



YARI-ELİPSOİD BİR ENGEL ETRAFINDAKİ AKIŞIN DENEYSEL VE TEORİK İNCELENMESİ

Yücel ÖZMEN* ve Ertan BAYDAR**

*Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
61080 Trabzon, yozmen@ktu.edu.tr

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
61080 Trabzon, baydar@ktu.edu.tr

(Geliş Tarihi: 18. 02. 2008, Kabul Tarihi: 10. 09. 2008)

Özet: Bu çalışmada, sınır tabaka içine yerleştirilmiş yarı-elipsoid bir engel etrafındaki türbülanslı akış alanı deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Rüzgar tüneline, 150 mm yüksekliğinde atmosferik bir sınır tabaka oluşturularak, akış görüntüleme çalışması ve yüzey basıncı ölçümleri yapılmıştır. Realizable k-ε ve Standard k-ω türbülans modelleri ile akış alanının iki boyutlu sayısal çözümleri elde edilmiş ve sonuçlar deneylerle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Atmosferik sınır tabaka, Yarı-elipsoid engel, Basınç katsayısı, Türbülans modeli.

EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF FLOW AROUND A SEMI-ELLIPSOID OBSTACLE

Abstract: In this study, turbulent flow field around a semi-ellipsoid obstacle immersed into boundary layer has been investigated experimentally and numerically. Flow visualization studies and surface pressure measurements have been made, simulating atmospheric boundary layer with 150 mm height in wind tunnel. 2D predictions of turbulent flow around obstacle were obtained using the Realizable k-ε and Standard k-ω turbulence models and compared with the experimental results.

Keywords: Atmospheric boundary layer; Semi-ellipsoid obstacle; Pressure coefficient; Turbulence model.

SEMBOLLER

C _p	Yüzey basınç katsayısı
C _{port}	Ortalama yüzey basınç katsayısı
C _{prms}	RMS yüzey basınç katsayısı
C _{pmax}	Maksimum yüzey basınç katsayısı
C _{pmin}	Minimum yüzey basınç katsayısı
D	Engelin taban çapı [m]
H	Engel yüksekliği [m]
k	Türbülans kinetik enerji [m ² /s ²]
P	Yüzey basıncı [Pa]
L	Engelin orta eksenli boyunca çevre uzunluğu [m]
Re	Reynolds sayısı
U _{ort}	Ortalama hız [m/s]
U ₀	Serbest akış hızı [m/s]
x	Engel yüzeyi boyunca uzaklık [m]
y	Engelin tabanından yükseklik [m]
y ⁺	Boyutsuz duvar uzunluğu [-]
δ	Sınır tabaka kalınlığı [m]
ε	Türbülans kinetik enerjinin yutulma miktarı [m ² /s ³]
θ	Rüzgar geliş açısı [°]
ω	Özgül yutulma [1/s]

GİRİŞ

Günümüzde, konut, fabrika gibi düşey ya da yatay doğrultuda yapılandırılmış geleneksel çeşitlilikteki binaların yanısıra, silindirik veya yarı-elipsoid geometrilerde farklı yapılar da oluşturulmaktadır. Farklı geometrilerdeki bu tür yapıların aerodinamik davranışının incelenmesi, çevresel etkileşim açısından büyük önem taşımaktadır.

Üç boyutlu küt cisimler etrafındaki akış alanının anlaşılmasına yönelik çalışmalarda, öncelikle gelen akışın karakteristiklerinin model üzerindeki basınç dağılımına etkisinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Laminer ve türbülanslı akış şartlarında, yüzeye bağlı bir küp etrafındaki akış alanının incelenmesine yönelik deneysel bir çalışma, Castro ve Robins (1977) tarafından yapılmıştır. Sockel ve Taucher (1981), rüzgar tüneline türbülanslı sınır tabaka içerisine yerleştirdikleri düz çatılı prizmatik modeller üzerindeki rüzgar etkilerini, basınç katsayıları cinsinden belirlemişlerdir. Letchford ve Ginger (1992), 1:100 ölçekli model çalışmasıyla, düz çatılar üzerindeki ortalama basınç dağılımlarını, kentsel arazi şartlarına göre modellenmiş bir atmosferik sınır tabakadaki rüzgar

tüneli ölçümlerinden elde etmişlerdir. Belli bir çatı eğimi ve rüzgar açısı aralığı için gerçekleştirdikleri yerel ve alan ortalamalı ölçümler sonucunda, en kritik emme yüklerinin akış ayrılmasının olduğu bölgelerde oluştuğunu bulmuşlardır. Kumar ve Stathopoulos (1998), iki farklı arazi tipi için alçak bina modelleri üzerindeki basınç ölçümleri ile rüzgar basınç spektrasını belirlemişler ve farklı arazi şartlarında spektranın değiştiğini ortaya koymuşlardır. Alçak binalar üzerindeki rüzgar basınçları ile ilgili bir literatür çalışması da, Uematsu ve Isyumov (1999) tarafından sunulmuştur.

