



Kritik Gemi Operasyonlarına Yönelik Risk Kontrol Esaslı Bir Karar Verme Yaklaşımı

Kadir ÇİÇEK¹, Yusuf İlker TOPCU²

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Türkiye

²İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Türkiye

cicekk@itu.edu.tr; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9732-3361>

ilker.topcu@itu.edu.tr; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9717-7854>

Öz

Deniz taşımacılığının sürekliliğinde odak unsur olan gemi filolarının emniyet ve performans parametrelerinin hassas bir şekilde takip edilmesi gerekmektedir. Bunun beraberinde, denizcilikte çevre, emniyet ve insan sağlığı ile ilgili konularda uluslararası kural yaptırımları da giderek yoğunlaşmaktadır. Bu konudaki en güncel uluslararası kurallardan biriside Uluslararası Emniyet Yönetimi Kodu içerisinde ifade edilen, kritik gemi operasyonlarına yönelik risk değerlendirmesi yapılması zorunluluğudur. Dolayısı ile gemi işletmeciliği firmalarının emniyetli yönetim sistemlerini gemi, personel ve çevre esaslı risk değerlendirmesi yapabilecek bir model ile desteklemeleri gerekmektedir. Yapılan bu çalışma ile gemi filo yönetiminde operasyonel ve yönetsel süreçlere yönelik risk kontrol esaslı bir karar verme modeli önerilmektedir. Önerilen model içerisinde hata ağacı analizi ile kanıtsal sonuçlama yaklaşımının bir arada kullanıldığı bütünlük bir yapıya sahiptir. Ayrıca, operasyonel ve yönetsel süreçlere ait bilgi eksikliği ve belirsizliğini ortadan kaldırmak amacı ile model bulanık mantık ile geliştirilmiştir. Çalışmada önerilen model, kritik gemi operasyonlarından biri olan yağ-yakıt alım operasyonuna uygulanmıştır. Uygulama sonuçları modelin özellikle gemi operasyonel risklerine karşı duyarlı ve etkin çözüm üretebilen bir model olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Gemi Filo Yönetimi, Risk Tabanlı Karar Verme, Kritik Gemi Operasyonları, Kanıtsal Sonuç Yaklaşımı, Hata Ağacı Analizi.

A Risk Based Decision Making Approach for Critical Ship Operations

Abstract

The safety and performance parameters of merchant vessels, which are the focus elements in the sustainable maritime transportation, need to be followed precisely. Parallel to this, enforcements of international rules on the environment, safety and human health on maritime transportation are increasingly concentrated nowadays. One of the most up-to-date rules in this concept is compulsory risk assessment on ships which is made mandatory by means of a reference in International Safety Management Code. Therefore, it is necessary for ship management companies to support their safety management systems with a risk assessment methodology capable on assessing ship, personnel and environment based risks. At this insight, this study proposes a risk-based decision making approach for operational and managerial processes in ship fleet management. The proposed approach has an integrated structure in which fault tree analysis and the evidential reasoning approach are used

To cite this article: Çiçek, K. ve Topcu, Y. İ. (2018). Kritik Gemi Operasyonlarına Yönelik Risk Kontrol Esaslı Bir Karar Verme Yaklaşımı. *Journal of ETA Maritime Science*, 6(2), 159-177.

To link to this article: <https://dx.doi.org/10.5505/jems.2018.28199>

together. It is also supported with fuzzy logic to remove the lack of information and uncertainty of operational and managerial processes. The model is applied to one of the critical shipboard operations; bunkering operation. The application results show that the model can produce a sensitive and efficient solution to ship operational risks.

Keywords: Ship Fleet Management, Risk Based Decision Making, Critical Ship Operations, Evidential Reasoning Approach, Fault Tree Analysis.

1. Giriş

Sürdürülebilir deniz taşımacılığı olgusunun sağlanabilmesi için kalite, emniyet, çevre ve verimlilik gibi kritik ölçütlerdeki beklentilerin en üst düzeyde karşılanması gerekmektedir. Deniz taşımacılığı gibi açık, karmaşık ve dinamik karakteristiklere sahip bir taşımacılık modunda ilgili ölçütlerdeki beklentilerin en üst düzeyde karşılanabilmesi için denizcilik paydaşları sürekli gelişim faaliyetlerine büyük önem göstermelidirler. Denizcilik paydaşlarının sürekli bir gelişim içerisinde olabilmeleri için yönetim anlayışları ve organizasyon yapılarını ilgili hedefler doğrultusunda güncellenmesi ve uygun yönetim araçları ile destekleyerek iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu durum, deniz taşımacılığının sahip olduğu karakteristik özelliklere anlık olarak değişiklik gösterebilen ortam koşulları içerisinde karmaşık bir problem haline dönüşmektedir. Bu karmaşık problem yapısı içerisinde, paydaşların organizasyon ve yönetim süreçlerinde gerçekleştirecekleri iyileştirme ve geliştirmeler, denizyolu taşımacılığına mükemmeliyeti getirecektir.

Gemi işletmeciliği, Celik ve Karayigit [1] tarafından "uluslararası denetimler kontrolünde yürütülen, rekabet şartlarının üst düzeyde gerçekleştiği, emniyet, güvenlik, insan faktörü ve çevresel konulardaki beklentilerin teknolojik gelişmelere paralel olarak arttığı bir yönetim süreci" olarak tanımlanmaktadır. Bu doğrultuda, gemi işletmeciliği firmalarından özellikle güncel ulusal ve uluslararası kural beklentilerini ve rekabet şartlarında belirginleşen anahtar performans göstergeleri ile ilgili beklentileri en üst düzeyde karşılaması beklenmektedir. Bu durum ilgili organizasyonlarının

süreç yönetimlerini anahtar performans gösterge beklentilerini en iyileşecek şekilde tasarlamalarını, etkin bir uygulama gerçekleştirmelerini, sistem çıktılarını izlemelerini ve değerlendirmelerini gerektirmektedir. Süreç yönetimlerinin tasarımında Celik ve Karayigit'in [1] gemi işletmeciliği ile ilgili tanımı doğrultusunda, uluslararası denizcilik kuralları, rekabet, risk, emniyet, kalite, çevre, teknoloji ve insan faktörü unsurlarının dikkate alınması son derece önemlidir. Bunun beraberinde süreç yönetimi içerisinde karşılaşılan problemler, teknolojik gelişmeler ve inovasyon yaklaşımları [2] ile desteklenmiş analitik tabanlı sistematik çözümlerin üretilmesini gerektirmektedir [3, 4, 5, 6]. Bu anlayış, gemi işletmeciliği süreçlerinin kritik ölçütler çerçevesinde kontrol ve izlenmesine olanak sağlayacak uygulanabilir ileri yaklaşımlar geliştirilmesi ile desteklenebilir. Geliştirilecek yaklaşımlar ilgili ölçütlerin izlenmesi ve değerlendirilmesi ile beraber yönetim süreçlerinin iyileştirilmesini sağlayacak bilgiler sunabilme özelliğine de sahip olmalıdır.

Bu düşünce ile şekillenen çalışma kapsamında kritik gemi operasyonlarına yönelik analitik tabanlı bir risk değerlendirme modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin kritik gemi operasyonlarını derinlemesine bir bakış açısı ile inceleyebilecek, uluslararası kural gereksinimlerini karşılayan, gemi ve kara yönetim personeli tarafından kolay kullanılabilir bir sistematığe sahip olması hedeflenmiştir. Önerilen model içerisinde hata ağacı analizi ile kanıtsal sonuçlama yaklaşım bütünleştirilerek bulanık tabanlı olarak geliştirilmiştir. Model, hata ağacı analizinin derinlemesine ve bütünsel bakış

özelliğinden yararlanarak kritik gemi operasyonlarının kapsamlı bir şekilde incelenmesine olanak sağlamaktadır. Hata ağacı analizi yaklaşımının kanıtsal sonuçlama yaklaşımı ile bütünleştirilmesi ile beraber hata ağacı analizi ile tespit edilen olası hataların hem tekil hem de bütünsel olarak değerlendirilmesini imkân vermektedir. Gerek hataların tekil olarak gerekse de operasyonun genel olarak değerlendirilebilmesi gemi ve kara yönetim personeli için son derece kıymetli bilgiler sunmaktadır. Kritik gemi operasyonlarına yönelik risk değerlendirmesindeki bilgi eksikliği ve belirsizliklerin ortadan kaldırılabilmesi için model bulanık mantık ile desteklenmiştir. Önerilen modelin yazın araştırması içerisindeki önemi, yeri ve modele duyulan ihtiyacı ortaya koyabilmek için ikinci bölümde kapsamlı bir yazın araştırması gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen yazın araştırması neticesinde tespit edilen bulgular ışığında, üçüncü bölümde önerilen yöntemsel yaklaşımın yapısı detaylı olarak ifade edilmiştir. Önerilen yöntemsel yaklaşımın kritik bir gemi operasyonu olan “yağ/yakıt alım operasyonuna” uygulaması dördüncü bölümde yapılmıştır. Uygulama neticesinde elde edilen sonuçlar ve önerilen yaklaşımın sağladığı katkılar son bölümde sunulmuştur.

