

# Gemi Tasarımında Paradigma Değişikliği: Balastsız Gemi

**Ceren Bilgin Güney**

Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği Bölümü, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

bilgincer@itu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3445-8688

## ÖZET

Geleneksel gemi inşa yaklaşımının vazgeçilmez bir bileşeni olması nedeniyle gemiler her yıl, ticari ürünlerin yanı sıra milyarlarca ton balast suyu taşımaktadır. Bu taşıma esnasında dünyanın biyocoğrafik bölgeleri arasında yer değiştiren türler oldukça önemli ekolojik, ekonomik ve sağlık sorunlarının yaşanmasına neden olmaktadır.

Balast suyu, diğer kirleticilerin aksine, zararlarının zamanla artma potansiyeli nedeniyle gemi kökenli kirleticiler arasında en büyük öneme sahip kirletici olarak değerlendirilmektedir. Gerek 2017 tarihinde yürürlüğe giren IMO Gemilerin Balast Suyu ve Sedimanlarının Kontrolü ve Yönetimi Uluslararası Sözleşmesi gerekse 2012 yılında yürürlüğe giren ABD Mevzuatı (Final Rule), deşarj edilecek balast suyunda beher hacimde bulunabilecek organizmaları sınırlandıran standartlar getirmiştir. Mevcut uygulamada bu şartların sağlanması için gemilerin balast suyu arıtma sistemi ile donatılması gerekmektedir.

Verimliliği çeşitli faktörlere bağlı olan ancak kurulum ve işletim maliyeti milyon dolar mertebelerinde olan sistemler gemilere kurulsa da çevresel risklerin devam edeceğine, yasal yükümlüklerin karşılanamayabileceğine ve dolayısıyla gemi sahiplerinin yaptırımlarla karşılaşabileceğine dair endişeler devam etmektedir. Bu endişeler balast suyu arıtımı yerine uygulanabilecek daha farklı çözümler üretmeye yönelik çalışmalara hız kazandırmıştır. Gemilerin Standart balastlı gemi yaklaşımına alternatif yaklaşımlarla tasarlanarak inşa edilmesi 2000'li yıllardan beri farklı çözümler arayışları içerisinde yer almaktadır. Balastız ilk LNG tedarik gemisinin 2018'de denize indirilmesiyle gemi inşa sanayinde yeni bir rekabet alanı açılmıştır.

Bu çalışmada, balast suyunun vazgeçilmez olarak kabul edildiği mevcut gemi inşa anlayışında yaşanmakta olan paradigma değişikliğine dikkat çekilmekte; balastız gemi üretilmesi için yapılan araştırma ve geliştirme faaliyetleri ve de gelinen mevcut durum özetlenmektedir.

**Anahtar kelimeler:** balastız gemi, balast suyu, istilacı türler, sıfır balastlı gemi

**Makale geçmişi:** Geliş 29/08/2022 – Kabul 03/12/2022

<https://doi.org/10.54926/gdt.1168354>

# Paradigm Shift in Ship Design: Ballastless Ship

Ceren Bilgin Güney

Department of Shipbuilding and Ocean Engineering, Faculty of Naval Architecture and Ocean Engineering,  
İstanbul Technical University, İstanbul, Türkiye

bilgincer@itu.edu.tr, ORCID: 0000-0003-3445-8688

## ABSTRACT

As an indispensable component of the traditional shipbuilding approach, ships carry billions of tons of ballast water each year, as well as commercial products. Species translocated between the world's biogeographic regions during this transport cause important ecological, economic, and health problems.

Ballast water, unlike other pollutants, is considered to be the most important pollutant among ship-borne pollutants due to potential increase in its harm over time. Both the IMO International Convention on the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, which entered into force in 2017, and the US Legislation (Final Rule), which entered into force in 2012, have introduced standards that limit the organisms that can be found in the ballast water to be discharged. In current practice, ships must be equipped with a ballast water treatment system to meet these standards.

Even if the systems, whose efficiency depends on various factors, but whose installation and operating costs are in the millions of dollars, are installed on ships, there are still concerns that environmental risks will continue, legal obligations may not be met, and therefore ship owners may face sanctions. These concerns have accelerated the efforts to produce different solutions that can be applied instead of ballast water treatment. The design and construction of ships with alternative approaches to the standard ballasted ship approach have been in search of different solutions since the 2000s. With the launch of the first non-ballast LNG bunkering ship in 2018, a new competitive field has been opened in the shipbuilding industry.

In this study, attention is drawn to the paradigm shift in the current understanding of shipbuilding, in which ballast water is considered indispensable; The research and development activities for the production of ballastless ships and the current situation are summarized.

**Keywords:** ballast-free ship, ballast water, invasive species, zero ballast ship

**Article history:** Received 29/08/2022 – Accepted 03/12/2022

## Kısaltmalar:

CFD: Hesaplamalı Akışkan Dinamiği (*Computational Fluid Dynamics*)

DWT: Bir geminin ne kadar ağırlık taşıyabileceğinin bir ölçüsüdür (*deadweight tonnage*).

IMO: Uluslararası Denizcilik Örgütü (*International Maritime Organization*)

MIBS: Minimal balastlı gemi (*Minimal Ballast Water Ship*)

NOBS: Sıfır balastlı gemi (*Non-Ballast Water Ships*)

VLLC: 180-320 bin DWT arasındaki gemiler (*very large crude carrier*)

## 1.Giriş

Balast terimi boş geminin dengesini güvenilir hale getirmek, ya da pervaneden alınacak verimi maksimize etmek amacıyla pervanenin iyice suya gömülmesini sağlamak için gemiye alınan ağırlıkları tanımlamakta kullanılmaktadır. Ticari nedenlerle elbette gemilerin maksimum yük ve minimum balast ile seyahat etmesi tercih edilmektedir. Hatta balast kelimesi etimolojik olarak Orta Flemenkçe’de “nafile yük” anlamına gelmektedir (National Research Council 1996). Her ne kadar ticari olarak istenmese de geleneksel gemi inşa teknolojisinde, gemilerin güvenliği ve verimli seyri için vazgeçilmez olması nedeniyle, ticari ürünlerin yanı sıra, yılda yaklaşık olarak 12 milyar ton balast suyu gemilerle taşımaktadır (Bax et al. 2003). Ancak bu taşınım esnasında binlerce tür dünyanın biyocoğrafik bölgeleri arasında yer değiştirmekte, bu türlerden bazıları geldikleri ortamda yaşamlarını sürdürüp çoğalarak istilacı tür haline gelmektedir. Bu taşınım sonucunda oldukça önemli ekolojik, ekonomik ve insan ve toplum sağlığı sorunları yaşanabilmektedir (Bailey 2015; Lavoie, Smith, and Ruiz 1999; Lovell and Stone 2005; Ruiz et al. 1997; Takahashi et al. 2008). Balast suyu, yol açtığı biyolojik kirlenme nedeniyle, gemi kökenli kirleticiler arasında en büyük öneme sahip kirleticiler olarak değerlendirilmektedir (Arslan, Solmaz, and Usluer 2022).

Yabancı türlerin gemilerde balast ile taşındığına dair bulgular, kuru balastın kullanıldığı 17. yüzyılın başlarında Avrupa’dan Kuzey Amerika’ya yapılan seyahatlere kadar uzanmaktadır. Ancak özellikle 1970ler ve sonrasında balast suyunun türlerin taşınmasındaki rolünün fark edilmesiyle (Carlton 1979; Davidson and Simkanin 2012; Medcof 1975) dünyanın farklı coğrafyalarında bir çok çalışmayla problemin önemi ortaya konmuş; problemin boyutları anlaşılmıştır (Bailey 2015; Chu et al. 1997; Davidson and Simkanin 2012; Gollasch, Minchin, and David 2015; Gonçalves 2013; Grigorovich et al. 2003; Hallegraeff 2015; Hallegraeff and Bolch 1991; Lavoie et al. 1999; Occhipinti-Ambrogi and Savini 2003; Ojaveer et al. 2014; Wu et al. 2019).

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) de 1990’larda bu konuyu gündemine almış, uzun yıllar süren çalışmaların ardından 03 Şubat 2004’te Gemilerin Balast Suyu ve Sedimanlarının Kontrolü ve Yönetimi Uluslararası Sözleşmesini imzaya açmıştır. Kısaca IMO Balast Suyu Sözleşmesi olarak anılan bu yasal düzenlemenin yürürlüğe girebilmesi için gereken şartların sağlanması ise 12 yıl sürmüş (Bilgin Güney 2018), nihayetinde 8 Eylül 2017 tarihinde sözleşme yürürlüğe girmiştir. Balast suyu sözleşmesine taraf olan ülkelere kayıtlı olup, uluslararası seferlerde balast suyu alan ve kullanan tüm gemiler sözleşme kurallarına uymakla yükümlüdür (IMO 2004). Diğer taraftan istilacı yabancı türler yüzünden yıllık 120 milyar dolara varan büyük çevresel hasarlar ve kayıplar yaşayan ABD (Pimentel, Zuniga, and Morrison 2005), bu türlerin taşınmasında önemli bir vektör olan balast suyu ve sedimanı ile ilgili düzenlemeler için IMO Sözleşmesi’ne taraf olmamış, daha katı uygulamalar içerecek şekilde kendi mevzuatını (*Final Rule*) geliştirerek Haziran 2012 itibarıyla yürürlüğe sokmuştur. Bu mevzuat ABD ve Kanada Münhasır Ekonomik Bölgesi dışında balast suyu alan ABD sularında boşaltma yapan tüm gemiler için geçerlidir (Campara et al. 2019).

IMO'nun Balast Suyu Sözleşmesi ve de ABD sularında uygulanan mevzuat, dünya denizcilik sektöründe balast suyu yönetimi açısından en belirleyici iki yasal rejim olarak uygulanmaktadır. Bu iki rejim arasında bazı farklılıklar olsa da, her ikisi de nihayetinde gemilerin balast suyu deşarj standartlarına uymasını gerektirmektedir (Campara et al. 2019). Gerek IMO Balast Suyu Sözleşmesi gerekse ABD Mevzuatında belirtilen standartlar, deniz suyunda bulunacak organizmaları boyutlarına göre sınıflandırarak beher hacimde bulunabilecek maksimum organizma sayısını vermektedir. Bu standartların sağlanması için hâkim olan uygulama, gemilerin tabi olduğu yasal rejim tarafından belirtilen koşullarda onay almış bir balast suyu arıtma sistemiyle donatılması şeklindedir. Bu sistemlerin geliştirilmesi için yapılan çalışmalar, IMO Balast suyu sözleşmesi hız kazanmış ve geliştirilen sistemler 2007 yılından itibaren onaylanmaya başlamıştır (Gerhard et al. 2019).

