12.5$  istasyonlarında jet akışı, yapısını korumuştur.  $x/D=31.2$  istasyonunda jet akış yapısında türbülans dalgalanmaları, her iki jet (DD ve DY) için de gözlenmeye başlanmıştır. Türbülans değerleri maksimum düzeyine ulaşmasına rağmen tünel akışının olmadığı durumdaki değerlerden daha düşük olarak ölçülmüştür. Bu durum tünel akış hızının jet akışını baskılamasıyla meydana gelmiştir. Aynı zamanda çapa (D) ve jet yarı kalınlığına (b) göre hesaplanan Reynolds sayılarının ( $Re_D$  ve  $Re_b$ ) birbirine çok yaklaştığı ve jet yarı kalınlığının, ölçümler arasında her iki durum için de (DD ve DY) tünel akışının olması sebebiyle baskılanarak daraldığı gözlemlenmiştir. Bu durum da tünel akış hızı türbülans oluşumunu engellemiştir. Jet akış hızlarını da yine her iki durum (DD ve DY) için birbirine çok yaklaştırmasına rağmen yivli jetin hız profili, düz dairesel jete göre daha düşük kalmıştır.

Tünel akışının 10 m/s olduğu durumda  $x/D=0.3$ ,  $x/D=12.5$  ve  $x/D=31.2$  istasyonlarında jet akışı yapısı tünel hızı tarafından baskılanarak yapısını korumuş ve Sayısal Akışkanlar Dinamiği ( SAD ) hesaplamaları bu durumu desteklemiştir. Çok az da olsa  $x/D=50$  istasyonunda türbülans değerleri gözlemlenmiştir. Diğer iki duruma göre en düşük türbülans değerleri çalışmanın bu aşamasında gözlemlenmiştir. Aynı zamanda çapa (D) ve jet yarı kalınlığına (b) göre hesaplanan Reynolds sayılarının ( $Re_D$  ve  $Re_b$ ) birbirlerine  $x/D$  doğrultusunda ilerlendikçe çok yaklaştığı ve jet yarı kalınlığının,  $x/D=50$  istasyonuna gelindiğinde her iki durum için de (DD ve DY) neredeyse aynı seviyeye ulaşmıştır. Bu yaklaşma tamamen tünel akış hızının artmasıyla

doğru orantılıdır. Yine yivli jet hızının, düz dairesel jete göre daha düşük kaldığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışmanın özünü teşkil eden içten yivli dairesel boru için farklı jet ve tünel hızları ile farklı istasyonlarda deneysel çalışma yapılmıştır. İçten yivli jet akış yapısının, düz dairesel boru jet akış yapısından farkını görmek için de içten yivli jet akış için belirlenen aynı hız ve istasyonlarda jet akışı düz dairesel boru için de deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışmanın devamında da belirlenen ölçüm tiplerinde, hem düz dairesel hem de içten yivli borular için jet akışın Sayısal Akışkanlar Dinamiği (SAD) ile Ansys 14.5 içerisindeki Fluent programı ile çözümlenmesi yapılmıştır.

Sonuçta deneysel ve sayısal yöntemlerle elde edilen verilerle jet akışlarının belirlenen hız ve konumlardaki  $Re_D$ ,  $Re_b$ , Jet Yarı Kalınlığı ve Eksen Hızları tespit edilmiş ve tablo halinde gösterilmiştir. Yine elde edilen verilerle grafikler oluşturulmuştur. Hem tablo halinde gösterilen verilerle hem de grafiklerde çizilen eğrilerle içten yivli jet akış yapısının farkı değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] Victor, L.S.; Benjamin E.W.: "Fluid Mechanics" First SI Metric Edition, McGraw - Hill Book Company, p.363, (1983)
- [2] İnan,T., "Çok Amaçlı Düşük Hız-Subsonik Hava Tüneli Dizaynı ve Türbülans Ölçümleri", Doktora Tezi, Marmara Ün. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, Türkiye, (2002) 5-12,18
- [3] Abid, K.A.: "Measurements and Computation of Jet Flows: Effect of Initial Conditions", MSc Thesis ,Victoria University of Manchester, U.K. (1990) 8-75
- [4] Olivari, D.; Carbonaro, M.: Hot-Wire Measurement, VKI, LS, (1985)
- [5] 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)
- [6] Hinze, J.O.: "Turbulence", McGraw Hill, Newyork. (1959)
- [7] Corrsin, S.: "Investigation of Flow in an Axially Symmetric Heated Jet of Air", N.A.C.A., Wartime Report, (1946) 94.
- [8] 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, 1, (1949) 435-461.
- [9] Albertson, M.L.; Jensen, Y.B.; Roose, H.: "Diffusion of Submerged Jets", Pro. Am. Soc. Civil Eng., 74, (1950) 175-185.
- [10] Wygnanski, L; Fiedler, H.: "Some Measurements in the Self-Preserving Jet", J. Fluid Mech., 38, (1969) 577-612.
- [11] Davies, P. O.; Fisher, M. S.: "Heat Transfer From Electrically Heated cylinders", Proc. Roy. Soc. A 280 , (1964) 468-476.
- [12] Bradshaw, P.: "Experimental fluid mechanics", Pergamon Press. (1964)
- [13] 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, Feb. (1989) 7-30.
- [14] 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, (1987) 10-5.
- [15] Corrsin , S.: "Further Experiments on te Flow and Heat Transfer in a Heated Turbulent Air Jet", NACA Wartime , Report (1942) 94.

