PETROL KİRLİLİĞİNİN DENİZDE YAYILIMININ DEĞERLENDİRİLMESİ: ALİAĞA LİMANLAR BÖLGESİ İÇİN BİR UYGULAMA

Ali Cemal TÖZ¹ ve Burak KÖSEOĞLU²

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'nin en büyük sanayi bölgelerinden biri olan Aliğa Limanlar Bölgesi'nde artan denizyolu taşımacılığına bağlı olarak gemi kazaları açısından riskli bölgelerin belirlenmesi ve olası gemi kaynaklı petrol kirliliğinin yayılımının hesaplanmasıdır. Bu kapsamda petrol yayılımının hesaplanabilmesi için Transas Ltd. tarafından geliştirilen döküntü simülasyon yazılımı olan PISCES 2 kullanılmıştır. Risk altında bulunan alanların tespit edilebilmesi için döküntü tipi ve ortam koşulları dikkate alınarak iki farklı senaryo geliştirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarının bölgede faaliyet gösteren tesisler ve kirliliğe müdahale firmaları tarafından gerçekleştirilen acil müdahale operasyonlarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Sözcükler: Aliğa, Petrol Kirliliği, PISCES 2, Simülasyon.

1. GİRİŞ

Petrol ürünleri denize döküldüğünde, fiziksel ve kimyasal yapısında değişiklikler meydana gelir. Bazı petrol ürünleri doğada kalıcı özellikler gösterirken bazıları ise parçalanma ve yok olma eğilimindedir. Dökülen petrolün deniz ortamındaki akıbeti dökülen miktar, petrolün başlangıçtaki fiziksel ve kimyasal özellikleri, mevcut iklim ve deniz koşulları gibi unsurlara bağlıdır (ITOPF, 2002; Töz vd., 2016).

Bu çalışmanın amacı, Aliğa Körfezi'nde meydana gelebilecek olası bir petrol döküntüsünde petrolün zamana bağlı maruz kalacağı etkileri tahmin etmek ve müdahale operasyonlarının karar destek elemanlarına katkıda bulunmaktır. Bu çalışma aynı zamanda bölgedeki hassas alanlar için (plajlar, balıkçılık, deniz vahşi yaşamı, deniz parkları

¹Yrd. Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, İzmir, ali.toz@deu.edu.tr.

²Yrd. Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, İzmir, burak.koseoglu@deu.edu.tr.

ve diğer korunan kıyı alanları) için risk değerlendirmesi yapmayı amaçlamaktadır.

2. MATEMATİKSEL MODEL

Bu bölümde, fiziksel ve kimyasal bozunma işlemlerini tanımlayan algoritmalar anlatılmıştır. Bu kapsamda döküntüden hemen kısa bir süre sonra başlayan ve bozunmanın en önemli kısmını temsil eden 4 ana süreç dikkate alınmıştır. Bu süreçler buharlaşma, dispersiyon, fiziksel dağılma ve yayılımdır (Aghajanloo ve Pirooz, 2011). Şekil 1’de petrol kirliliğinin denizde zamana bağlı bozunma süreçleri gösterilmektedir.

Şekil 1: Petrol kirliliği bozunma süreçleri
Kaynak: Reed vd., 1999.

Şekilden de anlaşıldığı üzere denize dökülen petrol, zaman kaybetmeden doğaya karışır. Bu bozunmanın büyük bir kısmı kısa bir süre içerisinde tamamlanırken kalan kısmının parçalanması için çok daha uzun bir süreye ihtiyaç vardır (Dominicis vd., 2013).

