Çok Amaçlı Ses Altı Düşük Hızlı Hava Tüneli Tasarımı, İmalatı ve Hız Çalkantı Ölçümleri

A. Talat İNAN
M.Ü., Teknik Eğitim Fak.,
Makina Eğitimi Bölümü
İstanbul

Ayhan ONAT
K.S.Ü., K.Maraş MYO,
İklimlendirme-Soğutma
Kahramanmaraş

M. Zafer GÜL
M.Ü., Mühendislik Fak.,
Makina Mühendisliği
İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada; Marmara Üniversitesinde, çok amaçlı düşük hız-subsonik bir hava tüneli tasarımı, imalatı ve çalkantı ölçümleri yapılmıştır. Emişli tipte imal edilen tünelin, deney odası giriş kesiti, 32x32 cm^2 ve uzunluğu, 75 cm' dir. Fan hızı, bir hız kontrol ünitesiyle ayarlanarak, farklı hızlarda, tek kanallı kızgın tel anemometresi ile deney odasının akış analizi yapılmıştır. Deney odasında deney odasının üst ve alt akış bölgelerinde, deney odasının ekseninde farklı noktalarda ölçümler yapılarak deney bölgesinin hız dağılımı bulunmuştur. Tünelin maksimum hızı 40 m/s'dir. Fakat bu çalışmada, ölçümler 30, 20, 10 m/s ve tünele hiç akım verilmediği durumda yapılmıştır. Tünel çalkantı yoğunluğu, 30 m/s' de %0,4 gibi çok ideal bir seviye olarak ölçülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Hava tüneli, Kızgın tel anemometresi, Hız çalkantı ölçümleri.

Multi Purpose Low Range Subsonic Wind Tunnel Design, Manufacturing and Velocity Surge Measurements

ABSTRACT

In this study, a multi-purpose low range subsonic wind tunnel was designed, manufactured and velocity surge measurements were completed. The tunnel was manufactured with a test section of 32x32cm^2 and a length of 75 cm. Arranging the fan circulation by a speed control unit, in different speeds, test section flow analysis was conducted by a hot-wire anemometer which was used as a turbulence measurement tool. The velocity distribution of the test section was determined by the measurements carried out in the upper and lower flow areas, and various locations of the central area. The maximum speed of the tunnel was 40 m/s, however, in this study; measurements were conducted for the flow speeds of 30, 20, 10, and 0 m/s. The tunnel velocity serge intensity in the 30 m/s was 0,4 %, and this was measured as an ideal level.

Key words: Wind tunnel, Hot wire anemometer, Velocity surge measurements.

GİRİŞ

Hava tünelleri, hava içinde hareket eden ve hava akımına maruz bırakılan cisimlerle ilgili olayları incelemek üzere inşa edilir. Genel olarak hava tüneli; deney prototipinin dinamik haldeki şartlarını statik halde iken, havayı şartlandırmak üzere sağlamaktır. Hava tünelleri, aerodinamik problemlerin çözümlenmesi için deneysel çalışmalarda kullanılır. Hava tünelleri, uçak, araba, köprü ve binalar gibi günlük

yaşantımızda yer tutan cisimlerin tasarımında aerodinamik özelliklerin tespitinde kullanılan vazgeçilmez bir deney setidir. Aerodinamikte, hızı ve nitelikleri bilinen bir hava akışının bir cisim üzerindeki etkisini incelemek üzere 1896'da Renard, bir hava tüneli yaptı ama çağdaş donanımlı ilk hava tünelini 1909'da Eiffel gerçekleştirdi (Pope ve Harper, 1984). Hava tünellerinin sınırlı boyutları, küçültülmüş ölçekte bir maket üzerinde çalışmayı gerektirir. Deney sonuçlarının gerçek boyuttaki engel yada araca uygulanması akışkanlar mekaniğinin benzeşim yasalarına dayanır. Bir hava tünelinin tasarım ve imalinde, önce yapımı düşünülen tünelde, hangi tip deneylerin yapılacağı, deney odasında elde edilecek akımın düzgünlüğü ve büyüklüğü, deney odasının açık veya kapalı oluşu ve tünelin yerleştirileceği mahal şartları dikkate alınmalıdır. Hava tüneline ait akım koşulları, hava tünelinde yapılacak deneylere büyük ölçüde etki eder. Bu nedenle deney sonuçlarının değerlendirilmesi, akım şartlarının bilinmesini gerektirir. Bu nedenle hava tünellerinin tasarım ve akış koşulları iyice belirlenerek tasarlanmıştır. (Çayırlı, 1991; Atlı ve Erim, 1985).

Tasarlanan hava tünelinde, elde edilen akımın düzgünlüğü ve büyüklüğü, deney odasının yapılacak deneylere göre değiştirilmesi ve ortam şartları dikkate alınarak tasarım ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Düşük hızlı hava tünelleri iki temel tipte olabilir. Birincisi, "Açık Devreli" hava tünelleridir. Bu tip tünelde hava dönüşümsüz olup imalat maliyetleri düşüktür. Bu tünelin yerleştirildiği ortam büyük olmalıdır. Türbülans yoğunluğunun artmaması için bu tip tünelin kurulduğu ortamda, emişte en az 1m, üfleme tarafında ise en az 2 m'lik alan boş olmalıdır (Pope ve Harper, 1984). İkinci tip hava tüneli ise "Kapalı Devreli" tüneldir. Burada akış dönüşümlü olduğundan daha ekonomiktir.

