



Gemi Kesiti için Yalpa Merkezi Konumunun Yalpa Sönümüne Etkisi

Burak YILDIZ

Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Türkiye
yildizburak23@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0559-8772>

Özet

Viskoz yalpa sönümünün doğru olarak hesaplanması gemilerin yalpa hareketinin analizi için önemlidir. Zorlanmış yalpa testi veya serbest bırakma testi uygulanarak gemilerin viskoz yalpa sönümü deneysel ve sayısal olarak hesaplanabilir. Ayrıca deneysel veriler kullanılarak geliştirilen yarı ampirik formüller de viskoz yalpa sönümü tahmininde kullanılabilir. Bu çalışmada bir gemi orta kesiti için yalpa merkezi konumunun yalpa sönümüne etkisi deneysel, sayısal ve Ikeda yarı ampirik yöntemiyle incelenmiştir. Yalpa merkezinin dikine konumu kaide hattı ve güverte hattı arasında değiştirilmiştir. Yalpa sönüm katsayıları yalpa omurgaya sahip bir gemi orta kesitine zorlanmış yalpa testi uygulanarak deneysel ve sayısal (HAD yöntemi) olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Ikeda tarafından önerilen yarı ampirik formül ile de sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sayısal sonuçların deneyler ile uyum içinde olduğu ve Ikeda metodundan daha yaklaşık sonuçlar verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Viskoz Yalpa Sönümü, Yalpa Merkezi, Ikeda Metodu, HAD.

Effect of the Roll Center Position on the Roll Damping of a Ship Section

Abstract

The accurate calculation of the viscous roll damping is important for the estimation of the ship roll motion. Viscous roll damping can be calculated experimentally or numerically using forced roll oscillation or free roll decay tests. Semi-empirical formulae derived from experiment data can also be used for the prediction of viscous roll damping. In this study, the effect of the roll center position on the roll damping of a ship midsection was investigated experimentally, numerically and by using Ikeda's semi-empirical method. The vertical position of the roll center were shifted from near-bottom to main deck level of the ship section. The roll damping coefficients were obtained experimentally and numerically (CFD) by applying forced oscillation tests to the ship midsection with bilge keels. Semi-empirical Ikeda method was also used for the comparison of the results. It was observed that the numerical results are in good agreement with experimental results and the estimation of roll damping with numerical method is better than Ikeda method.

Keywords: Viscous Roll Damping, Roll Center, Ikeda Method, CFD.

1. Giriş

Dizayn aşamasında gemi hareketlerinin doğru bir şekilde hesaplanması ileride geminin karşılaşılabileceği olası tehlikeli durumların önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Gemi hareketlerinin hesaplanmasında kullanılan potansiyel teoriye dayalı yöntemler yalpa hareketi dışındaki gemi hareketlerini doğru bir şekilde tahmin edebilmektedir. Potansiyel teorinin yalpa hareketi tahmininde yetersiz kalması viskoz etkilerden kaynaklanmaktadır. Yalpa hareketi dışındaki diğer gemi hareketlerinde ortaya çıkan viskoz etkiler ihmal edilebilir ancak yalpa hareketinde bu etkiler hesaba katılmadan doğru bir hesaplama yapılamaz. Bu sebeple yalpa hareketini doğru olarak belirlemek için viskoz yalpa sönümünü hesaba katmak gerekir.

Viskoz yalpa sönümü hesabına yönelik ilk çalışmalar deneysel olarak yapılmıştır ve daha sonradan deneysel veriler kullanılarak yarı ampirik formüller geliştirilmiştir. Ikeda tarafından geliştirilen yarı ampirik hesap yöntemi günümüzde en yaygın olarak kullanılan ve en doğru sonuç veren olarak bilinir ve ITTC [1] tarafından da önerilmiştir. Ayrıca önümüzdeki yıllarda yürürlüğe girmesi planlanan ikinci nesil hasarsız stabilite kriterlerinin hesabında da yalpa sönümü tahmini için Ikeda metoduna yer verilmiştir [2]. Deneyler ve formüller Ikeda ve Himeno tarafından açık literatürde detaylı olarak yayınlanmıştır [3-5]. Ikeda tarafından yapılan deneylerde eski tip klasik tekne formları kullanıldığından dolayı, önerilen yöntem günümüzdeki modern tekne formlarının yalpa sönümü hesabı için elverişli değildir. Örnek olarak Kawahara, vd. [6] tarafından yapılan çalışmada Ikeda metodunun yüksek ağırlık merkezine sahip olan gemilere uygun olmadığı gösterilmiştir. Deneylerin zaman ve maliyet bakımından dezavantajlı olması ve Ikeda metodunun yeni nesil forma sahip gemilerde elverişsiz olması araştırmacıları viskoz yalpa sönümü

hesabında yeni yöntemler aramaya yöneltmiştir. Son yıllarda Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) programlarının gemi direnç ve hareketleri problemlerinde kullanılması ve başarılı sonuçlar elde edilmesi araştırmacıları viskoz yalpa sönümünü HAD programları yardımıyla sayısal olarak hesaplamaya yöneltmiştir. Yapılan çalışmalarda iki boyutlu ve üç boyutlu modeller için yalpa sönüm katsayıları sayısal olarak hesaplanmış ve deneyler ile doğruluğu gösterilmiştir [7-14]. Yalpa sönümünün HAD yöntemi ile sayısal olarak hesabı deneysel yöntemlere iyi bir alternatiftir ve zaman ve maliyet bakımından daha avantajlıdır. Ancak yine de Ikeda metodu gibi kısa sürede sonuç alabilecek kadar pratik değildir. Son yıllarda sayısal hesaplamalar kullanılarak Ikeda metodunun geliştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Yıldız, vd. [15-16] tarafından yapılan çalışmada düşük su çekimine sahip gemiler için yalpa sönüm katsayıları HAD yöntemi ile sayısal olarak hesaplanmış ve deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır. Ayrıca sonuçlar Ikeda metodu ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmada Ikeda metodunun düşük su çekimlerinde yalpa sönüm katsayısını fazla hesapladığı gösterilmiştir ve bu hatanın kaynağı sayısal çözücü yardımıyla detaylı olarak araştırılmıştır. Sonuç olarak Ikeda metodunun yalpa sönüm katsayısı hesabında tekne etrafındaki basınç dağılımını düşük su çekimlerinde yanlış hesapladığı ve bunun geliştirilmesi gerektiği önerilmiştir. Kampen [17] ise yaptığı çalışmada iki boyutlu FPSO kesiti için zorlanmış yalpa hareketi uygulayarak, yalpa sönüm katsayılarını HAD yöntemi ile sayısal olarak ve Ikeda metodunu kullanarak hesaplamış ve ayrıca sayısal sonuçları deneylerle doğrulamıştır. Ikeda metoduyla olan farklılıkları göstererek, farklılıkların neden kaynaklandığını göstermiş ve Ikeda tarafından önerilen yöntemi geliştirmiştir. Söder, vd [18] ise yaptığı çalışmada Ikeda

