T.C. KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
DENİZCİLİK İŞLETMELERİ VE YÖNETİMİ ANABİLİM DALI
DENİZCİLİK İŞLETMELERİ YÖNETİMİ BİLİM DALI

GEMİ OPERASYONLARINDAKİ RİSKLERİN ANALİZİ VE YÖNETİLMESİ: HİBRİT YÖNTEMLERLE HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Mert SUSOY

KOCAELİ 2025

T.C. KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
DENİZCİLİK İŞLETMELERİ VE YÖNETİMİ ANABİLİM DALI
DENİZCİLİK İŞLETMELERİ YÖNETİMİ BİLİM DALI

GEMİ OPERASYONLARINDAKİ RİSKLERİN ANALİZİ VE YÖNETİLMESİ: HİBRİT YÖNTEMLERLE HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Mert SUSOY

Doç.Dr. Murat YORULMAZ

KOCAELİ 2025

T.C. KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
DENİZCİLİK İŞLETMELERİ YÖNETİMİ ANABİLİM DALI
DENİZCİLİK İŞLETMELERİ YÖNETİMİ BİLİM DALI

GEMİ OPERASYONLARINDAKİ RİSKLERİN ANALİZİ VE YÖNETİLMESİ: HİBRİT YÖNTEMLERLE HATA TÜRLERİ VE ETKİLERİ ANALİZİ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

Tezi Hazırlayan: Mert SUSOY

Tezin Kabul Edildiği Enstitü Yönetim Kurulu ve No: 27.06.2025/26

Jüri Başkanı : Doç.Dr.Murat YORULMAZ

Jüri Üyesi : Doç.Dr. Osman ARSLAN

Jüri Üyesi : Dr.Öğr. Üyesi Altuğ YENGİNAR

KOCAELİ 2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **II**

ABSTRACT ..... **III**

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ ..... **IV**

TABLOLAR LİSTESİ ..... **VI**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **VII**

GRAFİKLER LİSTESİ ..... **VIII**

RESİMLER LİSTESİ ..... **IX**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Deniz Ulaştırması Yapısı, İşleyişi ve Faaliyetleri 3

1.2. Deniz Ulaştırmasında Gemi Operasyonları 5

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI **11**

2.1. Gemilerde Risk Analizi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar 11

2.2. Tezin Yöntemleri ile İlgili Yapılmış Çalışmalar 16

2.2.2. FMEA **16**

2.2.2. DEMATEL **17**

2.2.3. TOPSIS **18**

2.2.4. VIKOR **19**

3. YÖNTEM **21**

3.1. Bulanık Mantık ve DEMATEL 23

3.2. FMEA 25

3.3. TOPSIS 27

3.4. VIKOR 27

3.5. Spearman Korelasyon Analizi 29

4. BULGULAR **31**

4.1. BDEMATEL Bulguları 33

4.2. BFMEA Bulguları 34

4.3. BTOPSIS Bulguları 37

4.4. BVIKOR Bulguları 39

4.5. Spearman Korelasyon Analizi Bulguları 40

5. TARTIŞMA, SONUÇ VE DEĞERLENDİRME **40**

KAYNAKÇA **48**

ÖZET

Deniz taşımacılığı, ölçek ekonomisinin etkisiyle dünya tedarik zincirinin en önemli halkası pozisyonundadır. Bu durum muvacehesinde dünya ekonomisi için çok önemli olan deniz taşımacılığının can damarları olan gemilerin emniyetli operasyonlar icra etmeleri hayati öneme haizdir. Bu durum bilimsel alanda birçok akademisyeni emniyetli gemi operasyonu alanında düşüncelere itmiş ve çalışmaların ortaya çıkmasına vesile olmuştur.

Bu doğrultuda tezin amacı, gemi operasyonlarının emniyetli hale getirilebilmeleri için hibrit yöntemlerle risk faktörlerinin ortaya konulması ve önceliklendirilmesidir. Nitekim literatürde birçok kez araştırmacıların dikkati çekmiş olan bu konuda, bu tezin ayrışmasının sebebi ise risk faktörlerinin hibrit yöntemlerle analiz edilmesi kapsamında DEMATEL, FMEA, VIKOR ve TOPSIS yöntemlerinin Bulanık Mantık ile entegre edilerek kullanılması olmuştur. Farklı risk analiz yöntemleri ile elde edilen sonuçların Spearman Korelasyon Analizi ile yapılan incelemesi neticesinde, yöntemlerinin tutarlılığı ölçülmüş olup, aynı zamanda gemi operasyonlarındaki risklerin analizinde hibrit yöntem kullanmanın çok boyutlu risklerin analizinde önemli bir olgu olduğu da gösterilmiştir.

Klasik FMEA yöntemindeki *etki* faktörünün diğer faktörler üzerindeki etkisinin DEMATEL yöntemi ile ortaya konulmuş olması sayesinde, tez bulguları literatüre hem çok kriterli karar verme yöntemlerinin birlikte kullanılmasına dair bir model sunması, hem de denizcilik sektöründeki risklerin daha kapsamlı analizine zemin hazırlayarak katkı sunmuştur. Tezde müteakip akademik çalışmalarda hibrit yöntemlerin uygulanabilirliği artırılmış, sektörel karar alıcılara ise sistematik ve güvenilir bir analiz yaklaşımı sunulmuştur.

Analiz bulgularına göre, gemi operasyonlarındaki genel riskler üzerinde meteorolojik şartların (*F6*) yanı sıra materyalin (*F10* ve *F23*) etkisinin en yüksek seviyedeki etkenler olmaları dikkate değerdir. Dolayısıyla gemi operasyonlarında sürdürülebilir emniyet önlemleri kapsamında bu olguların öncelikli olarak ele alınması zorunluluğu ortaya konulmuştur.

ABSTRACT

Maritime transportation, due to the effects of economies of scale, holds a critical position as a central component of the global supply chain. In this context, ensuring the safe operation of ships which are the lifelines of maritime transport and thus vital to the global economy, is of utmost importance. This necessity has prompted numerous scholars to focus on the domain of safe ship operations, leading to the emergence of a substantial body of academic work.

Accordingly, the objective of this thesis is to identify and prioritize risk factors associated with ship operations through hybrid methodologies to enhance operational safety. What distinguishes this study from others in the existing literature is the integration of hybrid methods, namely DEMATEL, FMEA, VIKOR, and TOPSIS, with Fuzzy Logic for risk analysis. The findings obtained through Spearman Correlation Analysis not only demonstrate the consistency of the analytical methods employed but also underscore the significance of using hybrid approaches for the analysis of multidimensional risks in maritime operations.

By revealing the influence of the severity factor in classical FMEA on other factors through the DEMATEL method, this thesis contributes to the literature by offering a model for the combined use of multi-criteria decision-making techniques. It also provides a foundation for more comprehensive risk assessments in the maritime sector. Furthermore, the thesis enhances the applicability of hybrid methods for future academic research and offers a systematic and reliable analytical approach to industry decision-makers.

According to the analysis results, meteorological conditions (*F6*) and material-related factors (*F10* and *F23*) emerge as the most influential elements impacting general risks in ship operations. Therefore, these factors must be prioritized when developing sustainable safety measures for maritime operations.

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Kısaltma	Açılımı
ABD	……Amerika Birleşik Devletleri
AIS	……Otomatik Tanımlama Sistemi(Automatic Indentification System)
BDEMATEL	…….Bulanık Karar Verici Deneyimsel Etki Diyagramı
BFMEA	……Bulanık Hata Türleri ve Etkileri Analizi
BTOPSIS	…..Bulanık TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği)
BVIKOR	….Bulanık VIKOR (Uzlaşmalı Çözüm ile Çok Kriterli Optimizasyon)
CN	……..Kritiklik Numarası
D	……..Tespit Edilebilirlik (Detectability)
DEMATEL	……Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory
DPA	……..Designated Person Ashore
ECDIS	…….Electronic Chart Display and Information System
ER	…….Evidential Reasoning (Kanıta Dayalı Akıl Yürütme)
FMEA	…Failure Mode and Effect Analysis (Hata Türleri ve Etkileri Analizi)
FMECA	……..Failure Mode, Effects and Criticality Analysis
FT	……..Fault Tree (Hata Ağacı)
GPS	…….Global Positioning System
IMDG	…….International Maritime Dangerous Goods Code
IMO	…….……International Maritime Organization(Uluslararası Denizcilik Örgütü)
ISM	…….International Safety Management Code
K/Ü	……...……...Köprüüstü (Gemiye kumanda edilen yer)
MARPOL	…..The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
O	…….Ortaya Çıkma Olasılığı (Occurrence)
RBN	……...Rule-Based Bayesian Network

Kısaltma	Açılımı
RPN	Risk Priority Number (Risk Öncelik Numarası)
S	Şiddet (Severity)
SOLAS	International Convention for the Safety of Life at Sea
STS	Ship-to-Ship Transfer (Gemi-Gemi Transferi)
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development
VIKOR	VlseKriterijuska Optimizacija I Komoromisno Resenje
Web 2.0	Kullanıcı odaklı yeni nesil internet uygulamaları

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. Gemi Operasyonlarında Risk Faktörleri 9
Tablo 2. Uzman Bilgileri 22
Tablo 3. DEMATEL Dilsel İfadelerin Üçgensel Bulanık Sistem Karşılıkları 25
Tablo 4. RPN'yi Oluşturan Faktörler 26
Tablo 5. Korelasyon Değerlendirme Tablosu 30
Tablo 6. Hibrit Yöntemler Sonuç Tablosu 31
Tablo 7. BDEMATEL Etkileyicilik ve Etkilenme Tablosu 34
Tablo 8. BDEMATEL Faktör Ağırlık Tablosu 34
Tablo 9. BFMEA S, O ve D Ortalama Değerleri 35
Tablo 10. CN ve RPN Karşılaştırma 36
Tablo 11. BTOPSIS Sonuçları 38
Tablo 12. VIKOR Sonuçları 39
Tablo 13. Spearman Korelasyon Analizi 40

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Yöntem Akış Modellemesi 23

GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 1. DEMATEL Faktör-İlişki Grafiği..... 33

RESİMLER LİSTESİ

Resim 1. Alaska Körfezi Prince William Sound Koyu 6
Resim 2. Exxon Valdez Kazasında Ham Petrol Yayılan Alan 6

1. GİRİŞ

Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansının (UNCTAD) 2023 yılı verilerine göre dünyada toplam ticaret hacmi 24,9 trilyon Amerikan dolarına yükselmiştir (UNCTAD, 2024). Dünya çapında ticaret hacminin yükselmesinde kuşkusuz en büyük pay gelişen teknolojinindir. Gelişen teknoloji ve bu bağlamda özellikle internet, tedarik zincirinin yapısında dönüşümler meydana getirmiştir. İnternetteki bu gelişim, teknoloji uzmanı Tim O'Riley tarafından Web 2.0 olarak adlandırılmaktadır. Web 2.0 ile sosyal medyanın dünya çapında kitlelerce kullanılmaya başlanması insanların satın alma alışkanlıkları üzerine doğrudan etkili olmuştur (Susoy & Yorulmaz, 2024).

Sosyal medya kaynaklı yeni satın alma alışkanlığının tedarik zincirinde meydana getirdiği en büyük değişiklikler talebin nicel artışı, mekânsal olarak dünya çapında yayılımı ve zamansal olarak süper hızlı olması özellikleridir. Bu duruma verilebilecek en somut örneklerden bir tanesi cep telefonlarıdır. Bugün herkesin cebinde bulunan cep telefonlarından Amerikan menşeli olup üretimleri Çin Halk Cumhuriyeti'nde gerçekleştirilen Apple marka cep telefonlarını ele alırsak; zamansallık bağlamında piyasaya çıkışından aylar öncesinde ön siparişler kabul edilmeye başlanılmakta, piyasaya arz edileceği günden önce mağazalar önünde insanlar çadır kurarak uzun kuyruklar oluşturmaktadır. Mekânsal bağlamda baktığınızda ise bu durum yalnızca menşei ülkesiyle veya üretildiği ülkeler ile sınırlı kalmamakta olup, tüm dünya genelinde talebin aynı şekilde işlemesidir. Çünkü bugün insanlar için bir malzemeye sahip olmak ona o gün, o dakika ve her yerde ulaşabilmek anlamına gelmektedir. Bu durum üretici firmaların karşısında rekabet avantajı yaratmanın en önemli basamağı olan ulaştırmanın dünya çapında ve maliyet etkin olarak yapılabilmesi için büyük bir meydan okumayı da beraberinde getirmiştir.

Bu kapsamda ölçek ekonomisi kavramı önem kazanmış ve buna bağlı olarak deniz taşımacılığı tedarik zincirinin en önemli halkası olarak öne çıkmıştır. Ölçek ekonomisi; bir malın maliyet ve zaman etkinliği bağlamında optimum şekilde taşınmasının sağlanmasını hedeflemektedir. Ulaştırma alanında mevcut teknolojik gelişim düzeyi ve dünyanın coğrafi yapısı göz önüne alındığında da deniz taşımacılığı en etkin yol olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu hususta kuşkusuz konteynerlerin payı büyüktür.

1995 yılından itibaren deniz taşımacılığının konteyner taşımacılığı kolu büyük bir dönüşümün içine girmiş ve dünya tedarik zincirindeki önemini katlamıştır (Cullinane & Khanna, 2000). Bu dönüşüm aynı zamanda gemilerin fiziksel özelliklerine de yansımış olup gemi boyutlarının büyümesi ile sonuçlanmıştır. Deniz taşımacılığının temel halkası olan gemilerin boyutlarındaki bu büyüme, tek seferde daha fazla yük elleçlenebilmesi gibi operasyonların tekrar sayısını azaltmayı sağlasa da aynı zamanda gemilerde mevcut olan risklerin artmasına da yol açmıştır.

Gemi operasyonlarında karşılaşılan risklerin çeşitliliği ve karmaşıklığı, geleneksel risk değerlendirme yöntemleriyle (Bulanık Mantık uygulanmamış yöntemler, kontrol listeleri vb.) yeterince analiz edilememektedir. Bu durum, çok boyutlu risk yapılarının daha bütüncül yöntemlerle ele alınmasını gerekli kılmaktadır. Literatürde farklı Çok Kriterli Karar Verme (ÇKDV) ve risk analiz yöntemleri bulunsa da bu yöntemlerin bütünleşmiş ve Bulanık Mantık tabanlı hibrit (çok yöntemli) modellerle uygulanabilirliğine yönelik çalışmalar sınırlıdır. Bu nedenle, birden fazla yöntemin birlikte kullanılmasının sağlayacağı katkı açıklığa kavuşturulmamıştır. Gemi operasyonlarına özgü risk faktörlerinin önceliklendirilmesi konusunda standart bir yöntem bulunmamakta, bu da karar vericilerin sübjektif değerlendirmelerine fazlasıyla bağımlı kalınmasına neden olmaktadır. Bu eksiklik, bilimsel temelli, sayısal destekli bir analiz ihtiyacını doğurmaktadır. Dolayısıyla deniz ulaştırmasındaki gemi operasyonlarında hem teorik çerçeve hem de uygulamalı risk analiz ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Bu bağlamda, tez çalışmasının temel amacı, gemi operasyonlarının emniyetini sağlamak adına hibrit yöntemler kullanılarak gemi operasyonlarındaki risk faktörlerinin belirlenmesi ve önceliklendirilmesidir. Elde edilen veriler ışığında gemi operasyonlarındaki risklerin azaltılması hedeflenmektedir. Tezi literatürdeki diğer araştırmalardan ayıran temel unsur ise DEMATEL, FMEA, VIKOR ve TOPSIS gibi yöntemlerin Bulanık Mantık ile entegre edilerek risk analizinde kullanılmasıdır. Tezde uygulanan yöntemlerin Spearman Korelasyon Analizi ile değerlendirilmesi sonucunda, analiz yöntemlerinin birbirleriyle tutarlı olduğu gösterilmiş ve ayrıca, gemi operasyonlarındaki çok boyutlu risklerin analizinde hibrit yöntemlerin kullanımının önemli bir yaklaşım olduğu ortaya konmuştur.

Bu kapsamda tezin birinci bölümünde, öncelikle deniz ulaştırması yapısı, işleyişinin okuyuculara açıklanması hedeflenmiştir. Müteakiben deniz ulaştırmasında gemi operasyonları tanımlanarak içerdikleri risk faktörleri ortaya konulmuştur.

İkinci bölümde, gemi operasyonları ve tezin yöntemine ilişkin literatür taramasına yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, öncelikle teze katkı sunan uzmanlara ilişkin bilgiler verilmiş ve uygulanan yöntem detaylı olarak anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, yöntem sonucunda elde edilen bulgular ortaya konularak, tezin sonucuna kaynak sağlayacak veriler gösterilmiştir.

Beşinci ve son bölümde ise, dördüncü bölümde elde edilen bulgular yorumlanmış, özellikle literatür çalışmasındaki bilgilerle benzer veya farklı yönler ortaya konulmaya çalışılmıştır.

1.1. Deniz Ulaştırması Yapısı, İşleyişi ve Faaliyetleri

Deniz ulaştırması, küresel ticaret hacminin yaklaşık %90'ını taşıyarak dünya ekonomisinde merkezi bir rol oynamaktadır. Deniz taşımacılığı, malların deniz yoluyla bir noktadan diğerine nakledilmesi olarak tanımlanmaktadır ve özellikle büyük hacimli yüklerin kıtalararası ve uzun mesafeli taşınmasında düşük maliyet ve yüksek verimlilik avantajları nedeniyle öncelikli olarak tercih edilmektedir (Ajarostaghi vd., 2022). Gemilerin büyüyen taşıma kapasiteleri ve filolardaki genişleme gibi operasyonel gelişmelerin ekonomik büyüme üzerinde pozitif etkisi bulunduğu, yapılan ekonometrik analizlerle desteklenmektedir (Cullinane & Khanna, 2000). Deniz taşımacılığının birçok paydaşından en önemlilerinden bir tanesi olan limanlar bağlamında yapılan bir başka çalışmada deniz taşımacılığı ve ilgili liman altyapı yatırımlarının ekonomik büyümeyle pozitif yönde ilişkili olduğu, yapılan ekonometrik analizlerle de desteklenmektedir (Popa vd., 2021). Bahse konu iki örnekten de görüleceği gibi deniz taşımacılığının ekonomi üzerinde olumlu etkisi bulunduğu açıktır. Ölçek ekonomisi ile gelişen ve büyüyen gemiler ile limanlar sayesinde deniz yoluyla gerçekleştirilen kitlesel taşıma kapasitesi, birim başına düşen taşıma maliyetlerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu durum, küresel pazarlara erişimi kolaylaştırarak uluslararası ticaretin ve ekonomik kalkınmanın teşvik edilmesine katkı sağlamaktadır (Vieira vd., 2023).

