



DEĞİŞİK AÇILARDA AKAN HAVANIN ÇOK KATLI BİR BİNA MODELİ ETRAFINDA OLUŞTURDUĞU YÜZEY BASINÇ PROFİLLERİNİN RÜZGAR TÜNELİNDE İNCELENMESİ

Cevdet AYGÜN, Şenol BAŞKAYA

Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 06570 Maltepe-Ankara.
e-posta: aygun@gazi.edu.tr, baskaya@gazi.edu.tr

(Geliş Tarihi: 21.02.2003)

Özet: Bu araştırmada tipik bir çok katlı bir bina örnek olarak seçilmiş ve örnek binanın özel imal edilen 1/300 ölçekli modeli, Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi rüzgar tüneline kesit alanı 30.5 cm x 30.5 cm olan deney odasında değişik konum ve hızlardaki hava akışına tabi tutulmuştur. Deneyler esnasında; bina modelinin muhtelif kesitleri etrafında oluşan noktasal basınç değerleri, rüzgarın bina üzerine esme hızına ve binaya olan esme açısına bağlı olarak elde edilmiştir. Daha sonra bu basınçların model yüzeyleri üzerindeki dağılım profilleri ile yerel basınçların pencere mahallerinde hasıl ettiği yüzey kuvvetleri incelenmiştir. Son aşamada, her bir kesitin etrafındaki basınç değerlerini, bu noktalardan en az hata ile geçen bir eğriye dönüştüren polinomsal regresyon tekniği ele alınmıştır. Bu teknik, model kesitleri etrafındaki muhtelif deneysel basınç değerlerine deney hata çözümleme yöntemi olarak uygulanmış ve kesitlerin ilgili basınç profili grafikleri bu yolla ayrıca elde edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Çok Katlı Bina Modeli, Rüzgar Tüneli, Yüzey Basınç Profili, Rüzgar Kuvveti.

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE SURFACE PRESSURE PROFILES PRODUCED BY THE FLOW PAST MODEL OF A HIGH RISE BUILDING AT DIFFERENT ANGLES IN THE WIND TUNNEL

Abstract: In this paper, a typical high rise building was selected for investigation and a 1:300 scale model of the selected 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 305 mm by 305 mm so that one face was either normal to or directed 45° towards the flow direction during the testing. In the experiments, pressure readings produced on the surfaces of model depending on the velocity and direction of the airstream were recorded on preselected ports and the pressure distribution profiles on the surfaces of the model were plotted. In addition, critical wind forces produced by the local pressures on the windows were calculated. In the last stage, a method of error analysis was identified for various sets of experimental pressure data. A polynomial regression technique which transforms these data into a continuous curve passing through the vicinity of the data points with minimal error were also applied and resulting pressure profile graphics were obtained again.

Keywords: Model of a High Rise Building, Wind Tunnel, Surface Pressure Profiles, Wind Force.

SEMBOLLER

C_p	Boyutsuz basınç katsayısı
C_{p-m}	Model boyutsuz basınç katsayısı
C_{p-p}	Prototip boyutsuz basınç katsayısı
$F_{pencere}$	Pencere kuvveti
L	Akıştaki karakteristik uzunluk
L_p	Prototipin karakteristik uzunluğu
L_m	Modelin karakteristik uzunluğu
p_∞	Uzaktaki bozulmamış akış basıncı
p	Bir noktadaki basınç değeri
Δp	Basınç farkı
Re	Reynolds sayısı
S	Bir pencerenin alanı
V	Bir noktadaki akışkan hızı
V_p	Çok katlı binaya etkileyen rüzgar hızı
V_m	Modele etkileyen akışkan hızı
V_∞	Uzaktaki bozulmamış akışın hızı
ρ	Sıkışmaz akışkan yoğunluğu
μ	Akışkan dinamik viskozitesi
ν	Akışkan kinematik viskozitesi

GİRİŞ

Ankara'nın değişik semtlerinde çok katlı bina konstrüksiyonları giderek artan sayıda inşa edilmektedir. Bu binalara ilişkin rüzgar etkilerini içeren teknik araştırmalar yapılmakta ve rüzgarın bina üzerindeki etkileri rüzgar tünellerinde yapılan deneylerle belirlenerek sonuçlara göre binanın mimari ve statik projesinde modifikasyonlar yapılması gerekli olmaktadır. Bu hususa ilişkin esaslar Amerikan İnşaat Mühendisleri Odası'nın (ASCE) ilgili ihtisas biriminin "binaların ve yapıların rüzgar tüneli deney usülleri" başlıklı el kitabında verilmiştir (Task Committee, 1987). Bu ihtiyaçtan dolayı konu üzerinde bir araştırma projesi başlatılmış ve yapılacak araştırmanın teknik esasları daha önce A.B.D.'de yapılan benzer çalışmalardan yararlanılarak belirlenmiştir (Barriga vd., 1976; Roberson ve Crowe, 1978). Bu konuda Türkiye'de de önemli çalışmalar yapılmıştır. Bunlara örnek olarak Çıray (1975) ve Tezcan (1975) verilebilir. Çıray (1975) mimari aerodinamik hakkındaki çalışmada önce genel bilgiler vermiş ve daha sonra bazı özel örnekler üzerinde durmuştur. Ayrıca bu çalışmada rüzgar tüneli çalışmaları hakkında da bilgi verilmektedir. Tezcan (1975) kule, baca, anten direği, çok katlı binalar gibi yüksek yapılar için rüzgar ve deprem yüklerini incelemiştir. Çalışmada rüzgar ve deprem yatay kuvvetlerinin hesaplanmasına ait yaklaşık metodlar gözden geçirilmiştir. Bu çalışmalara ilave olarak son yıllarda uluslararası literatüre girmiş çalışmalardan da bazı örnekler

aşağıda verilmiştir. Ahmad ve Kumar (2001) alçak binalardaki rüzgar yükleri üzerine bir çalışma yapmışlar. Aynı yazarlar (Ahmad ve Kumar, 2002) daha sonra aynı binalar için geometrinin rüzgar basınçlarına etkilerini incelemişler. Genel olarak konuyla ilgili çalışmalar rüzgar tüneline yapılmaktadır, fakat bu her zaman mümkün değildir. Bundan dolayı Wong ve Chin (2002) çalışmalarında basınç dağılımları veren teorik bir model geliştirmişler.