metodunu modern forma sahip gemilere uygulamıştır ve kaldırma ve yalpa omurgası sönüm bileşenlerini detaylı olarak incelemiştir. Ikeda metodunun yalpa omurgası kaldırma kuvvetini ve kaldırma kaynaklı sönüm bileşenini hatalı olarak hesapladığını göstermiş ve HAD yöntemine dayalı sayısal çözücü kullanarak kaldırma katsayısı hesabı için yeni bir formül önermiştir. Sonuç olarak revize edilen Ikeda metodu ile klasik tipte olmayan modern forma sahip gemiler için yalpa sönüm katsayılarını hesaplamış ve model testleri ile doğruluğunu göstermiştir. Yalpa sönüm katsayısı geminin formuna (yuvarlak veya keskin kenarlı olması gibi), takıntılara (yalpa omurgası, fin, dümen), gemi su çekimine, yalpa merkezine göre değişiklik gösterir ve yalpa sönüm katsayısı tahmini için yeni bir formül geliştirirken her bir parametre için incelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada yalpa omurgasına sahip bir gemi kesiti için yalpa merkezinin dikey konumunun yalpa sönümüne olan etkisi incelenmiştir. Yalpa omurgasına sahip bir gemi orta kesit modeli için üç farklı yalpa merkezi konumunda zorlanmış yalpa testleri yapılarak viskoz yalpa sönüm katsayıları deneysel ve HAD yöntemi ile sayısal olarak elde edilmiştir. Yalpa sönüm katsayıları Ikeda metodu kullanılarak da hesaplanmıştır. Ikeda metodu yalpa merkezinin düşük ve orta seviyede olduğu durumlarda deneyler ile uyumlu ancak yüksek yalpa merkezi konumu için farklı sonuçlar göstermiştir. Sayısal sonuçlar

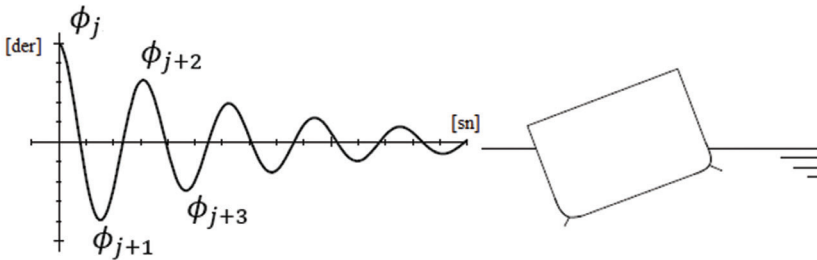
ise bütün yalpa merkezi konumları için deneyler ile uyumlu sonuçlar göstermiştir.

2. Viskoz Yalpa Sönümünün Hesaplanması

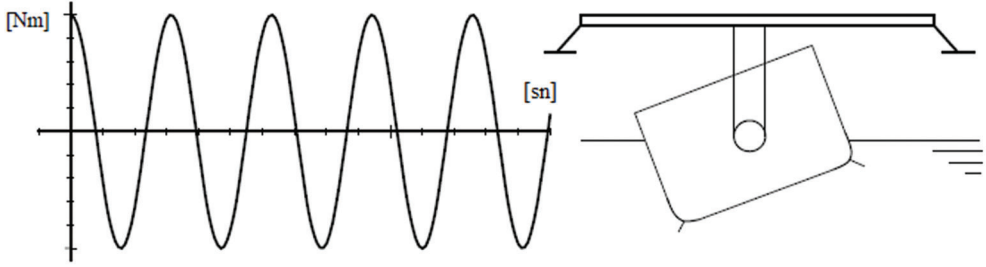
2.1. Deneysel Yöntemler

Deneysel olarak viskoz yalpa sönümünün hesaplanmasında iki farklı yöntem vardır. Bunlar serbest bırakma testi ve zorlanmış yalpa testi olarak adlandırılır. Serbest bırakma testi diğer teste göre uygulaması daha basit ve daha ucuz bir yöntemdir. Serbest bırakma testinde model sakin suda sıfır hızda veya ileri bir hızda ilerlerken belli bir açıya kadar getirilip serbest bırakılır. Model doğal frekansında salınım yapar ve yalpa genliği azalarak hareket eder (Şekil 1). Bu hareketi yaparken yan öteleme ve savrulma gibi yatay hareketler kısıtlanır, dalıp-çıkma ve baş-kıç vurma hareketleri serbest bırakılır. Yalpa genliklerindeki azalma miktarlarından viskoz yalpa sönümü hesaplanır.

Zorlanmış yalpa testi serbest bırakma testine göre daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Model sabit bir eksende yalpa hareketine maruz bırakılır. Bu yöntemde yalpa hareketi haricindeki diğer hareketler kısıtlanır. Dolayısıyla tek serbestlik dereceli bir hareket uygulanır (Şekil 2). Modele sakin suda, sıfır hızda veya ileri bir hızda istenilen açı ve istenilen frekansta hareket edecek şekilde kuvvet uygulanır. Hareket stabil konuma gelene kadar modele zorlanmış kuvvet uygulanmaya devam edilir. Modele uygulanan hidrodinamik moment hesaplanır ve bu moment yardımıyla viskoz yalpa sönümü hesaplanır.



