

POOR FISHERMAN ANALYSIS

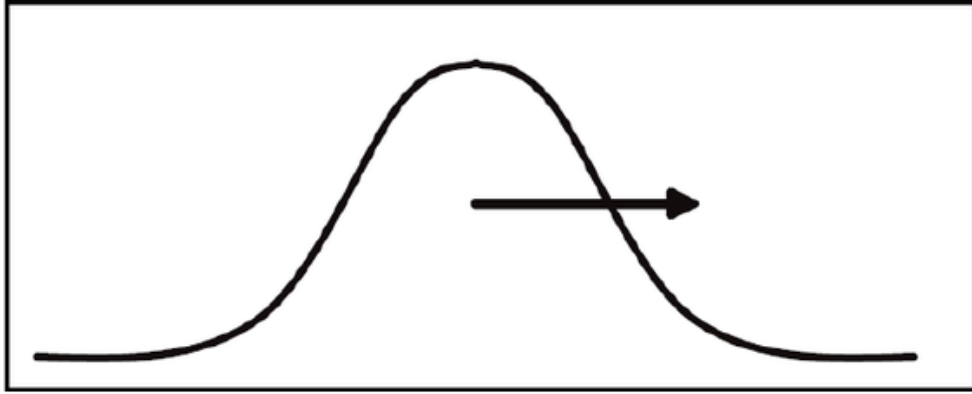
PREPARED BY	EDITED\CHECKED BY
Aykut Atabay Stajyer Mühendis	Güven Nergiz CFD Mühendisi

Date:18.05.2022

Akışkan Hacmi Metodu (VOF Method)

Hesaplamalı akışkanlar dinamiğinde, akışkan hacmi (VOF) yöntemi bir serbest yüzey modelleme tekniğidir, yani serbest yüzeyi (veya akışkan-akışkan arayüzünü) izlemek ve bulmak için sayısal bir tekniktir. Arayüzün gelişen şekline uyum sağlamak için ya durağan olan ya da belirli bir şekilde hareket eden bir ağ ile karakterize edilen Euler yöntemleri sınıfına aittir. Bu nedenle, VOF bir adveksiyon şemasıdır.

Şekil 1, soldan sağa hareket eden bir su dalgasını göstermektedir. Serbest yüzey analizinde, sıvı yüzey şekillerinin zamanla veya bir sıvı yüzeyinin durağan durumuyla değişiklikleri analiz edilebilir.



Şekil 1 Su yüzeyinin hareketi

VOF (Akışkan Hacmi) yöntemi, serbest yüzey akışlarını analiz etmek için sayısal bir şema olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. VOF yönteminde, serbest yüzeyi oluşturan iki sıvı, aşağıdaki gibi tanımlanan sıvı hacim kesri ile tanımlanır:

$$F = \begin{cases} = 1, & \text{Fluid 1} \\ = 0, & \text{Fluid 2} \\ > 0, < 1 & \text{Interface} \end{cases} \quad (1)$$

Burada F ile gösterilen değişken bir aę elemanı (mesh element) içerisindeki sıvı hacim kesrini tanımlar. Eđer bir eleman tamamen sıvı ile doluyrsa bu durumda F değeri 1, gaz ile dolu olduğunda ise bu değer 0 olacaktır. 0 ile 1 arasındaki F değerileri ise bu iki akışkan arasındaki arayüzü tanımlar. Serbest yüzey akışları temelde VOF (Akışkan Hacmi Metodu) içindeki, aşağıda gösterilen adveksiyon denklemleri kullanılarak tanımlanır:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + u_i \frac{\partial F}{\partial x_i} = 0 \quad (2)$$

Yukarıda tanımlanan F (akışkan hacim kesri) kullanılarak, akışkanın yoğunluğu da aşağıdaki gibi hesaplanır

$$\rho = \rho_1 F + \rho_2 (1 - F) \quad (3)$$

Burada ρ_1 ve ρ_2 sıvı ve gazın yoğunluklarını göstermektedir.