Park ve Lee (2002), atmosferik sınır tabaka içine yerleştirilmiş silindirik bir bina modeli etrafındaki akış alanını deneysel olarak incelemişlerdir. Flowe ve Kumar (2000), k-ε türbülans modeli ile çeşitli bina şekilleri etrafındaki akış alanlarını FLUENT paket programı ile 3 boyutlu olarak çözmüşlerdir. Bina genişlik-yükseklik oranını değiştirerek, akış alanındaki ters akış bölgesi uzunluğunun bina boyutlarının bir fonksiyonu olduğunu ifade etmişlerdir. Fröhlich ve Rodi (2004), yüzeye bağlı dairesel silindir etrafındaki akış alanını, LES (Large Eddy Simulation) yöntemiyle sayısal olarak hesaplamışlar ve kullandıkları modelin deneysel sonuçlarla oldukça iyi bir uyum gösterdiğini belirtmişlerdir. Gao ve Chew (2005), bir küp etrafındaki akış alanının sayısal çözümünde Standard k-ε türbülans modelini kullanarak, ters akış bölgeleri ile türbülans kinetik enerjisi arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır.

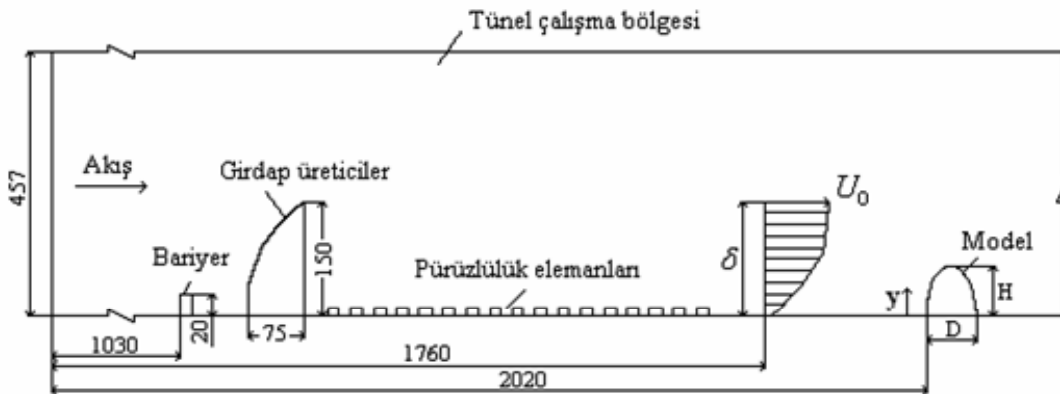
DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmanın deneysel kısmı için, KTÜ Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Laboratuvarında bulunan üfleme, açık devreli rüzgar tüneli kullanılmıştır. Şekil 1’de görülen tünel çalışma bölgesi boyunca Counihan (1969) yöntemine göre bariyer, girdap üretici ve pürüzlülük elemanları kombinasyonu kullanılarak, çalışma bölgesi başlangıcından itibaren

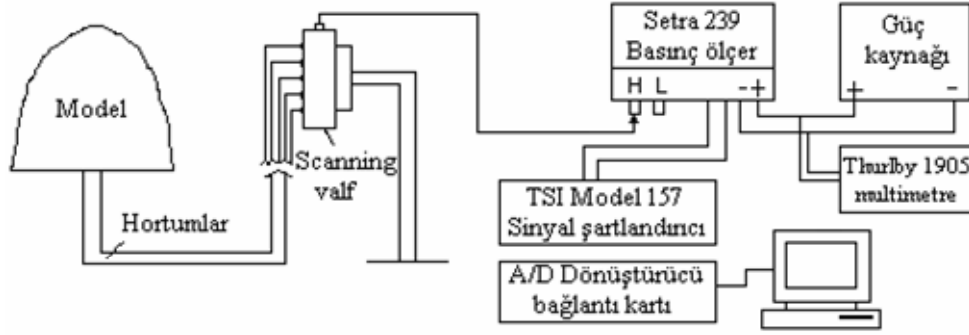
1760 mm uzaklıkta $\delta=150$ mm yüksekliğinde atmosferik bir sınır tabaka oluşturulmuştur.