Bu makalenin konusu olan araştırmaya ilişkin deneyler Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi'ne ait rüzgar tünelinin 30.5 cm x 30.5 cm boyutlarında kesit alanına sahip deney odasında yürütülmüştür. Araştırmanın ilk safhasında, çok katlı bir bina örneği olarak Kızılay'daki Emek İşhanı seçilmiştir ve binanın 1/300 ölçekli modeli özel olarak imal edilmiş ve tesisatlandırılmıştır. Daha sonra her rüzgar esme konumu ve hızı için ayrı ayrı deney yapılarak binanın muhtelif kesitleri etrafında oluşan basınç dağılım profilleri ve yüzeylere etkileyen kuvvetler incelenmiştir. Araştırmada rüzgar tüneline modelin yüzeylerindeki basınç değerleri ana ve ara yönler olmak üzere sekiz ayrı doğrultudaki akışlar için ölçülmüş ve bu ölçümler ayrı rüzgar hızlarına karşılık gelen üç değişik tünel rejimi (bozulmamış hava akış hızlarına göre) için tekrarlanmıştır. Deneyler sırasında tünelin türbülans karakteristikleri her bir tünel rejimi için sabit olarak alınmıştır.

Araştırmanın ilk aşamasında, bina modelinin önceden hazırlanmış yüzey noktaları üzerinde tüneldaki akışın hasil ettiği basınç değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Araştırmanın ikinci aşamasında, deneysel hata çözümleme yöntemi olarak, bu kaydedilmiş basınç değerlerine, 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. Daha sonra polinom regresyonu tekniği, her bir kesit yüzeyi üzerinde ölçülerek kaydedilmiş olan basınç değerleri kümelerini bu değerlerden en az hatayla geçen bir eğriye dönüştüren en uygun yöntem olarak belirlenmiştir. Teknik, Mathematica 4.0 hazır bilgisayar programı vasıtasıyla kayıtlı deney değerlerine sayısal olarak uygulanmış ve yüzeylerin basınç profili grafikleri çizimleri elde edilmiştir.

RÜZGAR TÜNELİ UYGULAMALARI

Rüzgar tünellerinin havacılık dışı kullanım alanlarında genellikle rüzgarın etkisine maruz kalan bina, kule, asma köprü gibi yapılar veya

gemi su üstü bölümü, otomobil, tren katarı gibi taşıtların modelleri deneye tabi tutulurlar. Sıkışamaz akımlar için yapılan deneylerde sadece modelin tabi tutulacağı deneye ilişkin Reynolds sayısı ve modelin geometrik benzerlik oranının dikkate alınması yeterli olur (Roberson ve Crowe, 1980). Deneylerin sonuçlarından gelecekte inşa edilecek olan yapı veya taşıtın prototipinin üzerindeki aerodinamik ve/veya aeroelastik etkiler belirlenerek bu etkilere göre harici ve/veya yapısal tasarım şekillendirilir. Rüzgar tüneline yararlanabilmek için gerekli şartlardan biri, araştırılan prototipe ait modelin boyutlarının, tüneline deney odası ölçülerine uygun olmasıdır. Ayrıca hava akışı deney odasından geçerken modelin etrafında ilave vortex oluşumları ortaya çıkmamalıdır.

Tüneline akış yönlendiricileri, modelin büyüklüğü ne olursa olsun akış çizgilerini tüneline 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 ölçüt oluşturulması yararlı olur. Misal olarak, model imal edilirken boyutları; modelin en kesit alanının tüneline deney odasının en kesit alanına oranı %10'a eşit veya daha küçük olacak şekilde seçilirse bu etki ihmal edilebilir mertebede olacaktır. Bu sebeple deney odası ölçüleri küçük tünellerin bir deneye getirebileceği en önemli kısıtlama, modelin boyutlarının küçük olması zorunluluğudur. Bu kısıtlamaya "deney odası blokaj koşulu" adı verilmektedir.

Akışa tabi tutulan model ile fiziki örnek (prototip) arasında bir benzerlik kuralı oluşturulmalıdır. Ölçmeler, model üzerinde bu kurala uygun olarak yapılırsa, prototip gerçek hali temsil edebilecektir. Sıkışamaz akışlarda model ile prototip arasında geçerli olan benzerlik kuralı, Reynolds sayısı ile geometrik benzerlik ölçütlerinin sağlanmasından ibarettir (Roberson ve Crowe, 1980). 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.

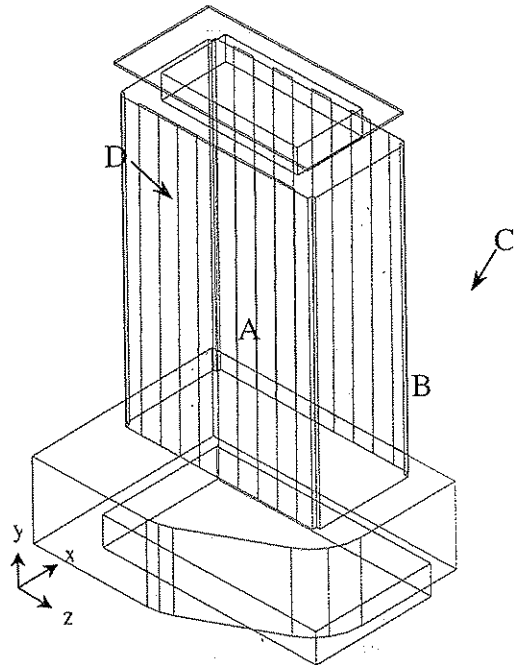
$$Re = \frac{\rho V_\infty L}{\mu} \quad (1)$$

Gerçekleştirilen deneylerde rüzgar tüneline fan 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. Bu hızlar Prandtl borusu ile ölçülmüştür. Bu hızlara ilişkin

Reynolds sayıları sırasıyla 3.08×10^5 , 3.55×10^5 ve 3.92×10^5 olarak hesaplanmıştır. 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 akışa uymaktadır. Buna ilave olarak deneylere ilişkin Reynolds sayıları ile prototipin Reynolds sayısı; literatürde bulunan C_p -Re grafiğinden belirlenen $Re = 0.5 \times 10^5$ kritik değerin üstünde kalmaktadır. Bu sebepten dolayı deneyleri, prototipin Reynolds sayısından farklı olan Reynolds sayılarına tabi olarak gerçekleştirmek mümkün olmuştur. Bütün bu açıklamalara rağmen boyutsuz basınç katsayılarının Reynolds sayısından ileri gelecek değişikliklerden tamamen arındırıldığını söylemek mümkün olmamaktadır. Bunun neticesinde, başka bir imkan olmadığından, bu çalışmada $C_{p-p} = C_{p-m}$ eşitliği kabul edilmiştir. Bu raporda, sadeliği temin amacı ile yalnız birinci rejimdeki deney verileri irdelenmiştir. Daha kapsamlı bir çalışmada ikinci ve üçüncü rejim verilerinin de işlenebileceği değerlendirilmektedir.