Şekil 1. Serbest Bırakma Testi



Şekil 2. Zorlanmış Yalpa Testi

2.2. Ikeda Metodu

Viskoz yalpa sönümünün pratik olarak hesaplanması için araştırmacılar tarafından deney sonuçları kullanılarak yarı ampirik formüller geliştirilmiştir. Bu formüllerden en bilineni ve günümüzde de en yaygın olarak kullanılanı Ikeda tarafından geliştirilmiştir. Ikeda yalpa sönümünü beş ayrı bileşene ayırarak her bir bileşen için formül önermiştir ve viskoz yalpa sönümünü hesaplamıştır. Bu bileşenler dalga, kaldırma, sürtünme, girdap ve yalpa omurgası sönüm bileşenleridir.

$$B_e = B_W + B_L + B_F + B_E + B_{BK} \quad (1)$$

Bu bileşenler yalpa genliği, yalpa frekansına ve ileri hıza bağlı olarak değişebilirler ve bu etkiler Ikeda tarafından detaylı olarak incelenmiştir. Bu bileşenlerden sadece dalga kaynaklı olan sönüm viskozite kaynaklı değildir ve potansiyel teori kullanılarak hesaplanabilir. Himeno [5] ayrıca gemi ileri hızından kaynaklanan kaldırma bileşenini de dalga bileşeni ile birlikte viskoz olmayan sönüm bileşeni olarak ayırabileceğimizi ve geriye kalan diğer üç bileşenin de viskoz bileşen olarak sınıflandırabileceğimizi önermiştir.

2.3. Sayısal Yöntemler

Gemi hareketleri hesabında kullanılan potansiyel teoriye dayalı yöntemler günümüzde de en pratik çözüm olarak kullanılırlar. Ancak potansiyel teoride viskoz etkiler hesaba katılmamaktadır ve sadece dalga kaynaklı sönüm hesaplanabilir. Viskoz sönümün hesaplanmamasından dolayı da

potansiyel teori gemi yalpa hareketinin gerçeğe yeterince yakın hesaplanmasında yetersiz kalmaktadır. Viskoz etkilerin hesaba katıldığı yöntemlerin kullanılması gemi yalpa hareketinin tahmininde daha doğru sonuçlar almamıza olanak sağlayacaktır. Son yıllarda bilgisayar hesaplama gücündeki artış ile birlikte HAD alanında yaşanan gelişmeler araştırmacıları viskoz yalpa sönümü hesabında sayısal çözümler kullanmasına yöneltmiştir. Bu yöntemle yalpa hareketi esnasında tekne etrafındaki akış sayısal olarak çözülür. Sonlu hacimler yöntemi kullanılarak tekne etrafındaki hız, basınç ve türbülans gibi değişkenler Reynolds Averaged Navier-Stokes denklemlerinin sayısal olarak çözülmesiyle elde edilir. Sonuç olarak tekne yalpa hareketi esnasında tekneye etkileyen hidrodinamik moment sayısal olarak hesaplanır ve bu moment kullanılarak yalpa sönüm katsayısı elde edilir.

3. Yalpa Sönüm Katsayısının Hesaplanması

Bu çalışmada yalpa sönüm katsayıları zorlanmış yalpa testi uygulanarak deneysel ve sayısal olarak hesaplanmıştır. Zorlanmış yalpa testinde modele uygulanan kuvvet ile teknenin harmonik bir şekilde hareket etmesi sağlanır. Uygulanan zorlayıcı kuvvet sonucu tekne yalpa hareketi aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\phi(t) = \phi_a \sin(\omega t) \quad (2)$$

Burada $\phi(t)$ yalpa açısını, ϕ_a yalpa genliğini, ω ise yalpa frekansını gösterir. Zorlayıcı yalpa momenti sonucu oluşan yalpa

hareketi denklemi;

$$(I_{44} + A_{44})\ddot{\phi} + B_{44}(\dot{\phi}) + C_{44}(\phi) = M_{44}(t) \quad (3)$$

şeklinde yazılır. Burada $(I_{44} + A_{44})\ddot{\phi}$ ile gösterilen terim gemi kütle atalet momenti ve ek su kütlesi atalet momentinin toplamını, $B_{44}(\dot{\phi})$ yalpa sönüm momentini, $C_{44}(\phi)$ doğrultma momentini ve $M_{44}(t)$ ise zorlayıcı momenti gösterir. Bilinen terimler eşitliğin sağ tarafına alındıktan sonra denklem;

$$A_{44}\ddot{\phi} + B_{44}\dot{\phi} = M'_{44}(t) \quad (4)$$

şeklini alır. Burada $M'_{44}(t)$ hidrodinamik yalpa momentini ifade eder. Hidrodinamik yalpa momentine Fourier dönüşümü uygulanması sonucu ek kütle ve yalpa sönüm katsayıları aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$A_{44} = \frac{1}{\pi\phi_a\omega} \int_0^T M'_{44}\sin(\omega t) dt \quad (5)$$

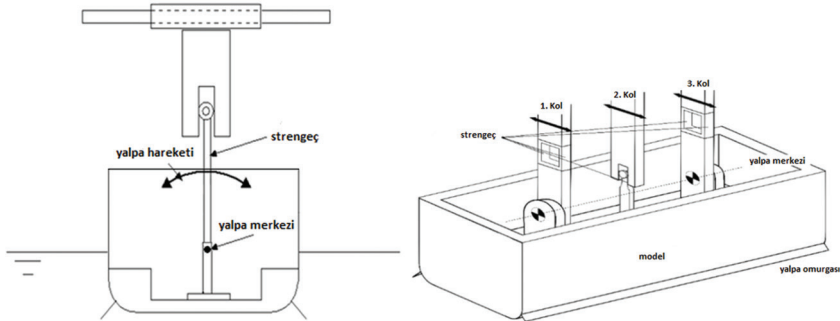
$$B_{44} = \frac{-1}{\pi\phi_a} \int_0^T M'_{44}\cos(\omega t) dt \quad (6)$$

Elde edilen ek kütle ve sönüm katsayıları ise;

$$\hat{A}_{44} = \frac{A_{44}}{\rho AB^2} \quad (7)$$

$$\hat{B}_{44} = \frac{B_{44}}{\rho AB^2} \sqrt{\frac{B}{2g}} \quad (8)$$

şeklinde boyutsuz hale getirilir. Burada B gemi genişliğini, A gemi orta kesit alanını, ρ su yoğunluğunu ve g yerçekimi ivmesini ifade eder. Bu çalışmada ek kütle katsayıları hesaplanmamıştır, sadece boyutsuz yalpa sönüm katsayıları sonuçları verilmiştir.

