

Gemi Balast Sularının Çevresel Etkilerine ve Arıtma Sistemlerine Genel Bir Bakış

1st Mehmet DOĞRU¹ , 2nd S.M.Esad DEMİRCİ^{1*} , 3rd Refik CANIMOĞLU¹ , 4th Hüseyin ELÇİÇEK¹ 

¹ Denizcilik Meslek Yüksekokulu, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Kocaali, Sakarya, mehmetdogru@subu.edu.tr, smedemirci@subu.edu.tr, refikcanimoglu@subu.edu.tr, helcicek@subu.edu.tr

ÖZ

Gemiler tarafından taşınan balast suları, deniz ekosistemini, insan sağlığını ve ülkeler ekonomileri üzerinde ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) ortaya çıkan zararlı etkileri önlemek amacıyla balast suyu deşarjı esnasında istenmeyen türleri D2 Balast suyu performans standartları kapsamında tanımlamıştır. Tüm gemiler 8 Eylül 2024 tarihine kadar ortaya konulan bu standartları kapsayacak balast suyu arıtma sistemlerini bulundurmamak durumunda kalacaktır. Bu süreç gemilerin Deniz Kirliliğini Önleme (IOPP) sözleşmesine bağlı olarak aşamalı olarak gerçekleştirilecektir. Balast suyu arıtımında filtrasyon, oksidasyon, ısıtma ile arıtma, ultraviyole (UV), akustik sistemler, manyetik alan, deoksijenasyon, biyolojik yöntemler ve bu sistemlerin bir arada kullanıldığı kombine sistemler yaygın olarak tercih edilmektedir. Gemilere uygulanacak olan bu arıtma sistemlerinin Deniz Çevresini Koruma Komitesi (MEPC) tarafından hazırlanmış olan G(8) rehberine uygun olarak verilmiş Tip Onayı Sertifikasına sahip olmasını gerekmektedir. Bu çalışmada, balast suyunun sebep olduğu zararlı etkiler üzerinde durulmuş ve balast suyu arıtımında kullanılan sistemler incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Balast suyu, Balast Suyu Arıtma Yöntemleri, IMO, BWM.

An Overview of Environmental Impacts and Treatment Systems of Ship Ballast Waters

ABSTRACT

The ballast water carried by ships is a serious threat for marine ecosystems, human health and local economies. International Maritime Organization (IMO) defines unwanted species in ballast water of ships in D2 Ballast water performance standards in order to prevent harmful effects of ballast water discharge to the local waters. All ships are required to adopt a ballast water treatment system which provides these performance standards until 8th September 2024. This process will be carried out in stages, related to the Ships' Marine Pollution Prevention (IOPP) contract. Filtration, oxidation, treatment with heating, ultraviolet (UV), acoustic systems, magnetic field, deoxygenation, biological methods and combined systems in which these systems are used together are widely preferred in ballast water treatment. These treatment systems which will be adopted to ships must have a Type Approval Certificate issued in accordance with the G(8) guideline prepared by the Marine Environment Protection Committee (MEPC). In this study, the harmful effects of ballast water are emphasized and the systems used in ballast water treatment are analyzed.

Keywords: Ballast water, Ballast water treatment methods, IMO, BWM

* Corresponding Author's email: smedemirci@subu.edu.tr

1 Giriş

Küresel ölçekte arz-talep dengesinin sağlanmasında taşımacılık önemli bir paya sahiptir. Taşımacılık modları kıyaslandığında en büyük hacim, en düşük maliyet ve en emniyetli taşımacılık modunun denizyolu taşımacılığı olduğu görülmektedir [1]. Küresel yük taşımacılığının hacimce %80'den fazlası denizyolu ile gerçekleştirildiğinden, deniz taşımacılığı üretim tedarik zinciri ve küresel ticaretin omurgası niteliğindedir [2]. Küresel yük taşımacılığındaki payı her geçen yıl artan deniz taşımacılığına beraberinde daha büyük tonajlı gemilerin inşa edilmesi sebep olmuştur. Gemi tonajlarının artmasıyla birlikte, geminin emniyetli ve ekonomik seyrinde kritik bir faktör olan balast sularının limanlar arasındaki taşınması da artmış ve bugün gelinen noktada her yıl yaklaşık 10 milyon ton balast suyu gemilerle taşınarak yer değiştirir hale gelmiştir [1]. Balast suyu, bakteri ve virüslerin yanı sıra birçok deniz ve kıyı bitki ve hayvanının yetişkin ve larva aşamalarını içeren çeşitli organizmalar içerir. Bu tür organizmaların büyük çoğunluğu, balastın tahliye edildiği noktaya kadar hayatta kalmayacak olsa da, bazıları yeni ortamlarında hayatta kalabilir ve gelişebilir. Bu “yerli olmayan türler” çevre, ekonomi ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün [3] yapmış olduğu çalışmada yüzlerce yerli olmayan istilacı türler tespit edilmiş olup ciddi etkilere sebep olan türler, bu türlerin kökenleri, yayılım gösterdiği bölgeler ve etkileri Tablo 1'de sunulmuştur.

Küresel ölçekte olumsuz etkilerin giderek artması sonucunda, bu etkilerin en aza indirgenmesi için en büyük kural koyuculardan bir olan Dünya Denizcilik Örgütü (*IMO-International Maritime Organization*) tarafından 14 Şubat 2004 tarihinde “Uluslararası Gemi Balast Sularının ve Sedimanlarının Kontrolü ve Yönetimi Konvansiyonu” üye devletlerin onayına sunulmuş ve 08 Eylül 2017 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Konvansiyon uygulamaları ve etkilerinin incelendiği bu çalışmanın ikinci bölümünde gemiler tarafından taşınan balast sularının etkileri ile ilgili önceki çalışmalara, üçüncü bölümde sözleşme çerçevesinde belirlenen standartlara, dördüncü bölümde bu standartları uygulama yöntemlerine yer verilmiştir.

