

Farklı Saçak Tiplerine Sahip Yarı Küresel Çatılar Üzerinde Basınç Dağılımlarının İncelenmesi

Tekmile Cürebal¹, Aleyna Ağırman Kalca^{2*}, Yücel Özmen³

ÖZ

Bu çalışmada, silindirik binaların yarı küresel geometrideki çatıları etrafındaki akış alanları, normal ve yelkırık saçak şeklinde iki farklı saçak tipi için deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Çalışmanın deneysel kısmında, rüzgâr tüneline yerleştirilen bina modellerinin çatı yüzeylerinde ortalama basınç dağılımları elde edilmiş ve modeller etrafında akış görüntüleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Sayısal kısımda ise, bina modelleri etrafındaki akış alanları SST k- ω türbülans modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Sayısal çalışmadan elde edilen basınç dağılımlarının deneysel çalışmadan elde edilen basınç dağılımlarıyla uyumlu olduğu ve saçak tipindeki değişimin, basınç dağılımlarında belirgin bir değişime yol açmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Silindirik bina, yarı küresel çatı, saçak, basınç dağılımı

Investigation of Pressure Distributions on Hemispherical Roofs With Different Eave Types

ABSTRACT

In this study, the flow fields around cylindrical buildings with hemispherical roof geometry have been analyzed experimentally and numerically for two different eaves types (normal and pitched eaves). In the experimental part of the study, the mean pressure distributions on the roof surfaces of the building models placed in the wind tunnel were obtained and flow visualization studies were carried out around the models. In the numerical part, the flow fields around the building models were calculated using the SST k- ω turbulence model. It was observed that the pressure distributions obtained from the numerical study were compatible with the pressure distributions obtained in the experimental study, and the change in the eave type did not cause an important change in the pressure distributions.

Keywords: Cylindrical building, hemispherical roof, eave, pressure distribution

* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 24.05.2021

Kabul/Accepted : 29.07.2021

¹ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Trabzon, tekmilecurebal@ktu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9156-5917

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Trabzon, aleynaagirman@ktu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1147-141X

³ Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Trabzon, yozmen@ktu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-1127-1060



EXTENDED ABSTRACT

Introduction/ Background

Nowadays, cylindrical structures are commonly used in various architectural applications such as tall buildings, cylindrical tanks, stadiums sports halls and hangars. The effects of wind on these structures are closely related to building roof geometries. The geometric difference in the roof and eaves of the cylindrical structures have an impact on the pressure distribution on the roof surfaces. For this reason, the evaluation of the flow fields around cylindrical buildings with different roof and eave geometries has an important effect on wind engineering applications.

Objectives/ Research Purpose

In this study, it is planned to comprehensively examine the wind loads on the roof surfaces of two cylindrical building models with hemispherical geometric roofs for two different types of eaves in the form of normal and pitched eaves. Within the scope of the study, it is purposed to obtain experimentally and numerically the mean pressure distributions on the roof surfaces of the building models and the flow fields around the model.

Methods/ Methodology

The experimental study is carried out in an open circuit wind tunnel with a cross section of 457 mm (H) x 457 mm (W) x 2450 mm (L). To simulate atmospheric boundary layer, by using barrier, roughness elements and vortex generators at the entrance of the test section, a 150 mm thickness turbulent boundary layer is obtained at a free flow rate of 15 m/s. Visualization of flow structures around building models is carried out using a smoke wire technique. The pressure measurement system consists of the signal conditioner module of the TSI IFA-100 System Intelligent Flow Analyzer, Setra 239 Model Pressure Gauge, A / D converter, a package program and a computer that perform data analysis. Pressure signals are taken at sampling rate of 1000 Hz and measurement time of 16 s and filtered at 300 Hz. The dimensions of cylindrical part of the models are H=150 mm, D=100 mm. The eave length and the pitched eave angle are taken into account as S = 10 mm and $\alpha = 45^\circ$, respectively. In the study, the blockage ratio expressed as the ratio of the model surface area to the test zone cross-sectional area is calculated to be approximately 4.45%. In the numerical part, the finite volume method is used to discretization of conservation equations and it is solved by using the ANSYS Fluent 18.0 package program. The flow fields around the building models are calculated using the SST k- ω turbulence model, which gives very successful results in boundary layer flows with strong reverse pressure gradients.

Results/Findings

As can be seen in the figure, the difference in eave type does not create a important difference in the flow fields. Incoming flow to the building model follows the roof surfaces, separates from the peaks of the roofs and creates reverse flow regions behind the models. Depending on the reverse flow regions formed the leeward edge of the model, the mixing layer descends. Moreover, the pressure coefficients on the leading edge exposed to the wind is positive. Due to flow separated from the peak of the roof, negative pressure fields occur on the large part of roof surface.

Discussion and Conclusions

It is observed that the pressure distributions obtained from the numerical study are compatible with the pressure distributions obtained in the experimental study, and the change in the eave type does not cause a significant difference in the pressure distributions. Because of flow separated from the peak of the hemispherical roofs, critical negative pressures occur in these regions. The more critical negative pressures are obtained around $x / L = 0.4$ and are progressively reduced in the leeward side of the roofs. It is seen that the pressure coefficients which in the eave region directly exposed to the incoming flow are positive and the negative pressure coefficients occur as the wind angle increases. The most critical negative pressure values are obtained at $\theta=90^\circ$ because of flow separation. It is also noted that the pressure distributions are symmetrical as from the position of $\theta = 180^\circ$.



