

Yayına Geliş Tarihi:12-05-2022
Yayına Kabul Tarihi: 04-08-2022
DOI: 10.54410/denlojad.1116053

Mersin Üniversitesi
Denizcilik ve Lojistik
Araştırmaları Dergisi
Cilt: 4 Sayı:2 Yıl:2022
Sayfa: 129 - 162
E-ISSN: 2687-6604

Araştırma Makalesi

500-1500 m³/h Balast Basma Kapasiteli Gemiler için Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemleri ile Balast Suyu Arıtma Sistemi Seçimi

Devran YAZIR¹
Dilek GEDİK²

ÖZET

Uluslararası ticarete taşımacılık, büyük ölçüde denizyoluyla yapılmaktadır. Denizyolu taşımacılığının önem kazanmasından bu yana, denizler için en büyük tehlikeler gemiler ve gemilerin balast suyu olmuştur. Gemilerin, emniyetli seyrini sağlamak amacıyla balast suyu alınmaktadır. Balast suyu bir bölgeden diğere taşındığında, alındığı bölgedeki organizmaları yeni bölgelere getirerek bu çevredeki mevcut organizmalara, ekolojiye, ekonomiye ve dolayısıyla insan sağlığına zarar vermektedir. Bu sebeplerden dolayı IMO (International Maritime Organization), Gemi Balast Suları ve Sediment Kontrolü ve Yönetimi Uluslararası Sözleşmesi'nde balast suyunun bu zararlarını ortadan kaldırmak amacıyla standartlar belirlemiştir. Bu çalışmada, IMO standartlarına göre balast suyu arıtma sistemlerinden Ultraviyole, Elektroliz / Elektroklorinasyon, Kimyasal Enjektisi + Filtreleme ve Oksijensizleştirme + Kaviteasyon yöntemleri incelenmiştir. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) tekniklerinden 2 yöntem kullanılarak 500-1500 m³/h balast basma kapasiteli bir gemi için en uygun balast suyu arıtma sistemi, uzman görüşlerine göre belirlenen dört alternatif ve yedi kriter üzerinden hesaplanmış ve seçim yapılmıştır. Kriterler önem derecesine göre sıralandığında sistem maliyeti birinci sıradadır. Kriterlerin önem derecesi ile alternatifler değerlendirildiğinde ise en uygun balast suyu arıtma sistemi olarak "UltraViyole (UV) + Filtreleme" sistemi elde edilmiştir.

¹Dr. Öğr. Üyesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye
<https://orcid.org/0000-0002-6825-8142>, dyazir@ktu.edu.tr

²Arş. Gör. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye
<https://orcid.org/0000-0001-7263-1889>, dilekgedik@ktu.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Balast Suyu, Balast Suyu Arıtma Sistemleri, Analitik Hiyerarşı Prosesi, Bulanık Analitik Hiyerarşı Prosesi

Ballast Water Treatment System Selection for Ships with 500-1500 m³/h Ballast Discharge Capacity with Analytical Hierarchy Process and Fuzzy Analytical Hierarchy Process Methods

ABSTRACT

In international trade, transportation is largely made via shipping. Since maritime transport gained importance, the biggest dangers to the seas have been ships and their ballast waters. Ballast water is taken in order to ensure the safe navigation of the ships. When ballast water is transported from one region to other, it carries the organisms in the area from which it is taken to new regions and harms the existing organisms in the environment, ecology, economy, and therefore human health. Due to these reasons, IMO (International Maritime Organization) has determined standards in the International Convention on Ship Ballast Water and Sediment Control and Management to eliminate these damages of ballast water. In this study, Ultraviolet, Electrolysis / Electrochlorination, Chemical Injection + Filtering, and Deoxygenating + Cavitation methods of ballast water treatment systems according to IMO standards were examined. Two methods of Analytical Hierarchy Process (AHP) and Fuzzy Hierarchy Process (FAHP) techniques were used. These methods have been applied for the selection of the most appropriate ballast water treatment system for a ship with a ballast discharge capacity of 500-1500 m³ / h. Also, the determination and selection of these four alternatives and seven criteria have been made on the basis of expert opinions. When the criteria are ranked in order of importance, the system cost is in the first rank. When the alternatives were evaluated, the "UltraViolet (UV) + Filtering" system has been obtained as the most suitable ballast water treatment system.

KeyWords: Ballast Water, Ballast Water Treatment Systems, Analytical Hierarchy Process, Fuzzy Analytical Hierarchy Process

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında yapılan uluslararası taşımacılığın %90'ı deniz yolu taşımacılığı ile gerçekleştirilmektedir (Aykanat, 2010; Güner ve Oğuz, 2020). Balast suyu, gemilerin yüklülük durumuna göre geminin stabilitesini sağlamak ve gemi gövdesinde oluşan stresi azaltmak için denizden balast tanklarına alınmaktadır (Hulme, 2009). Dünyada her yıl yaklaşık 10 milyar ton balast suyu bir bölgeden başka bir bölgeye taşınarak günde ortalama 7000 farklı canlı türünün yer değiştirmesine

sebeptir (Kumar vd., 2021). Taşınan bu canlıların bir kısmı bu bölgede yaşama standartları bulamayıp ölmekteyken, bir kısmı ise yeni bölgede yaşama standartları bulup bu bölgeye hızla yerleşerek yeni yaşam alanlarında çoğalabilmektedir (Kumar vd., 2021). Gemilerden tahliye edilen arıtılmamış balast suyu, potansiyel olarak yeni bir istilacı deniz türü ortaya çıkarabilir. Bazen yerel ekosistem için yıkıcı sonuçlara yol ačan bu türler yüzlerce istila gerçekleştirmektedir (Demirel vd., 2019; Olsen vd., 2021). Bu sebepten dolayı IMO 2004 yılında, Gemilerin Balast Suyu ve Sedimanlarının Kontrolü ve Yönetimi için Uluslararası Sözleřme (BWMC), potansiyel olarak istilacı türlerin transferini kontrol etmek ve küresel standartlar sağlamak için kabul edilmiştir. Sözleřme uyarınca, uluslararası trafikteki tüm gemilerin, balast sularını ve çökeltilerini, gemiye özel bir balast suyu yönetim planına göre belirli bir standartta yönetmeleri gerekmektedir (Olsen vd., 2021; Özdemir, 2022).

Sözleşme balast suyu kirliliğinin önlenmesi için temel olarak iki kural sunmaktadır (David ve Gollasch, 2012; Olsen vd., 2021).

1. Balast suyu değişim standardı (Kural D1): Balast suyu değişimi gemide bulunan balast suyunun hacimsel olarak %95'inin değiştirilmesidir. Sözleşmeye göre balast suyu alma ve boşaltma karadan 200 deniz mili uzaklıkta, 200 m derinlik olan yerlerde, bu koşulun uygulanamayacağı hallerde ise karadan 50 deniz mili uzaklıkta ve yine 200 m derinliği olan yerlerde gerçekleştirilmelidir. Balast suyu değişim işlemi IMO tarafından belirtilen üç yöntemden herhangi birini kullanarak balast suyunun değiştirilmesidir. Bu yöntemler sıralı, taşırma ve seyreltme yöntemleridir.
2. Balast suyu performans standardı (Kural D2): Uygun olan herhangi bir balast suyu arıtma sistemi kullanılarak aşağıdaki standartlar altında balast suyu tahliyesi yapılabilir.

- Metre küp başına minimum boyutta 50 mikrometreden büyük veya eşit 10'dan az canlı organizma.

- Mililitrede 10'dan az, minimum boyutta 50 mikrometreden az ve mililitre başına minimum boyutta 10 mikrometreden büyük veya eşit canlı organizma.

- 100 mililitre Toksikojenik *Vibrio cholerae* başına 1 koloni oluşturan birimden (cfu) az.

- 100 mililitre *Escherichia coli* başına 250 cfu'dan az.

- 100 mililitre Bağırsak *Enterokok* başına 100 cfu'dan az.

IMO standartlarına uygun olarak balast suyu arıtması yapmak için birçok balast suyu arıtma sistemi bulunmakla birlikte, bu sistemler üç ana başlık altında incelenmektedir. Bunlar; birinci aşama olan mekanik

yöntemler ve ikinci aşamada bulunan fiziksel ve kimyasal yöntemlerdir. Bu yöntemler tek başlarına balast suyu arıtımı için standartları sağlayamadığı için belirtilen iki aşamadan oluşan karma sistemler kullanılmaktadır (Körpe, 2009; Demirci vd., 2021).

Balast suyu arıtım sistemleri arasında seçim yaparken, karar için bazı değerlerin önceden bilinmesi gerekmektedir. Bu değerlerin en önemlisi balast suyu arıtma sisteminin kurulacağı alandaki deniz suyunun tuzluluğu ve sıcaklığının değerleridir. Bu iki önemli değerden sonra, sistemin kurulum maliyetleri, balast suyu alımı ve tahliyesi arasında bulunan sefer süresi, arıtmada kullanılacak olan sistemlere gerekli olan enerji tüketimi, kullanılacak pompalarının türü ve balast tanklarının kapasiteleri sıralanmaktadır. Belirtilen değerler ile birlikte balast pompalarının yerleri ve geminin tank kapasitesi de oldukça önemlidir (Makkonen ve Inkinen, 2021).

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte çok farklı ve yenilikçi balast suyu arıtma sistemleri ortaya çıkmıştır. Balast suyu arıtma sistemlerin 8 Eylül 2024 yılından itibaren tüm gemilerde zorunlu hale geleceğinden dolayı donatanlar gemilerine en uygun sistemi aramaktadırlar.