Deniz ulaştırma sisteminin yapısı, birbiriyle etkileşim halinde olan çeşitli temel bileşenlerden oluşur. Bu bileşenler arasında farklı tip ve kapasitelerdeki ticari gemiler, yük elleçleme ve lojistik hizmetler sunan limanlar, donatan, işletmeciliği ve kiralama gibi faaliyetleri yürüten denizcilik şirketleri ve taşımacılık süreçlerini organize eden lojistik firmaları yer alır (Panayides, 2006). Uluslararası düzeyde ise, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) gibi kuruluşlar, deniz emniyeti, deniz güvenliği ve deniz çevresinin korunması gibi konularda uluslararası standartlar ve sözleşmeler geliştirerek sektörün düzenlenmesinde ve denetlenmesinde kritik bir rol üstlenir. Limanlar, sadece yük transfer noktaları olmanın ötesinde, tedarik zincirlerinde katma değerli hizmetler sunan, dağıtım ve lojistik merkezleri olarak da işlev görmektedir (Notteboom vd., 2021).

Deniz ulaştırmasının işleyiş süreci, kapsamlı bir planlama, koordinasyon ve lojistik yönetimi gerektirir. Bu süreç, taşınacak yükün özelliklerine göre en uygun gemi tipinin ve rotanın belirlenmesiyle başlar ve navlun sözleşmelerinin yapılması, yükleme için rezervasyonların tamamlanması gibi adımları içerir. Yükler limanlarda gemilere yüklendikten sonra, gemi belirlenen deniz yolunu takip ederek varış limanına ulaşır. Varış limanında da benzer şekilde boşaltma, gümrükleme ve yükün alıcıya teslimatı için çeşitli operasyonel işlemler gerçekleştirilir. Konteyner taşımacılığının yaygınlaşmasıyla birlikte, limanlardaki konteyner terminal operasyonlarının verimliliği, tüm lojistik zincirinin performansı açısından hayati bir faktör haline gelmiştir (Kia vd., 2000). Denizcilik lojistiği, bu karmaşık operasyonların etkin bir şekilde yönetilmesini ve tedarik zinciri boyunca mal akışının optimize edilmesini hedefler (Panayides & Song, 2013).

Deniz ulaştırması faaliyetleri temel olarak yük ve yolcu taşımacılığı üzerine yoğunlaşmakla birlikte, bu ana faaliyetleri destekleyen geniş bir hizmet yelpazesini de barındırır. Yük taşımacılığı, ham maddelerden yarı mamul ve bitmiş ürünlere kadar her türlü ticari malın küresel ölçekte dolaşımını sağlar. Bu alanda konteyner gemileri, dökme yük gemileri, tankerler ve proje kargo gemileri gibi farklı uzmanlaşmış gemi türleri hizmet verir (Stopford, 2009). Kruvaziyer turizmi ve feribot işletmeciliği ise yolcu taşımacılığının önemli segmentleridir. Denizcilik endüstrisi aynı zamanda gemi inşa ve tamir sanayii, deniz sigortacılığı, deniz hukuku danışmanlığı, liman işletmeciliği ve denizcilik eğitimi gibi çok sayıda destekleyici sektörü de içinde barındırır (Talley, 2012). Bu çeşitlilik, deniz ulaştırmasının sadece bir taşıma modu

olmanın ötesinde, küresel ekonomiye entegre olmuş kapsamlı bir endüstriyel faaliyvdanı olduğunu göstermektedir. Deniz taşımacılığı farklı kollara bölünmüş yapısına rağmen, büyün bu kolların can damarları ile gemiler ve gemilerde icra edilen operasyonlardır.

1.2. Deniz Ulaştırmasında Gemi Operasyonları

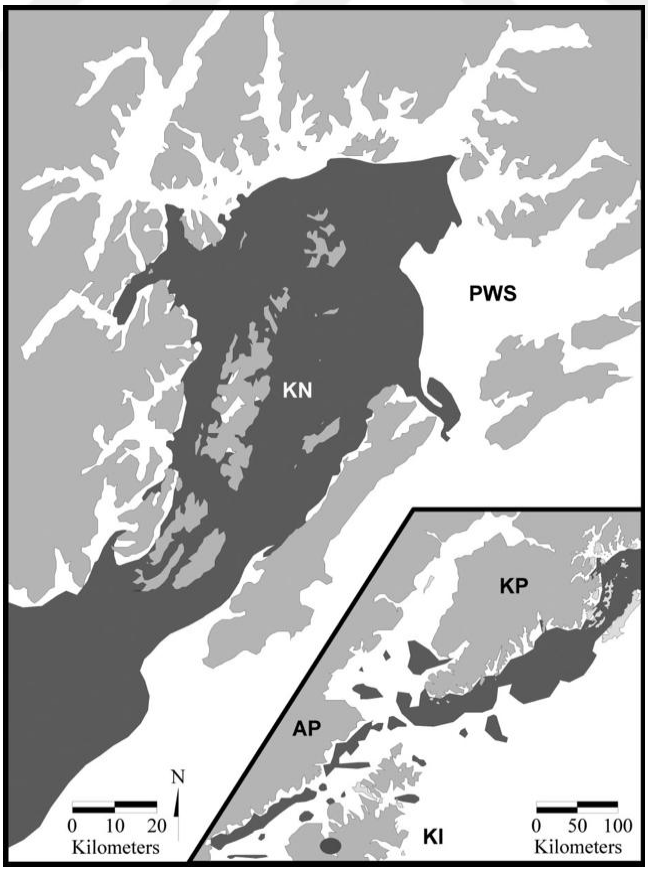
Deniz ulaştırmasının temel taşı olan gemilerde gerçekleştirilen operasyonlar; seyir, elleçleme ve cihaz/sistem bakım, tutum ve onarımı gibi faaliyetlerin gemi, liman, devlet, acente, tersane vb. birçok farklı paydaş ile müstakilen veya eşgüdüm içerisinde icra ettikleri faaliyetleri içeren zorlu bir süreçtir. Ma ve arkadaşları (2022), bu süreci bir konteyner yükünün elleçlenmesi işlemi gemi personelinin kendi içerisinde ve aynı zamanda gemi personeli ile sahil personeli arasında bir dizi sıralı koordinasyon gerektiren riskli faaliyetleri içeren bir eylem olarak tanımlamaktadır (Ma, Shi, Li, & Shi, 2022). Bu süreç çevresel faktörlerin yanı sıra, insan (operatör) ve materyalden kaynaklanan risklerin etkisi altındadır. Nitekim bu durum deniz taşımacılığını karmaşık ve diğer ulaştırma türlerinden farklı kılan bir yapıya büründürmektedir (Melnyk vd., 2024).

Bu kapsamda deniz ulaştırması, gemi operasyonlarının tabi olduğu karmaşık riskler göz önünde bulundurulduğunda uzmanlık gerektiren özel bir iş koludur (Öztürk, 2024). Deniz ulaştırmasının katı ve sıvı yüklerin yanı sıra insan ve canlı hayvan taşımacılığı gibi farklı taşıma/ulaştırma ihtiyaçlarını da karşılıyor olması bu iş kolunun hem karmaşıklığına hem de farklı uzmanlıkları bir arada barındırmasına verilebilecek somut örneklerden bir tanesidir. Su ve arkadaşları (2022) tarafından kruvaziyer taşımacılığı üzerine yapılan çalışmada risklerin yolcu, bagaj, gross ton ve sefer gibi birbirinden bağımsız değişkenler ile ilişkili olduğunu ortaya koymuş olması da bu görüşü destekler niteliktedir (Su, Wu, Xiao, & He, 2022). Gemi operasyonlarındaki hataların sonuçları bulundurdukları risklerle doğru orantılı olarak materyal zaiyatı, insan sağlığına zarar verilmesinin de ötesinde çevresel felaketler ile de sonuçlanmasına sebep olabilir. Tarihsel süreçte gerçekleşen olaylar bu durumu gerçekler maiyettedir. Dünyanın en büyük çevre felaketlerinden birisi olan *Exxon Valdez* tankerinin Resim 1 ile gösterilen Alaska Körfezinde, Prince William Sound koyunda bulunan Bligh Resifi'nde karaya oturması bu durumun en çarpıcı örneklerinden bir tanesidir (Engtrø, Gudmestad, & NjÁ, 2020).



Resim 1. Alaska Körfezi Prince William Sound Koyu

Resmi kayıtlara göre kaza sonucunda 42 milyon litre ham petrol denize yayılmış ve büyük bir ekolojik felakete yol açmıştır. Resim 2'de gösterilen yaklaşık 1990 km uzunluğundaki kıyı şeridine yayılan ham petrol, bölgede bulunan canlı yaşamına büyük zarar vermiştir (Peterson vd., 2003).



Resim 2. Exxon Valdez Kazasında Ham Petrol Yayılan Alan

Exxon Valdez kazası dünya kamuoyunda gemi operasyonlarına farkındalık yaratması açısından mihenk taşlarından birisi olmuştur. Bu kaza deniz operasyonlarının barındırdığı risklerin ve sonuçlarının ne denli büyük olduğunu göstermiştir. Ortaya çıkan çevresel felaket Arktik ve Antarktika sularında seyreden gemilerin emniyetinin arttırılması kapsamında Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) birtakım önlemler almasına sebep olmuştur. Polar Kodu olarak adlandırılan bu düzenleme risklerin azaltılmasını amaçlamaktadır.

Tarihsel süreçte meydana gelen felaketlerin sonucunda yasal düzenleme yapılmasını gerektiren ve gemi operasyonlarının insan sağlığına verebileceği zararları gösteren bir başka örnek ise *Titanic* gemisinin yaşadığı deniz kazasıdır. 1912 yılında İngiltere Southampton limanından Amerika Birleşik Devletleri New York Limanına intikal ederken Kuzey Atlantik Okyanusu'nda buz dağına çarpan *Titanik* gemisinde 885 mürettebat ve 1.316 yolcu bulunmaktadır (Schröder-Hinrichs, Hollnagel, & Baldauf, 2012). Genel kanı olarak Kuzey Atlantik Okyanusu'ndaki buz dağı tehlikesinin gemi mürettebatınca biliniyor olmasına rağmen riskin doğru değerlendirilememesi ve gerekli önlemlerin alınmaması neticesinde gerçekleşmiş olarak biliniyor olsa da, *Titanic* kazası bir hatalar zinciri sonucunda meydana gelmiştir. Kaza meydana geldiğinde geminin yolcu sayısından bile az olarak 1.178 kapasiteli can salı ve 3.560 adet can yeleği bulunmaktadır. Donatanın sorumluluklarını yerini getirmemesi sebebiyle yaşanan bu eksiklik bahse konu dönemde yasal düzenlemelerin bulunmaması ve gemi operasyonlarının karmaşık paydaş yapısının etkisiyle barındırdığı risklerin tam anlaşılamamasından kaynaklanmıştır. Bu felaket IMO' ya SOLAS adıyla yeni bir düzenleme yapma ihtiyacını doğurmuştur. Yapılan tüm düzenlemelere ve alınan önlemlere rağmen gemi operasyonlarının barındırdığı riskler *Titanic* faciasından bir asır sonra bile mevcudiyetini korumaktadır.

Deniz ulaştırmasının tedarik zinciri için önemi göz önüne alındığında bahse konu risklerin önlenmesi veya en azından asgari seviyeye indirilmesi küresel bağlamda büyük önem teşkil etmektedir. Bu durum akademisyenlerin de dikkatini çekmiş olup, müteakip bölümlerde de aktarılacağı gibi literatürde bu alanda birçok çalışma bulunmaktadır. Bu tezde ise tekil analiz yöntemlerdeki eksikliklerin giderilmesi kapsamında literatüre hibrit analiz yöntemlerini kullanması ile katkı sağlanmıştır.

Tez kapsamında literatür taraması yapılarak gemi operasyonlarına etkidiği değerlendirilen 25 adet risk faktörü tespit edilmiştir. Risk faktörlerinin belirlenmesi kapsamında yapılan literatür taramasında geçmiş yıllarda yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçların resmi yönetmelik, yönerge gibi resmi ve gemi operasyonu paydaşları için bağlayıcılığı olan kaynaklar ile desteklenmesine gayret edilmiştir. Tez kapsamında literatür taraması sonucunda ortaya konulan risk faktörleri Tablo 1'de kaynakları ile gösterilmiştir. Bu faktörler kaynaklarından da anlaşılacağı gibi geçmiş dönemde araştırmacılar tarafından da üzerine ayrı ayrı çalışılmış ve resmi yönetmeliklerde de risk ihtiva ettiği değerlendirilerek önlem alınmaya çalışılmış olan faktörler olarak öne çıkmaktadır. Tezde belirlenen risk faktörlerinin resmi yönergeler ile desteklenmiş olması, tezin sonucunda ortaya konulan verilerin geçerliliğini artırdığı kıymetlendirilmektedir.

Tezin temel amacı, deniz taşımacılığının vazgeçilmez unsuru olan gemi operasyonlarının güvenliğinin sağlanması amacıyla çok boyutlu ve karmaşık risk faktörlerinin hibrit yöntemlerle tespiti ve analiz edilerek önceliklendirilmesidir. Bu doğrultuda, deniz ulaştırmasındaki operasyonel süreçlerde karşılaşılan risklerin, yalnızca geleneksel ve tekil yöntemlerle analiz edilmesinin yeterli olmadığı vurgulanmakta ve mevcut yöntemlerin eksikliklerinin üstesinden gelebilmek adına DEMATEL, FMEA, VIKOR ve TOPSIS gibi farklı analitik yöntemler Bulanık Mantık ile entegre edilerek kullanılmaktadır. Bu hibrit yaklaşım sayesinde, risk faktörlerinin birbirleriyle olan ilişkileri, etkileri ve kritik düzeyleri çok boyutlu olarak değerlendirilebilmekte, böylece karar vericilere kapsamlı, tutarlı ve bilimsel dayanaklarla desteklenmiş veriler sunulabilmektedir. Ayrıca, bu yöntemlerle elde edilen sonuçların Spearman Korelasyon Analizi ile doğrulanması, analizlerin güvenilirliğini artırmakta ve uygulanan yöntemlerin gemi operasyonlarında kullanılabilirliğini desteklemektedir. Bu çalışmanın literatürdeki benzer araştırmalardan ayrışmasını sağlayan temel husus, söz konusu analitik tekniklerin bütünleşik bir yapıda uygulanması ve böylelikle denizcilik sektöründeki operasyonel risk yönetimine sistematik, sayısal destekli ve pratik bir model sunulmasıdır. Bu tez ile elde edilen bulgular, sektördeki karar alıcıların gemi operasyonlarındaki risklerin yönetiminde stratejik ve operasyonel düzeyde etkili politikalar geliştirmelerine katkı sağlayacaktır.

Tablo 1. Gemi Operasyonlarında Risk Faktörleri

No.	Faktörün Açıklaması
F1	Sefer planlamasının hatalı yapılması veya seyredilen bölgenin tanınmaması. (SOLAS, 1974; Shoal, 2021)
F2	Köprüüstünde (K/Ü) görev alan personelin DÇÖY bilgisinin yetersiz olması. (STCW, 1978; Kurniadi vd., 2024)
F3	K/Ü personelinin çatma karşısında farkındalığının yetersizliği. (*COLREGs*, 1972; García Maza & Argüelles, 2022)
F4	Elektronik seyir ve haberleşme cihazlarının (GPS, ECDIS) arıza yapması. (SOLAS, 1974; Kristić vd., 2021)
F5	Hava durumu raporlarının düzgün takip edilememesi. (SOLAS, 1974; Kadhafi, 2024)
F6	Zorunluluklar sebebiyle kötü havada seyir yapma zorunluluğu. (SOLAS, 1974; Müller vd., 2023)
F7	Mürettebatın vardiya düzeninin dinlenmesine müsaade edecek düzeyde yeterli olmaması. (STCW, 1978; National Transportation Board, 2019; Myllylä vd., 2022)
F8	Limanda avara/aborda manevrasında kılavuz kaptan hatası. (IMO Resolution A.960(23), 2003; Öztürk, Kartal, & Aydin, 2024)
F9	Limana avara/aborda manevrasında römorkör hatası. (IMO Resolution A.960(23), 2003; Çakır, Fışkın, & Sevgili, 2021)
F10	Limana avara/aborda manevrasında makine veya dümen sisteminde arıza. (SOLAS, 1974; Göksu, Yüksel, & Şakar, 2023; Mwange vd., 2024)
F11	Limana avara/aborda manevrasında yanlış kumanda verilmesi. (*COLREGs*, 1972; STCW, 1978; Gruenefeld vd., 2018)
F12	Seyir esnasında personelin dikkatsizliği. (*COLREGs*, 1972; STCW, 1978; Sánchez-Beaskoetxea vd.,2021)
F13	Kargo planının hatalı yapılması. (SOLAS, 1974; Kaup vd. 2022)
F14	Stabilite hesabının yanlış yapılması. (SOLAS, 1974; Koh & Paik, 2016)

Tablo 2. Gemi Operasyonlarında Risk Faktörleri (devamı)

F15	Serbest sıvı yüzey etkisinin dikkate alınmaması. (SOLAS, 1974; Olivella, 1995)
F16	IMDG Koduna uygun şekilde yük taşınmaması. (IMDG Code, 2022; Ellis, 2011)
F17	Tehlikeli yüklerin düzgün markalanmaması. (IMDG Code, 2022; Gonzalez-Aregall vd., 2021)
F18	Yükleme/Boşaltma operasyonlarında kullanılan cihaz/eçhizelerin (Kreyn, Fortlift, Halat, Tehlikeli Gaz Dedektörü, Hortum, Taşıma Sepeti, Konteyner vb.) testlerinin yapılmamış veya sağlam/uygun olmaması. (SOLAS, 1974; Kara, Menteş, & Akyıldız, 2021)
F19	Yükleme/Boşaltma operasyonları sırasında cihaz/eçhizelerde arıza meydana gelmesi. (SOLAS, 1974, Kara vd., 2021; Milazzo, Ancione, & Brkic, 2015)
F20	Kargoda hasar ve sızıntı meydana gelmesi. (IMDG Code, 2022; MARPOL, 2022; Elidolu vd., 2025; Jakovlev vd. 2025)
F21	Gaz ölçümlerinin yapılmaması. (SOLAS, 1974; Okoh, 2014)
F22	Yükleme/Boşaltma operasyonları esnasında personelin dikkatsizliği. (OCIMF, ICS, & IAPH, 2020; SOLAS, 1974; STCW, 1978; Sánchez-Beaskoetxea vd.,2021)
F23	Gemide bulunan makine/cihaz/sistemlerin planlı bakım sistemlerine uyulmaması. (OCIMF vd., 2020; SOLAS, 1974; STCW, 1978; Karatuğ, Arslanoğlu, & Soares, 2023; Dugan & Utne, 2025)
F24	Liman devleti kurallarına uyulmaması. (ISM Code, 2018; SOLAS, 1974; Prieto vd., 2025)
F25	SOLAS veya MARPOL vb. uluslararası sözleşmelere uyulmaması. (MARPOL, 2022; SOLAS, 1974; STCW, 1978; Mantoju, 2021)

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Gemilerde Risk Analizi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Gemi operasyonlarındaki riskler üzerine literatürde yapılmış araştırmalar incelendiğinde; Göksu ve Arslan (2023) tarafından, gemilerin avara/aborda manevraları esnasındaki dinamik risklerin FMEA yöntemi ile analizi yapılmıştır. Araştırma sonucunda en yüksek risk faktörlerinin şiddetli rüzgar, aşırı sıcak, cezir hali ve gemi süratindeki artma/azalma olarak ortaya konulmuştur (Göksu & Arslan, 2023).

