

Application of Key Performance Indicators (KPI) to the Selection of Ballast Water Treatment Systems

Gülçin Vural^{*1}, Fatma Yonsel¹

fyonsel@itu.edu.tr, gulcinvural@outlook.com

¹ *Faculty of Naval Architecture and Ocean Engineering, İstanbul Technical University*

Summary

Every day more than 7000 different marine species are transferred to different ecosystems via ballast water. The introduction of invasive species can cause problems to native species. After realizing these serious problems caused by the organisms carried in ballast water, national and international regulations were developed. In 2004, the IMO introduced the "International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments". With these regulations, the problems caused by ballast water have attracted attention and many companies have started to research and develop ballast water management technologies. Today, there are hundreds of different systems for ballast water treatment and the selection of the most suitable system for a specific vessel is an increasingly important issue as the Convention nears enforcement on 8 September 2017. The goal of this study is to demonstrate that Key Performance Indicator (KPI) application for Ballast Water Treatment (BWT) System selection is a very useful tool enabling shipyards to compare BWT systems to make better choices and to designate the most adequate system for their ships. In this study two types of vessels from a shipyard in Istanbul-Turkey with different ballast water capacities and equipment are examined and the most suitable systems are selected by using the KPI method.

Keywords: Ballast Water, Ballast Water Treatment Systems, KPI, Key Performance Indicators

Balast Suyu Arıtım Sistemlerinin Seçiminde KPI (Anahtar Performans Göstergeleri) Uygulamaları

Gülçin Vural^{*1}, Fatma Yonsel¹

fyonsel@itu.edu.tr, gulcinvural@outlook.com

¹ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi

Özet

Gemilerin balast tanklarına alınan balast suyu ile her gün yaklaşık 7.000 canlı farklı ekosistemlere taşınmaktadır. İstilacı türlerin yeni bir ekosisteme girmesi, o ekosistemdeki yerli türler için sorunlara neden olabilmektedir. Balast suyu ile taşınan organizmaların yarattığı ciddi problemlerin farkına varılması ile, ulusal ve uluslararası düzenlemeler geliştirilmiştir. 2004 yılında, IMO Gemi Balast Suları ve Sediment Kontrolü ve Yönetimi Uluslararası Sözleşmesi'ni yayımlamıştır. Bu düzenlemeler ile balast suyu kaynaklı problemler dikkat çekmeye başlamış, pek çok üretici firma balast suyu yönetimi teknolojileri üzerinde araştırmalar yapmış ve sistemler geliştirmişlerdir. Günümüzde balast suyu arıtımı için geliştirilmiş ve büyük bir kısmı IMO onayı almış olan yüze yakın sistem vardır. 8 Eylül 2017 tarihi itibarıyla Gemi Balast Suları ve Sediment Kontrolü ve Yönetimi Uluslararası Sözleşmesi'nin yürürlüğe girmesi ile, gemiler için en uygun balast suyu sistemini seçmek önemli bir problem olarak karşımıza çıkacaktır. Bu çalışmanın amacı Anahtar Performans Göstergeleri (KPI) metodunun farklı balast suyu arıtım sistemlerinin detaylı ve doğru seçiminde kullanılacak bir karar aracı olarak kullanılabileceğini göstermektir. Çalışmamızda Türkiye'de bir tersanede inşa edilen farklı balast suyu kapasitelerine sahip iki gemi incelenmiş ve Anahtar Performans Göstergeleri metodu kullanılarak gemiler için en uygun sistemler önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: balast suyu, balast suyu arıtım sistemleri, KPI, anahtar performans göstergeleri

1. Giriş

Genel anlam olarak balast, bir cismin dengesini sağlamak ya da onu ağırlaştırmak amacı ile kullanılan her türlü nesnedir. 1800'lü yılların başlarında gemilerde balast ağırlığı kuru balast alınarak sağlanmaktaydı. Kullanılan bu kuru balast, daha çok tersane ve limanlarda uygun alanlara boşaltılmakta ve daha sonra o bölgeye gelen diğer gemiler tarafından balast olarak tekrar kullanılmaktaydı. Bu yöntemin hem efektif bir yöntem olmayışı, hem de zaman kaybına yol açması nedeniyle 1800'lü yılların sonlarına doğru meydana gelen teknolojik gelişmeler sayesinde deniz suyu balast olarak kullanılmaya başlanmıştır. Gemilere balast suyu daha çok yüksüz konumlarında ve gemi taşıma kapasitesinin yaklaşık olarak % 30-35'i mertebesinde alınır. Ancak gemilerdeki balast

tanklarına alınan balast suyu; balık yumurtaları, larvaları, bakteriler ve bitkiler gibi pek çok farklı canlıların farklı ekolojik sistemlere taşınmasına neden olmaktadır. Farklı ekosistemlerden gelip başka bir ekosistemde yaşamaya başlayan bu canlılara *yerli olmayan* (non-native) organizmalar denir. Yerli olmayan bu organizma türleri kimi zaman girdikleri bu yeni ekosistemlerde *istilacı* canlı olabilirler. Deniz ekosistemin doğal dengesinin bozulmasında insan kaynaklı faktörler büyük önem taşımaktadır. Gemilerin balast suları ile yeni ekosistemlere taşınması, deniz ekosistemi üzerindeki en büyük dört tehditten biridir. İstilacı türlerin neden olduğu sorunlar ekoloji üzerindeki etkiler, ekonomi üzerindeki etkiler ve sağlık üzerindeki etkiler olmak üzere üç ana kategoride incelenebilir. Girdiği ortamda istilacı konumuna gelen canlılar, kimi zaman bu bölgede doğal olarak var olan canlı türlerini avlarlar ve o türlerin yok olmasına neden olabilirler. Bu durum o bölgede hakim olan doğal ekosistemin değişmesine neden olur. Biyoçeşitlilikte meydana gelen bu değişiklik, yerel türün yok olmasına neden olarak, geri dönüşü mümkün olmayan hasarlara yol açabilir.

İstilacı türlerin neden olduğu sorunlar ekoloji üzerinde bıraktığı hasarlarla sınırlı değildir. Bu istilacı türler aynı zamanda ekonomik zararlara da yol açabilmektedirler. Şöyleki, istilacı türler kimi zaman işgal ettikleri bölgelerde doğal olarak bulunan balık türleri ile beslenmektedirler, ya da bu balık türleri ile benzer beslenme alışkanlıklarından ötürü, avlanma rekabetine girip balık türlerinin beslenmesine engel olmaktadır. Bu durumda bölgede mevcut olan balık türleri sayıca azalmakta, bu da bölgede yapılan balıkçılık aktivitelerini olumsuz etkilemektedir. Kimi zaman istilacı tür olarak bölgeye yerleşen yosun türleri bölgede bulunan balık çiftliklerinin zarar görmesine ya da yok olmasına neden olabilmektedir. Bunun yanısıra kimi istilacı türler sert zeminlere yapışırlar. Bu sebeple kıyılarda bulunan inşaatlarda, tesislerde ve endüstriyel yapılar ile liman yapılarında hasar meydana getirirler. Ayrıca özellikle yosun gibi bitkisel canlıların plaj olarak kullanılan alanlarda istilacı olarak çoğalmaları turizm açısından da ekonomiye zarar vermektedir (Avrupa turizmine olan zarar yılda 2.2 milyar Euro civarındadır (Balaji ve Yaakob, 2011)). İstilacı türlerin neden olduğu en önemli sorunlardan bir diğeri de insan sağlığı üzerinde yarattıkları sorunlardır. Balast suyu zehirli organizma ve patojenler barındırabilir ve bunların bir kısmı midye ve istiridye gibi canlılar tarafından absorbe edilir. Etkilenen bu denzi besinlerinin tüketimi tehlikeli olabilir.

Dünya çapında balast suyunun neden olduğu istilalar ile ilgili kaydedilmiş en büyük sorunlardan biri Amerika Göller Bölgesi'nde görülen zebra midyesi istilasidir. Bu bölge son yıllarda 180'den fazla sitilacı tür tarafından tahrip edilmiştir. Zebra midyeleri, bofa balığı, tirsi balığı vb. Göller Bölgesi'ne taşınmış ve bu bölgede yayılmış, yerel türler ile rekabet etmiş ve besin zincirine zarar vermişlerdir. İstila aynı zamanda balıkçılık, fabrikalar ve sahil kıyıları üzerinde de etkili olmuştur. Zebra midyeleri Amerika sularının % 40'ından fazlasına yayılmış ve 1 milyar dolardan fazla zarara neden olmuştur (Carlton, 2001). Amerika, Balıkçılık ve Doğal Yaşam Birimi'nin (U.S. Fish and Wildlife Service) yaptığı çalışmalar bu zararın 2000-2010 yılları arasında 5 milyar dolar civarı olduğunu göstermektedir (Tímár, 2008).

Balast suyu ile taşınan organizmaların neden olduğu sorunların ciddiyetinin farkına varılması ile birlikte, ulusal ve uluslararası düzeyde adımlar atılmaya başlanmıştır. Dünyanın pek çok yerinde bölgesel ve yerel düzenlemeler olsa da, en çok bilinen ve en önemli olan iki regülasyon, IMO ve USCG (Amerika Birleşik Devletleri Sahil Güvenlik) regülasyonlarıdır. 8 Eylül 2017 tarihi itibarıyla IMO Gemi Balast Suları ve Sediment Kontrolü ve Yönetimi Uluslararası Sözleşmesi yürürlüğe girecektir. Bu sözleşme gemilerin balast suyu ve sedimenti yönetimi ve kontrolü için standartlar ve prosedürler geliştirerek zararlı sucul organizmaların bir bölgeden diğer bölgeye yayılmasını önlemenin yollarını aramaktadır. 11 Ocak 2017 itibarıyla, dünya tonajının % 53,30'unu temsil eden 54 ülkenin sözleşmeyi kabul ettiği görülmektedir (IMO).

