

ÇOK KATLI BİR BİNA ETRAFINDAKİ RÜZGAR AKIŞININ OLUŞTURDUĞU YÜZEY BASINÇLARININ DENEYSSEL OLARAK İNCELENMESİ

Cevdet AYGÜN ve Şenol BAŞKAYA

Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gazi üniversitesi
06570 Maltepe Ankara, baskaya@gazi.edu.tr

ÖZET

Bu araştırmada örnek bir çok katlı bir bina modeli ile rüzgar tüneline deneyler yapılarak binanın etrafında değişik hız ve açılardan esen rüzgar akışının oluşturduğu basınç dağılım profilleri çıkartılmış ve rüzgarın pencere mahallerine uyguladığı kuvvetler hesaplanmıştır. Bu deneyler, örnek binanın özel imal edilen 1/300 ölçekli modeli, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi rüzgar tüneline kesit alanı 30.5x30.5 cm olan deney odasında sabitlenerek yapılmıştır. Bu deneylerde; bina modelinin muhtelif kesitleri etrafında oluşan noktasal basınç değerleri, rüzgarın bina üzerine esme hızına ve binaya olan esme açısına bağlı olarak elde edilmiş ve bu basınçların model kesitleri etrafındaki dağılım profilleri ile pencere mahallerindeki yerel basınçların hasıl ettiği yüzey kuvvetleri incelenmiştir. Son aşamada deney hata çözümlemesi olarak, model kesitleri etrafındaki muhtelif deneysel basınç değerleri kümelerine, her bir kesit etrafındaki basınç değerlerini, bu noktalardan en az hata ile geçen bir eğriye dönüştüren polinomsal regresyon yöntemi uygulanmış ve kesitlerin ilgili basınç profili grafikleri bu yolla elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Model bina, yüzey basınç dağılım profili, rüzgar kuvveti, deneysel basınçlar

AN EXPERIMENTAL STUDY OF SURFACE PRESSURE DISTRIBUTION OF A HIGH RISE BUILDING FORMED BY WIND FLOW

ABSTRACT

In this study, the model of an exemplary highrise building was subjected to various experiments in the wind tunnel and the surface pressure distributions brought out by the airstream over the building at different velocities and angles of attacks were investigated. Wind forces on the windows in the critical pressure zones were also figured out. In the first hand, a 1:300 scale model of the exemplary highrise building

was specifically designed and manufactured for the wind tunnel experimentation. Subsequently the experiments were conducted in the wind tunnel of Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University. The model was positioned in the working section of the tunnel which has a cross sectional area of 305x305 mm so that one face was either normal to or directed 45° towards the flow direction during the testing. In the experiments, dotted pressure readings formed on the cross sectional surfaces of model depending on the velocity and direction of the blowing wind over the building were recorded and the pressure distribution profiles around the model cross sections were examined and the critical wind forces formed by the local pressures on the windows were calculated. In the last stage, a method of error analysis was searched and identified for processing various sets of experimental pressure data. Consequently, polynomial regression technique which transforms these sets of pressure data into a continuous curve passing through the vicinity of the data points with minimal error were applied as a method of error analysis. Pressure profile graphics related to the relevant cross sections were obtained by employing this technique.

Keywords: Model building, surface pressure distribution, wind force, experimental pressure data

1. GİRİŞ

Teknolojik imkanların artmasıyla birlikte giderek daha da yüksek boyutlarda inşa edilen çok katlı bina konstrüksiyonları, döner kule, asma köprü gibi yüksek yapıların tasarımları esnasında yalnız mimari ve statik etkilerin değil, kullanım ömürleri boyunca maruz kalmaları muhtemel aerodinamik etkilerin de gözönüne alınmaları gerekmektedir. Bu etkileri önceden belirlemek için bu gibi yapıların modellerinin rüzgar tüneline deneye tabi tutulmaları gerekmektedir.

Konuyla ilgili 1970'li yıllarda yoğun çalışmalar yapılmıştır. Örnek olarak Barriga ve arkadaşları [1] kare bir silindir için ve Roberson ve Crowe [2] ise bir bina modeli için deneysel olarak basınç dağılımlarını türbülanslı akış şartlarında belirlemişler. Çalışmalar, değişik cisimler üzerinden geçen farklı şartlar altındaki akışların cisim üzerinde meydana getirdiği basınç dağılımları ve buna bağlı olarak cisime etkileyen yüklerin hesaplanması konusunda yoğun olarak devam etmiştir. Burada sadece son yıllarda yapılan bazı çalışmalar gene örnek olarak verilecektir. Ahmad ve Kumar [3] alçak binalardaki rüzgar yükleri üzerine bir çalışma yapmışlar. Aynı yazarlar (Ahmad ve Kumar [4]) daha sonra aynı binalar için geometrinin rüzgar basınçlarına etkilerini incelemişler. Genel olarak konuyla ilgili çalışmalar rüzgar tüneline yapılmaktadır. Fakat her zaman bu mümkün değildir. Bundan dolayı Wong ve Chin [5] çalışmalarında basınç dağılımları veren teorik bir model geliştirmişler.

Bu araştırmada farklı bir bina için rüzgar basınç dağılımları deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi'ne ait rüzgar tünelinin 305x305 mm boyutlarında kesit alanına sahip deney odasındaki mevcut şartlar altında yürütülmüş ve şartların zorunlu kıldığı şekilde manüel olarak icra edilmiştir.

Araştırmanın ilk safhasında, çok katlı bir bina örneği olarak Kızılay'daki Emek İşhanı seçilmiştir. Binanın etrafında değişik hız ve açılardaki rüzgar akışının oluşturacağı basınç dağılım profillerinin modellenmesi için bina modelinin rüzgar tüneline deney tabii tutulması amaçlanmıştır. Bu amacı gerçekleştirmek için binanın 1/300 ölçekli modeli özel olarak imal edilmiş ve tesisatlandırılmıştır. Daha sonra mamul model Fakülte'deki rüzgar tünelinin deney odasına sabit olarak yerleştirilmiş ve her bir rüzgar esme konumu ve hızı için ayrı ayrı deney yapılarak binanın muhtelif kesitleri etrafında oluşan basınç dağılım profilleri ve yüzeylere etkiyen kuvvetler incelenmiştir (Özkan [6]). Araştırmada rüzgar tüneli içerisine yerleştirilen çok katlı bina modelinin basınç dağılım değerleri ana ve ara yönler olmak üzere sekiz ayrı doğrultudaki kritik akışlar için ölçülmüş ve bu ölçümler ayrı rüzgar hızlarına tekabül eden üç değişik tünel rejimi için tekrarlanmıştır. Bina modeli etrafındaki muhtelif basınç dağılım profilleri ve bunlardan hasıl olan yüzey kuvvetleri tamamen akışın bina modelinin etrafındaki hızına ve açısına bağlı olarak ayrı ayrı elde edilmiş ancak deneyler sırasında tünelin türbülans karakteristikleri her bir tünel rejimi için sabit kalmıştır.

