

# Radyasyon izleme tekniği ile dar deniz yolları için bırakımlı hal incelemesi ve irdelemesi

Zuhal ER\*, A. Beril TUĞRUL

İTÜ Enerji Enstitüsü, Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı, 34469 Ayazağa, İstanbul

## Özet

*Bu güne kadar ulaşılmış olan yayınların incelenmesi sonucunda literatürde deniz kazaları ve deniz çevre kirliliğinin önemle üzerinde durulduğu ve bu konuda farklı yöntemlerle çalışmalar yapılmış olmasına karşın, nükleer bir teknik olan infrared ölçümleme ile takip şeklinde laboratuvar çalışması biçiminde çalışıldığına ilişkin bir yayına rastlanmamış olup, bu çalışma ile radyasyonla izleme tekniği bağlamında dar deniz yolları için mazotun denize bırakımının, bırakım miktarının farklı olması durumlarında, deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Öte yandan, deniz kazası senaryosu olarak, farklı ve kapsamlı bir uygulama yapılması da hedeflenmiştir. Dolayısı ile, deneysel açıdan inceleme şartları belirli, fakat yine de uygulamada sıkça karşılaşılan çeşitli farklılıkları içeren denize bırakım halleri incelenmiştir.*

**Anahtar Kelimeler:** Radyasyon izleme, kızıl ötesi ölçümleme, mazot, dar su yolları, deniz kazası, petrol dökülmesi, gemi kaynaklı kirlilik.

## Investigation and discharge state analysis for narrow water ways with radiation tracing technique

### Abstract

*In this study, it is primarily aimed, at carrying out experimental research with radiation tracing technique relating on marine casualties. The literature survey is carried out extensively and in this respect it is investigated that wide range of scientific research studies are available in the application field of marine environmental protection. The significance of this study is to analyse the discharge quantities of diesel oil with radiation tracing technique which is not carried out in the previous research studies. The experimental research is designed for the determination of various discharge quantities of diesel oil for narrow water ways utilising radiation tracing technique. Besides the marine accident scenario, different and detailed application is aimed. Hence the experimental investigation conditions are fixed, the various discharge quantities are taken into account that are frequently encountered in real life examples. Experiments are held for ten various discharge quantities of the diesel oil. The results of the experiments are found to be realistic and consistent. Consequently the experimental and mathematical investigations' implementation perspective enables this study to be applied real life applications and offers adequate convergence.*

**Keywords:** Radiation tracing, Infrared measurement, diesel oil, narrow water ways, marine casualty, petroleum discharge, ship sourced pollution.

---

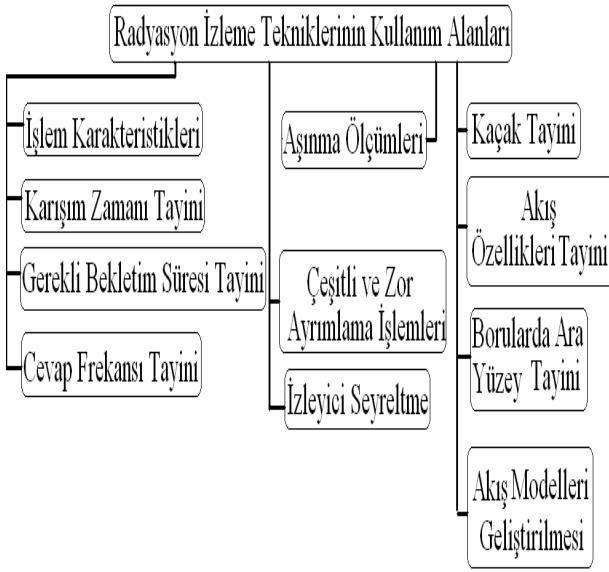
\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Zuhal ER. erzuh@itu.edu.tr; Tel: (216) 446 20 53 dahili: 314.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Enerji Enstitüsünde tamamlanmış olan "Radyasyonla izleme tekniği ile dar deniz yolları için bırakımlı hal incelemesi ve yeni bir irdeleme" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 18.05.2004 tarihinde dergiye ulaşmış, 17.11.2004 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.05.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Giriş

Radyasyon izleme teknikleri yeni olarak nitelenebilecek teknikler olmasına karşın, çeşitli konuların taleplerine cevap verecek nitelikte olması nedeniyle uygulamada yerini almış bulunmaktadır (Tuğrul ve Altınsoy, 2002). Ayrıca, yayımlanan ışınların uygun belirleme sistemleriyle tespit edilip kaydedilmesi, olayların takibinde hayli geniş ufuklar açabilmektedir.

Şekil 1’de bu kullanım alanları şematik olarak verilmektedir



Şekil 1. Radyasyon izleme tekniklerinin kullanım alanlarının sınıflaması

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar içinde yer alan infrared ışınlarla geliştirilen teknikler, nükleer teknikler içinde farklı bir yere sahiptirler (IAEA, 1963).

Termal ışıınım olarak da nitelenen ve iyonlaştırıcı olmayan radyasyon içinde yer alan infrared ışınlar, ısıl değişimlerin incelenmesine olanak tanımaktadır.

Infrared (kıızıl ötesi) radyasyon bandı, enerji skalasında görünür ışık bandının hemen öncesinde yer almaktadır. Tersine olarak, dalgaboyu skalasında ise, Infrared spektrum bölgesi, görünür ışıktan sonra gelmektedir (Ketkar ve Satish, 1999).

Bütün cisimler sıcaklıklarına ve onların yayınım katsayısına bağlı olarak, değişik dalga boylarında ısıl radyasyon yaymaktadırlar. Buna “termal yayınım (termal emisyon)” adı verilmektedir. Her maddenin kendine has infrared radyasyon spektrumu mevcuttur (Patankar 1980).

Nitel bir yaklaşımla, bir nesnenin sıcaklığını, yaptığımız temastan hissettiğimiz sıcaklık yada soğukluk duyularının belirlediği kadarıyla anlatabiliriz. Fakat bu, duyuların bireylere göre değişiklik göstermesi gibi olumsuz getirileriyle bilimsellik dışı olmaktadır.

Sıcaklık ölçekleri sayesinde belirlenen değerler yardımı ile ilgilenilen noktadaki hususlara ilişkin sıcaklık bilgisi edinilmektedir (Derbentli, 2000).

Sıcaklık ölçeklerinin temel teşkil ettiği çeşitli ölçüm ve tespit yöntemleri, teknolojik gelişme ile beraber geliştirilmiş ve uygulamadaki yerlerini almış bulunmaktadır. Infrared termometre yaygın kullanım alanı bulmuştur (Derniak ve Boreman, 1996).