DENEYLERİN YAPILMASI VE ELDE EDİLEN VERİLERİN İŞLENMESİ

Örnek alınan prototip binanın genel görünümüne ilişkin bir çizim Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Çok katlı bina konstrüksiyonu prototipinin genel görünümü.

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 katının 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 karşılık gelen konumlar için

yapılmıştır. Deneyler üç ayrı rejim için tekrar edilmiştir. Sadelik amacıyla birinci rejimde elde edilen kesit yüzeyleri basınç değerlerinden yalnız enüst katın A, B, C ve D yüzeylerinin 0° ve 180° konumlarındaki deneysel veriler, Tablo 1'den 4'e kadar verilmiştir. Tablolardaki değerler mm su sütunu cinsinden olarak okunmuştur. Ölçmeler esnasında sıvı sütunlarında ortaya çıkan titreşmelerin okumalarda en az yanılğıya sebep olması için kesit yüzeyindeki noktaların basınçları en kararlı durumdaki ortalama değerlerde kaydedilmiştir. Bu çalışmada yalnız en üst kattaki basınç profilleri verilmiştir. Deney odasındaki hava akış doğrultusunun binanın A yüzeyine nazaran 0° ve 180° açı yaptığı yönler tekabül eden konumlar için iki adet kesit çevresi basınç profili seçilmiştir. Hiçbir hata çözümleme işlemine tabi tutulmadan çizilen profiller Şekil 2 ve 3'te gösterilmiştir.

Tablo 1. A Yüzeyinde en üst kat basınç verileri (mm su sütunu olarak).

Delik no	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0°	6	5	4	4	4	5	4	3	9
180°	30	30	30	30	30	30	22	18	28

Tablo 2. B yüzeyinde en üst kat basınç verileri (mm su sütunu olarak).

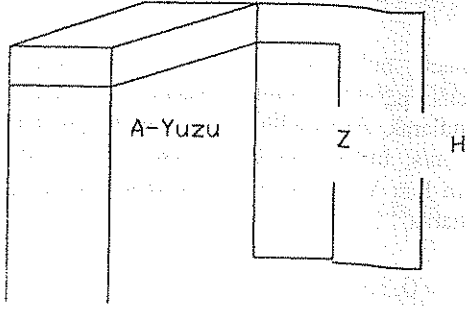
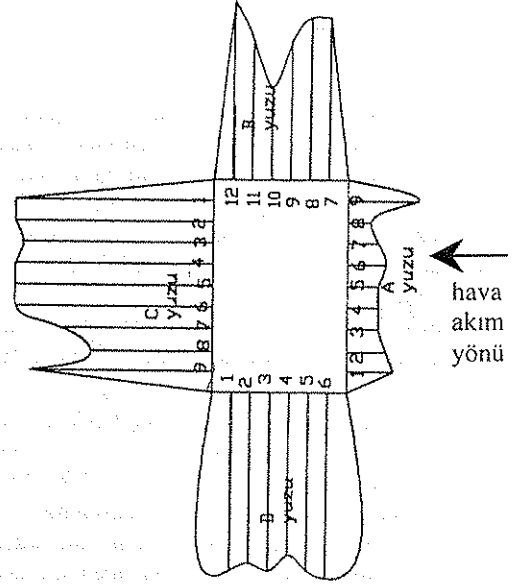
Delik no	7	8	9	10	11	12
0°	24	24	18	12	18	23
180°	29	28	20	15	20	26

Tablo 3. C yüzeyinde en üst kat basınç verileri (mm su sütunu olarak).

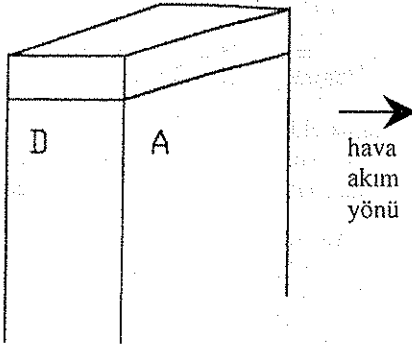
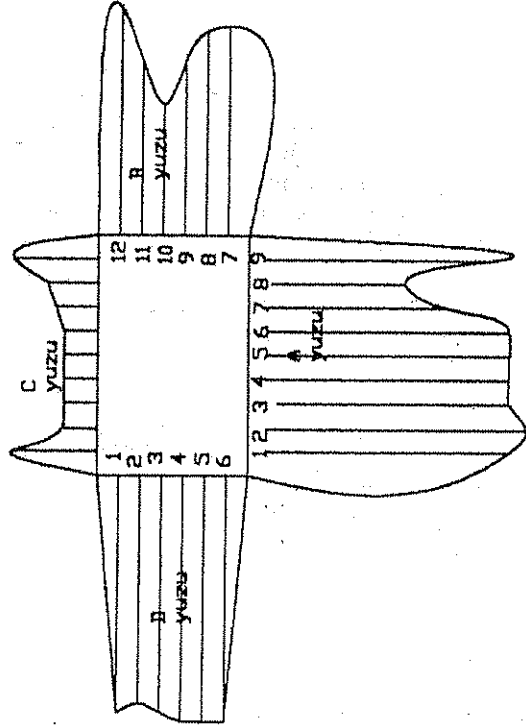
Delik no	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0°	26	26	25	26	26	26	20	16	24
180°	10	6	5	4	4	4	4	4	10

Tablo 4. D yüzeyinde en üst kat basınç verileri (mm su sütunu olarak).