2 Balast Sularının Etkileri ile İlgili Çalışmalar

İstilacı su türleri ve balast suyunun fiziko-kimyasal özellikleri, denizler için en büyük tehditlerden biridir ve çevresel, ekonomik ve insan sağlığı için son derece ciddi etkileri bulunmaktadır. Balast suyu, istilacı yabancı türlerin yayılmasında en etkili faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir ve her gün dünya çapında yaklaşık 7.000 ila 10.000 farklı deniz mikrop, bitki ve hayvan türünün transferine sebep olmaktadır [4]. Her dokuz haftada bir yeni istilacı türlerin ekosistemde varlığını gösterdiği tahmin edilmektedir. Tüm dünyada, istilacı türler nedeniyle ekonomik ciddi boyutta kayıplar söz konusudur [5]. Öte yandan bu istilacı türlerin insan sağlığı üzerinde de zehirlenme, kolera salgını vb. hastalıkların yayılması ile ciddi olumsuz etkileri görülmektedir. Balast suyu deşarjı tipik olarak bitkiler, hayvanlar, virüsler ve bakteriler dahil olmak üzere çeşitli biyolojik materyaller içerir. Balast sularında taşınan ve doğal ortamlarının dışında ekolojik etkilere neden olan yüzlerce organizma bulunmaktadır. Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün [4] yapmış olduğu çalışmada yüzlerce yerli olmayan istilacı türler tespit edilmiş olup en kritik etkiye sahip olan on tehlikeli tür, bu türlerin kökenleri, yayılım gösterdiği bölgeler ve etkileri incelenmiştir. Bu türler Tablo 1'de sunulmuştur.

Dünyadaki her ülke, bu istilacı türlerin yanı sıra diğer patojenik organizmalarla birlikte birçok istilacı türü de beraberinde taşıyan balast suyu deşarjından etkilenmektedir. Yerli olmayan sucül türlerin coğrafi sınırlarını aşma ve uzak bölgelerde ve kıtalarda yeni popülasyonlar oluşturma yolları arasında, balast suyunun deniz aşırı trafikte taşınması anahtar rol oynamaktadır [6].

Tablo 1: Küresel ölçekte yayılım gösteren istilacı türler [3].

Tür	Köken	Yayılım Bölgeleri	Etkisi
Kolera	Geniş aralıklı çeşitli sular	Güney Amerika, Meksika Körfezi	Bazı kolera salgınlarının balast suyu ile ilişkili olduğu bildirilmektedir.
Su Piresi	Karadeniz ve Hazar Denizi	Baltık Denizi	Plankton türleri için dominant bir tür oluşturup balıkçı ağları ve trolleri tıkamaktadır.
Çin Yengeci	Kuzey Asya	Batı Avrupa, Baltık Denizi ve Kuzey Amerika Batı Sahili	Üreme potansiyeli çok yüksek ve diğer balık popülasyonlarına zarar veren bir türdür. Erozyona sebep olmaktadır.
Kuzey Amerika Tarak Denizanası	Amerika doğu kıyısı	Karadeniz, Azak Denizi	Uygun koşullarda hızla çoğalır. Plankton stoklarını tüketir; gıda ağı ve ekosistem işlevinin değiştirmektedir. 1990'larda Karadeniz ve Azak Denizi balıkçılığının çökmesinde en önemli etkiye sahiptir.
Yuvarlak Kaya Balığı	Karadeniz, Azak ve Hazar Denizi	Baltık ve Kuzey Amerika	Hızlı çoğalan ve uyum sağlayan bir tür. Bölge habitatına zarar verir, balık yumurtası ve yavruları ile beslenir.
Kuzey Pasifik Deniz Yıldızı	Kuzey Pasifik	Güney Avustralya	Hızla ürer, değerli deniztarayı ve istiridye türleriyle beslenir.
Zebra Midye	Avrupa Atlantik Sahili	Avrupa Geneli ve Kuzey Amerika	Çok hızlı üreyerek habitatın yerini alır, gemi karinası ve metal yüzeyde tutunur.
Asya esmer su yosunu	Kuzey Asya	Güney Avustralya, Y. Zelanda, EU, USA	Yerli alg ve deniz yaşamını yok eder, kabukluların sayısını azaltır.
Avrupa Yeşil Yengeci	Avrupa Atlantik Sahili	G. Avustralya, Japonya, G. Afrika, Amerika	Yerli yengeç türlerini tüketen baskın bir tür, ekosistemi değiştirir.
Zehirli Algler	Farklı Deniz Alanları	Yeni Deniz Alanlarına Taşınması	Alglerin patlaması ile kabuklu ve deniz canlılarına zarar verebilir, su içinde oksijen seviyesi azalır, turizm ve ekosisteme zararlıdır.

Taşındığı sulara ait olmayan bu canlı türlerinin yerel sucul canlı türleri üzerinde olumsuz etkileri olabilmektedir. Dünya sularında canlı çeşitliliğinin devamı için bu durum bir tehdit oluşturmaktadır. Huixian vd.'nin 2017 yılında farklı Çin Limanları için balast suyu ile yerel sulara taşınan zararlı sucul canlıların analizi üzerine yapmış olduğu çalışmada yerel olmayan istilacı türleri tespit etmişlerdir [7]. Bu türlerin bir kısmı Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Çin limanlarında balast suyu analizlerinde tespit edilen yabancı türler

Tespit edilen Türler	Referans
<i>Cylindrotheca closterium</i>	[8]
<i>Leptocylindrus danicus</i>	[9]
<i>Rhizosolenia calcaravis</i>	[9]
<i>Rhizosolenia hebetate</i>	[9]
<i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	[8]
<i>Cylindrotheca closterium</i>	[8]