IMO Sözleşmesinin uygulamasında eşgüdüm sağlanabilmesi için Temmuz 2005'ten Ekim 2008'e kadar 14 set Kılavuz geliştirilmiştir. Bu Kılavuzlardan bazıları, ilk onaylandıkları tarihten bu yana revize edilmiştir. Bu 14 set kılavuz arasında 8. sırada yer kısaca ve G8 olarak da bilinen Balast Suyu Yönetimi Sistemlerinin Onaylanmasına Dair Kılavuz (*Guidelines for approval of ballast water management systems (G8)*), IMO Balast suyu Sözleşmesinin uygulanmasının ana bileşeni olması nedeniyle tüm kılavuzlar arasında oldukça farklı bir öneme sahiptir. Bu Kılavuz 2016 yılında revize edilmiş, Nisan 2018'de 'Balast Suyu Yönetimi Sistemleri Onay Kodu' olarak, kılavuz olma niteliğinin ötesinde, zorunlu bir rejim haline getirilmiştir (MEPC 2018). Bu zorunlu onay rejiminin uygulama takvimine göre, 28 Ekim 2020'de veya sonrasında gemilere kurulan balast suyu yönetim sistemlerinin tamamının, 2016'da revize edilmiş G8 gerekliliklerine göre Tip Onayına sahip olması gerekmektedir. Ancak, 28 Ekim 2020'den önce gemilere kurulmuş olan sistemler için mevcut tip onayı geçerliliğini korumaktadır. IMO Tip Onayı almış olan sistemlerin listesi incelendiğinde eski G8 rehberine göre toplan 78 IMO Tip Onayı verilmişken revize edilmiş 2016 G8 kılavuzuna göre halihazırda 47 Tip Onayı verilmiş durumdadır, bu liste IMO tarafından en son aralık 2021'de revize edilmiştir (IMO 2021). Güncel durum IMO'nun resmî web sitesinden kontrol edilebilir.

Mevcut balast suyu arıtma sistemlerin çoğu istenilen standartlarda balast suyu dezenfeksiyonu sağlayabilmek amacıyla farklı teknolojilerin kombinasyonları şeklinde oluşturulmuş sistemlerdir. Sistemlerin verimlilikleri ise sitemde kullanılan teknolojilere bağlı olarak, suda mevcut olan organizmaların yanı sıra, suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerinden (tuzluluğu, sıcaklığı, bulanıklığı, kirletici yükü vb) etkilenebilmektedir. Diğer taraftan oldukça yüksek maliyetli (Bilgin Güney 2017) olan bu sistemlerin etkileri, avantajları ve dezavantajları hakkında mevcut bilgiler çoğunlukla laboratuvar ölçekli çalışmalardan elde edilmektedir. Balast suyu arıtımının karmaşık yapısı nedeniyle, yöntemlerin gerçekçi koşullar altında kapsamlı bir şekilde test edilmesi gerekmektedir (Hess-Erga et al. 2019). Örneğin yakın zamanda yayınlanmış olan, balast suyu arıtım sistemleriyle donatılmış olan 29 geminin balast suyu örnekleriyle yapılmış olan kapsamlı bir çalışmada, bu örneklerin %48'inde, IMO Balast suyu Sözleşmesi ve ABD Mevzuatında boyutu 50 µm ve üstü olan organizmalar için belirlenmiş olan standartların aşıldığı tespit edilmiştir (Bailey et al. 2022). Bu çalışmada limit aşımının mevcut sistemlerden kaynaklanabileceği gibi, sisteminin gemi üzerinde kullanılması esnasında karşılaşılan problemlerden ve de uygulamada yapılan hatalardan da kaynaklanabileceği belirtilmektedir. Söz konusu çalışma, kurulum ve işletim maliyeti milyon dolar mertebelerinde olan sistemler gemilere kurulsu da çevresel risklerin devam edeceğine, yasal yükümlüklerin karşılanamayabileceğine ve dolayısıyla gemi sahiplerinin yaptırımlarla karşılaşabileceğine işaret etmektedir.

Gemilerin balast suyu arıtım sistemleriyle donatılması, her ne kadar hâkim uygulamada balast suyu yönetiminin zorunlu bir gereği gibi kabul edilse de aslında Balast Suyu Sözleşmesi B-3.7 yönetmeliğiyle, çevreye eşdeğer koruma sağladıklarının kabul edilmesi koşuluyla, balast suyu yönetimi için alternatif yöntemlerin geliştirilmesine ve onaylanmasına izin vermektedir. Bu kapsamda çeşitli yöntemler uzun

yıllardır değerlendirilmektedir Balast suyunun limanda arıtımı (Maglić, Zec, and Frančić 2015; Pereira and Brinati 2012; Satır and Doğan-Sağlamtimur 2014); gemilerde balast suyu olarak içilebilir/tatlı su kullanımı (Albert et al. 2017; Suban, Vidmar, and Perkovič 2010); standart balastlı gemi yaklaşımına alternatif yaklaşımlarla gemilerin tasarlanarak inşa edilmesi vb. bu değerlendirilen yöntemler arasında yer almaktadır (GESAMP 2011).

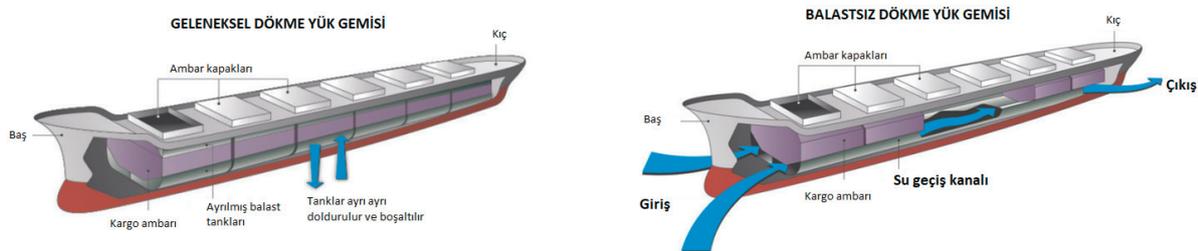
Gemi tasarımında yapısal değişikliklerle balast suyu ihtiyacını ortadan kaldırmak ya da minimize etmek için yapılan araştırma-geliştirme faaliyetleri 2000'lerin başından beri devam etmektedir. Geleneksel noktanın belirlenmesi amacıyla söz konusu faaliyetler bu çalışmada kısaca özetlenmektedir. Söz konusu faaliyetler bu çalışmada 'Sephiye kontrolünü temel alan konseptler' ve 'Tekne formuna bağlı konseptler' iki ana başlık altında incelenmiştir.

## 2.Sephiye Kontrolünü Temel Alan Konseptler

### 2.1. Boyuna Kanallar: Ballast-Free / Değişken Sephiye

Orijinal ismiyle *Ballast-free* konsepti ABD Michigan Üniversitesinde Parsons ve ekibi tarafından ilk olarak 2001'de tasarlanmış ve 2004 yılında patent alınmıştır (US Patent #6694908 2004). Bu tasarımın orijinal isminde yer alan *Ballast-free* (yani balastsız) ibaresi aslında geminin tamamen balastsız olduğuna değil 'yabancı' balast suyu taşımadığına işaret etmektedir. Bu tasarımla önerilen sistem her zaman 'yerel' balast suyu taşınmasını sağlamaktır.

Bilindiği gibi geleneksel gemi inşa yaklaşımında, güvenli ve verimli seyir koşullarının sağlanması için gemilerin tam yüklü olmadığı hallerde geminin ağırlığını artırmak için balast suyu kullanılmaktadır. Ancak Michigan Üniversitesindeki araştırmacılar problemi değişik bir bakış açısıyla ele alıp, balast koşulunda gerekli olan güvenli draftı sağlamak için yük eklemek yerine sephiyeyi değiştirmeye odaklanmış (Kotinis et al. 2004), deniz altı gemilerine benzer bir prensiple çalışacak bir Değişken Sephiyeli Dökme Yük Gemisi (*Variable Buoyancy Bulk Carrier*) tasarlamışlardır (Parsons and Kotinis 2011). Bu tasarımda geleneksel balast tanklarının yerini, geminin kargo bölümünün altında gemi boyunca uzanmasına uzanan, yapısal balast kanalları almıştır (Şekil 1) ve bu kanallar, baş tarafta bir plenum ve kıç tarafta ikinci bir plenum ile denize bağlanmaktadır (Kotinis 2005). Balast durumu için gerekli draftı sağlamak amacıyla bu kanallar suyla doldurularak sephiye azaltılır. Geminin su içindeki hareketinden dolayı geminin baş bölgesi ile kıç bölgesi arasında oluşacak hidrodinamik basınç farkı sayesinde balast kanallarında yavaş bir akış indüklenir.



Şekil 1. Değişken Sephiyeli Gemi (Kotinis 2005)

Önerilen bu sistemin hayata geçirilmesi halinde seyir esnasında balast kanalları her zaman 'yerel' su ile dolu olacağından, yabancı türlerin farklı bölgelere taşınması mümkün olmayacaktır; balastlı seyir sonunda, kanallar denizden izole edilebilir ve ardından geleneksel balast pompaları kullanılarak boşaltılabilir (Kotinis 2005).

