

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEMİ KÖKENLİ PETROL KİRLİLİĞİNİN
BİYOLOJİK YÖNTEMLERLE GİDERİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Ceren BİLGİN**

Anabilim Dalı : DENİZ TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ

Programı : DENİZ TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2003

ÖNSÖZ

Akademik hayata attığım bu ilk adımda her zaman yanımda olan ve bana yol gösteren Sn. Doç.Dr. Fatma YONSEL'e, hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen Sn. Doç. Dr. Şems YONSEL'e, bana destek olarak varlıklarını daima hissettiren aileme, arkadaşlarıma ve Dz.Ütğm. İbrahim ÇINAROĞLU'na sonsuz teşekkürler,

Mayıs 2003

Ceren BİLGİN

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
2. DÜNYA PETROL TİCARETİ	3
2.1. Petrol ve Deniz Kirliliği	7
2.2. Türk Boğazları	14
2.2.1.İstanbul Boğazı ve Gemi Kazaları	15
3. PETROL VE PETROLÜN KİMYASAL YAPISI	18
3.1 Petrol Ürünleri	19
3.1.2 Dayanıklı (kalıcı) Petrol Türleri	20
3.2 Petrolün Deniz Ortamında Davranışı	20
3.2.1 Petrolün Deniz Ortamına Etkisini Belirleyen Etmenler	23
3.2.1.1 Yayılma	23
3.2.1.2 Buharlaşıma	24
3.2.1.3 Doğal Dispersiyon (Dağılma)	24
3.2.1.4 Suyun Petrol İçinde Emülsiyon Oluşturması	25
3.2.1.5 Çözünme	25
3.2.1.6 Oksidasyon	26
3.3 Petrolün Deniz Ortamına Etkisi	28
3.3.1 Petrolün doğal hayata etkisi	29
3.3.2 Petrol kirliliğinin ekolojik etkileri	30
3.3.2.1 Canlıların ve yaşam çevrelerinin fiziksel olarak kirlenmesi	30
3.3.2.2 Petrol Hidrokarbonlarının zehirlilik etkileri	31
3.3.2.3 Biyolojik birikim ve kirlenme	34
3.4 Deniz Ortamındaki Petrolle Mücadele Yöntemleri	35
3.4.1. Mekanik Yöntemler	35
3.4.2. Kimyasal Yöntemler	36
3.4.3. Yakma	37
3.4.4. Biyolojik Yöntemler	38
4. BİYODEGRADASYON VE BİYOREMİDASYON	39
4.1 Biyodegradasyon konusunda yapılmış olan çalışmalar	39
4.2 Biyoremidasyon konusunda yapılmış olan çalışmalar	43
5 MATERYAL VE METOT	60

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	67
KAYNAKLAR	75
EKLER	79
ÖZGEÇMİŞ	99

KISALTMALAR

ITOPF	: International Tanker Owners Pollution Federation
DWT	: Dead Weight Tonne
PAH	: Polycyclic Aromatic Hydrocarbon
RRT	: Regional Response Team
EPA	: Environmental Protection Agency
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
NPA	: National Contingency Plan of America
DNA	: Deoxyribo Nucleic Acid
TOC	: Total Organic Carbon
STR	: Stirred Tank Reactor
ÇO	: Çözünmüş Oksijen

TABLO LİSTESİ

<u>No</u>		<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1.	Dünya üzerinde bilinen 600 milyon ton ve üzeri kapasiteli rezervler	5
Tablo 2.2.	Petrol üreten ülkeler	6
Tablo 2.3.	Petrol tüketen ülkeler	7
Tablo 2.4.	Denizlerdeki gemi kökenli petrol kirliliğinin sebepleri	9
Tablo 2.5.	Gemi kazaları sonucu denizlere giren petrol miktarı (milyon ton/yıl)	12
Tablo 2.6.	Petrol kirliliğine neden olan en önemli 20 deniz kazası	13
Tablo 2.7.	2010 senesi için Türk Boğazlarından geçeceği öngörülen tanker sayısı	15
Tablo 3.1.	Petrol ürünlerinin karakteristik özellikleri	19
EK A.1.	İstanbul Boğazında 1982-1994 yılları arasında meydana gelen kazalar	79
EK A.1.	İstanbul Boğazında 1994-2001 yılları arasında meydana gelen kazalar	90

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 1994 verileriyle dünya çapında kullanılan yakıtların cinsi ve oranı	3
Şekil 2.2 Dünya petrol ticareti (milyon ton/yıl)	4
Şekil 2.3 Deniz kirliliğine sebep olan etmenlerin oranları	8
Şekil 2.4 1999 senesinde Akdeniz ve Ege Denizi'nde tespit edilen yasadışı petrol deşarjları	10
Şekil 2.5 1999 senesinde Akdeniz ve Ege Denizi'nde tespit edilen gemi rotalarına bağlı petrol kirliliği	10
Şekil 3.1 Deniz ortamında petrolün davranışı	22
Şekil 5.1 STR	62
Şekil 5.2 İstinye Koyu	65
Şekil 5.3 İstinye Koyundan alınan numunelerde görüntülenen	65
Şekil 6.1 Farklı tuzluluklarda yağ konsantrasyonunun zamanla değişimi	68
Şekil 6.2 STR şematik çizim	69
Şekil 6.3 20°C de çözülmüş oksijen miktarının zamana göre değişimi	70
Şekil 6.4 20°C de ÇO konsantrasyonuna karşılık oksijen dönüşümü	70
Şekil 6.5 20°C de ÇO konsantrasyonuna karşılık düzeltilmiş oksijen	71
Şekil 6.6 15°C de çözülmüş oksijen miktarının zamana göre değişimi	72
Şekil 6.7 15°C de ÇO konsantrasyonuna karşılık oksijen dönüşümü	72
Şekil 6.8 15°C de ÇO konsantrasyonuna karşılık düzeltilmiş oksijen	73

GEMİ KÖKENLİ PETROL KİRLİLİĞİNİN BİYOLOJİK YÖNTEMLERLE GİDERİLMESİ

ÖZET

Petrol ve petrol ürünlerinin toplam enerji talebinin karşılanmasındaki payı sanayileşmenin ve şehirleşmenin etkisiyle artmaktadır. Giderek artan tüketim, petrolün çıkarıldığı ve işlendiği bölgelerden çok daha uzaktaki noktalara taşınmasını bir gereklilik haline getirmektedir. Petrol taşımacılığının büyük bir kısmı maliyetlerinin görece düşük olması nedeni ile deniz yolu ile gerçekleştirilmektedir. Her sene büyük miktarlarda petrol ve petrol ürünü, kazayla, ihmalle veya yasadışı olarak deniz ortamına girmektedir. Petrolün tankerlerle deniz aşırı taşınması sırasında yaşanan kazalarla gemi işletmeciliğindeki ihmaller bu kirliliğin iki ana sebebi olarak belirmektedir.

Normal şartlarda, organik bir madde olarak petrol deniz ortamında bulunan mikroorganizmalarca parçalanabilmekte veya çevreye daha az zararlı maddelere dönüştürülebilmektedir. Biyodegradasyon olarak adlandırılan bu süreç 1940'lerden beri bilinmektedir. 1967'de İngiliz Kanalı'nda meydana gelen Torey Canyon kazası sonrasında denize dökülen 119 000 ton petrolün yarattığı sonuçlar bilim dünyasının ilgisini daha yoğun bir şekilde petrol kirliliğine yöneltmiştir. Yoğunlaşan çalışmalar sonucunda petrolün deniz ortamından giderilebilmesi için bir çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler içerisinde petrolün deniz ortamındaki doğal süreçlerinden birisi olan biyolojik bozulmanın optimize edilmesi ile gerçekleştirilen biyoremedasyon tekniği, gelecekte en etkili olacak yöntemlerden biri olarak belirmektedir. Bu yöntem deniz çevresini petrolden arındırmanın yanı sıra denizlerde zaten var olan doğal bir süreci hızlandırdığı için diğer temizleme tekniklerinin verebileceği zararlardan da korumayı hedeflemektedir.

Petrolün mikrobiyolojik bozunması, dökülen petrolün özelliklerinin ve miktarının yanı sıra, döküldüğü bölgenin çevresel şartlarına da bağlıdır. Özellikle, ortamda bulunan çözünmüş oksijen konsantrasyonu, tuzluluk, sıcaklık, mikrobiyolojik topluluk ve ortamdaki besleyici konsantrasyonu biyodegradasyon üzerinde oldukça etkili parametrelerdir. Bu nedenle petrolün farklı ortamlardaki biyolojik bozunma oranları ve hızı, bu ortamın özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

İstanbul Boğazı büyük bir kısmını tankerlerin oluşturduğu sıra dışı trafiği ve bu trafiği zorlaştıran özellikleri (morfolojik, oseanografik ve meteorolojik) nedeni ile her an büyük bir felaketle karşı karşıya kalma riskine sahiptir. Geçmişte burada meydana gelmiş olan kazalar İstanbul Boğazı'ndaki riskin büyüklüğünü vurgulamaktadır. Kaza riskinin yanı sıra İstanbul Boğazı, burayı kullanan gemilerin

sintine ve balast suları nedeni ile de düzenli olarak petrol kirliliğine maruz kalmaktadır. Sonuçta İstanbul Boğazı'nın maruz kaldığı ve kalabileceği petrol kaynaklı kirliliğin bertaraf edilmesi her geçen gün daha önemli bir sorun olarak belirmektedir.

Bu konulardaki laboratuvar ve saha çalışmaları, potansiyel olarak petrol kirliliğine açık bölgeler için yapılabilecek modelleme çalışmalarının data ihtiyacını karşılamakla kalmayacak aynı zamanda kullanılan simulasyon modellerinin doğal şartlara uyumunu arttıracaktır. Böylece herhangi bir petrol kirlenmesi olayı henüz gerçekleşmeden olası durumlar önceden tahmin edilebilecek, çeşitli senaryolarla muhtemel bir petrol kirlenmesinde nasıl tedbirler alınacağı, ne gibi temizleme çalışmalarının yapılacağı önceden planlanabilecektir.

Bu çalışma İstanbul Boğazı'nda yukarıdaki sebeplerden kaynaklanan kirliliğin boyutlarını ve bunun degradasyonla hangi ölçülerde giderilebileceğini bulmayı hedeflemektedir. Çalışma kapsamında İstanbul Boğazında yer alan İstinye Koyu civarından alınan deniz suyu örnekleri ile çalışılmıştır. Laboratuvar koşullarında sürdürülen deneylerde 4.5 litrelik pleksiglas malzemeden yapılmış olan STR (Stirred Tank Reactor) bir reaktör kullanılmıştır.

İstinye koyundan alınan deniz suyu örnekleri petrol ürünlerinden olan motorin ile sentetik olarak kirletilerek motorinin biyolojik olarak parçalanabilirliği gözlenmiştir. Koydaki mikroorganizmaların petrolü düşük tuzluluk değerlerinde daha hızlı indirgediği tespit edilmiştir. Sıcaklığın mikrobiyolojik bozunmaya etkisinin incelendiği deneylerden elde edilen sonuçlar, farklı sıcaklıklarda da biyolojik bozunmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Bununla birlikte düşük sıcaklıklarda mikrobiyolojik bozunma hızının düştüğünü tespit edilmiştir.

BIOLOGICAL DEGREDDATION OF PETROLEUM POLLUTION ORIGINED FROM SHIPS

SUMMARY

The share of petroleum and petroleum products in satisfaction of energy demand is increasing by the impetus of industrialization and urbanization. The steadily growing consumption makes it necessary to transport the petroleum to the locations far away from the places it is originally extracted and refined. Most of the petroleum transportation is carried out by maritime because of relatively low costs. Every year significant amounts of petroleum and petroleum products are disposed to marine environment accidentally, by negligence or illegally. The accidents and the neglects of maritime administration during overseas transportation of petroleum by tankers appear to be the two causes of this pollution.

Under normal conditions, petroleum, as an organic matter, can be degraded by marine microorganisms or are transformed into substances that are less harmful to environment. This process, called biodegradation, is known since 1940s. In 1967, the consequences created by the 119,000 tones of petroleum spilled into the sea after the Torrey Canyon accident in English Channel forwarded the attention of scientists on marine pollution more intensely. Intensified studies led to methods for the purification of the oceans from petroleum. Among these methods bioremediation technique, which is developed by optimization of natural degradation process of petroleum, tends to be most effective methods in the future. This method not only distils the marine environment from petroleum but also aims to prevent adverse effects of other purification methods by accelerating the natural process that already exist in the oceans.

The microbiological degradation of petroleum depends on the properties of petroleum itself, as well as the environmental factors. Especially concentration of dissolved oxygen, salinity, temperature, microbiological community and nutrient concentration are the most influential parameters in the environment. Therefore, the degradation rate and speed of petroleum in different environments are changed by the properties of the environments.

Bosphorus is facing the risk of a big catastrophe at any time because of its extraordinary traffic majorly consists of tankers, as well as because of its peculiarities (morphological, oceanographic and meteorological) which make this traffic harder. The accidents that have already occurred in the past emphasize the huge extent of the risk in Bosphorus. In addition to the risk of accidents, Bosphorus is continuously exposed to the petroleum pollution because of bilge and ballast waters of the ships passing through this strait. As a result, prevention of the petroleum related pollution, which has occurred, and may occur, in Bosphorus is becoming a more urgent problem as time goes by.

The laboratory and the field studies on this subject will not only response to the data need of modeling studies of the regions, which are potentially under the risk of petroleum pollution, but also increase the adaptation of simulation studies to the natural conditions. Therefore, it will be possible to project the incidents that might occur, to plan the preventive measures of the possible petroleum pollution, and finally by the help of several scenarios it will be possible to decide what sort of cleaning methods should be implemented before any petroleum pollution takes place.

This study aims to indicate the extents of the pollution in Bosphorus arising from the reasons mentioned above and the possibility to overcome it by degradation. The samples, which are collected from Istinye Bay located on The Bosphorus are analyzed with in this study. A STR (Stirred Tank Reactor) made up of Plexiglas with 4.5 liters capacity is used for the experiments carried out under laboratory conditions.

The seawater samples collected from Istinye Bay are synthetically polluted by diesel oil, and the biodegradation of this diesel oil is observed. It is indicated that the microorganisms in the Bay are degrading the diesel oil faster under low salinity conditions. The results of the experiments observing the effects of temperature on the biological degradation show that biodegradation may take place under different temperatures. However, it is determined that, the speed of biodegradation decreases by the fall of temperature.

1. GİRİŞ

Geçtiğimiz yüzyılda olduğu gibi içinde bulunduğumuz yüzyılda da petrol ve petrol ürünleri, dünyayı şekillendirip insanların yaşam biçimlerinin temelini oluşturacak en önemli maddelerden birisidir.

Dünya nüfusunun büyük bir çoğunluğu enerji ihtiyaçlarını petrol ürünleri ile karşılamaktadır. Bu nedenle petrolün çıkarıldığı ve işlendiği bölgelerden çok daha uzaktaki noktalara taşınması gerekmektedir. Petrol taşımacılığının büyük bir kısmı maliyetlerinin düşük olması nedeni ile deniz yolu ile gerçekleştirilmektedir. Bu da, denizlerin petrol ile kirlenmesine neden olan en önemli unsurlardan birisidir. Özellikle kıyı bölgelerine yakın yerlerde gerçekleşebilecek büyük çaplı bir petrol kirliliği, bu bölgedeki deniz yaşamının yanı sıra balıkçılık ve turizmi de engellemesi nedeniyle insan yaşamına olan etkileri yüzünden bölge ekonomisine de darbe vuracaktır.

Petrol kirliliğinin denizlerden ve kıyı bölgelerinden giderilmesi için bir çok teknik geliştirilmiştir. Ancak bu tekniklerin çoğu gerek uygulama şekli, gerekse içerdikleri maddeler nedeni ile deniz yaşamına zarar verebilmektedir. Petrolün deniz ortamındaki doğal süreçlerinden birisi olan biyolojik bozunmanın optimize edilmesi ile gerçekleştirilen biyoremediasyon tekniği ise en etkili yöntemlerden birisi olarak düşünülmektedir. Bu teknik sayesinde, denizlerde zaten var olan doğal bir sürecin hızlandırılması nedeni ile, denizlerin diğer temizleme tekniklerinin verebileceği zararlardan korunabileceği düşünülmektedir. Halen gelişmekte olan bir teknik olan biyoremediasyon gelecek için büyük umutlar vadetmektedir.

Bu çalışmada, Bölüm 2’de öncelikli olarak petrolün önemine ve dünyadaki petrol ticaretin değinilmiş ve bu ticarete deniz taşımacılığının yeri vurgulanmıştır. Daha sonra gerek rutin gemicilik işlemlerinin neden olduğu petrol kirliliği, gerekse büyük gemi kazalarının sonucunda büyük miktarlarda petrolün deniz ortama girmesi ile oluşan petrol kirliliği üzerinde durulmuştur. Bu bölümde son olarak bizim için

oldukça önemli olan Türk Boğazları'na yer verilmiştir. Özellikle Eski S.S.C.B.'nin dağılmasının ardından Rus / Kafkas / Hazar / Orta Asya petrollerinin Türk Boğazlarında sebep olduğu tanker trafiği ve bu trafiğin varolan yerel deniz trafiğine eklenmesiyle sebep olduğu tehdit üzerinde durulmuştur. Burada gerçekleşmiş olan deniz kazaları sonucu oluşan petrol kirlenmesi olayları ile bu tehdit vurgulanmıştır.

Bölüm 3'te ise ilk önce petrolün kimyasal özellikleri, petrolün deniz ortamında davranışı ve bu davranışı etkileyen sebepler açıklanmıştır. Ardından petrolün denizlere olan etkisi belirtilip, deniz ortamında petrolle mücadele yöntemlerine değinilmiştir.

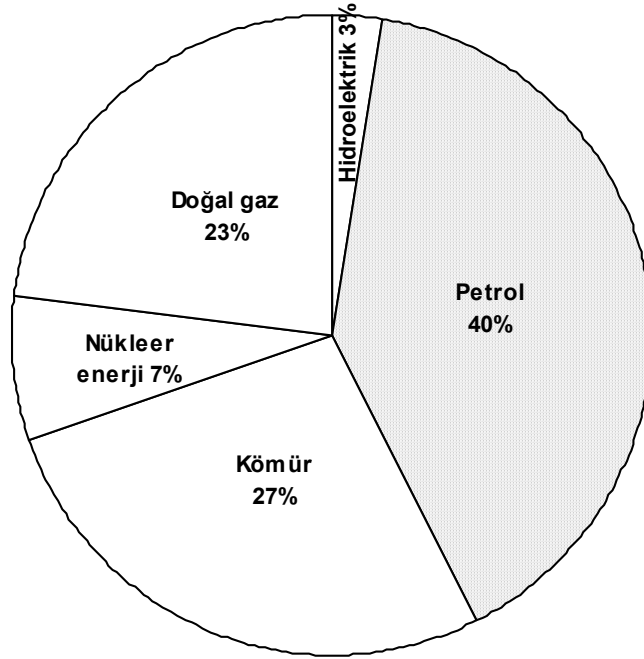
Bölüm 4'te ilk önce biyoremediasyon tekniğinin temelini oluşturan biyolojik bozunma (biyodegradasyon) üzerine yapılmış olan çalışmalara yer verilmiştir. Adından gelecek vaat eden biyoremediasyon tekniği detaylı bir biçimde anlatılıp bu konuda yapılmış olan çalışmalara yer verilmiştir.

Bölüm 5'te İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi İlham Artüz Deniz Bilimleri Laboratuvarında gerçekleştirilen deneysel çalışmalara yer verilmiştir. İstinye koyu civarından alınan deniz suyu örnekleri ile gerçekleştirilen bu çalışmalarda kullanılan materyal ve metot açıklanmıştır.

Son bölümde ise (Bölüm 6) İstinye Koyu civarından alınan deniz suyu örnekleri ile sürdürülen laboratuvar çalışmaları sonucunda petrol ürünlerinden olan motorinin ortamdaki mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak parçalanabildiği gösterilmiştir.

2. DÜNYA PETROL TİCARETİ

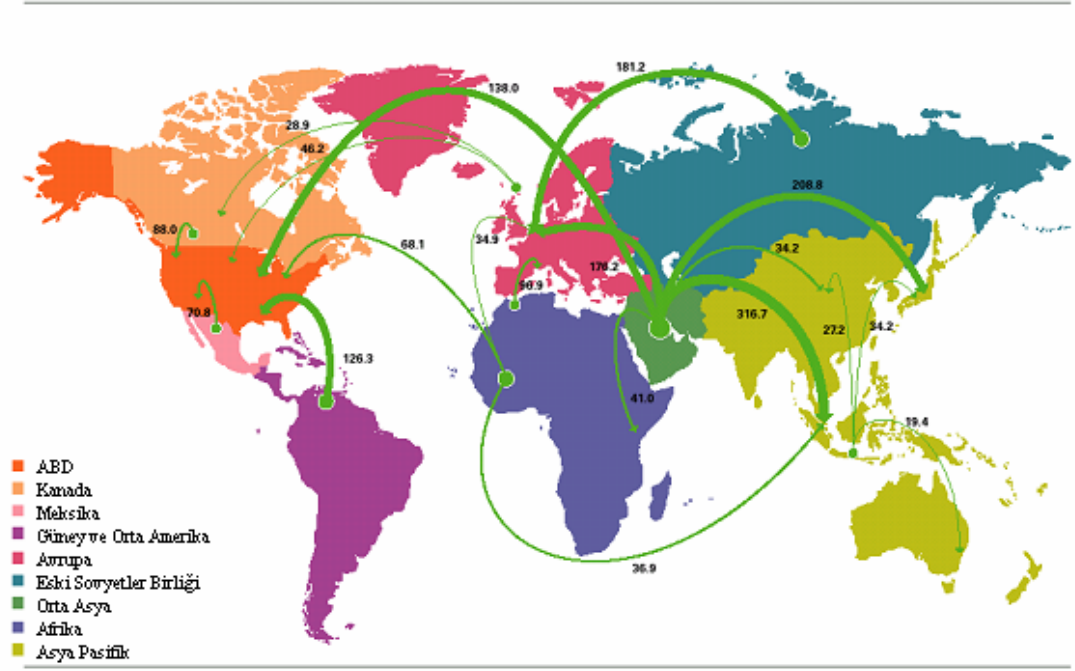
Günümüzde endüstrileşmiş ülkelerde tercih edilen yaşam biçiminin temelini petrol ve petrol ürünleri oluşturmaktadır. Bu ülkeler enerji ihtiyaçlarının büyük bir kısmını petrolden karşıladıkları sürece kaza sonucu meydana gelecek petrol kirliliği riski ve buna bağlı olarak petrolün deniz ekosistemine zarar verme olasılığı daima olacaktır. Bununla birlikte ekonomik olarak gelişmekte olan ülkelerde petrole olan talep giderek artmaktadır. Bilindiği gibi petrol dünyanın enerji kaynaklarından birisidir. Aşağıdaki grafik dünya üzerinde kullanılan yakıtların kullanım oranlarını 1994 senesindeki verilere göre belirtmektedir. Her ne kadar birçok ülkede odun, gübre vs. maddeler yakıt olarak önemli oranda kullanılsa da miktarını tam olarak bilmek mümkün olmadığından bu grafikte yer almamaktadırlar [1].



Şekil 2.1 1994 verileriyle dünya çapında kullanılan yakıtların cinsi ve oranı[1]

Ham petrolün çıkarıldığı yerler ile rafine edildiği ve tüketildiği yerlerin birbirinden farklı olması ise büyük bir uluslararası petrol ticaretinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu ticarete de büyük pay deniz taşımacılığına düşmektedir. Ayda ortalama 100.000.000 tondan fazla ham petrol deniz yolu ile nakledilmektedir. Bunun için genellikle kimisi 500.000 tonluk kapasiteye sahip olan büyük tankerler

kullanılmaktadır. Böylesine büyük bir trafiğin varlığı beraberinde daima büyük petrol kirliliğine sebep olacak kazaların riskini de taşır.



Şekil 2.2 Dünya petrol ticareti (milyon ton/yıl) [2]

Dünya üzerindeki petrol miktarının tamamı “petrol kaynağı” olarak adlandırılır. Günümüzün teknolojik imkanları bu miktarın tam olarak bilinmesine yetmemektedir. Rezerv ise var olan petrolün bilinen ve ekonomik olarak çıkarılıp kullanılabileceğini düşündüğümüz miktardır. Rezervler daima değişmektedir çünkü yeni buluşlar ve gelişen teknoloji daha önceleri ekonomik bulunmayan ve ulaşılmaz görülen petrolün çıkarılmasına imkan tanımaktadır. Aşağıdaki tablo bize dünya üzerinde bilinen 600 milyon ton ve daha fazla petrol kapasiteli rezervleri göstermektedir. Ancak 600 milyon tonun altında kapasiteye sahip birçok rezervin de farklı ülkelerde bulunduğu bilinmektedir [1].

Tablo 2.1 Dünya üzerinde bilinen 600 milyon ton ve üzeri kapasiteli rezervler [1]

SIRA	ÜLKE	REZERV(Milyon ton)	OPEC ÜYELİĞİ
1	Suudi Arabistan	35,700	Üye
2	Irak	13,400	Üye
3	Kuveyt	13,300	Üye
4	Birleşik Arap Emirlikleri	12,700	Üye
5	İran	12,000	Üye
6	Venezüella	9,300	Üye
7	Eski SSCB	7,800	
8	Meksika	7,100	
9	Libya	3,900	Üye
10	ABD	3,700	
11	Çin	3,300	
12	Nijerya	2,800	Üye
13	Cezayir	1,200	Üye
14	Norveç	1,100	
15	Kanada	900	
16	Hindistan	800	
17=	Endonezya	700	Üye
17=	Umman	700	
17=	Angola	700	
20=	Malezya	600	
20=	Birleşik Krallık	600	

Ancak, bazı ülkeler maksimum kapasitede petrol üretimi yaparken kimi ülkeler çeşitli nedenlerle her sene sınırlı miktarda petrol üretmektedir.

Tablo 2.2 Petrol üreten ülkeler [1]

<i>SIRA</i>	<i>ÜLKE</i>	ÜRETİLEN PETROL (milyon ton /yıl)
1	Suudi Arabistan	426.5
2	ABD	382.5
3	Eski SSCB	355.3
4	İran	182.8
5	Meksika	151.3
6	Çin	149
7	Venezüella	146.4
8	Norveç	139.9
9	Birleşik Krallık	130.3
10	Birleşik Arap Emirlikleri	112.8
11	Kanada	110.9
12	Kuveyt	104.4
Toplam petrol üretimi		3,252.40

Bu tablodan da anlaşılabileceği gibi rezervlere sahip olan ülkeler ile petrol üreten ülkelerin sıralaması aynı değildir.

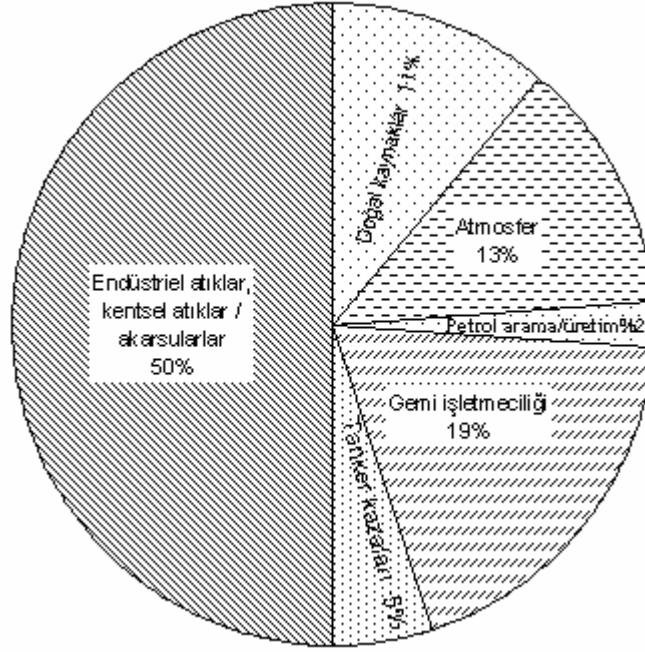
Petrol tüketen ülkeler sıralamasına bakıldığında endüstrileşmiş ülkeler en üst sıralarda yer almaktadır. Ayrıca ham petrolün ve rafine edilmemiş petrolün içeriği oldukça değişkendir. Buna bağlı olarak farklı ihtiyaçlar için farklı kalitede petrol gerekmektedir. Bu nedenle petrol çıkaran ülkeler arasında da petrol ticareti yapılmaktadır [1].

Tablo 2.3 Petrol tüketen ülkeler [1]

SIRA	ÜLKE	TÜKETİLEN PETROL (milyon ton /yıl)
1	ABD	806.8
2	Japonya	267.3
3	Eski SSCB	214.7
4	Çin	157.5
5	Almanya	135.1
6	İtalya	94.9
7	Güney Kore	94.8
8	Fransa	89
9	Birleşik Krallık	81.7
10	Kanada	80
11	Hindistan	72.5
12	Meksika	71.6
Toplam Tüketim		3,226.90

2.1 Petrol ve Deniz Kirliliği

Petrol kirliliği deniz ve kıyı ekosistemlerinde sebep olduğu büyük zararlar nedeni ile giderek artan bir çevresel tehdit oluşturmaktadır. Denizlere yıllık petrol girdisinin 10 milyon tonu bulunduğu düşünülmektedir. Ne yazık ki bu girdinin büyük bir çoğunluğu insan kaynaklıdır. Petrol kirliliğine neden olan faktörler, eylem ve koşulların ortak sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Petrol denizlere bir çok farklı yoldan girmesine rağmen gemi kökenli petrol kirliliği toplamda ciddi bir yüzde tutmaktadır [3].



Şekil 2.3 Deniz kirliliğine sebep olan etmenlerin oranları [1]

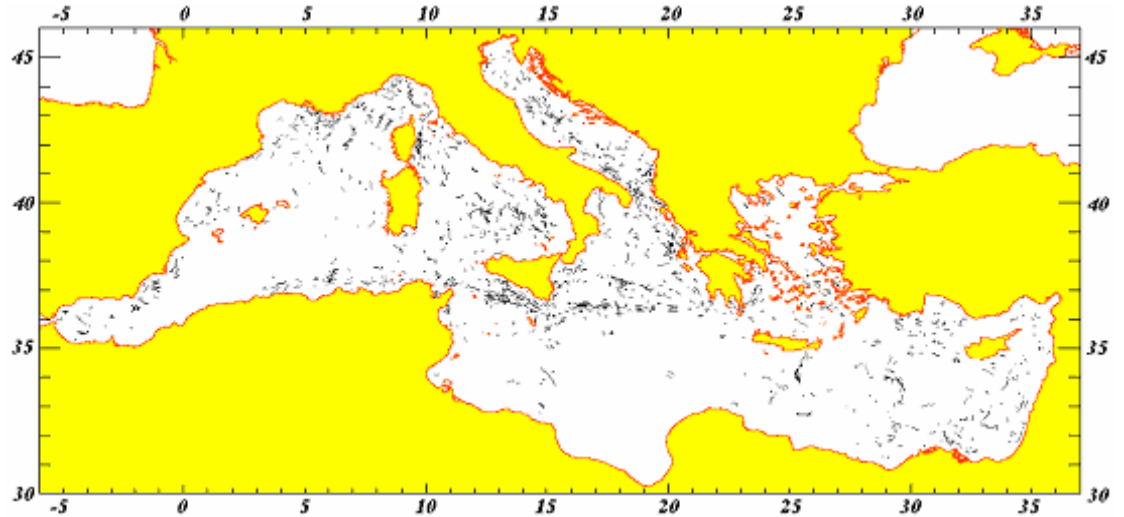
Gemi kazaları kirliliğe birinci dereceden neden olurken deniz taşımacılığı petrol kirliliğinde genelde kazalara nazaran daha önemli bir paya sahiptir. Her ne kadar tanker kazaları nedeni ile olan petrol kirliliği gazete manşetleri ve televizyon yayımları aracılığı ile büyük bir dikkat çekse de toplam kirliliğin sadece %5 ini oluşturmaktadır. Bununla birlikte rutin gemi işletmeciliğinin neden olduğu kirlilik toplam petrol kirliliğinin % 19'unu oluşturur.

Aşağıdaki tabloda gemi kökenli petrol kirliliğinin sebepleri 'kazalar' ve 'operasyonlar' olarak iki ana bölüme ayrılmıştır. Burada 'operasyonlar' olarak belirtilen sebepler deniz taşımacılığının gerektirdiği rutin işlemlerdir. Tam olarak tanımlanamayan nedenler ile kaza yada operasyonel olarak adlandıramayacak nedenler 'diğerleri' başlığıyla tabloya dahil edilmiştir [3].

