

BEŞGEN KESİTLİ SİLİNDİR YÜZEYLERİNDEN UYGULANAN ÜFLEME VE EMMENİN AERODİNAMİK PARAMETRELER ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Mir Elyad Vakhshouri¹
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

Burhan Çuhadaroğlu²
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

ÖZET

Bu çalışmada; bir akış içerisinde yer alan beşgen kesit geometrisine sahip silindirin delikli yüzeylerinden yapılan üniform üfleme-emme uygulamasının aerodinamik parametreler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Reynolds sayısının 22000 değerinde sıkıştırılmaz akış için yapılmış olan çalışmada grup ortalamalı (ensemble average) Navier-Stokes denklemleri üzerinde Kato ve Launder iyileştirmesi [Kato ve Launder, 1993] uygulanmış ve standard $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılarak sonlu hacim yöntemi (finite volume method) ile çözümlenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgulara göre; direnç ve basınç katsayısı gibi parametreler belirli durumlarda üfleme/emme katsayısı (Γ) ve delikli yüzey konumuna bağlı olarak önemli ölçüde etkilenmektedir. Buna göre direnç katsayısındaki en fazla düşüş; yüzeyler arasındaki en düşük toplam basınç farkının ortaya çıktığı durum olan tüm yüzeylerden $\Gamma=0.2$ ve ön yüzeylerden $\Gamma=0.4$ ile yapılan üflemede ortaya çıkmaktadır. Ayrıca beşgen kesitli silindirin en/boy oranının (AR) azalması ile birlikte (boydaki artış ile) $AR=1$ 'e kıyasla direnç katsayısının $AR=0.5$ için %8 ve $AR=0.25$ değeri için de yaklaşık %14 düzeyinde azalmakta olduğu görülmüştür.

GİRİŞ

Akış alanında yer alan küt cismin akışkan ile olan etkileşimi sonucunda ortaya çıkan problemler, endüstriyel ve mühendislik uygulamalarının tasarım aşamasında en önemli parametre olarak göz önüne alınmaktadır. Bu bağlamda titreşim, dinamik yüklenme, kaldırma ve direnç, akustik olaylar ve ısı transferinin iyileştirilmesi gibi problemler için akış kontrol yöntemleri kullanılarak cisimler etrafındaki akış karakteristiklerinin iyileştirilmesi sağlanmaktadır.

Cismin yüzeyinden yapılan üfleme ve emme, sınır tabaka özelliklerini kontrol etmek için uygulanan etkili bir aktif akış kontrol yöntemi olarak bilinmektedir. Bu yöntem sayısal ve deneysel akışkanlar dinamiği alanında önemli bir inceleme konusu olup araştırmacılar tarafından incelenmeye devam etmektedir. Yüzeyden yapılan üfleme ve emme sayesinde cisim üzerindeki basınç dağılımı, cismin direnç ve kaldırma katsayısı, girdap kopma frekansları ve ısı transferi gibi aerodinamik ve ısı parametreler denetim altına alınabilmektedir.

Literatürde dairesel, kare, dikdörtgen kesitli küt cisim yüzeyinden yapılan üfleme ve emme durumuna ilişkin kısıtlı sayıda deneysel ve sayısal çalışmaların yer almasına karşın [Lyn ve diğerleri, 1995; Durao ve diğerleri, 1988; Turhal ve Çuhadaroğlu, 2010; Lee, 1975; Bearman ve Obasaju, 1982] bu klasik geometriler dışında kesite sahip küt cisimlerin yüzeyinden yapılan üfleme/emme durumuna ilişkin çalışma mevcut değildir. Bu çalışmada pratik uygulamalarda yaygın olarak yer almayan, uzay ve hava taşıtları, füze, gemi ve torpido gibi taşıtların geometrisini

¹ Ph. D., Makine Müh. Böl., E-posta: elyadv@ktu.edu.tr

² Prof. Dr., Makine Müh. Böl., E-posta: burhan@ktu.edu.tr

modellemek üzere farklı en/boy (AR) oranlarına sahip beşgen kesitli silindirin etrafındaki akış değerlendirilmiş ve hesaplamalar yapılmıştır. Literatürde henüz incelenmemiş olan bu geometri için çeşitli yüzeylerden yapılan üfleme-emmenin özellikle direnç katsayısı açısından kare kesitli geometriye göre belirgin bir iyileştirme sağlamakta olduğu görülmüştür.