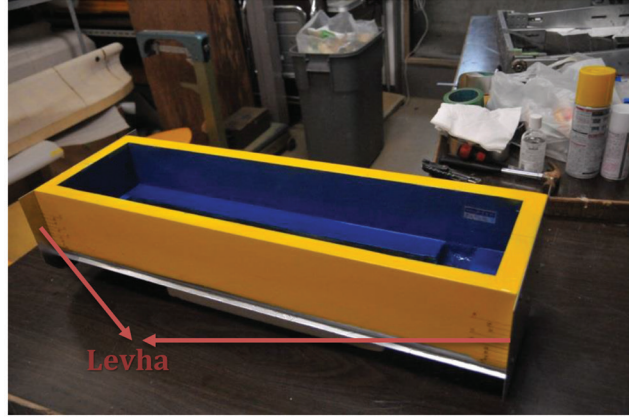


Şekil 3. Zorlayıcı Yalpa Mekanizması

4. Deneysel Hesaplamalar

Bu çalışmada deneysel hesaplamalar için Seri 60 formunun iki boyutlu modeli kullanılmıştır. Model Şekil 3'te gösterildiği gibi Seri 60 formunun orta kesitini 0.80m uzatarak hazırlanmıştır. İki boyut etkisinin yaratılması için modelin başına ve sonuna levhalar konulmuştur ve bu şekilde uç etkiler önlenmiştir (Şekil 4). Yalpa sönüm katsayıları zorlanmış yalpa testleri uygulanarak elde edilmiştir. Testler Osaka Prefecture Üniversitesi Çekme tankında bulunan zorlayıcı yalpa mekanizması ile yapılmıştır (Şekil 5). Çekme tankı 70m uzunluk, 3.0m genişlik ve 1.55m su derinliğine sahiptir. Şekil 3 zorlayıcı yalpa mekanizmasına bağlanmış Seri 60 orta kesit modelini göstermektedir. Modele ait özellikler Tablo 1'de gösterilmiştir. Zorlayıcı yalpa mekanizmasına bağlı modele sıfır hızda istenilen yalpa açısı ve yalpa frekansında zorlayıcı kuvvet uygulanmıştır. Deneylerde model sadece yalpa hareketine maruz bırakılmıştır ve diğer beş serbestlik dereceli hareketler kısıtlanmıştır.

Deneylerde yalpa merkezinin dikey konumu modeli mekanizmaya bağlayan kollar sayesinde değiştirilmiştir. Deneylerde üç farklı yalpa merkezi konumu için hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca her yalpa merkezi konumu için deneyler farklı su çekimlerinde tekrarlanmıştır. Böylelikle farklı su çekimlerinde yalpa merkezi konumunun yalpa sönümüne etkisi incelenmiştir. Deney koşullarına ait bilgiler Tablo 2'de detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. İki Boyutlu S60 Orta Kesit Modeli



Şekil 5. Çekme Tankı ve Zorlayıcı Yalpa Deney Mekanizması

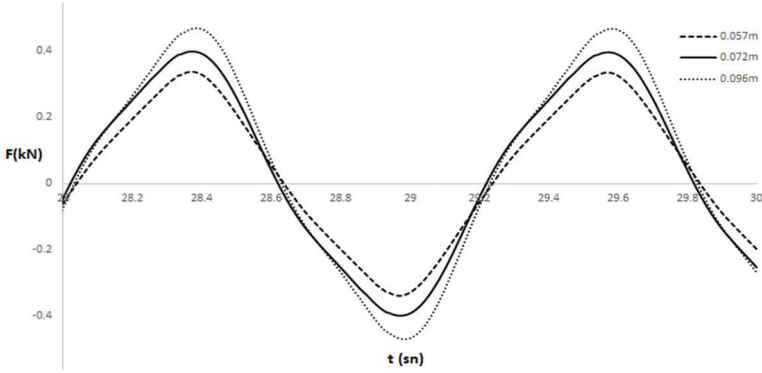
Tablo 1. Model Ana Boyutları

Uzunluk: L	0.80m
Genişlik: B	0.237m
Derinlik: D	0.145m
Blok katsayısı: CB	0.80
Uzunluk X Genişlik (yalpa omurgası)	0.80m x 0.01m

Tablo 2. Deney Koşulları

Gemi Hızı, F_n	0.0
Yalpa açısı, ϕ (der)	8.59
Yalpa frekansı, ω (rad/sn)	5.24
Yalpa merkezi dikey konumu, KG(m)	0.096, 0.072, 0.057
Su çekimi, d (m)	0.023-0.080

Tekneye uygulanan zorlayıcı yalpa kuvvet yardımı ile teknenin düzenli yalpa hareketi yapması sağlanmıştır. Uygulanan bu yalpa kuvveti zamana bağlı olarak ölçülmüştür (Şekil 6) ve bu kuvvet yardımıyla tekneye uygulanan hidrodinamik yalpa momenti hesaplanmıştır. Son olarak da ölçülen hidrodinamik yalpa momentleri kullanılarak boyutsuz yalpa sönüm katsayıları hesaplanmıştır. Deneylerin güvenilirliği açısından seçilen durumlar için tekrar testleri yürütülmüş ve testlerde kullanılan ölçüm cihazları için hassaslık analizleri yapılmıştır. Kullanılan ölçüm cihazının hassaslığı %1 olarak belirlenmiştir. Bu da demek oluyor ki deneyde ölçülen kuvvet değerinin %1 altı veya üstünde bir sapma söz konusu olabilir. Deneyde kullanılan kuvvet ölçüm cihazı ile ilgili detaylar [16] numaralı kaynakta gösterilmiştir.



Şekil 6. Farklı Yalpa Merkezi Dikey Konumları İçin Tekneye Uygulanan Yalpa Kuvveti

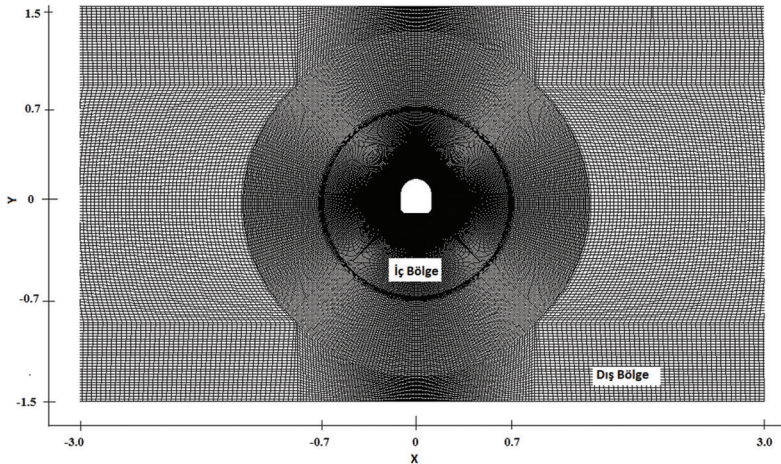
5. Sayısal Hesaplamalar

Sayısal hesaplamalar Ansys-Fluent [19] ticari HAD paket programı kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde olduğu gibi modele zorlanmış yalpa hareketi uygulanmıştır ve tekne etrafındaki akış sayısal olarak çözülmüştür.