Araştırmanın seyri esnasında ilk aşamada, bina modelinin önceden hazırlanmış yüzey noktaları üzerinde tüneldeki akışın hasıl ettiği basınç değerleri ölçülerek kaydedilmiştir (Özkan [6]). Araştırmanın ikinci aşamasında deneysel hata çözümlene yöntemi olarak, bu kaydedilmiş basınç değerleri kümelerine, her bir kesit etrafındaki basınç değerlerini bu noktalardan en az hata ile geçen bir eğriye dönüştüren bir yöntem uygulanmasına ve kesitlerin ilgili basınç profili grafiklerinin bu yolla elde edilmesine karar verilmiştir (Çürüksulu [7]). Daha sonra polinom regresyonu tekniğinin, her bir kesit yüzeyi üzerinde ölçülerek kaydedilmiş olan basınç değerleri kümelerini bu değerlerden en az hatayla geçen bir eğriye dönüştüren en uygun yöntem olacağı belirlenmiş ve bu teknik Mathematica 4.0 hazır bilgisayar programı vasıtasıyla kayıtlı deney değerlerine sayısal olarak uygulanarak yüzeylerin basınç profili grafikleri çizimleri elde edilmiştir (Çürüksulu [7]).

2. YÖNTEM

2.1. Boyutsuz Basınç Katsayısı

Basıncı p ve hızı V olan herhangi bir noktada boyutsuz basınç katsayısı

$$C_p = \frac{(p - p_\infty)}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^2} = 1 - \left(\frac{V}{V_\infty} \right)^2 \quad (1)$$

olarak tanımlanır (Roberson ve Crowe [8]). Burada V_∞ , akışkanın bozulmamış hızını; p_∞ , V_∞ hızındaki akışkanın basıncını; V akışkanın herhangi bir noktadaki hızını; p , V hızındaki akışkanın statik basıncını; ρ ise sıkışmaz akışkanın her noktadaki yoğunluğunu göstermektedir.

2.2. Rüzgar Tüneli İçin Gerekli Şartlar

Rüzgar tünelinden yararlanabilmek için gerekli şartlardan birincisi, araştırma projesi sürdürülen prototipin modelinin boyutlarının, tünelin deney odası ölçülerine uygun olmasıdır [9]. Ayrıca hava akışı deney odasından geçerken modelin etrafında ilave türbülans oluşmamalıdır. Deney odasının balansları ve tesisatı model üzerindeki basınç, kuvvet ve momentleri, yerel akışkan hızı, basıncı, sıcaklıkları gibi ölçümlerin hassas bir biçimde yapılmasına imkan vermelidir. Bir rüzgar tünelinde, en çok gerekli görülen, en az iki kuvvet bileşeni ile bir moment bileşeni ölçülebilmelidir [9].

Tünelin akış yönlendiricileri, modelin büyüklüğü ne olursa olsun akış çizgilerini tünel yüzeyine koşut olarak doğrultur. Bu doğrultma nedeniyle doğal akışa nazaran akım çizgileri ve buna bağlı olan basınç dağılımı etkilenir. Ancak model deney odasına nazaran ne kadar küçülürse bu etki de o kadar azalacağından buna ilişkin bir kıstas oluşturulması yararlı olur. Misal olarak, model imal edilirken boyutları; modelin kesit alanının tünelin deney odasının kesit alanına oranı %10'a eşit veya daha küçük olacak şekilde seçilirse bu etki ihmal edilebilir mertebede olacaktır. Bu sebeble Fakülte'nin rüzgar tüneli gibi deney odası ölçüleri küçük tünellerin bir deneye getirilebileceği en önemli kısıtlama, modelin boyutlarının küçük olması zorunluluğudur. Bu kısıtlamaya "deney odası blokaj koşulu" adı verilmektedir.

2.3. Rüzgar Tünelindeki Ölçümler

Basınç: Basınç ölçmeleri zaman ortalamalı okumalar veya anlık okumalar şeklinde iki usülle yapılabilir. Zaman ortalamalı okumalar, model yüzeyi üzerinde belirlenmiş noktalara yerleştirilmiş tüpler vasıtasıyla dahilden alınır. Bu tüplerin uçları modelin dış hattına girişim yapmamalıdır. Çok tüplü ölçmeler çoğunlukla çok kollu manometre ile yapılır. Statik basınç değerleri bu tüplerle ölçülür. Eğer basınç değeri 500 mm su sütunu değerinden daha yüksek ise alkollü manometreleri kullanılır. Çok kollu manometrelerde kollardan ikisi akışın toplam ve statik basınçlarını ölçmeye tahsis edilir. İşletimi yüksek maliyetli tünellerde fotografik kaydetme uygulanır. Basınç alınan tübün çapı ne denli geniş olursa, ani basınç değişimlerini o denli hızlı ileteneğinden ani basınç değişimleri okunan değerlerde hızlı dalgalanmalara sebep

olur. Buna önlem olarak kaba bir zaman ortalamalı okuma arzu edilirse basınç iletimini geciktiren bir kısırtıyaç ile yumuşak tüpler kısırılabilir.

Kuvvet ve momentler: Rüzgar tünelleri çoğunlukla üç bileşenli, veya altı bileşenli balanslar ile teçhiz edilir. Üç bileşenli balans; model üzerindeki tünel eksenine düşey taşıma (lift) ve eksene koşut sürükleme (drag) kuvvetleri ile eksene yanal olarak dikey yunuslama (pitching) momentini ölçmeye imkan verir. Altı bileşenli balans ise model üzerindeki tünel eksenine düşey taşıma (lift), eksene koşut uzunlamasına sürükleme (drag) ve eksene dikey yanal sürükleme (side drag) kuvvetleri ile eksene yanal olarak dikey yunuslama (pitching), eksene düşey dönme (yawing) ve eksene koşut yalpalama (rolling) momentlerini ölçmeye imkan verir. Kuvvet ve/veya moment bileşenleri model yüzeyi etrafındaki basınç dağılımının sahih olarak integrasyonu yolu ile matematiksel olarak da ölçülebilir.

