

İSKENDERUN KÖRFEZİ'NDE PETROL KİRLİLİĞİNİN MODELLENMESİ

Asu İNAN

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Teknikokullar- Ankara
asuinan@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 14.09.2010; Kabul/Accepted: 02.11.2010)

ÖZET

İskenderun Körfezi zirai, ticari, endüstriyel ve stratejik olarak önemli bir bölgedir. Körfez mevcut tesisleri ile petrol kirliliği açısından risk taşımaktadır. Bu nedenle bölgede gerçekleşebilecek kaza olaylarında acil müdahale eylemlerinin zamanında ve doğru bir biçimde uygulanması için acil müdahale planlarının hazırlanması gerekmektedir. Acil müdahale planları için bölgede kaza senaryolarının hazırlanıp kirlilik modellemeleri yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada üç boyutlu hidrodinamik bir model olan HİDROTAM- 3 kullanılarak İskenderun Körfezi'nin akıntı düzeni; fuel oil ve benzin için kirlilik dağılımları benzeştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Petrol kirliliği, İskenderun Körfezi, sayısal modelleme

OIL POLLUTION MODELING IN ISKENDERUN BAY

ABSTRACT

Iskenderun Bay is an important agriculturally, commercially, industrial and strategic region. It is at risk in terms of oil pollution because of oil facilities therefore emergency action plans should be prepared against the probable accidents. Accident scenarios should be prepared and oil pollution modeling is necessary. In this study, current pattern and pollution distribution for the fuel oil and gasoline pollutants in Iskenderun Bay were modeled using HİDROTAM 3, which is three dimensional hydrodynamic model.

Keywords: Oil pollution, Iskenderun Bay, numerical modeling

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Genellikle petrol ve petrol türevi kirleticilerin kıyısız alanlarındaki dağılımını fiziksel, kimyasal ve biyolojik olaylar etkilemektedir. Bunlar: yayılma, ilerleme, buharlaşma, çözünme, emülsiyon, foto-oksitleme, çökme ve biyolojik bozunmadır. Kimyasal ve biyolojik olaylar, petrol dökülmesinden çok uzun bir zaman sonra meydana gelmektedir. Kıyısız dalgaların ve su derinliğinin yüzey tabakalarındaki türbülansın etkisi altında petrol kirlilik bulutu küçük parçalara bölünür ve daha sonra su derinliği boyunca ve alansal olarak ilerleyerek dağılır ve yayılır. Petrol parçacıkları su kolunu içinde uzun süre kalabilir ve yüzey sularından daha derindeki su tabakalarını da kirletebilir.

Yayılma, dağılım, buharlaşma, emülsiyon ve çözünme petrol dökülmesini izleyen yakın bir süreçte, oksidasyon, çökme, biyolojik bozunma ise daha geç bir süreçte meydana gelir. Zamanla petrol kirliliği

tabakasında oluşan değişimler bu olayların benzeştirilmesi ile modellenabilir. Bu olaylar petrolün türüne bağlıdır. Yok edilemeyen petrol türleri ham petrol, fuel oils, ağır dizel yağı, ve rulman yağı. Yok edilebilen petrol türleri gazolin, hafif dizel yağı ve kerosendir [1]. Son yıllarda araştırmacılar artan yoğunlukla petrol kirlilik bulutunun dağılım ve yayılımını sayısal modeller ile benzeştirmektedirler. Petrol dağılımı modelleme iki boyutlu ve üç boyutlu olmaktadır. Modelin iki ya da üç boyutlu olması petrolün denize döküldükten sonra izlediği süreçleri farklı düzeylerde içermesine etkilidir. Genel olarak adveksiyon, difüzyon, buharlaşma ve kıyı çizgisinde birikim gibi petrol tabakasının hareketini yatayda etkileyen faktörler baskınca iki boyutlu modeller yeterli olabilirken, petrol taneciklerinin düşey hareketlerinin de incelenmesi gerektiğinde üç boyutlu dağılım modellerinin kullanılmalı gereklidir. Modelleme çalışmalarının bir kısmında, dağılım modelleri hidrodinamik alt modellerle birleştirilmiştir. Bu tür modeller, daha fazla parametreyi içermekte ve daha hassas sonuçlar