Bu konseptle ilgili gerçekleştirilen gerek model deneyleri, gerekse CFD hesaplamalarıyla, saatte en az bir kez balast hacmi devrini sağlamaya yetecek (yani kanalların her zaman ‘yerel deniz suyu’ içermesini sağlayacak) basınç farkının, baş plenum bölgesi ile kıç plenum bölgesi arasında mevcut olduğu; tam yüklü koşulda sıfır trimde yapılan hasarsız stabilite hesapları ise tasarımın IMO Stabilite Kriterlerinin sağlandığı gösterilmiştir (Kotinis et al. 2004; Parsons 2010). Ancak bu ilk çalışmalarda aynı zamanda dirençte %2,2 ve daha da önemlisi dirence bağlı olarak gerekli sevk gücünde %7,4'e kadar artış tespit edilmiştir. Sonrasında devam eden tasarım iyileştirme çalışmalarında, giriş ve çıkış yerleri iyi bir optimizasyonla belirlendiğinde gerekli sevk gücünde %1,7'lik azalma elde edilebileceği tespit edilerek, ekonomik açıdan da yüksek maliyetli balast suyu arıtım sistemlerine göre daha iyi bir alternatif olabileceği öne sürülmüştür (Kotinis and Parsons 2010; Parsons 2010). Bu tasarım ilk sunulduğunda ihtiyaç duyulan draft ve trim kontrollerinin mürettebat tarafından sağlanıp sağlanamayacağı hususunda sorgulamalarla karşılaşmış; ancak ilerleyen aşamalarda su akış kanallarının her bir ucuna kapalı trim kontrol sistemi ve balast doldurma/boşaltma hatlarının eklenmesiyle, değişken sephiye dökme yük gemisinin ihtiyaç duyulacak draft ve trimi sağlayabileceği de gösterilmiştir (Parsons and Kotinis 2011). Kotinis ve diğ. (2004) tarafından yeni inşa gemiler için geliştirilen bu balastsız gemi (*Ballast Free Ship*) yaklaşımı başka araştırmacılar tarafından da temel alınarak yeni çalışmalara esin kaynağı olmuştur (Afif et al. 2012; Godey, Misra, and Sha 2012, 2014; Kadir, Malik, and Ali 2022).

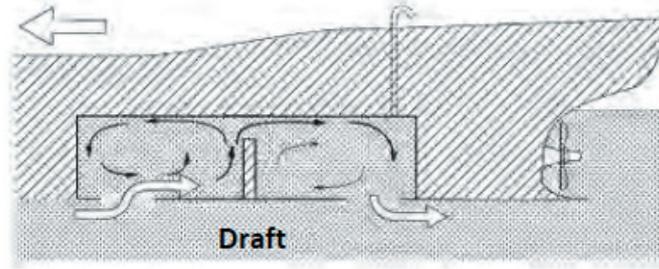
Godey ve diğ. (2012, 2014) geleneksel bir çift dip yapısına balast tankı yerine sephiye düşürmek için akışın gerçekleşeceği boyuna uzanan eliptik borular yerleştirmiş ve bu boruları başta ve sonda valflerle donatarak kontrol edilmesini sağlamıştır. Bu çalışmalarda aynı zamanda farklı kesitlere sahip boruların kullanımı da değerlendirilmiş, eliptik borular kullanılmasının ihtiyaç duyulacak balast kapasitesinde de düşüş sağladığı tespit edilmiştir. Afif ve diğ. (2012) ise mevcut LNG tanklarına da uygulanabilecek şekilde merkez hattının her iki yanına çift dip yüksekliğinde, boyuna tüneller yerleştirerek hibrit bir sistem önermiştir.

Kotinis ve diğ (2004) tarafından yapılan çalışmalarda, alınan suyun geminin kıç tarafındaki çıkış plenumundan dışarı akması nedeniyle, pervane etrafındaki akışta sınır tabakanın bozulmasına neden olduğu ve direncin büyük ölçüde bu nedenle arttığına dikkat çeken Kadir ve diğ. (2022), yaptıkları çalışmada çıkış plenumunda hava enjeksiyonuyla hava tabakası üretecek bir sistem önermiş, bu sayede su ile gövde yüzeyi arasındaki etkileşimi ve direnci azaltacak bir yağlama etkisiyle, balastsız gemi performansının artırılabilirliğini öne sürmüştür.

## 2.2. Sephiye Kontrol Kompartımanları

Yokohama Ulusal Üniversitesi tarafından geliştirilen bu tasarım Kotinis ve diğ (2004) tarafından boyuna kanallar kullanılarak önerilen sisteme benzer bir prensiple çalışmaktadır. Ancak bu tasarımda gemi boyunca uzanan kanallar kullanmak yerine, sephiye kontrol kompartımanlarının kullanılması önerilmektedir (Şekil 2). Bu sistemin yeni inşa gemilerin yanı sıra, mevcut gemilerin balast tanklarının sephiye kontrol kompartımanlarına dönüştürülmesiyle retrofit olarak da uygulanabileceği değerlendirilmektedir (GESAMP 2011; Godey et al. 2012). Bu tasarıma göre, yüksüz durumda yeterli draftı sağlamak önce bölmeler su ile doldurulur; normal seyir hızında, pompalara ihtiyaç duyulmadan bölmelere su giriş ve çıkışı sağlanarak bölmelerdeki su değiştirilir.

Bu konsept patent başvurusu yapılmış olmakla birlikte literatürde doğrudan bir bilgiye erişilememiştir. Sistemin teorik kaldığı geliştirmek için çalışmalar yapılmamış olduğu, 2011 yılında GEF-UNDP-IMO *GloBallast Partnerships Programme* Koordinasyon Birimi tarafından yayınlanmış olan raporda da belirtilmektedir (GESAMP 2011).



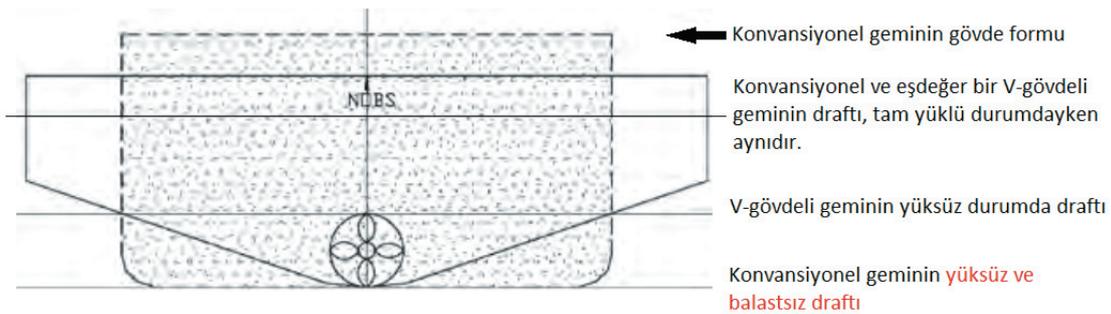
**Şekil 2.** Sephiye kontrol kompartımanları (GESAMP 2011)

### 3. Tekne Formuna Bağlı Konseptler

#### 3.1. V-Formunu Temel Alan Konseptler

Japonya Gemi İnşa Araştırma Merkezi (*Shipbuilding Research Centre of Japan (SRC)*), sıfır balastlı (ya da diğer bir deyişle balastsız) gemiler (*Non-Ballast Water Ships (NOBS)*) ile ilgili Ar-Ge faaliyetlerine 2001 yılında başlamış, özellikle 2003 sonrasında tankerler üzerine yoğunlaşmıştır (GESAMP 2011; Hong and Huabin 2018). Optimal gövde şekli ve sephiye dağılımı üzerine geliştirilen düşünceler V-formlu balastsız gemilerin çıkış kaynağı olmuştur (Şekil 3); V-gövde tipi konvansiyonel ticari gemilerinin düz dip yapısına göre oldukça farklı bir yapıdadır (GESAMP 2011).

Bu tasarımın en büyük özelliği, geminin alt kısmının gövdesinin daha narin olması ve geminin alt kısmının aşağı doğru çıkıntı yapan V şeklinde bir form oluşturmasıdır; bu form sephiye merkezinin yerini düşeyde değiştirdiği için, boşken geminin ağırlığını destekleyebilecek yeterli draft sağlanmaktadır (Elkady, Han, and Gao 2014a; Hong and Huabin 2018). V-gövde formunda uzunluk değiştirilmeden genişlik  $\sim$ %30 arttırıldığında, geleneksel tekneninkiyle eşdeğer bir deplasman, aynı tam yüklü draftta sağlanmaktadır (Elkady, Han, and Gao 2014b; Elkady et al. 2014a; GESAMP 2011).



**Şekil 3.** V-gövdenin draftı yüksüz durumda konvansiyonel tekneninkinden daha derin (GESAMP 2011)

Japonya Gemi İnşa Araştırma Merkezi SRC, V-gövde formunu bir Suezmax tankerivle bir VLCC gemi modeline uygulamış; teknik fizibilite, maliyet, güvenlik, sağlık ve çevresel yönleriyle değerlendirmiştir (GESAMP 2011). Her ne kadar V-gövdeli bu gemi tasarımı yüksüz durumda balastsız seyir yapabilme kabiliyetine sahip olsa da, her iki gemi için yapılan fizibilite çalışmalarına kötü hava koşulları için iki ayrı balast tankı eklemiştir. Bu nedenle bu tasarım Fırtına Balastı (*Stom Ballast*) olarak da adlandırılmaktadır.

V-gövdeli formun eğik dip yapısı gemiye yüksüz koşulda uygun draft sağladığı için aşırı dövünme, pervanede devir artışı, stabilite problemlerini engellenmektedir; aynı zamanda deplasmanın ve ıslak yüzeyin azalması dirençte ve geminin suda ilerlemesi için gerekli motor gücünde de büyük azalma

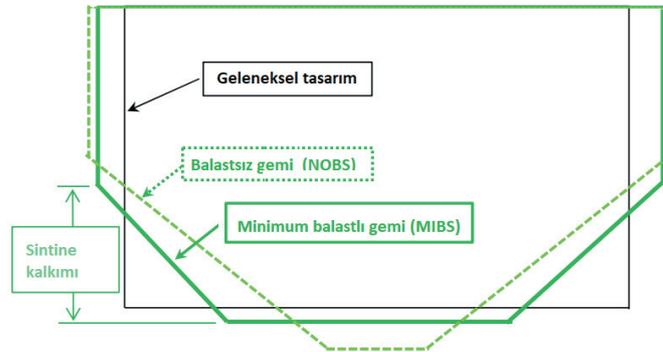
sağlar (Kashiro 2016). Ancak V-gövdeli tekne tam yüklü durumdayken genişlik ve ıslak yüzey alanında artış olacağından konvansiyonel bir gemiye kıyasla direnç artışına, dolayısıyla sevk verimindeki düşüş ve de maliyet artışına neden olmaktadır. Gemi genişliği dışındaki ana boyutlar sabit tutulup sintine kalkım açısının değiştirilmesiyle elde edilen formlarla yapılan çalışmalar, toplam direncin açıyla beraber arttığını göstermektedir; özellikle yüksek hız koşullarında, genişliğin artışı nedeniyle su hattı giriş açısının artması, geminin dalga direncini daha da etkilemektedir (Elkady et al. 2014a, 2014b).