2. Yazın Araştırması

Günümüz dünyasında gittikçe artan belirsizlikler, karmaşıklık ve karışıklık derecesi artan sistem ve süreçler risk değerlendirme anlayışını her geçen gün daha da önemli bir hale getirmektedir. Öyle ki, scopus (www.scopus.com) ve web of science (webofknowledge.com) veritabanları üzerinden yapılan yazın araştırmaları risk değerlendirmesi üzerine yapılan çalışmaların sayı ve uygulama alanı çeşitliliğinin önemli seviyelere ulaştığını göstermektedir. 2000-2017 yılları arasında risk değerlendirmesi üzerine

yapılan çalışmalar incelendiğinde sağlık alanında yaklaşık 450.000 makale, genetik ve moleküler biyoloji alanında yaklaşık 66.000 makale, çevre bilimi alanında yaklaşık 61.000 makale ve mühendislik alanında yaklaşık 60.000 makalenin olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmaları denizcilik alanında özelleştirdiğimizde denizcilikte ilk risk değerlendirmesi çalışmasının 1979 yılında Leslie [7] tarafından köprü üstü tasarımının çatışma riskini minimize edilecek şekilde geliştirilmesini konu alan bir çalışma ile başlamaktadır. Devam eden yıllarda denizcilik alanındaki risk değerlendirme çalışmaları çeşitlenerek devam etmiştir ve bu çalışmalarının yaklaşık olarak %10'unu gemi operasyonel süreç iyileştirmesi ile ilgili çalışmalar oluşturmaktadır. İlgili çalışmalar içerisinde öne çıkan çalışmalardan başlıcaları; Gül ve diğerleri [8] tarafından 2017 yılında yapılan balast tanklarının bakım tutumları ile ilgili risk tabanlı bir yaklaşım önerisi çalışmasıdır. Beraberinde, Roshamida ve diğerleri tarafından [9] kuru yük gemilerindeki operasyonlara yönelik bir risk değerlendirme çalışması ortaya koymuştur. Rokseth ve diğerleri [10] deniz operasyonları için sistem tabanlı bir yaklaşım önerisinde bulunmuştur. Akyıldız ve Menteş [11] kargo gemilerinde emniyet için belirsizlik analizi tabanlı bütünlük risk ölçümleme çalışması sunmuşlardır. Mohana ve Menon [12] gemilerde kapalı mahallere giriş ile ilgili risk ölçümleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Akyüz [13] bulanıklaştırılmış Hata Türü ve Etkileri Analizi modeli ile deniz ulaştırma mühendisliğine yönelik bir risk analizi modeli önerisinde bulunmuştur. Wang ve Lv [14] Ro-Ro gemileri için karmaşık sistemlerde risk tanımlama modeli önerisinde bulunmuşlardır. Stavrou ve Ventikos [15] 2016 yılında yapmış oldukları çalışmalarında gemiden gemiye kargo transfer sürecine yönelik

risk değerlendirmesini Süreç Hata Türü ve Etkileri Analizi modeli ile gerçekleştirmişlerdir. Zhang ve diğerleri [16] iç suyolları taşıma sistemlerine yönelik bulanık tabanlı kanıtsal sonuçlama yaklaşımı modeli ile seyir risk ölçümlemesi gerçekleştirmiştir. 2015 yılında Mentesh ve diğerleri [17] biçimsel emniyet değerlendirmesi tabanlı bulanık DEMATEL yaklaşımı ile Türkiye kıyılarında ve açık denizlerde ki kargo gemileri için risk ölçümleme modeli önermişlerdir. Elsayed ve diğerleri [18] bulanık TOPSIS yöntemi ile LNG gemilerine yönelik bir risk ölçümleme çalışması ortaya koymuşlardır. Ung [19] bulanık kural tabanlı denizcilik risk ölçümleme modeli önerisinde bulunmuştur. Povel ve diğerleri [20] 2013 yılında yolcu gemileri için, Zhan ve diğerleri [21] ise konteyner gemileri için bir risk ölçümleme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Gasparotti [22], Hong ve diğ. [23], Kirby ve Law [24] yapmış oldukları çalışmalarda gemi kaza kaynaklı yakıt taşıntılarına yönelik risk değerlendirme modeli önerisi gerçekleştirmişlerdir. Çelik ve diğerleri [25] risk tabanlı bir gemi kaza analizi modeli önermişlerdir. Yu ve Cheng [26] yapmış oldukları gri teori analizi önerisi ile gemi pilotajı esnasında ortaya çıkabilecek riskleri tespit edebilmeyi hedeflemişlerdir. Bao ve diğerleri [27] geri beslemeli yapay sinir ağı yöntemi ile gemiler için risk değerlendirme sistem önerisi yapmışlardır. Nielsen ve diğerleri [28] gemi operasyonlarına yönelik risk tabanlı karar destek sistemi tasarımı gerçekleştirmişlerdir. Wang [29], Merrick ve Van Dorp [30] yaptıkları çalışmalarda denizcilik endüstrisinde risk değerlendirmesi anlayışını o günün şartları içerisinde kapsamlı olarak ele almışlardır. Kum [31] tarafından yapılan *“gemi teknik işletmeciliğinde risk değerlendirmesi anlayışı üzerine geliştirilmiş olan petrol tankerlerinde risk değerlendirmesi”* başlıklı

yüksek lisans tezinde petrol tankerleri için bir risk değerlendirme sistemi önerisi gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalar dışında İstanbul Boğaziçi gemi trafiği üzerine yapılan risk değerlendirmesi [32], dar kanal seyirleri için risk değerlendirmesi [33], LNG gemilerindeki kritik operasyonlara yönelik risk değerlendirmesi [34, 35, 36] çalışmaları da yazında karşılaşılan önemli çalışmalar arasında yer almaktadır.

Yazın araştırması neticesinde kritik gemi operasyonlarına yönelik risk değerlendirme çalışmalarının sınırlı bir düzeyde kaldığı tespit edilmiştir. Bunun beraberinde yazın araştırması yapılan çalışmaların teorik anlamda başarılı sonuçlar sunarken uygulama safhasında yetersiz kaldığı, sektör ihtiyaçlarının göz ardı edilmiş olduğunu göstermiştir. Ayrıca bu çalışmalar içerisinde özellikle makine dairesi operasyonlarına yönelik çalışmaların yok denecek kadar az seviyede olduğu görülmüştür. Denizcilik endüstrisine yönelik problemlerin genelinde mevcut olan veri eksikliği, yetersiz bilgi düzeyi ve mevcut bilgilerin güvenilirlik seviyesinin net olarak bilinmemesi gibi sorunlar nedeniyle bulanık tabanlı risk değerlendirme yöntemlerin mevcut çalışmalar içerisinde tercih edilirliğinin son derece yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışma ile yazın araştırmasında tespit edilen problemlere çözüm sağlayabilecek özelliklere sahip bir model ortaya konulmuştur. Önerilen model, kritik gemi operasyonlarına yönelik derinlemesine ve kapsamlı bir risk analizi yapabilme özelliğine sahiptir. Bu özellik ile birlikte yazın içerisindeki mevcut çalışmalara göre sağladığı önemli bir katkı olarak ifade edilebilir. Devamında, önerilen model risk analizi sonuçlarını hem tekil olarak değerlendirilmesini sağlamakta hem de bir bütün olarak değerlendirilmesini sağlayacak şekilde sentezleyebilmektedir. Yazın araştırması

içerisinde benzer özelliklere sahip bir model ile karşılaşılmamış olması önerilen modelin yazında sağlayacağı önemli bir iyileştirmedir. Bunun beraberinde uygulanabilirliği yüksek, şirket ve gemi personelinin karar verme süreçlerini iyileştirebilecek niteliklere sahip bir risk tabanlı karar verme sistemi olması ile yazındaki mevcut çalışmalardan ayrılmaktadır. Ancak modelin yoğun bir matematiksel yapıya sahip olması, çalışmanın önemli bir eksikliğidir. Bu eksikliği giderebilmek için modelin bir yazılım ile desteklenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Modelin yazın araştırması neticesinde tespit edilen üstün ve zayıf yönleri, çalışmanın ortaya konulmasında önemli birer yol gösterici olmuştur.