Konuyla ilgili literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde yapılan uygulamaların birkaç gemi türü için yapıldığı veya kriterlerin farklı gemi türleri için değişebileceği hususu belirtilmeden yapıldığı tespit edilmiştir. Balast suyu arıtma sistemlerinin seçiminde geminin tipi, yaşı, büyüklüğü, balast tank kapasitesi, balast suyu basma kapasitesi vb. gibi özelliklerin etkileri çok fazladır. Fakat bu özelliklerin temel olarak etkilendiği olgu balast suyu alma ve basma kapasitesidir (m³/h). Örnek olarak tank kapasitesi büyüdükçe daha yüksek balast alma ve basma kapasitesi gerekecektir veya gemi büyüklüğü arttıkça daha fazla balast tankı hacmi gerekecek ve dolayısıyla daha fazla balast alma ve basma kapasitesine ihtiyaç duyulacaktır. Geminin büyüklüğü, geminin balast hacmi ve gemideki yeterli alan ile doğrudan orantılı olan balast suyu alma ve basma kapasitesi bu çalışmanın, balast suyu arıtma sistemi seçimi yapılacak gemiler için referans noktası olarak belirleneceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, 500-1500 m³/h balast basma kapasiteli gemiler için yedi farklı uzmanın görüşleri doğrultusunda kriterler ve alternatifler belirlenerek en uygun balast suyu arıtma sistemi seçimi AHP ve BAHF (Buckley (1985) ve Chang (1996)) yöntemleri kullanılarak karşılaştırmalı olarak yapılmıştır. Birden fazla yöntem kullanılmasının sebebi elde edilen sonuçların tutarlılıklarını karşılaştırmaktır. Uzman kişilere sunulan anketlerde yedi farklı kriter ve dört alternatif karşılaştırılmıştır. Yapılan

ankette kriterlerin ikili karşılaştırılması ve alternatiflerin her bir kriter için ayrı ayrı olarak karşılaştırılması yapılmıştır. Anketler ile alınan uzman gürüşlerine AHP yöntemi ve BAHP yöntemi (Buckley (1985) ve Chang (1996)) uygulanarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve en uygun alternatif belirlenmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu çalışmada, 500-1500 m³/h kapasiteli gemiler için yedi farklı uzmanın gürüşlerine dayanarak en uygun balast suyu arıtma sistemi seçimi yapılmıştır. Literatürde, çeşitli yöntemler ile balast suyu arıtma sistemleri incelenmiş ve bu sistemlerin kendi aralarında karşılaştırıldıkları tespit edilmiştir. İncelenen çalışmalarda Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yönteminden farklı teknikler kullanılarak, balast suyu arıtma sistemi seçimi ile ilgili olarak son yıllara ait sınırlı sayıda çalışma bulunmuştur. Herhangi bir teknik kullanılmadan yapılan karşılaştırmalara ait çalışmalar da sınırlıdır. Yapılan karşılaştırmalarda mevcut piyasada en fazla kullanılan balast suyu arıtma yöntemleri alternatif olarak kullanılmıştır. Kriter seçimlerinde ise ilk olarak maliyetin ön planda olduğu gürülmüştür. Ayrıca çalışmada kullanılan ÇKKV tekniklerinin denizcilik endüstrisinde ve hemen hemen her konuda kullanıldığı tespit edilmiştir.

Mamlook vd. (2007), balast suyu arıtma sistemlerinde karma yöntemlere girmeden mekanik, fiziksel ve kimyasal arıtma yöntemlerinde bulunan sekiz farklı sistemi, yararlılık ve maliyet kriterlerine göre bulanık kümeler metodolojisi kullanarak karşılaştırmışlardır. Çalışma sonucunda en iyi yöntemlerin sırasıyla filtreleme, ultraviyole ve ultrason yöntemi olduğu ileri sürülmüş, en efektif ve güvenilir balast suyu arıtma sistemi için filtrelemenin, ultraviyole ve/veya ultrason yöntemleriyle kombine şekilde kullanılması olduğu belirtilmiştir. Başka bir çalışmada ise iki farklı gemide uygulanmak üzere balast suyu arıtma sistemlerinin teknik ve ekonomik yönden incelemesi yapılmıştır. Çalışmasında Anahtar / Temel Performans Göstergesi (KPI-Key Performance Indicator) kullanarak gemilerden biri için elektroklorinasyon ile arıtma sistemini, diğer gemi için ise ultraviyole ile arıtma sistemini en uygun yöntem olduğu sonucuna varılmıştır (Berntzen, Mamlook). Ayrıca, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından kabul edilen Balast Suyu Yönetim Sözleşmesi (BWMC) incelenerek balast suyu arıtma sistemlerinin gerekli standartlarını belirtmişlerdir. Güncel ve sertifikalı balast suyu arıtma sistemlerini inceleyerek birçok balast suyu arıtma teknolojilerinin olduğunu ve bu sistemlerin kombine bir şekilde kullanılması gerektiği

belirtilmiştir. Ayrıca mevcut sistemlerin kullandığı yöntemlerin birçoğunun elektroliz / elektroklorinasyon ve ultraviyole sistem olduğunu söylemişlerdir (David ve Gollasch, 2012).

Diğer bir çalışmada ise yeni ve farklı bir yöntem olan Bulanık Stokastik Analitik Hiyerarşi Prosesini (BSAHP) kullanarak beş farklı arıtma teknolojisini uzman görüşleri olarak verimlilik, maliyet, insan faktörü vb. kriterlere göre değerlendirmişlerdir. Yapılan analizler ile en uygun sistemin ultraviyole yöntemi ile arıtma olduğu sonucuna varmışlardır (Liang vd., 2013). Bu çalışmada kullanılan yöntemle benzer bir şekilde, BAHF tekniği kullanılarak beş farklı balast suyu arıtma sistemini uzman görüşleri alınarak iki ana kriter ve beş farklı alt kriter ile belirtilen iki tipteki gemi için uygun arıtma sistemi seçimi yapılmıştır. Seçim sonucunda iki farklı tipteki gemi için aynı arıtma sisteminin kullanılabilceğini ve diğer gemiler için de kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır (Satir, 2014). Daha sonra ise, Promethee yöntemini kullanarak yedi farklı balast suyu arıtma sistemini kapasite, boyut, ağırlık ve enerji tüketimi kriterlerini uzman görüşleri olarak analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda klorlama yönteminin en az enerji tüketen ve en efektif yöntem olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca klorlama yönteminin daha iyi sonuçlar vermesi için filtreleme yöntemi ile kombine bir şekilde kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir (řateikienė vd., 2015). Piyasada artan talebin üzerine balast suyunun çevreye etkilerinden söz edilmeye başlanmış ve balast suyu ile ilgili yönetmeliğin kuralları incelenmiştir. Mevcut sistemler anlatılarak bunların avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuş olup neticelere ulaşılmıştır. Mevcut gemilerde en çok kullanılan yöntemin ultraviyole yöntemi olduğu ve tehlikeli madde içermediği belirtilmiştir. Yönetmeliğin yakın gelecekte yürürlüğe girmesini belirterek sistemlerin sürekli araştırılmasının öneminden bahsedilmiştir (Vural ve Yonsel, 2015). Başka bir çalışmada ise, balast suyu arıtma sistemleri genel olarak arıtma işleminin ne zaman, nerede ve nasıl yapılacağı ile ilgili olarak alternatifler belirlenmiştir. Kriter olarak güvenlik, maliyet vb. gibi etkenleri baz alarak yaptıkları çalışmada, kullandıkları sezgisel bulanık çok özellikli aksiyomatik tasarım tekniği ile elde ettikleri sonuç ise en uygun arıtmanın limanda balast suyu yüklemesinden sonra yapılması olarak bulunmuştur (Kuroshi ve Ölçer, 2016). Yine ortaya çıkan problemler incelenerek, teknik raporda balast suyunun ve IMO'nun aldığı önlemler açıklanmaktadır. Alınan önlemler arasında bulunan balast suyu arıtma sistemlerinin gemiler için zorunlu hale geleceği ve önemli olduğu belirtilmiştir. Balast suyu arıtma sistemleri gemiler için seçilirken önemli olan kriterlerden ve sistemin kurulmasından sonra balast suyu arıtma standartlarını sağlamasının önemli olduğundan söz edilmiştir (Güney, 2017). İncelemelerde tek bir alternatifin farklı kombine sistemlerini ele alan

çalışmada, ultraviyole yöntemi ile balast suyu arıtma sisteminin üç farklı tipi incelenerek o an tersanede bulunan iki farklı gemi tipi için Temel Performans Göstergeleri (KPI) tekniğini kullanarak karşılaştırılmışlardır. Yapılan analiz sonucunda KPI yöntemi ile donatanların, gemileri için en uygun sistemi seçebileceklerini belirtmişlerdir (Yonsel ve Vural, 2017).

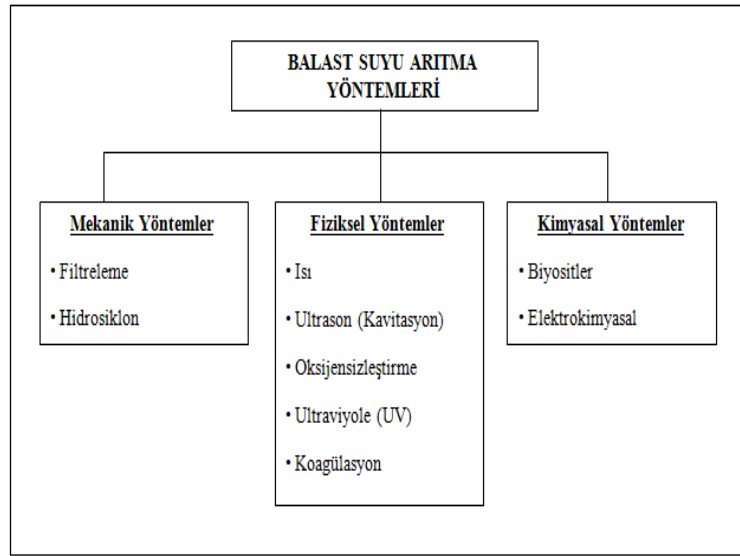
BWM sözleşmesi dikkate alınarak dört farklı balast suyu arıtma sistemi karşılaştırılıp çevre için duyarlı, gemi için ise efektif sistem belirlenmeye çalışılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda UV yönteminin bütün gemilere uygulanabilir ve çevre dostu olduğu belirtilmiştir. Ayrıca balast suyu arıtma sistemlerinin seçiminde geminin seyrettiği bölge, gemideki yeterli alan, taşıdığı yük tipi vb. gibi etkenlerin dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir (Alcantara, 2018). Mevcut üretici sayısı artmaya başladığında, dört farklı firmanın sistemini kombine ağırlıklar ve genişletme ile çok özellikli karar analizi tekniğini kullanarak karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada dört farklı üreticinin balast suyu arıtma sistemleri sekiz kriter ile uzman görüşü alınarak analiz edilmiştir. Analiz sonucunda ilk sırada bulunan firmanın ultraviyole ile arıtma sistemini kullandığı diğer firmaların ise sırasıyla kimyasal, ultraviyole ve yine kimyasal yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Ren, 2018). Sistemlerin sürekli gelişmesiyle birlikte, balast suyu arıtma sistemlerinin gemilere entegre edilme süreci ve mevcut piyasada çoğunlukla bulunan arıtma yöntemlerinden söz edilmeye başlanmıştır. IMO ve USCG'ın onay verdiği sistemlerin sayılarını karşılaştırarak yaptıkları araştırmada, Amerika Birleşik Devletleri'nde %89 ve Avustralya'da %84 olmak üzere gemilerde büyük çoğunluğun ultraviyole ve elektroklorinasyon ile arıtma sistemi yöntemlerini kullandığı sonucuna varmışlardır (Gerhard vd., 2019). Bir diğer çalışmada, balast suyu arıtma sistemleri incelenerek, örnek verilen kuruyük gemisi için belirlenen on beş kriter ve üç yöntem için uzman görüşüne sunulmuştur. Yapılan kriter temelli seçim sonucuna göre gemiye en uygun sistemin ultraviyole + filtreleme yöntemi olduğu belirtilmiştir. Ayrıca maliyet analizi yapılarak sistemin fiyatını ve bu sistemde en büyük maliyetin yatırım maliyeti olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Tokuş, 2019). Olsen vd. (2020) çalışmalarında, Knutsen Balast Suyu Arıtma Teknolojisini kullanarak balast suyu arıtma işlemi gerçekleştirmişlerdir. Knutsen Balast Suyu Arıtma Teknolojisi ile UV sistemini karşılaştırarak en uygun sistemin Knutsen Balast Suyu Arıtma Teknolojisi olduğu sonucuna varmışlardır (Olsen vd., 2020). Bir diğer çalışmada ise balast suyunda yaygın olarak bulunan istenmeyen türlerin dezenfeksiyonunda bir Taylor-Couette UV reaktörünün fizibilitesi değerlendirilmiştir. Taylor Couette reaktöründe iki farklı gliserol çözeltisi kullanılmıştır. Balast suyunda yerli olmayan türlerin inaktivasyonunda alternatif bir yöntem olarak Taylor-Couette UV

