



Araştırma Makalesi / Research Article
INVESTIGATION OF JET FLOWS FOR DIFFERENT SITUATIONS

Mustafa ATMACA*, A.Talat İNAN, M. Zafer GÜL

Marmara Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Göztepe-İSTANBUL

Geliş/Received: 02.02.2006 Kabul/Accepted: 22.08.2006

ABSTRACT

In this study firstly, without ambient flow, jet flow measurements have been performed, then for different ambient flow and jet outflow velocity, jet flow measurements have been carried out. Jet flow and free air flow are parallel one another. With data obtained from measurements, velocity and turbulence distribution of flow profiles have been showed. In addition, throughout jet axis, velocity variation and diffusion ratio have been presented as graphics.

Experimental studies have been implemented in low-range, suction type, subsonic wind tunnel. The length of the section is 750 mm and its inlet cross-sectional area is 320x320 mm², outlet cross-sectional area is 336x336 mm². Velocity and turbulence measurements have been carried out via hot wire anemometer which used for detail of gas and liquid flow areas and for investigation of velocity profiles and turbulence characteristics.

Keywords: Jet flow, turbulence, hot wire, circular jet.

JET AKIŞLARININ FARKLI DURUMLAR İÇİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, önce çevre akışı olmadan jet akış ölçümleri yapılmış daha sonra da çevre akışını ve jet çıkış hızını değiştirerek farklı hızlarda jet akış deneyleri yapılmıştır. Jet akışı ile serbest hava akımı birbirine paraleldir. Yapılan ölçümler sonucu elde edilen verilerle, akış profilinin, hız ve türbülans dağılımları gösterilmiştir. Ayrıca hızlar, boyutsuzlaştırılarak ta boyutsuz hız dağılımları grafik ortamda gösterilmiştir. Yine bunlara ilave olarak, jet eksenini boyunca oluşan hız değişimlerinin ve jet yayılma oranları da grafik haline gösterilmiştir.

Deneyel çalışmalar, ses altı düşük hızlı, açık çevrimli ve emişli tip olan hava tüneline yapılmıştır. Hava tüneline test bölgesi, 320x320 mm² giriş, 336x336 mm² çıkış kesitine ve 750 mm uzunluğa sahip olup deneylerin yapılabileceği büyüklüktedir. Hız ve türbülans ölçümleri, akışkanlar mekaniği araştırmalarında, gaz ve sıvıların akış alanlarının, mikro yapılarının detaylandırılması ile hız profilleri ve türbülans karakteristiklerinin incelenmesinde kullanılan sıcak tel anemometresi ile yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Jet akışı, türbülans, sıcak tel, dairesel jet.

1. GİRİŞ

Jet akışları, akışın temel yapısının kolaylıkla incelenebileceği temel akış tiplerinden biridir. Motorlardaki silindire meydana gelen yanmalarda, laser, kimya ve ilaç sanayi gibi birçok endüstriyel alanlarda uygulamaları vardır. Başlangıçta ortalama basınç ve hızlar üzerine araştırmalar yapılmıştır. İlk dairesel jet akışları üzerine yapılan araştırmaların çoğu da çevredeki

* Sorumlu Yazar/Corresponding Autor: e-mail/e-ileti: matmaca@marmara.edu.tr, tel: (0216) 336 57 70 / 315

akışkana doğru gelişen serbest jet gelişimi ile ilgilidir. Yapılan araştırmalarda, sıcak tel anemometresi kullanılarak zamana bağlı ölçümler yapılmıştır. Son yıllarda da laser kullanarak daha kapsamlı araştırmalar yapılmaktadır [1].

Sıcak tel anemometre kullanarak bu konuda daha ayrıntılı araştırmalar yapan ilk kişiler Reichardt 1942'de, Corrsin 1946'da [2], Hinze ve Zijnen 1949'da [3] Albertson ve arkadaşları 1950 yılında yapmışlardır [4]. Wygnanski ve Fiedler, 1969 yılında, serbest jet türbülans yapılarının çeşitli görünüşlerini, sıcak tel anemometre kullanarak göstermiştir [5]. Davies, Fisher [6] ve Bradshaw da aynı konu üzerine benzer çalışmalar yapmıştır [7]. Benzer çalışma, Hussein ve George tarafından da yapılmış [8], Taulbee'de LDA (Laser Doppler Anemometry) kullanarak yapılan çalışmayı yenilemiştir. Bu ölçümlerde görünen, dairesel jet yayılmasının düzlemsel jetten daha yavaş olduğu, eş yapılı bölgenin de lüle çapının, 50-70 kat sonrasında olduğu görülmüştür.