Açık devreli tünelin uzunluğu genellikle çalışma bölgesi duvar yüksekliğinin 20 katından az olmamalıdır. Uygulamada deney bölgesi, $1m^2$'den daha büyük olmamaktadır. Kapalı devre tünellerinde ise 0,5 m^2 ' den az olanı çok nadirdir. Fakat atmosferik olarak kontrol edilen araştırma tünelleri bunun dışındadır. Kapalı devre tünellerde dönüşlü geçişler, tünelin maliyetini açık devreli tünellere göre % 40 daha artırmaktadır. Türbülans araştırmaları ve deneyleri için tünellerin düşük türbülanslı olması gerekmektedir. Türbülans yoğunluğu ayarlanabilir şekilde olmalı ve deney bölgesindeki grid yüzeyler bilinmelidir (Erim ve ark., 1980). Açık tip tünellerde model ve ölçüm ekipmanlarının kurulması, kapalı devre tünellere göre kolay olmaktadır. fakat çalışma bölgesinde ortalama basıncın ve basınç dağılımının ayarlanması kapalı devre tünellere göre daha zor olmaktadır. Gorlin ve Slezinger (1966), Bradshow ve Pankhurst (1964), Pankhurst ve Holder (1952) ve Pope ve Harper (1984) düşük hızlı hava tünelleri için tasarım prensiplerini açıklamışlardır. Tasarımlanan hava tünelinin giriş kesiti 320x320 mm, çıkış kesiti, 336x336 mm ve deney odası uzunluğu 750 mm'dir. Deney odası hız çalkantı ölçümleri ve dairesel jet türbülans ölçümleri, kızgın tel anemometresi kullanılarak yapılmıştır. Akış, AC motorlu bir fan tarafından sağlanmış ve fanın devri, bir hız kontrol ünitesiyle sağlanmıştır. Veri toplamak için bir AD konverter ve bilgisayar kullanılmıştır. İstenen akış özelliklerini sağlayabilmek yani akış düzgünlüğü ve akışın düzgünlüğünü temin etmek ve akış çizgilerinin birbirlerine paralel olmasını sağlamak için hem giriş kollektöründe hem de difüzörden sonra dinlenme odası ilavesi yapılmıştır. Akış düzgünlüğünün sağlanması için yine giriş kollektörüne ve

fan kabininden önce hava akım düzenleyicisi yerleştirilmiştir. Ayrıca fandan kaynaklanan titreşimin tüneldeki hava akışını olumsuz yönde etkilememesi için fan ile difüzör alüminyum folyo bantla bağlantı sağlanmıştır. Bundan başka tünel destekleyicisi olarak çelik profilden tünel taşıyıcısı yapılmıştır.

Bütün bu durumlar göz önünde bulundurularak tasarımı ve imalatı yapılan hava tünelinin elemanları: Ana elemanlar; deney bölgesi, giriş kollektörü, difüzör ve fan kabinidir. Yardımcı elemanlar: akım düzenleyicisi, tünel şasesi, elektrik panosu ve hız kontrol ünitesidir. Ölçüm elemanları; kızgın tel anemometre (hot-wire anemometre), sulu manometre, kompresör basınç manometresi, pitot tüp'ten oluşmaktadır. Hava tüneli imalatına, tüneli oluşturan elemanlar karakterize edilerek deney bölgesinden itibaren tünel imalatına başlanmıştır. Bütün elemanlar farklı deneylerin yapılabilmesi için modüler tarzda olabilecek şekilde montaj edilmiştir. Bu çalışmada, aerodinamik ve akışkanlar mekaniği ile ilgili hem eğitim ve akademik amaçlı hem de endüstriyel deneylerin yapılabileceği düşük hız çalkantıları, çok amaçlı, düşük hızlı-subsonik, açık çevrimli hava tünelinin tasarım prensipleri ile ilgili bilgi verilecektir. İkinci olarak, imalatı yapılan hava tünelinin deney bölgesinde farklı akış hızlarında kızgın tel anemometresi kullanılarak yapılan türbülans ölçümleri ile deney bölgesindeki akış analizini yapmaktır. Farklı ortalama hava hızlarında deneysel çalışılmış olup deney bölgesinin akış analizleri gösterilmiştir.

MATERYAL VE METOT

Hava tüneli imalatına başlamadan önce, tünelde yapılması düşünülen deneysel çalışmaların çok amaçlı olması doğrultusunda, ses altı-düşük hızlı ve açık devreli olacak şekilde çok amaçlı olarak tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır. Hava tüneli imalatı yapılırken, deney odasında elde edilecek akımın düzgünlüğü, büyüklüğü, deney odasında yapılacak akım görüntülemelerine imkan verme, tünelin yerleştirileceği ortamın durumu, yapılacak deneylerin çevre faktörlerinden en düşük seviyede etkilenmesi, tünelin elemanlarını taşıyacak setin tünel içindeki akımı bozmaması, tünel türbülans yoğunluğunun düşük olması vb. durumlar dikkate alınarak tünel imalatına başlanmış ve bitirilmiştir. Hava tünelinin yerleştirildiği ortamın büyük olması gerektiğinden kurma çalışması büyük bir laboratuarda yapılmış ve hava tüneli, ortama uygun olarak akım düzensizliğine sebebiyet vermemek için, emiş tarafında en az 1 m, üfleme tarafında ise en az 2 m'lik mesafe boş bırakılmıştır. Açık devreli tünelin uzunluğu, genellikle çalışma bölgesinin bir kenar uzunluğunun 20 katından fazla olmamalıdır (Albayrak, 1984). Bu çalışma kapsamında tasarımlanan tünelin uzunluğu, bu değer dikkate alınarak imalatı gerçekleştirilmiştir. Açık çevrimli tünellerde, uygulamada deney bölgesi kesit alanı, $1m^2$ 'den daha büyük olmamaktadır. Kapalı devre tünellerinde ise 0,5 m^2'den az olanı çok nadirdir. Kapalı devre tünellerde dönüşlü geçişler tünelin maliyetini % 40 daha artırır. Türbülans araştırmaları ve deneyleri için tünellerin düşük türbülanslı olması gerekmektedir. Türbülans yoğunluğu ayarlanabilir şekilde olmalı ve deney bölgesindeki grid yüzeyler bilinmelidir (Çayırlı, 1991; Erim ve ark., 1980; Bradshow ve Pankhurst, 1964). Emişli tipte imalatı gerçekleştirilen ses altı hava tünelinde akış, AC motorlu bir fan tarafından sağlanmış ve bu fanın devri, bir hız

kontrol ünitesiyle sağlanmaktadır. Veri toplamak için bir AD konverter ve bilgisayar kullanılmıştır.

Akım düzgünlüğünün sağlanması için yine giriş kollektörüne ve fan kabininden önce akım düzenleyicileri yerleştirilmiştir. Ayrıca fandan kaynaklanan titreşimin tüneldeki hava akışını olumsuz yönde etkilememesi için fan ile difüzör alüminyum folyo bantla bağlantı sağlanmıştır. Bundan başka tünel taşıyıcısı olarak çelik profilden tünel taşıyıcısı yapılmıştır. Bütün elemanların, farklı deneylerin yapılabilmesi için modüler tarzda olabilecek şekilde flanşlarla bağlantısı yapılmıştır.

