






Oil spill modeling in East Mediterranean

Muhittin Güneş Onay¹ , Elif Pehlivanoglu-Mantas¹ , Flavio Martins² 

¹Department of Environmental Engineering, Istanbul Technical University, Maslak, Istanbul, 34469, Turkey

²Department of Mechanical Engineering, University of Algarve, Penha Campus, Faro, 8005-139, Portugal

Highlights:

- Three dimensional MOHID modelling
- Non-constant wind data direction and speed
- Different movement of oil, depending on seasons at the same area

Keywords:

- hydrodynamics
- modeling
- MOHID
- oil spill
- wind

Article Info:

Research Article
Received: 20.03.2019
Accepted: 25.03.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.534139

Acknowledgement:

Authors would like to thank to Dr. Joao JANEIRO and Hydrotec Lab, University of Algarve.

Correspondence:

Author: Elif Pehlivanoglu-Mantas
e-mail: elif.pehlivanoglu@itu.edu.tr
phone: +90 212 285 6784

Graphical/Tabular Abstract



Figure A. Movement of oil spill after 96 hours for accident points 1 and 2 (a) under summer conditions (b) under winter conditions

Purpose: The purpose of this study is to simulate oil spill in possible ship accidents to predict the spread of oil pollution and to create data which could be used by decision makers for emergency response plans.

Theory and Methods:

The three dimensional hydrodynamic and transportation model, MOHID was first validated using data collected by the drifter released at the coast of Mersin in March 2014, in scope of Coriolis Project. Non-constant wind direction and speed data which were taken from real data representing different seasons were used in this study to model oil spill in 3 selected points in East Mediterranean Sea with heavy ship traffic.

Results:

According to the model results, at accident point 1 during summer conditions, pollution may spread to the east in the gulf and pollution can reach the shore in about 43 hours. In winter conditions, pollution will spread parallel to the coast and will not reach the shore. At accident point 2, pollution can quickly reach the shore in about 24 hours and will keep spreading further along the coast for 4 days. If the accident occurs in winter conditions, pollution also will reach the shore in about 24 hours, but move south rather than northeast. For the third accident point, pollution will reach the shore in 36 hours in summer conditions. Oil pollution that may occur in this region in winter conditions will spread to the west parallel to the coast.

Conclusion:

Estimation of the route of oil pollution through modelling prior to any probable accident, for different seasons and locations, may enable a fast emergency response during an actual accident and prevent the spread of pollution over larger areas.



Doğu Akdeniz’de petrol kirliliğinin modellenmesi

Muhittin Güneş Onay¹, Elif Pehlivanoglu-Mantas^{1*}, Flavio Martins²

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul, Türkiye

²Algarve Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Penha Kampüsü, 8005-139 Faro, Portekiz

Ö N E Ç I K A N L A R

- Üç boyutlu MOHID modellenmesi
- Değişken rüzgar yönü ve hızı
- Aynı alanda farklı mevsimlerde farklı petrol yayılımı

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 20.03.2019

Kabul: 25.03.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.534139

Anahtar Kelimeler:

Hidrodinamik,
modelleme,
MOHID,
petrol kirliliği,
rüzgâr

ÖZET

Bu çalışmada üç boyutlu hidrodinamik ve taşınım modeli olan MOHID kullanılarak petrol kirliliğinin yayılımı incelenmiştir. Çalışma bölgesi olarak Türkiye için stratejik önemi haiz Doğu Akdeniz bölgesi seçilmiş ve gemi trafik akışının yoğun olduğu Mersin İli önü ve İskenderun Körfezi’nde üç bölge için kaza senaryoları üretilmiştir. Bozunma proseslerini dikkate almadan, petrolün hareketini inceleyen modelin kalibrasyonu, Coriolis projesi [1] kapsamında Mart 2014’de Mersin önlerinde denize bırakılan şamandıranın topladığı verilerin, model verileri ile karşılaştırılması ile yapılmıştır. Çalışmada farklı mevsimler için bu mevsimleri temsil eden yönü ve şiddeti değişen rüzgâr verileri kullanılarak modelleme yapılmıştır. Yaz mevsimi simülasyon sonuçları incelendiğinde, kirliliğin kuzeydoğuya, körfezin içine doğru yayılacağı, İskenderun Körfezi’ndeki iki kaza noktası için kirliliğin İskenderun ve Dörtöyl ilçesi kıyılarını, Mersin Bölgesi’ndeki kaza noktası için ise Kazanlı kıyılarını etkileyeceği beklenmektedir. Kış mevsimi simülasyon sonuçları incelendiğinde ise, petrol kirliliğinin güneybatıya, körfez ağzına doğru ilerleyeceği, İskenderun Körfezi’nde uzunca bir sahil şeridinin kirliliğe maruz kalacağı, Mersin bölgesinde de kirliliğin kıyıya paralel olarak hareket edeceği ve 4 gün sonunda Erdemli Bölgesi’ne varacağı öngörülmektedir. Yayılımın hızına bakıldığında, bu sonuçlar, hem yaz hem de kış mevsiminde acil durumlarda hızla müdahale edilerek bariyer kullanılması hem yaz aylarında oluşabilecek petrol kirliliğinin geniş bölgelere yayılmasını engelleyebileceğini göstermektedir.

Oil spill modeling in East Mediterranean

H I G H L I G H T S

- Three dimensional MOHID modelling
- Non-constant wind data direction and speed
- Different movement of oil, depending on seasons at the same area

Article Info

Research Article

Received: 20.03.2019

Accepted: 25.03.2020

DOI:

10.17341/gazimmfd.534139

Keywords:

Hydrodynamics,
modeling,
MOHID,
oil spill,
wind

ABSTRACT

In this study, three dimensional hydrodynamic and transportation model, MOHID, was used to simulate oil spill. East Mediterranean Region which contains strategically important refineries and filling stations for Turkey was selected and ship accident scenarios were created for 3 locations around Mersin and İskenderun where vessel traffic is heavy. The model which calculates the spread of the oil spill without taking the weathering processes into account, validated by comparison of the data obtained by the model and data collected by the drifter released at the coast of Mersin in March 2014, in scope of Coriolis Project. This study used non-constant wind direction and speed data which were taken from real data representing different seasons. In case of an accident in summer, oil pollution will move towards the inside of the bay. At two accident locations in İskenderun Bay, İskenderun and Dörtöyl districts and for the accident location around Mersin, coast of Kazanlı district will be exposed to oil pollution. For winter conditions, the model outputs suggest that the pollution will move towards to mouth of the bay and it will affect a long stretch of the coastline around İskenderun if no precautions are taken. For Mersin Area, oil pollution will spread parallel to the coastline and at the end of four days, it will reach Erdemli district. Taking the velocity of the oil spreading into consideration, these results suggest that estimating the route of oil pollution prior to any probable accident, for different seasons and locations, may enable a fast emergency response during an actual accident and prevent the spread of pollution over larger areas.

*Sorumlu Yazar/Corresponding gunesmonay@gmail.com, *elif.pehlivanoglu@itu.edu.tr, fmartins@ualg.pt / Tel: +90 212 285 6784
1738

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Globalleşmenin etkisi, enerji gereksiniminin artması ve ticaret hacminin büyümesi ile daha az maliyetli olan deniz yolu taşımacılığına olan talep artmıştır. Bu taşıma süresince gittikçe artan bir şekilde deniz kazaları oluşmakta ve deniz ortamı bu kazalar sonucunda denize dökülen petrol ürünlerinden dolayı kirlenmektedir [2]. Bu kirlilik, ekonomik ve çevresel faktörler ile meydana geldiği bölgeyi olumsuz yönde etkilemektedir.

