

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANİ DARALMA İLE OLUŞAN DAİRESEL JET AKIŞINA KANAL UZUNLUĞU
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. İlhan UYAR

MART 2022

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ANİ DARALMA İLE OLUŞAN DAİRESEL JET AKIŞINA KANAL UZUNLUĞU
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

İLHAN UYAR

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

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 / 02 / 2022

Tezin Savunma Tarihi : 18 / 03 / 2022

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali Can DALOĞLU

Trabzon 2022

ÖNSÖZ

Doğada gerçekleşen fiziksel olayların birçoğunda akışkan hareketleri etkilidir. Temel akış tiplerinden olan jet akışı son 60 yıldır kapsamlı deneysel ve analitik araştırmaların konusu olmuştur. Dairesel ve düzlemsel jetler farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Havacılık, otomotiv, kimya ve ilaç sanayisi gibi endüstrinin değişik kollarında birçok uygulama alanları bulunmaktadır.

Bu yüksek lisans tezi kapsamında, farklı çıkış kesitlerine sahip dairesel jet akışında kanal uzunluğunun jet akışına etkisi hem deneysel hem de sayısal olarak incelenmiştir. Bu çalışmanın hem uygulamaya hem de literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında, değerli görüş ve önerileriyle beni yönlendiren değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali Can DALOĞLU'na çok teşekkür ediyorum.

Desteklerinden dolayı, Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığındaki arkadaşlarıma teşekkür ediyorum. Katkılarından dolayı değerli arkadaşlarım Mehmet Ali ÖZER'e, Mücahit SERT'e ve Penelope BOHNER KONDERLA'ya teşekkür ediyorum.

Yaptığım bu çalışmayı manevi desteğini benden esirgemeyen aileme ithaf ediyorum.

İlhan UYAR

Trabzon 2022

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Ani Daralma ile Oluşan Dairesel Jet Akışına Kanal Uzunluğu Etkisinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ali Can DALOĞLU’nun sorumluluğuunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdığımı, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.
18/03/22

İlhan UYAR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	2
1.1. Giriş	2
1.2. Tezin Amacı	2
1.3. Serbest Hava Jetleri	2
1.4. Jetlerin Kullanım Alanları	6
1.5. Serbest Hava Jetinin Davranışı.....	7
1.5.1. Üfleme (Atım) Uzunluğu.....	7
1.5.2. Düşüm.....	7
1.5.3. Sürüklenme Oranı.....	8
1.6. Borularda Akış.....	8
1.6.1. Türbülanslı Boru Akışları.....	9
1.7. Literatür Özeti.....	10
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	19
2.1. Deneysel Çalışmalar	19
2.1.1. Deney Düzenegi Tanıtımı.....	19
2.1.2. Ölçme Yöntemi	23
2.1.3. Ortalama Hız.....	26
2.1.4. Belirsizlik Analizi.....	27
2.2. Sayısal Çalışma	28
2.2.1. Geometrinin Oluşturulması	29
2.2.2. Ağ Yapısının Oluşturulması	30
2.2.3. Başlangıç ve Sınır Şartları	32

2.2.4.	Çözüm Metodu ve Yakınsama	32
3.	BULGULAR	35
3.1.	DeneySEL Çalışmada Elde Edilen Veriler	35
3.1.1.	D=44 mm Çaplı Jet Akışı	35
3.1.2.	D=68 mm Çaplı Jet Akışı	41
3.1.3.	D=102 mm Çaplı Jet Akışı	47
3.2.	Sayısal Çalışmada Elde Edilen Veriler.....	51
3.2.1.	Hız Konturları.....	51
3.2.2.	Hız Profilleri	56
4.	İRDELEME	59
4.1.	DeneySEL Sonuçların Literatürle Karşılaştırılması.....	59
4.2.	Kanal Uzunluğunun Hız Profiline Etkisi.....	65
4.2.1.	DeneySEL Sonuçlar	65
4.2.2.	Sayısal Çalışma Sonuçları	72
4.3.	Kesit Daralma Oranının Akış Alanına Etkisi	74
4.4.	DeneySEL ve Sayısal Sonuçların Karşılaştırılması	76
5.	SONUÇLAR.....	82
6.	ÖNERİLER	83
7.	KAYNAKLAR.....	84
8.	EKLER	87
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ANİ DARALMA İLE OLUŞAN DAİRESEL JET AKIŞINA KANAL UZUNLUĞU
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

İlhan UYAR

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ali Can DALOĞLU
2022, 123 Sayfa

Bu yüksek lisans tezi kapsamında, farklı çıkış kesitlerine sahip dairesel jet akışında kanal uzunluğunun jet akışına etkisi incelenmiştir. Büyük kare kesitli bir kanal çıkışında ani bir daralma sonucu oluşan dairesel hava jetinde, jet akış alanında hem düşey yönde hem de jet eksenini boyunca hız taraması pitot tüpü kullanılarak yapılmıştır. Çıkış levhasına farklı kanal uzunluklarına sahip borular eklenerek bu kanalların jet akışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneyler kenar uzunluğu 25,4 cm olan kare kesitli bir kanaldan aniden dairesel kesite dönüşen hava jetleri için gerçekleştirilmiştir. Dairesel jetin çapı 44 mm, 68 mm ve 102 mm olarak belirlenmiştir. Bu çaptaki jet akışlarında kanal boyu için L/D oranları 1, 2, 7 ve jet çıkışından olan uzaklık için x/D oranları 0, 1, 2, 5, 10 ve 20 olarak seçilmiştir. Deneysel ölçümlere ilaveten ANSYS FLUENT yazılımı kullanılarak jet akışı sayısal olarak da incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan, kanal uzunluğunun jet çıkışındaki hız profilini önemli derecede etkilediği ve jet çıkışından uzaklaştıkça bu etkinin azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Serbest Hava Jetleri, Dairesel Jet Akışı, Ani Daralma, HAD

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE CHANNEL LENGTH ON THE
CIRCULAR JET FLOW CAUSED BY A SUDDEN CONTRACTION

İlhan UYAR

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mechanical Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Ali Can DALOGLU
2022, 123 Pages

In this master thesis, the effects of the channel lengths on a circular jet flow, caused by a sudden contraction, were investigated. In a circular air jet formed as a result of a sudden contraction at the outlet of a large square-section duct, velocity measurements in the jet flow area, both in the vertical direction and along the jet axis, was performed using a pitot tube. By adding pipes with different channel lengths to the outlet plate, the effect of these channels on the jet flow is investigated. The experiments were carried out for air jets that suddenly turned into a circular section from a square-section duct with a side length of 25,4 cm. The diameter of the circular jet was determined as 44 mm, 68 mm and 102 mm. For jet streams of these diameters, L/D ratios for channel length are 1, 2, 7 and x/D ratios for distance from jet outlet are 0, 1, 2, 5, 10 and 20. In addition to the experimental measurements, the jet flow was also analyzed numerically by using ANSYS FLUENT software. From the results, it was determined that the channel length significantly affects the velocity profile at the jet exit and this effect decreases as you move away from the jet exit.

Keywords: Free Air Jets, Circular Jet Flow, Sudden Contraction, CFD

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Jet akış yapısı	4
Şekil 1.2. Jet akışı.....	5
Şekil 1.3. Dairesel serbest jet akışında hız profilleri	5
Şekil 1.4. Serbest jetin akış bölgeleri	6
Şekil 1.5. Düşme ve atım kavramlarının belirlenmesi.....	8
Şekil 1.6. Boru girişinden itibaren hız sınır tabakasının gelişimi.....	9
Şekil 1.7. Türbülanslı bir akışta anlık hızın zamana bağlı değişimi.....	9
Şekil 1.8. Dokuz değişik lüle için jet eksenindeki boyutsuz hızın jet eksenini boyunca değişimi.....	12
Şekil 1.9. Jet eksenindeki boyutsuz hızın eksen boyunca değişimi	13
Şekil 1.10. Jet çıkışında düşey yöndeki hız dağılımı.....	14
Şekil 1.11. Tünel akışının olmadığı, jet akış hızının 10 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış ölçümleri	14
Şekil 1.12. Jet çıkışından belirli uzaklıklardaki hız profilleri	15
Şekil 1.13. Dairesel jet için jet merkezindeki hızın x/d ile değişimi	16
Şekil 1.14. Daralan jet ve boru jet akışı.....	16
Şekil 1.15. Jet çıkışındaki boyutsuz hız dağılımı	17
Şekil 1.16. Orifis ve lüle için boyutsuz hız dağılımları	17
Şekil 1.17. Orifis levha kalınlığının hız dağılımına etkisi.....	18
Şekil 1.18. Orifis geometrisinin hız dağılımına etkisi	18
Şekil 2.1. Deney düzeneğinin şematik resmi.....	19
Şekil 2.2. Deney düzeneğinin görünüşü	20
Şekil 2.3. Deney düzeneğine yerleştirilmiş orifis ve kanalın şematik görüntüsü.....	20
Şekil 2.4. Deney düzeneği ve pitot tüpü.....	21
Şekil 2.5. $D=44$ mm, $L/D=2$ ve $x/D=10$ durumundaki ölçüm.....	22
Şekil 2.6. $D=102$ mm çaplı kanalsız ($L/D=0,18$) durumda bir ölçüm.....	22
Şekil 2.7. Boru akışındaki hızın pitot tüpü ile ölçülmesi	23
Şekil 2.8. Statik, dinamik ve toplam basınç	24
Şekil 2.9. Eğik manometrede basınç ölçümü	25

Şekil 2.10. Eğik manometre	26
Şekil 2.11. 44 mm çap ve kanalsız durum geometrisi	29
Şekil 2.12. 44 mm çaplı 18 mm levha durumundaki mesh (ağ) yapısı	31
Şekil 2.13. 44 mm çaplı 44 mm kanal durumundaki mesh (ağ) yapısı	31
Şekil 2.14. Fluent'te kullanılan akış modeli ve çözüm metodu	33
Şekil 2.15. 44 mm çaplı kanalsız durum (L=18mm) için sonuç grafiği.....	33
Şekil 2.16. 44 mm çap ve 44 mm kanal durumu için sonuç yakınsama grafiği.....	34
Şekil 3.1. Tam fan açıklığında 44 mm çaplı ve kanalsız durum için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması	36
Şekil 3.2. Yarı fan açıklığında 44 mm çaplı ve kanalsız durum için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması	36
Şekil 3.3. Tam fan açıklığında 44 mm çaplı ve 44 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	38
Şekil 3.4. Yarı fan açıklığında 44 mm çaplı ve 44 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	38
Şekil 3.5. Tam fan açıklığında 44 mm çaplı ve 88 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	39
Şekil 3.6. Yarı fan açıklığında 44 mm çaplı ve 88 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	39
Şekil 3.7. Tam fan açıklığında 44 mm çaplı ve 308 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	40
Şekil 3.8. Yarı fan açıklığında 44 mm çaplı ve 308 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	40
Şekil 3.9. Tam fan açıklığında 68 mm çaplı ve kanalsız durum için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	42
Şekil 3.10. Yarı fan açıklığında 68 mm çaplı ve kanalsız durum için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	42
Şekil 3.11. Tam fan açıklığında 68 mm çaplı ve 68 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	44
Şekil 3.12. Yarı fan açıklığında 68 mm çaplı ve 68 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	44
Şekil 3.13. Tam fan açıklığında 68 mm çaplı ve 136 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	45
Şekil 3.14. Yarı fan açıklığında 68 mm çaplı ve 136 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	45
Şekil 3.15. Tam fan açıklığında 68 mm çaplı ve 476 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	46
Şekil 3.16. Yarı fan açıklığında 68 mm çaplı ve 476 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	46

Şekil 3.17. Tam fan açıklığında 102 mm çaplı ve kanalsız durum için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	48
Şekil 3.18. Yarı fan açıklığında 102 mm çaplı ve kanalsız durum için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	48
Şekil 3.19. Tam fan açıklığında 102 mm çaplı ve 102 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	49
Şekil 3.20. Yarı fan açıklığında 102 mm çaplı ve 102 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	49
Şekil 3.21. Tam fan açıklığında 102 mm çaplı ve 204 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	50
Şekil 3.22. Yarı fan açıklığında 102 mm çaplı ve 204 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması.....	50
Şekil 3.23. D=44 mm jet çapı ve kanalsız (L=18 mm) durum için hız konturu.....	52
Şekil 3.24. D=44 mm jet çapı ve L=44 mm kanal durumu için hız konturu.....	52
Şekil 3.25. D=44 mm jet çapı ve L=88 mm kanal durumu için hız konturu.....	52
Şekil 3.26. D=44 mm jet çapı ve L=308 mm kanal durumu için hız konturu.....	53
Şekil 3.27. D=68 mm jet çapı ve kanalsız (L=18 mm) durum için hız konturu.....	53
Şekil 3.28. D=68 mm jet çapı ve L=68 mm kanal durumu için hız konturu.....	54
Şekil 3.29. D=68 mm jet çapı ve L=136 mm kanal durumu için hız konturu.....	54
Şekil 3.30. D=68 mm jet çapı ve L=476 mm kanal durumu için hız konturu.....	54
Şekil 3.31. D=102 mm jet çapı ve kanalsız durum (L=18 mm) için hız konturu.....	55
Şekil 3.32. D=102 mm jet çapı ve L=102 mm kanal durumu için hız konturu.....	55
Şekil 3.33. D=102 mm jet çapı ve L=204 mm kanal durumu için hız konturu.....	55
Şekil 3.34. D=44 mm jet çapı ve kanalsız (L=18 mm) durumdaki hız değerleri.....	56
Şekil 3.35. D=44 mm jet çapı ve L=44 mm kanal uzunluğundaki hız değerleri.....	57
Şekil 3.36. D=44 mm jet çapı ve L=88 mm kanal uzunluğundaki hız değerleri.....	57
Şekil 3.37. D=44 mm jet çapı ve L=308 mm kanal durumundaki hız değerleri.....	58
Şekil 4.1. Jet çıkışından 10 mm ve 90 mm uzaklıklardaki hız profilleri.....	59
Şekil 4.2. D=102 mm çaplı orifis ve tam fan açıklığında, $x/D=1$, $x/D=5$ ve $x/D=10$ için elde edilen hız değerleri.....	60
Şekil 4.3. Jet eksenindeki boyutsuz hızın eksen boyunca değişimi.....	61
Şekil 4.4. Değişik durumlar için deneysel olarak elde edilen jet eksenindeki boyutsuz hızın eksen boyunca değişimi.....	61
Şekil 4.5. Jet merkezindeki hızın konumla değişimi.....	62
Şekil 4.6. Jet çıkışından belirli uzaklıklarda boyutsuz hızın radyal yönde değişimi.....	63
Şekil 4.7. Kanalsız durumda (L/D=0,26) ve $x/D=2$ için boyutsuz hız profili (deneysel)..	64

Şekil 4.8. Kanalsız durumda ($L/D=0,26$) ve $x/D=5$ için boyutsuz hız profili (deneysel)	64
Şekil 4.9. Kanalsız durumda ($L/D=0,26$) ve $x/D=10$ için boyutsuz hız profili (deneysel)	65
Şekil 4.10. Tam fan açıklığında 44 mm çapta $x/D=0$ 'daki hızların karşılaştırılması	66
Şekil 4.11. Tam fan açıklığında 44 mm çapta $x/D=1$ 'deki hızların karşılaştırılması	66
Şekil 4.12. Tam fan açıklığında 44 mm çapta $x/D=5$ 'teki hızların karşılaştırılması	67
Şekil 4.13. Tam fan açıklığında 44 mm çapta $x/D=20$ 'deki hızların karşılaştırılması	67
Şekil 4.14. Tam fan açıklığında 68 mm çapta $x/D=0$ 'daki hızların karşılaştırılması	68
Şekil 4.15. Tam fan açıklığında 68 mm çapta $x/D=1$ 'deki hızların karşılaştırılması	68
Şekil 4.16. Tam fan açıklığında 68 mm çapta $x/D=5$ 'teki hızların karşılaştırılması	69
Şekil 4.17. Tam fan açıklığında 68 mm çapta $x/D=20$ 'deki hızların karşılaştırılması	69
Şekil 4.18. Tam fan açıklığında 102 mm çapta $x/D=0$ 'daki hızların karşılaştırılması	70
Şekil 4.19. Tam fan açıklığında 102 mm çapta $x/D=1$ 'deki hızların karşılaştırılması	70
Şekil 4.20. Tam fan açıklığında 102 mm çapta $x/D=5$ 'teki hızların karşılaştırılması	71
Şekil 4.21. Tam fan açıklığında 102 mm çapta $x/D=20$ 'deki hızların karşılaştırılması	71
Şekil 4.22. 44 mm çaplı farklı kanal durumlarında $x/D=0$ 'daki hızlar	72
Şekil 4.23. 44 mm çaplı farklı kanal durumlarında $x/D=1$ 'deki hızlar	73
Şekil 4.24. 44 mm çaplı farklı kanal durumlarında $x/D=5$ 'teki hızlar	73
Şekil 4.25. 44 mm çaplı farklı kanal durumlarında $x/D=20$ 'deki hızlar	74
Şekil 4.26. Değişik jet çapları için tam fan açıklığında ve $x/D=0$ 'da boyutsuz hız profilleri(deneysel)	75
Şekil 4.27. Değişik jet çapları için tam fan açıklığında ve $x/D=0$ 'da boyutsuz hız profilleri(sayısal)	75
Şekil 4.28. $D=44$ mm, $L/D=0,41$ ve $x/D=1$ 'de hız değerlerinin karşılaştırılması.....	76
Şekil 4.29. $D=44$ mm, $L/D=0,41$ ve $x/D=5$ 'te hız değerlerinin karşılaştırılması	77
Şekil 4.30. $D=44$ mm, $L/D=7$ ve $x/D=0$ 'da hız değerlerinin karşılaştırılması.....	77
Şekil 4.31. $D=68$ mm, $L/D=0,26$ ve $x/D=0$ 'da hız değerlerinin karşılaştırılması.....	78
Şekil 4.32. $D=68$ mm, $L/D=0,26$ ve $x/D=2$ 'de hız değerlerinin karşılaştırılması.....	79
Şekil 4.33. $D=68$ mm, $L/D=0,26$ ve $x/D=10$ 'da hız değerlerinin karşılaştırılması.....	79
Şekil 4.34. $D=68$ mm, $L/D=0,26$ ve $x/D=20$ 'de hız değerlerinin karşılaştırılması.....	80
Şekil 4.35. $D=102$ mm, $L/D=0,18$ ve $x/D=0$ 'da hız değerlerinin karşılaştırılması.....	80
Şekil 4.36. $D=102$ mm, $L/D=0,18$ ve $x/D=5$ 'te hız değerlerinin karşılaştırılması	81

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Değişik durumlardaki Reynolds sayıları	27
Tablo 2.2. Farklı ağ sayılarında 68 mm çaplı kanalsız durumda merkezdeki hız değerleri	30
Ek Tablo 1. Tam fan açıklığında 44 mm çaplı ve kanalsız durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	87
Ek Tablo 2. Yarı fan açıklığında 44 mm çaplı ve kanalsız durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	89
Ek Tablo 3. Tam fan açıklığında 44 mm çaplı ve 44 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	91
Ek Tablo 4. Yarı fan açıklığında 44 mm çaplı ve 44 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	92
Ek Tablo 5. Tam fan açıklığında 44 mm çaplı ve 88 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	93
Ek Tablo 6. Yarı fan açıklığında 44 mm çaplı ve 88 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	94
Ek Tablo 7. Tam fan açıklığında 44 mm çaplı ve 308 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	95
Ek Tablo 8. Yarı fan açıklığında 44 mm çaplı ve 308 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	96
Ek Tablo 9. Tam fan açıklığında 68 mm çaplı ve kanalsız durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	97
Ek Tablo 10. Yarı fan açıklığında 68 mm çaplı ve kanalsız durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	99
Ek Tablo 11. Tam fan açıklığında 68 mm çaplı ve 68 kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	100
Ek Tablo 12. Yarı fan açıklığında 68 mm çaplı ve 68 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	102
Ek Tablo 13. Tam fan açıklığında 68 mm çaplı ve 136 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	104
Ek Tablo 14. Yarı fan açıklığında 68 mm çaplı ve 136 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	106
Ek Tablo 15. Tam fan açıklığında 68 mm çaplı ve 476 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	108
Ek Tablo 16. Yarı fan açıklığında 68 mm çaplı ve 476 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	110

Ek Tablo 17. Tam fan açıklığında 102 mm çaplı ve kanalsız durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	112
Ek Tablo 18. Yarı fan açıklığında 102 mm çaplı ve kanalsız durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	114
Ek Tablo 19. Tam fan açıklığında 102 mm çaplı ve 102 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	116
Ek Tablo 20. Yarı fan açıklığında 102 mm çaplı ve 102 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	118
Ek Tablo 21. Tam fan açıklığında 102 mm çaplı ve 204 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	120
Ek Tablo 22. Yarı fan açıklığında 102 mm çaplı ve 204 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler	122



SEMBOLLER DİZİNİ

D	: Jet çıkış çapı [m]
g	: Yerçekimi ivmesi [m/s^2]
h	: Manometre sıvısının yüksekliği [mmSS]
k	: Türbülans kinetik enerjisi [m^2/s^2]
L	: Kanal uzunluğu [m]
P_{st}	: Statik basınç [Pa]
P_d	: Dinamik basınç [Pa]
Q_x	: Havanın x noktasındaki debisi [m^3/s]
Q_{x=0}	: Besleme ağzındaki hava debisi [m^3/s]
R	: Jet çıkış yarıçapı [m]
R_x	: Sürüklenme oranı
Re	: Reynolds sayısı
Re_{kritik}	: Kritik Reynolds sayısı
r	: Jet merkezinden düşey yöndeki uzaklık değerleri [m]
T	: Sıcaklık [$^{\circ}C$]
t	: Zaman [s]
U	: Hız [m/s]
U_c	: Jet merkezindeki hız [m/s]
U_ç, U_t	: Çevre hızı [m/s]
U_m	: Jet çıkışındaki ortalama hız [m/s]
ū	: Zaman ortalamalı hız bileşeni [m/s]
u'	: Çalkantı hız bileşeni [m/s]
X_{gç}	: Hidrodinamik giriş bölgesi [m]
x	: Jet çıkışından olan uzaklık [m]
y	: y ekseninde mesafe [m]
y_h	: Jetin yarı genişlik bölgesi [m]

Yunan sembolleri

Δh	: Belirli iki nokta arasındaki sıvı yüksekliği farkı [mmSS]
ϵ	: Türbülans kinetik enerjisinin yayılma hızı [m^2/s^3]
μ	: Dinamik viskozite [kg/m.s]
ν	: Kinematik viskozite [m^2/s]
ρ	: Havanın yoğunluğu [kg/m^3]
ρ_m	: Manometre sıvısının yoğunluğu [kg/m^3]

Kısaltmalar

HAD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
PIV	: Particle Image Velocimetry (Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü)
TA	: Tam fan açıklığı
YA	: Yarı fan açıklığı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Doğada meydana gelen fiziksel olayların birçoğunda, akışkan hareketleri etkili olmaktadır. Hüzme akışı olarak da adlandırılan jet tipi akışlar, uygulamada çok sık karşılaşılmaması nedeniyle akışkanlar mekaniğinin temel çalışma alanlarından biridir. Jet tipi akışlar fiziksel, endüstriyel ve teknolojik olarak değerlendirilmektedir.

Elektronik cihazların soğutulması, cam, plastik ve metal malzemelerin yüzeylerinin işlenmesi, uçak kanatlarında oluşan buzlanmanın önlenmesi, türbin kanatlarının soğutulması, hava yastıklı araçların hareketi ile tekstil, kağıt, film gibi malzemeler ve çeşitli gıda ürünlerinin kurutulması en önemli endüstri uygulamalarıdır.

Jet çıkış çapı (D), hızı (U) ve türbülans şiddeti, jet çıkışı ile çarpma levhası arasındaki açıklık (H/D), çarpma levhası ile ortamın sıcaklıkları, jetin sınırlandırılıp sınırlandırılmaması, akış alanını ve dolayısıyla ısı transferini büyük ölçüde etkilemektedir.

Jet çıkışı, dairesel, eliptik veya iki boyutlu (yarık) tipte olabilmektedir. Ayrıca jetler, çevre ortamdan akışkan girişini önlemek amacıyla çıkış düzlemine yerleştirilen bir levha ile sınırlandırılabilirler. Uygulamada, bir yüzey üzerine gelen çeşitli düzenlerde yerleştirilmiş birden fazla jet dizisi akışı ile de karşılaşılmaktadır [1].

Jet akış alanını büyük ölçüde etkileyen jet çıkış geometrisi, jet çapı, jet çıkış hızı, türbülans şiddeti ve jetin sınırlandırılıp sınırlandırılmaması gibi konularla ilgili deneysel ve sayısal olarak yapılan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Jet akışının meydana geldiği orifis ve lüle geometrisinin jet akışına etkisiyle ilgili çalışmalar olmasına rağmen kanal uzunluğunun etkisi ve ani daralmanda kesit daralma oranının etkisiyle ilgili çalışmalar oldukça azdır. Bu çalışmada durgun bir ortama gönderilen ve ani daralmayla oluşan dairesel hava jetinin oluşturduğu akış alanındaki hız dağılımına kanal uzunluğunun ve kesit daralma oranının etkileri incelenmeye çalışılacaktır.

1.2. Tezin Amacı

Bu çalışmadaki amaç, ani daralma ile oluşan dairesel kesitli jet akışında pitot tüpü kullanarak akış alanındaki hızları ölçme yolu ile kanal uzunluğunun ve kesit daralma oranının akış alanına etkisini deneysel olarak incelemek; hız alanını Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) yardımıyla elde etmek ve her iki çalışma sonuçlarını karşılaştırmaktır.

1.3. Serbest Hava Jetleri

Serbest jet, bir akış hüzmesinin herhangi bir sınırlayıcı etki olmadan geniş bir ortama akışı ile elde edilmektedir. Eğer jeti çevreleyen akış hareketsiz ise standart jet veya güçlü jet olarak adlandırılır. Çevredeki akış jet eksenine yönelmiş bir harekete sahip ise zayıf jet (Co-flowing jet veya compound jet) olarak tanımlanır. Çevreleyen akış, jet akışından daha hızlı hareket ederse akış alanı iz akışı olarak bilinir. Jet akışkanı ve çevreleyen akışkan özellikleri aynı olduğunda, akışkan yoğunluklarının eşit olması nedeniyle herhangi bir kaldırma kuvveti oluşmamakta, jet akışı tamamen momentum sürücü güce sahip olmaktadır.

Jetin gelişim aşamaları lüleden çıktıktan sonra çevredeki gürültü seviyesi, geometri ve lülenin düzgünlüğü (pürüzlülüğü) ve lüle çıkışındaki akış şartları gibi birçok parametreye bağlıdır. Lüle çıkışındaki akış şartlarında en önemli parametre;

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

şeklinde tanımlanan Reynolds sayısıdır. U_m , jet çıkış hızını; D , lüle çapını ve ν , kinematik viskoziteyi ifade etmektedir. Büyük Reynolds sayılarında jetin türbülanslı karakterde olması beklenir. Standart bir jet geometrisi üzerinde Reynolds sayısının etkisi göz önüne alındığında, akış şekillerinin deneyden deneye değiştiği görülmektedir. Bu durum, akış yapısının çevredeki gürültü seviyesinden ve lülenin pürüzlülüğünden etkilendiğini göstermektedir.

Jet akışlarının laminer veya türbülanslı olarak sınıflandırılmasında genel bir kural bulunmamaktadır. Lüle çapı ve lüle çıkışındaki akış hızı ile oluşturulan Reynolds sayılarına göre bir sınıflama yapılabilmektedir. $Re_{kritik} \approx 1000$ civarında laminer jetler türbülanslı jetlerden ayrılırlar. Serbest jetler, akış rejimi yönünden dört grupta sınıflandırılabilir.

a) Dağılan (dissipated) laminer jetler ($Re_{kritik} < 300$): Atalet kuvvetleri ile karşılaştırıldığında viskoz kuvvetler çok büyüktür. Jet hızlı bir şekilde çevre akışkan içine dağılır.

b) Tam laminer jetler ($300 < Re_{kritik} < 1000$): Jetin çevre akışkan içine büyük ölçüde difüzyonu yoktur.

c) Geçiş veya türbülanslı jetler ($1000 < Re_{kritik} < 3000$)

d) Tam türbülanslı jetler ($Re_{kritik} > 3000$)

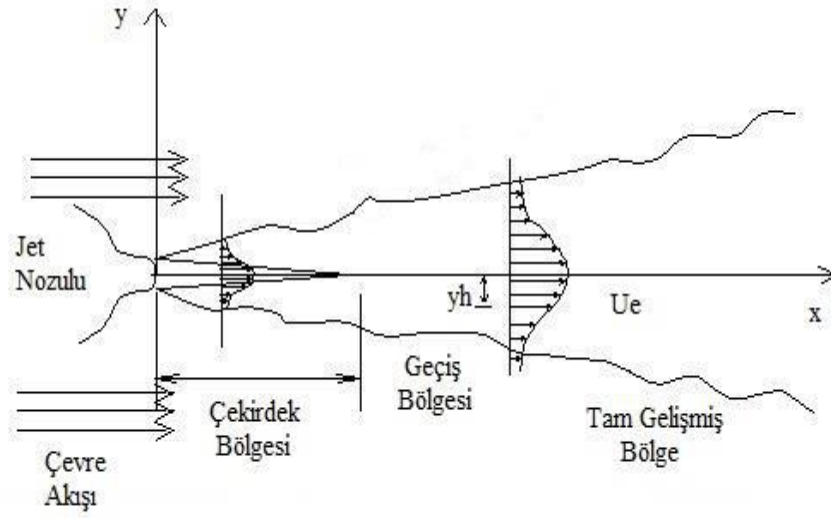
Dikdörtgen kesitli bir açıklıktan çıkan jetlerde (slot jet), açıklık genişliğine bağlı Reynolds sayısının 650-950 aralığındaki değerlerinde geçiş akışı söz konusu iken $Re > 2000$ için akış türbülanslı olmaktadır [1].

Jet akış yapısı ince bir sınır tabakası ile lüleden (nozuldan) çıkarak üç farklı bölgeye ayrılır. Bu bölgeler;

1) Potansiyel çekirdek bölgesi: Hız oranına ve sınır tabaka kalınlığına bağlı olarak, lüle çapının 4 veya 8 katı olduğu yere kadar olan bölgedir. Bu bölgedeki jet akış 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. x aksenal konumu göstermek üzere; dairesel jetlerde aksenal hız $1/x$ ile azalırken, yarı (slot) jetlerde $\sqrt{1/x}$ ile orantılıdır.

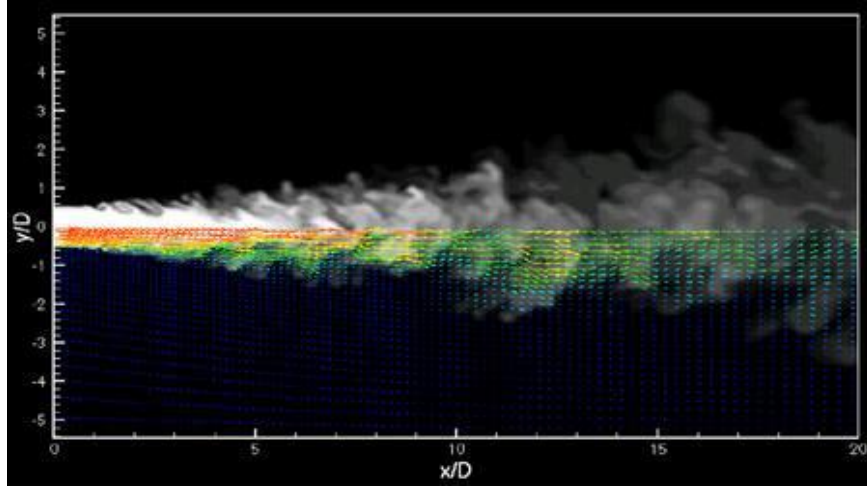
3) Tam Gelişmiş Bölge: Türbülanslı olan bu bölgedeki hız profilleri birbirine benzer. Jet akış profili Şekil 1.1'de görülmektedir. Ayrıca şekildeki y_h , jetin yarı genişlik bölgesidir. y_h , jet merkez maksimum hızı ile çevre hızının toplamının yarısının olduğu bölgedir [2].



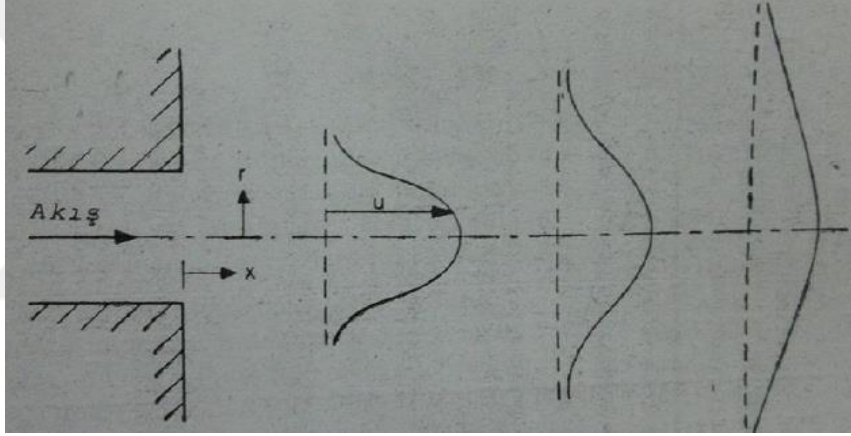
Şekil 1.1. Jet akış yapısı [3]

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 lüleden uzaklaştıkça artar. Eksendeki hız, U_e , potansiyel çekirdek bölgesinde sabitliğini korur. Geçiş bölgesinin ardından jet akışı tam gelişmiş bölgeye ulaşır 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 [2].

Dairesel serbest jet akışında akış alanının akış gözleme görüntüsü Şekil 1.2’de ve jet eksenini boyunca değişik uzaklıklarda elde edilen hız profilleri Şekil 1.3’te verilmiştir.



Şekil 1.2. Jet akışı [4]

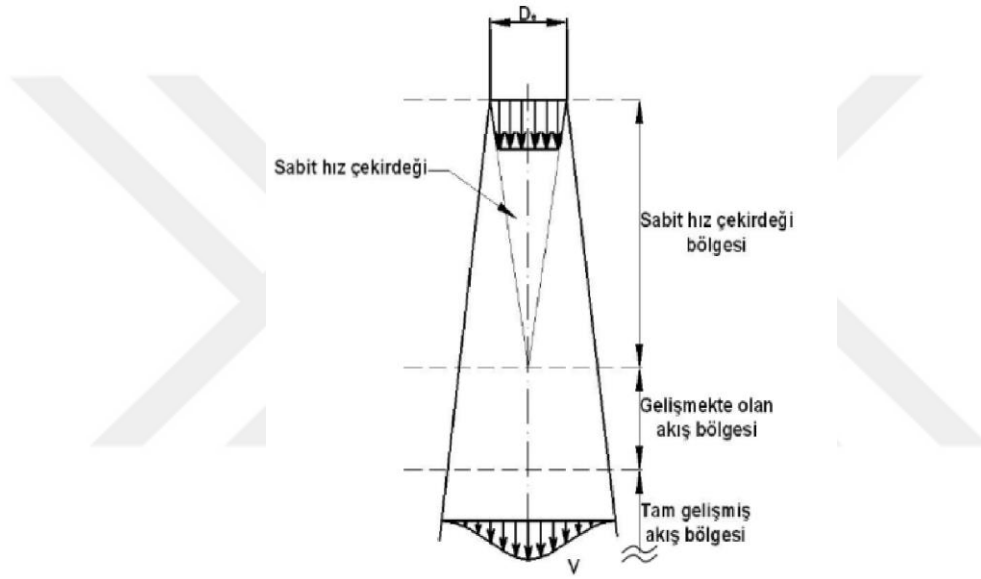


Şekil 1.3. Dairesel serbest jet akışında hız profilleri [5]

Genel olarak lüenin çıkışında laminar sınır tabakayla gelişen serbest jet, bir geçiş bölgesinden sonra türbülanslı bir yapıya bürünmektedir. Geçiş bölgesinde başlangıçta laminar kayma tabakasının doğal kararsızlığından dolayı jet kenarlarında girdap halkalarının (rings) olduğu bir alan meydana gelmektedir. Bu girdap halkaları lüleden belli bir mesafede girdap boyutunu büyütecek şekilde akış yönünde komşu halkalarla birleşerek türbülanslı yapıda rastgele bir hareket oluştururlar. Lüle yakınındaki girdap halkalarının oluşturduğu geçiş bölgesi ile büyük girdap topakçıklarının görüldüğü tamamen gelişmiş türbülanslı karışım bölgesi arasında büyük farklılıklar bulunmaktadır.

Lüle çıkışında laminer yapıdaki akışta gelişen çalkantılar, girdap halkalarına dönüşmekte ve akış birdenbire türbülanslı bir yapıya bürünmektedir [7].

Çevre ile jet arasındaki momentum aktarımının neticesinde, jet merkezindeki hızın azalması gelişmekte olan akış bölgesinde kendini gösterir. Bu bölgenin sonunda akış tam gelişmiş hale ulaşır. Rajanatham tam gelişmiş bölgedeki jetin genişlemesinin ve hızdaki azalmanın doğrusal olduğunu belirtmiştir, Şekil 1.4 [6].



Şekil 1.4. Serbest jetin akış bölgeleri [6]

1.4. Jetlerin Kullanım Alanları

Aynı veya farklı bir akışkanın başka bir akışkan içerisine jet halinde püskürtülmesinin pek çok mühendislik uygulaması vardır. İklimlendirmede bir ortam içerisinde uygun hava dağılımını elde etmek önemlidir.

Konfor hava şartlandırmasında salon içerisinde belli bir hava hareketinin olması istenmektedir fakat sistemde yüksek hava hızlarına da izin verilmelidir. 0,08 m/s değerinden küçük hava hızları durgun hava hissini vermektedir. Buna karşın 0,3 m/s

değerinden yüksek olan hızlar ise verilen hava sıcaklığının daha sıcak veya daha soğuk olması halinde rahatsızlık vermektedir. Fabrikalarda bazen sınırlı bir alanın ısıtılması veya soğutulması yerine sadece insanların çalıştığı bölgelerde şartlandırma bir hava jeti yardımı ile yapılabilir. Jet şekilleri üzerindeki başlıca çalışmalar klasik yapılar yerine kullanılabilen bir tabaka şeklindeki hava perdelerinin etkenliğinin incelenmesi için önem kazanmaktadır [7].

1.5. Serbest Hava Jetinin Davranışı

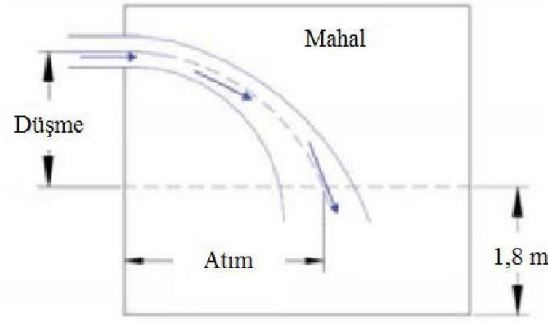
Daha önce belirtildiği gibi jet akışının mühendislik uygulamalarında pek çok uygulaması bulunmaktadır. Serbest hava jetinin daha iyi anlaşılması için jet akışıyla ilgili bazı kavramlar verilmiştir.

1.5.1. Üfleme (Atım) Uzunluğu

Üfleme uzunluğu bir beslenme hava akımının çıkış ağzını terk ettikten sonra 0,25 m/s hıza erişene kadar gittiği uzaklıktır. Hız, döşeme yüzeyinin 1,8 m yukarisından ölçülür. İklimlendirmede, istenen atım (üfleme) uzaklığı karşıdaki duvarla olan uzaklığın $\frac{3}{4}$ 'üdür.