2.4. Tünel İçindeki Hava Hızının Tespiti

Sıkışamaz akışlarda model ile prototip arasında gerekli olan benzerlik kuralı, Reynolds sayısı ile geometrik benzerlik kısıtlarının sağlanmasından ibarettir [8]. Modelin veya prototipin Reynolds sayısı; akışkanın ρ yoğunluğu, V_∞ hızı ve modelin veya prototipin L karakteristik uzunluğu çarpımının akışkanın μ dinamik viskozitesine bölümü olarak tanımlanır.

$$Re = \frac{\rho V_\infty L}{\mu} \quad (2)$$

Model için m ve prototip için p indisi yazılarak, benzerlik kuralına göre modele ve prototipe ilişkin Reynolds sayıları eşitlenir.

$$Re_m = Re_p \quad (3)$$

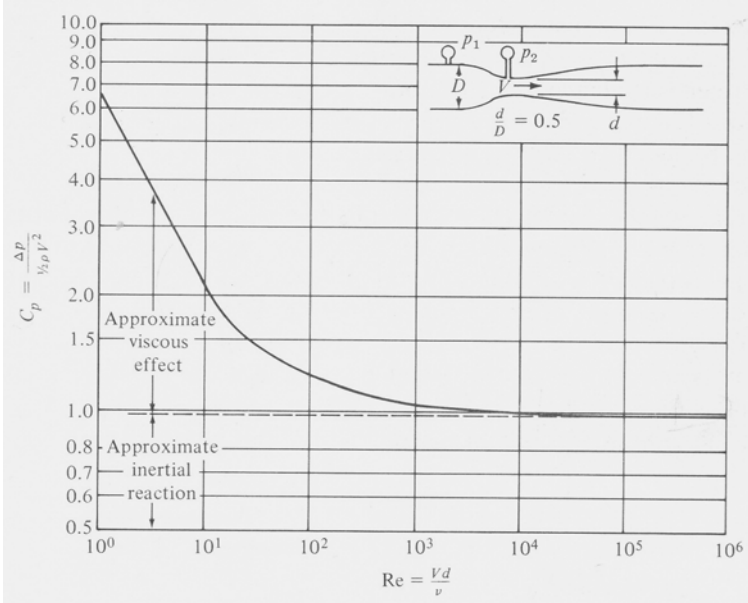
$$\frac{\rho_m V_m L_m}{\mu_m} = \frac{\rho_p V_p L_p}{\mu_p} \quad (4)$$

yaklaşık olarak $\rho_m = \rho_p$ ve $\mu_m = \mu_p$ alınabileceğinden;

$$V_m L_m = V_p L_p \quad (5)$$

olarak bulunur.

Buna göre tünelin deney odasındaki modelin üzerine sevkedilecek hava akış hızı model-prototip boy oranlarına göre tayin edilir. Ancak bu projedeki modelde olduğu gibi model boyunun prototip boyuna oranı çok küçük olması halinde tam olarak ihtiyaç duyulacak akış hızının çok yüksek değerlere erişmesi zorunlu olacaktır. Böyle durumlarda, gerekenden daha düşük deney odası hızlarında hesaplanacak Reynolds sayıları için benzer geometrilere ilişkin literatürde mevcut C_p -Re grafikleri esas alınır (Şekil 1). Modelin Reynolds sayısı (Re_m) prototip Reynolds sayısından (Re_p) küçük olsa bile; benzer geometriler için C_p -Re grafiği üzerinde Reynolds sayısı karakterinin sabit kaldığı ya da çok az değiştiği aralıkta kalıp kalmadığına bakılarak deney odası hızının yeterli olup olmadığına karar verilebilir. Bu deneyde



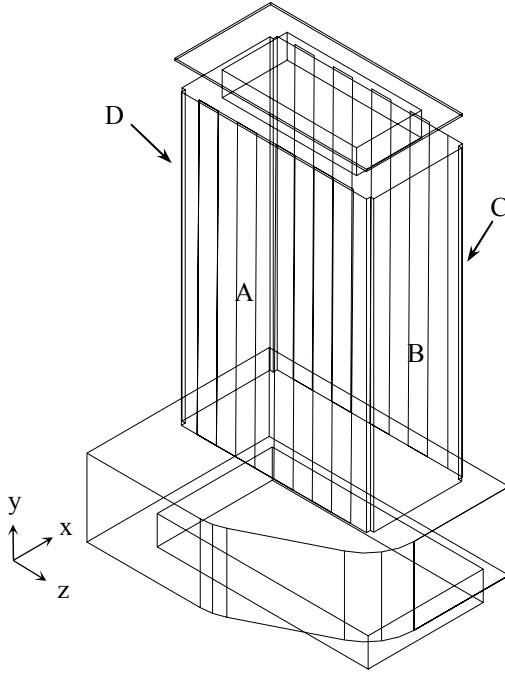
Şekil 1. Venturi basınç ölçerinin C_p -Re grafiği

Re_m ile Re_p değerleri 0.5×10^5 değerinden oldukça büyük; birbirlerinden farklı olsalar bile deney sonuçlarını etkilemeyecekleri şekilde görülmektedir [8]. İcra edilen deneylerde rüzgar tünelinin motoru üç ayrı rejimde çalıştırılmış ve bu rejimlerde deney odasındaki bozulmamış hava akış hızları sırasıyla $V_m=33$ m/s, $V_m=38$ m/s ve $V_m=42$ m/s olarak elde edilmiştir [6]. Bu hızlara tekabül eden hava akışlarına ilişkin Reynolds sayıları sırasıyla 3.08×10^5 , 3.55×10^5 ve 3.92×10^5 olarak hesaplanır. Ankara'daki ortalama yıllık rüzgar hızı 12 m/s olup prototip binanın karakteristik uzunluğu 58.8 m olarak tespit edilmiştir. Buradan prototipin Reynolds sayısı 470×10^5 olarak hesaplanır.