Hava Tüneli Ana Elemanlarının Tasarımı

Deney Bölgesi Tasarımı

Deneylerin yapıldığı ve ölçüm ekipmanlarının ve sondaların yerleştirildiği kısımdır. Hava tünelinin tasarımında başlama noktasıdır. Deney bölgesinde model üzerine gelen hava akışının kontrol edilebilmesi ve üniform olması amaçlanmalıdır. Deney bölgesi yüksek hızda ve düşük türbülans seviyesinde hava akışı oluşturarak model yüzeylerinde oluşan ölçümlerin araştırılmasında kullanılır. Deney bölgesi tasarımını yaparken dikkate alınacak kriterler şöyle sıralanabilir (Pope ve Harper, 1984; Bradshow ve Pankhurst, 1964; Chang ve ark., 1983).

1. Kanat ve uçak modelleri gibi deneysel çalışmaların yapılacağı Deney bölgesi uzunluğu deney bölgesi çapının 1,5 - 2 katı arasında seçilebilir.
2. Roket, denizaltı ve gemi modelleri gibi deneysel çalışmaların yapılacağı deney bölgesi uzunluğu deney bölgesi çapının 2-4 katı arasında seçilebilir.
3. Eksenel akım hızının sabit kalması ve akım yönünde oluşacak sınır tabakası menfi etkilerini ortadan kaldırmak için deney bölgesi akım yönünde 0,5 derecelik bir açıyla genişletilmelidir.
4. Deneylerin izlenebilmesi ve model ve ölçüm ekipmanlarının rahat bir şekilde yerleştirilmesi için deney bölgesinin şeffaf ve kolay işlenebilir malzemeden yapılmasına dikkat edilmelidir.

Çok amaçlı olması ve yukarıda belirtilen özellikler dahilinde deney odası giriş kesiti 320x320 mm ve çıkış kesiti 336x336 mm olan kare kesitli deney bölgesinde maksimum akım hızı 40 m/s'dir. Hız kontrol ünitesiyle 35 m/s nin altında da deneysel çalışmalar yapılabilecektir. Akış yönünde, çıkış kesitinde küçük bir genişleme olmasının nedeni, deney bölmesi boyunca sınır tabakasından ileri gelecek hataların bir ölçüde önlenmesidir. Bu nedenle deney bölgesi $0{,}6^{o}$'lik bir açıyla akım yönünde düzgün olarak artırılmıştır. Bu verilerden deney odasındaki akış hızına karşılık gelen maksimum Reynolds sayısı;

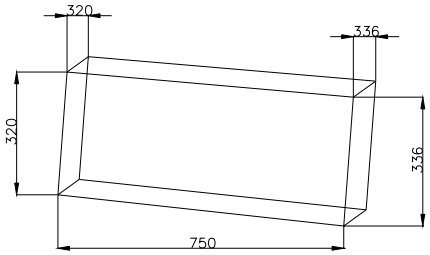
$$\mathrm{Re} = \frac{V_0 \times L}{\upsilon} \tag{1}$$

Burada; V_0 ; deney odası maksimum akım hızı 40 m/s, L ; deney odasının giriş kenar uzunluğu 0,32 m, υ ; havanın kinematik viskozitesi ve Reynolds sayısı T_0 = 18°C için;

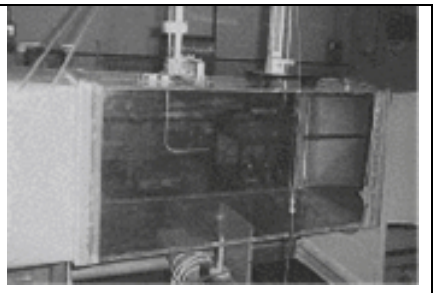
$\mathrm{Re}_{mak.} = 0{,}626398 \times 10^{6}$ bulunur.

Deney bölgesinde çeşitli sondajlara imkan verebilmek ve modellerin deney bölgesine rahat bir şekilde montajını temin etmek için akım koşullarını

değiştirmeyecek şekilde bazı kanallar ve delikler açılmıştır. Eğer deney odasının uzunluğu hidrolik çapın üç veya dört katından fazla olursa difüzörde akışın ayrılmasında problem çıkartabilir (Bradshaw, 1968). Çok amaçlı olması ve uçak, roket ile kanat v.b. modellerin deneysel çalışabilmesine imkan verebilmek için deney bölgesi veya deney odası uzunluğu çapının yaklaşık olarak 2,5 katı alınmıştır (Albayrak, 1984). Buradan deney odasının uzunluğu 750 mm olarak seçilmiştir. Şekil 1a ve 1b'de deney bölgesinin tasarım ve imalat resmi görülmektedir.



a) Deney bölgesi genel görünüşü



b) Deney bölgesi görünüşü

.

Şekil 1. Deney bölgesi görünümü.

Giriş Kollektörü Tasarımı

Deney odasına, üniform kararlı ve türbülans seviyesi düşük akım sağlamakla görevli olan kollektörler, aerodinamik bakımdan hava tünellerinin en önemli elemanlarından biridir. Deney odasındaki modele sağlanan hava akımının düzgünlüğünün sağlanması için iyi bir kollektör tasarımına ihtiyaç duyulur. Kollektörlerde iki boyutlu akış problemleri genellikle Hodograph plana göre çözülürler. Hodograph yöntemi ile kollektörlerin duvarları boyunca hız dağılımları bulunur ve kollektörler de bu hız dağılımına göre şekillendirilir. Bu nedenle kollektör şekillendirilmesi ile bir çok analitik araştırma yapılmıştır (Bradshaw, 1968; Albayrak, 1984; Komori ve Ueda,1985). giriş ağzı Hodograph metoduna göre şekillenmiştir. Bu tünel tasarımında giriş kollektörü 4 kısımdan oluşmaktadır.

1.giriş Ağzı: Açık çevrimli olan hava tünellerinde giriş ağzı akışın düzgün bir şekilde kopma olmadan ve akış çizgilerinde ayrılma olmadan akışın tünele girmesini temin eder. (Ransom ve Smy, 1984).

2. Dinlenme Odası: Akışta olabilecek küçük bozulmaları düzgün hale getirmek ve kollektöre gidecek akışı kuvvetlendirmek için tasarlanmıştır. Dinlenme odası uzunluğu 300 mm' dir.