vermektedirler. Chao vd. tarafından hem iki boyutlu hem de üç boyutlu petrol dağılım modeli geliştirmişlerdir [2, 3]. Sugioka vd. tarafından üç boyutlu bir model geliştirilmiştir [4] Bu model, hidrodinamik bir alt modelle birleştirilmiştir. Model, farklı dalga yüksekliği ve periyotları için çalıştırılmış ve değişen bu parametrelerin petrol dağılımına olan etkileri irdelenmiştir. Wang vd. iki boyutlu bir modeli üç boyutlu hale getirmişlerdir [5]. Geliştirilen model petrolün denize döküldükten sonra geçirdiği adveksiyon, yüzey dağılımı, buharlaşma, çözünme, türbülans difüzyonu, parçacıkların kıyı ile etkileşimi, sedimantasyon, petrol viskozitesinin ısı değişimleri gibi temel süreçlerin yanı sıra hidroliz, fotooksidasyon ve biyodegradasyon gibi süreçleri içermektedir. Modelde, Lagrange ayrık alan algoritması temel alınmıştır. Bu yaklaşımda, denize dökülen petrol miktarı çok sayıdaki küçük parçacıklara ayrılmakta ve hareketleri zamanın fonksiyonu olarak izlenmektedir. Nakata vd. tarafından farklı dalga yükseklikleri ve kıyı çizgisindeki birikimin petrol tabakasının hareketine olan etkisinin incelendiği üç boyutlu bir dağılım modeli geliştirilmiştir [6]. Elhakeem vd. nin geliştirdikleri model petrol tabakasının yerçekiminden kaynaklanan hareket merkezini belirleyebilmekte, ancak sabit bir yayılma oranı dikkate aldığı için sudaki petrole ilişkin bağıl yoğunluk ve kinematik viskozite değişikliklerini belirleyememektedir. Model çevresel koşulları gerçeğe yakın bir biçimde veri olarak kullanabilmesi özelliğinden dolayı gözlenen değerlerle uyumlu sonuçlar verebilmektedir [7, 8].

Bu çalışmada, üç boyutlu (3-D) bir model olan HİDROTAM kullanılarak İskenderun Körfezi'nde meydana gelebilecek petrol kirliliği dağılımı irdelenmiştir. İskenderun Körfezi Doğu Akdeniz'in kuzeydoğusunda yer almaktadır. Körfezin doğu kıyısı boyunca yaklaşık 350000 nüfus yaşamaktadır. Bölgede verimli tarım arazileri, endüstriyel tesisler (demir-çelik fabrikası, LPG tesisleri, petrol transfer dokları vs.) mevcuttur. Bu nedenle zirai, endüstriyel ve belediyeye ait atıklar dolaylı ve dolaysız olarak körfezi kirlenmektedirler [9].

2. SAYISAL MODEL (NUMERICAL MODEL)

Bu çalışmada, hidrodinamik, türbülans ve taşınım (su sıcaklığı ve tuzluluğunun taşınımı, kirlenici taşınımı ve askı maddesi taşınımı) alt modellerini içeren HİDROTAM-3 (Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşınım Modeli) kullanılarak, üç boyutlu rüzgar etkenli akıntı düzeni ve uzak alan kirlenici dağılımları belirlenmiştir [10, 11]. Geliştirilen petrol tabakası hareketi modeli için en önemli parametreler, petrol tipi, dökülen petrol miktarı ve dökülme hızıdır. Harekete etki eden çevresel temel etkenler ise rüzgar hızı ve yönü; rüzgar, gelgit, yoğunluk farklılaşması etkenli deniz alanı akıntı düzeni; hava ve su sıcaklıklarıdır. Petrol tabakasının hareketinin doğru olarak tahmin edilmesi,

büyük oranda deniz alanındaki akıntı düzeninin ve türbülanslı taşınım olaylarının doğru olarak benzeştirilmesine ve su derinliklerinin değişiminin doğru detaylandırılmasına bağlıdır.

HİDROTAM-3'ün hidrodinamik alt modelinde kullanılan tek basitleştirici yaklaşım, Boussinesq yaklaşımı (yoğunluk farklarının yerçekimi kuvveti ile çarpılmadıkça ihmal edilmesi) olup üç boyutlu Navier-Stokes denklemleri sayısal olarak çözülmektedir [10, 11]. Temel hidrodinamik denklemler (1, 2, 3, 4) nolu eşitliklerde verilmektedir.

Süreklilik denklemi;

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Yatayda birbirine dik konumdaki x ve y yönleri için momentum denklemleri;

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} =$$

$$fv - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) +$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(v_y \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -fu - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) +$$

$$2 \frac{\partial}{\partial y} \left(v_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right)$$

Düşeyde z yönü için momentum denklemi;

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} =$$

$$- \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial z} + gz + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right) +$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(v_y \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right) + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \frac{\partial w}{\partial z} \right)$$

Su yoğunluğu; sıcaklık, tuzluluk ve bunlara göre çok az etkili olan basınç ile değişen bir değerdir. Deniz suyunun ortalama yoğunluğu yaklaşık 1.0276 g/cm³ değerindedir. Yoğunluk hesabında, tuzluluk ve sıcaklığın fonksiyonu olan eşitlikler kullanılmaktadır [1]. Her bir noktadaki yoğunluk değerlerinin bulunması için, o noktadaki sıcaklık ve tuzluluk değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu değerler için üç boyutlu taşınım-dağılım denklemi çözülmektedir:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + u \frac{\partial Q}{\partial x} + v \frac{\partial Q}{\partial y} + w \frac{\partial Q}{\partial z} =$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial Q}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial Q}{\partial z} \right)$$