Çalışmada, taban çapı $D=75$ mm, yüksekliği $H=65$ mm ve çevresel uzunluğu $L=160$ mm olan yarı-elipsoid bir engel kullanılmıştır. Engel, referans sınır tabakadan $4H$ uzaklığa yerleştirilmiştir. Oliveira ve Younis (2000), referans sınır tabakanın engel varlığından etkilenmemesi için bu mesafenin en az $3H$ olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Engel etrafındaki akış alanının görüntülenmesi parafin buharı tekniği ile yapılmıştır. Engel yüzeyindeki basıncın ortalama ve çalkantı değerlerinin ölçülebilmesi için, engel yüzeylerine açılan 1 mm çaplı deliklere basınç ölçüm prizleri yerleştirilmiştir. Basınç prizlerinin basınç ölçere bağlantısı scanning valf ile sağlanmıştır. Yüzey basıncının ortalama ve çalkantı değerlerinin ölçümü, Şekil 2’de görülen sistemle gerçekleştirilmiştir. Ölçme sisteminde, TSI IFA-100 System Intelligent Flow Analyzer cihazının Sinyal Şartlandırıcı modülü, Setra 239 Model Basınç Ölçer, A/D dönüştürücü, veri analizi yapan bir paket program ve bilgisayar bulunmaktadır. 1000 Hz’lik örnekleme oranında ve 16 s’lik ölçüm süresinde alınan basınç sinyalleri, 300 Hz’de filtrelenerek, TSI IFA-100 ThermoPro paket programı ile kaydedilmiştir. Yüzey basıncı ölçümleri, engel orta eksenine boyunca, 15° lik aralıklarla değişen rüzgar açıları gerçekleştirilmiştir. Referans sınır tabakadaki ortalama hız ve çalkantı hızı ölçümlerinde, TSI IFA-100 sabit sıcaklık kızgın tel anemometresi ile birlikte TSI 1125 kalibrasyon cihazında kalibre edilmiş TSI 1211 Model standart kızgın film prob kullanılmıştır. Ortalama hız ve çalkantı hızı ölçümlerindeki belirsizlikler sırasıyla, $\pm \%2.07$ ve $\pm \% 4$ olarak bulunmuştur. Ortalama ve çalkantı basıncı ölçümlerindeki belirsizlik ise, sırasıyla, $\pm \%3.06$ ve $\pm \% 4.6$ mertebelerindedir (Holman,1994).



Şekil 1. Rüzgar tüneli çalışma bölgesi.



Şekil 2. Basınç ölçme sistemi.

SAYISAL YÖNTEM

Sıkıştırılamaz bir akışkanın sürekli hareketi, kartezyen koordinatlarda,

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + F \quad (1)$$

şeklinde Navier-Stokes denklemleri ve

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

süreklilik denklemi ile ifade edilmektedir. Bu denklemler, hız ve basınç büyüklükleri zaman ortalamalı ve çalkantı terimleri cinsinden yazılıp, zaman ortalaması alındığında,

$$\frac{\partial(\overline{\rho u_j u_i})}{\partial x_j} = -\frac{\partial \overline{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right) \right] - \overline{\rho u_i' u_j'} + F_i \quad (3)$$

şekline dönüşmektedir. Bu denklemlerde yer alan çalkantı terimlerinin hesaplanmasına yönelik olarak çok sayıda türbülans modeli geliştirilmiş ve geliştirilmektedir. Bu çalışma kapsamında, Realizable k-ε ve Standart k-ω türbülans modelleriyle çözümler gerçekleştirilmiştir.

Shih ve diğ. tarafından önerilen Realizable k-ε model, türbülanslı akışın fiziği ile ilgili normal gerilmeler üzerindeki belli matematiksel sınırlamaları aşmaya yönelik bir yaklaşım getirmektedir. Bu yaklaşımda, δ_{ij} kroneker delta olmak üzere, sıkıştırılamaz bir akış için Reynolds gerilmeleri,

$$-\overline{\rho u_i' u_j'} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} (\rho k + \mu_t) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \delta_{ij} \quad (4)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Türbülans viskozitesi,

$$\mu_t = \rho C_\mu k^2 / \varepsilon \quad (5)$$

olarak tanımlanmaktadır. *k* ve *ε* için modellenmiş transport denklemleri,

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon + S_k \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{v \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (7)$$

şeklinindedir. Bu denklemlerde, *G_k*, ortalama hız gradyenti nedeniyle türbülanslı kinetik enerji üretimini; *G_b*, kaldırma kuvveti nedeniyle türbülanslı kinetik enerji üretimini ifade etmektedir. *C_{1s}*, *C₂* ve *C₃* sabitler olup, *σ_k* ve *σ_ε* ise türbülans Prandtl sayılarıdır. *S_k* ve *S_ε* sırasıyla, *k* ve *ε* için kaynak terimleridir.