Delik no	1	2	3	4	5	6
0°	23	22	23	21	23	24
180°	27	27	27	28	28	28



Şekil 2. Deney odası hava akış yönü ile A yüzeyi normali arasındaki açı 0° iken en üst kat çevresindeki basınç profilleri.



Şekil 3. Deney odası hava akış yönü ile A yüzeyi normali arasındaki açı 180° iken en üst kat çevresindeki basınç profilleri.

Deneyisel verilere polinomsal regresyon tekniği uygulanarak hesaplanan basınç profili fonksiyonları

Araştırmanın ikinci aşamasında kaydedilmiş basınç verilerine deneyel hata çözümleme yöntemi olarak; kesit yüzeyleri etrafındaki basınç değerlerini bu noktaların civarından en az hata ile geçen bir sürekli eğriye dönüştüren polinom şeklindeki regresyon tekniği uygulanmış ve kesitlerin ilgili basınç profili grafikleri bu teknikte elde edilmiştir.

Teknik, Mathematica paket programı vasıtası ile uygulanmıştır. Sadelik amacıyla hava akış doğrultusunun binanın A yüzeyine nazaran 0° ve 180° açı yaptığı iki adet konum seçilerek bunların vaziyet resimleri ve teknik ile elde edilen tekli basınç profili grafikleri, Şekil 5-14 ve Şekil 16-25 ile verilmiştir. Bu grafiklerin apsis ekseninde kesit yüzeyi üzerinden basınç ölçme delik numaraları, ordinat ekseninde ise $67.3C_p$ cinsinden boyutsuz basınç katsayıları bulunmaktadır.

Boyutsuz basınç katsayısı

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

olarak tanımlanır (Roberson ve Crowe, 1980). Görüldüğü gibi $V_\infty=33\text{m/s}$ sabit deney şartlarında ve ortalama 20°C ortam sıcaklığında, bu denklemden $p(\text{mmSS})=67.3C_p$ ilişkisi bulunur. Bu ifadeyle deneyel olarak mmSS cinsinden ölçülen basınçlar boyutsuz basınç katsayısı ile ilişkilendirilmiş olur.

Yerel basınçların pencere mahallerinde doğurduğu kuvvetlerin hesabı

Prototip binaya etki eden rüzgarın, binanın her bir penceresinde hasıl ettiği bileşke kuvvet, benzerlik kuralı yardımı ile model üzerindeki basınç değerlerine dayanarak hesaplanır. Bu hesap için aşağıdaki formüllerden yararlanılır.

$$F_{\text{pencere}} = (p_{iç} - p_{dış}) S \quad (3)$$

Denklemler (2)'de prototip binanın her bir penceresinin alanı S yaklaşık 4 m^2 olarak alınır. Benzerlik kuralından boyutsuz basınç katsayıları için

$$C_p = C_m \quad (4)$$

denklemleri elde edilir.

Denklemler (3) açık şekilde tanımlanır yerine konulursa

$$\frac{p_p - p_\infty}{\rho_p V_m^2 / 2} = \frac{p_m - p_\infty}{\rho_m V_m^2 / 2} \quad (5)$$

sonucu bulunur. Uzaktaki bozulmamış akışın basıncı $p_\infty=0$ (manometre basıncı cinsinden) yerine konularak, Ankara'daki ortalama rüzgar hızı $V_p = 12 \text{ m/s}$, birinci rejim hızında model üzerindeki hava hızı $V_m=33 \text{ m/s}$ ve yaklaşık olarak $\rho_p = \rho_m$ alınarak

$$p_p = 0.364 p_m \quad (6)$$

eşitliği bulunur.

Örnek olarak modelin A yüzeyinin akışa nazaran 0° olduğu konum ele alınır. Rüzgarın yeryüzüne nazaran yaptığı hız profilinde en yüksek hız değerine prototipin en üst kat hizasında erişeceği gözönüne alınır. En üst katın çevresindeki basınç profilleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Basınç değerleri, Tablo 1'de mm su sütunu olarak verilmiştir. 1 mm su sütununun basıncı 9.8 N/m^2 , ye (Pa) eşit olarak alınabilir.

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

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

olarak elde edilir.

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

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

olarak elde edilir.

Modelin akışa nazaran bu konumunda, Şekil 2'deki gibi, en üst kat çevresindeki basınç profillerinden B yüzeyinde oluşan en büyük basınç değerlerinin 7. ve 8. 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,

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

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

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

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

$$p_{m_{\text{C maks}}} = -26 \cdot 9.8 \approx -255 \text{ Pa} = -0.255 \text{ kPa}$$

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

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

olarak elde edilir.

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

$$p_{m_{\text{D maks}}} = -24 \cdot 9.8 \approx -235 \text{ Pa} = -0.235 \text{ kPa}$$

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

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

olarak hesaplanır.

En üst katın dahili ortamındaki basınç, B, C ve D yüzeyindeki ortalama emme basınçlarının ortalaması olarak belirlenir.

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

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 olduğu tespit edilir.

Eşitlik (5) kullanılarak prototip binanın A yüzeyinin 9. noktasındaki pencerede ve C yüzeyinin 1., 2., 4., 5. ve 6. noktalarındaki pencerelerinde A ve C yüzeylerinin en büyük basınç değerleri

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

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

olarak bulunur.

Prototip binanın en üst katındaki ortalama iç basıncı (5) eşitliği kullanılarak

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

olarak bulunur.

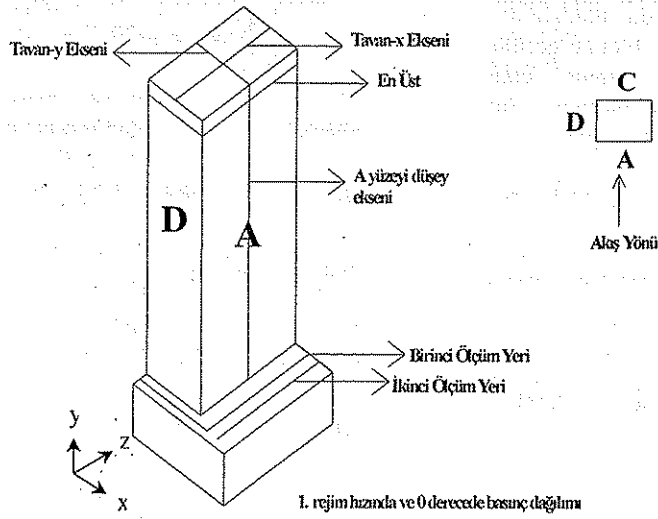
Bu değerler denklem (1) de yerine konularak, A ve C yüzeylerindeki en büyük pencere kuvvetleri (içeriye doğru)