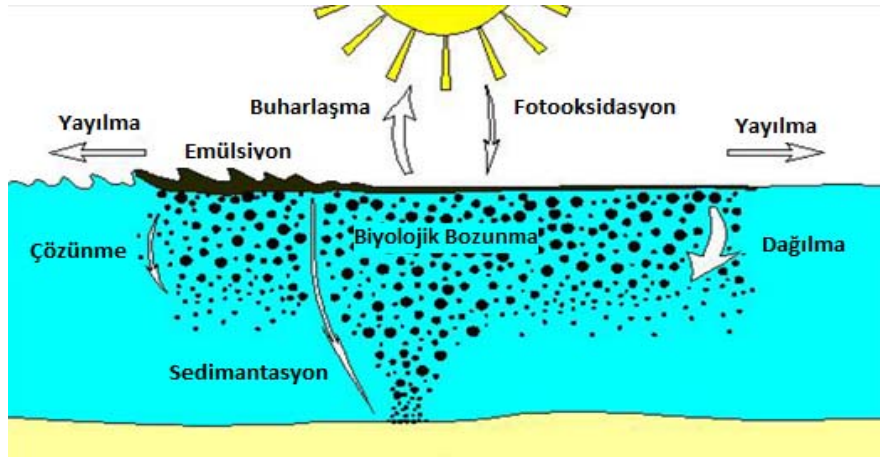
Petrol kirliliği tankerlerden, deniz yatağında yapılan petrol arama ve çıkarma çalışmalarından, rafinerilerden, gemi kazalarından (karaya oturma, çatışma, batma, yan yatma) ve endüstrilerden gelen kirlilik olarak tanımlanmaktadır. Denize yayılan petrol kirliliğinin kıyı ve deniz ekosistemlerine olumsuz etkileri olduğu gibi, doğal ya da üretim çiftliklerindeki deniz ürünlerinin zarar görmesi ve çeşitli rekreasyonel faaliyetleri engellemesi sebebiyle ekonomik olarak da olumsuz etkileri mevcuttur. Her yıl yaklaşık olarak 5 milyon ton petrol ve petrol türevi denizlere karışmakta olup [3] gemi kazaları sonucu oluşan petrol kirliliğine ilgi esas olarak Torrey Canyon isimli petrol tankerinin 1967 yılında Scilly Adaları'nda karaya oturması ve yaklaşık 120000 ton petrolün denize karışması sonrasında artmıştır. Bu kazadan sonra MARPOL 1973 (Denizlerin Gemiler Tarafından Kirlenmesinin Önlenmesine Ait Uluslararası Konvansiyon) gündeme gelmiş ve CLC 1969 (Petrol Kirliliğinden Doğan Zararın Hukuki Sorumluluğu ile ilgili Uluslararası Sözleşme) gibi yeni kurallar

oluşturulmuştur. Petrol kirliliği açısından en önemli sayılan 20 gemi kazasının listesi, dökülen miktar, tüm gemi kazaları içinde bu miktarın sıralaması ve kaza mevki ile birlikte Tablo 1'de verilmiştir [4]. Tablo 1'den görülebileceği gibi, dökülen petrol miktarı, kazanın oluşturacağı olumsuz sonuçları çok etkilese de, kazanın önemi açısından tek faktör değildir. Nitekim listelenen kazaların çoğu büyük çaplı olmasına rağmen kıyıda açıkta meydana geldiği için, çevreye ve kıyılara etkisi düşük seviyede olmuştur. Exxon Valdez ve Hebei Spirit ise, tüm gemi kazaları içinde dökülen petrol miktarı bakımından genel listede 36. ve 132 sırada olmalarına rağmen, kazaların kıyıya yakın yerde meydana gelmiş olması, etkilerinin de büyük olmasına yol açmıştır [4]. Gemi kazaları sonucu denize yayılan petrolün hareketini tahmin etmek ve petrol tabakasının hareketine istinaden yapılacak etkin ve doğru müdahale çalışmaları ile çevresel risklerin en aza indirilmesi deniz ekosistemi açısından çok önemlidir [5]. Petrolün kaza sonucunda denize deşarjını takiben, petrol parçacıkları su kolonu içinde uzun süre kalabilir ve yüzey sularından daha derindeki su tabakalarını da kirlitebilir [6]. Denizde petrolün bozunumu ve taşınımını; rüzgar ve akımdan dolayı adveksiyon, türbülans, eylemsizlik, viskoz ve yüzey gerilme kuvvetlerinden dolayı yatay yayılım, kütle transferi, bozunma prosesleri ve fizikokimyasal özelliklerde değişimlerden dolayı emülsiyonlaşma kontrol eder (Şekil 1) [7].

Denizel çevre ile ilgili olası kirlilikler ve bu kirliliklerin oluşturacağı problemlerin bu kirlilik oluşmadan tahmin edilmesi çok önemli olduğundan, genel olarak denizel çevre,

Tablo 1. Önemli petrol kirlilikleri (Major oil spills). [4]

Gemi ismi	Mevki	Miktar (ton)	Tüm kazalarda dökülen petrol miktarına göre sıralama
Atlantic Empress	Tobago, Karayipler	287000	1
ABT Summer	Angola açıkları	260000	2
Cast. De Bellver	Saldanha Körfezi, G. Afrika	252000	3
Amoco Cadiz	Brittany, Fransa	223000	4
Haven	Cenova, İtalya	144000	5
Odyssey	Nova Scotia, Kanada	1329000	6
Torrey Canyon	Scilly Adaları, Birleşik Krallık	119000	7
Sea star	Umman Körfezi	115000	8
Sanchi	Shangai Açıkları, Çin	113000	9
Irenes Serenade	Mora Yarımadası, Yunanistan	100000	10
Urquiola	La Coruna, İspanya	100000	11
Hawaiian Patriot	Honolulu, Hawaii	95000	12
Independenta	İstanbul Boğazı, Türkiye	94000	13
Jakob Maersk	Porto, Portekiz	88000	14
Braer	Shetland Adaları, Birleşik Kralları	85000	15
Aegean Sea	La Coruna, İspanya	74000	16
Sea Empress	Milford Haven, Birleşik Krallık	72000	17
Khark 5	Fas	70000	18
Nova	Hark Adası, İran	70000	19
Exxon Valdez	Alaska, ABD	37000	36
Hebei Spirit	Taeon, Güney Kore	11000	132



Şekil 1. Petrolün bozunumu ve taşınımı (Fate and transport of oil) [8].

daha özel olarak da petrol kirliliği ile ilgili çalışmalarda, petrolün hareketini [9-10], bozunumunu [11] ve deniz ekosistemindeki canlılara etkisini [12] tahmin etmek üzere çeşitli modeller geliştirilmiş olup bu konuda yapılmış detaylı literatür taramaları da mevcuttur. Benzer şekilde, modelleme ile, ülkemiz denizlerinde, rüzgar ve dalga iklimi ile akıntı düzeyinin belirlenmesi [13], sediman taşınımı [14] ve karasal kaynaklı kirliliğin denizdeki yayılımı [15] çalışmaları gerçekleştirilmiş olup bu çalışmalar modellemenin önemini de ortaya koymaktadır.

Özellikle petrol kirliliği ile ilgili yapılması gereken acil müdahale planlarında, modelleme çalışmaları sonuçlarının kullanımı mümkün olup [16, 17] bu durum özellikle kapalı deniz havzalarında oluşabilecek kazaların etkilerinin yüksek olması sebebiyle [18] ülkemiz açısından önemlidir. Zaten, ülkemizde, acil durumlarda gemilerden ve kıyı tesislerindeki faaliyetlerden kaynaklanan kirlenme tehlikesini ortadan kaldırmak veya kirlenmeyi azaltmak, sınırlamak ve gidermek üzere uygulanacak müdahale ve hazırlık çalışmalarını içeren “5312 sayılı Deniz Çevresinin Petrol ve Diğer Zararlı Maddelerle Kirlenmesinde Acil Durumlarda Müdahale ve Zararların Tazmini Esaslarına Dair Kanun”un mevcudiyeti, ülkemizde petrol kirliliği modelleme çalışmalarını destekler durumdadır.

Ülkemizde, petrol kirliliğinin modellemesi çerçevesinde yapılmış çalışmalarda esas olarak İstanbul Boğazı’ndaki olası tanker kazalarının oluşturacağı petrol kirliliğinin simülasyonu yapılmış olup [16, 19-21], Mersin Bölgesi’nde yapılmış modelleme çalışmaları da mevcut olup, bu çalışmalarda farklı miktarlarda ve farklı yapıdaki petrol türevlerinin yayılımı farklı programlar yardımıyla modellenmiş ve petrolün kıyıya ulaşma zamanı tahmin edilmiştir [17, 22]. İzmir’deki olası bir petrol dökülmesinde etkilenecek bölgelerin modellendiği bir çalışmada da farklı senaryolarda farklı alanların etkileneceği ancak riskli bölgelerin benzer olduğu ortaya konulmuştur [23]. Bu modelleme çalışmalarının bazılarında iki boyutlu bazılarında ise üç boyutlu modeller kullanılmış olmakla birlikte, bütün çalışmalarda rüzgar şiddeti ve yönü sabit alınarak simülasyon yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, Doğu Akdeniz’de olası gemi kazalarında petrol kirliliğinin simülasyonunu yaparak, petrol kirliliğinin yayılımına dair tahminde bulunmak ve bu kapsamda veri oluşturularak karar verici makamların acil müdahale planları için tedbirlerin (temizleme, bariyer çekme, dispersant kullanma) alınmasına olanak sağlamaktır.