1.5.2. Düşüm

Bir hava jetinin besleme ağzından çıktıktan sonra atım uzaklığına erişene kadar aldığı düşey yoldur. Şekil 1.5'te serbest akım jetlerinin düşüm ve atım uzunlukları gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Düşme ve atım kavramlarının belirlenmesi [8]

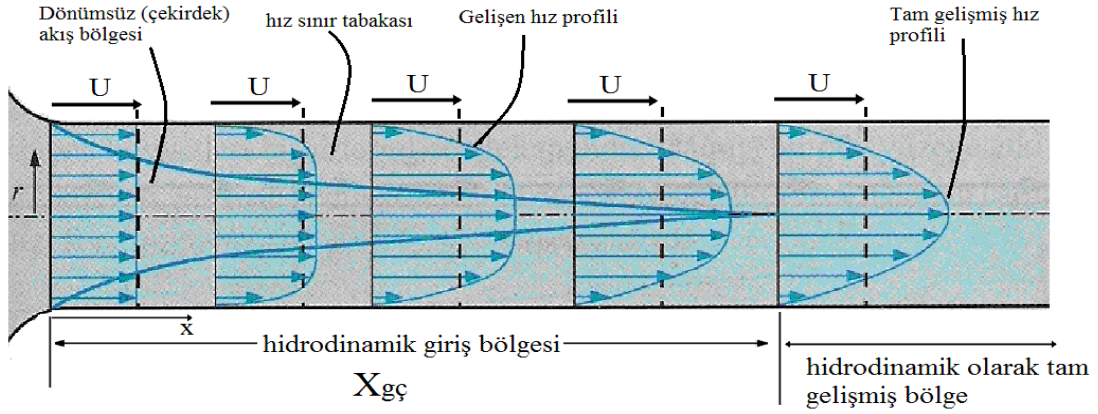
1.5.3. Sürüklenme Oranı

Yüksek hızlı hava akımı (primer hava) besleme ağzını terk ederken bir miktar oda havasını (sekonder hava) da yanında sürükler. Bu sürüklenme ya da bindirme oda havasının hareketini artırır. Sürüklenme oranı besleme ağzından bir x uzaklıktaki sürüklenme oranı havanın x noktasındaki debisinin, Q_x , besleme ağzındaki hava debisine, $Q_{x=0}$, oranı olarak tanımlanır [8].

$$R_x = Q_x / Q_{x=0} \quad (1.2)$$

1.6. Borularda Akış

Şekil 1.6'da gösterildiği gibi boru en-kesiti boyunca düzgün bir U hızı ile boru içerisine giren akışkan boru iç yüzeyindeki kaymama koşulu nedeniyle radyal yönde hızı değişen bir hız profiline dönüşür. Bu hız profiline karşılık boruya giren kütleli debinin korunması için boru merkezindeki akış hızı artar ve radyal yönde büyüyen hız profili boru merkez çizgisine varıncaya kadar boru boyunca gelişir. Boru girişinden sınır tabakasının merkez çizgisiyle birleştiği yere kadar olan bölgeye hidrodinamik gelişme bölgesi ve bu uzunluğa da hidrodinamik giriş uzunluğu ($X_{gç}$) denir. Giriş bölgesindeki akışa hidrodinamik olarak gelişen akış denir. Hidrodinamik giriş bölgesinden itibaren hız profiline değişmediği bölgeye de hidrodinamik olarak tam gelişmiş akış bölgesi denir.

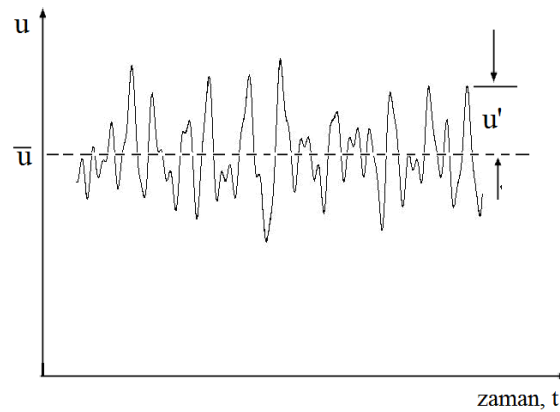


Şekil 1.6. Boru girişinden itibaren hız sınır tabakasının gelişimi [9]

Laminer akışlarda tam gelişmiş bölgede hız profili parabolikken türbülanslı akışta ise biraz daha yassı olmaktadır. Laminer akışlarda hız profili tüm Reynolds sayılarında aynı kalırken türbülanslı akışlarda ise hız profili Reynolds sayısına bağlı olarak değişir [9].

1.6.1. Türbülanslı Boru Akışları

Türbülanslı akışlar zaman ve konuma bağlı olarak düzensiz davranış sergiler. Türbülanslı bir akışa ait anlık hızın zamana bağlı grafiği Şekil 1.7'de gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Türbülanslı bir akışta anlık hızın zamana bağlı değişimi [9]

Burada, akış içerisindeki bir noktada anlık hız değeri zamana bağlı olarak dalgalı bir değişim göstermektedir. Burada dalgalı hız değerleri iki bileşene ayrılmıştır. Bunlar zaman ortalamalı (\bar{u}) hız bileşeni ve ortalama değerden sapma miktarı olan çalkantı hız bileşeni (u')'dir. u' hızı akışın kendi içerisindeki karışmasından dolayı anlık hızın artıp azalması sonucu oluşan hız bileşenidir. Detaylı çalışmalar türbülanslı akışların zaman ve konuma bağlı olarak gelişen boyutsal yapılar içerdiğini göstermiştir. Bu yapılar akış içerisinde dönen akışkan bölgeleridir. Bunlara eddy, girdap, türbülans ölçekleri veya türbülans çalkantıları denir. Türbülans teorisinin temel sonucu olarak, bu yapıların tümünün aynı büyüklüklerde olmadıkları ve büyük eddylerden küçük eddylere doğru her aralıkta akış içerisinde var oldukları görülmüştür [9].

1.7. Literatür Özeti

Ortamdaki akışkana doğru gelişen serbest jet akışı ile ilgili ilk çalışmayı yapan kişi, Trupel olmuştur [10]. Kızgın tel anemometresi kullanarak bu konuda daha ayrıntılı araştırmalar yapan ilk kişiler ise Reichardt, Corrsin [11], Hinze ve Zijnen [12], Albertson vd. [13] sayılabilir. Wygnanski ve Fiedler, serbest jet türbülans yapılarının çeşitli görünüşlerini, jet eksenine boyunca türbülans çalkantı değerlerinin r.m.s. değişimlerini kızgın tel anemometre kullanarak göstermiştir [14]. Davies, Fisher [15] ve Bradshaw da [16] aynı konu üzerine benzer çalışmalar yapmıştır. Benzer çalışma Hussein ve George [17] tarafından da yapılmış, Taulbee de LDA (Lazer Doppler Anemometresi) kullanarak yapılan çalışmayı yenilemiştir [18]. Bu ölçümlerde görünen, dairesel jet yayılmasının düzlemsel jetten daha yavaş olduğu, eş yapılı bölgenin de nozul çapının 50-70 kat sonrasında olduğu görülmüştür.

Miller vd., dairesel olan ve dairesel olmayan jetler üzerinde yaptıkları sayısal çalışmada jetin aksenal sapmasını, jet çekirdeğinin uzunluğunu ve jetin dağılma karakteristiğini incelemişlerdir. Çalışmada eliptik, dikdörtgen ve eşkenar üçgen gibi dairesel kesitli olmayan jet türleri ele alınmıştır. Bu jetler için eşdeğer çaplar eşit olup en boy oranı 1 ve 2 olan durumlar incelenmiştir. Çalışmanın sonucu olarak aksenal sapma, eşkenar üçgen jetle birlikte özellikle en boy oranı eş dağılımlı olmayan jetlerde görülmüştür. Tüm dairesel olmayan jetlerdeki dağılma dairesel jete göre daha çabuk gerçekleştiği ve en etkin dağılmanın ise ikizkenar üçgen jet akışında görülmüştür [19].

Grinstein vd., yaptıkları çalışmada ses altı kare jetlerde başlangıç koşullarının ve diğer jet dinamiği özelliklerinin jet eksenindeki değişime olan katkısını deneysel ve sayısal yöntemler ile incelemiştir. 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 [20].

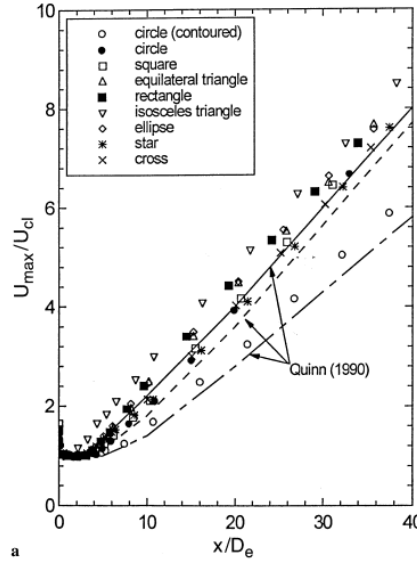
Zaman, yayınladığı çalışmasında Mach sayısının 0,3 - 2,0 olduğu sıkıştırılabilir akışta, çeşitli asimetrik lüleler ve dikdörtgen orifislerden (delik) elde edilen jetlerin yayılma-dağılma karakteristikleri üzerine eğilmiştir. Bu çalışmada lüle çıkışındaki çıkıntı etkisi de incelenmiştir. Çalışmanın bir sonucu olarak asimetrik jetlerin ses altı koşullarda dairesel jetlere göre çok az daha hızlı dağılmakta olup ses üstü akış koşullarında ise çok daha hızlı bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte en boy oranı (aspect ratio) küçük olan orifislerdeki jet akışlarının dağılmasında önemli bir artış gözlemlenmemiş olup en boy oranı 10'dan fazla olan orifislerdeki jet dağılmasında kayda değer artışlar elde edilmiştir [21].

Buresti vd. [22], iç ve dış çap oranları 0,5 olan eş eksenli 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 Lazer-Doppler Anemometresi (LDA) 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 özelliğinin akım alanına etkisinin ihmal edilebilir durumda olduğu anlaşılmıştır.

Husain ve Hussain eliptik jetler ile ilgili yayınladıkları çalışmada, kendinden uyarımlı eliptik jetlerin oluşturduğu akış alanını incelemiştir. Çalışmada en boy oranı 2 olan geometriye sahip eliptik jetler kullanılmıştır. Elde edilen veriler uyarımlı olmayan eliptik jet ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları sıcak tel anemometresi kullanılarak elde edilmiştir.

Deneysel sonuçlara göre kendiliğinden uyarımlı jet akışı aksel sapma göstermemekle birlikte uyarımı olmayan jet akışına göre ana jet ekseninde daha fazla dağılmaktadır. Uyarımlı jetin yakın bölgesindeki karışma, uyarımsız bölgeye göre %70 mertebelerinde daha fazladır [23].

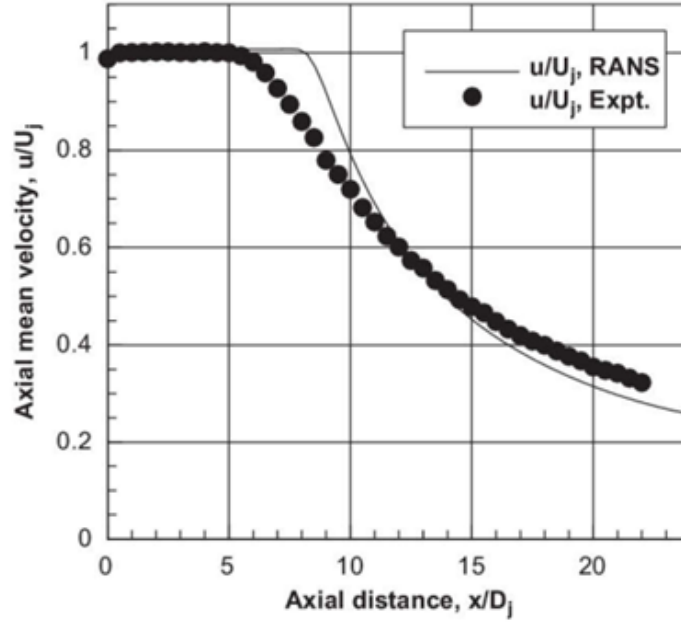
Mi vd [24], yaptıkları deneysel çalışmada dokuz değişik lüleden çıkan jet akışını incelemiştir. Kızgın telli anemometrenin kullanıldığı deneylerde Reynolds sayısı yaklaşık 15000 değerindedir. Lüle yapısının jet eksenini boyunca hız değişiminde etkili olduğunu göstermişlerdir, Şekil 1.8.



Şekil 1.8. Dokuz değişik lüle için jet eksenindeki boyutsuz hızın jet eksenini boyunca değişimi [24]

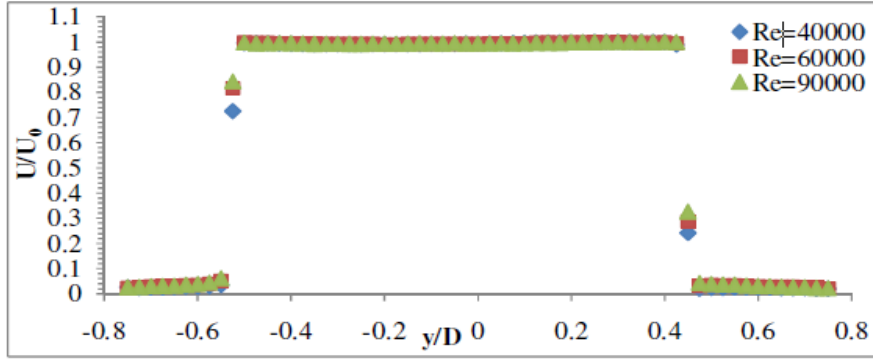
Berg vd. [25], iki farklı türbülans modeli ($k-\epsilon$ ve $k-\omega$) kullanarak serbest ve türbülanslı bir dikdörtgen jet akışının sayısal çözümlemesini yapmışlardır. Kullandıkları dikdörtgen profilinin en boy oranı sabit alınmıştır. Çözümlemede akış alanı girişi için iki farklı sınır koşulu kullanılmıştır. Bu sınır koşullarından ilki eş 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 akış alanı ile tutarlı olduğu görülmüştür.

Morris ve Zaman [26] simetrik eksenli bir jetin özelliklerini deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Deneysel çalışmada kızgın tel anemometresi ve çift bileşenli anemometre kullanılarak ölçümler yapılmış ve karşılaştırılmıştır. Jet eksenindeki boyutsuz hızın jet eksenini boyunca değişimi için elde edilen deneysel ve sayısal sonuçlar Şekil 1.9'da karşılaştırılmıştır.



Şekil 1.9. Jet eksenindeki boyutsuz hızın eksen boyunca değişimi [26]

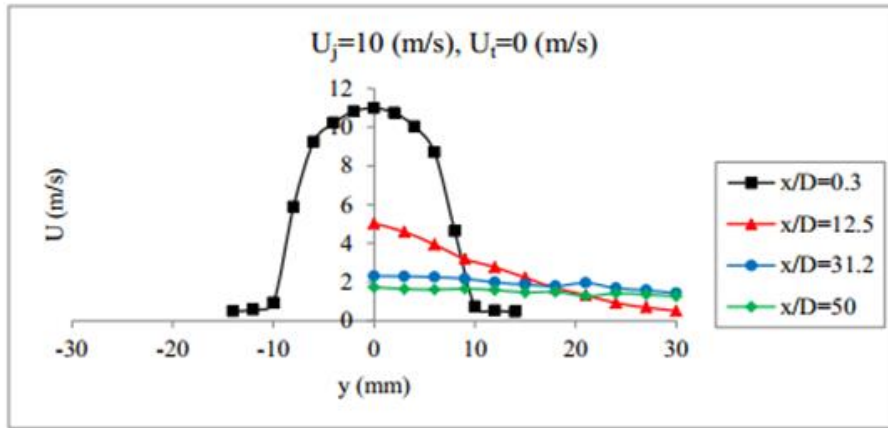
Yükselentürk [27], yaptığı deneysel ve sayısal çalışmasında dairesel ve yonca kesitli iki ayrı jeti karşılaştırmıştır. Deneysel çalışmada kızgın tel anemometresi kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmada jet çıkış kesitinde düşey yöndeki boyutsuz hız dağılımı değişik Reynolds sayıları için Şekil 1.10'da verilmiştir. Bu şekilde hızlar şeklin verildiği kesitte jet eksenini üzerindeki hız değeri ile, konum ise çap kullanılarak boyutsuzlaştırılmıştır. Şekilden Reynolds sayısının boyutsuz hız dağılımında etkili olmadığı görülmektedir.



Şekil 1.10. Jet çıkışında düşey yöndeki hız dağılımı [27]

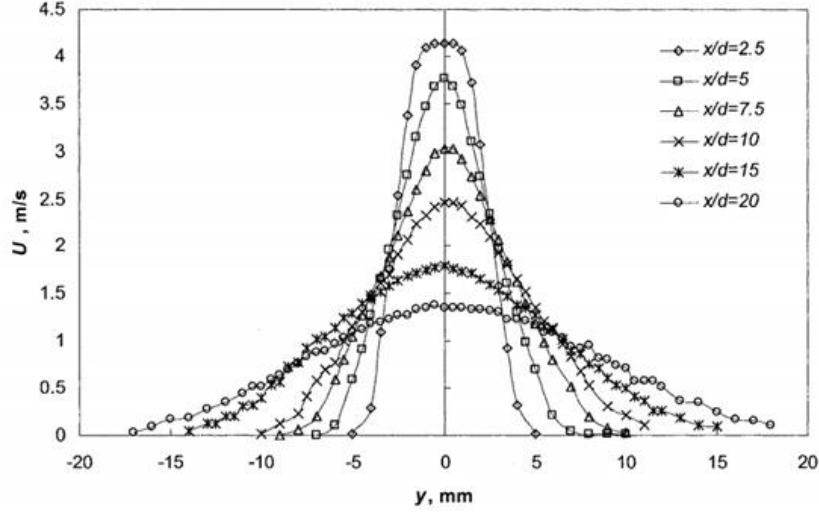
Siyakumar ve arkadaşları kızgın tel anemometresi ile dairesel jet akış yapısı ölçümleri yapmışlardır. Bu çalışmada dairesel jetin potansiyel çekirdek bölgesini incelemişlerdir. Bu çalışmada Reynolds sayıları ortalama jet yarıçapı için 4000-8000 arasında değerlendirilmiştir. Jet akış yapısı özellikleri 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 [28].

Şişman [4], çalışmasında düz-dairesel ve içten yivli-dairesel borular kullanarak oluşturulan jet akışını deneyler ve sayısal olarak incelemiştir ve birbiriyle karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmada jet akışının, içerisinde aynı yönde farklı hızlarda hava akışını olduğu durumları da incelemiştir. Şekil 1.11'de tünel akışının olmadığı durumda dairesel jet için jet çıkışından belirli uzaklıklardaki hız dağılımları gösterilmiştir.



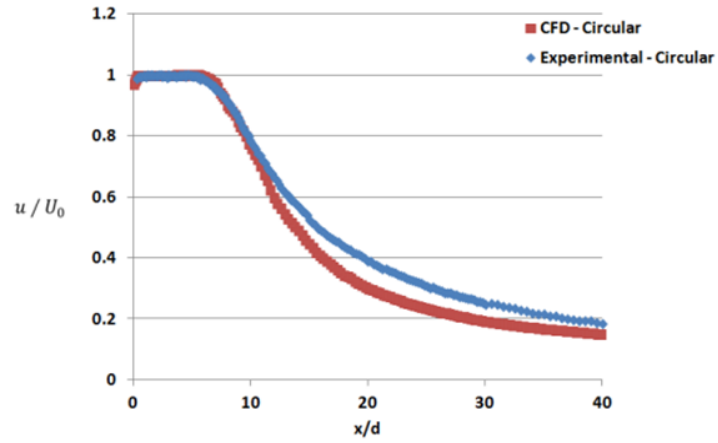
Şekil 1.11. Tünel akışının olmadığı, jet akış hızının 10 m/s olduğu durumda düz dairesel jet akış ölçümleri [4]

Ness [29] yaptığı deneysel çalışmada bir kapalı ortamda yer alan türbülanslı jet akışını incelemiştir. Kapalı ortamın düşey bir duvarı hareket ettirilebilir olup, bu duvarın değişik konumları için simetrik olmayan jet akışı için hız ölçümleri Lazer Doppler Anemometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Reynolds sayısı yaklaşık 20000 olarak seçilmiştir. Simetrik jet akışı için jet çıkışından belirli uzaklıklardaki hız dağılımları Şekil 1.12’de verilmiştir.



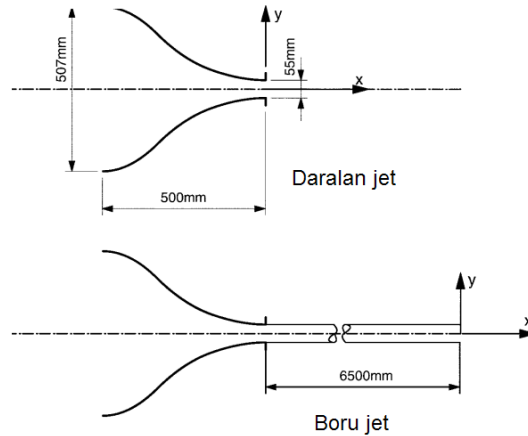
Şekil 1.12. Jet çıkışından belirli uzaklıklardaki hız profilleri [29]

Karakuş [30], deneysel ve sayısal çalışmasında çıkış yüzey alanları aynı değerde olan dairesel, 3 yapraklı yonca ve eşkenar dörtgen geometriler için jet akışını incelemiş ve lüle çıkış geometrisinin jet akışı üzerinde etkili bir parametre olduğunu göstermiştir. Jet merkezindeki boyutsuz hızın, jet çıkışından olan uzaklıkla değişimi Şekil 1.13'te verilmiştir.



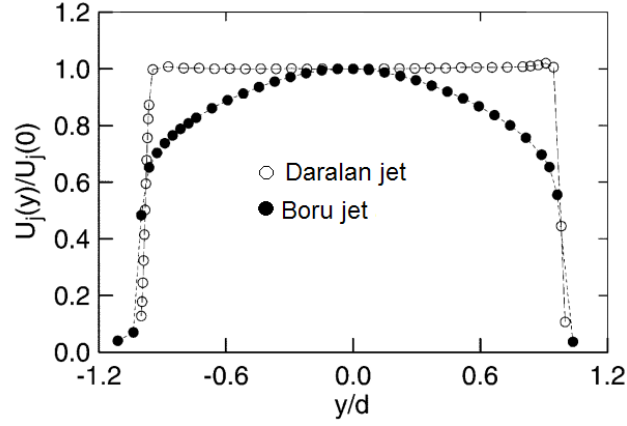
Şekil 1.13. Dairesel jet için jet merkezindeki hızın x/d ile değişimi [30]

Atsatan [31] yaptığı çalışmada daire, üçgen, kare, dikdörtgen, beşgen, altıgen ve elips gibi değişik geometrik şekildeki açık jet akışları deneysel olarak incelenmiştir. Antonia ve Zhao [32], başlangıç koşullarının dairesel jet üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Yavaşça daralmayla oluşan dairesel jet ve akışın tam geliştiği dairesel bir boruda oluşan jet karşılaştırılmıştır. Jet çapı 55 mm ve boru uzunluğu 6500 mm olarak seçilmiştir, Şekil 1.14.



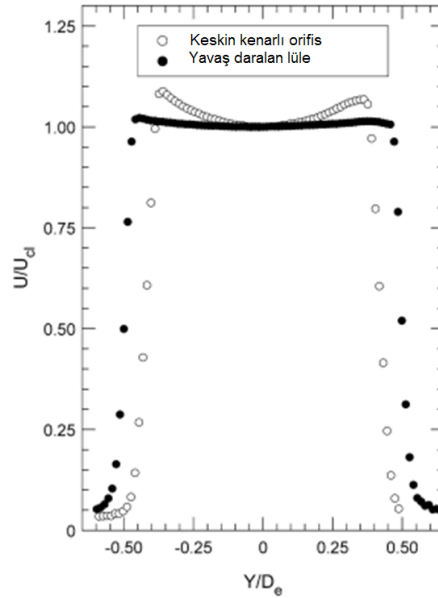
Şekil 1.14. Daralan jet ve boru jet akışı [32]

Daralan jet ve boru jet akışı için jet çıkışındaki hız dağılımı Şekil 1.15'te verilmiştir. Boru jet akışında hız profili parabolik olurken daralan jette doğrusala yakındır.



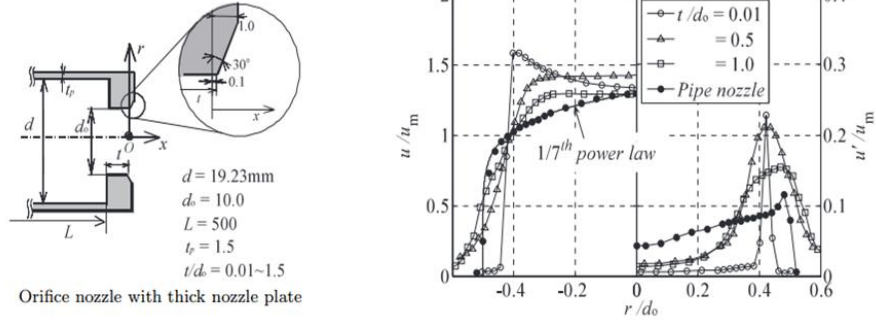
Şekil 1.15. Jet çıkışındaki boyutsuz hız dağılımı [32]

Benzer çalışma Quinn [33] tarafından yapılmıştır. Keskin kenarlı bir orifis ve yavaşça daralan bir lülede oluşan dairesel jet akışları deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada orifis veya lüle çapına göre tanımlanan Reynolds sayısı $1,84 \times 10^5$ değerindedir ve daralma oranı 57,9 olup kullanılan keskin kenarlı orifisin kalınlığı 6,35 mm'dir. Jet çıkışında ($x/D=0,28$) elde edilen hız profilleri önemli ölçüde farklılık göstermektedir, Şekil 1.16.



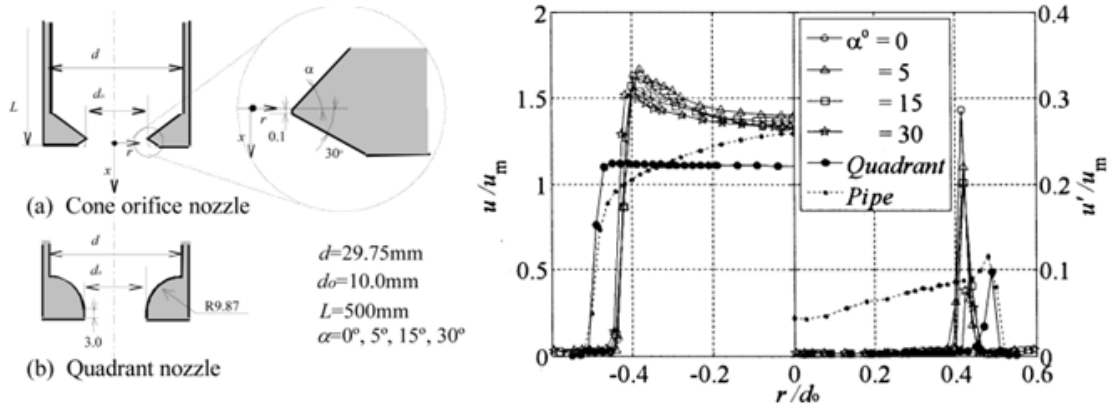
Şekil 1.16. Orifis ve lüle için boyutsuz hız dağılımları [33]

Shakouchi vd [34] orifis levhası kalınlığının jet akışına etkisini deneysel olarak incelemiştirler. Kesit daralma oranının 3,7 olduğu deney düzeneğinde, orifis çıkışında kızgın telli anemometre kullanılarak elde edilen hız dağılımlarından orifis levhası kalınlığının önemli derecede etkili olduğunu göstermişlerdir, Şekil 1.17. Deneylerde orifis levha kalınlığının orifis çapına oranı t/d_o (L/D), 0,01 ve 1,5 aralığında değiştirilmiştir.



Şekil 1.17. Orifis levha kalınlığının hız dağılımına etkisi [34]

Kito vd. [35], kesit daralma oranının 8,85 olduğu benzer çalışmasında orifis geometrisinin jet akışına etkilerini incelemiştirler ve lüle çıkışında ($x/D=0,2$) benzer sonuçlar elde edilmiştir, Şekil 1.18.



Şekil 1.18. Orifis geometrisinin hız dağılımına etkisi [35]

Abdel-Rahmann [36] türbülanslı jet akışıyla ilgili yapılan çalışmalarını yeniden incelemiştir. Çalışmasında jet başlangıç ve sınır koşullarının etkileri dikkate alınmıştır.

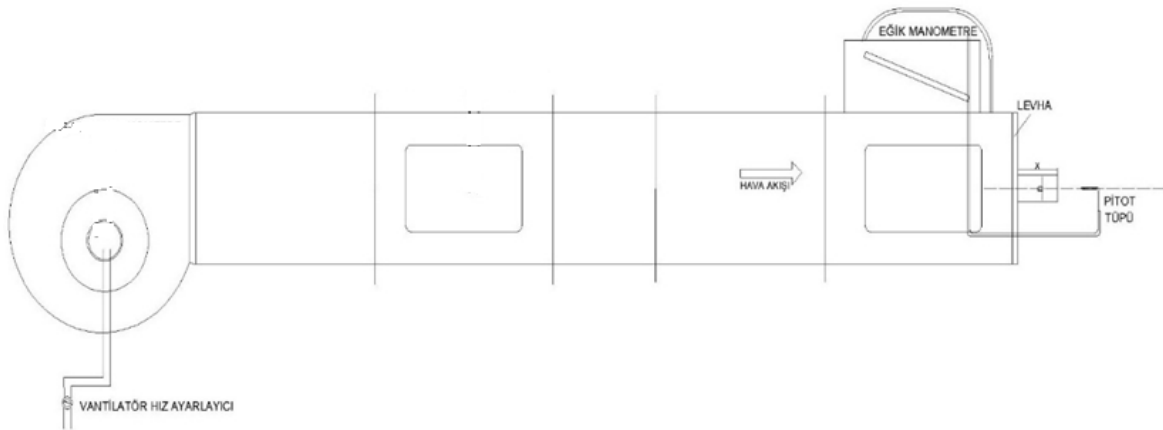
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Deneysel Çalışmalar

Deneyler kenar uzunluğu 25,4 cm olan kare kesitli bir kanaldan aniden dairesel kesite dönüşen hava jetleri için gerçekleştirilmiştir. Dairesel jetin çapı 44 mm, 68 mm ve 102 mm olarak belirlenmiştir. Bu çaplardaki jet akışları için ölçümler; sadece jet akışının meydana geldiği orifis levhası olması durumu ve boyutsuz kanal uzunluğu L/D 'nin 1, 2 ve 7 değerleri için jet çıkışından itibaren x/D 'nin 0, 1, 2, 5, 10 ve 20 olduğu uzaklıklarda alınmıştır. Yapılan ölçümlerin sonuçları ve hesaplanan hız değerleri tablolar halinde verilmiştir. Ayrıca ölçüm alınan kesitlerdeki hız dağılımını gösteren grafikler de sunulmuştur.

2.1.1. Deney Düzenegi Tanıtımı

Deneylerin gerçekleştirilmesinde KTÜ Makina Mühendisliği Termodinamik Laboratuvarında bulunan Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de gösterilen iklimlendirme deney düzeneginden yararlanılmıştır. Deney düzeneğinde hava akışı devir sayısı değiştirilebilen bir vantilatör yardımıyla sağlanmaktadır. Tam ve yarı olmak üzere iki farklı fan açıklığında hız ölçümleri yapılmıştır.

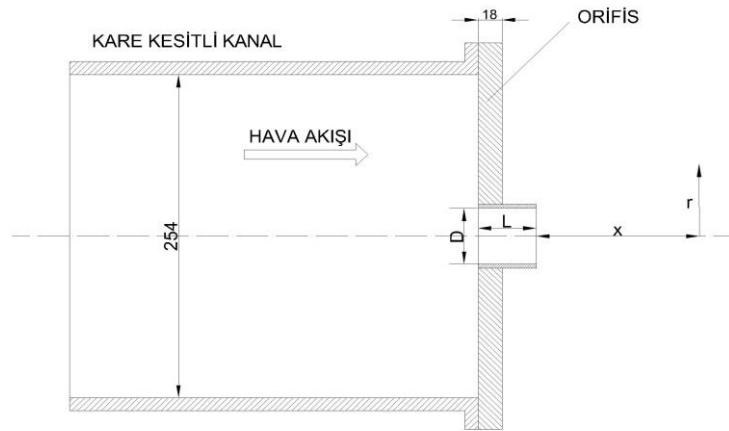


Şekil 2.1. Deney düzeneginin şematik resmi



Şekil 2.2. Deney düzeneğinin görünüşü

Kenar uzunluğu 254 mm olan kare kesitli kanala, merkezinde D çaplı dairesel jet akışının meydana geldiği 18 mm kalınlığında keskin kenarlı bir orifis (levha) yerleştirilmiştir. Sonuçların verilmesinde kullanılan boyutlar Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Bu şekilde x jet çıkışından olan uzaklığı, L kanal boyunu ve r ise merkezden olan uzaklığı göstermektedir. Akış simetrik olduğu için sadece herhangi bir x değerinde, pitot tüpü bir yönde hareket ettirilerek ölçümler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.3. Deney düzeneğine yerleştirilmiş orifis ve kanalın şematik görüntüsü

Şematik çizimi Şekil 2.1'de verilen deney düzeneğinde hız ayarlayıcılı vantilatör bölgesi sayesinde oluşan hava akımı kanalın uç tarafına yönlendirilmektedir. Düzeneğin uç kısmına değişik çaplarda açıklığı olan levhalar (orifis) eklenmiş olup bu levhalara yerleştirilen farklı uzunluklarda kanallar (borular) kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada D, 44 mm, 68 mm ve 102 mm olarak üç farklı orifis için hız dağılımı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Kare kesitli kanal kesit alanı ve orifis kesit alanı için kesit daralma oranı;

$$\text{Kesit daralma oranı} = \frac{\text{kare kesit alanı}}{\text{dairesel kesit alanı}} \quad (2.1)$$

şeklinde tanımlanarak üç değişik çap için kesit daralma oranları aşağıda verilmiştir:

D = 44 mm çap için, kanal kesit oranı = 42,43

D = 68 mm çap için, kanal kesit oranı = 17,765

D = 102 mm çap için, kanal kesit oranı = 7,8954

Deney düzeneği, pitot tüpü ve bazı durumlardaki ölçümlerin fotoğrafları Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.4. Deney düzeneği ve pitot tüpü



Şekil 2.5. $D=44$ mm, $L/D=2$ ve $x/D=10$ durumundaki ölçüm

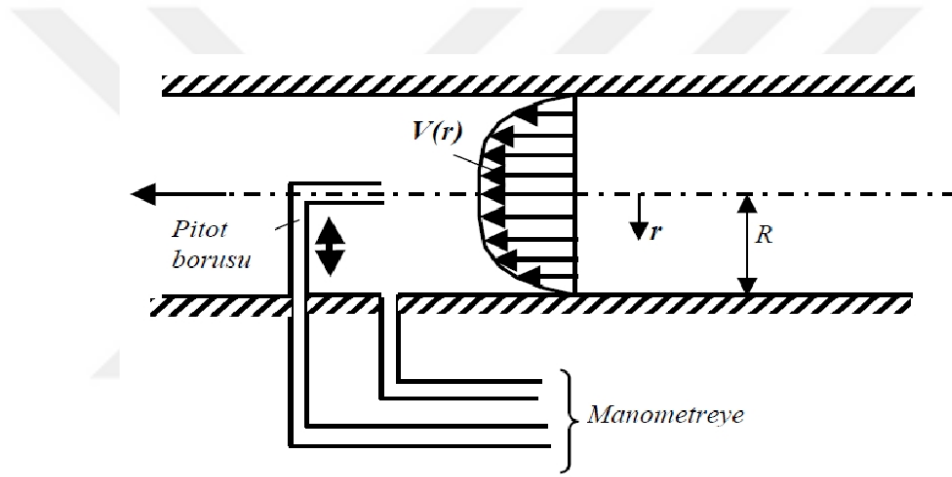


Şekil 2.6. $D=102$ mm çaplı kanalsız ($L/D=0,18$) durumda bir ölçüm

2.1.2. Ölçme Yöntemi

Deneyde hız ölçümleri pitot tüpü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Pitot tüpü ile küçük hızların ölçümünde belirsizliğin yüksek olması ve sadece ortalama hızların elde edilebilmesine rağmen literatürde pitot tüpü kullanılarak incelenmiş jet akışlarıyla ilgili çalışmalar bulunmaktadır [38-40].

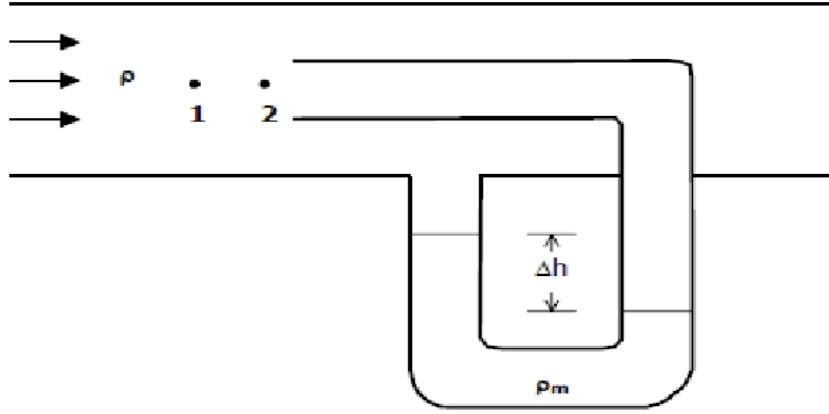
Akış içerisinde herhangi bir noktadaki hızı belirlemek için kullanılan pitot tüpü, enerjinin korunumu prensibinden (Bernoulli ilkesi) yararlandı. Bunun için dinamik basıncın ölçülmesi gerekir, Şekil 2.7.



Şekil 2.7. Boru akışındaki hızın pitot tüpü ile ölçülmesi [7]

Şekil 2.8'de 1 noktasında ölçülen statik basınç (P_{st}) düz bir çizgi halinde akışkanın iç basıncı yani aynı hızla hareket halinde bulunan bir akışkan tarafından tahrik edilen bir basınç ölçü aпаратыnın gösterdiği basınç değeridir. Bir kanal içinde, cidarlara paralel olarak akış halinde bulunan bir akışkanın cidar üzerindeki basıncı da keza statik basıncı teşkil eder.

Dinamik basınç (hızından dolayı ileri gelen P_d basıncı) hareket halindeki akışkanın bir engelin merkezi önünde gösterdiği maksimal basınç artışı olup durgun akışkanın söz konusu hız değerine kadar ivme kazanması için gereken basınç değerine eşittir. Toplam basınç statik ve dinamik basınçların cebirsel toplamından ibarettir, Şekil 2.8'de 2 noktası.



Şekil 2.8. Statik, dinamik ve toplam basınç [7]

Sıkıştırılmayan akışta 1 ve 2 noktaları için $z_1 = z_2$, $U_2 = 0$ ve $U_1 = U$ olması durumunda Bernoulli denkleminde,

$$\frac{P_1}{\rho} + gz_1 + \frac{U_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \frac{U_2^2}{2} \quad (2.2)$$

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{U^2}{2} = \frac{P_2}{\rho} \quad (2.3)$$

$$U = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} = \sqrt{\frac{2\Delta h \rho_m g}{\rho}} \quad (2.4)$$

Bu bağıntılarda ρ havanın yoğunluğunu, ρ_m manometre sıvısının yoğunluğunu ve g yerçekimi ivmesini göstermektedir. Deneylerde akışkan olarak kullanılan havanın yoğunluğunun manometre sıvısının yoğunluğuna göre ihmal edilebilir olduğu kabul edilerek hava hızı Denklem (2.5) kullanılarak hesaplanmıştır.

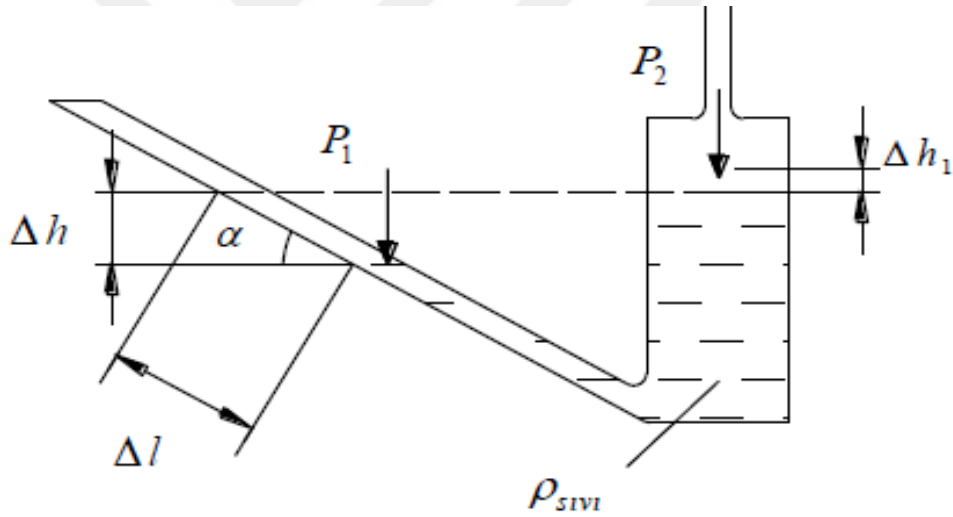
$$U = \sqrt{2\Delta h \rho_m g} \quad (2.5)$$

Bu teknikte ortaya çıkabilecek hata kaynakları şu şekildedir:

- Pitot tüpünün, akışkanın akım çizgisine paralel olmaması,
- Kanal veya boru boyunca akışkan akışının üniformalılığının bozulması,
- Düşük Reynolds sayılarında viskozite değişiminin etkisi,

- Sıkıştırılabilir akışkanlarda düşük Mach sayıları dışında hız ifadesinin modifiye edilmesi gerekir.