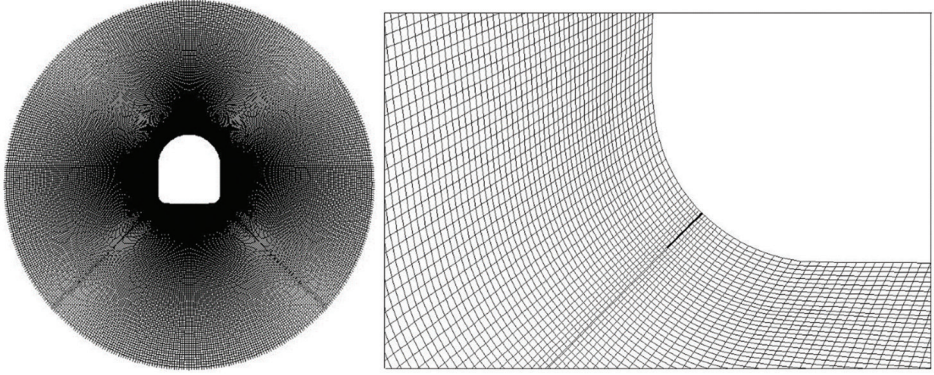
5.1. Hesaplama Hacmi, Ağ Yapısı ve Sınır Koşulları

Sayısal hesaplamalarda Seri 60 formuna ait orta kesit iki boyutlu olarak modellenmiştir. Deneylerde kullanılan modelde olduğu gibi modelin 0.80m uzatılmasına gerek yoktur çünkü bu şekilde daha az ağ elemanı kullanılarak daha hızlı bir çözüm sağlanmıştır. Bu tez kapsamında

kullanılan model için oluşturulan ağ yapısı Şekil 7'de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere oluşturulan modelde iki farklı bölge vardır. Birinci bölge dönme hareketinin verildiği iç bölge ve ikinci bölge ise sabit kalan dış bölgedir. İç bölge tekne ile birlikte hareket ettirilerek oradaki ağ yapısının bozulmaması sağlanmıştır. Dış bölge ise akış hareketlerini ve yayılan dalgaların sönümlenmesini sağlamaktadır. Şekil 8'de tekne ile birlikte hareket eden iç bölgede tekne orta kesiti etrafındaki ağ yapısı ve tekne yalpa omurgası etrafındaki ağ yapısını göstermektedir. Buradaki eleman sayısı dış bölgeye oranla daha sıktır çünkü tekne ve yalpa omurgası etrafında oluşan akım ayrılımlarının ve girdapların



Şekil 7. Hesaplama Hacmi ve Ağ Yapısı



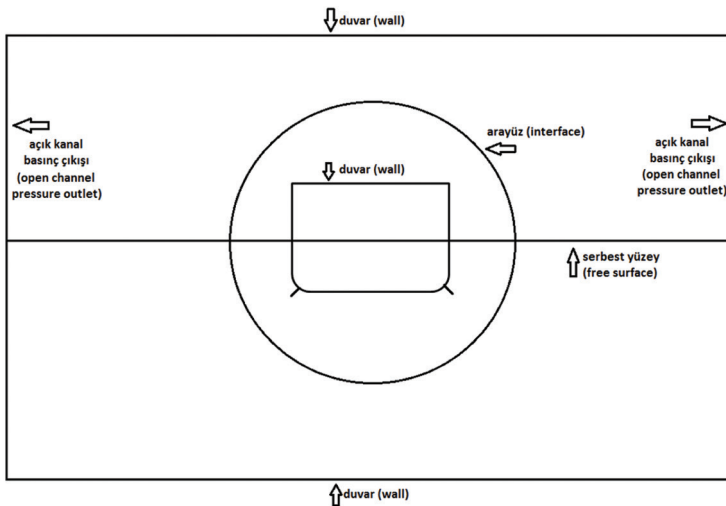
Şekil 8. Hareketli İç Bölge Ağ Yapısı

doğru bir şekilde gözlemlenebilmesi için buradaki eleman sayısı artırılmıştır. Bu bölgedeki eleman sayısı 100000 iken dış bölgedeki eleman sayısı ise 70000 olarak belirlenmiştir.

Analizlerde kullanılan hesaplama modeline ait sınır şartları Şekil 9'da gösterilmiştir. Sınır şartlarının belirlenmesinde literatürdeki çalışmalardan [20-21] yararlanılmıştır. Görüldüğü üzere tekne ve yalpa omurga duvar olarak seçilmiştir yani bu noktalar üzerindeki normal ve teğetsel hızlar sıfırdır. Aynı şekilde dış bölgeye ait üst ve alt kısımlarda duvar olarak seçilmiştir. Dış bölgeye ait sağ ve sol kısımlar ise açık kanal basınç

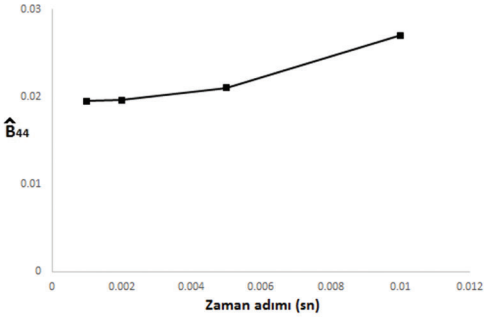
çıkışı olarak belirlenmiştir ve bu şekilde tekne serbest yüzeyi istenilen konuma ayarlanmıştır. Tekne hareketli bölge ve sabit bölgesini ayıran silindir ise arayüz olarak belirlenmiştir. Hareketli bölge kısmı için sayısal çözücüdeki "dynamic mesh" sekmesi aktif konuma getirilmiştir ve bu bölge içinde yer alan tekne, yalpa omurgası ve ağ yapısı seçilerek bu bölgeye hareket verilmiştir.