Bu çalışma, sistem sıcaklığından farklı sıcaklıkta ve infrared radyasyon yayan bırakım elemanının izlenmesinin, radyoaktif izleme tekniğinde olduğu gibi sisteme temas etmeyen ancak sisteme hayli yakın konuşlandırılmış infrared termometreler yardımı ile yapılmıştır.

## Deniz kirlenmesi

Deniz kirlenmesi, petrol ve/veya tehlikeli ve zararlı maddelerin dökülmesiyle sonuçlanan veya sonuçlanma ihtimali bulunan ve deniz ortamını veya bir ya da birden fazla sayıda devletin kıyı şeridini tehdit eden ve/veya tehdit etme ihtimali bulunan, acil eylem ve diğer ivedi müdahaleleri gerektiren bir olay veya aynı sebepten kaynaklanan olaylar dizisi anlamına geldiği belirtilmektedir (Resmi Gazete-Sayı 25113, 2003).

Çevreyi kirlenmesi elemanlar genel bir sıralama içerisinde: yanma ürünleri, endüstriyel solventler, aşırı yüksek veya düşük sıcaklıklar, zirai gübreler, infrared, ultraviyole ve hatta görünen ışık,

iyonlaştırıcı radyasyonlar ve gürültü olabilmektedir (Er ve Tuğrul, 2002, [www.epa.gov/enviro](http://www.epa.gov/enviro)). Tablo1’de tüm dünyada denizlere ait kirliliklerin kaynaklarına göre dağılımları verilmektedir.

Tablo 1. Tüm dünyada denizlere atık girdilerinin kaynaklarına göre oranları

Kaynaklar	Oran
Doğal kaynaklar	% 8
Açık deniz üretimi	% 0.5
Deniz taşımacılığı	% 11
Atmosfer kaynaklı	% 30
Taşkın ve kara kökenli deşarjlar	% 40
Boşaltma konteyner içinde bırakım	%10

Gemiler ve diğer deniz araçlarından, denizlerin kirlenmesine neden olan maddeler: petrol-petrol türevi maddeler, zehirli sıvılar, ambalajlı zararlı maddeler, kirlilik teşkil eden sular ve çöpler şeklinde beş başlık altında toplanabilmektedir (Sağ, 1994).

Bu çalışma bağlamında, gemi kaynaklı deniz kirliliği ile ilgilenilmesi doğrultusunda irdeleme yapılmıştır. Gemi kaynaklı deniz kirliliği, kirleticinin oluşum durumuna göre, işletmeye bağlı ve kazaya bağlı olmak üzere ikiye ayrılabilir (Tütüncü, 2001, Yonsel, 2001 Samsunlu, 1995, Er ve Satır, 2003).

“Deniz kazası”, bir ya da birden çok geminin güvenli seyir yapmasını sağlayan öğeleri olumsuz etkileyen koşullar altında birbirlerine, başka yüzer nesneye ya da karadaki bir nesneye çarpması, karaya oturması, alabora olması, su alması, batması, yanması ya da benzeri olaylara ve sonuç olarak cana, mala, çevreye zarar verici olgulara denilmektedir (IMO, 1978).

Tablo 2’de kirleticici kaynaklara ait sınıflandırılmaya ilişkin daha geniş bir yapılanma görülmektedir.

Kazalara ilişkin edinilen bilgiler incelendiğinde sonuçlarının petrol kirliliğini kaçınılmaz kılmış olduğu görülmektedir (Ünlü vd.,1999).

Tablo 2. Kirleticici kaynaklara göre deniz kirliliği sınıflaması

Sınıflama	Kirlilik türü	
İnsan tarafından oluşturulan kirlenme	Organik kirlenme	Ötrifikasyon Bakteriyolojik kirlenme
	Kimyasal kirlenme	Endüstriden kaynaklanan toksik maddelerin ortama bırakılması Hidrokarbonlar (yağlar) Deterjanlar Pestisidler
Kirleticici kaynağının yeri ile ilgili kirlenme	Termal kirlenme	Ağır metaller ve diğer inorganik bileşimler Sıcaklık kirlenmesi
	Akustik kirlenme	Ses kirlenmesi
Kirleticilerin yapısına göre sınıflandırma	Radyoaktif kirlenme	Silah denemeleri, kaza ile
	Madencilik sonucu kirlenme	Maden araştırmalarıyla
Kirleticinin oluşum durumuna göre sınıflandırma	Sabit nokta kaynakları	Yerleşim bölgeleri Endüstri kuruluş ve bölgeleri
	Değişken nokta kaynakları	Gemilerden ve hava taşıt araçlarından yapılan deşarjlar Gemi trafiğinin yarattığı kirlenmeler Deniz dibinde yapılan araştırma ve üretim amaçlı etkinliklerin yarattığı kirlenme Askeri etkinlikler sonucu ortaya çıkan kirlenme
Kirlenmenin, kökenine göre sınıflandırma	Dağınık nokta kaynakları	Akarsularla gelen kirlenme Atmosferik çökelekler ile gelen kirlenme
	Biyolojik olarak ayrışabilen kirleticiler	Kolayca ayrıştırılabilen, daha basit yapıda karbon-dioksit, su ve diğer inorganik son ürünlerine dönüştürülebilir kirleticilerdir
Kirlenmenin, kökenine göre sınıflandırma	Biyolojik olarak ayrışamayan kirleticiler	Zamanla biyolojik ayrışmaya karşı dayanıklı olup korunan maddeler
	Kazaya bağlı	Deniz kökenli Kara kökenli
Kirlenmenin, kökenine göre sınıflandırma	İşletmeye bağlı	Deniz kökenli Kara kökenli
	Karasal kökenli kirlenme	
Kirlenmenin, kökenine göre sınıflandırma	Havasal kökenli kirlenme	
	Deniz taşımacılığı kökenli kirlenme	
Kirlenmenin, kökenine göre sınıflandırma	Deniz ortamındaki işlemlerle kirlenme	

Tablo 3’te meydana gelen kazalarda ortaya çıkan petrol sızıntı miktarlarına ilişkin bilgi verilmektedir (Er vd., 2003).