reaktörlerinden yararlanılabilineceği gösterilmiştir (Elçiçek ve Güzel, 2020). Wang vd. (2020) çalışmalarında bölgesel tür istilasını noktalarında daha sıkı düzenlemelere yönelik potansiyel ihtiyaçları göz önüne alarak, iki balast suyu arıtma politikası senaryosunu ele almışlardır: mevcut uluslararası düzenlemelerin uygulanması ve diğer gemiler ile birlikte Amerika Birleşik Devletleri'ne ve ABD'den seyahat eden gemileri hedef alan olası daha katı bir bölgesel düzenleme. Her iki senaryoda da balast suyu yönetimi uyum maliyetlerinin uluslararası ticaret ve genel olarak ulusal ekonomiler üzerinde mütevazı olumsuz etkilere yol açtığını tespit etmişlerdir (Wang vd., 2020). Wang ve Corbett (2021), balast suyu arıtma sistemlerini senaryoya dayalı maliyet-etkililik analizi yapmışlardır. Çeşitli arıtma standartlarını ve kombinasyonlarını karşılamak için geleneksel gemi-tabanlı ve alternatif mavna-tabanlı teknolojileri içeren stratejileri değerlendirmişler ve gemi-tabanlı teknolojinin mavna-tabanlı teknolojiye göre daha az maliyetli olduğu sonucunu elde etmişlerdir (Wang ve Corbett, 2021). Demirci vd. (2021) çalışmalarında balast suyunun sebep olduğu zararlı etkiler üzerinde durmuşlar ve balast suyu arıtımında kullanılan sistemleri incelemişlerdir. UV sisteminin yaygın olarak tercih edildiği tespitini yapmışlardır (Demirci vd., 2021). Lakshmi vd. (2021) filtrasyonla birlikte mekanik arıtmanın, balast tankında bulunan değişken organizma türleri için en etkili arıtma olduğunu ifade etmişlerdir. Filtrasyon ve manyetik ayırma gibi işlemler; ultra ses teknolojisi, elektrokimyasal ve ozon tedavisinin başta zooplanktonlar ve bakteriler olmak üzere organizmaların %100'ünü etkisiz hale getirdiğini tespit etmişlerdir (Lakshmi vd., 2021). Naik vd. (2021) mikroplastik kirliliğinin balast suyu yoluyla hareketliliğini azaltmak için basit ve ucuz bir çözüm önermişlerdir. Balast suyu arıtma sistemlerinden geri akan deniz suyunu filtrelemek için kargo gemilerinde mevcut Balast Suyu Arıtma Sistemlerine eklenecek bir eleme odası (paslanmaz çelik üç katmanlı ađ ile) önermişlerdir (Naik vd., 2021).

Literatür incelemesinde, balast suyu arıtma sistemleri için çeşitli yöntemlerin kullanıldığı ve farklı tip ve tonajdaki gemiler için farklı kriterler temel alınarak balast suyu arıtma sistemlerinin uygunluğu belirlenmiştir. Bu çalışmada ise, gemilerin balast kapasitesi baz alınarak 500-1500 m³/h balast basma kapasiteli gemiler için en uygun balast suyu arıtma sistemi, uzman görüşleri alınarak belirlenen dört alternatif ve yedi kriter üzerinden seçilmiştir.

3.BALAST SUYU ARITMA YÖNTEMLERİ

Denizcilik sektöründe teknolojinin sürekli gelişimi ile birlikte, yenilikçi balast suyu arıtma sistemleri geliştirilmekte ve mevcut balast suyu arıtma sistemleri her geçen gün yenilenmektedir. Arıtma yöntemlerine göre balast suyu arıtma sistemleri üçe ayrılır bunlar; mekanik, fiziksel ve kimyasal yöntemlerdir (Şekil 2). Sektörde çoğunlukla kullanılan ve onaylı üretici sayısı fazla olan sistemler bu bölümde belirtilmiştir.



Şekil 2: Balast suyu arıtma yöntemleri (Werschkun vd., 2014).

Şekil 2’de belirtilen balast suyu arıtma yöntemleri IMO standartlarını tek başlarına sağlayamadıkları için bu yöntemler çoğunlukla karma yapıda kullanılarak balast suyu arıtma sistemleri oluşturulur.

3.1.Mekanik Yöntemler

Mekanik yöntemlerde temel amaç, balast tanklarına gönderilmek üzere alınan balast suyunun pompa ile balast tankı arasında bir filtreleme veya çökelme işlemi yaparak katı partiküllerden ayırmaktır. Filtreleme veya siklonik ayırıştırma yönteminin kullanıldığı ve herhangi bir kimyasal madde kullanılmayan bu aşamada katı partiküllerin birçoğu temizlenerek balast tankına veya arıtma sistemlerine gitmesi engellenmiş olur.

3.2.Fiziksel Yöntemler

İlk aşamada mekanik yöntemler sayesinde filtrelenerek veya ayrıştırılarak bir miktar temizlenen balast suyu, yine bir kimyasal madde kullanılmaksızın bazı fiziksel işlemlere tabii tutularak temizlenir. Bu fiziksel temizleme işlemini yapmak için kullanılan sistemlere örnek olarak ultraviyole (UV), ultrason, ısı (termal), koagülasyon ve oksijensizleştirme gibi yöntemler sıralanabilir.

3.2.1.Ultraviyole ile Balast Suyu Arıtımı

Ultraviyole, filtreleme kombinasyonu ile balast suyu arıtma sistemlerini kullanan gemilerin yaklaşık %50'sinin tercih ettiği yaygın bir arıtma yöntemidir. Herhangi bir kimyasal madde kullanımı olmayan bu yöntemde balast suyu ilk olarak filtreden geçirilerek büyük organizmaların balast tanklarına gelmesi engellenmiş olur. Filtreleme işleminin ardından suda bulunan küçük organizmaların etkisiz hale gelmesi için UV ışınları bu organizmaların DNA ve RNA moleküllerindeki mevcut bağları etkileyerek balast suyunu temizler. UV yöntemi ile balast suyunun arıtılmasında balast suyunun, tuzluluğu ve sıcaklığı arıtma etki etmezken suyun bulanıklığı temizlemeyi olumsuz yönde etkilemektedir (EPA, 1999).

3.2.2.İsı ile Balast Suyu Arıtımı

İsı ile balast suyunun arıtılmasının temelinde, organizmaların belirli bir sıcaklığın üstünde etkisiz hale gelmesi yatmaktadır. Bu yöntemin temel faydası, balast tanklarındaki suyun sıcaklığını yükseltmek için gemide halihazırda kullanılmakta olan bir ısıtma sisteminin kullanılabilmesidir. Ana avantajı, herhangi bir harici madde kullanmaya gerek olmaması ve organizmaların öldürülmesini ve balast suyunun zararlarını giderme amacıyla güvenli hale gelmesini sağlamak için sadece suyun sıcaklığını değiştirmeyi gerektirmesidir. Bu yöntemin ana dezavantajı, mikroorganizmaları öldürmek için genellikle çok zaman gerektirmesi ve ayrıca tanklardaki korozyon nedeniyle balast tankına zarar vermesidir (Lakshmi vd., 2021).

3.2.3.Ultrason (Kavitasyon) ile Balast Suyu Arıtımı

Ultrason ile arıtma sistemi, balast suyunda bulunan mikroorganizmaları yok etmek için akustik sinyallerin kullanılmasından oluşur. Bu sistemde, mikroorganizmaların hücrelerini öldürmek üzere

üretilen yüksek enerjili ultrason ile balast suyuna ultrasonik enerji uygulanmaktadır. Bu yöntemin optimum etkinliği için, mevcut balast suyu arıtımının herhangi bir diğer arıtma sistemi ile birleştirilmesi gerekir. Ultrason ile balast suyu arıtımında maliyetin az olduğu ve çevreye zarar veren herhangi bir kimyasal madde kullanılmaması bu sistemin avantajları arasında yer almaktadır (Lakshmi vd., 2021).

3.2.4.Oksijensizleştirme ile Balast Suyu Arıtımı

Oksijensizleştirme yönteminin temel amacı, balast tankına alınan suyun bir gaz ile boğularak oksijen seviyesinin azaltılmasıdır. Oksijen seviyesi düşen balast suyunda bulunan mikroorganizmalar oksijensiz kalarak ölmektedir. Suyun oksijensizleştirilmesi için genellikle azot veya düşük oksijen seviyelerine ulaşabilen farklı inert gazlar kullanılır. Sistemin temel avantajı balast tanklarında oluşan korozyon etkisini azaltması iken dezavantajı ise bu boğma işleminin iki ila dört gün kadar sürebilmesidir (Naik vd., 2021).