3. Yöntemsel Yaklaşım

Bu çalışma kapsamında önerilmiş olan yöntemsel yaklaşım, Uluslararası Denizcilik Örgütü tarafından önerilmiş olan biçimsel emniyet değerlendirmesinin [37] genel kural ve adımları doğrultusunda veri eksikliği, yetersiz bilgi düzeyi ve belirsizliklerini minimize edebilecek, birden çok sayıdaki hatanın operasyonlar üzerindeki etkilerinin incelenebilmesine olanak sağlayacak yapıya sahiptir. 1994 yılında Liu ve diğerleri [38] tarafından mühendislik sistemleri emniyet analizi ve sentezini üzerine yapılan bir çalışmada kullanılmış olan bulanık kural tabanlı kanıtsal sonuçlama yaklaşımı (KSY) önerilen yöntemsel yaklaşımın temel yapısını oluşturmaktadır. KSY 1995, 1996 yılında Wang ve diğerleri [39, 40] tarafından emniyet analizi ve sentezi üzerine yürütülmüş olan çalışmalar ile bir adım daha ileri götürülmüştür. İlgili yöntemin denizcilik alanında ki ilk uygulaması Jin Wang [41] tarafından 2000 yılında biçimsel emniyet değerlendirmesi ile bütünleştirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Son olarak 2012 yılında Nwaoha ve diğerleri [42]

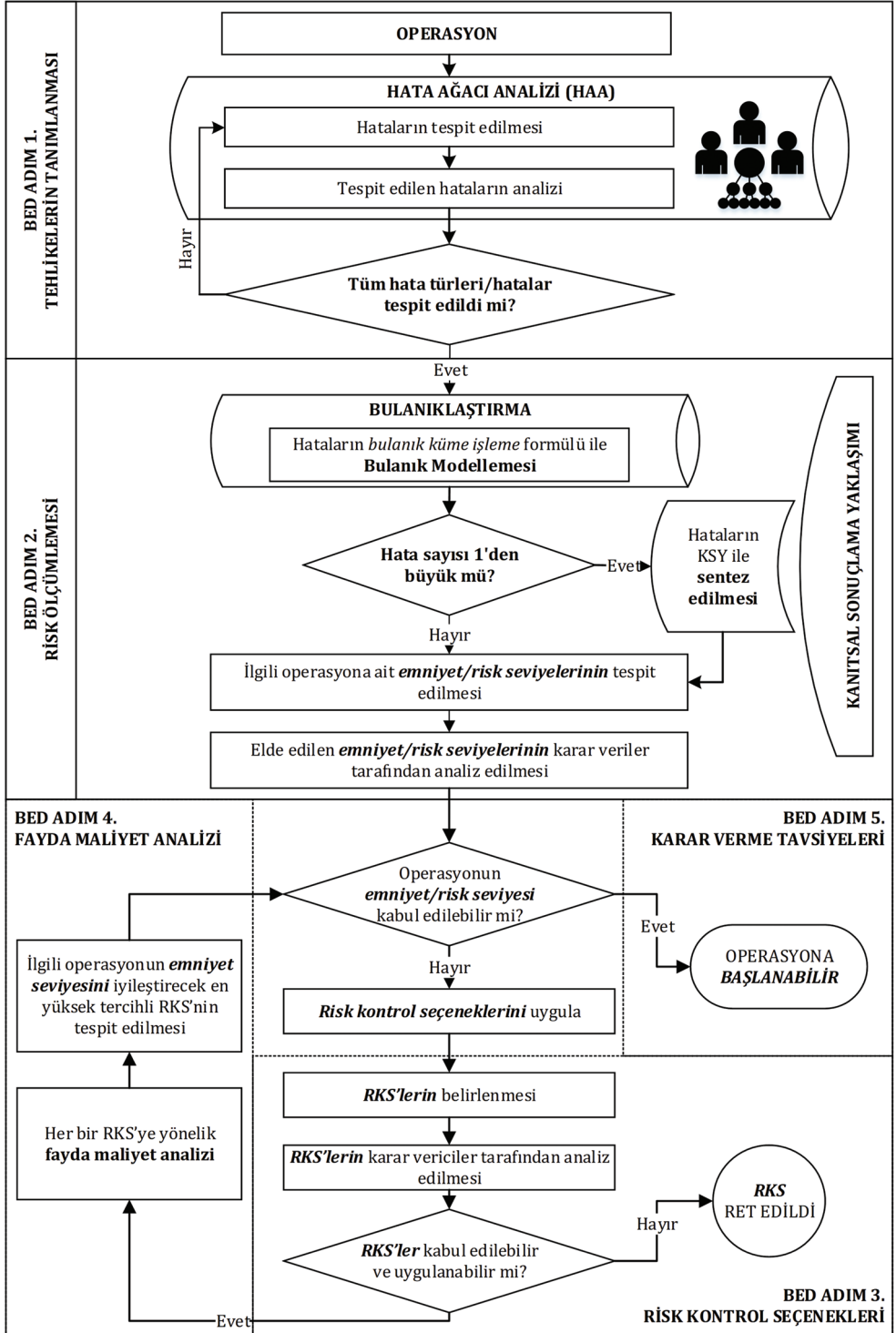
tarafından yöntem LNG gemilerinin LNG gaz depolama sistemlerine yönelik gerçekleştirilen sistem emniyet analizi çalışmasında kullanılmıştır. İlgili çalışmalar içerisindeki yöntemsel esaslar çerçevesinde, bu çalışmada kritik gemi operasyonlarına yönelik risk kontrol esaslı bir karar verme yaklaşımı geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım ile beraber i) gemi operasyonlarının doğasından kaynaklanan veri eksikliği, yetersiz bilgi düzeyi ve belirsizliklerini bulanık küme teorisi yardımı ile ortadan kaldırılması, ii) bugüne kadar sadece hata esaslı değerlendirme yapılabilirken bu yaklaşım ile operasyon genel emniyet/risk seviyesi tespit edilmesi, iii) risk kontrol seçeneklerinin önceliklendirilmesi sağlanarak faydalanıcılara karar verme aşamasında destek sağlanması hedeflenmiştir. Bu hedefler doğrultusunda ortaya konulan risk kontrol esaslı karar verme yaklaşımına ait yöntemsel akış şeması Şekil 1'de görsel olarak sunulmuştur.

Önerilen karar verme yaklaşımına matematiksel model adımları sırası ile şu şekildedir [37, 42, 43];

Adım 1. Hataların tespit edilmesi: Operasyona ait hataların Hata Ağacı Analizi (HAA) yöntemi aracılığı ile tespit edilmesi ile başlamaktadır.

Adım 2. Hata etki değerlerinin tespit edilmesi: HAA incelenerek her bir hataya yönelik hata etki değerleri belirlenir; $w_i, i=1,2,3, \dots, n$.

Adım 3. Hataların bulanık modellenmesi: Tespit edilen her bir hatanın gerek personel, gerek gemi ve kargo ve gerekse de çevre için hata olasılığı, hata sonuç olasılığı ve hata sonuç şiddeti sırası ile Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3'te ifade edilmiş dilsel ifadeler kullanılarak belirlenir.



Şekil 1. Yöntemsel Akış Diyagramı

Tablo 1. Hata Olasılığı (L) [42]

μ_l 'ye ait dilsel ifadeler	Kategoriler						
	1	2	3	4	5	6	7
Çok sık	0	0	0	0	0	0.75	1
Oldukça sık	0	0	0	0	0	1	0.25
Sık	0	0	0	0.75	1	0.25	0
Orta sıklıkta	0	0	0.5	1	0.5	0	0
Düşük sıklıkta	0	0.25	1	0.75	0	0	0
Oldukça düşük sıklıkta	0.25	1	0.75	0	0	0	0
Çok düşük sıklıkta	1	0.75	0	0	0	0	0

Tablo 2. Hata Sonuç Olasılığı (E) [42]

μ_e 'ye ait dilsel ifadeler	Kategoriler						
	1	2	3	4	5	6	7
Şüphesiz	0	0	0	0	0	0.75	1
Kuvvetle muhtemel	0	0	0	0	0	1	0.25
Sık	0	0	0	0.75	1	0.25	0
Muhtemel	0	0	0.5	1	0.5	0	0
Beklenmedik	0	0.25	1	0.75	0	0	0
Oldukça beklenmedik	0.25	1	0.75	0	0	0	0
Kuvvetle beklenilmedi	1	0.75	0	0	0	0	0

Tablo 3. Sonuç Şiddeti (C) [42]

μ_c 'ye ait dilsel ifadeler	Kategoriler						
	1	2	3	4	5	6	7
Yıkıcı	0	0	0	0	0	0.75	1
Kritik	0	0	0	0.5	1	0.25	0
Marjinal	0	0.25	1	0.5	0	0	0
İhmal edilebilir	1	0.75	0	0	0	0	0

Adım 4. Parametrik sentezlenme: Tespit edilen her bir hata türüne yönelik olarak hata olasılığı, hata sonuç şiddeti ve hata sonuç olasılığı parametreleri tespit edilerek risk/emniyet değerinin hesaplanabilmesi için sentezlenmesi gerekmektedir. Parametrelerin sentezlenmesi için denklem (4)'te sunulan bulanık küme manipülasyon formülü kullanılacaktır.

$$S_i = C_i \circ E_i \times L_i \quad (4)$$

Bu ifade denklem (5)'te verilen üyelik fonksiyonu ile ifade edilecek olur ise,

$$\mu_{S_i} = \mu_{C_i \circ E_i \times L_i} = (\mu_{S_i}^1, \dots, \mu_{S_i}^j) \quad (5)$$

şeklinde gösterilir.

İlgili fonksiyonda ki, S_i risk/emniyet değerini, C_i i.ci hata türüne ait sonuç şiddetinin bulanık kümesini, (\circ) bileşim operatörünü, (\times) kartezyen çarpım operatörünü, E_i i.ci hata türüne ait hata

sonuç olasılığının bulanık kümesini, L_i i.ci hata türüne ait hata olasılığının bulanık kümesini, μ_{S_i} S_i 'nin i.ci tanımlanmış bulanık ayrık kategorisindeki üyelik derecesine göre ($\mu_{S_i}^j$ ($j=1,2,3,\dots,7$)) tanımlama fonksiyonunu, μ_{E_i} E_i 'nin i.ci tanımlanmış bulanık ayrık kategorisindeki üyelik derecesine göre ($\mu_{E_i}^j$ ($j=1,2,3,\dots,7$)) tanımlama fonksiyonunu, μ_{L_i} L_i 'nin i.ci tanımlanmış bulanık ayrık kategorisindeki üyelik derecesine göre ($\mu_{L_i}^j$ ($j=1,2,3,\dots,7$)) tanımlama fonksiyonunu ifade etmektedir.