2.1. Fiziksel Dağılım

Fiziksel dağılım, bir takım parçacıkların spesifik özelliklere sahip olduğu varsayılarak petrolün yer değişimini ortaya koymaktadır. Bileşenin içeriği ve miktarı, dağılım sırasında değişebilir. Bu aşamada,

geometrik olarak en yakın komşuların kütle korelasyonuna, maruz kalma süresi ve alan gibi özelliklerinin birleştirilmesine ilişkin yeniden hesaplama yapılır. Yayılma yüzünden petrolün kaybolması esas olarak rüzgâr ve akıntı etkisindedir. Rüzgar temelli yer değiştirme hızı, rüzgar hızının% 3'ü (% 1 -% 6) olarak hesaplanmaktadır (Soltanpour vd., 2013). Hem rüzgâr temelli akıntı hem de gelgit akıntıları mevcut olduğunda, oluşan hareket, iki vektör niceliğinin toplamıyla hesaplanabilir (Fingas, 2013). Bu hareketin yaklaşık üçte ikisi Stokes'un yüzey dalgalarını sürüklediğini göstermektedir. Geriye kalan üçte birlik kısım ise döküntünün su yüzeyindeki hareketini temsil etmektedir (Lehr vd., 2002). Bu işlemin iki boyutlu olduğu varsayılır, tek bir parçacık için sürüklenme denklemi aşağıdaki biçimde yazılabilir:

$$\frac{\partial \vec{X}_i}{\partial t} = \vec{V}_{\text{drift}}(x_i, y_i, t) + \vec{V}_{\text{diff}}(x_i, y_i, t) + \vec{V}_{\text{spread}}(x_i, y_i, t), \quad (1)$$

Burada, $\vec{X}_i = (x_i, y_i)$ İ'nci parçacığın yeri, t zamanı, $\vec{V}_{\text{drift}}$ akıntı ve rüzgar kuvvetlerinden kaynaklanan sürüklenme hızını, $\vec{V}_{\text{spread}}$ yayılma değişkeni ve $\vec{V}_{\text{diff}}$ ise stokastik süreçten sorumlu difüzyon hızıdır. Sürüklenme hızı denklemi, aşağıdaki gibi açıklanan bileşenlerine bölünebilir:

$$\vec{V}_{\text{drift}}(x, y) = a_w \vec{V}_w(x, y) + a_c \vec{V}_c(x, y), \quad (2)$$

Burada $\vec{V}_w$ rüzgar hızını, $\vec{V}_c$ yüzey akıntı hızını $a_w = 0.03 \cdot \text{rüzgar}$ faktörü, $a_c = 1.0 \cdot \text{akıntı}$ faktörüdür. Difüzyon hızı değişkeni aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\vec{V}_{\text{diff}}(x, y) = \vec{V}_{\text{drift}} R_n \exp(i\alpha_n) \quad (3)$$

Burada R_n , $[-1, 1]$ içerisinde normal olarak dağıtılan rastgele sayıdır, açı α_n , $[0, \pi]$ aralığında eşit olarak dağılan rassal açıdır.

2.2. Yayılım

Rüzgârın ve akıntının olmadığı durumlarda bile, petrol su yüzeyinde yatay olarak yayılır. Bu yayılma yerçekimi kuvveti ve petrol ve su arasındaki ara yüzey gerilmeleri nedeniyle meydana gelir. Petrolün viskozitesi bu kuvvetlere karşı çalışır. Zaman geçtikçe, petrol üzerindeki yerçekimi kuvveti etkisi yok olur, ancak ara-yüzey gerilme kuvveti petrolü yaymaya devam eder. Bu kuvvetler arasındaki geçiş petrol döküldükten sonraki birkaç saat içinde meydana gelir (Fingas, 2001). Fay (1972) petrol tabakasının yayılımının üç aşamada incelemiştir. Bu aşamalar Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1: Petrol kirliliği yüzey dağılımı eşitlikleri