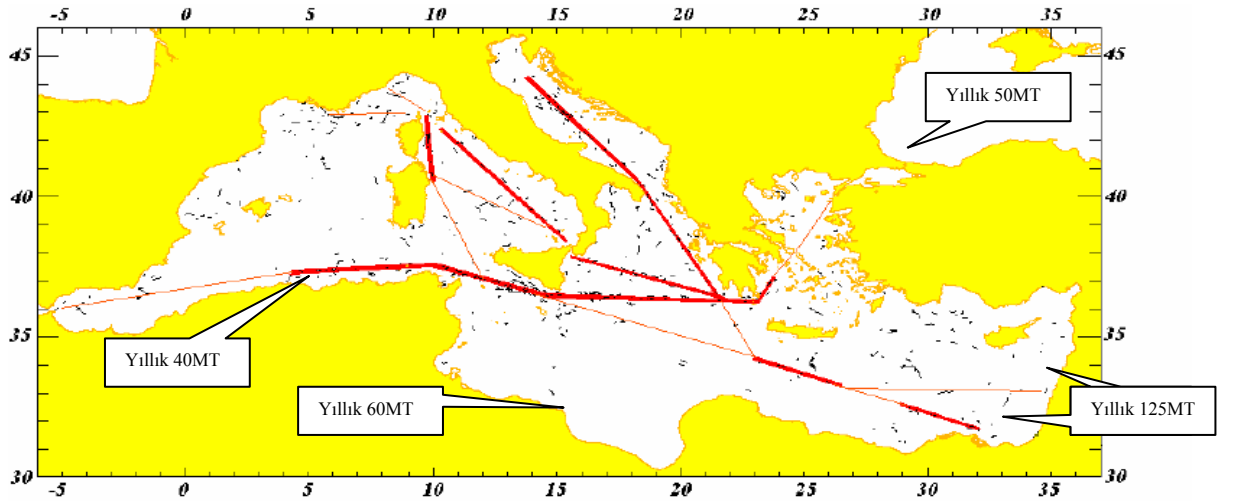
Tablo 2.4 Denizlerdeki gemi kökenli petrol kirliliğinin sebepleri [3]

	< 7 ton	7-700 ton	> 700 ton	Toplam
OPERASYONLAR				
Yükleme/boşaltma	2767	299	17	3083
Bunkerleme	541	25	0	566
Diğer işlemler	1167	47	0	1214
KAZALAR				
Çarpışmalar	163	254	87	504
Karaya oturmalar	222	200	106	528
Tekne arızaları	562	77	43	682
Yangınlar/patlamalar	150	16	19	185
DİĞERLERİ	2221	165	37	2423
TOPLAM	7793	1083	309	9185

Görüldüğü gibi sadece büyük kazalar değil, gemi tanklarının yıkanmasıyla petrol karışmış olan pis suların yasadışı olarak, kasten denizlere boşaltılması gibi işlemler de kirliliğe neden olmaktadır. Şekil 2.4 1994 senesinde Akdeniz ve Ege’de tespit edilen yasadışı petrol deşarjlarını göstermektedir. Şekil 2.5 ise 1994 senesinde tespit edilen gemi rotalarına bağlı petrol kirliliğini göstermektedir. İnce kırmızı çizgiler gemi rotalarını, kalın kırmızı çizgiler ise bu rotalar üzerinde kronik olarak petrol kirliliğine maruz kalan yerleri belirtmektedir.



Şekil 2.4 1999 senesinde Akdeniz ve Ege Denizi'nde tespit edilen yasadışı petrol deşarjları [5]



Şekil 2.5 1999 senesinde Akdeniz ve Ege Denizi'nde tespit edilen gemi rotalarına bağlı petrol kirliliği [5]

Bir tanker yükünün tamamını boşalttığı anda taşıdığı ham petrolün %0.25–0.5'i kadar bir miktarı tank duvarlarına ve boru sistemlerinin iç kısmına yapışıp kalır. 200 000-250 000 ton kapasiteli tankerler düşünüldüğünde verilen bu yüzde ortalama 1000 tona denk gelmektedir. Yük boşaltıldıktan sonra dönüş güvenliği açısından stabilitenin sağlanması için bu tankların kısmen deniz suyu (balast) ile doldurulması gerekmektedir. Daha sonra tekrar yükleme yapılabilmesi için bu suyun boşaltılması gerekecektir. Tabi ki bu su ile beraber bir önceki seferden tanklara ve borulara yapışan petrol artıkları da boşaltılacaktır. Buna ek olarak ayrıca tankların periyodik

olarak temizlenmesi gerekmektedir. Bu işlem genellikle basınçlı hortumlar vasıtası ile deniz suyu püskürtmek yoluyla gerçekleştirilmektedir, ve işlem sonunda yıkama suyuna karışmış olan petrol kalıntılarının tanklardan boşaltılması gerekmektedir. Bu tip kirliliği azaltmak için alternatif olarak petrolün, balast suyunun üst kısmına doldurulması ve daha sonra balast suyunu yavaş yavaş boşaltılması, ve ardından geminin ayırma (separatör) tanklarında işlemden geçirilerek suya karışmış olan petrol ayrıştırılması düşünülebilir. Bu şekilde petrol kirliliği azaltılmasının yanı sıra, balast suyundan ayrıştırılan petrolün tekrar kullanılması sağlanabilir. Ancak bu da tankerin petrol taşıma kapasitesinin düşmesine neden olduğundan tercih edilmemektedir. Eğer tankerin gideceği limanlarda gereken ayrıştırıcı tesisler varsa son söylediğimiz olumsuzluk giderilebilir. Ancak petrolün fiziksel olarak ayrıştırılmasından sonra bile su fazında petrol bulunabilmektedir çünkü 1 hacim ham petrolün %0.02 si 10 hacim deniz suyunda çözünabilmektedir. Çözünen bu petrol hidrokarbonları oldukça zehirlidir. Bu nedenle limanlarda deşarj edilmeden önce bu balast sularının rafineri artıklarında olduğu gibi işlemden geçirilmesi gerekmektedir [4].

Denizlerdeki gemi kökenli petrol kirliliğinde kazaların yüzdesi rutin işlemlerden daha düşük olmasına rağmen, bir anda büyük miktarlarda petrolün deniz ortamına girmesi, denizin kaldıracabileceğinden çok daha fazla kirliliğe maruz kalmasına neden olmaktadır. Özellikle 1967 yılında meydana gelen Torrey Canyon kazasından sonra 119.000 ton petrolün deniz ortamına dökülmesi ile dikkatler gemi kazalarının neden olduğu petrol kirliliği üzerinde yoğunlaşmıştır. Ancak yine de her sene yüzlerce deniz kazası meydana gelmektedir. 1974 senesinden sonra gemi kazaları ile ilgili veriler ITOPF tarafından düzenlenmiş ve 1974-2000 yılları arasında yaklaşık olarak 10.000 gemi kazası rapor edilmiştir. Bu kazaların %85'inde ortama giren petrol miktarı 7 tonun altındadır. 1970-2001 yılları arasında gemi kazaları sonucu deniz ortamına giren petrol miktarları aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Tablo 2.5 Gemi kazaları sonucu denizlere giren petrol miktarı (milyon ton/yıl) [3]

Sene	Miktar (ton)
1970	301.000
1971	167.000
1972	311.000
1973	166.000
1974	169.000
1975	342.000
1976	369.000
1977	298.000
1978	395.000
1979	608.000
1980	103.000
1981	44.000
1982	11.000
1983	384.000
1984	28.000
1985	88.000
1986	19.000
1987	30.000
1988	198.000
1989	178.000
1990	61.000
1991	435.000
1992	162.000
1993	144.000
1994	105.000
1995	9.000
1996	79.000
1997	67.000
1998	10.000
1999	29.000
2000	12.000
2001	8.000

Aşağıdaki tablo en önemli 20 deniz kazasını içermektedir. Dikkat edilirse Bu kazalardan bazıları kıyı bölgelerine uzak yerlerde meydana geldiği için sahil şeritlerinde büyük çevresel felaketler yol açmamışlardır. Bu nedenle de kamuoyunun dikkatini fazla çekmemişlerdir. Exxon Valdez kazası büyük kazalar sıralamasında gerçekte 34. sırada yer alırken çok bilinmesi nedeni ile bu listeye dahil edilmiştir. Önemli kazalar sıralamasında 10. sırada 1979'da İstanbul Boğazında meydana gelen Independanta kazası yer almaktadır. Bu kaza ile 95.000 ton petrol boğaz sularına dökülmüştür.

Tablo 2.6 Petrol kirliliğine neden olan en önemli 20 deniz kazası [3]

	Geminin adı	Sene	Konum	Dökülen Petrol
1	Atlantic Empress	1979	Tobago açıkları, Batı Indies	287 000
2	ABT Summer	1991	Angola'nın 700 deniz mili açıkları	260 000
3	Castillo de Bellver	1983	Saldanha Körfezi açıkları, G. Afrika	252 000
4	Amoco Cadiz	1978	Britanya açıkları, Fransa	223 000
5	Haven	1991	Cenova, İtalya	144 000
6	Odyssey	1988	Nova Scotia'nın 700 deniz.mili açığı, Kanada	132 000
7	Torrey Canyon	1967	Scilly Isles, UK	119 000
8	Urquiola	1976	La Coruna, İspanya	100 000
9	Hawaiian Patriot	1977	Honolulu'nun 300 deniz mili açığı	95 000
10	Independenta	1979	İstanbul Boğazı, Türkiye	95 000
11	Jakob Maersk	1975	Oporto, Portekiz	88 000
12	Braer	1993	Shetland Adaları, Birleşik Krallık	85 000
13	Khark 5	1989	Fas'ın Atlantik Kıyıları'nın 120 deniz mili açığı	80 000
14	Aegean Sea	1992	La Coruna, İspanya	74 000
15	Sea Empress	1996	Milford Haven, Birleşik Krallık	72 000
16	Katina P.	1992	Maputo açıkları, Mozambik	72 000
17	Assimi	1983	Muskat'ın 55 deniz mili açığı, Umman	53 000
18	Metula	1974	Magellan Boğazı, Şili	50 000
19	Wafra	1971	Cape Agulhas açıkları, G. Afrika	40 000
20	Exxon Valdez	1989	Prince William, Alaska, ABD	37 000

2.2 Türk Boğazları

Türkiye'nin kuzey doğusunda yer alan İstanbul ve Çanakkale Boğazları ile Marmara denizinden oluşan bölge Türk Boğazları olarak adlandırılmaktadır. Bu bölge Karadeniz ve Akdeniz arasındaki tek geçiş yeridir. Her iki boğazın kıyıları da yaygın olarak yerleşim amaçlı kullanılmaktadır. İstanbul Boğazı 31 km., Marmara denizi 225 km. Çanakkale Boğazı 70 km. Olmak üzere toplam seyir uzunluğu 325 km.dir. Ortalama 16 saat süren seyir esnasında gemiler dünyanın en karmaşık ve riskli su yollarından birinde yol almaktadırlar. Transit geçiş yapan gemilerin büyük bir çoğunluğu ise gerek tonaj gerekse taşıdıkları yük bakımından oldukça yüksek kaza riskine sahiptir [6].

İstanbul Boğazı, birçok nedenden dolayı dünyanın en zor su yollarından birisidir. Ancak Karadeniz'in tüm dünya denizlerine açılan tek yolu olması nedeniyle de trafiği en yoğun olan geçitlerden birisidir. Özellikle soğuk savaştan sonra boğazın gemi trafiği Süveyş Kanalı'nın üç katı, Panama Kanalı'nın ise dört katı olmuştur [7].Sovyetler Birliği'nin dağılmasının ardından Rusya Federasyonunun diğer denizlerdeki pek çok limanını kaybetmesi nedeni ile Karadeniz'deki limanlardan yapılan taşıma talebi artmıştır. Rus/Kafkas/Hazar/Orta Asya petrollerinin dünya pazarına sunulmasıyla da İstanbul Boğazının dolayısı ile Çanakkale Boğazının tanker trafiği 1990'ların başından itibaren hızla artmaktadır. 1991 yılında transit geçiş yapan gemi sayısı 19703 iken 1997 bu sayı 24270 olarak tespit edilmiştir. 2010 senesinde Kafkas/Hazar bölgesinden dünyaya sunulacak petrolün 36 milyon tona ulaşması öngörülmektedir. Bu petrolün Türk Boğazları yolu ile dünya pazarına ulaşması halinde 25000 veya 100000 tonluk tankerlerin kullanılması gerekebilecektir. Bu durum gerçekleştiği takdirde İstanbul ve Çanakkale Boğazlarından geçmesi muhtemel tanker sayıları aşağıdaki tabloda verilmektedir.

Tablo 2.7 2010 senesi için Türk Boğazlarından geçeceği öngörülen tanker sayısı [6]

	25 000 DWT Tanker	100 000 DWT Tanker
Yıllık taşınacak petrol	36 milyon ton	36 milyon ton
Tanker sayısı	1460	360
Tanker geçiş sayısı	2920	720

Bu petrollerin taşınması için 10 000 DWT gibi daha küçük tankerler kullanılması ise Boğazlardan geçen tanker sayısını 6 400'e çıkaracaktır. Bu durumda ise günde ortalama iki tanker geçişi olacaktır [6].

Günümüzde ise binlerce feribot ve küçük teknenin de eklenmesi ile yılda ortalama 50.000 ticari gemi boğazı kullanmaktadır. Bu sayı her on dakikada bir gemi geçişine denk düşmektedir ve bu gemilerin ortalama olarak onda birini petrol ya da sıvılaştırılmış doğal gaz tankerleri oluşturmaktadır [8].

Başka bir deyişle, günde yaklaşık olarak 15 tanker Boğazdan geçmektedir. Bunların bazılarının büyüklüğü nedeni ile (210 yarda uzunlukta), Boğaz bu gemiler geçene kadar yaklaşık iki saat boyunca diğer deniz araçlarının trafiğine kapatılmaktadır. Trafiğin artışı göz önünde bulundurulduğunda 2010 senesinde bu tip geçişler için güvenliği sağlamak amacı ile Boğaz trafiğinin günde dört kez trafiğe kapatılacağı tahmin edilmektedir. Aynı zamanda yerel trafiğin artışı da İstanbul Boğazındaki tehlikeyi arttırmaktadır. Boğazın iki yakası arasında ulaşımı sağlamak amacı ile günde ortalama 2000-2500 tekne iki kıyı arasında gidip gelmektedir. Turistik amaçlı geziler, amatör tekneler ve yatlar trafiği olumsuz yönde etkilemektedir. Balıkçılık faaliyetleri de tüm bunlara ek olarak sıklığı arttırmaktadır [9].

2.2.1 İstanbul Boğazı ve Gemi Kazaları

Boğazın artan trafiğiyle birlikte burada meydana gelen kazaların sayısında da artış olmuştur. Burada 1990-1997 yılları arasında 189 önemli kaza ve çok sayıda daha az

önemli kaza meydana gelmiştir. 1979'da meydana gelen bir tek kaza ile 43 denizci yaşamını yitirirken dünyanın en önemli petrol kirlenmelerinden birisi de gerçekleşmiştir. 1994 yılında Yunan Nassia Tankerinin başka bir gemiyle çarpışmasıyla tehlikenin altı bir kez daha çizilmiştir. Bu kaza sonucunda 30 deniz adamı yaşamını yitirmiştir. Kazanın şehrin birkaç mil kuzeyinde meydana gelmesiyle büyük bir facianın eşiğinden dönülmüştür. Ancak insani boyutlarının yanı sıra çevresel etkisine bakıldığında 20.000 ton petrol Boğaz 'a dökülmüştür [7].

Gemilerin artan tonajı nedeni ile boğazdaki tek tehdit çarpışma olmaktan da çıkmıştır: 29 aralık 1999'da 25 yaşındaki Volgoneft-248 adlı Rus Tankeri İstanbul'un güneybatı kıyılarına yakın bir bölgede kırılmış ve iki parçaya ayrılmıştır. 4.300 ton akaryakıtın 800 tonundan fazlası Marmara denizine dökülmüştür. Kıyısı 5 millik bir alan etkilenmiş ve akaryakıtla kaplanmıştır [8].

Ciddi çevresel sonuçlara neden olabilecek önemli kazaların yanı sıra, petrol ve gaz taşıyan büyük tankerler farklı nedenlerle de çevresel problemlere neden olmaktadır. Örneğin tankerlerin balast suyu gibi atık sularını denize bırakılmaları da Boğazda kirlenmeye neden olmaktadır.. Öyle ki burada balık miktarı önceki mertebelerin 1/60'ına kadar düşmüştür [8].

Tüm bu yukarda belirtilen nedenler İstanbul Şehrini büyük bir risk altına sokmaktadır. Özellikle Boğaz yolu ile taşınan petrol nedeni ile İstanbul Boğazında meydana gelebilecek herhangi bir büyük kaza, insani boyutun yanı sıra, çevresel açıdan bakılınca ciddi miktarlarda petrolün deniz ortamına girmesine neden olacaktır, ve çevreye verilen zarar belki de yıllar boyu giderilemeyecek ölçüde büyük olacaktır. Bu zamana kadar Boğaz'da meydana gelmiş olan bazı kazalara bakacak olursak tehlikenin boyutları daha iyi anlaşılabilir [9]:

- Romanya bayraklı M/T Independenta adlı tanker, M/V Evriyalı adlı Yunan şilebi ile 15 Kasım 1979'da çarpıştı. Dünyada meydana gelen en büyük petrol kazalarından biri olan bu olayda tankerde bulunan mürettebatın bir çoğu hayatını kaybederken 96.000 ton petrol denize döküldü. Kaza sonucu patlamayla başlayan yangın günlerce devam ederken geminin enkazı yıllarca bu bölgede kaldı.

- Panama bayraklı amonyak yüklü M/T Blue Star adlı tanker, demirli durumda bulunan M/T Gaziantep adlı Türk ham petrol tankeri ile 28 Ekim 1988'de çarpıştı, büyük miktarda amonyak çevre kirlenmesine neden oldu. Şans eseri rüzgarın kıyıya doğru esmesi nedeni ile büyük bir facianın eşiğinden dönüldü.
- Güney Kıbrıs bayraklı iki gemi olan ham petrol yüklü M/T Nassia ve dökme yük gemisi olan M/V Shipbroker 13 Mart 1994'te çarpıştı. İki geminin de mürettebatı yaşamını yitirdi. Nassia' da meydana gelen yangın 4 gün 5 saat ve 50 dakika boyunca devam etti, boğaza ve çevreye büyük zararlar verdi. Yaklaşık olarak 20.000 ton denize döküldü. Yine şans eseri rüzgarın yönü nedeni ile büyük bir facia daha atlatıldı.

Boğaz'da meydana gelmiş kazaların detaylı listesi EK A1 ve EK A2'de verilmiştir.

3. PETROL VE PETROLÜN KİMYASAL YAPISI

Çıkarıldıkları bölgeye göre adlandırılan ham petroler parafinik, naftanik ve aromatik olmak üzere üç ana gruba ayrılan, farklı moleküler ağırlıklara ve yapıya sahip hidrokarbonların oluşturduğu kimyasal bileşiklerdir. Bu hidrokarbonlar basit, yüksek uçuculuğa sahip maddelerden karmaşık yapıli parafin mumları ve asfalt bileşiklerine kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Ham petrolerin fiziksel ve kimyasal özellikleri elde edildikleri coğrafi bölgelere göre değişir. Ayrıca bu özellikler sadece farklı bölgelerden elde edilen petrollerde değişiklik göstermez, aynı bölgeden çıkarılan petrolerin de fiziksel ve kimyasal özellikleri birbirinden farklıdır. Petrol kirliliğine karşı alınacak önlemlerin belirlenmesinde ve petrolün farklı deniz kaynaklarına olan etkisinde zehirliliklerini belirleyen kimyasal özellikleri ile birlikte, fiziksel özellikleri ve döküldükleri zamanki davranış şekilleri önemli rol oynamaktadır [10].

İnsanlar, balıklar ve diğer canlılar için oldukça zehirli olabilen hafif ve uçucu ham petroler oldukça akıcıdır ve deniz yüzeyine kısa zamanda yayılabilmektedirler. Bu tip ham petroler oldukça kuvvetli bir kokuya sahiptirler. Buharlaşma oranları yüksektir ve genellikle yanıcıdır. Gözenekli maddelere nüfuz ederler ancak sert yüzeylere yapışma eğiliminde değildirler. Ağır ve daha az uçucu olan ham petrolerin karakteristikleri ise pek fazla genelleştirilemez ve her ham petrol için farklılık göstermektedir. Yine de genel olarak sıcaklık arttıkça gözenekli maddelere sızma eğilimlerinin arttığı söylenilebilir. Ancak yüksek viskoziteli ve yapışkan türleri kolayca bu tip maddelere nüfuz etmezler. Genellikle sert yüzeylere yapışırlar, ancak birçok farklı teknikle bu yüzeylerden temizlenmeleri mümkündür. Uçuculukları düştükçe zehirlilikleri azalır. Bununla birlikte bazı canlılar zehirlenmeseler bile fiziksel olarak petrol ile kaplanarak zarar görebilmektedirler. Normal atmosfer koşullarında katı halde bulunan bazı ağır ham petroler göreceli olarak daha az zehirlidirler ve gözenekli maddelere nüfuz etmezler. Ancak ısındıkları zaman eriyip

sert yüzeyleri kaplayabilirler. Bu durumda temizlenmeleri oldukça zorlaşmaktadır [10].

3.1 Petrol Ürünleri

Rafine edilmiş ham petrolden elde edilen petrol ürünlerinin özellikleri birbirinden farklıdır. Bu farklılık rafine edilen petrolün doğasına ve de geçirildikleri farklı işlemlere bağlıdır. Orta ve ağır yakıtlar gibi artık yakıtlar petrol ve petrol ürünü olan benzine kıyasla daha değişkendir. Bu tip artık petroller genellikle istenilen viskozitenin ve parlama noktasının sağlanabilmesi için daha hafif yakıtlarla karıştırılırlar. Bunların karakteristikleri elde edildikleri ham petrolün özelliklerine bağlı olduğu gibi istenilen performans düzeyine gelmeleri için karıştırılan diğer ürünlerin de özelliklerine bağlıdır. Bununla birlikte petrol ve benzin ise benzer hidrokarbonlar içerirler ve dar bir damıtma ısı aralığına sahiptirler. Rafine edilmiş birçok ürün tanımlanmış ve tespit edilebilen karakteristiklere sahiptir.

Tablo 3.1 petrol ürünlerinin karakteristik özellikleri [10]

Benzin	Özgül ağırlık, 15/15 °C	0,68-0,77
	Kaynama aralığı, °C	30-200
	Kinematik viskozite, cSt @ 15 °C	0,65
	Parlama noktası	-15-40
Karosen	Özgül ağırlık, 15/15 °C	0,78
	Kaynama aralığı, °C	160-285
	Kinematik viskozite, cSt @ 15 °C	1,48
	Parlama noktası	35-70
Dizel yakıtlar	Özgül ağırlık, 15/15 °C	0,81-0,85
	Kaynama aralığı, °C	180-360
	Kinematik viskozite, cSt @ 15 °C	1,3-5,5
	Parlama noktası	35-70
Akar yakıtlar (hafif, orta, ağır)	Özgül ağırlık, 15/15oC	0,925-0,965
	Kinematik viskozite, cSt @ 15 oC	49-862
	Parlama noktası	70 ve üzeri

Hafif bir ürün olan benzin kolayca akan, hemen yayılan, normal atmosfer şartlarında birkaç saat içinde tamamen buharlaşabilen bir maddedir. Uçuculuğunun yüksek olması ve kolayca alev alabilmesi, yangın ve patlama riskini artırır. Genellikle ham petrole kıyasla daha zehirlidir. Karosen de benzin gibi hafif ağırlıklıdır ve kolayca akar, hemen yayılır ve buharlaşır [10].

3.1.2 Dayanıklı (kalıcı) Petrol Türleri

Dayanıklı petrol tanımı kimyasal yapısı nedeni ile deniz ortamına döküldüğü zaman, yavaş yok olan, bu nedenle yayılan ve temizlenmesi gereken petroller için kullanılır. Dayanıklılık, petrolün deniz ortamına girmesinin ardından temizlenmesi için gereken sürecin belirlenmesinde önemli bir tanımdır. Ham petroller, akaryakıtlar, ağır dizeller, yağlama yağları genellikle dayanıklı olarak tanımlanmasına rağmen uluslararası standartlarda dayanıklılık terimi tam olarak belirtilmemiştir. Hızlı bir şekilde buharlaşan, ve genellikle geniş bir temizleme işlemi gerektirmeyen petroller ise dayanıksız olarak nitelendirilir. Benzin hafif dizeller ve karosen dayanıklı olmayanlar arasındadırlar [10].

3.2 Petrolün Deniz Ortamında Davranışı

Ham petrol ve işlenmiş petrolün deniz ortamında davranışı ve durumu birçok süreç tarafından kontrol edilir. Fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerin tümü birbiri ile etkileşim içindedirler, yere ve zamana bağlı olarak değişirler. Bu süreçler deniz ortamına giren petrolün değişmesine, degradasyon ve havalanmanın sonucunda ortaya çıkan ürünün kaynaktan uzaklaşmasına ve artakalan maddelerin yerküre etrafındaki katmanlara yerleşmesine neden olurlar. Bu artıklar hidrosferde çözünürler, litosferde depolanırlar, atmosferde buharlaşırlar ve biyosferde organizmalar tarafından sindirilirler. Petrolün parçalanmasına neden olan fiziksel süreçler genellikle buharlaşma, emülsiyon ve çözünme iken, kimyasal süreç daha çok fotooksidasyon ile gerçekleşmektedir. Biyolojik süreçse mikrobiyal oksidasyonu içermektedir [11].

Petrolün deniz ortamında hareketi genellikle iki yönde gerçekleşir. Yatay yöndeki hareket yayılma şeklinde gerçekleşir ve deniz yüzeyinin petrol kaplanmasına neden

olur. Bazı durumlarda ise petrolün karaya vurmasına yada katran oluşumuna yol açar. Dikey yöndeki hareket ise petrol damlacıklarının su kolonunda hareket etmesi yada dağılması şeklinde gerçekleşir. Bu hareket sonucunda petrol dibe doğru batır ve deniz dibindeki sedimente dahil olur [11].

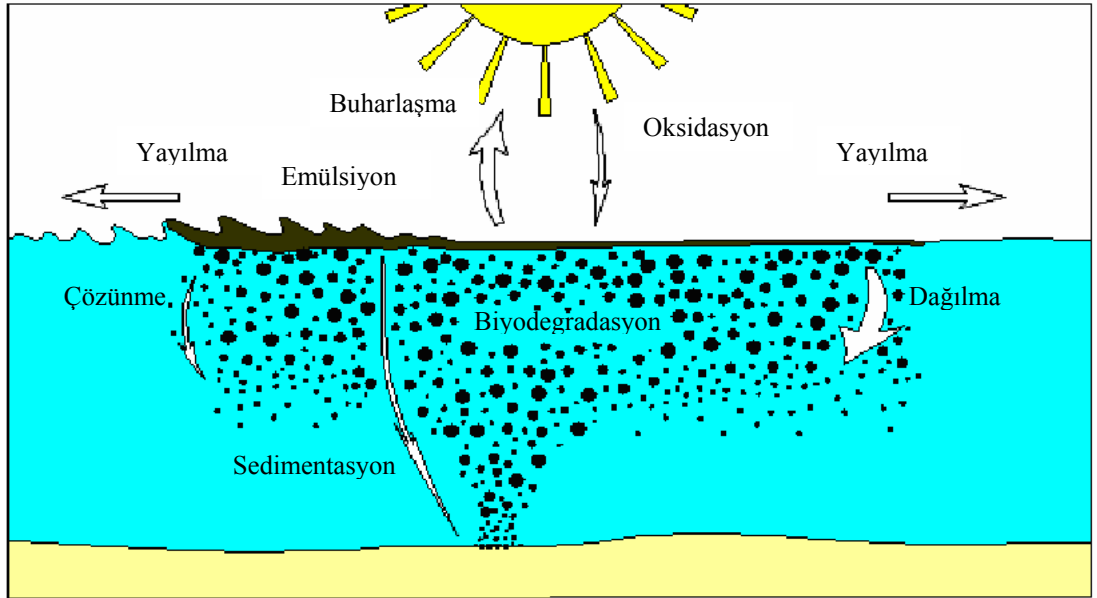
Petrol deniz ortamına çeşitli yollardan ulaşabilir. Petrolün deniz ortamındaki son durumu ise deşarj edilen petrolün miktarına, özelliğine, çevresel şartlara ve de petrolün kalıcılığına bağlı olarak değişmektedir [11].

Petrolün özellikleri ve deniz ortamındaki davranışına etkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir :

Petrolün buharlaşma oranı, kaynama noktası ve kaynama aralığına bağlıdır. Bunlar düşük oldukça, buharlaşma daha hızlı olur. Petrolün deniz yüzeyinde yüzmeye yeteneğini ise petrolün yoğunluğu belirler. Bu özelliği petrolün yayılmasını ve doğal yollarla dağılmasını etkiler. Genel olarak düşük yoğunluklu petrol türleri düşük viskoziteye sahiptir ve uçucu bileşenlerinin oranı fazladır. Viskozite ise petrolün akıcılığa karşı direncini ifade eder. Düşük viskoziteli petroler kolayca akıp hareket ederken, yüksek viskoziteli olanların akıcılığı daha düşüktür. Sıcaklık arttıkça viskozite düşer. Bu nedenle deniz suyunun sıcaklığı ve petrolün güneş ısını soğurması viskozitesinin düşmesine neden olur. Petrolün donma noktası ise mikrokristal yapı oluşması nedeni ile kendisinden daha düşük ısılarda petrolün akıcılığını yitireceği sıcaklığı ifade etmektedir. Eğer çevre ısısı petrolün donma noktasının altında ise petrol bir katı gibi davranır. Parlama noktası ise, dökülen petrolün üzerinde yanma eğiliminde bir karışım meydana getirecek miktarda buharın oluştuğu en düşük sıcaklıktır. Temizleme çalışmalarında güvenlik açısından oldukça önemli bir etmendir. Yeni dökülmüş bir çok petrol uçucu bileşenleri buharlaşıp atmosferde dağılana kadar tutuşmaktadır. Petrolün çözünürlüğü de deniz ortamındaki etkisini belirleyen önemli özelliklerindendir. Petrolün bazı bileşenleri suda çözünmemektedir. Genellikle uçuculuğu fazla olan bileşenlerin çözünürlüğü daha yüksektir. Bununla birlikte çözünürlüğün buharlaşma ile ilişkisi düşüktür. Çözünürlük daha çok petrolün zehirliliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Petrol içerisindeki asfalt bileşikleri petrol içinde su emülsiyonlarının oluşmasında ve bunun dengelenmesinde büyük rol oynar. Genellikle düşük asfalt içeren petroler dengeli emülsiyonlar oluşturmazlar [10].

Denizlere giren petrolü yükünün etkisini tam olarak anlayabilmek için, petrolün miktarı, dökülme yeri ve zamanı ile ilgili doğru bilgilere ihtiyaç duyulur. Okyanuslardaki ortamların fiziksel olarak birbirinden inanılmaz derecede farklı oluşu, sonuçlar hakkında çıkarımda bulunulmasını güçleştirir. Petrolün durumu (nereye gittiği) ve dayanıklılığı (sistemde ne kadar zaman değişmeden kaldığı) mekan ve zamana bağlı olarak değişen bir süreç tarafından kontrol edilir [11].

Şekil 3.1’de ham petrolün deniz ortamına girdikten sonra havalanması ve kaynaktan uzaklaşmasının ardından geçirdiği fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler arasındaki ilişki gösterilmektedir. Ham petrolün havalanması nedeni ile oluşan fiziksel süreçler buharlaşma, emülsiyon ve çözünme iken kimyasal süreçler ise oksidasyon ve kısmen fotooksidasyondur. Denizdeki petrole etkiyen temel biyolojik süreç ise mikrobiyal oksidasyondur. Ham petrol havalandıkça yayılma, dağılma, batma, parçalanma, biyolojik uygunluk, ve karaya vurma (bu süreç kimi zaman katran oluşumu ile sonuçlanır), sedimentasyon gibi çeşitli taşınma süreçlerinden geçmektedir [11].



Şekil 3.1 Deniz ortamında petrolün davranışı [3]

3.2.1 Petrolün Deniz Ortamına Etkisini Belirleyen Etmenler

Petrol hidrokarbonlarının deniz ortamına etkileri sadece petrolün miktarına bağlı değildir. Eşit miktarlarda petrolün birbirinden farklı ortamlara girmesi sonucunda farklı etkiler gözlenebileceği gibi benzer şekilde aynı miktarda farklı tipte petroler de farklı sonuçlar doğurmaktadır

Deniz ortamına herhangi bir şekilde petrolün girmesini takip eden süre içerisinde farklı süreçlerden meydana gelen havalanma işlemi hemen başlar. Bu işlem sonunda petrol, fiziksel ve kimyasal özellikleri ilk baştaki halinden tamimiyle farklı maddelere dönüşür. Havalanmaya etki eden faktörler dört kısımda incelenebilir [11]:

1. Petrolün fiziksel özellikleri (özellikle özgül ağırlık, viskozite ve kaynama aralığı)
2. Petrolün yapısı ve kimyasal özellikleri
3. Meteorolojik koşullar (deniz durumu, güneş ışığı ve hava sıcaklığı)
4. Deniz suyunun özellikleri (özgül ağırlık, akıntılar, sıcaklık ile bakterilerin, nutrientlerin, çözülmüş oksijenin varlığı ve askıda kalmış katı maddeler)

3.2.1.1 Yayılma

Deniz suyundan daha büyük yoğunluğa sahip olan petrol türleri istisna olmak üzere, genellikle petrol deniz ortamına girince yüzeyde yüzer ve yayılmaya başlarlar. Yoğunluğu deniz suyunun üstünde olan petroler ise yoğunlukları nedeni ile batırlar. Petrolün geçirdiği en baskın süreç olan petrol tabakasının yayılması, petrolün ortama girmesinin ardından hızla gerçekleşir. Bu süreci gerçekleşmesinde ağırlığın etkisi oldukça önemlidir. Petrol tabakalarının yayılması ilk başta bir bütün halinde başlarlar. Viskozite de bu süreç için önemli bir etmendir. Viskoz petroler, viskozitesi düşük olanlar kıyasla daha yavaş yayılırlar. Ancak düşük viskoziteli petrolerin küçük sızıntıları hariç yayılma düzenli gerçekleşmez ve tabaka kalınlığı değişkendir. Bununla birlikte bütün petrol türleri donma noktalarının altındaki sıcaklıklardaki denizlerde daima yavaş yayılırlar [11].

eniz yüzeyinde oluşan tabakalar birkaç saat içinde kırılmaya başlarlar ve rüzgarın doğrultusuna paralel dar bantlar oluştururlar. Bu aşamadan sonra petrolün viskozitesi önemini yitirir. Bundan sonra ki yayılma deniz yüzeyindeki türbülansa bağlı olarak gerçekleşir. Akıntı ve rüzgar hızı gibi oseanografik koşullar yayılma oranını değiştirmektedir. Petrol dökülmesinin ardından, 12 saat kadar sonra petrol kilometrekarelerce alana yayılır. Bu durum ise temizleme çalışmalarının verimini düşürür. Petrol yayılmaya devam ettikçe çok geniş alanlara saçılabilir [11].