Su alanında bırakılan petrol kirliliğinin karışımı üç boyutlu ilerleme-yayılma denklemi kullanılarak incelenmektedir [1]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + (w - w_f) \frac{\partial C}{\partial z} = \\ \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + S_s + k_p C \end{aligned} \quad (6)$$

Çökeltme hızı aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır:

$$w_f = \frac{1}{18} \frac{\rho_w - \rho_o}{\rho_w} g \frac{d^2}{v_w} \quad (7)$$

Her bir hesap noktasında, yoğunluk (ρ) ve viskozite (v), petrol-su karışımındaki petrol oranına göre tanımlanmaktadır:

$$\rho = F_{ow} \rho_o + (1 - F_{ow}) \rho_w \quad (8)$$

$$v = F_{ow} v_o + (1 - F_{ow}) v_w \quad (9)$$

Türbülans alt modelinde iki eşitlikli $k-\epsilon$ türbülans modeli kullanılmaktadır. Türbülans modelindeki kinetik enerji ve kinetik enerjinin sönümlenme hızı için kullanılan denklemlerin detayları [1, 10, 11] nolu referanslarda bulunmaktadır. Model için dört farklı sınır koşulu vardır. Bunlar; serbest yüzey, deniz tabanı, açık deniz ve kıyı sınır koşullarıdır. Eşitlikler şaşırtmacalı sonlu farklar çözüm ağı kullanılarak sayısal olarak çözülmektedir. Düşey düzlemde Galerkin sonlu elemanlar metodu kullanılmaktadır. Su derinliği taban topografyasını takip eden eşit sayıda katmana ayrılmaktadır. Çözüm ağının her noktasında katman kalınlığının oradaki su derinliğine oranı sabittir. Sonlu elemanlar yaklaşımı izlenerek, hız değerleri, u , v , w ; eddy viskoziteleri, ν_x , ν_y , ν_z ; sıcaklık, T ; tuzluluk, S ; kirletici konsantrasyonu, C ; türbülansın difüzyon katsayıları, D_x , D_y , D_z ; kinetik enerji, k ; kinetik enerjinin dağılım oranı, ϵ ; basınç, p ; su derinliği üzerindeki her noktada düşeydeki çözüm ağı noktaları arasında lineer şekil fonksiyonu kullanılarak sonlu değerlerin terimleri cinsinden tekrar yazılmaktadır [10, 11].

3. İSKENDERUN KÖRFEZİ'NDE PETROL KİRLİLİĞİ (OIL POLLUTION IN İSKENDERUN BAY)

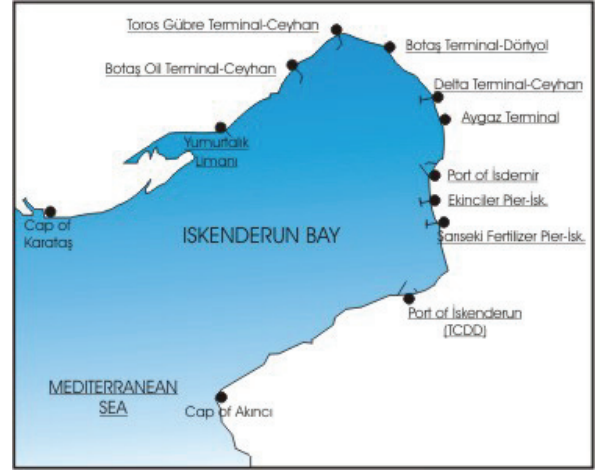
İskenderun Körfezi, Doğu Akdeniz'in kuzeydoğusunda yer almakta olup, Anadolu ve Arap plakalarının arasında bulunmaktadır ve büyük ölçekte tektonik özellik taşımaktadır [12]. Şekil 1'de körfezin konumu görülmektedir. Bölge zirai, ticari ve endüstriyel açıdan büyük bir öneme sahiptir. Kerkük Yumurtalık ve Bakü Ceyhan Tiflis gibi stratejik önemi büyük olan iki boru hattının son durağıdır [9].

İskenderun Körfezi'nde Şekil 2'de gösterildiği gibi demir-çelik fabrikası, LPG tesisleri, petrol transfer dokları vs. bulunmaktadır. Bu nedenle bölgede kıyasal kirlilik riski bulunmaktadır. Bu nedenle risklerin önceden belirlenip, olası kazalar için kirlilik

senaryolarının acil müdahale planları kapsamında hazırlanması gerekmektedir.