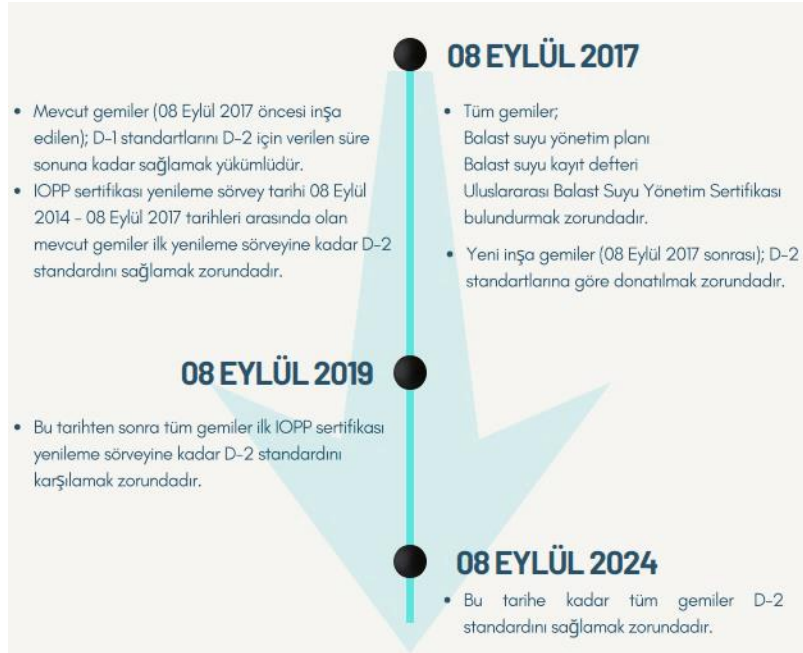
1999 yılında Lavoie vd. tarafından yapılan bir diğer çalışmada balast suyunun yerel olmayan canlı türlerini sadece okyanus aşırı değil, aynı zamanda yakın kıyılar arasındaki kabotaj seferlerde de taşıyabildiğini ortaya koymuştur. Ulaşılan bu sonuca istinaden istilacı türlerin balast suyu ile yayılımının önlenmesi için alınacak tedbirlerin kabotaj seferler yapan gemiler için de uygulanması gerekliliği vurgulanmıştır [10]. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBITAK) tarafından 2010 senesinde Türkiye çevresi hassas deniz alanlarında yapılan deniz suyu analizleri sonucunda 66 farklı istilacı yeni türün keşfedildiği ve bunlardan 12'sinin tehlikeli tür olduğu raporlanmıştır.

Gemiler tarafından taşınan balast sularından kaynaklı istilacı türlerin kabotaj deniz alanlarından başlayıp küresel ölçekte deniz aşırı farklı bölgelere yayılım göstermesi ve insan sağlığı, ekonomi ve çevre üzerine olumsuz etkilerinin giderek artması birçok ülke tarafından hem ulusal tedbirlerin alınmasını hem de küresel ölçekte uluslararası sözleşme olan Balast Suyu Yönetim Konvansiyonu'nun varlığını gerektirmiştir.

3 Uluslararası Balast Suyu Yönetim Standartları

Balast Suyu Yönetim konvansiyonuna göre gemilerde uygulanması istenen nihai standartların (balast suyu arıtma ünitesi) yerine getirilmesi, teknolojik altyapı ve ciddi yatırımlar gerektirdiğinden kademeli bir geçiş ön görülmüştür. Bu geçiş süreci iki standardı kapsamaktadır. D-1 standardı mevcut gemilerin balast arıtma ünitelerini gemide uygulanmasına kadar olan süreçte kullanılması gereken yönteme ilişkin düzenlemeleri içermektedir. D-1 standardı, 200 mil açıktaki 200 metre derinlikte ve bunun sağlanamadığı koşullarda ise 50 mil açıktaki 200 metre derinlikte balast değişimi yapılması gerekmektedir. Balast değişimi için D-1 standardına göre tanımlanmış olan üç yöntem (taşırma, seyreltme, sıralı) bulunmaktadır. Gemi işlevsel yeterliliklerine göre bu yöntemler belirlenmektedir. Eğer gemi taşırma (flow-through) ve seyreltme (dilution) yöntemini kullanılıyorsa tank hacminin 3 katı miktarda deniz suyunu balast tanklarına pompalayarak balast suyu değişimini yapması, sıralı (sequential) yöntemi kullanılıyorsa balast tankında bulunan balast suyunun en az hacimce %95'i tahliye edip yeniden doldurması gerekmektedir.

D-2 standardı, gemide balast suyu yönetiminde kullanılacak uygun arıtma yöntemine ve sistemine ilişkin gereklilikleri kapsamaktadır. Gemilerin D-1 standardından D-2 standardına geçişi ve takibi sürecinde geminin sahip olduğu Uluslararası Petrol Kirliliğini Önleme (IOPP-International Oil Pollution Prevention) sertifikasında yer alan beş yıllık yenileme sorvey tarihi referans alınmaktadır. Şekil 1'de konvansiyonun yürürlüğe giriş tarihinden tüm gemilerin geçiş yapma zorunluluğu olan D-2 standardı için belirlenen son tarihe kadar olan planlama sunulmuştur.



Şekil 1: D-1 Standardından D-2 standardına geçiş planlaması.

Konvansiyon kapsamında, kabotaj dâhilinde çalışan gemilerin, balast suyu taşıyacak şekilde tasarlanmamış ve yapılmamış gemilerin, tecrit edilmiş balast tankları bulunan deşarja tabi olmayan gemilerin, kalıcı balast suyu bulunan gemilerin, savaş gemileri ve yardımcı savaş

gemilerinin, herhangi bir devlete ait veya devlet tarafından işletilen ve ticarî faaliyetler dışında kullanılan gemilerin gereken standartları karşılaması beklenmemektedir. Ancak konvansiyonun yürürlüğe girdiği tarihten itibaren konvansiyon kapsamındaki 400 groston üzerindeki diğer gemilerin; Balast Suyu Yönetim Planı (*Ballast Water Management Plan-BWMP*), Balast Suyu Kayıt Defteri (*Ballast Water Record Book-BWRB*) ve Uluslararası Balast Suyu Yönetim sertifikasını (*International Ballast Water Management Certificate-BWMC*) bulundurması ve D-2 standardına geçiş yapana kadar D-1 standardı gerekliliklerini karşılaması gerekmektedir [11].