Kullanılan sayısal çözücü hesaplama hacmini oluşturan her bir eleman için hız ve basınç değerlerini RANS denklemlerini çözerek hesaplar ve tekneye etki eden hidrodinamik yalpa momentini zamana bağlı olarak elde eder. Bütün hesaplamalarda



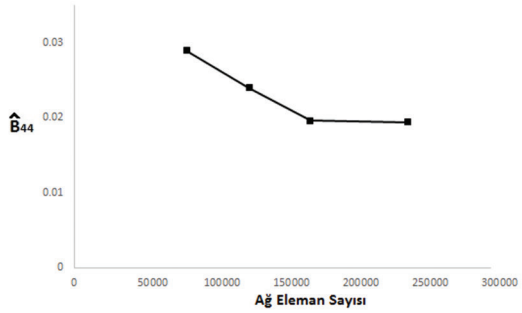
Şekil 9. Sayısal Hesaplamalarda Kullanılan Sınır Şartları

k-ε türbülans modeli kullanılmıştır. ITTC salınım hareketi analizlerinde zaman adımı için en az $\Delta t = 0.01\text{sn}$ kullanılmasını önermiştir. $\Delta t = 0.01, 0.005, 0.002, 0.001\text{sn}$ için analizler yapılmış ve sonucun 0.005sn zaman adımından küçük zaman adımları için yakınsamaya başladığı görülmüştür. Bu çalışmada sayısal analizlerde $\Delta t = 0.002\text{sn}$ zaman adımı için sonuçlar verilmiştir. Aynı şekilde ağ eleman sayısı için de hassaslık analizleri yapılmıştır ve toplam eleman sayısı 170000 için analizler gerçekleştirilmiştir. Şekil 10 farklı zaman adımı ve ağ eleman sayısı için sonuçları göstermektedir.



yalpa sönüm katsayılarını göstermektedir. Şekillerde y eksenini boyutsuz yalpa sönüm katsayısını gösterirken, x eksenini ise su çekimini göstermektedir.

Şekil 11-12-13'ten de görüldüğü üzere bütün yalpa merkezi konumlarında sayısal olarak hesaplanan boyutsuz yalpa sönüm katsayısı sonuçları deneysel sonuçlar ile uyum içerisindedir. Sayısal sonuçlar Ikeda metoduna göre daha yaklaşık sonuçlar göstermiştir. Şekil 11 ve 12'de görüldüğü gibi Ikeda metodu ile hesaplanan yalpa sönüm katsayısı sonuçları su çekiminin çok düşük olduğu durumlar haricinde deneysel ve sayısal sonuçlar ile aynı



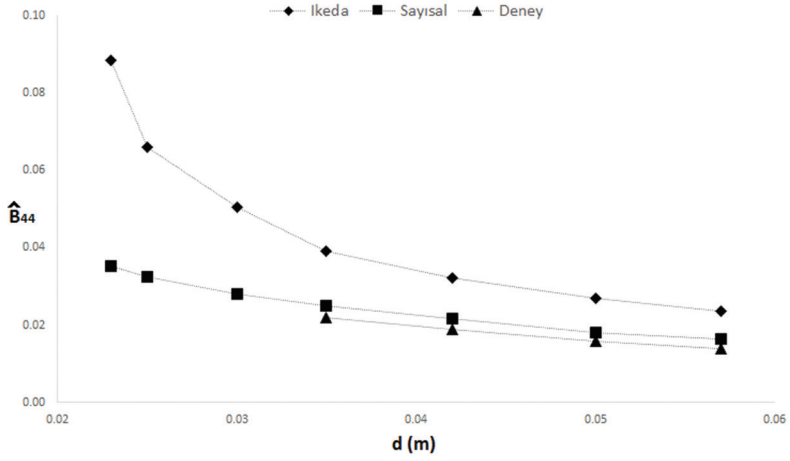
Şekil 10. Zaman Adımı ve Ağ Yapısı Hassaslık Analizleri

6. Boyutsuz Yalpa Sönüm Katsayısı Sonuçları

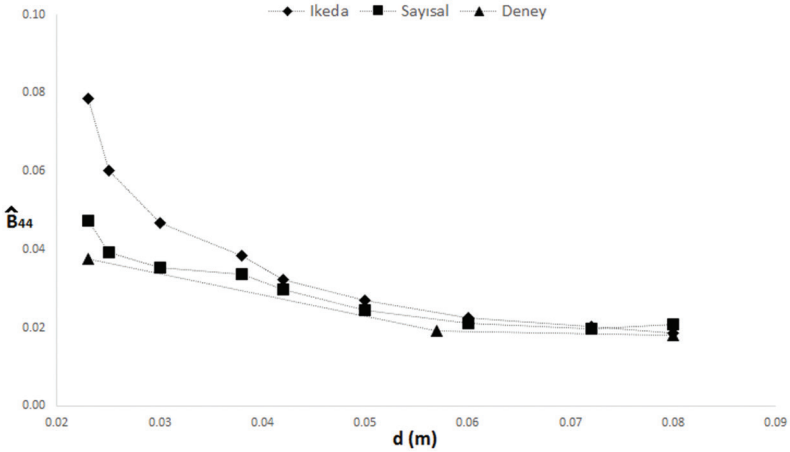
Zorlanmış yalpa hareketine maruz bırakılan modele uygulanan yalpa momenti zamana bağlı olarak deneysel ve sayısal olarak elde edilmiştir. Elde edilen yalpa momenti yardımıyla yalpa sönüm katsayıları Denklem 6'daki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Ayrıca aynı koşullar için yalpa sönüm katsayıları Ikeda metodu ile de hesaplanmıştır. Farklı yöntemlerle hesaplanan yalpa sönüm katsayılarının karşılaştırılması için Denklem 8 yardımıyla boyutsuz yalpa sönüm katsayıları elde edilmiştir.