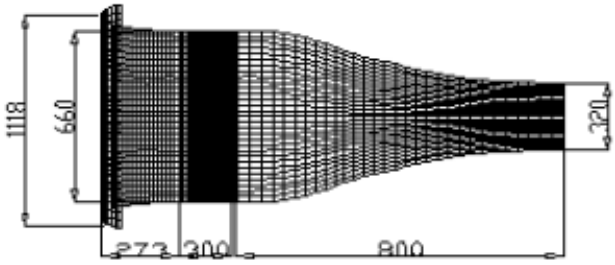
3. Kollektör (Efüzör): Akışın istenen özelliklerde oluşmasını sağlar. Deney odasına düzgün ve hız çalkantı seviyesi düşük akım sağlamakla görevli olan kollektörler aerodinamik bakımından hava tünelinin en önemli elemanlarındandır. Deney bölgesinde modele sağlanan hava akımının gerçek hava ortamıyla uyuşması için kollektör iyi bir şekilde tasarımlanmalıdır. Kollektör daralma oranının seçiminde dikkat edilecek durumlar şöyle sıralanabilir.

1. Daralma oranı küçüldükçe hız çalkantısı azalır.
2. Kollektör daralma oranı n_k' daki değişim hava tünelinin bütün boyutlarını etkiler
3. Düşük hız tünelinde maksimum hız 100-150 m/s, kollektör giriş hızı 10-15 m/s seçilir.

Kollektör daralma oranı yukarıdaki özellikler dikkate alınarak n_k = 4 alınmıştır. Kollektörün çıkış kesiti deney bölgesinin giriş kesiti olduğundan 320x320 mm^2 kesitlidir. Kollektörün giriş kesiti ise çıkış kesit alanının 4 katı alındığından 660x660 mm^2 kesitli olarak seçilmiştir. Kollektör çeperinde sınır tabakası ayrılmasını önlemek için kollektör boyunun uzun olması istenir fakat gereğinden fazla uzunluk ise sınır tabakasının kalınlaşmasına sebep olur. Genellikle pratik çalışmalarda kollektör boyunun, kollektör çıkış kesiti çapının 1,5-2,5 katı arasında alınması uygun bulunmaktadır. Bu çalışmada imalatı gerçekleştirilen kollektörün boyu, kollektör çıkış kesiti çapının yaklaşık 2,5 katı olan 800 mm alınmıştır. Kollektörler genellikle iki şekilde imalatı yapılır. Birincisi eksenel-simetrik kollektör imalatı tipi, ikincisi ise düşey iki duvarı düzlemsel yüzey olarak, alt ve üst duvarları ise eğrisel duvar olarak yapılırlar (Bradshaw, 1968). Kollektör çıkışındaki akım hızı, deney odası akım hızı ile aynı olacağından V_{k2} = 30 m/s dir. Kollektör girişindeki akım hızı ise;

$$V_{k1} = V_{k2} / n_k \qquad (2)$$

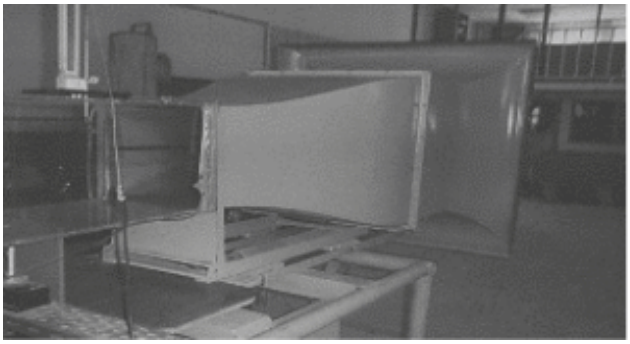
$V_{k1} = 30 / 4 = 7{,}5$ m / s bulunur.



Şekil 2. giriş ağzı ilaveli kollektör tasarımı.

Yayıcı Tasarımı

Yayıcı; test odasının çıkışından itibaren düzgün olarak genişleyen konik kısmıdır. Yayıcılar mümkün olan en kısa mesafede hız kayıplarını azaltacak şekilde tasarımlanmalıdır. Deney bölgesi çıkışından itibaren olduğu için giriş kesiti kare kesitli, çıkışın kesiti ise daireseldir. Yayıcılar tasarım ve montaj nedeniyle oluşabilecek hatalara karşı hassastırlar. Öyleki birleştirmelerde ve şekillendirmede doğabilecek hatalar akışta kopmalara ve ayrılmalara neden olabilir. Yayıcıların verimi yani kinetik enerjiyi basınç enerjisine çevirme kabiliyeti yayıcının hız dağılımına, yayıcının genişleme açısına (α_d) ve yayıcının genişleme oranına (n_d)'ye bağlıdır.



Şekil 3. giriş kollektörü resmi.

Şu anda pratikte en fazla kullanılan 7° veya daha az açılı konik yayıcılardır. (Thwaities, 1946). Yayıcıların genişleme oranının, kollektörün daralma oranına eşit olduğu kabul edilerek bu oran 4 alınmıştır (Libby ve Deiss, 1951; Cohen ve Ritchie, 1962). Yayıcının genişleme açısı 8°'den büyük olursa hız dağılımının düzgünlüğü bozulur, akımda ayrılma olur ve kayıplar artar. 6°'den küçük olursa yayıcıların boyu fazlasıyla uzun olur. Bu durumda kayıplar artar ve imalat masrafları çoğalır. Bu nedenle yayıcının genişleme açısı 7° seçilmiştir. Yayıcının genişleme oranını, kollektörün daralma oranına eşit olarak $n_k = n_d = 4$ seçilmiştir. Yayıcının giriş kesiti A_{d1}, deney odasının çıkış kesiti ile aynı olduğundan 336 mm alınmıştır. Yayıcının genişleme oranından yaralanarak yayıcının çıkış kesiti hesaplanabilir.