Arayüz Yakalama Yöntemi (Interface Capturing Method)

scFLOW'un VOF yönteminde, adveksiyon denklemi (2), arayüz yakalama yöntemi (ICM) kullanılarak çözülür. Arayüz yakalama yöntemi, momentum korunum denklemleri veya enerji korunum denklemleri gibi F'nin adveksiyon denklemini ayrıklaştırarak ve matris hesaplamaları ile çözerek sıvı hacim fraksiyonu F'nin zaman değişimini analiz eden bir yöntemdir. Ancak serbest yüzey analizinde, sıvı hacim oranı F uzayda aniden değişir. Denklem, momentum denklemleriyle aynı şekilde ayrıklaştırılırsa, sıvı hacim fraksiyonu F'nin dağılımı, arayüzün yakınında hızla bulanıklaşır ve serbest yüzeyin zaman değişimi doğru bir şekilde hesaplanamaz. Bu nedenle scFLOW'un VOF (Sıvı Hacmi) yönteminde (ICM), arayüzlerin bulanıklığını önlemek için adveksiyon teriminin bir hesaplama şeması ile birlikte arayüz sıkıştırma terimi tarafından bir arayüz sıkıştırması tasarlanır.

Hassas Arayüz Yeniden Yapılandırma Yöntemi (Fine Interface Reconstruction Method (FIRM))

Arayüz yakalama yönteminde bir arayüzün yayılmaması için çeşitli önlemler alınmıştır. Bununla birlikte, damlacıklar ve hava kabarcıkları gibi mikroskobik olayları yakalamak için çözünürlük geniş bir bölgede yükseltilmelidir. Bu nedenle, hesaplama maliyeti açısından arayüz yakalama yöntemini kullanarak bu tür olayları analiz etmek zor olabilir. Bu fenomenleri çözmek için İnce Arayüz Yeniden Yapılandırma Yöntemi (FIRM) geliştirildi. FIRM'de, yapılandırılmış ağlar için yaygın olarak kullanılan Parçalı-Doęrusal Arayüz Hesaplama (PLIC) tekniği, yapılandırılmamış ağlar için de kullanılmaktadır.

Surface Tension

scFLOW'da, Continuum Surface Tension (CSF) modeli aracılığıyla yüzey gerilimi probleme dahil edilir. CSF modelinde, yüzey gerilimi, denklem (4)'te arayüze yakın bölgelere hacimsel bir kuvvet şeklinde verilir.

$$F_V(x) = \sigma \kappa(x) n_i(x) \frac{\rho(x)}{\bar{\rho}} \quad (4)$$

Burada,

σ : Yüzey gerilimi katsayısı [N/m]

K: Ara yüz eğriliği [1/m]

n_i : Ara yüzün normal vektörü

ρ : Yoğunluk [kg/m³]

$\bar{\rho}$: Normalleştirilmiş yoğunluk $((\rho_1 + \rho_2)/2)$ [kg/m³]

$$\kappa = -\frac{\partial n_i}{\partial x_i} \quad (5)$$

SCFlow ile Dalga Üretimi

İçeri akış sınır koşullarını kullanarak dalga üretmenin bir yöntemi vardır. İçeri akış sınır koşulunu kullanan yöntem, kolayca hedef dalgalar üretme avantajına sahipken, akış aşağısından yansıyan dalgalar içeri akış sınırından geçemez veya dışarı akamaz. Bu, yöntemin uzun süreli dalga üretimi için uygun olmadığı anlamına gelir (Bunu simüle etmek için, içeri akış sınırı bir hedef bölgeden uzağa ayarlanmalıdır veya hesaplama alanının boyutu genişletilmelidir). Bu nedenle, uzun bir süre boyunca istikrarlı bir şekilde dalgalar üretmek için bir yöntem ihtiyacı vardır. Adaylardan biri, dalga oluşturma kaynağı yöntemidir (bundan böyle "WGS yöntemi" olarak anılacaktır). WGS yönteminin temel bir konsepti, dalgaları giriş sınırından içeri akıtmak değil, hesaplama alanı içinde dalgalar üretmektir. Spesifik olarak, WGS yöntemi, belirli bir bölge içinde yapay bir kaynak ve kütle havuzu aracılığıyla dalgalar üretir. Ayrıca, yöntem, dalgaları üretmenin yanı sıra, aşağı akımdan yansıyan dalgaların bölgeden geçmesini sağlama işlevine sahiptir. Sonuç olarak, uzun bir süre boyunca kararlı periyodik dalgalar üretilmeye devam eder.