Sözleşmenin 8 Eylül 2017'de yürürlüğe girmesi ile, 400 gros tonaj dan daha büyük olan gemilerin tamamı gemilerin havuz tarihine göre uygun bir plan içerisinde Balast Suyu Arıtımı Performans Standartlarına uyum sağlamak zorundadırlar. Dolayısı ile, gemilere IMO tip onayı almış olan balast suyu arıtım sistemlerinin kurulması zorunlu olacak ve bu durum uluslararası denizcilik endüstrisinin 100 milyar dolarlık bir maliyet ile karşı karşıya kalmasına neden olacaktır. Amerika Birleşik Devletleri, Sözleşme'ye taraf ülke değildir. Bunun yerine Amerika Birleşik Devletlerinin kendi düzenlemeleri bulunmaktadır. USCG Kuralları, Amerika sularında çalışan ve balast suyu boşaltan gemilerin 1 Ocak 2016'dan sonraki planlı ilk kuru havuzlarında USCG'in test standartlarını karşılayan ve USCG onayı almış olan balast suyu arıtım sistemlerinin kurulumunu gerektirmektedir (ICS, 2016).

Piyasada 100'den fazla balast suyu arıtım sistemi mevcuttur. Ancak bu sistemleri bir kısmının IMO tip onay ve kurulum süreci devam etmektedir. Balast suyu sistemlerinin karşılaştırılması ve seçimi günümüzün araştırmacıları için bir görev haline gelmiştir. Sonuçta, ülkemizin gemi inşaatı ve denizcilik sektörlerinin bu sürece adaptasyonuna katkıda bulunmak için farklı segmentler için kullanılan balast suyu arıtım sistemlerini belirlemek ve standartlaştırmak ve bir filoda bulunan tüm gemiler için en iyi çözümü bulmak çok önemlidir.

Balast suyu sistemlerinin karşılaştırılması ve seçimi üzerine pek çok çalışma vardır. Perakeis ve Yang, farklı balast suyu arıtma sistemlerinin toplam masrafları ve faydalarının belirlenmesinin ve operasyon giderleri ile yatırım masrafları açısından bunların karşılaştırılmasının imkansız olduğunu söylemiştir (Perakis ve Yang, 2003). Rigby (1999), mevsimlerin ve sefer parametrelerinin etkilerinin de balast suyu arıtma sistemini belirlemede dikkate alınması gerektiğini savunmuştur. Parsons (2003) balast suyu arıtma sistemlerinde birincil arıtma için en çok tercih edilen filtreleme yönteminde kullanılan filtrelerin seçilmesinin dahi birçok farklı kriterin optimizasyonunu gerektiren bir problem olduğunu belirtmiştir. Bu karar verme sürecinde faktörlerin hiyerarşik ilişkilerini düzenleyen Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) metodunu kullanmıştır. 2005'te Gomes (2005), karar vericileri değerlendirme ve seçme konusunda en iyi balast suyu arıtma sistemini desteklemek ve yönlendirmek üzere geliştirilen THOR adlı bir yazılım kullanmıştır. THOR yöntemi, üç balast suyu yönetimi yöntemi arasında karşılaştırma yapabilmekte ve modelin karşılaştırması sadece üç balast suyu yönetimi alternatifine dayanmaktaydı. Mamlook ve araştırma grubu, 2008 yılında optimum balast suyu arıtma sistemini seçme sorununu araştırmış ve sekiz balast suyu arıtma sistemi arasında bir karşılaştırma yapmak için fuzzy-bulanık kümeler metodolojisini kullanmışlardır. Çalışmalarında sekiz balast suyu arıtma sistemi, fayda-maliyet oranlarına göre karşılaştırılmışlardır (Mamlook ve diğerleri, 2008). Berntzen, sistemlerin teknik ve ekonomik yönlerini de dikkate alarak, balast suyu arıtma sistemleri için bir karar destek sistemi geliştirmiştir (Berntzen, 2010). Berntzen'in çalışmasında seçim sürecinin başlarında teknik değerlendirme adı verilen bir uyumluluk analizi ve KPI değerlendirmesi adı verilen bir KPI analizi ile bazı sistemlerin elenmesini sağlamak mümkündür. Hazırlanan model ile gemilere uygun olan 6-8 sistem tespit edilmiştir. Gemiye özgü kısıtlamaların uygulanması ve sistemlere ait ilave bilgiler sistemlerin elenmesinde yardımcı olduğu gözlemlenmiştir. 2015 yılında ALHababi, hem gemi hem de balast suyu sistemleri parametrelerini göz önünde bulunduran bir balast suyu arıtma sisteminin seçimi için bir araç olarak bir AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) modeli geliştirmiştir. Spesifik olarak, geminin uyumluluğu, belirli bir ticaret yolu altında çok büyük bir ham petrol taşıyıcısı (VLCC) için düşünülmüştür. Spesifik olarak gemi uyumluluğu belli bir rotada seyreden ham petrol gemisi için düşünülmüştür (ALHababi, 2015).

Bu çalışmanın amacı, balast suyu arıtma sistemlerinin seçimi için bir karar verme yönteminin kullanılmasıdır. Bu konu üzerinde pek çok çalışma yapılmış olup, KPI yöntemi pek çok tersanede bütçe

performansı, gemilerin kuru havuz performansları, kargo ile alakalı kazalar, operasyonel gereksinimler, yolcu kaza oranı, liman devleti tutuklamaları, gemilerin kullanılabilir olma durumları, güvenlik zafiyetleri gibi pek çok diğer konuda da karar aracı olarak kullanıldığı için daha anlaşılabilir ve uygulanabilir görülmektedir (Konsta ve Plomaritou, 2012). Bunun yanı sıra, KPI'lar bir şirketin ballast suyu yönetimi ile ilgili geçerli kurallara ve düzenlemelere uyma becerisini ifade eder (MARINTEK, 2010). Bu çalışmada bir balıkçı gemisi ile kuruyük gemisi için balast suyu arıtma sistemi seçiminin KPI yöntemi ile desteklenerek yapılmasının detayları anlatılmıştır. Kullanılan balast suyu arıtma sistemlerinin firmaları ile gemi isimleri gizlilik gerekçesi ile saklı tutulmuştur.

2. IMO regülasyonu; balast suyu değişimi ve performans standartları

Son 20-30 yıllık bir süreçte deniz ticareti hacminin artması ile gemilerin balast olarak katı maddeler yerine deniz suyunu taşımaları deniz ekosistemi için istilacı tür tehlikesi problemini gündeme getirmiştir. İstilacı organizmalar deniz ekosistemi için büyük tehlike teşkil etmektedirler ve gemilerin balast suları bu istilacı türlerin yeni ekosistemlere taşınmasında en önemli etkenlerden biri olarak belirlenmiştir. 2004 yılında kabul edilen Balast Suyu Yönetimi Sözleşmesi, Ekim 2017'de yürürlüğe girecek olup, gemilerdeki balast suyu ve sedimanını yönetecek ve kontrol edecek standartlar ve prosedürler oluşturarak zararlı sucül organizmaların bir bölgeden diğer bölgeye yayılmasının önlenmesi amaçlanmaktadır. Sözleşme gereği, uluslararası deniz trafiği içerisinde bütün gemilerin gemi bazlı balast suyu yönetimi planlarında belirtilen standartlara göre balast sularını ve sedimentlerini kontrol etmeleri gerekmektedir. Ayrıca tüm gemiler balast suyu kayıt defteri ve balast suyu yönetimi sertifikası taşımak zorundadırlar. Balast suyu yönetimi standartları belirli bir süre zarfında aşamalı olarak uygulanacaktır. Ara çözüm olarak gemiler ancak açık denizlerde balast suyu değişimi yapabileceklerdir. Sözleşmenin uygulanmasını kolaylaştırmak için bir dizi rehber geliştirilmiştir. Sözleşme, bölümlere ayrılmış ve gemilerin balast suları ve sedimanlarının kontrolü ve yönetimi için Yönetmelikte teknik standartlar ve gereklilikler içeren bir Ek bölüm ilave edilmiştir (IMO, 2004).

D-1 kuralına göre balast suyu değişimi yapan gemiler, bu değişimi hacimsel olarak % 95 verimle gerçekleştirmelidirler. Balast suyu yönetimi yapan gemilerin deşarj edecekleri balast suyu için uyulması gereken standartlar ise D-2 kuralı ile belirlenmiştir. D-2 kuralı deşarj edilecek balast suyunun birim hacimde yaşayacak organizma sayısı ve organizmaların boyutuna göre düzenlenmiştir (Tablo1) (ABS, 2011). Balast suyu arıtma sistemlerinin bir müşteriye satılmadan önce Bayrak Devleti tarafından onaylanmış olmaları gerekmektedir. Aktif madde kullanan balast suyu arıtma sistemlerinin daha kapsamlı bir onay sürecinden geçmeleri ve IMO tarafından temel ve nihai onay almaları gerekmektedir (David ve diğerleri, 2014). Karada kabul testleri yapılan bütün balast suyu arıtma sistemleri, minimum on defa IMO D-2 standartını karşıladığını göstermeleri ile onay alırlar.

Tablo 1. IMO Balast Suyu D2 Düzenlemesi (ABS, 2011)

Mikroorganizma Kategorisi	Regülasyon
Plankton, boyu > 50 µm	< 10 adet/m ³
Plankton, boyu 10-50 µm	<10 adet/ml
Toxicogenic Vibrio Cholerae	< 1 cfu/100ml
Escherichia Coli	<250 cfu/100ml
Intestinal Enterococci	< 100 cfu/100ml

3. Amerika Birleşik Devletleri Sahil Güvenlik (USCG) düzenlemeleri

IMO Gemi Balast Suları ve Sediment Kontrolü ve Yönetimi Uluslararası Sözleşmesi'ne ek olarak, Amerika Birleşik Devletleri Sahil Güvenlik'i (USCG) Kuzey Amerika Göller Bölgesi'nde meydana gelen zebra midyesi istilasının yarattığı ekonomik ve ekolojik zararlara cevaben kendi regülasyonlarını ve rehber dökümanları geliştirmiştir. 23 Mart 2012'de USCG, istilacı türlerin ABD sularına girmesini ve yayılmasını önemek amacı ile, balast suyu yönetimine ilişkin son düzenlemelerini "ABD Sularında Boşaltılan Gemi Balast Sularında Yaşayan Organizmalar İçin Standartlar" başlığı ile yayınlamıştır. Son kural Haziran 2012'de yayınlanmıştır ve balast taşıyan tüm gemiler için geçerlidir. USCG, diğer ülkelerdeki yetkililerin onayladıkları balast suyu arıtım sistemlerinin en az balast suyu değişim metodu kadar etkili olduklarını göstermeleri durumunda, bu sistemlerin onaylarının geçici olarak kabul edilmesine izin veren bir düzenleme eklemiştir. USCG'nin balast suyu boşaltma standardı IMO standardı ile aynıdır. 2009'da USCG, IMO D2 standartlarından daha sıkı bir ikinci faz standardı daha önermiştir. Bazı eyaletlerde (California, New York) daha katı şartları olan balast suyu yönetimi standartları veya gereklilikleri vardır (David ve diğerleri, 2014).