Tablo 3. Çeşitli kazalar ve petrol sızıntı miktarları

Gemi Adı	Yıl	Mevkii	Petrol Sızıntısı (ts)
Atlantic Empress	1979	Batı Hint Okyanusu	287.000
ABTSummer	1991	Angola'nın 700 mil açığı	260.000
Castillode Bellver	1983	Saldanha körfezi, Güney Afrika	252.000
AmocoCadiz Haven	1978	Brittany, Fransa	223.000
Odyssey	1991	Genoa, İtalya	144.000
Torrey Canyon	1988	Nova Scotia, Kanada	132.000
Urquiola	1967	Scilly Adası, İngiltere	119.000
Hawaiian Patriot	1976	La Coruna, İspanya	100.000
Independenta	1977	Honolulu'nun 700 mil açığı	95.000
JakobMaersk Braer	1979	İstanbul Boğazı, Türkiye	95.000
	1975	Oporto, Portekiz	88.000
	1993	Shetland Adaları, İngiltere	85.000
Khark 5	1989	Fas'ın Atlantik kıyılarının 120 mil açığı	80.000
Prestige	2002	La Coruna, İspanya	77.000
Aegean Sea Katina P.	1992	La Coruna, İspanya	74.000
Sea Empress	1992	Maputo, Mozambik	72.000
	1996	Milford Haven, İngiltere	72.000
Assimi	1983	Muscat, Umman	53.000
Metula	1974	Magellan Boğazı, Şili	50.000
Wafra	1971	Agulhas Burnu, Güney Afrika	40.000
ExxonValdez	1989	Prince William Sound, Alaska, ABD	37.000
Evoikos	1977	Singapore Boğazı	29.000
Erika	1999	Brest, Fransa	20.000
Nakhodka	1999	Oki Adası, Japonya'nın batısı	17.500

Türkiye, deniz ulaştırması açısından dünyanın en önemli noktalarından birisinde bulunmaktadır. Karadeniz ile Akdeniz arasındaki tek deniz ulaşım yolu İstanbul, Çanakkale Boğazları ve Marmara Denizi ile sağlanmaktadır.

Boğazlardaki deniz trafiği ve özellikle İstanbul Boğazı gibi yoğun yapılaşmanın görüldüğü noktalarda, doğal ve yapay çevre bakımından çok ciddi çevresel riskler bulunmaktadır. Olası riskler altında meydana gelebilecek bir kaza durumunda deniz ortamına getirişi olacak kirlilik miktarının boyutu ve de etkisi önem arz etmektedir.

Bu bağlamda, İstanbul ve Çanakkale Boğazlarına ait deniz trafiği istatistiği Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. İstanbul ve Çanakkale Boğazları deniz trafiği istatistiği

Yıllar	İstanbul Boğazı	Çanakkale Boğazı
1940	4100 (civarında)	Bilgi bulunamadı
1945	7500 (civarında)	Bilgi bulunamadı
1980	25000 (civarında)	Bilgi bulunamadı
1995	46954	35460
1996	49952	36198
1997	50942	36543
1998	49304	38777
1999	47906	40582
2000	48079	41561
2001	42637	39249

İstanbul ve Çanakkale Boğazları ile Marmara Denizi'nin gemi trafiğine ayrılmış bulunan belirli bir bölümünü kapsayan Türk Boğazları için olası risklerin tespitine açıklık getirmek amacı ile taşınan yük miktarı ve geçen tanker sayısı (İstanbul Boğazı) ilişkili olarak Tablo 5'te düzenlenmiştir ([www.turkishpilots.org/majoracc.html](http://www.turkishpilots.org/majoracc.html), 1999, [www.dogasavascilari.org/deniz.htm](http://www.dogasavascilari.org/deniz.htm), 2003, [www.denizce.com/firuzaden.asp](http://www.denizce.com/firuzaden.asp), 2002).

Tablo 5. Taşınan yük miktarı ve geçen tanker sayısı (İstanbul Boğazı)

Yıllar	Tehlikeli yük miktarı	Geçen tanker sayısı
1995	41.016.624 M. Ton	2871
1996	60.118.953 M. Ton	4248
1997	63.017.194 M. Ton	4303
1998	68.573.523 M. Ton	5142
1999	81.515.453 M. Ton	5504
2000	91.045.040 M. Ton	6093
2001	100.768.977 M. Ton	6516

Bu çalışma bağlamında deniz kazaları yoluyla kirlilik ile ilgilenilmesi düşünüldüğünden, Türkiye istatistiği kadar meydana gelen kaza istatistiği de gerçekçi bir çalışma oluşturabilmek için önem arz etmektedir.

Bu bakımdan, meydana gelen kazalara ilişkin Tablo 6 düzenlenmiştir.

Tablo 6. Deniz kazaları

Yıllar	İstanbul Boğazı	Çanakkale Boğazı	Toplam
1950 öncesi	Bilgi bulunamadı	Bilgi bulunamadı	Bilgi bulunamadı
1950-1960	15	01	16
1960-1970	43	25	68
1970-1980	39	20	59
1980-1990	112	43	155
1990-1995	168	08	174
1995	04	12	16
1996	07	10	17
1997	13	05	18
1998	30	07	37
1999	14	08	22
2000	09	08	17
2001	20	09	29

### Deneysel çalışma

Bu çalışmada, radyasyonla izleme tekniği ile gemi kazasına ilişkin denizde petrol kirliliğinin davranışının takibini hedef alan bir dizi deney laboratuvarında oluşturulan bir deney düzeneği yardımıyla yapılmıştır. Bu çalışmaya ilişkin olarak, Türkiye ve Dünya açısından önemli ve seyir bakımından zorluklar ifade etmesi nedeniyle olası kaza riski yüksek, dar bir deniz yolu olan Boğazlar göz önüne alınarak, deneysel çalışmalar yapılması yoluna gidilmiştir. Bu bağlamda bir açık kanal deney düzeneği ile çalışılması benimsenmiştir. Bu amaçla da bir açık tank sisteminden yararlanılmıştır.

Deneysel çalışmalarda kaza modellemesi yapılmak istendiğinden, kaza yeri ve kirlilik elemanı bırakımı, önem arz etmektedir (JMU, 2000). Dolayısı ile deneysel çalışmalar açısından da bu hususlar özen isteyen hususlar olmaktadır.

Kirlilik elemanı bırakım bölgesi, tank sisteminde başlangıç bölgesine yakın ve dar bir bırakım bölgesi olarak belirlenmiştir. Bırakım açıklığı, kaza simülasyonu için yeterli ve ancak açık kanal genişliğine göre hayli küçük olarak oluşturulmuştur. Böylelikle, deneylerde, gerçekleştirilen uygulamayla, geniş kanal olarak nitelenebilecek, ancak dar deniz yoluna ilişkin şartlarla deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Deneylerde farklı cihaz ve elemanlardan yararlanılmış olup, bunlar: Açık Deney Tankı, Bo-

şaltma Tankı, Bağlantı Boruları, Su Alma ve Aktarma Kapları, Su Taşıma Tankları, Deniz Suyu, Kirlilik Elemanı, Kirlilik Bırakım Sistemleri, Isıtıcı, Infrared Termometrelerdir.