3.2.1.2 Buharlaşma

Petrol kaza sonucu deniz ortamına girmesinin ardından kütle dengesinde en önemli süreçlerden birisi buharlaşmadır. Buharlaşmanın hızı ve büyüklüğü daha çok petrol içindeki düşük kaynama noktalı bileşenlerin oranına bağlıdır. Dökülmeyi izleyen birkaç gün içerisinde hafif ham petrolün ilk baştaki hacminin yüzde 75'i buharlaşırken orta dereceli ham petrolün yüzde 40'ı buharlaşabilmektedir. Ancak ağır ham petrolün sadece yüzde 10'luk bir kısmı buharlaşmaktadır. Petrolün su yüzeyindeki yayılma miktarı da buharlaşma oranı üzerinde etkilidir. Geniş yüzey alanı hafif bileşenlerin daha hızlı buharlaşmasına neden olmaktadır. Petrolün buharlaşmasını arttıracak etkenler arasında sert denizler, yüksek sıcaklıklar, rüzgar hızları da yer almaktadır [10, 11].

Buharlaşmanın önemine rağmen fiziksel ve kimyasal süreci anlayabilmek için çok az çalışma yapılabilmektedir. Bunun kısmen zor olmasının nedeni petrolün yüzlerce farklı bileşenden oluşması ve bunun zaman bağlı olarak kaynaktan kaynağa değişmesidir

3.2.1.3 Doğal Dispersiyon (Dağılma)

Genellikle sıvı petroller orta ve sert deniz şartlarında küçük damlacıklar şeklinde dağılırlar. Petrol damlacıkları denizin üst katmanlarından dağılıp suda asılı kalır, veya damlacığın büyüklüğüne bağlı olarak su ve petrol arasındaki yoğunluk farkı nedeni ile tekrar yükselir. Küçük damlacıkların oluşumu su ve petrol arasındaki teması arttıracığından petrolün mikroorganizmalar tarafından parçalanması hızlanacaktır. Dağılma oranı, buharlaşma ile birlikte petrolün deniz yüzeyindeki ömrünü belirlemektedir. Doğal dağılma su yüzeyindeki petrolün hacmini ve

buharlaşma kayıplarını düşürmekle birlikte, dökölmüş olan maddenin fiziksel veya kimyasal özellikleri üzerindeki etkisi buharlaşmanın neden olduğu etkiye benzer. Hafif petrollerin küçük sızıntılarının çoğu, ortamda gerekli dalga hareketi varsa doğal dağılma ile bir kaç saat içinde kaybolur [10].

3.2.1.4 Suyun Petrol İçinde Emölsiyon Oluşturması

Emölsiyon oluşumunun petrolün denizdeki davranışı üzerinde etkisi oldukça önemlidir. Emölsiyon suyun petrolün içersinde çeşitli hallerde bulunması olarak tanımlanabilir. Genelde krema yada köpük olarak da adlandırılır. Bazı ham petroller ve fuel-oil su damlacıklarını soğurup emölsiyon oluşturma eğilimindedirler. Oluşan emölsiyonlar dökölen petrolün özelliklerini belirgin bir şekilde değiştirir. Emölsiyonların dengede olup olmayacağı büyük ölçüde petrol içindeki asfaltlı bileşikler tarafından belirlenir. %0,5' den fazla asfaltlı bileşik içeren petroller dengeli emölsiyon oluşturma eğiliminde iken, daha düşük asfaltlı bileşiğe sahip olanlar genelde dengeli emölsiyonlar oluşturamazlar. Dengeli emölsiyonlar yüzde 60 ila 85 su içeriirler ki bu da hacmi 3 ile 5 katına çıkarır. Bunun sonucunda başlangıç yoğunluğu 0,95 g/ml ya da 0,80 g/ml kadar düşük iken 1,03 g/ml' ye kadar ulaşır. En önemlisi viskozite birkaç yüz mili Paskal-saniyeden birkaç yüz bin mili Paskal-saniyeye erişir. Yani büyüklüğu 3 mertebe artar. Viskozitedeki bu büyüme sıvı petrol ürününü ağır yarı katı bir maddeye dönüştürür. Petrol denize dököldüğunde su ile temas eder ama her zaman emölsiyon oluşurmaz. Emölsiyon oluşumunda denizin durumu oldukça önemlidir. Sakin denizde emölsiyon genelde gerçekteşmez, ancak çok hafif petrol türleri küçük dalga hareketlerinde emölsiyon oluşturabilirler. Eğer emölsiyon meydana gelirse, buharlaşma ve yayılma yavaşlar ve petrol su kolonunda aşağı doğru hareket eder [10].

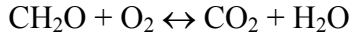
3.2.1.5 Çözünme

Çözünme petrolün sudaki kimyasal dengelenme işlemidir ve petrol bileşenlerinin sudaki çözünürlüğu, petrolün kompozisyonuna bağlı olarak değişmektedir. Artan büyüklükle birlikte çözünürlük hızla azalmaktadır. Buna karşın alifatik petrol bileşenlerinin çözünürlüğu aromatik hidrokarbonlara nazaran oldukça düşüktür ve ihmal edilebilir. Petrolün çözünebilen bileşenleri olan daha çok küçük aromatik

bileşenler, deniz canlıları için alifatik bileşenlere nazaran daha zehirlidir. Bu nedenle çözünme sonucunda petrolün sadece küçük bir kısmı kaybolmasına rağmen bu süreç oldukça önemlidir [11].

3.2.1.6 Oksidasyon

Ham petrol çoğunluğu hidrokarbonlar olmak üzere, organik bileşiklerden meydana gelen kompleks bir karışımdır. Oksidasyon ise, karışımların oksidatif süreçte duyarlılıklarına göre, yeni bileşikler oluşturarak ve kalan bileşikleri tekrar düzenleyerek karışımları değiştirme işlemidir. Sınırsız oksijen ve zaman verildiğinde oksitlenme süreçlerinin sonunda bütün organik bileşikler karbondioksit ve suya dönüşmektedir. Aşağıda verilen reaksiyon bize oksidasyon sürecini açıklamaktadır .



Bu reaksiyon denkleminde CH_2O bütün organik bileşikleri sembolize etmektedir. Görüldüğü gibi reaksiyon tersinirdir, yani iki yönlü gerçekleşmektedir. Sağa doğru gerçekleşen temel reaksiyon sadece oksidasyon için geçerli değildir aynı zamanda yüksek ısı altında yanma ve hayvanların solunum reaksiyonlarını da ifade etmektedir. Terside (sola doğru) fotosentez olarak bilinen başka bir temel reaksiyondur. Sonuç olarak verilen bu reaksiyon yeryüzündeki yaşam için temel oluşturur [11].

Ham petrolün oksidasyon sürecinde hidrokarbonlar oksitlenerek alkollere, ketonlara ve organik asitlere dönüşür. Oksitlenmiş ürünler, ilk hallerinden çok daha fazla suda çözünmektedir. Hidrokarbonların oksitlenme mertebeleri birçok faktöre bağlıdır. 20 ya da daha az karbon atomuna sahip olan küçük moleküller daha büyük olanlardan önce okside olur. Hafif moleküler ağırlık dahilinde oksitlenme sırası ise şu şekildedir: Önce alifatik n-parafinler (n-alkanlar), sonra dallanmış ve halkalı alkanlar (naftalinler), ve daha sonra çok halkalı alifatik ve aromatik hidrokarbonlar. Bu nedenle artan bileşiklerin tipine ve dağılımına göre oksidasyonun mertebesi tespit edilebilir. Bunlara ek olarak düşük molekül ağırlıklı bileşiklerin öncelikli oksidasyonu oksitlenmemiş olarak kalan kısmın yoğunluğunun artmasına sebep olmaktadır [11].

Ham petrolün oksidasyonu fotooksidasyon ve mikrobiyal oksidasyon olmak üzere iki şekilde gerçekleşir. Ham petrolün güneş ışığı ve oksijene maruz kaldığı yerlerde hem fotooksidasyon hem de aerobik mikrobiyal oksidasyon gerçekleşir. Oksijen ve güneş ışığının olmadığı anoksik yerlerde anaerobik mikrobiyal oksidasyon gerçekleşir [11].

Deniz suyunda fotooksidasyon

Fotoooksidasyon, petrol hidrokarbonlarında mevcut olan indirgenmiş karbonların ışık katalizörlüğü ile oksitlenme işlemlerinin tamamıdır. Fotoooksidasyon için gerekli olanlar radyasyon ve ışığı soğuran moleküllerdir (kromoforlar). Bu reaksiyonlar iki şekilde gerçekleşir. Birincisinde reaksiyona giren maddelerin ışığı soğurduğu doğrudan foto reaksiyonlardır, ikincisi ise çözeltideki diğer kimyasal maddelerin ışığı soğurduğu dolaylı foto reaksiyonlar şeklinde gerçekleşir. Sadece bazı hidrokarbonlar ışığı verimli bir şekilde doğrudan soğurduğu için bir çok fotooksidasyon işlemi dolaylı foto reaksiyonlarla gerçekleşmektedir Fotoooksidasyon işlemleri ya hidrokarbonlara atak eden reaktif ara ürünlerin oluşmasını sağlarlar, ya da doğrudan enerjinin reaksiyona giren hidrokarbonlara transfer ederler [11].

Fotoooksidasyon çözünmüş petrol hidrokarbonlarının giderilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Petrolün alifatik ve aromatik fraksiyonları güneş ışığında fotokimyasal olarak oksitlenerek daha polar ketonlara, aldehitlere, karboksilik asitlere, ve esterlere dönüşür. Bu ürünlerin deniz suyundaki çözünürlüğünün daha yüksek olması nedeni ile fotooksidasyon petrolün tamamının deniz suyundaki çözünürlüğünü de artırır. Bu çözünmüş bileşikler daha ileriki oksitlenme süreçlerine doğrudan yada dolaylı olarak katılabilirler. Tam tersi olarak fotooksidasyon peroksit ara ürünlerin yoğunlaşarak daha ağır moleküllerin oluşmasına da neden olabilir. Bu sürecin sonunda son ürün olarak katran ve reçine oluşumuna neden olur [11].

Çözünmüş petrolün aromatik ve doymamış fraksiyonları deniz suyunda hem doğrudan hem de dolaylı olarak fotooksidasyona uğrarlar. Çok halkalı aromatik hidrokarbonlar (PAH) kendilerinden oksijene doğru gerçekleşen elektron transferiyle göreceli olarak daha dengeli maddeler dönüşürler. Renkli doğal organik maddeler çok halkalı aromatik hidrokarbonların dolaylı fotolizinde katalizör olarak rol alabilirler [11].

Fotooksidasyonun boyutu mevcut ışığın spektrumu ve şiddetine, petrol hidrokarbonları ve diğer çözünmüş ve parçalanmış maddeler nedeni ile değişen deniz yüzeyinin optik özelliklerine , hidrokarbonların kendi optik özelliklerine ve ışığı kesen ve aktif hale getiren bileşiklerin varlığına bağlı olarak değişmektedir [11].

Mikrobiyal Oksidasyon (Biyodegradasyon)

Petrol deniz ortamında genelde biyolojik olarak iki farklı süreçten geçer. Bu iki süreç de solunum ile gerçekleşir ama farklı noktalarda son bulur. Birincisinde hidrokarbonlar, (büyük zincirli molekülleri) degrade edilerek enerji temini için karbon kaynağı olarak kullanılır. Bu işlem öncelikle bakteriler ve funguslar ikincil olarak da heterotrofik fitoplanktonlar olmak üzere mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Bu metabolik süreç genelde “oksidatif fosforilasyon” veya “solunum” olarak adlandırılır ve enerji temini için en uygun yoldur. İkinci biyolojik süreç ise detoksifikasyon mekanizmasıdır Bu süreç petrole maruz kaldığında organizmanın hidrokarbonları suda daha çok çözünebilen maddelere metabolize ederek bünyelerinden atmasıdır [11].

Şimdilik kısaca açıklanan biyodegradasyon, bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır ve hidrokarbonların su ortamından giderilmesini sağlayan oldukça önemli bir süreçtir. Bu konu üzerinde ileriki bölümlerde daha detaylı bir şekilde durulacaktır

3.3 Petrolün Deniz Ortamına Etkisi

Petrol kirliliğinin etkileri, olayı çevreleyen şartlara bağlıdır. Petrol kirlenmesinin çevresel etkilerini belirleyen etmenler ortamdan ortama değişmektedir. Bu etmenler sadece petrolün fiziksel, kimyasal ve zehirlilik özellikleri ile sınırlı değildir. Bunların yanı sıra petrolün tabaka halinde yüzmesi, dağılmış olması gibi petrolün içinde bulunduğu durumunu; rüzgar ve sıcaklık gibi çevresel şartları; sediment yapısı, dip topografyası, sahilin jeomorfolojik yapısı gibi petrolün dökülme yerine ait değişkenleri kapsamaktadır. Petrolün deniz ortamındaki etkilerinin bağlı olduğu etmenlerin çeşitliliği, bu etkilerin geniş bir yelpazede gerçekleşmesini sağlamaktadır.

3.3.1 Petrolün Doğal Hayata Etkisi

Bilindiği gibi kıyı bölgeleri birçok farklı türden organizmanın yoğun olarak yaşadığı bölgelerdir. Bu nedenle kıyı şeridinde yakın bölgelerde gerçekleşen petrol kirliliğinin canlılar üzerindeki etkisi, açık denizlerde meydana gelen kirlilikten çok daha fazladır. Bununla birlikte açık denizlerdeki de dahil olmak üzere denizlerde meydana gelen petrol kirliliklerinin tamamı canlılar üzerinde olumsuz etkiye sahiptir. Açık denizlerde meydana gelen kazalar yüzlerce mil uzaklıktaki kıyı bölgelerin kirlenmesiyle sonuçlanabilmektedir. Petrol kirliliği deniz canlıların üç farklı biçimde etkilemektedir:

1. Bünyeye girdikten sonra zehirleyerek
2. Doğrudan temas ederek
3. Canlıların doğal yaşam bölgelerini yok ederek

Petrolün sindirildiği zaman memeliler ve balıklar gibi büyük canlılar üzerindeki etkileri göreceli olarak daha iyi bilinmektedir. Ancak daha küçük birçok organizma üzerindeki (özellikle planktonlar gibi mikro-organizmalar , deniz dibinde yaşayan canlılar, larva durumundaki balıklar) zehirleyicilik derecesi çok az bilinmektedir. Büyük miktarlarda petrolün balıkların yapısına solungaçlardan girmesi, genelde balıkların doğrudan ölümüne neden olmaktadır. Ancak petrole bu şekilde maruz kalan balıklar ölmese bile bu sefer de petrol balıkların üreme yeteneklerini düşürmekte ya da deforme olmuş yavruların doğmasına sebep olmaktadır. Aynı tehdit özellikle istiridye, deniz tarağı ve midye gibi yavaş hareket eden kabuklu deniz ürünleri için de geçerlidir. Deniz memelileri ve deniz kuşları gibi daha büyük canlılar ise genellikle kendilerini temizlerken büyük miktarlarda petrole direk olarak temas etmektedirler. Et obur hayvanların ve kuşların, petrole maruz kalmış olan diğer canlıların leşlerini yiyerek beslenmeleri, zehirleyici miktarda petrolün bünyelerine girmesine sebep olur. Petrolün bünyeye girmesi karaciğer gibi iç organları da etkilemekte ve üremeyi kısıtlamaktadır.

Petrol kuşların kanatlarını kaplayarak uçmalarını imkansız hale getirirken ağırlıklarını artırarak yüzme yeteneklerini ortadan kaldırabilmektedir. Ayrıca kuşların tüylerini kaplayarak, tüylerin kuşu ısıtmasını da engellemektedir. Bu

nedenle petrol kirliliğinin ardından soğuk iklimlerde bir çok kuş vücut ısılarındaki ani düşüş (hypothermia) nedeni ile ölebilmektedir. Benzer şekilde birçok memelinin de kürkleri petrol ile kaplanıp ısıyı izole etme yeteneğini yitirdiği için öldüğü görülmektedir. Sonuç olarak petrolün öldürücü etkisi sadece bünyeye alınması ile gerçekleşmez. Petrole doğrudan fiziksel olarak maruz kalınması da deniz canlılarının ölümlerine neden olabilmektedir.

Son olarak katran benzeri petrol kümeleri deniz dibine ulaştınca buradaki bentik organizmaların yaşam şartlarını oldukça olumsuz etkilemektedir. Örneğin balık ve kabuklu deniz canlılarının yumurtlama alanlarını tahrip ederek bu türlerin üremelerini engellemektedir.

3.3.2 Petrol Kirliliğinin Ekolojik Etkileri

Yukarda belirtilen şartlar nedeni ile petrolün ekoloji üzerindeki etkileri de çok çeşitlidir. Petrolün zehirliliği ve yüzeyleri kaplayarak havasızlığa neden olmasıyla petrolün etkileri yaşam çevrelerinde oldukça farklı şekillerde görülmektedir. Bu etkiler fiziksel ve kimyasal değişimleri; herhangi bir organizma veya türde meydana gelebilecek olan büyüme fizyoloji, davranış değişikliklerini; bütün kominitelerin veya organizmaların modifikasyona uğramasını veya yok olmasını içermektedir.

3.3.2.1 Canlıların ve Yaşam Çevrelerinin Fiziksel Olarak Kirlenmesi

Denizlerdeki petrol, buralarda dalan veya yüzen memelilerin, kuşların ve deniz kaplumbağalarının fiziksel kirlenmesine neden olabilmektedir. Petrol kirliliğinin gelgit bölgelerindeki büyüklüğü ve kalıcılığı, buraların jeomorfolojisine ve sediment yapısına bağlıdır.

Petrol olumsuz etkisini en çok ve uzun vadeli olarak korunaklı bölgelerde göstermektedir. Bu bölgelerde petrol anoksik çamura nüfuz eder, hayvan yuvalarına kolayca girer, bitki köklerinin çürümesine neden olur. Petrol dökülmesinin kısa vadeli etkileri bu bölgelerde yaşamlarını sürdüren canlıların kolayca petrol ile kaplanarak havasızlıktan boğulması şeklinde gerçekleşmektedir. Daha uzun vadede ise dokularında petrolün birikmesi sonucu kimyasal kirlenme gerçekleşebilmektedir [10].

Taşlı, çakıllı ve hatta kalın kumlu sahillerde petrol dalgalarla birlikte daha aşağıdaki katmanlara işleyebilir. Bu durumda petrolün temizlenmesi oldukça zordur. İnce kumlu sahillerde ise petrol genelde yüzeyde kalma eğiliminde olduğundan, buralardan kolayca temizlenebilmektedir. Ancak bazı durumlarda yüzeydeki petrol kum karışımı rüzgar ve dalga hareketleri nedeni ile kum ile örtülüp ve daha sonra tekrar ortaya çıkabilmektedir. Bitki ve hayvanların hızla çoğaldığı sarp ve kayalı sahiller dalga enerjisini tekrar yansıtırlar. Bu sayede bu bölgelerde kıyıya doğru sürüklenen petrol tabakalarının da sahilden uzaklaşması doğal olarak sağlanmaktadır. Petrolün uzun vadeli etkileri, petrolün uzun süre kalamadığı bu bölgelerin ekosistemlerinde en düşük seviyede gerçekleşmektedir [10].

3.3.2.2 Petrol Hidrokarbonlarının Zehirlilik Etkileri

Petrolün canlıların yüzeylerini kaplayıp boğulmalarına veya kirleterek ölümlerine neden olması gibi kısa vadeli ve doğrudan fiziksel etkilerinin yanı sıra, kimyasal yapısı nedeniyle de canlılara zarar verebilmektedir. Petrol kirlenmesinin ardından bir çok ölüm suda çözünebilen, benzen ve naftalin gibi hafif aromatik hidrokarbonların zehirliliğinden kaynaklanmaktadır. Bu tip bileşikler göreceli olarak oldukça çabuk yok olurlar. Bu nedenle petrolün deniz organizmalarına zehirlilik etkisi bu tip bileşenlerin petrol içindeki miktarına, kalıcılığına ve de organizmalara temas etmeden önce tükenip tükenmediğine bağlıdır. Yani havalanma süreci zehirlilik üzerinde büyük etkiye sahiptir. Bu süreçle mono aromatik bileşiklerin kaybolması sonucunda, çok halkalı aromatik hidrokarbonlar havalanmış petrolün zehirliliğinde daha önemli katkıda bulunur. Çok halkalı aromatik hidrokarbonların, havalanmış petrolün zehirliliğine etkileri var olan konsantrasyonlarına, diğer zehirli bileşiklerin varlığına, ve havalanmış petrolün mikrobiyal degradasyonunun veya fotodegradasyonunun mertebesine bağlıdır. Ham petrol ve orta dereceli petroller daha az zehirli bileşen içermelerine rağmen ortamdaki kalıcılıkları nedeni ile yine de organizmalarda zehirlilik etkisine sahiptirler. Ağır petrol bileşikleri daha az miktarda zehirli bileşen içermelerine rağmen, hafif ürünler bunların içine karışmış olarak bulunurlar ve ağır yakıtların az zehirli olduğuna dair kanıya rağmen, onların zehirlilik etkilerinin düşünülenin üzerine çıkmasına neden olurlar. Gaz yağı ve karosen gibi zehirlilik etkisi daha çok olan petrol çeşitleri daha çabuk tükenip daha az artık bırakma eğilimindedirler [10, 11].

Organizmaların petrol hidrokarbonlarına tepkisi dört farklı düzeyde görülür [11]:

1. Biyokimyasal ve hücresel
2. Organizmal (fizyolojik, biyokimyasal ve davranış tepkilerinin bütünü)
3. Populasyon (populasyon dinamiklerinde meydana gelen değişiklikleri)
4. Kominite (kominite yapısında ve dinamiklerinde meydana gelen değişikliklerin sonuçları)

Petrol hidrokarbonlarının deniz ortamlarındaki etkileri akut ya da kronik olabilir. Akut zehirlilik, zehirli maddeye bir kez maruz kalındıktan sonra anlık kısa vadeli etki olarak tanımlanabilir. Kronik zehirlilik ise zehirli maddeye uzun vadeli devamlı maruz kalınma veya anlık maruz kalınma sonunda ikinci dereceden öldürücü etki olarak tanımlanabilir. Petrol hidrokarbonlarının akut ve kronik etkileri şunlara bağlıdır [11]:

- Petrol hidrokarbonlarının konsantrasyonu ve maruz kalınma süresi
- Belirli hidrokarbonların dayanıklılığı ve biyolojik uygunluğu (bioavailability)
- Organizmaların farklı hidrokarbonları akümüle ve metabolize etme yetenekleri
- Metabolize olmuş ürünlerin sonu
- Belirli hidrokarbonların normal metabolik süreçleri engelleyerek organizmaların yaşam sürdürme şekillerini ve ortamda üremelerini değiştirmesi
- Hidrokarbonların sinirlerdeki iletim üzerindeki belirli uyuşturucu özellikleri

Petrolün farklı türlere ve farklı yaşam evrelerindeki organizmalara etkileri üzerinde çıkarımlarda bulunmak için birçok biyolojik çalışma yapılmıştır. Bu konuda yapılmış olan eski çalışmalarda bir tek bileşiğin deniz organizmaları üzerindeki etkilerine veya ham petrol ile rafine edilmiş petrolün zehirlilik farklılıkları üzerinde

odaklanmıştır. Bir tek hidrokarbonun akut zehirliliği büyük ölçüde bunların suda çözünülebilirliği ile ilişkilidir. Belirli bir petrol tipinin akut zehirliliği içerdiği bileşenlerin özellikle aromatik bileşenlerin zehirliliğinden meydana gelir. Belirli bir hidrokarbonun uyuşturucu etkisi akut zehirliliğin önemli bir bileşenidir ve genelde düşük molekül ağırlıklı uçucu bileşiklerle ilişkilidir. Yapılan testlerin çoğunda akut maruz kalınma süresi içinde (genellikle 96 saat) bir çok organizmanın öldüğü gözlenmiştir. 96 saatlik Lc50 değeri (Lethal Concentration - belirlenen sürede test organizmalarının %50'sinin ölümüne neden olacak petrol derişimi) organizmaların çoğu için %0,5 mg/l ila %10 m/l (ppm) aralığına kadar düşmektedir. Standart zehirlilik testlerinin, habitatların bulunduğu daha dinamik ve değişken olan açık denizlerdeki gerçek ortamlara benzerliği oldukça sınırlıdır. Ayrıca, laboratuvar testleri ile organizmaların gerçek ortamdaki üreme potansiyelleri veya hayatta kalabilme yetenekleri hakkında tahminde bulunmak oldukça zordur. Bu nedenle bu tip testler petrol kirliliğinin doğal çevrelerdeki uzun vadeli etkileri hakkında çok az bilgi verebilmektedir. Bununla birlikte bu tip çalışmalar bir petrol dökülmesi olayından sonraki ilk evrelerde su kolonunda yüksek derişimlerde petrol bulunması halinde potansiyel zehirlilik hakkında bilgi verir. Genellikle bir petrol dökülmesi olayının ardından su kolonunda ölçülen en büyük petrol derişimi 0,2 mg/l ile 0,5 mg/l aralığında bulunmaktadır. 0,5 mg/l den 0,1 mg/l'ye kadar olan petrol derişimi ise patlamanın olduğu yere 20 km. mesafede olan petrol tabakasının altında ölçülmektedir. Patlama bölgesine yakın yerlerde ise yüzey sularında ölçülen derişim 10 mg/l'yi aşmaktadır. Ancak bu aralıklardaki derişimlere çok kısa sürer ve su kolonundaki organizmaların bu derişimlere maruz kalmaları oldukça kısa zamanlı gerçekleşir [10, 11].

Petrol dökülmesinin ilk evrelerinde zehirlilik etkileri yerel ve kısa süreli olabildiği gibi petrol kirliliğinin büyüklüğüne, konumuna, mevsimine ve etkilenen türlere bağlı olarak yıllarca sürebilir. Davranış, gelişme ve fizyolojik süreçlerdeki bozulma akut zehirlilik seviyelerin altındaki konsantrasyonlarda meydana gelir. Bu tip tepkiler, etkilenen populasyonların yaşam biçimlerini uzun vadede etkilemektedir. Bu nedenle fizyolojik ve davranışsal karışıklıklar populasyonların ve kominitelerin seviyelerinde değişikliklere neden olabilir. Petrol kirliliğinin en büyük etkisi yaşam süresine, yetişkinlerin hareketliliğine, üreme şekline bağlıdır. Kısa bir yaşam döngüsüne sahip türler, hareketli yetişkinlerin var olduğu ve/veya planktonik lavra ile çoğalan türlerde

daha çok kısa zamanlı etkiler görülür. Uzun vadeli etkiler daha çok petrolün kalıcı olduğu kapalı yada sınırlandırılmış alanlarda görülür. Birçok petrol dökülmesi olayının ardından yapılan çalışmalardan elde edilen bilgiler orta ve yüksek moleküler ağırlıklı bileşiklerin hem hayvan dokularında hem de sedimentlerde daha kalıcı olduğunu göstermektedir. Bu bileşiklerin dokulardaki kalıcılık mertebeleri büyüme, gelişme ve üreme gibi normal metabolik süreçleri engellemektedir. Beslenme mekanizmasının bozulması, büyüme oranları, gelişme oranları, üreme oranları, hastalıklara karşı duyarlılık ve diğer bazı bozukluklar petrol hidrokarbonlarına maruz kalındıktan sonra görülen ikinci dereceden öldürücü etkilere bazı örneklerdir. Petrol hidrokarbonlarının akut ve kronik maruz kalınmayı takip eden ikinci dereceden öldürücü etkileri faal durumdaki prosesleri aksatır; biyosentetik işlemler ile yapısal gelişmenin engellenmesi; ve gelişme ve üreme üzerindeki doğrudan zehirlilik etkisi görülür. İlk gelişme evrelerindeki canlılar hidrokarbon etkisine daha açıktır ve kronik bir şekilde petrole maruz kalan ortamlardaki eleman sayısında düşüş, hidrokarbon bulaşmış sedimentlerin doğrudan zehirlilik etkisi ile ilişkilendirilebilir. Eğer kirlilik bir organizma cinsinin üreme periyodunun doruk zamanında gerçekleşti ise, o sene o bölgede bulunan sözü geçen sınıfa ait yaşlısından gencine tüm organizmaların sonu olur. Bu büyüklükteki etkilere nadiren rastlanır [10, 11].

3.3.2.3 Biyolojik Birikim ve Kirlenme

Petrol kirliliğinin başlangıç etkilerine rağmen yaşamlarını sürdürebilen organizmalar yine de sudan, sedimentten ve kirlenmiş besinlerden petrol bileşiklerini bünyelerine alıp dokularında depolayabilmektedirler. Biriktirilmiş aromatik hidrokarbon miktarları nadiren davranış, büyüme, ve üreme üzerinde etkili olup, hastalık ve ölüme yol açacak mertebeler erişmektedir. Ancak genelde omurgalı canlılar aromatik bileşikleri hızla ve etkili bir şekilde metabolize edip bünyelerinden atarken, omurgasızların aromatik bileşikleri yavaşça ve yetersiz bir şekilde metabolize ettiği belirtilmektedir. Her şeye rağmen petrol bileşikleri deniz ortamında zaten varolan diğer zehirli maddeler ile birilikte hareket edeceğinden genelde bu bileşiklerin uzun vadeli etkilerini tahmin etmek güçtür [10].

Ticari açıdan düşünüldüğünde de olumsuz bir durumla karşılaşılmaktadır. Balıklar, kabuklular ve yumuşakçalar yüksek yada orta dereceli derişimlerde petrole uzun

sürekli maruz kaldıklarında hoş olmayan koku ve lezzet edinmektedirler. Bu durumlarda satışları imkansız hale gelmektedir. Bu geçici durum ancak kirlenmeye yol açan bileşikler giderildiğinde, yada organizmalar temiz su ortamına alındığında değişebilmektedir [10].

3.4 Deniz Ortamındaki Petrolle Mücadele Yöntemleri:

Denizlerdeki petrol kirliliğine karşı mücadelede kullanılacak temel yöntemleri dört kısımda inceleyebiliriz.

1. Mekanik yöntemler (toplama ve geri kazanma)
2. Kimyasal Metotlar (dispersantlar)
3. Yakma
4. Biyolojik yöntemler

3.4.1 Mekanik Yöntemler

Deniz yüzeyinde bulunan tabaka halindeki petrolün tekrar toplanabilmesi için bariyerler kullanıldığı bu yöntemin en önemli avantajlarından birisi, dökülen petrolün tekrar kazanılmasıdır. Genellikle en verimli yöntem olarak görülen bu yöntem bazı temel problemler içermektedir. Bu problemler bir çok farklı nedene bağlıdır. Petrolün deniz ortamındaki yayılma eğilimi, etkili rüzgarda petrol tabakasının parçalanması ya da petrolün disperse olmasının yanı sıra sistemin kendisinden kaynaklanan problemler de vardır. Petrolün tekrar toplanmasını sağlayacak bu sistem petrolün toplanması sırasında oldukça yavaş hareket edebilen ve sadece bir kaç metre genişliğe sahip şeritlerden oluşmaktadır. Ancak genellikle sert denizlerde hafif veya orta ağırlıklı ham petrol gibi düşük viskoziteli petroller, deniz ortamına girdikten sadece bir kaç saat sonra, kilometre karelerce alana yayılmaktadır. Bu nedenle büyük miktarlarda petrol dökülmesi olaylarında bu işlem sadece %10-15 gibi küçük bir miktarın geri toplanmasına olanak tanımaktadır. Bir başka problem de petrolün tekrar toplanıp geri kazanılması için küçümsenemeyecek geniş bir lojistik destek gerektirmesidir. Örneğin bariyerlerin yerleştirilmesi ve

geminin petrol tabakasının en kalın olduğu bölgeye yönlendirilmesi sırasında geminin hareketlerinin kontrol edilmesinde büyük zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu zorluğun aşılmasında genellikle hava desteğı kullanılsa da bu destek her zaman yeterli olamamaktadır. Lojistik destek ihtiyacının yanı sıra, bu teknik için kullanılan gemilerin operasyonel zorlukları da göz ardı edilemez. Rüzgar, akıntı ve dalga hareketleri bariyerlerin petrolü toplama kabiliyetini azaltırken, petrolün geri toplanması esnasında ıslak, yağlı, kaygan ekipmanların kullanılmak zorunda olması geminin baş kış vurma ve yalpa hareketleri sırasında personelin hayatını da riske etmektedir. En etkili geri toplama işlemi sakın hava şartlarında gerçekleşebilmektedir. Petrolün tekrar toplanması gerektiğı zaman, ekipmanlar hava ve deniz koşullarının yanı sıra dökülen petrolün cinsi de göz önünde bulundurularak sağlanmalıdır. Çalışmaların en çok petrol konsantrasyonunun olduğı yerlerde ve petrolün ulaşması muhtemel olan hassas alanlarda yoğunlaştırılması gerekmektedir. Ayrıca petrol hava ile temas ettikçe viskozitesi düşeceğinden kullanılan teknik ve ekipmanlar yeniden değerlendirilip gerekirse değiştirilmelidir [3].