Boyutsuz yalpa sönüm katsayıları farklı yalpa merkezi konumlarına göre hesaplanmıştır. Şekil 11-12-13 sırasıyla yalpa merkezinin dikey konumunun (KG) kaide hattından $0.057\text{m}-0.072\text{m}-0.096\text{m}$ uzaklıkta olduğu durumlardaki

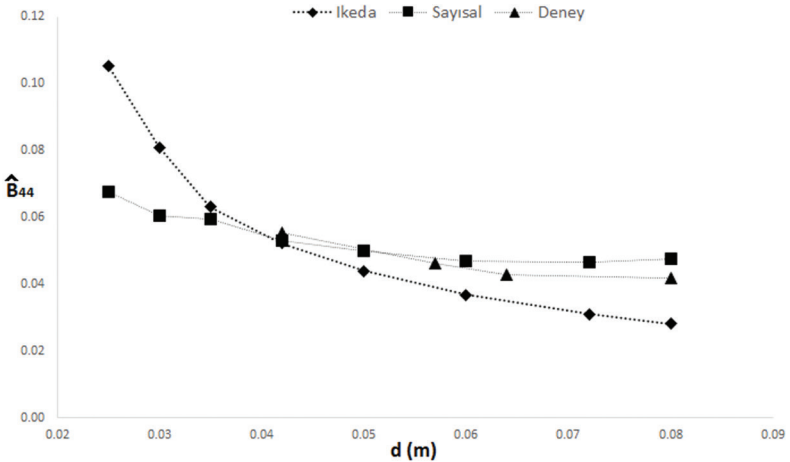
eğilimi göstermiştir. Ancak Şekil 13'e bakıldığında yalpa merkezi dikey konumunun en yüksek olduğu durumda Ikeda metodu deneysel ve sayısal sonuçlardan farklı bir eğilim göstermiştir. Ayrıca şekillerden de anlaşıldığı üzere Ikeda metodu ile hesaplanan yalpa sönüm katsayıları su çekimi azaldıkça, büyük bir artış göstermiştir ve deney ve sayısal sonuçlar ile arasındaki fark artmıştır. Bu artış Ikeda metodunun serbest yüzey etkisini hesaba katmamasından kaynaklanmaktadır. Sayısal analizlerde serbest yüzey etkisi hesaba katıldığından düşük su çekimlerinde de yalpa sönüm katsayısı sonuçları doğru bir şekilde hesaplanmıştır. Su çekiminin yalpa sönümüne olan etkisi yazar tarafından bir önceki çalışmada [15] sayısal ve deneysel olarak incelenmiştir.



Şekil 11. KG=0.057m İçin Boyutsuz Yalpa Sönüm Katsayısı Sonuçları

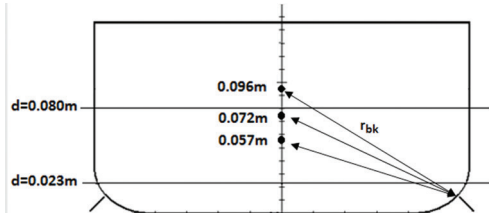


Şekil 12. KG=0.072m İçin Boyutsuz Yalpa Sönüm Katsayısı Sonuçları



Şekil 13. KG=0.096m İçin Boyutsuz Yalpa Sönüm Katsayısı Sonuçları

Şekil 15 yalpa merkezi dikey konumunun yalpa sönümüne olan etkisini göstermektedir. Burada sadece sayısal olarak hesaplanan yalpa sönüm katsayısı sonuçları gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere bütün su çekimleri için yalpa merkezinin dikey konumu arttıkça yalpa sönüm katsayısı artış göstermiştir. Yalpa merkezinin artırılmasıyla yalpa omurgası ve yalpa merkezi arasındaki mesafe artmaktadır ve bu artış yalpa çapının artmasına (r_{bk}) sebep olur (Şekil 14). Artan yalpa çapıyla beraber sintine dönümü ve yalpa omurgası etrafındaki hız vektörlerinin hızında bir miktar artış meydana gelir. Hız vektörlerinin hızının artması daha güçlü akım ayrılmalarına ve girdap saçılmalarına neden olur. Bu sebeplerden dolayı da yalpa merkezinin artırılmasıyla beraber yalpa sönümünde bir artış gözlenir. Bu artış Şekil 15'te sayısal olarak hesaplanan boyutsuz yalpa sönüm katsayıları ile gösterilmiştir.

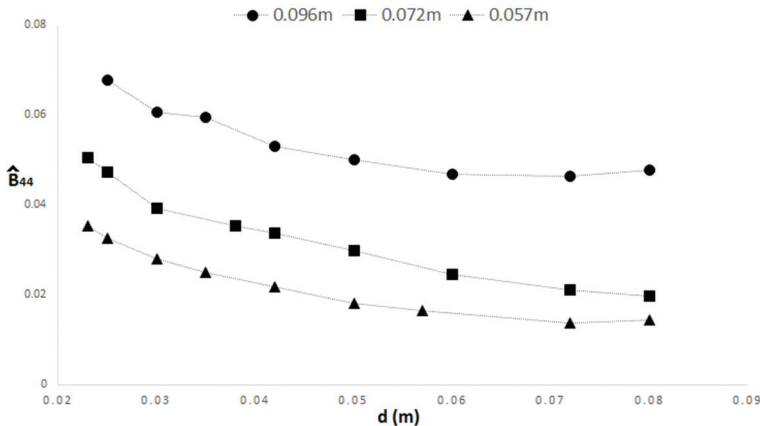


Şekil 14. Yalpa Çapındaki Artışın Gemi Kesiti Üzerinde Gösterimi

7. Sonuçlar ve Öneriler

Yalpa sönümünün doğru tahmini yalpa hareketinin analizi için önemlidir. Yalpa sönümünün deneysel olarak hesaplanması zaman ve maliyet bakımından dezavantajlı olduğu için Ikeda metodu gibi pratik yöntemler geliştirilmiştir. Ancak Ikeda metodunun yeni nesil gemilere uygulanamıyor olması araştırmacıları sayısal çözümlere yöneltmiştir. Bu çalışmada yalpa merkezi dikey konumunun yalpa sönümüne olan etkisi deneysel ve HAD yöntemi ile sayısal olarak incelenmiş, sonuçlar Ikeda metodu ile de karşılaştırılmıştır. Sönüm katsayıları zorlanmış yalpa testi uygulanarak elde edilmiştir.