4. Balast suyu arıtma teknolojileri

IMO D2 standartlarını karşılayan pek çok balast suyu arıtım metodu ve sistemi mevcuttur. Bu yöntemler temel olarak mekanik yöntemler, fiziksel yöntemler ve kimyasal yöntemler olarak üç ana başlık altında incelenebilir. Giriş kısmında bahsedildiği üzere, piyasada mevcut 100'ün üzerinde balast suyu arıtım sistemi olmasına karşın, bunların 69'u IMO tip onayına sahiptir (IMO, 2017). Ekipmanların onay süreçleri ile kurulumları devam etmektedir.

Tablo 2. Balast Suyu Arıtım Yöntemleri (Bilgin ve Yonsel, 2008)

<u>Mekanik Yöntemler</u>	<u>Fiziksel Yöntemler</u>	<u>Kimyasal Yöntemler</u>
Filtreleme	Isı	Biyositler
Siklonik Ayrıştırma	Ultrason	Hidroksil Radikalleri
	Oksijensizleştirme	pH Ayarlama
	Ultra Viyole	
	Koagülasyon	

4.1. Mekanik yöntemler

Mekanik yöntemlerin temelinde, balast tankına alınacak olan deniz suyunun tanka girmeden önce mekanik bir işlemle geçip, tanka ulaşacak olan organizma ve sediment miktarını azaltmak yatmaktadır. Böylelikle pek çok organizma ve partikülün balast tankına girişi başta engellenmiş olur ve organizmalar kendi doğal habitatlarında kalırlar. Mekanik yöntemler denildiğinde akla gelen yöntemler siklonik ayırıştırma ve filtrasyon yöntemleridir.

4.1.1. Filtreleme Yöntemi

Filtreleme sisteminde membran veya disk filtreler kullanılmaktadır. Gemi balast alırken 40-50 mikrondan büyük olan organizma ve sedimentlerin bu filtreler sayesinde tanka girişi engellenmiş olunur. Filtreleme yöntemi hem çevresel bir yöntemdir hem de çabuk sonuç alınır. Filtreleme işlemi gemi balast alırken ya da balast boşaltırken yapılabilir.

Filtreleme balast suyunu çoğu plankton, zooplankton ve sedimentlerden arındırmada etkili bir yöntemdir. Cangelosi ve diğerleri (2007), 50 µm'lik membran filtre ile balast suyunda bulunan mikrozooplanktonların arıtılmasında % 71-81 oranında verim elde edildiğini göstermiştir. Ayrıca balast suyundaki dinoflagellatların arıtılma verimliliği de %91 civarındadır. 50 µm membran filtre ve 55µm disk filtre verimlilikleri karşılaştırıldığında da 50µm'den büyük partüküllerin arıtılması konusunda membran filtreden % 91,9 'luk bir verim alındığı gözlenirken, bu oranın disk filtrelerde % 80'de kaldığı görülmektedir.

4.1.2. Siklonik Ayırıştırma Yöntem

Siklonik ayırıştırma yöntemi katı parçacıkların santrifuj kuvvetler yardımı ile su ortamından ayırıştırılması anlamındadır. Bu yöntem ile yalnızca yoğunluğu deniz suyunun yoğunluğundan fazla olan partiküller ayırıştırılabilir. Jelmert ve arkadaşlarının yaptıkları araştırmalar göstermiştir ki, düşük yoğunluğa ya da deniz suyunun yoğunluğuna yakın bir yoğunluk değerine sahip olan organizmaların, yani pek çok virüs, bakteri, fitoplankton, denizanası vs, ayırıştırılmasında siklonik yöntem yetersiz kalmaktadır. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre siklonik yöntem ile yapılan arıtma disk ve membran filtrelere göre yetersiz kalmaktadır (Jelmert, 1999).

Jelmert ve arkadaşlarının *Prorocentrum minimum* ve *Tetraselmis* ile yaptığı deneylerde, siklonik ayırıştırma ile % 10-30 arasında bir verimlilik elde edilmişti (Jelmert, 1999). Her ne kadar büyük partikülleri ayırıştırıp ikincil arıtma sisteminde kullanılacak olan cihazları koruyor olsa da, sistem pek çok zooplankton, mikroalg ve bakterileri ayırıştırma konusunda yeterli verimliliğe sahip değildir.

4.2. Fiziksel Yöntemler

Balast suyu arıtmasında kullanılan fiziksel yöntemler ısı, ultrason, oksijensizleştirme, koagülasyon ve ultra viole gibi balast suyundaki organizmaları kimyasal bir madde kullanmadan arındıran yöntemleri kapsamaktadır.

4.2.1. Isı ile arıtma yöntemi

Belli bir ısı değerinin üzerinde canlıların hücre yapısı değişeceğinden mikroorganizmalar ölmektedir.

Bu yöntemde balast suyunu ısıtmak için farklı metodlar kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi ana makinanın ortaya çıkardığı ısıyı balast suyunu artırmak için kullanmaktır. Ancak bu durumda ek olarak gemide borulama maliyeti açığa çıkacaktır. Ayrıca ısıtılması gereken balast suyu miktarı ve gemi ana makinasından elde edilecek olan ısı miktarı yeterlilik açısından karşılaştırılmalıdır. Rigby ve Hallegraef'in yaptığı çalışmalar balast suyunu 38-45°C ısıtmak, tropik ve alt tropikal sularda zooplankton ve fitoplanktonları öldürerek başarılı bir sonuç elde edilmesini sağlamakta olduğunu göstermiştir (Rigby, 1999). Ancak bu düşük sıcaklığın çoğu patojeni arıtmakta yetersiz kalacağı

düşünülmektedir (Desmarchelier ve Wong, 1998). Ayrıca balast suyunu bu seviyelere kadar ısıtmak kolera gibi patojenik bakterilerin de üremesine yol açabilir. Bazı bitkisel bakteriler, fungi ve virüsler genellikle 60-100°C sıcaklığı arasında ölürlerken, koli basili ve kolera gibi bakterilerini öldürmek için 55-75 °C sıcaklık, bakteri sporlarını öldürmek için 100°C'nin üzerinde bir sıcaklık gerekmektedir (Gardner ve Peel, 1991).

Isı ile arıtma metodu kullanılmadan önce göz önüne alınması gereken bazı faktörler vardır. Sefer süresi balast suyunun mevcut ısı kaynakları ile gerekli ısıya ulaşabilmesi için yeterli olmalıdır. Tankın içerisinde bulunan balast suyu geminin seyir halinde bulunduğu suyun sıcaklığından etkileneceğinden, bu yöntem çok soğuk sularda efektif bir yöntem olmayabilir. Çünkü soğuk olan suyu gerekli sıcaklığa ulaştırmak için daha çok enerji kullanılması gerekeceği için, bu durum maliyeti de arttırır. Bir diğer problem ise, yükselen balast suyu sıcaklığının balast tanklarında meydana getireceği korozyondur. Balast tanklarını korozyondan korumak için kullanılan koruyucu epoksi kaplaması 80 °C sıcaklığa kadar dayanıklıdır (Valenti, 1997).

4.2.2. Ultrason ile arıtma yöntemi

Yüksek güçteki ultrason dalgaları sıvı içerisinde kavitasyon yaratır. Meydana gelen bu kavitasyon kesme kuvveti ve basınç ortaya çıkarır. Sıvı içerisinde bu yoğun ultrason dalgaları bir araya geldiğinde yüksek basınç ve alçak basınç çevrimleri oluşur. Alçak basınç esnasında ultrason dalgaları küçük hava boşlukları/kabarcıkları meydana getirir. Bu hava kabarcıkları daha fazla enerji absorbe edemeyecek boyuta ulaştığı zaman patlarlar. Bu durum kavitasyon olarak adlandırılır. Bu içe doğru patlama esnasında yerel olarak çok yüksek ısı (~5000 °C) ve basınç (~2000 atm) açığa çıkar. Bu durum ayrıca 280 m/saniye hıza erişebilen sıvı akışına sebep olur. Bu yüksek enerjye sahip hava kabarcığı oluşumu ve patlamalar organizmaların hücre duvarında bozulmaya neden olan hidrodinamik kesme kuvvetlerine ve ultrasonik titreşimler meydana getirirler. Yapılan pek çok çalışma ultrason tekniğinin virüsler ve bakteriler üzerindeki etkisini kanıtlamışlardır (Hielscher, 2017).

4.2.3. Oksijensizleştirme ile arıtma yöntemi

Deniz suyunda bulunan çözülmüş oksijen deniz canlılarının hayatta kalabilmeleri için gereklidir. Balast tankında bulunan oksijen miktarının düşürülmesi balast suyu içerisinde bulunan organizmalarda oksijen yetersizliğine yol açmaktadır. Balast suyunda anoksik bir ortam oluşturmak için birden fazla yöntem vardır. Bunlar, balast suyuna inert gaz (nitrojen) ilave etmek, vakum pompası kullanarak vakum oluşturmak, balast suyuna besin maddesi eklemektir.

Oksijensizleştirme metodunu kullanarak balast suyu artıması yapan sistemlerden biri olan Venturi Oxygen Stripping™ sistemi 2007 yılında IMO'dan tip onayı almıştır. Bu yöntemde balast suyu tanka alınırken suya inert gaz ilave edilmekte ve böylelikle suda bulunan oksijenin giderilmesi sağlanmaktadır.