Kolmogorov tarafından önerilen Standart k-ω türbülans modelinde, *k*, türbülans kinetik enerjisi; *ω* ise, yutulmanın kinetik enerjiye oranını (*ω* = *ε* / *k*) ifade etmektedir. Bu modelde türbülans viskozitesi,

$$\mu_t = \rho k / \omega \quad (8)$$

olarak tanımlanmaktadır. Türbülans kinetik enerji (*k*) ve özgül yutulma (*ω*) için transport denklemleri,

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k + S_k \quad (9)$$

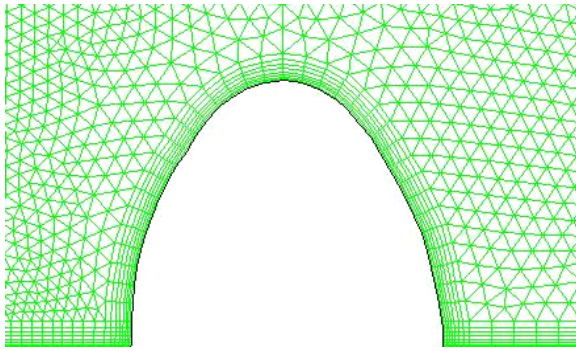
$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega + S_\omega \quad (10)$$

şeklinindedir. Bu denklemlerde, *G_k*, ortalama hız gradyanları nedeniyle türbülans kinetik enerjisi üretimini; *G_ω*, *ω*'nin üretimini ifade etmektedir. *Γ_k* ve *Γ_ω*, *k* ve *ω* için efektif difüvizivite; *S_k* ve *S_ω* ise, kaynak terimleridir.

FLUENT paket programı kullanılarak, akış alanının iki boyutlu sayısal çözümleri elde edilmiştir. Duvar yaklaşımı olarak, daha kısa sürede yakınsama sağlaması nedeniyle genişletilmiş duvar ifadesi (enhanced wall treatment) kullanılmıştır. İteratif çözücü olarak

literatürde yaygın olarak kullanılan SIMPLEC algoritması esas alınmıştır. Çözümlerde daha hassas sonuçlar verdiği için, değişkenlerin ağ noktaları arasındaki değişimine yönelik Second Order Upwind yaklaşımı kullanılmıştır.

Çözüm alanındaki ağ yapısı, Şekil 3’de görüldüğü gibi, engel yakınındaki bölgelerde yoğunluğu artan bir düzende oluşturulmuştur. Katı duvarlar üzerine, önce küçük elemanlardan oluşan dörtgen tipli yapılandırılmış ağlar yerleştirilirken, akış alanının diğer bölgeleri üçgen tipli yapılandırılmamış ağlarla örülmüştür. Ağdan bağımsız çözümler elde edebilmek için farklı sayıdaki ağ yapıları ile denemeler yapılmıştır. Bu şekilde oluşturulan hibrid ağ düzeni ile hesap alanında ağdan bağımsız çözümlerin sağlandığı yaklaşık 40000 ağ kullanılmıştır. Katı duvar boyunca ilk ağ noktası için $y^+ \sim 2.5$ civarında olmaktadır.



Şekil 3. İki boyutlu ağ düzeni.

Hesap alanının girişinde, referans sınır tabakada ölçülen ortalama hız ve türbülans profilleri başlangıç koşulu olarak verilmiştir. $K=0.41$, $\delta=0.15$ m, $C_\mu=0.09$ ve $l=K\delta$, olmak üzere, türbülans kinetik enerji (k), yutulma (ϵ) ve özgül yutulma (ω) için giriş profilleri,

$$k = \frac{3}{2}(U_{ort} \cdot Tu)^2$$

$$\epsilon = C_\mu^{3/4} \cdot \frac{k^{3/2}}{l}$$

$$\omega = \frac{k^{1/2}}{C_\mu^{1/4} l}$$
(11)

bağıntıları ile verilmiştir. Normalize edilmemiş artıkların 10^{-6} den küçük olması koşulu, çözüm yakınsama kriteri olarak alınmıştır.

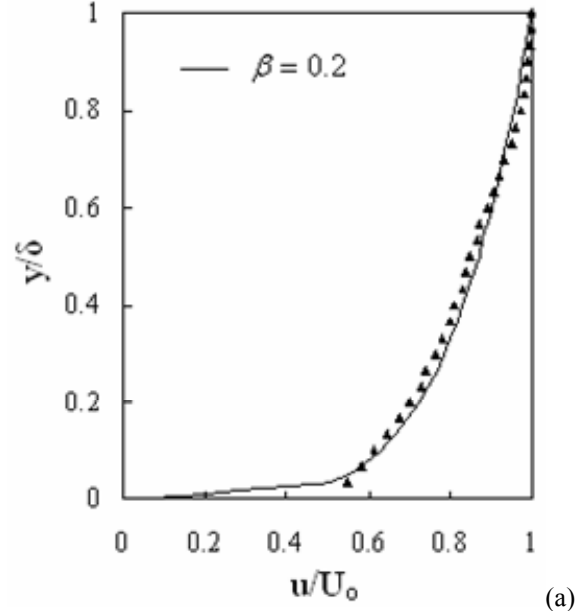
BULGULAR VE TARTIŞMA

Atmosferik sınır tabaka akışında ölçülen referans ortalama hız ve türbülans hız profilleri, Şekil 4’de verilmiştir. Referans sınır tabaka ortalama hız dağılımının $\beta=0.2$ ’lik üs kanunu ile oldukça iyi bir uyum içinde olduğu ve türbülans şiddetinin, serbest akış bölgesinde yaklaşık %2 değerinden, duvar yakınında