YÖNTEM

Hesaplama Bölgesi ve Sınır Koşulları

Çalışmada Kato ve Launder iyileştirmesinin uygulandığı standart k - ε türbülans modeli kullanılmıştır. Kato ve Launder iyileştirmesi, durma bölgelerinde ortaya çıkan türbülans kinetik enerjisinin aşırı üretiminin önüne geçmekte olup, iz bölgesindeki girdap hareketinin simetri eksenini düşey yönde geçmesini sağlamaktadır. Türbülans kinetik enerjisinin üretimi, Kato-Launder iyileştirmesi ile şekil değiştirme hızı ve vortisiteye bağlı olarak ifade edilmektedir:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + P_k - \varepsilon \quad (1)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_1 P_k \frac{\varepsilon}{k} - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2)$$

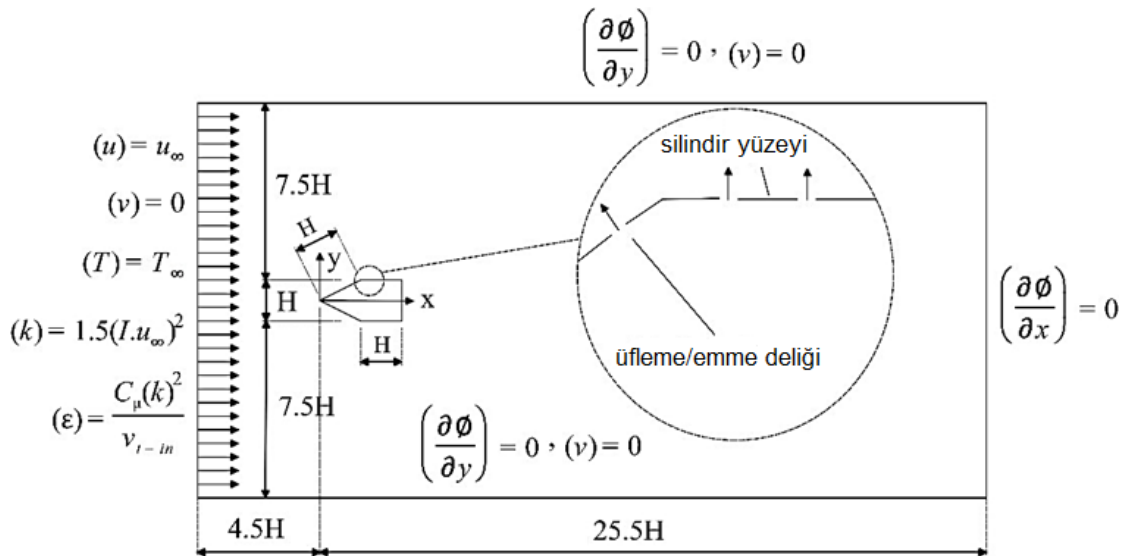
$$\nu_t = \frac{C_\mu k^2}{\varepsilon} \quad (3)$$

$$P_k = C_\mu \varepsilon S \Omega \quad (4)$$

$$S = \frac{k}{\varepsilon} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)^2} \quad (5)$$

$$\Omega = \frac{k}{\varepsilon} \sqrt{\frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)^2} \quad (6)$$

Burada P_k ; türbülans kinetik enerjisi, S ; akışkanın simetrik şekil değiştirme tensörü ve Ω yerel vortisite parametresidir. k - ε türbülans modeli sabitleri ise; $\sigma_\varepsilon=1.3$ $C_1=1.44$, $C_2 = 1.92$ ve $C_\mu = 0.09$ olarak göz önüne alınmıştır. Çalışmada göz önüne alınan hesaplama bölgesi ve sınır koşulları Şekil 1'de görülmektedir. Giriş sınır sınır koşulları:



Şekil 1: Hesaplama Bölgesi ve Sınır Koşulları

$$(u = u_{\infty}), k = 1.5(I. u_{\infty})^2, \varepsilon = \frac{C_{\mu} k^2}{v_{t-in}}, T = T_{\infty} \quad (7)$$

olarak tanımlanmaktadır. Burada türbülans şiddeti I , %5'tir. Giriş sınırında türbülans kinetik enerjisinin yutulma değeri (ε); $r_{\mu} = \frac{v_{t-in}}{v}$ şeklinde tanımlanmış olan viskoziteler oranından hesaplanan v_{t-in} değerine bağlı olarak (3) eşitliğinden hesaplanmıştır. Literatürde $x/H = -4.5$ uzaklığındaki giriş sınırı için yaygın olarak önerilen $r_{\mu} = 100$ değeri esas alınmıştır (Bosch ve Rodi, 1998). Viskozite ise Sutherland yasası tarafından üç katsayı ile verilmektedir:

$$\mu = \mu_0 \left(\frac{T}{T_0} \right)^{3/2} \frac{T_0 + S}{T + S} \quad (8)$$

Burada $T_0 = 273.11$ K, $S = 110.56$ K ve referans viskozite $\mu_0 = 1.716 \times 10^{-5}$ kg/(ms) olarak tanımlanmıştır. Girişteki akışkan özellikleri ise $T_{\infty} = 373$ K, $Re = 21400$, $\rho = 1$ kg/m³ ve $u_{\infty} = 0.38$ m/s olarak kullanılmıştır.

Hesaplama bölgesinin alt ve üst (serbest) sınırlarında akış alanının tam gelişmiş olduğu göz önüne alınarak, değişkenlerin sınırların normali yönündeki gradyanlarının ve hızın sıfır değer aldığı koşul kullanılmıştır:

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial y} \right) = 0, v = 0 \quad (9)$$

Referans noktasından $x/H = 25.5$ uzaklığında yer alan çıkış sınırında, bütün değişkenler için akış yönünde sıfır gradyan koşulu kullanılmıştır:

$$\left(\frac{\partial \phi}{\partial x} \right) = 0 \quad (10)$$

Cismin alt ve üst yüzeylerinde;

$$(v = v_w), \Gamma = \left(\frac{v_w}{u_{\infty}} \right), k = 1.5(I. v_w)^2, \varepsilon = \frac{C_{\mu} k^2}{v_{t-in}}, T = T_w \quad (11)$$

sınır koşulları kullanılmıştır. Burada v_w sınırların normali yönündeki üfleme ve emme hızı olarak tanımlanmaktadır. Silindir yüzeyinin sıcaklığı ise $T_w = 273$ K olarak tanımlanmıştır. Ayrıca Γ sınırın normal yönünde yapılan üfleme/emme oranı olarak farklı sayısal ve deneysel çalışmalarla kıyaslamalar yapılması amacı ile tanımlanmıştır.

Arka yüzeyde de benzer şekilde;

$$(u = u_w), \Gamma = \left(\frac{u_w}{u_{\infty}} \right), k = 1.5(I. u_w)^2, \varepsilon = \frac{C_{\mu} k^2}{v_{t-in}}, T = T_w \quad (12)$$