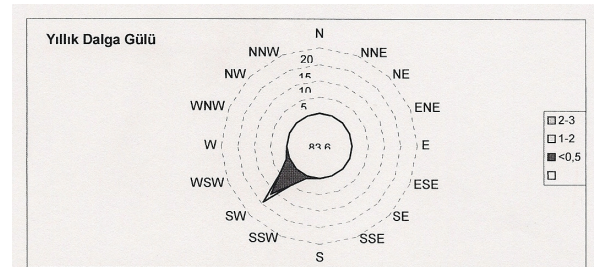


Şekil 1. İskenderun Körfezi'nin Konumu [13] (Location of Iskenderun Bay)



Şekil 2. İskenderun Körfezi'ndeki tesisler [14] (Facilities in the Iskenderun Bay)

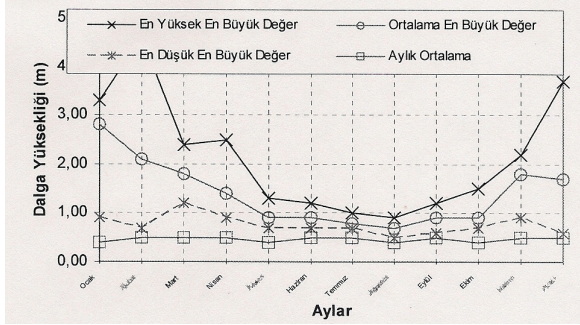
Çalışma alanı için $36^{\circ}50' N - 35^{\circ}50' E$ noktasına ait dalga verileri kullanılmıştır [15]. Şekil 3'te İskenderun Körfezi yıllık dalga gücü gösterilmektedir. Şekil 4'te aylık ortalama, en yüksek, en düşük ve ortalama en büyük belirgin dalga yükseklikleri gösterilmektedir. İskenderun Körfezinin son 20 yıllık rüzgâr verileri incelendiğinde yörede hâkim yönün SW Güney Batı olduğu görülmektedir. İskenderun ve Karataş Meteoroloji istasyonlarının 1976- 1985 yılları arasındaki 10 yıllık döneme ait saatlik ortalama rüzgâr hızı ve yönü kullanılarak, fırtınaların İskenderun



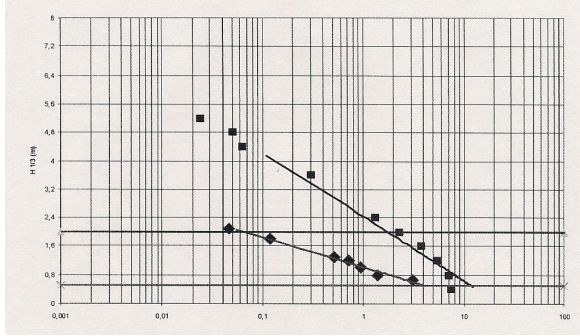
Şekil 3. İskenderun Körfezi yıllık dalga gücü [15] (Annual wave rose in Iskenderun Bay)

Körfezi'nde oluşturdukları dalga özellikleri Jonswap dalga spektrumu ile belirlenmiştir [16].

Şekil 5'de bulunan regresyon doğrularından üstte olan Karataş Meteoroloji İstasyonu'nun, altta bulunan ise İskenderun Meteoroloji İstasyonu'nun saatlik ortalama rüzgâr verileri kullanılarak elde edilmiştir.

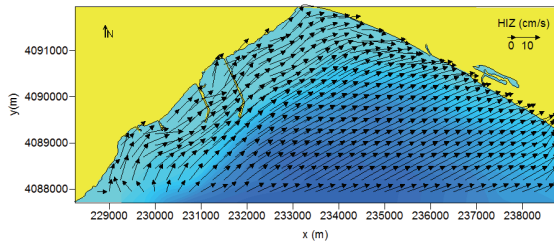


Şekil 4. Aylık belirgin dalga yükseklikleri [16] (Monthly significant wave heights)



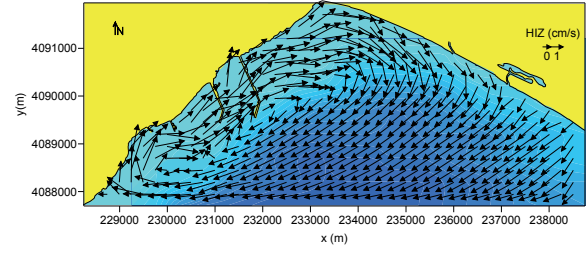
Şekil 5. İskenderun Körfezi, Derin Deniz Uzun Dönem Belirgin Dalga Yüksekliği olasılık dağılımı (SW yönü) [16] (Deep water long term significant wave heights in Iskenderun Bay)

SW yönünden 10 m/s kuvvet ile esen rüzgârın yüzey sularını sürüklemesi etkisinde su tabanında ve su yüzeyinde, 1 saat sonra oluşan akıntı düzenleri Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmektedir. Model benzeştirmelerinden SW Güney Batıdan 10 m/s hızla esen rüzgâr etkisinde, rüzgârın esmeye başlamasından 1 saat sonra yüzeyde en çok 26 cm/s yüzey akıntı hızı, tabanda ise en çok 5 cm/s akıntı olduğu görülmektedir. Yüzey suları rüzgârın esme yönünde sürüklenirken tabanda, rüzgârın esme yönüne ters yönde bir akıntı düzeni oluşmaktadır.



