VI. ULUSAL HAVACILIK VE UZAY KONFERANSI **UHUK-2016-049**
28-30 Eylül 2016, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli

VORTEKS METODLARI KULLANILARAK DAİRESEL SİLİNDİR ETRAFINDAKİ AYRILMALI AKIŞLARDA AYIRICI LEVHA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Serkan MENGİ* ve A. Ruhşen ÇETE†
Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep

M. Fevzi ÜNAL‡
MEF Üniversitesi, İstanbul

ÖZET

Mühendislik alanında birçok uygulaması bulunması sebebiyle silindir etrafındaki karmaşık akış yapısının yüksek doğruluk ile modellenebilmesi oldukça önemlidir. Yapılan çalışmanın amacı, ayırıcı levha kullanımı ile silindir etrafındaki akışın pasif kontrolünü gerçekleştirmek ve sayısal olarak modellemektir. Navier-Stokes denklemleri kullanılarak elde edilen girdap aktarım denklemi (vorticity transport equation), yayınım (diffusion) ve taşınım (convection) olmak üzere iki kısma ayrılarak çözülmüştür. Hücre İçi Girdap (Vortex-In-Cell) yöntemi kullanılarak silindirler etrafındaki akış yapısı modellenmiştir. Kullanılan metot daimi olmayan akışların modellenmesine çok uygun bir tekniktir. Silindir etrafındaki akış modellemesinin doğruluğunun tespiti amacıyla sonuçlar deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler ile Strouhal sayısı beklendiği gibi deneysel veriler ile uyum göstermiştir. Ayırıcı levhanın iz frekansını düşürücü etkisi görülmüştür. Ayrıca ayırıcı levha kullanımı ile sürükleme katsayısının düz silindir durumdakine göre daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

*Araştırma Görevlisi, Uçak Müh. Böl., E-posta: mengis@gantep.edu.tr
†Yard. Doç. Dr., Uçak Müh. Böl., E-posta: arcete@gantep.edu.tr
‡Prof. Dr., E-posta: unalf@mef.edu.tr

GİRİŞ

Basit geometrik yapısı ve mühendislik alanında pratik olarak uygulanabilmesi sebebiyle silindir etrafındaki akış akademik olarak birçok çalışmanın konusu olmuştur. Basit bir geometrik yapıya sahip olmasına rağmen silindir etrafındaki akış yapısı Reynolds sayısına bağlı olarak büyük değişiklikler gösterir. Reynolds sayısının yaklaşık olarak 10^5 değerine kadar silindir etrafındaki girdap rejimi neredeyse aynı kalır [Gross ve Fasel , 2015]. Yüksek Reynolds sayılarında ($Re \sim 2x10^5$) ise sınır tabakanın ayrılması, iz bölgesinde büyük ölçekli girdap ve sınır tabaka içerisinde küçük ölçekli girdap yapılarının oluşması ile silindir etrafında karmaşık bir akış rejimi meydana gelir [Rodriguez vd., 2015]. Akım ayrılması sebebiyle silindirin arka kısmında önemli derecede basınç düşümü gerçekleşir. Bunun sonucunda yüksek bir sürükleme kuvveti ortaya çıkar. Akış rejiminin iyi anlaşılması, yüksek doğruluk ile modellenmesi ve aktif/pasif olarak akış kontrolünün yapılması silindir üzerinde oluşan sürükleme kuvvetinin azaltılmasında önemli rol oynar.

Yapılacak olan çalışmanın amacı ayırıcı levhanın silindir etrafındaki akış rejimi üzerine olan etkisinin incelenmesidir. Çalışmanın ilk aşamasında silindir etrafındaki akış rejimi Hücre İçi Girdap (Vortex-in-Cell) metodu kullanılarak sayısal olarak modellenecektir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise yine aynı metod kullanılarak ayırıcı levha ile birlikte silindir etrafındaki akış yapısı sayısal olarak modellenecektir. Yapılan bu iki çalışma birbirleri ile kıyaslanarak ayırıcı levhanın akış yapısına olan etkisi incelenecektir. Hücre İçi Girdap yönteminin doğruluğunun tespit edilmesi için elde edilen sayısal veriler deneysel sonuçlar ile karşılaştırılacaktır. Bu çerçevede hem sayısal [Çete ve Ünal, 1992; Ünal, Yılmaz ve Çete, 1992] hem de deneysel [Ünal ve Rockwell, 1987; Akıllı, Şahin, ve Tümen, 2005; Apelt, West ve Szewczyk, 1973; Gerrard, 1966] oldukça fazla çalışma mevcuttur. Benzer bir çalışma tez olarak daha önce yapılmıştır [Mısırlıoğlu, 1992]. Fakat tez çalışmasında deneysel karşılaştırma oldukça farklı Reynold sayılarında gerçekleştirilmiştir.

YÖNTEM

Silindir etrafındaki 2 boyutlu akış için Girdap aktarım denklemi (vorticity transport equation) Chorin [1973] tarafından önerilen yöntem kullanılarak sayısal olarak modellenmiştir. Bu yönteme göre Girdap aktarım denklemi, girdap yayınımı (diffusion of vorticity) ve girdap taşınımı (convection of vorticity) olmak üzere iki temel denkleme ayrılır. Bu denklemler farklı çözüm yöntemleri kullanılarak sayısal olarak modellenir. Sayısal çözüm için kullanılan yöntemlerin detayları alt başlıklar halinde anlatılacaktır.