Büyük tüp çapları statik basınç değerlerinde düşmelere neden olmaktadır. Tüp çapının kanal çapına oranının çok küçük olması gerekir. Pitot tüpünün en önemli avantajı, akışkan akışına kolaylıkla uygulanmasıdır. Çıkışı bir fark basınç sinyali olarak çeşitli basınç algılama elemanları ve teknikleri yoluyla değerlendirilebilir. En büyük dezavantajı ise meydana getirdiği basınç sinyalinin çok küçük olmasıdır. Görsel okumalarda okuma hassasiyetini artırmak için eğik manometreler kullanılmaktadır. Ölçümde akışın karakteristiğini bozmayacak şekilde 3 mm çapında pitot tüpü kullanılmıştır. Pitot tüpünde oluşan toplam ve statik basınç farklarını daha hassas ölçmek için eğik manometre kullanılmıştır, Şekil 2.9.



Şekil 2.9. Eğik manometrede basınç ölçümü [4]

Şekil 2.10'da gösterilen ve deneylerde kullanılan eğik manometre, manometre sıvısı olarak kullanılan metil alkolün yoğunluğu, 784 kg/m^3 ve eğim dikkate alınarak $0,1 \text{ mmSS}$ hassasiyetle ölçülendirilmiştir ve ölçme aralığı $0-12,5 \text{ mmSS}$ 'dir. Manometrede daha hızlı ölçüm yapabilmek için metil alkolden daha düşük viskoziteye sahip olan saf su kullanılmıştır ve yoğunluk farkı dikkate alınarak manometreden okunan değerler $1,2755$ ile çarpılarak hızlar hesaplanmıştır.



Şekil 2.10. Eğik manometre [7]

2.1.3. Ortalama Hız

Jet çıkışında, $x=0$ 'da, ölçülen hız dağılımından ortalama hızlar ve buna bağlı olarak Reynolds sayıları hesaplanmıştır. Deneylerde hava sıcaklığı 25°C civarında sabit kalmış ve buna bağlı olarak havanın kinematik viskozitesi $1,51 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak sabit alınmıştır. Ortalama hız U_m , aşağıdaki denklemden elde edilmiştir:

$$U_m = \frac{Q}{A} = \frac{1}{A} \int_0^R U 2\pi r dr \cong \frac{1}{A} \sum_1^n U_i 2\pi r_i dr_i \quad (2.6)$$

Değişik durumlar için Denklem (1.1) ile hesaplanan Reynolds sayıları Tablo 2.1'de verilmiştir. Reynolds sayılarının her bir durum için farklılık gösterdiği görülmektedir.

Tablo 2.1. Değişik durumlardaki Reynolds sayıları

Çap [mm]	Fan Açıklık miktarı	Reynolds Sayıları			
		L/D=0	L/D=1	L/D=2	L/D=7
D=44 mm	Tam açıklık	36286	29698	34326	36286
	Yarı açıklık	19673	19829	29338	30421
D=68 mm	Tam açıklık	49474	43244	54271	53551
	Yarı açıklık	37803	35108	35853	37394
D=102 mm	Tam açıklık	67177	60253	78254	-
	Yarı açıklık	41967	40935	42316	-

2.1.4. Belirsizlik Analizi

Hız manometrede okunan basınç farkına göre elde edildiğinden hız, U, ölçümündeki yüzde olarak belirsizlik,

$$\frac{W_U}{U} = \pm \left[\left(\frac{W_h}{2h} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.7)$$

Reynolds sayısı ortalama hız ve çıkıştaki jet çapına bağlı olarak (1.1) denkleminde hesaplandığından Reynolds sayısı değerindeki yüzde olarak belirsizlik,

$$\frac{W_{Re}}{Re} = \pm \left[\left(\frac{W_h}{2h} \right)^2 + \left(\frac{W_D}{D} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.8)$$

denklemlerinden hesaplanır. Bu durumda hız ölçümündeki belirsizlik, deneylerde ölçülen en küçük basınç farkı $h=0,1$ mmSS için % 50 olurken, en büyük basınç farkında ise $h=12,5$ mmSS için % 0,4 olmaktadır. Çap ölçümündeki hassasiyet 1 mm olduğundan, Reynolds sayısı hesabındaki en büyük belirsizlik hız ölçümünde olduğu gibi $h=0,1$ mmSS ve $D=44$ mm için %50 olurken en küçük belirsizlik $h=8$ mm ve $D=102$ mm için % 0,4 olmaktadır.

2.2. Sayısal Çalışma

Sayısal çalışma bölümünde, deneysel çalışma sonuçlarının HAD programı kullanılarak doğrulanması gerçekleştirilmiştir. Akışın analizi için hesaplama programı olan ANSYS FLUENT 16.0 programı kullanılmıştır. Öncelikle uygun geometrik modeller oluşturulmuş olup bu modellere uygun ağ yapıları da programda tanımlanmıştır. Bu program Sonlu Hacimler Yöntemine göre çalışmaktadır. Fiziksel modellere uygun ağ yapısının oluşturulmasıyla laminar, geçiş ve türbülanslı akışın sayısal çözümünü FLUENT programı gerçekleştirebilmektedir.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği ile laminar akışlar kolayca çözülebilir iken, uygulamadaki türbülanslı akışları türbülans modellerini kullanmaksızın çözmek imkansızdır. Ancak, genel bir türbülans modeli yoktur ve bir türbülanslı HAD çözümü sadece türbülans modelinin uygunluğu kadar iyidir. Bu sınırlamaya rağmen, standart türbülans modelleri uygulamadaki çoğu problemde makul çözümler vermektedir [43]. Bu çalışmada standart k-ε türbülans modeli kullanılmıştır.

Sayısal çalışmalarda kullanılan temel denklemler, silindirik koordinatlarda daimi ve iki boyutlu süreklilik ve momentumun korunumu denklemleridir.

Süreklilik denklemi,

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(ru_r)}{\partial r} + \frac{\partial(u_x)}{\partial x} = 0 \quad (2.9)$$

Momentumun korunumu denklemi,

r doğrultusu için;

$$\rho \left(u_r \frac{\partial u_r}{\partial r} + u_x \frac{\partial u_r}{\partial x} \right) = -\frac{\partial P}{\partial r} + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_r}{\partial r} \right) - \frac{u_r}{r^2} + \frac{\partial^2 u_r}{\partial x^2} \right] \quad (2.10)$$

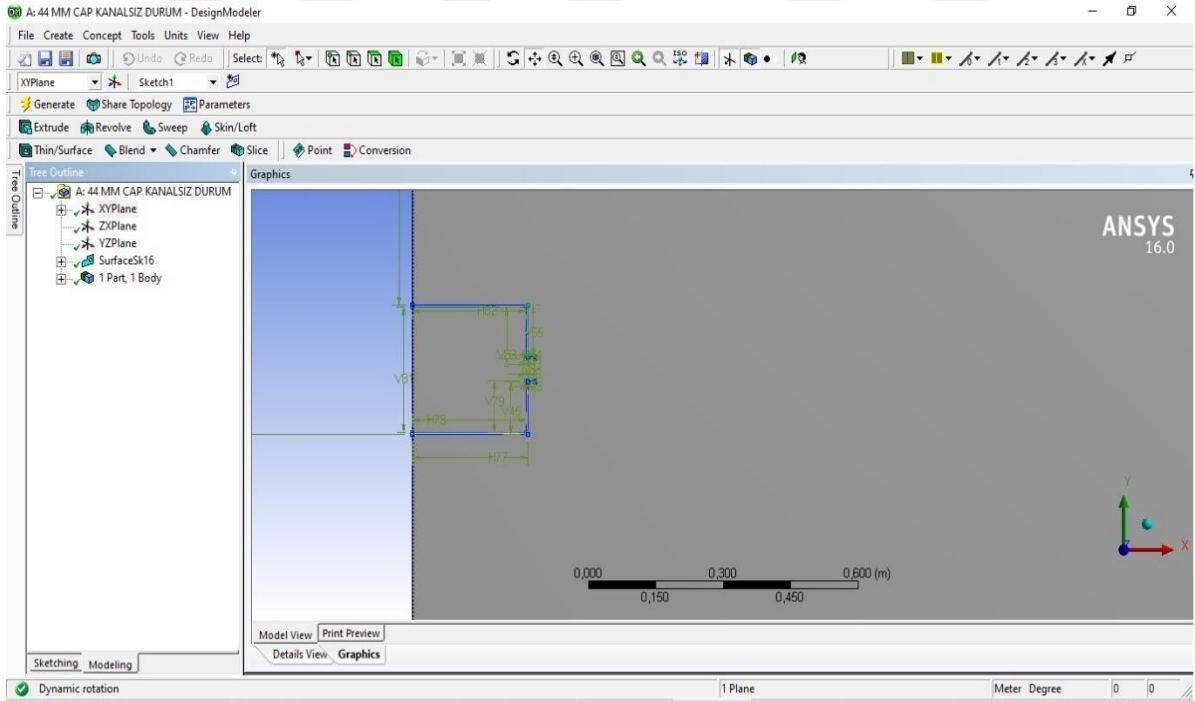
x doğrultusu için;

$$\rho \left(u_r \frac{\partial u_x}{\partial r} + u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_x}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} \right] \quad (2.11)$$

olarak verilmiştir.

2.2.1. Geometrinin Oluşturulması

Bu çalışmada kanalsız 18 mm levha, 44 mm kanallı, 88 mm kanallı ve 308 mm kanallı levha olmak üzere 4 farklı ani daralmada akışın incelenmesi gerçekleştirilmiştir. 254 mm uzunluklu kare kesit alanına kanal olmadan ve 3 farklı uzunlukdaki kanal eklenerek geometriler oluşturulmuş olup bu geometrilerden kanalsız durumun geometrisi Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. 44 mm çap ve kanalsız durum geometrisi

Yakın geometrisi Şekil 2.11'de verilen kanalsız durumda, x yönündeki uzunluğu 3,5 m ve y yönündeki uzunluğu 3 m olan bir oda içerisine yerleştirilen 254 mm uzunluklu kare kesit alanına sahip kanal ve bu kanalın çıkışındaki 44 mm çaplı jet çıkışı görülmektedir.

2.2.2. Ağ Yapısının Oluşturulması

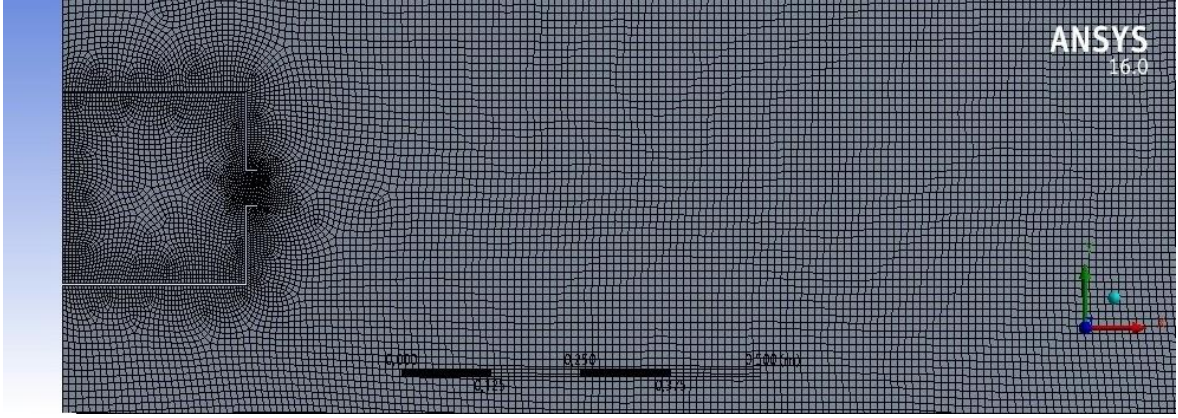
Oluşturulan geometriye uygun ağ yapısının sağlanması ve ağdan bağımsız çözümler için hava giriş hızının 2 m/s olduğu ve 68 mm çaplı kanalsız durumda Tablo 2.2'de belirtilen farklı ağ sayılarında çözümlenmeler yapılmıştır. Çok düşük ağ sayılarında özellikle jet çıkışının 2, 5 ve 10 kat uzaklıktaki hız değerlerinin kararlı olmadığı görülmektedir. Bu uzaklıklardaki hız değerlerinin daha kararlı olduğu durumlar, 100000 ağ sayısından sonraki değerlerde olmaktadır. Bu nedenle 115701 ağ sayısı durumu ideal olarak görülmüş ve tüm çalışmalarda ağ sayıları yaklaşık bu değer olarak alınmıştır.

Tablo 2.2. Farklı ağ sayılarında 68 mm çaplı kanalsız durumda merkezdeki hız değerleri

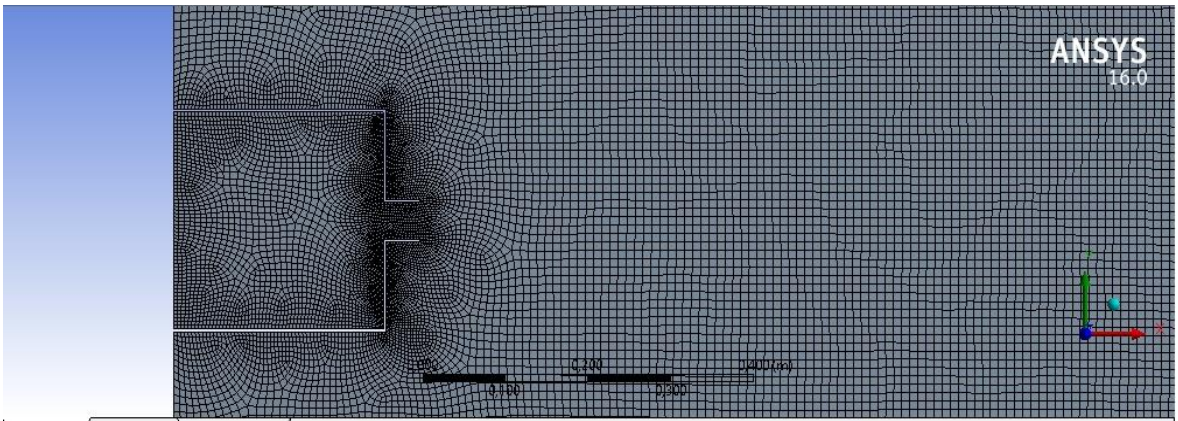
68 mm çap ve kanalsız durumda $r = 0$ 'daki hız değerleri[m/s]							
Ağ sayısı	x=0	x=68mm (1 kat)	x=136mm (2 kat)	x=340mm (5 kat)	x=680mm (10 kat)	x=1360mm (20 kat)	Yakınsama süresi
19864 ağ sayısı	9,29	10,7	9,76	7,39	6,43	4,99	1 saat 25 dakika
39931 ağ sayısı	9,21	10,7	9,94	8,72	6,89	4,96	40 dakika
78074 ağ sayısı	9,26	10,7	10,3	8,9	6,95	4,97	1 saat
115701 ağ sayısı	9,3	10,7	10,4	9,1	6,97	4,97	1 saat 15 dakika
141880 ağ sayısı	9,32	10,7	10,5	9,14	7,01	4,98	1 saat 20 dakika
168859 ağ sayısı	9,26	10,7	10,5	9,17	7,01	4,98	1 saat 30 dakika

Tablo 2.2'de verilen yakınsama süreleri, Intel i5-4210U 1,70 GHz (4 CPUs) Turbo Boost ile 2,4 GHz işlemcili bilgisayarda elde edilmiştir.

Kare kesitli kanal ve bu kanala yerleştirilen farklı uzunluklardaki kanalların ağ yapısının oluşturulmasında geometrinin geri kalanından farklı olarak daha sık ağ yapısı oluşturulmuştur. Bu bölgeden uzaktaki kısımlarda ise daha seyrek ağ oluşturulmuştur. Sık ağ oluşturulmasının nedeni çözüm hassasiyetinin artırılmasıdır. Şekil 2.12'de 44 mm kanalsız durum geometrisinin, Şekil 2.13'te ise 44 mm çaplı 44 mm uzunluklu kanal durumunun mesh (ağ) yapıları gösterilmektedir.



Şekil 2.12. 44 mm jet çapı ve L=18 mm levha durumundaki mesh (ağ) yapısı



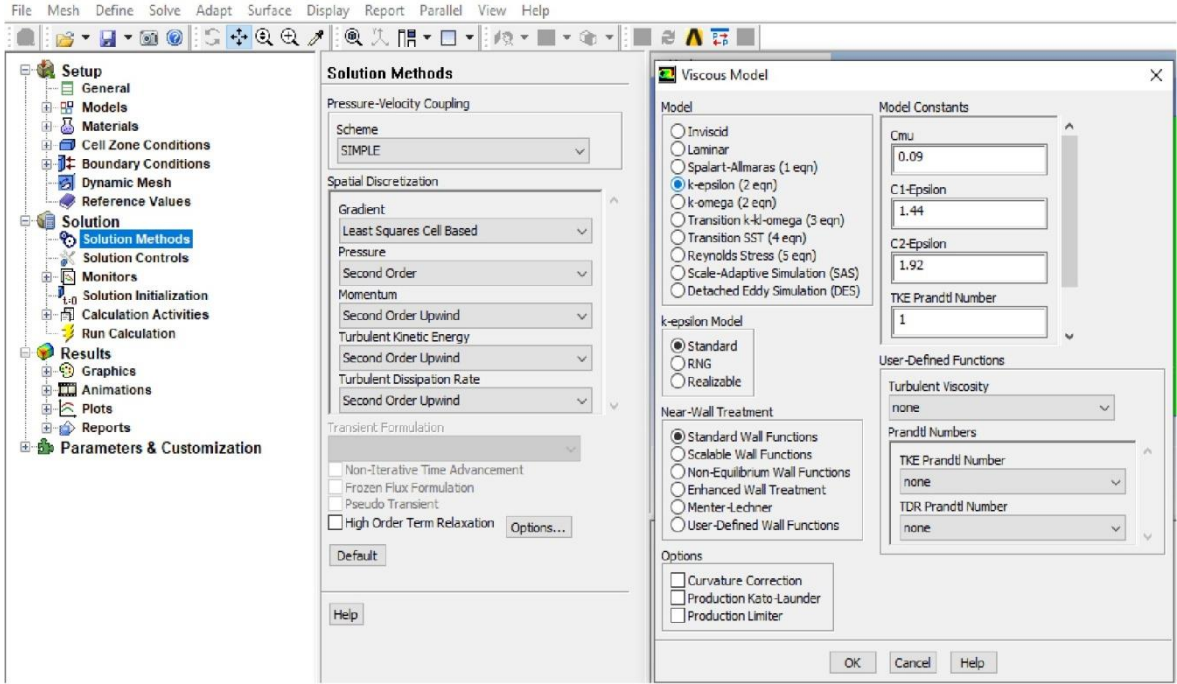
Şekil 2.13. 44 mm jet çapı ve L=44 mm kanal durumundaki mesh (ağ) yapısı

2.2.3. Başlangıç ve Sınır Şartları

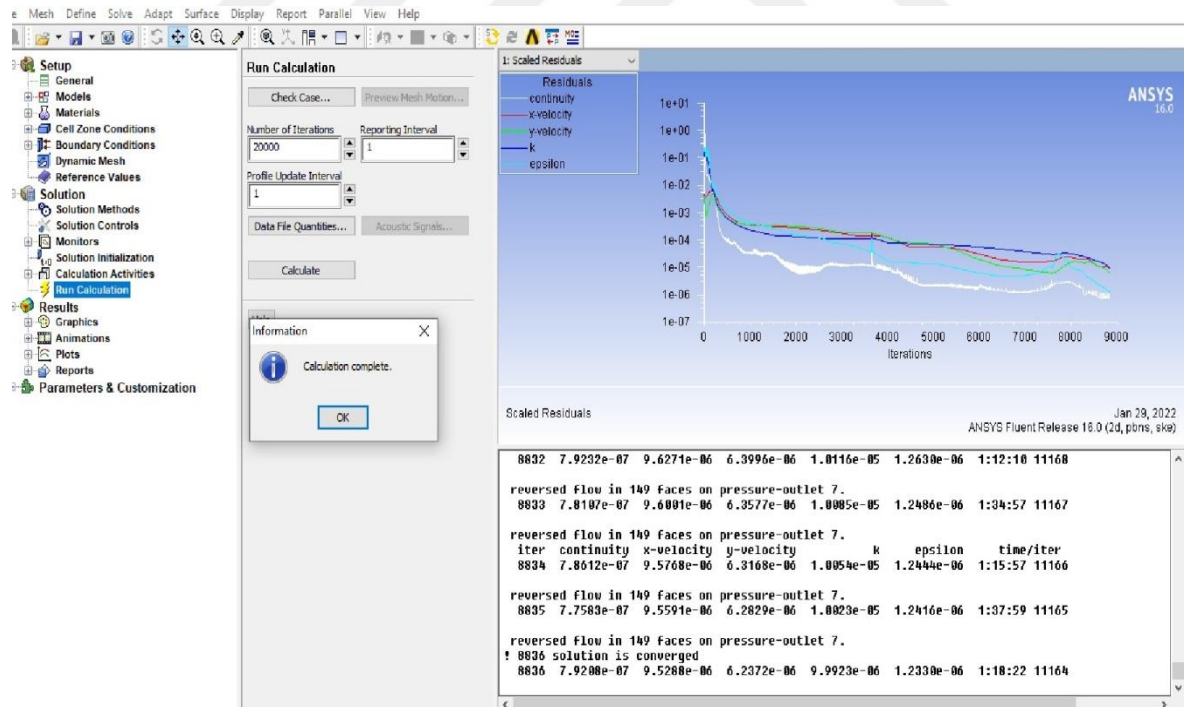
Başlangıç ve sınır şartları, kare kesitli kanal girişinde hız giriş koşulu, odanın karşı duvarına basınç çıkış koşulu olarak verilmiştir. Kare kesitli kanalın $x=0$ noktasındaki kenarı velocity inlet olarak, odanın karşı duvarı pressure outlet, odanın diğer duvarları ise pressure inlet olarak tanımlanmıştır. Ayrıca kare kesitli kanalın diğer kenarları wall olarak belirtilirken kare kesitli kanala eklenen farklı uzunluklardaki kanalların duvarları pipewall olarak adlandırılmıştır. Akışkan olarak hava kullanılmıştır. Hava sıcaklığı deneyde olduğu gibi 25°C alınmıştır. Giriş hızları, değişik çaplı ve uzunluklu kanallarda 2 m/s olarak alınmıştır.

2.2.4. Çözüm Metodu ve Yakınsama

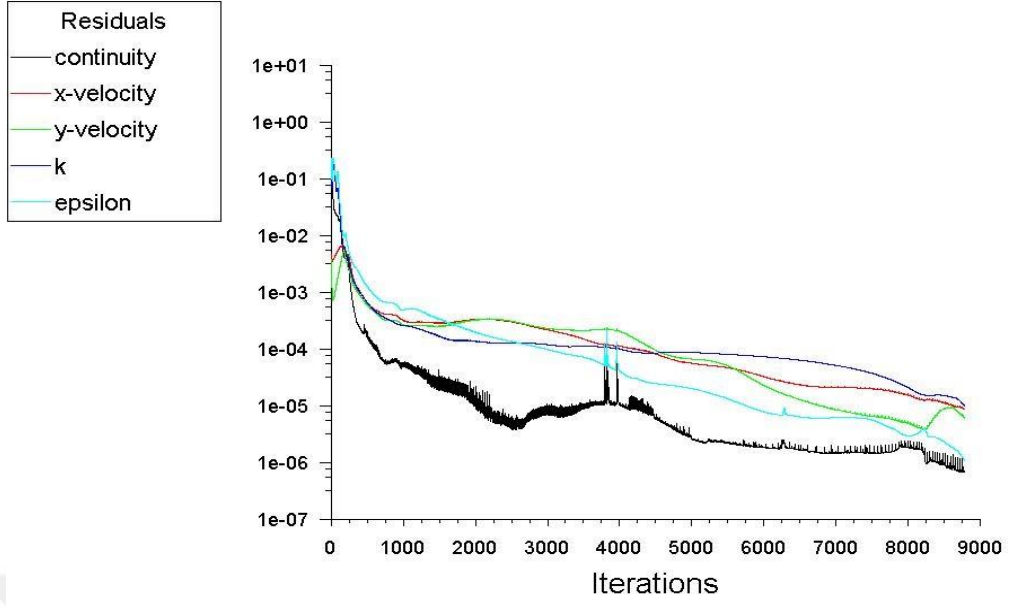
Jet akışın sayısal çözümlerinde genellikle kullanılan bir model olan Standart $k-\epsilon$ türbülans modeli, bu çözümlerde de kullanılmıştır. Çözüm metodu olarak SIMPLE algoritması kullanılmış olup basınç, momentum, türbülans kinetik enerjisi ve yutulmanın ayrıştırılması Second Order Upwind yöntemi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.14). Bu büyüklükler için yakınsama kriteri 10^{-5} olarak seçilmiştir. Yakınsama grafiği olan Şekil 2.15'te yakınsama kriteri görülmektedir. Ardından program 20000 iterasyonla koşturularak sayısal sonuç grafiklerinin elde edilmesiyle sonlandırılmıştır. Şekil 2.15'te 44 mm çap kanalsız durumun hesaplama sonuç grafiği görülmektedir. Şekil 2.16'da 44 mm çap ve 44 mm kanal durumu için sonuç yakınsama grafiği görülmektedir.



Şekil 2.14. Fluent'te kullanılan akış modeli ve çözüm metodu



Şekil 2.15. 44 mm çaplı kanalsız durum (L=18mm) için sonuç grafiği



Şekil 2.16. 44 mm çap ve 44 mm kanal durumu için sonuç yakınsama grafiği

3. BULGULAR

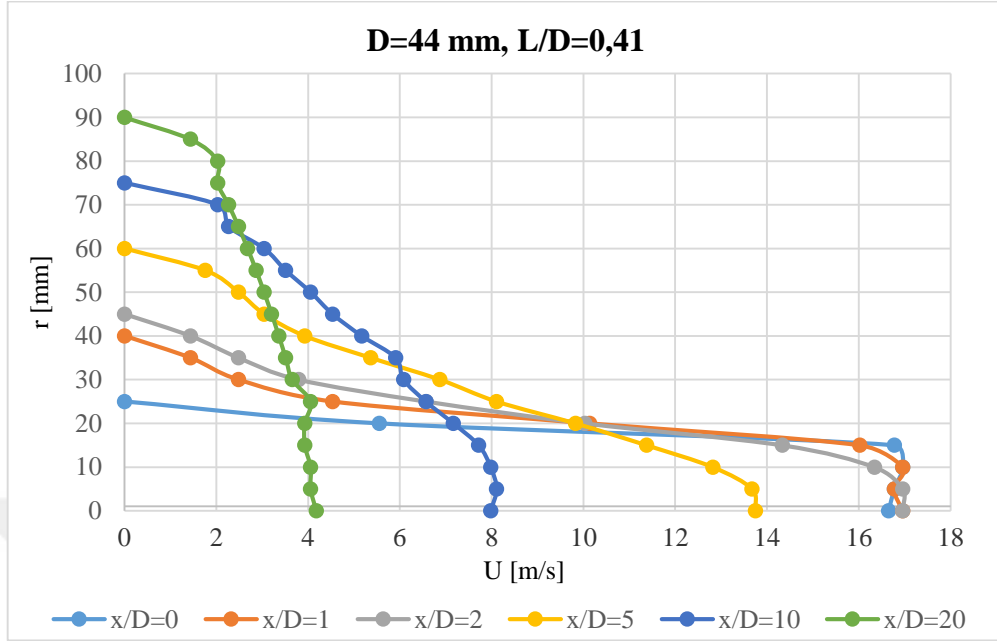
3.1. Deneysel Çalışmada Elde Edilen Veriler

Bu bölümde tam ve yarı fan açıklığı için deneysel çalışmadan $D=44$ mm, $D=68$ mm ve $D=102$ mm jet çapları için akış alanında ölçülen hızlar Ekler kısmında tablolar halinde verilmiştir. Farklı kanal uzunlukları için jet çıkışından belirli uzaklıktaki kesitlerde elde edilen hız dağılımları Şekil 3.1 ve Şekil 3.22 aralığında sunulmuştur.

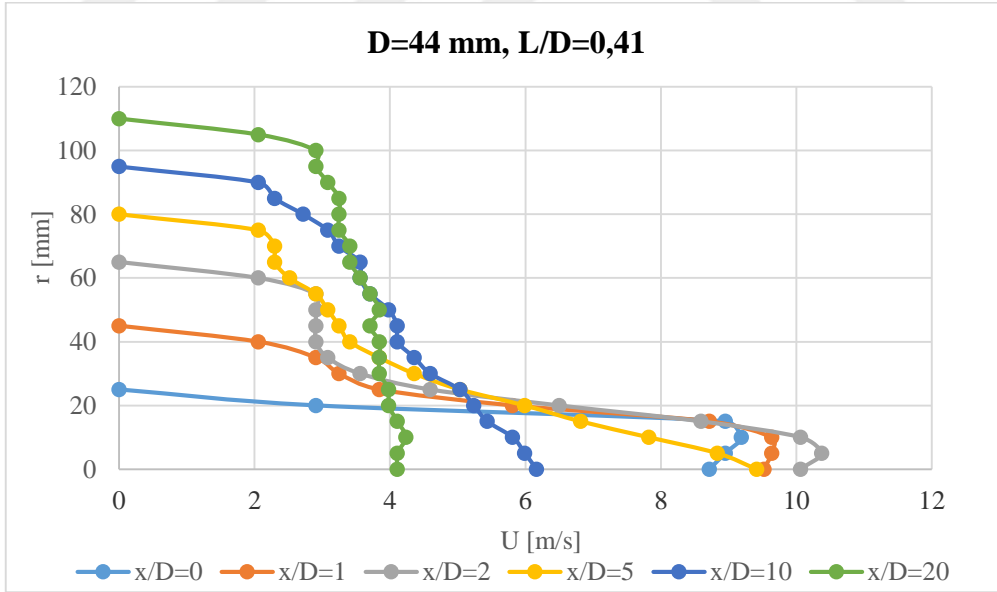
3.1.1. $D=44$ mm Çaplı Jet Akışı

$D=44$ mm çaplı jet akışı için ölçümler, sadece orifis levhanın ($L/D=0,41$) olması durumu (kanalsız) ve kanallı durumlar için yapılmıştır. Kanallı durumda kanal uzunlukları 44 mm ($L/D=1$), 88 mm ($L/D=2$) ve 308 mm ($L/D=7$) olarak seçilmiştir. Her bir durum için jet çıkışından belirli uzaklıklarda, $x=0$ ($x/D=0$), $x=44$ mm ($x/D=1$), $x=88$ mm ($x/D=2$), $x=220$ mm ($x/D=5$), $x=440$ mm ($x/D=10$) ve $x=880$ mm ($x/D=20$) için pitot tüpü düşey yönde $r=0$ 'dan başlanıp beşer milimetre aralıklarla yukarıya hareket ettirilerek dinamik basınç, Δh değerleri ölçülmüş ve hızlar hesaplanmıştır.

Kanalsız durum için hız değerleri, tam fan açıklığı için Ek Tablo 1 ve Şekil 3.1'de ve yarı fan açıklığı için Ek Tablo 2 ve Şekil 3.2'de verilmiştir.



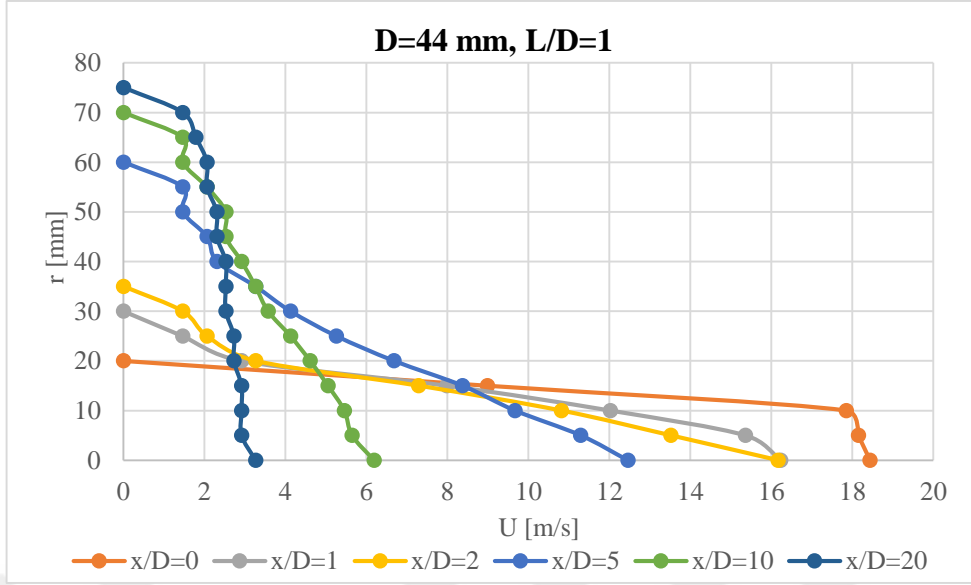
Şekil 3.1. Tam fan açıklığında 44 mm çaplı ve kanalsız durum için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması



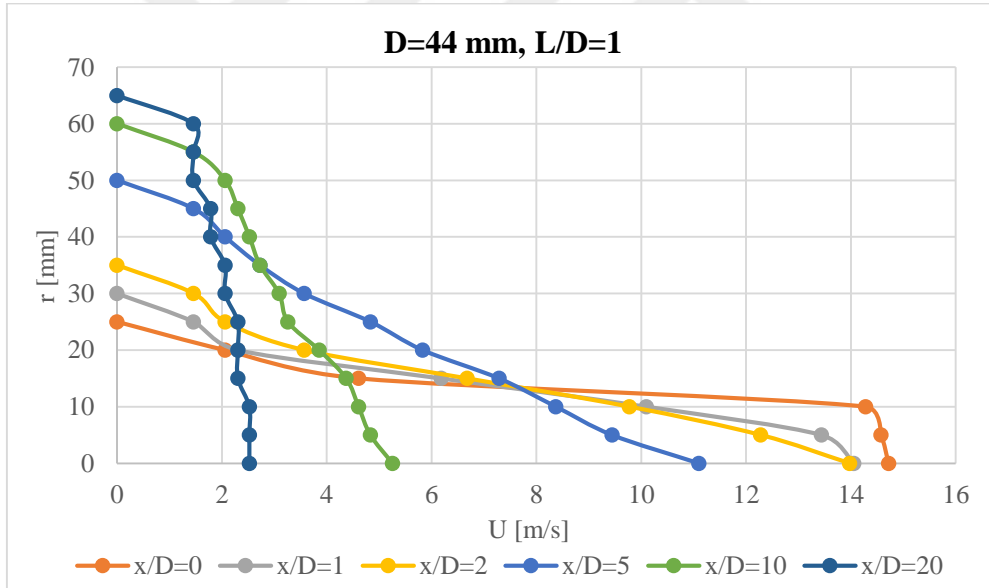
Şekil 3.2. Yarı fan açıklığında 44 mm çaplı ve kanalsız durum için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması

Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilen hız profilleri incelendiğinde beklenildiği gibi tam fan açıklığındaki hızlar yarı fan açıklığındaki hızlardan daha büyük değerler almaktadır. Hemen jet çıkışında, jet merkezinde belirli bir değerde olan hızlar radyal yönde artmakta ve kanal cidarına yaklaşırken aniden azalarak çok küçük değerlere ulaşmaktadır. Jet çıkışından uzaklaştıkça hız değerleri genellikle azalmakla birlikte, jet merkezindeki hızlar $x/D=1$ ve $x/D=2$ için bu noktaların çekirdek bölgede kalması nedeniyle çok az değişmektedir. Jet çıkışından uzaklaştıkça hız değerleri azalırken jetin radyal yönde dağıldığı ve hız profillerinin daha basık hale geldiği görülmektedir.

$L/D=1$ için hız değerleri, tam fan açıklığı için Ek Tablo 3 ve Şekil 3.3’te ve yarı fan açıklığı için Ek Tablo 4 ve Şekil 3.4’te verilmiştir.



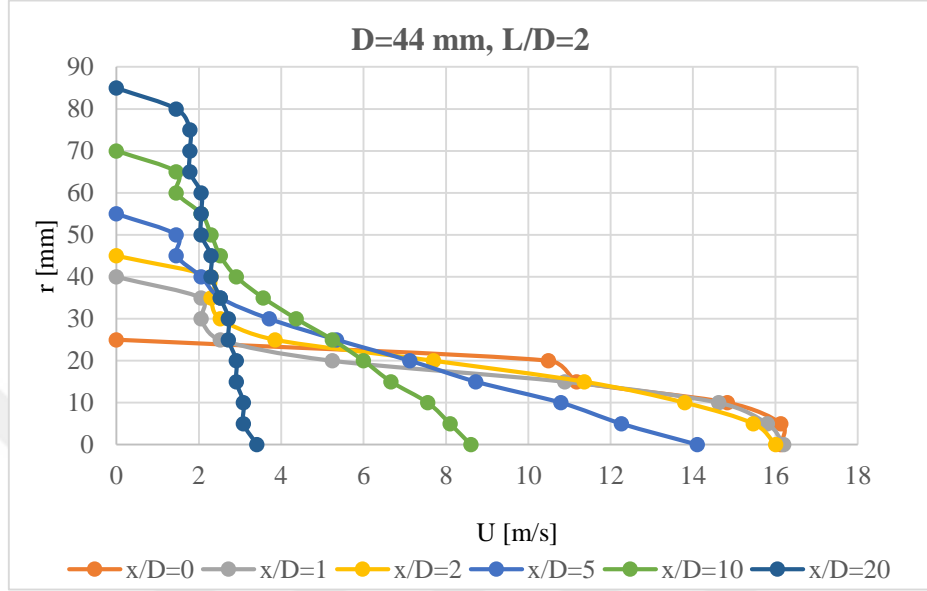
Şekil 3.3. Tam fan açıklığında 44 mm çaplı ve 44 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması



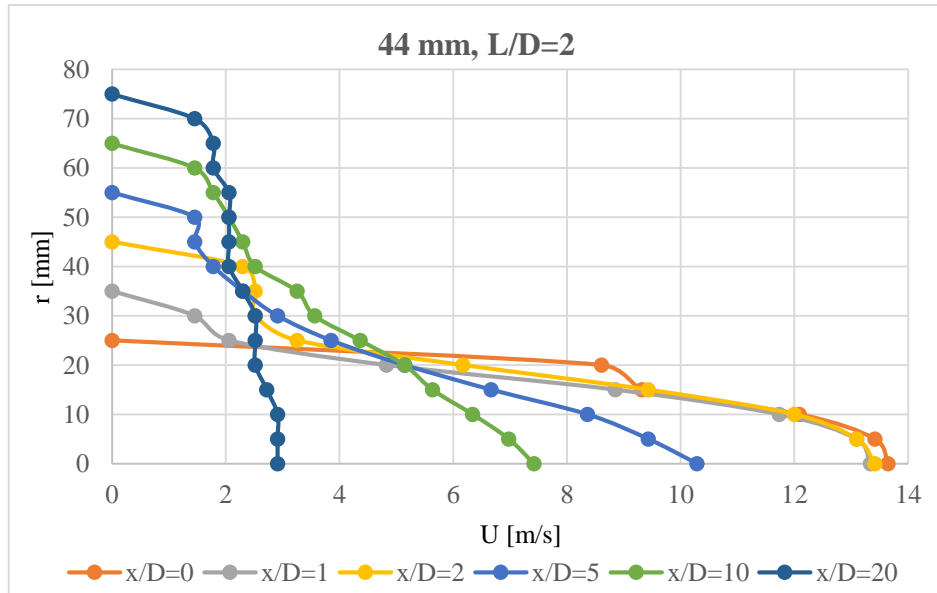
Şekil 3.4. Yarı fan açıklığında 44 mm çaplı ve 44 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması

L/D=1 için verilen Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'teki hız profilleri, kanalsız durum L/D=0,41 için verilen Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 ile benzerlikler göstermekle birlikte en belirgin fark, hemen jet çıkışındaki hız profilinde en büyük hızın jet ekseninde meydana gelmesidir.

$L/D=2$ için hız değerleri, tam fan açıklığı için Ek Tablo 5 ve Şekil 3.5'te ve yarı fan açıklığı için Ek Tablo 6 ve Şekil 3.6'da verilmiştir.