Şimdi, WGS yöntemini kullanarak nasıl dalga üreteceğimizi görelim. Yukarıda bahsedildiği gibi, bu yöntem yapay kaynak ve kütle havuzundan dalgalar üretir. Başka bir deyişle, bu durumun kütleli yapay olarak artması ve azalmasından kaynaklandığı düşünülebilir. Şimdi, kütle kaynağının yoğunluğunun (uzay ve zamana bağlı olarak) q olarak tanımlandığını ve hedef sınırın sıkıştırılmaz bir sıvı olduğunu, yani yoğunluğunun herhangi bir zamansal ve uzaysal değişiklik olmaksızın her zaman sabit olduğunu varsayalım. Ardından, aşağıdaki süreklilik koşulu türetilir:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = q \quad (6)$$

Kütle kaynağı olan q yoğunluğu 0'a eşitse, yani kütle kaynağı veya kütleli çıkışı oluşmazsa, denklem (6) sıkıştırılmaz akışkanlar için süreklilik koşuluyla uyumludur. Sıvı hacim fraksiyonu için adveksiyon denklemi aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + u_i \frac{\partial F}{\partial x_i} = qF \quad (7)$$

Bir akış alanının iki boyutlu (x-z) olduğu varsayıldığında ve dalga üretim kaynağı $x=x_s$ olarak ayarlandığında, kütle kaynağının q yoğunluğu aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$q = \frac{2U\delta(x - x_s)}{\Delta x} \cdot f_{ini}(T_w) \cdot f_{adj} \left(\frac{\eta_e + h}{\eta_t + h} \right) \quad (8)$$

Burada U , hedef dalganın yatay hızını, δ , Dirac delta fonksiyonunu (dalga oluşturma bölgeleri dışında kütle kaynağı sıfır olur), Δx , mesh genişliğini gösterir. f_{ini} fonksiyonu, dalga oluşumunun başlangıcında hesaplamaları dengelemek için çarpılır ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$f_{ini}(T_w) = \begin{cases} 1.0 - e^{-0.5t/T_w} : t/T_w \leq 3 \\ 1.0 : t/T_w > 3 \end{cases} \quad (9)$$

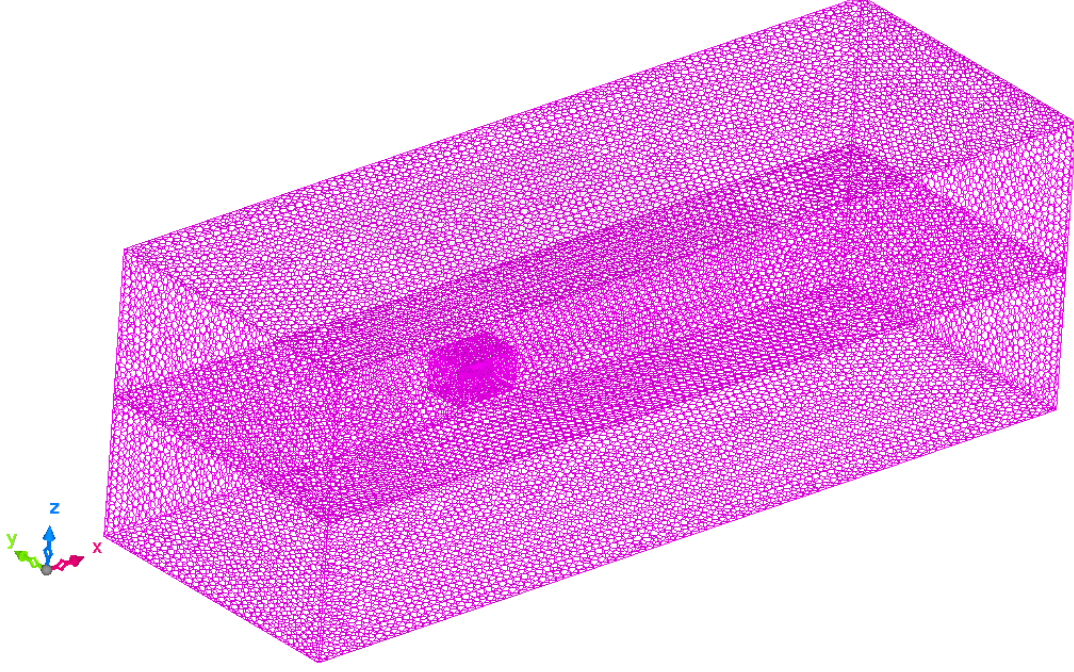
T_w , dalga periyodunu ifade eder. f_{adj} , su seviyesi için ayar parametresidir

$$f_{adj} \left(\frac{\eta_e + h}{\eta_t + h} \right) = \frac{\eta_e + h}{\eta_t + h} \quad (10)$$

η_e hedef dalga seviyesini, η_t mevcut su seviyesini ve h statik su derinliğini ifade eder.