Korunum Denklemleri

İki boyutlu akış için Navier-Stokes denklemleri yerçekimi ihmal edildiği durumlarda şu şekilde ifade edilebilir;

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + \nu\left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right] \tag{1}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial y} + \nu\left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right] \tag{2}$$

Eş.(1) ve Eş.(2) kullanılarak ve basınç terimi ihmal edilerek girdap taşınım denklemi şu şekilde elde edilir;

$$\frac{Dw}{Dt} = \nu\nabla^2 w \tag{3}$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + (U\cdot\nabla)w = \nu\nabla^2 w \tag{4}$$

Girdap taşınım denkleminin boyutsuz hali 2 boyutlu akış için şu şekilde ifade edilebilir;

$$\frac{Dw}{Dt} = \frac{1}{Re}\nabla^2 w \tag{5}$$

Sayısal çözüm için kullanılan yönteme göre Eş.(5) girdap yayınımı ve girdap taşınımı olmak üzere iki kısma ayrılır ve sayısal çözüm esnasında bu iki kısım eş zamanlı çözülmek yerine sıralı olarak çözülür [Chorin, 1973]. Girdap yayınım denklemi şu şekilde yazılabilir;

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{1}{Re}\nabla^2 w \tag{6}$$

Girdap taşınım denklemi ise şu şekilde ifade edilebilir;

$$\frac{\partial w}{\partial t} = -(U \cdot \nabla)w \tag{7}$$

Eğer Eş. (6) ve (7) için çözümleri sırasıyla D(t) ve C(t) olarak ifade edersek sayısal çözüm için algoritma şu şekilde yazılabilir;

$$w(m\Delta t) = D(\Delta t)C(\Delta t)^m w(0) \tag{8}$$

Eş. (8)'de $w(m\Delta t)$ ve $w(0)$ ifadeleri sırası ile m zaman adımından sonra gerçekleşen girdap dağılımını ve başlangıç durumundaki girdap dağılımlarını göstermektedir.

Girdap Yayınımı

İki boyutlu akış girdap yayınım denkleminin boyutsuzlaştırılmış hali şu şekilde ifade edilebilir;

$$\frac{\partial w}{\partial t} = \frac{1}{Re}\left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right] \tag{9}$$

Denklemde yer alan Reynolds sayısı, silindir çapı (D) ve serbest akım hızı (U_∞) hızına bağlı olarak hesaplanır. Eş. (9)'da girdap ifadesi yerine çözüm ağı sirkülasyon terimi kullanılırsa denklem yeni ifadesi ile şu şekilde yazılabilir;

$$\frac{\partial(\Gamma/A)}{\partial t} = \frac{1}{Re}\left[\frac{\partial^2(\Gamma/A)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\Gamma/A)}{\partial y^2}\right]\left|\frac{d\zeta}{dz}\right|^2 \tag{10}$$

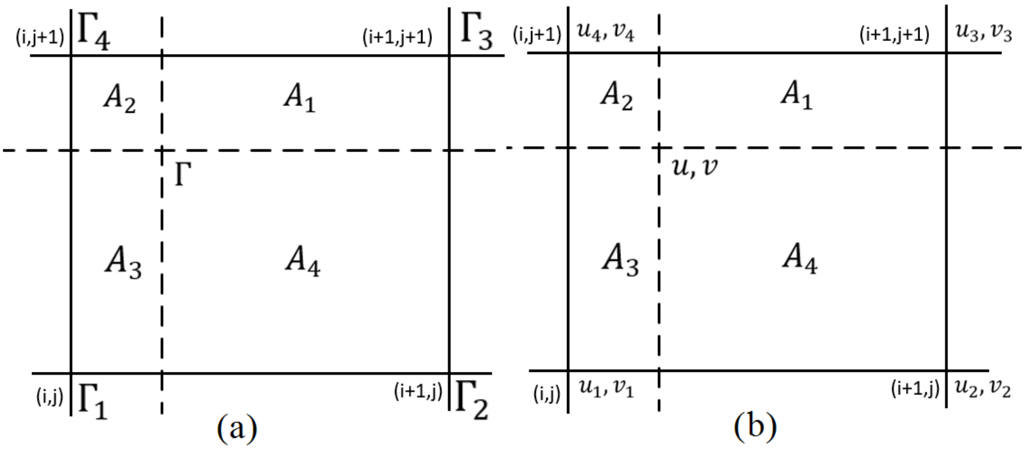
Eş. (10)'da yer alan $\left|\frac{d\zeta}{dz}\right|^2$ terimi konformal dönüşüm ile yapılmış çözüm ağının hesaplama düzleminde hesap yapılması için kullanılan dönüşüm modülü çarpanıdır. Sonlu farklar yöntemi kullanılarak Eş. (10) x yönünde açık (explicit), y yönünde ise kapalı (implicit) olacak şekilde ayrıklaştırılır. Ayrıklaştırılmış denklem ise şu şekilde ifade edilebilir;

$$w_{i,j}^k = w_{i,j}^n + \Delta t\nu\left[\frac{w_{i-1,j} - 2w_{i,j} + w_{i+1,j}^n}{\Delta x_i^2} + \frac{2s}{s+1}\frac{sw_{i,j-1} - (1+s)w_{i,j}^n + w_{i,j+1}}{\Delta y_j^2}\right]\left|\frac{d\zeta}{dz}\right|_{i,j}^2 \tag{11}$$

Girdap Taşınımı

Girdap yayınımı denklemleri kullanılarak elde dilen çözümde birçok girdap ortaya çıkar. Hücre içi girdap yöntemi ile bu girdaplar kullanılarak taşınım hızları hesaplanır. Hücre içi girdap yöntemi ile her bir çözüm ağı noktalarındaki toplam sirkülasyon değeri çözüm ağı noktalarında bulunan girdapların bilineer alan ağırlıklı (bilinear area weighting scheme) değerleri dikkate alınarak hesaplanır. Girdap sirkülasyonunun Γ olduğunu kabul edersek, kartezyen bir çözüm ağı yapısı için bu sirkülasyonun her bir nokta üzerine olan etkisi şu formül ile hesaplanabilir;

$$\Gamma(i) = \frac{\Gamma A_i}{\sum_{k=1}^{4} A_k} \tag{12}$$



Şekil 1: (a)Sirkülasyon ve (b)hız için interpolasyon yöntemi.