3.2.5.Koagülasyon ile Balast Suyu Arıtımı

Koagülasyon ile arıtma yönteminde balast suyu alınırken içerisine pıhtılaşmayı sağlayan katı partiküller eklenir. Bu katı partiküller sayesinde balast suyunda bulunan organizmalar bu maddelere tutunur. Daha sonra bu katı maddeler manyetik ayrıştırma seperatörü ile alınarak balast suyu temizleme işlemi gerçekleştirilir. Diğer sistemlerden farklı olarak bu yöntemde filtreleme işlemi ikinci aşamada yapılmaktadır (Bag vd., 2017).

3.3.Kimyasal Yöntemler

Kimyasal yöntemler, balast suyundan üretilen veya balast suyuna enjekte edilen maddeler ile mikroorganizmaları öldürmeyi amaçlayan balast suyu arıtma sistemleridir. Bu sistemler gerekli olan kimyasalların gemide bulundurulmasını ve balast suyu tahliyesi esnasında eklenen maddelerin denize olan kötü etkisini gidermek adına nötralizasyon gerektirmektedirler (Estévez-Calvar vd., 2018).

3.3.1.Biyositler ile Balast Suyu Arıtımı

Balast suyunda bulunan organizmaları öldürecek veya inaktive edecek kimyasalların eklenmesi, uygulama kolaylığı nedeniyle çekici bir arıtma teknolojisidir. Balast tankına basitçe bir biyosit eklenebilir ve belirli bir süre boyunca reaksiyona girmesine izin verilebilir. Biyositler

en yaygın kullanılan endüstriyel kimyasallar arasındadır. Su arıtımında kullanımları hakkında geniş bir bilgi birikimi olan biyositlerin organizmalara karşı hücre duvarında hasar, hücre geçirgenliğinde değişiklik, DNA ve RNA'da değişiklik vb. gibi etkileri olduğundan dolayı oldukça etkili bir arıtma sistemidir. Biyositler iki gruba ayrılır bunlar, oksitleyici biyositler ve oksitleyici olmayan biyositler. İlki genellikle tatlı su sistemlerinde kullanılır, çünkü aktiviteleri sularda bulunan organik maddeler tarafından tüketilir. Son olarak suların arıtılmasında kullanılan bu kimyasal maddeler klor, klor dioksit, ozon, brom, hidrojen peroksit ve peroksi asetik asit gibi kimyasalları içerir (Simpson, 2001).

3.3.2. Elektro Kimyasal Yöntemler ile Balast Suyu Arıtımı

İki farklı sistemi olan elektrokimyasal yöntemler ile balast suyu arıtımında, birinci sistemde elektrolizör sayesinde deniz suyunda bulunan NaCl ile yüksek miktarda klor üretilerek balast suyuna bu üretilen madde enjekte edilir. Enjekte edilen bu maddeler balast suyunu temizlemektedir ancak bu yöntemde sistemin çalışabilmesi için balast suyunun tuzlu olması gerekmektedir. Diğer taraftan enjekte edilen kimyasalların gemide üretilmesi ise sistemin büyük avantajlarındanadır. Gemiler tatlı sularda seyir yapsa da bu gemilerde ilave olarak tuz tankı ve/veya belirlenen balast tankında klor üretilmek üzere sürekli deniz suyu bulundurulmalıdır (Vijayaraghavan vd., 1999). Diğer sistemde ise mikroorganizmalar elektrik enerjisinin ortaya çıkardığı alan ile ortadan kaldırılmaktadır (Dang vd., 2004).

4. MATERYAL VE METOD

Çalışmada, gemi balast alma ve basma kapasitesi dikkate alınarak en uygun balast suyu arıtma sistemi için ÇKKV yöntemlerinden AHP ve BAHP teknikleri kullanılıp seçim işlemi yapılmıştır. AHP ve iki farklı BAHP tekniği Buckley (1985) ve Chang (1996) yöntemleri kullanılarak, 500-1500 m³/h balast alma ve basma kapasiteli bir gemi için toplamda 3 farklı analiz sonucu ile en uygun balast suyu arıtma sistemi belirlenmiştir. Chang (1996) BAHP yöntemi geometrik bir temele sahiptir ve sentetik değerleri kullandığı için özgün bir yöntemdir. Dolayısıyla daha çok tercih edilen bir BAHP yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak birden fazla sıfır değerini alan kriterlerin sonuçlarının karşılaştırılmaz hale gelmesini sağladığından Buckley (1985) BAHP yöntemi de bu çalışmada kullanılmıştır. İki farklı yöntemin kullanım sebebi yöntemlerden birinin karşılaştığı hatayı diğer yöntemin telafi etmesidir. Alternatifler ve kriterler uzman kişilerle yapılan görüşmeler ve anketler yoluyla

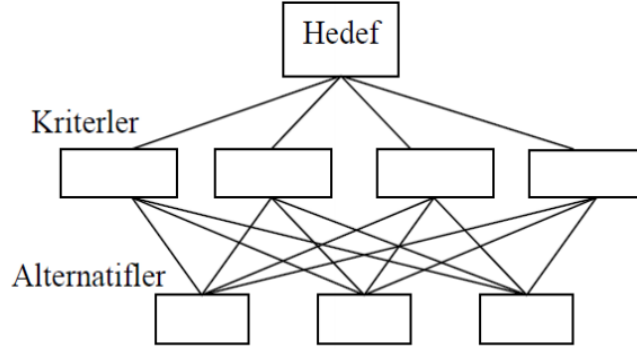
belirlenmiştir. Görüşmeler yapılan ve ankete katılan uzman profilleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Uzman profilleri

Katılımcı	Katılımcı Yeterliliği	Katılımcının Mevcut Pozisyonu	ğrenim Durumu	Deniz Tecrübesi (Yıl)
Uzman 1	Başmühendis	Başmühendis	Lisans	28
Uzman 2	2. Mühendis	ğretim Elemanı	Doktora	9
Uzman 3	Başmühendis	Teknik Müdür	Lisans	21
Uzman 4	2. Kaptan	2. Kaptan	Lisans	8
Uzman 5	2. Kaptan	2. Kaptan	Lisans	7
Uzman 6	Başmühendis	Teknik Müdür	Lisans	14
Uzman 7	Kaptan	Teknik Müdür ve Filo Müdürü	Lisans	12

4.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi

Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), Thomas L. Saaty'nin geliştirdiği ve çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemlerinin çözümünde kullanılan bir karar analiz tekniğidir (Saaty, 1999). Analitik Hiyerarşi Prosesi, insanların düşünce yapılarına ve yaşadıkları hayat tecrübelerine göre belirtilen alternatifler sayısal değerlendirmelerin kullanılarak sıralanmasına imkn verir. AHP insanların olaylara kendi bakış açılarına göre değerlendirmeye olanak verirken aynı zamanda tarafsız olarak bir değerlendirme yapmayı da sağlar (Saaty ve Vargas, 2001; zdemir ve Güneroğlu, 2017). AHP, ikili karşılaştırmalar yaparak karar vermeyi etkileyen kriterlerin önem derecelerini ve alternatiflerin bu kriterler doğrultusunda sıralamasının yapılmasıdır. AHP süreci karar verme problemini, hedef, kriterler, olası alt kriterler ve alternatifler olarak hiyerarşik bir yapı içinde modeller ve belirlenen alternatifler arasından en uygun kararın seçilmesini sağlayarak hedefe ulaştırır (Kadak, 2006; Denizhan vd., 2017; zdemir, 2019). Şekil 1'de AHP'nin genel yapısı gösterilmektedir.



Şekil 1: Analitik Hiyerarşi Prosesi'nin hiyerarşik yapısı (Denizhan vd., 2017).

4.1.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) Adımları

Adım 1. Hedefe ulaşmak amacı için karar problemini çözerken ilk olarak, Şekil 1' de gösterildiği gibi hiyerarşik yapı kurularak problemin hedefi, kriterleri ve alternatifleri sırasıyla bu hiyerarşik yapıya yerleştirilmelidir.

Tablo 2: Standart tercih tablosu (Denizhan vd., 2017).

Önem Dereceleri	Değer Tanımları
1	Eşit Önemde
3	Biraz Daha Önemli
5	Oldukça Önemli
7	Çok Önemli
9	Son Derece Önemli
2, 4, 6, 8	Ara Değerler

Adım 2. İkinci aşamada Tablo 2' de verilen önem değerlerine göre ikili karşılaştırmalar yapılır. Bu ikili karşılaştırmalar kriterlerin birbirleri arasında ikili olarak ve alternatiflerin her bir kriter için ayrı olarak yapılmasıyla oluşturulur. Karşılaştırma sonucunda önem farklılıklarını gösteren A ikili kıyaslama matrisi denklem (1) ile oluşturulmaktadır.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 3. Üçüncü aşamada ise normalizasyon yöntemi kıyaslama matrislerinin sütun vektörlerine denklem (2) ile yapılır ve \mathbf{b}_i sütun vektörleri bulunur.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

Adım 4. \mathbf{b}_i vektörlerinin birleşimi ile bulunan C matrisinin satır elemanlarının aritmetik ortalaması alınır ve her elemanın bağıl önemini veren öncelik vektörü denklem (3) ile hesaplanır;

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n c_{ij}}{n} \quad (3)$$

Adım 5. Benzer bir şekilde kriterlerin alternatiflere göre bağıl üstünlüğünü elde etmeyi sağlayan önem vektörlerinin oluşturduğu karar matrisiyle kriterlerin ağırlıklarını gösteren öncelik vektörü çarpılır ve karar noktalarının önem sırasını veren vektör elde edilir. Bu aşamadan sonra ikili karşılaştırmaların tutarlılıkları ölçülmelidir. Analitik Hiyerarşı Prosesi yönteminde karar vericilerin kriterler arasında yaptığı ikili karşılaştırmalar bir bütün içerisinde tutarlı olmalıdırlar. Tutarlı olmayan sonuçlar, gerçekçi olmadığı gibi kabul edilemez de olacaktır. Tutarlılık Oranı (TO) kriterler arasında yapılan ikili karşılaştırmaların tutarlı olup olmadığı kontrol etmek amacı ile hesaplanır. Tutarlılık oranının hesaplanabilmesi için ilk olarak Temel Değer (λ) katsayısı hesaplanmalıdır. Temel değer katsayısını bulmak için ikili kıyaslama matrisi ile öncelik vektörünün matris çarpımı kullanılarak bulunan sütun vektörünün elemanlarının sahip olduğu öncelik vektörüne karşılık gelen elemanlarına bölümünün aritmetik ortalaması alınmaktadır (Alp ve Gündoğdu, 2012). Temel değer (λ) katsayısı hesaplandıktan sonra Tablo 3' te verilen rassallık göstergesi (RG) yardımıyla, temel değer uygun olduğu rassallık göstergesine bölünmesiyle tutarlılık oranı bulunmaktadır.

$$TG = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (4)$$

$$TO = \frac{TG}{RG} \quad (5)$$

Matrislerin boyutuna göre Tablo 3' te yer alan rastgele değer indeksleri rassallık göstergesi olarak alınmaktadır (Pala, 2016).