3.4.2 Kimyasal Yöntemler

Deniz yüzeyindeki petrol tabakası dalgalara ya da türbülansa maruz kaldığında küçük damlacıklara ayrılarak su kolonunda dağılırlar. Dispersantlar, petrolün tabakalarına püskürtüldüklerinde petrolün su kolonunda doğal dağılımını (disperse olmasını) hızlandırmak amacı ile tasarlanmış bir takım kimyasallardır. Dispersantlar petrol tabakalarına püskürtülünce petrol ve deniz suyu arasındaki yüzey gerilimi düşer ve petrol tabakasının parçacıklara ayrılmasına neden olur. Bu parçacıklar çeşitli büyüklükte dirler. Büyük olanları tekrar deniz yüzeyine çıkarken kimileri de suda asılı olarak kalır. Başarılı bir uygulamanın ardından parçacıkların bir kaç dakika içinde yüzeyden aşağı doğru hareket etmeleri gerekmektedir. İşlemin başarılı olabilmesi için kimyasalın petrolün içine iyice nüfuz etmesi gerekmektedir. Bu nedenle dispersantın petrolün içine girmesini sağlayacak uygun çözücüler içermesi gerekmektedir. Dispersantların yüksek viskoziteye sahip, yüzen petrole etkileri oldukça düşüktür. Genellikle dispersantlar sıvı petrole karşı etkilidirler ve viskoz emülsiyonlara (“mousse”, krema) karşı etkili değildirler. Yüzeydeki petrol ilk başta dispersantlara karşı dirençli de olsa, uçuculuğı nedeni ile viskozitesi azalınca dispersantların etkisine daha fazla açık olacaktır [3].

Dispersant kullanımı en hızlı müdahale yoludur. Dispersantlar petrolün denizde tabaka oluşturmasını engelleyerek kıyıya ulaşmasını zorlaştırırlar. Bu sayede deniz kuşları gibi bazı hayvanların korunmasını sağlarlar. Bu avantajlara ek olarak doğal degradasyona yardımcı olurlar. Ancak dispersant kullanımı petrolün dibe çökmesini sağladığından buradaki doğal ortama zarar verebilmekte, ve kıyıda sedimentlerde birikimine neden olabilmektedir. Bütün bunların yanı sıra dispersant kullanımı sonucunda en önemlisi deniz ortamına çok fazla kimyasal madde girmiş olmaktadır [3].

3.4.3 Yakma

Deniz yüzeyindeki büyük miktarlarda petrolün giderilmesinde yakma basit bir yöntem olarak düşünölmektedir. Ancak ateşleme, tabakanın tutuşmasını sağlama, büyük miktarda dumana neden olma, oldukça yoğun ve viskoz artıklar oluşturma, bu artıkların dibe çökmesi ve güven gibi önemli problemler içermektedir. Deniz yüzeyindeki petrol tabakasının yakılıp yakılmayacağına karar vermeden önce zarar gören gemiden ya da yaşam bölgesinden uzaklığı, oluşacak dumanın zehirliliği, petrolün doğası, ve yanmayan artıkların ne olacağı gibi konular göz önünde bulundurulmalıdır. Deniz ve rüzgarın soğutma etkisine karşı başarılı bir yakma işlemi için petrol tabakasının en azından 2-3 mm kalınlıkta olması gerekirken petrol yüzeyde yayıldığı için genelde gereken kalınlığın çok altında tabaka oluşturmaktadır. Bununla birlikte bariyerlerin kullanılması ile gerekli kalınlık sağlanabilmektedir. Ancak bariyerler kullanılarak petrolün toplanması uygun hava ve deniz koşullarında bile zaman almaktadır. Ayrıca denizin durumu da yakma işlemi için kısıtlayıcıdır. Kısa ve dik dalgalar yakma işleminin etkisini azaltırken rüzgarlı deniz tamamı ile ateşin sönmesine neden olabilir. Alev aldıktan sonra petrol tabakasının yeterince yüksek sıcaklığa ulaşması gerekmektedir. Ancak petrolün uçuculuğu nedeni ile tabaka inceldikçe hava ve denizin soğutma etkisine daha çok maruz kalmaktadır. Bu zorluklar nedeni ile önemli bir miktar petrol denizde yanmamış olarak kalmaktadır. Ayrıca petrol yandıktan sonra da geriye yoğun ve viskoz bir artık bırakabilmektedir. Bu artık dibe çökünce buradaki bentik türlerin havasız kalmasına ya da zehirlenmesine neden olabilmektedir. Bununla birlikte bu tip artıklar balık yataklarına zarar verip rüzgarlar, akıntılar ve dalgalar aracılığı ile sahil şeridine

ulaşabilmektedir. Bir diğer çevresel etkisi de yanma sırasında oluşan yüksek ısının bölgenin ekolojisine vereceği zarardır [3].

3.4.4 Biyolojik Yöntemler

Bir çok doğal madde gibi petrolde zamanla mikrobiyolojik olarak ayrıştırılabilmektedir. Biyoremidasyon işlemi bakteriler ve funguslar tarafından doğal olarak gerçekleştirilen bu ayrıştırma işlemini hızlandırarak ve/veya arttıarak deniz ortamının petrolden arıtılmasını sağlamaktır [3].

4. BİYODEGRADASYON VE BİYOREMİDASYON

Biyodegradasyon, kompleks yapılı organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılması olarak tanımlanabilir. Mikroorganizmalar bu işlem sırasında organik maddeleri besin kaynağı olarak kullanıp metabolize etmektedirler. Petrol de organik bir madde olduğuna göre doğada varolan bakteriler tarafından besin maddesi yani enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Yani biyolojik olarak degrade olabilmektedir.

Biyoremidasyon ise, mikroorganizmaların (fungi, bakteri) zehirli kirleticileri parçalayarak daha az zararlı maddelere çevirmeleri için insanlar tarafından kullanılmasıdır. Yani biyodegradasyonun optimize edilmesidir. Kirleticileri ortamdan uzaklaştırmak için mikroorganizma kullanımı olarak da tanımlanmaktadır.

4.1 Biyodegradasyon Konusunda Yapılmış Olan Çalışmalar

1946 senesinde Claude E. ZoBell mikroorganizmaların hidrokarbonlar üzerindeki etkilerini tekrar gözden geçirmesinin sonucunda bir çok mikroorganizmanın hidrokarbonları enerji ve karbon kaynağı olarak kullanabildiğini ve bu organizmaların doğada geniş bir şekilde dağılmış olduğunu tespit etmiştir. Ardından hidrokarbonların mikroorganizmalar tarafından kullanımının petrol karışımını oluşturan bileşiklerin kimyasal yapısına ve çevresel faktörlere bağlı olduğunu kaydetmiştir. Bundan 21 sene sonra İngiliz Kanalı'nda Torey Canyonun batmasının ardından bilim dünyasının dikkatleri petrol kirliliği üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu felaketin ardından petrolün farklı yaşam çevrelerindeki etkilerini araştıran bir çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmaların sonucu olarak petrolün biyodegradasyonunun petrolün yapısının yanı sıra, hem mikrobiyal topluluğun doğasına, hem de çevresel faktörlere bağlı çok karmaşık bir süreç olduğu anlaşılmıştır [13].

1990'lara kadar bu konudaki ilk araştırmalar daha çok degradasyonun metabolik yolunu, çevresel faktörlerin petrol degradasyonuna etkisini ve oksidasyon oranlarını açıklayabilmek amacı ile yapılmış laboratuvar çalışmalarıdır. 1990 yılından sonra ise hidrokarbonların biyodegradasyonu önemli bir çalışma alanı olmuştur [11].

Hidrokarbonların degradasyonunda farklı tipte bakterin görev aldığı, oksidatif fosforilasyon veya solunum (heterotrofik bakteriler, funguslar, heterotrofik fitoplanktonlar.), nitrat indirgenmesi ve sülfat indirgenmesini de kapsayan birçok değişik yol izlenmektedir. Genellikle daha küçük hidrokarbonların parçalanmasıyla gerçekte tam bir mikrobiyal oksidasyon sonucunda ürün olarak CO₂ ve H₂O. açığa çıkmaktadır. Dallanmış alkanlar ve çok halkalı bileşikler (çok halkalı aromatikler ve alifatik hidrokarbonlar) gibi daha kompleks yapılı hidrokarbonlarda farklı bakteri türlerinin birlikte hareket etmektedirler ve bu sırada birden fazla metabolik yol izlenmektedir [11].

Birçok mikroorganizma petrol hidrokarbonlarını degrade edebilecek enzimatik yeteneğe sahiptir. Bazı mikroorganizmalar alkanları (normal, dallanmış ve halkalı parafinler), bazıları aromatikleri, bazıları ise hem parafinleri hem de aromatik hidrokarbonları degrade edebilmektedirler. Genellikle C₁₀ ila C₂₆ mertebelerindeki normal alkanların çabuk degrade oldukları tespit edilmiştir. Ancak petrol içersindeki zehirli bileşikler arasında bulunan düşük moleküler ağırlıklı aromatikler de (benzen, toluen ve xilen gibi) birçok deniz organizması tarafından süratle degrade edilirler. Daha karmaşık yapılı hidrokarbonlar ise biyodegradasyona karşı daha dirençlidirler. Bunun anlamı daha az mikroorganizmanın bu tip yapılarıdaki hidrokarbonları degrade edebildiğidir. Bu hidrokarbonların degradasyon oranı basit yapılı hidrokarbonlarınkine nazaran daha düşüktür. Sonuç olarak moleküler yapı karmaşıklaştıkça degradasyon hızı düşmektedir [14, 15, 16].

Ham petrol hiçbir zaman tam olarak degrade olamaz ve daima geriye karmaşık yapılı bir artık kalmaktadır. Petrol çok çeşitli karmaşık yapıya sahip bileşikler içerdiiğinden, degrade oldukça artan kısmının degradasyona direnci yükselmektedir. Bu artık kısım genelde daha çok asfalt bileşikleri içeren siyah katran şeklinde görülür. Bununla birlikte bu karışımın zehirliliği ve biyolojik uygunluğu oldukça düşüktür ve bir yüzeyi kaplayıp havasız bırakmadığı sürece ortamda herhangi bir zehirli etkiye sahip olmayan eylemsiz bir kirletici olarak kalmaktadır [14].

Petrolün fiziksel halinin biyodegradasyon üzerinde önemli bir etkisi vardır. Düşük konsantrasyonlarda hidrokarbonlar suda çabuk çözünmektedir. Ancak bir çok petrol kazasında ortama çözünürlük sınırının çok üstündeki miktarlarda petrol girmektedir. Hidrokarbonların biyodegradasyonu su-petrol ara yüzeyinde gerçekleşmektedir. Hidrokarbonların bu şekilde parçalanmasını sağlayan mikroorganizmaların koloni oluşturabilmesi için petrolün yüzey alanının uygun olması gerekmektedir. Bu alan kısmen de olsa, petrolün su yüzeyinde yayılma derecesine bağlıdır. Su ortamında petrol normal şartlarda ince bir tabaka oluşturacak şekilde yayılırken düşük ısılarda petrolün viskozitesinin artması nedeni ile deniz yüzeyindeki yayılma derecesi azalmaktadır. Petrol yayılmadığı zaman petrole müdahale edecek mikrobiyal organizmalar için kısıtlı bir yüzey alanı oluşmaktadır. Petrol su ile karıştığında genellikle emülsiyon oluşturmaktadır. Eğer petrol su içinde küçük damlacıklı emülsiyonlar oluşturursa petrol-su ara yüzeyinde hidrokarbonların biyodegradasyon için yeteri kadar geniş yüzey alanı sağlanabilmektedir. Ancak su petrol içinde emülsiyon oluşturursa kalın kremamsı tabakalar (mousse) oluşması sonucu petrolün biyodegradasyonu yavaşlamaktadır. Emülsiyonlar hidrokarbonların suda çözünmesini kolaylaştırırken mikroorganizmaların sıvı hidrokarbon damlacıkları ile teması için gerekli yüzey alanını sağlamaktadırlar. Böylece çözülmüş sıvı hidrokarbonlar mikroorganizmaların hücrelerine daha çabuk ve etkili bir şekilde girebilmektedirler. Ancak katı hidrokarbonlar sadece çözündükleri zaman hücreye alınabilirler [15].

Deniz ortamındaki petrolün biyodegradasyonu *Pseudomonas* türünün de dahil olduğu bir çok farklı bakteri popülasyonu tarafından gerçekleştirilmektedir. Hidrokarbonları degrade eden bakteriler dünya okyanuslarına dağılmışlardır; deniz bakterileri üzerinde yapılan çalışmalar göstermiştir ki bu tip bakteriler deniz ortamında herhangi bir yerde bulunabilmektedir. Genellikle bozulmamış bir ortamda hidrokarbonları degrade eden bakteriler toplam bakteri popülasyonunun yaklaşık %1'ini oluşturmaktadır. Bu bakteriler tahminen bitkiler; algler ve diğer canlı organizmalar tarafından üretilen hidrokarbonları kullanmaktadırlar. Bunun yanı sıra karbonhidrat ve protein gibi başka substratlar da bu tip bakteriler tarafından kullanılmaktadır. Herhangi bir yer hidrokarbonlarla kirlendiğinde, hidrokarbon kullanan bakterilerin oranında artış meydana gelmektedir. Bu bölgelerde hidrokarbon kullanan bakterilerin toplam popülasyona oranı genellikle %10'u aşmaktadır.

Hidrokarbonların degradasyonunda bakterilerin yanı sıra fungiler de yer almaktadır. Ancak bakterilerin ve fungilerin hidrokarbon degradasyonu sırasında ortaya çıkarttıkları ara ürünler birbirinden farklıdır. Fungilerin petrolü degrade etmeleri sonucunda ortaya potansiyel olarak kanserojen maddeler (*trans-diol*) çıkarken petrol bakteriler tarafından parçalandığında genelde ara ürün olarak biyolojik olarak aktif olmayan maddeler (*cis-diol*) açığa çıkmaktadır. Genelde deniz ortamında hidrokarbonları degrade eden organizmalar baskın olarak bakterilerdir. Bu nedenle hidrokarbonların degradasyonu detoksifikasyonla sona ermektedir ve potansiyel kanserojen maddeler üretilmemektedir. Hidrokarbonların tam olarak degradasyonunun (mineralize edilmesi) ardından son ürün olarak zehirli olmayan, karbondioksit ve suyun yanı sıra hücre yapısında kullanılan ve besin zincirinde asimile edilebilen protein gibi maddeler açığa çıkmaktadır [14, 16].

Hidrokarbonların biyodegradasyonu çok geniş sıcaklık aralıklarında gerçekleşebilmektedir. Ancak petrolün fiziksel haline etkisi nedeni ile (özellikle mikrobiyal koloniler için gereken yüzey alanı ve buharlaşma sonucunda kalan hidrokarbonların mikrobiyal müdahaleye uygunluğu gibi) sıcaklığın hidrokarbonların biyodegradasyon üzerinde etkisi bulunmaktadır. Düşük sıcaklıklarda petrolün viskozitesi artmaktadır ve buna bağlı olarak zehirli kısa zincirli alkanların buharlaşması düşmektedir. Bu nedenle biyodegradasyonun başlaması gecikir. Sonuç olarak düşük kış sıcaklıkları biyodegradasyon oranlarını sınırlandırıp petrol kirliliğinin kalış süresini uzatabilmektedir. Düşük sıcaklıklarda biyodegradasyonun düşmesinin en önemli nedeni olarak enzimatik aktivasyonun düşmesidir. Bununla birlikte bazı hidrokarbonların da katılaşmaları sonucunda biyodegradasyona uygunlukları azalabilmektedir. Ancak 0°C' nin altında bile hidrokarbonların degrade oldukları tespit edilmiştir. Yüksek ısılar hidrokarbonun metabolize olmasını kolaylaştırırken 20 ile 30°C arasında en büyük degradasyon oranlarına rastlanılmaktadır. Bu sıcaklığın üstünde hidrokarbonların zehirlilik derecesi artmakta ve biyodegradasyon yavaşlamaktadır. Bununla birlikte 70°C sıcaklıkta dahi biyodegradasyon tespit edilmiştir [15].

Hidrokarbon biyodegradasyonu gerek fungiler tarafından gerekse bakteriler tarafından gerçekleştirilsin, bunun birinci adımı genelde moleküler oksijen gerektiren oksidasyondur. Bu nedenle hidrokarbonların mikrobiyal oksidasyonu için genellikle

aerobik koşullar gerekmektedir. Ancak aromatik, düşük moleküler ağırlıklı hidrokarbonların anaerobik koşullarda biyolojik olarak degrade olabildikleri de tespit edilmiştir [15].

Mikroorganizmalar hücre yapılarına (*biomass*) dahil etmek için nitrojen, fosfor ve diğer minerallere ihtiyaç duymaktadırlar. Bu nedenle, bu maddeler hidrokarbon biyodegradasyonu için oldukça kritiktirler. Degradasyonun çok kısıtlı olduğu düşük sıcaklıklarda ya da petrolün düşük konsantrasyonlarda olduğu ortamlarda, nitrojen ve fosfor deniz suyunda biyodegradasyon için kısıtlayıcı bir etken olmayabilir. Ancak bir çok çalışmada, normal şartlarda nitrojen ve fosforun deniz suyunda biyodegradasyon için oldukça sınırlandırıcı olabildiği tespit edilmiştir. Bir yağ tabakası göz önünde bulundurulduğunda, mikrobiyal büyüme için uygun karbonun kısıtlı bir alanda var olduğu görülmektedir. Hidrokarbonları degrade eden mikroorganizmaların gereksindiği besinin petrol ile doğrudan temas eden sınırlı hacimdeki bu suda bulunması gerekmektedir. Hidrokarbonların çözünürlüğünün uygun olmayan C/N ve C/P oranının oluşmasını engelleyecek derecede yavaş olması halinde nitrojen ve fosfor sınırlandırıcı olmayabilir. Ancak bu koşullar dışında nitrojenin sınırlandırıcılığına dayanılarak biyokimyasal oksijen ihtiyacına benzer bir şekilde “nitrojen ihtiyacı” kavramı düşünülebilmektedir. Kuveyt ham petrolü temel alındığında 14°C’de nitrojen ihtiyacının µg petrol için 4 n mol olduğu bulunmuştur. N ve P’ ye ek olarak temiz açık deniz suyunda demir miktarının düşük olması da hidrokarbon biyodegradasyonu için sınırlandırıcı bir etken olarak görülmektedir [15].

Deniz suyu karbon-bikarbonat-karbondioksit sistemi içinde iyi bir şekilde tamponlanmıştır ve bütün denizlerde pH’ ın 8.5 civarındadır. degradasyon için en uygun pH 8.0 olarak tespit edilmiştir. Diğer sınırlandırıcı şartlar sağlandığında deniz ortamının doğal pH’ı yüksek mertebelerde biyodegradasyona izin vermektedir

4.2 Biyoremediasyon Konusunda Yapılmış Olan Çalışmalar

Mikrobiyal degradasyon, petrol kirleticilerinin çevreden giderilmesinde gerçekleşen en önemli süreçlerden birisidir. Bu nedenle 20 yılı aşkın bir süredir yapılan çalışmalarla petrolün doğal biyodegradasyonunu ivmelendirmek için çeşitli stratejiler

geliştirilmiştir. Bu çalışmaların sonucu olarak petrol ile mücadele de biyoremidasyon en umut verici teknoloji haline gelmiştir.

Petrol kirliliğinin biyoremidasyonunda iki temel yaklaşım vardır [17]:

1. Biyolojik hızlandırma: Ortama besin yada büyümeyi hızlandıran yardımcı maddelerin eklenmesi ve/veya yerel bakterilerin büyümelerini hızlandırmak için doğal ortamın kalitesinin yükseltilmesi
2. Biyolojik çoğaltma: Mevcut olan mikroorganizmalara ilave olarak petrol degrade eden mikroorganizmaların ortama eklenmesi

Ancak açık deniz uygulamaları da üçüncü bir madde olarak bunlara eklenebilir.

Kıyı bölgelerinde, özellikle fiziksel yöntemlerle zarar görebilecek yerlerde gerçekleştirilebilen gübreleme uygulamaları, petrolün giderilebilmesi için iyi bilinen ve özellikleri tanımlanabilen yöntemdir. Bu teknoloji bir çok açıdan umut vericidir. Ancak yine de saha çalışmalarından elde edilen sonuçlar yeterince istikrarlı olmadığı için henüz her durumda başarı beklentisi ile uygulanabilecek bir yöntem değildir. Doğal biyodegradasyon oranları çevresel koşullara ve söz konusu petrolün özelliklerine göre değişiklik gösterdiği için gübre uygulaması ile biyoremidasyon oldukça karmaşıktır. Petrolden etkilenmiş bölgelerde varolan mikroplar aniden besin-karbon kaynağı olarak dökülen petrolün hidrokarbonları ile karşılaşır. Genellikle uçucu bileşenlerin buharlaşması ile başlangıç zehirliliğinin geçmesinden ve hidrokarbon degrade edebilen yerel mikropların ortama alışmasından sonra petrolü yemeye başlarlar ve popülasyonlarında bir büyüme gerçekleşir. Bu noktada ortamdaki mikrop sayısının ani artış, nutrientlerin (özellikle nitrojen ve/veya fosfor) tükenmesine neden olabilir. Bu nedenle popülasyonun büyümesi durabilir. Nutrient eklenmesi ile mikrobiyal popülasyon çoğalmaya devam edebilir ve petrolün degradasyonu nutrient desteği olmadan gerçekleşebileceği oranlarının üzerinde bir oranda gerçekleşebilir.

Gübreleme işlemi çeşitli uygulama tekniklerini ve bir çok ticari gübre ürününü içerebilir. Bu Ticari ürünlerden bir kısmı sadece petrol kirliliği için kullanılmak üzere geliştirilmişken, bazıları kentsel ve tarımsal kullanım için olan gübrelerden

adapte edilmiştir. Bu ürünler çözünebilir inorganik gübreler, *oleophilic* gübreler ve yavaşça serbest kalan gübreler olmak üzere üç ana kategoride toplanır [18].

Çözünebilir inorganik gübreler, deniz suyu ile karıştırılıp sahil şeritlerine püskürtülebilecek suda çözünebilen çeşitli maddeleri veya tarımsal gübreleri içermektedirler. İnorganik gübrelerin en önemli avantajları ucuz ve kolay bulunabilir olmalarının yanı sıra genellikle özellikleri iyi bilinen bileşiklerden oluşmalarıdır. Bu tip gübreler farklı oranlarda nitrojen ve fosfordan meydana gelirler ve genellikle küçük miktarlarda eser elementler (*trace elements*) içerirler. Bu gübrelerin en büyük dez avantajları ise çözünebilirlikleri nedeni ile gelgit bölgelerinde kıyının devamlı dalgalar ile yıkanması sonucunda ortamdan kısa sürede kaybolmalarıdır. Ayrıca uygulama işleminden etkilenen gelgit bölgelerindeki bitki ve hayvanlar üzerinde doğrudan zehirlilik etkisine de sahip olabilirler [18].

Oleophilic gübreler, kıyıdan ve kayalık bölgelerden gübrelerin deniz suyu ile yıkanıp kaybolmaları problemini ortadan kaldırmak için geliştirilmişlerdir. *Oleophilic* gübreler kimyasal olarak yapışkanlardır ve kayaların veya diğer maddelerin üzerinde bulunan petrole yapışırlar. Teorik olarak bu tip gübreler petrol-su ara yüzeyinde kalarak, petrolü degrade edebilen mikroplarca kolay ulaşılabilir şekilde tasarlanmışlardır. Alaska Prince William Sound'da petrol ile kirlenmiş sahil şeridine *oleophilic* gübre olan ve karbon kaynağı olarak oleik asit, nitrojen kaynağı olarak da üre içeren Inipol EAP 22 kapsamlı bir şekilde uygulanmıştır. Sadece petrolün ortama dahil olması bakteri büyümesini hızlandırırken, gübrede oleik asitin varlığı gübrenin etkisinin incelenmesini zorlaştırmıştır. Ancak mikroplar, petrolde var olan organik bileşiklerdense gübredeki organik bileşikleri yemeyi tercih ettikleri için düşük enerjili sahillerde petrol ile mücadelede *oleophilic* gübre kullanmanın verimli olmadığı düşünülmektedir [18].

Yavaşça serbest kalan gübre çeşitleri, gübrenin uzun zaman aralıklarında yavaşça serbest kalması ve uygulandığı bölgede uzun süre varlığını devam ettirebilmesi için geliştirilmiştir. Küçük miktarlarda nutrientlerin zaman içinde yavaşça serbest kalmasını sağlayacak şekilde çözünebilen kapsül ve briketler içinde, kompres edilmiş halde birçok farklı gübre türlerinden oluşmaktadırlar. Ancak, briketler dalga hareketleri nedeni ile sahilde hareket ettikleri için gelgit bölgelerinde granüller çakılların ve taşların arasında kalabilmektedir. Böyle durumlarda gübrenin serbest

kalması su yüzeyinin altında gerçekleşmekte, gübrenin dozajının ayarlanması zorlaşmaktadır [18].

Gübreleme uygulamasına örnek olarak Exxon Valdez kazasının ardından Mart 1989-1991 tarihleri arasında devam etmiş olan iyileştirme çalışması verilebilir. Mart 1989'da Prince William Sound'da yaklaşık 350 millik bir sahil şeridi Exxon Valdez kazası sonucu dökülen North Slope ham petrolü ile kirlenmiştir. Yaz başlarında EPA'nın Alaska Petrol Kirliliği Biyoremedasyon Projesi ile gerçekleştirilen biyoremedasyon testlerinin sonunda, Alaska RRT petrollenmiş kıyı bölgelerinde biyoremedasyon uygulamalarını onaylamıştır. Sahil şeridinde gübre uygulanacak bölgelere kısım kısım karar verilmiştir ve hassas bölgelere gübre uygulaması gibi bir çok konuda sınırlamalar getirilmiştir. 1990 senesinde biyoremedasyon çalışmalarına devam edilmiş ve iyileştirmenin etkisini, güvenilirliği tespit eden çalışmalar yapılmıştır. 1989 ve 1990 senelerinde yapılan çalışmalar kapsamlı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar kapsamında bir çok farklı tipte gübrenin uygulandığı çeşitli bölgelerde gerçekleştirilen testlerin sonuçları ve kontrol noktaları incelenmiştir [18].

Her ne kadar çalışmalar dikkatlice tasarlanmış ve kontrol noktalarını da içermiş olsa da elde edilen sonuçlar büyük farklılıklar içermektedir. Bu nedenle gübrelenmiş bölgeler ve kontrol noktaları arasındaki farklılıkların tam olarak tespit edilmesi ve bir sonuca varılması zorlaşmaktadır. Kontrol noktalarındaki biyodegradasyon oranları şaşırtacak derecede yüksek bulunmuş olması ve çalışılan her bölgede mevcut çevre koşulları biyoremedasyonu engelleyecek veya destekleyecek şekilde büyük farklılıklar içermesi bu zorluğun temel sebeplerindendir. Bu çalışmadan bazı gübreleme işlemi uygulanmış bölgelerde birinci senede biyodegradasyon oranlarının artma eğilimi gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Geçen zaman içinde petrolün büyük bir kısmın havalanmaya maruz kalması sonucu, geriye sadece dayanıklı bileşenler kalmış olması ihtimali nedeni ile 1990'daki biyodegradasyon oranlarında düşüş tespit edilmesi ise normaldir [18].

Aromatik ve alifatik hidrokarbonlarının da dahil olduğu bir çok hidrokarbon yeterli oksijenin varlığında ortamda zaten varolan yerel mikroorganizmalar tarafından parçalanabilmektedir. Bu mikroorganizmalar bakterilerin ve fungilerin bir çok türlerini içerirler. Deniz gibi su ortamlarında ise hidrokarbonları baskın bir şekilde

bakteriler parçalar [19]. Petrol ile kirlenmiş bölgelerdeki biyodegradasyonu hızlandırmak için, hidrokarbonları degrade ettikleri bilenen mikropların ortama eklenmesi bir başka biyoremediasyon yöntemidir. Tohumlama olarak da adlandırılan biyolojik hızlandırma yöntemi bilim çevrelerinde oldukça tartışılmaktadır. Tartışmalar yerel organizmaların petrol nedeni ile öleceğine, bu nedenle ortama yeni bakteriler eklenmesi gerekliliğine yoğunlaşmıştır. Ancak dünyanın bir çok bölgesinde yapılan çalışmalar, buraların petrolü degrade edebilen bakteriler içerdiğine, ve bunların petrole adapte olmaları sunucunda hızla büyüdüğüne işaret etmektedir. Ayrıca yapılan bazı çalışmalar dışardan eklenen yabancı mikrobiyal toplulukların, yerel mikrop toplulukları ile rekabete girerek ortamdaki kısa sürede yok olabileceğine, bunun sonucu olarak da biyodegradasyonu hızlandıramayacağına işaret etmektedir. Çünkü, ne dışardan eklenen bakteri türleri, ne de yerel bakteriler, petrolün zehirli bileşenleri buharlaşana kadar petrolü aktif bir şekilde degrade edememektedirler. Bu nedenle mikrobiyal ürünlerin, biyodegradasyonu ani bir şekilde artırma olasılığı şüphe ile karşılanmaktadır ve bilimsel yayınlarda bu yöntem pek desteklenmemektedir. Ancak bu yöntemin kullanılmasında karar kılınmışsa, kullanılacak mikrobiyal ürünlerin insanlar ve hayvanlar için patojen mikroplar içerip içermediği de göz önünde bulundurulması gereken önemli bir noktadır. Bunun yanı sıra mikrobiyal ürünlerin bir çoğu gübre ihtiva etmekte veya bunu tavsiye etmektedir. Bu nedenle gübre uygulamalarının potansiyel zehirliliği konusundaki incelemeler bu tip uygulamalarda da yapılmalıdır [18].

Teksas’ ta yapılmış olan bir biyoremediasyon çalışması bu yöntem için örnek olarak verilebilir. 28 Temmuz 1990’da Shnaussa tankeri ve üç adet Apex mavnası arasında gerçekleşen çarpışmanın ardından yaklaşık olarak 700 000 galon yarı rafine edilmiş petrol Galveston Koyu’na dökülmüş ve kazadan bir hafta kadar sonra Koy’ un kuzey kıyısı boyunca sahil şeridinin ve bataklıkların kirlenmesine neden olmuştur. Teksas Su Komisyonu, kirlenmiş bataklıklarda mikrobiyal biyoremediasyon ürünü (Alpha BioSea) kullanmak için 6. Bölge RRT’nin onayını almıştır. RRT mekanik temizleme işlemlerinin uygun olmayacağı ve bilimsel görüntülemenin (monitoring) gerçekleştirilebileceği alanlarda uygulanması şartı ile biyoremediasyon tekniği için vermiştir. Texas Su Komisyonu görüntüleme programlarını NOAA ve EPA’nın temsilcilerinin danışmanlığında gerçekleştirmiştir. 5 Ağustos’ta mikrobiyal ürünleri ve nutrientleri ihtiva eden bir solüsyon yüksek basınçlı hortumlarla küçük teknelerde

bataklık alanlarına püskürtülerek uygulanmıştır. Uygulama öncesinde uygulamanın 24, 48, ve 96 saat sonrasında sediment ve su örnekleri alınmıştır. Bunlara ek olarak uygulamanın 9., 10., ve 11. günlerinde de örnekler alınmıştır. Bu örneklerin incelemeleri EPA laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. İyileştirme çalışmalarının başlamasından sonra 48. saatte alınan örneklerde iyileştirme çalışması yapılmış ve yapılmamış bölgelerde dikkate değer bir farklılık gözlenememiştir. EPA'nın sonuçları hala açıklanmamış olmasına rağmen NOAA tarafından gerçekleştirilen gaz-kromatografi/ kütle-spektroskopi analizleri petrolün içeriğinde iyileştirme öncesi ve sonrasında önemli bir farklılık olmadığını göstermiştir. Öncelikle Galveston Koyu kronik olarak petrol kirliliğine maruz kaldığı için, buradaki yerli popülasyonun zaten petrole degradasyonuna önceden adapte olmuş olması nedeniyle bu bölgeye yeni organizma eklemenin gerekliliği sorgulamaya açıktır. Ayrıca genelde biyodegradasyon, petrol dökülmesinden günlerce ve hatta haftalarca sonra başladığı için 48 saat biyodegradasyondaki artışı gözlemlemek için yeterli bir süre olmayabilir. Üçüncü olarak mikrobiyal ürünlerle gübrenin biyodegradasyona etkisini birbirinden ayırmak mümkün değildir [18].