CFD Uygulaması

Cradle CFD'nin öğrenci sürümü ile dalga oluşumunu gözlemlemek için bir havuz ve üzerinde duran bir tekne problemi yaratıldı ve oluşan dalganın tekneyi nasıl etkilediği simüle edildi. Hesaplama hacmi hava hacmi, su hacmi, tekne ve serbest yüzeyden(sheet) oluşmaktadır. Bu analizde teknenin ağ yapısı, teknenin dönme ve öteleme hareketlerinin dalga karşısında daha tutarlı çözülebilmesi için overset mesh tekniği kullanılarak oluşturulmuştur. Overset(taşan) ağ yapısı karmaşık hareketlere sahip hareketli nesnelerin simülasyonunu ve birden çok ağ bölgesini üst üste bindirerek cisimlerin birbiri içindeki etkileşimini sağlar. Farklı nesnelerin ağ yapıları sürekli birbirleri ile bağlantı halinde kalarak ağ içindeki verileri birbirlerine aktarabilirler. Ayrıca ağ elemanları hibrit (polyhedral ve hexahedral) olup tekne etrafında da inflation layer elemanları kullanılmıştır. Zamana bağlı yürütülen analizde teknenin dalga karşısındaki hareketinin simülasyonu yapılmıştır ve SST k-w türbülans modeli kullanılmıştır.



Şekil 2 Hesaplama Hacminin Ağ yapısı

Teknenin için 6 DoF (hareket serbestliği) tanımlanarak havuzun serbest yüzeyindeki hareketleri gözlemlenebilir. Serbest yüzey problemi için hesaplama maliyeti açısından Arayüz Yakalama Yöntemi (Interface Capturing Method) kullanılmıştır. Ayrıca analiz koşulunda yer çekimi ve yüzey gerilimi de aktif hale getirilip, sıvı kesrinin oluşturduğu hacmin giriş kesitinden ise dalga için gerekli parametreler girilmiştir.

Analiz için sınır koşulları ise şu şekildedir:

Hava ve su için hız girdisi (velocity inlet)

