

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

KIYI SULARINDA PETROL KİRLİLİĞİ
TAŞINIMININ CBS TABANLI MODELLENMESİ

DOKTORA TEZİ

M. Sc. Duygu ÜLKER
Denizel Çevre Ana Bilim Dalı

DANIŞMAN
Prof. Dr. Zinet Selmin BURAK

TEMMUZ, 2022

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

Duygu ÜLKER tarafından hazırlanmış ve sunulmuş “KIYI SULARINDA PETROL KİRLİLİĞİ TAŞINIMININ CBS TABANLI MODELLENMESİ” başlıklı tez Denizel Çevre Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Zinet Selmin BURAK

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Lale BALAS

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ayşe Hümeysra BİLGE

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Cihat AŞAN

Tez Savunma Tarihi: 05.07.2022

ETİK BEYAN

İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu kurallarına uygun olarak hazırladığım “KIYI SULARINDA PETROL KİRLİLİĞİ TAŞINIMININ CBS TABANLI MODELLENMESİ” başlıklı DOKTORA tez çalışmada bilimsel etik ve akademik kuralara riayet ettiğimi;

- Çalışma konusunun özgün olduğunu,
- Tez içinde sunduğum tüm veri ve belgeleri bilimsel etik ve ahlak kuralları çerçevesinde elde ettiğimi,
- Çalışmanın bulgularında tahrifat yapmadığımı ve yanlış davranmadığımı,
- Tez kapsamında yararlandığım tüm eserlere ve doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya atıfta bulunduğumu,
- Yararlandığım tüm eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu,
- Kullandığım veri ve belgelerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Patent ve telif haklarını ihlal etmediğimi,

bildirir, aksinin vuku bulması durumunda yasal sonuç/sonuçları ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabul ettiğimi beyan ederim.

05.07.2022

Duygu ÜLKER

ÖNSÖZ

Petrol kirliliği meydana geldiğinde döküntünün boyutuna göre ekosistemde ciddi tahribatlar yaratabilmektedir. Bir damla petrolün milyonlarca damla suyu kirletebilecek potansiyeli, deniz canlılarında meydana getireceği toksik etkileri ve sosyoekonomik sonuçlarını dikkate aldığımızda petrol kirliliğinde acil müdahale planlamasının önemi anlaşılmaktadır. Petrol kirliliği dağılım modellemeleri bir kirliliğin nereye, ne zaman ve ne şekilde gideceğini belirlemek ve böylelikle acil müdahale planlarını desteklemek için yapılmaktadır. Bu kapsamda doktora tez çalışmamda çalışma bölgesi ülkemizin önemli deniz ticareti lokasyonlarından biri olan İzmit Körfezi seçilmiştir. Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşınım ve Su Kalitesi Modeli HYDROTAM-3D kullanılarak bölgenin hidrodinamik model sonuçları elde edilmiştir. Petrolün bozunma mekanizmalarına ait denklemler belirlenerek belli kaza senaryolarına göre petrol kirliliği taşınım ve bozunma mekanizmalarının modellenmesi yapılmıştır.

Tez çalışmasının başlangıcında fiili olarak petrol elleçleyen liman ve terminallerin belirlenmesi için İzmit Körfezi'nde konumlanmış olan limanlarla görüşülmüştür. Böylelikle İzmit Körfezi'nde petrol elleçlemesinin yapıldığı lokasyonlar belirlenebilmiş ve sonrasında modelleme çalışmalarına başlanmıştır. 24 farklı döküntü senaryosunun modellendiği çalışmada iki farklı ham petrol tipi ve bir fuel oil tipine ait sonuçlar elde edilerek değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışmasından üretilmiş olan “Mathematical modelling of oil spill weathering processes for contingency planning in İzmit Bay” isimli makalemiz “Regional Studies in Marine Science” dergisinde yayımlanmıştır. Bu makalenin hazırlanması sırasında Birleşmiş Milletler Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (U.S National Oceanic and Atmospheric Administration, (NOAA) tarafından sunulan ve erişimi herekse açık olan ADIOS2 ve GNOME isimli petrol kirliliği modellemesi yapan programlarla ilgili desteklerinden dolayı NOAA'ya ve NOAA'nın Acil Müdahale Departmanında görev alan Oşinograf Dr. Chris Barker'a teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez çalışmam süresince DLTM Teknolojileri A.Ş.'ye HYDROTAM-3D programını kullanımına sunmuş olmalarından ve sağladıkları desteklerden dolayı Bilgisayar Müh. Ufuk Öztöpcü ve Bilgisayar Müh. Ali Sönmez'e çok teşekkür ederim.

İzmit Körfezi'nde elleçlen petrol miktarları ve gemi sayısı ile ilgili istatistiksel verileri sağlayan T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'ndan sayın Levent Akbaba ve sayın Esra Burcu Güzel'e teşekkürlerimi sunarım.

Doktora eğitimimin başlangıcından itibaren bilimsel bilgi birikimini ve tecrübesini benimle paylaşan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman fikir alışverişinde bulunabildiğim, kıymetli hocam Prof. Dr. Zinet Selmin Burak'a bana sağladığı tüm donanım için teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez izleme komitemin değerli üyelerinden Prof. Dr. Lale Balas'a modelleme çalışmalarında sağladığı katkılar ve tezimin başlangıcından itibaren ayırdığı zaman için ve Prof. Dr. Nuray Çağlar'a tezimde kimya mühendisliği bakış açısıyla sunmuş olduğu katkılar için çok teşekkür ederim.

Doktora eğitimimde ders alma/çalışma imkânı bulduğum değerli hocalarım Prof. Dr. Cem Gazioğlu, Prof. Dr. Ayşe Hümeysra Bilge, Dr. Öğr. Üyesi Sibel Zeki ve Dr. Volkan Demir'e teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitim hayatımda en büyük motivasyon kaynağım olan canım babam Savun Dernek'e ve her ihtiyacım olduğu anda yanımda olan canım annem Ceyda Dernek'e hayatımın her evresinde ve doktora tez çalışmam süresinde bana göstermiş oldukları büyük özveriden dolayı çok teşekkür ederim.

Varlığıyla her zaman bana güç veren ve beni hep destekleyen sevgili eşim Çağatay Ülker'e ve doğduğu günden beri hayatıma mutluluk saçan ve gülüşüyle yaşam enerjimi artıran canım kızım Ece Ülker'e tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	i
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TABLO LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SİMGE LİSTESİ.....	xii
KISALTMA LİSTESİ	xiii
EK LİSTESİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1.Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.2.Çalışmaya Temel Oluşturan Önceki Araştırmalar	3
1.3.Petrol Kirliliği Dağılımında Etki Eden Süreç ve Mekanizmaların Tanımlanması.....	12
1.3.1.Yayılma mekanizması	16
1.3.1.1.Difüzyon	17
1.3.1.2.Adveksiyon	18
1.3.2.Buharlaşma mekanizması.....	18
1.3.3.Emülsifikasyon mekanizması.....	20
1.3.4.Dağılma (Dikey hareket).....	21
1.3.5.Çözünme mekanizması	22
1.3.6.Biyolojik bozunma mekanizması.....	22
1.3.7.Fotooksidasyon mekanizması	22
1.3.8.Çökelme ve sedimentasyon mekanizması.....	23
1.3.9.Katran topu oluşumu	23
1.4.Petrolün Fiziko-Kimyasal Özellikleri ve Sınıflandırılması.....	24
1.5.Petrol Kazaları ve Acil Müdahale	27
1.5.1.İzmit Körfezinde meydana gelen kazalar.....	30
2. MATERYAL VE METOD	33
2.1.Çalışma Alanı	33
2.1.1.İzmit Körfezi'nin coğrafi konumu ve özellikleri	34
2.1.2.Batimetrik özellikleri	37
2.1.3.Rüzgâr ve dalga İklimi	38
2.1.4.Akıntı Sistemi	38
2.2.Çalışmada Kullanılan Veriler	39
2.2.1.Tuzluluk ve sıcaklık verileri	39
2.2.2. Liman tesisi verileri.....	40
2.2.2.1.Poliport Limanı	40
2.2.2.2.Yılport-Solventaş Limanı	41
2.2.2.3.Tüpraş Limanı.....	42
2.2.2.4.Altıntel limanı	44
2.2.2.5.Shell Derince Limanı	44
2.2.2.6.Total Limanı	44
2.2.2.7.Petrol Ofisi Derince terminali.....	45
2.2.3. Elleçlenen petrol türleri ve özelliklerine ait istatistiksel veriler.....	45

2.2.4.Gemi ve yük istatistikleri	49
2.3.HYDROTAM-3D Modelleme Sistemi ve Akıntı Modülü	51
2.4.HYDROTAM-3D Dalga İklimi Modülü	54
2.5.HYDROTAM-3D İlerlemeli Yayılım Modeli	54
2.6.HYDROTAM-3D’de Kirletici Yönetimi Modülünün Hazırlanması	55
2.7.Petrolün Modellenen Süreç ve Mekanizmaları	58
2.7.1.API ve Yoğunluk İlişkisi	58
2.7.2.Buharlaşma	59
2.7.3.Emülsifikasyon	61
2.7.4.Çözünme	63
2.7.4.1.Petrolün zamana bağlı çözünürlüğünün hesabı	64
2.7.4.2.K _d çözünme kütle transfer katsayısı hesabı	64
2.7.5.Buharlaşma ve emülsifikasyon etkisinde yoğunluk ve viskozitedeki değişim	66
2.7.5.1.Yoğunluktaki değişim	66
2.7.5.2.Viskozitedeki değişim	67
3. BULGULAR	69
3.1.HYDROTAM-3D Uygulamaları	69
3.1.1.Feç mesafesi	69
3.1.2.Rüzgar iklimi	71
3.1.2.1.Merkez havza – Batı (Dilovası Bölgesi) rüzgar iklimi	71
3.1.2.2.Merkez havza – Doğu (Körfez Bölgesi) rüzgar iklimi	73
3.1.2.3.Doğu havza (Derince Bölgesi) rüzgar iklimi çıktıları	74
3.1.3.Dalga İklimi	76
3.1.4.Akıntı iklimi	77
3.1.4.1.Merkez havza – Batı (Dilovası) akıntı iklimi	78
3.1.4.2.Merkez havza-Doğu (Körfez) akıntı iklimi	80
3.1.4.3.Merkez havza - Orta akıntı iklimi	82
3.1.4.4.Doğu basen (Derince) akıntı iklimi	84
3.2.HYDROTAM-3D Kirletici Yönetimi Modülü Çıktıları	86
3.3.Petrol Döküntü Senaryolarının Tanımlanması	86
3.4.Petrol Döküntü Senaryolarına Göre Simülasyon Çıktıları	91
3.4.1.Senaryo 1’e ait bulgular	94
3.4.2.Senaryo 2’ye ait bulgular	95
3.4.3.Senaryo 3’e ait bulgular	96
3.4.4.Senaryo 4’e ait bulgular	96
3.4.5.Senaryo 5’e ait bulgular	97
3.4.6.Senaryo 6’ya ait bulgular	98
3.4.7.Senaryo 7’ye ait bulgular	99
3.4.8.Senaryo 8’e ait bulgular	100
3.4.9.Senaryo 9’a ait bulgular	101
3.4.10.Senaryo 10’a ait bulgular	102
3.4.11.Senaryo 11’e ait bulgular	103
3.4.12.Senaryo 12’ye ait bulgular	104
3.4.13.Senaryo 13’e ait bulgular	105
3.4.14.Senaryo 14’e ait bulgular	107
3.4.15.Senaryo 15’e ait bulgular	109

3.4.16.Senaryo 16'ya ait bulgular	110
3.4.17.Senaryo 17'ye ait bulgular	112
4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	116
KAYNAKLAR	125
EKLER.....	140
EK 1. HYDROTAM 3D'de petrol verisi girişi için tanımlanan parametreler ve Arap-Hafif petrolü veri girişi dosya örneği	140
EK 2. Senaryo 1'e ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	142
EK 3. Senaryo 2'ye ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	143
EK 4. Senaryo 3'e ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	144
EK 5. Senaryo 4'e ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	145
EK 6. Senaryo 5'e ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	146
EK 7. Senaryo 6'ya ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	147
EK 8. Senaryo 7'ye ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	148
EK 9. Senaryo 8'e ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	149
EK 10. Senaryo 9'a ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	150
EK 11. Senaryo 10'a ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	151
EK 12. Senaryo 11'e ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	152
EK 13. Senaryo 12'ye ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	153
EK 14. Senaryo 13'e ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	154
EK 15. Senaryo 14'e ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	155
EK 16. Senaryo 15'e ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	156
EK 17. Senaryo 16'ya ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	157
EK 18. Senaryo 17'ye ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	158
ÖZGEÇMİŞ	159
FORMLAR	
Doktora Tezi ile ilgili Yayımlanan Makale	
Tez Çalışması Benzerlik Raporu Uygunluk Yazısı ve Eki	

ÖZET

KIYI SULARINDA PETROL KİRLİLİĞİ TAŞINIMININ CBS TABANLI MODELLENMESİ

Duygu ÜLKER

Petrol kirliliğinin etkin bir müdahale ile yönetilebilmesi için dökülen petrolün hidrodinamik koşullar altında nereye, ne zaman ve ne şekilde ulaşacağı sorularının cevaplarının bulunması gerekmektedir. Deniz ortamında meydana gelen petrol kirliliğinde yayılma, buharlaşma, emülsifikasyon, çözünme, dikey dağılım, sedimentasyon, fotooksidasyon gibi mekanizmalar oluşmaktadır. Her bir mekanizma petrolün alansal yayılmasında rol oynamakla birlikte modelleme çalışmalarında genellikle buharlaşma ve emülsifikasyon gibi ilk saatlerde etkisi yüksek mekanizmalar dahil edilmektedir. Petrolün yayılma ve bozunma mekanizması çevresel faktörlere ve petrolün türüne göre değişmektedir. Çevresel faktörler arasında sıcaklık, tuzluluk, dalga yüksekliği, akıntı hızı ve yönü, rüzgar hızı ve yönü, türbülans gibi parametreler yer almaktadır. Petrole bağlı faktörler arasında ise döküntünün miktarı ve süresi, petrolün Amerikan Petrol Enstitüsü gravitesi (API gravitesi), yoğunluk ve viskozite parametreleri bulunmaktadır.

Bu tez çalışmasında petrol kirliliğinin bozunma süreçlerine ait denklemler belirlenerek Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşınım ve Su Kalitesi Modeli (HYDROTAM-3D) veri sistemine entegre edilmiştir. Bozunma denklemleri buharlaşma, emülsifikasyon ve çözünme mekanizmaları için tanımlanmıştır. İzmit Körfezi'nde yer alan petrol terminalleri incelenerek kapasite değerlendirmesi yapılmıştır ve HYDROTAM-3D'ye coğrafi koordinatlarına göre eklenmiştir. HYDROTAM-3D rüzgar, dalga, akıntı iklimi ve petrol kirliliği taşınımı alt modelleri İzmit Körfezi'ne uygulanmıştır. 17 farklı çevresel ve döküntü koşulu 4 farklı bölgede uygulanarak toplam 24 senaryo için İzmit Körfezi'nde modelleme çıktıları elde edilmiştir. Modelleme çalışması sonuçlarıyla, Türkiye'nin diğer kıyı sularının acil müdahale planlarına katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: Petrol sızıntısı acil müdahale planı, HYDROTAM-3D, modelleme, hidrodinamik, kirlilik taşınımı

ABSTRACT

GIS-BASED MODELLING FOR ADVECTION AND DIFFUSION OF OIL POLLUTION IN COASTAL WATERS

Duygu ÜLKER

To manage oil pollution with an effective intervention, a questioning related to “where, when and how” the oil is spilt under the hydrodynamic conditions, is required. Processes and mechanisms such as spreading, evaporation, emulsification, dissolution, vertical dispersion, sedimentation, photooxidation occur when oil is spilt in the marine environment. Although each mechanism plays a role in oil spreading, most of the modelling studies include the mechanisms which have higher impact in the first hours such as evaporation and emulsification. The spreading and weathering processes of oil varies according to environmental factors and the oil type. Environmental factors include the main parameters such as temperature, salinity, wave height, current speed and direction, wind speed and direction, and turbulence. The oil-related factors include the amount of the spill, the American Petroleum Institute (API) gravity, density and viscosity parameters.

In this thesis, the equations of the weathering processes were determined and integrated into the HYDROTAM-3D. The oil terminals are investigated including their capacity assessment. Handled oil types are observed for the port and terminals in İzmit Bay and these data are inserted into the HYDROTAM-3D according to the ports’ geographic coordinates. Wind, wave and current climate and oil pollution transport submodules are modelled for İzmit Bay. Modelling outputs were obtained for a total of 24 scenarios by applying 17 different environmental and spillage conditions in 4 different regions in the İzmit Bay. The modelling study can be replicated in the other coastal waters of Turkey contributing to the Emergency Response Plans.

Key words: Oil spill emergency response plan, HYDROTAM-3D, modelling, hydrodynamic, pollution transport

TABLO LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1. Petrol kirliliği modellemesi yapan programlar ve bu programlarla yapılan akademik çalışmalar.....	5
Tablo 2. Petrolün API ve viskozite değerlerine göre sınıflandırılması.....	24
Tablo 3. Petrolün SARA bileşenlerine göre sınıflandırılması	25
Tablo 4. Rafine petrol ürünlerinin fiziksel özellikleri	26
Tablo 5. Poliport rıhtım ve iskele bilgileri.....	41
Tablo 6. Yılport-Solventaş limanı rıhtım bilgileri	41
Tablo 7. Tüpraş rıhtım ve iskele bilgileri	43
Tablo 8. Altıntel Limanı rıhtım ve iskele bilgileri.....	44
Tablo 9. Shell Derince Limanı rıhtım ve iskele bilgileri	44
Tablo 10. Total terminali rıhtım ve iskele bilgileri.....	45
Tablo 11. Petrol Ofisi terminali rıhtım ve iskele bilgileri.....	45
Tablo 12. Tesislere göre elleçlenen petrol türleri	46
Tablo 13. 2016-2020 yılları arasında ülkelere göre ham petrol ithalat miktarları (ton)	47
Tablo 14. İzmit rafinerisi işlenmiş petrol üretim miktarları	48
Tablo 15. İzmit Körfezi uğraklı gemi sayısı ve toplam elleçlenen yük miktarı	49
Tablo 16. Kocaeli Liman Başkanlığı idari sahasında yer alan liman tesislerinde elleçlenen ham petrol ve yakıt türevleri ürün miktarı ile elleçleme yapan gemi sayıları.....	51
Tablo 17. Petrolün kararlılık durumuna göre tanımlanacak katsayılar	62
Tablo 18. Dilovası Bölgesi yıllık ve mevsimsel rüzgar iklimi verileri.....	73
Tablo 19. Körfez Bölgesi yıllık ve mevsimsel rüzgâr iklimi verileri	74
Tablo 20. Derince Bölgesi yıllık ve mevsimsel rüzgar iklimi verileri.....	75
Tablo 21. Dilovası bölgesi yıllık ve mevsimsel akıntı gülü özet tablosu	80
Tablo 22. Körfez bölgesi yıllık ve mevsimsel akıntı gülü özet tablosu.....	82
Tablo 23. Merkez havza-orta bakı noktası yıllık ve mevsimsel akıntı gülü özet tablosu	84
Tablo 24. Doğu havza bakı noktası yıllık ve mevsimsel akıntı gülü özet tablosu.....	86
Tablo 25. Ham petrol ithal edilen ülkelerin yıllık toplamdaki payları ve 5 yıllık ortalamaları	88
Tablo 26. Dağılım ve bozunma senaryoları yapılan petrol tiplerinin özellikleri.....	89
Tablo 27. Boyutlarına ve mevsimsel koşullarına göre tanımlanan petrol kirliliği senaryoları.....	90
Tablo 28. Döküntü başladıktan altı saat sonra meydana gelen bozunma mekanizmaları, yoğunluk ve viskozite değerlerinin 17 senaryo için karşılaştırılması	121

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. Petrolün bozunma mekanizmaları	13
Şekil 2. Süreç ve boyutlarına göre petrolün bozunma mekanizmaları	14
Şekil 3. Petrol kirliliği dağılımında süreç ve mekanizmaların birbirleri ile etkileşimi.....	15
Şekil 4. Farklı petrol tiplerin göre yayılma alan grafiği	16
Şekil 5. Adveksiyon ile taşınım	18
Şekil 6. Buharlaştırma mekanizması (A) hava-sınır-tabakası oluşan B) hava sınır tabakası oluşmayan koşul	19
Şekil 7. 1970-2019 yılları arasında meydana gelen orta ve büyük ölçekte petrol kazaları	28
Şekil 8. Tez çalışmasının metodolojik çerçevesi	33
Şekil 9. İzmit Körfezi'nin alt basenlerini gösteren koordinat sistemindeki haritası.....	34
Şekil 10. İzmit GTH'nin kapsama sahası ve trafik gözleme istasyonları	35
Şekil 11. İzmit (Kocaeli) Liman Başkanlığı idari sahası	36
Şekil 12. İzmit Körfezi aylık deniz suyu sıcaklık değerleri.....	39
Şekil 13. İzmit Körfezi aylık deniz suyu tuzluluk değerleri	40
Şekil 14. Poliport terminali.....	41
Şekil 15. Tüpraş-İzmit Limanı.....	42
Şekil 16. Ükelere göre Türkiye'nin ham petrol ithalat miktarları (ton).....	47
Şekil 17. Türkiye ve İzmit Körfezinde toplam elleçlenen ham petrol miktarları	50
Şekil 18. Kirlletici yönetimi modülünde tanımlanan kirlletici noktaları ve kirlleticiler.....	56
Şekil 19. Kirlletici listesi oluşturulması.....	57
Şekil 20. Kirlletici yönetim modülü özellik yönetim sekmesi.....	57
Şekil 21. Arap-Hafif Petrolü buharlaştırma grafiği.....	60
Şekil 22. Arap-Hafif petrolü buharlaştırma grafiği – (ADIOS2)	60
Şekil 23. Arap-Hafif petrolü emülsifikasyon süreci grafiği	63
Şekil 24. Arap-Hafif petrolü zamana bağlı çözünme grafiği.....	65
Şekil 25. Arap-Hafif petrolü buharlaştırmaya bağlı çözünme grafiği.....	66
Şekil 26. Arap-Hafif petrolü zamana bağlı yoğunluk değişimi grafiği	67
Şekil 27. Arap-Hafif petrolü zamana bağlı viskozite değişimi grafiği	68
Şekil 28. İzmit Körfezi Merkez Havzası Dilovası Bölgesi'nde belirlenen noktaya ait fec mesafeleri	69
Şekil 29. İzmit Körfezi Merkez Havzası Körfez Bölgesi'nde belirlenen noktaya ait fec mesafeleri	70
Şekil 30. İzmit Körfezi Merkez Havza-Orta Bölgesi'nde belirlenen noktaya ait fec mesafeleri	71
Şekil 31. İzmit Körfezi Doğu Havzası Derince Bölgesi'nde belirlenen noktaya ait fec mesafeleri	71
Şekil 32. Dilovası Bölgesi yıllık ve mevsimsel rüzgar gülleri	72
Şekil 33. Körfez Bölgesi yıllık ve mevsimsel rüzgar gülleri	73
Şekil 34. Derince Bölgesi yıllık ve mevsimsel rüzgar gülleri	75
Şekil 35. İzmit Körfezi dalga gülü	76

Şekil 36. İzmit Körfezi aylık ortalama ve uç değer dalga yükseklikleri	77
Şekil 37. Hidrodinamik model akıntı çözüm ağı ve bakı noktaları	77
Şekil 38. Dilovası bölgesi yıllık akıntı gülü	78
Şekil 39. Dilovası bölgesi mevsimsel akıntı gülleri (A) kış, (B) ilkbahar, (C) yaz, (D) sonbahar	79
Şekil 40. Körfez bölgesi yıllık akıntı gülü	80
Şekil 41. Körfez bölgesi mevsimsel akıntı gülleri (A) kış, (B) ilkbahar, (C) yaz, (D) sonbahar	81
Şekil 42. Merkez Havza orta bakı noktası yıllık akıntı gülü	82
Şekil 43. Merkez Havza-Orta bakı noktası mevsimsel akıntı gülleri (A) kış, (B) ilkbahar, (C) yaz, (D) sonbahar	83
Şekil 44. Doğu havza bakı noktası yıllık akıntı gülü grafiği	84
Şekil 45. Doğu havza bakı noktası mevsimsel akıntı gülleri (A) kış, (B) ilkbahar, (C) yaz, (D) sonbahar	85
Şekil 46. İzmit Körfezi (A) Merkez ve (B) Doğu havzası üst katman akıntıları (Rüzgar GGB yönünden)	92
Şekil 47. İzmit Körfezi (A)Merkez ve (B)Doğu baseni üst katman akıntıları (Rüzgar KD yönünden)	93
Şekil 48. Senaryo 1'e ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	94
Şekil 49. Senaryo 2'ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	95
Şekil 50. Senaryo 3'e ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	96
Şekil 51. Senaryo 4'e ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	97
Şekil 52. Senaryo 5'e ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	98
Şekil 53. Senaryo 6'ya ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	99
Şekil 54. Senaryo 7'ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	100
Şekil 55. Senaryo 8'e ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	101
Şekil 56. Senaryo 9'a ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	102
Şekil 57. Senaryo 10'a ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	103
Şekil 58. Senaryo 11'e ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	104
Şekil 59. Senaryo 12'ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	105

Şekil 60. Senaryo 13-A'ya ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	106
Şekil 61. Senaryo 13B'ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	106
Şekil 62. Senaryo 14-A'ya ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	107
Şekil 63. Senaryo 14-B'ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	108
Şekil 64. Senaryo 15-A'ya ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	109
Şekil 65. Senaryo 15-B'ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	110
Şekil 66. Senaryo 16-A'ya ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	111
Şekil 67. Senaryo 16-B'ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	111
Şekil 68. Senaryo 16-C'ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	112
Şekil 69. Senaryo 17-A'ya ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	113
Şekil 70. Senaryo 17-B'ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	114
Şekil 71. Senaryo 17-C'ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra	114

SİMGE LİSTESİ

cm	: santimetre
cSt	: sentistokes
g	: yerçekimi ivmesi
h	: saat
m.Pa.s	: milipaskalsaniye
Pa	: paskal
psu	: pratik tuzluluk birimi
ppm	: milyonda bir birimi
$\Delta\rho$	: bağıl yoğunluk
ρ_w	: suyun yoğunluğu
ρ_{oil}	: petrolün yoğunluğu
m	: metre
s	: saniye

KISALTMA LİSTESİ

API	: Amerikan Petrol Enstitüsü gravitesi (American Petroleum Institute gravity)
B	: Batı
BGB	: Batı- Güneybatı
BKB	: Batı- Kuzeybatı
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
D	: Doğu
DGD	: Doğu-Güneydoğu
DGM	: Denizcilik Genel Müdürlüğü
DKD	: Doğu-Kuzeydoğu
DWT	: Detveyt (Deadweight)
ECMWF	: Avrupa Orta Menzilli Hava Tahminleri Merkezi
EPDK	: Enerji Piyasası Denetleme Kurulu
G	: Güney
GB	: Güneybatı
GGB	: Güney-Güneybatı
GGD	: Güney-Güneydoğu
GTH	: Gemi Trafik Hizmetleri
HELCOM	: Helsinki Komisyonu (Baltık Deniz Çevresi Koruma Komisyonu)
HIROMB	: Baltık Denizi için Yüksek Çözünürlüklü Operasyonel Model (High Resolution Operational Model for the Baltic Sea)
HYDROTAM-3D	: Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşınım ve Su Kalitesi Modeli
IMO	: Uluslararası Denizcilik Örgütü (International Maritime Organization)
ITOPF	: Uluslararası Tanker Sahipleri Kirlilik Federasyonu
K	: Kuzey
KB	: Kuzeybatı
KKB	: Kuzey-Kuzeybatı
KKD	: Kuzey-Kuzeydoğu
KD	: Kuzeydoğu
MARPOL	: Denizlerin Gemiler Tarafından Kirlenmesinin Önlenmesine Dair Uluslararası Sözleşme
MERTEC	: Deniz ve Çevre Teknoloji Araştırma Merkezi (Marine and Environmental Technology Research Center)
NOAA	: Birleşmiş Milletler Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi
OGCM	: Okyanus Genel Sirkülasyon Modeli (Ocean General Circulation Model)
OPEC	: Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü (Organization of Petroleum Exporting Countries)
POM	: Princeton Okyanus Modeli (Princeton Ocean Model)
REMPEC	: Akdeniz Bölgesel Deniz Kirliliği Acil Müdahale Merkezi
ROMS	: Ulusal Okyanus Modelleme Sistemi (Regional Ocean Modelling System)
TBS	: Türk Boğazlar Sistemi
TGİ	: Trafik Gözleme İstasyonu
UDEM	: Ulusal Deniz Emniyeti ve Acil Müdahale Merkezi

EK LİSTESİ

	Sayfa
EK 1. HYDROTAM 3D’de petrol verisi girişı için tanımlanan parametreler ve Arap-Hafif petrolü veri girişı dosya örneği.....	140
EK 2. Senaryo 1’e ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	142
EK 3. Senaryo 2’ye ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	143
EK 4. Senaryo 3’e ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	144
EK 5. Senaryo 4’e ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	145
EK 6. Senaryo 5’ ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri	146
EK 7. Senaryo 6’ya ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	147
EK 8. Senaryo 7’ye ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	148
EK 9. Senaryo 8’e ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	149
EK 10. Senaryo 9’a ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	150
EK 11. Senaryo 10’a ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	151
EK 12. Senaryo 11’e ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	152
EK 13. Senaryo 12’ye ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	153
EK 14. Senaryo 13’e ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	154
EK 15. Senaryo 14’e ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	155
EK 16. Senaryo 15’e ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	156
EK 17. Senaryo 16’ya ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	157
EK 18. Senaryo 17’ye ait alansal yayılma ve bozunma grafikleri.....	158

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç artışının sonucu olarak deniz yolu ile taşınan petrol miktarı da artış göstermekte olup Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tarafından sunulan istatistiksel veriler bu durumu desteklemektedir (IEA, 2021). 1960’larda başlayan endüstrileşme ile büyük petrol tankeri kazaları da meydana gelmeye başlamıştır. Gemi kaynaklı kirliliğinin önlenmesi için Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) 1970’lerden beri uluslararası sözleşmelerle bir dizi önlemler almaktadır ve kaza istatistikleri incelendiğinde bu önlemlerin etkinliği görülmektedir.

Türkiye limanlarında en çok elleçlenen yük grubu petrol ve petrol ürünleridir. Denizcilik Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan istatistiksel veriler bu yüklerin elleçleme miktarının her geçen yıl arttığını göstermektedir (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2022a). Limanların ve gemilerin kapasitelerindeki bu artış petrol kirliliği döküntü riskini de artırmaktadır.

Deniz ortamında bir petrol kirliliği meydana geldiğinde döküntünün boyutuna göre ekosistemde yarattığı tahribatı azaltmak zorlaşmaktadır. Birçok deniz canlısının ölümüne sebep olan bu kirlilik türünün sosyoekonomik sonuçları da vardır (Duru ve İncaz, 2018). Bu sebeple acil müdahale gerektiren bir kirlilik türüdür.

Meydana gelebilecek bir kazanın nerede, ne zaman ve hangi boyutta oluşacağı önceden tahmin edilemeyeceği için kirlilikle mücadelede her an hazır olmak gerekmektedir. Bu sebeple literatürde yer alan akademik çalışmalar birçok geçmiş ve olası kaza senaryoları üzerinden petrol kirliliği dağılımı simülasyonları elde ederek çalıştıkları kıyı alanlarında acil müdahale planlarına katkı sunmayı hedeflemektedirler. Bu amaçla farklı birçok petrol kirliliği dağılım modeli kullanıldığı görülmektedir (Tablo 1). Kirliliğin hangi yöne, hangi sürede ve ne şekilde dağıldığına dair belirsizliği tanımlamak için yapılan petrol kirliliği taşınım modellemelerinde rüzgâr ve dalga iklimi, akıntı, türbülans, sıcaklık, tuzluluk, dökülen petrolün tipi (Amerikan Petrol Enstitüsü gravite ölçeği (API), yoğunluk, viskozite, asfaltten ve reçine içeriği) ve miktarı gibi birçok parametre dikkate alınmaktadır. Bu çerçevede yapılan

modelleme çalışmaları mevcut sistemi en basit ve en doğru şekilde tanımlamayı amaçlamaktadır.

Marmara Denizi'nin doğusunda yer alan İzmit Körfezi Türkiye'nin en büyük petrol rafinerilerinden birinin bu bölgede yer alması ve dolayısıyla petrol tankerlerinin uğrak limanlarına sahip bir bölge olması sebebiyle çalışma alanı olarak seçilmiştir. Bölgedeki liman tesisleri ve meydana gelen kazalar incelenmiştir. Mevcut risk değerlendirmeleri kapsamında petrol kirliliği açısından acil müdahale planlarına katkı sunacak petrol kirliliği taşınım modellemesi yapılmıştır.

Tez çalışmasının birinci bölümü çalışmanın amacı ve kapsamı, literatür araştırması, petrolün fizikokimyasal özellikleri ve petrol kazaları ile ilgili bölümleri içermektedir. İkinci bölümde çalışma alanı genel olarak oşinografik ve meteorolojik özellikleriyle tanıtılmış, çalışmada kullanılan veriler ve üç boyutlu hidrodinamik taşınım ve su kalitesi modeli (HYDROTAM-3D) yazılımının matematiksel altyapısı açıklanmış, petrolün modellenen bozunma mekanizmalarına yönelik denklemler ve çalışmada uygulanacak döküntü senaryoları tanımlanmıştır. nc bölümde HYDROTAM-3D ile elde edilen rüzgar, dalga ve akıntı iklimi verilmekte olup tanımlanan senaryolara göre petrolün taşınım ve bozunma grafikleri elde edilmiştir. Son bölüm olan dördüncü bölümde elde edilen bulgulara göre İzmit Körfezi'nin acil müdahale planları açısından petrol tipi, döküntü miktarı, mevsimsel ve meteorolojik koşullar dikkate alınarak değerlendirmesi yapılmıştır.

1.1.Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Tez alışması kapsamında bir petrol sızıntısına zamanında ve yerinde müdahaleyi desteklemek amacıyla, petrolün bozunma mekanizmalarını dikkate alan ve petrolün yoğunluk ve viskozite değişimleri hakkında bilgi veren yararlı bir petrol kirliliği taşınım modeli elde etmek amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında Türkiye'de yüksek miktarda petrol elleçlemesi yapılan İzmit Körfezi alışma alanı seçilmiştir. Tez çalışmasının hedefleri doğrultusunda yapılan çalışmalar aşağıda sıralanmaktadır.

- İzmit Körfezi'nin hidrodinamik altyapısı (rüzgâr, dalga ve akıntı iklimi)  boyutlu hidrodinamik taşınım ve su kalitesi modeli HYDROTAM-3D ile belirlenmiştir.
- İzmit Körfezi'ndeki petrol elleçleyen terminaller belirlenmiştir.
- Petrol terminallerinde elleçlenen petrol tipleri ve özellikleri terminal bazında sınıflandırılmıştır.

- HYDROTAM-3D’de Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) tabanlı bir “kirleticici yönetimi” arayüzü oluşturarak elde edilen petrol verileri programa tesis bazında işlenmiştir.
- Petrolün bozunma mekanizmalarının incelenmesi kapsamında modele entegre edilmesine karar verilen üç bozunma mekanizmasının (buharlaşıma, emülsifikasyon ve çözünme) denklem takımlarını çıkartarak MATLAB’da sayısal modellemesi yapılmıştır.
- Modellenen bozunma mekanizmaları HYDROTAM-3D programına entegre edilmiştir.
- Senaryolara göre petrol kirliliği taşınımına ait simülasyonlar HYDROTAM-3D ile elde edilmiştir.
- Model çıktıları petrol kirliliği acil müdahale planları kapsamında değerlendirilmiştir.

1.2.Çalışmaya Temel Oluşturan Önceki Araştırmalar

Petrol kirliliği, meydana geldiği alıcı ortamda ekosistemi bozucu etkilere sahip olan mücadelesi zor bir kirlilik türüdür. Petrol kirliliğine acil müdahalede bulunabilmek için bir petrol döküntüsünün hangi alanlara, hangi sürede ve ne şekilde yayılacağına müdahaleye başlamadan önce bilinmesi istenmektedir. Bu sorulara en doğru yanıtı bulabilmek için petrol kirliliği taşınım modelleri geliştirilmektedir. Dünyada meydana gelen büyük petrol kazalarının da etkisinde petrol kirliliği taşınım modellemesi ile ilgili yapılan akademik çalışmalar 1960’lardan itibaren artış göstererek literatürde yer almaktadır (Annika ve diğerleri, 2001; Beegle-Krause, 2001; Berry ve diğerleri, 2012; De Dominicis ve diğerleri, 2013; Fay, 1969; Hess ve Kerr, 1979; Rajar ve diğerleri, 1970).

Bir kirleticinin deniz ortamında taşınımının modellenebilmesi için öncelikle hidrodinamik model verilerine ihtiyaç vardır. Petrol kirliliği taşınımı kapsamında hazırlanan programlar çoğunlukla bir hidrodinamik model altlığına sahip değildir. Bu sebeple bazı petrol kirliliği taşınım modelleri ayrıca bir hidrodinamik modelleme programına ihtiyaç duymaktadır. Örnek olarak Berry ve diğerleri (2012) tarafından geliştirilen OILTRANS petrol kirliliği taşınım modelini Celtic Denizi’nde uygularken hidrodinamik model olarak ”Regional Ocean Modelling System”i (ROMS) kullanmıştır, “Helsinki Commission” olarak bilinen The Baltic Marine Environment Protection Commission (HELCOM) kapsamında Ambjörn (2006) tarafından Baltık denizi için SeatrackWeb modeli geliştirilmiştir. Kostianoy ve diğerleri (2012) tarafından yapılan çalışmada SeatrackWeb modeli kullanılmış olup

hidrodinamik verileri “High Resolution Operational Model for the Baltic Sea” (HIROMB) modelinden elde etmişlerdir. MEDSLIK II Akdeniz havzası için De Dominicis ve diğerleri (2013) tarafından geliştirilen bir petrol kirliliği taşınım modeli olup yapılan uygulamada “Ocean General Circulation Model” (OGCM)’i kullanmıştır. Annika ve diğerleri (2001) tarafından Yunanistan denizleri için geliştirilen POSEIDON kirlilik taşınım modeli hidrodinamik verilerini “Princeton Ocean Model” (POM)’dan elde etmiştir. Ayrıca bazı petrol kirliliği taşınım modeli programları kendi altyapısında hidrodinamik modelleme modülünü içermektedir. Bu programlara örnek olarak DELFT-3D (Deltares, 2022), MIKE 21/3 (DHI, 2022), GULFSPILL (Al-Rabeh ve diğerleri, 2000) ve HYDROTAM-3D (Balas ve diğerleri, 2012) ve MOTHY (Daniel ve diğerleri, 2003) programları verilebilir.

1960’lardan itibaren geliştirilmeye başlanan petrol kirliliği taşınım modellemesi ve simülasyonlarına yönelik çalışmalar son 20 yılda hızla gelişmiş ve bu konuda birçok program ve modelleme çalışması ortaya konulmuştur (Tablo 1). Petrol kirliliği dağılım modelleri bir karar destek aracı olup yetkililerin acil müdahale planları kapsamında alacakları önlemleri belirlemede etkin bir uygulama olarak ortaya çıkmaktadır. 1990’ların başlarında uygulanabilir karar destek sistemlerinden biri olan Amerika Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi (NOAA) tarafından geliştirilen ADIOS sadeliği, hızı, erişilebilirliği ve kapsamlı petrol ürünleri veri tabanı ile yaygın kullanılır hale gelmiştir. Bu yazılım güncellenmiş sürümüyle ADIOS2 (Lehr ve diğerleri, 2002) adını almıştır. Günümüzde halen bir petrol döküntüsünün modellemesinde ilk testin yapıldığı program olarak ADIOS2 kullanılmaktadır. Ayrıca saha verisinin olmadığı durumlarda ve yeni uygulanacak modellerde ADIOS2 referans olarak kullanılmaktadır (Fernandes ve diğerleri, 2013). ADIOS2’nin Acil müdahale yöntemlerine yönelik modülünün bulunması optimizasyon çalışmalarında da kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Đorđević ve diğerleri, 2022). Bu modelin harita üzerinde simülasyon özelliği olmayıp zamana bağlı bozunma ve yayılım miktarları hakkında bilgi vermektedir. ADIOS2’nin güncellemesi yapılmamakla birlikte program uygulanabilirlik açısından halen geçerliliğini korumaktadır.

NOAA tarafından geliştirilen diğer bir program olan GNOME, petrolün su üzerindeki taşınımına ait simülasyonları sunmakla birlikte bir hidrodinamik modelden veri girişi gerektirmektedir (Beegle-Krause, 2001).

Petrol kirliliği dağılımı ile ilgili yapılan akademik çalışmalar gerçek petrol kazası olayları üzerinden ya da risk analizi açısından hipotetik senaryolar üzerinden kurgulanmaktadır. Literatürde petrol kirliliği dağılım modellemesi yapan çok sayıda program bulunmaktadır. Tablo1’de bu programlar geliştirici kurum/kişi referansları ile verilmekte olup programların kullanıldıkları akademik çalışmalara dair referanslar da verilmektedir.

Tablo 1. Petrol kirliliği modellemesi yapan programlar ve bu programlarla yapılan akademik çalışmalar

No	Geliştiren kişi / kurum referansı	Program	Çalışılan Bölgeler	Çalışılan Kaza /Senaryo	Referans
1	(Venkatesh, 1988) Kanada Atmosfer Çevre Hizmeti (Canadian Atmospheric Environment Service)	AES	Alaska Körfezi	Exxon Valdez tanker, 1989	(Venkatesh, 1990),
			Arap Körfezi	Ak Ahmadi ve Al Bakr terminalleri Ortadoğu savaşı 1991	(Venkatesh ve Murty, 1993)
			Vancouver, Kanada	Tenyo Maru gemi kazası 1991	(Venkatesh ve Crawford, 1993)
2	(Smith ve diğerleri, 1982) The US Department of the Interior , BOEM-Bureau of Ocean Energy Management	OSRA	Cook Inlet, Alaska	Hipotetik Senaryo	(Ji ve diğerleri, 2020)
			Meksika Körfezi	Hipotetik Senaryo	(Ji ve diğerleri, 2003, 2004; LaBelle, 1986; Price ve diğerleri, 2003)
3	(Spaulding ve diğerleri, 1992) RPS Applied Science Associates	OILMAP	Shetland adaları, İskoçya	Breair petrol tanker, 85.000 ton petrol, 1993	(Spaulding ve diğerleri, 1994)
			Narraganest Körfezi, ABD	North Cape yakıt barı, 3130 m3 petrol, 1996	(Spaulding ve diğerleri, 1996)
			Bohai Denizi, Çin	500 litre makine yağı döküntüsü	(Lei ve He, 2017)
			Damietta Limanı, Mısır	M/T Ra-Atum VI ve M/T Ocean Whale, 1000 ton petrol 2007	(Donia, 2010)

			Balear Adaları	Hipotetik Senaryo	(Bergueiro ve diğerleri, 2007, 1999)
			Kanarya Adaları	Hipotetik Senaryo	(Calvilla ve diğerleri, 2017)
			İzmit Körfezi, Türkiye	Hipotetik Senaryo	(Kabdasli ve diğerleri, 2010)
			Samsun, Türkiye	Hipotetik Senaryo	(Toz, 2017)
			Haydarpaşa Limanı, Türkiye	Hipotetik Senaryo	(Koroglu ve Kabdasli, 2011)
			Mersin, Türkiye	Hipotetik Senaryo	(Toz ve Buber, 2018)
4	(Wartsila, 2022) Wartsila Transas Marine	PISCES II	Kuzey Denizi, Atlantik	Hipotetik senaryo	(Łazuga, 2012)
			Baltık Denizi	Baltic Carrier tankeri, 30.000 ton petrol, 2001	(Łazuga ve diğerleri, 2013)
			Köstence Limanı, Romanya	Hipotetik senaryo	(Pocora ve diğerleri, 2018)
			İzmit, Türkiye	Hipotetik senaryo	(Toz ve diğerleri, 2017; Toz ve Koseoglu, 2018)
			Çeşme, Türkiye	Lady Tuna, 75 ton petrol, 2016	(Aydin ve Solmaz, 2019)
			İstanbul Boğazı, Türkiye	Nassia Tanker Kazası, 1994	(Aşan ve diğerleri, 2020)
			Polonya, Baltık Denizi	Hipotetik senaryo	(Juszkiewicz, 2020)
5	(Reed ve diğerleri, 1995)	OSCAR	Namibia, Güney Afrika	Hipotetik senaryo	(Reed ve diğerleri, 1999)
			Barents Denizi, Arktik	2009 SINTEF petrol deneyi	(Nordam ve diğerleri, 2017)
			Abrolhos Resifleri, Brezilya	Hipotetik Senaryo	(Lemos ve diğerleri, 2009)
6	DHI (DHI, 2022)	Mike 21/30S	Baltık Denizi	Fu Shan Hai konteyner gemisi, 1680 ton Bunker C	(De Carolis ve diğerleri, 2013; De Padova ve diğerleri, 2017)
			Meksika Körfezi	896 Hipotetik senaryo	(Meza-Padilla ve diğerleri, 2021)
			Meksika Körfezi	Deepwater Horizon, 2010	(Socolofsky ve diğerleri, 2015)
			Arap Körfezi	Hipotetik senaryo	(Verma ve diğerleri,

					2008)
			Goa, Hindistan	MV Maritime Wisdom, 85 Ton Ağır Fueloil, 2005	(Vethamony ve diğerleri, 2007)
			Kazakistan, Hazar Denizi	Hipotetik senaryo	(Bostanbekov ve diğerleri, 2018)
7	(Deltares, 2022)	DELFT3D -Part	Bohai Boğazı, Çin Abu Dabi, BAE Abu Dabi, BAE İstanbul Boğazı Con Co Adası, Vietnam Brezilya	Penglai19-3 petrol platformu, 531m3,1994 Hipotetik senaryo Hipotetik senaryo Hipotetik senaryo Hipotetik senaryo	(Wang ve diğerleri, 2017) (Mohamed, 2008) (Mohamed ve Odeh, 2006) (Saçu ve diğerleri, 2021) (Tu, 2014) (Marinho ve diğerleri, 2021)
8	(Beegle-Krause, 2001) NOAA	GNOME/ WebGnome	Rio De Jenerio,Brezilya	Hipotetik senaryo	(Marta-Almeida ve diğerleri, 2013)
			Basra Körfezi	Hipotetik senaryo	(Farzingohar ve diğerleri, 2011)
			Astrolabe Resifi, Yeni Zelenda	MV Rena, 350 ton, 2011	(Jones ve diğerleri, 2016)
			Richmond,Washingt on, ABD	Point Wells, 5712 galon (21.622litre), 2003	(Duran ve diğerleri, 2018)
			Alaska Körfezi	Exxon Valdez tankeri, 1989	(Elizaryev ve diğerleri, 2018)
			Kota Tinggi, Malezya	Hipotetik senaryo	(Balogun ve diğerleri, 2021)
			Bohai Denizi, Çin	Hipotetik senaryo	(Xu ve diğerleri, 2013)
			Meksika Körfezi	-	(Yang ve diğerleri, 2013)
			Meksika Körfezi	Boru hattı sızıntısı, 2009	(Cheng ve diğerleri, 2011)
			Sibenik Limanı, Hırvatistan	Hipotetik senaryo	(Belamarić ve diğerleri, 2016)
			New York Körfezi	Hipotetik senaryo	(Toz ve diğerleri, 2016)
			Bahreyn, Basra Körfezi	Hipotetik senaryo	(Marzooq ve diğerleri, 2019)
			Bengal	Hipotetik senaryo	(Pradhan ve diğerleri, 2021)
			Mauritius Adası, Hint Okyanusu	MV Wakashio 1000ton, 2020	(Gurumoorthi ve diğerleri, 2021)

			İstanbul Boğazı, Türkiye	Hipotetik senaryo	(Başar, 2010)
9	(Lehr ve diğerleri, 2002, 2000) NOAA	ADIOS2	İzmit Körfezi, Türkiye	Hipotetik senaryo	(Ülker ve diğerleri, 2022)
			Alaska Körfezi	Exxon Valdez tankeri, 1989	(Elizaryev ve diğerleri, 2018)
			Ghana, Afrika	Hipotetik senaryo	(Korsah ve Anifowose, 2014)
			Aveiro lagünü, Portekiz	Hipotetik senaryo	(Azevedo ve diğerleri, 2014)
			İstanbul Boğazı, Türkiye	Hipotetik senaryo	(Başar, 2010)
10	(Berry ve diğerleri, 2012)	OILTRANS	Celtic Sea	Hipotetik senaryo	(Berry ve diğerleri, 2012)
11	(Al-Rabeh ve diğerleri, 2000)	GULFSPILL	Arap Körfezi	Hipotetik senaryo	(Al-Rabeh ve diğerleri, 2000)
12	(Miranda ve diğerleri, 2000) Deniz ve Çevre Teknoloji Araştırma Merkezi (Marine and Environmental Technology Research Center - MARETEC)	MOHID	Meksika Körfezi	Depewater Horizan, 2010 (780.000m ³)	(Contreras-Tereza ve diğerleri, 2021)
			Algarve , Portekiz	Hipotetik senaryo	(Janeiro ve diğerleri, 2012)
			Sao Paulo, Brezilya	Hipotetik senaryo	(Rodrigues ve Maiorino, 2016)
			Algarve, Portekiz	Hipotetik senaryo, Prestige Tanker kazası,	(Janeiro ve diğerleri, 2012)
13	(Annika ve diğerleri, 2001)	POSEIDON OSM	Navarino Körfezi, Yunanistan	74.000 galon ham petrol, 1993	(Annika ve diğerleri, 2001)
			Pire, Yunanistan	Deneyisel çalışma	(Nittis ve diğerleri, 2006)
14	(MEDSLIK, 2019)	MEDSLIK II	Güney Adriyatik ve Kuzey İyonya denizi	Akdeniz kıyıları risk çalışması	(Liubartseva ve diğerleri, 2015)
			Beyrut	Lübnan petrol kirliliği krizi, 10000 ton, 2006	(Zodiatis ve diğerleri, 2017)
			İtalya	Costa Concordia kazası, 2012	
			Kuzey Akdeniz	İki yük gemisi	

				kazası, 2009	
			Fransa,İtalya, Lübnan ve Tunus	Hipotetik senaryo	(Al Shami ve diğerleri, 2017)
			Kafireas Boğazı, Yunanistan	Hipotetik senaryo	(Kampouris ve diğerleri, 2021)
15	(Daniel, 1996; Daniel ve diğerleri, 2003) Meteo-France	MOTHY	Fransa Korsika açıkları Fransa	Erika tanker kazası, 15.000 ton yakıt, 1999	(Daniel ve diğerleri, 2001)
				Ulysse Ro-Ro gemi kazası Grande Amerika gemi kazası	(Daniel ve diğerleri, 2021)
16	(Ambjorn, 2008; Ambjörn, 2006; Ambjörn ve diğerleri, 2011; SEATRACKWE B, 2019)	SeatrackWeb	Baltık Denizi	1989-2002 petrol döküntü verileri	(Kostianoy ve diğerleri, 2004)
			Baltık Denizi	Hipotetik senaryo	(Lavrova ve diğerleri, 2006)
			Baltık Denizi	Kaçak petrol sızıntısı, 2010	(Anderson ve diğerleri, 2010)
			Baltık Denizi	Hipotetik senaryo	(Kostianoy ve diğerleri, 2012)
			Baltık Denizi	Hipotetik senaryo	(Fetissov ve diğerleri, 2021)
16	(Abascal ve diğerleri, 2007)	TESEO	Galiçya, İspanya	Prestige Tanker kazası, 77.000 ton	(Abascal ve diğerleri, 2009)
			Orkney Adası, İskoçya	Hipotetik senaryo	(Abascal ve diğerleri, 2017b) (Abascal ve diğerleri, 2017a; Cardenas ve diğerleri, 2017)
17	(DLTM, 2022) DLTM Yazılım Teknolojileri Ltd. Şti.	HYDROTAM-3D	Mersin	Hipotetik senaryo	(İnan ve Balas, 2010)
			İskenderun	Hipotetik senaryo	(İnan, 2011)
			İzmit Körfezi	Hipotetik senaryo	(Ülker ve diğerleri, 2022)

			Samsun, Mersin, Dörtöy-Hatay, Ceyhan-Adana, Derince-İzmit, Yarımca-İzmit, Aliağa-İzmir, Hopa - Artvin	Risk değerlendirmesi ve acil müdahale planları	(HYDROTAM-3D, 2010)
--	--	--	---	---	---------------------

Tablo 1’de verilen petrol kirliliği dağılım programlarından bazıları belli bir bölgeye özgü hazırlanmıştır. Seatrackweb Baltık denizinde meydana gelen kazaları modellemek üzere HELCOM kapsamında hazırlanmıştır. POSEIDON OSM, MEDSLIK II ve MOTHY Akdeniz sularına özgü geliştirilen programlar olup Deniz Güvenliği için Akdeniz Karar Destek Sistemi (MEDESS-4MS) tarafından kullanılan petrol kirliliği dağılım programlarıdır. MEDESS-4MS Akdeniz’de petrol sızıntısı kirliliği ile ilgili deniz güvenliğini güçlendirmek ve müdahale kuruluşlarına yardımcı olmak amacıyla kurulan bir sistemdir (Zodiatis ve diğerleri, 2016). GULFSPILL programı ise Arap Körfezi’ne özgü geliştirilmiş bir programdır.

Tablo 1’de belirtilen programlarla çalışılan petrol kirliliği modellemesi çalışmalarının yanında sayısal çözümlerini üreterek dağılım simülasyonları elde eden akademik çalışmalar da bulunmaktadır. Wang ve diğerleri (2008) denizlerdeki petrol sızıntısının üç boyutlu nümerik simülasyonu çalışmasını, Wang ve diğerleri (2005) tarafından yapılan iki boyutlu çalışmanın ilerlemesi olarak ortaya koymuşlardır. Bu simülasyon Bohai Boğazı, Çin bölgesinde uygulanmıştır. Uygulanan modelde Lagrange metodu baz alınmıştır. Petrolün bozunma mekanizmaları olarak buharlaşma, çözünme ve emülsifikasyon mekanizmaları ile petrolün yoğunluk ve viskozitesindeki değişim de hesaplama dahil edilmiştir. Çalışmalarında hidrodinamik model olarak POM kullanılmıştır. Bozkurtoğlu (2017) tarafından İstanbul Boğazı’nda acil müdahale için yapılan çalışmada iki boyutlu hidrodinamik model çalıştırılarak kirlilik dağılımı Lagrange tanecik izleme metodu kullanılarak MATLAB’da üçgen mesh sisteminde kodlanmıştır. Bu çalışmada bozunma mekanizması olarak yalnızca buharlaşma süreci hesaplama dahil edilmiş olup, Mackay ve diğerleri (1980) tarafından önerilen metod kullanılmıştır. Restrepo ve diğerleri, (2015) sığ sular için yaptıkları petrol taşınımı modelleme çalışmasında kütlenin korunumu açısından pratikte daha kolay uygulanabileceği için Euler metodunu kullanmışlardır. Çalışmada modele eklenmesi planlanan kimya modülü olarak petrolün bozunma ve yaşlanma mekanizmalarına yönelik

açıklamalar sunulmakla birlikte bu mekanizmaların stokastik çözümüne yönelik sonuçların başka bir çalışmada toplanacağı belirtilmiştir. Mishra ve Kumar (2015) tarafından yapılan çalışmada petrolün yayılma, buharlaşma, çözünme ve emülsifikasyon süreç ve mekanizmaları dördüncü dereceden Runge-Kutta metodu ile açık (explicit) çözüm olarak elde edilmiştir. Çalışmada hafif, orta ve ağır petrol kategorisine giren üç farklı petrol tipine ait mekanizmalar modellenmiştir.