1. GİRİŞ

Günümüzde, yüksek yapılar, stadyumlar, spor salonları ve hangarlar gibi birçok mimari uygulamada, silindirik formda binalarla karşılaşmaktadır. Geleneksel bina çeşitliliğinden farklı olan silindirik binaların çatıları da, ilgi çekici mimari şekilleri nedeniyle farklı geometrilerde inşa edilmektedir. Silindirik binaların çatılarındaki ve saçaklarındaki geometrik farklılık, çatı yüzeylerindeki basınç dağılımlarını oldukça etkilemektedir. Bu durum, farklı çatı ve saçak geometrilerine sahip silindirik binalar etrafındaki akış alanlarının incelenmesi ihtiyacını ortaya koymaktadır.

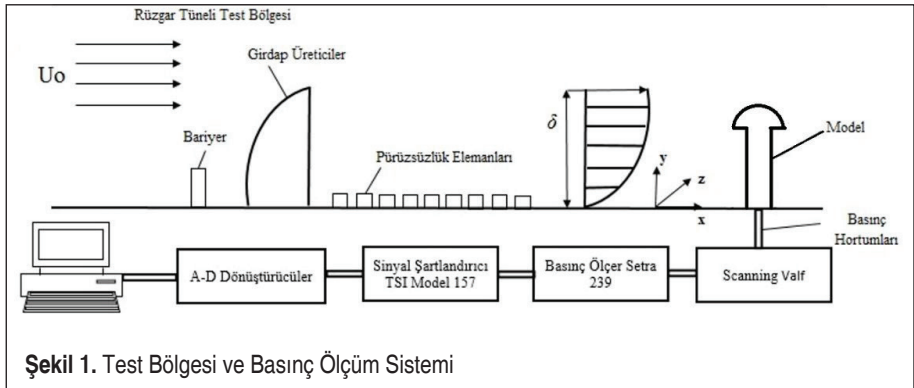
Literatürde düz, konik veya yarı küresel geometrilerde çatılara sahip silindirik binaların etrafındaki akış alanlarının incelenmesine yönelik deneysel ve sayısal çalışmalar mevcuttur. Sabransky ve Melbourne [1], tahıl depolama silolarının dairesel silindirik duvarları ve konik çatıları üzerindeki basınç dağılımlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Portela ve Godoy [2], konik çatılı silindirik bir çelik tankın çatısı üzerindeki basınç dağılımlarını deneysel olarak inceledikleri çalışmalarında, konik çatının orta kısmındaki basıncın arttığını belirtmişlerdir. Portela ve Godoy [3], kubbe çatılı silindirik çelik tanklar üzerindeki basınç dağılımlarını deneysel ve sayısal olarak inceledikleri çalışmalarında, silindirik gövde ile çatı arasındaki geometrik geçişin akış ayrılmasını önemli ölçüde değiştirdiğini ortaya koymuşlardır. Afgan vd. [4], farklı en-boy oranlarına sahip silindirik bir bina etrafındaki akış yapısını sayısal olarak araştırmışlardır. Uematsu vd. [5], dairesel düz çatılara etki eden basınç dağılımlarını deneysel olarak incelemişler ve tasarım rüzgâr yükünün rüzgâr etkisi faktörü yaklaşımı kullanarak tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir. Tavakol vd. [6], yarım küre etrafındaki ortalama akış hızlarını ve türbülans seviyelerini deneysel ve sayısal olarak belirlemişler ve yarım küre etrafındaki akışın hızlandığını ve türbülans yoğunluğunun yükseklikle değiştiğini gözlemişlerdir. Cheng ve Fu [7], yarım küre şeklindeki kubbenin aerodinamik özellikleri üzerinde Reynolds sayısının etkisini incelemek amacıyla rüzgâr tüneline basınç ölçümleri gerçekleştirmişlerdir. Tsutsui [8], farklı en-boy oranlarına sahip silindirik yapıların yüzeylerindeki basınç dağılımlarını deneysel olarak incelemiştir. Özmen [9], düz çatıya sahip silindirik bir bina modelinde çatı kenarı boyunca yerleştirilen farklı yüksekliklere sahip parapetlerin basınç dağılımları üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Sumner vd. [10], silindirik bir bina modelinde, en-boy oranı değişiminin model etrafındaki akış yapısı üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. En-boy oranının azalmasıyla model arkasındaki ters akış bölgesinin büyüklüğünün arttığını belirtmişlerdir. Özmen ve Aksu [11], düz, konik ve yarı küresel şeklinde üç farklı çatıya sahip silindirik binaların yüzeylerindeki basınç dağılımlarını deneysel ve sayısal olarak incelemişler ve en kritik basınç değerlerinin yarı küresel çatının yüzeyinde oluştuğunu belirtmişlerdir. Beitel vd. [12], silindirik bir bina modelinde en-boy oranı değişiminin, aerodinamik kuvvetler ve bükülme momenti üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Beitel vd. [13] aynı en-boy