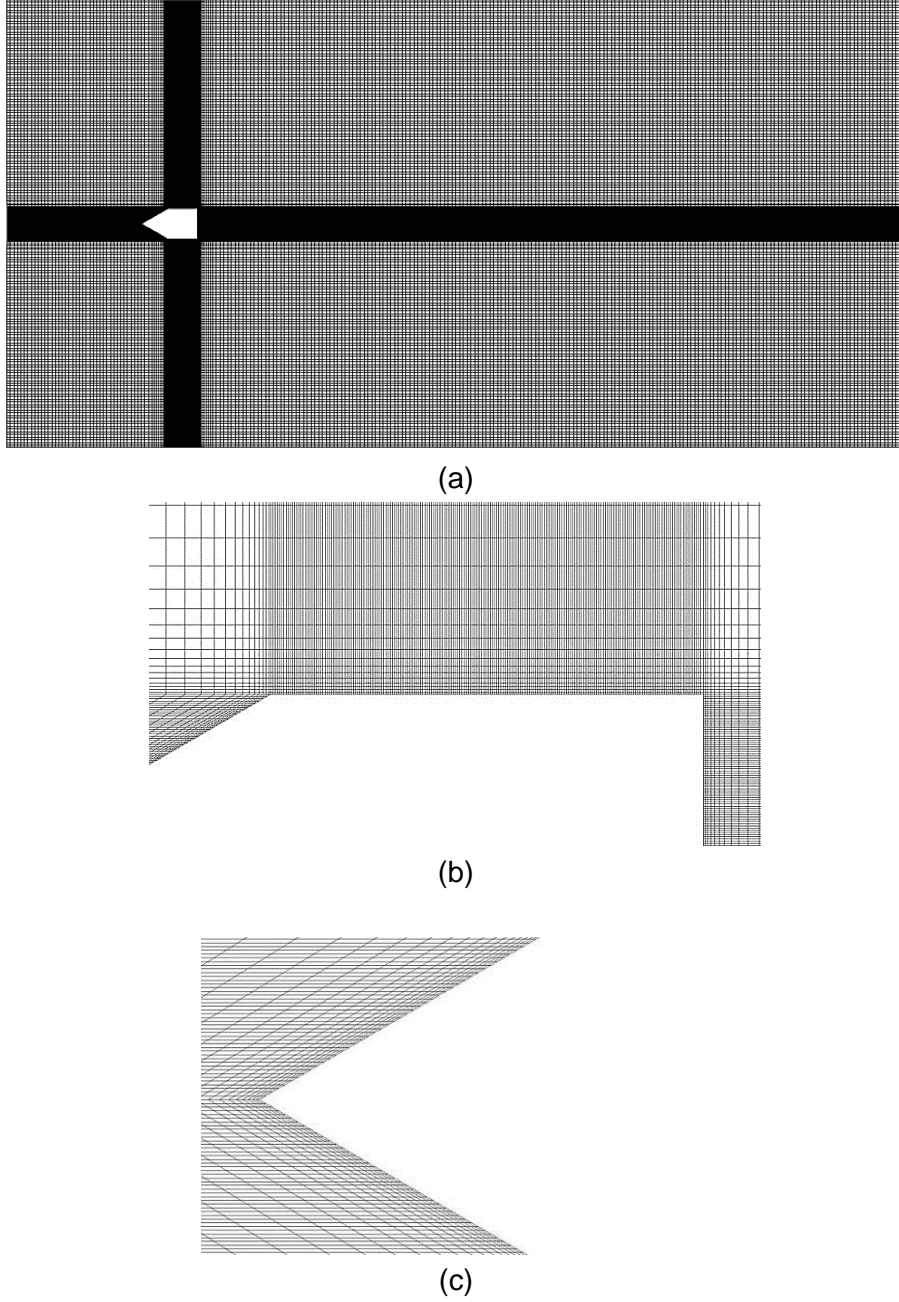
sınır koşulları kullanılmıştır. Burada u_w sınırların normali yönündeki üfleme ve emme hızı olarak tanımlanmıştır. Silindir yüzey sıcaklığı ise yine $T_w = 273$ K'dir.

Cismin ön yüzeylerinde;

$$(V = V_n), \Gamma = \left(\frac{V_n}{u_{\infty}} \right), k = 1.5(I. V_n)^2, \varepsilon = \frac{C_{\mu} k^2}{v_{t-in}}, T = T_w \quad (13)$$

koşulları kullanılmıştır. Burada V_n ön yüzeylerin normali yönündeki üfleme ve emme hızı olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca beşgen kesitli silindirler için en/boy oranı, $AR = H/L$ şeklinde olup, beşgenin genişliğinin kenar uzunluğuna oranı olarak tanımlanmıştır.

Yapılan çalışmadaki tüm simülasyonlarda, sıkıştırılmaz akış için SIMPLE algoritmasına dayalı olarak sonlu hacim yöntemi (Finite Volume Method) kullanılmıştır. Hesaplama bölgesinde yer alan silindirin geometrisi ve üfleme-emme durumuna bağlı olarak yapılandırılmış ağ sistemi kullanılmıştır (Şekil 2).