Türbülans profillerinin ölçümleri, sıcak tel anemometresinin tanınması ile başladı. Dairesel bir serbest jet için, türbülans değerleri, Corrsin [9] ve diğer araştırmacılar tarafından ölçülmüştür. Wygnanski ve Fiedler [5], dairesel serbest jetler için daha gelişmiş ekipmanlar kullanarak benzer ölçümler yaptılar. Sıcak tel anemometre kullanarak jet akışları ile ölçümler, Smith ve Huges, Perry ve Tani, Biringen ve Mohammed gibi birçok araştırmacılar tarafından da yapılmıştır [10-14].

2. MATERYAL VE METOT

Deneyel çalışmalar, ses altı düşük hızlı, açık çevrimli ve emişli tip olan hava tüneline yapılmıştır. Hava tüneline test bölgesi, 320x320 mm giriş, 336x336 mm çıkış kesitine ve 750 mm uzunluğa sahip olup deneylerin yapılabileceği büyüklüktedir. Akım yönünde çıkış kesitinde küçük bir genişleme olmasının nedeni, test bölmesi boyunca sınır tabakasından ileri gelecek hataların bir ölçüde önlenmesidir.

Hız ve türbülans ölçümleri, akışkanlar mekaniği araştırmalarında, gaz ve sıvıların akış alanlarının mikro yapılarının detaylandırılması ile hız profilleri ve türbülans karakteristiklerinin incelenmesinde kullanılan sıcak tel anemometresi ile yapılmıştır. Yüksek frekanslı hız çalkantılarının ölçümü için kullanılan bu metotla ani hız ölçülür [15]. Sabit sıcaklıklı sıcak tel anemometresinin ölçüm ucu, elektrikle ısıtılan bir telden ibarettir. Akışkan akımı telin soğumasına dolayısıyla direncin azalmasına neden olur. Telin sıcaklığını sabit tutabilmek için gerekli akım ölçülerek hava hızı tayin edilir. Sensör malzemesi platin-tungsten, sensör çapı 5 µm, uzunluğu 1.25 mm ve direnci 3.5 Ω dur.

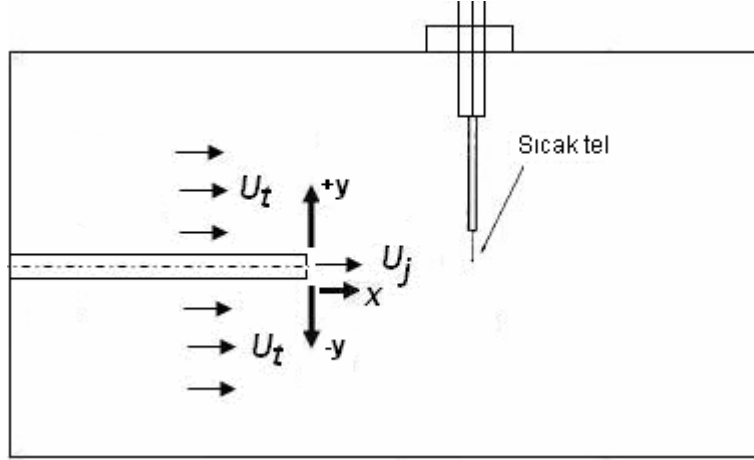
Jet akış ölçümleri için, 1m uzunluğunda ve 8mm çapında çelik boru kullanılmış olup Çizelge 1'de gösterilen durumlar için deneyler yapılmıştır.

Çizelge 1. Dairesel jet ölçümlerinin sınıflandırılması

Kod	Jet Hızı (max.) U_j (m/s)	Tünel Hızı U_t (m/s)
A1	30	0
A2	30	10
A3	30	20

Ölçümler için 4 adet ölçüm istasyonu belirlenmiştir. Bunlar; $x/D=0.3$, $x/D=12.5$, $x/D=31.2$ ve $x/D=50$ olmak üzere aksenal doğrultuda hem üst akış bölgesinde, hem de alt akış bölgesinde ölçümler yapılmıştır. Burada; D, jet çıkış ağzı çapıdır. Deneyler, jet akışının

maksimum hızı 30 m/s'de iken tünel hızlarının 0, 10 ve 20 m/s olduğu durumda üç değişik grupta yapılmıştır. Şekil 1'de deney odasının önden görünüşü gösterilmiştir.