Adım 5. Hata bazlı risk/emniyet değerlerinin belirlenmesi: Her bir hatanın personel, gemi/kargo ve çevre için risk/emniyet değerlerinin (S_i) elde edilmesinden sonra her bir değer için Tablo 4'teki referans emniyet değerlerine ne derece yakın veya uzak olduğu tespit edilir.

Bu doğrultuda, denklem (6), (7), (8), ve (9)'da ifade edilen en uygun konum algoritması formülleri kullanılarak tespit edilen emniyet değerleri ile referans emniyet değerleri arasındaki mesafeler saptanır.

$$d_{i1}(S_i, zayıf) = \left[\sum_{j=1}^7 (\mu_{S_i}^j - \mu_{zayıf}^j)^2 \right]^{1/2} \quad (6)$$

$$d_{i2}(S_i, orta) = \left[\sum_{j=1}^7 (\mu_{S_i}^j - \mu_{orta}^j)^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

$$d_{i3}(S_i, iyi) = \left[\sum_{j=1}^7 (\mu_{S_i}^j - \mu_{iyi}^j)^2 \right]^{1/2} \quad (8)$$

$$d_{i4}(S_i, mükemmel) = \left[\sum_{j=1}^7 (\mu_{S_i}^j - \mu_{mükemmel}^j)^2 \right]^{1/2} \quad (9)$$

Emniyet mesafeleri hesaplandıktan sonra en küçük mesafe değeri d_{ij} , α_{ij} parametresini hesaplamak için seçilir.

Devamında S_i değerinin ve emniyet terimlerinin arasında i göreceli mesafenin tersi (α_{ij}) normalize edilerek yeni β_{ij} indeksi elde edilir.

$$\alpha_{ij} = 1 / \left(d_{ij} / d_{ij} \right) \quad j = 1,2,3,4 \quad (10)$$

Eğer d_{ij} değeri sıfır ise β_{ij} değeri 1'e eşittir ve diğer değerler sıfırdır. Diğer durumlarda β_{ij} şu şekilde hesaplanır,

$$\beta_{ij} = \alpha_{ij} / \sum_{m=1}^4 \alpha_{im} \quad j = 1,2,3,4 \quad (11)$$

β_{ij} ($j=1,2,3,4$) değerleri S_i değerinin j .ci emniyet terimine aitlik derecesini ifade etmektedir. Bu doğrultuda i . hataya ait risk/emniyet değeri,

$$S(S_i) = \{ (\beta_{i1}, zayıf), (\beta_{i2}, orta), (\beta_{i3}, iyi), (\beta_{i4}, mükemmel) \} \quad (12)$$

ifadesi ile yazılabilir.

Adım 6. Global risk/emniyet değerlerinin belirlenmesi: Analizi yapılan operasyona yönelik gerçekleştirilen risk/emniyet değerlendirmesinde birden fazla hata tespit edilir ise KSY kullanılarak global risk/emniyet değeri hesaplanır. Öncelikli olarak, S_{11} (1.hata) ve S_{12} (2.hata) risk/emniyet değerleri aşağıda gösterildiği gibi ifade edilmektedir.

$$S(S_{11}) = \{ (\beta_{S_{11}}^1, zayıf), (\beta_{S_{11}}^2, orta), (\beta_{S_{11}}^3, iyi), (\beta_{S_{11}}^4, mükemmel) \}$$

$$S(S_{12}) = \{ (\beta_{S_{12}}^1, zayıf), (\beta_{S_{12}}^2, orta), (\beta_{S_{12}}^3, iyi), (\beta_{S_{12}}^4, mükemmel) \}$$

$S(S_{11})$ ve $S(S_{12})$ 'ye ait adım 2'de tespit edilen hata etki değerleri sırası ile w_1 ve w_2 'dir.

Tablo 4. Referans Emniyet Değerleri (S) [42]

μ_s 'ye ait dilsel ifadeler	Kategoriler						
	1	2	3	4	5	6	7
Zayıf	0	0	0	0	0	0.75	1
Orta	0	0	0	0.5	1	0.25	0
İyi	0	0.25	1	0.5	0	0	0
Mükemmel	1	0.75	0	0	0	0	0

$S(S_{i1})$ ve $S(S_{i2})$ 'e ait temel risk/emniyet yoğunluk fonksiyonu,

$$S_{i1m} = w_1 \beta_{S_{i1}}^m \quad m = 1,2,3,4 \quad (13)$$

$$S_{i2m} = w_2 \beta_{S_{i2}}^m \quad m = 1,2,3,4 \quad (14)$$

formülleri ile belirlenir. Bununla beraber,

$$\overline{S_{i1H}} = 1 - w_2 = w_1 \quad (15)$$

$$\overline{S_{i2H}} = 1 - w_1 = w_2 \quad (16)$$

formülleri aracılığı ile diğer hataların değerlendirme içerisinde önem değerini gösteren $\overline{S_{i1H}}$ ve $\overline{S_{i2H}}$ tespit edilmektedir.

$$\widetilde{S_{i1H}} = w_1 (1 - \sum_{j=1}^4 \beta_{S_{i1}}^j) \quad (17)$$

$$\widetilde{S_{i2H}} = w_2 (1 - \sum_{j=1}^4 \beta_{S_{i2}}^j) \quad (18)$$

formülleri ile hesaplanan $\widetilde{S_{i1H}}$ ve $\widetilde{S_{i2H}}$ değerleri, $S(S_{i1})$ ve $S(S_{i2})$ değerlendirilmesinde atanmamış bağımsız arta kalan inanç değerlerini ifade etmektedir.

$$S_{i1H} = \overline{S_{i1H}} + \widetilde{S_{i1H}} \quad (19)$$

$$S_{i2H} = \overline{S_{i2H}} + \widetilde{S_{i2H}} \quad (20)$$

formülleri ile hesaplanan S_{i1H} ve S_{i2H} , $S(S_{i1})$ ve $S(S_{i2})$ alt kümesinin olası eksikliklerini temsil etmektedir. Global (birleştirilmiş) risk/emniyet yoğunluk fonksiyonları S_{im} ve S_{iH} temel risk/emniyet yoğunluk fonksiyonları S_{i1m} ve S_{i2m} ve S_{i1H} ve S_{i2H} kullanılarak,

$$S_{im} = K(S_{i1m}S_{i2m} + S_{i1m}S_{i2H} + S_{i2m}S_{i1H}), m = 1,2,3,4 \quad (21)$$

$$S_{iH} = K(S_{i1H}S_{i2H}) \quad (22)$$

$$K = \left[1 - \sum_{T=1}^4 \sum_{R \neq T} S_{i1T}S_{i2R} \right]^{-1} \quad (23)$$

formülleri ile hesaplanır. Global risk/emniyet değeri ise

$$\beta_i^m = \frac{S_{im}}{1 - S_{iH}}, m = 1,2,3,4 \quad (24)$$

formülü ile hesaplanır.

Adım 7. Risk/emniyet değerlerinin durulaştırılması: Gerek adım 5'te tespit edilen hata bazlı risk/emniyet değerlerinin gerekse de adım 6'da tespit edilen global risk/emniyet değerinin durulaştırılmasında denklem (25)'te sunulan öncelik değer

formülü kullanılarak bulanık risk/emniyet değerlerinin kesin risk/emniyet değerlerine dönüştürülmesi (durulaştırma) sağlanmaktadır.

$$Q_i = \sum_{m=1}^4 \beta_i^m \times V_m \quad (25)$$

İlgili formülde V_1, V_2, V_3, V_4 değerleri,

$$V_1 = \frac{V'_4}{V'_1}, V_2 = \frac{V'_3}{V'_1}, V_3 = \frac{V'_2}{V'_1}, V_4 = 1$$

olacak şekilde ifade edilir. V'_1, V'_2, V'_3 ve V'_4 değerleri sırası ile Tablo 4' teki emniyet ifadesinin dilsel terimleri olan zayıf, orta, iyi ve mükemmel' in ölçeksiz değerlerini temsil etmekte olup V'_1, V'_2, V'_3 ve V'_4 değerleri şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$V'_1 = [0,75/(0,75 + 1)] \times 6 + [1/(0,75 + 1)] \times 7 = 6,571$$

$$V'_2 = [0,5/(0,5 + 1 + 0,25)] \times 4 + [1/(0,75 + 1 + 0,25)] \times 5 + [0,25/(0,5 + 1 + 0,25)] \times 6 = 4,854$$

$$V'_3 = [0,25/(0,25 + 1 + 0,5)] \times 2 + [1/(0,25 + 1 + 0,5)] \times 3 + [0,5/(0,25 + 1 + 0,5)] \times 4 = 3,141$$

$$V'_4 = [1/(1 + 0,75)] \times 1 + [0,75/(1 + 0,75)] \times 2 = 1,428$$

Hesaplanan V'_1, V'_2, V'_3 ve V'_4 değerleri aracılığı ile hesaplanan V_1, V_2, V_3 ve V_4 değerleri yerine koyulduğunda öncelik değer formülü denklem (26)'daki,

$$Q_i = 0,217 \times \beta_i^1 + 0,478 \times \beta_i^2 + 0,739 \times \beta_i^3 + 1 \times \beta_i^4 \quad (26)$$

halini alır. Q_i ($i = 1, 2, 3 \dots n$) i. hatanın risk/emniyet derecesini ifade etmektedir. Düşük riskli hatalar yüksek öncelik değerine sahip olmaktadır.

