T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
DENİZ ULAŞTIRMA İŞLETME MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
DENİZCİLİKTE EMNİYET, GÜVENLİK VE ÇEVRE
YÖNETİMİ DOKTORA PROGRAMI
DOKTORA TEZİ

GEMİ KAYNAKLI PETROL KİRLİLİĞİ MÜDAHALESİNDE NET ÇEVRESEL FAYDA ANALİZİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ: ALİAĞA KÖRFEZİ UYGULAMASI

Müge BÜBER

Danışman
Doç.Dr. Burak KÖSEOĞLU

İZMİR-2023

TEZ ONAY SAYFASI

YEMİN METNİ

Doktora Tezi olarak sunduğum "Gemi Kaynaklı Petrol Kirliliği Müdahalesinde Net Çevresel Fayda Analizi için Bir Model Önerisi: Aliağa Körfezi Uygulaması" adlı çalışmanın, tarafımdan, akademik kurallara ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını ve yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.

..... / .... /2023

Müge BÜBER

ÖZET

Doktora Tezi

Gemi Kaynaklı Petrol Kirliliği Müdahalesinde Net Çevresel Fayda Analizi için Bir Model Önerisi: Aliağa Körfezi Uygulaması

Müge BÜBER

Dokuz Eylül Üniversitesi
Sosyal Bilimler Enstitüsü
Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı
Denizcilikte Emniyet, Güvenlik ve Çevre Yönetimi Programı

Net Çevresel Fayda Analizi (NÇFA), petrol kirliliğine müdahale bağlamında farklı müdahale stratejilerinin çevre üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirmek ve en etkili eylem planını belirlemek için kullanılan nicel ve nitel analizlere dayalı bir karar destek yaklaşımıdır. NÇFA yaklaşımı, farklı müdahale stratejilerinin saha değişkenleri ışığında üstünlüklerini ve zayıflıklarını karşılaştırarak optimum seçim yapılmasına katkı sağlamaktadır. Bu araştırmanın temel amacı, Aliağa Körfezi'nde meydana gelmesi olası bir petrol kirliliğine minimum çevre hasarı yaratacak optimum müdahale stratejisini belirlemeye yönelik bir karar destek modeli önermektir. Bu araştırmada, NÇFA modelinin uygulanabilirliğinin ve etkinliğinin değerlendirilmesinde müdahale stratejilerinin çevresel etkilerini analiz etmek amacıyla bir vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Vaka çalışmalarından elde edilen bulgular mevcut literatür ile karşılaştırılmıştır. İleriki çalışmalar için, modelin farklı petrol döküntüsü türleri, farklı çevresel koşullar ve farklı sosyo-ekonomik ortamlar da dahil olmak üzere daha geniş bir yelpazede test edilmesine yönelik araştırma önerilerinde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çevresel Karar Destek Sistemleri, Gemi Kaynaklı Petrol Kirliliği, Müdahale Teknikleri, Net Çevresel Fayda Analizi, Risk Analiz Yaklaşımları.

ABSTRACT

Doctoral Thesis

Doctor of Philosophy

A Model Proposal for Net Environmental Benefit Analysis in Ship-Source Oil Pollution Response: An Application for Aliaga Bay

Muge BUBER

Dokuz Eylul University

Graduate School of Social Sciences

Department of Marine Transportation Engineering

Maritime Safety, Security and Environmental Management Program

Net Environmental Benefit Analysis (NEBA) is a decision support approach based on quantitative and qualitative analysis used to assess the potential environmental impacts of different response strategies in the context of oil pollution response and to determine the most effective course of action. The NEBA approach contributes to making an optimal choice by comparing the advantages and weaknesses of different response strategies in the light of field variables. The main objective of this research is to propose a decision support model to determine the optimum response strategy that will cause minimum environmental damage to a possible oil pollution in Aliaga Bay. In this research, a case study was conducted to analyze the environmental impacts of response strategies in evaluating the applicability and effectiveness of the NEBA model. The findings obtained from the case studies were compared with the existing literature. For future studies, research recommendations are made to test the model in a wider range of settings, including different types of oil spills, different environmental conditions, and different socio-economic environments.

Keywords: Environmental Decision Support Systems, Ship-Source Oil Pollution Response Techniques, Net Environmental Benefit Analysis, Risk Analysis Approaches.

GEMİ KAYNAKLI PETROL KİRLİLİĞİ MÜDAHALESİNDE NET ÇEVRESEL FAYDA ANALİZİ İÇİN BİR MODEL ÖNERİSİ: ALİAĞA KÖRFEZİ UYGULAMASI

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI ii
YEMİN METNİ iii
ÖZET iv
ABSTRACT v
İÇİNDEKİLER vii
KISALTMALAR xi
TABLOLAR LİSTESİ xv
ŞEKİLLER LİSTESİ xvi
EKLER LİSTESİ xviii

GİRİŞ 1

BİRİNCİ BÖLÜM
ARAŞTIRMANIN KAVRAMSAL ÇERÇEVESİ

1.1. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE PETROL TAŞIMACILIĞI 3
1.2. PETROL TAŞIMACILIĞINDAN KAYNAKLANAN KİRLİLİK RİSKİ 10
1.2.1. Petrol Kirliliği ile Sonuçlanan Gemi Kaynaklı Kirlilik Kazaları 12
1.2.2. Gemi Kaynaklı Petrol Kirliliğine Yönelik Literatür Çalışması 19
1.3. PETROL KİRLİLİĞİNİN ÖNLENMESİNE İLİŞKİN YASAL ÇERÇEVE 21
1.3.1. Denizde Petrol Kirliliğine Yönelik Uluslararası Düzenlemeler 22
1.3.2. Denizde Petrol Kirliliğine Yönelik Ulusal Düzenlemeler 29
1.4. PETROLÜN DENİZ ORTAMINDA BOZUNMA SÜREÇLERİ 33
1.5. PETROL KİRLİLİĞİNİN MEYDANA GETİRDİĞİ ETKİLER 40
1.5.1. Petrol Kirliliğinin Çevre ve Canlı Yaşamı Üzerindeki Etkileri 43
1.5.2. Petrol Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkisi 47

1.5.3. Petrol Kirliliğinin Sosyal ve Ekonomik Faaliyetler Üzerindeki Etkileri 49
1.6. DENİZDE PETROL KİRLİLİĞİNE YÖNELİK MÜDAHALE TEKNİKLERİ 52
1.6.1. Fiziksel/Mekanik Müdahale Sistemleri 55
1.6.2. Kimyasal Müdahale Sistemleri 63
1.6.3. Termal Müdahale Sistemleri 71
1.6.4. Biyolojik Müdahale Sistemleri 73
1.7. PETROL KİRLİLİĞİ MÜDAHALESİNDE KULLANILAN TEKNİKLERİN SEÇİM SÜRECİ 75
1.8. PETROL KİRLİLİĞİ MÜDAHALESİNDE KULLANILAN ÇEVRESEL KARAR DESTEK YAKLAŞIMLARI 77
1.8.1. Net Çevresel Fayda Analizi Kavramsal Çerçevesi 80
1.8.2. Net Çevresel Fayda Analizi'ne Dair Literatür Çalışması 82
1.8.3. Net Çevresel Fayda Analizi'nin Acil Durum Planlamasındaki Yeri ve Önemi 86
1.8.4. Net Çevresel Fayda Analizi Planlama Aşaması 89
1.8.5. Net Çevresel Fayda Analizi Sürecinde Kullanılan Tekniklerin Genel Çerçevesi 93

İKİNCİ BÖLÜM

ARAŞTIRMA TASARIMI VE YÖNTEMİ

2.1. ARAŞTIRMANIN KONUSU VE ÖNEMİ 99
2.2. ARAŞTIRMANIN ÖZGÜNLÜĞÜ 105
2.3. ARAŞTIRMANIN PROBLEMİ VE AMACI 107
2.4. ARAŞTIRMA MODELİ VE SÜRECİ 111
2.5. ARAŞTIRMA SAHASI 115
2.6. ARAŞTIRMA VERİ ANALİZ YÖNTEMLERİ 120
2.6.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Konumsal Dağılım Analizi 123
2.6.2. Petrol Yayılımının Sayısal Olarak Modellenmesi 125
2.6.3. Çevresel Hassasiyet Haritalaması 129
2.6.4. Yapılandırılmış Yüz yüze Görüşme 137

2.7. ARAŞTIRMANIN VERİ TOPLAMA SÜRECİ 138
2.7.1. İkincil Veri Kaynaklarından Elde Edilen Veriler 139
2.7.2. Aliağa Körfezi'nde Meydana Gelen Petrol Kirliliği Kazalarına Ait Veri Setinin Oluşturulması 140
2.7.3. Konumsal Analizi İçin Gereken Veriler 144
2.7.4. Petrol Kirliliği Yayılım Modellemesi İçin Gereken Veriler 145
2.7.5. Risk Matris Formu Tasarım Süreci 148
2.7.5.1. Yapılandırılmış Yüz Yüze Görüşme Süreci 148
2.7.5.2. Risk Matris Formunun Oluşturulması 149
2.8. ARAŞTIRMANIN KISITLARI 151

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMANIN BULGULARI

3.1. KİRLİLİK KAZA VERİLERİNİN KONUMSAL ANALİZİNE DAİR BULGULAR 154
3.2. PETROL KİRLİLİĞİ YAYILIM MODELLEMESİNE DAİR BULGULAR 159
3.3. SENARYONUN BELİRLENMESİNE YÖNELİK BULGULAR 167
3.4. RİSK MATRİS FORMU BULGULARI 174
3.5. ARAŞTIRMA BULGULARININ LİTERATÜR KAPSAMINDA TARTIŞILMASI 178

SONUÇ 183
KAYNAKÇA 190
EKLER

KISALTMALAR

ABD	All Academy International Advanced Learning for Life
ADIOS	Automated Data Inquiry for Oil Spills
API	American Petroleum Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
ArcGIS	Web Geographic Information System Mapping Software
BIMCO	Baltic and International Maritime Council
BONN	The Bonn Agreement Oil Appearance Code
BP	British Petroleum
CAS	Chemical Abstracts Servis Number
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CERA	Consensus Ecological Risk Assessment
CLC	The International Convention on Civil Liability for Oil Pollution Damage
CRA	Comparative Risk Assessment
cST	Centistokes
ÇKDS	Çevresel Karar Destek Sistemleri
DGM	Denizcilik Genel Müdürlüğü
DTGM	Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü
DWH	Deepwater Horizon
DWT	Deadweight Tonnage
EIA	Energy Information Administration
EPA	Environmental Protection Agency
ERA	Ecological Risk Assessment
ESI	Environmental Sensivity Indeks Mapping
FUND	International Convention on the Establishment of an International Fund for Compensation for Oil Pollution Damage
GIS	Geographic Information System
GNOME	General NOAA Operational Modeling Environment

GRT	Grosstonnage
HELCOM	The Baltic Marine Environment Protection Commission
HNS	Hazardous and Noxious Substances
HSFO	High Sulfur Fuel Oil
IEA	International Energy Agency
IFO	Intermediate Fuel Oil
IMO	International Maritime Organization
INTERVENTION	International Convention Relating to Intervention on the High Seas in Cases of Oil Pollution Casualties
IOGP	International Association of Oil & Gas Producers
IPIECA	International Petroleum Industry Environmental Conservation Association
ITOPF	The International Tanker Owners Pollution Federation Limited
IZKA	İzmir Kalkınma Ajansı
LFL	Lower Flammable Limit
MAH	Monoaromatic Hydrocarbons
MARPOL	International Convention fort he Prevention of Pollution from Ship
MCDA	Multi Criteria Decision Analysis
MEDSLINK	Mediterranean Decision Support System for Marine Safety
MEMAC	Marine Emergency Mutual Aid Centre
MEPC	Marine Environment Protection Committee
MPS3	3rd Maritime Safety Package
NASEM	National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine
NÇFA	Net Çevresel Fayda Analizi
NEBA	Net Environmental Benefit Analysis
NEDRA	Net Environmental Damage and Response Assessment
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NPSCC	National Plan Strategic Coordination Committee
NRC	National Research Council

NUKA	Nuka Research and Planning Group LLC
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OILMAP	Oil Spill Modeling, Analysis, and Planning
OILPOL	International Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil
OPA	The Oil Pollution Act
OPEC	Organization of the Petroleum Exporting Countries
OPRC	International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation
OSCAR	Oil Spill Contingency and Response
OSPLAN	Oil Spill Contingency Planning System
OSR-DSS	Oil Spill Response Decision Support System
OSRA	Oil Spill Risk Analysis
PAH	Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar
Paris MOU	The Paris Memorandum of Understanding
PETROTOX	A Spreadsheet Model for Aquatic Toxicity of Complex Petroleum Substances
PHYSPROP	Physical Properties Database
PISCES	Potential Incident Simulation Control and Evaluation System
POSOW	Preparedness for Oil-polluted Shoreline cleanup and Oiled Wildlife interventions
Ppm	Parts Per Million
PTOSM	Particle Tracking Oil Spill Model
Q-SIMA	Quantitative Spill Impact Mitigation Assessment
REMPEC	The Regional Marine Pollution Emergency Response Centre for the Mediterranean Sea
REMPEITC	Regional Activity Centres of the Caribbean Environment Program
ROC	Resources of Concern
ROV	Remotely Operated Vehicles

SHODB	Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı
SIMA	Spill Impact Mitigation Assessment
SIMAP	Spill Impact Mapping Model System
SINTEF	Stiftelsen for industriell og teknisk forskning
SWOT	Güçlü Yönler (Strengths), Zayıf Yönler (Weaknesses), Fırsatlar (Opportunities) ve Tehdit (Threats) Analizi
TÜRKLİM	Türkiye Liman İşletmecileri Derneği
UAB	Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı
UFL	Upper Flammable Limit
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development
UNEP	United Nations Environment Programme
USA	United States of America
USCG	United States Coast Guard
VOC	Volatile of Compounds

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1: Uluslararası Deniz Ticaret Verileri, 2020-2021 s.5
Tablo 2: Uluslararası Sözleşmelere Konu Olan Petrol Kirliliği Kazalarına Ait Temel Bilgiler s.24
Tablo 3: Çeşitli Petrol Ürün Sınıfları İçin Yaklaşık Buharlaşma Oranları s.36
Tablo 4: Petrol Ürünlerinin Çevresel Bozunma Süreçlerine Göre Göreceli Önem Derecesi s.37
Tablo 5: Petrolün Bozunma Süreçlerinin Etkileri ve Etkileyen Faktörler s.39
Tablo 6: Petrol Kirliliğinin Çevresel Etkileri s.45
Tablo 7: Petrol Kirliliğinin İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri s.48
Tablo 8: Petrol Kirliliğinin Sosyoekonomik Etkileri s.50
Tablo 9: Fiziksel/Mekanik Müdahale Tekniklerinin Değerlendirilmesi s.61
Tablo 10: Kimyasal Müdahale Tekniklerinin Değerlendirilmesi s.70
Tablo 11: Net Çevresel Fayda Analizi'ne Dair Literatür Tablosu s.84
Tablo 12: Petrol Kirliliği Yayılım Modellemesine Dair Literatür Tablosu s.128
Tablo 13: Çevresel Hassasiyet Haritalamasına Yönelik Literatür Taraması s.135
Tablo 14: Veri Seti Oluşturma Sürecinde Yüz yüze Görüşme Yapılan Kurumlar s.141
Tablo 15: Aliağa Körfezi'nde Meydana Gelen Gemi Kaynaklı Kirlilik Kazaları s.142
Tablo 16: Araştırmanın Veri Seti s.144
Tablo 17: Konumsal Analiz için Veri Seti s.145
Tablo 18: Yayılım Modelleme Senaryolarına Dair Toplanan Veriler (Kazanın Meydana Geldiği İlk Saat) s.147
Tablo 19: Yapılandırılmış Yüz Yüze Görüşme Formu Pilot Uygulamasında Yer Alan Uzmanlar s.148
Tablo 20: Yapılandırılmış Yüz Yüze Görüşme Formunu Uygulayan Uzmanların Bilgileri s.150
Tablo 21: Senaryo Belirleme Sürecini Etkileyen Değişkenler s.168
Tablo 22: Kazaların Karşılaştırmalı Analiz Tablosu s.171
Tablo 23: M/V Harrier Döküntü Kaynağına Ait Detaylar s.173

Tablo 24: Uzmanların Risk Matris Değerlendirmeleri s.175
Tablo 25: M/V Harrier Kazasına ait Risk Matris Sonuçları s.177

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1: Deniz Yolu Ticaret Hacmi (2000-2022) s.3
Şekil 2: Petrol İthalat/İhracat Faaliyet Hareketleri- (Milyon ton bazında s.7
Şekil 3: 2020 Yılında OECD Ülkelerinde Petrol Talebinin Sektörlere Göre Dağılımı s.8
Şekil 4: Petrol Taşımacılığı ve Başlıca Geçiş Noktaları s.9
Şekil 5: Tanker Gemilerinden Kaynaklı 7 Tondan Büyük Petrol Kirliliği Verileri s.13
Şekil 6: 1970'ten Günümüze Denize Dökülen Petrolün Toplam Miktarı (Ton) s.15
Şekil 7: Gemi Kaynaklı Petrol Kirliliği Kazalarının Haritalandırılması s.17
Şekil 8: Petrol Kirliliği Kapsamında Acil Durum Planlaması Operasyon Aşamalarına Ait Akış Diyagramı s.27
Şekil 9: 5312 Sayılı Kanun Kapsamınca Belirlenen Acil Durum Planı Aşama ve Operasyon Seviyeleri s.30
Şekil 10: Ulusal ve Bölgesel Acil Müdahale Teşkilat Yapısı s.32
Şekil 11: Petrolün Zamana Bağlı Bozunma Sürecindeki Değişiklikler s.35
Şekil 12: Petrolün Deniz Yüzeyinde Bozunma Süreçleri s.38
Şekil 13: Petrol Kirliliğinin Temel Etkileri s.42
Şekil 14: Petrol Kirliliği Müdahale Yöntemleri s.53
Şekil 15: Fiziksel/Mekanik Müdahale Teknikleri s.56
Şekil 16: Farklı Yapıdaki Bariyerler s.57
Şekil 17: Disk Tipi, Silindir ve Halat Sıyırıcıların Sistematik Yapısı s.59
Şekil 18: Dağıtıcıların Genel Yapısı s.63
Şekil 19: Yüzey ve Deniz Altı Dağıtıcı Enjeksiyonu s.66
Şekil 20: Olay Yerinde Yakma (In- situ burning) s.72
Şekil 21: Petrol Kirliliği Müdahale Tekniği Seçimini Etkileyen Temel Parametreler s.75
Şekil 22: Net Çevresel Fayda Analizi'nin Acil Durum Planlamasındaki Yeri s.87
Şekil 23: Kirlilik Planlama ve Müdahale Operasyonu Sırasında NÇFA Kullanımına Yönelik Genel Bir Çerçeve s.92

Şekil 24: NÇFA Uygulamasına Yönelik Beş Adımlı Süreç Yönetimi ve Kullanılan Teknikler s.95
Şekil 25: NÇFA Model Yaklaşımı s.112
Şekil 26: Araştırma Süreci s.113
Şekil 27: Aliağa Liman Başkanlığı Liman Yetki Sahası s.116
Şekil 28: Aliağa Körfezi'nde Yer Alan Kıyı Tesisleri s.117
Şekil 29: Aliağa Liman Başkanlığı'nda Elleçlenen Toplam Yük Hacmi (Yıl/ton) s.118
Şekil 30: 2015-2021 Yılları Arasında Aliağa Liman Başkanlığı'nda Elleçlenen Yük Miktar Değişimleri (Milyon Ton) s.119
Şekil 31: Verilerin Toplanması ve Analiz Edilmesine Yönelik Adımlar s.122
Şekil 32: Kıyı Şeridi Hassasiyet Ölçeği s.131
Şekil 33: Biyolojik Kaynakların Önceliklendirilmesinde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar s.133
Şekil 34: Çevre Koruma Önceliklerini Belirlemeye Yönelik Örnek Risk Değerlendirme Matrisi s.134
Şekil 35: Bibliyometrik Analiz Yöntemi Uygulama Adımları s.140
Şekil 36: Uygulanan Risk Matrisi Seviyeleri s.149
Şekil 37: Kaza Verilerinin Konumsal Dağılım Haritası s.155
Şekil 38: Kaza Verilerinin Kirlilik Boyutuna Göre Tematik Haritalandırılması s.156
Şekil 39: Kaza Verilerinin Kaza Nedenine Göre Tematik Haritalandırılması s.157
Şekil 40: Kaza Verilerinin Yük Türüne Göre Tematik Haritalandırılması s.158
Şekil 41: M/T Isola Verde Kirlilik Yayılım Senaryo Çıktısı s.160
Şekil 42: M/T Breeze A Kirlilik Yayılım Senaryo Çıktısı s.161
Şekil 43: M/V MSC Tamara Kirlilik Yayılım Senaryo Çıktısı s.162
Şekil 44: M/V Bodyer Kirlilik Yayılım Senaryo Çıktısı s.164
Şekil 45: M/V Harrier Kirlilik Yayılım Senaryo Çıktısı s.165
Şekil 46: Kıyı Şeridi Duyarlılık Ölçeği s.169
Şekil 47: Biyoçeşitlilik Duyarlılık Ölçeği s.170
Şekil 48: Sosyoekonomik Kaynakların Duyarlılık Ölçeği s.170
Şekil 49: Aliağa Bölgesi'ndeki Hassas Doğal Kaynaklar s.172

EKLER LİSTESİ

EK 1: Petrol Kirliliği Müdahale Tekniği Seçimini Etkileyen Parametreler ek s.1
EK 2: NÇFA Modelini Etkileyen Değişkenler ek s.2
EK 3: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal ve Beşerî Bilimler Araştırma ve Yayın Etik Kurulu'ndan Alınan İlgili Etik Kurulu Belgesi ek s.3
EK 4: Yapılandırılmış Yüz yüze Görüşme Form İçeriği ve Gönüllü Katılımcılara ait Detaylar ek s.4

GİRİŞ

Petrol sızıntıları deniz ortamındaki ekosistemlere, biyolojik çeşitliliğe, canlı yaşamına ve geçim kaynaklarına yarattığı olumsuz etkiler nedeniyle "çevresel felaket" olarak tanımlanmaktadır. Dünya genelinde yeni düzenlemeler ve artan çevre bilinci sayesinde petrol sızıntısına neden olan kazaların sayısı azalmış olsa da deniz taşımacılığına yönelik artan talebe bağlı yoğun gemi trafiği nedeniyle, çevresel hassasiyet düzeyi yüksek olan bölgelerde dahi petrol kirliliği söz konusu olmaktadır.

Petrol kirliliğini kontrol altına almak ve petrol sızıntılarından kaynaklanan olumsuz etkilerin sonuçlarını en aza indirmek çok kriterli bir karar sürecini gerektirmektedir. Bu süreç uygun müdahale tekniği seçimi, ürün tipi, meteorolojik ve oşinografik koşullar, dökülen ürün miktarı, gibi bir dizi faktöre bağlı karmaşık süreçlerden oluşmaktadır. Bu nedenle, petrol kirliliğinden kaynaklı etkilerin azaltılmasına katkı sağlayacak karar destek yaklaşımlarını bu süreçler dâhilinde kullanmak oldukça önemlidir.

Net Çevresel Fayda Analizi (NÇFA) petrol kirliliğine yönelik müdahale eylemlerinin çevresel etkilerini değerlendirmek, en uygun ve etkili müdahale stratejisini belirlemek için kullanılan bir karar destek yaklaşımıdır. Uzun vadeli ekolojik sonuçların dikkate alınmasına, kaynakların etkin kullanımına ve optimum müdahale tekniklerinin belirlenmesinde oldukça başarılı bir yaklaşımdır. NÇFA yaklaşımı, özellikle ekolojik açıdan hassas bölgelerde kapsamlı çevresel etki değerlendirmelerinin gerçekleştirilmesine ve müdahale operasyonlarının etkili bir şekilde planlanması ve yürütülmesinde etkili bir araçtır.

Bu araştırmanın amacı, Aliağa Körfezi'nde olası bir petrol kirliliğinde çevresel etkinin asgari düzeyde tutulmasını sağlayacak optimum müdahale tekniğinin belirlenmesine yönelik bir model geliştirmektir. Bu geliştirilen model ile, bölgedeki hassas kaynakların korunması, çevresel etkilerin azaltılması, kamu yararının sağlanması ve müdahale kaynaklarının verimli kullanımı katkı sağlanması amaçlanmıştır. NÇFA modelinin petrol kirliliğine müdahale sürecinde uygulanabilirliğini ve etkinliğini değerlendirmek için, bir vaka çalışması gerçekleştirilmiştir. Araştırma bulguları, farklı müdahale tekniklerinin net çevresel faydalarını değerlendirmek için sistematik, nicel ve kapsamlı bir yaklaşım sağlayarak

literatüre katkı sağlamaktadır.

Araştırmanın birinci bölümünde, petrol kirliliği ve kirliliğe müdahale teknikleri ile bunların çevresel, sosyal ve ekonomik etkileri üzerine mevcut literatür incelenmiştir. Petrol kirliliği müdahale stratejilerinin çevresel etkisini değerlendirmek için geliştirilen karar destek yaklaşımları açıklanmıştır.

İkinci bölümde, araştırmanın tasarımı, araştırma problemi, araştırmanın amacı ve hedefleri ile, araştırma modeli, araştırma yöntemi ve veri toplama süreci hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

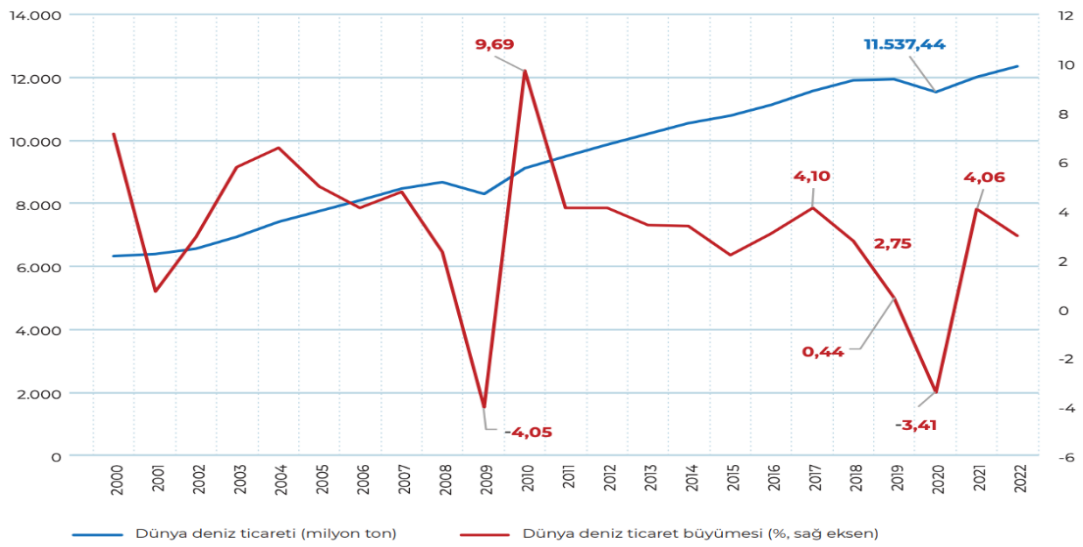
Araştırmanın son bölümünde ise, çevresel faydaların sayısallaştırılması ve müdahale tekniklerinin karşılaştırmalı analizi de dahil olmak üzere modelin uygulanmasından elde edilen sonuçların sunumu yer almaktadır. Vaka çalışması bulgularına dayalı olarak NÇFA modelinin etkinliğinin ve uygulanabilirliğinin değerlendirilmesine yönelik bulgular açıklanmış ve gelecek araştırmacılar için önerilerde bulunulmuştur. Araştırmanın tartışma kısmında, ilgili literatürde yayınlanan makalelerle karşılaştırmalar yapılmış ve petrol kirliliği ile mücadelede karar destek sistemlerinin geliştirilmesine ve etkin kullanımına dair çıkarımlarda bulunulmuştur.

BİRİNCİ BÖLÜM
ARAŞTIRMANIN KAVRAMSAL ÇERÇEVESİ

1.1. DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE PETROL TAŞIMACILIĞI

Deniz taşımacılığı, küresel ekonominin hayati bir bileşeni olmasının yanı sıra nüfusun artışına paralel olarak ihtiyaçların karşılanmasında (Chen ve diğerleri, 2018) ve hammadde aktarımında büyük bir rolü olan uluslararası ticaretin vazgeçilmez unsurudur (Walker ve diğerleri, 2019; Chen ve diğerleri, 2020). Dünya ekonomisindeki ve küresel ticaretteki her türlü değişime doğrudan bağlı olan denizyolu taşımacılığı (Wang ve diğerleri, 2022), dünya denizlerinde yılda 10 milyar tondan fazla konteyner, katı ve sıvı dökme yük taşıma kapasitesi ile küresel ticaretin %80'lik payını oluşturmaktadır (IZKA, 2022a). 2000 yılından sonraki denizyolu ticaret hacmindeki büyümeye ilişkin veriler Şekil 1'de gösterilmektedir.

Şekil 1: Deniz Yolu Ticaret Hacmi (2000-2022)



Kaynak: UNCTAD, 2022.

Şekil 1'de görüldüğü üzere, küresel ekonominin belkemiğini oluşturan denizyolu ticaret hacminde kritik dönemeçler olduğu görülmektedir. Pazar hacmindeki değişikliklerin temel sebepleri arasında ekonomik, siyasi ve politik nedenler kaynaklandığı göze çarpmaktadır. Özellikle, 2000'li yılların ilk zamanlarında

dünya ticaret hacmine yön veren Çin'in Dünya Ticaret Örgütü'ne üye olmasıyla hızlı bir büyüme gözlenmiş olsa da küresel krizlerden dolayı deniz ticaretindeki ivme negatif yönde etkilenmiştir. Özellikle 2008'de küresel ekonomik krizden sonra denizyolu taşımacılığı finansman problemi ve navlun krizinden etkilenmiş ve sektörde bir daralma yaşanmıştır. 2018 yılından sonra ise Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Çin arasındaki ticaret savaşından ötürü dünya ticareti durgunluk dönemine girmiş ve deniz ticaret hacminde büyüme hızı yavaşlamıştır. 2019 yılından sonra ise küresel çapta yaşanan salgınla birlikte duraksama yaşanmış ve ticaret hacminde %10'luk bir düşüş gözlenmiştir. Tüm gelişmelere rağmen, deniz yolu taşımacılığı ve taşımacılığın ana bileşeni olan liman hizmet sektörü küresel ekonominin en verimli hizmeti olarak görülmekte ve gıda başta olmak üzere, hammadde, ara mamul, ilaç ve teknolojik ekipmanların altyapı talebini yönlendiren sektör olduğu görülmektedir (TÜRKLİM, 2021).

Denizyolu taşımacılığı, uluslararası ekonominin belkemiği ve birçok sanayi sektörünün hammadde kaynağı olan petrol ve petrol türevi ürünlerinin taşımacılığında önemli bir rolü bulunmaktadır (Fei ve diğerleri, 2020). Deniz yoluyla petrol taşımacılığı, petrol ve petrol ürünlerinin çeşitli gemi türleri kullanılarak deniz yoluyla taşınması anlamına gelmektedir. Ham petrolün üretim alanlarından rafinerilere taşınmasını ve rafine edilmiş petrol ürünlerinin dünya çapındaki pazarlara ulaştırılmasını sağlayarak küresel enerji tedarik zincirlerinde önemli bir rol oynamaktadır.

Malzemenin rezervuar kaynağı ve işlenme derecesine bağlı olarak yoğunluğu değişebilen petrol ürünleri, dünya genelinde enerji üretimi ve endüstriyel kullanım için önemli bir kaynak olarak kabul edilmektedir (Chang ve diğerleri, 2014; Zhang ve diğerleri, 2019). Petrolün enerji üretiminden, taşımacılık sektörüne, farklı endüstriyel alanlarda (plastikler, çözücüler ve yapıştırıcılar gibi) petrokimya ürünleri için hammadde olarak uygulanmasına kadar uzanan çeşitli sektörlerde geniş kullanım yelpazesi bulunmaktadır (Burgherr, 2007; Yang, 2015). Bu nedenle petrol, her yıl milyarlarca varil ticareti yapılan, dünyanın en değerli ve dünya ekonomisinin en güçlü hammadde kaynağıdır (De Melo ve diğerleri, 2022). Tablo 1'de Yıllık olarak raporlanan uluslararası deniz ticaretine ilişkin güncel veriler gösterilmektedir.

Tablo 1: Uluslararası Deniz Ticaret Verileri, 2020-2021

	Yüklenen ürün tonajı (Milyon ton)								
Ülke sınıflaması	**Yıl**	**Toplam**		**Ham petrol**		**Diğer Tanker ticareti ürünleri**		**Dökme yük**	
Dünya	2020	10.644,9	%100	1.715,4	%16,1	1.202,7	%11,3	7.726,8	%72,6
	2021	10.985,4	%100	1.700	%15,5	1.252	%11,4	8.033	%73,1
Gelişmiş ülkeler	2020	4.820,7	%45,3	438,7	%25,6	489,2	%40,7	3.892,8	%50,4
	2021	4.936,1	%44,9	428,7	%25,2	502,8	%40,2	4.004,5	%49,9
Gelişmekte olan ülkeler	2020	5.824,3	%54,7	1.276,7	%74,4	713,5	%59,3	3.834	%49,6
	2021	6.049,3	%55,1	1.271,6	%74,8	749,2	%59,8	4.028,5	%50,1
	Tahliye edilen ürün tonajı (Milyon ton)								
Ülke sınıflaması	**Yıl**	**Toplam**		**Ham petrol**		**Diğer Tanker ticareti ürünleri**		**Dökme yük**	
Dünya	2020	10.633,9	%100	1.864,1	%17,5	1.223,6	%11,5	7.546,2	%71
	2021	10.975,5	%100	1.846,4	%16,8	1.273,3	%11,6	7.855,8	%71,6
Gelişmiş ülkeler	2020	4.110,1	%38,7	878,2	%47,1	395,9	%32,4	2.836	%37,6
	2021	4.277,9	%39	878,8	%47,6	429,9	%33,8	2.969,2	%37,8
Gelişmekte olan ülkeler	2020	6.523,8	%61,3	985,9	%52,9	827,7	%67,6	4.710,2	%62,4
	2021	6.697,6	%61	967,6	%52,4	843,3	%66,2	4.886,6	%62,2

Kaynak: UNCTAD, 2022.

Tablo 1'de görüleceği üzere COVID-19 salgınının etkileri nedeniyle, uluslararası deniz ticareti yaklaşık %4 oranında daralma göstermiş, ancak 2021'de pandemi ilgili kısıtlamalarda ortadan kaldırıldığında deniz ticaret hacmi %3,2 artarak toplam 11 milyar tona ulaşmıştır. Diğer sıvı dökme yük (rafine edilmiş petrol ürünleri, gaz ve kimyasallar) ve kuru dökme yük taşımacılığı genişlerken, ham petrol taşımacılığı pazarı %16'dan %15,5'e gerileme göstermiştir. Yük sınıflamaları bazında değerlendirme yapıldığında, ham petrol ve petrol türevi ürünlerin 2,8 milyar ton, kuru dökme sınıfı yüklerin 5,4 milyar ton, konteyner bazında ise 2 milyar ton limanlarımızda elleçlendiği belirtilmektedir. 2020 yılına kıyasla yük grupların tümünde artışların olduğu, fakat 2019 yılı ile karşılaştırma yapıldığında sadece petrol ürün grubunda %8,5 gerilemenin yaşandığı gözlenmektedir.

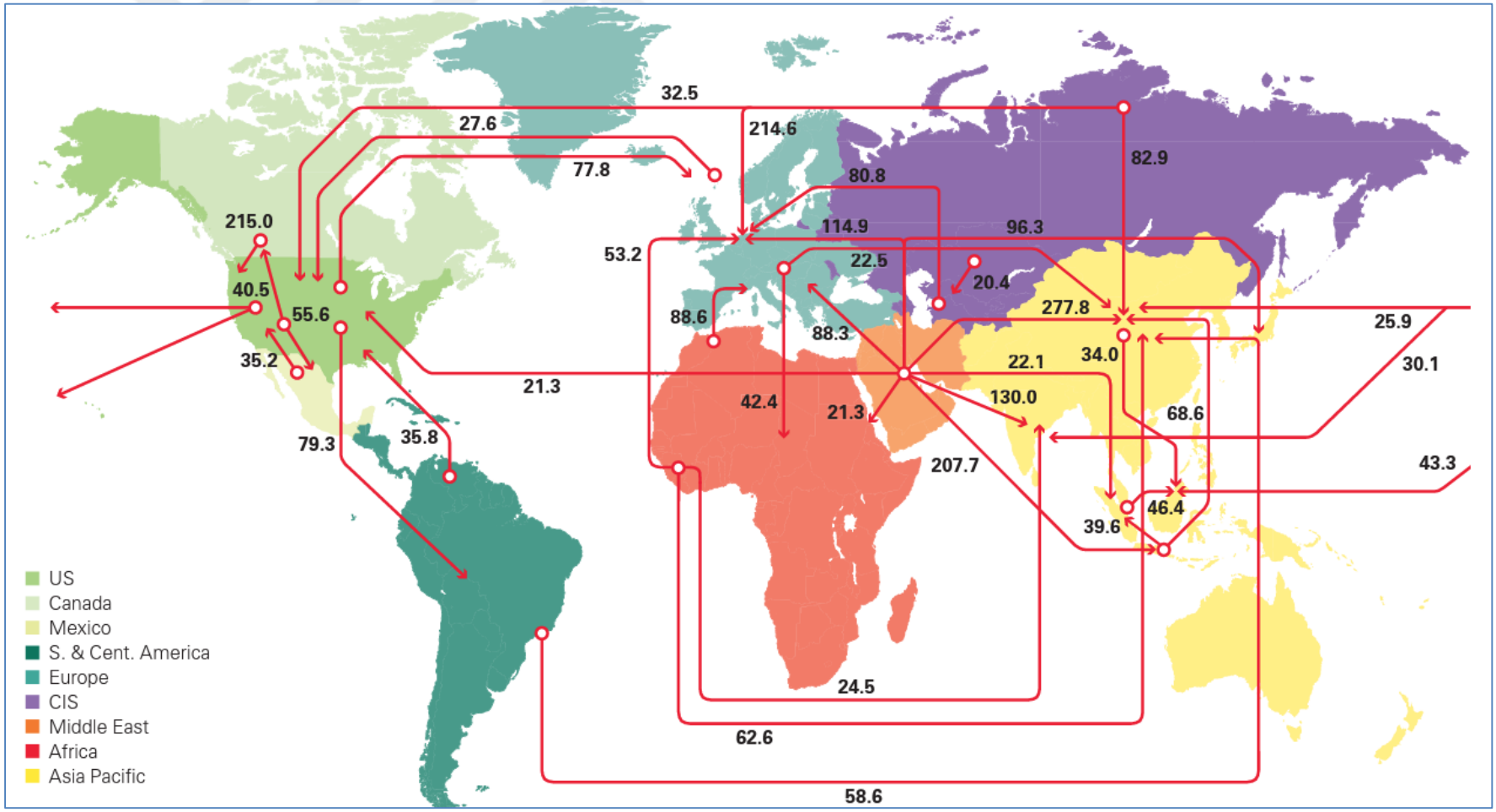
Denizyoluyla taşınan petrol ürünleri, uzun mesafelerde büyük miktarlarda petrol ürünleri taşımak üzere tasarlanmış petrol tankerleri olarak bilinen özel gemiler ile yapılmaktadır (Chen ve diğerleri, 2019). Bu tankerlerin boyutları, küçük tipte kıyı alanlarında kullanılan Handysize tanker olarak adlandırılan 40,000 DWT (Deadweight

tonnage-Detveyt ton) ulaşan gemilerden 2 milyon varilden fazla petrol taşıma kapasitesine sahip büyük süper tankerlere kadar değişmektedir (Yao ve diğerleri, 2011; Zhang ve diğerleri, 2015b). Genel olarak, petrol taşımacılığı küresel enerji endüstrisinde kritik bir rol oynamanın yanı sıra tanker taşımacılığından kaynaklı bir dizi lojistik, ekonomik ve çevresel riskleri içermektedir. Bu nedenle, petrol fiyatlarındaki herhangi bir olumlu veya olumsuz değişikliklerde imalat sektörünü ve tüketiciyi doğrudan etkilemektedir (Martins ve diğerleri, 2020; Wang ve diğerleri, 2022). Petrolün deniz yolu ile taşınması, çevresel, ekonomik ve sosyal açılardan da birçok risk yaratmaktadır (Chen ve diğerleri, 2020). Bu nedenlerden dolayı, petrol taşımacılığı endüstrisi, çevresel sürdürülebilirlik ve güvenlik konularına büyük önem vermektedir. Birçok düzenleyici kurum tarafından, deniz kirliliğini önlemeye, gemi güvenliğini artırmaya ve deniz taşımacılığı faaliyetlerinin sürdürülebilirliğini sağlamaya yönelik çeşitli politikalar ve düzenlemeler geliştirmektedir (Hur, 2012; Xu ve diğerleri, 2021).

Petrol rezervleri, yer altı kaya tabakalarında doğal olarak oluşum gösteren tahmini ham petrol miktarları olarak tespit edilmektedir. Bu rezervler tipik olarak varil cinsinden ölçülmekte, bir ülkenin enerji güvenliğini ve potansiyel ekonomik değerini değerlendirmek için kullanılmaktadır (Fingas, 2016). Petrol rezervleri ağırlıklı olarak Orta Doğu bölgelerinde yoğunlaşırken, petrol tüketimi ağırlıklı olarak Kuzey Amerika, Avrupa ve Asya-Pasifik bölgelerinde yoğunlaşmaktadır (Arslan ve Turan, 2009). Eşit olmayan arz ve talep, petrol ticaretinin sürekli gelişmesine katkıda bulunmuş; fakat petrol kaynaklarının dağılımındaki dengesizlik üretim ve dağıtım arasındaki farkın açılmasına neden olmuştur (Owen ve diğerleri, 2010; Chen ve diğerleri, 2019). 2021 yılı itibariyle dünyadaki petrol ticareti ithalat/ihracat faaliyet hareketleri Şekil 2'de gösterilmektedir.

Şekil 2'de görüldüğü üzere, başlıca ham petrol ihracatçıları (Suudi Arabistan, Irak ve İran gibi) Orta Doğu'da bulunurken, ana ithalatçılar ise Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika'da bulunmaktadır. Küresel petrol üretimi 2021'de günlük periyotta 1,4 milyon varil olarak artış gözlenmiş ve artışın dörtte üçünden fazlasını OPEC (Organization of Petroleum Exporting Countries-Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü) ülkeleri oluşturmuştur. Tüketim artışının büyük bir kısmı benzin (1,8 milyon varil/gün) ve dizel/mazot (1,3 milyon varil/gün) kaynaklı gerçekleşmiştir.

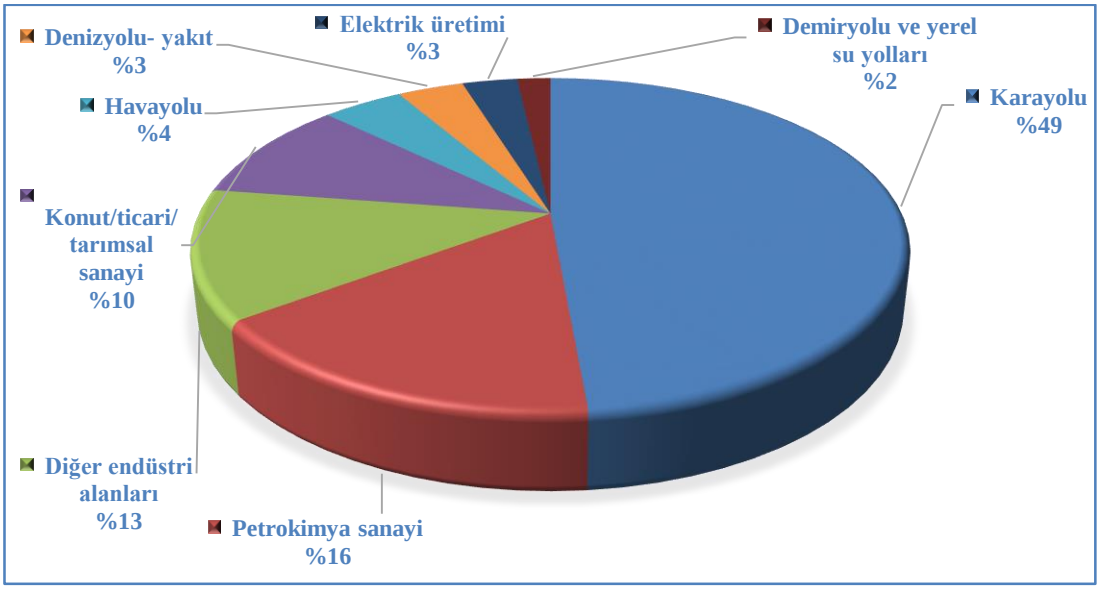
Şekil 2: Petrol İthalat/İhracat Faaliyet Hareketleri- (Milyon ton bazında



Kaynak: BP, 2022.

Bölgesel olarak, büyümenin büyük kısmı ABD (günde 1,5 milyon varil), Çin (günde 1,3 milyon varil) ve Avrupa Birliği Ülkeleri'nde ortalama tüketim (günde 570.000 varil) gerçekleşmiştir. Nüfus artışı nedeniyle enerji açığının artması beklenen Türkiye'de ise, Orta Doğu ve Rusya menşeli ithalata bağımlı bir ülke olduğu bilinmektedir. Türk rafinerileri 2019 yılında ortalama %90 kapasite kullanım oranı ile faaliyet göstermiş, toplam rafineri üretimi 2019'da tüm rafine ürünlerdeki artışla birlikte %31 artarak günde ortalama 774,1 varile yükselmiştir (OPEC, 2021; IEA, 2021). Limanlarımızda 2023 Ocak ayı içerisinde 43,8 milyon ton elleçleme yapılmıştır. Elleçlenen toplam yük tonajına göre liman başkanlıkları sıralamasında ise, Aliağa liman bölgesi 6,8 milyon ton, Kocaeli 5,9 milyon ton, Adana Ceyhan bölgesinde ise 5,6 milyon ton ile ilk üç sırada yer almaktadır (UAB, 2023). Ham petrol ve petrol türevleri elleçleme kapasitesi açısından Kuzey Ege Bölgesi'nde yer alan Aliağa limanları 27,8 milyon ton elleçleme kapasitesi ile ilk sırada yer almaktadır (TÜRKLİM, 2021; IZKA, 2022a). Şekil 3'te 2020 yılında OECD (The Organisation for Economic Co-operation and Development- Ekonomik İş birliği ve Kalkınma Teşkilatı) üye ülkelerinde petrol talebinin sektörlere göre dağılım şeması yer almaktadır.

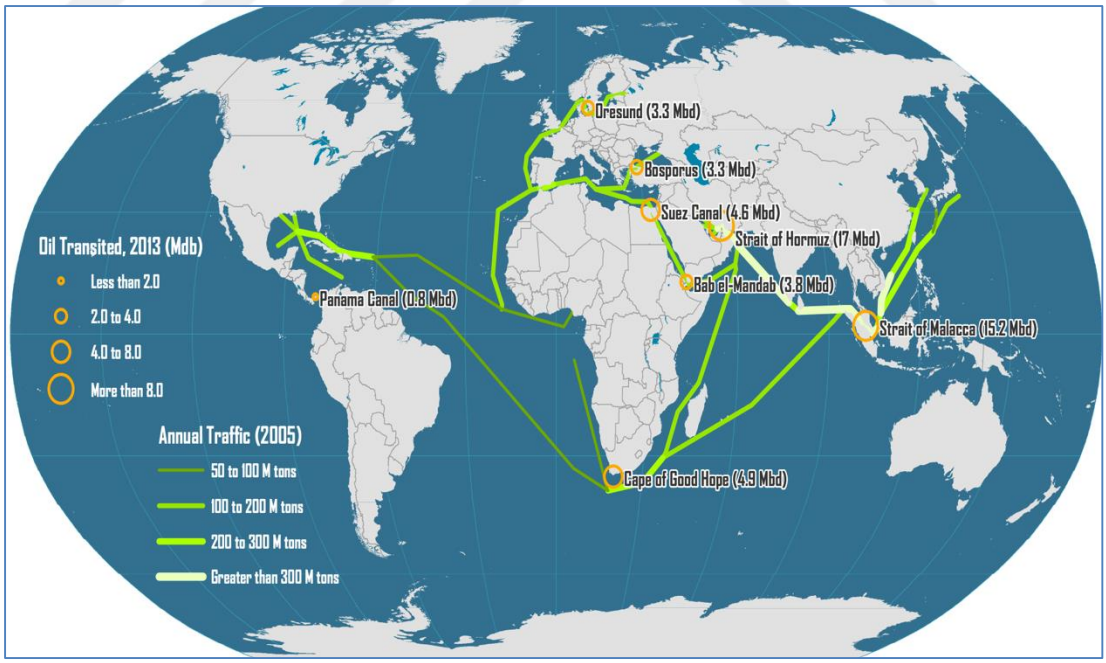
Şekil 3: 2020 Yılında OECD Ülkelerinde Petrol Talebinin Sektörlere Göre Dağılımı



Kaynak: OPEC, 2021.

Şekil 3'te görüldüğü üzere, karayolu taşımacılığı OECD üye devletlerinde en fazla petrol talep eden sektördür. 2020'de OECD'de tüketilen tüm petrolün %48,6'sı motorlu araç kullanımıyla ilgilidir. Diğer sektörler ile karşılaştırıldığında, plastik, reçine ve diğer petrol bazlı ürünler üreten petrokimya sektörü %16,2'lik payı ile ikinci sırada yer almaktadır. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO- International Maritime Organization), 1 Ocak 2020'de yürürlüğe koyduğu gemi yakıt emisyonları üzerindeki üst sınır limitini, "*Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesine İlişkin Uluslararası Sözleşme*"nin (MARPOL- The International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) Ek VI'da yer alan düzenlemeler ile belirlemiştir. Bu kural ile, gemilerin daha önce %3,5 olan kükürt içeriğine kıyasla ağırlıkça %0,5'i geçmeyen yakıtları kullanmasını zorunlu kılan yeni bir düzenleme eklenmiştir. Bu nedenle 2020 yılından sonra, yüksek kükürtlü yakıt (HSFO- High Sulphur Fuel Oil) talebinde önemli bir azalma görülmüştür (EIA, 2022). Şekil 4'te petrol ticareti ve ilgili stratejik noktaları gösteren görsel yer almaktadır.

Şekil 4: Petrol Taşımacılığı ve Başlıca Geçiş Noktaları



Kaynak: Rodrigue, 2020.

Şekil 4'te görüldüğü üzere, petrolün büyük bir kısmı (%62) genellikle geçiş noktaları olarak adlandırılan stratejik noktalardan denizyolu taşımacılığı ile

taşınmaktadır. Bu stratejik bölgelerden geçişlerde herhangi bir petrol ticaretinde yaşanabilecek aksamalar, uluslararası ve yerel ekonomiler üzerinde doğrudan ve dolaylı sonuçlara yol açabilmektedir. Stratejik petrol taşımacılığı noktalarından en önemlilerinden biri olan Basra Körfezi, denizyoluyla taşınan petrolün en önemli kaynaklarından biridir. Bu bölgeden, petrol ve türevi ürünler Süveyş Kanalı üzerinden Avrupa'ya, Malakka Boğazı üzerinden Çin, Japonya ve Güney Kore'ye ve Ümit Burnu üzerinden Kuzey Amerika'ya ulaşmaktadır. Avrupa pazarlarına Rus petrol ihracatı, Oresund Boğazı üzerinden gerçekleşmektedir. Süveyş Kanalı ise, dünyadaki en önemli petrol taşımacılığı geçiş noktalarından birisidir ve Lloyd's List analizine göre 2018'de kanaldan günde ortalama 4,6 milyon varil ürünün denizyolu ile taşındığı belirtilmektedir. Bu geçitler özellikle küresel petrol trafiği için önemli birer düğüm noktası (choke point) olarak kabul edilmektedir. Enerji Bilgi Yönetim İdaresi (EIA-Energy Information Administration), Hürmüz'den geçen küresel petrol tüketiminin payının 2004'te %21'den 2030'da %28'e yükseleceğini tahmin etmektedir (IEA, 2022). Görüldüğü üzere, stratejik noktalardan geçiş yapan tankerler ülkelerin ekonomik kalkınmasını büyük oranda etkilemektedir. Aynı zamanda, bu bölgelerdeki petrol tankeri trafiğinin yoğunlaşması kıyı devletlerini etkileyen, insan sağlığına ve çevresel kaynaklara olumsuz etkileri bulunan petrol kirliliği riskini de beraberinde getirmektedir.

1.2. PETROL TAŞIMACILIĞINDAN KAYNAKLANAN KİRLİLİK RİSKİ

Modern toplumlardaki her türlü faaliyet için önemli bir emtia olan petrolün denize dökülmesi, çevre emniyeti ve ekosistem üzerinde oldukça olumsuz etkiler yaratmaktadır (Aguilera ve diğerleri, 2010; Beyer ve diğerleri, 2016). Özellikle 19.yy'da petrol ticaret hacminin artışı ve rafine ürünlerinin yaygın kullanılmasıyla büyük bir ivme kazanan petrol taşımacılığı, gittikçe artan deniz trafiği ve liman operasyonları nedeniyle ciddi boyutlarda deniz kirliliği yaratmıştır (Li ve diğerleri, 2016).

Literatürdeki petrol kirliliği tanımlaması, çevre üzerinde olumsuz ve uzun vadeli etkilere yol açan, ciddi ekonomik kayıplara, sosyoekonomik kaynakların tahribatına ve deniz ekosisteminin bozulmasına sebebiyet veren çevresel felaketler

olarak ifade edilmektedir (Frid ve Caswell, 2017; Aşan, 2022). Kıyı ve deniz ortamlarındaki en önemli sorunlardan biri olan petrol kirliliği olayları, bir sızıntı olayının meydana gelme olasılığı ile kıyı ekosistemleri üzerindeki sonuçların büyüklüğü ve önemli ekonomik kayıpların bileşkesi olarak tanımlanmaktadır (Mokhtari ve diğerleri, 2015). Bu nedenle, deniz ortamındaki petrol ve petrol türevi ürünlerinden kaynaklı kirlilikler kamuoyunun dikkatini çeken ve yıkıcı etkilerinden dolayı ivedilikle müdahale eylemlerinin uygulanması gereken kazalardır (Lee ve Jung, 2013; Cai ve diğerleri, 2015).

Nehirlerde, körfezlerde, marinalarda veya okyanuslarda meydana gelen petrol sızıntıları çoğunlukla tankerler, mavnalar, boru hatları, rafineriler, sondaj kuleleri ve depolama tesislerini içeren alanlarda meydana gelmektedir (Chen ve diğerleri, 2019). Petrol kirliliği, çoğunlukla deniz kazalarından (çatışma, karaya oturma, yangın ve patlamalar vb.) kaynaklanan büyük dökülmeler veya çeşitli gemi operasyonlarında (yakıt alımı, yükleme/tahliye vb.) sıklıkla meydana gelen küçük veya büyük miktarlar şeklinde gerçekleşmektedir (Nelson ve Grubesic, 2018).

Petrol kirliliği ile mücadele etmek için dünya genelinde birçok düzenleyici kurum ve uluslararası anlaşmalar bulunmaktadır. Bu kurumlar ve anlaşmalar, petrol kirliliğini önlemek, sınırlandırmak ve çevre zararlarını minimize etmek amacıyla çeşitli yaptırımlar uygulamaktadır. Bu sayede tankerlerden kaynaklı petrol kirliliği kazalarında azalmalar görülmektedir (Chen ve diğerleri, 2019; De Melo ve diğerleri, 2022). Tüm iyileştirme çabaları ve denetimlere rağmen, petrol kirliliğine neden olan gemi kazaları meydana gelmeye devam etmektedir (Galieriková ve Materna, 2020). Son 50 yılda petrol tankerlerinden kaynaklı okyanuslara 5,8 milyon tondan fazla petrol dökülmüştür (ITOPF, 2021).

İstatistiki verilere göre, petrol tankerinin dedveyt tonajı son 40 yıllık periyotta 2 kat artış gözlenmiş ve 2021'de 2.952 milyar tonluk bir büyüklüğe ulaşmıştır (UNCTAD, 2021). Bu da petrol tankerlerinin küresel çapta deniz yolu taşımacılığı ticaretinde devam eden önemini gözler önüne sermiştir (Sirimanne ve diğerleri, 2019). Fakat, 2020-2022 yılları arasında pandemi koşullarından en çok etkilenen nakliye piyasası petrol taşımacılığı olmuştur. 2019 ve 2020 yılları arasında, ham petrol, rafine edilmiş petrol ürünleri ve gaz dâhil olmak üzere tanker ticaretinin bir önceki yıla göre %7,7 azaldığı tahmin edilmektedir. 2021'de ise paket yüklere karşı talep artışı

gözlenmiş, gaz sevkiyatları ve demir cevheri gibi kuru dökme yüklerin taşımacılığında istikrarlı bir büyüme tespit edilmiştir. Salgının bir sonucu olarak, petrol üretimi kesintileri ve Çin'de yavaşlayan talepler nedeniyle 2021 yılı itibariyle tanker ticaret hacmi sadece %1,2 artarak yaklaşık 3 milyar tona ulaşmıştır (UNCTAD, 2022). Ham petrol tanker filosunun 2022'de %5,4 ve 2023'te %1,7 büyümesi beklenirken, ürün tanker filosu büyümesinin 2022'de yalnızca %1,0 ve 2023'te %0,9 olacağı tahmin edilmektedir (BIMCO, 2022). Buna rağmen, endüstriyel anlamda hammadde olarak kullanılan petrol ve petrol ürünlerine talep devam etmekte, gemi trafiğindeki artışa bağlı olarak petrol kirliliği riski ise deniz ortamına ve kıyı yaşantısına ciddi bir tehdit oluşturmaya devam etmektedir (Davies ve Hope, 2015; Chen ve diğerleri, 2018).

1.2.1. Petrol Kirliliği ile Sonuçlanan Gemi Kaynaklı Kirlilik Kazaları

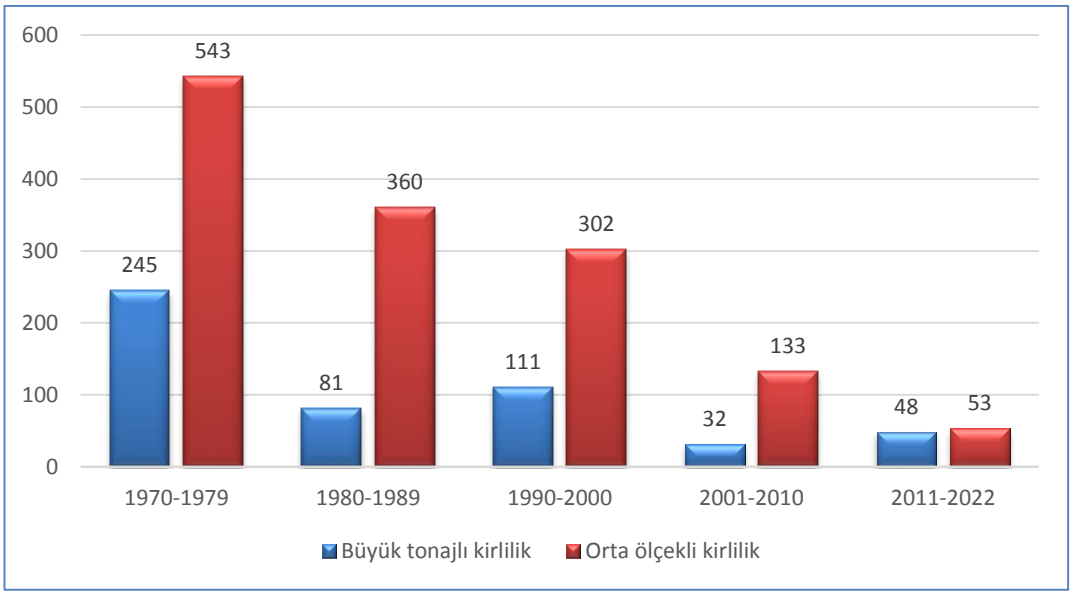
Dünyadaki homojen olmayan petrol kaynaklarının dağılımı ve ülkelerin ekonomik kalkınma için petrole bağımlı olması, deniz yoluyla petrol taşımacılığını son derece önemli bir ticaret dalı haline getirmiştir (Chen ve diğerleri, 2019). Petrolün kara rezervlerinde miktarının azalması nedeniyle, açık deniz petrol/gaz üretimi 1990'lardan bu yana potansiyelini önemli ölçüde artırmış (Davies ve Hope, 2015; Keramea ve diğerleri, 2021) ve buna bağlı okyanus aşırı çalışan ham petrol/ürün tankerlerinin tonajlarında ve sayılarında ciddi büyüme gözlenmiştir (Li ve diğerleri, 2016).

Gemi kaynaklı kirlilik kazaları, gemilerin veya deniz araçlarının karıştığı ve deniz çevresine petrol veya diğer kirleticilerin salınmasıyla sonuçlanan olayları ifade etmektedir (Cakir ve diğerleri, 2021). Kargo tanklarından veya yakıt tanklarından petrol sızıntısını içeren tanker kazaları büyük ölçekli petrol kirliliği olaylarına yol açmaktadır. Tankerlerden kaynaklanan büyük petrol sızıntısı vakaları nispeten nadir olmakla birlikte, bazı kayda değer kazaların önemli çevresel ve ekonomik etkileri olmuştur (Prabowo ve Bae, 2019). Örnekler arasında 1989'daki Exxon Valdez sızıntısı (Alaska'da dökülen yaklaşık 37.000 ton ham petrol), 2010'daki Deepwater Horizon (DWH) sızıntısı (Meksika Körfezi'nde dökülen yaklaşık 492.000 ton petrol) ve 2002'deki Prestige sızıntısı (İspanya kıyılarında dökülen yaklaşık 77.000 ton ağır ham petrol) yer almaktadır. Gemiler ya da deniz taşıtları arasındaki çatışmalar, resiflere, kayalıklara ve canlı yaşamını zarar vermekte ya da sığ alanlardaki karaya oturma

kazaları yakıt tanklarını ya da kargo ambarlarına hasar vererek petrol sızıntılarına neden olabilmektedir. Ayrıca rutin operasyonlar sırasında kazara dökülmeler veya gemilerden kasıtlı olarak yasadışı petrol veya yağlı atık boşaltımı meydana gelerek çevreye zarar verebilmektedir. Bu tür olayların tespiti ve müdahale edilmesi kirliliğin önlenmesinde çok önemlidir. Yasadışı deşarjlar ve kazara dökülmelerle mücadele çabaları genellikle sorumsuz uygulamaları caydırmak için gözetim, yaptırım ve cezaları içermektedir (Chen ve diğerleri, 2020).

Literatür incelendiğinde, dünya okyanuslarındaki petrol sızıntılarının en büyük nedeni petrol tankerlerinden kaynaklı operasyonel deşarjların olduğu kabul edilmektedir (Zhang ve diğerleri, 2019; Silva ve diğerleri, 2022a). Dünyadaki toplam petrol üretiminin yaklaşık %0,4 ila %0,8'inin okyanuslara ulaştığı tahmin edilmektedir ve petrol ve petrol türevi ürünlerinin toplam kayıplarının %98'ine karşılık gelen sızıntıların ise taşımacılık sırasındaki deşarjlardan kaynaklı olduğu belirtilmektedir (Hazra ve diğerleri, 2012). Kaza sonucu oluşan kayıplardan kalan %2'lik (400 bin ton/yıl) miktar ise deniz çevresine salınmaktadır (Silva ve diğerleri, 2022b). Şekil 5'te tanker gemilerinden kaynaklı 7 tondan fazla orta ve büyük ölçekte petrol kirliliği kazalarının yıllara göre karşılaştırılması yer almaktadır.

Şekil 5: Tanker Gemilerinden Kaynaklı 7 Tondan Büyük Petrol Kirliliği Verileri



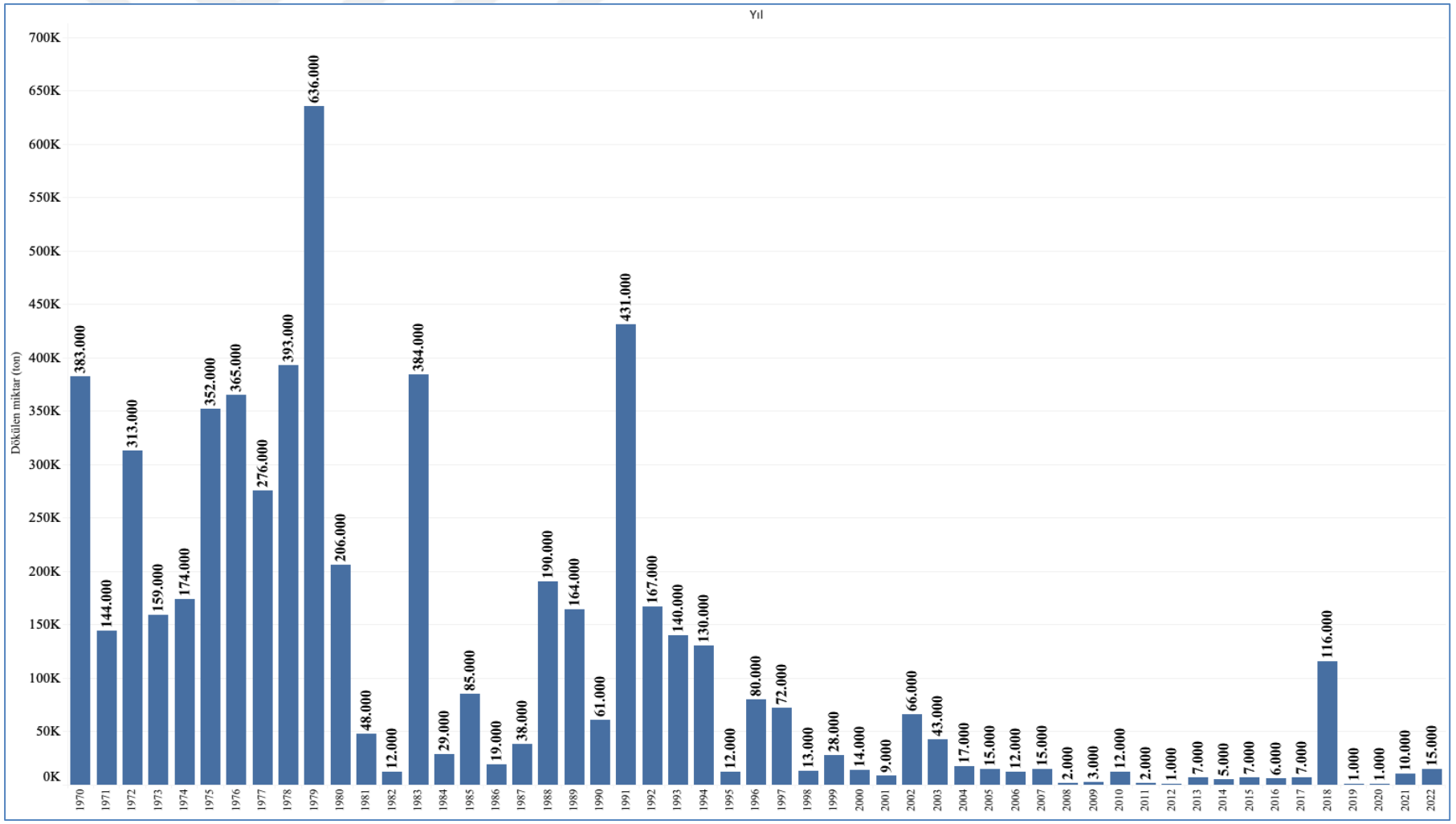
Kaynak: ITOPF, 2022.

Şekil 5'te yıllık bazda orta büyüklükte (7<x<700 ton) kirliliklerin son 10 yıllık periyotta azaldığı, büyük ölçekli (x>700 ton) kirliliklerde ise ciddi bir artışın olduğu gözlenmektedir. 1970'ten beri kaydedilen dökülmelerin %80'inden fazlasını oluşturan küçük dökülmelere (x<7 ton) ilişkin veriler raporlarda mevcut değildir. Çünkü, bu dökülme miktarlarına ilişkin güvenilir raporlara ulaşmak oldukça zordur. 1970'ten 2022'ye kadar dünya çapında tanker kazalarından kaynaklı yaklaşık 5,88 milyon ton petrol denize dökülmüştür. 1970'ten bu yana orta büyüklükteki dökülmeler hakkında toplanan veriler için, çatışma ve karaya oturma kazalarından kaynaklı olduğu belirtilmektedir. Diğer bir sonuç ise, büyük dökülmelerin %50'sinin gemiler açık suda seyir halindeyken meydana geldiği tespit edilmiştir.

Yıllar içinde, tanker kazalarından kaynaklanan petrol sızıntılarının sayısı ve hacminde, iyileştirilen güvenlik önlemleri, düzenlemeler ve sektör uygulamaları nedeniyle bir azalma eğilimi olmuştur. Son araştırmalar büyük ölçekli sızıntıların sayıca daha az olduğunu göstermiştir; ancak küçük tonajlı sızıntılar neredeyse her gün meydana gelmektedir (Zhu ve diğerleri, 2022). Ayrıca, gemi terminallerinde, kıyıdaki rafinerilerin yakınında ve diğer benzer tesislerde yılda ilave yaklaşık olarak 120.000 ton petrolün denize döküldüğü ve gemilerin işletim prosedürleri nedeniyle yılda ortalama 250.000 ton petrol kaybı olduğu tahmin edilmektedir (ITOPF, 2018; Keramea ve diğerleri, 2021). Kazalardan kaynaklı sızıntıların miktarı, her yıl varış noktasına güvenli bir şekilde teslim edilen miktarın çok küçük bir kısmını oluşturduğu belirtilmektedir.

Gemi kaynaklı petrol kirliliği kazalarının küresel olarak büyük bir endişe kaynağı olduğunu ve bu tür olayların riskini en aza indirmek ve etkilerini hafifletmek için düzenlemeleri iyileştirmek, gemi güvenlik önlemlerini artırmak ve müdahale yeteneklerini geliştirmek için araştırmacılar ve endüstri büyük çaba sarf etmektedir. "*Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesine İlişkin Uluslararası Sözleşme*" (MARPOL) ve bölgesel girişimler gibi uluslararası sözleşmeler ve anlaşmalar, gemi kaynaklı kirliliği önlemeyi ve müdahale etmeyi ve deniz kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını teşvik etmeyi amaçlamaktadır (Chen ve diğerleri, 2020). 1970'ten günümüze denize dökülen petrolün toplam miktarı yıllık bazda Şekil 6'da gösterilmektedir.

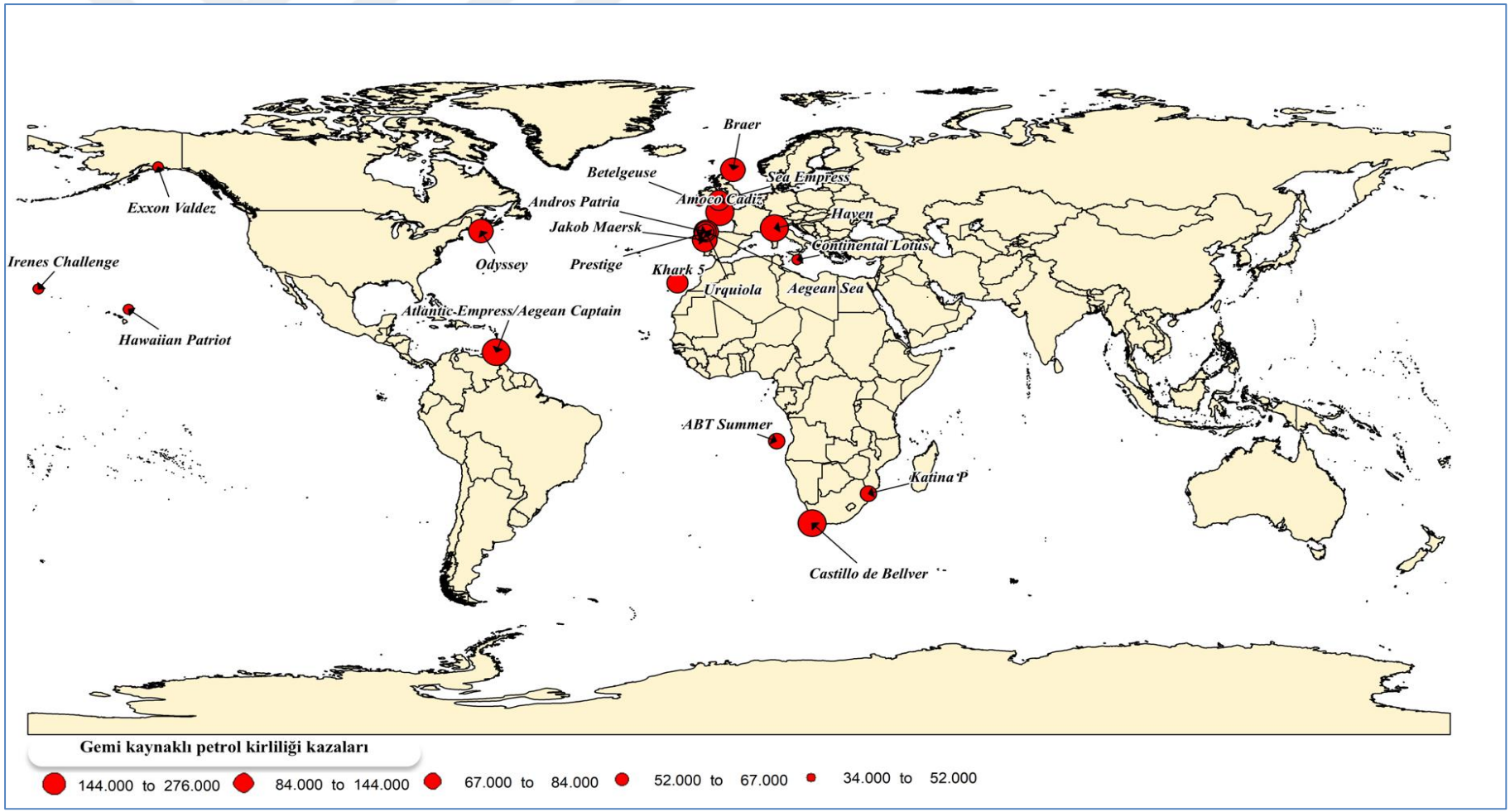
Şekil 6: 1970'ten Günümüze Denize Dökülen Petrolün Toplam Miktarı (Ton)



Kaynak: ITOPF, 2022'den elde edilen bilgiler ışığında yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 6 incelendiğinde, 1970'lerde yedi ciddi petrol sızıntısı kazası meydana gelmiş ve bir milyon ton petrol okyanusa dökülmüştür. Bu tarihlerde gerçekleşen en ciddi kazalardan biri olan petrol tankeri Amoco Cadiz, dümen mekanizmasının arızalanması nedeniyle karaya oturarak 223.000 ton kirliliğe sebebiyet vermiştir. 24 Mart 1989'da Alaska'da meydana gelen Exxon Valdez kazasında ise, yaklaşık 37.000 ton ham petrolün deniz ekosistemine kirletmesine ve 1.300 mil kıyı şeridinin kirlenmesine neden olmuştur. 1990'larda 7 ton ve üzeri döküntü ile sonuçlanan toplam 360 adet kaza gerçekleşmiştir. Bu yıllarda %7'sini temsil eden 10 kaza nedeniyle denize toplam 1,13 milyon ton petrol sızıntısı gerçekleşmiştir. Görüldüğü üzere, tek bir olay nedeniyle yıllık bazda dökülen ürün miktarında ciddi bir deniz kirliliği meydana gelmekte ve çevresel olarak büyük riskleri barındıran felaketler yaşanmaktadır. Tarihte yaşanmış en önemli olaylar ise; Atlantic Empress, ABT Summer ve Castillo de Bellver gemilerinden kaynaklı petrol kirliliği kazalarıdır. Atlantic Empress kazası çatışma riskinden kaynaklı 287.000 ton, ABT Summer ve Castillo de Bellver gemileri ise patlamadan kaynaklı yaklaşık 260.000 ton kirliliğe sebebiyet vermiştir. Tarihte çevresel felaket olarak nitelendirilen çoğu petrol kirliliklerinde, gemilerin çatışma, karaya oturma veya patlama riskinden kaynaklı olduğu görülmektedir. 2000'li yıllardan sonra ise geliştirilen ekipman altyapısı ve tankerlere uygulanan sıkı denetim mekanizmaları sayesinde, denize dökülen petrol miktarında ciddi bir azalma görülmektedir. Fakat, uygulanan tüm iyileştirme çabalarına rağmen gemi kaynaklı petrol kirliliği riski her yıl devam etmektedir. Literatürde çevresel, sosyoekonomik ve insan sağlığı açısından olumsuz etkileri bulunan büyük ölçekli gemi kaynaklı petrol kirliliği kazalarının mevkileri ve dökülen miktarlarına göre büyüklüğünü içeren tematik haritalandırılma Şekil 7'de yer almaktadır.

Şekil 7: Gemi Kaynaklı Petrol Kirliliği Kazalarının Haritalandırılması



Kaynak: ITOPF, 2021'den elde edilen bilgiler ışığında yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 7'de yer alan haritada, büyük petrol sızıntısı kazalarının çoğu Atlantik Okyanusu'nda meydana geldiği görülmektedir. Bu kazalar, mürettebat üyelerinin hayatını tehdit etmenin yanı sıra, kıyı şeritlerinde deniz ekolojik ortamını etkilemekte, büyük ekonomik kayıplara ve kaynak hasarına neden olmaktadır. Etkilerinden dolayı, açık denizde ve kıyı sularında meydana gelen dökülmelerin medyada yer alması farklı bir izlenim yaratmakta ve karada meydana gelen döküntü ile sonuçlanan kazalara göre daha yüksek düzeyde endişeye neden olmaktadır. Örneğin, Meksika Körfezi'nde 2010 yılında meydana gelen DWH petrol sızıntısı, üç ayda okyanusu tahmini 4,9 milyon varil ham petrol ile kirletmiştir (Zhang ve diğerleri, 2015a). Kazadan etkilenen biotada ciddi hasarlar söz konusu olarak ve özellikle çoklu trofik seviyelerdeki birçok deniz organizması da olumsuz etkilenerek besin zincirindeki tüm bileşenleri tehdit etmiştir (Li ve diğerleri, 2016). Yerel turizm ve balıkçılık endüstrileri alanlarında ekonomik anlamda ciddi kayıplar raporlanmış ve doğrudan ve dolaylı ekosistem hasarına atfedilen 5,5 milyar doların üzerinde maddi hasar kayıt altına alınmıştır (Yang ve diğerleri, 2021).

Yakın tarihe odaklandığımızda, 2018'de insan hatası kaynaklı çatışma riski ile sonuçlanan ve Çin Denizi'nde meydana gelen Sanchi kazasında 1000 tondan fazla ağır yakıt ürünü denize dökülmüştür (Yin ve diğerleri, 2018). Biyolojik çeşitlilik olarak zengin bir ekosisteme sahip olan hassas alanlardaki dökülmelerde ise, petrol deniz ekosistemleri üzerinde ciddi olumsuz etkilerin yanı sıra büyük ekonomik kayıplara, sosyoekonomik alanların etkilenmesine ve ekolojik kaynakların yok olmasına neden olmaktadır (Chen ve diğerleri, 2019). Gıda zincirlerine petrol aktarımı nedeniyle halk sağlığı da tehlikeye girmekte ve ticari, rekreasyon balıkçılık ve kıyı turizminin kesintiye uğraması nedeniyle sosyoekonomik olarak kıyı devletleri olumsuz etkilenmektedir (Zhang ve diğerleri, 2019). Bu tür kazalardan çıkarılacak derslerin en önemlisi ise; kara ve su ekosistemlerinin sürdürülebilir yönetimi için çevresel ve ekolojik yönlerin dikkate alınması ve politika oluşturmayı desteklemek için uygun müdahale araçlarının geliştirilmesini gerektiğidir. Petrol kirliliği sorununun yönetimi, toplumun farkındalığı ve katılımı ile daha etkili hale gelebilmektedir. Bu nedenle, halkın petrol kirliliği ve çevre yönetimi hakkında bilinçlendirilmesi, eğitilmesi ve katılımının teşvik edilmesi gerekmektedir.

1.2.2. Gemi Kaynaklı Petrol Kirliliğine Yönelik Literatür Çalışması

Tankerlerden kaynaklanan büyük petrol sızıntıları, denizlerin ve kıyıların ciddi şekilde zarar görmesine neden olan çevresel felaketlerdir. Bu nedenle, gemi operatörleri, mürettebatları ve uluslararası toplum, gemi kazalarını önlemek için gereken tedbirleri almak ve deniz kirliliği konusunda daha sıkı düzenlemeler yapmak için çalışmaktadır (Goerlandt ve Montewka, 2015; Chen ve diğerleri 2018). Bu nedenle, kaza önlemeye yönelik risk temelli yaklaşımlar ve neden-sonuç analizleri araştırmacıların deniz güvenliğini artırmak ve deniz çevresini korumak adına gerçekleştirdikleri en önemli konu başlıklarından biri olmaktadır (Lan ve diğerleri, 2015; Vidmar ve Perkovič, 2018; Yang ve diğerleri, 2021).

Denizlerdeki petrol sızıntısı kirliliğine ilişkin çalışmalar çoğunlukla olasılık analizi (Abascal ve diğerleri, 2010), tahmin modellemeleri (Etkin, 1999; Bollt ve diğerleri, 2012), petrol kirliliği dağılımının sayısal modellenmesi (Toz, 2017; Toz ve Koseoğlu, 2017; Soussi ve diğerleri, 2019) ve ekolojik hasar değerlendirmesi (Mishra ve diğerleri, 2012, Yang, 2015) üzerine yoğunlaşmıştır. Bölgesel deniz suları için tehlike değerlendirmesi (De Andrade ve diğerleri, 2010; Garcia ve diğerleri, 2013; Ciappa ve Costabile, 2014), kıyı bölgeleri için emniyet açığı değerlendirmesi (Olita ve diğerleri, 2012; Alves ve diğerleri, 2014) ve deniz petrol sızıntısı kirliliği kazaları için kıyı bölgesi yönetimi (Lan ve diğerleri, 2015; Lee ve Jung, 2015) başlıkları da son yıllarda farklı teknikler ile geliştirilen ana temalardandır.

Gemilerdeki petrol sızıntıları ilgili birçok mevcut çalışma, farklı bölgelerde ve farklı gemi türleri için kaza neden sınıflandırması veya risk değerlendirmelerine odaklanmıştır. Bu bağlamda tarihsel verilerin analizi ve petrol ticaret hacmi ile ilgili verilerin tahmini, petrol kirliliği riskine dair çıkarımlarda bulunmamıza yardımcı olmaktadır (Vidmar ve Perkovič, 2018). Eliopoulou ve Papanikolaou (2007), 1978 ile 2003 yılları arasındaki büyük tanker kazalarını analiz etmiş ve tanker gemilerinin boyutu/tipi, kaza ciddiyet derecesi ve gemi-yılı başına petrol sızıntısı ton oranları dikkate alınarak dünya çapında petrol sızıntı riski ile karşılaşan coğrafi alanların belirlenmesinde literatüre önemli katkı sağlanmıştır. Burgherr (2007), IMO'nun "*Resmi Emniyet Değerlendirmesi*" kılavuzundaki tavsiyeyi göz önünde bulundurarak, 1970'ten 2004'e kadar meydana gelen tüm petrol sızıntılarını dökülme nedenlerini

analiz etmiştir. Youssef ve diğerleri (2014) çalışmalarında, olasılıksal yaklaşımlar kullanılarak çevresel risk değerlendirmesi ve ekonomik etki değerlendirmesi yapılarak ortaya çıkan toplam risk kaynaklı hasar hesaplanmaktadır. Bir diğer çalışmada ise, tankerlerden kaynaklanan petrol sızıntılarına yönelik belirsizliklerin ortadan kaldırılması için kaza kök nedenlerinin uzman görüşüne dayalı ve geçmiş kaza olay verilerini içeren proaktif bir yöntem olan Bayes ağları ile risk temelli bir yaklaşım önerilmektedir (Goerlandt ve Montewka, 2015).

Türk karasuları için yapılan risk değerlendirme çalışmaları gemi trafiği yoğun bölgelerde ve liman sahaları örnekleminde yapılmaktadır. Yapılan araştırmalar, İstanbul Boğazı (Başar, 2003; Akan, 2007; Bozkurtoğlu, 2017; Yildiz ve diğerleri, 2021), Mersin Körfezi (Inan ve Balas, 2010a; Toz ve Buber, 2018), İzmir Körfezi (Toz ve Koseoğlu, 2018; Aydın ve Solmaz, 2019), İzmit Körfezi (Inan ve Balas, 2010b; Ulker ve diğerleri, 2022) ve Samsun (Toz, 2017) deniz alanlarındaki olası tanker kazalarından kaynaklanan petrol kirliliği kaynaklı modelleme çalışmaları odağında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda farklı miktarlarda ve farklı yapılarda petrol türevlerinin difüzyonu farklı programlar yardımıyla modellenmiş ve petrolün kıyıya ulaşma süresi tahmin edilmiştir.

Ek olarak, birçok bilim insanı petrol sızıntılarına yönelik politikaları ve yönetim stratejilerini de incelemiştir. Viladrich-Grau (2003), ABD limanlarında petrolün kıyı şeridinden ve hassas alanlardan uzaklaştırılması için ABD Sahil Güvenlik kurumu tarafından uygulanan politikaları analiz etmiş, denetim ve uygulama prosedürlerini değerlendirerek politika geliştirici tavsiyelerde bulunmuştur. Farklı bölgeler ve petrol türleri arasındaki farklılıklara odaklanarak, 10 yıllık bir süre içinde (1995–2005) petrol sızıntılarını gözden geçiren ve müdahale operasyonunda tercih edilen kimyasal dağıtıcıların kullanım politikalarını da incelenen bir diğer önemli araştırmadır (Chapman ve diğerleri, 2007). Hur (2012), "Hebei Spirit" petrol sızıntısı afet yönetiminin iş birliği mekanizmasını yönetişim perspektifinden araştırmış, Chen ve diğer araştırmacıların 2019 yılında gerçekleştirdikleri çalışmada ise son 50 yıllık periyotta petrol sızıntılarıyla ilgili verilere odaklanılmış ve yönetim düzenlemelerinin gelişimini analiz etmek için petrol sızıntısı kirliliği eğilimini incelenmiştir. Araştırma ayrıca, tankerlerden kaynaklanan petrol sızıntılarının ardındaki temel faktörleri araştırmakta ve söz konusu araştırmaya dayalı olarak gelecekte petrol tankerleri

kirliliğini önlemek için küresel deniz taşımacılığı endüstrisi adına müdahale stratejileri ve yönergeleri özetlemektedir. Yaygın olarak kullanılan bu tür araştırma sonuçları, çoğu gemi petrol sızıntısı kazalarının önlenmesi, kontrolü ve denetimi için hükümet ve denizcilik işletmeleri tarafından referans olarak kullanılmaktadır.

1.3. PETROL KİRLİLİĞİNİN ÖNLENMESİNE İLİŞKİN YASAL ÇERÇEVE

Deniz emniyetini artırmak için uluslararası düzeyde alınan önlemlere rağmen, son yıllarda meydana gelen petrol tankeri kazaları deniz kirliliğinde kalıcı bir tehdit oluşturmaya devam etmektedir (Yang ve diğerleri, 2021). Bu kazalar, tehlikeli maddelerin taşınmasıyla ilgili riskler konusunda kamuoyunda farkındalık yaratmış ve hükümetleri ve uluslararası kuruluşları gelecekte bu tür felaketlerin meydana gelmesini önlemek için düzenlemeler geliştirmeye ve uygulamaya sevk etmiştir (Chen ve diğerleri, 2020). Geçtiğimiz yıllar içerisinde, hükümetler ve uluslararası örgütler, gemi kaynaklı petrol sızıntısı risklerinin azaltılması için gerekli olan petrol kirliliği müdahale ve operasyon yönetimine ilişkin çeşitli politikalar oluşturmuştur (Li ve diğerleri, 2016). Petrol taşıma zincirindeki şirketlerin büyük çoğunluğu, iyi bir çevresel performansın emniyet kültürü ile sağlanacağının farkındadır ve birçok şirket, kuruluşlarında emniyet iklimi ve çevre bilinci oluşturmak için mevcut mevzuatı temel almaktadır (Cakir ve diğerleri, 2021). Bu kapsamda; ana aktörler ve bunların uluslararası hukuk kapsamındaki ilgili yükümlülükleri, bir kazayı veya arızayı önlemek için hangi standartların ve kontrollerin yürürlükte olduğu ve petrolün deniz yoluyla emniyetli bir şekilde taşınmasını sağlamak için endüstrinin bu riski nasıl yönettiğini bilmek en önemli konu başlıklarından biri olmaktadır (IPIECA, 2005a; Shi ve diğerleri, 2019; Silva ve diğerleri, 2022a). Bu standartlar ve yönetmelikler petrol sızıntılarının meydana gelmesini önlemeyi ve çevresel etkilerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca sızıntı risklerinde sorumluluk ve mali sorumlulukları belirleyerek ulusal sınırları aşan felaket durumunda uluslararası iş birliği için bir çerçeve oluşturmaktadır (Zhang ve diğerleri, 2019).

