



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Deniz kirliliğinin görünmeyen tehlikesi: gemi kinistin sandığı tıkanıklığı üzerine bir risk analizi

The hidden threat of marine pollution: a risk assessment of a clogged ship sea chest

Yazar (Author): Bulut Ozan CEYLAN

ORCID: 0000-0003-1182-3566

To cite to this article: Ceylan B.O., “Deniz kirliliğinin görünmeyen tehlikesi: gemi kinistin sandığı tıkanıklığı üzerine bir risk analizi”, *Journal of Polytechnic*, 27(4): 1659-1672, (2024).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Ceylan B.O., “Deniz kirliliğinin görünmeyen tehlikesi: gemi kinistin sandığı tıkanıklığı üzerine bir risk analizi”, *Politeknik Dergisi*, 27(4): 1659-1672, (2024).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.1297917

Deniz Kirliliğinin Görünmeyen Tehlikesi: Gemi Kinistin Sandığı Tıkanıklığı Üzerine Bir Risk Analizi

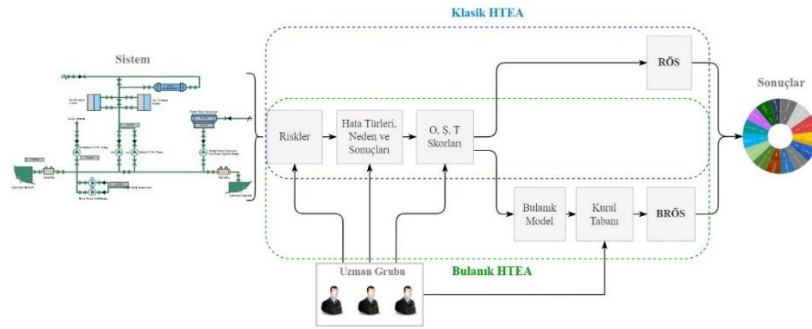
The Hidden Threat of Marine Pollution: A Risk Assessment of a Clogged Ship Sea Chest

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Deniz kirliliğinin gizli tehlikesi olan gemi kinistin sandığı tıkanıklığı incelenmiştir. / Sea chest fouling, the hidden threat of marine pollution, was investigated.
- ❖ Çalışma kapsamında Klasik Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) ve Bulanık HTEA yöntemleri kullanılmıştır. / Classical Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) and Fuzzy FMEA techniques were used in the study.
- ❖ Analiz sonucunda deniz kirliliğinin gemi sistemleri üzerindeki etkisi sayısal olarak ortaya konmuştur. / The effect of marine pollution on ship systems has been quantified as a result of the analysis.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada gemi soğutma suyu sistemi bileşenleri için klasik HTEA ve Bulanık HTEA yöntemlerinin birlikte kullanıldığı, uzman sistem tabanlı, sayısal ve karşılaştırmalı bir risk analizi yapılmıştır. / In this study, an expert system-based, quantitative and comparative risk analysis was conducted for the components of the ship cooling water system using both the Traditional FMEA and the Fuzzy FMEA methods.



Şekil. Uygulama akış şeması / Figure. Application flowchart

Amaç (Aim)

Bu çalışmada deniz kirliliği kaynaklı oluşan gemi kinistin sandığı tıkanıklığının gemi sistemleri üzerindeki risklerinin sayısal olarak analiz edilmesi amaçlanmaktadır. / This research aims to quantify the sea chest risks.

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Yürütülen risk analizinde Klasik ve Bulanık HTEA yöntemleri kullanılmıştır. / Both Traditional and Fuzzy FMEA techniques were used.

Özgünlük (Originality)

Deniz kirliliğinin etkileri kapsamlı şekilde çalışılmasına rağmen, deniz kirliliğinin görünmeyen tehlikesi olan gemi kinistin sandığı tıkanıklığı ilk defa analiz edilmiştir. / Although the effects of marine pollution have been extensively studied, the hidden threat of sea chest fouling has been analyzed for the first time.

Bulgular (Findings)

Analiz bulgularına göre, en riskli hata türü, HT006 - Ana Makine Yüksek Yağlama Yağı Sıcaklığı (143.520 RÖS, 5.58 BRÖS) olarak tespit edilmiştir. / Based on analysis findings, the most risky failure mode was determined as HT006 - Main Engine High Lubricating Oil Temperature (143,520 RPN, 5.58 FRPN).

Sonuç (Conclusion)

Sonuçlar muhtemel gemi kazalarını önlemek adına denizcilik paydaşlarına sunulmuştur. / The results were presented to maritime stakeholders in an effort to prevent potential ship accidents.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Deniz Kirliliğinin Görünmeyen Tehlikesi: Gemi Kinistin Sandığı Tıkanıklığı Üzerine Bir Risk Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Bulut Ozan CEYLAN

Denizcilik Fakültesi, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü, Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 16.05.2023 ; Kabul/Accepted : 04.07.2024 ; Erken Görünüm/Early View : 01.08.2024)

ÖZ

Doğal çevre tahribatının etkileri, son yıllarda dünya denizleri üzerinde ciddi şekilde hissedilmektedir. Çalışmalar, gerek plastik gibi insan kaynaklı kirleticilerin gerekse istilacı türler gibi deniz canlılarının artık denizlerimizde yoğun olarak bulunduğunu göstermektedir. Diğer bir yandan gemilerin kritik bir unsuru olan soğutma suyu sistemleri, gemi kinistin sandıklarından emilen deniz suyu ile hayat bulmaktadır. Ancak, deniz kirliliği kaynaklı kinistin tıkanıklığı, geminin ana ve yardımcı makinelerini çalışmaz duruma getirerek, gemiyi manevra kabiliyetinden mahrum bırakmaktadır. Ana makine gücünü ve dolayısıyla manevra yeteneğini kaybeden gemi ise çarpma, çatışma, karaya oturma, yangın ve patlama gibi felaketlerle yüzleşme riski taşımaktadır. Bu çalışma, deniz kirliliğinin görünmeyen tehlikesi olan kinistin sandığı tıkanıklığı üzerine bir risk analizi yürütmüştür. Çalışmada hem Klasik hem de Bulanık Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) yöntemleri kullanılarak, hata türlerine ilişkin riskler Risk Öncelik Sayısı (RÖS) ve Bulanık RÖS (BRÖS) puanlarıyla sayısal olarak hesaplanmıştır. Klasik HTEA bulgularına göre, en riskli 3 hata türü, HT006 - Ana Makine Yüksek Yağlama Yağı Sıcaklığı (143.520), HT007 - Ana Makine Yüksek Ceket Suyu Sıcaklığı (111.720), HT014 - Yangın Pompası Düşük Çıkış Basıncı ve Debisi (100.590) olarak tespit edilmiştir. Bulanık HTEA sonuçlarında ise en riskli 3 hata türü HT006 - Ana Makine Yüksek Yağlama Yağı Sıcaklığı (5.58), HT014 - Yangın Pompası Düşük Çıkış Basıncı ve Debisi (5.51) ve HT013 - Kazan Yetersiz Buhar Yoğuşma Verimliliği (5.47) olarak ortaya konmuştur. Elde edilen bulgular, deniz kirliliğinin gemi sistemleri üzerindeki etkilerini sayısal olarak ortaya koymaktadır. Bu veriler, gemi adamları, denizcilik şirketleri, denetleme otoriteleri ve gemi inşa sektörü gibi temel denizcilik paydaşlarına, gelecekte oluşabilecek kinistin sandığı tıkanıklığı kaynaklı büyük deniz kazalarını önlemek adına önemli bilgiler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Deniz kirliliği, risk analizi, HTEA, kinistin sandığı, gemi makine sistemleri.

The Hidden Threat of Marine Pollution: A Risk Assessment of a Clogged Ship Sea Chest

ABSTRACT

In recent years, the effects of natural environmental degradation have been significantly felt on the world's oceans. Studies show that both human-made pollutants like plastics and marine organisms such as invasive species are now densely present in our seas. On the other hand, the cooling water systems, a critical component of ships, rely on seawater absorbed through the ship's sea chests. However, clogging sea chests due to marine pollution can render the ship's main and auxiliary engines inoperable, depriving the ship of its maneuverability. A ship that loses its main engine power and therefore its maneuverability is at risk of facing accidents such as collisions, groundings, fires, and explosions. This study conducted a risk analysis on the blockage of sea chests, a hidden threat of marine pollution. Using both Classical and Fuzzy Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) methodologies, risks were quantitatively calculated through Risk Priority Numbers (RPN) and Fuzzy RPN (FRPN) scores. According to the Traditional FMEA findings, the top three highest-risk failure modes are HT006 - Main Engine High Lubricating Oil Temperature (143.520), HT007 - Main Engine High Jacket Water Temperature (111.720), and HT014 - Fire Pump Low Outlet Pressure and Flow Rate (100.590). The Fuzzy FMEA results indicated the top three highest-risk failure modes as HT006 - Main Engine High Lubricating Oil Temperature (5.58), HT014 - Fire Pump Low Outlet Pressure and Flow Rate (5.51), and HT013 - Insufficient Boiler Steam Condensate Efficiency (5.47). The obtained findings quantitatively demonstrate the impact of marine pollution on ship systems. Analysis results provides critical information for key maritime stakeholders such as seafarers, maritime companies, regulatory authorities, and the shipbuilding industry to prevent major maritime accidents caused by sea chest blockages in the future.