Şekil 6. SW yönünden 10 m/s hızla esen rüzgârın su yüzeyinde oluşturduğu akıntı düzeni

(Current pattern at water surface originating from the wind from SW with the speed 10 m/s)

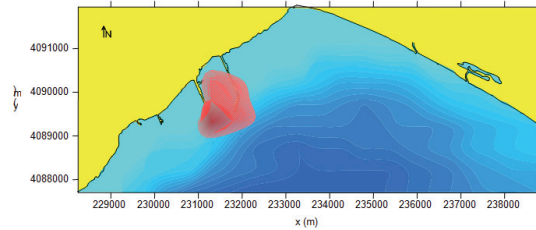


Şekil 7. SW yönünden 10 m/s hızla esen rüzgârın su tabanı yakınında oluşturduğu akıntı düzeni (Current pattern on the sea bottom originating from the wind from SW with the speed 10 m/s)

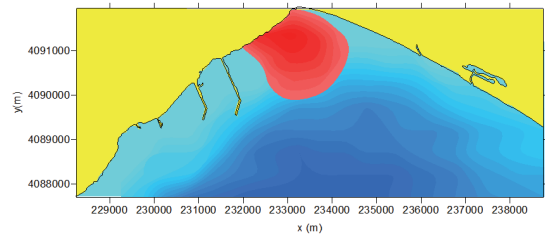
Dökülme benzeştirmeleri Ceyhan kıyı bölgesine uygulanmıştır. Ceyhan 36°- 37° kuzey enlemleri ve 35°- 36° doğu boylamları arasında yer almaktadır. HIDROTAM-3 modeli kullanılarak benzeştirilen kirletici dağılımı senaryosunda, fuel oil ve benzin kirletici türleri kullanılmıştır. Bölgedeki tesislerde fuel oil ve benzin elleçlenmektedir, ayrıca fuel oil gemi yakıtı olarak da kullanılmaktadır. Herhangi bir kaza durumunda yapılacak acil müdahale karar mekanizmasında kirleticinin özellikleri, döküntü yeri ve hareket yönünün tespiti önem taşımaktadır. Bu nedenle kirlilik dağılımı senaryolarının hazırlanmış olması acil müdahale hızını ve temizlik çalışmalarının etkinliğini artırır, dolayısıyla maliyeti azaltır.

Fuel Oil

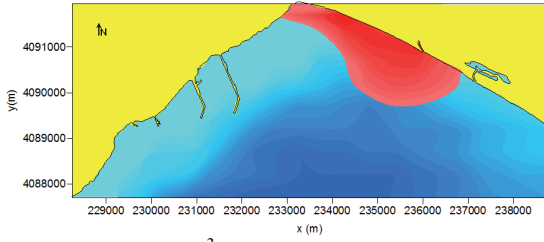
Başlangıçta dökülen 2500 m³ fuel oilin, SW yönünden 10 m/s hızla esen rüzgârın etkisiyle 1 saat, 4 saat ve 8 saat içindeki dağılımı Şekil 8, 9 ve 10 da verilmektedir. 4 saat sonra dökülen 2500 m³ fuel oilin %2 si, 8 saat sonra ise %5'i buharlaşma ve dağılıma ile yok olmaktadır.



Şekil 8. 2500 m³ fuel oil döküldüğünde 1 saat içindeki dağılımı (Distribution of 2500m³ fuel oil in 1 hour)

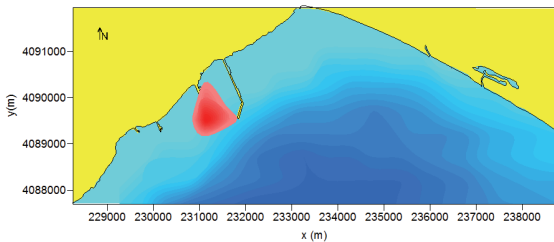


Şekil 9. 2500 m³ fuel oil döküldüğünde 4 saat içindeki dağılımı (Distribution of 2500m³ fuel oil in 4 hours)

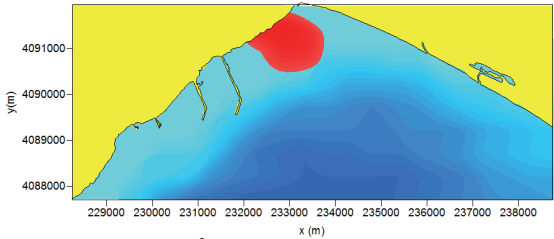


Şekil 10. 2500 m³ fuel oil döküldüğünde 8 saat içindeki dağılımı (Distribution of 2500m³ fuel oil in 8 hours)

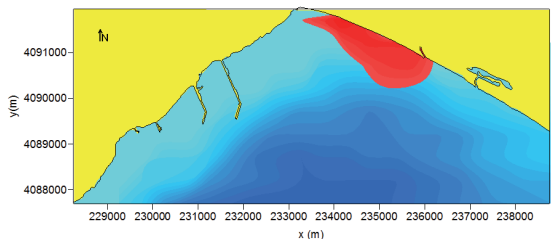
Başlangıçta dökülen 500 m³ fuel oilin, SW yönünden 10 m/s hızla esen rüzgârın etkisiyle 1 saat, 4 saat ve 8 saat içindeki dağılımı Şekil 11, 12 ve 13 de verilmektedir.