BWMP, D-1 standardı (değişim) ve / veya D-2 standardına (arıtma) göre balast suyu ve sediman operasyonları için gereken prosedürleri kapsamı, planın gemiye ve ekipmana özgü olması ve her gemi için bayrak devleti veya yetkilendirilmişse klas kuruluşu tarafından onaylanması gerekmektedir. BWRB ise BWMP ile uyumlu olarak, tüm balast operasyonlarının kronolojik olarak kaydedilmesi, tamamlanan her sayfasının gemi kaptan tarafından onaylanması gerekmektedir. BWRB, geminin konvansiyon gereği balast operasyonlarının uygunluğunun takip edilmesi ve denetlenmesi için en az iki senelik kaydının tutulmuş olması ve gemide bulundurulması gerekmektedir. BWMC, geminin konvansiyon gereği balast operasyonlarının hangi standart ve yonteme uygun olarak gerçekleştirildiği göstermektedir.

IOPP sertifikası yenileme tarihine göre küresel ölçekte kademeli geçişin son tarihi (08 Eylül 2024) itibariyle tüm gemileri D-2 standardına geçmesi ve bu standardın gerekliliklerini karşılayacak uygun nitelikte balast suyu arıtma yönteminin tercih edilerek balast suyu arıtma ünitesinin gemide kullanıma hazır olması gerekmektedir.

4 Balast Suyu Arıtma Yöntemleri

Balast suyunun sebep olduğu zararlı etkileri önlemek amacıyla IMO tarafından ortaya konulan D2 standartlarını karşılayacak düzeyde balast suyu arıtma sistemlerinin geliştirilmesi ve bu sistemleri kullanacak gemilere uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir. ABD Sahil Güvenlik Teşkilatı (USCG) BWM Konvansiyonundan farklı tip onay gereksinimleri ortaya koymaktadır. 25 Balast suyu arıtma sistemi Deniz Güvenliği Merkezi tarafından onaylandı ve 16 tanesi daha 29 Ocak 2020 itibariyle gözden geçirildi. Aynı zamanda, 29 Ocak 2020 itibariyle 123 Alternatif Yönetim Sistemini (AMS) onayladı [12], [13].

Bu arıtma sistemlerinin gemilere kurulumu ilk maliyetlerinin yüksek olmasının yanı sıra tasarım, montaj ve bakım maliyetleri armatörler için önemli bir gider kalemini oluşturacaktır. Bununla birlikte bu sistemin gemilerde oluşturabileceği yapısal sorunlarının ve balast operasyon süreleri üzerine etkilerinin tam olarak ortaya konulmamış olması armatörler tarafından endişe uyandırmaktadır. Bundan dolayı, arıtma sistemlerinin tasarım aşamasında çeşitli ölçütlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bunlar;

- Yolcuların ve mürettebatın güvenliği,
- Uygulanan işlemin verimliliği,
- Gemi işletimine ve seyir süresine etkisi,
- Geminin yapısal bütünlüğü üzerine etkisi,
- Arıtma ekipmanının büyüklüğü ve kapsamı,
- Çevreye olan etkisi,
- Kurallara uygunluğunda PSC'ler tarafından kolaylıkla izlenmesi,
- Arıtma işleminin çevreye ve insanlara olan etkisi ve maliyeti [14].

Balast suyu arıtımında kullanılan yöntemler içerisinde; filtrasyon, oksidasyon, ısıtma ile arıtma, elektriksel alan ve plazma tekniği ile ultraviyole (UV), akustik sistemler, manyetik alan, deoksijenasyon, biyolojik yöntemler, kirlenmeye karşı dirençli boyalar ve bu sistemlerin bir arada kullanıldığı yöntemler yaygın olarak tercih edilmektedir [15]. Kullanılan her bir arıtma sisteminin, maliyet, verimlilik, kullanım kolaylığı, çevresel etkileri gibi avantaj ve

dezavantajları bulunmaktadır. Bir balast suyu arıtma sistemi seçimi yapılırken bazı parametrelerin göz önünde bulundurulmalıdır [16]:

- Gemi tipi,
- Geminin işletim profili,
- Maksimum ve minimum balastlama ve balast boşaltma oranları,
- Balast kapasitesi,
- Gerekli alan (ayak izi ve hacim),
- Sistem bileşenlerinin konumunun esnekliği,
- Basınç düşüşünün etkileri,
- Mevcut sistemlerle entegrasyon,
- Kendinden güvenli olup olmadığı,
- Güç kullanılabilirliği,
- Sağlık ve güvenlik,
- Tank yapısı / kaplamaları üzerindeki etkiler,
- Sarf malzemelerinin, yedek parçaların ve desteğin mevcudiyeti (servis),
- Ek mürettebat iş yükü,
- Mürettebat eğitimi,
- Sermaye ve işletme maliyeti,
- Sistem kullanılabilirliği ve teslimat süresi.