$$F_{A_{\text{maks}}} = (-0.079) - (+0.032) \cdot 4 = -0.444 \text{ kN}$$

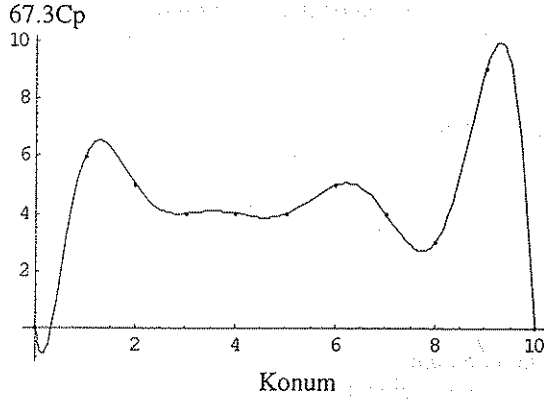
(dışarıya doğru)

$$F_{C_{\text{maks}}} = (-0.079) - (-0.093) \cdot 4 = -0.056 \text{ kN}$$

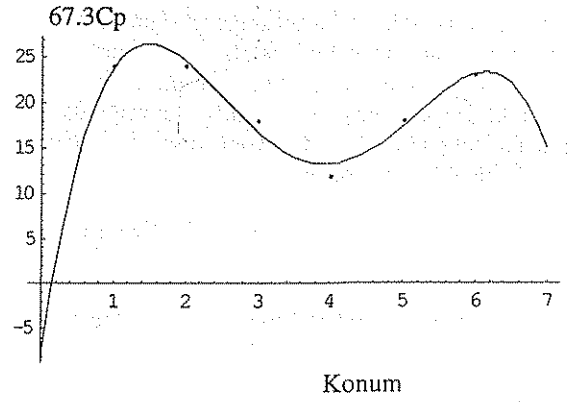
olarak hesaplanır.



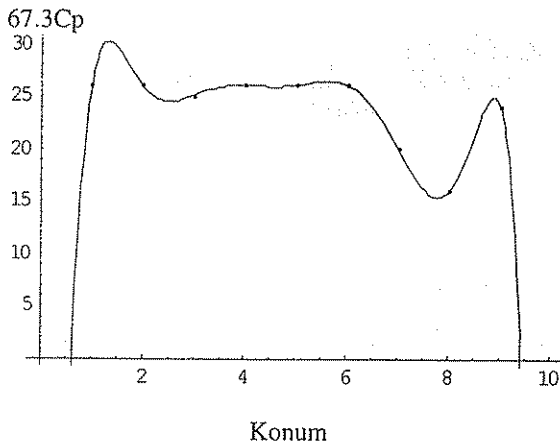
Şekil 4. Modele nazaran 0° açıda akan akış için basınç dağılımı konumları.



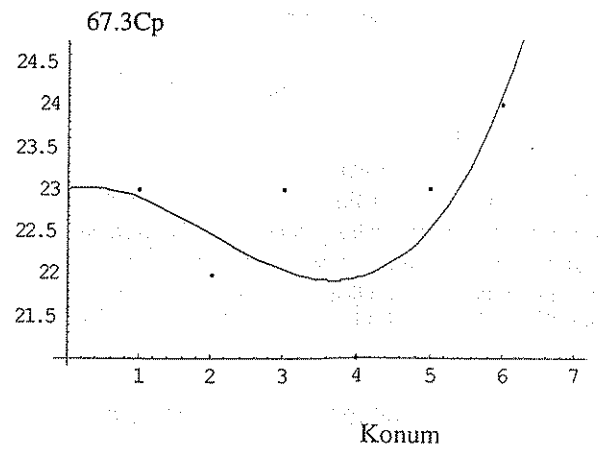
Şekil 5. En üst A yüzeyi için basınç dağılımları.



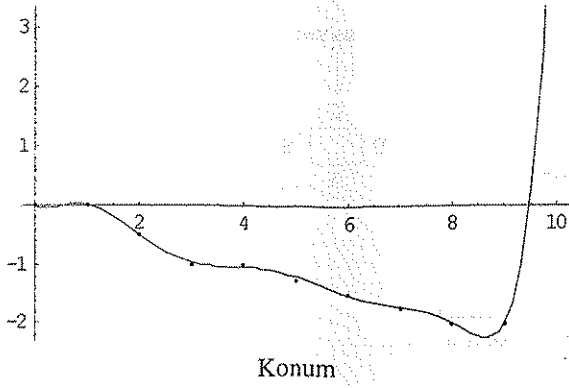
Şekil 6. En üst B yüzeyi için basınç dağılımları.



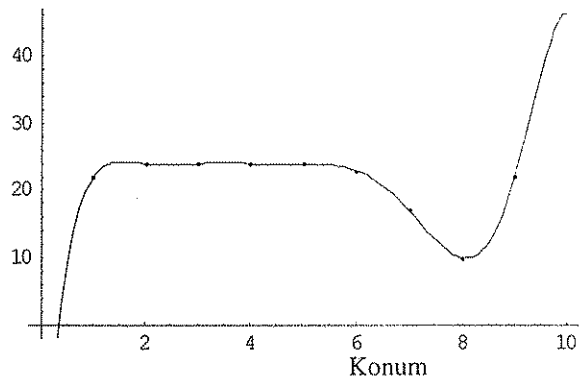
Şekil 7. En üst C yüzeyi için basınç dağılımları.
67.3Cp



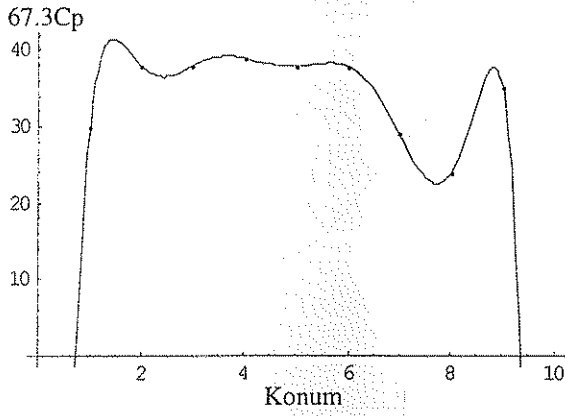
Şekil 8. En üst D yüzeyi için basınç dağılımları.
67.3Cp