Açık deniz koşulları 1970'lerin başında yapılmış olan çalışmalarda büyük tankların kullanılması ile laboratuvar ortamında modellenmiştir. Bu çalışmalar su yüzeyindeki petrol tabakasına biyoremediasyon uygulanılabileceğine işaret etmiştir. Ancak hala biyoremediasyonun (mikrobiyal ve/veya gübreleme) açık deniz koşullarında değerlendirilmesini sağlayabilecek bir çalışma gerçekleştirilememiştir. Biyoremediasyon, genellikle petrol dökülmesinin ardından günlerce hata haftalarca süre geçtikten sonra başlamaktadır, bu da biyoremediasyonun su yüzeyindeki tabakada çalışıp çalışmayacağının sorgulanmasına neden olmaktadır. Sudaki biyoremediasyonun yüzeyde gerçekleşeceği düşünülmektedir. Bu nedenle uygulanan herhangi bir ürün ara yüzeyde kalabilmeli ve tabaka hareketlerini takip edebilmelidir. Biyoremediasyonun açık suda başarılı olabilmesi için nutrient ya da ürün petrol tabakası ile bir süre kalmalı ve mikroplar ortama uyum sağlayıp petrolü degrade etmeye başlayabilmelidir. Öyleki, biyoremediasyon ürünü petrolün uçucu fraksiyonları buharlaşıp kaybolana kadar aktif durumda olmalı, daha sonra havalanma nedeni ile biyodegradasyona karşı daha dirençli bileşikler ortaya çıkmadan biyoremediasyon başlamalıdır. Ayrıca sahillerdeki gübreleme ve mikrobiyal ürün uygulamalarının potansiyel zehirliliği ile ilgili kaygılar açık denizdeki uygulamalarında da geçerlidir.

Açık denizdeki seyreltme faktörü elbette daha fazla olacaktır, bu da zehirlilik etkisini azaltacaktır. Ayrıca görüntülemeye, inceleme ve ölçüm yapmada, anlamlı data elde edebilmek için örnek toplamada oldukça ciddi sorunlar yaşanacaktır [18].

Herhangi bir biyoremediasyon tekniğine karar verilmeden önce ortamın özellikleri iyice tanımlanmalı ve burada doğal yollarla biyodegradasyonun ne oranda gerçekleştiği araştırılmalıdır. Petrol degradasyonunun düşük oranlarda gerçekleşmesine neden olan bir çok sebep 1960'larda ZoBell tarafından yapılan çalışmaların sonucunda açıklanmıştır. Bu sebeplere örnek olarak petrolün kimi bileşenlerinin zehirliliği, ortamdaki düşük mikroorganizma sayısı, yetersiz çözünmüş oksijen, ortam ısının uygun olmayışı, yetersiz su-petrol ara yüzeyi ve besleyicilerin kısıtlı oluşu verilebilir [20].

Atlas R. ve Bartha R. tarafından daha sonra yapılan ilk çalışmalarda da bu faktörlerin biyodegradasyona etkisi incelenmiştir. Gemi kazalarının gerçekleşme olasılığının yüksek olduğu, petrolün giderilmesi için diğer metotların kullanılamayacağı buz ile kaplı sularda ve sıfır dereceye yakın sıcaklıklardaki denizlerde petrolün biyodegradasyonunun ihmal edilebilecek düzeyde olduğu düşüncesi ile Atlas ve Bartha New Jersey sahil suları ile bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışma çerçevesinde ham petrolün yerel bakteriler tarafından düşük ısıdaki biyodegradasyonunu incelemiştir. Deniz suyundan alınan örneklerle petrol uygulanmış ve bu örnekler 5 ila 20°C de inkübe edilmiştir. Bunun sonucunda düşük ısıların petrol biyodegradasyonunu yavaşlatmasının yanı sıra ölçülebilecek biyodegradasyonun başlamasını da geciktirdiği gözlenmiştir. Bu gecikme petrolün direk uygulanması yerine havalandırılmış örneğin kullanılması ile giderilebilmiştir. Bu durum petrolün düşük ısıda yavaş buharlaşan bazı uçucu bileşenlerinin biyodegradasyonu gerçekleştiren bakterilere engel olduğunu göstermektedir, bu nedenle biyodegradasyon gecikmektedir [21].

Aynı dönemde yine aynı yerden alınan örneklerle deniz suyunda petrolün mineralizasyonunda ve degradasyonunda besleyici olarak nitrojen ve fosforun etkisi de Atlas ve Bartha tarafından incelenmiştir. Bu çalışmada gaz-sıvı kromatografi tekniği, CO₂ tayini, artık madde ağırlığı yöntemleri kullanılarak hacimce %1 Petrol içeren deniz suyunda çeşitli incelemeler yapılmıştır. 18 günün sonunda herhangi bir işleme tabi tutulmamış deniz suyunda varolan petrolün sadece %3'ü biyodegrade ve

%1'i mineralize olurken tek başına nitrat (10^{-2} M) ve fosfat ($3,5 \times 10^{-4}$ M) eklemesinin küçük bir gelişmeye neden olduğu gözlenmiştir. Ancak birlikte uygulandıkları zaman %70 oranında biyodegradasyon ve %42 oranında mineralizasyon gerçekleştiği tespit edilmiştir [20]. Ayrıca New Jersey sahil sularından izole edilen iki bakteri türünün petrolü degrade etme kapasitelerini de incelenmiştir. Bunun için *Flavobacterium* ve *Brevibacterium sp.* izole edilmiştir. Petrolün önemli bileşenleri gaz kromatografi ve kütle spektrumu ile belirlenmiştir. Öncelikle Toplam hidrokarbon biyodegradasyonu gözlenmiş, ek olarak da ham petroldeki CO₂ değişimi sürekli olarak görüntülenmiştir. Degradasyon 2 ila 4 günlük bir bekleme süresinin ardından başlamış ve iki hafta sonunda maksimuma ulaşmıştır. N-parafinlerin dallanmış zincirli hidrokarbonlara kıyasla daha fazla degrade olduğu gözlenmiştir. C₁₂ ve C₂₀ aralığında biyodegradasyon eş zamanlı gerçekleştiği tespit edilmiştir [22].

Hidrokarbon kullanma kabiliyetinin sadece seçilmiş bir grup bakteriye ait bir karakteristik özellik mi yoksa bütün mikroorganizmalarda varolan bir yetenek mi olduğu sorusu akla gelebilir. ZoBell tarafından 10'dan fazla bakteri, maya, ve fangi türünün hidrokarbonları mineralize etme yeteneğine sahip olduğu 1969'da söylenmiştir. Bu nedenle hidrokarbon kullanımının tüm bakterilerin ortak karakteristiği olduğunu söylemek mümkündür. Ancak her tür, belli tipte hidrokarbonu kullanabilmektedir. Örneğin *Methanomos methanoxidans* sadece metanı kullanırken, *Pseudomonas* cinsi geniş bir hidrokarbon kullanımı yelpazesine sahiptir, ama yine de ham petrol içersindeki tüm hidrokarbonları degrade edememektedir. Bu nedenle ham petrolün degradasyonu için tek bir tür yerine farklı türlerden bir grup mikroorganizma gerektirmektedir [23].

Exxon Valdez olayının neden olduğu petrol kirliliğinin giderilmesinde ilave yöntem olarak biyoremediasyonun kullanılması, bu teknolojinin pratik kullanımında karşılaşılabilecek problemler ve elde edilecek başarılar için iyi bir örnek oluşturmuştur. EPA bilim adamlarınca gerçekleştirilen saha çalışmalarıyla, Prince William Sound sahillerinde yerel mikro flora tarafından gerçekleştirilen biyodegradasyon, petrol ile kirlenmiş sahilin yüzeyine gübreleme uygulaması ile hızlandırılmıştır. Bir çok gübre çeşidi denenmiş olmasına rağmen sadece *oleophilic* gübre uygulamalarının sonuçları açıklanmıştır. Hidrokarbon kompozisyonundaki değişiklikler ve birim sahil

maddesindeki mevcut petrol ağırlığının görüntülenmesiyle, gübre uygulaması ile gerçekleştirilen iyileştirme çalışmalarının, uygulama yapılmamış kontrol bölgelerine kıyasla biyodegradasyonu yaklaşık iki kat arttırdığı tespit edilmiştir. Laboratuvar çalışmaları *oleophilic* gübrelerin nutrient kaynağı olarak kullanılabilirliği ile ilgili sonuçlar vermiş olmasına rağmen, biyodegradasyonu hızlandırıp hızlandırmadığı tam olarak anlaşılamamıştır. Ancak Exxon Valdez olayı, büyük ölçekli uygulamalarda temizleme metodu olarak biyoremediasyonun kullanılabilirliğini desteklemiş, karşılaşılabilecek sorunlar hakkında önemli dersler vermiştir [24].

Ham petrolün deniz suyunda biyodegradasyon oranları ile ilgili yayılanmış makalelerin incelenmesi sonucunda, ham petrol biyodegradasyonun 0,01den 1 000 gC/m³-d'ye kadar geniş bir aralıkta tespit edildiği görülmüştür. Bu çalışmaların kimisi laboratuvarda gerçekleştirilirken, kimileri orta ölçekli deney ortamlarında, bazıları da sahada gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmalarında elde edilen sonuçlar, elde edilen en yüksek sonuçları oluştururken, saha çalışmaları ve orta ölçekli çalışmalar daha düşük oranlarda sonuçlar vermişlerdir. Laboratuvar çalışmalarının verileri degradasyonun petrol konsantrasyonuna birinci dereceden bağımlı olduğunu ve 20 °C'de yarılanma ömrünün iki ay olduğunu göstermektedir. Laboratuvar çalışmaları veri takımına hakim oluğu için elde edilen bu değerler ham petrol degradasyonun en üst sınırı olarak yorumlanabilir. Saha ve orta ölçekli çalışmalardan elde edilen veriler ise deniz ortamında gerçek ham petrol biyodegradasyonun 0,01 ila 0,3 gC/m³-d aralığında gerçekleştiğini göstermektedir. Bu sonuçlar laboratuvar çalışmaları ile gerçek sonuçlar arasında en azından bir mertebelik fark olduğunu göstermektedir ve bu sonuçlar arasındaki boşluğun giderilmesi için daha ileri çalışmalar yapılması gerektiğine işaret etmektedir. Ayrıca gübreleme uygulamasının yapıldığı kontrollü orta ölçekli alan çalışmalarının gerçek saha çalışmalarına daha yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir [25].

1994 yazında Delaware'de gerçekleştirilen bir saha çalışmasında belirli noktalar kasıtlı olarak hafif ham petrole maruz bırakılmıştır. Bu çalışmayla inorganik mineral nutrientlerin ve/veya mikrobiyal aşılamanın ham petrol ile kirlenmiş kumsalda petrolün biyodegradasyonunu arttırıp arttırmadığına dair inanılır istatistiki verilerin elde edilmesi amaçlanmıştır. Nutrientsiz kontrol, suda çözünebilir nutrient uygulaması ve suda çözünebilir nutrient ile bölgeden mikrobiyal aşının uygulanması

olmak üzere üç tip inceleme gerçekleştirilmiştir. Her ne kadar iyileştirme yapılmayan kontrol bölgelerinde de önemli derecede biyodegradasyon gözlenmiş olsa da toplam alkan ve toplam aromatik hidrokarbon oranları iyileştirme yapılmış bölgeler ve yapılmamış bölgeler arasında büyük farklılık göstermektedir. Bununla birlikte sadece nutrient uygulaması yapılan bölgeler ile nutrient ve mikrobiyal aşılamanın yapıldığı bölgelerde önemli bir farklılık tespit edilmemiştir. Buradan, nutrient uygulamasının biyodegradasyonu arttırdığı tespit edilmesine rağmen, başlangıçtaki nutrient seviyeleri yüksek ortamlara, dışardan tekrar nutrient eklenmesi uygun olmayacağı sonucu çıkartılmaktadır [26].

Gelgit bölgelerindeki sedimentlerden izole edilmiş deniz bakterilerinin biyodegradasyon potansiyelleri ve hidrokarbonlar üzerindeki büyümeleri Cubitto ve Cabezali tarafından yapılan bir çalışma ile incelenmiştir. Biyodegradasyon deneyleri, karbon ve enerji kaynağı olarak sadece ham petrolün kullanıldığı yarı-sürekli kültür şartlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma için bu ortama bakteri türünün kültüründen 1 ml aşılanmıştır. İki aşılanmış tüp ve iki kontrol tüpü gaz kromatografi analizi için 3, 7, 15 ve 30 boyunca tutulmuştur ve degradasyon sürdükçe *n*- ve *isoalkanlarda* moleküler ağırlıklarıyla ters orantılı olan artan bir azalma görülmüştür. 30 günün sonunda *n-alkanların* %90ı degrade edilmiştir. *Pristane* ve *phitane* gibi *isoprenoidlerin* ise *n-alkanlardan* daha düşük bir oranda asimile oldukları, ancak 30 günün sonunda bunların % 65 inin degrade olduğu tespit edilmiştir [27].

Antarktika bölgesinde ozon tabakasında meydana gelen delinmenin açıklanmasının hemen ardından başlayarak ilgiler güney yarımküredeki deniz ekosistemleri üzerine yoğunlaşmıştır. UV-B radyasyonu denizlerin 60-70 m derinliklerine kadar tespit edilirken, bu tip radyasyonun 20-30 m arasında biyolojik işlemlere engel olduğu kaydedilmiştir. Antarktika'nın yazları turizm amaçlı kullanımının artması ile tedarik ve balıkçılık gemilerince kullanılışındaki artan yoğunluk ise, bu bölgede meydana gelebilecek deniz kazalarının riskini arttırmaktadır. Bu nedenle Delille ve arkadaşları tarafından antarktik kıyılarındaki deniz suyunda ham petrol ve dizel petrolün degradasyonununa güneş ışığının etkileri araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında güneş ışığının etkilerinin belirlenmesi amacı ile birisi güneşe karşı örtülü olmak üzere orta ölçekli iki deney seti kurulmuştur. Günlük numune alımı ile toplam bakteri miktarı, ortalama hücre hacmi, çürükçül ve hidrokarbon kullanan bakteri toplulukları

incelenmiştir. Başlangıçta toplam kominitenin %0,001'ini oluşturan hidrokarbon kullanan bakterilerin miktarı ham petrol ile kirletildikten iki hafta sonra toplamın %80'ine çıktığı gözlenmiştir. Beş haftanın sonunda artan hidrokarbonların kimyasal analizleri de bu hidrokarbon degradasyon potansiyelini doğrulamıştır. Güneş radyasyonunun ham petrol ile kirlenmiş deniz suyunda herhangi bir etkisi tespit edilememiş olmasına rağmen dizel petrol ile kirlenmiş yerlerde zehirlilik etkisi açıkça belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmadan elde edilen sonuçlar bakteri topluluklarının başlangıçtaki durumlarının da biyodegradasyonda belirgin rol oynadığına işaret etmektedir. Güneş radyasyonuna karşı bazı yüzey bakteri toplulukları, daha dipte olanlara nazaran daha fazla direnç gösterdiği tespit edilmiştir [28].

Herhangi bir petrol veya zararlı maddenin kontrol dışı bir şekilde dökülmesi veya büyük bir felakete yol açması halinde hemen müdahale edebilmek amacı ile ABD'de "Ulusal Olasılık Planı" (National Contingency Plan - NPA) geliştirilmiştir. Bu planın bir parçası olarak petrol kirliliğine karşı farklı biyolojik iyileştirme maddelerini de içeren bir liste yayınlanmıştır. Bu listedeki 13 maddenin etkili olup olmadığına dair 28 günlük bir laboratuvar çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu 13 adet ürünün 12 adedi biyolojik çoğaltma yöntemini temel alan ürünlerken bir tanesi biyolojik hızlandırma yöntemini temel almıştır. Ürünlerin etkisinin yanı sıra, üreticilerin belirttikleri derişimlerdeki zehirlilikleri de incelenmiştir. Bu ürünlerin etkisi toplam doymuş petrol hidrokarbonları (total saturated petroleum hydrocarbons-TsPH) ve toplam aromatik petrol hidrokarbonları (total aromatic petroleum hydrocarbons-TarPH) açısından incelenmiştir. Bu çalışmanın sonunda bu tür ürünlerin petrol degradasyonunu olumlu bir biçimde arttırdığını göstermiştir. Ancak 13 ürünün üçünün petrol degradasyonunun doğal olarak gerçekleşene göre oldukça fazla arttırdığı görülmüştür. Bazı ürünlerle toplam doymuş hidrokarbonların %61'nin aromatiklerin ise %41'inin azaldığı tespit edilmiştir. Genellikle doymuş olan hidrokarbonların aromatlara nazaran daha kolay degrade edildiği gözlenmiştir. Bu üç üründen sadece biri kontrol deneylerindeki derişimin daha altındaki derişimlerde zehirlilik göstermiştir [29].

Hindistan'da hükümetin genetik bilimi ile geliştirilmiş mikroorganizmaların kullanımının kısıtlanması ve mikrobiyal genomun (DNA'da bulunan genlerin tümü)

her türlü iklim şartında kirleticilerin tamamını parçalamasının mümkün olmaması nedeni ile, saha çalışmalarında doğal olarak adapte edilmiş mikropların ortama ekilmesi biyoremediasyon için önemli bir yaklaşım olarak kabul görmektedir. Bu yaklaşım doğrultusunda Hindistan Tamilnadu'da BHEL'e (Baharat Heavy Electrical LTD.) ait petrol ile kirlenmiş bölgeden doğal olarak adapte olmuş *Pseudomonas putida* Raghavan ve Vivekand tarafından izole edilmiştir. Daha sonra bu saf kültür toprak iyileştirmesi için ortama çeşitli eşzamanlı yöntemlerle uygulanmıştır. Petrol, petrol artı bakteri, petrol artı gübre, petrol artı bakteri ve gübre uygulamaları sahada tekrarlanarak toplam bakteri sayısı ve ham petrolün degradasyonu gözlenmiştir. Petrol artı bakteri ve gübre uygulanan bölgede toplam bakteri sayısında ve petrolün degradasyon oranında artış gözlenmiştir. Bu aynı zamanda gübrenin degradasyon oranını arttıran mikropların çoğalmalarını hızlandığını göstermiştir. Bu çalışma doğal olarak adapte edilmiş mikroorganizmaların açık ortamlardaki petrol kirliliğinin giderilmesinde önemli bir yöntem olduğunu göstermektedir [30].

Tuzlu ortamlarda petrolün biyolojik olarak giderimi konusunda çalışma yapan Yang ve arkadaşları laboratuvar ölçekli bir biyolojik iyileştirme reaktörü kullanmışlardır. Bu reaktörle biyodegrade olabilen kimyasal dispersantlar ve inorganik nutrientlerle karıştırılmış ve dizel petrol ile kirlenmiş deniz suyunun arıtılabilirliği incelenmiştir. Bu çalışmanın sonunda oksijen ve nutrient desteğinin yeterli olduğu durumlarda 1000 mg TOC/l dizel derişimine kadar olan deniz suyunun iyileştirilebileceği sonucuna varılmıştır [31].

Delille D. ve Delille B. Tarafından gerçekleştirilen bir çalışma ile gelgit bölgelerindeki bakterilerin petrol kirliliğine verdikleri tepkilerin anlaşılabilmesi için antarktikada dokuz farklı sahilden bulunan sedimentlerde çeşitli incelemeler yapılmıştır. Bölgenin çevresel koşullarına rağmen hidrokarbonları degrade etme kapasitesine sahip önemli sayıda bakteri gözlenmiştir. Daha önceden petrole maruz kalmamış bu çevrelere petrolün sunulması birkaç gün içinde bazı yerlerde hidrokarbon degradasyonunu gerçekleştirebilen bakteri sayısının bir çok merteye arttırırken iki yerde göze çarpan bir etkiye rastlanmamıştır. Bakteri topluluğunun içinde bulunduğu fiziksel ortamın, biyodegradasyon kapasiteleri üzerinde önemli rol oynadığı görülmüştür. Petrol kirlenmesinden 3 ay sonra hem kalan petrol derişimleri hem de biyodegradasyon indeksleri, farklı istasyonlar arasın da büyük değişiklik

göstermiştir. Öyle ki kimyasal ve biyolojik parametreler, farklı bölgelerin biyodegradasyon kapasitelerinde heterojenliğe neden olmuştur [32].

Ocak 1997’de Rus Tankeri Nakhodka’nın Japon Denizinde kırılıp batması ile, 5000 tonluk ham petrol denize dökülmüştür. Bu kaza Japon kıyılarında koyların, körfezlerin ve burunların girinti ve çıkıntıları nedeni ile 12 000 km uzunluğu bulan bir kıyı bölgesini etkilemiştir. Bunun üzerine 1997’de “Nakhodka’dan kaynaklanan Deniz Petrol Kirliliğinin Biyoremediasyon Araştırma Konsorsiyumu” adlı ortak bir araştırma grubu oluşturulmuştur. Bu grup Nakhodka’dan saçılan petrolün TerraZymeTM mikrop kültürleri (Oppenheimer Biotechnology, Inc.) ile biyoremediasyonun uygunluğunu bilimsel prosedür ve kanıtlarla kesinleştirmek üzere kurulmuştur. TerraZyme TM Nakhodka petrolünde yüksek bir biyodegradasyon potansiyeli göstermiştir. Üç haftalık araştırma süresinde 100 ml’ lik test örneklerinde başlangıçta bulunan 1000 ppm petrol derişiminin yaklaşık %35 lik bir kısmı degrade olmuştur. Biyodegradasyonun etkisi ham petrolde bulunan maddelerin en zoru olan asfalta kadar görülmüştür [33]. Petrolü degrade edebilen bakterilerin ekim kültürü olan TerraZymeTM’in su organizmaları için zehirliliğini tespit etmek için de bir dizi laboratuvar testi gerçekleştirilmiştir. Bu testlerin sonucunda bu maddenin su canlıları üzerinde herhangi bir olumsuz etkisi tespit edilememiştir [34]. Ayrıca sahildeki petrol kirliliğinin degradasyonunun TerraZymeTM sayesinde artıp artmadığı da sekiz hafta süren deneylerle incelenmiştir. Bunun için birbirine 40 m. uzaklıkta bulunan iki bölge tespit edilmiştir. Bu bölgelerden birisi iyileştirme çalışmaları için kullanılmış, diğeri ise herhangi bir iyileştirme yapılmadan kontrol için seçilmiştir. Her iki bölge de kaya ve betonlar petrol ile kirlenilerek hazırlanmıştır. Haftada bir üzerleri petrole kaplı kayaların ve betonların fotoğrafları çekilerek dijital analizleri yapılmıştır. Bu analizlerin sonunda TerraZymeTM’in kaya ve betonlar üzerindeki petrolün biyodegradasyonunu belirgin bir şekilde attırdığı tespit edilmiştir [35].

Biyoremediasyon tekniği olarak nutrient (N ve P) eklenmesinin Kuzey Atlantik’in batısında ılıman şartlardaki sahil şeridinde mevcut olan deniz mikrobiyal popülasyonunun üzerindeki etkisini incelemek amacı ile Wrabel ve Peckol tarafından bir laboratuvar çalışması yapılmıştır. Çeşitli derişimlerdeki No. 2 akar yakıtının makro alg olan *Fucus vesiculosus* üzerinde büyümeye etkisi incelenmiştir. Bir günlük uygulamanın sonunda en küçük derişimlerin bile büyümeye engel olduğu

tespit edilmiştir. Biyoremediasyon tekniği olarak nutrient eklenmesi ise makro alg büyüme oranlarına tesir etmeden petrolün *Fucus vesiculosus* üzerinde zehirlilik etkisini iyileştirmiştir. Gaz kromatografi incelemeleri nutrient açısından zenginleştirilmiş ortamlarda zenginleştirilmemiş ortamlara nazaran petrolün mikrobiyolojik parçalanmasının daha fazla olduğu göstermiştir. 18 günlük incelemenin ardından nutrientçe zenginleştirilmiş ve petrol eklenmiş deniz suyunda n-alkanlar tamamen giderilirken otoklavanmış deniz suyunda minimal degradasyon tespit edilmiştir [36].

Dalga hareketinin İran hafif ham petrolünün biyolojik degradasyonu üzerindeki etkisinin anlaşılması amacı ile farklı gübreler (F1,Nisan - Mayıs 1997;ve Inipol EAP 22, Haziran – Temmuz, 1997) kullanılarak Akdeniz sahilini temsilen iki farklı orta ölçekli deney yapılmıştır. Bu deneylerde yüksek dalgalı, alçak dalgalı ve dalgasız olmak üzere üç farklı dalga seviyesi gözlenmiştir. Bir aylık süreler boyunca doymuş hidrokarbonların yüzey sularındaki ve su altında kalmış sedimentlerdeki biyolojik bozunması izlenmiştir [37].

Su altındaki sedimentlerde her iki gübre için maksimum biyodegradasyon (%43-F1, %55-Inipol), alçak dalga halini izleyen yüksek dalgalı orta dereceli dalga hareketi olduğu zamanlar gözlenmiştir. Dalgasız durumlarda biyodegradasyon önemli düzeyde gerçekleşmemiştir. Ancak yüzeyde ise en yüksek biyodegradasyon dalgasız hali takip eden alçak dalga durumunda F1 uygulamasında tespit edilmiştir. Inipol uygulaması ise dalga hareketinin seviyesi ne olursa olsun yüzeyde biyodegradasyonun artmasını sağlayamamıştır. Sonuç olarak dalga hareketinin biyodegradasyona etkisi için şunlar söylenebilmektedir: orta dereceli dalga hareketi gelgit bölgelerindeki sedimentlerde hidrokarbon biyodegradasyonunu arttırmaktadır, ancak yüksek miktarlardaki karıştırma enerjisi sedimentlerde önemli bir etkiye neden olmazken deniz yüzeyindeki biyodegradasyonu engellemektedir [38].

Biyolojik degradasyona uğramış olan petrolün güneş ışınlarının radyasyonu sonucunda geçirdiği fizikokimyasal değişiklikler Maki ve arkadaşları tarafından araştırılmıştır. Çalışmalarında Hafif Arap petrolünü önce biyodegradasyona tabi tutmuşlar ardından bu petrolü deniz suyuna karıştırarak haftalarca güneş ışınlarının radyasyonuna maruz bırakmışlardır. Daha sonra yaptıkları analizlerin sonucunda biyolojik degradasyonun ardından güneş ışınlarına maruz kalan petrolün

akromatikliğinin, güneş ışınlarına maruz kalmamış petrole kıyasla belirgin bir şekilde daha az olduğunu tespit etmişlerdir. Biyodegrade olmuş petrolün daha sonra foto-oksidasyon geçirmesi bu petrolün biyolojik uygunluğunu arttırmıştır. Önceden biyolojik olarak bozunmuş olan petrolün mikroplar tarafından karbon ve enerji kaynağı olarak kullanıldığı deniz sularından foto-oksidasyon geçirmemiş olanda mevcut olan mikropların büyüme oranları, en düşük seviyede çıkmıştır. Foto-oksidasyona maruz kalmış sulardaki mikropların büyüme oranları ise belirgin bir şekilde daha büyük çıkmıştır [39].

Petrol kirliliği ile mücadelede kimyasal dispersantlar oldukça etkili maddelerdir. Ancak kara vermeden önce uygulanacağı düşünülen bölgelerin koşulları altında (sıcaklık vb.) bu dispersantların fiziksel etkisi, dispersantın ve disperse olmuş petrolün deniz canlılarına zehirliliği, dispersantların dökülen petrol hidrokarbonlarının üzerindeki etkisi gibi bir çok etmenin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Exxon Valdez olayının ardından ilk 3,5 senede su kolonundaki ve sedimentteki disperse olmuş petrolün yaklaşık olarak %50'sinin biyodegrade olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle kimyasal dispersantlar ile yapılan iyileştirme çalışmalarının petrolün mikrobiyolojik degradasyonu üzerindeki etkilerinin bilinmesi, bu petrolün ortamdaki kalıcılığını tahmin edebilmek açısından önemlidir. Exxon Valdez kazasının ardından A.B.D. bu tip araştırmalara destek olmuştur. Bu sayede farklı tipte bir çok dispersantın (Coretix 9527, Coretix 7664, Finasol OSR-5, Inipol IPF, Igepal CO-630) biyodegradasyon üzerindeki etkisi bilim adamlarınca incelenmiştir. Sonuçlar kullanılan dispersanta göre farklılık göstermiştir. Bazı dispersantlar petrolün biyodegradasyonunu arttırırken, bazıları azaltmıştır. Sonuçlar ayrıca test edilen hidrokarbon fraksiyonuna bağlı olarak da değişiklik göstermiştir. Örneğin besleyici rejimine bağlı olarak Coretix 9527'nin alkanları parçalayan mikropları, aromatikleri parçalayanlardan daha farklı etkilemiştir. Çalışmanın birinde dispersantlar *phenetrene* parçalayan mikroorganizmalar için zehirleyici iken, bir başka çalışmada dispersantlar biyolojik degradasyonu hızlandırmıştır [40].

Young-Sook OH ve çalışma arkadaşları tarafından yavaşça serbest kalan gübre uygulamasının ardından gelgit bölgelerindeki nutrient derişiminin tespit edilmesi ve bu nutrient derişiminin petrol biyodegradasyonu üzerindeki etkisini incelemek amacı ile küçük ölçekli deneysel bir çalışma yapılmıştır. *Pristan*, *pitan* ve *nor-hopan*

biyolojik gösterge olarak seçilerek petrolün biyodegradasyonu gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın sonunda yüksek dozda nutrient ıslahının petrol degradasyonunun başlangıç oranlarını arttırdığı tespit edilmiştir. Bu sayede petrolün temizlenmesi için gerekecek sürenin kısaltılabileceği düşünülmektedir. Özellikle nutrientlerin sınırlandırıcı etmen oldukları ortamlarda bu işlem oldukça etkili olabilecek bir yöntem olarak düşünülmektedir [41].

Petrol kirliliği kronikleşmiş olan sahil bölgelerinde hidrokarbonları degrade eden popülasyonların oldukça fazla olduğu tespit edilmektedir. Bu nedenle Mumbai bölgesinde hidrokarbon degrade eden bakteriler araştırılmış ve en büyük degradasyonu sağlayan mayalar tanımlanmıştır. Bu bölgeden alınan 20 deniz çamuru ve deniz suyu örneği analiz edilmiş ve toplam 17 bakteri ve maya türünün sağlanan ham petrolün %10'unundan fazlasını degrade edebildiği gözlenmiştir. Bu 17 türün on birini bakteriler oluştururken altısı mayadır. Mayaların gerçekleştirdiği biyolojik bozunmanın bakterilerinkine oranla daha baskın olduğu tespit edilmiştir. Çalışmaların sonucu olarak ham petrolün alifatik fraksiyonlarının degradasyonu için maya cinsinin oldukça önemli olduğu anlaşılmıştır. İzole edilmiş olan mayaların tümü *Candida* cinsine mensuptur: *Candida parapsilosis*, *Candida albicans*, *Candida guilliermondii*, *Candida tropicalis*, *Yarrowia lipolytica* ve *Candida intermedia*. Bunlardan *Y. lipolytica* Bombay ham petrolün alifatik fraksiyonlarının %78'ini degrade edebildiği, bununla birlikte bu organizmaların hiç birinin aromatik ve asfalt fraksiyonlarını degrade edemediği tespit edilmiştir. İzole edilen bütün türler optimum degradasyon için nitrojen, fosfat ve havalandırmaya gereksinim duymuştur. Ayrıca bu altı maya türünden dördünün insanlar için patojen olduğu bilinmektedir [42].

Biyodegradasyon konusunda son zamanlarda oldukça önemli bir gelişme olmuştur. Önceki çalışmalarda her ne kadar çok halkalı aromatik hidrokarbonların anaerobik koşullarda dayanıklı olduğu bulunmuş olsa da, San Diego Körfezinde bu konuda istisna teşkil edebilecek bir bölge bulunmuştur. Bu bölgede çok halkalı aromatik hidrokarbon olan *naftalin* ve *phenanthrene*'in sülfat indirgenmesi koşullarında okside olduğu gözlenmiştir. Bu sedimentler üzerinde gerçekleştirilen ileriiki incelemelerde ise *metilnaftalin*, *fluorene* ve *fluoranthene*'in de anaerobik olarak karbon dioksit okside olabileceği gözlenirken, *pyrene* ve *benzo(a) pyrene*'in okside

olamadığı gözlenmiştir. *Naftalin* ile yapılan çalışmalar çok halkalı aromatik hidrokarbonların oksidasyonunun sulfata dayalı olduğuna işaret etmektedir. Bu sonuçlar geniş bir yelpazedeki hidrokarbon kirleticilerin sülfat indirgeme koşullarında hidrokarbonlarla kirlenmiş sedimentlerde degrade olabileceğini göstermektedir. Aynı zamanda bu sonuçlar, deniz dibinden alınan hidrokarbonla kirlenmiş sedimentlerin iyileştirme stratejisi olarak anaerobik koşullarda sülfat indirgemesi yapılabileceğini de göstermektedir [43].