Şekil 11. 500 m³ fuel oil döküldüğünde 1 saat içindeki dağılımı (Distribution of 500m³ fuel oil in 1 hour)

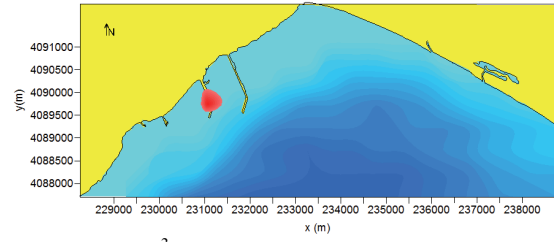


Şekil 12. 500 m³ fuel oil döküldüğünde 4 saat içindeki dağılımı (Distribution of 500m³ fuel oil in 4 hours)

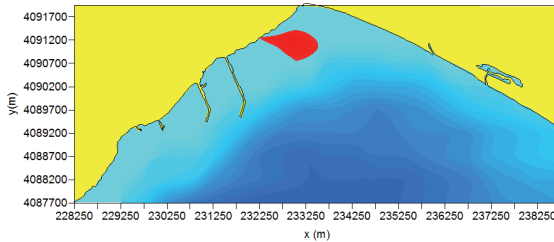


Şekil 13. 500 m³ fuel oil döküldüğünde 8 saat içindeki dağılımı (Distribution of 500m³ fuel oil in 1 hour)
4 saat sonra dökülen 500 m³ fuel oilin %3 ü, 8 saat sonra ise %8 i buharlaşma ve dağılma ile yok olmaktadır.

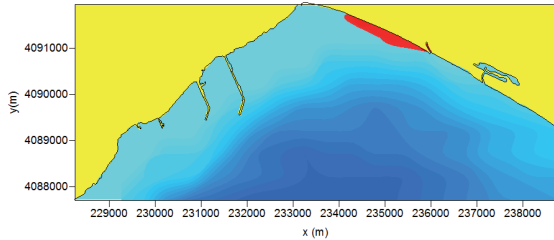
Başlangıçta dökülen 50 m³ fuel oilin, SW yönünden 10 m/s hızla esen rüzgârın etkisiyle 1 saat, 4 saat ve 8 saat içindeki dağılımı Şekil 14, 15 ve 16'da verilmektedir.



Şekil 14. 50 m³ fuel oil döküldüğünde 1 saat içindeki dağılımı (Distribution of 50m³ fuel oil in 1 hour)



Şekil 15. 50 m³ fuel oil döküldüğünde 4 saat içindeki dağılımı (Distribution of 50m³ fuel oil in 4 hours)



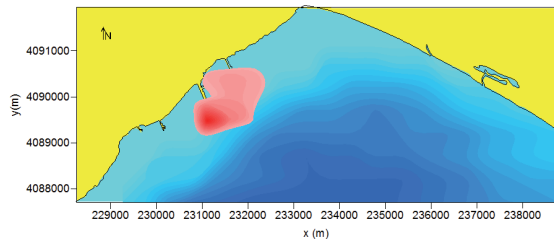
Şekil 16. 50 m³ fuel oil döküldüğünde 8 saat içindeki dağılımı (Distribution of 50m³ fuel oil in 8 hours)

4 saat sonra dökülen 50 m³ fuel oilin %8'i, 8 saat sonra ise %17'si buharlaşma ve dağılma ile yok olmaktadır.

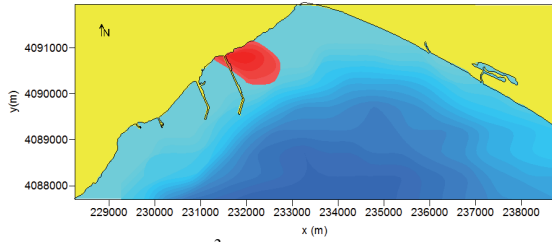
Fuel oil dökülmesi olduğunda, sakin deniz koşullarında skimmer ve bariyerlerle dökülen malzemenin önemli bir kısmı toplanabilir. Akıntı ve rüzgâr yönüne bağlı olarak yüzer bariyerlerle yayılmanın önü kesilerek müdahale edilebilir.