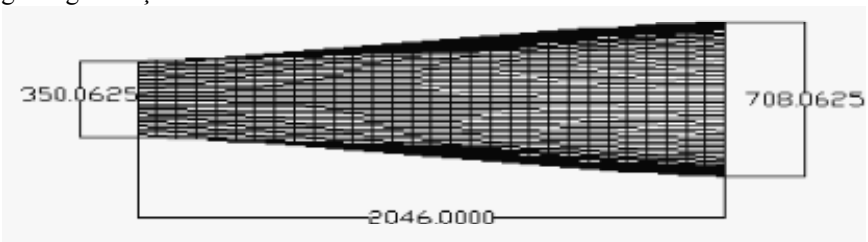
$$n_d = A_{d2} / (A_{d1})^2 \tag{3}$$

$$A_{d2} = 4 \times (0{,}336)^2 = 0{,}45 \text{ m}^2$$

Yayıcı çıkış kesiti dairesel olduğundan yayıcı çıkış kesitinin çapı;

$$D_{d2} = \left(\frac{4 A_{d2}}{\pi} \right)^{0{,}5} \tag{4}$$

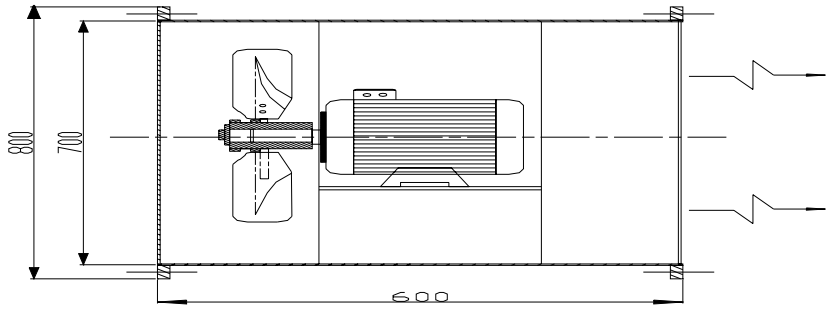
D_{d2} = 0,75 m =750 mm bulunur. İmalat seçiminde alınan değer , D_{d2}= 710 mm dir. Difüzör uzunluğunun hesaplanmasında, yayıcının adaptör boyu ve yayıcı olmak üzere iki kısımdan olduğu kabul edilmiştir. Şekil 4'de imalatı yapılan yayıcının genel görünüşü vardır.



Şekil 4. Yayıcının tasarımı.

Fan Bölgesi Tasarımı

Tünele hava hızını temin eden fan, Taşkın Vantilatör ve Klima Sanayi'nden TAV 02-AA4 aksiyal vantilatör serisinden temin edilmiştir. Fan çapı 700mm, fan devri 2200 d/d, fan motor gücü 5,5 kW'dır. Şekil 5'de fan kabini görülmektedir.



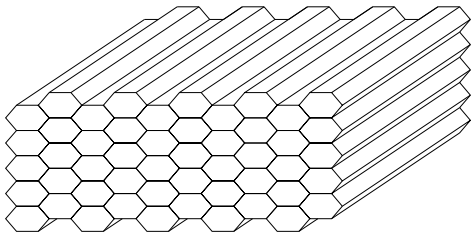
Şekil 5. Fan kabini.

Hava Tüneli Yardımcı Elemanları

Hava Tüneli yardımcı elemanları, akım düzenleyicisi olarak kullanılan bal peteği, hız kontrol ünitesi olarak kullanılan fan motor sürücüsü ve tünel iskeletini taşıyan şaseden oluşmaktadır.

Akım Düzenleyicisi

Hava tüneli içinde istenen akışın sahip olduğu şartları iyileştirmek ve akışın paralel olmasını temin etmek aynı zamanda türbülansı azaltmak için tünelin giriş kollektörüne yerleştirilmiştir. Bal peteği, altıgen olarak kollektörün tüm kesitini kaplayacak şekilde yerleştirilmiştir (1). Bal peteği olarak da isimlendirilen akış düzenleyicisi, hız dağılımının daha düzgün olmasını temin eder, aynı zamanda yabancı cisimlerin tünele girmesine mani olur. Bu doğrultuda tasarlanan bal peteği Şekil 6'da görülmektedir.

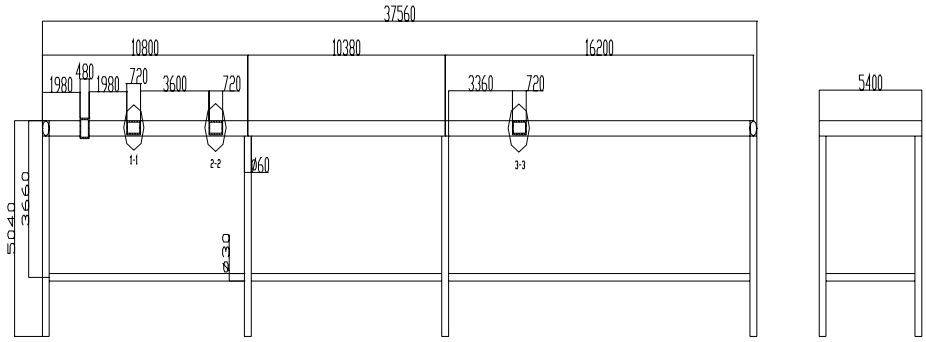


Şekil 6. Akım düzenleyicisi.

Hava Tüneli Destekleyicisi

Hava tüneli destekleyicisi 10 mm çaplı çelik borulardan yapılmıştır. Fandan kaynaklanan titreşimlerin akışını bozmaması için fan bölgesinin destekleyicisi ayrı

olarak yapılmıştır. Fan ile bağlantı alüminyum folyo bant ile sağlanmıştır. Deney bölgesinin değiştirilmesine imkan vermek için giriş kollektörü, tünel destekleyicisi üzerine yerleştirilen kızak üzerine oturtulmuştur. Bu da 1,5 m'ye kadar istenildiğinde deney bölgesinin büyütülmesine imkan vermiştir. Ayrıca laboratuarda tünelin yer değiştirmesi gerektiği durumlarda kolaylık sağlamak için tünel destekleyicisinin ayaklarına tüneli taşıyabilecek tekerler takılmıştır. Kurulan hava tüneli destekleyicisi Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Hava tüneli destekleyicisi.

Fan Motor Sürücüsü

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

Ölçüm Cihazları

Kızgın Tel Anemometre

Kızgın tel anemometresi, LDA (Laser Doppler Anemometre) ile beraber, akışkanlar mekaniği araştırmalarında, gaz ve sıvıların akış alanlarının, mikro yapılarının detaylandırılması ile hız profil ve çalkantı karakteristiklerinin incelenmesinde kullanılmaktadır. Yüksek frekanslı hız çalkantılarının ölçümü için kullanılan bu metotla anlık hız ölçülür (Özkan, 1985). Kızgın tel anemometre sondasının, akışa maruz bırakılan küçük bir elektrikli ısıtıcı tel olup, elektronik çevrimle, sondasındaki elektrik sinyallerini kullanarak dönüşümü hazırlar. Çok büyük ölçüm ekipmanları, elektronik çevrim formları, anemometre sisteminin küçük elemanları ve sonda karakteristikleri, ölçümleri etkilemektedir (McDonald ve Fox, 1964).