Eş. (12) kullanılarak her bir çözüm ağı noktası için elde edilen sirkülasyon değeri Poisson denkleminin çözümünde kullanılır. Poisson denkleminin çözümü ile elde edilen akım fonksiyonu değerleri ile çözüm ağındaki her bir noktanın x ve y yönündeki hızları belirlenmiş olur. Bu hızlar şu denklemler ile hesaplanır;

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y} \left| \frac{d\xi}{dz} \right|^2 \tag{13}$$

$$v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \left| \frac{d\xi}{dz} \right|^2 \tag{14}$$

Eş. (13) ve (14)'de yer alan $\left| \frac{d\xi}{dz} \right|^2$ terimi çözüm ağının uygun bir dönüşümü yapılarak (conformal mapping) dikdörtgensel bir çözüm ağı oluşturulması ve her bir çözüm ağı noktası için hız hesabında bu çözüm ağının kullanılması sonucunda ortaya çıkan dönüşüm terimidir. Bu dönüşüm iki adımda gerçekleştirilir. Bu adımlardan ilki yarı sonsuz düzlemin silindire dönüştürülmesidir. Yarı sonsuz düzlem ξ terimi ve düz silindir ζ terimi ile gösterilirse bu iki düzlem arasındaki dönüşüm şu şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{d\zeta}{d\xi} = -i\alpha R \exp(-i\alpha\xi) \tag{15}$$

Eş. (15)'de yer alan R silindir çapını, α açısal yöndeki adım büyüklüğünü temsil etmektedir. Dönüşümün ikinci adımını ise düz silindirin ayırıcı levha ile birlikte temsil edilmesi kısmı oluşturur. Bu adımda dönüşüm ifadesi ise şu şekilde yazılabilir,

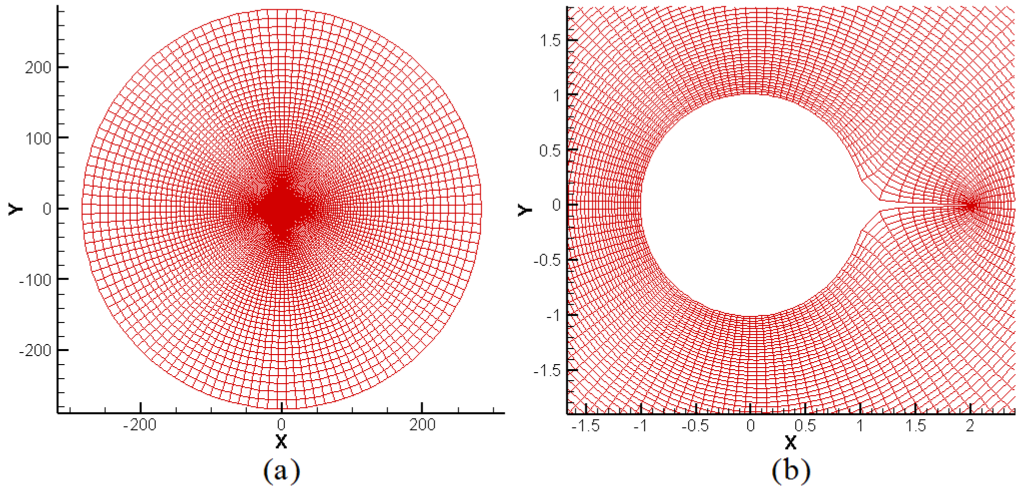
$$\frac{dz}{d\zeta} = \frac{(1+L_P)^2}{8L_P} \left(1 - \frac{1}{\zeta^2}\right) \pm \left[\frac{\sqrt{F^2-1}+F}{\sqrt{F^2-1}}\right] \tag{16}$$

Eş. (16)'da yer alan L_P ifadesi ayırıcı levhanın silindir merkezinden başlayarak uzunluğunu temsil etmektedir. z terimi ise çözüm ağındaki karmaşık koordinat sistemini temsil etmektedir. Ayrıca denklemde yer alan F ifadesi ise şu denklem kullanılarak hesaplanabilir,

$$F = \frac{(1+L_P)^2}{8L_P} \left(\zeta + \frac{1}{\zeta}\right) \tag{17}$$

En genel dönüşüm ifadesi ise yani yarı sonsuz düzlemin silindir ile birlikte ayırıcı levhaya dönüşümü gösteren diferansiyel denklem şu şekilde ifade edilebilir,

$$\frac{dz}{d\xi} = \frac{dz}{d\zeta}\frac{d\zeta}{d\xi} \tag{18}$$



Şekil 2: (a) Sayısal hesaplama için kullanılan çözüm ağı yapısı (b) Çözüm ağı yapısının yakından görünümü.