Bu amaç doğrultusunda, ülkemiz açısından jeopolitik konumu ile stratejik öneme sahip olması, gemi trafiğinin yoğun olması, rafineri ve petrol dolmuş istasyonlarının bu bölgede yoğun olarak konulmuş olması sebebiyle bu bölgede meydana gelebilecek petrol kirliliği de, MOHID Modelleme sistemi kullanılarak, atmosferik koşullara ve tanımlanmış sınır koşullarına göre, üç boyutlu modellerin iki boyutlu modellere kıyasla daha iyi sonuçlar vermesi sebebiyle [24] üç boyutlu olarak simüle edilmiştir. Daha gerçekçi bir modelleme çalışması için, daha önceki çalışmalardan farklı olarak modelde, sabit rüzgâr verisi yerine, anlık yönü ve şiddeti değişen rüzgâr verisi kullanılmıştır.

2. DENEYSEL METOD (EXPERIMENTAL METHOD)

2.1. Çalışma Bölgesi (Study Area)

Yapılan çalışmada üç farklı kaza noktası belirlenmiştir. Bu noktalardan bir tanesi Mersin’de diğer ikisi ise İskenderun Körfezi’nde seçilmiştir (Şekil 2). İskenderun Körfezi’nde biri BOTAŞ önleri diğeri de İskenderun Liman önleri olmak üzere iki koordinat belirlenmiştir (Şekil 3). Bakü-Tiflis-Ceyhan boru hattının son durağı olan BOTAŞ tanker trafiğinin yoğun olduğu stratejik önemi haiz bir noktadadır. İskenderun Limanı ve çevresindeki on üç liman ile birlikte demiryolu ve karayolu bağlantıları sayesinde deniz yolu taşımacılığı açısından önemli ve yoğun bir karaktere sahiptir.

Mersin’de ATAŞ rafinerisinin yanı sıra çeşitli firmalara ait dokuz adet petrol dolmuş istasyonu mevcuttur (Şekil 4) [22]. Bu dolmuş istasyonlarına farklı limanlardan gelen gemiler limana yanaşmadan, açıkta, petrol boru hatları vasıtasıyla petrol transferi yapılmaktadır. Bu sebeple ilk kaza noktası,



Şekil 2. Kaza noktaları (Accident locations).

Mersin önlerinde petrol boru hatlarına yakın bir koordinat olarak belirlenmiştir.



Şekil 3. İskenderun Körfezi'ndeki tesisler (Facilities in Iskenderun Bay) [6].

2.2. MOHID Modelleme Sistemi (MOHID Modeling System)

İsmi Portekizce hidrodinamik modellemeye (MOdelo HIDroinâmico) alan MOHID modelleme sistemi Portekiz'de, Lizbon Teknik Üniversitesi (IST) tarafından geliştirilen üç boyutlu su modelleme sistemi olup su kolonu için baroklinik hidrodinamik modülü içermektedir [25]. Model petrol dağılımını atmosferik koşullara ve tanımlanmış sınır koşullarına göre hesaplamaktadır. Hidrodinamik alanlar, Lagrange petrol dağılım modelini baz alarak potansiyel kaza riski olan bölgelerde petrol dağılımını simüle etmek için kullanılmıştır.

Lagrange yaklaşımı bir akışkan partikülünün hareketi esas alınarak belirli bir anda belirli bir konumda olan akışkan partiküllerinin zamanla olan hareketlerini inceler. Bu metotta

akışkanın izlediği yörünge, yörünge boyunca akışkanın hızı, basıncı ve diğer özellikleri tanımlanır.

Herhangi bir p partikülünün $r_1(t_1)$ noktasından $r_2(t_2)$ noktasına hareket ettiği varsayımı ile; (Eş. 1, Eş. 2)

$$V_p = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{r_2 - r_1}{t_2 - t_1} = \frac{dx}{dt}i + \frac{dy}{dt}j + \frac{dz}{dt}k \quad (1)$$

$$V_p = u_p i + v_p j + w_p k \quad (2)$$

Model, petrol dağılımı için Lagrange partikül izleme metodunu temel almıştır. Bu yaklaşımda, denize dökülen petrol miktarı çok sayıdaki küçük partiküllere ayrılır. Hidrodinamik alanlardan etkilenen partiküllerin hareketleri zamanın fonksiyonu olarak izlenmektedir.

MOHID Lagrange Modülü, iz madde konseptini kullanır. İz maddenin en önemli özelliği konumu (x, y, z) olup partikül hareketinden sorumlu olan ana faktör genellikle ortalama akıntı hızıdır. Uzamsal koordinatlar hızın tanımı ile verilir. (Eş. 3, Eş. 4)

$$\frac{dx_i}{dt} = u_i(x_i, t) \quad (3)$$

$$X_i^{t+\Delta t} = X_i^t + \Delta t \cdot u_i^t \quad (4)$$

Burada, u ortalama hız ve x ise partikül konumudur. Uzayda herhangi bir noktadaki hız, hidrodinamik model gridindeki noktalar arasında lineer interpolasyon yapılarak hesaplanır.

MOHID modelleme sistemi sadece fiziksel ve biyokimyasal prosesleri değil, aynı zamanda farklı sistemleri (haliçler ve havzalar) ve iç içe geçmiş modelleri (ana ve alt modeller) simüle etmesi ile kullanıcılara avantaj sağlar. MOHID çeşitli

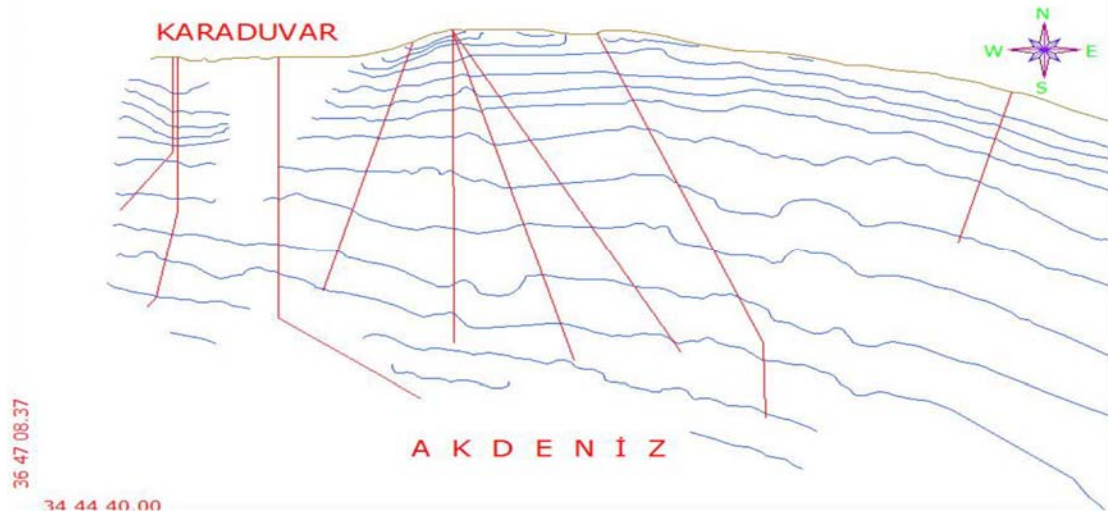
dikey koordinat sistemlerini kullanması, güvenilir ve sağlam tasarım yapısı ile bu tip modeller arasındaki en ayrıntılı modellerden biri olarak kabul edilir.

Bazı modeller petrol damlacıklarının dikey hareketini ve üç boyutlu hidrodinamik alanları simüle edemez ve sadece bir tabaka kullanır. MOHID üç boyutlu olarak hidrodinamik alanları simüle edebilir ve çoklu tabaka kullanılabilir. MOHID, dikey koordinat sisteminde sigma ve kartezyen gibi sistemlerin kullanılmasına olanak sağlar. Örnek olarak, bu çalışmada su kolonunu simüle etmek için 50 tabakalı kartezyen koordinat sistemi kullanılmıştır. MOHID'in bir diğer avantajı ise geri izleme modülünü içermesidir. Bu sayede kirliliğin meydana geldiği yerin bilinmediği

durumlarda, kirlilik kaynağının yeri tespit edilir. MOHID'in içerdiği modüller ile diğer modelleme sistemlerinin içerdiği modüllerin karşılaştırılması Tablo 2'de verilmiştir [26].

2.3. Model Kurulumu (Model Setup)

Çalışılacak bölge için derinlik haritası ASCII formatında 1 km x 1 km çözünürlüğünde indirilmiştir [27]. MOHID kullanılarak, oluşturulan xyz noktaları (boylam, enlem, derinlik) ile 1km x 1km çözünürlükte gridler oluşturulmuştur. Daha sonra MOHID'de hesap yapılmayacak bölgeler (kara parçaları) olan poligonlar oluşturulmuştur. Çalışılacak bölgenin batimetri haritası 3 adet veri seti (xyz noktaları, gridler ve poligonlar)



Şekil 4. Mersin kıyı bölgesindeki 9 adet petrol boru hattı (9 oil pipelines in Mersin coastal area) [22].