Bütün bu Reynolds sayılarındaki akışlar türbülanslı akış olarak tasnif edilmektedir. Buna ilave olarak deneylere ilişkin Reynolds sayıları ile prototipin Reynolds sayısı; Şekil 1'den belirlenen $Re=0.5 \times 10^5$ kritik değerin üstünde kalmaktadır. Bu sebepten dolayı deneyleri, prototipin Reynolds sayısından farklı olan Reynolds sayılarına tabi olarak icra etmek mümkün olmuştur. Bu çalışmada, sadeliği temin amacı ile yalnız birinci rejimdeki ($V_m=33$ m/s) deney verileri irdelenmiştir.

2.5. Deneylerin Yapılışı ve Elde Edilen Basınç Verileri

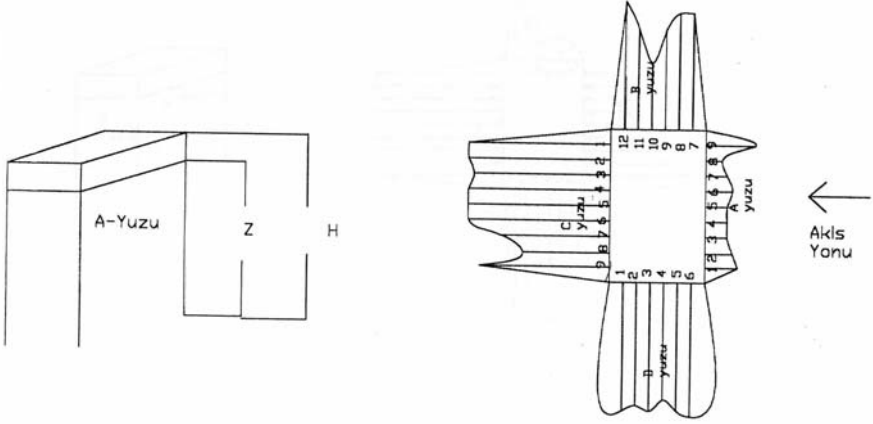
Örnek alınan prototip binanın genel görünümüne ilişkin bir çizim Şekil 2'de verilmiştir. Prototip binanın deney odasında kullanılan modeline ait ayrıntılar ise ilgili şekiller üzerinde gösterilmiştir (Şekiller 3-6). Deneylerin icrası sırasında bina modeline ait kesit yüzeylerinin statik basınç ölçmeleri için 3.5 mm iç çapındaki basit



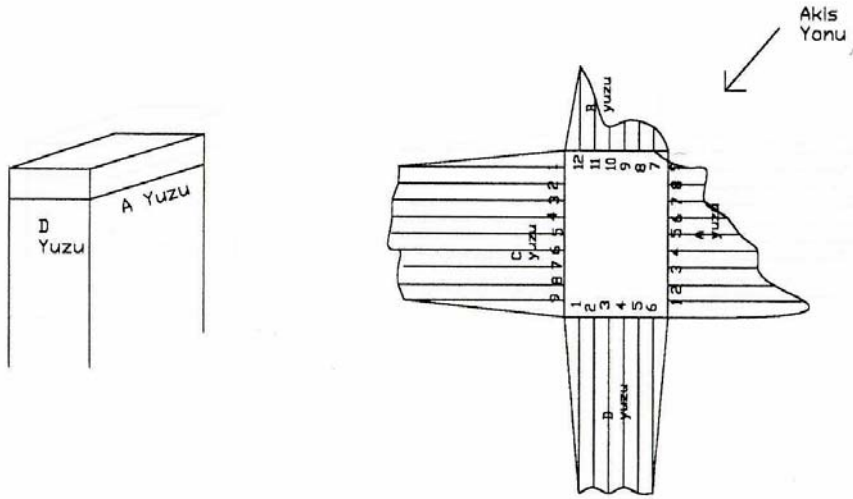
Şekil 2. Çok katlı bina konstrüksiyonu prototipinin genel görünümü

statik pito tüpleri kullanılmıştır [6]. Basınç ölçümlerinde yapılan toplam hatayı belirlemek için Moffat'ın [10] önerdiği metod kullanılmıştır. Bu metoda göre ölçülen basınç değerlerindeki hata % 4 - 9 arasında değiştiği hesaplanmıştır. Basınç değerleri modelin geniş yüzeylerinin eninde ve boyunda dokuz noktadan, dar yüzeylerin boyunda 9, eninde 6 noktadan aynı anda alınmıştır. Basınç değerleri, bu çalışma için örnek alınan binanın A ve C geniş, B ve D dar yüzeylerinin düşey ortaylarında ve binanın en üst katına rast gelen kesit çevresi etrafında alınmışlardır. Ayrıca bina tavanının x ve y eksenleri boyunca sırası ile 9 ve 6 noktadan aynı anda basınç değeri okunmuştur. Binanın alt tarafında çıkma yapan kafeterya tavanının 1. ölçüm hattında 9, 2. ölçme hattında ise 6 noktadan aynı anda okuma yapılmıştır. Bu noktaların model yüzeyi boyunca teşkil ettiği hatlar model çizimlerinde okla işaret edilmişlerdir. Basınç profillerinin apsis eksenlerini bu hatlar oluşturmaktadır. Basınç ölçmeleri, deney odasındaki hava akış doğrultusunun binanın A yüzeyine nazaran 0° , 90° , 180° ve 270° açı yaptığı dört ana yön ile 45° , 135° , 225° ve 315° açı yaptığı dört ara yöne tekabül eden konumlar için yapılmıştır.