1.3.1. Denizde Petrol Kirliliğine Yönelik Uluslararası Düzenlemeler

Denizde petrol kirliliğine ilişkin uluslararası düzenlemeler, petrol sızıntılarının ve denizcilik faaliyetlerinden kaynaklanan kirliliğin etkilerini önlemek ve azaltmak için tasarlanmıştır (Chen ve diğerleri, 2020). Bu uluslararası düzenlemeler güvenliği artırmak, kirliliği önlemek ve müdahale kabiliyetlerini geliştirmek için sürekli olarak güncellenmektedir. Gemi operatörlerinin sorumlu uygulamalarını sağlamayı, petrol sızıntısı riskini en aza indirmeyi ve denizde meydana gelen olaylarda etkili hazırlık ve müdahale için bir çerçeve sağlamayı amaçlamaktadırlar. Bu sözleşmelerden en önemlisi gemilerin yarattığı kirlilik etkisini değerlendiren ve bu konuda standartlar belirleyen "*Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesine İlişkin Uluslararası Sözleşme*" (MARPOL) sözleşmesidir. MARPOL'ün Ek I'i petrol kaynaklı kirliliğin önlenmesi ile ilgili gerekli düzenlemeleri içermektedir. Gemilerin inşası ve işletilmesine ilişkin düzenlemeler, petrol sızıntılarının önlenmesine ilişkin gereklilikler ve petrol atıklarının bertarafına ilişkin kurallar da dâhil olmak üzere gemiler için bir dizi gereklilik ortaya koymaktadır. Denizde petrol kirliliğine ilişkin diğer önemli uluslararası düzenlemeler arasında "*Petrol Kirliliği Zararının Hukuki Sorumluluğuna İlişkin Uluslararası Sözleşme (CLC- The International Convention on Civil Liability for Oil Pollution Damage)*" ve "*Petrol Kirliliği Zararının Tazmini İçin Bir Uluslararası Fonun Kurulmasına İlişkin Uluslararası Sözleşme (FUND- International Convention on the Establishment of an International Fund for Compensation for Oil Pollution Damage)"* yer almaktadır. CLC, gemilerden kaynaklanan petrol kirliliğinin neden olduğu zararlar için bir sorumluluk ve tazminat rejimi oluşturmaktadır. FUND ise petrol kirliliğinden zarar gören taraflara mali yardım sağlamaktadır.

IMO ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı *"UNEP- United Nations Environment Programme*", öncelikle gelişmekte olan ülkeleri hedefleyen bölgesel anlaşmaları desteklemektedir. Karayipler için Karayip Çevre Programı Bölgesel Faaliyet Merkezleri "*REMPEITC- Regional Activity Centres of the Caribbean Environment Program*", Akdeniz için Bölgesel Deniz Kirliliği Acil Müdahale Merkezi "*REMPEC- The Regional Marine Pollution Emergency Response Centre for the Mediterranean Sea*" ve Basra Körfezi için Acil Durumlarda Petrol ve Diğer Zararlı

Maddelerden Kaynaklanan Kirlilikle Mücadelede Bölgesel İş birliği ve Deniz Acil Karşılıklı Yardım Merkezi "*MEMAC- Regional Co-operation in Combating Pollution by Oil and other Harmful Substances in Case of Emergency, the Marine Emergency Mutual Aid Centre*" gibi iş birlikleri en önemli olanlarıdır (Li ve diğerleri, 2016). Diğer bölgesel örgütler, kıyı devletleri arasındaki ikili ve çoklu anlaşmaları desteklemiş olup bunlar; Kuzey Denizi'ne kıyı devletlerinin ve Avrupa Topluluğu'nun sözleşme tarafları olduğu "*BONN Agreement- The Bonn Agreement Oil Appearance Code*" anlaşması; Baltık Devletlerini kapsayan Helsinki Sözleşmesini yöneten "*HELCOM- The Baltic Marine Environment Protection Commission*" olarak da bilinen Baltık Deniz Çevresini Koruma Komisyonu'dur (IPIECA-IOGP, 2015c). Bu anlaşmaların temel amacı, müdahale düzenlemeleri konusunda iş birliğini ve ülkeler arasında uzmanlık ve kaynak paylaşımını teşvik etmektir. Tablo 2'de petrol endüstrisini şekillendiren ve uluslararası sözleşmelerin temelini oluşturan çevresel felaket boyutundaki kazaların bilgileri ve ilgili yönetmelikler yer almaktadır.

Tablo 2 incelendiğinde, 1967'deki Torrey Canyon kazasından bu yana ulusal ve uluslararası boyutta çeşitli kirlilik müdahale yapılarının gelişimini ve gemilerin emniyetli seyretmesine yönlendiren çeşitli düzenlemeler yer almaktadır. Meydana gelen gemi kazaları ve petrol işletim faaliyetlerinden kaynaklı kirlilikler kıyı ülkelerinin bir dizi önlemler almasını zorunlu kılmış ve deniz ekosisteminin korunmasına yönelik 1954 yılında "*Uluslararası Petrol Kirliliğine Karşı Denizlerin Korunması -OILPOL (International Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil)"* sözleşmesine yönelik ilk adımlar atılmıştır. Bu kapsamda devletlerin deniz yetki sahalarında meydana gelen kazaların önlenmesi, kirliliğe müdahale çalışmaları ve arama kurtarma faaliyetlerine yönelik mevzuatlar oluşturulmuştur. Büyük ölçekli kazara petrol sızıntısı riskini azaltmaya yönelik muhtemelen en önemli tedbir ise çift cidar zorunluluğu olmuştur. Modern gemilerin çift gövdeli olması, karaya oturma ya da çatışma durumunda petrol sızıntısı riskinin önemli ölçüde azalması anlamına gelmektedir. Genel olarak, gemi kaynaklı petrol kirliliği yönetim politikaları; önleme, müdahale, sorumluluk ve tazminat konularına vurgu yaparak daha kapsamlı hale getirilmiştir.

Tablo 2: Uluslararası Sözleşmelere Konu Olan Petrol Kirliliği Kazalarına Ait Temel Bilgiler

Yıl	Petrol Kirliliğinin Kaynağı ve Yeri	Kaza Nedeni	Ürün Tipi	Ürün Sahibi	Dökülen Ürün Tonajı (10,000 Ton)	Etkilenen Kıyı Şeridi	Müdahale Seçenekleri	Müdahale Maliyeti	İlgili Kanun ve Yönetmelikler
19.02.1967	Torrey Canyon-İngiltere	Çatma ve gövde hasarı	Ham petrol	Union Oil Company, BP	11,9	1800 km^2	Dağıtıcı ve yüksek basınçlı mekanik yıkama	7,2 milyon $	INTERVENTION 1969-Petrol Kirliliği Kazalarına Açık Denizlerde Müdahale Edilmesi Hakkında Uluslararası Sözleşme
									CLC 1969-Petrol Kirliliğinden Doğan Zararın Hukukî Sorumluluğu ile İlgili Uluslararası Sözleşme
									MARPOL 1978 Protokolü ile Değişik 1973 Tarihli-Denizlerin Gemiler Tarafından Kirletilmesinin Önlenmesine Ait Uluslararası Sözleşme
17.03.1978	Amoco Cadiz-Fransa'nın Brittany sahili 2 km'lik mesafe	Fırtına sırasında dümen arızası	Ham petrol	Amoco Corporation	22,3	320 km^2	Fiziksel müdahale teknikleri, dağıtıcılar, yüksek basınçlı mekanik yıkama	100 milyon $	SALVAGE 1989- Uluslararası Kurtarma Sözleşmesi
									Paris MOU 1982-Paris Liman Devleti Kontrolü Memorandumu
24.03.1989	Exxon Valdez-Alaska	Çatma ve gövde hasarı	Ham petrol	Exxon Mobil	3,7	2800 km^2	Fiziksel müdahale teknikleri, dağıtıcılar (Corexit 9527)	100 milyon $	OPA 1990-Petrol Kirliliği Kanunu
12.12.1999	Erika-Fransa	Gövde hasarı	HFO No:6	Total	1,5-2,5	400 km^2	Fiziksel müdahale	153 milyon $	Deniz Emniyeti üzerine Erika I, Erika II, Erika III paketleri
13.11.2002	Prestige-İspanya	Fırtına nedeniyle gövde hasarı	HFO No:2	Universe Maritime	6,4	2500 km^2	Fiziksel müdahale, bioremedasyon	12 milyar $	HNS 1996- Tehlikeli ve Zararlı Maddelerin Deniz Yoluyla Taşınmasından Kaynaklanan Zararın Tazmini ve Sorumluluğu Hakkında Uluslararası Sözleşme
									Deniz Emniyeti üzerine MSP3 paketi

Kaynak: Al-Majed ve diğerleri 2012; Chen ve diğerleri 2019; Murphy ve diğerleri 2016; Silva ve diğerleri, 2022b.

Exxon Valdez kazasından sonra ise, petrol kirliliğine hazırlıklı olma ve müdahale sistemlerinin oluşturulmasına yönelik 1990 yılında "*Uluslararası Petrol Kirliliğine Hazırlık, Müdahale ve İş birliği Sözleşmesi OPRC-International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation*" sözleşmesi kabul edildi (Aşan, 2021). OPRC'nin başlıca amaçları; uluslararası iş birliğini kolaylaştırmak ve büyük bir petrol kirliliği olayına hazırlık ve müdahalede karşılıklı yardımlaşma ve devletleri petrol kirliliği acil durumuyla başa çıkmak için yeterli kapasiteyi geliştirmeye ve sürdürmeye teşvik etmektir (Amir-Heidari ve Raie, 2019). Bu küresel girişim, gelişmekte olan ülkelere doğrudan yardım yoluyla büyük petrol sızıntılarına hazırlanmalarına yardımcı olmakta ve kirliliğe müdahale ve önleme çalışmalarına ilişkin acil durum planlarının gerekliliğini vurgulamaktadır.

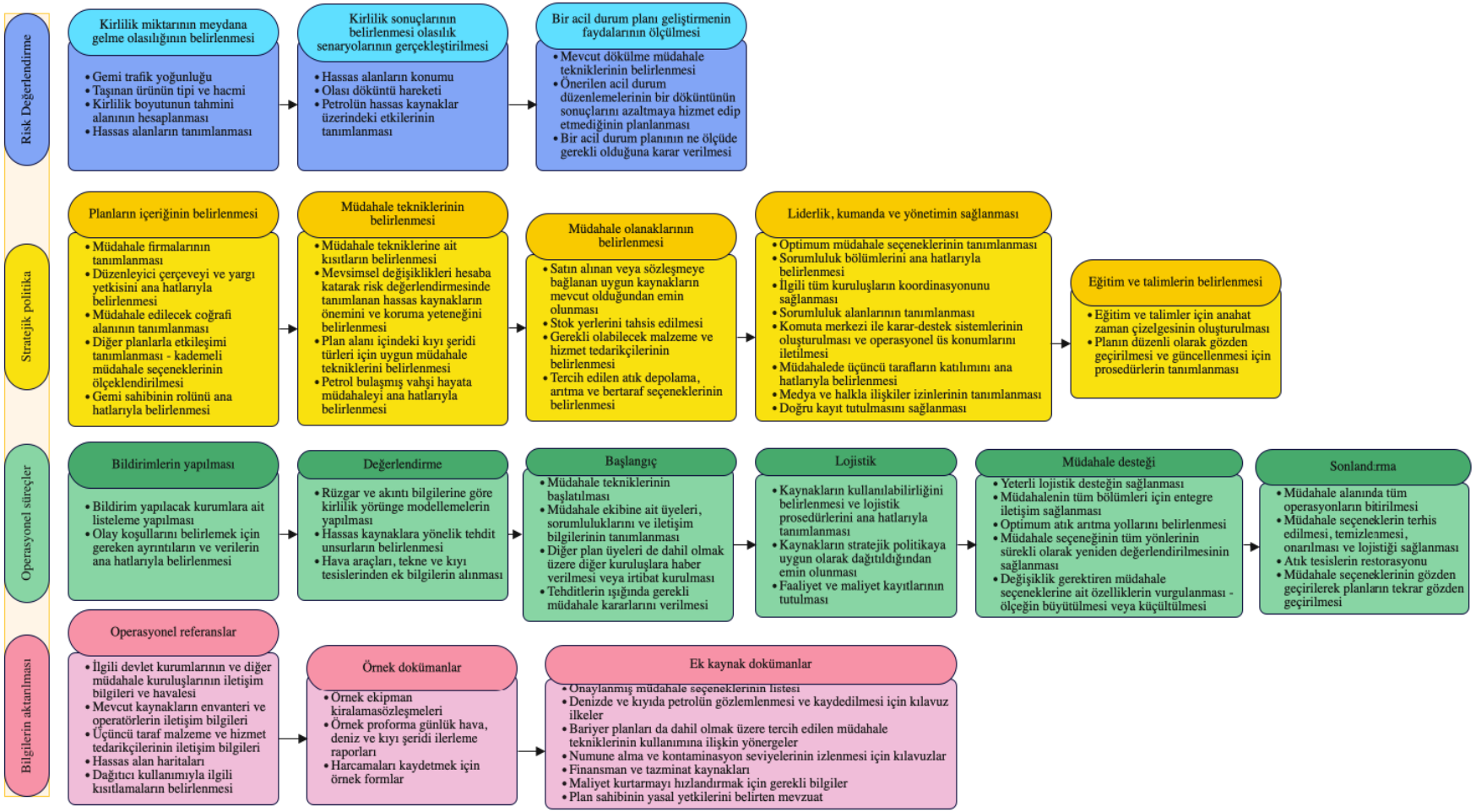
Petrol kirliliği acil durum planlamaları, yerel ve uluslararası düzenleyici sistemler ve politikalar ile uyumlu, bir petrol tesisin veya endüstri kuruluşunun petrol sızıntısı riskleriyle bağlantılı müdahale yeteneğini içeren, seyrüsefere elverişli sulara veya bitişik kıyı şeritlerine zararlı olabilecek miktarlardaki bir petrol sızıntısının kontrol edilmesini, kontrol altına alınmasını ve geri kazanılmasını ele alan ayrıntılı planlar olarak tanımlanmaktadır (IPIECA-IOGP, 2015c; Shi ve diğerleri, 2019). Bir yönetim stratejisi/acil durum planı, acil bir durum öncesinde, sırasında ve sonrasında atılması gereken adımları özetleyen bir dizi talimatlardan meydana gelmektedir (Chen ve diğerleri, 2019).

Acil durum planları, petrol kirliliğine zamanında ve koordineli bir müdahale sağlayarak insan sağlığı ve çevre üzerindeki potansiyel tehlikeyi en aza indirgemeye yardımcı olmaktadır (Li ve diğerleri, 2016). Bu planların temel bileşenleri, öncelikli koruma alanlarının sürdürülebilirliği ve doğal yaşamın en az derecede etkilenmesi için hangi kıyı ortamlarının bir petrol sızıntısı nedeniyle en ciddi şekilde zarar göreceğinin tespitine dair süreçlerden oluşmaktadır (Fingas, 2016; French-McCay ve diğerleri, 2021). Bu nedenle acil durum planlaması, kıyının bir petrol sızıntısı ile kirlenme olasılığının değerlendirilmesini gerektiren petrol sızıntısı modellemeleri, hassasiyet haritalaması ve müdahale stratejilerini içeren Çevresel Karar Destek Sistemlerini (ÇKDS) içermelidir (Davies ve Hope, 2015; Amir-Heidari ve Raie, 2019). Bu yaklaşımların amacı, planlamacılara ve karar vericilere, dökülen petrolün hangi alanları etkileyebileceği ve bir sızıntının belirli bir yere ulaşmasının ne kadar süreceği

gibi birçok önemli planlama sorusunu yanıtlamasına yardımcı olmaktadır (Martins ve diğerleri, 2020). OPRC- 1990 kapsamınca, taraf olan ülkeler petrol sızıntısı acil durum müdahale sürecindeki sorumluluklarını tanımlamak, acil durum planlarını oluşturmak ve planları güncel tutmakla sorumludur (Li ve diğerleri, 2016; Amir-Heidari ve Raie, 2019). Acil durum planlarının uygulanabilirliği, ürünün özellikleri, paydaşlar ve aralarındaki iş birliği, müdahale stratejisi ve mevcut kaynaklar gibi birçok faktöre bağlıdır (Shi ve diğerleri, 2019). Bu nedenle, planların etkili ve başarılı bir şekilde uygulanmasında gerekli bilgilerin anlık iletilebilmesi ve doğrulanabilir olması büyük önem arz etmektedir (Qiao ve diğerleri, 2002; Michel ve diğerleri, 2013). Şekil 8'de petrol kirliliği kapsamında acil durum planlarında yer alan müdahale operasyonlarının temel aşamalarını gösteren şematik bir akış diyagramı mevcuttur.

Şekil 8'de ifade edilen kademeli müdahale yaklaşımında birincil hedef, kirliliğin meydana geldiği sahada anlık, güvenilir ve doğru bilgiye ulaşmak ve sızıntı riskini oluşturan temel değişkenlerin tespitini yapmaktır. Bu hedefi gerçekleştirmenin temeli risk temelli yaklaşımlara ve risk değerlendirme süreçlerine dayanmaktadır. Kirlilik sayısal modellemelerin yapılmasını içeren uygulamalar, bölgedeki hâkim rüzgâr ve akıntı koşullarına göre sızıntının kıyı şeridine ulaşma süresi, sosyal ve ekonomik alanlara etkisi ve balıkçılık/su ürünleri kaynakları açısından taşıdığı riskler üzerine tahminleme yapmaktadır. Bu yüzden bölgenin hassas veri kaynaklarını içeren haritalamanın acil durum planları içerisinde var olması tahminleme de hangi tür kaynaklara daha büyük bir etkisinin olduğu ve öncelikli korunacak alanların tespitinde büyük yarar sağlayacaktır. Bu tür verilerin haritalandırılması için Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı yazılımlar kullanılmaktadır.

Şekil 8: Petrol Kirliliği Kapsamında Acil Durum Planlaması Operasyon Aşamalarına Ait Akış Diyagramı



Kaynak: ITOPF, 2011'den elde edilen bilgiler ışığında yazar tarafından oluşturulmuştur.

Acil durum planlarının ikinci hedefi ise, kirliliğin boyutuna ve imkân kabiliyetine bağlı olarak paydaşların ve müdahale ekiplerinin yönlendirilmesinde temel rol oynayan strateji geliştirmesidir. Mevcut sahada yetki alanlarının belirlenmesi, öncelikli operasyonu yönetecek kurum ve paydaşların sorumlulukların tanımlanması, kademeli operasyon sürecinin ölçeklendirilmesi ve müdahale operasyonuna dair ekipman tahsisi süreçleri bu aşamada değerlendirilmektedir. Bu aşamada en önemli karar, risklerin tanımlanmasına bağlı olarak acil durum düzenlemeleri ve politikalar ışığında ihtiyaç analizlerinin gerçekleştirilmesi ve müdahale stratejisinin oluşturulmasıdır. Ulusal boyutta büyük tonajlı bir kirlilik kazasının yaşanmasında, ilgili uluslararası sözleşmeler ve ülkeler arası iş birliğine dayanan müdahale gereksinimleri hesaba katılmalıdır. Müdahale stratejisi belirlendikten sonra tercih edilen müdahale seçenekleri sahanın değişkenleri göz önünde bulundurularak uygulanmalı ve benimsenen tüm stratejilerin özellikle kimyasal yöntemlerden biri olan dağıtıcı kullanımına yönelik bürokratik izinlerinin önceden alınıp onaylanması gerekmektedir. Petrole bulanmış yaban hayatının rehabilitasyonu için sahadaki tüm canlı yaşamı ve nesli tükenmekte olan canlılar ve kıyı şeridinin hassasiyet derecesine bağlı olarak sosyal faaliyet değerini görselleştiren "*Çevresel Hassasiyet Haritalama (Environmental Sensivity Index Mapping- ESI maps)"* denilen haritalar ile gerçekleştirilmektedir. Bu yüzden, birincil aşamada kullanılan bu haritalar ikinci aşamada da müdahale kaynaklarının yönlendirilmesi ve seçilimi sırasında mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Planların üçüncü aşamasında müdahale operasyonunun elde edilen bilgiler ışığında ekipler ve paydaş katılımı söz konusudur. Bu aşamada zamana karşı bir yarış olmasından ötürü, strateji doğru, sahaya özgü ve güvenilir veriler ile desteklenmeli ve ekiplerin sorumluluklarını net olarak tanımlanarak operasyon yürütülmelidir. Ekipmanların doğru noktalarda konuşlandırılması, sahaya özgü kullanılacak tekniklerdeki izinlerin alınması ve işgücü talebinin karşılanabilmesi için müdahalede bulunacak kurum ve kuruluşların koordineli şekilde hareket etmesi gerekmektedir. Ayrıca müdahalede bulunacak ekipleri olası petrol sızıntı riskinden kaynaklı sağlık tehditlerinden korumak için kişisel koruyucu ekipmanların tahsisi yapılmalıdır. Gerekli finansman ve lojistik desteğiyle birlikte, kirliliğinin yarattığı atıkların depolanması, arıtılması ve bertaraf işlemleri de bu aşamada alınacak kararlar

arasındadır.

Son aşama olarak nitelendirilen bilgi rehberinde ise, petrol kirliliğine müdahale operasyonu sırasında alınan tüm kararların belgelenmesi, kayıt altına alınması ve kurumlar arası raporlama süreçleri yer almaktadır. Özellikle operasyon yönetimi sırasında kullanılan ekipman stokları, işgücü maliyetleri ve finansman desteğine dair tüm harcamalara ait detaylar rapor edilmelidir. Kazadan çıkarılan derslerin eğitim ve tatbikatlar ile desteklenmesi gerekmektedir.

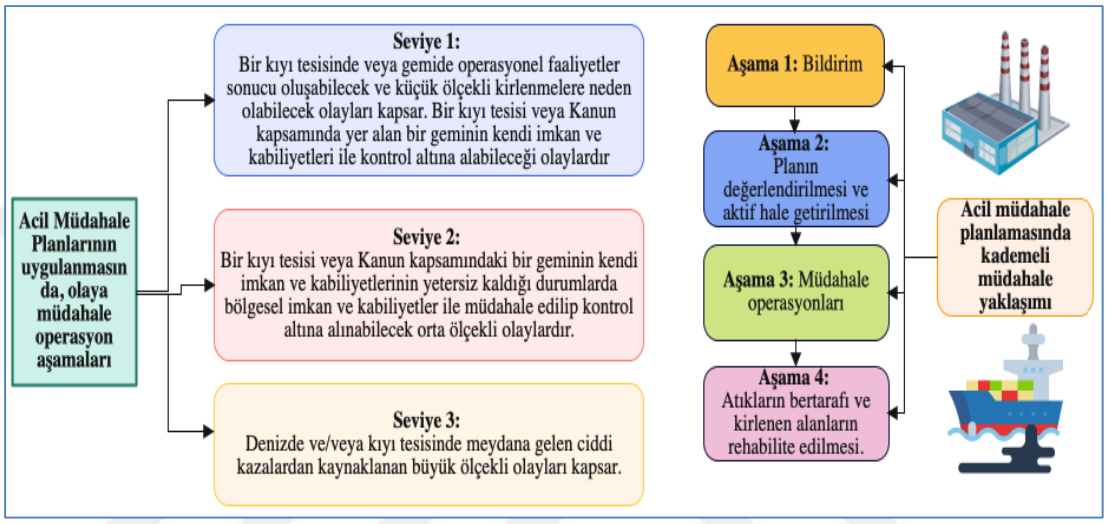
1.3.2. Denizde Petrol Kirliliğine Yönelik Ulusal Düzenlemeler

Türkiye'nin deniz yetki sahaları içerisinde denizde meydana gelebilecek petrol kirliliği ile mücadele kapsamında bölgesel ve uluslararası düzenlemeler referans alınarak bir mevzuat oluşturulmuştur. Türkiye, 1990 tarihinden itibaren gemilerden kaynaklı petrol kirliliği, sorumluluk ve tazmin sözleşmeleri ve petrol kirliliğine karşı hazırlıklı olma ve iş birliği konularında IMO sözleşmelerine kademeli olarak taraf olmuştur (Bayazit, 2021). Bunlara ek olarak öncelikli koruma sahası ve hassas bölge olarak nitelendirilen, canlı yaşamı, doğal kaynaklar ve rekreasyon alan olarak zengin kıyı şeridine sahip Akdeniz ve Karadeniz sahasına yönelik "*Barselona sözleşmesi*" ve "*Karadeniz'in Kirlenmeye Karşı Korunmasına Dair Sözleşme-Bükreş Sözleşmesi*" kapsamında da uluslararası nitelikte deniz çevresini korumaya yönelik önlemler alınmaktadır. Aynı zamanda Türkiye ulusal mevzuatını uluslararası anlaşmalarla uyumlu hale getirebilmek amacıyla 5312 sayılı *"Deniz çevresinin petrol ve diğer zararlı maddelerle kirlenmesine bağlı acil durumlarda müdahale ve zararların tazminine ilişkin esaslar"* başlıklı kanunu 2005 yılında yürürlüğe sokmuştur. 2006 yılında ise 1983 tarihli 2872 sayılı "*Çevre Kanunu*" nda denizlerde meydana gelen petrol kirliliği ile ilgili hususlar ele alınmıştır (Taş, 2007).

Çevre Kanunu'nun amacı; gemi ve kıyı tesislerindeki operasyonel faaliyetlerden kaynaklanan kirlilik tehlikesini sınırlamak, ortadan kaldırmak ve müdahalesi konusunda hazırlıklı olma esaslarını baz almaktadır. Kanun kapsamınca, kirliliğin meydana getirdiği zararlara yönelik tazmin sistemi ve tespit çalışmalarının esasları, paydaşların görev ve yetki sahaları belirlenmektedir (Aşan, 2021; Aşan 2022). 5312 sayılı Kanun çerçevesinde, üç aşamalı eylem planlarını öngören müdahale

organizasyonu yönetimi yer almaktadır. Şekil 9'da 5312 sayılı Kanun kapsamında belirtilen acil durum planlarına yönelik operasyon aşamaları ve müdahale yönetim seviyeleri yer almaktadır.

Şekil 9: 5312 Sayılı Kanun Kapsamınca Belirlenen Acil Durum Planı Aşama ve Operasyon Seviyeleri



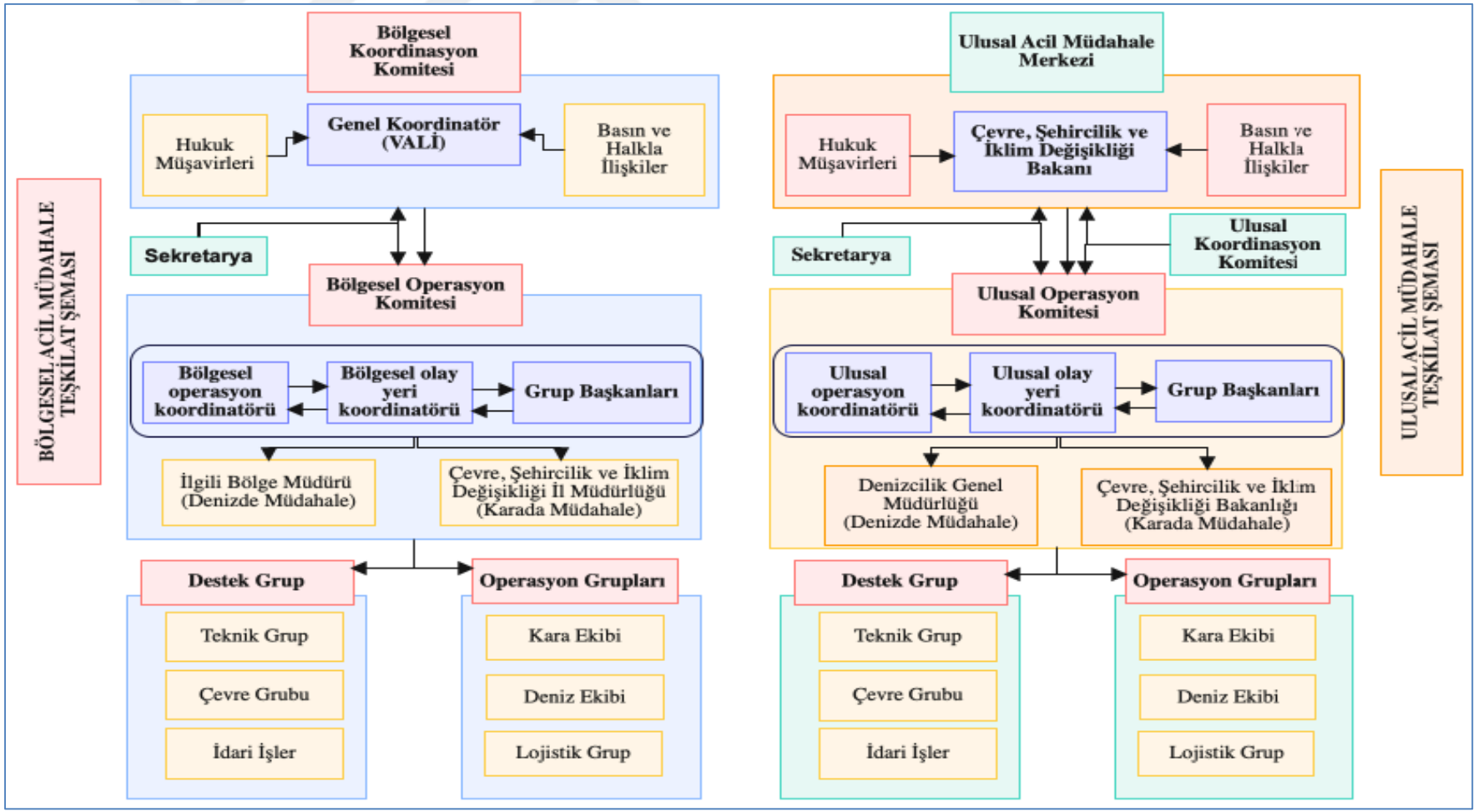
Kaynak: 5312 Sayılı Çevre Kanunu kapsamınca yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 9'da 5312 sayılı Kanun kapsamınca, acil müdahale planlarının kapsamını şekillendiren kademeli müdahale sistemini ve müdahale yaklaşımındaki genel aşamaları gösterilmektedir. Kirliliğe müdahale operasyonun etkili bir şekilde yönetilmesi, öncelikli kıyı şeridi korunmasını, canlı yaşamının sürdürülebilirliği ve insan kullanımına açık alanların kirlenmesini önlemek amacıyla ulusal seviyede idari düzenlemelere ve paydaş kurumların uyumlu şekilde çalışmasına bağlıdır. Müdahale operasyonun bir seviyeden diğer seviyeye yükseltilmesi kirlilik riski ile karşılaşan bölgenin hassasiyet derecesine, doğal ekosistem varlığına, rekreasyon ve endüstriyel kullanım alanlarının derecesine göre değişkenlik göstermektedir. Petrol kirliliğine müdahale faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi ve müdahale unsurları arasındaki koordineli görev paylaşımı kirlilik boyutu özelinde kademeli müdahale yaklaşımına bağlı olarak gerçekleştirilmektedir. Gemi acil durum planları MARPOL 73/78 Bölüm 1-26. kuralı ile Bölüm 2-16. kural çerçevesinde hazırlanmalı IMO Deniz Çevresinin Korunması Komitesi (MEPC- Marine Environment Protection Committee)-54(32)

tavsiyelerine uygun olarak yönetilmektedir. Kıyı tesislerine ait acil durum planları ise MARPOL 73/78 kurallarına uygun 5312 sayılı Kanun'un öngördüğü koşullar nezdinde hazırlanmaktadır.

Uluslararası boyutta ise kirliliğe müdahale ve acil durum planlamaları, gereken kaynak düzeyi, dökülen ürünün tonajı, müdahale süresi gibi değişkenleri içeren kademeli müdahale konsepti olarak şekillenen hem maliyet hem taktiksel bir yaklaşım sergilemektedir (IPIECA-IOGP, 2015c). Mevsimsel değişimler, ekipman türü, konuşlandırma koşulları, gerekli personelin tecrübesi ve becerileri ve zaman içinde operasyonların sürdürülmesine yönelik değişkenlerin etkisi nedeniyle bir diğer seviye boyutunda müdahale kabiliyetini genişletebilmektedir (Shi ve diğerleri, 2019; Foley ve diğerleri, 2021). Üç aşamalı müdahale yaklaşımları gelişmekte olan ülkelerde uygulanmakta fakat dökülen ürünün tonajına bağlı olarak sınıflandırma farklılaşmaktadır. Örneğin, İngiltere'de yerel kaynakların kullanımı ile müdahale edilen 100 tondan küçük kirlilik 1. seviye, 100 ve 500 ton arası orta ölçekli kirliliklerde bölgesel müdahale unsurlarının kullanımını içeren 2. seviye, ulusal acil durum planlarının uygulanmasını zorunlu kılan büyük tonajlı kirliliklerde ise 3. seviye olarak kabul edilmektedir (Li ve diğerleri, 2016). Şekil 10'da seviyeli yaklaşıma göre, Ulusal ve Bölgesel boyutta müdahalede bulunacak kurumların dahil olduğu müdahale yapısına ait organizasyon şeması yer almaktadır.

Şekil 10: Ulusal ve Bölgesel Acil Müdahale Teşkilat Yapısı



Kaynak:5312 sayılı Kanun, Ek-IIIA kapsamınca yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 10'da görüldüğü üzere, 5312 sayılı Uygulama Yönetmeliği kapsamınca seviye 2'de meydana gelecek orta büyüklükteki kirlilik hasarlarında hazırlıklı olma ve müdahale faaliyetleri "*Bölgesel Acil Durum Planı*" na göre yapılmaktadır. Planın koordineli şekilde uygulanması ve yönetilmesi sorumlu valinin yetkisi dahilinde olup, Denizcilik Genel Müdürlüğü'ne bağlı her bir bölge müdürlükleri sorumluluk sahalarında acil durum planlarını hazırlamakla yükümlüdür. 5312 sayılı Kanun gereğince müdahalede bulunacak kurum ve kuruluşların yeterlilikleri belirlenmiş olup en geç bir yıl içerisinde bu kurumlar acil müdahale planlarını hazırlamak ile yükümlüdür. Kara ve deniz ekipman stokları, kapasite ve miktarları, kullanılabilirlik durumları planlarda detaylı bir şekilde belirtilmelidir. Planda ayrıca yer alması gereken detaylardan bir diğeri de acil durumlarda olay mahallindeki gemilerin güvenli bir yere yanaştırılmasını sağlamak adına mevki tayininin yapılması gerektiğidir. Müdahale aşamasında yer alan kurumlar arası iletişim prosedürleri sorumlu vali, Bölgesel Acil Müdahale Merkezi, İl Belediye Başkanı, Kara ve Deniz Komutanlığı, Emniyet Teşkilatı, Sahil Güvenlik Komutanlığı, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlükleri planda yer almalı ve anlık haberleşme sistemi sağlanmalıdır. Koordinasyon komite başkanı planının uygulanması ve koordineli olarak yürütülmesinden sorumlu valiye teknik destek sağlamakta ve operasyon komitesi ise müdahalenin etkili şekilde yürütülmesi konusunda destek ve operasyon grupları ile eş güdümlü çalışma yapmaktadır. Büyük tonajlı kirliliklerde ise seviye 3 yaklaşımı sergilenmekte ve ulusal çapta müdahale faaliyetleri gerçekleştirilerek etkili ve koordineli şekilde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanı sorumluluğunda yürütülmektedir. Kirlilik müdahale operasyonunun sonlandırma kararı, sorumluluk ve tazmine ait kalemlere ilişkin hak taleplerine yönelik işlemler tamamlanarak sonlandırılır.

1.4. PETROLÜN DENİZ ORTAMINDA BOZUNMA SÜREÇLERİ

Petrol, organik maddelerin milyonlarca yıl boyunca çürümesi sonucu oluşan, genellikle yer altında bulunan hidrokarbon açısından zengin fosil yakıt kaynağıdır. (Fingas, 2016; Li ve diğerleri, 2016). Fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak petrol ürünlerinin isimlendirilmesinde farklılaşmalar mevcuttur. Uçuculuk özelliği ve

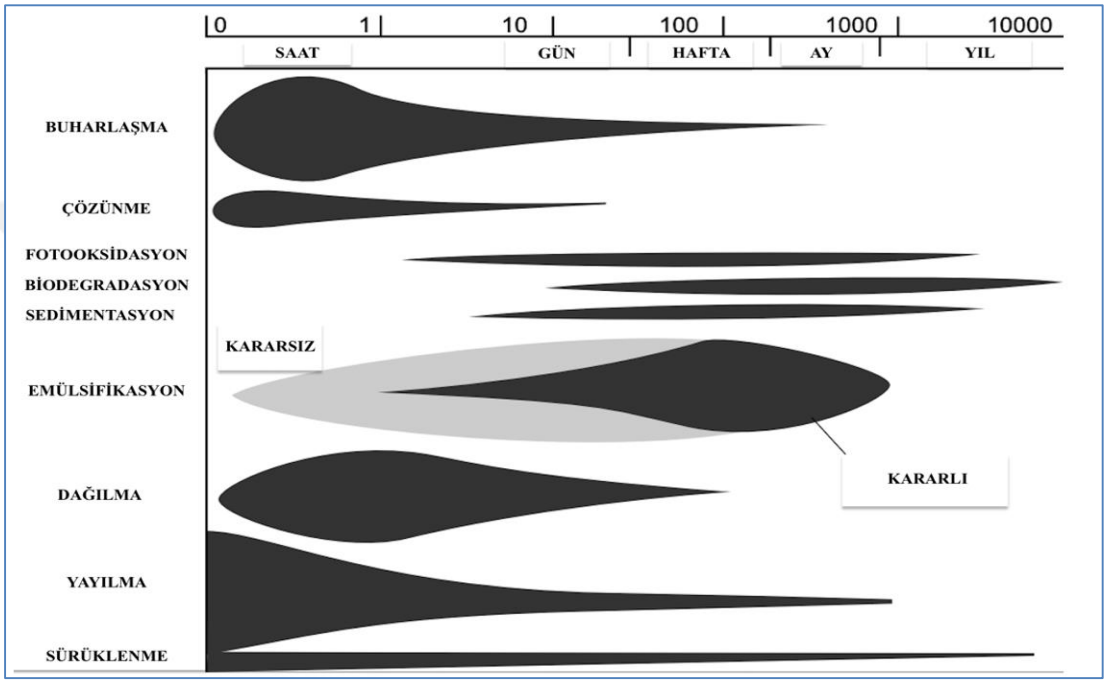
akışkanlığı yüksek olan ürünler hafif petrol ürünleri, kolayca buharlaşmayan ve çevresel riski daha yüksek olan ürünler ise ağır petrol ürünleri olarak sınıflandırılmaktadır (Fingas, 2014). Ayrıca endüstride kimyasal bileşim açısından ana bileşenler, parafin (doğrusal veya dallı olabilen alkanlar), naftenler (aromatik olmayan çok kanallı yapılar) ve aromatik bileşikler olarak da sınıflandırmaları mevcuttur (Dave ve Ghaly, 2011; Fingas, 2016). Bir diğer sınıflandırılma şekli, kükürt içeriğine göre değişen ve arıtma işlemlerinin kolay olduğu tatlı petrol ürünleri ve rafine işlemlerinin zor olduğu acı petrol ürünleridir (Fei ve diğerleri, 2020). Genel olarak, ham petrol %30 parafin veya alkanlar, %50 naftenler veya sikloalkanlar, %15 aromatikler ve %5 nitrojen, kükürt ve oksijen içeren bileşikler içermektedir (Dave ve Ghaly, 2011).

Petrol etkileşim süreçleri denizde ve kıyıda olmak üzere iki farklı ortamda gerçekleşmektedir. Petrol-su etkileşimi kısa süreli petrol döküntüsü etki değerlendirmesinin önemli bir parçası iken, petrol-kıyı şeridi etkileşimi petrolün denizdeki yayılım hareketinin bir sonucu olarak daha sonraki aşamalarında meydana gelmektedir (Toz ve Buber, 2018). Deniz ortamındaki bir petrol sızıntısının davranışı, büyük ölçüde çevresel, hidro-meteorolojik koşullar (dalga, rüzgâr, akıntı, güneş radyasyonu vb.) ve deşarj özellikleri (anlık/sürekli, yüzey/derin su) tarafından belirlenen çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlere bağlıdır (Toz ve Koseoğlu, 2018; Keramea ve diğerleri, 2021). Petrolün deniz yüzeyindeki hareketi; fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin bir kombinasyonu olup doğada maruz kalacağı tüm değişimler ise bozunma süreçleri olarak tanımlanmaktadır (Fingas, 2014; Bayazit, 2021). Fiziksel bozunma süreci, petrolün güneş ışığına ve havaya maruz kaldığında meydana gelmektedir ve buharlaşarak uçucu bileşenlerini kaybetmesine neden olmaktadır. Kimyasal bozunma sürecinde ise, petrol moleküllerinin oksijen, su ve ortamdaki diğer kimyasallarla reaksiyona girerek parçalanma süreçlerini içermektedir. Diğer yandan biyolojik bozunma süreci ise, mikroorganizmaların etkileşimi sayesinde petrolü tüketen ve daha basit bileşiklere parçalayan anaerobik koşullarda meydana gelmektedir (Al- Majed ve diğerleri, 2012; Silva ve diğerleri, 2022b). Bu süreçler, erken ve ileri bozunma süreçleri olarak ifade edilen iki farklı safhadan oluşmakta ve petrol sızıntısının etki süresine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Buber ve diğerleri, 2019).

Petrol, denize döküldükten sonra buharlaşma, çözünme, yayılma, dağılma,

fotooksidasyon, çökelme ve emülsifikasyon gibi farklı dinamiklere sahip bozunma sürecine maruz kalmaktadır (Fingas, 2014; Toz ve Buber, 2018; Singh ve diğerleri, 2020). Şekil 11'de bir petrol sızıntısının akıbetini gösterilmekte ve zamana bağlı bozunma süreci ifade edilmektedir.

Şekil 11: Petrolün Zamana Bağlı Bozunma Sürecindeki Değişiklikler



Kaynak: SINTEF, 2018.

Şekil 11'de görüldüğü üzere, farklı bozunma süreçleri, değişen büyüklüklerde ve zaman aralıklarında meydana gelmektedir. Genel bir kural olarak, bozunma süreçleri etki süresi ve hayatta kalma süresi açısından iki kategoriye ayrılmaktadır. Bir döküntünün erken bozunma aşaması yayılma, buharlaşma, dağılma, emülsifikasyon ve çözünme süreçlerinden oluşurken, ileri aşama ise fotooksidasyon, sedimantasyon ve biyolojik bozunma süreçlerini (biodegradasyon) içermektedir (Lee ve diğerleri, 2016; Chen ve diğerleri, 2019). Petrol ilk denize döküldüğünde, suya kıyasla daha düşük yoğunluğu nedeniyle su yüzeyinde hızla yayılmaya başlamaktadır. İlerleyen süreçlerde petrol, rüzgâr, dalgalar ve akıntılar gibi faktörlerden etkilenebilen ince bir kaygan bir tabaka oluşturmaktadır. Zaman içerisinde yer çekimi kuvvetinin azalması ile yayılım yavaşlamaktadır, fakat rüzgâr ve akıntının etkisi ile petrol hızla yön

değiştirmeye başlayacaktır. Petrol ürünlerinin çeşitli viskoziteleri nedeniyle, yayılım süreleri ve yayılma alanları da farklılaşmaktadır. Düşük viskoziteye sahip benzin ürünü hızlı bir şekilde yayılım göstermekte ve bir günün sonunda ortalama 1 km^2 alana yayılmaktadır. Birçok petrol sızıntısında, dökülen petrolün kütle dengesini etkileyen en önemli süreç buharlaşmadır (Fingas, 2016). Bu işlemin hızı öncelikle ortam sıcaklığına, rüzgâr hızına ve yağ bileşimine bağlıdır (Rogowska ve Namieśnik, 2010). Buharlaşma, dökülmeden sonraki ilk saat ve günlerde en yoğun halde gerçekleşmektedir. Tablo 3'te ITOPF (The International Tanker Owners Pollution Federation) skalasına göre petrol ürünlerinin ortalama buharlaşma hızına dair bilgiler yer almaktadır.

Tablo 3: Çeşitli Petrol Ürün Sınıfları İçin Yaklaşık Buharlaşma Oranları

Ürün tipi	12 saatlik buharlaşma(%)	48 saatlik buharlaşma(%)	Buharlaşan toplam fraksiyon(%)
ITOPF-1(Gasoline, Kerosene vb.)	50–100	100	100
ITOPF-2(Marine Gas Oil, Arabian Extra Light vb.)	10–40	25–80	100
ITOPF-3(IFO 180, Iranian Light vb.)	5–15	10–25	35
ITOPF-4(IFO 380 Bunker C)	1–3	5–10	15

Kaynak: Toz ve diğerleri, 2016.

Dökülmeyi takip eden birkaç gün içinde, uçuculuğu fazla hafif petroller başlangıç hacimlerinin %75'ini akışkanlığı daha düşük olan petroller ise %40'ını kaybetmektedir. Buna karşılık, ağır veya kalıcı ürünler dökülmeden sonraki ilk günlerde hacimlerinin %10'undan fazlasını kaybetmeyecektir (NRC, 2003). Dalga hareketi ve türbülans etkisi ile petrol tabakasının daha küçük damlacıklara ayrılmasına ve su sütunu boyunca dağılmasına neden olmaktadır. Bu fiziksel süreç petrolün yüzey alanını artırarak biyolojik bozunma ve foto-oksidasyon gibi doğal süreçlerin etkisini kolaylaştırmaktadır. Bu sürecin ardından petrolün viskozitesi ve yoğunluğu artarak stabil yağ-su emülsifikasyon süreçleri başlayacaktır (Díez ve diğerleri, 2007). Emülsifikasyonun ana etkisi, başlangıçta dökülen petrole kıyasla viskozitesi önemli ölçüde artmış bir emülsiyon oluşturması ve bunun da arıtma yöntemleri üzerinde ciddi etkilere yol açmasıdır. Emülsifikasyonun bir diğer önemli olumsuz etkisi de kaygan tabakanın hacmini arttırmasıdır; bu da temizleme maliyetlerinin büyük ölçüde artması anlamına gelmektedir (Mishra ve Kumar, 2015). Emülsifiye petrol gözenekli kıyı

şeridi sedimanlarına ve geçirgen alt tabakalara daha derin nüfuz ederek potansiyel olarak gelgit altı habitatları ve yeraltı kaynaklarını etkileyebilmektedir. Emülsifiye süreci, petrolün yapışma özelliklerini artırmakta ve bu da kıyı şeridindeki bitki örtüsüne, kayalara, tortulara ve diğer kıyı yapılarına daha kolay yapışmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, emülsifikasyon belirli model sınırlamaları olan bir süreçtir ve petrol kirliliği yayılım modellemesinde ve müdahale üzerinde önemli bir role sahiptir. Mackay ve diğer araştırmacılar (1980) tarafından basit bir emülsifikasyon algoritması geliştirilmiştir ve bu algoritmanın değiştirilmiş versiyonları şu anda çeşitli petrol kirliliği senaryo modellerine (örneğin, SIMAP (Spill Impact Mapping Model System), PISCES (Potential Incident Simulation Control and Evaluation System) vb.) dahil edilmiştir. Sedimantasyon, petrolün denizin veya diğer su kütlelerinin dibinde birikmesi sürecidir. Sedimantasyon, petrol damlacıkları su sütunundaki asılı tortu ile birleştiğinde ve sudan daha yoğun olan daha büyük parçacıklar oluşturduğunda meydana gelir. Benzin ve dizel yakıt gibi daha hafif petrollerin batma olasılığı ham petrol gibi daha ağır petrollere göre daha düşüktür. Sığ sularda meydana gelen petrol döküntülerinin derin sularda meydana gelen petrol döküntülerine göre tortulaşmaya yol açma olasılığı daha yüksektir (Fingas, 2014). Sedimentasyon, biyolojik bozunma olarak da adlandırılan biodegradasyon ve emülsifikasyon gibi süreçler ilk süreçlere nazaran çok daha uzun zaman dilimlerinde gözlemlenmektedir (Dhaka ve Chattopadhyay, 2021). Tablo 4'te farklı petrol ürünlerinin bozunma süreçleri ve farklı çevresel özelliklere göre göreceli önem derecesini içeren bir özet tablo yer almaktadır.

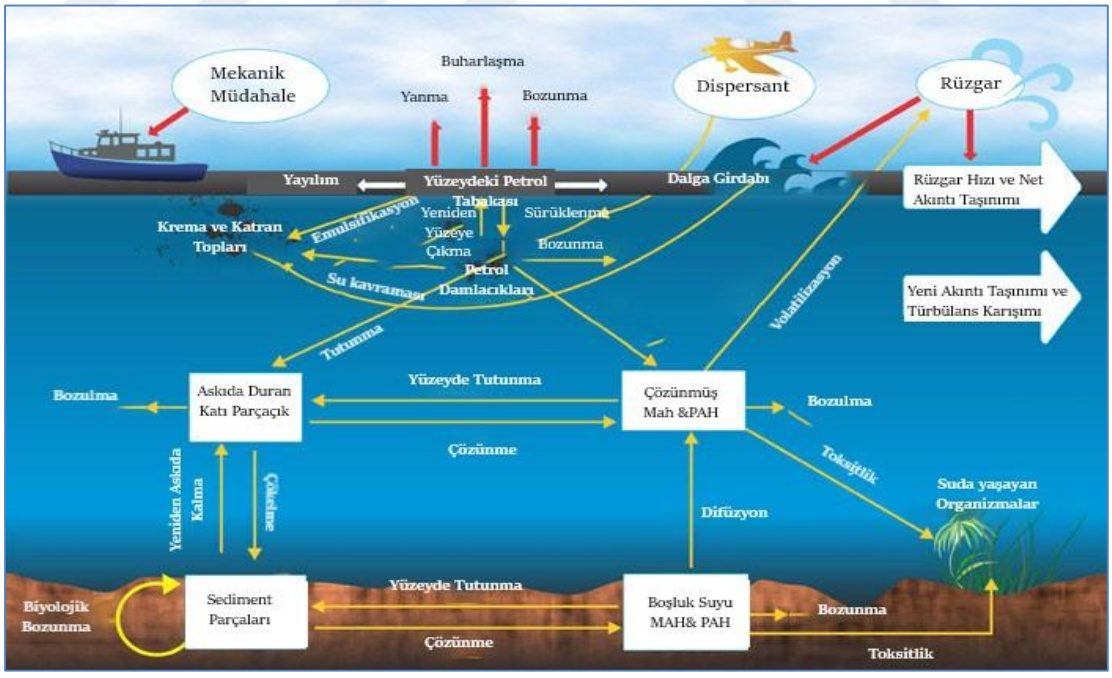
Tablo 4: Petrol Ürünlerinin Çevresel Bozunma Süreçlerine Göre Göreceli Önem Derecesi

Ürün tipi	Hafif Ürünler-(No:1 ve No:2 Ürünler-Kerosene)	Orta Ürünler (Dizel veya Gasoline)	Ağır Ürünler (Gemi Yakıtı, No:5 ve No:6 Ürünler)
Kalıcılığı	Günler	Günler	Aylar-Yıllar
Buharlaşma	Yüksek	Yüksek	Düşük
Emülsifiye olma	Düşük	Düşük	Orta
Çözünme	Yüksek	Orta	Düşük
Oksidasyon	Düşük	Düşük	Düşük
Yatay Taşınım hareketi	Orta	Düşük	Yüksek
Düşey Taşınım hareketi	Yüksek	Düşük	Düşük
Sedimentasyon	Düşük	N/A	Yüksek
Karaya oturma	Düşük	N/A	Yüksek
Katran Topları	N/A	N/A	Yüksek

Kaynak: NRC, 2003.

Her bir girdi, her bir sürecin göreceli önemini gösteren yüksek, orta ve düşük seviye kullanılarak sıralanmıştır. Petrolün fiziksel ve kimyasal özellikleri bozunma/dönüşüm süreçlerini etkilemektedir. Bu tür farklılaşan özellikler, petrolün geri kazanılmasını zorlaştıran ve müdahalesinin uzun süreler aldığı katran topu veya çikolata köpüğü görünümüne de yol açmaktadır (Al- Majed ve diğerleri, 2012; Silva ve diğerleri, 2022b). Uçuculuk, viskozite, çözünürlük derecesi ve emülsifikasyona yatkınlığı dökülen üründe dikkate alınması gereken en önemli fiziksel özelliklerdir. Petrolün elde edildiği kuyuların kimyasal bileşimi ve varsa arıtma işleminin türü, dökülen petrolün çevre üzerindeki etkisini belirlemede ana rol oynamaktadır (Gong ve diğerleri, 2014). Ayrıca, yerel dalgalar, akıntılar, hava, su sıcaklığı, rüzgâr hızı gibi meteorolojik değişkenler çevresel hasar derecesini büyük oranda etkileyen faktörlerdendir (Zhang ve diğerleri, 2019; Dhaka ve Chattopadhyay, 2021). Şekil 12'de petrolün deniz üzerindeki erken ve ileri safhalarda meydana gelen bozunma süreçleri gösterilmektedir.

Şekil 12: Petrolün Deniz Yüzeyinde Bozunma Süreçleri



Kaynak: Spaulding, 2017'den yazar tarafından Türkçe'ye uyarlanmıştır.

Petrol tabakasının sürüklenme hızı ve yörüngesi, kıyı koruma planını önemli ölçüde etkilemektedir. Kıyı şeridine yakın bölgelerde petrolün deniz üzerindeki hareketini belirleyen en önemli etken yüzey akıntılarıdır (Fingas, 2014). Çeşitli laboratuvar ve saha çalışmaları sonucunda sürüklenme hızına rüzgârların %2,5-4,5 oranında etkisinin olduğu belirtilmektedir (Zhong ve You, 2011). Denizde bozunma süreçlerinin ve bu süreçlere yardımcı olan değişkenlere ait kapsamlı literatür tablosu Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5: Petrolün Bozunma Süreçlerinin Etkileri ve Etkileyen Faktörler

Süreçler	Bozunma süreçleri için yardımcı faktörler	Etkileri
Yayılma	Viskozitesi düşük ürünler daha hızlı yayılım gösterir.	Petrol tabakasının daha geniş bir alana yayılmasını hızlandırır
	Zorlu okyanus ve atmosferik koşullardan etkilenir.	
	Yüksek sıcaklıkta hızlı yayılım gözlenir.	
Buharlaşma	Yüksek uçucu bileşenler kolayca buharlaşır.	Dökülen petrolün kütlesi azalır.
	Zorlu okyanus ve atmosferik koşullardan etkilenir.	Geride kalan kalıntı, yoğunluğu, viskozitesi ve suyla emülsifiye olma kabiliyeti artmış uçucu olmayan petrol ürünüdür. Müdahalesi zordur.
	Yüksek sıcaklıkta hızlı buharlaşma gözlenir.	Buharlaşan gazlar çevreyi kirletebilir.
Emülsifikasyon	Zorlu okyanus ve atmosferik koşullardan etkilenir.	Sıvının viskozitesini ve hacmini ilk dökülen hacmin üç-dört katına çıkararak müdahaleyi zorlaştırır
	Düşük moleküler ağırlıklı bileşenler kolayca emülsifiye olur	Köpük ve katran toplarının oluşumuna neden olarak temizlemeyi zorlaştırır
	Düşük sıcaklık koşullarında damlacık boyutunu çeşitli şekillerle etkilemektedir.	Buharlaşmayı ve çözünmeyi engeller
Dağılım	Petrol/su yüzey geriliminde etkisi vardır	Biyolojik bozunma ve çözünme sürecini hızlandırır
	Petrol viskozitesinde azalmaya neden olur.	Su kolonunda, denizlerde yaşayan organizmalar için çok yüksek derecede toksik olan Polisiklik Aromatik Hidrokarbon bileşiklerinin konsantrasyonunu artırır
Fotooksidasyon	Güneş ışığı süreci başlatır.	Oluşan foto oksitlenmiş ürünler, petrolü ve potansiyel kanserojenleri oluşturarak çok daha toksik bir ortam yaratmaktadır
	Yoğunluğu artırır.	Müdahaleyi daha zahmetli hale getirir.
Çözünme	Yayılımı hızlandırır.	Genel olarak, hafif aromatikler çözülür ancak oldukça zehirli ürünler gözlemlenir.
	Suyun sıcaklığını artırır.	Çoğu çözünebilir bileşen buharlaşmayı tercih ettiğinden kayda değer miktarda petrol tabakasında çözünme süreci gözlemlenmez.
	Artan türbülans ve dağılma derecesine sebep olur.	
Sedimentasyon	Akışkan ürünlerin buharlaşma ve çözünme hızının artmasına neden olur.	Biyolojik bozunma ve çözünme sürecini hızlandırır ve böylece petrol tabakalarının kuşlar ve diğer yüzeyde yaşayan canlılar üzerinde zararlı etki yaratır.
	Katı madde, kum ve tortu içeren sediment ürünler sığ sularda daha sık gözlemlenir.	Su kolonundaki hidrokarbon konsantrasyonunu artırır ve bu da zararlı ve toksik içerikli olabilir
Biyolojik bozunma-Biyodegradasyon	Sudaki azot ve fosfor maddelerinin seviyesinin artmasına neden olur.	Mikroplar petrol tabakasını mikrobiyal hücreler, karbondioksit ve su gibi zararsız bileşenlere ayrıştırır
	Deniz ortamında tuzluluk, pH derecesi ve sıcaklığın artmasına neden olur.	Ağır aromatikler ve asfaltenler ya dirençlidir ya da çok düşük bir oranda bozunmaktadır
	Mevcut oksijen seviyesinin artmasına neden olur.	

Kaynak: Li ve diğerleri, 2012; Spaulding, 2017; Dhaka ve Chattopadhyay, 2021; Wang ve diğerleri, 2021; Silva ve diğerleri, 2022b.

Tablo 5'te görüldüğü üzere, denizde dökülen petrolün bozunma süreçlerini ve etkileyen faktörlerin net bir şekilde tahmin edilmesi ve müdahalenin bu değişkenlerin analiz edilerek planlanması sayesinde başarılı bir operasyon yönetimi sağlanabilir. Hem bozunma süreçleri hem de bunların gerçekleşme hızları çevresel koşullardan çok petrolün türüne bağlıdır. Dolayısıyla, ham petrollerin veya rafine ürünlerin kimyasal ve fiziksel karakteri, bu bileşiklerin çevrede nasıl davrandığını ve salınımlarının çevresel etkilerinin derecesini ve süresini büyük ölçüde etkilemektedir. Kimyasal özelliklerin karmaşıklığı ve çevredeki ortam koşullarının etkileşimi nedeniyle, petrolün deniz yüzeyindeki hareketini gözlemlemek genellikle zordur. Bir petrol sızıntısına müdahalenin zamanında, dinamik ve değişken olmasının temel nedeni olan bozunma süreçlerinin iyi anlaşılması doğru müdahale tekniklerinin seçilmesinde kritik ve hayati önem arz etmektedir. Bu yüzden, petrolün bozunma süreçlerini modellemek için ürün ve çevresel temelli verileri kullanan sayısal modelleme altyapısı geliştirilmiştir.

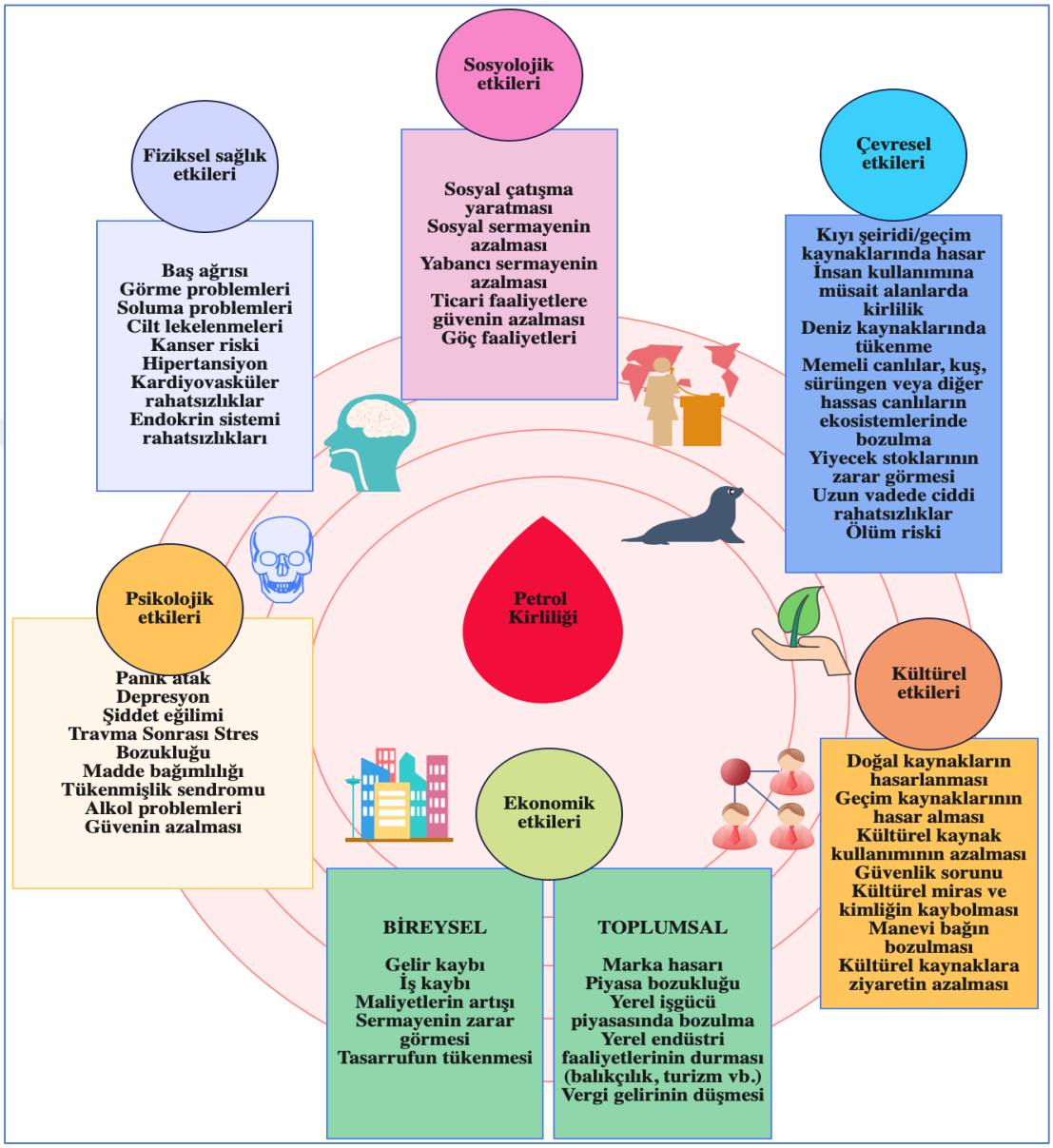
1.5. PETROL KİRLİLİĞİNİN MEYDANA GETİRDİĞİ ETKİLER

Petrol kirliliği, denizler ve okyanuslar gibi sucul ekosistemlerin yanı sıra kıyı bölgelerinde yaşayan insanların da sağlığı ve yaşam standartları açısından önemli bir risk oluşturmaktadır (Zhang ve diğerleri, 2019). Meydana gelen büyük petrol sızıntıları, çevreye verdiği bariz zarar, petrolle kaplanmış kıyı şeritleri ve özellikle petrole bulanmış deniz kuşları ve deniz memelileri de dahil olmak üzere ölü ya da can çekişen yaban hayatı nedeniyle kamuoyunun büyük ilgisini çekmektedir. Bu akut etkiler kısa süreli olabileceği gibi, döküntü koşullarına ve etkilenen organizmaların sayı ve türlerine bağlı olarak uzun vadeli popülasyon ya da topluluk düzeyinde etkileri de olabilmektedir (NRC, 2003). Petrol ürünlerinin buharlaşması veya teması, solunum sorunları, cilt tahrişi, alerjik reaksiyonlar ve diğer sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Ayrıca, kirli su kaynaklarından tüketilen deniz ürünleri veya kirli tarım ürünlerinin insan sağlığını olumsuz derecede etkileme riski bulunmaktadır (Aguilera ve diğerleri, 2010). Ayrıca petrol kirliliği, balıkçılık, deniz turizmi, deniz taşımacılığı ve diğer deniz ve su kaynaklarına dayalı ekonomik faaliyetleri de olumsuz etkilemektedir. Kirli Petrol kirliliğinin deniz ortamı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle, gemilerden

kaynaklanan petrol kirliliği sorunu denizcilik alanında önemli bir araştırma problemi olarak kabul edilmekte (Hung ve diğerleri, 2018) ve bilim insanları bu soruna farklı bakış açıları getirmektedir (Gong ve Pang, 2019). Ancak, petrol kirliliği yönetimi konusunda halen birçok zorluk bulunmaktadır. Bu zorluklar arasında, kirliliğin tespiti ve yönetimi için gerekli olan tekniklerin yetersizliği, finansal kaynakların sınırlı olması, uluslararası iş birliğinin zorluğu ve kirlilikten etkilenen bölge halkının yeterince bilinçli olmaması yer almaktadır (Ivshina ve diğerleri, 2015; Beyer ve diğerleri, 2016). Bu nedenle, petrol kirliliği yönetimi konusunda uluslararası düzeyde daha sıkı yasal düzenlemelerin yapılması, teknolojik gelişmelerin hızlandırılması ve halkın bilinçlendirilmesine yönelik çalışmaların artırılması gerekmektedir.

Petrol kirliliğinden kaynaklı risklerin önlenmesi ve bu riskler sonucunda meydana gelecek tüm etkilerin azaltılması, etkili müdahalenin gerçekleştirilmesi ve operasyonda verilecek kararların zamanında alınması koşuluyla gerçekleşebilmektedir (Zhang ve diğerleri, 2019; Zhu ve diğerleri, 2022). Kirliliğe dair müdahale operasyon başarısı ve etkinliği, sahadaki bilgilerin doğruluğuna (örn. konum, petrol özellikleri, hava durumu, akıntılar vb.), müdahale kaynaklarının mevcudiyetine (örn. cihazlar, insan gücü, maliyet vb.) bağlıdır (Passos ve diğerleri, 2014; Davies ve Hope, 2015; Leschine ve diğerleri, 2015). Çerçeveye veya altyapıya odaklanan politika veya düzenlemeler yeterli olsa da yetersiz karar destek mekanizması bir kirlilik müdahalesinin etkinliğini kısıtlayan en büyük zorluklardan biri olabilmektedir (Matthies ve diğerleri, 2007; Yang ve diğerleri, 2021). Bu yüzden, petrol sızıntılarına karşı hazırlıklı olmak, müdahale etmek ve zararları en aza indirmek için acil müdahale planları ve çevresel yönetim stratejileri hayati önem taşımaktadır (Zhang ve diğerleri, 2019). Şekil 13'te gemi kaynaklı petrol kirliliğinden kaynaklı etkilerin sınıflandırılmasına ait görsel yer almaktadır.

Şekil 13: Petrol Kirliliğinin Temel Etkileri



Kaynak: Yazar tarafından literatürden elde edilen bilgiler ışığında oluşturulmuştur.

Şekil 13'te görüldüğü üzere, petrol sızıntısı riskini anlamak tüm petrol kirliliğine yönelik yürütülen çalışmalarının merkezinde yer almaktadır. Petrolün yayılım göstereceği ortamlardaki akıbetini ve etkilerini belirleyen karmaşık faktörler, toksisite, ekosistem etkileri ve organizma etkileri ile doğrudan ilgilidir. Petrol etkilerine odaklanan makalelerde, uzun vadede ciddi sağlık semptomları, kıyı şeridinin tahribatı, kültürel kaynakların zarar görmesi ve mali kayıplara odaklanmaktadır.

1.5.1. Petrol Kirliliğinin Çevre ve Canlı Yaşamı Üzerindeki Etkileri

Son yıllarda, petrol tankerlerinden kaynaklı kirlilik kazalarının sayısı azalmış olsa da (ITOPF, 2021), tehlike boyutları ve riskleri devam etmekte ve dökülen petrolün kıyı şeridine ve deniz ekosistemine tehdidi yıllar boyunca sürmektedir (Chen ve diğerleri, 2019).

Çevresel etkiler, deniz memelilerinden (Schwacke ve diğerleri, 2014) mikroskobik planktona (Paul ve diğerleri, 2013) kadar deniz besin ağının tüm trofik seviyelerine yönelik ölümcül riski barındıran toksisitenin yanı sıra, deniz habitatlarının kirlenmesini ve besin zincirinin bozulmasını içeren büyük riskleri barındırmaktadır (Silliman ve diğerleri, 2012). Exxon Valdez petrol kirliliğinde 250.000 deniz kuşunun ölmesi, DWH kazasında 692 km^2'lik hassas alan olarak nitelendirilen ve biyoçeşitlilik anlamında zengin bir bölge olan mangrovların zarar görmesi (Murphy ve diğerleri, 2016) ve bu kıyı şeritlerinin 5 yıl içerisinde rehabilitasyonunun mümkün olmadığına dair yapılan çalışmalar ile çevresel riskler ortaya konmuştur (Hong ve diğerleri, 2014).

Gemi trafiğindeki artış, petrol sahası aramalarındaki hızlı genişleme, kaçınılmaz olarak birçok petrol sızıntısı ile sonuçlanan gemi kazalarının sıklıkla hassas alan olarak nitelendirilen kıyı şeritlerinde meydana gelmesine neden olmuştur. Petrol sızıntılarına karşı kıyı hassasiyeti etkilenen biyolojik, jeolojik ve sosyoekonomik kaynakların maruz kalma süresi hassasiyet düzeyine bağlıdır (Nelson ve diğerleri, 2015; Nelson ve diğerleri, 2018; Monteiro ve diğerleri, 2020). Yakın tarihlerde meydana gelen ve hassas alan olarak nitelendirilen mercan resiflerini kirleten Sanchi petrol tankeri çatışması (2018) ve karaya oturan Wakashio dökme yük gemisinden kaynaklanan (2020) petrol kirlilikleri bunun en çarpıcı örneklerindendir (Buber ve Koseoglu, 2022). Son araştırmalar, çeşitli konumlardaki mekânsal ve jeolojik yönleri değerlendirerek, yumuşak ve sert dipler gibi belirli kıyı habitatlarında petrole karşı daha yüksek bir hassasiyet olduğunu göstermiştir (Lins-de-Barros, 2017; Nelson ve Grubesic, 2018).

Petrol ve petrol ürünleri döküntülerinden kaynaklanan çevre üzerindeki etkiler akut veya kronik olarak sınıflandırılmaktadır (Silva ve diğerleri, 2022a). Akut etkiler, genellikle kısa bir süre için organizmaları kirletici maddeye maruz bırakan kazara bir olaydan kaynaklanan ve organizmalar üzerinde ölümcül etkilere neden olan etkiler

olarak ifade edilmektedir (Haritash ve Kaushik, 2009). Bunun yerine, organizmaların kirletici maddeye uzun süre maruz kalması olarak nitelendirilen kronik kirlilik etkileri, ortamın geri kazanılmasını zorlaştırmakta ve hatta organizmanın yaşam döngüsünün büyüme, üreme ve larva gelişimi gibi belirli aşamalarını da etkilemektedir (Kingston, 2002; Silva ve diğerleri, 2022a). Kronik etkiler olarak adlandırdığımız akut fazın ötesinde ifade edilen etkiler aylar, yıllar veya on yıllar boyunca sürebilmekte ve bazı durumlarda akut ölümlerin büyüklüğünü aşmaktadır. Ham petrol ve rafine ürünler besin zincirlerinde biyolojik olarak birikme yaratmakta olup birçok organizmanın biyokimyasal veya fizyolojik aktivitelerine müdahale ederek bazı organlarda kanser hücrelerinin çoğalmasına, genetik materyalde mutasyona uğramasına, üreme kapasitesinin bozulmasına ve maruz kalan popülasyonda kanama riskine sebebiyet vermektedir (Onwurah ve diğerleri, 2007; Silva ve diğerleri, 2022a). Tablo 6'da literatürde petrol kirliliğinden kaynaklı çevresel etkilere odaklanan çalışmalara ait detay verilmektedir.

Yapılan çalışmalardaki sonuçlar, yaban hayatı kayıplarının büyüklüğünü ve geri kazanım süreçlerini tam olarak açıklamak için kronik, demografik ve ekosistem etkilerini tanımlamak ve analiz edebilmek adına uzamsal çalışmaların yapılması ihtiyacını vurgulamaktadır. Son yıllarda, türe göre farklılık gösteren iyileşme üzerindeki kısıtlamaların çeşitliliği, etkilenmesi muhtemel türlerin nitelikleri ve rehabilite süreleri açısından risk değerlendirme odaklı çalışmalara odaklanılmıştır. Bununla birlikte, çok çeşitli koşullarda dökülmelerin etkilerine ilişkin onlarca yıllık araştırmalardan elde edilen deneyim ve bilgi, gelecekteki dökülmelerin etkilerine daha iyi hazırlanmak ve bunları belgelemek için kullanılabilecek dersler niteliğindedir. Bu incelemeye dayanarak, petrol endüstrileri, ilgili hükümetler ve diğer paydaşlar için kirlilik raporlaması yaban hayatı etki analizinin dokümantasyonundaki tutarlılığa ve verilerinin kullanılabilirliğine bağlıdır (Harwell ve Gentile, 2006; Aps ve diğerleri, 2009a). Bir petrol sızıntısı sırasında yaban hayatı üzerindeki etkiler değişkenlik göstermekte ve sızıntının doğası (petrol türü, boyutu, salınım süresi vb.), yaban hayatı yoğunluklarına ve türlerine, hassas alan konumu ve endüstrinin veya bölgenin hazırlık durumu gibi faktörlerinden etkilenmektedir (Beyer ve diğerleri, 2016; Akpan, 2022).

Tablo 6: Petrol Kirliliğinin Çevresel Etkileri

No	Yazar	Araştırma Yöntemi	Örneklem	Araştırma Amacı
1	Harwell ve Gentile, 2006	Literatür Taraması	Exxon Valdez kazası-Prince William Sound, Alaska, ABD	Belirtilen sahada ekolojik önem derecesi çerçevesi oluşturmak ve çevresel etkileri gözden geçirmek
2	Aps ve diğerleri, 2009a	Bayesian ağları, konumsal analiz ve hassasiyet haritalaması	Baltık denizi petrol kirliliği verileri-Güney Finlandiya Körfezi	Olası petrol sızıntısı ile ilgili ekolojik riski değerlendirmek
3	Chang ve diğerleri, 2014	Literatür Taraması ve vaka çalışması	Vancouver petrol kirliliği kazası-Burrard Inlet- Kanada'da nispeten sığ kenarlı bir fiyort	Petrol sızıntısı etkilerinin karmaşıklığını açıklığa kavuşturmak, diğer petrol sızıntısı felaketlerinden aktarılabilecek dersleri belirlemek, planlama için senaryolar geliştirmek ve risk analizi ve politika tartışmalarını gerçekleştirmek
4	Hong ve diğerleri, 2014	Literatür Taraması	Hebei Spirit kazası-Güney Kore'de Taean kıyılarında 10 km saha	Kazanın ekolojik etkilerinin mevcut durumunu, canlı organizmalar üzerindeki biyolojik etkiler, potansiyel toksik etkiler ve insan sağlığı risklerinin tanımlanması
5	Kim ve diğerleri, 2014	Yerel mahkemesinin alan ve işletme türüne göre istatistiksel veri analizleri ve literatür taraması	Hebei Spirit kazası-Güney Kore batı kıyıları	Denizcilik alanında meydana gelen kazalardan kaynaklanan çevresel kayıplarla ilgili tazminat seviyelerinin nasıl belirlendiğini incelemekte ve tazminat ve iyileştirme çabalarının sadece finansal değil, aynı zamanda sosyal ve ekolojik etkileri de çözmek için yeterli olup olmadığını tartışmak
6	Beyer ve diğerleri, 2016	Literatür Taraması	DWH kazası-Meksika Körfezi-Doğu Mississippi-Louisiana 66 km'lik kıyı şeridi	Dökülen petrol çevresel akıbeti; açık deniz ekosistemlerindeki biyolojik/ekotoksikolojik etkiler; kıyıya yakın ve kıyı bölgelerindeki etkiler ve uzun ömürlü deniz üzerindeki organizmalar üzerindeki etkileri değerlendirmek
7	Lichtveld ve diğerleri, 2016	Literatür Taraması	DWH kazası-Meksika Körfezi-Macondo sahası	DWH petrol sızıntısının insan sağlığı ve ekosistemler üzerindeki etkisini belirleyen mevcut araştırmaları incelemek
8	Ifelebuegu ve diğerleri, 2017	Fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve hidrobiyolojik testler ve tanımlayıcı istatistiksel testler	Nun Nehri petrol kirliliği kazaları-Nijerya	Bölgedeki topluluklar için birincil içme suyu, gıda ve rekreasyonel etkinlikleri kaynağı olan Nun Nehri'nin fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve hidrobiyolojik özellikleri üzerinde tekrarlayan küçük ham petrol sızıntılarının etkilerini incelemek
9	Camus ve Smit, 2019	Net Çevresel Fayda Analizi kullanılarak modelleme, laboratuvar ve saha çalışmaları	Sveagruva-Norveç'in Svalbard takımadalarında Van Mijenfjord'un başında yatan bir maden yerleşim yeri-Arktik bölge	Petrol sızıntısı etkilerinin yönetilmesine yardımcı olacak ve çevreye olan etkileri en aza indiren bir müdahale stratejisinin tanımlanması
10	Akpan, 2022	Literatür Taraması	Nijer Deltası petrol kirliliği kazaları-Gine Körfezi	Petrol kirliliği toprak verimliliği ve tüm deniz habitatı, petrol kirliliğinin ana performans göstergeleri üzerindeki sonuçlarını değerlendirmek

Bir petrol felaketinin hemen ardından, balıklar, deniz kuşları ve diğer deniz memelileri üzerindeki etkiler genellikle çok belirgindir. Petrol, vahşi yaşamı doğrudan ve dolaylı olarak fiziksel temas, yutma, soluma ve emilim yoluyla etkilemektedir (Esler ve diğerleri, 2018). Yağa maruz kalan yetişkin balıklarda büyüme geriliği, karaciğer büyümesi, kalp ve solunum hızlarında değişiklikler, yüzgeç erozyonu ve üreme bozuklukları gibi farklı semptomlar görülebilmektedir. Balık yumurtaları ve larvaları ölümcül ve ölümcül olmayan etkilere karşı özellikle hassas olabilmektedir (Ifelebuegu ve diğerleri, 2017; Chilvers ve diğerleri, 2021). Petrole bulaşmış kuşlar ve memeliler, petrolle temas ettiklerinde uçma, dalma, yüzme veya havada süzülme yeteneklerini ve termoregülasyon (kendi vücut sıcaklıklarını kontrol etme becerileri) yeteneklerini kaybederek hipotermi, boğulma ve ölüm riskiyle karşılaşmaktadır (Wolfaardt ve diğerleri 2008). Bu duruma en çarpıcı örnek, 2010 yılında Meksika Körfezi'nde meydana gelen DWH petrol kirliliğidir. DWH örneklemini konu alan 2016 yılında yayımlanan bir çalışmada, kirliliğe maruz kalan yunus balıkları ve orkinosların organlarında deformasyonların tespit edilmiştir Ayrıca, nesli tükenmekte olan türler yasası kapsamında altı deniz memeli türü tehlike altında olarak listelenmiş ve deniz kaplumbağaları hem yumurtlama aşamasında hem de yetişkin safhalarda yüksek ölüm oranlarına karşı karşıya kalmıştır. (Beyer ve diğerleri, 2016). DWH sızıntısının ardından deniz kaplumbağalarının yuvalarındaki petrol birikintisinden kaynaklı ölüm risklerini azaltmak için, 25.000 kaplumbağa yumurtası Körfez'den Atlantik kıyısına özel bir kurtarma operasyonu ile taşınmıştır (Inkley ve diğerleri, 2013).

Genel olarak, petrol sızıntılarının vahşi yaşam üzerindeki etkileri göz önüne alındığında, hangi petrol türünün veya ne kadar petrol ürününün döküldüğünden çok, vahşi yaşamın yoğunluğuna bağlı olarak bir petrol sızıntısının nerede meydana geldiğini dikkate almak daha önemlidir (Soares ve diğerleri, 2022). Bu habitatlardaki kirlenme doğrudan toprak ve su kaynaklarını kirletmektedir ve zehirli kimyasallar toprağa ve yeraltı sularına sızarak ekosistemlere daha fazla zarar vermektedir (IPIECA-IOGP, 2015d). Bu nedenle, etkilenen alanı ve savunmasız canlı kaynaklara verilen zararı en aza indirmek için, etkili müdahale stratejisine ihtiyaç duyulmaktadır (Yang ve diğerleri, 2021).

1.5.2. Petrol Kirliliğinin İnsan Sağlığına Etkisi

Petrol kirliliği, insan sağlığı üzerinde doğrudan ve dolaylı etkilere neden olmaktadır. Petrol kirliliğinin doğrudan etkileri arasında cilt tahrişi, yanıklar, solunum problemleri, baş dönmesi, mide bulantısı ve kusma gibi sağlık sorunları yer almaktadır. Dolaylı etkiler arasında ise petrol ile kirlenmiş gıdaların tüketimi gibi etkilerin olumsuz sonuçları yer almaktadır. Bu ürünlerdeki toksinler insanlar tarafından tüketildiğinde, karaciğer hasarı, kanser, bağışıklık sistemi sorunları, beyin hasarı ve diğer ciddi sağlık sorunlarına neden olmaktadır. Petrol sızıntılarının etkileri hem müdahale çalışanları üzerinde hem de yerel halk üzerinde gözlenmektedir (Aguilera ve diğerleri, 2010; Laffon ve diğerleri, 2013). Tablo 7'de petrol kirliliği insan sağlık boyutundaki etkilerine dair detaylandırılmış literatür tablosu yer almaktadır.

Tablo 7'de görüldüğü üzere literatürde yer alan büyük tonajlı kirliliklere dair çalışmalar, ele alınan sağlık semptomlarına göre üç grupta incelenebilir: ruh sağlığı üzerindeki etkiler, fiziksel/fizyolojik etkiler ve toksisite kaynaklı gen ve doku mutasyonu. Petrol sızıntısına maruz kalan popülasyonlar (dökülmelerin yakınındaki kıyı sakinleri veya müdahale operasyonlarına katılanlar) hakkında yayınlanan yeni çalışmalar, ele alınan üç kategorinin hepsinde farklı parametrelerle ilgili olarak maruz kalmayla ilgili olumsuz sağlık etkilerine ilişkin çıkarımlarda bulunmaktadır. Gözlenen etkilerden bazıları, birkaç semptomun maruz kaldıktan sonra birkaç yıl daha devam edebileceğini göstermiştir. Maruz kalmayla ilgili potansiyel zararlı etkilerin erken tespitini sağlamak için sağlık riski değerlendirmesinin yalnızca maruz kalma anında değil, aynı zamanda maruz kalmayı takip eden uzun dönemler boyunca da yapılması gerekmektedir. Bu araştırmaların çoğu, etkilenen insanlardaki akut fiziksel etkileri veya psikolojik sonuçları analiz eden kesitsel epidemiyolojik çalışmalardır. Araştırmalardaki ortak nokta, değerlendirilen veya tahmin edilen maruz kalma düzeylerini mesleki kabul edilebilir maruz kalma limitleriyle karşılaştırarak potansiyel toksikolojik riski hesaplamaktadır.

Tablo 7: Petrol Kirliliğinin İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

No	Kaza	Yazar ve Yıl	Örneklem	Araştırma Yöntemi	Sağlık Boyutundaki Etkileri
1	20.04.2010-DWH Kazası-Meksika Körfezi-	Grattan ve diğerleri, 2011	(n=71) dolaylı (n=23) doğrudan etkilenen balıkçılar	Görüşme ve nöropsikolojik, psikososyal ve risk algısı ölçümleri anketi	Gelir kaybı olan katılımcılarda gerginlik/endişe, depresyon, yorgunluk, kafa karışıklığı ve duygu durum bozukluğu yüksek seviyede gözlenmiştir.
		Osofsky ve diğerleri, 2011	(n=452) doğrudan etkilenen sakinler	Görüşme formu ve telefon	Ruh sağlığı üzerindeki en büyük etkinin, artan kaygı, depresyon ve travma sonrası stres semptomlarıyla ilişkili olduğu tespit edilmiştir
		Buttke ve diğerleri, 2012	(n=469) doğrudan etkilenen sakinler	Fiziksel semptomları, yaşam kalitesini, ruh sağlığını, sosyal bağlamı ve maruziyeti değerlendirmek için anket	Gelir kaybı olan katılımcılarda anksiyete bozukluğu, depresyon ve yaşam kalitesinde düşüş gözlenmiştir.
		Rung ve diğerleri, 2019	(n=2038) Louisina da yaşayan kadınlar	Petrol sızıntısı maruziyeti, ekonomik ve fiziksel maruziyetlerle ilgili anket	Depresyon ve zihinsel sıkıntılar gözlenmiştir.
2	07.12.2007-Hebei Spirit Kazası-Daesan Limanı, Güney Kore	Song ve diğerleri, 2009	(n=71) doğrudan etkilenen sakinler	Psikososyal sıkıntı için stres ölçeği, depresyon ölçeği ve intihar dürtüleri üzerine anketler	Yüksek stres, depresyon ve intihar dürtüleri gözlenmiştir.
		Sim ve diğerleri, 2010	(n=846) müdahale operasyonuna katılan işçiler	Demografik bilgiler, operasyon bilgileri, petrole maruz kalma ve sağlık durumlarına ait sorular içeren anket	Akut sağlık sıkıntıları, cilt sorunları ve sırt ağrıları gözlenmiştir.
		Na ve diğerleri, 2012	(n=442) müdahale operasyonuna katılan işçiler	Görüşme ve Demografik bilgiler, operasyon bilgileri, petrole maruz kalma ve sağlık durumlarına ait sorular içeren anket	Maruz kalmayanlara oranla Göz semptomları (9,7 ay), baş ağrıları (8,4 ay), cilt semptomları (8,3 ay) ve nörovestibüler semptomlar (6,9 ay), sırt ağrısına (1,8 ay) veya solunum semptomlarına (2,1 ay) göre nispeten daha uzun sürdü.
		Noh ve diğerleri, 2019	Kazadan bir yıl (n=655), üç yıl (664) ve beş yıl (611) maruziyet alanındaki tüm ilkokul ve ortaokul öğrencileri	Petrol sızıntısına maruz kalma tahminleri ile astım semptomları üzerine anket	Genel olarak, petrol sızıntısına maruz kalma tahminlerinin etkisi küçük çocuklar üzerinde daha şiddetliydi. Petrol sızıntısına maruz kalma tahminleri, petrol sızıntısından sonraki beş yıla kadar çocuklarda astım semptomlarıyla ilişkilendirildi.
3	19.11.2002-Prestige Kazası-Galiçya, İspanya	Pérez-Cadahía ve diğerleri, 2007	(n=68) müdahale operasyonuna katılan işçiler (n=42) kontrol grubu	Tıbbi kan değerleri ölçümü, görüşme, anket, regresyon ve ilişki testleri	Prestige yağına maruz kalma, etkisi yaş, cinsiyet, tütün tüketimi ve maruz kalan bireylerde sitogenetik (kromozom sayı ve yapısını inceleyen dal) hasara neden olmuştur.
		Sabucedo ve diğerleri, 2010	(n=430) doğrudan etkilenen sakinler	Genel Sağlık, Fiziksel Rol, Duygusal Rol ve Sosyal İşlev 4 alt ölçeği bulunan anket	Daha fazla etkilenen bireyler ve petrol sızıntısı bölgesine daha yakın örneklemler, psikopatolojik semptomların (somatizasyon, anksiyete ve düşmanlık gibi) artan varlığı ve daha düşük fiziksel sağlık ve işlevsel kapasite algısı ile karakterize klinik bir model sunmaktadır.
		Zock ve diğerleri, 2012	(n=177) dolaylı (n=501) doğrudan etkilenen balıkçılar	Müdahale operasyonuna katılan kişiler üzerinde solunum yolları değerlendirmesi, telefon görüşmesi, anket, regresyon analizleri	Petrol sızıntılarının temizleme faaliyetlerine katılım, maruziyetten sonra 5 yıl kadar devam eden solunum yolu semptomlarına neden olabilir. Önleyici tedbirler için kılavuzlar ve petrol sızıntılarına karşı temizlik işçilerinin sürekli gözetimi gereklidir.
		Laffon ve diğerleri, 2013	(n=50) dolaylı (n=54) doğrudan etkilenen balıkçılar	Tıbbi kan değerleri ölçümü, görüşme ve anket	Petrole maruz kalan deneklerde bazı endokrin ve immünolojik değişiklikler rapor edilmiştir.

1.5.3. Petrol Kirliliğinin Sosyal ve Ekonomik Faaliyetler Üzerindeki Etkileri

Petrol kirliliği sadece çevre ve insan sağlığı üzerinde değil, aynı zamanda sosyal ve ekonomik faaliyetler üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir. (Fingas, 2016; Hodges ve diğerleri, 2020). Öncelikle, petrol kirliliği nedeniyle turizm, balıkçılık, deniz taşımacılığı ve deniz çevresi ekonomisi gibi sektörler olumsuz etkilenmektedir. Bu sektörler, petrol kirliliği nedeniyle iş kaybı, ekonomik zarar ve itibar kaybı ile karşı karşıya kalmaktadır. Örneğin DWH petrol felaketinde, 65 milyar dolardan fazla ekonomik kayba neden olmuştur (Mohammadiun ve diğerleri, 2021). BP (British Petroleum) firması, petrol kirliliği müdahale operasyonu iş gücü maliyeti ve tazminat talepleri için 8 milyar dolardan fazla çevresel hasar kaybından sorumlu olmuştur (Arnold ve McKay, 2013). DWH petrol sızıntısından sonra, Meksika Körfezi bölge sakinlerinin %20'si gelirlerinde düşüş olduğunu bildirmiştir (Li ve diğerleri, 2016). Etkilenen toplumların geçim kaynaklarına ve işletmelerin gördüğü zarara ek olarak, kayıplarının tazmin edilmesi gereken topluluklara yönelik ekonomik zararlar da mevcuttur (Herrera-Franco ve diğerleri, 2022). Ayrıca hem kısa vadeli hem de uzun vadeli ekonomik etkilere neden olabilecek çıktılar değerlendirildiğinde, turistlerin plajların güvenliği hakkındaki algısı ve tüketicilerin deniz ürünlerin kirli olup olmadığına ilişkin inançları da ekonomiyi çok ciddi etkilemektedir (Johannsdottir ve Cook, 2019; Alvernia ve diğerleri, 2021).