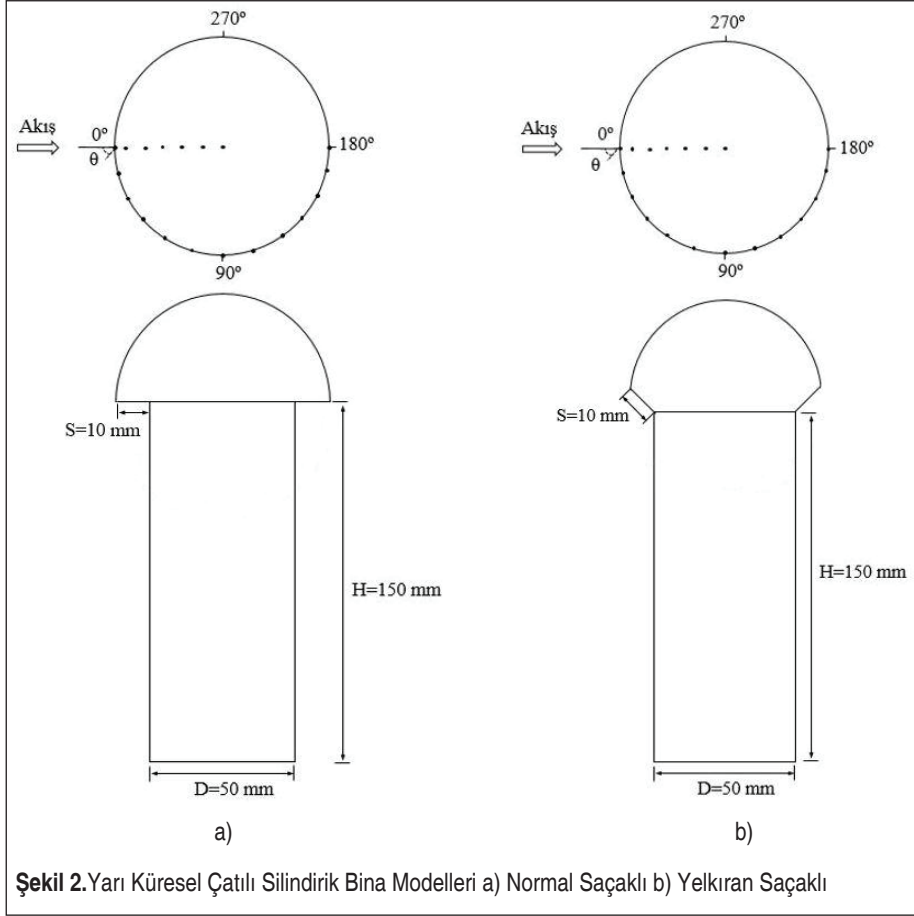
oranlarına sahip silindirik bir bina modeli üzerindeki basınç dağılımlarını inceledikleri bir diğer çalışmada ise basınç dağılımlarının sınır tabaka kalınlığına duyarlı olduğunu belirtmişlerdir. Mevcut literatür incelendiğinde, yarı küresel çatı geometrisine sahip silindirik binalar etrafındaki akış alanlarının araştırılmasına yönelik çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, yarı küresel geometrik çatılara sahip silindirik iki bina modelinin çatı yüzeylerindeki rüzgâr yüklerinin, normal ve yelkiran saçak şeklinde iki farklı saçak tipi için deneysel ve sayısal olarak incelenmesi amaçlanmaktadır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışma, 457 mm x 457 mm kesitinde ve 2450 mm uzunluğunda test bölgesine sahip açık devreli, emme tipinde bir rüzgâr tüneline gerçekleştirilmiştir. Atmosferik sınır tabaka benzeşimi için, test bölgesinin girişinde girdap üreticileri, bariyerler ve pürüzlülük elemanları kullanılarak, 15 m/s'lik rüzgâr geliş hızında 150 mm kalınlığına sahip sınır tabaka elde edilmiştir. Bina modelleri etrafındaki akış yapılarının görüntülenmesi için parafin buharı tekniği kullanılmıştır. Model yüzeyindeki ortalama basınç değerlerinin ölçümü için, model yüzeylerine basınç ölçüm prizleri yerleştirilmiş ve scanning valf ile basınç ölçere bağlantıları sağlanmıştır. Basınç ölçme sistemi, 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 bilgisayardan oluşmaktadır (Şekil 1). Basınç sinyalleri 1000 Hz'lik örnekleme oranında ve 16 s'lik ölçüm süresinde alınmıştır. Alınan basınç sinyalleri 300 Hz'de filtrelenmiş ve TSI IFA-100 ThermoPro paket programı ile kaydedilmiştir. Çalışmada, normal ve yelkiran şeklinde iki farklı saçağa sahip yarı küresel çatılı silindirik bina modelleri kullanılmıştır (Şekil 2). Bina modelleri, Ankara'da bulunan Atakule'den esinlenerek oluşturulmuştur. Modellerin silindirik kısımlarının boyutları $D=50$ mm ve $H=150$ mm'dir. D ve H , sırasıyla, model çapını ve yüksekliğini temsil etmektedir. Saçak uzunluğu $S=10$ mm ve yelkiran saçak açısı $\alpha=45^\circ$ olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 1. Test Bölgesi ve Basınç Ölçüm Sistemi



Çalışmada, model yüzey alanının, test bölgesi kesit alanına oranı olarak ifade edilen blokaj oranı yaklaşık % 4,45 olarak hesaplanmıştır.