Yine Göksu ve Arslan (2020) tarafından, gemi operasyonlarındaki riskleri arttıran dinamik faktörler belirlenerek, riskleri ne ölçüde etkilediklerinin tespit edilmeye çalışılmıştır. Risk faktörlerinin sınıflandırılarak risk matriksinin oluşturulması neticesinde ortaya çıkan sonuçta, gemi operasyonları esnasında hava durumundaki yükseliş, operasyonun icra edildiği zaman, görüşün düşmesi ve med-cezir akıntısı faktörlerinin riskleri önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir (Göksu & Arslan, 2020).

Aydın ve arkadaşları (2021), akaryakıt/kimyasal tankerlerde insan ve çevre sağlığına ölümcül zararlar verebilecek sızma kaynaklı kirlenme risklerinin Hata Ağacı (FT) ve CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method) yöntemi ile analizi sonucunda yetersiz kontrol, kargoyu tanımama, doğru hat dizilimi sağlanamaması ve hatalı yükleme planı faktörlerinin en büyük risk faktörünü ihtiva ettikleri gösterilmiştir (Aydin, Camliyurt, Akyuz, & Arslan, 2021).

Sezer ve arkadaşları (2022) tarafından, tanker gemilerindeki gemi, çevre ve kargo emniyeti açısından büyük öneme haiz balast suyu sistemlerinin potansiyel risklerinin araştırılması maksadıyla Dempster-Shafer teorisi temelli Hata Türlerinin ve Kritiklik Analizi (FMECA) yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada hatalı valf operasyonlarının en kritik riski ihtiva ettiği ortaya koyulmuştur (Sezer, Ceylan, Akyuz, & Arslan, 2022).

Elidolu ve arkadaşları (2023) tarafından yapılan ve Kanıta Dayalı Akıl Yürütme (ER) ile Kural Tabanlı Bayes Ağı (RBN) yöntemleri ile entegre edilmiş FMECA yöntemi kullanılan çalışma işe balast alma ve boşaltma operasyonlarındaki risk faktörleri analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda "koordine kurulmamış yük ve balast operasyonu" faktörünün en yüksek riski ihtiva ettiği ortaya koyulmuştur (Elidolu vd., 2023).

Stavrou ve Ventikos (2015,2016) tarafından PFMEA yöntemi kullanılarak STS operasyonu sürecinin risk analizi yapılarak literatüre katkıda bulunulmuştur (Stavrou & Ventikos, 2015, 2016).

Arıcı ve arkadaşları (2020) tarafından avara/aborda manevraları esnasında yaşanan kazalarla ilgili risk analizi yapılmıştır (Arici, Akyuz, & Arslan, 2020). Sökükcü ve Sakar (2022) tarafından yaklaşma manevralarında yaşanabilecek arızaları içeren ve Hata Ağacı Analizi ile Bayes Ağı yöntemlerini kullanarak yaptıkları araştırma ile risklerin ortaya koyarak literatüre katkıda bulunmuşlardır (Sokukcu & Sakar, 2022).

Witkowska ve arkadaşları (2017) tarafından denize yakıt sızıntısı olunan acil durumlarda icra edilen STS operasyonunun yaklaşma manevrasının icrasına ilişkin incelemede bulunulmuştur (Witkowska, Smierzchalski, & Wilczynski, 2017). Sampson ve arkadaşları (2018) tarafından yapılan çalışmada, 2002-2016 yılları arasında meydana gelmiş 693 kazanın meydana gelme sebeplerini inceleyen araştırmada, nedenlerin %85'ten fazlasının insan hatalarından kaynaklı olduğunu ortaya koymaktadır . Daryanto ve arkadaşları (2020) tarafından Endonezya'nın Lampung şehrindeki FSRU terminaline özelinde icra edilen STS operasyonları üzerine risk analizi yapılarak literatüre katkıda bulunulmuştur (Daryanto, Maulana, & Kurniawan, 2020). Yorulmaz ve Susoy (2025) tarafından STS operasyonlarındaki risklerin hibrit yöntemlerle önceliklendirilmesi kapsamında çalışma yapılmıştır(Yorulmaz & Susoy, 2025). Husjord (2016) tarafından STS operasyonu kapsamında icra edilecek avara/aborda manevrasının simülasyon ile karar vermeye yardımcı olabilecek bir sistem oluşturulması hususunda literatüre katkıda bulunmuştur (Husjord, 2016).

Şengün ve Arslan (2024) tarafından, makine dairesindeki yangın risklerinin belirlenmesi ve önlenmesi kapsamında Fine-Kinney yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada makine yağ/yakıt sistemlerindeki arızaların ve yakıt devrelerindeki kazaların en yüksek riski taşıdığı tespit edilerek literatüre katkıda bulunulmuştur (Şengün & Arslan, 2024).

Shoal (2021) çalışmasında Trinity Bay karaya oturma kazası incelenmiş, olayın hatalı sefer planlamasından kaynaklandığı ortaya konulmuştur (Shoal, 2021). Kurnadi ve arkadaşları (2024) araştırmasında anket ve yeterlilik değerlendirmesi analizi ile gemi mürettebatının çatışma önleme kurallarına dair yeterlilik düzeyleri

değerlendirilmiş olup düşük farkındalık seviyelerinin oldukları tespit edilmiştir (Kunardi vd., 2024). García Maza ve Argüelles (2022), COLREG kurallarının çarpışma önleme algoritmalarına entegrasyonunu kuramsal analiz yöntemi incelemiş ve uygulamalarda eksiklikler bulmuştur (García Maza & Argüelles, 2022). Kristić ve arkadaşları (2021) tarafından yapılan çalışmada ise ECDIS sistemlerine aşırı güvenin güvenli seyri tehdit edebileceğini anket uygulaması ile nicel araştırma yöntemini kullanarak ortaya konulmuştur (Kristić vd., 2021). Kadhafi (2024), dijital teknolojilerin hava durumu takibinde kullanımının emniyet üzerindeki etkisini denizcilik sektöründe meteorolojik gözlem sistemleri, sayısal hava tahmin modelleri ve dijital teknolojilerin entegrasyonu konularındaki en son gelişmeleri inceleyerek yaptığı amacıyla literatür taraması, uzman görüşmeleri, vaka analizleri ve nicel analizleri incelemiş ve pozitif katkı sağladığını belirtmiştir (Kadhafi, 2024).

Müller ve arkadaşları (2023), kötü hava koşullarında Arktik sularda gemi seyri risklerinin istatiksel analizi neticesinde Polar Kod'un sınırlı etkisini tartışmıştır. AIS verileri ve hava durumu analizlerine dayanan sonuçlara göre, gemi kaptanları Polar Kod'da belirtilen tavsiyelere rağmen hâlâ ciddi hava ve buz riski içeren bölgelerde seyrüsefer yaptığı ve bu durumun Polar Kod'unu işlevsiz kıldığını ortaya koymuştur. Araştırmacılar tarafından işlevselliğin arttırılması maksadıyla daha sıkı denetimler ve kaptanlara operasyonel destek sistemlerinin oluşturulması gerekliliği vurgulanmıştır (Müller vd., 2023). Myllylä ve arkadaşları (2022), vardiya sistemlerinin mürettebat üzerindeki yorgunluk ve stres etkisini biyometrik ölçümlemesi neticesinde 4:4 vardiyasının daha olumsuz sonuçlar doğurduğunu bulmuştur (Myllylä vd., 2022). Öztürk, Kartal ve Aydin (2024), pilotaj süreçlerinde insan hatasının bilgi alışverişi eksikliklerinden kaynaklandığını ortaya koymuştur (Öztürk, Kartal &Aydin, 2024). Çakır, Fışkın ve Sevgili (2021) ise, römorkör kazalarında ciddi yaralanma veya ölümle sonuçlanan olayları analiz etmiş ve kritik insan hatası türlerini belirlemiştir (Çakır, Fışkın & Sevgili, 2021).

Mwange ve arkadaşları (2024), yanaşma ve ayrılma manevralarında gemi manevra karakteristiklerinin etkisini sayısal olarak analiz etmişlerdir. Gerçek verilere dayalı manevra karakteristiği analizlerinin kritik olduğunu ortaya koymuş; bu analizlerin simülatör eğitimleri ve otomatik kontrol sistemleri için kullanılabileceğini önermişlerdir (Mwange vd., 2024). Gruenefeld ve arkadaşları (2018) ise, kaptan-pilot etkileşiminde karşılıklı hataların manevra kazalarına katkısını etnografik yöntemlerle

değerlendirmiştir. Araştırma sonucunda kaptan-pilot iş birliğinin net tanımlanması, standart bilgi değişim prosedürlerinin uygulanması ve güven inşası gibi konuların, liman manevralarının emniyeti açısından hayati önem taşıdığını ortaya konulmuştur (Gruenefeld vd., 2018). Sánchez-Beaskoetxea ve çalışma arkadaşaları (2021) ise, deniz kazalarında insan hatasının oranını kazaların istatiksel analizi ile incelemiş ve çoğunlukla mürettebat kaynaklı olduğunu saptamıştır (Sánchez-Beaskoetxea vd., 2021). Kaup ve arkadaşları (2022), konteyner yükleme modellerinde yük hasarlarının nedenlerini analiz etmiş ve yük dağılım planının önemine dikkat çekmiştir (Kaup vd., 2022). Koh ve Paik (2016), MSC Napoli gemi kazasını yapısal arıza açısından değerlendirmiş ve stabilite hatalarını vurgulamıştır (Koh & Paik, 2016). Ellis (2011), IMDG'ye tabi tehlikeli yük kazalarının analizini yaparak en çok paketleme ve etiketleme hatalarına dikkat çekmiştir (Ellis, 2011). Gonzalez-Aregall ve arkadaşları (2021) tarafından, yanlış beyan edilen tehlikeli yüklerin oluşturduğu riskleri değerlendirerek denetim eksikliklerini göstermiştir (Gonzalez-Aregall vd., 2021).

Kara, Menteş ve Akyıldız (2021), yükleme/boşaltma ekipmanlarının test eksikliği sebebiyle operasyonel riskler doğurduğunu belirtmiştir (Kara, Menteş & Akyıldız, 2021). Milazzo, Ancione ve Brkic (2015), yük operasyonlarındaki ekipman arızalarının endüstriyel kazalara yol açtığını göstermiştir (Milazzo, Ancione & Brkic, 2015). Elidolu ve arkadaşları (2025), tanker manifoldlarında kargo sızıntısı riskini Bayes Ağı ile analiz etmiş ve koordinasyon eksikliğinin ön plana çıktığını göstermiştir (Elidolu vd., 2025). Jakovlev ve arkadaşları (2025), liman operasyonları sırasında konteyner hasarlarının nedenlerini veri analizine tabi tutmuş ve elleçleme sürecindeki sıkıntılara dikkat çekmiştir (Jakovlev vd., 2025). Okoh (2014), gaz ölçüm cihazlarının gemi operasyonlarındaki rolünü analiz etmiş ve yetersiz uygulamaların risk doğurduğunu göstermiştir (Okoh, 2014). Karatuğ, Arslanoğlu & Soares (2023), makine bakım stratejilerini analiz ederek planlı bakım eksikliğinin sistemsel arızaları artırdığını ortaya koymuştur (Karatuğ, Arslanoğlu & Soares, 2023). Dugan ve Utne (2025), gemi makinelerindeki arızaların istatistiksel analizi ile tamir edilebilirliğini değerlendirerek bakım sistematiğinin önemini vurgulamıştır (Dugan & Utne, 2025). Prieto ve arkadaşları (2025) tarafından, liman devleti kontrollerinde gemi tiplerine göre risk desenlerini istatistiksel içerik analizi ve korespondans analizi ile incelemiş ve denetimlerin farklılaştırılması gerektiğini önermiştir (Prieto vd., 2025). Mantoju (2021) tarafından yapılan çalışmada, 11 yıllık Port State Control (PSC) denetim

raporları incelenerek MARPOL eklerine dair uygunsuzlukların küresel dağılımı analiz edilmiştir. İstatistiksel veri tarama yöntemi kullanılan araştırmada, özellikle Annex I (yağlı atıklar) ve Annex V (katı atıklar) kapsamında yüksek oranda eksiklik tespit edilmiştir. Çalışma, MARPOL uygulamalarının denetiminde bölgesel tutarsızlıklar olduğunu ve standartlaştırılmış bir kontrol mekanizmasına ihtiyaç duyulduğunu vurgulamaktadır (Mantoju, 2021).

Yukarda özetlenmeye çalışıldığı gibi literatürde gemi operasyonlarında mevcut risklerle alakalı yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Bu tezi diğer çalışmalardan öne çıkartan ise hibrit yöntemlerin bulanık mantık ile entegre edilerek kullanılmış olmasıdır. Hibrit yöntemler ile yapılan analizlerde, tekil yöntemlerin eksikliklerinin giderilmesi sağlanmaktadır (Sharifi, Vahdatzad, Barghi, & Azadeh-Fard, 2022). Bu çalışmada farklı yöntemlerle (BFMEA, BVIKOR ve BTOPSIS) elde edilen risk önceliklendirme sıralamaları, ordinal (sıralı) veri niteliği taşımaktadır. Ordinal veriler üzerinde parametrik testlerin (örneğin Pearson korelasyonu) uygulanabilmesi için verilerin normal dağılıma uygun olması ve sürekli ölçekte bulunması gerekir. Bu koşullar sağlanmadığı için parametrik olmayan yöntemler tercih edilmiştir. Tezde yöntemlerin (BFMEA, BVIKOR, BTOPSIS) sonuçları sıralı verilerdir ve sıralı veriler genellikle normal dağılıma uygun olmaz. Bu sebeple normal dağılıma uygunluk sağlanmadığı için parametrik olmayan testler, yani Spearman Korelasyonu tercih edilmiştir. Spearman Korelasyon Analizi, parametrik olmayan bu tür sıralı verilerin korelasyonunu ölçmekte kullanılmaktadır. Bu analiz, yöntemlerin sıralama tutarlılığını ölçerek sonuçların birbirlerini ne derece desteklediğini ortaya koymaktadır. Elde edilen yüksek Spearman Korelasyon değerleri, farklı yöntemlerle yapılan analizlerin benzer sonuçlar verdiğini, dolayısıyla uygulanan hibrit modelin geçerliliğinin yüksek olduğunu göstermektedir (Schober, Boer, & Schwarte, 2018). Bu husus tezin literatüre katkısı bakımından da önemlidir.

2.2. Tezin Yöntemleri ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

2.2.2. FMEA

FMEA 1950'li yıllarda ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Hava Kuvvetlerinde uçak üretim sektöründe kullanılmaya başlanmış bir risk analiz yöntemidir. Bu yöntem ile üretilen malzemelerin kalitesinin ve güvenirliğinin kontrolü sağlanmıştır (Wu, Liu, & Nie, 2021). Müteakiben Ford gibi otomotiv devi bir şirkette dahil olmak üzere birçok farklı sektör FMEA analiz yöntemi kullanılmıştır (Sharma & Srisvastava, 2018). Literatürde risk analizi çalışmalarında FMEA sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. Bu kapsamda literatür incelendiğinde,

Guimarães ve Lapa (2024) tarafından, nükleer güvenilirlik mühendisliğinin risk analizi maksadıyla Kimyasal ve Hacim Kontrol Sistemi üzerine FMEA analizi yapılmıştır, Ceylan ve Arslanoğlu (2022) tarafından ise, gemi kazalarındaki risklerin analiz edilmesinde Bulanık FMEA (BFMEA) yönteminin kullanılmasının risk faktörlerinin azaltılmasında etkili bir yöntem olduğu tespit edilerek literatüre katkıda bulunulmuştur (Ceylan & Arslanoğlu, 2022).

Yorulmaz ve Susoy (2024) tarafından, gemilerdeki ergonomik risklerin tespit edilmesi ve önlenmesi kapsamında yapılan çalışmada 3 uzman tarafından belirlenen risk faktörlerinin etkisini ölçmek maksadıyla 70 gemi adamına uygulanan yarı yapılandırılmış görüşmeler ile anketlerin FMEA ile analiz edilmesi neticesinde, uzun süreli oturmanın/ayakta durmanın en yüksek risk faktörünü içerdiği tespit edilmiştir(Yorulmaz & Susoy, 2024).