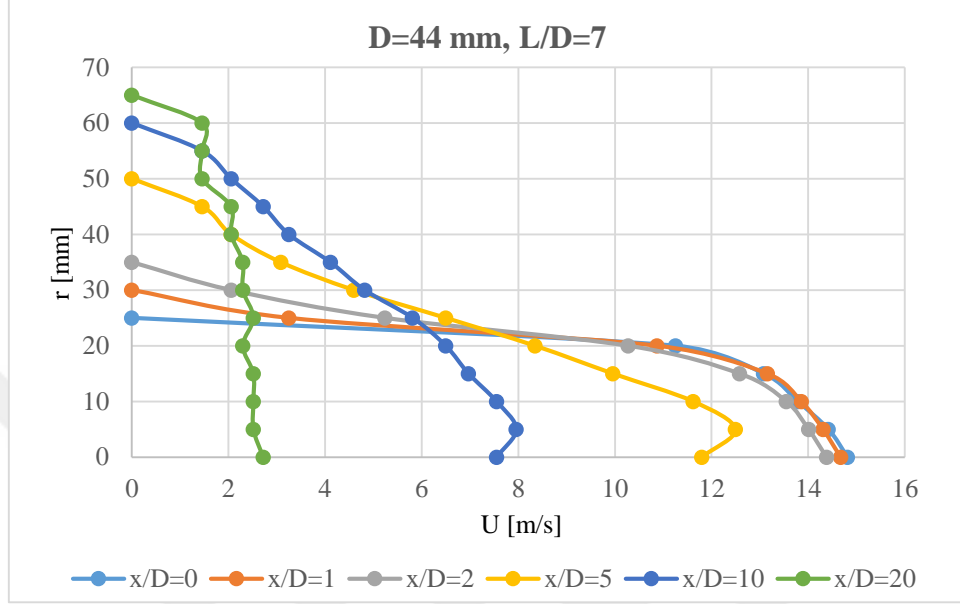


Şekil 3.5. Tam fan açıklığında 44 mm çaplı ve 88 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması

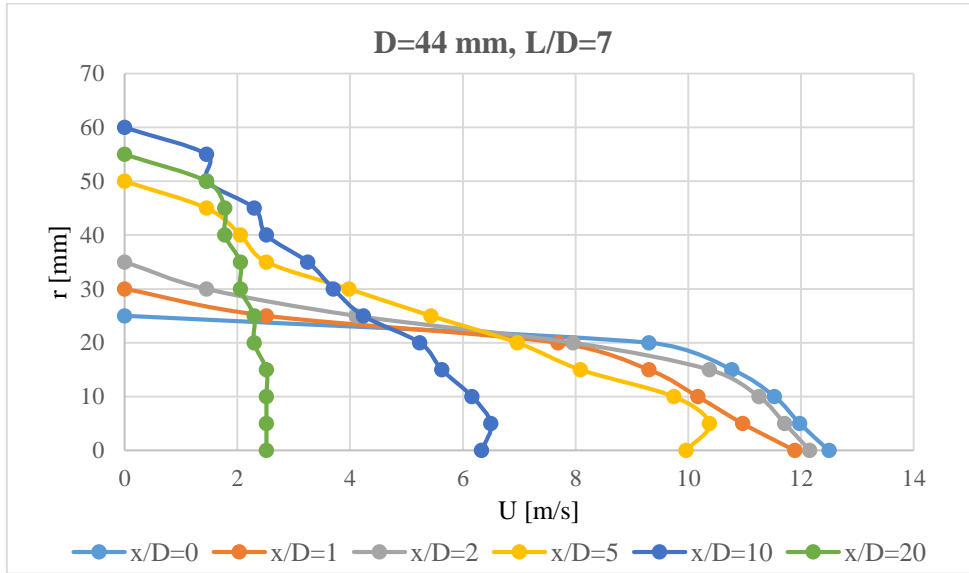


Şekil 3.6. Yarı fan açıklığında 44 mm çaplı ve 88 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması

$L/D=7$ için hız değerleri, tam fan açıklığı için Ek Tablo 7 ve Şekil 3.7’de ve yarı fan açıklığı için Ek Tablo 8 ve Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Tam fan açıklığında 44 mm çaplı ve 308 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması



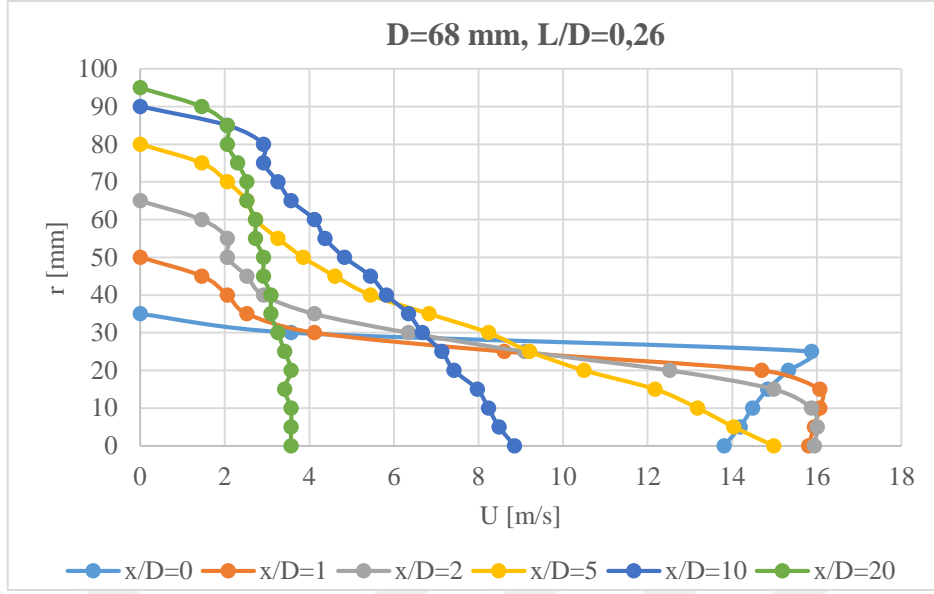
Şekil 3.8. Yarı fan açıklığında 44 mm çaplı ve 308 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması

$L/D=2$ için verilen Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 ile $L/D=7$ için verilen Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 birlikte değerlendirilmiştir. Hız profilleri her iki durumda da benzerlik göstermekte fakat kanal uzunluğunun $L/D=7$ değerinde kanal içerisinde akışın gelişmesi nedeniyle hız profili daha basık hale gelmektedir.

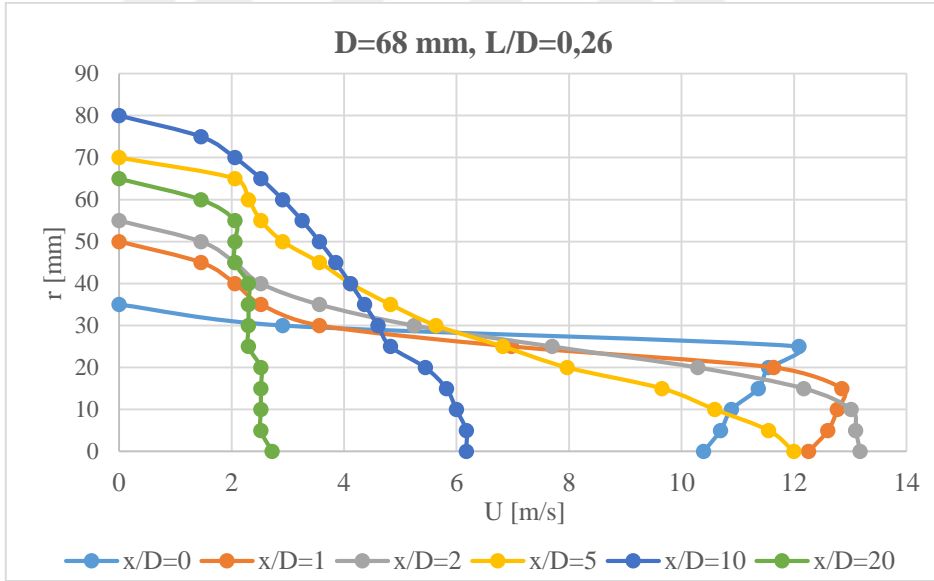
3.1.2. $D=68$ mm Çaplı Jet Akışı

$D=68$ mm çaplı jet akışı için ölçümler, sadece orifis levhanın ($L/D=0,26$) olması durumu (kanalsız) ve kanallı durumlar için yapılmıştır. Kanallı durumda kanal uzunlukları 68 mm ($L/D=1$), 136 mm ($L/D=2$) ve 476 mm ($L/D=7$) olarak seçilmiştir. Her bir durum için jet çıkışından belirli uzaklıklarda, $x=0$ ($x/D=0$), $x=68$ mm ($x/D=1$), $x=136$ mm ($x/D=2$), $x=340$ mm ($x/D=5$), $x=680$ mm ($x/D=10$) ve $x=1360$ mm ($x/D=20$) için pitot tüpü düşey ekseninde $r=0$ 'dan başlanıp beşer milimetre aralıklarla yukarıya hareket ettirilerek dinamik basınç, Δh değerleri ölçülmüş ve hızlar hesaplanmıştır.

Kanalsız durum için hız değerleri, tam fan açıklığı için Ek Tablo 9 ve Şekil 3.9'da ve yarı fan açıklığı için Ek Tablo 10 ve Şekil 3.10'da verilmiştir.



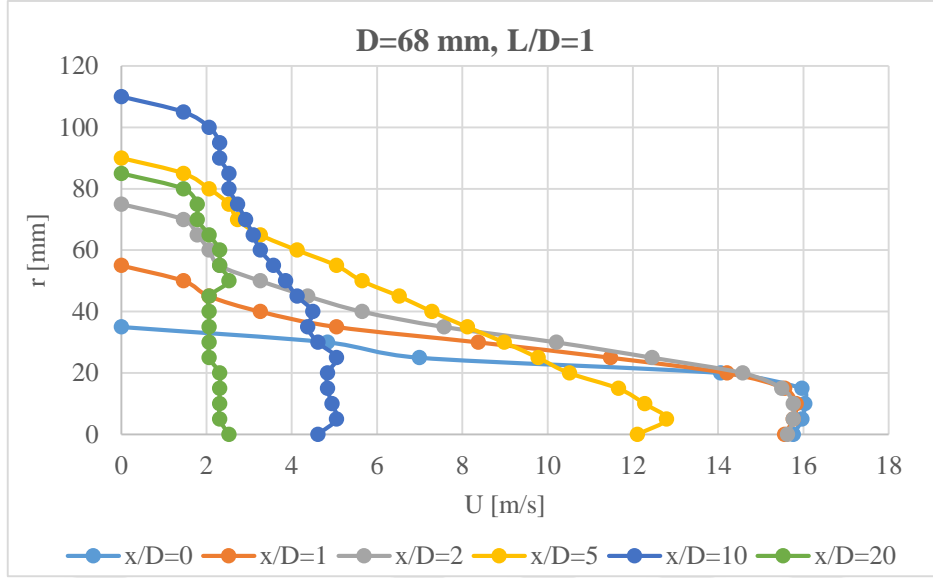
Şekil 3.9. Tam fan açıklığında 68 mm çaplı ve kanalsız durum için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması



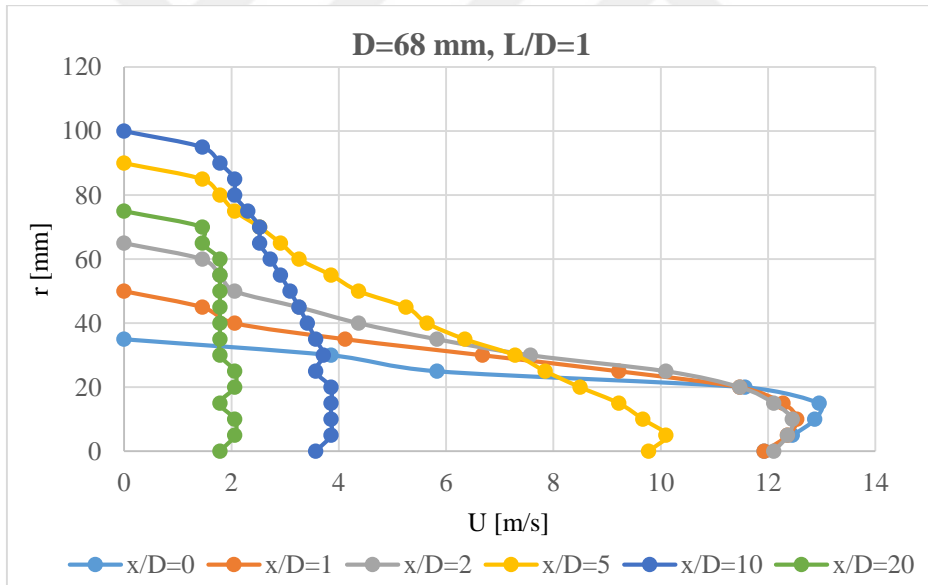
Şekil 3.10. Yarı fan açıklığında 68 mm çaplı ve kanalsız durum için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması

D=68 mm kanalsız durum için verilen Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'daki hız profilleri incelendiğinde, D=44 mm jet çapı için verilen Şekil 3.1 ve Şekil 3.2 ile benzerlikler göstermektedir. Hemen jet çıkışında, jet merkezinde belirli bir değerde olan hızlar radyal yönde artarak kanal cidarına yaklaşırken aniden azalarak çok küçük değerlere ulaşması Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da daha belirgin görülmektedir. Jet çıkışından uzaklaştıkça hız değerleri genelde azalmakla birlikte, jet merkezindeki hızlar $x/D=1$ ve $x/D=2$ için bu noktaların çekirdek bölgede kalması nedeniyle çok az değişmektedir. Yine jet çıkışından uzaklaştıkça hız değerleri azalırken, jet radyal yönde yayılmakta ve hız profili daha basık hale gelmektedir.

$L/D=1$ için hız değerleri, tam fan açıklığı için Ek Tablo 11 ve Şekil 3.11'de ve yarı fan açıklığı için Ek Tablo 12 ve Şekil 3.12'de verilmiştir.



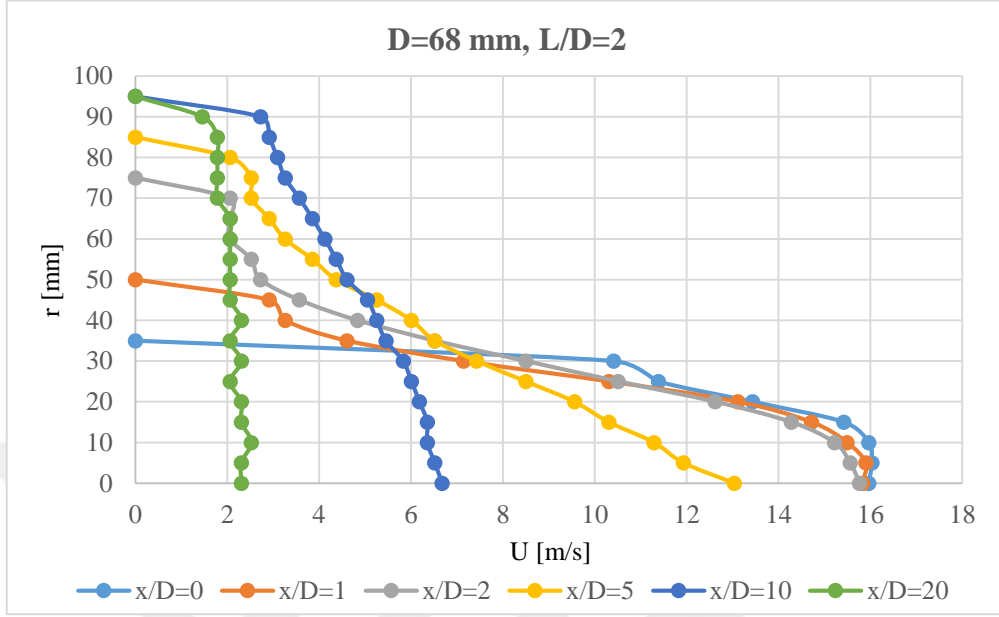
Şekil 3.11. Tam fan açıklığında 68 mm çaplı ve 68 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması



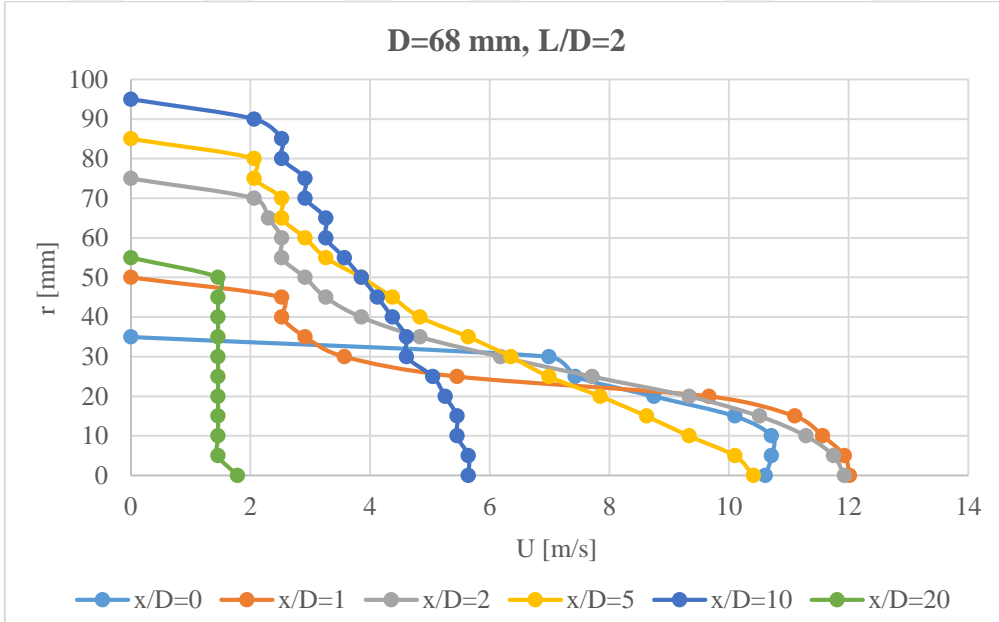
Şekil 3.12. Yarı fan açıklığında 68 mm çaplı ve 68 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması

L/D=1 için verilen Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de $x/D=0$, $x/D=1$ ve $x/D=2$ için verilen hız profilleri incelendiğinde, jet merkezindeki hızların radyal yönde yaklaşık $r=D/2$ 'ye kadar artarak tekrar azaldığı görülmektedir.

$L/D=2$ için hız değerleri, tam fan açıklığı için Ek Tablo 13 ve Şekil 3.13'te ve yarı fan açıklığı için Ek Tablo 14 ve Şekil 3.14'te verilmiştir.

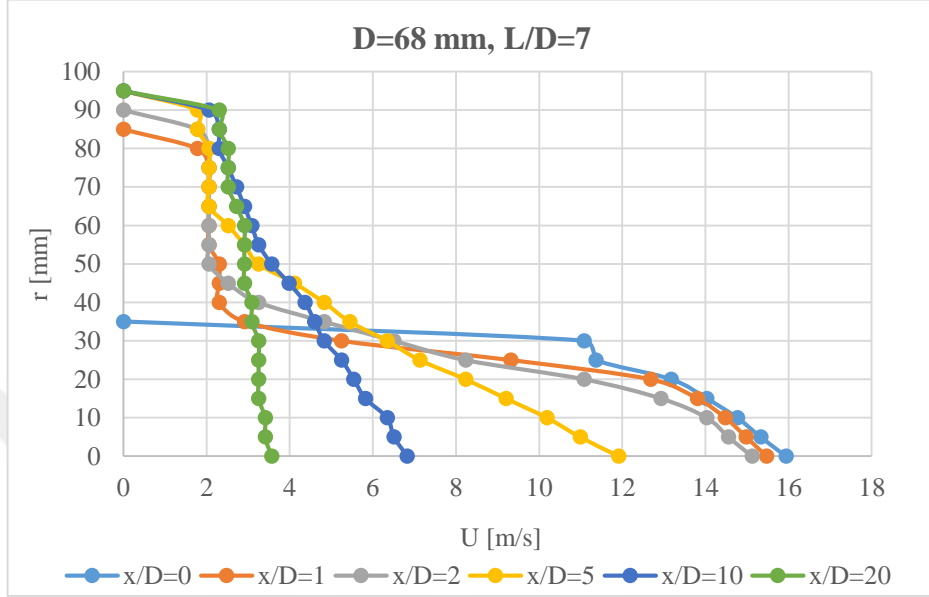


Şekil 3.13. Tam fan açıklığında 68 mm çaplı ve 136 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması

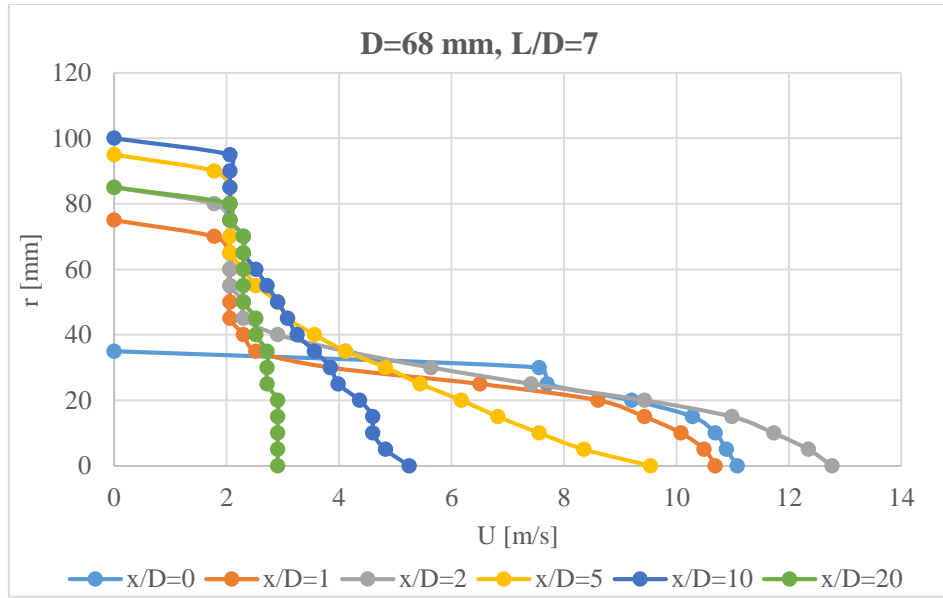


Şekil 3.14. Yarı fan açıklığında 68 mm çaplı ve 136 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması

$L/D=7$ için hız değerleri, tam fan açıklığı için Ek Tablo 15 ve Şekil 3.15'te ve yarı fan açıklığı için Ek Tablo 16 ve Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.15. Tam fan açıklığında 68 mm çaplı ve 476 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması



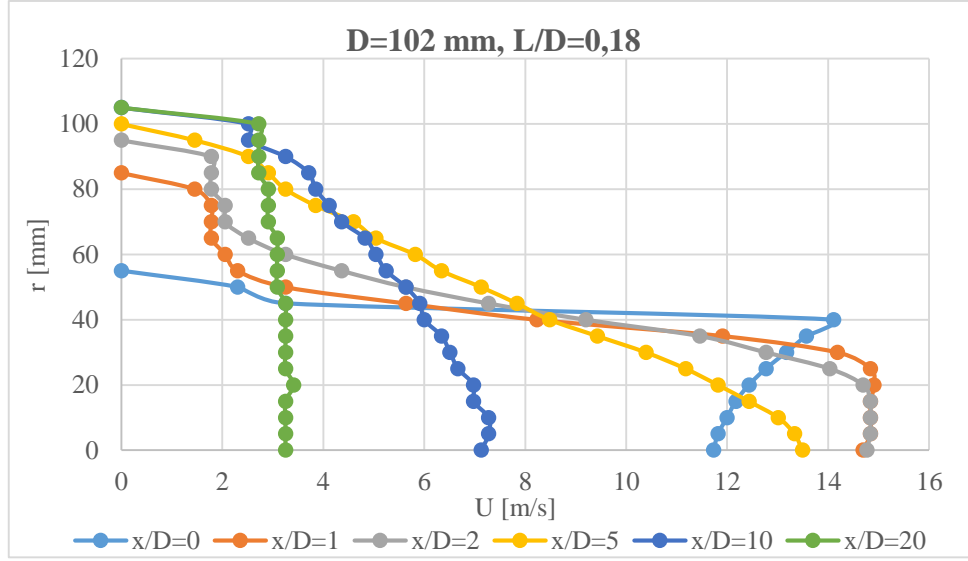
Şekil 3.16. Yarı fan açıklığında 68 mm çaplı ve 476 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması

D=68 mm jet çapında $L/D=2$ için verilen Şekil 3.13 ve Şekil 3.14 ile $L/D=7$ için verilen Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da yer alan hız profilleri, $D=44$ mm jet çapı ve aynı L/D oranları için verilen hız profilleriyle benzerlikler göstermektedir.

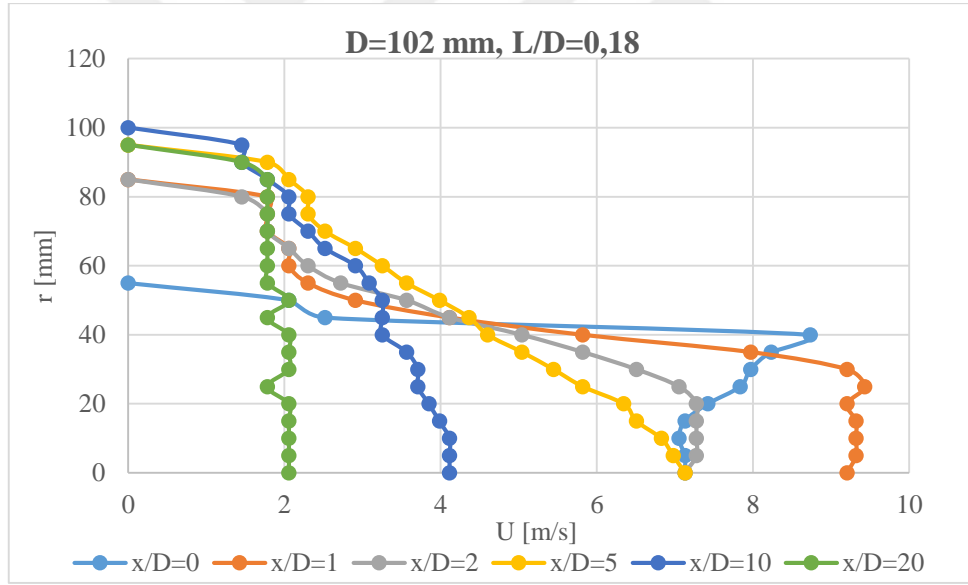
3.1.3. $D=102$ mm çaplı Jet Akışı

$D=102$ mm çaplı jet akışı için ölçümler, sadece orifis levhanın ($L/D=0,18$) olması durumu (kanalsız) ve kanallı durumlar için yapılmıştır. Kanallı durumda kanal uzunlukları 102 mm ($L/D=1$) ve 204 mm ($L/D=2$) olarak seçilmiştir. Her bir durum için jet çıkışından belirli uzaklıklarda, $x=0$ ($x/D=0$), $x=102$ mm ($x/D=1$), $x=204$ mm ($x/D=2$), $x=510$ mm ($x/D=5$), $x=1020$ mm ($x/D=10$) ve $x=2040$ mm ($x/D=20$) için pitot tüpü düşey yönde $r=0$ 'dan başlanıp beşer milimetre aralıklarla yukarıya hareket ettirilerek dinamik basınç, Δh değerleri ölçülmüş ve hızlar hesaplanmıştır.

Kanalsız durum için hız değerleri, tam fan açıklığı için Ek Tablo 17 ve Şekil 3.17'de ve yarı fan açıklığı için Ek Tablo 18 ve Şekil 3.18'de verilmiştir.



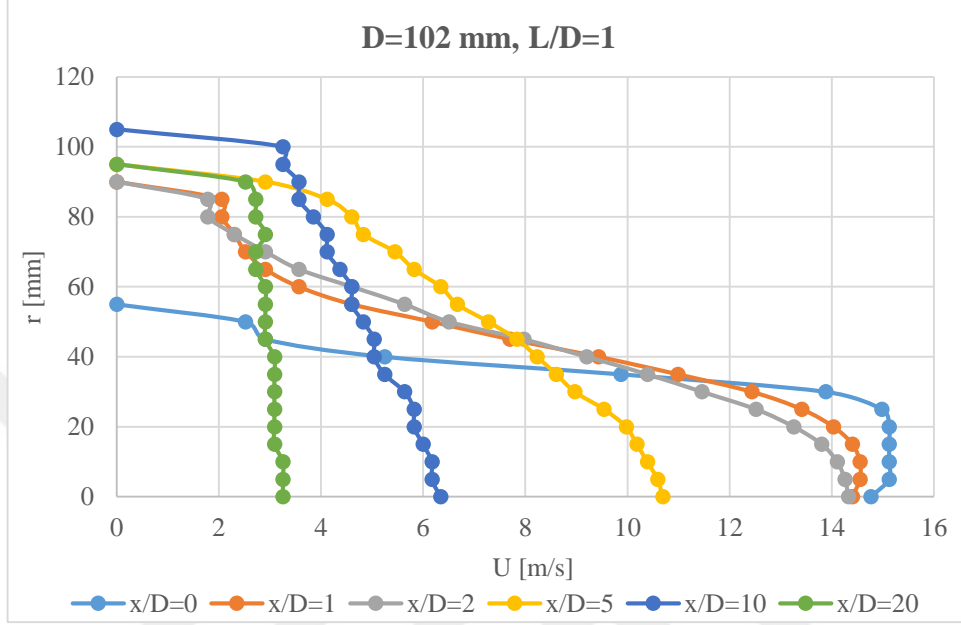
Şekil 3.17. Tam fan açıklığında 102 mm çaplı ve kanalsız durum için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması



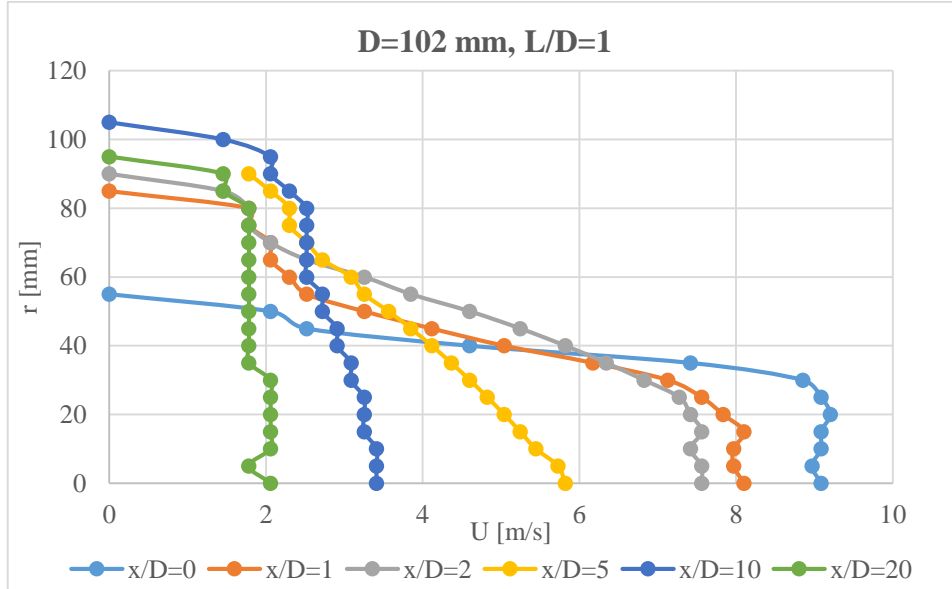
Şekil 3.18. Yarı fan açıklığında 102 mm çaplı ve kanalsız durum için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması

Jet çapının $D=102$ mm olduğu ve kanalsız durum için verilen Şekil 3.17 ve Şekil 3.18'deki hız profilleri incelendiğinde, daha önceki jet çapları için verilen hız profilleriyle benzerlikler göstermektedir. Hemen jet çıkışında, jet merkezinden itibaren radyal yönde artan hız değerinin kanal cidarına yaklaşırken aniden azalarak çok küçük değerlere ulaşması çok daha belirgin hale gelmektedir.

$L/D=1$ için hız değerleri, tam fan açıklığı için Ek Tablo 19 ve Şekil 3.19’da ve yarı fan açıklığı için Ek Tablo 20 ve Şekil 3.20’de verilmiştir.

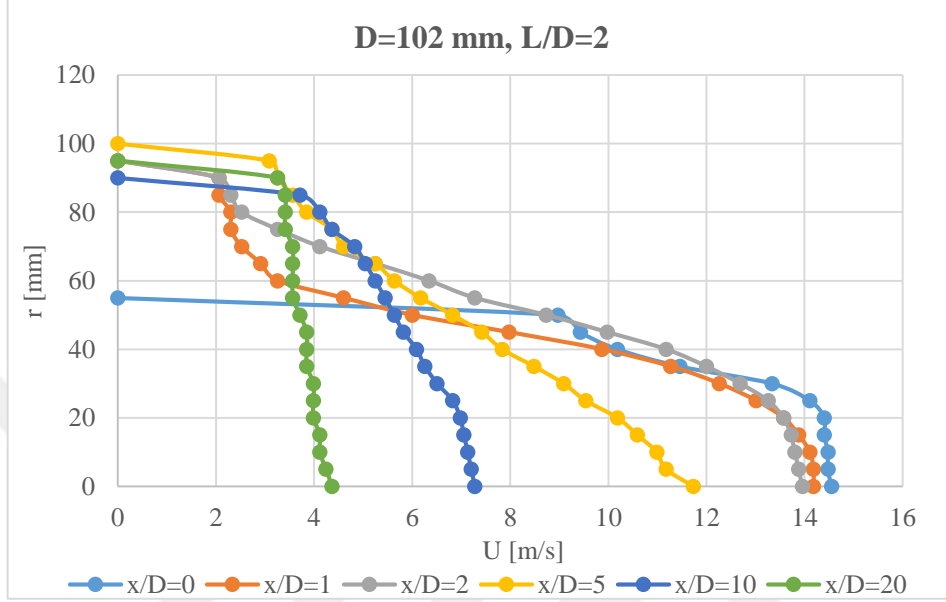


Şekil 3.19. Tam fan açıklığında 102 mm çaplı ve 102 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması

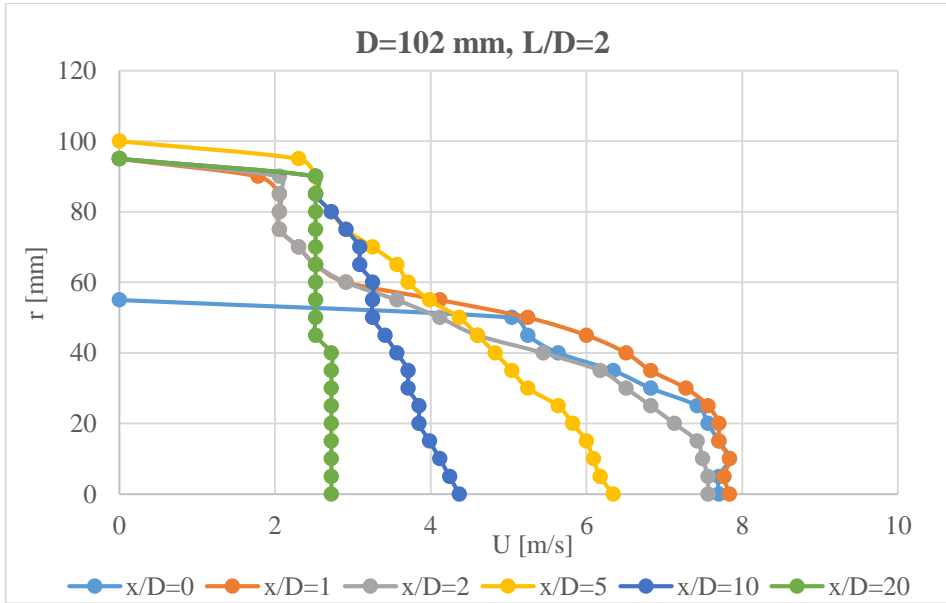


Şekil 3.20. Yarı fan açıklığında 102 mm çaplı ve 102 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması

$L/D=2$ için hız değerleri, tam fan açıklığı için Ek Tablo 21 ve Şekil 3.21’de ve yarı fan açıklığı için Ek Tablo 22 ve Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.21. Tam fan açıklığında 102 mm çaplı ve 204 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması



Şekil 3.22. Yarı fan açıklığında 102 mm çaplı ve 204 mm kanal durumu için belirli uzaklıklardaki hız dağılımlarının karşılaştırılması

L/D=1 için verilen Şekil 3.19 ve Şekil 3.20 ve L/D=2 için verilen Şekil 3.21 ve Şekil 3.22 incelendiğinde, bu şekillerde yer alan hız profillerinin, daha küçük çaplı jet akışlarında aynı L/D değerleri için verilen hız profilleriyle form olarak benzerlikler gösterdiği anlaşılmaktadır.

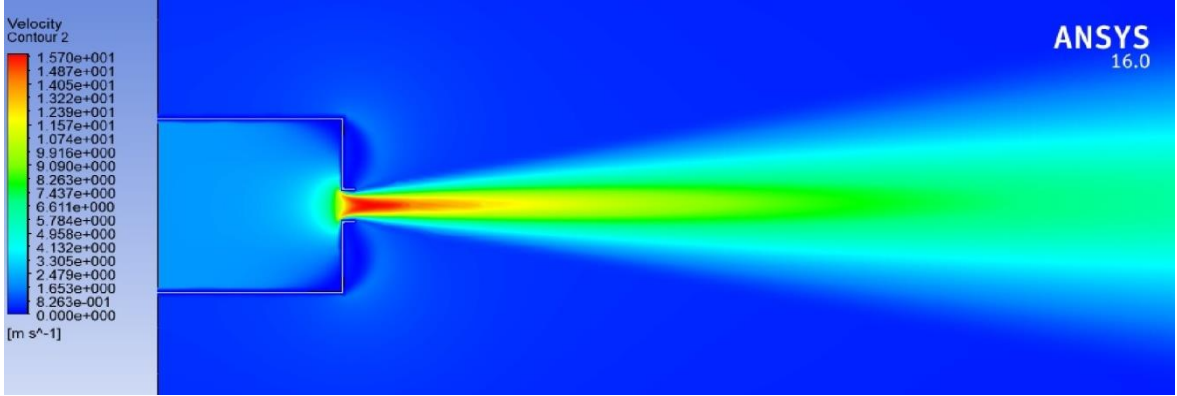
3.2. Sayısal Çalışmada Elde Edilen Veriler

3.2.1. Hız Konturları

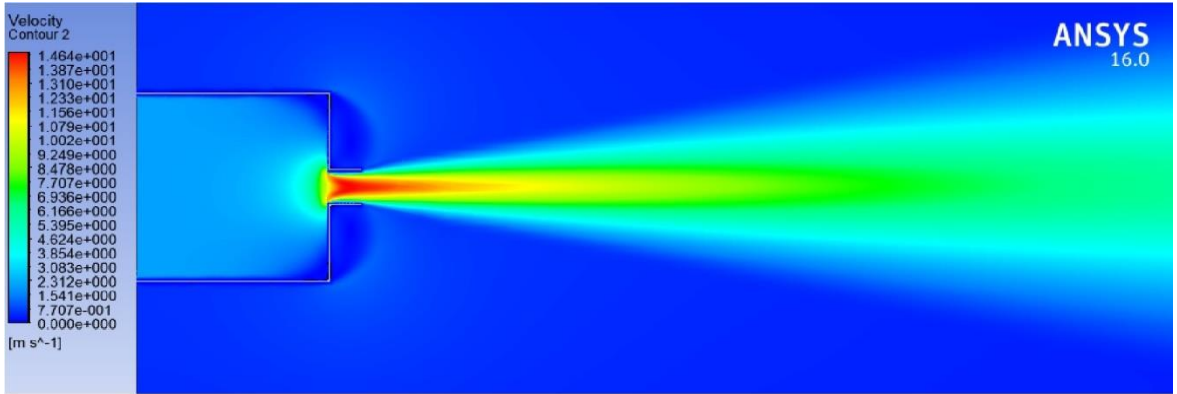
DeneySEL çalışmada incelenen tüm jet akışları için yapılan sayısal çalışmada daha önce belirlenen ağ sayısı ve kare kesitli kanal girişinde 2 m/s değerinde doğrusal hız dağılımı kullanılarak sayısal çözümler elde edilmiştir. Tüm durumlar için kare kesitli kanal girişinde aynı hız değeri verildiğinden aynı çaptaki jet akışlarını kendi arasında değerlendirmek daha anlamlı olacaktır.