Eş. (13) ve (14)'ün kullanılması ile elde edilen hızlar her bir çözüm ağı noktasının bilineer alan ağırlıklı değerlerinin kullanılması ile girdap taşınım değerileri şu denklemler kullanılarak elde edilebilir;

$$u_p = \sum_{k=1}^{4} \frac{u(k)A_k}{A} \tag{19}$$

$$v_p = \sum_{k=1}^{4} \frac{v(k)A_k}{A} \tag{20}$$

Denklemlerde yer alan A toplam alanı temsil etmektedir. Girdap değerlerinin bir sonraki zaman adımı için yeni konumları ise aşağıdaki denklemler ile hesaplanır;

$$x_p(t + \Delta t) = x_p(t) + u_p(t)\Delta t \tag{21}$$

$$y_p(t + \Delta t) = y_p(t) + v_p(t)\Delta t \tag{22}$$

ÇÖZÜM AĞI YAPISI

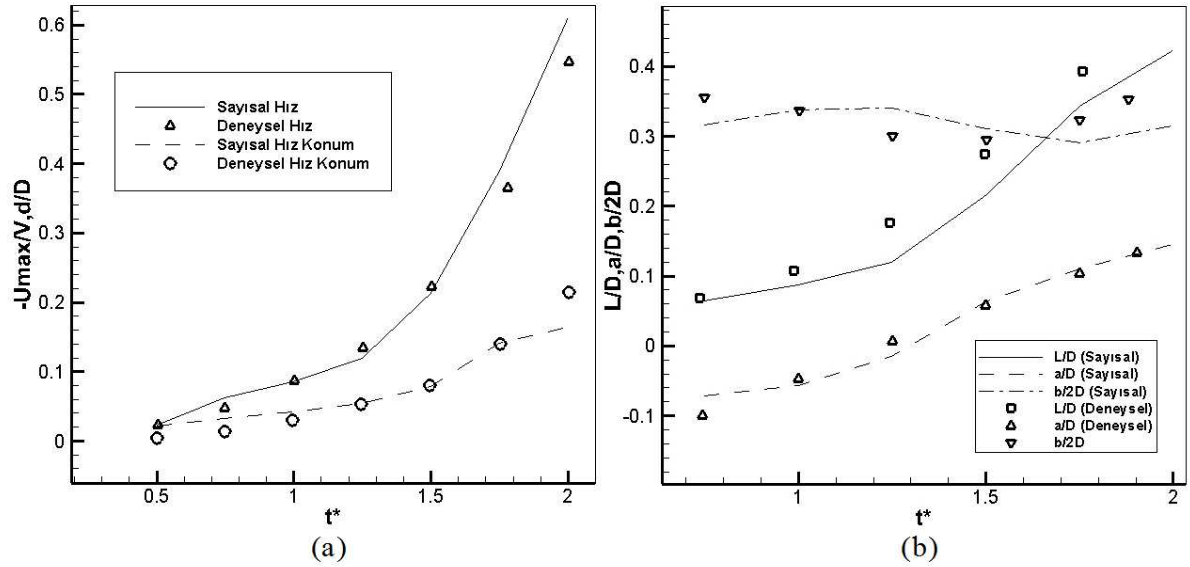
Sayısal yöntemin uygulanmasında bazı parametreler oldukça önemlidir. Zaman adımı, çözümün gerçekleştirildiği Reynolds sayısı ve çözüm ağı yapısı bu önemli parametrelerdendir.

Silindir yüzeyindeki çözüm ağı yapısı sınır tabakayı düzgün bir şekilde temsil edebilmek için yeteri kadar sıklıkla oluşturulmalıdır. Aynı zamanda sayısal çözüm esnasında ortaya çıkan girdap yapılarının hesaplama zamanında çözüm ağının sınırlarına ulaşmaması için çözüm ağı sınırları yeterince geniş olmadır. Şekil (2)'de sayısal hesaplama için kullanılan çözüm ağı yapısı görülmektedir. Bu çözüm ağı yapısının oluşturulmasında Fortran programı kullanılmıştır. Şekilde görülen ağ yapısında Poisson denkleminin çözümü için hızlı Fourier dönüşümü kullanılabilmek amacıyla çözüm ağı yapısı x yönünde eşit aralıklı olarak belirlenmiştir, y eksenin pozitif yönünde hücre yapısındaki genişleme değeri ise 1.2 den düşük olacak şekilde oluşturulmuştur.

Yapılan çalışmada çözüm ağı bağımsızlığını göstermek amacı ile x ve y yönünde sırası ile 170'e 128, 256'ya 256 ve 512'ye 512 olmak üzere üç ayrı çözüm ağı yoğunluğunda çalışılmıştır. Karşılaştırma yapabilmek için 3 farklı parametre göz önüne alınmıştır. Bu parametreler boyutsuz sürükleme katsayısı (c_D), boyutsuz taşıma kuvveti katsayısı karekök ortalaması ($c_{L_{RMS}}$) ve Strouhal sayısıdır (S_t). Bu üç farklı çözüm ağı yoğunluğunda elde edilen değerler Çizelge (1)'de gösterilmektedir.