Deneyler üç ayrı rejim için tekrar edilmiştir [6]. Pito tüplerinde manometre sıvısı olarak su kullanılmıştır. Birinci rejimde icra edilen deneylerde elde edilen kesit yüzeyleri basınç değerlerinden yalnızca 0° ve 45° akış yönlü deneysel veriler



Şekil 3. Deney odasındaki hava akış yönü ile A yüzeyinin normali arasındaki açı 0° iken en üst kat çevresindeki basınç profilleri (mm su sütunu cinsinden)

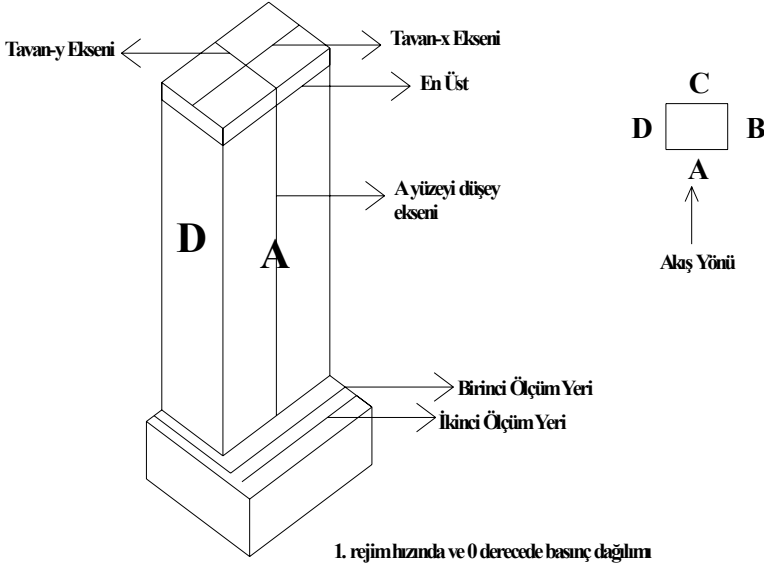


Şekil 4. Deney odasındaki hava akış yönü ile A yüzeyinin normali arasındaki açı 45° iken en üst kat çevresindeki basınç profilleri (mm su sütunu cinsinden)

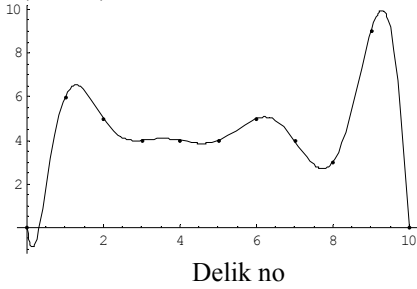
aşağıdaki tablolarda verilmiştir (Tablolar 1-4). Tablolardaki değerlerin tamamı mm su sütunu cinsinden izafi manometre basıncı (gage pressure) olarak okunmuştur.

Tablo 1. A Yüzeyinde en üst kat basınç verileri

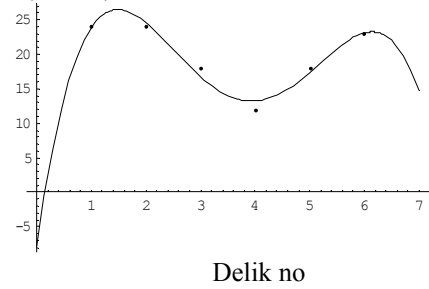
Delik No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0°	6	5	4	4	4	5	4	3	9
45°	23	18	15	15	12	10	6	6	4



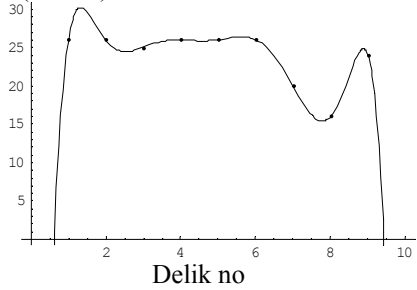
En üst A yüzeyi:
P(mmSS)



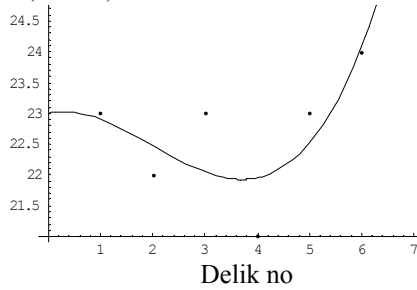
En üst B yüzeyi:
P(mmSS)



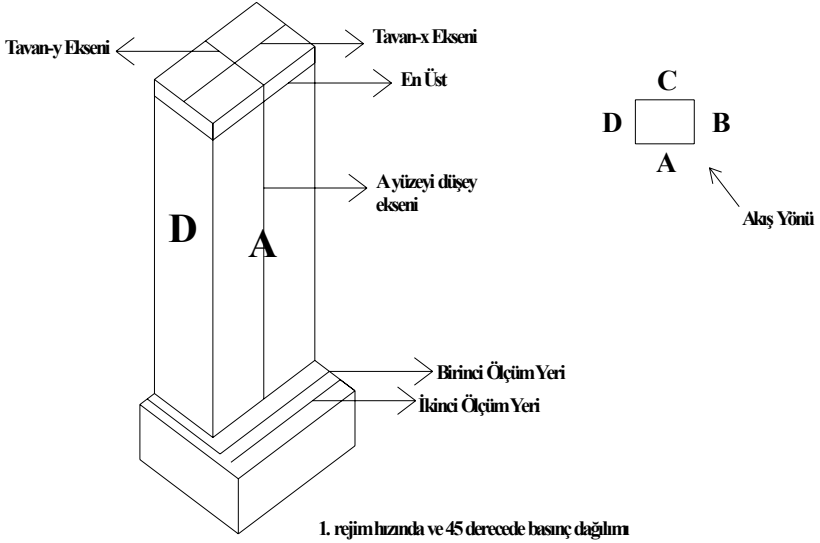
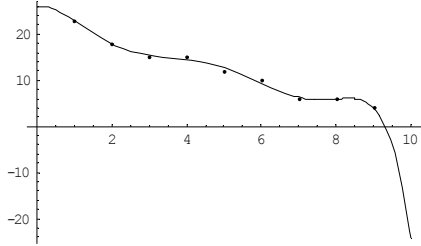
En üst C yüzeyi:
P(mmSS)



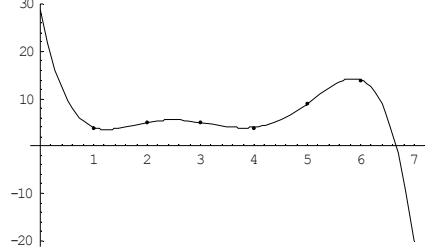
En üst D yüzeyi:
P(mmSS)



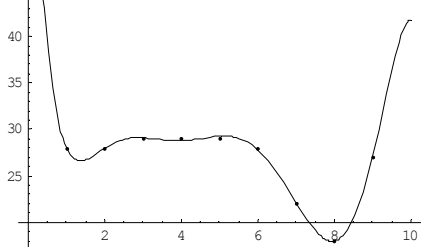
Şekil 5. Modele nazaran 0° açıda akan akış

En üst A yüzeyi:
P(mmSS)