Jet çapının D=44 mm olduğu jet akışında değişik durumlardaki akış alanları için elde edilen hız konturları Şekil 3.23, Şekil 3.24, Şekil 3.25 ve Şekil 3.26'da verilmiştir. Bu şekillerden jet akışının gelişimi ve dağılımı daha iyi görülebilmektedir. Kanalsız durum (L=18 mm) için verilen Şekil 3.23'te maksimum hız 15,7 m/s olarak ve kesitteki ani daralma nedeniyle (vena contracta effect) kanal girişinde değil daha uzak bir bölgede elde edilmiştir. Jet akışında çekirdek bölge (şekilde kırmızı bölge) çok iyi görülebilmektedir. Jet çıkışından sonra jet yayılmakta ve jet merkezindeki hız değerleri çekirdek bölgeden sonra azalmaya başlamaktadır.

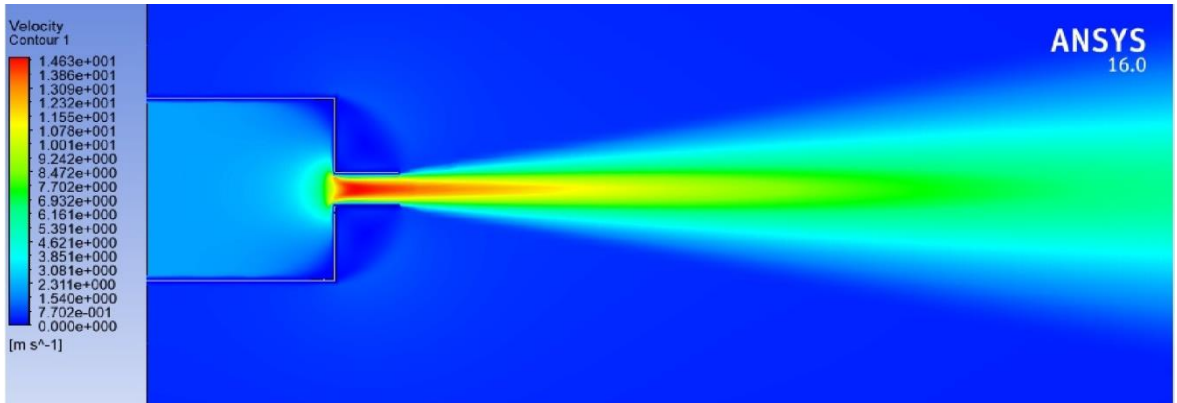
L=44 mm, 88 mm ve 308 mm uzunluklu kanallı durumlar için verilen Şekil 3.24, Şekil 3.25 ve Şekil 3.26'da benzer hız konturları görülmektedir. Sayısal çözümden elde edilen maksimum hız değerleri yaklaşık olarak 14,7 civarındadır. Kanal uzunluğu arttıkça kanal içerisindeki hız gelişmesi belirgin hale gelmektedir. Ayrıca kanal uzunluğu arttıkça jet bölgesindeki radyal yöndeki yayılmanın azaldığı söylenebilir.



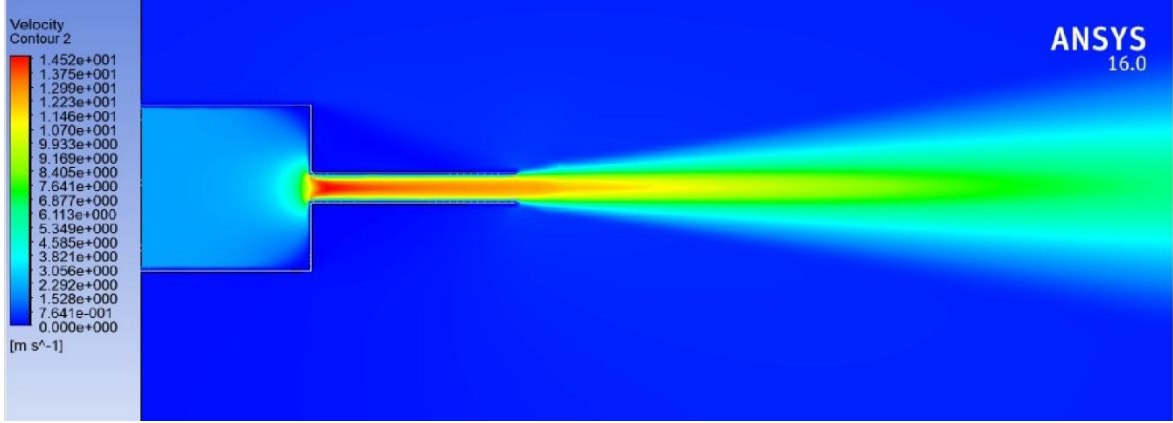
Şekil 3.23. D=44 mm jet çapı ve kanalsız (L=18 mm) durum için hız konturu



Şekil 3.24. D=44 mm jet çapı ve L=44 mm kanal durumu için hız konturu

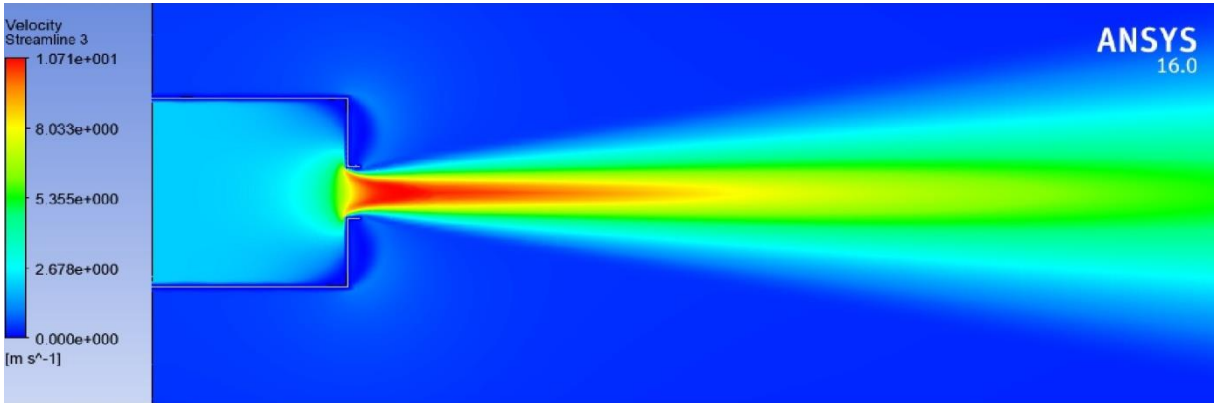


Şekil 3.25. D=44 mm jet çapı ve L=88 mm kanal durumu için hız konturu

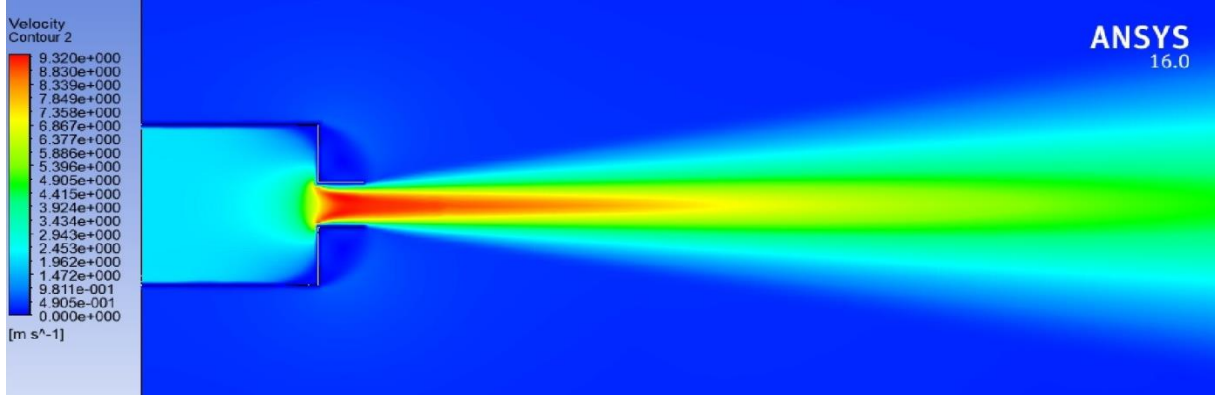


Şekil 3.26. D=44 mm jet çapı ve L=308 mm kanal durumu için hız konturu

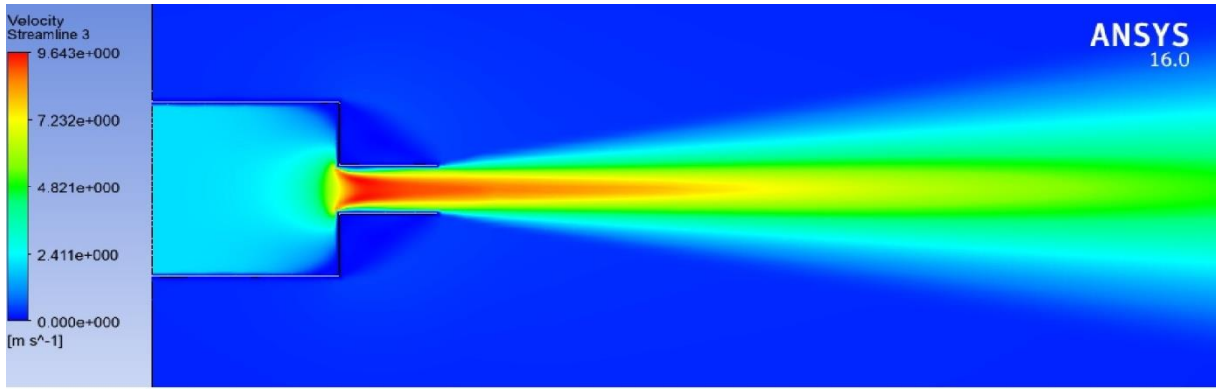
Farklı jet çaplarında da sayısal çözümler yapılmış olup bu çalışmalardan jet çapının D=68 mm olduğu jet akışında değişik durumlardaki akış alanları için elde edilen hız konturları Şekil 3.27, Şekil 3.28, Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'da verilmiştir. Hız konturları jet çapının D=44 mm olduğu jet akışıyla benzerlik gösterdiği söylenebilir. Kanalsız durum (L=18 mm) için verilen Şekil 3.27'de maksimum hız 10,7 m/s olurken, Şekil 3.28, Şekil 3.29 ve Şekil 3.30'dan maksimum hızın L=68 mm, 136 mm ve 476 mm uzunluklu kanallı durumlar için sırasıyla 9,32 m/s, 9,64 m/s ve 9,60 m/s olduğu görülmektedir.



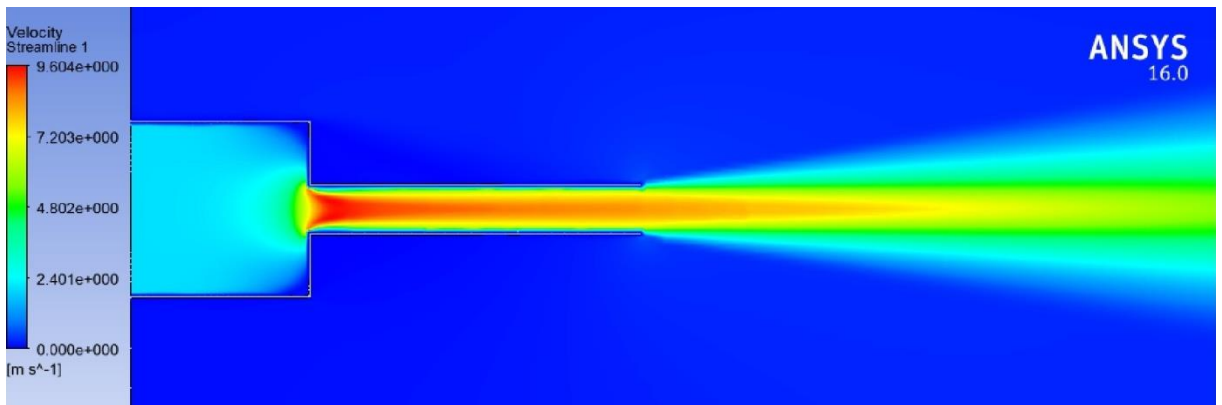
Şekil 3.27. D=68 mm jet çapı ve kanalsız (L=18 mm) durum için hız konturu



Şekil 3.28. D=68 mm jet çapı ve L=68 mm kanal durumu için hız konturu



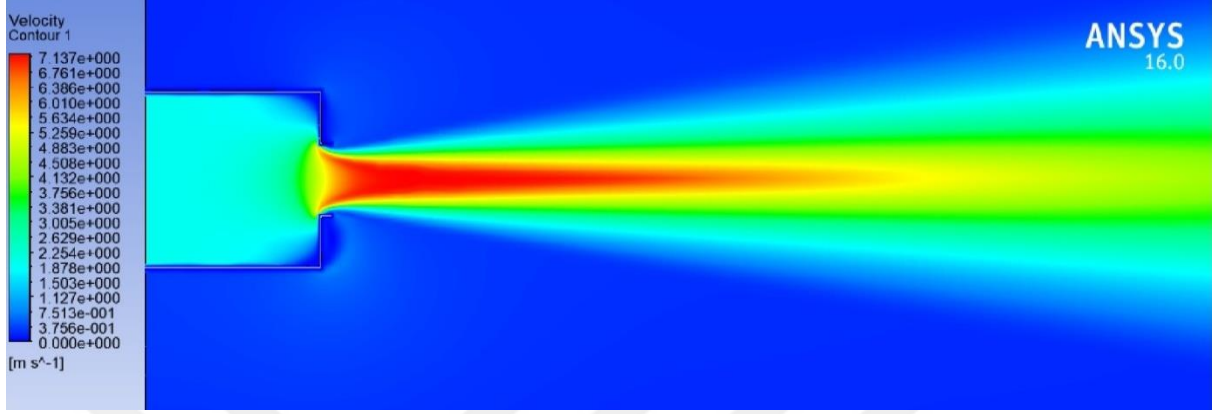
Şekil 3.29. D=68 mm jet çapı ve L=136 mm kanal durumu için hız konturu



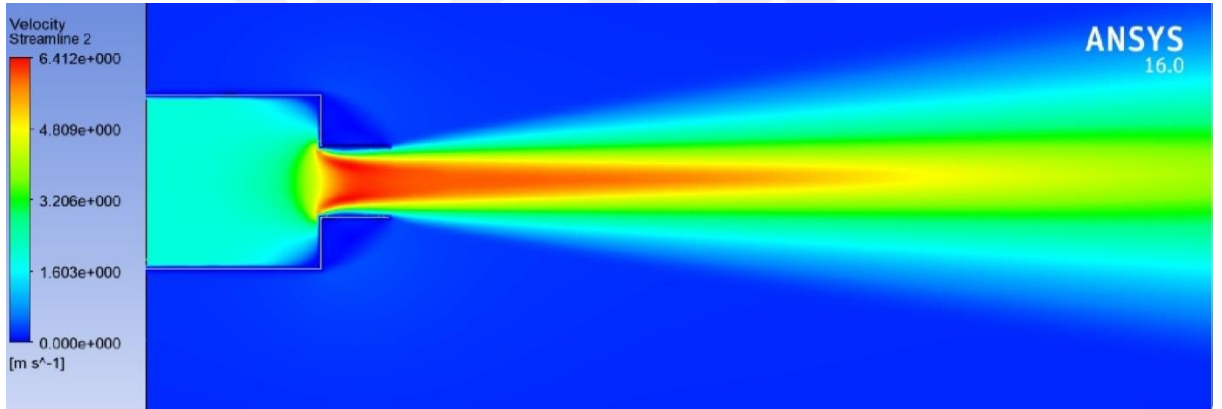
Şekil 3.30. D=68 mm jet çapı ve L=476 mm kanal durumu için hız konturu

Jet çapının D=102 mm olduğu jet akışında, kanalsız durum (L=18 mm) ve kanal uzunluklarının L=102 mm ve L=204 mm olduğu durumlar için sayısal çalışmadan elde edilen hız konturları Şekil 3.31, Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'te gösterilmiştir. Akış alanındaki

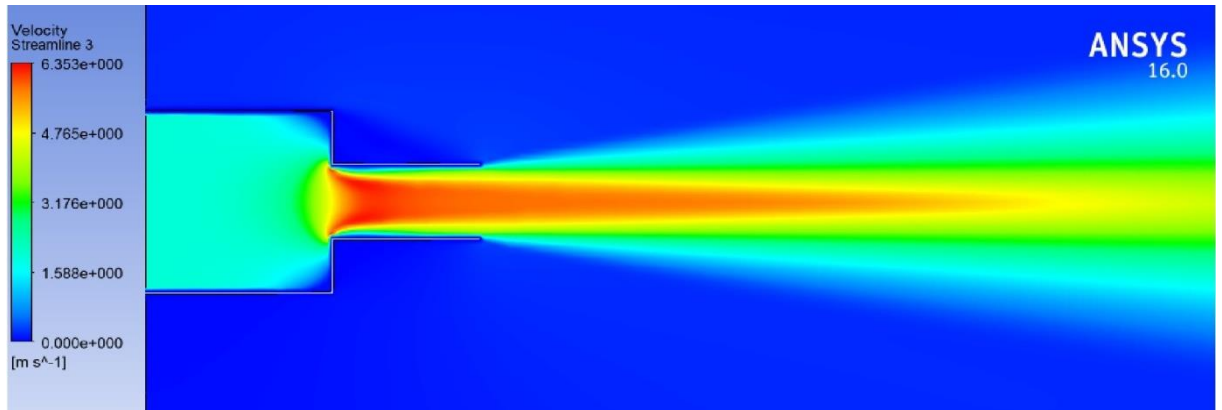
maksimum hız kanalsız durum için 7,14 m/s, $L/D=1$ için 6,41 m/s ve $L/D=2$ için 6,35m/s olmaktadır ve kanal uzunluğuyla bir azalma gösterdiği söylenebilir.



Şekil 3.31. D=102 mm jet çapı ve kanalsız durum (L=18 mm) için hız konturu



Şekil 3.32. D=102 mm jet çapı ve L=102 mm kanal durumu için hız konturu

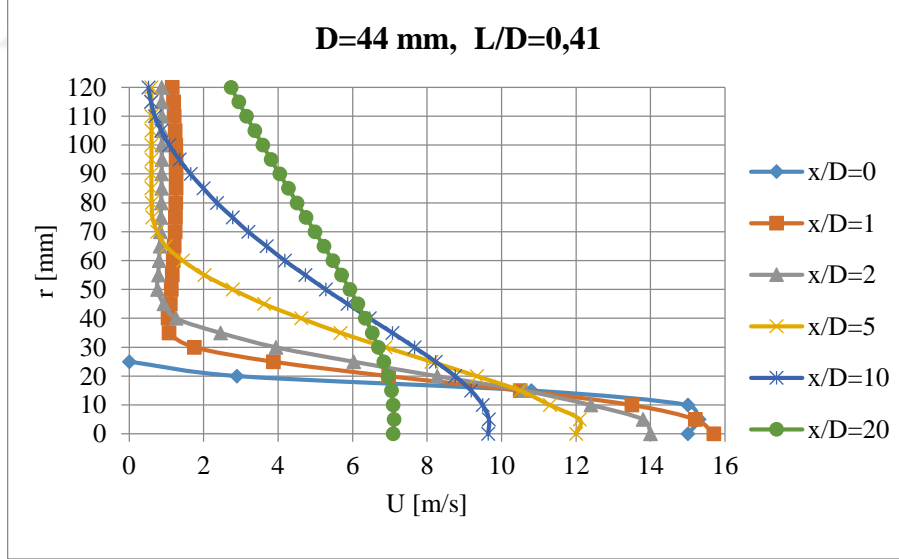


Şekil 3.33. D=102 mm jet çapı ve L=204 mm kanal durumu için hız konturu

3.2.2. Hız Profilleri

Bu bölümde, farklı çaplardaki jet akışlarındaki hız profillerinin birbirine benzeyeceği düşüncesiyle sayısal çalışmadan elde sonuçlardan sadece $D=44$ mm çaplı jet akışında 18 mm kalınlığında levhanın olması (kanalsız) durumunda ve değişik kanal uzunlukları için hız profilleri verilmiştir.

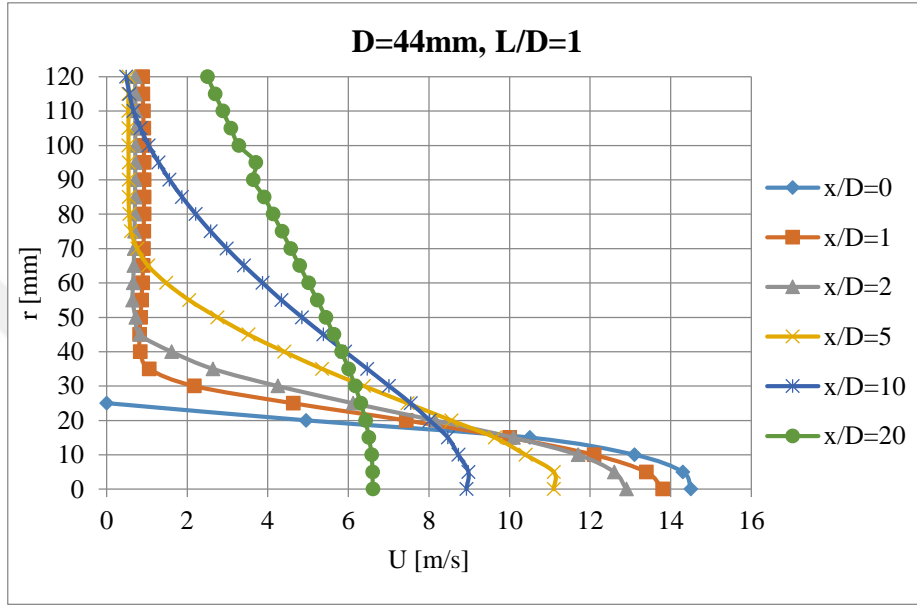
Şekil 3.34'te $D=44$ mm jet çapı ve kanalsız durumda ($L=18$ mm), jet çıkışından belirli uzaklıklarda elde edilen hız profilleri gösterilmiştir. Deneysel çalışmada benzer durum için verilen Şekil 3.1'deki hız profilleriyle karşılaştırıldığında, $x/D=0$, $x/D=1$, $x/D=2$ ve $x/D=5$ için yakın benzerlik göstermekte, jet çıkışından uzaklaştıkça hız profilleri benzer yapı göstermekle birlikte deneysel değerlerden daha büyük değerler almaktadır. Bu fark $x/D=20$ için çok daha belirgin olmaktadır. Kanal çıkışından sonraki maksimum hız değerlerinin $x/D=0$ ve $x/D=1$ için birbirine yakın olmakla birlikte $x/D=1$ için jet ekseninde meydana geldiği ve $15,8$ m/s'lik bir değer aldığı görülmektedir.



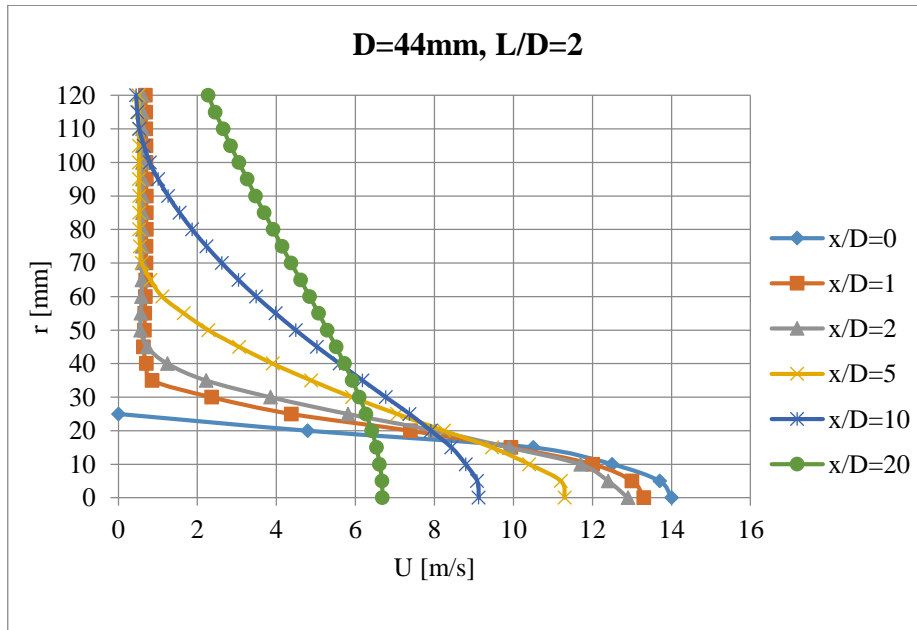
Şekil 3.34. $D=44$ mm jet çapı ve kanalsız ($L=18$ mm) durumdaki hız değerleri

Şekil 3.35, Şekil 3.36 ve Şekil 3.37'de sırasıyla uzunluk çap oranı $L/D=1$, 2 ve 7 olan kanal durumlarında elde edilen hız profilleri verilmiştir. Sayısal olarak elde edilen hız profillerinin deneysel sonuçlarla olan benzerliklerinin, kanalsız durumda görülen

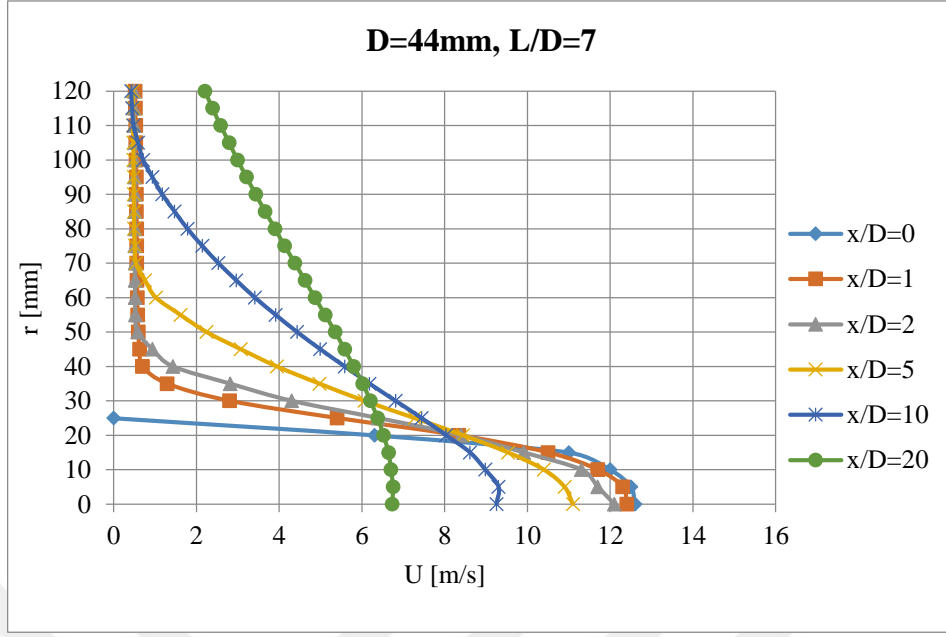
benzerliklerle çok yakın olduğu söylenebilir. Kanalsız durumdan farklı olarak jet eksenindeki maksimum hızın, hemen kanal çıkışında $x/D=0$ 'da meydana geldiği görülmektedir. Kanal uzunluğu arttıkça kanal içerisindeki hız profiline gelişmesi nedeniyle jet eksenindeki maksimum hız değeri azalmaktadır.



Şekil 3.35. D=44 mm jet çapı ve L=44 mm kanal uzunluğundaki hız değerleri



Şekil 3.36. D=44 mm jet çapı ve L=88 mm kanal uzunluğundaki hız değerleri



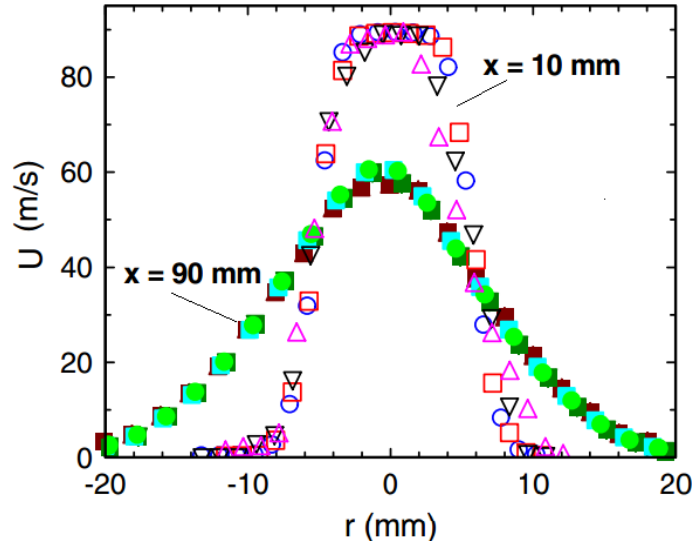
Şekil 3.37. D=44 mm jet çapı ve L=308 mm kanal durumundaki hız değerleri

4. İRDELEME

Bu bölümde, deney sonuçları literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılarak ne kadar benzerlik gösterdiği incelenmiştir. Kanal boyunun ve kesit daralma oranının akış alanını nasıl etkidiği gösterilmiştir. Ayrıca deneysel ve sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır.

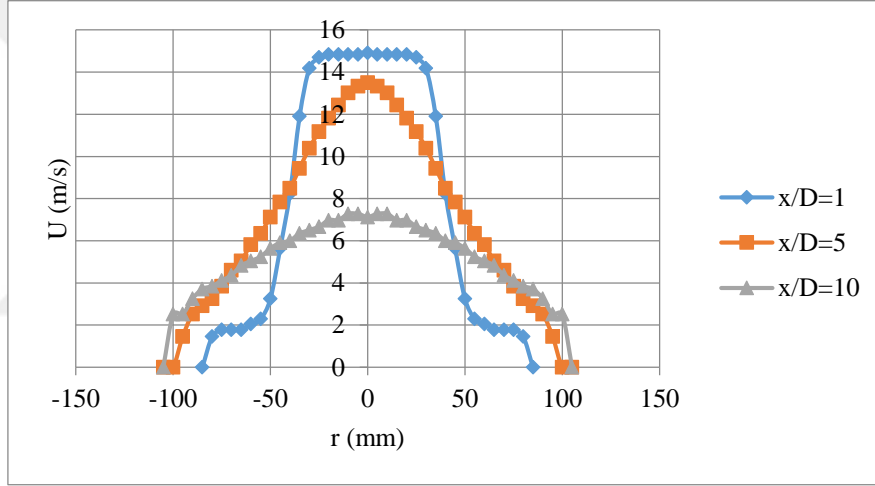
4.1. Deneysel Sonuçların Literatürle Karşılaştırılması

Deneysel sonuçlar, Mi vd. [41] tarafından PIV kullanılarak yapılan deneysel çalışmayla karşılaştırılmıştır. Çapı 12,5 mm olan keskin kenarlı bir orifiste oluşan dairesel jet akışında, kesit daralma oranının 4,48 ve Reynolds sayısının yaklaşık 72000 olduğu durum için orifisten 10 mm ($x/D=0,8$) ve 90 mm ($x/D=7,2$) uzaklıklardaki hız dağılımları değişik çözünürlükler için Şekil 4.1’de verilmiştir. Ayrıca jet çıkışındaki hızla boyutsuzlaştırılmış jet merkezdeki hızın, U_c , jetten olan uzaklıkla değişimi Şekil 4.3’te verilmiştir.

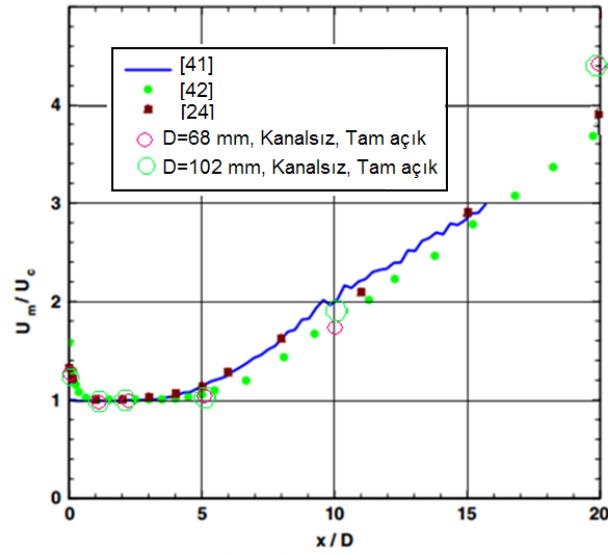


Şekil 4.1. Jet çıkışından 10 mm ve 90 mm uzaklıklardaki hız profilleri [41]

Deneysel sonuçlardan $D=102$ mm çaplı orifis ve tam fan açıklığında jet çıkışından belirli uzaklıklarda, $x/D=1$, $x/D=5$ ve $x/D=10$ için elde edilen hız profilleri Şekil 4.2’de verilmiştir. $x/D=1$ için hız profilleri karşılaştırıldığında Şekil 4.1’de $x/D=0,8$ için verilen hız değerleriyle mertebe olarak farklı olmakla birlikte hız profili olarak benzerlik göstermektedir. Şekil 4.1’de $x/D=7,2$ için verilen hız profili ise Şekil 4.2’de $x/D=5$ ve $x/D=10$ arasında kaldığı gözlenmektedir. Deneysel sonuçlardan tam fan açıklığında $D=68$ mm ve $D=102$ mm için kanalsız durumda jet eksenı boyunca elde edilen boyutsuz hızlar, Mi [42] tarafından verilen şekil üzerinde gösterilmiştir, Şekil 4.3. Deneysel sonuçların daha önceki çalışmalarla uyduğu görülmektedir. $x/D=20$ için fark bir miktar büyük çıkmaktadır.

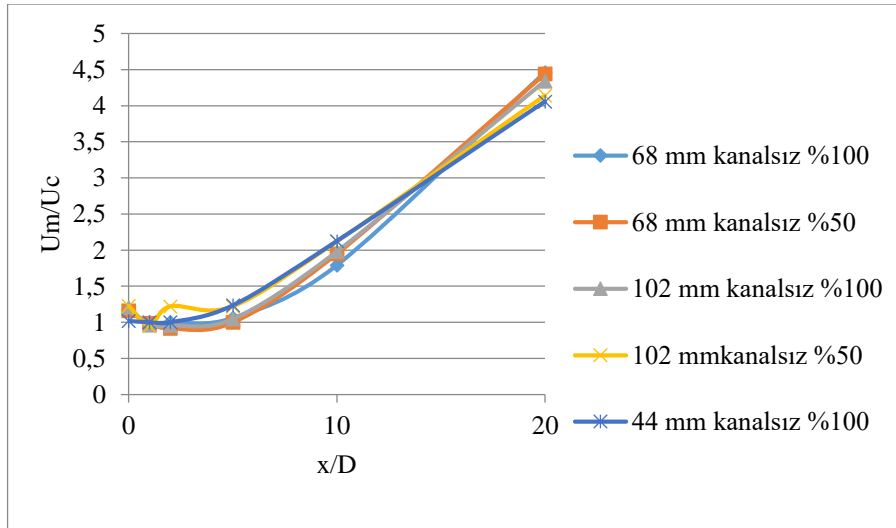


Şekil 4.2. $D=102$ mm çaplı orifis ve tam fan açıklığında, $x/D=1$, $x/D=5$ ve $x/D=10$ için elde edilen hız profilleri



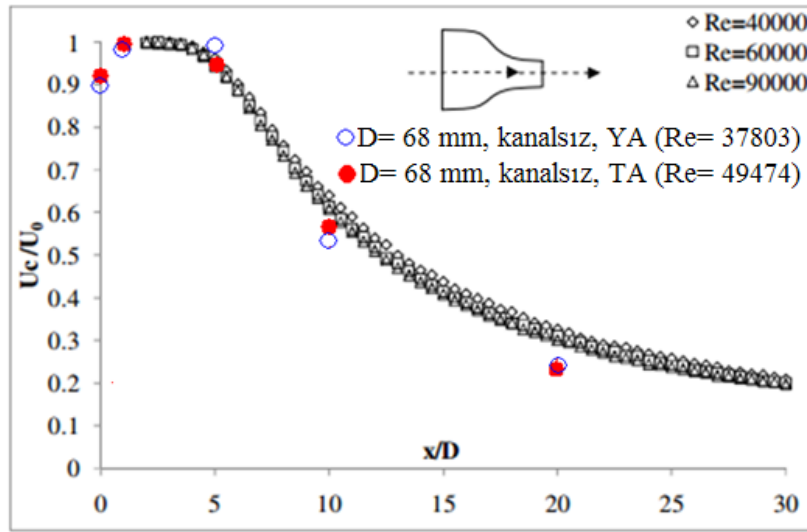
Şekil 4.3. Jet eksenindeki boyutsuz hızın eksen boyunca değişimi

Yine deneysel sonuçlardan, 3 farklı jet çapında sadece kanalsız durumlar için elde edilen değerler Mi [41]'e benzer olarak Şekil 4.4'te verilmiştir. İki şekil karşılaştırıldığında boyutsuz hızın x/D ile değişimi benzer karakter göstermektedir.



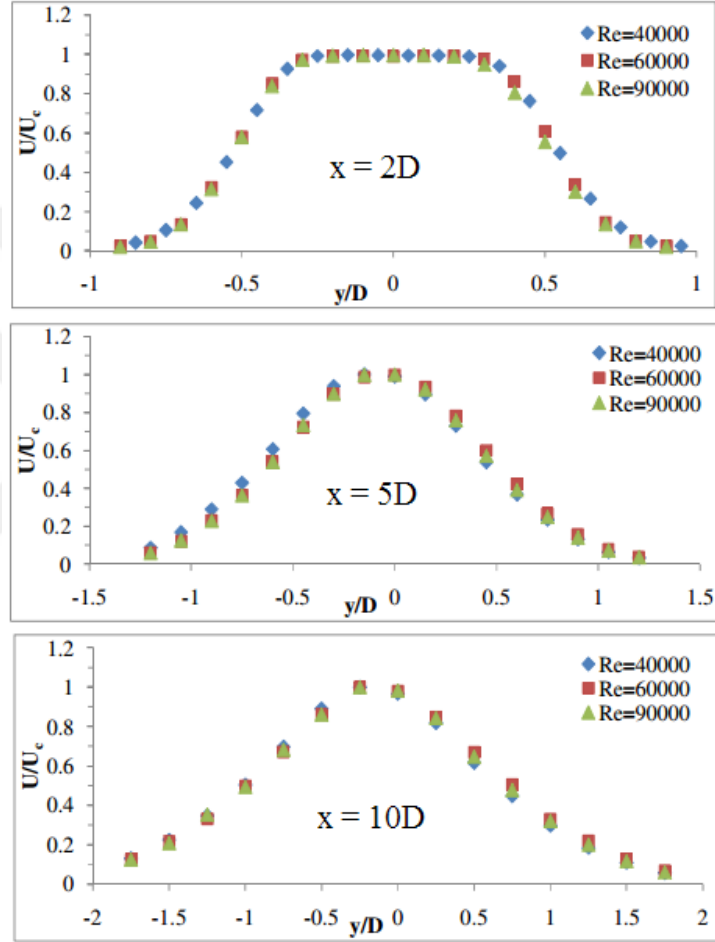
Şekil 4.4. Değişik durumlar için deneysel olarak elde edilen jet eksenindeki boyutsuz hızın eksen boyunca değişimi

Yükselentürk [27]'ün çalışmasındaki dairesel kesitli jet için değişik Reynolds sayılarında jet eksenini boyunca boyutsuz hızın değişimi Şekil 4.5'te ve jet çıkışından belirli uzaklıklardaki boyutsuz hızın radyal yönde değişimi ise Şekil 4.6'da verilmiştir. Her iki şekilden Reynolds sayısının bu değişimler üzerinde etkili olmadığı belirtilmiştir. Şekil 4.5 üzerinde 68 mm çaplı kanalsız durum için tam fan açıklığı ve yarı fan açıklığında elde edilen sonuçların Yükselentürk'ün sonuçlarıyla benzerlik gösterdiği görülmüştür.