Tipik olarak, en büyük ekonomik etkiler ticari balıkçılık ve turizm sektöründe hissedilmektedir, ancak enerji santralleri, nakliye, tuz üretimi veya marina sektörü gibi çok sayıda endüstri sektörlerinde de olumsuz sonuçlar gözlenmektedir (Chang ve diğerleri, 2014; Silva ve diğerleri, 2022a). Turizm üzerindeki olumsuz etkiler ilk felaketin ötesine de geçebilir, çünkü medyada yer alma ve bölgeye ilişkin olumsuz algılar yıllarca devam edebilir ve gelecekteki turizm potansiyelini azaltabilir. Petrol sızıntılarının ulaşım endüstrileri üzerinde de önemli ekonomik etkileri gözlenmektedir. Örneğin, bir petrol sızıntısı nedeniyle nakliye yollarının geçici olarak kapanması, nakliye şirketleri için önemli gecikmelere ve artan maliyetlere neden olmaktadır. Tablo 8'de literatürde petrol kirliliğine dair ekonomik etkilerine dair çalışmaların genel çerçevesi yer almaktadır.

Tablo 8: Petrol Kirliliğinin Sosyoekonomik Etkileri

No	Yazar ve Yıl	Örneklem	Araştırmanın Amacı	Araştırma Yöntemi	Araştırmanın Sonuçları
1	Garza-Gil ve diğerleri, 2006	Prestige	Galiçya kıyı balıkçılığı ve su ürünleri yetiştiriciliği sektörlerindeki kısa ve uzun vadeli ekonomik zararları değerlendirmek	Varsayımsal ekonomik analizleri	Su ürünleri yetiştiriciliği ve kıyı balıkçılığı üretimi için bir bütün olarak her iki dönem arasında yaklaşık 34.000 ton ve 65 milyon Euro'luk bir düşüş, üretilen tonlarda %10 ve ilgili satış gelirlerinde %17,34'lük bir kaybı hesaplanmaktadır.
2	Loureiro ve diğerleri, 2009	Prestige	Çevresel kullanım ve pasif kullanım kayıplarını tahmin etmek için yürütülen koşullu değerleme çalışmasından elde edilen verilerin analizini sunmak	Yarı yapılandırılmış görüşme, anket ve istatistik çıkarımlar (ödeme istekliliğini tahmin etme- WTP ölçeği)	Örneklemdeki katılımcıların İspanya'da gelecekte benzer bir petrol sızıntısını önlemek için hane başına yaklaşık 40,51 Euro ödemeye istekli olduğunu göstermektedir.
3	Negro ve diğerleri, 2009	Prestige	Galiçya'daki Prestige petrol sızıntısının ekonomik etkilerinin bir tahminini sunmak	Balıkçılık Teknolojik Platformu veri tabanı üzerinden istatistiki analizler	Toplam avlanma sayısında 1998'de 10.125 tondan 2005'te sadece 7.951 tona kadar kayda değer bir azalma gözlemlenmiştir Prestij felaketinden sonra, Balık türlerin ağırlığında 2001 yılında %97,2'den 2005 yılında %84,5'e düşüş gözlenmiştir.
4	Harzl ve Pickl, 2012	DWH kazası	DWH olayının ekonomik, çevresel ve politik bir değerlendirmesini sunmak	Literatür çalışması	Louisiana'da yalnızca balıkçılık endüstrisinde tahmini 1.700 tam zamanlı iş kaybı kaydedildi. Körfez kıyısı boyunca seyahat endüstrisinin yalnızca üç yılda 23 milyar dolarlık zarar tahmin edilmektedir.
5	Cheong, 2012	Hebei Spirit	Petrol sızıntısının balıkçılık ve turizm üzerindeki etkilerini ayırt etmek	İçerik analizi ve yarı yapılandırılmış görüşme	Turizm faaliyetlerinde %70 oranında azalma ve balıkçılık endüstrisinde %50 kayıp tespit edilmiştir.
6	Kim ve diğerleri, 2014	Hebei Spirit	Kaza kaynaklı hasar tazminat seviyelerinin nasıl belirlendiğini incelemek	Yerel mahkemeden alınan teftiş kararına ilişkin raporlar, Bakanlık raporları ve tazminat detaylarına ait istatistiki analizler	Konut sektöründeki satışlarda (2008'de %76'dan 2009'da %35'e) ve turizm sektöründe (2008'de %86'dan 2009'da %20'e) önemli ölçüde azalırken, balıkçılık geliri ve turizm geliri (sırasıyla %5 ve %11,2) azalma görülmüştür.
7	Court ve diğerleri, 2017	DWH kazası	Kuzeybatı Florida'daki kıyı ilçelerine iptal edilen eğlence amaçlı gezilerin ekonomik etkilerine ilişkin tahminleri sunmak	IMPLAN: Economic Impact Analysis for Planning yazılımı ve yarı yapılandırılmış görüşme	13 eyalette hane halkı üzerinde yapılan bir anket, bölgeye 1,88 milyon planlı ziyaretçi gezisinin olaydan bir yıl sonrasına kadar iptal edildiğini ve bölgesel ekonomik kayıpların sanayi üretiminde 2,04 milyar dolar, katma değerde 1,37 milyar dolar ve 20.486 istihdam kaybı olduğu tahmin edildi.
8	Hodges ve diğerleri, 2020	DWH kazası	DWH petrol sızıntısının 2010 ilkbahar ve yaz aylarında neden olduğu çevresel ve ekonomik zararları incelemek	Atlantis: fizik, ekoloji ve sosyo-ekonomik modüllere sahip, mekânsal olarak deniz ekosistemi modeli	Ticari balıkçılık gelirlerinin ve eğlence amaçlı balıkçılık harcamalarının 2010-2020 dönemi için toplam ekonomik etkilerinin, 25.000'den fazla iş kaybı, 2,3 milyar dolar sanayi üretiminde azalma olduğunu göstermektedir.
9	De Oliveira Estevo ve diğerleri, 2021	Brezilya'da gerçekleşen petrol sızıntısı	Petrol sızıntısının kuzeydoğu kıyılarındaki balıkçı toplulukları üzerindeki acil sosyal ve ekonomik etkilerini değerlendirmek	Yarı yapılandırılmış görüşme ve odak grup	Balıkçılıktan elde edilen gelir %53,7 pay kaybederken, kadın balıkçıların gelir kaybı %33,3 erkeklerin ise %20,5 oranında azalma gözlenmiştir.
10	Egan ve diğerleri, 2021	M/V Rena-Yeni Zelanda kıyıları	Küçük/orta ölçekli petrol sızıntılarına ilişkin sınırlı ekonomik raporlara katkıda bulunmak ve yerel ekonomiler üzerinde etkiyi değerlendirmek	29 Ocak 2013 itibariyle kaza müdahale maliyetlerine ilişkin veriler ve hükümet raporlarına ait istatistiki veriler	Yakalanan 80 balık türlerinden 39'u 2011-2012 yılları için tahmini avda düşüş gösterdi ve bu türlerin 18'i %50'den fazla azaldığı görülmüştür. Mart 2012'den Şubat 2013'e kadar, bir önceki yıla göre yurtiçi ziyaretçi harcamalarında 1,3 milyon Yeni Zelanda doları, uluslararası ziyaretçi harcamalarında 7,5 milyon Yeni Zelanda doları düşüş yaşandığı tespit edilmiştir.

Tablo 8'de görüldüğü üzere, etkilenen bölgeler üzerinde özellikle gelir kaybı, artan maliyetler ve azalan ekonomik faaliyetler açısından önemli ekonomik etkilere sahiptir. Petrol kirliliği, deniz kaynaklarına bağımlı olan kıyı topluluklarının geçim kaynaklarına ve refahına zarar vermektedir. Birçok topluluk gelir ve geçim için balıkçılık, kabuklu deniz ürünleri hasadı ve ilgili endüstrilere bel bağlamaktadır. Petrol sızıntıları bu faaliyetleri sekteye uğratarak etkilenen topluluklarda mali sıkıntılara, işsizliğe ve sosyal strese yol açmaktadır. Petrol kirliliği balık ve kabuklu deniz ürünleri popülasyonlarını kirleterek tüketim için güvensiz hale getirmektedir. Balıkçılık alanları ve su ürünleri yetiştiriciliği çiftlikleri petrol kirliliği nedeniyle geçici veya kalıcı olarak kapatılabilir, bu da balıkçılar ve su ürünleri yetiştiricileri için gelir kaybına yol açabilmektedir. Buna ek olarak, kirlenmiş deniz ürünleri algısı tüketici güvenini ve pazar talebini etkileyerek tüm deniz ürünleri endüstrisini etkilemektedir. Petrol sızıntıları, limanlar, marinalar ve su temini veya enerji üretimi tesisleri dahil olmak üzere kıyı altyapısına zarar vermektedir. Kirlenmiş binalar ve altyapı kapsamlı temizlik ve onarım gerektirmektedir, bu da yerel işletmeler ve hizmetlerde mali kayıplara ve aksamalara neden olmaktadır.

İncelenen literatürde, deniz ekonomisi ile ilgili faaliyetlerin petrol sızıntılarına daha duyarlı olduğu görülmektedir. Turizm üzerindeki olumsuz etkiler ilk felaketin ötesine de geçebilir, çünkü medyada yer alma ve bölgeye ilişkin olumsuz algılar yıllarca devam edebilir ve gelecekteki turizm potansiyelini azaltabilir. Bu sonuçlar, yerel turizmin ve ilgili faaliyetlerin olası yeni tehditlere uyum sağlamasına öncelik veren kamu politikalarının geliştirilmesini vurgulamaktadır. Bu araştırmalarda, gelir düşüşü ve ana geçim kaynağının kaybı, balıkçıların refahını doğrudan etkilediğine dair önemli ölçüde tespitler bulunmaktadır. Bu durum balıkçıların geçimlerini sağlamak için iş değiştirmelerine de neden olmaktadır. Petrol sızıntılarını önleme, müdahale kabiliyetlerini geliştirme ve etkilenen alanları eski haline getirme çabaları, petrol kirliliğinin sosyal ve ekonomik etkilerini hafifletmek için çok önemlidir. Etkili düzenlemeler, acil müdahale planları ve çevrenin korunması ve restorasyonuna yapılan yatırımlar, olumsuz etkilerin en aza indirilmesine ve sürdürülebilir kıyı ve deniz faaliyetlerinin teşvik edilmesine yardımcı olmaktadır. Araştırmalar petrol sızıntılarından kaynaklanan etkilerin üstesinden gelmek için gereken çözümler, yaşlı vatandaşlara ödenek dağıtılması, petrol sızıntısından etkilenenlerin korunması ve

bakımı, altyapı tazminatı ve halkın farklı ekonomik kaynaklı sektörlere katılımına yönelik teşvik edici adımlar önerilmiştir.

1.6. DENİZDE PETROL KİRLİLİĞİNE YÖNELİK MÜDAHALE TEKNİKLERİ

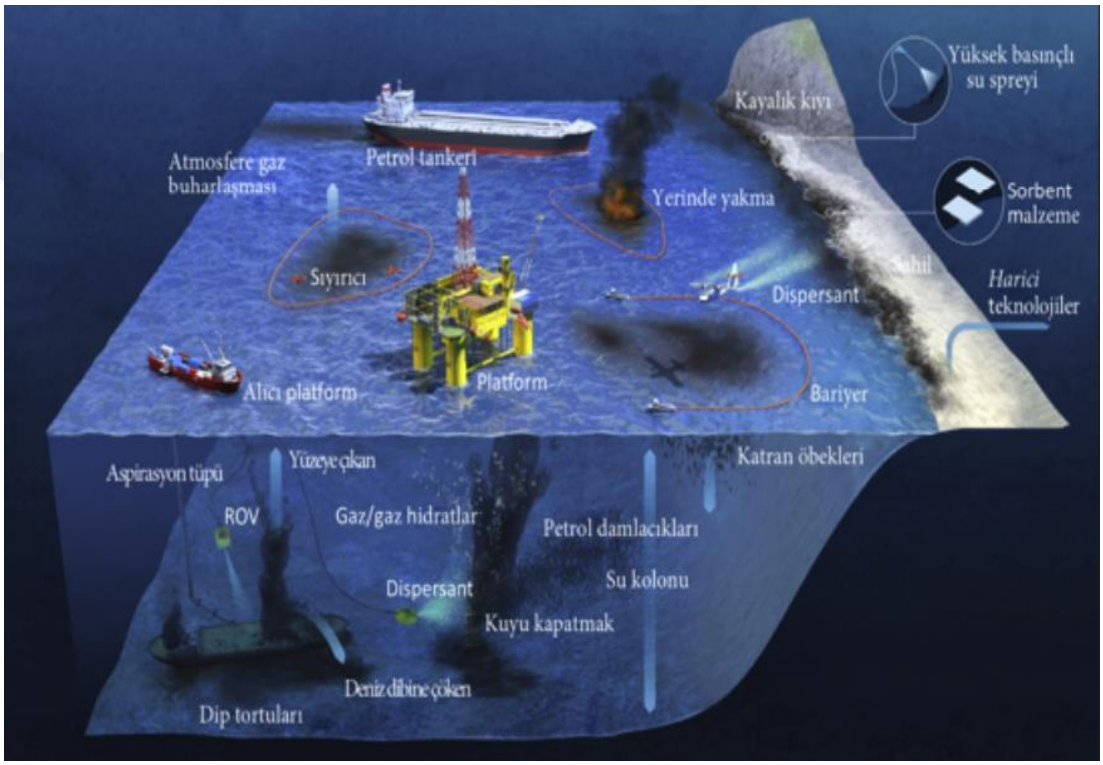
Petrol kirliliği müdahale planlaması, bir petrol döküntüsü olayına etkili ve verimli bir şekilde müdahale etmek için kapsamlı bir strateji geliştirme sürecidir. Planlama süreci potansiyel dökülme senaryolarının belirlenmesini, gerekli kaynak ve ekipmanların tespit edilmesini, müdahale kuruluşları ile paydaşların rol ve sorumluluklarının tanımlanmasını içermektedir (Qiao ve diğerleri, 2002).

Bir petrol döküntüsüne müdahale, genellikle çeşitli kısıtlamaları olan dinamik, zamana duyarlı, çok yönlü ve karmaşık süreçlerden meydana gelmektedir (Li ve diğerleri, 2016). Müdahale operasyonunun başarısı ve etkinliği, bilginin (konum, petrol özellikleri, hava durumu, akıntılar vb.) ve müdahale kaynaklarının (cihazlar, insan gücü, maliyet, vb.) ne kadar verimli kullanılabileceğine ve eylemlerin ne kadar optimum şekilde uygulanabileceğine bağlıdır (Guidi ve diğerleri, 2020). Bu tür doğal zorlukların yanı sıra, çevresel planlama ve yönetimle ilgili her karar çoklu kriterlerle karakterize edilmektedir (Moroni ve diğerleri, 2019). Kirliliğin yarattığı etkiler göz önüne alındığında, petrol kirliliği acil durum yönetimi ve müdahalesi oldukça karmaşık ve çok kriterli karar verme süreci olarak da tanımlanmaktadır (Zafirakou ve diğerleri, 2018; Božanić ve diğerleri, 2022). Müdahale ekipleri ve karar veren uzmanların birincil hedefi, çevrenin maksimum düzeyde korunmasını sağlamak ve etkilenen hassasiyetlerin en verimli şekilde geri kazanılmasını kolaylaştırmak için uygun bir müdahale stratejisi belirlemek olmalıdır (Mishra ve diğerleri, 2022). Bir dizi belirsiz değişkenler ve değişen iklim şartları nedeniyle; çeşitli uzmanların ve paydaşların katılımı, müdahale seçeneklerinin etkinliği, fizibilitesi ve sınırlamaları hakkında ortak bir anlayış sağlamak bu yüzden büyük önem arz etmektedir (IPIECA-IOGP, 2015a; 2019).

Müdahale operasyonu genel çerçevede; dökülen petrolü denizden hızla kontrol altına almayı ve uzaklaştırmayı, ekolojik ve sosyoekonomik kaynaklara verilen zararı en aza indirmeyi (Ventikos ve diğerleri, 2004) ve kabul edilebilir bir seviyeye ulaşarak

etkilenen kaynakların iyileşme/restorasyon süresini kısaltmayı hedeflemektedir (Wilkinson ve diğerleri, 2017). Petrol kirliliğinin yıkıcı etkilerini azaltmak için geliştirilen acil müdahale teknikleri fiziksel/mekanik, kimyasal, termal ve biyolojik yöntemler olarak 4 ana başlıkta toplanmaktadır (Fingas, 2016; Zhang ve diğerleri, 2015a). Şekil 14'te petrol kirliliğine müdahale yöntemlerine ait görsel yer almaktadır.

Şekil 14: Petrol Kirliliği Müdahale Yöntemleri



Kaynak: Mapelli ve diğerleri, 2017'den uyarlanmıştır.

Şekil 14'te, gemi kazaları ve petrol platformlarından kaynaklı petrol sızıntılarına yönelik müdahale operasyonuna dair tercih edilen teknikler yer almaktadır. Her bir müdahale yönteminin kendine özgü üstünlükleri/ sınırlılıkları bulunmaktadır ve çoğunlukla etkin müdahale için mekanik, biyolojik ve kimyasal yöntemler birlikte kullanılmaktadır. Ayrıca, çevresel ve sosyo-ekonomik kaynakların hassasiyet derecesi, hava durumu, lojistik ve yasal süreçler gibi operasyonel koşullardaki farklılıklar nedeniyle, müdahale tekniklerinin kullanımı sahaya göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin, dip su kolonlarında kimyasal teknikler tercih edilirken kıyı şeridine yakın bölgelerde fiziksel müdahale seçenekleri hassas alanların

korunması ve kirliliğin sınırlandırılması için tercih edilmesi söz konusudur. Ayrıca, kıyıya nüfus eden petrolü temizlemek için kıyı şeridi temizliği yöntemlerinden yüksek basınçlı su ve emici sorbent malzemeler ile müdahalenin gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu yüzden, tek bir müdahale tekniğini uygulamaktansa, maksimum başarı ve çevrenin azami düzeyde korunması için tekniklerin kombine olarak kullanılması tercih edilmektedir.

Son yıllarda müdahale tekniklerinin etkinliğini artırmak amacıyla yenilikçi yöntemler de geliştirilmektedir. Kameralar ve sensör yardımıyla donatılmış Uzaktan Kumandalı Araçlar (ROV-Remotely Operated Vehicles), petrol sızıntılarının yayılımını gözlemlemek ve müdahale alanını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Bu araçlar, petrol sızıntılarından etkilenen su altı alanları da dahil olmak üzere ulaşılması zor bölgelerdeki kirliliği tespit etmek veya tehlikeli alanlara uzaktan erişmek içinde kullanılmaktadır (Du ve diğerleri, 2022). Bir diğer geliştirilen yöntem olan nanoteknolojide ise, son derece küçük parçacıklar olan nanopartiküllerin olağanüstü manyetik özellikleri sayesinde su yüzeyinden petrolü emme ve petrolün yüksek oranda geri kazanımı sağlanmaktadır. Nanomalzemeler son derece küçük boyutta olması, güçlü manyetizma etkisi, güçlü emme kapasitesi, yüksek geri kazanım ve düşük toksisite nedeniyle araştırmacılar tarafından geleceğin teknolojisi olarak görülmektedir (Singh ve diğerleri, 2020; Mishra ve diğerleri, 2022). Bu müdahale yöntemlerinden herhangi biri veya bunların bir kombinasyonu titizlikle seçilmeli, dökülen petrol ve çevre koşullarına göre en uygun seçenek tercih edilmelidir (Hu ve diğerleri, 2020).

Müdahalenin mümkün olmadığı durumlarda karaya oturmuş petrolü herhangi bir teknik kullanmadan doğal süreçlere bırakmak bazı durumlarda seçenek olarak görülmektedir. "*Doğal iyileşme*", ekosistemler, habitatlar veya popülasyonlar gibi doğal kaynakların herhangi bir doğrudan veya aktif insan müdahalesi olmaksızın iyileşebildiği ve dinamik bir başlangıç durumuna dönebildiği süreci tanımlamak için kullanılan bir terimdir. İngilizce karşılığı "*Natural recovery*" olarak bilinen doğal iyileşme, etkilenen alanların daha fazla zarar görmesini önlemek için yönetmeliklerin uygulanması ya da ek zarara neden olabilecek faaliyetlerin azaltılması gibi adımlar ile gözetim yapılmasını içeren süreçlerden oluşmaktadır. Bu süreç, dökülen petrolün biyolojik bozunma, buharlaşma ve foto-oksidasyon gibi doğal süreçlerle bozunmasını

içermektedir (Fingas, 2012; IPIECA-IOGP, 2015a; 2019). Doğal geri kazanım, insan müdahalesinin sınırlı veya imkânsız olduğu alanlarda küçük ve orta dereceli petrol döküntüleri için etkili ve uygun maliyetli bir strateji olmaktadır (Iazeolla ve diğerleri, 2017). Ancak, büyük dökülmeler veya mercan resifleri ve mangrovlar gibi dökülme etkisinin şiddetli ve uzun süreli olabileceği hassas ortamlardaki kirliliklerde bu yaklaşım uygun değildir. Bununla birlikte, doğal geri kazanımın zaman alabileceğini ve özellikle su sirkülasyonunun zayıf olduğu, oksijen seviyesinin yetersiz olduğu veya besin seviyesinin düşük olduğu alanlarda müdahale tekniklerinin tekrar planlaması gerekmektedir (Davidson ve diğerleri, 2008).

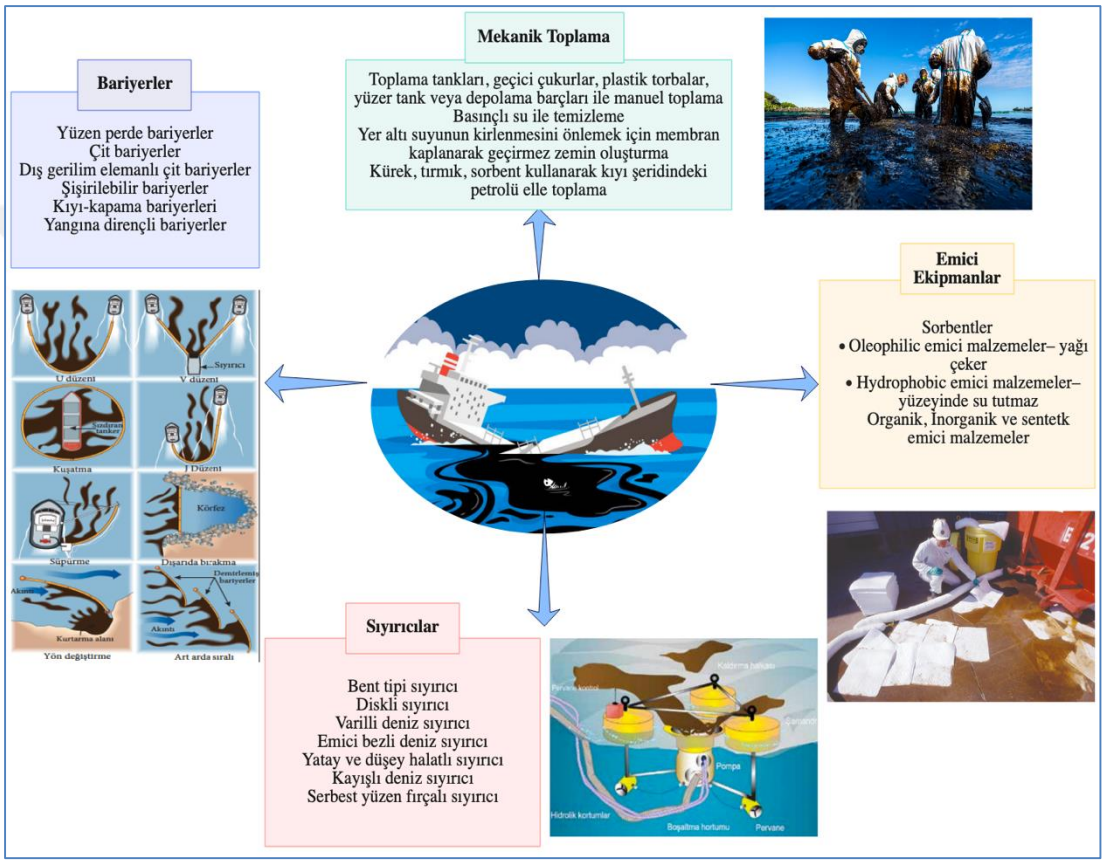
Dökülme müdahalesinden kaynaklanan yağlı atıkların toplanması, depolanması, nakliye, arıtma ve bertaraf/boşaltma süreci dahil olmak üzere atık yönetimi, petrol kirliliğine müdahale operasyon planlamasının en önemli ve zorlayıcı adımlarından birisidir (Exxon Mobil, 2014). Genellikle atık üretim hacmi, dökülen petrol hacminin %40 ila %200'ü arasında değişkenlik göstermektedir. Petrol ve yağlı atıkların toplanması, taşınması, depolanması, arıtılması ve bertaraf edilmesi lojistik açıdan büyük bir zorluk teşkil ettiğinden, Ulusal Acil Durum Planlarında atık yönetimi hususlarına ayrıca dikkat edilmesi gerekmektedir (Fingas, 2012; POSOW, 2016).

1.6.1. Fiziksel/Mekanik Müdahale Sistemleri

Petrol akıntı ve rüzgârın etkisiyle döküldüğü yerden diğer deniz alanlarına hızlıca yayılım göstermektedir. Kirliliğe mümkün olan en erken süreçte, petrol daha fazla geniş alanlara yayılmadan ve hassas alanlara ulaşmadan müdahale edilmesi gerekmektedir. Bu maksatla kullanılacak metotlardan en çok tercih edilenlerden biri de fiziksel/mekanik yöntemlere bağlı tekniklerdir (Mohammadiun ve diğerleri, 2021). Petrolün kısa zamanda deniz ortamından toplanmasının yanı sıra, öncelikli korunması gereken alanların korunması (Bi ve diğerleri, 2021), petrolün geniş deniz alanlarına ilerlemesini sınırlandırmak amacıyla yayılımın kontrol altına alınması ve müteakiben temizleme operasyonlarının başlatılması bu müdahale yönteminin tercih edilmesinin başlıca nedenlerindendir (Dave ve Ghaly, 2011). Ayrıca fiziksel veya mekanik müdahale sistemleri, etkin, hızlı, teknolojik olarak yeterli, düşük maliyetli ve kolay uygulanabilir bir seçenek olarak görülmektedir (Aurand ve diğerleri, 2000). Ancak,

petrol kirliliği temizleme işleminde birden fazla yöntem kullanılabileceğinden, fiziksel veya mekanik müdahale sistemleri, kirlilik türüne ve yayılımına bağlı olarak diğer yöntemlerle birlikte tercih edilmektedir. Şekil 15'te fiziksel/mekanik müdahale yöntemlerine ait ekipmanlar yer almaktadır.

Şekil 15: Fiziksel/Mekanik Müdahale Teknikleri



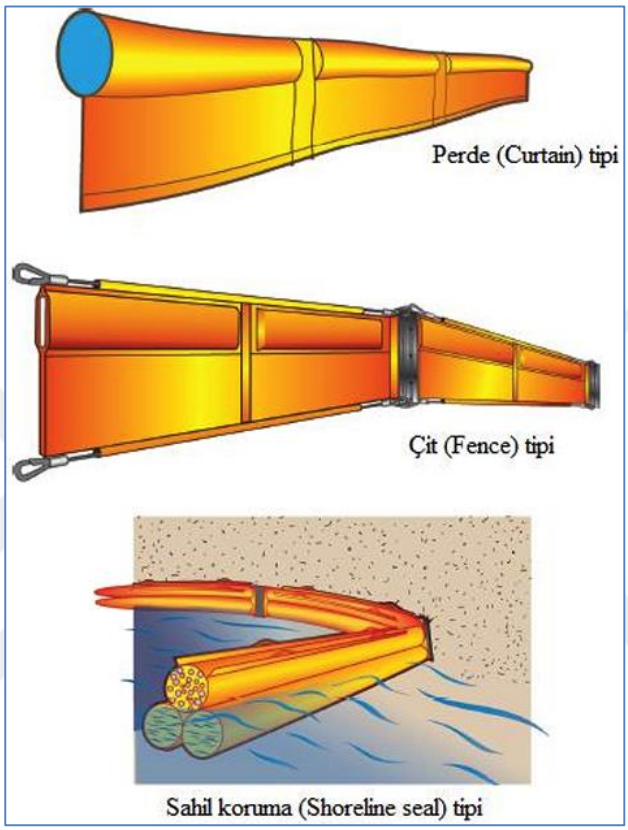
Kaynak: Literatürden elde edilen bilgiler ışığında yazar tarafından oluşturulmuştur.

Şekil 15'te görüleceği üzere, fiziksel müdahale yöntemlerine ait temelde 4 farklı unsur ve ekipman altyapısı yer almaktadır. Bunlar;

Bariyerler: Kirlilik kaynağından sızan petrolün önlenmesi, petrol yayılımının sınırlandırılması, döküntü yönündeki hassas alanların ve çevrenin korunması amacıyla tercih edilen çevreleme unsurlarıdır. Kirlilik kaynağının özellikleri, kirliliğin miktarı, denizdeki konumu, dalga boyu ve yüksekliği, kullanılma amacı gibi faktörler farklı özelliklerde bariyer üretimi ve kullanılması ihtiyacını doğurmuştur. Bariyerlerin; şişirilebilir, yüzen perde, çit, kıyı-kapama ve yangına dirençli bariyerler olmak üzere

kullanım koşullarına göre değişen çeşitleri bulunmaktadır. Şekil 16'da farklı yapıda bariyerlerin görselleri yer almaktadır.

Şekil 16: Farklı Yapıdaki Bariyerler



Kaynak: Fingas, 2012.

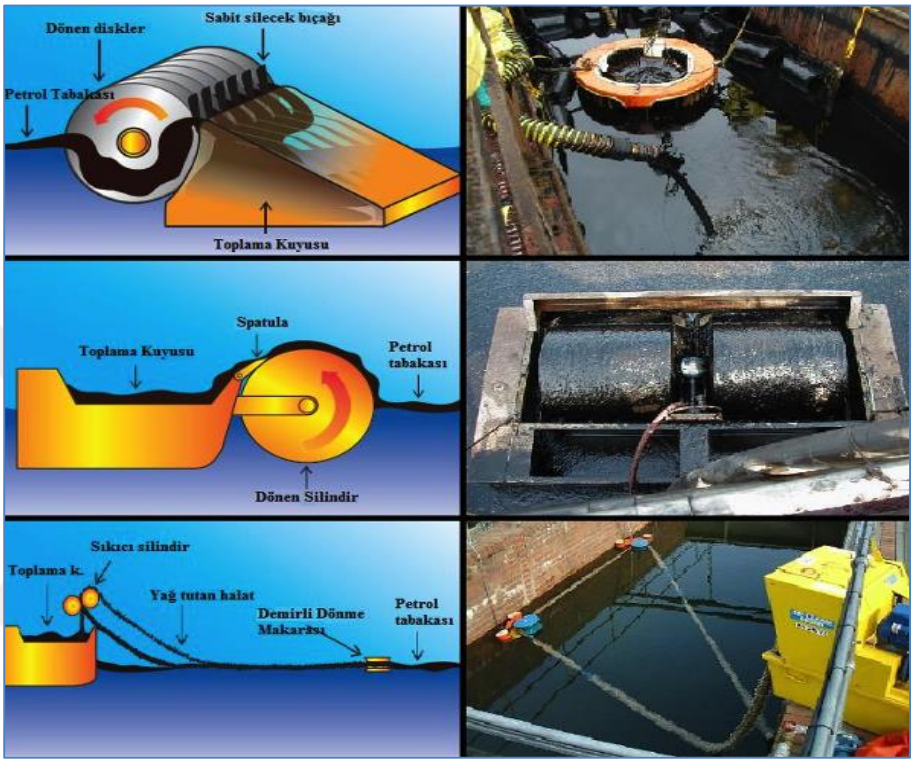
Bariyerler, petrolün yayılmasını önlemek ve petrolü temizlik için toplama noktalarına doğru yönlendirmek üzere tasarlanmışlardır. Şekil 16'da görüleceği üzere, her birinin kendine özgü avantaj ve dezavantajları olan birçok farklı tipte bariyerler mevcuttur. Suya doğru sarkan bir eteğe sahip geleneksel perde bariyerleri, sakin sularda petrol sızıntılarını kontrol altına almada etkilidir, ancak zorlu koşullarda yerleştirilmesi ve bakımı zor olabilir. Çit bariyerleri olarak da bilinen dikey bariyerler açık sulardaki petrol tabakalarını kontrol altına almak ya da kıyı şeritlerini, hassas habitatları ya da belirli ilgi alanlarını korumak için kullanılır. Sahil koruma bariyerleri ise limanlar veya hassas ekosistemler gibi yüksek riskli alanlara önceden yerleştirilerek anında müdahale kabiliyeti sağlar. Uzun süreler boyunca yerinde kalırlar ve gerektiğinde hızla konuşlandırılabilirler. Petrol sızıntılarını kontrol altına

almada etkili olabilirler, ancak tüm petrolün yayılmasını durduramazlar. Bariyerler, müdahalenin etkinliğini en üst düzeye çıkarmak için sıyırıcılar, sorbent malzemeler ve emici pedler gibi diğer mekanik temizleme yöntemleriyle birlikte kullanılmalıdır. Bariyerler devamlı dalga durumundaki değişimleri takip edebilecek yeterlilikte esnek, delinmeye karşı dayanıklı bir materyalden yapılmış (özellikle basınçla şişen tiplerde), olay yerine kolay taşınabilir ve kolay kurulabilir olmalıdır. Bariyerlerin deniz koşullarından kaynaklı petrol kirliliğini sınırlandırma ve yönlendirmede sistemsel arızaları ve hassasiyetleri bulunmaktadır. Bunlar; sürüklenme arızası, drenaj arızası, kritik birikim, sıçrama, su altında kalma arızası ve planlama hassasiyetleridir. Özellikle dalga yüksekliğinin 1-1,5 m aralığında ve akıntını 1 knot'ı aştığı durumlarda bariyerlerin verimi düşmektedir. Bu nedenle, bariyerlerin kullanım koşulları göz önünde bulundurularak müdahale yürütülmelidir. Petrolün yayılımını önleme ve hassas kaynaklara ulaşmasını sınırlandırmak için, farklı düzenlerde serilme ve yönlendirme şekli bulunmaktadır. Botlar yardımı ile U, V ve J formasyonlarında çekilerek yönlendirme yapılmaktadır. Ayrıca, kıyı şeridine yakın bölgelerde güçlü akıntı var ise çemberleme yöntemi ile petrolü kuşatarak ilgili sahaya nüfus etmesi sınırlandırılabilir (Ventikos ve diğerleri, 2004; Dave ve Ghaly, 2011; Fingas, 2012; Exxon Mobil, 2014; Ivshina ve diğerleri, 2015).

Sıyırıcılar: Sıyırıcılar, petrolün fiziksel veya kimyasal özelliklerinde herhangi bir değişikliğe uğratmadan su yüzeyinden petrolü toplamak ve gemideki depolama tanklarına aktarmak için tasarlanmış mekanik cihazlardır. Petrolü sudan ayırmak, geri kazanımını sağlamak ve çevresel etkiyi en aza indirmek için tasarlanmışlardır. Sıyırıcılar çeşitli prensiplere ve mekanizmalara dayalı olarak çalışır, ancak amaç, daha sonra işlenmek veya bertaraf edilmek üzere petrolü verimli bir şekilde sıyırmak veya toplamaktır. Sıyırıcıların genel elemanları; disk, varil veya halatlı paspas tipinde emme kanat sistemleri, yer çekimine bel bağlayan bent sistemleri ve petrolün pompalanarak depolama tankını aktarıldığı boşaltma ünitelerinden oluşmaktadır. Bir sıyırıcının etkinliği, topladığı yağ miktarına (oleofilik-yağı seven) ve yağla toplanan su miktarına göre ölçülmektedir. Sıyırıcıların olefilik yapıda olan kanatçıkların petrolü emerek absorbe etmesi ve topladığı petrolü boşaltma tanklarına aktarılması şeklinde bir çalışma prensibi bulunmaktadır. Sıyırıcıların performansı; petrolün viskozitesi, dalga boyu, rüzgâr ve akıntı koşullarına bağlıdır (NOAA, 2001; Dave ve Ghaly, 2011;

Fingas, 2012; Li ve diğerleri, 2016). Her birinin kendine özgü avantajları ve dezavantajları olan birçok farklı tipte sıyırıcı mevcuttur. Şekil 17'de farklı tiplerdeki sıyırıcılara ait çalışma prensipleri ve görselleri yer almaktadır.

Şekil 17: Disk Tipi, Silindir ve Halat Sıyırıcıların Sistematik Yapısı



Kaynak: Fingas, 2012.

Mekanik sıyırıcılar sakin veya hafif dalgalı sular da dahil olmak üzere çeşitli su koşullarında etkilidir. Oleofilik sıyırıcılar yağın belirli malzemelere olan doğal yakınlığından faydalanır. Suyu iterken petrolü çeken ve emen emici pedler, fırçalar veya halatlar gibi özel olarak tasarlanmış malzemeler kullanırlar. Savaklı sıyırıcılar ise, petrolü üstten akarken toplayan yüzen bir savak veya baraj kullanır. Yağ savağın arkasında hapsolur ve temiz suyun geçmesine izin verir. Savak sıyırıcılar, bir dökülme kaynağının yakınında olduğu gibi sürekli petrol akışının olduğu durumlarda etkilidir. Sıyırıcılar, petrol döküntüsünün ölçeğine ve konumuna bağlı olarak gemilerden, mavnalardan veya kıyı şeridinden konuşlandırılabilir. Petrolün tutulması ve su yüzeyinden uzaklaştırılmasında çok önemli bir rol oynayarak çevresel etkinin azaltılmasına ve temizleme işlemlerinin kolaylaştırılmasına yardımcı olurlar (Fingas,

2012; Song ve diğerleri, 2015)

Sorbent/Emici malzemeler: Petrolle kirlenmiş kıyı şeritleri, sulak alanlar ve bataklıklar gibi hassas alanlar için birincil geri kazanım yöntemi olarak tercih edilen ve yüksek emme kabiliyeti bulunan yardımcı kontrol malzemeleri sorbentlerdir. Her birinin kendine özgü avantajları ve dezavantajları olan birçok farklı sorbent türü mevcuttur. Sorbentler materyallerine göre; inorganik (vermikulit, lava camı), sentetik organik (polipropilen lifleri), doğal organik (bataklık kömürü, karışık maden tozu, pamuk, çam kabuğu) materyaller olmak üzere 3 farklı gruba ayrılmaktadır. Polipropilen sorbentler, mükemmel petrol emme kapasiteleri ve kaldırma kuvvetleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip sorbentler hafiftir, yerleştirilmesi kolaydır ve ağırlıklarına oranla önemli miktarda petrol emebilir. Doğal elyaf sorbentler genellikle çevresel etkiyi en aza indirmenin çok önemli olduğu çevreye duyarlı alanlarda kullanılır. Granül tipte olan inorganik sorbentler genellikle petrol tabakasının üzerine yayılır veya petrolü emmek ve katılaştırmak için bariyerler ile kullanılır. Sorbent malzemeler ile müdahale, hızlı, etkili ve nispeten düşük maliyetli bir yöntemdir. Petrol tabakası inceldikçe emici malzemelerin performans etkinliği daha da düşmektedir. Etkili bir emme kabiliyeti için, petrolü kuşatarak petrol yüzey tabakasını daha da kalınlaştıracak bir bariyer formasyonu kullanılmalıdır (NOAA, 2001; Fingas, 2012; Exxon Mobil, 2014; IPIECA-IOGP, 2019).

Mekanik toplama: Viskoz olan ürünlerin uygun şekilde bertaraf edilmesi veya arıtılması gereken tortu ve döküntülerle karışmış petrolün tırmıklar, kürekler, kovalar, kazıyıcılar veya pompalar ile bertarafı için tercih edilen müdahale tekniği mekanik toplama yöntemidir. Toplanan malzemenin geçici olarak depolanması, taşınması ve bertarafı için özel olarak tasarlanmış pompa sistemleri, depolama tankları veya yüzer tank sistemleri gerekmektedir. Yüksek işgücü maliyeti ve sağlık riski nedeniyle bu yöntem doğru şekilde planlanmalıdır. Erişilebilir noktalarda sıyırıcılar ve emici malzemeler ile desteklenerek operasyon süreci hızlandırılabilir, fakat yüksek kayalık veya kıyı şeritlerinin uygun olmadığı ortamlarda doğal geri kazanım sürecine bırakılması tercih edilmelidir (NOAA, 2001; Fingas, 2012; ITOPF, 2014a; IPIECA-IOGP, 2015b). Fiziksel müdahale tekniklerinin avantaj ve dezavantajlarına yönelik içerik Tablo 9'da yer almaktadır.

Tablo 9: Fiziksel/Mekanik Müdahale Tekniklerinin Değerlendirilmesi

Müdahale yöntemleri	Tekniklerin adı	Avantajlar	Dezavantajlar
Fiziksel/Mekanik Müdahale	Bariyerler	Müdahale sırasında ilk tercih edilen yöntemdir	Depolama, bakım ve hazırlık için yüksek sermaye yatırımı gerektirir
		Petrolün mekanik olarak toplanmasını kolaylaştırmak için yüzeydeki petrolü sınırlar içinde tutar	Ekipmanı dökülme bölgesine yerleştirme ve özellikle uzak bölgelerde zamanında faaliyete geçilmesi çok zaman alır.
			Etkinlik, hava ve deniz yüzeyi koşullarına bağlıdır; rüzgâr ve dalgalar petrolün dağılmasını teşvik ederek bariyerlerin üzerinden itebilir.
		Konuşlandırma ve toplama faaliyetleri genellikle dökülme bölgesinde yaban hayatının izinsiz girişini engelleyerek yaban hayatı ve hassas deniz kaynaklarının maruz kalma ve yaralanma ihtimalini en aza indirir	Deniz yüzeyinde %30'dan fazla buz bulunması, bariyer kullanımını engelleyebilir.
	Sıyırıcı		Aşırı soğuk koşullar, deniz sıyırıcıların ve pompaların çalışmasını engelleyebilir ve dökülen yağın viskozitesini artırabilir.
		Çevre dostudur.	
		Çok çeşitli ürünlerde etkilidir.	Kötü hava koşullarında bariyerlerin kullanımı, temiz sahaların ikincil kirlenmesine yol açan lojistik problemler ortaya çıkarır.
		İdare iznine gerek duyulmadan kabul gören bir tekniktir.	Müdahale ekipleri, toplama sırasında ve sonrasında (bertaraf veya geri dönüşüm aşamaları) petrolle temas eder ve potansiyel bir sağlık riskine maruz kalabilir.
	Sorbentler- Emici malzemeler	Yüksek oranda geri kazanım sağlanır	Tipik olarak %10-20'den fazla yağ geri kazanımı olmaz
		Ekipman ve uzmanlık alanında kolay erişilebilirdir.	Yüksek maliyetli ve işgücü gerektirmektedir
		Operasyonel anlamda entegre edilebilen bir sistemdir	Eğer geri kazanım hızı depolama kapasitesini aşarsa, sıyırma operasyonlarının tam kapasite çalışmaya devam etmesi için, boş konteynırlar ve depolama tankları temin etmek gerekmektedir
	Mekanik toplama	Etkinlik ve verimi arttırmaya yönelik AR-GE çalışmalarına açık bir sistemdir	Kıyı şeridinde ve kıyı tesislerinde oluşan ağır petrol döküntülerinin temizliğinde işgücü maliyeti yüksektir

Kaynak: Ventikos ve diğerleri, 2004; Li ve diğerleri, 2016; Wenning ve diğerleri, 2018; Singh ve diğerleri, 2020; Mishra ve diğerleri, 2022.

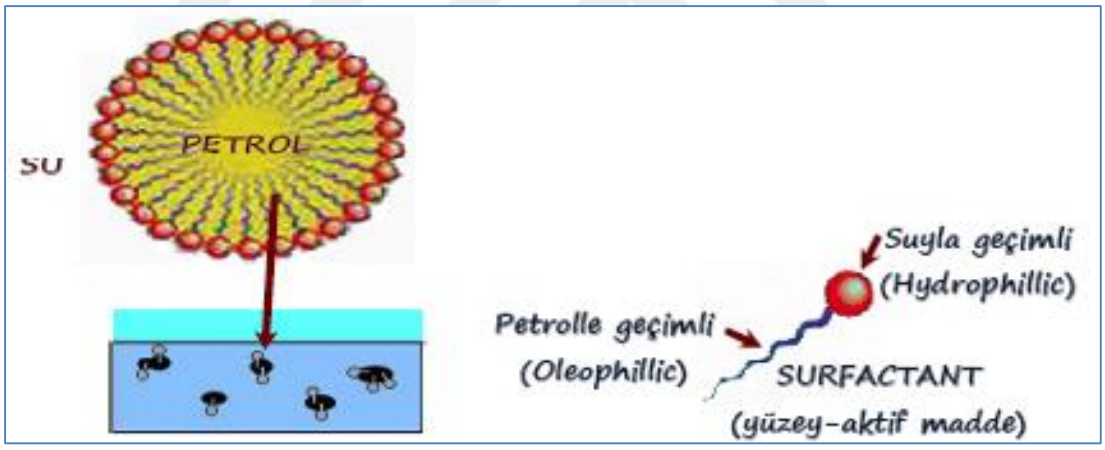
Tablo 9'da görüleceği üzere her bir tekniğin uygulama koşulları farklılaşmakta ve müdahale tekniklerinin performansına etki eden değişkenler çeşitlilik göstermektedir. Farklı müdahale stratejileri, farklı deniz koşullar altında değişen düzeylerde etkinlik sağlamakta ve dökülmeye özgü koşullara bağlı olarak farklı çevresel kaynaklar için çeşitli düzeylerde koruma sunmaktadır. Sıyırıcılar ve sorbentler gibi fiziksel yöntemler, suyu geride bırakırken petrolü seçici olarak geri kazanmak için tasarlanmıştır. Petrolü sudan verimli bir şekilde ayırarak dökülen petrolün etkili bir şekilde uzaklaştırılmasını ve geri kazanılmasını sağlarlar. Bu seçici geri kazanım çevresel zararı en aza indirmeye yardımcı olur ve suda kalan petrol miktarını azaltır. Gemilerden, mavnalardan veya kıyı şeridinden konuşlandırılabilirler, bu da onları farklı dökülme senaryolarına ve konumlarına uyarlanabilir hale getirir. Ayrıca, fiziksel yöntemler hem açık suda hem de kıyıya yakın alanlarda kullanılabilir ve kapsamlı bir müdahale yaklaşımı sağlar. Fiziksel yöntemler petrol döküntüsünün boyutuna ve ciddiyetine bağlı olarak büyütülebilir ya da küçültülebilir. Müdahale ekipleri bomların, sıyırıcıların veya sorbentlerin konuşlandırılmasını döküntünün boyutuna ve mevcut kaynaklara göre ayarlayabilir. Bu ölçeklenebilirlik, döküntüyü etkili bir şekilde ele almak için müdahale çabalarının verimli bir şekilde tahsis edilmesini sağlar. Fiziksel yöntemler diğer petrol döküntüsü müdahale teknikleriyle birlikte kullanılabilir. Bu uyumluluk proaktif bir yaklaşıma olanak tanıyarak farklı yöntemleri bir araya getirerek etkinliği artırır. Bu yöntemler genellikle temizliğin etkinliğini en üst düzeye çıkarmak için kimyasal ve biyolojik yöntemler gibi diğer yöntemlerle birlikte kullanılır. Genellikle kimyasal ve biyolojik yöntemlerden daha çevre dostu olarak kabul edilirler. Küçük döküntülerden büyük döküntülere kadar çok çeşitli petrol döküntülerini temizlemek için kullanılabilirler. Dalgalı deniz ve soğuk hava dahil olmak üzere çeşitli koşullarda kullanılabilirler. Fakat kullanımları pahalı ve zaman alıcıdır. Fiziksel yöntemlerin avantajları olsa da her petrol döküntüsünün kendine özgü olduğunu ve en etkili müdahale stratejisinin döküntünün özel koşullarına göre uyarlanmış fiziksel, kimyasal ve biyolojik tekniklerin bir kombinasyonunu içerebileceğini unutmamak önemlidir. Bu nedenle, mevcut tüm müdahale stratejileri dikkate alınmalı ve riskler tüm süreçler için değerlendirilmeli; en yüksek değere sahip çevresel kaynakların korunması için, hangi stratejilerin, ne zaman ve nerede uygulanacağına ilişkin kararlar ivedilikle alınmalıdır.

1.6.2. Kimyasal Müdahale Sistemleri

Petrol kirliliğine kimyasal müdahale sistemleri arasında, petrolün dağılım sürecini hızlandıran ve kolaylaştıran dispersant olarak da ifade edilen dağıtıcıların kullanımı ve emülgatör denilen kimyasal maddeler yer almaktadır (Adofo ve diğerleri, 2022).

Dağıtıcılar hem suda çözünen hem de yağda çözünen bileşene sahip yüzey aktif kimyasal maddelerdir (Chen ve diğerleri, 2019). Dağıtıcı uygulamasının amacı, bir petrol tabakasını hızla su sütununda seyreltilen ve daha sonraki süreçte mikroorganizmalar tarafından parçalanan çok sayıda küçük damlacıklara ayırmaktır (Fingas, 2012; ITOPF, 2014b). Şekil 18'de dağıtıcıların genel yapısını ifade eden görsel yer almaktadır.

Şekil 18: Dağıtıcıların Genel Yapısı



Kaynak: Fingas, 2012.

Şekil 18'de görüleceği üzere, molekülün oleofilik ucu yağ fazına tutunmakta hidrofilik ucu ise su fazına doğru uzanmaktadır. Bu sayede, su ile yağ arasındaki yüzey gerilimini azaltarak yağın su kolonunun 5-10 m'lik kısmında 70 mikrometreden küçük damlacıklar yaratmaktadır. Açık denizde kimyasal yağ dağıtıcıların kullanılması, plajlar ve sulak alanlar gibi hassas kıyı ortamlarının aşırı petrolle kirlenmesini önlemede ve deniz ve karadaki vahşi yaşamın bir yüzey petrol tabakasıyla doğrudan temas etmesiyle ilişkili riskleri azaltmada etkili olmaktadır.

Dökülen petrolü dağıtmanın en büyük avantajı, petrolün su yüzeyinden uzaklaştırılması ve kıyıya sürüklenmesinin önlenmesidir. Dökülen petrolün en zararlı etkileri sığ sularda ve kıyı şeritlerinde görüldüğünden, dağıtıcıların uygulamasının bu habitatlara ve canlı organizmalara büyük fayda sağlamaktadır (Chapman ve diğerleri, 2007). Dağıtıcı kullanımının yarattığı en büyük risk, deniz canlılarının dağıtıcı kullanılmadığı takdirde karşılanamayacak kadar yüksek dozda dağıtılmış toksik ürüne (ve dağıtılmış petrolün suda çözünen bileşenlerine) maruz kalacak olmalarıdır. Dağılmış petrole maruz kalan organizmalara verilen zararın derecesi, maruz kalma koşullarının (dağılmış petrol konsantrasyonu, maruz kalma süresi ve dağılmanın seyrelmeye oranı) bir fonksiyonudur ve bu tür organizmaların dağılmış petrole olan duyarlılığı ile yakından ilişkilidir (French-McCay ve diğerleri, 2019). Dağılan petrolün deniz yaşamı üzerinde toksik etki yaratma potansiyeli vardır. Bu potansiyel ancak dağılan petrol uzun süre kalıcı olacak kadar yüksek konsantrasyonlara ulaştığında kendini gösterecektir. Birçok durumda, uygulama öncesinde ulusal makamlarla istişare halinde dağıtıcıların kullanılmasının net çevresel ve ekonomik faydalarının dengeli bir şekilde değerlendirilmesi gerekecektir (Koubrak, 2017). Örneğin, belirli bir döküntüde, kıyı olanaklarını, deniz kuşlarını ve gelgit arası deniz yaşamını korumak için dağıtıcıların kullanılmasıyla elde edilen fayda, balık stoklarının geçici olarak lekelenme potansiyeli gibi dezavantajlardan daha ağır zarar yaratabilmektedir. Ancak, başka bir döküntü senaryosunda, dağılan petrolün mercan resifleri, su girişleri veya balık yumurtlama alanları gibi kaynaklar üzerindeki potansiyel etkileri, dağıtıcı uygulamasının tavsiye edilmediği anlamına gelebilmektedir (Adofo ve diğerleri, 2022). Dağıtıcı kullanımına ilişkin karar verme sürecini etkileyen faktörler genellikle açık ve net değildir. Bu kararın verilmesi, mevcut diğer müdahale seçeneklerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini, maliyet etkinliği ve kirlilik hasarına karşı koruma için önceliklerin belirlenmesini gerektirmektedir. Bu yüzden, farklı sahalarda farklı koşulları içeren senaryolarda dağıtıcı kullanımı İngilizcesi "*Net Environmental Benefit Analysis-NEBA*" olrak bilinen Türkçe 'ye "*Net Çevresel Fayda Analizi-NÇFA*" olarak çevrilen yaklaşımı ile başarılı bir şekilde yürütülebilmektedir (Brude ve diğerleri, 2004). Genel olarak, bir petrol döküntüsüne yanıt olarak dağıtıcı kullanma kararı, döküntünün yeri ve boyutu, çevre ve vahşi yaşam üzerindeki potansiyel etkisi ve diğer müdahale seçeneklerinin

mevcudiyeti dahil olmak üzere bir dizi faktöre bağlı olacaktır (McCay ve Graham, 2014). Her müdahale seçeneğinde olduğu gibi, dağıtıcıların kullanımının potansiyel fayda ve sakıncalarını tartmak ve bunları yalnızca yürürlükteki tüm yönetmelik ve yönergelere uygun olarak kullanmak önemlidir (Addassi ve diğerleri, 2005).

Petrol döküntüsü kimyasallarının onaylanmasına yönelik değerlendirme süreci üç aşamaya dayandırılmaktadır (Koops, 2004). Bunlar;

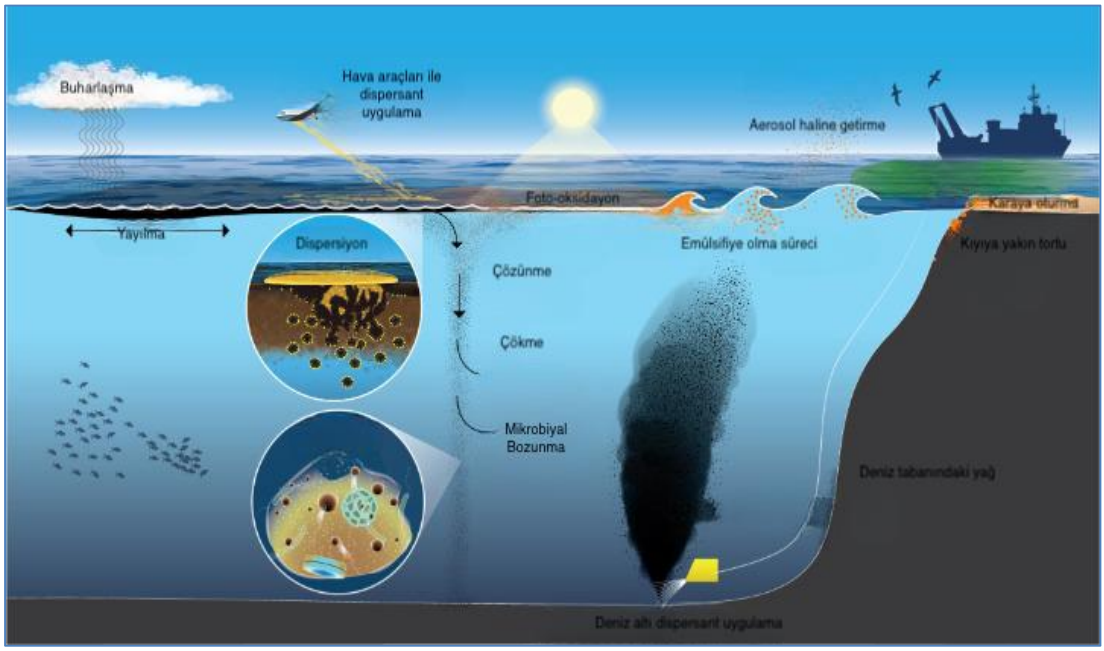
- Petrol döküntüsü müdahalesinden önce ürünlerin onaylanması: Ürünlerin etkinliği ve tehlikeliliği (toksisite, biyolojik birikim, kalıcılık) konusunda test edilmesi gerekmektedir.
- Bürokratik işlemler ve onay süreci: Bir petrol döküntüsü meydana geldikten hemen sonra ancak gerçek petrol döküntüsü müdahalesinden önce kullanım onayı gerekmektedir. Kazanın meydana geldiği mevkiye özgü parametreler, petrol döküntüsünün türü ve boyutu, çevresel fayda vb. temelinde değişkenler göz önünde bulundurulmalıdır.
- Uygulama sırasındaki güvenlik: Müdahale sırasında, etkili ve güvenli bir arıtma sağlamak için uygulama ve güvenlik hususları hakkında bilgi gereklidir.

Dağıtıcı maddelerin kullanılıp kullanılmayacağına ilişkin karar nadiren nettir ve mevcut farklı müdahale seçeneklerinin avantajları ve sınırlamaları, farklı kaynakları kirlilik hasarından korumak için çelişen öncelikler ve maliyet etkinliği arasında bir denge kurulmasını gerektirmektedir (Coelho ve diğerleri, 2015). 5312 sayılı ilgili mevzuat gereği kaza sonucu oluşan petrol kirliliğine müdahalede, su kaynaklarına dağılan petrolün çöktürülmesinde veya kimyasal dağıtıcıların kullanılarak seyreltilmesinde Bakanlıktan onay alınması zorunluluk arz etmektedir. Dağıtıcı kullanımına yönelik özel şartlar bulunmakta ve yalnızca ön onay alan ürünlerin kullanımına müsaade edilmektedir. Bakanlıktan izin alınmadan dağıtıcı ürünlerin kullanılması kesinlikle yasaktır ve kullananlara cezai işlem uygulanmaktadır.

Kimyasal yöntemler, dalgalı denizler, uzak yerler veya sınırlı erişilebilirliğe sahip alanlar gibi fiziksel olarak ulaşılması zor alanlarda kullanılabilir. Bu avantaj, petrol döküntüsü müdahale çabalarının potansiyel etkinliğini artırır. Kimyasal yöntemler daha kapsamlı bir müdahale için fiziksel yöntemlerle birlikte kullanılabilir. Örneğin, petrol tabakalarını parçalamak için dağıtıcılar uygulanabilir, bu da

sıyırıcıların veya sorbentlerin petrolü su yüzeyinden çıkarmasını kolaylaştırır. Kimyasal yöntemler, belirli endişe alanlarını hedeflemek için stratejik olarak uygulanabilir. Örneğin, dağıtıcılar hassas habitatlar veya kıyı bölgeleri için daha yüksek risk oluşturan petrol tabakalarına yönlendirilebilir. Bu hedefli uygulama, müdahale çabalarının önceliklendirilmesine ve potansiyel ekolojik ve ekonomik zararların azaltılmasına yardımcı olur. Dağıtıcıların hızlı bir şekilde uygulanması, döküntünün yayılmasını kontrol altına almak ve en aza indirmek için çok önemli olabilir. Kimyasal yöntemlerin de dikkate alınması gereken hususları ve potansiyel çevresel etkileri olduğunu unutmamak önemlidir. Dağıtıcıların kullanımı, uygun ve etkili bir şekilde uygulanmalarını sağlamak için düzenlemeler, bilimsel bilgi ve sahaya özgü koşullar tarafından dikkatlice değerlendirilmeli ve yönlendirilmelidir. Ayrıca, kimyasal yöntemlerin seçimi ve uygulanması, döküntü özelliklerinin, potansiyel risklerin ve genel müdahale stratejisinin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına dayanmalıdır (Tamis ve diğerleri, 2012; Walker ve diğerleri, 2018b; Adofo ve diğerleri, 2022). Şekil 19'da dağıtıcı kullanımına yönelik bir görsel yer almaktadır.

Şekil 19: Yüzey ve Deniz Altı Dağıtıcı Enjeksiyonu



Kaynak: Quigg ve diğerleri, 2021.

Şekil 19'da görüleceği üzere, dispersantları bir müdahale stratejisi olarak kullanmanın amacı, deniz yüzeyine dikey petrol taşınmasını ve müteakip yüzey tabakalarının oluşumunu azaltmak ve müdahale edenlerin sağlıkları için zararlı olabilecek ve onları olumsuz yönde etkileyebilecek uçucu organik bileşiklere (Volatile Organic Compounds-VOC) maruz kalmalarını azaltmaktır.

Kimyasal dağıtıcılar; sırtta taşınabilen teçhizat sistemleri veya tekne, sabit kanatlı uçak ve helikoptere kurulu püskürtme düzenekleri sayesinde açık deniz sahalarında kullanılabilmektedir. Sabit kanatlı küçük tipte uçakların 250 ile 1.000 litre arasında değişen püskürtme tank sistemleri bulunurken, teknelerin 10 ile 30 metre genişliğinde sprinkler kanatçıkları sayesinde 1.000 ila 10.000 litrelik kimyasal dağıtıcıları deniz yüzeyine dağıtma işlemi yapabilmektedir (Exxon Mobil, 2014).

Dağıtıcıların mikrobiyal topluluklar üzerindeki etkilerini tam olarak anlamak ve dağıtıcı kullanımının çevre ve insan sağlığı üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkilerini değerlendirmek amacıyla son yıllarda deneysel araştırmacılar gerçekleştirilmektedir. Le Floch ve diğer araştırmacılar (2014) ve Prince (2015), dağıtıcıların deniz yüzeyinden petrolün uzaklaştırılmasında etkili olabileceğini, ancak aktif maddelerinin toksisite riski nedeniyle kullanımlarının kontrol edilmesi gerektiğini öne sürmektedir. Lewis ve Prince (2018) ise, lojistik faydaları ve dökülen petrolün hızlı biyolojik bozunmasını teşvik etmedeki etkinliği nedeniyle dağıtıcıların, Arktik ve diğer buzlu ortamlardaki petrol döküntüsü müdahale planlarına dahil edilmesi gerektiğini öne sürmektedir. Diğer bir araştırmada ise, DWH olayı sırasında, mümkün olduğunca fazla petrolün hassas kıyı şeridi habitatlarına ulaşmasını önlemek için dağıtıcıların kullanıldığını ve dağıtıcıların kullanımının balıklar veya karidesler üzerinde önemli bir toksisite riskine yol açmadığını bildirmektedir (Cho ve Ha, 2012). Genel olarak literatür, petrol döküntüleri sırasında dağıtıcıların kullanımının dikkatle değerlendirilmesi gerektiğini ve uzun vadeli etkilerini tam olarak anlamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Dağıtıcıların yanı sıra kimyasal müdahalede kullanılan ve petrolün dağılım ve emülsiyon sürecine etki eden farklı tipte kimyasal maddeler de bulunmaktadır (Fingas, 2012; Silva ve diğerleri, 2022b). Literatürde katılaştırıcılar olarak bilinen kimyasal maddeler, petrolün geri kazanımını kolaylaştırmak için petrolün viskozitesi özelliğine etki etmektedir. Çünkü bu tür ürünler, su yüzeyinde mono moleküler bir yapı

oluşturarak yüzey gerilimini azaltmakta ve petrol tabakasının yerinde yakılabilecek kalın bir kütle haline getirmektedir (Bullock ve diğerleri, 2019). Dağıtıcıların/katılaştırıcıların kimyasal stabilitesine rağmen, bu bileşikler biyolojik olarak parçalanma özelliği yoktur ve deniz ortamında uzun süre kalıcı etki bırakmaktadır. Bu nedenle mevcut araştırmalar esas olarak petrol sızıntılarını sudan uzaklaştırmak için ucuz, ekolojik olarak zararsız, biyolojik olarak parçalanabilir dağıtıcı maddeler geliştirmeye odaklanmıştır (Place ve diğerleri, 2016). Bu amaçla, son yıllarda yeşil yüzey aktif maddeler, köpük membranlar, inorganik ve modifiye yüzeyli kumaşlar gibi gelişmiş malzemeler test edilmiş ve petrol-su karışımlarının ayrıştırılması için yeni teknolojiler geliştirilmiştir (Silva ve diğerleri, 2022b). Yapılan çalışmalarda, emülsifiye etme oranı yüksek, düşük zehirliliğe sahip "COREXIT" olarak bilinen organik çözücülerin son yıllarda kullanımının yaygınlaştığı belirtilmektedir (Ivshina ve diğerleri, 2015;).

Emülgatöler ise, petrol ve suyun kararlı emülsiyonlarını oluşturmak için kullanılabilen bir kimyasal türüdür. Emülgatör maddeler, karışımı stabilize ederek ve sıvıların ayrılmasını önleyerek yağ ve su gibi birbirine karışmayan iki sıvının karışmasına yardımcı olan bir kimyasallardır (Osborn ve Akoh, 2004). Emülgatörler, bir sıvının damlacıklarının etrafında bir katman oluşturarak birbirleriyle birleşmelerini önlemektedir ve diğer sıvı içinde dağılmış halde kalmalarını sağlamaktadır. Emülgatörler gıda ve kişisel bakım ürünlerinden boya sanayi gibi endüstriyel uygulamalara kadar geniş bir ürün yelpazesinde kullanılmaktadır. Emülgatör kullanımının faydası, dökülen petrolün viskozitesinin azaltılması ve böylece mekanik geri kazanımın etkinliğinin arttırılmasıdır (Pete ve diğerleri, 2021). Özetle, dağıtıcılar katı partikülleri veya sıvı damlacıkları sıvı bir ortamda dağıtmak için kullanılırken, emülgatörler karışımı stabilize ederek ve ayrılmalarını önleyerek iki karışmayan sıvıyı karıştırmak için kullanılmaktadır. Kimyasal emülgatörlerin kullanımının potansiyel çevresel etkilerini göz önünde bulundurmak ve bunları yalnızca diğer petrol döküntüsü müdahale yöntemleri tükendiğinde son çare olarak kullanmak önemlidir.

Kimyasal arıtma yöntemlerine ait farklı tipte ürünler, petrol sızıntılarından kaynaklanan çevresel etkileri hafifletmek için kullanılmaktadır. Bu kimyasal ürünlerin temel görevleri; yüzen bir petrol tabakasının dağıtılması, jelleştirilmesi, petrolün çökertilmesi, petrol kütlesinin açık sularda ya da etkilenen kıyı şeridinde yakılmasına

yardımcı olma ve kıyı şeritlerini korumak için film oluşturma yer almaktadır (Le Floch ve diğerleri, 2014; Ivshina ve diğerleri, 2015). Petrol döküntülerinin arıtılması ve kontrol altına alınmasına yönelik bu yaklaşımların uygulanabilirliği ve etkililiğine ilişkin en son teknik bilgiler surfaktanlar, polimer bazlı kimyasal ürünler, kimyasal herder ve ajanlardır (Koops, 2004).

Surfaktanlar, petrolün yüzey gerilimini azaltarak suyla daha kolay karışmasını sağlayan yüzey aktif kimyasal maddelerdir. Hidrofilik bir baş ve oleofilik bir kuyruktan oluşan kimyasal surfaktanlar, aniyonik (yağın su ile karışmasını sağlayan negatif yüklü kimyasallar), katyonik (yağı çeken yüzeylere tutunan pozitif yüzey gerilimli maddeler) ve noniyonik (çevre dostu ve nötr özellikte kimyasallar) olarak farklı tiplerde bulunmaktadır (Pete ve diğerleri, 2021; Silva ve diğerleri, 2022b).

Polimer bazlı malzemeler, dökülen petrolün tutulmasına ve uzaklaştırılmasına yardımcı olmak için kullanılan kimyasal arıtma malzemeleridir. Özellikle jel tipindeki polimer maddeler, kayalık kıyı şeritleri ya da bataklıklar gibi geleneksel petrol temizleme yöntemlerinin kullanımının zor olduğu alanlarda etkili olmaktadır (Haridharan ve diğerleri, 2022).

Petrol tabakasının yayılmasını azaltan toplayıcı maddeler ise literatürde "herder" olarak tanımlanan kimyasal maddelerdir (Adamopouloua ve diğerleri, 2016). Bu ürünler döküntü yayıldıktan sonra mümkün olan en kısa sürede uygulanmalıdır. Kimyasal herderler, düşük ila orta viskoziteli yağlar üzerinde daha etkilidir (Fingas, 2012). Kimyasal herderler, yerinde yakma için yağ tabakalarını kalınlaştırmada etkilidir. Van Gelderena ve diğer araştırmacılar (2016) kimyasal herderlerin, buzla kaplı sularda bile petrol tabakalarını etkili bir şekilde tutuşabilir bir kalınlığa ulaştırdığını ifade etmektedir.

Kimyasal arıtma maddeleri olarak bilinen kimyasal ajanlar ise, dökülen petrolün fiziksel ve/veya kimyasal özelliklerini değiştirmek, temizlemeyi ilerletmek, bozunmayı artırmak ya da nesneler ve biyotayla fiziksel teması azaltmak için kullanılmaktadır (Tamis ve diğerleri, 2012). Her bir arıtma maddesinin kendi fırsat penceresi ve kullanılabileceği spesifik dökülme koşulları bulunmaktadır (Fingas, 2012). Tablo 10'da kimyasal müdahale tekniğine ilişkin malzemelerin karakteristik özellikleri, tekniğin kullanımına yönelik avantaj ve dezavantajlar yer almaktadır.

Tablo 10: Kimyasal Müdahale Tekniklerinin Değerlendirilmesi

Müdahale yöntemleri	Karakteristik özelliği		Avantajlar	Dezavantajlar
	Mekanik yapısı	Uygulama tekniği		
Kimyasal Müdahale	Kimyasal dağıtıcılar; su yüzeyinde oluşmuş bir kirleticinin dağıtılarak su içerisinde asılı kalmasının sağlanması ve böylece zararsız hale getirilmesini sağlarlar.	Sırtta taşınabilen teçhizat yardımı ile	Dağıtıcı maddeler petrolün doğal olarak parçalanmasını artırmakta, hızlı bir şekilde seyrelmesine neden olmaktadır. Nihayetinde biyolojik olarak bozunacak olan birçok küçük damlacıklar üreterek petrolü imha etmektedir.	Uygulamalar genellikle büyük petrol döküntüleri ile sınırlıdır. Dağıtıcılar, petrol kirliliğini tamamen ortadan kaldırmazlar, sadece doğal yollarla temizlenmesini hızlandırırlar
	Kimyasal dağıtıcılar; kimyasal yapısı gereği suyun yüzey gerilimini azaltan sıvı karışımlardır	Teknelere kurulu sistemler	Dağıtıcı ürünler kolayca uygulanabilir ve ucuz olmakla birlikte, hızlı müdahale edilebilir.	Sığ, kıyıya yakın şeritlerde ya da hassas bentik kaynakların yaşadığı alanlarda, balık yumurtlama alanlarında, Arktik deniz habitatlarında, mercanlara ve diğer deniz türlerine yönelik sonuçlar hakkında daha fazla araştırma yapılana kadar kullanımına izin verilmesi olası değildir.
	Kullanımda olan üç ana dağıtıcı madde türü: (a) geleneksel dağıtıcı maddeler; (b) konsantre seyreltilmemiş dağıtıcılar ve (c) konsantre seyreltilmiş dağıtıcılar.	Sabit kanatlı uçaklara kurulu sistemler	Dağıtıcılar bir uçak ya da tekne tarafından aerosol haline getirilerek büyük döküntü bölgelerine etkili bir şekilde uygulanabilir.	Dağıtıcı kullanımı sadece açık denizde uygulamaya müsaittir. Dağıtıcılar, petrolün suda çözünmeyen bileşenlerini suda çözünebilir hale getirerek, deniz tabanında birikmesine neden olabilir.
	Bozulmayı ve su sütunundan ayrılmayı teşvik etmek için yağın fiziksel özelliklerini değiştiren nötralize edici kimyasal dağıtıcılarda kullanılır	Helikoptere kurulu sistemler	Kimyasal dağıtıcının büyük kirliliklerde uçak veya helikopterle petrol tabakası üzerine uygun dağıtılabilme özelliği mevcuttur	Çok iyi eğitimli ve deneyimli personel, havaalanı ihtiyacı, müstakil bir uygulama uçağının yüksek maliyeti nedeniyle çok ciddi kısıtları bulunmaktadır
	Yağı konsantre etmek için kullanılan ayrıştırıcı kimyasallar çobanlar(herder) ve kıvam arttıran jel malzemeler	Yerli mikropları tamamlayan ve petrolün biyolojik bozulmasını hızlandırmak için kullanılan besin katkı maddeleri ile dağılım	Dağıtıcılar yüzeydeki petrol tabakalarını ve yüzey altı salınımlarını hızla parçalayarak büyük miktarlarda petrolün kıyı şeritlerini ve hassas habitatları kaplamasını önler.	Buz kütleleri arasında sıkışan dökülen petrolün arıtılması zordur çünkü dağılma ancak dağıtıcıların dökülen petrole temas etmesi halinde gerçekleşebilir

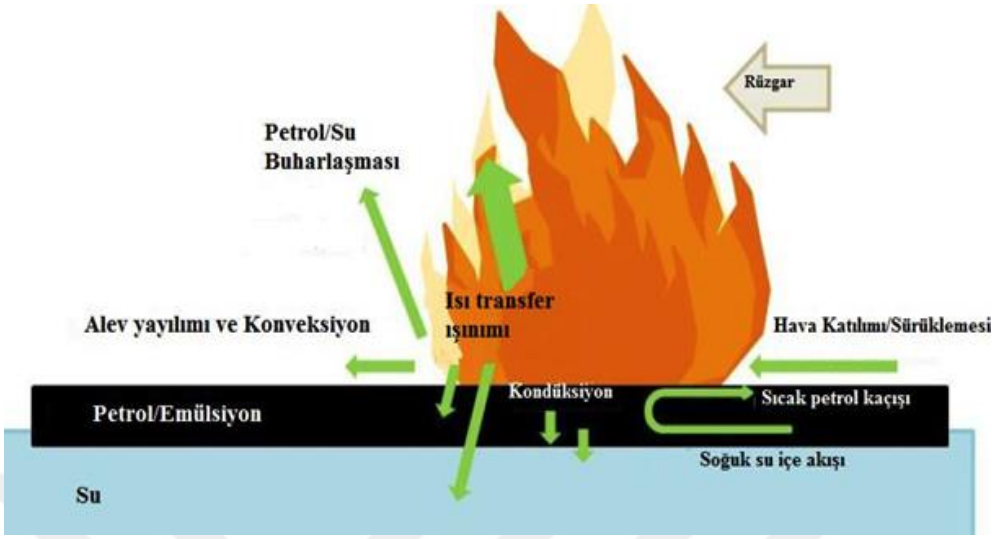
Kaynak: Li ve diğerleri, 2016; Singh ve diğerleri, 2020; Mishra ve diğerleri, 2022; Silva ve diğerleri,2022b.

Tablo 10'da görüldüğü üzere, dağıtıcılar hızlı operasyon, düşük işgücü maliyeti ve büyük alanlarda kullanılmasının yanı sıra çevresel olarak çok ciddi toksik bir ortam yaratmaktadır. Bu nedenle, dağıtıcıların kullanımı her zaman tartışmalıdır ve diğer müdahale yöntemleri ile kullanılması tavsiye edilmektedir. Ayrıca, deniz kirliliği gibi ciddi bir sorunu önlemek için petrol sızıntılarının önlenebilmesi, acil müdahale ekiplerinin hızlı bir şekilde harekete geçebilmesi ve doğal yaşam alanlarına daha fazla özen gösterilmesi gerekmektedir. Diğer müdahale tekniklerinde olduğu gibi, petrol özellikleri, deniz ve hava koşulları, çevresel hassasiyetler ve kullanımına ilişkin ulusal yönetmelikler dikkate alınarak dağıtıcıların kullanımı müdahale ekiplerince özenle planlanmalıdır.

1.6.3. Termal Müdahale Sistemleri

Termal yöntemler, petrolü çevreden uzaklaştırmak için ısı kullanan bir tür petrol döküntüsü müdahalesidir. Bu yöntemler büyük miktarlarda petrolün sudan ve kıyı şeridinden uzaklaştırılmasında etkili olmaktadır. Termal yöntemler fiziksel veya kimyasal yöntemler kadar yaygın olarak kullanılmasa da belirli senaryolarda çeşitli avantajlar sunarlar. Petrol döküntüsüne müdahale için iki ana termal yöntem türü vardır. Olay yerinde yakma tekniği (In- situ burning), petrolün yangına dirençli bariyerler ile sınırlandırılarak kontrollü olarak yakılmasını içeren termal bir müdahale tekniğidir (Fingas, 2012). Yerinde yakma, bir petrol sızıntısının çevresel etkilerini azaltmak için, lojistik açıdan basit, hızlı, ucuz ve kontrol edilirse nispeten güvenli bir müdahale sunmaktadır. Doğru koşullar altında gerçekleştirildiğinde, sahada yakma işlemi dökülen petrolün hacmini hızla azaltmaktadır ve geri kazanılan kirleticinin toplanması, depolanması, taşınması ve bertaraf edilmesi ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır (Silva ve diğerleri, 2022b). Termal desorpsiyon yöntemi ise, petrolü sudan ve kıyı şeridinden buharlaştırmak için ısının kullanıldığı bir yöntemdir. Termal desorpsiyon, petrol döküntüsüne müdahale için daha az yaygın bir termal yöntemdir. Sudan büyük miktarlarda petrolün uzaklaştırılmasında yerinde yakma kadar etkili değildir, ancak çevreye daha az zararlıdır. Termal desorpsiyon genellikle temizliğin etkinliğini en üst düzeye çıkarmak için fiziksel ve kimyasal yöntemler gibi diğer yöntemlerle birlikte kullanılır (Araruna ve diğerleri, 2004). Şekil 20'de olay yerinde yakma tekniğine dair ısı transferini gösteren bir çizim yer almaktadır.

Şekil 20: Olay Yerinde Yakma (In- situ burning)



Kaynak: Fritt-Rasmussen, 2010'dan Türkçe'ye uyarlanmıştır.

Şekil 20'de görüleceği üzere ısı, hafif hidrokarbonlar gibi petrolün uçucu bileşenlerinin buharlaşmasını hızlandırabilir. Termal yöntemler petrol tabakasının sıcaklığını yükselterek doğal buharlaşma sürecini hızlandırabilir ve ortamdaki toplam petrol hacmini azaltabilir. Bu özellikle buharlaşmanın önemli bir doğal akıbet süreci olduğu hafif ham petrol döküntülerinde faydalı olabilir. Yerinde yakma tekniğinin uygulanması, hem kısa vadeli petrol sızıntı risklerini hem de flora ve faunaya yönelik uzun vadeli kalıcı toksisite risklerini en aza indirmektedir. Dökülen petrolü kirli ortamdan uzaklaştırmada çok başarılı olmasına rağmen, çevre, biyoçeşitlilik ve halk sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır (Al-Majed ve diğerleri, 2012; Ivshina ve diğerleri, 2015). Petrolün yakılmasından kaynaklanan potansiyel hava kirleticileri arasında partikül madde, azot oksit, kükürt dioksit, karbon monoksit, karbon dioksit, uçucu organik bileşikler ve çeşitli polisilik aromatik hidrokarbonların karışımları bulunmaktadır (Ekperusi ve diğerleri, 2019). Bu riskler nedeniyle, dökülen petrolün ekolojik olarak hassas yaşam alanlarına ve kıyı bölgelerindeki rekreasyonel faaliyetlere ulaşmasını önlemek için genellikle son çare olarak uygulanan müdahale tekniğidir (Mullin ve Champ, 2003). Fakat, fiziksel ve kimyasal uygulamanın pratik olarak imkânsız olduğu buzul koşullarında petrolün yakılması, mümkün olan tek uygun müdahale tekniği olmaktadır (Wegeberg ve diğerleri, 2017; Wilkinson ve diğerleri, 2017). Çeşitli çalışmalardan elde edilen sonuçlar, bariyer içerisinde

sınırlandırılan petrolün %50 ila %99'unu gidermede etkili olabileceğini göstermiştir (Ekperusi ve diğerleri, 2019). Başarılı bir yerinde yakma operasyonu için, petrolün yoğunluğu, tabaka kalınlığı, emülsifiye derecesi, rüzgâr hızı ve dalga hareketi dikkatle gözlemlenerek planlama yapılmalıdır. Termal yöntemler, müdahale ekiplerinin petrol döküntüsünden etkilenen belirli alanlara veya nesnelere odaklanmasına olanak tanıyan hedefli arıtma yetenekleri sunar. Isı, petrolle kirlenmiş yüzeylere veya lokalize petrol lekelerine tam olarak uygulanabilir, böylece çevredeki alanlar üzerindeki etki en aza indirilir ve tedavi edilmesi gereken toplam alan azaltılır. Termal yöntemlerin uygulanmasının güvenlik, çevresel etki ve petrol döküntüsünün spesifik özellikleri gibi faktörlerin dikkatle değerlendirilmesini gerektirdiğini unutmamak önemlidir. Termal yöntemlerin fizibilitesi ve uygunluğu döküntünün ölçeğine, konumuna ve uygun ekipman ve uzmanlığın mevcudiyetine bağlıdır.

1.6.4. Biyolojik Müdahale Sistemleri

Petrol müdahalesinde biyolojik yöntemler, petrol döküntüsünün etkilerini temizlemek veya azaltmak için canlı organizmaların veya biyolojik süreçlerin kullanılmasını içermektedir (Dave ve Ghaly, 2011; Fingas, 2012; Exxon Mobil, 2014). Bazı yaygın biyolojik müdahale teknikleri şunlardır:

- Biyoremediasyon: Dökülen petrolü karbondioksit ve su gibi daha az zararlı bileşiklere parçalamak ve metabolize etmek için mikroorganizmaların kullanılmasıdır. Bu süreç, petrol yiyen bakterilerin büyümesini teşvik etmek için ortama azot ve fosfor gibi besinler eklenerek uygulanmaktadır. Biyoremediasyon hem açık deniz hem de kara döküntüleri için kullanılabilir, ancak etkinliği dökülen petrolün türü, çevresel koşullar ve döküntünün boyutu gibi faktörlere bağlıdır.
- Fitoremediasyon: Petrolü çevreden uzaklaştırmak için çeşitli bitki türlerinin kullanılmasını içermektedir. Islah için bitki türleri, dokularında yüksek düzeyde kirletici madde biriktirme veya parçalama potansiyeline sahiptir. Fitoremediasyon sulak alan ve kıyı şeridi ortamlarındaki küçük döküntüler için etkili olmaktadır.

- Mikoremediasyon: Çevre temizliği için mantar uygulamasıdır. Ölü ve çürüyen maddeler üzerinde hareket etmenin yanı sıra mantarlar, organik maddede bulunan yağ bileşenlerini parçalama kapasitesine ve önemli miktarda inorganik kirletici madde biriktirme özelliğine sahiptir.
- Biyostimülasyon: Dökülen petrolü parçalayabilecek doğal bakterilerin büyümesini teşvik etmek için ortama besin maddelerinin eklenmesini içermektedir. Bu teknik, biyoremediasyon gibi diğer yöntemlerle birlikte etkili olmaktadır.
- Biyolojik Büyütme: Biyo-yükseltme, doğal biyoremediasyon sürecini geliştirmek için ortama özel bakteriler veya diğer mikroorganizmaların eklenmesini içermektedir. Bu teknik, petrol yiyen bakterilerin doğal popülasyonlarının mevcut olmadığı veya dökülen petrolü parçalayamadığı döküntüler için etkili olmaktadır (Federici ve Mintz, 2014; Ekperusi ve diğerleri, 2019; Singh ve diğerleri, 2020; Silva ve diğerleri, 2022b).

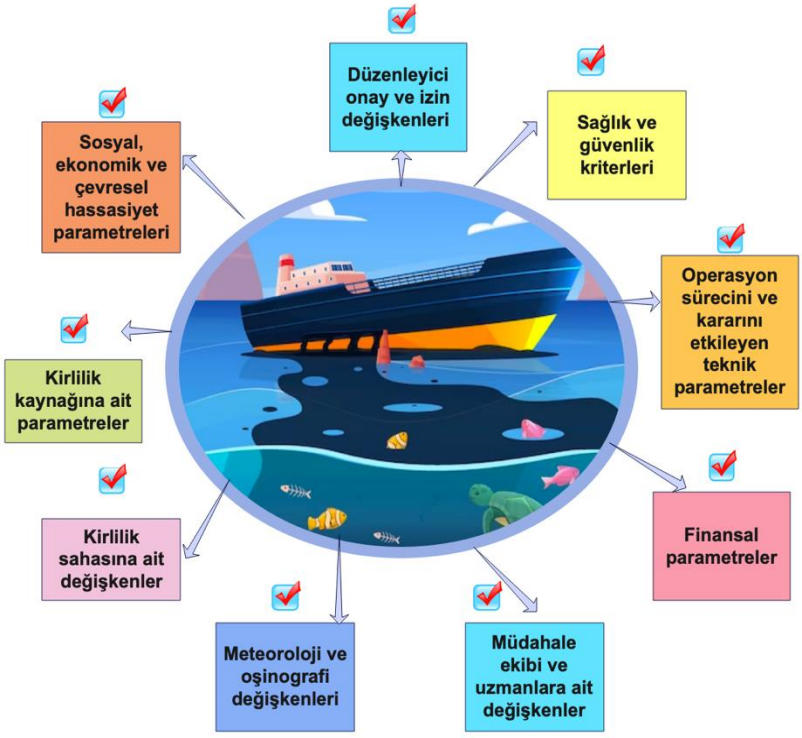
Biyolojik müdahale tekniklerinin etkili olduklarından ve çevreye ek zarar vermediklerinden emin olmak için dikkatli bir değerlendirme ve planlama yapılmalıdır. Biyolojik müdahale teknikleri, bir petrol döküntüsüne en etkili müdahaleyi sağlamak için fiziksel ve kimyasal yöntemler gibi diğer müdahale stratejileriyle birlikte kullanılmalıdır (Ivshina ve diğerleri, 2015).

Her müdahale tekniğinin kendine özgü uygulanabilirlik ve etkililik performansı bulunmaktadır. Fakat, hangi tekniğin uygulanacağı ve ne zaman uygulanacağı konusunda nihai karar, dökülmeye özgü karakteristik özelliklere ve sahaya özgü farklı değişkenlerin değerlendirilmesine bağlıdır (Wenning ve diğerleri, 2018). Etkin ve başarılı bir petrol kirliliği müdahalesi, operasyona ait tüm aşamaların verimli ve etkin zaman yönetimi olmadan gerçekleştirilemez (Stevens ve Aurand, 2008; Neves ve diğerleri, 2015). Bu nedenle, belirli bir sızıntı için hangi müdahale stratejileri kombinasyonlarının kullanılacağına karar vermek, bilimsel verilerin güvenilirliğine bağlı, çevresel değerlerin ağırlığında, riske dayalı bir süreç haline gelmektedir (Wenning ve diğerleri, 2018). Bu süreçte; dökülmenin büyüklüğü, olası çevresel davranışı değerlendirilmeli ve minimum çevresel hasarı verecek müdahale teknikleri uygulanmalıdır (Efroymson ve diğerleri, 2004; Iazeolla ve diğerleri, 2017).

1.7. PETROL KİRLİLİĞİ MÜDAHALESİNDE KULLANILAN TEKNİKLERİN SEÇİM SÜRECİ

Gerçek bir acil durum olayını önceden tanımlamak imkânsız olduğundan, iyi bir müdahale çerçevesi ölçeklenebilir (değişen büyüklükteki olaylarla başa çıkabilen), esnek (değişen koşullara cevap verebilen) ve uyarlanabilir (gerektiği gibi değiştirilebilen) yapıda olmalıdır (Stevens ve Aurand, 2008; Word, 2014). Ek olarak, uygulanan müdahale tekniğinin yeteneği, genellikle potansiyel müdahalelerin farklı zaman aralığını tanımlayan bir dizi senaryoya bağlı olarak, potansiyel risklerin gerçekçi bir değerlendirmesine de bağlıdır (Koubrak, 2017). Mevcut çeşitli petrol sızıntısı müdahale seçeneklerinin uygulanması ve etkinliğine dair genel parametreler Şekil 21'de özetlenmektedir.

Şekil 21: Petrol Kirliliği Müdahale Tekniği Seçimini Etkileyen Temel Parametreler



Kaynak: Literatürden elde edilen bilgiler ışığında yazar tarafından oluşturulmuştur.

Müdahale operasyonları, müdahale kaynaklarının uygun olmayan şekilde tahsis edilmesi ve petrol sızıntı kaynağının miktarı ve özelliklerinin bilinmemesi

nedeniyle genellikle kısıtlanmaktadır. Bu sorunlar, sınırlı kaynakları (ör. bütçe, zaman ve müdahale kapasitesi) kullanarak temizleme uç noktalarına etkili bir şekilde ulaşmaya yönelik stratejik veya taktiksel kararları etkilemektedir. Bu yüzden müdahale rotaları, kaynak tahsisi, müdahale etkinliği ve maliyet gibi hususları optimize eden ve en uygun çözümleri sunan karar destek sistemlerine ihtiyaç bulunmaktadır. Mevsimsel koşulları temsil eden saha ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen verilerde dahil olmak üzere, petrolün akıbeti ve etkileri ile döküntü müdahale tekniklerine ilişkin kapsamlı veri setlerini barındıran çevresel karar destek sistemleri kirlilik müdahale eylem planlarının vazgeçilmez unsurlarından birisidir (Wegeberg ve diğerleri, 2017; Blaine, 2022). Bu sistemler, petrol kirliliğine müdahale hazırlığı öncesinde, operasyon yönetiminde ve operasyon sonrası rehabilitasyon sırasında kullanım kolaylığı sağlamaktadır (IPIECA-IOGP, 2015a). Amaçları ise, petrol kirliliği müdahale operasyonu sürecinde maliyeti azaltmak, çevreye duyarlı alanların korunmasını sağlamak ve sosyo-ekonomik alanların petrolden etkilenmesini önleyen optimum müdahale seçenekleri önererek potansiyel etkileri değerlendirmeye yardımcı olmaktadır (Brude ve diğerleri, 2004; Alekseevna ve Seryy, 2015). Ayrıca beklenmedik acil durum planlama aşamasında, belirlenen riskler ve senaryolar için uygun müdahale seçeneklerini belirlemek ve bunlar üzerinde anlaşmaya varmak için paydaş katılımını sağlamakta, ilgili tarafların deneyimi ve bilgisini de operasyon sürecine dahil etmektedir (Koubrak, 2017; Blaine, 2022).