Dağılım Safhası	1-D Dağılım Uzunluğu	Asimetrik Eksen Yayılım Yarıçapı (R)
Gravite-Inertia	$1.39(\Delta\rho g A t^2)^{1/3}$	$1.14(\Delta\rho g V t^2)^{1/4}$
Gravite-Viskozite	$1.39(\Delta\rho g A^2 t^3 v^{-1/2})^{1/4}$	$0.98(\Delta\rho g V^2 t^3 v^{-1/2})^{1/4}$
Yüzey Gerilimi-Viskozite	$1.43(\sigma^2 t^3 \rho_w^{-2} v^{-1})^{1/4}$	$1.60(\sigma^2 t^3 \rho_w^{-2} v^{-1})^{1/4}$

Tablodan da anlaşıldığı üzere Fay (1971), sakin ortam koşullarını dikkate alarak rüzgarsız bir ortamda bu formülleri üretmiştir. Yani rüzgârın etkisini göz ardı etmiştir. Lehr (1984) rüzgâr etkisini de göz önüne alarak Fay eşitliklerini aşağıdaki şekilde geliştirmiştir:

$$A = 2270 \left(\frac{\Delta p}{p_0} \right)^{2/3} V^{2/3} + 40 \left(\frac{\Delta p}{p_0} V U_w \right)^{1/3} t \quad (4)$$

Burada Δp : deniz suyu yoğunluğu (ρ_w) ve petrol yoğunluğu (ρ_o) farkı, $\Delta p = \rho_w - \rho_o$; $U_{rüz}$: rüzgâr hızı [knot] ve t zamandır [dak]. Lehr formülü kullanılarak, petrol kirliliğinin zamanla kaplayacağı yüzey alanı elde edilebilir.

2.3. Buharlaşma

Buharlaşma, dökülmeden hemen sonraki ilk günlerdeki en önemli bozunma sürecidir. Buharlaşma süreci, dökülen petrolün kütlece üçte birinden üçte ikisine kadar kaybedilmesinden sorumlu olabilir (Jordan ve Payne, 1980). Bu süreç daha uçucu bileşenlerin hızlı ilk kaybı ile başlar, daha az uçucu bileşenlerin gittikçe yavaş kaybı ile takip edilir. Bir dizi parametre, petrolün buharlaşma oranını belirlemektedir (Speight ve Arjoon, 2012).

- Ürünün özellikleri: Hafif ürünler ağır ürünlerden daha hızlı buharlaşır.
- Sıcaklık: Sıcaklık, buharlaşma oranını artırır.
- Rüzgâr hızı: Rüzgâr hızı arttıkça buharlaşma miktarı artar.
- Ürünün atmosfer ile temas alanı: Yüzey alanı büyüdükçe buharlaşma artar.

Yayılma oranı, petrolün viskozitesine bağlı olduğundan hafif ürünler, hem maruz kalan bölgede bir artışa hem de daha açık bileşenlerin daha yüksek yüzdesine bağlı olarak daha hızlı buharlaşır. Buharlaşma kayıplarının tahminleri, dökülmenin kalıcılığını değerlendirmek için gereklidir ve zamanla yağ özelliklerinde meydana gelen değişikliklerin tahminin de temelini oluşturur. Basit metotlar, çoğunlukla Stiver ve Mackay (1984) tarafından önerilen bir analitik modele dayalı olarak yaygın olarak kullanılmaktadır.

Buhar basıncı P (Pa) olan bir sıvı bir (m^2) alana dökülürse, buharlaşma oranı aşağıdaki denklem ile ifade edilir (Stiver ve Mackay, 1984);

$$N = k_a P / (RT) \quad (5)$$

Bu denklemde N , molar akıntıyı (mol/s), k_a , kütle aktarım katsayısını (m/s), R , gaz sabitini [$8.314 \text{ Pa} \cdot m^3 / (\text{mol} \cdot K)$] ve T , çevre sıcaklığını (K) temsil etmektedir. Yukarıdaki eşitlik aşağıdaki şekilde düzenlenebilir (Fingas, 2013);