McCollin ve arkadaşları (2007) balast suyunda anoksik bir ortam yaratmak amacı ile deniz suyunda içinde glikoz, sakkaroz, amonyum, nitrat ve fosfat bulunan besin maddesi karışımı eklemiştir. Böylelikle suda bulunan mikroorganizmaların büyümesi hızlandırılmıştır. Artan canlı sayısı daha fazla oksijen tüketimini gerektirmiştir, bu sayede sudaki oksijen suda bulunan mikroorganizmalarca hızla tüketilmiş ve balast suyunda anoksik bir ortam oluşumu sağlanmıştır.

4.2.4. Ultraviyole ışık ile arıtma yöntemi

Dalga boyu 100-400 nm arasında olan ışınlar ultraviyole ışık olarak adlandırılır. UV ışınları UV-A (315-400 nm), UV-B (280-315 nm) ve UV-C (200-280 nm) olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır ve her birinin canlılar üzerindeki etkisi birbirinden farklıdır. 253,7 nm dalga boyunda UV-C ışınının dezanfektan etkisi bulunmuştur (Downes ve Blunt, 1877). Geniş yelpazede canlıya etki ettiğinden ve çevre dostu karakteristiğe sahip olduğundan ötürü UV yöntemi balast suyu arıtmasında en sık kullanılan yöntemlerden biridir. 240 nm ile 280 nm arasındaki dalgaboyları dezantfekte etkisine sahiptir.

4.2.5. Koagülasyon yöntemi ile arıtma

Koagülasyon yöntemi ile balast suyu arıtımı, gemi balast tanklarına balast suyu alımı sırasında yapılır. İlk olarak balast suyu alınan karıştırma tankında manyetik toz ve pıhtılaştırıcı madde eklenir. Burada balast suyunda plankton, bakteri, çamur ve diğer materyallerin bir araya gelmesi ile oluşan yaklaşık 1 mm'lik manyetik topaklar meydana gelir. Balast suyunda manyetik topaklar elde etmek için Demir (III) tetraoksit, alüminyum klorür, akrilamid sodium akrilat kopolimer kullanılmaktadır. Bu maddeler çevreci etken maddeler olarak belirtilmektedir. Daha sonra bu su manyetik seperatörlere ulaşır ve manyetize olmuş organizma ve sediment manyetik disk tarafından tutulur ve sudan ayrıştırılır (Saho ve diğerleri, 2004).

Karada yapılan testler 50 m³/saat debi ile gerçekleştirilmiş olup, elde edilen sonuçların IMO D2 kriterlerini sağladığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar, balast suyunun 10 µm çapından büyük olan organizmalardan arıtıldığını, suda bulunan E.coli yoğunluğunun 1100 cfu/100 ml'den 2 cfu/100ml'ye düştüğünü, ayrıca asılı partikül seviyesinin de tespit edilemeyen seviyelere indiğini göstermektedir (MEPC, 2007).

4.3. Kimyasal Yöntemler

IMO'nun balast suyu arıtımı konusunda zararlı organizmaları bertaraf etmek üzere belirlediği standartlara uygun olarak kullanılan yöntemler arasında kimyasal metotlar önemli bir yer almaktadırlar.

4.3.1. Biyositler

Biyositler; içme suyunun arıtılması, atık suyun arıtılması, yüzme havuzlarının suyunun arıtılması gibi pek alanda kullanılırlar. Biyositler organizmaların üremesine ve sinir sistemlerine etki ederler. İki çeşit biyosit vardır; oksitleyici biyositler ve oksitleyici olmayan biyositler. Oksitleyici biyositlere örnek olarak klor, klor dioksit, ozon, hidrojen peroksit, perasetik asit verilebilir. Oksitleyici olmayan biyositler ise gluteraldehit, SeaKleen ve Acrolen'dir.

Klor, içme suyu arıtımında oldukça yaygın kullanılan bir oksitleyici biyositir. Klor suya sıvılaştırılmış klor gazı, sodium hipoklorid, kalsiyum hipoklorid olarak ya da direkt olarak sudan elektriksel olarak elde edilerek pek çok farklı formda eklenebilir (Gardner ve Peel, 1991). Balast suyunda bulunan sucül organizmaları etkisiz hale getirmek için gerekli olan klor miktarı farklılık göstermektedir. Mikroyosunlar, zooplanktonlar, bakteri ve fitoplanktonlar için bu konsantrasyon 1-100 ppm arasında

değişirken, dinoflagellat kistleri, dinlenme evresindeki zooplanktonlar ya da *Bacillus subtilis* sporları için bu miktar 486-2500 ppm'e kadar çıkabilmektedir (Gray ve diğerleri, 2006).

Klor, deniz suyundan elektroliz yolu ile elde edilebilir (Spring, 2011). Dang ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalar deniz suyundan elektroliz ile elde edilen 3 ppm konsantrasyonunda klor ile, bakteri oranında % 99.999, fitoplankton ve mezoplankton oranının da % 99 düşme olduğunu göstermişlerdir (Yonsel ve Bilgin, 2010). Elektroliz ile klor elde edilmesi yöntemi, filtreleme ve UV yöntemleri ile bir arada kullanıldığında, sistemden alınan verimde artış gözlemlenir (Yonsel ve Bilgin, 2010).

Klordioksit (ClO_2) kullanımı pahalı olmasına karşın organik maddeler ile tepkimeye girmiyor olması, klora göre daha geniş pH aralığında mikroorganizma öldürücü etkisinin olması ve serbest klor açığa çıkarmadığı için daha çevreci olması bir avantajdır. Laboratuvar testleri 5 ppm konsantrasyonunda ClO_2 'nin bakteri ve planktonik canlıları arındırmada etkili olduğunu göstermektedir (Swanson ve Perlich, 2006).

Balast suyu artımında kullanılan bir diğer biyosit ozondur. Gemi bünyesinde bulunan bir ozon jeneratörü ile balast suyu alınırken suya ozon ilave edilir. Bu yüzden ozon için ekstra bir depolama alanına ihtiyaç duyulmamaktadır. Ozon ile arıtma yöntemi dinoflagellatlar ile mikroflagellatlar üzerinde etkilidir. Ancak yengeçler ve karidesler üzerinde yapılan deneyler göstermektedir ki, balast suyunu bu tür canlılardan arıtmada ozon yetersiz kalmaktadır (Gregg ve diğerleri, 2009). Ayrıca, balast tankında korozyon korumasının düşük olduğu kısımlar ile yüksek miktarda organik madde içeren sedimentin bulunduğu kısımda ozon ile arıtma işleminin yeterli olmadığı gözlenmiştir (Oemcke ve van leeuwen, 2005). Ozon ile arıtma yöntemine yönelik yapılan çalışmalarda elde edilen bulgular bu yöntemin balast suyu artımında özellikle bakteri sporları, dinoflagellat kistleri ve pek çok zooplankton türünün çevreye zarar vermeyecek konsantrasyonda ozon uygulanan arıtma işleminden canlı olarak kurtulduğu düşünüldüğünde hem maliyet hem de verimlilik açısından uygun olmasına ilişkin endişeler doğurmuştur (Oemcke ve van leeuwen, 1998).

Hidrojen peroksit balast suyu arıtımı için kullanılan oksitleyici biyositlerdendir. Ayırıştığında oksijen ve su açığa çıkar. Kuzirian ve arkadaşlarının (2001) yaptıkları çalışma, balast suyunun pH'ını arttırmanın balast suyunda bulunan *Mnemiopsis leidyi*, *Pennaria*, polychaete, crustacean, chordate ve çift kabuklu yumuşakça gibi omurgasız canlıları öldürmek için gerekli olan hidrojen peroksit konsantrasyonunun 1 ppm'e kadar düştüğünü göstermiştir. Bakteri sporları ve dinoflagellatlar hidrojen peroksit için oldukça direnç gösterirler. Balast suyunu bu tür canlılardan arındırmak için gerekli olan yüksek hidrojen peroksit konsantrasyonu maliyeti arttıracığından, balast suyu arıtımında hidrojen peroksit kullanılması çok efektif bir yöntem olarak görülmemektedir. Ayrıca yüksek miktardaki hidrojen peroksit gemi bünyesinde depolanması da yöntemin efektifliği açısından oldukça büyük bir sorundur.

Perasetik asit balast suyu artımında önerilen organik biyositlerden biridir. Perasetik asidin sucul ekosistemdeki canlılara etkisine ait veriler az olsa da, bazı araştırmacılar koliforma bakterileri etkisiz hale getirmek için 6-8 ppm, bakteri sporlarını etkisiz hale getirmek içinse 300 ppm perasetik asidin gerektiğini belirtmişlerdir (Sangripanti ve Bonifacio, 1996). Alman bir şirket olan Degussa AG perasetik asit ve hidrojen peroksit birleşimi ile Peracelan Ocean adında bir ürün geliştirmiştir. Sıvı formda bulunan bu ürün bakteriler, sporlar, fitoplanktonlar ve balık yumurtaları üzerinde etkilidir (Fuchs ve de Wilde, 2004).

Oksitleyici olmayan kimyasallardan biri olan glutaraldehit, pek çok organizmayı öldürebilen organik bir bileşendir. Endüstride özellikle medikal ekipmanların sterilizasyonunda kullanılmaktadır. Bir deniz bakterisi türü olan *Vibrio fischeri*yi etkisizleştirmek için 14 ppm konsantrasyonunda glutaraldehit yeterli olurken, *Bacillus subtilis* için bu oran 20.000 ppm'e kadar çıkmaktadır (Sano ve diğerleri,

2003). Gluteraldehitin etkili olabilmesi için balast suyunun sıcaklık ve pH değeri önemlidir. Gluteraldehit yüksek sıcaklık ile 7,5 ve daha üzeri pH değerlerinde daha etkilidir (Sangripanti ve Bonifacino, 1996). Balast suyunun pH'ı 4,2-8,6 arasında değişmesi gluteraldehitin uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır. Balast suyunu arıtmak için kullanılan gluteraldehitin miktarının artması hem maliyeti, hem doğaya verebileceği potansiyel zararı arttıracığından; hem de gemi personelinin sağlığı için risk oluşturacağından pratikte kullanılması pek mümkün olmayan bir yöntemdir.