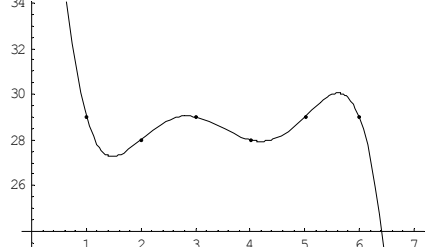
Delik no

En üst B yüzeyi:
P(mmSS)

Delik no

En üst C yüzeyi:
P(mmSS)

Delik no

En üst D yüzeyi:
P(mmSS)

Delik no

Şekil 6. Modele nazaran 45° açıda akan akış

Tablo 2. B yüzeyinde en üst kat basınç verileri

Delik No	1	2	3	4	5	6
0°	24	24	18	12	18	23
45°	4	5	5	4	9	14

Tablo 3. C yüzeyinde en üst kat basınç verileri

Delik No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0°	26	26	25	26	26	26	20	16	24
45°	28	28	29	29	29	28	22	18	27

Tablo 4. D yüzeyinde en üst kat basınç verileri

Delik No	1	2	3	4	5	6
0°	23	22	23	21	23	24
45°	29	28	29	28	29	29

3. BULGULAR

3.1. Ham Deneysel Veriler Kullanılarak Çizilen Basınç Profilleri

Ölçmeler esnasında sıvı sütunlarında ortaya çıkan titreşmelerin okumalarda en az yanlıya sebep olması için kesit yüzeyindeki noktaların basınçları en kararlı durumdaki ortalama değerlerde kaydedilmiştir. Böylece ham deneysel veriler elde edilmiştir. Ayrıca yüzey üzerindeki noktalar arasında ölçme yapılamayan ancak ölçme yapılan noktalardan bile daha kritik olabilen bölgelerdeki (mesela sağ ve sol kenarlara bitişik bölgeler) basınç değerlerinin de, okunmuş basınçlara uyan sürekli bir eğri halinde ifade edilmeleri gerekmiştir. Bu raporda, sadeliği temin amacı ile yalnız en üst kattaki basınç profilleri verilmiştir. Deney odasındaki hava akış doğrultusunun binanın A yüzeyine nazaran 0° ve 45° açı yaptığı yönlere tekabül eden konumlar için iki adet kesit çevresi basınç profili seçilmiştir. Hiçbir hata çözümleme işlemine tabi tutulmadan çizilen profiller aşağıda gösterilmiştir (Şekiller 3-4). Akış yönünde binanın ön yüzeyinde veya 45° açılı durumda bina köşesinde cephe üzerindeki sınır tabaka içerisinde A yüzeyinin orta taraflarında stagnasyon oluşuyor ve ön cephe girdapları olduğu yorumu yapılabilir. A-B ve A-D köşelerinde ise hemen siddetli ayrılma oluşuyor. Bundan dolayı Bernoulli ilkesi uyarınca ön cephe (A yüzeyi) üzerinde hızlar doğal rüzgara nazaran daha yüksek ve yüzeye yakın ve paralel fakat basınçlar daha düşük oldu. Buna mukabil yandaki B ve D ile arkadaki C yüzeyleri üzerinde doğal akışa nazaran daha fazla girdap ve daha kalın girdaplı bölgeler oluştu bu durumda oralarda hızın doğal olandan daha düşük fakat basınçların da doğal olandan daha yüksek çıkmasına sebebiyet verdi.

3.2. Deneysel Verilere Mathematica Programı Vasıtası ile Polinomsal Regresyon Yöntemi Uygulanarak Hesaplanan Basınç Profili Fonksiyonları

Model kesit yüzeyleri üzerindeki hata çözümlemesi yapılmış basınç profillerinin elde edilmesi için okumalarda yapılmış olan hataları yuvarlayan ve kesit yüzeyi boyunca aralıklarla elde edilmiş olan kesintili değerleri sürekli bir eğri haline getiren genel bir fonksiyonu belirlemeye ihtiyaç duyulmuştur.

Böyle bir fonksiyonun belirlenmesi ile, kesit yüzeyleri için kaydedilen münferit basınç değerlerini her bir noktanın civarından en az hata ile geçen sürekli bir eğriye dönüştüren deneysel hata çözümlemesi gerçekleştirilerek kesit yüzeylerine ilişkin kesintisiz basınç profilleri elde edilebilecektir.

Bu sebepten dolayı, araştırmanın ikinci aşamasında deneysel hata çözümleme yöntemi olarak; kaydedilmiş basınç verileri kümelerine, kesit yüzeyleri etrafındaki basınç değerlerini bu noktaların civarından en az hata ile geçen bir sürekli eğriye dönüştüren polinomsal regresyon tekniği uygulanmış ve kesitlerin ilgili basınç profili grafikleri bu teknikle elde edilmiştir [2].

Teknik, Mathematica paket programı vasıtası ile uygulanmıştır. Deney odasındaki hava akış doğrultusunun binanın A yüzeyine nazaran 0° ve 45° açığı yaptığı yönlere tekabül eden iki adet konum seçilerek bunların vaziyet resimleri ve teknik ile elde edilen tekli basınç profili grafikleri aşağıda verilmiştir (Şekiller 5-6). Bu grafiklerin tümünde apsis ekseninde kesit yüzeyi üzerinden basınç alınan deliklerin numaraları (delik no), ordinat ekseninde izafi basınç değerleri (mm su sütunu) bulunmaktadır. 1 mm su sütununun basıncı 9.8 N/m^2 (Pa)'ye eşit olarak alınır.

3.3. Yerel Basınçların Pencere Mahallerinde Doğurduğu Kuvvetlerin Hesabı

Prototip binanın üzerine esen rüzgarın, binanın her bir penceresinde hasıl ettiği bileşke kuvvet, benzerlik kuralı yardımı ile model üzerindeki basınç değerlerine dayanarak hesaplanır. Bu hesap için

$$F_{pencere} = (p_{iç} - p_{dış}) S \quad (6)$$

formülünden yararlanılır.