Müdahale tekniği seçimine etki eden değişkenler, Ek-1 çerçevesince ayrıntılı olarak sıralanmakta ve ilgili literatüre ait makalelerin temel amaçları, araştırma örneklem ve metotları özetlenmektedir. Bu makaleler petrol kirliliğine müdahale tekniklerinin seçilmesi için bir dizi kriter sunmaktadır. Tuler ve diğer araştırmacılar (2007), petrol döküntüsü müdahale değerlendirmesi için hedeflerin ve performans ölçütlerinin seçilmesine yönelik bir çerçeve önermekte ve performans ölçütlerinin seçiminin acil durum planlama çabalarına entegre edilmesinin önemini vurgulamaktadır. Dave ve Ghaly (2011) araştırmasında ise, petrol kirliliği müdahale yöntemlerini maliyet, verimlilik ve vahşi yaşam üzerindeki etki dahil olmak üzere 10 kriter kullanarak değerlendirmektedir. Makalede petrol geri kazanımı için mekanik yöntemlerin ardından biyoremediasyon tekniğinin uygulanması denizdeki petrol döküntüleri için en etkili müdahale olduğu sonucuna varılmaktadır. Prendergast ve

Gschwend (2014), petrol döküntülerini iyileştirmek için kullanılan mevcut teknolojileri gözden geçirmekte ve uygun müdahale tekniği seçiminin petrol türü, döküntü yeri, döküntü boyutu, hava durumu ve yerel düzenlemeler ve standartlar dahil olmak üzere bir dizi faktöre bağlı olduğunu öne sürmektedir. Genel olarak, makaleler petrol kirliliğine müdahale tekniklerinin seçiminin petrolün türü, konumu, hava durumu ve ekonomik ve çevresel hususlar da dahil olmak üzere bir dizi faktöre bağlı olduğunu öne sürmektedir.

1.8. PETROL KİRLİLİĞİ MÜDAHALESİNDE KULLANILAN ÇEVRESEL KARAR DESTEK YAKLAŞIMLARI

Tüm petrol sızıntıları, bir dereceye kadar olumsuz çevresel etkiler üretme potansiyeline sahiptir ve bu etkileri hafifletmek için birçok müdahale stratejisi geliştirilmiştir. Genel çerçevede petrol kirliliği müdahale stratejisi, petrol sızıntısıyla etkili bir şekilde mücadele etmek için tek bir müdahale seçeneğinin veya seçenekler kombinasyonunun kullanımı olarak tanımlanmaktadır (Shi ve diğerleri, 2019). Güvenli ve etkili bir müdahale stratejisi geliştirerek bir petrol sızıntısının ekolojik yapıya, sosyal ve kültürel kaynaklara, insan yaşamına etkisini en aza indirgemek, acil durum planları ve olay yönetiminden sorumlu olanların birincil amacı olmalıdır (IPIECA-IOGP, 2015b). Müdahale operasyonunu yönlendirecek ekibin etkinliği ise, büyük ölçüde sızıntı bilgisinin doğruluğuna, müdahale kaynaklarının mevcudiyetine, ekibin bilgi birikimine ve ayrıca eylemlere bağlı ödünleşimlerin dikkate alınmasına bağlıdır (Liu ve Wirtz, 2006; McCoy ve Salerno, 2010). Bu tür bilgiler, uzun vadeli acil durum planı veya yerinde acil durum müdahale seçenekleri geliştirmek için kullanılmaktadır (IPIECA-IOGP, 2015c).

Petrol kirliliği müdahale süreci, genellikle dinamik, zamana duyarlı ve çok yönlü bir süreçle karakterize edilmekte ve çevre yönetimi ile ortak verileri paylaşmaktadır (Li ve diğerleri, 2016; Hu ve diğerleri, 2020). Petrol türlerinin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin tekdüze olmaktan uzak olması ve dökülmelerin meydana geldiği ortam ve koşulların değişken olması, petrol sızıntılarına etkili bir şekilde müdahale etmeyi karmaşık hale getirmektedir (Koubrak, 2017). Bu belirsizlikler, petrol sızıntılarının özelliklerinden, müdahale ekipmanlarının

verimliliğinden ve çevre koşullarından kaynaklanabilmektedir (Li ve diğerleri, 2021). Bununla birlikte, bir petrol sızıntısı acil durum müdahalesi sırasında karar verme genellikle zorlayıcıdır (Ye ve diğerleri, 2020). Çünkü uygun müdahale stratejilerini belirlemek karmaşık petrol-çevre etkileşimlerinin, belirsizliklerin ve olası müdahale operasyonlarının bilimsel olarak anlaşılmasını ve güvenilir, hızlı ve doğru kararlar ile yönlendirilmesini zorunlu kılmaktadır (Yang ve diğerleri, 2021). Ayrıca, çalışma koşullarının, yönetim uygulamalarının ve mevcut/olası sorunların ve bunlara karşılık gelen güvenlik ve risklere ait analizlerin yapılması da süreci daha da zor hale getirmektedir (Li ve diğerleri, 2016).

Petrol sızıntısına müdahaleyi kolaylaştırmak için birçok ulusal ve uluslararası kural, politika ve düzenlemeler yürürlüktedir; ancak yetersiz karar desteği altyapısı, müdahale etkinliğini sınırlayan en önemli sorun olarak görülmektedir (Davies ve Hope, 2015). Bu yüzden petrol kirliliği müdahale operasyonu başarısı, disiplinler arası ve hesaplamalı petrol sızıntıları modellerinin geliştirilmesine, ilgili çevresel süreçlerin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasına ve karar destek sistemlerinin verimli şekilde kullanımına bağlıdır (Amir-Heidari ve Raje, 2019).

1990'lardan bu yana, ABD Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency-EPA) ve ABD Sahil Güvenlik Komutanlığı (United States Coast Guard USCG), bir petrol sızıntısının erken aşamalarında mevcut olan birincil müdahale seçeneklerinin göreceli avantajlarını ve dezavantajlarını incelemek ve petrol sızıntısı etkilerini değerlendirmek için karşılaştırmalı risk metodolojisini içeren çevresel karar destek sistemlerine bağlı yaklaşımlar kullanılmaktadır (Baker, 1995; IPIECA-IOGP, 2015a).

Literatür incelendiğinde, petrol kirliliği müdahalesinde tercih edilen ilk çevresel karar destek yaklaşımı ise Net Çevresel Fayda Analizi (NÇFA)'dir (Wenning ve diğerleri, 2018). 37.000 ton petrol sızıntısı ile sonuçlanan Exxon Valdez kazasında tercih edilen NÇFA yaklaşımı, petrolün kıyıda nüfus etmiş alandan temizlemek için basınçlı ve sıcak pulvarize suyun kullanımında tercih edilmiştir (IPIECA-IOGP, 2015a). Literatürde İngilizce karşılığı olan "*Net Environmental Benefit Analysis-NEBA*" olarak da kısaltılan NÇFA, petrol kirliliği operasyon planlaması ve müdahalesi sırasında müdahale ekipleri tarafından potansiyel müdahale tekniklerinin maliyet ve çevresel faydalarını karşılaştırma imkânı sağlayan, çevresel kaynaklar ve diğer

paylaşılan hassas alanların etkilenmemesi için kirlilik müdahalesinde zararlı etkilerin değerlendirilmesini aşamalarını içeren (Stevens ve Aurand, 2008) ve operasyon sürecinde verilecek kararların minimum maliyet, maksimum verimlilik temeline dayanan yapılandırılmış bir yaklaşımdır (Baker, 1995; Efroymson ve diğerleri, 2004). Sonuçta NÇFA, kaza sonrası müdahale operasyonu ve rehabilitasyon süreçlerinde ekolojik maliyetinin dengelenmesi ve çevresel etkinin azaltılması için ihtiyaç duyulan risk temelli karar destek yaklaşımı olarak literatüre geçmiştir (Maughan, 2013). NÇFA yöntemi, petrol kirliliği gibi çevresel sorunlarla mücadelede çevresel maliyetler ve faydaların dikkate alınarak daha bilinçli kararlar alınmasına yardımcı olmaktadır (Alekseevna ve Seryy, 2015).

NÇFA ile ortak noktaları olan, müdahale kaynakları optimizasyonu ile ilgili birkaç farklı teknik vardır ve her biri farklı anlamlara sahiptir. Bunlar genellikle sızıntı müdahale planlayıcıları ve düzenleyiciler tarafından birbirinin yerine kullanılmaktadır (Word, 2014). Bunlar arasında; Ekolojik Risk Değerlendirmesi (Ecological Risk Assessment-ERA), Konsensüs Ekolojik Risk Analizi (Consensus Ecological Risk Assessment-CERA), Dökülme Etkisi Azaltma Değerlendirmesi (Spill Impact Mitigation Assessment-SIMA) ve Net Çevresel Hasar ve Müdahale Değerlendirmesi (Net Environmental Damage and Response Assessment-NEDRA) yer almaktadır. ABD Çevre Koruma Ajansı ve ABD Sahil Güvenlik Komutanlığı, ERA veya CERA ifadelerini sıklıkla kullanmaktadır (Aurand ve diğerleri, 2000). SIMA, Kuzey Kutbu'nda ve farklı hassas alanlarda kullanılan çeşitli petrol sızıntısı risk değerlendirme yöntemleri için bütünleşik bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır; fakat NÇFA'dan farklı olarak herhangi bir metodoloji uygulanmamaktadır. Exxon Valdez kazasında tercih edilen NÇFA sürecinin yaygın olarak kullanılmasından sonra, NÇFA çerçevesinin gelişimini yansıtan ve temelde ekolojik fayda değerlendirmesine baz alan SIMA süreçlerinin ortak optimizasyon süreçleri ile literatüre katkı sağladığı ifade edilmektedir (Taylor ve Cramer, 2017; IPIECA-API-IOGP, 2018). NÇFA ve ERA arasındaki en büyük fark ise, ERA'nın ekolojik hususlara odaklanması ve normalde sosyal, kültürel veya ekonomik konulara değinmemesidir. NÇFA'nın genellikle ek insan unsurlarının en azından bir kısmını veya tamamını içermesi diğerlerine göre üstünlüğünü ortaya koymaktadır (Wenning ve diğerleri, 2018). Walker ve diğer araştırmacıların (2018a) yılında yapmış olduğu çalışmada CERA ise, yaban hayatı

popülasyonunun ve habitat alanlarının petrole maruz kalma derecelerini yüzdesel olarak ifade eden ve beklenen iyileşme süreleri hakkında tahminleme yapma imkânı sağlayan çevresel karar destek sistemlerinden biri olarak tanımlanmaktadır. Fakat bu yaklaşımın en büyük sınırlılığı, bölgeye özgü derin bilgisi olan uzmanların ve paydaşların operasyonel süreçlerde yer alması gerektiği ve bilgi boşluğunda çok büyük ekosistem kayıplarının yaşandığıdır. Daha sıcak sulardaki yeni yaklaşımlar arasında görülen kantitatif SIMA (Quantitative Spill Impact Mitigation Assessment-Q-SIMA) ve kuzey Meksika Körfezi'ndeki derin su kuyusu patlamaları için deniz altı dağıtıcısının etkinliğini incelemek üzere geliştirilen ve kuzey Meksika Körfezi'nde gerçekleştirilen CERA aracı da literatürde yer almaktadır (French-McCay ve diğerleri 2017; Bock ve diğerleri 2018). NEDRA ise, deniz yüzeyi ve kıyı şeridindeki petrolün geri kazanımına yönelik değerlendirmelerde bulunmaktadır. Ayrıca NEDRA, 2000 m^3 yüzey alanına kadar dökülme hacimlerinin senaryo bazlı kimyasal müdahale tekniği yaklaşımı olan dağıtıcıların kullanımına yönelik ekolojik değiş doğuş dengesine odaklanmaktadır (Singsaas ve Lewis, 2011).

1.8.1. Net Çevresel Fayda Analizi Kavramsal Çerçevesi

Gemi kaynaklı petrol kirliliği kazalarında müdahale operasyonunun yönetilmesi, temelde çok aşamalı ve zamana karşı ivedilikle yönetilmesi gereken süreçlerden meydana gelmektedir. NÇFA yaklaşımın genel mantığı, olası risklerin yönetilmesi, maliyetlerin kontrollü şekilde aktarımı, hassas ekosistem yönetimi ve toplum sağlığına potansiyel etkilerin değerlendirilmesine dayanmaktadır (Wenning ve diğerleri, 2018).

NÇFA, petrol kirliliğine dair hazırlık planlaması ve müdahalesi sırasında müdahale topluluğu ve paydaşlar tarafından (sorumlu taraflar, devlet kurumları ve paydaşlar dahil) potansiyel müdahale tekniklerinin çevresel faydalarını karşılaştırmak (Efroymson ve diğerleri, 2004) ve petrol kirliliğinin çevresel etkisini azaltacak en iyi müdahale stratejisini geliştirmek için kullanılan yapılandırılmış bir yaklaşımdır (IPIECA-IOGP, 2015a; Walker ve diğerleri, 2018a). NÇFA, çeşitli müdahale yöntemlerinin kullanılmasının bir sonucu olarak ortaya çıkabilecek çevresel etkilerin analizine dayalı geliştirilen ve belirli bir dökülme senaryosunda uygun müdahale

seçeneklerinin belirlenmesinde karar vericilere bilgi ve seçenek sunma imkânı sağlayan bir yaklaşımdır (Hu ve diğerleri, 2020). Genel olarak NÇFA süreci**,** müdahale tekniklerine karar verme aşamasında, güvenilir veri kaynaklarının sisteme dahil edilmesi sayesinde optimum kararlar alınmasında yardımcı olacak (Aps ve diğerleri, 2009b) ve senaryoların gerçeğe uygun olarak modellenmesine de katkı sağlayacaktır (McCay ve Graham, 2014; Taylor ve Cramer, 2017).

Analizin genel amacı, belirli bir deniz alanındaki bir petrol sızıntısıyla mücadelede çevreye en faydalı müdahale yöntemlerini belirlemektir (Wenning ve diğerleri, 2018). NÇFA, seçilen deniz alanındaki ekolojik açıdan önemli organizmaların duyarlılığı, deniz alanındaki petrol sızıntısının akıbeti ve dağılımına ilişkin tahminler hakkında bilgi vermekte ve müdahalenin etkinliğini değerlendirirken çevresel hassasiyeti maksimum faydaya yönelik çıkarımlar yapmaktadır (Wegeberg ve diğerleri, 2017). Analiz edilen müdahale stratejisinin genel çevresel etkisinin sonucu, seçilen parametreler ve hassasiyet derecesine bağlı olarak elde edilen çevresel kazanç pozitif/olumlu kazanım olarak sonuçlanırsa önerilen müdahale stratejisinin uygulanabilir olduğu çıkarımı yapılabilir (Davies ve Hope, 2015).

Karşılaştırmalı risk metodolojisine dayanan NÇFA; bilimsel bulguları, alan bilgisini, doğal kaynak altyapısını kullanmakta; uzmanların görüş ve deneyimlerini bütünleştirerek etkili bir süreç yönetimi sağlamaktadır (Walker ve diğerleri, 2018a). Farklı petrol yayılım senaryoları için NÇFA'nın kullanımı; müdahale seçeneklerinin etkinliği ile bunların çevre üzerindeki etkileri arasındaki ödünleşim kararını içeren uzman görüşlerine dayanmaktadır (Reynolds, 2014; Iazeolla ve diğerleri, 2017). NÇFA sisteminin birincil odak noktası; mümkün olduğunca kıyıdaki petrol yayılımını sınırlamak ve karaya nüfus eden petrol miktarını azaltmaktır. Bu sürecin asıl hedefi; petrolün verdiği hasarın ekolojik kaygı kaynaklarına (Resources of concern-ROC) yönelik riskini ve ilk 72 saat içinde uygulanabilecek beş müdahale tekniği arasında seçim sürecini değerlendirmektir (Walker ve diğerleri; 2018b). Bu durumda NÇFA, mevcut petrol sızıntısı müdahale seçenekleriyle ilişkili çevresel risk değerlendirmesini yaparken; müdahalenin olmadığı doğal yollarla gözetim/kazanım, mekanik müdahale, termal müdahale, biyolojik ve kimyasal yöntemlerin değerlendirmesini dikkate almaktadır (Addassi ve diğerleri, 2005).

1.8.2. Net Çevresel Fayda Analizi'ne Dair Literatür Çalışması

Denizde kaybolan hidrokarbonun zararlı etkileri, büyük ölçüde dökülen petrolün türüne, hacmine ve etkilenen biyotaya bağlıdır (Zhang ve diğerleri, 2019). Ayrıca her canlı organizma dökülen petrolün fiziksel etkilerine ve toksisitesine karşı farklı direnç düzeylerine sahiptir (Li ve diğerleri, 2016). Çevre sorunlarının bu tür karmaşıklığı ve riski, yalnızca çevre felaketi yönleri ile değil, aynı zamanda karar alma süreçlerinde ihtiyaç duyulan uzmanların ve geniş halk katılımını da gerektiren yeni araçların geliştirilmesini ve uygulanmasını da gerekli kılmaktadır (Lee ve diğerleri, 2016).

NÇFA, birden fazla müdahale alternatifi ile ilişkili net çevresel faydayı karşılaştırmak ve sıralamak için kullanılan bir metodolojidir (Efroymson ve diğerleri, 2004). Petrolle kirlenmiş sahalar için NÇFA, tipik olarak yönetim alternatiflerinin karşılaştırılmasını içermektedir: (1) kirlenmeyi yerinde bırakmak; (2) sahayı geleneksel yöntemlerle fiziksel, kimyasal veya biyolojik olarak iyileştirmek; (3) doğrudan kimyasal kirlenmenin giderilmesine odaklanmayan saha içi ve saha dışı restorasyon alternatifleri yoluyla ekolojik değeri iyileştirmek veya (4) bu alternatiflerin bir kombinasyonu (Walker ve diğerleri, 2018a; Peach ve Taylor, 2021).

NÇFA, petrol kirliliğine müdahale karar sürecinin bir parçası olarak kullanılan, farklı uygulanabilir müdahale stratejilerinin karşılaştırılmasına ve çevreye verilen zararı en aza indirecek seçeneklerin seçilmesine olanak tanıyan yapılandırılmış yaklaşımdır (Iazeolla ve diğerleri, 2017). Bu yaklaşım, bir döküntüden potansiyel olarak etkilenen alanın çevresel, ekolojik ve sosyo-ekonomik hassasiyetlerinin bilinmesine ve önceliklendirilmesi sürecine dayanmaktadır. Uygulanabilir farklı müdahale tekniklerinin faydaları ve dezavantajları arasındaki denge, profesyonel yargıya, her bir değişken için tanımlanmış risk değerlendirme kriterlerine ve tesislerin bağlamına göre özel olarak tasarlanmaktadır. Uyarlanmış risk matrislerine dayalı en son aşamada ise, müdahale için en uygun teknik önerilerek müdahale operasyonu sonlandırılmaktadır (Sergy ve Owens, 2008). Her durumda amaç, petrol kirliliğine müdahale operasyonel yönetiminin başarılı ve sistematik değerlendirmesini, bir dizi istatistiksel verinin toplanmasını ve paydaşlar tarafından bilgilendirilmiş, üzerinde fikir birliğine varılmış ortak bir stratejinin uygulanmasını desteklemektedir (Brude ve diğerleri, 2004).

Literatürde yer alan araştırmalarda ortak fikir NÇFA sürecinin çevresel fayda/maliyet kararlarında etkili bir yaklaşım olduğu ve çevre üzerindeki kısa ve uzun vadeli etkilerinin sınırlandırılmasında verimli sonuçlar verdiğini ifade etmektedir. Baker (1995) ve Baker (1999) NÇFA'yı ekolojik bir perspektiften ele alarak, çeşitli döküntü müdahalelerinin flora ve faunayı etkileyen tüm tekniklerin avantaj ve dezavantajlarını tartan yapılandırılmış bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır. Friant (2007) ekosistem etkilerini değerlendirmek için bir araç olarak NÇFA'nın uygulanmasına dair genel bir bakış sunarken, Pearce ve diğer araştırmacılar (2006) ise çevre politikalarının maliyet ve faydalarını değerlendirmenin zorluklarını tartışmaktadır. Farklı bir görüş açısıyla Atkinson ve Mourato (2008), çevresel kararların genellikle fayda-maliyet düşüncesiyle tutarsız bir şekilde ele alındığına dikkat çekmektedir. Stefan ve Paul (2008) çevrenin korunmasının firmalara ek bir maliyet getirdiği yönündeki geleneksel düşünceye karşı çıkmakta, ancak çevresel ve ekonomik performansın iyileştirilmesinde hala zorlukların olduğunu belirtmektedir. Baca ve diğer araştırmacıların (2005) çalışmasında ise, dağılmış petrolün kıyıya yakın tropik ekosistemler üzerindeki etkileri üzerine 20 yıllık bir saha çalışması uygulamakta ve NÇFA yaklaşımını hassas sahalar üzerinde değerlendirmesini sunmaktadır. Taylor ve Cramer (2017) NÇFA için, petrol sızıntılarının ekolojik, sosyo-ekonomik ve kültürel kaynaklar üzerindeki etkilerini en aza indirmeyi amaçlayan Dökülme Etkisi Azaltma Değerlendirmesi adlı yeni bir metodoloji önermektedir. Aps ve diğer araştırmacılar (2009b) ise, petrol sızıntılarının riskleri ve genel çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde Bayes Ağlarının kullanımını örneklendirmiştir. Genel olarak literatürde yer alan çalışmalar, çevresel proje ve politikaların hem fayda hem de maliyetlerinin dikkate alınmasının ve net çevresel faydalarının değerlendirilmesinde kapsamlı bir çerçeve kullanılmasının önemini ortaya koymaktadır. Tablo 11'de literatürde yer alan NÇFA dair çalışmaların genel özellikleri yer almaktadır.

Tablo 11: Net Çevresel Fayda Analizi'ne Dair Literatür Tablosu

NO	YAZAR	ARAŞTIRMA SAHASI	ARAŞTIRMA METHODOLOJİSİ	ÖRNEKLEM	ARAŞTIRMA AMACI
1	Aps ve diğerleri, 2007	Finlandiya körfezi	PISCES (Potential Incident Simulation Control and Evaluation System), ESI haritalaması, Bayes ağları	Ürün tipi, modelleme zaman aralıkları ve deniz akıntısı ebeveyn düğümler, rüzgâr, dalga boyu, bariyer ve sıyırıcıların kullanımı çocuk düğümler olarak Bayes ağlarında modellenmesi	NÇFA tabanlı kararları kolaylaştırmak için petrol sızıntısı ile ilgili durum değerlendirmesine Bayes ağlarının uygulanabilirliğini araştırmak
2	Aps ve diğerleri, 2009b	Tallin ve Helsinki bölgesi, Finlandiya	PISCES (Potential Incident Simulation Control and Evaluation System), NOAA- National Oceanic and Atmospheric Administration (2002) hassasiyet derecelendirmesi ve haritalama ve Bayes ağları	100 ton orta düzey petrol, rüzgâr (2 m/s) ve akıntı değerleri (0,34 m/s), Nisan ayı iklim koşulları	Petrol sızıntı tehdidini veya olası genel çevresel etkisini değerlendirmede NÇFA temelli kararları kolaylaştırmak için petrol sızıntısı ile ilgili durum değerlendirmesine Bayes çıkarımının uygulanabilirliğini araştırmak
3	Acir ve diğerleri, 2011	Doğu Karadeniz kıyı bölgesi	Çevresel parametreler: kıyı şeridi, akıntı alanı, hava durumu, dalga yüksekliği ve su yoğunluğu, dökülen petrolün fiziksel özellikleri: özgül ağırlık, yüzey gerilimi, viskozite, damıtma eğrisi ve emülsifikasyon özellikleri, dökülme kaynaklarının özellikleri dikkate alınarak PISCES (Potential Incident Simulation Control and Evaluation System) ve Bayes ağları	Senaryo 1: 245 ton 120 saat Ocak-Mart-Haziran-Eylül ayları 6 m/s rüzgâr 1,5 m dalga boyu petrol yayılım modellemesi Senaryo 2: 480 ton 240 saat Ocak-Mart-Haziran-Eylül ayları 6 m/s rüzgâr 1,5 m dalga boyu petrol yayılım modellemesi	Doğu Karadeniz'in kıyı bölgesi üzerindeki olası petrol sızıntısı kazasının son derece olumsuz çevresel etki değerlendirmesini yapmak
4	Fritt-Rasmussen ve diğerleri, 2013	Grönland	ESI haritalaması, Risk değerlendirmesi	En yakın kıyı şeridinden 10 km uzaklık, su derinliği 50 m	Verimlilik analizini ve potansiyel müdahale seçeneklerinin etkisini çevresel bileşenlerin dağılımı ve hassasiyeti ile birleştirerek petrol sızıntısı müdahalesi için stratejiler geliştirmek
5	McCay ve Graham, 2014	Açık deniz	SIMAP (Spill Impact Mapping Model System), hassasiyet analizleri	Senaryo 1: 3,8- 379m^3 petrol, 12 ve 24 saatlik yayılım modellemesi aralığı, sıcaklık maksimum 25 C^0	Kimyasal olarak dağılmış petrolden olumsuz etkilenen olası su hacmini ve yüzen petrolden etkilenen yüzey alanını değerlendirmek için NÇFA yaklaşımını sergilemek
6	Word, 2014	Arktik bölge	Petrol yayılım modellemesi, ESI haritalaması ve risk matrisi	40m^3 ve 400m^3 petrol, 200 metre su derinliği, rüzgâr 12-35 km/h	Kuzey Kutbu için önerilen petrol sızıntılarına müdahale teknolojilerinin değerlendirmeleri ve çevresel etki değerlendirmelerine yönelik analizler gerçekleştirmek
7	Coelho ve diğerleri, 2015	İskoçya	SIMAP (Spill Impact Mapping Model System),ESI haritalaması ve risk matrisi	Senaryo 1: 1.700 m derinlikte, 30 günlük modelleme aralığı,119 m^3 petrol, 83 m^3 dağıtıcı kullanımı Senaryo 2: 2.500 m derinlikte, 30 günlük modelleme aralığı,234 m^3 petrol, 123 m^3 dağıtıcı kullanımı	Doğal zayıflama temel çizgisi üzerinde net bir çevresel iyileştirme sunan yanıt seçeneklerini belirlemek için yapılandırılmış NÇFA yaklaşımını uygulamak

NO	YAZAR	ARAŞTIRMA SAHASI	ARAŞTIRMA METHODOLOJİSİ	ÖRNEKLEM	ARAŞTIRMA AMACI
8	Alves ve diğerleri, 2016	Akdeniz	MEDSLINK (Mediterranean Decision Support System for Marine Safety), ESI haritalaması ve risk matrisi	8,8 m^3 petrol, 1,8 km/h akıntı hızı, 5 km/h rüzgâr	Doğu Akdeniz'deki olası petrol sızıntısı kazalarının hafifletilmesine yardımcı olmak için yeni matematiksel ve jeolojik modeller sunmak
9	Iazeolla ve diğerleri, 2017	Açık deniz petrol kuyu patlaması	Risk matrisi, Petrol yayılım modellemesi	Senaryo: 190-200 m derinlikte en yakın kıyı şeridinden 57 km uzaklık,130 m^3 petrol	NÇFA'nın çeşitli açık deniz platformları, deniz yolları, kara tesisleri ve nakliye faaliyetlerinin petrol sızıntısı müdahale planlayıcıları için uyarlanmasını sağlamak
10	Grote ve diğerleri, 2018	Almanya	Dağıtıcıların müdahale yönteminin kullanımına yönelik doğal yaşam, sağlık ve kıyı ekosistemi açısından etkilerinin değerlendirilmesi için literatür taraması yapmak	15 Mart 2008, 04:00 UTC'de gerçekleşen varsayımsal 2 farklı petrol kirliliği ile sonuçlanan deniz kazası	Alman deniz alanlarında karşılaşılan belirli koşullarla ilgili olarak dağıtıcıların kullanımının riskleri ve faydaları hakkında sonuçlarını özetlemek
11	French-McCay ve diğerleri, 2018	Meksika Körfezi'nde derin kuyu patlaması De Soto Kanyonu	OILMAP (Oil Spill Modeling, Analysis, and Planning), CRA (Comparative Risk Assessment) risk değerlendirme süreci, farklı tip müdahale tekniklerinin karşılaştırmalı analizi	7.154 m^3 petrol, en yakın kıyı şeridinden 222 km uzaklık, 1.400 m su derinliği	Özellikle denizaltı dağıtıcı madde kullanımı ile ilgili olarak dökülmeye müdahale için gerekli rehberliği sağlamak ve karar destek araçları geliştirmek
12	Walker ve diğerleri, 2018a	Hawaii	GNOME (General NOAA Operational Modeling Environment), ESI haritalaması ve risk matrisi	Senaryo: 20 m derinlikte su ve gen yakın kıyı şeridinden 3 km uzaklık,795 m^3 petrol ve farklı modelleme aralıkları	Petrol yayılmasını sınırlamak ve karaya dökülen petrol miktarını azaltmak için NÇFA yaklaşımının değerlendirilmesi
13	French-McCay ve diğerleri, 2019	Meksika Körfezi kuzey bölgesi	OILMAP (Oil Spill Modeling, Analysis, and Planning), CRA (Comparative Risk Assessment) risk değerlendirme süreci, SIMAP (Spill Impact Mapping Model System)	Senaryo 1: 500 m derinlikte su ve güney Louisiana'daki en yakın kıyı şeridinden 63 km uzaklık,19.078 m^3 petrol Senaryo 2: 1.400 m derinlikte su, güney Louisiana'da en yakın sahil şeridinden 92 km uzaklık,7.154 m^3 petrol	Denizaltı dağıtıcı madde kullanımı ile derin su sütununda yaşayan organizmalara karşı artan dağılmış petrol maruziyetlerinin değiş tokuşu sağlanarak müdahale ekiplerine, yaban hayatına (kuşlar, deniz memelileri, deniz kaplumbağaları) ve kıyı şeridi habitatlarına yönelik tahmin edilen petrol maruziyetlerini azaltmak

Tablo 11'de görüldüğü üzere NÇFA yaklaşımının, petrol sızıntılarının çevresel etkilerini değerlendirmek ve en uygun müdahaleyi belirlemek için faydalı bir araç olduğunu öne sürmektedir. NÇFA sürecinde kirlilik sayısal modellemesi, risk değerlendirme yöntemleri, hassas haritalama, kazaların mekânsal analizi, çok kriterli karar verme süreçlerini içeren farklı teknikler ve uzman görüşlerine dayalı nitel yöntemler yer almaktadır. NÇFA sürecinde petrolün yayılım senaryolarının gerçekleştirilmesi için, denize dökülen ürünün cinsi, ürünün fiziksel özellikleri, kazanın mevkisine dair bilgiler, habitatlara olan uzaklık, kaza anındaki meteorolojik veriler ve kıyı şeridinin türü gibi değişkenler bir araya getirilmektedir. Kullanılan veri analiz yöntemlerinde hassasiyet haritalarının oluşturulması için mekânsal analiz araçlarından ArcGIS (Web Geographic Information System Mapping Software), kirliliğin sayısal modellemesi için ise PISCES, OILMAP, SIMAP gibi karar destek sistemleri tercih edilmektedir. NÇFA sürecinin bir diğer adımında yer alan en uygun müdahale tekniğini seçiminde araştırmacılar, paydaşlar ve uzman görüşlerine dayalı risk matrisleri ve çok kriterli karar verme yöntemlerine dair teknikler uygulanmaktadır.

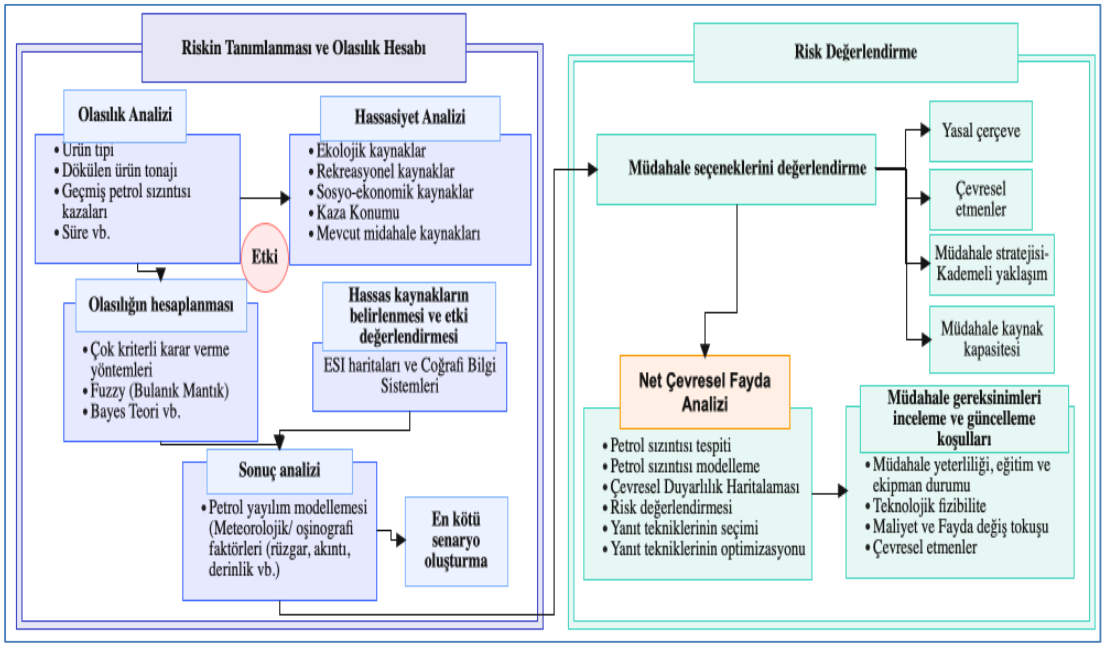
1.8.3. Net Çevresel Fayda Analizi'nin Acil Durum Planlamasındaki Yeri ve Önemi

Acil durum planlaması, çevresel ve sosyoekonomik bilgilerin gözden geçirilmesini, istişareleri ve tüm uygun kuruluşlar tarafından yapılan anlaşmaları içerdiğinden, kararlar en iyi ve en hızlı şekilde alınmalıdır (IPIECA, 2005b). Operasyon yönetiminde görev alacak ekipler, gelişen ve değişen koşullara göre uyarlanabilir, müdahale stratejisi kararlarında en uygun ve çevreci öneriler sunan çevresel karar destek yaklaşımlarından faydalanmaktadır (Coelho ve diğerleri, 2015). Bu nedenle NÇFA yaklaşımı, kirlilik müdahale yönetiminin ve acil durum planlarının ayrılmaz bir parçasıdır (Stevens ve Aurand, 2008; IPIECA-IOGP, 2015a).

NÇFA süreci ekosistemin korunmasına yönelik kamu harcamalarının potansiyel net getirilerinin, mevcut yasal yetkilerin önerilen kriterleri altında sağlanacak olandan daha doğru bir şekilde karşılaştırılmasını ve değerlendirilmesini sağlayan bir süreç olarak da ifade edilmektedir (Schwabe ve diğerleri, 2008). Ayrıca

NÇFA, risk yönetimi seçeneklerini tanımlamak ve ekosistem üzerindeki etkileri değerlendirmek için bir çerçeve sunmaktadır (Kulekeyev ve Nurtayeva, 2020). NÇFA sonuçlarına göre, analiz edilen belirli senaryo için en düşük risk seçeneği veya en düşük risk seçeneklerinin bir kombinasyonu (müdahalenin olmadığı doğal zayıflatma veya gözetim dahil) tercih edilen uygulanabilir teknikler olarak görülmektedir. NÇFA matrislerinde atanan puanların hassasiyeti; petrol yayılım senaryoları, risk değerlendirmesinin sonuçları, açığa çıkan petrolün özellikleri, petrol kirliliği hacimleri ve coğrafi konumların farklı kombinasyonlarını kapsayacak şekilde bir değerlendirme yapılmaktadır (Coelho ve diğerleri, 2015). Önerilen yaklaşım ve risk değerlendirme puanı metodolojisi farklı sondaj/üretim tesislerinin yanı sıra farklı çevresel ortamlara da uyarlanabilmektedir. Bu, değişkenlerin ve kategorilerin çalışma alanının belirli özelliklerini yansıtacak şekilde ayarlanmasını gerektirecektir (Taylor ve Cramer, 2017). Bu nedenle mevcut NÇFA çalışması, dünya çapında benzer çalışmaları destekleyebilecek yaygın olarak uygulanabilir bir metodolojinin geliştirilmesi için değerli bir başlangıç noktasıdır. Şekil 22'de acil durum planı karar verme sürecinin akış şeması ve NÇFA yaklaşımının bu süreçteki yeri gösterilmektedir.

Şekil 22: Net Çevresel Fayda Analizi'nin Acil Durum Planlamasındaki Yeri



Kaynak: IPIECA-IOGP, 2013.

NÇFA süreci, en iyi müdahale yöntemlerinin seçimi için bilgi sağlamanın yanı sıra, bir bütün olarak ekosistem üzerindeki uzun vadeli etkilerin değerlendirmesini, operasyonlar ve olası kurtarma oranlarına ilişkin tahminleri, kıyı temizliği rehabilitasyon sürecine bağlı operasyonel bitiş noktaları hakkında rehberlik sağlamaktadır (Potter ve diğerleri, 2017; Camus ve Smit, 2019).

NÇFA, müdahale seçeneklerinin seçimine ve optimizasyonuna yardımcı olmak için bir kirliliği senaryosu öncesinde ve sırasında uygulanabilmektedir. Müdahale seçeneklerinin seçimi petrol döküntüsünün nerede meydana geldiğine bağlı olarak değişmektedir. Bir kirlilik senaryosu öncesinde, tarafların potansiyel açık deniz, kıyıya yakın veya kıyı şeridi döküntü senaryolarını belirlemelerini yardımcı olmaktadır. Acil durum planlaması aşamasında tercih edilen NÇFA ise, seçilen her bir senaryo için müdahale stratejilerini belirlemek ve üzerinde fikir birliğine varmak için kullanılmaktadır. Bir kirlilik müdahalesi sırasında ise, koşullar geliştikçe bu stratejilerin doğrulanmasına ve ayarlanmasına olanak tanıyarak çevrenin en makul seviyede korunmasını sağlayacaktır (Alekseevna ve Seryy, 2015; Jørgensen ve diğerleri, 2019).

NÇFA'nın müdahale operasyonu planlama süreçlerinde uygulanması, yalnızca acil durum planlamasının kalitesini ve faydasını arttırmakla kalmamaktadır. Aynı zamanda kritik müdahale kaynaklarının mevcudiyetindeki potansiyel boşlukların yanı sıra müdahale etkinliği ve çevresel sonuçlar hakkındaki belirsizliklerin ortadan kaldırılmasına yardımcı olmaktadır (Walker ve diğerleri, 2018a). Boşluklar keşfedildikten sonra, hükümetler ve müdahale kuruluşları daha fazla veri toplayabilir, yeni araştırmaları finanse edebilir ve başka planlama hedefleriyle müdahale kaynaklarının mevcudiyetini düzenleyebilir (IPIECA-IOGP, 2015a). NÇFA ayrıca acil durum planlarının düzenli olarak gözden geçirilmesini ve yeni bilgiler elde edildikçe güncellenmesini sağlamaya da yardımcı olmaktadır. Fakat NÇFA, müdahale stratejilerinin fayda/maliyet takas değerlendirmesinde uzman görüşlerini içeren nitel yaklaşımları (anket, görüşme, delphi tekniği vb.) kullanmaktadır. Karar alma sürecine katılan uzmanlar, eksik bilgi veya deneyimlere dayalı görüşleri nedeniyle operasyon bitiş sonucuna kaçınılmaz bir belirsizlik katabilmektedir. Bu yüzden, operasyon yönetimine katılan kişilerin iyi eğitimli ve tecrübeli olmasına özen gösterilmelidir (Reynolds, 2014).

NÇFA yaklaşımın en büyük kısıtlarından biri, müdahale yöntemlerinin performansını sadece çevresel etkilere dayalı olarak karşılaştırmaktadır. Ancak, sosyoekonomik kaynak hasarı tespitine dayalı hesaplarda etkinliği düşüktür (Coelho ve diğerleri, 2013; Wilkinson ve diğerleri, 2017). Operasyonel uygunluklarını göz önünde bulundurarak, uygun müdahale yöntemlerinin seçilmesine yardımcı olabilecek bir karar destek yaklaşımına ve tüm koşullarda farklı etki değerlendirmesini yapabilen bir altyapıya halihazırda ihtiyaç vardır (Hu ve diğerleri, 2020). Bu yaklaşımların önemli diğer sınırlaması, paydaşların uzmanlık ve deneyimlerine çok güvenilmesi, bilgi boşluklarını ve belirsizlikleri içeren veriler ışığında yönlendirilen uygun müdahale eylemleri üzerinde uzmanların ortak fikir üzerinde anlaşmalarının zaman alıcı olmasıdır (Walker ve diğerleri, 2018b). Planlanan veri eksikliği ve müdahale stratejisinin etkililiğini olumsuz yönde etkileyen muhakeme hatalarının olması bu analizin en büyük kısıtları olarak görülmektedir (Davies ve Hope, 2015). Acil durum planlarında bu derece önemli yer etmesi ve özellikle gerçek koşullara uyarlanması bu tür yaklaşımların hala gelişime açık olduğunun göstergesidir (Matthies ve diğerleri, 2007).

1.8.4. Net Çevresel Fayda Analizi Planlama Aşaması

Müdahale planlama aşamasına dâhil edildiğinde NÇFA, farklı müdahale stratejilerinin temsili yayılma senaryoları için önceden belirlenmesini sağlayan ve beklenmedik durum aşamasında en değerli veri olan zamandan tasarruf sağlayan oldukça bilgilendirici bir araç olarak tercih edilecektir (Iazeolla ve diğerleri, 2017; Bock ve diğerleri, 2018). Bu önlemlere rağmen sektör, dökülmelerin yine de meydana gelebileceğinin farkındadır; bu nedenle, benimsenecek müdahale stratejilerinin seçilimi, ekiplerin eğitimi ve potansiyel etkilerin azaltılmasına yönelik önlemlerin geliştirilmesi için önemli çabalar sarf etmektedir (IPIECA-IOGP, 2015a).

NÇFA yaklaşımı hem planlama aşamasında hem de bir petrol sızıntısı meydana geldikten sonra müdahale operasyonu sırasında da kullanılabilmektedir. Müdahale aşaması sırasında, değişen koşullara anlık uyarlanabilir olması ve müdahale stratejisi belirlenirken müdahale eylemlerini ve operasyon bitiş noktalarını yönetmek için gerektiği şekilde ayarlanabilir olması NÇFA sürecini acil durum planlamanın ayrılmaz

bir parçası haline getirmektedir (Walker ve diğerleri, 2018a; Coelho ve diğerleri, 2015). Bir döküntü meydana gelmeden önce NÇFA, potansiyel döküntülerin risklerini belirlemek ve mevcut müdahale planlarının etkinliğini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu sayede NÇFA, karar vericilere petrol döküntüleriyle ilişkili potansiyel risk ve etkilerin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlayarak, etkili döküntü önleme ve müdahale stratejilerinin bilgilendirilmesini, çevrenin ve ona bağımlı olan toplulukların korunmasına yardımcı olmaktadır (Wegeberg ve diğerleri, 2017). Gerçek bir dökülme olayı sırasında kullanılması amaçlansa da sızıntı olasılığı değerlendirmeleri ve kirlilik tatbikatlarında da kullanılan ve çevresel etki değerlendirmesi hakkında teknik bir temel oluşturmaya yardımcı olmaktadır (Walker ve diğerleri; 2018a). NÇFA yaklaşımı temelde dört aşamadan oluşmaktadır (IPIECA-IOGP, 2015a). Bu adımlar;

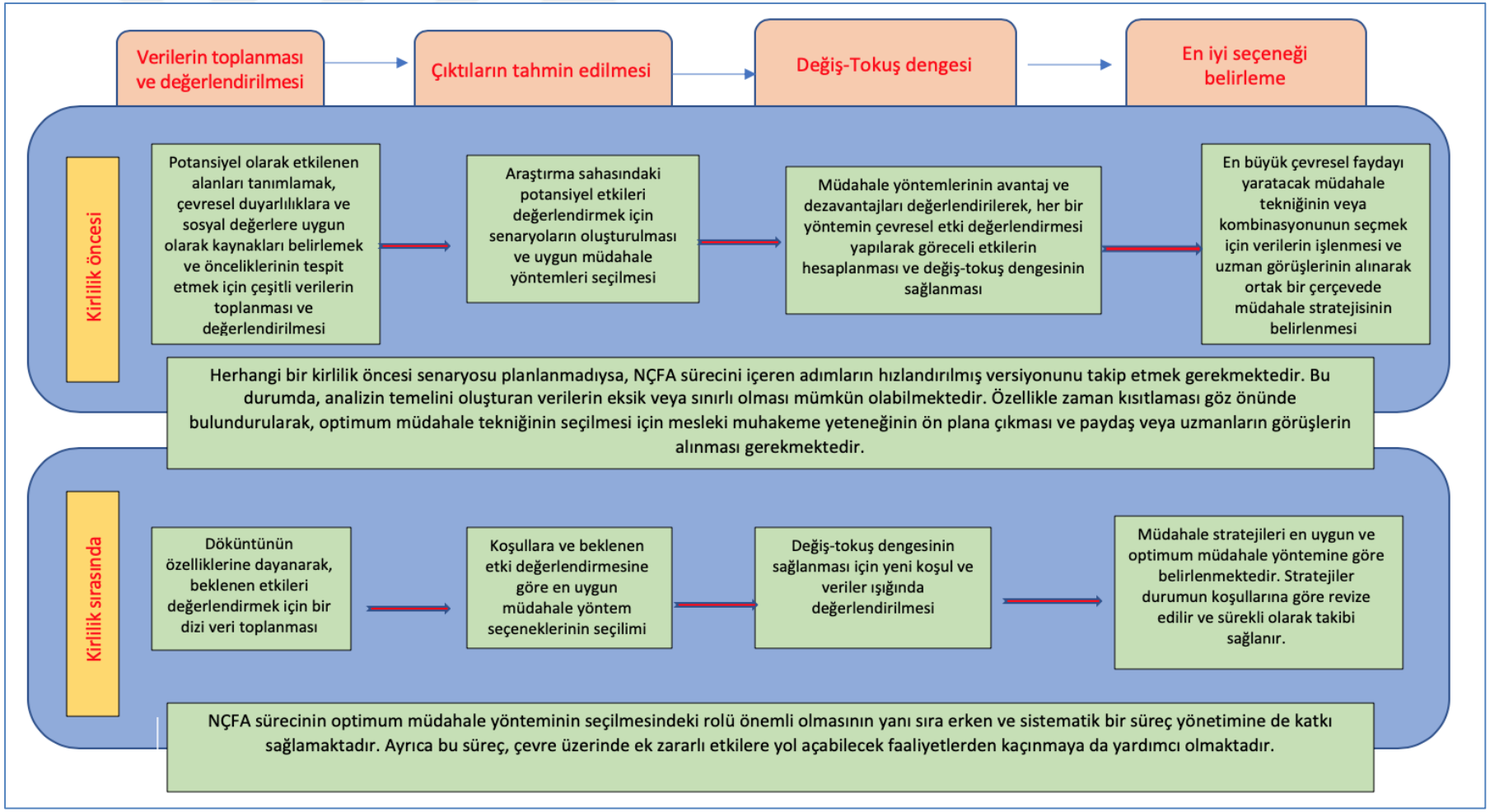
- **Verilerin toplanması:** Bu aşamada, ilgili kirliliğin kapsamı belirlenerek analizin ihtiyaç duyduğu veriler kararlaştırılır. Analizin sınırlarını bu aşamada belirlemek önem arz etmektedir. Çünkü, belirsizliklerin ortadan kaldırılması ve güvenilir veriler gerçeğe uygun bir senaryoların oluşturulmasında yardımcı olacaktır. Çevresel, oşinografi ve bölgeye özgü değişkenler bir araya getirilerek karar destek sistemlerine işlenmesi sağlanır. Ayrıca bu adımda, çevresel hassasiyetlere ve sosyal değerlere dayalı olarak çevresel ve toplumsal varlıkların belirlenmesi ve önceliklendirilmesi gerekmektedir.
- **Çıktıların tahmin edilmesi:** Potansiyel etkileri anlamak için restorasyon hususları da dahil olmak üzere önceki dökülme vakalarını gözden geçirilmesi ve karşılaştırılması bu aşamada gerçekleştirilmektedir. Kirliliğin konumuna bağlı olarak, anlık meteorolojik veriler ile denizdeki bozunma süreçleri ve kirliliğin deniz yüzeyindeki yayılımı gözlenmelidir. Ayrıca kirlilik yayılım modellemesine göre, etkilenen çevresel kaynakların tespiti ve hassas kaynaklara ulaşmasını önlemek için hassasiyet haritalamasının yapılması gerekmektedir. Bu adımın son aşamasında, petrol kirliliği müdahale topluluklarının veya bu alandaki uzmanların görüşleri alınarak operasyonda tercih edilen müdahale stratejilerine ağırlıklandırılması yer almaktadır.
- **Değiş-Tokuş dengesi:** En etkili müdahale stratejilerinin belirlemek ve fayda/maliyet dengesini sağlamak için çevresel ve sosyal etkilerin

değerlendirilmesi bu adımda gerçekleştirilmelidir. Karar aşamasına katılacak uzmanların ve müdahale ekiplerinin doğru şekilde seçilmesi sağlanarak, etkili ve en uygun müdahale tekniği konusunda fikir birliğine varılmaktadır.

- **En iyi müdahale tekniğini seçme:** En etkili petrol kirliliği müdahale tekniklerini belirlemek ve gelecekteki petrol sızıntısı olaylarına yönelik fayda/maliyet dengesini sağlamak için çevresel ve sosyal etkiler yeniden gözden geçirilir. Bu aşamada, uzman görüşlerinin yönlendirmesiyle optimum müdahale tekniği konusunda fikir birliğine varılmaktadır. Genel çerçevede tercih edilen yöntemler nitel yöntemler ağırlığındadır. Fakat nesnel yorumların yarattığı belirsizliklerden kaynaklı hatalarda meydana gelmektedir. Bu nedenle, nesnel görüşlerin bulanık mantık teorisine benzer bir şekilde sayısallaştırılarak hesaplanması NÇFA yaklaşımındaki belirsizlikleri ortadan kaldıracaktır.

Petrol kirliliği müdahale operasyonu öncesinde NÇFA kullanımının potansiyel yararı, gerekli tüm bürokratik işlemlerin önceden onaylanarak hızlı bir şekilde yönetilmesini de içermektedir. Bu tür yasal süreçlerin tamamlanmış olması ve hızlı, sistematik ve çevresel faydanın maksimum düzeyde gözetilerek planlanması tüm ülkelerin birincil amacı olmalıdır. NÇFA kavramsal olarak, analiz edilen müdahale stratejisinden kaynaklanan toplam faydadan stratejinin yarattığı sayısallaştırılmış çevresel etki değerinin çıkarılması şeklinde ifade edilmektedir (Efroymson ve diğerleri, 2004). Denklemin çözümünün pozitif olması halinde, strateji uygun kabul edilir; sıfır veya negatif olması halinde ise net çevresel fayda yoktur ve söz konusu strateji uygunsuz kabul edilmelidir (Davies ve Hope, 2015). Şekil 23'te NÇFA sürecinin kirlilik planlama ve müdahale operasyonu sırasında kullanımına yönelik genel bir çerçevesi bulunmaktadır.

Şekil 23: Kirlilik Planlama ve Müdahale Operasyonu Sırasında NÇFA Kullanımına Yönelik Genel Bir Çerçeve



Kaynak: IPIECA-API-IOGP, 2018.

Kirlilik planlaması ve müdahale operasyonları sırasında NÇFA, çevresel etkilerin dikkate alınmasını ve azaltılmasını sağlamak için kullanılmaktadır. Örneğin, NÇFA bir kirlilik dökülmesinin potansiyel çevresel etkilerini belirlemek, bu etkileri hafifletmek için planlar geliştirmek ve bu planların etkinliğini izlemek için kullanılmaktadır. NÇFA, müdahale operasyonları sırasında uyarlanabilir yönetime izin veren güncellenen bir süreçtir. Yeni bilgiler elde edildikçe veya durum geliştikçe, müdahale stratejileri NÇFA çerçevesine göre ayarlanabilir ve yeniden değerlendirilebilir. Bu uyarlanabilir yaklaşım, müdahale eylemlerinin mümkün olan en iyi çevresel sonuçları elde etmek için sürekli olarak optimize edilmesini sağlar. NÇFA'yı kirlilik planlaması ve müdahale operasyonlarına dahil ederek, karar vericiler daha bilinçli seçimler yapabilir ve çevresel zararı en aza indiren müdahale stratejilerine öncelik verebilirler. NÇFA, müdahale eylemlerinin etkili, verimli ve uzun vadeli ekolojik ve sosyoekonomik sonuçların dikkate alınmasını sağlamaya yardımcı olmaktadır.

1.8.5. Net Çevresel Fayda Analizi Sürecinde Kullanılan Tekniklerin Genel Çerçevesi

NÇFA süreci, özel olarak tasarlanmış bir dizi analitik süreçleri barındıran ve karar vericilerin deneyimleri ve bilgi alışverişine dayalı karar destek yaklaşımıdır (Wenning ve diğerleri, 2018). Bu süreç, bir yönlendirme komitesinin önderliğinde tipik olarak iki veya üç toplantıda elde edilen fikirlerin gözden geçirilmesine dayanmaktadır (Iazeolla ve diğerleri, 2017). Petrol sızıntısı müdahale tekniklerini karşılaştırma imkânı sağlayan NÇFA süreci ilk olarak, acil durum planlama ve eğitim aracı olarak tasarlanmıştır. Çünkü müzakere süreci mevcut bilimi kullanmakta ve toplantı katılımcıları arasında ortak bilgi üretilerek geliştirilmektedir (Camus ve Smit, 2019). Petrol kirliliği müdahale sürecinde, NÇFA yöntemi şu şekillerde kullanılabilir (IPIECA, 2005b):

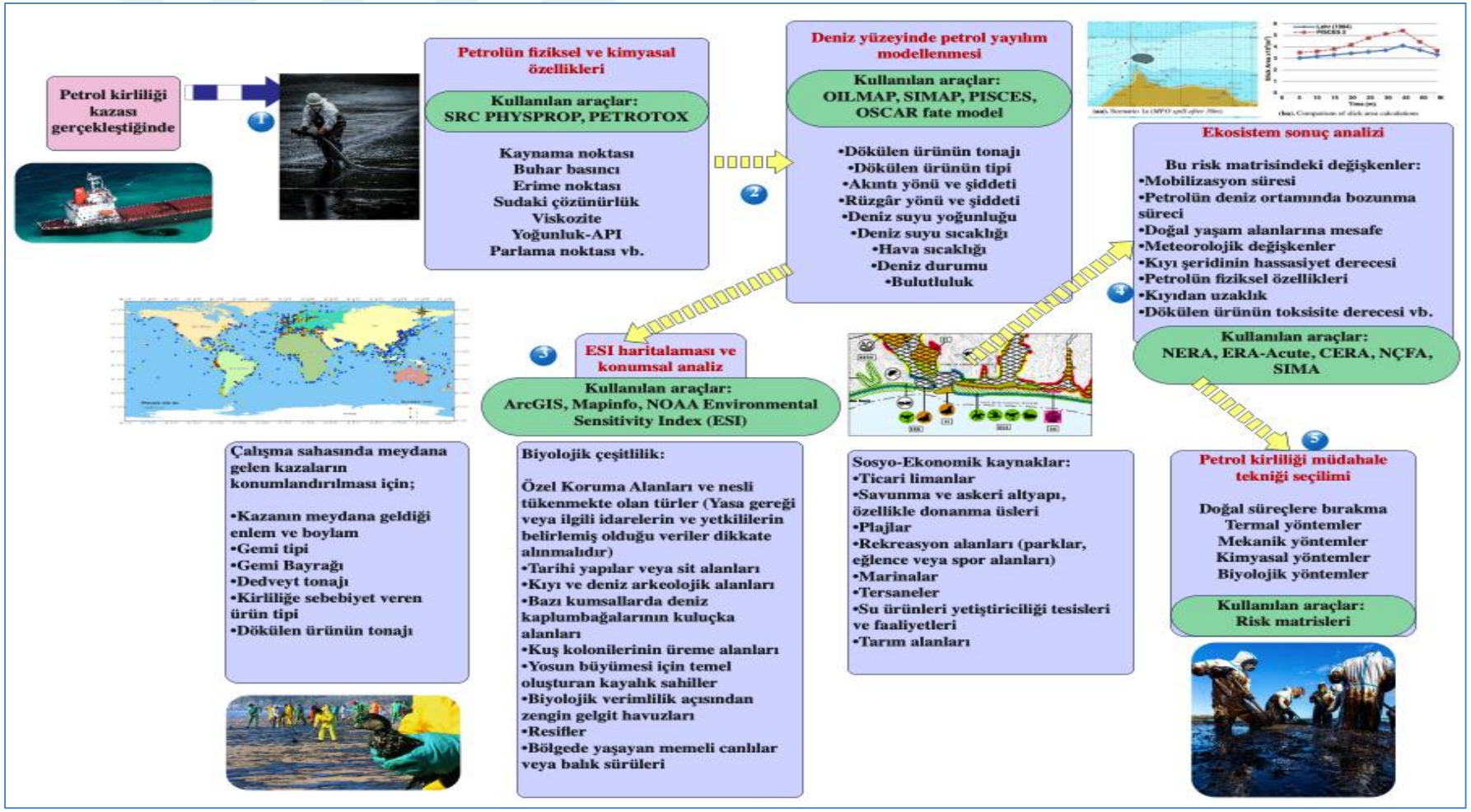
- **Müdahale stratejilerinin belirlenmes**i: NÇFA, farklı müdahale stratejilerinin çevresel faydaları ve maliyetlerinin hesaplanmasına yardımcı olmaktadır. Örneğin, petrol sızıntısının kaynağına müdahale etmek için denizaltı robotları kullanmak veya petrol sızıntısının etkilerini azaltmak için deniz yüzeyinde

kimyasal maddelerin kullanılması gibi farklı stratejilerin faydaları ve maliyetler değerlendirilmesinde tercih edilmektedir.

- **Müdahale sürecinin değerlendirilmesi:** Müdahale sırasında kullanılan malzemelerin geri dönüşümlü olup olmadığı, müdahale sırasında çevreye verilen zararın miktarı, müdahale sonrasında çevrenin ne kadar sürede eski haline dönebileceği ve atık yönetimi gibi değişkenlerin yönetiminde NÇFA süreci tercih edilmektedir. Şekil 24'te NÇFA uygulamasına yönelik beş adımlı süreç yönetimi ve literatürde yer alan teknikler yer almaktadır.

Şekil 24'te görüldüğü üzere, Petrol sızıntısı risk değerlendirmesi için gerekli temel hususlar arasında, saha ve laboratuvar araştırmalarından elde edilen yüksek kaliteli verilerin mevcudiyeti, dökülme olayının sonuçları hakkında bilgi, benzer ortamlarda önceki petrol sızıntısı olaylarından bildirilen müdahale operasyon faaliyetlerine ait bilgiler ve kirliliğin meydana geldiği mevkiinin konumsal veriler yer almaktadır. Bu hususların her biri, ekosistemde potansiyel olarak risk altında olan farklı hassas kaynaklara yönelik sonuçların tahmin edilmesinde ve müdahalenin öncelikli sahalara yönlendirilmesinde önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Petrol kirliliği müdahale operasyonu öncesinde, hassas olarak nitelendirilen ve ekosistem duyarlılığı yüksek olan alanlardaki doğal kaynakların potansiyel etkilerini analiz edebilmek için, kirlilik sayısal modellemeleri ve çevresel hassasiyet haritalamalarının yapılması gerekmektedir. Bu senaryolar ışığında; müdahale verimli şekilde sürdürülecek ve minimum çevresel hasar söz konusu olacaktır. Kararların güvenilir veriler ışığında alınması ve deneyimli uzmanların fikir birliği doğrultusunda kirliliğin doğal kaynaklara ulaşması engellenecek ve ekosistem duyarlılığına yönelik başarılı bir operasyon süreci gerçekleştirilecektir (Aurand ve diğerleri, 2000; Efroymson ve diğerleri, 2004; Word, 2014; Wegeberg ve diğerleri, 2017; Wenning ve diğerleri, 2018; Camus ve Smit, 2019; Buber ve Koseoglu, 2022).

Şekil 24: NÇFA Uygulamasına Yönelik Beş Adımlı Süreç Yönetimi ve Kullanılan Teknikler



Kaynak: Yazar tarafından literatürden elde edilen bilgiler ışığında oluşturulmuştur.

Görüldüğü üzere NÇFA yaklaşımı, farklı tekniklerin bir arada kullanıldığı ve çeşitli verilerin entegrasyonu ile modelleme, haritalandırma ve risk değerlendirme süreçlerini barındıran bir yaklaşımdır. Yaklaşımın doğru ve başarılı şekilde yönetilmesi için, karar vericilere petrol döküntüsü hakkında gerçek zamanlı veri ve bilgilerin yanı sıra potansiyel müdahale seçeneklerini değerlendirmek için model ve araçlara erişim sağlayan "Çevresel Karar Destek Sistemleri-ÇKDS" (Environmental Decision Support System)'ne ihtiyaç vardır. ÇKDS, bu karmaşıklıkla yüzleşmek için en etkin yaklaşımlar arasındadır (McIntosh ve diğerleri, 2011; Moroni ve diğerleri, 2019).

Rizzoli ve Young (1997) çevresel alanlarda kullanılmak üzere geliştirilmiş karar destek sistemlerini; modelleri, veri tabanlarını veya diğer karar yardımcılarını entegre eden ve bunları karar vericilerin kullanabileceği şekilde ara yüz oluşturan bilgi sistemleri olarak tanımlamaktadır. Cortes ve diğer araştırmacıların 2000 yılında yapmış olduğu çalışmada ise ÇKDS, uygulama alanının karakteristik yapısında ifade edilen kararların tutarlılığı ve kalitesinin yanı sıra, kararların alınabileceği süreyi iyileştiren akıllı bilgi sistem araçları olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca, ÇKDS'nin insan toplulukları ve doğal ortamlarının etkileşiminden kaynaklanan risklerin azaltılmasına yardımcı olmada önemli bir rol oynadığı belirtilmektedir. Poch ve diğer araştırmacılara (2004) göre ÇKDS, karar vericilere alternatif seçenekler sunma imkânı veren, eylemler arasında ödünleşim yapmalarına yardımcı olan ve güvenilir veriler ışığında öneriler sunan bilgi sistemleri olarak ifade edilmektedir. Elmahdi ve McFarlane (2009) yapılan çalışmada ise, bu tür sistemler çevresel, sosyo-ekonomik, finansal, kurumsal, politik ve stratejik bilgileri yapılandırılmış ancak anlaşılması kolay bir platformda bir araya getiren akıllı analiz sistemleri olarak tanımlamaktadır. Genel çerçevede ÇKDS, veri mühendisliği ve modellemeyi entegre eden, karar vericiye seçenekler sunarak doğru, güvenilir verileri işleyen sistemler olarak özetlenmektedir. Farklı araçların (yapay zekâ teknikleri, istatistiksel/sayısal yöntemler, coğrafi bilgi sistemleri ve çevresel risk değerlendirme yöntemleri vb.) kullanımı ve çeşitli mimariler altında entegre edilebilmesi, ÇKDS'lere karmaşık problemlerle yüzleşme, öğrenme ve karar verme sürecini destekleme yeteneği kazandırmaktadır (Poch ve diğerleri, 2004; McIntosh ve diğerleri, 2011).

Petrol kirliliği müdahalesi için ÇKDS'nin kullanılması, karar vericilere gerçek

zamanlı veri ve bilgi, tahmin modelleri ve müdahale seçeneklerinin potansiyel etkilerini ve etkinliğini değerlendirmek için araçlar sağlayarak bilinçli kararlar almalarına yardımcı olmaktadır. Bu tür sistemler NÇFA sürecinin tamamlayıcı araçları olarak görülmektedir (Matthies ve diğerleri, 2007). Davies ve Hope, (2015), kullanıcı dostu ara yüzlerin ve çevresel modellerin entegrasyonunun etkili petrol döküntüsü müdahalesinde ÇKDS'lerin gerekli olduğunu öne sürmektedir.

Çeşitli ülkelerde petrol kirliliği müdahale planlaması ve yönetimine yardımcı olmak için geliştirilen yazılım destekli ÇKDS'ler mevcuttur. ABD, petrol kirliliği risk değerlendirmesi ve kıyı kaynakları üzerinde potansiyel etkileri değerlendirmek için Coğrafi Bilgi Sistemleri teknolojisini kullanan web tabanlı Petrol Kirliliği Risk Analizi (Oil Spill Risk Analysis-OSRA) geliştirmiştir. Avustralya'da benzer amaçlarda oluşturulan Petrol Kirliliği Acil Durum Planlama Sistemi (Oil Spill Contingency Planning System-OSPLAN) ve Avrupa Birliği tarafından Avrupa sularındaki kirliliklerde Petrol Kirliliği Müdahale Karar Destek Sistemi (Oil Spill Response Decision Support System-OSR/DSS) bir diğer çevresel karar destek sistemleri örneklerindendir.

Literatürde, petrol sızıntısına müdahaleyi desteklemek için farklı koşullara uyarlanabilir ve entegre edilebilir karar destek sistemlerine yönelik sınırlı araştırmalar mevcuttur (McCoy ve Salerno, 2010; Li ve diğerleri, 2016). Zahra Pourvakhshouri ve Mansor (2003), kıyı bölgesi hassasiyetine dayalı olarak petrol sızıntılarıyla mücadele için en uygun yöntemin seçilmesinde kullanıcılara yardımcı olacak bir ÇKDS önermektedir. Keramitsoglou ve diğer araştırmacılar (2003), petrol sızıntılarının neden olduğu deniz kirliliği olaylarını yönetmek için uydu görüntülerinden petrol sızıntılarının erken tespiti, yayılımlarının izlenmesi, kaza sonuçlarının tahmin edilmesi ve müdahale işlemleri sırasında sorumlu kamu yetkililerine destek sağlanması için gerekli tüm araçları sağlayan eksiksiz bir ÇKDS sunmaktadır. Moroni ve diğer araştırmacılar (2019) ise, mevcut çerçeveleri ve yöntemleri gözden geçirmekte ve küçük tonajlı petrol döküntülerinin çevresel yayılımlarını gözlemlemenin zorlukları hakkında entegre çerçeve oluşturabilecek bilgi ve iletişim teknolojilerine dayalı özel araçlar sunmaktadır. Petrol döküntüsü müdahalesi için halihazırda uygulanan ve yeni ortaya çıkan karar destek tekniklerinin avantajları ve sınırlamalarına ilişkin sistematik bir inceleme sunan Yang ve diğerleri (2021), müdahale seçeneklerinin seçilmesini ve

uygulanmasını desteklemek için ÇKDS geliştirilmesine yönelik gelecekteki çalışmalar için öneriler sunmaktadır. Araştırmaların genel çerçevesi, etkili bir petrol kirliliği çevresel karar destek sisteminin ekolojik ve sosyo-ekonomik kriterleri dikkate almasını, çeşitli paydaşları içermesini, erken tespit ve izleme için araçlar sağlamasını ve hassas kaynakları değerlendirmesi gerektiğini öne sürmektedir.

Acil durum müdahale yöneticilerinin hava durumu ve kaynak mevcudiyeti (örneğin uçaklar, botlar, eğitimli personel ve dağıtıcı stok seviyeleri vb.) gibi doğrudan kendi kontrollerinde olmayan çevresel ve operasyonel değişkenleri hızlı bir şekilde değerlendirmeleri ve bu girdilere dayanarak dengeli bir karara varmaları gerekmektedir. Bu nedenle, bir petrol sızıntısı karar destek sisteminin petrol kirliliğinin dağılımını görselleştirmede, hassas alanları belirlemede ve savunmasız kaynakları değerlendirmede faydalı bir araç olarak NÇFA sürecine dahil edilmesi gerekmektedir (Davies ve Hope, 2015). Alternatif müdahale stratejilerinin analizine yönelik bu nicel ve nesnel yaklaşım, açık deniz platformları, kıyı terminalleri ve rafineriler için daha optimal, işlevsel, rasyonel ve uygun maliyetli petrol dökümtüsü acil durum çözümlerinin tasarlanmasında faydalı bir araç sunmaktadır.

İKİNCİ BÖLÜM
ARAŞTIRMA TASARIMI VE YÖNTEMİ

2.1. ARAŞTIRMANIN KONUSU VE ÖNEMİ

Ulaşım, enerji ve sanayi sektörlerinin ana bileşeni olan petrol, küresel ekonomide kritik bir öneme sahiptir (Galieriková ve Materna, 2020). Küresel ekonominin hızla büyümesi ülkelerin petrol talebini ve ticaret hacmini arttırmış (Chen ve diğerleri, 2018), gelişen teknoloji ve artan nüfus ihtiyaçları nedeniyle petrol taşımacılığı pazarında kayda değer bir gelişim göstermiştir (Chen ve diğerleri, 2019). Petrol ürünlerine yönelik artan talep, yeni petrol kuyularının araştırılmasına ve daha ucuz ve hızlı ulaşım yöntemlerinin tercih edilmesine neden olmuştur. Küresel petrol üretiminin dörtte biri açık deniz sahalarında gerçekleştirilmekte ve elde edilen ürünlerin yaklaşık %60'ı ise tanker tipi gemiler ile taşınmaktadır (Andrews ve diğerleri, 2021).

Yirminci yüzyılda ham petrolün giderek artan önemi ve buna bağlı olarak dünya tanker filosundaki büyüme, dikkatleri tanker taşımacılığından kaynaklı risklere çekmiştir (Lan ve diğerleri, 2015; Sevgili ve diğerleri, 2022). Denizde meydana gelen petrol sızıntıları canlı yaşamı ve insan sağlığını tehdit etmekte ve ekonomik kaynaklar üzerinde uzun vadeli sonuçlara yol açmaktadır (Beyer ve diğerleri, 2016; Akpan, 2022). Petrol deniz ortamına doğal sızıntıların yanı sıra, taşımacılık (tanker operasyonları veya gemi kazaları, sintine ve akaryakıt, atmosferik emisyonlar) kaynaklı, sabit tesislerde (kıyı rafinerileri, açık deniz üretimi, deniz terminalleri) yürütülen faaliyetlerden ötürü ve diğer girdi unsurlarından (belediye veya endüstriyel atıklar, kentsel veya nehir akıntısı) dolayı karışabilmektedir (Carpenter, 2019). Bu etkiler, petrolün türü, miktarı ve etkilenen sahanın hassasiyet düzeyi gibi değişkenlere bağlı olarak uzun yıllar sürebilmektedir (Zhang ve diğerleri, 2015a).

Küresel düzeyde yapılan yeni düzenlemeler ve artan çevre bilinci sayesinde petrol sızıntısına neden olan kazaların sayısı azalmış olsa da (ITOPF, 2022), deniz taşımacılığına yönelik artan talep ve trafik yoğunluğu nedeniyle çevre hasarıyla sonuçlanan kazalar halihazırda yaşanmaktadır (Li ve diğerleri, 2016). Bir bölgenin çevresel sürdürülebilirliği, uygun önleyici tedbirlerin uygulanması, müdahale

stratejilerinin oluşturulması ve kazalardan kaynaklanan potansiyel zararın en aza indirilmesi çabalarıyla mümkün hale gelmektedir (Kankara ve diğerleri, 2016; Grubesic ve diğerleri, 2019). Bu nedenle, deniz taşımacılığı şirketleri, hükümetler ve çevre örgütleri de dâhil olmak üzere petrol ticaretindeki tüm paydaşların petrolün deniz yoluyla taşınmasıyla ilgili riskleri değerlendirmeleri, olumsuz etkileri en aza indirmek için iş birliği yapmaları ve acil müdahale planlarını geliştirmeleri gerekmektedir (Chen ve diğerleri, 2019). Özetle etkili petrol kirliliği acil durum planlarının oluşturulması, petrol döküntülerinin hassas alanlar, ekosistemler ve topluluklar üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi için esastır (Qiao ve diğerleri, 2002).

Petrol kirliliğine müdahale kararları, döküntünün özellikleri (örneğin petrol türü, hacmi, konumu), çevresel koşullar (örneğin hava durumu, akıntılar), ekosistemler ve insan sağlığı üzerindeki potansiyel etkiler, mevcut müdahale seçenekleri ve lojistik hususlar dahil olmak üzere çok sayıda karmaşık faktörleri içermektedir (Leschine ve diğerleri, 2015; Hu ve diğerleri, 2020). Müdahale operasyonunun karar aşamasında tüm bu bilgilerin bilimsel, doğrulanabilir ve güvenilir şekilde karar destek sistemlerine entegre edilmesi gerekmektedir (Božanić ve diğerleri, 2022).

Acil durum eylem planları müdahale tekniklerinin etkili operasyonu, yönetim ekibi ve sahildeki işgücü arasında güvenilir bilgi alışverişini destekleyen karar destek yaklaşımları ile başarılı olabilmektedir (Fritt-Rasmussen ve diğerleri, 2013; Camus ve Smit, 2019). Farklı verileri bütünleştiren çok disiplinli bir karar destek yaklaşımı, bilimsel uzmanlık, paydaş katılımı, şeffaf karar alma süreçleri, sürekli öğrenme ve iyileştirme gerektirmektedir. Bu yaklaşım, dökülen ürünün tipi, meteorolojik koşullar, hassas çevresel kaynaklar gibi farklı verileri görselleştiren haritalar ve uzman görüşlerini içeren nitel yaklaşım süreçlerini içermektedir (Koubrak, 2017; Robinson ve diğerleri, 2017; Wenning ve diğerleri, 2018). Bu sistemler, biyologlar, oşinograflar, mühendisler, kimyagerler ve deniz bilimciler dahil olmak üzere geniş bir araştırma topluluğunun fikir birliğine dayalı çok çeşitli bilimlerin katılımı ile uygulanabilmektedir (Walker ve diğerleri, 2018a). Petrol kirliliği müdahalesinde tercih edilen çevresel karar destek yaklaşımlarının amacı, risk altındaki ekolojik, sosyo-ekonomik ve kültürel kaynaklar üzerindeki etkileri en aza indirgemektir (Taylor ve Cramer, 2017; Grote ve diğerleri, 2018). Karar vericilerin çevresel hassasiyet,

mevcut kaynaklar, lojistik kısıtlamalar ve mevzuat gereklilikleri gibi faktörleri göz önünde bulundurarak çeşitli müdahale seçeneklerinin etkinliğini değerlendirmelerinde karar destek yaklaşımları büyük kolaylık sağlamaktadır (Amir-Heidari ve Raje, 2019). Bu nedenle, zararı azami ölçüde azaltmak amacıyla kazara meydana gelen petrol kirliliğine müdahale etmek için etkin bir karar destek yaklaşımına ihtiyaç duyulmaktadır.

Müdahale hedefleri, sızıntının özel koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterse de herhangi bir müdahaleye rehberlik edecek temel hedefler Uluslararası Petrol Endüstrisi Çevre Koruma Derneği (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association-IPIECA) tarafından listelenmektedir (IPIECA-IOGP, 2019). Bunlar;

- Hem müdahale ekiplerinin hem de toplulukların güvenliğini ve sağlığını korumak;
- Sızıntı kaynağını olabildiğince hızlı kontrol altına alabilmek;
- Çevresel ve toplumsal etkinin en aza indirilmesi için etkin müdahale gerçekleştirmek;
- Açık deniz döküntülerinde petrolün kıyıya ulaşma riskini sınırlandırmak;
- Kıyı şeridine ulaşan petrolün suyollarına veya yer altı su kaynaklarına ulaşma riskini en aza indirgemektir.

Karar destek yaklaşımları, çevresel veriler, kirlilik yayılım modelleri, müdahale envanterleri ve ekosistem hassasiyeti gibi çeşitli kaynaklardan gelen verileri toplama, depolama ve entegre etme kapasitesine sahip olmalıdır (Zahra Pourvakhshouri ve Mansor, 2003). Ayrıca saha değişkenleri, hava koşulları, ürün özellikleri ve müdahale kaynakları hakkındaki verileri içeren çoklu değişkenleri de entegre etmelidir (Fetissov ve diğerleri, 2021). Risk değerlendirme süreçlerinin ve çevresel hassasiyet uygulamalarının başarılı şekilde gerçekleştirilebilmesi için, bütünleşik tüm karar destek yaklaşımlarının hızlı ve güvenilir bilgi akışını sağlaması gerekmektedir. Güncellenen bir karar destek yaklaşımı, sadece petrol döküntüsü tahminini değil, aynı zamanda, verimli ve uygun maliyetli müdahale stratejisi önerisinde bulunarak çevrenin hızlı bir şekilde temizlenmesini ve canlı yaşamının sürdürülebilir yaşamını desteklemelidir (Liubartseva ve diğerleri, 2016). Bir karar destek yaklaşımı, karar vericilere bilgi paylaşımı ve sorunların tartışılması için ortak

bir platform sağlayarak paydaşlarla daha etkili iletişim kurmalarına da yardımcı olmaktadır (Zodiatis ve diğerleri, 2016). Bu nedenle karar vericilere, paydaşlara ve kamuoyuna petrol kirliliğine müdahale sırasında en yüksek kalitede ve gerçek zamanlı bilgi sağlayabilen güvenilir bir karar destek yaklaşımı önermek büyük önem arz etmektedir.

1990'lerden bu yana kirlilik müdahale planlaması için kullanılan ve müdahale stratejilerinin göreceli üstünlüklerini değerlendiren çevresel fayda odaklı karar destek yaklaşımları kullanılmaktadır. Net Çevresel Fayda Analizi (NÇFA) 1990 yılında Exxon Valdez gemi kazasının kıyı şeridi temizliğinde tercih edilen ve müdahale stratejisinin çevresel fayda/maliyet değerlendirilmesi için ilk kez uygulanan çevresel karar destek yaklaşımıdır (Williams ve diğerleri, 2014). NÇFA, petrol sızıntılarının çevresel etkilerini en aza indirgeme amacıyla optimum müdahale stratejilerini öneren yapılandırılmış bir yaklaşımdır (McCay ve Graham, 2014; Iazeolla ve diğerleri, 2017). Bir başka ifade ile NÇFA, petrol sızıntısının potansiyel çevresel etkilerine karşı beklenen müdahale etkinliğinin yanı sıra müdahale seçeneklerinden doğacak olumsuz sonuçların değerlendirilmesini ve karşılaştırılmasını kolaylaştıran bir süreçtir (Baca ve diğerleri, 2005). NÇFA, petrol sızıntılarının değişken doğasını ve etkilenebilecek doğal kaynakları hesaba katarak çevrenin en kısa sürede iyileşmesini ve en az zararla toparlanmasını sağlayan karar süreçlerini içermektedir. Belirli bir bölgenin biyolojisi ve ekolojisi bilgisi, bir NÇFA sürecinin etkin bir şekilde uygulanmasının anahtarıdır (Brude ve diğerleri, 2004). Ekolojik bir bakış açısıyla NÇFA yaklaşımı, belirli bir sahadaki flora, fauna ve bunların habitatları ile ilgili olarak çeşitli müdahale seçeneklerinin avantajlarını ve dezavantajlarını doğal iyileşmeye kıyasla karşılaştırmak için bir trade-off (değiş-tokuş dengesi) sağlamaktadır (Wenning ve diğerleri, 2018). Süreç aynı zamanda olası her müdahale seçeneğinin net çevresel faydalarının çapraz karşılaştırmasını da içermektedir. Örneğin, mekanik müdahale seçeneğini kimyasal yöntem ve/veya termal yöntemler ile karşılaştırabilmektedir (Walker ve diğerleri, 2018a). NÇFA süreci, en iyi müdahale yöntemlerinin seçimi için bilgi sağlamanın yanı sıra, bir bütün olarak ekosistem üzerindeki uzun vadeli etkilerin değerlendirmesini, habitatların iyileşme veya kurtarma oranlarına ilişkin tahminlerde bulunmayı ve operasyonun nihai bitiş noktaları hakkında rehberlik edinmeyi sağlamaktadır (Potter ve diğerleri, 2012; Williams ve diğerleri, 2014).

NÇFA, potansiyel olumsuz etkilerin azaltılması ve/veya ilgili ekolojik, sosyoekonomik ve kültürel kaynakların genel olarak en iyi şekilde iyileştirilmesiyle sonuçlanacak müdahale seçeneklerini uygulanmasına imkân sağlayacak bir değerlendirme yapmaktadır (Board ve NASEM, 2020). Petrol kirliliği müdahale operasyon sürecinde kullanılan çevresel karar destek yaklaşımları, risk değerlendirme metodolojileri, çevresel hassasiyet haritaları, petrol yayılım modellemeleri, fayda/maliyet dengesine ait karar verme yöntemleri ve uzman görüşlerine bağlı farklı nitel ve nicel yöntemleri içeren çok kapsamlı süreçlerden oluşmaktadır. (Wegeberg ve diğerleri, 2017). Bu nedenle NÇFA analizi, dökülen petrolün özelliklerini, çevresel, biyolojik ve sosyoekonomik etkilerin büyüklüğünü etkileyecek hava koşullarını, bölgedeki habitat yapısını ve petrolün yayılmaya bağlı olarak maruz kalabileceği bozunma süreçlerini dikkate almalıdır (Alekseevna ve Seryy, 2015). Çünkü gerçek bir petrol kirliliğinin tam olarak ne zaman veya nerede meydana gelebileceği belirsizlik içermektedir. Bu da NÇFA süreçlerinin son derece esnek olmasını ve değişen saha koşullarına uyum sağlayabilmek için "gerçek zamanlı" olarak uyarlanabilen karşılaştırmalı bir risk değerlendirme sürecini gerektirmektedir (IPIECA-IOGP, 2015a). Anlamlı bir NÇFA çıktısının oluşturulabilmesi için ise, koruma hedefleri ve ekosistem öncelikleri net bir şekilde ifade eden "Çevresel Hassasiyet Haritaları (Environmental Sensivity Index Mapping- ESI maps)" ile mümkün olmaktadır (Poch ve diğerleri, 2004). Karar alma süreçlerine rehberlik eden, etkili müdahale ve kurtarma çabalarını kolaylaştıran ve etkilenen çevrenin sürdürülebilir yönetimini teşvik eden haritalar NÇFA yaklaşımının ayrılmaz bir parçasıdır (Van der Ven ve diğerleri, 2013). Çevresel duyarlılığı değerlendiren bu haritalar sayesinde müdahale ekipleri, bir petrol kirliliği durumunda çevrenin en iyi nasıl korunacağı konusunda bilinçli kararlar vererek etkili müdahale stratejisine karar verebilmektedir. Buna ek olarak haritalar, planlamacılara habitat ve biyoçeşitlilik kaybı, balıkçılık ve yerel ekonomi üzerindeki potansiyel uzun vadeli etkilerini öngörmelerine yardımcı olmaktadır. Genel olarak ESI haritalaması, petrol kirliliği acil durum planlaması için önemli bir araçtır. Korunması gereken en önemli çevresel kaynakların, kirlilikten etkilenmesi en muhtemel alanların ve kirlilik müdahalesi için en iyi stratejilerin belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu bilgiler etkili, verimli ve bölgenin özel ihtiyaçlarına göre uyarlanmış müdahale planları geliştirmek için kullanılmaktadır.

Türkiye'nin en büyük sanayi bölgelerinden biri olan Aliağa, petrokimya tesisleri, rafineriler, enerji santralleri ve diğer endüstriyel tesisler nedeniyle son derece önemli bir konuma sahiptir. Petrol rafineri ve gemi söküm tesislerinin kıyı şeridine yakın bir bölgede yer alması ve deniz trafiğinin yoğun olması nedeniyle Aliağa, petrol ve petrol türevi ürün kirlilikleri ile ciddi şekilde risk altındadır. Bu yüzden, yıllara göre elleçlenen yük miktarı ve gemi trafik yoğunluğu artış gösteren Aliağa Körfezi için gerçek zamanlı bir petrol yayılım modelinin geliştirilmesi bir zorunluluk haline gelmektedir. Çünkü, uygulanan bir petrol sızıntısı yayılım modeli, bir petrol tabakasının dökülmeden birkaç saat sonra ne kadar yayılım göstereceği ve hangi kaynaklara nüfus edeceği hakkında tahminlerde bulunmaya yardımcı olabilmektedir. Bu bölge ayrıca kirlilik ve petrol sızıntılarının etkilerine karşı savunmasız olan bir dizi önemli sulak alan ve ekosisteme de ev sahipliği yapmaktadır. Sulak alanlar ve ekosistemlerin yanı sıra, Aliağa da yaşayan bölge halkı da petrol sızıntılarına karşı savunmasızdır. Bu topluluklar balıkçılık, turizm ve diğer ekonomik faaliyetler için bölge kaynaklarından yararlanmaktadır. Kirlilik, bölgedeki işletmelerin faaliyetlerini zorlaştırmakta ve iş kayıplarına yol açmaktadır. Bu nedenle meydana gelebilecek bir petrol kirliliğinde, bölgenin lojistik önemi ve çevresel kaynakların sürdürülebilirliği konusunda farkındalık yaratmak, petrolün zamana bağlı olumsuz etkilerini tahmin etmek, riskleri mümkün olan en kısa zamanda azaltmak ve operasyonel karar destek unsurlarına katkıda bulunmak büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple, deniz taşımacılığı kullanım faaliyetleri sonucunda meydana gelen gemi kaynaklı kazalar ve kasıtlı petrol deşarjları olmak üzere çok çeşitli olumsuz riskleri barındıran Aliağa Körfezi tezin uygulama sahası olarak seçilmiştir.

Araştırmanın konusu, Aliağa Körfezi'nde meydana gelebilecek gemi kaynaklı petrol kirliliğinin çevre açısından yaratacağı olumsuz etkilerini minimize etmek ve çevresel duyarlılığı azami ölçüde tesis edebilmek için NÇFA yaklaşımı ile risk değerlendirmesi gerçekleştirmektir. Aliağa Körfezi'nde olası bir petrol kirliliğinde en iyi müdahale seçeneklerinin belirlenmesine, petrol sızıntılarının çevresel ve ekonomik etkilerinin azaltılmasına, müdahale kaynaklarının verimli kullanımına, kurumlar arası tüm paydaşların koordinasyonunun iyileştirilmesinde ve müdahale çabalarında kamu güveninin oluşturulmasına yönelik bir model geliştirilecektir. NÇFA önerisi ile kapsamlı değerlendirme, bilgiye dayalı karar verme, maliyet etkinliği, müdahale

eylemlerinin önceliklendirilmesi, paydaş katılımı, uyarlanabilir yönetim ve mevzuata uyum çerçevesinde etkili müdahale sağlanacaktır. Bu faydalar, bir petrol kirliliği durumunda hazırlığın, müdahale etkinliğinin ve çevrenin korunmasının iyileştirilmesine de katkı sağlayacaktır.

2.2. ARAŞTIRMANIN ÖZGÜNLÜĞÜ

Petrol sızıntılarına yönelik proaktif önlemlere rağmen, her yıl önemli kirlilik kazaları rapor edilmektedir. Petrol endüstrisi tüm faaliyetlerinde kirliliği önlemek için kapsamlı adımlar atmakta ve kirliliğin önlenmesi için yeni teknikler geliştirilerek acil durum eylem planları ortaya koymaktadır. Bu anlayışla, petrol kirliliğinin mekânsal dağılımını izlemek, sızıntı kaynaklı riskleri değerlendirmek ve hassas kaynaklar üzerindeki etkileri belirlemek literatür çalışmalarının en önemli odak noktalarını oluşturmaktadır.