$$dF_v / dt = k_a P_v / (V_o RT) \quad (6)$$

Burada, F_v , buharlaştırılan hacim fraksiyonudur, t , zaman değişkeni, v , sıvının molar hacmidir (m^3/mol) ve V_o , dökülen sıvının başlangıç hacmidir (m^3). Bu denklem yeniden düzenlendiğinde (Jordan ve Payne, 1980);

$$dF_v = [P_v / (RT)] (k_a dt / V_o) \quad (7)$$

veya

$$dF_v = H \cdot d\theta \quad (8)$$

Denklemin sağ tarafı iki boyutsuz gruba ayrılmıştır. $K_a t / V_o$ grubu "evaporatif pozlama" olarak adlandırılır ve θ olarak gösterilir. Buharlaşmaya maruz kalma, zamanın, dökülen alanın ve hacmin (veya kalınlığın) ve kütle aktarım katsayısının (rüzgâr hızına bağlı olduğu) bir fonksiyonudur. $P_v / (RT)$ veya H grubu, boyutsuz bir Henry yasası sabiti veya sıvının buhar fazındaki $[P / (RT)]$ denge konsantrasyonunun ($1 / v$) oranıdır. Bu, sıcaklığın bir fonksiyonudur (Fingas, 2013). Ürün $H\theta$ bu nedenle buharlaşan miktarın (buhar yoğunluğundaki yağ konsantrasyonu buhar hacmi) orijinal olarak mevcut olan miktara oranıdır. Sıvı saf ise, H , F_v 'den bağımsızdır ve denklem aşağıdaki gibi doğrudan verilebilir (Stiver ve Mackay, 1984);

$$F_v = H\theta \quad (9)$$

2.4. Dispersiyon

Dispersiyon, petrolün, dalgaların etkisi altında ince bölünmüş damlacıklara dağılmasıdır. Bu durum yağın toplam yüzey alanını artırır ve bu nedenle biyolojik bozunmayı hızlandırır (Blaikley vd., 1977). Dağılım oranının, döküntü kalınlığının, yağ-su ara yüzey geriliminin, yağ yoğunluğu ve viskozitesinin ve deniz halinin bir fonksiyonu olduğu düşünülmektedir (Papadimitrakakis vd., 2011).

Yukarıdaki referansların neredeyse tamamında ve denizdeki petrol davranışının çeşitli simülasyon modellerinde, Delvigne ve

Sweeney (1988) tarafından önerilen ampirik bir ifade kullanılmaktadır. Bu ifade yüzey dalgalarının kırılmasından kaynaklanan su sütunundaki yağ kütlesi dağılım oranı için birim yüzey alanını temsil etmektedir. Bu ilişki esas olarak petrol türüne bağımlılığı, türbülansa dönüşen dalgaların kırılma enerjisi ve birim zaman başına beyaz köpüklerle kaplanan deniz yüzeyi fraksiyonu ile karakterize edilir; miktarlar ampirik olarak tahmin edilir (Papadimitrakakis vd., 2011).

$$F_{wc} = C_b (U_w - U_{wi}) / T_w \quad (10)$$

Yerel rüzgâr hızı U_w , Ortalama Deniz Hattı (MWL)'nin 10 m. yüksekliğinde ölçülürken, U_{wi} kırılmanın "başlatılması" için gerekli rüzgâr hızını temsil eder. T_w , karakteristik bir dalga periyodu ve C_b ($\approx 0.032 \text{ s m}^{-1}$) ise formül sabitidir; Bir kırılma olayında birim yüzey alanı başına enerji dağılımı için aşağıdaki yarı-ampirik ilişki bulunmaktadır:

$$D_{ba} = 0.0034 p_w g H_{rms}^2 \quad (11)$$

H_{rms} değişkeni, dalga alanındaki dalga yüksekliğinin (m/cm^2) kök ortalama kare (rms) değerini temsil ettiği yerde, p_w , (kg/m^3) cinsinden su yoğunluğudur ve g , yerçekimini (m/s^2) temsil eder (Delvigne, 1993).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Aliğa Limanlar bölgesindeki petrol döküntüsü açısından riskli alanları belirlemek için PISCES 2 yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım ile, dökülen ürünün ana bozunma süreçleri simüle edilmiştir. PISCES 2 yazılımı ABD Sahil Güvenlik birimlerinin kullanabilmesi için "Preparedness for Response Exercise Program (PREP)" programı kapsamında tasarlanmış Transas Ltd. tarafından üretilmiş bir döküntü simülasyon aracıdır. Yazılım 1990 Petrol Kirliliği Yasası'nın (OPA 90) gerekliliklerini karşılamaktadır. PISCES 2, 1990'ların ortalarından beri petrol şirketleri, akademik kurumlar ve araştırma merkezleri tarafından global düzeyde kullanılmaktadır. PISCES 2'nin simülasyon sonuçları uluslararası düzeyde doğrulanmış ve onaylanmıştır (Delgado ve diğerleri 2006; Lazuga 2012; Lazuga ve diğerleri 2013; Davidson ve ark. 2008; Ludwiczak ve Juszkiwicz 2010).

3.1. Araştırma sahası

Araştırmada çalışma alanı olarak Aliğa Limanlar bölgesi seçilmiştir. Bölgede petrol ve petro-kimya endüstrisi gibi enerji üretimine yönelik tesislerin yanı sıra demir çelik sektöründe faaliyet gösteren

tesisler, doğalgaz üretimine yönelik LNG tesisleri, gemi söküm, liman ve lojistik yatırımları ile Aliğa, ülke ekonomisine önemli katkılar sağlayan bölgelerin başında gelmektedir. Aliğa Nemrut Körfezi'nde bulunan liman işletmelerinde 2016 yılında toplam 4 bin 959 gemi hareketi olurken Aliğa limanları, İzmit'ten sonra Türkiye'nin ikinci yoğun limanı oldu. Şekil 2'de araştırma sahası gösterilmektedir.

Şekil 2: Araştırma sahası

Aliğa Limanlar bölgesi Ege Denizi'nin deniz trafiği açısından oldukça yoğun bir bölgesi olarak kabul edilmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4'te Ege Denizi'nin ve Aliğa'nın gemi trafiğine ait yoğunluk haritası gösterilmektedir.

Şekil 3: Ege Denizi'ne ait gemi trafik yoğunluk haritası

Kaynak: Marinetraffic, 2017.

Not. Renk kodlaması, her bölgedeki trafik yoğunluğunu gösterir. Numaralar, günlük olarak gemi miktarını ve karekök kilometre başına konumlarını sayar. Renkler: mavi-30'dan az; Yeşil-30 ile 70; Sarı-71 ile 140; Kırmızı-140'dan fazla.

3.1.2. Çevresel değişkenler

Bölgesel çevre verileri, Devlet Meteoroloji Enstitüsü tarafından hazırlanan uzun vadeli gözlem istatistiklerinden elde edilmiştir. Çalışmada, dikkate alınan temel çevresel belirleyiciler (sıcaklık, rüzgâr ve deniz akıntıları) deniz kirliliğinin bozunma süreçleri üzerinde doğrudan etkisi olan temel değişkenlerdir. Yapılan tüm simülasyonlarda, en kritik durumun ortaya konabilmesi için etkili rüzgâr yönü olarak, ortalama hâkim rüzgâr yönü WNW alınmıştır. Tesisin bulunduğu Körfez bölgesinde dalga etkisi ile kıyı boyu akıntısı oluşabilmektedir. Yapılan kirlilik yayılma simülasyonları sırasında 0.05 m/sn kararlı akıntı modellenmiştir. Su sıcaklığı yıllık ortalama sıcaklık olan 15 °C olarak kabul edilmiştir.