Deney ortamına bırakılacak kirlilik malzemesi, deney açısından önem arz etmektedir. Suyun yoğunluğuna en yakın, ancak ondan daha düşük yoğunlukta bulunan, buna karşın yaygın kullanımı ve dolayısı ile taşınımı olan bir petrol türevi ile çalışmak bağlamında mazot ile çalışılması benimsenmiştir. Böylelikle, seçim kriterlerine uygun bir elemanla çalışılması tercih edilmiştir.

Önemli tanker yükü olan petroller, belli bir sıcaklıkta bulundurulmaktadır. Bu durum, taşınan petrolün, çevre elemanlardan daha sıcak olması sonucunu doğurmaktadır. Bu ise, infrared ile takibe imkan veren bir unsur olmaktadır. Bu bağlamda, bu çalışma infrared ölçümleme ile deniz kazalarına ilişkin olarak radyasyonla izleme çerçevesinde, deniz kirliliği takibinin yapılabilmesine olanak vermektedir. Bu amaçla, radyasyonla takibe uygun, infraredle ölçümleme yapılabilmesi için uygun, yeteri hassasiyette Oakton marka kızıl ötesi termometreler kullanılmıştır.

Bırakım miktarının önemli olduğu ve çoğu kez istenmeyen veya irade dışı bırakımlar olduğu gibi, düşük bırakımlarda kimi kez, resmi olarak irade dışı olarak belirtilmese bile, bilinç çerçevesinde de bırakımların olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda, geniş bir yelpazede bırakım deneyi yapılması hedeflendiğinden, sadece irade ve istem dışı haller değil, genel hallerin incelenmesi yoluna gidilmiş ve dolayısı ile de bu doktora tezinde “kaza” nitelemesi yerine “bırakım hali” nitelemesinin kullanılması yeğlenmiştir. Böylelikle, 10 farklı bırakım hali şartı belirlenmiş ve bu haller küçükten büyüğe doğru; düşük sızıntı, yüksek sızıntı, hafif dökülme, düşük dökülme, düşük orta dökülme, orta dökülme, yüksek orta dökülme, yüksek dökülme, olağanüstü dökülme ve katastrofik bırakım olacak şekilde deneylerin yapılma şartları oluşturulmuştur.

Gemiden denize petrol dökülmesine çoğunlukla, delinme sebebiyle akaryakıt kaçması neden ol-

maktadır. Dolayısıyla, kaza durumu için, dökülme etkenleri olarak en sık karşılaşılan delinme ele alınmıştır ve kaza sonucu deniz yüzeyi kirlenmesine ilişkin önemli hallerin incelenebileceği şekilde deneysel çalışmaların gerçekleştirilmiştir. Tablo 7’de yapılan çeşitli deney şartları belirtilmektedir.

Tablo 7. Deney şartları

Deney No	Kaza Tipi	Bırakım Miktarı (mL)
A1	Sızıntı	3
A2		7
A3	Bırakım	10
A4	(Sızıntı veya	20
A5	dökülme ve-	50
A6	ya kaçak)	100
A7	kazası	200
A8		300
A9		500
A10	Olağanüstü/ Katastrofik	750

### Deneyin yapılışı

Kazalarda oluşan dökülme, dolayısı ile kirlilik bırakımı, dairesel kesitli ve 5 mm reel çaplı bırakım elemanı ile gerçekleştirilmiştir. Söz konusu bu çapın bırakım elemanı çapı olarak seçimi, deneylerde kullandığımız açık tank sistemi ve özellikleri göz önüne alınarak seçilmiştir.

Deneye başlamadan önce, infrared ölçümlerinin yapılacağı noktaların belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için çalışılan açık tank sisteminin su ile doldurulan kısmı, ızgara noktaları olarak ayırılmıştır.

Izgara noktaları, tank dibine silinmeyecek bir şekilde markalanmıştır. Markalama ile deneysel sonuç tablolarındaki ifadelerin karmaşıklığı önlenmiş ve sadeliğinin sağlanmış olacağı düşünülmüştür.

Deney ölçümleme noktaları belirlendikten sonra, açık tank sistemi tamamen deniz suyu ile

doldurulmuştur. Kirlilik oluşturacak diesel oilin sıcaklığı elektrikli ısıtıcıda buharlaşma olmayacak şekilde, yüksek olmayan bir sıcaklıkta infrared termometre yardımı ile sık sık kontrol edilerek deney için belirlenen sıcaklık noktasında dengeye ulaşıncaya dek ısıtılmış ve miktarı her bir deney için belirlenen değerlere göre ayarlanmıştır.

Deneyler için bu hazırlık çalışmaları yapıldıktan sonra, bilinçli veya bilinçsiz olarak denize petrol dökülmesi durumu olan bırakım deneyine geçilmiştir. Bu irdeleme için, ucu 5 mm dairesel kesitli ve vanalı büret, balonlu büret, hazne ilaveli büret, laboratuvar masa ayağı, infrared termometreler kullanılmıştır.

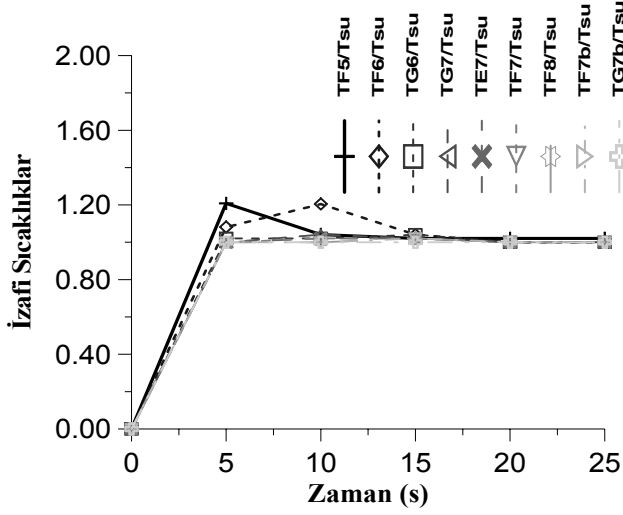
Tüm deneylerde, kızıl ötesi ölçümleme, yaklaşık 5 veya 10 saniyede bir alınmıştır. Ölçüm değerleri, tüm noktalardaki okunan değerler sabit kalıncaya kadar devam etmiştir, deneyin rejime ulaştığı kanaatine varılmış ve ölçümleme işlemi bırakılmıştır. Bu durumda yüzey konsantrasyonlarının % 0.01 dolayında olduğu optik renkmetre (Colorimeter) ile tespit edilmiştir.