Geçmişteki çalışmalar ile gemi kaynaklı petrol sızıntıları ile ilgili çevre, insan sağlığı ve sosyoekonomik etkileri, petrol sızıntılarını önleme, kontrol etme ve müdahale stratejileri gibi farklı konu başlıklarında nitel ve nicel yöntemler kullanılarak literatüre önemli katkılar sağlamıştır. Bu araştırmalar, çevresel, ekonomik ve sosyal boyutları bir araya getirerek karar vericilerin müdahale stratejilerini daha geniş bir perspektiften değerlendirmesine ve farklı faktörler arasındaki bağlantıları göz önünde bulundurmasına olanak sağlamaktadır. Araştırmacılar ayrıca petrol kirliliği için bilimsel bir temel sağlayarak önleme, hazırlıklı olma ve iyileştirilmiş müdahale tekniklerini geliştirmenin önemini vurgulamaktadır. Ancak belirli petrol kirliliği söz konusu olduğunda, kirliliğine müdahalenin etkinliğini artırmak ve çevresel etkilerini en aza indirmek için kullanılan çevresel karar destek yaklaşımlarına yönelik literatürdeki çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Genel çerçevede, tüm süreci bütünsel olarak kapsayabilecek yöntemlerin (izleme, kirlilik önleme, erken uyarı, etki/risk değerlendirmesi, acil müdahale, temizlik ve olay sonrası değerlendirme) eksikliği ve belirsiz değişkenlerin varlığı karar destek sistemlerin önemini ortaya koymaktadır. NÇFA, nispeten yeni bir yaklaşım olduğundan ve etkinliği hakkında sınırlı bilgi bulunduğundan petrol kirliliği müdahalesi için NÇFA hakkında literatür çalışmalarına ihtiyaç vardır. Literatür çalışmaları, farklı müdahale seçeneklerinin çevresel etkileri ve

NÇFA'nın en çevre dostu müdahale seçeneklerini belirlemedeki etkinliği hakkında bilgi sağlayarak bu boşluğun doldurulmasına yardımcı olabilir. Geliştirilecek model çalışmaları ayrıca NÇFA uygulamanın zorluklarının ve sınırlamalarının belirlenmesine ve aracın iyileştirilmesi için önerilerde bulunulmasına katkı sağlayabilir. Ayrıca, petrol kirliliği müdahalesiyle ilgili paydaşların bakış açılarını, değerlerini ve önceliklerini inceleyerek NÇFA'nın şeffaf karar alma süreçlerine katkısını ifade eden araştırmalara da ihtiyaç vardır. Petrol kirliliği müdahale stratejileriyle ilişkili çevresel etkileri dikkate alan ve operasyonel karar verme süreçlerini kolaylaştırmak için kullanılan bu yaklaşımlara ait mevcut bilgi, yöntem ve araçların geliştirilmesi bu nedenlerden dolayı büyük önem arz etmektedir. Petrol kirliliği kazalarından kaynaklı çevresel etkileri azaltan, dinamik, etkili ve esnek bir yapıya sahip karar destek yaklaşımlarına ihtiyaç kaçınılmaz olacaktır. Özellikle, yapay zekâ ve makine öğrenimi gibi teknolojideki ilerlemelerin yanı sıra çok kriterli karar analiz yöntemlerinin entegrasyonu sağlanarak karar destek yaklaşımlarının etkinliği ve verimliliği konusunda araştırmalar yapılması gerekmektedir. Çünkü bu yaklaşımlar, müdahale operasyon görevlerini tek bir ara yüzde otomatikleştirerek bilgiye kolay erişim sağlayacak karar vericilerin daha verimli kararlar almasına yardımcı olabilmektedir. Bu nedenle araştırmanın odak noktası, kirlilik olasılığı ne kadar düşük olursa olsun, kirlilik sonuçlarının tüm etkilenen çevre, toplum ve canlı yaşamının minimum düzeyde hasarla sonuçlanmasını sağlayacak ve etkili müdahale sistemlerinin geliştirilmesine yönelik önerilerde bulunan NÇFA analizi uygulanacaktır. Bu yaklaşım ile, etkilenen bölgenin hassasiyeti, ekosistemler ve vahşi yaşam üzerindeki potansiyel etkinin yanı sıra insan kullanımına yönelik sosyoekonomik alanlara ait potansiyel riskleri dikkate alan kapsamlı bir değerlendirme yapılacaktır.

Karar vericilerin yalnızca kısa vadeli çözümlere odaklanmak yerine daha geniş çevresel bağlamı göz önünde bulundurmalarına imkân sağlayan NÇFA, çevre dostu kararların alınmasında etkili bir yaklaşım sergilemektedir. Bu sayede, karar vericilerin bir petrol kirliliğine nasıl müdahale edecekleri konusunda bilinçli seçimler yapmalarına yardımcı olmaktadır. Petrol kirliliği müdahalesine proaktif bir yaklaşım sergileyebilen NÇFA, risk değerlendirme ve müdahale önceliği konusunda tüm paydaş katılımlarını sağlayarak etkili müdahale operasyonu gerçekleştirilmesinde katkı

sağlamaktadır. Müdahale operasyonu sonrasında da uygulanabilen NÇFA yaklaşımı, uzun vadeli riskleri değerlendirmede, bölgenin iyileştirilmesi ve canlı yaşamının sürdürülebilirliği konusunda karar vericilere farklı karar matrisleri sunarak çevrenin en hızlı toparlanma sürecine yardımcı olmaktadır. Ayrıca NÇFA, kontrol altına alma ve kurtarma gibi geleneksel müdahale yöntemlerin ötesinde çeşitli müdahale seçeneklerinin araştırılmasını ve yeni teknolojiler ile desteklenmesini teşvik etmektedir. Belirli durumlarda daha fazla çevresel fayda sağlayabilecek bütünleşik sistemlerin önerisinde bulunarak yerinde yakma, dağıtıcı kullanımı veya doğal iyileştirme gibi alternatif yaklaşımların kullanım önerisinde bulunmaktadır. Bu adım, etkin kaynak tahsisini teşvik etmekte ve müdahale eylemlerinin çevrenin korunması açısından en fazla değeri sunmasını olanak sağlamaktadır. Böylelikle canlı yaşamı ve sosyoekonomik değerler açısından zengin olan Aliağa Körfezi'nde olası bir petrol sızıntısına müdahale ve yönetim ivedilikle gerçekleştirilecek ve ilgili kurumların kaynak destekleri ile operasyon başarılı bir şekilde gerçekleştirilecektir. Bu bağlamda, Aliağa Körfezi'nde meydana gelebilecek olası bir kirlilikte, kamu ve özel kurumlar arasında koordinasyon ve iş birliği sağlanarak gerekli imkân ve kabiliyetlerin zamanında sevk ve idaresi sağlanacaktır.

2.3. ARAŞTIRMANIN PROBLEMİ VE AMACI

Petrol kirliliği, denizler, okyanuslar, göller, nehirler ve yeraltı suları gibi su kaynaklarında ciddi çevre sorunu yaratmakta (Chen ve diğerleri, 2018; Asif ve diğerleri, 2022), deniz ekosistemlerini ve kıyı yaşamını olumsuz etkileyen çevresel, sosyal ve ekonomik riskleri barındırmaktadır (Keramea ve diğerleri, 2021; Zhu ve diğerleri, 2022). Denizde dökülen petrol kıyı şeridine taşınırken ve kıyıya ulaştıktan sonra, doğal bozunma süreçleri nedeniyle deniz yüzeyindeki davranışı ve fiziksel özellikleri değişmektedir. Bu nedenle, kıyı şeridine ulaşan petrol büyük habitat hasarına neden olmakta ve yaşayan tüm canlı organizmalar için ciddi tehditler oluşturmaktadır (Al-Majed ve diğerleri, 2012). Petrol tankerlerinden kaynaklanan kirlilik, armatör ve yük sahibi için önemli ekonomik kayıplara neden olurken (Galieriková ve Materna, 2020), gemi mürettebatı ve kaza mahalline yakın diğer kişiler için sağlık riskleri barındırmaktadır (Chen ve diğerleri, 2020). Sosyal açıdan

bakıldığında, bu tür kazalar yalnızca yaşam standartlarını etkilemekle kalmaz, aynı zamanda bölgede yaşayan tüm sosyal yaşamı tehdit etmekte (Hong ve diğerleri, 2014) ve insan kullanımına yönelik tüm alanlarda (örn. plajlar, sahil şeridi, marinalar, limanlar vb.) olumsuz sonuçlar doğurmaktadır (Li ve diğerleri, 2016). Petrol kirliliğinin balıkçılık, su ürünleri ve turizm gibi sektörlerde de olumsuz etkileri olurken, kirlilik sonrası müdahale ve rehabilitasyon çalışmaları yüksek maliyet, işgücü ve zaman kaybına neden olmaktadır. (Aguilera ve diğerleri, 2010; Goerlandt ve Montewka, 2014). Kirlenen sahadaki toprağın üretkenliğinde azalma nedeniyle tarım faaliyetleri etkilenmekte, etkilenen topluluklarda işsizliği de beraberinde getirmektedir (Chang ve diğerleri, 2014; Akpan, 2022). Petrol sızıntılarının çevreye, topluma ve insan sağlığına yönelik söz konusu yıkıcı etkileri göz önüne alındığında, müdahale operasyonuna yönelik kararların hızlı ve etkili bir şekilde alınması ve geliştirilecek stratejilerin maksimum faydaya hizmet etmesi gerekmektedir. Ayrıca önleme tedbirlerini, müdahale stratejilerini ve koordinasyon mekanizmalarını ana hatlarıyla belirleyen kapsamlı dökülme müdahale planları uygulanmalıdır.

Deniz ortamında meydana gelen kirliliklerin müdahalesinde petrolün yayılım sürecini etkileyen tüm değişkenlerin dikkate alınması ve belirsizliklerin ortadan kaldırılması gerekmektedir (Ivshina ve diğerleri, 2015). Son araştırmalar, petrolün deniz yüzeyindeki davranışının, saha koşulları ve çevre koşulları dahil olmak üzere petrol özelliklerine bağlı olduğunu göstermiştir (Lan ve diğerleri, 2015; Keramea ve diğerleri, 2021). Petrol kirliliğinden kaynaklı riskler, büyük ölçüde dökülen petrolün özelliklerine bağlı olsa da maruz kalma derecesine göre değişen ve risk altındaki kaynakların hassasiyetine bağlı geri döndürülemez etkiler yaratabilmektedir (Jensen ve diğerleri, 1998; Iazeolla ve diğerleri, 2017). Hassas alanlar, biyolojik çeşitliliğin yüksek olduğu, nadir türlerin bulunduğu, ekosistem dengesinin duyarlı olduğu ve insan faaliyetlerinden etkilenme potansiyeli olan alanlar olarak ifade edilmektedir (Jensen ve diğerleri, 1998). Hassas kaynakların petrol sızıntılarının etkilerinden korunması, ekosistemlerin, biyolojik çeşitliliğin ve toplumların refahının korunması için çok önemlidir. Hassas kaynaklara ve ekolojik sisteme ciddi tahribat yaratan petrol kirliliği kazalarının nedenlerini araştırmak ve kirliliğe müdahale edecek yetkililerin uygun müdahale yöntemini değerlendirmesi ve bu konuda eğitilmeleri ise büyük önem arz etmektedir (IPIECA-IOGP, 2015a). Çevresel karar verme sürecinde kullanılan

hassasiyet haritaları, özel koruma gerektiren öncelikli alanlar, kritik habitatlar veya yüksek biyoçeşitlilik değerine sahip alanlar gibi çevresel açıdan hassas alanların belirlenmesine yardımcı olmaktadır (Blaine, 2022). Ayrıca hassas türleri ve bu türlerin dökülmeye maruz kalma potansiyellerini vurgulayarak türe özgü müdahale önlemlerinin ve koruma eylemlerinin geliştirilmesinde katkı sağlamaktadır.

Aliağa'da deniz ulaştırma hizmetleri Aliağa Koyu ve Nemrut Koyu'nda bulunan kıyı tesisleri ve iskeleler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Çok sayıda petrol rafineri tesisine ev sahipliği yapan Aliağa Körfezi, 2022 yılı itibariyle 6.067 gemiye hizmet vermiş ve elleçleme kapasitesiyle Türk liman başkanlıkları bazında ikinci sırada yer almaktadır (UAB, 2023). 1961 yılında demir-çelik, petrokimya ve rafineri gibi önemli sektörlerde hizmet vermesi nedeniyle "ağır sanayi bölgesi" olarak ilan edilen Aliağa (IZKA, 2022b), 1970 yıllarında bölgede kurulan tesislerin elleçleme kapasitesi ve gemi trafik yoğunluğundan kaynaklı kazalar nedeniyle çeşitli kirlilik riskleri ile tehdit altındadır. Aliağa iç liman bölgesi, dar bir kıta sahanlığına sahip nispeten sığ bir koy özelliğini göstermektedir. Bu da bölgeyi petrol sızıntıları da dahil olmak üzere kirlilik etkilerine karşı daha savunmasız hale getirmektedir. Aliağa Körfezi, petrol sızıntılarına ve kirliliğe karşı özellikle savunmasız olan hassas habitatları içermektedir. Bu alan, balıklar, kabuklular ve göçmen kuşlar da dahil olmak üzere çok sayıda deniz canlısı için beslenme ve yaşam alanı oluşturmaktadır. Bu habitatlar arasında balıklar için fidanlık alanları sağlayan ve tortu dengeleyici görevi gören deniz çayırları ile su filtrasyonu ve kıyı korumasında çok önemli bir rol oynayan sulak alanlar yer almaktadır. Petrol sızıntıları, bölgedeki deniz canlılarının üreme döngüleri, yaşam süreleri ve sağlıkları üzerinde zararlı etkilere neden olmaktadır. Kirlenmiş su, tortu ve gıda kaynakları besin zincirini ve ekosistem dinamiklerini etkileyerek sosyal yaşamı da tehdit etmektedir.

Aliağa Körfezi'nin çevresel hassasiyeti göz önüne alındığında, hassas kaynakların korunmasına öncelik verilmesi ve çevresel faydayı maksimum düzeyde sağlayacak petrol sızıntılarının önlenmesine yönelik tedbirlerin uygulanması büyük önem arz etmektedir. Bu önlemler arasında endüstriyel faaliyetlere yönelik düzenleyici kurallar, etkin atık yönetimi uygulamaları, su kalitesinin düzenli olarak izlenmesi ve olası petrol sızıntısı olaylarına yönelik acil durum planları ve müdahale kabiliyetlerinin geliştirilmesi yer almaktadır. Aliağa'da sorumlu çevre yönetimi ve

sürdürülebilir kalkınmanın teşvik edilmesinde halkın bilinçlendirilmesi ve katılımı da hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle petrokimya ve rafineri gibi önemli sektörlerde hizmet veren ve 2023 yılı ilk çeyrek itibariyle 26,7 milyon ton yük elleçlenen Aliağa Körfezi'nde olası kirlilik senaryolarında kullanılacak çevresel karar destek sistemlerine yönelik yaklaşımlara ciddi ihtiyaç bulunmaktadır. Konuyla ilgili bilimsel araştırmaları teşvik eden dünya çapındaki politikalara rağmen, petrol kirliliği müdahale sistemleri ve tekniklerin optimizasyonuna ilişkin literatürün eksikliği devam etmektedir. Bu bağlamda, petrol kirliliği müdahalelerinde Net Çevresel Fayda Analizi'nin etkinliğinin değerlendirilmesi ve çevresel karar destek sistemlerinde NÇFA modelinin uygulanabilirliği, verimliliği ve başarısını ispatlamak araştırmanın problemini oluşturmaktadır. Bu araştırma problemi altında incelenebilecek potansiyel alt sorular;

- Petrol kirliliği müdahalelerinde NÇFA yöntemi nasıl uygulanır ve hangi parametreleri değerlendirir?
- NÇFA yöntemi, farklı petrol kirliliği müdahale stratejilerinin çevresel etkilerini nasıl değerlendirir?
- NÇFA yöntemi kullanılarak belirlenen müdahale stratejileri, çevresel fayda sağlamak için hangi faktörleri dikkate alır (örneğin, kirliliğin türü, yerel ekosistem, etkilenen türler)?
- NÇFA yöntemi, en fazla net çevresel faydayı sağlayan müdahale stratejisini belirlemede etkili bir araç mıdır?
- NÇFA yöntemi, farklı paydaşların çıkarlarını ve önceliklerini dikkate alarak petrol kirliliği müdahalelerinin çevresel fayda ve maliyetlerini nasıl dengeler?

Bu araştırma problemi, petrol kirliliği müdahalesinde Net Çevresel Fayda Analizi'nin kullanımının etkinliğini değerlendirmek ve bu yöntemi geliştirerek çevresel karar süreçlerinde daha iyi sonuçlar elde etmeye yönelik önemli bir araştırma alanı sunmaktadır.

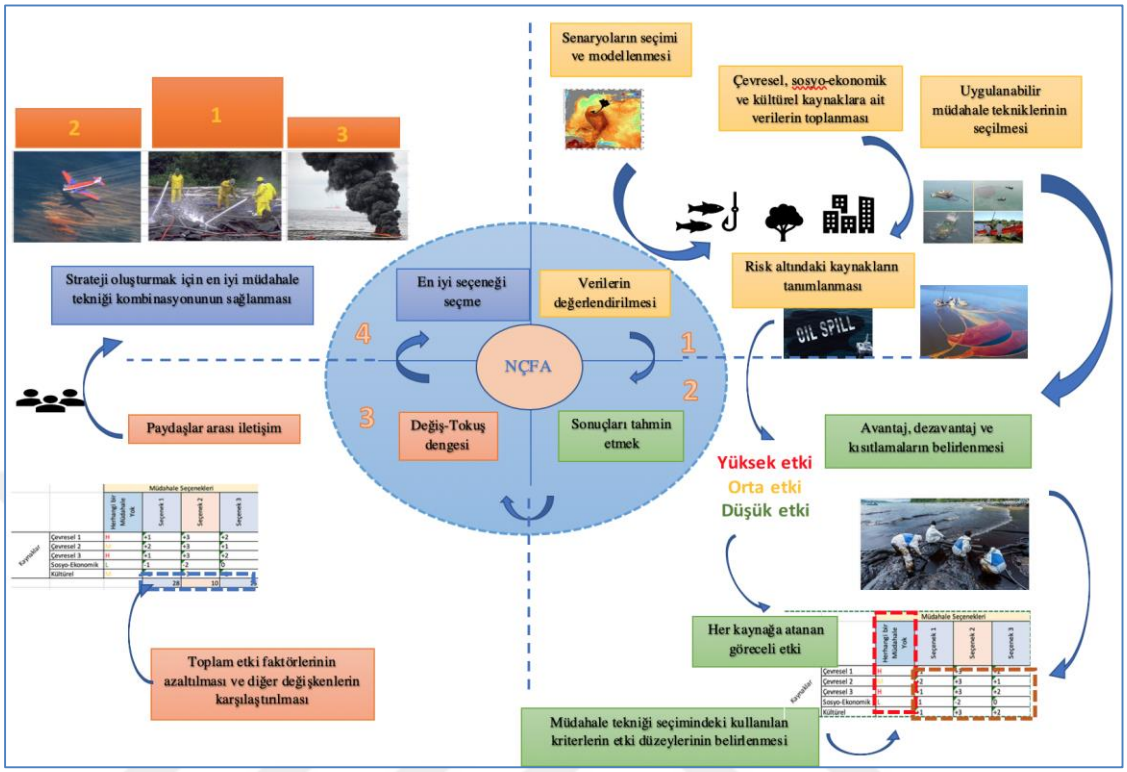
Petrol sızıntılarının çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde ve etkin müdahale operasyonu sürdürmede karar destek yaklaşımlarının faydaları göz önüne alındığında, dökülmeleri izleyen potansiyel zararları tahmin etmek ve kıyı hassasiyetine dayalı optimum müdahale stratejisini belirlemek için Aliağa Körfezi özelinde bir model önerisinde bulunmak tezin birincil amacı olmaktadır. Bu çalışma

ikincil bir amaç olarak bölgedeki hassas alanlar (plajlar, balıkçılık, deniz yaban hayatı, deniz parkları ve diğer korunan kıyı alanları) için bir risk değerlendirmesi gerçekleştirerek risk yönetimi konusunda azaltıcı eylemler önermeyi amaçlamaktadır. Bu sayede kirliliğin potansiyel etkilerine yönelik çevre odaklı kararlar sayesinde, ekosistem hasarından kaynaklı riskler değerlendirilecek ve sosyal, ekonomik ve kültürel kaynakların korunmasına yönelik kararların doğru teknikler ile değerlendirilmesi sağlanacaktır. Ayrıca, risklere yönelik kantitatif değerlendirilmeler ve yayılım modellemeleri sayesinde, kirliliğin etki edeceği hassas bölgenin öncelikli müdahalesine odaklanarak ekosistemin geri kazanımı sağlanacak ve müdahale tekniklerinin maksimum verimlilik ile etkin kullanımı gerçekleştirilecektir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, kısa vadede sosyoekonomik kaynaklar korunarak çevresel hasarın önüne geçilmesi için önlemler alınacak uzun dönemde ise canlı yaşamı, insan sağlığı ve kıyı yönetimini ilgilendiren risklerin yönetimi sağlanacaktır. Dökülen petrolün çevreye akut ve kronik toksik etkilerini değerlendiren ve hassas kaynakların korunmasını sağlayan NÇFA modeli ile, Aliağa Körfezi'nde meydana gelebilecek bir kazanın müdahale yönetimi zamanında, analitik yöntemler ışığında ve objektif ölçeklerle sağlanacaktır. Ayrıca kirlilik boyutunun güvenilir veriler ile erken tahmini sayesinde, müdahale operasyonunun başarılı şekilde yönetimi ve civardaki hassas alanların maksimum verimlilikle korunmasına yönelik çıkarımlarda bulunulacaktır.

2.4. ARAŞTIRMA MODELİ VE SÜRECİ

Petrol kirliliği gerçekleşmesi durumunda karar verme sürecinin temelde çok aşamalı bir süreçten oluştuğunu söylemek mümkündür. NÇFA karar sürecinde amaç; olası riskleri yönetmek, maliyetleri minimize etmek ve topluma ve çevreye potansiyel faydasını maksimize etmeye yönelik yaklaşımlar sergilemektir (Efroymson ve diğerleri, 2004). NÇFA sürecinde, bilinçli bir şekilde yürütülen petrol kirliliği operasyon kararlarının alınabilmesini için hükümetler, sanayi kuruluşları ve müdahale toplulukları arasında iş birliğine dayanan bir sistemin olması gerekmektedir. Başarılı bir şekilde yürütülen açık iletişim hatları, şeffaf karar verme, politikaların açıklığa kavuşturulması ve müdahale sonuçlarının etkinliği petrol kirliliğine hazırlıklı olma ve müdahale operasyonu planlama ve yürütmenin anahtar unsurlarıdır. Şekil 25'te NÇFA yaklaşımına dair temel adımlar yer almaktadır.

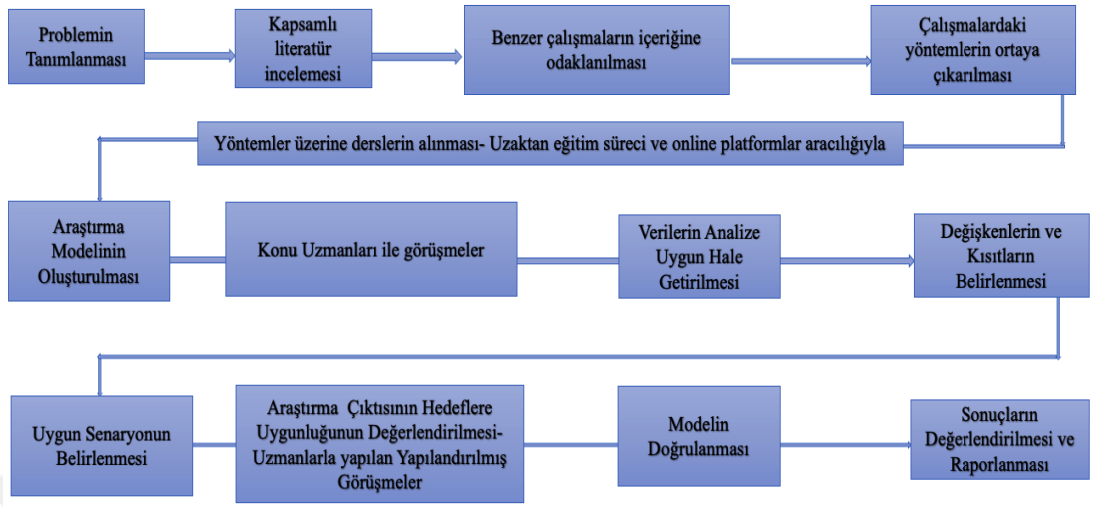
Şekil 25: NÇFA Model Yaklaşımı



Kaynak: Yazar tarafından literatürden elde edilen bilgiler ışığında hazırlanmıştır.

Şekil 25'te görüldüğü üzere, bu kavramsal çerçevenin odağı karşılaştırmalı bir çevresel risk sürecidir. Genel çevresel faydaya (en az zarar) ulaşmak için bu süreçte, müdahale stratejileri konusundaki tercihlerin karşılaştırmalı analizine dayanan risk matrisleri ve çevresel etki değerlendirmeleri yer almaktadır. Müdahale operasyonu planlama sürecinde ise, dökülmelerin göreceli risklerini ve etkilenecek sahayı görselleştiren kirlilik yayılım modellerinin uygulanması ve değerlendirilmesi gerekmektedir. NÇFA süreci temelde dört aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; olası bir kirlilikteki potansiyel etkilerin anlaşılması ve müdahale tekniklerin uygulanmasında kullanılacak verilerin toplanması, uygulanacak müdahale tekniklerinin sonuçlarının öngörülmesi, çevresel ve ekonomik etkilerin ağırlıklandırılarak marjinal faydanın sağlanması ve son olarak elde edilen veriler ve kantitatif teknikler kullanılarak en uygun müdahale tekniklerinin uygulanmasını yönelik adımlardır (API, 2013; IPIECA-IOGP, 2015a). Tezin araştırma sürecini içeren akış diyagramı Şekil 26'da yer almaktadır.

Şekil 26: Araştırma Süreci



Petrol kirliliğine müdahalede karar verme süreci, müdahale teknikleri, çevresel etkiler, yönetmelikler ve vaka çalışmaları dahil olmak üzere çeşitli konularda ilgili ve güncel literatüre ihtiyaç duymaktadır. Bu kapsamda araştırma probleminin ortaya konulması ve literatürdeki boşluğu net bir şekilde tanımlayabilmek için, 1970-2022 yılları arasında yayınlanan "*petrol kirliliğine müdahale*", "*müdahale operasyon verimliliği*", "*karar verme yaklaşımları*" temelinde anahtar kelimeler kullanılarak kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Tüm veri tabanlarında incelenen makalelerde, müdahale operasyonunu etkileyen faktörlerin kantitatif yöntemler ile değerlendirilme ihtiyacı ve karar verme aşamasında yaşanılan sorunlar üzerine odaklanılmıştır. Literatürdeki bu boşluk, gemi trafiği yoğun ve kıyı tesisleri açısından zengin bir bölge olan Aliağa Körfezi özelinde gerçekleştirilerek kamu yararına, kantitatif yöntemler ile çevre dostu bir model önerisi tanımlanması ihtiyacını doğurmuştur. Farklı veri tabanlarında NÇFA ve karar verme yaklaşımları özelinde bibliyometrik analizler gerçekleştirilerek sistemsel bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Bilimsel yayınların özellikleri ve dinamikleri hakkında fikir edinmek için en çok atıf alan yazarlar, anahtar kelimeler ve yazarlar arasındaki etkileşimler gibi çeşitli bibliyografik unsurların analizleri gerçekleştirilerek NÇFA kapsamında bir analiz gerçekleştirilmiştir. Literatürden elde edilen bilgiler kapsamında, tezin araştırma yöntemleri ve modeline yönelik genel bir çerçeve çizilmiştir.

Problemin net bir şekilde tanımlanması ve ilgili kaza incelemesi için araştırma sahası belirlenerek veri toplama sürecine geçilmiştir. Veri toplama aşamasında, müdahale firmaları, İzmir ve Aliağa Bölge Liman Başkanlıkları ve İzmir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri ile yüz yüze görüşmeler yapılarak Aliağa Körfezi'nde gemi kaynaklı petrol kirliliği kaza verileri elde edilmiştir. Dökülen ürün tonajı, mevki bilgisi ve ürün özelliklerine yönelik güvenilir ve bilimsel 5 adet gemi kaynaklı petrol kirliliği kaza verilerine ulaşılmıştır. Veri seti oluşturulduktan sonra, NÇFA yaklaşımının ikinci adımında yer alan sonuçların tahminlemesi aşaması için kaza verilerindeki tarih aralığına dair rüzgâr yönü ve şiddeti, akıntı, bulutluluk, deniz suyu ve hava sıcaklığı, dalga yüksekliği bilgilerini içeren oşinografik ve meteorolojik veriler Microsoft Office Excel programında tasnif edilmiştir.

Veriler analize hazır hale getirildikten sonra, Coğrafi Bilgi Sistemleri temelinde analizler gerçekleştiren Mapinfo Pro (Desktop Geographic Information System Software) yazılımı ile her bir kirlilik kazasının konumsal analizleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki aşamada, çeşitli çevresel koşullar altında dökülen petrolün hareketini, yayılmasını ve kıyıya ulaşma sürelerini simüle etmek için kirlilik sayısal modellemesi gerçekleştirilmiştir. Her bir kaza verisinin deniz yüzeyindeki yayılma hareketini sayısal olarak modellemek için, PISCES-II (Potential Incident Simulation Control and Evaluation System), yazılımı tercih edilmiştir. PISCES-II karar vericilere, gerçek zamanlı ve öngörülü bilgiler sağlayarak müdahale eylemleri, kaynak tahsisi ve acil durum planlaması ile ilgili bilinçli seçimler yapmalarına olanak tanımaktadır. Kullanımı ile, petrol kirliliği müdahale operasyonlarının etkinliğini, verimliliğini ve koordinasyonunu geliştirmeye yardımcı olarak bu tür olayların çevresel etkilerini en aza indirgemektedir. Bir sonraki aşamada ise, müdahale firmaları ve Aliağa Bölge Liman Başkanlığı ile yüz yüze görüşmeler yapılmış olup çalışmaya dair değişkenlerin tespiti hedeflenmiştir. NÇFA yaklaşımının son aşamasında ise, çevre riskleri en aza indirgemek ve etkili müdahale stratejilerini belirlemek için yapılandırılmış görüşme formu tasarlanmıştır. Bu görüşme formunun geçerliliği ve güvenirliği ise ilgili uzmanlar ve akademisyenler tarafından test edilmiştir. En son aşamada, NÇFA sürecine dahil edilen tüm paydaşlara e-posta, telefon ve yüz yüze görüşme ile tezin genel çerçevesi anlatılmış ve yapılandırılmış görüşme için randevu alınmıştır. Optimum müdahale tekniği önerisinde bulunmak için tüm paydaşlar,

belirlenen değişkenlere risk skorlarını puanlamış ve NÇFA sonucunda optimum müdahale önerisinde bulunmuştur.

2.5. ARAŞTIRMA SAHASI

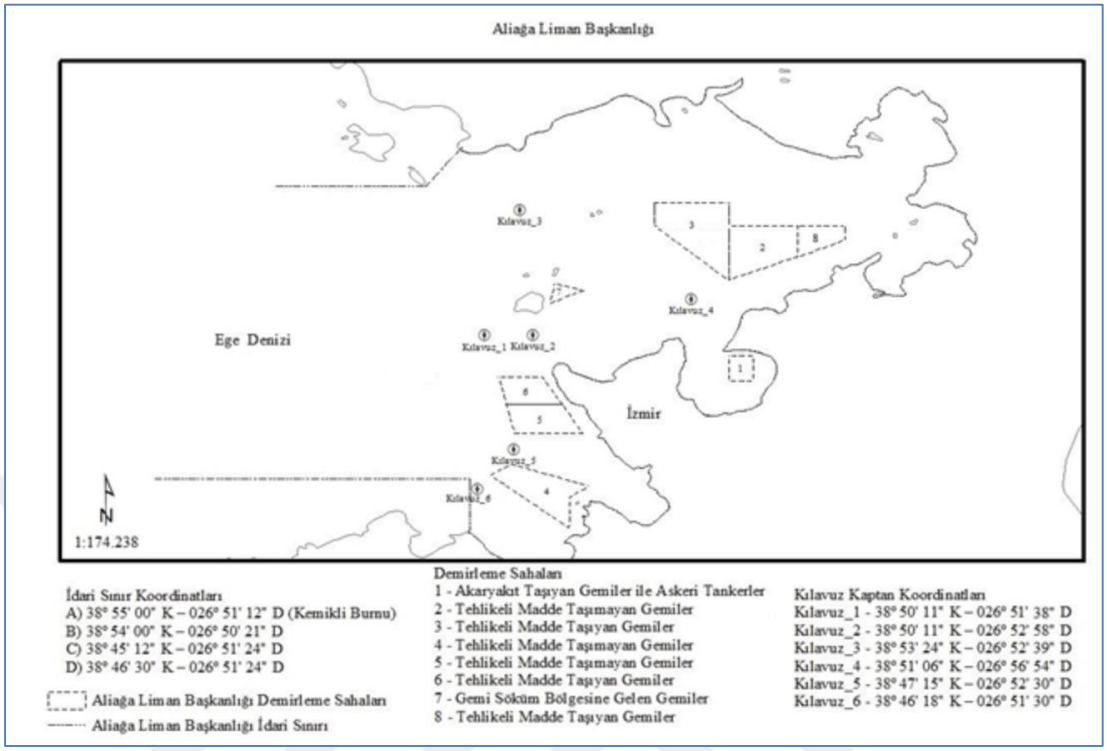
Ege Bölge'sinin önemli sanayi bölgelerinden biri olan Aliağa, Türkiye'nin batı kesiminde bulunan bir ilçedir. Türkiye'nin önemli yük merkezlerinden biri haline gelen Aliağa bölgesi, farklı yükleri elleçleyebilen limanları ve petrokimya, demir-çelik, gemi söküm gibi çeşitlendirilmiş sektörlerde faaliyet gösteren sanayi kuruluşlarına hizmet vermektedir (Özşahin ve Eroğlu, 2019). Bu yüzden Aliağa, lojistik ve ticari açıdan stratejik bir konuma sahiptir. Aliağa, limanların yanı sıra kara ve deniz yollarıyla entegre olan bir lojistik merkezidir. Bir deniz veya gölün kıyıya geniş bir kıvrım yaparak oluşturduğu yapı "Körfez" olarak ifade edildiğinden, Aliağa Koyu ve Nemrut Koyu'nu içine alan iç ve dış limanları kapsayan tüm bölge araştırma sahamız olan "Aliağa Körfezi" olarak ifade edilecektir.

Aliağa Bölge Liman Başkanlığı'nın liman idari saha sınırı, Limanlar Yönetmeliği 14.04.2023 tarihli 32163 kararınca koordinatları belirtilen deniz ve kıyı alanlarını içermektedir. Bu koordinatlar;

- 38° 55' 00" K – 026° 51' 12" D (Kemikli Burnu)
- 38° 54' 00" K – 026° 50' 21" D (Kara Ada)
- 38° 45' 12" K – 026° 51' 24" D
- 38° 46' 30" K – 026° 51' 24" D

Bu bölge sınırlarında meydana gelen gemi kaynaklı kirlilik kazaları araştırmanın veri setini oluşturmaktadır. Aliağa Körfezi'nde sanayi ve liman tesisleri, askeri alan, orman ve tarım arazileri, açık ve kapalı depolama alanları yaklaşık 7.000 hektar alanı kaplamaktadır. Limanların yakınında yer alan demiryolu hatları, karayolu bağlantıları ve depolama alanları, yük taşımacılığının etkin bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Bu lojistik ağ, bölgede tedarik zinciri yönetimi, depolama, dağıtım ve lojistik hizmetlerin gelişmesine de katkıda bulunmaktadır (Eroğlu ve Bozyiğit, 2013). Aliağa Bölge Liman Başkanlığının yetki sahasını içerisinde yer alan Aliağa Limanı iç liman sahası ve Nemrut Koyu'nda yer alan tesislerin dış liman sınırlarına ait haritayı birleştiren görsel Şekil 27'de gösterilmektedir.

Şekil 27: Aliağa Liman Başkanlığı Liman Yetki Sahası



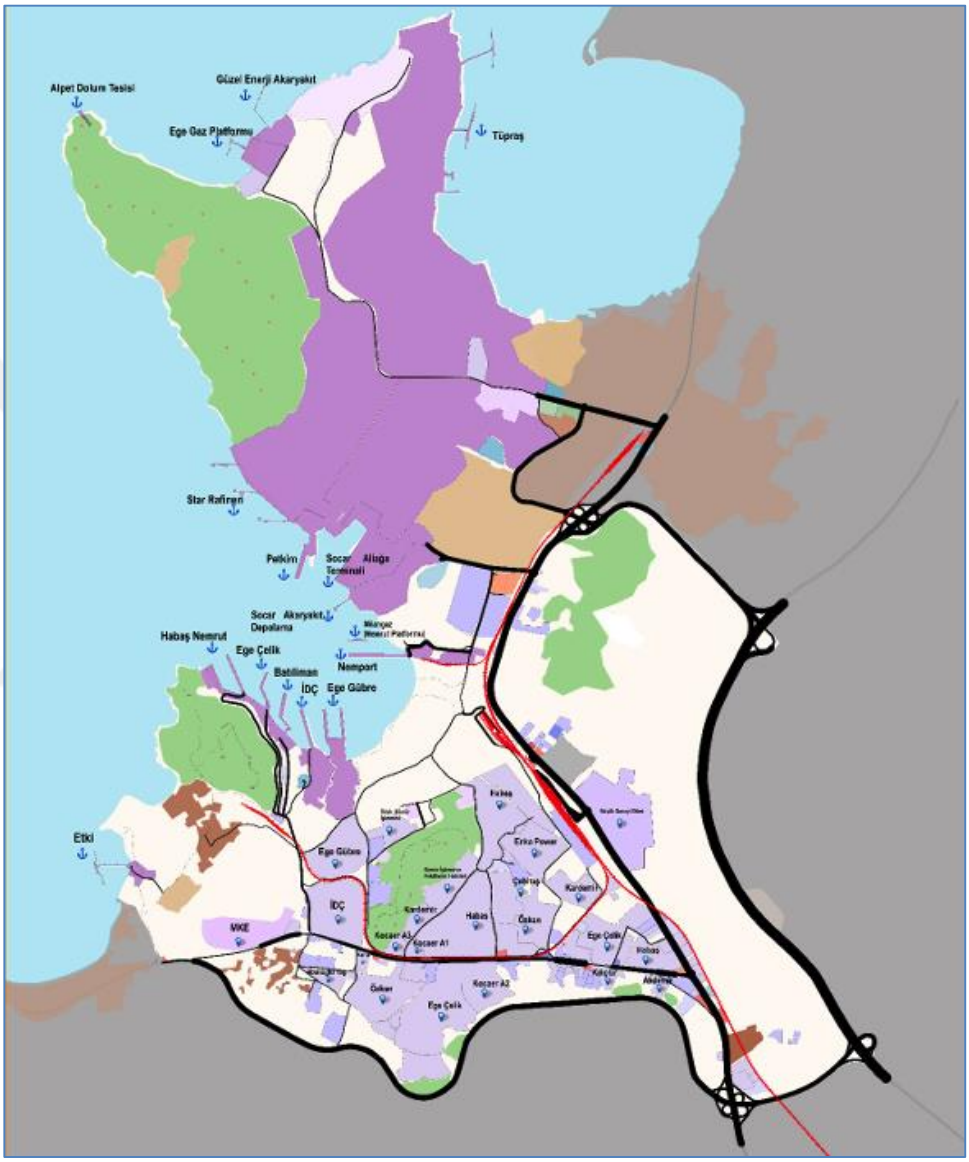
Kaynak: SHODB, 2022

Aliağa'da farklı yüklere hizmet veren ve farklı iskele uzunluğunda 16 adet kıyı tesisi ve 25 parsel alanından oluşan gemi geri dönüşüm tesisleri bulunmaktadır. Sanayi tesisleri ağırlıklı olarak Aliağa Koyu ve Nemrut Koyu arasında kalan bölgede hizmet vermektedir.

Farklı yük tiplerine hizmet veren 11 adet liman Nemrut Koyu'nda yer almaktadır. Bu tesisler güney-batı kıyı şeridinden itibaren, Batıliman, Habaş Nemrut Limanı, İDÇ Limanı, Ege Gübre Limanı, Ege Çelik Limanı, Nemport Limanı, Milangaz Nemrut Platformu, SOCAR Aliağa Terminali, SOCAR Akaryakıt Depolama Tesisi, Star Rafineri Limanı ve PETKİM Limanı yer almaktadır. Aliağa Yarımada'sının Ilıca Burnu'ndan Taşlı Burnu'na doğru mevkiinde ALPET Dolum Tesisi, Ege Gaz Platformu ve Güzel Enerji Akaryakıt Limanı yer almaktadır. Bu bölgede, 1976 yılından itibaren Aliağa Körfezi'nde gemi söküm faaliyetleri yürütülmekte olup 1.300 m'lik sahil şeridinde 22 adet gemi söküm tesisi faaliyet göstermektedir. TÜPRAŞ ise Aliağa Yarımadası'nın doğu kıyısında bulunmaktadır ve petrokimya tesisine ait iskele, platform ve şamandıralar bu bölgede

konuşlandırılmaktadır (İZKA, 2022b). Şekil 28'de Aliağa Körfezi'nde yer alan kıyı tesislerini içeren harita yer almaktadır.

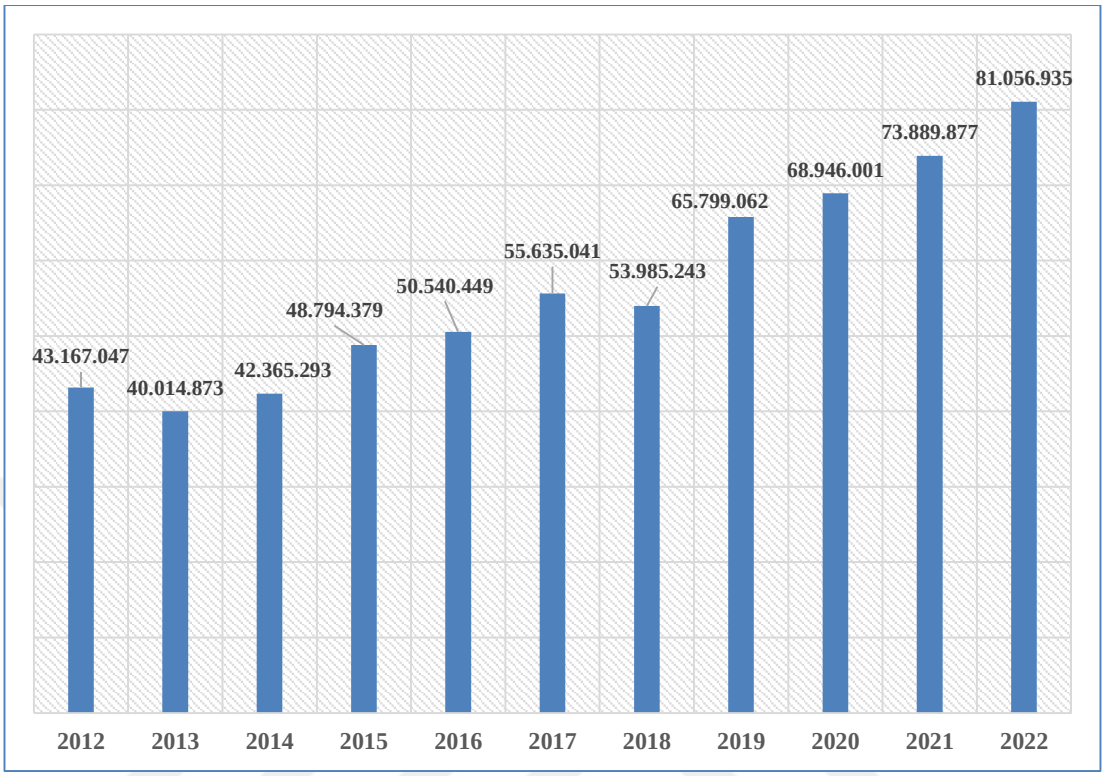
Şekil 28: Aliağa Körfezi'nde Yer Alan Kıyı Tesisleri



Kaynak: İZKA, 2022b.

Aliağa Bölge Liman Başkanlığı, 2022 yılı verilerine göre elleçlenen toplam yük hacmi bakımından 81,1 milyon ton ile Türkiye'nin ikinci liman başkanlığı konumundadır (TÜRKLİM, 2022). Şekil 29'da Aliağa Liman Başkanlığı'nda elleçlenen toplam yük hacminin yıllara göre değişimi görselleştirilmektedir.

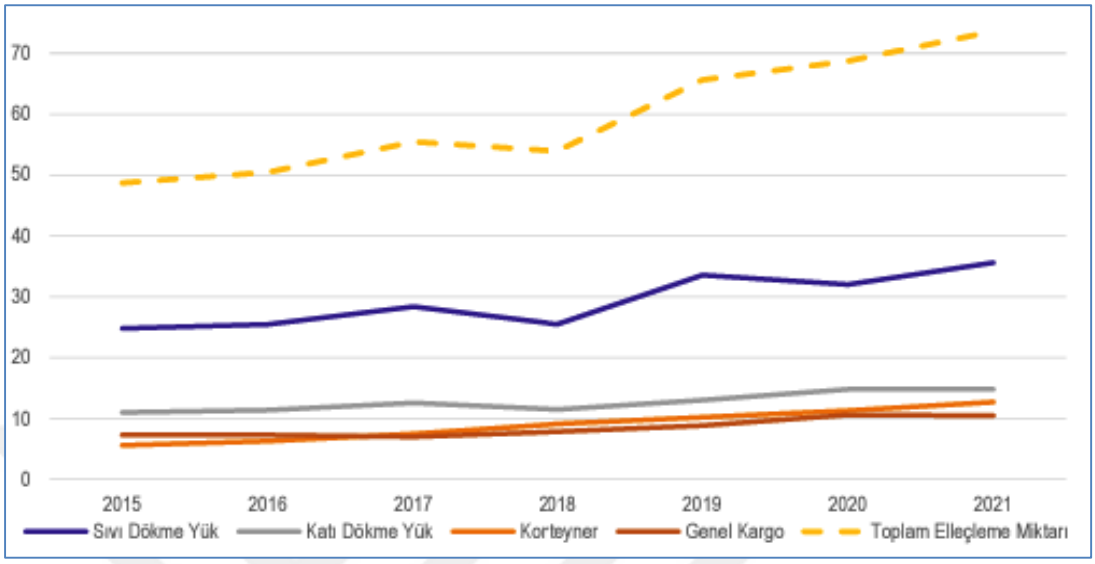
Şekil 29: Aliağa Liman Başkanlığı'nda Elleçlenen Toplam Yük Hacmi (Yıl/ton)



Kaynak: TÜRKLİM, 2022.

TÜRKLİM 2022 raporuna göre, Türkiye limanlarında elleçlenen toplam sıvı dökme yükün %23,6'sı; genel kargonun %17,1'i; katı dökme yükün %8,7'si Aliağa limanlarında gerçekleşmiştir. Bu açıdan değerlendirildiğinde Aliağa Körfezi, deniz ticareti için önemli bir merkez olarak hizmet veren limanlar, endüstri ve sanayi tesislerin varlığı nedeniyle gemi trafiği açısından yoğun bir bölgedir. Şekil 30'da 2015-2021 yılları arasında Aliağa Liman Başkanlığı'nda yük türlerine göre elleçlenen toplam yük hacim değişimleri yer almaktadır.

Şekil 30: 2015-2021 Yılları Arasında Aliağa Liman Başkanlığı'nda Elleçlenen Yük Miktar Değişimleri (Milyon Ton)



Kaynak: DGM, 2022

2015-2021 yılları arasında Aliağa Körfezi'nde elleçlenen tüm yükler bazında, sıvı ve katı dökme yükler ve konteyner yüklerin elleçlenme miktarlarındaki artışın özellikle 2018 yılı sonrasında genel kargo yüklere nazaran daha yüksek bir ivme ile artış gösterdiği gözlenmektedir. Toplam yük elleçlemenin yaklaşık yarısını (%48,3) oluşturan sıvı dökme yükler, diğer yük sınıflarına göre ön plana çıkmaktadır. Sıvı dökme yük payının elleçleme kapasitesi açısından değerlendirdiğimizde, TÜPRAŞ ve Star Rafineri tesislerinin bu yüksek payda etkili olduğu görülmektedir. Genel kargo ürünleri %20,2'lik pay ile ikinci ve katı dökme yük sınıfı ise %14,2'lik pay ile üçüncü sırada yer almaktadır (İZKA, 2022b).

Ticaret talebi, gemi sökümü projeleri, enerji sektörü ihtiyaçları, liman altyapısı ve ekonomik koşullar nedeniyle Aliağa gemi trafiği açısından oldukça yoğun bir bölgedir (Eroğlu ve Bozyiğit, 2015). Bölgede bulunan liman ve gemi söküm tesisleri, 2023 yılı Ocak-Nisan ayları içerisinde toplam 2.106 gemiye hizmet vermiştir (UAB, 2023). Gemi trafiği yoğunluğu; istihdam yaratmada, yerel ve bölgesel ekonomileri yönlendirmede hayati bir rol oynamaktadır. Fakat gemiler, petrol sızıntıları, kimyasallar, sintine suları ve balast suyu gibi kirleticiler nedeniyle su kalitesi, deniz ekosistemi ve kıyı şeridi üzerinde riskler oluşturmaktadır.

Aliağa Körfezi, deniz çayırları, önemli balık habitatları ve sit alanları da dahil olmak üzere çeşitli kıyı ve deniz ekosistemlerine ev sahipliği yapmaktadır. Yoğun gemi trafiği ve çevresel hassasiyetin bir araya gelmesi, Aliağa Körfezi'ni petrol kirliliği açısından önemli bir risk sahası haline getirmektedir. Gemi trafiğinden kaynaklı kirlilik riski, bu ekosistemlerin bozulmaya karşı hassasiyetin değerlendirilmesini ve korunmasına yönelik eylemlerin gerçekleştirilmesini zorunlu kılmıştır. Biyolojik çeşitliliğin korunması ve ekosistem dengesinin sürdürülmesi açısından, koruma ve önleme çabalarını tüm kurum ve kuruluşlar ivedilikle yerine getirmelidir. Aliağa Körfezi'nin sürdürülebilir kalkınmasını sağlamak için gemi trafiğinin ekonomik faydaları ile çevrenin korunmasının dengelenmesi esastır. Çevresel düzenlemelere uymak, sorumlu denizcilik uygulamalarını teşvik etmek, çevre koruma önlemlerine yatırım yapmak, ekosistem üzerindeki potansiyel olumsuz etkileri en aza indirmek bölgenin çevresel sürdürülebilirliği açısından hayati önem taşımaktadır.

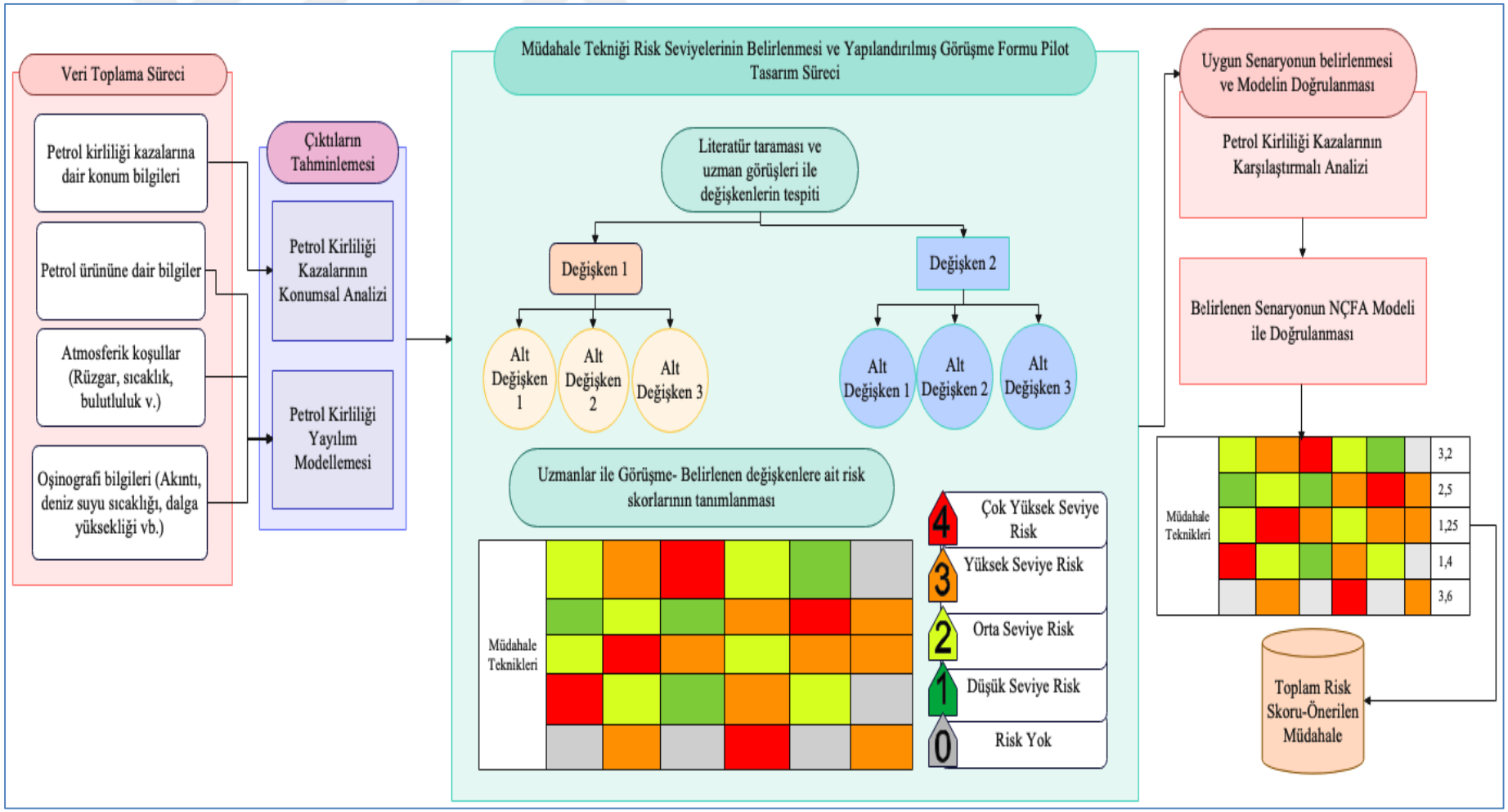
2.6. ARAŞTIRMA VERİ ANALİZ YÖNTEMLERİ

NÇFA sürecinde farklı müdahale seçeneklerin çevresel etkilerini ve faydalarını değerlendirmek için nicel ve nitel analizlere dayalı yöntemler kullanılmaktadır. Karar vericiler hem nicel hem de nitel analizleri kullanarak, bir petrol kirliliğine nasıl müdahale edecekleri konusunda daha bilinçli kararlar alabilmektedir. Bu da çevrenin ve toplumun petrol kirliliğinin zararlı etkilerinden korunmasına yardımcı olmaktadır (IPIECA-IOGP, 2015a). NÇFA'da karşılaştırılan müdahale teknikleri, kirliliğin meydana geldiği sahaya, ürün özelliklerine, hassas kaynaklara ve analizin spesifik hedeflerine bağlı olarak değişebileceğini belirtmek gerekmektedir. Bu nedenle, petrol kirliliği müdahale eylemlerinin net çevresel faydalarının kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlamak için analitik tekniklerin seçimi ve kombinasyonu koşullara göre uyarlanmalıdır.

Araştırmanın veri analiz sürecinde, ilk olarak petrol kirliliği ile sonuçlanan gemi kaynaklı kirlilik kazaların konumsal analizleri gerçekleştirilmiştir. Konumsal analiz sürecinde, kazanın konum bilgileri, ürün detayları, dökülen ürün tonaj bilgilerini görselleştiren tematik haritalar gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki adımda,

her bir kazaya ait yayılım modellemesi için kazanın ilk saatleri, altı saat sonraki yayılım hareketi ve kıyıya vurduğu ilk saat bilgilerini içeren senaryolar oluşturulmuştur. Bu iki analiz yöntemi NÇFA modelinin tahminleme aşamasında kullanılmaktadır. Bir sonraki aşamada ise, yapılandırılmış görüşmeye dair uzmanlar belirlenmiş ve görüşme formunun pilot tasarım süreci gerçekleştirilmiştir. Görüşme formunun son hali oluşturulduktan sonra, uzmanlardan her bir müdahale tekniklerini belirlenen değişkenler ışığında puanlamaları istenmiş ve müdahale tekniklerinin risk seviyeleri belirlenmiştir. Bir sonraki süreçte NÇFA modelinin doğrulanması için, kazalar arasında karşılaştırmalı bir analiz gerçekleştirilerek uygun senaryo belirlenmiştir. Senaryonun koşulları ve ürün bilgilerine göre optimum müdahale tekniği belirlenerek NÇFA modeli test edilmiştir. Şekil 31'de verilerin toplanması ve analiz edilmesine dair aşamalar yer almaktadır.

Şekil 31: Verilerin Toplanması ve Analiz Edilmesine Yönelik Adımlar



2.6.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Konumsal Dağılım Analizi

Denizcilik teknolojisindeki gelişmelere ve yürürlüğe giren uluslararası güvenlik ve emniyet kurallarına rağmen, deniz kazaları meydana gelmektedir ve denizcilik endüstrisi için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır (Yildiz ve diğerleri, 2022). Deniz kazaları üzerine yapılan çalışmalar, deniz trafiği güvenliğinin yönetilmesinde ve dolayısıyla can ve mal kayıplarının azaltılmasında yol gösterici olmaktadır. Çalışmalar, deniz kazalarının oluşumunun belirli bir mekânsal örüntüyü takip ettiğini (Huang ve diğerleri, 2013; Acharya ve diğerleri, 2017) ve deniz kazalarının özelliklerinin farklı bölgeler arasında değişiklik gösterdiğini ortaya koymuştur (Zhang ve diğerleri, 2021; Yildiz ve diğerleri, 2022). Bu nedenle, kazaya eğilimli deniz alanlarının belirlenmesi ve kazalardan kaynaklı risklerin değerlendirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Deniz kazalarının mekânsal dağılım özelliklerinin incelenmesine yönelik geliştirilen araştırmalarda, temel olarak geleneksel veri istatistiksel analizleri ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS)'ne dayalı konumsal analiz teknikleri içermektedir. Birincisi, toplanan kaza bilgilerindeki kaza konumlarına göre istatistiksel analiz yoluyla deniz kazalarının sıklıkla meydana geldiği deniz alanları belirlenirken, ikincisi CBS teknolojisi aracılığıyla kazaları harita üzerinde görsel olarak sunmakta ve konumsal analiz yoluyla mekânsal dağılım özelliklerini farklı perspektiflerden tematik haritalar gerçekleştirerek analiz etmektedir (Wang ve diğerleri, 2022).

CBS, coğrafi bilgiye dayanan ve nesneler arasındaki mekânsal ilişkiyi sağlamak için coğrafi model analizi yöntemini benimseyen ve coğrafi araştırma ve coğrafi karar verme için hizmet veren, gelişmekte olan bir mekânsal veri işleme ve analiz teknolojisidir (Maguire, 1991). CBS, deniz ortamındaki petrol sızıntılarına ilişkin bilgilerin toplanması, görselleştirilmesi ve analizi için etkili bir araçtır (Giziakis ve diğerleri, 2013). Mekânsal ve zamansal bilgiler (örneğin denizdeki petrol kirliliği dağılımı ve zaman içindeki gelişimi) kullanıcıların petrol sızıntısının ana kaynağını belirlemelerine ve ardından risk alanlarının ana hatlarını çizmelerine olanak tanımaktadır (Ivanov ve diğerleri, 2008). Araştırmacılar, kazaların konumlarını kıyı şeridi, hassas habitatlar ve altyapı gibi ilgili mekânsal verilerle üst üste katmanlaştırarak belirli alanların potansiyel etkilerini ve güvenlik açıklarını

değerlendirebilmektedir. CBS tabanlı analiz, kıyı alanlarının ve hassas ekosistemlerin petrol sızıntılarına karşı kırılganlığını değerlendiren ESI haritalarını tematik olarak görselleştirmekte de etkili bir araçtır. Ayrıca CBS, petrol döküntüsü meydana gelme olasılığı daha yüksek olan alanları gösteren risk haritalarının geliştirilmesini de yardımcı olmaktadır. Geçmiş petrol kirliliği verilerini, gemi trafiği bilgilerini ve çevresel faktörleri birleştirerek kazalara eğilimli alanların belirlenmesi, izleme, uygulama ve güvenlik önlemlerini önceliklendirme de önemli çıktılar sağlamaktadır (Alea ve diğerleri, 2022).

CBS, deniz kazası verilerini mekânsal olarak temsil etmek için güçlü görselleştirme yetenekleri sağlamaktadır. Deniz kazalarının mekânsal analizinin yapılabilmesi için kaza raporları, gemi takip verileri ve diğer ilgili mekânsal veri setleri dâhil olmak üzere güvenilir ve doğru verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler ile, tematik haritalar, ısı haritaları veya 3D görselleştirmeler kaza konumlarını, yoğunluğunu ve eğilimlerini göstermek için kullanılmaktadır (Erden ve İpbüker, 2003). Yoğunluk analizi, belirli bir alandaki özelliklerin yoğunluğunu ölçmek için kullanılan bir CBS tekniğidir. Deniz kazalarının nokta yoğunluk analizi, deniz ortamlarındaki kaza noktalarının yoğunluğunu ve dağılımını incelemek için kullanılan bir mekânsal analiz tekniğidir (Başaraner ve diğerleri, 2011). Nokta yoğunluğu analizi, karar verme ve planlama için görselleştirmeler sağlayabilecek yüksek veya düşük nokta yoğunluğu alanlarının belirlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu analiz, kazaların yoğunlaştığı alanların belirlenmesine ve kazaya eğilimli yerlerin ortaya çıkarılmasında etkili çözümler sunmaktadır.

CBS teknolojisini kullanarak deniz taşımacılığı riskini değerlendirmek ve riskli alanlarını tespit etmek için birçok çalışma gerçekleştirilmektedir. Mevcut literatür (Tufte ve diğerleri (2004); Giziakis ve diğerleri 2013; Uğurlu ve diğer araştırmacılar 2015; Acharya ve diğerleri, 2017; Bayazit ve diğerleri, 2020; Wang ve diğerleri, 2022), CBS'nin deniz kazalarının mekânsal dağılımını analiz etmek ve yüksek kaza oranlarına sahip alanları belirlemek için yararlı bir araç olabileceğini ve bu sayede risk yönetimi, kaza önleme ve müdahale planlaması konularında bilgi sağlayabileceğini göstermektedir.

Aliağa Körfezi'nde meydana gelen gemi kaynaklı petrol kirliliği kazalarına yönelik mekânsal olarak noktasal yoğunluk analizini gerçekleştirmek ve kazaya

eğilimli deniz alanlarının tespit etmek için, bu çalışmada CBS teknolojilerini kullanan Mapinfo Pro yazılımı kullanılmaktadır. Mapinfo Pro, gerçek zamanlı kaza verilerini kullanarak depolama, simülasyon, analiz ve görselleştirme işlevlerini yeniden değerlendirmede etkili bir CBS yazılımıdır (Başarsoft, 2023). Ayrıca bu yazılım, petrol kirliliği kazalarının konumu, doğası ve hassasiyetlerine ilişkin jeo-uzamsal bilgilerin entegrasyonunu ve hazırlanmasını desteklemektedir. Mapinfo Pro yazılımına aktarılacak Aliağa Körfezi'nde meydana gelen petrol kirliliği kazalarına ait veriler, İzmir ve Aliağa Bölge Liman Başkanlığı, İzmir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü ve Müdahale firmalarında yapılan görüşmeler sonucunda elde edilmiştir. Harita katmanında 5 adet kirlilik kazasının enlem-boylam koordinatlarını ve dökülen ürün tonajına bağlı olarak konumsal analiz görselleri oluşturulmaktadır.

2.6.2. Petrol Yayılımının Sayısal Olarak Modellenmesi

Petrol kirliliği yayılım modelleri, dökümünün deniz yüzeyi ve su kolundaki yayılım hareketini görselleştiren, kıyı şeridine veya belirlenen hassas kaynaklara ulaşması için gereken süreyi tahmin edebilen ve müdahale sürecinde farklı müdahale seçenekleri ile değerlendirme imkânı sağlayan sayısal araçlardır (Keramea ve diğerleri, 2021). Petrol kirliliği yayılım modelleri, yetkililer tarafından acil durum planlaması ve petrol salınımları nedeniyle meydana gelen bir krize acil müdahale için kullanılmaktadır (Bozkurtoğlu, 2017). Böyle bir planlama, bir petrol kirliliği senaryo modeliyle bağlantılı olarak petrolün bozunma süreçlerinin yüzeyde ve su sütunundaki çevresel etkilerinin daha iyi anlaşılmasına ve dolayısıyla petrolün izlenmesi ve müdahalesi için daha iyi yöntemlerin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır (Akan, 2007; Guo, 2017).

Bir petrol kirliliğinin sayısal olarak deniz yüzeyindeki yayılımını doğru bir şekilde tahmin etmek için modelleme sürecine çeşitli faktörler entegre edilmelidir. Dökülen petrolün yoğunluğu, viskozitesi, uçuculuğu ve emülsifikasyon yatkınlığı gibi özellikleri, davranışının modellenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Rüzgâr ve akıntı hızı ve yönü, gelgitler, dalga yüksekliği, deniz suyu ve hava sıcaklığı ve tuzluluk gibi çevresel faktörler petrol kirliliği yayılım modellemesi için temel girdilerdir. Bu koşullar petrolün deniz yüzeyindeki hareketini ve yayılım göstereceği alanın

genişliğini etkilemektedir. Bu parametrelerle ilgili doğru ve güncel veriler güvenilir modelleme sonuçları için çok önemlidir. Akıntı ölçerler, gelgit göstergeleri, şamandıralar ve uydu gözlemlerinden elde edilen oşinografik veriler, petrolün deniz ortamında nasıl yayıldığını simüle etmeye yardımcı olmaktadır (Hou ve diğerleri, 2017; French-McCay ve diğerleri, 2018).

Doğal yayılma eğilimlerine ek olarak, su üzerindeki petrol tabakaları öncelikle yüzey akıntıları ve rüzgâr tarafından su yüzeyi boyunca hareket etmektedir. Petrol tabakası karaya yakınsa ve rüzgâr hızı saatte 10 km'den az ise, tabaka genellikle yüzey akıntısının %100'ü ve rüzgâr hızının yaklaşık %3'ü oranında bir hızla hareket etmektedir. Bu durumda rüzgâr genellikle önemli bir oranda etki etmemektedir. Ancak rüzgâr hızı yaklaşık saatte 20 km'nin üzerindeyse ve açık deniz koşulları hakimse yer değiştirme hareketini belirlemede rüzgâr baskın rol oynamaktadır (Fingas, 2014). Bu nedenle, dökülme anında rüzgâr ve akıntı şiddeti ve yönleri karar destek sistemlerine doğru şekilde girilmez ise senaryoların gerçeğe uygun şekilde modellenmesi ve etkilenen sahanın doğru tespiti mümkün olmayacaktır (Nelson ve Grubesic, 2018).

Petrol kirliliği yayılım modelleri, kirliliğe müdahale ve acil durum planları geliştirmek amacıyla 1960'ların başından beri farklı algoritma ve denklemler ile geliştirilmektedir. Petrol deniz yüzeyine döküldüğünde, hareketi akıntı ve rüzgâr etkisine bağlı olarak ilerlemekte ve türbülanslı difüzyon süreci etkisinde bir petrol tabakası oluşturarak yayılmaktadır. Petrol kirliliği problemlerinde adveksiyon-difüzyon denkleminin çözümü için Eulerian, Lagrangian ve hibrit yöntemler benimsenmiştir. Eulerian yöntemi, sabit bir koordinat sisteminde akışkan hareket denklemlerini çözen ızgara tabanlı bir yöntem olarak tanımlanmaktadır. Eulerian model, petrolün hareketini ve yayılmasını etkileyen akış hızlarını, türbülansı ve diğer hidrodinamik parametreleri hesaplayarak çözüm üretmektedir (Ivorra ve diğerleri, 2021). Lagrangian yöntemi ise tek tek akışkan parçacıklarının hareketini izleyen parçacık tabanlı bir yöntemdir. Lagrangian modeli, Eulerian modelinden elde edilen akış hızları ve diğer hidrodinamik verilere dayanarak petrol parçacıklarının dağılımını hesaplamak için petrolün yoğunluk, viskozite ve buharlaşma oranı gibi özelliklerini dikkate almaktadır. Bu modelde, her bir petrol parçacığı zaman içinde takip edilebilen ayrı bir varlık olarak temsil edilmektedir (Keramea ve diğerleri, 2021). Eulerian-Lagrangian yaklaşımını simgeleyen hibrit yaklaşımında ise hem çevredeki suyun

etkilerini hem de petrol parçacıklarının bireysel hareketlerini göz önünde bulundurarak petrolün denizdeki davranışının kapsamlı ve gerçekçi bir simülasyonu gerçekleştirilmektedir (Guo ve Wang, 2009). Kirlilik yayılım hareketini farklı sayısal araçlar ile modelleme araştırmacılar açısından önemli bir araştırma odağı olmuştur. Bu kapsamda incelenen bilimsel çalışmaların özeti Tablo 12'de yer almaktadır.

Tablo 12'de görüleceği üzere, petrol kirliliği yayılım modellemelerine dair incelenen literatürde kirlilik sırasında ve kirlilik kazasından sonraki süreçlerde kullanımına dair çıkarımlarda bulunulmuştur. Dökülmeye özgü gerçekleştirilen çalışmalarda, doğrudan etkilenen bölgelerden alınan gerçek gözlemlere ve ölçümlerine dayanılarak modellemeler gerçekleştirilmektedir. Aksine kirlilik sonrası gerçekleştirilen kaza örnekleme yaklaşımlarında ise, dökülen petrolün nihai miktarını ve etki derecesini tahmin etmek için modelleme simülasyonlarına başvurulmaktadır. Modelleme çıktıları, hassas habitatlar, koruma altındaki alanlar ve vahşi yaşam popülasyonları da dahil olmak üzere bir petrol kirliliğinin çevre üzerindeki potansiyel etkileri hakkında değerli bilgiler sağlamaktadır. Müdahale ekipleri bu alanların hassasiyetini anlayarak koruma ve hafifletme önlemlerine öncelik verebilmektedir. Modellemeler, müdahale stratejilerinin ve tekniklerinin değerlendirilmesine ve optimizasyonuna olanak tanımaktadır. Gereksiz maliyetleri azaltarak ve mevcut kaynakların kullanımını en üst düzeye çıkararak, döküntüyü etkili bir şekilde yönetmek için gereken müdahale ekipmanı, personel ve malzemelerin miktarını ve türünü belirlemeye yardımcı olmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmalarda, yayılım modelleri için en önemli veri gereksinimin çalışma alanı içindeki akıntı ve gelgit verileri olduğu belirtilmektedir. Petrol sızıntısını doğru bir şekilde modellemek için ek bir husus da sızıntı bölgesinin bulunduğu yere ve altında yatan rezervlere bağlı olarak değişen hidrokarbon türünün ve miktarının net bir şekilde tanımlanmış olması gerekliliğidir. Proaktif ve bilime dayalı stratejilerin geliştirilmesine olanak tanıyarak bir olay sırasında genel müdahale hazırlığı, müdahale kabiliyetlerini ve çevrenin korunmasını yönelik kararlarda bu modellerin büyük faydalar sağladığı konusunda ortak bir fikir birliği mevcuttur.

Tablo 12: Petrol Kirliliği Yayılım Modellemesine Dair Literatür Tablosu

No	Yazar	Araştırma Sahası	Sayısal Model	Ürün tipi/kaza/miktar	Araştırma Amacı
1	Lazuga ve diğerleri, 2013	Baltık Denizi	PISCES II (Potential Incident Simulation Control and Evaluation System)	7.645 m^3 IFO 380 Baltic Carrier Kaza Örneği	Kirlilik sonrası kaza örneklemine dair modelleme yapmak
2	Toz ve diğerleri, 2016	New York, ABD	ADIOS (Automated Data Inquiry for Oil Spills) ve GNOME (General NOAA Operational Modeling Environment)	50 m^3 Gasoline ve Fuel Oil 9 knot Batı yönlü Rüzgâr, 100 m^3 Gasoşline ve Fuel Oil 8 knot Güneyli Rüzgâr	Gerçek bir kirlilik olayı durumunda petrol dağılım tahminleri sağlamak ve böylece New York Körfezi'ndeki petrol kirliliği müdahale faaliyetlerinin önceliklerine yardımcı olmak
3	Alves ve dğerleri, 2016	Doğu Akdeniz sahası	MEDSLINK (Mediterranean Decision Support System for Marine Safety)	Farklı 19 senaryo modeli miktar 8.870 m^3 ITOPF-2 Belayim Petrol	Hassas kaynakları petrol kirliliğine karşı korumak için olası kirlilik senaryoları gerçekleştirmek
4	Bozkurtoğlu, 2017	İstanbul Boğazı	Particle Tracking Oil Spill Model (PTOSM)	Yoğunluk 980 kg/$m^{3,}$ 1.000 ton döküntü miktarı, Rüzgâr 5 m/s, Model aralığı 1-4 saat	İstanbul Boğazı için müdahale planlayıcıları tarafından kullanılabilecek basit ama etkili bir petrol kirliliği modeli geliştirmek
5	Toz, 2017	Samsun	OILMAP (Oil Spill Model and Response System) ve ADIOS (Automated Data Inquiry for Oil Spills)	125-250-500 m^3 Ağır Petrol Ürünü, 40-80-160 m^3 Dizel, 125-500 m^3 Ham petrol, 24 saatlik model aralığı	Etkilenen bölgedeki önemli kaynaklar için risk değerlendirmesi yapmayı ve kıyı planlaması ve yönetiminin geliştirilmesine yardımcı olma
6	Prasad ve diğerleri, 2018	Hint Okyanusu	GNOME (General NOAA Operational Modeling Environment)	196 m^3 Ağır Petrol Ürünü	Yüksek çözünürlükteki akıntı verileri kullanarak simülasyon çıktılarını gerçeğe uygun gerçekleştirmek
7	Toz ve Koseoğlu, 2018	İzmir	PISCES II (Potential Incident Simulation Control and Evaluation System)	500-1.000 m^3 Dizel ve 500-1.000 m^3 Ağır Petrol Ürünü	Gemi kaynaklı petrol kirliliği bakımından İzmir Körfezindeki riskli bölgelerin tespit edilmesi
8	Aydın ve Solmaz, 2019	Çeşme, İzmir	PISCES II (Potential Incident Simulation Control and Evaluation System)	75 m^3 IFO 180 ürünü Lady Tuna Kaza Örneği	Lady Tuna kazasının PISCES II ile modellenmesini gerçekleştirmek
9	Nordam ve diğerleri, 2019	Arktik saha	OSCAR (Oil Spill Contingency And Response)	7 ve 1.000 m^3 Troll ham petrol ve 9560 IFO 180 senaryosu	Buzul ortamda 3 farklı senaryo gerçekleştirilerek petrol kirliliği müdahalesinde önerilerde bulunmak
10	Aşan ve diğerleri, 2020	İstanbul Boğazı	PISCES II (Potential Incident Simulation Control and Evaluation System)	İlk nokta kaynaklı dökülme: 1.000 m^3 Sızıntı kaynağı dökülmesi: 500 m^3/h ITOPF-3 ürünü Nassia Tanker Kazası	1994 yılında İstanbul Boğazı'nın kuzey girişinde meydana gelen bir petrol tankeri kazasını modellemek
11	Balogun ve diğerleri, 2021	Kota Tinggi, Malezya	GNOME (General NOAA Operational Modeling Environment)	100 m^3 Malaysia BEKOK ham petrol senaryosu	Petrol sızıntısının çevresel etkilerini tahmin etmek ve haritalamak için bir petrol sızıntısı çevresel hassasiyet modeli geliştirmek

Petrol sızıntısı değerlendirmesi ve acil durum planının iyileştirilmesi ihtiyacı, son yıllarda sayısal petrol kirliliği yayılım modellerinin geliştirilmesini teşvik etmiştir (Spaulding, 2017). PISCES-II programı, buharlaşma oranı ve dağılma oranı hesaplamalarında literatürde kabul edilen yaklaşımlarla karşılaştırıldığında oldukça güvenilir sonuçlar vermektedir. Bu bakış açısıyla, PISCES-II, senaryo bazlı dökülmenin boyutunu ve müdahalenin etkinliği açısından önemli bir karar destek sistemidir (Aşan, 2022). Sağladığı çeşitli çıktı bilgileri nedeniyle PISCES II, çalışmanın amacı için en uygun model çıktılarını oluşturmaktadır. Kirlilik açısından bakıldığında, petrol yayılma simülasyonu, buharlaşma oranı, petrolün su kolonunda batması, yanma miktarı ve kirleticinin bölgedeki kıyı şeridi ile etkileşimi gibi farklı verileri görselleştirmede büyük faydalar sağlamaktadır.

2.6.3. Çevresel Hassasiyet Haritalaması

Çevresel hassasiyet haritalaması, çevresel etkilere karşı hassas olan alanların belirlenmesi ve haritalanması sürecidir. Haritaların temel amacı, çevresel açıdan hassas olan canlıları ve insan faaliyetleri veya doğal olaylardan zarar görmeye yatkın alanları belirlemek ve önceliklendirmektir (Jensen ve diğerleri, 1998). Çevresel hassasiyet haritalaması ekolojik, biyolojik, jeolojik ve sosyo-ekonomik bilgiler de dahil olmak üzere çeşitli veri kaynaklarının toplanması ve analiz edilmesine dayanmaktadır. Bu veriler, haritalanan alan içindeki farklı bileşenlerin hassasiyetini ve kırılganlığını değerlendirmek için kullanılmaktadır (Kankara ve diğerleri, 2016; Del Campo, 2017). Çevresel Hassasiyet Haritaları, İngilizce karşılığı olarak "*Environmental Sensivity Index Mapping- ESI maps*" olarak ifade edilmekte ve kısaltma olarak ESI haritaları olarak kullanılmaktadır (Dikerler, 2007; IPIECA, 2012; NOAA, 2019).

Haritalar önemli çevresel etkilerin potansiyelini belirlemek için, sistematik ve objektif bir çerçeve sağlayarak karar verme sürecini bilgilendirmede etkili olarak kullanılmaktadır (Souza Filho ve diğerleri, 2009). Müdahale operasyonları sırasında haritalar karar vericiler (koruma önceliklerini tanımlamak için), olay yeri koordinasyon birimi (müdahale operasyonlarının organizasyonu için) ve sahadaki müdahale ekipleri (sahaya özgü operasyonlar için) tarafından kullanılacaktır.

Seviyelendirilmiş müdahale yaklaşımında kullanılan haritalar stratejik, operasyonel ve taktiksel olarak üç farklı formatta bilgi sağlamaktadır. Stratejik hassasiyet haritaları, en hassas sahaların yerini ve önceliğini belirlemek için daha küçük bir coğrafi ölçekte geliştirilmiştir. Taktiksel haritalar ise sorumlu koordinasyon birimi tarafından kullanılan, müdahale operasyonlarını planlamak ve uygulamak için gerekli tüm çevresel, sosyo-ekonomik, lojistik ve operasyonel bilgileri sağlayan haritalardır. Son olarak operasyonel haritalar ise, stratejik veya taktiksel haritalardan çok daha büyük ölçekte geliştirilen, sahaya özgü tüm bilgileri içeren ve müdahale ekiplerine ayrıntılı bilgi sağlamak için yardımcı olan haritalardır (IPIECA, 2012).

ESI atlası 1989'dan beri Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tarafından dijital veri tabanlarında oluşturulmaktadır. CBS yazılımı, farklı kaynaklardan gelen verilerin entegrasyonuna ve karar vericiler tarafından kolayca anlaşılabilecek haritaların oluşturulmasına olanak tanımaktadır (González ve diğerleri, 2020). Bu haritaların katmanları oluşturulurken, kıyı şeridi, biyolojik kaynaklar ve insan kullanımını içeren tüm sosyo-ekonomik kaynakların duyarlılığını ölçeklendiren ve petrol sızıntılarına karşı potansiyel etkileri sınıflayan sistem "*Çevresel Hassasiyet Indeksi (Environmental Sensivity Indeks-ESI)*" dir (IPIECA, 2012; NOAA, 2019).

ESI, çeşitli çevresel kaynakları petrole karşı hassasiyetlerine göre sınıflandırmakta ve duyarlılığına göre renklendirmektedir. Buna kıyı şeritleri, habitatlar, sulak alanlar, sahiller ve vahşi yaşam gibi doğal kaynakların yanı sıra rekreasyon alanları, marinalar ve kültürel alanlar gibi insan kullanımına yönelik kaynaklar dahildir. Her kaynağa, petrol kirliliği etkilerine karşı potansiyel hassasiyetine göre bir duyarlılık sıralaması atanmaktadır (Chen ve Liu, 2019; Rustandi ve diğerleri, 2020). ESI'ye göre sınıflandırılan haritalar, dalga ve gelgit enerjisine göreceli maruz kalma, kıyı şeridi eğimi, alt tabaka türü (tane boyutu, geçirgenlik, trafiğe açıklık ve hareketlilik), biyolojik üretkenlik ve hassasiyetin yanı sıra temizleme ve restorasyon kolaylığını da göz önünde bulundurarak kıyı şeridini 1 (daha az hassas) ile 10 (en hassas) arasında sıralamaktadır (NOAA, 2019; D'Affonseca ve diğerleri, 2023). Kıyı şeridi renklendirme ve hassasiyet derecesine göre ölçek Şekil 32'de gösterilmektedir.

Şekil 32: Kıyı Şeridi Hassasiyet Ölçeği



1A Açık kayalık sahil
1B Görünür, sağlam insan yapımı yapılar
1C Kaya çıkıntılı tabanı olan açıkta kalan kayalık uçurumlar



2A Ana kaya, çamur veya kilde açıkta dalgalı kesimli platformlar
2B Kilde açık şevler ve dik yamaçlar



3A İnce ila orta taneli kumlu plajlar
3B Sarplıklar ve kumdaki dik yokuşlar



4 İri taneli kumlu plaj



5 Karışık kum ve çakıllı plajlar



6A Çakıllı kumsallar (granüller ve çakıllar)

6B Riprap (kaya zırhı veya moloz) yapıları ve çakıllı plajlar (kaldırım taşları ve kayalar)



7 Açıkta kalan gelgit düzlükleri

8A Ana kaya, çamur veya kil içinde korunaklı sarplıklar ve korunaklı kayalık kıyı

8B Korunaklı, sağlam insan yapımı yapılar

8C Korunaklı riprap(kaya zırhı veya moloz)
8D Korunaklı kayalık moloz kıyıları
8E Turba kıyı şeridi (çürümüş bitki kalıntıları ve yosunlardan oluşan siyah renkte süngerimsi bir taşıl kömürü)



9A Korunaklı gelgit düzlükleri
9B Bitki örtüsüne sahip alçak banklar
9C Hipersalin(önemli konsantrasyonlarda sodyum klorür, tuzlu sular ve diğer tuzlar içeren, tuzlu seviyeleri okyanus suyunu aşan, karayla çevrili bir su kütlesi) gelgit düzlükleri



10A Tuzlu su bataklıkları

10B Tatlı su bataklıkları

10C Bataklıklar

10D Mangrovlar (gelgit sonucu oluşan haliçlerde, tuzlu bataklıklarda ve çamurlu kıyılarda sık ormanlar oluşturan bazı ağaç ve çalı türleri)

10E Su altında kalmış alçak tundra



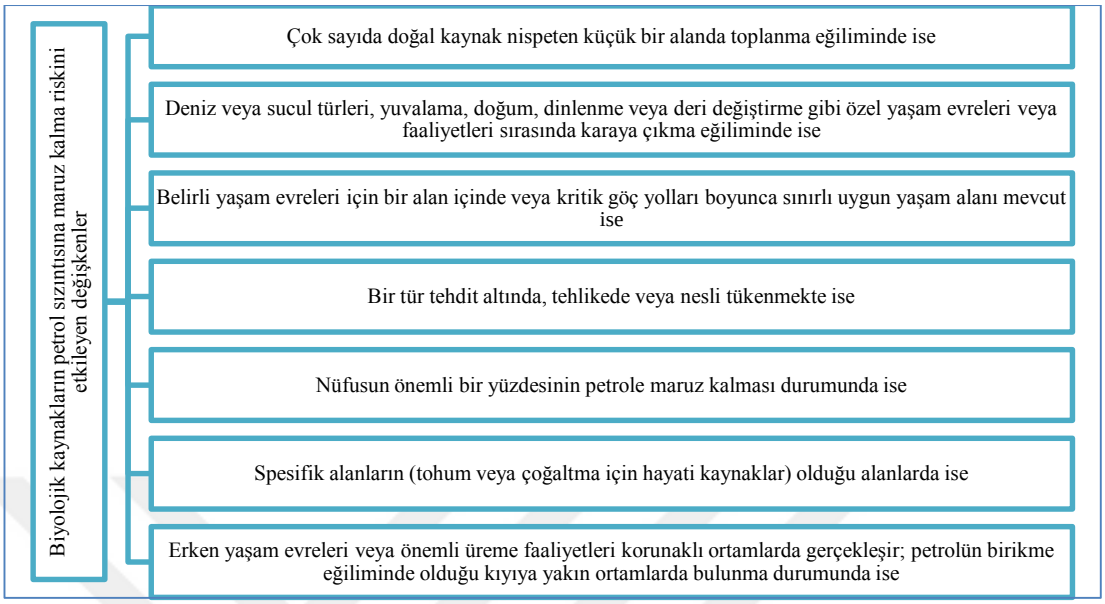
Kaynak: NOAA, 2019.

Şekil 32'de görüleceği üzere, hassasiyet ölçeğine göre en duyarlı alanlar bataklık ve mangrov alanlarıyken en düşük duyarlılık kayalık alanlar olarak sınıflandırılmaktadır. Dalga ve gelgit etkisi ile petrolün yüzeyden uzaklaşması çabuk olduğu için, kayalık yüzeyler en az hassas kıyı şeritlerini oluşturmaktadır. Mangrovlar ve tuzlu bataklıklar en hassas kıyı şeritlerini oluşturmaktadır, çünkü dökülen petrol alt tabakada sıkışarak fauna ve flora üzerinde uzun vadeli bir etki yaratmaktadır. Sulak alanlar, bataklıklar ve plajlar gibi düşük enerjili kıyı ekosistemlerinin tamamen iyileşmesi ortalama 50 yıl sürebilmektedir (Ornitz ve Champ, 2002). Mevcut kıyı tipinin belirlenmesi çeşitli kaynaklar ve analiz yaklaşımlarıyla mümkün olmaktadır. Mevcut topografi veya tematik haritaların oluşturulmasında, alçak irtifa uçuşları, hava fotoğrafları ve yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerini içeren uzaktan algılama teknolojileri kullanılmaktadır (IPIECA, 2012).

Hassasiyet veya kırılganlık endeksleri göz önünde bulundurularak yapılan ilk acil durum planları jeolojik ve sedimantolojik değerlendirmelere dayanmaktadır (D'Affonseca ve diğerleri, 2023). Daha sonra geliştirilen haritalarda, Michel ve diğerleri (1978) dökülen petrolün fiziksel kalıcılığına ilişkin verilerin müdahale planlamasına dahil edilmesini önermiş, Gundlach ve Hayes (1978) çeşitli biyolojik faktörleri de dahil etmiştir. ESI haritalarında temsil edilen biyolojik kaynaklar, kuşlar (deniz kuşu, kıyı kuşu, su kuşu, göçmen türler, vb.), deniz memelileri (balina, yunus, deniz aslanı, fok, mors, denizayısı, vb.), karasal memeliler (kıyıya vuran petrolle temastan veya kirlenmiş su türleriyle beslenmekten etkilenebilir, ör. kunduz, vizon, ayılar, kurtlar), balıklar, omurgasızlar (kabuklular, ıstakoz, karides vb.); suyla ilişkili sürüngenler/amfibiler (kaplumbağa, timsahlar, kurbağalar, vb.) dir. (NOAA, 2019).

Hassas ekosistemleri, kritik habitatları ve tehlike altındaki türleri tespit etmek için uluslararası kabul görmüş sahaların ve ulusal olarak belirlenmiş alanların konumunu tespit etmek ve haritalandırmak büyük önem arz etmektedir (IPIECA, 2012). Bu veri setlerine, "*Birleşmiş Milletler Çevre programının Dünya Koruma İzleme Merkezi*" tarafından yayınlanan "*Dünya Korunan Alanlar Veri Tabanı*" üzerinden erişilebilmektedir. Tespit edilen nesli tükenmekte olan canlılar ve tehlike altındaki türler "*Uluslararası Doğayı Koruma Tehdit Altındaki Türlerin Kırmızı Listesi*" değerlendirilerek yüksek öncelik ataması yapılmalıdır. Şekil 33'te biyolojik kaynakların duyarlılık derecesine göre ölçeklendirmeye ait hususlar yer almaktadır.

Şekil 33: Biyolojik Kaynakların Önceliklendirilmesinde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar



Kaynak: IPIECA, 2012.

Biyolojik kaynakların haritalanmasında mevsimsellik ve mevcut yaşam evreleri de (üreme, yumurtlama, kuluçka, göç vb.) dikkate alınmalıdır. Mevcut bilgilerin detayına bağlı olarak, tür yoğunluğu bilgileri basit (var/yok) veya daha detaylı (1: bilgi yok, 2: nadir, 3: yaygın, 4: bol ve 5: çok bol) olarak detaylandırılmalıdır. Bu bilgilerin aylara göre sunulması tercih edilmektedir (Şekil 33). Kuzey ve Güney yarımküreler arasında karışıklığı önlemek için dört mevsimin (ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış) kullanımından kaçınılmalıdır.

ESI haritalamasındaki insan kullanımı kaynakları arasında balıkçılık, rekreasyon alanları, turizm alanları, ulaşım yolları, kültürel/tarihi alanlar ve insan faaliyetlerine ve refahına katkıda bulunan diğer unsurlar yer almaktadır (Christensen ve diğerleri, 2012). Sosyo-ekonomik özelliklerin turizm sezonu, balıkçılık sezonu, su ürünleri yetiştiriciliği sezonu vb. gibi yüksek mevsimsel değişikliklere tabi olabileceği unutulmamalıdır ve mümkünse mevsimsel bilgiler haritalanmalı ve/veya haritalara ek bilgi olarak eklenmelidir (Clausen ve diğerleri, 2012; Martins ve diğerleri, 2012).

Hangi kaynakların kirlilik (veya müdahale eylemleri) nedeniyle bozulmaya karşı en hassas olduğunu belirlemek önemlidir. Şekil 34'te, çevre koruma önceliklerini belirlemek için bir risk değerlendirme matrisinin nasıl kullanılabileceğine dair bir

örnek sunulmaktadır. Değerlendirme kriterlerinin müdahale kapasitesi ve saha koşullarına uyacak şekilde tasarımı yapılabilmektedir.