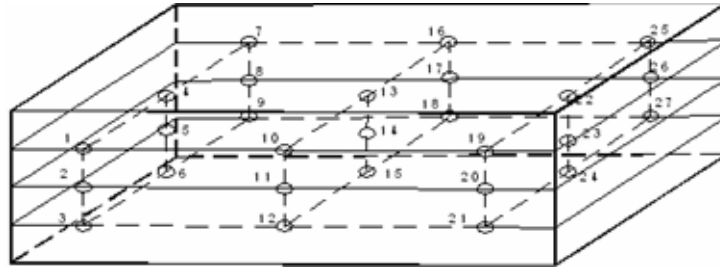
Şekil 1. Deney odasının önden şematik görünüşü

3. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Hava tünelinin dizaynında yapılacak herhangi bir hata deney odasındaki akımın istenen özellikte olmasını engellemektedir. Dizayn edilen hava tünelinde istenen akım koşullarının sağlanıp sağlanmadığını bilmesi gerektiğinden hava tünelinin deney odasındaki akım üniformluğunun tespit edilmesi gerekmektedir.

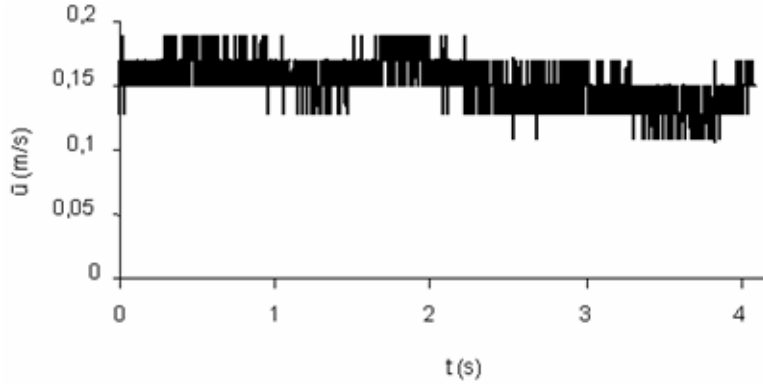
Hava tünelinde, deneye başlamadan önce akım karakteristiklerinin tespit edilmesi amacıyla deney odasında üç farklı düzlemde ve 27 noktada hız taraması yapılmıştır. Sonra sırayla deney odasına 10, 20 ve 30 m/s hızlarında hava akışı sağlanarak ölçümler yapılmıştır.

Deney odasından alınan noktasal ölçüm yerleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Ölçümler 1. noktadan itibaren sırasıyla 27. noktaya kadar alınmıştır. Çeşitli ortalama hızlarda ölçümleri yapılan hız değişimleri, şekil 3, 4 ve 5'de gösterilmiştir [1].