Çizelge 1: Çözüm Ağı Bağımsızlığı çalışması

Çözüm Ağı yoğunluğu	$170x128$	$256x256$	$512x512$
c_D	0.337	0.822	0.961
$c_{L_{RMS}}$	1.452	1.579	1.688
S_t	0.188	0.203	0.203



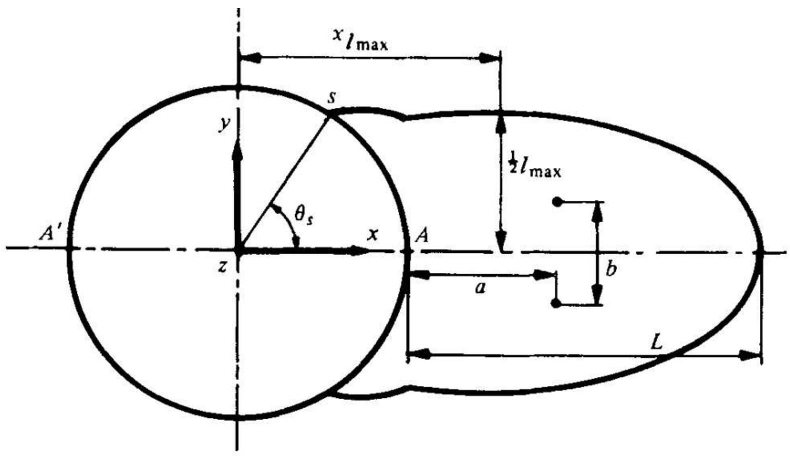
Şekil 3: (a) Silindir iz bölgesinde en yüksek hızın ve konumunun zaman ile değişimi (b) Vorteks boyunun ve geometrik yapısının zaman ile değişimi.

Tablo (1)'de gösterilen değerler Reynolds sayısının 10^4 olduğu akış koşullarında hesaplanmıştır. Bu akış rejiminde karşılaştırma için deneysel verilerinden yararlanılmıştır [Apelt, West ve Szewczyk, 1973]. Silindir etrafında akış için Strouhal sayısı deneysel olarak 0.20424 olarak belirlenmiştir. Yine bu akış koşullarında silindir için sürükleme katsayısı deneysel olarak 0.9123 olarak bulunmuştur. Bu bilgiler neticesinde 512'e 512 çözüm ağı yoğunluğunda çalışmak uygun görülmüştür. Ayrıca sayısal çalışma için 0.01 zaman adımında elde edilen değerler doğruluk açısından yeterli olmasına rağmen çalışmanın hassasiyetini arttırmak amacıyla ilerde yapılacak çalışmaların zaman adımı 0.005 olarak belirlenmiştir.

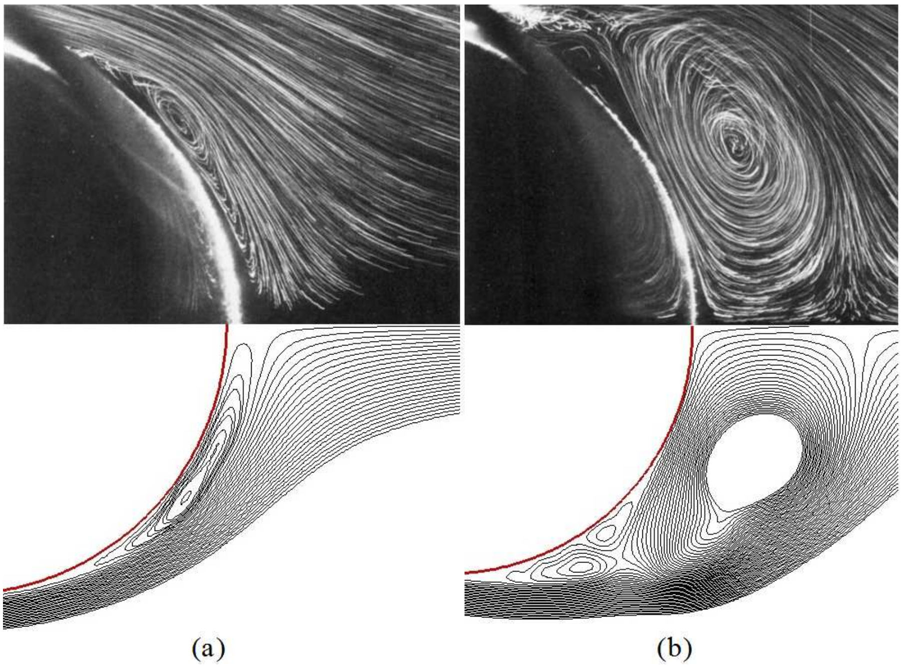
UYGULAMALAR

Ayırıcı levhanın silindir etrafındaki akış rejimine olan etkisinin incelenmesinden önce sayısal yöntemin doğrulanması gerekmektedir. Doğrulama çalışması için ise silindir etrafında ani başlayan akış rejimi (impulsively started flow) için deneysel veriler ile sayısal yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu tip bir akış rejiminde karşılaştırma için deneysel verilerden yararlanılmıştır [Bouard ve Coutanceau, 1980]. Yapılan sayısal çalışma için Reynolds sayısı referans alınan deneysel koşullara uygun olarak 9500 olarak belirlenmiştir. $512x512$ çözüm ağı yoğunluğunda ve $\Delta t = 0.005$ zaman adımı değerinde çalışılmıştır. Ayrıca sayısal hesaplamalar silindir merkezi koordinat sisteminin orijini ile çakışık olacak şekilde yapılmıştır. Karşılaştırma için ise en yüksek boyutsuz hız ve konumu, girdap konumu ve durma noktası parametreleri kullanılmıştır.

Şekil (3a)'da silindir iz bölgesindeki en yüksek boyutsuz hız ve bu hızın boyutsuz konumu görülmektedir. Şekilde x ekseni boyutsuz zamanı, y ekseni ise en büyük hız ve konumunu göstermektedir. Hız değerleri y=0 ekseni boyunca alınmış olup serbest akış hızı ile boyutsuzlaştırılmıştır. Aynı şekilde bu hızların karşılık geldiği x ekseni konumları da silindir çapı ile



Şekil 4: Kapalı bir vorteks için geometrik parametreler [Bouard R. ve Coutanceau M., 1980].