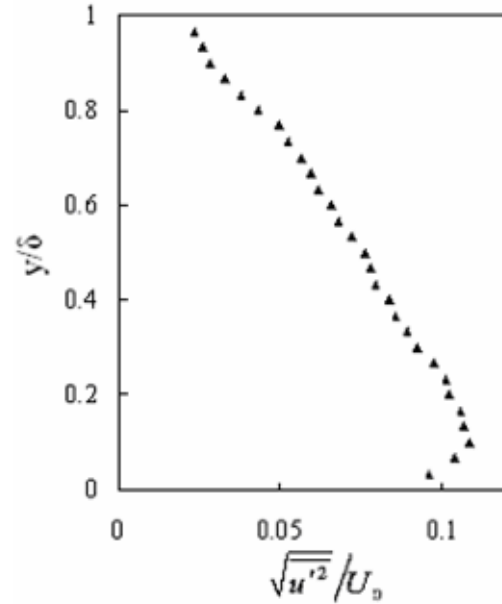
%12’ye kadar ulaştığı görülmektedir. U_0 , serbest akış hızı, H , engel yüksekliği ve ν , kinematik viskozite olmak üzere Reynolds sayısı,

$$Re = \frac{U_0 \cdot H}{\nu}$$
(12)

olarak tanımlanmıştır. Çalışmada engel yüksekliğine bağlı Reynolds sayısı 65000 değerindedir.



(a)



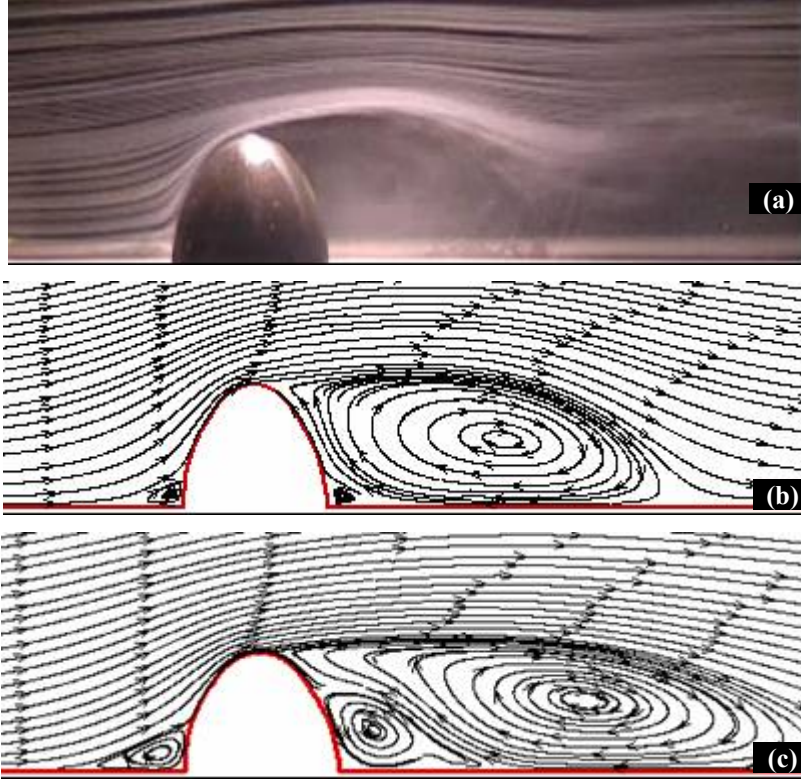
(b)

Şekil 4. Referans sınır tabaka hız profilleri a) ortalama b) türbülans.

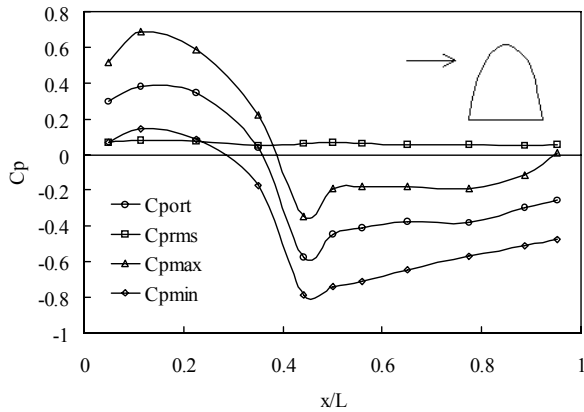
Şekil 5 a-c’de sırasıyla, akış görüntüleme fotoğrafı ve iki farklı türbülans modeliyle elde edilen akış alanları birlikte verilmiştir. Akış görüntüleme çalışması, parafin buharı ile görüntüleme tekniğinin yüksek hızlarla sınırlı olması nedeniyle, $Re=4300$ değerinde gerçekleştirilmiş olup, sayısal çözümler de aynı Reynolds sayısında yapılmıştır. Sayısal çözümlerden elde edilen akış