Petrol kirliliği modellemesi ile ilgili literatürde yapılan tez çalışmaları da bulunmaktadır. Başar (2003) tarafından yapılan “İstanbul Boğazı’nda Tanker Kazaları ile Oluşabilecek Petrol Dağılımının Simülasyonu” isimli doktora tez çalışmasında hidrodinamik model olarak POM kullanılmış ve NOAA tarafından geliştirilen GNOME petrol kirliliği taşınım modeline hidrodinamik modelden edinilen veriler girilerek İstanbul Boğazı’nda kaza senaryolarına petrol kirliliği simülasyonları çıkartılarak risk altındaki bölgeler tespit edilmiştir. Can (2007) tarafından yapılan “Tanker kazaları sonrası İstanbul Boğazı’ndaki yakıt kirliliği simülasyonu” isimli doktora tez çalışmasında 2005 yılında yürürlüğe giren “Deniz çevresinin petrol ve diğer zararlı maddelerle kirlenmesinde acil durumlarda müdahale ve zararların tazmini esaslarına dair kanun” kapsamında İstanbul Boğazı için Acil Müdahale Planı oluşturulmasında destekleyecek bulgular elde etmeyi amaçlamıştır. Bu kapsamda sonlu hacimler yöntemini kullanan bir Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği yazılımı olan FLUENT ile nümerik çözümlerini elde etmiştir. Aşan (2020) tarafından yapılan “İstanbul Boğazı’nda yakıt kirliliği, yayılım süreci ve müdahale esasları üzerine örnek senaryo çalışması” isimli doktora tezinde İstanbul Boğazı’nda geçmişte meydana gelen kazaların bölgelerine göre literatür araştırması yapılarak riskli bölgeler üzerinden kaza senaryoları üretilmiştir. Senaryoda modellemesi yapılan petrol tipi Amauligak hafif ham petrolü olarak tanımlanmıştır. Kirliliğinin dağılım simülasyonları ve müdahale yöntemleri PISCES II programı ile elde edilmiştir. Bayazit, (2021) tarafından yapılan “Petrol kirliliğine acil müdahale tesisi için konum optimizasyonu: Çanakkale Boğazı’nda bir uygulama” isimli doktora tezinde Çanakkale Boğazı’nın gemi trafik yoğunluğu, oşinografik ve meteorolojik veriler ve ham petrol ithalat miktarları dikkate alınarak 15 adet rastgele senaryo atamaları yapılarak PISCESII programı ile simülasyonları elde edilmiştir. Senaryo sonuçlarına göre optimizasyon modeli kullanılarak acil müdahale tesisi için konum belirlenmesi yapılmıştır. Onay (2016) tarafından yapılan “Doğu Akdeniz’de petrol kirliliğinin modellenmesi” isimli yüksek lisans

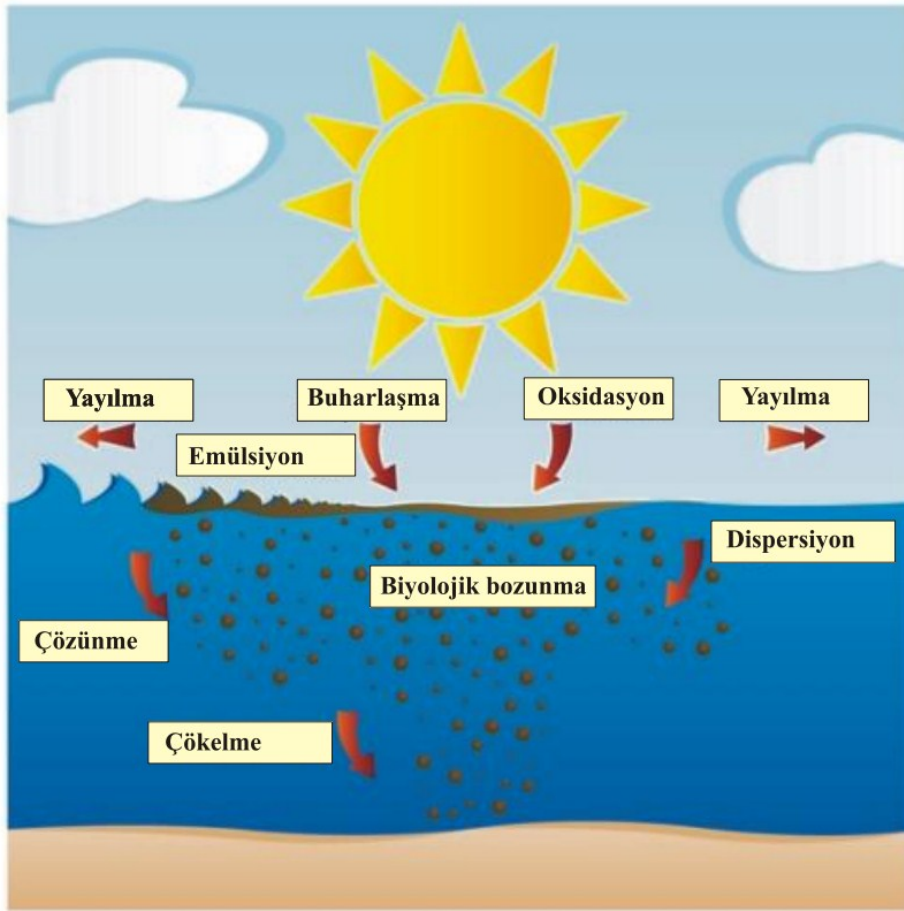
tez çalışmasında MOHID programı kullanılmıştır. İskenderun ve Mersin kıyı bölgelerinde olmak üzere üç adet kaza noktası seçilerek hipotetik senaryo üzerinden dağılım simülasyonları çıkartılmıştır. Aydın (2009) tarafından yapılan “Kıyısız sularda petrol kirliliği dağılımının sayısal modellenmesi” isimli yüksek lisans tez çalışmasında 2 boyutlu ilerleme yayılma denklemi açık sonlu farklar yöntemi ile çözülerek Mersin kıyı sularında hipotetik senaryolar kapsamında petrol kirliliği dağılım simülasyonları elde edilmiştir. Denklem girdi olarak eklenecek hidrodinamik veriler HYDROTAM-3D hidrodinamik modellemesi ile elde edilmiştir. Özsoy-Çiçek (2003) tarafından yapılan “Radar uydu görüntüleri ile deniz yüzeyindeki petrol kirliliğinin tespit edilmesi ve analizi” isimli yüksek lisans tez çalışmasında PCI EASI/PACE görüntü işleme programı ve RADARSAT görüntüleri kullanılarak petrol kirliliği ile mücadelede erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

İzmit Körfezi’nde petrol kirliliği araştırmalarına dair yapılan saha çalışmaları da bulunmaktadır ve bu çalışmalarda petrol kirliliği seviyesinin bölgede düşük olduğunu ortaya koymaktadır (Doğan ve diğerleri, 1999; Günday ve diğerleri, 2006; Güven ve Ünlü, 2000). Deniz suyundaki petrol değerlerinde 1994, 1995, 2002, 2003 yılları gelişiminde azalma olduğu belirtilse de Günday ve diğerleri (2006) tarafından yapılan çalışmada güncel kazalar dikkate alındığında bölgede aktif izleme çalışmaları yapılmasının bir gereklilik olduğu belirtilmektedir.

1.3.Petrol Kirliliği Dağılımında Etki Eden Süreç ve Mekanizmaların Tanımlanması

Risk değerlendirmesi ve acil müdahale planlarında yer alan petrol kirliliği dağılım modelleri herhangi bir petrol sızıntısı olayı sırasında en önemli üç soruya ((i)nereye gidecek, (ii)ne zaman gidecek (iii) gittiğinde hangi özelliklerde olacak) cevaplamak amacıyla uygulanmaktadır. İlk iki soru, döküntüyle mücadeleye yönelik müdahale operasyonları açısından kritiktir ve bu soruların cevapları doğru hidrodinamik modelleri kullanmakla elde edilebilir (Al-Rabeh ve diğerleri, 2000). Üçüncü soru ise kirliliğin ortamdaki uzaklaştırılabilmesinde belirlenecek teknik açısından önemlidir, bozunma mekanizmaları etkisinde petrolün yoğunluk ve viskozite gibi parametreleri değişiklik göstermektedir (Berry ve diğerleri, 2012). Deniz ortamında petrol kirliliği meydana geldiğinde yüzey akıntıları ve rüzgarları petrolün hareket yönünü ve taşınımını belirlerken petrol türüne özgü bazı fiziksel, kimyasal ve biyolojik mekanizmalar da petrolün deniz yüzeyinde taşınımını etkilemektedir (Şekil 1). Bu mekanizmalar bozunma ve petrolün hareketine yönelik mekanizmalar olarak

ikiye ayrılmaktadır. Bozunma mekanizmaları buharlaşma, emülsifikasyon, çözünme, fotooksidasyon ve biyolojik bozunma süreçlerini kapsamaktadır. Hareket mekanizmaları ise yayılma, taşınım, çökme, sedimentasyon süreçleri olarak tanımlanmaktadır. Petrolün karmaşık kimyasal yapısı ve deniz ortamının dinamik koşulları dikkate alındığında bozunma ve taşınma mekanizmaları aynı zaman sürecinde meydana gelebilen karmaşık süreçler olarak ortaya çıkmaktadır. Şekil 2’de görüldüğü gibi petrolün dağılımına ve bozulmasına sebep olan fiziksel, kimyasal ve biyolojik reaksiyonlara dair süreçler birkaç saatten aylara ve hatta yıllara kadar değişen çeşitli zaman ölçeklerinde gerçekleşmektedir (Korotenko ve diğerleri, 2004). Yayılma ve buharlaşma ilk saat periyodunda yüksek fraksiyonda meydana gelirken ilerleyen süreçte azalmaktadır. İlk bozunma mekanizması olan buharlaşma petrolün bileşiminde önemli değişikliklere yol açarak diğer bozunma mekanizmalarını da etkilemektedir (Fingas, 1999, 1996; Gros ve diğerleri, 2014; Stiver ve Mackay, 1984).

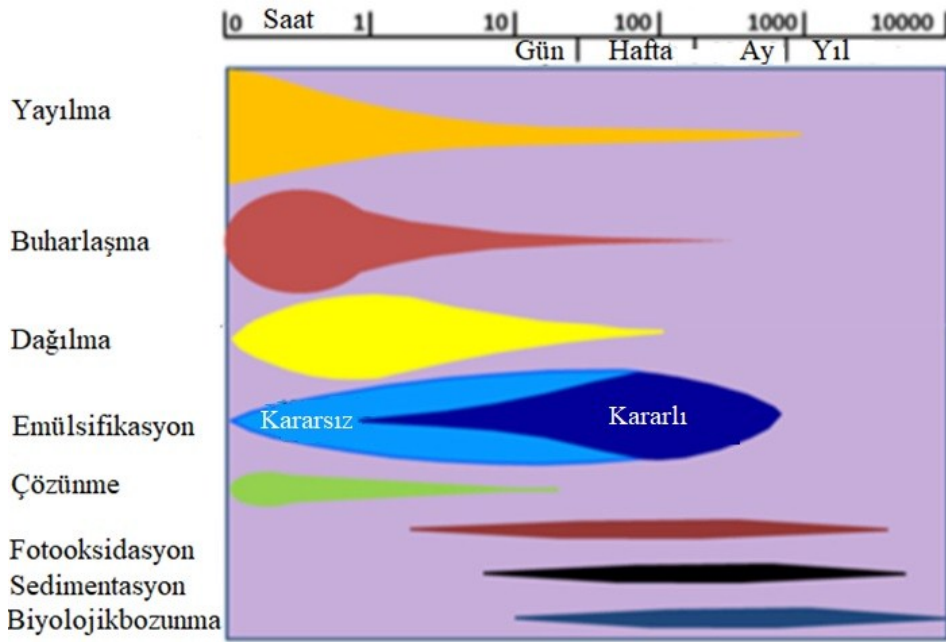


Şekil 1. Petrolün bozunma mekanizmaları (ITOPF, 2011).

Denize dökülen petrol, deniz suyunda çözülmüş, dağılmış veya parçacıklara tutunmuş, sedimente çökmüş, kıyıda ve kayalıklarda tutunmuş olarak bulunabilmektedir. Petrol sızıntısında süreçlerin hızı aşağıdaki koşullara bağlıdır;

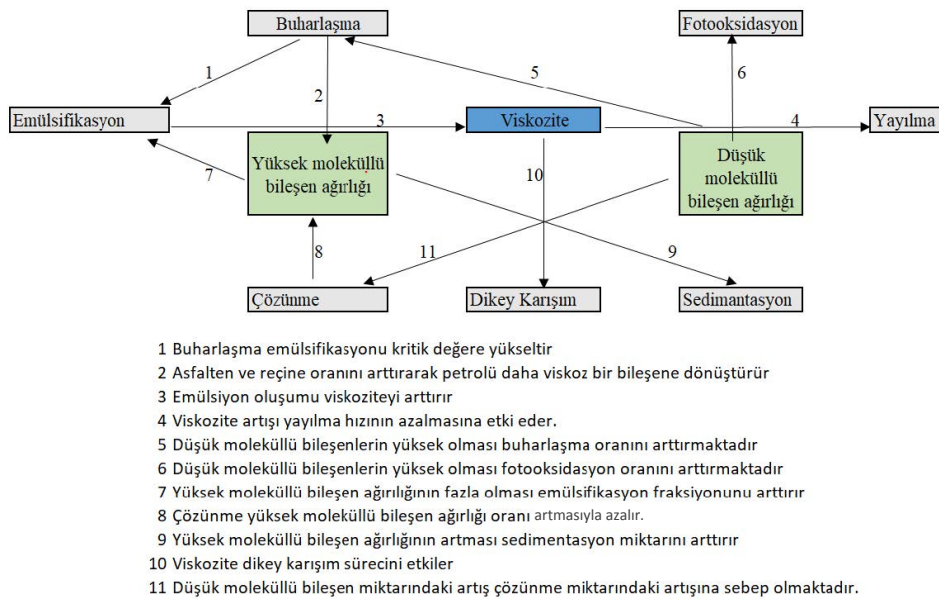
- Dökülen miktar
- Petrolün başlangıçtaki fiziksel ve kimyasal özellikleri
- Rüzgâr iklimi
- Oşinografik özellikler

Adveksiyon, türbülans difüzyonu, yüzey yayılımı, buharlaşma, çözünme ve emülsifikasyon gibi birçok süreç petrol sızıntısının dağılımını etkileyebilmektedir. Petrol deniz yüzeyine sızdığı zaman ince bir film halinde petrol tabakası olarak dağılmaya başlar. Petrol taneciklerinin hareketi akıntı, dalga ve hakim rüzgarlar etkisinde adveksiyon, moleküler difüzyon ve türbülanslı difüzyonu ile gerçekleşmektedir (Wang ve diğerleri, 2008). Şekil 2’de petrol tabakasının deniz ortamında taşınımı verilmektedir. Petrolün bileşimi döküldüğü ilk andan itibaren değişirken, petrol tabakası su yüzeyinde moleküler difüzyon, yerçekimi, viskozite ve yüzey gerilim kuvveti etkisinde yayılmaktadır.



Şekil 2. Süreç ve boyutlarına göre petrolün bozunma mekanizmaları (Sørheim ve H., (2019) dan alınmıştır).

Xie ve diğerleri (2007) tarafından yapılan çalışmadan türetilmiş olan Şekil 3 petrol dağılımında etki eden süreçleri ve birbirleri ile olan etkilerine dair fiziksel mekanizmayı ortaya koymaktadır. Düşük molekülü bileşenlerin buharlaşma, çözünme ve fotooksidasyon eğiliminde oldukları görülmektedir. Çözünme ve fotooksidasyon fraksiyonları buharlaşmaya göre düşük ölçektedir. Bununla birlikte buharlaşma ilk mekanizma olması sebebiyle düşük molekülü bileşenler ilk saatlerde ortamdan uzaklaşmaktadır. Dolayısıyla çözünme ve fotooksidasyon mekanizmasının fraksiyonları daha da azalmaktadır. Birçok petrol tipinde belli oranda buharlaşma meydana geldikten sonra emülsifikasyon süreci başlamaktadır. Emülsifikasyon ve buharlaşma mekanizmaları petrolün viskozitesinin ve yoğunluğunun artmasına sebep olmaktadır. Buharlaşma ile petrolün yüksek molekülü bileşenleri ortamda kalmakta ve bu durum sedimentasyon sürecini tetiklemektedir. Tüm bu mekanizmalar meydana gelirken petrol deniz ortamında yayılmaya devam etmektedir. Petrolün viskozitesindeki artış yayılmanın yavaşlamasına sebep olmaktadır.



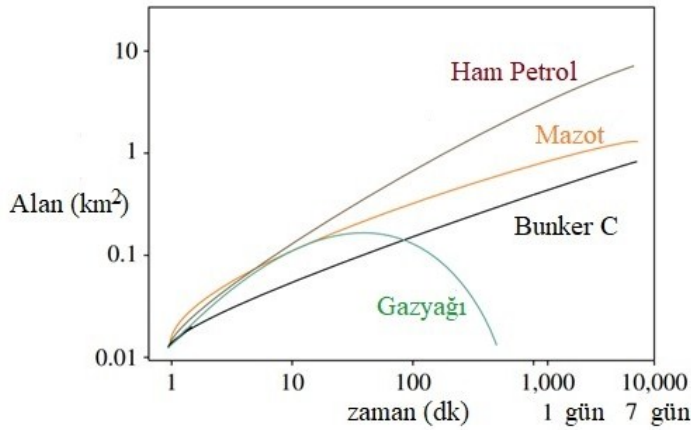
Şekil 3. Petrol kirliliği dağılımında süreç ve mekanizmaların birbirleri ile etkileşimi

Petrolün hareket ve bozunma süreçlerinde etki eden mekanizmalar aşağıdaki bölümlerde tanımlanmıştır. Petrol kirliliği modelleme çalışmaları bu mekanizmalar çerçevesinde her bir sürece yönelik kabul edilen metodun hesaplamaya katılmasıyla

yapılmaktadır. Öte yandan bazı süreç ve mekanizmaların petrol kirliliği dağılımının daha ileri zaman dilimiyle ilgili olması bu süreçlerin ihmal edilebilir olduğunu göstermektedir

1.3.1. Yayılma mekanizması

Petrol suda karaya göre daha çok ve hızlı yayılır. Buzun üzerine veya altına dökülen petrol nispeten hızlı yayılır ancak sudaki kadar ince bir tabaka halinde yayılmaz (Spaulding, 1988). Buz veya toprak gibi su dışındaki herhangi bir yüzeyde, çöküntülerde, çatlaklarda ve diğer yüzey düzensizliklerinde büyük miktarda petrol tutunur. Petrol su üzerine döküldüğü zaman daha geniş bir tabaka olarak yayılma eğilimi göstermektedir. Bu tabakanın kalınlığı, yoğunluğu yüksek olan ağır petrol ürünleri için daha fazla olurken, dizel, gaz yağı gibi hafif petrol ürünlerinde daha ince tabaka olma eğilimi göstermektedir. Ağır ham petroller ve Bunker C gibi petroller, başlangıçta birkaç milimetre kalınlığındaki tabakaya yayılır. Ayrıca katran topları ve katran keçeleri oluşturabilirler ve bu nedenle tabakada aşamalı incelme durumu meydana gelmez. Aynı miktarda (10 ton) farklı petrol ürünlerinin yayılımına yönelik grafik Şekil 4'te verilmekte olup gazyağının belli zamanda hızlı alansal yayılım gösterdikten sonra yayılma alanının azaldığı gözlenmektedir. Bu durum gazyağının yayılırken aynı zamanda içeriğindeki yüksek miktarda uçucu bileşenlerin hızlı buharlaşmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4. Farklı petrol tiplerinin göre yayılma alan grafiği (Fingas (2015)'den alınmıştır).

Petrol, rüzgar ve su akıntılarının yokluğunda bile su yüzeyi üzerinde yatay olarak yayılır. Bu yayılma, yerçekimi kuvveti ve petrol ile su arasındaki arayüzey geriliminden kaynaklanır. Petrolün viskozitesi bu kuvvetlere karşı koymaktadır. Reolojik çalışmalardan

viskozitesi yüksek olan petrolün daha az yayılma eğilimi gösterdiği bilinmektedir (Fingas ve diğerleri, 1999; Yaghi ve Al-Bemani, 2002) Zaman geçtikçe yerçekiminin petrol üzerindeki etkisi azalır, ancak ara yüzey geriliminin kuvveti petrolü yaymaya devam eder. Bu kuvvetler arasındaki geçiş, dökülme meydana geldikten sonraki ilk birkaç saat içinde gerçekleşir. Genel bir kural olarak, su üzerindeki bir petrol tabakası, bir dökülmeden hemen sonra nispeten hızlı bir şekilde yayılmaktadır. Rüzgar ve yüzey akıntıları petrolün taşınımını etkileyerek yayılma sürecini hızlandırmaktadır.

Yayılma mekanizmasında en yaygın kullanılan formül, Fay (1969) tarafından önerilen algoritmalar olup burada yerçekimi-viskoz kuvvetleri için yayılma formülü tanımlamıştır. Fakat petrolün viskozitesi hesaplamaya katılmamıştır. Buist ve diğerleri (1989) yaptıkları reolojik çalışmaya göre Fay'ın formülüne petrol viskozitesi ve akma noktası parametrelerinin eklenmesi gerektiğini önermişlerdir.

Yayılma sürecinde etki eden difüzyon ve adveksiyon mekanizmaları aşağıdaki alt başlıklarda tanımlanmaktadır.

1.3.1.1.Difüzyon

Maddenin termal denge durumunda moleküllerin rasgele olacak şekilde çarpışmaya maruz kalması sonucu oluşan hareketi (Brownian hareket) moleküler difüzyon olarak tanımlanmaktadır (Pal ve diğerleri, 2009). Türbülanslı ortamda meydana gelen maddenin rastgele hareketlerinden meydana gelen difüzyona türbülanslı difüzyon denilmektedir.

Difüzyon yoğun konsantrasyondan düşük konsantrasyona doğru eğilim göstermektedir. Difüzyonda madde iki yöne birden taşınabilmektedir. Difüzyon denklemleri ve katsayısı Fick Yasaları ile tanımlanmaktadır (Fick, 1855).

Fick birinci yasası, kararlı halde, difüzyon akının konsantrasyonla ilişkisini tanımlamaktadır Akının, konsantrasyon gradyanıyla orantılı olan (uzamsal türev) yüksek konsantrasyonlu bölgelerden düşük konsantrasyonlu bölgelere gittiğini varsaymaktadır.

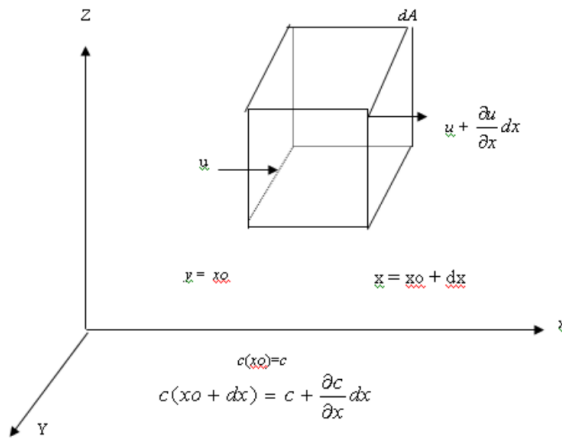
Akı, birim zaman diliminde, birim kesit alanından geçen bir niceliğin miktarını ifade etmektedir. Daha yalın bir ifadeye, bir saniye içinde, bir metre karelik alandan geçen sayılabilir bir niceliğin miktarını vermektedir.

Petrolün döküldüğü ortam koşullarına göre difüzyon katsayısı bölgesel olarak değişmektedir. Hamam ve diğerleri (1988) petrolün sudaki çözünürlüğünün difüzyon kontrolünde olduğunu teyit etmişlerdir. Petrolün difüzyon katsayısını API, tuzluluk ve

sıcaklık değerlerinin fonksiyonu olarak veren denklemi öne sürmüşlerdir (Hamam, 1987; Hamam ve diğerleri, 1988).

1.3.1.2. Adveksiyon

Deniz ortamında adveksiyon; bir maddenin atmosferik basınç, yerçekimi ve dünyanın dönmesinden kaynaklanan kuvvetlerin yarattığı kütleli hareket ile taşınması olayıdır. Adveksiyon ile taşınım için kontrol hacminin tanımlanması Şekil 5'te verilmektedir. Şekil 5'te u x yönünde hız, x_0 başlangıç noktası, dx x yönünde giriş ve çıkış noktası arasındaki mesafe, c konsantrasyon olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 5. Adveksiyon ile taşınım

1.3.2. Buharlaşma mekanizması

Buharlaşma, petrolün deniz yüzeyindeki davranışlarında meydana gelen birincil süreç olarak, petrolün bileşiminde en önemli değişimi meydana getirmektedir (Regnier ve Scott, 1975). Emülsifikasyon süreci meydana gelmeden önce birçok petrol türü buharlaşmaya başlamaktadır. Bu sebeple buharlaşma denklemleri petrol dağılım modellerinde dikkate alınan öncelikli denklemlerdendir.

Hafif petrol ürünleri içeriğindeki yüksek oranda bulunan uçucu bileşenler sebebiyle çok hızlı buharlaşarak viskozitesi artmaktadır. Ağır petroler ise buharlaşma ile daha katı forma yaklaşmaktadır. Birçok petrol uzun süreçte buharlaşma sonucu “tar balls” denilen “zift topları” formuna geçmektedir.

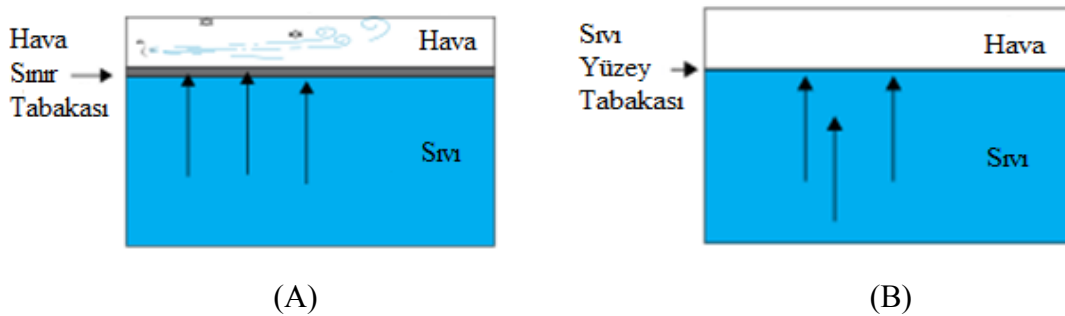
Aynı koşullarda farklı petrol tipleri için buharlaşma süreci farklılık göstermektedir. Bu yüzden buharlaşma sürecinin modellenmesinde petrolün damıtma verileri hesaba

katılabilmektedir. Damıtma verileri petrolün karakterizasyonunu belirleyen yaygın ve sık kullanılan verilerdir (Fingas, 2015).

Petrolün deniz ortamında buharlaşmasına yönelik çeşitli çalışmalar yapılmış olup çeşitli denklemler türetilmiştir. Petrol buharlaşma denklemlerinde en eski ve en sık kullanılan yaklaşımlardan biri Stiver ve Mackay (1984) tarafından yapılan çalışmadır. Bununla birlikte petrol dağılım modellerinde yaygın olarak kullanılan iki yaklaşım daha bulunmaktadır. Bunlardan biri Jones (1997) tarafından önerilen sahte-bileşen yaklaşımı ve Fingas (1999) tarafından önerilen difüzyon kontrolünde buharlaşma yaklaşımıdır. Birçok petrol dağılım simülasyon modeli bu denklemlerin bir ya da birkaçını barındırmakta olup farklı yaklaşımlara göre çözümler getirmektedir. Örnek olarak ADIOS2 programı buharlaşmada (Jones, 1997) denklemlerini, MOHID programı (Stiver ve Mackay, 1984) ve (Fingas, 1999) denklemlerini, OILTRANS programı Stiver ve Mackay (1984), Jones (1997) ve Fingas (1999) denklemlerini kullanmaktadır.

Fingas (1999) petrolün buharlaşmasında hava sınır-tabakası oluşmadığını belirtmektedir. Şekil 6 (A)'da hava-sınır-tabakası düzenleme mekanizmasının bir şemasını göstermektedir. Bu mekanizma su için geçerlidir. Suyun üzerindeki doymuş buhar basıncı tabakası sebebiyle suyun buharlaşması, yayılmanın artması ve rüzgarın hızıyla artabilmektedir. Rüzgar hızının artışı suyun hava-sınır-tabakasına geçişini hızlandırmaktadır.

Birçok sıvı hava-sınır-tabaka mekanizmasına sahip değildir (Şekil 6 (B)). Çünkü buharlaşma hızları üzerlerinde doymuş buhar basıncı tabakası oluşturabilmesi için çok yavaştır. Birçok karışımın düzeni su yüzeyine moleküllerin difüzyonu şeklindedir. Bu tip mekanizmalar ham petrol ve bazı yakıt tiplerinde geçerli olmaktadır.



Şekil 6. Buharlaşma mekanizması (A) hava-sınır-tabakası oluşan B) hava sınır tabakası oluşmayan koşul (Fingas (2015)'ten alınmıştır).

Buharın hava sınır tabakasına yavaş transferinin neden olduğu mekanizma olmasaydı, sıvı çok yüksek miktarda buharlaşabilirdi. Bu mekanizma en yaygın olarak suda geçerlidir. Suyun buharlaşması, yayılma veya rüzgâr hızı artışıyla artabilmektedir. Rüzgâr hızı, hava sınır tabakası boyunca suyun transferini artırmaktadır. Yüzey alanının ve rüzgar hızının artması Fingas (1999)'a göre buharlaşmayı artırmaz.

1.3.3. Emülsifikasyon mekanizması

Emülsifikasyon petrol içine su damlacıklarının yerleşmesi sonucu oluşan bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Buharlaşmadan sonra petrolün yapısında en önemli değişime sebep olan ikinci bozunma mekanizmasıdır. Çalışmalar petrol içinde su emülsiyonlarını sürüklenmiş (entrained), kararlı (stable), yarıkararlı (mesostable) ve kararsız (unstable) olarak dört kategoriye ayırmaktadır. Kararlı emülsiyonlar %60-90 oranında su içermektedir. Bu yüzden dağılan petrol 2-5 kat kadar fazla hacim kazanarak kontaminasyonun artmasına sebep olmaktadır (Lehr ve diğerleri, 2002; Xie ve diğerleri, 2007). Ayrıca emülsifikasyon petrolün viskozitesinde artışa sebep olarak (Davies ve diğerleri, 1998) birkaç yüz mPa.s'den yaklaşık 100.000 mPa.s'ye artış gösterebilmektedir (Fingas, 2011, 1999). Viskozitenin artışı petrolün yayılma ve dikey dağılım mekanizmalarını da etkilemektedir (Xie ve diğerleri, 2007).

Emülsiyon oluşum mekanizması henüz tam olarak anlaşılmamakla birlikte deniz suyunun enerjisinin su damlacıklarını petrol içine girişini zorlamasıyla oluştuğu belirtilmektedir (Lehr ve diğerleri, 2002). Eğer petrol az bir viskoziteye sahipse petrolün içine giren küçük su damlacıkları petrol içinde kalacaktır. Petrol çok viskoz ise, damlacıklar petrole önemli ölçüde giremeyecektir. Petrole girdikten sonra su damlacıkları, yavaşça petrol tabakasının dibine çekilmektedir. Petroldeki asfaltinler ve reçineler, onları stabilize etmek için su damlacıklarıyla etkileşime girmektedir. Asfaltinlerin ve reçinelerin miktarına ve diğer koşullara bağlı olarak bir emülsiyon oluşabilir. Herhangi bir kararlılığa sahip emülsiyonların oluşması için gerekli koşullara ancak bir buharlaşma süresinden sonra ulaşılabilir. Buharlaşma, viskoziteyi kritik değere yükseltir ve petroldeki reçine ve asfaltin yüzdesini artırmaktadır ve emülsifikasyon oluşumunu etkilemektedir. Öte yandan emülsifikasyon mekanizması buharlaşma fraksiyonunu azaltabilmektedir (Ross ve Buist, 1995).

Su, petrolde beş şekilde bulunabilmektedir.

- **Petrolün içinde çözünerek:** Bazı petrol tipleri yaklaşık %1 oranında içeriğinde çözünmüş su içerebilmektedir. Bu su, petrolün fiziksel veya kimyasal özelliklerini önemli ölçüde değiştirmez.
- **Sürüklenme yolu ile (entrainment):** Burada su damlacıkları, kararsız bir faz oluşturarak petrole sürüklenir. Bu su damlacıkları denizin dalga hareketi ile petrole karıştığında ve petrole yeterince asfaltten ve reçine bulunmadığında oluşur.
- **Kararsız emülsiyonlar ile:** Kararsız emülsiyonlar petrole su bileşimi oluşturmayan petrollerdir. Kararsız emülsiyonlar, deniz enerjisi azaldığında dakikalar veya en fazla birkaç saat içinde suya ve petrole ayrışır. Su damlacıkları çıplak gözle görülebilecek kadar büyük olabilmesine rağmen, kararsız emülsiyonun özellikleri ve görünümü hemen hemen başlangıç durumundaki petrol ile aynıdır.
- **Yarı kararlı emülsiyonlar ile:** Yarı kararlı emülsiyonlar, küçük su damlacıkları, petrolün viskozitesi ile asfaltten ve reçinelerin ara yüzey etkisinin bir kombinasyonu ile belirli bir dereceye kadar stabilize olduğunda oluşur. Bu emülsiyonlar genellikle birkaç gün içinde petrole ve suya veya bazen su, petrol ve kararlı bir kalıntıya dönüşür. Yarı kararlı emülsiyonlar, kırmızımsı kahverengi renkte olan viskoz sıvılardır.
- **Kararlı emülsiyonlar ile:** Bunlar, petrolün su damlacıklarını stabilize etmek için yeterli miktarda reçine ve asfaltten içermesi dışında, yarı kararlı emülsiyonlara benzer bir şekilde oluşur. Kararlı emülsiyonların viskozitesi, başlangıç petrolününkinden 800-1000 kat daha yüksektir ve emülsiyon, oluşturulduktan sonra haftalar ve hatta aylar boyunca kararlı halde kalacaktır. Kararlı emülsiyonlar kırmızımsı kahverengi renktedir ve neredeyse katı görünürler. Yüksek viskoziteleri ve kararlılıkları nedeniyle, bu emülsiyonlar yayılmaz ve denizde veya kıyıda topaklar halinde kalma eğilimindedir (Fingas, 2015).

1.3.4. Dağılma (Dikey hareket)

Denizdeki petrol tabakasının dağılımı petrol damlacıklarının dalgaları kırarak su sütununa karışmasıyla meydana gelmektedir (Lehr ve diğerleri, 2002). Damlacıklar yeterince küçükse (<0.02 mm), sudaki doğal türbülans, petrolün yeniden yüzeye çıkmasını engellerken, daha büyük damlacıklar (>0.05 mm) yükselme eğilimi gösterir ve su sütununda birkaç dakikadan fazla kalmaz. Su sütununda kalan damlacıkların kalıcı olarak dağıldığı kabul edilir. Bununla birlikte doğal dağılma süreci petrol-sediment reaksiyonunda sadece bir aracı mekanizmadır ve ardından sedimantasyon süreci gelir. Buna örnek olarak İskoçya açık

denizlerinde 1993 yılında meydana gelen Braer deniz kazasında neredeyse petrolün tamamının dağılıp tamamen çöktüğü (sedimentasyon) gözlenmiştir. Braer deniz kazası dağılma sürecinden ziyade petrol-partikül etkileşiminden dolayı sedimentasyon sürecine iyi bir örnektir (Fingas, 2015).

1.3.5. Çözünme mekanizması

Buharlaşmaya maruz kalan petrol bileşenlerinin bir kısmı yüzey tabakasından su kolonuna doğru çözünme sürecine katılabilir. Petrol suda ppm düzeyinde çözünür (Mishra ve Kumar, 2015). Çözünme miktarı petrolün türüne göre de değişiklik göstermektedir (Diker, 2007). Çözünme mekanizması oransal olarak dikkate alındığında ihmal edilebilir bir süreç olarak görülse de deniz suyundaki toksisiteyi artırması sebebiyle çevresel sonuçları ihmal edilebilir değildir. Bu sebeple petrol kirliliği dağılım modellerinde çoğunlukla çözünme mekanizması hesaba katılmaktadır.

1.3.6. Biyolojik bozunma mekanizması

Biyolojik bozunma bazı petrol tipleri için çok yavaş bir süreç olabilmektedir. Bir dizel yakıtın %50'sinin optimal koşullar altında biyolojik olarak bozunması için haftalar geçmektedir ve bir ham petrolün %10' unun benzer koşullar altında biyolojik olarak bozunması yıllar sürmektedir (Fingas 2014). Bu nedenle biyolojik bozunma kısa vadede ihmal edilebilir bozunma süreci olarak görülmektedir ve sayısal modellemelerde genellikle hesaplamaya katılmamaktadır.

1.3.7. Fotooksidasyon mekanizması

Bir petrol sızıntı ilk saatlerde çok hızlı buharlaşmaktadır ve petrol gaz halindeyken, neredeyse tamamı fotokimyasal olarak OH radikali ve saatler veya günler içinde CO, CO₂, oksijenli organikler, "ikincil" aerosoller, gibi ürünlere oksitlenmektedir (National Research Council, 1985).

Fotooksidasyon bir petrolün bileşimini değiştirebilen bir süreçtir (Plata ve diğerleri, 2008). Güneşin bir petrol tabakası üzerindeki etkisi, oksijen ve karbonların birleşerek reçine olabilecek yeni ürünler oluşturmaya neden olduğunda ortaya çıkmaktadır. Reçineler çözünerek emülsifikasyon oluşmasını tetiklemektedir. Bazı petrol tipleri bu süreçte duyarlıyken, bazıları duyarlı değildir fakat, fotooksidasyonun petrol tiplerini spesifik olarak nasıl etkilediği iyi anlaşılmamıştır. Bununla birlikte fotooksidasyon çok yavaş bir süreç olduğu için petrol tabakası çok kuvvetli güneş ışığı etkisinde bile günde % 0.1 oranından daha fazla

parçalanamaz. Birçok petrol tipi için fotooksidasyon, uzun süreçte yavaş bir mekanizma olması sebebiyle petrol kirliliği modellenmesinde ihmal edilebilir bir süreç olarak ortaya çıkmaktadır (Fingas, 2015).

1.3.8. Çökelme ve sedimentasyon mekanizması

Çökelme petrolün denizin dibinde biriktiği bir süreçtir (National Research Council, 1985). Çökelme petrolün su sütunundaki partikül madde ile etkileşime girdikten sonra sudan daha yüksek bir yoğunluğa ulaşmasıyla meydana gelmektedir. Bu etkileşim bazen kıyı şeridinde veya kıyıya çok yakın yerlerde meydana gelir. Petrol bir kez altta olduğunda, genellikle diğer tortularla kaplanır ve çok yavaş bozunur. İyi çalışılmış birkaç petrol sızıntısı vakalarında, petrolün önemli bir miktarının (yaklaşık %10) deniz tabanında çökeldiği görülmüştür (Fingas, 2015). Bu tür miktarlar, kaçınılmaz olarak deniz tabanındaki petrolle temas eden biyota için çok zararlı olabilmektedir. Sedimentasyonun incelenmesindeki zorluk nedeniyle, bu alanda verilerin eksik olduğu belirtilmektedir.

Petrol, özellikle orta derecede bozulduğunda viskozitenin etkisiyle çok yapışkan bir yapı haline gelir ve temas ettiği kıyı şeridi malzemelerine veya diğer mineral maddelere yapışır. Bir sızıntı sonrasında kıyı şeritlerinde, iskelelerde ve yapay kıyı şeritleri gibi insan yapımı yapılarda yapışan kalıntı miktarları formunda çevrede önemli miktar petrol kalıntısı olabilmektedir. Bu petrol genellikle yüksek oranda aromatik ve yüksek moleküler ağırlıklı asfaltin içerdiğinden, önemli ölçüde bozulmaz ve onlarca yıl çevrede kalabilmektedir (Fingas 2015).

1.3.9. Katran topu oluşumu

Katran topları, çapı yaklaşık 10 cm'den daha az olan kalın petrol yığılımlarıdır (Goodman, 2003). Çapı yaklaşık 10 cm ile 1 m arasında değişen aynı malzemenin daha büyük birikimlerine katran matları denilmektedir. Katranlı matlar yuvarlaktan ziyade pankek şeklindedir. Oluşumları henüz tam olarak anlaşılamamıştır ancak ağır ham petrol ve Bunker C kalıntılarından oluştukları bilinmektedir. Bu petrol tipleri deniz ve atmosfer etkileşimi ile bozunma süreçlerinden geçtikten sonra petrol artıkları katran topları veya katran matları halinde kalmaktadır (Kiruri ve diğerleri, 2013). Burada etkin kuvvet yapışmadır (adezyon). Katran toplarının oluşumu, birçok petrolün nihai kaderidir.

1.4.Petrolün Fiziko-Kimyasal Özellikleri ve Sınıflandırılması

Petrol tipleri hafif, orta ve ağır olarak isimlendirilmesinin yanında, petrolün özgül ağırlık değerlerine göre dört gruba ayrılmaktadır (Tablo 2). Grup I petroler (kalıcı olmayan) birkaç saat içinde buharlaşma yoluyla neredeyse tamamen bozunma eğilimindedirler ve normalde emülsiyon oluşturmazlar. Grup II ve III petroleri buharlaşma yoluyla hacimce %40'a kadar atmosfere karışabilir ancak viskozite artışı ve emülsifikasyon oluşturma eğilimleri nedeniyle, özellikle Grup III petrolerde, bozunma ile azalmanın yanı sıra başlangıç hacminde bir artış meydana gelmektedir. Grup IV petroler, uçucu madde içermemeleri ve hem buharlaşmayı hem de dağılmayı engelleyen yüksek viskoziteleri nedeniyle kalıcı özellik sergilemektedirler (ITOPF, 2006).

Tablo 2. Petrolün API ve viskozite değerlerine göre sınıflandırılması

Parametreler	Grup1	Grup2	Grup3	Grup4
Özgül Ağırlık	<0,8	0,8-0,85	0,85-0,95	>0,95
API	>45	35-45	17,5-35	<17,5
Kinematik viskozite (cSt) 15°C'de	0,5-2,0	-	-	>1500

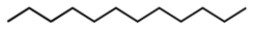
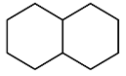
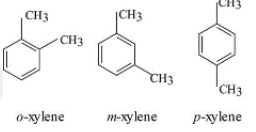
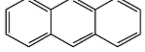
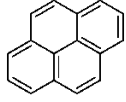
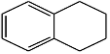
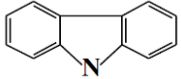
Ham petroler hidrokarbonların kompleks karışımlarından oluşmaktadır. Ham Petrol içeriğindeki hidrokarbonlar daha az oranda uçucu ve daha çok oranda uçucu olmayan elementlerle kombine olmuşlardır. Bu karışım özellikleri petrolün çıkarıldığı bölgenin jeolojik oluşumuyla ilgilidir. Aynı bölgeden ve aynı rezervuardan çıkarılan petroler birbirlerine benzer özellik göstermektedir. Günümüze kadar yapılan çalışmalar petrolün içeriğinde takribi 100.000 bileşen tanımlanmıştır (Fingas, 2020; Kinghorn, 1983). Hidrokarbon bileşikleri, petrolün ana elementleri olan hidrojen ve karbondan oluşmaktadır. Petrol ayrıca farklı miktarlarda kükürt, nitrojen, oksijen ve eser miktarda nikel, vanadyum ve krom gibi metaller içermektedir.

Bileşenlerin dağılımı ve profilleri genel olarak her bir petrol ve rafine ürün için farklıdır. Ham petrolün kimyasal bileşimindeki geniş farklılıklara rağmen, elementel bileşimleri genellikle, karbon (%84-87), hidrojen (%10-14), nitrojen (%0.1-2.0), oksijen (%0.05-1.5) ve kükürt (%0,05–6,0) aralıklarındadır (Fingas, 2015).

Petrolün Doymuş Hidrokarbonlar, Aromatikler, Reçine ve Asfaltin (Saturates, Aromatics, Resins, and Asphaltenes -SARA) bileşenlerine göre sınıflandırılması geleneksel

bir metottur. Ayrıca bu bileşenlerin oransal dağılımı petrolün bozunma mekanizmalarında önemli rol oynamaktadır (Tablo 3).

Tablo 3. Petrolün SARA bileşenlerine göre sınıflandırılması

Sınıflandırma	Örnek sınıflamalar, isimler ve bileşenler			
	Kimyasal sınıfı	Alternatif ismi	Tanımlama	Örnek bileşen ve formülü
Doymuş Hidrokarbonlar*	Alkanlar	Parafinler		Dodekan* (C ₁₂ H ₂₆) 
	Sikloalkanlar	Naften		Dekalin* (C ₁₀ H ₁₈) 
	Parafin mumu (Wax)		n-alkanlar C ₁₈ -C ₈₀	
Aromatikler*	BTEX (Benzen, Tolüen, Etilbenzen, Ksilen)			Benzen* (C ₆ H ₆) 
				Ksilen** 
	PAH'lar			Antrasen (C ₁₄ H ₁₀) 
				Piren*** (C ₁₆ H ₁₀) 
	Naften aromatikleri		Aromatikler ve Sikloalkanların kombinasyonu	Tetralin* (C ₁₀ H ₁₂) 
Reçineler*	Bazen oksijen, nitrojen, kükürt veya metal içeren çoğunlukla anormal polar bileşiklerin sınıfıdır. *, ****			Karbazol* 
Asfaltın*	Bazen oksijen, nitrojen, metal veya kükürt içeren büyük moleküler ağırlıklı anormal bileşiklerin sınıfıdır. Suda ve alkolde çözünmez.			Yapıları bilinmemektedir.

*(Fingas, 2015) kitabından alınmıştır, **(Zhou ve diğerleri, 2012) çalışmasından alınmıştır, *** (Figueira-Duarte ve Mullen, 2011) çalışmasından alınmıştır, **** (Demirbas ve Taylan (2016) çalışmasından alınmıştır).

Tablo 4 bazı rafine petrol ürünlerinin yoğunluk, viskozite, akma ve parlama noktası gibi fiziksel özelliklerini göstermektedir. ISO 8217 ile deniz yakıtları için 1987 yılında standartlar yayımlanmış olup en son IMO tarafından belirtilen düşük kükürtlü yakıt uygulamasına yönelik yakıt standartları 2017 yılında revize olmuştur (Türk Armatörler Birliği, 2020).

Tablo 4. Rafine petrol ürünlerinin fiziksel özellikleri (Türk Armatörler Birliği, 2020)

Petrol Tipi	Yoğunluk (g/cc) 15 ⁰ C'de	Vizkozite (cSt=mm ² /s)	Akma Noktası	Parlama Noktası
Kurşunsuz 95 Oktan	0.72-0.775	0.5-0.75 (40 ⁰ C'de)	-	-
Denizcilik yakıtı RMH 700	0.991	700 (50 ⁰ C'de)	30 ⁰ C	60 ⁰ C
Denizcilik yakıtı RMK 700	1.01	700 (50 ⁰ C'de) 50 (100 ⁰ C'de)	30 ⁰ C	60 ⁰ C
Damıtık denizcilik Yakıtı (DMA)	0.89	2.0-6.0 (40 ⁰ C'de)	-6 ⁰ C kış, 0 ⁰ C yaz	60 ⁰ C
Damıtık denizcilik yakıtı (RMG 380)	0.991	380 (50 ⁰ C'de)	30 ⁰ C	60 ⁰ C
Damıtık denizcilik yakıtı (RMK 380)	1.01	380 (50 ⁰ C'de)	30 ⁰ C	60 ⁰ C
Fuel Oil (675)	0.998	40 (100 ⁰ C'de)	38 ⁰ C	66 ⁰ C
Yüksek kükürtlü Fuel Oil (635)	0.998	50 (100 ⁰ C'de)	38 ⁰ C	66 ⁰ C
Jet yakıtı (A-1)	0.775	8 (-20 ⁰ C'de)	-	38-40 ⁰ C
Gaz yağı	0,770-0,810 (15,6 ⁰ C'de)	1-1,9 (40 ⁰ C'de)	-	38 ⁰ C
Motorin	0,820-0,845	1-1,9 (40 ⁰ C'de)	-	>55 ⁰ C
Kalorifer Yakıtı (615)	0.998	11,5 (100 ⁰ C'de)	-1,1 ⁰ C kış, 10 ⁰ C yaz	56 ⁰ C

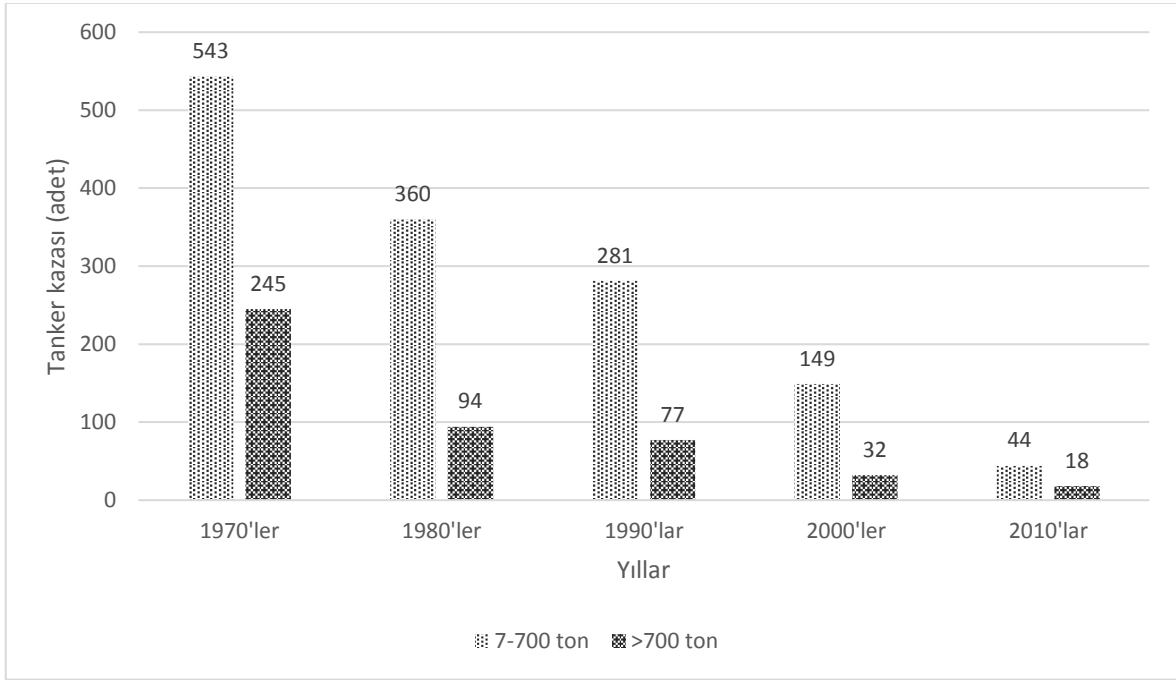
1.5.Petrol Kazaları ve Acil Müdahale

Uluslararası Tanker Sahipleri Kirlilik Federasyonu (ITOPF) raporlarına göre son 50 yılda 5.86 milyon ton petrol kaza sonucu denize dökülmüştür, petrol kazalarının %31'i çatma ve %26'sı karaya oturma sebebiyle meydana gelmiştir ve kazaların %80'i kıyıdan takribi 10 deniz mili (nm) mesafede gerçekleşmiştir (ITOPF, 2020a).

Dünya'da sanayileşmedeki artışla birlikte deniz aşırı petrol taşımacılığı da artmıştır. Bununla birlikte 1967 yılında Scilly Adaları mevkiinde meydana gelen ve dünyadaki en büyük 20 tanker kazası sıralamasında dökülen miktar olarak yedinci sırada yer alan Torrey Canyon deniz kazası 119.00 ton petrolün denize dökülmesiyle sonuçlanmıştır ve en büyük tanker kazalarının ilki olarak tarihe geçmiştir. 1970'li yıllara gelindiğinde içerisinde İstanbul Boğazı'nda meydana gelen Independenta tanker kazasının da bulunduğu toplam 7 adet büyük tanker kazası dünyada meydana gelmiştir. Bu kazalardan 1979 yılında Batı Hint Adaları'nda 287.000 ton petrolün denize dökülmesine sebep olan Atlantic Empress kazası dünyadaki en büyük petrol tankeri kazası olarak kayıtlara geçmiştir (ITOPF, 2020a). Tanker kazalarının yanında petrol platformları tarafından meydana gelen kazalar da dökülen tonaj olarak bakıldığında büyük riske sahiptir. Geçmişte meydana gelen bu kazalar uluslararası deniz taşımacılığını daha güvenli hale getirmek için önlemlerin belirlenmesinde etkili olmuştur. Geçmiş yıllarda meydana gelen kazalardan çıkarılan sonuçlar ve bu sonuçlara yönelik uluslararası ve bölgesel önlemler ile teknolojik gelişmeler kaza sayılarının azalmasına sebep olmuştur (Ülker ve Baltaoğlu, 2018). Bu aşamada Denizlerin Gemiler Tarafından Kirlenmesinin Önlenmesine Dair Uluslararası Sözleşme (MARPOL73/78) uluslararası hukukta kabul edilmiş olup sözleşmenin ilk eki "Gemilerden Kaynaklanan Petrolle Kirlenmeyi Önlemeye İlişkin Kurallar" olarak belirlenmiştir. İstatistiksel verilere bakıldığında 1970'lerde yılda ortalama 79 tanker kazasına bağlı olarak 319.500 ton petrol sızıntısı meydana gelirken 2010'larda ortalama 6 tanker kazasına bağlı olarak 16.000 ton petrol sızıntısı meydana gelmiştir. Şekil 7 orta ve büyük boyutta olan petrol tankeri kazalarının ve dökülen miktarların 1970'lerden 2010'lara kadar olan gerilemesini göstermektedir.

Türkiye sularında meydana gelen tanker kazalarına bakıldığında ise İstanbul Boğazı büyük tanker kazalarının ve çevre felaketlerinin yaşandığı bir lokasyon olmuştur (Örnek olarak 1979 Independenta ve 1994 Nassia tankeri kazaları).

Türkiye'deki en büyük petrol kazası ise İstanbul Boğazı'nda 1979 yılında Independenta tankeri ve Evriali gemisi arasında meydana gelen dünya sıralamasında on üçüncü sırada yer alan tanker kazasıdır. Yaklaşık 93.800 ton Libya Es Sider ham petrolünün denize dökülmesine ve yangına sebep olan kaza 42 mürettebatın ölümünün yanında büyük çevre felaketine de sebep olmuştur (ITOPF, 2020b).



Şekil 7. 1970-2019 yılları arasında meydana gelen orta ve büyük ölçekte petrol kazaları

Tanker kazalarına karşı alınan önlemler arasında limanlar için uygulamaya konulan Risk Değerlendirmesi ve Acil Müdahale Planları, olası bir petrol kazasında doğru zamanda, doğru yerde ve doğru yöntemle müdahale edilebilmesi açısından önem taşıyan bir uygulamadır. Bu uygulamanın yasal çerçevesini 3/3/2005 tarihli ve 5312 sayılı “Deniz Çevresinin Petrol ve Diğer Zararlı Maddelerle Kirlenmesinde Acil Durumlarda Müdahale ve Zararların Tazmini Esaslarına Dair Kanun” ve 2009/6 sayılı genelge “Kıyı Tesisi Acil Müdahale Planlarının Hazırlanması Ve Uygulama Esasları” ile belirlenmiştir (Deniz Çevresinin Petrol ve Diğer Zararlı Maddelerle Kirlenmesinde Acil Durumlarda Müdahale ve Zararların Tazmini Esaslarına Dair Kanun, 2005). Bu kanun, MARPOL 73/78 sözleşmesi kapsamında 2872 sayılı Çevre Kanunu’na dayanılarak hazırlanmıştır.

Akdeniz Bölgesi için uluslararası boyutta petrol kirliliği ile mücadele etmeye yönelik bazı kuruluşlar bulunmaktadır. Akdeniz Bölgesel Deniz Kirliliği Acil Müdahale Merkezi (REMPEC), Akdeniz kıyısı devletlerine gemilerden kaynaklanan deniz kirliliğinin önlenmesi, buna hazırlıklı olma ve müdahaleye ilişkin uluslararası denizcilik sözleşmelerinin onaylanması, iç hukuka aktarılması ve uygulanmasına yardımcı olmayı amaçlamaktadır (REMPEC, 2022). REMPEC IMO ve UNEP iş birliği ile kurulmuş olup Türkiye dahil 22 üye ülkesi bulunmaktadır.

Avrupa Deniz Güvenliği Ajansı (EMSA) tarafından uydu tabanlı servis hizmeti olan ClanSeaNet Hizmetleri oluşturulmuştur. CleanSeaNet hizmetleri, Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) uydu görüntülerinin düzenli sıralamasına dayanmaktadır. Bu uydulardan gelen veriler görüntülere işlenmektedir ve petrol sızıntısı, gemi tespiti ve meteorolojik değişkenler için analiz edilmektedir. Alınan bilgiler diğerleri arasında şunları içerir: dökülme yeri, dökülme alanı ve uzunluğu, tespitin güven düzeyi ve dökülmenin potansiyel kaynağına ilişkin destekleyici bilgiler (yani gemilerin ve petrol ve gaz tesislerinin tespiti) (EMSA, 2022). CleanSeaNet hizmetlerinin acil müdahaleye yönelik amaçları aşağıda sıralanmıştır.

- Deniz yüzeyindeki petrol kirliliğinin belirlenmesi ve izlenmesi;
- Acil durumlarda kaza sonucu oluşan kirliliğin izlenmesi;
- Kirleticilerin belirlenmesine katkıda bulunmak.

Ulusal Acil Müdahale Sistemi ülkemiz denizleri ve kıyılarını petrol ve diğer zararlı maddelerden kaynaklı deniz kirliliklerine karşı korumak amacıyla Tekirdağ'da bulunan Ulusal Deniz Emniyeti ve Acil Müdahale Merkezi (UDEM), Antalya'da bulunan Bölgesel Acil Müdahale Merkezi ve kurulması planlanan Acil Müdahale İstasyonlarını kapsamaktadır (Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü, 2021).

Ulusal Deniz Emniyeti ve Acil Müdahale Merkezi'nin Görevleri:

- Acil durumlarda olaya ait ihbarın alımı
- Kirlilik tespiti amacıyla donatılmış yazılım unsurları ile tespit yapma
- Olayın gerçekleştiği bölgede monitorizasyon yapma
- Karar destek yazılımları vasıtası ile kriz yönetimine yardımcı olma
- Tüm yetkilileri ve paydaşları hızlıca bilgilendirme
- Spesifik tehlikeli yüklerin neden olduğu acil durumlarda müdahale birimlerine teknik bilgi sağlama

- Ulusal çaptaki acil durumlarda koordinasyon salonundan olayın yönetimi sırasında enformasyon ve iletişim araçları başta olmak üzere tüm teknik ve operasyonel ihtiyaçları sağlamak (Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü, 2021).

Türkiye’de limanların tehlikeli madde rehberlerinde tanımladıkları acil durum planlaması için kirliliğin boyutu aşağıdaki üç seviyede belirlenmektedir (Tüpraş, 2015).

- Seviye 1: 0-125 m³ arasındaki dökülmeler olarak tanımlanmaktadır. Bu seviyedeki kirliliklere genellikle yerel olarak müdahale edilebilmektedir.

- Seviye 2: 126-38000 m³ arasındaki dökülmeler olarak tanımlanmaktadır. Döküntünün yerel kapasitenin ötesinde olması veya daha geniş bir alanı etkilemesi durumunda belirli bir tesis veya dağılma riski olan belirli bir kıyı şeridi uzunluğu için bir müdahale planlaması gerektirmektedir.

- Seviye 3: 38000 m³ üzerinde meydana gelen döküntü durumunu tanımlamaktadır. Bu seviyede bir kirlilikte iki veya daha fazla ülkeyi kapsayan bölgesel düzenlemelerine entegre bir müdahale planlaması gerekmektedir.

Bu sınıflandırma ITOPF tarafından ise küçük ölçek sızıntı (<7 ton), orta ölçek sızıntı (7-700 ton) ve büyük ölçek sızıntı (>700 ton) olarak yapılmıştır.

1.5.1. İzmit Körfezinde meydana gelen kazalar

İzmit Körfezi ve çevresi konumu itibariyle doğal afetler ve denizcilik kazaları sebebiyle yüksek petrol kirliliği riski barındırmaktadır. Bu çerçevede yapılan araştırma kapsamında T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Denizcilik İstatistikleri (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2022a) ve T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı’na bağlı Ulaşım Emniyeti İnceleme Merkezi Başkanlığı tarafından Deniz Kaza Raporları elde edilmiştir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Ulaşım Emniyeti İnceleme Merkezi, 2022). Ayrıca deniz kazalarına ilişkin İzmit Körfezi’nde yayımlanan raporlar ve haberlere yönelik internet araştırması yapılmıştır. Bu çerçevede 1999 yılından itibaren meydana gelen kazaların kronolojik sıralamasına göre detaylar aşağıda verilmektedir. Değerlendirme kapsamına petrol ve petrol türevi ürün sızıntısıyla sonuçlanan kazalar dikkate alınırken herhangi bir kirlilikle sonuçlanmasa da kaza kapsamı çerçevesinde riskli görülen kazalar aşağıda sıralanmıştır.

- 17 Ağustos 1999 depreminden sonra TÜPRAŞ petrol rafinerisinde çıkan yangın sebebiyle Körfezde İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği tarafından incelemeler 24 Ağustos 1999 tarihinde yapılmıştır. 1 hafta süre sonrasında terminalin

önündeki sahil şeridinin çok yoğun olarak petrol tabakası ile takribi 10 m mesafeye kadar kaplandığı gözlenmiştir. Özellikle körfezin Merkez havzasının güney kesimlerinde yoğun petrol tabakaları gözlenmiştir. Küçükölü büyüölü yoğun petrol tabakalarının batma eğiliminde olduğu belirlenmiştir (Doğan ve diğerkleri, 1999).

- 29 Mart 2011 tarihinde İzmit Körfezi Rota Limanında AMAL isimli kuru yük gemisi ve URLA 1 isimli yakıt barcı arasında akaryakıt transferi sırasında sızıntı meydana gelmiştir. Takribi 1 ton fuel oil'in deniz döküldüğü belirtilmektedir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Ulaşım Emniyeti İnceleme Merkezi, 2022).