Keywords: Marine pollution, risk analysis, FMEA, sea chest, ship machinery systems.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gemiler, pek çok ekipmanın bir arada bulunduğu karmaşık ve dinamik mühendislik yapılarıdır. Bu karmaşık yapı içerisinde yer alan ekipmanların

çalışabilmesi için ise yakıt, buhar, yağlama yağı, basınçlı hava, balast, egzoz, tatlı su soğutma ve deniz suyu soğutma gibi sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır [1]. Diğer bir yandan gemi bünyesindeki ekipmanlar, çalışma mekanizmaları nedeniyle yüksek ısı yaymaktadır [2]. Bu sebeple, gemi ana ve yardımcı makine sistemlerini çalışır durumda tutmak için sıcaklık kontrolü yapılmalı ve sistemlere ait sıcaklıklar üreticilerin belirlediği çalışma

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : bceylan@bandirma.edu.tr

eşiklerinde tutulmalıdır [3]. Gemi sistemlerinin alt ve üst sınır sıcaklık değerlerinde çalışmasını sağlamak için ise ana kaynak olarak deniz suyu kullanılmaktadır. Deniz suyu soğutma sistemi, tatlı su soğutma sistemi ile beraber çalışarak gemi bünyesinde yer alan pek çok ekipmanın soğutulmasını sağlamaktadır [4]. Ana makine yağ sıcaklığından jeneratör skavenç sıcaklığına kadar gemi için kritik pek çok unsur tatlı su ve deniz suyu soğutma sistemi ile soğutulur. Soğutmanın aksamaması adına, sistem sürekli olarak deniz suyu ile beslenmelidir. Sisteme suyun emildiği ve genellikle sığ ve derin olmak üzere iki adet bulunan gemi kısmına kinistin sandığı adı verilmektedir. Kinistin sandıkları tarafından gemi makine dairesine alınan deniz suyu, filtreler ve pompalardan geçerek kullanılacakları sisteme aktarılır [5]. Dolayısıyla, geminin deniz suyu devreleri, pervanesi, dümen şaftları, katodik koruma anotları, balast tankları, demir ve kinistin sandıkları istilacı deniz organizmaları ve diğer deniz kirleticilerinden en çok etkilenen bölümlerdir [6,7]. Özellikle yoğun deniz suyu akışına maruz kalan kinistin sandıkları ve bunlarla ilişkili deniz suyu soğutma devreleri yüksek riskli kirlenme bölgeleridir [8]. Bu kirlilik sonucunda ise kinistin sandıklarının ve gemi soğutma suyu devrelerinin kısmen veya tamamen tıkanması, hayati gemi sistemlerine su akışını engellemektedir.

Dünya çapında artan çevresel kirlilik ve deniz ekosisteminin tahrip edilmesi, tüm canlı organizmaları olumsuz yönde etkilemektedir. Ekolojik dengenin bozulması, belirli türlerin yok olmasına ve diğerlerinin aşırı popülasyonuna yol açmaktadır [9]. Çevre tahribatıyla beraber, hem cansız insan kaynaklı kirleticiler hem de canlı deniz organizmalarının yoğunluğu, deniz suyuyla bağlantılı gemi bölümlerinde de artmaktadır [10]. Özellikle deniz kabukluları, gemi kinistin sandıklarında hızla çoğalan ve yoğun olarak bulunan deniz organizmalarıdır [11,12]. Ayrıca deniz suyu sıcaklıklarının yükselmesiyle de bu organizmaların gemi bünyesinde varlıkları her geçen gün artmaktadır [13]. Gemilerde bu canlı organizmaların çoğalmasını engellemek adına MGPS sistemleri bulunmasına karşın gerek verimli işletilememesi, gerekse çevresel sebeplerden deniz kabukluları gemi soğutma suyu sistemleri için halen bir tehdit oluşturmaya devam etmektedir [14]. Buna ek olarak yine küresel ısınma ve deniz kirliliğinin bir sonucu olarak, bazı özel deniz alanlarında yaygın hale gelen müsilaj, gemi kinistin sandıklarında tıkanmalara neden olabilmektedir [15,16]. Canlı organizmaların dışında denizlere atılan plastikler gibi insan kaynaklı kirleticiler de gemilerde soğutma suyu problemlerine yol açmaktadır. Tüm bu sebeplerden dolayı, gemi için gerekli tüm deniz suyunun emildiği kinistin sandıklarının kirlenmesi, deniz suyunun temel gemi sistemlerine geçişini kısıtladığı için büyük riskler oluşturmaktadır. Ayrıca oluşacak olayın şiddetinin kinistin sandığı kirlenme oranına bağlı olması da muhtemeldir. Küçük ölçekli kirlenme pompa verimliliği ve basınç kayıpları gibi faktörleri etkilerken, büyük ölçekli tıkanmalar gemilerin yangınla mücadele sistemleri ve

ana makine yağlaması gibi kritik sistem arızalarına neden olabilmektedir [17]. Gemi soğutma sistemi, gemilerin seyir ve manevra yaptığı alanlarda oluşabilecek kirlilik oranlarındaki artıştan etkilenmekte ve gemi makine sistemlerinde ciddi sorunlar yaratabilmektedir. Soğutma amaçlı kullanılan deniz suyu debisi de yaşanacak bir azalma, gemi soğutma sistemini olumsuz olarak etkileyecektir. Kötüleştiren soğutma kalitesi gemi ana makine ceket suyu ve yağlama yağı gibi kritik sistemlerde sıcaklık artışına neden olacaktır. Sıcaklıkları artan ana makine, makine koruma yazılımı tarafından kapatılacak veya çalışmaya devam etse bile ileride kullanılmayacak hale gelecektir. Geminin ana makine gücünden yoksun kalması sonucunda ise çok daha büyük riskler olan, geminin çarpma, çatışma, karaya oturma, yangın gibi durumları ortaya çıkacaktır. Bu bağlamda istenmeyen bu durumların önlenmesi adına gemi kinistin sandığı tıkanıklığı durumunun analiz edilmesi ve etkilediği gemi sistemlerinin tespit edilmesi son derece önemlidir.

Mevcut sistemlerin analiz edilerek risklerinin belirlenmesi ileride oluşması muhtemel olayları önlemek adına kritiktir [18]. Bu doğrultuda, büyük riskler içeren bir sektör olan denizcilikte risk analizi uygulamaları son derece popülerdir [19]. Araştırmacılar son yıllarda gemilerde yer alan çeşitli sistem ve ekipmanlar üzerinde sıklıkla risk analizi uygulamaları yapmıştır [20]. Bu çalışmalarda, Hata Ağacı Analizi (FTA) [21], Olay Ağacı Analizi (ETA) [22], Biçimsel Emniyet Değerlendirmesi (FSA) [23], Papyon Analizi (Bow-Tie) [24], Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) [25], Bayes Ağı (BN) [26], Karar Verme Deneme ve Değerlendirme Laboratuvarı (DEMATEL) [27], Fine Kinney, Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA) [28] gibi yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında ise özellikle makine kaynaklı teknik risklerin tespiti ve analizinde HTEA yöntemi ön plana çıkmaktadır. Bu yöntem literatürde son derece popüler olmasına karşın, yöntemin basit çarpımsal analizi nedeniyle bir takım kısıtları bulunmaktadır. Bu kısıtların giderilmesi adına ise HTEA yöntemi sıklıkla bulanık mantık kavramı ile geliştirilmektedir. Bu sebeple, son yıllarda, Bulanık HTEA yöntemi araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır [18,29].

Bu motivasyonlar ışığında, bu çalışmada HTEA ve Bulanık HTEA yöntemleri kullanılarak, gemiler üzerindeki potansiyel bir kinistin sandığı tıkanıklığına ait risk analizi yapılmıştır. Bu doğrultuda ilk kısım konunun kapsamı ve genel bir giriş içermektedir. İkinci kısımda materyal ve yöntem tanıtılmaktadır. Üçüncü kısım çalışmanın uygulamasını içermekte olup, burada gemi kinistin sandığı tıkanıklığına ait risk analizi yürütülmüştür. Dördüncü kısımda, çalışma sonucunda elde edilen bulgular yorumlanmış ve beşinci kısımda çalışmanın sonucu verilmiştir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Bu bölüm çalışmaya ait materyal ve çalışmada kullanılan yöntemler hakkında bilgi vermektedir.

2.1. Gemi Deniz Suyu Soğutma Sistemi (Ship Sea Water Cooling Sytem)

Gemilere ait deniz suyu soğutma sistemi temelde konvansiyonel ve merkezi tip olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Ticari gemilerde, doğrudan deniz suyunun soğutucu akışkan olarak kullanıldığı sistemlerin dezavantajlarından dolayı, büyük bir oranda merkezi tip soğutma suyu sistemi kullanılmaktadır. Merkezi soğutma sisteminde deniz suyu, merkezi ısı değiştiriciler yardımıyla tatlı suyu soğutmakta, soğutulan tatlı su ise gemi ana ve yardımcı makinelerinin, ceket suyu, yağlama yağı gibi alt sistemlerinin soğutulmasında kullanılmaktadır.