Islak yüzey alanındaki artışla birlikte artan dirençten kaynaklanan ek maliyet, farklı gemi tipleri için değerlendirildiğinde, V-formunun daha çok tankerler ve dökme yük gemileri için uygun olduğu görülmektedir; ancak yükleme ve boşaltma koşulları da değerlendirildiğinde dökme yükten daha ziyade tankerler için uygulanabilir olduğu anlaşılmaktadır (GESAMP 2011).

Bununla birlikte gemi genişliğinin artması, inşa aşamasında bir takım ek maliyetler getirecek (artan çelik ihtiyacı, çoğu tersanede kuru havuz ve bazı diğer yapılarda modifikasyon gereksinimi vb.), dar kanallarda manevra zorluğuna, yüklü durumda artan draftla birlikte limanlarda yanaşma problemlerine neden olabilecektir (GESAMP 2011).

### 3.1.1. Minimal Balastlı Gemi Konsepti-*Minimal Ballast Water Ship* (MIBS)

Minimal balastlı gemi formu, Japonya Gemi İnşa Araştırma Merkezi (*Shipbuilding Research Centre of Japan* (SRC)), tarafından orijinal NOBS konseptine dayanılarak geliştirilmiştir. Bu konseptin de konvansiyel gemiye göre öne çıkan özellikleri orta kesitte eğik bir dip yapısına (sintine kalkımına) ve daha düşük bir baş draftına (daha büyük bir trim) sahip olmasıdır. Diğer taraftan NOBS konseptine göreyse bu konseptte daha düşük bir sintine kalkımı ve daha geniş düz dip yapısı mevcuttur (Şekil 4) (Kashiro 2016).



Şekil 4. Balastsız (NOBS)/Minimum balastlı gemiler (MIBS) (Kashiro 2016)

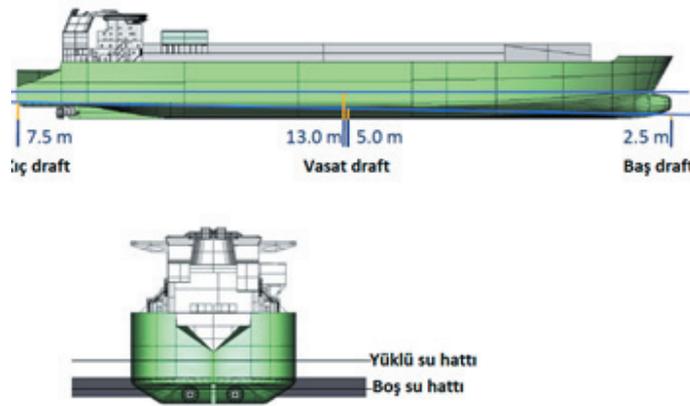
Minimal balastlı gemilerin (MIBS) formu yüksüz durumda aynı NOBS konsepti gibi benzer avantajlar sağlamaktadır. Diğer taraftan, konvansiyel gemiyle aynı ana boyutlarda ( $L$  gemi boyu,  $B$  gemi genişliği,  $d$  dizayn draftı) olup, böyle bir orta kesite sahip olan bir gemi tam yüklü durumda daha az deplasmana ve dolayısıyla daha düşük DWT'a tonaja sahip olacaktır. Kaybedilen DWT geri kazanılması için, bu temel boyutlardan bazılarını büyümesi gerekir (Kashiro 2016).

Namura Gemi İnşa, Oshima Gemi İnşa ve Japonya Gemi İnşa Araştırma Merkezi tarafından 2009-2012 yılları arasında tankerler ve dökme yük gemileri için MIBS geliştirmeye yönelik gerçekleştirilen ortak projede Harmonize Ortak Yapım Kuralları (*Harmonized Common Structural Rules* (HCSR)) dikkate alınarak gemilerin ana boyutları, gemi ortası kesit şekli, mukavemeti, yükleme durumu vb. hakkında birtakım çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar Japon Kara, Altyapı, Ulaştırma ve Turizm Bakanlığı

(MLIT), *The Nippon Foundation*, *Nippon Kaiji Kyokai* (ClassNK) ve *Japan Ship Technology Research Association* (JSTRA) tarafından sübvansede edilmiş veya desteklenmiştir. Çalışmada ana boyutların ( $L$ ,  $B$ ,  $d$ ), orta kesitte sintine kalkımının ve balast koşulunda baş draftın çeşitli kombinasyonları incelenmiş, çalışmaların detayları Kashiro (2016) tarafından yayınlanmıştır.

### 3.1.2. STX tasarımı LNG Gemisi: Improve

STX'in Fransa'daki Saint-Nazaire tersanesinde 2009 yılında AB tarafından finanse edilen IMPROVE projesi (EU FP6-IMPROVE) kapsamında geliştirilen bu tasarımla önerilen gemi standart bir Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (LNG) taşıyıcısı gibi çift cidarlıdır, 19.5 knot ile dünya çapında ticaret yapabilme yeteneğine sahiptir, kış kısmında konaklama mahalleri yer almaktadır ve ayrıca uygun koferdamlara sahip 5 adet membran kargo tankı bulundurmaktadır; ancak bu tasarım özellikle V-formuna dayalı tekne formu (Şekil 5) ve podlu sevk sistemi uyarlanmasıyla standart LNG gemilerinden farklılaşmaktadır (Claes and Guillaume-Combecave 2009). Dikeyler arası uzunluğu yaklaşık 303 m olan bu 220 000 m<sup>3</sup> kapasiteli LNG gemisinin 5 tankından 4'ü prizmatik geometriye sahiptir, V-formu olarak modifiye edilmiş olduğu için bu teknenin blok katsayısı ise standart gemiye göre daha düşüktür (Caprace, Bair, and Rigo 2010).



Şekil 5. STX tasarımı LNG gemisi (King 2010)

STX tasarımında gemi, ömrünün %90'unu balast kullanmadan seyir yapabilecek şekilde geliştirilmiştir ancak koşullara bağlı olarak, gemi ömrünün %10'unda balast kullanması gerekebilir (Caprace et al. 2010). Benzer kapasiteli standart bir LNG gemisi için 65.000 tondan fazla balast suyu ve çift dip boyunca uzanan balast tanklarına ihtiyaç duyulmaktadır, ancak bu tasarıma göre deniz suyu kullanılacak balast tanklarına sadece iki koşulda ihtiyaç duyulacağı öngörülmektedir (Claes and Guillaume-Combecave 2009):

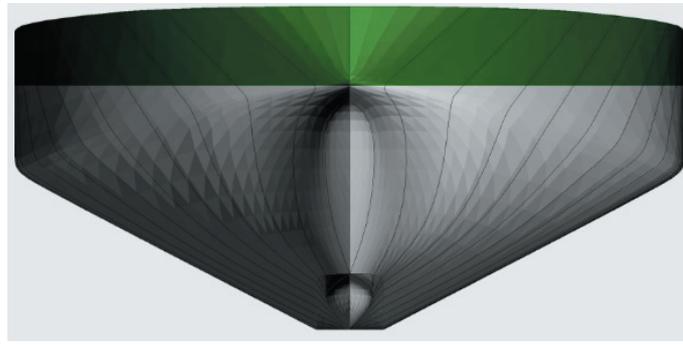
1. LNG yükleme/boşaltma işlemleri sırasında, yükleme kollarının erişimine uygun bir draftta ulaşmak için balast suyu gerekebilir ancak bu koşullarda kullanılmış olan balast suyu kalkıştan önce veya seyir başlangıcında terminale yakın bir bölgede deşarj edilebilir.
2. Seyir esnasında kötü hava koşulları ile karşılaşırsa kaptanın daha güvenli seyir için balast suyu alınmasına karar vermesi halinde gerekebilir.

Aynı ana boyutlara sahip geleneksel bir LNG taşıyıcısına kıyasla önerilen tasarımın pervane verimliliği biraz daha düşük olmasına rağmen, motorlar tarafından tüketilecek LNG tasarrufunun %0,56 ila %10 arasında olacağı hesaplanmıştır, bu ise günde 0,53 ila 9,5 ton gaza tekabül etmektedir; ayrıca, en karamsar hipotezde taşınacak balast suyu miktarının %80'den daha yüksek oranda azaltılacağı öngörülmektedir. (Caprace et al. 2010). Diğer taraftan, kimi terminalerin draft kısıtlaması nedeniyle

bu tasarımın 13 metrelik vasat draftı önemli bir dezavantaj olabileceğinden, daha küçük gemilere uyarlanması daha uygun olabilir; ayrıca küçük gemilerin rotalarının genellikle daha kısa olması sebebiyle balast operasyonları için harcanan zaman ve enerji küçük gemiler için daha büyük bir öneme sahiptir (Constantinescu, Rigo, and Guillaume-Combecave 2009).

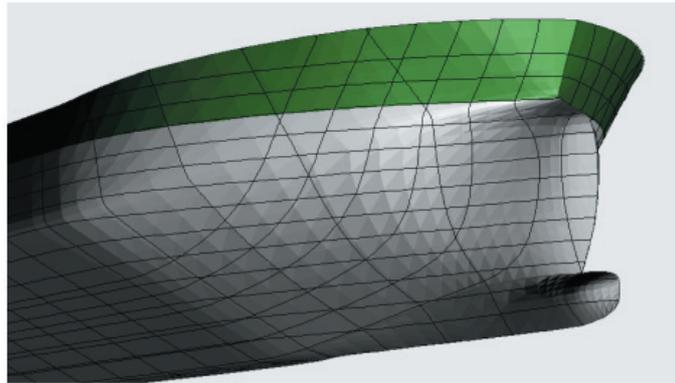
### 3.1.3. DNV Tasarımı Petrol Tankeri: *Equilibrium*

*Equilibrium*, Det Norske Veritas'taki (DNV) gemi mühensileri tarafından tasarlanan ve Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi'nde (NTNU) bir yüksek lisans tezinde daha da geliştirilen, balastsız bir petrol tankeri konseptinin adıdır. Trapezoid şekilli gövdesi (Şekil 6) ve boyuna kargo tankları sayesinde *Equilibrium*, gerek taşıma sırasında gerekse yükleme ve boşaltma esnasında balast kullanmaz.