Deneyler tamamlandıktan sonra çıkan atık su, boşaltım tankına aktarılarak deney bitirilmiştir. Bu şekilde, kaza sonucu veya bilinçli yada bilinçsiz petrol bırakımıyla deniz yüzeyi kirlenmesine ilişkin deneylerin bir bütün içinde gerçekleştirilmesi ve bu özgünlüğü bağlamında orijinaliteyle birlikte yapılması sağlanmıştır.

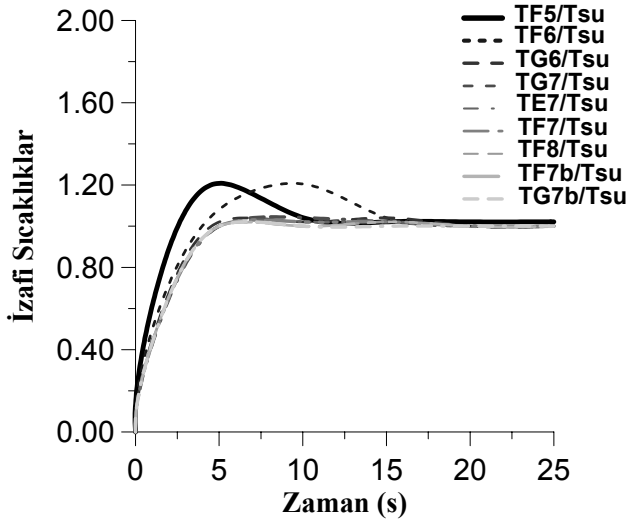
### Deneysel çalışmanın sonuçları

Deneylerin rasyonel olarak değerlendirilmesinin yapılabilmesi için başlangıçtaki deney deniz suyu sıcaklığına göre bağlı değerlendirmeye gidilmiştir. Böylelikle, deneylerin özelinden öte, genel değerlendirilmenin mümkün olabileceği düşünülmüştür.

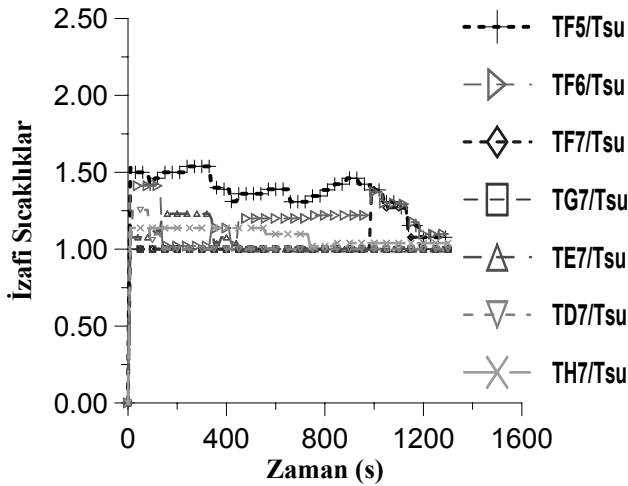
Elde edilen bağlı deney sonuçlarına ilişkin tablolar oluşturulmuştur. Bu tablolardan hareketle çizilen grafikler de, Şekil 2, Şekil 3’te görülmektedir. Söz konusu bu grafiklerden hareketle çizilen uyum grafikleri ise, Şekil 4 ve Şekil 5’te verilmektedir.



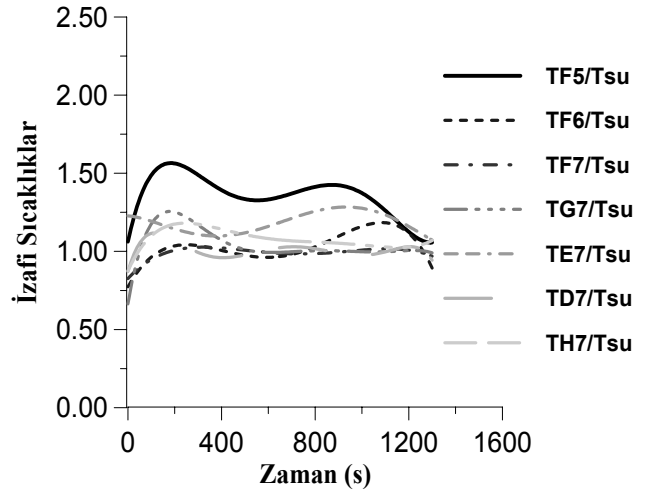
Şekil 2. Düşük sızıntı deney sonuçları



Şekil 3. Düşük sızıntı deneyi uyum grafiği



Şekil 4. Olağanüstü dökülme deney sonuçları



Şekil 5. Olağanüstü dökülme deneyi uyum grafiği

Deney sonuçları bağlamında verilen grafikler ve uyum grafikleri incelendiğinde (Şekil 2- Şekil 5) tüm deneyler için bırakım pikinden bahsedilebileceği görülmektedir. Bu husus, deneyin doğası gereği olup, beklenti doğrultusundadır. Zira, bırakım öncesine göre, önce hızlı bir artış ve bırakımın azalması ile birlikte azalım gözlenmesi deneyin gereği durumundadır. Bu sonuçlar, deneylerin rasyonel şekilde yapılabildiğinin de bir göstergesidir.

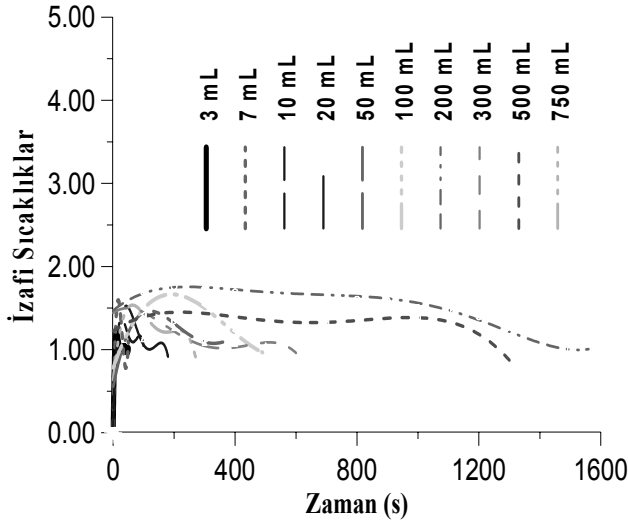
Söz konusu grafiklerin (Şekil2- Şekil5) bitiş noktalarına bakıldığında, grafiklerin birbirine hayli yakınsadığı görülmektedir. Bu husus ise, son noktaların, deney için belirli bir rejimin sağlandığı süre olarak betimlenmesi mümkündür. Bu bağlamda, tüm deneyler için farklı ölçüm noktalarına ilişkin alınan sonuçların dar bir bant aralığına girdiği ifade edilebilir.