Filtrasyon balast suyu arıtımında en sık tercih edilen yöntemler arasında yer almaktadır. Genellikle, balast suyu içerisinde bulunan kaba partiküllerin ($\geq 50 \mu\text{m}$), sedimanların ve organizmaların arıtımında ön filtrasyon amacıyla kullanılmaktadır. Filtrasyon proseslerinin verimliliği; deniz suyunun tuzluluğu, sıcaklığı, organik madde miktarı, mevsimsel değişiklikler, balast suyunun alındığı lokasyon ve meydana gelebilecek titreşimlerden etkilenmektedirler. Bununla birlikte, filtrasyon prosesinin işletilmesinde balast suyu pompa kapasitesi ile uyum sorunu, meydana gelen tıkanmalar nedeniyle geri yıkama zorunluluğu, basınç düşüşlerinin meydana gelmesi ve mekan kısıtlamaları sistemin uygulanmasında en önemli sorunları oluşturmaktadır [14]. Dardeau ve ark. (1995) tarafından yapılan çalışmada zebra midyelerinin giderimi amacıyla geliştirmiş oldukları geri yıkama özelliğine sahip arıtma ünitesinin giderim verimliliğini % 70 üzerinde bulmuşlardır [17]. Filtrasyon prosesi genellikle 10-50 μm boyutunda organizma/partiküllerin giderimini sağlamak amacıyla % 91 verimlilikte çalışan bir arıtma ünitesidir [18]. Filtrasyon prosesinin en önemli avantajları arasında, ısı veya kimyasal yan ürün oluşumunun olmaması ve kullanım kolaylığı olması nedeniyle en çok tercih edilen çevre dostu arıtma sistemidir. Filtrasyon prosesi ikincil arıtma ünitesinin giderim verimliliğini artırmak amacıyla ön filtre ünitesi olarak kullanılmaktadır [19].

Siklonik filtrasyon uygun maliyeti nedeniyle balast suyu arıtma sistemleri içerisinde alternatif olarak öngörülen bir arıtma sistemidir [20]. Hidrosiklon arıtma teknolojisi, balast suyu içerisinde bulunan partikülleri ve organizmaları yoğunluk farkından yararlanılarak santrifüj kuvvetlerin etkisiyle ayırma ilkesine dayanmaktadır. Bu tip arıtma sistemlerinde santrifüj kuvveti oluşturmak için hareketli bir yapı bulunmamaktadır. Hidrosiklon arıtma sistemlerinin yapısından dolayı vorteks hareketi akış tarafından oluşturulmaktadır. Bu arıtma sistemi filtrasyon arıtma teknolojisi ile karşılaştırıldığında, sahip olduğu yüksek ayırma verimi, düşük enerji tüketimi, geniş çalışma aralığı, küçük hacme sahip olması ve uygun kurulum ve düşük bakım maliyetleri nedeniyle tercih edilmektedir [21]. Hesse ve ark. (2004) yapmış oldukları çalışmada, 50 μm 'den küçük partiküllerin giderim verimliliği % 15 – 40 aralığında olduğunu gözlemlemişlerdir [22]. Parson ve Harkins (2002) tarafından yapılan çalışmada ise 100 μm 'den büyük partiküllerin giderim verimliliğini % 33 civarında olduğunu ancak 20 μm 'den küçük virüs, protoza, bakteri ve fitoplanktonların gideriminde etkili olmadığını gözlemlemişlerdir

[18]. Hidrosiklon yöntemi sürekli operasyonlarda yüksek akış hızlarında ($3000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) filtrasyon sistemine alternatif bir arıtma sistemi olarak değerlendirilebilmektedir [23]. Özellikle balast suyu içerisindeki $20 \mu\text{m}$ 'den büyük partikül ve organizmaların gideriminde ikincil arıtma ünitesi olarak verimli bir şekilde kullanılabilir [5].

Balast suyu arıtımında mekanik filtrasyon yöntemleri içerisinde bulunan; (UV), ultrason, ısı ile arıtma, kavitasyon, mikrodalga ve elektriksel alan uygulamaları yaygın olarak tercih edilmektedir. UV ışınlarını kullanarak istenmeyen türlerin giderimini gerçekleştirmek için balast suyu arıtımında yaygın olarak tercih edilmektedir. UV arıtma ünitesinin verimliliği balast suyu içerisinde bulunan organizmaların boyutuna ve morfolojisine bağlı olarak değişmektedir. Geniş kullanım alanı, düşük yer kaplaması ve kullanımı sonucunda herhangi bir yan ürün oluşmaması en önemli avantajları arasında bulunmaktadır. UV ünitesinin arıtma performansını artırmak amacıyla genellikle filtrasyon ve hidrosiklon arıtma üniteleriyle birlikte kullanılmaktadır. Sassi ve ark. (2005) yapmış oldukları çalışmada $200 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ akış hızı ve $563 \text{ mJ} \cdot \text{cm}^{-2}$ UV dozu için zooplankton *Artemia salina* türünü % 73 oranında giderildiğini tespit etmişlerdir [24]. Oemcke ve ark. (2004) ve Wright ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmalarda UV ışınlarının fitoplankton, zooplankton ve bakteri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Fitoplankton ve zooplankton gideriminin % 40 – 99 aralığında olduğu bununla birlikte bakteri gideriminde % 70 oranında olduğu rapor edilmiştir [25]. Xiangpeng ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada UV ünitesi mikro-gözenekli seramik filtre ünitesi ile kombine bir arıtma sistemi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda bakteri gideriminin % 87'den, ve klorella gideriminin de % 93'ten fazla olduğu gözlemlenmiştir. UV reaktörler yüksek oranda ve kaba partikül içeren balast sularında enerji tüketimini artırmaktadır. Bu durum UV arıtma ünitesinin en önemli dezavantajlarından biri olarak ön plana çıkmaktadır [26].