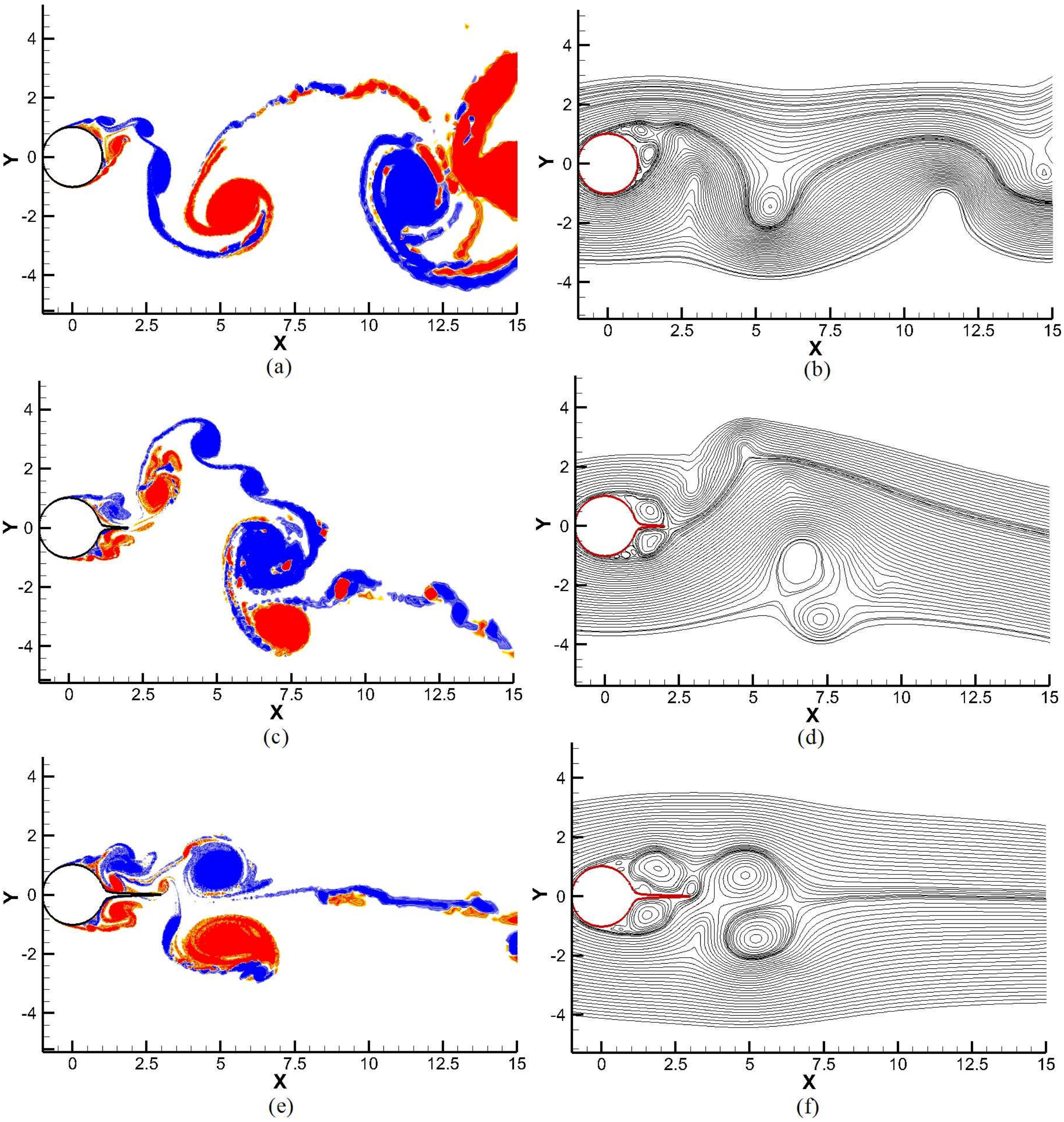


Şekil 5: (a) t*=0.75 (b) t*=1.5 zamanlarında anlık akım çizgisi görüntüleri.

boyutsuzlaştırılmıştır. Şekilden görülebileceği üzere en yüksek hız değerleri deneysel veriler ile oldukça benzerdir. Bununla birlikte boyutsuz hızın konumları deneysel veriler ile uyumluluk göstermektedir.

Şekil (3b)' de vorteks boyunun ve geometrik yapısının zaman ile değişimi gösterilmiştir. Yatay eksen boyutsuz zamanı, düşey eksen vorteks boyunu ve geometrik parametrelerini göstermektedir. Şekil 4'de karşılaştırma için kullanılan geometrik parametreler gösterilmiştir. L parametresi kapalı vorteks yapısının x ekseni boyunda uzunluğuna karşılık gelmektedir. a ve b parametreleri sırası ile girdap merkezinin silindirin arka yüzeyinden başlayarak x ve y ekseni boyunca uzaklıklarını temsil etmektedir. Şekil 3(b)'de görülebileceği üzere vorteks boyu deneysel veriler ile karşılaştırıldığında oldukça uyumlu gözükmektedir. Bununla birlikte vorteks merkezinin konumlarının zaman ile değişimi deneysel veriler ile benzerlik göstermektedir.