3.1.3. Senaryo

Bu araştırmada iki senaryo dikkate alınmış olup detayları Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo: 4. Çalışmada uygulanan senaryoya ait detaylar

Senaryo	Kirletici	Miktar (m ³)	Süre (d)
1	Benzin	900	Dökülme Anı
			30
			60
2	Motorin	900	Dökülme Anı
			30
			60

Tablo 4'te de görüldüğü çalışma iki senaryo üzerinden yürütülmektedir. Bu senaryoların karşılaştırılabilmesi için döküntü miktarları ve senaryo süreleri aynı alınmıştır. Kirletici tiplerine bağlı olarak döküntü hareketi ve bozunma süreçleri karşılaştırılmıştır. Tüm döküntüler 38° 49' 30''K/26° 53'30''D pozisyonunda gerçekleştiği varsayılarak simülasyon başlatılmıştır. Simülasyon dökülme anı, 30 ve 60 dakikalık yayılımlar dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda ürünlere göre bozunma süreçleri de karşılaştırılmıştır. Ayrıca döküntünün hareketine bağlı olarak riskli alanlar tespit edilmiş olup gerekli önlemler için de önerilerde bulunulmuştur.

3.2. Bulgular

Şekil 5aa: S/1(a) Benzin/19 dk.

Şekil 5ba: Döküntü alanı

Şekil 5ab: S/1(b) Benzin/30 dk.

Şekil 5bb: Buharlaşma miktarı

Şekil 5ac: S/1(c) Benzin/60 dk.

Şekil 5bc: Dispersiyon miktarı

Şekil 6aa: S/ 2(a) Motorin/22 dk.

Şekil 6ba: Döküntü alanı

Şekil 6ab: S/2(b) Motorin/30 dk.

Şekil 6bb: Buharlaşma miktarı

Şekil 6ac: S/2(c) Motorin/60 dk.

Şekil 6bc: Dispersiyon miktarı

Senaryo çıktılarına bakıldığında her iki senaryo için de dökülen ürünün su üzerindeki hareketi birbirine oldukça benzer bir fotoğraf ortaya koymaktadır. Her iki durumda da bölge koşullarının etkisi altında burunun batı tarafı kirlenme riski taşımaktadır. Kıyıya temas sürelerine bakıldığında benzinin döküldükten 19 dk. sonra motorinin ise 22 dk. sonra kıyıya ulaştığı görülmektedir. Kıyıya temas ettikten sonra bütünlüğünü koruyan döküntü güney yönlü hareketine devam ederek

burunun güney batı kıyılarının kirlenmesine neden olmaktadır. Her ne kadar kıyıya temas süreleri ve büyüklükleri birbirine yakın olsa da oluşacak nihai kontamine atık miktarı farklı olacaktır. Döküntü alanları dikkate alındığında ürünlerin yayıldıkları alanların birbirine oldukça yakın olduğu göze çarpmaktadır. Benzin için maksimum döküntü alanı 113.000 m² iken motorin için 108.000 m² olarak hesaplanmıştır. Kıyıya temastan sonra gözle görülen bir alan küçülmenin yaşandığı da görülmektedir. Buharlaşma oranlarına bakıldığında ise benzinin daha uçucu bir yapıya sahip olmasından dolayı motorine göre oldukça ciddi bir farkla daha fazla buharlaştığı görülmektedir. 1 saat sonunda benzinin 11 m³'lük kısmının buharlaştığı motorinin ise 0.4 m³'lük kısmının buharlaştığı görülmektedir. Dispersiyon oranları incelendiğinde ise benzin ve motorinin doğal dağılıma maruz kalan kısımların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. 1 saatlik sürenin sonucunda 0.4 m³ benzinin ve 0.2 m³ motorinin dispersiyona maruz kaldığı görülmektedir.