Şekil 1'de bir tanker gemisine ait temel deniz suyu soğutma sistemi bileşenleri görülmektedir. Buna göre deniz suyu gemiye kinistin sandığından emilmekte ve çeşitli gemi sistemlerinde kullanıldıktan sonra tekrar denize basılmaktadır. Görüldüğü gibi gemilerde ana soğutucu kaynağı olarak, deniz suyunun kullanılmaktadır. Deniz suyunun ilk emildiği kısım olarak ön plana çıkan kinistin sandıklarında ise valfler, katodik koruma donanımları ve deniz suyu filtresi bulunmaktadır. Gemilerde genellikle alçak ve yüksek olmak üzere iki adet kinistin sandığı bulunmaktadır. Bunun temel amacı herhangi bir kirlilik durumunda bir tanesinin yedek olarak kullanıma hazır bekletilmesidir. Her ne kadar bir adet yedek kinistin sandığı bulunsun da, gemiler yoğun kirlilik bir bölgede seyir halinde iken her iki kinistin de çok kısa sürede tıkanması muhtemel bir durumdur ve gemi adamları tarafından bu sorun sıklıkla vurgulanmaktadır. Bu çalışmada deniz kirliliğine bağlı olarak gemi kinistin sandıklarının deniz canlıları veya plastik gibi insan kaynaklı atıklar ile ani olarak tıkanması durumunda yaşanacak durumun risk analizi yapılmıştır.

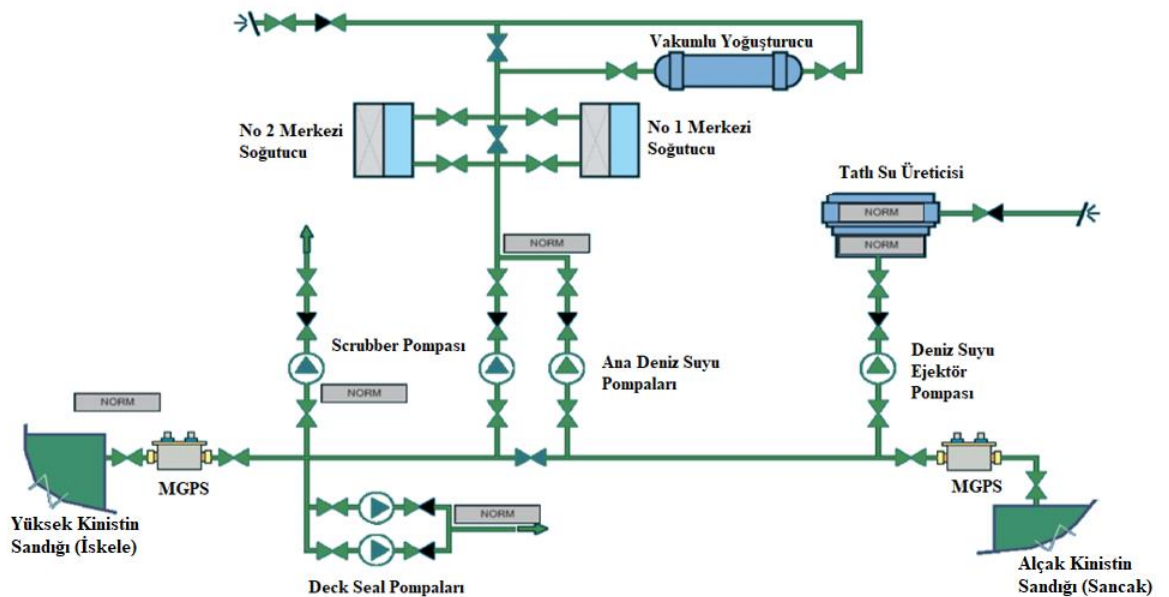
2.2. HTEA Yöntemi (FMEA Method)

Gemiler gerek buldukları zorlu deniz ortamı gerekse taşıdıkları yükler nedeniyle son derece riskli yapılar olarak kabul edilmektedirler. Denizcilik alanındaki riskleri ortaya koymak ise, ileride oluşması muhtemel durumları engellemek adına son derece önemlidir. Bu sebeple, risk analizi kavramı denizcilik alanında kritik bir konu olarak ön plana çıkmaktadır. Pek çok araştırmacı çeşitli konularda risk analizi çalışmaları yürüterek denizcilik risklerini azaltmayı hedeflemiştir [30, 31]. Yapılan risk analiz çalışmalarında ise çeşitli niteliksel ve niceliksel risk değerlendirme yöntemleri kullanılmıştır [32]. Bu doğrultuda, HTEA, güçlü tespit, sınıflandırma, analiz ve risk hesaplama kabiliyeti ve metodolojik sadeliği ile bu yöntemler arasında son derece önemli bir yere sahiptir [28]. HTEA'nın temel amacı, bir sistem için olası hataları tespit etmeye dayanmaktadır. Ayrıca hangi arızaların daha önce ele alınması gerektiğini belirtmek için çeşitli hata türlerinin olasılığını, sonuçlarını ve tespit edilebilirliği üzerine değerlendirme sağlamaktadır [32].

Literatüre göre HTEA yöntemini bazı temel adımlara bölmek mümkündür: Sistem bileşenlerini tespit et, Sistem hata türleri, nedenleri ve etkileri ortaya koy, Her hata türü için bir O (Oluşma sıklığı) puanı ata, Her hata türü için bir Ş (Şiddet) puanı ata, Her hata türü için bir T (Tespit edilebilirlik) puanı ata, Risk önceliği sayılarını hesapla [33].

Bu çalışmada O, Ş, T ve RÖS skorları hesaplanarak risk parametreleri ortaya konmuştur. Kinistin sandığı filtresi ve soğutma sistemlerindeki kirlenme probleminin olası hata türleri, hata nedenleri ve hata etkileri HTEA yöntemi ile analiz edilmiştir. RÖS değeri, Denklem (1)'de gösterildiği gibi O, Ş ve T puanlarının çarpılmasıyla elde edilmiştir.

$$RÖS = O \times \text{Ş} \times T \quad (1)$$



Şekil 1. Gemi deniz suyu soğutma sistemi (Ship sea water cooling system)

2.3. Bulanık HTEA Yöntemi (Fuzzy FMEA Method)

HTEA, hata türleri üzerinden analiz yaptığından dolayı makine kaynaklı risk analizi konusunda son derece başarılıdır. Diğer bir yandan HTEA akademik çalışmalarda yaygın olarak tercih edilen yöntem olmasına rağmen, çarpımsal kümeleme kullanan karakteristik risk puanlama yaklaşımlarına yönelik önemli eleştiriler bulunmaktadır [34,35]. HTEA'nın ön plana çıkan dezavantajları şu şekilde sıralanmaktadır:

- O, Ş ve T parametresindeki minimal değişiklikler, diğer faktörlere bağlı olarak risk öncelik sayısı üzerinde büyük etkilere sahip olmaktadır.
- Farklı O, Ş, T puanlarının eşit bir RÖS değeri üretme potansiyeli bulunmaktadır. Örneğin 4, 2, 5 ve 2, 2, 10 durumlarındaki hesaplama aynı risk öncelik sayısı olan 40 değerine sahiptir.
- HTEA yaklaşımında girdi faktörleri arasındaki dolaylı ilişkiler dikkate alınmamakta, sadece bu faktörlerin çarpılmasıyla risk sayısı hesaplanmaktadır.
- Klasik HTEA yönteminde girdiler sayısal olarak yeterince tanımlanamamaktadır.

Bu eksiklikler nedeniyle bulanık mantıkla desteklenen HTEA yöntemi son yıllarda sıklıkla kullanılmaktadır. İlk defa 1965 yılında Zadeh dilsel ve sayısal verilerin entegrasyonuna izin veren Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) kavramını ortaya koymuştur [36]. Bulanık mantık tarihsel süreçte uzun yıllardır kullanılan klasik mantık yaklaşımını reddetmekte ve klasik mantığın temel unsuru olan 1 ve 0 mantığı dışında hareket etmektedir. Bulanık mantığa göre, iki değerli bu sistem yerine bir kümeye farklı mertebelerden üye olabileceğini öne sürülmektedir [37,38]. Bulanık küme altındaki her bir elemanın belirli bir üyelik derecesi olurken bu üyelik durumu matematiksel olarak $\mu(x)$ ile gösterilmektedir. X boş olmayan bir küme olmak kaydıyla. X' teki bulanık küme A, üyelik fonksiyonu ile karakterize edilir: $\mu_A: X \rightarrow [0, 1]$ ve $\mu_A(x)$ her $x \in X$ için bulanık A kümesindeki x öğesinin üyelik derecesi olarak tanımlanmaktadır. A ise $A = \{(u, \mu_A(x)) | u \in X\}$ kümesi tarafından belirlenmektedir. Burada $\mu_A(x)$ yerine sıklıkla literatürde $A(x)$ kullanılmaktadır. X' teki tüm bulanık kümelerin ailesi F(X) ile gösterilmektedir. $X = (x_1, \dots, x_n)$ sonlu bir küme ise ve A, X' te bir bulanık küme ise, genellikle Denklem (2)'de yer alan formül kullanılmaktadır.

$$A = \frac{\mu_1}{x_1} + \dots + \frac{\mu_n}{x_n} \quad (2)$$

Burada μ_i / x_i terimi, $i = 1, \dots, n$, μ_i 'nin A içerisindeki x_i 'nin üyelik derecesi olduğunu belirtmektedir. Diğer bir yandan literatürde farklı tipte üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır. Bu çalışmada risk çalışmalarında sıklıkla tercih edilen "Gaussian" üyelik fonksiyonu

kullanılmıştır. "Gaussian" üyelik fonksiyonun matematiksel ifadesi Denklem (3)'de yer almaktadır.

$$\mu_A(x) = e^{-((x-m)^2)/(2\sigma^2)} \quad (3)$$

Yine burada $\mu_A(x)$, x değişkeninin üyelik fonksiyonunu ifade etmektedir. Üyelik fonksiyonun dört elemanı teorik olarak s, t, u ve v olarak belirtilir. Burada m ve σ sırasıyla ortalama ve standart sapma olarak tanımlanmaktadır [39].