Deneyler için bırakım noktası özel bir odak noktasıdır. Bu bağlamda, elde edilen deneysel sonuçların bırakım noktası için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi yoluna gidilmiştir.

Her deneye ilişkin verilen bırakım noktası ( $T_{F5}$ ) için bağlı deney sonucu değerlerine ilişkin mukayese grafiği Şekil 6 oluşturulmuştur.

Bu grafik incelendiğinde, bırakım miktarı arttıkça, bırakım pikinin değerinin artmakta olduğu görülmektedir. Bu durum, deneylerin doğası gereği olup, beklenti doğrultusundadır. Aynı za-

manda, bırakım haline ilişkin bırakım miktarı arttıkça çevre etkilenmesinin artacağı sonucunu da ifade etmektedir.

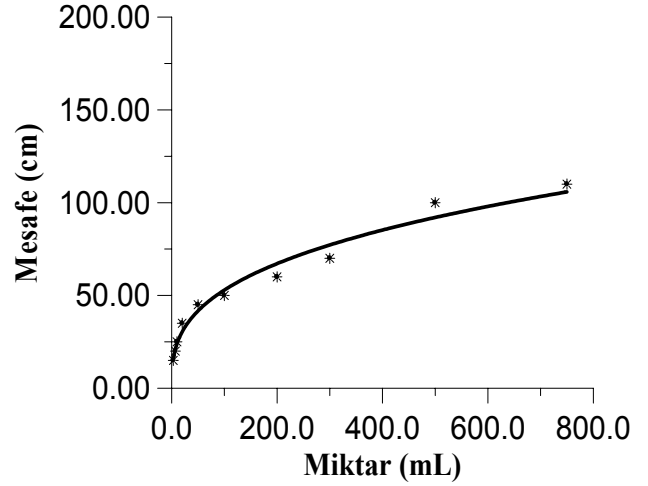


Şekil 6. Bırakım noktası karşılaştırma grafiği

Deniz kirliliği incelemelerinde, bir önemli husus da, ulaşım mesafesi olmaktadır. Deneylerde varılan ulaşım mesafesi sonuçları Tablo 4'te bir araya toplanmıştır. Tablo 8'den hareketle çizilen grafik ise, Şekil 7'de görülmektedir.

Tablo 8. Ulaşım mesafeleri

Deney No	Deney	Ulaşım Mesafe (cm)
A1	Düşük sızıntı deneyi	15
A2	Yüksek sızıntı deneyi	20
A3	Hafif dökülme deneyi	25
A4	Düşük dökülme deneyi	35
A5	Düşük-orta dökülme deneyi	45
A6	Orta dökülme deneyi	50
A7	Yüksek-orta dökülme deneyi	60
A8	Yüksek dökülme deneyi	70
A9	Olağanüstü dökülme deneyi	100
A10	Katastrofik bırakım deneyi	110



Şekil 7. Bırakım miktarına göre ulaşım mesafesi

Şekil 7 incelendiğinde, bırakım miktarı arttıkça, ulaşım mesafesinin de arttığı görülmektedir. Ancak, ulaşım mesafesi değişiminin eksponansiyel değişim karakteristiğine uyumlu olduğu izlenimi edinilmektedir. Bunlardan ayrı olarak, dar su yollarında diesel oil bırakım halleri için bırakım süresine göre etkin süre belirlenmesi yoluna gidilmiştir. Böylelikle, dar deniz yolları için çalkantısız şartlarda bırakımın etkili olacağı düşünülebilecek mesafe hakkında fikir sahibi olunmaya çalışılmıştır.

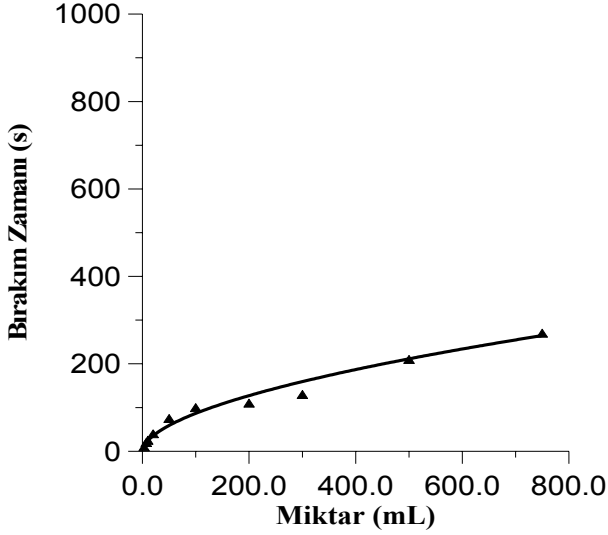
Etkin süre incelemesinin yapılabilmesi için öncelikle, deneylerimiz için bırakım süresi ile toplam süre incelemelerinin yapılması gerekmektedir. Deneylerimizde belirlenen bırakım süreleri Tablo 9'da verilmektedir. İlgili grafik ise Şekil 8'de görülmektedir.

Bırakım süresi grafiğinin değişimi artarak giden olmakla birlikte, yine eksponansiyel bir değişime uyumlu olduğu gözlenmektedir.

Deneylere ilişkin toplam deney süreleri Tablo 10'da bir araya toplanmış ilgili grafik ise Şekil 9'da görülmektedir. Burada da yine artarak giden ve eksponansiyele uyumlu bir değişim görülmektedir.

Süreye ilişkin irdeleme, genel kaza incelemesi açısından anlamlı olabilmesi bakımından izafi irdelemeye de gidilmiştir. Bu bağlamda, toplam sürenin ( $t$ ), bırakım süresine ( $t_b$ ) oranı, izafi süre ( $t_i$ ) olarak tanımlanmıştır.