Benzin

Başlangıçta dökülen 2500 m³ benzinin, SW yönünden 10 m/s hızla esen rüzgârın etkisiyle 1 saat ve 2 saat içindeki dağılımı Şekil 17 ve 18'de verilmektedir. 1 saat sonra dökülen 2500 m³ benzinin % 36 sı, 2 saat sonra ise % 83' ü buharlaşma ve dağılma ile yok olmaktadır. 3 saat içinde tamamı ile yok olmaktadır.

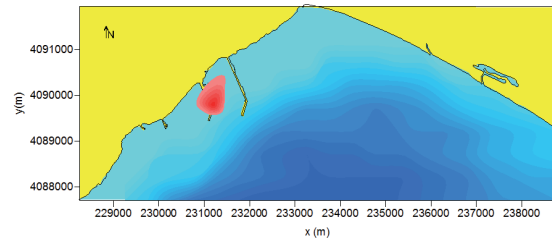


Şekil 17. 2500 m³ benzin döküldüğünde 1 saat içindeki dağılımı (Distribution of 2500m³ gasoline in 1 hour)



Şekil 18. 2500 m³ benzin döküldüğünde 2 saat içindeki dağılımı (Distribution of 2500m³ gasoline in 2 hours)

Başlangıçta dökülen 145 m³ benzinin, SW yönünden 10 m/s hızla esen rüzgârın etkisiyle 1 saat içindeki dağılımı Şekil 19'da verilmektedir. 1 saat sonra dökülen 145m³ benzinin %84'ü buharlaşma ve dağılıma ile yok olmaktadır. 2 saat içinde tamamı ile yok olmaktadır.



Şekil 19. 145 m³ benzin döküldüğünde 1 saat içindeki dağılımı (Distribution of 145m³ gasoline in 1 hour)

Tesislerde elleçlenen ürünlerden olan benzin, yüksek uçuculuğu nedeniyle hızlı bir şekilde buharlaşır. Buharlaşma sonucunda yanıcı ve parlayıcı gazlar ortaya çıkar. Böyle bir dökülme durumunda benzinin tamamen buharlaşmasına kadar geçen sürede her türlü ateş kaynağının uzaklaştırılması gereklidir. Benzin gibi uçucu kirleticilerin kısa sürede buharlaşma sonucu yok olması nedeniyle kronik zararları yoktur, ancak toksik etkileri dolayısıyla akut zarar verebilirler.

4. SONUÇ (RESULT)

İskenderun Körfezi hem zirai, hem ticari hem endüstriyel hem de stratejik açıdan büyük bir öneme sahiptir. İskenderun Körfezi'ndeki limanlar, demir-çelik fabrikası, LPG tesisleri, petrol transfer dokları gibi tesislerin varlığı bölgedeki kazalara bağlı kıyasal kirlilik riskini arttırmaktadır. Bu çalışmada üç boyutlu hidrodinamik bir model olan HİDROTAM 3 kullanılarak bölgenin akıntı düzeni çıkarılmış; fuel oil ve benzin kirleticilerinin farklı miktarlarda dökülmesi durumunda dağılımları modellenmiştir. Ceyhan kıyılarındaki dökülme sonucunda aynı rüzgâr ve akıntı koşullarında fuel oil ve benzinin farklı davranışlar gözlemlenmiştir. 2500 m³ lük fuel oil dökülmesinden sekiz saat sonra kirleticinin buharlaşma ve dağılıma ile sadece % 5' i yok olurken, 2500 m³ lük benzin dökülmesinden iki saat sonra benzinin % 83'ü yok olmaktadır. Ayrıca fuel oil döküldüğünde kirletici, 50 m³ lük gibi görece küçük

miktarlarda dahi Ceyhan Kıyısı'ndan Yumurtalık Kıyısı'na kadar ilerlemektedir. Böylece kirliliğin dağılım alanı da arttığından acil müdahale yapılması gereken bölge de genişlemektedir. Tüm rüzgâr ve akıntı koşulları da aynı olsa kirleticilerin fiziksel ve kimyasal özellikleri dağılımlarını büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle acil müdahale eylem planları hazırlanırken bölgede iletimi yapılan farklı kirleticilerin dağılımları farklı kaza senaryoları için modellenmeli ve kullanılma miktarlarına göre risk seviyeleri belirlenmelidir. Risklerin önceden belirlenip, olası bir kaza anında yapılması gereken acil müdahale için kirlilik dağılım senaryolarının hazırlanması gerekmektedir. Dökülme anında kirletici dağılımına müdahale edebilmek için yayılımın yönü belirlenmelidir. Yayılımın yönüne göre kirliliğin ulaşabileceği alanların belirlenmesi uygulanacak müdahale yöntemleri açısından önemlidir, çünkü buna bağlı olarak kirliliğin önlenme ve temizleme stratejileri değişmektedir. Acil müdahale karar aşamasında kirleticinin özelliklerinin, bölgedeki akıntı yönünün, döküntü yeri ve hareket yönünün bilinmesi kirliliğin önlenmesi ve temizlik stratejilerinin belirlenmesinde önem kazanmaktadır.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmada verilere ulaşmamda desteklerini esirgemeyen T&T Deniz Temizliği ve Çevre Teknolojileri Ltd.'ye teşekkür ederim.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