Son olarak bulanık mantığın çıkarım mekanizması için gerekli olan kural tabanı Eğer-İse Kuralları (If-Then Rules) adı verilen kural tabanı yardımıyla oluşturulmaktadır. Kural tabanına ait formülün genel ifadesi Denklem (4)'de yer almaktadır [40].

Ri: Eğer o eşittir Oi ve ş eşittir Şi ve t eşittir Ti ise RÖS eşittir Ri $i=1, 2, \dots, K$ (4)

Burada Ri: kural numarası; o, ş ve t: öncül değişkenler; K: toplam kural sayısı; Oi, Şi, Ti ve Ri: giriş bulanık kümeleri; RÖS ise sonuç değişkenidir.

3. RİSK ANALİZİ UYGULAMASI (RISK ANALYSIS APPLICATION)

HTEA adımlarına göre öncelikle soğutma sistemi bileşenleri tanımlanmıştır. Kinistin sandığı kirlenmesi probleminde kaynaklanan soğutma sisteminin hata türleri, sebepleri ve etkileri listelenmiştir. Hata türleri, puanları ve önceliklendirmeleri, RÖS puanları yardımıyla belirlenmektedir. O, Ş ve T puanları 1'den 10'a kadar sayısal derecelendirmelere sahiptir. Çizelge 1, 2 ve 3, O, Ş ve T faktörlerini ölçmek için kullanılan ölçekleri göstermektedir [41].

Çizelge 1. Oluşma olasılığı ölçeği (Occurance scale)

Puan	Oluşma Sıklığı	Olası Hata Oranı
10	Çok yüksek	$\geq 1/2$
9	Çok yüksek	1/10
8	Yüksek	1/20
7	Yüksek	1/100
6	Orta	1/200
5	Orta	1/1000
4	Orta	1/2000
3	Düşük	1/10000
2	Düşük	1/20000
1	Uzak	$\leq 1/20000$

Çizelge 2. Şiddet ölçeği (Severity scale)

Puan	Şiddet
10	Çok yüksek
9	Çok yüksek
8	Yüksek
7	Yüksek
6	Orta
5	Orta
4	Orta
3	Düşük
2	Düşük
1	Uzak

Çizelge 3. Tespit edilebilirlik ölçeği (Detectability scale)

Puan	Tespit Edilebilirlik	Tespit olasılığı (%)
10	Çok yüksek	0-5
9	Çok yüksek	6-15
8	Yüksek	16-25
7	Yüksek	26-35
6	Orta	36-45
5	Orta	46-55
4	Orta	56-65
3	Düşük	66-75
2	Düşük	76-85
1	Uzak	86-100

Gemi kinistin sandığına ait tıkanma problemine ilişkin HTEA uygulama aşaması için ilk olarak her bir hata türü tespit edilip HT001, HT002, HT003 şeklinde kodlara ayrılmıştır. Daha sonra hata türünün yer aldığı alt bileşenler gruplanmıştır. Son olarak her bir koda karşılık gelen hatanın sebebi ve olası sonuçları listelenmiştir. Çizelge 4’de gemi kinistin sandığı tıkanıklığına ait hata kodları, bileşenleri, türleri, neden ve sonuçları görülmektedir [42].

Çizelge 4. Gemi kinistin sandığı hata türleri (Sea chest failure modes)

Hata Kodu	Bileşen	Hata Türü	Neden	Sonuç
HT001	Kinistin Filtresi	Giriş ve çıkış arasında yüksek basınç farkı	Kinistin sandığı kirliliği	Deniz suyu hattında düşük deniz suyu basıncı
HT002	Deniz Suyu Pompası	Düşük çıkış basıncı	Düşük emme basıncı	Düşük deniz suyu debisi
HT003	Tatlı Su Isı Değişiricisi	Yüksek deniz suyu sıcaklığı	Düşük deniz suyu debisi	Merkezi tatlı su sisteminin yüksek düşük sıcaklık tatlı su (LTFW) sıcaklığı

Çizelge 4. (Devamı)

HT004	Tatlı Su Isı Değişiricisi	Yüksek LTFW sıcaklığı	Düşük deniz suyu debisi	Merkezi tatlı su sisteminin ana makine ve yardımcı makine bileşenlerinin sıcaklık arızaları
HT005	Ana Makine	Yüksek skavenç havası sıcaklığı	Yüksek LTFW sıcaklığı	Silindirlerin yüksek egzoz sıcaklığı ve egzoz sıcaklık fark değerlerinde sapmalar, daha düşük yanma verimi, ana makine acil yavaşlama aktivasyonu, skavenç yangını
HT006	Ana Makine	Yüksek yağlama yağı sıcaklığı	Yüksek LTFW sıcaklığı	Yüksek ana yatak sıcaklığı, ana makine acil yavaşlama aktivasyonu, ana makine acil kapama aktivasyonu, karter patlaması, düşük yağlama verimliliği, düşük yağlama verimliliği nedeniyle olası uzun vadeli arızalar
HT007	Ana Makine	Yüksek ceket suyu sıcaklığı	Yüksek LTFW sıcaklığı	Ana makine acil yavaşlama aktivasyonu, yüksek ceket suyu soğutma suyu sıcaklığı ve makine parçalarında malzeme hasarı

Çizelge 4. (Devamı)

HT008	Tatlı Su Üreticisi	Düşük deniz suyu debisi	Tıkanmış kinistin sandığı filtresi	Yetersiz tatlı su üretimi
HT009	Şaft Kovanı	Yüksek yağ sıcaklığı	Yüksek LTFW sıcaklığı ₁	Şaft kovanı yüksek sıcaklığı, düşük yağ viskozitesi, şaft kovanında yağ kaçağı
HT010	Dizel Jeneratör	Yüksek yağlama yağı sıcaklığı	Yüksek LTFW sıcaklığı ₁	Yağın aşırı ısınması, jeneratör acil durdurma aktivasyonu, Geminin elektrik enerjisinden mahrum kalarak kararması, düşük yağ viskozitesi, düşük yağlama verimliliği, düşük yağlama verimliliği nedeniyle olası uzun vadeli arızalar
HT011	Dizel Jeneratör	Yüksek skavenç havası sıcaklığı	Yüksek LTFW sıcaklığı ₁	Yüksek egzoz sıcaklığı, egzoz sıcaklıkları arası yüksek sapmalar, daha düşük yanma verimi, jeneratör acil durdurma aktivasyonu
HT012	Dizel Jeneratör	Yüksek tatlı su (FW) sıcaklığı	Yüksek LTFW sıcaklığı ₁	Jeneratör acil durdurma aktivasyonu, aşırı sıcaklık ve makine parçalarında malzeme hasarı

Çizelge 4. (Devamı)

HT013	Kazan	Yetersiz buhar yoğunlaşma verimliliği	Düşük deniz suyu debisi	Kazan besleme suyu pompası arızası, kazanın kapatma fonksiyonu, yakıt besleme sistemi arızası, yakıt ayrıştırma sistemi arızası
HT014	Yangın Pompası	Düşük çıkış basıncı ve debisi	Düşük emme basıncı	Acil durumda kullanılmayan arızalı yangın söndürme ekipmanı
HT015	Basınçlı Hava Kompresörü	Ekipman yüksek çalışma saati	Yüksek LTFW sıcaklığı ₁	Basınçlı hava kompresörünün yüksek sıcaklığı, düşük hava basıncı, daha düşük sıkıştırma verimliliği, olası kompresör arızası, ana makine ilk hareket havası sisteminin arızası, kontrol hava basıncı ve desteklediği sistemlerin (pnömatik kontrol sistemleri) arızası

Yukarıda yer alan çizelge ışığında her bir hata türüne ait O, Ş ve T puanları çalışmaya katılan 10 adet denizcilik uzmandan temin edilmiştir. Çalışmaya katılan uzmanlar gemi tecrübesine sahip, uzakyol gemi makine mühendislerinden seçilmiştir. Uzman seçiminde ağırlıklı olarak en az uzakyol ikinci mühendisi ve uzakyol başmühendisi yeterliliğindeki gemi adamları tercih edilmiştir. Mevcut 10 uzmandan temin edilen puanlar, her bir hata türüne ait O, Ş ve T kriterleri için toplanarak

elde edilen toplam uzman sayısına bölünmüş ve aritmetik ortalama elde edilmiştir. Ortalama O, Ş ve T değerleri aşağıda yer alan Denklem (5), Denklem (6) ve Denklem (7) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$O_{ortalama} = \frac{\sum y_i}{N_E} \quad (5)$$