- Deneysel çalışmalara uygun sondanın malzemesi seçilmelidir.
- Seçimi yapılan sondanın direncinin sıcaklık katsayısı yüksek olmalıdır. Böylece hız değişimlerinde sensörün hassasiyetini artacaktır.
- Verilen voltaj ve akım seviyesi, elektrikli rezistansı, çok kolayca ısıtmalıdır.

Hava akışlarında, bütün bu özellikleri bir arada bulunduran, tungsten, platin ve iridyum-platin alaşımlı sondalar kullanılır. En popüler kızgın tel anemometre malzemesi, tungstendir. Sabit akım ve sabit sıcaklık formu olmak üzere iki temel tipte bulunur. Her ikiside benzer fiziksel prensiplere göredir fakat farklı yöntemleri vardır (McDonald ve Fox, 1964). Sabit akış formunda, elektrik akımı sabit, sıcaklık ise değişkendir. Tel sıcaklığı, hız değişimlerinin neden olduğu soğutma etkisiyle değişir (Abromovich, 1963). Akış sabit tutulup, teldeki direnç değişimleri, voltaj değişimi olarak kaydediliyorsa sabit akım anemometresi, direnç, sabit tutulup voltaj değişimleri akım olarak ölçülüyorsa sabit sıcaklık anemometresi olarak isimlendirilir. 0,005 mm çapında olan aktif uzunluktaki tel, elektrik akımıyla atmosfer sıcaklığının üzerinde ısıtılır. Isı transfer oranı akış hızına bağlıdır. Elektronik (wheatstone köprüsü) çevrim ile ısı transferi zamanın fonksiyonu olarak ölçülmektedir. Zamanın fonksiyonu olarak ölçülen akış hızının, hız/ısı transfer ilişkisi kalibrasyonla tesbit edilir (Sovran ve Klomp, 1967). Telden geçen ısıtıcı akımda, direnç R_w, uygulama sıcaklığı T_w, çap D ve uzunluk L ise, enerji denge denklemi formundan,

$$I^2 R_w = \pi DLh\left(T_w - T_a\right) \tag{5}$$

eşitliği sağlanır. Telden taşınım ile transfer edilen Q ısısıyla, akışkan hızı arasındaki ilişkiyi 1914' de L.V. King açıklamıştır (Doebelin, 1983).

$$Q = \left(T_w - T\right)A_w h = A + BU^n \tag{6}$$

Burada Q, taşınım ile birim zamanda aktarılan ısıdır. T_w, tel sıcaklığı ve T_o, çevre sıcaklığıdır. A_w ise telin yüzey alanıdır. A ve B proba bağlı katsayılar olup kalibrasyonla elde edilir. Burada n, düşük Re sayılarında 0,45, büyük Re sayılarında 0,5 alınır. Sabit sıcaklık anemometresi, kızgın tel anemometre tipinin en popüler olanıdır. Dantec ve TSI gibi ticari firmalar tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmada da hız çalkıntı ölçüm cihazı olarak, Dantec measurement firmasının, tek kanallı sabit sıcaklık anemometre ünitesi kullanılmıştır. Çalışma prensibi, ısıtılan yüzeyden (telin) akışın soğuma etkisiyle oluşan konveksiyon ısı transferi ile açıklanmaktadır. Taşınılma oluşan ısı transferi, akış hızının fonksiyonudur. Q ve U arasındaki ilişki ise Denklem (9)'da görülmektedir. Anemometre modunda, yükselticiyle sensör direnci korunur.

$$R_w = R_0\left[1 + \alpha_0\left(T_w - T_0\right)\right] \tag{7}$$

Burada; R_w = Tel direnci, $R_o = T_o$ referans sıcaklığındaki tel direnci, α_o = Sıcaklık katsayısı, T_o = Referans sıcaklığı, T_W = Tel sıcaklığıdır. Telden geçen akım;

$$E^2 = I^2 {R_w}^2 = R_w\left(R_w - R_0\right)\left(A_1 + B_1 U_n\right) \tag{8}$$

Hız kalibrasyonu, kızgın tel anemometre probunda olduğu gibi genellikle U hızı ve anemometre voltajı E gibi birtakım ölçümlerle yapılır (Olivari ve Carbonaro, 1985). U hızı ve E voltajı arasındaki ilişkiyi açıklamak için kalibrasyon yöntemleri analitik olarak açıklanmıştır. Anemometrenin voltaj çıktısı E, hava hızının U+u' nun fonksiyonudur. Hız ve voltaj çıkışı arasındaki ilişki program otomatik olarak

vermektedir. Kalibrasyon laminer akımda iken yapılmalıdır. Otomatik kalibrasyon üniteleri vardır fakat pahallı olması nedeniyle kalibrasyonda pitot-statik tüp kullanılmıştır. Bu çalışmada kalibrasyon verileri için 10, 20, 30 m/s hızlarında çalışıldığından bu sayılar referans alınmıştır. Tünel maksimum hızı 40 m/s olduğundan bu değerler kalibrasyonda kullanılmıştır. Pitot-statik tüp ile bu değerlere ulaşıldığında, bu değerlere karşılık gelen anemometrenin voltaj değeri hesaplanmıştır. Kalibrasyondan sonra deney akış düzeneğini oluşturmak için, kalibrasyona göre yazılım programında deney planı hazırlanmıştır. Hazırlanan bu plana göre veriler alınmış ve sonuçlar irdelenmiştir. Ölçümler sıcaklık 24°C'de yapılmıştır.

Hava Tüneli Montajı

Birleştirme işlemi yapıldıktan sonra tünel elemanlarının içi ve dışı metalik boya ile boyanmış ve iç yüzeylerine boya cilası yapılmıştır. Boya işlemleri tamamlandıktan sonra, kütük halinde alınan akım düzenleyicisi, hava akım düzenleyicisi açılarak tünelin giriş ağzına ve difüzör çıkışına fandan önce yerleştirilmiştir. Böylece tünel montajı tamamlanmış ve ölçüm elemanları tünele yerleştirilerek deneysel çalışmalara hazır hale getirilmiştir (Şekil 8-9).