- \mathcal{E} : Kinetik enerjinin dağılım oranı
- C : Kirleticinin derişimi;
- d : Ortalama petrol parçacık çapı;
- D_x, D_y, D_z : x, y ve z yönlerindeki türbülansın difüzyon katsayıları
- f : Coriolis katsayısı;
- F_{ow} : Petrolün karışımdaki oranı
- g : Yerçekimi ivmesi;
- k : Kinetik enerji
- k_p : Kirleticinin yok olma hızı
- p : Basınç
- Q : Su sıcaklığı (T) veya tuzluluğudur (S)
- S : Tuzluluk
- S_s : Kirletici kaynağı
- T : Su sıcaklığı
- u, v, w : Herhangi bir çözüm ağı noktasında x, y ve z yönlerindeki hız bileşenleri
- ν_x, ν_y, ν_z : x, y ve z yönlerindeki eddy viskozitesi
- w_f : Çökme hızıdır
- ρ : Yoğunluk
- $\rho(x,y,z,t)$: Su yoğunluğunun zamana ve konuma göre noktasal değeri
- ρ_o : Petrol kirliliğinin yoğunluğu
- ρ_w : Suyun yoğunluğu
- ν : Viskozite
- ν_w : Suyun kinematik viskozitesi

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Balas, L., Balas, C.E., 'Toros Tarım A. Ş. Ceyhan Tesisi Acil Müdahale Planı Kirlletici Dağılımı Modellemesi', **Gazi Üniversitesi Deniz Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi**, 2008.
2. Chao, X., Shankar, N. J. and Cheong H. F., "Two- and three- dimensional oil spill model for coastal waters", **Ocean Engineering**, Cilt 28, 1557-1573, 2000.
3. Yapa, P. D., Shen, H. H. and Angamma, K. S., "Modelling oil spills in a river-lake system", **Journal of Marine Systems**, Cilt 4, 453-471, 1994.
4. Sugioka, S. I., Kojima, T., Nakata, K. and Horiguchi, F., "A numerical simulation of an oil spill in Tokyo bay", **Spill Science & Technology Bulletin**, Cilt 5, 51-61, 1999.
5. Wang, S. D., Shen, Y. M. Guo. and Tang, J., "Three-dimesional numerical simulation for transport of oil spills in seas", **Ocean Engineering**, Cilt 35, 503-510, 2008.
6. Nakata, K., Sugioka, S. I. and Hosaka, T., "Hindcast of a Japan Sea oil spill", **Spill Science & Technology Bulletin**, Cilt 4, 219-229, 1997.
7. Elhakeem, A. A., Elshorbagy, W. and Chebbi, R. "Oil spill simulation and validation in the Arabian (Persian) Gulf with special reference to the UAE Coast", **Water Air Soil Pollut**, Cilt 184, 243-254, 2007.
8. Aydın, O., **Kıyusal Sularda Petrol Kirliliğinin Sayısal Modellemesi**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009
9. Cevik, U., Koz, B., Makarovska, Y., 'Heavy Metal analysis around Iskenderun Bay in Turkey', **X-Ray Spectrom**, Cilt 39, 202-207, 2010
10. Balas, L., Özhan, E., "An Implicit Three Dimensional Numerical Model to Simulate Transport Processes in Coastal Water Bodies", **International Journal for Numerical Methods in Fluids**, Cilt 34, 307-339, 2000.
11. Balas, L., Özhan, E. "Applications of a 3-D Numerical Model to Circulations in Coastal Waters", **Coastal Engineering Journal**, Cilt 43, No 2, 99-120, 2001.
12. Garcia- Garcia, A., Orange, D.L., Maher, N.M., Heffernan, A.S., Fortier, G.S., Malone, A., 'Geophysical evidence for gas geohazards off Iskenderun Bay, SE Turkey', **Marine and Petroleum Geology**, Cilt 21, 1255- 1264, 2004.
13. <http://www.google.com.tr/imgres?imgurl=http://s0.nerdenereye.com/images/harita/>
14. <http://www.cerrahogullari.com.tr/ports/ISKENDERUN%20BAY.htm>
15. Ozhan, E., Abdalla, S., 'Türkiye Kıyıları için Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası', **Kıyı Alanları Yönetimi Türk Milli Komitesi**, Ankara, 2002.
16. Balas, C.E., Ergin, A., Balas, L., Küçükosmanoğlu, A., 'Toros Tarım A. Ş. Ceyhan Tesisi Acil Müdahale Planı Risk Analizi', **Gazi Üniversitesi Deniz Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi**, 2008.