SeaKleen içeriğinde menedion (K3 vitamini) bulunan oksitleyici olmayan bir biyosit türüdür. Bu bileşen tatlı ve tuzlu su organizmaları üzerinde etkilidir. Buna karşın deniz memelileri, kuşlar ve diğer balık türleri için zehirli olmadığından ötürü üretici firma tarafından balast suyu arıtmasında kullanılmak üzere önerilmiştir. Ayrıca yarılanma ömrünün kısa olması, zararlı yan ürünler ortaya çıkarmaması ve korozyona sebebiyet vermemesi de SeaKleen'in balast suyu arıtılması konusunda kullanımının önünü açmıştır (Wright ve Dawson, 2001).

Acroelin daha çok petrol endüstrisinde üretilen ürünün içinde bulunan bakterileri azaltmaya yönelik kullanılan bir biyositir. Bakteri ve algleri de içeren mikroorganizmaların yanısıra; yumuşakçalar, kabuklular, balık ve sucul bitkileri de içeren makroorganizmalar üzerinde de etkilidir (Penkala ve diğerleri, 2004)

4.3.2. Diğer Yöntemler

Biyositlerin yanı sıra balast suyu arıtımında kullanılan başka kimyasal yöntemler de vardır. Bunlardan hidroksil radikalleri hemen hemen her türlü organik yapıyı karbondioksit ve suya ayrıştırabilir. Hidroksil radikalının su içerisinde nanosaniyeler içerisinde su, oksijen ve karbondioksit ayrışıyor olması yöntemi çevre dostu yapmaktadır. Yöntemin kullanımı için gerekli olan sistemin ebatının küçük olması ve operasyon giderlerinin de az olması yöntemi tercih edilebilir kılmaktadır. Ancak yüksek yatırım maliyeti ve yüksek güç gereksinimi yöntemin önündeki engellerdendir (Bai ve diğerleri, 2005).

Bir diğer yöntem ise pH ayarlamadır. Balast tankına alkali ya da kimyasal madde ekleyerek suyun pH değişimi sağlanabilir. Ancak balast tankında pH'ın düşmesi korozyona yol açar (Oemcke, 1999). Ayrıca pH'ın değiştirilmesi de kimyasal olarak kararsız bir su oluşumuna neden olur. Bunun yanısıra balast suyunun pH'ını değiştirmek için gerekli olan kimyasalların gemide depolanması da yer açısından sorun teşkil edeceği gibi, gemi personeli için gemide büyük miktarlarda kimyasalın bulunması da sağlık ve güvenlik açısından bir problemdir. Yapılan çalışmalar pH değişimi sonucu kistler, sporlar ve dinlenme evresindeki organizmaların etkilenmedikleri gözlemlenmiştir.

Balast suyunu arıtmak için kullanılan bir başka yöntem ise, tuzluluktur. Tatlı su organizmaları tuzlu suda yaşayamadıklarından ve okyanuslarda yaşayan canlılar tatlı suda yaşayamadıklarından dolayı, balast suyunun tuzluluk oranını değiştirerek balast suyunun arıtılması yoluna gidilmiştir. Balast suyunun tuzluluk oranı değişimi ya direkt olarak tankların içine tuz ilave edilmesi ile ya da gemi bünyesinde bir tuzdan arındırma cihazı kullanılması ile gerçekleştirilir ki bu cihazlar pahalı olduklarından ötürü tercih edilmemektedirler.

4.4. Karma Yöntemler

Balast suyu arıtımı için pek çok yöntem vardır. Ancak balast suyu içerisinde bulunan canlıların çeşitliliği göz önüne alındığında hiçbir yöntem tek başına IMO D2 kriterlerini karşılamaya yetmemektedir. İşte bu durum, gemilerde balast suyu arıtması için fiziksel, kimyasal ve mekanik yöntemlerin birlikte kullanıldığı karma sistemlerin tercih edilmesine yol açmıştır. Piyasada bulunan

çoğu balast suyu arıtma sistemi üreticisi karma sistemleri tercih etmektedirler. Birincil arıtmada balast suyu içerisinde bulunan büyük partikül ve organizmalar mekanik bir yöntem ile balast suyundan ayrılırlar. İkincil arıtmada ise küçük partiküllerin ve organizmaların arıtımı gerçekleştirilir.

5. Karar aracı olarak KPI yöntemi: sonuçlar ve değerlendirme

Anahtar Performans Göstergeleri (KPI-Key Performance Indicators), performans ölçmek için kullanılan terimin genel adıdır. KPI iki şekilde ifade edilebilir; birincisi ilgili performans göstergelerinin matematiksel bir kombinasyonu olarak KPI değeri, ikincisi ise KPI değerinin 0 ile100 arasında bir derecelendirmesinin yapıldığı ve 100'ün en iyi performans göstergesi olduğu KPI derecelendirmesidir (MARINTEK, 2010). KPI ölçülebilir hedefler doğrultusunda yapılan ilerlemeyi değerlendirme imkanı sağlar. KPI yönteminde başarılı bir sonuç elde edebilmek için hedefe yönelik adımların ve ölçme kriterlerinin doğru seçilmesi gerekmektedir.

Günümüz teknolojisinde piyasada mevcut pek çok balast suyu arıtma sistemi üreten firma bulunmaktadır. Ayrıca daha önce de bahsedildiği gibi balast suyu arıtma sistemlerinin karşılaştırılması ve seçimine yönelik de pek çok çalışma mevcuttur. Bilindiği üzere KPI denizcilik endüstrisinde pek çok alanda karar verme ya da performans ölçme metodu olarak kullanıldığından, belirli bir gemi ya da filo için en uygun olan balast suyu arıtma sistemini seçmek için kullanılan etkili yöntemlerden biridir. Excel'de yaratılan model ile gemiden gelen parametreleri ölçülür, farklı üretici firmalardan elde ettiği bilgiler ile bu veriler karşılaştırılır ve her bir gemi için sistemin uygun olup olmadığı yönünde sonuç elde edilir. Excel, kullanım kolaylığı açısından hem model oluşturma hem de hesaplamalarda kullanılmıştır (Berntzen, 2010).

Bu çalışmada Bölüm 5.3'te teknik detayları verilen balıkçı ve kuruyük gemileri için KPI yöntemi kullanılarak gemi için balast suyu arıtma sistemi seçiminin nasıl gerçekleştiği anlatılmıştır.

5.1. Örnek durum: Balıkçı ve kuruyük gemileri için anahtar veriler

KPI analizinin yapılabilmesi için öncelikle önemli olan kriterlerin yani “anahtar” verilerin belirlenmesi gerekmektedir. Daha sonra ise her bir anahtar veri için belli limitlerin koyulması gerekmektedir.

Anahtar olan faktörlerin önem dereceleri birbirinden farklıdır. Analiz yapılırken de bu farklılıklar belirleyici noktalar olacaktır (Vural, 2015). Aşağıda Tablo 3'te KPI analizi yapılan iki gemi için anahtar faktörler ve bu faktörlerin belirlenen önem dereceleri, yani ağırlıkları verilmiştir.

Tablo 3. KPI anahtar faktörleri ve önem dereceleri.

KPI	Ağırlık
Basınç Düşüşü*	%20
Sistemin Taban Alanı	%15
Yatırım Fiyatı	%50
Yıllık İşletim Maliyeti	%15

*Filtreleme yönteminde filtrelerin temizliği için geri yıkama yapılmasından dolayı meydana gelen basınç düşüşleri balast alma süresinin uzamasına neden olmaktadır. Bu nedenle sistem seçiminde filtrelerde meydana gelen basınç düşüşü değeri önemlidir.

Yukarıdaki verilere ek olarak sistemler için teknik ve maliyet açısından yapılacak olan bir karşılaştırma, sonucun daha doğru olmasına katkıda bulunur. Ancak kurulum ve operasyona yönelik veriler tahmine yönelik yapılacağından, bu veriler KPI analizinin ilk bölümü olan sistemin uygunluğunun belirlenmesi için kullanılmıştır. Kurulum ve operasyona yönelik kriterler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Kurulum ve operasyona yönelik kriterler.

Madde	Önem Derecesi
Kimyasal Madde Kullanımı	Birincil
USCG kuralları	Birincil
Aritma Zamanı	Birincil
Kurulum Maliyeti	İkincil
Toplam Yatırım Maliyeti	İkincil
Yakıt Maliyeti	İkincil
Bakım/Tutum Maliyeti	İkincil

Anahtar veriler ile sistemlerden elde edilen veriler karşılaştırılır ve model 1x11'lik bir matris üretir. Ortaya çıkan matriste 1 olarak görülen değerler "evet" yani sistem kriterleri karşılıyor, 0 olarak görülen değerler "hayır" yani sistem kriterleri karşılamıyor anlamına gelmektedir. Oluşturulan model tüm anahtar ve birincil faktörler olumlu ve ikincil faktörlerin en az iki tanesi olumlu olarak tespit edildi ise sistem "UYUMLU" olarak değerlendirilecektir. Bunun yanında eğer tüm anahtar ve birincil faktörler olumlu iken, ikincil faktörlerden ikiden daha azı olumlu tespit edilirse sistem "KISMEN UYUMLU" olarak değerlendirilecektir. Anahtar faktörlerden herhangi birinin olumsuz tespit edilmesi durumunda ise, model sistemi "UYUMSUZ" olarak tespit edip reddedecektir.

5.2. Balıkçı ve kuruyük gemileri için KPI değerlendirmesi hesaplamaları

Anahtar faktörlerin birbirleri ile karşılaştırılabilmesi için eldeki verileri derecelendirme yoluna gidilmiştir. Her bir anahtar faktör, en iyi derece 1, en kötü derece 6 olacak şekilde 1 ile 6 arasında derecelendirilmiştir. Derecelendirme her bir kategorideki en iyi değer baz alınarak yapılmıştır. Derecelendirme yapılırken kullanılan (1) ve (2) numaralı denklemler Berntzen'in (2010) çalışmasından uyarlanmıştır;

$$C_i = \frac{n_i}{n_{min}} \quad (1)$$

$$C_{D_{max}} = D \times \frac{c_{max}-1}{6} + 1 \quad (2)$$

1 numaralı denklemde n_i derecelendirilmesi yapılacak sistemin gerçek değeri, n_{min} ise o kategorideki en küçük değerdir. Bu denklem ile her bir sistemin belirlenen anahtarlar için katsayıları elde edilir. İkinci denklemde her derece için maksimum katsayı hesabı yapılır. 2 numaralı denklemde D değeri 1 ile 6 arasında dereceyi, c_{max} ise hesap yapılan kategorideki maksimum katsayıyı ifade etmektedir. Bu iki denklem ile her sistem için belirlenen kategorilerin derecesi hesaplanır.