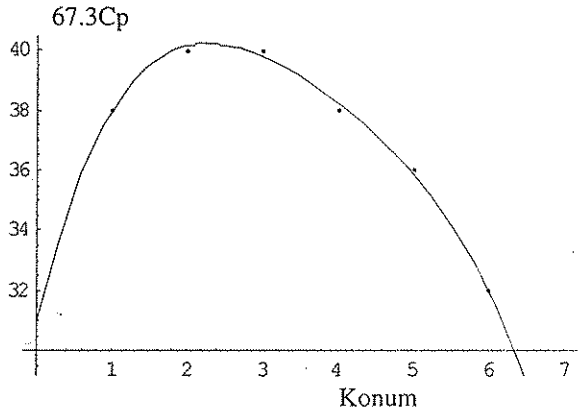
Şekil 9. Kafeterya üzeri A düşey yüzeyi için basınç dağılımları.



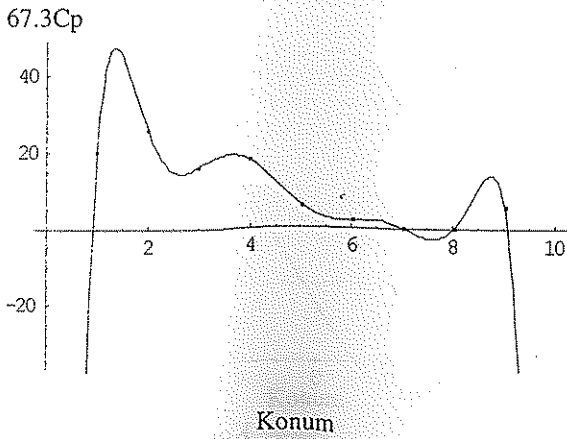
Şekil 10. Kafeterya üzeri C düşey yüzeyi için basınç dağılımları.



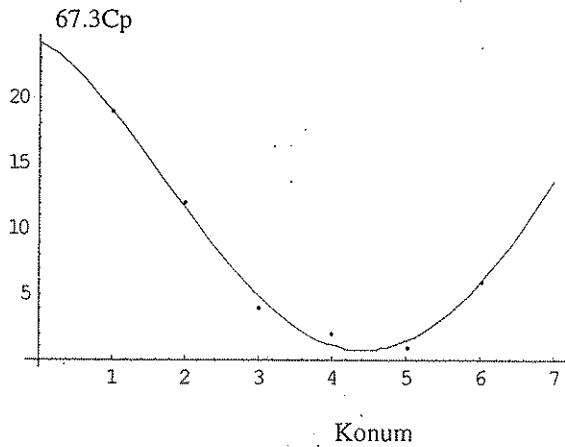
Şekil 11. Tavan x-ekseni için basınç dağılımları.



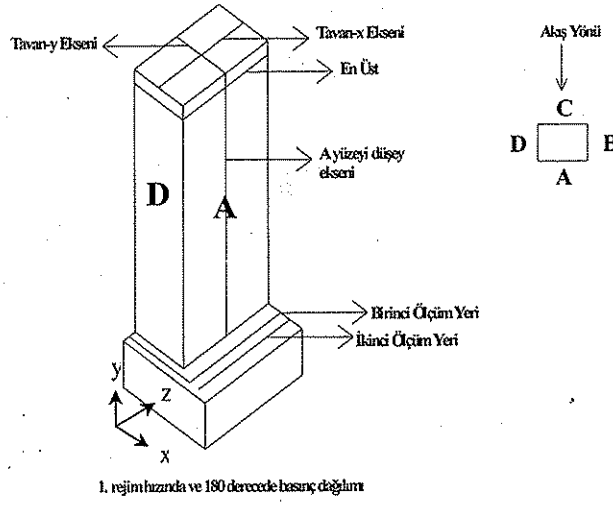
Şekil 12. Tavan y-ekseni için basınç dağılımları.



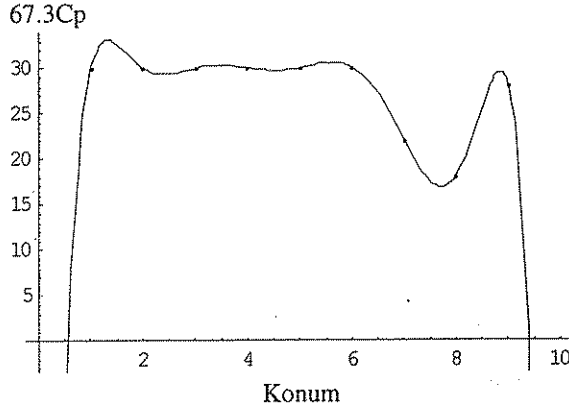
Şekil 13. Kafeterya tavanı 1. ölçüm yeri için basınç dağılımları.



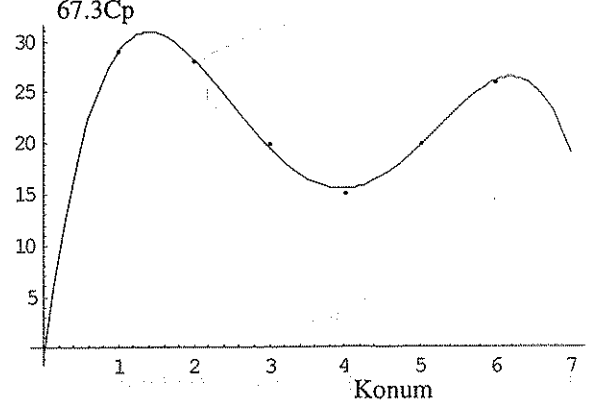
Şekil 14. Kafeterya tavanı 2. ölçüm yeri için basınç dağılımları



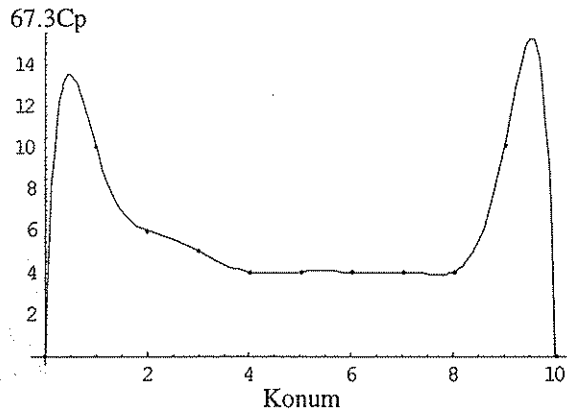
Şekil 15. Modelle nazaran 180° açıda akan akış için basınç dağılımı konumları.