SONUÇ

Petrol ve türevi ürünler özgül ağırlığı deniz suyundan daha düşük olduğundan ötürü suya dökülmeleri durumunda yüzme eğilimindedir. Dünyada pek az rezervden çıkarılan ham petrol ürünleri sudan daha yoğun olduğu için suya dökülmesi durumunda batma eğilimi göstermektedir. Yapılan çalışmada kirletici olarak riskli kabul edilen ürünler kapsamında benzin ve motorin seçilmiştir. Her iki kirletici de denize döküldüğünde ilk önce yüzeyde kalarak dağılıma eğilimi göstermektedir. Dökülme noktası, Aliğa Körfezi'ndeki gemi trafik yoğunluğuna dayanarak seçilmiştir.

Her iki ürünün dökülmesine bağlı gerçekleşen yer değiştirme hareketi incelendiğinde çevresel değişkenlerin son derece önemli rol oynadığı sonucuna da ulaşılmıştır. Özellikle akıntı, rüzgâr, deniz suyu sıcaklığı ve hava sıcaklığı gibi değişkenlerin ürünlerin yatay dağılımı açısından son derece önemli olduğu görülmektedir. Bu çalışmada aynı zamanda dökülen ürünlerin deniz üzerindeki hareket yönleri ve hızlarının bu çevresel değişkenler ile yakından ilgili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Özellikle akıntının yönü ve şiddetinin rüzgâr yön ve şiddetine oranla daha baskın bir role sahip olduğu döküntünün daha çok akıntının etkisi altında hareket ettiği rüzgârın ise bu harekette çok daha düşük bir etkiye sahip olduğu göze çarpmaktadır.

Dökülen ürünlerin maruz kaldığı etkilere bakılacak olursa, benzinin literatürde ifade edildiği gibi bozunma süreçlerinin motorine göre daha hızlı ve yüksek oranda modelleme çalışmalarında da desteklenmiştir. Buharlaşma yüzdelere bakılacak olursa benzinin

moleküler çekim gücünün motorine göre göre daha az olması ve buhar basıncının yüksek olması sebebiyle daha fazla buharlaştığı görülmektedir.

Bu çalışmada küçük ölçekli bir alanda kısa süreli iki farklı ürünün neden olacağı kirlenmeler simüle edilmiştir. Sonraki çalışmalarda daha geniş alanda, daha uzun sürelerde ve farklı ürün tiplerindeki kirlenmenin modellenmesinin faydalı olacağı önerilmektedir. Modelleme çalışmalarında ürüne müdahale edilmeden serbest hareketinin gözlemi sağlanmıştır. İleri ki çalışmalarda denizden, karadan ve havadan müdahale imkânlarının konuşlandırılarak olaya müdahale edilmesi ile durum analizi yapılmasında fayda olacağı kanaati oluşmuştur.

KAYNAKÇA

- Aghajanloo, K. ve Pirooz, M. D. (2011). “*The Simulation of The Oil Weathering Processes in Marine Environment*”. Proceeding of the 4th International Conference on Environmental and Computer Science, ICECS.
- Blaikley, D.R.G.F.L., Dietzel, A., Glass, W. ve Van Kleef, P.J. (1977). “*SLIKTRAK – A Computer Simulation of Offshore Oil Spills, Cleanup, Effects And Associated Costs*”. EPA/API Oil Spill Conference Proceedings, New Orleans, 1977.
- Davidson, W.F., Lee, K. ve Cogswell, A. (2008). *Oil Spill Response: A Global Perspective*. Springer Science & Business Media, Canada
- De Dominicis, M., Pinardi, N., Zodiatis, G. ve Lardner, R. (2013). “*MEDSLIK-II, A Lagrangian Marine Surface Oil Spill Model For Short-Term Forecasting*”. Geoscientific Model Development, 6(6): 1851.
- Delgado, L., Kumzerova, E. ve Martynov M. (2006). “*Simulation of oil spill behavior and response operations in PISCES*”. Wit Trans. Ecology Environment, 88: 279-292.
- Delvigne, G.A.L. (1993). “*Natural Dispersion of Oil by Different Sources of Turbulence*”, International Oil Spill Conference Proceedings, 415–419.
- Delvigne G.A.L. ve Sweeney, C.E. (1988). “*Natural Dispersion of Oil*”. Oil & Chem. Poll., 4: 281-310.
- Fay, J.A. (1972). “*Physical Processes in The Spread of Oil on a Water Surface*”. Proc. Conf. Prevention and Control of Oil Spills, 1972, 15-17 June. American Petroleum Institute, Washington.463-467.
- Fingas, M. (2001). *The Basics of Oil Spill Cleanup*. Lewis Publishers, CRC Press, LLC,Florida
- Fingas, M. (2013). “*Modeling Oil and Petroleum Evaporation*”. Journal of Petroleum Science Research. 2(3).
- IHS. (2017). *The module of Maritime Intelligence Risk Suite: Aegean Region Traffic density and risk visualization*. U.K.