Cardiel-Ortega ve Baeza-Serrato (2023) tarafından yapılan çalışmada, FMEA analizinin risk analizi kapsamında basit ve etkili bir yöntem olduğu ortaya konulmuş olup, bu yöntemde uzmanlar merkezdedir. Bu durumdaki, Bulanık Mantığın FMEA yöntemine entegre edilmesi sayesinde FMEA yönteminin güvenilirliği arttırdığı belirtilmiştir (Cardiel-Ortega & Baeza-Serrato, 2023).

Karatuğ ve arkadaşları (2023) tarafından gemilerdeki gazdan arındırma operasyonlarında mevcut risklerin incelenmesi maksadıyla, Karanovic ve arkadaşları (2023) tarafından bölünmüş hidrostatik şanzıman sistemlerinde mevcut risklerin belirlenmesi kapsamında FMEA yöntemi kullanılmıştır. Görüldüğü gibi FMEA yöntemi risk analiz yöntemi olarak sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. FMEA'nın Bulanık Mantık ile entegrasyonu ile uzman merkezli sistemin gerçeğe daha yakın hale

getirilmesinde sıklıkla başvurulan bir yöntem olmuştur. Bulanık Mantık farklı sektörler tarafından sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.Bozkuş ve Bozkuş tarafından, literatürde iş sağlığı ve güvenliği kapsamınki risk analizinde Bulanık Mantık uygulamaları incelenmiştir (Bozkuş & Bozkuş, 2021).

Kızılkaya ve arkadaşları (2023) tarafından mimari tasarımda yangın güvenliği alanında yapılan çalışmada, bulanık mantık kırılganlık analizi modeli ile yangın tahliye faktörlerinin risk değerlendirilmesi yapılmıştır (Kızılkaya, Tanyer, & Pekeriçli, 2023).

Tez kapsamında klasik FMEA yöntemi Bulanık Mantık ile harmanlanarak uzmanlar tarafından verilen dilsel ifadelerin matematiksel karşılıklarının daha güvenilir hale getirilmesi sağlanarak Bulanık FMEA yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca FMEA yönteminin önemli zayıflıklarının olan etki (*S*) faktörünün yüksek olmasına rağmen özellikle tespit edilebilirliğinin (*D*) kolay olması sebebiyle ihtiva ettiği riskin göz ardı edilebilmesine sebep olabilmektedir (Stavrou & Ventikos, 2016). Bu hususun önlenmesi maksadıyla tezde kritiklik numarası (*CN*) kullanılmış olup, *CN* ile *RPN* sıralamasının mukayesesi yapılarak sonuçların detaylandırılması ve doğru olması hedeflenmiştir. Bu kapsamda *CN* ve *RPN* sonuçlarının ayrı ayrı değerlendirilmesinin teze ilave bir yöntem olarak eklendiğini söylemek yanlış olmayacaktır. Bu husus tezin yöntemsel anlamda kıymetini arttıran bir başka husus olarak öne çıkmasını sağlamaktadır.

2.2.2. DEMATEL

Cenova Battele Enstitüsü tarafından karmaşık bilim ve insan ilişkileri problemlerinin çözülmesi amacıyla 1971 yılında geliştirilen DEMATEL yöntemi, kriterlerin uzman görüşleri ile entegrasyonu ile birbirleri arasındaki ilişkilerinin ortaya koyulmasını sağlar. Bu tez kapsamında uygulanan DEMATEL yöntemi Bulanık Mantık uygulamasına da tabi tutularak; kriterlerin ağırlıkların tespit edilmesi ve aralarındaki ilişkinin tespit edilmesi amaçlanmıştır (M. S.-M. Lin & Lu, 2023). Literatüre bakıldığında Çok Kriterli Karar Verme (ÇKVV) yöntemlerinden olan DEMATEL'in yaygın kullanıma sahip olduğu görülmektedir.

Lin ve Jia (2016) tarafından yapılan araştırmada, geleneksel FMEA yönteminin ilişkili hata türlerinin barındırdığı riskleri sıralamada yeterli olmadığı kabulünden yola çıkarak sıralı ağırlıklandırılmış geometrik ortalama yönteminin ve BDEMATEL

yönteminin alternatif olarak kullanılabileceğini öngörüsü ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, geleneksel FMEA yöntemindeki *S,O* ve *D* değerlerinin BDEMATEL uygulanması sonucunda yöntemin güvenirliğinin arttırıldığı tespit edilmiştir (X. Lin & Jia, 2016).

Wang ve arkadaşları (2024) tarafından yapılan çalışmada, kruvazör gemilerinin tahliye operasyonlarında mevcut risklerin analizinde, Zhang ve Yan (2024) tarafından mühendislik sistemlerindeki etkileşimli risklerin yayılımının analizi kapsamında, Zhong ve Zhang (2025) tarafından prefabrik binalardaki risklerin tasarım, üretim, taşınma, kurulum ve diğer faktörler açısından barındırdığı risklerin analizinde, Ardi ve Izzati (2024) tarafından kozmetik tedarik zincirindeki risklerin analizinde DEMATEL yöntemi kullanarak literatüre katkı sağlamıştır (Ardi, Putri, & Izzati, 2024; Wang, Wang, & Wang, 2024; Zhang & Yan, 2024; Zhong & Zhang, 2025).

2.2.3. TOPSIS

TOPSIS (Technique for Order of Preference by Smilarity to Ideal Solutions) ilk olarak Hwang ve Yoon tarafından 1981 yılında oluşturulmuş bir ÇKVV yöntemidir (Zyoud & Fuchs-Hanusch, 2017). TOPSIS, Zavadskas ve arkadaşları (2016) tarafından 2000-2015 yılları arasında literatürde yapılmış çalışmalar incelendiğinde en çok kullanılan ikinci yöntem olarak dikkati çekmektedir (Zavadskas, Mardani, Turskis, Jusoh, & Nor, 2016).

Awodi ve arkadaşları (2023) tarafından nükleer tesislerin gayri faal hale getirilerek devreden çıkarılması faaliyetinde risklerin etki bakımından sıralanması, Alhassan ve arkadaşları (2023) tarafından cıva amalgamasyonu tekniği ile küçük ölçekli altın madenciliğinin sağlık açısından risklerinin analizi edilmesi, Beiranvand ve Rajaee (2023) tarafından baraj yapım çalışmalarındaki mevcut risklerin Eyvashan barajı baz alınarak değerlendirilmesi, Mohamed ve arkadaşları (2024) tarafından rüzgar santrallerinde mevcut risklerin analiz edilmesi maksadıyla TOPSIS yöntemi kullanılmıştır (Alhassan, Peleato, & Sadiq, 2023; Awodi, Liu, Ayo-Imoru, & Ayodeji, 2023; Beiranvand & Rajaee, 2023; Mohamed, Seresht, Jafari, & AbouRizk, 2024).

Görüldüğü gibi TOPSIS yöntemi farklı alanlarda çalışma yapmış birçok araştırmacı tarafından sıklıkla başvurulan bir başka yöntemdir. Farklı kriter ve alternatifler için kullanılabilir olması TOPSIS'in yaygın kullanımında önemli bir faktördür. Bu tezde TOPSIS yöntemi tek başına kullanılmayarak öncelikle bulanık

mantık ile harmanlanarak güvenilirliği arttırılmıştır. Müteakiben diğer yöntemlerle birlikte yapılan analiz sonuçları ile yöntemlerin birbirleri arasındaki tutarlılıkları da incelenmiştir.

2.2.4. VIKOR

Adını Sırpça VlseKriterijuska Optimizacija I Komoromisno Resenje kelimelerinin kısaltılmasından almış olan VIKOR yöntemi; çatışan ve uyumsuzluklara sahip kriterleri içeren problemlerin çözümüne katkı sağlamak için oluşturulmuş bir ÇKVV olarak ortaya çıkmıştır . VIKOR sonucunda elde edilen alternatif kümesinden sıralama yapabilme olanağı onun aynı zamanda bir risk analiz yöntemi olarak kullanılmasına da olanak sağlamaktadır (Opricovic, 2011). Bu özelliği VIKOR'u ÇKKV yöntemi yapmanın yanı sıra, önemli bir risk analiz metodu olmasınıda sağlamıştır. Nitekim literatürde birçok araştırmacı VIKOR yöntemini kullanmıştır.

Ekmekçioğlu ve arkadaşları (2022) tarafından metropollerde sel basmaları riskini İstanbul örnekleminden yola çıkarak analiz etmek, Liu ve arkadaşları (2023) tarafından, kentsel kazı projelerindeki riskleri değerlendirmek, Yazo-Cabuya ve arkadaşları (2024) tarafından organizasyonel riskler ve bunlara bağlı alt risklerin kategori etmek, Naderi ve arkadaşları (2023) bina enerji performansı projeleri ile risklerin analiz edilmesi maksadıyla VIKOR yöntemini kullanarak literatüre katkıda bulunmuşlardır(Ekmekcioğlu, Koc, & Özger, 2022; Liu, Zhou, & Wang, 2023; Naderi, Heydari, & Parchami Jalal, 2023; Yazo-Cabuya, Ibeas, & Herrera-Cuartas, 2024). VIKOR ve TOPSIS üzerine yapılmış ve bu tezde de hibrit bir şekilde kullanılmaları kapsamında önem arz ettiği değerlendirilen bir başka çalışma ise Osei ve arkadaşları (2023) tarafından yapılan çalışmadır. Bahse konu çalışmada Gana'da ki gazlaştırma için kullanılan ürün artıklarının optimizasyonu kapsamında VIKOR, COPRAS ve TOPSIS yöntemleri ile analiz yapılmıştır. Çalışma neticesinde VIKOR ile TOPSIS'in Spearman Korelasyon derece indeksi 0,98 olarak hesaplanmıştır (Osei, Addo, & Kemausuor, 2023). Bu durum yapılan çalışmada TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin verdiği sonuçların birbirlerine olan yakınlıklarını göstermektesi bakımından dikkate alınması gereken bir sonuçtur.

Yukarıdaki başlıklarda da görüldüğü gibi gemi operasyonları yanı sıra tezin yöntemi de birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır. Fakat tezde Bulanık Mantık ile entegre edilmiş DEMATEL, FMEA, TOPSIS ve VIKOR yöntemlerinin birlikte

kullanılmış olması, tezin literatürde farklılaşmasını sağlamaktadır. Çünkü sadece FMEA yönteminde uygulanan *CN* ve *RPN* analizi gibi katkılar ile tezin kendi içerisine bir güvenilirlik testine tabi tutulmasının yanı sıra, tez kapsamında incelenen risk faktörlerinin çok boyutlu incelenmesi hedeflenmiştir. Bu husus tezin literatürde öne çıkmasını sağlayan faktördür.

Nitekim deniz taşımacılığının dünya ticaret sisteminde ve onun parçası olan tedarik zincirinin en önemli parçası olması sebebiyle birçok araştırmacının ilgisini çektiğinden daha önce bahsedilmişti. Tez kapsamında uygulanan hibrit yöntemler ile bu derece önemli olan bir konuda çok boyutlu ve bütüncül bir yaklaşım ile analiz yapılması sağlanmış ve literatürde mevcut ÇKKV yöntemleri ile risk analizi uygulamalarına armuz tutabileceği değerlendirilen hibrit yöntem uygulaması yapılmıştır.

3. YÖNTEM

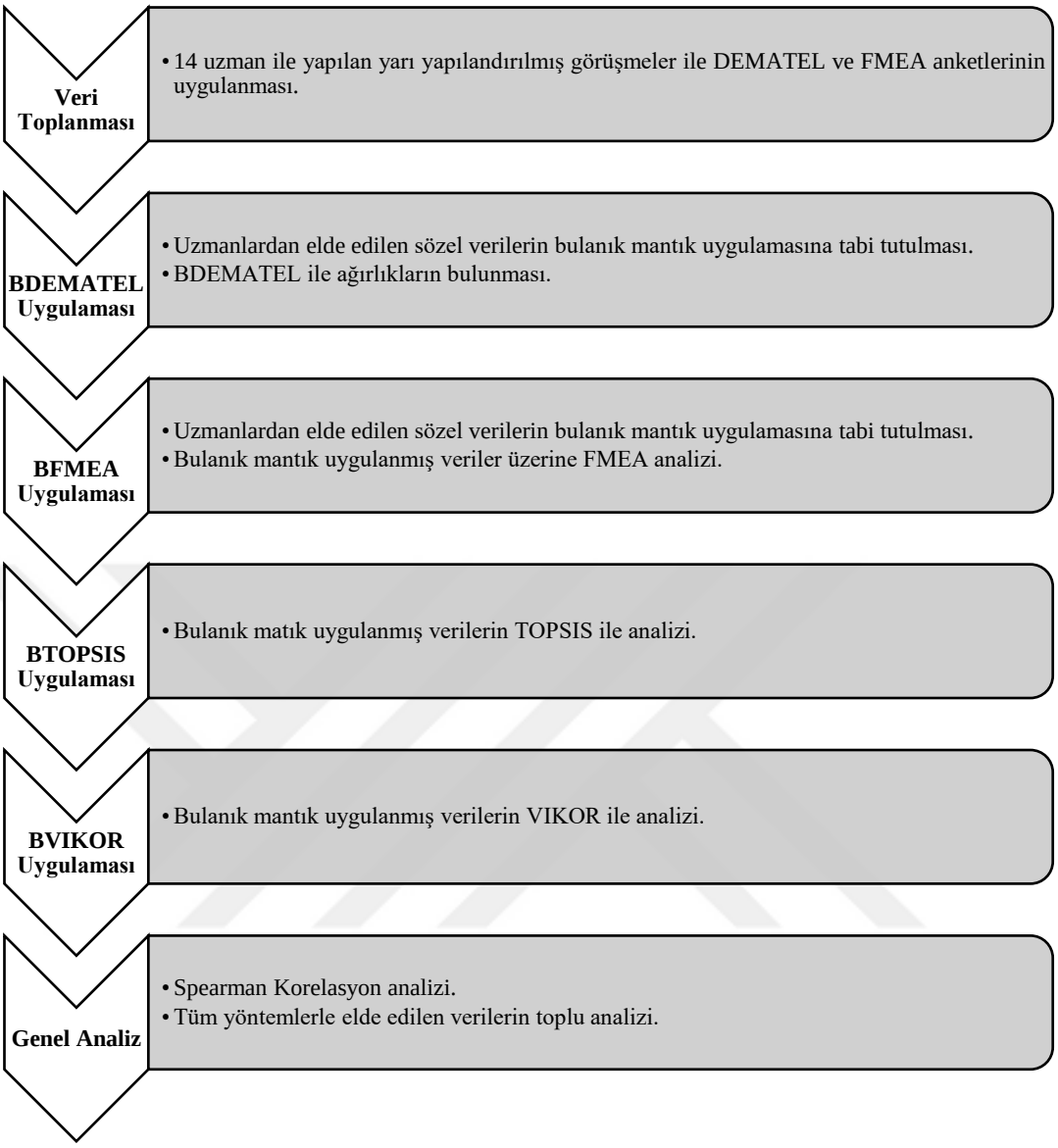
Gemi operasyonlarında mevcut risklerin önceliklendirilmesi kapsamında tezde hibrit yöntemler kullanılmıştır. Hibrit yöntemler kapsamında uygulanan akış diyagramı Şekil 1'de sunulmuştur. Diyagram incelendiğinde tez kapsamında öncelikle 14 uzman ile yapılan yarı yapılandırılmış görüşmelerde DEMATEL ve FMEA anketleri uygulanmıştır. Görüşmelerin yarı yapılandırılmış şekilde icra edilmesinin sebebi uzmanlar tarafından belirlenen risk faktörlerinin doğru şekilde anlaşılmasıdır. Uzmanların konular üzerinde şahsi görüşlerinin etkilenmemesine dikkat edilmiş olup, yalnızca ankette yer alan hususların doğru şekilde anlamlandırılarak görüşlerin doğru ifade edilmesi sağlanmıştır.

Görüşüne danışılan uzmanların denizcilik sektöründe uzun zaman görev yapmaları ve gemi operasyonlarına bilfiil katılmakta olan kişilerden seçilmeye gayret edilmiştir. Bu husus verilerin toplanması neticesinde yapılan analizin tutarlı ve doğru bilgiler vererek, sürdürülebilir çözüm önerileri yaratılması kapsamında önemli bir husustur. Bu kapsamda, görüşüne başvurulan uzmanların demografik bilgileri Tablo 3'de sunulmuştur.

Tezin yöntemi kapsamında uygulanan adımlar Şekil 1'de sunulmuştur. Önceki bölümde de açıklandığı gibi literatürde tezin yöntemleri ile alakalı yapılmış birçok araştırma bulunmasına rağmen, tezin literatüre katkısı hibrit yöntemlerin bir arada kullanılması sayesinde bütüncül bir yaklaşım sunmasıyla olmuştur. Gemi operasyonlarındaki riskler in önceliklendirilmesi kapsamında hibrit yöntemlerin kullanılabilirliğinin desteklenmesi kapsamında yöntemlerin Spearman Korelasyon Analizi ile incelemesi yapılmıştır. Analiz sonucunda ulaşılan veriler aynı zamanda ÇKKV yöntemlerinin gemi operasyonlarındaki risklerin analizinde kullanımında katkı yapması hususunda önemli bir yer teşkil etmektedir. Müteakip başlıklar altında yöntemlere ilişkin detaylı bilgi verilecektir.