Şekil 34: Çevre Koruma Önceliklerini Belirlemeye Yönelik Örnek Risk Değerlendirme Matrisi

			KURTARILMA-İYİLEŞME ZAMANI			
			> 10 YIL	5-10 YIL	1-5 YIL	<1 YIL
			1	2	3	4
Potansiyel Etki (etkilenen kaynak yüzdesi)	Çok Yüksek (> 50%)	A	1A	2A	3A	4A
	Yüksek (30-50%)	B	1B	2B	3B	4B
	Orta (10-30%)	C	1C	2C	3C	4C
	Düşük (<10%)	D	1D	2D	3D	4D

Kaynak: NPSCC, 2015.

Bu matriste, iyileşme süresi dört kategoriye ayrılmıştır: kısa vadeli, orta vadeli, uzun vadeli ve çok uzun vadelidir. Tehdit altındaki kaynağın yerel yüzdesi de dört kategoriye ayrılmıştır: düşük, orta, yüksek ve çok yüksektir. Matris, bu iki faktörün kombinasyonuna dayalı bir dizi öncelik seviyesi sağlamaktadır. Örneğin, bir çevresel olay kısa bir süre içinde (günler ile haftalar) iyileşebilecek bir kaynağı tehdit ediyorsa ve bu kaynağın yalnızca düşük bir yüzdesi (0-10%) yerel olarak tehdit altındaysa, müdahale için öncelik seviyesi "*Düşük*" olarak kategorize edilmektedir. Uygulamada kullanılan gerçek matris daha kapsamlı ve belirli bir sahaya veya dikkate alınan çevresel kaynağa özgü değişkenlik göstermektedir. Ayrıca, her bir kategoriye atanan ağırlıklar ve kriterler, değerlendirmenin özel koşullarına ve önceliklerine bağlı olarak da değişebilmektedir. Tablo 13'te ESI haritalamasına dair ilgili literatür tablosu yer almaktadır.

Tablo 13: Çevresel Hassasiyet Haritalamasına Yönelik Literatür Taraması

No	Yazar	Araştırma Sahası	Araştırma Tasarımı	Veri Analizine Yönelik Değişkenler	Araştırma Amacı
1	Adler ve Inbar, 2007	İsrail'in Akdeniz kıyı şeridi	Gundlach ve Hayes (1978) ESI hassasiyet derecelendirmesi kullanılarak harita oluşturma	Bölgenin kıyı morfolojisi	Akdeniz'deki deniz kazaları için ana risk kaynaklarını analiz etmek ve büyük bir sızıntı durumunda çeşitli kıyı ekosistemlerinin korunmasına yönelik öncelikleri belirleyerek senaryolar geliştirmek
2	Souza Filho ve diğerleri, 2009	Güney Amerika Amazon bölgesi	Sentetik aralıklı radar görüntü destekli yazılım kullanılarak ESI haritaları oluşturma	Çevresel (tortul, jeomorfolojik, oşinografik ve biyolojik) süreçlerin dinamikleri göz önünde bulundurularak kıyı morfolojisi hassasiyet derecelendirilmesi	Etkilenen sahanın sosyal-çevresel değişkenlerini korumak için hassasiyet haritalamasını gerçekleştirmek
3	Martins ve diğerleri, 2012	Portekiz kıyı hattı	Kıyı hassasiyet endeksini yönelik korelasyon matrisi uygulamak ve CBS ile tematik haritalama oluşturma	Çevresel (tortul, jeomorfolojik, oşinografik ve biyolojik) süreçlerin dinamikleri ve duyarlılık parametreleri göz önünde bulundurularak kıyı morfolojisi hassasiyet derecelendirilmesi	Petrol sızıntılarına karşı uzamsal olarak farklılık gösteren hassasiyet derecesini değerlendirmek
4	Vafai ve diğerleri, 2013	İran'ın kuzeyindeki Hazar Denizi	Literatür ve uzmanlardan elde edilen 18 farklı hassasiyet kriterlerinin oluşturulması, 25 farklı uzman görüşmesi ve ağırlıklandırılması, CBS ile tematik haritalama oluşturma	Turizm, balıkçılık, madencilik, endüstriyel alanlar, liman ve marinalar, rekreasyonel alan değişkenlerini kullanarak 4'lü ölçekte hassasiyet derecelendirmesi	Bölgenin hassas kıyı bölgelerinin petrol sızıntılarına karşı acil korunması için karar-destek sistem modeli oluşturmak
5	Doan, 2016	Cat Ba Adası, Vietnam	Hidrodinamik model yazılımını kullanarak dalga ve rüzgâr senaryoların oluşturulması, NOAA (2002) Kıyı tipi hassasiyet derecelendirmesi kullanılarak CBS ile tematik haritalama oluşturma	Senaryo 1: Mayıs ayı iklim koşullarında, 2.000 ton petrol, Rüzgâr güneydoğu yönünde 4,5 m/s Senaryo 2: Temmuz ayı koşullarında, 2.000 ton petrol, Rüzgâr güney yönünde sabit 7,7 m/s Senaryo 3: Ağustos ayı koşullarında, 2000 ton petrol, Rüzgâr güneybatı yönünde 6 m/s	Kıyı şeridini büyük petrol veya kimyasal felaketlerden koruma çabalarında bilgi ve hazırlık sağlamak ve bölgenin hassasiyet haritalamasını gerçekleştirmek
6	Kankara ve diğerleri, 2016	The Chennai, Hindistan	ESI indekslemesi kullanılarak hassasiyet haritalaması ve Petrol yayılım modellemesi	100 m^3 orta düzey petrol ürün (Dizel ve gaz yağı), 2 farklı mevki (4,5 km ve 8,2 km uzaklıklar), SW-NE ve Muson öncesi iklimde, 4,5 m/s 135^0- 4 m/s 135^0- 3,5 m/s 45^0 rüzgâr	Chennai sahili boyunca petrol kirliliği risk değerlendirmesi ve duyarlılık analizi için bir karar destek sistemi oluşturmak

No	Yazar	Araştırma Sahası	Araştırma Tasarımı	Veri Analizine Yönelik Değişkenler	Araştırma Amacı
7	Al Shami ve diğerleri, 2017	Kuzey Akdeniz kıyı şeridinde Fransa ve İtalya, Doğu kıyı şeridinde Lübnan ve güney kıyı şeridinde Tunus	Petrol yayılım modellemesi (MEDSLIK-II), NOAA (2002) Kıyı tipi hassasiyet derecelendirmesi ve sınıflandırması kullanılarak CBS ile tematik haritalama oluşturma	Senaryo 1: Fos Limanı- Fos Cavaou bölgesi, 520 ton API 17 petrol, 48 saat döküntü senaryosu	Dört pilot alandaki petrol sızıntısı risk değerlendirmesi, kıyı şeridinin petrole bulaşma duyarlılığını, karaya oturma durumunda beklenen ortalama petrole karışma hacmini ve ortalama petrol sahilinde kalma süresini hesaplamak
				Senaryo 2: IGCC Enerji santrali İtalya bölgesinde, 145 ton API 16 petrol, 2 saat döküntü senaryosu	
				Senaryo 3: Dora petrol rafinerisi Lübnan bölgesinde, 1.000 ton API 46 petrol, 24 saat döküntü senaryosu	
				Senaryo 4: Gabes limanı Tunus bölgesinde, 1.000 ton API 46 petrol, 24 saat döküntü senaryosu	
8	Grubesic ve diğerleri, 2019	Alabama, Mississippi ve Florida	Matematiksel modelleme, NOAA (2002) hassasiyet derecelendirme sistemi ile CBS ile tematik haritalama oluşturma ve konum optimizasyonu	Senaryo 1: 44 adet depolama alanının 1 saatlik zaman diliminde tematik haritalama ile hassasiyet derecesi en yüksek olan alanlara maruziyet derecesini ölçmeye dayalı örneklem	Hassas kıyı şeritlerini petrol sızıntılarından korumak için yenilikçi bir stratejik planlama yaklaşımını detaylandırmak
				Senaryo 2: Bütçeyi kısabilmek için tesislerin yerine 450 adet bot konumlandırılarak fizibilitenin tematik haritalama ile hassas alanlardaki maruziyet derecesi ölçmeye dayalı örneklem	
9	Abou Samra ve diğerleri, 2020	Nil deltası, Mısır	NOAA (2002) Kıyı tipi hassasiyet derecelendirmesi ve sınıflandırması kullanılarak CBS ile tematik haritalama oluşturma	Kıyı şeridi morfolojisi, kıyı çizgisi eğimleri, kıyı çizgisi maruziyeti, kıyı ekosistemleri, kentsel kitleler ve altyapı parametrelerine dayalı senaryo	Nil delta kıyı şeridinin petrol kirliliğine karşı çevresel duyarlılığını hesaplama ve haritalandırma
10	Putra ve diğerleri, 2021	Nusa Penida, Bali	NOAA (2019) Kıyı tipi hassasiyet derecelendirmesi ve sınıflandırması kullanılarak CBS ile tematik haritalama oluşturma	E-W muson iklimde, dalga yüksekliği, batimetri derinlik ve gelgit değişkenlerini kullanarak CBS ile tematik haritalama oluşturma.	Kıyı şeridi türü, dalga yüksekliği, batimetri eğim ve gelgit aralığı gibi kıyı fiziksel parametrelerine dayalı olarak kıyı şeridi duyarlılık düzeyini mekânsal olarak analiz etmek
11	Wang ve diğerleri, 2022	Bohai Denizi, Çin	NOAA (2019) Kıyı tipi hassasiyet derecelendirmesi ve sınıflandırması kullanılarak CBS ile tematik haritalama oluşturma	Turizm, balıkçılık, madencilik, endüstriyel alanlar, liman ve marinalar, rekreasyonel alan değişkenlerini kullanarak 4'lü ölçekte hassasiyet derecelendirmesi dikkate alınmıştır.	Doğal yaşam kaynakları ve sosyoekonomik kaynakları etkileyebilecek faktörleri analiz ederek Çin'in kıyı kaynaklarının petrol sızıntılarına duyarlılığını değerlendirmek için bir model geliştirmek

Genel olarak incelenen literatürdeki temel nokta, ESI haritaları çevresel risklerin değerlendirilmesinde ve petrol kirliliği acil durum planlarında müdahale önceliğinin belirlenme aşamasında değerli bilgiler sağlamaktadır. Bu proaktif yaklaşım, paydaşların daha hazırlıklı olmalarını ve belirli çevresel özelliklere göre uyarlanmış müdahale stratejileri geliştirmelerine yardımcı olmaktadır. Bir diğer önemli husus ise haritaların, hassas ortamlara yönelik potansiyel riskleri ve sonuçları aktararak önleme, müdahale ve restorasyon çabaları için farkındalık, destek ve iş birliği oluşturulmasına yardımcı olacağı konusudur. İncelenen literatürde belirtilen kısıtlar ise, genellikle ESI haritalamasında değerlendirilen verilerin belirsizlik içermesi, güncellenmeye ihtiyaç duyduğu ve hassas kaynakların ölçeklendirmesinde ortak bir literatürün geliştirilememiş olmasıdır. Araştırmacıların ortak çıkarımı, ESI haritalarının temel dezavantajları arasında biyolojik ve insan kullanımı kaynakları için önceden tanımlanmış bir hassasiyet sıralamasının olmaması ve öncelikli koruma alanlarını tanımlamak için uzman yorumuna ihtiyaç duyulmasıdır. Ayrıca ekolojik koşullar zaman içinde değişebileceğinden, haritalamadaki güncellemeler konusunda verilerin güncel tutulması gerektiği konusu da oldukça önemlidir. Belirtilen bir diğer dezavantaj ise, alanın ekolojik hassasiyeti konusunda bilgi ve kaynağa sahip olan yerel topluluklar, paydaşlar ve yerli halk ile her zaman yeterli katılımın söz konusu olmamasıdır. Bu durum potansiyel olarak eksik veya yanlış değerlendirmelere yol açabilmektedir. ESI haritalamasını kullanırken bu dezavantajları göz önünde bulundurulmalı ve daha kapsamlı araştırmalar ile desteklenmelidir.

2.6.4. Yapılandırılmış Yüz yüze Görüşme

Araştırmanın son veri analiz yöntemi, nitel araştırma yöntemlerinden yapılandırılmış görüşme formudur. Yapılandırılmış görüşme, tasarlanan soruların belirli bir sıra ve format içinde katılımcılara yöneltilerek gerçekleştirilen bir görüşme türüdür (Çokluk ve diğerleri, 2011). Bu görüşme tipi, araştırmacının belirli bir konuyu derinlemesine anlamak ve spesifik bilgilere ulaşmak amacıyla sistematik bir yaklaşım benimsemesini sağlamaktadır. Yapılandırılmış görüşmelerde, araştırmacı önceden bir soru listesi hazırlamakta ve her katılımcıya aynı sorular yönlendirilmektedir. Görüşme sürecinde araştırmacı, katılımcının yanıtlarını kaydederek veri toplamaktadır. Bu

yöntemde sorular genellikle açık uçlu sorular veya yarı yapılandırılmış sorular şeklinde tasarlanmaktadır (Pettersen ve Durivage, 2008). Açık uçlu sorular, katılımcının düşüncelerini ve deneyimlerini daha serbestçe ifade etmesine olanak tanırken, yarı yapılandırılmış sorular daha spesifik bilgiler almayı hedeflemektedir. Yapılandırılmış görüşmelerde araştırmacılar, tarafsız bir şekilde katılımcıların yanıtlarını kaydederek analize dahil etmektedir.

Nitel araştırma sonuçlarına etki edecek uzmanların örnekleme seçiminde, genelleme kaygısı olmadan, araştırma konusuna hâkim ve deneyimli uzmanların seçimi görüşme yönteminin güvenirliliğine etki etmektedir. Örneklemin evreni temsil etme gücünden çok, katılımcıların uzmanlığına dair görüş bildirmesi görüşmenin geçerliliğini de kuvvetlendirmektedir (Rashidi ve diğerleri, 2014; Kan, 2019). Bu araştırma kapsamında, araştırmacının uzman bilgisine dayalı olarak belirli özelliklere sahip katılımcıları seçtiği bir örnekleme yöntemi olan "*Kararsal örnekleme tekniği*" ile örneklem grubu belirlenmiştir. Araştırmacı, konuya uygun bilgi sağlayabileceğini düşündüğü veya araştırmanın odaklandığı özelliklere sahip olan katılımcıları seçerek, yapılandırılmış görüşme formunu uygulamaktadır. Kararsal örneklem yöntemi, yapılandırılmış görüşme formunda belirli bir konuya odaklanıldığında, araştırmacıların bilgi ve uzmanlıktan en iyi şekilde yararlanmalarını sağlamaktadır. Bu yöntem, nitel araştırmalarda, derinlemesine bilgi ve görüş almak için kullanılan etkili bir örnekleme yöntemidir (Bişkin, 2018).

Yapılandırılmış görüşme formunun tasarımı, örneklem grubunun seçimi ve görüşme sürecinin etkili bir şekilde yönetimi nitel araştırma yöntemlerine dair güvenilirlik ve geçerlilik ilkeleri doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

2.7. ARAŞTIRMANIN VERİ TOPLAMA SÜRECİ

Araştırmanın veri toplama süreci, birincil ve ikincil kaynak verilerin toplanmasını içeren iki aşamalı bir süreci içermektedir. Araştırmanın birincil veri kaynakları, Aliağa Körfezi'nde meydana gelen gemi kaynaklı petrol kirliliği kazalarına ait bilgiler, kazaların meydana geldiği tarihlerdeki meteoroloji ve oşinografi bilgileri, bölgenin doğal ve sosyo-ekonomik kaynaklarına ait detaylı bilgileri içermektedir. Veri toplama sürecinde, katılımcılardan birincil verileri toplamak için

kurumlara izin yazıları yazılmış ve araştırma verilerini elde edebilmek için derinlemesine yüz yüze görüşmeler yapılmıştır. Araştırmanın ikincil kaynak verileri ise ilgili literatüre ait kitap, bildiri ve makale gibi bilimsel yayınlar, sektör raporları ve diğer süreli yayınları kapsamaktadır

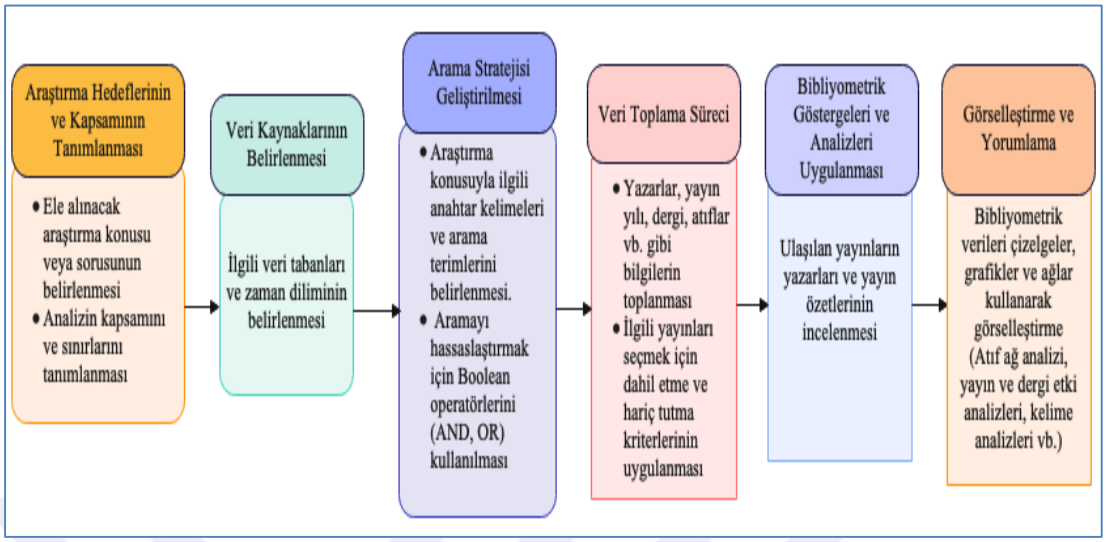
Literatür taraması neticesinde, analize konu olacak ekolojik göstergeler, sosyo-ekonomik faktörler, ürün bazlı değişkenler ve müdahale önlemleri gibi çok çeşitli değişkenler elde edilmiştir. Ardından farklı değişkenler arasındaki ilişkileri analiz etmek ve çeşitli müdahale stratejilerinin net çevresel faydalarını değerlendirmek için yapılandırılmış görüşme formu hazırlanmıştır. Görüşme formunun veri ön işleme sürecinde, toplanan verilerin geçerliliğini test etmek için farklı uzmanların katılımı ile pilot çalışma gerçekleştirilmiştir.

Pilot çalışma ışığında yenilenen görüşme formunun içeriği ve biçimi tekrar gözden geçirilerek nihai hali oluşturulmuştur. NÇFA modelinin uygulanabilirliğini test edebilmek için, araştırma sahasındaki meydana gelen kirlilik kazaları arasında bir karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Bu kapsamda, Aliağa Körfezi'nde meydana gelen ve kirlilik ile sonuçlanan 5 adet gemi kazasına ait değişkenler ışığında (ürün özellikleri, kirlilik boyutu, yayılım gösterdiği alan büyüklüğü, çevresel, sosyoekonomik ve doğal kaynaklara yakınlık vb.) uygun senaryo belirlenmiştir.

2.7.1. İkincil Veri Kaynaklarından Elde Edilen Veriler

Veri toplama sürecinin ilk adımı ilgili literatürün taranmasına dayanak oluşturan akademik veri tabanları incelenmiş ve konuya ilişkin makaleler, konferans bildirileri ve sektör raporları dahil olmak üzere ilgili kaynaklar taranmıştır. Toplanan veriler, veri bütünlüğünün korunmasını sağlayacak şekilde düzenlenmiş ve yapılandırılmış bir veri kümesi halinde derlenmiştir. Toplanan verileri analiz etmek için tanımlayıcı istatistikler, atıf analizleri, ortak yazarlık ağları ve anahtar kelime ortak oluşum analizleri dahil olmak üzere bibliyometrik analiz araçları kullanılmıştır. Şekil 35'te bibliyometrik analiz yöntemine dair gerçekleştirilen adımlar yer almaktadır.

Şekil 35: Bibliyometrik Analiz Yöntemi Uygulama Adımları



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Araştırma alanının gelişimini izlemek, araştırmacıların veya yayınların etkisini ölçmek ve farklı araştırma alanları arasındaki ilişkileri haritalandırmak için Scopus, Web of Science ve Dimensions gibi bibliyometrik veriler içeren çok sayıda çevrimiçi veri tabanları taranmıştır. Bibliyometrik analizin sonuçları, araştırma eğilimleri, önde gelen yazarlar, etkili yayınlar ve alandaki bilgi ağları hakkında bilgiler sağlanmıştır. Bu sayede, NÇFA ve petrol kirliliği müdahale sistemleri ile ilgili önceki yıllarda yapılan çalışmalarda en çok atıf alan araştırmacılar ve dergiler hakkında bilgi edinilmiş, atıf analizinden elde edilen yayınlar hakkında notlar alınmıştır.

2.7.2. Aliağa Körfezi'nde Meydana Gelen Petrol Kirliliği Kazalarına Ait Veri Setinin Oluşturulması

Aliağa Körfezi'ndeki her bir petrol kirliliği kazasına ilişkin bilgiler derlenerek analiz için kapsamlı bir veri seti oluşturulmuştur. Aliağa Körfezi özelinde gemi kaynaklı petrol kirliliği kazalarına dair veri seti oluşturmak için bilimsel literatür, endüstri raporları, uluslararası gemi kaynaklı kaza siteleri, Ana Arama Kurtarma Merkezi'ne bağlı kaza analiz siteleri, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ve Liman Başkanlıklarından toplanan tutanaklar ve istatistiki raporlar bir araya getirilmiştir. Tablo 14'te veri seti oluşturmak için yüz yüze görüşme gerçekleştirilen kurumlar ve uzmanların bilgileri yer almaktadır.

Tablo 14: Veri Seti Oluşturma Sürecinde Yüz yüze Görüşme Yapılan Kurumlar

Tarih ve Zaman	Kurum	Birim-Görev
10.09.2021-10:00-12:00	Aliağa Bölge Liman Başkanlığı	Liman Başkanı
13.09.2021-10:00-12:00	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi	Aliağa Coğrafya Atlası Yazarı, Akademisyen
20.09.2021-11:00-12:00	İzmir Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü	Tabiat Varlıklarını Koruma Şube Müdürü
20.09.2021-13:00-14:00	İzmir Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü	Çevre Yönetim ve Denetim Şube Müdürü
21.09.2021-13:00-14:00	Aliağa Bölge Liman Başkanlığı	Liman Devleti Denetim Uzmanları
21.09.2021-15:00-17:00	UZMAR Römorkörcülük, Gemi Kurtarma, Pilotaj ve Acil Müdahale	HSEQ ve Acil Durum Müdahale Müdürü

Veri analizlerine yönelik uygulamanın birinci adımını içeren veri toplama sürecinde, Aliağa Körfezi'nde meydana gelen petrol kirliliği ile sonuçlanan gemi kazalarına ait bilgiler İzmir ve Aliağa Bölge Liman Başkanlıkları, deniz kirliliğine müdahale firmaları, İzmir Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlükleri'nden elde edilerek Tablo 15'te bir araya getirilmiştir.

Tablo 15'te görüleceği üzere, Aliağa Körfezi'nde meydana gelen gemi kaynaklı petrol kirliliği kazalarına ait detaylandırılmış bir veri seti yer almaktadır. 2872 sayılı Çevre Kanunu 20.maddesi kapsamınca Türk deniz yetki sahaları içerisinde Su Kirliliği'ne neden olan petrol ve petrol türevi ürün kirlilikleri, kirli balast tahliyesi, katı atık veya evsel atık kirliliklerine neden olan sintine sularından kaynaklı gemilere grostona göre hesaplanan ceza kesilmektedir. Kirliliğin yaratacağı olumsuz etkiler ve dökülen ürünün niteliğine bağlı olarak ceza miktarı açısından en yüksek tutar NABEEL Gemi işletmeciliğine bağlı M/V Harrier gemisine kesilmiştir. Kirlilik kaynağının tespitine yönelik yapılan incelemeler genellikle gemilerin balast tankları veya yakıt tanklarından alınan numuneler nezdinde yapılmakta olup, kirliliğe neden olan ürün kaynağı genellikle gemi yakıtı olarak nitelendirilen ağır petrol ürünleri ve ITOPF 1 veya 2 grubunda olan uçucu ürünler göze çarpmaktadır.

Tablo 15: Aliağa Körfezi'nde Meydana Gelen Gemi Kaynaklı Kirlilik Kazaları

	Tarih	Saat	Gemi adı	Bayrağı	Gemi Tipi	GRT	Gemi sahibi	Kirletici ürün	Konum	Numune alınan yerler	Kirlilik Nedeni	2872 Sayılı Çevre kanunu kapsamında yazılan ceza miktarı (TL)
1	28.06.2007	14:20	M/T MORINA	Türkiye	Tanker	4.471	Deval Denizcilik	Motorin	TÜPRAŞ 2 No'lu İskele	Gemi, kirli deniz suyu, temiz deniz suyu	Yükleme esnasında tanktaki basınçtan dolayı sökülen ve askıda kalan yükleme hortumunun sahil kısmı bağlantı ucundan gemi ve denize motorin dökülmesi sonucu kirlenme	20.134,35
2	23.07.2007	11:30	NEVCİHAN	Panama	Kuru Yük	1.116	Cıvan Denizcilik	Deniz üzerinde yağla karışık sıvı basımı	HABAŞ İskelesi	Makine yağlama yağı, deniz üzerinden	Gemi tarafından basılmıştır	20.464
3	13.01.2008	14:00	FALCON CARRIER	Liberya	Tanker	39.036	Falcon Carrier Shipping	-	TÜPRAŞ İskele	Deniz ve gemi	Deniz yüzeyinde gemi yakınında kirlilik bacadan yanma ile çıkan yağlı kurumun deniz yüzeyinde oluşturduğu kirlilik	131.221,4
4	12.03.2008	15:30	M/V KADMOS	Malta	Dökme Yük	23.519	Kadmos Denizcilik	Hidrolik Yağı	Ege Çelik İskelesi	Olay anında tespit edildiğinden numune alınmaya gerek kalmamıştır	5 no'lu ambar kapağının hidrolik devresinden sızan hidrolik yağının denize taşması	62.701,66
5	18.06.2008	09:45	ANTIKERI	Malta	Dökme Yük	17.825	Socoros Navigation	Fuel Oil	HABAŞ İskelesi	Gemi, kirli deniz suyu, temiz deniz suyu	No:6 petrol tankının transfer sırasında taşırılması	56.210,5
6	17.04.2009	11:30	ATOVAC	Panama	Kuru Yük	26.047	Lepta Shipping	Deniz yüzeyinde kirli su	Nemrut Körfezi	No:1 ambar	Deniz yüzeyinde kirli su	-
7	9.06.2009	10:00	BAYRAMOĞLU 2	Türkiye	Kuru Yük	766	Bayramoğlu Denizcilik	Motorin	Ege Çelik İskelesi	Deniz ve baş pik tankı	Balast devresine yakıt (d/o) karışması ve karışımının denize basılması (baş pik tankında d/o tespit edilmesi)	19.824,08
8	20.06.2009	05:00	ISOLA VERDE	İtalya	Tanker	20.200	Finaval Shipping	Fuel Oil	TÜPRAŞ 1 Nolu İskele	Gemi, kirli deniz suyu, temiz deniz suyu	Gemi içi transfer sırasında tankın taşması sonucu TÜPRAŞ iskele civarının tahmini 5-6 m3 yakıt ile kirlenmesi	122.784
9	29.08.2009	13:00	ALFA EGE	Türkiye	Petrol Tankeri	5.154	Yapı Kredi Finansal Kiralama Anonim Ortaklığı	Heavy Vacuum Gas Oil	Tüpraş 2 Nolu İskele	Feniz, kirlilik mahali	Gemi tahliye operasyonu sırasında kıç manifold üzerindeki kesme valfinin patlaması sonucu gemi yükünün denize taşması sureti ile oluşan kirlilik	103.675,58
10	1.10.2009	20:35	BREEZE A	Malta	Tanker	21.142	Breeze Marine	Jet-A 1	Gemi Söküm	Gemi, kirli deniz suyu, temiz deniz suyu	TÜPRAŞ iskeleye jet a 1 transfer esnasında geminin iskele bordasından 10 m3 tahmini yakıtın kirletmesi	123.980,34
11	22.12.2009	22:00	LETFALLAN 4	Kamboçya	Kuru Yük	2.397	Mariposa Maritime	Sintine	Petkim Limanı	Gemi, kirli deniz suyu, temiz deniz suyu	Balast devresine sintine devresi bağlantısından denize basmak	33.102,49
12	9.02.2010	10:45	OLIVER STEVNS	Antigua ve Barbuda	Kuru Yük	1.892	Pıı Stevns	Hidrolik Yağı	Petkim Limanı	Deniz, kirlilik mahali	Ambarın kıç kapağının hidrolik devresinden (sancak taraf göğüs önü) sızan hidrolik yağın denize taşması	31.149,76
	Tarih	**Saat**	**Gemi adı**	**Bayrağı**	**Gemi Tipi**	**GRT**	**Gemi sahibi**	**Kirletici ürün**	**Konum**	**Numune alınan yerler**	**Kirlilik Nedeni**	**2872 Sayılı Çevre kanunu kapsamında yazılan ceza miktarı (TL)**

13	4.02.2011	13:00	KATERINA M	Yunan	Kimyasal Tanker	7.973	Eparchia Kissamou Shipping	-	Petkim Limanı	Gemi, kirli deniz suyu, temiz deniz suyu	Güverte üzerinde bulunan kirletici materyalin frengi deliklerinden denize dökülmesi	117.942,74
14	21.09.2011	16:00	COMET	St Kitts and Nevis	Kuru Yük	1.055	Bandırma Denizcilik	Fuel Oil	Aliağa Gemi Söküm	Gemi, kirli deniz suyu, temiz deniz suyu	Gemi söküm çevresinde yüzeysel petrol türevi kaynaklı kirlilik görülmüştür.	-
15	18.10.2011	15:00	BARBAROS G	Panama	Kuru Yük	18.964	Sat Shipping	Diesel Oil	Ege Çelik 4 Nolu İskele	Gemi, kirli deniz suyu, temiz deniz suyu	Filika motoru yakıt tankından sızan dizel yağı denize akması sonucunda kirlilik oluşmuştur.	23.486,77
16	13.12.2011	12:00	YA KAREEM	Gürcistan	Kuru Yük	5.589	Past Marine Services	Hidrolik Yağı	Batıçim 1 Nolu İskele	Gemi, kirli deniz suyu, temiz deniz suyu	No:2 ambar kapağı açma kapama hidrolik devresinden oluşan kaçağın denize dökülmesi (yağmur suyuyla)	17.334,27
17	17.06.2012	21:45	M/T ŞÜKRAN C	Türkiye	Kimyasal Tanker	2.798	Selay Denizcilik	Sludge	TÜPRAŞ 204 Nolu İskele	Gemi, kirli deniz suyu, temiz deniz suyu	Sahile slaç basımı sırasında hortumun slaç manifoldundan kurtarılması sonucu meydana gelen kirlilik	90.974,66
18	27.09.2012	01:45	M/T THEODOROS I.V.	Yunan	Tanker	31.183	Vamos Shipping	Fuel Oil	TÜPRAŞ İskele	Sintine, kirlilik mahalli	Gemi operasyonu sırasında meydana gelen kirlilik	
19	5.12.2012	08:30	MSC TAMARA	Panama	Konteyner	41.225	Gersor International Shipping	Fuel Oil	NEMPORT Limanı	Gemi, kirli deniz suyu, temiz deniz suyu	Tünel içinde bulunan yakıt devresinin ve balast devresinin flençlerinden kırılması sonucunda tünele yakıt sızması	111.492
20	25.01.2013	09:30	MORRABORG	Hollanda	Kuru Yük	6.540	Wagenborg Shipping	Fuel Oil	PETKİM Limanı No:2 İskele	Gemi, kirli deniz suyu, temiz deniz suyu	No:6 sancak taraf tankından sızan kirlilik	63.300,2
21	20.09.2013	20:30	M/T ŞÜKRAN C	Türkiye	Kimyasal Tanker	2.798	Selay Denizcilik	Fuel Oil	TÜPRAŞ İskele	Gemi, kirli deniz suyu, temiz deniz suyu	Yakıt alımı sırasında geminin 28/29 no'lu tankın iskandil borusundan yakıt gelmesi sonucu oluşan kirlenme	98.058,22
22	20.11.2013	08:30	KALKANLAR 4	Türkiye	Petrol Tankeri	148	Kalkanlar Petrol	Petrol ve Türevi Ürün	PETKİM Limanı	3 no'lu yakıt tankı, temiz ve kirli deniz	Tahliye operasyonu esnasında liman tesisinden devreye hava verilmesi sebebi ile 3 no'lu tankın menholünden yükün taşması nedeniyle oluşan kirlilik	10.018,12
23	23.08.2016	22:00	BURAK FURKAN	Türkiye	Çamur Gemisi	207	Es Group Denizcilik	Kirli Balast	PETKİM Limanı	Kaptan beyanı	Kirli balastın sahile transferi sonucunda meydana gelen deniz kirliliği	4.140
24	3.11.2016	04:50	ZEYNEP KA	Türkiye	Kimyasal Tanker	4.347	Ka Denizcilik	IFO 180	TÜPRAŞ 2 No'lu İskele	Gemi, kirli deniz suyu, temiz deniz suyu	Yakıt alımı sırasında hortumun sökülmesi esnasında hortumun düşürülmesi ve oluşan deniz kirliliği	50.019,6
25	1.03.2017	08:45	BODYER	Türkiye	Konteyner	3.936	Boduroğlu Denizcilik	Fuel Oil	Karadut Mevkii	Deniz çevresinden numune alınması	Karaya oturan geminin kıç tarafından güverteye kadar batık olduğu geminin ana güvertesinden makine dairesi kaportasına kadar su aldığı ve yakıt tank iskandil borularının açık olduğu kesik olan havalandırma borularından yakıt sızdığı gözlemlendi	67.249,2
26	31.08.2018	17:00	HARRIER	Palau	Konteyner	38.282	NABEEL Gemi İşletmeciliği	Fuel Oil	Tavşan Adası-Çandarlı körfezi	Gemi, kirli deniz suyu,	Gemi söküme gelen geminin illegal yağ deşarjı	1.644.742,40
27	5.05.2020	13:00	ÇEŞME 2	Türkiye	Petrol Tankeri	238	Ulusoy Deniz Taşımacılığı	IFO 380	TÜPRAŞ İskele	Deniz çevresinden numune alınması	Sancak 5 no'lu tank kapağından taşıntı olmasından kaynaklı oluşan kirlilik	48.129,16

Modelleme sonuçlarının doğruluğu büyük ölçüde girdi verilerinin kalitesine ve güvenilirliğine bağlıdır. Ürün miktarı, hava koşulları ve çevresel hassasiyetler gibi girdi parametreleriyle ilgili belirsizlikler model çıktılarının güvenilirliğini etkilemektedir. Bu belirsizlikleri minimize etmek ve model sonuçlarının güvenilirliğini artırmak için, doğru ve güvenilir verilere dayanan girdi parametrelerinin kullanılması büyük önem taşımaktadır. Elde edilen veriler ışığında, gemi bilgilerine ait teknik detaylar ve dökülen ürün bilgilerine ait güvenilir ve doğrulanabilir 5 adet petrol kirliliği kaynaklı gemi kaza verisine ulaşılmıştır. Araştırma veri setine ait detaylar Tablo 16'da yer almaktadır.

Tablo 16: Araştırmanın Veri Seti

	Tarih	Saat	Konum	IMO No	Gemi Adı	Gemi Tipi	Bayrak	GRT	İnşa Yılı	Olay	Dökülen Ürün Miktarı (ton)	Ürün Tipi
1	20.06.2009	05:00	Tüpraş 1 nolu iskele	9033969	M/T Isola Verde	Ham Petrol Tankeri	İtalya	20200	1994	Yakıt Kaçağı	25	Fuel oil No:6 Bunker C
2	1.10.2009	22:30	Gemi söküm tesisleri	9086708	M/T Breeze A	Kimyasal Ürün Tankeri	Malta	21142	1994	Yük sızıntısı	3,5	JET A 1-Kerosen
3	5.12.2012	08:30	Nemport İskele	9351579	M/V MSC Tamara	Konteyner	Panama	41225	2008	Yakıt Kaçağı	2	Fuel oil No:6 Bunker C
4	1.03.2017	08:45	Karadut Mevki	8817863	M/V Bodyer	Konteyner	Türkiye	3936	1991	Karaya oturma	5	Fuel oil No:6 Bunker C
5	31.08.2018	23:00	Gencelli Sahili	8730479	M/V Harrier	Konteyner	Palau	38282	1989	Yakıt Kaçağı	100	Fuel oil No:6 Bunker C

2.7.3. Konumsal Analizi İçin Gereken Veriler

Petrol kirliliği kazalarının konumsal analizi için veri toplama süreci, haritalar, uydu görüntüleri ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) verileri de dâhil olmak üzere çalışma alanını kapsayan coğrafi veri setlerinin elde edilmesini içermektedir. Tutarlılığı ve uyumluluğu sağlamak için, toplanan veriler coğrafi olarak WGS-84 (World Geodetic System) koordinat sistemine göre standartlaştırılmış, böylece CBS çerçevesinde konumsal analiz için hazır hale getirilmiştir. Coğrafi verilerin görselleştirilmesinde harita katmanı olarak "Google Maps" üzerinden elde edilen uydu görüntüleri altlık olarak kullanılmaktadır. Tablo 17'de kazalara ait konumsal analizde kullanılacak veri seti yer almaktadır.

Tablo 17: Konumsal Analiz için Veri Seti

	Tarih	Saat	Gemi Adı	X (Boylam-Batı) Ondalık Derece	X (Boylam-Batı) Derece-Dakika-Saniye	Y (Enlem-Kuzey) Ondalık Derece	Y (Enlem Kuzey) Derece-Dakika-Saniye	Konum
1	20.06.2009	05:00	M/T Isola Verde	26.948	026^0 56.904’	38.834	38^0 50.061’	TÜPRAŞ 1 no’lu iskele
2	1.10.2009	22:30	M/T Breeze A	26.932	026^0 55.976’	38.837	38^0 50.224’	Gemi söküm
3	5.12.2012	08:30	M/V MSC Tamara	26.931	026^0 55.91’	38.766	38^0 45.978’	NEMPORT İskele
4	1.03.2017	08:45	M/V Bodyer	26.986	026^0 59.19’	38.849	38^0 50.948’	Karadut Mevki
5	31.08.2018	23:00	M/V Harrier	26.889	026^0 53.388’	38.846	38^0 50.76’	Gencelli Sahili

Toplanan veri katmanlarını üst üste bindirmek ve analiz etmek için, CBS yazılımı olan Mapinfo Pro araçları kullanılmıştır. Mekânsal model araçları, petrol kirliliği olaylarının coğrafi konumlarını analiz etmek için kullanılan güçlü araçlardır. Ayrıca, yüksek hassasiyete sahip alanların tespiti de araştırmanın önemli bir bileşenidir. Bu, petrol kirliliği olaylarına en duyarlı ve etkilenme potansiyeli yüksek olan bölgelerin belirlenmesini içermektedir. Mekânsal modeller ve ilgili veri analizleri, bu hassas alanları tespit etmek ve vurgulamak için kullanılmıştır. Bu şekilde, petrol kirliliği olaylarının konumsal dağılımı ve etkileri hakkında daha kapsamlı bir anlayış elde edilmektedir. Böylece, karar alıcılar ve ilgili paydaşlar, petrol kirliliği olaylarının konumsal etkilerini daha iyi anlayabilir ve müdahale etmek için uygun stratejiler geliştirebilmektedir.

2.7.4. Petrol Kirliliği Yayılım Modellemesi İçin Gereken Veriler

Petrol kirliliği yayılım modelleri bir döküntünün belirlenmiş alanlara ulaşması için gereken sürenin tahmin edilmesi ve modellenen yerlere ulaştığında durumunun değerlendirilmesini olanak sağlayan sayısal araçlardır. Belirli veri unsurlarının hazırda bulunmadığı durumlarda, modelleme sürecindeki potansiyel belirsizlikleri anlamak için veri enterpolasyonu teknikleri ve uzman değerlendirmelerine başvurulmuştur. Devlet kurumları, müdahale firmaları ve alanında uzman akademisyenler ile görüşmeler yapılarak analize konu olan verilere erişilmiş ve uzmanlıklarından

yararlanılarak kullanılan verilerin detayları hakkında bilgi edinilmiştir.

Petrol kirliliği yayılım modellemesi için gerekli veriler tipik olarak petrol sızıntısının deniz yüzeyindeki davranışını, yayılım göstereceği alanı ve etkisini simüle etmeye ve tahmin etmeye yardımcı olan çeşitli bilgi türlerini içermektedir. Başlangıç koşullarını tanımlamak için gerekli petrol döküntüsü verileri arasında döküntünün konumu, dökülmenin zamanı ve etki sahası, dökülme hızı ve süresi, ürün türüne ait fiziksel özellikler yer almaktadır. Daha sonraki veri toplama süreci, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü, hava sıcaklığı, basınç değeri ve bulutluluk gibi meteorolojik verilerin elde edilmesini içermektedir. Hidrodinamik koşulları ve bunların petrol davranışı üzerindeki etkisini anlamak için, akıntı yönü ve şiddeti, deniz suyu sıcaklığı ve dalga yüksekliği dahil oşinografi verileri de veri setine eklenmiştir. Meteoroloji ve oşinografi verileri, "Poseidon system" ve "Meteoblue weather" internet site arşivinden elde edilerek modellemeye hazır hale getirilmiştir. Dökülen petrolün viskozite, yoğunluk ve buharlaşma oranları gibi fiziksel özelliklerine ilişkin bilgiler, PISCES 2 yazılımına manuel olarak girilmiştir. Deniz tabanı topografyasını temsil eden batimetri verileri ve petrolün kıyı ve açık deniz alanlarında yayılmasını doğru bir şekilde modellemek için bir harita altlığı gerekmektedir. Bu kapsamda kıyı tipolojisine ait verileri görselleştirmek için TRANSAS (Transport Safety Appraisal Service) firmasından haritalar satın alınmıştır. Tablo 18'de kazalara ait ve yayılım modellemesinde kullanılan veri seti yer almaktadır.

Tablo 18: Yayılım Modelleme Senaryolarına Dair Toplanan Veriler (Kazanın Meydana Geldiği İlk Saat)

	Gemi adı	Tarih	Saat	X (Boylam-Batı)	Y (Enlem-Kuzey)	Konum	Tahmini Kirlilik Miktarı (ton)	Tahmini Yük Türü	PISCES 2 ürün tipi	Sıcaklık (C ^{0})	Akıntı Şiddeti (km/h)	Akıntı Şiddeti (knot)	Akıntı Yönü	Akıntı derece	Rüzgâr (km/h)	Rüzgâr Knot	Rüzgâr Yönü	Rüzgâr derece	Su Sıcaklığı (C ^{0})	Su Yoğunluğu(g/ml)	Deniz Durumu (bofor)	Dalga Boyu(m)	Bulutluluk (%)	Bulutluluk 5'li ölçek	Basınç (hPa)
1	M/T Isola Verde	20.06.2009	05:00	026^0 56.904'	38^0 50.061'	TÜPRAŞ 1 no'lu iskele	25	Fuel oil No:6 Bunker C	Marine Intermediate Fuel oil	24	0,24	0,13	SW	225	8	4,32	NE	45	23	1,025	2	0,2	0	1	1013
2	M/T Breeze A	1.10.2009	22:30	026^0 55.976'	38^0 50.224'	Gemi söküm	3,5	JET A 1-Kerosen	Fuel No: 1 Kerosene	20	0,21	0,11	NNW	338	7	3,78	SSE	158	19	1,025	1	0,1	4	1	1015
3	M/V MSC Tamara	5.12.2012	08:30	026^0 55.911'	38^0 45.978'	Nemport İskele	2	Fuel oil No:6 Bunker C	Marine Intermediate Fuel oil	11	0,78	0,42	NNW	338	26	14,04	SSE	158	13	1,025	4	1	14	1	1007
4	M/V Bodyer	1.03.2017	08:45	026^0 59.19'	38^0 50.948'	Karadut Mevki	5	Fuel oil No:6 Bunker C	Marine Intermediate Fuel oil	17	0,48	0,26	N	0	16	8,64	S	180	15	1,025	3	0,6	8	1	1014
5	M/V Harrier	31.08.2018	23:00	026^0 53.388'	38^0 50.76'	Gencelli Sahili	100	Fuel oil No:6 Bunker C	Marine Intermediate Fuel oil	27	0,3	0,16	SSW	203	10	5,40	NNE	23	23	1,025	2	0,2	7	1	1012

2.7.5. Risk Matris Formu Tasarım Süreci

Risk matris süreci iki aşamalı adımdan oluşmaktadır. İlk adımda, uzmanlarla NÇFA sürecini etkileyen değişkenlerin tespitine yönelik keşifsel bir süreç yürütülmüştür. İkinci aşama ise, elde edilen değişkenlerin optimum müdahale tekniği tespitindeki çevresel parametreler ışığında risk matrisinin oluşturulmasını içermektedir.

2.7.5.1. Yapılandırılmış Yüz Yüze Görüşme Süreci

Yapılandırılmış yüz yüze görüşme aşamasında, müdahale tekniği seçimine etki eden değişkenler literatür taraması sonucunda elde edilmiş ve uzmanların değerlendirmesine sunulmuştur. Müdahale tekniği seçimini ve NÇFA sürecine etki eden değişkenler EK-1 ve EK-2'de detaylı olarak sunulmuştur. Fiziksel, termal, kimyasal ve biyolojik yöntemlerin seçimini etkileyen değişkenler; kirlilik kaynağı, müdahale koşulları, saha dinamikleri, operasyonel parametreler ve teknik koşullar çerçevesinde sınıflandırılmıştır. Tablo 19'da yapılandırılmış görüşme formu pilot tasarımına ait değerlendirme yapan uzmanların bilgileri yer almaktadır.

Tablo 19: Yapılandırılmış Yüz Yüze Görüşme Formu Pilot Uygulamasında Yer Alan Uzmanlar

Tarih ve Saat	Kurum	Uzmanlık Alanı	İletişim Yöntemi
01.05.2023	Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi	OPRC Tatbikat ve Eğitim Uzmanı, Akademisyen	Yüz yüze Görüşme
02.05.2023	Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi	Akademisyen	Yüz yüze Görüşme
03.05.2023	Aliağa Bölge Liman Başkanlığı	Liman Başkanı	Yüz yüze Görüşme
10.05.2023	MEKE Müdahale Firması	OPRC Tatbikat ve Eğitim Uzmanı	Online Toplantı
11.05.2023	MOST Denizcilik	Proje Koordinatörü, Müdür	Online Toplantı

Aliağa Liman Başkanı, OPRC Seviye-3 sertifikasına sahip akademisyenler ve çevre mühendisleri ile yüz yüze görüşmeler yapılarak yapılandırılmış görüşme

formunun tasarımı gerçekleştirilmiştir. Görüşme formunun anlaşılır olması, soruların bütünlüğü ve doğrulanabilir olmasına yönelik görüşler alınmış ve görüşme formuna ait pilot çalışma gerçekleştirilmiştir.

2.7.5.2. Risk Matris Formunun Oluşturulması

Görüşme formunda yer alan soruların uygunluğu ve ifadelerin anlaşılabilir olması açısından uzmanlardan görüşler alınmış ve yapılandırılmış yüz yüze görüşme formunun son hali oluşturulmuştur. Görüşme formunda her bir değişken için tanımlanmış risk matris hücreleri bulunmaktadır. Bu hücreler 0 ila 4 puan aralığında risk seviyelerini içermektedir. Risk seviyeleri olası etkileri en aza indirmek amacıyla tüm müdahale eylemlerine atanan "Risk yok" ve "Çok Yüksek Risk" seviyelerine göre sınıflandırılmıştır. Risk skorlarına ait seviyelendirme Iazeolla ve diğer araştırmacıların (2017) geliştirdiği ölçek temelinde yapılandırılmıştır. Her bir değişkene verilen risk matris seviyeleri Şekil 36'da yer almaktadır.

Şekil 36: Uygulanan Risk Matrisi Seviyeleri



Matrislerdeki puanlar, belirlenen kategorilerin tüm olası değerlerinde her bir müdahale tekniğiyle ilişkilendirilen riski temsil etmektedir. Uzmanlar her bir müdahale tekniğini ilgili kategorilerin risk seviyelerine göre puanladıktan sonra, seçilen bir petrol kirliliği senaryosu için uygulanabilir müdahale eylemlerinin nihai risk değeri hesaplanmaktadır. Dikkate alınan tüm değişkenlere ait risk puanlarının

ağırlık ortalaması alınarak optimum müdahale tekniği önerisinde bulunulmuştur. Dikkate alınan senaryodaki NÇFA sonuçlarına göre, en düşük risk seçeneği veya doğal iyileşme de dahil olmak üzere daha düşük risklerle ilişkili seçeneklerin bir kombinasyonu da tercih edilebilmektedir.

Yapılandırılmış görüşme formunun uzmanlar tarafından uygulanması, Net Çevresel Fayda Analizi kapsamında müdahale teknikleri için kapsamlı ve titiz bir seçim sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Tablo 20'de yapılandırılmış görüşme formunu uygulayan uzmanların detayları yer almaktadır.

Tablo 20: Yapılandırılmış Yüz Yüze Görüşme Formunu Uygulayan Uzmanların Bilgileri

Tarih ve Saat	Kurum	Meslek	Uzmanlık alanı	Mesleki Tecrübe	İletişim Yöntemi
09.05.2023-16:00-17:30	Aliağa Bölge Liman Başkanlığı	Liman Başkanı	Uzakyol Kaptan ve Ulaştırma Altyapı Bakanlık görevleri	21 yıl	Yüz yüze Görüşme
10.05.2023-14:00-16:00	MEKE Müdahale Firması	Çevre Mühendisi	OPRC Tatbikat ve Eğitim Uzmanı, Risk Değerlendirme	10 yıl	Online Toplantı
10.05.2023-14:00-16:00	MEKE Müdahale Firması	Çevre Mühendisi	OPRC Tatbikat ve Eğitim Uzmanı, Risk Değerlendirme, Acil Durum Planlama	9 yıl	Online Toplantı
11.05.2023 -14:00-15:00	MOST Denizcilik Müdahale Firması	Yüksek Çevre Mühendisi	Proje Koordinatörü, Müdür	15 yıl	Online Toplantı
12.05.2023 14:00-16:00	MARE Denizcilik Müdahale Firması	Yüksek Çevre Mühendisi, Akademisyen	Eğitim ve Tatbikat Koordinatörü	14 yıl	Online Toplantı
12.05.2023 14:00-16:00	MARE Denizcilik Müdahale Firması	Biolog	Operasyon ve Müdahale	6 yıl	Online Toplantı
17.05.2023 11:00-12:00	Dokuz Eylül Üniversitesi	Akademisyen	Uzakyol Vardiya Zabiti, OPRC Tatbikat ve Eğitim Uzmanı	16 yıl	Yüz yüze Görüşme
17.05.2023-15:00-16:30	Omur Marine	P&I Club, Avukat	Deniz Kirliliği Sorumluluk ve Tazmin Talepleri direktörü	14 yıl	Online Toplantı
13.06.2023 13:00-14:00	MOST Denizcilik Müdahale Firması	Yüksek Çevre Mühendisi	OPRC Tatbikat ve Eğitim Uzmanı, Risk Değerlendirme, Acil Durum Planlama	7 yıl	Online Toplantı

Tasarımı tamamlanan yapılandırılmış görüşme formu, yüz yüze ve online platformda 12.05.2023-15.06.2023 tarihleri arasında uygulanmak için uzmanlardan randevular alınmıştır. Görüşme için 15 uzmanla iletişime geçilmiştir. Fakat uygulamaya sadece 9 uzman katılabilmiştir. Bu kapsamda Ulaştırma Altyapı

Bakanlığı'nın "*Deniz Çevresinin Petrol ve Diğer Zararlı Maddelerle Kirlenmesinde Acil Durumlarda Müdahale Görevi Verilebilecek Şirket/Kurum/Kuruluşların Seçimine İlişkin Tebliğ Kapsamında Yetki Alan Firmalar (TEBLİĞ NO: 2009/4 ile 2010/3)"* yetkilendirdiği kurumlar, Liman Başkanlığı ve OPRC üzerine uzmanlaşmış kişiler ile yapılandırılmış görüşme formu uygulanmıştır.

Potansiyel net çevresel faydalarının kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlayan görüşme formu, uzmanlara rehberlik eden sistematik bir çerçeve sunmaktadır. NÇFA'da müdahale tekniği seçiminde yapılandırılmış görüşme formunu uygulayan uzmanlar, önceden belirlenmiş bir dizi kritere ve standartlaştırılmış prosedürlere bağlı kalmakta, böylece değerlendirme sürecinde tutarlılık ve objektiflik de sağlanmaktadır. Ayrıca yapılandırılmış görüşme formu, alandaki diğer uzmanlar tarafından gözden geçirilebilecek, doğrulanabilecek ve tekrarlanabilecek standartlaştırılmış yaklaşım sağladığından, karar verme sürecinin şeffaflığını ve tekrarlanabilirliğini arttırmaktadır. Bu görüşme formu ilgili tarafları veri toplama sürecine dahil ederek, işbirlikçi bir ortamı ve karar verme sürecinde farklı bakış açılarının dikkate alınmasını sağlayarak paydaş katılımını da teşvik etmektedir.

2.8. ARAŞTIRMANIN KISITLARI

Petrol kirliliği müdahalesinin seçimine yönelik karar alma süreci, farklı değişkenler ve zaman alıcı süreçlerden oluşmaktadır. Bu süreçler, kapsamlı verilerin toplanmasını ve analiz edilmesini, birden fazla paydaşın katılımını ve çeşitli faktörlerin dikkatle değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu karmaşıklık, acil müdahale durumlarında karar vericilerin etkili ve bilinçli kararlar vermesinde gecikmelere yol açabilmektedir. Araştırmanın kısıtları şu şekilde sıralanabilir;

- Araştırmadaki en önemli kısıtlardan biri, bölgede meydana gelen ve petrol kirliliği ile sonuçlanan gemi kazalarına ait teknik verilere erişim zorluğudur. Kazalara ait verileri kayıt altında tutan ilgili kurum ve kuruluşlara gerekli başvurular yapılmasına rağmen, kısıtlı veri setine ulaşılmıştır. Araştırmanın bir diğer önemli kısıtı, elde edilen raporlardaki içeriğin analize uygun detayları (akıntı yönü ve şiddeti, dökülen ürün tonajı ve ürün bilgisi vb.) tam olarak karşılayamamaktadır. Bu bağlamda tüm veri setinden sadece 5 adet gemi kaynaklı petrol kirliliği kazasının modellemeye uygun olduğu tespit edilmiştir.

- Araştırmada uygulanan metodoloji ile yalnızca çevresel faydayı sağlayacak değişkenler göz önünde bulundurulmuş olup, diğer sürdürülebilirlik faktörler (sosyal, ekonomik vb.) kapsam dışında bırakılmıştır. Bu nedenle, model önerisinde maliyet, sosyal ve kültürel değişkenler göz ardı edilmiştir.
- Araştırmanın analiz sürecinde çevresel hassasiyet kaynaklarını görselleştiren ve Aliağa Körfezi bağlamında bütüncül bir ESI haritasına erişim sağlanamamıştır. Farklı müdahale firmalarının danışmanlık yaptığı kıyı tesislerine ait saha özelinde sadece kıyı şeridi duyarlılığını içeren haritalara erişim sağlanmıştır. Bu haritalar, değişen çevresel koşullara, ekosistemlere ve yıllar içerisinde kıyı şeridi yapılaşmaları nedeniyle duyarlılık seviyeleri değişmektedir. Çevresel hassasiyet haritalarının güncellenme ihtiyacı, çevreyle ilgili değişikliklerin takip edilmesi ve koruma çabalarının güncel bilgilere dayanması açısından büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle bir diğer kısıt ise, analizlerde kullanılan ESI haritalarının sürekli güncellenme ihtiyacının olmasıdır.
- Araştırmanın bir diğer kısıtı, koruma altındaki ekosistemler, vahşi yaşam habitatları ve kültürel ya da tarihi alanlar da dahil olmak üzere etkilenen bölgenin hassasiyeti dikkatle ele alındığında ve özel meteorolojik koşullarda devreye girdiğinde tek bir müdahale stratejisini tercih etmek yeterli olmamaktadır. Söz konusu durum için uygulanabilir ve pratik müdahale stratejileri önerirken, lojistik kısıtlamaları ve kaynak sınırlamalarını göz önünde bulundurmakta gerekmektedir. Ayrıca ekipman ve malzeme maliyetleri, operasyonel giderler ve döküntünün potansiyel ekonomik etkileri gibi faktörlerde düşünüldüğünde karar verme sürecine etki eden değişkenlerin birbirleri arasındaki etkileşimi ve karmaşıklığı karar vericilerin karar alma süreçlerinde zaman kaybetmelerine neden olmaktadır. Bu nedenle, etkilenen saha özelinde tasarlanan yapılandırılmış görüşme formunda çevresel değişkenlerin hassasiyetine dair bilgiler, müdahale seçeneklerinin fizibilitesi ve etkinliğine dair parametreler ile sınırlandırılmıştır.
- NÇFA, çevre bilimi, toksikoloji, ekonomi ve sosyal bilimler dahil olmak üzere birçok disiplinden uzmanlık gerektirmektedir. Bu farklı alanlardan gelen bilgileri bütünleştirmek ve uzmanlar arasında etkili bir iş birliği sağlamak,

özellikle sınırlı kaynaklar veya zaman kısıtlamaları ile çalışırken zor olabilmektedir. Araştırmanın bir diğer kısıtı, Aliağa özelinde kirlilik müdahale deneyimi olan uzman sayısının az olması ve NÇFA özelinde uzmanlaşmış kadronun yetersiz sayıda olmasıdır. Bu durum kuruluşların bir petrol kirliliğine nasıl müdahale edecekleri konusunda bilinçli kararlar almak için ihtiyaç duydukları bilgileri elde etmelerini zorlaştırmaktadır.

- Analize konu olan müdahale tekniklerinin uygulanmasına yönelik ulusal çerçevede hazırlanmış yasal mevzuatın her bir teknik için hiçbir kısıtlama koymadığı varsayımı ile bu araştırma yürütülmüştür. Oysaki, kimyasal tekniklerin uygulanmasında, Bakanlığın uygun görüşü alınmadan petrolün dibe çöktürülmesi veya seyreltilmesi yasaktır. Termal müdahalenin ise Türk deniz yetki sahaları içerisinde uygulanması yasaktır. Bu nedenle, uzmanlara bürokratik kısıtlamalar olmadan, etkili ve zamanında müdahale seçeneğinin gerçekleştirilebilmesi yönelik temel sorular sorularak optimum müdahale seçeneği önerisinde bulunmaları istenmektedir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM
ARAŞTIRMANIN BULGULARI

3.1. KİRLİLİK KAZA VERİLERİNİN KONUMSAL ANALİZİNE DAİR BULGULAR

Konumsal analiz tekniği ile bu araştırmada, Aliağa Bölgesi'ndeki petrol sızıntısının farklı mekânsal örüntülerini ve sıcak noktalarını ortaya çıkararak kirlilikten en çok etkilenen alanlar tespit edilmekte ve risk ve kırılganlığın arttığı belirli coğrafi bölgeler belirlenmektedir. Ayrıca, araştırma bulguları dökülen petrolün dağılım ve yayılım modellerini aydınlatarak, farklı kirlilik seviyelerine sahip bölgelerin tanımlanmasına ve etkilenen bölgelerdeki insan sağlığı ve sosyo-ekonomik faaliyetlere yönelik potansiyel risklerin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Araştırma sonuçları, olay sırasında uygulanan müdahale önlemlerinin etkinliğine ilişkin değerli bilgiler sunmakta, risk azaltma çabalarının petrolün yayılmasını kontrol altına almada başarılı olduğu alanları ve daha fazla dikkat ve iyileştirme gerektiren alanları tespit etmeye yardımcı olmaktadır.

Aliağa Körfezi'nde meydana gelen 5 adet gemi kaynaklı kirlilik olaylarına ilişkin konumsal analiz Mapinfo Pro yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Kaza yoğunluğunu tanımlamak için, noktasal yoğunluk analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz ile kirlilik kazalarının konumsal dağılımı farklı renk kodları kullanılarak oluşturulan tematik haritalar ile noktasal verilerin ayırt ediciliği sağlanmıştır. Konumsal analize dair haritalar kirlilik boyutu, kirlilik nedeni ve yük türüne göre tematik haritalar şeklinde görselleştirilmiştir. Şekil 37'de kaza verilerine ait konumsal dağılım haritası yer almaktadır.

Şekil 37: Kaza Verilerinin Konumsal Dağılım Haritası



Şekil 37'de görüldüğü üzere, kazaların konumsal dağılımı incelendiğinde kazaların geneli kıyı tesisleri bölgesinde meydana gelmiştir. Aliağa Körfezi'nin liman bölgesindeki kirliliğin etkisi, bu bölgenin ekolojik bütünlüğü ve çevre sağlığı için önemli bir tehdit oluşturmuştur. Kirlilik kaynakları, özellikle de endüstriyel faaliyetlerle ilişkili olanlar, su kalitesinin bozulmasına, operasyonların durmasına ve hassas deniz habitatlarının genel olarak zarar görmesine sebep olan başlıca unsurlar olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, liman bölgesindeki kirliliğin etkisi akıntı ve rüzgâr etkisi ile kirleticileri dağıtarak potansiyel olarak bitişik kıyı alanlarını etkilemektedir. Bu durum birbirine bağlı ekosistemlerin kırılganlığını arttırabileceğinden, yakın çevrenin ötesine de uzanmaktadır. Liman bölgesindeki kirlilik nedeniyle Aliağa Bölgesi'ndeki çevresel açıdan hassas alanların zarar görmesi önemli sosyo-ekonomik sonuçlar da doğurmaktadır. Su kalitesindeki düşüş, biyolojik çeşitlilik kaybı ve ekosistemin bozulması yalnızca yerel balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği endüstrilerinin sürdürülebilirliğini etkilemekle kalmamış, aynı zamanda turizmi, rekreasyon faaliyetlerini de etkilemiştir. Şekil 38'de kaza verilerinin kirlilik boyutuna göre tematik haritası yer almaktadır.

Şekil 38: Kaza Verilerinin Kirlilik Boyutuna Göre Tematik Haritalandırılması



Şekil 38'de görüldüğü üzere M/V Harrier kazasının yarattığı kirlilik boyutunun göreceli etkisi diğer kaza verilerinin çevresel etkilerinin şiddetine oranla daha yüksektir. Bu değerlendirmede kirleticinin niteliği, etkilenen alanların hassasiyeti, maruz kalma süresi ve ekosistemin iyileşme kapasitesi gibi faktörler göz önünde bulundurulduğunda, M/V Harrier kazası diğer kaza verilerine oranla ciddi boyutta bir kirlilik yaratmıştır. Kazanın meydana geldiği bölgede endemik ve nesli tükenmekte olan türler de dahil olmak üzere çeşitli karasal ve denizel türlere ev sahipliği yapan Tavşan Adası yer almaktadır. Adanın kıyı bölgeleri, eşsiz flora ve faunayı destekleyen kumlu plajlar ve kayalık kıyılara sahiptir. Bu habitatlar deniz kaplumbağaları için yuvalama alanları, kıyı kuşları için üreme alanları ve deniz memelileri için yiyecek arama alanları sağlamaktadır. Her ne kadar gemi kaynaklı deniz kirliliği Çandarlı Körfezi içerisinde meydana gelse de denizlerdeki petrol kirliliği sınırları aşan bir konudur. Diğer kaza verilerinde ise operasyon esnasında yaşanan aksaklıklar nedeniyle kirlilikler meydana gelmiş ve yaşanan kirlilikten dolayı liman sahasında operasyon işlemleri durdurulmuştur. Kirliliğin etkilediği kıyı şeridi uzunluğu yaklaşık 13 km olan M/T Isola Verde kazasında ise, kayalık, kaba çakıllı ve taşlık bölgelerde

meydana gelmesi nedeniyle müdahale operasyonunda yoğun bir işgücü kullanılmıştır. Yarattığı çevresel etkinin yanı sıra bu tür kirlilikler ciddi ekonomik kayba da yol açmıştır. Bir diğer gemi kaynaklı kirlilik kazası M/V Bodyer, Aliağa'nın kuzeyinde, Güzelhisar Çayı'nın ortasından geçip Ege Denizi ile birleştiği nokta olan Karadut mevkisinde gerçekleşmiştir. Bu mevkii kaya, çakıl ve iri kum taneleri içeren bir kıyı şeridine sahiptir. Ayrıca Güzelhisar çayı deltası sulu ve kuru tarım faaliyetleri uygulandığından tarımsal faaliyet açısından zengin bir bölgedir. Bu bölgenin bir diğer önemli hassas noktası ise, Myrina Antik Kenti'nin bu bölgede olmasıdır. M/V Bodyer kazasının 1.derece hassasiyete sahip bu alanlarda meydana gelmesi bölgeyi daha kırılgan bir hale getirmektedir. Şekil 39'da kaza nedenlerine göre tematik haritalama yer almaktadır.

Şekil 39: Kaza Verilerinin Kaza Nedenine Göre Tematik Haritalandırılması



Şekil 39 incelendiğinde, 100 ton ve 25 ton kirliliğe neden olan kazaların yakıt kaçağından kaynaklı olduğu görülmektedir. Yakıt kirliliği, balıkçılık faaliyetlerinin etkilenmesine, su kalitesinin bozulmasına ve kıyı bölgelerinin hasar görmesine ilişkin endişeler nedeniyle turizm faaliyetlerinin azalmasına yol açmıştır. Sıkı düzenlemeler,

geliştirilmiş güvenlik önlemleri ve müdahale teknolojilerindeki ilerlemeler sayesinde, yakıt sızıntısının etkisini en aza indirmek ve hassas ekosistemleri petrol döküntülerinin zararlı sonuçlarından korumak için çok önemlidir. Karaya oturan M/V Bodyer kazasında hem deniz ekosistemlerini hem de kıyı alanlarını etkileyerek önemli çevresel sonuçlar doğurmuştur. Kaza verilerinin yük türlerine göre tematik haritalaması Şekil 40'ta yer almaktadır.

Şekil 40: Kaza Verilerinin Yük Türüne Göre Tematik Haritalandırılması



Farklı petrol türlerini içeren kazaların dağılımını gösteren Şekil 40'taki görselde, iki farklı ürün tipine ait kirlilik görülmektedir. Kerosen aromatik hidrokarbonlar gibi toksik bileşenleri balıklar, omurgasızlar ve sucul bitkileri de dahil olmak üzere suda yaşayan canlılar üzerinde akut ve kronik etkilere neden olmaktadır. Ağır fuel oil olarak da bilinen Fuel Oil Bunker C ürünü ise, deniz araçlarında, enerji

üretiminde ve endüstriyel kazanlarda yaygın olarak kullanılan viskoz ve yüksek oranda kirletici bir yakıttır. Bu kirletici ürünlerin yüksek oranda viskoz özelliğinin olması doğada daha uzun süre kalma eğiliminde olmasına sebep olmaktadır, bu da uzun süreli kirlenmeye ve ekolojik bozulmaya yol açmaktadır. Tematik haritalama, bu spesifik petrol türlerinin çevresel etkilerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca gelişmiş önleme stratejileri ve ekosistemler üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak için hedeflenen müdahale önlemlerini yönelik çıkarımlar kolaylıkla yapılabilmektedir.

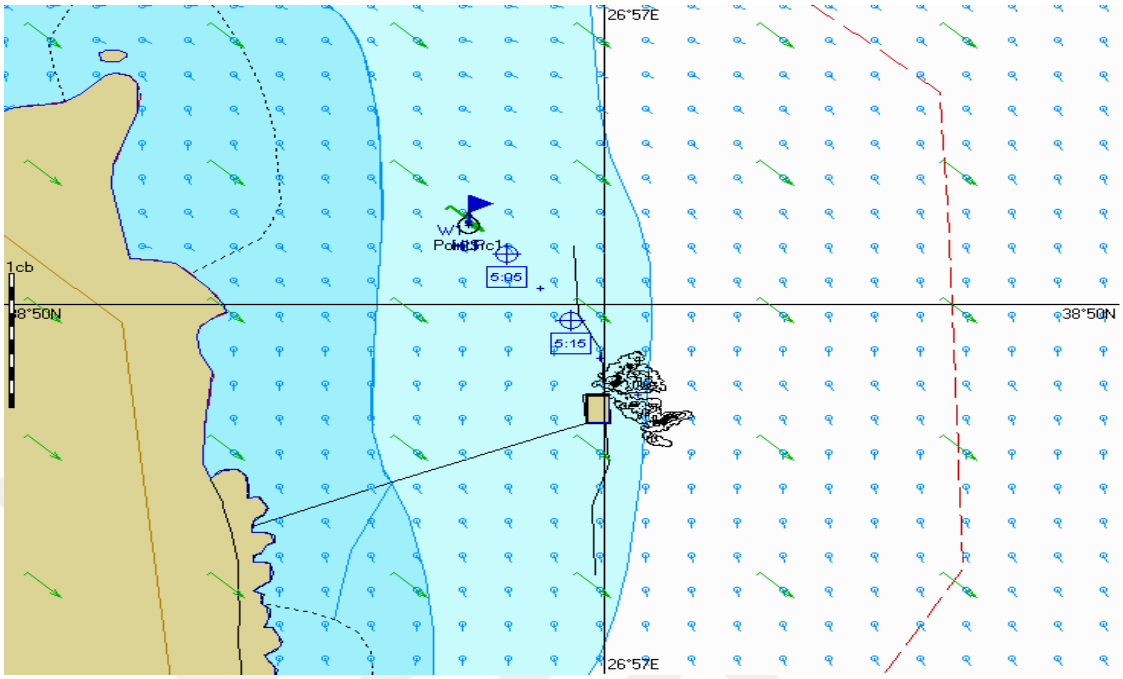
3.2. PETROL KİRLİLİĞİ YAYILIM MODELLEMESİNE DAİR BULGULAR

Aliağa Körfezi'nde meydana gelen 5 adet gemi kaynaklı kirlilik kazasına yönelik yayılım senaryoları, Langrangian modeline dayanan PISCES-II sayısal modeli ile gerçekleştirilmiştir.

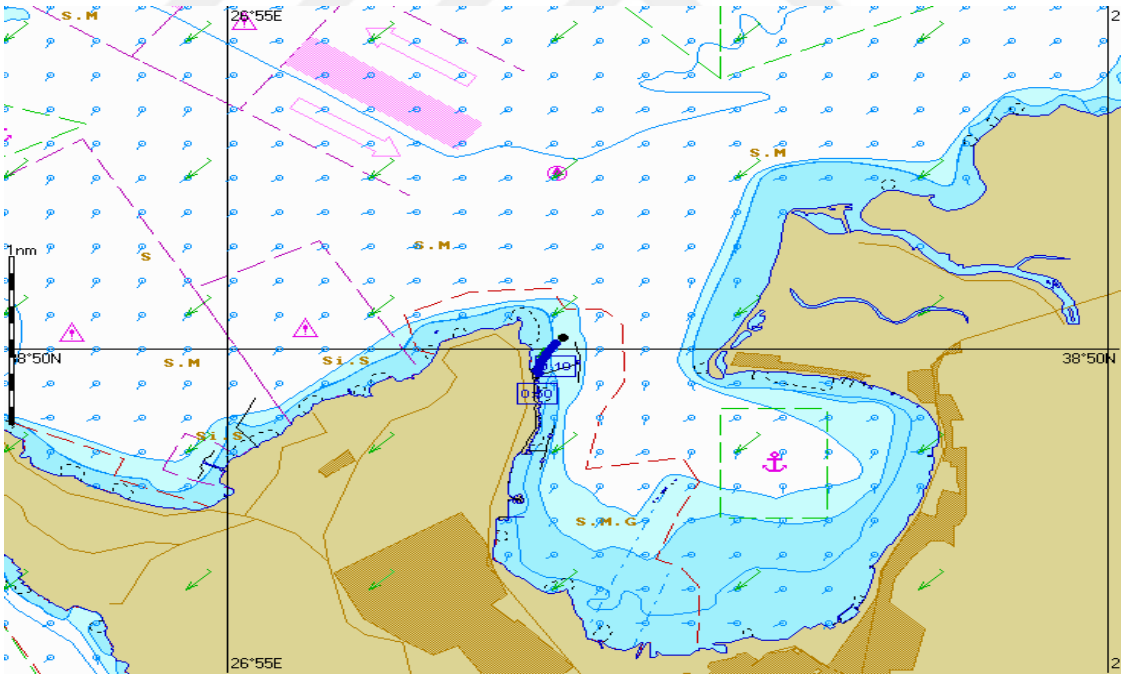
PISCES-II modeli, petrol kirliliğinin yayılımını ve davranışını simüle etmek için ürün partiküllerini, yani petrol parçacıklarını, rüzgâr, yüzey akıntıları ve difüzyon etkilerinin yarattığı vektörel hareketin etkisine maruz kalan bireysel varlıklar olarak ele almaktadır. Sayısal model, petrol kirliliğinin zaman içindeki yayılımını ve davranışını simüle etmek için bu faktörler arasındaki karmaşık etkileşimleri hesaba katarak farklı zaman dilimlerinde senaryolar üretebilmektedir. Bu sayede, kirliliğin hangi bölgelere yayılabileceği, ne kadar sürede ve hangi yoğunlukta etkili olabileceğine dair bilgiler elde edilebilmektedir.

PISCES-II modelinde yayılım senaryolarını oluşturabilmek için, her bir kazanın meydana geldiği konum bilgisi (enlem ve boylam), döküntü miktarı, döküntü kaynağının karakteristik özellikleri, olayın gerçekleştiği zaman dilimindeki deniz akıntıları, deniz durumu, rüzgâr hızı ve yönü gibi oşinografik ve meteorolojik veriler kodlanmıştır. Şekil 41'de M/T Isola Verde gemi kazasına ait kirlilik yayılım senaryo çıktısı yer almaktadır.

Şekil 41: M/T Isola Verde Kirlilik Yayılım Senaryo Çıktısı



(a)

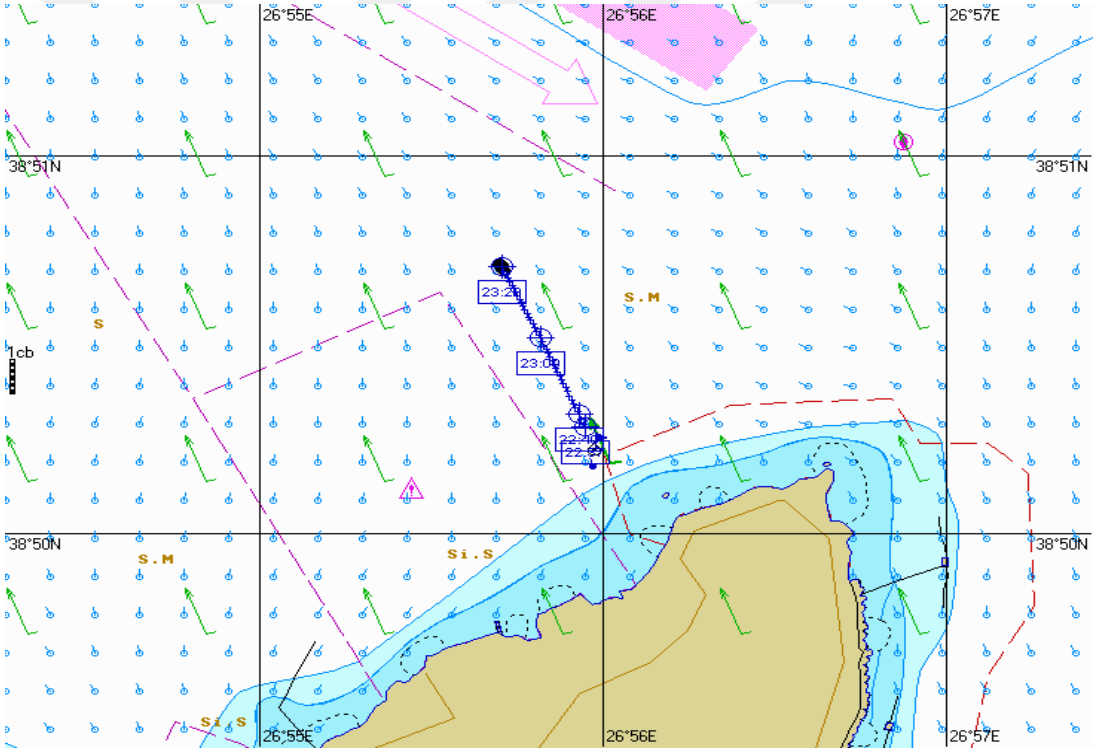


(b)

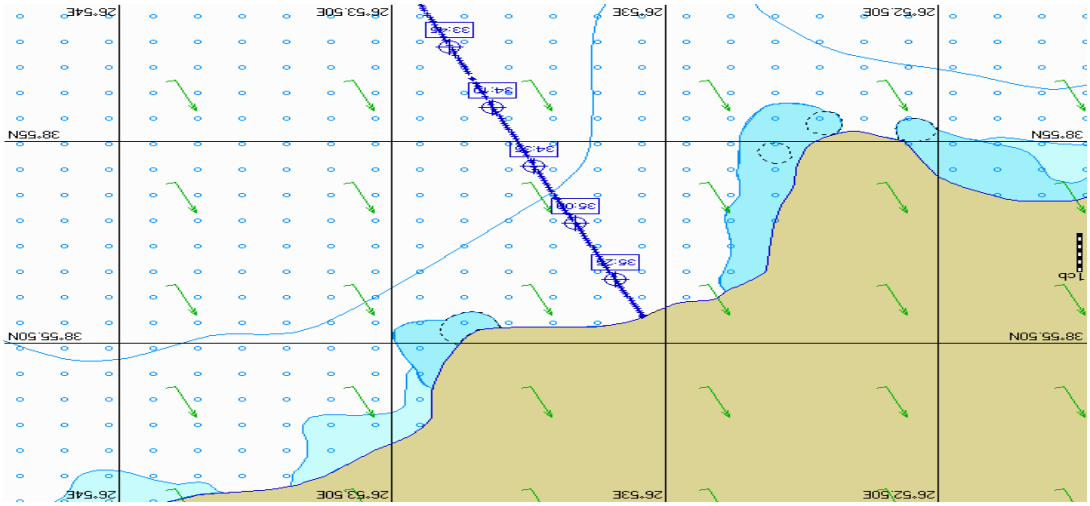
Şekil 41(a)'da yayılım hareketinin akıntının etkisi ile güneydoğu yönünde ilerlediği görülmektedir. Dökülen petrolün deniz yüzeyindeki yayılım hareketi 20 dakika içerisinde TÜPRAŞ İskele 1 no'lu iskeleye ulaşmaktadır (Şekil 41b). Kazanın

meydana geldiği sabah 05:00 saatlerinde yakıt alımı sırasında meydana gelen kirlilikte 25 tonluk gemi yakıtı denize dökülmüştür. Ürün kaynağının çevresel açıdan zararlı olması ve kazanın meydana geldiği bölgede liman ve iskeleleri içermesi büyük risk teşkil etmektedir. Bu durum, hızlı ve etkili bir müdahalenin gerekliliğini vurgulamaktadır. Denize dökülen ürünün %17'si ilk 24 saat içerisinde buharlaşmış ve sonuç olarak 24 saat sonunda bu ürün uçuculuğunu kaybederek viskoz bir ürün haline gelmiştir. 24 saat sonunda ürünün sadece 0,18 tonu dispersiyona uğramış ve %82'lık kısmı ise deniz yüzeyinde akışmaz bir ürün haline gelmiştir. Şekil 42'de gemi söküm tesisinde meydana gelen M/T Breeze A kazasına ait senaryo çıktıları yer almaktadır.

Şekil 42: M/T Breeze A Kirlilik Yayılım Senaryo Çıktısı



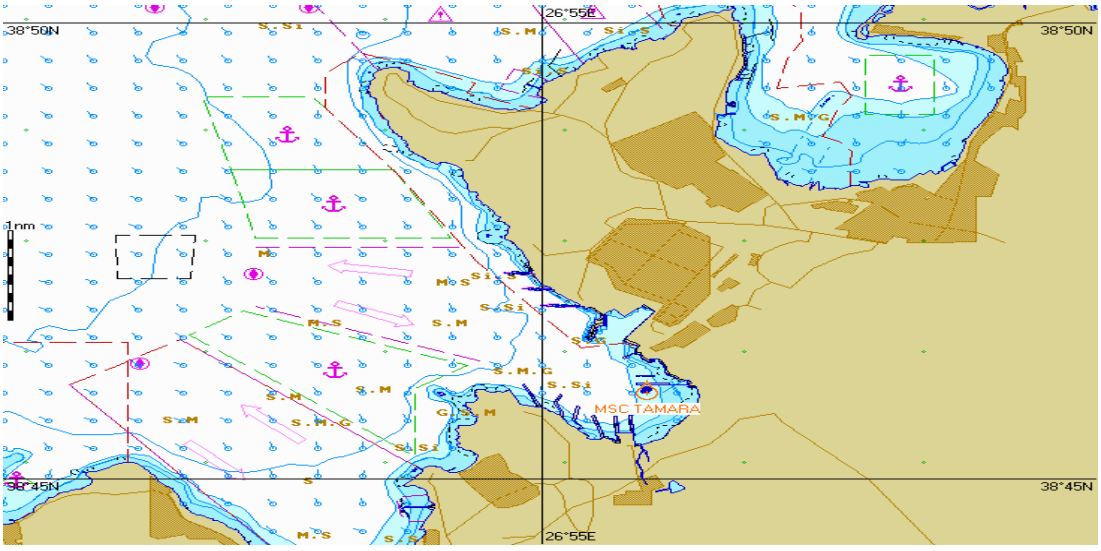
(a)



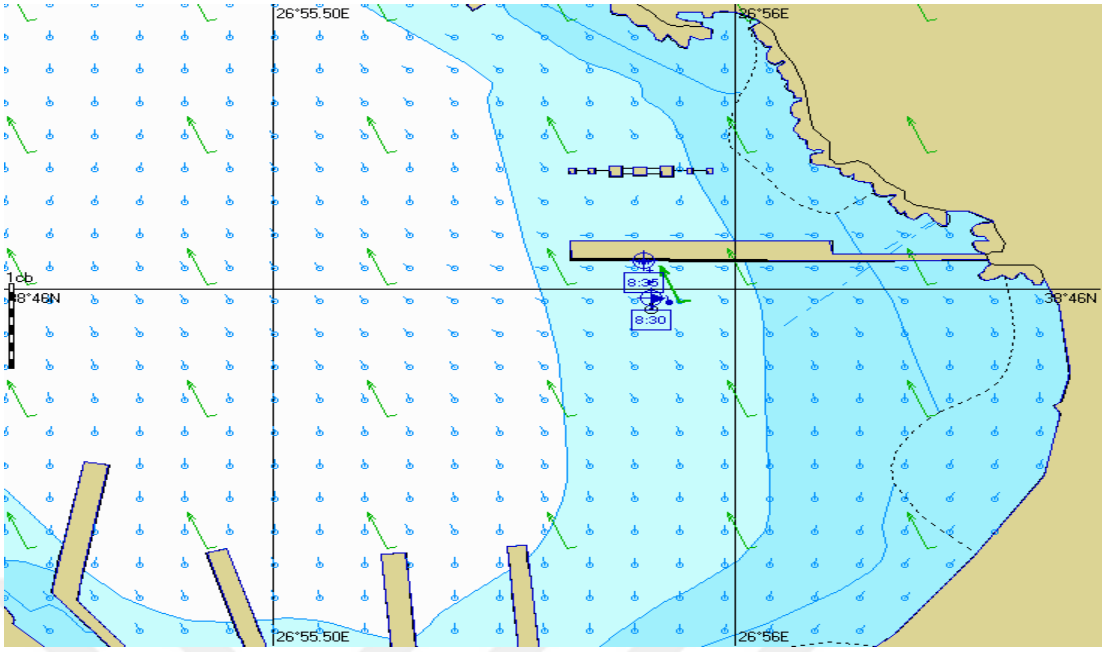
(b)

Şekil 42(a)'da görüleceği üzere, gemi söküm tesisine getirilen M/T Breeze/A gemisi ortalama 0,11 m/s hızındaki deniz akıntısı etkisi ile 36. dakikada karaya nüfuz etmektedir. Şekil 42(b)'de ise güneyli rüzgarların yönü ve etkilenen mevkinin konumu net bir şekilde görülmektedir. Ekonomik değeri yüksek olan bir tesis sahasında 3,5 ton'luk bir kirlilik yaşanmıştır. M/T Breeze A döküntü kaynağı oldukça uçucu bir ürün olan JET A-1 yakıtıdır. Ürün 3 saat içerisinde %86'sı buharlaşmış, oldukça az bir ($7x10^{-4}$ ton) miktar ise dispersiyona uğramıştır. M/V MSC Tamara kirliliğine ait senaryo çıktısı Şekil 43'te yer almaktadır.

Şekil 43: M/V MSC Tamara Kirlilik Yayılım Senaryo Çıktısı



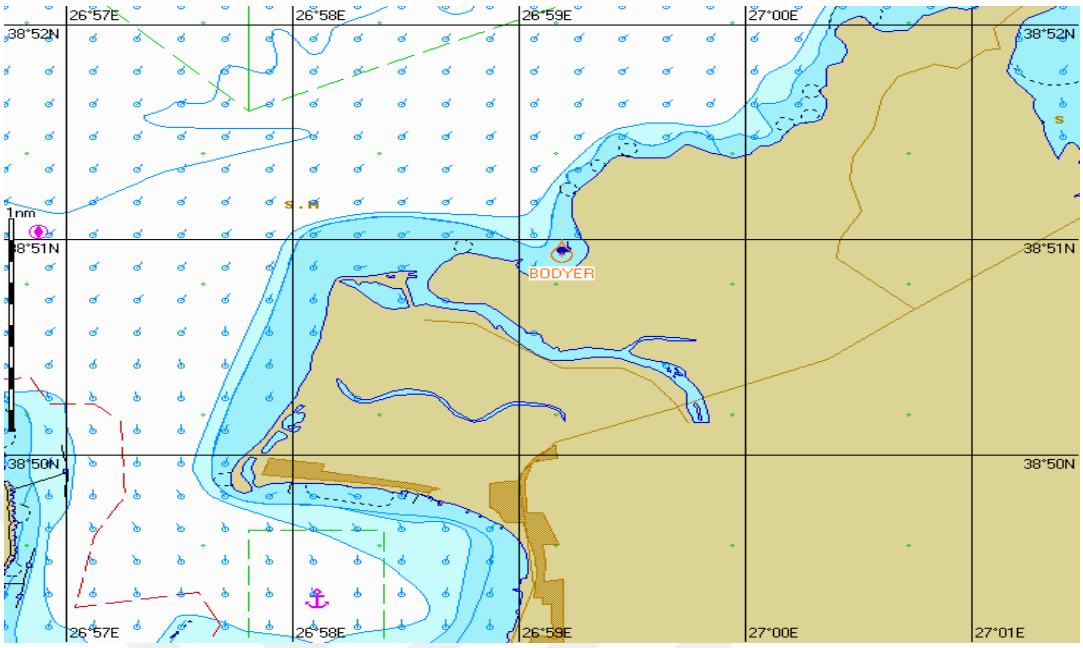
(a)



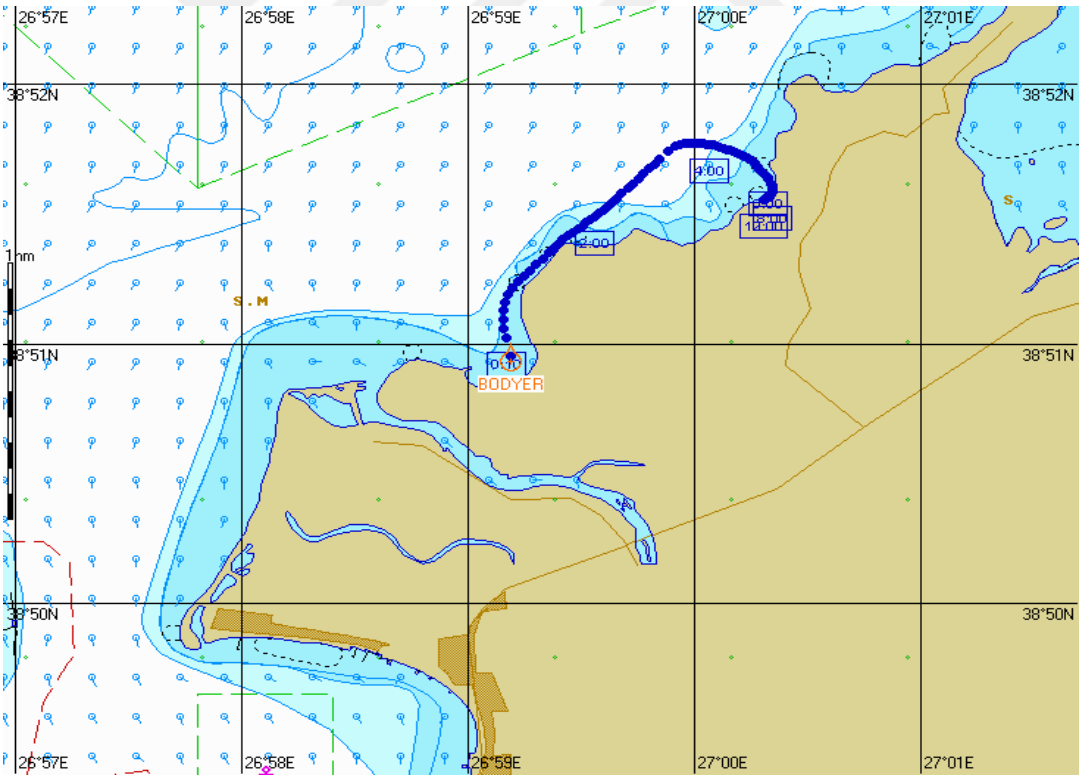
(b)

Şekil 43(a)'da kazanın başlangıç noktasının konumunu gösteren bir görsel yer almaktadır. Nemport iskelesinde yakıt alımı sırasında meydana gelen M/V MSC Tamara'nın yükleme operasyonu, 2 ton ağır yakıt ürünün denize dökülmesine neden olmuştur. Şekil 43(b)'de görüleceği üzere, kaza 8. dakikada iskeleden yayılım göstererek liman iç sahasına doğru ilerlemektedir. M/V MSC Tamara kazasının döküntü kaynağı diğer kaza örneklemlerindeki ürün kaynağı gibi uçucuğu bir ürün olmadığından ilk 5 saatlik dilimde sadece ürünün %13'ü buharlaşmıştır. Diğer kalan viskoz ürün gemi alabandasından yayılarak liman iç sahasında birikmiştir. Dispersiyona uğrayan miktar ise oldukça az bir miktardır ($6,5x\ 10^{-4}$ ton). Şekil 44'te M/V Bodyer gemi kazasına ait kirlilik yayılım senaryo çıktısı yer almaktadır.