Tablo 3: Rastgele değer indeksleri (Yıldırım ve nder, 2015).

Karar Alternatiflerinin Sayısı (n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rastgele Değer İndeksi	0	0	0.52	0.89	1.12	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

4.2.Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP)

Sıklıkla kullanılan çok ltl karar verme yöntemi olan Analitik Hiyerarşik Prosesi belirsizlik durumunda karar verme işlemine gerçek, orta, tam, uygun biçim de gerçekleştiremediğinden dolayı, bulanık mantıkla bütünleştirilerek Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi (BAHP) adıyla yeni bir yöntem ortaya konulmuştur. Bu yöntemde karar vericiler kesin ve net nitelendirmeler yapmanın yerine problemi gerçek dünyaya uyarlayan Tablo 4'te gösterilen üçgensel bulanık sayılara göre ara değerlerden oluşan değerlendirmeler yaparak daha güvenilir sonuçlar ortaya koymaktadır (Zhu vd., 1999).

Tablo 4: Üçgensel bulanık sayılar (Denizhan vd., 2017).

Gerçek Sayı	gensel Bulanık Sayı	gensel Bulanık Sayıların Tersi
1	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
2	(1, 2, 3)	(1/3, 1/2, 1)
3	(2, 3, 4)	(1/4, 1/3, 1/2)
4	(3, 4, 5)	(1/5, 1/4, 1/3)
5	(4, 5, 6)	(1/6, 1/5, 1/4)
6	(5, 6, 7)	(1/7, 1/6, 1/5)
7	(6, 7, 8)	(1/8, 1/7, 1/6)
8	(7, 8, 9)	(1/9, 1/8, 1/7)
9	(8, 9, 9)	(1/9, 1/9, 1/8)

4.2.1. Buckley (1985) Yaklaşımının Algoritması

Kriterler ve alternatifler tespit edilip üçgensel bulanık sayılar ile uzmanların doldurduğu anketler toplanır ve anketlerin geometrik ortalaması alınır. Anket sonuçları denklem (6) ile matrislere dönüştürülür.

$$\tilde{A}^k = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{A}_{12} & \tilde{A}_{1n} \\ \tilde{A}_{21} & 1 & \tilde{A}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{A}_{m1} & \tilde{A}_{m2} & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Bu aşamadan sonra yöntemin uygulama adımları (Kafalı, 2014):

Adım 1. Sözel ifadelerden oluşan uzman görüşleri kullanılmayacakları için, belirlenen dilsel ölçeği ile tüm veriler üçgensel bulanık sayılara dönüştürölmektedir.

Adım 2. Değerlendirme birden fazla uzman tarafından yapıldıysa uzman görüşlerinin bir araya toplanması gerekir. Ağırlıklı ortalama yöntemi bu işlem için literatürde kullanılmaktadır. Ağırlıklı ortalama denklem (7) ile bulunur.

$$\tilde{A}_{mn} = \frac{Z_1 A_{mn}^1 + Z_2 A_{mn}^2 \cdots Z_k A_{mn}^k}{Z_1 + Z_2 + \cdots + Z_k} \quad (7)$$

Elde edilen uzman görüşlerinin ortalamaları alınarak oluşturulan karar matrisinin denklem (8)'de verildiği şekilde, \tilde{A} birleştirilmiş ikili kıyaslama matrisini göstermektedir.

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{A}_{12} & \cdots & \tilde{A}_{1n} \\ \tilde{A}_{21} & 1 & \cdots & \tilde{A}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{A}_{m1} & \tilde{A}_{m2} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Adım 3. Kriter ağırlıklarının hesaplanması aşamasında öncelikle karar matrisinde bulunan her bir satırın geometrik ortalaması denklem (9) ile alınır.

$$\tilde{b}_1 = (\tilde{a}_{11} \otimes \tilde{a}_{12} \otimes \cdots \otimes \tilde{a}_{1n})^{1/n} \quad (9)$$

Burada “n” kullanılan kriter sayısını, “ \widetilde{a}_{in} ” i. kriterin n. kriterle bulanık kıyaslama değerini, “ \widetilde{b}_1 ” i. kriterin bütün bulanık kriterle karşılaştırma değerlerinin geometrik ortalamasını, (\otimes) ise çarpma işlemini sembolize etmektedir. Bu işlemde sonra denklem (10)' da bulunan işlem aracılığı ile bulanık ağırlıklar hesaplanırken, “ \widetilde{w}_i ” değeri i. kriterin bulanık ağırlığıdır.

$$\widetilde{w}_i = \widetilde{b}_i \otimes 1/(\widetilde{b}_1 + \widetilde{b}_2 + \dots + \widetilde{b}_n) \quad (10)$$

Adım 4. Bulanık değerlerin mutlak değerlere dönüştürülmesinden sonra elde edilen mutlak ağırlıkların daha iyi incelenebilmesi için normalizasyon işlemi denklem (11) ile yapılır.

$$(w_i^R)^N = \frac{w_i^N}{\sum_{i=1}^n w_i^N} \quad (11)$$

Adım 5. Buraya kadar yapılan işlemler hem alternatiflerin her bir kriter için ikili karşılaştırmaları hem de kriterlerin ikili karşılaştırmaları için yapılır ve bu ikili karşılaştırmaların matris çarpımı alınarak sonuca ulaşılır.

4.2.2.Chang (1996) Yaklaşımının Algoritması

Kriterler ve alternatifler tespit edilip üçgensel bulanık sayılar ile uzmanların doldurduğu anketler toplanır ve anket sonuçlarının geometrik ortalaması alınır. Bu aşamadan sonra yöntemin uygulaması 5 adımdan oluşur (Chang, 1996).

Adım 1. $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ bir amaç kümesi ve $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ bir hedef kümesi olmak üzere, bulunan her bir amaç için g_i genişletilmiş analiz değeri kullanılır. Her amaç için m tane genişletilmiş analiz değeri,

$$M_{gi}^1, M_{gi}^2, \dots, M_{gi}^m \quad i = 1, 2, \dots, n \text{ şeklinde bulunur.}$$

Tüm M_{gi}^j ($j = 1, 2, \dots, m$) değerleri üçgensel bulanık sayı formatındadır. Bulanık sentetik değeri i. amaç için,

$$S_i = \sum_{j=1}^n M_{gi}^j \otimes \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (12)$$

Birinci adımın sonunda denklem (13) uygulanır.

$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right] \quad (13)$$

Adım 2. $M_2 = (l_2, m_2, u_2) \geq M_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ifadesinin ihtimal derecesi denklem (14) ile bulunmaktadır.

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1, & m_2 \geq m_1 \\ 0, & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{diğer} \end{cases} \quad (14)$$

Burada kesişim noktası her iki durum içinde bulunmaktadır. M_1 ve M_2 'yi karşılaştırabilmek amacıyla $V(M_2 \geq M_1)$ ve $V(M_1 \geq M_2)$ değerlerinin ikisinin de bilinmesi gerekir.

Adım 3. İlk satır elemanları diğer satırlarda bulunan elemanlar ile kıyaslanır. Bu kıyaslamalar sonucunda bulunan değerlerin en az olanı alınır ($\mathbf{d}'(A_1)$). Benzer şekilde ikinci satırda bulunan elemanlarda diğer tüm satırlarla karşılaştırılır ve en azı alınır ($\mathbf{d}'(A_2)$). Bu işlem diğer tüm satırlar için devam ettirilir ve her bir satır için bulunan en küçük değerler birleştirilir ve ağırlık vektörü bulunur.

$$\mathbf{W}' = (\mathbf{d}'(A_1), \mathbf{d}'(A_2), \dots, \mathbf{d}'(A_n))^T \quad (15)$$

Adım 4. Ağırlık vektörü normalize edilir ve burada \mathbf{W}' , bulanık olmayan bir sayı olarak bulunur.

Adım 5. Bu aşamaya kadar yapılan işlemler hem alternatiflerin her bir kriter için ikili karşılaştırmaları hem de kriterlerin ikili karşılaştırmaları için yapılır ve bu ikili karşılaştırmaların matris çarpımı alınarak sonuca ulaşılır.

5.UYGULAMA

5.1.Alternatif ve Kriter Seçimi

Çalışmada, 500-1500 m³/h balast alma ve basma kapasiteli gemiler için balast suyu arıtma sistemlerinin seçimi AHP ve BAHF teknikleri kullanılarak yapılmıştır.

Balast suyu arıtma sisteminin seçimini yapabilmek ve anket uygulamasını yerine getirmek için bu alanda uzman kişilerden alternatiflerin seçiminde ve kriterlerin belirlenmesinde yardım alınmıştır. Alınan uzman görüşlerine göre belirtilen dört alternatif ve yedi kriter aşağıdaki gibidir.

5.1.1.Alternatifler

Uzman kişiler, alternatiflerin belirlenmesi aşamasında mevcut piyasada fazlasıyla tercih edilen arıtma yöntemlerini tercih etmişlerdir. Ek olarak belirlenen alternatiflerin IMO (Uluslararası Denizcilik Örgütü) ve USCG (Amerika Birleşik Devletleri Sahil Güvenlik Teşkilatı) tarafınca onaylı olmasına da dikkat edilmiştir.