5. MATERYAL VE METOT

Petrolün deniz ortamına girdikten sonra nasıl davranacağı ve ne gibi etkilerinin olacağını öngörebilmek için çeşitli modelleme çalışmaları yapılmaktadır. Bu modelleme çalışmaları sayesinde ekolojik risk tahminleri, potansiyel zararların büyüklükleri ve olasılıkları, bu zararlarının nelere mal olacağı ve bu gibi olaylara nasıl müdahale edilebileceği sorularına cevap alabilmek amaçlanmaktadır [44]. Ancak sanal ortamda gerçekleştirilen bu çalışmalar gerçek ortamdan elde edilen verilerin temel alınmasıyla mümkündür. Bu nedenle laboratuvar ve saha çalışmalarının artırılması, potansiyel olarak petrol kirliliğine açık bölgeler için yapılabilecek modelleme çalışmalarının verimini arttıracaktır. Böylece herhangi bir petrol kirlenmesi olayı henüz gerçekleşmeden olası durumlar önceden tahmin edilebilecek, çeşitli senaryolarla muhtemel bir petrol kirlenmesinde nasıl tedbirler alınacağı, ne gibi temizleme çalışmalarının yapılacağı önceden planlanabilecektir. Modelleme çalışmaları belli bir aşamadan sonra daha fazla deneysel çalışma yapılmasına belki de ihtiyaç bırakmayacaktır. Bu aşamaya kadar bölgenin özelliklerinin iyice tanımlanması gerekmektedir. Ayrıca laboratuvar çalışmalarının sonuçları model oluşturulduğunda da, modelin kontrolü için geri besleme ünitesi olarak işlev görecektir.

Petrolün deniz ortamında doğal yollarla biyolojik parçalanma oranları büyük miktarlardaki petrol dökülmelerinde, genellikle petrolün temizlenmesi için gerekenden daha düşüktür. Bu durum, petrolün özelliklerinin yanı sıra çevresel şartlardan da kaynaklanmaktadır. Önceki bölümlerde de değinildiği gibi en önemli çevresel kısıtlayıcılar ortamda mevcut olan çözünmüş oksijen miktarı, fosfat ve nitrojen kökenli besinler, tuzluluk ve sıcaklıktır.

İstanbul Boğazı da büyük bir kısmını tankerlerin oluşturduğu sıra dışı trafiği ve bu trafiği zorlaştıran özellikleri (morfolojik, oseanografik ve meteorolojik) nedeni ile her an büyük bir felaketle karşı karşıya kalma riskine sahiptir. Bütün bunlar göz önünde bulundurulduğunda İstanbul Boğazında gerçekleşebilecek bir kazanın

ardından, “Boğazın yerel mikrobiyolojik toplulukları bu kaza sonucu ortaya çıkabilecek petrol kirliliğine nasıl cevap verebilir ve bu süreç nasıl ivmelendirilebilir” sorularına cevap bulmak amacıyla bu çalışma kapsamında laboratuvar şartlarında bir dizi deney gerçekleştirilmiştir.

İstanbul Boğazının her iki yakasının da yerleşim alanı olarak kullanılması ve boğaz boyunca denize farklı noktalardan çeşitli deşarjlar yapılması buradaki deniz suyu özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Özellikle mikroorganizmaların çoğu için uygun ortam olan düşük tuzluluktaki birçok akarsu Boğaz’ a dökülmektedir. Bu akarsularla ve diğer deşarjlarla boğaza taşınan özellikle evsel atıklar ortamın fosfor ve nitrojen kökenli besleyicilerini arttırmaktadır. Biyodegradasyonu etkileyen en önemli parametrelerden bir başkası olan tuzluluk, İstanbul Boğazı’nda genellikle ‰ 17-18 arasında bir değerle ‰ 30-35 olan ortalama deniz tuzluluğu değerinin çok altındadır [45]. Ayrıca biyodegradasyon oranlarının yüksek olduğu bölgelerin genellikle ılıman iklimin hakim olduğu yerler olduğu bilinmektedir. Bu açılarından Boğazın çevresel şartlarının biyodegradasyon için uygun bir ortam sağladığı düşünülmektedir.

Bu çalışmada tuzluluk ve sıcaklık gibi doğal parametrelerin İstanbul Boğazında petrolün biyolojik parçalanmasına etkisi laboratuvar şartlarında incelenmiştir Bunun için Boğazın en korunaklı yerlerinden olan İstinye Koyu pilot bölge olarak seçilmiştir. Yakın zamana kadar tersane olarak kullanılan bu koy, günümüzde yat limanı olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle buradaki mikrobiyolojik toplulukların petrol ve türevlerine alışmış oldukları düşünülmektedir. Ayrıca bu bölgeye yapılan kentsel deşarjlar, Boğazın genelinde olduğu gibi, deniz suyunun kalitesini değiştirmektedir. Boğazdan farklı olarak burada Boğazın üst ve alt akıntılarının etkisi düşüktür. Bu nedenle bu koy, akıntı ve dalga gibi hidrodinamik etkileri göz önünde bulundurmadan, deniz suyunun kalitesine bağlı olan tuzluluk, sıcaklık, CO_2 , mikrobiyolojik organizma sayısı gibi petrolün biyolojik bozunmasını etkileyen temel parametrelerin biyodegradasyon üzerindeki etkisinin incelenmesine izin vermiştir.

Bu çalışmada öncelikli olarak doğal parametrelerin laboratuvar şartlarında canlandırılması ile petrol ürünlerinden birisi olan motorinin mikrobiyolojik olarak parçalanmasını incelenmiştir. Genellikle yatlarda ve deniz otobüslerinde yakıt olarak

motorin (marine diesel oil) kullanılması, özelliklerinin tanımlanabilir olması (EK B1) ve kolay bulunabilirliği nedeni çalışmalarda motorin tercih edilmiştir. İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi İlham Artüz Deniz bilimleri Laboratuvarında gerçekleştirilen çalışmalarda laboratuvar ölçeğinde, ceket soğutma-ısıtma sistemli, 4,5 litre kapasiteli ve karıştırmalı bir pleksiglas reaktör (STR-Stirred tank reactor) kullanılmıştır. Deneyler iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada deniz suyunda motorinin biyolojik bozunması incelenmiştir. İkinci aşamada ise İstinye koyundan alınan dip çamuru örneği, oksijen kısıtlaması olmadan motorin ile beslenmiş ve çamurun içerisinde mevcut olan mikroorganizmalar motorine alıştırmıştır. Motorine alıştırılan mikroorganizmalarla STR reaktöründe kullanılan deniz suyu aşılansmış ve aşılansan deniz suyu örnekleri ile çalışmalar sürdürölmüştür.



Şekil 5.1 STR

Yapılan deneylerde göz önünde bulundurulanan parametreler tuzluluk, çözünmüş oksijen konsantrasyonu, sıcaklık, STR' ye verilen hava debisi, motorin miktarı, mikroorganizma sayısıdır.

Tuzluluk ölçümleri için “WTW Microprocessor Conductivity Meter LF 196” kullanılmıştır. Bu cihaz, cihaza bağlı olan elektrot sistemi sayesinde deniz suyunun tuzluluğunu, suyun iletkenliğine ve sıcaklığına bağlı olarak tayin etmektedir. İletkenlik ve sıcaklığın cihaz tarafından gerçekleştirilen çeşitli hesaplamalarla tuzluluk olarak ifade edilmesi, Büyük Britanya Ulusal Enstitüsü ve UNESCO tarafından hazırlanan “Uluslararası Oseanografik tablolar” aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Cihaz 0-35 °C arasındaki sıcaklıklarda ‰ 0-70 arasındaki tuzluluk değerlerini ölçebilmektedir. Tuzluluk değeri, elektrotun deniz suyuna doğrudan daldırılmasının ardından cihazın göstergesinden okunmaktadır [46].

Çözünmüş Oksijen ölçümleri için “WTW Microprocessor OXI 196” kullanılmıştır. Bu cihaz, cihaza bağlı olan bir membranla kaplı amperometrik elektrot sistemi sayesinde deniz suyunda mevcut çözünmüş oksijeni 800-1080 m bar arasındaki hava basıncı ve ‰ 0-40 tuzluluk için gerekli düzeltmeleri yaparak tayin etmektedir. Cihazın ölçüm yapabilmesi için gereken sıcaklık aralığı 0-35 °C'dir. Çözünmüş oksijen ölçümü, elektrotun deniz suyuna doğrudan daldırılmasının ardından cihazın göstergesinden okunmaktadır [47].

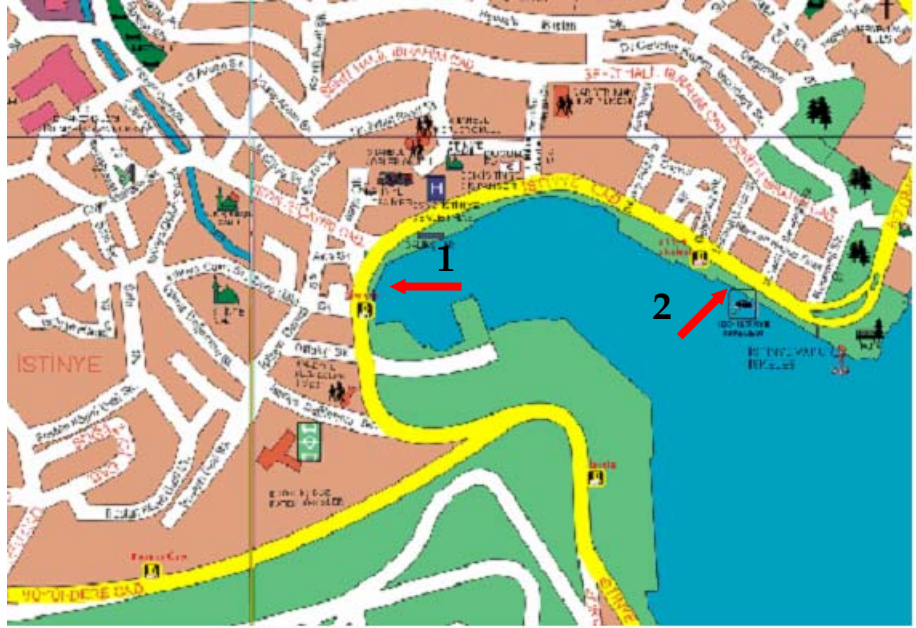
Sıcaklık ölçümü, çözünmüş oksijen veya tuzlulukla birlikte, bu parametreleri ölçen cihazlarla, veya cıvalı termometre ile yapılmıştır.

STR' ye verilen hava debisi “KOBOLT” marka debi ölçer ile kontrol edilmiştir.

Deniz suyundaki motorin miktarını ölçmek için “Infracal TOG/TPH Analyzer” kullanılmıştır. Bu cihaz, petrol ya da gres yağı hidrokarbonlarının uygun bir çözücü ve ekstraksiyon prosedürü ile sudan “ekstarkte” edilebileceği gerçeğinden faydalanarak ölçüm yapmaktadır. Cihazın üzerinde bulunan ölçüm yuvasında, kızıl ötesi ışınlar eliptik bir aynadan geçirilerek analitik ve referans dalga boyunu izole eden filtreler içeren algılayıcıya odaklanmaktadır. Ekstarkte ettiği hidrokarbonları içinde bulunduran çözücü cihaz için uygun olan kuartz küvete alınır ve bu yuvaya yerleştirilir. Deniz suyundan ekstrakte edilmiş olan hidrokarbonlar belirli bir dalga

boyundaki kızıl ötesi enerjiyi soğurabilmektedirler. Soğurulan bu enerjiyle, çözücü içinde mevcut olan hidrokarbon miktarı arasında doğru orantı vardır. Ekstrakte edilen motorin miktarı cihazın ekranından “ppm” olarak okunmaktadır. Bizim ölçümlerimizde çözücü olarak freon kullanılmıştır [48].

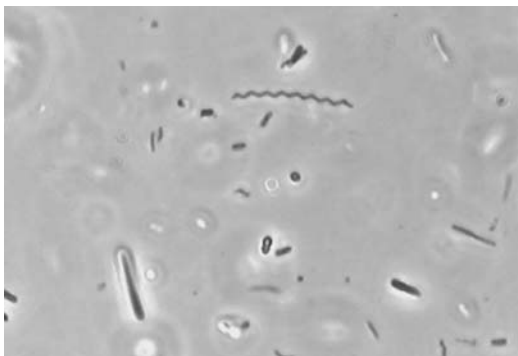
Toplam mikroorganizma sayısının belirlenmesi için karıştırmalı ekim yapılmıştır. Ekim için Difco’nun Endoagar’ı kullanılmıştır. Ortamdaki bakteri sayısının tespit edilebilmesi için ilk önce her bir numune ayrı ayrı seyreltilmiştir. Seyreltme için steril edilmiş destile su kullanılmıştır. Seyreltme işlemine 1 ml. numunenin 9 ml’lik steril su tüpüne eklenip karıştırılması ile başlanmıştır. Daha sonra toplam 10 ml olan bu sudan tekrar 1 ml alınıp başka bir 9 ml’ lik steril su tüpüne eklenip karıştırılması ile devam edilmiştir. Bu işlem yeterli seyreltme sağlanılana kadar devam ettirilmiştir. Son seyreltmeden sonra 1 ml.seyreltilmiş numune petri kapına enjekte edilerek üzerine petri kapının yüzeyini kaplayacak kadar sıvı besiyer ilave edilip karıştırılmıştır. Petri kabı besiyerinin donması için oda sıcaklığında bekletilmiştir. Besiyeri donduktan sonra petriler inkübasyon etüvüne alınmıştır. İnkübasyon için 30 °C’de 48 saat bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda petri kapının yüzeyinde oluşan koloniler sayılmıştır. Katı ortamda bakterilerin hareketi engellenmiş olduğundan, başlangıçtaki bir mikroorganizma çoğalarak koloni oluşturmuş, oluşan bu koloniler gözle görülebilecek hale gelmiştir. Elde edilen koloni sayısı, numunenin seyreltme miktarına göre hesaplanmış, başlangıçta numunede kaç mikroorganizma olduğu tespit edilmiştir [49].



Şekil 5.2 İstinye Koyu

Deniz suyunda motorinin biyolojik bozunması ile ilgili yapılan deneyler için laboratuvarında kullanılan deniz suyu örnekleri İstinye Koyu civarından alınmıştır. Örnek alım istasyonu Şekil 5,2’de gösterilen 2 numaralı istasyondur.

Mikrobiyolojik analizler için alınan numunelerin bir kısmı görüntü analizi için de kullanılmıştır. Görüntü analizleme yöntemi kullanılarak yapılan bu çalışmalarda koydaki mikroorganizma çeşitliliğine örnek olabilecek bazı görüntüler yakalanmıştır.



Şekil 5.3 İstinye Koyundan alınan numunelerde görüntülenenen mikroorganizmalar[50]

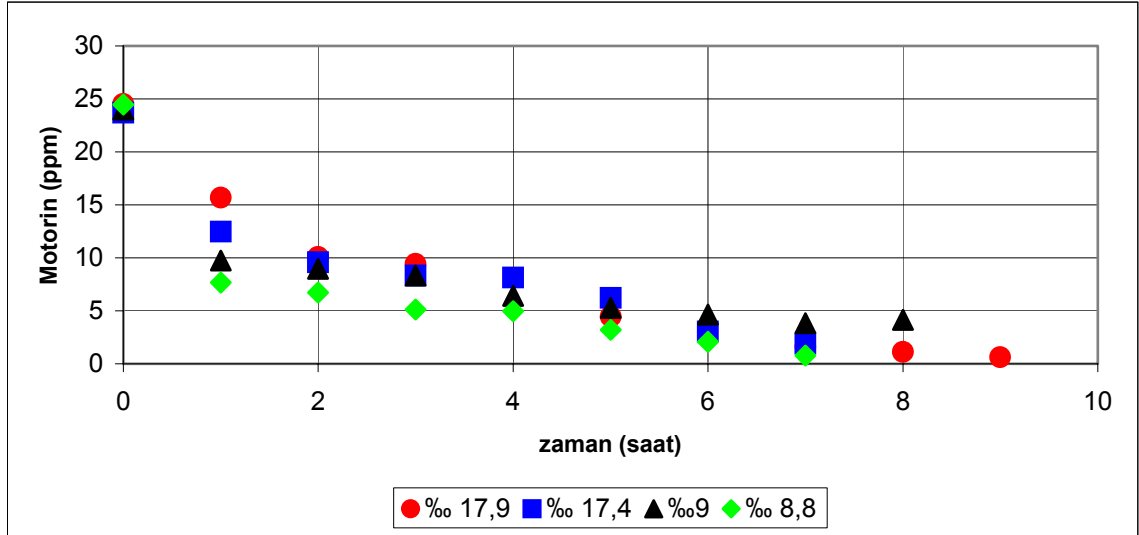
Şekil 5.3 İstinye koyundan alınan numunelerde görüntülenebilen mikroorganizma örneklerinden bir kısmını göstermektedir. Mikroorganizmaları görüntüleyebilmek için Olympus B201 model mikroskop, video kamera ve Digitrace yazılımlı görüntü analizleme sistemi kullanılmıştır

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

İstinye Koyundan alınan su numunelerine belli konsantrasyonlarda motorin ilave edilmiş ve sabit sıcaklıkta sürdürülen ilk deneylerde su numunelerinde bulunan doğal mikroorganizmaların (*autochthonous*) petrol ürünlerinden olan motorini mikrobiyolojik olarak parçalama kapasiteleri laboratuvar şartlarında kontrol edilmiştir.

İlk deneyler 18°C' sabit sıcaklık da ve farklı tuzluluk konsantrasyonlarında tekrar edilmiştir. Deneyler esnasında motorinin degradasyonu esnasında gerekli oksijen, reaktöre dışarıdan sürekli gönderilen 1,5 lt/dakika hava ile sağlanmıştır. Deniz suyu motorin kullanılarak sentetik olarak kirletilmiştir. Motorinin su yüzeyinde oluşturduğu tabakayı dağıtmak için, petrolün su kolonunda hareketini sağlayarak motorin molekülleri ile suyun temas yüzeyini artırabilmek ve motorinin reaktör içinde homojen bir şekilde yayılmasını sağlamak için reaktördeki deniz suyu reaktördeki karıştırıcı ile sürekli olarak karıştırılmıştır.

Motorin konsantrasyonu tekrarlanan her deney için başlangıçta 23-24 ppm.değerinden başlatılmıştır. Çözünmüş oksijen konsantrasyonunun kısıtlamasının önlenmesi için çözünmüş oksijen değerinin 4 mg/lt'den büyük olmasına dikkat edilmiştir. Şekil 6.1'de verilen grafik değişik tuzluklarda motorin konsantrasyonunun zamanla biyolojik olarak değişimini göstermektedir.



Şekil 6.1 Farklı tuzluluklarda yağ konsantrasyonunun zamanla değişimi

Tuzluluğun ‰ 9 olduğu deneysel çalışmanın başlangıcında ve sonunda yapılan mikrobiyolojik ekimlerin sonucunda mikroorganizma sayısı

$$t_0 \text{ için } n = 2 \times 10^5 / \text{ml}$$

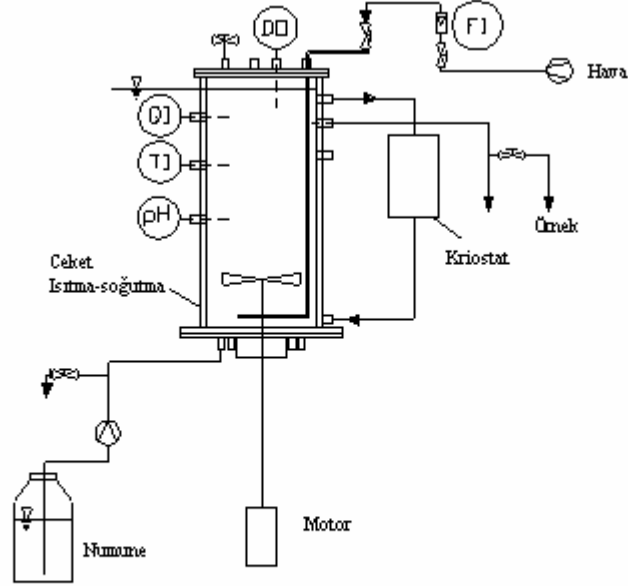
$$t_{\text{son}} \text{ için } n = 2,1 \times 10^6 / \text{ml}$$

olarak tespit edilmiştir. Mikroorganizma miktarındaki artış ortamdaki motorinin de mikroorganizmalar tarafından substrat olarak kullanıldığının bir göstergesidir.

Değişik tuzluluk konsantrasyonlarında yapılan bu deneyler ortamda yeterli oksijenin var olması halinde İstinye Koyu'ndaki mikroorganizmaların deniz suyundaki petrol ürünlerinden olan motorini parçalayabildiğini göstermektedir. İstinye koyundaki evsel kirliliğin taşıdığı mikroorganizmalar koyda bulunan yatların sintine suyu atıklarını temizleyebilecek kapasitededir. Şekil 6.1 incelendiğinde düşük konsantrasyonlardaki tuzluluk değerlerinde motorin parçalanma hızının yüksek olduğu görülmektedir.

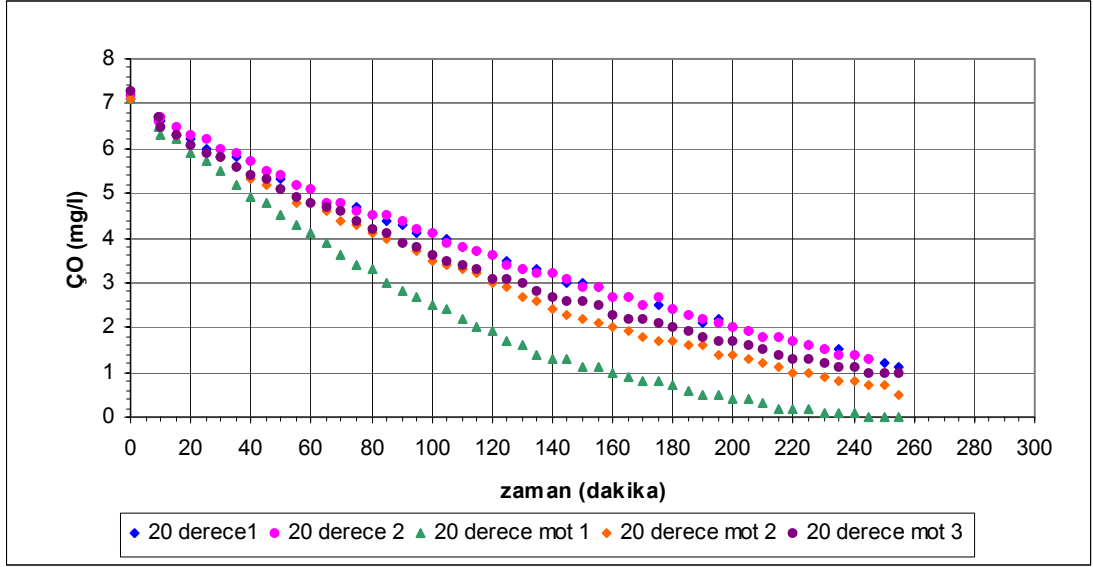
İkinci aşamada gerçekleştirilen deneylerde, İstinye koyundan dip çamuru örneği alınmış ve 0,5 lt hacimlik kesikli reaktörde bu çamura sürekli olarak 1,5 lt/dakika debi ile hava gönderilerek çamurun mikroorganizmalarca zenginleştirilmesine çalışılmıştır. Reaktördeki çamur gün aşırı bir damla motorin ile beslenerek çamurun içerisinde mevcut olan mikroorganizmalar motorine alıştırılmıştır. Motorine

alıştırılan mikroorganizmalarla STR reaktöründe kullanılan deniz suyu aşılانmıştır.
(Şekil 6.2)



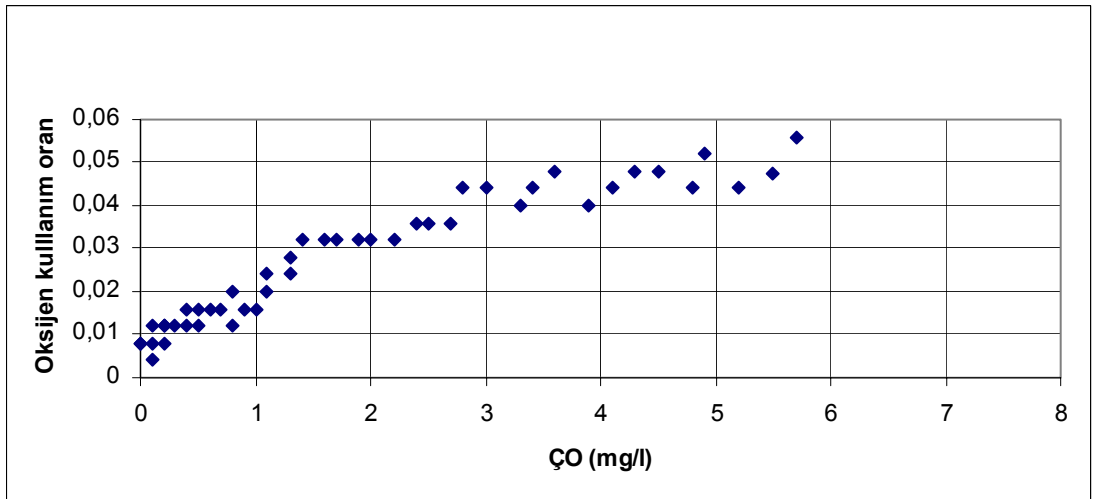
Şekil 6.2 STR Şematik çizim

15°C ve 20°C sabit sıcaklıklarda tekrarlanan deneylerle motorinin aşılانmış su numunelerindeki parçalanma hızı kontrol edilmiştir. Bu deneylerde reaktörün dış çeperindeki su sıcaklığı kriostat kullanılarak sabit tutulmuştur. Deneyler esnasında çözünmüş oksijen konsantrasyonu reaktöre bağlı WTW-oksijenmetre aracılığı ile sürekli ölçülmüştür. Oksijen tüketim hızının zamanla değişimi kontrol edilerek mikrobiyolojik bozunmanın seyri gözlenmiştir. (Şekil: 6.3 ve Şekil: 6.6)



Şekil 6.3 20°C de çözünmüş oksijen miktarının zamana göre değişimi

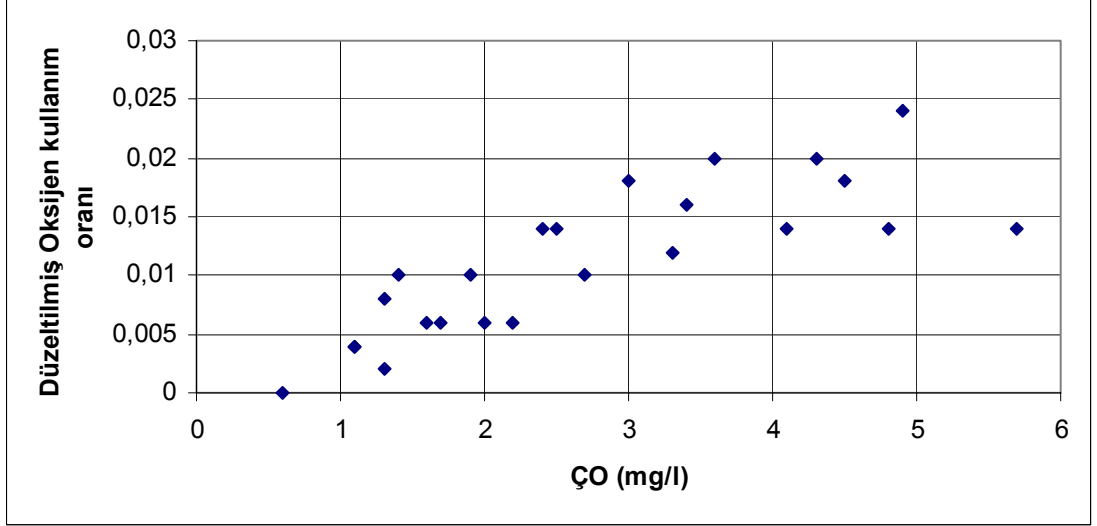
Oksijen konsantrasyonunun 7.5-8 mg/l olduğu saptanana kadar sisteme hava gönderilmiş, daha sonra hava kesilerek çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki azalma takip edilmiştir. Şekil 6.3' de 20°C de motorin ilave etmeden önceki ve motorin ilave ettikten sonraki çözünmüş oksijen konsantrasyonlarındaki değişim görülmektedir. Deney süresi yaklaşık 260 dakikadır. Aşağıdaki grafik ise (Şekil 6.4) çözünmüş oksijen konsantrasyonuna karşılık oksijen dönüşüm hızını göstermektedir.



Şekil 6.4 20°C de ÇO konsantrasyonuna karşılık oksijen dönüşümü

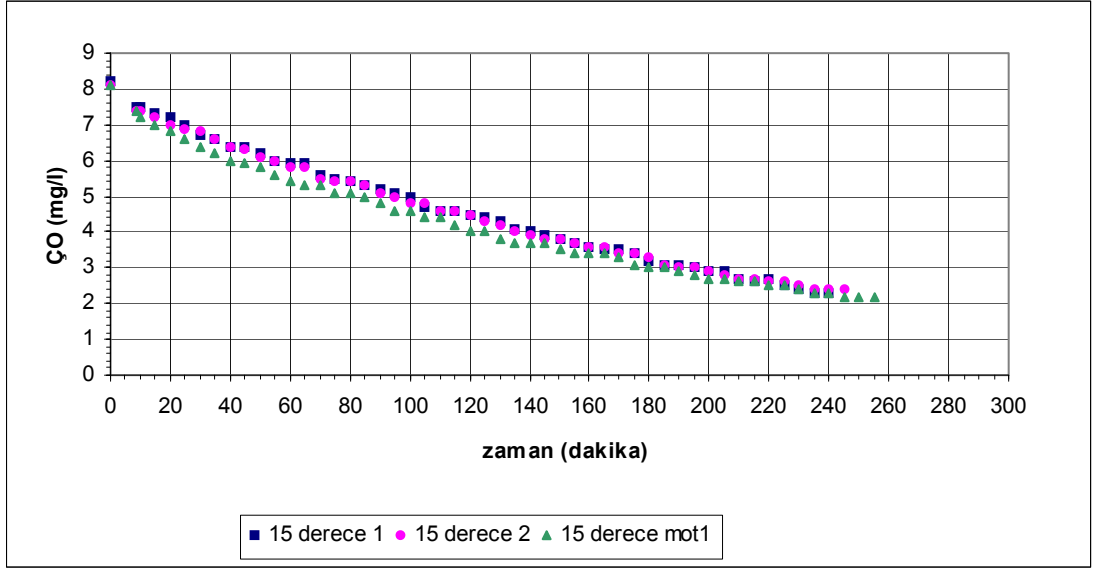
Motorin ilavesinin ardından gözlemlenen oksijen konsantrasyonu kullanım hızının, motorin ilavesi yapılmadan gözlemlenen oksijen konsantrasyonu kullanım

hızlarından çıkartılması ile elde edilen değerlerle çizilen grafik Şekil 6.5' de verilmiştir. Bu grafik, motorinin biyolojik giderim hızının oksijen konsantrasyonun 3.5 - 4 mg/ l ye düşmesine kadar mükemmel bir hızda ilerlediğini göstermektedir.

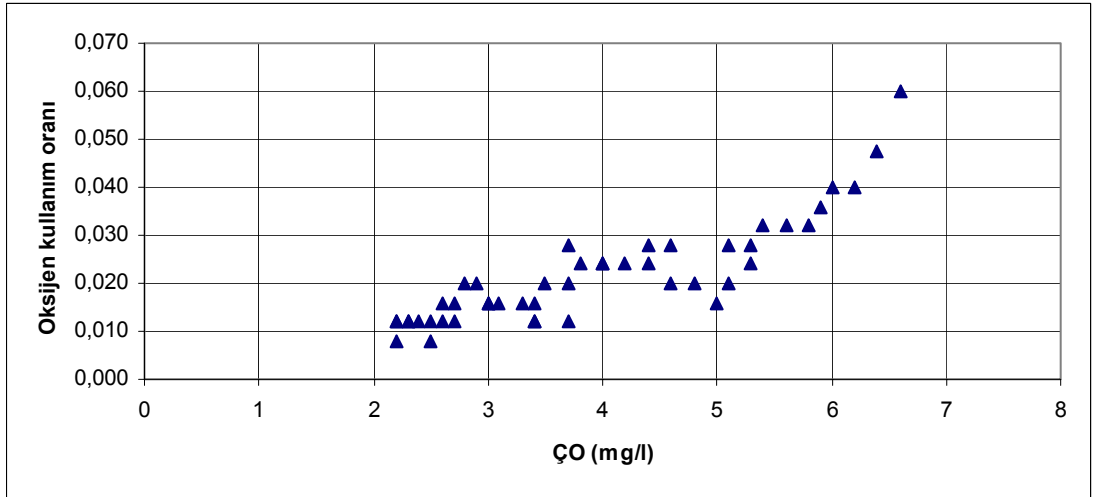


Şekil 6.5 20°C de ÇÖ konsantrasyonuna karşılık düzeltilmiş oksijen dönüşümü

15 °C'de tekrarlanan deneylerde başlangıçta çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 7,5-8 mg/l olduğu gözlenene kadar hava verilmiş, daha sonra hava kesilerek çözünmüş oksijen konsantrasyonundaki azalma gözlemlenmiştir. 15 °C motorin ilavesinden önce ve sonra tekrarlanan deneylerin sonuçları aşağıda (Şekil 6.6) verilmiştir. Bu grafikte de görüldüğü gibi 15 °C'de gerçekleştirilen deneylerde de motorin ilavesi ile oksijen kullanım hızı artmıştır. Şekil 6.7 ise 15 °C'de çözünmüş oksijen konsantrasyonuna göre oksijen kullanım hızının göstermektedir.