- [16] Rajaratnam, N.: "Turbulent Jets", Elsevier Scientific Publishing Company Amsterdam- Oxford- Newyork, (1976) 28-48.
- [17] 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)
- [18] Rodi, W.: "The Prediction of Free Boundary by Use of Two–Equation Model of Turbulence" , Ph . D Thesis, Univ. of London, U.K. (1972)
- [19] Capp, S.P.: "Experimental Investigation of the Turbulent Axisymmetric Jet", Ph.D. Thesis, State University of Newyork at Buffalo, U.S.A. (1983)
- [20] 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)
- [21] Maczynski , J. F. J.: "A Round Jet in an Ambient Co-axial Streams", J. Fluid Mech., 13, (1962) 190-219.
- [22] Antonia, R. A.; Bilgen R. W.: "An Experimental Investigation of Axisymmetric Jetin Co - flowing Stream", J.F.M. , 61,(1973) 805-822
- [23] Corrsin, S.; Uberoi, M.: "Further Experiment on the Flow and Heat Transfer in a Heated Turbulent Air Jet", NACA TN 1865, (1949)
- [24] Corrsin, S.; Kistler, A.L. : "The Free Stream Boundaries of Turbulent Flow", NACA TN 3133, (1954)
- [25] Miller, R. S., Madnia, C. K. ve Givi, P., 1995: Numerical Simulation of Non-Circular Jets, Computers & Fluids, Cilt 24, s. 1-25.
- [26] Grinsteina, F. F., Gutmark, E. ve Parr, T., 1995: Near field dynamics of subsonic free square jets. A computational and experimental study, Physics of Fluids, Cilt 7, s. 1483-1497
- [27] Buresti, G., Petagna, P. ve Talamelli, A., 1998: Experimental investigation on the turbulent near-field of coaxial jets, Experimental Thermal and Fluid Science, Cilt 17, s. 18-36.
- [28] Zaman, K. B. Q. M., 1999: Spreading characteristics of compressible jets from nozzles of various geometries, J. Fluid Mechanics, Cilt 383, S. 197-228. 0
- [29] Husain, H. S. ve Hussain, F., 1999: The elliptic whistler jet, J. Fluid Mechanics, Cilt 397, s. 23-44.



- [30] Mi, J., Nathan, G. J. ve Luxton, R. E., 2000: “Centreline mixing characteristics of jets from nine differently shaped nozzles”, *Experiments in Fluids*, Cilt 28, s. 93-94.
- [31] Quinn, W. R., 2005: Measurements in the near flow field of an isosceles triangular turbulent free jet, *Experiments in Fluids*, Cilt 39, s. 111–126.
- [32] Berg, J. R., Ormiston, S. J. ve Soliman, H. M., 2006: Prediction of the flow structure in a turbulent rectangular free jet, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Cilt 33, s. 552–563.
- [33] Kayıkçı,H., “Aynı Eksenli Koni İlaveli Jet Akışın Sayısal Akışkanlar Dinamiği”, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Ün. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, Türkiye,(2006) 13-15
- [34] Bogey,C., Bailly,C.,2009: Turbulence and energy budget in a self-preserving round jet, *Journal of Fluid Mechanics*, Cilt 627, s. 129-160
- [35] Morris,F.J., Zaman,K.B.Q.M.,2010: Velocity measurements in jets with application to noise source modeling, *Journal of Sound and Vibration*, Cilt 329, s. 394-414
- [36] Lunginsland,T., Kleiser,L., 2011: Large Eddy Simulation of Swirling Jet Flow Undergoing Vortex Breakdown Including Nozzle Modeling, *Euromech Colloquium*, 525
- [37] Yule, A.J.: *Experimental Methods in Thermofluids* , University of Manchester, Institute of Science & Technology, Manchester. (1988)
- [38] Trüpel, Th.:”Z. Ges Turbinenwesen, 12-52 (1915)
- [39] 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)
- [40] Rose, W.G.: ”A Swirling Round Turbulent Jet”, *Trans. ASME , J. Appl. Mech.*, 615–625, (1962)
- [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] Smiths,A.J.; Hayakawa,K.; Muck, K.C.:, "Constant temperature Hot-Wire Anemometer Practice in Supersonic Flows", Experiments in Fluids 1, 83- 92, (1983)
- [43] 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)
- [44] 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)
- [45] Biringen, S. : "An Experimental Investigation of a Turbulent Round Jet in a Co-Flowing Airstreams", Winter Annual Meeting, California-December 7- 12 , (1986)
- [46] Tani, I.; Kobashi, Y.:, " Experimental Studies on Compound Jets", Proc. of. Japan Congress for Appl. Mech., p. 465, Japan (1951)
- [47] 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)
- [48] Yükselentürk,Y., "Dairesel ve Dairesel Olmayan Jet Akım Alanlarının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, Türkiye,(2011) 2-5
- [49] Bogey,C., Marsden,O., Bailly,C. "Effects of Moderate Reynolds Numbers On Subsonic Round Jets With Highly Disturbed Nozzle-Exit Boundary Layers",Physics of Fluids, cilt 24, s. 105-107 (2012)
- [50] Samet, M.; Einav, S.: "A Hot-Wire Technique For Simultaneous Measurement of Instantaneous Velocities in 3D Flows", J. Phys. Instum., Vol. 29, pp . 683 – 690, (1968)
- [51] Ribeiro, M. M.; Whitelaw, J. H.: "Coaxial Jets With and Without Swirl" , J. Fluid Mech, Vol. 128, 769 – 795, (1980)
- [52] Chang, P. H.; Adrian, R. J.; Jones, B. G.: "Comparison Between Triple-Wire and x-Wire Measurement Technigues in High Intensity Shear Flow", Proc. 8 th., Biennial Symp. On Turbulence, Univ. Of Missouri-Rolla (1983)