Şekil 6. Equilibrium'un önden görünüş resmi (King 2010)

*Equilibrium* tasarımının öne çıkan özelliklerinden bir tanesi iki yumruşalı oluşudur (Şekil 7). İki yumruşalı tasarımla hedeflenen ise yüklü durumda olduğu kadar yüksüz durumda da dalga direncinin düşürülmesidir. Bu ikinci balb aynı zamanda yüklü durumda başa tirimi engellemekte, baş tarafta ekta yumruşanın getireceği sephiyeye ihtiyaca ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 7. Equilibrium'un iki balblı baş formu (King 2010)

Burada incelenmiş olan çalışmada, yumruşaya henüz ideal şekli verilmemiştir, ancak tez çalışmasını gerçekleştirmiş olan King (2010) özellikle yüksüz durumda dövünmenin engellenmesi için alttaki yumruşanın formuna büyük önem verilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. King (2010) ayrıca yalpa hareketindeki ivmelere özel dikkat gösterilerek, geminin denizcilik yetenekleri üzerinde daha fazla analiz yapılması ihtiyacı olduğunu da belirtmektedir.

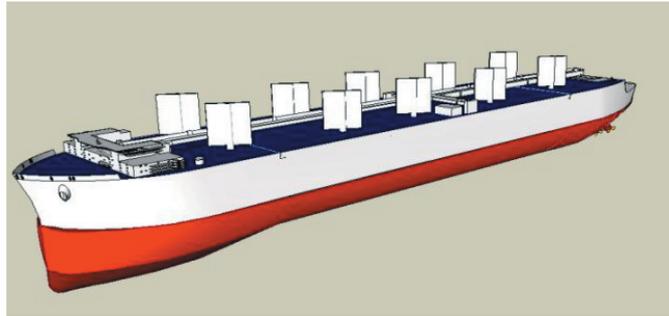
*Equilibrium*'un geleneksel tasarımlara göre en önemli avantajı kargosunu boşalttıktan sonra gerçekleşen balastsız dönüş ayaklarıyla yıllık bazda önemli bir yakıt ve CO<sub>2</sub> emisyonu tasarrufu sağlamasıdır; en önemli dezavantajı ise, Suezmax sınırlamalarından daha büyük olan *Equilibrium*'un kargo kapasitesinin geleneksel bir VLCC'den yaklaşık 60 000 ton daha düşük olmasıdır (King 2010).

Diğer taraftan 10 yıllık yaşam döngüsü maliyetlerinin aynı dönemde teslim edilen kargo miktarına bölünmesiyle elde edilen maliyet etkinlik endeksi, *Equilibrium*'un karlı bir tasarım olduğunu göstermektedir. Önerilen *Equilibrium* tasarımının, hem maliyet-fayda hem de çevresel etki açısından mevcut tankerlerle rekabet edebilecek kapasitede olduğu belirtilmektedir (King 2010).

### 3.2. Yuvarlatılmış Tekne Formu

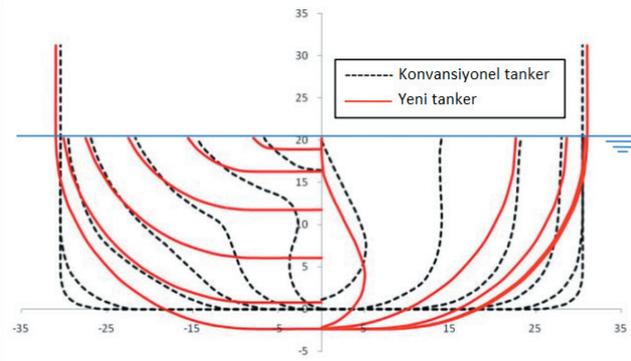
Bilindiği gibi konvansiyonel büyük tankerler ve dökme yük gemileri, daha büyük taşıma kapasitesi sağlamak için kare kesitli uzun paralel gövdelere sahiptir ancak kare kesit, sürtünme direncini artıran ıslak yüzeyin artmasına neden olduğu için daha yuvarlak kesitli paralel kısımlı gövdelere sahip balastsız gemi formu Japonya Osaka Prefecture Üniversitesi'nde geliştirilmiştir (He and Ikeda 2013; Momoki, Onishi, and Ikeda 2010; Tatsumi, Nihei, and Ikeda 2010),

Tatsumi ve diğ. (2010) tarafından enerji tasarruflu bir tanker geliştirmek üzere yapılan çalışmalarda viskoz direnci azaltmak için geminin yuvarlak hatlı ve aerodinamik bir gövde yapısına sahip olması ve de ıslak yüzey alanından kaynaklanacak direnci azaltmak için de geminin balastsız olması temel alınmıştır. Bu tasarımda balast suyu olmayan durumda bile pervane derinliğini korumak için derinliği değiştirilebilir podlu pervane kullanımı, rüzgar basıncı dahil hava direncini azaltmak için su yüzeyinin üzerinde aerodinamik şekil ve şiddetli rüzgarlarda sabit bir servis hızını korumak için yelken sistemi desteği önerilmektedir (Şekil 8 ) (Tatsumi et al. 2010).



**Şekil 8.** Enerji tasarruflu yuvarlatılmış hatlara sahip balastsız tanker (Tatsumi, Nihei, and Ikeda 2010)

Tatsumi ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmada model gemi olarak 300.000 DWT konvansiyonel bir tanker seçilmiştir, yeni gövde formu (Şekil 9), model gemi ile aynı deplasman korunarak geliştirilmiş ve geminin direnç formu deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmalarda geliştirilen gövde şeklinin, tam yükte 0,08 ve hafif yüksüz durumda 0,1 olmak üzere, daha düşük form faktörlerine sahip olduğu tespit edilmiştir; geliştirilen formda ıslak yüzeydeki %6,1'lık düşüş direncin de aynı oranda azalmasına neden olmaktadır. Ancak baş kısmının, yay formunda olması nedeniyle, 0.1-0.15 arasındaki düşük Froude sayısı bölgesinde dahi model gemiye göre daha yüksek dirence neden olduğunu tespit edilmiş (Tatsumi et al. 2010); yumru başlı formda yuvarlatılmış hatlara sahip modellerle gerek deneysel gerek sayısal çalışmalara devam edilmiştir (He and Ikeda 2014; Van He, Nihei, and Ikeda 2012).



**Şekil 9.** Konvansiyonel tanker ve yuvarlatılmış hatlara sahip tankerin en kesitleri (Tatsumi et al. 2010)

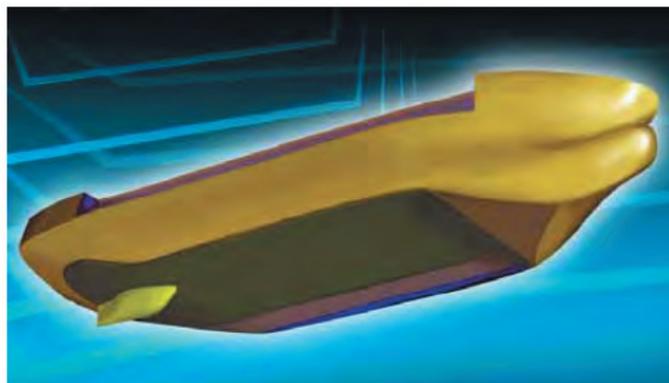
Şiddetli rüzgarlarda geminin hız kaybı üzerine yapılan çalışmalarda ise, konvansiyonel gemiye göre daha düşük dirence sahip olması nedeniyle modelin 20 m/s'lik yüksek rüzgarda bile servis hızını koruyabildiği ve konvansiyonel VLCC formu yerine önerdikleri formun uygulanması halinde Tokyo-Bahreyn arasında yapılacak balast koşulunda bir seyirde kullanılacak pervane gücünde %25'lik bir azalma sağlanacağını tespit edilmiştir (Momoki et al. 2010).

Diğer taraftan yuvarlak hatlara sahip paralel gövdeler, kare kesitli büyük tankerlere veya dökme yük gemilerine göre her ne kadar ıslak yüzey alanını (dolayısıyla sürtünmeyi) düşürse de, sahip oldukları yuvarlak kesitler nedeniyle yalpa performanslarının dikkatle araştırılması tavsiye edilmektedir (Miyake and Ikeda 2013).

### 3.3. Tekne Formuna Bağlı Diğer Konseptler

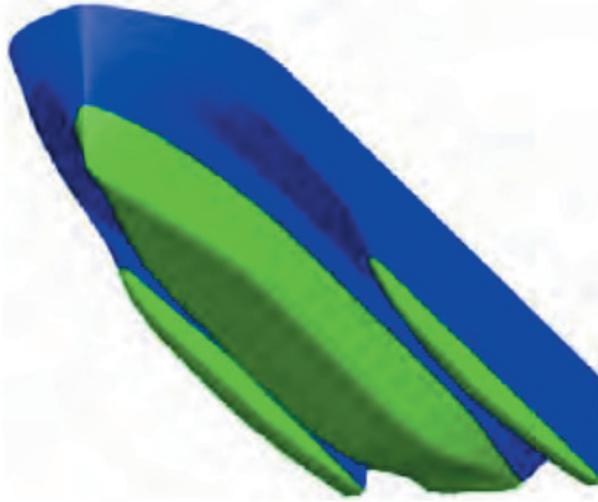
2011 yılında GEF-UNDP-IMO GloBallast Partnerships Programme Koordinasyon Birimi tarafından yayınlanmış olan raporda iki farklı tasarıma daha değinilmiştir (GESAMP 2011). Ancak bu tasarımlarla ilgili, belirtilen rapor dışında detaylı bilgi içeren yayınlara ulaşamamıştır. Bu nedenle bu iki tasarıma da burada kısaca yer verilecektir.

Bir geminin balast kullanmadan yüksüz seyir yaparken meyil yapması halinde, bu meyilli durumdan orjinal haline geri dönebilmesi uygun bir sephiye koşulunun sağlanmasına bağlıdır. Burada değinilecek her iki tasarımda bu koşulun sağlanabilmesi için geminin genişliği artırılarak, meyilli durumda ortaya çıkacak sephiye merkezinin konumunun, genişliği düşük bir gemiye kıyasla, geminin merkez hattının dışına doğru taşınması sağlanmaktadır.



**Şekil 10.** TU Delft tarafından tasarlanan sıfır balastlı monomaran gövde konsepti

Bu tasarımlardan ilki Delft Teknoloji Üniversitesi (*Delft University of Technology* (TU Delft)) tarafından bir katamaran formunun tek gövdeli tekne şeklinde adapte edilmesiyle geliştirilmiş olan 'monomaran' tekne (Şekil 10), ikincisi ise Det Norse Veritas (DNV) tarafından tasarlanan katedral tipi tekneye benzeyen üç gövdeli teknedir (Şekil 11).