- ITOPF (International Tanker Owners Federation). (2002). *Fate of oil spills*, <http://www.itopf.com/marinespills/fate/weathering-process/documents/tip2.pdf>. Erişim Tarihi: 05.09.2017.
- Jordan, R.E. ve Payne, J.R. (1980). *Fate and Weathering of Petroleum Spills in the Marine Environment*. Ann Arbor Science: Ann Arbor, MI, 1980.
- Lazuga, K. (2012). “*Testing of an Oil Spill Mathematical Model Contained in PISCES II Simulator*”. Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin. 32(104):105-109
- Lazuga ,K., Gucma, L. ve Perkovic, M. (2013). “*M/t “Baltic Carrier” Accident. The Reconstruction of Oil Spill With PISCES II Simulator Application*”. Scientific journals of maritime university of Szczecin 36(108):110-115.
- Lehr, W.J., Fraga, R.J., Belen, M.S. ve Cekirge, H.M. (1984). “*A New Technique to Estimate Initial Spill Size Using a Modified Fay-Type Spreading Formula*”. Marine Poll.Bulletin.15: 326-329.
- Lehr, W., Jones, R., Evans, M., Simecek-Beatty, D. ve Overstreet,R. (2002). “*Revisions of the ADIOS Oil Spill Model*”. Environmental Modelling & Software. 17(2):189–197.
- Ludwiczak, K. ve Juszkiwicz, W. (2010). “*The Probability of Coast Pollution – Accident Simulation in the PISCES II Simulator*”. 8th International Probabilistic workshop, Szczecin, Slovenia.
- Marinetraffic.(2017).*Aegean Region Ship Traffic Density* <http://www.marinevesseltraffic.com/2013/06/aegean-sea-marine-traffic.html>, Erişim Tarihi: 20.08.2017.
- Papadimitrakis, I., Psaltaki, M. ve Markatos, N. (2011). “*3-D Oil Spill Modelling. Natural Dispersion and the Spreading of Oil-Water Emulsions in The Water Column*”. Global Nest International Journal. 13(4):325–338.
- Reed, M., Johansen, Ø., Brandvik, P. J., Daling, P., Lewis, A., Fiocco, R. ve Prentki, R. (1999). “*Oil Spill Modeling Towards the Close of the 20th Century: Overview of the State of the Art*”. Spill Science & Technology Bulletin. 5(1): 3-16.
- Soltanpour, M., Wijayaratna, N. & Hajisalimi, Z. (2013). Numerical modeling of oil slick spread in The Persian Gulf, International Journal of Maritime Technology, 1, 1, pp. 57–66.
- Speight, J.G. ve Arjoon, K.K. (2012). *Bioremediation of Petroleum And Petroleum Products*. John Wiley & Sons, 2012.
- Stiver, W. ve Mackay, D. (1984). “*Evaporation Rate of Spills of Hydrocarbons and Petroleum Mixtures*”. Environment Science and Technology. 18: 834–840.
- 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.