- [53] Yule , A. J, "Large – Scale Structure in Mixing Layer of Round Jet", J. Fluid Mech., Vol. 89, Part 3, 413 – 432 (1978 )
- [54] 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)
- [55] 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.
- [56] DANTEC Measurement technology katalogu A/S, Denmark.
- [57] TSI Incorporated Fluid Mechanics Instrument Division katalogu, U.S.A.
- [58] Bruun,H.H.:", "Hot-Wire Anemometry; Principles and signal Analysis", Oxford University press, USA (1995)
- [59] Stainback, P.C.; Nagabushana, K.A.: "Review: Hot-Wire Anemometry in Transonic and Subsonic Slip Flows", Transaction of the ASME, March. (1997)
- [60] [www.powersogutma.com/urundetay.asp?urundetay=474](http://www.powersogutma.com/urundetay.asp?urundetay=474) (Erişim tarihi: Mayıs 2011)
- [61] [www.sarkuysan.com/tr-TR/bakir-boru/88.aspx](http://www.sarkuysan.com/tr-TR/bakir-boru/88.aspx) ( Erişim tarihi: Mayıs 2011)
- [62] [www.adeptscience.se/products/dataanal/teplot/showcase/studies/2002/purdue.htm](http://www.adeptscience.se/products/dataanal/teplot/showcase/studies/2002/purdue.htm) ( Erişim tarihi: Mayıs 2011)
- [63] [www.geocities.com/uludagmak](http://www.geocities.com/uludagmak) (Erişim tarihi: Mayıs 2011)
- [64] Sivakumar, S., Ravikiran Sangras and Vasudevan Raghavan; "Characteristics of Turbulent Round Jets in its Potential-Core Region" World Academy of Science, Engineering and Technology 61 2012

## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Tugay Şişman  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Beykoz/İSTANBUL – 22.07.1977  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-Posta** : tugaysisman@yahoo.com

### Öğrenim Durumu

Derece	Bölüm/Program	Üniversite/Lise	Mezuniyet Yılı
Lise	Fen Bilimleri	Kabataş Erkek Lisesi	1994
Üniversite	Makine Mühendisliği	Zonguldak Karaelmas Üniversitesi	2001

### İş Deneyimi

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2010-2012	TGS A.Ş.	Atölye Müdürü
2009-2009	DELTA VANA KONT. SİS. MÜH. LTD. ŞTİ.	Bölge Satış Müdürü
2007-2009	DALGAKIRAN A.Ş.	Satış Mühendisi Bölge Yöneticisi
2004-2007	GSD A.Ş.	Satış Mühendisi
2003-2004	NOBEL İLAÇ A.Ş.	Tıbbi Mümessil

### Bilimsel Eserler:

- Konuralp, M.S., Kurt, M., Şişman, T. (2011). Hidrolik Kaplinin Dinamik Modellenmesinin Genetik Algoritma Tekniği Yardımıyla İncelenmesi. Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi 2011 Ulusal Toplantısı, Kongre Bildiri Kitabı, 14-15-16 Eylül 2011, İzmir, Türkiye.
- İnan, A.T., Yayla, A.Y., Ceryan, E., Şişman, T., Yıldız A. (2013). ‘‘EFQM Esaslı Bir Karar Modeli Kullanılarak, Liderlik ve Süreçlerin Temel Performans Sonuçlarına Etkisinin İncelenmesi.’’ Sakarya Üni. Fen Bil. Enst. Dergisi., (2013),