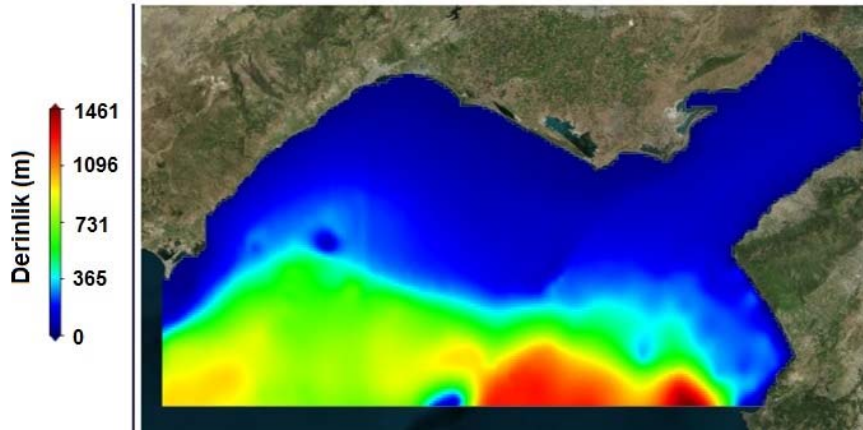
Tablo 2. MOHID modelleme sisteminin ve diğer modellerin içerdiği modüller (Modules of MOHID and other models) [26].

Proses/Model	ADIOS	GNOME	OILMAP/SARMAP/OIL MAPWEB	OSCAR	MOTHY	POSEIDON OSM	MEDSLICK	MEDSLIK II	SEATRACK WEB	OILTRANS	BSHmod.L	SLROSM	OD3D+LEEWAY	Gulfspill	MOHID
Adveksiyon	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Difüzyon	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Rüzgar Akıntısı	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Stokes Akıntısı	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	-	+
Yüzen Nesnelere	-	-	+	-	+	-	+	+	+	-	+	-	+	-	+
Geri İzleme	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	+
Kıyıda Birikim	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Yayıma	+	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+	+
Buharlaştırma	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Emülsiyon	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Doğal Dağılıma	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Dikey Hareket	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-	+
Çözünme	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Sedimentasyon	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	-	+

kullanılarak ve modelde enterpolasyon yapılarak hazırlanmıştır (Şekil 5). Atmosferik veriler SKIRON tahmin modelleme sisteminden elde edilmiştir [28]. SKIRON Atmosferik Modelleme ve Hava Tahmin Merkezi, Ulusal ve Kapodistrian Atina Üniversitesi'nin Hızlandırma ve Uygulama Merkezi (IASA) Enstitüsü'nün Fizik Bölümü'nün bir kuruluşudur. SKIRON Modelleme Sistemi, Atmosferik Modelleme ve Hava Tahmin Merkezi'nin geliştirdiği, sınırlı alan için kullanılan entegre bir modelleme sistemi olup dünya çapında yaklaşık 20 araştırma ve meteoroloji servisinde kullanılmaktadır. SKIRON'un araştırma faaliyetleri atmosfer, dalga modellemesi, hava kirliliği, iklim değişikliği, iklim, dalga ve hava kalitesi tahmini, toz-toprak döngüsü, tarım ve rüzgâr enerjisi ile ilgili uygulamaları kapsar. SKIRON hava sıcaklığı, atmosferik basınç, bulutluluk, uzun dalga radyasyonu, buharlaşma, gizli ısı, yağış, bağıl nem, duyulur ısı, özgül nem ve rüzgâr hızı verilerini içerir ve 6 km x 6 km grid çözünürlüğüne sahiptir.

Rüzgâr hidrodinamik alanları etkileyen ana faktör olduğu için, modelde SKIRON hava tahmin sisteminden alınan yönü ve şiddeti anlık değişen rüzgâr verisi kullanılmıştır. Sınır koşulları ve başlangıç koşulları olarak ise 9 km x 9

km'lik çözünürlüğe sahip olan MERCATOR'dan [29] elde edilen deniz suyu sıcaklığı, tuzluluk, su seviyesi ve akıntı verileri kullanılmıştır. Gelgitin etkisini görmek için ise, yaygın olarak kullanılan bir gelgit modeli olan Finite Element Solution (FES) modelinin 2004 versiyonu [30] ana modelde uygulanmıştır. Modelleme çalışmaları için biri bütün sistem üzerinde kurulmuş olan ana model diğeri ise daha yüksek grid çözünürlüğüne sahip bir çalışma alanı içeren alt model olmak üzere iki model kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İki model arasındaki bağlantı ise tek-yönlü ölçek küçültme yöntemi (iç içe modeller) kullanılarak sağlanmıştır. Modelin stabilitesini sağlamak için yapılan ısınma çalışmasını takiben birincil çalıştırma ile başlangıç noktasında veri elde edilmiş ve daha sonra bu veriler kullanılarak ikincil çalıştırma gerçekleştirilmiştir. Modelin kalibrasyonu için Coriolis projesi kapsamında, 23-30 Mart 2014 tarihleri arasında Mersin önlerine bırakılmış olan şamandıranın hareketleri ile bu tarih aralığında çalıştırılan model ile öngörülen hareketler karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda SKIRON'dan Mart 2014 rüzgâr verileri indirilmiştir. Modelleme ile elde edilen hareketler ile gerçek şamandıra hareketlerinin aynı yönde olduğu ve aradaki mesafenin 2,5 km olduğu belirlenmiştir (Şekil 6). Sonuçların



Şekil 5. Batimetri haritası (Bathymetric map).



Şekil 6. Şamandıra ve petrol tabakasının hareketi (Movement of oil spill and drifter).

uyumlu olduğunun doğrulanmasını takiben, deniz kazaları ile yayılan ortalama petrol miktarı olarak verilen ve modelleme çalışmalarında sıkça kullanılan [31, 32] 8000 ton fuel oil'in kaza ile yayıldığı senaryosuna göre model çalıştırılmıştır.

Doğu Akdeniz'de hakim rüzgar yaz mevsimi için güneybatıdan, kış mevsimi için kuzey ve kuzeydoğudan esmekte olduğu için, model, hakim rüzgar yönünün yaz mevsimi için lodos, kış mevsimi için yıldız/poyraz olduğu durumlar için ayrı ayrı çalıştırılmıştır. Böylece, gerçek bir kazanın yaz mevsiminde veya kış mevsiminde meydana gelmesi durumunda, model sonuçlarına bakılarak petrolün dağılımı ve oluşturacağı kirlilik hakkında fikir sahibi olunabilecektir.

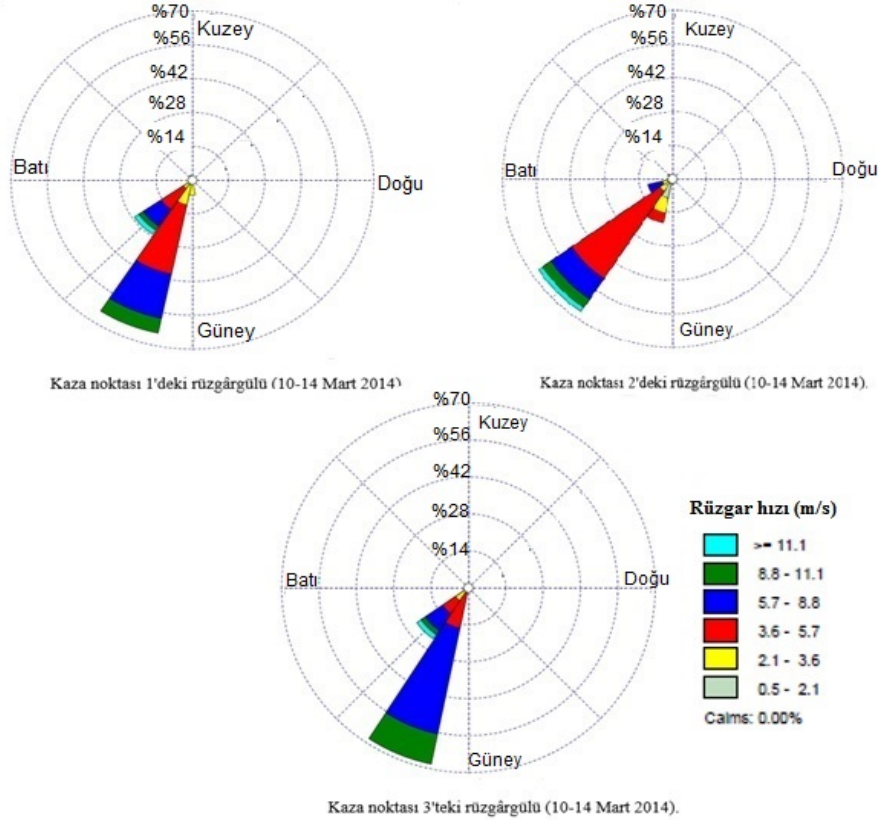
Yaz mevsiminde meydana gelecek petrol kirliliğini simüle edebilmek için Mart 2014 rüzgâr verileri incelenmiştir. Rüzgâr yönünün güneybatıdan olduğu ve yaz mevsimini temsil edebileceği durum, 10-14 Mart 2014 tarihleri arasında tespit edilmiştir. Bu tarihlerde kaza noktalarındaki rüzgâr hızı ve yönü, kaza noktası 1, 2 ve 3 için Şekil 7'de verilmiştir. Rüzgâr petrol partiküllerinin hareketini doğrudan değil, dolaylı olarak etkiler. Rüzgâr hidrodinamiği belirleyen ana faktördür ve petrol partiküllerinin hareketini hidrodinamik belirler. Yaz aylarındaki olası kazaları modellemek için kullanılacak tarih aralığında, akıntı hızları ve yönleri üç kaza noktası için Şekil 8'de verilmiştir. Bu

veriler kullanılarak, yaz mevsiminde oluşacak petrol kirliliğinin dağılımı 10-14 Mart 2014 tarihleri arasında 4 gün boyunca simüle edilmiştir.