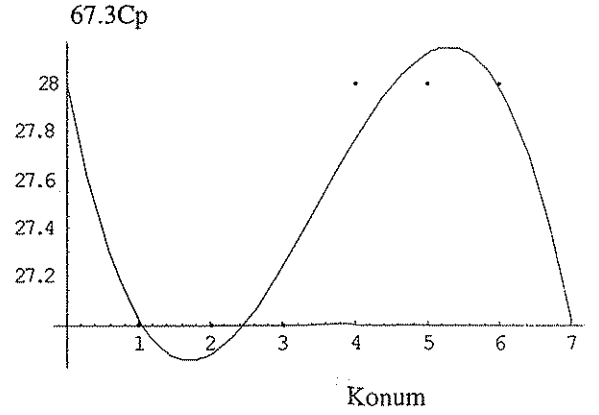
Şekil 16. En üst A yüzeyi için basınç dağılımları.



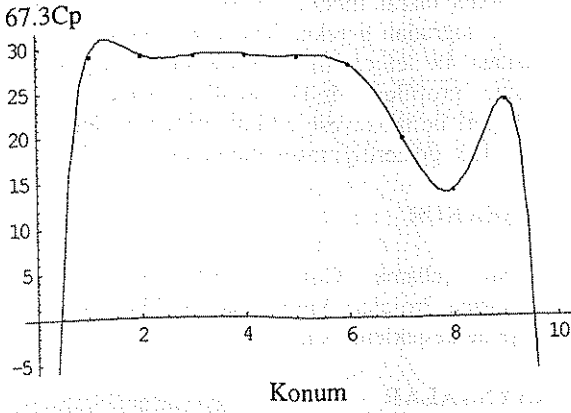
Şekil 17. En üst B yüzeyi için basınç dağılımları.



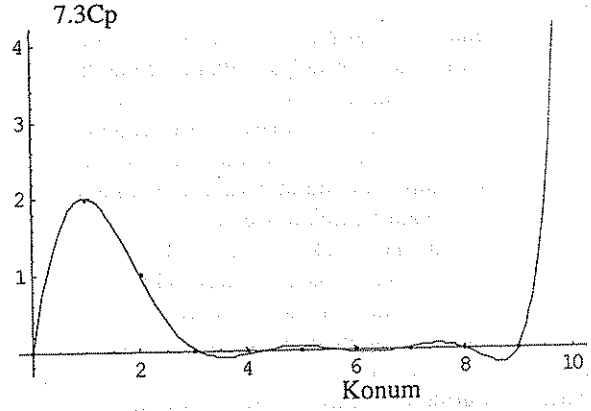
Şekil 18. En üst C yüzeyi için basınç dağılımları.



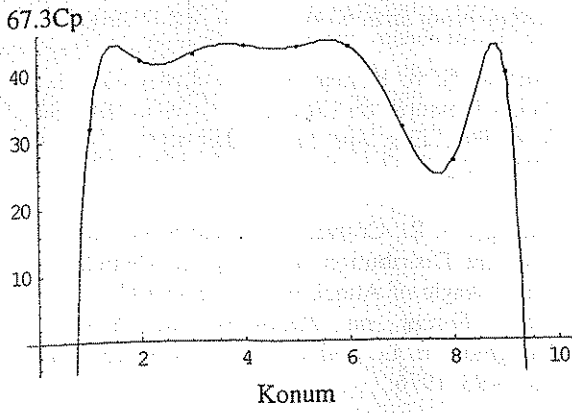
Şekil 19. En üst D yüzeyi için basınç dağılımları.



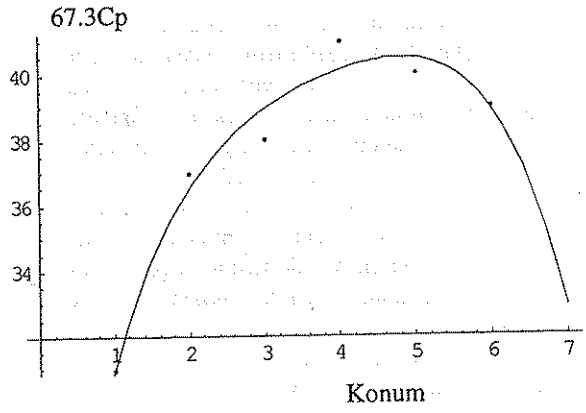
Şekil 20. Kafeterya üzeri A düşey yüzeyi için basınç dağılımları.



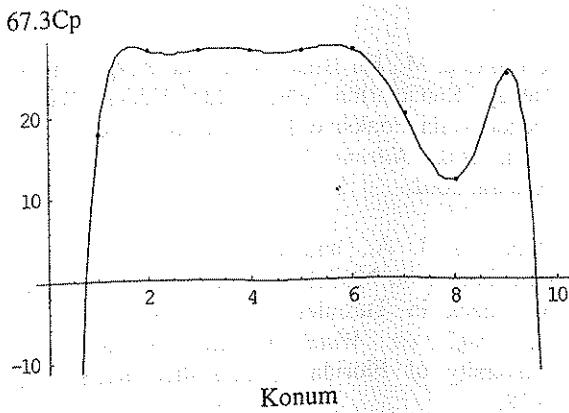
Şekil 21. Kafeterya üzeri C düşey yüzeyi için basınç dağılımları.



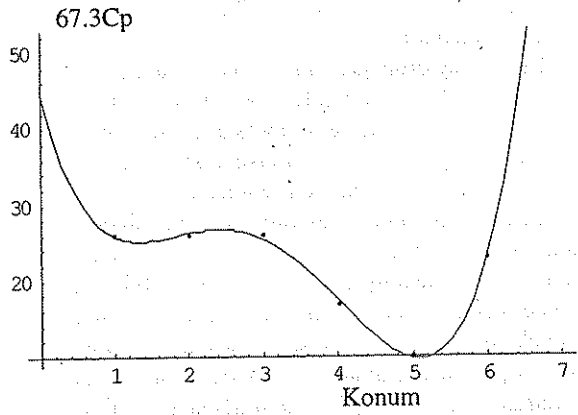
Şekil 22. Tavan x-ekseni için basınç dağılımları.