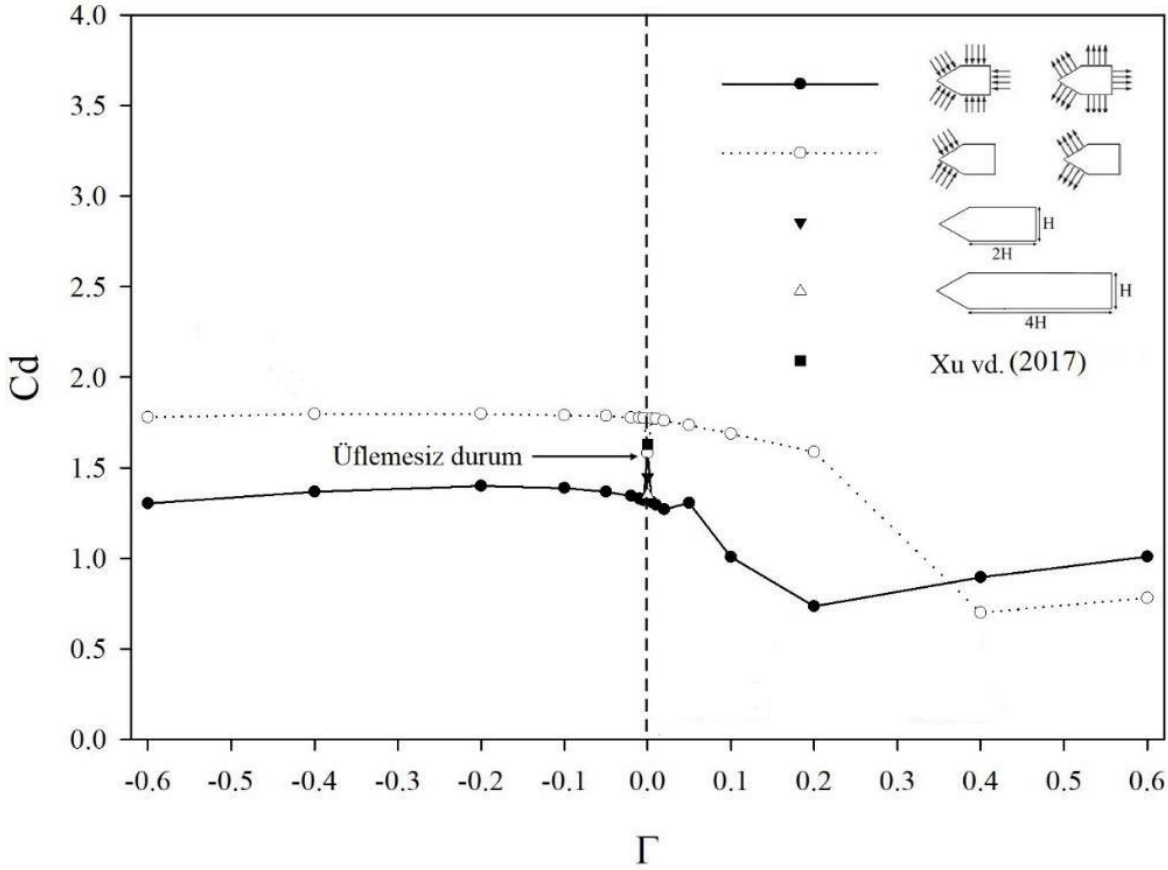
Şekil 2: Beşgen silindir durumu için hesaplama bölgesi; a) Tüm hesaplama bölgesi, b) ve c) Silindire yakın bölgenin büyütülmüş görünümü

UYGULAMA VE DEĞERLENDİRME

Üfleme ve Emmenin Direnç Katsayısı Üzerindeki Etkisi

Çalışmada göz önüne alınan beşgen kesitli konfigürasyonlara ait üfleme-emme uygulamasının direnç katsayısı üzerindeki etkisi Şekil 3'te görülmektedir. Üflemesiz duruma ait sonuçların doğruluğunun test edilmesi amacıyla literatürde [Xu vd., 2017] tarafından yapılmış olan deneysel çalışma ile kıyaslama yapılmış ve şekilde de görüldüğü gibi oldukça iyi bir uyum elde edilmiştir. Akış alanı içerisinde yer alan beşgen kesitli silindirin tüm delikli yüzeylerinden uygulanan üfleme ve emme ile birlikte üflemesiz duruma göre her durumda C_d direnç katsayısı düşmektedir. Tüm yüzeylerden uygulanan emmede direnç katsayısı emme katsayısı ile birlikte fazla bir değişim