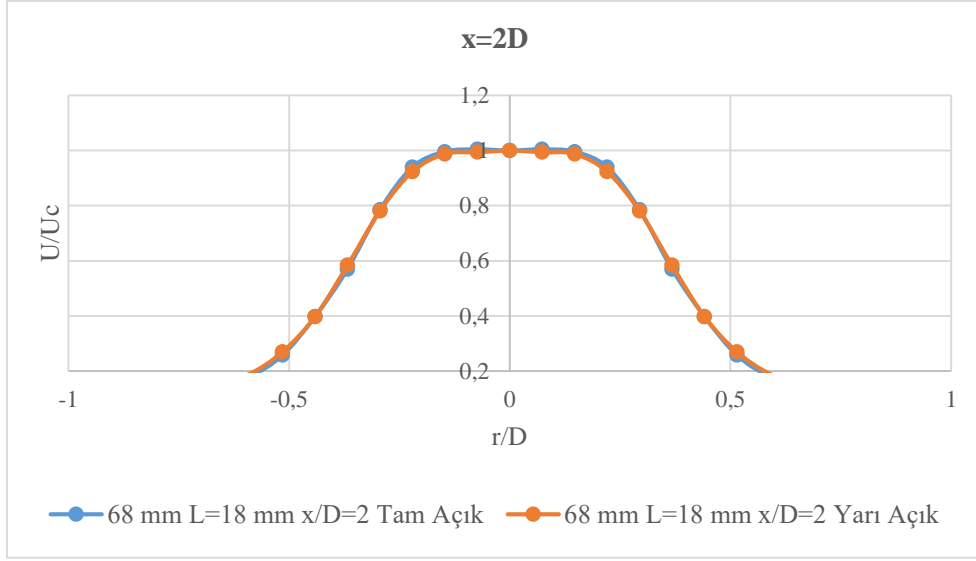


Şekil 4.5. Jet merkezindeki hızın konumla değişimi

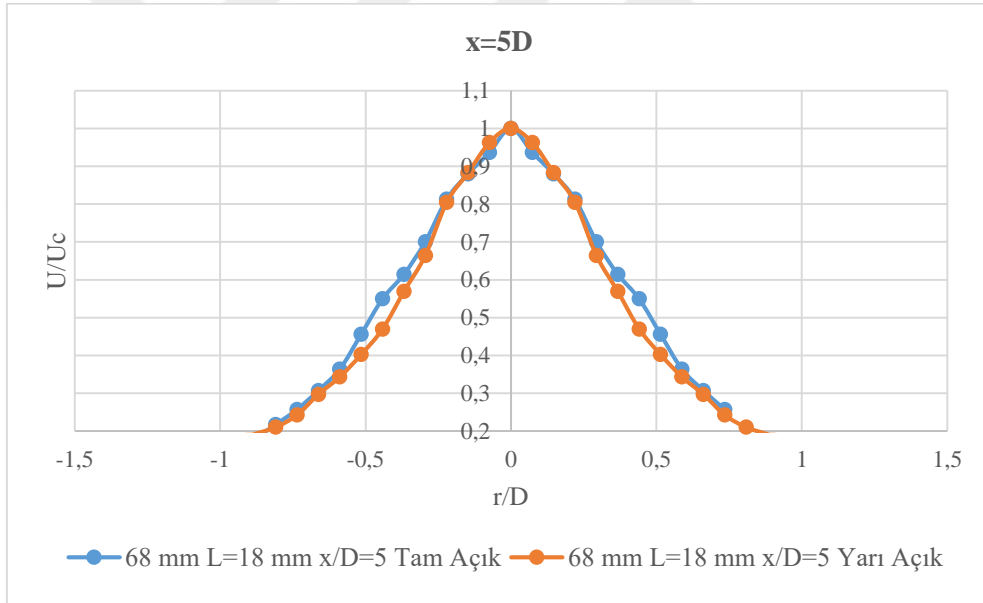
Şekil 4.6’da jet çıkışından $x=2D$, $x=5D$ ve $x=10D$ uzaklıklarında verilen boyutsuz hız profillerine benzer şekilde, deneysel sonuçlardan tam fan açıklığı ve yarı fan açıklığında $D=68$ mm jet çapı ve kanalsız durumlar için elde edilen hız profilleri Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da sunulmuştur ve hız profillerinin büyük bir benzerlik gösterdiği görülmektedir.



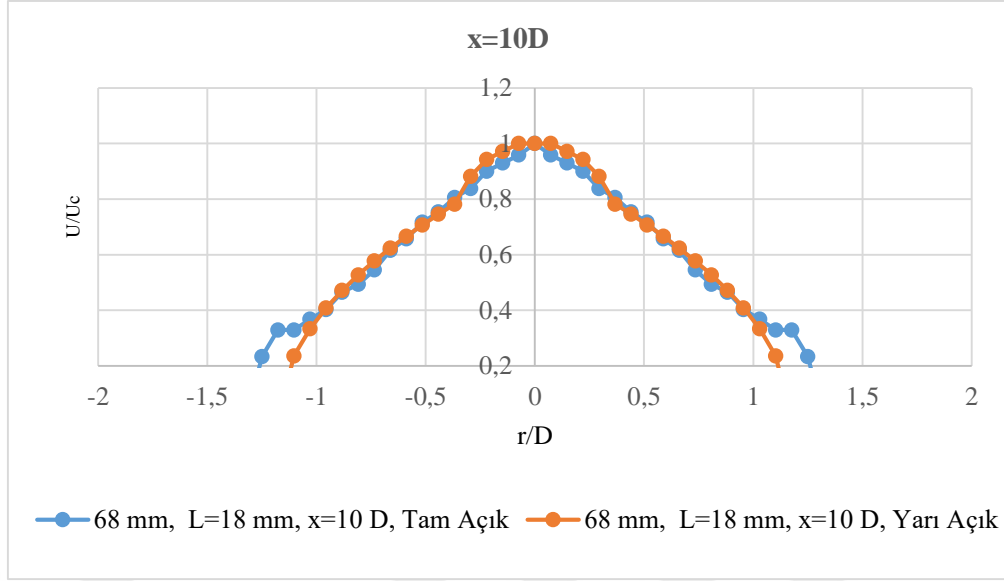
Şekil 4.6. Jet çıkışından belirli uzaklıklarda boyutsuz hızın radyal yönde değişimi



Şekil 4.7. Kanalsız durumda ($L/D=0,26$) ve $x/D=2$ için boyutsuz hız profili (deneysel)



Şekil 4.8. Kanalsız durumda ($L/D=0,26$) ve $x/D=5$ için boyutsuz hız profili (deneysel)



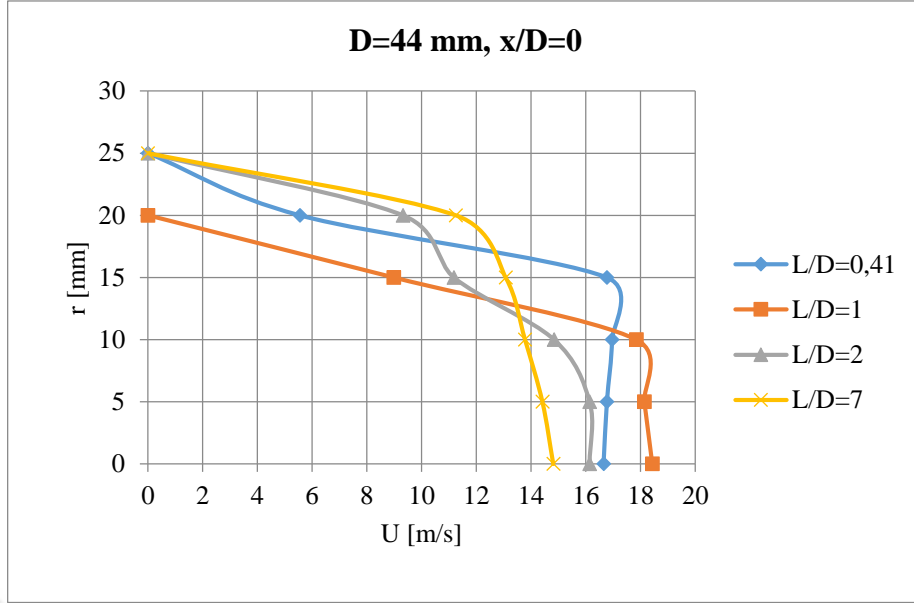
Şekil 4.9. Kanalsız durumda ($L/D=0,26$) ve $x/D=10$ için boyutsuz hız profili (deneysel)

4.2. Kanal Uzunluğunun Hız Profiline Etkisi

4.2.1. Deneysel Sonuçlar

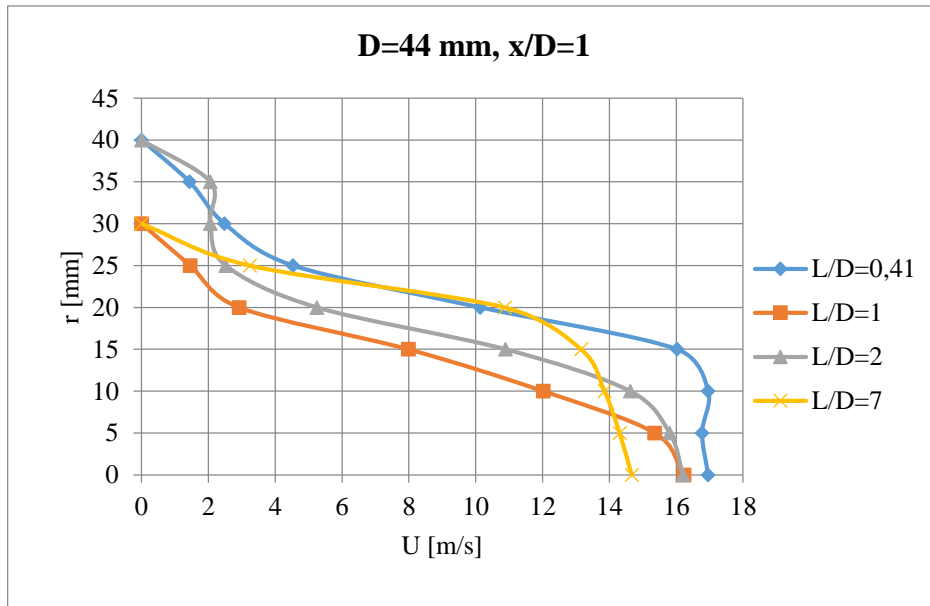
Kanal uzunluğunun jet akışına olan etkisini daha iyi görebilmek için jet çıkışından belirli uzaklıklarda farklı uzunluklarda kanallar kullanılması durumunda oluşan hız profilleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar tam fan açıklığı için yapılmıştır.

Deneysel olarak $D=44$ mm çaplı jet akışı için kanal uzunlukları $L/D=0,41$ (kanalsız), $L/D=1$, $L/D=2$ ve $L/D=7$ olarak seçilmiştir. Tam fan açıklığında jet çıkışındaki ($x/D=0$) hız profilleri Şekil 4.10'da verilmiştir. Hız ölçümündeki belirsizlikler nedeniyle hızları mutlak değerlendirme yerine hız profili olarak karşılaştırmak daha anlamlı olacaktır. Kanalsız durumda ($L/D=0,41$) jet çıkışında maksimum hızın jet merkezinde değil cidara yakın bölgede ve kanal uzunluğu arttığında ise jet merkezinde meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca kanal uzunluğu arttığında jet çıkışındaki hız profilinin daha basık hale geldiği ve jet merkezindeki hız değerinin azaldığı söylenebilir.



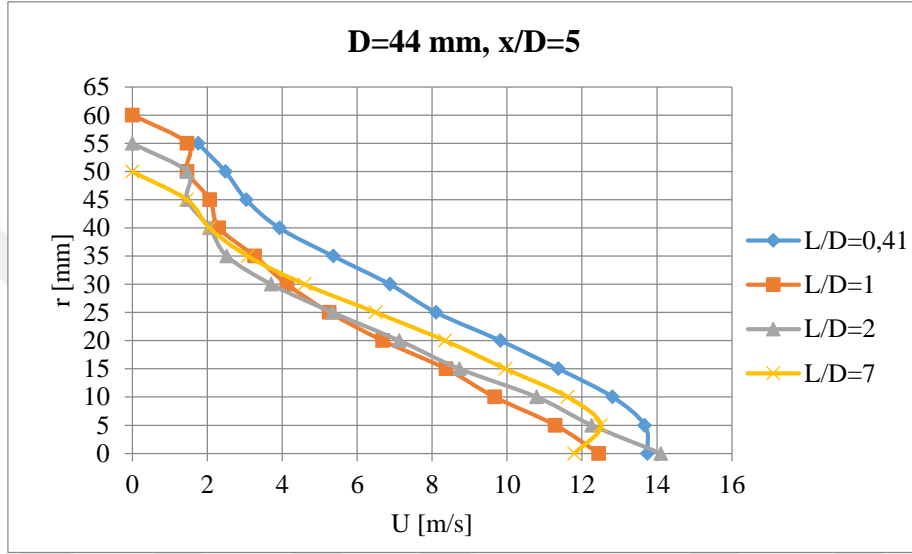
Şekil 4.10. Tam fan açıklığında 44 mm çapta $x/D=0$ 'daki hızların karşılaştırılması

$D=44$ mm jet çapında ve jet çıkışından $x/D=1$ uzaklıkta farklı kanal uzunlukları için verilen hız profilleri Şekil 4.11'de karşılaştırılmıştır. Bu şekilden de görüleceği üzere kanal uzunluğu arttıkça hız profili basık hale gelmekte ve merkezdeki hız değerleri düşmektedir.

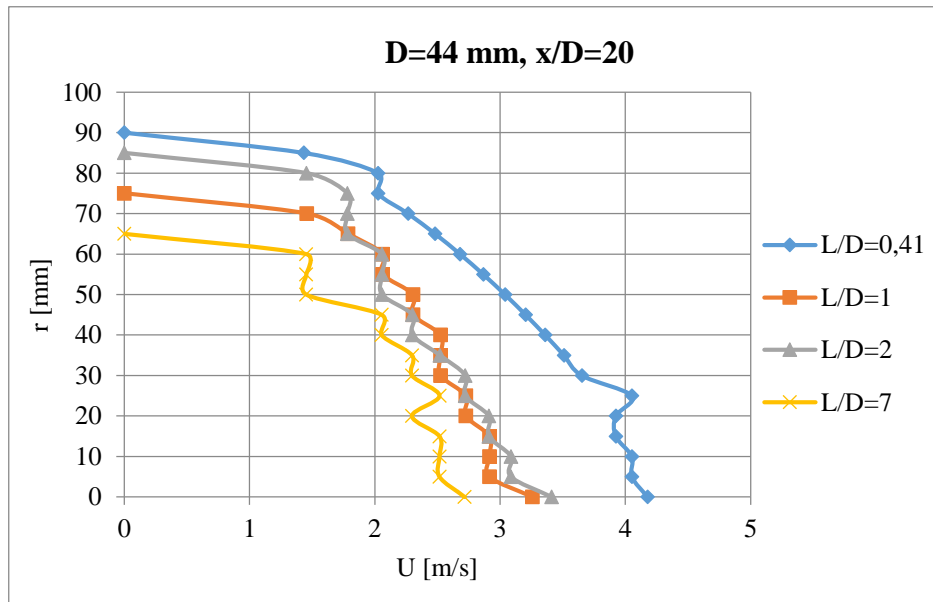


Şekil 4.11. Tam fan açıklığında 44 mm çapta $x/D=1$ 'deki hızların karşılaştırılması

Şekil 4.12, 44 mm çaplı jet çıkışından $x/D=5$ uzaklıktaki hız profillerini; Şekil 4.13 ise jet çıkışından $x/D=20$ uzaklıktaki hız profillerini sunmaktadır. Her iki şekilde de $L/D=0,41$ (kanalsız) durum için hız değerlerinin daha büyük olduğu ve diğer kanal uzunlukları için yakın değerleri aldığı görülmektedir.

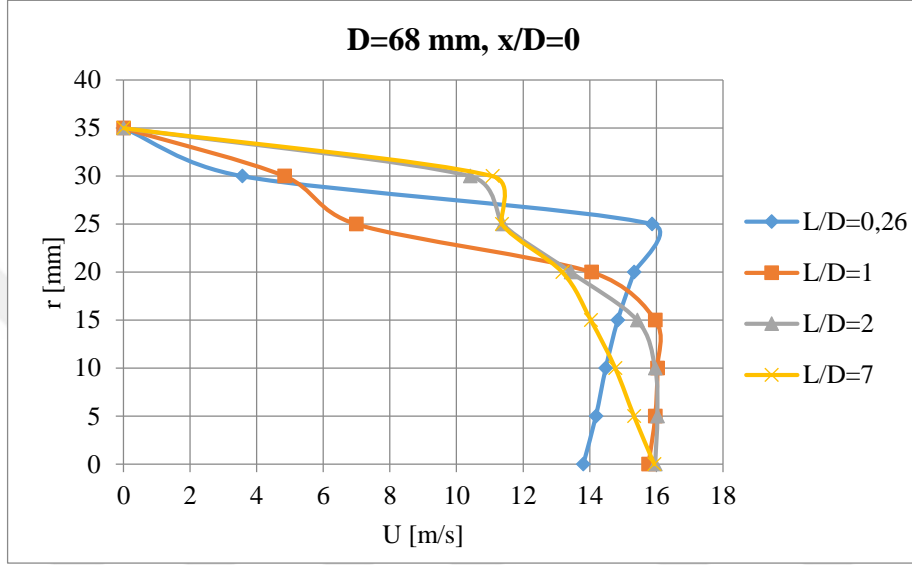


Şekil 4.12. Tam fan açıklığında 44 mm çapta $x/D=5$ 'teki hızların karşılaştırılması

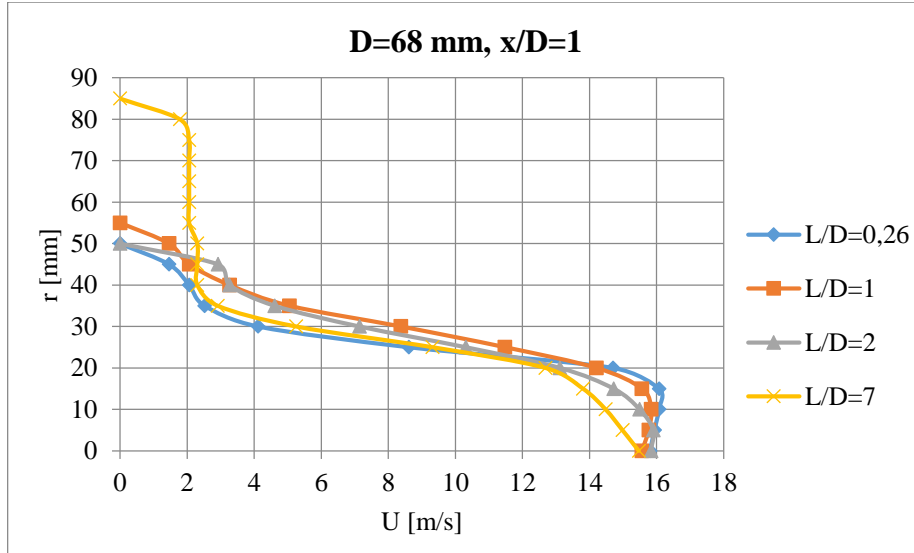


Şekil 4.13. Tam fan açıklığında 44 mm çapta $x/D=20$ 'deki hızların karşılaştırılması

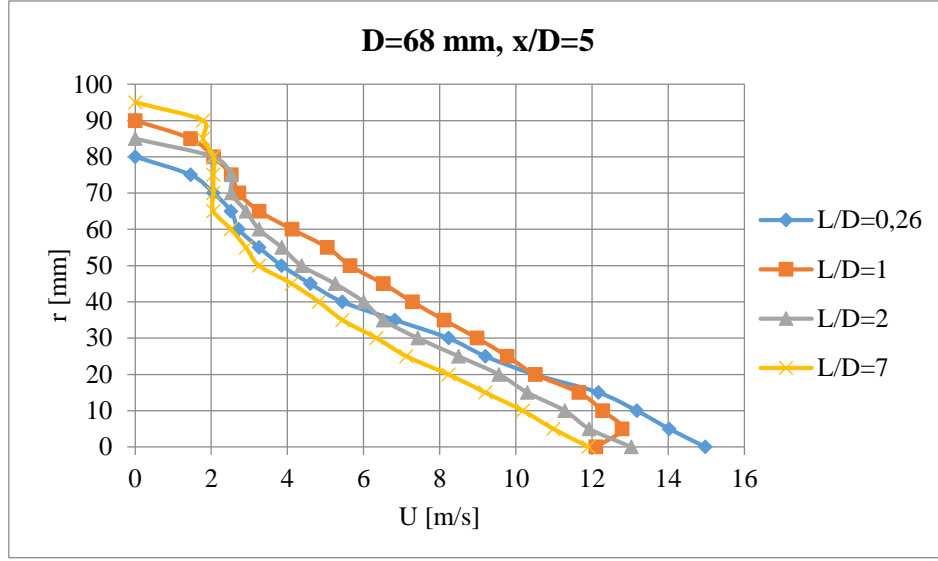
D=68 mm çaplı jet akışında, jet çıkışında ($x/D=0$), $x/D=1$, $x/D=5$ ve $x/D=20$ uzaklıklardaki hız profilleri değişik kanal uzunlukları için sırasıyla Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de verilmiş olup hız değerleri değişmekle birlikte hız profilleri D=44 mm çaplı jet akışı için elde hız profillerine benzemektedir.



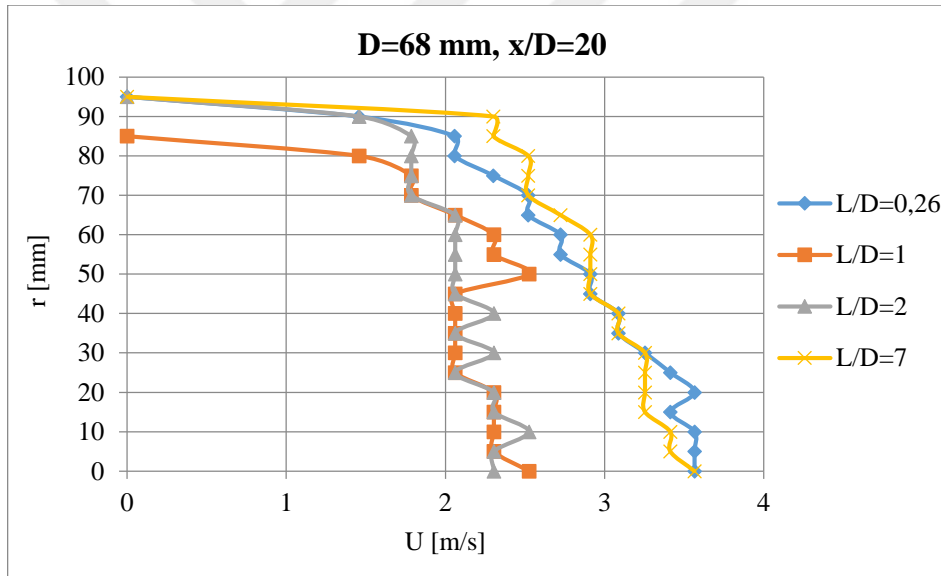
Şekil 4.14. Tam fan açıklığında 68 mm çapta $x/D=0$ 'daki hızların karşılaştırılması



Şekil 4.15. Tam fan açıklığında 68 mm çapta $x/D=1$ 'deki hızların karşılaştırılması

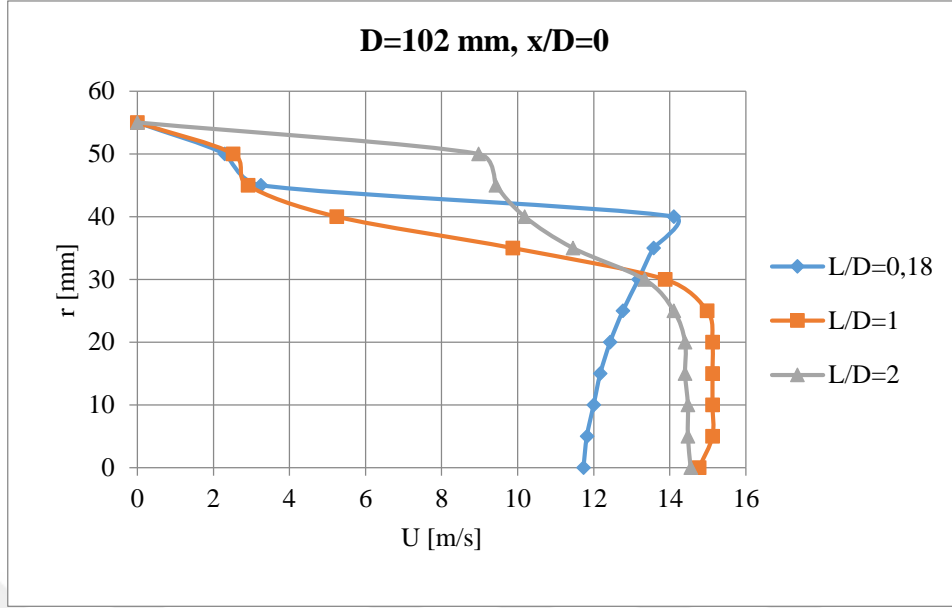


Şekil 4.16. Tam fan açıklığında 68 mm çapta $x/D=5$ 'teki hızların karşılaştırılması

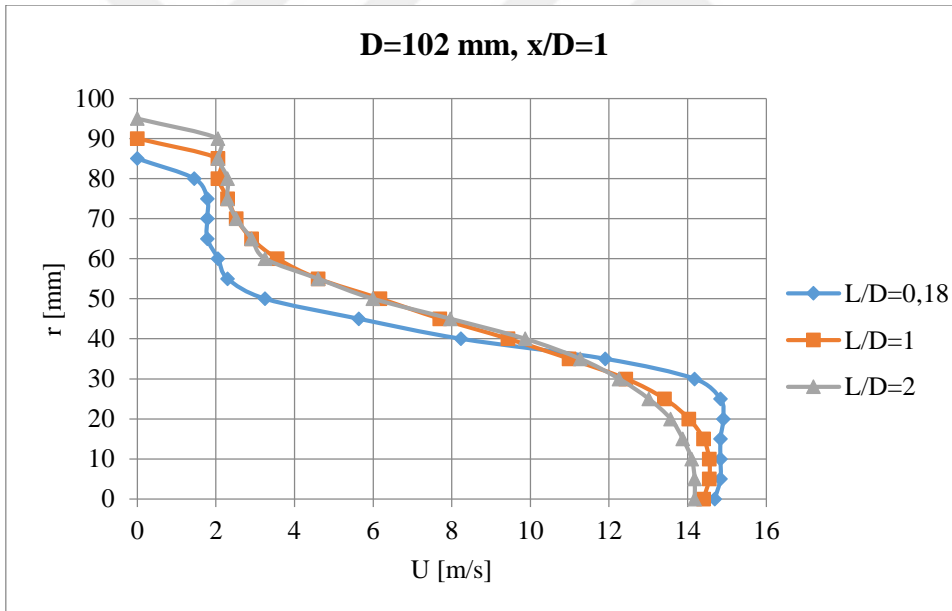


Şekil 4.17. Tam fan açıklığında 68 mm çapta $x/D=20$ 'deki hızların karşılaştırılması

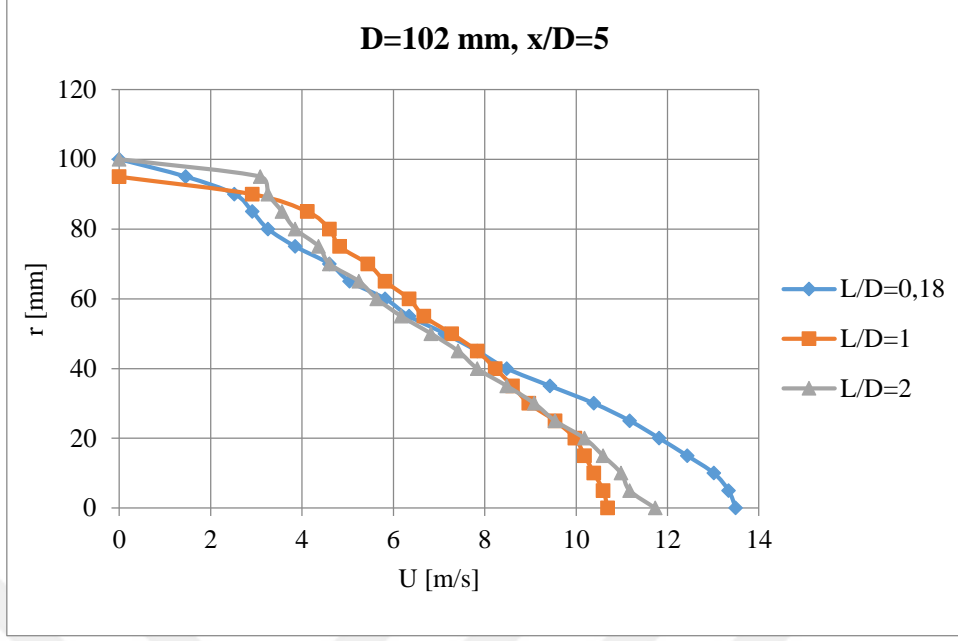
$D=102$ mm çaplı jet akışında, jet çıkışında ($x/D=0$) ve $x/D=1$, $x/D=5$ ve $x/D=20$ uzaklıklardaki hız profilleri, kanalsız durum ve kanal uzunluklarının $L/D=1$ ve $L/D=2$ değerleri için sırasıyla Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de verilmiştir. Daha küçük çaplardaki jetlerle karşılaştırıldığında görülen en büyük fark, kanalsız durumda ($L/D=0,26$) kanal çıkışında olduğu gibi $x/D=1$ 'de de jet eksenindeki hız artıp belirli bir noktadan sonra aniden küçülmektedir.



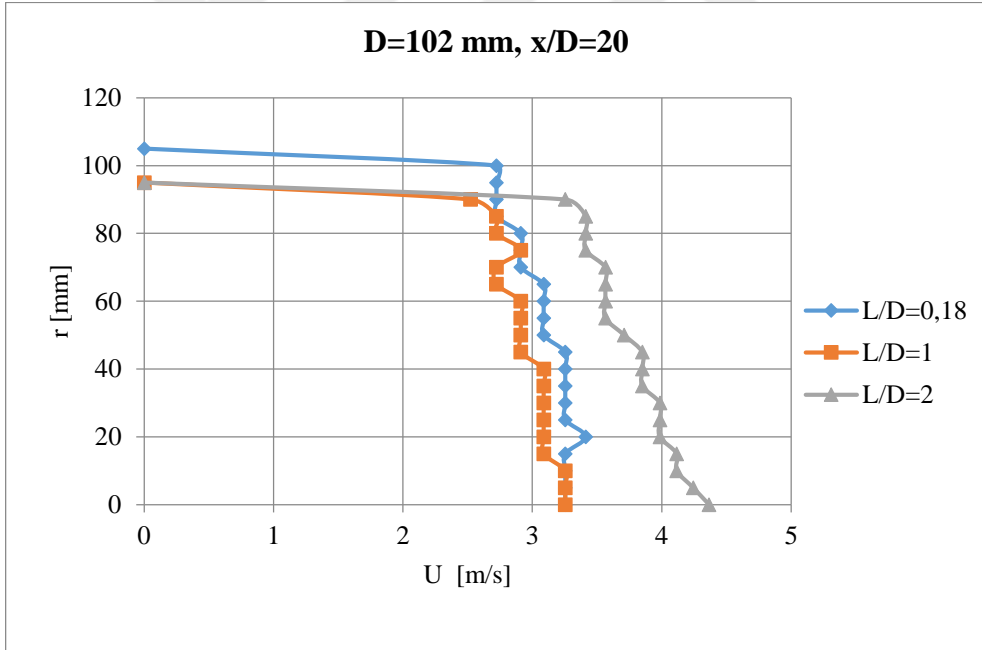
Şekil 4.18. Tam fan açıklığında 102 mm çapta $x/D=0$ 'daki hızların karşılaştırılması



Şekil 4.19. Tam fan açıklığında 102 mm çapta $x/D=1$ 'deki hızların karşılaştırılması



Şekil 4.20. Tam fan açıklığında 102 mm çapta $x/D=5$ 'teki hızların karşılaştırılması

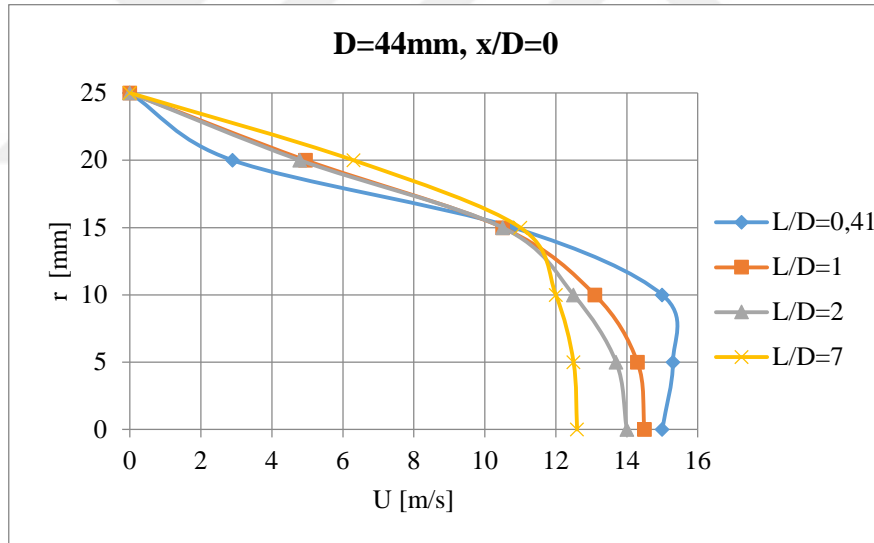


Şekil 4.21. Tam fan açıklığında 102 mm çapta $x/D=20$ 'deki hızların karşılaştırılması

4.2.2. Sayısal Çalışma Sonuçları

Farklı çaplardaki jet akışlarındaki hız profillerinin birbirine benzeyeceği düşüncesiyle bu bölümde de sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlardan sadece $D=44$ mm çaplı jet akışıyla ilgili sonuçlar sunulmuştur. Tam fan açıklığında sadece 18 mm kalınlığında levhanın olması (kanalsız) durumunda ve değişik kanal uzunlukları için jet çıkışından belirli uzaklıklarda elde edilen hız profilleri verilmiştir.

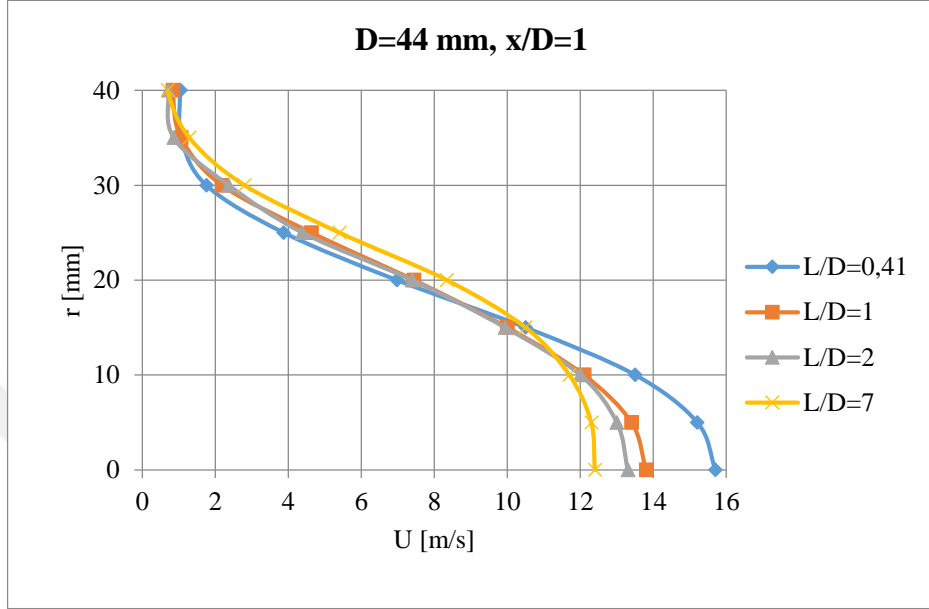
Hemen jet çıkışındaki ($x/D=0$) hız profilleri Şekil 4.22’de verilmiştir. Deneysel çalışmada olduğu gibi kanalsız durumda ($L/D=0,41$) jet çıkışındaki maksimum hızın jet merkezinde değil cidara yakın bölgede ve kanal uzunluğu arttığında ise jet merkezinde meydana gelmektedir. Ayrıca kanal uzunluğu arttığında jet çıkışındaki hız profili daha basık hale gelmekte ve jet merkezindeki hız değeri azalmaktadır.



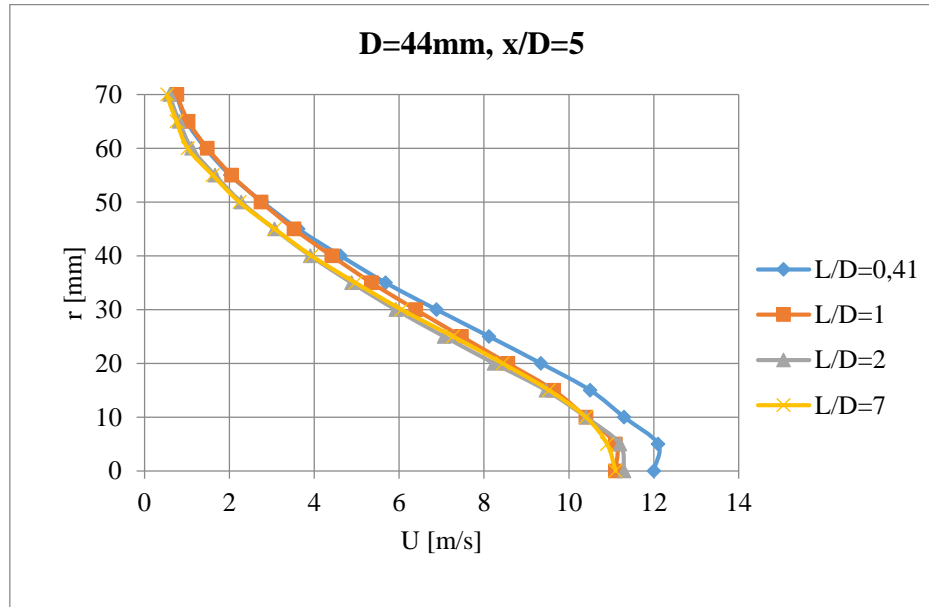
Şekil 4.22. 44 mm çaplı farklı kanal durumlarında $x/D=0$ 'daki hızlar

Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te, $D=44$ mm çaplı jet çıkışından sırasıyla $x/D=1$, $x/D=5$ ve $x/D=20$ uzaklıklardaki hız profilleri sunulmuştur. Her üç şekilde de $L/D=0,41$ (kanalsız durum) için jet merkezindeki hız değerinin maksimum olduğu ve maksimum hızın jet ekseninde meydana geldiği görülmektedir. Şekil 4.24 ve Şekil 4.25

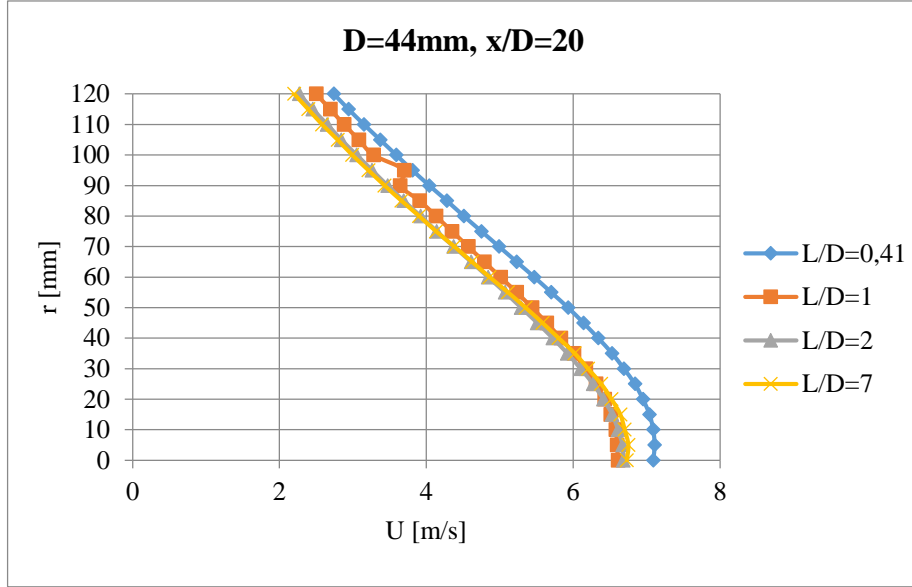
incelendiğinde, $x/D=5$ ve $x/D=20$ için kanalsız durum dışında kanal boyunun çok etkili olmadığı hız profillerinin yakın değerleri aldığı görülmektedir.