Adım 8. Risk/emniyet değerlerinin incelenmesi: Hesaplanan hata bazlı risk/emniyet değerlerinin ilgili referans emniyet değerlerine aitlik dereceleri doğrultusunda Tablo 5'te sunulan risk ölçeğine bağlı olarak risk kontrol seçeneği uygulanıp uygulanmayacağına karar verilmektedir.

Hataların referans emniyet değeri "zayıf"a aitlik derecesi 0.25'ten büyük veya referans emniyet değeri "orta"ya aitlik derecesi 0.35'ten büyük ise ilgili hataya yönelik bir riskin kabul edilemez olduğu görülmektedir. Bunun beraberinde referans emniyet değeri "zayıf"a aitlik derecesi 0.25'ten küçük veya referans emniyet değeri "orta"ya aitlik derecesi 0.35'ten küçük ise risklerin tolere edilebilir seviyede

Tablo 7. Maliyet Ölçek Değerleri [43]

Maliyet	Etki değeri	Maliyet açıklamaları
Çok düşük	1	Doküman bazlı güncellemeler
Düşük	3	İlave işgücü gereksinimi
Orta	5	Eğitim programı, önleyici/uyarıcı donanım gereksinimi
Yüksek	7	Operasyonel kısıtlar
Çok yüksek	9	Tasarım/inşa odaklı güncellemeler

seviyeye indirilmesi sağlanır. Devamında ilgili RKSlerin uygulanması ile riskin kabul edilebilir seviyeye indirilmesi ile beraber operasyona başlama kararı verilir.

4. Uygulama: Yağ/Yakıt Alım Operasyonu

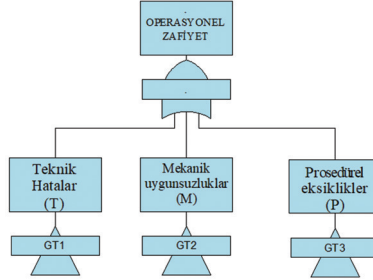
Önerilen yöntemsel yaklaşımın uygulaması kritik bir gemi operasyonu olan yağ/yakıt alım operasyonu üzerinde gerçekleştirilmiştir. Uygulama için yağ/yakıt alım operasyonun seçilmesindeki en temel neden gemi türünden bağımsız olarak tüm gemilerde aynı prensip ve adımlar çerçevesinde yürütülüyor olmasıdır. 4 farklı gemi türünde; konteyner gemisi, tanker gemisi, kimyasal gemisi ve dökme yük gemisi; yürütülmekte olan yağ/yakıt alım operasyonunu inceleyebilmek için 4 farklı denizcilik firmasından ilgili operasyonel veriler toplanmıştır. Operasyonel veriler dâhilinde ramak kala raporları, risk değerlendirme raporları ve kaza raporları incelenerek tespit önerilen yöntemsel yaklaşım çerçevesinde analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen uygulama çalışması adımları ile açıklanacak olur ise;

Adım 1. Hataların tespit edilmesi;

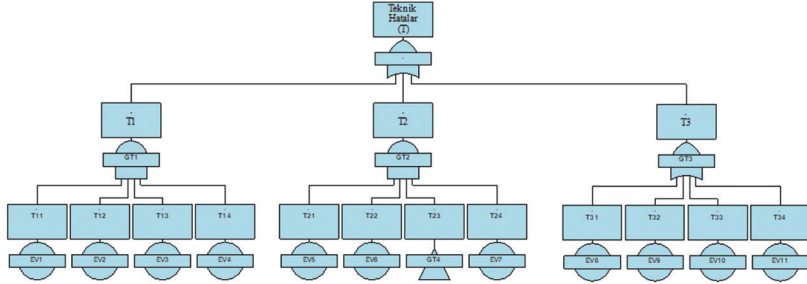
Öncelikle Uygulama için seçilmiş olan yağ/yakıt alım operasyonuna ait ramak kala raporları, risk değerlendirme raporları ve kaza raporları kapsamlı olarak incelenmiştir. Yapılan incelemelerde ramak kala raporlarından 75'in üzerinde ramak kala, risk değerlendirme raporlarından 100'ün üzerinde hata ve kaza raporlarından ise 15 hata tespit edilmiştir. Elde edilen ramak kalalar ve hatalar teknik hatalar,

mekanik uygunsuzluklar ve prosedürel eksiklikler ana başlıkları altında sınıflara ayrılmıştır. 3 ayrı sınıfa ayrılan hatalar öncelikle raporlar içerisindeki yaşanma sıklıklarına bağlı olarak önceliklendirilerek sıklıkla görülen hatalar üzerinde yoğunlaşmıştır. Devamında ilgili hataların birbirleri ile olan ilişkileri, etkileşimleri ve etkileri dikkate alınarak her bir sınıfa ait hata ağacı diyagramları oluşturulmuştur. İlgili değerlendirme çerçevesinde elde edilen hata ağacı diyagramları Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6'da görsel olarak sunulmuştur.

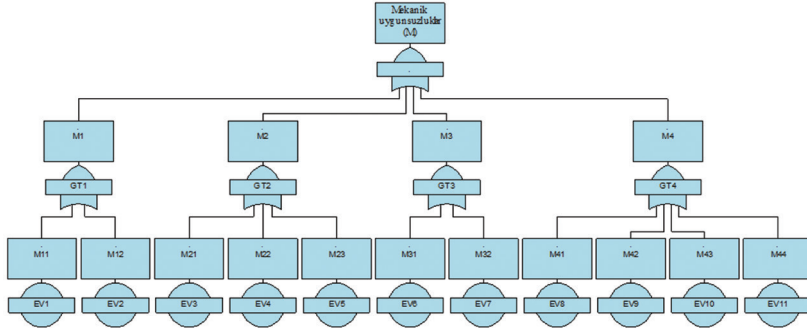
Hata ağaçlarında kodları verilen hatalar şu şekildedir; Teknik hatalar (T); transfer planlama hatası (T1), yakıt miktarı hesaplama hatası (T11), tank sırasının hatalı yapılması (T12), iskandil kayıtlarının yanlış tutulması (T13), gemi trim kayıtlarının hatalı olması (T14), yönetsel planlama süreci hatası (T2), personelin sorumluluklarını bilmemesi (T21), kontrol listesinin eksik gözden geçirilmesi (T22), emniyet tedbirlerinin yetersiz olması (T23), barcın gemiye emniyetli olarak bağlanmaması (T231), gemi ve barç arası geçiş düzeninin emniyetli olmaması (T232), statik elektrik yalıtımının yapılmaması (T233), yakıt alım istasyonunda aydınlatma düzeyinin yetersiz olması (T234), ikaz levhalarının görünür bir yerde olmaması (T235), yakıt alım hortumlarının iyi kondisyonda olmaması (T236), numune alma flenç ve kabının gerektiği gibi bağlanmamış olması (T237), personelin çalışma saatlerine riayet edilmemesi (T24), genel iletişim hataları



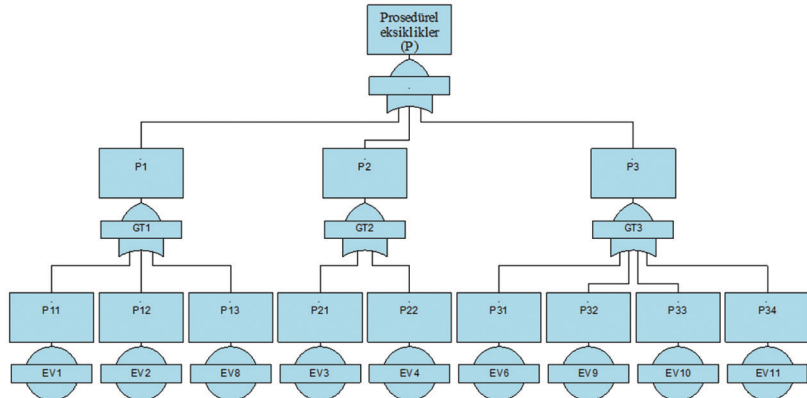
Şekil 3. Yağ/Yakıt Alım Operasyonu Hata Ağacı Diyagramı (1.Seviyesi)



Şekil 4. Yağ/Yakıt Alım Operasyonu Hata Ağacı Diyagramı (2.Seviyesi)



Şekil 5. Yağ/Yakıt Alım Operasyonu Hata Ağacı Diyagramı (4.Seviyesi)



Şekil 6. Yağ/Yakıt Alım Operasyonu Hata Ağacı Diyagramı (5.Seviyesi)