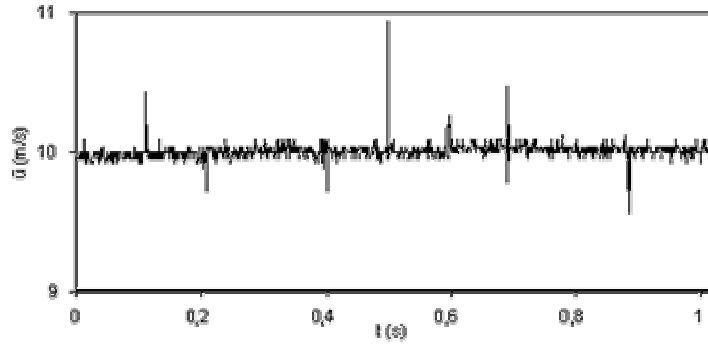


Şekil 2. Deney odası hız taraması yapılan düzlemlerdeki ölçüm alınan noktalar

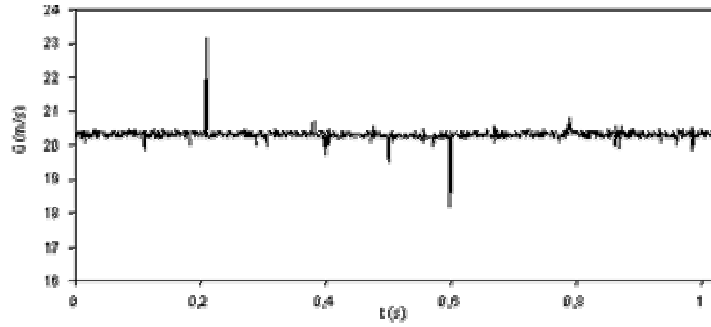
Yapılan ölçümlerde deney odasının türbülans şiddetleri, hava akımı 0 m/s hızda %0.5, 10 m/s ortalama hızda %0.6, 20 m/s ortalama hızda %0.7, 30 m/s ortalama hızda %0.4 olarak bulunmuştur. Bu ölçümler, tüneldeki akım karakteristiklerinin uygun olduğunu ve deneysel çalışmalar için yeterli hassasiyette olduğunu göstermektedir.



Şekil 3. Deney odasında hız olmadığı durumda sıcak tel anemometresinin gösterdiği değer



Şekil 4. 10 m/s ortalama hızda, 14.noktadaki hız çalkantıları

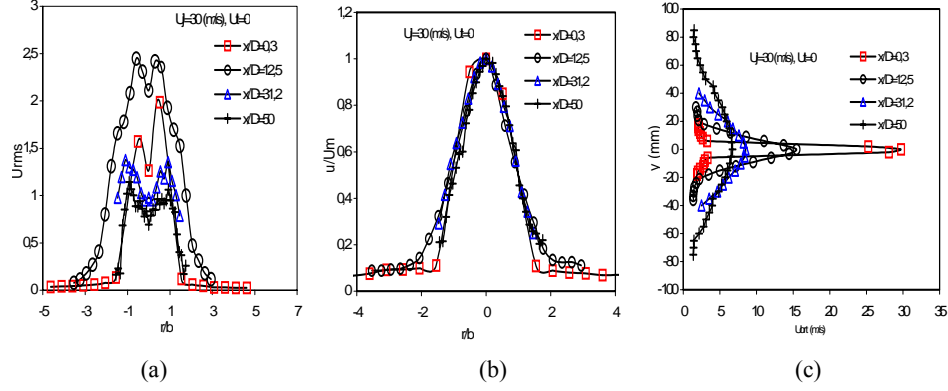


Şekil 5. 20 m/s ortalama hızda, 14. noktadaki hız çalkantıları

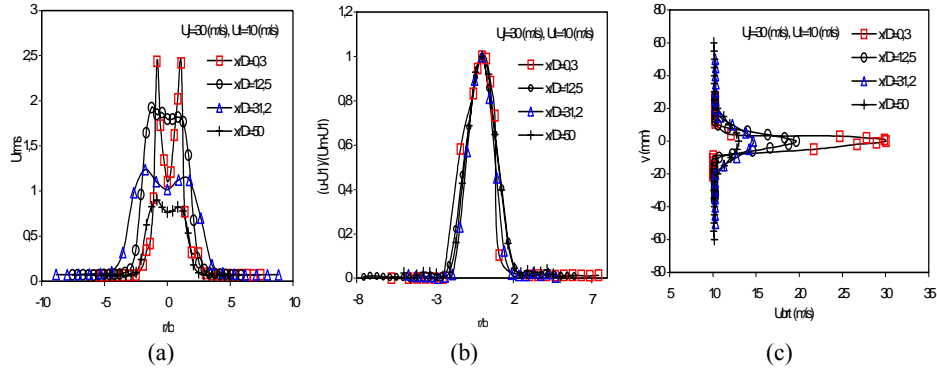
Bu çalışmada, önce çevre akışı olmadan jet akış ölçümleri yapılmış daha sonra da çevre akışını ve jet çıkış hızını değiştirerek farklı hızlarda jet akış deneyleri yapılmıştır. Jet akışını temin için ikinci bir fan sisteminden ve kompresörden yararlanılmıştır. Jet akışı için kullanılan boru, tünelin giriş ağzından deney odasına daldırılmış ve meydana gelebilecek titreşim nedeniyle, akışın bozulmaması için çok ince bir tel ile bağlanan boru, akışı bozmayacak bir şekilde deney odasının duvarına tutturulmuştur.