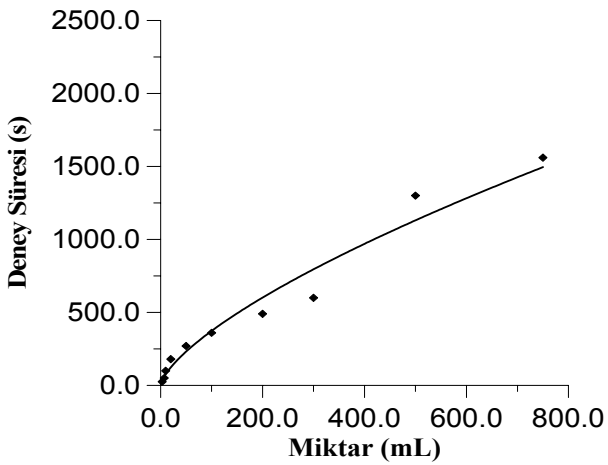




Şekil 8. Deney bırakım süreleri

Tablo 9. Bırakım süreleri

Deney No	Deney	Bırakım Süresi $t_b$ (s)
A1	Düşük sızıntı deneyi	10
A2	Yüksek sızıntı deneyi	20
A3	Hafif dökülme deneyi	30
A4	Düşük dökülme deneyi	50
A5	Düşük-orta dökülme deneyi	70
A6	Orta dökülme deneyi	90
A7	Yüksek-orta dökülme deneyi	100
A8	Yüksek dökülme deneyi	100
A9	Olağanüstü dökülme deneyi	200
A10	Katastrofik bırakım deneyi	200



Şekil 9. Miktarlara ilişkin deney toplam süreleri

Tablo 10. Toplam süre

Deney No	Deney	Deney Süresi t (s)
A1	Düşük sızıntı deneyi	25
A2	Yüksek sızıntı deneyi	50
A3	Hafif dökülme deneyi	100
A4	Düşük dökülme deneyi	180
A5	Düşük-orta dökülme deneyi	270
A6	Orta dökülme deneyi	360
A7	Yüksek-orta dökülme deneyi	490
A8	Yüksek dökülme deneyi	600
A9	Olağanüstü dökülme deneyi	1300
A10	Katastrofik bırakım deneyi	1560

Buna göre;

$$t_i = \frac{t}{t_b} \quad (1)$$

olmaktadır.

Denklem 1 ile tanımlanan etkin süre incelemesinin daha rasyonel olarak değerlendirilebilmesi için izafi bırakım miktarı ile birlikte değerlendirilmesinin yerinde olacağı düşünülmüştür. Bunun için sızıntı deneyine göre izafi bırakım miktarları Denklem 2 ile belirlenmiştir. Bu amaçla, x deney sayısını ifade etmek üzere bırakım miktarları ( $Q_x$ ), düşük sızıntı deneyi miktarına ( $Q_1$ ) göre oranlanmıştır. Bu şekilde izafi bırakım miktarları bulunmuştur

( $Q_{ix}$ ). Buna göre;

$$Q_{ix} = Q_x / Q_1 \quad (2)$$

olmaktadır.

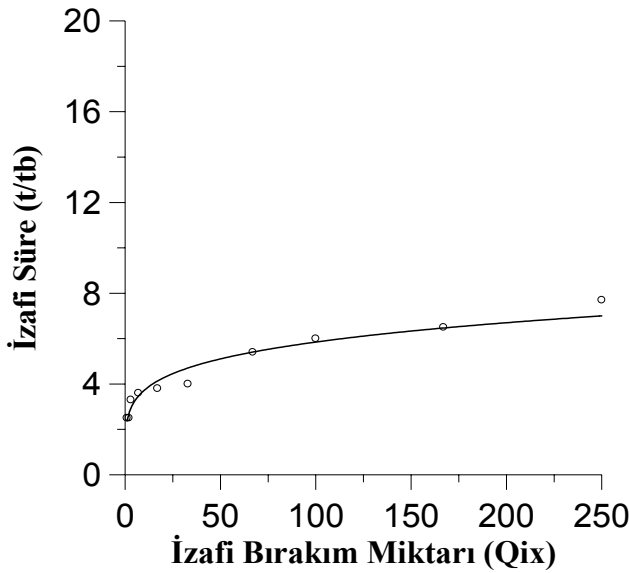
Buna göre oluşturulan değerler Tablo11'de verilmektedir. Bu tablodan çizilen grafik ise, Şekil 10'da görülmektedir.

Deneylerimizle elde edilen sonuçlar ve bunların birbirine uyumluluğu ve beklenti doğrultusunda olmasıyla yetinilmeyip, matematiksel bir irdeleme

yoluna da gidilmiştir. Bu şekilde, deneylerimizin güvenilirliği konusuna netlik getirilmesi hedeflenmiştir.

Tablo11. İzaftı bırakım miktarına ilişkin olarak etkin süreler

İzaftı bırakım miktarı	İzaftı süre
$Q_{ix}$	$t/t_b$
1	2.5
2	2.5
3	3.3
7	3.6
17	3.8
33	4.0
67	5.4
100	6.0
167	6.5
250	7.7



Şekil 10. Etkin süre grafiği

Dar su yollarına ilişkin denize disel oil bırakılması olayının matematiksel incelemesi hayli karmaşıklık içermektedir. Genellikle, sonlu - yarı sonlu sistemler için Fick 2. Kanun'dan hareketle çözüme gidilebileceği düşünülmektedir (Derbentli,2000). Yayınımın en genel ifadesi matematiksel olarak moleküler difüzyon bağlamında:

$$J_1 = - D \nabla C_i \quad (3)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Burada;

$J_i$  : Difüzyon akısı

$D$  : i. Kirliliğin dispersiyonuna ilişkin yayılım katsayısı

$\nabla$  : Diferansiyel vektör operatörü

$C_i$ : i. Kirliliğin konsantrasyonu

olarak ifade edilebilmektedir.

$$\nabla C_i = \mathbf{i} \frac{\partial C_i}{\partial x} + \mathbf{k} \frac{\partial C_i}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial C_i}{\partial z} \quad (4)$$

şeklinde de yazılabilmektedir.

Tek komponentli modellerde konsantrasyon, bizim çalışmamızda da olduğu gibi tek boyutlu olup;

$$-\frac{\partial J_i}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C_i}{\partial x^2} = \frac{\partial Q}{\partial t} \quad (5)$$

ifadesi yazılabilmektedir. Diferansiyel denklemin çözümüne gidildikten sonra yapılan düzenlemeler ile;

$$x = \left[ -4Dt \ln \frac{Q}{Q_0} \right] \quad (6)$$

ifadesine erişilmektedir.

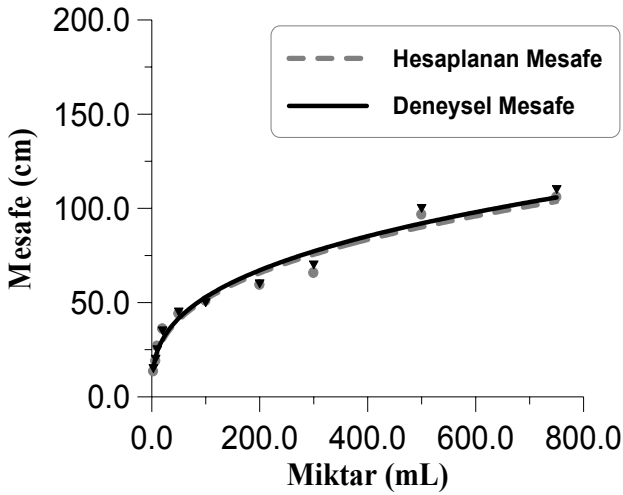
Böylelikle, nispeten sade bir modelleme yoluna gidilmiş ve yarı sonlu çözüm denklemi ile kıyaslama yapılmıştır.