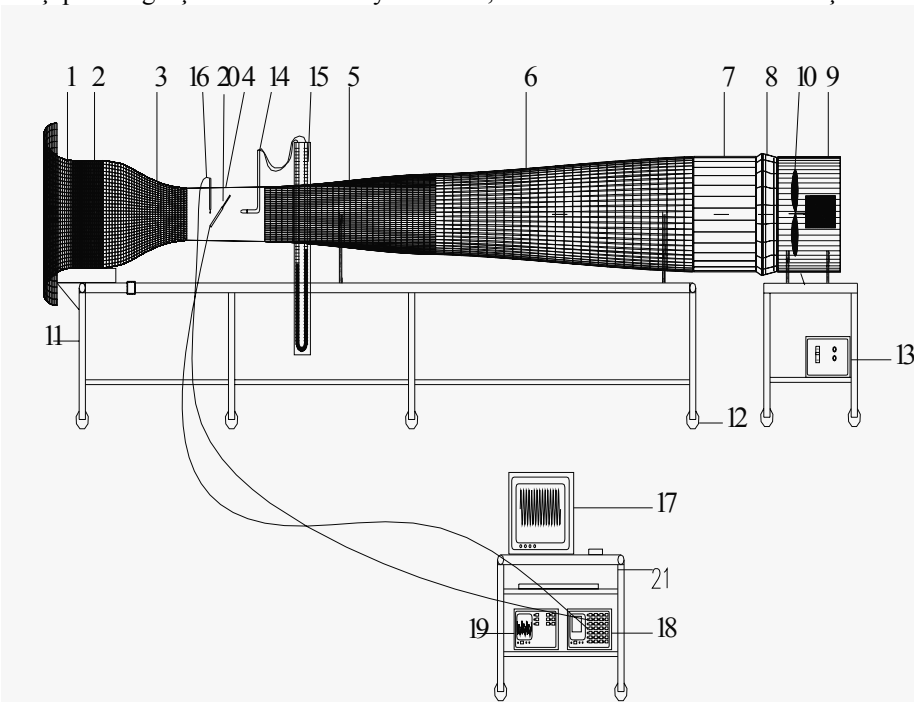


Şekil 8. Tasarımı ve imalatı yapılan hava tünelinin genel görünüşü.

Deney Odasının Analizi

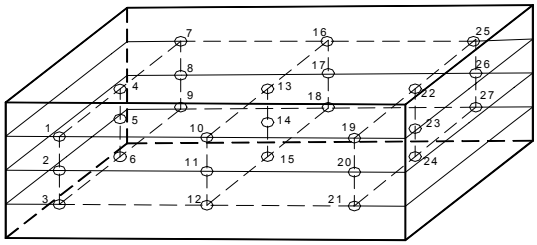
Deney odası ölçümleri için, bu bölgenin malzemesi plexi-glass, akış analizini verecek deneysel çalışmaya göre hazırlanmıştır. Deney odası üst çeperinden Şekil 9'da görüldüğü gibi kızgın tel anemometre probunun daldırılacağı delikler

açılmıştır. Deney odasının üst akış, alt akış ve merkezdeki akış ölçümleri için prob, üst çeperden girişten itibaren sırasıyla 81 mm, 162 mm ve 243 mm daldırılmıştır.



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

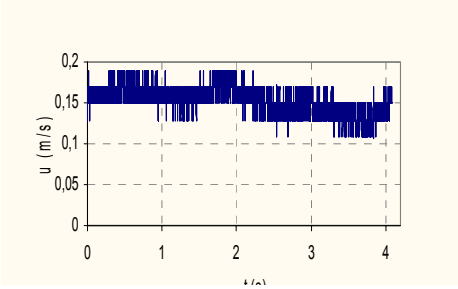
Her bir delikten üç ölçüm alınmış ve toplam deney bölgesi için 27 noktada ölçüm alınmıştır. Aynı işlem, belirlenen bütün hızlarda tekrarlanmış ve böylece deney odasının, akış analizi yapılmıştır. Hava tünelinin tasarımında yapılacak herhangi bir hata deney odasındaki akımın istenen özelliklerde olmasını engellemektedir. Hava tünelinde, deneye başlanmadan önce akım karakteristiklerinin tespit edilmesi maksadıyla deney odasında üç farklı düzlemde ve 27 noktada hız taraması yapılmıştır. Deney odası ölçümleri, önce tünele hiç akış verilmeden yapılmıştır. Sonra sırasıyla deney odasına 10, 20 ve 30 m/s hızlarında hava akışı sağlanarak ölçümler yapılmıştır. Deney odasından alınan ölçüm konumları Şekil 10'da gösterilmiştir. Ölçümler 1. Noktadan itibaren sırasıyla 27. noktaya kadar alınmıştır. Çeşitli ortalama hızlarda ölçümleri yapılan hız değişimleri, Şekil 11, 12, 13 ve 14 'de gösterilmiştir.



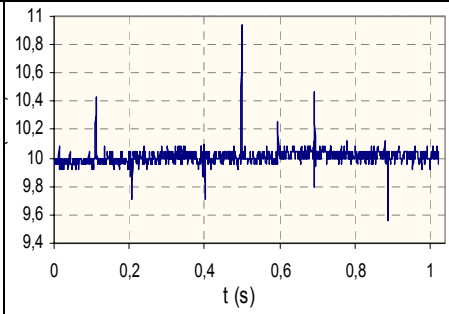
Şekil 10. Deney odası hız taraması yapılan düzlemlerdeki ölçü alınan noktalar.

BULGULAR VE TARTIŞMA

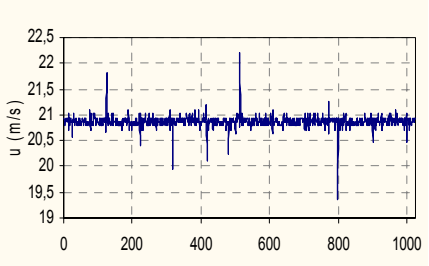
Yapılan ölçümlerde deney odasının hız çalkantı yoğunlukları, tünele hiç akım verilmediği durumlarda %0,5, 10 m/s ortalama hızında %0,6, 20 m/s ortalama hızında %0,7, 30 m/s ortalama hızda %0,4 olarak bulunmuştur. Bu ölçümler, tüneldeki akım karakteristiklerinin uygun olduğunu ve deneysel çalışmalar için yeterli hassasiyette olduğunu göstermektedir. Şekil 11'de tünel akışı olmaması nedeniyle anlık hız çalkantısının diğer durumlara göre değişik çıkması kabul edilebilir durumdur. Ortalama türbülans yoğunluğu da bunu göstermektedir.