Şekil 4.23. 44 mm çaplı farklı kanal durumlarında $x/D=1$ 'deki hızlar



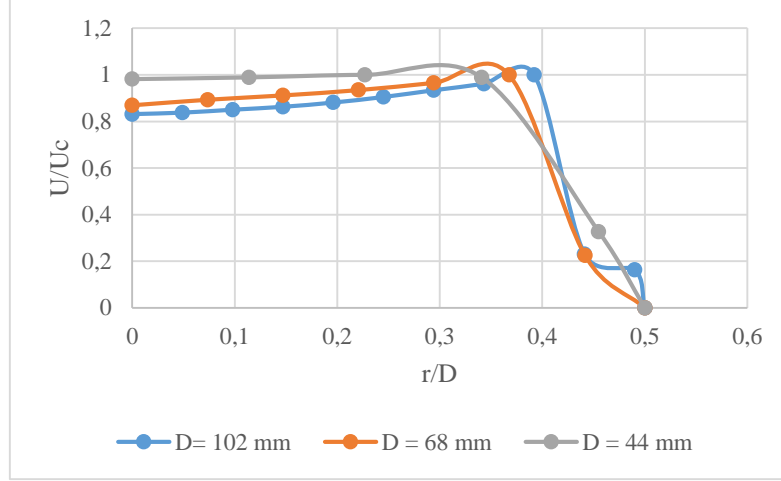
Şekil 4.24. 44 mm çaplı farklı kanal durumlarında $x/D=5$ 'teki hızlar



Şekil 4.25. 44 mm çaplı farklı kanal durumlarında $x/D=20$ 'deki hızlar

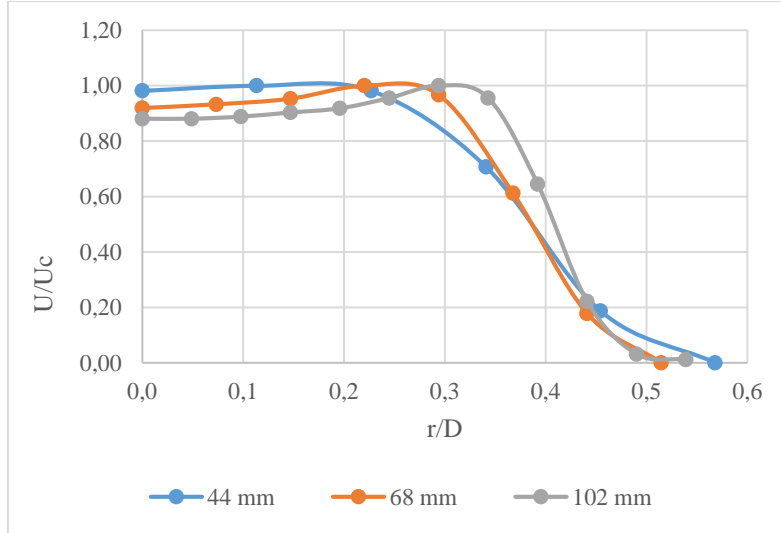
4.3. Kesit Daralma Oranının Akış Alanına Etkisi

Değişik durumlar için elde edilen deneysel ölçümlerden yararlanılarak kesit daralma oranının hız profiline etkisinin daha iyi görülebilmesi için 3 farklı çaptaki jet akışı kanalsız durum $L/D=0,41$, $L/D=0,26$ ve $L/D=0,18$ için jet çıkışında, $x/D=0$, boyutsuz hız dağılımı Şekil 4.26'da verilmiştir. Kesit daralma oranı $D=44$ mm için 42,43, $D=68$ mm için 17,77 ve $D=102$ mm için 7,90 olarak hesaplanmıştır. Hızlar çıkış kesitinde meydana gelen maksimum hızla boyutsuzlaştırılmıştır. Sadece levhanın olması durumunda (kanalsız) elde edilen boyutsuz hız profillerinin, Şekil 1.16'da keskin kenarlı orifis jeti için verilen boyutsuz hız profiline benzediği görülmektedir. Şekil 4.26'da kesit daralma oranının hız profiline etkisi olduğu söylenebilir.



Şekil 4.26. Değişik jet çapları için tam fan açıklığında ve $x/D=0$ 'da boyutsuz hız profilleri (deneysel)

Sayısal çalışmadan benzer durumlar için elde edilen boyutsuz hız dağılımları ise Şekil 4.27'de verilmiştir. Daha önceki bölümde deneysel ve sayısal hız değerleri arasında farklılıklar olmasına rağmen boyutsuz hızların yer aldığı iki şekil karşılaştırıldığında hız dağılımlarının birbirlerine çok yakın oldukları görülmektedir.

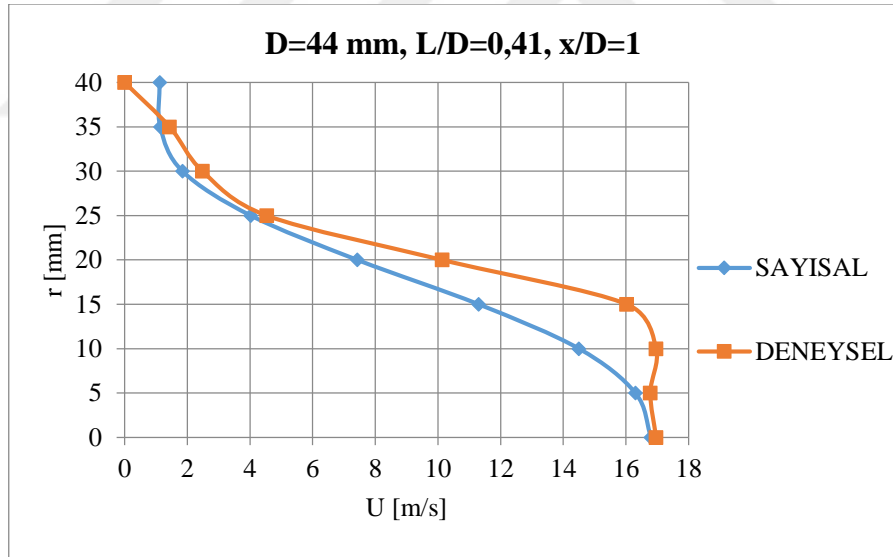


Şekil 4.27. Değişik jet çapları için tam fan açıklığında ve $x/D=0$ 'da boyutsuz hız profilleri (sayısal)

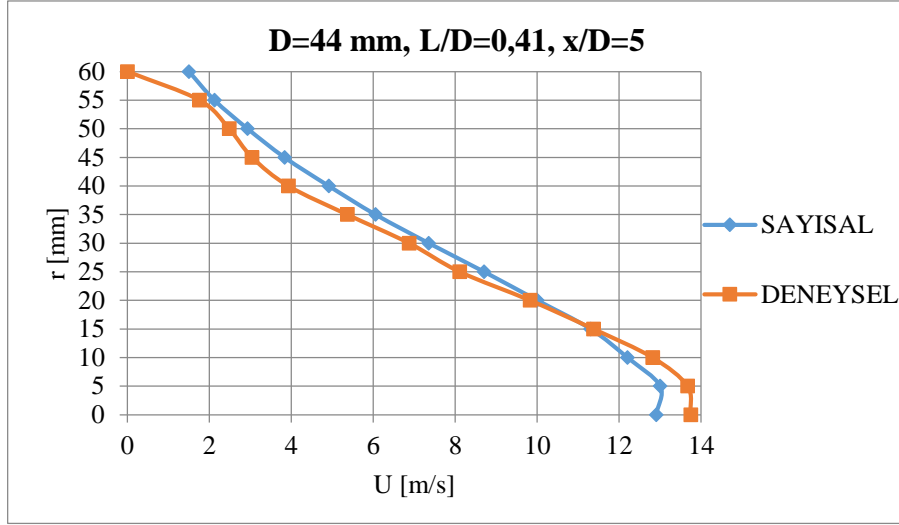
4.4. Deneysel ve Sayısal Sonuçların Karşılaştırılması

Deneysel ve sayısal sonuçlardan elde edilen hız profillerini karşılaştırabilmek için jet çıkışındaki ortalama hızların aynı olması gerekir. Bunun için her bir durum için jet çıkışında ölçülen hız dağılımından Denklem (2.6) kullanılarak hesaplanan ortalama hızlar dikkate alınmış ve 3 farklı jet çıkış çapı için kare kesitli kanalda giriş hızları belirlenmiştir. Kanalsız durumda bu giriş hızları 44 mm çap için 2,14 m/s, 68 mm çap için 2,95 m/s ve 102 mm çap için ise 4,0 m/s olmuştur. Bu farklılığın nedeni sayısal çalışmada elde edilen farklı kesit alanından kaynaklanmaktadır. Elde edilen deneysel sonuçlar ile sayısal sonuçların karşılaştırılması her durum için yapılmayıp aşağıda verilen durumlar için yapılmıştır.

Jet çapının $D=44$ mm olduğu kanalsız durumda jet çıkışından $x/D=1$ ve $x/D=5$ uzaklıklardaki sayısal ve deneysel sonuçlar Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da karşılaştırılmıştır ve hız profillerinin hem büyüklük hem de form olarak benzediği görülmektedir.

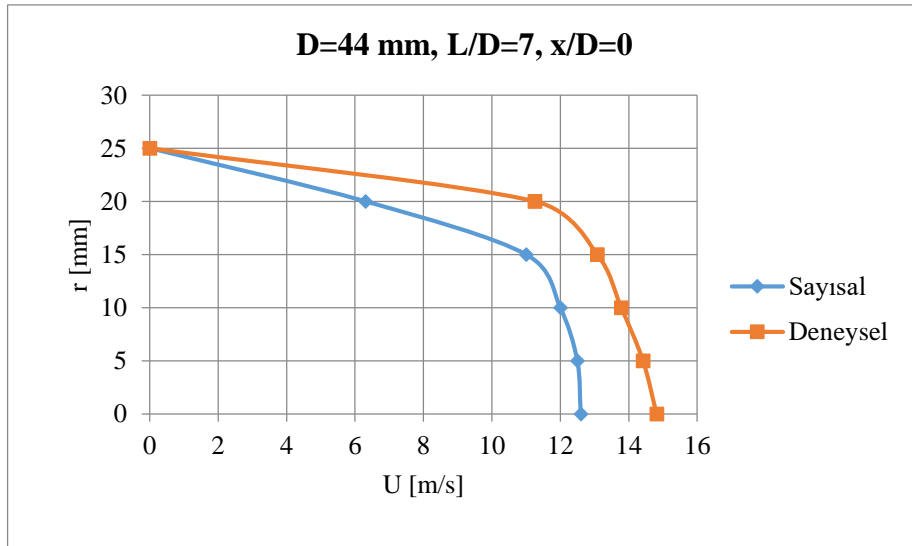


Şekil 4.28. $D=44$ mm, $L/D=0,41$ ve $x/D=1$ 'de hız değerlerinin karşılaştırılması



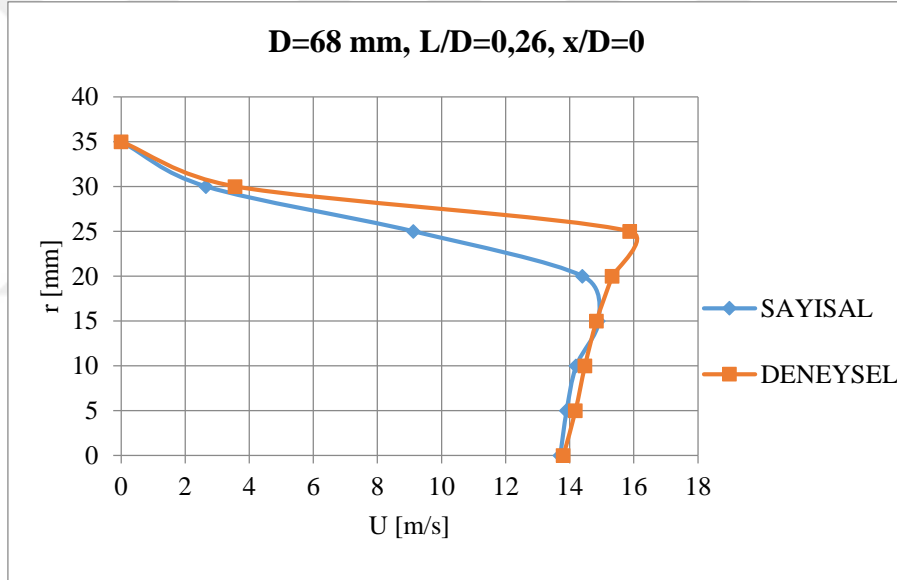
Şekil 4.29. D=44 mm, L/D=0,41 ve x/D=5'te hız değerlerinin karşılaştırılması

Kanal uzunluğunun $L/D=7$ olduğu durum için jet çıkışında ($x/D=0$) sayısal ve deneysel olarak elde edilen hız profilleri Şekil 4.30'da karşılaştırılmıştır. Deneysel hız değerlerinin biraz büyük değer almasına karşın hız dağılım profillerinin form olarak benzer olduğu görülmektedir.

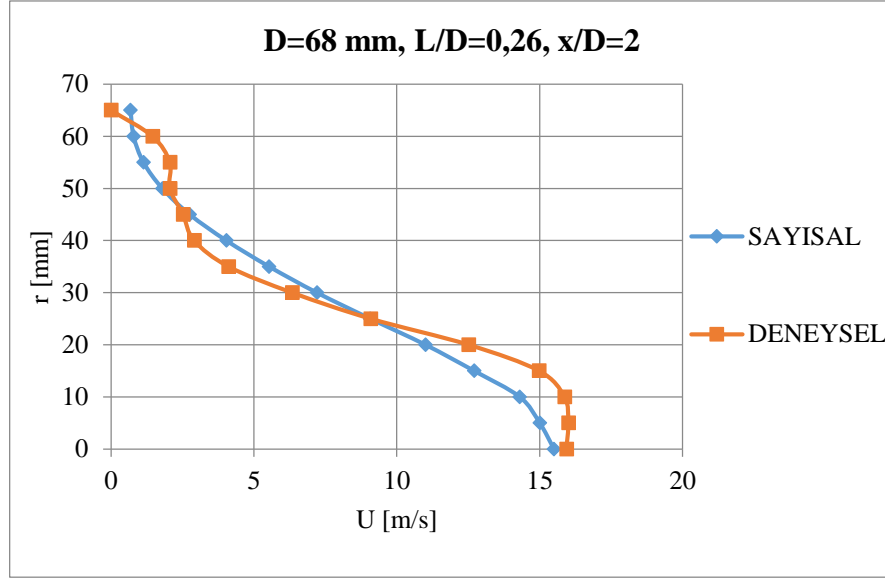


Şekil 4.30. D=44 mm, L/D=7 ve x/D=0'da hız değerlerinin karşılaştırılması

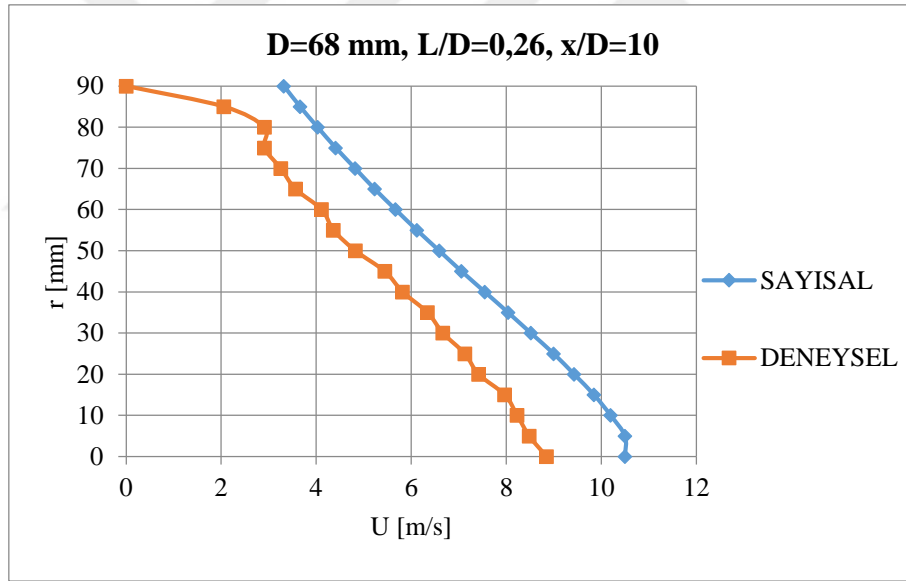
Jet çapının $D=68$ mm olduğu kanalsız ($L/D=0,26$) durumda jet çıkışında ($x/D=0$) elde edilen hız profilleri Şekil 4.31’de sunulmuştur. Deneysel ve sayısal hız profillerinin birbirine çok yakın olduğu; her iki durumda da hız değerlerinin jet merkezinden itibaren artıp kanal cidarına yaklaşırken aniden küçük değerler aldığı açıkça görülmektedir. Aynı çaplı jet akışında sırasıyla $x/D=2$, $x/D=10$ ve $x/D=20$ için verilen Şekil 4.32, Şekil 4.33 ve Şekil 4.34 incelendiğinde $x/D=2$ için sayısal ve deneysel değerlerin yakın olduğu ve x/D arttığında hız profillerindeki şekilsel benzerliğin sürmesine rağmen deneysel ve sayısal hız değerleri arasındaki farkın arttığı görülmektedir. Bu farklılığın nedeni olarak deneysel çalışmada hız ölçümde kullanılan yöntemdeki belirsizliğin küçük hızlarda yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.



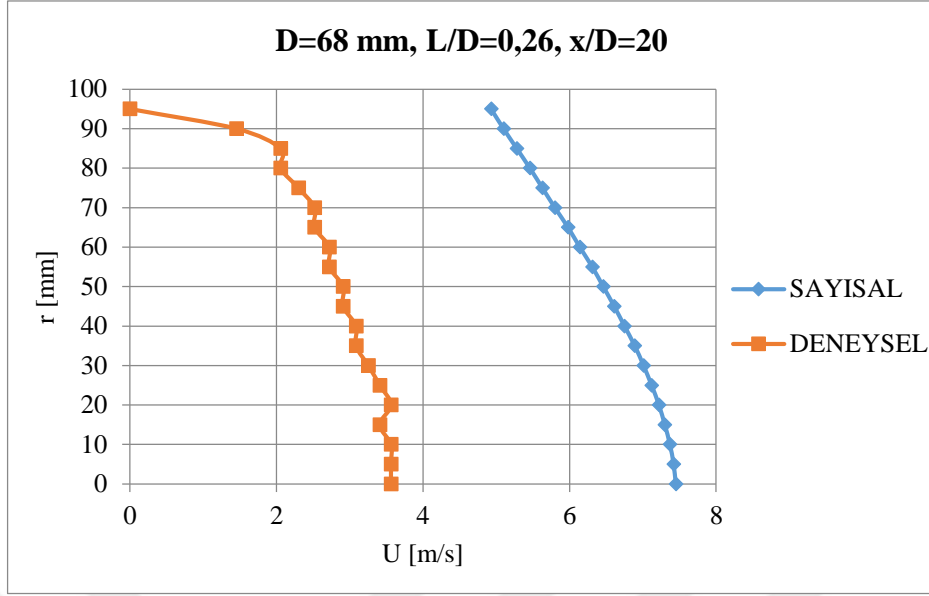
Şekil 4.31. $D=68$ mm, $L/D=0,26$ ve $x/D=0$ 'da hız değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.32. D=68 mm, L/D=0,26 ve x/D=2'de hız değerlerinin karşılaştırılması

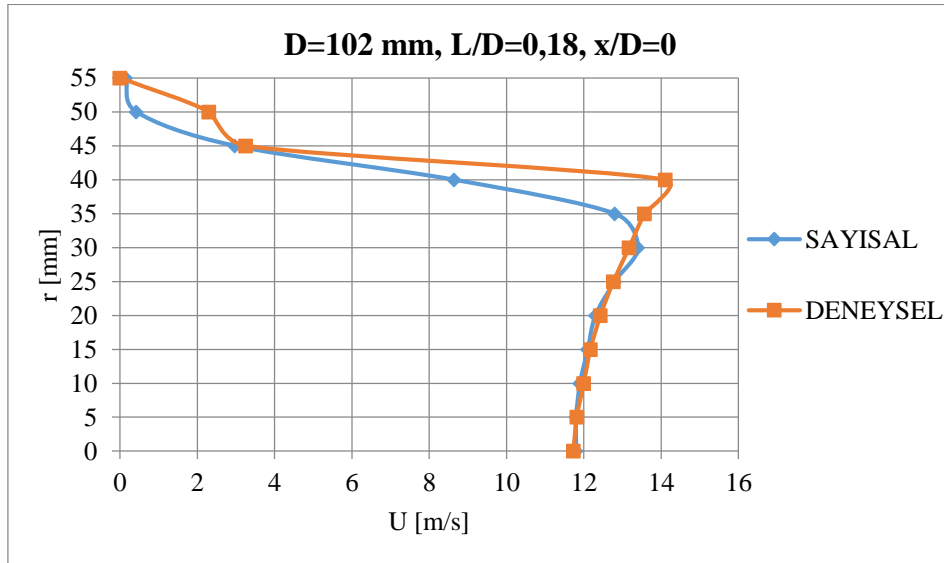


Şekil 4.33. D=68 mm, L/D=0,26 ve x/D=10'da hız değerlerinin karşılaştırılması

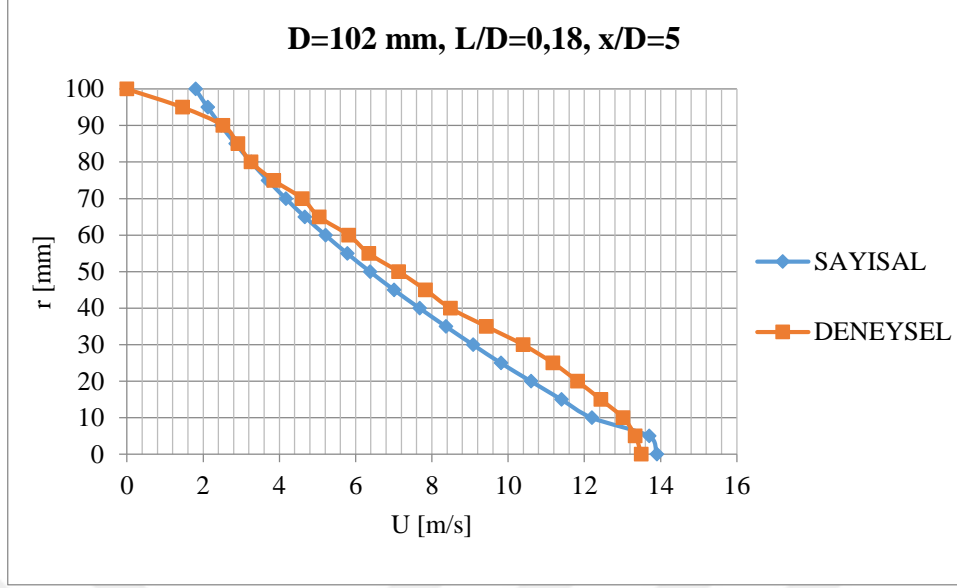


Şekil 4.34. D=68 mm, L/D=0,26 ve x/D=20'de hız değerlerinin karşılaştırılması

x/D=0 için Şekil 4.35'te ve x/D=5 için Şekil 4.36'da verilen D=102 mm çap ve kanalsız durumun (L/D=0,18) olduğu jet akışı için de sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması yapılmış olup her iki durumda da jetin hız profillerinin çok benzediği görülmektedir.



Şekil 4.35. D=102 mm, L/D=0,18 ve x/D=0'da hız değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.36. D=102 mm, L/D=0,18 ve x/D=5'te hız değerlerinin karşılaştırılması

5. SONUÇLAR

Ani daralma ile oluşan dairesel jet akışına kanal uzunluğu etkisinin, farklı jet çapları ve farklı kanal uzunlukları için hem deneysel hem de sayısal olarak incelendiği bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Pitot tüpü kullanılarak elde edilen boyutsuz hız profilleri literatürle benzerlik göstermektedir.
- Sadece levhanın olduğu kanalsız durumlarda jet çıkışındaki maksimum hız jet ekseninde değil cidara yakın bölgede meydana gelmektedir.
- Kanal uzunluğu arttıkça kanal içerisindeki hız profilinin gelişmesi nedeniyle jet eksenindeki maksimum hız değeri azalmaktadır.
- Kanal uzunluğunun hız profiline etkisi jet çıkışından uzaklaştıkça azalmaktadır.
- Kesit daralma oranı özellikle jet çıkışındaki hız profilini etkilemektedir.
- Jet çıkışına yakın bölgede birbirine yakın olan deneysel ve sayısal sonuçlar, jet çıkışından uzak bölgede hız profillerinin şekil olarak benzemesine rağmen hızların küçük olması nedeniyle farklı değerler almaktadır.

6. ÖNERİLER

Yapılan çalışmanın daha geliştirilmesine yönelik öneriler şu şekilde sıralanabilir:

- Jet çıkışından itibaren ölçüm alınan istasyon sayısı artırılarak akışın gelişim ve dağılım profili daha detaylı olarak görülebilir.
- Daha küçük hızlarda dolayısıyla daha küçük Reynolds sayılarında deneyler yapılabilir.
- Deneysel çalışmada hız değerlerini daha hassas elde edebilmek ve çalkantı hızlarını ölçebilmek için kızgın tel anemometresi kullanılabilir.
- Sayısal çalışmada 3 boyutlu çalışılabilir.
- Farklı türbülans modelleri denenebilir.
- Farklı geometriler için sayısal ve deneysel çalışmalar yapılabilir.

7. KAYNAKLAR

1. Baydar, E. ve Özmen, Y., Jet Akışlarının Deneysel ve Sayısal İncelenmesi, Araştırma Projesi Raporu, K.T.Ü., Mühendislik Fakültesi, Trabzon, 2007.
2. Abid, K.A., Measurements and Computation of Jet Flows: Effect of Initial Conditions, MSc Thesis, Victoria University of Manchester, Manchester, U.K., 1990.
3. Streeter, V.L. ve Wylie, E.B., Fluid Mechanics, First SI Metric Edition, 363, McGraw - Hill Book Company, 1983.
4. Şişman, T., İçten Yivli Dairesel Jet Akışın Deneysel ve Sayısal Akışkanlar Dinamiği (SAD) ile İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2013.
5. Stoecker, W.T., İklimlendirme Esasları, Genceli, O.F., İTÜ Yayınları, İstanbul, 1984.
6. Rajaratnam, N., Turbulent Jets, First Edition, 303, Elsevier Science, New York, 1976.
7. Kaş, C.F. ve Horos, E., Serbest Hava Jetlerinde Hız Dağılımı, Lisans Bitirme Çalışması, K.T.Ü., Müh. Fak. Makina Müh. Bölümü, Trabzon, 2015.
8. <https://www.ttmd.org.tr/PdfDosyaları/Dergi-Eki-63-1-1.pdf>, 22 Nisan 2021.
9. Düz, H., Giriş ve Tam Gelişmiş Akış Bölgesinde Laminar-Türbülans Geçiş Özelliklerinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2013.
10. Trüpel, T., Über die Einwirkung eines Luftstrahles auf die Umgebende Luft, Z. Gesamte Turbinen, 12 (1915) 52- 66.
11. Corrsin, S., Investigation of Flow in an Axially Symmetric Heated Jet of Air, N.A.C.A. Wartime Report, 94 (1946)
12. Hinze, J. O. ve Zijen, V. H. B. G., Transfer of Heat and Matter in The Turbulent Mixing Zone of an Axially Symmetric Jet, Appl. Sci. Res., 1 (1949) 435-461.
13. Albertson, M.L., Jensen, Y.B., ve Roose, H., Diffusion of Submerged Jets, Pro. Am. Soc. Civil Eng., 74 (1950) 175-185.
14. Wagnanski, L ve Fiedler, H., Some Measurements in the Self-Preserving Jet, J. Fluid Mech., 38 (1969) 577-612.
15. Davies, P. O. ve Fisher, M. J., Heat Transfer From Electrically Heated Cylinders, Proc. Roy. Soc., 280 (1964) 468-476.
16. Bradshaw, P., Experimental Fluid Mechanics, Pergamon Press, 1964.
17. Hussein, H.J. ve George, W.K., Measurement of Small Scale Turbulence in an Axisymmetric Jet Using Moving Hot-Wires, Proc. Seventh. Symp. On Turbulent Shear Flow, Feb. 1989, Stanford University, 7-30.

18. Taulbee, D.B., Hussein. H.J. ve Capp, S., The Round Jet- Experiment and Inferences on Turbulence Modelling, 6 th. Symp. On Turbulent Shear Flows, 1987, Toulouse, 10-5.
19. Miller, R. S., Madnia, C. K. ve Givi, P., Numerical Simulation of Non-Circular Jets, Computers & Fluids, 24 (1995) 1-25.
20. Grinsteina, F. F., Gutmark, E. ve Parr, T., Near Field Dynamics of Subsonic Free Square Jets. A Computational and Experimental Study, Physics of Fluids, 7 (1995) 1483-1497.
21. Zaman, K. B. Q. M., Spreading Characteristics of Compressible Jets from Nozzles of Various Geometries, J. Fluid Mechanics, 383 (1999) 197-228.
22. Buresti, G., Petagna, P. ve Talamelli, A., Experimental Investigation on the Turbulent Near-field of Coaxial Jets, Experimental Thermal and Fluid Science, 17 (1998) 18-36.
23. Husain, H. S. ve Hussain, F., The Elliptic Whistler Jet, J. Fluid Mechanics, 397 (1999) 23-44.
24. Mi, J., Nathan, G. J. ve Luxton, R. E., Centreline Mixing Characteristics of Jets from Nine Differently Shaped Nozzles, Experiments in Fluids, 28 (2000) 93-94.
25. Berg, J. R., Ormiston, S. J. ve Soliman, H. M., Prediction of the Flow Structure in a Turbulent Rectangular Free Jet, International Communications in Heat and Mass Transfer, 33 (2006) 552–563.
26. Morris, F.J., ve Zaman, K.B.Q.M., Velocity Measurements in Jets with Application to Noise Source Modeling, Journal of Sound and Vibration, 329, 4 (2010) 394-414.
27. Yükselentürk, Y., Dairesel ve Dairesel Olmayan Jet Akım Alanlarının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
28. Sivakumar, S., Sangras, R. ve Raghavan, V., Characteristics of Turbulent Round Jets in its Potential-core Region, World Academy of Science, Engineering and Technology, 61 (2012) 156-162.
29. Ness, K., An Enclosed Turbulent Jet Near a Solid Wall:Initial Flow Development, Yüksek Lisans Tezi, University of Alberta, Edmonton, Alberta, 2007.
30. Karakuş, Y., Effect of Nozzle Exit Geometry on The Jet Flow, M.Sc. Thesis, Istanbul Technical University, Graduate School of Science Engineering and Technology, Istanbul, 2015.
31. Atsatan, M., Değişik Geometrilili Açık Jetlerin Akış Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
32. Antonia, R. A. ve Zhao, Q., Effect of Initial Conditions on a Circular Jet, Experiments in Fluids, 31 (2001) 319-323.
33. Quinn, W.R., Upstream Nozzle Shaping Effects on Near Field Flow in Round Turbulent Free Jets, European Journal of Mechanics B/Fluids, 25 (2006) 279–301.
34. Shakouchi, T., Kito, M., Sato, K., Tsujimoto, K. ve Ando, T., Jet Diffusion Enhancement and Control of Orifice Free Jet, Journal of the Japan Society for Aeronautical and Space Sciences, 57, 663 (2009) 160–165.

35. Kito, M., Shakouchi, T., Sato, K., Tsujimoto, K. ve Ando, T., Fluid Flow and Heat Transfer Characteristics of Cone Orifice Jet (Effects of Cone Angle), Heat Transfer-Asian Research, 38, 4 (2009) 234–247.
36. Abdel-Rahman, A., A Review of Effects of Initial and Boundary Conditions on Turbulent Jets, WSEAS Transactions on Fluid Mechanics, 4, 5 (2010) 257-275.
37. https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/makina_a483e.pdf, 8 Ağustos 2021.
38. Manivannan, P., Dash, P.K. ve Sridhar, B.T.N., An Experimental Study on Comparison of Non-circular Co-flow Jet with Co-axial Jets and Computational Verification, Space Research Journal, 4 (2011) 60-70.
39. Kannan, B.T. ve Panchapakesan, N.R., Effect of Momentum Flux Distribution on Multiple Round Jets, Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 90, 2 (2018) 452-460.
40. Souza, P.R.C., Proença A.R., Almeida, O.D. ve Self, R.H., Aerodynamics and Aeroacoustics Investigation of a Low Speed Subsonic Jet, International Journal of Acoustics and Vibration, 22, 1 (2017) 121-130.
41. Mi, J., Kalt, P., Nathan, G. J. ve Wong, C. Y., PIV Measurements of a Turbulent Jet Issuing from Roundsharp-Edged Plate, Exp Fluids, 42 (2007) 625–637.
42. Quinn, W.R., On Mixing in an Elliptic Turbulent Free Jet, Physics Fluids A1, 10 (1989) 1716–1722,
43. Çengel, Y.A. ve Cimbala, J.M., Akışkanlar Mekaniği Temelleri ve Uygulamaları, Birinci Baskıdan Çeviri, 920, Güven Bilimsel, İzmir, 2008.

8. EKLER

Ek Tablo 1. Tam fan açıklığında 44 mm çaplı ve kanalsız durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0'da		x=44 mm'de		x=88 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	13,5	16,65089	14	16,95644	14	16,95644
5	13,7	16,77378	13,7	16,77378	14	16,95644
10	14	16,95644	14	16,95644	13	16,33963
15	13,7	16,77378	12,5	16,02233	10	14,33081
20	1,5	5,550298	5	10,13341	4,9	10,03156
25	0	0	1	4,531799	2,1	6,567201
30			0,3	2,482169	0,7	3,791575
35			0,1	1,433081	0,3	2,482169
40			0	0	0,1	1,433081
45					0	0
r [mm]	x=220 mm'de		x=440 mm'de		x=880 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	9,2	13,74563	3,1	7,979056	0,85	4,178112
5	9,1	13,67072	3,2	8,106728	0,8	4,053364
10	8	12,81786	3,1	7,979056	0,8	4,053364
15	6,3	11,37473	2,9	7,717376	0,75	3,924653
20	4,7	9,824706	2,5	7,165403	0,75	3,924653
25	3,2	8,106728	2,1	6,567201	0,8	4,053364
30	2,3	6,872813	1,8	6,080046	0,65	3,653653
35	1,4	5,362097	1,7	5,908743	0,6	3,510316
40	0,75	3,924653	1,3	5,167046	0,55	3,360872
45	0,45	3,040023	1	4,531799	0,5	3,204466
50	0,3	2,482169	0,8	4,053364	0,45	3,040023
55	0,15	1,755158	0,6	3,510316	0,4	2,866161
60	0	0	0,45	3,040023	0,35	2,681048
65			0,25	2,2659	0,3	2,482169
70			0,2	2,026682	0,25	2,2659
75			0	0	0,2	2,026682

Ek Tablo 1'in devamı

80					0,2	2,026682
85					0,1	1,433081
90					0	0



Ek Tablo 2. Yarı fan açıklığında 44 mm çaplı ve kanalsız durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0'da		x=44 mm'de		x=88 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	3,6	8,715946	4,3	9,525714	4,8	10,06431
5	3,8	8,954783	4,4	9,635841	5,1	10,37405
10	4	8,954783	4,4	9,635841	4,8	10,06431
15	3,6	8,715946	3,6	8,715946	3,5	8,594039
20	0,4	2,905315	1,6	5,810631	2	6,496483
25	0	0	0,7	3,843371	1	4,593707
30			0,5	3,248241	0,6	3,55827
35			0,4	2,905315	0,45	3,081552
40			0,2	2,054368	0,4	2,905315
45			0	0	0,4	2,905315
50					0,4	2,905315
55					0,4	2,905315
60					0,2	2,054368
65					0	0
r [mm]	x=220 mm'de		x=440 mm'de		x=880 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	4,2	9,414298	1,8	6,163105	0,8	4,108736
5	3,7	8,836172	1,7	5,989461	0,8	4,108736
10	2,9	7,822801	1,6	5,810631	0,85	4,235189
15	2,2	6,813569	1,4	5,435347	0,8	4,108736
20	1,7	5,989461	1,3	5,237632	0,75	3,978267
25	1,2	5,032154	1,2	5,032154	0,75	3,978267
30	0,9	4,357973	1	4,593707	0,7	3,843371
35	0,7	3,843371	0,9	4,357973	0,7	3,843371
40	0,55	3,406784	0,8	4,108736	0,7	3,843371
45	0,5	3,248241	0,8	4,108736	0,65	3,703565
50	0,45	3,081552	0,75	3,978267	0,7	3,843371
55	0,4	2,905315	0,65	3,703565	0,65	3,703565
60	0,3	2,516077	0,6	3,55827	0,6	3,55827
65	0,25	2,296854	0,6	3,55827	0,55	3,406784
70	0,25	2,296854	0,5	3,248241	0,55	3,406784

Ek Tablo 2'nin devamı

75	0,2	2,054368	0,45	3,081552	0,5	3,248241
80	0	0	0,35	2,717674	0,5	3,248241
85			0,25	2,296854	0,5	3,248241
90			0,2	2,054368	0,45	3,081552
95			0	0	0,4	2,905315
100					0,4	2,905315
105					0,2	2,054368
110					0	0



Ek Tablo 3. Tam fan açıklığında 44 mm çaplı ve 44 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0'da		x=44 mm'de		x=88 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	16	18,43586	12,4	16,22984	12,3	16,16427
5	15,5	18,14552	11,1	15,35554	8,6	13,51614
10	15	17,85045	6,8	12,01871	5,5	10,80898
15	3,8	8,984529	3	7,982963	2,5	7,287415
20	0	0	0,4	2,914966	0,5	3,259031
25			0,1	1,457483	0,2	2,061192
30			0	0	0,1	1,457483
35					0	0
r [mm]	x=220 mm'de		x=440 mm'de		x=880 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	7,3	12,45274	1,8	6,183577	0,5	3,259031
5	6	11,28961	1,5	5,644807	0,4	2,914966
10	4,4	9,667849	1,4	5,453402	0,4	2,914966
15	3,3	8,372603	1,2	5,048869	0,4	2,914966
20	2,1	6,679026	1	4,608966	0,35	2,726701
25	1,3	5,25503	0,8	4,122385	0,35	2,726701
30	0,8	4,122385	0,6	3,57009	0,3	2,524435
35	0,5	3,259031	0,5	3,259031	0,3	2,524435
40	0,25	2,304483	0,4	2,914966	0,3	2,524435
45	0,2	2,061192	0,3	2,524435	0,25	2,304483
50	0,1	1,457483	0,3	2,524435	0,25	2,304483
55	0,1	1,457483	0,2	2,061192	0,2	2,061192
60	0	0	0,1	1,457483	0,2	2,061192
65			0,1	1,457483	0,15	1,785045
70			0	0	0,1	1,457483
75					0	0

Ek Tablo 4. Yarı fan açıklığında 44 mm çaplı ve 44 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0'da		x=44 mm'de		x=88 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	10,2	14,71986	9,3	14,05546	9,2	13,97969
5	10	14,57483	8,5	13,43733	7,1	12,28097
10	9,6	14,28036	4,8	10,09774	4,5	9,777093
15	1	4,608966	1,8	6,183577	2,1	6,679026
20	0,2	2,061192	0,25	2,304483	0,6	3,57009
25	0	0	0,1	1,457483	0,2	2,061192
30			0	0	0,1	1,457483
35					0	0
r [mm]	x=220 mm'de		x=440 mm'de		x=880 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	5,8	11,09986	1,3	5,25503	0,3	2,524435
5	4,2	9,44557	1,1	4,833924	0,3	2,524435
10	3,3	8,372603	1	4,608966	0,3	2,524435
15	2,5	7,287415	0,9	4,372449	0,25	2,304483
20	1,6	5,829932	0,7	3,856138	0,25	2,304483
25	1,1	4,833924	0,5	3,259031	0,25	2,304483
30	0,6	3,57009	0,45	3,091788	0,2	2,061192
35	0,35	2,726701	0,35	2,726701	0,2	2,061192
40	0,2	2,061192	0,3	2,524435	0,15	1,785045
45	0,1	1,457483	0,25	2,304483	0,1	1,785045
50	0	0	0,2	2,061192	0,1	1,457483
55			0,1	1,457483	0,1	1,457483
60			0	0	0	0

Ek Tablo 5. Tam fan açıklığında 44 mm çaplı ve 88 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

	x=0'da		x=44 mm'de		x=88 mm'de	
r [mm]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	12,3	16,13744	12,4	16,20291	12,1	16,00571
5	12,3	16,13744	11,8	15,80604	11,3	15,46754
10	10,4	14,8388	10,1	14,62321	9	13,80395
15	5,9	11,17656	5,6	10,8887	6,1	11,36441
20	5,2	9,316957	1,3	5,246309	2,8	7,699476
25	0	0	0,3	2,520245	0,7	3,849738
30			0,2	2,057772	0,3	2,520245
35			0,2	2,057772	0,25	2,300659
40			0	0	0,25	2,300659
45					0	0
r [mm]	x=220 mm'de		x=440 mm'de		x=880 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	9,4	14,10737	3,5	8,608276	0,55	3,412428
5	7,1	12,26059	3,1	8,101455	0,45	3,086657
10	5,5	10,79104	2,7	7,560735	0,45	3,086657
15	3,6	8,730385	2,1	6,667942	0,4	2,910128
20	2,4	7,12833	1,7	5,999383	0,4	2,910128
25	1,35	5,346247	1,3	5,246309	0,35	2,722176
30	0,65	3,7097	0,9	4,365193	0,35	2,722176
35	0,3	2,520245	0,6	3,564165	0,3	2,520245
40	0,2	2,057772	0,4	2,910128	0,25	2,300659
45	0,1	1,455064	0,3	2,520245	0,25	2,300659
50	0,1	1,455064	0,25	2,300659	0,2	2,057772
55	0	0	0,2	2,057772	0,2	2,057772
60			0,1	1,455064	0,2	2,057772
65			0,1	1,455064	0,15	1,782082
70			0	0	0,15	1,782082
75					0,15	1,782082
80					0,1	1,455064
85					0	0