- 14 Ocak 2015 tarihinde Lilian Z isimli dökme yük gemisiyle Muradiye feribotu arasında Eskihsar açıklarında çatışma sonucu deniz kazası meydana gelmiştir. Kaza sonucu şans eseri herhangi bir çevre kirliliği meydana gelememiştir (Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Ulaşım Emniyeti İnceleme Merkezi, 2022).

- 20 Aralık 2016 tarihinde Petrol Ofisi/Derince terminalinde tanklar arası transfer sırasında 500 litre baz yağı sızıntısı tesis tarafından bildirilmiştir.

- 12 Ocak 2017 tarihinde Dilovası'nda bulunan Poliport limanında tanklar arası fuel oil aktarımı sırasında güvenlik havuzlarından akaryakıtın taşıdığı, yağmur suyu kanalına aktığı ve oradan da denize ulaştığı tespit edilmiştir. Kirliliğin Evyapport, DP World Yarımca Limanı, Tüpraş İskelesi ve Harikalar Sahili' ve Yalova kıyılarına kadar taşındığı tespit edilmiştir (Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı, 2017).

- 29 Nisan 2017 tarihinde M/T Habaş tankerinde Habaş Tütünçiftlik platfromunda yanaşık vaziyetteyken yangın çıkmıştır. Kazada deniz alanına akaryakıt sızıntısı gözlenmemekle birlikte yüksek petrol sızıntı riski taşıyan bir kaza olarak dikkat çekmektedir.

- 5 Kasım 2018 tarihinde Darıca sahilinde bir gemiden sızan sintine ve fuel oil kıyı sularında büyük oranda bir kirlilik oluşturmuştur. Kirlilikle mücadelede bariyerler ile su yüzeyindeki kirliliğin taşınımının engellendiğı belirtilmiştir (Vira Haber, 2018).

- 19 Kasım 2018 tarihinde, MCS Katyayni isimli yük gemisi Dilovası'ndaki bir limana yanaşırken iskeleye çarparak körfez sularında akaryakıt (fuel oil) sızıntısına sebep olmuştur (Haber Türk, 2018).

- 8 Mart 2019 tarihinde Safi Port / Derince limanında yakıt ikmali yapılan Haksa isimli genel kargo gemisine Energy 1 isimli yakıt barcı fuel oil ikmali yaparken takribi 100

litre akaryakıt sızıntısı meydana gelmiştir. Sızıntının gemi personeli hatası sebebiyle yanlış tank kapasitesi ve yakıt miktarı beyanından kaynaklandığı belirtilmiştir (Deniz Haber Ajansı, 2019a).

- 10 Ekim 2019 tarihinde İzmit Körfezinde bir limanda Queen Anatolia isimli kuru yük gemisinden kirli balast suyu sızıntısı tespit edilmiştir. Kirliliğin Yarımcı sahile sürüklendiği gözlenmiştir(Deniz Haber Ajansı, 2019b).

- 23 Eylül 2021 tarihinde Safi Port/Derince limanına yanaşmış olan Yılmaz Deniz isimli kuru yük gemisinden akaryakıt (fuel oil) sızıntısı tespit edilmiştir(Deniz Haber Ajansı, 2019a).

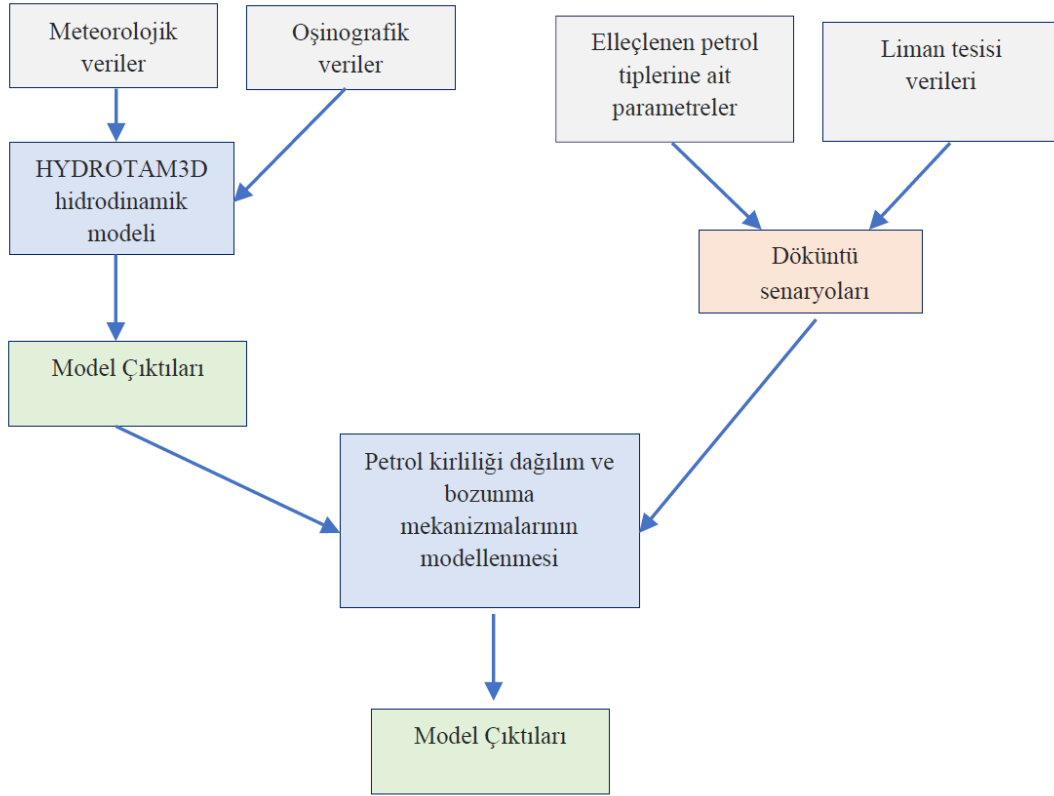
- 18 Aralık 2021 tarihinde Nuh Çimento limanında Medi Egeo isimli dökme yük gemisinden kirli balast sızıntısı tespit edilmiştir (Sözcü, 2021)

- 7 Mart 2022 tarihinde Seaspirit isimli kuru yük gemisi Başiskele mevkiinde yakıt alımı sırasında dizel yakıtı gemi güvertesine ve denize kaza sonucu sızıntısı olmuştur (Deniz Haber Ajansı, 2022).

- 22 Nisan 2022 tarihinde İzmit Körfezi Koruma Klor İskelesi mevkiinde Chem Premier tankerinden petrol türevi ürün sızıntısı Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi tarafından deniz uçağıyla havadan yapılan kontrol sırasında tespit edilmiştir (Denizcilik Dergisi, 2022).

2. MATERYAL VE METOD

Tez çalışmasının metodolojik çerçevesi Şekil 8’de özetlenmektedir. Çalışmanın ilk aşaması verilerin toplanması ile başlamış olup birinci tip veriler meteorolojik (rüzgar verileri) ve oşinografik verilerden (batimetri, tuzluluk ve sıcaklık verileri) oluşmaktadır. Bu veriler hidrodinamik modele girdi olarak eklenmiştir. İkinci tip veriler ise petrol tiplerine ait parametrik veriler ve liman tesisi verileridir (koordinat, kapasite, gemi ve yük istatistikleri).



Şekil 8. Tez çalışmasının metodolojik çerçevesi

2.1.Çalışma Alanı

Tez çalışmasında petrol kirliliği dağılım modelinin uygulanacağı alan İzmit Körfezi seçilmiştir. Türkiye’nin en büyük petrol rafinerilerinden bir tanesinin bu bölgede konumlanması ve bölgenin yüksek miktarda ham petrol ve işlenmiş petrol ürünlerinin

elleçlemesini yapan liman ve terminalleri barındırması sebebiyle bu bölge çalışma alanı olarak seçilmiştir. Diğer yandan petrol tankerleri haricinde İzmit Körfezi Limanları birçok konteyner genel yük ve dökme yük gemilerinin uğrak limanı olarak yer almaktadır.

2.1.1. İzmit Körfezi'nin coğrafi konumu ve özellikleri

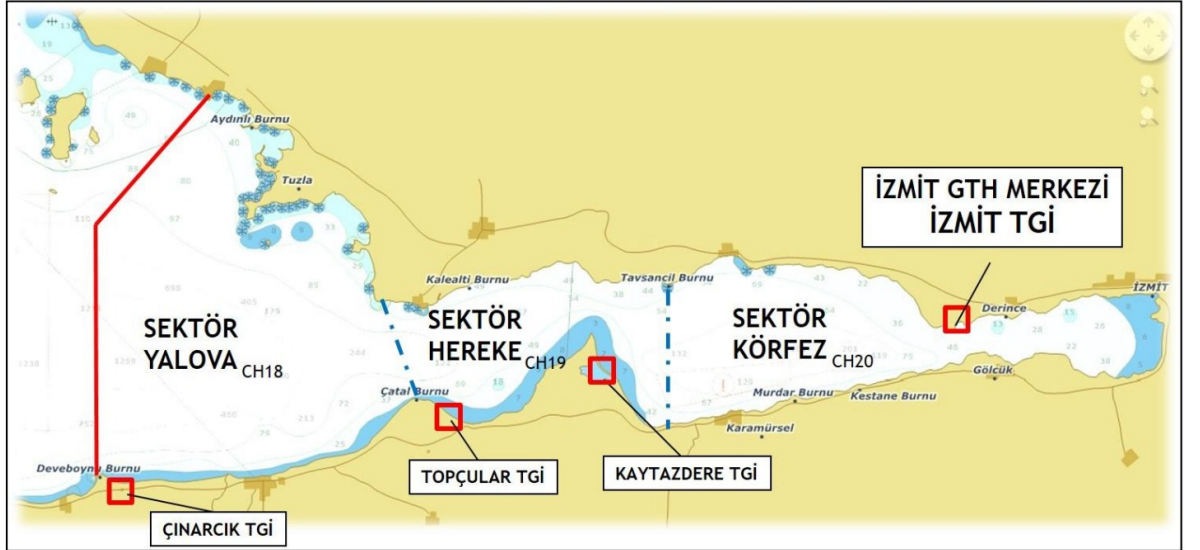
İzmit Körfezi Marmara Denizi'nin doğusunda yer alan dar bir basendir. Şekil 9 Google Earth Pro (2022) uygulamasından türetilmiş olup İzmit Körfezi'nin coğrafi koordinatlarına göre konumunu göstermektedir. Uzunluğu 49 km, genişliği ise 1,8 km ile 9 km arasında değişmektedir. Yüzey alanı yaklaşık olarak 310 km² civarındadır (Balkis, 2012; Doğan ve diğerleri, 1999) . İzmit Körfezi Doğu, Merkez ve Batı havzalar olmak üzere 3 alt basenden oluşmaktadır (Şekil 9). Doğu havzası takribi 15 km uzunluğunda olup maksimum 35 m derinliğe sahiptir. Bu havza merkez ve batı alt havzalarına kıyasla nispeten sıgıdır. En uzun havza olan merkez havza ise takribi 20 km uzunluğa sahiptir. Batı kısmı, Marmara Denizi'nin hidrodinamik koşullarını etkileyen Ege Denizi ve Karadeniz tarafından oluşturulan su değişimlerine daha güçlü bir şekilde maruz kalmaktadır (Morkoc ve diğerleri, 2007).

Marmara Denizi'nde görülen Karadeniz ve Akdeniz sularından kaynaklanan tabakalaşma İzmit Körfezi'nde de görülmektedir. İzmit Körfezi'nde Karadeniz kökenli sular 10-15 metre kalınlığında üst tabakayı oluşturmaktadır. Bunun altında 30 m derinliğine kadar inen ara geçiş tabakası bulunmakta olup ardından yaklaşık 38 psu tuzluluk değerine sahip Akdeniz kökenli sular alt tabakayı oluşturmaktadır (Müftüoğlu, 2008).



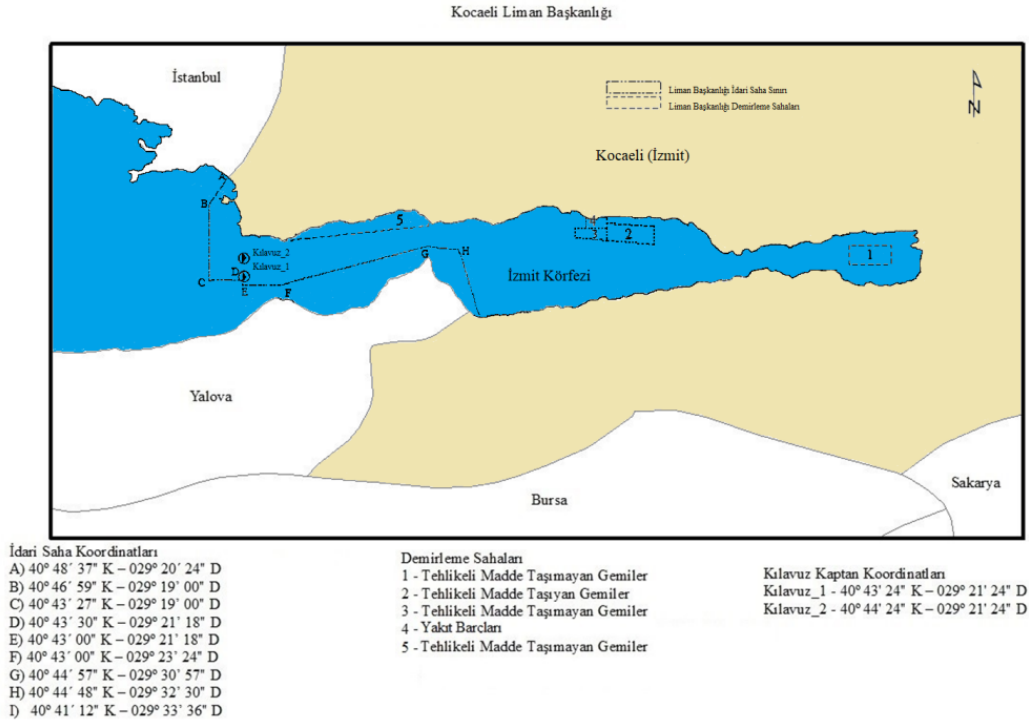
Şekil 9. İzmit Körfezi'nin alt basenlerini gösteren koordinat sistemindeki haritası (Google Earth Pro, 2022).

İzmit Körfezi'ne giriş çıkış yapan gemiler Gemi Trafik Hizmetleri tarafından sırasıyla Sektör Yalova, Sektör Hereke ve Sektör Körfez olmak üzere üç ayrı bölümde Çınarcık Trafik Gözleme İstasyonu (TGİ), Topçular TGİ, Kaytazdere TGİ ve İzmit TGİ (Şekil 10) tarafından 27 Mayıs 2016 tarihinden beri kontrol edilmektedir (Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü, 2016). İzmit GTH Körfeze giriş çıkış yapan gemilere bilgi ve seyir yardımı ile deniz trafiğinin düzenlenmesi konusunda gerekli hizmetleri vermektedir. Boyu 20 metreden büyük olan her gemi İzmit GTH sistemine katılımları zorunludur. Boyu 20 metreden küçük olan gemiler pasif katılımcı olarak tanımlanmış olup sisteme katılımları zorunlu olmasa da bulundukları sektörün VHF kanalını sürekli dinlemede olup verilecek tavsiye ve talimatlara uymak durumundadırlar.



Şekil 10. İzmit GTH'nin kapsama sahası ve trafik gözleme istasyonları (Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü (2016)'dan alınmıştır).

İzmit Körfezi'nin büyük bir bölümü Kocaeli Liman Başkanlığı idari sahası kapsamındadır. Şekil 11 bu kapsama giren idari saha sınırlarını, demirleme sahalarını ve kılavuz kaptan alma bölgelerini koordinatları ile göstermektedir.



Şekil 11. İzmit (Kocaeli) Liman Başkanlığı idari sahası (Kocaeli Liman Başkanlığı (2022)'den alınmıştır).

İzmit Liman Yönetmeliği'nde tanımlanan İzmit (Kocaeli) Liman Başkanlığı liman sınırları aşağıdaki koordinatlar sisteminde verilmektedir (İzmit Liman Yönetmeliği, 2011).

A) Liman idari sahası: İzmit (Kocaeli) Liman Başkanlığının liman idari sahası aşağıdaki koordinatların oluşturduğu hattın içinde kalan deniz ve kıyı alanıdır.

- 40° 45' 24" K – 029° 21' 15" D (Yelkenkaya Burnu)
- 40° 43' 00" K – 029° 21' 18" D
- 40° 43' 00" K – 029° 23' 24" D
- 40° 44' 57" K – 029° 30' 57" D
- 40° 44' 48" K – 029° 32' 30" D
- 40° 41' 12" K – 029° 33' 36" D

B) Demirleme sahaları

a) İzmit demirleme sahası: Tehlikeli madde taşımayan gemilerin demirleme sahası, aşağıdaki koordinatların oluşturduğu deniz alanı olarak belirlenmiştir.

- 40° 45' 00" K – 029° 52' 48" D

- 40° 44' 00" K – 029° 52' 48" D
- 40° 44' 00" K – 029° 55' 00" D
- 40° 45' 00" K – 029° 55' 00" D

b) Yarımcı demirleme sahası: Tehlikeli madde taşıyan gemiler, nükleer güçle çalışan askeri gemiler ile karantina demirleme sahası, aşağıdaki koordinatların oluşturduğu deniz alanı olarak verilmektedir.

- 40° 46' 24" K – 029° 41' 00" D
- 40° 45' 09" K – 029° 41' 00" D
- 40° 44' 54" K – 029° 43' 00" D
- 40° 46' 18" K – 029° 43' 00" D

c) Hereke demirleme sahası: Tehlikeli madde taşımayan gemilerin demirleme sahası, aşağıdaki koordinatların oluşturduğu deniz alanı olarak verilmektedir.

- 40° 46' 36" K – 029° 38' 09" D
- 40° 45' 24" K – 029° 38' 09" D
- 40° 45' 12" K – 029° 40' 30" D
- 40° 46' 27" K – 029° 40' 30" D

ç) Eskihisar demirleme sahası: Tehlikeli madde taşımayan gemilerin demirleme sahası aşağıdaki koordinatları birleştiren hat ile bu hattın kuzeyindeki sahil şeridi arasında kalan deniz alanı olarak verilmektedir.

Bu sahada, kıyıdan itibaren 2,5 gmina mesafe içerisinde demirleme yapılamaz.

- 40° 45' 12" K – 029° 23' 27" D (Darıca Burnu)
- 40° 46' 00" K – 029° 30' 57" D (Kaba Burnu)

2.1.2. Batimetrik özellikleri

İzmit körfezi batı, merkez ve doğu olmak üzere üç basenden oluşmaktadır. Doğu havzası körfezin en sığ kısmı olup en fazla 35 m derinliğe sahiptir. 20 km uzunluğundaki merkez havza sistemin en büyük kısmı olup güney ve kuzey yönde derinlik oldukça değişkendir. Taban topografyası kuzey-güney yönünde önemli ölçüde değişmektedir. Kuzey kesimi nispeten sığdır ve ortalama derinliği yaklaşık 60 m'dir. Güney kesiminde derinlik yaklaşık 180 m'ye kadar çıkmaktadır. Batı havzasının ortalama derinliği 50 m, en derin yeri

ise 200 m'dir. (Balkis, 2012; Doğan ve diğerleri, 1999). Bu bölge oşinografik özellikleri sebebiyle Marmara baseninin uzantısı olarak kabul edilmektedir.

2.1.3. Rüzgâr ve dalga İklimi

İzmit Körfezi'nde hâkim rüzgâr Karadeniz'den esen kuzeyli rüzgarlardır. Marmara Denizi'nden esen güneyli rüzgarlar da bölgenin karakteristik özelliği olup bu rüzgarlar genellikle kış mevsiminde görülmektedir. Bu rüzgarlar birkaç gün süreyle 10 m/s üzerine çıkarak fırtına ve kıyı dalgalarını oluşturmaktadır (Güven ve diğerleri, 2000) .

Akpınar ve diğerleri (2021) tarafından yapılan çalışmaya göre Marmara Denizi'nin orta ve güney kesimleri daha büyük dalga yüksekliği değerleri sergilerken, İzmit Körfezinde yıllık ortalama önemli dalga yüksekliği değerleri daha küçük bulunmuştur. Ortalama önemli dalga yükseklikleri batı havzasının girişinde 0,1 ile 0,2 m arasında değişmektedir. Bu değerler orta ve doğu havzalarında 0,1 m'nin altına düşmektedir.

Bölgenin rüzgâr ve dalga iklimi modelleri HYDROTAM-3D ile modellenmiş olup bölüm 3.1.2 ve 3.1.3'te model sonuçları verilmektedir.

2.1.4. Akıntı Sistemi

İzmit Körfezi Marmara Denizi'nin bir uzantısı olarak iki katmanlı su tabakasına sahiptir. Üst katman az tuzlu Karadeniz suları ve alt katman ise daha yoğun Ege denizi kökenli suların etkisindedir (Balkıs 2003; Balkis, 2012; Doğan ve diğerleri, 1999; Müftüoğlu 2008). İzmit Körfezi'nin en uç noktasında yer alan doğu baseni hidrodinamik koşullardan en az etkilenmesi sebebiyle düşük hızda akıntıya sahiptir. Bununla birlikte orta basene gelindiğinde akıntı hızı artmaktadır. Batı baseni ise Marmara Denizi karakteristiğini yansıtarak Karadeniz ve Ege Denizi arasındaki su alışverişinden en çok etkilenen bölge olup körfezin diğer bölgelerine kıyasla daha yüksek akıntı hızına sahiptir.

İzmit Körfezi'ni üç havzaya bölen boğumlar suyun yenilenme süresini etkilemektedir. Batimetrisinin azaldığı iç bölgeler boyunca alt ve üst tabakaların karışımı azalmaktadır. Bu yüzden iç kesimlerde suyun yenilenme zamanı oldukça uzundur. Körfez'de derin çukurlarda yoğun suyun birikimi buralarda su sirkülasyonlarının yavaşlamasına sebep olduğu belirtilmektedir (Balkıs, 2003).

İzmit Körfezi'nde yüzey akıntıları ile üst tabakadaki su Marmara Denizi'ne doğru ilerlemektedir. Alt tabaka akıntısı ile de körfez içlerine doğru ilerlemektedir. Sur (1988) ve Müftüoğlu (2008) yapmış oldukları çalışmalarda Batı'dan esen rüzgarların üst tabaka

akıntısının yönünü Batı'ya doğru tetikleyerek Körfez içlerine üst tabaka akıntılarıyla su girişinde etki ettiğini belirtmektedir. Körfez'in topoğrafik ve batimetrik yapısına da bağlı olarak iç kısımlarında Müftüoğlu (2008) tarafından yapılan çalışmada mevsimsel koşullara bağlı akıntının siklonik ve anti siklonik döngüler oluşturduğu belirtilmektedir.

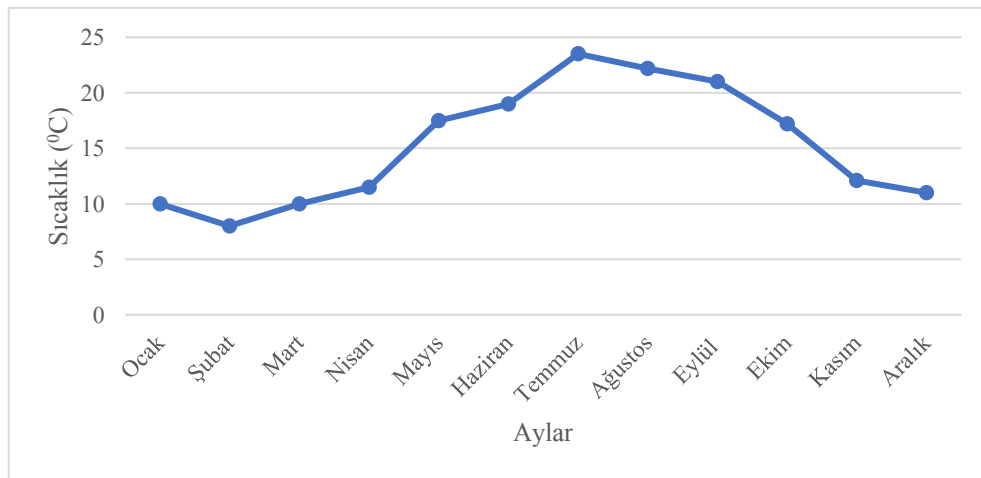
Bölgenin akıntı sistemi HYDROTAM-3D ile modellenmiş olup bu veriler Bölüm 3.1.4'te sunulmaktadır.

2.2.Çalışmada Kullanılan Veriler

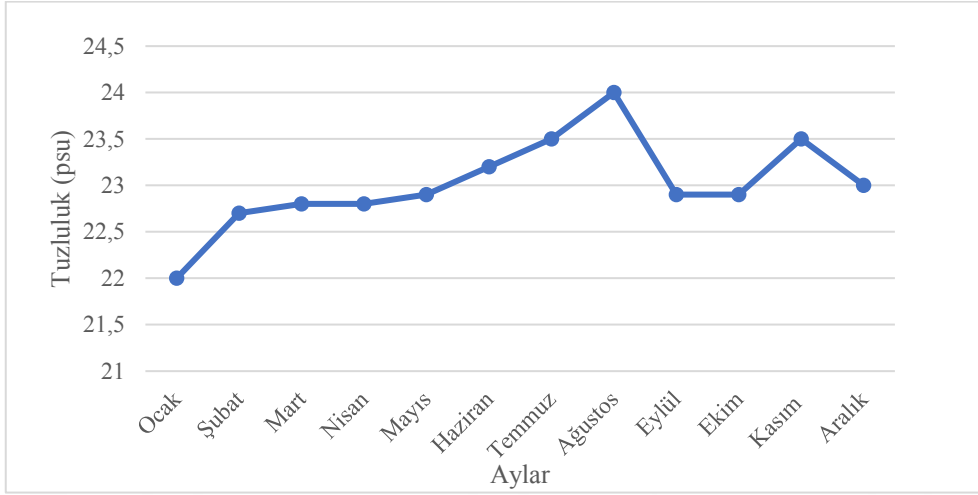
Çalışmada İzmit Körfezi'nde yapılacak hidrodinamik modelleme için tuzluluk ve sıcaklık verileri, tesis konumlarını ve özelliklerini belirlemek için liman tesisi rıhtımlarına ait bilgiler, gemi ve yük istatistikleri, bölgede elleçlenen petrol türlerinin belirlenebilmesi için ithalat verileri ve petrollerin modellemeye ilgili olan parametrelerine ait veriler elde edilmiştir.

2.2.1. Tuzluluk ve sıcaklık verileri

Hidrodinamik modellemeyi başlatabilmek için öncelikle bir istasyon noktasındaki mevsimsel tuzluluk ve sıcaklık parametrelerine ait verileri tanımlamak gerekmektedir. Hidrodinamik modelde kullanılacak yüzey suyu aylık sıcaklık ve tuzluluk verileri (Müftüoğlu, 2008) tarafından hazırlanan “Marmara Denizi Haliç ve Körfezlerinin hidrodinamik yapısı” isimli doktora tez çalışmasında 40.7636^0K , 29.5173^0D enlem ve boylamındaki 10 numaralı istasyona ait veriler kullanılmış olup aylık değerlerine ait veriler Şekil 12 ve Şekil 13'te sunulmaktadır.



Şekil 12. İzmit Körfezi aylık deniz suyu sıcaklık değerleri



Şekil 13. İzmit Körfezi aylık deniz suyu tuzluluk değerleri

En düşük sıcaklık Şubat ayında gözlenmekte olup 8°C 'dir. En düşük tuzluluk değeri ise Ocak ayında gözlenmektedir. Temmuz ve Ağustos ayları ise sıcaklık ve tuzluluk değerinin en yüksek olduğu aylardır.

2.2.2. Liman tesisi verileri

İzmit Körfezi'nde petrol ve türevlerini elleçleyen tesisler Dilovası, Körfez ve Derince olmak üzere üç bölgede yer almaktadır. Bu bölgeler Körfez'in Merkez ve Doğu havzalarında bulunmaktadır. Bu sebeple çalışmada petrol sızıntı senaryoları körfezdeki üç bölge üzerinde yapılmıştır. Kocaeli liman başkanlığı tarafından petrol elleçleme yetkisi olan terminaller belirtilmektedir. Tesislerle birebir görüşmeler neticesinde bazı tesislerin petrol ve türevi ürünler elleçleme yetkisi olsa da şimdiye kadar bu ürünleri hiç elleçlemediği belirlenmiştir. Dolayısıyla fiili olarak petrol ve türevi ürünleri elleçleyen tesisler çalışma kapsamında dikkate alınmıştır. Petrol ve türevi ürünleri elleçleyen tesisler içinde yalnızca TÜPRAŞ terminali tarafından ham petrol elleçlemesi yapılmaktadır. Poliport, Altıntel, Yılport, Total, Petol Ofisi, Shell tesislerinde ise işlenmiş petrol ürünlerinin elleçlemesi yapılmaktadır.

2.2.2.1. Poliport Limanı

Poliport (Şekil 14) İzmit Körfezi'nin Batı havzasında Dilovası bölgesinde yer almaktadır. Tesisin deniz koordinatları $40^{\circ} 46' 10'' \text{ K} - 029^{\circ} 31' 20'' \text{ D}$ ' dir. Tesiste Genel Kargo, Dökme Yük, Petrol/Ürün ve Kimyasal yük elleçlemesi yapılmaktadır. Sıvı yük

depolama kapasitesi 271.000 m³'tür ve tank hacimleri 335 m³ ile 9.300 m³ arasında değişmektedir. Poliport limanı web sayfasında yer alan bu veriler tesisin 2018 yılında yayımlanan tehlikeli madde rehberinde daha farklı verilmektedir. Tesise ait iskele uzunluk ve derinlik bilgileri Tablo 5'te verilmekte olup iskele aynı anda 4 gemiye hizmet verebilmektedir. Tesisin sıvı yük elleçleme kapasitesi 2.500.000 ton/yıl'dır.



Şekil 14. Poliport terminali (Poliport, (2022)'den alınmıştır).

Tablo 5. Poliport rıhtım ve iskele bilgileri (Poliport, (2018) 'den alınmıştır).

Rıhtım/İskele No	Boy (m)	En (m)	Maksimum su derinliği (m)	Minimum su derinliği (m)	Yanaşacak en büyük gemi tonajı (DWT)
Parmak İskele	250	12	13	9,9	40.000
Rıhtım 3	250	40	27	10,5	100.000
Rıhtım 4	450	40	27	10,5	100.000

2.2.2.2. Yılport-Solventaş Limanı

Yılport Solventaş Limanı 40° 46' 0,34" K - 029° 32' 40" D koordinatlarında bulunmaktadır. Tesisin 333.000 m³ depolama kapasitesi bulunmakta olup yılda 2000 gemiye kadar hizmet verebilmektedir (Yılport, 2022). Tablo 6 tesisin rıhtım bilgilerini vermektedir.

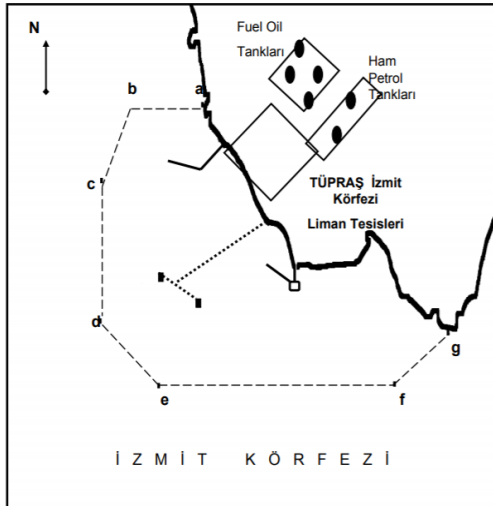
Tablo 6. Yılport-Solventaş limanı rıhtım bilgileri (Yılport, (2022)'den alınmıştır).

Rıhtım / İskele no	Boy (metre)	En (metre)	Maksimum su derinliği	Minimum su derinliği	Yanaşacak en büyük gemi tonajı (DWT)
No: 01	270	10	-	-	50.000
No: 02	235	10	-	-	50.000

2.2.2.3. Tüpraş Limanı

Körfez'in orta havzasının doğusunda yer alan Tüpraş-İzmit limanı bölgede en yüksek yıllık petrol elleçleme kapasitesine sahiptir. Limanın sınırları Şekil 15'te belirtilen a,b,c,d,e,f,g nokta koordinatlarını birleştiren hattın içinde kalan kısım olarak 23/1/2002 tarihli ve 24649 sayılı Resmî Gazete Tebliğ No 2006/1 ile belirlenmiştir. Tesis elleçleme kapasitesi 32.000.000 ton/yıl olup 2.911.499 m³ depolama tank kapasitesi mevcuttur.

- a) 40° 45' 01" K, 029° 45' 40" D
- b) 40° 45' 02" K, 029° 45' 14" D
- c) 40° 44' 49" K, 029° 45' 06" D
- d) 40° 44' 29" K, 029° 45' 06" D
- D) 40° 44' 20" K, 029° 45' 26" D
- f) 40° 44' 21" K, 029° 46' 44" D
- g) 40° 44' 30" K, 029° 47' 02" D



Şekil 15. Tüpraş-İzmit Limanı (Tüpraş (2015)'ten alınmıştır).

Tablo 7’de Tüpraş limanının rıhtım ve iskelelerine ait bilgileri verilmektedir. Bölgedeki en yüksek kapasiteli gemi yanaşmasına imkan veren liman olduğu görülmektedir. Rıhtım No 9 en yüksek kapasiteye sahip rıhtımıdır.

Tablo 7. Tüpraş rıhtım ve iskele bilgileri (Tüpraş (2015)’ten alınmıştır).

Rıhtım / İskele no	Boy (metre)	En (metre)	Maksimum su derinliği	Minimum su derinliği	Yanaşacak en büyük gemi tonajı (DWT)
Faz 1 iskelesi					
No: 1	105	27	14	13	80.000
No: 2	65	27	11	10	3.000
No: 5	20	4,3	6,6	5,5	1.000
No: 6	20	4,3	6,6	5,5	1.000
No: 7	20	35,5	7	6	2.000
No: 8	70	35,5	8,5	8	20.000
Faz 2 iskelesi					
No: 3	66	43	13,5	13	40.000
No: 4	98	43	14,5	14	100.00
Platform iskele					
No: 9	457	11	29	28	300.000
Faz 3 iskelesi					
No: 201	150	37,30	7	7	5.000
No: 202	150	37,30	7	7	5.000
No: 203	183	37,30	14	13,5	20.000
No: 204	200	37,30	12	11,5	30.000
No: 205	295	30	18	17,5	70.000
No: 206	327	30	18	17,5	100.000
Rıhtım (Rup)					
No: 207	592	15	12	12	30.000

2.2.2.4. Altıntel limanı

Altıntel limanı 40° 46" 06' K ve 29° 32" 43,8' D coğrafi koordinatlarında yer almaktadır. Limanın sıvı yük elleçleme kapasitesi 1.000.000 ton/yıl'dır. 81.526,63 m³ depolama tank kapasitesi mevcuttur. Tablo 8'de tesise ait rıhtım ve iskele bilgileri verilmektedir.

Tablo 8. Altıntel Limanı rıhtım ve iskele bilgileri (Altıntel (2015)'ten alınmıştır).

Rıhtım / İskele no	Boy (metre)	En (metre)	Maksimum su derinliği	Minimum su derinliği	Yanaşacak en büyük gemi tonajı (DWT)
01-02	250	10	13,5	6,5	40.000 (170 metre)

2.2.2.5. Shell Derince Limanı

Tesisin toplam yük elleçleme kapasitesi 150.000 ton/yıl'dır. Terminale yanaşabilecek gemi kapasitesi maksimum 20.000 DWT'tir. Petrol ürünü depolama tank kapasiteleri 150.000 ton/yıl'dır. Tablo 9'da tesise ait rıhtım ve iskele bilgileri verilmektedir.

Tablo 9. Shell Derince Limanı rıhtım ve iskele bilgileri (Shell, (2017)'den alınmıştır).

Rıhtım / İskele no	Boy (metre)	En (metre)	Maksimum su derinliği	Minimum su derinliği	Yanaşacak en büyük gemi tonajı (DWT)
01	200	-	-	9,70	20.000

2.2.2.6. Total Limanı

Total limanı 40° 46'15" K ve 29° 32' 59"D koordinatlarında yer almaktadır. Tesisin 2.200 m² kapalı depolama alanı ve 105.350 m³ depolama tank kapasitesi mevcuttur. Tablo 10'da tesise ait rıhtım ve iskele bilgileri verilmektedir.

Tablo 10. Total terminali rıhtım ve iskele bilgileri (Total (2016)’dan alınmıştır).

Rıhtım / İskele no	Boy (m)	En (m)	Maksimum su derinliği (m)	Minimum su derinliği (m)	Yanaşacak en büyük gemi tonajı (DWT)
1	72	3	13	13	42.000

2.2.2.7. Petrol Ofisi Derince terminali

Tesis 2.100.000 ton/yıl yük elleçleme kapasitesine sahiptir. 40° 45’ 14.10’’ K, 29° 56’ 14.16’’ D koordinatlarında yer almaktadır (Petrol Ofisi, 2015). Tablo 11’de tesise ait rıhtım ve iskele bilgileri verilmektedir.

Tablo 11. Petrol Ofisi terminali rıhtım ve iskele bilgileri (Petrol Ofisi (2015)’den alınmıştır)

Rıhtım / İskele no	Boy (m)	En (m)	Maksimum su derinliği (m)	Minimum su derinliği (m)	Yanaşacak en büyük gemi tonajı (DWT)
1	163	32	12	4,2	40.000

2.2.3. Elleçlenen petrol türleri ve özelliklerine ait istatistiksel veriler

Çalışmada İzmit Körfezi Bölgesinde elleçlenen petrol türlerine ait veriler tesislerle birebir görüşmeler neticesinde elde edilmiştir. İzmit körfezinde petrol ve türevlerini elleçleyen tesisler Dilovası, Körfez ve Derince olmak üzere üç bölgede yer almaktadır. Bu sebeple petrol sızıntı senaryoları körfezdeki üç bölge üzerinde çalışılmaktadır. Kocaeli liman başkanlığı web sayfasında petrol elleçleme yetkisi olan terminaller belirtilmektedir. Tesislerle birebir görüşme neticesinde her petrol elleçleme yetkisi olan terminalde petrol yükleme-boşaltma operasyonların yapılmadığı belirlenmiştir. Petrol ve türevi ürünleri elleçleyen tesisler içinde yalnızca Tüpraş tarafından ham petrol elleçlemesi yapılmaktadır. Poliport, Altıntel, Total, Petrol Ofisi, Shell tesislerinde gazyağı, motorin, benzin gibi rafine petrol ürünlerinin elleçlemesi yapılmaktadır. Tablo 12 elleçlenen petrol tiplerine göre tesis bilgilerini vermektedir.

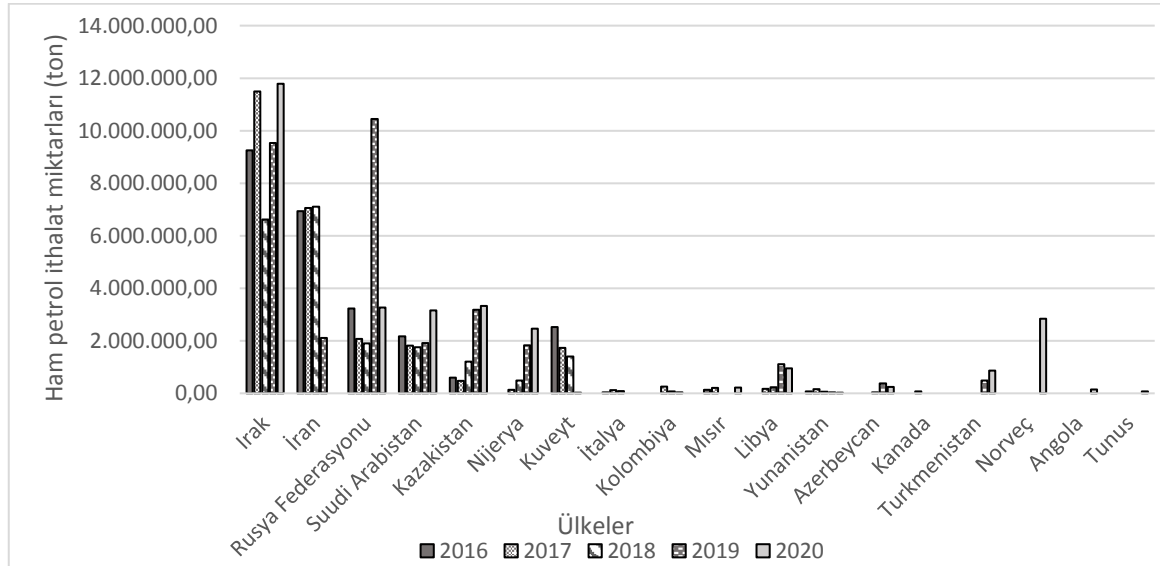
Tablo 12. Tesislere göre elleçlenen petrol türleri (Altıntel, 2015; Petrol Ofisi, 2015; Poliport, 2018; Shell, 2017; Tüpraş, 2015; Yılport, 2019)

Tesis	Elleçlenen petrol türleri
Tüpraş	Ham petrol ve rafine petrol ürünleri
Poliport	Rafine petrol ürünleri
Yılport Solventaş	Rafine petrol ürünleri
Altıntel	Rafine petrol ürünleri
Total	Benzin ve motorin
Petrol ofisi	Motorin, benzin, jet yakıtı, fuel oil
Shell	Motorin ve benzin

Ham petrol ticaretinin yükleme limanı ayağında büyük petrol rezervlerine sahip on dört Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü (OPEC) üyesi ülke yer almaktadır. Çalışmada, elleçlenen petrol tiplerine göre senaryoların belirlenebilmesi için petrol ithalat ihracat istatistiklerinin ve hangi ülkelerden ithal edildiğinin belirlenmesi gerektiğinden Enerji Piyasası Denetleme Kurulu (EPDK) ve Tüpraş tarafından sunulan raporlar incelenmiştir. 2016-2020 yılları arasında ithal edilen ham petrol miktarları Tablo 13' ve Şekil 16'da verilmektedir. Türkiye'nin alım yaptığı ham petrol türleri ve miktarları yıldan yıla değişiklik göstermektedir. Genel çerçevede bakıldığında Irak, İran, Rusya ve Suudi Arabistan en çok petrol ithal edilen ülkeler arasındadır. Yani Irak, İran, Rus ve Arap petrolü ülkemiz limanlarında en çok elleçlenen petrol tipleridir. Fakat 2020 yılındaki verilerde İran'dan ham petrol ithal edilmediği görülmektedir. Bu durum İran'a uygulanan ambargo sebebiyle meydana gelmiştir. Tüpraş'ın 2019 yılında Türkiye dahil 8 ülkeden 15 farklı çeşit, 2020 yılında 11 ülkeden 18 farklı çeşit, 2021 yılında 11 ülkeden 21 farklı çeşit ham petrol alımı yaptığı belirtilmekte olup bu petrolerin API değerlerinin 19 ile 47 arasında olduğu belirtilmektedir (Tüpraş,2019;2020;2021). Petrol tip ve özellikleri petrolün çıkarıldığı ülkeye göre değişmektedir. Bu sebeple elleçlenen petrol tiplerinin belirlenmesinde öncelikle ülkelere göre ham petrol ithalat verileri kullanılmıştır.

Tablo 13. 2016-2020 yılları arasında ülkelere göre ham petrol ithalat miktarları (ton)
(EPDK,2016;2017;2018;2019;2020)

Ülkeler	2016	2017	2018	2019	2020
Irak	9.251.528	11.492.824	6.613.429	9.526.674	11.783.566
İran	6.939.097	7.057.602	7.109.531	2.109.916	0
Rusya	3.234.933	2.074.128	1.897.775	10.449.884	3.267.894
Suudi Arabistan	2.168.912	1.820.282	1.756.830	1.916.519	3.160.221
Kazakistan	600.387	470.428	1.211.579	3.179.193	3.331.616
Nijerya	0	134.329	489.130	1.827.285	2.462.586
Kuveyt	2.527.032	1.724.536	1.403.770	18.884	0
İtalya	30.800	126.491	86.991	0	0
Kolombiya	0	254.583	76.000	33.791	0
Mısır	129.934	205.758	0	0	214.914
Libya	0	168.370	233.044	1.104.605	950.674
Yunanistan	75.363	162.830	62.328	36.969	22.000
Azerbeycan	0	0	30.264	381.861	248.463
Kanada	0	74.389	0	0	0
Türkmenistan	0	0	0	488.239	865.845
Norveç	0	0	0	0	2.841.396
Angola	0	0	0	0	143.998
Tunus	0	0	0	0	75.584
Toplam	24.957.985	25.766.549	20.970.669	31.073.819	29.368.757



Şekil 16. Ükelere göre Türkiye'nin ham petrol ithalat miktarları (ton)
(EPDK,2016;2017;2018;2019;2020)

Rafine petrol ürünlerinin üretim miktarını veren bilgiler Tablo 14’te sunulmaktadır.

Tablo 14. İzmit rafinerisi işlenmiş petrol üretim miktarları
(EPDK,2016;2017;2018;2019;2020)

Ürün Adı	Yıllara göre üretim miktarları (Ton)				
	2016	2017	2018	2019	2020
Kurşunsuz Benzin 95 Oktan	2.653.753,559	2.929.337,684	2.488.288,471	2.789.149,28	2.245.649,89
Kurşunsuz Benzin 98 Oktan	0	0	0	0	6.485,391
Motorin	4.410.965,85	5.337.357,858	4.980.697,729	5.357.302,01	5.849.405,50
Fuel Oil (Kükürt Oranı %0,1'i geçen ancak %1'i geçmeyenler)	-266.160,726	-246.145,219	-234.221,700	-213.906,301	134.620,378
Kalorifer Yakıtı (Kükürt Oranı %0,1'i geçen ancak %1'i geçmeyenler)	175.796,817	161.304,406	136.705,979	128.863,659	102.014,606-
Yüksek Kükürlü Fuel Oil (Kükürt oranı %1'i geçenler)	155.990,335	0	-104.537,244	-155.427,152	-53.512,841
Jet Yakıtı (Kerosen)	2.510.568,867	2.902.581,635	2.929.227,501	2.776.570,163	1.681.299,927
Denizcilik Yakıtı (Artık)	297.493,529	384.575,431	660.085,884	931.261,874	69.861,917
Denizcilik Yakıtı (Damıtık)	56.417,176	33.912,132	23.665,474	57.651,468	206.466,763
Gazyağı	0	0	0	0,000	2.245.649,890

*Tabloda üretim miktarının eksi olması, stokta bulunan ya da ithal edilen ürünün rafineri tarafından yeniden kullanıldığını ve bu ürünle yeni ürünün ya da ürünlerin üretildiğini göstermektedir.

EPDK'nın ihracat verileri incelendiğinde TÜPRAŞ Türkiye'de toplam işlenmiş petrol ihracatında yaklaşık %47 paya sahiptir (EPDK, 2018). İhracatı yapılan başlıca ürünler benzin, motorin, havacılık yakıtı, denizcilik yakıtı ve diğer yakıtlardır. Bu ürün gruplarının fiziko-kimyasal özellikleri Tüpraş'ın web sayfasından elde edilerek HYDROTAM-3D kirletici yönetimi modülü için hazırlanmıştır. Bazı ürünler sadece İzmit ya da sadece İzmir Aliğa rafinerisinde üretilirken bazı ürünler iki rafineride de üretilmektedir (TUPRAŞ, 2020).

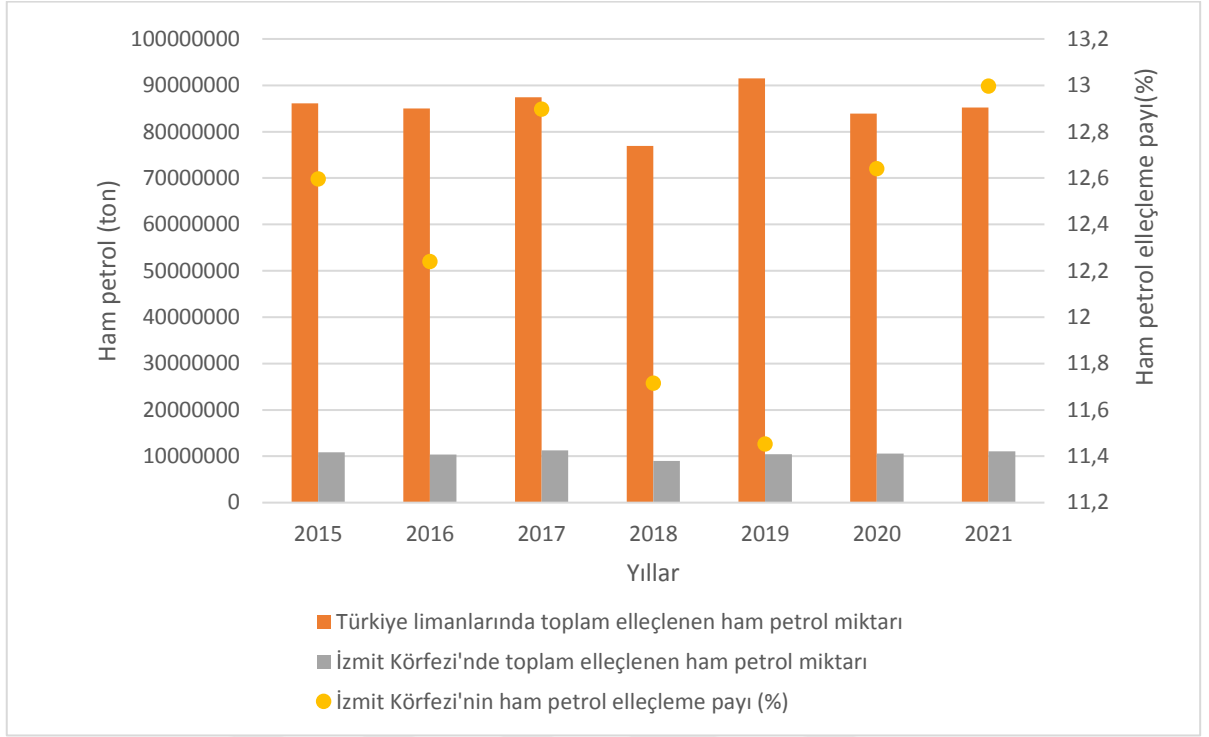
2.2.4. Gemi ve yük istatistikleri

İzmit Körfezi uğraklı gemi sayısı ve toplam Gros ton miktarının istatistiksel verileri Tablo 15'te sunulmaktadır. Bu istatistiksel veriler gemi sayısı azalsa dahi toplam gemi gros ton miktarındaki artışı göstermektedir. Bu durum yeni gemilerde daha yüksek kapasitede taşımacılığa yönelik eğilimi göstermektedir.

Tablo 15. İzmit Körfezi uğraklı gemi sayısı ve toplam elleçlenen yük miktarı (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı (2022a)'dan alınmıştır).

Yıl	Gemi Sayısı	Gemi Gros Ton	Toplam Elleçlenen Yük (Ton)
2011	10.559	90.264.641	54.997.295
2012	10.644	105.199.747	61.458.478
2013	10.621	113.266.618	61.088.671
2014	10.252	121.398.438	58.974.258
2015	9.991	130.066.128	64.628.031
2016	10.191	134.544.696	66.406.649
2017	10.548	141.607.179	73.234.029
2018	9.988	143.764.413	73.139.021
2019	8.714	142.553.602	72.196.415
2020	8.976	146.524.596	76.517.625
2021	9.554	154.977.812	81.335.143

Şekil 17'de verilen 2015-2021 yıllarına ait istatistiksel verilere göre (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2022a) İzmit Körfezi'nde elleçlenen ham petrol ve petrol türevi ürünler toplam elleçlenen yük miktarı içerisinde ortalama %16'lık bir paya sahiptir. Son yedi yıllık veriler incelendiğinde İzmit Körfezi'nde toplam elleçlenen ham petrolün Türkiye Limanlarında toplam elleçlenen ham petrol miktarı içerisindeki payı ise ortalama %12,36'dır (Şekil 17).



Şekil 17. Türkiye ve İzmit Körfezinde toplam elleçlenen ham petrol miktarları

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Denizcilik Genel Müdürlüğü İstatistik birimiyle iletişime geçilerek yazılı olarak talep edilen ham petrol ve işlenmiş petrol ürünlerinin elleçlemesine yönelik yük ve gemi istatistikleri Tablo 16'da verilmiştir. Ham petrol tankerlerin sayıca işlenmiş petrol tankerlerine göre az olduğu belirlenmekle birlikte elleçlenen yük kapasiteleri değerlendirildiğinde işlenmiş petrol tankerlerine göre oldukça yüksek kapasiteye sahip gemiler olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 16. Kocaeli Liman Başkanlığı idari sahasında yer alan liman tesislerinde elleçlenen ham petrol ve yakıt türevleri ürün miktarı ile elleçleme yapan gemi sayıları (T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2022b)

Yıl	Yük Grubu	Ton	Gemi Sayısı	Toplam Ton	Toplam Gemi Sayısı
2015	Ham petrol	10.845.510	116	22.903.945	1.590
	Yakıt (fuel) türevleri	12.058.435	1.474		
2016	Ham petrol	10.402.044	110	23.281.796	1.678
	Yakıt (fuel) türevleri	12.879.752	1.568		
2017	Ham petrol	11.277.962	113	25.004.046	1.736
	Yakıt (fuel) türevleri	13.726.084	1.623		
2018	Ham petrol	9.014.538	93	23.221.651	1.736
	Yakıt (fuel) türevleri	14.207.113	1.643		
2019	Ham petrol	10.476.716	113	22.923.607	1.224
	Yakıt (fuel) türevleri	12.446.891	1.111		
2020	Ham petrol	10.606.191	109	21.812.127	1.194
	Yakıt (fuel) türevleri	11.205.936	1.085		
2021	Ham petrol	11.077.145	125	22.022.473	1.246
	Yakıt (fuel) türevleri	10.945.328	1.121		

2.3.HYDROTAM-3D Modelleme Sistemi ve Akıntı Modülü

HYDROTAM-3D, tüm Türkiye kıyı sularının hidrodinamiğini, taşınım olaylarını ve su kalitesini benzeştirebilen, CBS ve bulut bilişim tabanlı üç boyutlu bir sayısal modelleme ve veri yönetim sistemidir. İçerdiği alt modellerle kıyı ve geçiş su alanlarında uygulanan dünyada geliştirilmiş en kapsamlı modelleme programlarından bir tanesidir. Günümüze kadar bir çok akademik çalışmada, araştırma ve uygulama projelerinde çeşitli kıyı ve geçiş su kütlelerine başarıyla uyarlanan ve doğrulanan bir yazılımdır (Balas ve diğerleri, 2011; Balas ve diğerleri, 2012; Balas, Genç ve İnan, 2013; Balas, İnan ve Genç, 2013; Balas ve diğerleri,

2020; Balas ve Özhan, 2000;2001;2002; Cebe ve Balas, 2016;2018; Genç ve diğerleri, 2020; İnan, 2019; Inan ve Balas, 2010; İnan ve Cebe, 2020). Model hidrodinamik, türbülans, rüzgar ve dalga iklimi, dalga ilerlemesi, askıda sediman taşınımı, su kalitesi, kirletici yönetimi, ve petrol taşınımı gibi alt modülleri içermektedir.

Rüzgar-iklim alt modülü, bir kıyı bölgesini etkileyen rüzgar özelliklerini belirleyen hemen hemen tüm kıyı faaliyetleri için dikkate alınması gereken temel bir bileşendir. HYDROTAM-3D veri sistemi, Türkiye Meteoroloji İstasyonlarının kurulduğu yıldan bugüne saatlik rüzgar verilerini; Avrupa Orta Menzilli Hava Tahminleri Merkezi'nin (ECMWF) sayısal meteorolojik modelinden üretilen 0.10 yatay çözünürlüklü operasyonel arşiv altışar saatlik rüzgar verilerini, 0.250 yatay çözünürlüklü ECMWFR e-analiz (ERA) Verilerini ve Ulusal Atmosferik Tahmin Merkezi (NCEP)'nin 0,50 yatay çözünürlüğe sahip İklim Tahmin Sistemi Yeniden Analizi (CFSR) verilerini içermektedir.

HYDROTAM-3D, CBS tabanlı programda batimetri verilerinin yüklenmesine mevcut olanların güncellenmesine izin verir. Ayrıca program içerisinde Türkiye'deki birçok kıyı bölgesinin batimetri verileri bulunmaktadır.

HYDROTAM-3D hidrodinamik modeli üç boyutlu Navier-Stokes denklemlerini sayısal olarak çözmekte olup basitleştirici yaklaşım olarak Boussinesq yaklaşımını (yoğunluk farklarının yerçekimi kuvveti ile çarpılmadıkça ihmal edilmesi) kullanmaktadır. HYDROTAM-3D'de kullanılan (Balas ve Özhan, 2000) tarafından tanımlanan temel hidrodinamik denklemler (2.1)-(2.5) denklemlerinde verilmektedir.

Süreklilik denklemi (2.1)'de verilmektedir.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.1)$$

Yatay düzlemde x ve y yönlerinde momentum denklemleri sırasıyla denklem (2.2) ve denklem (2.3)'de verilmiştir.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = f v - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_y \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right) \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -f u - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right) + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left(v_y \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right) \quad (2.3)$$

Düsey düzlemde z yönünde momentum denklemi denklem (2.4)'te verilmektedir.

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial z} + g z + \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_y \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad (2.4)$$

Bu eşitliklerde; x ve y: Yatay koordinatlar; z: Düsey koordinat; t: Zaman; u, v, w: Herhangi bir çözüm ağı noktasında x, y ve z yönlerindeki hız bileşenleri; v_x , v_y , v_z : Sırasıyla x,y ve z yönlerindeki Eddy viskozitesi; f: Coriolis katsayısı; $\rho(x,y,z,t)$: Su yoğunluğu; ρ_0 : Referans yoğunluk; g: yerçekimi ivmesi; p: Basınç olarak verilmektedir.

Her bir noktadaki yoğunluk değerlerinin bulunması için, o noktadaki sıcaklık ve tuzluluk değerlerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu değerler için denklem (2.5)'da verilen üç boyutlu taşınım-dağılım denklemi çözülmektedir:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + u \frac{\partial Q}{\partial x} + v \frac{\partial Q}{\partial y} + w \frac{\partial Q}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial Q}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial Q}{\partial z} \right) \quad (2.5)$$

Bu eşitlikte; D_x , D_y ve D_z : Sırasıyla x, y ve z yönlerindeki difüzyon katsayıları; Q: Su sıcaklığı (T) veya tuzluluğudur (S).

Hidrodinamik modelin içinde iki eşitlikli k-ε türbülans alt modeli kullanılmaktadır. Türbülans alt modelinde kinetik enerji ve kinetik enerjinin sönmüleme hızı sayısal olarak tanımlanmıştır.

Hidrodinamik model dört sınır koşulu barındırmaktadır. Bunlar, Serbest yüzey, Deniz tabanı sınır koşulu, açık deniz sınır koşulu ve kıyı sınır koşulu olarak tanımlanmaktadır.