yapıları, genel olarak akış görüntüleme fotoğrafı ile uyumlu görünmektedir. Ancak, Standard $k-\omega$ türbülans modeli, engelin ön kenarındaki ve arkasındaki ikincil ters akış bölgelerini daha belirgin olarak hesaplamaktadır. Engel arkasındaki birincil ters akış

bölgesinin uzunluğu da, Realizable $k-\epsilon$ türbülans modeline göre, yaklaşık iki kat daha büyük olmaktadır. Standard $k-\omega$ türbülans modeli, birincil ters akış bölgesi uzunluğu açısından, akış görüntüleme fotoğrafı ile daha iyi bir uyum göstermektedir.



Şekil 5. Engel etrafında akış alanı görüntüleri a) Parafin buharı ile elde edilen akış fotoğrafı b) Realizable $k-\epsilon$ türbülans modeli c) Standard $k-\omega$ türbülans modeli.

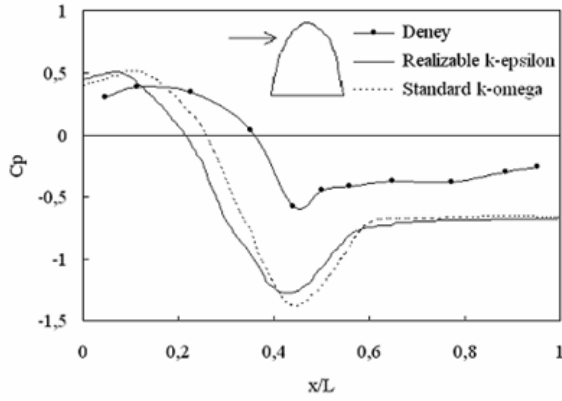


Şekil 6. Basınç katsayılarının orta eksen boyunca değişimi.

Engel tabanının sol kenarından itibaren x ve y sırasıyla engel yüzeyi boyunca değişken uzaklığı ve engel tabanından itibaren yüksekliği göstermektedir. Şekil 6'da, engel orta eksenini boyunca ölçülen yüzey basınçlarının ortalama, rms, maksimum ve minimum değerlerinin değişimi görülmektedir. $x/L=0.5$, engelin tepe noktasını göstermektedir. Rüzgara doğrudan maruz kalan ön yüzeyin büyük bölümünde basınç katsayıları pozitif değerler almaktadır. Engelin tabanından itibaren

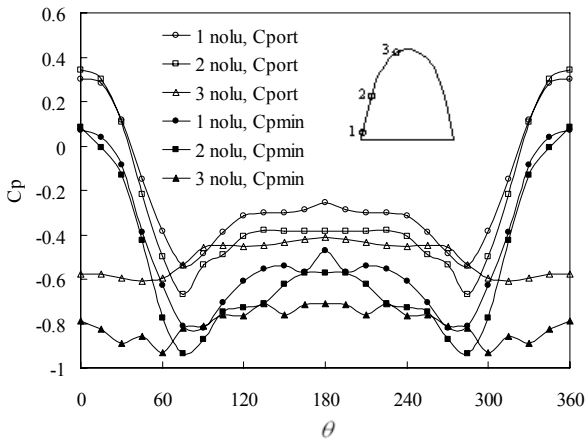
yaklaşık $y/H=0.86$ katı bir yükseklikte basınç katsayısı negatif değerler almaya başlamaktadır. En düşük değerler, tepe noktasının hemen önünde yaklaşık $y/H=0.98$ seviyesinde oluşmaktadır. Engelin arka yüzeyinde ise negatif bir basınç alanı oluşmaktadır. Basınç katsayısının negatif değerde olduğu bölgelerde emme etkisi ortaya çıkmaktadır.

Engel yüzeyinde Realizable $k-\epsilon$ ve Standard $k-\omega$ türbülans modelleri ile hesaplanan ortalama basınçların orta eksen boyunca değişimleri, deneysel sonuçlarla birlikte Şekil 7'de verilmiştir. Her iki türbülans modeli ile elde edilen sonuçların, deneylerle benzer eğilimde olduğu görülmektedir. Engelin üst ve arka kısmında daha fazla olmak üzere, sayısal sonuçlar deneylere göre düşük değerler vermektedir. Deneysel ve sayısal sonuçlar arasındaki bu fark, türbülans modellerinin hassasiyeti, sayısal çalışmanın iki boyutlu olarak ele alınması ve ölçüm cihazlarından kaynaklanan hatalar ile açıklanabilir. Türbülans modelleri kendi aralarında karşılaştırıldıklarında, engelin tepe noktası civarı dışında, Standard $k-\omega$ türbülans modelinin deneylere daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 7. Ortalama basınç katsayılarının orta eksen boyunca değişimi.