Gemilerde ana makine ve kazanlardan sağlanan atık ısılar kullanılarak ısıtma yöntemi ile de balast suyu arıtma işlemi gerçekleştirilmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda istenmeyen türlerin giderimi için gerekli sıcaklığın $40 \text{ }^\circ\text{C}$ üzerinde olduğu görülmektedir [14]. Motor ceket suyundan sağlanan atık ısı ile gerçekleştirilen işlemin maliyetinin $0,56 \text{ \$/ton}$ olarak belirlenmiştir [23]. Bu arıtma sisteminin verimli bir şekilde kullanımı ancak sürekli bir atık ısı kaynağının olması ile mümkün olacaktır. Gemilerde atık ısı kullanımı ile arıtma işleminin gerçekleştirilmesi durumunda bazı olumsuz durumlar ortaya çıkacaktır. Bunlar; kış aylarında yaşam mahalinin yeterince ısıtılmaması, ana makinede meydana gelebilecek aşırı ısı kayıplarının motor performansını düşürmesi, korozyon oluşum riskini artırması ve ısı değiştiricilerinde bakım masraflarının artması şeklinde sıralanabilmektedir. Rigby ve ark. (1999) yapmış oldukları çalışmada ısıtma tekniği kullanılarak istenmeyen türlerin giderimini araştırmışlardır. Düşük sıcaklık değerlerinde yüksek giderim verimliliği elde edebilmek amacıyla yüksek süreler ihtiyacı duyulmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla birlikte giderim için gereken süre azalmaktadır [27]. Bu arıtma sisteminin tercih edilmesi durumunda özellikle sıcaklığa duyarlı bakterilerin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda büyük hacimlerin arıtılması için gerekli ısının sağlanması esas sorunu oluştururken, ısıtılmış suyun depolanması, kaplamalar üzerindeki zararlı etkisi ve ısıtılmış suyun deşarjı önemli sorunları oluşturmaktadır [27].

Kimyasal yöntemler, dünya genelinde atık su içerisinde bulunan istenmeyen türlerin giderimini sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemler içerisinde; biyosit, klor, klordioksit, ozon, hidrojen peroksit, perasitik asit ve SeaKleen gibi çeşitli kimyasallar tercih edilmektedir. Bu yöntemlerin verimliliği balast suyunun koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Suyun pH değeri, sıcaklığı ve özellikle organizma tipi verimliliği etkileyen önemli parametrelerdir [28]. Klor güçlü oksitleme özelliğine sahip bir kimyasal olduğundan dolayı kimyasal yöntemler arasında en çok tercih edilen yöntemler arasında bulunmaktadır. Ana dezenfektan türleri olarak hipokloröz asit ve kloroamin kullanılmaktadır. Bakterilerin tamamen

giderimi için 20 mg/l klor konsantrasyonu yeterli olurken, fitoplankton ve zooplankton gideriminde 5-100 mg/l yeterli olmaktadır [29]. Klor kullanımı sonucunda balast suyu içerisinde bazı kimyasal yan ürünlerin oluşmasına neden olmaktadır. Özellikle, toksik özelliği bulunan trihalometan ve haloasetik asit ürünler balast suyu deşarjı esnasında limanlara boşaltılması sonucunda besin zincirinde birikerek sucul organizmaların hormonal sistemlerinin tahribata uğramasına neden olacaktır [5]. Klordioksit güçlü bir dezenfektan olmasına rağmen bu kimyasalın yüksek maliyeti ve kullanımı sonucunda ortaya çıkan yan ürünler çevre açısından tehdit oluşturmaktadır. Ichikawa ve ark. (1992) tarafından yapılan çalışmada klordioksitin *Alexandrium catenella* ve *Gymnodinium catenatum* kistlerinin inaktivasyon verimliliğini incelemişlerdir. Farklı miktarlarda dozlar uygulandığında, 3-6 mg/l ve 100 mg/l için her iki tür içinde % 97 oranında inaktivasyon verimi elde etmişlerdir [30]. Bolch ve ark. (1991) tarafından yapılan çalışmada 500 mg/l doz uygulandığında *Gymnodinium catenatum* kistini % 98 oranında giderildiğini tespit etmişlerdir [31].

Kimyasal yöntemler içerisinde en çok tercih edilen yöntemlerden birisi de ozon kullanımındır [32]. Ozon kullanarak gerçekleştirilecek arıtma işlemi balast operasyonu esnasında uygulanabilirken, seyir esnasında da uygulanabilmektedir. Ozon kullanımı sonucunda ortaya çıkan bromat ve diğer istenmeyen yan ürünler çevre açısından tehdit oluşturmaktadır [29]. Oemcke ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada balast suyu içerisinde bulunan *Bacillus subtilis* sporlarının gideriminde etkili olmadığı görülmüştür. Çalışmada pH=7 iken 9 mg/l ve pH=8.2 iken 14 mg/l ozon uygulaması sonucunda sporların gideriminde etkili olmadığı görülmüştür [25]. Jones ve ark. (2004) yapay deniz suyu içerisinde ozonun toksik etkisi beş farklı tür için belirlenmiştir. Çalışma sonucunda balast suyu arıtımında ozon kullanımının optimizasyonu için gerekli bilgiler ortaya konulmuştur [33]. Balast suyu arıtımında kimyasal yöntemlerin kullanımı sonucunda ortaya çıkan yan ürünler bu sistemlerin kullanımını kısıtlayan en önemli problemi oluşturmaktadır. Bu sistemlerin tercih edilmesi durumunda balast suyunun limanlara deşarjı öncesinde mutlaka nötralize edilmesi gerekmektedir.