Tez çalışmasında, HYDROTAM-3D veri sisteminde bulunan 2000-2019 yılları arasındaki yirmi yıllık ECMWF operasyonel arşiv 0.1⁰ tahminleri kullanılarak HYDROTAM-3D modeli ile yıllık ve mevsimsel rüzgar ve akıntı iklimleri elde edilmiştir.

2.4.HYDROTAM-3D Dalga İklimi Modülü

HYDROTAM-3D dalga iklimi analizinde dalga tahmin yöntemi sayısal yöntem seçilerek 1979-2018 yılları arasındaki ECMWF Era Interim 0,25⁰ verileri kullanılmıştır. 40,8⁰ K, 29,8⁰ D koordinatlarındaki dalga veri istasyonuna ait veriler seçilerek sonuçlar İzmit Körfezi'nde çalışılan bölgeler kapsamında elde edilmiştir.

2.5.HYDROTAM-3D İlerlemeli Yayılım Modeli

HYDROTAM-3D'de tanımlanan petrol kirliliğinin dağılımında 3 boyutlu ilerleme yayılma denklemi (2.6)'da verilmektedir.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial C}{\partial x}u + \frac{\partial C}{\partial y}v + \frac{\partial C}{\partial z}(w - w_f) = \frac{\partial}{\partial x}\left(D_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(D_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(D_z \frac{\partial C}{\partial z}\right) + kC + S \quad (2.6)$$

C dökülen petrol konsantrasyonu (kg/m³), u,v ve w x, y ve z yönlerindeki akıntı hızları (cm/s) olup hidrodinamik modelden elde edilmektedir, w_f kirleticinin çökme hızı (cm/s) t zaman (saniye), k petrolün bozunma mekanizmalarına bağlı yokolma katsayısı olup Bölüm 2.7'de verilen buharlaşma, emülsifikasyon ve çözünme mekanizmalarına ait verilen zamana bağlı bozunma oranlarıyla belirlenmektedir., S kaynak terimidir.

Her bir hesap noktasında, yoğunluk (ρ) ve viskozite (ν), petrol-su karışımındaki petrol oranına göre denklem (2.7) ve (2.8)'de tanımlanmaktadır:

$$\rho = F_{ow}\rho_0 + (1 - F_{ow})\rho_w \quad (2.7)$$

$$\nu = F_{ow}\nu_0 + (1 - F_{ow})\nu_w \quad (2.8)$$

Burada F_{ow} petrolün karışımındaki oranıdır, ρ_w ve ρ₀: sırasıyla suyun ve petrol kirliliğinin yoğunluğu; ν_w : suyun kinematik viskozitesidir.

Yüzeyde uygulanan kinematik sınır koşulu aşağıdaki denklem (2.9) ile ifade edilmektedir.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + u_s \frac{\partial \eta}{\partial x} + v_s \frac{\partial \eta}{\partial y} - w_s = 0 \quad (2.9)$$

Eşitlikte; u_s ve v_s : Yüzeydeki su parçacığının yatay hızları (cm/s); w_s : Yüzeydeki su parçacığının düşey hızı (cm/s); η : Su seviyesini göstermektedir (m).

HYDROTAM-3D’de eşitlikler şaşırtmacalı sonlu farklar çözüm ağı kullanılarak sayısal olarak çözülmektedir. Düşey düzlemde Galerkin sonlu elemanlar metodu kullanılmaktadır. Programda su derinliği taban topoğrafyasını takip eden eşit sayıda katmana bölünmektedir. Çözüm ağının her bir noktasında katman kalınlığının 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; basınç, p ; su derinliği üzerindeki her noktada düşeydeki çözüm ağı noktaları arasında lineer şekil fonksiyonu kullanılarak sonlu değerlerin terimleri cinsinden tekrar yazılmaktadır. Lineer olmayan eşitlik sistemleri, zamanda ikinci dereceden hassas olan Crank-Nicholson metodu ile çözülmektedir.

2.6.HYDROTAM-3D’de Kirletici Yönetimi Modülünün Hazırlanması

Tez çalışmasının amacı ve kapsamına yönelik HYDROTAM-3D programında DLTM Yazılım ve Teknolojileri LTD. tarafından yeni bir kirletici yönetimi modülü tez çalışmasında belirlenen parametrelere göre geliştirilmiştir. Bu modülde kullanıcı olarak Bölüm 2.2.2 ve 2.2.3’te verilen elleçlenen petrol türleri için liman tesisi verilerine göre petrol parametrelerine ait veriler girilmiştir.

Kirletici yönetimi modülünün (i) projeler, (ii) kirletici noktaları ve (iii) kirleticiler olmak üzere üç tane alt bölümü bulunmaktadır. Kirletici yönetim modülünde veri tanımlama aşamaları aşağıda maddeler halinde sıralanmaktadır.

- Çalışmanın yapılacağı proje bölgesi “Projeler” bölümünde “Ekle” sekmesi seçildikten sonra harita üzerinde proje adı verilerek tanımlanmaktadır.
- “Kirletici noktaları” bölümünde proje alanına kirletici noktası “Ekle” sekmesinden liman tesisi koordinatlarına göre “nokta giriş yöntemi” (harita üzerinde fare ile,

ondalık derece ile ya da derece-dakika-saniye olarak) seçilerek tanımlanmaktadır. Çalışmada tanımlanan liman tesisi noktaları Şekil 18’de verilmektedir.



Şekil 18. Kirlenici yönetimi modülünde tanımlanan kirlenici noktaları ve kirleniciler (HYDROTAM-3D, 2022).

- “Kirleniciler” bölümünde bulunan “kirlenici yönetimi” sekmesinde petrol türleri eklenerek kirlenici listesi oluşturulmaktadır. Tez çalışmasına yönelik oluşturulan kirlenici listesi Şekil 19’da verilmektedir. Burada kirlenicinin türü ham petrol, denizcilik yakıtı, benzin gibi açıklama bölümünde tanımlanabilmektedir.

Kirletici Yönetimi

Kirletici Listesi

Kirletici Adı	Açıklama	Koruma
Arabian Heavy	Crude Oil	True
Arabian Light	Crude Oil	True
Arabian Medium	Crude Oil	True
Azari Light	Crude Oil	True
Barrah Heavy	Crude Oil	True
Barrah Light	Crude Oil	True
Belayim	Crude Oil	True
Cosama	Crude Oil	True
DMA	Marine Distillate Fuel	True
FOE35	Fuel Oil	True
FOE75	Fuel Oil	True
GADWAG	Kerosene	True
IRAN CYRUS KOROOSH CRUDE OIL	Crude Oil	True
IRAN LIGHT CRUDE OIL	Crude Oil	True
Iranian Heavy	Crude Oil	True
Iranian Light	Crude Oil	True
JET YAKITI	Jet Fuel	True
KALDRIFER YAKITI	Fuel Oil 4	True
Kirikuk	Crude Oil	True
Kirikuk Blend	Crude Oil	True
KURŞUNSUZ 95 OKTAN	Unleaded 95 Octane	True
Kuwait Export	Crude Oil	True
Kuwait Light	Crude Oil	True
Marib	Crude Oil	True
MOTORIN	Diesel	True
RM1180	Residual Marine Fuel Oil	True
RM1380	Residual Marine Fuel Oil	True
RM1700	Residual Marine Fuel Oil	True
RM1380	Residual Marine Fuel Oil	True
RM1500	Residual Marine Fuel Oil	True
RM1700	Residual Marine Fuel Oil	True
Sakhalin	Crude Oil	True
Siberian Light	Crude Oil	True
Sider	Crude Oil	True
Suez	Crude Oil	True
Ural	Crude Oil	True
Valenzquez	Crude Oil	True

Seçili Kirletici Bilgisi

Kirletici Adı:

Açıklama:

Koruma: Var

Kaydet Sil

Şekil 19. Kirletici listesi oluşturulması (HYDROTAM-3D, 2022).

- “Kirleticiler” bölümünde “özellik yönetimi” sekmesinden elleçlenen petrol ve petrol türevi ürünü parametrelerine ve birimlerine göre düzenleme yapılmaktadır (Şekil 20).

Özellik Yönetimi

Özellik Listesi

Özellik Adı	Birim	Açıklama	Koruma
API		American Petroleum Institute	True
Alma noktası	°C	Pour point	True
Parlama noktası	°C	Flash point	True
Yoğunluk	g/cc	Density	True
Viskozite (Kinematik)	cSt	Viscosity (Kinematic)	True
Viskozite (Dinamik)	cP	Viscosity (Dynamic)	True
Distilasyon	% Hacim	Distillation cuts	True
Adhezyon	g/m ²	Adhesion	True
Emülsiyondaki maksimum su içeriği		Maximum water content of the emulsion	True
Emülsifikasyon sabiti		Emulsification constant	True
Araçsız yüz gerilimi (Petrol-Hava)	Dynes/cm	Interfacial tension (Oil-Air)	True
Araçsız yüz gerilimi (Petrol-Su)	Dynes/cm	Interfacial tension (Oil-Water)	True
Araçsız yüz gerilimi (Petrol-Deniz suyu)	Dynes/cm	Interfacial tension (Oil-Sea water)	True
Metal (Nikel)	ppm	Nickel	True
Metal (Vanadyum)	ppm	Vanadium	True
Aromatikler	Ağırlık %	Aromatics	True
Asfalten	Ağırlık %	Asphaltenes	True
Benzen	Ağırlık %	Benzene	True
Naftalen	Ağırlık %	Naphthalene	True
Parafin	Ağırlık %	Paraffins	True
Olefin	Ağırlık %	Olefins	True
Kuruplar	Ağırlık %	Polars	True
Resinler	Ağırlık %	Resins	True
Doymuş hidrokarbonlar	Ağırlık %	Saturated hydrocarbons	True
Sülfür	Ağırlık %	Sulphur	True
Petrol mumu	Ağırlık %	Wax	True
Buharlaştırma katsayısı		Evaporation coefficient	True

Seçili Özellik Bilgisi

Özellik Adı:

Birim:

Açıklama:

Koruma: Var

Kaydet Sil

Şekil 20. Kirletici yönetim modülü özellik yönetimi sekmesi (HYDROTAM-3D, 2022).

- Petrol tanımlamaları ve parametre girişleri yapıldıktan sonra “Kirletici noktaları” bölümünde tanımlanan tesis noktası üzerine gelinerek “şçili noktayı düzenle” sekmesinde tesise yönelik kirleticiler tanımlanmaktadır.

- “Kirletici noktaları” bölümünde yer alan “Excel şablonu oluştur” sekmesi seçildikten “Kirletici verileri girişı için excel şablonu oluşturma” bölümünde parametre değeri giriilmek istenen petrol isimleri seçilerek Excel dosyası indirilmektedir. Excel dosyasına petrole özgü parametre değeri giriilerek kullanıcı tarafından oluşturulan yeni Excel dosyası, “Excel dosyasından veri tabanına kaydet” sekmesi ile programa eklenmektedir. Programda kullanılan örnek Excel veri girişı dosyası Ek-1’de verilmektedir.

- Yukarıdaki adımlar tamamlandığında kullanıcı tanımladığı kirletici noktası üzerine gelerek tesise özgü petrol ve petrol türevi ürün verilerine erişebilmektedir (Şekil 18).

Tez çalışmasının amacına yönelik bu modüle hangi limanların hangi tip petrol elleçlediğı ve bu petrolerin modellemede kullanılacak parametreleri ve değeriğine yönelik İzmit Körfezi’nde CBS tabanlı bir veri havuzu oluşturulmuştur.

2.7.Petrolün Modellenen Süreç ve Mekanizmaları

API ve yoğunluk ilişkisi, petrolün tuzlu sudaki difüzyon katsayısı hesabı, yayılma, buharlaşma emülsifikasyon, çözünme, yoğunluk ve viskozitedeki değışimi gösteren denklemler bu bölümde tanımlanmış olup öncelikle MATLAB’ta kodlanmıştır. Kodlamanın test edilmesi için ilk hesaplamalar Arap-Hafif petrolü ile yapılarak ADIOS2 programıyla karşılaştırılmıştır.

2.7.1. API ve Yoğunluk İlişkisi

API petrolün ne kadar ağır ya da hafif olduğuna dair bilgi veren bir parametredir. Petrol kirliliğinin modellenmesinde uygulanan denklemlerde kullanılmaktadır. Yoğunluğa bağılı olarak petrolün API gravite ölçeğı aşağıdaki (2.10) ve (2.11) eşitliklerinde bulunabilmektedir.

$$API = \left(\frac{141,5}{SG} \right) - 131,5 \quad (2.10)$$

$$SG = \frac{\rho_o}{\rho_w} \quad (2.11)$$

Burada SG bağıl yoğunluk, ρ_o kirleticinin yoğunluğu (g/cm^3), ρ_w suyun yoğunluğudur (g/cm^3). Petrolün özgül ağırlığı ile API arasında ters bir orantı vardır. Yoğunluk arttıkça, API azalmakla birlikte petrolün kalitesi de düşmektedir.

2.7.2. Buharlaştırma

Petrolün buharlaştırma sürecinin simülasyonu Fingas (1999) tarafından belirlenen buharlaştırma modeli kullanılarak yapılmıştır. Buharlaştırma modelinde iki tip denklem belirlenmiştir. Bunlardan biri logaritmik diğeri karekök esasına dayanan denklemlerdir. Buharlaştırma yüzdesi hesabının yapılabilmesi için 180°C 'deki damıtma yüzdesi verisi, sıcaklık ve zaman parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Damıtma verisinin buharlaştırma ile korelasyonu yapılmış ve en uygun korelasyon 180°C 'de çıkması sebebiyle buharlaştırma denklemlerinde belirleyici bir parametre olmuştur. Bu parametre HYDROTAM-3D'de buharlaştırma katsayısı olarak verilmektedir. Petrol tipine uygun damıtma verisinin belirlenmesi için takribi 400 adet petrol tipine ait verinin toplandığı "Handbook of Oil Spill Science and Technology" kitabı kaynak olarak kullanılabilir (Fingas, 2015).

Buharlaştırma mekanizmasının modellenmesinde (Fingas, 1999) tarafından geliştirilen ham petrol ve ağır bileşenli petrol tipleri için kullanılacak logaritmik denklem (2.12) numaralı denklemde verilmektedir.

$$\text{Buharlaştırma yüzdesi} = [0,165 (\%D) + 0,045(T - 15)] \ln(t) \quad (2.12)$$

İşlenmiş petrol ürünlerinden dizel, gazyağı, nafta, jet yakıtı ve kerosen gibi az bileşenli yakıtlarda kullanılacak denklem ise (Fingas, 1999) tarafından geliştirilen (2.13)'te verilen karekök denklemdir.

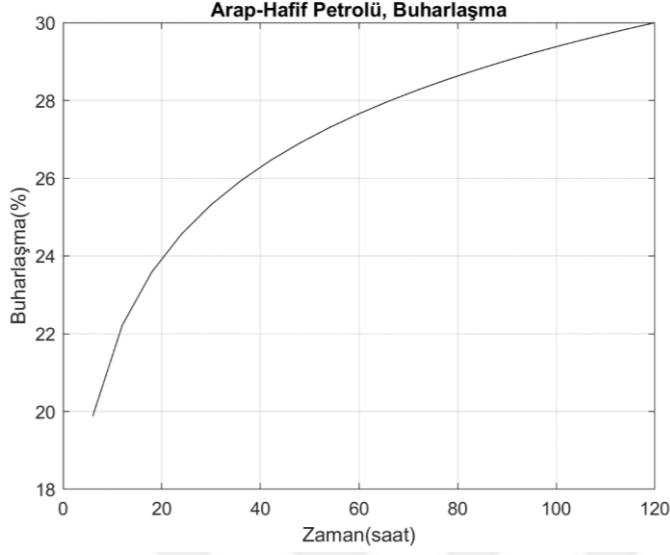
$$\text{Buharlaştırma yüzdesi} = [0,0254 (\%D) + 0,01(T - 15)] \sqrt{t} \quad (2.13)$$

D: 180°C 'deki damıtma yüzdesi (ağırlık olarak) (D parametresi kirletici programına buharlaştırma katsayısı olarak girilmiştir.)

T: Deniz suyu sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)

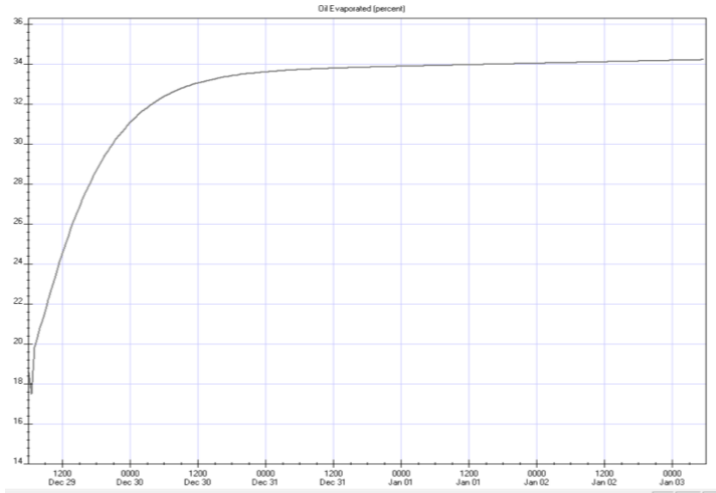
t: zaman (dk)

Aşağıdaki Şekil 21’de Arap-Hafif petrolü için uygulanan buharlaşma sürecinin grafiği verilmektedir. Beş gün sonunda petrolün takribi %30’luk kısmının buharlaştığı görülmektedir.



Şekil 21. Arap-Hafif Petrolü buharlaşma grafiği

Buharlaşma grafiği Şekil 22’de ADIOS2 programı ile karşılaştırılmış ve benzer eğilim çizgisi elde edilmekte olup sonuçlar birbirine yakın çıkmaktadır.



Şekil 22. Arap-Hafif petrolü buharlaşma grafiği – (ADIOS2)

2.7.3. Emülsifikasyon

Emülsifikasyon mekanizması petrolün su ile emülsifiye olduğu ve petrolün kontaminasyon miktarını artırarak hacimsel artışa sebep olan bir mekanizmadır. Ayrıca petrolün yoğunluk ve viskozitesinde önemli ölçüde artışa sebep olan bir mekanizmadır.

Emülsifikasyon oluşumunda Mackay ve diğerleri (1980) tarafından uygulanan denklem (2.14) çalışmaya eklenmiştir. Bu metod farklı modelleme çalışmalarında da kullanılmıştır (Rasmussen, 1985; Wang ve diğerleri, 2008, 2005) . Denkleminde belirtilen kararlı maksimum su içeriği Fingas (2015)'te yer alan petrol verilerinden elde edilebilmektedir.

$$Y_W = \frac{(1 - e^{-K_A K_B (1 + V_W)^2 t})}{K_B} \quad (2.14)$$

Y_W =Emülsiyondaki su içeriği

$K_A = 4.5 \times 10^{-6}$ kabul edilir.

$K_B = 1/Y_W^F$

Y_W^F =Emülsiyondaki kararlı su içeriği 0,84 (Arap-Hafif petrolü için Fingas (2015) (Bu parametre petrol modülünde, emülsiyondaki maksimum su içeriği olarak girilmiştir.)

V_W =rüzgar hızı (m/s)

Literatür çalışmaları emülsifikasyon oluşumu için belli bir süre geçmesi gerektiğini göstermektedir (Fingas, 2015; Lehr ve diğerleri, 2002). Fingas (2015) tarafından yapılan çalışmada emülsifikasyon oluşumu için geçen süre denklem (2.15)'te verilmektedir.

$$y = \frac{a+b}{x^{1,5}} \quad (2.15)$$

y: emülsiyon oluşum zamanı, a ve b değerleri petrolün kararlı, yarı kararlı ve sürüklenmiş olması durumuna göre belirlenen katsayılarıdır.

x: dalga yüksekliği (cm)

y: emülsiyon oluşum zamanı (dk)

Denklem (2.15)'te tanımlanan parametrelerin alacağı değerler Tablo 17'de verilmektedir.

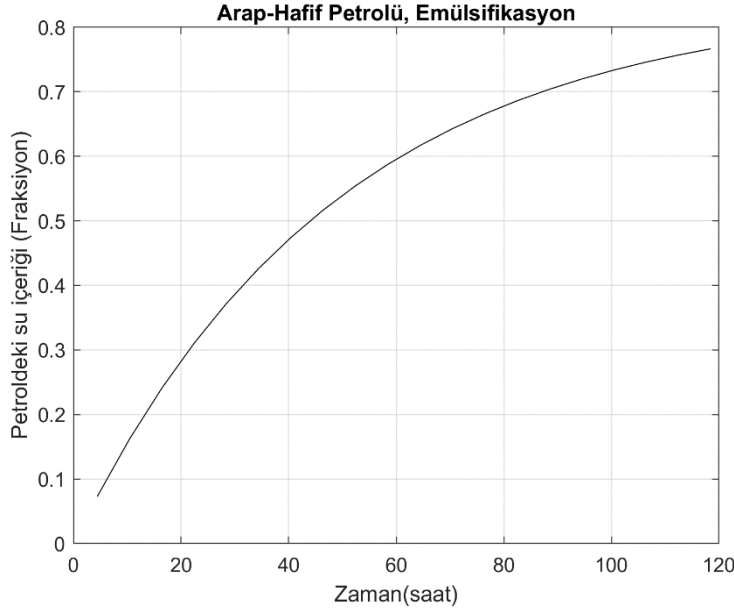
Tablo 17. Petrolün kararlılık durumuna göre tanımlanacak katsayılar (Fingas, (2015)’ten alınmıştır).

Petrolün kararlılık durumu	a	b
Kararlı	27,1	7520
Yarıkararlı	47	49100
Sürüklenmiş	30,8	18300

Petrolün durumuna kararlılık (stability) hesaplaması ile karar verilmektedir. Yoğunluğu 0,94’ten büyük olan petroller sürüklenmiş (entrained) kategorisinde kabul edilmektedir. Yoğunluğu 0,85’ten küçük olan petroller ise karasız olarak kabul edilir. Petrolün kararlı ya da yarı kararlı olması durumu regresyon modeli ile hesaplanmaktadır (Fingas 2011). Stabilitate hesabı asfaltten, reçine, doymuşlar, yoğunluk ve viskozite ile ilgili parametreleri içermektedir. Kararlılık hesabı bu parametrelere ait veriler elde edildiğinde yapılabilmekle birlikte Fingas (2015) tarafından hazırlanan petrol verilerine göre birçok petrolün kararlılık durumu elde edilebilmektedir.

Bu hesaplamalar bazı petrol tipleri için Fingas (2015)’te verilmekle birlikte modelleme öncesinde bilinmesi gereken bir değişken olarak hesaplamada ortaya çıkmaktadır. Arap-Hafif petrolü Fingas (2015)’te kararlı olarak hesaplandığı için denklemde $a=27.1$ $b=7520$ olarak hesaba alınmıştır.

Emülsifikasyon mekanizmasının zamana göre değişimi Şekil 23’te verilmektedir. Emülsifikasyon mekanizması logaritmik bir artış seyretmektedir. Petrol beş günün sonunda hacminin yaklaşık %78’i kadar su içermektedir.



Şekil 23. Arap-Hafif petrolü emülsifikasyon süreci grafiği

2.7.4. Çözünme

Petrolün döküldüğü ortam koşullarına göre difüzyon katsayısı değişmektedir Hamam ve diğerleri (1987) petrolün sudaki çözünürlüğünün difüzyon kontrolünde olduğunu teyit etmişlerdir. Difüzyon katsayısı çözünme sürecinin hesabında denkleme eklenecek bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Difüzyon katsayısı API, tuzluluk ve sıcaklık değerlerinin fonksiyonu olarak verilmiştir (Hamam, 1987; Hamam ve diğerleri, 1988).

Sıcaklık, tuzluluk ve API değerine bağlı tuzlu suda petrolün difüzyon katsayısı formülü denklem (2.16)'da ifade edilmektedir.

$$D_p = 3,20 \times 10^{-4} \times API^{0,67} \times T^{1,62} \times e^{I/2} \quad (2.16) \text{ (Hamam ve diğerleri, 1988)}$$

D_p : Petrolün difüzyon katsayısı (cm^2/h) T : sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), API: Amerikan Petrol Enstitüsü gravitesi I : Tuzluluk (psu)

Buharlaşmaya maruz kalan petrol bileşenlerinin bir kısmı yüzey tabakasından su kolonuna doğru çözünme sürecine katılabilir. Çözünme mekanizması oransal olarak dikkate alındığında ihmal edilebilir bir süreç olarak görülse de deniz suyundaki toksisiteyi artırması sebebiyle çevresel sonuçları ihmal edilebilir değildir. Bu sebeple petrol kirliliği dağılım

modellerinde çoğunlukla çözünme mekanizması hesaba katılmaktadır. Cohen ve diğreleri, (1980) tarafından önerilen formül denklem (2.17)'de belirtilmektedir.

$$S_d = K_d \times A \times S \quad (2.17)$$

S_d : Petrolün toplam çözünme oranı (g/h)

K_d : çözünme kütle transfer katsayısı (m/h)

A : Petrolün yayıldığı alan (m^2)

S : Petrolün sudaki çözünürlüğü (t anında)

2.7.4.1. Petrolün zamana bağlı çözünürlüğünün hesabı

Sızıntıdan sonra petrolün sudaki çözünürlüğü bozunma süreçlerinin etkisinde hızlıca azalmaktadır. Shen ve Yapa (1988) tarafından yapılan çalışmada da referans verildiği gibi Huang (1982) tarafından petrol çözünürlüğünün zamana bağlı değişimi denklem (2.18)'te verilmektedir.

$$S = S_0 \exp(-\alpha \times t) \quad (2.18)(\text{Huang, 1982})$$

Burada S_0 petrolün sudaki başlangıç çözünürlüğüdür (g/m^3), α yok olma sabiti ve t zaman (saat) olarak ifade edilmektedir.

Bununla birlikte Mishra ve Kumar (2015) yaptığı modelleme çalışmasında petrol çözünürlüğünü buharlaşma fraksiyonunun bir fonksiyonu olarak denklem (2.19)'da tanımlamıştır.

$$S = S_0 \exp(-12 \times F_v) \quad (2.19) (\text{Mishra ve Kumar, 2015})$$

Burada, S_0 petrolün sudaki başlangıç çözünürlüğüdür (g/m^3) ve F_v buharlaşma fraksiyonudur.

2.7.4.2. K_d çözünme kütle transfer katsayısı hesabı

Riazi ve Edalat (1996) tarafından da kullanılan ve referans olarak verilen U.S Department of Interior 1987 raporunda (Grigalunas ve diğreleri, 1987) K_d çözünme kütle transfer katsayısı denklem (2.20)'de tanımlanmıştır.

$$K_{dis} = 0,035 \left(\frac{uL}{v} \right)^{0,8} \left(\frac{v}{D_v} \right)^{0,33} \frac{D_v}{L} \quad (2.20) \text{ (Grigalunas ve diğeri, 1987)}$$

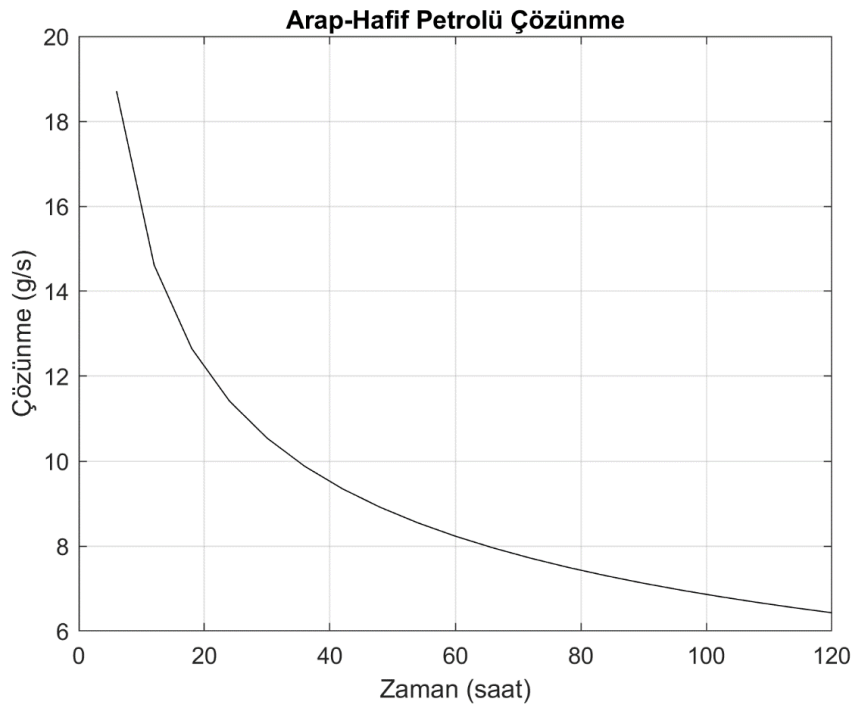
K_{dis} : çözünme kütle transfer katsayısı (m/s)

v : deniz suyunun kinematik viskozitesi (m^2/s)

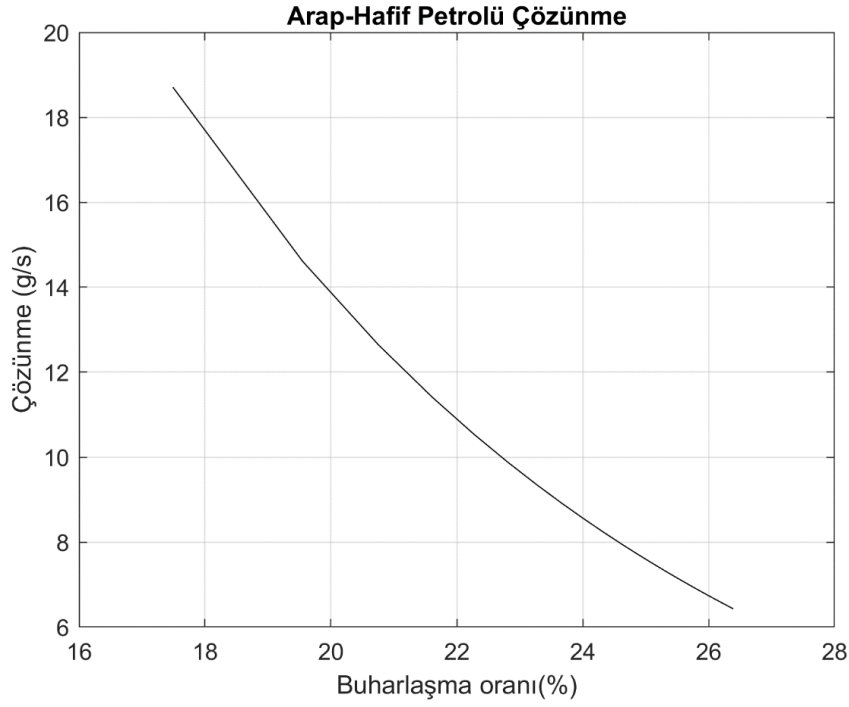
D_v : Petrolün difüzyon katsayısı (m^2/s)

L : dökülen petrolün yüzey alanının kare kökü. L zaman bağımsız bir parametre olmakla birlikte sürecin başlangıç aşamasıyla ilgili önemli etkiye sahiptir.

Arap-Hafif petrolü için çözünme mekanizması zamana ve buharlaşmaya bağlı olarak Şekil 24 ve 25’de verilmektedir. Çözünme zamana ve buharlaşma fraksiyonuna bağlı olarak azalmaktadır. Böylelikle ilk bozunma mekanizması olan buharlaşmanın çözünme mekanizması üzerindeki etkisi de sayısal olarak ifade edilebilmektedir.



Şekil 24. Arap-Hafif petrolü zamana bağlı çözünme grafiği



Şekil 25. Arap-Hafif petrolü buharlaşmaya bağlı çözünme grafiği

2.7.5. Buharlaşma ve emülsifikasyon etkisinde yoğunluk ve viskozitedeki değişim

Yoğunluk ve viskozitedeki değişim buharlaşma ve yoğunluk fraksiyonlarının etkisinde aşağıdaki denklem takımlarıyla verilmektedir.

2.7.5.1. Yoğunluktaki değişim

Yoğunluktaki değişim buharlaşma ve emülsifikasyon etkisinde denklem (2.21) ile belirlenmektedir. Petrolün yoğunluğu suyun yoğunluğunu geçemeyeceğinden denklem yoğunluktaki stabiliteyi bu doğrultuda hesaba katmaktadır.

$$\rho = (1 - Y_w)[(0.6\rho_{oil} - 0.34)F_v + \rho_{oil}] + Y_w\rho_w \quad (2.21)$$

ρ : kalan petrolün yoğunluğu

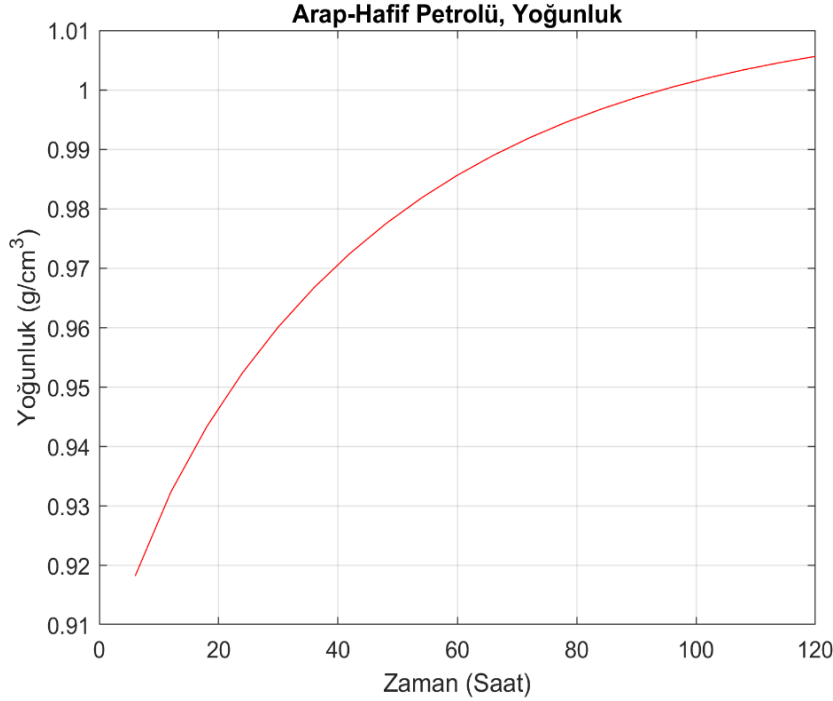
F_v =Buharlaşma fraksiyonu

Y_w : emülsifikasyon fraksiyonu

ρ_w : suyun yoğunluğu

ρ_{oil} : petrolün yoğunluğu

Arap-Hafif petrolü için yoğunluk değişimi grafiği Şekil 26’da gösterilmektedir. Sonuçlar ADIOS2 ile tutarlı bir eğilim vermektedir.



Şekil 26. Arap-Hafif petrolü zamana bağlı yoğunluk değişimi grafiği

2.7.5.2. Viskozitedeki değişim

Buharlaştırma ve emülsifikasyon fraksiyonlarına bağlı olarak viskozitedeki değişimi denklem (2.22) vermektedir. Burada tanımlanan kinematik viskozite değeri olup cSt birimi ile ifade edilmektedir.

$$v = v_0 \times 10^{4F_v} \exp[2.5Y_w / (1 - 0.654Y_w)] \quad (2.22)$$

v = kalan petrolün viskozitesi (cSt)

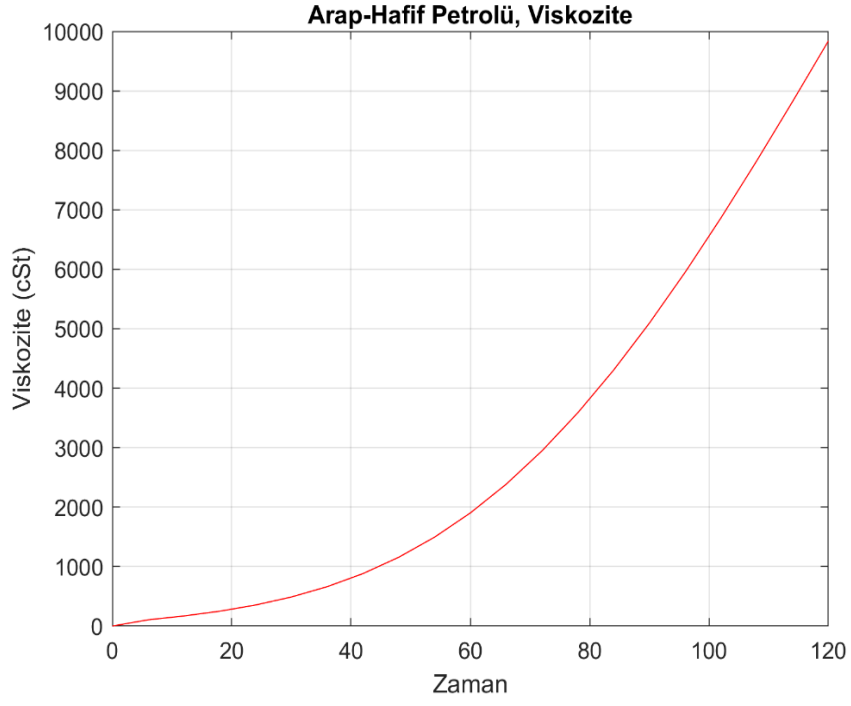
v_0 =başlangıç viskozitesi.

F_v =Buharlaştırma fraksiyonu

Y_w : emülsifikasyon fraksiyonu

Arap-Hafif petrolü için viskozite değişimi grafiği Şekil 27’de gösterilmektedir. Sonuçlar ADIOS2 ile tutarlı bir eğilim göstermektedir. İlk iki gün petrolün viskozitesindeki

artışın daha az olduğu belirlenmiştir. Viskozite ikinci günden sonra hızlı bir artış eğilimi göstermektedir.



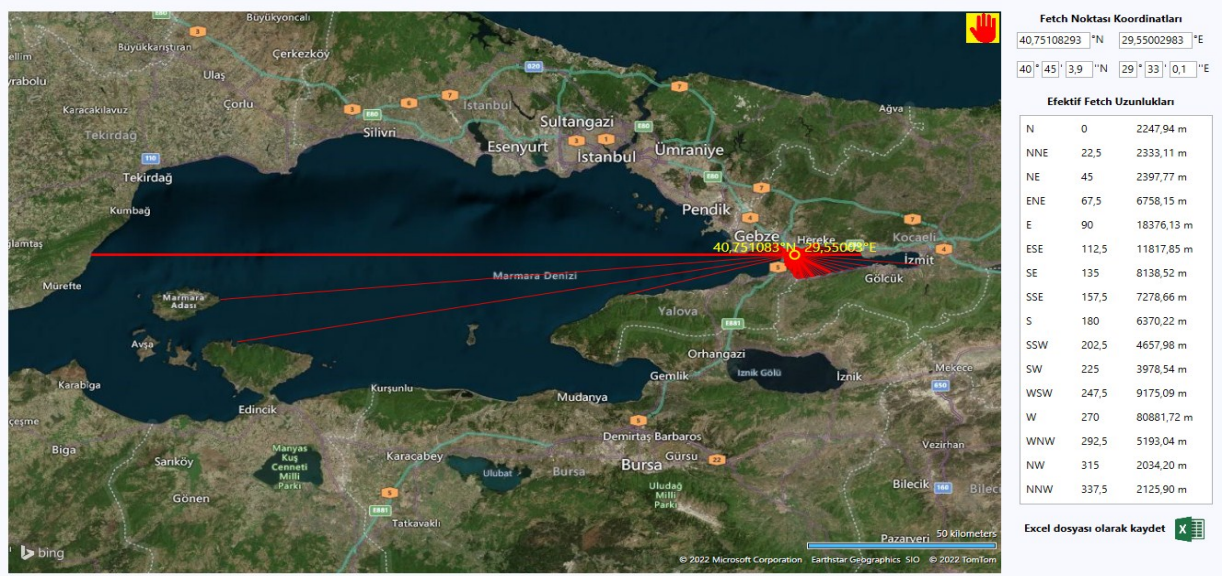
Şekil 27. Arap-Hafif petrolü zamana bağlı viskozite değişimi grafiği

3. BULGULAR

3.1.HYDROTAM-3D Uygulamaları

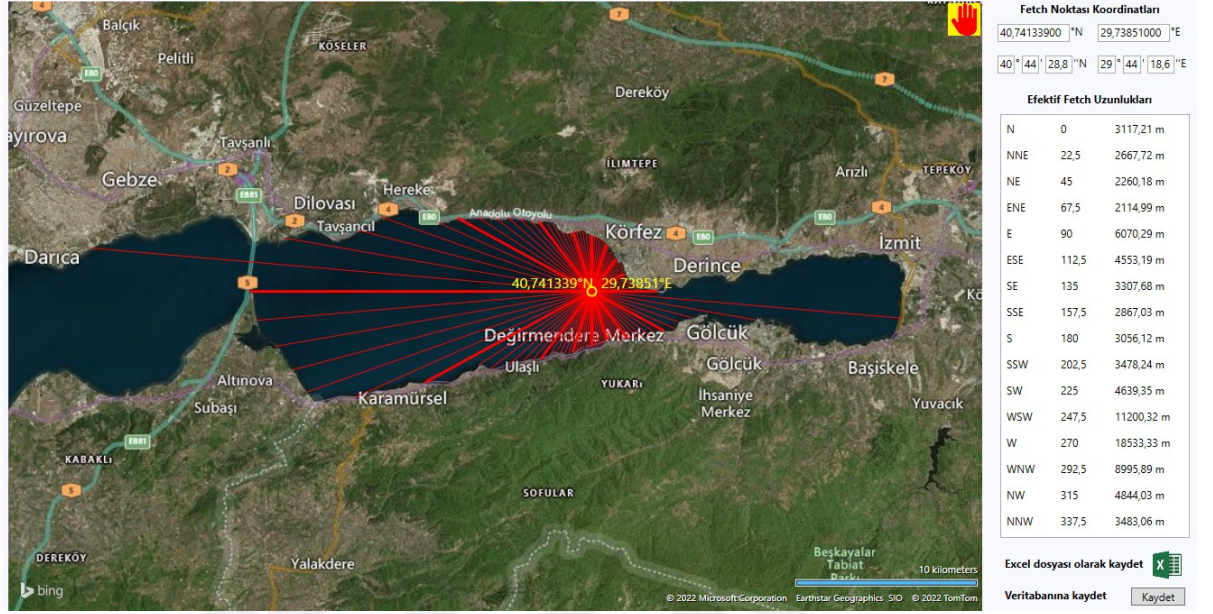
3.1.1. Feç mesafesi

Feç mesafesi, herhangi bir büyük topografik engele (dağ, tepe, burun vs.) takılmadan dalga oluşturabilecek rüzgarın kesintisiz esbildiği bir kıyıdan diğer kıyıya deniz üzeri dalga kabarma mesafesi olarak tanımlanmaktadır. İzmit Körfezi dar bir basende yer aldığı için İzmit Körfezi'nin ortasındaki bir noktanın Kuzey'e , Güney'e ve Doğu'ya doğru olan feç mesafeleri oldukça küçüktür. Fakat Batıya doğru feç mesafesi (80881,72 m), Marmara'nın Doğudan Batıya en uzun mesafesi olan Tekirdağ kıyılarına kadar uzanmaktadır (Şekil 28). Örnek olarak İzmit Körfezi'nde hakim rüzgar Poyraz rüzgarları (Bölüm 3.1.2) olup Dilovası bölgesinde belirlenen noktada bir petrol kazası meydana gelmesi durumunda kirlilik Erdek, Marmara Adası ve Avşa Adası Kıyılarına kadar ilerleyecektir.



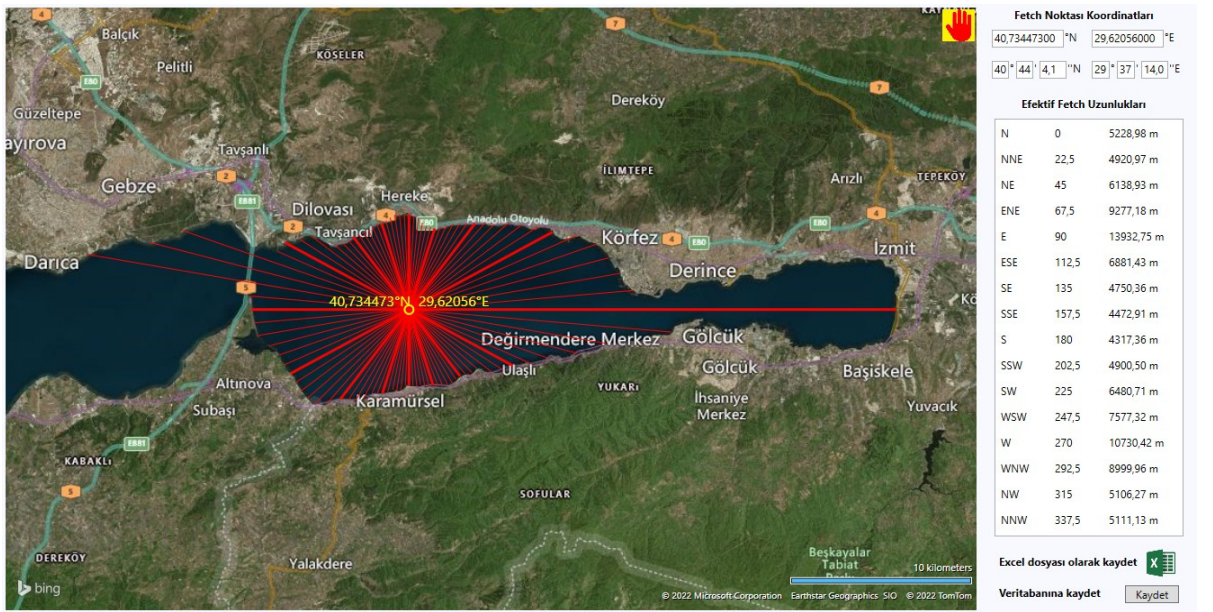
Şekil 28. İzmit Körfezi Merkez Havzası Dilovası Bölgesi'nde belirlenen noktaya ait feç mesafeleri (HYDROTAM-3D, 2022).

Körfez Bölgesine ait belirlenen noktanın feç mesafeleri Şekil 29’da vermekte olup en uzak dalga kabarma mesafesinin Batı yönünde (18533,33 m) olduğu belirlenmiştir.



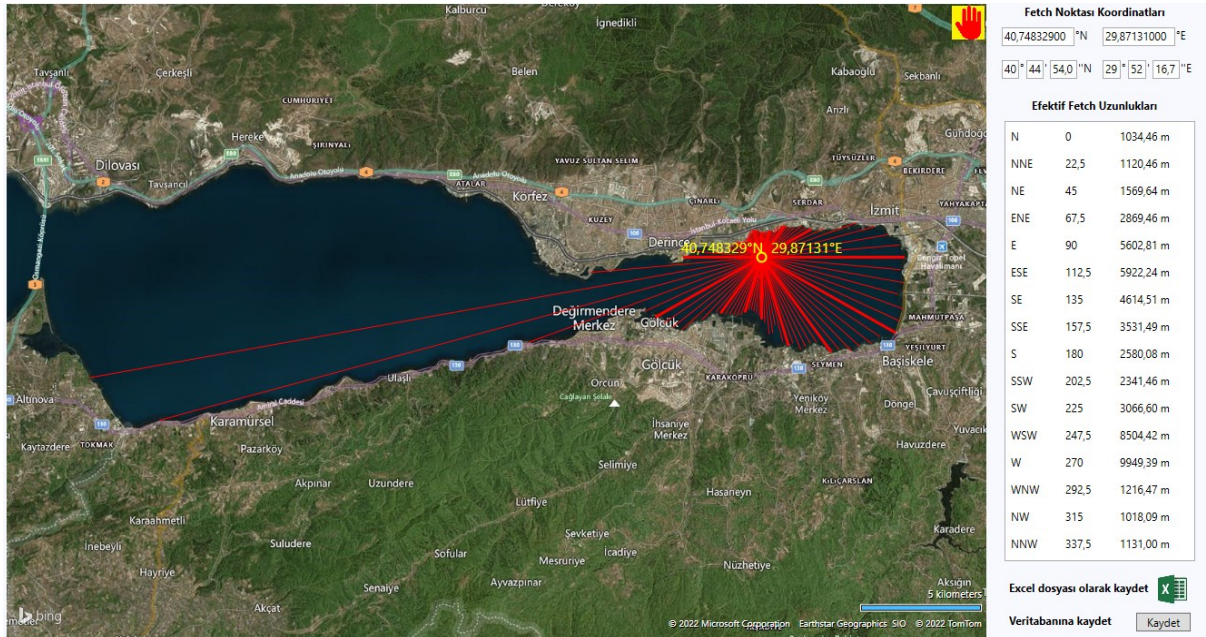
Şekil 29. İzmit Körfezi Merkez Havzası Körfez Bölgesi’nde belirlenen noktaya ait feç mesafeleri (HYDROTAM-3D, 2022).

Merkez havza orta bölgesine ait belirlenen noktanın feç mesafeleri Şekil 30’da verilmekte olup en uzun dalga kabarma mesafesinin Doğu yönünde (13932,75 m) olduğu belirlenmiştir.



Şekil 30. İzmit Körfezi Merkez Havza-Orta Bölgesi'nde belirlenen noktaya ait feç mesafeleri (HYDROTAM-3D, 2022).

Derince bölgesine ait belirlenen noktanın feç mesafeleri Şekil 31'de verilmekte olup en uzun dalga kabarma mesafesinin Batı-Güneybatı yönünde olduğu belirlenmiştir.



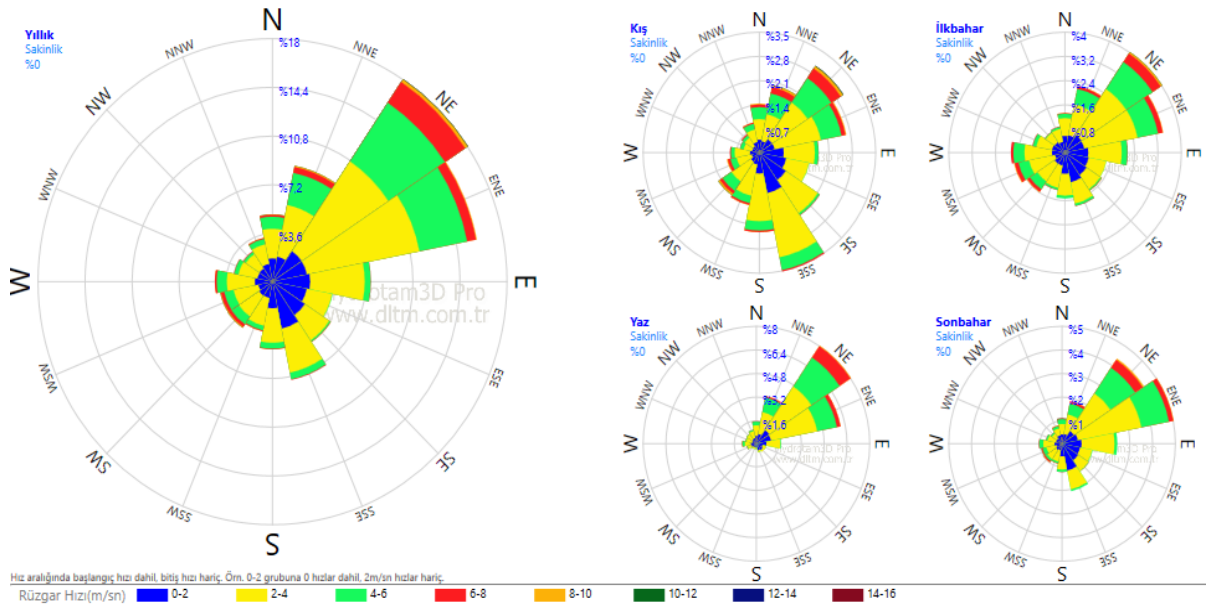
Şekil 31. İzmit Körfezi Doğu Havzası Derince Bölgesi'nde belirlenen noktaya ait feç mesafeleri (HYDROTAM-3D, 2022).

3.1.2. Rüzgar iklimi

İzmit Körfezi'nde üç farklı bölgenin Rüzgâr iklimi HYDROTAM-3D'de yer alan rüzgar iklimi modülü versiyon 0.0.7 ile elde edilmiştir. ECMWF Operasyonel Arşiv verileri HYDROTAM-3D rüzgâr iklimi modülü içerisinde yer almakta olup aylık, mevsimsel ve yıllık rüzgar gülleri elde edilmekte ve verilerin birbirleri ile kolayca karşılaştırılabilme imkanı sunulmaktadır. 2000-2019 yıllarını kapsayan toplam yirmi yıllık kesintisiz zaman serisi halinde veri ile rüzgar iklimi mevsimsel ve yıllık olarak incelenmiştir.

3.1.2.1. Merkez havza – Batı (Dilovası Bölgesi) rüzgar iklimi

Dilovası Bölgesi'ni temsil eden yıllık ve mevsimlik rüzgâr gülü grafikleri Şekil 32'de verilmektedir.



Şekil 32. Dilovası Bölgesi yıllık ve mevsimsel rüzgar gülleri (HYDROTAM-3D, 2022).

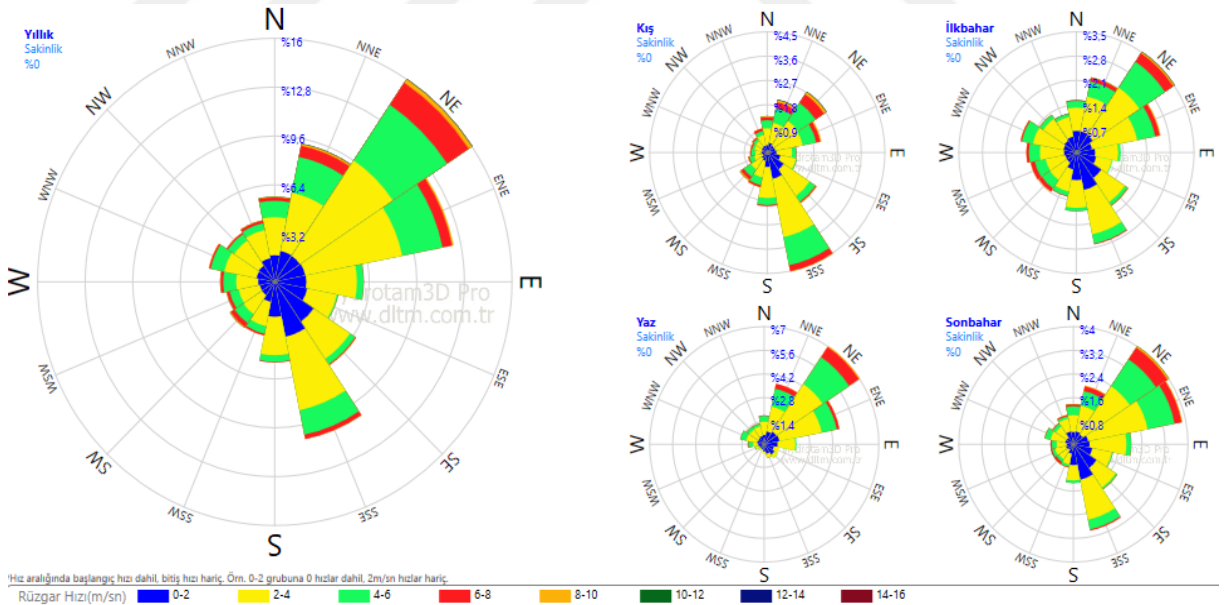
Dilovası Bölgesi'nde belirlenen bakı noktasında yıllık ve mevsimsel rüzgar güllerine ait hakim rüzgar yönü esme yüzdesi, hakim rüzgarın maksimum hızı, maksimum hızın yönü ve şiddeti gibi özet bilgiler Tablo 18'de sunulmaktadır. Yıllık rüzgar iklimi değerlendirildiğinde Kuzeydoğu (KD) ve Doğu-Kuzeydoğu (DKD) yönlerinden esen rüzgarların hakim olduğu görülmektedir ortalama hızları ise sırasıyla 3,75 m/s ve 3,30 m/s'dir. Kış mevsiminde Güney-Güneydoğu (GGD) ve KD yönünden esen hakim rüzgarlar görülmektedir. Diğer mevsimlerde is KD ve DKD yönünden esen rüzgarların hakim olduğu belirlenmiştir. Hakim rüzgarların ortalama hızları 2,6 ve 3,77 m/s arasında değişmektedir. Maksimum hızların esme süreleri çok az olmakla birlikte en yüksek kış mevsiminde 13,8 m/s'ye çıkmaktadır. Sonbahar mevsiminde diğer mevsimlerden farklı olarak Batı-Güneybatı (BGB) yönünden yüksek hızda esen rüzgar meydana gelmektedir.

Tablo 18. Dilovası Bölgesi yıllık ve mevsimsel rüzgar iklimi verileri

	Hakim rüzgar yönü esme yüzdesi	Hakim rüzgar maksimum hız (m/s)	Hakim rüzgar ortalama hızı (m/s)	Maksimum hızın yönü ve şiddeti (m/s)
Yıllık	KD (%17,45)	13,8	3,75	KD – 13,8
	DKD (%15,47)	9,1	3,3	
Kış	GGD (%12,76)	7,21	2,6	KD – 13,8
	KD (%11,01)	13,8	3,9	
İlkbahar	KD (%13,91)	11,66	3,59	KD – 11,66
	DKD (%11,92)	9,02	3,23	
Yaz	KD (%28,47)	9,05	3,77	KD – 9,05
	DKD (%21,48)	8,38	3,27	
Sonbahar	DKD (%18,77)	9,07	3,37	BGB – 10,89
	KD (%16,29)	9,33	3,76	

3.1.2.2. Merkez havza – Doğu (Körfez Bölgesi) rüzgar iklimi

Körfez Bölgesi’ni temsil eden yıllık ve mevsimlik rüzgâr gülleri Şekil 35’te verilmektedir.



Şekil 33. Körfez Bölgesi yıllık ve mevsimsel rüzgar gülleri (HYDROTAM-3D, 2022).

Körfez Bölgesi’nde belirlenen bakı noktasında yıllık ve mevsimsel rüzgar güllerine ait hakim rüzgar yönü esme yüzdesi, hakim rüzgarın maksimum hızı, maksimum hızın yönü ve

şiddeti gibi özet bilgiler Tablo 19’da sunulmaktadır. Yıllık rüzgar iklimi incelendiğinde KD ve DKD yönlerinden esen rüzgarların hakim olduğu ve hızlarının 3,81 m/s ve 3,77m/s olduğu belirlenmiştir. Kış mevsiminde GGD ve KD yönünden esen hakim rüzgarlar görülmektedir. Diğer mevsimlerde is KD ve DKD yönünden esen rüzgarların hakim olduğu belirlenmiştir. Hakim rüzgarların ortalama hızları 3,29 ve 4,13 m/s arasında değişmektedir. Maksimum hızların esme süreleri çok az olmakla birlikte en yüksek kış mevsiminde 13,83 m/s’ye çıkmaktadır.