5.3. Balıkçı gemisi ve kuruyük gemisinin teknik özellikleri

Çalışmada kullanılan balıkçı gemisinin temel özellikleri aşağıdaki gibidir.

LOA:	72,4 m
B:	15,2 m
D:	9,20 m
T:	7,8 m
Gros Ton:	2720
Klaslama:	DnV, +1A1, Fishing Vessel, Ice C, E0
Balast Suyu Kapasitesi:	350 m ³
Balast Suyu Pompası Kapasitesi:	1 x 50m ³ /saat @2,5 bar

Çalışmada kullanılan kuruyük gemisinin temel özellikleri aşağıdaki gibidir.

LOA:	68 m
B:	12,5 m
D:	6,8 m
T:	5,7 m
Gros Ton:	1550 ton
Klaslama:	BV I +HULL+MACH, General Cargo, Heavy Load [10 kN/m ²], Occasional Dry Bulk Cargo, Navigation)
Balast Suyu Kapasitesi:	870 m ³
Balast Suyu Pompası Kapasitesi:	2 x 125 m ³ /saat @2,5 bar

5.4. Balıkçı gemisi için balast suyu arıtma sistemi seçiminin kpi ile değerlendirilmesi

Her bir gemi için üç farklı üretici firmaya ait balast suyu arıtma sistemi değerlendirilmiştir. Balıkçı gemisi için değerlendirilen balast suyu arıtma sistemlerinin teknik özellikleri Tablo 5'te verilmiştir. Gizlilik gereği üretici firma isimleri saklı tutulmaktadır.

Tablo 5. Balıkçı gemisi için değerlendirilen balast suyu arıtma sistemlerinin teknik özellikleri

		Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3
Arıtma Yöntemi		Filtreleme + UV	Ön Filtreleme + Filtreleme + UV	Filtreleme + UV
Arıtma	Balast Suyu Alınırken	Filtreleme + UV	Ön Filtreleme + Filtreleme + UV	Filtreleme + UV
	Balast Suyu Boşaltılırken	UV	UV	UV
Filtreler		55 mikron	200 mikron ön filtre 50 mikron filtre	40 mikron
Basınç Düşüşü		0,7 bar	0,9 bar	0,3 bar
UV kapasitesi		85 m ³ /saat	50 m ³ / saat	50 m ³ / saat
Güç Tüketimi		10-15 kW	16 kW	19 kW

Excel'de hazırlanan modelde kullanılan sistem kriterleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. KPI analizi sistem kriterleri.

KPI	Kriter
Basınç Düşüşü	1 bar
Alan	4 m ²
Sistem Fiyatı	200.000 \$
Yıllık İşletim Maliyeti	2.500 \$
Kimyasal Madde Kullanımı	Hayır
USCG Kuralları	Hayır
Arıtma Zamanı	Balast Alımında
Kurulum Maliyeti	Sistem fiyatının %5'i
Toplam Yatırım Maliyeti	210.000 \$
Yakıt Maliyeti	500 \$
Bakım/Tutum Maliyeti	2.000\$

Tablo 7'de her bir sisteme ait değerler belirtilmiştir. Tablo 6 ve Tablo 7 deki değerlerin karşılaştırılması ile oluşturulan model sonuçları ise Tablo 8 de görülmektedir. Model [1x11]'lik bir matris üretmekte olup ortaya çıkan matriste '1'olarak görülen değerler "evet" yani sistem kriterleri karşılıyor, '0' olarak görülen değerler "hayır" yani sistem kriterleri karşılamıyor anlamına gelmektedir (Vural, 2015).

Tablo 7. KPI analizi sistem verileri.

	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3
Basınç Düşüşü	0,7 bar	0,9 bar	0,3 bar
Alan	2,17 m ²	5,62 m ²	3,57 m ²
Sistem Fiyatı	185.000 \$	203.000 \$	200.000 \$
Yıllık İşletim Maliyeti	1.240 \$	14.650 \$	2.100 \$
Kimyasal Madde	Hayır	Hayır	Hayır
USCG kuralları	Hayır	Hayır	Hayır
Aritma Zamanı	Balast Alımında	Balast Alımında	Balast Alımında
Kurulum Maliyeti	7.100 \$	11.150 \$	6.900 \$
Toplam Yatırım Maliyeti	192.100 \$	214.150 \$	206.900 \$
Yakıt Maliyeti	280 \$	450 \$	500 \$
Bakım/Tutum Maliyeti	1.240 \$	16.000 \$	1.600 \$

Tablo 8. KPI analizi sistem uygunluğu değerlendirmesi.

	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3
Basınç Düşüşü	1	1	1
Alan	1	0	1
Sistem Fiyatı	1	0	1
Yıllık İşletim Maliyeti	1	0	1
Kimyasal Madde	1	1	1
USCG kuralları	1	1	1
Aritma Zamanı	1	1	1
Kurulum Maliyeti	1	0	1
Toplam Yatırım Maliyeti	1	0	1
Yakıt Maliyeti	1	1	1
Bakım/Tutum Maliyeti	1	0	1
Sistem Uygunluğu	UYUMLU	UYUMSUZ	UYUMLU

Analizin ilk aşaması belirlenen anahtarlar doğrultusunda gemi için uyumlu olan balast suyu arıtma sistemlerinin belirlenmesine yönelik yapılmıştır. Bu durumda, istenilenler doğrultusunda iki numaralı sistem gemi için uygun bulunmamıştır.

Analizin ikinci aşamasında, anahtar faktörler için katsayılar hesaplanarak her bir sistemin farklı kategorileri için derece belirlemesi yapılmıştır. İlk aşamada yapılan analiz ile 2 numaralı sistem uygun olmadığı halde, analizin ikinci aşamasının nasıl çalıştığı anlatmak adına değerlendirmeye iki numaralı sistem de dahil edilmiştir.

Denklem 1 kullanılarak sistemlerin her bir kategori için C_i değerlerinin belirlenebilmesi için gerekli olan n_{min} değeri Tablo 9'da yer almaktadır.

Tablo 9. KPI analizi sistemlerin minimum değerleri.

KPI	n_{min}
Basınç Düşüşü	0,3
Alan	2,17
Sistem Fiyatı	185.000 \$
Yıllık İşletim Maliyeti	1.240

n_i değeri kullanılarak her sistemin belirlenen kategorileri için C_i katsayısı hesaplanmıştır. Tablo 10'da C_i değerleri yer almaktadır. Denklem 1 ile elde edilen katsayılar, denklem 2'de yerlerine koyulup, her bir derece ve kategori için Tablo 11'de verilen C_{Dmax} değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 10. KPI analizi sistemlerin C_i değerleri

KPI	C_i		
	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3
Basınç Düşüşü	2,333	3,000	1,000
Alan	1,000	2,597	1,648
Sistem Fiyatı	1,000	1,097	1,081
Yıllık İşletim Maliyeti	1,000	11,815	1,694

Tablo 11. KPI analizi C_{Dmax} değerleri

D	C_{Dmax}			
	Basınç Düşüşü	Alan	Sistem Fiyatı	Yıllık İşletim Maliyeti
1	1,333	1,266	1,016	2,802
2	1,667	1,532	1,032	4,605
3	2,000	1,798	1,049	6,407
4	2,333	2,065	1,065	8,210
5	2,667	2,331	1,081	10,012
6	3,000	2,597	1,097	11,815

Tablo 10'da her bir sistem için bulunan katsayılar Tablo 11'de her bir derece için belirlenmiş olan katsayılar ile karşılaştırılıp kategorilere göre sistemin derecelendirilmesi gerçekleştirilir. Örneğin Sistem 1 için basınç düşüşü C_i değeri 2,333 bulunmuştur. Tablo 11'de basınç düşüşü için 2,333 değeri Derece 3 C_{Dmax} değerinden büyük, Derece 4 C_{Dmax} değerine eşittir. Bu durumda Sistem 1 için basınç düşüşü derecesi 4'tür.

Excel'de hazırlanan model ile hesaplanan derecelere ait bilgiler aşağıda Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. KPI analizi ile hesaplanan sistem dereceleri.

KPI	Derece		
	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3
Basınç Düşüşü	4	6	1
Alan	1	6	3
Sistem Fiyatı	1	6	5
Yıllık İşletim Maliyeti	1	6	1

Tablo 12'de görüldüğü üzere analizin birinci aşamasında uygun olmadığı belirtilen 2 numaralı sistem yakıt maliyeti dışındaki bütün kategorilerde en kötü derece olan 6 ile derecelendirilmiştir. Tablo 12 göstermektedir ki, 1 numaralı sistem balıkçı gemisi için en uygun balast suyu arıtma sistemidir.

Daha önce bahsedildiği üzere her bir anahtar faktörün seçime etki etme ağırlığı birbirinden farklıdır. Bu aşamadan sonra elde edilen dereceler, anahtar faktör olan kriterler için daha önceden belirtilen ağırlıklarına göre tekrar modelde hesaplanır ve sistemler için ortalama bir puan elde edilir. Puan, sistem derecelerininin ortalamasının 10 ile çarpılması ile elde edilir. Yapılan bu analizde en yüksek yani en kötü puan 15 olarak ortaya çıkmıştır. En iyi puan ise 4'dir. En iyi puanı almış olan 1 numaralı sistem bu gemi için en uygun sistem olarak belirlenmiştir. Tablo 13'te derecelerın ağırlıkları ile çarpılması sonucu elde edilen sonuçlar yer almaktadır.

Tablo 13. Sistem derecelerinin ağırlıkları ile çarpımı.