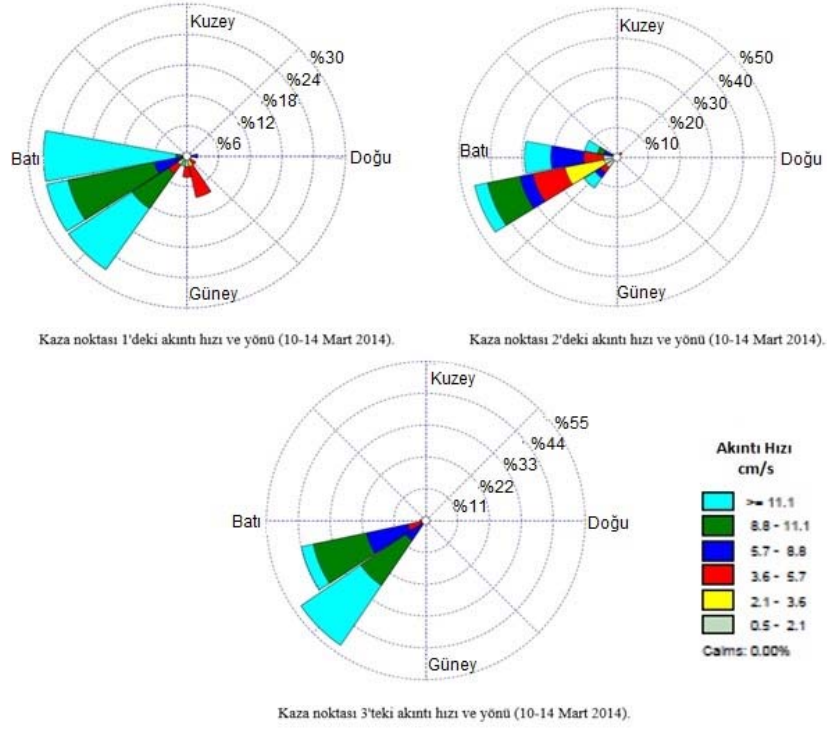
Yaz koşulları için hakim rüzgar yönü güneybatıdır. Çalışılan bölgede her noktada rüzgâr hızı ve yönü farklıdır. Kaza noktalarındaki rüzgâr hızı ve yönü ile akıntı hızları ve yönleri sırasıyla Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Benzer şekilde, kış mevsiminde meydana gelecek petrol kirliliğini simüle edebilmek için tekrar Mart 2014 verileri incelenmiş, hakim rüzgarın kuzey ve kuzeydoğudan olduğu durum, 27-31 Mart 2014 tarihleri arasında tespit edilmiş ve kış aylarında oluşabilecek petrol kirliliğinin dağılımını belirlemek üzere model bu tarih aralığındaki rüzgar verileri kullanılarak çalıştırılmıştır. 27-31 Mart 2014 tarihlerinde, kaza noktalarındaki rüzgâr hızı ve yönü, kaza noktası 1, 2 ve 3 için Şekil 9'da, akıntı hızları ve yönleri ise Şekil 10'da verilmiştir.

3. BULGULAR (RESULTS)

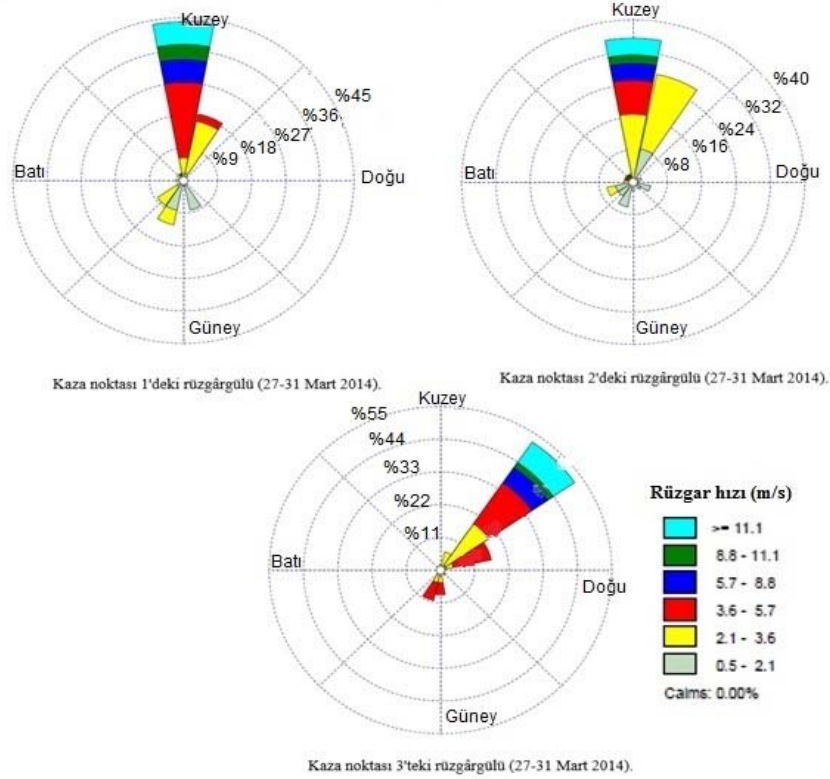
Doğu Akdeniz'de meydana gelebilecek petrol kirliliği MOHID modelleme programı ile üç boyutlu olarak atmosferik koşullara ve tanımlanmış sınır koşullarına göre yaz ve kış koşulları için simüle edildiğinde, su yüzeyindeki petrol damlacıklarının hareketi için elde edilen sonuçlar Şekil 11-Şekil 14'de verilmiştir. Senaryo gereği kaza meydana geldikten bir süre sonra, Sahil Güvenlik uçağı ile



Şekil 7. Yaz koşullarında kaza noktalarındaki rüzgar hızı ve yönü (Wind velocity and direction at accident points in summer conditions).



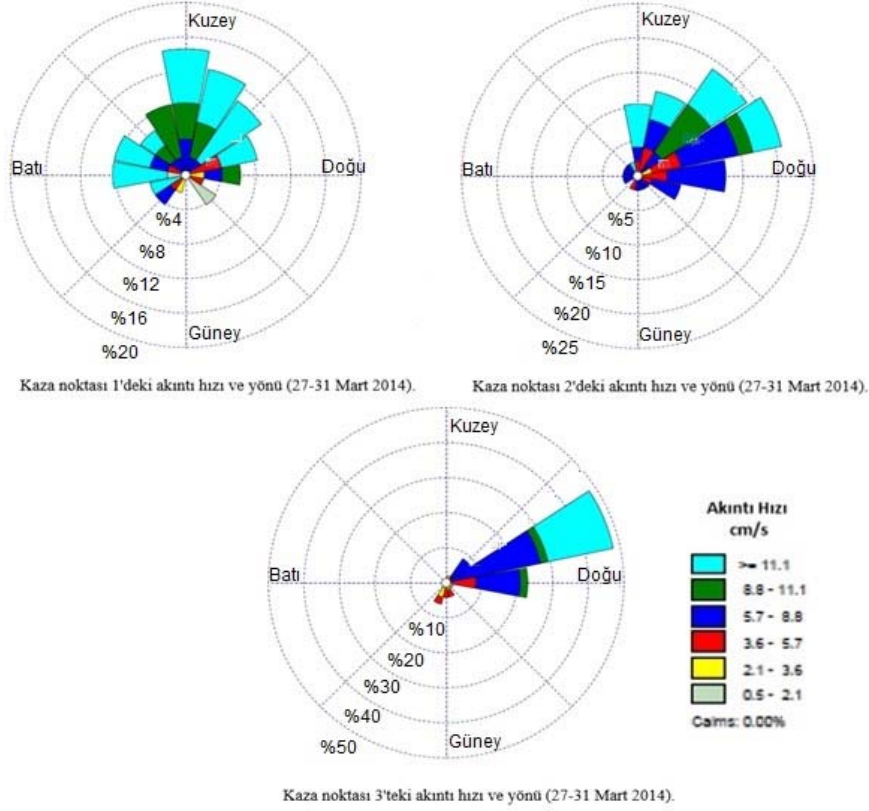
Şekil 8. Yaz koşullarında kaza noktalarındaki akıntı hızı ve yönü (Current velocity and direction at accident points in summer conditions).