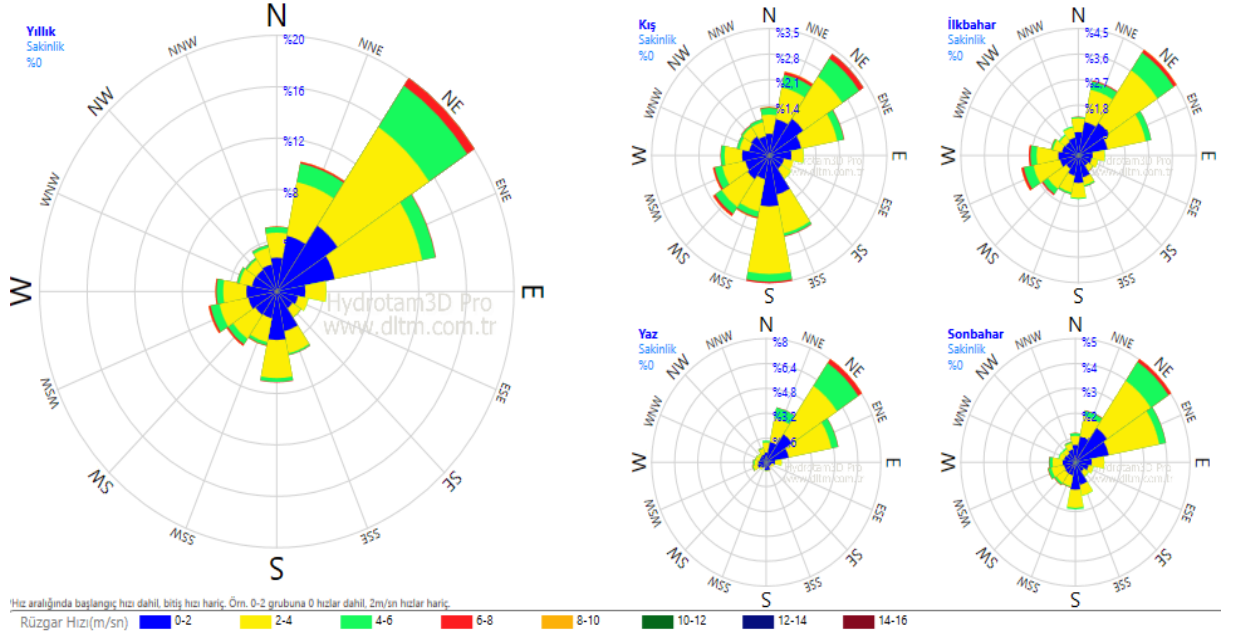
Tablo 19. Körfez Bölgesi yıllık ve mevsimsel rüzgâr iklimi verileri

	Hakim rüzgar yönü esme yüzdesi	Hakim rüzgar maksimum hız (m/s)	Hakim rüzgar ortalama hızı (m/s)	Maksimum hızın yönü ve şiddeti (m/s)
Yıllık	KD (%15,57)	13,83	3,81	KD – 13,83
	DKD (%11,95)	9,84	3,37	
Kış	GGD (%17,63)	9,77	3,29	KD – 13,83
	KD (%10,65)	13,83	4,13	
İlkbahar	KD (%12,43)	12,62	3,59	KD – 12,62
	DKD (%9,04)	9,84	3,33	
Yaz	KD (%24,28)	8,23	3,74	KB – 9,26
	DKD (%16,17)	8,15	3,14	
Sonbahar	KD (%14,84)	10,17	3,91	B – 10,78
	DKD (%14,33)	9,41	3,52	

3.1.2.3.Doğu havza (Derince Bölgesi) rüzgar iklimi çıktıları

Derince Bölgesi’ni temsil eden yıllık ve mevsimlik rüzgâr gülü grafikleri Şekil 34’te verilmektedir.

Derince Bölgesi’nde belirlenen bakı noktasında yıllık ve mevsimsel rüzgar güllerine ait hakim rüzgar yönü esme yüzdesi, hakim rüzgarın maksimum hızı, maksimum hızın yönü ve şiddeti gibi özet bilgiler Tablo 20’de sunulmaktadır. Yıllık hakim rüzgar KD yönünden ortalama 2,93 m/s hızla esmektedir. Kış mevsiminde Güney (G) ve KD yönünden esen hakim rüzgarlar görülmektedir. Bu rüzgarların esme yüzdeleri birbirlerine yakın olup sırasıyla %12,71 ve %12,17’dir. Diğer mevsimlerde is KD ve DKD yönünden esen rüzgarların hakim olduğu belirlenmiştir. Hakim rüzgarların ortalama hızları 2,35 ve 3,08 m/s arasında değişmektedir. Maksimum hızların esme süreleri çok az olmakla birlikte en yüksek kış mevsiminde 12,31 m/s’ye çıkmaktadır.



Şekil 34. Derince Bölgesi yıllık ve mevsimsel rüzgar gülleri (HYDROTAM-3D, 2022)

Tablo 20. Derince Bölgesi yıllık ve mevsimsel rüzgar iklimi verileri

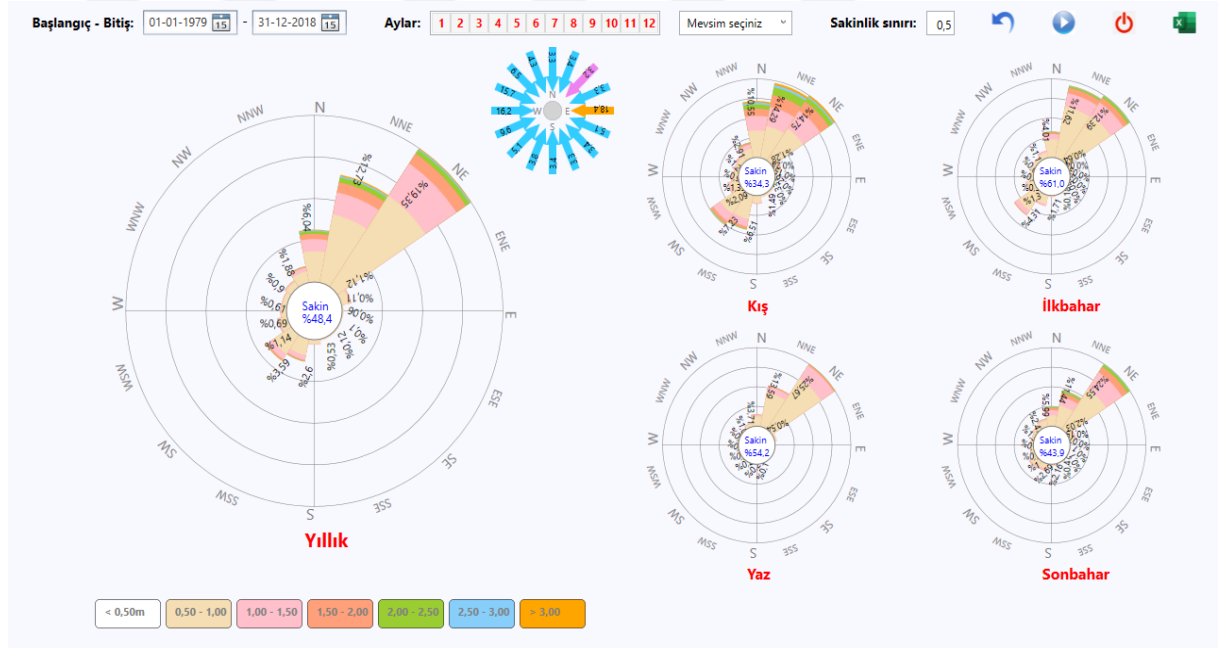
	Hakim rüzgar yönü esme yüzdesi	Hakim rüzgar maksimum hız (m/s)	Hakim rüzgar ortalama hızı (m/s)	Maksimum hızın yönü ve şiddeti (m/s)
Yıllık	KD (%19,71)	12,31	2,93	KD – 12,31
Kış	G (%12,71)	7,36	2,35	KD – 12,31
	KD (%12,17)	12,31	2,84	
İlkbahar	KD (%16,81)	9,97	2,87	KD – 9,97
	DKD (%10,56)	6,66	2,36	
Yaz	KD (%29,94)	8,41	3,08	KD – 8,41
	DKD (%19,12)	6,64	2,54	
Sonbahar	KD (%19,8)	8,53	2,82	KB – 9,89
	DKD (%15,89)	7,22	2,41	

İzmit Körfezi’nde üç bölgede en yüksek rüzgar hızı Dilovası ve Körfez bölgesinde 13,8 m/s ve Derince bölgesinde 12,3 m/s’dir. Bu rüzgarlar Bofor skalasında (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022) kuvvetli rüzgar olarak tanımlanmaktadır ve altıncı dereceye tekabül etmektedir. En yüksek hıza sahip rüzgarların yönü KD’dendir ve en yüksek hız kış mevsiminde gözlenmektedir, fakat bu rüzgarların esme süreleri düşük olup yıl içinde %0,01

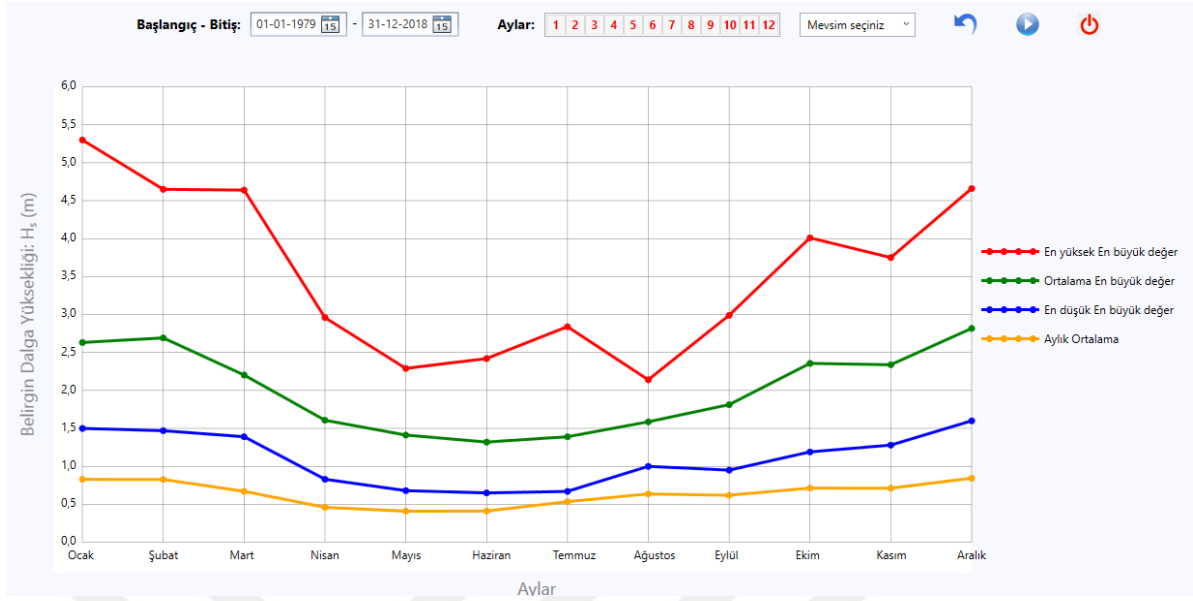
paya sahiptirler. Hakim rüzgarların ortalama hızı ise yaklaşık olarak 3-4 m/s arasında değişmektedir. Bu rüzgar hızları Bofor skalasında üçüncü dereceye tekabül etmekte olup tatlı rüzgar olarak tanımlanmaktadır.

3.1.3. Dalga İklimi

HYDROTAM-3D’de İzmit Körfezi’nin dalga iklimi modellenmesi yapılmıştır. İzmit Körfezi’nin Merkez havza-orta bakı noktası için dalga gülü Şekil 35’te verilmekte olup aylık ortalama ve uç değer dalga yüksekliklerine ait grafik Şekil 38’de verilmektedir. Dalga iklimi çalışmasında kabarma için sakinlik eşiği 0,5 m seçilmiş olup, Şekil 36’ya göre yıllık dalgaların %48,4’ü sakinlik eşiğindedir. İlkbahar mevsiminde kabarmaların %61’i sakinlik eşiğindedir. Kış mevsiminde ise kabarmaların %34,3’ü sakinlik eşiğindedir. Aylık ortalama belirgin dalga yüksekliği 0,4 m ile 0,8 m arasında değişmektedir.



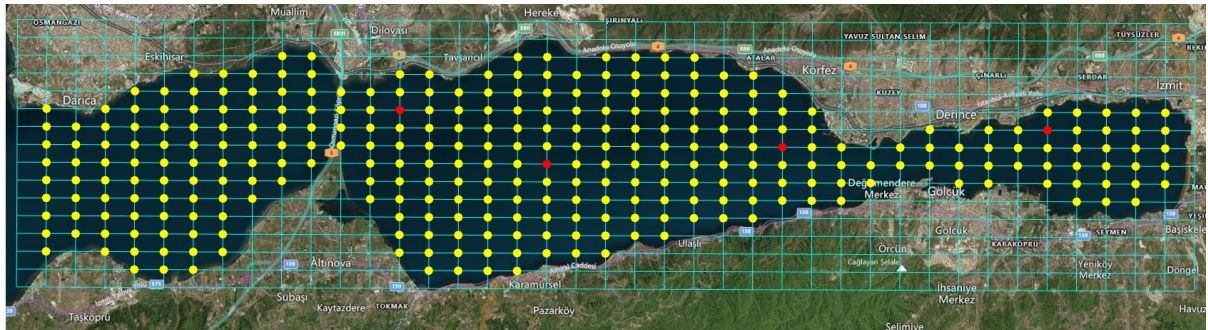
Şekil 35. İzmit Körfezi dalga gülü (HYDROTAM-3D, 2022).



Şekil 36. İzmit Körfezi aylık ortalama ve uç değer dalgı yükseklikleri (HYDROTAM-3D, 2022).

3.1.4. Akıntı iklimi

Akıntı modeli çalışmalarında başlangıç koşullarında sakin su seviyesi kabul edilmiş olup ECMWF operasyonel arşivinden elde edilen 2000-2019 dönemine ait altışar saatlik rüzgâr verileri zaman serisi kullanılarak, altışar saatlik yıllık akıntı düzeni zaman serisi elde edilmiştir. HYDROTAM-3D’de tesis konumlarına göre akıntı incelenecek bakı noktaları belirlenmiştir. Hidrodinamik model çözüm ağı ve petrol terminali lokasyonlarına göre belirlenen inceleme noktaları Şekil 37’de verilmekte olup soldan sağa sırasıyla Merkez havza-Batı (Dilovası Bölgesi), Merkez havza-orta, Merkez havza – Doğu (Körfez Bölgesi) ve Doğu havza (Derince Bölgesi) olmak üzere tanımlanmıştır.



Şekil 37. Hidrodinamik model akıntı çözüm ağı ve bakı noktaları (HYDROTAM-3D, 2022).

3.1.4.1. Merkez havza – Batı (Dilovası) akıntı iklimi

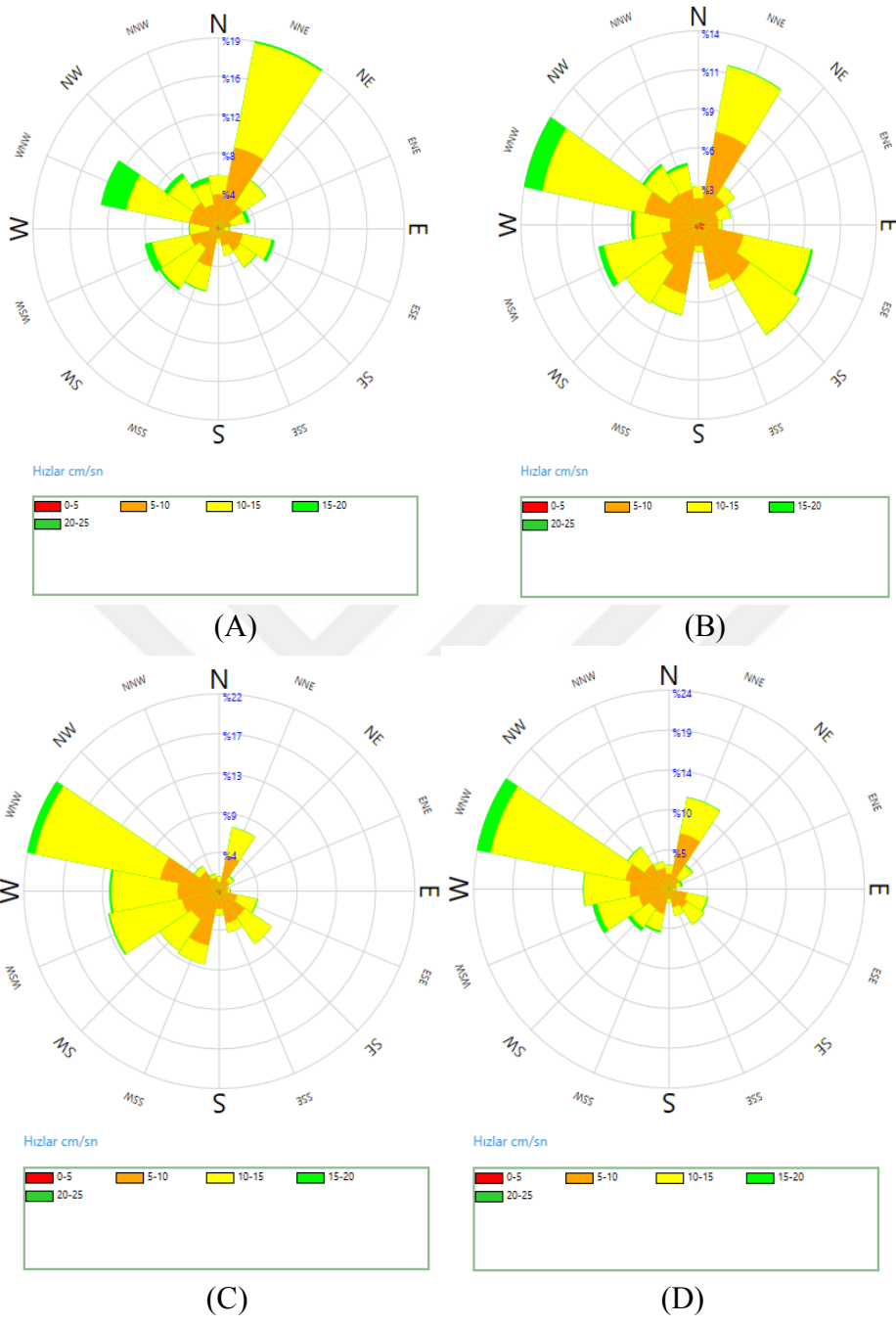
Dilovası Bölgesi'ne ait yüzey akıntıları gösteren yıllık kombine akıntı gülü grafiği Şekil 38'de verilmektedir.



Şekil 38. Dilovası bölgesi yıllık akıntı gülü (HYDROTAM-3D, 2022).

Dilovası Bölgesi'ne ait yüzey akıntıları gösteren mevsimsel akıntı gülleri Şekil 39'da verilmektedir.

Dilovası Bölgesi'nde belirlenen bakı noktasında modelleme sonuçlarıyla elde edilen yıllık ve mevsimsel akıntı gülleri göre hakim ve en yüksek akıntı bilgileri Tablo 21'de verilmektedir. Yıllık hakim akıntı Batı-Kuzeybatı (BKB) ve Kuzey-Kuzeydoğu (KKD) yönüne doğru olup akıntıların ortalama hızları sırasıyla 11,45 cm/s ve 9,73 cm/s ve maksimum hızlarının 20,04 ve 17,57 cm/s olduğu belirlenmiştir. Kış mevsiminde hakim akıntı KKD ve BKB yönüne doğru olduğu belirlenmiştir. Burada kış döneminde GGD yönünden esen rüzgarların etkisi görülmektedir. Diğer mevsimlerde hakim akıntının yönü BKB olarak belirlenmiştir. Mevsimsel ortalama akıntı hızları 9,47 cm/s ve 11,45 cm/s arasında değişmektedir.



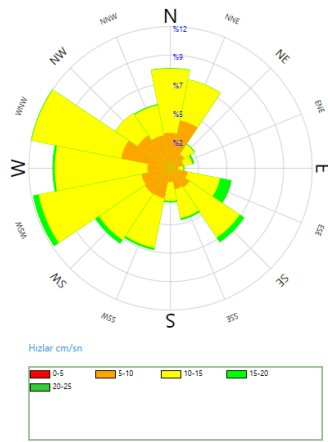
Şekil 39. Dilovası bölgesi mevsimsel akıntı gülleri (A) kış, (B) ilkbahar, (C) yaz, (D) sonbahar (HYDROTAM-3D, 2022).

Tablo 21. Dilovası bölgesi yıllık ve mevsimsel akıntı gülü özet tablosu

	Hakim akıntı yönü	Hakim akıntının maksimum hızı (cm/s)	Hakim akıntının ortalama hızı (cm/s)	Maksimum akıntı hızı ve yönü (cm/s)
Yıllık	BKB	20,04	11,45	BKB – 20,04
	KKD	17,57	9,73	
Kış	KKD	19,69	12,07	DGD – 19,83
	BKB	17,57	10,17	
İlkbahar	BKB	20,04	11,32	BKB – 20,04
	KKD	15,4	9,47	
Yaz	BKB	17,88	10,69	BKB – 17,88
	BGB	16,53	10,73	
Sonbahar	BKB	20,04	11,45	BKB – 20,04
	BGB	16,83	10,76	

3.1.4.2. Merkez havza-Doğu (Körfez) akıntı iklimi

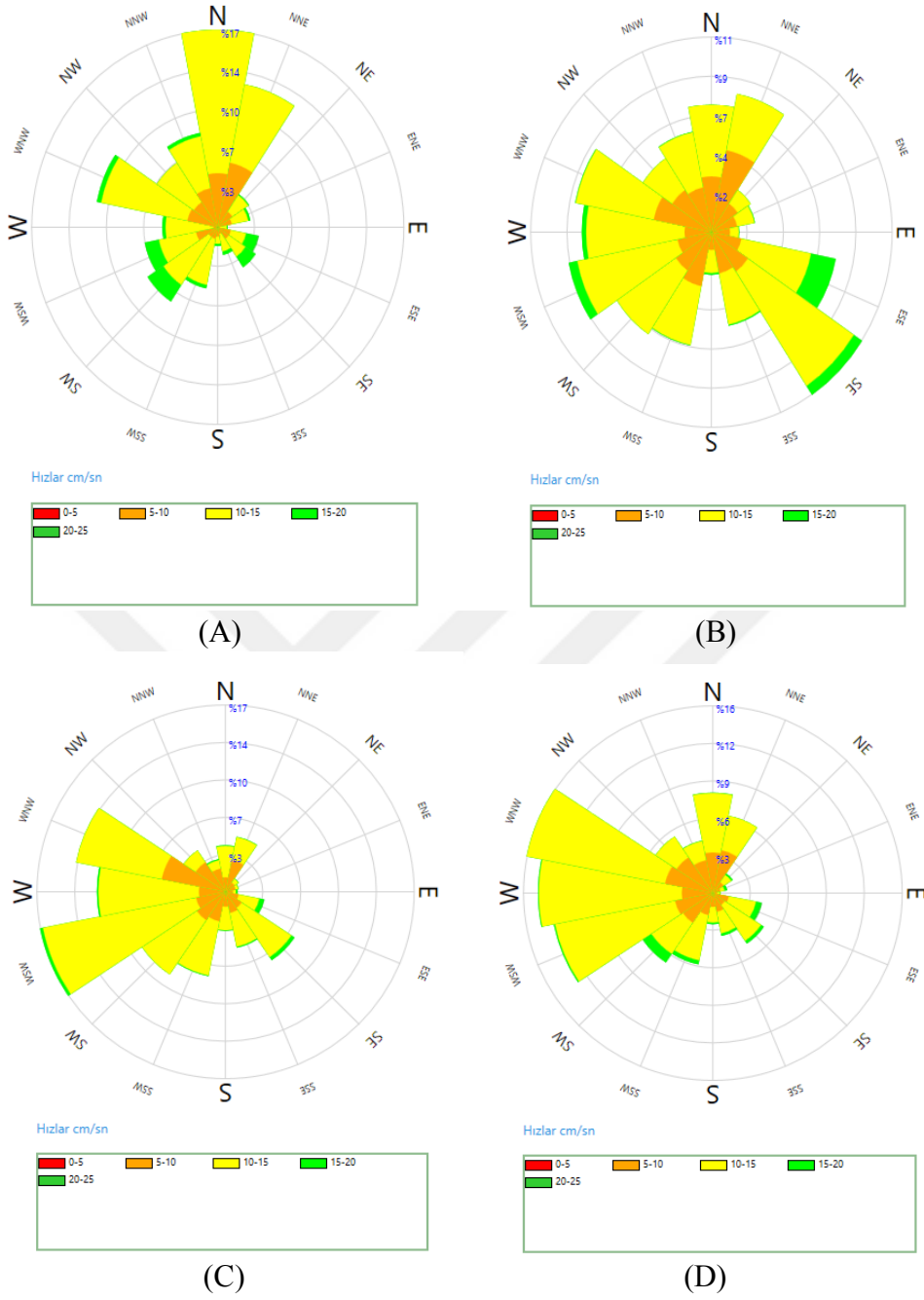
Körfez Bölgesi'ne ait yüzey akıntıları gösteren yıllık kombine akıntı gülü grafiği Şekil 40'da verilmektedir.



Akıntı Gülü (Yüzey tabakası)									
Yön	Max.Hız	Ort.Hız	Frekans	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	
N	15,82	10,57	975	1	344	626	4	0	
NNE	16,05	9,79	881	3	472	405	1	0	
NE	17,41	9,48	287	2	164	114	7	0	
ENE	17,29	9,78	235	6	125	86	18	0	
E	18,85	9,63	136	2	76	48	10	0	
ESE	23,7	12,25	608	3	168	321	108	8	
SE	19,97	11,66	864	0	224	586	54	0	
SSE	19,22	10,74	512	0	209	286	17	0	
S	18,76	10,68	332	0	134	184	14	0	
SSW	19,18	10,65	810	2	296	493	19	0	
SW	17,83	10,95	881	3	298	537	43	0	
WSW	16,98	11,27	1362	1	288	1018	55	0	
W	17,46	11,53	1147	1	223	902	21	0	
WNW	16,58	10,78	1382	0	489	888	5	0	
NW	14,72	9,67	647	2	385	260	0	0	
NNW	17,47	10,05	635	0	330	296	9	0	
Kümüle	0	0	11702	26	4251	11301	11686	11694	
Kümüle %	0	0	0	0	36	97	100	100	

Şekil 40. Körfez bölgesi yıllık akıntı gülü (HYDROTAM-3D, 2022).

Körfez Bölgesi'ne ait yüzey akıntıları gösteren mevsimsel akıntı gülleri Şekil 41'de verilmektedir.



Şekil 41. Körfez bölgesi mevsimsel akıntı gülleri (A) kış, (B) ilkbahar, (C) yaz, (D) sonbahar (HYDROTAM-3D, 2022).

Körfez Bölgesi'nde belirlenen bakı noktasında modelleme sonuçlarıyla elde edilen yıllık ve mevsimsel akıntı gülleri göre hakim ve en yüksek akıntı bilgileri Tablo 22'de verilmektedir. Yıllık hakim akıntı BKB ve BGB yönüne doğru olup akıntıların ortalama hızları sırasıyla 10,78 cm/s ve 11,27 cm/s ve maksimum hızları 16,68 cm/s ve 16,98 cm/s

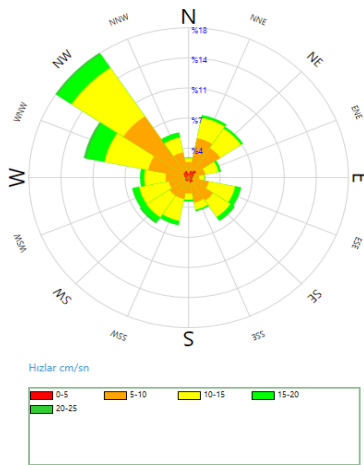
olduğu belirlenmiştir. Kış mevsiminde hakim akıntının Kuzey (K) ve KKD yönüne doğru olduğu belirlenmiştir ve ortalama akıntı hızları 10,62 cm/s ve 10,32 cm/s'dir. Diğer mevsimlerde hakim akıntının yönü değişiklik göstermektedir, ilkbahar Güney-Güneybatı (GGB) ve Batı (B) , yaz BGB ve BKB ve sonbahar BKB ve B olduğu belirlenmiştir. Ortalama akıntı hızları 10,32 cm/s ve 11,55 cm/s arasında değişmektedir. Hakim akıntıların maksimum hızları ise 14,08 cm/s ile 18,18 cm/s arasında değişmektedir.

Tablo 22. Körfez bölgesi yıllık ve mevsimsel akıntı gülü özet tablosu

	Hakim akıntı yönü	Hakim akıntının maksimum hızı (cm/s)	Hakim akıntının ortalama hızı (cm/s)	Maksimum akıntı hızı ve yönü (cm/s)
Yıllık	BKB	16,68	10,78	DGD – 23,7
	BGB	16,98	11,27	
Kış	K	14,28	10,62	BGB – 20,15
	KKD	14,08	10,32	
İlkbahar	GGB	18,18	11,62	DGD – 19,96
	B	16,71	11,27	
Yaz	BGB	16,98	11,35	DGD – 21,7
	BKB	14,5	10,34	
Sonbahar	BKB	14,98	11,17	DGD – 21,52
	B	15,58	11,55	

3.1.4.3. Merkez havza - Orta akıntı iklimi

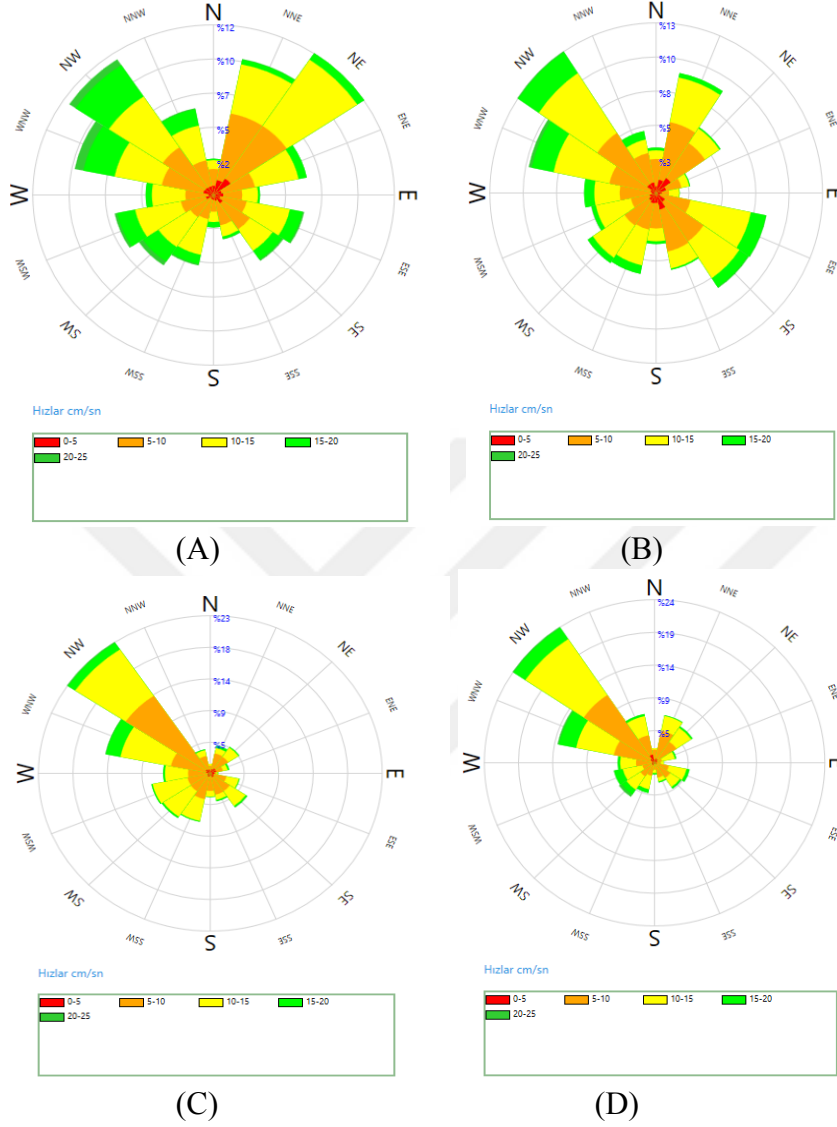
Merkez havza -Orta bakı noktasına ait yüzey akıntıları gösteren yıllık kombine akıntı gülü Şekil 42'de verilmektedir.



Akıntı Gülü (Yüzey tabakası)									
Yön	Max.Hız	Ort.Hız	Frekans	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	
N	16,38	7,67	277	57	160	51	9	0	
NNE	20,28	9,12	876	97	456	288	34	1	
NE	19,53	9	841	122	370	319	30	0	
ENE	18,65	9,4	425	74	146	175	30	0	
E	17,31	8,21	212	56	79	69	8	0	
ESE	23,77	10,84	691	46	221	344	75	5	
SE	23,71	9,91	717	70	310	269	59	9	
SSE	23,85	8,28	469	71	279	99	19	1	
S	19,17	8,79	328	44	172	87	25	0	
SSW	21,63	10,38	665	52	247	305	58	3	
SW	21,01	10,77	756	56	244	354	82	20	
WSW	20,86	11,07	741	52	210	387	86	6	
W	19,76	10,32	623	39	258	274	52	0	
WNW	23,48	11,48	1377	60	471	574	239	33	
NW	22,94	10,59	2063	84	929	801	225	24	
NNW	21,71	9,48	633	95	261	209	66	2	
Kümüle	0	0	11702	1075	5888	10493	11590	11694	
Kümüle %	0	0	0	9	50	90	99	100	

Şekil 42. Merkez Havza orta bakı noktası yıllık akıntı gülü (HYDROTAM-3D, 2022).

Merkez Havza orta bakı noktasına ait yüzey akıntıları gösteren mevsimsel akıntı gülü grafiği Şekil 43'te verilmektedir.



Şekil 43. Merkez Havza-Orta bakı noktası mevsimsel akıntı gülleri (A) kış, (B) ilkbahar, (C) yaz, (D) sonbahar (HYDROTAM-3D, 2022).

Merkez havza-orta bakı noktasının modelleme sonuçlarıyla elde edilen yıllık ve mevsimsel akıntı güllerine göre hakim ve en yüksek akıntı bilgileri Tablo 23'te verilmektedir. Yıllık hakim akıntı KB ve BKB yönüne doğru olup akıntıların ortalama hızları sırasıyla 10,59 cm/s ve 11,48 cm/s ve maksimum hızları 22,94 cm/s ve 23,48 cm/s olduğu belirlenmiştir. Kış mevsiminde hakim akıntının KD ve KB yönüne doğru olduğu belirlenmiştir ve ortalama

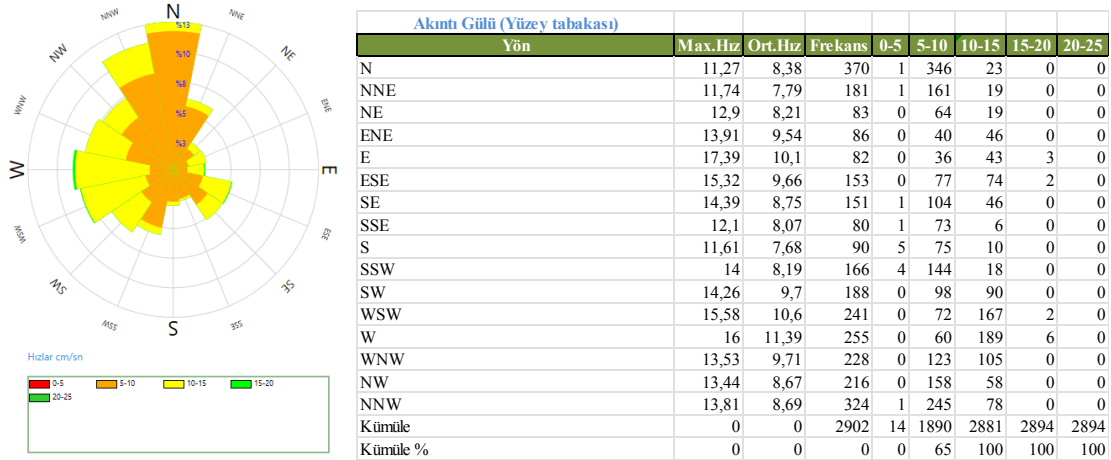
akıntı hızları sırasıyla 9,47 cm/s ve 12,04 cm/s'dir. Kış ve ilkbahar mevsimlerinde akıntı güllerinde frekanslar birbirine daha yakındır. Diğer mevsimlerde hakim akıntının yönü değişiklik göstermektedir, yaz ve sonbahar KB ve BKB olduğu belirlenmiştir. Ortalama akıntı hızları 9,26 cm/s ve 12,04 cm/s arasında değişmektedir. Hakim akıntıların maksimum hızları ise 14,5 cm/s ile 23,48 cm/s arasında değişmektedir. Bu bölgedeki yüksek akıntı hızları Körfez içerisinde kıyı topoğrafyasına diğer bakı noktalarına göre daha uzun mesafede olmasının bir göstergesidir.

Tablo 23. Merkez havza-orta bakı noktası yıllık ve mevsimsel akıntı gülü özet tablosu

	Hakim akıntı yönü	Hakim akıntının maksimum hızı (cm/s)	Hakim akıntının ortalama hızı (cm/s)	Maksimum akıntı hızı ve yönü (cm/s)
Yıllık	KB	22,94	10,59	GGD – 23,85
	BKB	23,48	11,48	
Kış	KD	19,53	9,47	GGD – 23,85
	KB	22,94	12,04	
İlkbahar	KB	22,53	10,9	BKB – 23,48
	KKD	19,5	9,26	
Yaz	KB	20,5	9,93	GD – 21,27
	BKB	21,27	11,32	
Sonbahar	KB	21,1	10,35	BKB – 21,27
	BKB	21,7	11,1	

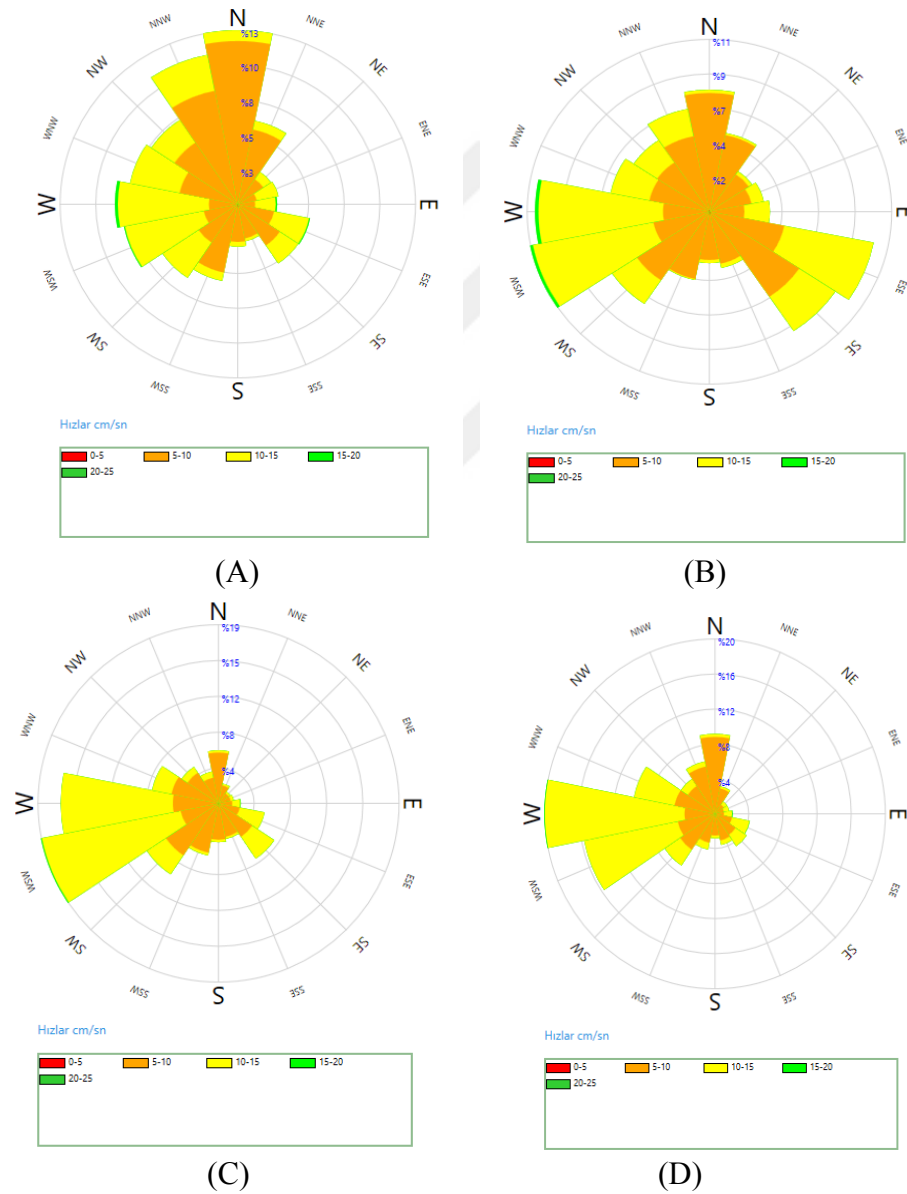
3.1.4.4.Doğu basen (Derince) akıntı iklimi

Derince Bölgesi'ne ait yüzey akıntıları gösteren mevsimsel akıntı gülü grafiği Şekil 44'te verilmektedir.



Şekil 44. Doğu havza bakı noktası yıllık akıntı gülü grafiği (HYDROTAM-3D, 2022).

Derince Bölgesi'ne ait yüzey akıntıları gösteren mevsimsel akıntı gülü grafiği Şekil 45'te verilmektedir. Derince bölgesi bakı noktasının modelleme sonuçlarıyla elde edilen yıllık ve mevsimsel akıntı güllerine göre hakim akıntı ve maksimum akıntı bilgileri Tablo 24'te verilmektedir. Yıllık hakim akıntı K ve KKB yönlerine doğru olup akıntıların ortalama hızları sırasıyla 8,38 cm/s ve 8,69 cm/s ve maksimum hızları 11,27 cm/s ve 13,81 cm/s olduğu belirlenmiştir. Yıllık ortalama hakim akıntı değerlerine bakıldığında diğer havzalardaki verilere göre en düşük akıntı hızına sahip olan havza olarak belirlenmiştir.



Şekil 45. Doğu havza bakı noktası mevsimsel akıntı gülleri (A) kış, (B) ilkbahar, (C) yaz, (D) sonbahar (HYDROTAM-3D, 2022).

Tablo 24. Doğu havza bakı noktası yıllık ve mevsimsel akıntı gülü özet tablosu

	Hakim akıntı yönü	Hakim akıntının maksimum hızı (cm/s)	Hakim akıntının ortalama hızı (cm/s)	Maksimum akıntı hızı ve yönü (cm/s)
Yıllık	K	11,27	8,38	D – 17,39
	KKB	13,81	8,69	
Kış	K	11,27	8,38	D – 17,39
	KKB	13,81	8,69	
İlkbahar	BGB	15,6	10,44	B – 15,81
	DGD	14,13	9,76	
Yaz	BGB	15,81	10,82	D – 16,05
	B	14,27	10,86	
Sonbahar	B	15,31	11,57	D – 17,37
	BGB	14,75	10,56	

3.2.HYDROTAM-3D Kirletici Yönetimi Modülü Çıktıları

CBS ortamında liman tesisi verileri kirletici yönetimi modülüne girilmiştir. CBS ortamında işlenen liman tesisi bilgileri koordinatlarına göre harita üzerinde görülmektedir. Bölüm 2.6, Şekil 18’de görüleceği gibi petrol elleçlemesi yapan liman tesisleri İzmit Körfezi’nin merkez havzasında ve doğu havzasında yer almaktadır. Merkez havzasında yer alan tesislerin ise havzanın batı ve doğu uçlarında konumlandığı görülmektedir. Şekil 18 üzerinde gösterilen her bir nokta tesisin adı, koordinatları, elleçlenen petrol türleri ve petrol türlerine ait parametreleri vermektedir.

Kirletici yönetim modülüne girilen ve Bölüm 2.7’de bozunma süreçlerinin hesaplaması yapılan örnek petrole (Arap-Hafif petrolü) ait veriler Ek 1’de sunulmuştur. Kirletici yönetim modülünde işlenen her bir petrol verisi bulut bilişim veri tabanına kaydedilmekte ve diğer kullanıcılar için mevcut bir veri havuzu sunmaktadır.

3.3.Petrol Döküntü Senaryolarının Tanımlanması

T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Denizcilik Genel Müdürlüğü tarafından deniz kazalarına yönelik istatistiksel veriler bulunmaktadır. Burada sunulan veriler İstanbul Boğazı, Marmara ve Çanakkale Boğazı toplamı için verilmektedir. İzmit Körfezi kapalı ve korunaklı bir körfez olması sebebiyle bölgenin hidrodinamik özellikleri Türk Boğazları ile karşılaştırıldığında birbirinden çok farklıdır. Bu çerçevede Boğazlardaki kazalar ile İzmit Körfezi’nde meydana gelen kazalar arasında bir korelasyon ile olasılık hesaplaması yapılamayacağına karar verilmiştir.

Bölgede her yıl birkaç tane olmak üzere orta ve küçük ölçekte petrol kirliliği kazaları meydana geldiği gözlenmiştir. Bu kazaların çoğunlukla gemi yanaşma kalkma manevraları ve yakıt alım operasyonları sırasında meydana gelen operasyonel kazalar sebebiyle olduğu görülmektedir. 2017 yılında tesis kaynaklı kaza da meydana gelmiştir. İzmit Körfezi'nin Marmara Fay hattı üzerinde yer alması olası bir doğal afet durumunda (1999 depreminde olduğu gibi) petrol kirliliği riskini arttırmaktadır.

İzmit Körfezi'ndeki gemi ve yük istatistikleri incelendiğinde gemi sayısının azaldığını fakat gemi gros ton miktarının arttığını göstermektedir. Bu durum daha büyük kapasiteli gemilerin deniz ticaretine katıldığını göstermektedir. İzmit Körfezi'nde elleçlenen yük miktarı incelendiğinde bu miktarda da artış olduğu görülmektedir. 2011 ve 2021 yılları arasındaki veriler yılda ortalama 10.003 adet geminin İzmit Körfezi uğraklı olduğunu göstermektedir. 2015-2021 arasındaki uğraklı tanker verileri ise yıllık ortalama 1486 adet geminin petrol tankeri olduğunu ve toplam uğraklı gemiler arasında %15 paya sahip olduğunu göstermektedir. Yıllık ortalama 1486 uğraklı tankerin ortalama 111 adedinin ise ham petrol tankeri olduğu ve toplam uğraklı gemiler arasında %1 paya sahip olduğu görülmektedir. Gemi başına elleçlenen yük miktarı incelendiğinde ise ham petrol tankerlerinin ne kadar yüksek kapasitede olduğu görülmektedir. Tablo 16'daki verilere göre ham petrol tankerlerinin elleçlediği gemi başına yük miktarı yaklaşık olarak ortalama 94.775 tondur. Bu veriler İzmit Körfezi'nde ham petrol tankeri kaynaklı gemi kaza olasılığının diğer gemilere göre kıyaslandığında çok daha düşük olduğunu göstermekle birlikte taşınan yük miktarı açısından bir kaza meydana gelmesi durumunda risk değerlendirmesi açısından büyük döküntü olasılığına sahip olduğunu göstermektedir. Diğer yandan liman tesisi verileri incelendiğinde Tüpraş terminaline 300.000 DWT'e kadar gemilerin yanaşabildiği görülmekte olup yakıt, balast gibi ağırlıklar çıkarıldığında takribi 285.000 ton ham petrol taşıyan bir tankerin İzmit Körfezi liman uğrağı yapabildiği belirlenmiştir. Bu durum İzmit Körfezi'nde en büyük petrol döküntü riskinin 285.000 ton/gemi olduğunu göstermektedir. Tablo 16'da yer alan verilere göre işlenmiş petrol ürünü taşıyan tankerlerin ise gemi başına ortalama taşıdığı yük miktarı yaklaşık olarak 9256 tondur.

Tablo 13'te verilen EPDK yıllık raporlarından alınan ham petrol ithalat verileri Tablo 25'te yıllık toplam içerisindeki paylarına göre sunulmaktadır. Burada ithalatı en çok yapılan petrol tipi Irak, İran ve Rus petroleri olarak belirlenmiştir. Fakat İran ambargosu sebebiyle

2020 yılında İran'dan petrol ithalatı görülmemektedir. Bu durum meydana gelecek bir kaza risk olasılığında dünya ekonomisindeki değişimlerin dahi etki ettiğini göstermektedir.

Tablo 25. Ham petrol ithal edilen ülkelerin yıllık toplamdaki payları ve 5 yıllık ortalamaları

Ülkeler	2016	2017	2018	2019	2020	5 yıl Ortalaması
Irak	0,37	0,45	0,32	0,31	0,40	0,37
İran	0,28	0,27	0,34	0,07	0,00	0,19
Rusya	0,13	0,08	0,09	0,34	0,11	0,15
Suudi Arabistan	0,09	0,07	0,08	0,06	0,11	0,08
Kazakistan	0,02	0,02	0,06	0,10	0,11	0,06
Nijerya	0,00	0,01	0,02	0,06	0,08	0,03
Kuveyt	0,10	0,07	0,07	0,00	0,00	0,05
Mısır	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
Libya	0,00	0,01	0,01	0,04	0,03	0,02
Yunanistan	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Azerbaycan	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Türkmenistan	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,01
Norveç	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,02

Senaryolar kapsamında seçilen ham petrol tipleri Irak ve Rus petrollerinden tanımlanmış olup ayrıca Fuel oil (FO) döküntüsü senaryolarda tanımlanmıştır.

Senaryolarda kaza tiplerinin boyutlarına göre üç farklı döküntü miktarı belirlenmiştir. Bu çerçevede küçük sızıntı senaryosunda 5,4 ton, orta sızıntı senaryosunda 620 ton, büyük döküntü senaryosunda 170.000 ton petrol döküntüsü tanımlanarak modelleme çıktıları elde edilmiştir.

Tablo 26'da senaryoları tanımlanan petrol tiplerinin yoğunluk, viskozite, buharlaşma katsayısı ve emülsiyondaki maksimum su içeriği parametrelerine ait modellemede kullanılan veriler sunulmaktadır.

Tablo 26. Dağılım ve bozunma senaryoları yapılan petrol tiplerinin özellikleri

Petrol Tipi	Yoğunluk g/cm ³ (9 ⁰ C)	Yoğunluk g/cm ³ (15 ⁰ C)	Yoğunluk g/cm ³ (22 ⁰ C)	Dinamik viskozite (9 ⁰ C)	Dinamik viskozite (22 ⁰ C)	Kinematik viskozite (cSt) (9 ⁰ C)	Kinematik viskozite (cSt) (22 ⁰ C)	Buharlaşma katsayısı	Emülsiyondaki maksimum su içeriği
Basra – Hafif Petrolü	0,858	0,854	0,849	35,86	17,72	41,8	20,87	25	0,85
Rus – Ural Petrolü	0,869	0,865	0,861	7,99	15,41	9,2	17,9	13	0,90
Fuel Oil (6)	0,987	0,982	0,977	1958,6	888,29	1984,4	909,2	1,5	0,75

Tablo 27’de 17 farklı çevresel faktör ve döküntü miktarı, 4 farklı lokasyonda, 3 farklı petrol tipi için belirlenen koşullar altında tanımlanan toplam 24 senaryoya ait detaylar sunulmaktadır. Tanımlan 24 senaryo ile farklı koşullar altında dağılım ve bozunma simülasyonları elde edilmiştir. Senaryo 7, 13 ve 16 farklı petrol tiplerini aynı koşullarda değerlendirmek için tanımlanmıştır. Diğer senaryolar ise aynı petrol tiplerini farklı çevresel koşullar altında tanımlamak için yapılmıştır. İlk 12 senaryo yalnızca ham petrol elleçlemesi yapılan bölge olması sebebiyle Körfez Bölgesi için tanımlanmıştır. Senaryo 13,14 ve 15’e Merkez havza orta bakı noktasının eklenmesi liman dışı operasyonlar haricinde seyir anında meydana gelme ihtimali olan kaza senaryolarını değerlendirebilmek için tanımlanmıştır. Bölüm 3.1.2’de rüzgar ikliminden elde edilen hakim rüzgarın yönü ve ortalama hızları ve en yüksek rüzgar hızları dikkate alınarak senaryolarda rüzgar verisi tanımlanmıştır. Akıntı hız ve yön verileri senaryolara özgü tanımlanan hidrodinamik modelleme sonuçlarından elde edilmiştir.

Tablo 27. Boyutlarına ve mevsimsel koşullarına göre tanımlanan petrol kirliliği senaryoları

Senaryo Numaraları	Petrol Tipi	Döküntü Miktarı (ton)	Mevsim	Sıcaklık	Rüzgarın yönü ve hızı (m/s)	Akıntının Yönü ve hızı (cm/s)	Döküntü Noktaları
1	Basra-Hafif	5,4	Kış	9°C	GGD - 3,2	KKD – 15,2	40,741339 °N 29,73851 °E
2	Basra-Hafif	5,4	Kış	9°C	KD – 3,7	BGB – 11,2	40,741339 °N 29,73851 °E
3	Basra-Hafif	620	Kış	9°C	GGD - 3,2	KKD – 15,2	40,741339 °N 29,73851 °E
4	Basra-Hafif	620	Kış	9°C	KD - 12	BGB – 16,9	40,741339 °N 29,73851 °E
5	Basra-Hafif	170.000	Kış	9°C	GGD - 3,2	KKD – 15,2	40,741339 °N 29,73851 °E
6	Basra-Hafif	170.000	Kış	9°C	KD - 12	BGB – 16,9	40,741339 °N 29,73851 °E
7	Basra-Hafif	5,4	Yaz	22°C	KD - 3,7	BGB -11,2	40,741339 °N 29,73851 °E
8	Basra-Hafif	5,4	Yaz	22°C	KD - 9	BGB -16,9	40,741339 °N 29,73851 °E
9	Basra-Hafif	620	Yaz	22°C	KD - 3,7	BGB -11,35	40,741339 °N 29,73851 °E
10	Basra-Hafif	620	Yaz	22°C	KD - 9	BGB -16,9	40,741339 °N 29,73851 °E
11	Basra-Hafif	170.000	Yaz	22°C	KD - 3,7	BGB – 11,35	40,741339 °N 29,73851 °E
12	Basra-Hafif	170.000	Yaz	22°C	KD - 9	BGB -16,9	40,741339 °N 29,73851 °E
13	Rus-Ural	5,4	Yaz	22°C	KD - 3,7	A)BGB – 11,35 B)BGB -11,07	A)Körfez 40,741339 °N 29,73851 °E B)Merkez havza-orta 40,734473 °N 29,62056 °E
14	Rus-Ural	620	Yaz	22°C	KD - 3,7	A)BGB – 11,35 B)BGB -10,5	A)Körfez 40,741339 °N 29,73851 °E B)Merkez havza-orta 40,734473 °N 29,62056 °E
15	Rus-Ural	170.000	Yaz	22°C	KD - 3,7	A)BGB – 11,35 B)BGB – 10,5	A)Körfez 40,741339 °N 29,73851 °E B)Merkez havza-orta 40,734473 °N 29,62056 °E
16	Fuel oil	5,4	Yaz	22°C	KD - 3,7	A)BGB – 11,35 B)BGB – 10,7 C)BGB – 10,8	A)Körfez 40,741339°N 29,73851 °E B)Dilovası 40,755129 °N 29,546782 °E C)Derince 40,748329 °N 29,87131 °E
17	Fuel oil	620	Yaz	22°C	KD - 3,7	A)GBG – 11,35 B)GBG – 10,7 C)GBG -10,8	A)Körfez 40,741339°N 29,73851 °E B)Dilovası 40,755129 °N 29,546782 °E C)Derince 40,748329 °N 29,87131 °E

3.4.Petrol Döküntü Senaryolarına Göre Simülasyon Çıktıları

Bu bölümde HYDROTAM-3D’de petrolün taşınım mekanizmasına ve petrolün modellenen bozunma mekanizmalarına ait farklı koşullar altında Tablo 27’de belirtilen senaryolara göre simülasyon sonuçları paylaşılmaktadır. Her bir senaryo için MATLAB çıktısı olarak bozunma, yoğunluk ve viskozite değişim grafikleri EK 2 - 18’de sunulmaktadır.

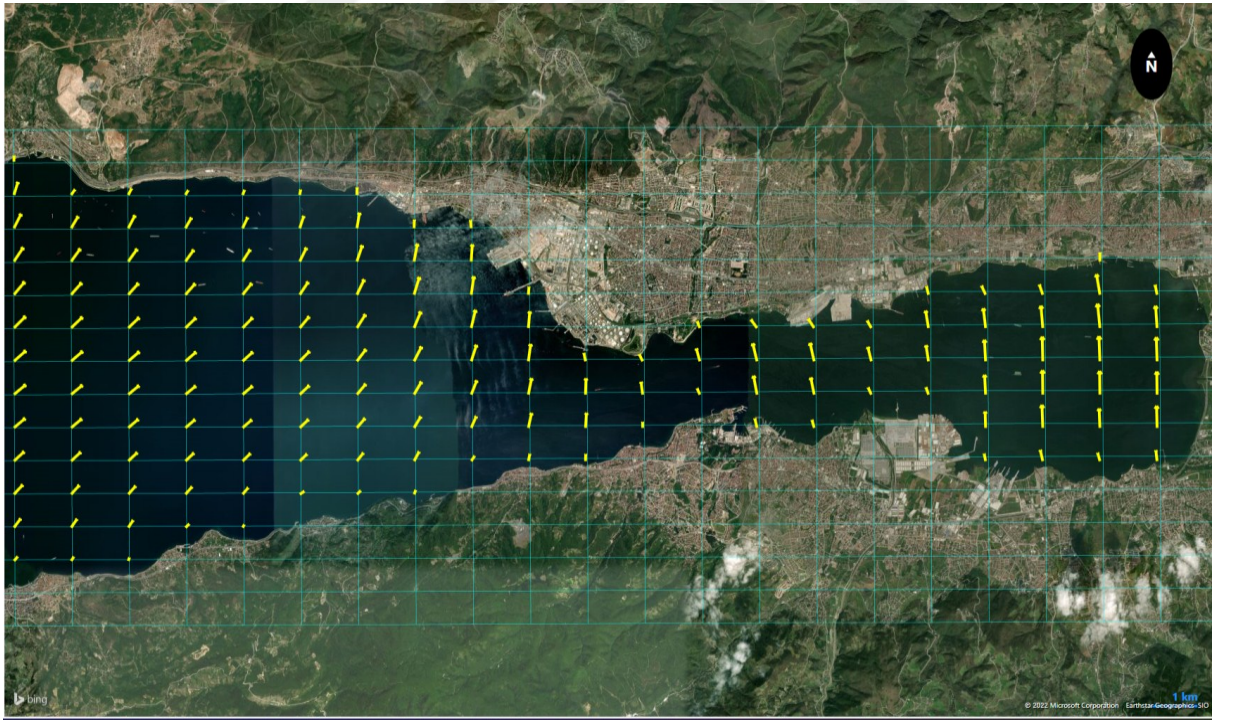
Petrolün deniz suyuna göre düşük yoğunluğu sebebiyle döküntünün hareketini üst katman akıntıları belirlemektedir. Çalışmada GGB yönünden rüzgar esmesi durumunda elde edilen katmansal grafiklerden üst katman akıntı grafikleri Şekil 46’da verilmekte olup hakim akıntı yönünün K ve KD yönlerinde olduğu görülmektedir. Şekil 46’da ilk grafik merkez havzayı verirken ikinci grafik doğu havza ve merkez havzanın doğu bölümünün bir kısmını göstermektedir. Bu hidrodinamik koşullar altında Körfez içlerinde olası bir döküntünün körfezin Kuzey kıyılarına doğru ilerlemesi beklenmektedir.