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

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



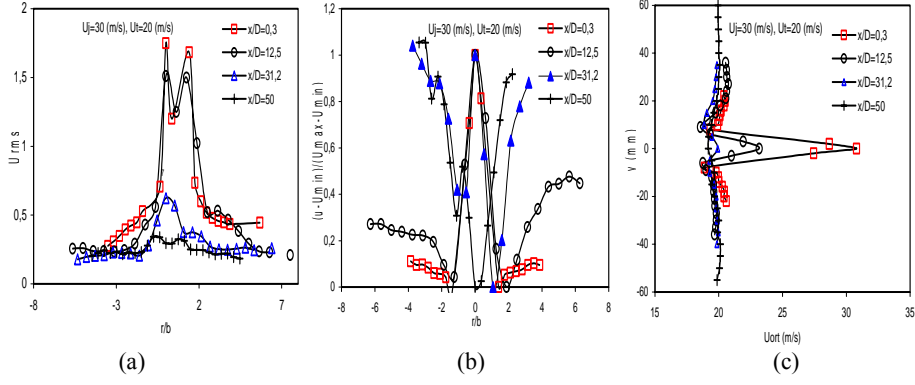
Şekil 6. Tünel akışının olmadığı dairesel jet akış ölçümleri (A1 tipi): (a) U_{rms} dağılımı (b) Boyutsuz hız dağılımı, (c) Çeşitli istasyonlardaki hız profilleri



Şekil 7. Tünel akış hızının 10 (m/s) olduğu dairesel jet akış ölçümleri (A2 tipi): (a) U_{rms} dağılımı (b) Boyutsuz hız dağılımı, (c) Çeşitli istasyonlardaki hız profilleri

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilerle oluşturulan boyutsuz hız dağılımları, şekil 6 (b), 7 (b), 8 (b)'da, türbülansı gösteren U_{rms} dağılımları, şekil 6 (a), 7 (a), 8 (a)'de ortalama hız dağılımları ise şekil 6 (c), 7 (c) ve 8 (c)'de gösterilmektedir.

Investigation of Jet Flows for Different ...



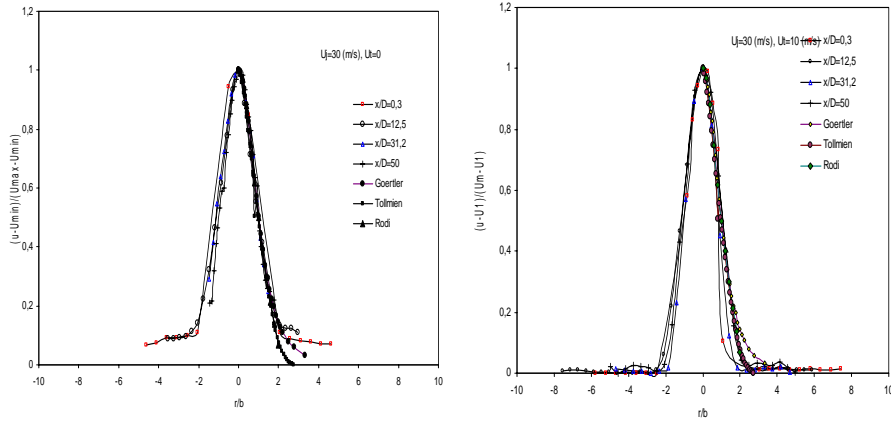
Şekil 8. Tünel akış hızının 20 (m/s) olduğu dairesel jet akış ölçümleri (A3 tipi): (a) U_{rms} dağılımı (b) Boyutsuz hız dağılımı, (c) Çeşitli istasyonlardaki hız profilleri

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

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

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

Bütün ölçümler, $x/D=0.3, 12.5, 31.2$ ve 50 olmak üzere dört istasyonda yapılmıştır. Yapılan ölçümler, şekil 9'da da gösterildiği gibi Goertler, Tollmien ve Rodi'nin çalışmaları ile karşılaştırılmış ve akış profil çizgilerinin uyum içinde olduğu görülmüştür.