3. SAYISAL ÇALIŞMA

Çalışmanın sayısal kısmında, silindirik geometriye sahip yarı küresel çatılı bina modelleri etrafındaki türbülanslı akış alanları üç boyutlu zaman bağımsız olarak çözülmüştür. Akış alanlarının çözümünde Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes denklemleri kullanılmıştır. İlgili korunum denklemleri genel formda aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\frac{\partial(\rho\varphi)}{\partial t} + \nabla(\rho\varphi\vec{V}) = \nabla(\Gamma_{\varphi}\nabla\varphi) + S_{\varphi} \quad (1)$$



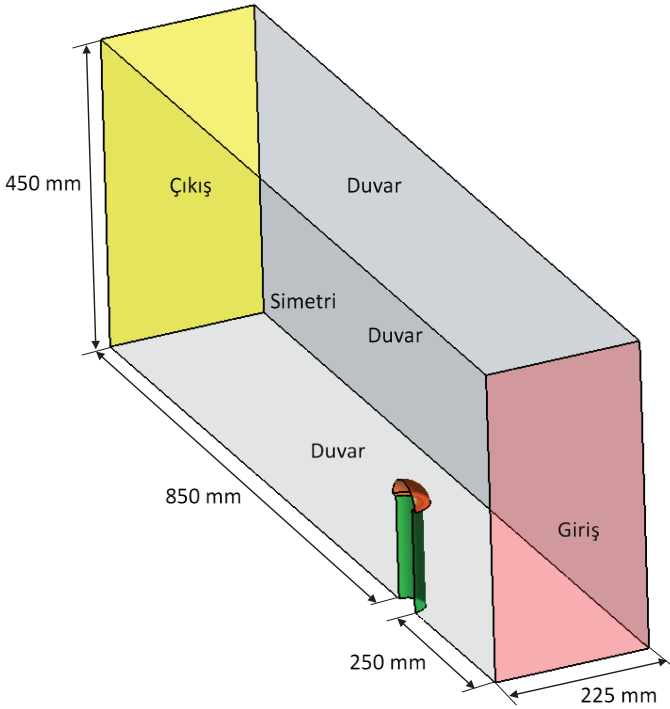
Burada, V hız vektörünü, ρ havanın yoğunluğunu, φ hız bileşenini, Γ_φ difüzyon katsayısını ve S_φ kaynak terimini temsil etmektedir.

Sayısal çözümlerde, SST k- ω türbülans modeli kullanılmıştır. Bu türbülans modeli, güçlü ters basınç gradyanına sahip sınır tabaka akışlarında oldukça başarılı sonuçlar vermektedir [14]. Menter [15] tarafından önerilen SST k- ω türbülans modeline ait transport denklemleri aşağıda verilmektedir

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \bar{G}_k - Y_k + S_k \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \omega) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \quad (3)$$

burada \bar{G}_k türbülans kinetik enerji üretimini, G_ω özgül yutulma üretimini, Γ_k türbülans kinetik enerjisinin difüzyon etkisini, Γ_ω özgül yutulmanın difüzyon etkisini, S_k ve S_ω kaynak terimlerini ve D_ω karşıt difüzyon terimini ifade etmektedir.