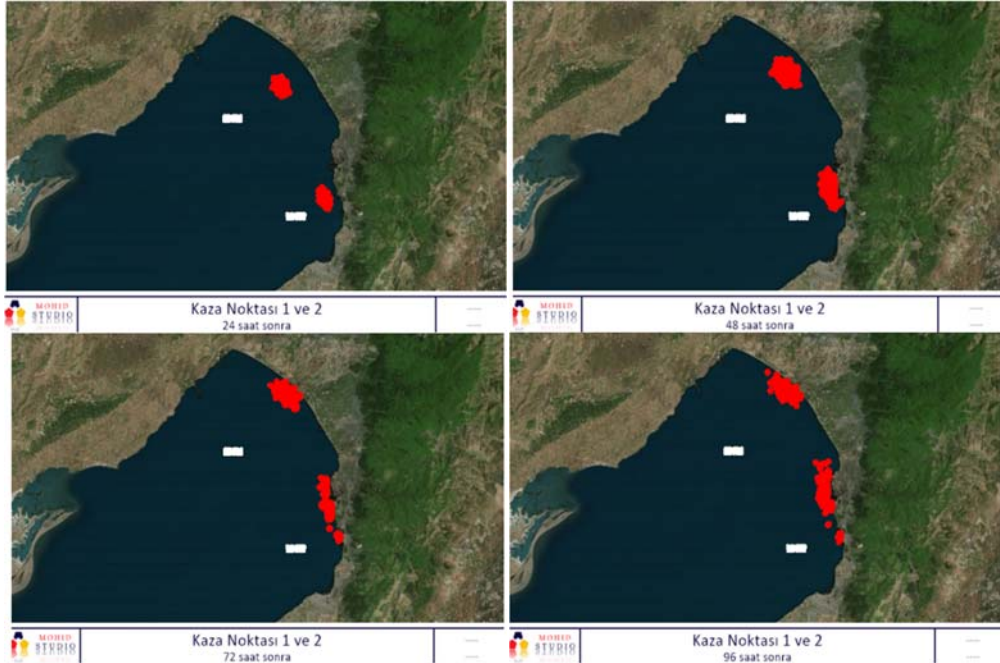
Şekil 9. Kış koşullarında kaza noktalarındaki rüzgâr hızı ve yönü (Wind velocity and direction at accident points in winter conditions).

tespit edildiği varsayılan kirlilik (ilk durum) beyaz renk ile gösterilirken, kırmızı renk petrolün hareketini temsil

etmektedir. Modelde her adım 1 saat olarak çalıştırılmış olmakla birlikte, şekillerde kirlilik meydana geldikten



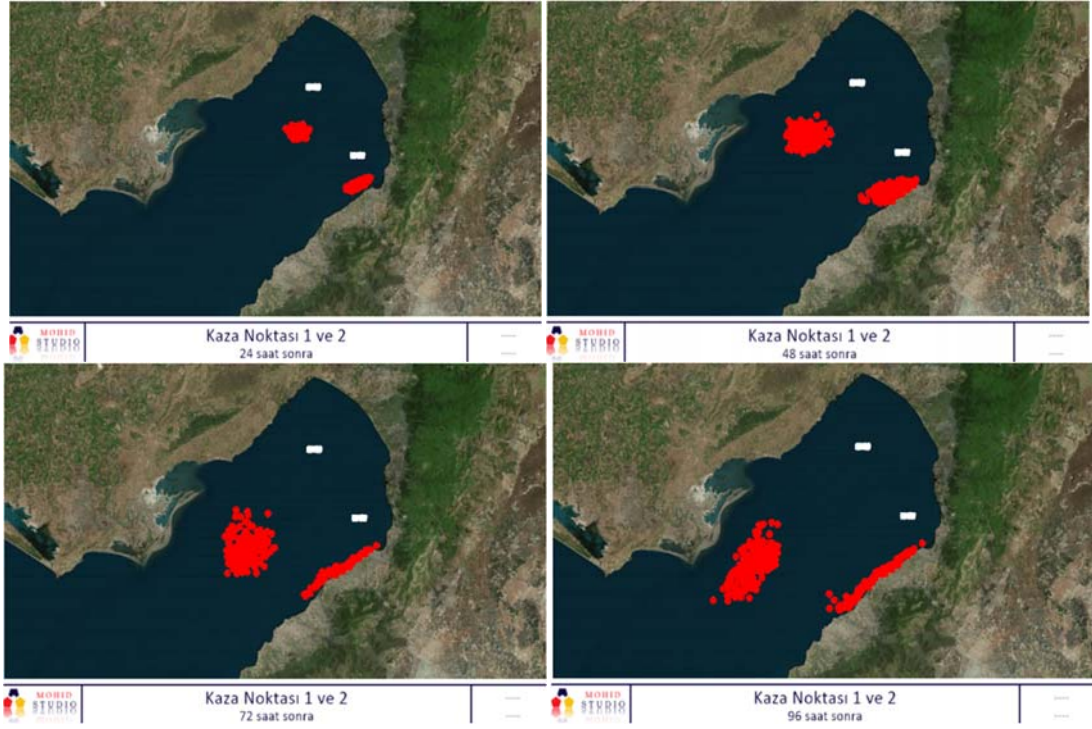
Şekil 10. Kış koşullarında kaza noktalarındaki akıntı hızı ve yönü (Current velocity and direction at accident points in winter conditions).



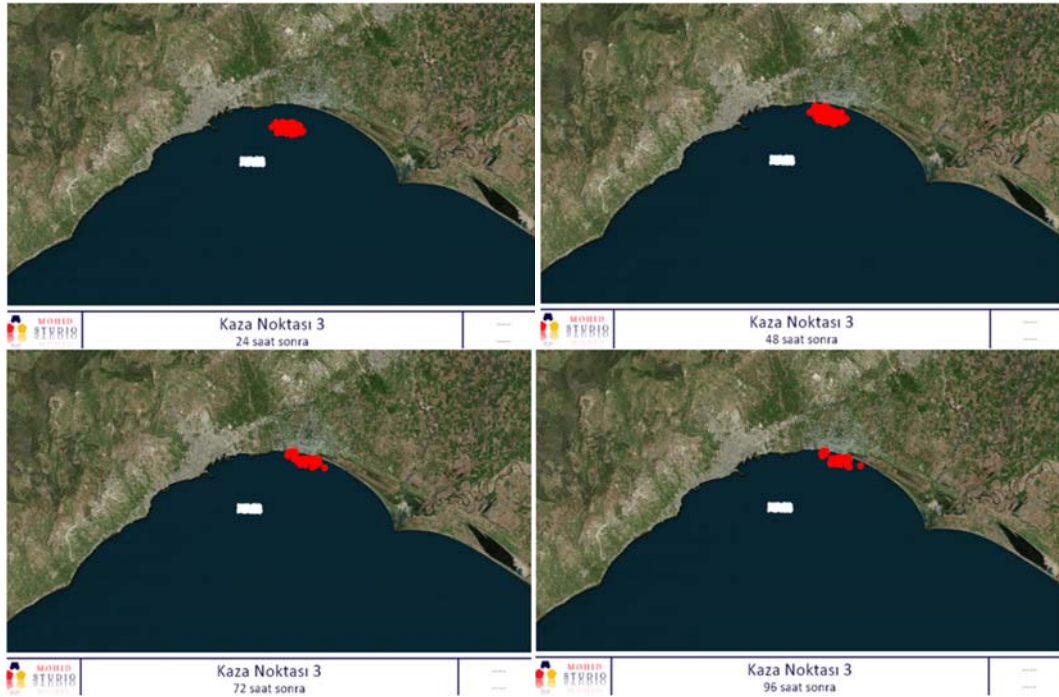
Şekil 11. Yaz mevsimi için kaza noktası 1 ve 2'deki zamana bağlı yayılım (Movement of oil spill with time at accident locations 1 and 2 for summer conditions).

sonraki 24, 48, 72 ve 96. saat sonunda petrolün yayılımı verilmektedir. Model sonuçlarına göre yaz koşullarında kaza noktası 1 olarak seçilen BOTAŞ önlerinde meydana

gelebilecek petrol kirliliğinde, petrol doğuya körfezin içine doğru yayılacak olup Dört Yol ilçesi kıyı bölgesi kirliliğe maruz kalmaktadır. Kirlilik kıyıya yaklaşık 43 saat sonra