	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3
Basınç Düşüşü	0,800	1,200	0,200
Alan	0,150	0,900	0,450
Ekipman Fiyatı	0,500	3,000	2,500
Yıllık İşletim Maliyeti	0,150	0,900	0,150
Puan	4	15	8,25

5.5. Kuru yük gemisi için balast suyu arıtma sistemi seçiminin kpi ile değerlendirilmesi

Kuruyük gemisi için değerlendirilen balast suyu arıtma sistemlerinin teknik özellikleri Tablo 14'te verilmiştir. Analizin yapılabilmesi için hesap tablosunda (Excel) hazırlanan modele Bölüm 5.1'de belirlenen kriterler için ilgili değerler girilmiştir (Vural, 2015). Sistemlere ait değerler ise Tablo 15'teki gibidir.

Tablo 15'te belirlenen kriterler ile Tablo 16'da belirtilen sistemlere ait bilgiler Excel'de hazırlanan modelde karşılaştırılmış ve [1x11]'lik bir matris elde edilmiştir. Analizin ilk aşaması belirlenen anahtarlar doğrultusunda gemi için uyumlu olan balast suyu arıtma sistemi sistemlerin belirlenmesine yönelik yapılmıştır. Bu durumda, isterler doğrultusunda üç numaralı sistem gemi için uygun bulunmamıştır (Bkz. Tablo 17).

Tablo 14. Kuruyük gemisi için değerlendirilen balast suyu arıtma sistemlerinin teknik özellikleri

		Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3
Arıtma Yöntemi		Filtreleme + UV	Filtreleme + UV	Elektrokimyasal
Arıtma	Balast Suyu Alınırken	Filtreleme + UV	Filtreleme + UV	Elektrokimyasal
	Balast Suyu Boşaltılırken	UV	UV	Nötrleştirme
Filtreler		40 mikron	55 mikron	-
Basınç Düşüşü		0,8 bar	0,7 bar	0,2 bar
UV kapasitesi		250 m ³ /saat	255 m ³ / saat	-
Güç Tüketimi		18-41 kW	18-25 kW	27,4 kW

Tablo 15. KPI analizi sistem kriterliği.

KPI	Kriter
Basınç Düşüşü	1 bar
Alan	7 m ²
Sistem Fiyatı	230.000 \$
Yıllık İşletim Maliyeti	2.000 \$
Kimyasal Madde Kullanımı	Hayır
USCG kuralları	Hayır
Arıtma Zamanı	Balast Alımında
Kurulum Maliyeti	Sistem fiyatının %5'i
Toplam Yatırım Maliyeti	241.500 \$
Yakıt Maliyeti	900 \$
Bakım/Tutum Maliyeti	1.000\$

Tablo 16. KPI analizi sistem verileri.

	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3
Basınç Düşüşü	0,8 bar	0,7 bar	0,2 bar
Alan	6,12 m ²	6,44 m ²	2,48 m ²
Sistem Fiyatı	220.000 \$	215.000 \$	188.000 \$
Yıllık İşletim Maliyeti	1.850 \$	1.660 \$	120 \$
Kimyasal Madde	Hayır	Hayır	Hayır
USCG kuralları	Hayır	Hayır	Hayır
Aritma Zamanı	Balast Alımında	Balast Alımında	Balast Alımında
Kurulum Maliyeti	1.800 \$	6.300 \$	2.000 \$
Toplam Yatırım Maliyeti	221.800 \$	221.300 \$	190.000 \$
Yakıt Maliyeti	850 \$	700 \$	120 \$
Bakım/Tutum Maliyeti	1.000 \$	960 \$	0 \$

Tablo 17. KPI analizi sistem uygunluğu değerlendirilmesi.

	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3
Basınç Düşüşü	1	1	1
Alan	1	1	1
Sistem Fiyatı	1	1	1
Yıllık İşletim Maliyeti	1	1	1
Kimyasal Madde	1	1	0
USCG Kuralları	1	1	1
Aritma Zamanı	1	1	1
Kurulum Maliyeti	1	1	1
Toplam Yatırım Maliyeti	1	1	1
Yakıt Maliyeti	1	1	1
Bakım/Tutum Maliyeti	1	1	1
Sistem Uygunluğu	UYUMLU	UYUMLU	UYUMSUZ

Analizin ikinci aşamasında, anahtar faktörler için katsayılar hesaplanarak her bir sistemin farklı kategorileri için derece belirlemesi yapılır. Denklem 1 kullanılarak sistemlerin her bir kategori için C_i değerlerinin belirlenebilmesi için gerekli olan n_{min} değeri Tablo 18'de yer almaktadır.

Tablo 18. KPI analizi sistemlerin minimum değerleri.

KPI	n_{min}
Basınç Düşüşü	0,2
Alan	2,48
Sistem Fiyatı	188.000
Yıllık İşletim Maliyeti	120

n_i değeri kullanılarak her sistemin belirlenen kategorileri için C_i katsayısı hesaplanmıştır. Tablo 19'da C_i değerleri yer almaktadır.

Tablo 19. KPI analizi sistemlerin C_i değerleri.

KPI	C_i		
	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3
Basınç Düşüşü	4,000	3,500	1,000
Alan	2,463	2,592	1,000
Ekipman Fiyatı	1,170	1,144	1,000
Yıllık İşletim Maliyeti	15,417	13,833	1,000

Denklem 1 ile elde edilen katsayılar, Denklem 2'de yerlerine koyulup, her bir derece ve kategori için Tablo 20'de verilen C_{Dmax} değerleri hesaplanmıştır.

Tablo 20. KPI analizi C_{Dmax} değerleri.

D	C_{Dmax}			
	Basınç Düşüşü	Alan	Sistem Fiyatı	Yıllık İşletim Maliyeti
1	1,500	1,265	1,028	3,403
2	2,000	1,531	1,057	5,806
3	2,500	1,796	1,085	8,208
4	3,000	2,061	1,113	10,611
5	3,500	2,327	1,142	13,014
6	4,000	2,592	1,170	15,417

Tablo 19'da her bir sistem için bulunan katsayılar Tablo 20'de her bir derece için belirlenmiş olan katsayılar ile karşılaştırılıp kategorilere göre sistemin derecelendirilmesi gerçekleştirilir. Örneğin Sistem 2 için sistem fiyatı C_i değeri 1,144 bulunmuştur. Tablo 19'da sistem fiyatı için 1,144 değeri Derece 5 C_{Dmax} değerinden büyük, Derece 6 C_{Dmax} değerinden küçüktür. Bu durumda Sistem 2 için sistem fiyatı derecesi 6'dır. Excel'de hazırlanan model ile hesaplanan derecelere ait bilgiler aşağıda Tablo 21'de verilmiştir.

Tablo 21. KPI analizi ile hesaplanan sistem dereceleri.

KPI	Derece		
	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3
Basınç Düşüşü	6	5	1
Alan	6	6	1
Sistem Fiyatı	6	6	1
Yıllık İşletim Maliyeti	6	6	1

Daha önce bahsedildiği üzere her bir anahtar faktörün seçime etki etme ağırlığı birbirinden farklıdır. Bu aşamadan sonra elde edilen dereceler, anahtar faktör olan kriterler için daha önceden belirtilen ağırlıklarına göre tekrar modelde hesaplanır ve sistemler için ortalama bir puan elde edilir. Tablo 22'de derecelerin ağırlıkları ile çarpılması sonucu elde edilen sonuçlar yer almaktadır. Puan, sistem derecelerinin ortalamasının 10 ile çarpılması ile elde edilmiştir. Yapılan bu analizde en yüksek yani

en kötü puan 15 olarak ortaya çıkmıştır. En iyi puan ise 2,5'dir. Sistem 3 analiz sonucu en iyi puanı almış olmasına rağmen, analizin birinci aşamasında anahtar ve birincil faktörlerinin tamamını karşılamadığı için model tarafından uyumsuz olarak belirlenmiştir

Tablo 22. Sistem derecelerinin ağırlıkları ile çarpımı.

	Sistem 1	Sistem 2	Sistem 3
Basınç Düşüşü	1,200	1,000	0,200
Alan	0,900	0,900	0,150
Sistem Fiyatı	3,000	3,000	0,500
Yıllık İşletim Maliyeti	0,900	0,900	0,150
Puan	15	14,5	2,5

6. Sonuç

8 Eylül 2016 tarihinde Finlandiya'nın da onayı ile Gemi Balast Suları ve Sediment Kontrolü ve Yönetimi Uluslararası Sözleşmesi onay kriteri olan dünya ticaret filosu tonajının %35'ine ulaşılmıştır. IMO Gemi Balast Suları ve Sediment Kontrolü ve Yönetimi Uluslararası Sözleşmesi 8 Eylül 2017'de yürürlüğe girecektir. 11 Ocak 2017 tarihi itibarıyla, dünya ticaret tonajının% 53,30'ünü temsil eden Sözleşme'ye taraf 54 devlet bulunmaktadır (IMO).

Gemi Balast Suları ve Sediment Kontrolü ve Yönetimi Uluslararası Sözleşmesi'nin yürürlüğe girmesine halen 7-8 aylık bir zaman olmasına rağmen bu süre, önümüzdeki süreçte balast suyu arıtım sistemlerine olan talebin artacağı göz önünde bulundurulduğunda ve tersanelerin kapasitesi düşünüldüğünde, bu konuda henüz çalışmalara başlamamış olan gemi sahiplerinin önümüzdeki aylarda yatırım yapmaya başlamaları gerekmektedir.

Gelecekteki beş yıllık dönem, 2018-2022 yılları arasında, balast suyu arıtma sistemleri üreticileri ve armatörler için son derece yoğun ve telaşlı olacaktır. Tersaneler, kısıtlı bir zaman dilimi içerisinde gemiler için en uygun sistemi seçmek zorunda olacaklarından sorun yaşayabileceklerdir. Sözleşmenin yürürlüğe girmesinden sonra, tersaneler büyük bir iş yükü ve zaman sınırlaması problemi ile karşı karşıya kalacaklar.