Prototip binanın S pencere alanı, 4 m^2 olarak alınır. Prototip binanın ve modelin Reynolds sayıları eşit olursa veya Şekil 1'de müsaade edilebilir aralık içerisinde kalırsa boyutsuz basınç katsayıları

$$C_p = C_m$$

olarak alınır. Buradan şu sonuç çıkarılır:

$$\frac{p_p - p_\infty}{\rho_p V_m^2 / 2} = \frac{p_m - p_\infty}{\rho_m V_m^2 / 2}$$

Uzaktaki bozulmamış akışın basıncı $p_\infty=0$ (izafi manometre basıncı) olarak alınırsa,

$$p_p = \frac{\rho_p V_p^2}{\rho_m V_m^2} p_m$$

olarak bulunur. Ankara'daki ortalama rüzgar hızı $V_p=12$ m/s ve birinci rejim hızında model üzerindeki hava hızı $V_m=33$ m/s olarak alınırsa

$$p_p = \frac{\rho_p}{\rho_m} \left(\frac{12}{33} \right)^2 p_m$$

bulunur. Yaklaşık olarak $\rho_p = \rho_m$ alınabileceğinden

$$p_p = 0.364 p_m$$

eşitliği bulunur.

İlk olarak deney odasındaki hava akış yönü ile modelin A yüzeyinin normali arasındaki açının 0° olduğu konum ele alınır. Rüzgarın yere nazaran yaptığı hız profilinde en yüksek hız değerine prototipin en üst kat hizasında erişeceği gözönüne alınarak bu katın çevresindeki basınç profilleri Şekil 3'den incelenir. Basınç değerleri ise Tablo 1'den mm su sütunu olarak okunur.

A yüzeyinin en büyük basınç değerinin 9. noktada olduğu görülür. A yüzeyi üzerindeki akışta duraklama etkisi olduğundan buradaki noktalarda basıncın yönü içeriye doğru olur.

En büyük basınç değeri 9. noktada

$$p_{m \text{ Amaks}} = +9 \cdot 9.8 \approx +88 \text{ Pa} = +0.088 \text{ kPa}$$

olarak hesaplanır.

A yüzeyinin ortalama basıncı, Tablo 1'in birinci satırından alınan değerler kullanılarak

$$\bar{p}_A = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 p_i \approx +4.9 \text{ mm su sütunu}$$

olarak bulunur. Buradan ortalama basınç

$$\bar{p}_A = +4.9 \times 9.8 \approx +48 \text{ Pa} = +0.048 \text{ kPa}$$

olarak hesaplanır.

Deney odasındaki hava akış yönünün bu konumunda (Şekil 3), en üst kat çevresindeki basınç profillerinden B yüzeyinde oluşan en büyük basınç değerlerinin 1. ve 2. noktalarda olduğu görülür. Tablo 2'nin birinci satırından bu noktalardaki değerlerin 24 mm su sütununa eşit olduğu görülür. B yüzeyi üzerindeki akış emme etkisi yarattığından buradaki noktalarda basıncın yönü dışarıya doğru olur. En büyük basınç değeri

$$p_{mB\text{maks}} = -24 \times 9.8 \approx -235 \text{ Pa} = -0.235 \text{ kPa}$$

olarak hesaplanır. B yüzeyindeki ortalama basınç tablodan alınan değerler kullanılarak

$$\bar{p}_B = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 p_i \approx -19.8 \text{ mm su sütunu}$$

olarak bulunur. Buradan ortalama basınç

$$\bar{p}_B = -19.8 \times 9.8 = -194 Pa = -0.194 kPa$$

olarak hesaplanır.

C yüzeyinin en büyük basınç değerlerinin 1., 2., 4., 5. ve 6. noktalarda olduğu görülür. Tablo 3'ün birinci satırından bu noktalardaki değerlerin 26 mm su sütununa eşit olduğu tespit edilir. C yüzeyi üzerindeki akış emme etkisi yarattığından buradaki noktalarda basıncın yönü dışarıya doğru olur. En büyük basınç değeri

$$p_{m_{C_{\max}}} = -26 \times 9.8 \approx -255 Pa = -0.255 kPa$$

olarak hesaplanır. C yüzeyindeki ortalama basınç tablodan alınan değerler kullanılarak

$$\bar{p}_C = \frac{1}{9} \sum_{i=1}^9 p_i \approx -23.9 \text{ mm su sütunu}$$

olarak bulunur. Buradan ortalama basınç

$$\bar{p}_C = -23.9 \times 9.8 \approx -234 Pa = -0.234 kPa$$

olarak hesaplanır.

D yüzeyinin en büyük basınç değerlerinin 6. noktada olduğu görülür. Tablo 4'ün birinci satırından bu noktalardaki değerlerin 24 mm su sütununa eşit olduğu tespit edilir. D yüzeyi üzerindeki akış emme etkisi yarattığından buradaki noktalarda basıncın yönü dışarıya doğru olur. En büyük basınç değeri

$$p_{m_{D_{\max}}} = -24 \times 9.8 \approx -235 Pa = -0.235 kPa$$

olarak hesaplanır. D yüzeyindeki ortalama basınç tablodan alınan değerler kullanılarak

$$\bar{p}_D = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 p_i = -22.7 \approx -23 \text{ mm su sütunu}$$

olarak bulunur. Buradan ortalama basınç

$$\bar{p}_D = -22.7 \times 9.8 \approx -222 Pa = -0.222 kPa$$

olarak hesaplanır.

En üst katın dahili ortamındaki basınç ampirik bilgi ile B, C ve D yüzeyindeki ortalama emme basınçlarının ortalaması olarak alınır.

$$\bar{p}_{\text{enüstkat}} = (1/3)(\bar{p}_B + \bar{p}_C + \bar{p}_D) = -0.217 kPa$$

olarak hesaplanır. En üst kattaki pencerelerde en büyük basınç farklarının A yüzeyinde 9. noktada ve C yüzeyindeki 1., 2., 4., 5. ve 6. noktalardaki pencerelerde oluşacağı görülür. Prototip binanın A yüzeyinin 9. noktasındaki pencerede

$$p_{pA_{maks}} = 0.364 p_{m_{maks}}$$

C yüzeyinin 1., 2., 4., 5. ve 6. noktalarındaki pencerelerinde

$$p_{pC_{maks}} = 0.364 p_{m_{maks}}$$

eşitlikleri kullanılarak, A yüzeyinin en büyük basınç değeri

$$p_{pA_{maks}} = +0.032 \text{ kPa} = p_{dış}$$

olarak ve C yüzeyinin en büyük basınç değeri

$$p_{pC_{maks}} = -0.093 \text{ kPa} = p_{dış}$$

olarak bulunur.