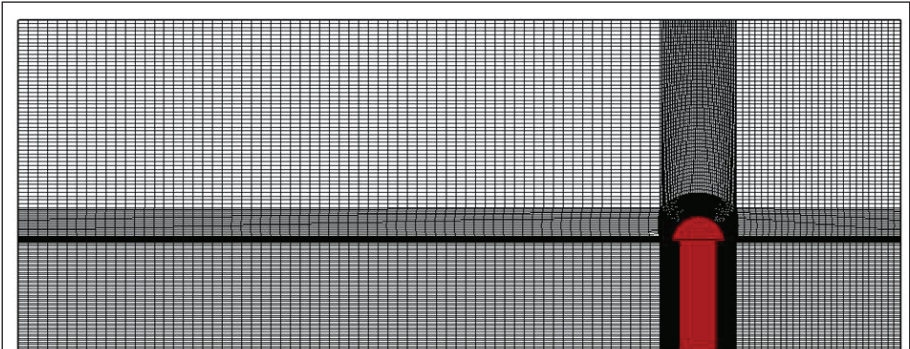


Şekil 3. Akış Alanı Yerleşim Düzeni ve Sınır Koşulları

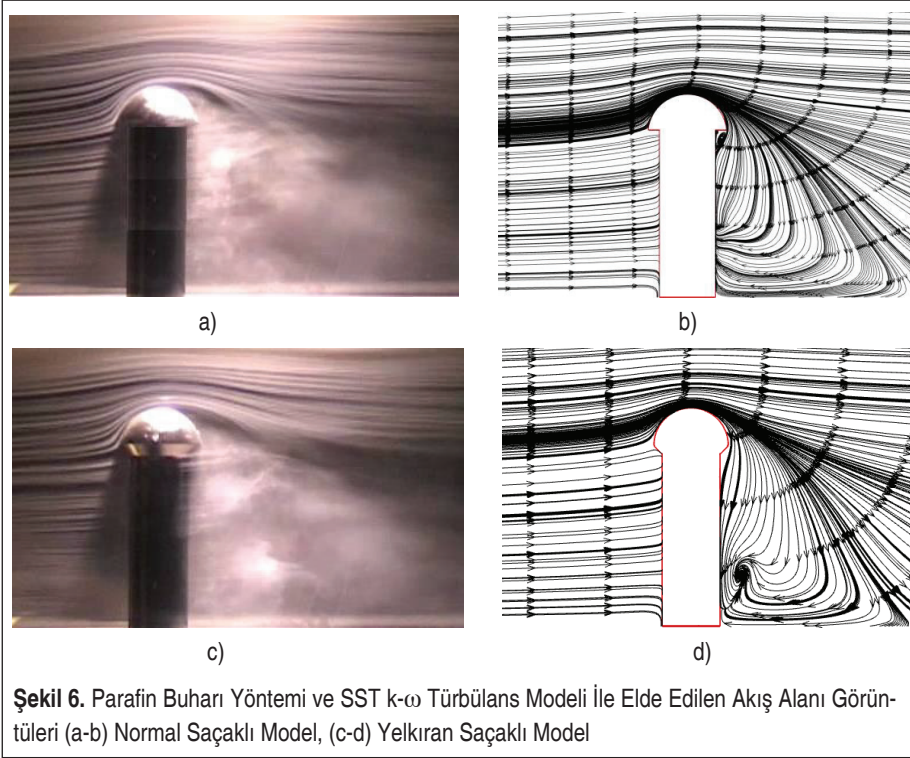
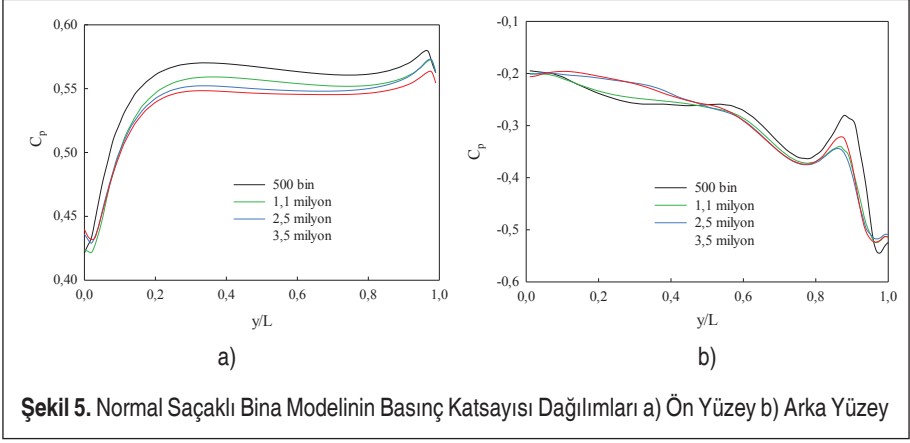


Bina modelinin üç boyutlu akış alanındaki yerleşim düzeni ve öngörülen sınır koşullarının belirtildiği hesaplama alanı Şekil 3'te verilmektedir. Bina modeli giriş bölgesinden itibaren 1.7 H mesafede konumlanmıştır. Modelin simetrik çözüme uygun olması nedeniyle, fazla ağ yapısından kaçınmak ve hesaplama zamanını azaltmak için akış alanı literatürde de yaygın uygulandığı şekliyle yarım model olarak oluşturulmuştur. Akış alanı için sınır şartları, girişte ve çıkışta sırasıyla hız girişi (velocity-inlet) ve basınç çıkışı (pressure-outlet), simetri özelliğinin uygulandığı yüzeyde simetri (symmetry) ve diğer yan yüzeylerde ise kaymayan duvar (wall) şeklinde uygulanmıştır. Kentsel arazi için oluşturulmuş ortalama hız ve türbülans profilleri “User Defined Function (UDF)” kullanılarak giriş şartı olarak verilmiştir. Korunum denklemleri, ANSYS Fluent 18.0 paket programı kullanılarak sonlu hacimler yöntemi ile ayrıklaştırılarak çözülmüştür. Basınç-hız çiftinin çözümünde SIMPLEC algoritması kullanılmıştır. Basınç interpolasyonu için Standard, diğer değişkenlerin (momentum, türbülanslı kinetik enerji ve türbülans dağılım hızı) ayrıklaştırılmasında ise Second Order Upwind yöntemi tercih edilmiştir. Tüm denklemler için yakınsama kriteri 10^{-5} olarak belirlenmiştir.

Modeller etrafındaki ağ yapısı ICEM CFD programı kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 4). Akış alanında dörtgen tabanlı üç boyutlu hexahedron ağ yapısı kullanılmıştır. Bina modelleri etrafında daha yoğun ağ kullanılırken, akış alanının diğer bölgelerinde ise seyrek ağ düzeni tercih edilmiştir. Sayısal çalışmada sonuçların ağ sayısından etkilenmemesi için öncelikle ağdan bağımsızlık çalışması yapılmıştır. Dört farklı ağ yoğunluğunda (yaklaşık 500 bin, 1.1 milyon, 2.5 milyon ve 3.5 milyon), normal saçak tipine sahip bina modelinin silindirik yan yüzeylerinde hesaplanan basınç katsayısı değerleri karşılaştırmalı olarak Şekil 5'te verilmiştir. Yapılan ağdan bağımsızlık çalışmaları sonucunda, 2.5 milyon hücre sayısından sonra sonuçların ihmal edilebilir düzeyde değiştiği görülmüş ve çalışma, bu ağ yoğunluğunda sürdürülmüştür. Tüm model yüzeylerinde $y^+ \approx 2$ değerinde gerçekleşmiştir.