Bu çalışmanın amacı, balast suyu arıtma sistemlerinin seçiminde sistemin teknik ve ekonomik yönlerini de dikkate alarak danışmanlık yapabilmek ve tavsiyelerde bulunabilmek için bir karar destek metodu kullanmaktır. Örnek çalışma olarak bir balıkçı gemisi ve bir kuruyük gemisi için KPI metodu kullanılarak balast suyu arıtma sistemi seçimi yapılmıştır. Her iki gemi için üç farklı balast suyu arıtma sistemi incelenmiştir. Excel'de oluşturulan model ile sistemlerin ekonomik ve teknik açıdan detaylı incelenmesi yapılmıştır. Değerlendirmenin ilk aşamasında anahtar veriler ve sistemlerin özellikleri karşılaştırılmış olup, gemiler için uygun sistemler belirlenmiştir. Modelin ikinci aşamasında ise, sistem kriterleri 1 ile 6 arasında derecelendirilip karşılaştırma yapılmıştır. Bu uygulama ile sistemlerin her bileşeni detaylı olarak değerlendirilmiş ve gemiler için en uygun sistemler belirlenmiştir. Ticari gizlilik sebebi ile üretici firmalar ile inşa edilen gemilerin isimleri saklı tutulmuştur.

Sonuçlar göstermektedir ki, balast suyu sistemi seçiminde KPI yönteminin uygulanması, karar verme aşamasında sistemlerin karşılaştırılmasına olanak sağladığından tersaneler için oldukça faydalıdır. Ayrıca Anahtar Performans Göstergeleri yönteminin uygulanması için Excel programı kullanılması da kullanıcı açısından da kullanım ve uygulama kolaylığı sağlamaktadır.

Not: Bu makale F. Yonsel'in danışmanlığında G. Vural tarafından hazırlanan ve Aralık 2015 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nde kabul edilen tez çalışması temel alınarak hazırlanmıştır.

Kaynaklar

ABS. (2011). Ballast Water Treatment Advisory, TX 04/11 6000 11052.

ALHababi, Hani H.M.H. (2015). Development of Decision Support Tool for Advising on Selecting Ballast Water Treatment System. PhD, University of Strathclyde.

Bai, X.Y., Zhang, Z.T., Bai, M.D. & Yang, B. (2005). Killing of invasive species of ship's ballast water in 20t/h system using hydroxyl radicals. Plasma Chemistry and Plasma Processing. 25. 15-22.

Balaji, R., & Yaakob, O. B. (2011). Emerging Ballast Water Treatment Technologies: A Review, Journal of Sustainability Science and Management, 6:1, 126-138.

Berntzen, M. (2010). Guidelines for selection of a ship BWTS. MSc, Norwegian University of Science and Technology.

Bilgin, G.C. & Yonsel, F., 2008. Balast Suyu Arıtımında Alternatif Yöntemler, Gemi İnşaatı ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi, 24-25 Kasım 2008, İstanbul, Bildiriler Kitabı, Cilt 1. (in Turkish).

Bilgin, G.C. & Yonsel, F. (2013) Electrochemical Cell Applications for Ballast Water Treatment, Marine Technology Society Journal, Vol:47, No:1 , pp: 134-145.

Carlton, J.T. (2001). Introduced Species in U.S. Coastal Waters: Environmental Impacts and Management Priorities. Pew Oceans Commission, Arlington VA.

Cangelosi, A.A., Mays, N.L., Balcer, M.D., Reavie, E.D., Reid, D.M., Sturtevant, R., Gao, X. (2007). The response of zooplankton and phytoplankton from the North American Great Lakes to filtration. Harmful Algae 6: 547-566.

David, M., Gollasch, S., Hewitt, C. (2014). Global Maritime Transport and Ballast Water Management, Springer, ISBN: 978-94-017-9367.

Desmarchelier, P. & Wong, F. (1998). The potential for *Vibrio cholerae* to translocate and establish in Australian waters. AQIS Ballast Water Research Series Report No.10. Australian Government Publishing Service, Canberra

Downes, M.D. & Blunt, T.P. (1877). Researches on the effect of light upon Bacteria and other organisms. Proceedings of the Royal Society of London. 26. 488-500.

Fuchs, R., de Wilde I. (2004). Peraclean® Ocean-A potentially environmentally friendly and effective treatment option for ballast water. In: Matheickal JT, Raaymakers S (eds), Second International

Symposium on Ballast Water Treatment. International Maritime Organisation, London, UK, pp 175-180.

Gardner, J.F. & Peel, M.M. (1991). Introduction to sterilisation, disinfection and infection control. Churchill Livingstone, UK.

Gomes, C.F.S. (2005). Using MCDA methods THOR in an application for outranking the BWM options. *Pesquisa Operacional*, 25, 11-28.

Gray, D.K., Duggan, I.C., MacIsaac, H.J. (2006). Can sodium hypochlorite reduce the risk of species introductions from diapausing eggs in non-ballasted ships? *Marine Pollution Bulletin* 52. 689-695.

Gregg, M., Rigby, G., Hallegraeff, G.M. (2009). 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*, 4, 521-565.

International Chamber of Shipping, ICS (2016). Annual Review.

IMO, (2004). International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, International Maritime Organization, London, UK, 14 February.

Jelmert, A. (1999). Testing the effectiveness of an integrated hydrocyclone/UV treatment system for ballast water treatment. Institute of Marine Research. Autevoll Aquaculture Research Station, Norway.

Konsta, K. & Plomaritou, E. (2012). Key Performance Indicators (KPIs) and Shipping Companies Performance Evaluation: The Case of Greek Tanker Shipping Companies, *International Journal of Business and Management*, 7;10, 142-155.

Kuzirian, A.M., Terry, E.C.S., Bechtel, D.L. (2001). Hydrogen peroxide: an effective treatment for ballast water. *Biological Bulletin*. 201. 297-299.

Mamlook, R., Badran, O., Abu-Khader, M., Holdo, A., Dales, J. (2008). Fuzzy sets analysis for BWTS: best available control technology. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 10, 397-407.

MARINTEK. (2010). The Shipping KPI Standard V2.0, December 1st.

McCollin, T., et al. (2007). Ship board testing of a deoxygenation ballast water treatment, *Marine Pollution Bulletin*, 54, 1170-1178.

MEPC. (2007). Harmful Aquatic Organisms in Ballast Water. Application for Basic Approval of a combined ballast water management system consisting of sediment removal and an electrolytic process using seawater to produce Active Substances. Report of the Marine Environment.

Oemcke, D.J. & van Leeuwen, J. (1998). Chemical and physical characteristics of ballast water: implications for treatment processes and sampling methods. CRC Reef Research Technical Report. 23.

Oemcke, D.J. (1999). The treatment of ships' ballast water. Ports Corporation of Queensland. Ecoports Monograph Series.18.

Oemcke, D. & van Leeuwen, J. (2005). Ozonation of the marine dinoflagellate alga *Amphidinium* sp. - implications for ballast water disinfection. *Water Research*. 39. 5119-5125.

Parsons, M.G. (2003). Considerations in the design of the primary treatment for ballast systems. *Marine Technology*, 40, 49-60.

Penkala, J.E., Law, M., Cowan, J. (2004). Acrolein as a potential treatment alternative for control of microorganisms in ballast tanks: five days sea trial. Matheickal JT Edited by: Raaymakers, S. Second International Symposium on Ballast Water Treatment. International Maritime Organisation. London, UK. 181-197.

Perakis, A. N. & Yang, Z. (2003). Options for nonindigenous species control and their economic impact on the Great Lakes and St. Lawrence seaway: A survey. *Marine Technology*, 40, 34-41.

Rigby, G., Hallegraeff, G., Sutton, C. (1999). Novel ballast water heating technique offers cost-effective treatment to reduce the risk of global transport of harmful marine organisms. *Marine ecology. Progress series*, 191, 289-293.

Sagripanti, J-L. & Bonifacino, A. (1996). Comparative sporicidal effects of liquid chemical agents. *Applied and Environmental Microbiology* 62(2):545-551.

Saho, N., Isogami, H., Mizumori, T., Nishijima, N. (2004). Superconducting magnetic separator for ballast-water treatment. In: Matheickal JT, Raaymakers S (editors), Second International Symposium on Ballast Water Treatment. International Maritime Organisation. London, UK. 125-134.

Sano, L.L., Moll, R.A., Krueger, A.M., Landrum, P.F. (2003). Assessing the potential efficacy of glutaraldehyde for biocide treatment of un-ballasted transoceanic vessels. *Journal of Great Lakes Research*. 29(4). 545-557.

Sea trials the treatment system around the Pacific. (2011, Spring). *Ballast Water Treatment Technology*, pg 62.

Swanson, L. & Perlich, T. (2006). Shipboard Demonstrations of Ballast Water Treatment to Control Aquatic Invasive Species. Matson Navigation Company and Ecochlor, Inc.

Tímár, L. (2008). Modeling the Anthropogenic Spread of an Aquatic Invasive Species: The Case of Zebra Mussels and Transient Recreational Boating in Wisconsin. (Doktora tezi). Graduate Faculty of North Carolina State University, North Carolina.

Valenti, M. (1997). Lighting the way to improved disinfection. *Mechanical Engineering* 119(7). 82-86.

Vural, G. (2015). Balast Suyu Arıtım Sistemlerinin Seçiminde KPI uygulamaları (KPI Applications on BWTs selections), MSc Thesis, (in Turkish) (Supervisor: F. Yonsel), Istanbul Technical University.

Wright, D.A. & Dawson, R. (2001). SeaKleen-A potential natural biocide for ballast water treatment. 1st International Ballast Water R&D Symposium. IMO, London, 26–27 March 2001: Symposium Proceedings, GloBallast Monograph Series No.5. IMO: London .73-75.

Yonsel F. & Bilgin C. (2010). Electrochemical Chlorine Generation Applications for Ballast Water Treatment, Ship Design and Operation for Environmental Sustainability –RINA 10-11 March 2010, London, UK , ISBN No 978-1-905040-69-8 , Pages: 95-103.

<http://www.imo.org/en/About/Conventions/StatusOfConventions/Documents/Status%20of%20Treaties.pdf> [Online]. [Ziyaret tarihi: 27.01.2017]

<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/BallastWaterManagement/Documents/Table%20of%20BA%20FA%20TA%20updated%20November%202016.pdf> [Online]. [Erişim 30.01.2017]

<https://www.hielscher.com/ultrasonic-ballast-water-disinfection.htm> [Online]. [Erişim 30.01.2017]

* Corresponding author.