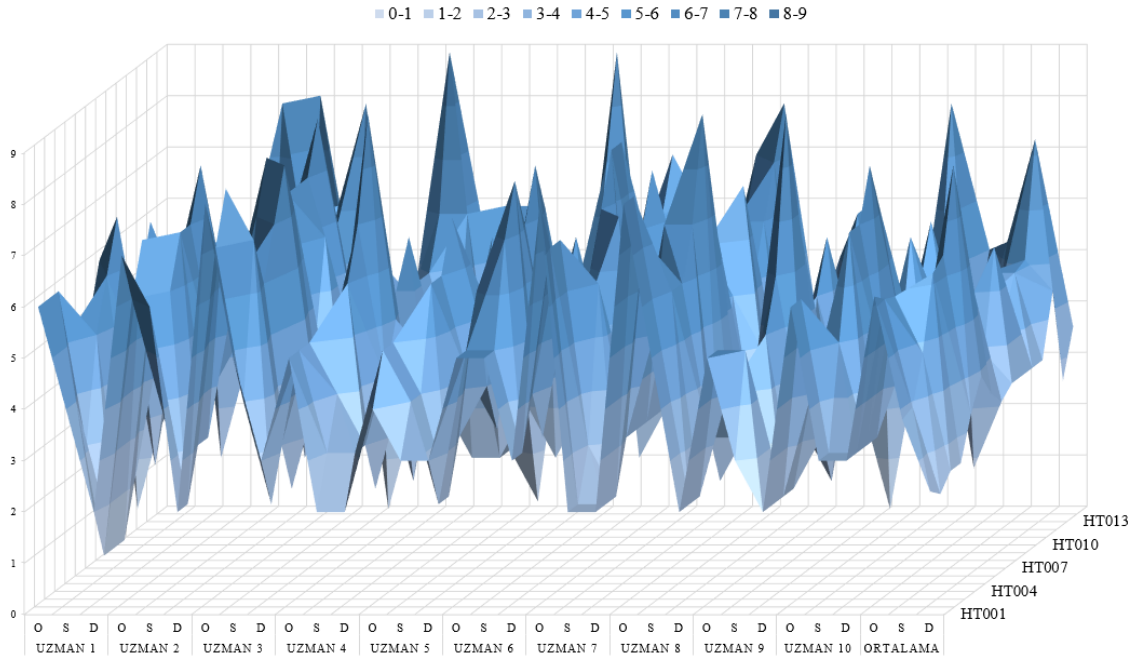
$$\text{Ş}_{ortalama} = \frac{\sum y_i}{N_E} \quad (6)$$

$$T_{ortalama} = \frac{\sum y_i}{N_E} \quad (7)$$

Yukarıda yer alan $O_{ortalama}$, $\text{Ş}_{ortalama}$, and $T_{ortalama}$ uzmanların verdiği puanların aritmetik ortalamasını ifade etmektedir. $\sum y_i = y_1 + y_2 + \dots + y_{NE}$, on adet uzmanın verdiği puanların toplamını ifade etmektedir. Denklemde yer alan N_E çalışmaya katılan uzman sayısını ifade etmekte olup bu çalışma için 10 değerine eşittir. Örneğin, HT009 hata koduna ait T kriteri için 10 uzmana ait puanlar E1-3, E2-5, E3-3, E4-3, E5-2, E6-3, E7-4, E8-4, E9-3, E10-3 şeklindedir. Bu puanların toplamı 33 olup, Denklem (7)'ye göre ortalama değer, 3.30 olarak elde edilir. Çalışmaya ait her bir hata türünün O, Ş ve T puanı ve ortalama değeri Çizelge 5'de görülmektedir. Çizelge 5'de verilen değerlerin görselleştirilmiş hali ise Şekil 2'de verilmiştir.

Çizelge 5. Hata türlerine ait puanlar (Failure mode scores)

Uzmanlar		Hata Türü														
		001	002	003	004	005	006	007	008	009	010	011	012	013	014	015
Uzman 1	O	6	6	6	5	4	5	6	6	3	5	5	6	4	5	4
	Ş	4	4	3	5	6	7	5	1	2	4	2	3	4	5	2
	T	2	1	1	1	2	4	2	3	3	3	2	2	5	2	3
Uzman 2	O	7	6	7	6	5	5	6	7	6	5	6	6	5	5	4
	Ş	6	4	6	7	7	8	6	2	3	6	4	5	4	8	3
	T	2	2	3	3	4	5	4	4	5	5	6	6	6	3	8
Uzman 3	O	8	7	8	6	5	7	8	6	7	7	8	5	6	5	5
	Ş	5	4	7	6	7	8	7	2	4	6	4	5	4	8	5
	T	3	2	3	2	3	4	3	3	3	3	3	3	5	2	2
Uzman 4	O	5	5	5	4	3	3	4	5	3	3	3	4	4	4	4
	Ş	2	3	4	6	7	9	6	1	3	6	5	5	6	9	5
	T	2	3	3	2	4	5	4	3	3	3	3	3	6	4	5
Uzman 5	O	4	5	5	4	2	3	4	3	3	3	3	3	2	6	4
	Ş	3	4	4	6	6	7	6	2	4	6	5	5	4	6	5
	T	3	2	2	3	4	5	5	2	2	3	3	3	5	2	2
Uzman 6	O	5	5	6	4	3	5	5	3	1	4	4	4	3	4	3
	Ş	5	5	7	8	7	8	7	2	5	6	4	5	7	9	6
	T	3	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	5	3	2
Uzman 7	O	8	7	7	6	5	6	7	8	8	6	6	7	6	7	6
	Ş	2	2	3	6	4	7	4	2	4	5	4	5	4	6	4
	T	2	2	2	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	2	3
Uzman 8	O	8	8	7	5	7	6	7	6	6	5	5	6	6	7	7
	Ş	5	5	6	6	7	9	7	3	5	7	5	6	7	8	6
	T	2	2	2	3	2	3	3	3	4	3	3	3	3	2	3
Uzman 9	O	5	5	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	5	5
	Ş	3	5	3	5	6	9	7	2	5	6	5	5	6	6	5
	T	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2
Uzman 10	O	6	6	4	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3
	Ş	3	3	5	7	7	8	7	1	4	6	5	6	5	8	5
	T	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	5
Ortalama	O	6.20	6.00	5.90	4.60	3.90	4.60	5.30	5.10	4.30	4.40	4.50	5.00	4.20	5.30	4.50
	Ş	3.80	3.90	4.80	6.20	6.40	8.00	6.20	1.80	3.90	5.80	4.30	5.00	5.10	7.30	4.60
	T	2.40	2.20	2.50	2.50	3.30	3.90	3.40	3.10	3.30	3.30	3.30	3.30	4.50	2.60	3.50



Şekil 2. Hata türlerine ait uzman puanları (Expert scores of the failure modes)

Uzman puanları ve ortalama O, Ş ve T değerlerinin hesaplanmasının ardından her bir hata türü için Denklem (1) kullanılarak RÖS değerleri hesaplanmıştır. Yürütülen analize ilişkin RÖS hesaplamaları Çizelge 6'da görülmektedir.

Çizelge 6. Hata türlerine ait hesaplanan RÖS değerleri (RPN values of the failure modes)

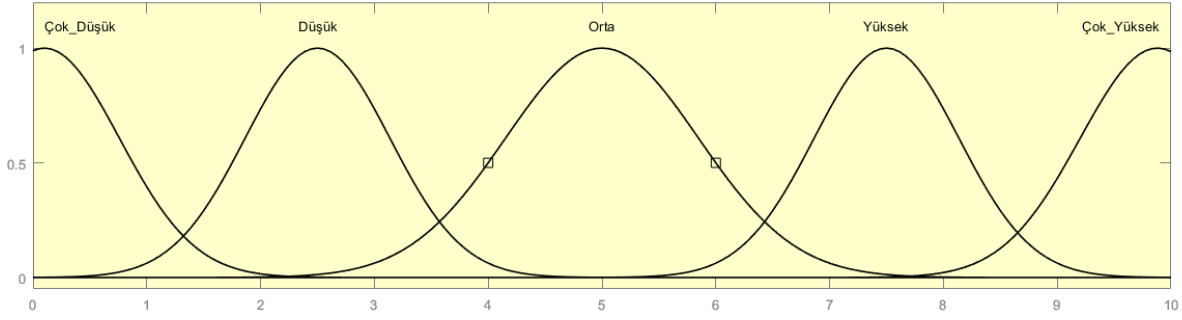
Hata Kodu	Bileşen	Hata Türü	RÖS
HT001	Kinistin Filtresi	Giriş ve çıkış arasında yüksek basınç farkı	56.54
HT002	Deniz Suyu Pompası	Düşük çıkış basıncı	51.48
HT003	Tatlı Su Isı Değiştiricisi	Yüksek deniz suyu sıcaklığı	70.80
HT004	Tatlı Su Isı Değiştiricisi	Yüksek LTFW sıcaklığı	71.30
HT005	Ana Makine	Yüksek skavenç havası sıcaklığı	82.36
HT006	Ana Makine	Yüksek yağlama yağı sıcaklığı	143.52
HT007	Ana Makine	Yüksek ceket suyu sıcaklığı	111.72
HT008	Tatlı Su Üreticisi	Düşük deniz suyu debisi	28.45
HT009	Şaft Kovanı	Yüksek yağ sıcaklığı	55.34