Şekil 23. Tavan y-ekseni için basınç dağılımları.



Şekil 24. Kafeterya tavanı 1. ölçüm yeri için basınç dağılımları.



Şekil 25. Kafeterya tavanı 2. ölçüm yeri için basınç dağılımları.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

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 tür yapıların ölçekli küçültülmüş modellerinin rüzgar tüneline deneye tabi tutulmaları gerekmektedir.

Bu araştırmada 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. Bu çalışmada sadece birinci rejimde (deney odası hava hızı $V_m=33$ m/s) modelin akışa nazaran 0° ve 180° konumunda elde edilen sonuçlar hata çözümleme işlemine tabi tutulmadan önce ve sonra verilmiştir. Ayrıca modelin 0° konumunda rüzgarın pencere mahallerine uyguladığı en büyük kuvvetler hesaplanmıştır. Araştırmada elde edilen veriler ve bunlara dayalı sonuçlar hata çözümlemesi yapılmadan aşağıdaki gibi gruplandırılabilir. Deneyde elde edilen en büyük basınç değerlerinin kaydedildiği noktalar, kritik nokta olarak tanımlanmıştır.

En üst kattaki kritik noktalar:

Modelin 180° konumunda, A yüzeyindeki 1., 2., 3., 4., 5. ve 6. noktaları olmaktadır. Modelin 0° ve 180° konumlarında, B ve D yüzeylerindeki 7., 8., 5. ve 6. noktaları tespit edilmiştir. Modelin 0° konumunda C yüzeyindeki 1., 2., 4., 5. ve 6. noktaları olmaktadır.

Düşey yüzey ortaylarındaki kritik noktalar:

Modelin 180° konumunda, A düşey yüzey ortasındaki 1., 2., 3., 4. ve 5. noktaları, modelin 0° konumunda C düşey yüzey ortasındaki 1., 2., 3., 4., 5. ve 6. noktalar olarak belirlenmiştir.

Rüzgar tüneline laboratuvar içerisindeki konumunun da basınç okumalarını üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir. Çünkü bu etki ile manometredeki su sütunları daha fazla titreşmektedir. Ayrıca deney odasına nazaran blokaj koşulunu sağlamak için modeli çok küçük boyutlarda imal etmek zorunluluğundan dolayı basınç sızdırmazlığı tam olarak sağlanamamıştır. Bu konudaki deneylerin daha büyük deney odalı rüzgar tünellerinde yapılması gerekmektedir. Yapılan çalışma esnasında model yüksekliği deney

odasına nazaran fazla olduğundan etrafındaki akım çizgilerinin açık havaya nazaran oda duvarları tarafından daha fazla şekillendirildiği gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak modelin 0° ve 180° konumlarında gerek doğrudan gerekse hata çözümlemesi tekniği vasıtası ile elde edilen sonuçların oluşturduğu basınç profilleri ilgili oldukları yüzeyler için birbirleri ile mukayese edildiklerinde güvenilir bir benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

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

KAYNAKLAR

Ahmad, S. ve Kumar, K., Interference Effects on Wind Loads on Low-Rise Hip Roof Buildings, *Engineering Structures*, 23, 1577-1589, 2001.

Ahmad, S. ve Kumar, K., Effect of Geometry on Wind Pressures on Low-Rise Hip Roof Buildings, *J. of Wind Eng. and Ind. Aerodynamics*, 90, 755-779, 2002.

Barriga, A. R., Crowe, C. T., and 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 Carrutters, N.B, Ed Arnold, pp.89-93, 1976.

Çıray, C., Mimari Aerodinamik Hakkında, Türkiye Yüksek Binalar Toplantısı Tebliği, Ankara, 1975.

Çürüksulu, M., Bir Bina Modelinde Rüzgar Tüneli Deney Sonuçlarına göre Elde Edilen Basınç Değerlerinin Fonksiyonlarının Belirlenmesi, *Mak. Müh. Böl. Bitirme Projesi*, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2002.

Roberson, J. A., and 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, pp.289-292, 1978.

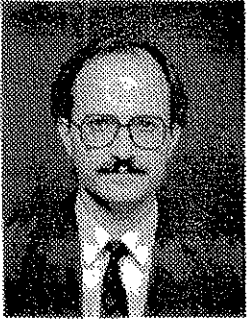
Roberson, J. A., and Crowe, C. T., *Engineering Fluid Mechanics*, (2nd Ed.), pp.273-311, Houghton Mifflin Company, Boston, A.B.D., 1980.

Özkan, A., Rüzgar Tünelinde Bir Bina Modelinin Değişik Açılarda ve Hızlardaki Hava Akışı ile Basınç Profilinin Çıkarılması, *Makina Mühendisliği Böl. Bitirme Projesi*, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2001.

Tezcan, S., Yüksek Yapılarda Rüzgar ve Deprem Yükleri, *Türkiye Yüksek Binalar Toplantısı Tebliği*, Ankara, 1975.

Wong, N.H. ve Chin, H.K., An Evaluation Exercise of a Wind Pressure Distribution Model, *Energy and Buildings*, 34, 291-309, 2002.

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.



Cevdet AYGÜN

23.07.1953 Trabzon doğumludur. İTÜ Makina Fakültesi Uçak Mühendisliği Bölümünden 1976'da mezun oldu. Kansas Üniversitesinden 1981 yılında uçak ve uzay mühendisliği master derecesi aldı. Old Dominion Üniversitesinden 1985 yılında makina mühendisliği doktora derecesi aldı. Sırası ile TUSAŞ Genel Müdürlüğü, NASA Langley Araştırma Merkezi, TUSAŞ Havacılık ve Uzay Sanayii, Savunma Sanayii Müsteşarlığı, İTÜ Uçak Uzay Bilimleri Fakültesi ve Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesinde çalıştı.

Şenol BAŞKAYA

Isı Bilimi ve Tekniği Dergisinde daha önceden mevcuttur.