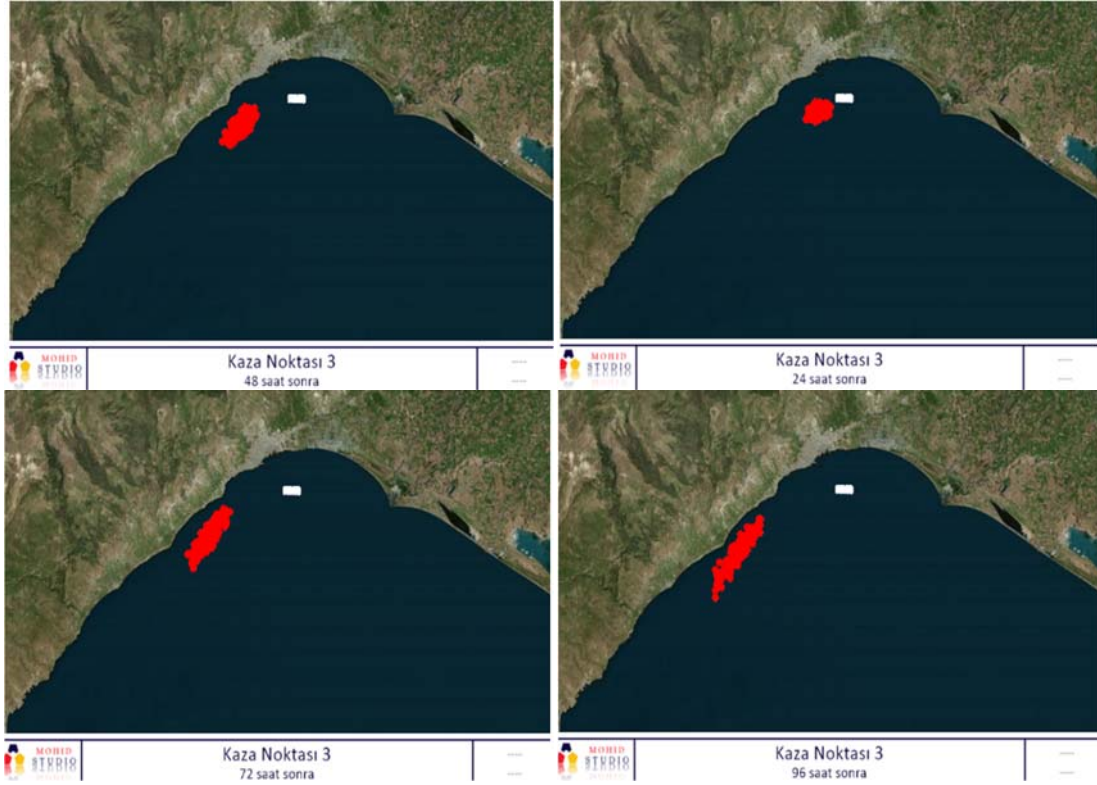
Şekil 12. Kış mevsimi için kaza noktası 1 ve 2'deki zamana bağlı yayılım
(Movement of oil spill with time at accident locations 1 and 2 for winter conditions).



Şekil 13. Yaz mevsimi için kaza noktası 3'deki zamana bağlı yayılım
(Movement of oil spill with time at accident point 3 for summer conditions)

ulaşabilmektedir. Kirliliğin kıyıya ulaşmasını engellemek için kullanılabilir bariyerin, bu zaman dilimi içinde çekilmesi gerekmektedir. Kış koşullarında ise bu bölgede meydana gelebilecek bir kirlilik Ceyhan kıyı bölgesine paralel olarak ilerleyecek olup kirliliğin kıyıya ulaşması

beklenmemektedir. Herhangi bir önlem alınmazsa petrol kirliliği dört gün sonunda, körfez ağzı çıkışına kadar ulaşmış olacak ve geniş bir su yüzeyini etkileyecektir. 2. kaza noktası olan İskenderun önlerinde meydana gelebilecek kazada, model sonuçlarına göre yaz koşullarında, İskenderun'un



Şekil 14. Kış mevsimi için kaza noktası 3'deki zamana bağlı yayılım
(Movement of oil spill with time at accident point 3 for winter conditions)

kuzeyi ve demir-çelik fabrikasının kıyı bölgesi kirliliğe maruz kalmaktadır. Kirlilik hızlı bir şekilde, yaklaşık 24 saat sonra kıyıya ulaşabilmektedir. Dört gün sonunda kirlilik kıyı şeridi boyunca daha da yayılmakta ve Dörtöl ilçesi kıyılarına kadar ulaşmaktadır. Bu sebeple, bu bölgede meydana gelecek bir kazanın ardından hemen bariyer çekmek vs. gibi tedbirlerin alınması gerekmektedir. Tedbir almakta gecikilmesi, uzun bir kıyı şeridinin kirliliğe maruz kalmasına sebep olacaktır. Kazanın kış koşullarında meydana gelmesi durumunda da, kirlilik yaz koşullarına benzer bir şekilde yaklaşık 24 saatte kıyıya ulaşacaktır. Ancak, kış şartlarından kirliliğin kuzeydoğu yönünde değil de, güneye doğru ilerlemesi beklenmektedir. Kirliliğe hızlı bir şekilde müdahale edilmezse petrol, İskenderun kıyı bölgesinde uzunca bir sahil şeridini etkisi altına alacaktır.

3. kaza noktası olarak seçilen Mersin önlerinde, yaz mevsiminde meydana gelebilecek kazada, petrol kuzeydoğuya doğru hareket edecek olup Kazanlı kıyı bölgesi kirliliğe maruz kalmaktadır. Kirlilik kıyıya yaklaşık 36 saat sonra ulaşabilmektedir. Dört gün sonunda tüm petrol kıyı şeridinde, ancak kaza noktası 2'ye kıyasla daha kısa bir kıyı şeridi boyunca birikmektedir. Kış koşullarında bu bölgede meydana gelebilecek petrol kirliliğinde ise kirlilik batı yönünde, kıyı bölgesine paralel olarak yayılım gösterecek olup, dört gün sonunda Erdemli ilçesine kadar ilerleyecektir. Yaz ve kış koşulları için zamanında acil müdahale yapılarak bariyer çekilmesi kirliliğinin daha geniş alanlara yayılmasını önleyecek ve özellikle yaz koşullarında kıyı bölgesini koruyabilecektir.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Seçilen 3 bölge için, sabit rüzgâr verisi yerine yönü ve şiddeti zamanla değişen ve yaz ve kış koşullarını temsil edecek şekilde seçilen gerçek rüzgâr verileri ile yapılan çalışmalar, aynı noktada ancak farklı mevsimlerde meydana gelecek kazalarda petrolün farklı şekilde hareket edeceğini göstermiştir. Mevsime bağlı olarak petrol kirliliği kıyıya ulaşmadan sahile paralel yayılabileceği gibi (Örneğin kaza noktası 3, kış mevsimi), petrolün 24 saat içinde kıyıya ulaşması da mümkün olabilir (kaza noktası 3, yaz mevsimi). Çalışmamızda, seçilen üç kaza noktası için de, kazaların yaz mevsiminde olması durumunda kirliliğin kıyıya vurma ihtimali ve hızının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar da, modellemenin acil müdahale planlarının hazırlanması ve uygulanması açısından önemini ortaya koymuştur. Önemli ve petrol kazalarının olma ihtimalinin yüksek olduğu noktalar için yapılacak modelleme çalışmaları ile hangi bölgede kazanın etkisinin daha önemli olacağı ve kazaya ne kadar hızlı müdahale edilmesine gerek duyulduğu, kaza olmadan belirlenerek, olası bir kaza durumunda zaman kaybedilmeden kazaya müdahale edilmesi mümkün olacaktır.

Model sonuçları incelendiğinde genel olarak kirliliğe en geç 24 saat içinde müdahale edilmesinin çevre açısından önem arz ettiği görülmüştür. Bu müdahaleleri zamanında yapabilmek için kirliliği zamanında tespit etmek gerekir. Kirliliği tespit etmek için Avrupa Deniz Güvenliği Ajansı

(EMSA) uydularından yararlanılabilir. Bu uydular petrol kirliliğini 30 dakika içerisinde tespit edebilmektedir. Bu kirlilik mesajının alınmasına müteakip daha önceden ulusal ve bölgesel bazda hazırlanmış petrol kirliliği modelleri vasıtası ile kirliliğe müdahale edilebilir. Ulusal ve bölgesel bazda hazırlanacak bu tarz modeller için, belirli bölgelerden geçen gemi rotaları ile gemi tip ve yüklerinin bilinmesi gerekecektir. Ayrıca, farklı yapılan modelleme çalışmaları ile Portekiz ve İtalya'da deniz kirliliği için geliştirilmekte olan ve modelleme verileri ile kirlilik durumunu çeşitli paydaşların kullanımına açılabilen online platformların [33] benzerlerini oluşturmak mümkün olabilecektir. Böylece petrol kirliliği meydana geldiğinde bölgesel bazda hazırlanacak olan set modellere veri girişi (kirlilik miktarı ve kirlenici tipi) yapıldığında online olarak yerel ve bölgesel paydaşların da kullanımıyla daha etkin bir müdahale yapılması mümkün olacaktır.