Çizelge 6. (Devamı)

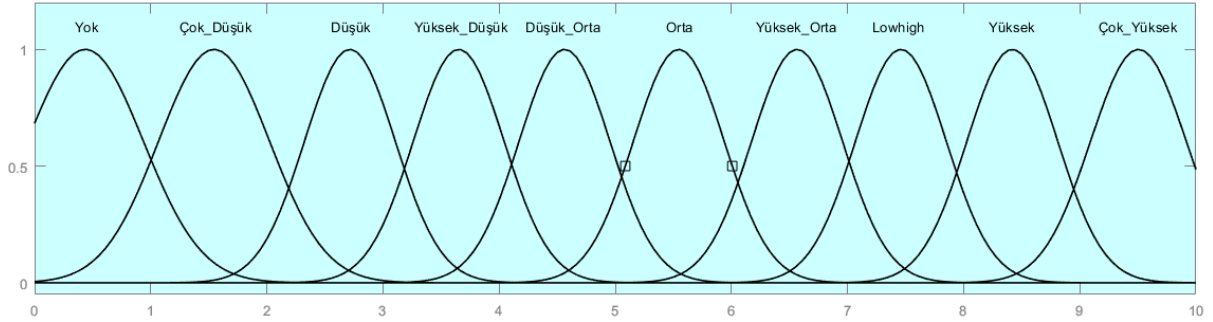
HT010	Dizel Jeneratör	Yüksek yağlama yağı sıcaklığı	84.21
HT011	Dizel Jeneratör	Yüksek skavenç havası sıcaklığı	63.85
HT012	Dizel Jeneratör	Yüksek tatlı su (FW) sıcaklığı	82.50
HT013	Kazan	Yetersiz buhar yoğunlaşma verimliliği	96.39
HT014	Yangın Pompası	Düşük çıkış basıncı ve debisi	100.59
HT015	Basınçlı Hava Kompresörü	Yüksek ekipman çalışma saati	72.45

Klasik HTEA yönteminin eksikliklerinden dolayı bu çalışmada ayrıca Bulanık HTEA yöntemiyle risk analizi yürütülmüştür. Bu çalışmada literatürde sıklıkla kullanılan 5'li girdi üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. O, Ş ve T değerleri için kullanılan çalışmaya ait girdi üyelik fonksiyonu Şekil 3'de görülmektedir.

Çalışmanın BRÖS değeri çıktı fonksiyonunu oluşturmaktadır ve 10'lu üyelik fonksiyonu ile gösterilmektedir. Şekil 4'de çalışmanın çıktı üyelik fonksiyonu görülmektedir.

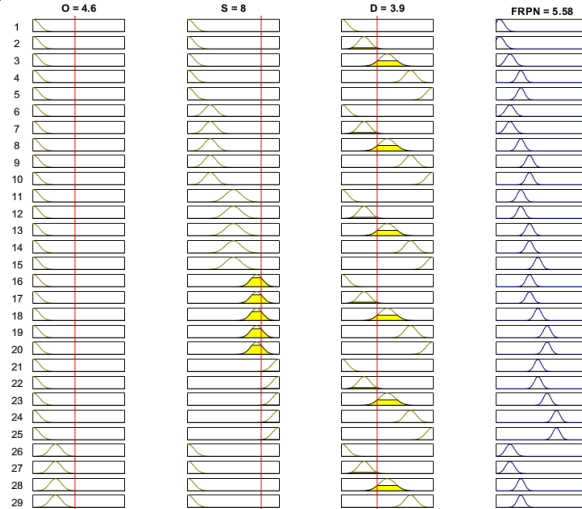


Şekil 3. Girdi üyelik fonksiyonları (Input membership functions)



Şekil 4. Çıktı üyelik fonksiyonu (Output membership function)

Çalışmada 3 adet girdi bulunmakta olup bu girdiler 5 seviyeli üyelik fonksiyonları ile temsil edilmiştir. Bu sebepten 125 kural (5x5x5) tanımlanarak çıkarım mekanizmasına girilmiştir [43,44]. Burada kural tabanı olarak daha önceki çalışmalardan faydalanılmıştır. Girdi ve çıktı üyelik fonksiyonlarının yanı sıra çalışmaya ait sınırlayıcı kurallar belirlenmiş ve mamdani çıkarım mekanizması ile matematiksel ağırlık merkezi (COG) durulaştırma yöntemleri kullanılmıştır. Bulanık HTEA yapısının oluşturulmasından sonra uzmanlara ait ortalama O, Ş ve T değerleri “Matlab Fuzzy Logic Designer” uygulamasına girilmiş ve BRÖS çıktıları elde edilmiştir. O değeri 4.6, Ş değeri 8 ve T değeri 3.9 olan bir hata türüne ait örnek bir hesaplama Şekil 5’de görülmektedir.



Şekil 5. Örnek bir BRÖS hesaplaması (Sample FRPN result)

Çalışmada yer alan diğer hata türlerine ait tüm BRÖS hesaplamaları Çizelge 7’de görülmektedir.

Çizelge 7. Hata türlerine ait hesaplanan BRÖS değerleri (FRPN values of the failure modes)

Hata Kodu	Bileşen	Hata Türü	BRÖS
HT001	Kinistin Filtresi	Giriş ve çıkış arasında yüksek basınç farkı	4.58
HT002	Deniz Suyu Pompası	Düşük çıkış basıncı	4.51
HT003	Tatlı Su Isı Değiştiricisi	Yüksek deniz suyu sıcaklığı	4.64
HT004	Tatlı Su Isı Değiştiricisi	Yüksek LTFW sıcaklığı	4.80
HT005	Ana Makine	Yüksek skavenç havası sıcaklığı	4.81
HT006	Ana Makine	Yüksek yağlama yağı sıcaklığı	5.58
HT007	Ana Makine	Yüksek ceket suyu sıcaklığı	4.89
HT008	Tatlı Su Üreticisi	Düşük deniz suyu debisi	3.58
HT009	Şaft Kovanı	Yüksek yağ sıcaklığı	4.59
HT010	Dizel Jeneratör	Yüksek yağlama yağı sıcaklığı	4.78

Çizelge 7. (Devamı)

HT011	Dizel Jeneratör	Yüksek skavenç havası sıcaklığı	4.74
HT012	Dizel Jeneratör	Yüksek tatlı su (FW) sıcaklığı	4.81
HT013	Kazan	Yetersiz buhar yoğunlaşma verimliliği	5.47
HT014	Yangın Pompası	Düşük çıkış basıncı ve debisi	5.51
HT015	Basınçlı Hava Kompresörü	Yüksek ekipman çalışma saati	4.94

4. TARTIŞMA (DISCUSSION)

İnsan kaynaklı kirlenmelerin son zamanlarda dünya denizlerinde yoğunluğunun artması, deniz taşımacılığı için büyük bir tehdit oluşturmaktadır [45]. Buna ek olarak, sabit ve hareketli deniz canlıları, kinistin sandıklarından soğutma suyu ile birlikte alındığında filtrenin kirlenmesine neden olarak, geminin soğutma suyu sisteminin verimini düşürmektedir. Kinistin sandıkları geminin soğutma suyu sistemi için son derece önemli olduğundan burada yaşanacak bir tıkanıklık geminin ana makine gücünden mahrum kalmasına kadar gidebilecek büyük riskler barındırmaktadır. Artan deniz kirliliği ise gemi kinistin sandıklarının tıkanma riskini artırmaktadır.

Deniz kirliliğinin gizli tehlikesi olan gemi kinistin sandığı tıkanıklığı, bu yönüyle son derece önemlidir. Bu motivasyon ile bu çalışmada kinistin sandığı kirliliğinin etkileyebileceği gemi sistemleri ortaya konularak, hata türleri oluşturulmuştur. Hata türlerine ilişkin neden ve sonuçlar tespit edildikten sonra her bir hata türü için çalışmaya katılan uzmanların verdiği O, Ş ve T skorları yardımıyla RÖS ve BRÖS değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada hem Klasik hem de Bulanık HTEA yöntemleri kullanılmış olup, analiz sonrasında Çizelge 8’de gösterilen sıralama oluşturulmuştur.

Bulgulara göre, Klasik ve Bulanık HTEA sonuçları arasında farklılıklar ortaya çıkmıştır. Klasik HTEA yaklaşımına göre HT006 - Ana Makine Yüksek Yağlama Yağı Sıcaklığı 143.52 RÖS ile ilk sırada yer almıştır. İkinci sırada 111.72 RÖS ile HT007 - Ana Makine Yüksek Ceket Suyu Sıcaklığı bulunmaktadır. Üçüncü sırada, HT014 - Yangın Pompası Düşük Çıkış Basıncı ve Debisi 100.59 RÖS puanı ile bulunmaktadır. HT013 - Kazan Yetersiz Buhar Yoğuşma Verimliliği 96.39 RÖS ile dördüncü sıradadır. HT010 - Dizel Jeneratör Yüksek Yağ Sıcaklığı 84.21 RÖS ile beşinci sırada yer almıştır. Bu şekilde RÖS puanlarına göre 15 hata türü sıralanmıştır. Şekil 6’de her bir hata kodu ve kodun ait olduğu makine bileşenine ait RÖS puanı büyüklükleri temel alınarak oluşturulan alan grafiği yer almaktadır.