Balast suyu arıtımında bu çalışmada özetlenen yöntemlere ilave olarak birçok yöntem bulunmaktadır [3], [5], [14]. Balast suyunun kompleks yapısı, özellikle farklı lokasyonlardan alınan balast suyunun fiziksel ve kimyasal özellik yönünden farklılık göstermesi, bakteri, mikroorganizma, bakteri vb., sucul canlıların çeşitliliği açısından da farklılık göstermektedir. Bu koşullar göz önüne alındığında tek bir arıtma ünitesinin kullanımının yeterli olmayacağı görülmektedir. Bundan dolayı, kombine arıtma sistemlerinin tercih edilmesine neden olmuştur. Saho (2005) tarafından yapılan çalışmada mekanik filtrasyon ve manyetik seperasyon kombinasyonu kullanılarak 5 dakika içerisinde partiküllerin % 90'dan fazla giderildiğini tespit etmiştir. Aynı zamanda organizmaların % 96 oranında giderildiği gözlemlenmiştir [34]. Tokuda ve ark. (2003) yapmış oldukları çalışmada mekanik filtre sistemini kullanarak fitoplanktonların % 55 ve zooplanktonların % 65 oranında gözlemlenmişlerdir. Araştırmacılar ozonlama tekniği ile birlikte kullanımı sonucunda giderim verimliliğinin sırasıyla % 99 ve % 89 seviyelerine çıktığı gözlemlenmiştir [35]. Wu ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada, ultraviyole radyasyonu ($\lambda = 254 \text{ nm}$) altında Ag/TiO₂ katalizörü kullanılarak balast suyu içerisinde bulunan bakterilerin fotokatalitik dezenfeksiyonu incelenmiştir. Katalizörün balast suyu içerisinde bulunan bakterilerin yüksek oranda gideriminin gerçekleştiği ve UV yoğunluğu ve sterilizasyon süresinin artmasıyla dezenfeksiyon etkinliğinin arttığı gözlemlenmiştir. UV yoğunluğu 4,7 mW/cm² ve sterilizasyon süresi 8 s iken % 100 dezenfeksiyon gerçekleştirilmiştir. Ag/TiO₂ film ile birlikte balast suyunda bulunan *E. coli* hücrelerinin, hücre zarı ve duvarının tahrip edildiği ve etkisinin artırılmasıyla sitoplazmayı da zarara uğrattığı gözlemlenmiştir [36]. Bununla birlikte ticari olarak kullanılan IMO Tip onayı almış kombine sistemler Tablo 3'de özetlenmiştir.

Tablo 3. IMO Tip onayı almış karma sistemler

	Üretici	Arıtma Sistemi	Aktif Madde	Ön arıtma	Arıtma	IMO onayı
1	Alfa Laval Tumba	PureBallast 3.0	Yok	Filtrasyon	UV	Tip Onayı
2	Bawat A/S	Bawat BWMS	Yok	Yok	Isı ve Oksijensizleştirme	Tip Onayı
3	Bio-UV	BIO-SEA	Yok	Filtrasyon	UV	Tip Onayı
4	DESMI Ocean Guard A/S	OxyClean BWTS	Var	Filtrasyon	UV	Ön Onay, Son Onay, Tip Onayı
5	Ecochlor Inc	Ecochlor	Var	Yok	Kimyasal/biyolojik	Ön Onay, Son Onay, Tip Onayı
6	Hyde Marine, Inc	Hyde GUARDIAN	Yok	Filtrasyon	UV	Tip Onayı
7	Jiangsu Nanji Machinery	NiBallast BWMS	Yok	Ön filtrasyon & mikromembran	Oksijensizleştirme	Tip Onayı
8	Optimarin AS	OBS & OBS Ex	Yok	Filtrasyon	UV	Tip Onayı
9	Trojan Marinex	Trojan Marinex	Yok	Filtrasyon	UV	Tip Onayı
10	Wuxi Brightsky	BSKYTM BWMS	Yok	Hidrosiklon	UV ve Ultrason	Tip Onayı

Kaynaklar

- [1] M. Erdal ve M. Çancı, “Lojistik Yönetimi”, *İstanbul: UTİKAD Yayınları*, 2003.
- [2] U. N. C. on T. and Development, *Review of Maritime Transport 2019*. United Nations, 2019. doi: 10.18356/17932789-en.
- [3] R. Balaji ve O. B. Yaakob, “Emerging ballast water treatment technologies: a review”, *Journal of Sustainability Science and Management*, c. 6, sy 1, ss. 126-138, 2011.
- [4] IMO, “Ballast water management - the control of harmful invasive species”, <https://www.imo.org/>, Haz. 2021. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/BWM-default.aspx#:~:text=Ballast%20water%20management%20%2D%20the%20control%20of%20harmful%20invasive%20species,-Home&text=Ballast%20water%20may%20be%20taken,then%20carried%20across%20the%20globe.&text=With%20the%20treaty%20now%20in,to%20manage%20their%20ballast%20water>.
- [5] E. Lakshmi, M. Priya, ve V. S. Achari, “An overview on the treatment of ballast water in ships”, *Ocean & Coastal Management*, c. 199, s. 105296, 2021.
- [6] S. Gollasch, J. Lenz, M. Dammer, ve H.-G. Andres, “Survival of tropical ballast water organisms during a cruise from the Indian Ocean to the North Sea”, *Journal of Plankton Research*, c. 22, sy 5, ss. 923-937, May. 2000, doi: 10.1093/plankt/22.5.923.
- [7] H. Wu, C. Chen, Q. Wang, J. Lin, ve J. Xue, “The biological content of ballast water in China: A review”, *Aquaculture and Fisheries*, c. 2, sy 6, ss. 241-246, 2017.
- [8] F. Zhang ve M. Dickman, “Mid-ocean exchange of container vessel ballast water. 1: seasonal factors affecting the transport of harmful diatoms and dinoflagellates”, *undefined*, 1999, Erişim: Haz. 01, 2021. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: /paper/Mid-ocean-exchange-of-container-vessel-ballast-1%3A-Zhang-Dickman/14bf629d84e264735b61b5f861b7667096768984
- [9] K. H. Chu, P. F. Tam, C. H. Fung, ve Q. C. Chen, “A biological survey of ballast water in container ships entering Hong Kong”, içinde *Asia-Pacific Conference on Science and Management of Coastal Environment*, Dordrecht, 1997, ss. 201-206. doi: 10.1007/978-94-011-5234-1_20.