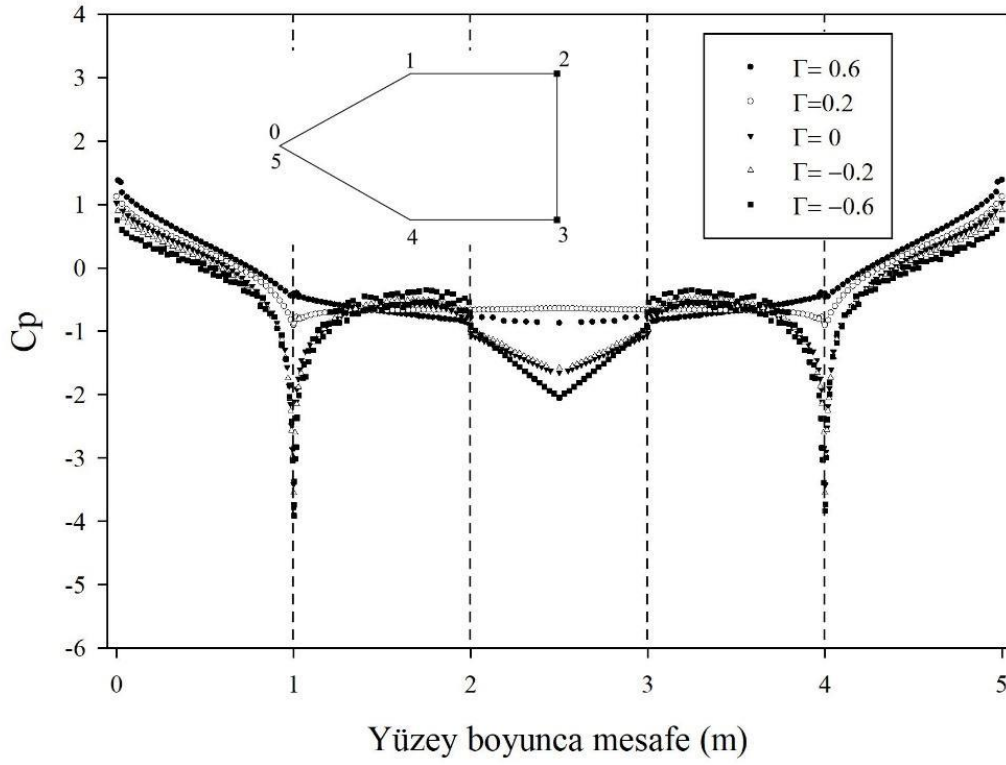
göstermezken, üfleme katsayısının artması ile birlikte direnç katsayısında önemli değişimler ortaya çıkmaktadır. Tüm yüzeylerden yapılan üflemede maksimum azalma üflemez duruma göre yaklaşık %53 olarak $\Gamma = 0.20$ değerinde ortaya çıkmıştır. Silindirin ön yüzeylerinden uygulanan üfleme ve emme durumunda direnç katsayısı $\Gamma \leq 0.20$ değeri aralığında hep üflemez duruma ait direnç katsayısının üzerinde değer almaktadır. $\Gamma = 0.4$ değerinde direnç katsayısında yaklaşık %56 düzeyinde en yüksek düşmenin olduğu görülmektedir. Ayrıca silindirin boyunun uzaması durumlarında $AR = 1$ 'e kıyasla direnç katsayısının $AR = 0.5$ için %8 ve $AR = 0.25$ değerleri için yaklaşık %14 azalmakta olduğu görülmektedir. Değişimlere genel olarak bakıldığında düzgün olmayan beşgen kesitli silindire direnç düşümünün sağlanmasında boydaki değişimden ziyade tüm yüzeylerden yapılan üfleme ve ön yüzeylerden $\Gamma \geq 0.4$ değerlerinde yapılan üflemin etkili olduğu anlaşılmaktadır.