(T3), iletişim ekipmanlarının yetersizliği (T31), barç ve gemi arası koordinasyon eksikliği (T32), sorumlu personeller arası iletişim eksikliği (T33), acil durul iletişim işaretlerinin bilinmemesidir (T34). Mekanik uygunsuzluklar (M), seviye kontrol sistemi arızası (M1), sistem kalibrasyon ve gösterge hatası (M11), devrede oluşan hava ve basınç dalgalanmaları (M12), uzaktan kumanda sistemi arızası (M2), kumanda ünitesi arızası (M21), kumanda anahtarı arızası (M22), enerji kaynağı arızası (M23), uyarı/ikaz sistemi arızası da (M3), kablo arızası (M31), seviye/derece ikaz sensörü arızası (M32), yakıt devresi valf ve bağlantı grubu arızaları (M4), aşınmış valf yuvaları (M41), valf sapı kırılması (M42), sızdırmazlık elemanı arızası (M43), gevşek sıkılmış cıvata ve somunlar (M44). Prosedürel eksiklikler (P), emniyet toplantılarının verimsiz geçmesi (P1), eksik katılımın olması (P11), sorumlu personel listesinin oluşturulmamış olması (P12), sorumluluklar ile ilgili bilgi güncellemelerinin yapılmamış olması (P13), rutin kontrol eksiklikleri (P2), yakıt alım planına uymamak (P21), kötü hava ve deniz koşullarında yetersiz süreç raporlama (P22), acil durum eylem planı eksiklikleri (P3), liman iletişim bilgilerinin eksik olması (P31), acil durum kapama prosedürlerinin önemsenmemesi (P32), kişisel korunma ekipmanları kullanma yetersizliği (P33).

Adım 2. Hata etki değerlerinin tespit edilmesi; HAA ile tespit edilmiş olan olası hataların bulanık olarak modellenmesine başlamadan önce her bir hatanın HAA yardımı ile operasyonel zafiyetin oluşumunda ki etki değerleri tespit edilmiştir. Hata etki değerleri tespit edilirken; hata ağacının tepesinde yer alan tepe olayın değeri "1.00" olarak kabul edilir. VE kapısı ile tepe olaydan ara olaylara inilirse, tepe olaya VE kapısı ile bağlanan ara olay sayısı "1.00" değerine bölünerek her bir ara olayın etki değeri elde edilir.

Bu hesaplama ara olaylara VE kapısı ile bağlanan temel olayların etki değerlerinin hesaplanmasında da geçerlidir. VEYA kapısı ile tepe olaydan ara olaylara inilirse, tepe olayın değeri herhangi bir matematiksel işleme tabi tutulmaksızın ara olayların etki değeri olarak kabul edilir. Bu kabul ara olaylara VEYA kapısı ile bağlanan temel olayların etki değerlerinin belirlenmesi içinde geçerlidir. İlgili prensipler çerçevesinde her bir hata türü için tespit edilen hata etki değerleri sırası ile T11 (0,009), T12 (0,009), T13 (0,009), T14 (0,009), T21 (0,009), T22 (0,009), T231 (0,009), T232 (0,009), T233 (0,009), T234 (0,009), T235 (0,009), T236 (0,009), T237 (0,009), T24 (0,009), T31 (0,036), T32 (0,036), T33 (0,036), T34 (0,036), M11 (0,036), M12 (0,036), M21 (0,036), M22 (0,036), M23 (0,036), M31 (0,036), M32 (0,036), M41 (0,036), M42 (0,036), M43 (0,036), M44 (0,036), P11 (0,036), P12 (0,036), P13 (0,036), P21 (0,036), P22 (0,036), P31 (0,036), P32 (0,036), P33 (0,036), P34 (0,036)'dir.

Adım 3. Hataların bulanık modellemesi; Tablo 2, Tablo 3 ve Tablo 4'te ifade edilmiş dilsel ifadeler kullanılarak her bir hatanın olasılığı, hata sonuç olasılığı ve sonuç şiddeti personel, gemi (kargo dahil) ve çevre için ayrı ayrı belirlenir.

Adım 4. Parametrik sentezleme: Her bir hata için personel, gemi (kargo dahil) ve çevre için belirlenen hata olasılıkları, hata sonuç olasılıkları ve sonuç şiddetleri denklem (4)'te ifade edilmiş olan bulanık manipülasyon formülü kullanılarak her bir hata için Si değerleri bulunmuştur. Örnek olarak, T11 kodlu hata için ilgili hesaplama detaylı olarak ifade edilmiştir;

$L_{T11}=\{1/0, 2/0,25, 3/1, 4/0,75, 5/0, 6/0, 7/0\}$, $E_{T11}=\{1/0,25, 2/1, 3/0,75, 4/0, 5/0, 6/0, 7/0\}$, $C_{T11}=\{1/0, 2/0,25, 3/1, 4/0,5, 5/0, 6/0, 7/0\}$ olup bu dilsel ifadeler

doğrultusunda yapılan hesaplar neticesinde $S_{T11} = \{1/0, 2/0,25, 3/0,75, 4/0,75, 5/0, 6/0, 7/0\}$ olarak bulunmuştur.

Adım 5. Hata bazlı risk/emniyet değerlerinin belirlenmesi: Her bir hata için Si risk/emniyet değeri hesaplandıktan sonra denklem (6), (7), (8) ve (9)'da ifa edilmiş olan en uygun konum algoritması yardımı ile bulunan değerlerin bulanık emniyet değerlerine olan uzaklıkları tespit edilmiştir. Emniyet mesafeleri hesaplandıktan sonra sırası ile denklem (10), (11) ve (12) kullanılarak risk/emniyet değerleri hesaplanmıştır. T_{11} kodlu hata için sonuçlar $S(S_{T11}) = \{(0.125, \text{zayıf}), (0.156, \text{orta}), (0.585, \text{iyi}), (0.134, \text{mükemmel})\}$ şeklinde hesaplanmıştır. Aynı şekilde adım 1'de tespit edilen diğer tüm hatalar içinde risk/emniyet değerleri hesaplanmıştır.

Adım 6. Global risk/emniyet değerinin belirlenmesi: Adım 5'te tespit edilen hata bazlı risk/emniyet değerleri kullanılarak denklem (13) - (24) arasındaki tüm denklemler sırası ile kullanılarak yapılan işlemler neticesinde yağ/yakıt alım operasyonuna ait global risk/emniyet değeri hesaplanmıştır. Elde edilen global risk/emniyet değeri;

$S(S_{Y/Y}) = \{(0.1860, \text{zayıf}), (0.2726, \text{orta}), (0.3283, \text{iyi}), (0.2131, \text{mükemmel})\}$ olarak tespit edilmiştir. Benzer şekilde tespit edilen diğer tüm hata türleri içinde aynı hesaplama gerçekleştirilmiştir.

Adım 7. Risk/emniyet değerlerinin durulaştırılması: Gerek adım 5 tespit edilen hata bazlı risk değerleri ve gerekse de adım 6'da tespit edilen global risk değerleri denklem (26) kullanılarak durulaştırılmış ve her bir hatanın öncelik derecesi tespit edilmiştir. Yüksek öncelik derecesine sahip hataların risk seviyeleri daha düşüktür. Yapılan hesaplama neticesinde;

$$Q_{T11} = 0.217 \times 0.125 + 0.478 \times 0.1560 + 0.739 \times 0.5850 + 1 \times 0.134$$

$Q_{T11} = 0.6680$ olarak bulunmuştur. Aynı matematiksel işlemler diğer hatalar içinde yapılmış olup; her bir hata türüne için hesaplama sonuçları sırası ile; $Q_{T12} = 0.6085$, $Q_{T13} = 0.6085$, $Q_{T14} = 0.6670$, $Q_{T21} = 0.6852$, $Q_{T22} = 0.5459$, $Q_{T231} = 0.6085$, $Q_{T232} = 0.6085$, $Q_{T233} = 0.6085$, $Q_{T234} = 0.6085$, $Q_{T235} = 0.6085$, $Q_{T236} = 0.6085$, $Q_{T237} = 0.8330$, $Q_{T24} = 0.6680$, $Q_{T31} = 0.6503$, $Q_{T32} = 0.8330$, $Q_{T33} = 0.6680$, $Q_{T34} = 0.6503$, $Q_{M11} = 0.5490$, $Q_{M12} = 0.6085$, $Q_{M21} = 0.6085$, $Q_{M22} = 0.6085$, $Q_{M23} = 0.6852$, $Q_{M31} = 0.5459$, $Q_{M32} = 0.6852$, $Q_{M41} = 0.6085$, $Q_{M42} = 0.6085$, $Q_{M43} = 0.6085$, $Q_{M44} = 0.6085$, $Q_{P11} = 0.6711$, $Q_{P12} = 0.6085$, $Q_{P13} = 0.6085$, $Q_{P21} = 0.5500$, $Q_{P22} = 0.6085$, $Q_{P31} = 0.5459$, $Q_{P32} = 0.6085$, $Q_{P34} = 0.6085$ olup operasyon geneline yönelik emniyet değeri; $S(S_{Y/Y}) = \{(0.1860, \text{zayıf}), (0.2726, \text{orta}), (0.3283, \text{iyi}), (0.2131, \text{mükemmel})\}$ ve $Q_{Y/Y} = 0.6264$ şeklinde tespit edilmiştir.