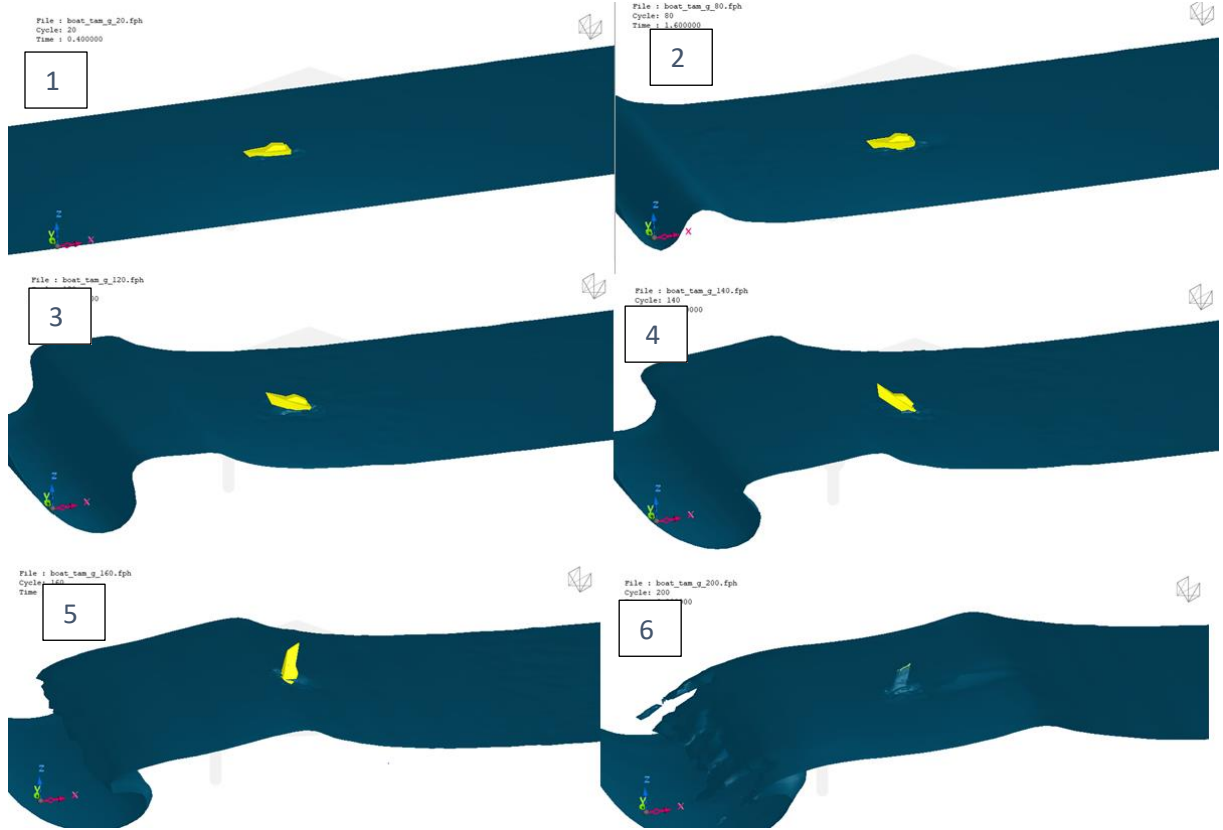
Çıkış için hidrostatik basınç

Yan, alt ve üst yüzey için serbest kayma (free slip)

Tekne için ise kayma şartı (no-slip)

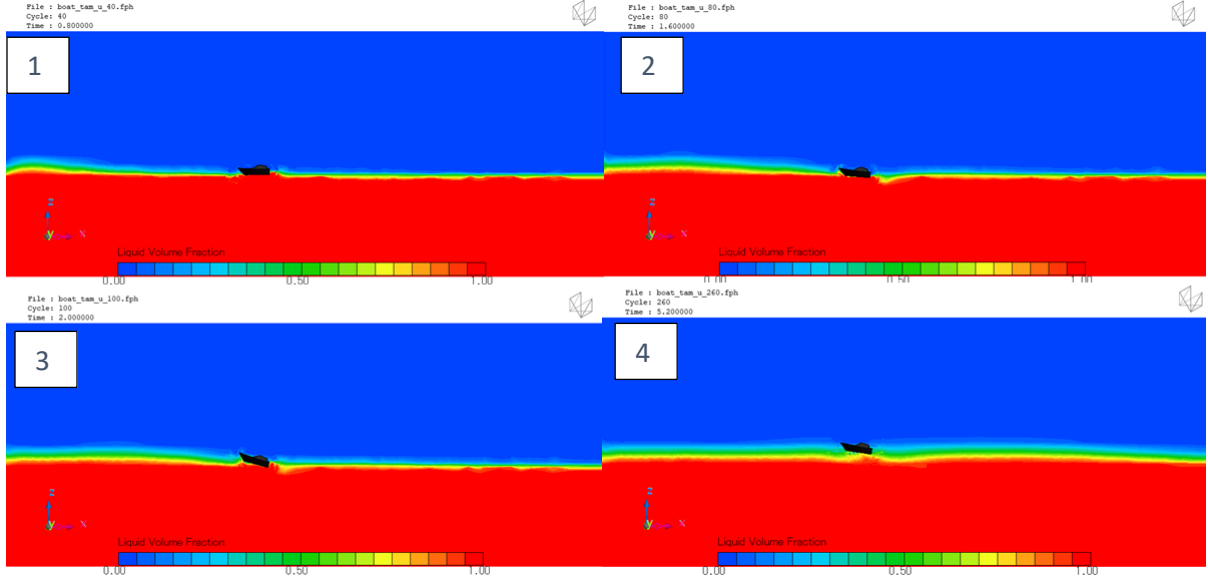
Sonuç;

Aşağıdaki görsellerde iki farklı dalga genliği ile çözülmüş tekne havuz probleminin farklı zaman adımlarındaki durumları gösterilmiştir. Şekil 3'te 5th Order Stokes Wave ile büyük genliğe sahip dalga tahta olarak modellenmiş olan bir bot ile karşılaşılıyor. Botun bu büyük dalga karşısında alabora oluşu açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3 Büyük Genliğe Sahip Dalganın Isosurface ile Göreselleştirilmesi

Aşağıda gösterilen Şekil 4'te çok daha ufak bir genliğe sahip dalga yine tahta olarak modellenen bir bot ile karşılaşılıyor ve bot ufak bir burun açısı yaptıktan sonra tekrar eski haline geliyor.



Şekil 4 Küçük Genliğe Sahip Dalganın Sıvı Hacim Kesri(Liquid Volume Fraction) ile Görselleştirilmesi