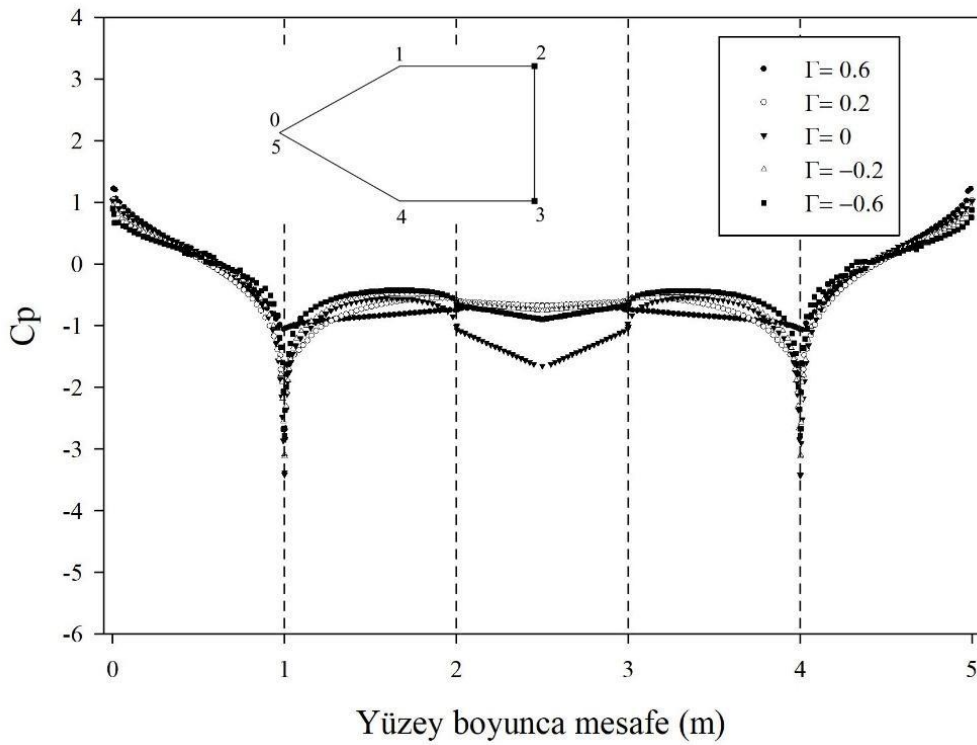
Şekil 3: Akış alanı içerisinde yer alan beşgen silindir için, direnç katsayısının Γ ile değişimi

Üfleme ve Emmenin Basınç Dağılımı Üzerindeki Etkisi

Beşgen silindir yüzeylerindeki ortalama basınç katsayısının (C_p) çevresel değişimi Şekil 4'te görülmektedir. Tüm yüzeylerden ve sadece ön yüzeylerden yapılan üfleme-emme uygulaması için ayrı ayrı çizilmiş olan değişimlerde beşgen silindirin simetrik yapısına uygun değişimlerin olduğu görülmektedir. Şekil 4a'da görülen tüm yüzeylerden yapılan emmede arka yüzey dışında üflemez durum ile oldukça benzer bir değişimin olduğu, sadece arka yüzeyden artan emme katsayısı ile basınç katsayısının biraz daha düşmekte olduğu görülmektedir. Tüm yüzeylerden yapılan üflemede ise yan ve üst-alt yüzeylerdeki basınç katsayılarının yaklaşık olarak aynı kaldığı ve yüzeyler arasındaki toplam basınç farkının oldukça azaldığı görülmektedir. Bu uygulamada direnç katsayısında görülen düşme de bu değişimden kaynaklanmaktadır. Ön yüzeylerden yapılan üfleme-emmede (Şekil 4b); her durumda silindir yüzeylerindeki basınç katsayısı değişimleri arasında belirgin bir fark ortaya çıkmamaktadır.