Şekil 6.6 15°C de çözünmüş oksijen miktarının zamana göre değişimi



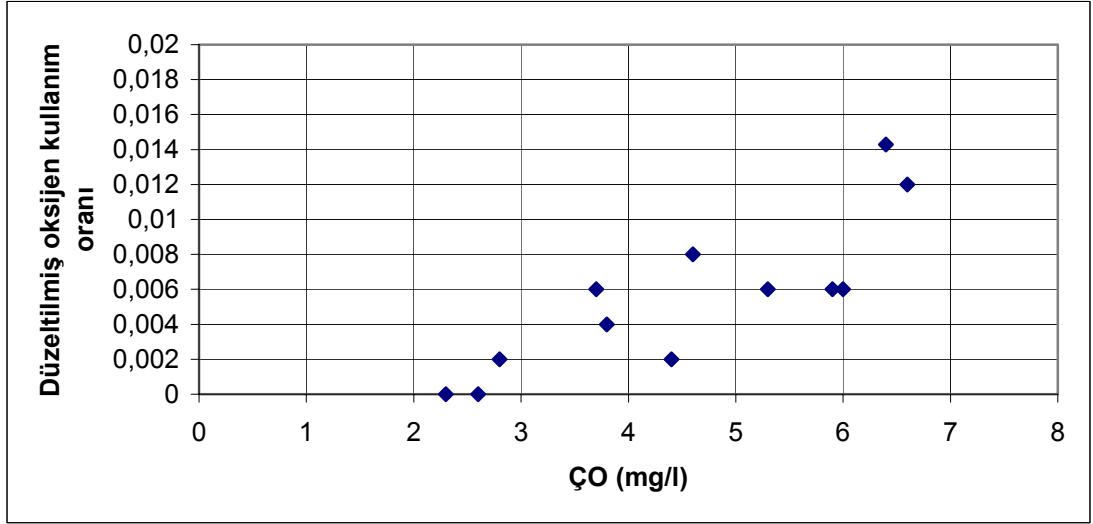
Şekil 6.7 15°C de ÇO konsantrasyonuna karşılık oksijen kullanım hızı

Motorinli ortamdaki oksijen kullanım hızından motorinsiz deneylerden elde edilen oksijen kullanım hızı çıkartılınca düzeltilmiş oksijen kullanım hızlarını veren grafik Şekil 6.8'de gösterilmektedir. Bu grafik çözünmüş oksijen konsantrasyonunun 4 mg/l'den düşük olduğu bölgelerde oksijen kullanım hızının azalmakta olduğunu göstermektedir.

(Oksijen Kullanım Hızı)_{düzeltilmiş} =

(Oksijen kullanım hızı)_{Motorin ilaveli su} - (Oksijen kullanım hızı)_{Motorin ilavesiz su}

(Oksijen Kullanım Hızı)_{düzeltilmiş} = $(\Delta\text{ÇO} / \Delta t)_{\text{Motorin ilaveli su}} - (\Delta\text{ÇO} / \Delta t)_{\text{Motorin ilavesiz su}}$



Şekil 6.8 15°C de ÇO konsantrasyonuna karşılık düzeltilmiş oksijen kullanım hızı

Deney serileri tamamlandıktan sonra Boğaz suyu tuzluluğunda bir sentetik su hazırlanmış, 15 °C’de ve 20 °C’de çalışılan deneylerdeki motorin miktarı kadar motorinle kirletilmiştir. Ortamda mikroorganizma bulunmadığından, sadece çalışılan sıcaklıklar sabit tutulmuş ve karıştırıcı sürekli çalıştırılmıştır. Diğer deneylerin süresine sadık kalınarak yapılan bu araştırma sonucunda motorin konsantrasyonunda deney tamamlandıktan sonra da bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir. Bu sonuçlar motorin konsantrasyonunun reaktör çeperlerine yapışarak herhangi bir azalmaya maruz kalmadığını göstermektedir.

15 °C’de ve 20 °C’de gerçekleştirilen deneylerin sonuçları, motorinin deniz suyu ortamında doğal mikroorganizmalarla bozunmasının her iki sıcaklıkta da mümkün olduğunu göstermektedir.

15 °C’de ve 20 °C’deki sonuçlar karşılaştırıldığında, biyolojik bozunma için 20°C’ de elde edilen dataların 15°C’ ye kıyasla daha kararlı olduğu gözlenmektedir.

Sonuç olarak Boğaz da araştırmalarımız için pilot bölge olarak seçilen İstinye Koyundan alınan deniz suyu örnekleri ile yapılan deneyler, ortamdaki oksijen konsantrasyonu yeterli ise, alınan su numunelerindeki doğal mikroorganizmaların (*autochthonous*) petrol ürünü maddelerden olan motorini mikrobiyolojik olarak parçalayabildiklerini göstermektedir.

İstinye koyundaki evsel kirlilik nedeni oldukça çok oldukları tespit edilen mikroorganizmalar koyda bulunan yatların sintine suyu atıklarını temizleyebilecek

kapasitededir. Koydaki mikroorganizmaların motorini düşük tuzluluk değerlerinde daha hızlı indirgediği gözlenmiştir.

Sıcaklığın mikrobiyolojik bozunmaya etkisinin incelendiği deneylerden elde edilen sonuçlar, farklı sıcaklıklarda da biyolojik bozunmanın gerçekleştiğini göstermektedir. Bununla birlikte düşük sıcaklıklarda mikrobiyolojik bozunma hızının düştüğünü tespit edilmiştir.

Petrol ürünü maddelerin deniz ortamına girdikten sonra nasıl davranacağı ve ne gibi etkilerinin olacağını öngörebilmek için son yıllarda yaygın bir şekilde modelleme çalışmaları yapılmaktadır. Bu modelleme çalışmaları sayesinde ekolojik risk tahminleri, potansiyel zararların büyüklükleri ve olasılıkları, bu zararlarının nelere mal olacağı ve bu gibi olaylara nasıl müdahale edilebileceği sorularına cevap alabilmek amaçlanmaktadır. Ancak sanal ortamda gerçekleştirilen bu çalışmalar gerçek ortamdan elde edilen verilerin temel alınmasıyla mümkündür.

Laboratuvar ve saha çalışmalarının arttırılması, İstanbul boğazı örneğinde olduğu gibi potansiyel olarak petrol kirliliğine açık bölgeler için yapılabilecek modelleme çalışmalarının verimini arttıracaktır. Böylece herhangi bir petrol kirlenmesi olayı henüz gerçekleşmeden olası durumlar önceden tahmin edilebilecek, çeşitli senaryolarla muhtemel bir petrol kirlenmesinde nasıl tedbirler alınacağı, ne gibi temizleme çalışmalarının yapılacağı önceden planlanabilecektir. Laboratuvar çalışmalarının sonuçları simülasyon modelleri oluşturulduğunda da, modelin kontrolü için geri besleme ünitesi olarak işlev görecektir.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.petroileum.co.uk/> (10.01.2003)
- [2] <http://www.bp.com/centres/energy2002/> (20.01.2003)
- [3] <http://www.itopf.com/stats.html> (15.12.2002)
- [4] **Bartha, R.**, 1986, Biotechnology of petroleum pollutant biodegradation, *Microbial Ecology*, **12**, 155-17
- [5] **Tarchi, D.**, 1999, Oil Spill Statistics in the Mediterranean Sea, *Institute for the Protection and Security of the Citizen, Humanitarian Security Unit, European Commission*
- [6] **Kükner, A., Sarıöz, K., Narlı, E.**, 1999 İstanbul Boğazından Geçen Büyük gemilerin manevra Simülasyonu, *İTÜ Araştırma Projesi Fonu*
- [7] **Sarıöz, K., Kükner, A., Narlı, E.**, 1999, A real-time ship manoeuvring simulation study for the Strait of Istanbul (Bosporus), *The Journal of Navigation*, **52**, 394-410
- [8] www.eia.doe.gov/emeu/cabs/turkeny/html.mht (20.01.2003)
- [9] www.turkishpilots.org/NEWS/2001_01_27_New_York_Times_On_Bosporus/html.mht (10.01.2003)
- [10] **IMO**, 2002, Combating Oil Spills, *Manual on Oil Pollution*, **MEPC 48/6**
- [11] **National Research Council**, 2003, Oil in the sea III: Inputs Fates and Effects, pp. 107-202, *The National Academies Press*
- [12] <http://www.spec.bc.ca/spec/oilfreecoast/oilspills.htm> (17.01.2003)
- [13] **Atlas, R.M.**, 1981, Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: an environmental perspective, *Microbiological Reviews*, **45**, 180-209.
- [14] **Atlas, R.M.**, 1995, Petroleum Biodegradation and oil Spill Bioremediation, *Marine Pollution Bulletin*, **31**, 178-182.
- [15] **Atlas, R.M., Bartha, R.**, Hydrocarbon biodegradation and oil spill bioremediation, *Adv. Microbial Ecol.*, **12**, 287-388.
- [16] **Atlas, R.M.**, 1981, Microbial degradation of petroleum hydrocarbons: an Environmental Perspective, *Microbial Reviews*, **45**, 180-209

- [17] **Lee, K.**, 1999, In Situ Bioremediation of oiled shoreline environments, Opportunities for environmental applications in marine biotechnology: Proceedings of the October 5-6, 1999, Workshop, pp.44-60, *The National Academies Press*,
- [18] <http://response.restoration.noaa.gov> (22.12.2002)
- [19] **Atlas, R. M. , Cerniglia, C. E.**, 1995, Bioremediation of petroleum pollutants, *Bioscience*, **45**, 332-338.
- [20] **Atlas, R. M., Bartha, R.**, 1972 Degradation and mineralization of petroleum in seawater: Limitation by nitrogen and phosphorus, *Biotechnology and Bioengineering*, **14**, 309-318.
- [21] **Atlas, R. M., Bartha, R.**, 1972, Biodegradation of petroleum in seawater at low temperatures, *Canadian Journal of Microbiology*, **18**, 1851-1855.
- [21] **Atlas R. M., Bartha R.**, 1972 Degradation and mineralization of petroleum by two bacteria isolated from coastal waters, **14**, 297-308
- [23] **Brown, L. R.**, October 1987, Oil-degrading Microorganisms, *Chemical Engineering Progress*, 35-40.
- [24] **Pritchard, P. H., et.al.**, 1992, Oil spill bioremediation: experiences, lessons, and results from Exxon Valdez oil spill in Alaska, *Biodegradation*, **3**, 315-335.
- [25] **Stewart, P., S., Tedaldi, D., J., Lewis, A., R., Goldman, E.**, 1993, Biodegradation rates of crude oil in seawater, *Water Environ.*, **65**, 845-848
- [26] **Venosa, A. D., et. Al.**, 1996, Bioremediation of an Experimental Oil Spill on the Shoreline of Delaware Bay, *Environmental Science & Technology*, **30**, 1764-1775.
- [27] **Yonsel, F., Varlık, M.**, 2002, Deniz Ortamındaki Petrolün Biyolojik Yöntemlerle Uzaklaştırılması: Son 15 yıla ait literatür araştırması , Bitirme Çalışması, İTÜ. Gemi İnş. Ve Dnş. Bil. Fak., **YON 1028**, sayfa 21
- [28] **Delille, D., et al.**, 1998, Influence of Daylight on Potential Biodegradation of Diesel and Crude Oil in Antarctic Seawater, *Marine Environmental Research*, **45**, 249-258.
- [29] **Aldrett, S., et.al.**, 1997, Microbial Degradation of Crude Oil in Marine Environments Tested in a Flask Experiment, *Water Research*, **31**, 2840-2848
- [30] **Raghavan P.U.M, Vivekanandan M.**, 1999, Bioremediation of oil-spilled sites through seeding of naturally adapted *Pseudomonas putida*, **44**, 29-32.
- [31] **Yang L., Lai C-T.**, 2000, Biological treatment of mineral oil in salty environment, *Water Science & Technology*, **42**, 369-375.

- [32] **Delille D., Delille B.**, 2000, Field Observation on the variability of crude oil impact on indigenous hydrocarbon-degrading bacteria from sub-Antarctic sediment, *Marine Environmental Research*, **49**, 403-417,
- [33] **Hozumi, T., Tsutsumi, H., and Kono, M.**, 2000, Bioremediation on the Shore After an oil Spill from Nakhodka in the Sea of Japan. I. Chemistry and Characteristics of Heavy Oil Loaded on the Nakhodka and Biodegradation Agent with Microbiological Cultures in the Laboratory, *Marine Pollution Bulletin*, **40**, 308-314
- [34] **Tsutsumi, H., Hirota, Y., Hirashima, A.**, 2000, Bioremediation on the Shore after an oil Spill from Nakhodka in the Sea of Japan. II. Toxicity of a Bioremediation Agent with Microbiological Cultures in Aquatic Organisms, *Marine Pollution Bulletin*, **40**, 315-319.
- [35] **Tsutsumi, H., et al.**, 2000, Bioremediation on the Shore after an oil Spill from Nakhodka in the Sea of Japan. III. Field Test of a Bioremediation Agent with Microbiological Cultures for the Treatment of an oil spill, *Marine Pollution Bulletin*, **40**, 320-324,
- [36] **Wrabel M. L., Peckol P.**, 2000, Effects of bioremediation on toxicity and chemical composition of no. 2 Fuel Oil: Growth responses of the brown alga *Fucus vesiculosus*, *Marine Pollution Bulletin*, **40**, 135-139.
- [37] **Santas R. Santas P.**, 2000, Effects of wave action on the bioremediation of crude oil saturated hydrocarbon, *Marine Pollution Bulletin*, **40**, 434-439.
- [38] **Oh Y. S., Sim D. S., Kim S. J.**, 2001, Effects of Nutrients on Crude Oil Biodegradation in the Upper Intertidal Zone, *Marine Pollution Bulletin*, **42**, 1367-1372,
- [39] **Maki, H., Sasaki, T., Harayama, S.**, 2001, Photo-oxidation of Biodegraded Crude Oil and toxicity of the photo-oxidized products, *Chemosphere*, **44**, 1145-1151.
- [40] **Lindstrom J. E., Braddock J. F.**, 2002, Biodegradation of petroleum hydrocarbons at low temperature in the presence of the dispersant Corexit 9500, *Marine Pollution Bulletin*, **44**, 739-747.
- [41] **OH. Y.S., et. al.**, 2001, Effects of nutrients on Crude Oil Biodegradation in the upper Intertidal Zone, *Marine Pollution Bulletin*, **42**, 1367-1372
- [42] **Zinjarde S.S., Pant A.A.**, 2002, Hydrocarbon degraders from tropical marine environments, *Marine Pollution Bulletin*, **44**, 118-121.
- [43] **Coates J., D., Woodward J., Allen J., Philip P., Lovley D. R.**, 1997, Anaerobic Degradation of Polycyclic Aromatic hydrocarbons and Alkanes in Petroleum-Contaminated Marine Harbor Sediments, *Applied and Environmental Microbiology*, **63**, 3589-3593,

- [44] **French D., P.**, 1998, Evolution of oil trajectory, fate and impact assesment models, First international conference on oil and hydrocarbon spills, modelling, analysis and control-Oil Spill 98
- [45] **Yonsel F., Bilgin C.**, Biological oil degradation in marine Environment, ISWA Word Environment Congress & Exhibition İstanbul, Turkey, July 8-12, **2002**, Appropriate Environmental and solid waste management and technologies for developing countries, (Vol:3) , 2005-2010
- [46] WTW Microprocessor Conductivity Meter LF 196 Instruction Manuel, Wissenschaftlich-Technische Werkstaten G.M.B.H.
- [47] WTW Microprocessor OXI 196 Instruction Manuel, Wissenschaftlich-Technische Werkstaten G.M.B.H.
- [48] Infracal TOG/TPH Analyzer user's Guide, Wilks Enterprise Inc.
- [49] American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.18.th Edn. APHA Inc. Washington DC.,1992
- [50] **Yonsel F, Bilgin C, Gülşen C.**,İstinye Deresinin İstanbul Boğazına Taşıdığı Kirlilik. UKMK-IV Bildiri Kitabı 2. Cilt S, 769-774, 4-7 Eylül **2000**, İstanbul Üniversitesi Avcılar-İstanbul ISBN: 975-404-615-8

EK A1 İstanbul Boğazı'nda 1982-1994 yılları arasında meydana gelen kazalar

no	NAME/FLAG/CRT	TYPE- YEAR BUILT	DATE- TIME	POSI- TION	NATURE	REMARKS
1	Marimar/Sp/1189	G/C-1959	28.7.82	Salipazari	Fire	Whilst alongside Salipazari docks
2	MoleroM-1/Pa/3755	G/C	16.8.82	Yeniköy	Stranding	Damaged residence
3	*Lotru /Rm/15856 GeminiErre/It/1586	B/C-1976 Tanker	23.9.82 0045	Akinti Burnu	Collision	Improper navigation.Gemini Erre drifted to and sank in Marmara Sea due to ingress of water caused by collision.
4	Abdullatif/Cy/2080	G/C	14.11.82	Yeniköy	Ground- ing	
5	KonsomolesMoldavII/ USSR/S923	G/C-1971	12.12.82 2000	Kanlica	Stranding	
6	*DamodarTanabe/In/24573	B/C-1969	19.2.83	Arnavutköy	Stranding	Poor visibility,very strong current,damaged pier
7	Beykoz/Tr/512	F/B-1959	25.2.83	Bebek	Ground- ing	
8	Abidin Daver/Tr/4399	G/C-1960	4.3.83	Ahirkapi	Fire	Had fire in funnel at anchorage
9	Rabunion-3/Le/398	L/C-1961	9.3.83	Ahirkapi	Ground- ing	Reportedly grounding due to bad weather
10	Toroslar-1/Tr/484 fishing boat	Tanker/ 1951	18.4.83	Kizkulesi	Collision	Fishing boat sank
11	Hurriyet/Tr/894	G/C-1960	19.4.83	Hay- darpasha	Ground- ing	Collided with the submerged wreck of Independenta
12	Brainpower/Pa/12830	G/C-1969	27.4.83	Akinti Br.	Stranding	Vessel heavily stranded,vessel's bow and seaside road damaged
13	Göztepe/Tr/567 Engin/Tr	F/B-1911 Pass.Boat	13.5.83	Üsküdar	Collision	
14	Büyükdere/Tr/568 Aspendos 1/Tr/177	F/B-1948 M/Y-1963	11.8.83	Kabatas	Collision	
15	Atakoy/Tr/781	F/B-1961	20.8.83	Harem	Fire	Sabotage Life jackets at aft passenger saloon had fire and extinguished..
16	Necati Gürkaya/Tr/456	F/B-1977	21.8.83	Anadoluhisari	Stranding	Damaged Residence
17	*Federico- C/It/20416 Tellitabya/Tr/108	Passenger Tugboat	20.9.83	Karaköy	Capsizing	During berthing. T/B sank.
18	Mustafa Aydogdu/Tr/456	F/B-1981	20.9.83	Üsküdar	Fire	Sabotage .Crew extinguished
19	*Marimar/Sp/1189 Derya Ayanoglu/Tr/1968	G/C-1959 G/C-1966	30.11.83	Salipazari	Collision	Marimar struck D.Ayanoglu which was alongside.
20	Şehit Adem Yavuz/Tr/456	F/B-1976	8.1.84	Üsküdar	Fire	Sabotage. Whilst alongside.
21	*Aleksandra Kollontay/ USSR/S215 Hamdi Karahasan/Tr/456	Ref-1970 F/B-1980	28.2.84	Kizkulesi	Collision	
22	T.Bora/Tr		2.3.84	Kavak	Ground- ing	Poor visibility reported.



BACK



HOME



NEXT

EK A1 İstanbul Boğazı'nda 1982-1994 yılları arasında meydana gelen kazalar

no	NAME/FLAG/GRT	TYPE-YEAR BUILT	DATE-TIME	POSITION	NATURE	REMARKS
23	Salih Kaptan/Tr/1599	G/C-1980	28.6.84	Arnavutköy	Stranding	Due to rudder failure
24	Baraganul/Rm/38090	B/C-1982	28.7.84	Fenerbahçe	Grounding	
25	Oceanjoy/Ma/9069		2.9.84	Emirgan	Stranding	Damaged pier of residence
26	Mersin/Tr/11312	Tanker/1955	4.11.84	Umuryeri	Grounding	
27	Chakaloz/USSR/7653 Turhan Boray/Tr/2156	Tanker Tanker	9.11.84	Pasabahçe	Collision	Due to poor visibility CHAKALOV collided tanker T.BORAY which was moored to the buoys..
28	Buyuk Saban Reis/Tr/299 Zulfikar 2/Tr	G/C Fishing Boat	16.11.84	Rumelifeneri	Collision	Caused by the presence of fishing boats,fishing nets damaged..
29	*Pelikan/Cy/9549		3.1.85	Kabatas	Collision	Collided fishing nets,presence of fishing boats..
30	Ogosta/Bw/1585 Clabocet/Rm/2632	Tanker-1966 F/F-1974	5.1.85	Rumelifeneri	Collision	Poor visibility caused collision
31	Trautenbells/Cy/11254	G/C-1974	18.1.85	Umuryeri	Grounding	
32	Celiktrans 2/Tr/494	G/C-1967	27.1.85	Acar br.	Grounding	Poor visibility reported
33	*Stanislav Kasper/USSR/2484	G/C	7.2.85	Kabatas	Collision	Presence of fishing boats:fishing nets damaged..
34	Hamdi Karahasan/Tr/456	F/B-1980	14.2.85	Kanlica	Stranding	Striked residence while berthing
35	Caner Gönyeli/Tr/456	F/B-1977	18.2.85	Besiktas	Grounding	
36	Hu Ming 2/Pi/5970 Sükrü Deniz 2/Tr/397	B/C-1978 G/C	5.3.85	Büyükli-man	Collision	Reportedly,collision caused by poor visibility
37	Anadolukavagi/Tr/456	F/B-1980	5.3.85	Karaköy	Fire	Sabotage.Fire spread to F/B station.Vessel towed to Kizkulesi shoals and grounded.Heavy fire damage.Constructive total loss.
38	*Bibi quattro/It/12964 Komsomolskaya Slava/USSR/8874	Tanker G/C-1968	19.3.85	Büyükder-e	Collision	
39	Baltisky 13/USSR/1865	B/C-1963	20.3.85	Umuryeri	Grounding	Reportedly grounding caused by improper decision
40	Nikolay Semiplatinsic/USSR		8.4.85	Haydarpasha	Collision	Presence of fishing boats Fishing nets damaged.
41	Suadiye/Tr/589 Liman 6/Tr/231	F/B 1964 w/B 1951	6.7.85	Kizkulesi	Collision	

EK A1 İstanbul Boğazı'nda 1982-1994 yılları arasında meydana gelen kazalar

no	NAME/FLAG/GRT	TYPE-YEAR BUILT	DATE-TIME	POSITION	NATURE	REMARKS
42	Kapitan Pomin/ USSR/18965 Kartal 2/Tr	B/C-1977 C/L	21.7.85	Arnavutköy	Collision	(Kartal 2 was laying cable)
43	Enis Köse/Tr/498 Fishing Boat	B/C-1975	10.8.85	Kizkulesi	Collision	Fishing boat sank
44	Karadeniz/Tr/8809	P/V	23.8.85	Karaköy	Fire	Whilst alongside
45	Fulya/Tr	Small Boat	13.10.85	Kirecbur nu	Sank	
46	Cengelköy/Tr/515	F/B-1956	3.12.85	Anadoluhis-ari	Fire	Reportedly fire caused by electric short-circuit Partly damaged.
47	*Sagr Jizan/si/21754 Hüseyin Haki/Tr/1072	B/C 1973 F/B	26.12.85 0915	Kabatas	Collision	Poor visibility reported
48	*Meng Hai/RC/26982 *Flag Williams/Gz/16710	B/C-1985 B/C-1962	18.1.86 1700	Bebek	Collision	Poor visibility, snow storm reported
49	Atlantic Prosperity/Pa/14671	B/C-1970	29.1.86	Umuryeri	Ground-ing	
50	Esden/Tr/3306	Tanker/ 1974	8.2.86	Akinti Br.	Ground-ing	Poor visibility due to fog reported
51	Kota Gejati/Sg/9719	G/C- 1967	18.2.86	Dikilikaya	Ground-ing	Strong SW winds. Dikilikaya light was unlit.
52	*Gospic/Yu/22096	B/C-1977	6.3.86	Bebek	Stranding	Damaged sea-side road
53	*Nedi-1/Cy/39018 Cenk/Tr/9425	Tanker- 1974 G/C-1971	14.3.84 1000	Bebek	Hamper-ing/ Stranding	a)Northbound Nedi-1, encountered with very strong current at Kandilli could not turn to starboard and drifted mid-channel. b)Southbound Cenk, not to collide with Nedi-1, altered course to starboard and stranded in Bebek.
54	Bolshevik Karayev/USSR/3821	Tanker/ 1959	21.3.86	Yeniköy	Ground-ing	
55	*World Oak/HK/22148	B/C-1983	26.3.86	Beyler-beyi	Ground-ing	Reportedly grounding caused by rudder failure
56	Esden/Tr/3306 Kaptan Hilmi/Tr/395	Tanker/ 1974 G/C-1973	10.4.86 0745	Yeniköy	Collision	Poor visibility reported
57	Akkoç/Tr/490 Fishing Boat	G/C- 1976	30/6/86 2020	Anadolukav agi	Collision	Due to dense fishing boats
58	Nusret Atasoy/Tr/499 Fishing Boat	G/C- 1976	30.6.86	Kanlica	Collision	Due to dense fishing boats
59	*Parkhomenko/USSR/4059	Reff/ 1968	15.10.86	Kabatas	Fire	Had fire in engine room during passage.Anchored off Kabatas.
60	Kapitan Modest Ivanov/USSR/11262	B/C-1974	22.11.86 0240	Anadoluh isari	Ground-ing	Poor visibility reported
61	Tsezar Konikov/USSR/10964	Tanker- 1968	23.11.86	Akinti Br.	Stranding	Poor visibility reported.
62	*Polar 4/Rm/12237 Parina/Rm/2400	F/C-1972	10.12.86 1835	Akinti Br.	Ground-ing	Parina towed by Polar 4, towing line broken, Parina grounded

EK A1 İstanbul Boğazı'nda 1982-1994 yılları arasında meydana gelen kazalar

no	NAME/FLAG/GRT	TYPE-YEAR BUILT	DATE-TIME	POSITION	NATURE	REMARKS
63	*Rover/Li/52699	Tanker/1973	20.12.86	Kanlica	Grounding	Strong SW winds reported
64	Dogan Selek/Tr/271	Tanker-1952	11.1.87	Umuryeri	Grounding	Strong SW winds reported
65	Ataköy/Tr/781	F/B-1961	11.2.87	Karaköy	Fire	Sabotage. Crew extinguished
66	*F.O.N.J.S.S.PVC/In/28704	Tanker1985	16.2.87-	Yeniköy	Grounding	Due to rudder failure
67	Zeyno/Tr	Motor yacht	26.2.87	Kireçburnu	Fire	After fire yacht sank
68	Giorgos-N/Pa/395/ Kaptan Naci Deval/Tr/498	G/C-1969 G/C-1967	4.3.87 0535	Büyükdere	Collision	Gale force winds,snow storm reported. Dragged anchor and collided
69	Irene-C/Cy/ 14671(Ex.A.Prospeniy)	B/C-1970	4.3.87 0830	Tarabya	Grounding	Gale force winds,snow storm reported.
70	*Affo/Sv/9390		8.3.87	Tarabya	Grounding	Gale force winds,snow storm reported.
71	Irene-C/Cy/14671 Haci Ibrahim/Tr/682	B/C-1970 G/C-1978	8.3.87 0630	Beykoz	Collision	Gale force winds,snow storm reported.
72	Nato Vachnadze/ USSR/10957	Tanker-1985	10.5.87	Yeniköy	Grounding	
73	Egem/Tr Safini Nuh/Tr	M/Y M/Y	14.6.87	Arnavutköy	Collision	
74	Morkoç/Tr	G/C-1983	29.6.87	Tarabya	Grounding	
75	Suadiye/Tr/589 Ulev/Tr/637	F/B-1964 F/B-1938	3.7.87	Kizkulesi	Collision	
76	Mentese/Tr/3044	B/C-1976	15.7.87	Sali-pazari	Fire	Had fire in engine room whilst discharging at buoys.
77	Petko R. Slavejkov/ Bu/9069 Armeni/Ho/	G/C-1968	29.8.87 0815	Poyraz Br.	Collision	Very poor visibility. Subsequently Armeni sank.
78	Astro/It/2380	Chemical Tanker	6.9.87	Umuryeri	Grounding	Improper navigation.
79	Caner Gönyeli/Tr/456 Ünlükartal/Tr	F/B-1977 Wooden boat	17.11.87	Ku-ruçesme	Collision	Poor visibility reported.
80	Aydin Güler/Tr/456 Ismail Cillioglu/Tr/613	F/B-1981 G/C-1968	30.12.87	Beykoz	Collision	Poor visibility reported.
81	Gemlik/Tr/1928	P/V-1952	22.2.88	Istinye	Fire	Caught fire whilst under repair in shipyard.
82	Kathy/Ho/867		21.3.88	Umuryeri	Grounding	
83	Tae Dong Gang/HK/ 9076	G/C-1976	13.6.88	Tarabya	Grounding	

EK A1 İstanbul Boğazı'nda 1982-1994 yılları arasında meydana gelen kazalar

no	NAME/FLAG/GRT	TYPE-YEAR BUILT	DATE-TIME	POSITION	NATURE	REMARKS
84	Anafarta-S/Tr/15226	B/C	21.6.88	Tarabya	Grounding	Very poor visibility reported
85	Milo-3/Tr/18	M/Y	16.7.88	Poyrazköy	Fire	
86	Hikmet Deval/Tr/399	G/C-1977	4.9.89	(N) entrance	Sank	
87	Bazias-4/Rom/2831 Kalkavan/Tr/498 Tuncay Cepnioglu/Tr/499	RoRo-1985 G/C-1967 G/C-1980	6.10.88 0030	Büyükderne	Collision	Vessels dragged anchor due to heavy weather at anchorage
88	K.Nihat Dogruyol/Tr/494	G/C-1969	22.10.88	Kandilli	Stranding	
89	Vaslui/Rm/3090 Leninsk/USSR/19901	G/C-1968 B/C-1975	26.10.88	Ahirkapi	Collision	
90	Blue Star/Pa/3920 Gaziantep/Tr/73665	LPG-1978 Tanker-1971	28.10.88	Ahirkapi	Collision	Poor visibility. Collided with gaziantep which was at anchor. 1000 tons of ammoniac spilled from Blue Star. Air and sea pollution.
91	Sedefadasi/Tr/600 Kazim Imamoglu/Tr/285	F/B-1973 G/C-1976	15.11.88	Üsküdar	Collision	
92	Bilgilibiraderler/Tr/854 Fishing Boat	G/C-1974	17.11.88	Büyükliman	Collision	Damaged fishing nets.
93	Aries Erre/Lt/8926 Kocadere/Tr/1077	Tanker-1975 F/B-1982	6.12.88 1940	Haydarpasha	Collision	Damaged fishing nets
94	Al Battani/bG/3245	G/C-1970	8.12.88	Bebek	Grounding	Strong current reported
95	Burak-M/Tr/67521 Mehmet Mete/Tr/484	Tanker-1976 G/C-1976	21.2.89 0705	Besiktas	Collision	Mehmet Mete sank.
96	Nichman/Ma/		9.12.88	Umuryeri	Grounding	Gale force winds, strong current reported
97	Nichman/Ma		10.12.88	Kirecburnu	Stranding	Refloated with her own means, subsequently contacted shoreline at Kirecburnu and rebounded.
98	*Zalad/Rm/11980 *Grozavesti/Rm/11025	G/C-1979 G/C-1985	28.2.89 1230	Kandilli	Broke towing line	
99	Amasra-Z/Tr/35379 Saturnus/Ma/2977	B/C-1969 G/C-1971	20.3.89 1145	Ahirkapi	Collision	Poor visibility reported. Damaged both vessels.
100	Elbegaz/Pa/8958 Nusret Atasoy/Tr/499	LPG-1983 G/C-1976	23.3.89 2200	Ahirkapi	Collision	Poor visibility reported