- [10] D. M. Lavoie, L. D. Smith, ve G. M. Ruiz, “The Potential for Intracoastal Transfer of Non-indigenous Species in the Ballast Water of Ships”, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, c. 48, sy 5, ss. 551-564, May. 1999, doi: 10.1006/ecss.1999.0467.
- [11] C. Bilgin Güney, *Balast Suyu Arıtım Sistemleri*. 2017. doi: 10.13140/RG.2.2.35475.78881.
- [12] U.S. Coast Guard, “Approved Ballast Water Management System and Status of Applications.”, 2020. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.dco.uscg.mil/>
- [13] U.S. Coast Guard, “List of Alternative Management Systems.”, 2020.
- [14] E. Tsolaki ve E. Diamadopoulou, “Technologies for ballast water treatment: a review”, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, c. 85, sy 1, ss. 19-32, 2010.
- [15] N. R. Council, *Stemming the tide: controlling introductions of nonindigenous species by ships' ballast water*. National Academies Press, 1996.
- [16] L. Register, *Understanding ballast water management—guidance for shipowners and operators*. 2015.
- [17] E. A. Dardeau Jr ve T. Bivens, “Zebra mussel control with backwash filtration”, American Society of Civil Engineers, New York, NY (United States), 1995.
- [18] M. G. Parsons, “Considerations in the design of the primary treatment for ballast systems”, *Marine technology and SNAME news*, c. 40, sy 1, s. M49, 2003.
- [19] E. Briski, R. D. Linley, J. Adams, ve S. A. Bailey, “Evaluating efficacy of a ballast water filtration system for reducing spread of aquatic species in freshwater ecosystems”, *Management of Biological Invasions*, c. 5, sy 3, ss. 245-253, 2014.
- [20] A. Taylor ve G. Rigby, “Suggested designs to facilitate improved management and treatment of ballast water on new and existing ships”, içinde *Proceedings of Pacific 2002 International Maritime Conference*, 2002, s. 117.
- [21] L. Ni, J. Tian, T. Song, Y. Jong, ve J. Zhao, “Optimizing geometric parameters in hydrocyclones for enhanced separations: a review and perspective”, *Separation & Purification Reviews*, c. 48, sy 1, ss. 30-51, 2019.
- [22] K. Hesse vd., “The TREBAWA ballast water project”, içinde *Second International Symposium on Ballast Water Treatment. International Maritime Organisation, London, UK, 2004*, ss. 231-242.
- [23] M. Gregg, G. Rigby, ve G. M. Hallegraef, “Review of two decades of progress in the development of management options for reducing or eradicating phytoplankton, zooplankton and bacteria in ship's ballast water”, *Aquatic Invasions*, c. 4, sy 3, ss. 521-565, 2009.
- [24] J. Sassi, S. Viitasalo, J. Rytönen, ve E. Leppakoski, “Experiments with ultraviolet light, ultrasound and ozone technologies for onboard ballast water treatment”, *VTT TIEDOTTEITA*, c. 2313, 2005.
- [25] D. Oemcke, N. Parker, ve D. Mountfort, “Effect Of UV Irradiation On Viability Of Micro Scale And Resistant Forms Of Marine Organisms: Implications For The Treatment Of Ships' Ballast Water.”, *Journal of Marine Environmental Engineering*, c. 7, sy 3, 2004.
- [26] X. Kong, Y. Zhu, M. Zhang, X. Sun, ve W. Zhang, “Simulated experiment on minimizing the presence chlorella and bacteria in ballast water by combination of micro-hole filtration and UV radiation”, *Journal of Advanced Oxidation Technologies*, c. 10, sy 1, ss. 186-188, 2007.
- [27] G. R. Rigby, G. M. Hallegraef, ve C. Sutton, “Novel ballast water heating technique offers cost-effective treatment to reduce the risk of global transport of harmful marine organisms”, *Marine Ecology Progress Series*, c. 191, ss. 289-293, 1999.
- [28] A. Vorkapić, I. Komar, ve G. Jelić Mrčelić, “Shipboard ballast water treatment systems on seagoing ships”, *Transactions on Maritime Science*, c. 5, sy 01, ss. 19-28, 2016.
- [29] B. Werschkun vd., “Emerging risks from ballast water treatment: The run-up to the International Ballast Water Management Convention”, *Chemosphere*, c. 112, ss. 256-266, Eki. 2014, doi: 10.1016/j.chemosphere.2014.03.135.
- [30] S. Ichikawa, Y. Wakao, ve Y. Fukuyo, “Extermination efficacy of hydrogen peroxide against cysts of red tide and toxic dinoflagellates, and its adaptability to ballast water of cargo ships”, *Nippon Suisan Gakkaishi*, c. 58, sy 12, ss. 2229-2233, 1992.
- [31] C. J. Bolch ve G. M. Hallegraef, “Chemical and physical treatment options to kill toxic dinoflagellate cysts in ships' ballast water”, *Journal of Marine Environmental Engineering*, c. 1, sy 1, ss. 23-29, 1993.

- [32] A. A. Gonçalves ve G. A. Gagnon, “Recent technologies for ballast water treatment”, *Ozone: Science & Engineering*, c. 34, sy 3, ss. 174-195, 2012.
- [33] A. C. Jones, R. W. Gensemer, W. A. Stubblefield, E. Van Genderen, G. M. Dethloff, ve W. J. Cooper, “Toxicity of ozonated seawater to marine organisms”, *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, c. 25, sy 10, ss. 2683-2691, 2006.
- [34] N. Saho, “Superconducting magnetic separator for ballast-water treatment”, 2003.
- [35] T. Kikuchi, “Progress report on the ‘Special Pipe System’ as a potential mechanical treatment for ballast water”, 2003.
- [36] D. Wu, H. You, R. Zhang, C. Chen, ve J. Du, “Inactivation of *Escherichia coli* using UV/Ag TiO₂/O₃-mediated advanced oxidation: application to ballast water disinfection”, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, c. 86, sy 12, ss. 1521-1526, 2011.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).