Tablo 3. Uzman Bilgileri

Sıra No.	Yaş	Cinsiyet	Eğitim Düzeyi	Denizcilik Alanındaki Görevi	Denizcilik Alanında Çalışma Süresi
1	42	Erkek	Lisans	Uzakyol Kaptanı	19
2	36	Erkek	Yüksek Lisans	Uzakyol Kaptanı	12
3	34	Erkek	Lisans	Uzakyol Kaptanı	10
4	27	Erkek	Yüksek Lisans	Uzakyol II. Zabiti	9
5	39	Erkek	Lisans	Uzakyol Kaptanı	15
6	45	Erkek	Lisans	Uzakyol Kaptanı	20
7	44	Kadın	Lisans	Uzakyol Kaptanı Güverte Enspektörü	17
8	35	Erkek	Lisans	Uzakyol Kaptanı / DPA	11
9	37	Kadın	Lisans	Uzakyol Kaptanı / DPA	14
10	40	Erkek	Yüksek Lisans	Uzakyol Kaptanı / DPA	15
11	34	Erkek	Yüksek Lisans	Uzakyol Kaptanı / Güverte Enspektörü	12
12	49	Erkek	Lisans	Uzakyol Kaptanı / DPA	16
13	31	Erkek	Lisans	Uzakyol Kaptanı / DPA	10
14	53	Erkek	Doktora	Uzakyol Kaptanı	30



Şekil 1. Yöntem Akış Modellemesi

3.1. Bulanık Mantık ve DEMATEL

Tez kapsamında ilk olarak FMEA yönteminde RPN'yi oluşturan S, O ve D değerlerinin birbirleri arasındaki ilişkinin ortaya konulması maksadıyla Bulanık DEMATEL işlemine tabi tutulmuştur. DEMATEL'in Bulanık Mantık ile harmanlanması sayesinde içsel belirsizliklerin önlenmesi sağlanmaya çalışılmıştır (Jassbi, Mohamadnejad, & Nasrollahzadeh, 2011). Cenova Battele Enstitüsü tarafından karmaşık bilim ve insan ilişkileri problemlerinin çözülmesi amacıyla 1971 yılında geliştirilen DEMATEL yöntemi, kriterlerin uzman görüşleri ile entegrasyonu ile birbirleri arasındaki ilişkilerinin ortaya koyulmasını sağlamaktadır. Tez kapsamında uygulanan DEMATEL yöntemi Bulanık Mantık uygulamasına da tabi

tutularak; kriterlerin ağırlıkların tespit edilmesi ve aralarındaki ilişkinin tespit edilmesi amaçlanmıştır (M. S.-M. Lin & Lu, 2023). Bu kapsamda kullanılan dilsel ifadeler ve bulanık sayı karşılıkları Tablo 4'te ve Bulanık DEMATEL yöntemi kapsamında takip edilen adımlar aşağıda sunulmuştur.

(1) $f_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a1 \\ \frac{(x-a1)}{(a2-a1)}, & a1 \le x \le a2, \\ \frac{(a3-x)}{(a3-a2)}, & a2 \le x \le a3, \\ 0, & x > a3 \end{cases}$

(2) $\tilde{A}(+)\tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(+)(b_1, b_2, b_3) = (a_1 + b_1, a_2 + b_2, a_3 + b_3)$

(3) $\tilde{A}(-)\tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(-)(b_1, b_2, b_3) = (a_1 - b_1, a_2 - b_2, a_3 - b_3)$

(4) $\tilde{A}(\times)\tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(\times)(b_1, b_2, b_3) = (a_1 b_1, a_2 b_2, a_3 b_3)$

(5) $\tilde{A}(\div)\tilde{B} = (a_1, a_2, a_3)(\div)(b_1, b_2, b_3) = (a_1/b_1, a_2/b_2, a_3/b_3)$

(6) $\widetilde{\omega}_{ij}^{k} = \left(a_{1ij}^{k}, a_{2ij}^{k}, a_{3ij}^{k}\right)$ k tane uzman görüşüne göre, i kriterinin j kriterini etkileme değerini gösterir.

(7) Durulaştırma, $xa_{1ij}^{k} = (a_{1ij}^{k} - \min a_{1ij}^{k})/\Delta_{min}^{max}$

$xa_{2ij}^{k} = (a_{2ij}^{k} - \min a_{2ij}^{k})/\Delta_{min}^{max}$

$xa_{3ij}^{k} = (a_{3ij}^{k} - \min a_{3ij}^{k})/\Delta_{min}^{max}$

$\Delta_{min}^{max} = \max r_{ij}^{n} - \min l_{ij}^{n}$

(8) Sol (ls) ve sağ (rs) durulaşma değerleri,

$xls_{ij}^{k} = xa_{2ij}^{k}/(1 + xa_{2ij}^{k} - xa_{1ij}^{k})$

$xls_{ij}^{k} = xa_{3ij}^{k}/(1 + xa_{3ij}^{k} - xa_{2ij}^{k})$

(9) Crisp değerlerinin bulunması,

$x_{ij}^{k} = \left[xls_{ij}^{k}\left(1 - xls_{ij}^{k}\right) + xrs_{ij}^{k} \times xrs_{ij}^{n}\right]/(1 - xls_{ij}^{k} + xrs_{ij}^{k})$

$\widetilde{\omega}_{ij}^{k} = mina_{ij}^{n} + x_{ij}^{n}\Delta_{min}^{max}$

(10) k tane uzman tarafından yapılan anketlerin entegre edilmesi,

$\widetilde{\omega}_{ij}^{k} = 1/k(\widetilde{\omega}_{ij}^{1} + \widetilde{\omega}_{ij}^{2} + \cdots + \widetilde{\omega}_{ij}^{k})$

Tablo 4. DEMATEL Dilsel İfadelerin Üçgensel Bulanık Sistem Karşılıkları

Dilsel İfadeler	**Üçgensel Bulanık Sayılar**
Etkisiz	(0,00 , 0,10 , 0,30)
Çok Az Etkili	(0,10 , 0,30 , 0,50)
Az Etkili	(0,30 , 0,50 , 0,70)
Fazla Etkili	(0,50 , 0,70 , 0,90)
Çok Fazla Etkili	(0,70 , 0,90 , 1,00)

Bulanık DEMATEL sonucunda *S, O* ve *D* değerine ait elde edilen ağırlıklar VIKOR ve TOPSIS yöntemlerinde kullanılmıştır.

3.2. FMEA

Tezin FMEA uygulaması bölümünde 14 adet uzman tarafından, belirlenmiş olan 25 adet risk faktörünün *"Etki (S), Ortaya Çıkma Olasılığı (O) ve Tespit Edilebilirlik (D)"* özelliklerini 1-10 arasında bir büyüklük ölçeğinde derecelendirmeleri istenmiştir. Bireysel değişkenlerin etkisinin en aza indirilmesi maksadıyla bu değerler Bulanık Mantık uygulamasına tabi tutulmuşlardır (Ivančan & Lisjak, 2021). Sonuç olarak bulanık *Risk Öncelik Skoruna (RPN)* ulaşılmasını sağlanmaktadır. Derecelendirme aşağıda belirtilen tablo dahilinde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 5. RPN'yi Oluşturan Faktörler (Pillay & Wang, 2003; Stavrou & Ventikos, 2016).

Derece	*S*	*O*	*D*
10	Uyarısız tehlike	Çok Yüksek	İmkansız
9	Uyarılı tehlike		Çok zor
8	Çok yüksek	Yüksek	Zor
7	Yüksek		Çok düşük
6	Orta	Orta	Düşük
5	Düşük		Orta
4	Çok düşük		Ortadan yüksek
3	Gözardı edilebilir	Düşük	Yüksek
2	Çok önemsiz		Çok yüksek
1	Etkisi yoktur	Gerçekleşmez	Kesin

RPN değeri Tablo 5'te belirtilen *S,O* ve *D* değerlerinin çarpımı ile elde edilmektedir.

(1) $RPN = S \times O \times D$

FMEA yönteminde bir başka kritik değer ise *D* değerdir. Çünkü etkisi ve ortaya çıkma sıklığının ikisi birden bile ne kadar büyük olursa olsun kolay tespit edilebilir oluşu bir riskin faktörünün analizde elimine edilmesine sebep olabilir. Bu durum risk faktörünün göz ardı edilmesine sebep olmasına rağmen aslında çok dikkat edilmesi gerektiği gerçeğini değiştirmemektedir. İşte bu gibi faktörlerin daha iyi analiz edilebilmesi için *Kritiklik Numarası (CN)* kullanılabilir. *CN* sayesinde riskin etkisinin ve ne sıklıkla karşılaşıldığının daha iyi anlaşılması amaçlanmaktadır (Stavrou & Ventikos, 2016). Ayrıca *CN* yöntemin kendi içerisinde bir güvenilirlik testi olarakta değerlendirilebilecek kıymetli veriler ihtiva etmektedir.

(2) $CN = S \times O$

3.3. TOPSIS

Tezde uygulanan TOPSIS yöntemi kapsamında; Zavadskas ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan çalışmada belirtilen adımlar risk analizi yöntemine uyarlanarak uygulanmıştır. Uygulanan yönteme ait matematiksel süreç aşağıdadır (Zavadskas vd., 2016).

(1) Normalizasyon maksadıyla, "vektör normalizasyonu" kullanılarak normalize vektör matrisi elde edilmiştir;

$$R_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}^2}}$$

(2) Ağırlıklandırılmış normalize matrisin elde edilmesi maksadıyla;

$V_{ij} = R_{ij} \times W_{ij}$ işlemi uygulanmış ve İdeal (A^*) ve Negatif (A^-) değerleri belirlenmiştir. W_{ij} ile belirtilen değerler BDEMATEL yöntemi sonucunda elde edilmiştir.

(3) $S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(V_{ij} - V_i^*)^2}$ ideal uzaklıkların hesaplanması maksadıyla,

(4) $S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(V_{ij} - V_i^-)^2}$ negatif uzaklıkların hesaplanması maksadıyla;

formülleri kullanılmıştır.

(5) $C_i^* = \frac{S_i^*}{(S_i^- + S_i^*)}$ son olarak ideal çözüme göre yakınlık hesabı formülü ile yapılmıştır.

3.4. VIKOR

Tez kapsamında uygulanan VIKOR yöntemi ile uzmanlar tarafından gemi operasyonlarında risk teşkil eden 25 adet faktörün en riskliden başlayarak sıralanması amaçlanmıştır. VIKOR yöntemi aşağıda belirtilen formüller tatbik edilerek uygulanmıştır (Opricovic & Tzeng, 2007).

$$\underset{j}{mco}\{(f_{ij}(A_j),\ j = 1, \dots, J),\ i = 1, \dots, n\},$$

Burada j alternatiflerin alabileceği değerleri belirtmektedir. A_j ise kaçıncı alternatifin olduğunu göstermek için kullanılan değerdir. *n* ise kriterlerin sayısını belirtmektedir.

(1) En iyi f_i^* ve en kötü f_i^- değerlerinin *i = 1,2,…,n* için saptanması;

$f_i^* = \max_j f_{ij},\ f_i^- = \min_j f_{ij}$, eğer *i*'inci fonksiyon faydayı gösteriyorsa,

$f_i^* = \min_j f_{ij},\ f_i^- = \max_j f_{ij}$, eğer *i*'inci fonksiyon zararı gösteriyorsa,

(2) S_j ve R_j değerlerinin $j = 1,2,\dots,j$ için hesaplanması;

$S_j = \sum_{i=1}^{n} w_i\left(f_i^* - f_{ij}\right) / \left(f_i^* - f_i^-\right)$;

$R_j = \max_i \left[w_i\left(f_i^* - f_{ij}\right) / \left(f_i^* - f_i^-\right)\right]$, burada w_i olarak belirtilen değerler DEMATEL yöntemi ile elde edilmiş olan *S, O* ve *D* değerlerinin ağırlıklarıdır.

(3) Q_j değerinin hesaplanması;

$S^* = min_j S_j, S^- = max_j S_j, R^* = min_j R_j, R^- = max_j R_{j,}$

$Q_j = \frac{v(S_j - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1 - v) * \frac{(R_j - R^*)}{(R^- - R^*)}$, burada belirtilen *v* değeri uzaklığı temsil etmekte olup risk analiz yöntemi olarak kullanımda orta nokta olması sebebiyle sabit *0,5* olarak alınmalıdır.

(4) *Q, S* ve *R* değerleri kullanılarak faktörler sıralanır,

(5) $\left(A^{(1)}\right)$ alternatifi için *Q* (minimum) değeri sıralamasının kabulü için aşağıda belirtilen iki durumdan birisinin uygunluğu görülmelidir;

(a) Kabul edilebilir avantaj;

$$Q\left(A^{(2)}\right) - Q\left(A^{(1)}\right) \geq DQ,$$

$$DQ = \frac{1}{J-1};$$

(b) Kabul edilebilir istikrar;

$\left(A^{(1)}\right)$ alternatifi aynı zamanda *S* ve/veya *R*'de de en iyi değer olmalıdır.

3.5. Spearman Korelasyon Analizi

Bu çalışmada kullanılan ÇKVV sonuçlarının birbiriyle olan tutarlılığını ölçmek amacıyla ilişkisel analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizde, parametrik olmayan bir yöntem olan Spearman Sıra Farkları Korelasyon Katsayısı (r_s) tercih edilmiştir. Korelasyon analizi için sıklıkla kullanılan Pearson Korelasyon Katsayısı, yalnızca sürekli ölçekte ve normal dağılıma sahip değişkenler arasında anlamlı doğrusal ilişki olup olmadığını test etmek amacıyla kullanılmaktadır. Ancak bu çalışmada ele alınan yöntemler, risk faktörlerini sıralı (ordinal) veri formatında değerlendirmektedir. Sıralı veriler üzerinde Pearson korelasyonu kullanılması hem metodolojik açıdan uygun değildir hem de yanıltıcı sonuçlara yol açabilir. Bu nedenle, sıralama verileri arasındaki monotonik ilişkileri ölçebilen ve dağılım varsayımı gerektirmeyen Spearman Korelasyonu tercih edilmiştir. (Zar, 2014). Spearman Korelasyon Analizi kapsamında uygulanan adımlar aşağıda olduğu gibidir .

(1) Tüm gözlemlerin sıralamaları birbirinden farklıysa (her bir gözlem benzersiz bir sıralamaya sahipse), Spearman Korelasyon Katsayısı $r_s = 1 - \frac{6\sum d_i^2}{n(n^2-1)}$

(2) t-istatistiği r_s'nin anlamlılığını test etmek için; $t = r_s \times \sqrt{\frac{n-2}{1-r_s^2}}$

(3) t-Testi kapsamında %95 güven aralığının hesaplanması $CI = r_s \pm z \times \sqrt{\frac{1-r_s^2}{n-2}}$

Spearman Korelasyon Analizi sonucunda elde edilen veriler Tablo 6 kapsamında değerlendirilmiştir. Elde edilen netice hibrit yöntemin tutarlılığının ortaya konulması ve gemi operasyonlarında risk analizinde hibrit yöntem kullanımının çok boyutlu risklerin analizinde önemli bir olgu olduğunun gösterilmesi kapsamında önem arz etmektedir.

Tablo 6. Korelasyon Değerlendirme Tablosu (Schober vd., 2018).

Gözlenen Mutlak Korelasyon Değeri	İlişki
0,00-0,10	Göz ardı edilebilir korelasyon
0,10-0,39	Zayıf korelasyon
0,40-0,69	Orta korelasyon
0,70-0,89	Güçlü korelasyon
0,90-1,00	Çok güçlü korelasyon

4. BULGULAR

Tez kapsamında elde edilen verilerin genel gösterimi Tablo 7'de sunulmuştur. Elde edilen bulguların incelenmesine aşağıdaki ilgili başlıklar altında devam edilecektir. *Tablo 7* tüm yöntemlerin bir arada gösterilmesi kapsamında önemli bir derleme olarak hazırlanmıştır.

Tablo 7. Hibrit Yöntemler Sonuç Tablosu

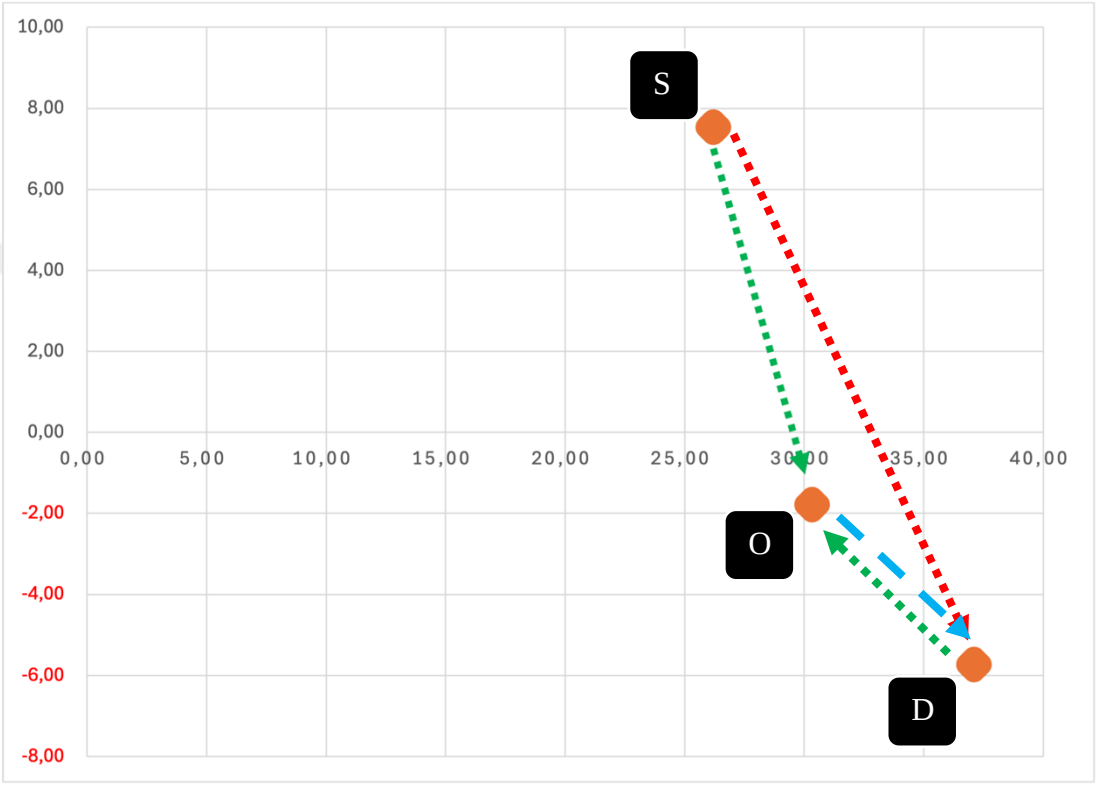
	FMEA		**VIKOR**	**TOPSIS**	**Risk Öncelik Değeri**			
	CN	***RPN***	Q_i	C_i^*	***CN***	***RPN***	***VIKOR***	***TOPSIS***
F1	17,9792	77,4413	0,4630	0,0906	23	17	15	9
F2	20,1650	92,2221	0,2887	0,0997	18	7	7	4
F3	24,6340	90,4671	0,3867	0,0864	5	10	12	13
F4	20,9688	71,3282	0,5463	0,0869	16	19	18	11
F5	22,0525	91,9177	0,2775	0,0909	11	8	6	8
F6	26,7057	116,2613	0,1172	0,1077	3	3	2	2
F7	27,7522	82,3294	0,5321	0,0837	2	13	17	16
F8	25,0683	103,0686	0,1623	0,0944	4	4	4	5
F9	24,0117	98,5672	0,3101	0,0930	7	5	9	6
F10	31,9711	126,5238	0,0857	0,1035	1	1	1	3
F11	24,3822	94,1816	0,3023	0,0852	6	6	8	14