Şekil 47’de ise KD’dan esen hakim rüzgar koşullarında ait üst katman akıntı grafikleri verilmekte olup katmansal grafikler İzmit Körfezi içlerindeki suların üst akıntılarla BGB yönünde ilerlediği görülmektedir. Şekil 47’de ilk grafik merkez havzayı verirken ikinci grafik doğu havza ve merkez havzanın doğu bölümünün bir kısmını göstermektedir. Bu hidrodinamik koşullar altında Körfez içlerinde olası bir döküntünün körfezin Güney kıyılarına doğru ilerlemesi beklenmektedir.

İzmit Körfezi’nin akıntı profilleri rüzgar yönlerinin akıntı yönlerinin değişmesinde etkin rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca akıntı profilleri havza içlerinde daha yatay seyrederken, İzmit Körfezi’nin Dilovası ve Derince bölgelerindeki boğumlarında kıyı bölgelerine yaklaştıkça daha dikey yönlü bir eğilim göstermektedir.

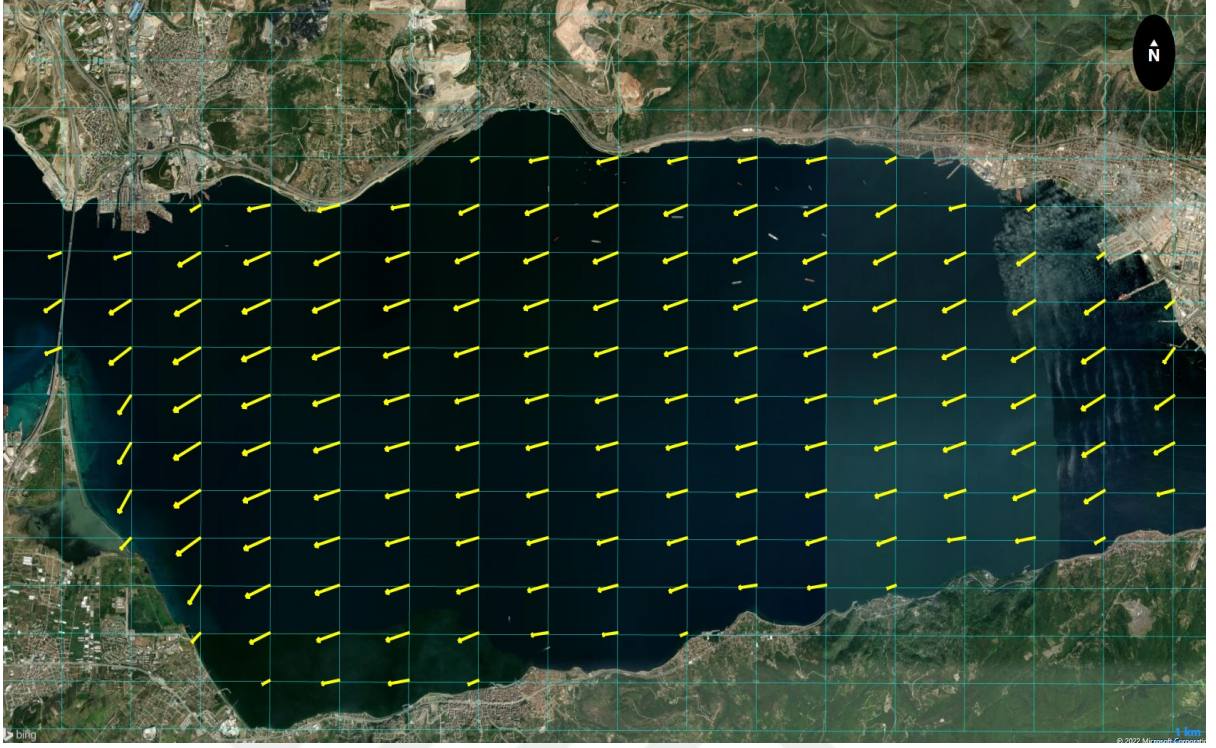


(A)

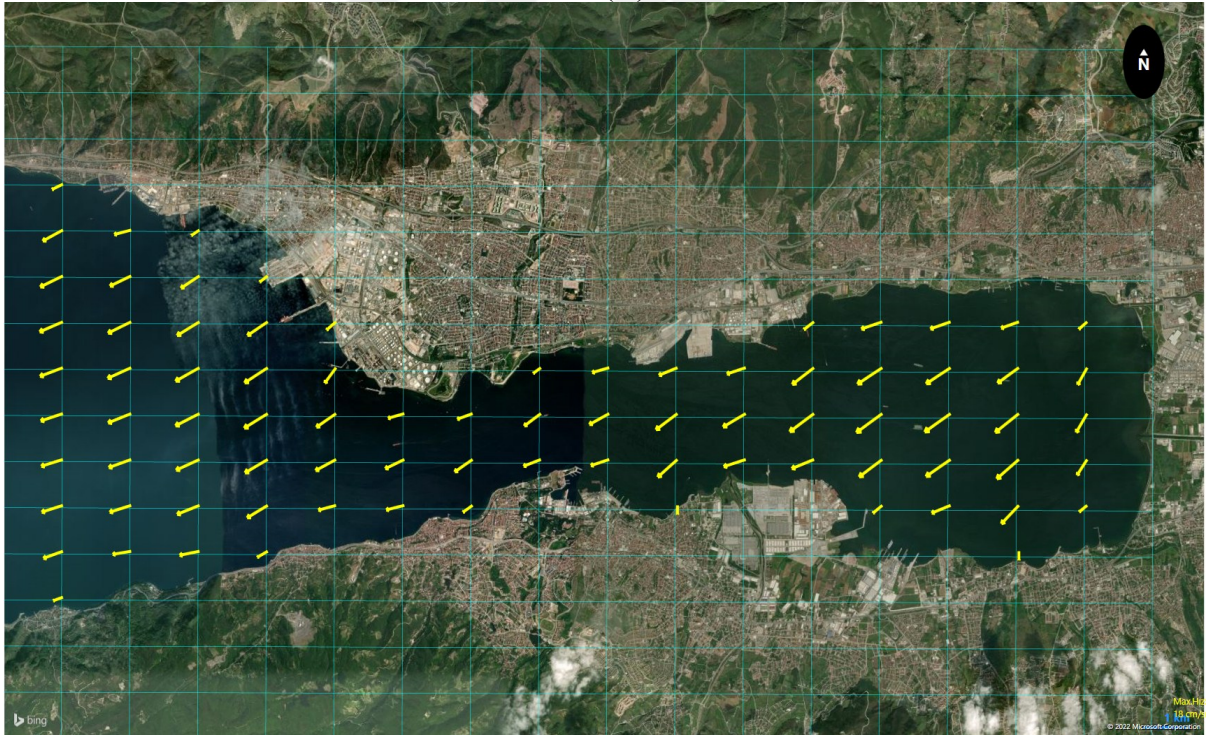


(B)

Şekil 46. İzmit Körfezi (A) Merkez ve (B) Doğu havzası üst katman akıntıları (Rüzgar GGB yönünden) (HYDROTAM-3D, 2022).



(A)



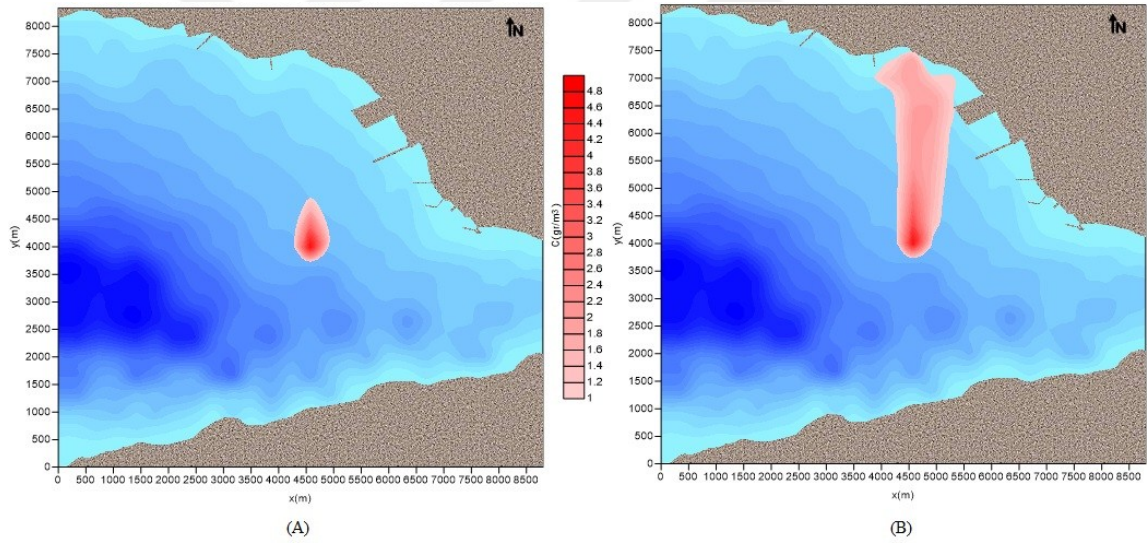
(B)

Şekil 47. İzmit Körfezi (A)Merkez ve (B)Doğu baseni üst katman akıntıları (Rüzgar KD yönünden) (HYDROTAM-3D, 2022).

Her bir senaryoya ait petrol kirliliği taşınım ve bozunma simülasyonlarına ait sonuçlar aşağıda belirtilmektedir. Acil müdahale planlamalarına yönelik zamansal grafikler döküntü meydana geldikten sonra petrolün bir saat ve altı saat sonraki taşınımına yönelik verilmektedir. Çünkü bu zaman süresinde yetkililer tarafından müdahalenin başlaması gerekmektedir.

3.4.1. Senaryo 1'e ait bulgular

Senaryo 1'de verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 48'de verilmektedir. Merkez havza-Doğu bölgesinde tanımlanan bu simülasyonda rüzgarın GGD yönünden esme koşullarına göre döküntünün Tüpraş terminalinin Kuzey kesimlerine doğru hareketi beklenmektedir. Döküntünün altıncı saatte henüz kıyı çizgisine eriştiği görülmektedir. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 800 m ve 1200 m iken, altıncı saatte yaklaşık 1000 m ve 3800 m civarındadır.



Şekil 48. Senaryo 1'e ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

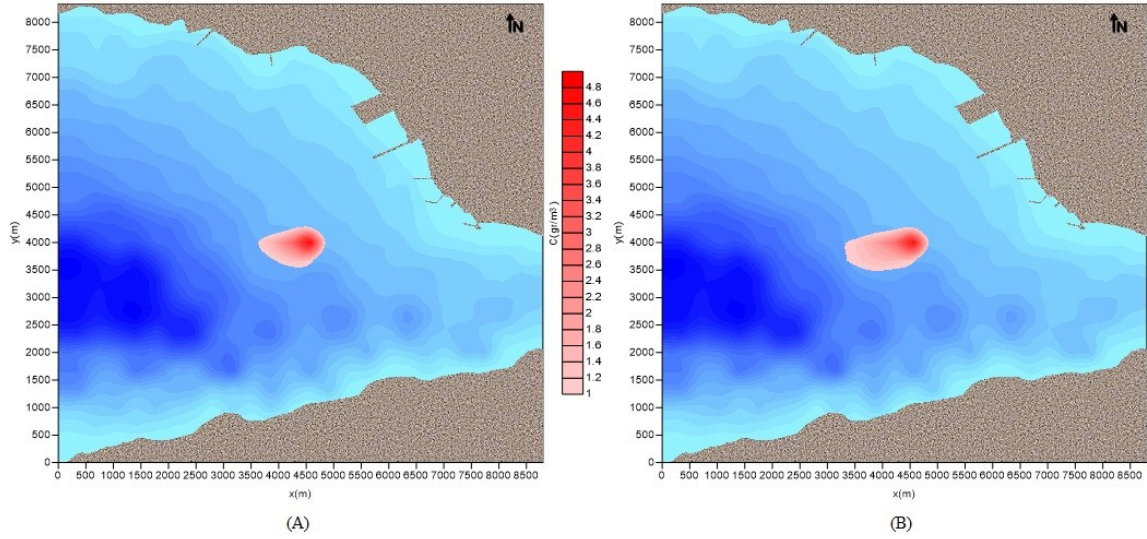
Senaryo 1'e ait Basra-Hafif petrolünün Bölüm 2.7'de tanımlanan metodolojiye göre bozunma grafikleri Ek 2'de verilmekte olup petrolün ilk altı saat için elde edilen sonuçları aşağıda sıralanmaktadır.

- Yaklaşık 1,4 ton petrol (döküntü miktarının %26'sı) buharlaşmaktadır.
- Petrol içinde su fazı döküntü miktarının yaklaşık %12'sidir.

- Petrolün çözünürlüğü ilk altı saatte en yüksek değeri olan takribi 4 g/s (14,4 kg/h)'dir.
- Yoğunluk değeri 0,9184 g/cm³'e yükselmiştir.
- Viskozite değeri yaklaşık 647 cSt'ye yükselmiştir.

3.4.2. Senaryo 2'ye ait bulgular

Senaryo 2'de verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 49'da verilmektedir. Merkez havza-Doğu bölgesinde tanımlanan bu simülasyonda rüzgarın KD yönünden esme koşullarına göre döküntünün merkez havzanın orta kesimlere doğru hareketi beklenmektedir. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 700 m ve 1200 m iken, altıncı saatte yaklaşık 800 m ve 1500 m civarındadır.



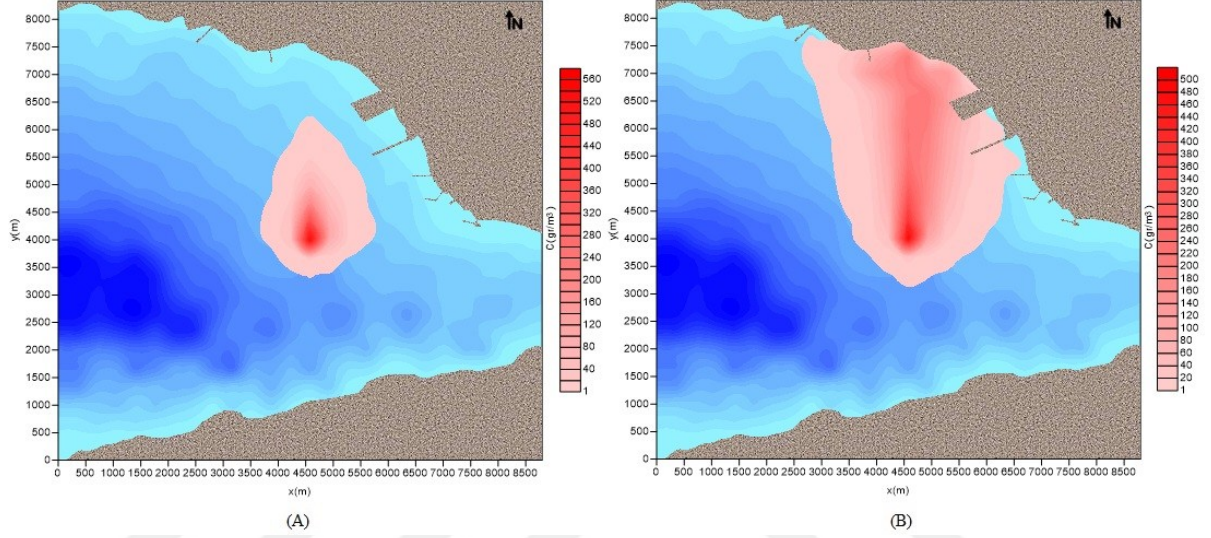
Şekil 49. Senaryo 2'ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

Senaryo 2'ye ait Basra-Hafif petrolünün Bölüm 2.7'de tanımlanan metodolojiye göre rüzgar etkisinde yayılma ve bozunma grafikleri Ek 3'te verilmekte olup petrolün ilk altı saat için elde edilen sonuçları aşağıda sıralanmaktadır.

- Yaklaşık %26'sı buharlaşmaktadır.
- Petrol içinde su fazı döküntü miktarının yaklaşık %12'sidir.
- Çözünürlük ilk altı saatte en yüksek değeri olan takribi 9,55 g/s (34,4 kg/h)'dir.
- Yoğunluk değeri 0,9771 g/cm³'e yükselmiştir.
- Viskozite değeri yaklaşık 4910 cSt'ye yükselmiştir.

3.4.3. Senaryo 3'e ait bulgular

Senaryo 3'te verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 50'de verilmektedir. Merkez havza-Doğu bölgesinde tanımlanan bu simülasyonda rüzgarın GGD yönünden esme koşullarına göre döküntünün kuzey kıyılarına ve liman içlerine doğru hareketi beklenmektedir. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 2000 m ve 2900 m iken, altıncı saatte yaklaşık 3700 m ve 4600 m civarındadır.



Şekil 50. Senaryo 3'e ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

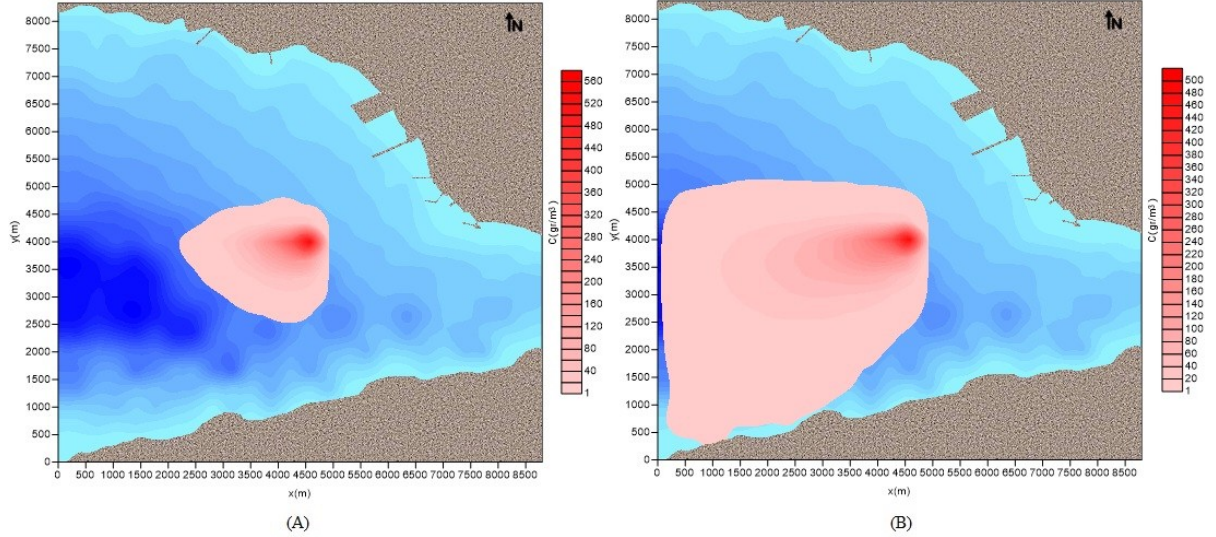
Senaryo 3'e ait Basra-Hafif petrolünün Bölüm 2.7'de verilen metodolojiye göre rüzgar etkisinde yayılma ve bozunma grafikleri Ek 4'te verilmekte olup petrolün ilk altı saat için elde edilen sonuçları aşağıda sıralanmaktadır.

- Yaklaşık 161,2 ton (döküntü miktarının %26'sı) buharlaşmaktadır.
- Petrol içinde su fazı döküntü miktarının yaklaşık %12'sidir.
- Çözünürlük ilk altı saatte en yüksek değeri olan takribi 139,1 g/s (500 kg/h)'dir.
- Yoğunluk değeri 0,9184 g/cm³'e yükselmiştir.
- Viskozite değeri yaklaşık 647 cSt'ye yükselmiştir.

3.4.4. Senaryo 4'e ait bulgular

Senaryo 4'te verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 51'de verilmektedir. Merkez havza-Doğu bölgesinde tanımlanan 620 ton Basra-Hafif petrolünün döküntü simülasyonunda rüzgarın KD yönünden esme koşullarına

göre döküntünün körfezin güney kıyılarına ve orta bölümlerine yani Karamürsel kıyılarına doğru ilerlemesi beklenmektedir. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 2200 m ve 2700 m iken, altıncı saatte yaklaşık 5000 m ve 5000 m civarındadır.



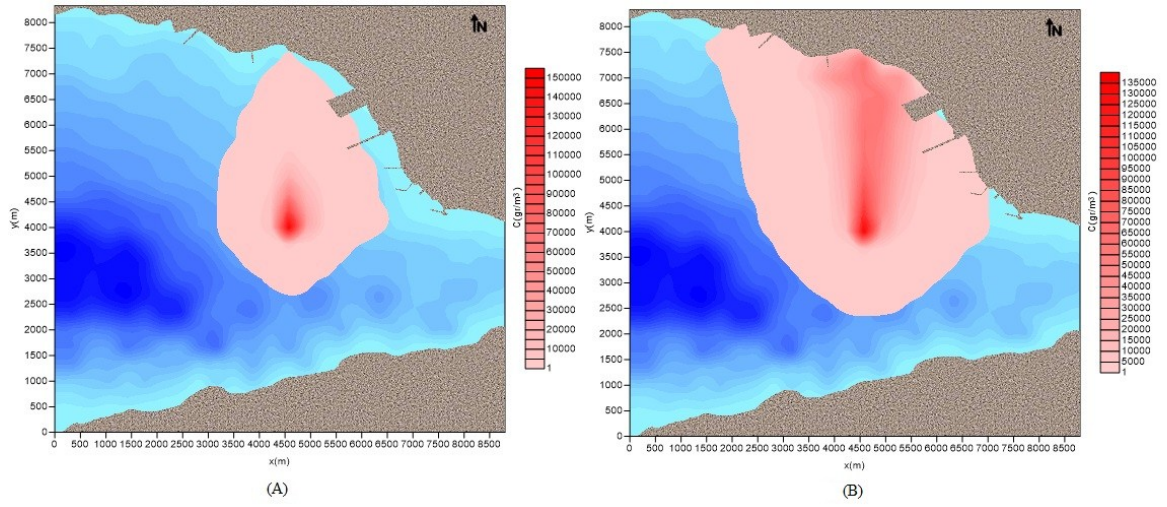
Şekil 51. Senaryo 4'e ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

Senaryo 4'e ait Basra-Hafif petrolünün Bölüm 2.7'de verilen metodolojiye göre rüzgar etkisinde yayılma ve bozunma grafikleri Ek 5'te verilmekte olup petrolün ilk altı saat için elde edilen sonuçları aşağıda sıralanmaktadır.

- Yaklaşık 161 ton petrolün buharlaşması beklenmektedir.
- Petrol içinde su fazı döküntü miktarının yaklaşık %60'ıdır.
- Çözünürlük ilk altı saatte en yüksek değeri olan takribi 335 g/s (1206 kg/h)'dir.
- Yoğunluk değeri 0,9771 g/cm³'e yükselmiştir.
- Viskozite değeri yaklaşık 4910 cSt'ye yükselmiştir.

3.4.5. Senaryo 5'e ait bulgular

Senaryo 5'te verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 52'de verilmektedir. Merkez havza-Doğu bölgesinde tanımlanan 170.000 ton Basra-Hafif petrolünün döküntü simülasyonunda rüzgarın GGD yönünden esme koşullarına göre döküntünün körfezin Kuzey kıyılarına doğru ilerleyerek Batı yönüne doğru daha alansal yayılım göstermesi beklenmektedir. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 3100 m ve 4600 m iken, altıncı saatte yaklaşık 4800 m ve 5700 m civarındadır.



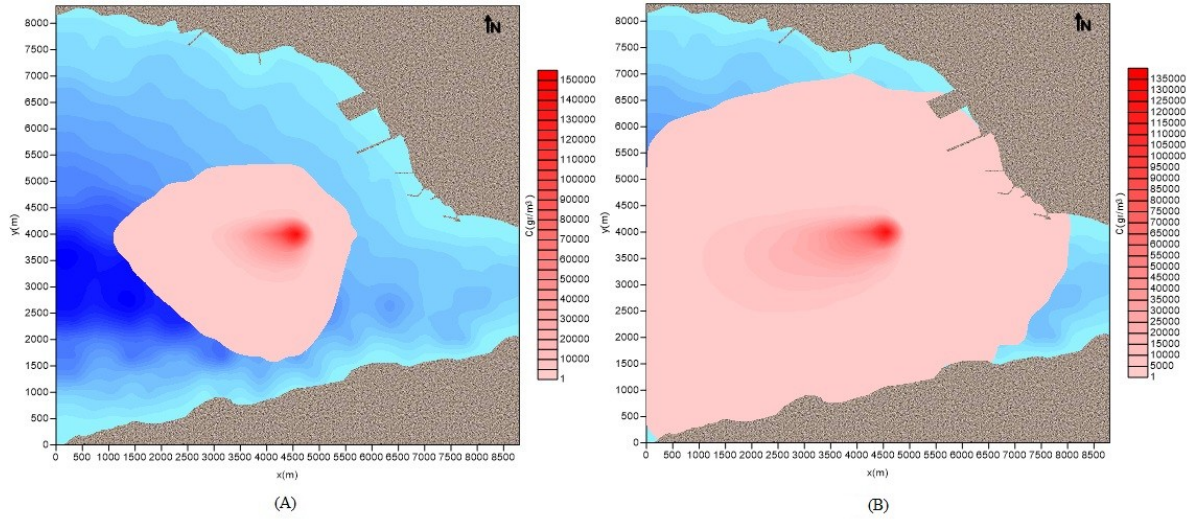
Şekil 52. Senaryo 5'e ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

Senaryo 5'e ait Basra-Hafif petrolünün Bölüm 2.7'de verilen metodolojiye göre bozunma grafikleri Ek 6'da verilmekte olup petrolün ilk altı saat için elde edilen sonuçları aşağıda sıralanmaktadır.

- Yaklaşık 44.200 ton (döküntü miktarının %26'sı) petrolün buharlaşması beklenmektedir.
- Petrol içinde su fazı döküntü hacminin yaklaşık %12'sidir.
- Çözünürlük ilk altı saatte en yüksek değeri olan takribi 9370 g/s (33.732 kg/h)'dir.
- Yoğunluk değeri 0,9184 g/cm³'e yükselmiştir.
- Viskozite değeri yaklaşık 647 cSt'ye yükselmiştir.

3.4.6. Senaryo 6'ya ait bulgular

Senaryo 6'da verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 53'te verilmektedir. Merkez havza-Doğu bölgesinde tanımlanan 170.000 ton Basra-Hafif petrolünün döküntü simülasyonunda rüzgarın KD yönünden esme koşullarına göre döküntünün körfezin GB yönünde kıyı şerdi boyunca ve KD'de yer alan Tüpraş liman kıyılarından üst kesimlere doğru ilerleyerek alansal yayılım göstermektedir. Kirliliğin birinci saatte Güney kıyılarına yaklaşması beklenmektedir. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 3600 m ve 4700 m iken, altıncı saatte yaklaşık 5000 m ve 6800 m civarındadır. Acil müdahale planlaması için bariyerlerin öncelikle Güney kıyılarından ve kirliliği Kuzey Doğusunda yer alan rıhtımlardan çıkartılması gerekmektedir.



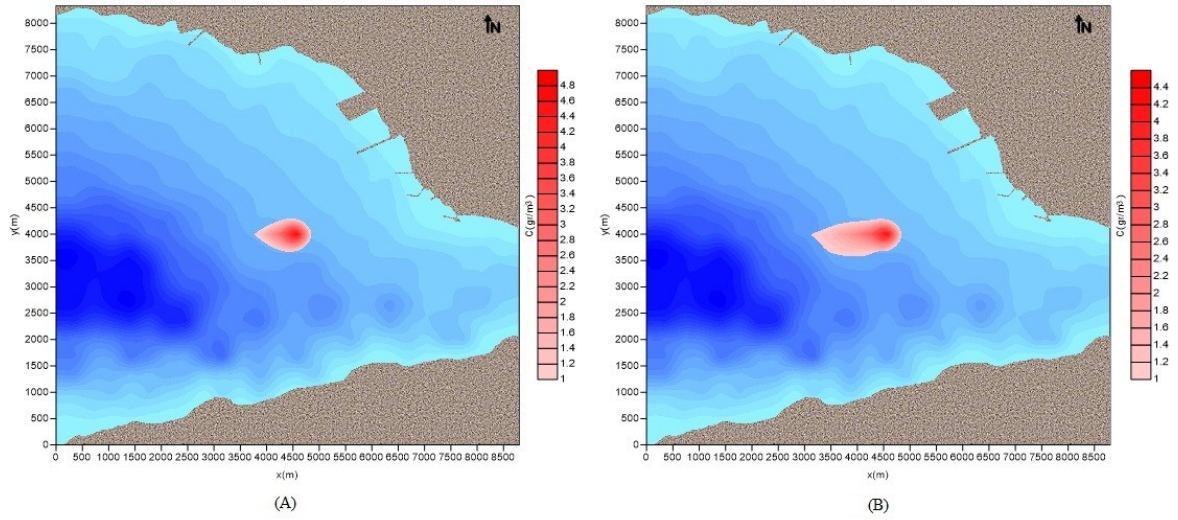
Şekil 53. Senaryo 6'ya ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

Senaryo 6'ya ait Basra-Hafif petrolünün Bölüm 2.7'de belirtilen metodolojiye göre bozunma grafikleri Ek 7'de verilmekte olup petrolün ilk altı saat için elde edilen sonuçları aşağıda sıralanmaktadır.

- Yaklaşık 44.200 ton petrolün (döküntü miktarının %26'sı) buharlaşması beklenmektedir.
- Petrol içinde su fazı döküntü hacminin yaklaşık %60'ıdır.
- Çözünürlük ilk altı saatte en yüksek değeri olan takribi 22600 g/s (81.360 kg/h)'dir.
- Yoğunluk değeri 0,9771 g/cm³'e yükselmiştir.
- Viskozite değeri yaklaşık 4910 cSt'ye yükselmiştir.

3.4.7. Senaryo 7'ye ait bulgular

HYDROTAM-3D ilerlemeli yayılım modeli ile elde edilen Senaryo 7'de verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 54'te verilmektedir. Merkez havza-Doğu bölgesinde tanımlanan 5,4 ton Basra-Hafif petrolünün yaz mevsiminde döküntü simülasyonunda rüzgarın GGD yönünden 3,7 m/s esme koşullarına göre döküntünün ilk altı saatte henüz kıyı çizgisine yaklaşması beklenmemektedir. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 800 m ve 1100 m iken, altıncı saatte yaklaşık 900 m ve 1700 m civarındadır.



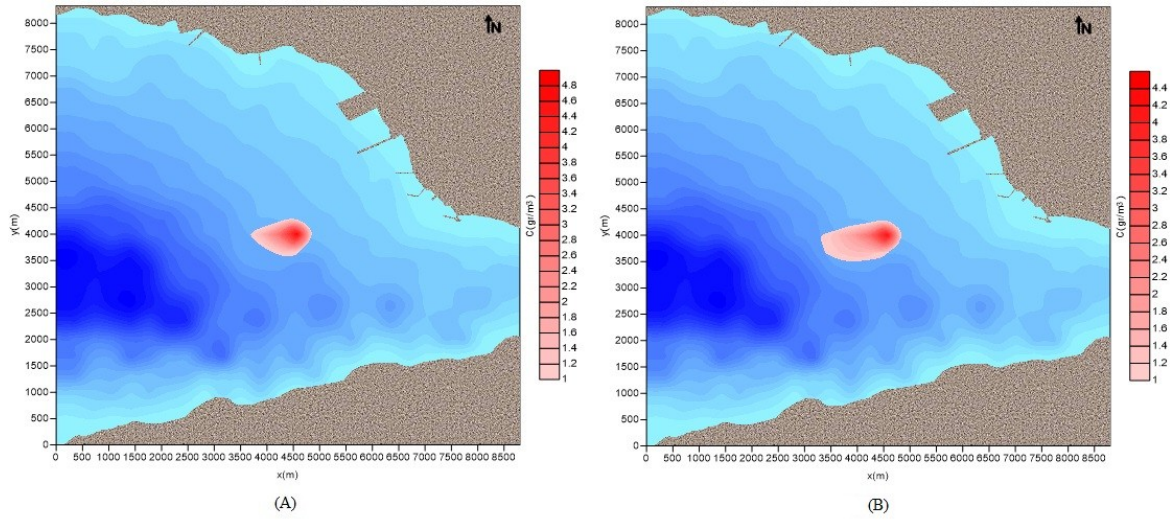
Şekil 54. Senaryo 7'ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

Senaryo 7'ye ait Basra-Hafif petrolünün rüzgar etkisinde yayılma ve bozunma grafikleri Ek 8'de verilmekte olup petrolün ilk altı saat için elde edilen sonuçları aşağıda sıralanmaktadır.

- Yaklaşık 1674 ton petrol (döküntü miktarının %31'i) buharlaşmaktadır.
- Petrol içinde su fazı döküntü miktarının yaklaşık %11'idir.
- Petrolün çözünürlüğü ilk altı saatte en yüksek değeri olan yaklaşık 6,24 g/s (22,5kg/h)'dir.
- Yoğunluk değeri 0,9145 g/cm³'e yükselmiştir.
- Viskozite değeri yaklaşık 469 cSt'ye yükselmiştir.

3.4.8. Senaryo 8'e ait bulgular

HYDROTAM-3D ilerlemeli yayılım modeli ile elde edilen Senaryo 8'de verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 55'te verilmektedir. Merkez havza-Doğu bölgesinde tanımlanan 5,4 ton Basra-Hafif petrolünün yaz mevsiminde döküntü simülasyonunda rüzgarın KD yönünden 9 m/s esme koşullarına göre döküntünün ilk altı saatte henüz kıyı çizgisine yaklaşması beklenmemektedir. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 700 m ve 1100 m iken, altıncı saatte yaklaşık 800 m ve 1500 m olduğu belirlenmiştir.



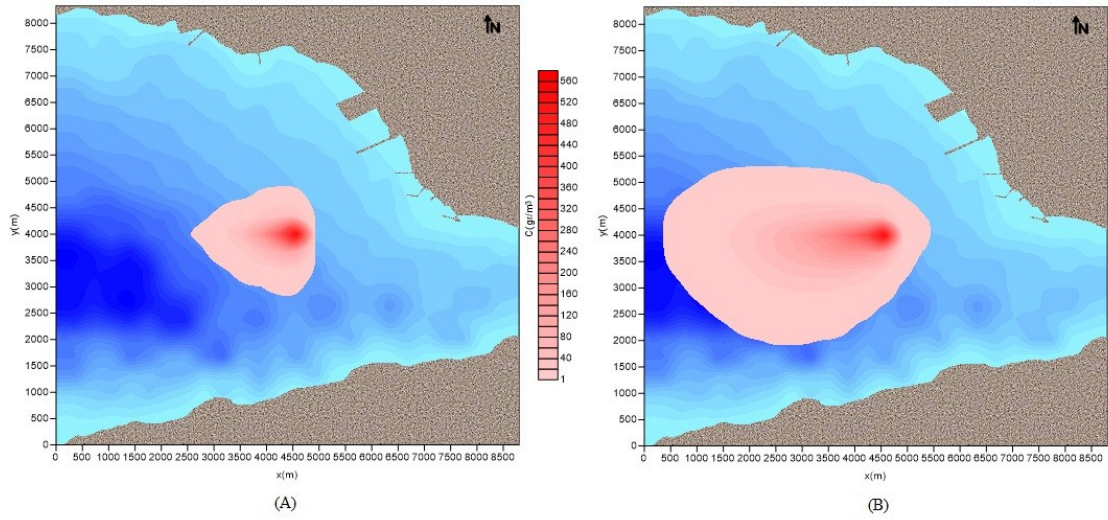
Şekil 55. Senaryo 8'e ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

Senaryo 8'e ait Basra-Hafif petrolünün rüzgar etkisinde yayılma ve bozunma grafikleri Ek 9'da verilmekte olup petrolün ilk altı saat için elde edilen sonuçları aşağıda sıralanmaktadır.

- Yaklaşık 1,67 ton petrol (döküntü miktarının %31'i) buharlaşmaktadır.
- Petrol içinde su fazı döküntü miktarının yaklaşık %45'idir.
- Petrolün çözünürlüğü ilk altı saatte en yüksek değeri olan yaklaşık 15 g/s (54 kg/h)'dir.
- Yoğunluk değeri 0,9542 g/cm³'e yükselmiştir.
- Viskozite değeri yaklaşık 1455 cSt'ye yükselmiştir.

3.4.9. Senaryo 9'a ait bulgular

HYDROTAM-3D ilerlemeli yayılım modeli ile elde edilen Senaryo 9'da verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 56'da verilmektedir. Merkez havza-Doğu bölgesinde tanımlanan 620 ton Basra-Hafif petrolünün yaz mevsiminde döküntü simülasyonunda rüzgarın KD yönünden 3,7 m/s esme koşullarına göre döküntü ilk altı saatte Güneybatı yönünde merkez havza ortalarına doğru ilerlemekte olup Karamürsel kıyılarına doğru yaklaşmaktadır. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 2150 m ve 2300 m iken, altıncı saatte yaklaşık 3400 m ve 5000 m olduğu belirlenmiştir.



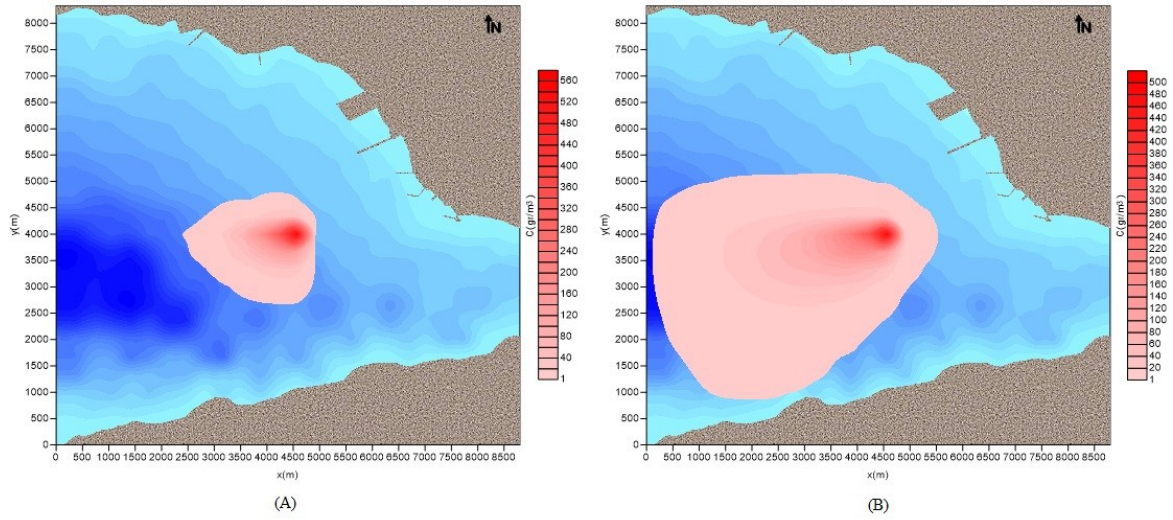
Şekil 56. Senaryo 9’a ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

Senaryo 9’a ait Basra-Hafif petrolünün rüzgar etkisinde yayılma ve bozunma grafikleri Ek 10’da verilmekte olup petrolün ilk altı saat için elde edilen sonuçları aşağıda sıralanmaktadır.

- Yaklaşık 192 ton petrol (döküntü miktarının yaklaşık %31’i) buharlaşmaktadır.
- Petrol içinde su fazı döküntü miktarının yaklaşık %11’idir.
- Petrolün çözünürlüğü ilk altı saatte en yüksek değeri olan yaklaşık 219 g/s (788,4 kg/h)’dir.
- Yoğunluk değeri 0,9145 g/cm³’e yükselmiştir.
- Viskozite değeri yaklaşık 469 cSt’ye yükselmiştir.

3.4.10. Senaryo 10’a ait bulgular

HYDROTAM-3D ilerlemeli yayılım modeli ile elde edilen Senaryo 10’da verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 57’de verilmektedir. Merkez havza-Doğu bölgesinde tanımlanan 620 ton Basra-Hafif petrolünün yaz mevsiminde döküntü simülasyonunda rüzgarın KD yönünden 9 m/s esme koşullarına göre döküntü ilk altı saatte Güneybatı yönünde merkez havza ortalarına doğru ilerlemekte olup kıyı çizgisine oldukça yaklaşmıştır. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 2150 m ve 2450 m iken, altıncı saatte yaklaşık 4150 m ve 5450 m olduğu belirlenmiştir.



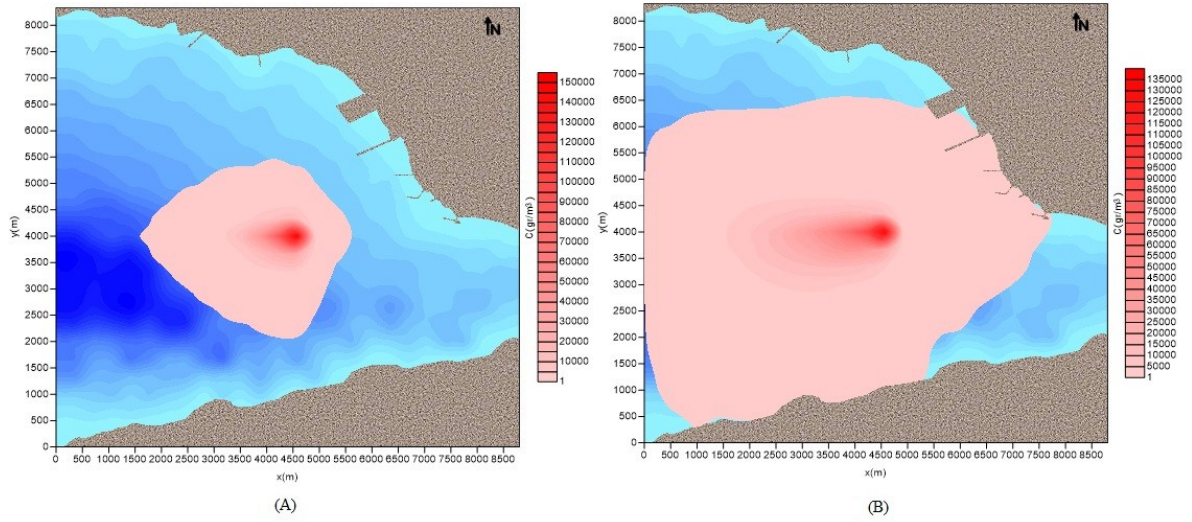
Şekil 57. Senaryo 10'a ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

Senaryo 10'a ait Basra-Hafif petrolünün Bölüm 2.7'de verilen metodolojiye göre rüzgar etkisinde yayılma ve bozunma grafikleri Ek 11'de verilmekte olup petrolün ilk altı saat için elde edilen sonuçları aşağıda sıralanmaktadır.

- Yaklaşık 192 ton petrol (döküntü miktarının yaklaşık %31'i) buharlaşmaktadır.
- Petrol içinde su fazı döküntü miktarının yaklaşık %45'idir.
- Petrolün çözünürlüğü ilk altı saatte en yüksek değeri olan yaklaşık 527 g/s (1897 kg/h)'dir.
- Yoğunluk değeri 0,9542 g/cm³'e yükselmiştir.
- Viskozite değeri yaklaşık 1455 cSt'ye yükselmiştir.

3.4.11. Senaryo 11'e ait bulgular

HYDROTAM-3D ilerlemeli yayılım modeli ile elde edilen Senaryo 11'de verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 58'de verilmektedir. Merkez havza-Doğu bölgesinde tanımlanan 170.000 ton Basra-Hafif petrolünün yaz mevsiminde döküntü simülasyonunda rüzgarın KD yönünden 3,7 m/s esme koşullarına göre döküntü ilk altı saatte Güneybatı yönünde merkez havza ortalarına doğru ilerlemekte olup kirlilik Karamürsel kıyılarına ulaşmaktadır. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 3400 m ve 4100 m iken, altıncı saatte yaklaşık 6300 m ve 7700 m olduğu belirlenmiştir.



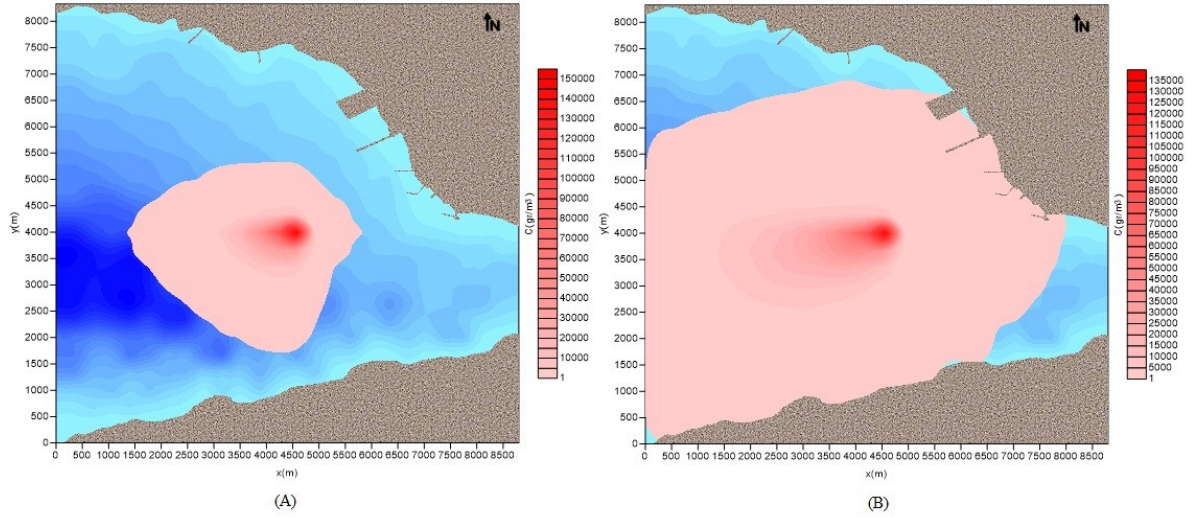
Şekil 58. Senaryo 11' e ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

Senaryo 11'e ait Basra-Hafif petrolünün rüzgar etkisinde yayılma ve bozunma grafikleri Ek 12'de verilmekte olup petrolün ilk altı saat için elde edilen sonuçları aşağıda sıralanmaktadır.

- Yaklaşık 52.700 ton petrol (döküntü miktarının yaklaşık %31'i) buharlaşmaktadır.
- Petrol içinde su fazı döküntü miktarının yaklaşık %11'idir.
- Petrolün çözünürlüğü ilk altı saatte en yüksek değeri olan yaklaşık 14.700 g/s (52.920 kg/h)'dir.
- Yoğunluk değeri 0,9145 g/cm³'e yükselmiştir.
- Viskozite değeri yaklaşık 469 cSt'ye yükselmiştir.

3.4.12. Senaryo 12'ye ait bulgular

HYDROTAM-3D ilerlemeli yayılım modeli ile elde edilen Senaryo 12'de verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 59'da verilmektedir. Merkez havza-Doğu bölgesinde tanımlanan 170.000 ton Basra-Hafif petrolünün yaz mevsiminde döküntü simülasyonunda rüzgarın KD yönünden 9 m/s esme koşullarına göre döküntü ilk altı saatte Güneybatı yönünde merkez havza ortalarına doğru ve Karamürsel ve Körfez bölgesi kıyılarına ulaşmaktadır. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 3600 m ve 4500 m iken, altıncı saatte yaklaşık 6800 m ve 7500 m olduğu belirlenmiştir.



Şekil 59. Senaryo 12'ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

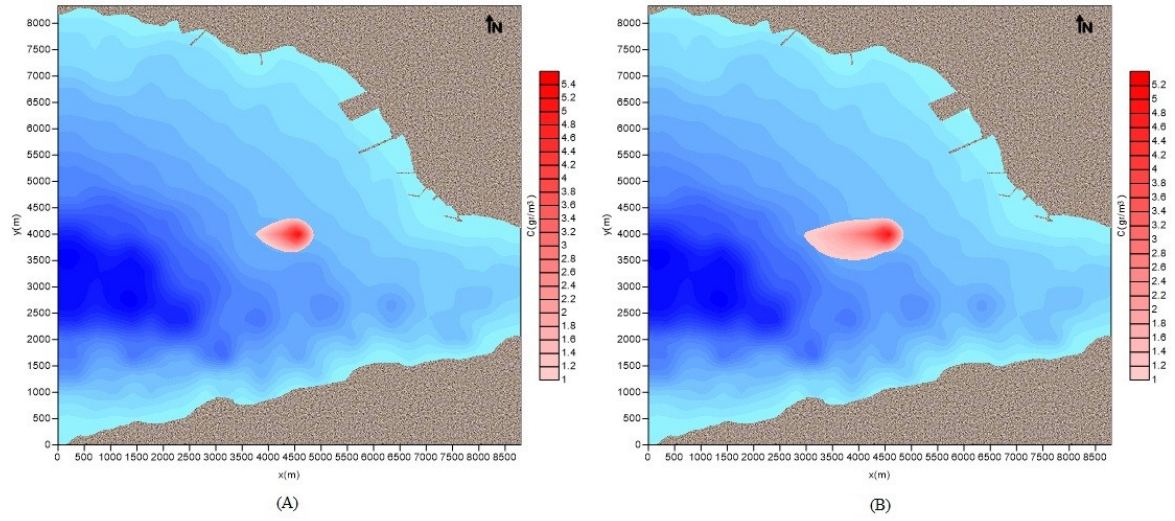
Senaryo 12'ye ait Basra-Hafif petrolünün Bölüm 2.7'de verilen metodolojiye göre rüzgar etkisinde yayılma ve bozunma grafikleri Ek 13'te verilmekte olup petrolün ilk altı saat için elde edilen sonuçları aşağıda sıralanmaktadır.

- Yaklaşık 52.700 ton petrol (döküntü miktarının yaklaşık %31'i) buharlaşmaktadır.
- Petrol içinde su fazı döküntü miktarının yaklaşık %45'idir.
- Petrolün çözünürlüğü ilk altı saatte en yüksek değeri olan yaklaşık 35500 g/s (127.800 kg/h)'dir.
- Yoğunluk değeri 0,9542 g/cm³'e yükselmiştir.
- Viskozite değeri yaklaşık 1455 cSt'ye yükselmiştir.

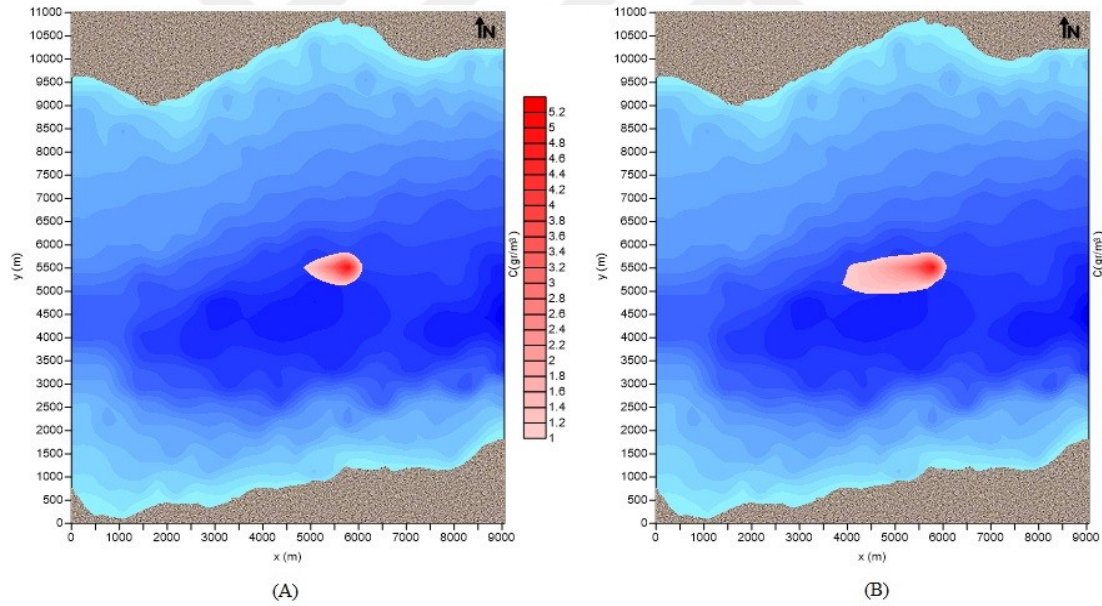
3.4.13. Senaryo 13'e ait bulgular

HYDROTAM-3D ilerlemeli yayılım modeli ile elde edilen Senaryo 13-A ve 13-B'de verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 60 ve 61'de sunulmaktadır.

Şekil 60'da Merkez havza-Doğu bölgesinde tanımlanan 5,4 ton Rus-Ural petrolünün yaz mevsiminde döküntü senaryosunda rüzgarın KD yönünden 3,7 m/s hızla esme koşullarına göre döküntü ilk altı saatte Batı yönünde merkez havza ortalarına doğru ilerleme göstermektedir. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 700m ve 900 m iken, altıncı saatte yaklaşık 800m ve 1900m civarındadır.



Şekil 60. Senaryo 13-A'ya ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).



Şekil 61. Senaryo 13B'ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

Şekil 61'de Merkez havza-Orta bölgesinde tanımlanan 5,4 ton Rus-Ural petrolünün yaz mevsiminde döküntü senaryosunda rüzgarın KD yönünden 3,7 m/s hızla esme koşullarına göre döküntü ilk altı saatte merkez havza- batısına doğru ilerlemektedir. Döküntünün çapları

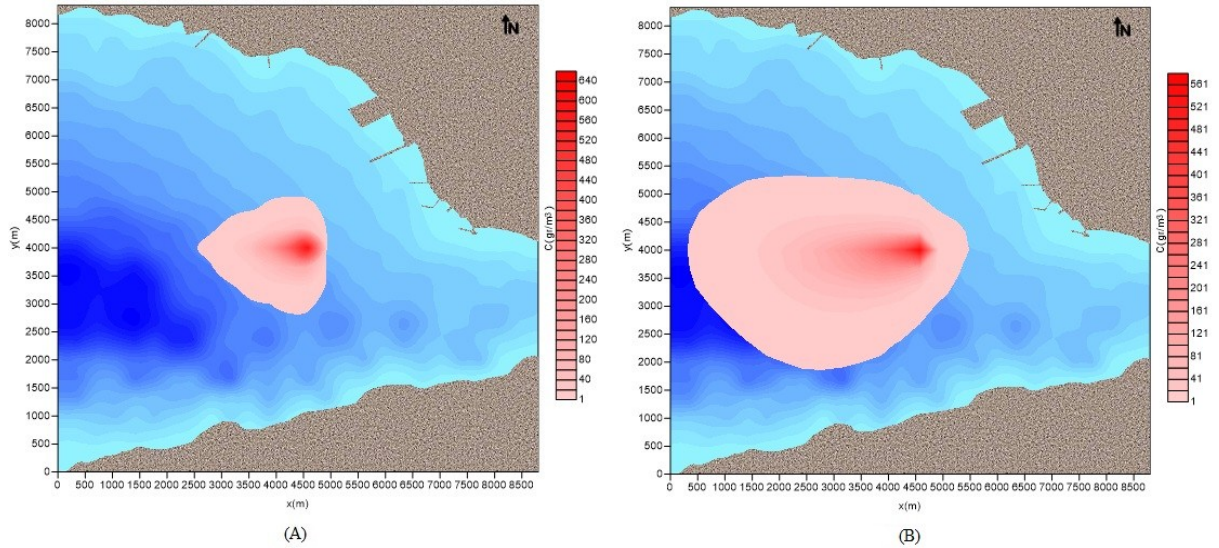
birinci saatte yaklaşık 500m ve 1000 m iken, altıncı saatte yaklaşık 1000m ve 2000m civarındadır.

Senaryo 13-A ve 13-B'ye ait Rus-Ural petrolünün Bölüm 2.7'de tanımlanan metodolojiye göre alansal yayılma ve bozunma grafikleri Ek 14'te verilmekte olup petrolün ilk altı saat için elde edilen sonuçları aşağıda sıralanmaktadır.

- Yaklaşık 0,9 ton petrol (döküntü miktarının yaklaşık %17'si) buharlaşmaktadır.
- Petrol içinde su fazı döküntü miktarının yaklaşık %12'sidir.
- Petrolün çözünürlüğü ilk altı saatte en yüksek değeri olan yaklaşık 32,25 g/s (116,1 kg/h)'dir.
- Yoğunluk değeri 0,9052 g/cm³'e yükselmiştir.
- Viskozite değeri yaklaşık 111 cSt'ye yükselmiştir.

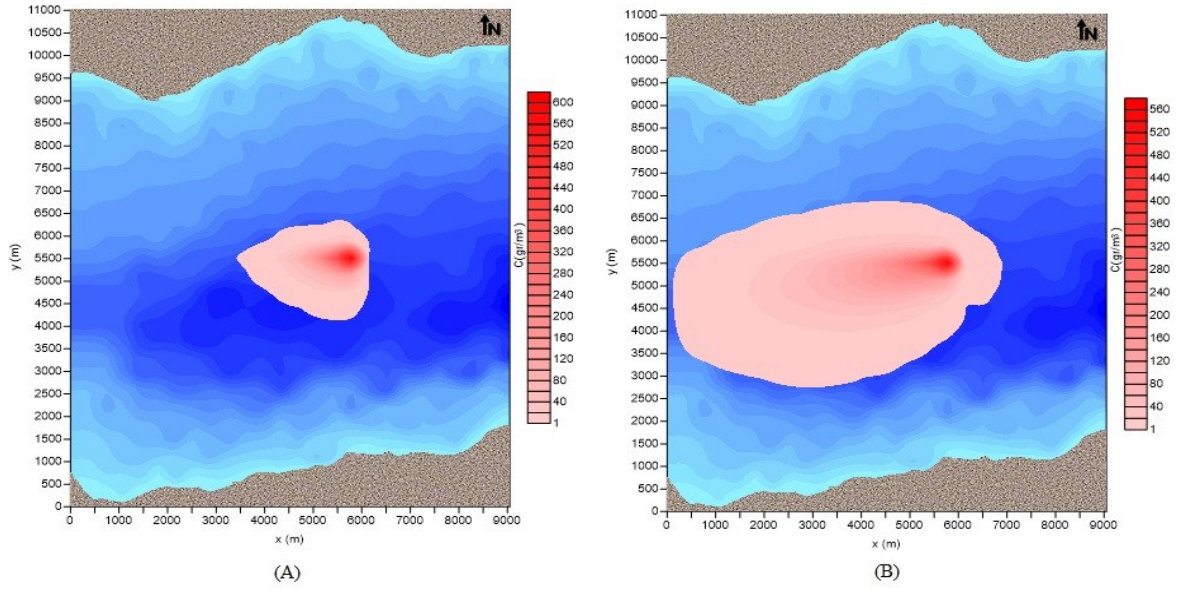
3.4.14. Senaryo 14'e ait bulgular

HYDROTAM-3D ilerlemeli yayılım modeli ile elde edilen Senaryo 14-A'da verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 62'de sunulmaktadır. Merkez havza-Doğu bölgesinde tanımlanan 620 ton Rus-Ural petrolünün yaz mevsiminde döküntü senaryosunda rüzgarın KD yönünden 3,7 m/s hızla esme koşullarına göre döküntü ilk altı saatte Güneybatı yönünde merkez havza ortalarına ve Karamürsel kıyılarına doğru ilerleme gösterdiği belirlenmiştir. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 2200 m ve 2500 m iken, altıncı saatte yaklaşık 3500 m ve 5200 m civarındadır.