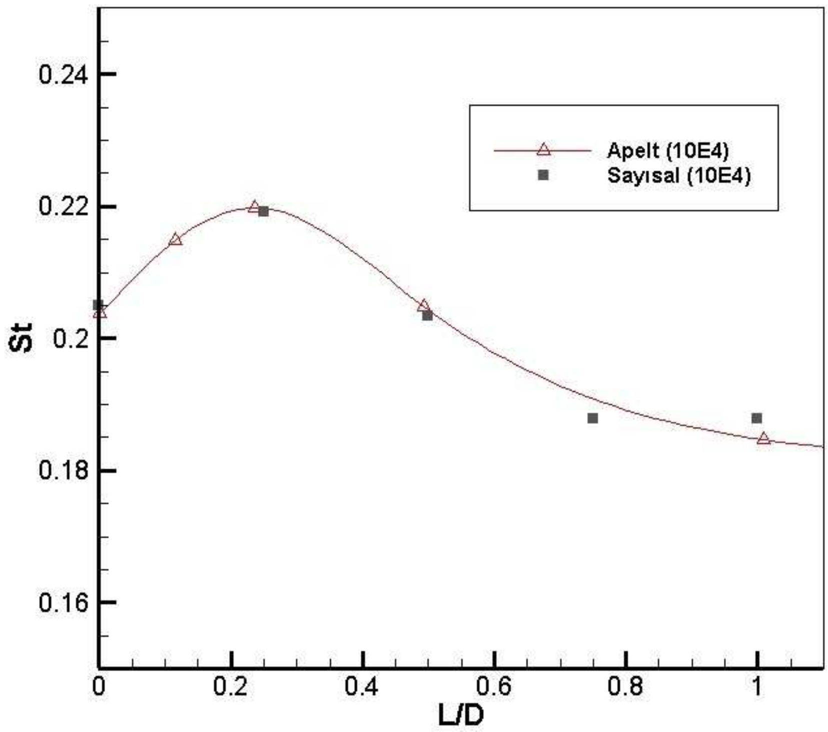
Şekil (5)'de iki farklı boyutsuz zaman için deneysel [Bouard ve Coutanceau, 1980] ve sayısal akım çizgilerinin karşılaştırılması görülmektedir. Şekilden görülebileceği üzere akım çizgilerinin zaman ile değişimi deneysel ölçümler ile uyumluluk göstermektedir. Karşılaştırmalar sonucunda sayısal yöntem ile elde edilmiş olan verilerin deneysel veriler ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bu aşamadan sonra ayırıcı levhanın silindir etrafındaki akışa olan etkisi incelenecektir.



Şekil 6: Farklı ayırıcı levha boyları için sırasıyla (a)$L/D = 0$, (c)$L/D = 0.5$ ve (e)$L/D = 1.0$ kontur ve (b)$L/D = 0$, (d)$L/D = 0.5$ ve (f)$L/D = 1.0$ akım çizgileri.

Silindir etrafındaki zamana bağlı yapılan çözümler deneysel sonuçları ile karşılaştırılmıştır [Apelt, West ve Szewczyk, 1973; Apelt ve West, 1975]. Karşılaştırma yapılırken iki önemli parametre dikkate alınmıştır. Bu parametreler Strouhal sayısı ve boyutsuz sürükleme katsayısıdır. Reynolds sayısı karşılaştırma yapılacak sonuçlara uygun olarak 10^4 olarak belirlenmiştir.

Şekil (6)'da sırası ile (a)$L/D = 0$, (c)$L/D = 0.5$ ve (e)$L/D = 1.0$ için kontur ve (b)$L/D = 0$, (d)$L/D = 0.5$ ve (f)$L/D = 1.0$ akım çizgileri görülmektedir. Düz silindir durumundaki kontur ve akım çizgilerine bakıldığında silindir iz bölgesinde oluşan vorteks yapısının silindirin hemen arka kısmında oluşmaya başladığı ve koptuğu görülmektedir. $L/D = 0.5$ ve $L/D = 1.0$ durumlarına



Şekil 7: Farklı ayırıcı levha boyları için sayısal ve deneysel S_t değerleri.

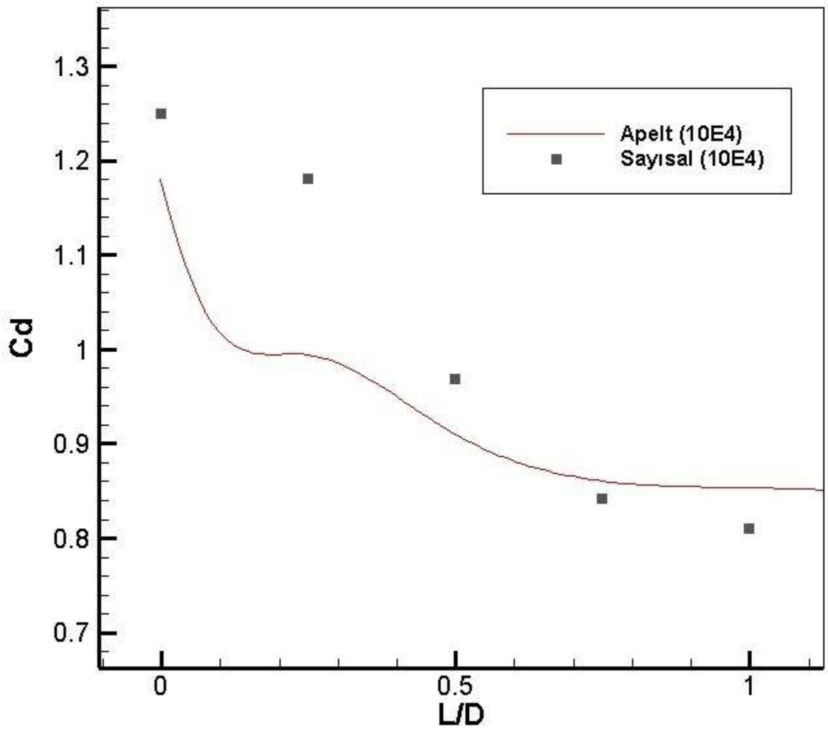
bakıldığında ise ayırıcı levha boyunca vortekslerin karışmadığı ve kopma mekanizmasının daha geç gerçekleştiği görülebilmektedir. Bu sayede vorteks kopma zamanı uzamıştır ve buna bağlı olarak Strouhal sayısı değeri ayırıcı levha kullanımı ile düz silindire göre azalmıştır.