Tablo 8. Hibrit Yöntemler Sonuç Tablosu (devamı)

F12	19,2606	68,8422	0,5638	0,0758	20	20	20	20
F13	18,8185	77,8712	0,4562	0,0866	21	16	14	12
F14	21,2118	78,5834	0,4504	0,0757	15	15	13	21
F15	21,8247	85,8275	0,3655	0,0834	13	12	11	18
F16	16,0837	59,2356	0,8287	0,0713	24	24	24	22
F17	20,5310	62,6325	0,7343	0,0628	17	21	23	23
F18	18,1793	74,2925	0,5562	0,0837	22	18	19	17
F19	22,8665	51,0077	0,9923	0,0549	8	25	25	25
F20	20,0708	62,0211	0,7070	0,0598	19	22	22	24
F21	22,3553	79,0224	0,4909	0,0767	10	14	16	19
F22	22,6766	91,3524	0,2715	0,0883	9	9	5	10
F23	21,7012	126,3115	0,1384	0,1358	14	2	3	1
F24	13,6133	59,8607	0,7024	0,0923	25	23	21	7
F25	21,8775	87,0479	0,3204	0,0843	12	11	10	15

4.1. BDEMATEL Bulguları

Tez kapsamında öncelikle FMEA yönteminde kullanılan *S, O* ve *D* değerlerinin birbirleri arasındaki ilişkilerini ortaya konulması ve ağırlıklandırılmaları maksadıyla uzmanlar tarafından DEMATEL yöntemi ile analiz edilmişlerdir. Analiz neticesinde, ulaşılan grafik aşağıda sunulmuştur. Grafikte kırmızı kesikli çizgi güçlü, mavi kesikli çizgi orta ve yeşil kesikli çizgi zayıf ilişkiyi göstermektedir.



Grafik 1. DEMATEL Faktör-İlişki Grafiği

Grafik 1 incelendiğinde *S* faktörünün *D* üzerinde güçlü *O* üzerinde ise zayıf derecede ilişkisi olduğu görülmektedir. S faktörü üzerinde diğer iki faktörün etkisi bulunmamakta olup *O* faktörü D üzerinde orta, *D* faktörü ise *O* üzerinde zayıf etkiye sahiptir.

Bulanık DEMATEL yöntemi ile analiz kapsamında elde edilen bir başka netice ise faktörlerin etkileyicilik ve etkilenme değerlerini gösteren Tablo 9'dir. Uzmanlar tarafından BDEMATEL kapsamında faktörlerin birbirleri ile olan ilişkilerinin incelenmesi neticesinde elde edilen değerler aşağıda sunulmuştur.

Tablo 9. BDEMATEL Etkileyicilik ve Etkilenme Tablosu

	D	***R***	***D+R***	***D-R***
S	16,87	9,34	26,21	7,53
O	14,27	16,06	30,34	-1,79
D	15,68	21,42	37,10	-5,74

Tablo 9 ve *Grafik 1* üzerine yapılan inceleme neticesinde;

- Etkileme gücü (D) değeri 16,87 ile en yüksek *S* faktöründe olup, bu husus *S* faktörünün diğer faktörler üzerinde güçlü bir etkisi olduğu,
- Etkilenme gücü (R) değeri 21,42 ile en yüksek *D* faktöründe olup, *D* faktörünün diğer faktörlerden en fazla etkilenen faktör olduğu,
- Etkileme ve Etkilenme toplamı (D+R) değeri 37,10 ile en yüksek *D* faktöründe olup, *D* faktörünün sistem içerisinde yüksek öneme sahip olduğu,
- Net etki (D-R) değeri tek pozitif olan *S* faktörünün ise sistem üzerinde **sebep** etkisinde olduğu,
- *D* faktörünün diğer faktörler tarafından yoğun bir şekilde etkilenmesi sebebiyle **sonuç** konumunda olduğu tespit edilmiştir.

BDEMATEL yöntemi sonucunda FMEA, VIKOR ve TOPSIS yöntemlerine esas teşkil etmesi maksadıyla tespit edilen ağırlık değerleri ise Tablo 10'de sunulmuştur.

Tablo 10. BDEMATEL Faktör Ağırlık Tablosu

	Ağırlık Değeri	**Ağrılık Sıralaması**
S	0,29	3
O	0,32	2
D	0,39	1

4.2. BFMEA Bulguları

Uzmanlar tarafından, belirlenen 25 adet riskin FMEA yöntemine esas teşkil eden *S, O* ve *D* değerleri kapsamında belirtilen sözel değerlendirmeler Bulanık Mantık çerçevesinde işlemlere tabi tutulmuştur. Müteakiben ortalama alınması ile elde edilen sonuçlar aşağıda verilen Tablo 11'de gösterilmiştir.

Tablo 11. BFMEA S, O ve D Ortalama Değerleri

Risk Faktörü	**Ortalama Etki (*S*)**	***S* Sıra**	**Ortalama Olasılık (*O*)**	***O* Sıra**	**Ortalama Tespit Edilebilirlik (*D*)**	***D* Sıra**
F1	5,1504	20	3,4909	16	4,3073	5
F2	5,6018	17	3,5998	14	4,5734	2
F3	7,5433	2	3,2657	20	3,6725	18
F4	4,4286	25	4,7349	3	3,4016	21
F5	5,6316	16	3,9159	8	4,1681	6
F6	5,4781	18	4,8750	1	4,3534	4
F7	5,7938	14	4,7900	2	2,9666	24
F8	5,8693	12	4,2711	5	4,1115	8
F9	7,1341	3	3,3658	19	4,1050	9
F10	8,4472	1	3,7848	10	3,9574	13
F11	6,5537	6	3,7204	11	3,8627	15
F12	4,7449	23	4,0592	6	3,5743	19
F13	5,1475	21	3,6559	13	4,1380	7
F14	6,1184	9	3,4669	17	3,7047	16
F15	6,3595	7	3,4318	18	3,9326	14
F16	5,9256	11	2,7143	25	3,6830	17
F17	6,7660	5	3,0345	23	3,0506	23
F18	5,7990	13	3,1349	22	4,0866	10
F19	6,1852	8	3,6970	12	2,2307	25
F20	5,2360	19	3,8332	9	3,0901	22
F21	6,9387	4	3,2218	21	3,5348	20
F22	5,6648	15	4,0030	7	4,0285	11
F23	5,0489	22	4,2982	4	5,8205	1
F24	4,5322	24	3,0037	24	4,3972	3
F25	6,1019	10	3,5853	15	3,9789	12

Tablo 11 verilerine göre en yüksek etkiye sahip (*S*) risk faktörü olarak *F10* öne çıkmaktadır. Ortaya çıkmasına (*O*) bakıldığında en yüksek olasılık *F6* faktöründe, tespit edilebilirlikte (*D*) ise en yüksek yine *F24* faktöründe olduğu görülmektedir.

Tablo 12. CN ve RPN Karşılaştırma

	CN	***CN* Sıra**	***RPN***	***RPN* Sıra**	***CN-RPN***
F1	17,9792	23	77,4413	17	6
F2	20,1650	18	92,2221	7	11
F3	24,6340	5	90,4671	10	-5
F4	20,9688	16	71,3282	19	-3
F5	22,0525	11	91,9177	8	3
F6	26,7057	3	116,2613	3	0
F7	27,7522	2	82,3294	13	-11
F8	25,0683	4	103,0686	4	0
F9	24,0117	7	98,5672	5	2
F10	31,9711	1	126,5238	1	0
F11	24,3822	6	94,1816	6	0
F12	19,2606	20	68,8422	20	0
F13	18,8185	21	77,8712	16	5
F14	21,2118	15	78,5834	15	0
F15	21,8247	13	85,8275	12	1
F16	16,0837	24	59,2356	24	0
F17	20,5310	17	62,6325	21	-4
F18	18,1793	22	74,2925	18	4
F19	22,8665	8	51,0077	25	-17
F20	20,0708	19	62,0211	22	-3
F21	22,3553	10	79,0224	14	-4
F22	22,6766	9	91,3524	9	0
F23	21,7012	14	126,3115	2	12
F24	13,6133	25	59,8607	23	2
F25	21,8775	12	87,0479	11	1

CN ve *RPN* sonuçlarını yansıtan Tablo 12 FMEA yönteminin bahsedilen eksikliğinin giderilmesi kapsamında önemli bir rol üstlenmektedir. *F10*'da değişim olmaması faktörün önemini pekiştiren bir sonuç olmasını göstermekle beraber *F7 CN* sıralamasında ikinci sırada bulunmasına rağmen *RPN* sıralamasında ancak 13. sırada yer alması faktörün önemli bir etkiye sahip olmasına rağmen tespit edilebilirlik değeri sebebiyle göz ardı edilebileceğini göstermesi açısından önemlidir.

4.3. BTOPSIS Bulguları

Tez kapsamında uygulanan hibrit yöntemlerden bir diğeri de Bulanık TOPSIS olmuştur. Yöntem kapsamında öncelikle uzmanlar tarafından FMEA yöntemine esas teşkil etmesi maksadıyla hazırlanmış olan etki, ortaya çıkma olasılığı ve tespit edilebilirlik anket sonuçları Bulanık Mantık uygulamasına tabi tutulmuştur. Bulanık mantık uygulaması ile uzmanlar tarafından sözel olarak verilen verilerin matematiksel karşılıklarının güvenilirliği arttırılmıştır. FMEA yöntemin esas teşkil eden *S,O* ve *D* değerleri TOPSIS yönteminde risk faktörlerinin birer kriteri olarak kullanılmışlardır. Fakat burada önemli olan bir başka husus ise bahse konu kriterlerin ağırlıklandırılmasıdır. Bu kapsamda uygulanan Bulanık Mantık ile harmanlanmış DEMATEL tezin metodolojisinde önemli bir yer tutmaktadır. Çünkü DEMATEL sayesinde kriterlerin ağırlıkları bulunmanın yanı sıra birbirleri ile olan ilişkileri de ortaya çıkarılmıştır. BDEMATEL yöntemi ile tespit edilen ağrılıklar TOPSIS yönteminde ağırlık olarak kullanılarak icra edilen BTOPSIS yöntemi sonucunda elde edilen bulgular Tablo 13'da sunulmuştur. Bahse konu sonuçlar tek başında önemli bir analiz yöntemi olarak değerlendirilebilir olsa da, TOPSIS yöntemi ideal çözüme olan negatif ve pozitif uzaklıklara dayanmaktadır. Bu husus özellikle aşırı uçlarda yer alan negatif ve pozitif değerlere sahip risk faktörlerinin değerlendirilmesinde güvenirliği azaltıcı etkiye sahiptir. Bu nedenle, C_i^* değeri pozitif ve negatif değerlerin ideal çözüme olan uzaklığı olarak TOPSIS yönteminin risk analizindeki temel verisi olarak kullanılmış olmakla beraber, hibrit yöntemler tercih edilerek TOPSIS yönteminin doğasında bulunan zayıflıkların önüne geçilmesine gayret edilmiştir. Bu nedenle tezde yöntemlerin bireysel analizleri fikir edinilmesi maksadıyla önemli olmakla beraber, toplu analiz ise bu tezin literatüre olan asıl katkısı olarak öne çıkmaktadır. Bu sebeple yöntemlerin bireysel verileri üzerine uzun açıklamalar yapılmamıştır.

Tablo 13. BTOPSIS Sonuçları

	C_i^*	Sıra
F1	0,0906	9
F2	0,0997	4
F3	0,0864	13
F4	0,0869	11
F5	0,0909	8
F6	0,1077	2
F7	0,0837	16
F8	0,0944	5
F9	0,0930	6
F10	0,1035	3
F11	0,0852	14
F12	0,0758	20
F13	0,0866	12
F14	0,0757	21
F15	0,0834	18
F16	0,0713	22
F17	0,0628	23
F18	0,0837	17
F19	0,0549	25
F20	0,0598	24
F21	0,0767	19
F22	0,0883	10
F23	0,1358	1
F24	0,0923	7
F25	0,0843	15

BTOPSIS işlemi sonucunda *F24*'ün en yüksek riski ihtiva ettiği tespit edilmişken *F19* ise en az risk faktörü olarak görülmektedir. BTOPSIS ile elde edilen verilerin diğer yöntemler ile edilen veriler ile analizi tartışma ve sonuç kısmında detaylandırılmıştır.

4.4. BVIKOR Bulguları

Tez kapsamında, TOPSIS yönteminde olduğu gibi FMEA yöntemine esas teşkil eden S, O ve D kriter olarak alınarak VIKOR yöntemi uygulanmıştır. Uygulama sonucunda elde edilen veriler Tablo 14'de sunulmuştur.

Tablo 14. VIKOR Sonuçları

	Q_i	Sıra
F1	0,4630	15
F2	0,2887	7
F3	0,3867	12
F4	0,5463	18
F5	0,2775	6
F6	0,1172	2
F7	0,5321	17
F8	0,1623	4
F9	0,3101	9
F10	0,0857	1
F11	0,3023	8
F12	0,5638	20
F13	0,4562	14
F14	0,4504	13
F15	0,3655	11
F16	0,8287	24
F17	0,7343	23
F18	0,5562	19
F19	0,9923	25
F20	0,7070	22
F21	0,4909	16
F22	0,2715	5
F23	0,1384	3
F24	0,7024	21
F25	0,3204	10

Bahse konu veriler incelendiğinde *F10* en yüksek riski ihtiva eden faktör olarak ortaya çıkarken *F16* ise en düşük riske sahip faktördür.

4.5. Spearman Korelasyon Analizi Bulguları

Son olarak tez kapsamında uygulanan yöntemler neticesinde çıkan sonuçlar Spearman Korelasyon Analizine tabi tutulmuştur. VIKOR-TOPSIS-FMEA yöntemlerinin tek tek birbirleri ile olan benzerliklerini içeren bu korelasyon neticesinde Tablo 15 ile belirtilen yakınlık derecelerine ve ulaşılmıştır.

Tablo 15. Spearman Korelasyon Analizi

Karşılaştırılan Yöntem	**Spearman Korelasyon Derecesi (r_s)**	**t-Testi**	**Şansa Bağlı Olarak Ortaya Çıkma (p)**
BFMEA-BVIKOR	0,9654	17.7545	0.000000
BFMEA-BTOPSIS	0,7592	5.5942	0.000011
BVIKOR-BTOPSIS	0,7930	6.2425	0.000002

Yukarıdaki tablo üzerine yapılan inceleme neticesinde;

- BFMEA-BVIKOR sonuçlarının r_s değerlerinin yüksekliği ve t-Testi ile p değerleri dikkate alındığında istatistiksel anlamlılığın çok yüksek olduğu,
- BFMEA-BTOPSIS sonuçlarının r_s değerlerinin yüksekliği ve t-Testi ile p değerleri dikkate alındığında iki yöntem arasında yüksek tutarlılık olsa da, BFMEA ile BVIKOR kadar uyumun bulunmadığı,
- BFMEA-BTOPSIS sonuçlarının r_s değerlerinin yüksekliği ve t-Testi ile p değerleri dikkate alındığında güçlü bir korelasyona sahip olduğu ve iki yöntem arasında güvenilir ve anlamlı bir uyum olduğu gözlemlenmektedir.
- Spearman korelasyon analizinde yalnızca korelasyon katsayısı ve p-değeri vermek, ilişkinin büyüklüğü hakkında eksik bilgi sunabilir. Bu nedenle, korelasyon katsayılarının %95 güven aralıkları da hesaplanmıştır. Yöntemler arasın yüksek düzeyde tutarlı olduğu görülmektedir. Güven aralıkları, korelasyonun yalnızca

istatistiksel olarak anlamlı değil, aynı zamanda etkili ve güvenilir bir ilişki olduğunu göstermesi açısından önem arz etmektedir.

- Tablo 15 genel olarak incelendiğinde ise gemi operasyonlarında risk analizinde uygulanan hibrit yöntemlerin birbirleri uyumlu ve güvenirlik düzeyleri yüksek olduğu görülmüştür.

5. TARTIŞMA, SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Tez kapsamında 14 uzman tarafından dört farklı ÇKKV yönteminin 25 adet gemi operasyonu risk faktörü üzerindeki önceliklendirme sonuçları karşılaştırılmıştır. Her bir yöntem farklı bir değerlendirme metodu kullanmakla birlikte, elde edilen sıralamalarda belirli ortak eğilimler ve ayrışmalar gözlenmiştir. Genel olarak, tüm yöntemlerin en kritik olarak derecelendirdiği riskler benzer çıkmıştır. Özellikle bazı risk faktörleri (örneğin *F10, F6, F24*) her yöntemde üst sıralarda yer alırken, bazıları da tüm yöntemlerde alt sıralarda kalarak önemsiz kabul edilmiştir. Bu durum, farklı yöntemler kullanılsa bile gemi operasyonlarındaki en tehlikeli unsurların tutarlı bir şekilde belirlenebildiğini göstermektedir. Nitekim daha önceden de bahsedildiği gibi literatürde, risk önceliklendirmede hibrit (çok yöntemli) yaklaşımların birlikte kullanımının, tekil yöntemlerin eksik yönlerini gidererek daha güvenilir bir sonuç verdiği belirtilmiştir.