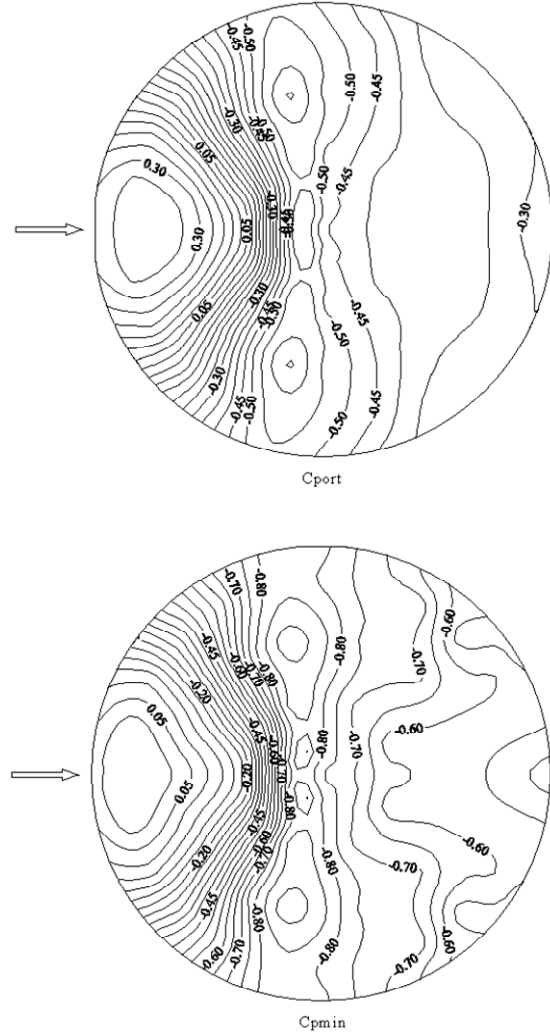
Engel yüzeyinde farklı yüksekliklerdeki basınç katsayılarının ortalama ve minimum değerlerinin rüzgar geliş açısına göre değişimleri, Şekil 8’de verilmiştir. 1, 2 ve 3 noktaları, engelin orta eksenini boyunca sırasıyla, $y/H=0.12$, 0.58 ve 0.98 yüksekliklerine karşılık gelmektedir. Engelin orta eksenine göre 40° lik rüzgar geliş açısından itibaren ön yüzeydeki basınç katsayılarının negatif değerler aldığı görülmektedir. Engelin tepe noktası yakınındaki bölgede, bütün rüzgar geliş açıları için, negatif basınç katsayıları oluşmaktadır. Bu durum, engelin bu bölgesinin bütün rüzgar geliş açıları kuvvetli bir emme etkisinde kaldığını göstermektedir. Ortalama ve minimum basınç katsayılarının $\theta=75^\circ$ ve $\theta=285^\circ$ lik rüzgar açıları en kritik değerleri aldığı, engelin tabanından itibaren tepe noktasına doğru azaldığı görülmektedir. Kritik rüzgar açıları, minimum basınçlar ortalama değerlerden yaklaşık % 50 daha düşük değerler almaktadırlar.



Şekil 8. Farklı yüksekliklerdeki basınç katsayısının rüzgar geliş açısına göre değişimi.

Engel orta eksenine dik doğrultudaki akış durumunda, engelin bütün yüzeyi üzerinde ölçülmüş ortalama ve minimum basınç dağılımları, eş basınç alanları şeklinde, Şekil 9’da verilmiştir. En kritik basınç katsayısı değerlerinin, akış ayrılması nedeniyle, engelin üst ve yan kısımlarında, ortalama -0.50 ve minimum -0.80 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Hem ortalama hem de minimum basınç katsayılarının engelin rüzgar

tarafındaki ön kısmı dışında, ölçüm yapılan tüm noktalarda negatif değerler alması, engelin bu bölgelerinin bir emme etkisi altında olduğunu göstermektedir. Emme etkisindeki bölgelerde minimum basınçlar, ortalamadan % 60 daha düşük değerler alabilmektedir.



Şekil 9. Model yüzeyinde eş basınç alanları a) ortalama basınç katsayısı b) minimum basınç katsayısı.