Çizelge 8. Hata türlerine ait risk öncelik sıralaması (Risk priority ranking of the failure modes)

Hata Kodu	Bileşen	Hata Türü	RÖS	RÖS Sıra	BRÖS	BRÖS Sıra
HT006	Ana Makine	Yüksek yağlama yağı sıcaklığı	143.52	1	5.58	1
HT007	Ana Makine	Yüksek ceket suyu sıcaklığı	111.72	2	4.89	5
HT014	Yangın Pompası	Düşük çıkış basıncı ve debisi	100.59	3	5.51	2
HT013	Kazan	Yetersiz buhar yoğunlaşma verimliliği	96.39	4	5.47	3
HT010	Dizel Jeneratör	Yüksek yağlama yağı sıcaklığı	84.21	5	4.78	9
HT012	Dizel Jeneratör	Yüksek tatlı su (FW) sıcaklığı	82.5	6	4.81	7
HT005	Ana Makine	Yüksek skavenç havası sıcaklığı	82.36	7	4.81	6
HT015	Basınçlı Hava Kompresörü	Yüksek ekipman çalışma saati	72.45	8	4.94	4
HT004	Tatlı Su Isı Değiştiricisi	Yüksek LTFW sıcaklığı	71.3	9	4.8	8
HT003	Tatlı Su Isı Değiştiricisi	Yüksek deniz suyu sıcaklığı	70.8	10	4.64	11
HT011	Dizel Jeneratör	Yüksek skavenç havası sıcaklığı	63.85	11	4.74	10
HT001	Kinistin Filtresi	Giriş ve çıkış arasında yüksek basınç farkı	56.54	12	4.58	13
HT009	Şaft Kovanı	Yüksek yağ sıcaklığı	55.34	13	4.59	12
HT002	Deniz Suyu Pompası	Düşük çıkış basıncı	51.48	14	4.51	14
HT008	Tatlı Su Üreticisi	Düşük deniz suyu debisi	28.45	15	3.58	15



Şekil 6. Gemi kinistin sandığı tıkanıklığına ait RÖS sonuçları (Clogged sea chest RPN results)

Çalışmanın önceki kısımlarında belirtilen gerekçelerden dolayı, bu çalışmada Klasik HTEA yöntemine ek olarak Bulanık HTEA yöntemi ayrıca kullanılmıştır. Elde edilen bulgular Klasik HTEA'dan farklı olup ilk beş faktör için şu şekilde bir sıralama oluşmuştur. HT006 - Ana Makine Yüksek Yağlama Yağı Sıcaklığı 5.58 BRÖS ile ilk sırada yer almıştır. İkinci sırada 5.51 BRÖS ile HT014 - Yangın Pompası Düşük Çıkış Basıncı ve Debisi bulunmaktadır. Üçüncü sırada, HT013 - Kazan Yetersiz Buhar Yoğuşma Verimliliği 5.47 BRÖS puanı ile yer almaktadır. HT015 - Basınçlı Hava Kompresörü Yüksek Ekipman Çalışma Saati 4.94 BRÖS ile dördüncü sıradadır. HT007 - Ana Makine Yüksek Ceket Suyu Sıcaklığı 4.89 BRÖS ile beşinci sırada yer almıştır. Şekil 7'de her bir hata kodu ve kodun ait olduğu makine bileşenine ait BRÖS puanı büyüklükleri temel alınarak oluşturulan alan grafiği yer almaktadır.

Elde edilen bulgulara göre ana makine yağlama yağı ve ceket soğutma sistemlerinin arızaları yüksek RÖS ve BRÖS değerlerine sahiptir. Bu iki alt sistemin ana makinenin işleyişi üzerinde büyük etkisi vardır. Bu sistemlerde yaşanacak bir sorun neticesinde ana makine koruma sistemi tarafından yavaşlatılacak ve durdurulacak, dolayısı ile gemi manevra kabiliyetinden mahrum kalacaktır. Diğer bir yandan, yüksek yağ sıcaklığı, yüksek ana yatak sıcaklığına, karter patlamasına ve düşük yağlama verimliliğine neden olarak olası kısa ve uzun vadeli, yüksek maliyetli makine

arızalarına neden olacaktır. Dolayısıyla, geminin yağlama ve soğutma sistemlerinde yaşanacak problemler geminin, çarpma, çatışma, karaya oturma, yangın ve patlama gibi çok büyük riskler ile yüzleşmesi durumunu doğuracaktır. Ayrıca Türk Boğazları gibi dar kanallardan geçiş sırasında, kritik bir arıza olması durumunda müdahale süresi kısıtlı olduğundan, yaşanacak felaketin boyutu da artacaktır.

Diğer bir yandan gemi ana makinesi ve dizel jeneratörler için hem ilk hareket hem de operasyon süreçlerinin sağlıklı şekilde yürütülmesini sağlayan ve basınçlı hava sistemini besleyen gemi kompresörleri geminin manevra süreci içi son derece önemlidir. Burada yaşanacak bir arıza geminin ana makine ve jeneratör gücünden mahrum kalması ile sonuçlanan büyük problemlerle dönüşecektir. Başka bir gemi yardımcı makinesi olan kazan sisteminde üretilen buhar, geminin pek çok kısmında kullanılmaktadır. Kazanlarda yaşanan bir problem doğrudan gemi yakıt sistemini devre dışı bırakacağından, tıpkı soğutma suyu ve yağlama yağı sistemlerinde olduğu gibi gemi ana makinesinin devre dışı kalması riski oluşacaktır.

Gemilerde genellikle iki adet kinistin sandığı ve filtresi bulunması mevcut riskleri azaltmak adına önemlidir. Bu filtrelerden bir tanesi her zaman temiz olarak kullanıma hazır olarak bekletilmeli ve kirlilik durumunda devreye alınmalıdır. Fakat yoğun kirli sularda kinistin filtrelerinin kirlenmesi çok kısa sürede gerçekleştiğinden, gerekli

müdahale şansı azalmaktadır. Özellikle manevra veya boğaz geçişi gibi kritik operasyonlarda, bu durum mühendisler için zorlayıcı olmakta ve yedek temiz kinistin filtresinin bulunmadığı durumlarda büyük riskler oluşmaktadır. Ek olarak, sık yapılan kinistin filtre temizliği, kritik gemi operasyonları sırasında makine personelini meşgul ederek diğer operasyonlara odaklanmalarını engellemekte ve diğer ekipman ve sistemler üzerinde oluşabilecek hataları tetiklemektedir.

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışma, gemiye ait kinistin filtresinin tıkanıklığı durumunda ortaya çıkabilecek problemleri detaylı bir şekilde incelemiş ve hem Klasik hem de Bulanık HTEA yöntemleri ile her bir hata türüne ait RÖS - BRÖS hesaplamalarını gerçekleştirmiştir. Elde edilen bulgular, deniz kirliliğinin gizli tehlikesi olan kinistin sandığı tıkanıklığının, yalnızca bir filtrenin kirlenmesinden öte, geminin manevra kabiliyetinin kaybı gibi daha karmaşık ve ciddi süreçleri içerdiğini göstermektedir. Ayrıca araştırma, tıkanıklığın yalnızca geminin ana makinesine değil, aynı zamanda birçok alt sistemine ve genel operasyonel faaliyetlerine kısa ve uzun vadede çeşitli etkilerinin olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, deniz kirliliğinin görünmeyen etkilerinin ciddiyetini vurgulamakta ve denizcilik paydaşlarına bu konuda önleyici tedbirler alma gerekliliğini hatırlatmaktadır. İlerleyen çalışmalarda, deniz kirliliğinin etkilediği diğer gemi makine sistemleri üzerinde de detaylı araştırmalar

yapılması planlanmaktadır. Böylece, denizcilik sektöründe risk, sürdürülebilirlik ve çevre konularında daha bilinçli ve etkin stratejiler geliştirilmesi hedeflenmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Çalışmanın pek çok noktasında katkı sunan denizcilik uzmanlarına teşekkür ederim.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Bulut Ozan CEYLAN: Modeli oluşturmuş, risk analizini yapmış ve sonuçları analiz etmiştir. Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

ÇIKAR ÇATIŞMASININ BEYANI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.