Literatürde yer alan diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında; tezde öne çıkan *F6, F10* ve *F23* faktörlerinin yüksek risk dereceleri, sadece uzman görüşüne değil, literatürde yapılan ampirik çalışmalara da dayalı olarak güçlü biçimde desteklenmektedir. Bu kapsamda özellikle Mwange ve arkadaşları (2024), Müller ve arkadaşları (2023) ile Myllylä ve arkadaşları (2022) tarafından yapılan çalışmaları, bu üç faktörün hem doğrudan hem de dolaylı yollardan nasıl risk ürettiğini gösteren önemli veriler sunmaktadır.

Mwange ve arkadaşları (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, yanaşma ve ayrılma manevralarında gemi manevra karakteristiklerinin etkisi sayısal olarak analiz edilmiştir. Bu analizde, gerçek veriler üzerinden yapılan manevra karakteristik değerlendirmelerinin liman operasyonları sırasında kritik öneme sahip olduğu ortaya konmuştur. Bu bulgu, tezde *F10* ve *F23* gibi faktörlerin üst sıralarda yer almasıyla örtüşmektedir. Özellikle yanaşma ve ayrılma esnasındaki sistemsel arızalar, manevra karakteristiklerinin güvenilirliğine (sistemde arıza olmamasına) bağlıdır. Tezde *F10* faktörünün tüm yöntemlerde ilk sırada yer alması, *F23* ile doğrudan ilişkili bir şekilde değerlendirildiğinde, Mwange ve arkadaşlarının (2024) önerdiği gibi bu iki faktör arasındaki bağlantının doğrudan operasyonel güvenliği etkileyen bir durum olduğu görülmektedir.

Müller ve arkadaşları (2023), Arktik sularda gemi seyrüseferi sırasında kötü hava koşullarının ve deniz buzlarının yol açtığı tehlikeleri incelemiş ve Polar Kod'un

bu tehlikeleri yeterince yönetemediğini göstermiştir. AIS verilerine dayalı analizlerinde kaptanların, rehberliklere rağmen yüksek riskli bölgelerde seyir yaptığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, tezde *F6* faktörü altında değerlendirilen sistemsel ve yönetimsel bir zafiyetin yansıması olduğunu ortaya koymaktadır. Tezde *F6* faktörünün tüm yöntemlerde ilk üç sırada yer alması, yalnızca fiziki koşulların değil, kılavuzluk rehberlerinin yeterince benimsenmemesinin de bir risk kaynağı olduğunu destekler niteliktedir. Bu bağlamda, Müller ve arkadaşlarının önerdiği gibi yalnızca kuralların varlığı değil, bu kuralların etkin uygulanması ve denetimi de riskin yönetilmesinde kritik bir husustur.

Myllylä ve arkadaşları (2022) ise mürettebatın vardiya sistemlerinin yorgunluk ve stres düzeylerine etkisini biyometrik olarak incelemiş ve 4:4 vardiyasının fizyolojik olarak olumsuz sonuçlar doğurduğunu bulmuştur. Bu bulgu, tezde *F7* faktörünün, dolaylı fakat ciddi bir operasyonel risk unsuru olduğunu göstermektedir. Tezde *F7* faktörü özellikle *CN* analizinde ikinci sırada yer alması, riskin etkili ve sık karşılaşılan bir tür olduğuna işaret etmektedir. Myllylä ve arkadaşlarının (2022) çalışması, bu tarz fizyolojik temelli risklerin klasik risk analizlerinde yeterince dikkate alınmadığını, ancak hibrit yaklaşımlarla daha görünür hale geldiğini göstermektedir. Göksu ve Arslan (2023) tarafından yapılan araştırmada meteorolojik şartlardan kaynaklanan dinamik risklerin operasyonun başarısı üzerindeki büyük etkisinin ortaya konulmuş olmasının bu tez ile benzer sonuçları sağladığı değerlendirilmektedir. Çünkü tezin sonucunda ulaşılan ve BTOPSIS ve BVIKOR yöntemlerinde en yüksek ikinci BFMEA'da ise üçüncü sırada yer alan *F6* faktörü doğrudan olumsuz meteorolojik şartlara atıf yapmaktadır. Göksu ve Arslan (2023) tarafından yapılan çalışma yalnızca dinamik risk faktörlerini tartışırken bu tezde genel risk faktörleri üzerinde durulmuştur. Bu durum *F6* faktörünün risk sıralamasını değerlendirilirken iki araştırma arasındaki kıyaslamada göz önünde bulundurulması gereken bir husustur.

Aydin ve arkadaşları (2021) tarafından tanker kazalarında sızıntı kaynaklı risklerin kritik seviyede olduğu gösterilmiş; bu durum, bu tezdeki *F20* faktörünün özellikle çevresel boyutta değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Benzer şekilde Elidolu ve arkadaşları (2025), sistemsel koordinasyon eksikliğini öne çıkarmış ve bu eksikliklerin yükleme/boşaltma operasyonlarındaki ciddi risklerle sonuçlandığını göstermiştir. Tezde bu durum *F22* ve *F18* ile temsil edilmiştir.

Tüm yöntemler ile elde edilen verilerin Spearman Korelasyon Analizine tabi tutulması neticesinde elde edilen sonuçlar Tablo 15'te sunulmuştur. Bu kapsamda Tablo 15 incelendiğinde BFMEA ile VIKOR arasında ***çok güçlü korelasyon*** olduğu görülmektedir. BFMEA ile TOPSIS arasında ise ***güçlü korelasyon*** bulunmaktadır.

Tablo 15'te yer alan BVIKOR-BTOPSIS Spearman Korelasyon Derecesinin 0,7930 ile Osei ve arkadaşları (2023) tarafından yapılan çalışmadaki 0,98'lik VIKOR ve TOPSIS Spearman Korelasyon Derecesine göre daha düşük yakınlık derecesine sahip olmasına rağmen ***güçlü korelasyona*** sahip olduğu görülmektedir. Tez kapsamında icra edilen hibrit yöntemlerin birbirlerine yüksek oranda benzerlik vermiş olmaları yöntemler sayesinde tutarlılıkla gemi operasyonlarındaki risklerin öngörülmesinin mümkün olduğunu ortaya koymaktadır. Ceylan ve Arslanoğlu (2022) tarafından yapılan çalışmada FMEA'nın gemi kazalarındaki kök nedenlerin bulunmasında kullanımını önermiş olması kapsamında; Spearman Korelasyon Analizinde diğer faktörler ile BFMEA arasında yüksek korelasyon derecesi olmasının sonuçların tutarlılığı üzerine olumlu referans olmanın yanı sıra bahse konu çalışmada elde edilen verileri destekler nitelikte olduğu kıymetlendirilmektedir. Her yöntemin kendisine has zayıflıkları olduğu değerlendirildiğinde hibrit yöntemlerle sorunun ele alınması sonuçların güvenilirliğini arttıracağı kıymetlendirilmektedir.

Tez kapsamında Şekil 1'de belirtilen akış dahilinde gemi operasyonundaki risklerin analizi yapılmıştır. Stavrou ve Ventikos (2016), FMEA'nın tespit edilebilirlik (*D*) değerine aşırı bağımlı olmasının, kritik risklerin atlanmasına sebep olabileceğini belirtmiş ve bu zaafın giderilmesi için DEMATEL gibi neden-sonuç ilişkileri kuran yöntemlerin entegrasyonunu önermiştir. Bu tezde de bu öneri dikkate alınarak şiddet (*S*), ortaya çıkma (*O*) ve tespit edilebilirlik (*D*) arasındaki ilişkiler Bulanık DEMATEL ile belirlenmiş; S faktörünün sistemde neden, D faktörünün ise bir sonuç faktörü olduğu tespit edilmiştir. BDEMATEL analiz sonuçları yer alan ve Grafik 1 ile sergilenen veriler incelediğinde;

- Şiddet (*S*) kriterinin, sistemde diğer kriterleri doğrudan etkileyen, yüksek önceliğe sahip olduğu,
- İyileştirme kapsamında, şiddetin azaltılmasının kritik öncelik taşıdığı, şiddet üzerine alınacak önlemlerin sistemin geri kalanı üzerinde olumlu ve sürdürülebilir önlemler sağlamak açısından önemli olduğu,

- Tespit edilebilirlik (*D*) kriterinin sistemin çıktısını temsil ettiği ve diğer faktörlerden yoğun şekilde etkilendiği,
- İyileştirme kapsamında, doğrudan tespit edilebilirlik üzerinde yapılacak faaliyetlerin yerine diğer kriterlerin iyileştirilmesine gayret edilmesinin sisteme azami fayda sağlayacağı. Çünkü diğer kriterler üzerine yapılan iyileştirmelerin tespit edilebilirliğinde yoğun olarak etkilenmesine sebep olacağı,
- Ortaya çıkmanın (*O*) kriterinin belirgin bir etkilenen rolünde olmasına rağmen tespit edilebilirlik kadar kritik olmadığı tespit edilmiştir.

Lin ve Jia (2016) tarafından DEMATEL'in FMEA'nın geliştirilmesi kapsamında kullanılmasını önerdiği çalışmasından yola çıkarak, *S*'nin diğer faktörler üzerindeki etkisi göz önüne alındığında bu tezde elde edilen bulguların bahse konu önermeyi destekler nitelikte olduğu kıymetlendirilmektedir.

Grafik 1 üzerine yapılan değerlendirmede akılda tutulması gereken olgu, uzmanlar tarafından yapılan değerlendirmenin gemi operasyonlarındaki risk faktörleri üzerine yapıldığıdır. *S, O* ve *D* kriterlerinin birbirlerini etkilemelerinin farklı problemler için farklı düzeylerde olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Tez kapsamında uygulanan hibrit yöntemlerin sonuçlarının hepsinin birlikte sergilendiği Tablo 7 incelendiğinde;

- *F10'un* BFMEA ve BVIKOR'da birinci sırada, BTOPSIS'te ise üçüncü sırada yer aldığı,
- *F6'nın* BVIKOR ve BTOPSIS'te ikinci sırada, BFMEA'da ise üçüncü sırada yer aldığı,
- *F23'ün* BTOPSIS'te birinci, BFMEA'da ikinci ve BVIKOR'da üçüncü sırada yer aldığı,
- *F19'un* her üç yöntemde en az riskli faktör olduğu,
- *F16'nın* BFMEA ve BVIKOR'da sondan ikinci, BTOPSIS'te ise sondan dördüncü riskli faktör olduğu,
- *F10, F6, F19* ve *F16* gibi faktörlerin tüm yöntemlerde aynı şekilde riskli veya az riskli olarak görülmelerinin yöntemlerin tutarlılığına işaret ettiği, nitekim Spearman Korelasyon Analizi ile bu hususun matematiksel olarak gerçeklendiği tespit edilmiştir.

F10, F6 ve *F23*'ün en yüksek risk faktörlerini oluşturdukları kıymetlendirilerek, bahse konu riskler incelendiğinde, *F10*'un materyal kaynaklı hata olması ve *F23*'ün materyal kaynaklı risklerin kök nedenlerinden olduğu değerlendirilmektedir. Bu

kapsamda *F23*'ün üzerinde yapılacak iyileştirmenin *F10* üzerinde de doğrudan etki edeceği değerlendirilmektedir.

Tezin kısıtları ise uygulanan analiz yöntemlerinin getirdiği sınırlar hibrit yöntem kullanılması ile giderilmeye çalışılmışsa da başkaca yöntemlerinde kullanılması gerektiğini söylemek yerinde olacaktır. Bir başka kısıt ise görüşlerine başvurulan uzmanların denizciliğin farklı alanlarında, farklı gemi tiplerinde çalışan kişiler olmasıdır. Müteakip çalışmalarda belirli gemi tipleri üzerinde yoğunlaşılmasının risk analizinde daha tutarlı sonuçlarla, sürdürülebilir çözüm önerileri yaratacağı değerlendirilmektedir.

Bu tezde, gemi operasyonlarındaki risklerin analizi amacıyla Bulanık FMEA, Bulanık DEMATEL, Bulanık TOPSIS ve Bulanık VIKOR yöntemleri birlikte kullanılmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda *F10, F6* ve *F23* risk faktörlerinin tüm yöntemlerde üst sıralarda yer alması, bu alanlardaki iyileştirici faaliyetlerin öncelikli olması gerektiğini ortaya koymuştur.

Ayrıca, DEMATEL yöntemi ile sistemdeki faktörlerin birbiriyle ilişkisi analiz edilerek şiddet (*S*) faktörünün sistemin diğer faktörleri üzerinde doğrudan etkili olduğu belirlenmiştir. Bu durum, gemi operasyonlarındaki risk yönetiminin yalnızca tekil faktörlere değil, sistematik bir yapıya dayalı olarak ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Tezde, denizcilik operasyonlarında ortaya çıkan risklerin çok boyutlu yapısı dikkate alınarak, DEMATEL, FMEA, VIKOR ve TOPSIS gibi çok kriterli karar verme (ÇÇKV) yöntemleri Bulanık Mantık ile entegre edilerek analiz edilmiştir. Özellikle bu hibrit yapının kullanılması, literatürde tekil yöntemlerin sıklıkla karşılaştığı sınırları ortadan kaldırmayı amaçlamış ve risklerin daha bütüncül ve sistematik biçimde analiz edilmesini sağlamıştır. Tüm bu bulgular ışığında, bu tezin denizcilik sektörüne katkısı;

- Tekil yöntemlerin ötesine geçerek hibrit modellerle daha kapsamlı bir analiz yapması,
- Uygulanan yöntemlerin tutarlılığını istatistiksel olarak ortaya koyması,
- Bulguların literatürdeki diğer çalışmalarla örtüşmesi sayesinde dışsal geçerliliğinin güçlü olması,
- Sektördeki karar vericilere önceliklendirilmiş, sistematik çözümler sunmasıdır.

Bu bulgulara dayanarak, ileri düzeyde gemi türlerine özgü araştırmalar üzerinden çalışılması ve operasyon öncesi karar destek sistemlerine bu hibrit modellerin entegre edilmesi, gelecek çalışmalar için önemli birer katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

1. Kitaplar

Ceylan, B. O., & Arslanoğlu, Y. (2022). Gemi Kazaları Kök Nedenlerinin Tespiti ve Önceliklendirilmesi İçin Kural Tabanlı Bulanık FMEA Yaklaşımı. In M. A. Dönmez, P. Svasakthivelan, & T. Fırat (Eds.), *IV. INTERNATIONAL NEW YORK ACADEMIC RESEARCH CONGRESS* (pp. 148–155). BZT Akademi Yayınevi.

COLREGs. (1972). London: International Maritime Organization (IMO).

IMDG Code, International Maritime Dangerous Goods Code § (2022). London.

IMO Resolution A.960(23) (2003). Pub. L. No. A.960(23), Recommendations on training and certification and operational procedures for maritime pilots other than deep-sea pilots (2003). London. Retrieved 4 April 2025 from https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Safety/Documents/A960.pdf

ISM Code (2022). International Safety Management (ISM) Code and Guidelines on Implementation of the ISM Code § (2018).

MARPOL (2022). International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, London.

Notteboom, T., Pallis, A., & Rodrigue, J. P. (2021). Port economics, management and policy. Routledge.

OCIMF, ICS, & IAPH. (2020). *International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ISGOTT)* (6th ed.). Witherby Publishing Group.

SOLAS (1974). SOLAS Consolidated Edition 2020, International Maritime Organization (IMO). https://doi.org/10.62454/KH110E

STCW (1978). STCW including 2010 Manila Amendments, 2017 Edition. International Maritime Organization (IMO).

Stopford, M. (2009). Maritime economics (3rd ed.). New York. Routledge.

Talley, W.K. (2012). Port economics. New York. Routledge.

UNCTAD. (2024). *Handabook of Statistics 2024*. Retrieved 4 January 2025 from New York: https://unctad.org/HandbookOfStatistics

Zar, J. H. (2014). Spearman Rank Correlation: Overview. In *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*. Wiley. https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat05964

2. Makaleler, Bildiriler, Diğer Basılı Yayınlar

Ajarostaghi, S. S. M., Kadkhodaie, A., Hoseini, S. H., Omran, A. V., & Pahlavani, P. (2022). "Blockchain Capabilities to Improve the Productivity of Maritime Logistics Processes: Review, Taxonomy, Open Challenges and Future Trends". Journal of Information Technology Management, 14(3), 190-226.