**Şekil 11.** DNV tarafından tasarlanan sıfır balastlı katedral gövde konsepti

Yüksek inşa maliyetleri ve yüklü seyir halinde nispeten büyük ıslak yüzeylere sahip olmaları bu iki tekne tasarımının önemli dezavantajları olarak düşünülebilir. Her iki tasarımda geniş gövdeleri ve yüklü seyirlerde muhtemel yakıt maliyetleri nedeniyle dökme yük için uygun değiller ancak daha küçük 'yüksek hacimli' yük taşıyan gemiler için düşünülebilirler (GESAMP 2011).

Her ne kadar literatürde örneğine rastlanmasa da, yukarıda değinilen iki tasarım katamaran tekneleri akla getirmektedir. Ancak katamaranlar güverte alanını temel alan tasarım esasına sahiptir. Bu nedenle bu tip gemilerin daha çok yolcu taşımacılığı, araştırma gemisi gibi alanlarda kullanımı uygundur. Bu amaçla kullanıldığında tasarım doğaları gereği balast ihtiyaçları yoktur ya da çok düşüktür. Ancak yük taşıma açısından değerlendirildiğinde katamaran tipi gemilerin hacim esaslı yükler için uygun olmadığı görülmektedir. Bunun en önemli nedeni katamarandaki ikiz-teknelerin deplasmanının çok düşük olmasıdır. Bu tekneler, tekne içine yük alınması için uygun değildir. Güverte üzerine yapılacak yükleme ise ağırlık merkezini yukarı çekeceği için stabilitede önemli sorunlar yaratabilir. Diğer taraftan katamaran tipi gemilerin düşük açılarda ( $<5^\circ$ ) çok yüksek olan enine stabiliteleri, yalpa periyodunun çok düşük olmasına ve de dolayısıyla teknenin sert hareketler yapmasına neden olmaktadır. Bu durum katamaran teknelerin konteyner taşımacılığında kullanımını da güvenlik nedeniyle zorlaştırmaktadır. Çünkü teknenin sert hareketleri sonucunda konteynerlerin bağlama aparatlarına gelecek aşırı zorlamalar kazalara yol açabilir.

#### 4. Balastsız Seyirde Güncel Durum

Güney Kore, Ulsan merkezli *Hyundai Mipo* Tersanesi (*Hyundai Mipo Dockyard* (HMD)), bir Alman nakliye yönetim şirketi olan *Bernhard Schulte* için inşaatına 2017 yılında başladığı 7500 m<sup>3</sup> kapasiteli dünyanın en büyük LNG ikmal gemisini 2018 yılında teslim etmiştir (HMD 2018; SGMF 2018).

HMD'nin sintine kalkımlı V-formlu bir tekne olarak tasarladığı *Kairos* isimli bu geminin (Şekil 12) hasar dengesini koruyabilmesi ve de balast olmadan trim ve meyili kolayca kontrol edebilmesi için makine

dairesi ve güverte binası özel olarak baş tarafta doğru konumlandırılmış, ikiz azimut iticilere sahip sevk sistemi kullanılmıştır (LR 2018). Diğer taraftan, bildiği gibi balastsız gemilerin stabilitesini iyileştirmeye yardımcı olan sintine kalkımlı V-formun, aynı zamanda geminin hız performansını bozması da muhtemeldir. Bu nedenle HMD ağırlıklı olarak gövde formu optimizasyonuna odaklanmış ve model testleri ile de daha iyi performans gösterdiği onaylanan formunu geliştirerek ilk balastsız LNG ikmal gemisi olan *Kairos*'u inşa etmiştir (LR 2018).

*Kairos*'un piyasaya sürülmesinden sonra 2020 senesinde *Hyundai Mipo*, balastsız veya minimal balast konseptiyle 1.800 TEU feder konteyner tasarlamak üzere *Korea Maritime Transport* ve *Korean Register* ile bir Mutabakat Zaptı imzalamıştır.



**Şekil 12.** Balastsız çalışan LNG bunker gemisi *Kairos* (The Maritime Executive 2019)

Diğer taraftan Fransız şirket Gaztransport & Technigaz (GTT), ortağı *Hudong Zhonghua Shipbuilding Group Co. (HZ)* ile birlikte, balastsız gemi konseptiyle tasarlanmış *Shear-Water* LNG ikmal ve feeder gemisi (Şekil 13) için (LNGB&FV) için CCS, DNV ve BV'den Prensipten Onayı (*Approval in Principle (AIP)*) almış durumda. *Shear-Water*' konsepti, iki adet membran tankı bulunan, 18.700 m<sup>3</sup> kapasiteli V-gövde formuna sahip bir tekne olarak tasarlanmaktadır (GTT 2022).



**Şekil 13.** GTT'nin *Shear-Water* LNG gemisinin modeli (GTT 2022)

## 5.Sonuçlar ve Tartışma

Balast suyu probleminin ortaya konmasından sonra gündeme gelen gemilerin balastsız olarak inşa edilip edilemeyeceğine dair tartışmalar uzun yıllardır devam etmekte, bu konuda 20 yıldır çeşitli

konseptler geliştirilmektedir. Bu geliştirilen konseptlerde geminin güvenli seyri için ek yük alınması yerine sephiyede değişiklik yapabilecek sistemlere ve formlara yönelinmiştir.

Form değişikliğini temel alarak geliştirilen konseptler arasında yer alan yuvarlatılmış tekne formu ile ilgili çalışmalar, 'değişken sephiyeli sistem' ve V-gövde formuna dayalı sistemlere göre daha yenidir. Yapılmış olan bu çalışmalar, yuvarlatılmış çizgilere sahip teknenin direnci azalttığını ancak yumru baş kullanılması ve de stabilitenin detaylı bir şekilde değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Balast suyu taşınımını ortadan kaldırmak ya da minimize etmek için önerilen konseptler arasında en farklı olanı tartışmasız Michigan Üniversitesi'nde geliştirilmiş olan Balastsız Gemi-Değişken Sephiye Sistemidir (*Ballast Free-Variable Buoyancy System*). Bu konsepti geliştirirken araştırmacılar konvansiyonel gemi inşa yaklaşımında bir anlayış değişikliğine giderek ağırlığı arttırmak yerine sephiyeyi değiştirecek bir sistem geliştirmişlerdir. Bu sistemde her ne kadar sephiyeyi değiştirmek için deniz suyu kullanılsa da, bu suyun, 'yerel' suyla sürekli olarak değiştirilmesi nedeniyle 'yabancı' deniz suyunun biyo-coğrafik bölgeler arasında taşınması engellenebilecektir. Öte taraftan konvansiyonel gemiye göre yüksek operasyon maliyetlerinin yanı sıra sephiye kanallarının bakım tutum maliyetleri de değerlendirilmelidir. Ayrıca araştırmacılar yaptıkları çalışmalarda baş ve kık bölgeler arasında kanallardaki suyu değiştirmeye yetecek basınç farkı bulunduğunu tespit etmiş olsalar da, bu giriş çıkış yerlerinin optimizasyonu çok büyük önem arz etmektedir, aksi takdirde kanala alınan su içerde hapsolabilir. Literatürde bu konseptin uygulandığı bir gemiye rastlanmamıştır, ancak son 10 yıllık literatür taramasında da bu konseptin araştırmacıların radarında olduğu görülmektedir.

V-gövde formuna dayalı balastsız (*non ballast*) veya minimal balastlı gemi konseptlerinde, geleneksel yaklaşımlarda kullanılan gemi formunun değiştirilmesi önerilmektedir. Bu konseptte göre geminin suyun içinde kalan kısmının daha narin olması ve de geminin alt kısmının aşağı doğru çıkıntı yapan bir form oluşturması önerilmektedir. Bu şekilde sephiye merkezinin yeri düşeyde değiştirilmekte ve aşağı doğru çekilmektedir. Ancak bu, bazı temel boyutların büyütülmesini de beraberinde getirmektedir. Geminin dolu draftının büyümesi nedeniyle derinlik sınırlaması olan bazı terminallerde ve de genişlikteki artış nedeniyle iskeleye yanaşmada çeşitli problemlerle karşılaşılabilir. Ayrıca gemi dolu haldeyken ıslak yüzeyin artmasından kaynaklanacak direnç artışı ve de gemi genişliğindeki artışın getireceği ek inşa maliyetleri değerlendirilmelidir. Diğer taraftan V-formunu temel alan gemilerde balast tankı kullanılmayacak olması (ya da minimuma indirilmesi), balast tanklarında yaşanan korozyon problemi ve bakım tutum masrafı ortadan kalkacak ya da minimuma indirilebilecektir. Bu form farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen konsept tasarımlarda kullanılmış, ancak sadece konsept tasarım olarak kalmamış, Hyundai Mipo Tersanesi (*Hyundai Mipo Dockyard (HMD)*) tarafında bir Alman nakliye yönetim şirketi olan *Bernhard Schulte* için inşa edilen *Kairos* isimli gemide uygulanmıştır. *Kairos* "Dünyanın ilk balastsız LNG ikmal gemisi" olarak lanse edilmiştir, bununla birlikte güncel literatürde *Kairos* dışında balastsız gemi olarak lanse edilmiş olan başka bir gemiye rastlanmamıştır. Diğer taraftan güncel literatürde yakın gelecekte balastız/minimal balastlı gemilerin inşa edileceğine dair anlaşmaların yapıldığı, klas kuruluşlarının bu gemilere prensip onayı verdiği görülmektedir.

Balast suyu problemi 1970'lerden beri güncelliğini korumaktadır. Bu süreçte başlangıçta bilim dünyası problemin boyutlarını ortaya koymuş, yaşanan büyük problemler ve ödenen bedellerin sonrasında problemin azaltılmasına yönelik yasal rejimler geliştirilmiş, bununla eş zamanlı olarak teknoloji geliştiriciler balast suyu arıtım sistemlerinin geliştirilmesine hız vermiştir. Gemi inşa sanayi ve mühendisleri ise ancak sözleşmenin yürürlüğe girmesinin ardından uygulayıcı olarak problemin çözüm aşamasına dahil olmuşlardır. Kurulum ve işletim maliyetleriyle milyonlar mertebesinde harcama gerektiren balast suyu arıtım sistemleri yoğun bir şekilde gemilere dahil edilmeye başlanmıştır. Bu

sistemlerin yabancı türlerin taşınmasında ne kadar etkili olacağı, önlemlere ihtiyaç duyulup duyulmayacağı ancak zamanla görülecektir.