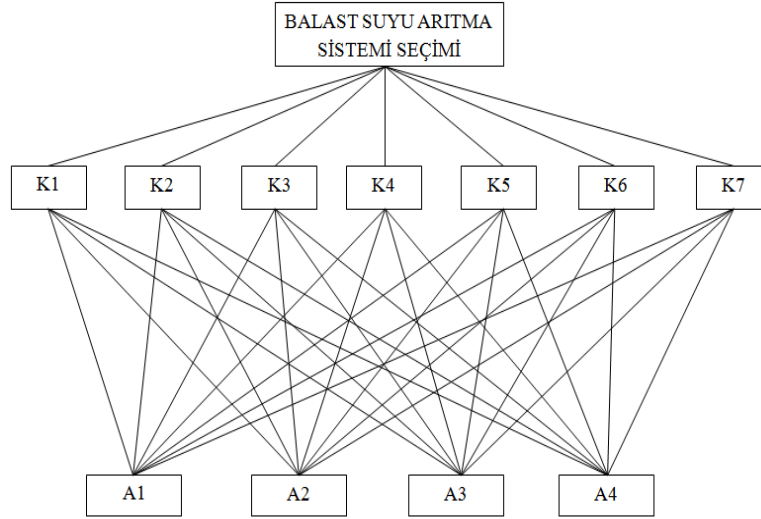
- UltraViyole (UV) + Filtreleme (A1)
- Elektroliz /Elektroklorinasyon + Filtreleme (A2)
- Oksijensizleştirme + Filtreleme (A3)
- Kimyasal Enjektisi + Filtreleme (A4)

5.1.2.Kriterler

Kriterlerin belirlenmesinde diğer sektörlerde olduğu gibi maliyet kriterinin denizcilik sektöründe de oldukça önemli olduğunu ve kriterler arasında olması gerektiğini söyleyen uzman kişiler ek olarak denizcilik sektöründe zaman, hız, hacim, servis hizmeti vb. durumların da önemli olduğunu ve kriterler arasında yer alması gerektiğini belirtmişlerdir.

- Sistem Maliyeti (K1)
- Operasyon maliyeti (Enerji tüketimi ve kimyasal eklemeleri) (K2)
- Onaylı üretici sayısı ve dünya çapında yetkili servis hizmeti (K3)
- Sistem boyutu (Gemide kapladığı Hacim) ve sistemin teslim edilme süresi (K4)
- Kısıtlamalar (su bulanıklığı, sıcaklık, tuzluluk, kullanımlar arasındaki bekleme süresi, nötralizasyon gerekliliği) (K5)
- Balast alma ve basma hızı (K6)

- Gemi balast tanklarına korozyon etkisi (K7)
Balast suyu arıtma sistemlerinin seçimi için hiyerarşik yapı Şekil 3'te kurulmuştur. Tablo 5 ve Tablo 6' da uzman kişiler ile yapılan anketlerin geometrik ortalaması hesaplanmıştır.



Şekil 3: Balast suyu arıtma sistemi seçimi için hiyerarşik karar verme modeli

Tablo 5: Kriterlerin ikili karşılaştırma sonuçlarının geometrik ortalamaları

KRİTERLERİN İKİLİ KARŞILAŞTIRILMASI							
	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1	1.00	2.63	1.56	3.34	4.70	3.50	6.14
K2	0.38	1.00	0.59	1.57	2.22	1.89	4.32
K3	0.64	1.69	1.00	1.69	2.52	1.47	4.74
K4	0.30	0.64	0.59	1.00	1.19	0.58	2.49
K5	0.21	0.45	0.40	0.84	1.00	0.50	2.52
K6	0.29	0.53	0.68	1.71	1.99	1.00	4.22
K7	0.16	0.23	0.21	0.40	0.40	0.24	1.00

Tablo 6: Alternatiflerin her bir kriter için ikili karşılaştırmalarının geometrik ortalamaları

K1				
	A1	A2	A3	A4
A1	1.00	2.90	5.09	3.14
A2	0.34	1.00	2.46	0.65
A3	0.20	0.41	1.00	0.31
A4	0.32	1.55	3.20	1.00

K2				
	A1	A2	A3	A4
A1	1.00	1.12	3.65	2.56
A2	0.89	1.00	3.45	2.03
A3	0.27	0.29	1.00	1.07
A4	0.39	0.49	0.94	1.00

K3				
	A1	A2	A3	A4
A1	1.00	3.49	5.86	2.50
A2	0.29	1.00	3.56	0.67
A3	0.17	0.28	1.00	0.23
A4	0.40	1.49	4.26	1.00

K4				
	A1	A2	A3	A4
A1	1.00	3.25	5.08	2.46
A2	0.31	1.00	1.67	0.52
A3	0.20	0.60	1.00	0.31
A4	0.41	1.92	3.20	1.00

K5				
	A1	A2	A3	A4
A1	1.00	2.34	3.79	1.10
A2	0.43	1.00	2.90	0.40
A3	0.26	0.34	1.00	0.28
A4	0.91	2.49	3.64	1.00

K6				
	A1	A2	A3	A4
A1	1.00	2.16	4.66	1.24
A2	0.46	1.00	2.83	0.54
A3	0.21	0.35	1.00	0.28
A4	0.81	1.85	3.58	1.00

K7				
	A1	A2	A3	A4
A1	1.00	1.53	0.38	1.90
A2	0.65	1.00	0.34	1.06
A3	2.60	2.97	1.00	2.58
A4	0.53	0.94	0.39	1.00

Bulanık AHP tekniklerinde kullanılmak üzere yapılan sözel anket üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür ve geometrik ortalamaları alınmıştır. Tablo 7'de kriterlerin ikili karşılaştırmalarının geometrik ortalaması verilmiştir.

Tablo 7: Kriterlerin ikili karşılaştırmalarının geometrik ortalaması

	K1			K2			K3			K4			K5			K6			K7		
K1				1.53	2.63	2.63	1.27	1.56	1.83	2.23	3.34	3.34	3.65	4.70	4.70	2.42	3.50	3.50	5.11	6.14	6.14
K2	0.38	0.38	0.65				0.53	0.59	0.91	1.22	1.57	1.81	1.84	2.22	2.60	1.25	1.89	1.95	3.20	4.32	3.99
K3	0.55	0.64	0.79	1.10	1.69	1.87				1.15	1.69	1.79	1.77	2.52	2.78	1.10	1.47	1.53	3.71	4.74	4.74
K4	0.30	0.30	0.41	0.55	0.64	0.73	0.56	0.59	0.82				0.94	1.19	1.39	0.50	0.58	0.81	1.74	2.49	2.75
K5	0.21	0.21	0.27	0.38	0.45	0.52	0.36	0.40	0.51	0.72	0.84	1.06				0.46	0.50	0.67	1.74	2.52	2.52
K6	0.29	0.29	0.41	0.51	0.53	0.72	0.65	0.68	0.74	1.24	1.71	2.00	1.49	1.99	2.19				3.12	4.22	4.22
K7	0.16	0.16	0.20	0.23	0.23	0.31	0.21	0.21	0.27	0.37	0.40	0.58	0.40	0.40	0.58	0.24	0.24	0.32			

5.2.AHP ile Hesaplama

AHP ile hesaplamalarda Tablo 5 ve Tablo 6' da bulunan ikili karşılaştırmaların geometrik ortalamaları kullanılarak yapılmıştır. Kriterler için alternatiflerin öncelik değerleri Tablo 8'deki gibi oluşmuştur. Analiz sonuçlarına göre en önemli kriter Sistem Maliyeti (K1) olmuştur.

Tablo 8: AHP tüm karar elemanlarının öncelik değerleri

Kriterler	Kriter ncelik Değerleri	Alternatifler	Alternatif ncelik Değerleri
K1	0.326592	A1	0.169982
		A2	0.056498
		A3	0.026257
		A4	0.073855
K2	0.15249	A1	0.059711
		A2	0.052592
		A3	0.018237
		A4	0.02195
K3	0.190986	A1	0.098485
		A2	0.033864
		A3	0.012324
		A4	0.046313

K4	0.092558	A1	0.047205
		A2	0.013477
		A3	0.008228
		A4	0.023649
K5	0.074044	A1	0.027685
		A2	0.013453
		A3	0.006379
		A4	0.026528
K6	0.126158	A1	0.050334
		A2	0.02473
		A3	0.01029
		A4	0.040804
K7	0.037173	A1	0.050334
		A2	0.02473
		A3	0.01029
		A4	0.040804

Tüm kriterler için alternatiflerin bağıl üstünlüğünü veren önem vektörlerinin oluşturduğu karar matrisi ile kriterlerin ağırlıklarını veren öncelik vektörü çarpılarak alternatiflerin önem sırası elde edilmiştir. Alternatiflerin önem dereceleri Tablo 9'da gösterilmiştir.

Tablo 9: Alternatiflerin AHP önem dereceleri

Alternatifler	A1	A2	A3	A4
Önem Derecesi	0.461953	0.200314	0.099126	0.238607

Tablo 9'a göre en iyi balast suyu arıtma karma sistemi olarak 0.461953 önem derecesi ile UltraViyole (UV) +Filtreleme sistemi olmuştur.

5.3.BAHP (Buckley 1985) ile Hesaplama

BAHP Buckley (1985) yönteminde yapılan anketler üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Dönüştürülen üçgensel bulanık sayıların geometrik ortalaması alınmıştır ve hesaplamalar yapılmıştır. Kriterler için alternatiflerin öncelik değerleri Tablo 10'daki gibi

hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına göre en önemli kriter klasik AHP' de olduğu gibi Sistem Maliyeti (K1) olmuştur.

Tablo 10: BAHP Buckley tüm karar elemanlarının öncelik değerleri

Kriterler	Kriter ncelik Değerleri	Alternatifler	Alternatif ncelik Değerleri
K1	0.350351	A1	0.585679
		A2	0.157349
		A3	0.059105
		A4	0.197867
K2	0.149544	A1	0.427815
		A2	0.352278
		A3	0.099131
		A4	0.120775
K3	0.190808	A1	0.583653
		A2	0.148785
		A3	0.041694
		A4	0.225868
K4	0.088951	A1	0.570061
		A2	0.127822
		A3	0.068953
		A4	0.233164
K5	0.065858	A1	0.393443
		A2	0.166732
		A3	0.064392
		A4	0.375433
K6	0.119653	A1	0.416863
		A2	0.180884
		A3	0.062337
		A4	0.339916
K7	0.034834	A1	0.216854
		A2	0.145411
		A3	0.500579
		A4	0.137156

Her bir kriter için alternatiflerin önem sırası elde edilmiştir. Alternatiflerin önem dereceleri Tablo 11'deki gibi oluşmuştur.