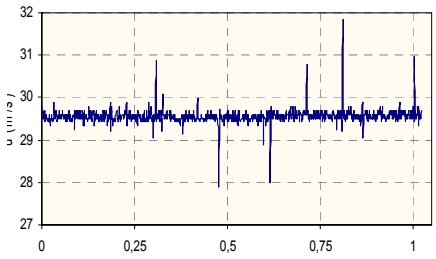
Şekil 11. Deney odasına akım verilmediği durumdaki hız çalkantıları.



Şekil 12. 10 m/s ortalama hızdaki hız çalkantıları.



Şekil 13. 20 (m/s) ortalama hızdaki hız çalkantıları.



Şekil 14. 30 m/s ortalama hızdaki hız çalkantıları

SONUÇLAR

Bu çalışmada, emişli tipte tasarımlanan ve imal edilen çok amaçlı ses altı-düşük hızlı hava tüneli literatürde belirtilen tasarım parametreleri doğrultusunda imalatı gerçekleştirilmiştir. İmalatı yapılan hava tünelinin özellikleri,

- Deney odası giriş kesiti, 320x320 mm, çıkış kesiti, 336x336 mm'dir.
- Tünel maksimum hızı, 40 (m/s)'dir.
- Deney odası uzunluğu 75 cm olup istenildiğinde 1,5 m'ye kadar yükseltilebilmektedir.
- Deney odasında yapılan deneysel çalışmalarda hız çalkantı yoğunluğu %0,4 civarında çıkmıştır.
- Deneysel çalışmalarda hız çalkantı ölçüm cihazı kızgın tel anemometre (hot wire anemometer) kullanılmıştır.
- Kızgın tel anemometre kalibrasyonu, sulu manometreye bağlı pitot-statik tüple yapılmıştır.

Sonuçta, hava tünelinin tasarımı ve imalatı ile deneysel akışkanlar mekaniği ve aerodinamik eğitimde kullanılabilecek, işlerliği deney odası akış deneyleri ile denenmiş bir düzenek kurulmuştur.

KAYNAKLAR

Abromovich, G.N., 1963. The Theory of Turbulent Jets, The MIT press, Massachusetts, 671-680, USA.

Albayrak, K., 1984. Investigation of the Boundary Layer Transition, The Turbulent Boundary Layer Development and the Recovery Length of the Turbulent Boundary Layer Behind Three Dimensional Roughness Elements, Ph.D. Thesis, Mechanical Engineering, Middle East University, Ankara, Türkiye, p.41-62.

Atlı, V., Erim, M.Z., 1985. İ.T.Ü. Aerodinamik Laboratuvarında Dizayn ve İmal Edilen Bir Hava Tünelinin Dizayn ve Akım Koşulları, IV. Ulusal Mekanik Kongres, Bayramoğlu, Türkiye.

Bradshaw, P., Pankhurst, R.C., 1964. The Design of Low-Speed Wind Tunnels, Progress in Aeronautical Sciences, Vol.5, Program Press Ltd., London, UK.

Bradshaw, P., 1968. Simple Wind Tunnel Design, N.P.L. AeroRep., No.1258.

Çayırlı, G., 1991. Açık Devreli Subsonik Rüzgar Tüneli Dizaynı, Y.Lisans tezi, Anadolu Üniv., Fen Bilimleri Enst., Eskişehir,Türkiye, s. 1-26.

Chang, P. H., Adrian, R. J., Jones, B. G., 1983. Comparison Between Triple– Wire and x–Wire Measurement Techniques in High Intensity Shear Flow, Proc. 8 th., Biennial Symp. on Turbulence, Univ. of Missouri – Rolla .

Cohen, M.J., Ritchie, N.J.B., 1962. Low speed Three Dimensional Contraction Design, Journal of Royal Aeronautical Society, Vol.66, pp.231-236.

Doebelin, O.E., 1983. Measurement Systems Application and Design, third edition, McGraw Hill Book Company , USA.

Erim, M.Z., Atlı, V., Kavasoğlu, M.Ş., 1980. Alçak Sesaltı Bir Hava Tünelinin İmalatı ve deney Odasında Hız Profilinin Tayini, VII. Bilim Kongresi Tebliğ ÖZETleri, Eylül 633-663 İstanbul, Türkiye.

Gorlin, S.M., Slezinger, I.I., 1966. Wind Tunnels and Their Instrumentation, Israel program for Scientific Translations Ltd., Jerusalem, Israel.

Komori, S., Ueda, H., 1985. The Large-Scale Coherent Structure in the Intermittent Region of the Self-Preserving Round Jet, J. Fluid Mech., Vol.152, p. 337-359.

Libby, P.A., and Deiss, H.R., 1951. The Design of Two Dimensional Contraction Sections, Quarterly of Applied Mathematics, Vol. IXB pp. 95-98.

McDonald, A.T., Fox, R.W., 1964. Incompressible Flow in Conical Diffusers, Tech. Rep.No. 1, Army Research Office (Durham) Project 4332.

Olivari, D., Carbonaro, M., 1985. Hot-Wire Measurement, VKI, LS.

Özkan, M.N., 1985. Çeşitli Şekillerde Düzenlenmiş İki Silindir Etrafındaki Akım Alanının Hesaplanması", Doktora Tezi, İTÜ., İstanbul, Türkiye.

Pankhurst, R.C., Holder, D.W., 1952. Low Speed Wind Tunnel Technique, Sir Isaac Pitman and Sons Ltd., London, U.K.

Pope, A., Harper, J.J., 1984. Low-Speed Wind Tunnel Testing, John Wiley & Soons, Inc., New York, USA.

Ransom, E.C.P., Smy, J.R., 1984. Introduction and Review of Some Jet Interference Phenomena Relevant to V/Stol Aircraft", AGARD Rep.No 710.

Sovran, G., Klomp, E.D., 1967. Experimentally Determined Optimum Geometrics For Rectilinear Diffusers With Rectangular, Conical or Annular Cross -Section, Fluid Mechanics of Internal Flow, Elsevier Publishing co., Amsterdam, pp. 276-319.

Thwaities, B., 1946. On The Design of Contractions for Wind Tunnels, .R.C.,&M., 2278.