Verimliliğin yanı sıra sitemlerin gemi üzerinde kaplayacağı hacim; sistem kapasitesinin yükleme/boşaltma süreçlerinde gemi ve limanla uyumlu olması; satın alma, işletim ve bakım tutum maliyetleri gibi birçok faktör değerlendirildiğinde, gemi inşa sektörünün uygulayıcı olmaktan ziyade proaktif bir şekilde çözüm üreteceği bir sürece gidildiği görülmektedir. Balastsız gemilerin tasarlanması, gemilerin balast suyu konusundaki düzenlemelerden muaf olmasını sağlayarak balast suyu arıtım sistemlerine yapılacak harcamaları ortadan kaldırırken, aynı zamanda balast tanklarına olan ihtiyacı da elimine ederek tanklarının bakım tutum maliyetlerinin de bertaraf edilmesini sağlayacaktır. Rota ve amaçları bakımından balastsız olarak inşa edilmesi mümkün olmayan gemilerse, minimum balast alacak şekilde inşa edilmesi hem sistem hem de balast tanklarıyla ilgili maliyetlerde önemli ölçüde düşüş sağlayacak, sistem seçiminde kapasite ve yer ile ilgili kısıtlayıcı faktörlerin etkisini en aza indirilecektir.

Elbette bu sektörün önündeki tek konu balast suyu ile ilgili kurallar değildir. Ancak özellikle 'sürdürülebilirlik' kavramının gelecek on yıl içinde mevcut teknoloji anlayışlarının hemen hemen tamamını değişikliğe zorlayacağı aşikardır. Ek maliyet olmadan, çevresel düzenlemelerin gereklerini karşılayabilecek gemilerin üretilmesine yönelik taleplerin artacağı yakın gelecekte, rekabet gücünün korunabilmesi için bu değişikliklere hızlı bir şekilde uyum sağlanması gerekmektedir.

Bu çalışmayla, balast suyunun vazgeçilmez olarak kabul edildiği mevcut gemi inşa anlayışında yaşanmakta olan paradigma değişikliğine dikkat çekilmekte; yakın ve orta vadede bu yönde yaşanacak talep ve ihtiyaca gerek tasarım gerek üretim gerekse denetim ve kontrol açısından hazırlıklı olunması gerektiğine işaret edilmektedir.

### Özetle:

1. Balastsız gemi için geliştirilen konseptlerde geminin güvenli seyirinin sağlanması için ek yük alınması yerine sephiyede değişiklik yapabilecek sistemlere ve formlara yönelinmiştir.
2. Balastsız Gemi-Değişken Sephiye Sistemi (*Ballast Free-Variable Buoyancy System*) tasarımında draftı sağlamak için yük eklemek yerine denizaltı prensibine benzer bir şekilde çalışacak sephiye kanalları kullanılmıştır. Bu tip bir tasarımda suyun kanallarda hapsolmemesi için baş ve kık plenum yerlerinin hassas bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir, ayrıca yüksek operasyon maliyetlerini ve sephiye kanallarının bakım tutum maliyetleri değerlendirilmelidir.
3. V-gövde formuna dayalı balastsız gemi (NOBS) ve minimal balastlı gemi (MIBS) konseptlerinde sephiye merkezi aşağıya doğru çekilmektedir. Ancak bu temel boyutların büyümesini beraberinde getirmektedir. Bu tip formlarda draft artışı derinlik sınırlaması olan bazı terminallerde; genişlik artışı ise iskeleye yansıtmada problemlere yol açabilir.
4. Yuvarlatılmış çizgilere sahip tekne formu direnci azaltmaktadır. Diğer taraftan bu tip gemilerde stabilitenin detaylı bir şekilde değerlendirilmesine ihtiyaç vardır.
5. V-gövde formu Hyundai Mipo Tersanesi tarafından inşa edilen ve "Dünyanın ilk balastsız LNG ikmal gemisi" olarak lanse edilen Kairos'da uygulanmıştır.

### Referanslar

Afif, Hairil, Norul Hidayah, Mohd Zamani Ahmad, Mohd Afifi, Abdul Mukti, Adi Maimun, Abd Malek, and Agoes Priyanto. 2012. "The Concept of Hybrid Ballast Free System." in The 6th Asia-Pacific Workshop on Marine Hydrodynamics-APHydro2012. Malaysia.

Albert, Ryan J., Edward Viveiros, Debra S. Falatko, and Mario N. Tamburri. 2017. "Feasibility of Potable Water Generators to Meet Vessel Numeric Ballast Water Discharge Limits." *Marine Pollution Bulletin* 120(1–2):82–89. doi: 10.1016/J.MARPOLBUL.2017.04.055.

Arslan, Osman, Murat Selçuk Solmaz, and Hasan Bora Usluer. 2022. "Determination of the Perception of Ship Management towards Environmental Pollution Caused by Routine Operations of Ships." *Aquatic Research* 5(1):39–52. doi: 10.3153/ar22005.

Bailey, Sarah A. 2015. "An Overview of Thirty Years of Research on Ballast Water as a Vector for Aquatic Invasive Species to Freshwater and Marine Environments." *Aquatic Ecosystem Health and Management* 18(3):261–68. doi: 10.1080/14634988.2015.1027129.

Bailey, Sarah A., Torben Brydges, Oscar Casas-Monroy, Jocelyn Kydd, R. Dallas Linley, Robin M. Rozon, and John A. Darling. 2022. "First Evaluation of Ballast Water Management Systems on Operational Ships for Minimizing Introductions of Nonindigenous Zooplankton." *Marine Pollution Bulletin* 182:113947. doi: 10.1016/J.MARPOLBUL.2022.113947.

Bax, Nicholas, Angela Williamson, Max Aguero, Exequiel Gonzalez, and Warren Geeves. 2003. "Marine Invasive Alien Species: A Threat to Global Biodiversity." *Marine Policy* 27(4):313–23. doi: 10.1016/S0308-597X(03)00041-1.

Bilgin Güney, Ceren. 2017. *BALAST SUYU ARITIM SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ*. İstanbul.

Bilgin Güney, Ceren. 2018. "IMO BALAST SUYU SÖZLEŞMESİ'NE GÖRE BALAST SUYU YÖNETİMİ VE GÜNCEL DEĞİŞİKLİKLER." *GİDB | DERGi* (12):21–36.

Campara, Leo, Vlado Francic, Lovro Maglic, and Nermin Hasanspahic. 2019. "Overview and Comparison of the IMO and the US Maritime Administration Ballast Water Management Regulations." *Journal of Marine Science and Engineering* 7(9).

Caprace, J. D., F. Bair, and P. Rigo. 2010. "Scantling Multi-Objective Optimisation of a LNG Carrier." *Marine Structures* 23(3):288–302. doi: 10.1016/J.MARSTRUC.2010.07.003.

Carlton, JAMES THEODORE. 1979. "History, Biogeography, and Ecology of the Introduced Marine and Estuarine Invertebrates of the Pacific Coast of North America." University of California.

Chu, K. H., P. E Tam, C. H. Fung, and Q. C. Chen. 1997. "A Biological Survey of Ballast Water in Container Ships Entering Hong Kong." *Hydrobiologia* 352:201–6. doi: 10.1023/A:1003067105577.

Claes, L., and J. L. Guillaume-Combecave. 2009. "An Innovative LNG Carrier." Pp. 87–89 in *EU FP6 project IMPROVE-Final Conference IMPROVE 2009, Conference Papers Vol 1*, edited by V. Žanić and J. Andrić. Zagreb.

Constantinescu, A., P. Rigo, and J. L. Guillaume-Combecave. 2009. "LNG Carrier – New Innovative Product." Pp. 96–99 in *EU FP6 project IMPROVE-Final Conference IMPROVE 2009, Conference Papers Vol 1*, edited by V. Žanić and J. Andrić. Zagreb.

Davidson, Ian C., and Christina Simkanin. 2012. "The Biology of Ballast Water 25 Years Later." *Biological Invasions* 14(1):9–13. doi: 10.1007/s10530-011-0056-1.

Elkady, Hesham, Duan Feng Han, and Liang Gao Gao. 2014a. "The Effect of Rise Angle of V-Hull Non Ballast Ship on Resistance Performance." *Applied Mechanics and Materials* 619:110–14. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.619.110.

Elkady, Hesham, Duan Feng Han, and Liang Gao Gao. 2014b. "The Resistance Performance Influences

Elkady, Hesham, Duan Feng Han, and Liang Gao Gao. 2014b. "The Resistance Performance Influences from Hull Line Variation of V-Shaped Non-Ballast Ship (NOBS)." *Advanced Materials Research* 936:2109–13. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.936.2109.

Gerhard, William A., Kim Lundgreen, Guillaume Drillet, Raphael Baumler, Henrik Holbech, and Claudia K. Gunsch. 2019. "Installation and Use of Ballast Water Treatment Systems – Implications for Compliance and Enforcement." *Ocean & Coastal Management* 181:104907. doi: 10.1016/J.OCECOAMAN.2019.104907.

GESAMP. 2011. *Establishing Equivalency in the Performance Testing and Compliance Monitoring of Emerging Alternative Ballast Water Management Systems: GloBallast Monographs No. 20*. London.

Godey, Avinash, S. C. Misra, and O. P. Sha. 2012. "Development Of A Ballast Free Ship Design." *International Journal of Innovative Research and Development* 1(10):567–81.

Godey, Avinash, S. C. Misra, and O. P. Sha. 2014. "CFD Analysis for a Ballast Free Ship Design." *Indian Journal of Geo-Marine Sciences* 43(11):2053–59.

Gollasch, Stephan, Dan Minchin, and Matej David. 2015. "The Transfer of Harmful Aquatic Organisms and Pathogens with Ballast Water and Their Impacts." Pp. 35–58 in *Global Maritime Transport and Ballast Water Management: Issues and Solutions*.

Gonçalves, Alex Augusto. 2013. "Bioinvasion Through Ballast Water : A Global Concern." *The Journal of Ocean Technology* 8(89):89–119.

Grigorovich, Igor A., Robert I. Colautti, Edward L. Mills, Kristen Holeck, Albert G. Ballert, and Hugh J. MacIsaac. 2003. "Ballast-Mediated Animal Introductions in the Laurentian Great Lakes: Retrospective and Prospective Analyses." *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60(6):740–56. doi: 10.1139/f03-053.