Şekil 44: M/V Bodyer Kirlilik Yayılım Senaryo Çıktısı



(a)

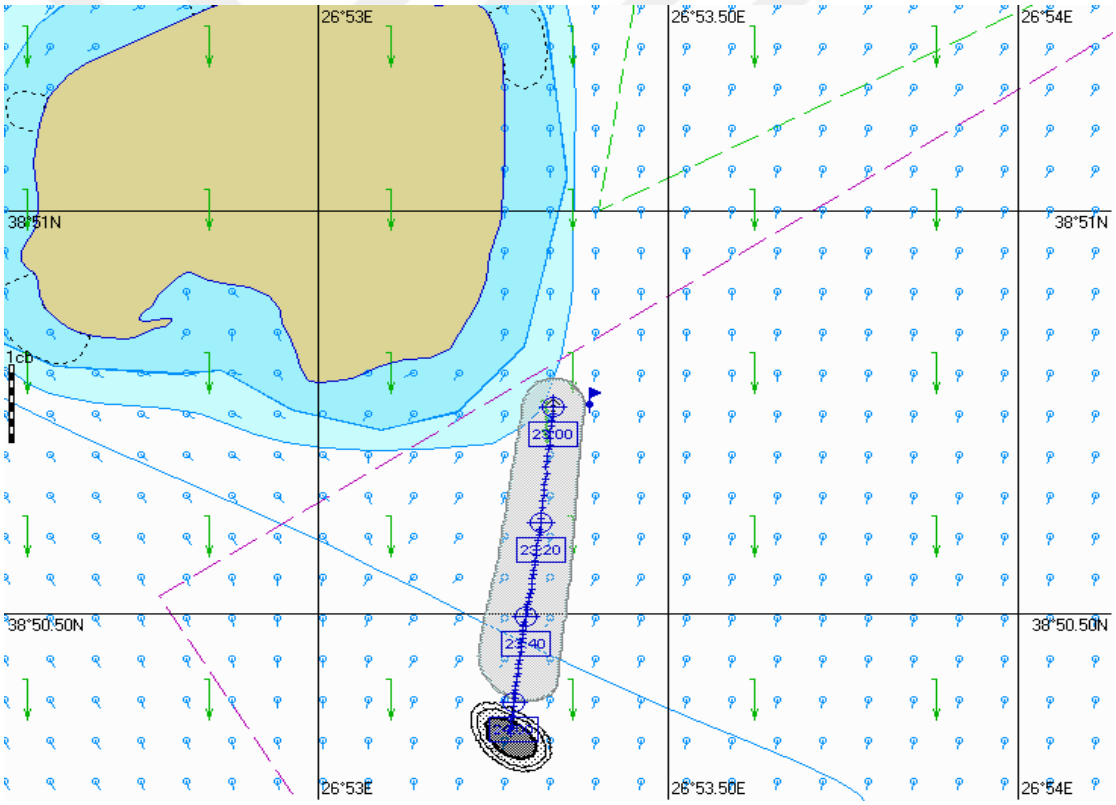


(b)

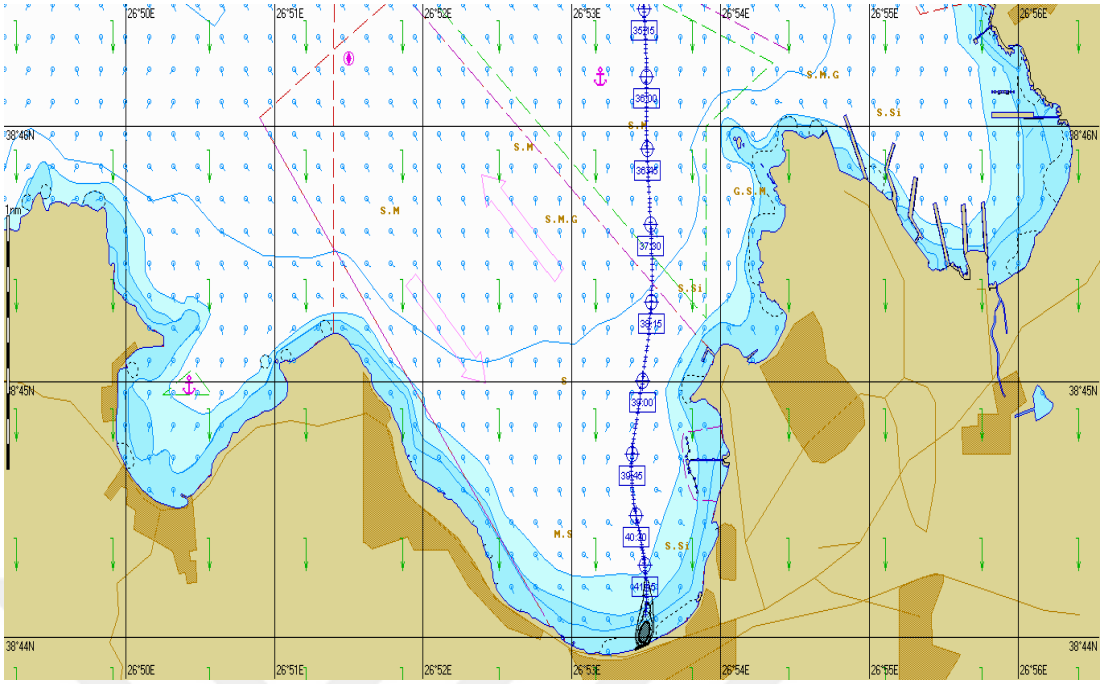
Şekil 44(a)'da görüleceği üzere, kazanın meydana geldiği saha sulak alan olarak ifade edilen Güzelhisar çayının döküldüğü mevkidir. Bu bölge ekolojik yaşam

açısından oldukça hassas kaynaklara sahip bir sahadır. Meydana gelen 5 tonluk kirlilik uzun vadeli etkileri de bulunan oldukça olumsuz sonuçlar doğurmuştur. Şekil 44(b)'de görüldüğü üzere, kaza kuzeydoğu yönünden deniz akıntısı ve ortalama 10 knot güney-güney batı yönlü rüzgârın etkisi ile yayılım göstermiştir. Ürünün 11.saat sonunda yalnızca %15'i buharlaşmış ve kalan miktar ise ağır bir viskoz ürün haline gelmiştir. Bulunduğu mevki itibariyle bu tür bir ürünün çevresel etkisi müdahale edilse de yıllar boyunca sürebilmektedir. Dispersiyona uğrayan miktar ise 0,021 ton olarak hesaplanmıştır. Şekil 45'te Tavşan adasında meydana gelen M/V Harrier kazasına ait senaryo çıktıları yer almaktadır.

Şekil 45: M/V Harrier Kirlilik Yayılım Senaryo Çıktısı



(a)



(b)

Şekil 45’te deniz ekosistemi ve deniz turizmi açısından oldukça hassas kaynaklara sahip Tavşan Adası’nda meydana gelen kazanın senaryo çıktıları yer almaktadır. Aliağa Körfezi’nde meydana gelen kaza, sadece dökülen tonaj açısından değil, aynı zamanda kirliliğin etkilediği alanlara bakıldığında önemli bir petrol kirliliği olayıdır. Bu kaza sonucunda, "Özel Çevre Koruma Bölgeleri", sit alanları ve plajlar gibi hassas bölgeler de tehdit altındadır. Kaza 42 saat sonra Gencelli bölgesine ulaşarak kumlu ve çakıl taşları barındıran sahili kirletmiştir. Kazanın ilk 18 saatinde ürünün %13’ü buharlaşmış, geriye kalan viskoz ürün ise sahil şeridini ciddi şekilde kirletmiştir. Dispersiyona uğrayan miktar ise dökülen tonajın çok az bir miktarını oluşturmaktadır ($1{,}5 \times 10^{-3}$ ton).

Her bir kazaya ait PISCES-II senaryo çıktıları, dökülen petrolün hareketinin temel olarak deniz akıntısı ve yüzey rüzgârından etkilendiğini göstermektedir. Ayrıca, petrolün suya döküldüğü anda bozunma süreçlerinin etkisi altında olduğu görülmektedir. Deniz akıntıları, petrol parçacıklarının taşınma yönünü ve hızını etkileyerek yayılımını belirlerken, yüzey rüzgârı ise petrolün yüzeydeki hareketini ve dağılımını etkilemektedir. Bu faktörler, senaryolar arasında farklılık göstermekte ve kirliliğin hangi bölgelerde yoğunlaşacağını belirlemektedir. Öte yandan, riskli bölgelerin tüm senaryolar için farklılaşması, belirli alanların kirlilik açısından daha

hassas olduğunu göstermektedir. Önemli ekosistemlerin, koruma alanlarının veya yoğun nüfuslu bölgelerin etkilenme olasılığı daha yüksek olduğu için, bu alanlarda müdahale önceliği tanımlanmalıdır.

3.3. SENARYONUN BELİRLENMESİNE YÖNELİK BULGULAR

NÇFA modelinde senaryoların belirlenme süreci, araştırma bağlamını etkileyen temel etmenlerin, belirsizliklerin ve kritik faktörlerin tanımlanma süreci ve karşılaştırmalı analiz yaklaşımını içermektedir. Aliağa Körfez Bölgesi'ndeki gemi kaynaklı kirlilik senaryoları arasında bir değerlendirme yapabilmek için karşılaştırmalı bir analiz tablosu oluşturulmuştur. Bölgenin çevresel ve sosyo-ekonomik kaynaklarını etkileyen değişkenler, saha koşulları ve kirliliğe neden olan ürünlerin özelliklerine ait parametreler için kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Mevcut araştırma NÇFA modelini ve senaryo belirleme sürecini kullanarak, karşılaştırmalı bir puanlama sistemi içeren kapsamlı bir vaka çalışması ile test edilmektedir. Petrol kirliliği müdahale teknikleri dengesi ve puanlaması için oluşturulmuş matrise dair değişkenler literatürden elde edilmiştir. Karşılaştırmalı analiz tablosuna ait değişkenler Tablo 21'de detaylandırılmaktadır.

Tablo 21: Senaryo Belirleme Sürecini Etkileyen Değişkenler

ITOPF Ürün Tipi	ITOPF dökülen ürün miktarı (ton)	Ürün uçuculuğu	API değeri	Ürün Kalınlığı (mm)	Müdahale kabiliyeti	Ortalama rüzgâr şiddeti (knot)	Ortalama akıntı şiddeti (knot)	Ortalama su derinliği (m)	Ortalama yağış miktarı (mm)	Kaza-Kıyı arası mesafe (km)	Karaya nüfus eden miktar (ton)	Döküntü yüz ölçümü(m^2)
Grup 1: Kalıcı Olmayan Hafif Yağlar	x<7 ton	Yüksek uçuculuk özelliği, Çok uçucu (1-2 gün içinde buharlaşmalıdır).	x≥45	Su yüzeyinde tipik olarak kalınlığı 0,1 mm'den az olan ince bir yağ parlaklığını veya film	Temizleme, yüksek yanıcılık ve zehirli hava tehlikesi nedeniyle tehlikeli olabilir, oldukça uçucu	x<10	x<0.3	Kıyı şeridi x<10	x≤50	x≤1	x<1	x<200
Grup 2: Kalıcı Hafif Yağlar (Motorin, No. 2 Fuel Oil, Hafif Ham Petrol)	7<x<70	Orta seviye uçuculuk özelliği, Orta derecede uçucu; birkaç gün sonra kalıntı (dökülen miktarın üçte biri kadar) bırakacaktır.	35 <x<45	Kalınlığı 0,1 mm ila 0,5 mm arasında değişen bir yağ tabakası	Oldukça etkili	10 <x<20	0.3<x<0.5	Orta hat derinliği 10m<x<200	50<x<58	1 <x<5	1<x<2	200 <x<400
Grup 3: Orta Yağlar (Çoğu Ham Petrol, IFO 180)	70<x<700	Düşük seviye uçuculuk özelliği, Yaklaşık üçte biri 24 saat içinde buharlaşacaktır.	17,5 <x<35	Kalınlığı 0,5 mm ila 1 mm arasında değişen yağ tabakaları	Zamana karşı duyarlı ve etkili	x ≥ 20	0.5<x<1.0	Açık deniz 200 ≤ x	58<x<67	5<x<10	2<x<3	400<x<600
Grup 4: Ağır Petroller (Ağır Ham Petroller, No. 6 Fuel Oil, Bunker C)	x≤700	Uçucu olmayan ürünler, Buharlaşma veya çözünme çok az veya hiç yok.	x≤17,5	Kalınlıkları 1 mm ila 10 mm arasında değişen petrol katmanlarını	Tüm koşullarda zorluk derecesi mevcut		x≥1.0		x≥67	x≥10	3<x<4	x≥600
				Kalınlığı 10 mm'yi aşan en kalın petrol tabakalarını temsil eder.							x≥4	

NÇFA vaka çalışması için değişkenlerin belirlenmesinde, araştırma alanındaki kirlilikten etkilenen çevresel, biyolojik ve sosyoekonomik kaynakların önceliklendirilmesinin dikkate alınması çok önemlidir. Bu, bütüncül bir değerlendirme sağlamak için kapsamlı bir dizi faktörün dahil edilmesini gerektirmektedir. Şekil 46'da kıyı şeridinin duyarlılığına göre belirlenmiş bir ölçek yer almaktadır.

Şekil 46: Kıyı Şeridi Duyarlılık Ölçeği

ESI Endeksi (1-10)	Ölçeklendirme
ESI 1-2	1 (En düşük duyarlılık)
ESI 3,4,5,6	2 (Düşük duyarlılık)
ESI 7	3 (Orta seviye duyarlılık)
ESI 8	4 (Yüksek seviye duyarlılık)
ESI 9 ve 10	5 (En yüksek seviye duyarlılık)

NÇFA vaka çalışması, multidisipliner bir bakış açısıyla su kalitesi, biyolojik çeşitlilik endeksleri, habitat bütünlüğü, insan sağlığı, sosyoekonomik kaynaklar ve kültürel miras gibi temel değişkenleri kapsamalı ve kirlilik etkilerine en duyarlı kaynaklara öncelik vermelidir. NÇFA vaka çalışması biyolojik değişkenlerin önceliklendirilmesi, farklı türlere ait habitatların koruma durumunun ve kırılganlığının değerlendirilmesini içermektedir. Kirlilik olaylarının araştırma alanının biyolojik çeşitliliği üzerindeki potansiyel sonuçlarına ilişkin temel oluşturmaktadır. Biyoçeşitlilik duyarlılığına bağlı ölçek Şekil 47'de yer almaktadır.

Şekil 47: Biyoçeşitlilik Duyarlılık Ölçeği

Yüksek öncelikli koruma alanları	Kaplumbağa yumurtlama alanları / sahilleri,
	Mercan kayaları
	Bataklıklar
	Koruma alanları / tehlike altındaki türler
	Su kuşları için ulusal ve uluslararası öneme sahip alanlar
Orta öncelikli koruma alanları	Yosun yatakları
	Balık üreme alanları
	Su kabuklularının bulunduğu alanlar
Düşük öncelikli koruma alanları	Hassas alanların bulunmadığı açık deniz alanları
	Kumlu / Çamur karışımı su yatakları
	Düşük biyolojik aktiviteye sahip, temizlenmesi kolay sahiller

NÇFA vaka çalışmasında, sosyoekonomik değişkenlerin belirlenmesi ve önceliklendirilmesi, araştırma alanında meydana gelen kirliliğin çevresel, ekonomik ve sağlık üzerindeki etkilerini anlamak için gereklidir. NÇFA vaka çalışması kapsamında sosyoekonomik değişkenlerin önceliklendirilmesi, endüstriler, işletmeler, altyapı ve sosyal hizmetler gibi farklı kaynakların kirliliğe karşı göreceli öneminin ve kırılganlığının değerlendirilmesini içermekte ve kirliliğin azaltılması ve kaynak yönetimi stratejilerinde etkili karar alınmasını sağlamaktadır. Sosyoekonomik kaynakların duyarlılığına bağlı ölçek Şekil 48'de yer almaktadır.

Şekil 48: Sosyoekonomik Kaynakların Duyarlılık Ölçeği

Yüksek öncelikli koruma alanları	Tekne rampaları, yat limanları, eğlence plajları ve spor balıkçılığı ve dalış alanları gibi yüksek kullanımlı kıyı şeridi erişimi ve eğlence amaçlı kullanım alanları.	Milli parklar, deniz koruma alanları, ulusal yaban hayatı sığınakları, koruma alanları ve koruma alanları gibi resmi olarak belirlenmiş doğal kaynak yönetimi veya korunan alanlar	Turistik alanlar, Rekreasyonel alanlar, Marina ve sahiller; Ekonomik değer içeren su kaynakları (tuz bataklığı tesisi, tuzdan arındırma tesisi, tuz üretimi ve endüstriyel kullanım
Orta öncelikli koruma alanları	Kültür balıkçılığı sahaları, geçimlik ve ticari balıkçılık yerleri, tomruk depolama sahaları, maden kiralama sahaları ve yüzey suyu girişleri gibi kaynak çıkarma sahaları	Suyla ilgili arkeolojik, tarihi ve kültürel alanlar. Gel-git arası bölgede veya kıyı şeridine yakın bir yerde bulunan ve temizlik ekipleri tarafından zarar görebilecekleri kültürel alanlar	
Düşük öncelikli koruma alanları	Kullanılmayan diğer alanlar (Biyoçeşitlilik anlamında zayıf alanlar)		

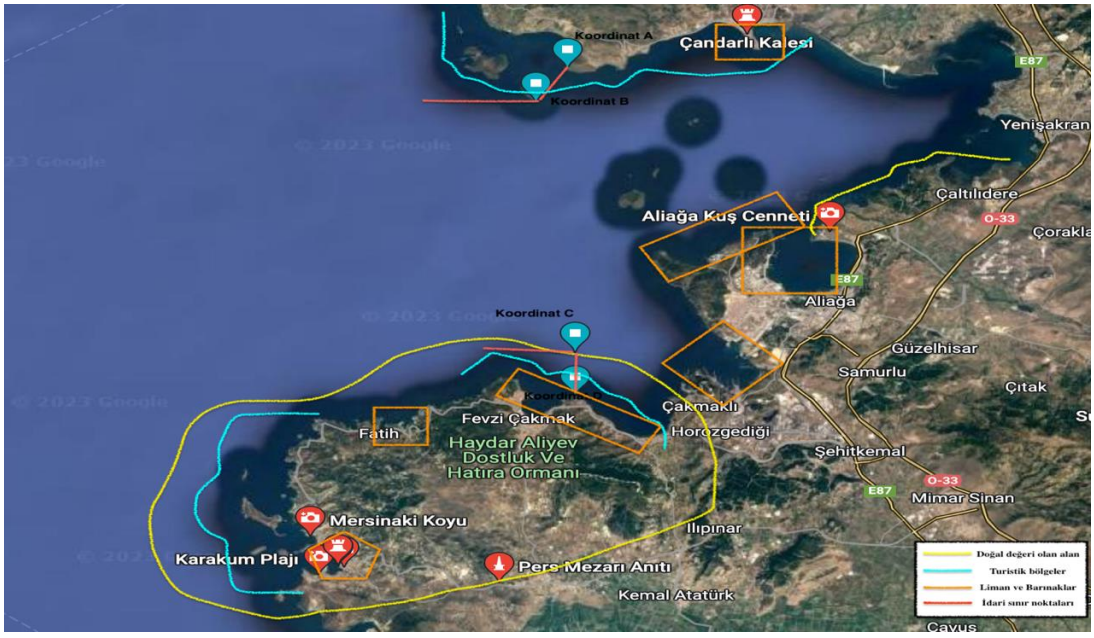
Belirlenen vaka çalışmasına dair her bir kazanın özelliklerine göre puanlanan karşılaştırmalı analiz tablosu Tablo 22'de yer almaktadır.

Tablo 22: Kazaların Karşılaştırmalı Analiz Tablosu

		ITOPF Ürün Tipi	ITOPF dökülen ürün miktarı (ton)	Ürün uçuculuğu	API değeri	Ürün Kalınlığı (mm)	Müdahale kabiliyeti	Ortalama rüzgâr şiddeti (knot)	Ortalama akıntı şiddeti (knot)	Ortalama su derinliği (metre)	Ortalama yağış miktarı (mm)	Kaza-Kıyı arası mesafe	Karaya nüfus eden miktar	Döküntü yüz ölçümü m2	Kıyı şeridi ESI duyarlılığı	Biyoçeşitlilik duyarlılık	Sosyo-ekonomik duyarlılık	Puan
1	**M/T Isola Verde**	4	2	4	3	2	4	1	1	3	1	2	5	2	2	2	3	38
2	**M/T Breeze A**	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	3	18
3	**M/V MSC Tamara**	4	1	4	3	1	4	1	2	2	2	1	3	1	2	1	3	32
4	**M/V Bodyer**	4	1	4	3	1	4	1	2	3	1	2	2	1	2	2	2	33
5	**M/V Harrier**	4	3	4	3	2	4	1	1	2	1	4	5	4	4	3	3	45

Belirlenen değişkenler ve ilgili kazaların özellikleri karşılaştırıldığında, M/V Harrier kazası 45 risk skoru ile ön plana çıkmaktadır. M/V Harrier kirlilik kazasının meydana geldiği Foça ve sahil şeridi zengin biyoçeşitliliğe sahip "*Özel Doğa Alanı*" olarak nitelendirilmektedir. Kirliliğin etki ettiği sahada, bölge ismini de şekillendiren Akdeniz foku (Phokaia) ve endemik deniz kuşlarından Büyük Gümüş martı ve Tepeli Karabatak yaşamaktadır. Denizde petrol kirliliğinden etkilenebilecek türlerin başında olan Akdeniz foku, Türkiye'de 100 adet ve Dünya'da 600 adet bulunduğundan nesli tükenmekte olan canlı statüsündedir. Ayrıca etkilenen sahada yaşayan endemik türler ve zengin kıyı şeridi nedeniyle bu alan 1990 senesinde "*Özel Çevre Koruma Bölgesi*" olarak kabul edilmiştir. Yörede aynı zamanda kültürel miras değerlerinden Phokaia antik kenti ve eşsiz mimari yapılar da yer almaktadır. Bu nedenle, sit alanlarını içeren özel sahalar da yer almaktadır. Sosyoekonomik değerler açıdan incelediğimizde ise, kumsallar, balıkçı barınakları ve su ürünleri üretim tesisleri de bu bölgede yoğun olarak bulunmaktadır. Şekil 49'da M/V Harrier kazasının etkilediği bölgedeki hassas alanlara yönelik öncelikler yer almaktadır.

Şekil 49: Aliağa Bölgesi'ndeki Hassas Doğal Kaynaklar



Şekil 49'da görüleceği üzere, hassasiyet derecesi yüksek doğal varlıklar ile ekonomik değeri yüksek denizcilik, turizm, petrokimya sanayii, balıkçılık

sektörlerinin bu bölgede yer alıyor olması yöreyi petrol kirliliğine daha riskli bir alan haline getirmektedir. Bu nedenle, mevcut müdahale tekniklerinin kontrollü yönetilmesini ve güvenlik tedbirlerine titizlikle uyulmasını; ön görülemez durumlar için de yeterince hazırlıklı olunmasını gerektirmektedir. Tesisi çevreleyen altyapı, tesis ve doğal alanlar dikkate alındığında denize petrol yayılması durumunda, kirliliğin sadece Batı yönünde yayılmasının kısa sürede sorun yaratmayacağı düşünülebilir. Kirliliğin diğer tüm yönlerde ilerlemesi kısa süre sonra ekonomik ya da ekolojik öneme sahip bir kıyıya ulaşacağı anlamına gelmektedir. Petrol kirliliğinden korunması gereken öncelikli hassas canlıların varlığı ve sosyoekonomik kaynaklarda yarattığı olumsuz etkiler nedeniyle, M/V Harrier kazasının çevresel etkisi çok yüksek risk statüsündedir. Petrol yayılım modellemesinde görüleceği üzere, M/V Harrier kazasının Gencelli bölgesinde yaratacağı hasar ciddi boyutta riskler içermekte ve bu yüzden müdahale eylem planının etkin bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Sonraki seviyelerde ise uzun vadede hassas kaynakların korunması için çaba sarf edilmelidir. Tablo 23'te vaka analizinde modellenecek M/V Harrier döküntü kaynağına ait bilgiler yer almaktadır.

Tablo 23: M/V Harrier Döküntü Kaynağına Ait Detaylar

Ürün Adı	Residual Fuel Oil; No. 6 Grade Fuel Oil (meets ASTM D-396 Specifications); Heavy Fuel Oil; Heavy Fuel No. 6; Bunker Fuel; Bunker "C"
CAS No	68553-00-4
API	12.3
LFL	0.6 to 4.0%
UFL	7 to 44%
Kaynama Aralığı	155°C - 760°C
Renk	Siyah
Kükürt İçeriği	2.0-4.0 Wt.% (ASTM D-2622)
Koku	Hidrokarbon
Akma Noktası	<38°C
Çözünürlük	Suda çözünmez.
H ve C içeriği (%)	85.98 ve 11.08
Parlama Noktası	CLOSED CUP: 50° to 121°C (122° to 250°F)
Sıvı Yoğunluğu	<998kg/m^3@ 15°C
Buhar Yoğunluğu	>1 [Hava = 1]
Viskozite	Kinematik: >20.5 mm2/s (>20.5 cSt) @ 40°C Kinematik: 40 mm2/s (40 cSt) @ 100°C

Bahse konu olayda, çevreyi kirleten ürün, gemi ana makinesinin yakıtı olan Fuel Oil No.6'dır. İlgili ürüne ait teknik detaylar Tablo 23'te gösterilmektedir. Denize dökülen ürün olan Fuel Oil No.6, petrol türevleri içerisinde en yoğun ve en kalıcı ürünlerden biridir. Bu tip ürünlerin sudaki yayılım hareketi denizde müdahaleyi kolaylaştırsa da ürünün doğaya verdiği zararın yüksek olması müdahale operasyonunun hızlı bir şekilde planlanmasını gerektirmektedir. Ayrıca tüm müdahale operasyonu başarılı bir şekilde gerçekleşse de ürünün doğadaki çevresel etkileri yıllar geçse de devam edebilmektedir. Dolayısıyla ürüne ait kalıntılar uzun bir süre sonra dahi tespit edilebilmektedir. Bu nedenle, uzun vadede çevresel etki değerlendirmelerinin yapılması ve ekolojik yaşam açısından da planlı gözlemlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

3.4. RİSK MATRİS FORMU BULGULARI

NÇFA yaklaşımında 4. adım olan en iyi müdahale eyleminin belirlenmesi aşaması, müdahale tekniklerinin çevresel faydaları ve ilişkili riskleri kapsamlı bir şekilde değerlendirme sürecini içermektedir. Bu kapsamda, çevresel değişkenleri ve petrol döküntüsü ile ilgili teknik değişkenleri dikkate alarak net çevresel faydaları en üst düzeye çıkaran ve müdahale eylemini belirlemeyi amaçlamayan bir risk matris formu oluşturulmuştur. Matrislerde atanan puanlar, her bir müdahale tekniğiyle ilişkili risk düzeyini temsil etmektedir. Ancak, bir müdahale seçeneği seçerken her bir döküntünün kendine özgü koşullarını göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Bu nedenle yaklaşım, petrol döküntüsü olaylarının dinamik doğasına göre değişen koşulları ve müdahale stratejilerinin her bir olayın kendine has özelliklerine göre uyarlanması gerekliliğini öngörmektedir.

Risk matris formu müdahale firmaları ve ilgili devlet kurumlarındaki 9 farklı uzman tarafından değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçlarına göre belirlenen risk skorları Tablo 24'te yer almaktadır.

Tablo 24: Uzmanların Risk Matris Değerlendirmeleri

Müdahale Tekniği	Uzman$_1$	Uzman$_2$	Uzman$_3$	Uzman$_4$	Uzman$_5$	Uzman$_6$	Uzman$_7$	Uzman$_8$	Uzman$_9$	Risk skoru ortalama
Doğal iyileşme	2,140	2,060	2,120	1,600	2,100	2,680	2,140	2,140	1,700	2,076
Fiziksel/ Mekanik Müdahale	2,120	1,980	1,960	1,760	1,940	2,080	2,120	2,120	1,340	1,936
Kimyasal Müdahale	2,420	2,380	2,460	1,840	2,440	2,580	2,420	2,480	2,540	2,396
Termal Müdahale	2,560	2,320	2,520	1,800	2,400	2,800	2,560	2,560	3,520	2,560
Biyolojik Müdahale	2,200	2,400	2,160	1,820	2,180	2,140	2,200	2,140	1,760	2,111

Risk matris formu bulguları, fiziksel/mekanik müdahalenin petrol kirliliğine müdahale için en çevre dostu seçenek olduğunu göstermektedir. 9 farklı uzmanın risk matris sonuçlarına göre, fiziksel/mekanik müdahale öncelikli kullanılması gereken tekniklerin başında gelmektedir.

NÇFA model önerisinde en düşük riskli ve en yüksek çevresel fayda sağlayan müdahale seçeneği olarak belirlenen fiziksel/mekanik müdahale hem avantajlara hem de değerlendirilmesi gereken noktalara sahiptir. Fiziksel müdahale yöntemleri, kontrol ve sınırlandırma yeteneği sunsa da beklenmedik ekolojik riskleri ve uzun vadeli atık yönetimi etkileri nedeniyle özenle uygulanması gereken tekniktir. Dökülen petrolün anında sınırlandırılması ve kontrol altına alınması yararlı olabileceği düşünülse de sonraki süreçlerde atık yönetimi ve bertarafıyla ilişkili ticari etkileri değerlendirmek gerekmektedir. Bu nedenle, müdahale stratejisi ile ilişkili net çevresel faydaları belirlemek için spesifik çevresel bağlamı, ekolojik hassasiyetleri ve ticari dengeleri kapsayan kapsamlı bir değerlendirme gerekmektedir.

Fiziksel/mekanik müdahalenin tek başına petrol kirliliğine müdahale için her zaman en etkili seçenek olmadığını vurgulamak gerekmektedir. Bazı durumlarda, petrol fiziksel yöntemlerle etkili bir şekilde uzaklaştırılamayacak kadar dağılmış olabilir. Diğer bir açıdan, hâkim hava koşulları, deniz akıntıları ve kıyı şeridi morfolojisi gibi etkilenen ortamın belirli özellikleri de tekniğin uygulanabilirliğini sınırlandıracağından bu değişkenlerinde dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca, fiziksel müdahale pahalı ve zaman alıcı süreçleri içermektedir. Bu nedenle, bütünleşik

bir müdahale stratejisi uygulamak da diğer bir seçenek olarak değerlendirilmelidir.

Uzman değerlendirmelerinde, fiziksel/mekanik müdahale dışında çevresel açıdan en uygun alternatif yöntemler doğal iyileşme (Risk 2,076) ve biyolojik müdahale (Risk 2,111) teknikleridir. Bu yöntemler, petrol döküntüsü vakaları için fiziksel/mekanik müdahale seçeneğine bütünleşik müdahale seçenekleri olarak değerlendirilebilir. Doğal iyileşme süreci genellikle döküntünün daha düşük ekolojik hassasiyete sahip alanlarda meydana geldiğinde veya döküntü ölçeği nispeten küçük olduğunda etkili olabilir. Biyolojik müdahale ise, mikrobiyal bozulma ve biyolojik parçalanmanın doğal bozunma süreçlerini teşvik ederek dökülen petrolün çevre dostu bir şekilde parçalanmasını ve uzaklaştırılmasını sağlayabilir.

Araştırmanın bir diğer bulgusu ise, termal (Risk 2,56) ve kimyasal yöntemlerin (Risk 2,396) petrol döküntüsüne müdahale için son çare olarak kullanılması gerektiğini göstermektedir. Hem doğal iyileşme hem de biyolojik müdahale, kimyasalların veya dağıtıcıların kullanımı gibi diğer müdahale seçeneklerine göre daha düşük çevresel risklere sahiptir. Bu teknikler, ekosistemin doğal iyileşme süreçlerinin gerçekleşmesine izin verirken, daha müdahaleci ve yıkıcı yöntemlere olan ihtiyacı potansiyel olarak azaltma avantajı sunmaktadır. Bu yöntemler yalnızca diğer yöntemler etkili olmadığında tercih edilmelidir. Tablo 25'te M/V Harrier kazasına ait 9 farklı uzmanın değerlendirmesine göre risk matris sonuçları yer almaktadır.

Tablo 25: M/V Harrier Kazasına ait Risk Matris Sonuçları

Değişkenler	Ürün tipi	Ortalama Ürün Kalınlığı (mm)	Ürün toksisitesi (ppm)	Ortalama akıntı (m/s)	Ortalama rüzgâr hızı (knot)	Dalga yüksekliği (m)	Su derinliği (m)	Döküntü miktarı	Döküntü genişliği m^2	Kıyı şeridinden uzaklık (km)	Sahildeki petrol miktarı (ton)	Kıyı şeridine ulaşma süresi (saat)	Kıyı şeridi hassasiyet derecesi	Bioçeşitlilik	Sosyo-ekonomik kaynaklar	Risk Skoru
M/V HARRIER	Ağır yağlar (ITOPF-4)	x ≥ 0.1	Toksik ürün	x < 0.3	x<10	x < 0.3	Orta hat derinliği	Seviye 2	x ≥400	Kıyıya yakın	x<7	x ≥ 36	ESI-8: Yüksek seviye duyarlılık	Yüksek öncelikli koruma alanları	Yüksek öncelikli koruma alanları	
Doğal İyileşme	3,67	2,11	2,89	2,67	2,11	2,56	2,00	2,22	3,56	1,89	1,33	1,22	2,44	2,11	3,00	2,39
Fiziksel/ Mekanik Müdahale	1,89	1,56	1,78	1,33	1,00	0,89	1,89	2,00	3,33	2,22	1,00	1,11	2,00	2,44	2,00	**1,76**
Kimyasal Müdahale	2,22	2,11	2,22	3,00	2,56	2,44	2,56	1,89	3,11	2,89	1,78	1,44	3,44	3,89	3,67	2,61
Termal Müdahale	2,11	2,44	2,00	1,33	1,89	1,44	2,33	2,22	3,33	2,89	1,78	1,44	3,56	3,78	3,78	2,42
Biyolojik Müdahale	2,89	1,89	2,44	1,22	1,56	1,22	1,78	2,33	3,33	2,22	1,00	1,44	2,11	2,56	2,89	2,06

Bu senaryo için müdahale tekniği değiş tokuş dengelemesi, kıyı bölgelerini etkileyen petrol kirliliğinin etkisini mümkün olduğunca azaltmak için fiziksel/mekanik müdahale önlemlerinin (Risk 1,76) benimsenmesini önermektedir. Uzmanların değerlendirilmesi, özellikle hassas kıyı şeridi alanlarının (plajlar, sit alanları vb.) korunması, doğal ve sosyo-ekonomik kaynaklar için daha düşük riske sahip ve çevre dostu fiziksel yöntemleri ile mümkün olduğunu göstermektedir. Biyolojik müdahale teknikleri (Risk 2,06) uzmanlar tarafından düşük seviye riske sahip müdahale seçenekleri olarak değerlendirilmektedir. Tek başına doğal iyileşme tekniği ("eylem yok" senaryosu) ise orta seviye riskle ilişkilidir (Risk 2,39).

3.5. ARAŞTIRMA BULGULARININ LİTERATÜR KAPSAMINDA TARTIŞILMASI

Araştırma hem nitel hem de nicel yaklaşımları bir araya getirmekte ve modellenen vaka çalışması ile literatüre katkı sağlamaktadır. Model yaklaşımı, çevresel boyutlara odaklanarak araştırma sahasına özgü müdahale tekniklerini optimize etmekte ve minimum maliyet maksimum çevresel fayda dengesini sağlayarak çevrenin korunmasında etkili müdahale çözümleri sunmaktadır.

Literatürdeki araştırmalar, NÇFA'nın çevresel yönetimdeki önemini ve bu yaklaşımın farklı sahalarda ve farklı değişkenler bağlamında geliştirilme ihtiyacını vurgulamaktadır (Wegeberg ve diğerleri, 2017; Walker ve diğerleri, 2018a; Wenning ve diğerleri, 2018). Geliştirilen NÇFA modeli ile, maksimum çevresel faydaya sahip müdahale stratejilerinin seçilmesini sağlayan bir karar destek çerçevesi sunarak bu hedefe katkıda bulunulmaktadır. Ayrıca gerçekleştirilen vaka çalışması ile Türk deniz yetki sahalarında ilk kez NÇFA etkinliği ve uygulanabilirliği test edilmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde çalışmanın literatüre katkısı oldukça önem arz etmektedir.

Araştırma bulgularımızda ifade edildiği üzere, NÇFA model önerisinde fiziksel/mekanik müdahale ve doğal iyileşme süreçlerine bırakılması en düşük riskli ve en yüksek çevresel fayda sağlayan müdahale seçeneği olarak tespit edilmektedir. Petrol kirliliği çevre için önemli zorluklar teşkil etmektedir, ancak etkilerinin azaltılmasında fiziksel müdahale ve doğal geri kazanım süreçleri arasında tamamlayıcılık söz konusu olmaktadır. Fiziksel müdahale yöntemleri, petrol

kirliliğinin kontrol altına alınmasına ve giderilmesine yalnızca doğal süreçlere güvenmekten daha hızlı ve verimli bir şekilde yardımcı olmaktadır. Etkili koordinasyon, durumun doğru değerlendirilmesi ve etkilerin izlenmesi, fiziksel müdahale ile doğal iyileşme süreçleri arasında bir denge kurmak için çok önemlidir. Bu kapsamda literatür ile uyumlu sonuçlar tespit edilmekte (Al-Majed ve diğerleri, 2012; Chang ve diğerleri, 2014; Ivshina ve diğerleri, 2015) ve modelin sonuçları doğrulanmaktadır.

Literatürdeki çalışmalar, potansiyel risklerin değerlendirilmesinde farklı sektörlerden paydaş katılımının daha etkili çözümler üretmeye yardımcı olduğunu göstermektedir (Taylor ve Cramer, 2017; Iazeolla ve diğerleri, 2017; Wenning ve diğerleri, 2018). Bu nitel yaklaşım, tüm paydaşların ihtiyaçlarını ve endişelerini dikkate alarak sürdürülebilir ve toplumsal olarak kabul gören kararlar almayı desteklemektedir. Geliştirilen model yaklaşımında, müdahale firma yetkilileri ve araştırma sahasında yetkili devlet kurumlarından 9 farklı uzman kişiler ile görüşmeler gerçekleştirilerek Aliağa Körfezi özelinde müdahale tekniğinin tespitine yönelik keşifsel bir süreç yönetilmiştir. Paydaşların, çevresel, sosyal ve ekonomik değere sahip hassas kaynaklara ait potansiyel risklerini belirlemedeki önemli rolü ve çözüm üretmek için sürece aktif olarak dahil olmaları gerekliliği de araştırma bulguları ile desteklenmektedir.

NÇFA yaklaşımına yönelik araştırmaların ortak çıktısı, çevresel, sosyal veya ekonomik değere sahip hassas kaynaklar üzerindeki potansiyel risklerin bir dökülme sırasında değil, planlama sürecinin bir parçası olarak tespit edilip çözüldüğünde daha etkili çözümler ürettiği belirtilmektedir (Efroymson ve diğerleri, 2004; Stevens ve Aurand, 2008; Wegeberg ve diğerleri, 2017). Geliştirilen model yaklaşımı ile, gerçek bir dökülme olayı sırasında müdahale tekniği belirlemek yerine planlama aşamasında oluşabilecek riskleri ve ödünleşimleri ele alarak daha verimli ve etkili müdahale çözümleri üretilebilmektedir. Özetle araştırma bulguları, NÇFA yaklaşımının müdahale operasyonu planlama aşamasına entegre edildiğinde etkili olduğu fikrini desteklemektedir.

Literatürdeki farklı vaka çalışmaları (Baca ve diğerleri, 2005; Coelho ve diğerleri, 2013; Koubrak, 2017), NÇFA yaklaşımının açık deniz koşullarında kimyasal ve termal tekniğinden kaynaklı çevresel etkileri ve riskleri objektif ve bilimsel bir

şekilde değerlendirmede etkili bir araç olduğunu göstermektedir. Uygulanan NÇFA modeli ile Türk deniz yetki sahaları içerisinde bir vaka çalışması gerçekleştirilmiş ve tüm müdahale tekniklerinin karşılaştırılması sağlanmıştır. Araştırma bulguları, fiziksel/mekanik müdahalenin çevre dostu bir teknik olduğunu doğrulamıştır. Termal ve kimyasal yöntemlerin ise en son tercih edilmesi gereken ve çevre açısından büyük riskleri olan teknikler olarak tespit edilmektedir. Bu kapsamda araştırma bulguları literatür ile paralel niteliktedir.

Iazeolla ve diğer araştırmacılar (2017) uyguladıkları risk matris değerlendirmesinde ise, dağıtıcı kullanımının en düşük riske sahip yöntem olduğunu tespit etmiştir. Fakat araştırmada belirtilen bir diğer husus, uygulanabilir farklı müdahale tekniklerinin faydaları ve dezavantajları arasındaki denge profesyonel muhakeme, her bir değişken için tanımlanmış risk değerlendirme kriterleri ve saha bağlamında özel olarak oluşturulmuş ve uyarlanmış risk matrisleri temelinde gerçekleştirilmesi gerekliliğidir. Araştırmada belirtildiği üzere, Türk deniz yetki sahaları içerisinde dağıtıcı kullanımı ilgili devlet kurumlarından izin alınmadan uygulanamayacağı ve kontrollü yakma tekniği uygulamasının ise yasak olduğuna dair yasal engeller bulunmaktadır. Fakat paydaşlarla yapılan görüşmelerde, araştırma bulguları açısından ilgili izinlerin alınması koşuluyla dağıtıcıların kullanımının kirliliğe maruz kalan veya kirlilik tehdidi altında olan sahalarda hızlı sonuçlar verdiği ve NÇFA kullanımının bu kapsamda değerlendirilmesinin uygun olacağı belirtilmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, araştırma bulguları ile literatür çıktıları birbirini destekler niteliktedir.

Literatürde yer alan eleştirilerden biri, NÇFA kullanımının pratik zorlukları ve yakın kıyı şeridi veya hassas alanlarda uygulanacak müdahale tekniklerine yönelik bürokratik engellerdir (IPIECA-IOGP, 2015a; Coelho ve diğerleri, 2015; Board ve NASEM, 2020). Bu zorluklar arasında veri toplama, analiz süreçleri ve düzenleyici politikaların karmaşıklığı bulunmaktadır. Araştırmanın literatür kısmında belirtildiği üzere, ülkelerin uygulamış olduğu farklı yasal çerçeve ve prosedürler nedeniyle uygulamada müdahale teknikleri de değişkenlik gösterebilmektedir. Türk deniz yetki sahalarında olası bir kirlilikte ilgili kurumların izin süreçlerindeki ayrıntılı değerlendirmeler ve prosedürler nedeniyle, müdahale kararlarının alınması ve uygulanmasında gecikmeler yaşanmaktadır. Araştırma bulgularında belirtildiği üzere,

bu zorlukların üstesinden gelebilmek için veri toplama süreçlerinin basitleştirilmesi, bilgi paylaşımının açık erişim olması ve karar süreçlerinin hızlandırılmasına yönelik çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

NÇFA, müdahale stratejilerinin çevresel faydalarını değerlendirmek için nicel ve nitel analiz teknikleri kullanmaktadır. Fakat literatürde eleştirilen bir nokta, NÇFA yaklaşımının son adımında yer alan paydaş katılım sürecinde subjektif yargının yaratacağı belirsizliklerdir (Aps ve diğerleri, 2007; Stevens ve Aurand, 2008; Iazeolla ve diğerleri, 2017; Board ve NASEM, 2020). Bu belirsizlikleri ortadan kaldırmak için, Aps ve diğer araştırmacılar (2009a; 2009b) Bayes ağlarının etkinliğini önermektedir. İleriki çalışmalarda Çok Kriterli Karar Analiz (MCDA) teknikleri ve Bayes ağlarına yönelik araştırmaların entegre edilerek NÇFA modelinin geliştirilmesi sağlanacaktır.

Literatürde yapılan çalışmalar, NÇFA sürecine ESI haritalarının entegre edilmesinin önemi vurgulamaktadır (Fritt-Rasmussen ve diğerleri, 2013; Walker ve diğerleri, 2018a; Grubesic ve diğerleri, 2019). Bu entegrasyonun, NÇFA'nın doğruluğunu ve etkinliğini artırdığı belirtilmektedir. Araştırma kısıtlarında bahsedildiği üzere, kıyı şeridi hassasiyeti, biyoçeşitlilik ve sosyoekonomik duyarlılığa bağlı tematik haritalama Aliağa Körfezi özelinde gerçekleştirilmesi elzemdir.

Petrol kirliliğine müdahalede NÇFA'ya yönelik bir diğer eleştiri (Alekseevna ve Seryy, 2015; Board ve NASEM, 2020), farklı müdahale seçeneklerinin çevresel maliyetlerini ölçme konusundaki zorluktur. Özellikle petrolü dağıtmak için kimyasal ürünlerin kullanılması durumunda, kimyasal maddelerin uzun vadeli etkilerini veya deniz yaşamına olumsuz etkilerini tam olarak tahmin etmek zordur. Kimyasal dağıtıcıların çevresel etkilerinin belirlenmesi ve ölçülmesi, genellikle laboratuvar testleri, modelleme çalışmaları ve saha gözlemleri gibi yöntemleri içeren kapsamlı bir araştırma gerektirmektedir. Aynı zamanda, paydaşların ve uzmanların katılımıyla gerçekleştirilen risk değerlendirmeleri, daha sağlıklı ve bilimsel temellere dayalı kararlar almayı desteklemektedir.

NÇFA'ya yönelik bir diğer eleştiri ise (McCay ve Graham, 2014; Board ve NASEM, 2020), sosyoekonomik değerlerin ölçülmesinde karşılaşılan zorluklardır. Model, müdahale seçeneklerinin çevresel faydaları ve maliyetleri yanında, toplumun ekonomik ve sosyal refahını da dikkate almayı gerektirmektedir. Örneğin, bir müdahale seçeneğiyle ilgili olarak maliyet analizleri, istihdam etkileri, turizm gelirleri,

balıkçılık faaliyetlerine yarattığı etkiler ve toplumun genel refahına etkisi araştırılmalı ve kapsamlı analizlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda ileriki çalışmalarda NÇFA'nın sadece çevresel boyutu ile sınırlandırılmayıp, ekonomik ve sosyal boyutlarında analiz sürecinde dahil edilerek kapsamlı analizler gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

SONUÇ

NÇFA, çeşitli müdahale stratejilerinin çevresel etkilerini değerlendirmek için kapsamlı bir çerçeve sunarak petrol kirliliğine müdahalesinde karar vericilere zamanında ve etkili kararlar almalarında başarılı bir yaklaşım sergilemektedir. Geliştirilen model, çevre bilimi, risk değerlendirme yaklaşımları ve karar analiz süreçlerini entegre ederek multidisipliner yaklaşımları birleştirmekte ve objektif verilere dayalı karar verme sürecini kolaylaştırmaktadır. Bu disiplinler arası yaklaşım, petrol kirliliğine müdahale tekniklerine yönelik geliştirilen çevresel etki değerlendirmeleri literatürüne nicel ve nitel analizleri içeren model önerisi ve uygulanan vaka çalışması ile literatüre katkı sağlamaktadır.

Geliştirilen NÇFA modeli ile, maksimum çevresel faydaya sahip müdahale stratejilerinin seçilmesini sağlayan bir karar destek çerçevesi sunarak bu hedefe katkıda bulunulmaktadır. Ayrıca gerçekleştirilen vaka çalışması ile Türk deniz yetki sahalarında ilk kez NÇFA etkinliği ve uygulanabilirliği test edilmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde çalışmanın literatüre katkısı oldukça önem arz etmektedir.

Fiziksel müdahalenin özel koşullar ve potansiyel çevresel ödünleşimler göz önünde bulundurulduğunda, petrol döküntüsü müdahalesinde ilk tercih edilen ve en çevreci teknik olarak tespit edilmektedir. Ancak, müdahale yöntemlerinin seçimi ve kullanımı, döküntünün yerel koşullarına ve durumun özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle, petrol kirliliği durumunda en uygun müdahale stratejisi, durumun özelliklerine, yerel koşullara ve çevresel etkilere bağlı olarak belirlenmelidir. Entegre bir yaklaşım benimsenmeli ve çevresel etkilerin minimize edilmesi, ekosistemlerin korunması ve doğal iyileşme süreçlerinin desteklenmesi gözetilmelidir.

Petrol kirliliği müdahalesinde uzmanların, yerel yetkililerin ve çevre otoritelerinin değerlendirmeleri ve rehberlikleri bu süreçte önemlidir. Etkili koordinasyon, durumun doğru değerlendirilmesi ve etkilerin izlenmesi, fiziksel müdahale ile doğal iyileşme süreçleri arasında bir denge kurmak için çok önemlidir. Fiziksel müdahale yöntemleriyle doğal iyileşme süreçlerinin entegre bir şekilde kullanılması, petrol döküntüsü müdahalesinin etkinliğini ve sürdürülebilirliğini artırırken çevresel ödünleşimleri de minimize etmeyi hedeflemektedir. Bu şekilde, petrol döküntüsünün çevresel etkileri en aza indirgenebilir ve ekosistemlerin ve

toplumların daha hızlı bir şekilde iyileşmesi sağlanabilir.

NÇFA, petrol kirliliğine müdahale seçenekleriyle ilişkili potansiyel riskleri değerlendirmek için risk değerlendirme metodolojilerini kullanarak çevresel sürdürülebilirliği desteklemektedir. Müdahale operasyon adımlarından kontrol altına alma, kurtarma ve iyileştirme gibi çeşitli eylemlerin potansiyel çevresel sonuçlarını değerlendirmede; petrol yayılım modelleri, konumsal analiz teknikleri, veri analizi teknikleri ve paydaş katılımını karar süreçlerine entegre ederek bilinçli kararlar alınmasını desteklemektedir. Bu değerlendirme sayesinde, objektif karşılaştırmalara ve maksimum çevresel faydayı sağlayan stratejilerin belirlenmesine olanak tanımaktadır. Böylelikle NÇFA, müdahale alternatiflerini ilişkili risklerine göre sistematik olarak değerlendirip önceliklendirerek, karar vericilerin kaynakları daha etkili bir şekilde tahsis etmelerine yardımcı olmaktadır. Petrol kirliliği yayılımına yönelik sayısal modelleme yaklaşımları NÇFA ile entegre edilerek, petrol döküntüsünün çevresel sonuçlarının daha bütüncül bir şekilde anlaşılmasını sağlamaktadır. Petrol kirliliği yayılım modellerinin öngörü yetenekleri müdahale stratejilerinin sistematik değerlendirmesiyle birleştirerek daha doğru değerlendirmeler yapılabilmektedir.

NÇFA, karar vericilere hem çevresel etkileri hem de sosyoekonomik faktörleri göz önünde bulundurarak müdahale stratejilerini değerlendirmede yapılandırılmış ve sistematik bir yaklaşım sergilemektedir. NÇFA, pratikteki kısıtlamaları ve ödünleşimleri dikkate alırken net çevresel faydaları en üst düzeye çıkaran uygun maliyetli ve sürdürülebilir yaklaşımların belirlenmesinde etkili çözüm önerileri sunmaktadır. Ayrıca çevresel zararı azaltmada farklı stratejilerin kullanımını göz önünde bulundurarak, yenilikçi çözümlerin geliştirilmesini katkı sağlamakta ve petrol kirliliğine müdahale çabalarının etkinliğini ve sürdürülebilirliğini teşvik etmektedir.

Geliştirilen model ve vaka çalışması ile, karar verme sürecine dahil olan paydaşlara nicel verilere dayalı bir standardizasyon da getirmektedir. Optimize edilmiş bu standart yaklaşım, operasyon sürecini kolaylaştırmakta ve dinamik değişkenlerde farklı yönetimsel kararlar için seçenekler sunarak müdahale operasyonları yönetiminde esneklik sağlamaktadır.

Aliağa Körfezi'nde petrol kirliliğin etkisini azaltmaya yönelik çabalar, etkili atık yönetimi uygulamaları, sıkı çevre düzenlemeleri, gelişmiş izleme ve yaptırım

mekanizmaları ve sürdürülebilir endüstriyel uygulamaların hayata geçirilmesini kapsayan çok yönlü bir yaklaşım gerektirmektedir. Kapsamlı döküntü müdahale planlarının uygulanması, su kalitesi ve ekosistemin düzenli olarak izlenmesi ile, körfezin hassas doğal yapılarının ve bölgenin sosyo-ekonomik refahının korunması için önem taşımaktadır. Ayrıca, koruma alanlarının oluşturulması, habitat restorasyon girişimleri, kamu bilincinin sağlanması amacıyla çevre eğitimlerinin teşvik edilmesi ve bu bölgedeki kirliliğin uzun vadeli ekolojik sonuçlarının hafifletilmesi için çalışmalar yapılmalıdır. Etkin seyir güvenliği önlemleri, gemilerin düzenli bakımı ve denizcilik yönetmeliklerine uyulması yoluyla karaya oturma kazalarının önlenmesi, Aliağa Körfezi'nde petrol sızıntısı riskinin en aza indirilmesi için elzemdir. Ayrıca, bölgedeki endüstriyel faaliyetlerde sürdürülebilir uygulamaların teşvik edilmesi ve petrol sızıntılarıyla ilişkili çevresel riskler konusunda farkındalığın artırılması, bölge ekosistemlerinin uzun vadede yaşanacak risklerin önlenmesine ve korunmasına katkıda bulunabilir. Bu çabaların birlikte uygulanmasıyla, kirliliğin etkileri minimize edilebilir ve bölgenin uzun vadeli sürdürülebilirliği sağlanabilir.

Araştırma bulgularına dayanarak, petrol kirliliğine müdahale planlamasında geliştirilen NÇFA modeline yönelik ileriki yıllarda yapılması planlanan araştırma önerileri aşağıdaki başlıklarda gruplandırılabilir;

- **Farklı araştırma sahalarında model çıktılarının test edilmesi:** Mevcut model sadece belirlenen saha koşullarında test edilmiştir. Modelin farklı petrol döküntüsü türleri, farklı çevresel koşullar ve farklı sosyo-ekonomik ortamlar da dahil olmak üzere daha geniş bir yelpazede test edilmesi faydalı olacaktır. Bu araştırmalar, bölgeye özgü müdahale stratejilerinin belirlenmesine ve farklı ekosistemlerde çevresel etkilerin anlaşılmasına yardımcı olacaktır.
- **Farklı vaka çalışmaları ve doğrulama:** NÇFA modelinin gerçek zamanlı kirlilik senaryolarındaki performansını ve etkinliğini değerlendirmek için, farklı döküntü miktarı ve döküntü kaynağını içeren vaka çalışması ve doğrulama çalışmaları yapılabilir. Bu kapsamda ilgili verileri toplamak ve NÇFA modelinin pratik uygulamasını değerlendirmek için, müdahale firmaları, devlet ve araştırma kurumları ile iş birliği yapılarak vaka çalışmaları zenginleştirilebilir.
- **Uzun vadeli çevresel etkiler:** Petrol kirliliği kazalarının uzun vadeli ekolojik

ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik değişkenlerin modele entegre edilmesi önerilmektedir. Petrolün farklı ekosistemlerdeki kalıcılığını ve etkilerini değerlendirmek için, farklı metodolojiler ışığında müdahale stratejilerinin zaman içindeki net çevresel faydalarının daha kapsamlı şekilde anlaşılması bu çalışmalar ile sağlanabilir.

- **Ekosistem hizmetleri:** Ekosistem hizmetleri, insanların doğal ekosistemlerden elde ettiği faydalardır. Tedarik hizmetleri (ör. yiyecek, su), düzenleme hizmetleri (ör. iklim düzenlemesi, su arıtma), kültürel hizmetler (ör. rekreasyon, estetik) ve destekleyici hizmetleri (ör. besin döngüsü, toprak oluşumu) içerir. Bu hizmetler insan refahı için elzemdir ve ekonomik faaliyetlerimizin temelidir. NÇFA, ekosistem hizmetlerini göz önünde bulundurarak, önerilen projenin daha geniş çevresel etkilerini dikkate alır. Örneğin, projenin ekosistemlerin temiz su, hava temizleme ve biyoçeşitlilik için yaşam alanı gibi hizmetler sağlama kapasitesini nasıl etkileyebileceğini değerlendirir. Ekosistem hizmetleri ile NÇFA arasındaki ilişki, sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etme hedefiyle uyumludur. Bu kapsamda geliştirilecek proje ve araştırmalar çevresel hususların kalkınma planlaması ve karar alma süreçlerine entegrasyonunu destekleyecektir.
- **Veri entegrasyonu ve görselleştirme:** Çeşitli veri kümelerinin ve bilgi kaynaklarının NÇFA modeline entegrasyonuna yönelik iyileştirmeler yapılmalıdır. Zamanında karar vermeyi desteklemek için gerçek zamanlı veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Planlanan bu araştırmalar sayesinde, NÇFA modelinde anlık karar verme ve değişen koşullarda etkili müdahale operasyonunun gerçekleştirilmesi sağlanabilir.
- **Belirsizlik ve risk değerlendirmesi:** Petrol kirliliği müdahalesindeki belirsizliğe neden olan unsurları tanımlamak için kapsamlı bir analiz yapılmalıdır. Bu kaynaklar arasında hava ve deniz şartları, deniz akıntıları, petrolün deniz yüzeyindeki dağılım hareketi ve yayılımı, etkilenen ekosistemlerin tepkisi ve müdahale yöntemlerinin etkinliği gibi faktörler yer almaktadır. Bu faktörlerin belirsizlik seviyesini ve etkilerini belirlemek, NÇFA modelinin performansını iyileştirmeye yardımcı olabilir. Bu kapsamda, insan davranışlarını, düşünme biçimini, matematiksel olarak net ifade edilemeyen

kavramların gösterilmesini sağlayan bir yapay zekâ algoritması olan Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) tekniği kullanılabilir.

- **Sosyal ve kültürel faktörler:** NÇFA modeline sosyal ve kültürel faktörlerin dahil edilmesi ile modelin kapsamı genişletilebilir. Karar alma süreçlerinde farklı bakış açılarını ve değerleri hesaba katmak için, sosyal etki değerlendirme metodolojilerini ve paydaş katılımı süreçlere dahil edilebilir. Bu sayede, petrol kirliliği kazalarının yerel topluluklar, kültürel miras ve rekreasyonel faaliyetler üzerindeki olumsuz etkilerinin değerlendirilmesinde NÇFA modeli etkinliğini test edilebilir.
- **İklim değişikliği değerlendirmeleri:** İklim değişikliğinin yıkıcı sonuçları, petrol kirliliği risklerinin belirlenmesinde ve müdahale stratejileri üzerindeki etkilerini değerlendirilmesinde dikkat edilmesi gereken önemli bir konu başlığıdır. NÇFA modeline veri akışı sağlayabilecek farklı iklim değişikliği projeksiyonları ile değişen çevresel koşullar karar süreçlerine entegre edilebilir ve bu tür araştırmalar ile gerçeğe uygun senaryolar modellenebilir.
- **ESI haritalaması ve yayılım modellerine ait harita altlıklarının çakıştırılması:** ESI haritalaması ve yayılım modelleri, doğal kaynakların yönetimi ve çevresel planlama süreçlerinde değerli bilgiler sağlamaktadır. Bu haritaların entegre kullanımı, çevresel sürdürülebilirlik konusunda alınacak stratejilerin geliştirilmesine ve karar verme süreçlerine rehberlik etmeye yardımcı olmaktadır. Bu durumda, harita altlıklarının çakıştırılması, hassas türlerin dağılımını ve ekosistem hizmetlerinin bu dağılım üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak için kullanılabilir. Bu şekilde, doğal kaynakların korunması, biyolojik çeşitlilik, ekosistem hizmetleri ve çevresel sürdürülebilirlikle ilgili daha etkili kararlar almak mümkün olabilir.
- **Uzaktan algılama sistemlerinin kullanımı:** Uzaktan algılama sistemleri, uydu görüntüleri ve hava araçlarından elde edilen verileri kullanarak, petrolün yayılımını izlemek ve çevresel etkilerini değerlendirmek için kullanılır. Bu sistemler sayesinde, petrolün yayılım alanı, hızı ve yoğunluğu gibi önemli parametreler belirlenebilir. Ayrıca, çevresel hassasiyeti yüksek alanlar, koruma alanları veya denizel ekosistemler gibi özel bölgelerin belirlenmesinde de uzaktan algılama sistemleri etkin bir şekilde kullanılabilir.

- **Teknolojik gelişmelerin entegrasyonu:** Otonom sistemler, yapay zekâ ve geliştirilen müdahale tekniklerinin çevresel fayda ve risklerini değerlendirilmesi gerekmektedir. Etki değerlendirmelerinin doğruluğunu artırmak için bu gelişmelerin NÇFA modeline entegre edilmesi gerekmektedir. Petrol kirliliği müdahalesinde geliştirilen dağıtıcı tipleri, sorbentler ve uzaktan algılama teknikleri gibi yeni teknolojilerin etkinliği ve geliştirilen müdahale tekniklerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik planlanan araştırmalar literatüre katkı sağlayabilir.
- **Politika ve düzenleyici hususlar:** NÇFA modelinin düzenleyici karar alma süreçlerine yönelik analiz çalışmalarına ihtiyaç vardır. Modelin uygulanmasının önündeki yasal ve kurumsal engellerin değerlendirilmesi ve mevcut politika ve düzenlemelerle uyumlu hale getirilmesi için, bu tür yaklaşımların SWOT analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda ilgili araştırmalar literatüre katkı sağlayabilir.
- **Çok Kriterli Karar Analizi:** Farklı çevresel, sosyal ve ekonomik kriterlere dayalı müdahale stratejilerinin sistematik bir şekilde değerlendirilmesini sağlamak için NÇFA modeline Çok Kriterli Karar Analizi tekniklerinin dahil edilmesi gerekmektedir. Farklı kriterler arasındaki dengeleri göz önünde bulunduran ve karar vericilere alternatif müdahale eylemlerini tartmak ve karşılaştırmak için yapılandırılmış bir çerçeve sağlayan bu tekniklerin kullanımı ile daha doğru çıktılar elde edilebilir.
- **Ara yüz geliştirme:** Karar vericilerin modeli kullanmasını kolaylaştıracak kullanıcı dostu bir ara yüz geliştirmek faydalı olacaktır. Ara yüz, kullanıcının farklı senaryoları oluşturmasına ve bu senaryoların NÇFA modeli üzerindeki etkilerini analiz etmesine olanak tanımalıdır. Kullanıcı, farklı müdahale stratejilerini, belirsizlik seviyelerini veya ekosistem değerlendirme kriterlerini değiştirerek mevcut senaryo analizi güncelleyebilir. Bu şekilde, kullanıcılar müdahale stratejilerinin etkilerini karşılaştırabilir ve en iyi net çevresel fayda sağlayan stratejiyi anlık olarak belirleyebilir.

Bu alandaki yapılacak çalışmalar, objektif, nicel ve kamu yararı odaklı karar destek mekanizmasının kurulmasına duyulan acil ihtiyacı vurgulayan önemli bir bilimsel boşluğu ortaya koymaktadır. Planlanan araştırmalar, acil durum müdahale

operasyonlarının etkili, sürdürülebilir ve güvenilir bir şekilde yönetilmesine katkı sağlayacaktır. Doğru zamanda uygun müdahale tekniklerini uygulayarak minimum maliyetle maksimum çevresel fayda sağlanarak etkin bir müdahale operasyonu sürdürmek mümkün hale gelecektir. Petrol kirliliğine yönelik dinamik bir karar destek sürecinin geliştirilmesiyle, sadece çevresel boyut değil sosyo-ekonomik boyutlar da göz önünde bulundurularak çevresel ve sosyal sürdürülebilirlik sağlanabilmektedir.

Sonuç olarak, dinamik bir karar süreci, güvenilir veriler ve kirlilik modellemeleri ile anında müdahaleler gerçekleştirilmesi, gelecekte ortaya çıkabilecek olumsuz çevresel etkilerin önceden tahmin edilmesi ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımının sağlanması ile mümkün olacaktır.

KAYNAKÇA

Abascal, A. J., Castanedo, S., Medina, R. ve Liste, M. (2010). Analysis of The Reliability of a Statistical Oil Spill Response Model. *Marine Pollution Bulletin*. 60(11): 2099-2110.

Abou Samra, R. M., Eissa, R. ve El-Gammal, M. (2020). Applying The Environmental Sensitivity Index for the Assessment of the Prospective Oil Spills Along the Nile Delta Coast, Egypt. *Geocarto International*. 35(6): 589-601.

Acharya, T. D., Yoo, K. W. ve Lee, D. H. (2017). GIS-based Spatio-Temporal Analysis of Marine Accidents Database in The Coastal Zone of Korea. *Journal of Coastal Research*. 79(10079): 114-118.

Acir, Ö., Aps, R., Fetissov, M. ve Sert, M. (2011). Environmental Impact Assessment Based on A Potential Oil Spill Scenario: Eastern Black Sea. *WIT Transactions on Ecology and the Environment.*

Adamopouloua, E., Van Gelderenb, L. ve Jomaasb, G. (2016). Performance Of Chemical Herders for In-Situ Burning of Crude Oil in Ice Infested Waters. In *The 7th International Student Petroleum Congress & Career Expo"East meets West"*. Krakow, Poland.

Addassi, Y. N., Sowby, M., Parker-Hall, H. ve Robberson, B. (2005). Establishment Of Dispersant Use Zones in The State of California: A Consensus Approach for Marine Waters 3–200 Nautical Miles from Shore. In *International Oil Spill Conference.* (2005: 1, pp. 187-191). American Petroleum Institute.

Adler, E. ve Inbar, M. (2007). Shoreline Sensitivity to Oil Spills, The Mediterranean Coast of Israel: Assessment and Analysis. *Ocean & Coastal Management*. 50(1-2): 24-34.

Adofo, Y. K., Nyankson, E. ve Agyei-Tuffuor, B. (2022). Dispersants As an Oil Spill Clean-Up Technique in The Marine Environment: A Review. *Heliyon*.e10153.

Afenyo, M., Khan, F., Veitch, B., Ng, A. K., Sajid, Z., ve Fahd, F. (2019). An Explorative Object-Oriented Bayesian Network Model for Oil Spill Response in The Arctic Ocean. *Safety in Extreme Environments*. 1-12.

Aguilera, F., Méndez, J., Pásaro, E. ve Laffon, B. (2010). Review on The Effects of Exposure to Spilled Oils on Human Health. *Journal of Applied Toxicology: An International Journal*. 30(4): 291-301.

Akan, Ç. (2007). *Numerical Modeling of Oil Spreading Over the Sea Surface.* (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Akpan, E. E. (2022). Environmental Consequences of Oil Spills on Marine Habitats and the Mitigating Measures—The Niger Delta Perspective. *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 10(6): 191-203.

Al Shami, A., Harik, G., Alameddine, I., Bruschi, D., Garcia, D. A. ve El-Fadel, M. (2017). Risk Assessment of Oil Spills Along the Mediterranean Coast: A Sensitivity Analysis of The Choice of Hazard Quantification. *Science of the Total Environment*. 574: 234-245.

Al-Majed, A. A., Adebayo, A. R. ve Hossain, M. E. (2012). A Sustainable Approach to Controlling Oil Spills. *Journal of Environmental Management*. 113: 213–227.

Alea, C., Ruiz, C. I., Yap, J. B., Molina, E. F., Saballa, A. J., Ñuneza, J. S. ve Bacharo, K. B. B. (2022). An Investigation of Aquatic Oil Spills in The Philippines from 2000 to 2021. *Marine Pollution Bulletin*. 185, 114241.

Alekseevna, N. ve Seryy, S. S. (2015). Net Environmental Benefit Analysis in

Planning of Elimination of Oil Spills. In *SPE Russian Petroleum Technology Conference*. OnePetro. Moscow, Russia.

Alvernia, P., Soesilo, T. E. B. ve Herdiansyah, H. (2021). Social Impacts of Oil Spills Towards the People Living in Coastal Areas. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (802: 1, pp. 012001). IOP Publishing.

Alves, T. M., Kokinou, E. ve Zodiatis, G. (2014). A Three-Step Model to Assess Shoreline and Offshore Susceptibility to Oil Spills: The South Aegean (Crete) as An Analogue for Confined Marine Basins. *Marine Pollution Bulletin*. 86(1-2): 443-457.

Alves, T. M., Kokinou, E., Zodiatis, G., Radhakrishnan, H., Panagiotakis, C. ve Lardner, R. (2016). Multidisciplinary Oil Spill Modeling to Protect Coastal Communities and The Environment of The Eastern Mediterranean Sea. *Scientific Reports*. 6(1): 1-9.

Amir-Heidari, P. ve Raie, M. (2019). Response Planning for Accidental Oil Spills in Persian Gulf: A Decision Support System (DSS) Based on Consequence Modeling. *Marine Pollution Bulletin*. 140: 116-128.

Andrews, N., Bennett, N. J., Le Billon, P., Green, S. J., Cisneros-Montemayor, A. M., Amongin, S. ve Sumaila, U. R. (2021). Oil, Fisheries and Coastal Communities: A Review of Impacts on The Environment, Livelihoods, Space and Governance. *Energy Research & Social Science*. 75, 102009.

API (American Petroleum Institute). (2013). *Explanatory NEBA Animation and Presentation*.www.api.org/Environment-Health-and-Safety/Clean-Water/Oil-Spill-Prevention -andResponse/Net-environmental-benefit-analysis (11.02.2023).

Aps, R, Kotta, J., Leiger, R., Martin, G., Saat, T., Suursaar, Ü. ve Tulk, E. (2007). Net Environmental Benefit Analysis - Linking Ecological Values in The Decision-Making Process on Oil Spill Response in The Gulf of Finland (Baltic Sea). *ICES CM*

2007/C:10.

Aps, R., Fetissov, M., Herkül, K., Kotta, J., Leiger, R., Mander, Ü. ve Suursaar, Ü. (2009a). Bayesian Inference for Predicting Potential Oil Spill Related Ecological Risk. *WIT Transactions on the Built Environment*. 108: 149-159.

Aps, R., Herkül, K., Kotta, J., Kotta, I., Kopti, M., Leiger, R., Mander, U. ve Suursaar, Ü. (2009b). Bayesian Inference for Oil Spill Related Net Environmental Benefit Analysis. *Coastal Processes*. 126, 235-246.

Araruna Jr, J. T., Portes, V. L. O., Soares, A. P. L., Silva, M. G., Sthel, M. S., Schramm, D. U., Tibana, S. ve Vargas, H. (2004). Oil Spills Debris Clean Up by Thermal Desorption. *Journal of Hazardous Materials*. 110(1-3): 161-171.

Arnold, D. H. ve McKay, R. (2013). Sustainable Enterprises: Crisis Management and Culture Transformation for BP. *Business and Management Research*. 2(3): 16-24.

Arslan, O. ve Turan, O. (2009). Analytical Investigation of Marine Casualties at The Strait of Istanbul with SWOT–AHP Method. *Maritime Policy & Management*. 36(2): 131-145.

Asif, Z., Chen, Z., An, C. ve Dong, J. (2022). Environmental Impacts and Challenges associated with Oil Spills on Shorelines. *Journal of Marine Science and Engineering*. 10(6): 762.

Aşan, C. (2021). Türkiye'nin Denizel Çevre Kirliliğine Müdahale Sahaları. *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*. 13(2): 231-246.

Aşan, C. (2022). Türkiye'nin Denizel Çevre Yönetimi Karar Destek Sistemi. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*. 8(3): 443-452.

Aşan, C., Özsoy, B., Şıhmantepe, A. ve Solmaz, M. S. (2020). A Case Study on Oil

Pollution in Istanbul Strait: Revisiting 1994 Nassia Tanker Accident by Utilising Potential Incident Simulation Control and Evaluation System (PISCES-II) Simulation. What Would Be Different in terms of Response If Nassia Accident Happened Today?. *Marine Pollution Bulletin*. 151, 110813.

Atkinson, G. ve Mourato, S. (2008). Environmental Cost-Benefit Analysis. *Annual Review of Environment and Resources*. 33: 317-344.

Aune, M., Aniceto, A. S., Biuw, M., Daase, M., Falk-Petersen, S., Leu, E., Ottesen, C.A.M., Sagerup, K. ve Camus, L. (2018). Seasonal Ecology in Ice-Covered Arctic Seas-Considerations for Spill Response Decision Making. *Marine Environmental Research*. 141: 275-288.

Aurand, D., Walko, L. ve Pond, R. (2000). *Developing Consensus Ecological Risk Assessments: Environmental Protection in Oil Spill Response Planning a Guidebook*. USA: Washington, US Coast Guard.

Aydın, D. ve Solmaz, M. S. (2019). Modelling of the Oil Spill in M/V LADY TUNA Accident and the Evaluation of the Response Operation in Simulated Condition with PISCES II. *International Journal of Environment and Geoinformatics*. 6(2): 213-224.

Baca, B., Ward, G. A., Lane, C. H. ve Schuler, P. A. (2005). Net Environmental Benefit Analysis (NEBA) Of Dispersed Oil on Nearshore Tropical Ecosystems Derived from the 20 Year "TROPICS" Field Study. In *International Oil Spill Conference* (2005:1, pp. 453-456). American Petroleum Institute.

Baker, J. M. (1995). Net Environmental Benefit Analysis for Oil Spill Response. In *International Oil Spill Conference* (1995:1, pp. 611-614). American Petroleum Institute.

Baker, J. M. (1999). Ecological Effectiveness of Oil Spill Countermeasures: How Clean is Clean?. *Pure and Applied Chemistry*. 71(1): 135-151.

Balogun, A. L., Yekeen, S. T., Pradhan, B. ve Yusof, K. B. W. (2021). Oil Spill Trajectory Modelling and Environmental Vulnerability Mapping using GNOME Model and GIS. *Environmental Pollution*. 268, 115812.

Başar, E. (2003). *İstanbul Boğazı'nda Tanker Kazaları ile Oluşabilecek Petrol Dağılımının Simülasyonu*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Başaraner, M., Yücel, M. A. ve Özmen, Ç. (2011). İstanbul Boğazı'nda Transit Gemilerin Kullandığı Seyir Rotalarının Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla İncelenmesi ve İyileştirilmesi. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*. 104(1): 75-79.

Başarsoft, (2023). *Mapinfo Pro*. https://www.basarsoft.com.tr/mapinfo-pro/ (21.05.2023).

Bayazit, O. (2021). *Petrol Kirliliğine Acil Müdahale Tesisi İçin Konum Optimizasyonu: Çanakkale Boğazı'nda Bir Uygulama*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Bayazit, O., Toz, A. C. ve Buber, M. (2020). Spatial Distribution Analysis of Ship Accidents in the Çanakkale Strait. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*. 62(134): 9-17.

Beyer, J., Trannum, H. C., Bakke, T., Hodson, P. V. ve Collier, T. K. (2016). Environmental Effects of The Deepwater Horizon Oil Spill: A Review. *Marine Pollution Bulletin*. 110(1): 28-51.

Bi, H., An, C., Owens, E., Lee, K., Chen, Z., Mulligan, C., Taylor, E. ve Boufadel, M. (2021). A Framework for The Evaluation and Selection of Shoreline Surface Washing Agents in Oil Spill Response. *Journal of Environmental Management*. 287, 112346.

BIMCO (Baltic and International Maritime Council). (2022). *Recorded Webinar: Longer Routes and Higher Rates as Eu Bans Russian Oil and Products.* https://www.bimco.org/news/market_analysis/2022/20220912-smoo-tanker (24.01.2023).

Bişkin, F. (2018). Sağlık İşletmelerinde Algılanan Hizmet Kalitesinin Hasta Memnuniyeti Üzerine Etkisi: Konya İlinde Bir Uygulama. *International Review of Economics and Management*. 6(1): 50-72.

Blaine, D. (2022). *Towards a Northern Landscapes Sensitivity Atlas: Cartographic Approaches to Net Environmental Benefit Analysis (NEBA).* USA: Northern Alberta Institute of Technology.

Board, O. S. ve NASEM (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine). (2020). *The Use of Dispersants in Marine Oil Spill Response*. USA: National Academies Press.

Bock, M., Robinson, H., Wenning, R., French-McCay, D., Rowe, J. ve Walker, A. H. (2018). Comparative Risk Assessment of Oil Spill Response Options for A Deepwater Oil Well Blowout: Part II. Relative Risk Methodology. *Marine Pollution Bulletin*. 133: 984-1000.

Bollt, E. M., Luttman, A., Kramer, S. ve Basnayake, R. (2012). Measurable Dynamics Analysis of Transport in The Gulf of Mexico During the Oil Spill. *International Journal of Bifurcation and Chaos*. 22(03), 1230012.

Božanić, D., Pamucar, D., Badi, I. ve Tešić, D. (2022). A Decision Support Tool for Oil Spill Response Strategy Selection: Application of LBWA and Z MABAC Methods. *OPSEARCH*. 1-35.

Bozkurtoğlu, Ş. N. E. (2017). Modeling Oil Spill Trajectory in Bosphorus for Contingency Planning. *Marine Pollution Bulletin*. 123(1-2): 57-72.

BP (British Petroleum). (2022). *Statistical Review of World Energy*. https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-revie w/bp-stats-review-2022-full-report.pdf (20.02.2023).

Brude, O. W., Moe, K. A., Skeie, G. M., Østby, C. ve Engen, F. (2004). An Approach to Net Environmental Benefit Analysis (NEBA) For the Norwegian Continental Shelf. *Interspill Presentation*. 431: 1-11.

Buber, M. ve Koseoglu, B. (2022). The Bibliometric Analysis and Visualization Mapping of Net Environmental Benefit Analysis (NEBA). *Marine Pollution Bulletin*. 181, 113931.

Buber, M., Toz, A.C., Koseoğlu, B. ve Sakar, C. (2019). Deniz Çevresinin Petrol Kirliliğinden Korunması için Kullanılan Tekniklerin GZTF Analizi. *Türkiye için Denizcilik Stratejileri* (291-306). İstanbul: Nobel Yayın Grubu.

Bullock, R. J., Perkins, R. A. ve Aggarwal, S. (2019). In-Situ Burning with Chemical Herders for Arctic Oil Spill Response: Meta-Analysis and Review. *Science of the Total Environment*. 675: 705-716.

Burgherr, P. (2007). In-Depth Analysis of Accidental Oil Spills from Tankers in The Context of Global Spill Trends from All Sources. *Journal of Hazardous Materials*. 140(1-2): 245-256.

Buttke, D., Vagi, S., Bayleyegn, T., Sircar, K., Strine, T., Morrison, M., Allen, M. ve Wolkin, A. (2012). Mental Health Needs Assessment after The Gulf Coast Oil Spill—Alabama and Mississippi, 2010. *Prehospital and Disaster Medicine*. 27(5): 401-408.

Cai, L., Yan, L., Ni, J. ve Wang, C. (2015). Assessment of Ecological Vulnerability Under Oil Spill Stress. *Sustainability*. 7(10): 13073-13084.

Cakir, E., Sevgili, C. ve Fiskin, R. (2021). An Analysis of Severity of Oil Spill Caused

by Vessel Accidents. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 90, 102662.

Camus, L. ve Smit, M. G. (2019). Environmental Effects of Arctic Oil Spills and Spill Response Technologies, Introduction to A 5 Year Joint Industry Effort. *Marine Environmental Research*. 144: 250-254.

Carpenter, A. (2019). Oil Pollution in The North Sea: The Impact of Governance Measures on Oil Pollution Over Several Decades. *Hydrobiologia*. 845(1): 109-127.

Chang, S. E., Stone, J., Demes, K. ve Piscitelli, M. (2014). Consequences of Oil Spills: A Review and Framework for Informing Planning. *Ecology and Society*. 19(2): 26.

Chapman, H., Purnell, K., Law, R. J. ve Kirby, M. F. (2007). The Use of Chemical Dispersants to Combat Oil Spills at Sea: A Review of Practice and Research Needs in Europe. *Marine Pollution Bulletin*. 54(7): 827-838.

Chen, J., Di, Z., Shi, J., Shu, Y., Wan, Z., Song, L. ve Zhang, W. (2020). Marine Oil Spill Pollution Causes and Governance: A Case Study of Sanchi Tanker Collision and Explosion. *Journal of Cleaner Production*. 273, 122978.

Chen, J., Zhang, W., Li, S., Zhang, F., Zhu, Y. ve Huang, X. (2018). Identifying Critical Factors of Oil Spill in The Tanker Shipping Industry Worldwide. *Journal of Cleaner Production*. 180: 1-10.

Chen, J., Zhang, W., Wan, Z., Li, S., Huang, T. ve Fei, Y. (2019). Oil Spills from Global Tankers: Status Review and Future Governance. *Journal of Cleaner Production*. 227: 20-32.

Chen, R. ve Liu, C. (2019). Study on Pollution Risk Index Based on ESI and Stochastic Simulation. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (371: 3, pp. 032054). IOP Publishing.

Cheong, S. M. (2012). Fishing and Tourism Impacts in The Aftermath of The Hebei-Spirit Oil Spill. *Journal of Coastal Research*. 28(6): 1648-1653.

Chilvers, B. L., Morgan, K. J., & White, B. J. (2021). Sources and Reporting of Oil Spills and Impacts on Wildlife 1970–2018. *Environmental Science and Pollution Research*. 28(1): 754-762.

Cho, H. J. ve Ha, C. W. (2012). The Effectiveness of the Dispersant Use. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*. 18(1): 61-65.

Christensen, T., Falk, K., Boye, T., Ugarte, F., Boertmann, D. ve Mosbech, A. (2012). *Identification of Vulnerable Marine Areas in The Greenlandic/Danish Arctic*. Denmark: Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi.

Ciappa, A. ve Costabile, S. (2014). Oil Spill Hazard Assessment Using a Reverse Trajectory Method for The Egadi Marine Protected Area (Central Mediterranean Sea). *Marine Pollution Bulletin*. 84(1-2): 44-55.

Clausen, D., Johansen, K. L., Mosbech, A., Boertmann, D. ve Wegeberg, S. (2012). *Environmental Oil Spill Sensitivity Atlas for The West Greenland (68 Deg.-72 Deg. N) Coastal Zone.* Denmark: Aarhus University Danish Centre for Environment and Energy (DCE).

Coelho, G. M., Aurand, D. V., Staves, J., Miller, E. ve Slaughter, A. (2015). *Net Environmental Benefit Analysis in Support of The Shelburne Basin Venture Exploration Drilling Project.* Canada: HDR.

Coelho, G., Clark, J. ve Aurand, D. (2013). Toxicity Testing of Dispersed Oil Requires Adherence to Standardized Protocols to Assess Potential Real-World Effects. *Environmental Pollution*. 177: 185-188.

Çokluk, Ö., Yılmaz, K. ve Oğuz, E. (2011). Nitel Bir Görüşme Yöntemi: Odak Grup

Görüşmesi. *Kuramsal Eğitimbilim*. 4(1): 95-107.

Cortes, U., Sànchez-Marrè, M., Ceccaroni, L. ve Poch, M. (2000). Artificial Intelligence and Environmental Decision Support Systems. *Applied Intelligence*. 13(1): 77-91.

Court, C. D., Hodges, A. W., Clouser, R. L. ve Larkin, S. L. (2017). Economic Impacts of Cancelled Recreational Trips to Northwest Florida after The Deepwater Horizon Oil Spill. *Regional Science Policy & Practice*. 9(3): 143-164.

D'Affonseca, F. M., Reis, F. A. G. V., dos Santos Corrêa, C. V., Wieczorek, A., do Carmo Giordano, L., Marques, M. L. ve Riedel, P. S. (2023). Environmental Sensitivity Index Maps to Manage Oil Spill Risks: A Review and Perspectives. *Ocean & Coastal Management*. 239, 106590.

Dave, D. ve Ghaly, A. E. (2011). Remediation Technologies for Marine Oil Spills: A Critical Review and Comparative Analysis. *American Journal of Environmental Sciences*. 7(5): 423-440.

Davidson, W. F., Lee, K. ve Cogswell, A. (2008). *Oil Spill Response: A Global Perspective*. Germany: Springer Science & Business Media.

Davies, A. J. ve Hope, M. J. (2015). Bayesian Inference-Based Environmental Decision Support Systems for Oil Spill Response Strategy Selection. *Marine Pollution Bulletin*. 96(1-2): 87-102.

De Andrade, M. M. N., Szlafsztein, C. F., Souza-Filho, P. W. M., dos Reis Araújo, A. ve Gomes, M. K. T. (2010). A Socioeconomic and Natural Vulnerability Index for Oil Spills in An Amazonian Harbor: A Case Study Using GIS and Remote Sensing. *Journal of Environmental Management*. 91(10): 1972-1980.

De Melo, A. P. Z., Hoff, R. B., Molognoni, L., de Oliveira, T., Daguer, H. ve Barreto,

P. L. M. (2022). Disasters With Oil Spills in The Oceans: Impacts on Food Safety and Analytical Control Methods. *Food Research International*. 111366.

De Oliveira Estevo, M., Lopes, P. F., de Oliveira Júnior, J. G. C., Junqueira, A. B., de Oliveira Santos, A. P., da Silva Lima, J. A., Malhado Mendes, A.C., Ladle, R.J. ve Campos-Silva, J. V. (2021). Immediate Social and Economic Impacts of a Major Oil Spill on Brazilian Coastal Fishing Communities. *Marine Pollution Bulletin*. 164, 111984.

Del Campo, A. G. (2017). Mapping Environmental Sensitivity: A Systematic Online Approach to Support Environmental Assessment and Planning. *Environmental Impact Assessment Review*. 66: 86-98.

DGM (Denizcilik Genel Müdürlüğü). (2022). *Aliağa Liman Bölgesi Liman Bazında Yük Türüne Göre Elleçleme Verileri (2015-2021)*.https://denizcilikistatistikleri.uab.gov.tr/yuk-istatistikleri (12.05.2023).

Dhaka, A. ve Chattopadhyay, P. (2021). A Review on Physical Remediation Techniques for Treatment of Marine Oil Spills. *Journal of Environmental Management*. 288, 112428.

Díez, S., Jover, E., Bayona, J. M. ve Albaigés, J. (2007). Prestige Oil Spill. III. Fate of A Heavy Oil in The Marine Environment. *Environmental Science & Technology*. 41(9): 3075-3082.

Dikerler, T. (2007). *Environmental Sensitivity Index and A Case Study: Bosphorus*. (Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Doan, Q. T. (2016). Establishing ESI Maps for Coastal Shoreline İn Cat Ba Island, Vietnam. In *Proceeding of International Symposium on Geo-Engineering* (pp. 173-178). Vietnam: Hanoi.

Du, H., Yao, D., Li, S. ve Zhang, Q. (2022). Ultrasonic Measurement on the Thickness of Oil Slick Using the Remotely Operated Vehicle (ROV) as a Platform. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*. 72: 1-10.

Efroymson, R. A., Nicolette, J. P. ve Suter, G. W. (2004). A Framework for Net Environmental Benefit Analysis for Remediation or Restoration of Contaminated Sites. *Environmental Management*. 34(3): 315-331.

Egan, A. L., Chilvers, B. L. ve Cassells, S. (2021). Does Size Matter? The Direct Economic Costs Associated with The MV Rena Oil Spill. *Marine Pollution Bulletin*. 173, 112978.

EIA (Energy Information Administration), (2022). *Oil Transportation and Major Chokepoints*. https://porteconomicsmanagement.org/pemp/contents/part8/ports-and-energy/oil-transportati on-and-major-chokepoints/ (11.02.2023).

Ekperusi, A. O., Onyena, A. P., Akpudo, M. Y., Peter, C. C., Akpoduado, C. O. ve Ekperusi, O. H. (2019). In-Situ Burning as An Oil Spill Control Measure and Its Effect on The Environment. *SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition*. Nigeria.

Eliopoulou, E. ve Papanikolaou, A. (2007). Casualty Analysis of Large Tankers. *Journal of Marine Science and Technology*. 12(4): 240-250.

Elmahdi, A. ve McFarlane, D. (2009). A Decision Support System for A Groundwater System Case Study: Gnangara Sustainability Strategy Western Australia. In *18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on Modelling and Simulation* (pp. 3803-3809). Cairns, Australia: Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand and International Association for Mathematics and Computers in Simulation.

Erden, T. ve İpbüker, C. (2003). Karar Destek Sistemi Olarak Mekânsal Analiz ve

CBS. *Harita Dergisi*. 130: 1-11.

Eroğlu, İ. ve Bozyiğit, R. (2013). Aliağa Limanı. *Marmara Coğrafya Dergisi*. 28: 81-116.

Eroğlu, İ. ve Bozyiğit, R. (2015). Aliağa İlçesindeki (İzmir) Çevre Sorunlarının Coğrafi Açıdan Değerlendirilmesi. *Coğrafyacılar Derneği Uluslararası Kongresi Bildiriler Kitabı* (ss.184-194). Ankara. 21-23 Mayıs 2015.