Şekil 4. Ağ Yapısı



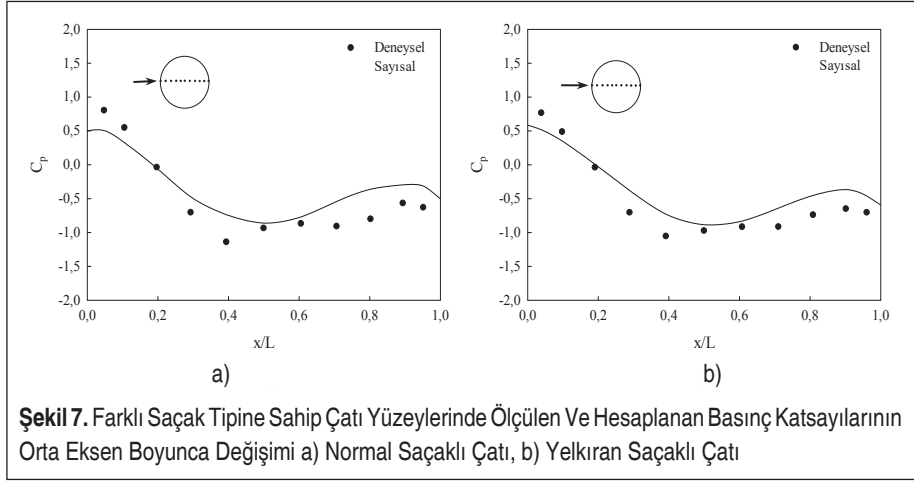
4. BULGULAR

İki farklı saçak tipine sahip yarı küresel çatılı silindirik bina modelleri etrafında parafin buharı tekniği ile deneysel olarak elde edilen ve SST $k-\omega$ türbülans modeli kullanılarak hesaplanan akış alanı görüntüleri karşılaştırmalı olarak Şekil 6' da verilmektedir.

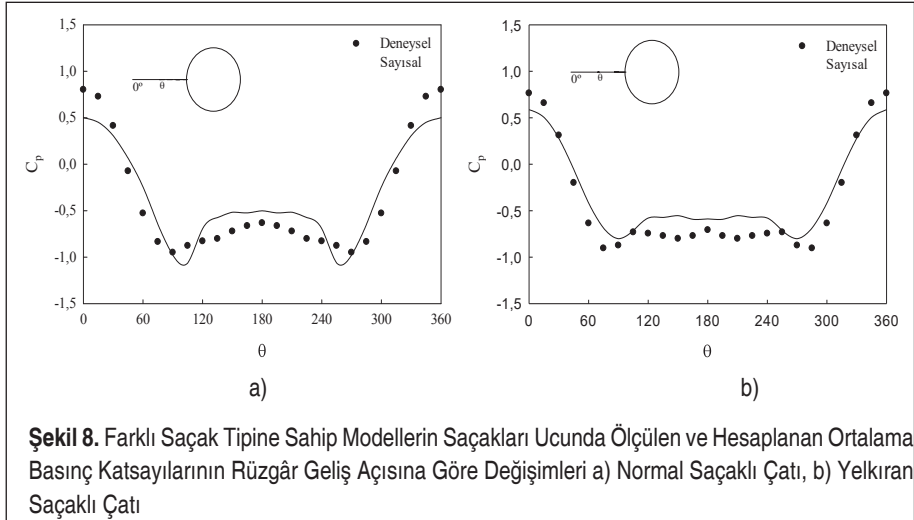


Saçak tipindeki farklılık akış alanlarında belirgin bir değişiklik oluşturmamaktadır. Modellerin üzerine gelen akış, çatı yüzeylerini takip ederek, çatıların tepe noktalarından itibaren ayrılmakta ve modellerin arkasında ters akış bölgeleri oluşturmaktadır. Modellerin arkasında oluşan ters akış bölgelerine bağlı olarak, karışım tabakası alçalmaktadır. Sayısal çözümlerden elde edilen akış yapısının, genel olarak akış görüntüleme fotoğrafları ile uyumlu olduğu görülmektedir.