Şekil 7. Gemi kinistin sandığı tıkanıklığına ait BRÖS sonuçları(Clogged sea chest FRPN results)

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Ceylan, B. O., Karatug, Ç., Akyuz, E., Arslanoğlu, Y., & Boustras, G., “A system theory (STAMP) based quantitative accident analysis model for complex engineering systems”, *Safety science*, 166: 106232, (2023).
- [2] Theotokatos, G., Sfakianakis, K., & Vassalos, D., “Investigation of ship cooling system operation for improving energy efficiency”, *Journal of Marine Science and Technology*, 22: 38-50, (2017).
- [3] Koroglu, T., & Sogut, O. S., “Developing criteria for advanced exergoeconomic performance analysis of thermal energy systems: Application to a marine steam power plant”, *Energy*, 267: 126582, (2023).
- [4] Chaal, M., Bahootorody, A., Basnet, S., Banda, O. A. V., & Goerlandt, F., “Towards system-theoretic risk assessment for future ships: A framework for selecting Risk Control Options”, *Ocean Engineering*, 259: 111797, (2022).
- [5] Piola, R., Grandison, C., Shimeta, J., del Frate, A., & Leary, M., “Can vessel sea chest design improve fouling control coating performance?”, *Ocean Engineering*, 256: 111426, (2022).
- [6] Coutts, A. D., & Taylor, M. D., “A preliminary investigation of biosecurity risks associated with biofouling on merchant vessels in New Zealand”, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 38(2): 215-229, (2004).
- [7] Moser, C. S., Wier, T. P., First, M. R., Grant, J. F., Riley, S. C., Robbins-Wamsley, S. H., ... & Drake, L. A., “Quantifying the extent of niche areas in the global fleet of commercial ships: the potential for “super-hot spots” of biofouling”, *Biological Invasions*, 19(6): 1745-1759, (2017).
- [8] Piola, R., & Grandison, C., “Assessments of quaternary ammonium compounds (QAC) for in-water treatment of mussel fouling in vessel internals and sea chests using an experimental seawater pipework system”, *Biofouling*, 33(1): 59-74, (2017).
- [9] <https://www.ipcc.ch/about/>, “IPCC, 2024. The intergovernmental panel on climate change”, (2024).
- [10] Frey, M. A., Simard, N., Robichaud, D. D., Martin, J. L., & Theriault, T. W., “Fouling around: vessel sea-chests as a vector for the introduction and spread of aquatic invasive species”, *Management of Biological Invasions*, 5(1): 21, (2014).
- [11] Ashton, G. V., Willis, K. J., Cook, E. J., & Burrows, M., “Distribution of the introduced amphipod, *Caprella mutica* Schurin, 1935 (Amphipoda: Caprellida: Caprellidae) on the west coast of Scotland and a review of its global distribution”, *Hydrobiologia*, 590(1): 31-41, (2007).
- [12] McDonald, J. I., “Detection of the tropical mussel species *Perna viridis* in temperate Western Australia: possible association between spawning and a marine heat pulse”, *Aquatic Invasions*, 7(4), (2012).
- [13] Pinsky, M. L., Selden, R. L., & Kitchel, Z. J., “Climate-driven shifts in marine species ranges: Scaling from organisms to communities”, *Annual review of marine science*, 12: 153-179, (2020).
- [14] Davidson, I., Cahill, P., Hinz, A., Major, R., Kluza, D., Scianni, C., & Georgiades, E., “Biofouling occlusion of ships’ internal seawater systems: operational, economic, and biosecurity consequences”, *Biofouling*, 39(4): 410-426, (2023).
- [15] Uflaz, E., Akyüz, E., Bolat, F., Bolat, P., & Arslan, Ö., “Investigation of the effects of mucilage on maritime operation”, *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 27(2): 140-153, (2021).
- [16] Usluer, H. B., “Effects of Mucilage on Safety Navigation in the Turkish Straits”, *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 9(3): 84-90, (2022).
- [17] Arndt, E., Robinson, A., Hester, S., Woodham, B., Wilkinson, P., & Gorgula, S., “Factors that influence vessel biofouling and its prevention and management”, *Final report for CEBRA Project, 190803*, (2021).
- [18] Ceylan, B. O., “Marine diesel engine turbocharger fouling phenomenon risk assessment application by using fuzzy FMEA method”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 14750902231208848, (2023).
- [19] Goerlandt, F., & Montewka, J., “Maritime transportation risk analysis: Review and analysis in light of some foundational issues”, *Reliability Engineering & System Safety*, 138: 115-134, (2015).
- [20] Yorulmaz, M., & Sezen, K., “Denizcilik Alanında Kullanılan Risk Analizi Yöntemleri ve Fine Kinney Yöntemiyle Bir Uygulama”, *Afet ve Risk Dergisi*, 6(3): 622-637, (2023).
- [21] Sakar, C., & Sokukcu, M., “Dynamic analysis of pilot transfer accidents”, *Ocean Engineering*, 287: 115823, (2023).
- [22] Tunçel, A. L., Akyuz, E., & Arslan, O., “An Extended Event Tree Risk Analysis Under Fuzzy Logic Environment: The Case of Fire in Ship Engine Room”, *Journal of ETA Maritime Science*, 9(3), (2021).
- [23] Basnet, S., “Managing risks in maritime remote pilotage using the basis of the Formal Safety Assessment”, (2023).
- [24] Tonoğlu, F., Atalar, F., Başkan, İ. B., Yildiz, S., Uğurlu, Ö., & Wang, J., “A new hybrid approach for determining sector-specific risk factors in Turkish Straits: Fuzzy AHP-PRAT technique”, *Ocean Engineering*, 253: 111280, (2022).
- [25] Aydın, M., Arici, S. S., Akyuz, E., & Arslan, O., “A probabilistic risk assessment for asphyxiation during gas inerting process in chemical tanker ship”, *Process Safety and Environmental Protection*, 155: 532-542, (2021).
- [26] Başkan, V., & Demirel, H., “Application of fuzzy dematel technique to assess most common critical operational faults of marine boilers”, *Politeknik Dergisi*, 22(3): 545-555, (2019).
- [27] Yorulmaz, M., & YEĞİN, A. O., “Liman işletmelerinde tehlikeli madde elleçlenmesine ilişkin Fine-Kinney ve FMEA yöntemleri ile risk analizi”, *R&S-Research Studies Anatolia Journal*, 6(1): 1-37, (2023).
- [28] Ceylan, B. O., “Shipboard compressor system risk analysis by using rule-based fuzzy FMEA for preventing major marine accidents” *Ocean Engineering*, 272: 113888, (2023).
- [29] Priharanto, Y. E., Yaqin, R. I., Marjianto, G., Siahaan, J. P., & Abrori, M. Z. L., “Risk assessment of the fishing vessel main engine by fuzzy-fmea approach”, *Journal of*

- Failure Analysis and Prevention*, 23(2): 822-836, (2023).
- [30] Yılmaz, F., & İlhan, M. N., "Türk Bayraklı gemilerin karıştığı deniz kazaları ve denizcilere etkilerine ilişkin bir analiz", *Gemi ve Deniz Teknolojisi*, (211): 80-95, (2018).
- [31] Çakır, E., & Kamal, B., "İstanbul Boğazı'ndaki ticari gemi kazalarının karar ağacı yöntemiyle analizi", *Aquatic Research*, 4(1): 10-20, (2020).
- [32] Liu, H. C., Liu, L., & Liu, N., "Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review", *Expert systems with applications*, 40(2): 828-838, (2013).
- [33] Karatug, Ç., Ceylan, B. O., & Arslanoğlu, Y., "A risk assessment of scrubber use for marine transport by rule-based fuzzy FMEA", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 238(1): 114-125, (2024).
- [34] Chanamool, N., & Naenna, T., "Fuzzy FMEA application to improve decision-making process in an emergency department", *Applied Soft Computing*, 43: 441-453, (2016).
- [35] Goksu, S., & Arslan, O., "A quantitative dynamic risk assessment for ship operation using the fuzzy FMEA: The case of ship berthing/unberthing operation", *Ocean Engineering*, 287: 115548, (2023).
- [36] Zadeh, L., "Fuzzy sets", *Inform Control*, 8: 338-353, (1965).
- [37] Aktas, İ. S., Memlik, T., & Sözen, A., "Akıllı bir şebekedeki risk indikatörlerinin bulanık analitik hiyerarşi prosesi ile modellenmesi", 1-1, *Politeknik Dergisi*, (2020).
- [38] Karamollaoğlu, H., Yücedağ, İ., & Dogru, İ., "Risk assessment for electricity generation management process with swara based fuzzy TOPSIS method", *Politeknik Dergisi*, 1-1, (2021).
- [39] Ahmed, S., & Gu, X. C., "Accident-based FMECA study of Marine boiler for risk prioritization using fuzzy expert system", *Results in Engineering*, 6: 100123, (2020).
- [40] Akyuz, E., Akgun, I., & Celik, M., "A fuzzy failure mode and effects approach to analyse concentrated inspection campaigns on board ships", *Maritime Policy & Management*, 43(7): 887-908, (2016).
- [41] Pillay, A., & Wang, J., "Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning", *Reliability Engineering & System Safety*, 79(1): 69-85, (2003).
- [42] Ceylan, B. O., Karatug, Ç., Ejder, E., Uyanık, T., & Arslanoğlu, Y., "Risk assessment of sea chest fouling on the ship machinery systems by using both FMEA method and ERS process", *Australian Journal of Maritime & Ocean Affairs*, 15(4): 414-433, (2023).
- [43] Balaraju, J., Raj, M. G., & Murthy, C. S., "Fuzzy-FMEA risk evaluation approach for LHD machine-A case study", *Journal of Sustainable Mining*, 18(4): 257-268, (2019).
- [44] Dağsuyu, C., Göçmen, E., Narlı, M., & Kokangül, A., "Classical and fuzzy FMEA risk analysis in a sterilization unit", *Computers & Industrial Engineering*, 101: 286-294, (2016).
- [45] Kaptan, M., Sivri, N., Blettler, M. C., & Uğurlu, Ö., "Potential threat of plastic waste during the navigation of ships through the Turkish straits", *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(8): 508, (2020).