Şekil 62. Senaryo 14-A'ya ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

HYDROTAM-3D ilerlemeli yayılım modeli ile elde edilen Senaryo 14-B’de verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki rüzgar ve akıntı etkisindeki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 63’te sunulmaktadır. Merkez havza-Orta bölgesinde tanımlanan 620 ton Rus-Ural petrolünün yaz mevsiminde döküntü senaryosunda rüzgarın KD yönünden 3,7 m/s hızla esme koşullarına göre döküntü ilk altı saatte Batı-Güneybatı yönünde merkez havzadan Batı havzaya doğru ilerlemektedir. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 2300 m ve 2700 m iken, altıncı saatte yaklaşık 4000 m ve 6700 m civarındadır.



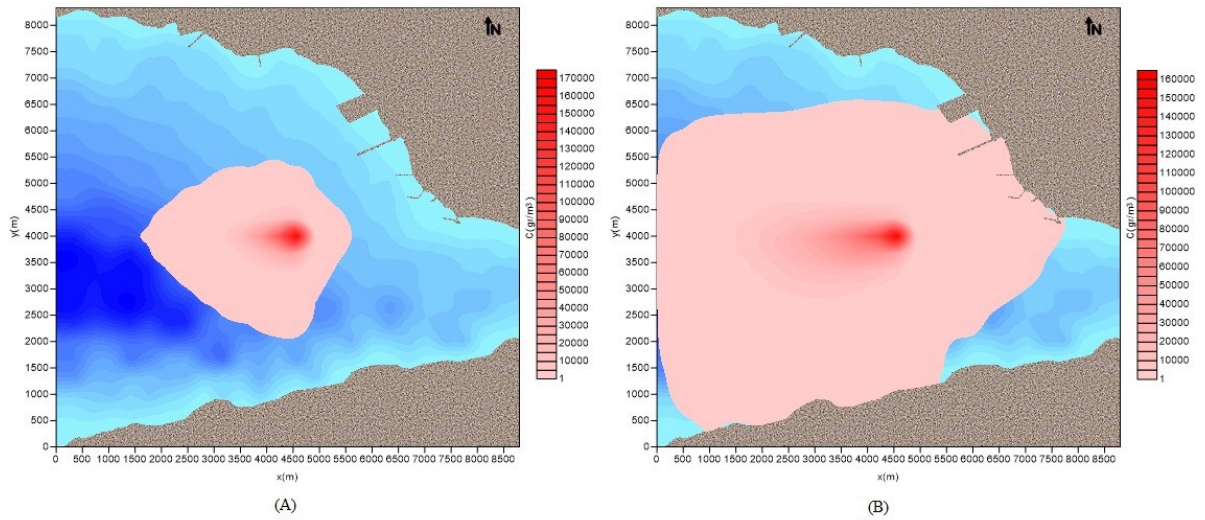
Şekil 63. Senaryo 14-B’ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

Senaryo 14’e ait Rus-Ural petrolünün Bölüm 2.7’de tanımlanan metodolojiye göre alansal yayılma ve bozunma grafikleri Ek 15’te verilmekte olup petrolün ilk altı saat için elde edilen sonuçları aşağıda sıralanmaktadır.

- Yaklaşık 105 ton petrol (döküntü miktarının yaklaşık %17’si) buharlaşmaktadır.
- Petrol içinde su fazı döküntü miktarının yaklaşık %12’sidir.
- Petrolün çözünürlüğü ilk altı saatte en yüksek değeri olan yaklaşık 1130 g/s (4068 kg/h)’dir.
- Yoğunluk değeri 0,905 g/cm³’e yükselmiştir.
- Viskozite değeri yaklaşık 111 cSt’ye yükselmiştir.

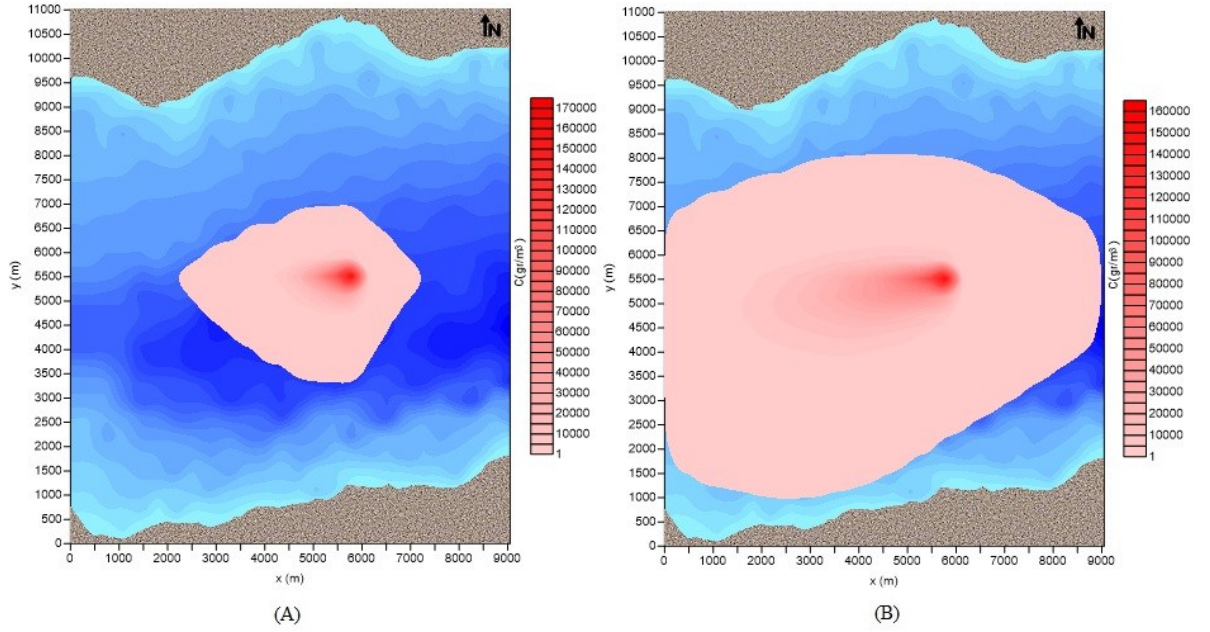
3.4.15. Senaryo 15'e ait bulgular

HYDROTAM-3D ilerlemeli yayılım modeli ile elde edilen Senaryo 15'te verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 64'te sunulmaktadır. Merkez havza-Doğu bölgesinde tanımlanan 170.000 ton Rus-Ural petrolünün yaz mevsiminde döküntü senaryosunda rüzgarın KD yönünden 3,7 m/s hızla esme koşullarına göre döküntü ilk altı saatte Kuzeydoğu ve Güneybatı kıyılarına ulaşmıştır ve merkez havza-orta bölgesi boyunca ilerlemektedir. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 3400 m ve 4000 m iken, altıncı saatte yaklaşık 6500 m ve 7000 m civarındadır.



Şekil 64. Senaryo 15-A'ya ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

HYDROTAM-3D ilerlemeli yayılım modeli ile elde edilen Senaryo 15'te verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 65'te sunulmaktadır. Merkez havza-Orta bölgesinde tanımlanan 170.000 ton Rus-Ural petrolünün yaz mevsiminde döküntü senaryosunda rüzgarın KD yönünden 3,7 m/s hızla esme koşullarına göre döküntü ilk altı saatte Kuzeydoğu ve Güneybatı kıyılarına ulaşmakta olup merkez havza-orta bölgesi boyunca ilerlemektedir. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 3700 m ve 5200 m iken, altıncı saatte yaklaşık 7000 m ve 9000 m civarındadır.



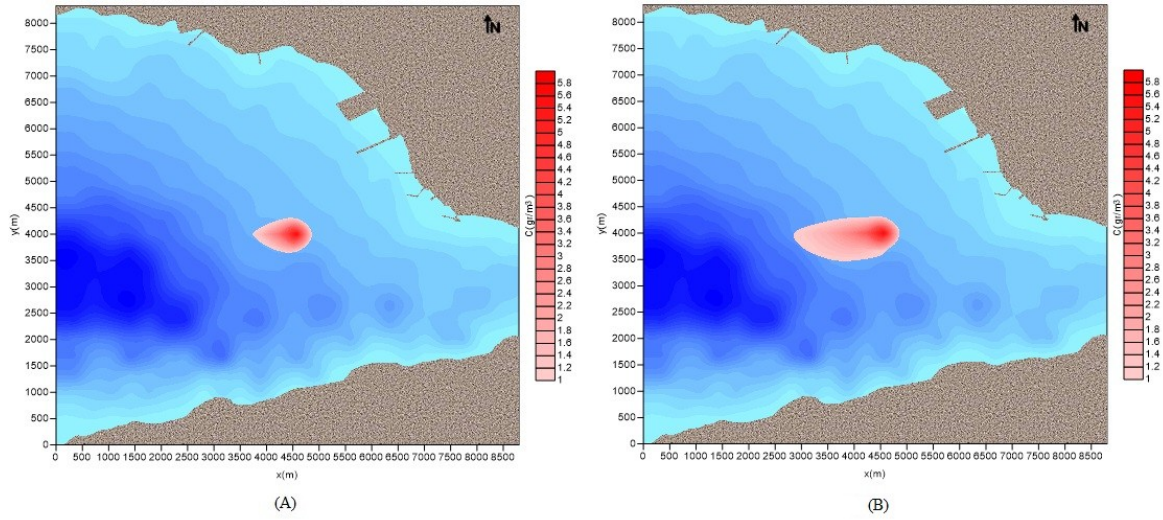
Şekil 65. Senaryo 15-B'ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

Senaryo 15'e ait Rus-Ural petrolünün Bölüm 2.7'de tanımlanan metodolojiye göre alansal yayılma ve bozunma grafikleri Ek 16'da verilmekte olup petrolün ilk altı saat için elde edilen sonuçları aşağıda sıralanmaktadır.

- Yaklaşık 28.900 ton petrol (döküntü miktarının yaklaşık %17'si) buharlaşmaktadır.
- Petrol içinde su fazı döküntü miktarının yaklaşık %12'sidir.
- Petrolün çözünürlüğü ilk altı saatte en yüksek değeri olan yaklaşık 76.220 g/s (274.392 kg/h)'dir.
- Yoğunluk değeri 0,905 g/cm³'e yükselmiştir.
- Viskozite değeri yaklaşık 111 cSt'ye yükselmiştir.

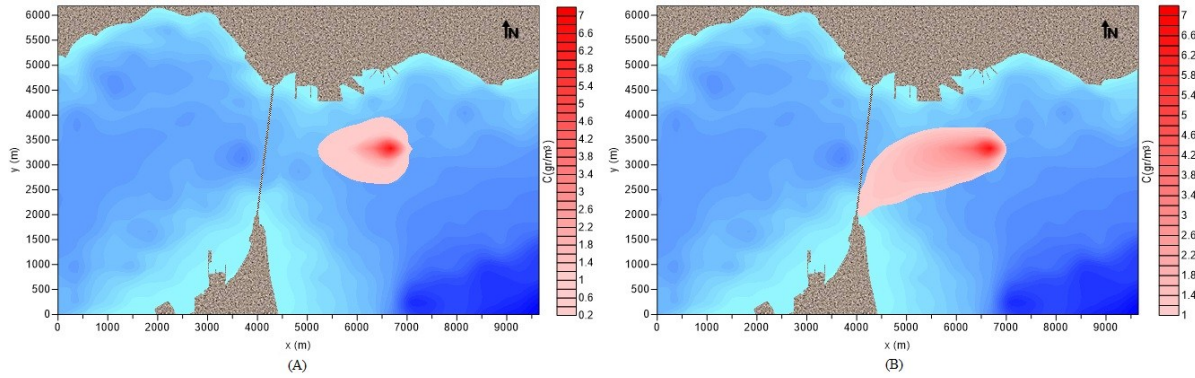
3.4.16. Senaryo 16'ya ait bulgular

HYDROTAM-3D ilerlemeli yayılım modeli ile elde edilen Senaryo 16-A'da verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 66'da sunulmaktadır. Merkez havza-Doğu bölgesinde tanımlanan 5,4 ton Fuel oil'in yaz mevsimi döküntü senaryosunda rüzgarın KD yönünden 3,7 m/s hızla esme koşullarına göre döküntü ilk altı saatte Batı yönünde merkez havza ortalarına doğru ilerleme göstermektedir. Kıyıya ilk altı saatte ulaşamayacağı belirlenmiştir. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 700 m ve 1200 m iken, altıncı saatte yaklaşık 800 m ve 2000 m civarındadır.



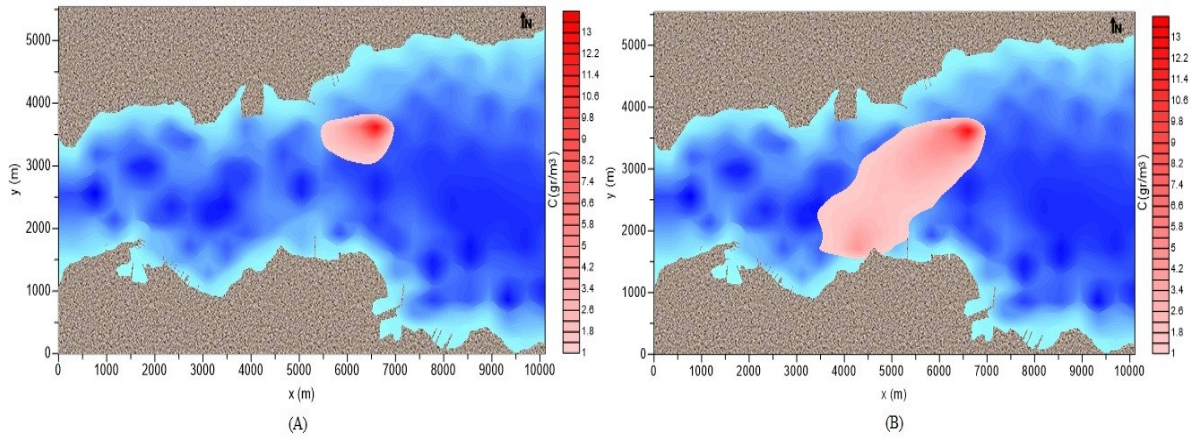
Şekil 66. Senaryo 16-A'ya ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

HYDROTAM-3D ilerlemeli yayılım modeli ile elde edilen Senaryo 16-B'de verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 67'de sunulmaktadır. Merkez havza-Batı bölgesinde tanımlanan 5,4 ton Fuel oil'in yaz mevsimi döküntü senaryosunda rüzgarın KD yönünden 3,7 m/s hızla esme koşullarına göre döküntü ilk altı saatte Dil burnunun Batı havzaya doğru ilerlemektedir. Altınova kıyısına ulaşmıştır. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 1200 m ve 1800 m iken, altıncı saatte yaklaşık 1100 m ve 3000 m civarındadır.



Şekil 67. Senaryo 16-B'ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

HYDROTAM-3D ilerlemeli yayılım modeli ile elde edilen Senaryo 16-C’de verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 68’de sunulmaktadır. Doğu havza’da (Derince bölgesinde) tanımlanan 5,4 ton Fuel oil’in yaz mevsimi döküntü senaryosunda rüzgarın KD yönünden 3,7 m/s hızla esme koşullarına göre döküntü ilk altı saatte Güneybatı yönünde ilerleyerek Gölcük kıyılarına ulaşmaktadır. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 600 m ve 1500 m iken, altıncı saatte yaklaşık 1400 ve 5200 m civarındadır.



Şekil 68. Senaryo 16-C’ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

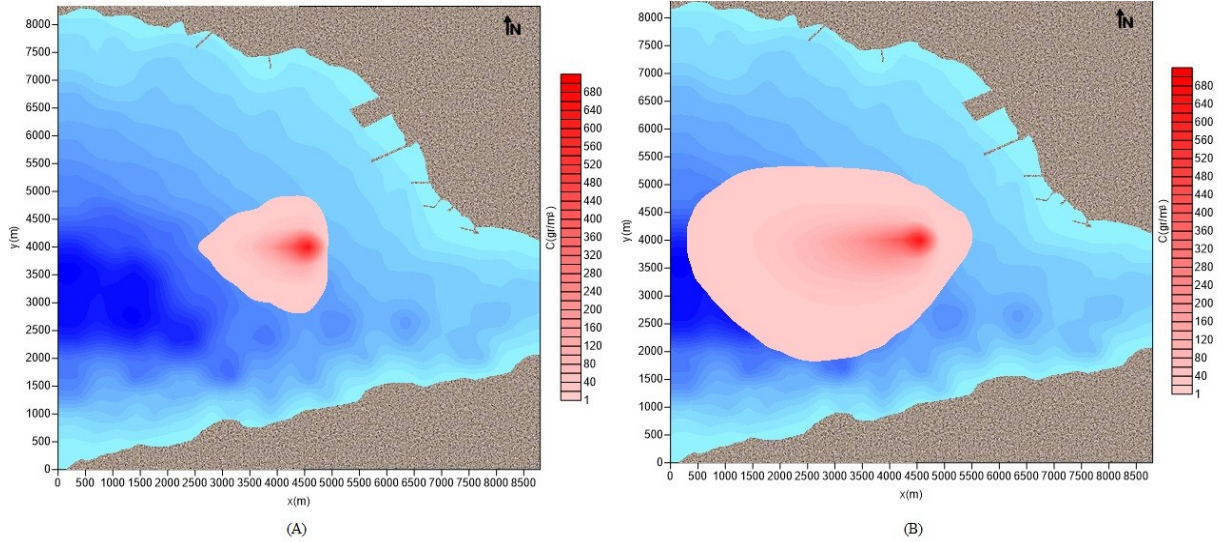
Senaryo 16-A, 16-B ve 16-C’ye ait Fuel oil’in Bölüm 2.7’de tanımlanan metodolojiye göre alansal yayılma ve bozunma grafikleri Ek 17’de verilmekte olup petrolün ilk altı saat için elde edilen sonuçları aşağıda sıralanmaktadır.

- Yaklaşık 0,22 ton petrol (döküntü miktarının yaklaşık %4’ü) buharlaşmaktadır.
- Petrol içinde su fazı döküntü miktarının yaklaşık %12,5’idir.
- Petrolün çözünürlüğü ilk altı saatte en yüksek değeri olan yaklaşık 99,3 g/s (357,480 kg/h)’dir.
- Yoğunluk değeri 0,991 g/cm³’e yükselmiştir.
- Viskozite değeri yaklaşık 1711 cSt’ye yükselmiştir.

3.4.17. Senaryo 17’ye ait bulgular

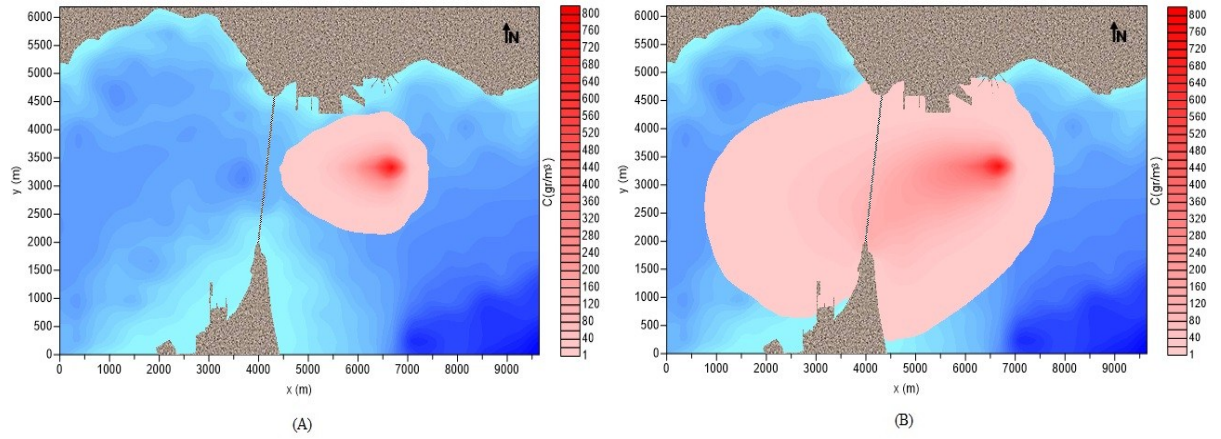
HYDROTAM-3D ilerlemeli yayılım modeli ile elde edilen Senaryo 17-A’da verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 69’da

sunulmaktadır. Merkez havza-Doğu bölgesinde tanımlanan 620 ton Fuel oil'in yaz mevsimi döküntü senaryosunda rüzgarın KD yönünden 3,7 m/s hızla esme koşullarına göre döküntü ilk altı saatte Batı yönünde merkez havza ortalarına ve Güneybatı kıyılarına doğru ilerleme göstermekte olup henüz kıyı çizgisine ulaşmamıştır. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 2300 m ve 2500 m iken, altıncı saatte yaklaşık 3500 m ve 5300 m civarındadır.



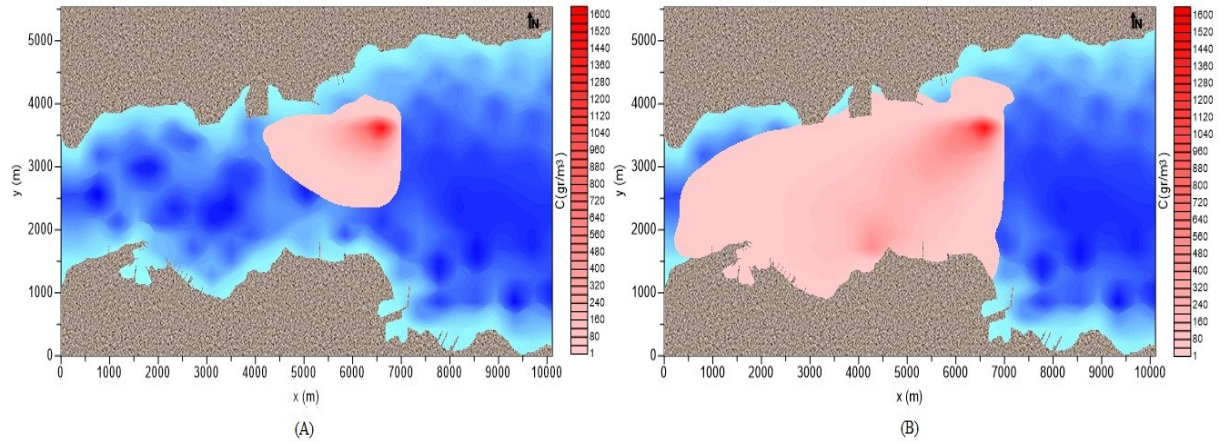
Şekil 69. Senaryo 17-A'ya ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

HYDROTAM-3D ilerlemeli yayılım modeli ile elde edilen Senaryo 17-B'de verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 70'de sunulmaktadır. Merkez havza-Batı bölgesinde tanımlanan 620 ton Fuel oil'in yaz mevsimi döküntü senaryosunda rüzgarın KD yönünden 3,7 m/s hızla esme koşullarına göre döküntü ilk altı saatte Dil burnunu geçerek Batı havzaya doğru ilerlemektedir. Ayrıca döküntü altıncı saatte Kuzey ve Güney kıyıları boyunca ilerlemek suretiyle Dilovası ve Altınova kıyılarına ulaştığı belirlenmiştir. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 2100 m ve 2900 m iken, altıncı saatte yaklaşık 4000 m ve 6800 m civarındadır.



Şekil 70. Senaryo 17-B'ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

HYDROTAM-3D ilerlemeli yayılım modeli ile elde edilen Senaryo 17-C'de verilen döküntünün (A) bir saat ve (B) altı saat sonraki taşınımına ait simülasyonlar Şekil 71'de sunulmaktadır. Doğu havzada (Derince bölgesinde) tanımlanan 620 ton Fuel oil'in yaz mevsimi döküntü senaryosunda rüzgarın KD yönünden 3,7 m/s hızla esme koşullarına göre döküntü ilk altı saatte merkez havzaya doğru ilerleyerek Derince ve Gölcük kıyılarına ulaştığı belirlenmiştir. Döküntünün çapları birinci saatte yaklaşık 1800 m ve 2900 m iken, altıncı saatte yaklaşık 3000 m ve 6800 m civarındadır.



Şekil 71. Senaryo 17-C'ye ait petrol kirliliği taşınımı dökülme başlangıcından A) bir saat sonra B) altı saat sonra (HYDROTAM-3D, 2022).

Senaryo 17'ye ait Rus-Ural petrolünün Bölüm 2.7'de tanımlanan metodolojiye göre alansal yayılma ve bozunma grafikleri Ek 18'de verilmekte olup petrolün ilk altı saat için elde edilen sonuçları aşağıda sıralanmaktadır.

- Yaklaşık 24,8 ton petrol (döküntü miktarının yaklaşık %4'ü) buharlaşmaktadır.
- Petrol içinde su fazı döküntü miktarının yaklaşık %12,5'idir.
- Petrolün çözünürlüğü ilk altı saatte en yüksek değeri olan yaklaşık 3483 g/s (12.538 kg/h)'dir.
- Yoğunluk değeri 0,991 g/cm³'e yükselmiştir.
- Viskozite değeri yaklaşık 1711 cSt'ye yükselmiştir.



4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Ekosistemde bozucu etkilere sahip ve müdahalesi zor bir kirlilik türü olan petrol kirliliğinin ne zaman ve nerede meydana geleceği önceden bilinemediği için böyle bir kirlilik riskine karşı her an hazır olunacak şekilde önlemler alınmalıdır. Kirlilikle mücadelede iki farklı önlem tipi mevcut olup bunlardan birincisi kirlilik oluşmadan önce kirlilik ve kaza risklerini önleyici unsurları belirlemek ve uygulamak, ikincisi ise kaza meydana geldikten sonra yapılacakları kaza meydana gelmeden belli bir teknik donanım ile belirlemek ve uygulamaktır. Birinci önlemler uluslararası (MARPOL 73/78 Ek-1) ve ulusal/bölgesel yönetmelik ve kuralları kapsamaktadır. İkincisi ise kaza meydana geldikten sonra yapılması gereken müdahaledeki stratejiyi belirleyen, acil müdahale planlarında belirlenen uygulamalardır. Acil müdahale planları bir kaza meydana gelmeden önce olası kaza senaryolarına göre kaza risklerinin belirlenerek, oluşması muhtemel senaryolara yönelik hazırlıklı olmayı sağlamaktadır (Başar, 2010; Bozkurtoğlu, 2017). Kirlilik izleme ve erken uyarı sistemleri ve kirlilik modelleme çalışmaları bu hususta acil müdahale planlarını desteklemek için yapılmaktadır. Doğru ve hızlı müdahale dökülen petrolün toplanmasında ve ekosistem tahribatının en aza indirilmesinde büyük destek sunmaktadır.

Tez çalışmasının birinci bölümünde bahsedildiği gibi dünyada kullanılan ve birçok uygulama alanları olan petrol kirliliği dağılım modelleri bulunmaktadır. Tez çalışmasında hidrodinamik modelleme programı olarak kullanılan HYDROTAM-3D Türkiye kıyıları için geliştirilmiş ve bu kıylara ait meteorolojik ve oşinografik bir veri sistemine sahip olan kullanıcı dostu bir yazılımdır. Petrol kirliliği açısından değerlendirilecek olursa, pratik çıktılar üretebilecek bir program olması sebebiyle Türkiye kıyı sularında acil müdahale planlamalarına entegre edilmesi büyük avantaj sağlayacaktır.

Dünyadaki kaza istatistikleri incelendiğinde kaza sayısı ve dökülen miktardaki azalma denizcilikte IMO tarafından uygulanan uluslararası ve ulusal kurallar ile teknolojik gelişmelerin bir etkisi olarak ortaya çıkmaktadır. Deniz ticaretinde alternatif yakıt arayışına

yönelik gelecekteki IMO uygulamaları ise emisyon miktarındaki (Ülker ve diğerleri, 2021) azalmanın yanı sıra yakıt kaynaklı petrol kirliliğinin de önüne geçecektir.

Tez çalışmasında kaza istatistikleri ve kaza raporlarına yönelik T.C Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı tarafından açık erişime sunulan kaynaklar incelenmiştir (Denizcilik Genel Müdürlüğü, 2022; Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Ulaşım Emniyeti İnceleme Merkezi, 2022). İstatistiklerin İstanbul Boğazı, Marmara ve Çanakkale Boğazı toplamını kapsadığı belirlenmiştir. Bu kazalar incelendiğinde İzmit Körfezi'nin tanker olmayan gemilerden kaynaklı yakıt kirliliğine de maruz kaldığı görülmektedir. Kazalar gemi kaynaklı ya da tesis kaynaklı operasyonel hatalardan meydana gelebileceği gibi İzmit Körfezi'nin Kuzey Marmara fay hattı üzerinde bulunması geçmişte olduğu gibi deprem sebebiyle meydana gelecek petrol kirliliği riskini de barındırmaktadır. Diğer yandan bölgesel alınan önlemler arasında İzmit Körfezi'nin 2016 yılında GTH kontrolünde sektörlere ayrılmış olması bölgedeki gemi kaynaklı kaza risklerini önleyici bir unsur olarak değerlendirilmektedir.

İzmit Körfezi'ndeki gemi ve yük istatistikleri incelendiğinde ham petrol tankerlerinin toplam uğraklı gemiler içerisindeki payı yaklaşık olarak %1'dir. Bu rakama rafine petrol ürünleri taşıyan tankerler de eklendiğinde ham petrol ve rafine petrol tankerlerinin toplam uğraklı gemiler içindeki payı %15'e ulaşmaktadır. Gemi başına taşınan yük açısından ortalama değerler incelendiğinde ise ham petrol tankerlerinin rafine petrol taşımacılığı yapan tankerlerden yaklaşık 10 kat daha fazla yük taşıdığı görülmektedir. Uğraklı gemi sayısına bağlı kaza olasılığı değerlendirilirken ham petrol tankerlerinden kaza olasılığı düşük görülmekle birlikte döküntü miktarı açısından bir petrol tankerinden kaynaklanacak döküntü miktarına bağlı kirlilik riskinin büyük olacağı değerlendirilmektedir.

İzmit Körfezi liman tesisleri rıhtım ve kapasiteleri açısından değerlendirilmiştir. En büyük kapasitede gemi yanaşmasına imkan veren rıhtım Tüpraş terminalinin 9 numaralı platform iskelesidir (Tüpraş, 2015). Bu iskele maksimum 300.000 DWT kapasitede gemi yanaşması için uygundur. Bu ölçekte bir geminin yakıt, balast gibi ağırlıkları düşüldükten sonra takribi 285.000 ton yük taşıma kapasitesi kabul edilirse Tüpraş rıhtımında olası bir kazada en kötü senaryo olarak maksimum ham petrol döküntü miktarı 285.000 ton/gemi olarak belirlenmiştir. Bu tesislerden Tüpraş terminalinde ham petrol ve rafine ürünler diğer terminallerde ise yalnızca rafine petrol ürünleri elleçlendiği belirlenmiştir. Ham petrol elleçlemesinin yapıldığı tek terminal Tüpraş olması sebebiyle rıhtımda operasyonel

kazalardan meydana gelebilecek risklerde ham petrol döküntü riski yalnızca Tüpraş terminalinden kaynaklanabilecektir. Diğer liman ve terminaller incelendiğinde ise rafine petrol ürünlerinden ham petrole kıyasla olası en yüksek döküntü miktarı daha düşüktür. Poliport limanında maksimum 100.000 DWT kapasitede gemi yanaşmasına imkan veren rıhtım 3 ve rıhtım 4 terminalleri bulunmaktadır. 100.000 DWT kapasitede bir geminin maksimum taşıyabileceği yük miktarı dikkate alındığında maksimum döküntü riski 95.000 ton/gemi olarak belirlenmiştir.

Petrol döküntüsünün deniz ortamındaki hareketini yüzey akıntıları ve rüzgar iklimi etkilemektedir. Bu sebeple İzmit Körfezi'nde ilk olarak rüzgar ve akıntı iklimi çalışılmıştır. İzmit Körfezi'ndeki bakı noktalarında rüzgar iklimi çıktıları genel olarak Kuzey'den esen rüzgarların hakim olduğu belirlenmiştir. Ayrıca kış aylarında Güney'den esen rüzgarların da hakim olduğu görülmüştür ve Güney'den esen rüzgarların ortalama hızlarının Kuzey'den esen rüzgarların ortalama hızlarından düşük olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda rüzgar iklimi sonuçlarının (Güven ve diğerleri, 2000) çalışmasıyla örtüştüğü görülmektedir. İzmit Körfezi'nde Batı'dan esen rüzgarların yıl içinde frekansı düşüktür. Bununla birlikte Batı rüzgarları, Sur (1988) ve Müftüoğlu (2008) tarafından yapılan çalışmalarda belirtildiği gibi yüzey akıntı yönünün değişmesine sebep olarak Marmara Denizi'nden Körfez içlerine doğru akıntıyı tetiklemektedir. Geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar (Sur, 1988; Müftüoğlu, 2008) ve bu çalışmada elde edilen hidrodinamik modelleme çıktıları İzmit Körfezi akıntı profillerinin rüzgar iklimi etkisinde değişiklik gösterdiği belirlenmiştir.

İzmit Körfezi yarı kapalı bir deniz olması sebebiyle burada bir açık deniz alanındaki gibi yüksek akıntı hızına rastlanmamaktadır. İzmit Körfezi'nde HYDROTAM-3D modelleme sonuçlarıyla elde edilen akıntı iklimi çıktıları senaryoların tanımlandığı dört bakı noktası için elde edilmiştir. Bu bölgelerde yıllık akıntı güllerinde hakim akıntı yönü BKB ve KKB olarak belirlenmiştir. İzmit Körfezi'nin Doğu havzasında yer alan Derince bölgesinde seçilen bakı noktası ortalama akıntı hızının diğer üç bakı noktasına kıyasla düşük olması bu basenin daha kapalı topoğrafik yapısından kaynaklanmaktadır. Merkez havza – orta bakı noktasında elde edilen akıntı güllerinde kış mevsimi birbirine yakın frekansta KD, KB, BKB ve KKD gibi çok yönlü bir akıntı sistemi sunmaktadır. Bu çok yönlü akıntı sistemi İzmit Körfezinin oşinografik yapısına bağlı olarak Müftüoğlu, (2008) tarafından belirtilen kış ve ilkbahar mevsiminde meydana gelen Körfez'in merkez havzasında siklonik ve antisiklonik döngülerin etkisi ile

meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca körfezde su yenilenmesinde etkin olan boğumlarda (Balkıs, 2003) kesit daraldığı için yüzey akıntılarının daha yüksek hızda meydana geldiği görülmektedir.

Dalga iklimi sonuçları incelendiğinde ise İzmit Körfezi'nde belirgin ortalama dalga yüksekliklerin düşük olduğu görülmektedir. Bu değer kış mevsiminde yaklaşık 0,8 m iken yaz mevsiminde 0,3 m değerine düşmektedir. İzmit Körfezi'nde (Ülker ve diğerleri, 2022) tarafından yapılan çalışmada bölgenin belirgin ortalama dalga yüksekliği değerlerinin yarı kapalı bir basen olmasından dolayı petrolün dikey dağılım mekanizmasında ihmal edilebilir olduğu belirtilmektedir.

HYDROTAM-3D kirletici yönetimi modülüne entegre edilen İzmit Körfezi'nde petrol elleçlemesi yapan terminallerin Körfez'in Kuzey kıyılarında konumlandığı gözlenmektedir. Tez çalışmasında 17 farklı döküntü senaryosu farklı petrol tipleri, döküntü miktarı ve mevsimsel koşullar dikkate alınarak tesislerin konumlarına göre seçilen bölgeler üzerinden oluşturulmuştur. Alansal yayılma ve bozunma senaryoları için çalıştırılan model, her bir petrol sızıntısı senaryosunun zamana bağlı değişiminin farklı olduğunu göstermektedir.

Kirlilik taşınımının yönü ve hızı, rüzgar ve akıntı iklimi etkisinde meydana gelmektedir. İzmit Körfezi'nin rüzgar ve akıntı koşulları incelendiğinde meydana gelen bir kirliliğin açık deniz koşullarındaki bir döküntüye göre daha yavaş hareket edeceği görülmektedir. Düşük akıntı ve dalga yüksekliği koşulları bölgede meydana gelebilecek bir döküntü anında döküntünün kontaminasyon açısından daha az risk barındırırsa da Körfez'in dar bir basende yer alması kirliliğin çok kısa sürede kıyıya ulaşmasına sebep olmaktadır. Kabdasli ve diğerleri (2010) tarafından İzmit Körfezi'nin doğu havzasında OILMAP programı ile yapılan petrol kirliliği modellemesi çalışmasında bir saat ve 24 saat sonraki simülasyon çıktıları elde edilmiş olup 24 saat sonunda KD'den esen rüzgar durumunda kirliliğin doğu havza güney kesimlerine merkez havzaya ilerlemek suretiyle ulaştığı görülmektedir. Rüzgar hızının artışı kirliliğin kıyı şeridine ulaşma süresini hızlandırmaktadır. Kabdasli ve diğerleri (2010) tarafından yapılan çalışmada petrolün döküldüğü doğu havzasında ilerlemesi bu tez çalışmasında Şekil 47'de verilen akıntı profilleri ile örtüşmektedir.

İzmit Körfezi'nde Dilovası ve Derince bölgelerindeki boğumlarda kesit daralması sebebiyle akıntı hızı artmakta dolayısıyla bu bölgelerde çalışılan senaryolarda petrol kirliliğin daha hızlı ilerlediği görülmektedir ve kirlilik kıyı şeridine kısa sürede ulaşmaktadır. Döküntü

miktarı arttıkça kontaminasyon ve kıyıya ulaşma riski daha da artacaktır. Bu durum bölgede acil müdahale için ne kadar hızlı olunması gerektiğinin bir göstergesidir.

Bozunma mekanizmaları arasında en etkili olan buharlaşma mekanizması, ilk mekanizma olması sebebiyle petrolün diğer süreçlerini de önemli ölçüde etkilemektedir. Buharlaşmadan sonra meydana gelen emülsifikasyon süreci de petrolün yoğunluk ve viskozitesini önemli ölçüde etkileyerek özellikle viskozitede çok hızlı artışa sebep olmaktadır. Çalışılan senaryolarda görülmektedir ki viskozite değeri başlangıç değerinin binlerce katına çıkabilmektedir. Viskozitedeki artış, dökülen alandan petrolün toplanma sürecini oldukça zorlaştırmaktadır. Hızlı müdahale hem petrolün daha fazla suyla kontaminasyonunu hem de değişen petrolün yapısıyla müdahale tekniğinin zorlaşmasını önlemek için önemlidir.

Buharlaşma ve emülsifikasyon mekanizmaları, dökülen petrol tabakasının hacmini önemli ölçüde değiştirmektedir. Bunun nedeni, buharlaşma süreciyle petrolün içeriğindeki uçucu bileşenler atmosfere karışırken petrol hacimsel olarak azalmaktadır. Dolayısıyla döküntü alanından aynı miktarı toplamak mümkün değildir. Ayrıca, bu süreçler petrolün viskozite ve yoğunluğunu artırarak müdahale tekniklerinin verimliliğini etkilemektedir. Örneğin, yoğunluk ve viskozitedeki bir artış, petrolün adezyonunu ve yüzey gerilimini artırmaktadır. Bu durumda petrolü ortamdan toplamak için uygulanan sıyrıcı ve pompalar tıkanıklık gibi sorunlarla karşılaşarak müdahalenin verimi düşmektedir (ITOPF, 2011).

İlk altı saatte meydana gelen buharlaşma, emülsifikasyon, çözünme miktarları, yoğunluk ve viskozite değişimleri Bölüm 2.7'deki metodolojiye göre hesaplanmış olup 17 farklı döküntü ve çevresel koşul için tanımlanan senaryolar için Tablo 28'de verilmektedir. Bozunma mekanizmaları, petrolün döküntü konumundan ziyade çevresel koşullar ve döküntü miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu yüzden Tablo 28'de konum değişimine göre kıyaslama yapan senaryolar eklenmemiştir.

Tablo 28. Döküntü başladıktan altı saat sonra meydana gelen bozunma mekanizmaları, yoğunluk ve viskozite değerlerinin karşılaştırılması

Senaryolar	Buharlaşma (ton)	Emülsifikasyon (%)	Çözünme (kg/h)	Yoğunluk (g/cm ³)	Viskozite (cSt)
1	1,4 (%26)	12	14,40	0,9184	647
2	1,4 (%26)	12	34,40	0,9771	4910
3	161 (%26)	12	500,00	0,9184	647
4	161 (%26)	60	1.206,00	0,9771	4910
5	44.200 (%26)	12	33.732,00	0,9184	647
6	44.200 (%26)	60	81.360,00	0,9771	4910
7	1,67 (%31)	11	22,50	0,9145	469
8	1,67 (%31)	45	54,00	0,9542	1455
9	192 (%31)	11	788,40	0,9145	469
10	192 (%31)	45	1.897,00	0,9542	1455
11	52.700 (%31)	11	52.920,00	0,9145	469
12	52.700 (%31)	45	127.800,00	0,9542	1455
13	0,9 (%17)	12	116,10	0,9052	111
14	105 (%17)	12	4.068,00	0,905	111
15	28.900 (%17)	12	274.392,00	0,905	111
16	0,22 (%4)	12,50	357,48	0,991	1711
17	24,8 (%4)	12,50	12.538,00	0,991	1711

Buharlaşma miktarları karşılaştırıldığında Basra-Hafif petrolünün buharlaşması beş gün sonunda takribi %47'ye ulaşmaktadır ve en yüksek buharlaşma yüzdesine sahiptir. Senaryo 14 ve Senaryo 17'de ise bu değerler sırasıyla %25,5 ve %6,5 olarak bulunmaktadır. Bu fark petrol tiplerinin içeriğindeki uçucu bileşen miktarı ile ilgilidir.

Senaryoların çözünme oranları değerlendirildiğinde ise en yüksek çözünme miktarı yaz döneminde, rüzgar hızının ve döküntü miktarının en yüksek olduğu Senaryo 6'da gözlenmektedir. Çözünme oranlarının zamana (Ek-7 (C)) ve buharlaşma (Ek-7 (D)) oranına bağlı azaldığı grafiklerde gözlenmektedir.

Tüm senaryolarda petrolün yoğunluk ve viskozitesindeki artış gözlenmektedir. Viskozitedeki artış en yüksek Basra-Hafif petrolünde gözlenmektedir. Burada petrolün buharlaşma yüzdelерinin yüksek olması da etki etmektedir. Soğuk hava koşulları viskozite değerinin artmasına sebep olduğu için bu artış oranları kış senaryolarında daha da yüksektir.

Ayrıca FO'n (EK 9 (F)- Senaryo 8, EK 10 (F) - Senaryo 9) başlangıç viskozitesinin yüksek olması sebebiyle viskozitesi oldukça yüksek artış göstermektedir.

Bir acil müdahale planlaması ne kadar kapsamlı ve doğru karar verilmiş olursa olsun deniz ortamına dökülen petrol miktarının hepsini toplanmasını sağlayacak %100 verimli bir planlama mümkün değildir. Çünkü petrol döküldüğü andan itibaren bir dizi bozunma mekanizmasına maruz kalmaktadır ve bunlardan en önemlisi buharlaşma süreci dökülen petrolün içinde bulunan uçucu bileşenlerin atmosfere karışarak mevcut döküntü miktarında ve petrolün fizikokimyasal yapısında önemli değişikliklere sebep olmaktadır. Emülsifikasyon mekanizmasında oluşan emülsiyonda su iç fazı petrol ise dış fazı oluşturmaktadır ve böylelikle petrol içeriğine %80-90 civarında su alabilmektedir ve petrol içinde su (water content in oil) olarak ifade edilen bu mekanizma kirliliğin hacimsel artışına sebep olmaktadır (Fingas, 2015). Petrolün toplanan miktarı müdahalenin verimliliği açısından bir gösterge olsa da petrolün bulaşma alanının en aza indirgenmesi de müdahalenin etkinliğini göstermektedir. Bu çerçevede öncelikle mevcut akıntının yönünü belirleyip buna göre “oil booms” denilen petrolün yayılmasını önleyici bumbalar ile çevrelenmektedir. Ekosistemde yaratacağı tahribatların haricinde müdahalenin verimliliği açısından da petrol kirliliğine karşı hızlı bir performans gösterilmelidir.

Bozunma mekanizmaları değerlendirildiğinde, Basra-hafif petrolü Rus-Ural petrolüne göre daha yüksek buharlaşma fraksiyonuna sahiptir. Dolayısıyla aynı koşullarda aynı miktarda döküntüye sahip iki petrol tipi kıyaslandığında Basra-hafif petrolünün ortamdaki toplanabilecek miktarı Rus-Ural petrolüne göre daha az olması beklenmektedir. Ayrıca Basra-Hafif petrolünün viskozite artış oranı, Rus-Ural petrolüne göre daha yüksektir. Bunun nedeni, Mishra ve Kumar (2015) tarafından yapılan çalışmada da belirtildiği gibi yüksek başlangıç viskozitesinin yanı sıra yüksek buharlaşma fraksiyonudur. Sonuç olarak, Basra-hafif petrolü için uygulanacak müdahalenin daha zor olacağı ön görülmektedir.

Mevsimsel farklılıklar özellikle sıcaklık parametresi ile buharlaşma arasındaki pozitif korelasyondan dolayı yaz döneminde meydana gelen döküntüler daha hızlı buharlaşarak viskozitedeki artışı daha hızlı olacaktır. Aynı rüzgar hızına sahip kış senaryolarında yayılma alanının daha az olduğu görülmektedir. Birçok faktör bu farka sebep olmakla birlikte sıcaklığa bağlı olarak petrolün viskozitesindeki değişim bu durumda etkin rol oynamaktadır.

Çalışmada petrolün sedimetasyon mekanizması hesaplanmamakla birlikte Senaryo 2, 4, 10 ve 12’de (Ek3, Ek 5, Ek 11, Ek 13) en hızlı yoğunluk artışı gözlenmekte olup ilk 20 saatten sonra sedimentasyon sürecinin başlayacağı görülmektedir.

Petrol suda ppm düzeyinde çok az çözünmektedir (Mishra ve Kumar, 2015). Çözünme petrolün diğer bozunma mekanizmalarına göre oransal olarak ihmal edilebilir olsa da toksisiteyi artıran etkisinden dolayı hesaplamalara katılmıştır. Fakat çözünmenin bu etkisi buharlaşma sebebiyle azalmaktadır. Lee ve diğerleri (1978) tarafından yapılan deneysel çalışmada petrolün benzen ve nafta gibi uçucu bileşenleri buharlaşma sebebiyle ortamdaki hızla kaybolmaktadır fakat alkil aniller, fenoller gibi bazı hidrokarbon olmayan bileşiklerin başlangıç konsantrasyonunun %50 fazlası beş gün sonrasında bile mevcut olduğu görülmektedir. Petrol sızıntısında yüksek toksisitesinin, uçucu aromatik hidrokarbonların suda çözünen taze fraksiyonlarından kaynaklandığı ve buharlaşmanın etkisinde toksisitenin azaldığı öngörülmektedir. Senaryolarda hesaplanmış olan çözünmenin zamana bağlı ve buharlaşmaya bağlı grafikleri bu sonucu desteklemektedir. Çözünme miktarı döküntü alanının fazla olduğu senaryolarda ise daha yüksek çıkmaktadır. Mevsimsel senaryolar kıyaslandığında ise buharlaşma fraksiyonları çözünmeyi de etkilediğinden yaz döneminde çözünmeyle meydana gelen taze döküntünün yüksek toksisite etkisi yaz döneminde daha az görülecektir.

İzmit Körfezi’nde 2016 yılından itibaren GTH tarafından giriş çıkış yapan gemiler kontrol edilmektedir. GTH Türk Boğazları’nda olduğu gibi kaza risklerini en aza indirecek yönergeleri gemi kaptanlarına sağlamaktadır. Tüm bunlara rağmen insan faktörü ve bir çok farklı unsurdan dolayı deniz kazaları meydana gelebilmektedir (Arslan ve diğerleri, 2018; Göksu ve Arslan, 2020). Bir kazanın ne şekilde ve ne zaman olacağı tahmin edilemeyeceği için etkin ve kapsamlı acil müdahale planlarının hazırlanması bir gerekliliktir.

Sonuç olarak İzmit Körfezi’nde petrol kirliliği 17 farklı döküntü ve çevresel koşul, 4 farklı bölgede toplamda 24 senaryo ile modellenmiş olup değerlendirmeler aşağıda sıralanmıştır.

- Petrol ve petrol ürünleri farklı bileşen gruplarını farklı oranlarda içerdiğinden her bir petrol döküntüsünün farklı davranış sergileyeceği dikkate alınmalıdır. Bu sebeple risk unsuru olan petrol tiplerinin özelliklerini içeren veri setleri güncel tutulmalıdır.

- Mevsimsel farklılıkları dikkate alan senaryolar acil müdahale planları için modelleme çalışmalarında mutlaka hesaba katılmalıdır.
- Rüzgar hızı; adveksiyon, difüzyon ve türbülans mekanizmalarını etkileyerek petrolün taşınımını hızlandırmaktadır. Aynı zamanda emülsifikasyon mekanizmasını tetiklemektedir. Yoğunluk ve viskozite artışını da hızlandırarak müdahale verimini azaltacağı görülmektedir.
- Yüksek rüzgar hızına sahip senaryolarda yoğunluk ilk 20 saatte çok hızlı şekilde artarak sedimentasyon sürecine geçişi tetikleyerek müdahale verimliliğini düşürmektedir.
- Orta ve yüksek döküntü senaryolarında petrol ilk altı saatte kıyı çizgisine ulaşmaktadır.
- İzmit Körfezi'nin dar bir basen olması kirliliğin kısa sürede kıyı şeridine ulaşmasına sebep olmaktadır.
- Körfez'de kesitin daraldığı boğumlarda akıntı hızı artarak kontaminasyon riskini artırmaktadır.
- Buharlaşma ve emülsifikasyon mekanizmaları petrolün viskozitesini artırarak müdahale sürecini zorlaştırmaktadır. Viskozite değişim grafikleri petrolün ilk saatlerde yavaş viskozite artışının ardından ilerleyen süreçte hızlı artışını göstermektedir. Müdahalenin verimliliği için bu süreyi aşmamak gerekmektedir.
- Buharlaşma mekanizması çözünürlüğü azaltarak toksisite etkisinin azalmasına sebep olmaktadır.
- İzmit Körfezi Merkez havza-doğu bölgesinde meydana gelecek bir petrol döküntüsü durumunda küçük ölçek senaryolara kıyasla orta ve büyük ölçek senaryolarda petrolün ilk altı saatte Güney ve Kuzey kıyılarına bulaşma durumunun daha yüksek ihtimal olduğu belirlenmiştir.
- Bölgede konumlanan birçok liman ve terminal olması sebebiyle petrol kirliliği bu bölgede deniz ticareti açısından ekonomik sorunlar / sonuçlar da doğuracaktır.
- Petrolün dağılım ve bozunma süreç ve mekanizmaları, oşinografik, meteorolojik ve hidrodinamik koşullara bağlı olarak kriz yönetimi için birçok belirsizlik yaratır. Bu nedenle bu mekanizmaların farklı senaryolar için değerlendirilmesi ve modelleme verileri oluşturulması karar vericiler için bir öngörü sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- Abascal, A.J., Castanedo, S., Gutierrez, A.D., Comerma, E., Medina, R., Losada, I.J. (2007). TESEO, an operational system for simulating oil spills trajectories and fate processes. The Seventeenth International Offshore and Polar Engineering Conference. Proceedings, 1751-1758, 1-6 July 2007, Lisbon, Portugal.
- Abascal, A.J., Castanedo, S., Medina, R., Losada, I.J., Alvarez-Fanjul, E. (2009). Application of HF radar currents to oil spill modelling. *Marine Pollution Bulletin*. 58, 238–248. doi:10.1016/j.marpolbul.2008.09.020.
- Abascal, A.J., Castanedo, S., Núñez, P., Mellor, A., Clements, A., Pérez, B., Cárdenas, M., Chiri, H., Medina, R., (2017a). A high-resolution operational forecast system for oil spill response in Belfast Lough. *Marine Pollution Bulletin*. 114, 302–314. doi:10.1016/j.marpolbul.2016.09.042.
- Abascal, A.J., Sanchez, J., Chiri, H., Ferrer, M.I., Cárdenas, M., Gallego, A., Castanedo, S., Medina, R., Alonso-Martirena, A., Berx, B. (2017b). Operational oil spill trajectory modelling using HF radar currents: A northwest European continental shelf case study. *Marine Pollution Bulletin*. 119, 336–350. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.04.010
- Akpınar, A., Kutupoğlu, V., Bingölbali, B., Çalışır, E. (2021). Spatial characteristics of wind and wave parameters over the Sea of Marmara. *Ocean Engineering*. 222, 108640. doi:10.1016/j.oceaneng.2021.108640.
- Al-Rabeh, A.H., Lardner, R.W., Gunay, N. (2000.) Gulfspill version 2.0: a software package for oil spills in the Arabian Gulf. *Environmental Modelling & Software*. 15, 425–442. doi:10.1016/S1364-8152(00)00013-X.
- Al Shami, A., Harik, G., Alameddine, I., Bruschi, D., Garcia, D.A., El-Fadel, M. (2017). Risk assessment of oil spills along the Mediterranean coast: A sensitivity analysis of the choice of hazard quantification. *Science of the Total Environment*. 574, 234–245. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.09.064
- Altintel (2015). Altintel Limanı Tehlikeli Madde Rehberi. Erişim adresi: <https://www.altintel.com.tr/file/tehliliki-madde-rehberi.pdf> (Erişim tarihi: 07.09.2019).
- Ambjörn, C. (2006). Seatrack Web, forecasts of oil spills, a new version. 2006 IEEE US/EU Baltic International Symposium, Proceedings, 1–7, 23-26 May 2006, Klaipeda, Lithuania. doi: 10.1109/BALTIC.2006.7266187.
- Ambjörn, C., 2008. Seatrack Web forecasts and backtracking of oil spills-an efficient tool to find illegal spills using AIS. 2008 IEEE/OES US/EU-Baltic International Symposium, Proceedings, 1–9, 27-29 May 2008, Tallin, Estonia. doi:10.1109/BALTIC.2008.4625512.
- Ambjörn, C., Liungman, O., Mattsson, J., Håkansson, B. (2011). Seatrack Web: the HELCOM tool for oil spill prediction and identification of illegal polluters. Kostianoy, A., Lavrova, O. (Eds), *Oil Pollution in the Baltic Sea* (s. 155–183). Berlin, Heidelberg. Springer.
- Anderson, S., Uiboupin, R., Verjovkina, S., Raudsepp, U. (2010). SAR imagery and Seatrack Web as decision making tools for illegal oil spill combating—a case study. IEEE/OES Baltic International Symposium (BALTIC), 1–6, 24-27 August 2010, Riga, Latvia. doi: 10.1109/BALTIC.2010.5621629.
- Annika, P., George, T., George, P., Konstantinos, N., Costas, D., Koutitas, C. (2001). The

- Poseidon operational tool for the prediction of floating pollutant transport. *Marine Pollution Bulletin*. 43, 270–278.
- Aşan, C. (2020). İstanbul Boğazında yakıt kirliliği, yayılım süreci ve müdahale esasları üzerine örnek senaryo çalışması (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Aşan, C., Özsoy, B., Şihmantepe, A., Solmaz, M.S (2020). A case study on oil pollution in Istanbul Strait: Revisiting 1994 Nassia tanker accident by utilising Potential Incident Simulation Control and Evaluation System (PISCES-II) simulation. What would be different in terms of response if Nassia accident hadde. *Marine Pollution Bulletin*. 151, 110813.
- Aydin, D., Solmaz, M.S. (2019). Modelling of the oil spill in M/V Lady Tuna accident and the Evaluation of the Response Operation in Simulated Condition with PISCES II. *International Journal of Environment and Geoinformatics*. 6 (2), 213–224.
- Aydın, O. (2009). Kıyısularda petrol kirliliği dağılımının sayısal modellenmesi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Azevedo, A., Oliveira, A., Fortunato, A.B., Zhang, J., Baptista, A.M. (2014). A cross-scale numerical modeling system for management support of oil spill accidents. *Marine Pollution Bulletin*. 80, 132–147.
- Balas, L., Genç Numanoğlu, A., Eser, E., (2020). Transitional waters typology in Turkey: Melen Estuary case study, *Journal of Coastal Research*, (SI18-22),95. doi: 10.2112/SI95-004.1
- Balas L., Genç Numanoğlu A., İnan A. (2012). HYDROTAM: 3D Model for hydrodynamic and transport processes in coastal waters, *International Environmental Modelling and Software Society (IEMSS) International Congress on Environmental Modelling and Software, Proceedings*, 376, 1-7, July 2012, Leipzig, Germany.
- Balas, L., Genç Numanoğlu, A., İnan, A. (2013). Liman yapılarının tasarımı için dalga tahmini, *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Dergisi*, 5(2), 19-35.
- Balas, L., İnan, A., Genç Numanoğlu, A., (2013). Modelling of dilution of thermal discharges in enclosed coastal waters, *Research Journal of Chemistry and Environment*, (17) 10, 82-89.
- Balas, L., İnan, A., Yılmaz, E. (2011). Modelling of sediment transport of Akyaka Beach. *Journal of Coastal Research*, (SI64), 460-463.
- Balas, L., Özhan, E. (2000). An implicit three-dimensional numerical model to simulate transport processes in coastal water bodies. *International Journal For Numerical Methods in Fluids* 34, 307–339.
- Balas L., Özhan E. (2001). Applications of a 3-D numerical model to circulations in coastal waters, *Coastal Engineering Journal*, 43 (2), 99-120.
- Balas L., Özhan E., (2002). Three dimensional modelling of stratified coastal waters, estuarine, coastal ve shelf science, 54 (1), 75-87.
- Balkis, N. (2003). The effect of Marmara (Izmit) earthquake on the chemical oceanography of Izmit Bay, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 46 (7), 865-878.
- Balkis, N. (2012). The Effect of Marmara (Izmit) Earthquake on the Chemical Oceanography and Mangan Enrichment in the Lower Layer Water of Izmit Bay, Turkey. S. D'Amico, (Ed), *Earthquake Research and Analysis: Statistical Studies, Observations and Planning*. 247-274). Rijeka, Croatia: InTech.