Esler, D., Ballachey, B. E., Matkin, C., Cushing, D., Kaler, R., Bodkin, J., Monson, D., Esslinger, G. ve Kloecker, K. (2018). Timelines and Mechanisms of Wildlife Population Recovery Following the Exxon Valdez Oil Spill. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 147: 36-42.

Etkin, D. S. (1999). Estimating Cleanup Costs for Oil Spills. In *International Oil Spill Conference* (1999: 1, pp. 35-39). American Petroleum Institute.

Exxon Mobil, (2014). *Oil Spill Response Field Manuel*. USA: HBP.

Federici, C. ve Mintz, J. (2014). *Oil Properties and Their Impact on Spill Response Options*. USA: CAN Analysis and Solutions

Fei, Y., Chen, J., Wan, Z., Shu, Y., Xu, L., Li, H., Bai, Y. ve Zheng, T. (2020). Crude Oil Maritime Transportation: Market Fluctuation Characteristics and The Impact of Critical Events. *Energy Reports*. 6: 518-529.

Fetissov, M., Aps, R., Goerlandt, F., Jänes, H., Kotta, J., Kujala, P. ve Szava-Kovats, R. (2021). Next-Generation Smart Response Web (NG-SRW): An Operational Spatial Decision Support System for Maritime Oil Spill Emergency Response in The Gulf of Finland (Baltic Sea). *Sustainability*. 13(12): 6585.

Fingas, M. (2012). *The Basics of Oil Spill Cleanup*. USA: CRC Press.

Fingas, M. (2014). Introduction to Spill Modeling. *Handbook of Oil Spill Science and Technology* (ss. 285–300). USA: Wiley Press.

Fingas, M. (2016). *Oil Spill Science and Technology*. USA: Gulf Professional Publishing.

Foley, P., Caetano, C., Bly, L., Nicoll, A., Jenkins, R., Ming, L. N., Heng, T. ve Keane, A. (2021). The Evolution and Implementation of Tiered Preparedness & Response. In *International Oil Spill Conference* (2021: 1, p. 688567). USA.

French-McCay, D., Crowley, D. ve McStay, L. (2019). Sensitivity of Modeled Oil Fate and Exposure from A Subsea Blowout to Oil Droplet Sizes, Depth, Dispersant Use, and Degradation Rates. *Marine Pollution Bulletin*. 146: 779-793.

French-McCay, D., Crowley, D. ve Rowe, J. (2017). Evaluation of Oil Fate and Exposure from A Deep-Water Blowout with And Without Subsea Dispersant Injection Treatment as Well as Traditional Response Activities. In *International Oil Spill Conference Proceedings* (2017: 1, pp. 362-382). USA.

French-McCay, D., Crowley, D., Rowe, J. J., Bock, M., Robinson, H., Wenning, R., Walker, A.H., Joeckel, J., Nedwed, T.J. ve Parkerton, T. F. (2018). Comparative Risk Assessment of Spill Response Options for A Deepwater Oil Well Blowout: Part 1. Oil Spill Modeling. *Marine Pollution Bulletin*. 133: 1001-1015.

French-McCay, D., Crowley, D., Rowe, J., Bock, M., Robinson, H., Wenning, R. ve Walker, A. H. (2021). Quantified Exposures from Potential Deepwater Releases for Comparative Risk Assessment of Oil Spill Response Options Including Dispersant Use. In *International Oil Spill Conference* (2021: 1, p. 688274). USA.

Friant, S. (2007). Net Environmental Benefit Analysis, A Framework for Defining Risk Management Options. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 13: 699-701.

Frid, C. L. ve Caswell, B. A. (2017). *Marine Pollution*. England: Oxford University Press.

Fritt-Rasmussen, J. (2010). *In Situ Burning of Arctic Marine Oil Spills: Ignitability of Various Oil Types Weathered at Different Ice Conditions. A Combined Laboratory and Field Study*. Denmark: Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering.

Fritt-Rasmussen, J., Wegeberg, S., Boertmann, D., Clausen, D. S., Johansen, K. L. ve Mosbech, A. (2013). *Net Environmental Benefit Analysis as a Decision Tool for Greenlandic Oil Spill*. Denmark: Danish Centre for Environment and Energy (DCE) and Greenland Institute of Natural Resources (GINR).

Galieriková, A. ve Materna, M. (2020). World Seaborne Trade with Oil: One of Main Cause for Oil Spills?. *Transportation Research Procedia*. 44: 297-304.

Garcia, D. A., Bruschi, D., Cumo, F. ve Gugliermetti, F. (2013). The Oil Spill Hazard Index (OSHI) Elaboration. An Oil Spill Hazard Assessment Concerning Italian Hydrocarbons Maritime Traffic. *Ocean & Coastal Management*. 80: 1-11.

Garza-Gil, M. D., Surís-Regueiro, J. C. ve Varela-Lafuente, M. M. (2006). Assessment of Economic Damages from The Prestige Oil Spill. *Marine Policy*. 30(5): 544-551.

Gkonis, K. G., Ventikos, N. P. ve Psaraftis, H. N. (2007). A Decision-Making Model for Oil Spill Response at The Tactical Level. In International Symposium on Maritime Safety, Security, And Environmental Protection. In *International Symposium on Maritime Safety, Security and Environmental Protection.* Greece: National Technical University of Athens.

Giziakis, K., Kanellopoulos, N. ve Gialoutsi, S. (2013). Spatial Analysis of Oil Spills from Marine Accidents in Greek Waters. *SPOUDAI-Journal of Economics and Business*. 63(3-4): 60-74.

Goerlandt, F. ve Montewka, J. (2014). A Probabilistic Model for Accidental Cargo Oil Outflow from Product Tankers in A Ship–Ship Collision. *Marine Pollution Bulletin*. 79(1-2): 130-144.

Goerlandt, F. ve Montewka, J. (2015). A Framework for Risk Analysis of Maritime Transportation Systems: A Case Study for Oil Spill from Tankers in A Ship–Ship Collision. *Safety Science*. 76: 42-66.

Gong, J. ve Pang, L. (2019). Application Of Marine Oil Spill Model Based on Monte Carlo Method in Laoshan Bay. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (371: 4, p. 042003). IOP Publishing.

Gong, Y., Zhao, X., Cai, Z., O'reilly, S. E., Hao, X. ve Zhao, D. (2014). A Review of Oil, Dispersed Oil and Sediment Interactions in The Aquatic Environment: Influence on The Fate, Transport and Remediation of Oil Spills. *Marine Pollution Bulletin*. 79(1-2): 16-33.

Grattan, L. M., Roberts, S., Mahan Jr, W. T., McLaughlin, P. K., Otwell, W. S. ve Morris Jr, J. G. (2011). The Early Psychological Impacts of The Deepwater Horizon Oil Spill on Florida and Alabama Communities. *Environmental Health Perspectives*. 119(6): 838-843.

González, A., Kelly, C. ve Rymszewicz, A. (2020). Advancements in Web- Mapping Tools for Land Use and Marine Spatial Planning. *Transactions in GIS*. 24(2): 253-267.

Grote, M., van Bernem, C., Böhme, B., Callies, U., Calvez, I., Christie, B., Colcomb, K. Damian, H.P., Farke, H., Grabsch, C., Hunt, A., Hofer, T., Knaack, J., Kraus, U., Le Floch, S., Le Lann, G., Leuchs, H., Nagel, A., Nies, H. ve Wahrendorf, D. S. (2018). The Potential for Dispersant Use as A Maritime Oil Spill Response Measure in German Waters. *Marine Pollution Bulletin*. 129(2): 623-632.

Grubesic, T. H., Nelson, J. R. ve Wei, R. (2019). A Strategic Planning Approach for

Protecting Environmentally Sensitive Coastlines from Oil Spills: Allocating Response Resources on A Limited Budget. *Marine Policy*. 108, 103549.

Guidi, G., Sliskovic, M., Violante, A. C. ve Vukic, L. (2016). Best Available Techniques (Bats) for Oil Spill Response in The Mediterranean Sea: Calm Sea and Presence of Economic Activities. *Environmental Science and Pollution Research*. 23(2): 1944-1953.

Guidi, G., Sliskovic, M., Violante, A. C. ve Vukic, L. (2020). Application of The Analytic Hierarchy Process (AHP) to Select the Best Oil Spill Cleanup Method in Marine Protected Areas for Calm Sea Condition. *Global NEST Journal*. 22(3): 354-360.

Haridharan, N., Sundar, D., Kurrupasamy, L., Anandan, S., Liu, C. H. ve Wu, J. J. (2022). Oil Spills Adsorption and Cleanup by Polymeric Materials: A Review. *Polymers for Advanced Technologies*. 33(5): 1353-1384.

Gundlach, E. R. ve Hayes, M. O. (1978). Vulnerability of Coastal Environments to Oil Spill Impacts. *Marine Technology Society Journal*. 12(4): 18-27.

Guo, W. (2017). Development of A Statistical Oil Spill Model for Risk Assessment. *Environmental Pollution*. 230: 945-953.

Guo, W. J. ve Wang, Y. X. (2009). A Numerical Oil Spill Model Based on A Hybrid Method. *Marine Pollution Bulletin*. 58(5): 726-734.

Haritash, A. K. ve Kaushik, C. P. (2009). Biodegradation Aspects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHS): A Review. *Journal of Hazardous Materials*. 169(1-3): 1-15.

Harwell, M. A. ve Gentile, J. H. (2006). Ecological Significance of Residual Exposures and Effects from The Exxon Valdez Oil Spill. *Integrated Environmental*

Assessment and Management: An International Journal. 2(3): 204-246.

Harzl, V. ve Pickl, M. (2012). The Future of Offshore Oil Drilling—An Evaluation of The Economic, Environmental, and Political Consequences of The Deepwater Horizon Incident. *Energy & Environment*. 23(5): 757-770.

Hazra. C., Kundu, D. ve Chaudhari, A. (2012). Biosurfactant-Assisted Bioaugmentation in Bioremediation. Microorganisms In *Environmental Management: Microbes and Environment* (pp. 631–664). USA: Springer.

Herrera-Franco, G., Montalván, F. J., Velastegui-Montoya, A. ve Caicedo-Potosí, J. (2022). Vulnerability in a Populated Coastal Zone and Its Influence by Oil Wells in Santa Elena, Ecuador. *Resources*. 11(8): 70.

Hodges, A. W., Coffey, K., Ainsworth, C. H. ve Yoskowitz, D. (2020). Effects of the Deepwater Horizon Oil Spill on Human Communities: Catch and Economic Impacts. In *Deep Oil Spills* (pp. 569-580). USA: Springer, Cham.

Hodne, K. (2018). *Quantification of Effect of Oil Spill Response Systems*. (Master's thesis). Norway: University of Stavanger.

Hong, S., Khim, J. S., Ryu, J., Kang, S. G., Shim, W. J. ve Yim, U. H. (2014). Environmental and Ecological Effects and Recoveries After Five Years of The Hebei Spirit Oil Spill, Taean, Korea. *Ocean & Coastal Management*. 102: 522-532.

Hu, G., Mohammadiun, S., Gharahbagh, A. A., Li, J., Hewage, K. ve Sadiq, R. (2020). Selection of Oil Spill Response Method in Arctic Offshore Waters: A Fuzzy Decision Tree Based Framework. *Marine Pollution Bulletin*. 161, 111705.

Hou, X., Hodges, B. R., Feng, D. ve Liu, Q. (2017). Uncertainty Quantification and Reliability Assessment in Operational Oil Spill Forecast Modeling System. *Marine Pollution Bulletin*. 116(1-2): 420-433.

Huang, D. Z., Hu, H. ve Li, Y. Z. (2013). Spatial Analysis of Maritime Accidents Using the Geographic Information System. *Transportation Research Record*. 2326(1): 39-44.

Hung, P. V., Kim, K. S., Tien, L. Q. ve Cuong, N. M. (2018). Distribution of Oil Spill Response Capability Through Considering Probable Incident, Environmental Sensitivity, and Geographical Weather in Vietnamese Waters. *Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping*. 2(1): 31-41.

Hur, J. Y. (2012). Disaster Management from The Perspective of Governance: Case Study of The Hebei Spirit Oil Spill. *Disaster Prevention and Management*. 21(3): 288-298.

Iazeolla, G., Accornero, M., Giacchino, C., Mariani, M., Cassina, L., Napoli, E. ve Buffagni, M. (2017). Net Environmental Benefit Analysis: A Tool to Inform Oil Spill Contingency Planning. In *Offshore Mediterranean Conference and Exhibition*. OnePetro.

IEA (International Energy Agency). (2021). *Turkey 2021 - Energy Policy Review*. https://iea.blob.core.windows.net/assets/cc499a7b-b72a-466c-88de-d792a9daff44/Turkey_20 21_Energy_Policy_Review.pdf (11.02.2023).

IEA (International Energy Agency). (2022). *World Energy Outlook*. https://www.iea .org/reports/world-energy-outlook-2022 (11.02.2023).

Ifelebuegu, A. O., Ukpebor, J. E., Ahukannah, A. U., Nnadi, E. O. ve Theophilus, S. C. (2017). Environmental Effects of Crude Oil Spill on The Physicochemical and Hydrobiological Characteristics of The Nun River, Niger Delta. *Environmental Monitoring and Assessment*. 189(4): 1-12.

Inan, A., ve Balas, L. (2010a). An Application of 2D Oil Spill Model to Mersin Coast. *WSEAS Transactions on Environment and Development*. 6(5): 345-354.

Inan, A. ve Balas, L. (2010b). Numerical Modelling on Oil Spill. *5th IASME/WSEAS International Conference on Water Resources, Hydraulics and Hydrology/4th IASME/WSEAS International Conference on Geology and Seismology*. Cambridge, Canada. 23 - 25 Şubat 2010.

Inkley, D., Gonzalez-Rothi Kronenthal, S. ve McCormick, L. (2013). *Restoring A Degraded Gulf of Mexico: Wildlife and Wetlands Three Years into The Gulf Oil Disaster*. USA: NOAA Report of the National Wildlife Federation.

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). (2012). *Sensitivity Mapping for Oil Spill Response*. https://www.ipieca.org/resources/sensitivity-mapping-for-oil-spill-response (09.12.2022).

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). (2005a). *Action Against Oil Pollution*. https://www.cid.csic.es/ampera/images/reports/I (15.03.2023).

IPIECA (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association). (2005b*). Choosing Spill Response Options to Minimize Damage Net Environmental Benefit Analysis*. https://www.amn.pt/DCPM/Documents/NEBA.pdf (15.03.2023).

IPIECA-API-IOGP (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association -American Petroleum Institute-International Oil and Gas Producers). (2018). *Guidelines on Implementing Spill Impact Mitigation Assessment (SIMA)*. https://www.ipieca.org/resources/awareness-briefing/guidelines-on-implementing-spill-impac t-mitigation-assessment-sima/ (08.12.2022).

IPIECA-IOGP (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association -International Oil and Gas Producers). (2015a). *Response Strategy Development Using Net Environmental Benefit Analysis (NEBA)*. https://www.ipieca.org/resources/good-practice/response-strategy-development-using-net-environmental-benefit-analysis-neba/ (01.12.2022).

IPIECA-IOGP (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association - International Oil and Gas Producers). (2015b). *A Guide to Shoreline Clean-Up Techniques*. https://www.ipieca.org/resources/good-practice/a-guide-to-shoreline-clean-up-techniques/ (09.12.2022).

IPIECA-IOGP (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association -International Oil and Gas Producers). (2013). *Oil Spill Risk Assessment and Response Planning for Offshore Installations*. https://www.ipieca.org/resources/awareness-briefing/oil-spill-risk-assessment-and-response-planning-offshore-installations/ (09.12.2 022).

IPIECA-IOGP (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association -International Oil and Gas Producers). (2015c). *Contingency Planning for Oil Spills on Water*. https://www.ipieca.org/resources/contingency-planning-for-oil-spills-on-water (19.12.2022).

IPIECA-IOGP (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association -International Oil and Gas Producers) (2015d). *Key Principles for The Protection, Care and Rehabilitation of Oiled Wildlife*. https://www.ipieca.org/resources/key-principles-for-the-protection-care-andrehabilitation-of-oiled-wildlife (09.03.2023).

IPIECA-IOGP (International Petroleum Industry Environmental Conservation Association -International Oil and Gas Producers). (2019). *Oil Spill Preparedness and Response: An Introduction*. https://www.ipieca.org/resources/good-practice/oil-spill-preparedness-and-respo nse-an-introduction-2019/ (09.12.2022).

ITOPF (The International Tanker Owners Pollution Federation Limited). (2011). *Denizdeki Petrol Döküntüleri için Acil Durum Planlaması*. https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/TIPS_TAPS_new/TIP_16_2011_tur.pdf (15.03.2023).

ITOPF (The International Tanker Owners Pollution Federation Limited). (2014a). *Recognition of Oil on Shorelines*. https://www.itopf.org/knowledge-resources /documents-guides/technical-information-papers/ (08.04.2023).

ITOPF (The International Tanker Owners Pollution Federation Limited). (2014b). *Use of Dispersants to Treat Oil Spills*. https://www.itopf.org/knowledge-resource s/documents-guides/tip-04-use-of-dispersants-to-treat-oil-spills/ (08.04.2023).

ITOPF (The International Tanker Owners Pollution Federation Limited). (2018). *Oil Tanker Spill Statistics 2018*. https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-stat istics/statistics/ (08.10.2022).

ITOPF (The International Tanker Owners Pollution Federation Limited). (2021). *Oil Tanker Spill Statistics 2021*. https://www.itopf.org/knowledge-resources/datas tatistics/statistic s/, (09.11.2022).

ITOPF (The International Tanker Owners Pollution Federation Limited). (2022). *Oil Tanker Spill Statistics 2022*. https://www.itopf.org/knowledge-resources/data-stat istics/statistics/ (15.11.2022).

Ivanov, A. Y. ve Zatyagalova, V. V. (2008). A GIS Approach to Mapping Oil Spills in A Marine Environment. *International Journal of Remote Sensing*. 29(21): 6297-6313.

Ivorra, B., Gomez, S., Carrera, J. ve Ramos, A. M. (2021). A Compositional Eulerian Approach for Modeling Oil Spills in The Sea. *Ocean Engineering*. 242, 110096.

Ivshina, I. B., Kuyukina, M. S., Krivoruchko, A. V., Elkin, A. A., Makarov, S. O., Cunningham, C. J. ve Philp, J. C. (2015). Oil Spill Problems and Sustainable Response Strategies Through New Technologies. *Environmental Science: Processes & Impacts*. 17(7): 1201-1219.

IZKA (İzmir Kalkınma Ajansı). (2022a). *İzmir Limanları Mevcut Durum Analizi ve Gelişim Perspektifi*. https://www.kalkinmakutuphanesi.gov.tr/assets/upload/dosyalar/zmir-limanlari-mevcut-durum-ve-gelisim-analizleri.pdf (11.02.2023).

IZKA (İzmir Kalkınma Ajansı). (2022b). *Aliağa Limanları Arka Alanı Ulaşım ve Lojistik Etüdü ile Müdahale Perspektifi Mevcut Durum Analizi*. https://izka.org.tr/aliaga-limanlari-arka-alani-ulasim-ve-lojistik-etudu-ile-mudahale-perspektifi-yayinda/ (12.05.2023).

Jensen, J. R., Halls, J. N. ve Michel, J. (1998). A Systems Approach to Environmental Sensitivity Index (ESI) Mapping for Oil Spill Contingency Planning and Response. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 64: 1003-1014.

Johannsdottir, L. ve Cook, D. (2019). Systemic Risk of Maritime-Related Oil Spills Viewed from An Arctic and Insurance Perspective. *Ocean & Coastal Management*. 179, 104853.

Jørgensen, K. S., Kreutzer, A., Lehtonen, K. K., Kankaanpää, H., Rytkönen, J., Wegeberg, S. ve Wang, F. (2019). The EU Horizon 2020 Project GRACE: Integrated Oil Spill Response Actions and Environmental Effects. *Environmental Sciences Europe*. 31(1): 1-10.

Kan, E. (2019). *Gemi Donatanlarının Zabitan Seçimlerinde Karar Verme Sürecine İlişkin Model Geliştirme*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Kang, J., Zhang, J., & Bai, Y. (2016). Modeling and Evaluation of The Oil-Spill Emergency Response Capability Based on Linguistic Variables. *Marine Pollution Bulletin*. 113(1-2): 293–301.

Kankamnerd, J., Chonchirdsin, S., Chanvanichskul, C. ve Phanichtriphop, P. (2018). NEBA Application for Offshore Subsea Pipeline Decommissioning. *SPE Symposium-*

Decommissioning and Abandonment. Malaysia.

Kankara, R. S., Arockiaraj, S. ve Prabhu, K. (2016). Environmental Sensitivity Mapping and Risk Assessment for Oil Spill Along the Chennai Coast in India. *Marine Pollution Bulletin*. 106(1-2): 95-103.

Keramea, P., Spanoudaki, K., Zodiatis, G., Gikas, G.Sylaios, G. (2021). Oil Spill Modeling: A Critical Review on Current Trends, Perspectives, and Challenges. *Journal Of Marine Science and Engineering*. 9(2): 181.

Keramitsoglou, I., Cartalis, C. ve Kassomenos, P. (2003). Decision Support System for Managing Oil Spill Events. *Environmental Management*. 32: 290-298.

Kim, D., Yang, G. G., Min, S. ve Koh, C. H. (2014). Social and Ecological Impacts of The Hebei Spirit Oil Spill on The West Coast of Korea: Implications for Compensation and Recovery. *Ocean & Coastal Management*. 102: 533-544.

King, T. L., Robinson, B., Cui, F., Boufadel, M., Lee, K. ve Clyburne, J. A. (2017). An Oil Spill Decision Matrix in Response to Surface Spills of Various Bitumen Blends. *Environmental Science: Processes & Impacts*. 19(7): 928-938.

Kingston, P. F. (2002). Long-Term Environmental Impact of Oil Spills. *Spill Science & Technology Bulletin*. 7(1-2): 53-61.

Koops, W., Tamis, J. E. ve Jongbloed, R. H. (2004). Chemicals in Combating Oil Spills. In *Proceedings of The Interspill* (pp. 15-18). Norway: Trondheim.

Koubrak, O. (2017). Responding to Oil Spills while Protecting the Marine Environment: Review of Product Authorization and Net Environmental Benefit Analysis in the IMO Dispersant Use Guidelines. *Ocean Yearbook Online*. 31(1): 289-312.

Krohling, R. A. ve Campanharo, V. C. (2011). Fuzzy TOPSIS for Group Decision Making: A Case Study for Accidents with Oil Spill in The Sea. *Expert Systems with Applications*. 38(4): 4190-4197.

Krohling, R. A. ve Rigo, D. (2009). Fuzzy Group Decision Making for Management of Oil Spill Responses. In *Applications of Soft Computing* (pp. 3-12). Germany: Springer.

Kulekeyev, Z. A. ve Nurtayeva, G. G. (2020). Net Environmental Benefit Analysis as An Instrument for Applied Decisions. *Kazakhstan Journal for Oil & Gas Industry*. 2(1): 93-107.

Laffon, B., Aguilera, F., Ríos-Vázquez, J., García-Lestón, J., Fuchs, D., Valdiglesias, V. ve Pásaro, E. (2013). Endocrine and Immunological Parameters in Individuals Involved in Prestige Spill Cleanup Tasks Seven Years After the Exposure. *Environment International*. 59: 103-111.

Lan, D., Liang, B., Bao, C., Ma, M., Xu, Y. ve Yu, C. (2015). Marine Oil Spill Risk Mapping for Accidental Pollution and Its Application in A Coastal City. *Marine Pollution Bulletin*. 96(1-2): 220-225.

Lazuga, K., Gucma, L. ve Perkovic, M. (2013). M/T "Baltic Carrier" Accident. The Reconstruction of Oil Spill with PISCES II Simulator Application. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*. 36(108): 110-115.

Le Floch, S., Dussauze, M., Merlin, F. X., Claireaux, G., Theron, M., Le Maire, P. ve Nicolas-Kopec, A. (2014). DISCOBIOL: Assessment of The Impact of Dispersant Use for Oil Spill Response in Coastal or Estuarine Areas. In *International Oil Spill Conference Proceedings* (2014:1, pp. 491-503). American Petroleum Institute.

Lee, K., Chen, B., Boufadel, M., Swanson, S. M., Hodson, P. V., Foght, J. ve Venosa, A. D. (2016). *Behaviour and Environmental Impacts of Crude Oil Released into*

Aqueous Environments. Canada: Royal Society of Canada for the Canadian Energy Pipeline Association and the Canadian Association of Petroleum Producers.

Lee, M. ve Jung, J. Y. (2013). Risk Assessment and National Measure Plan for Oil and HNS Spill Accidents Near Korea. *Marine Pollution Bulletin*. 73(1): 339-344.

Lee, M. ve Jung, J. Y. (2015). Pollution Risk Assessment of Oil Spill Accidents in Garorim Bay of Korea. *Marine Pollution Bulletin*. 100(1): 297-303.

Leschine, T. M., Pavia, R., Walker, A. H., Bostrom, A. ve Starbird, K. (2015). What-If Scenario Modeling to Support Oil Spill Preparedness and Response Decision-Making. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 21(3): 646-666.

Lewis, A. ve Prince, R. C. (2018). Integrating Dispersants in Oil Spill Response in Arctic and Other Icy Environments. *Environmental Science & Technology*. 52(11): 6098-6112.

Li, P., Cai, Q., Lin, W., Chen, B. ve Zhang, B. (2016). Offshore Oil Spill Response Practices and Emerging Challenges. *Marine Pollution Bulletin*. 110(1): 6-27.

Li, P., Chen, B., Zhang, B., Jing, L. ve Zheng, J. (2012). A Multiple-Stage Simulation-Based Mixed Integer Nonlinear Programming Approach for Supporting Offshore Oil Spill Recovery with Weathering Processes. *The Journal of Ocean Technology*. 7(4): 87-105.

Li, P., Chen, B., Zou, S., Lu, Z. ve Zhang, Z. (2021). DSS-OSM: An Integrated Decision Support System for Offshore Oil Spill Management. *Water*. 14(1): 20.

Lichtveld, M., Sherchan, S., Gam, K. B., Kwok, R. K., Mundorf, C., Shankar, A. ve Soares, L. (2016). The Deepwater Horizon Oil Spill Through the Lens of Human Health and The Ecosystem. *Current Environmental Health Reports*. 3(4): 370-378.

Lins-de-Barros, F. M. (2017). Integrated Coastal Vulnerability Assessment: A Methodology for Coastal Cities Management Integrating Socioeconomic, Physical and Environmental Dimensions - Case Study of Região dos Lagos, Rio de Janeiro, Brazil. *Ocean & Coastal Management*. 149: 1-11.

Liu, X. ve Wirtz, K. W. (2006). Consensus Oriented Fuzzified Decision Support for Oil Spill Contingency Management. *Journal of Hazardous Materials*. 134(1-3): 27-35.

Liu, X. ve Wirtz, K. W. (2007). Decision Making of Oil Spill Contingency Options with Fuzzy Comprehensive Evaluation. *Water Resources Management*. 21(4): 663-676.

Liubartseva, S., Coppini, G., Pinardi, N., De Dominicis, M., Lecci, R., Turrisi, G. ve Palermo, F. (2016). Decision Support System for Emergency Management of Oil Spill Accidents in The Mediterranean Sea. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 16(8): 2009-2020.

Loureiro, M. L., Loomis, J. B. ve Vázquez, M. X. (2009). Economic Valuation of Environmental Damages due to The Prestige Oil Spill in Spain. *Environmental and Resource Economics*. 44(4): 537-553.

Lu, L., Goerlandt, F., Valdez Banda, O. A., Kujala, P., Höglund, A. ve Arneborg, L. (2019). A Bayesian Network Risk Model for Assessing Oil Spill Recovery Effectiveness in The Ice-Covered Northern Baltic Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 139: 440–458.

Mackay, D., Paterson, S. ve Trudel, K. (1980). *A Mathematical Model of Oil Spill Behaviour*. Canada: Environment Canada, Environmental Protection Service, Environmental Impact Control Directorate, Environmental Emergency Branch, Research and Development Division.

Maguire, D. J. (1991). An Overview and Definition of GIS. *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. 1(1), 9-20.

Mapelli, F., Scoma, A., Michoud, G., Aulenta, F., Boon, N., Borin, S. ve Daffonchio, D. (2017). Biotechnologies for Marine Oil Spill Cleanup: Indissoluble Ties with Microorganisms. *Trends in Biotechnology*. 35(9): 860-870.

Martins, I. D., Moraes, F. F., Távora, G., Soares, H. L. F., Infante, C. E., Arruda, E. F. ve Lourenço, M. I. (2020). A Review of The Multicriteria Decision Analysis Applied to Oil and Gas Decommissioning Problems. *Ocean & Coastal Management*. 184, 105000.

Martins, V. N., Pires, R. ve Cabral, P. (2012). Modelling of Coastal Vulnerability in The Stretch Between the Beaches of Porto De Mós And Falésia, Algarve (Portugal). *Journal of Coastal Conservation*. 16(4): 503-510.

Matthies, M., Giupponi, C. ve Ostendorf, B. (2007). Environmental Decision Support Systems: Current Issues, Methods, and Tools. *Environmental Modelling & Software*. 22(2): 123-127.

Maughan, J. T. (2013). *Environmental Impact Analysis: Process and Methods*. CRC Press.

McCay, D. F. ve Graham, E. (2014). Quantifying Tradeoffs–Net Environmental Benefits of Dispersant Use. In *International Oil Spill Conference Proceedings* (2014: 1, pp. 762-775). American Petroleum Institute.

McCoy, M. A. ve Salerno, J. A. (2010). *Assessing The Effects of The Gulf of Mexico Oil Spill on Human Health.* Washington, DC: The National Academy of Sciences.

McIntosh, B. S., Ascough II, J. C., Twery, M., Chew, J., Elmahdi, A., Haase, D. ve Voinov, A. (2011). Environmental Decision Support Systems (EDSS) Development–

Challenges and Best Practices. *Environmental Modelling & Software*. 26(12): 1389-1402.

Michel, J., Hayes, M. O. ve Brown, P. J. (1978). Application of An Oil Spill Vulnerability Index to The Shoreline of Lower Cook Inlet, Alaska. *Environmental Geology*. 2(2): 107-117.

Michel, J., Owens, E. H., Zengel, S., Graham, A., Nixon, Z., Allard, T. ve Taylor, E. (2013). Extent and Degree of Shoreline Oiling: Deepwater Horizon Oil Spill, Gulf of Mexico, USA. *Plos One*. 8(6), e65087.

Mishra, A. K. ve Kumar, G. S. (2015). Weathering of Oil Spill: Modeling and Analysis. *Aquatic Procedia*. 4: 435-442.

Mishra, D. R., Cho, H. J., Ghosh, S., Fox, A., Downs, C., Merani, P. B. ve Mishra, S. (2012). Post-Spill State of The Marsh: Remote Estimation of The Ecological Impact of The Gulf of Mexico Oil Spill on Louisiana Salt Marshes. *Remote Sensing of Environment*. 118: 176-185.

Mishra, S., Chauhan, G., Verma, S. ve Singh, U. (2022). The Emergence of Nanotechnology in Mitigating Petroleum Oil Spills. *Marine Pollution Bulletin*. 178, 113609.

Mohammadiun, S., Hu, G., Alavi Gharahbagh, A., Mirshahi, R., Li, J., Hewage, K. ve Sadiq, R. (2020). Optimization of Integrated Fuzzy Decision Tree and Regression Models for Selection of Oil Spill Response Method in The Arctic. *Knowledge-Based Systems*. 106676.

Mohammadiun, S., Hu, G., Gharahbagh, A. A., Li, J., Hewage, K. ve Sadiq, R. (2021). Intelligent Computational Techniques in Marine Oil Spill Management: A Critical Review. *Journal of Hazardous Materials*. 419, 126425.

Mokhtari, S., Hosseini, S. M., Danehkar, A., Azad, M. T., Kadlec, J., Jolma, A. ve Naimi, B. (2015). Inferring Spatial Distribution of Oil Spill Risks from Proxies: Case Study in The North of The Persian Gulf. *Ocean & Coastal Management*. 116: 504-511.

Monteiro, C. B., Oleinik, P. H., Leal, T. F., Marques, W. C., Nicolodi, J. L. ve Lopes, B. D. C. F. L. (2020). Integrated Environmental Vulnerability to Oil Spills in Sensitive Areas. *Environmental Pollution*. 267, 115238.

Moroni, D., Pieri, G. ve Tampucci, M. (2019). Environmental Decision Support Systems for Monitoring Small Scale Oil Spills: Existing Solutions, Best Practices and Current Challenges. *Journal of Marine Science and Engineering*. 7(1): 19.

Mullin, J. V. ve Champ, M. A. (2003). Introduction/Overview to in Situ Burning of Oil Spills. *Spill Science & Technology Bulletin*. 8(4): 323-330.

Murphy, D., Gemmell, B., Vaccari, L., Li, C., Bacosa, H., Evans, M., Gemmell, C., Harvey, T., Jalali, M. ve Niepa, T. H. (2016). An In-Depth Survey of The Oil Spill Literature Since 1968: Long Term Trends and Changes Since Deepwater Horizon. *Marine Pollution Bulletin*. 113(1-2): 371-379.

Na, J. U., Sim, M. S., Jo, I. J. ve Song, H. G. (2012). The Duration of Acute Health Problems in People Involved with The Cleanup Operation of The Hebei Spirit Oil Spill. *Marine Pollution Bulletin*. 64(6): 1246-1251.

Negro, M. G., Villasante, S., Penela, A. C. ve Rodríguez, G. R. (2009). Estimating The Economic Impact of The Prestige Oil Spill on The Death Coast (NW Spain) Fisheries. *Marine Policy*. 33(1): 8-23.

Nelson, J. R. ve Grubesic, T. H. (2018). Oil Spill Modeling: Risk, Spatial Vulnerability, and Impact Assessment. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*. 42(1): 112-127.

Nelson, J. R., Grubesic, T. H., Sim, L. ve Rose, K. (2018). A Geospatial Evaluation of Oil Spill Impact Potential on Coastal Tourism in The Gulf of Mexico. *Computers, Environment and Urban Systems*. 68: 26-36.

Nelson, J. R., Grubesic, T. H., Sim, L., Rose, K. ve Graham, J. (2015). Approach for Assessing Coastal Vulnerability to Oil Spills for Prevention and Readiness Using GIS and The Blowout and Spill Occurrence Model. *Ocean & Coastal Management*. 112: 1-11.

Neves, A. A. S., Pinardi, N., Martins, F., Janeiro, J., Samaras, A., Zodiatis, G. ve De Dominicis, M. (2015). Towards A Common Oil Spill Risk Assessment Framework–Adapting ISO 31000 and Addressing Uncertainties. *Journal of Environmental Management*. 159: 158-168.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2001). *Characteristics of Response Strategies: A Guide for Spill Response Planning in Marine Environments*. USA: Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Ocean Survey.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2002). *Environmental Sensivity Index Guidelines, Version 3.0*. https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/10263/noaa_10263_DS1.pdf (10.02.2022).

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2019). *Environmental Sensivity Index Guidelines, Version 4.0*. https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/fil es/ESI_Guidelines.pdf (10.02.2022).

Noh, S. R., Kim, J. A., Cheong, H. K., Ha, M., Jee, Y. K., Park, M. S. ve Paek, D. (2019). Hebei Spirit Oil Spill and Its Long-Term Effect on Children's Asthma Symptoms. *Environmental Pollution*. 248: 286-294.

Nordam, T., Beegle-Krause, C. J., Skancke, J., Nepstad, R. ve Reed, M. (2019).

Improving Oil Spill Trajectory Modelling in The Arctic. *Marine Pollution Bulletin*. 140: 65-74.

NPSCC (National Plan Strategic Coordination Committee). (2015). National Plan Guidance on: Response, Assessment and Termination of Cleaning for Oil Contaminated Foreshores – Reference: NP-GUI-025 https://www.amsa.gov.au/sites/default/files/np-gui-025-response-assessment-and-termination-of-cleaning-for-oil-contaminated-foreshores.pdf (21.05.2023)

NRC (National Research Council Committee). (2003). National Research Council Committee on Oil in the Sea: Inputs, Fates, and Effects, Ocean Studies Board and Marine Board, Divisions of Earth and Life Studies and Transportation Research Board. In *Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects* (pp 90–103). USA: National Academy Press, Washington, DC.

NUKA (Nuka Research and Planning Group LLC). (2010). *Oil Spill Prevention and Response in The US Arctic Ocean: Unexamined Risks, Unacceptable Consequences*. USA: Report Commissioned by The Pew Environment Group.

Olita, A., Cucco, A., Simeone, S., Ribotti, A., Fazioli, L., Sorgente, B. ve Sorgente, R. (2012). Oil Spill Hazard and Risk Assessment for The Shorelines of a Mediterranean Coastal Archipelago. *Ocean & Coastal Management*. 57: 44-52.

Onwurah, I. N. E., Ogugua, V. N., Onyike, N. B., Ochonogor, A. E. ve Otitoju, O. F. (2007). Crude Oil Spills in The Environment, Effects, And Some Innovative Clean-Up Biotechnologies. *International Journal of Environmental Research*. 1(4): 307-320.

OPEC (Organization of the Petroleum Exporting Countries). (2021). *OPEC's World Oil Outlook.* https://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/WOO2021.pdf (11.12.2022).

Ornitz, B. ve Champ, M. (2002). *Oil Spills First Principles: Prevention and Best*

Response. Elsevier.

Osborn, H. T. ve Akoh, C. C. (2004). Effect of Emulsifier Type, Droplet Size, and Oil Concentration on Lipid Oxidation in Structured Lipid-Based Oil-In-Water Emulsions. *Food Chemistry*. 84(3): 451-456.

Osofsky, H. J., Osofsky, J. D. ve Hansel, T. C. (2011). Deepwater Horizon Oil Spill: Mental Health Effects on Residents in Heavily Affected Areas. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*. 5(4): 280-286.

Owen, N. A., Inderwildi, O. R. ve King, D. A. (2010). The Status of Conventional World Oil Reserves—Hype or Cause for Concern?. *Energy Policy*. 38(8): 4743-4749.

Özşahin, E. ve Eroğlui İ. (2019). *Aliağa Coğrafya Atlası*. İzmir: Aliağa Kent Kitaplığı, NaTilus Tasarımce Mimarlık Tic.Ltd. Şti.

Passos, A. C., Teixeira, M. G., Garcia, K. C., Cardoso, A. M. ve Gomes, L. F. A. M. (2014). Using The TODIM-FSE Method as A Decision-Making Support Methodology for Oil Spill Response. *Computers & Operations Research*. 42: 40-48.

Paul, J. H., Hollander, D., Coble, P., Daly, K. L., Murasko, S., English, D. ve Kovach, C. W. (2013). Toxicity and Mutagenicity of Gulf of Mexico Waters During and After the Deepwater Horizon Oil Spill. *Environmental Science & Technology*. 47(17): 9651-9659.

Peach, D. ve Taylor, K. (2021). Net Environmental Benefit Analysis Embedded Action Plan Development. In *International Oil Spill Conference* (2021: 1, pp. 687529). USA.

Pearce, D., Atkinson, G. ve Mourato, S. (2006). *Cost-Benefit Analysis and The Environment: Recent Developments.* OECD-Organization for Economic Co-Operation and Development Report.

Pérez-Cadahía, B., Lafuente, A., Cabaleiro, T., Pásaro, E., Méndez, J. ve Laffon, B. (2007). Initial Study on The Effects of Prestige Oil on Human Health. *Environment International*. 33(2): 176-185.

Pete, A. J., Bharti, B. ve Benton, M. G. (2021). Nano-Enhanced Bioremediation for Oil Spills: A Review. *ACS ES&T Engineering*. 1(6): 928-946.

Pettersen, N. ve Durivage, A. (2008). *The Structured Interview: Enhancing Staff Selection.* PUQ.

Place, B. J., Perkins, M. J., Sinclair, E., Barsamian, A. L., Blakemore, P. R. ve Field, J. A. (2016). Trace Analysis of Surfactants in Corexit Oil Dispersant Formulations and Seawater. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 129: 273-281.

Poch, M., Comas, J., Rodríguez-Roda, I., Sanchez-Marre, M. ve Cortés, U. (2004). Designing and Building Real Environmental Decision Support Systems. *Environmental Modelling & Software*. 19(9): 857-873.

POSOW (Preparedness for Oil-polluted Shoreline cleanup and Oiled Wildlife interventions). (2016). *Oil Spill Waste Management Manual*. https://www.posow.org/ documentation /wasteweb.pdf (11.04.2023).

Potter, S., Buist, I., Trudel, K., Dickins, D. ve Owens, E. (2012). Spill Response in The Arctic Offshore. *Shell Exploration and Production Services*, 463-467.

Potter, S., Buist, I., Trudel, K., Dickins, D. ve Owens, E. (2017). *Spill Response in The Arctic Offshore. Prepared for the American Petroleum Institute and The Joint Industry Programme on Oil Spill Recovery in Ice.* Albania: SEA Consulting Group.

Prabowo, A. R. ve Bae, D. M. (2019). Environmental Risk of Maritime Territory Subjected to Accidental Phenomena: Correlation of Oil Spill and Ship Grounding in

The Exxon Valdez's Case. *Results in Engineering*. 4, 100035.

Prasad, S. J., Balakrishnan Nair, T. M., Rahaman, H., Shenoi, S. S. C. ve Vijayalakshmi, T. (2018). An Assessment on Oil Spill Trajectory Prediction: Case Study on Oil Spill Off Ennore Port. *Journal of Earth System Science*. 127: 1-8.

Prendergast, D. P. ve Gschwend, P. M. (2014). Assessing The Performance and Cost of Oil Spill Remediation Technologies. *Journal of Cleaner Production*. 78: 233-242.

Prince, R. C. (2015). Oil Spill Dispersants: Boon or Bane?. *Environmental Science & Technology*. 49(11): 6376-6384.

Putra, I. E. H., Osawa, T. ve Astawa, I. W. G. (2021). Shoreline Sensitivity Index to Oil Spills in Nusa Penida Marine Protected Area (MPA), Bali. *ECOTROPHIC: Journal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*. 15(1): 47-60.

Qiao, B., Chu, J. C., Zhao, P., Yu, Y. ve Li, Y. (2002). Marine Oil Spill Contingency Planning. *Journal of Environmental Sciences*. 14(1): 102-107.

Quigg, A., Farrington, J. W., Gilbert, S., Murawski, S. A. ve John, V. T. (2021). A Decade of GoMRI Dispersant Science. *Oceanography*. 34(1): 98-111.

Rashidi, M. N., Begum, R. A., Mokhtar, M. ve Pereira, J. J. (2014). The Conduct of Structured Interviews as Research Implementation Method. *Journal of Advanced Research Design*. 1(1): 28-34.

Reynolds, K. (2014). Applying International Standards in Response to Oil Spills in Remote Areas. In *International Oil Spill Conference Proceedings* (2014:1, pp. 1859-1868). American Petroleum Institute.

Rizzoli, A. E. ve Young, W. J. (1997). Delivering Environmental Decision Support Systems: Software Tools and Techniques. *Environmental Modelling &*

Software. 12(2-3): 237-249.

Robinson, H., Gardiner, W., Wenning, R. J. ve Rempel-Hester, M. A. (2017). Spill İmpact Mitigation Assessment Framework for Oil Spill Response Planning in The Arctic Environment. In *International Oil Spill Conference Proceedings* (2017: 1, pp. 1325-1344). USA.

Rodrigue, J. P. (2020). *The Geography of Transport Systems*. England: Routledge.

Rogowska, J. ve Namieśnik, J. (2010). Environmental Implications of Oil Spills from Shipping Accidents. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. 206: 95-114.

Rung, A. L., Oral, E., Fontham, E., Harrington, D. J., Trapido, E. J. ve Peters, E. S. (2019). The Long-Term Effects of The Deepwater Horizon Oil Spill on Women's Depression and Mental Distress. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*. 13(2): 183-190.

Sabucedo, J. M., Arce, C., Senra, C., Seoane, G. ve Vázquez, I. (2010). Symptomatic Profile and Health- Related Quality of Life of Persons Affected by The Prestige Catastrophe. *Disasters*. 34(3): 809-820.

Rustandi, Y., Damar, A., Rakasiwi, G., Afandy, A., Hamdani, A. ve Mulyana, D. (2020). Environmental Sensitivity Index Mapping as a Prevention Strategy Against Oil Spill Pollution: A Case Study on The Coastal Area of South Sumatera Province İn Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (414: 1, pp. 012019). IOP Publishing.

Salt, D., Cox, R., Cramer, M. ve Davidson, D. (2014). Oil Spill Preparedness Response Capability And Capacity: Do We Know What We Want And How Do We Get What We Need?. In *International Oil Spill Conference Proceedings* (2014: 1, pp. 1869-1880). American Petroleum Institute.

Schwabe, K. A., Schuhmann, P. W., Baerenklau, K. A. ve Nergis, N. (2008). Fundamentals Of Estimating the Net Benefits of Ecosystem Preservation: The Case of The Salton Sea. In *The Salton Sea Centennial Symposium: Proceedings of A Symposium Celebrating a Century of Symbiosis Among Agriculture, Wildlife and People* (pp. 181-195). USA: California.

Schwacke, L. H., Smith, C. R., Townsend, F. I., Wells, R. S., Hart, L. B., Balmer, B. C. ve Rowles, T. K. (2014). Health of Common Bottlenose Dolphins (Tursiops Truncatus) in Barataria Bay, Louisiana, Following the Deepwater Horizon Oil Spill. *Environmental Science & Technology*. 48(1): 93-103.

Sergy, G. A. ve Owens, E. H. (2008). Selection and Use of Shoreline Treatment Endpoints for Oil Spill Response. In *International Oil Spill Conference* (2008: 1, pp. 435-441). American Petroleum Institute.

Sevgili, C., Fiskin, R. ve Cakir, E. (2022). A Data-Driven Bayesian Network Model for Oil Spill Occurrence Prediction using Tankship Accidents. *Journal of Cleaner Production*. 133478.

Shi, X., Wang, Y., Luo, M. ve Zhang, C. (2019). Assessing The Feasibility of Marine Oil Spill Contingency Plans from An Information Perspective. *Safety Science*. 112: 38-47.

SHODB (Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı). (2022). *Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı Harita Kataloğu*. https://www.shodb.gov.tr/shodb_esas/index.php/tr/urunler/sey-haritalari-ve-not-yay-katalogu (23.05.2023).

Silliman, B. R., van de Koppel, J., McCoy, M. W., Diller, J., Kasozi, G. N., Earl, K. ve Zimmerman, A. R. (2012). Degradation and Resilience in Louisiana Salt Marshes After The BP–Deepwater Horizon Oil Spill. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 109(28): 11234-11239.

Silva, F. R. D., Schiavetti, A., Malhado, A. C. M., Ferreira, B., Sousa, C. V. D. P., Vieira, F. P. ve Soares, M. O. (2022a). Oil Spill and Socioeconomic Vulnerability in Marine Protected Areas. *Frontiers in Marine Science*. 718.

Silva, I. A., Almeida, F. C., Souza, T. C., Bezerra, K. G., Durval, I. J., Converti, A. ve Sarubbo, L. A. (2022b). Oil Spills: Impacts and Perspectives of Treatment Technologies with Focus on The Use of Green Surfactants. *Environmental Monitoring and Assessment*. 194(3): 143.

Sim, M. S., Jo, I. J. ve Song, H. G. (2010). Acute Health Problems related to The Operation Mounted to Clean the Hebei Spirit Oil Spill in Taean, Korea. *Marine Pollution Bulletin*. 60(1): 51-57.

Singh, H., Bhardwaj, N., Arya, S. K. ve Khatri, M. (2020). Environmental Impacts of Oil Spills and Their Remediation by Magnetic Nanomaterials. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 14, 100305.

Singsaas, I. ve Lewis, A. (2011). *Behaviour of Oil and Other Hazardous and Noxious Substances (HNS) Spilled in Arctic Waters (BOHASA).* Norway: SINTEF, Materials and Chemistry.

SINTEF (Stiftelsen for industriell og teknisk forskning). (2018). *Brasse Crude Oil – Properties and Behaviour at Sea*. https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handl e/11250/2491350/Weathering%2Bstudy%2Bof%2B Brasse%2 Bcrude%2Boil%2B2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y (11.12.2022).

Sirimanne, S. N., Hoffman, J., Juan, W., Asariotis, R., Assaf, M., Ayala, G. ve Premti, A. (2019). *Review of Maritime Transport 2019*. UNCTAD-United Nations Conference on Trade and Development Report. Switzerland: Geneva.

Soares, M. O., Teixeira, C. E. P., Bezerra, L. E. A., Rabelo, E. F., Castro, I. B. ve Cavalcante, R. M. (2022). The Most Extensive Oil Spill Registered in Tropical Oceans

(Brazil): The Balance Sheet of a Disaster. *Environmental Science and Pollution Research*. 29(13): 19869-19877.

Song, J., Lu, Y., Luo, J., Huang, S., Wang, L., Xu, W. ve Parkin, I. P. (2015). Barrel-Shaped Oil Skimmer Designed for Collection of Oil from Spills. *Advanced Materials Interfaces*. 2(15), 1500350.

Song, M. K., Hong, Y. C., Cheong, H. K., Ha, M. N., Kwon, H. J., Ha, E. H. ve Kim, E. J. (2009). Psychological Health in Residents Participating in Clean-Up Works of Hebei Spirit Oil Spill. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*. 42(2): 82-88.

Soussi, A., Bersani, C., Sacile, R., Bouchta, D., El Amarti, A., Seghiouer, H. ve Al Miys, J. (2019). An Oil Spill Trajectory Model: Validation in The Mediterranean Sea. In *2019 International Symposium on Systems Engineering* (ISSE) (pp. 1-6). IEEE.

Souza Filho, P. W. M., Prost, M. T. R. D. C., Miranda, F. P. D., Sales, M. E. C., Borges, H. V., Costa, F. R. D. ve Nascimento Junior, W. D. R. (2009). Environmental Sensitivity Index (ESI) Mapping of Oil Spill in The Amazon Coastal Zone: The PIATAM Mar Project. *Revista Brasileira de Geofísica*. 27: 07-22.

Spaulding, M. L. (2017). State of The Art Review and Future Directions in Oil Spill Modeling. *Marine Pollution Bulletin*. 115(1-2): 7-19.

Stefan, A. ve Paul, L. (2008). Does It Pay to Be Green? A Systematic Overview. *Academy of Management Perspectives*. 22(4): 45-62.

Stevens, L. ve Aurand, D. (2008). *Criteria for Evaluating Oil Spill Planning and Response Operations.* Canada: BSEE Ecosystem Management & Associates, Inc., Lusby. MD. 20657. Technical Report.

T.C. Resmi Gazete. (21.10.2006). Deniz Çevresinin Petrol ve Diğer Zararlı

Maddelerle Kirlenmesinde Acil Durumlarda Müdahale ve Zararlarin Tazmini Esaslarina Dair Kanunun Uygulama Yönetmeliği (Kanun No. 5312). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2006/10/2 0061021-10.htm (14.03.2023).

T.C. Resmî Gazete. (31.10.2012). Limanlar Yönetmeliği (Sayı 28453). https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/04/20170408-4.htm (14.04.2023).

Tamis, J. E., Jongbloed, R. H., Karman, C. C., Koops, W. ve Murk, A. J. (2012). Rational Application of Chemicals in Response to Oil Spills May Reduce Environmental Damage. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 8(2): 231-241.

Taş, A. (2007). *Deniz Ulaştırmacılığı ve Kıyı Bölgesi Yönetimi: Deniz Çevresinin Korunması Açısından Aliağa Bölgesinde Bir Araştırma*. (Yayınlanmamış Doktora Tezi). İstanbul: İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü.

Taylor, P. M. ve Cramer, M. A. (2017). A Novel Methodology for Net Environmental Benefit Analysis (Spill İmpact Mitigation Assessment). In *International Oil Spill Conference Proceedings* (2017: 1, pp. 2454-2474). USA.

Toz, A. C. (2017). Modelling Oil Spill Around Bay of Samsun, Turkey, with The Use of OILMAP and ADIOS Software Systems. *Polish Maritime Research*. 24(3): 115-125.

Toz, A. C. ve Buber, M. (2018). Performance Evaluation of Oil Spill Software Systems in Early Fate and Trajectory of Oil Spill: Comparison Analysis of OILMAP and PISCES 2 in Mersin Bay Spill. *Environmental Monitoring and Assessment*. 190: 1-18.

Toz, A. C. ve Koseoğlu, B. (2017). Petrol Kirliliğinin Denizde Yayılımının Değerlendirilmesi: Aliağa Limanlar Bölgesi için Bir Uygulama. *III. Ulusal Liman Kongresi*. İzmir.

Toz, A. C. ve Koseoglu, B. (2018). Trajectory Prediction of Oil Spill with PISCES 2 Around Bay of Izmir, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*. 126: 215-227.

Toz, A. C., Koseoglu, B. ve Sakar, C. (2016). Numerical Modelling of Oil Spill in New York Bay. *Archives of Environmental Protection*. 42(4): 22-31.

Tufte, L., Trieschmann, O., Hunsaenger, T. ve Barjenbruch, U. (2004). Spatial Analysis and Visualization of Oil Spill Monitoring Results of The North Sea and Baltic Sea. *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology IV*.

Tuler, S., Seager, T. P., Kay, R., Linkov, I. ve Figueira, J. R. (2007). Defining And Selecting Objectives and Performance Metrics for Oil Spill Response Assessment: A Process Design Integrating Analysis and Deliberation. *Durham, NH: Coastal Response Research Centre*, 1-68.

TÜRKLİM (Türkiye Liman İşletmecileri Derneği). (2021). *Türkiye Limancılık Sektör Raporu*. https://www.turklim.org/wp-content/uploads/2021/10/turkiye-limancilik-sektoru-2021-Rapor u.pdf (11.02.2023).

TÜRKLİM (Türkiye Liman İşletmecileri Derneği). (2022). *Türkiye Limancılık Sektör Raporu*. https://www.turklim.org/sektor-raporu-2022/ (11.05.2023).

UAB (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı). (2023). Denizcilik Genel Müdürlüğü-Deniz Ticaretini Geliştirme Daire Başkanlığı İstatistikleri. https://denizcilikistatistikleri.uab.gov.tr/ yuk-istatistikleri-2023 (23.02.2023).

Ugurlu, O., Yıldırım, U., Yüksekyıldız, E., Nişancı, R. ve Kose, E. (2015). Investigation of Oil Tanker Accidents by Using GIS. *International Journal of Maritime Engineering*. 157(A2).

Ulker, D., Burak, S., Balas, L. ve Çağlar, N. (2022). Mathematical Modelling of Oil

Spill Weathering Processes for Contingency Planning in Izmit Bay. *Regional Studies in Marine Science*. 50, 102155.

UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development). (2021). *Review of Maritime Transport*. https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2021_en_0.pdf (09.12.2022).

UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development). (2022). *Review of Maritime Transport*. https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2022_en.pdf (11.12.2022).

Vafai, F., Hadipour, V., & Hadipour, A. (2013). Determination of Shoreline Sensitivity to Oil Spills by Use of GIS and Fuzzy Model. Case Study–The Coastal Areas of Caspian Sea in North of Iran. *Ocean & Coastal Management*. 71: 123-13.

Van der Ven, A., Rustichelli, B., Pina, M. ve Perez, P. (2013). A Suggestion of Decision-Making Methodology to Assist Oil Companies Develop Shoreline Protection and Cleanup Plans. In *SPE Latin-American and Caribbean Health, Safety, Environment and Social Responsibility Conference*. OnePetro.

Van Gelderena, L., Fritt-Rasmussenb, J. ve Jomaasa, G. (2016). The Effectiveness of Chemical Herders as Oil Spill Response Tool in Ice-Infested Water. In *39th AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response*. Nova Scotia, Halifax. 7-9 June 2016.

Ventikos, N. P., Vergetis, E., Psaraftis, H. N. ve Triantafyllou, G. (2004). A High-Level Synthesis of Oil Spill Response Equipment and Countermeasures. *Journal Of Hazardous Materials*. 107(1-2): 51-58.

Vidmar, P. ve Perkovič, M. (2018). Safety Assessment of Crude Oil Tankers. *Safety Science*. 105: 178-191.

Viladrich-Grau, M. (2003). Monitoring Policies to Prevent Oil Spills: Lessons from The Theoretical Literature. *Marine Policy*. 27(3): 249-263.

Walker, A. H., Scholz, D., Bejarano, A. C. ve Hess, A. M. (2018a). *Hawaii Net Environmental Benefit Analysis: Consensus Evaluation of Tradeoffs Associated with Oil Spill Response Options.* A Report to the Oceania Regional Response Team SEA Consulting Group.

Walker, A. H., Scholz, D., McPeek, M., French-McCay, D., Rowe, J., Bock, M. ve Wenning, R. (2018b). Comparative Risk Assessment of Spill Response Options for A Deepwater Oil Well Blowout: Part III. Stakeholder Engagement. *Marine Pollution Bulletin*. 133: 970-983.

Walker, T. R., Adebambo, O., Feijoo, M. C. D. A., Elhaimer, E., Hossain, T., Edwards, S. J. ve Zomorodi, S. (2019). Environmental Effects of Marine Transportation. In *World Seas: An Environmental Evaluation* (pp. 505-530). Academic Press.

Wang, J., Zhou, Y., Zhuang, L., Shi, L. ve Zhang, S. (2022). Study on The Critical Factors and Hot Spots of Crude Oil Tanker Accidents. *Ocean & Coastal Management*. 217, 106010.

Wang, Z., An, C., Lee, K., Owens, E., Chen, Z., Boufadel, M. ve Feng, Q. (2021). Factors Influencing the Fate of Oil Spilled on Shorelines: A Review. *Environmental Chemistry Letters*. 19: 1611-1628.

Wegeberg, S., Fritt-Rasmussen, J. ve Boertmann, D. (2017). *Oil Spill Response in Greenland: Net Environmental Benefit Analysis, NEBA, And Environmental Monitoring.* Denmark: Scientific Report from DCE–Danish Centre for Environment and Energy.

Wenning, R. J., Robinson, H., Bock, M., Rempel-Hester, M. A. ve Gardiner, W. (2018). Current Practices and Knowledge Supporting Oil Spill Risk Assessment in

The Arctic. *Marine Environmental Research*. 141: 289-304.

Wilkinson, J., Beegle-Krause, C. J., Evers, K. U., Hughes, N., Lewis, A., Reed, M. ve Wadhams, P. (2017). Oil Spill Response Capabilities and Technologies for Ice-Covered Arctic Marine Waters: A Review of Recent Developments and Established Practices. *Ambio*. 46(3): 423-441.

Williams, J., Hooper, G. ve Hamilton, G. (2014). Automating The Process of Net Environmental Benefit Analysis (NEBA) for Emergency Response and Environmental Plans. *The APPEA Journal*. 54(2): 497-497.

Wolfaardt, A. C., Underhill, L. G., Altwegg, R., Visagie, J. ve Williams, A. J. (2008). Impact of The Treasure Oil Spill on African Penguins Spheniscus Demersus at Dassen Island: Case Study of a Rescue Operation. *African Journal of Marine Science*. 30(2): 405-419.

Word, J. Q. (2014). *Environmental Impacts of Arctic Oil Spills and Arctic Spill Response Technologies Literature Review and Recommendations*. Final report for the Arctic Oil Spill Response Technology-Joint Industry Programme.

Wu, B., Zhang, J., Yip, T. L. ve Guedes Soares, C. (2021). A Quantitative Decision-Making Model for Emergency Response to Oil Spill from Ships. *Maritime Policy & Management*. 48(3): 299-315.

Xu, L., Di, Z. ve Chen, J. (2021). Evolutionary Game of Inland Shipping Pollution Control Under Government Co-Supervision. *Marine Pollution Bulletin*. 171, 112730.

Yang, T. (2015). Dynamic Assessment of Environmental Damage Based on The Optimal Clustering Criterion–Taking Oil Spill Damage to Marine Ecological Environment as An Example. *Ecological Indicators*. 51: 53-58.

Yang, Z., Chen, Z., Lee, K., Owens, E., Boufadel, M. C., An, C. ve Taylor, E. (2021).

Decision Support Tools for Oil Spill Response (OSR-DSTS): Approaches, Challenges, and Future Research Perspectives. *Marine Pollution Bulletin*. 167, 112313.

Yao, X., Gao, J., Song, Y. ve Jiang, L. (2011). Superoleophobic Surfaces with Controllable Oil Adhesion and Their Application in Oil Transportation. *Advanced Functional Materials*. 21(22): 4270-4276.

Ye, X., Chen, B., Lee, K., Storesund, R. ve Zhang, B. (2020). An Integrated Offshore Oil Spill Response Decision Making Approach by Human Factor Analysis and Fuzzy Preference Evaluation. *Environmental Pollution*. 262, 114294.

Yildiz, S., Sönmez, V. Z., Uğurlu, Ö., Sivri, N., Loughney, S. ve Wang, J. (2021). Modelling of Possible Tanker Accident Oil Spills in The Istanbul Strait in order to Demonstrate the Dispersion and Toxic Effects of Oil Pollution. *Environmental Monitoring and Assessment*. 193: 1-19.

Yildiz, S., Uğurlu, Ö., Loughney, S., Wang, J. ve Tonoğlu, F. (2022). Spatial and Statistical Analysis of Operational Conditions Influencing Accident Formation in Narrow Waterways: A Case Study of Istanbul Strait and Dover Strait. *Ocean Engineering*. 265, 112647.

Yin, L., Zhang, M., Zhang, Y. ve Qiao, F. (2018). The Long-Term Prediction of The Oil-Contaminated Water from The Sanchi Collision in The East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*. 37(3): 69-72.

You, F. ve Leyffer, S. (2011). Mixed- Integer Dynamic Optimization for Oil- Spill Response Planning with Integration of a Dynamic Oil Weathering Model. *AICHE Journal*, 57(12): 3555-3564.

Youssef, S. A. M., Ince, S. T., Kim, Y. S., Paik, J. K., Chang, F. ve Kim, M. S. (2014). Quantitative Risk Assessment for Collisions Involving Double Hull Oil

Tankers. *International Journal of Maritime Engineering*. 156(A2).

Zafirakou, A., Themeli, S., Tsami, E. ve Aretoulis, G. (2018). Multi-Criteria Analysis of Different Approaches to Protect the Marine and Coastal Environment from Oil Spills. *Journal of Marine Science and Engineering*. 6(4), 125.

Zahra Pourvakhshouri, S. ve Mansor, S. (2003). Decision Support System in Oil Spill Cases (Literature Review). *Disaster Prevention and Management: An International Journal*. 12(3): 217-221.

Zhang, B., Matchinski, E. J., Chen, B., Ye, X., Jing, L. ve Lee, K. (2019). Marine Oil Spills—Oil Pollution, Sources, And Effects. In *World Seas: An Environmental Evaluation* (pp. 391-406). Academic Press.

Zhang, C., Han, L. ve Shi, X. (2015a). Modified Assessment Methodology for Mechanical Recovery Capacity for Oil Spill Response at Sea. *Aquatic Procedia*. 3: 29-34.

Zhang, H. Y., Ji, Q. ve Fan, Y. (2015b). What Drives the Formation of Global Oil Trade Patterns? *Energy Economics*. 49: 639-648.

Zhang, Y., Sun, X., Chen, J. ve Cheng, C. (2021). Spatial Patterns and Characteristics of Global Maritime Accidents. *Reliability Engineering & System Safety*. 206, 107310.

Zhong, Z. ve You, F. (2011). Oil Spill Response Planning with Consideration of Physicochemical Evolution of The Oil Slick: A Multiobjective Optimization Approach. *Computers & Chemical Engineering*. 35(8): 1614-1630.

Zhu, G., Xie, Z., Xu, H., Wang, N., Zhang, L., Mao, N. ve Cheng, J. (2022). Oil Spill Environmental Risk Assessment and Mapping in Coastal China Using Automatic Identification System (AIS) Data. *Sustainability*. 14(10): 5837.

Zock, J. P., Rodríguez-Trigo, G., Rodríguez-Rodríguez, E., Espinosa, A., Pozo-Rodríguez, F., Gómez, F. ve Barberà, J. A. (2012). Persistent Respiratory Symptoms in Clean-Up Workers 5 Years after The Prestige Oil Spill. *Occupational and Environmental Medicine*. 69(7): 508-513.

Zodiatis, G., De Dominicis, M., Perivoliotis, L., Radhakrishnan, H., Georgoudis, E., Sotillo, M. ve Mancini, M. (2016). The Mediterranean Decision Support System for Marine Safety Dedicated to Oil Slicks Predictions. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 133: 4-20.

EKLER

Ek 1: Petrol Kirliliği Müdahale Tekniği Seçimini Etkileyen Parametreler

No	Yazar ve yıl	Araştırmanın amacı	Araştırma sahası	Araştırma metodolojisi	Deniz kirliliği acil müdahale teknikleri: Mekanik müdahale teknikleri	Kimyasal müdahale teknikleri	Termal müdahale teknikleri	Biyolojik müdahale teknikleri	İnovatif yöntemler
1	Ventikos ve diğerleri, 2004	Operasyonel süreçlerde kullanılabilecek dinamik bir karar sürecini destekleyen veritabanı oluşturmak	Global	Literatür taraması ve uyumluluk tablosu	✓	✓			
2	Liu ve Wirtz, 2006	Acil durum problemlerinde optimal bir strateji arayan karar vericilere yardımcı olabileceği ve entegre kıyı alanında daha geniş bir uygulama potansiyeline sahip bir model önerisinde bulunmak	İngiltere	Çok kriterli karar verme teknikleri-Bulanık mantık	✓				
3	Liu ve Wirtz, 2007	Kirlilik meydana geldiğinde kıyı bölgelerindeki kirlilik etkilerini en aza indirgemek için bir karar destek sistemi oluşturmak	İspanya	Çok kriterli karar verme teknikleri-Bulanık mantık	✓	✓			
4	Gkonis ve diğerleri, 2007	Belirli bir sızıntıya müdahale etmek için gerekli eylemleri belirleyen etkili ve optimum karar destek sürecini modellemek	Global	Matematiksel modelleme ve nicel analiz	✓				
5	Sergy ve Owens, 2008	Müdahale operasyonunun sonlandırılmasına etki eden değişkenleri belirlemek	Global	Literatür taraması-derleme	✓	✓	✓	✓	
6	Krohling ve Rigo, 2009	Petrol kirliliğine karşı mücadele stratejilerinden oluşan acil durum planında ilgili karar vericilere yardımcı olacak bir karar desteği aracı geliştirmek	Brezilya	Çok kriterli karar verme teknikleri-Bulanık mantık	✓	✓			
7	Dave ve Ghaly, 2011	Petrol kirliliği müdahale tekniklerini avantaj ve dezavantajları karşılaştırılarak nitel bir çerçeve çizmek	Global	Literatür taraması ve uyumluluk tablosu	✓	✓	✓	✓	
8	You ve Leyffer, 2011	Petrol kirliliği müdahale operasyonlarının planlamasının petrol bozunma ve hava koşulları süreci ile sorunsuz bir şekilde entegre edilmesi için bir optimizasyon yaklaşımı geliştirmek	Meksika Körfezi vaka çalışması	Tamsayı-karışık doğrusal programlama optimizasyonu	✓	✓	✓		
9	Zong ve You, 2011	Petrol bozunma sürecini dikkate alarak, ekonomik ve duyarlı kriterler altında petrol kirliliği müdahale operasyonlarının optimal planlanmasını ele almak	Meksika Körfezi ve İngiltere vaka çalışması	Tamsayı-karışık doğrusal programlama optimizasyonu	✓	✓	✓		
10	Krohling ve Campanharo, 2011	Karar vericilerin operasyonel ve taktik düzeylerde yardımcı olan ve acil durum planında kullanılacak en iyi müdahale seçeneklerini sunan bir model geliştirmek	Brezilya	Çok kriterli karar verme teknikleri-Bulanık mantık ve TOPSIS	✓	✓			
11	Passos ve diğerleri, 2014	Müdahale ekiplerinin uygun acil durum planlarına karar vermelerine yardımcı olmayı amaçlayan bir model oluşturmak	Global	Çok kriterli karar verme teknikleri- TODIM/FSE	✓	✓	✓	✓	✓
12	Salt ve diğerleri, 2014	Petrol kirliliği müdahalesinde doğru kaynakların yönlendirilmesine yardımcı olan risk temelli bir yaklaşım geliştirmek	Global	Literatür taraması ve uyumluluk tablosu	✓	✓	✓	✓	✓
13	Zhang ve diğerleri, 2015a	Sıyırıcıların maksimum verimliliğini değerlendiren bir model oluşturmak	Çin	Matematiksel modelleme ve nicel analiz	✓				
14	Guidi ve diğerleri, 2016	Mevcut değişkenler ışığında optimum müdahale tekniğini tespit etmek	Akdeniz bölgesi	Çok kriterli karar verme teknikleri-AHP	✓	✓	✓		✓
15	Kang ve diğerleri, 2016	Petrol kirliliği müdahale teknikleri yeterliliğini ölçen bir model geliştirmek	Global	Çok kriterli karar verme teknikleri-Bulanık mantık ve AHP	✓	✓	✓	✓	✓
16	King ve diğerleri, 2017	Farklı graviteye sahip petrol ürünlerinin bozunma süreçleri dikkate alınarak müdahale tekniği verimliliğini değerlendirmek	Kanada	Deneysel-nitel çalışma	✓	✓	✓		
17	Wenning ve diğerleri, 2018	Arktik bölgede kirlilik senaryolarında kullanılacak ortak bir risk değerlendirme sistemi oluşturmak	Arktik	Literatür taraması-derleme	✓	✓	✓		
18	Hung ve diğerleri, 2018	Petrol sızıntısı olasılığı, çevresel hassasiyet ve coğrafi hava koşulları dikkate alınarak petrol sızıntısı müdahale kapasitesinin (OSRC) dağılımını hesaplamak	Vietnam	Çok kriterli karar verme teknikleri-Bulanık mantık ve AHP	✓	✓	✓	✓	✓
19	Zafirakou ve diğerleri, 2018	Petrol kirliliği müdahale tekniklerini çok kriterli karar verme tekniği kullanarak ağırlıklandırmak	Global	Çok kriterli karar verme teknikleri-Promethee	✓	✓	✓	✓	
20	Hodne, 2018	Arktik bölgede petrol sızıntısı müdahale sistemlerinin etkinliğini belirlemek ve ekosistemler üzerindeki etkilerini değerlendirmek için modeller geliştirmek	Arktik	Matematiksel modelleme ve nicel analiz	✓	✓	✓		
21	Afenyo ve diğerleri, 2019	Maliyet değişkeni baz alınarak etkili müdahale yöntemini ortaya koymak	Arktik	Bayes ağları	✓	✓	✓		
22	Lu ve diğerleri, 2019	Bütünsel yaklaşımla petrol geri kazanım ve müdahale tekniği verimliliğini değerlendiren bir model çizmek	Baltık Denizi	Bayes ağları	✓				
23	Guidi ve diğerleri, 2020	Doğal ve ekonomik kaynaklar üzerindeki etkileri azaltarak mevcut en iyi müdahale tekniğini belirlemek	Akdeniz bölgesi	Çok kriterli karar verme teknikleri-AHP	✓				✓
24	Hu ve diğerleri, 2020	Arktik koşullarda meydana gelen kirlilikte optimum müdahale tekniğini belirlemek	Arktik	Bulanık karar ağacı	✓	✓	✓		
25	Mohammadiun ve diğerleri, 2020	Arktik bölgede olası bir kirlilikte en uygun müdahale tekniğini optimize etmek	Arktik	Bulanık karar ağacı ve regresyon	✓	✓	✓		
26	Bi ve diğerleri, 2021	Petrolle kirlenmiş kıyı şeridi temizliğinde öncelikli değişkenleri belirleyerek operasyonu yönlendirmek	Global	Çok kriterli karar verme teknikleri-AHP ve PROMETHEE	✓				
27	Wu ve diğerleri, 2021	Gemilerden kaynaklı petrol kirliliğine erken acil müdahale için nicel bir karar verme modeli önermek	Global	Çok kriterli karar verme teknikleri-Bulanık mantık if then kuralı	✓		✓		
28	Yang ve diğerleri, 2021	Petrol kirliliği müdahalesinde halihazırda uygulanan ve karar destek tekniklerinin avantajları ve sınırlamalarının incelenmesini içeren sistematik bir inceleme yapmak	Global	Literatür taraması-derleme	✓	✓	✓	✓	✓

No	Maliyet	Verimlilik	Operasyonel süreçte geçen zaman	Hazırlık aşamasında geçen süre	Doğal yaşam alanlarına veya hassas alanlara yakınlık	Sosyoekonomik değerler üzerindeki etkisi (Turizm, balıkçılık vb.)	Su altı yaşamına etkisi	Rekreasyonel alanlara etkisi	Çevresel Hassasiyet derecesi (NÇFA)	Kıyı tipolojisi	Kirlilik lokasyonu	Kaynak bağımlılığı (Resource feasibility)	Petrolün geri kazanım oranı	Petrolün geri kazanım miktarı	Petrolün geri kazanım sürecinde geçen zaman	Lojistik zorluklar	Ulusal ve uluslararası mevzuatların varlığı	Doktrin (Müdahale Felsefesi) içeren bir kılavuz	Bürokratik ilişkiler (Kamu ve özel sektör iletişimi)	Toplanan verilerin güvenilirliği	Ekipman yeterliliği	Müdahale tekniğinin uygulanabilirliği	Kullanım zorluğu	Müdahale tekniğinin bakım tutum gerekliliği	Dökülen ürünün tonajı	Dökümünün kapladığı alan (m2)	Kirlilik kaynağının doğası (Ör. Gemi batığı, platform, sızıntı vb.)	Kıyıya nüfus etmiş petrol dökümü miktarı	Meteorolojik faktörler-Sıcaklık	Görüş	Su derinliği	Deniz suyu yoğunluğu
1																																
2	✓					✓			✓	✓															✓			✓				
3					✓	✓	✓	✓	✓	✓																						
4	✓	✓	✓								✓					✓																
5		✓	✓		✓				✓		✓	✓	✓			✓								✓	✓						✓	
6																									✓			✓				
7	✓	✓	✓				✓					✓	✓									✓	✓						✓		✓	
8	✓		✓									✓	✓			✓					✓	✓	✓		✓	✓			✓		✓	✓
9	✓		✓									✓	✓			✓					✓	✓	✓		✓	✓			✓		✓	✓
10																									✓			✓				
11			✓		✓	✓			✓							✓					✓				✓							
12												✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓									
13													✓																			
14	✓				✓																											
15																													✓	✓	✓	✓
16																																
17																									✓	✓	✓					
18					✓	✓	✓	✓	✓	✓																				✓		
19	✓	✓	✓		✓				✓	✓												✓	✓						✓			
20		✓	✓										✓										✓	✓								
21	✓				✓																								✓		✓	
22		✓	✓	✓							✓		✓	✓	✓	✓					✓	✓			✓	✓		✓	✓	✓		
23	✓				✓				✓			✓												✓								
24																✓																
25																✓																
26	✓	✓																														
27	✓				✓					✓	✓		✓			✓									✓							
28					✓				✓	✓	✓	✓				✓														✓		

No	Mevsimsel deniz suyu sıcaklık değişimi	Rüzgar yönü ve şiddeti	Akıntının hızı	Deniz koşulları	Petrol ürününün fraksiyon oranı (%)	Petrol ürününün API gravitesi	Petrol ürününün buharlaşma hızı	Emülsiyondaki su içeriği oranı	Yağ-su arayüzey gerilimi	Petrol ürününün toksit derecesi	Petrol ürününün çözünürlük derecesi	Petrol Ürününün Karakterizasyonu (Hafif-Orta-Ağır)	Petrol ürününün kalınlığı (mm)	Petrol ürününü emme kapasitesi	Petrol ürününün vizkositesi	Petrolün denizde bozunma süreci (weathering process)	Dispersiyon sürecine maruz kalmış ürünün hacmi	Atık oluşturma kapasitesi	Atık toplama kapasitesi	Müdahale ekibinin sızıntıya karşı eğitimi	Müdahale ekibinin sızıntıya karşı yeterliliği	Müdahale ekibinin yönetim becerisi	Bölgedeki gemi trafik yoğunluğu	Bölgenin petrol kirliliği kazalarına maruz kalma sıklığı	Bölgede elleçlenen petrol hacmi	Bölgedeki petrol liman sayısı	Acil müdahale merkezlerinin sayısı ve yeterliliği	Açık deniz sahalarında bulunan petrol platformu sayısı	Acil müdahale gemisinin depolama kapasitesi	Acil müdahale gemi sayısı	Acil müdahale gemisi yaşı
1			✓	✓											✓																
2																															
3																															
4				✓									✓	✓	✓	✓													✓	✓	
5				✓			✓					✓																			
6																															
7	✓	✓	✓	✓						✓		✓																			
8	✓	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓															
9	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓				✓	✓	✓														
10																															
11												✓	✓								✓			✓							
12																				✓	✓	✓					✓				
13		✓										✓	✓	✓																	
14																															
15	✓	✓	✓	✓															✓		✓	✓					✓		✓	✓	✓
16						✓						✓			✓	✓															
17					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓														
18	✓	✓	✓	✓																			✓	✓	✓	✓		✓			
19							✓					✓																			
20		✓	✓	✓							✓	✓	✓	✓	✓																
21	✓	✓	✓	✓							✓	✓																			
22		✓						✓	✓			✓	✓		✓														✓	✓	
23				✓										✓																	
24				✓							✓	✓	✓																		
25				✓							✓	✓	✓																		
26										✓	✓	✓																			
27	✓	✓	✓	✓								✓	✓		✓																
28		✓	✓	✓			✓				✓	✓		✓	✓			✓													

Ek 2: Petrol Kirliliği Müdahale Tekniği Seçimini Etkileyen Parametreler

Ek-2: NÇFA Modelini Etkileyen Değişkenler

	Yazar ve yıl	Araştırmanın amacı	Veri analiz yöntemleri	Deniz kirliliği acil müdahale teknikleri						Kazanın gerçekleştiği zaman	Dökülen ürünün hızı	Dökülen ürünün yoğunluğu- API gravitesi	Dökülen ürünün sıfır uzası	Dökülen ürünün tüksitesi	Dökülen ürünün tutuşma sıcaklığı ve parlama noktası	Dökülen ürünün viskozitesi	Kıyı şeridinden uzaklık	Su derinliği	Petrol kalınlığı -TOFF ifadesi	Kıyı şeridine ulaşmak için tahmini minimum süre	Petrolün kıyıya ulaşmasının tahmini maksimum olasılığı	Dispersantın Toksisitesi	Atmosferik Etki	Kıyı Şeridi Hassasiyet (ESI Sensyetesi)	Mevsimi hayvan ve sürüngenler durumu	Kaplumbağa yuvalama alanları	Önemli Kuş Alanı	Benetik canlılar	Uluslarası öneme sahip sulak alanlar	Milli Parkların kıyı/deniz sektörleri. Yaban hayatı sığınağı, rezerv, korunma alanı	Balıkçılık faaliyetleri	Su ürünleri tesisleri	Turizmle ilgili denizcilik faaliyetleri ve plajlar	Ticari/endüstriyel su girişleri	Kültürel kaynaklar	Limen Faaliyetleri ve Altyapılar	Meteorolojik veriler	Dağıtıcı ile işlenmiş petrolün ulaa karışıp olmaması	Dağıtıcı kullanılmadan denizde petrolün bekletmesi süreci	Kalınlıklarındaki yağın depolanması ve imhası	Tortul tabakta kalitesi
				Doğal iyileşme	Mekanik müdahale teknikleri	Kimyasal müdahale teknikleri	Termal müdahale teknikleri	Biyolojik müdahale teknikleri	Kıyı şeridi temizliği																																
1	Brude ve diğerleri, 2004	Petrol kirliliği olması durumunda etkin müdahaleyi sürdürmek için kullanılan NÇFA sürecinde hassas haritalama yöntemini ortaya koymak	ArcGIS- Hassas Haritalama	✓	✓	✓																			✓			✓		✓	✓	✓	✓		✓					
2	Aps ve diğerleri, 2007	Mevcut en iyi petrol sızıntısı müdahale altMimatifini seçmede ve sızıntının tehdidini veya olası genel çevresel etkisini değerlendirmede NÇFA tabanlı kararları kolaştaşturmak için petrol sızıntısı ile ilgili durum değerlendirmesine Bayes ağlarının uygulanabilirliğini araştırmak	PISCES petrol yayılım modellemesi ve Bayes ağları		✓					✓	✓	✓					✓	✓		✓	✓			✓	✓	✓	✓		✓												
3	Aps ve diğerleri, 2009b	NÇFA esaslı karar destek sistemine Bayes ağlarını entegre ederek verimli operasyon yönetimi sağlamak	PISCES (modelleme), Bayes Ağları- Olasılıksal Yaklaşım (Ekolojik risk değerlendirmesi, Seatrack Web (Petrol kirliliği yayılımın modellenmesi)		✓					✓	✓	✓					✓	✓		✓	✓			✓											✓					
4	Acir ve diğerleri, 2011	Doğu Karadeniz'in kıyı bölgesi üzerindeki olası petrol sızıntısı kazasının son derece olumsuz çevresel etki değerlendirmesini yapmak	PISCES petrol yayılım modellemesi ve Bayes ağları		✓					✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓					✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
5	Fritt-Rasmussen ve diğerleri, 2013	Risk altındaki doğal kaynağı tespit ederek ve koruma önceliklerini belirleyerek Net Çevresel Fayda Analizi (NÇFA) gerçekleştirmek	Hassas Haritalama Derecelendirme Sistemi (Clausen ve diğerleri, 2012)		✓	✓	✓						✓		✓	✓	✓	✓					✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
6	McCay ve Graham, 2014	Dispersant kullanımında NÇFA uygulanabilirliğini test etmek	SIMAP (Spill Impact Model Application Package) modellemesi			✓				✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓							✓	✓				✓						✓	✓			
7	Word, 2014	Kuzey Kutbu'ndaki farklı tepki eşlemlerinin kullanılmasından kaynaklanacak önemli çevresel bölmeler (ECTler) içindeki değerli ekosistem bileşenlerinin (VECTler) çevresel etkilerini daha iyi değerlendirmek için ekolojik sonuç değerlendirmelerini iç çevresel fayda analizlerine (NEBA) entegre etmeye yönelik bir sürecin geliştirilmesi	Literatür taraması	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8	Coelho ve diğerleri, 2015	Sondaj kuyunun başarılı bir şekilde kapatılmasından önce bir denizaltı patlaması senaryosuyla bağlantılı müdahale çabalarını desteklemek	Literatür taraması	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
9	Alves ve diğerleri, 2016	Doğu Akdeniz'deki olası petrol sızıntısı kazalarının hafifletilmesinde sivil koruma makamlarına yardımcı olmak için yeni matematiksel ve jeolojik modeller sunmak	ArcGIS- Hassas Haritalama-EMODnet Batimetrik haritalama-MEDSLIK modelleme	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
10	Wegeberg ve diğerleri, 2017	Arktik bölge sahasında herhangi bir petrol kirliliği kazasında NÇFA sürecini dahil ederek strateji geliştirmek	NUKA (2010) risk matrisi, Christensen ve diğerleri. 2012 hassasiyet harita bilgileri,		✓	✓	✓							✓		✓	✓							✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	
11	Taylor ve Cramer, 2017	Ekolojik, sosyal ve ekonomik kaynaklara zararın minimize edilmesi için NÇFA uygulanabilirliğini test etmek	IPIECA, IOGP and API guideline for SIMA risk matrisi	✓	✓	✓	✓		✓									✓					✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
12	Iazoella ve diğerleri, 2017	NÇFA sürecinin farklı deniz ortamlarına uyarlanarak çevresel karar noktalarında uygulabilirliğini test etmek	Uzman görüşleri ve Risk matrisi	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
13	Aune ve diğerleri, 2018	Kuzey Kutbu alanındaki mevsimsel, fiziksel ve ekolojik süreçlerle ilgili NÇFA sürecinin önemini vurgulamak	Literatür taraması	✓	✓	✓															✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
14	Bock ve diğerleri, 2018	Uzun vadeli petrol kirliliği kaynaklı ekolojik, sosyal ve ekonomik kaynakların hasarını minimize etmek	CRA karşılaştırmalı risk matrisi ve petrol yayılım modellemesi	✓	✓	✓				✓	✓	✓		✓			✓	✓	✓			✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
15	Grote ve diğerleri, 2018	Alman deniz bölgelerinde karşılaşılan belirli koşullar açısından dağıtıcı madde kullanımının riskleri ve faydalarına ilişkin mevcut bilgiler üzerine bir çalıştayın sonuçlarını özetlemek	Literatür taraması			✓				✓							✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
16	Kankanmerd ve diğerleri, 2018	NÇFA sürecinin petrol platformu çıkarma operasyonlarına uyarlamak	İstatistiksel veri analizi	✓	✓	✓															✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Ek 3: Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal ve Beşerî Bilimler Araştırma ve Yayın Etik Kurulu'ndan Alınan İlgili Etik Kurulu Belgesi

Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı Denizcilikte Emniyet, Güvenlik ve Çevre Yönetimi Doktora Programı'nda 2017801393 öğrenci numaralı "Gemi Kaynaklı Petrol Kirliliği Müdahalesinde Net Çevresel Fayda Analizi için Bir Model Önerisi: Aliağa Körfezi Uygulaması" başlıklı doktora tez çalışması 02.12.2021 tarihinde 27 sayılı karar gereğince uygulama çalışmalarının gerçekleştirilebilmesi için bilimsel ve etik yönden uygun bulunmuştur.

Ek 4: Yapılandırılmış Yüz yüze Görüşme Form İçeriği ve Gönüllü Katılımcılara ait Detaylar

Değerli Katılımcı,

Bu anket formu "Gemi Kaynaklı Petrol Kirliliğinde Net Çevresel Fayda Analizi için bir Model Önerisi: Aliağa Körfezi Uygulaması" başlıklı doktora tezi kapsamında oluşturulmuştur ve petrol kirliliği müdahale kapasitesini etkileyen değişkenleri tespit etmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmaya katılmanız durumunda araştırmacı ile yapacağınız görüşme ortalama on beş (15) dakika sürecektedir. Araştırmaya katılımınız tamamen gönüllük esasına dayanmaktadır. Görüşme formunda sizden kimlik belirleyici bir bilgi istenmemektedir ve yanıtlarınız gizli tutulacaktır. Görüşme formu liman devleti denetimlerinin sonucunu etkileyebilecek değişkenlerin belirlendiği ve katılımcıların profil bilgilerinin istendiği iki bölümden oluşmaktadır. Katılımınız için teşekkür ederiz.

Araş.Gör. Müge BÜBER

Doç.Dr. Burak KÖSEOĞLU

1. Petrol Kirliliği Müdahale Kapasitesini Etkileyen Değişkenlerin Belirlenmesi

a) Araştırmacı tarafından belirtilecek değişkenlerin petrol kirliliği müdahale tekniklerinin kapasitesine etkisinin olup olmadığı hakkındaki görüşlerinizi doğrultusunda cevaplamanız istenmektedir. Bu değişkenler literatürdeki çalışmalardan elde edilmiştir. Belirteceğiniz görüşler doğrultusunda değişkenler araştırma modeline dahil edilecektir.

b) Değişkenler içerisinde bulunmayan, ancak denetimlerin sonucuna etkisi olduğunu düşündüğünüz değişken/ler varsa yazınız.

2. PROFİL BİLGİLERİ

Görev yaptığınız alan:

Görev süreniz : ……. (yıl)

Eğitim bilgileriniz: Lisans ( )

Yüksek Lisans ( )

Doktora ( )

Biyolojik Müdahale	Termal Müdahale	Kimyasal müdahale	Fiziksel/ Mekanik Müdahale	Doğal iyileşme	Alt Değişkenler	Değişkenler
					Çok hafif yağlar (ITOPF-1)-Kerosene,Gasoline,	Ürün tipi
					Hafif yağlar (ITOPF-2)-Diesel oil	
					Orta yağlar (ITOPF-3)-Arabian-Iranian Crude	
					Ağır yağlar(ITOPF-4)-IFO 380/No:6, Bunker C	
					x <0.1	Ürün Kalınlığı (mm)
					x ≥ 0.1	
					Toksik olmayan ürün: LC50 >100	Ürün toksik derecesi-ppm
					Toksik ürün: LC50 ≤ 100	
					x < 0.3	Ortalama akıntı (m/s)
					0.3< x < 0.5	
					0.5 < x < 1.0	
					x ≥ 1.0	
					x<10	Ortalama rüzgâr hızı (knot)
					10 < x < 20	
					x ≥ 20	
					x < 0.3	Dalga yüksekliği (m)
					0.3 < x < 1	
					x ≥ 1	
					Kıyı şeridi x<10	Su derinliği (m)
					Orta hat derinliği 10m<x<200	
					Açık deniz 200 ≤ x	
					Seviye 1	Döküntü miktarı
					Seviye 2	
					Seviye 3	
					x < 200	Döküntü genişliği m^2
					200 < x < 300	
					300 <x < 400	
					x ≥400	
					Kıyıya çok yakın 0 <x<2	Kıyı şeridinden uzaklık (km)
					Kıyıya yakın 2 <x<20	
					Kıyıdan 20 <x<50 uzaklıkta	
					Açık deniz > 50	
					x<7	Sahile vuran petrol miktarı (ton)
					7 <x<70	
					70<x<700	
					x ≥ 700	
					x < 24	Kıyı şeridine ulaşma süresi (saat)
					24 <x < 36	
					x ≥ 36	
					ESI-1-2: En düşük duyarlılık	Kıyı şeridi hassasiyet derecelendirme
					ESI-3-4-5-6: Düşük seviye duyarlılık	
					ESI- 7: Orta seviye duyarlılık	
					ESI-8: Yüksek seviye duyarlılık	
					ESI-9-10: Çok yüksek duyarlılık	
					Düşük öncelikli koruma alanları	Biyoçeşitlilik
					Orta öncelikli koruma alanları	
					Yüksek öncelikli koruma alanları	
					Düşük öncelikli koruma alanları	Sosyo-ekonomik kaynaklar
					Orta öncelikli koruma alanları	
					Yüksek öncelikli koruma alanları	