Ek Tablo 6. Yarı fan açıklığında 44 mm çaplı ve 88 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0'da		x=44 mm'de		x=88 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	V [m/s]	Δh [mmSS]	V [m/s]
0	8,8	13,64971	8,4	13,33588	8,5	13,41503
5	8,5	13,41503	8,1	13,09558	8,1	13,09558
10	6,9	12,08667	6,5	11,7311	6,8	11,99877
15	4,1	9,316957	3,7	8,85081	4,2	9,429894
20	3,5	8,608276	1,1	4,825902	1,8	6,173315
25	0	0	0,2	2,057772	0,5	3,253622
30			0,1	1,455064	0,3	2,520245
35			0	0	0,3	2,520245
40					0,25	2,300659
45					0	0
r [mm]	x=220 mm'de		x=440 mm'de		x=880 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	5	10,28886	2,6	7,419401	0,4	2,910128
5	4,2	9,429894	2,3	6,978243	0,4	2,910128
10	3,3	8,358707	1,9	6,342478	0,4	2,910128
15	2,1	6,667942	1,5	5,635439	0,35	2,722176
20	1,25	5,144429	1,25	5,144429	0,3	2,520245
25	0,7	3,849738	0,9	4,365193	0,3	2,520245
30	0,4	2,910128	0,6	3,564165	0,3	2,520245
35	0,25	2,300659	0,5	3,253622	0,25	2,300659
40	0,15	1,782082	0,3	2,520245	0,2	2,057772
45	0,1	1,455064	0,25	2,300659	0,2	2,057772
50	0,1	1,455064	0,2	2,057772	0,2	2,057772
55	0	0	0,15	1,782082	0,2	2,057772
60			0,1	1,455064	0,15	1,782082
65			0	0	0,15	1,782082
70					0,1	1,455064
75					0	0

Ek Tablo 7. Tam fan açıklığında 44 mm çaplı ve 308 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0'da		x=44 mm'de		x=88 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	10,4	14,81426	10,2	14,67112	9,8	14,38058
5	9,85	14,41722	9,7	14,30702	9,3	14,00892
10	9	13,78112	9,1	13,85747	8,7	13,54949
15	8,1	13,07392	8,2	13,15437	7,5	12,58038
20	6	11,25224	5,6	10,87069	5	10,27184
25	0	0	0,5	3,248241	1,3	5,237632
30			0	0	0,2	2,054368
35					0	0
r [mm]	x=220 mm'de		x=440 mm'de		x=880 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	6,6	11,80145	2,7	7,548231	0,35	2,717674
5	7,4	12,49623	3	7,956534	0,3	2,516077
10	6,4	11,62126	2,7	7,548231	0,3	2,516077
15	4,7	9,958919	2,3	6,966702	0,3	2,516077
20	3,3	8,344883	2	6,496483	0,25	2,296854
25	2	6,496483	1,6	5,810631	0,3	2,516077
30	1	4,593707	1,1	4,817921	0,25	2,296854
35	0,45	3,081552	0,8	4,108736	0,25	2,296854
40	0,2	2,054368	0,5	3,248241	0,2	2,054368
45	0,1	1,452658	0,35	2,717674	0,2	2,054368
50	0	0	0,2	2,054368	0,1	1,452658
55			0,1	1,452658	0,1	1,452658
60			0	0	0,1	1,452658
65					0	0

Ek Tablo 8. Yarı fan açıklığında 44 mm çaplı ve 308 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0'da		x=44 mm'de		x=88 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	7,4	12,49623	6,7	11,89052	7	12,15381
5	6,8	11,97892	5,7	10,96733	6,5	11,7117
10	6,3	11,53011	4,9	10,1686	6	11,25224
15	5,5	10,7732	4,1	9,301548	5,1	10,37405
20	4,1	9,301548	2,8	7,686742	3	7,956534
25	0	0	0,3	2,516077	0,8	4,108736
30			0	0	0,1	1,452658
35					0	0
r [mm]	x=220 mm'de		x=440 mm'de		x=880 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	4,7	9,958919	1,9	6,331988	0,3	2,516077
5	5,1	10,37405	2	6,496483	0,3	2,516077
10	4,5	9,744724	1,8	6,163105	0,3	2,516077
15	3,1	8,088056	1,5	5,626119	0,3	2,516077
20	2,3	6,966702	1,3	5,237632	0,25	2,296854
25	1,4	5,435347	0,85	4,235189	0,25	2,296854
30	0,75	3,978267	0,65	3,703565	0,2	2,054368
35	0,3	2,516077	0,5	3,248241	0,2	2,054368
40	0,2	2,054368	0,3	2,516077	0,15	1,779135
45	0,1	1,452658	0,25	2,296854	0,15	1,779135
50	0	0	0,1	1,452658	0,1	1,452658
55			0,1	1,452658	0	0
60			0	0		

Ek Tablo 9. Tam fan açıklığında 68 mm çaplı ve kanalsız durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0 mm'de		x=68 mm'de		x=136 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	9	13,80395	11,8	15,80604	12	15,93943
5	9,5	14,18221	12	15,93943	12,1	16,00571
10	9,9	14,47771	12,2	16,07171	11,9	15,87288
15	10,4	14,8388	12,2	16,07171	10,6	14,9808
20	11,1	15,33005	10,2	14,69543	7,4	12,51694
25	11,9	15,87288	3,5	8,608276	3,9	9,086873
30	0,6	3,564165	0,8	4,115543	1,9	6,342478
35	0	0	0,3	2,520245	0,8	4,115543
40			0,2	2,057772	0,4	2,910128
45			0,1	1,455064	0,3	2,520245
50			0	0	0,2	2,057772
55					0,2	2,057772
60					0,1	1,455064
65					0	0
r [mm]	x=340 mm'de		x=680 mm'de		x=1360 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	10,6	14,9808	3,7	8,85081	0,6	3,564165
5	9,3	14,03213	3,4	8,484409	0,6	3,564165
10	8,2	13,17617	3,2	8,231086	0,6	3,564165
15	7	12,17394	3	7,969715	0,55	3,412428
20	5,2	10,49262	2,6	7,419401	0,6	3,564165
25	4	9,202634	2,4	7,12833	0,55	3,412428
30	3,2	8,231086	2,1	6,667942	0,5	3,253622
35	2,2	6,824856	1,9	6,342478	0,45	3,086657
40	1,4	5,444352	1,6	5,820257	0,45	3,086657
45	1	4,601317	1,4	5,444352	0,4	2,910128
50	0,7	3,849738	1,1	4,825902	0,4	2,910128
55	0,5	3,253622	0,9	4,365193	0,35	2,722176
60	0,35	2,722176	0,8	4,115543	0,35	2,722176
65	0,3	2,520245	0,6	3,564165	0,3	2,520245
70	0,2	2,057772	0,5	3,253622	0,3	2,520245

Ek Tablo 9'un devamı

75	0,1	1,455064	0,4	2,910128	0,25	2,300659
80	0	0	0,4	2,910128	0,2	2,057772
85			0,2	2,057772	0,2	2,057772
90			0	0	0,1	1,455064
95					0	0



Ek Tablo 10. Yarı fan açıklığında 68 mm çaplı ve kanalsız durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0 mm'de		x=68 mm'de		x=136 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	5,1	10,39124	7,1	12,26059	8,2	13,17617
5	5,4	10,69249	7,5	12,60123	8,1	13,09558
10	5,6	10,8887	7,7	12,76814	8	13,01449
15	6,1	11,36441	7,8	12,85078	7	12,17394
20	6,3	11,54921	6,4	11,64051	5	10,28886
25	6,9	12,08667	2,3	6,978243	2,8	7,699476
30	0,4	2,910128	0,6	3,564165	1,3	5,246309
35	0	0	0,3	2,520245	0,6	3,564165
40			0,2	2,057772	0,3	2,520245
45			0,1	1,455064	0,2	2,057772
50			0	0	0,1	1,455064
55					0	0
r [mm]	x=340 mm'de		x=680 mm'de		x=1360 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	6,8	11,99877	1,8	6,173315	0,35	2,722176
5	6,3	11,54921	1,8	6,173315	0,3	2,520245
10	5,3	10,59303	1,7	5,999383	0,3	2,520245
15	4,4	9,651804	1,6	5,820257	0,3	2,520245
20	3	7,969715	1,4	5,444352	0,3	2,520245
25	2,2	6,824856	1,1	4,825902	0,25	2,300659
30	1,5	5,635439	1	4,601317	0,25	2,300659
35	1,1	4,825902	0,9	4,365193	0,25	2,300659
40	0,8	4,115543	0,8	4,115543	0,25	2,300659
45	0,6	3,564165	0,7	3,849738	0,2	2,057772
50	0,4	2,910128	0,6	3,564165	0,2	2,057772
55	0,3	2,520245	0,5	3,253622	0,2	2,057772
60	0,25	2,300659	0,4	2,910128	0,1	1,455064
65	0,2	2,057772	0,3	2,520245	0	0
70	0	0	0,2	2,057772		
75			0,1	1,455064		

Ek Tablo 11. Tam fan açıklığında 68 mm çaplı ve 68 kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0 mm'de		x=68 mm'de		x=136 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	11,7	15,76509	11,4	15,56166	11,5	15,62976
5	12	15,96593	11,7	15,76509	11,7	15,76509
10	12,1	16,03231	11,8	15,83232	11,7	15,76509
15	12	15,96593	11,4	15,56166	11,3	15,49326
20	9,3	14,05546	9,5	14,20579	10	14,57483
25	2,3	6,989843	6,2	11,47623	7,3	12,45274
30	1,1	4,833924	3,3	8,372603	4,9	10,20238
35	0	0	1,2	5,048869	2,7	7,573304
40			0,5	3,259031	1,5	5,644807
45			0,2	2,061192	0,9	4,372449
50			0,1	1,457483	0,5	3,259031
55			0	0	0,25	2,304483
60					0,2	2,061192
65					0,15	1,785045
70					0,1	1,457483
75					0	0
r [mm]	x=340 mm'de		x=680 mm'de		x=1360 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	6,9	12,10676	1	4,608966	0,3	2,524435
5	7,7	12,78936	1,2	5,048869	0,25	2,304483
10	7,1	12,28097	1,15	4,942565	0,25	2,304483
15	6,4	11,65986	1,1	4,833924	0,25	2,304483
20	5,2	10,51006	1,1	4,833924	0,25	2,304483
25	4,5	9,777093	1,2	5,048869	0,2	2,061192
30	3,8	8,984529	1	4,608966	0,2	2,061192
35	3,1	8,114922	0,9	4,372449	0,2	2,061192
40	2,5	7,287415	0,95	4,492264	0,2	2,061192
45	2	6,518062	0,8	4,122385	0,2	2,061192
50	1,5	5,644807	0,7	3,856138	0,3	2,524435
55	1,2	5,048869	0,6	3,57009	0,25	2,304483
60	0,8	4,122385	0,5	3,259031	0,25	2,304483

Ek Tablo 11'in devamı

65	0,5	3,259031	0,45	3,091788	0,2	2,061192
70	0,35	2,726701	0,4	2,914966	0,15	1,785045
75	0,3	2,524435	0,35	2,726701	0,15	1,785045
80	0,2	2,061192	0,3	2,524435	0,1	1,457483
85	0,1	1,457483	0,3	2,524435	0	0
90	0	0	0,25	2,304483		
95			0,25	2,304483		
100			0,2	2,061192		
105			0,1	1,457483		
110			0	0		

Ek Tablo 12. Yarı fan açıklığında 68 mm çaplı ve 68 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0 mm'de		x=68 mm'de		x=136 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	6,7	11,93001	6,7	11,93001	6,9	12,10676
5	7,3	12,45274	7,2	12,36715	7,2	12,36715
10	7,8	12,87214	7,4	12,53774	7,3	12,45274
15	7,9	12,95439	7,1	12,28097	6,9	12,10676
20	6,3	11,56841	6,2	11,47623	6,2	11,47623
25	1,6	5,829932	4	9,217932	4,8	10,09774
30	0,7	3,856138	2,1	6,679026	2,7	7,573304
35	0	0	0,8	4,122385	1,6	5,829932
40			0,2	2,061192	0,9	4,372449
45			0,1	1,457483	0,5	3,259031
50			0	0	0,2	2,061192
55					0,15	1,785045
60					0,1	1,457483
65					0	0
r [mm]	x=340 mm'de		x=680 mm'de		x=1360 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	4,5	9,777093	0,6	3,57009	0,15	1,785045
5	4,8	10,09774	0,7	3,856138	0,2	2,061192
10	4,4	9,667849	0,7	3,856138	0,2	2,061192
15	4	9,217932	0,7	3,856138	0,15	1,785045
20	3,4	8,498513	0,7	3,856138	0,2	2,061192
25	2,9	7,848786	0,6	3,57009	0,2	2,061192
30	2,5	7,287415	0,65	3,715867	0,15	1,785045
35	1,9	6,353021	0,6	3,57009	0,15	1,785045
40	1,5	5,644807	0,55	3,418101	0,15	1,785045
45	1,3	5,25503	0,5	3,259031	0,15	1,785045
50	0,9	4,372449	0,45	3,091788	0,15	1,785045
55	0,7	3,856138	0,4	2,914966	0,15	1,785045
60	0,5	3,259031	0,35	2,726701	0,15	1,785045
65	0,4	2,914966	0,3	2,524435	0,1	1,457483
70	0,3	2,524435	0,3	2,524435	0,1	1,457483

Ek Tablo 12'nin devamı

75	0,2	2,061192	0,25	2,304483	0	0
80	0,15	1,785045	0,2	2,061192		
85	0,1	1,457483	0,2	2,061192		
90	0	0	0,15	1,785045		
95			0,1	1,457483		
100			0	0		



Ek Tablo 13. Tam fan açıklığında 68 mm çaplı ve 136 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0 mm'de		x=68 mm'de		x=136 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	12	15,96593	11,8	15,83232	11,7	15,76509
5	12,1	16,03231	11,9	15,89926	11,4	15,56166
10	12	15,96593	11,3	15,49326	10,9	15,21657
15	11,2	15,42455	10,2	14,71986	9,6	14,28036
20	8,5	13,43733	8,1	13,11735	7,5	12,62217
25	6,1	11,38331	5	10,30596	5,2	10,51006
30	5,1	10,40851	2,4	7,140179	3,4	8,498513
35	0	0	1	4,608966	2	6,518062
40			0,5	3,259031	1,1	4,833924
45			0,4	2,914966	0,6	3,57009
50			0	0	0,35	2,726701
55					0,3	2,524435
60					0,2	2,061192
65					0,2	2,061192
70					0,2	2,061192
75					0	0
r [mm]	x=340 mm'de		x=680 mm'de		x=1360 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	8	13,03612	2,1	6,679026	0,25	2,304483
5	6,7	11,93001	2	6,518062	0,25	2,304483
10	6	11,28961	1,9	6,353021	0,3	2,524435
15	5	10,30596	1,9	6,353021	0,25	2,304483
20	4,3	9,557355	1,8	6,183577	0,25	2,304483
25	3,4	8,498513	1,7	6,009356	0,2	2,061192
30	2,6	7,431734	1,6	5,829932	0,25	2,304483
35	2	6,518062	1,4	5,453402	0,2	2,061192
40	1,7	6,009356	1,3	5,25503	0,25	2,304483
45	1,3	5,25503	1,2	5,048869	0,2	2,061192
50	0,9	4,372449	1	4,608966	0,2	2,061192
55	0,7	3,856138	0,9	4,372449	0,2	2,061192
60	0,5	3,259031	0,8	4,122385	0,2	2,061192

Ek Tablo 13'ün devamı

65	0,4	2,914966	0,7	3,856138	0,2	2,061192
70	0,3	2,524435	0,6	3,57009	0,15	1,785045
75	0,3	2,524435	0,5	3,259031	0,15	1,785045
80	0,2	2,061192	0,45	3,091788	0,15	1,785045
85	0	0	0,4	2,914966	0,15	1,785045
90			0,35	2,726701	0,1	1,457483
95			0	0	0	0



Ek Tablo 14. Yarı fan açıklığında 68 mm çaplı ve 136 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0 mm'de		x=68 mm'de		x=136 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	5,3	10,61064	6,8	12,01871	6,7	11,93001
5	5,4	10,71027	6,7	11,93001	6,5	11,7506
10	5,4	10,71027	6,3	11,56841	6	11,28961
15	4,8	10,09774	5,8	11,09986	5,2	10,51006
20	3,6	8,744898	4,4	9,667849	4,1	9,332445
25	2,6	7,431734	1,4	5,453402	2,8	7,712275
30	2,3	6,989843	0,6	3,57009	1,8	6,183577
35	0	0	0,4	2,914966	1,1	4,833924
40			0,3	2,524435	0,7	3,856138
45			0,3	2,524435	0,5	3,259031
50			0	0	0,4	2,914966
55					0,3	2,524435
60					0,3	2,524435
65					0,25	2,304483
70					0,2	2,061192
75					0	0
r [mm]	x=340 mm'de		x=680 mm'de		x=1360 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	5,1	10,40851	1,5	5,644807	0,15	1,785045
5	4,8	10,09774	1,5	5,644807	0,1	1,457483
10	4,1	9,332445	1,4	5,453402	0,1	1,457483
15	3,5	8,622586	1,4	5,453402	0,1	1,457483
20	2,9	7,848786	1,3	5,25503	0,1	1,457483
25	2,3	6,989843	1,2	5,048869	0,1	1,457483
30	1,9	6,353021	1	4,608966	0,1	1,457483
35	1,5	5,644807	1	4,608966	0,1	1,457483
40	1,1	4,833924	0,9	4,372449	0,1	1,457483
45	0,9	4,372449	0,8	4,122385	0,1	1,457483
50	0,7	3,856138	0,7	3,856138	0,1	1,457483
55	0,5	3,259031	0,6	3,57009	0	0
60	0,4	2,914966	0,5	3,259031		

Ek Tablo 14'ün devamı

65	0,3	2,524435	0,5	3,259031		
70	0,3	2,524435	0,4	2,914966		
75	0,2	2,061192	0,4	2,914966		
80	0,2	2,061192	0,3	2,524435		
85	0	0	0,3	2,524435		
90			0,2	2,061192		
95			0	0		



Ek Tablo 15. Tam fan açıklığında 68 mm çaplı ve 476 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0 mm'de		x=68 mm'de		x=136 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	12	15,93943	11,3	15,46754	10,8	15,12147
5	11,1	15,33005	10,6	14,9808	10	14,55064
10	10,3	14,76729	9,9	14,47771	9,3	14,03213
15	9,3	14,03213	9	13,80395	7,9	12,93289
20	8,2	13,17617	7,6	12,68496	5,8	11,08144
25	6,1	11,36441	4,1	9,316957	3,2	8,231086
30	5,8	11,08144	1,3	5,246309	2	6,507245
35	0	0	0,4	2,910128	1,1	4,825902
40			0,25	2,300659	0,5	3,253622
45			0,25	2,300659	0,3	2,520245
50			0,25	2,300659	0,2	2,057772
55			0,2	2,057772	0,2	2,057772
60			0,2	2,057772	0,2	2,057772
65			0,2	2,057772	0,2	2,057772
70			0,2	2,057772	0,2	2,057772
75			0,2	2,057772	0,2	2,057772
80			0,15	1,782082	0,2	2,057772
85			0	0	0,15	1,782082
90					0	0
r [mm]	x=340 mm'de		x=680 mm'de		x=1360 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	6,7	11,91021	2,2	6,824856	0,6	3,564165
5	5,7	10,98549	2	6,507245	0,55	3,412428
10	4,9	10,18545	1,9	6,342478	0,55	3,412428
15	4	9,202634	1,6	5,820257	0,5	3,253622
20	3,2	8,231086	1,45	5,540719	0,5	3,253622
25	2,4	7,12833	1,3	5,246309	0,5	3,253622
30	1,9	6,342478	1,1	4,825902	0,5	3,253622
35	1,4	5,444352	1	4,601317	0,45	3,086657
40	1,1	4,825902	0,9	4,365193	0,45	3,086657
45	0,8	4,115543	0,75	3,984857	0,4	2,910128

Ek Tablo 15'in devamı

50	0,5	3,253622	0,6	3,564165	0,4	2,910128
55	0,4	2,910128	0,5	3,253622	0,4	2,910128
60	0,3	2,520245	0,45	3,086657	0,4	2,910128
65	0,2	2,057772	0,4	2,910128	0,35	2,722176
70	0,2	2,057772	0,35	2,722176	0,3	2,520245
75	0,2	2,057772	0,3	2,520245	0,3	2,520245
80	0,2	2,057772	0,25	2,300659	0,3	2,520245
85	0,15	1,782082	0,25	2,300659	0,25	2,300659
90	0,15	1,782082	0,2	2,057772	0,25	2,300659
95	0	0	0	0	0	0

Ek Tablo 16. Yarı fan açıklığında 68 mm çaplı ve 476 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0 mm'de		x=68 mm'de		x=136 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	5,8	11,08144	5,4	10,69249	7,7	12,76814
5	5,6	10,8887	5,2	10,49262	7,2	12,34663
10	5,4	10,69249	4,8	10,08098	6,5	11,7311
15	5	10,28886	4,2	9,429894	5,7	10,98549
20	4	9,202634	3,5	8,608276	4,2	9,429894
25	2,8	7,699476	2	6,507245	2,6	7,419401
30	2,7	7,560735	0,7	3,849738	1,5	5,635439
35	0	0	0,3	2,520245	0,8	4,115543
40			0,25	2,300659	0,4	2,910128
45			0,2	2,057772	0,25	2,300659
50			0,2	2,057772	0,25	2,300659
55			0,2	2,057772	0,2	2,057772
60			0,2	2,057772	0,2	2,057772
65			0,2	2,057772	0,2	2,057772
70			0,15	1,782082	0,2	2,057772
75			0	0	0,2	2,057772
80					0,15	1,782082
85					0	0
r [mm]	x=340 mm'de		x=680 mm'de		x=1360 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	4,3	9,541494	1,3	5,246309	0,4	2,910128
5	3,3	8,358707	1,1	4,825902	0,4	2,910128
10	2,7	7,560735	1	4,601317	0,4	2,910128
15	2,2	6,824856	1	4,601317	0,4	2,910128
20	1,8	6,173315	0,9	4,365193	0,4	2,910128
25	1,4	5,444352	0,75	3,984857	0,35	2,722176
30	1,1	4,825902	0,7	3,849738	0,35	2,722176
35	0,8	4,115543	0,6	3,564165	0,35	2,722176
40	0,6	3,564165	0,5	3,253622	0,3	2,520245
45	0,45	3,086657	0,45	3,086657	0,3	2,520245
50	0,4	2,910128	0,4	2,910128	0,25	2,300659
55	0,3	2,520245	0,35	2,722176	0,25	2,300659

Ek Tablo 16'nın devamı

60	0,25	2,300659	0,3	2,520245	0,25	2,300659
65	0,2	2,057772	0,25	2,300659	0,25	2,300659
70	0,2	2,057772	0,25	2,300659	0,25	2,300659
75	0,2	2,057772	0,2	2,057772	0,2	2,057772
80	0,2	2,057772	0,2	2,057772	0,2	2,057772
85	0,2	2,057772	0,2	2,057772	0	0
90	0,15	1,782082	0,2	2,057772		
95	0	0	0,2	2,057772		
100			0	0		



Ek Tablo 17. Tam fan açıklığında 102 mm çaplı ve kanalsız durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0 mm'de		x=102 mm'de		x=204 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	6,5	11,7311	10,2	14,69543	10,3	14,76729
5	6,6	11,821	10,4	14,8388	10,4	14,8388
10	6,8	11,99877	10,4	14,8388	10,4	14,8388
15	7	12,17394	10,4	14,8388	10,4	14,8388
20	7,3	12,43207	10,5	14,90997	10,2	14,69543
25	7,7	12,76814	10,4	14,8388	9,3	14,03213
30	8,2	13,17617	9,5	14,18221	7,7	12,76814
35	8,7	13,57194	6,7	11,91021	6,2	11,45719
40	9,4	14,10737	3,2	8,231086	4	9,202634
45	0,5	3,253622	1,5	5,635439	2,5	7,275321
50	0,25	2,300659	0,5	3,253622	1,5	5,635439
55	0	0	0,25	2,300659	0,9	4,365193
60			0,2	2,057772	0,5	3,253622
65			0,15	1,782082	0,3	2,520245
70			0,15	1,782082	0,2	2,057772
75			0,15	1,782082	0,2	2,057772
80			0,1	1,455064	0,15	1,782082
85			0	0	0,15	1,782082
90					0,15	1,782082
95					0	0
r [mm]	x=510 mm'de		x=1020 mm'de		x=2040 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	8,6	13,49371	2,4	7,12833	0,5	3,253622
5	8,4	13,33588	2,5	7,275321	0,5	3,253622
10	8	13,01449	2,5	7,275321	0,5	3,253622
15	7,3	12,43207	2,3	6,978243	0,5	3,253622
20	6,6	11,821	2,3	6,978243	0,55	3,412428
25	5,9	11,17656	2,1	6,667942	0,5	3,253622
30	5,1	10,39124	2	6,507245	0,5	3,253622
35	4,2	9,429894	1,9	6,342478	0,5	3,253622
40	3,4	8,484409	1,7	5,999383	0,5	3,253622

Ek Tablo 17'nin devamı

45	2,9	7,83576	1,65	5,910499	0,5	3,253622
50	2,4	7,12833	1,5	5,635439	0,45	3,086657
55	1,9	6,342478	1,3	5,246309	0,45	3,086657
60	1,6	5,820257	1,2	5,04049	0,45	3,086657
65	1,2	5,04049	1,1	4,825902	0,45	3,086657
70	1	4,601317	0,9	4,365193	0,4	2,910128
75	0,7	3,849738	0,8	4,115543	0,4	2,910128
80	0,5	3,253622	0,7	3,849738	0,4	2,910128
85	0,4	2,910128	0,65	3,7097	0,35	2,722176
90	0,3	2,520245	0,5	3,253622	0,35	2,722176
95	0,1	1,455064	0,3	2,520245	0,35	2,722176
100	0	0	0,3	2,520245	0,35	2,722176
105			0	0	0	0

Ek Tablo 18. Yarı fan açıklığında 102 mm çaplı ve kanalsız durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0 mm'de		x=102 mm'de		x=204 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	2,4	7,12833	4	9,202634	2,4	7,12833
5	2,4	7,12833	4,1	9,316957	2,5	7,275321
10	2,35	7,053685	4,1	9,316957	2,5	7,275321
15	2,4	7,12833	4,1	9,316957	2,5	7,275321
20	2,6	7,419401	4	9,202634	2,5	7,275321
25	2,9	7,83576	4,2	9,429894	2,35	7,053685
30	3	7,969715	4	9,202634	2	6,507245
35	3,2	8,231086	3	7,969715	1,6	5,820257
40	3,6	8,730385	1,6	5,820257	1,2	5,04049
45	0,3	2,520245	0,8	4,115543	0,8	4,115543
50	0,2	2,057772	0,4	2,910128	0,6	3,564165
55	0	0	0,25	2,300659	0,35	2,722176
60			0,2	2,057772	0,25	2,300659
65			0,2	2,057772	0,2	2,057772
70			0,15	1,782082	0,15	1,782082
75			0,15	1,782082	0,15	1,782082
80			0,15	1,782082	0,1	1,455064
85			0	0	0	0
r [mm]	x=510 mm'de		x=1020 mm'de		x=2040 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	2,4	7,12833	0,8	4,115543	0,2	2,057772
5	2,3	6,978243	0,8	4,115543	0,2	2,057772
10	2,2	6,824856	0,8	4,115543	0,2	2,057772
15	2	6,507245	0,75	3,984857	0,2	2,057772
20	1,9	6,342478	0,7	3,849738	0,2	2,057772
25	1,6	5,820257	0,65	3,7097	0,15	1,782082
30	1,4	5,444352	0,65	3,7097	0,2	2,057772
35	1,2	5,04049	0,6	3,564165	0,2	2,057772
40	1	4,601317	0,5	3,253622	0,2	2,057772
45	0,9	4,365193	0,5	3,253622	0,15	1,782082
50	0,75	3,984857	0,5	3,253622	0,2	2,057772
55	0,6	3,564165	0,45	3,086657	0,15	1,782082

Ek Tablo 18'in devamı

60	0,5	3,253622	0,4	2,910128	0,15	1,782082
65	0,4	2,910128	0,3	2,520245	0,15	1,782082
70	0,3	2,520245	0,25	2,300659	0,15	1,782082
75	0,25	2,300659	0,2	2,057772	0,15	1,782082
80	0,25	2,300659	0,2	2,057772	0,15	1,782082
85	0,2	2,057772	0,15	1,782082	0,15	1,782082
90	0,15	1,782082	0,1	1,455064	0,1	1,455064
95	0	0	0,1	1,455064	0	0
100			0	0		

Ek Tablo 19. Tam fan açıklığında 102 mm çaplı ve 102 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0 mm'de		x=102 mm'de		x=204 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	10,3	14,76729	9,8	14,4044	9,7	14,33072
5	10,8	15,12147	10	14,55064	9,6	14,25666
10	10,8	15,12147	10	14,55064	9,4	14,10737
15	10,8	15,12147	9,8	14,4044	9	13,80395
20	10,8	15,12147	9,3	14,03213	8,3	13,25627
25	10,6	14,9808	8,5	13,41503	7,4	12,51694
30	9,1	13,88043	7,3	12,43207	6,2	11,45719
35	4,6	9,868726	5,7	10,98549	5,1	10,39124
40	1,3	5,246309	4,2	9,429894	4	9,202634
45	0,4	2,910128	2,8	7,699476	3	7,969715
50	0,3	2,520245	1,8	6,173315	2	6,507245
55	0	0	1	4,601317	1,5	5,635439
60			0,6	3,564165	1	4,601317
65			0,4	2,910128	0,6	3,564165
70			0,3	2,520245	0,4	2,910128
75			0,25	2,300659	0,25	2,300659
80			0,2	2,057772	0,15	1,782082
85			0,2	2,057772	0,15	1,782082
90			0	0	0	0
r [mm]	x=510 mm'de		x=1020 mm'de		x=2040 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	5,4	10,69249	1,9	6,342478	0,5	3,253622
5	5,3	10,59303	1,8	6,173315	0,5	3,253622
10	5,1	10,39124	1,8	6,173315	0,5	3,253622
15	4,9	10,18545	1,7	5,999383	0,45	3,086657
20	4,7	9,975418	1,6	5,820257	0,45	3,086657
25	4,3	9,541494	1,6	5,820257	0,45	3,086657
30	3,8	8,969618	1,5	5,635439	0,45	3,086657
35	3,5	8,608276	1,3	5,246309	0,45	3,086657
40	3,2	8,231086	1,2	5,04049	0,45	3,086657

Ek Tablo 19'un devamı

45	2,9	7,83576	1,2	5,04049	0,4	2,910128
50	2,5	7,275321	1,1	4,825902	0,4	2,910128
55	2,1	6,667942	1	4,601317	0,4	2,910128
60	1,9	6,342478	1	4,601317	0,4	2,910128
65	1,6	5,820257	0,9	4,365193	0,35	2,722176
70	1,4	5,444352	0,8	4,115543	0,35	2,722176
75	1,1	4,825902	0,8	4,115543	0,4	2,910128
80	1	4,601317	0,7	3,849738	0,35	2,722176
85	0,8	4,115543	0,6	3,564165	0,35	2,722176
90	0,4	2,910128	0,6	3,564165	0,3	2,520245
95	0	0	0,5	3,253622	0	0
100			0,5	3,253622		
105			0	0		

Ek Tablo 20. Yarı fan açıklığında 102 mm çaplı ve 102 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0 mm'de		x=102 mm'de		x=204 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	3,9	9,086873	3,1	8,101455	2,7	7,560735
5	3,8	8,969618	3	7,969715	2,7	7,560735
10	3,9	9,086873	3	7,969715	2,6	7,419401
15	3,9	9,086873	3,1	8,101455	2,7	7,560735
20	4	9,202634	2,9	7,83576	2,6	7,419401
25	3,9	9,086873	2,7	7,560735	2,5	7,275321
30	3,7	8,85081	2,4	7,12833	2,2	6,824856
35	2,6	7,419401	1,8	6,173315	1,9	6,342478
40	1	4,601317	1,2	5,04049	1,6	5,820257
45	0,3	2,520245	0,8	4,115543	1,3	5,246309
50	0,2	2,057772	0,5	3,253622	1	4,601317
55	0	0	0,3	2,520245	0,7	3,849738
60			0,25	2,300659	0,5	3,253622
65			0,2	2,057772	0,3	2,520245
70			0,2	2,057772	0,2	2,057772
75			0,15	1,782082	0,15	1,782082
80			0,15	1,782082	0,15	1,782082
85			0	0	0,1	1,455064
90			0	0	0	0
r [mm]	x=510 mm'de		x=1020 mm'de		x=2040 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	1,6	5,820257	0,55	3,412428	0,2	2,057772
5	1,55	5,728593	0,55	3,412428	0,15	1,782082
10	1,4	5,444352	0,55	3,412428	0,2	2,057772
15	1,3	5,246309	0,5	3,253622	0,2	2,057772
20	1,2	5,04049	0,5	3,253622	0,2	2,057772
25	1,1	4,825902	0,5	3,253622	0,2	2,057772
30	1	4,601317	0,45	3,086657	0,2	2,057772
35	0,9	4,365193	0,45	3,086657	0,15	1,782082
40	0,8	4,115543	0,4	2,910128	0,15	1,782082
45	0,7	3,849738	0,4	2,910128	0,15	1,782082

Ek Tablo 20'nin devamı

50	0,6	3,564165	0,35	2,722176	0,15	1,782082
55	0,5	3,253622	0,35	2,722176	0,15	1,782082
60	0,45	3,086657	0,3	2,520245	0,15	1,782082
65	0,35	2,722176	0,3	2,520245	0,15	1,782082
70	0,3	2,520245	0,3	2,520245	0,15	1,782082
75	0,25	2,300659	0,3	2,520245	0,15	1,782082
80	0,25	2,300659	0,3	2,520245	0,15	1,782082
85	0,2	2,057772	0,25	2,300659	0,1	1,455064
90	0,15	1,782082	0,2	2,057772	0,1	1,455064
95	0	0	0,2	2,057772	0	0
100			0,1	1,455064		
105			0	0		

Ek Tablo 21. Tam fan açıklığında 102 mm çaplı ve 204 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0 mm'de		x=102 mm'de		x=204 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	10	14,55064	9,5	14,18221	9,2	13,95649
5	9,9	14,47771	9,5	14,18221	9,1	13,88043
10	9,9	14,47771	9,4	14,10737	9	13,80395
15	9,8	14,4044	9,1	13,88043	8,9	13,72705
20	9,8	14,4044	8,7	13,57194	8,7	13,57194
25	9,4	14,10737	8	13,01449	8,3	13,25627
30	8,4	13,33588	7,1	12,26059	7,6	12,68496
35	6,2	11,45719	6	11,27088	6,8	11,99877
40	4,9	10,18545	4,6	9,868726	5,9	11,17656
45	4,2	9,429894	3	7,969715	4,7	9,975418
50	3,8	8,969618	1,7	5,999383	3,6	8,730385
55	0	0	1	4,601317	2,5	7,275321
60			0,5	3,253622	1,9	6,342478
65			0,4	2,910128	1,3	5,246309
70			0,3	2,520245	0,8	4,115543
75			0,25	2,300659	0,5	3,253622
80			0,25	2,300659	0,3	2,520245
85			0,2	2,057772	0,25	2,300659
90			0,2	2,057772	0,2	2,057772
95			0	0	0	0
r [mm]	x=510 mm'de		x=1020 mm'de		x=2040 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	6,5	11,7311	2,5	7,275321	0,9	4,365193
5	5,9	11,17656	2,45	7,2022	0,85	4,242205
10	5,7	10,98549	2,4	7,12833	0,8	4,115543
15	5,3	10,59303	2,35	7,053685	0,8	4,115543
20	4,9	10,18545	2,3	6,978243	0,75	3,984857
25	4,3	9,541494	2,2	6,824856	0,75	3,984857
30	3,9	9,086873	2	6,507245	0,75	3,984857
35	3,4	8,484409	1,85	6,258468	0,7	3,849738
40	2,9	7,83576	1,75	6,08697	0,7	3,849738

Ek Tablo 21'in devamı

45	2,6	7,419401	1,6	5,820257	0,7	3,849738
50	2,2	6,824856	1,5	5,635439	0,65	3,7097
55	1,8	6,173315	1,4	5,444352	0,6	3,564165
60	1,5	5,635439	1,3	5,246309	0,6	3,564165
65	1,3	5,246309	1,2	5,04049	0,6	3,564165
70	1	4,601317	1,1	4,825902	0,6	3,564165
75	0,9	4,365193	0,9	4,365193	0,55	3,412428
80	0,7	3,849738	0,8	4,115543	0,55	3,412428
85	0,6	3,564165	0,65	3,7097	0,55	3,412428
90	0,5	3,253622	0	0	0,5	3,253622
95	0,45	3,086657			0	0
100	0	0				

Ek Tablo 22. Yarı fan açıklığında 102 mm çaplı ve 204 mm kanallı durum için çıkıştan belirli uzaklıklardaki ölçülen ve hesaplanan değerler

r [mm]	x=0 mm'de		x=102 mm'de		x=204 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	2,8	7,699476	2,9	7,83576	2,7	7,560735
5	2,8	7,699476	2,85	7,767917	2,7	7,560735
10	2,9	7,83576	2,9	7,83576	2,65	7,490401
15	2,8	7,699476	2,8	7,699476	2,6	7,419401
20	2,7	7,560735	2,8	7,699476	2,4	7,12833
25	2,6	7,419401	2,7	7,560735	2,2	6,824856
30	2,2	6,824856	2,5	7,275321	2	6,507245
35	1,9	6,342478	2,2	6,824856	1,8	6,173315
40	1,5	5,635439	2	6,507245	1,4	5,444352
45	1,3	5,246309	1,7	5,999383	1	4,601317
50	1,2	5,04049	1,3	5,246309	0,8	4,115543
55	0	0	0,8	4,115543	0,6	3,564165
60			0,4	2,910128	0,4	2,910128
65			0,3	2,520245	0,3	2,520245
70			0,25	2,300659	0,25	2,300659
75			0,2	2,057772	0,2	2,057772
80			0,2	2,057772	0,2	2,057772
85			0,2	2,057772	0,2	2,057772
90			0,15	1,782082	0,2	2,057772
95			0	0	0	0
r [mm]	x=510 mm'de		x=1020 mm'de		x=2040 mm'de	
	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]	Δh [mmSS]	U [m/s]
0	1,9	6,342478	0,9	4,365193	0,35	2,722176
5	1,8	6,173315	0,85	4,242205	0,35	2,722176
10	1,75	6,08697	0,8	4,115543	0,35	2,722176
15	1,7	5,999383	0,75	3,984857	0,35	2,722176
20	1,6	5,820257	0,7	3,849738	0,35	2,722176
25	1,5	5,635439	0,7	3,849738	0,35	2,722176
30	1,3	5,246309	0,65	3,7097	0,35	2,722176
35	1,2	5,04049	0,65	3,7097	0,35	2,722176
40	1,1	4,825902	0,6	3,564165	0,35	2,722176
45	1	4,601317	0,55	3,412428	0,3	2,520245

Ek Tablo 22'nin devamı

50	0,9	4,365193	0,5	3,253622	0,3	2,520245
55	0,75	3,984857	0,5	3,253622	0,3	2,520245
60	0,65	3,7097	0,5	3,253622	0,3	2,520245
65	0,6	3,564165	0,45	3,086657	0,3	2,520245
70	0,5	3,253622	0,45	3,086657	0,3	2,520245
75	0,4	2,910128	0,4	2,910128	0,3	2,520245
80	0,35	2,722176	0,35	2,722176	0,3	2,520245
85	0,3	2,520245	0,3	2,520245	0,3	2,520245
90	0,3	2,520245	0,3	2,520245	0,3	2,520245
95	0,25	2,300659	0	0	0	0
100	0	0				

ÖZGEÇMİŞ

İlhan UYAR, Samsun Bafra Altınkaya Anadolu Lisesinden mezun oldu. Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimini tamamladıktan sonra KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. İngilizce bilmektedir.