Adım 8. Risk/emniyet değerlerinin incelenmesi: Elde edilen risk değerleri üzerinde yapılan incelemeler doğrultusunda T_{22} , M_{11} , M_{31} , P_{21} ve P_{31} numaralı hataların risk değerlerinin kabul edilebilir seviyeler içerisinde olmadığı tespit edilmiş ve ilgili hatalara yönelik olarak risk kontrol tedbirleri uygulama kararı alınmıştır.

Adım 9. Risk kontrol seçenekleri havuzunun oluşturulması: Yapılan incelemeler neticesinde kabul edilebilir değerler üzerinde olduğu görülen hataların risk seviyelerini makul değerler içerisine çekebilmek amacı ile RKSlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda, yağ/yakıt alım operasyonuna yönelik oluşturulabilecek RKS havuzu için 15 adet RKS belirlenmiştir. Belirlenmiş olan RKSler sırası ile; RKS₁: Gemi yakıt sistemine yönelik proaktif bakım geliştirilmesi, RKS₂: Gemi personeline yönelik tehlike farkındalığı eğitimi verilmesi, RKS₃: Yağ/

Yakıt alım operasyonuna yönelik gemi talimleri geliştirmek ve uygulamak, RKS₄: Yağ/Yakıt alım operasyonu için bir kontrol zabiti atanması, RKS₅: Yakıt alım istasyonu bağlantısı üzerine akış hız ölçüm sensörü yerleştirmek, RKS₆: Gemi ve barç geçişlerinde emniyet kemeri takılması, RKS₇: Liman bilgi talep formu geliştirilmesi ve operasyon öncesi işleme konulması, RKS₈: Kaptan ve baş mühendis için liderlik ve kriz yönetimi ile ilgili uzmanlık eğitimi verilmesi, RKS₉: Mürettebata emniyet kültürü, çevre hassasiyetleri ve cezai yaptırımlar hususunda uygulamalı eğitim verilmesi, RKS₁₀: Emniyet toplantısı düzenleme ve planlama kılavuzu hazırlamak, RKS₁₁: Uygunsuzluk ve tehlikeli oluşum tespitlerinin tekrarını önlemeye yönelik önleyici faaliyetler geliştirmek, RKS₁₂: İş ve işgücü planlama sistemi geliştirmek, RKS₁₃: Hava ve deniz koşullarının tahmin ve sürekli takibini sağlayan bir takip sistemi oluşturmak, RKS₁₄: Acil durum ekipmanlarının operasyon öncesi testlerinin yapılması, RKS₁₅: Doğru tedarikçi ve yakıt alım limanının tespit edilmesidir.

Adım 10. Fayda maliyet analizi: Adım 9'da belirlenmiş olan RKS'lere yönelik fayda/maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen fayda/maliyet analizi neticesinde RKS₁₀ (1) 0.14 puanla en yüksek tercih edilirlilik değerine sahiptir. RKS₁₀'u 0.09 puanla RKS₄ (2) takip etmektedir. Devamında ise, RKS₁₄ (3), RKS₁₂ (4), RKS₉ (5), RKS₇ (6), RKS₈ (7), RKS₂ (8), RKS₁₁ (9), RKS₃ (10), RKS₁₅ (11), RKS₁ (12), RKS₆ (13), RKS₅ (14), RKS₁₃ (15) şeklinde tercih edilebilirlik sırası ile sıralanmaktadır.

Adım 11. RKSlerin uygulanması: Adım 10'da gerçekleştirilen fayda maliyet analizi neticesinde tespit edilen RKS öncelik sıraları dikkate alınarak, risk değeri yüksek çıkan T22, M11, M31, P21 ve P31 numaralı hataların olası etkilerini azaltacak

RKS belirlenmiştir. Belirlenen RKS uygulanarak ilgili hataların risk değerleri kabul edilebilir seviyelere indirilmiştir. T22, P21 ve P31 numaralı hatalar için en etkin RKS'nin RKS₁₀, M11 ve M31 için en etkin RKS'nin RKS₁ olduğu tespit edilmiş ve ilgili RKSler uygulanmıştır. Uygulanan RKSler doğrultusunda gerçekleşen iyileşmeler paralelinde operasyonun genel emniyet değeri $S(S_{Y/Y}) = \{(0.1860, \text{zayıf}), (0.2726, \text{orta}), (0.3283, \text{iyi}), (0.2131, \text{mükemmel})\}$ ve $Q_{Y/Y} = 0.6264$ değerlerinden $S(S_{Y/Y}) = \{(0.1721, \text{zayıf}), (0.2767, \text{orta}), (0.3593, \text{iyi}), (0.6375, \text{mükemmel})\}$ ve $Q_{Y/Y} = 0.6264$ değerlerine yükselmiştir.

Çalışma kapsamında önerilen yöntemin yağ yakıt alım operasyonuna uygulanması neticesinde elde edilen sonuçlar ilgili operasyonun emniyet seviyesi hakkında son derece değerli bilgiler sunmaktadır. Öyle ki; tespit edilen hatalara ait risk/emniyet değerleri operasyonun emniyet seviyesini tehdit eden noktalar/hatalar somut olarak ortaya konulmuştur.

5. Sonuçlar

Bu çalışma ile kritik öneme sahip gemi operasyonlarına yönelik bir risk değerlendirme modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model kritik gemi operasyonlarından biri olan yağ/yakıt alım operasyonuna uygulanmıştır. Yapılan uygulama çalışmasında kontrol listesinin eksik gözden geçirilmesi, kablo arızası, sistem kalibrasyon ve gösterge hatası, yakıt alım planına uymamak ve liman iletişim bilgilerinin eksik olması hataları risk seviyesi kabul edilebilir seviyede olmayan hatalar olarak tespit edilmiştir. İlgili hatalar göstermektedir ki gemi personelindeki farkındalık eksikliği yağ/yakıt alım operasyonunu emniyetli bölgeden riskli bölgeye taşıyabilecek kritik hataların tetikleyici olarak ortaya çıkmaktadır. Bunun beraberinde düzenli kalibrasyon ve gösterge doğruluğu en az

dikkat edilen noktalardan birisi olmasına rağmen yağ/yakıt alım operasyonu için risk seviyesi en yüksek hatalardan biri olarak tespit edilmiştir. Dolayısı ile gerek gemi gerekse de kara yönetim personelinin durumsal farkındalığının en üst seviyeye çıkarılması kritik operasyonların emniyetli bölge içerisinde yürütülebilmesi için son derece önem arz ettiği görülmüştür. Yapılan uygulama çalışmasında elde edilen sonuçlar doğru bir şekilde yorumlandığında gemi üzerindeki emniyet seviyesinin iyileştirilmesinde önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Yapılan uygulama çalışması ile beraber modelin sağlayacağı olası faydalar somutlaştırılmaya çalışılmıştır. Modelin, uluslararası emniyet yönetim kod gereksinimlerini karşılayabilecek, biçimsel emniyet değerlendirme sistemi ile bütünleşik, farklı operasyonel ve yönetsel süreç analizlerinde de kullanılabilir bir yapıya sahip olması uygulanabilirliğini en üst seviyeye çıkaran önemli avantajlarının başında gelmektedir. Bunun beraberinde önerilen yaklaşım; emniyet yönetim sistemi kapsamında 2010 yılından itibaren gemilerde zorunlu hale gelen risk değerlendirme sistematığı geliştirme çalışmalarını destekler niteliklere sahiptir. Operasyonların risk değerlendirmesini gerçekleştirmenin yanı sıra ilgili operasyonların risk karakteristiklerini de ortaya koyarak operasyonların emniyet derecesini en iyileştirebilecek kararların alınmasına olanak sağlamaktadır. Bugüne kadar yeteri düzeyde önem verilmemiş olan ancak yapısı gereği pek çok tehlikeyi bünyesinde barındıran gemi makineleri operasyonlarına yönelik bir risk değerlendirme sistemi ortaya koymaktadır. Mali değeri bilinmeyen veya hesaplanamayan RSKlere yönelik fayda/maliyet analizi gerçekleştirebilecek bir yapıya sahiptir. Sahip olduğu yapısı itibarı ile bilgi eksikliği ve belirsizliği içeren problemlerin çözümünde kullanılabilir

yağıdır. Sonuç olarak, bu çalışma ile beraber denizcilik endüstri paydaşları arasında kritik öneme sahip gemi işletmeciliği firmalarının işletmeciliği altındaki gemilerde yürütülen kritik operasyonlar için gerekli olan risk değerlendirme sistematığına yönelik uygulanabilirliği yüksek bir yöntemsel yaklaşım ortaya konulmuştur.

Bu çalışmanın sağlayacağı ivme ile beraber ileriye yönelik planlanan önemli araştırma hedeflerinin ilki önerilen modelin gemi üzerindeki diğer operasyonlara uygulamasının gerçekleştirilmesidir. Devamında ikinci ve en önemli araştırma hedefi modelin gemi üzerindeki tüm kritik operasyonlara uygulanması ile edilecek sonuçlar doğrultusunda kritik risk operasyonlara ait hata havuzunun oluşturulmasıdır. Üçüncü önemli araştırma hedefi ise oluşturulan hata havuzu içerisindeki her bir hatanın hata olasılığı, hata sonuç olasılığı ve sonuç şiddeti verilerini içeren hata veri havuzu oluşturularak bilgi eksikliği ve belirsizliğinden kaynaklanan bulanık model gereksinimi ortadan kaldırmak olacaktır. Ayrıca çevresel faktörlerinin etkisinin modele entegrasyonu ve modelin bir yazılım ile desteklenerek ticarileştirilmesi diğer önemli araştırma hedefleridir.