GTT. 2022. "GTT Receives an Approval in Principle from Bureau Veritas for 'Shear-Water', a New Concept for a Ballast-Free LNG Bunker & Feeder Vessel." *News*. Retrieved (<https://gtt.fr/news/gtt-receives-approval-principle-bureau-veritas-shear-water-new-concept-ballast-free-lng-bunker>).

Hallegraeff, Gustaaf M. 2015. "Transport of Harmful Marine Microalgae via Ship's Ballast Water: Management and Mitigation with Special Reference to the Arabian Gulf Region." *Aquatic Ecosystem Health and Management* 18(3):290–98. doi: 10.1080/14634988.2015.1027138.

Hallegraeff, Gustaaf M., and Christopher J. Bolch. 1991. "Transport of Toxic Dinoflagellate Cysts via Ships' Ballast Water." *Marine Pollution Bulletin* 22(1):27–30. doi: 10.1016/0025-326X(91)90441-T.

He, Ngo Van, and Yoshiho Ikeda. 2013. "Optimization of Bow Shape for a Non Ballast Water Ship." *Journal of Marine Science and Application* 12(3):251–60. doi: 10.1007/s11804-013-1196-8.

He, Ngo Van, and Yoshiho Ikeda. 2014. "Added Resistance Acting on Hull of a Non Ballast Water Ship." *Journal of Marine Science and Application* 13(1):11–22. doi: 10.1007/s11804-014-1225-2.

Van He, Ngo, Yasunori Nihei, and Y. Ikeda. 2012. "A Study on Application of a Commercial CFD Code to Reduce Resistance Acting on a Non Ballast Tanker ( Part 1 )." *Conference Proceedings, the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers* 14(Part 1):415–18.

Hess-Erga, Ole Kristian, Javier Moreno-Andrés, Øivind Enger, and Olav Vadstein. 2019. "Microorganisms in Ballast Water: Disinfection, Community Dynamics, and Implications for Management." *Science of The Total Environment* 657:704–16. doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2018.12.004.

HMD. 2018. "HMD Builds Ballast-Free Eco-Friendly Ship." *Press Releases*. Retrieved August 24, 2022 ([https://www.hmd.co.kr/english/ad/news\\_view.jsp?news\\_num=549&crp=3](https://www.hmd.co.kr/english/ad/news_view.jsp?news_num=549&crp=3)).

Hong, Wang, and Li Huabin. 2018. "Comment on Ballast Free Ship." *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)* 5(12):20–22. doi: 10.31873/ijeas.5.12.05.

IMO. 2004. *International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments*. International Maritime Organization.

IMO. 2021. "List of Type Approvals for Ballast Water Management Systems That Are in Accordance with the 2016 Guidelines (G8) or the BWMS Code (Resolution MEPC.279(70) or MEPC.300(72))." Retrieved (<https://www.imo.org/en>).

Kadir, Norul Hidayah, Adi Maimun Abdul Malik, and Arifah Ali. 2022. "Experimental of Ballast Free System with Air-Injected Pressure Bubbles in Reducing Ship Resistance." *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* 90(2):160–75. doi: 10.37934/arfmts.90.2.160175.

Kashiro, R. 2016. "Innovative Ship Design with Less Ballast Water and Less GHG TSCF 2016 Shipbuilders Meeting." Pp. 1–10 in *TSCF Shipbuilders Meeting*.

King, Tobias E. 2010. "EQUILIBRIUM – A BALLAST-FREE CRUDE OIL TANKER." Norwegian University of Science and Technology (NTNU).

Kotinis, M., and M. G. Parsons. 2010. "Hydrodynamics of the Ballast-Free Ship Revisited." *Journal of Ship Production and Design* 118(November 2010):451–64. doi: 10.5957/jspd.2010.26.4.301.

Kotinis, Miltiadis D. 2005. "DEVELOPMENT AND INVESTIGATION OF THE BALLAST-FREE SHIP CONCEPT." The University of Michigan.

Kotinis, Miltiadis, Michael G. Parsons, Thomas Lamb, and Ana Sirviente. 2004. "Development and Investigation of the Ballast-Free Ship Concept." *Transactions - Society of Naval Architects and Marine Engineers* 112:206–40.

Lavoie, D. M., L. D. Smith, and G. M. Ruiz. 1999. "The Potential for Intracoastal Transfer of Non-Indigenous Species in the Ballast Water of Ships." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 48(5):551–64. doi: 10.1006/ecss.1999.0467.

Lovell, Sabrina J., and Susan F. Stone. 2005. "The Economic Impacts of Aquatic Invasive Species : A Review of the Literature." *National Centre for Environmental Economics* 5(2).

LR. 2018. "Building the World's First Ballast-Free LNG Bunkering Vessel with HMD." *Lloyd's Register Latest News*. Retrieved (<https://www.lr.org/en/latest-news/building-the-worlds-first-ballast-free-lng-bunkering-vessel-with-hmd/>).

Maglić, Lovro, Damir Zec, and Vlado Frančić. 2015. "Effectiveness of a Barge-Based Ballast Water Treatment System for Multi-Terminal Ports." *Promet - Traffic&Transportation* 27(5):429–37.

Medcof, J. C. 1975. "Living Marine Animals in a Ships Ballast Water." *Proceedings National Shellfisheries Association* 65:11–12.

MEPC. 2018. *RESOLUTION MEPC.297(72) Amendments to The International Convention for The Control And Management of Ships' Ballast Water and Sediments- 2004*. Vol. 2.

Miyake, Tatsuya, and Yoshiho Ikeda. 2013. "A Study on Roll Damping of Bilge Keels for New Non-Ballast Ship with Rounder Cross Section." Pp. 23–26 in *Proceedings of the 13th International Ship Stability Workshop*.

Momoki, Tsutomu, Seiki Onishi, and Yoshiho Ikeda. 2010. "A Study on Ship Speed Loss of Non Ballast-Water Crude Oil Carrier in High Winds." Pp. 863–69 in *Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference*. Vol. 4.

National Research Council. 1996. *Stemming the Tide: Controlling Introductions of Nonindigenous Species by Ships' Ballast Water*. Washington, DC: The National Academies Press.

Occhipinti-Ambrogi, A., and D. Savini. 2003. "Biological Invasions as a Component of Global Change in Stressed Marine Ecosystems." *Marine Pollution Bulletin* 46(5):542–51. doi: 10.1016/S0025-326X(02)00363-6.

Ojaveer, Henn, Bella S. Galil, Stephan Gollasch, Agnese Marchini, Dan Minchin, Anna Occhipinti-Ambrogi, and Sergej Olenin. 2014. "Identifying the Top Issues of Marine Invasive Alien Species in Europe." *Management of Biological Invasions* 5(2):81–84. doi: 10.3391/mbi.2014.5.2.01.

Parsons, Michael G., and Miltiadis Kotinis. 2011. "Trim and Draft Control Capability of the Variable Buoyancy Ship." *Journal of Ship Production* 27(3):118–26. doi: 10.5957/jspd.2011.27.3.118.

Parsons, Micheal Parsons. 2010. "The Variable Buoyancy Ship: A Road to the Elimination of Ballast." in *Emerging Ballast Water Management Systems proceedings of the IMO-WMU research and development forum*, edited by N. Bellefontaine, F. Haag, O. Lindén, and J. Matheickal. Malmö, Sweden: WMU Publications.

Pereira, Newton Narciso, and Hernani Luiz Brinati. 2012. "Onshore Ballast Water Treatment: A Viable Option for Major Ports." *Marine Pollution Bulletin* 64(11):2296–2304. doi: 10.1016/J.MARPOLBUL.2012.07.026.

Pimentel, David, Rodolfo Zuniga, and Doug Morrison. 2005. "Update on the Environmental and Economic Costs Associated with Alien-Invasive Species in the United States." *Ecological Economics* 52(3):273–88. doi: 10.1016/J.ECOLECON.2004.10.002.

Ruiz, Gregory M., James T. Carlton, Edwin D. Grosholz, and Anson H. Hines. 1997. "Global Invasions of Marine and Estuarine Habitats by Non-Indigenous Species: Mechanisms, Extent, and Consequences." *American Zoologist* 37(6). doi: 10.1093/icb/37.6.621.

Satır, Tanzer, and Neslihan Doğan-Sağlamtimur. 2014. "ADAPTATION OF PORT WASTE RECEPTION FACILITIES TO BALLAST WATER TREATMENT SYSTEM: TURKISH PORT PERSPECTIVE." *Fresenius Environmental Bulletin* 23(11a):2895–98.

SGMF. 2018. "'Kairos' 7500m3 GSV Delivered to Bernhard Schulte." *Member Press Release*. Retrieved August 24, 2022 (<https://www.sgmf.info/posts/kairos-7500m3-gsv-delivered-to-bernhard-schulte>).

Suban, Valter, Vidmar Vidmar, and Marko Perkovič. 2010. "Ballast Water Replacement with Fresh Water – Why Not?" Pp. 53–76 in *Emerging Ballast Water Management Systems proceedings of the IMO-WMU research and development forum* *Management Systems*, edited by N. Bellefontaine, F. Haag, O. Linden, and J. Matheickal. Malmö.

Takahashi, C. K., N. G. G. S. Lourenço, T. F. Lopes, V. L. M. Rall, and C. a M. Lopes. 2008. "Ballast Water: A Review of the Impact on the World Public Health." *Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases* 14(3):393–408. doi: 10.1590/S1678-91992008000300002.

Tatsumi, Takatoshi, Yasunori Nihei, and Yoshiho Ikeda. 2010. "Development of a New Energy Saving Tanker with Non-Ballastwater and Podded Propulsors Part. 1: Resistance of the Newly Proposed Ship." Pp. 821–24 in *Proceedings of the International Offshore and Polar Engineering Conference*. Vol. 4.

The Maritime Executive. 2019. "Interview: Delivering the Right Ballast Water Solution." *The Maritime Executive*. Retrieved July 24, 2022 (<https://maritime-executive.com/editorials/interview-delivering-the-right-ballast-water-solution>).

Wu, Huixian, Chen Shen, Qiong Wang, Richard B. Aronson, Chen Chen, and Junzeng Xue. 2019. "Survivorship Characteristics and Adaptive Mechanisms of Phytoplankton Assemblages in Ballast Water." *Journal of Oceanology and Limnology* 37(2):580–88. doi: 10.1007/s00343-019-7288-9.