Şekil 9. Tünel akış hızının 0 ve 10 (m/s) olduğu durumlar için karşılaştırmalı olarak gösterilen boyutsuz hız dağılımları

Çizelge 2’de görüldüğü gibi lüleden uzaklaştıkça aksenal hız (U_e) azalmakta ve jet yarı kalınlığı (b) artmaktadır.

Çizelge 2. A1,A2 ve A3 tiplerinde yapılan ölçümlerdeki eksen hızları, jet yarı kalınlıkları ve Reynolds sayıları

A1					A2				A3			
x/D	Ue (m/s)	b (m)	Re _D	Re _b	Ue (m/s)	b (m)	Re _D	Re _b	Ue (m/s)	b (m)	Re _D	Re _b
0.3	29.72	0.00388	14962	7271	30.04	0.003629	15305	6843	30.805	0.00568	15509	11028
12.5	15.46	0.01019	7783	9911	19.658	0.004765	9897	5894	23.172	0.00478	12667	6980
31.2	8.522	0.02732	4290	14653	14.655	0.005648	7378	5208	19.924	0.00936	11666	11740
50	6.718	0.04853	3382	20519	12.946	0.01204	6532	9832	19.187	0.01343	9659	16218

4. SONUÇLAR

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

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

KAYNAKLAR

- [1] İnan, A.T, “Çok Amaçlı Düşük Hız-Subsonic Hava Tüneli Dizaynı ve Türbülans Ölçümleri”, Doktora tezi, İstanbul, 2002.
- [2] Corrsin, S.: “Investigation of Flow in an Axially Symetric Heated Jet of Air, N.A.C.A., Wartime Report, W-94.(1946).
- [3] Hizne, J.O.; Zijen, V.H.; B. E.: “Trasfer of Heat and Matter in The Turbulent Mixing Zone of an Axially Symetric Jet” , Appl. Sci Res., Section A, Vol. 1, 435-461, (1949).
- [4] Albertson, M.L.; Jensen, Y.B.; Roose, H.: “Diffusion of Submerged Jest”, Pro.Am.Soc.Civil Eng., Vol. 38, 577-612.(1950).
- [5] Wygnanski, I.; Fiedler, H.: “Some Measurements in the Self-Preserving Jet”, J. Fuilid Mech., Vol. 38, 577 – 612. (1969).
- [6] Davies, P. O.; Fisher, M.S.: “Heat Transfer From Electrically Heated cylinders”, Proc. Roy. Soc. A 280, 468 – 476, (1964).
- [7] Bradshaw, P.; , ”Experimental fluid mechanics”, pergamon Press. (1964).

Investigation of Jet Flows for Different ...

- [8] Hussein, H.J.; George, W. K.: "Measurement of Small Scale Turbulence in an Axisymmetric Jet Using Moving Hot – Wires", Proc. Seventh. Symp. On Turbulent Shear Flow. Stanford University, 7 – 30, Feb. (1989).
- [9] Corrsin, S.: "Further Experiments on the Flow and Heat Transfer in a Heated Turbulent Air Jet", NACA Wartime, Report W – 94, (1942).
- [10] Smith, D. J.: "Turbulence Measurements in a Jet in Co – Flowing Free Stream", MSc. Thesis, Univ. Of Manchester. U. K. (1975).
- [11] Smith, D. J.; Hughes, T.: "Some Measurements in a turbulent circular Jet in the presence of a Co – Flowing Free Stream", Aeronautical Quarterly, Vol. xxviii, p.185, (1977).
- [12] Perry, A. E.; Tan, D. K. M.: "Simple three – Dimensional Vortex Motions in Co – Flowing Jet and Wakes", J. Fluid Mech., Vol. 141, 197 – 231, (1984).
- [13] Biringen, S.: "An Experimental Investigation of a Turbulent Round Jet in a Co – Flowing Airstreams", Winter Annual Meeting, California – December 7 – 12, (1986).
- [14] Mohamed, M. S.: "Experimental and Theoretical Investigations of Turbulent Jets in Co – Flowing streams", Ph. D. Thesis, Dept. of Mect. Eng., London University, U. K. (1987).
- [15] Yavuzkurt, S.; Atashie, S.; Tayfun, A.: "Hot – Wire Anemometry, A Method for the Measurement of High Frequency Turbulent Temperature Fluctuations", Pennsylvania State University. USA (1999).