6. Açıklama

Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Doktora Programı'nda Prof. Dr. Yusuf İlker TOPÇU danışmanlığında Kadir ÇİÇEK tarafından tamamlanan **"Gemi filo yönetiminde risk kontrol esaslı bir karar verme yaklaşımı"** (Cicek, 2013) isimli doktora tezinden üretilmiştir.

Bu çalışmanın yayınlanma sürecinde çalışmayı değerlendirmek için harcadıkları zaman ve yapıcı eleştirileri için makalemizin hakemlerine teşekkür ederiz.

Kaynakça

- [1] Celik M., ve Karayigit, B. (2007). Gemi işletmeciliği firmalarının teknik yönetim karar süreçlerinin modellenmesine yönelik karar destek sistemi önerisi. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği 27. Ulusal Kongresi YA/EM 2007, Temmuz 2-4, 2007 İzmir, Türkiye, s.887-892.
- [2] Jenssen, J.I., ve Randoy, T. (2006). The performance effect of innovation in shipping companies. *Maritime Policy & Management*, 33(4):327-343.
- [3] Panayides, P.M. (2003). Competitive strategies and organizational performance in ship management. *Maritime Policy & Management*, 30(2):123-140.
- [4] Hork J. (2004). An analysis of decision making process in multi-cultural maritime scenarios. *Maritime Policy & Management*, 31(1):15-29.
- [5] Panayides, P.M. (2006). Maritime policy, management, and research: role and potential. *Maritime Policy & Management*, 33(2):95-105.
- [6] Roe, M. (2007). Shipping, Policy and Multi-Level Governance. *Maritime Economics & Logistics*, 9(1):84-104.
- [7] Leslie, J. A. (1979). Ships and Bridges, 3rd International Conference on Application of Statistics and probability in Soil and Structural Engineering, Sydney, Australia.
- [8] Gul, M., Celik, E., Akyuz, E. (2017). A hybrid risk-based approach for maritime applications: The case of ballast tank maintenance. *Human and Ecological Risk Assessment*, 23(6):1389-1403.
- [9] Roshamida, A.J., Amir, M.A.U., Zulkify, M.R. (2017). Risk assessment of dry bulk cargo operations using Analytic Hierarchy Process (AHP) method, ICICTM 2016 - Proceedings of the 1st International Conference on Information and Communication Technology, s.146-159.
- [10] Rokseth, Bø., Utne, I.B., Vinnem, J.E. (2017). A systems approach to risk analysis of maritime operations. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 231(1):53-68.
- [11] Akyildiz, H., Menten, A. (2017). An integrated risk assessment based on uncertainty analysis for cargo vessel safety. *Safety Science*, 92:34-43.
- [12] Mohana Krishnan, G., Menon, M. (2017). Risk assessment for entering enclosed spaces on board ships. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(4):1092-1097.
- [13] Akyuz, E. (2017). Application of fuzzy FMEA to perform an extensive risk analysis in maritime transportation engineering. *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects Part A: International Journal of Maritime Engineering*, 159:99-105.
- [14] Wang, D.L., Lv, X. (2017). Research on operation risk identification model of ro-ro passenger ship based on brittleness theory of complex system. *Conference Proceedings of the 5th International Symposium on Project Management, ISPM 2017*, s.311-316.
- [15] Stavrou, D.I., Ventikos, N.P. (2016). A novel approach in risk evaluation for ship-to-ship (STS) transfer of cargo using process failure mode and effects analysis (PFMEA). *Journal of Risk Research*, 19(7):913-933.
- [16] Zhang, D., Yan, X., Zhang, J., Yang, Z., Wang, J. (2016). Use of fuzzy rule-based evidential reasoning approach in the navigational risk assessment of inland waterway transportation systems. *Safety Science*, 82:352-360.
- [17] Menten, A., Akyildiz, H., Yetkin, M., Turkoglu, N. (2015). A FSA based fuzzy DEMATEL approach for risk assessment of cargo ships at coasts and open seas of Turkey. *Safety Science*, 79:1-10.

- [18] Elsayed, T., Marghany, K., Abdulkader, S. (2014). Risk assessment of liquefied natural gas carriers using fuzzy TOPSIS. *Ships and Offshore Structures*, 9(4):355-364.
- [19] Ung, S.T. (2014). A novel maritime risk assessment model incorporating a fuzzy rule-based approach. *Expert Systems*, 31(5):398-408.
- [20] Povel, D., Ullrich, A., Ott, A. (2013). Risk assessment for passenger ships. RINA, Royal Institution of Naval Architects - Design and Operation of Passenger Ships, s.21-24
- [21] Zhan, Y., Hao, Y., Yu, Y., Wu, D. (2012). HAZOP analysis-based method on the risk assessment of the main engine of the 10000TEU container ship. *Advances in Intelligent and Soft Computing*, 115(2):257-264.
- [22] Gasparotti, C. (2010). Risk assessment of marine oil spills. *Environmental Engineering and Management Journal*, 9(4):527-534.
- [23] Hong, X., Chen, W., ve Zhang, L. (2010). A probabilistic Risk Forecast of Accidental Oil Spills from Vessels in Luoyuan Bay, Fujian Province, PRC. *Procedia Environmental Sciences*, 2:49-56.
- [24] Kirby, M.F., ve Law, R.J. (2010). Accidental spills at sea – Risk, impact, mitigation and the need for co-ordinated post-incident monitoring. *Marine Pollution Bulletin*, 60(6):797-803.
- [25] Celik, M., Lavasani, S.M., ve Wang, J. (2010). A risk-based modelling approach to enhance shipping accident investigation. *Safety Science*, 48(1):18-27.
- [26] Yu, L., ve Cheng, F. (2010). Grey assessment model of risks in ship pilotage. 2010 IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology (ICMIT), Singapore, 2-5 Haziran, s.1099-1102.
- [27] Bao, J., Liu, Z., ve Huang, T. (2010). Ship risk assessment model. *Journal of Dalian Maritime University*, 36(4):11-13.
- [28] Nielsen, U.D., Friis-Hansen, P., ve Jensen, J.J. (2009). A step towards risk-based decision support for ships - Evaluation of limit states using parallel system analysis. *Marine Structures*, 22(2):209-224.
- [29] Wang, J. (2006). Maritime Risk Assessment and its Current Status. *Quality and Reliability Engineering International Special Issue: Maritime Risk Modelling and Decision Making*, 22(1):3-19.
- [30] Merrick, J.R.W., ve Van Dorp, J.R. (2006). Speaking the Truth in Maritime Risk Assessment. *Risk Analysis*, 26(1):223-237.
- [31] Kum, S. (2005). Petrol tankerlerinde risk değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [32] Ulusçu, O.S., Ozbaş, B., Altıok, T., ve Or, I. (2009). Risk analysis of the vessel traffic in the strait of Istanbul. *Risk Analysis*, 29(10):1454-72.
- [33] Chin, H.C., ve Debnath, A.K. (2009). Modeling perceived collision risk in port water navigation. *Safety Science*, 47(10):1410-1416.
- [34] Elsayed, T., Lehetab, H., ve Shehadeha, M. (2009). Multi-attribute risk assessment of LNG carriers during loading/offloading at terminals. *Ships and Offshore Structures* 4(2):127-131.
- [35] Bubbico, R., Di Cave, S., ve Mazzarotta, B. (2009). Preliminary risk analysis for LNG tankers approaching a maritime terminal. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 22(5):634-638.
- [36] Vanem, E., Antão, P., Østvik, I., ve Del Castillo de Comas F. (2008). Analysing the risk of LNG carrier operations. *Reliability Engineering & System Safety*, 93(9):1328-1344.

- [37] International Maritime Organization, (2002). Guidelines for formal safety assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process.
- [38] Liu, L., Yang, J.B., Wang, J., ve Sii, H.S. (1994). Engineering system safety analysis and synthesis using the fuzzy rule-based evidential reasoning approach. *Quality and Reliability Engineering International*, 21:387-411.
- [39] Wang, J., Yang, J.B., ve Sen, P. (1995). Safety analysis and synthesis using fuzzy set modelling and evidential reasoning. *Reliability Engineering and System Safety*, 47(3):10-118.
- [40] Wang, J., Yang, J.B., ve Sen, P. (1996). Multi-person and multi-attribute design evaluations using evidential reasoning based on subjective safety and cost analyses. *Reliability Engineering and System Safety*, 52(2):113-129.
- [41] Wang, J. (2000). A subjective modelling tool applied to formal ship safety assessment. *Ocean Engineering*, 27(10):1019-1035.
- [42] Nwaoha, T.C., Yang, Z., Wang, J., ve Bonsall, S. (2012). A new fuzzy evidential reasoning method for risk analysis and control of a liquefied natural gas carrier system. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 225:206-225.
- [43] Celik, M., ve Kandakoglu, A. (2012). Maritime policy development against ship flagging out dilemma using a fuzzy quantified SWOT analysis. *Maritime Policy & Management*, 39(4):401-421.
- [44] Cicek, K. (2013). Gemi filo yönetiminde risk kontrol esaslı bir karar verme yaklaşımı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.