Tablo 11: Alternatiflerin BAHP Buckley önem dereceleri

Alternatifler	A1	A2	A3	A4
nem Derecesi	0.514588	0.185257	0.078758	0.221397

Tablo 11 UltraViyole + Filtreleme balast suyu arıtma karma sisteminin önem derecesinin ilk sırada yer aldığını göstermektedir.

Elektroliz / Elektroklorinasyon + Filtreleme balast suyu arıtma karma sisteminin önem derecesinin ikinci sırada olduğunu, Oksijensizleştirme + Kaviteasyon balast suyu arıtma karma sisteminin önem derecesinin üçüncü sırada olduğunu ve Kimyasal Enjektisi balast suyu arıtma sisteminin önem derecesinin dördüncü sırada olduğunu Tablo 11 göstermektedir.

5.4.BAHP (Chang 1996) ile Hesaplama

BAHP Chang (1996) yönteminde yapılan anketler üçgensel bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Dönüştürülen üçgensel bulanık sayıların geometrik ortalaması alınmış ve hesaplamalar yapılmıştır. Kriterler için alternatiflerin öncelik değerleri Tablo 12'deki gibi olmuştur. Analiz sonuçlarına göre en önemli kriter yine Sistem Maliyeti (K1) olarak elde edilmiştir.

Tablo 12: BAHP Chang tüm karar elemanlarının öncelik değerleri

Kriterler	Kriter Öncelik Değerleri	Alternatifler	Alternatif Öncelik Değerleri
K1	0.78423	A1	0.455427
		A2	0.240955
		A3	0
		A4	0.303618
K3	0.03823	A1	0.390927
		A2	0.363611
		A3	0.115153
		A4	0.130309
K3	0.17754	A1	0.45789
		A2	0.23685
		A3	0
		A4	0.30526
K4	0.00000	A1	0.461957
		A2	0.185934
		A3	0.036518
		A4	0.31559
K5	0.00000	A1	0.415572
		A2	0.174684
		A3	0
		A4	0.409744
K6	0.00000	A1	0.424943
		A2	0.197
		A3	0
		A4	0.378057
K7	0.00000	A1	0.280948
		A2	0.179289
		A3	0.384206
		A4	0.155557

Yedi farklı kriter için alternatiflerin önem sırası elde edilmiştir. Alternatiflerin önem dereceleri Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13: Alternatiflerin BAHF Chang önem dereceleri

Alternatifler	A1	A2	A3	A4
Önem Derecesi	0.453398	0.244915	0.004402	0.297284

Tablo 13 incelendiğinde Ultraviyole + Filtreleme balast suyu arıtma karma sisteminin önem derecesinin ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Elektroliz / Elektroklorinasyon + Filtreleme balast suyu arıtma karma sisteminin önem derecesinin ikinci sırada olduğu, Oksijensizleştirme + Kavitasyon balast suyu arıtma karma sisteminin önem derecesinin üçüncü sırada olduğu ve Kimyasal Enjektisi balast suyu arıtma sisteminin önem derecesinin dördüncü sırada olduğu görülmektedir.

5.5.Yöntemlerin Karşılaştırılması

500-1500 m³/h balast basma kapasiteli gemilere uygun balast suyu arıtma sistemini bulmak için kullanılan üç (3) ayrı yöntemle göre sistemlerinin ağırlıklı ortalamalarının sıralaması Tablo 14' deki gibi olmuştur.

Tablo 14: AHP ve BAHF (Buckley 1985 & Chang 1996) alternatiflerin önem dereceleri

Alternatifler	AHP	BAHF (Buckley. 1985)	BAHF (Chang. 1996)
UltraViyole + Filtreleme	0.461953	0.514588	0.453398
Elektroliz / Elektroklorinasyon + Filtreleme	0.200314	0.185257	0.244915
Oksijensizleştirme + Kavitasyon	0.099126	0.078758	0.004402
Kimyasal Enjektisi	0.238607	0.221397	0.297284

Tablo 14 incelendiğinde Ultraviyole + Filtreleme balast suyu arıtma karma sisteminin önem derecesinin her üç yöntemle göre de ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Elektroliz / Elektroklorinasyon + Filtreleme balast suyu arıtma karma sisteminin önem derecesinin ikinci sırada olduğu, Oksijensizleştirme + Kavitasyon balast suyu arıtma karma sisteminin önem derecesinin üçüncü sırada olduğu ve Kimyasal Enjektisi

balast suyu arıtma sisteminin önem derecesinin dördüncü sırada olduğu görölmektedir. 500-1500 m³/h balast basma kapasiteli gemiler için en uygun balast suyu arıtma sistemi Ultraviyole + Filtreleme balast suyu arıtma karma sistemi olarak elde edilmiştir.

6. TARTIŐMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, balast suyu ile ilgili temel bilgiler verilerek; gemiye balast suyu alma sebepleri, balast suyunun başka bölgelere taşınması sonucunda oluşan problemler, bu problemlerin ortadan kaldırılması için yürürlükte olan IMO standartları belirtilmiştir. Dünya denizleri için büyük bir tehdit haline gelen balast suyunun zararlı etkilerini en aza indirmek veya ortadan tamamen kaldırmak için belirtilen ve IMO standartları sağlayan balast suyu arıtma sistemleri incelenmiştir. Denizcilik sektöründe büyüyen ve gelişen teknolojinin de etkisi ile birlikte balast suyu arıtma sistemleri sürekli geliştirilmekte ve yeni yöntemler ortaya çıkarılmaktadır. Bu durum gemi sahipleri ve/veya gemi işletmecileri için balast suyu arıtma sistemlerinden seçim yapmalarını gerektirmekte olup gemilerine uygun sistemi IMO tarafından belirlenen süre içerisinde entegre etmekle yükümlüdürler. Gemi sahipleri veya işletmecileri seçimlerini yaparken balast suyu arıtma sistemlerinden hangisini seçeceğini ve hangi kriterleri baz alarak seçim yapmaları gerektiğini gerek ekonomik gerekse verimlilik açısından bilmek zorundadırlar.

Gemi sahipleri ve işletmecilerinin uygun balast suyu arıtma sistemi için seçim yaparken, henüz sistemlerin yeni ve gelişmekte olması nedeniyle zorlandığı görölmektedir. Geminin teknik özelliklerine gerekli ve yeterli önem verilmeden montajı yapılan balast suyu arıtma sistemleri gerek fazla maliyet ve zaman kaybı açısından gerekse de yürürlükte olan standartları sağlama açısından sıkıntılar ortaya çıkarmaktadır.

Balast suyu arıtma sistemlerinin üretilmesi yakın geçmişte başlamıştır. Bu sistemler sürekli geliştirilmekle birlikte birçok yeni yöntem de ortaya çıkmaktadır. Piyasada bulunan gemilerin balast suyu arıtma sistemi talebi sürekli arttığından dolayı birçok arıtma sistemi üretilmiştir. Üretilen her arıtma sistemi tüm gemilere uygulanabilir değildir (örneğin geminin tipi, yaşı, büyüklüğü, balast tank kapasitesi, balast suyu basma kapasitesi vb. nedenlerden dolayı). Bu çalışmada, bu karmaşadan uzak kalınarak sadece balast alma kapasitesi baz alınmış ve bu kapasiteyi sağlayabilecek mevcut balast sistemleri seçilmiştir.

Mamlook vd. (2007) alışmalarında balast sistemini güvenlik açısından da incelemiştir. Çalışma sonucunda Ultraviyole (UV) sistemi ikinci ve Ultrasound sistemi üçüncü seçenek olarak belirlenmiştir. Liang vd. (2013) FSAHP ve AHP yöntemlerini kullanarak Ultraviyole (UV) sistemini en iyi seçenek olarak elde etmiştir.

Bu çalışmada, kişi ve kurumlara referans olması adına ilk olarak literatürde bulunan balast suyu arıtma sistemlerinin incelendiği çalışmalar araştırılmış daha sonra balast suyu arıtma sistemleri ve seçiminde kullanılan kriterler, uzman kişilerce değerlendirilerek belirlenmiştir. Uzman kişilerin belirlediği kriterler ve alternatifler incelendiğinde, alternatiflerin mevcut piyasada yoğunlukla kullanılan onaylı sistemler olduğu ve belirlenen kriterlerin ise bu sistemlerin seçiminde en çok dikkat edilen noktalar olduğu gözlemlenmiştir. Uzman görüşleri doğrultusunda yedi kriter ve dört balast suyu arıtma sistemi alternatif olarak belirlenmiştir.

Çalışmada, 500-1500 m³/h balast suyu alma ve basma kapasitesine sahip gemiler için en uygun balast suyu arıtma sistemi ÇKKV yöntemlerinden AHP ve BAHP (Buckley (1985) ve Chang (1996)) teknikleri ile karşılaştırmalı olarak belirlenmiştir. Uzman kişilerce belirlenen alternatif ve kriterler için hiyerarşik yapı kurulmuş ve anket vasıtası ile kriter ve alternatifler ikili olarak karşılaştırılmıştır. Uzman kişilerden alınan ikili karşılaştırma sonuçları sözel ifadelerden dilsel ifadelere çevrilmiş ve analiz sonucu için gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Birbirlerinin eksikliklerini tamamlayan üç farklı yöntem ile analiz edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve sıralama olarak tüm yöntemlerde aynı sonucun ortaya çıktığı grlmştir. Kriterler önem derecesine göre sıralandığında en önemli kriter olarak sistem maliyeti olarak bulunmuştur. Kriterlerin önem derecesi ile alternatifler değerlendirildiğinde ise 500-1500 m³/h balast basma kapasitesine sahip gemiler için en uygun balast suyu arıtma sistemi olarak "Ultraviyole (UV) + Filtreleme" sonucuna ulaşılmıştır. Bu alışma gemi sahiplerine veya işletmecilerine 500-1500 m³/h balast alma ve basma kapasitesine sahip gemileri için uygun balast suyu arıtma sistemi seçiminde yardımcı olması adına yapılmıştır.

KAYNAKÇA

- Alcantara, E. (2018). Comprative Study of Approved IMO Technologies for Treatment of Ballast Waters. Master's Thesis. Department of Nautical Sciences and Engineering. Faculty at de Nutica de Barcelona University Politcnica de Catalunya.