Kirliliğin hangi yönde yayılacağını önceden bilmek, kirliliğin yayılımının önlenmesi ve giderilmesi için kullanılacak tedbirlerin belirlenmesine de yardımcı olabilir. Kıyıya hızlı bir şekilde vurabilecek bir kirliliğe fiziksel olarak, bariyer çekerek müdahale edilebileceği gibi, doğal ya da sentetik malzemelerden üretilen yastık, keçe, pad gibi sorbentler de kullanılabilir. Göreceli olarak daha yavaş yayılan ve kıyıya paralel olarak ilerleyen petrol kirliliğinde ise, deterjanlar ve dispersanlar kullanılarak su ve petrol arasındaki kimyasal ve fiziksel bağın kırılmasını hızlandırılabilir. Böylece, petrol küçük damlacıklara dönüştürülerek balıklar, kuşlar ve deniz memelileri üzerindeki zehirlilik etkileri en aza indirilebilir. Son olarak, acil müdahale sırasında kullanılacak malzemelerin en kısa zamanda kaza bölgesine ya da petrol kirliliğinin olduğu bölgeye ulaştırılmasını sağlamak üzere, farklı mevsimlerde ve olası farklı noktalarda gerçekleşecek kazaların modelleme sonuçlarına göre, gerekli ekipman ve malzemenin depolanması ve saklanması için bir yer tespiti yapılabilir.

Doğu Akdeniz jeopolitik konumu nedeniyle stratejik önemi haiz bir denizdir. Rafineri, boru hatları, dolun istasyonları gibi tesislerin yoğun olduğu bu bölge, 2006 yılında Lübnan krizinde olduğu gibi bir saldırıya uğrayabilir. Kıyıda olan bu tesislerden denize yayılacak petrol, bölgeyi olumsuz etkileyecektir. Bu kapsamda gelecekte yapılacak çalışmaların, sadece denizden gelecek petrol kirliliğini değil, kıyıda gelecek petrol yayılımını da simüle etmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Çalışmaya katkılarından dolayı Dr. Joao JANEIRO'ya, Algarve Üniversitesi Hidrotec Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Coriolis Operational Oceanography. Şamandıra hareketleri. <http://www.coriolis.eu.org/Documentation/Technical-information-of-Coriolis-Web-Site>. Yayın tarihi Kasım 28, 2001. Erişim tarihi Ekim 9, 2015.

2. Ornitz B.E., Champ M.A., Oil Spills First Principles: Prevention and Best Response, Elsevier Science, 1, Amsterdam, 2002.
3. Anisuddin S., Al-Hashar N., Tahseen S., Prevention of Oil Spill Pollution in Sea Water Using Locally Available Materials. *Arabian Journal of Science and Engineering*, 30 (2B), 143-152, 2005.
4. The International Tanker Owners Pollution Federation. Oil Tanker Spill Statistics. https://www.itopf.org/fileadmin/data/Documents/Company_Lit/Oil_Spill_Stats_brochure_2020_for_web.pdf. Yayın tarihi Ocak 5, 2020. Erişim tarihi Şubat 1, 2020.
5. Yu F., Hu X., Dong S., Liu G., Zhao Y., Chen G., Design of a Low-cost Oil Spill Tracking Buoy, *Journal of Marine Science and Technology*, 23 (1), 188-200, 2018.
6. İnan A., Oil pollution modeling in Iskenderun Bay, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 26 (2), 471-478, 2010.
7. Scholz D.K., Kuklick J.H., Pond R., Walker R.H., Bastrom A., Fischbeck P., Fate of Spilled Oil in Marine Waters, American Petroleum Institute, Health and Environmental Science Department, 4691, Virginia, 1999.
8. The International Tanker Owners Pollution Federation. Fate of Marine Oil Spills. <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/document/tip-02-fate-of-marine-oil-spills>. Yayın tarihi Ekim 9, 2018. Erişim tarihi Nisan 25, 2019.
9. Proctor R., Elliot A.J., Flather R.A., Forecast and Hindcast Simulations of the Braer Oil Spill, *Marine Pollution Bulletin*, 28 (4), 219-229, 1994.
10. Spaulding M.L., State of the Art Review and Future Directions in Oil Spill Modeling, *Marine Pollution Bulletin*, 115 (2), 7-19, 2017.
11. Daling P.S., Mackay D., Mackay N., Brandvik P.J., Droplet Size Distributions in Chemical Dispersion of Oil Spills: Towards A Mathematical Model, 7 (3), 173-198, 1990.
12. French-McCay D.P., Oil Spill Impact Modeling: Development and Validation, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23 (10), 2441-2456, 2004.
13. Yılmaz N., Modeling of wind climate, wave climate and current pattern in Samsun Bay coastal waters, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (1), 279-297, 2018.
14. Numanoğlu A., Alara, Modeling of sediment transport processes in Alara, Turkey, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (3), 545-553, 2016.
15. İnan A., Modeling of Hydrodynamics and Dilution in Coastal Waters, *Water*, 11 (83), 1-17, 2019.
16. Akan Ç., Numerical Modeling of Oil Spreading Over The Sea Surface, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
17. Toz A.C., Buber M., 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, 551, 2018.

18. Alves T., Kokinou E., Zodiatis G., Lardner R., Panagiotakis C., Radhakrishnan H., Modelling of oil spills in confined maritime basins: The case for early response in the Eastern Mediterranean Sea, *Environmental Pollution*, 206, 390-399, 2015.
19. Başar E., İstanbul Boğazı'nda Tanker Kazaları ile Oluşabilecek Petrol Dağılımının Simülasyonu, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2003.
20. Can S., Tanker Kazaları Sonrası İstanbul Boğazı'ndaki Yakıt Kirliliği Simülasyonu, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
21. Bozkurtoğlu Ş., Modeling oil spill trajectory in Bosphorus for contingency planning, *Marine Pollution Bulletin*, 123, 57-72, 2017.
22. Aydın O., Kıyısız Sularda Petrol Kirliliği Dağılımının Sayısal Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009.
23. Toz C., Köseoğlu B., Trajectory prediction of oil spill with Pisces 2 around Bay of Izmir, Turkey, *Marine Pollution Bulletin*, 126, 215-227, 2018.
24. Paiva P., Junior J., Barreto A., Silva J., Neto A., Comparing 3d and 2d computational modeling of an oil well blowout using MOHID platform - A case study in the Campos Basin, *Science of the Total Environment* 595, 633-641, 2017.
25. Lizbon Teknik Üniversitesi. MOHID water modelling system. <http://www.mohid.com/pages/home/whatisMohid.shtml>. Yayın tarihi Haziran 1, 2002. Erişim tarihi Mart 19, 2019.
26. Fernandes R., Neves R., Viegas F., Integration of an Oil and Inert Spill Model in a Framework for Risk Management of Spills at Sea-A Case Study for the Atlantic Area, *Hidromod*, Lisbon, 2013.
27. General Bathymetric Chart of the Oceans. Bathymetric data. http://www.gebco.net/data_and_products. Yayın tarihi Kasım 30, 2001. Erişim tarihi Ekim 2, 2015.
28. Atina Üniversitesi. SKIRON Atmosferik Modelleme ve Hava Tahmini. <http://forecast.uoa.gr>. Yayın tarihi Şubat 24, 1998. Erişim tarihi Ekim 3, 2015.
29. Mercator Ocean. Sınır ve başlangıç koşulları. <https://www.mercator-ocean.fr>. Yayın tarihi Mart 5, 2003. Erişim tarihi Ekim 4, 2015.
30. Copernicus Marine and Environment Monitoring Service. Gel-git. <https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/auxiliary-products/global-tide-fes/description-fes2004.html>. Yayın tarihi Mart 15, 2014. Erişim tarihi Ekim 7, 2015.
31. Burgherr P., 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, 2007.
32. Çubuk M., Gürü M., Uğurlu E., Cleaning up oil spills on water surface with wastes of granular styrofoam, tea fibers and polystyrene foam, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 29 (2), 281-287, 2014.
33. Janeiro J., Martins F., Relvas P., Towards the development of an operational tool for oil spills management in the Algarve coast, *Journal of Coastal Conservation*, 16 (4), 449-460, 2012.