SONUÇLAR

Bu çalışmada yarı-elipsoid bir engel etrafındaki akış alanı, deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Basınç katsayıları engel ön kısmında pozitif; engel arka kısmında ise, engelin üst ve yan kenarlarından ayrılan akış nedeniyle, negatif değerler almaktadır. Negatif basınç katsayılı bölgeler emme etkisi altındadırlar. En kritik basınç değeri engelin tepe noktasının hemen önünde meydana gelmektedir. Ortalama ve minimum basınç katsayıları, 75° ve 285° lik rüzgar geliş açıları emme etkisi yönünden kritik değerler almaktadırlar. Emme etkisi nedeniyle yapılar hasara uğrayabilmektedirler.

DeneySEL ve sayısal sonuçlar, aralarındaki farklılıklara karşın, benzer eğilim göstermektedirler. Sayısal ve deneysel sonuçlar arasındaki farklılık, sayısal

çözümlerin iki boyutlu olması, kullanılan türbülans modellerinin hassasiyeti ve ölçüm cihazlarından kaynaklanan hatalar ile açıklanabilir. Çalışılan geometri için Standart $k-\epsilon$ türbülans modeli, Realizable $k-\epsilon$ türbülans modeline göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu çalışmadaki gibi değişik geometriler etrafındaki akış alanlarının incelenmesi, yapı tasarımına ve şehir planlamaya katkı sağlamanın yanısıra, türbülans modellerinin denenmesinde ve geliştirilmesinde de yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

Castro, I.P., Robins, A.G., The Flow around a Surface Mounted Cube in Uniform and Turbulent Streams, *J. Fluid Mech.*, 79, 307-335, 1977.

Counihan, J., An Improved Method of Simulating an Atmospheric Boundary Layer in a Wind Tunnel, *Atmos. Environ.*, 3, 197-214, 1969.

Flowe, A.C., Kumar, A., Analysis of Velocity Fields and Dispersive Cavity Parameters as a Function of Building Width to Building Height Ratio Using a 3-D Computer Model for Squat Buildings, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 86, 87-122, 2000.

Fröhlich, J. Rodi, W., LES of the flow around a circular cylinder of finite height, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 25, 537-548, 2004.

Gao, Y., Chow, W.K., Numerical Studies on Air Flow Around a Cube, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93, 115-135, 2005.

Holman, J.P., Experimental Methods for Engineers, McGraw-Hill Book Company, NewYork, 1994.

Kumar, K.S., Stathopoulos, T., Power Spectra of Wind Pressures on Low Building Roofs, *Journal of Wind Eng. and Industrial Aerodynamics*, 74-76, 665-674, 1998.

Letchford, C.W., Ginger, J.D., Wind Loads on Planar Canopy Roofs – Part 1: Mean Pressure Distributions, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 45, 25-45, 1992.

Oliveira, P.J., Younis, B.A., On the Prediction of Turbulent Flows Around Full-Scale Buildings, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 86, 203-220, 2000.

Park, C.W. Lee, S.J., Flow structure around a finite circular cylinder embedded in various atmospheric boundary layers, *Fluid Dynamics Research*, 30, 197-215, 2002.

Socket, H., Taucher, R., The Influence of a Parapet on Local Pressure Fluctuations, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 8, 31-38, 1981.

Uematsu, Y. Isyumov, N., Wind Pressures Acting on Low-Rise Buildings, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 82, 1-25, 1999.



Yücel ÖZMEN, 1976 yılında Trabzon'da doğdu. 1993 yılında Trabzon Teknik Lisesi Bilgisayar Bölümü'nden, 1997 yılında K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Aynı üniversitenin Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2000 yılında Yüksek Lisans, 2006 yılında Doktora derecelerini aldı. 2003 yılında von Karman Institute for Fluid Dynamics (VKI)'den Post Graduate Diploma aldı. 2007 yılında K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümüne Yardımcı Doçent olarak atandı. Halen bu görevine devam etmekte olup iyi derecede İngilizce bilmektedir.



Ertan BAYDAR, 1958 yılında Trabzon'da doğdu. 1975 yılında Trabzon Lisesini bitirdi. 1979-1980 güz döneminde K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1984 yılında Makina Yüksek Mühendisi, 1991 yılında ise Doktor unvanlarını aldı. 1992 yılında K.T.Ü. Makina Mühendisliği Termodinamik Anabilim Dalına Yrd. Doçent olarak atandı. 1998 yılında Doçent unvanını aldı. 2005 yılında aynı anabilim dalına Profesör olarak atandı. Öğretim Üyeliği boyunca belli dönemlerde Bölüm Başkan Yardımcılığı, Anabilim Dalı Başkanlığı, Fakülte Kurulu Üyeliği ve Dekan Yardımcılığı görevlerini yürüttü. Halen Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Üyeliği ve Rektör Danışmanlığı görevlerini sürdürmekte olup, evli ve bir çocuk babasıdır.