- Balogun, A.-L., Yekeen, S. T., Pradhan, B., Yusof, K. B. W. (2021). Oil spill trajectory modelling and environmental vulnerability mapping using GNOME model and GIS. *Environmental Pollution*, 268, 115812.
- Başar, E. (2003). İstanbul Boğazı'nda Tanker Kazaları ile Oluşabilecek Petrol Dağılımının Simülasyonu. (Doktora Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Başar, E. (2010). Weathering and oil spill simulations in the aftermath of tanker accidents at the junction points in the Marmara Sea. *Fresenius Environmental Bulletin*, 19 (2), 260–265.
- Bayazit, O. (2021). Petrol kirliliğine acil müdahale tesisi için konum optimizasyonu: Çanakkale Boğazı'nda bir uygulama. (Doktora Tezi) Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Beegle-Krause, J. (2001). General NOAA oil modeling environment (GNOME): a new spill trajectory model. In *International Oil Spill Conference* (Vol. 2001, pp. 865–871). American Petroleum Institute.
- Belamarić, G., Kurtela, Ž., Bošnjak, R. (2016). Simulation method-based oil spill pollution risk analysis for the port of šibenik. *Transactions on Maritime Science*, 5 (2), 141–154.
- Bergueiro, J. R., Oliver, A. S., González, S. G., García, S. M. (2007). Contingency plan for hydrocarbon spills in the port of Ibiza. *Journal of Maritime Research*, 4 (1), 51–62.
- Bergueiro, J. R., Ruiz, M., Rallo, M., Mayol, M. A., Marti, A., Pita, A. (1999). Geographic information systems applied to potential hydrocarbon oil spills in the Balearic Islands.
- Berry, A., Dabrowski, T., Lyons, K. (2012). The oil spill model OILTRANS and its application to the Celtic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 64 (11), 2489–2501.
- Bostanbekov, K., Nurseitov, D., Kim, D. (2018). Risk assessment model of technogenic pollution of the environment from oil spill in the northern Caspian Sea. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, 8 (1), 37–43.
- Bozkurtoglu, Ş. N. E. (2017). Modeling oil spill trajectory in Bosphorus for contingency planning. *Marine Pollution Bulletin*, 123(1–2), 57–72.
- Buist, I., Potter, S., Mackay, D., & Charles, M. (1989). Laboratory studies on the behavior and cleanup of waxy crude oil spills. In *International Oil Spill Conference* (Vol. 1989, pp. 105–113). American Petroleum Institute.
- Calvilla, J. M., Bergueiro, J. R., González, J. A. (2017). Oil Spill model and response tools: analysis of oil spill risks due exploration and oil prospecting near the coast of the Canary Islands. *Journal of Maritime Research*, 14 (2), 32–40.
- Can, S. (2007). Tanker kazaları sonrası İstanbul Boğazı'ndaki yakıt kirliliği simülasyonu (Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Cardenas, M., Abascal, A. J., Castanedo, S., Chiri, H., Núñez, P., Antolinez, J. A. A., et al. (2017). Short-term and medium-term forecast of oil spill trajectories: application to local and regional scales. *2017 International Oil Spill Conference Proceedings*, 1890–1910, May 2017, California, USA.
- Cebe, K., Balas, L. (2016). Water quality modelling in Kaş Bay, *Applied Mathematical Modelling*, 40 (3), 1887–1913.
- Cebe, K., Balas, L. (2018). Monitoring and modeling land-based marine pollution. *Regional Studies in Marine Science*, 24, 23–39.
- Cheng, Y., Li, X., Xu, Q., Garcia-Pineda, O., Andersen, O. B., Pichel, W. G. (2011). SAR observation and model tracking of an oil spill event in coastal waters. *Marine Pollution*

- Bulletin, 62 (2), 350–363.
- Cohen, Y., Mackay, D., Shiu, W. Y. (1980). Mass transfer rates between oil slicks and water. *The Canadian Journal Of Chemical Engineering*, 58 (5), 569–575.
- Contreras-Tereza, V. K., Salas-de-León, D. A., Monreal-Jiménez, R., Monreal-Gómez, M. A. (2021). The 2010 Gulf of Mexico oil spill: a modeling study. *Arabian Journal of Geosciences*, 14 (7), 1–12.
- Daniel, P. (1996). Operational forecasting of oil spill drift at Météo-France. *Spill Science & Technology Bulletin*, 3 (1–2), 53–64.
- Daniel, P., Josse, P., Dandin, P., Gouriou, V., Marchand, M., & Tiercelin, C. (2001). Forecasting the Erika oil spills. In *International oil spill conference* (Vol. 2001, pp. 649–655). American Petroleum Institute.
- Daniel, P., Marty, F., Josse, P., Skandrani, C., & Benshila, R. (2003). Improvement of drift calculation in Mothy operational oil spill prediction system. In *International Oil Spill Conference* (Vol. 2003, pp. 1067–1072). American Petroleum Institute.
- Daniel, P., Paradis, D., Gouriou, V., Le Roux, A., Garreau, P., Le Roux, J.-F., & Louazel, S. (2021). Forecast of oil slick drift from Ulysse/CSL Virginia and Grande America accidents. In *International Oil Spill Conference* (Vol. 2021, p. 1141410).
- Davies, L., Lewis, A., Lunel, T., & Crosbie, A. (1998). Dispersion of Emulsified Oils at Sea: Laboratory Study. National Environmental Technology Centre.
- De Carolis, G., Adamo, M., Pasquariello, G., De Padova, D., Mossa, M. (2013). Quantitative characterization of marine oil slick by satellite near-infrared imagery and oil drift modelling: The Fun Shai Hai case study. *International Journal of Remote Sensing*, 34 (5), 1838–1854.
- De Dominicis, M., Pinardi, N., Zodiatis, G., Lardner, R. (2013). MEDSLIK-II, a Lagrangian marine surface oil spill model for short-term forecasting–Part 1: Theory. *Geoscientific Model Development*, 6 (6), 1851–1869.
- De Padova, D., Mossa, M., Adamo, M., De Carolis, G., Pasquariello, G. (2017). Synergistic use of an oil drift model and remote sensing observations for oil spill monitoring. *Environmental Science and Pollution Research*, 24 (6), 5530–5543.
- Deltares. (2022). Delft3D. Erişim adresi: <http://oss.deltares.nl/web/delft3d/home> (Erişim tarihi: 12.01.2022)
- Demirbas, A., Taylan, O. (2016). Removing of resins from crude oils. *Petroleum Science and Technology*, 34 (8), 771–777.
- Deniz Çevresinin Petrol ve Diğer Zararlı Maddelerle Kirlenmesinde Acil Durumlarda Müdahale ve Zararların Tazmini Esaslarına Dair Kanun (2005, 11 Mart). Resmi Gazete (Sayı: 25752). 5312 Sayılı Kanun. Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/Eskiler/2005/03/20050311-1.htm> (Erişim tarihi: 14.04.2018)
- Deniz Haber Ajansı. (2019a). Erişim adresi: <https://www.denizhaber.net/safiportta-akaryakit-ikmali-esnasinda-denize-yakit-sizarak-kirlilik-olustu-haber-87201.htm> (Erişim tarihi: 11.02.2022)
- Deniz Haber Ajansı. (2019b). Erişim adresi: <https://www.denizhaber.net/izmit-korfezini-kirleten-queen-anatolia-gemisine-1-milyon-772-bin-tl-para-cezasi-haber-91158.htm> (Erişim tarihi: 11.02.2022)
- Deniz Haber Ajansı. (2022). Erişim adresi: <https://www.denizhaber.net/izmit-korfezini-kirleten-seaspirit-isimli-gemiye-1-6-milyon-tl-para-cezasi-kesi-haber-107315.htm>

- (Erişim tarihi: 27.05.2022)
- Denizcilik Dergisi. (2022). Erişim adresi: <https://www.denizcilikdergisi.com/denizcilik-gundem-haberleri/korfezi-kirleten-tankere-6-milyon-lira-ceza/> (Erişim tarihi 27.05.2022)
- Denizcilik Genel M¼d¼rl¼ę¼. (2022). Deniz Kazaları İstatistikleri. Erişim adresi: <https://denizcilikistatistikleri.uab.gov.tr/diger-istatistikler> (Erişim tarihi: 11.04.2022)
- DHI. (2022). MIKE. Erişim adresi: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-3> (Erişim tarihi: 10.09.2021)
- Diker, U. (2007). Petrol Kirliliği Zehirlilik Değerlendirmesi (Yayımlanmamış Y¼ksek Lisans Tezi). İstanb¼l Teknik ¼niversitesi, Fen Bilimleri Enstit¼s¼, İstanb¼l.
- DLTM. (2022). HYDROTAM3D. DLTM Yazılım Teknolojileri Ltd. Erişim adresi: <http://www.dltm.com.tr/hakkimizda/> (Erişim tarihi:10.02.2022)
- Doğan, E., G¼ven, K.C., Sur, H.İ., Okuş, E., Y¼ksek, A., Uysal, A., Balkıs, N., Kıratlı, N., ¼nl¼, S., Altıok, H., Taş, S., Gazioğlu, C., Cebeci, M., Gezgın, T., İpekler, S. (1999). İzmit K¼rfezi'nin Oşınografisi, 1. Gelişme Raporu. 17 Ağustos 1999 Depremi sonrası İzmit K¼rfezi'nde ¼lęme ve İzleme Programı
- Donia, N. (2010). Oil spill modelling as a tool for coastal pollution control. In Environmental Hydraulics-Proceedings of the 6th International Symposium on Environmental Hydraulics. Institute of Environmental Studies and Researches, Ain Shams University, Cairo, Egypt (pp. 565–570).
- Đordević, M., Mohović, Đ., Kriřković, A., Legović, T. (2022). Hierarchical optimization of oil spill response vessels in cases of accidental pollution of bays and coves. Journal of Marine Science and Engineering, 10 (6), 772.
- Duran, R., Romeo, L., Whiting, J., Vielma, J., Rose, K., Bunn, A., Bauer, J. (2018). Simulation of the 2003 foss barge-point wells oil spill: A comparison between BLOSUM and GNOME oil spill models. Journal of Marine Science and Engineering, 6 (3), 104.
- Duru, ¼. A., İncaz, S. (2018). Socio-Economic Aspects of Oil Spill. S. ¼nl¼, B.Alpar, B.Özt¼rk (Eds.), Oil Spill along the Turkish Straits Sea Area; Accidents, Environmental Pollution, Socio-Economic Impacts and Protection. İstanb¼l: TUDAV.
- Elizaryev, A., Maniakova, G., Longobardi, A., Elizareva, E., Gabdulkhakov, R., Nurutdinov, A., Khakimov, R. (2018). Numerical simulation of oil spills based on the GNOME and ADIOS. International Journal of Engineering & Technology, 7 (2.23), 24–27.
- EMSA. (2022). CleanSeaNet Service. Erişim adresi: <http://www.emsa.europa.eu/csn-menu.html> (Erişim tarihi: 10.04.2022).
- EPDK. (2016). Petrol Piyasası 2016 Yılı Sekt¼r Raporu. Erişim adresi: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu> (Erişim tarihi: 10.12.2021).
- EPDK. (2017). Petrol Piyasası 2017 Yılı Sekt¼r Raporu. Erişim adresi: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu> (Erişim tarihi: 10.12.2021).
- EPDK. (2018). Petrol Piyasası 2018 Yılı Sekt¼r Raporu. Erişim adresi: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu> (Erişim tarihi: 10.12.2021).
- EPDK. (2019). Petrol Piyasası 2019 Yılı Sekt¼r Raporu. Erişim adresi: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu> (Erişim tarihi:

- 10.12.2021).
- EPDK. (2020). Petrol Piyasası 2020 Yılı Sektör Raporu. Erişim adresi: <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu> (Erişim tarihi: 10.12.2021).
- Farzinger, M., Ibrahim, Z. Z., Yasemi, Mijj. (2011). Oil spill modeling of diesel and gasoline with GNOME around Rajaei Port of Bandar Abbas, Iran.
- Fay, J. A. (1969). The spread of oil slicks on a calm sea. In *Oil on the Sea* (s. 53–63). Springer.
- Fay, J. A. (1971). Physical processes in the spread of oil on a water surface. In *International oil spill conference, 1971*, 463–467, American Petroleum Institute.
- Fernandes, R., Neves, R., Viegas, C., Leitão, P., Hidromod, L. (2013). 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. 36th AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response, 4-6, Portugal.
- Fetissov, M., Aps, R., Goerlandt, F., Jänes, H., Kotta, J., Kujala, P., Szava-Kovats, R. (2021). Next-generation smart response web (NG-SRW): An operational spatial decision support system for maritime oil spill emergency response in the gulf of Finland (Baltic Sea). *Sustainability*, 13 (12), 6585.
- Fick, A. (1855). V. On liquid diffusion. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 10 (63), 30–39.
- Figueira-Duarte, T. M., Mullen, K. (2011). Pyrene-based materials for organic electronics. *Chemical reviews*, 111 (11), 7260–7314.
- Fingas, M. (1996). The evaporation of oil spills: Prediction of equations using distillation data. *Spill Science & Technology Bulletin*, 3 (4), 191–192.
- Fingas, M. (1999). The evaporation of oil spills: development and implementation of new prediction methodology. In *International Oil Spill Conference (Vol. 1999, pp. 281–287)*. American Petroleum Institute.
- Fingas, M. (2011). Models for water-in-oil emulsion formation. M. Fingas, (Ed.), *Oil Spill Science and Technology* (s. 243–273). Gulf Professional Publishing, Elsevier.
- Fingas, M. (2015). *Handbook of oil spill science and technology*. John Wiley & Sons.
- Fingas, M. (2020). Introduction to oil chemistry and properties related to oil spills. hydrocarbons, oils and lipids: diversity, origin, chemistry and fate. H. Wilkes (Ed.) *Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology*. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-319-90569-3_29
- Fingas, M., Fieldhouse, B., Mullin, J. (1999). Water-in-oil emulsions results of formation studies and applicability to oil spill modelling. *Spill Science & Technology Bulletin*, 5 (1), 81–91.
- Genç, A.N., Vural, N., Balas, L. (2020). Modeling transport of microplastics in enclosed coastal waters: A case study in the Fethiye Inner Bay, *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110747.
- Göksu, S., Arslan, Ö. (2020). Quantitative analysis of dynamic risk factors for shipping operations. *Journal of ETA Maritime Science*, 8 (2), 86–97.
- Goodman, R. (2003). Tar balls: the end state. *Spill Science & Technology Bulletin*, 8 (2), 117–121.
- Google Earth Pro. (2022). Masa üstü sürümü. Erişim adresi: <https://www.google.com/earth/about/versions/#earth-pro> (Erişim tarihi: 10.02.2022).

- Grigalunas, T. A., Opaluch, J. J., French, D., Reed, M. (1987). Measuring Damages to Coastal and Marine Natural Resources: Concepts and Data Relevant for CERCLA Type A Damage Assessments. US Department of Interior, CERCLA, 301.
- Gros, J., Nabi, D., Würz, B., Wick, L. Y., Brussaard, C. P. D., Huisman, J., Meer, J.R.V.D., Reddy, C.M., Arey, J.S. (2014). First day of an oil spill on the open sea: Early mass transfers of hydrocarbons to air and water. *Environmental Science & Technology*, 48 (16), 9400–9411.
- Günday, H., Ünlü, S., Güven, K. C. (2006). Oil Pollution in East part of Izmit Gulf . *Journal of Black Sea/Mediterranean Environment*, 12, 193–201.
- Gurumoorthi, K., Suneel, V., Rao, V. T., Thomas, A. P., Alex, M. J. (2021). Fate of MV Wakashio oil spill off Mauritius coast through modelling and remote sensing observations. *Marine Pollution Bulletin*, 172, 112892.
- Güven, K.C., Ünlü, S. (2000). Oil pollution in sea water of Izmit Bay following the earthquake (17 Aug 1999). *Turkish Journal of Marine Sciences*, 6, 215–226.
- Haber Türk. (2018). Erişim adresi: <https://www.haberturk.com/kocaeli-haberleri/16938496-kaza-yapan-gemiden-akaryakit-sizintisi> (Erişim tarihi:10.01.2022).
- Hamam, S. E. M. (1987). Diffusion of crude oil in water. *Journal of Environmental Science & Health Part A*, 22 (5), 445–456.
- Hamam, S. E. M., Hamoda, M. F., Shaban, H. I., Kilani, A. S. (1988). Crude oil dissolution in saline water. *Water, Air, and Soil Pollution*, 37(1–2), 55–64.
- Hess, K. W., & Kerr, C. L. (1979). A Model to forecast the motion of oil on the Sea. 1979 International Oil Spill Conference, Proceedings, 653–663, American Petroleum Institute.
- Huang, J. C. (1982). Review of the state-of-the-art of oil spill simulation models. Final Report, American Petroleum Institute, Washington, DC.
- HYDROTAM-3D. (2010). Risk değerlendirmesi ve acil müdahale planları. Erişim adresi: http://www.hydrotam.com/?page_id=437 (Erişim tarihi: 15.06.2022).
- HYDROTAM-3D. (2022). Üç Boyutlu Hidrodinamik Taşınım ve Su Kalitesi Modeli, DLTM Yazılım Teknolojileri Ltd.Şti. Erişim adresi: <http://www.hydrotam.com/> (Erişim tarihi: 15.06.2022)
- IEA. (2021). Data and Statistics. Erişim adresi: <https://www.iea.org/data-and-statistics/?country=WORLD&fuel=Oil&indicator=SecondaryOilImportsExports> (Erişim tarihi: 10.06.2021).
- İnan, A. (2011). İskenderun Körfezi’nde petrol kirliliğinin modellenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 26 (2), 471-478.
- Inan, A. (2019). Modeling of hydrodynamics and dilution in coastal waters. *Water*, 11(1), 83.
- Inan, A., Balas, L. (2010). An application of 2D oil spill model to Mersin coast. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, 6 (5), 345–354.
- İnan, A., Cebe, K. (2020) Rüzgar ve dalga ikliminin modellenmesi: Gökçeada örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Özel Sayı*, 2020, 144-151.
- ITOPF. (2006). Handbook 2005/2006. Erişim adresi: <https://www.cid.csic.es/ampera/images/reports/itopfhandbook2005.pdf> (Erişim tarihi: 12.08.2020).
- ITOPF. (2020a). Oil Tanker Spill Statistics. Erişim adresi: <https://www.itopf.org/news-events/news/tanker-spill-statistics2021/#:~:text=The%20total%20volume%20of%20oil,transported%20by%20s>

- ea%20each%20year. (Erişim tarihi: 10.04.2021).
- ITOPF. (2011). Fate of Marine Oil Spills. Technical Information Paper. Erişim adresi: https://www.itopf.org/fileadmin/uploads/itopf/data/Documents/TIPS_TAPS_new/TIP_2_Fate_of_Marine_Oil_Spills.pdf (Erişim tarihi: 12.06.2021).
- ITOPF. (2020b). Independenta, Bosphorus, Turkey, 1979. Erişim adresi: <https://www.itopf.org/in-action/case-studies/case-study/independenta-bosphorus-turkey-1979/>. (Erişim tarihi: 10 April 2020).
- İzmit Liman Yönetmeliği. (2011, 10 Şubat). Resmi Gazete (Sayı: 27842). Erişim adresi: [https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/02/20110210-3.htm#:~:text=MADDE%201%20%E2%80%93%20\(1\)%20Bu,tahmil%20ve%20tahliye%20y%C3%B6ntemleri%20ile](https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/02/20110210-3.htm#:~:text=MADDE%201%20%E2%80%93%20(1)%20Bu,tahmil%20ve%20tahliye%20y%C3%B6ntemleri%20ile) (Erişim tarihi: 15.03.2022).
- Janeiro, J., Martins, F., Relvas, P. (2012). Towards the development of an operational tool for oil spills management in the Algarve coast. *Journal of Coastal Conservation*, 16 (4), 449–460.
- Ji, Z.-G., Johnson, W. R., Price, J. M., Marshall, C. F. (2003). Oil-spill risk analysis for assessing environmental impacts. In *International Oil Spill Conference* (Vol. 2003, pp. 1125–1129). American Petroleum Institute.
- Ji, Z.-G., Smith, C., Johnson, W. R. (2020). Assessing Oil Spill Risk In Lower Cook Inlet, Alaska. *WIT Transactions on Engineering Sciences*, 129, 31–40.
- Ji, Z. G., Johnson, W. R., & Marshall, C. F. (2004). Deepwater oil-spill modeling for assessing environmental impacts. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 68.
- Jones, H. F. E., Poot, M. T. S., Mullarney, J. C., de Lange, W. P., Bryan, K. R. (2016). Oil dispersal modelling: reanalysis of the Rena oil spill using open-source modelling tools. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 50 (1), 10–27.
- Jones, R. K. (1997). A simplified pseudo-component oil evaporation model. *Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar*. Ministry of Supply And Services, Canada. s. 43–62.
- Juszkiewicz, W. (2020). Potential oil spills in the TSS Słupska Bank area–case study using the PISCES II simulator. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*.
- Kabdasli, M. S., Kacmaz, S. E., Bas, B., Oguz, E., Bagci, T. (2010). An oil spill distribution study in an industrial coastal zone. *Fresenius Environmental Bulletin*, 19 (9), 1935–1945.
- Kampouris, K., Vervatis, V., Karagiorgos, J., Sofianos, S. (2021). Oil spill model uncertainty quantification using an atmospheric ensemble. *Ocean Science*, 17 (4), 919–934.
- Kinghorn, R. R. (1983). *An introduction to the physics and chemistry of petroleum*. Imperial Coll. of Sci. and Tech., London.
- Kiruri, L. W., Dellinger, B., Lomnicki, S. (2013). Tar balls from Deep Water Horizon oil spill: environmentally persistent free radicals (EPFR) formation during crude weathering. *Environmental Science & Technology*, 47(9), 4220–4226.
- Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü. (2016). Sektör Raporu 2016. Erişim adresi: <https://kiyiemniyeti.gov.tr/userfiles/editor/pdf/sektor-raporu-2016.pdf> (Erişim tarihi: 15.10.2019).
- Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü. (2021). 2021 yılı sektör raporu. Erişim adresi: https://www.kiyiemniyeti.gov.tr/Data/1/Files/Document/Documents/XW/Cu/bY/hy/2021_YILI_SEKTÖR_RAPORU.pdf (Erişim tarihi: 08.05.2022).

- Kocaeli Liman Başkanlığı. (2022). İdari Saha. <https://kocaeliliman.uab.gov.tr/idari-sahamiz-limanlar-koord> (Erişim tarihi: 01.04.2022).
- Koroglu, A., Kabdasli, M. S. (2011). An Oil Spill and Response Activities Scenarios After the Fuel Tank Seepage in a Port: Haydarpasa Port Case Study. In International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering (Vol. 44380, pp. 827–834).
- Korotenko, K. A., Mamedov, R. M., Kontar, A. E., Korotenko, L. A. (2004). Particle tracking method in the approach for prediction of oil slick transport in the sea: modelling oil pollution resulting from river input. *Journal of Marine Systems*, 48 (1–4), 159–170.
- Korsah, P. E., & Anifowose, B. (2014). Oil spill trajectory simulation for the Saltpond oilfield, Ghana, West Africa. In Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference. OnePetro.
- Kostianoy, A G, Lebedev, S. A., Litovchenko, K. T., Stanichny, S. V, & Pichuzhkina, O. E. (2004). Satellite remote sensing of oil spill pollution in the southeastern Baltic Sea. *Gayana (Concepción)*, 68(2), 327–2332.
- Kostianoy, Andrey G, Ambjörn, C., & Solovyov, D. M. (2012). Seatrack Web: A numerical tool for environmental risk assessment in the Baltic Sea. In *Oil pollution in the Baltic Sea* (pp. 185–220). Springer.
- LaBelle, R. (1986). Use of Applied Oceanography in Stochastic Modeling of Oil Spills on the Outer Continental Shelf. In *OCEANS'86* (pp. 1396–1399). IEEE.
- Lavrova, O., Bocharova, T., & Kostianoy, A. (2006). Satellite radar imagery of the coastal zone: slicks and oil spills. *Global developments in environmental earth observation from space*, 763–772.
- Łazuga, K. (2012). Testing of a oil spill mathematical model contained in PISCES II simulator. *Zeszyty Naukowe/Akademia Morska w Szczecinie*, 105–109.
- Łazuga, K., Gucma, L., & Perkovic, M. (2013). M/T “Baltic Carrier” accident. The reconstruction of oil spill with PISCES II simulator application. *Zeszyty Naukowe/Akademia Morska w Szczecinie*.
- Lee, W. Y., Winters, K., Nicol, J. A. C. (1978). The biological effects of the water-soluble fractions of a No. 2 fuel oil on the planktonic shrimp, *Lucifer faxoni*. *Environmental Pollution* (1970), 15 (3), 167–183.
- Lehr, W, Wesley, D., Simecek-Beatty, D., Jones, R., Kachook, G., & Lankford, J. (2000). Algorithm and interface modifications of the NOAA oil spill behavior model.
- Lehr, William, Jones, R., Evans, M., Simecek-Beatty, D., Overstreet, R. (2002). Revisions of the ADIOS oil spill model. *Environmental Modelling & Software*, 17 (2), 189–197.
- Lei, L., & He, W. (2017). Simulation of oil transport after oil spill in the Bohai Sea. In *Applied mechanics and civil engineering VI* (pp. 141–144). CRC Press.
- Lemos, A. T., Soares, I. D., Ghisolfi, R. D., Cirano, M. (2009). Oil spill modeling off the Brazilian eastern coast: the effect of tidal currents on oil fate. *Revista Brasileira de Geofísica*, 27 (4), 625–639.
- Liubartseva, S., De Dominicis, M., Oddo, P., Coppini, G., Pinardi, N., Greggio, N. (2015). Oil spill hazard from dispersal of oil along shipping lanes in the Southern Adriatic and Northern Ionian Seas. *Marine Pollution Bulletin*, 90 (1–2), 259–272.
- Mackay, D., Paterson, S., & Trudel, K. (1980). A mathematical model of oil spill behaviour. Environment Canada, Environmental Protection Service.
- Marinho, C., Nicolodi, J. L., Neto, J. A. (2021). Environmental vulnerability to oil spills in Itapuã State Park, Rio Grande do Sul, Brazil: An approach using two-dimensional

- numerical simulation. *Environmental Pollution*, 288, 117872.
- Marta-Almeida, M., Ruiz-Villarreal, M., Pereira, J., Otero, P., Cirano, M., Zhang, X., & Hetland, R. D. (2013). Efficient tools for marine operational forecast and oil spill tracking. *Marine Pollution Bulletin*, 71 (1–2), 139–151.
- Marzooq, H., Naser, H. A., Elkanzi, E. M. (2019). Quantifying exposure levels of coastal facilities to oil spills in Bahrain, Arabian Gulf. *Environmental Aonitoning and Assessment*, 191(3), 1–16.
- MEDSLIK. (2019). Erişim adresi: <http://www.medslik-ii.org/>. (Erişim tarihi: 01.12.2019)
- Meteoroloji Genel M¼d¼rl¼ę¼. (2022). Beaufort (Bofor) R¼zgar Iskalası. Erişim adresi: <https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/beaufort.pdf> (Erişim tarihi: 10.06.2022)
- Meza-Padilla, R., Enriquez, C., Appendini, C. M. (2021). Rapid assessment tool for oil spill planning and contingencies. *Marine Pollution Bulletin*, 166, 112196.
- Miranda, R., Braunschweig, F., Leitao, P., Neves, R., Martins, F., Santos, A. (2000). MOHID 2000 - A Coastal Integrated ObjectOriented Model. C.A. Brebbia, W.R. Blain (Eds), (s. 393 – 401) *Hydraulic Engineering Software VIII*, WIT Press.
- Mishra, A. K., Kumar, G. S. (2015). Weathering of Oil Spill: Modeling and Analysis. *Aquatic Procedia*, 4(Icwrcoe), 435–442. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.058>
- Mohamed, K. A. (2008). Oil Spill Modeling at Shwueihat Power and Desalination Plant. In *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering* (Vol. 48210, pp. 663–671).
- Mohamed, K. A., & Odeh, M. (2006). Prediction of Oil Spill Contamination at Mirfa Power and Desalination Plant. In *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering* (Vol. 47470, pp. 273–281).
- Morkoc, E., Tarzan, L., Okay, O., Tufekci, H., Tufekci, V., Tolun, L., Karakoc, F. (2007). Changes of oceanographic characteristics and the state of pollution in the Izmit bay following the earthquake of 1999. *Environmental Geology*, 53 (1), 103–112.
- M¼ft¼oęlu, A. E. (2008). Marmara Denizi Haliç ve K¼rfezlerinin hidrodinamik yapısı (Doktora Tezi). İ.Ü. Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstit¼s¼, İstanbul.
- National Research Council. (1985). *Oil in the sea: Inputs, Fates, and Effects*. Washington, DC: The National Academies Press. doi:10.1016/0025-326X(80)90170-8
- Nittis, K., Perivoliotis, L., Korres, G., Tziavos, C., Thanos, I. (2006). Operational monitoring and forecasting for marine environmental applications in the Aegean Sea. *Environmental Modelling & Software*, 21 (2), 243–257.
- Nordam, T., Dunnebir, D. A. E., Beegle-Krause, C. J., Reed, M., Slagstad, D. (2017). Impact of climate change and seasonal trends on the fate of Arctic oil spills. *Ambio*, 46 (3), 442–452.
- Onay, M. G. (2016). Doğu Akdeniz’de petrol kirliliğinin modellenmesi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstit¼s¼, İstanbul.
- Özsoy-Çiçek, B. (2003). Radar uydu görünt¼leri ile deniz y¼zeyindeki petrol kirliliğinin tespit edilmesi ve analizi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstit¼s¼.
- Pal, K., Paulson, A. T., & Rousseau, D. (2009). Biopolymers in controlled-release delivery systems. In *Modern biopolymer science* (s. 519–557). Elsevier.
- Petrol Ofisi. (2015). Petrol Ofisi Tehlikeli Madde Rehberi. Erisim adresi: http://petrolofisi.pixelplus.org/assets/pdf/tedarik_zinciri/Derince-terminali-turkce.pdf (Erişim tarihi: 12.06.2021).

- Plata, D. L., Sharpless, C. M., Reddy, C. M. (2008). Photochemical degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in oil films. *Environmental Science & Technology*, 428 (7), 2432–2438.
- Pocora, A., Purcarea, A. A., Nicolae, F., Cotorcea, A. (2018). Modelling and simulation of oil spills in coastal waters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 172, 12012. IOP Publishing.
- Poliport. (2018). Tehlikeli Madde Rehberi. Erişim adresi: https://www.poliport.com/pdf/TehlikeliMaddeRehberi_20.02.2018_Tr.pdf (Erişim tarihi: 11.03.2022).
- Poliport. (2022). Poliport Uluslararası Gemi ve Liman Tesisi Güvenliği. <https://www.poliport.com/uluslararasi-gemi-ve-liman-tesisi-guvenligi.html>
- Pradhan, B., Das, M., Pradhan, C. (2021). Forecasting oil spill movement through trajectory modeling: a case study from Bay of Bengal, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7 (2), 1107–1119.
- Price, J. M., Johnson, W. R., Marshall, C. F., Ji, Z.-G., Rainey, G. B. (2003). Overview of the oil spill risk analysis (OSRA) model for environmental impact assessment. *Spill Science & Technology Bulletin*, 8 (5–6), 529–533.
- Rajar, R., Cetina, M., & Zagar, D. (1970). Three-dimensional modelling of oil spill in the Adriatic (Vol. 10). WIT Press.
- Rasmussen, D. (1985). Oil spill modeling—a tool for cleanup operations. In *International Oil Spill Conference* (Vol. 1985, pp. 243–249). American Petroleum Institute.
- Reed, M., Aamo, O. M., Daling, P. S. (1995). Quantitative analysis of alternate oil spill response strategies using OSCAR. *Spill Science & Technology Bulletin*, 2 (1), 67–74.
- Reed, M., Ekrol, N., Rye, H., Turner, L. (1999). Oil spill contingency and response (OSCAR) analysis in support of environmental impact assessment offshore Namibia. *Spill Science & Technology Bulletin*, 5 (1), 29–38.
- Regnier, Z. R., Scott, B. F. (1975). Evaporation rates of oil components. *Environmental Science & Technology*, 9 (5), 469–472.
- REMPEC. (2022). Regional Marine Pollution Emergency Response Centre for the Mediterranean. Erişim adresi: <https://www.rempec.org/en> (Erişim tarihi: 01.03.2022)
- Restrepo, J. M., Ramírez, J. M., Venkataramani, S. (2015). An oil fate model for shallow-waters. *Journal of Marine Science and Engineering*, 3 (4), 1504–1543.
- Riazi, M. R., Edalat, M. (1996). Prediction of the rate of oil removal from seawater by evaporation and dissolution. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 16 (4), 291–300. doi:10.1016/S0920-4105(96)00031-9
- Rodrigues, P. H. S., & Maiorino, J. R. (2016). Case Study: Oil Spill Using Mohid Software In São Sebastião–São Paulo. *Brazilian Journal of Petroleum and Gas*, 10 (4).
- Ross, S., & Buist, I. (1995). Preliminary laboratory study to determine the effect of emulsification on oil spill evaporation. Arctic and Marine Oilspill Program Technical Seminar. Ministry of Supply and Services, s. 91–110, Canada.
- Saçu, Ş., Şen, O., Erdik, T. (2021). A stochastic assessment for oil contamination probability: A case study of the Bosphorus. *Ocean Engineering*, 231, 109064.
- SEATRACKWEB. (2019). Erişim adresi: <https://www.smhi.se/en/research/research-departments/oceanography/seatrack-web-1.31329>. (Erişim tarihi: 10.12.2021).
- Shell. (2017). Shell Derince Terminali Tehlikeli Madde Rehberi. Erişim adresi: <https://www.shell.com.tr/about-us/contact->

- us/_jcr_content/par/textimage_10.stream/1630593023299/a4b4af720b7b2758b582ea5a5818eff369c60e42/shell-deep-terminal-hazardous-material-guide-tr.pdf
(Erişim tarihi:01.06.2022)
- Shen, H. T., Yapa, P. D. (1988). Oil slick transport in rivers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 114 (5), 529–543.
- Smith, R. A., Slack, J. R., Wyant, T., & Lanfear, K. J. (1982). The oilspill risk analysis model of the US Geological Survey.
- Socolofsky, S. A., Adams, E. E., Boufadel, M. C., Aman, Z. M., Johansen, Ø., Konkel, W. J., Lindo, D., Madsen, M.N., North, E.W., Paris, C.B., (2015). Intercomparison of oil spill prediction models for accidental blowout scenarios with and without subsea chemical dispersant injection. *Marine Pollution Bulletin*, 96 (1–2), 110–126.
- Sözcü. (2021). Erişim adresi: <https://www.sozcu.com.tr/2021/gundem/denizi-kirleten-gemiye-3-milyon-lira-ceza-kesildi-6834045/> Erişim tarihi: (10.03.2022).
- Spaulding, M L, Kolluru, V. S., Anderson, E., Howlett, E. (1994). Application of three-dimensional oil spill model (WOSM/OILMAP) to hindcast the Braer spill. *Spill Science & Technology Bulletin*, 1 (1), 23–35.
- Spaulding, Malcolm L. (1988). A state-of-the-art review of oil spill trajectory and fate modeling. *Oil and Chemical Pollution*, 4 (1), 39–55.
- Spaulding, Malcolm L, Anderson, E., Howlett, E., Mendelsohn, D., & Opishinski, T. (1996). Application of OILMAP and SIMAP to predict the transport and fate of the North Cape Spill, Narragansett, RI.
- Spaulding, Malcolm L, Howlett, E., Anderson, E., Jayko, K. (1992). Oil spill software with a shell approach. *Sea Technology*, 33 (4), 33–40.
- Stiver, W., & Mackay, D. (1984). Evaporation rate of spills of hydrocarbons and petroleum mixtures. *Environmental Science and Technology*, 18 (11), 834–840. doi:10.1021/es00129a006.
- Sur, H.İ. (1988). Numerical Modelling Studies of Two-Layer Flows in the Dardanelles and the Bay of İzmit, (Doktora Tezi). Institute of Marine Sciences, Middle East Technical University.
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2022a). Denizcilik İstatistikleri. (Erişim adresi: <https://denizcilikistatistikleri.uab.gov.tr/diger-istatistikler> (Erişim tarihi: 18.05.2022)
- T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2022b). Yazışma ile alınan veriler.
- Total. (2016). Total Dolfen tesisleri tehlikeli madde rehberi. Erişim adresi: <http://sad.com.tr/sadas.pdf> (Erişim tarihi: 01.06.2022).
- Toz, A. C., Koseoglu, B. (2018). Trajectory prediction of oil spill with Pisces II around Bay of İzmir, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 126, 215–227.
- Toz, A C, Koseoglu, B., Sakar, C. (2017). Oil Spill Modelling with Pisces II Around Bay of İzmir. In *Safety of Sea Transportation: Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* (s. 103–109). CRC Press Schipholweg 107C, 2316 XC Leiden, The Netherlands.
- Toz, A.C. (2017). Modelling oil spill around Bay of Samsun, Turkey, with the use of OILMAP and ADIOS software systems. *Polish Maritime Research*, 24(3), 115–125.
- Toz, A.C., Buber, M. (2018). Performance evaluation of oil spill software systems in early fate and trajectory of oil spill: comparison analysis of OILMAP and PISCES 2 in Mersin bay spill. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190 (9), 1–18.
- Toz, A.C., Koseoglu, B., & Sakar, C. (2016). Numerical modelling of oil spill in New York

- Bay. Archives of Environmental Protection, 42(4).
- Tu, T. A. (2014). Simulation Of Some Oil Spill Scenarios In Con Co Island Area. Vietnam Journal of Marine Science and Technology, 14 (2), 187–194.
- TUPRAŞ. (2020). Ürünler. Erişim adresi: <https://www.tupras.com.tr/urunler>. (Erişim tarihi: 12.04.2020).
- Tüpraş. (2015). Tüpraş İzmit Rafinerisi Limanı Tehlikeli Madde Rehberi. Erişim adresi: https://tupras.com.tr/uploads/Tehlikeli_madde/izmit_rafinerisi_tehlikeli_madde_rehberi.pdf (Erişim tarihi: 20.04.2021).
- Tüpraş. (2019). Tüpraş 2019 yılı faaliyet raporu. Erişim adresi: https://tprstaticfilessa.blob.core.windows.net/assets/uploads/faaliyet-raporlari/TUPRAS_YILLIK_2019.pdf (Erişim tarihi: 15.03.2021).
- Tüpraş. (2020). Tüpraş 2020 yılı faaliyet raporu. Erişim adresi: https://tprstaticfilessa.blob.core.windows.net/assets/uploads/faaliyet-raporlari/Tupras_2020_Yili_Faaliyet_Raporu.pdf (Erişim tarihi: 20.04.2022).
- Tüpraş. (2021). Tüpraş 2021 yılı faaliyet raporu. Erişim adresi: https://tprstaticfilessa.blob.core.windows.net/assets/uploads/faaliyet-raporlari/Tupras_2021_Faaliyet_Raporu.pdf (Erişim tarihi: 20.04.2022).
- Türk Armatörler Birliği. (2020). Yeni yakıtlar için rehber. (Erişim adresi: https://armatorlerbirligi.org.tr/wp-content/uploads/2022/03/DENIZ_YILI-TICARETI.pdf (Erişim tarihi: 20.04.2022).
- Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı. (2017). 44697349-610.01/16958 Sayılı Türkiye Büyük Millet Meclisi Başkanlığına Soru Önergesi. Ankara.
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı Ulaşım Emniyeti İnceleme Merkezi. (2022). Kaza Raporları-Deniz. Erişim adresi: <https://ulasimemniyeti.uab.gov.tr/deniz> (Erişim tarihi: 20.04.2022).
- Ülker, D., Baltaoğlu, S. (2018). Ship Born Oil Pollution In Turkish Straits Sea Area And MARPOL 73/78. S. Ünlü, B.Alpar, B.Öztürk (Eds.), Oil Spill along the Turkish Straits Sea Area; Accidents, Environmental Pollution, Socio-Economic Impacts and Protection. (s. 363-370). Istanbul: TUDAV.
- Ülker, D., Bayırhan, İ., Mersin, K., Gazioğlu, C. (2021). A comparative CO2 emissions analysis and mitigation strategies of short-sea shipping and road transport in the Marmara Region. Carbon Management, 12(1), 1-12. doi: 10.1080/17583004.2020.1852853
- Ülker, D., Burak, S., Balas, L., Çağlar, N. (2022). Mathematical modelling of oil spill weathering processes for contingency planning in İzmit Bay. Regional Studies in Marine Science, 102155. doi: 10.1016/j.rsma.2021.102155.
- Venkatesh, S. (1988). The oil spill behaviour model of the Canadian Atmospheric Environment Service part I: Theory and model evaluation. Atmosphere-Ocean, 26 (1), 93–108.
- Venkatesh, S. (1990). Model simulations of the drift and spread of the Exxon Valdez oil spill. Atmosphere-Ocean, 28 (1), 90–105.
- Venkatesh, S., Crawford, W. R. (1993). Spread of oil from the Tenyo Maru, off the Southwest coast of Vancouver Island. Natural Hazards, 8 (1), 75–91.
- Venkatesh, S., Murty, T. S. (1993). Modeling the drift and spread of oil slicks in the Arabian Gulf. In 1993 International oil spill conference: Prevention, preparedness, response.

- Verma, P., Wate, S. R., Devotta, S. (2008). Simulation of impact of oil spill in the ocean—a case study of Arabian Gulf. *Environmental monitoring and assessment*, 146 (1), 191–201.
- Vethamony, P., Sudheesh, K., Babu, M. T., Jayakumar, S., Manimurali, R., Saran, A. K., Sharma, L.H., Rajan, B., Srivastava, M. (2007). Trajectory of an oil spill off Goa, eastern Arabian Sea: Field observations and simulations. *Environmental pollution*, 148 (2), 438–444.
- Vira Haber. (2018). Erişim adresi: <https://www.virahaber.com/korfezi-kirleten-gemiyalovada-yakalandi-51033h.htm> (Erişim tarihi: 13.05.2022).
- Wang, S.-D., Shen, Y.-M., Guo, Y.-K., Tang, J. (2008). Three-dimensional numerical simulation for transport of oil spills in seas. *Ocean Engineering*, 35 (5–6), 503–510.
- Wang, S. D., Shen, Y. M., Zheng, Y. H. (2005). Two-dimensional numerical simulation for transport and fate of oil spills in seas. *Ocean Engineering*, 32 (13), 1556–1571. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2004.12.010>.
- Wang, Y., Zheng, X., Yu, X., & Liu, X. (2017). Temperature and salinity effects in modeling the trajectory of the 2011 Penglai 19-3 oil spill. *Marine Georesources & Geotechnology*, 35 (7), 946–953.
- Wartsila. (2022). Oil Spill Response Simulator. Erişim adresi: <https://www.wartsila.com/voyage/simulation-and-training/oil-spill-response-simulator> (Erişim tarihi: 20.04.2022).
- Xie, H., Yapa, P. D., & Nakata, K. (2007). Modeling emulsification after an oil spill in the sea. *Journal of Marine Systems*, 68 (3–4), 489–506.
- Xu, Q., Li, X., Wei, Y., Tang, Z., Cheng, Y., Pichel, W. G. (2013). Satellite observations and modeling of oil spill trajectories in the Bohai Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 71 (1–2), 107–116.
- Yaghi, B. M., Al-Bemani, A. (2002). Heavy crude oil viscosity reduction for pipeline transportation. *Energy sources*, 24 (2), 93–102.
- Yang, Y., Chen, Z. L., Li, Y., Xiao, X., Dan, Q., Yang, T. H., Ren, Z. J. (2013). Numerical simulation of oil spill in the Gulf of Mexico based on the GNOME and ADIOS. *Applied Mechanics and Materials*. 295, 1535–1542.
- Yılport. (2019). Yılport Solventas Tehlikeli Madde Rehberi. Erişim adresi: https://www.yilport.com/tr/images/PartDocuments/yilport_tmr_rev3.pdf (Erişim tarihi: 20.04.2022).
- Yılport. (2022). Liman Özellikleri ve Gemi Kabul Şartları. Erişim adresi: <https://www.solventas.com.tr/tr/liman-ozellikleri-ve-gemi-kabul-sartlari.php> (Erişim tarihi: 20.04.2022)
- Zhou, Y., Wu, J., & Lemmon, E. W. (2012). Thermodynamic properties of o-xylene, m-xylene, p-xylene, and ethylbenzene. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 41 (2), 23103.
- Zodiatis, G., Coppini, G., Perivoliotis, L., Lardner, R., Alves, T., Pinardi, N., Liubartseva, S., Dominicis, M.D., Bourma, E., Neves, A.A.S. (2017). Numerical Modeling of Oil Pollution in the Eastern Mediterranean Sea. Carpenter, A., Kostianoy, A. (Eds) *Oil Pollution in the Mediterranean Sea: Part I. The Handbook of Environmental Chemistry*, vol 83. Springer, Cham.
- Zodiatis, G., De Dominicis, M., Perivoliotis, L., Radhakrishnan, H., Georgoudis, E., Sotillo, M., et al. (2016). The Mediterranean decision support system for marine safety

dedicated to oil slicks predictions. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 133, 4–20.



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	:
Doğum yeri	:
Lise	:(2002-2005), Ankara Kocatepe Mimar Kemal Lisesi
Lisans	:(2005-2009), İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü
Lisans	:(2006-2010), İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Bölümü (Çift Anadal Programı)
Yüksek Lisans	:(2013-2016), İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Deniz Ekonomisi Programı
Doktora	:(2017-2022), İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Denizel Çevre Anabilim Dalı, Kıyı Mühendisliği Programı
Çalıştığı kurumlar	:(2009 - 2010), Kaptan Şirketler Grubu – Nur Gemicilik, Gemi Acente Personeli (2010-2016), Interdolphin Denizcilik – Gemi Operasyon Müdürü (2017- Devam ediyor), İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Denizel Çevre Anabilim Dalı. Araştırma Görevlisi.

Bilimsel etkinlikleri :

SCI-E indeksli dergilerde yayımlanan makaleler

- Ülker, D., Burak, S., Balas, L., Çağlar, N. (2022). Mathematical modelling of oil spill weathering processes for contingency planning in Izmit Bay. Regional Studies in Marine Science, 102155.
- Ülker D. Koldemir B. (2021). Comparative Voyage-Based Evaluation of Yacht Transfer by Self-Sailing and Cargo Vessel Shipment – A Pilot Study. Promet - Traffic & Transportation, 33 (5) 755-766.
- Burak, S., Bilge, A. H., Ülker, D. (2021). Assessment and simulation of water transfer for the megacity Istanbul. Physical Geography, 1-25.

- Ülker, D., Bayırhan, İ., Mersin, K. Gazioğlu, C. (2021). A comparative CO2 emissions analysis and mitigation strategies of short-sea shipping and road transport in the Marmara Region. Carbon Management, 12 (1),1-12.
- Burak, S, Bilge A. H., Ülker D. (2021).Computation of monthly runoff coefficients for Istanbul. Thermal Science, 25 (2B) 1561-1572.

TR Dizin dergilerde yayımlanan makaleler

- Burak, Z. S., Sibel, Zeki., Ülker, D., Bayırhan, İ. (2022). The Legal Framework of Water Quality Management in Turkey. Turkish Journal of Water Science and Management, 6 (1), 121-144.
- Ülker D., Bayırhan İ., Burak Z.S. (2020). Assessment and Comparison of Commonly Used Eutrophication Indexes, Turkish Journal of Water Science & Management, 4, 4-30.
- Ülker D., Ergüven O., Gazioğlu C. (2018). Socio-economic impacts in a Changing Climate: Case Study Syria, International Journal of Environment and Geoinformatics 5 (1), 84-93.

Diğer uluslararası indeksli dergilerde yayımlanan makaleler

- Ülker D., Burak Z.S. (2017)A Study about Using Animal Waste Generated in Livestock Carriers in Biogas Plants. Academia Journal of Engineering and Applied Sciences, 2017, 331-338.

Kitapta Bölüm

- Ülker, D., Baltaoğlu, S. (2018). Ship Born Oil Pollution In Turkish Straits Sea Area And MARPOL 73/78. S. Ünlü, B.Alpar, B.Öztürk (Eds.), Oil Spill along the Turkish Straits Sea Area; Accidents, Environmental Pollution, Socio-Economic Impacts and Protection. Istanbul: TUDAV.

Bildiriler

- Burak Z. S. , Bilge A. H. , Ülker D. (2021). Thornthwaite's method for the computation of water balance. NRSEM-2021, Lefkoşa, Kıbrıs (KKTC), 8 - 12 Kasım 2021, s.1-8
- Ülker, D., Savun-Hekimoğlu, B., Burak, Z. S. (2021). Assesment of water quality of Lake Bafa in Turkey. IWA Digital World Water Congress, 24 May-4 June 2021.

- Ülker D. (2020). Evaluation of Short-Sea Shipping Networks in the Sea of Marmara for the Efficient Earthquake Transportation Emergency Management, 2nd International Disaster and Resilience Congress: Resilience of/in Megacities, İstanbul, Turkey, 13 - 15 October 2020, Eskişehir. (Online Konferans)
- Burak Z.S., Ülker D., Which Effluent Quality for Which Reuse in the Mediterranean Region?, 4th International Conference on Recycling and Reuse, 24-26.10. 2018, s.122-123, İstanbul, Turkey,
- Ülker D., Birsen K. (2016). Teknelerin Gemi ile Taşınmasına Dair Çalışma Haydarpaşa-Fethiye Örneği. 3. Ulusal Deniz Turizmi Sempozyumu, 2016.

Desteklenen projeler

- InoCottonGrow-Söke, 2018, Alman Eğitim ve Araştırma Bakanlığı tarafından desteklenen proje. (Araştırmacı). (Mart 2018-Aralık 2018).
- TUBITAK 1001 Müsilaj Özel Çağrısı, 121G021 numaralı proje, Uv-C Işınlamasının Müsilaj Bertarafı Üzerinde Çevresel Ve Ekonomik Etkisinin Araştırılması. (Araştırmacı , Gerçekleştirme Görevlisi). 2021-Devam Ediyor.
- TUBITAK 1001 Müsilaj Özel Çağrısı, 121G143 numaralı proje Marmara Denizi Müsilajının Patojen Barındırma Potansiyeli ve Bakteriyel Çeşitliliğe Olan Etkisinin Değerlendirilmesi. (Araştırmacı). 2021-Devam Ediyor.



Contents lists available at ScienceDirect

Regional Studies in Marine Science

journal homepage: www.elsevier.com/locate/rsma

Mathematical modelling of oil spill weathering processes for contingency planning in Izmit Bay

Duygu Ülker^{a,*}, Selmin Burak^a, Lale Balas^b, Nuray Çağlar^c

^a Department of Marine Environment, Institute of Marine Sciences and Management, Istanbul University, 34134, Istanbul, Turkey

^b Sea and Aquatic Sciences Application and Research Center, Civil Engineering Department, Engineering Faculty, Gazi University, 06570 Ankara, Turkey

^c Department of Chemical Oceanography, Institute of Marine Sciences and Management, Istanbul University, 34134, Istanbul, Turkey

ARTICLE INFO

Article history:

Received 5 July 2021

Received in revised form 13 December 2021

Accepted 27 December 2021

Available online 4 January 2022

Keywords:

Oil spill

Modelling of weathering processes

Oil spill contingency planning

HYDROTAM3D

ADIOS2

ABSTRACT

One of the main oil refineries in Turkey is located in Izmit. This results in a high volume of crude oil and oil products handled in Izmit ports. The region is consequently at a very high risk for oil pollution. Due to the destructive effects of oil on the various segments of the environment, comprehensive preventive measures for crisis management related to potential oil spill scenarios are necessary to minimize the contaminated areas. In this study, hydrodynamic data are obtained from the HYDROTAM3D, and 36 oil spill scenarios, which involve Basrah light, Iranian light, and Russian oil, are evaluated for oil spill weathering processes using ADIOS2. Although the API gravities of the three different oil types are within the same range, their weathering processes are noticeably different in terms of their viscosity and density. Moreover, Basrah light oil has a higher evaporation and viscosity increase rate compared to the other two types of oil. Of the three types of oil, the Basrah light is the most likely to hinder recovery actions. In situations of crisis management to provide efficient recovery actions, comparison of weathering modelling data for each handled oil type is necessary for oil spill contingency planning.

© 2021 Published by Elsevier B.V.

1. Introduction

The consequences of increased energy demand are reflected in the growing trend of oil products' trade all over the world, as reported in data tools of the International Energy Agency (IEA, 2021). Transportation of oil products makes up a significant share in the shipping sector and crude oil transport represents an important proportion worldwide (Chen et al., 2019).

The United Nations Committee of Experts on the Transport of Dangerous Goods classify crude oils with the UN (United Nations Number) code 1267 and assign a hazard class number of 3 (UNECE, 2011). These codes and classes impose voyage and cargo-based restrictions and measures throughout the shipping of goods. The United States Department of Transportation, Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA) develops and publishes the Emergency Response Guidebook (ERG) considering the UN Codes for the use of first responders in case of the occurrence of an accident which relates to the transportation and/or handling of dangerous goods/hazardous materials (PHMSA, 2020). The ERG 128 contains the possible risks related

to oil products, defining potential hazards, detailing emergency response, and identifying actions necessary for public safety.

The International Tanker Owners Pollution Federation (ITOPF) reports that 5.86 million tons of oil have been spilled into the sea as a result of accidents occurring within the last 50 years. 31% of these accidents were caused by collisions and 26% due to landing, and 80% took place at a distance within 10 nm from the coast. However, the occurrence of oil spill accidents in the world has been decreasing since the 1970s due to the measures defined by the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL 73/78). Minimizing the risk of a tanker accident is an important factor in this. However, this risk can of course not be eliminated and after a tanker accident, no matter how efficient the recovery actions are, its impact on the environment and human health are devastating, especially in the event of a large spill. Therein lies the importance of crisis management and oil spill contingency planning.

A large number of oil spill modelling programmes were developed after the 1980s following the large tanker accidents witnessed in the 1970s (Al-Rabeh et al., 2000; Ambjörn et al., 2011; Annika et al., 2001; Beegle-Krause, 2001; Berry et al., 2012; Lehr et al., 2002; Reed et al., 1995). Oil spill programmes simulate the processes and mechanisms in the distribution of oil in integration with a hydrodynamic module in order to show the spreading processes. In the early 1990s Automated Data Inquiry for Oil

* Corresponding author.

E-mail addresses: duygu.ulker@istanbul.edu.tr (D. Ülker), sburak@istanbul.edu.tr (S. Burak), lalebal@gazi.edu.tr (L. Balas), nbal@istanbul.edu.tr (N. Çağlar).



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK RAPORU UYGUNLUK FORMU



ÖĞRENCİNİN ADI SOYADI : DUYGU ÜLKER
ÖĞRENCİ NO : 3002160003
ÖĞRETİM YILI : 2021/2022
ANABİLİM DALI / BİLİM DALI : DENİZEL ÇEVRE ANABİLİM DALI
PROGRAM TÜRÜ : YÜKSEK LİSANS ☐ DOKTORA ☒
TEZ DANIŞMANI ÜNVANI ADI SOYADI : PROF. DR. ZİNET SELMİN BURAK
II. TEZ DANIŞMANI ÜNVAN ADI SOYADI : -
TEZ BAŞLIĞI : KİMLİ SULARINDA PETROL KİRLİLİĞİ TAŞINIMININ
CBS TABANLI MODELLENMESİ

DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE,

Yukarıda başlığı verilen tez çalışmamın Kapak sayfası, Türkçe ve İngilizce özet, giriş ve amaç, genel bilgiler, materyal-metot, bulgular, tartışma, sonuç ve kaynaklar bölümlerinden oluşan toplam 138 . sayfalık kısmına ilişkin, 04/08/2022 tarihinde Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsünün kullandığı TURNİTİN programı ile, *Lisansüstü Tezlere ait Benzerlik Raporlarının Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Uygulama Esaslarının* 5inci madde ikinci fıkrasında belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış nihai rapora göre benzerlik oranı % 6 'dır.

Tezimin benzerlik oranı, 06/122017 tarih ve 20 sayılı *Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Yönetim Kurul Kararıyla Tezin intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için kabul edilmiş olan üst sınır benzerlik oranını* aşmamaktadır.

İntihal programı ile raporlanan Tezime ait Benzerlik oranım Üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu beyan ederim.

Gereğini arz ederim.

İmza
Öğrenci Ad-Soyadı
Tarih: 04/08/2022

EK: TURNİTİN Benzerlik Nihai Raporu ilk sayfa çıktısı

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR / UYGUN DEĞİLDİR
(Ünvan, Ad Soyadı, İmza)

Prof. Dr. Zinet Selmin Burak

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM VE ÖĞRETİM YÖNETMELİĞİ (08.09.2016/29825)

(Yüksek Lisans) MADDE 36 – (2) Tezle ilgili benzerlik ön incelemesi, danışmanın bilgisi dahilinde öğrenci ile birlikte Üniversitenin kabul ettiği yazılım programı kullanılarak yapılır. Enstitü, söz konusu teze ilişkin intihal yazılım programı nihai raporunu alarak danışmana ve jüri üyelerine gönderir. Rapordaki verilerde veya sınav jüri üyesi/üyelerinin somut kanıtlarla belgeledikleri verilere göre gerçek bir intihalin tespiti halinde; tez, gerekçesi ile birlikte, karar verilmek üzere enstitü yönetim kuruluna gönderilir.

(Doktora) MADDE 50 – (4) Öğrenci, doktora tezinin savunmasından önce tezini, düzeltme verilen tezlerde ise düzeltilmiş tezini danışmanına sunar. Tezle ilgili benzerlik ön incelemesi, danışmanın bilgisi dahilinde öğrenci ile birlikte Üniversitenin kabul ettiği yazılım programı kullanılarak yapılır. Enstitü, söz konusu teze ilişkin intihal yazılım programı nihai raporunu alarak danışmana ve jüri üyelerine gönderir. Rapordaki verilerde veya sınav jüri üyesi/üyelerinin somut kanıtlarla belgeledikleri verilere göre gerçek bir intihalin tespiti halinde; tez, gerekçesi ile birlikte, karar verilmek üzere enstitü yönetim kuruluna gönderilir

Kıyı Sularında Petrol Kirliliği Taşınımının CBS Tabanlı Modellenmesi

Yazar Duygu Ülker

Gönderim Tarihi: 04-Ağu-2022 04:52PM (UTC+0300)

Gönderim Numarası: 1878777159

Dosya adı: duygu-dr.docx (22.1M)

Kelime sayısı: 30244

Karakter sayısı: 202032

Kıyı Sularında Petrol Kirliliği Taşınımının CBS Tabanlı Modellenmesi

ORJİNALLİK RAPORU

%6

BENZERLİK ENDEKSİ

%5

İNTERNET KAYNAKLARI

%1

YAYINLAR

%1

ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1

dspace.gazi.edu.tr
İnternet Kaynağı

%1

2

docplayer.biz.tr
İnternet Kaynağı

<%1

3

www.kiyiemniyeti.gov.tr
İnternet Kaynağı

<%1

4

denizdekiler.com
İnternet Kaynağı

<%1

5

acikbilim.yok.gov.tr
İnternet Kaynağı

<%1

6

Submitted to The Scientific & Technological
Research Council of Turkey (TUBITAK)
Öğrenci Ödevi

<%1

7

www.Epdk.Gov.Tr
İnternet Kaynağı

<%1

8

www.ulk2017.deu.edu.tr
İnternet Kaynağı

<%1

www.nuhcimento.com.tr