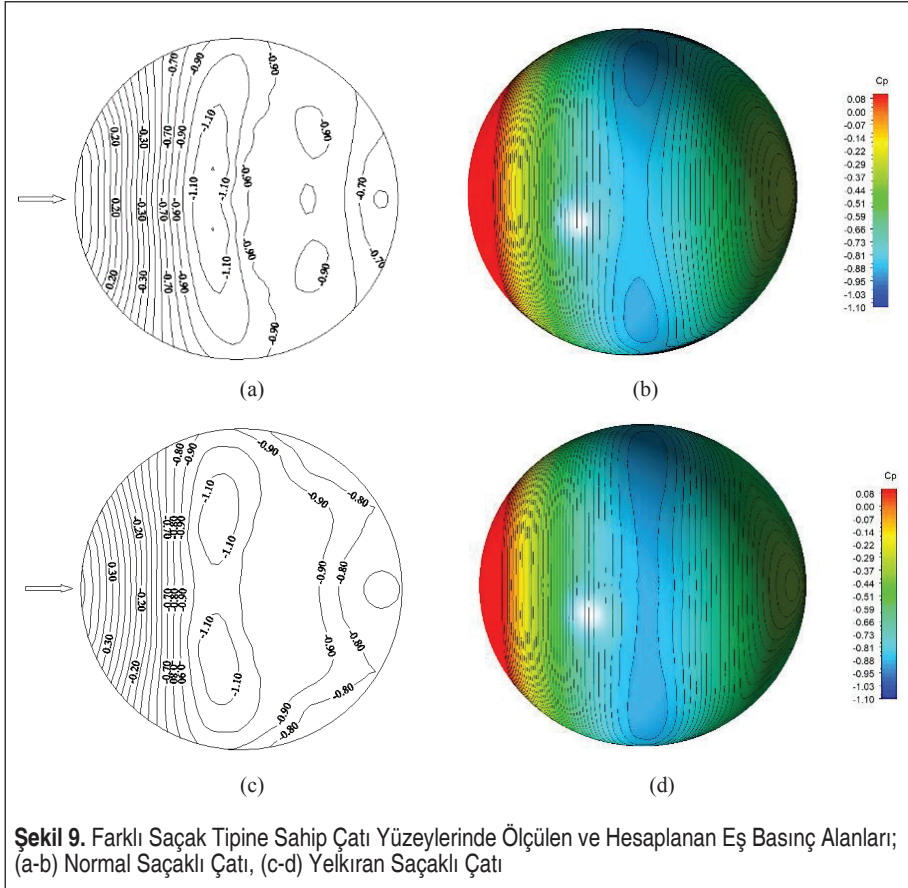
Normal ve yelkıran saçak tipine sahip modellerin, çatı yüzeylerinde ölçülen ortalama basınç katsayılarının orta eksen boyunca değişimleri, sayısal çözümlerle hesaplanan ortalama basınç dağılımları ile birlikte karşılaştırmalı olarak Şekil 7’de verilmektedir.



Şekil 7. Farklı Saçak Tipine Sahip Çatı Yüzeylerinde Ölçülen Ve Hesaplanan Basınç Katsayılarının Orta Eksen Boyunca Değişimi a) Normal Saçaklı Çatı, b) Yelkıran Saçaklı Çatı



Şekil 8. Farklı Saçak Tipine Sahip Modellerin Saçakları Ucunda Ölçülen ve Hesaplanan Ortalama Basınç Katsayılarının Rüzgâr Geliş Açısına Göre Değişimleri a) Normal Saçaklı Çatı, b) Yelkıran Saçaklı Çatı



dir. Rüzgâra doğrudan maruz kalan çatıların ön kısmında basınç katsayıları pozitif değerler almaktadır. Çatıların tepe noktasına yakın bölgeden ayrılan akış nedeniyle, çatıların yüzeylerinin büyük bölümünde basınç katsayıları negatif olmaktadır. En kritik emme basıncı, akış ayrılmasının olduğu tepe bölge yakınında ($x/L=0,4$ civarında) oluşmakta ve çatı arka yüzeyi boyunca kademeli olarak azalmaktadır.

Farklı saçak tipine sahip modellerin saçakları ucunda ölçülen ve hesaplanan ortalama basınç katsayılarının rüzgâr geliş açısı θ ya göre (dairesel saçak çevresi boyunca) değişimleri Şekil 8’de verilmektedir. Gelen akışa doğrudan maruz kalan saçak bölgesinde basınç katsayıları pozitif olmakta ve rüzgâr geliş açısının artmasıyla basınç katsayıları negatif değerler almaktadır. $\theta=90^\circ$ konumunda akış ayrılması nedeniyle en kritik negatif değerleri alan basınç katsayıları daha büyük rüzgar geliş açılara karşılık gelen saçakların arka bölgelerinde daha hafif ve yaklaşık üniform emme etkisi göstermektedir. Model geometrisine bağlı olarak, saçak ucunun $\theta=180^\circ$ konumun-



dan itibaren basınç dağılımları simetrik olmaktadır. Normal ve yelkırın saçak tipine sahip çatı modelleri yüzeylerinde ölçülen ve hesaplanan basınç dağılımları karşılaştırıldığında, hem her iki saçak tipine ait sonuçların birbirine çok yakın olduğu hem de deneysel ve sayısal basınç dağılımlarının oldukça uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 7-8). Deneysel ve sayısal sonuçlar arasındaki fark ortalama % 8 düzeyinde olmaktadır.

Normal ve yelkırın saçak tipine sahip çatıların yüzeylerinde ölçülen ve hesaplanan ortalama basınç dağılımları, eş basınç alanları olarak Şekil 9’ da verilmektedir. Her iki saçak tipinde de, çatı yüzeylerinde deneysel ve sayısal olarak elde edilen basınç dağılımlarının birbiriyle uyumlu, rüzgara doğrudan maruz kalan ön çatı bölgeleri dışında çatıların yüzeylerinin büyük kısmında basınç katsayılarının negatif olduğu ve yarı küresel çatı yüzeylerinin yatay orta eksen çizgisine göre simetrik olduğu görülmektedir. En kritik negatif basınçlar, akış ayrılması nedeniyle modellerin tepe noktasına yakın bölgede, $c_p=-1,1$ olarak elde edilmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, farklı iki saçak tipi için (normal ve yelkırın saçak) yarı küresel çatı geometrisine sahip silindirik bina modelleri etrafındaki akış alanları deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Her iki saçak tipinde de gelen akış çatı yüzeyini takip etmekte ve tepe noktasına yakın bölgede akış ayrılmaktadır. Akış ayrılması nedeniyle modellerin arkasında ters akış bölgeleri oluşmaktadır.
- Yarı küresel çatıların tepe noktasına yakın bölgede gerçekleşen akış ayrılmaları nedeniyle, bu bölgelerde kritik negatif basınçlar oluşmaktadır. En kritik negatif basınçlar, $x/L=0,4$ civarında oluşmakta ve çatıların arka bölgesinde kademeli olarak azalmaktadır.
- Gelen akışa doğrudan maruz kalan saçak bölgesinde basınç katsayıları pozitif olmakta ve rüzgar geliş açısının artmasıyla basınç katsayıları negatif değerler almaktadır. $\theta=90^\circ$ konumunda akış ayrılması nedeniyle basınç katsayıları en kritik negatif değerleri almaktadır. $\theta=180^\circ$ konumundan itibaren basınç dağılımları simetrik olmaktadır.
- Hem normal hem de yelkırın saçak tipine sahip yarı küresel çatılardaki basınç dağılımları benzer eğilime sahiptir.
- Modellerin bütün yüzeyleri üzerinde, SST k- ω türbülans modeliyle hesaplanmış ortalama basınç dağılımlarının deneysel verilerle uyumlu olduğu görülmektedir.