- Alp, S. ve Gündoğdu, C.E. (2012). Kuruluş Yeri Seçiminde Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Uygulaması. Dokuz Eylöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. 14 (1): 07-25.
- Aykanat. E. (2010). Liman ve Bayrak Devleti Kontrolleri Verileri Yardımıyla Gemi Kazalarının Analizi. Diss. DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. Master Thesis.
- Bag, O. Y., Moon, J., Park, J. M. ve Kong, G. Y. (2017). Development of the Electrolysis Ballast Water Treatment System and Test. Journal of Navigation and Port Research, 41(3), 79-86.
- Berntzen, M. (2010). Guidelines for Selection of a Ship Ballast Water Treatment System. Master Thesis in Marine Systems Design. Department of Marine Technology. Norwegian University of Science and Technology.
- Buckley, J. J. (1985). Fuzzy. Hierarchical Analysis. Fuzzy Sets System, 17(3), 233-247.
- Chang, D.Y. (1996). Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP. European Journal of Operational Research, 95, 649-655.
- Dang, K., Yin, P., Sun, P., Xiao, J. ve Song, Y. (2004). Application Study of Ballast Water Treatment Electrolyzing Sea Water. In: Matheickal. J.T., Raaymakers. S. (Eds.). 2004. 2nd International Ballast Water Treatment R&D Symposium. IMO. London. 21-23 July 2003: Symposium Proceedings. Glo Ballast Monograph Series No.15. IMO: London. p: 103-110.
- David, M. ve Stephan, G. (2012). Ballast Water Treatment Systems – A Summary. Emerging Risk from Ballast Water Treatment. Federal Institute for Risk Assessment, 23-25.
- Demirci, S. M. E., Doğru, M., Canımoğlu. R. ve Elecek, H. (2021). Gemi Balast Sularının Çevresel Etkilerine ve Arıtma Sistemlerine Genel Bir Bakış. Journal of Marine and Engineering Technology, 1(1), 13-23.
- Demirel, H., Akyuz, E., Celik, E. ve Alarcin, F. (2019). An Interval type-2 fuzzy QUALIFLEX Approach to Measure Performance Effectiveness of Ballast Water Treatment (BWT) System on-board Ship. Ships and Offshore Structures, 14(7), 675-683.
- Denizhan, B., Yılmaz Yalçıner, A. ve Berber, ř. (2017). Analitik Hiyerarşi Proses ve Bulanık Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemleri Kullanılarak Yeşil Tedarikçi Seçimi Uygulaması. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(1), 63- 78.

- Elçiçek, H. ve Güzel, B. (2020). TC-UV Reactors Evaluated as an Alternative Option in Treatment of Ballast Water. *Journal of ETA Maritime Science*, 8(1), 10-21.
- EPA. (1999). Waste-Water Technology Fact Sheet Ultraviolet Disinfection. United States Environmental Protection Agency. EPA 832-F-99-064. Washington. ABD. Hata! Köprü başvurusu geçerli değil.. (Erişim Tarihi: 10.02.2022).
- Estévez-Calvar, N., Gambardella, C., Miraglia, F., Pavanello, G., Greco, G., Faimali, M. ve Garaventa, F. (2018). Potential Use of an Ultrasound Antifouling Technology as a Ballast Water Treatment System. *Journal of Sea Research*, 133, 115-123.
- Gerhard, W. A., Lundgreen, K., Drillet, G., Baumler, R., Holbeck, H. ve Gunsch, C. K. (2019). Installation and Use of Ballast Water Treatment Systems–Implications for Compliance and Enforcement. *Ocean & Coastal Management*, 181, 104907.
- Güner, ř. N. ve Oğuz, Ö. Ü. A. (2020). Mavi Ekonomi Bağlamında Dış Ticaret. *Tam Metin Kitabı*, 102.
- Güney, C. (2017). Balast Suyu Arıtma Sistemleri. Teknik Rapor. İstanbul Teknik Üniversitesi Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi. Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği Bölümü. Rapor Tipi: İnceleme – Araştırma Rapor No: DEN2017/2 <<https://www.researchgate.net/publication/323700857>>
- Hulme, P. E. (2009). Trade, Transport and trouble: Managing in Vasive Species Pathwaysin an Era of Globalization. *Journal of Applied Ecology*. 46(1), 10–18.
- Kadak, E. G. (2006). Türkiye’de AHP Tekniğinin Performans Değerlendirmedeki Yeri ve İlaç Dağıtım Sektöründe Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kafalı, M. (2014). Gemi İnşa Sanayinde Bulanık Karar Verme Uygulamaları. Karadeniz Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Körpe, Ö. (2009). Balast suyu yönetimi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Kumar, J. P. P. J., Ragumaran, S., Nandagopal, G., Ravichandran, V., Mallavarapu, R. M. ve Missimer, T. M. (2021). Green Method of Stemming the Tide of Invasive Marine and Freshwater Organisms by Natural Filtration of Shipping Ballast Water. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(5), 5116-5125.
- Kuroshi, L. ve Ölçer, A. (2017). Technique selection and evaluation of ballast water management methods under an intuitionistic fuzzy environment: An information axiom approach. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 231(3), 782-800.
- Lakshmi, E., Priya, M. ve Achari, V. S. (2021). An Overview on the Treatment of Ballast Water in Ships. *Ocean & Coastal Management*, 199. 105296.
- Liang, J., Bing, C., Baiyu, Z. ve Hongxuan, P. (2013). A Hybrid Fuzzy Stochastic Analytical Hierarchy Process (FSAHP) Approach for Evaluating Ballast Water Treatment Technologies. *Environmental Systems Research*, 2-10.
- Makkonen, T. ve Inkinen, T. (2021). Systems of Environmental Innovation: Sectoral and Technological Perspectives on Ballast Water Treatment Systems. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 20(1), 81-98.
- Mamlook, R., Badran, O., Abu-Khader, M. M., Holdo, A. ve Dales, J. (2007). Fuzzy Sets Analysis for Ballast Water Treatment Systems: Best Available Control Technology. *Clean Technologies Environmental Policy*, 10, 397-407.
- Naik, R. K., Chakraborty, P., D'Costa. P. M., Anilkumar, N., Mishra, R. K. ve Fernandes, V. (2021). A Simple Technique to Mitigate Microplastic Pollution and its Mobility (Via Ballast Water) in the Global Ocean. *Environmental Pollution*, 283, 117070.
- Olsen, R. O., Thuestad, G. ve Hoell, I. A. (2021). Effects on Inactivation of Tetraselmis Suecica Following Treatment by KBAL: A UV-Based Ballast Water Treatment System with an In-Line Vacuum Drop. *Journal of Marine Science and Technology*, 26, 290-300.
- Özdemir, Ü., Güneroğlu, A. (2017). Quantitative Analysis of the World Sea Piracy by Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methodologies. *International Journal of Transport Economics(IJTE)*, 44, 427-448
- Özdemir, Ü. (2019). Analysis of Root Problems in Shipbroking Activities :A Case Study On Turkish Shipbroking. *International*

- Journal of Transport Economics, 46(1-2), 93-115.
<https://doi.org/10.19272/201906702006>.
- Özdemir, Ü. (2022). A Quantitative Approach to The Development of Ballast Water Treatment Systems in Ships. Ships and Offshore Structures, <https://doi.org/10.1080/17445302.2022.2077544>.
- Pala, O. (2016). Bulanık Analitik Hiyerarşı Prosesi ve Meslek Seçiminde Uygulanması. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. 18(3), 427-455.
- Ren, J. (2018). Technology Selection for Ballast Water Treatment by Multi-Stakeholders: A Multi-Attribute Decision Analysis Approach Based on the Combined Weights and Extension Theory. Chemosphere, 191, 747-760.
- Saaty, T.L. (1999). Fundamentals of The Analytic Network Process. ISAHP1999. Kobe. Japan. s. 1-14.
- Saaty, T. L. ve Vargas, L. G. (2001). How to Make a Decision. In Models. Methods. Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process (pp. 1-25). Springer. Boston. MA.
- Šateikienė, D., Janutėnienė, J., Bogdevičius, M. ve Mickevičienė, R. (2015). Analysis Intotheselection of a Ballast Water Treatment System. Transport, 30(2), 145–151.
- Satir, T. (2014). Ballast water treatment systems: design, regulations, and selection under the choice varying priorities. Environmental Science and Pollution Research, 21(18), 10686-10695.
- Simpson, G. (2001). Ballast water disinfection with ClO₂. In Proceedings of the 20th international conference on marine biology, (p. 131).
- Tokuş, M. (2019). Kuru Yük Gemisi Balast Suyu Arıtma Sistemi Entegrasyonu ve Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi. Journal of Eta Maritime Science, 7(3), 196-210.
- Vijayaraghavan, K., Ramanujam, T. K. ve Balasubramanian, N. (1999). In Situ Hypochlorous Acid Generation for the Treatment of Distillery Spentwash. Industrial & Engineering Chemistry Research, 38(6), 2264-2267.
- Vural, G. ve Yonsel, F. (2015). Balast Suyu Arıtma Sistemlerinde Mevcut Durum. GİDB Dergisi, (04), 3-24.
- Wang, Z., Nong, D., Countryman, A. M., Corbett. J. J. ve Warziniack, T. (2020). Potential impacts of ballast water regulations on international trade. shipping patterns. and the global economy:

- An integrated transportation and economic modeling assessment. *Journal of Environmental Management*, 275, 110892.
- Wang, Z. ve Corbett, J. J. (2021). Scenario-Based Cost-Effectiveness Analysis of Ballast Water Treatment Strategies. *Management of Biological Invasions*, 12(1), 108.
- Werschkun, B., Banerji, S., Basurko, O. C., David, M., Fuhr, F., Gollasch, S., ... ve Höfer, T. (2014). Emerging Risks from Ballast Water Treatment: The Run-Up to the International Ballast Water Management Convention. *Chemosphere*, 112, 256–266.
- Yıldırım, B. F. ve Önder, E. (2015). İşletmeciler, Mühendisler ve Yöneticiler için Operasyonel, Yönetimsel ve Stratejik Kararların Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri. Dora Basım-Yayın Dağıtım Ltd. Şti. 2. Baskı.
- Yonsel, F. ve Vural, G. (2017). KPI (Key Performance Indicators) Application on Ballast Water Treatment System Selection. *Brodogradnja: Teorija i Praksa Brodogradnje i Pomorske Tehnike*, 68(3), 67-84.
- Zhu, K. J., Jing, Y. ve Chang, D.Y. (1999). A Discussion of Extent Analysis Method and Applications of Fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research*, 116, 450–456.