(a)



(b)

Şekil 3: Beşgen kesitli silindir yüzeylerindeki ortalama basınç katsayısının değişimi; a) Tüm yüzeylerden uygulanan üfleme-emme, b) Ön yüzeylerden uygulanan üfleme-emme

SONUÇ

Bu çalışmada; akış içerisinde durmakta olan beşgen kesitli geometriye sahip silindirin aktif akış kontrol yöntemi olan yüzeylerden yapılan üfleme-emme uygulamasının, akış alanı üzerindeki etkileri Reynolds sayısının $Re \cong 22000$ değerinde iki boyutlu olarak incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen bulgular, üfleme-emme yapılan çeşitli yüzey konfigürasyonları için üfleme-emme katsayısı $-0.6 \leq \Gamma \leq 0.6$ aralığındaki değerlere bağlı olarak hesaplanmıştır. Beşgen kesitli silindirin tüm üfleme-emme konfigürasyonları için yüzeylerden aynı düzeydeki üfleme ve emme katsayılı akışlarda üflemenin girdap bölgesinde yüksek enerjili (hızlı) bir akışa neden olduğu, emmenin ise düşük enerjili (hızlı) bir akış ortaya çıkardığı görülmüştür. Ayrıca, artan üfleme katsayısı ile birlikte cismin arkasındaki girdap şiddeti zayıflarken, emme durumunda her durumda üflemesiz duruma göre belirgin bir değişiklik ortaya çıkmamaktadır. Silindirin boyunun uzaması durumlarında $AR = 1$ 'e kıyasla direnç katsayısının $AR = 0.5$ için %8 ve $AR = 0.25$ değerleri için yaklaşık %14 azalmakta olduğu görülmüştür. Değişimlere genel olarak bakıldığında düzgün olmayan beşgen kesitli silindirlerde direnç düşümünün sağlanmasında boydaki değişimden ziyade tüm yüzeylerden yapılan üfleme ve ön yüzeylerden $\Gamma \geq 0.4$ değerlerinde yapılan üflemenin etkili olduğu anlaşılmıştır. Beşgen kesitli silindir için basınç dağılımları silindirin simetrik yapısına uygun değişimler göstermiştir. Bunun yanında, Ön yüzeylerden yapılan üfleme-emmede her durumda silindir yüzeylerindeki basınç katsayısı değişimleri arasında belirgin bir fark ortaya çıkmamıştır. Tüm yüzeylerden yapılan üfleme-emme durumunda arka yüzeydeki basınç dağılımı değerleri, artan emme ile düşmekte olup yüzeyler arasındaki toplam basınç farkı artmaktadır.

Kaynaklar

- Bearman, P.W. ve Obasaju, E.D., 1982. *An Experimental Study of Pressure Fluctuations on Fixed and Oscillating Square-Section Cylinders*, J. Fluid Mech., 119, 297-321.
- Bosch, G. ve Rodi, W., 1998. *Simulation of Vortex Shedding Past a Square Cylinder with Different Turbulence Models*, Int. J. Numer. Methods Fluids, 28, 601-616.
- Durão, D.F.G., Heitor, M.V. ve Pereira, J.C.F., 1988. *Measurements of Turbulent and Periodic Flows around a Square Cross-Section Cylinder*, Exp. Fluids, 6,5, 298-304.
- Kato, M. ve Launder, B.E., 1993. *The Modeling of Turbulent Flow Around Stationary and Vibrating Square Cylinders*, *In Proceedings of the Ninth Symposium on Turbulent Shear Flows*, Kyoto, s.10-14.
- Lee, B.E., 1975. *The Effect of Turbulence on the Surface Pressure Field of a Square Prism*, J. Fluid Mech., 69,2, 263-282.
- Lyn, D.A., Einav, S., Rodi, W. ve Park, J.H., 1995. *A Laser-Doppler Velocimetry Study of Ensemble-Averaged Characteristics of the Turbulent Near Wake of a Square Cylinder*, J. Fluid Mech., 304, 285-319.
- Turhal, A.O. ve Çuhadaroğlu, B., 2010. *The Effects of Surface Injection through a Perforated Square Cylinder on Some Aerodynamic Parameters*, Exp. Therm. Fluid Sci., 34,6, 725-735.
- Xu, S.J., Zhang, W.G., Gan, L., Li, M.G. ve Zhou, Y., 2017. *Experimental study of flow around polygonal cylinders*. J. Fluid Mech., Cilt.812, s. 251-278.