SEMBOLLER

D_∞ Karşıt difüzyon



| | |
|-------------------|--|
| g | Yerçekimi ivmesi [m/s ²] |
| \bar{G}_k | Türbülans kinetik enerji üretimi |
| G_{ω} | Özgül yutulma üretimi |
| k | Türbülans kinetik enerjisi [m ² /s ²] |
| p | Basınç [Pa] |
| S_k, S_{ω} | Kaynak terimi |
| t | Zaman [s] |
| u | Havanın hızı [m/s] |

GreK Semboller

| | |
|-------------------|---|
| ρ | Havanın yoğunluğu [kg/m ³] |
| μ | Dinamik viskozite [kg/ms] |
| ω | Özgül yutulma |
| Γ_k | Türbülans kinetik enerjisinin difüzyon etkisi |
| Γ_{ω} | Özgül yutulmanın difüzyon etkisi |

KAYNAKÇA

1. **Sabransky, I.J., Melbourne, W.H.** 1987. "Design Pressure Distribution on Circular Silos with Conical Roofs", J. Wind Eng. Ind. Aerod., 26(1), 65-84.
2. **Portela, G., Godoy, L.A.** 2005a. "Wind Pressures and Buckling of Cylindrical Steel Tanks with a Conical Roof", J. Constr. Steel Res., 61, 786-807.
3. **Portela, G., Godoy, L.A.** 2005b. "Wind Pressures and Buckling of Cylindrical Steel Tanks with a Dome Roof", J. Constr. Steel Res., 61, 808-824.
4. **Afgan, I., Moulinec, C., Prosser, R., Laurence, D.** 2007. "Large Eddy Simulation of Turbulent Flow for Wall-Mounted Cantilever Cylinders of Aspect Ratio 6 and 10", Int. J. Heat Fluid Fl., 28, 561-574.
5. **Uematsu, Y., Moteki, T., Hongo, T.** 2008. "Model of Wind Pressure Field on Circular Flat Roofs and its Application to Load Estimation", J. Wind Eng. Ind. Aerod., 96, 1003-1014.
6. **Tavakol, M.M., Yaghoibu, M., Masoudi, M.M.** 2010. "Air Flow Aerodynamic on a Wall-Mounted Hemisphere for Various Turbulent Boundary Layers", Exp. Therm. Fluid Sci., 34, 538-553.
7. **Cheng, C.M., Fu, C.L.** 2010. "Characteristics of Wind Loads on a Hemispherical Dome in Smooth Flow and Turbulent Boundary Layer", J. Wind Eng. Ind. Aerod., 98, 328-344.
8. **Tsutsui, T.** 2012. "Flow Around a Cylindrical Structure Mounted in a Plane Turbulent Boundary Layer", J. Wind Eng. Ind. Aerod., 104-106, 239-247.



9. **Özmen, Y.** 2013. “Effect of Parapets to Pressure Distribution on Flat Top of a Finite Cylinder”, *Wind and Structures*, 17 (5), 465-477.
10. **Sumner, D., Rostamy, N., Bergstrom, N., Bugg, J.D.** 2015. “Influence of Aspect Ratio on the Flow Above the Free End of a Surface-Mounted Finite Cylinder”, *Int. J. Heat Fluid Fl.*, 56, 290-304.
11. **Özmen, Y., Aksu, E.** 2017. “Wind Pressures on Different Roof Shapes of a Finite Height Circular Cylinder”, *Wind and Structures*, 24 (1), 25-41.
12. **Beitel, A., Heng, H., Sumner, D.** 2019. “The Effect of Aspect Ratio on the Aerodynamic Forces and Bending Moment for a Surface-Mounted Finite-Height Cylinder”, *J. Wind Eng. Ind. Aerod.*, 186, 204-213.
13. **Beitel, A., Sumner, D.** 2020. “Characteristics of the Free-End Mean Pressure Distribution for a Surface-Mounted Finite-Height Cylinder”, *Int. J. Heat Fluid Fl.*, 82, 108562.
14. **Argyropoulos, C.D., Markatos, N.C.** 2015. “Recent Advances on the Numerical Modelling of Turbulent Flows”, *Appl. Math. Model.*, 39, 693-732.
15. **Menter, F.R.** 1994. “Two Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications”, *AIAA J.*, 32, 1598-1605.