EK A1 İstanbul Boğazı'nda 1982-1994 yılları arasında meydana gelen kazalar

no	NAME/FLAG/GRT	TYPE-YEAR BUILT	DATE-TIME	POSITION	NA-TURE	REMARKS
101	*Turda/Rm/1969 Şehit Temel Simsir/Tı/456	G/C-1977 F/B-1979	28.4.89 2210	Besiktas	collision	
102	Istanbul/Tı/3444	P/V-1973	30.4.89	Umruryeri	Ground-ing	
103	Aleksandr Saveliev/USSR/ 26712	B/C-1978	23.5.89	Bebek	Ground-ing	Strong current reported
104	*Caroline I/Po/5858	G/C1975	5.6.89	Kirecburma	Strand-ing	Poor visibility reported
105	Moda/Tı/456	F/B-1986	10.7.89	Haydarpasha	Strand-ing	Rudder failure
106	Bayraklı/Tı/456	F/B-1985	11.7.89	Salıpazari	Strand-ing	
107	Hebris/No/15397	LPG/1983	30.7.89	Kizkulesi	Ground-ing	
108	TCG Sarköy	Navy	22.8.89	Kandilli	Ground-ing	Engine failure
109	Gökova/Tı/5084 Arzu Ürkmez/Tı/1598	G/C-1978 G/C-1983	15.11.89	Haydarpasha	Collision	Collided with Arzu Ürkmez berthed at Haydarpasha dock.
110	Nacis Haiwatha/USA	M/Y	6.12.89	Kuruçesme	Fire	
111	Aydin Güler/Tı/456	F/B-1981	11.1.90	Bebek	Ground-ing	
112	Altiner I/Tı/476	G/C-1979	13.1.90	Arnavutköy	Ground-ing	Intensive fog reported
113	Besiktas/Tı/283	F/B-1951	17.1.90	Haydarpasha	Collision	Collided with M VJ.G.Syadt that was berthed in Haydarpasha port.
114	Şehit İlker Karter/Tı/456 Baba Kaptan/Tı/429	F/B-1980 G/C-1978	25.1.90	Besiktas	Collision	
115	*Maryloo-2//Cy/30168	B/C-1974	1.2.90	Selvi Br.	Ground-ing	Rudder Failure
116	Tavria-6/USSR/1408	GCF-1989	24.2.90	Arnavutköy	Strand-ing	Pilotage suspended due to dense fog and vessel been advised not to enter by the control station.Master insisted to pass through and subsequently stranded.
117	Petrol III/Tı/496	Tanker-1944	5.3.90	Çubuklu	Fire	Electrical short-circuit caused fire while discharging
118	Mikhail Musphir/USSR/ 3587	G/C-1956	6.3.90	Yeniköy	Ground-ing	Strong current reported and had no sufficient steering obtained.Stranded into the historical residence which was severely damaged
119	Büyük Fenerbahçe/Tı	Passenger Boat	8.3.90	Kandilli	Strand-ing	
120	Ince-1/Tı/4931	G/C-1972	17.3.90	Yeniköy	Ground-ing	Strong current reported
121	Petrol III/Tı/496	Tanker-1944	17.3.90	Kandilli	Strand-ing	Strong current reported
122	*Akademik Verda/USSR/10948 TCG Saldıray	Tıker-1987 Navy-Submarine	23.3.90	Acar br.	Collision	Dense fog reported



BACK



HOME

84



NEXT

EK A1 İstanbul Boğazı'nda 1982-1994 yılları arasında meydana gelen kazalar

no	NAME/FLAG/GRT	TYPE-YEAR BUILT	DATE-TIME	POSITION	NATURE	REMARKS
123	Jambor /19488 Da Tong Shan /RC/12110	Tanker/1978 B/C-1980	29.3.90 0105	Büyükliman	Collision+Grounding	Improper navigation. Jambor's NO.1 port side tank shell plating heavily damaged and 2600 tons of gasoline spilled.Heavy pollution observed in Bosphorus.Jambor grounded off Büyükliman after the collision
124	Volgobalt 233/USSR/ 2516 Mithatpaşa /Tr/3652	G/C-1980 G/C-1961	6.5.1990	Ahirkapi	Collision	
125	Admiral Kornilov /USSR/ 345 Salem-12 /Bg/9030	G/C 1970	14.5.90	Yenikapi	Collision	Vessels were at anchorage
126	Baygıner /Tr	Passenger Boat	19.5.90	Cengizköy	Fire	Subsequently sank
127	Panorama /Tr	Passenger Boat	27.5.90	Ahirkapi	Capsizing	7 passengers dead
128	*Busteni /Rm/6253	G/C-1975	7.6.90	Ortaköy	Grounding	Diesel Generator failure
129	Pilot 62 /Tr/30	Pilotboat	24.6.90	Dikilikaya	Grounding	Intensive fog reported
130	Yeniköy /Tr/483	F/B-1952	28/6/90	Anadolukisari	Stranding	Rudder failure
131	*Pegasus Erre /It/37758 Dimitar Blagdev /Bu/1129	Tanker/ P/V-1969	2.7.90	Beylerbeyi	Collision	Dense fog reported
132	Göksu-2 /Tr/77		16.7.90	Anadolukavagi	Stranding	Electrical failure
133	Yanpol /Cy/24609	B/C-1986	11.8.90	Yeniköy	Grounding	Strong current reported
134	SNN /Tr	M/Y	10.9.90	Umuryeri	Fire	
135	*Karl Leonhardt /Sg/ 3943	G/C-1974	17.9.90	Anadolukisari	Grounding	Rudder failure
136	*Burgas /Bu/7455 Soydan Okan /Tr/499	G/C-1987 G/C-1970	22.9.90 0435	Tarabya	Collision	Improper navigation. Subsequently S.Okan sank.
137	Samsun /Tr/10583	P/V-1985	25.10.90	Salipazari	Collision	Collided with the M/V D.Shostakovich which was berthed
138	Nikolay Yansun /USSR/9479 Al Idrisi /Bg/1414	G/C-1970	10.11.90	Ahirkapi	Collision	Vessels were at anchorage
139	Sodad /Le/4322 Ince-1 /Tr/4931	G/C-1960 G/C-1972	14.12.90 2110	Kanlica	Collision	Improper navigation
140	Dobrovnik /USSR/10152	G/C-1957	29.12.90	Sarayburnu	Grounding	Improper manoeuvre
141	Dolmabahçe /Tr/994 Pelit /Tr/149	F/B-1952 Tanker	4.1.91	Haydarpasha	Collision	

EK A1 İstanbul Boğazı'nda 1982-1994 yılları arasında meydana gelen kazalar

no	NAME/FLAG/GRT	TYPE-YEAR BUILT	DATE-TIME	POSITION	NATURE	REMARKS
142	Kismetim-1 /Tr/3154 Dogan1004 /Tr/177	B/C-1960 Tanker-1947	30.1.91 1440	Kanlica	Collision	Very poor visibility reported
143	Kaptan Ziya Sönmez /Tr/36982 Arwa /Si/3556	B/C-1969 L/C-1978	16.2.91 0530	Ahirkapi	Collision	Vessel were at anchorage
144	Nikos-A /Cy/8969	G/C-1968	21.2.91	Acar Br	Grounding	Sudden dense fog patches
145	Carnia /Pa/15028 Tolga Tomba /Tr/493	Tanker/1972 G/C-1968	17.3.91 0730	N entrance-bosphorus	Collision	Very poor visibility reported
146	Igman /Yw/38304	B/C-1970	20.3.91	Kavak Br.	Fire	Caught fire in engine room
147	Poppy-P /Ma/17485 Temel-2 /Tr/609	Tanker-1970 G/C-1964	21.3.91 1110	Kavak br.	Collision	Poor visibility reported
148	Harbiye /Tr/780 Söndüren 11 /Tr/394	F/B 1961 Tug/1981	6.4.91 0930	Hay-darpasha	Collision	Subsequently the tug boat sank
149	*Jalavihar /In/42141	B/C-1976	28.4.91	Hay-darpasha	Fire	Caught fire in engine room Anchored
150	Kaptan Ziya Sönmez /Tr/36982 Söğüt-1 /Tr/1968	B/C-1969 G/C-1986	24.6.91 0615	Ahirkapi	Collision	
151	O.Ayanoglu /Tr/1968	G/C-1966	3/7/91	Büyükder e	Stranding	Engine failure
152	Pilotboat		13.7.91	Dikilikaya	Grounding	
153	Bolshevik Biriev /5944 Iraklis /2375	Tanker-1987 G/C-1967	19.8.91	Ahirkapi	Collision	
154	Konig	M/Y	22.8.91	Beykoz	Fire	
155	*Leonis /14057 Denizati /Tr/1596	Tanker-1969 G/C-1978	24.8.91	Tarabya	Collision	Denizati sank after 4 hours of collision. 5 crewmember died.
156	Fresa	V/C-1977	14.11.91		Grounding	Gale force winds reported
157	Zorro /USSR/188 Kaptan Necdet Or /Tr/2313					
158	Celiksai /Tr/4544 Rima-G /2983	B/C-1969 G/C-1962	17.10.91 0400	Ahirkapi	Collision	Vessels were at anchorage
159	*Madonna Lily /Pi/37519 Rabunion-18 /Le/1598	B/C-1962 B/C-1966	14.11.91 1845	Anadoluhisari	Collision	Due to improper navigation of Lebanese vessel. Subsequently Rabunion sank with 20000-Sheep. 3 crewmember died.
160	Rakvere /USSR/3261	G/C-1962	16.11.91	Kizkulesi	Grounding	Improper navigation
161	Ismail Sener /Tr/983 Oguz /Tr	G/C-1976 M.Boat	21.11.91 1130	Ahirkapi	Collision	Motorboat Oguz subsequently sank.
162	Selimpasa /Tr Gökçe /Tr	Small boat	23.11.91		collision	Small boat sank 2 person died

EK A1 İstanbul Boğazı'nda 1982-1994 yılları arasında meydana gelen kazalar

no	NAME/FLAG/GRT	TYPE-YEAR BUILT	DATE-TIME	POSITION	NATURE	REMARKS
163	Naz-K/Tr/3725	G/C-1960	10.2.92	Yeniköy	Grounding	rudder failure
164	Sever ? Ebru Urkmez	G/C-1969 G/C-1984	29.11.91		Collision	Gale force winds and strong current reported
165	*Satu Mare/Rm/6253 Bogazici 66/Tr/433	G/C-1974 C/S-1910	14.2.92 1420	Baltalımani	Collision	Collided with Bogazici 66 that was berthed at baltalımani.
166	Standard Endeavour/Gz/31634 El Cinco/Pa/1674	B/C-1972 L/C-1957	15.2.92 0810	N Entrance of Bosphorus	Collision	2,5 Miles outside the entrance
167	Vladimir Mayakovskiy/Rs/10152 Emirgan/Tr/283	G/C-1968 C/S-1952	27.2.92 0810	Arnavutköy	Collision	Improper Navigation
168	Fenix/USSR	M/Y	29.3.92	Acar Br.	Grounding	
169	*Lugoj/Rm/5934 Kavarna/Bu/2484	B/C-1984 G/C-1981	10.4.92 1320	Kavak	Collision	Poor visibility reported
170	Hamadem/Le/978	G/C-1954	19.5.92	Umuryeri	Grounding	
171	*Leonid Subinov/Ma/21370	P/V-1954	16.7.92	Salıpazari	Stranding	
172	Leontas/Gz/52335	Tanker/1974	22.8.92	Büyükliman	Grounding	Improper navigation
173	Pendik/Tr/781	F/B-1961	28.8.92	Karaköy	Fire	Sabotage. She was berthed.
174	*Tavria 3/USSR/1408 Florya/Tr	B/C-1988 Small Boat	31.8.92/ 1645	Beylerbeyi	Collision	
175	Sarayburnu/Tr/456	F/B-1985	23.9.92	Eminönü	Fire	Sabotage. She was berthed.
176	Nourullah/Ho/1199	G/C-1970	8.10.92	Umuryeri	Grounding	
177	*Emerald/No/36548	Tanker-1978	28.11.92	Yeniköy	Fire	Caught fire in the engine room
178	Neftegaz-1/USSR/2372 Mikhail Mushfik/Az/3587	Tanker-1983 G/C-1956	30.11.92 1850	Ahirkapi	Collision	Strong current reported
179	Muntenia/Rm/46689 Novorzhev/Ue/3327	Tanker-1974 B/C-1964	26.12.92	Ahirkapi	Collision	
180	Sarayburnu-65/Tr/434	C/S-1918	27.12.92	Kurucemesi	Fire	An explosion occurred while she was alongside. Vessel sank, 1 crewmember dead.
181	Erdemir/Tr/15699	B/C-1972	4.1.93	Bebek	Grounding	Very strong current reported
182	Bora Cillioglu/Tr/5489	G/C-1971	5.1.93	Kandilli	Grounding	Very strong current reported
183	Sultantepe/Tr/1077 Rifki Naiboglu/Tr/998	F/B-1989 G/C-1987	12.1.93	Harem	Collision	
184	Pioner Odessy/Ue/4787 Suadiye/Tr/589	C/C-1973 F/B-1964	15.1.93	Haydarpasha	Collision	

EK A1 İstanbul Boğazı'nda 1982-1994 yılları arasında meydana gelen kazalar

no	NAME/FLAG/GRT	TYPE-YEAR BUILT	DATE-TIME	POSITION	NATURE	REMARKS
185	Rapan/Ma/4419	G/C-1967	31.1.93	Kurucesme	Grounding	Strong Current reported
186	Tayfun Bayraktar/Tr/3200	G/C-1992	5.2.93	Bebek	Grounding	Rudder failure
187	Aydın Güler/Tr/456 İnkilap/Tr/781	F/B-1981 F/B-1961	8.2.93	Sarayburnu	Collision	Strong Current reported
188	Truva/Tr/3422 İskenderun/Tr/10583	P/V-1966 P/V-1991	1.3.93	Sarayburnu	Collision	Truva collided with Iskenderun which was berthed
189	Royal Star/Gr/955	G/C-1958	12.4.93	Umuryeri	Grounding	Improper navigation
190	Pietr Alenikov/Rs/		3.5.93	Harem	Grounding	
191	*Rafah/Eg/4860	G/C-1977	9.5.93	Kiredburnu	Grounding	Rudder failure
192	Yuriy Maksarov/Rs/22211	B/C-1986	14.9.93	Kizkulesi	Grounding	Improper navigation
193	Amur 2519/Ue/3086	G/C-1991	28.10.93	Baltalimani	Collision	Improper navigation.Collided with buoy.
194	Rainbow 2/Pa/497	Tanker-1979	7.11.93	Umuryeri	Grounding	Improper navigation.
195	Balkan/Turkmenistan Alyassen1/Sy/2466		1.12.93	Ahirkapi	Collision	Gale force winds,strong current reported
196	Gassan/Le/398		18.12.93	Umuryeri	Grounding	Improper navigation
197	*Lilac Islands/Pa/8946 Bostancı/Tr/610	G/C-1982 F/B-1974	11.1.94 2000	Kizkulesi	Collision	Ferryboat seriously damaged.Improper navigation.
198	Elena/Rs/1991 Amur2519/Rs/3086	G/C G/C-1987	15.2.94 0730	Ahirkapi	Collision	
199	Rabros/Li/4966 Ghadames/Ag/8577	G/C-1989 G/C-1977	17.2.94 0820	Ahirkapi	Collision	
200	Marine Ranger/Li/35886	B/C-1984	18.2.94	Akinti Br.	Stranding	Damaged sea-side road.
201	Yeditepe1/Tr/431 Tüfekçioğlu/Tr	Seabus-1987	28.2.94	Kabatas	Collision	Fog reported
202	Resit Kalkavan/Tr/745 Kotil/Tr/1987	G/C-1975 G/C-1980	9.3.94 1420	Ahirkapi	Collision	
203	Yusuf Ziya Önis/Tr/2395 Namik Kemal/Tr/5615	Ro-Ro-1978 G/C-1962	28.3.94 1800	Ahirkapi	Collision	
204	Filipesti/Rm/6253 Kaptan Burhanettin Isim/Tr/18653	G/C-1979 Ro-Ro/1990	8.4.94 1030	Ahirkapi	Collision	

EK A1 İstanbul Boğazı'nda 1982-1994 yılları arasında meydana gelen kazalar

no	NAME/FLAG/GRT	TYPE-YEAR BUILT	DATE-TIME	POSITION	NATURE	REMARKS
204	Nassia /Cy/66822 Shipbroker /Cy/14826	Tanker/ 1976 G/C-1980	13.3.94 2330	Büyükliman	Collision	Vessels collided at the northern entrance of Bosphorus.No.1 port tank of NASSIA exploded and both had the fire..Subsequently: - SHIPBROKER : stranded in Bosphorus,vessel's superstructure and hull completely burnt.In sequence total 23 crewmembers missed+died,3 survived. - NASSIA : Crude oil cargo in No.1 port and center tanks; superstructure totally burnt. Fire extinguished in BlackSea where the vessel had been towed to on this purpose,total 6 crewmembers missed+died.As a result of the casualty Bosphorus have been severely polluted and Istanbul city had the risk of the flames/floating fire/drift-ing with the strait's natural south-bound current.

EK A2 İstanbul Boğazında 1994-2001 yılları arasında meydana gelen kazalar

NO	NAME	FLG	GRT	TYPE		DATE	TIME	POSITION	NATURE	REMARKS
1	OSMAN EKŞİOĞLU Small Boat	TUR	1994	G/C boat	1976	29.07.1994		Çengelköy	Collision	
2	<i>LUBA ***</i>	MLT	4182	C/Tanker		18.10.1994		Umuryeri N	Grounding	Due to rudder failure.
3	<i>MARTIN ***</i> FIRKATEPE	MLT TUR	9067 1077	G/C Ferry	1974 1983	28.11.1994	24.00	Sarayburnu	Collision	Due to improper navigation of ferry.Both drifted together and seperated with the assistance of tugboats. Ferry severely damaged
4	VARAN -3 BAYRAKLI	TUR TUR	53 295	Pass.Boat G/C	 1934	02.02.1995		Haydarpaşa	Collision	Improper navigation. Passenger Boat severely damaged.
5	QUXUAN HAI BARBOROS OKTAY	CHN TUR	20382 6284	G/C G/C	 1975	25.03.1995	24:00	Ahırkapı	Collision	Improper navigation. Chinese vessel grounded at Moda.
6	AL MEHYAR	EGY	2350	G/C		23.04.1995		Akıntıburnu	Contact	Insufficient local knowledge. Very strong current reported.
7	HUA SHENG SUBHAN ALLAH	LBR SYR	16009 8404	G/C G/C	1974 1969	24.05.1995		Kavak	Collision	Improper navigation of HUA SHENG. SUBHANALLAH grounded herself at Kireçburnu due to damage at hull.
8	KUZGUNCUK	TUR	780	Ferry		25.05.1995		Haydarpaşa	Contact	Striked to breakwater due to strong current.
9	<i>KREMNICA ***</i>	SVK	2136	G/C	1977	21.06.1995		Yeniköy	Collision	Due to rudder failure of a third vessel they manoeuvred

EK A2 İstanbul Boğazında 1994-2001 yılları arasında meydana gelen kazalar

	SALİH KAPTAN	TUR	1127	G/C	1980					to avoid collision but they collided slightly.
10	MARWAN	UKR		G/C		27.07.1995	16:50	Yeniköy	Grounding	
11	WADI SUDR	EGY	37027	G/C - bulk		17.10.1995	16:00	Moda	Grounding	Improper navigation (Insufficient local knowledge)
12	EVDOKIA K	HND	1473	G/C		21.12.1995	20:00	Umuryeri	Grounding	Improper navigation.
13	ARWAD	SYR	2242	G/C		16.01.1996		Yeniköy	Grounding	Strong current reported.
14	NIKOLAY KANTHEMIR	RUS	3672	G/C		17.01.1996		Yeniköy	Grounding	Strong current reported.
15	VOLGO-BALT 238 AVŞA	RUS TUR	2457 1900	G/C Ferry	1982 1976	20.01.1996		Salıpazarı	Collision	
16	<i>ARISTOTELES ***</i>	CYP	8902	G/C		13.03.1996		Bebek	Grounding	Strong current reported.
17	MAHRAN	SYR	375	G/C		21.03.1996		Rumelifeneri	Grounding	While entering from North was in danger of sinking as a result of shifting cargo. Grounded near light house with the assistance of tugs.
18	<i>SUNNY SARAH ***</i>	BHS	1178	G/C		15.04.1996		Kanlıca	Contact	Striked Ferry pier and damaged pier due to rudder failure. Generators were out of order.

EK A2 İstanbul Boğazında 1994-2001 yılları arasında meydana gelen kazalar

19	KEROMOS	TUR		Yacht		08.06.1996		Beykoz	Fire	Yacht sank.
20	MARIA	RUS	236	G/C		30.06.1996		Umuryeri	Grounding	Improper navigation.
21	MINAMAR	HND		G/C		20.07.1996		Büyük Liman	Contact	Collided Çaliburnu buoy.
22	DOĞANAY SELÇUK - K	TUR TUR	1442 3739	G/C G/C - Ro/Ro	1990 1969	17.09.1996		Sarayburnu	Collision	Improper navigation.
23	MARIA - 1 ÇELİKTRANS	MLT TUR	2457 789	G/C G/C		03.11.1996		İstinye	Collision	Very poor visibility. Çeliktrans sank following the collision. One crew of Çeliktrans dead, 1 injured, 12 crew rescued.
24	T. EMEKSİZ BEŞİKTAŞ	TUR TUR	781 456	Ferry Ferry	1961 1986	07.11.1996		Haydarpaşa	Collision	
25	VOLGOBALT - 110	RUS	2547	G/C		20.11.1996		Haydarpaşa	Contact	Striked breakwater due to very strong wind & current.
26	LADY OOTI G	BLZ	4909	G/C		09.12.1996		Bebek	Grounding	Striked Bebek Light & grounded. Very strong current reported.
27	FRIENDLY ***	MLT	15548	G/C - bulk		12.12.1996	12:30	Yeniköy	Grounding	Engines stopped. Vessel power could not steer.
28	OSMAN GAZİ	TUR	4001	G/C		04.01.1997	00:50	Arnavutköy	Contact	Poor visibility reported.

EK A2 İstanbul Boğazında 1994-2001 yılları arasında meydana gelen kazalar

29	RIFKI BEY	TUR	15375	G/C - Bulk		23.01.1997	10:20	Büyük Liman	Contact	Collided buoy.
30	<i>BARBAROSSA ***</i> HAGIENI	ITA ROM	12927 6253	Tanker G/C	1982 1982	25.01.1997		Umuryeri	Collision	Improper navigation of HAGIENI. Hagieni severely damaged. Grounded herself to Acar Bank in order not to sink.
31	ALEXANDR	GRC	497	Tanker		10.03.1997		Umuryeri	Grounding	Improper navigation.
32	FAYSAL	SYR	2085	G/C		02.04.1997		Umuryeri	Grounding	Improper navigation.
33	CAPTAIN ZAMAN	TUR	4012	P/V		18.05.1997	04:30	Umuryeri	Grounding	Improper navigation.
34	<i>VITYAZ ***</i>	RUS	5291	P/V		01.08.1997		Tarabya	Contact	Vessel was "black out". Anchored but contacted shore.
35	TURUVA	TUR	4300	P/V		01.08.1997	15:00	Yeniköy	Contact	Engine failure.Striked pier. Damaged pier.
36	UMURBEY	TUR		Navy		20.08.1997		Umuryeri	Grounding	
37	SALİH ÜNLÜ Fishing Boat	TUR TUR	659	G/C Fishing Boat	1975	11.10.1997	05:10	Yeni Mahalle	Collision	Fishing boat damaged. 1 crew injured.

EK A2 İstanbul Boğazında 1994-2001 yılları arasında meydana gelen kazalar

38	ÇAVLIBEY AYDIN GÜLER	TUR TUR	456	Sea Bus Ferry	1981	27.10.1997		Sarayburnu	Collision	Both damaged.
39	ORANGE STAR ***	NOR	18302	Tanker		17.12.1997		Yeniköy	Grounding	Strong current reported and could not obtain sufficient steorage way.
40	SUADİYE KUZGUNCUK	TUR TUR	588 780	Ferry Ferry	1964 1961	18.12.1997		Sarayburnu	Collision	Both damaged.
41	K. YAŞAR AKBAŞ	TUR		G/C		19.12.1997		Yeniköy	Contact	Strong current reported. Striked shore.
42	SARAYBURNU RUMELİFENERİ	TUR TUR	456 307	Ferry Ferry	1985 1988	24.12.1997		Haydarpaşa	Collision	Both damaged. 2 passengers injured.
43	PAŞALİMANI	TUR	108	T/B		07.01.1998		Umuryeri	Grounding	Improper navigation.
44	HADIL ***	SYR	1993	G/C		16.01.1998		Kuruçeşme	Contact	Rudder failure.Slightly contacted Island.
45	KUBAN	RUS	2583	P/V	1954	01.02.1998		Kireçburnu	Grounding	While being towed listed. Tugboat grounded KUBAN to avoid sinking.
46	MINA 1	TUR	1242	G/C		14.02.1998		Rumelihisar	Contact	Strong current reported. Striked shore.
47	ULUÇ ALİ REİS	TUR	431	Sea Bus	1987	24.02.1998		Kabataş	Collision	Fishing boat sank. Crew survived.

EK A2 İstanbul Boğazında 1994-2001 yılları arasında meydana gelen kazalar

	ERTAN	TUR	166	Fishing Boat					
48	PLESETSK *** VLADİMİR BILKOV	RUS RUS	4909	G/C G/C	1968	26.02.1998		Dolmabahçe	Collision Improper navigation. Dense traffic reported.
49	FADEL 1	SYR	4244	G/C		01.03.1998		Yenimahalle	Grounding Strong current reported.
50	SUADİYE CONTINENTAL BETA	TUR MLT	588 3019	Ferry G/C	1964 1981	14.03.1998		Üsküdar	Collision Improper navigation. Ferry slightly damaged.
51	KARGEM BUNGA ORKID TIGA ***	TUR MYS	2874 25498	P/V G/C - Bulk	1994	31.05.1998		Tarabya	Collision Very poor visibility reported. Both vessels damaged.
52	MARIANNA ***	GRC	15976	G/C		09.06.1998		Kızkulesi	Fire
53	RICHMOND	TUR	46	Yacht		12.06.1998	00:15	Çırağan	Contact Collided mooring buoy. Yacht sank.
54	SEA SALVIA ***	MLT	52853	Tanker		09.07.1998		Kızkulesi	Grounding
55	ÇALDIRAN	TUR	2324	G/C		14.08.1998	16:15	Yeniköy	Grounding Rudder failure.
56	ASIA PEARL	VCT	30078	G/C - Bulk		22.08.1998	21:45	Akıntı Br.	Contact Improper navigation. Lack of local knowledge. Damaged roadside.

EK A2 İstanbul Boğazında 1994-2001 yılları arasında meydana gelen kazalar

57	<i>CRUDE GULF ***</i>	GRC	81100	Tanker		25.08.98		Kızkulesi	Grounding	
58	LEONID BYKOV	RUS	4096	Tanker		26.09.1998		Umuryeri	Grounding	Due to engine failure.
59	HAYDAR - 5 FISHING BOAT	SYR TUR	1366	G/C Fishing Boat		26.09.1998		Umuryeri	Collision	Plenty small fishing boats were on traffic lane.Vessel collided boat. Boat sank. 2 fishermen survived.
60	MAMAIA BOĞAZIÇI - 81	ROM TUR	12219	G/C Pass.Boat	1990	12.10.1998		Arnavutköy	Collision	Poor visibility.
61	<i>K.OSMAN BAHRI ***</i>	TUR	14800	Tanker		24.10.1998		Paşalimanı	Contact	Collided W/B ÖMERLİ which was alongside, due to rudder failure. ÖMERLİ severely damaged.
62	GRACE-1	BLZ	1798	G/C		18.12.1998		Akıntı Br.	Collision	Collided small boat & C/B TAŞKENT 2.Anchored at Kuleli
63	GOODDREAM	PAN	1908	G/C		21.12.1998		Umuryeri	Grounding	Improper navigation.
64	DUTCH NAVIGATOR	NLD	3693	G/C		28.01.1999		Yeniköy	Grounding	Improper navigation.
65	KARABACAK-1	TUR	995	G/C		07.09.1999		Yeniköy	Contact	Collided pier.
66	EDDIE 01	TUR		Yacht		01.05.1999		Kızkulesi	Collision	No damage.

EK A2 İstanbul Boğazında 1994-2001 yılları arasında meydana gelen kazalar

	EMİNÖNÜ	TUR		Ferry						
67	HARMONY KAPTAN HİLMİ	MLT TUR	14386 359	G/C - Bulk G/C	1979	28.08.1999		Türkeli	Collision	Poor visibility reported.
68	LENANEFT 2047 ***	RUS	2871	Tanker		28.10.1999		Kandilli	Contact	Slightly stricked Kandilli due to rudder failure.
69	SEMELE SHIPKA	BLZ BGR	5900 16166	G/C G/C - Bulk	1979	07.11.1999		Ahırkapı	Collision	Improper navigation. Lack of information. SEMELE sank.
70	OMODOS	MLT	2870	Tanker		10.11.1999		Umuryeri	Grounding	Improper navigation.
71	HISTRIA SEATIDE	MLT	45752	Tanker		06.12.1999		Ahırkapı	Grounding	Tanker drifted to shoal due to slow speed & SW winds.
72	NADEZHDA EMİNÖNÜ	RUS TUR	2488 823	G/C Ferry	1990	10.12.1999		Sarayburnu	Collision	Slightly contacted. No damage.
73	ALEKSANDR ARZHAVKIN İLKER KARTER	UKR TUR	2060 456	G/C Ferry	1988 1981	26.01.2000		Kabataş	Collision	Ferry severely damaged.
74	TAMANLAR 1 ARNAVUTKÖY	TUR TUR	840	G/C Ferry	1974	19.03.2000		Yeniköy	Collision	No damage.
75	TEN CLIPPER	DNK		G/C		07.04.2000		Yeniköy	Contact	Slightly contacted lightbuoy.

EK A2 İstanbul Boğazında 1994-2001 yılları arasında meydana gelen kazalar

76	JESSILENA ***	ATG	8400	G/C		09.04.2000		Bebek	Contact	Engine failure. Collided small boat.
77	ANNA LK	GRC	22080	G/C - Bulk		04.11.2000		Akıntı Br.	Contact	Improper navigation. Lack of experience.
78	SPAR - 8 KALEDA	NIS MLT	22300 12212	G/C - bulk G/C	1982	19.02.2001		S Entrance	Collision	SW swells reported.
79	TUTA	MLT	2854	G/C		09.03.2001		Yeniköy	Contact	Slightly contacted pier.
80	AKADO	VCT	5683	P/V		23.03.2001		Umuryeri	Grounding	Black out & lost steering.
81	VOLGODON 5038 MEDGLORY	RUS MLT	 3859	G/C G/C - cc	 1977	26.03.2001		S Entrance	Collision	No damage.
82	NATIONAL STAR	EGY	6160	G/C		31.04.2001		Yeniköy	Grounding	Strong currents reported.
83	İNKİLAP SEDEF ADASI	TUR TUR	780 610	Ferry Ferry	1961 1973	18.07.2001		Harem	Collision	

TÜPRAŞ
TÜRKİYE PETROL RAFİNERİLERİ A.Ş.
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

CODE NO : TÜPRAŞ-400

AUTOMATIVE DIESEL (*)
PRODUCT SPECIFICATION

<u>PROPERTY</u>	<u>GUARANTEE</u>	<u>METHOD</u>
Density at 15 °C, kg/l	0.820-0.860	ASTM D 1298
Flash Point, °C	55 Min.	ASTM D 93
Cold Filter Plugging Point(CFPP), °C		IP 309
Winter Grade (a)	-10 Max.	
Summer Grade (b)	5 Max.	
Distillation (% Vol)		ASTM D 86
Recovered at 250 °C	65 Max.	
Recovered at 350 °C	85 Min.	
Recovered at 370 °C	95 Min.	
Sulphur, wt %	0.70 Max.	IP 336 or IP 242
Carbon Residue (on 10 % residue), wt %	0.30 Max.	ASTM D 524 or ASTM D 4530
Viscosity at 40 °C, cst	2.0-4.5	ASTM D 445 or ASTM D 88
Copper Strip Corrosion (3h at 50 °C)	No.1 Max.	ASTM D 130
Ash, wt %	0.01 Max.	ASTM D 482
Cetane Index, Calculated	46 Min.	ASTM D 976
Water, mg/kg	200 Max.	ASTM D 1744
Particulate matter, mg/kg	24 Max.	IP 415
Oxidation Stability, g/m ³	25 Max.	ASTM D 2274

(a) 1 October-31 March

(b) 1 April - 30 September

(*) This product is produced in İzmit, İzmir and Kırıkkale Refineries.

Issued : Apr, 1997 (5).

ÖZGEÇMİŞ

Ceren Bilgin, 26 Haziran 1975'te Ankara'da doğdu. Lise öğrenimini MEV Özel Toros Lisesi'nde tamamladıktan sonra, yüksek öğrenimini İstanbul Teknik Üniversitesi Deniz Teknolojisi Mühendisliği bölümünde, 1994–2000. yılları arasında tamamladı. 'İstinye Koyundaki Kirliliğin Mevsimsel Değişimi' konulu Doç. Dr. Fatma Yonsel danışmanlığında lisans düzeyinde bir çalışması mevcuttur. 2000 yılında aynı bölümde Yüksek Lisans çalışmasına başladı. Ayrıca Doç. Dr. Fatma Yonsel ve Cem Gülşen ile gerçekleştirdikleri "İstinye Koyu ve İstanbul Boğazına Taşınan Kirlilik" konulu bir çalışması 30 Mayıs-2 Haziran 2000'de ODTÜ'de gerçekleştirilen "Ulusal Deniz Bilimleri Konferansı, bildiri özetleri kitapçığı'nda, "İstinye Deresinin İstanbul Boğazına Taşındığı Kirlilik" konulu bir diğer çalışması Eylül 2000'de , İstanbul Üniversitesi'nde gerçekleştirilen Dördüncü Ulusal Kimya Mühendisleri Kongresi Bildiri Kitabında yayınlanmıştır. Son olarak Doç. Dr. Fatma Yonsel ile Temmuz 8-12 2002'de İstanbul'da, "ISWA Word Environment Congress & Exhibition"da "Biological Oil Degredation in Marine Environment" konulu bir çalışma ile yer almışlardır.

Mart 2001'den itibaren Deniz Teknolojisi Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Gemi Mühendisleri Odasına üyeliği bulunmaktadır.