Prototip binanın en üst kattaki ortalama iç basıncı

$$\bar{p}_{penüstkat} = 0.364 \bar{p}_{enüstkat}$$

eşitliği kullanılarak

$$\bar{p}_{penüstkat} = -0.079 \text{ kPa} = p_{iç}$$

olarak bulunur.

Bu değerler pencere formülünde yerine konularak, A yüzeyindeki en büyük pencere kuvveti

$$F_{A_{maks}} = (-0.079 \text{ kPa} - (+0.032 \text{ kPa})) \times 4 \text{ m}^2 = -0.444 \text{ kN (içeriye doğru)}$$

olarak, C yüzeyindeki en büyük pencere kuvveti ise

$$F_{C_{maks}} = (-0.079 \text{ kPa} - (-0.093 \text{ kPa})) \times 4 \text{ m}^2 = +0.056 \text{ kN (dışarıya doğru)}$$

olarak hesaplanır. Bu yöntem ile diğer konumlardaki en büyük pencere kuvvetleri de benzer şekilde hesaplanabilir.

4. SONUÇ VE YORUMLAR

Gelişen teknoloji ile giderek daha da yüksek boyutlarda inşa edilen çok katlı bina konstrüksiyonları, döner kule, asma köprü gibi yüksek yapıların tasarımları esnasında yalnız mimari ve statik etkilerin değil kullanım ömürleri boyunca maruz kalmaları muhtemel aerodinamik etkilerin de gözönüne alınmaları gerekmektedir. Bu etkileri önceden belirlemek için bu gibi yapıların modellerinin rüzgar tüneline deneye tabi tutulmaları gerekmektedir.

Bu çalışmada çok katlı bir bina konstrüksiyonu prototipi olarak Kızılay'daki Emek İş Hanı seçilerek özel olarak imal edilen bina modeli ile rüzgar tüneline deneyler yapılmıştır. Bina modeli akışa göre 0°den itibaren 45°lik açılarla döndürülerek etrafında esen hava akışının oluşturduğu basınç dağılım profilleri ayrı ayrı çıkartılmış, deneyler üç farklı tünel rejimi için tekrar edilmiştir. Burada sadeliği temin amacıyla sadece birinci rejimde (deney odası hava hızı $V_m=33 \text{ m/s}$) ve modelin 0° ve 45° konumları için elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Aynı rejim için modelin 0° konumunda rüzgarın pencere mahallerine uyguladığı en büyük kuvvetler hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen bütün konumlara ilişkin tüm verilere dayalı

sonuçlar aşağıdaki gibi tasnif edilebilir. Bu tasnifatta ilgili deneyde elde edilen en büyük basınç değerlerinin kaydedildiği noktalar, kritik nokta olarak tanımlanmıştır.

En üst kattaki kritik noktalar:

Modelin 135° ve 180° konumlarında A yüzeyindeki 3., 4. ve 5. noktalar, modelin 0° ve 180° konumlarında B ve D yüzeylerindeki 1., 2., 5. ve 6. noktalar, modelin 0°, 90° ve 315° konumlarında C yüzeyindeki 1., 2., 3., 4. ve 5. noktalar.

Rüzgar tünelinin deney odası imkanları elvermediği için basınç ölçümü alınan pitot boruları deney odası içerisinde kalarak akışa interferans yapmış ve blokaj koşulunu olumsuz yönde etkilemiştir. Rüzgar tünelinin laboratuvar içerisindeki konumunun da basınç okumalarını olumsuz yönde (şiddetli harici türbülans gibi) etkilediği gözlemlenmiştir. Bu etki ile manometredeki su sütunlarının aşırı titreştiği tespit edilmiştir. Ayrıca deney odasına nazaran blokaj koşulunu sağlamak için modeli çok küçük ebatlarda imal etmek zorunlu olmuş, bu durum basınç sızdırmazlığını kısmen zafiyete uğratmıştır. Model herşeye rağmen deney odasına nazaran büyük kaldığından etrafındaki hava akışı oda duvarları tarafından normal şartlardan daha fazla bastırılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Gazi Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğü 06/2000-21 kodlu proje ile desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Barriga, A.R., Crowe, C.T. ve Roberson, J.A., “Pressure Distribution on a Square Cylinder at a Small Angle of Attack in a Turbulent Cross Flow”, **Wind Forces on Buildings and Structures**, Houghton, E.L., and Carruters, N.B, Ed Arnold, 89-93, 1976.
2. Roberson, J.A. ve Crowe, C. T., “Pressure Distribution on Model Buildings at small Angles of Attack in Turbulent Flow”, **Proc. 3rd U.S. Natl.Conf. on Wind Engineering Research**, University of Florida, Gainesville, 289-292, 1978.
3. Ahmad, S. ve Kumar, K., Interference Effects on Wind Loads on Low-Rise Hip Roof Buildings, **Engineering Structures**, Cilt 23, 1577-1589, 2001.
4. Ahmad, S. ve Kumar, K., Effect of Geometry on Wind Pressures on Low-Rise Hip Roof Buildings, **J. of Wind Eng. and Ind. Aerodynamics**, Cilt 90, 755-779, 2002.
5. Wong, N.H. ve Chin, H.K., An Evaluation Exercise of a Wind Pressure Distribution Model, **Energy and Buildings**, Cilt 34, 291-309, 2002.
6. Özkan, A., **Rüzgar Tünelinde Bir Bina Modelinin Değişik Açılarda ve Hızlardaki Hava Akışı ile Basınç Profilinin Çıkarılması**, Bitirme Projesi,

- Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Haziran 2001.
7. Çürüksulu, M., **Bir Bina Modelinde Rüzgar Tüneli Deney Sonuçlarına göre Elde Edilen Basınç Değerlerinin Fonksiyonlarının Belirlenmesi**, Bitirme Projesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Haziran 2002.
 8. Roberson, J.A. ve Crowe, C.T., Dimensional Analysis and Similitude, **Engineering Fluid Mechanics**, 2nd ed., Houghton Mifflin Company, Boston, A.B.D., 273-311, 1980.
 9. Task Committee on Manual of Practice for Wind Tunnel Testing of Buildings and Structures, **Wind Tunnel Model Studies of Buildings and Structures**, Aerospace division of ASCE, New York, 1987.
 10. Moffat, R.J., Describing the Uncertainties in Experimental Results, **Experimental Thermal and Fluid Science**, Cilt 1, 3-17, 1988.