Alhassan, H., Peleato, N., & Sadiq, R. (2023). "Mercury risk reduction in artisanal and small-scale gold mining: A fuzzy AHP-Fuzzy TOPSIS hybrid analysis". *Resources Policy*, 83, 103744. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.103744

Ardi, R., Putri, T. A., & Izzati, S. N. (2024). Risk assessment on cosmetic industry supply chain using DEMATEL based ANP (p. 090002). Retrieved from https://doi.org/10.1063/5.0236897

Arici, S. S., Akyuz, E., & Arslan, O. (2020). "Application of fuzzy bow-tie risk analysis to maritime transportation: The case of ship collision during the STS operation". *Ocean Engineering*, 217, 107960. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107960

Awodi, N. J., Liu, Y., Ayo-Imoru, R. M., & Ayodeji, A. (2023). "Fuzzy TOPSIS-based risk assessment model for effective nuclear decommissioning risk management". *Progress in Nuclear Energy*, 155, 104524. https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2022.104524

Aydin, M., Camliyurt, G., Akyuz, E., & Arslan, O. (2021). "Analyzing human error contributions to maritime environmental risk in oil/chemical tanker ship". *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 27(7), 1838–1859. https://doi.org/10.1080/10807039.2021.1910011

Beiranvand, B., & Rajaee, T. (2023). "Environmental Risk Management of Eyvashan Dam Using Traditional-FMEA and FIS-FMEA Methods". *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, 7(3), 1–20. https://doi.org/https://doi.org/10.22115/SCCE.2023.369468.1564

Bozkuş, E., & Bozkuş, Ö. (2021). "İşçi Sağlığı ve İş Güvenliğinde Bulanık Yöntemlere Dayalı Risk Değerlendirme Yaklaşımları". *OHS ACADEMY*, 4(2), 49–64. https://doi.org/10.38213/ohsacademy.956021

Cardiel-Ortega, J. J., & Baeza-Serrato, R. (2023). “Failure Mode and Effect Analysis with a Fuzzy Logic Approach”. *Systems*, 11(7), 348. https://doi.org/10.3390/systems11070348

Cullinane, K., & Khanna, M. (2000). “Economies of scale in large containerships: optimal size and geographical implications”. *Journal of Transport Geography*, 8(3), 181–195. https://doi.org/10.1016/S0966-6923(00)00010-7

Çakır, E., Fışkın, R., & Sevgili, C. (2021). Investigation of tugboat accidents severity: An application of association rule mining algorithms. *Reliability Engineering & System Safety*, 209, 107470. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.107470

Daryanto, Maulana, M. A., & Kurniawan, F. (2020). “Operational Risk Assessment Of Ship To Ship Transfer In The FSRU Lampung Using Risk Matrix Method”. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 557(1), 012035. https://doi.org/10.1088/1755-1315/557/1/012035

Dugan, S. A., & Utne, I. B. (2025). Analysis of the Repairability of Ship Machinery Failures. In *2025 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)* (pp. 1–6). IEEE. Retrieved from https://doi.org/10.1109/RAMS48127.2025.10935165

Elidolu, G., Sezer, S. I., Akyuz, E., Aydin, M., & Gardoni, P. (2025). A comprehensive risk analysis for cargo leakage pollution at tanker ship manifold under cloud modelling and Bayesian belief network approach. *Marine Pollution Bulletin*, 219, 118238. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2025.118238

Ellis, J. (2011). Analysis of accidents and incidents occurring during transport of packaged dangerous goods by sea. *Safety Science*, 49(8–9), 1231–1237. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.04.004

Ekmekcioğlu, Ö., Koc, K., & Özger, M. (2022). “Towards flood risk mapping based on multi-tiered decision making in a densely urbanized metropolitan city of Istanbul”. *Sustainable Cities and Society*, 80, 103759. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103759

Elidolu, G., Sezer, S. I., Akyuz, E., Arslan, O., & Arslanoglu, Y. (2023). "Operational risk assessment of ballasting and de-ballasting on-board tanker ship under FMECA extended Evidential Reasoning (ER) and Rule-based Bayesian Network (RBN) approach". *Reliability Engineering & System Safety*, 231, 108975. https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108975

Engtrø, E., Gudmestad, O. T., & NjÁ, O. (2020). "The Polar Code's Implications for Safe Ship Operations in the Arctic Region". *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 14(3), 655–661. https://doi.org/10.12716/1001.14.03.18

García Maza, J. A., & Argüelles, R. P. (2022). COLREGs and their application in collision avoidance algorithms: A critical analysis. *Ocean Engineering*, 261, 112029. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112029

Gruenefeld, U., Stratmann, T. C., Brueck, Y., Hahn, A., Boll, S., & Heuten, W. (2018). Investigations on Container Ship Berthing from the Pilot's Perspective: Accident Analysis, Ethnographic Study, and Online Survey. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 12(3), 493–498. Retrieved from https://doi.org/10.12716/1001.12.03.07

Gonzalez-Aregall, M., Flodén, J., Woxenius, J., Malmberg, L.-G., Sallander, A.-S., Nuldén, U., Pessi, K., Ellis, J. (2021). Reducing undeclared and misdeclared dangerous goods to improve maritime transport safety. *Lighthouse Maritime Competence Centre*.

Göksu, S., & Arslan, Ö. (2020). "Quantitative Analysis of Dynamic Risk Factors for Shipping Operations". *Journal of ETA Maritime Science*, 8(2), 86–97. https://doi.org/10.5505/jems.2020.63308

Göksu, S., & Arslan, Ö. (2023). "A quantitative dynamic risk assessment for ship operation using the fuzzy FMEA: The case of ship berthing/unberthing operation". *Ocean Engineering*, 287, 115548. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.115548

Göksu, B., Yüksel, O., & Şakar, C. (2023). Risk assessment of the Ship steering gear failures using fuzzy-Bayesian networks. *Ocean Engineering*, 274, 114064. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114064

Husjord, D. (2016). “Development of a Decision Support System in Ship-To-Ship Lightering”. *Journal of Navigation*, 69(5), 1154–1182. https://doi.org/10.1017/S0373463316000126

Ivančan, J., & Lisjak, D. (2021). “New FMEA Risks Ranking Approach Utilizing Four Fuzzy Logic Systems”. *Machines*, 9(11), 292. https://doi.org/10.3390/machines9110292

Jakovlev, S., Eglynas, T., Jankunas, V., Jusis, M., & Voznak, M. (2025). Analysis of Damage to Shipping Container Sides During Port Handling Operations. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(5), 982. Retrieved from https://doi.org/10.3390/jmse13050982

Jassbi, J., Mohamadnejad, F., & Nasrollahzadeh, H. (2011). “A Fuzzy DEMATEL Framework for Modeling Cause and Effect Relationships of Strategy Map”. *Expert Systems with Applications*, 38(5), 5967–5973. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.11.026

Kadhafi, M. (2024). Maritime Safety in the Digital Era as the Role of Weather Monitoring and Prediction Technology. *Maritime Park Journal of Maritime Technology and Society*, 28–33. Retrieved from https://doi.org/10.62012/mp.v3i2.35388

Kara, E., Menteş, A., & Akyıldız, H. (2021). Operational Risk Management in Loading and Unloading Operations in Ports. *GİDB Dergi*, 20, 27–42.

Karatuğ, Ç., Arslanoğlu, Y., & Soares, C. G. (2023). Review of maintenance strategies for ship machinery systems. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 22(5), 233–247. Retrieved from https://doi.org/10.1080/20464177.2023.2180831

Kaup, M., Łozowicka, D., Baszak, K., Ślączka, W., & Kalbarczyk-Jedynak, A. (2022). Review of the Container Ship Loading Model – Cause Analysis of Cargo Damage and/or Loss. *Polish Maritime Research*, 29(4), 26–35. Retrieved from https://doi.org/10.2478/pomr-2022-0041

Kızılkaya, N., Tanyer, A. M., & Pekeriçli, M. K. (2023). “Fuzzy-based escape route fire-vulnerability assessment model for indoor built environment”. *Indoor and Built Environment*, 32(1), 116–132. https://doi.org/10.1177/1420326X211045735

Kia, M., Shayan, E., & Ghotb, F. (2000). “The importance of simulation in shipping terminal design”. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 30(3/4), 343-359.

Koh, T. J., & Paik, J. K. (2016). Structural failure assessment of a post-Panamax class containership: lessons learned from the MSC Napoli accident. *Ships and Offshore Structures*, 11(8), 847–859. Retrieved from https://doi.org/10.1080/17445302.2015.1074643

Kristić, M., Žuškin, S., Brčić, D., & Car, M. (2021). Overreliance on ECDIS Technology: A Challenge for Safe Navigation. *TransNav, The International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 15(2), 277–287. Retrieved from https://doi.org/10.12716/1001.15.02.02

Kurniadi, D., Saeful Mu’tamar, R., Dwi Santoso, A., & Bagus Harianto, B. (2024). The Influence Of Understanding The Collision Regulations (COLREG) 1972 On Competence Of Navigation Supervision Tasks On Ships. *Educational Administration: Theory and Practice*. Retrieved from https://doi.org/10.53555/kuey.v30i6.3068

Lin, M. S.-M., & Lu, B.-S. (2023). “Risk assessment and management in the offshore wind power industry: A focus on component handling operations in ports”. *Safety Science*, 167, 106286. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2023.106286

Lin, X., & Jia, W. (2016). “A Risk Assessment Method Based on OWGA Operator and Fuzzy DEMATEL Algorithm". In *Proceedings of the 2nd International Conference on Electronics, Network and Computer Engineering (ICENCE 2016)*. Paris, France: Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/icence-16.2016.85

Liu, X., Zhou, X.-H., & Wang, Y.-J. (2023). “Risk analysis for urban excavation: a FAHP-VIKOR hybrid method”. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 14(1). https://doi.org/10.1080/19475705.2023.2282944

Panayides, P. M. (2006). “Maritime logistics and global supply chains: towards a research agenda”. Maritime Economics & Logistics, 8(1), 3-18.

Panayides, P. M., & Song, D. W. (2013). “Maritime logistics as an emerging discipline”. Maritime Policy & Management, 40(7), 611-614.

Ma, X., Shi, G., Li, W., & Shi, J. (2022). “Identifying the Most Probable Human Errors Influencing Maritime Safety”. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(1), 14. https://doi.org/10.3390/jmse11010014

Mantoju, Capt. D. (2021). Analysis of MARPOL implementation based on port state control statistics. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*, 5(3), 132–145. Retrieved from https://doi.org/10.1080/25725084.2021.1965281

Melnyk, O., Onishchenko, O., Drozhzhyn, O., Pasternak, O., Vilshanyuk, M., Zayats, S., & Shcheniavskyi, G. (2024). "The ship safety evaluation and analysis on the multilayer model case study". *E3S Web of Conferences*, 501, 01018. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202450101018

Mohamed, E., Seresht, N. G., Jafari, P., & AbouRizk, S. (2024). "Risk assessment for onshore wind projects in Canada". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 191, 114145. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114145

Müller, M., Knol-Kauffman, M., Jeuring, J., & Palerme, C. (2023). Arctic shipping trends during hazardous weather and sea-ice conditions and the Polar Code's effectiveness. *Npj Ocean Sustainability*, 2(1), 12. Retrieved from https://doi.org/10.1038/s44183-023-00021-x

Mwange, A. N., Miyauchi, Y., Kambara, T., Koike, H., Hosogaya, K., & Maki, A. (2024). Quantitative Evaluation of Full-Scale Ship Maneuvering Characteristics During Berthing and Unberthing. *Journal of Marine Science and Technology*.

Myllylä, M., Kyröläinen, H., Ojanen, T., Ruohola, J.-P., Heinonen, O. J., Vahlberg, T., & Parkkola, K. I. (2022). Effects of operational assessment of the 4:4 and 4:4/6:6 watch systems on sleepiness, fatigue, and stress responses during patrolling on a navy missile patrol boat. *Chronobiology International*, 39(9), 1233–1241. Retrieved from https://doi.org/10.1080/07420528.2022.2090374

Naderi, H., Heydari, M. H., & Parchami Jalal, M. (2023). "Risk Analysis in Implementing Building Energy Performance Projects: Hybrid DANP-VIKOR Model Analysis—A Case Study in Iran". *Buildings*, 13(8), 2066. https://doi.org/10.3390/buildings13082066

Okoh, P. (2014). Gas Detection for Offshore Application. In *Probabilistic Safety Assessment and Management conference*. Honolulu.

Olivella, J. (1995). A rigorous practical method to compute the effects of the free surface in the ship for fluid weights. *Transactions on the Built Environment*, 11, 481–488.

Opricovic, S. (2011). “Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning”. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12983–12990. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.097

Opricovic, S., & Tzeng, G.-H. (2007). “Extended VIKOR method in comparison with outranking methods”. *European Journal of Operational Research*, 178(2), 514–529. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.01.020

Osei, I., Addo, A., & Kemausuor, F. (2023). “Optimal evaluation of crop residues for gasification in Ghana using integrated multi-criterial decision making techniques”. *Heliyon*, 9(10), e20553. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20553

Öztürk, O. B. (2024). “A Risk Assessment for Accidents of Ship Mooring Operations from Fine-Kinney Method Perspective”. *Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(1), 115–125. https://doi.org/10.53501/rteufemud.1475210

Öztürk, O. B., Kartal, Ş. E., & Aydin, M. (2024). Investigating the influence of human errors in master-pilot information exchange on maritime accident risk during pilotage. *Ocean Engineering*, 305, 118051. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118051

Peterson, C. H., Rice, S. D., Short, J. W., Esler, D., Bodkin, J. L., Ballachey, B. E., & Irons, D. B. (2003). “Long-Term Ecosystem Response to the Exxon Valdez Oil Spill”. *Science*, 302(5653), 2082–2086. https://doi.org/10.1126/science.1084282

Prieto, J. M., Almorza, D., Amor-Esteban, V., Muñoz-Perez, J. J., & Jigena-Antelo, B. (2025). Identification of Risk Patterns by Type of Ship Through Correspondence Analysis of Port State Control: A Differentiated Approach to Inspection to Enhance Maritime Safety and Pollution Prevention. *Oceans*, 6(1), 15. Retrieved from https://doi.org/10.3390/oceans6010015

Pillay, A., & Wang, J. (2003). “Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning”. *Reliability Engineering & System Safety*, 79(1), 69–85. https://doi.org/10.1016/S0951-8320(02)00179-5

Sánchez-Beaskoetxea, J., Basterretxea-Iribar, I., Sotés, I., & Machado, M. de las M. M. (2021). Human error in marine accidents: Is the crew normally to blame? *Maritime Transport Research*, 2, 100016. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.martra.2021.100016

Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A. (2018). "Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation". *Anesthesia & Analgesia*, 126(5), 1763–1768. https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864

Schröder-Hinrichs, J.-U., Hollnagel, E., & Baldauf, M. (2012). "From Titanic to Costa Concordia—A Century of Lessons Not Learned". *WMU Journal of Maritime Affairs*, 11(2), 151–167. https://doi.org/10.1007/s13437-012-0032-3

Şengün, B., & Arslan, O. (2024). "Risk Analysis for Engine Room Fires on Ships: Case Study Using the Fine-Kinney Method". *Journal of Maritime Research: Amphora*, 3(5), 64–75.

Sezer, S. I., Ceylan, B. O., Akyuz, E., & Arslan, O. (2022). "D-S evidence based FMECA approach to assess potential risks in ballast water system (BWS) on-board tanker ship". *Journal of Ocean Engineering and Science*. https://doi.org/10.1016/j.joes.2022.06.040

Sharifi, F., Vahdatzad, M. A., Barghi, B., & Azadeh-Fard, N. (2022). "Identifying and ranking risks using combined FMEA-TOPSIS method for new product development in the dairy industry and offering mitigation strategies: case study of Ramak Company". *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, 13(5), 2790–2807. https://doi.org/10.1007/s13198-022-01672-8

Sharma, K. D., & Srisvastava, S. (2018). "Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)Implementation: A Literature Review". *Journal of Advance Research in Aeronautics and Space Science*, 5(1 & 2), 1–17.

Shoal, H. (2021). *Grounding of Trinity Bay*. Australian Transport Safety Bureau. Retrieved 5 June 2025 from Qeensland: https://www.atsb.gov.au/sites/default/files/2023-06/MO-2021-001%20Final.pdf

Sokukcu, M., & Sakar, C. (2022). "Risk analysis of collision accidents during underway STS berthing maneuver through integrating fault tree analysis (FTA) into Bayesian network (BN)". *Applied Ocean Research*, 126, 103290. https://doi.org/10.1016/j.apor.2022.103290

Stavrou, D. I., & Ventikos, N. P. (2015). "Risk evaluation of ship-to-ship transfer of cargo operations by applying PFMEA and FIS". In *2015 Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)* (pp. 1–7). IEEE. https://doi.org/10.1109/RAMS.2015.7105149

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. https://doi.org/10.1080/13669877.2015.1043572

Su, Z., Wu, C., Xiao, Y., & He, H. (2022). “Study on the prediction model of accidents and incidents of cruise ship operation based on machine learning”. *Ocean Engineering*, 260, 111954. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111954

Susoy, M., & Yorulmaz, M. (2024). “Denizcilik Sektöründe İş Bulmada Sosyal Medya Araçlarının Rolü”. *Bilgi Ekonomisi ve Yönetimi Dergisi*, 19(2), 117–130. https://doi.org/10.54860/beyder.1431506

Vieira, E., Sousa, C., Expedition, A., & Dias, G. (2023). “Impact of blue economy sectors using causality, correlation and panel data models”. Frontiers in Marine Science, 10, 1034054.

Wang, S., Wang, J., & Wang, X. (2024). Risk analysis of human evacuation aboard passenger ships based on fuzzy DEMATEL-ISM-BN. Ocean Engineering, 313, 119520. Retrieved from https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.119520

Witkowska, A., Smierzchalski, R., & Wilczynski, P. (2017). “Approach Manoeuvre During Emergency Ship-to-Ship Transfer Operation with Oil Spill”. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 11(2), 145–151. https://doi.org/10.12716/1001.11.02.17

Wu, Z., Liu, W., & Nie, W. (2021). “Literature review and prospect of the development and application of FMEA in manufacturing industry”. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 112(5–6), 1409–1436. https://doi.org/10.1007/s00170-020-06425-0

Yazo-Cabuya, E. J., Ibeas, A., & Herrera-Cuartas, J. A. (2024). “Integration of Sustainability in Risk Management and Operational Excellence through the VIKOR Method Considering Comparisons between Multi-Criteria Decision-Making Methods”. *Sustainability*, 16(11), 4585. https://doi.org/10.3390/su16114585

Yorulmaz, M., & Susoy, M. (2024). “Analysis and Management of Physical and Ergonomic Risks on Ships”. *New Horizans in Management: Contemporary Approaches on Theoretical Foundations* (pp. 62–76). Ankara: BİDGE Yayınları.

Yorulmaz, M., & Susoy, M. (2025). “Risk analysis and management for STS operations in ports using an integrated hybrid method”. *Ocean Engineering*, 316, 120019. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.120019

Zavadskas, E. K., Mardani, A., Turskis, Z., Jusoh, A., & Nor, K. M. (2016). “Development of TOPSIS Method to Solve Complicated Decision-Making Problems — An Overview on Developments from 2000 to 2015”. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 15(03), 645–682. https://doi.org/10.1142/S0219622016300019

Zhang, R., & Yan, H. (2024). Complex system risk assessment model based on improved cloud DEMATEL-TAISM. Civil Engineering and Environmental Systems, 1–24. Retrieved from https://doi.org/10.1080/10286608.2024.2445864

Zhong, C., & Zhang, S. (2025). Schedule Risk Analysis of Prefabricated Building Projects Based on DEMATEL-ISM and Bayesian Networks. Buildings, 15(3), 508. Retrieved from https://doi.org/10.3390/buildings15030508

Zyoud, S. H., & Fuchs-Hanusch, D. (2017). “A bibliometric-based survey on AHP and TOPSIS techniques”. *Expert Systems with Applications*, 78, 158–181. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.02.016