Elde edilen değerler Tablo 12'de verilmektedir. Şekil 11'de deneysel olarak belirlenen ve irdelenilen modelle hesaplanan ulaşım mesafeleri grafik olarak görülmektedir.

Deneysel ile hesaplanan ulaşım miktarının birbirlerine hayli yakın olduğu gözlenmektedir. En yüksek hatanın % 10 dolayında, en düşük hatanın ise % 1 dolayında olduğu görülmektedir. Ayrıca, ortalama mutlak hatanın % 5'in altında kaldığı ve ortalama hatanın ise % 1 dolayında olduğu göze çarpmaktadır.

Tablo 12. Hesaplama verileri

Tayin edilen ulaşım mesafesi (cm)	Deneysel ulaşılan mesafe (cm)	Hata (%)
13.4016	15	10.6563
18.9527	20	5.2367
26.8031	25	-7.2120
35.9601	35	-2.7430
44.0420	45	2.1289
50.8553	50	-1.7110
59.3312	60	1.1147
65.6539	70	-1.0060
96.6400	100	3.3600
105.8638	110	3.7602
Ortalama mutlak hata		3.9000
Ortalama hata		1.3584



Şekil 11. Ulaşım mesafesi kıyaslama grafiği

Düşük bırakım halleri için hatanın nispeten yüksekliği söz konusudur. Bu durumun, düşük bırakım hallerinde deneysel olarak tayin edilebilen boyutlarla ilgili olduğu düşünülmektedir.

## Sonuç

Özet olarak belirtmek istenirse, radyasyonla izleme tekniği bağlamında dar deniz yolları için mazot bırakım hallerine ilişkin olarak 10 farklı bırakım miktarı için deneyler; deneysel özgünlük içinde yapılmış ve kendi içinde uyumlu ve anlamlı sonuçlara ulaşılmıştır.

Ulaşılan sonuçların uyumluluğu ve anlamlılığı gösterilmiş olmakla beraber, bununla yetinilmiyip, matematiksel irdeleme yoluna da gidilmiş ve ulaşım mesafesi tayini, hesaplama ile de bulunmuş ve deneysel olarak ulaşılan değerlerle ileri derecede uyumluluk içinde olduğu uygulama alanı bakımından orijinaliteyle gösterilmiştir. Böylelikle, deneysel ve matematik irdeleme uygulaması bağlamında farklı yönlerden özgün ve hayata geçirilebilir bir çalışma gerçekleştirilmiş olmaktadır.

## Kaynaklar

- Derbentli, Taner, (2000). *Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik*, / Y.A. Çengel, M. A. Boles; çev., Literatür Yayıncılık.
- Derniak ve Boreman, (1996). *Infrared detectors and systems*, John Wiley & Sons, Singapore, 55-78, 400, 486.
- Er, Z., Satır, T., Tuğrul, B., Deniz, C. and Furusho, M., (2003). Study on oil spills in Marmara Sea coastal areas, *Proceedings, The Mediterranean Coastal Environment, II*, October 2003, Ravenna, Italy, 1093.
- Er, Z. ve Satır, T., (2003). Environmental training model for coastal organizations due to shipboard oil spills, *Proceedings, The Mediterranean Coastal Environment, II*, October 2003, Ravenna, Italy, 1117.
- Er, Z., Tuğrul, B., (2002). Deniz ve kıyı sularında yaşayan zararlı organizma ve patojenlerin gemilerin balastı yolu ile taşınmasının en aza indirgenbilmesine yönelik geliştirilen plan yönetimi ve kontrolü, *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları IV. Konferansı*, Türkiye Kıyıları – 5-8 Kasım 2002, İzmir, Bildiri Kitabı, 793-802.
- IAEA- Vienna, (1963). Radioisotope in Hydrology; *Proceedings*, International Atomic Energy Agency, Vienna
- IMO, (1978). *Marine Environmental Pollution - MARPOL- Convention*, London.
- JMU, (2000). *Integrated Maritime Pollution Control Course Handbook*, Liverpool John Moores University, School of Engineering, UK.
- Ketkar S., Satish P., (1999). *Numerical Thermal Analysis*, ASME Press, New York.
- Patankar, S. V., (1980). *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, Hemisphere Publishing Corporation, United States of America, Minnesota, 313, 690, 703, 853, 859, 866, 882-883, 919.

- Resmi Gazete-* sayı: 25113, (2003). Gemilerden kaynaklanan kirliliğin önlenmesi ve acil durumlarda Akdeniz'in kirlenmesine karşı mücadelede işbirliği hakkında protokol, Resmi Gazete 20 Mayıs 2003, Yürütme ve İdare Bölümü Sayfa: 47-71.
- Sağ, O.K., eds. (1994). Proceedings of International Seminar on Maritime Safety and Environmental Protection, İstanbul, 35.
- Samsunlu, A., (1995). *Deniz Kirliliği ve Kontrolü*, İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul, 23,40, 104-106.
- Tuğrul, A.B. ve Altınsoy, N., (2002). A new modification of radiotracer balance method for open channel flow measurement, *Flow Measurement and Instrumentation*, **12**, 341-344.
- Tütüncü, A. N., (2001). *Gemi kaynaklı deniz kirlenmesinin önlenmesi, azaltılması ve kontrol altına alınmasında devletin yetkisi*, Beta Yayıncılık, İstanbul.
- Ünlü, S., Güven, K.C., Okuş, E., Doğan, E., Gezgin, T., (1999). Oil spill from Tüpraş Refinery following earthquake occurred in 17 Aug. 1999, *Turkish Journal of Marine Sciences*, **6**, 2, 1-11.
- Yonsel, F., (1999). Deniz ulaşımı ve deniz kirliliği, *Deniz Ticareti Turkish Shipping World*.
- 
- [www.epa.gov/enviro](http://www.epa.gov/enviro)  
[www.turkishpilots.org/majoracc.html](http://www.turkishpilots.org/majoracc.html), 1999  
[www.dogasavascilari.org/deniz.htm](http://www.dogasavascilari.org/deniz.htm), 2003  
[www.denizce.com/firuzaden.asp](http://www.denizce.com/firuzaden.asp), 2002