Üç farklı yalpa merkezi dikey konumu için yalpa sönüm katsayıları farklı su çekimleri için elde edilmiştir. Yapılan deneysel ve sayısal analizlerde yalpa merkezi dikey konumun artmasıyla beraber yalpa sönüm katsayısı artmıştır. Yalpa sönüm katsayısındaki bu artış yalpa çapının artmasıyla beraber yalpa omurgası etrafındaki akışın hızlanmasından kaynaklanmıştır. Artan akış hızıyla beraber yalpa omurgası etrafında daha kuvvetli akım ayrılmaları ve girdaplar meydana gelmiş ve bu da daha yüksek yalpa sönümüne neden olmuştur. HAD yöntemi ile elde edilen sayısal yalpa sönüm



Şekil 15. Boyutsuz Yalpa Sönüm Katsayısı Sayısal Sonuçları

katsayısı sonuçları farklı yalpa merkezi konumu için deneyler ile uyumlu sonuçlar göstermiştir. Kullanılan HAD yönteminin yalpa sönümü hesabında deneylere iyi bir alternatif olabileceği görülmüştür. Sonuçlar ayrıca Ikeda yarı ampirik metodu ile de karşılaştırılmıştır. Yalpa merkezi konumunun düşük olduğu durumlarda deneyler ile uyumlu sonuçlar veren Ikeda metodu, yalpa merkezinin yüksek olduğu durumda deneylerden farklı bir eğilim göstermiştir. Böylelikle yüksek yalpa merkezi dikey konumu için yalpa sönümü hesabında Ikeda metodunun elverişsiz olduğu belirlenmiştir.

Gemi dizayn aşamasında geminin yalpa hareketinin analiz edilebilmesi için Ikeda metodu gibi yalpa sönümünü hızlı bir şekilde hesaplayacağımız bir yöntem ihtiyacımız vardır. Bu ihtiyaç IMO'nun ikinci nesil stabile kriterlerini belirleme çalışmalarında da vurgulanmıştır. Deney ve HAD ile yalpa sönümü hesabı her ne kadar daha doğru sonuçlar verse de zaman ve maliyet bakımından dezavantajlıdır. Bu sebeple araştırmacılara deneysel veya HAD yöntemleri ile elde edilen sonuçları kullanıp Ikeda metodu gibi yöntemleri elverişsiz kaldığı koşullar için geliştirmesi üzerine çalışması önerilmiştir.

Kaynaklar

- [1] ITTC (2011). ITTC recommended procedures numerical estimation of roll damping. In: international towing tank conference. Report 7.5-02-07-04.5.
- [2] IMO (2016). Draft explanatory notes on the vulnerability of ships to the parametric roll stability failure mode. SDC 3/WP.5, Annex 4.
- [3] Ikeda, Y., Himeno, Y. ve Tanaka, N. (1978d). Components of roll damping of ship at forward speed. Report of the Department of Naval Architecture, University of Osaka Prefecture, No. 00404.
- [4] Ikeda, Y., Himeno, Y. ve Tanaka, N. (1978e). A prediction method for ship roll damping. Report of the Department of Naval Architecture, University of Osaka Prefecture, No. 00405.
- [5] Himeno, Y. (1981). Prediction of ship roll damping-state of the art. U. Michigan Dept. of Naval Arch. and Marine Engineering, Report 239.
- [6] Kawahara, Y., Maekawa, K. Ve Ikeda, Y. (2009). A simple prediction formula of roll damping of conventional cargo ships on the basis of Ikeda's method and its limitation. Proceedings of the 10th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles, Saint Petersburg, Russia.
- [7] Korpus, R. A. ve Falzarano, J. M. (1997). Prediction of viscous ship roll damping by unsteady navier-stokes techniques. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 119: 108-113.
- [8] Yeung, R. W, Liao, S. W. ve Roddier, D. (1998). Hydrodynamic coefficients of rolling rectangular cylinders. International Journal of Offshore and Polar Engineering, 8(4).
- [9] Sarkar, T., ve Vassalos, D. (2001). A rans-based technique for simulation of the flow near a rolling cylinder at the free surface. Journal of Marine Science and Technology, 5 (2): 66-77.
- [10] Bassler, C. C. (2013). Analysis and modeling of hydrodynamic components for ship roll motion in heavy weather. Doktora Tezi, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [11] Oliveira, A. C. ve Fernandes, A. C. (2014). The nonlinear roll damping of a fpso hull. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 136(1), 011106.
- [12] Avalos, G. O., Wanderley, J. B., Fernandes, A. C. ve Oliveira, A. C. (2014). Roll damping decay of a fpso with bilge keel. Ocean Engineering, 87 (111).

- [13] Jiang, Y. (2014). Computational modeling in three dimensions of multi-dof ship motion in a viscous fluid. Doktora Tezi, Engineering - Mechanical Engineering in the Graduate Division of the University of California, Berkeley.
- [14] Irkal, M.A.R., Nallayarasu, S. ve Bhattacharyya, S.K. (2016). CFD approach to roll damping of ship with bilge keel with experimental validation. *Appl. Ocean Res.* 55 1–17. doi:10.1016/j.apor.2015.11.008.
- [15] Yıldız, B., Çakıcı, F., Katayama, T. ve Yılmaz, H. (2016). URANS prediction of roll damping for a ship hull section at shallow draft. *Journal of Marine Science and Technology*, 21 (1): 48-56.
- [16] Yıldız B. ve Katayama T.(2017). Bilge keel-free surface interaction and vortex shedding effect on roll damping. *Journal of Marine Science and Technology*, 22(3), 432-446.
- [17] Van Kampen, M. J. (2015). Bilge keel roll damping cfd and local velocities. Yüksek Lisans Tezi. Offshore and Dredging Engineering, The Delft University of Technology.
- [18] Söder, C.J., Rosen, A, ve Huss, M. (2017). Ikeda revisited. *Journal of Marine Science and Technology*, <https://doi.org/10.1007/s00773-017-0497-z>.
- [19] Fluent inc., FLUENT 6.1 user's guide, 2003.
- [20] Yi-Hsiang, Y. (2008). Prediction of flows around ship-shaped hull sections in roll using an unsteady Navier–Stokes solver. Doktorz Tezi, The University of Texas at Austin.
- [21] Paap, M. (2005). Verification of cfd calculations with experiments on a rolling circular cylinder with bilge keels in a free surface, Master Tezi, Delft University of Technology and Bluewater Energy.

This Page Intentionally Left Blank