Şekil (7)'da farklı ayırıcı levha boyları için sayısal ve deneysel sonuçların karşılaştırılması görülmektedir. Şekilde $L/D = 0$ değerine karşılık gelen S_t değeri, ayırıcı levha olmadan düz silindir durumundaki değerdir. $L/D = 0.25$ değerinden başlanarak farklı boylardaki ayırıcı levha boyları için sayısal çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Ayırıcı levha boyu $L/D = 1.0$ değerine kadar Strouhal sayısı deneysel veriler ile uyumlu olarak önce artmış daha sonra ise azalış göstermiştir. Aynı zamanda optimum levha boyuna karşılık gelen $L/D = 1.0$ değerinde Strouhal sayısı en düşük değerdedir. Şekilden görülebileceği üzere Strouhal sayısı deneysel sonuçlar ile genel olarak uyumluluk göstermektedir.

Şekil (8)'de ise yine aynı akış koşullarında farklı levha boyları için elde edilen sürükleme katsayısı (c_D) değerleri görülmektedir. Düz silindir için ($L/D = 0$) ve ayırıcı levha boyu $L/D = 0.25$ durumlarında deneysel verilere göre yüksek bir sürükleme katsayısı değeri elde edilmiştir. Bu değerden sonra sayısal verilerin deneysel veriler ile daha uyumlu olduğu görülebilmektedir.

SONUÇ

Yapılan çalışmada vorteks metodları kullanılarak ayırıcı levha ile birlikte silindir etrafındaki akış sayısal olarak modellenmiştir. Ayırcı levha etkisinin anlaşılabilmesi için iki önemli parametre dikkate alınmıştır. Elde edilen Strouhal sayısı sonuçlarına göre ayırıcı levha kullanımı ile silindir iz bölgesindeki vorteksin frekansının azaldığı görülmüştür. Yani silindir iz bölgesinde oluşan girdapların kopma süreleri uzamıştır. Bununla birlikte ayırıcı levha kullanımı ile düz silindir durumuna göre daha düşük sürükleme katsayısı değerleri elde edilmiştir. Yani silindir üzerine etki eden sürükleme kuvveti azaltılmıştır. Bu sayede ayırıcı levha kullanımı ile silindir iz bölgesindeki akışın pasif kontrolünün yapılabileceği görülmüştür.



Şekil 8: Farklı ayırıcı levha boyları için sayısal ve deneysel c_D değerleri.

Kaynaklar

Akıllı, H. Şahin, B. ve Tümen, N.F., 2005. *Suppression of vortex shedding of circular cylinder in shallow water by a splitter plate*, Flow Measurement and Instrumentation, 16 (2005) s.211–219, Elsevier.

Apelt C. J. ve West G. S., 1973. *The effect of wake splitter plates on bluff-body flow in the range* $10^4 < R < 5x10^4$*: Part 2*, Journal of Fluid Mechanics, Cilt. 71, s.145-160.

Apelt C. J., West G. S. ve Szewczyk A. A., 1973. *The effect of wake splitter plates on the flow past a circular cylinder in the range* $10^4 < R < 5x10^4$, Journal of Fluid Mechanics, Cilt. 61, s.187-198.

Aydın Mısırlıoğlu, 1992. *Dairesel silindirden oluşan iz akışının ayırıcı levha ile pasif kontrolü: viskoz VIC benzeşimi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bouard R. ve Coutanceau M., 1980. *The early stage of development of the wake behind an impulsively started cylinder for* $40 < Re < 10^4$, J. Fluid Mech., Cilt. 101, s.583-607.

Chorin A. J., 1973. *Numerical Study of Slightly Viscous Flow*, J. Fluid Mech., Cilt. 57, s.785-796.

Çete, A.R. ve Ünal, M.F., 1992. *Effect of Splitter Plate to Vortex Formation from a Circular Cylinder: A Discrete Vortex Simulation*, Proceeding of the First European Computational Fluid Dynamics Conference, Brussels, Belgium, Cilt.1 , s.340-350.

Gerrard J. H., 1966. *The mechanics of the formation region of vortices behind bluff bodies*, Journal of Fluid Mechanics, Cilt. 25, s.401-413.

Gross A. ve Fasel H. F., 2015. *Hybrid Turbulence Model Simulations of Hemisphere-cylinder Geometry*, International Journal of Heat and Fluid Flow, Cilt.54, s.28-38.

Rodriguez O., Lehmkuhl O., Chiva J., Borrell R. ve Oliva A., 2015. *On the Flow Past a Circular Cylinder From Critical to Super-Critical Reynolds number: Wake topology and vortex shedding*, Intenational Journal of Heat and Fluid Flow, Cilt.55, s.91-103.

Ünal, M.F. ve Rockwell, D., 1987. *On vortex formation from cylinder. Part 2. Control by splitter-plate interference*, Journal of Fluid Mechanics, Cilt.190, s.513-529.

Ünal, M.F., Yılmaz, A. and Çete, A.R., 1992. *Discrete Vortex Simulation of Wake from a Circular Cylinder*, 10th Anniversary Symposium Department of Aeronautical Engineering, Ankara, Cilt.1, s.45-54.