



Olası Bir Gemi Kazası Ardından Oluşacak Petrol Kirliliğinin Sektör Kadıköy Kıyısı Alanındaki Toksik Etkisinin Belirlenmesi

Nüket SİVRİ¹ Serdar YILDIZ², V. Zülal SÖNMEZ^{1*} Özkan UĞURLU³

¹ Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye

² Dünya Denizcilik Üniversitesi, SE 201-24, Malmö, İsveç

³ Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü, Ordu Üniversitesi, Ordu, Türkiye

Geliş Tarihi: 13.10.2021

Kabul Tarihi: 18.02.2022

Basım Tarihi: 31.03.2022

Atıf yapmak için: Sivri, N., Yıldız, S., Sönmez V.Z. & Uğurlu, Ö. (2022). Olası Bir Gemi Kazası Ardından Oluşacak Petrol Kirliliğinin Sektör Kadıköy Kıyısı Alanındaki Toksik Etkisinin Belirlenmesi. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 7(1), 53-61.

How to cite: Sivri, N., Yıldız, S., Sönmez V.Z. & Uğurlu, Ö. (2022). Determination of the Toxic Effect of That Will Occur Oil Pollution in the Sector Kadıköy Coastal Area After a Possible Ship Accident. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 7(1), 53-61.

<https://orcid.org/0000-0002-4269-5950>
 <https://orcid.org/0000-0002-3340-5819>
 <https://orcid.org/0000-0002-7488-2996>
 <https://orcid.org/0000-0002-3788-1759>

Öz: Dünyadaki en önemli geçit yollarından birisi olan İstanbul Boğazı, doğu ve batının birleşmesinde jeopolitik önemi yüksek olan özel bir alandır. Karadeniz'e kıyısı olan ülkeler, İstanbul Boğazı sayesinde sürdürülebilir deniz ticaretlerini yapabilmekte ve petrol ürünlerinin önemli bir bölümünü, Türk Boğazları üzerinden dünyaya ihraç edebilmektedirler. İstanbul Boğazı'nda Sektör Kadıköy içerisinde yer alan demirleme yerleri (A, B, C demir sahaları) Türk Boğazları'nda gemi trafiğinin en yoğun ve en karmaşık yapıya sahip olduğu deniz alanlarıdır. Bu nedenle Sektör Kadıköy içerisinde yer alan demirleme yerleri ve yakın çevresi Türk Boğazları'nda gemi kazalarının en sık yaşandığı deniz alanlarıdır. Bu çalışmada, İstanbul Boğazı'nda gemi trafiğinin en yoğun olduğu Sektör Kadıköy içerisinde yer alan tanker demirleme sahasında olası bir ham petrol gemisi kazası sonucunda oluşabilecek petrol kirliliğinin, akut toksik etkisi modellenmiştir. Çalışmada olası petrol kaynaklı kirlenmenin denizel ekosistemde oluşturabileceği etkinin tespiti için, laboratuvar ortamında *Bacterial Bioluminescence Bioassay* testiyle, ham petrolün deniz ortamında akut toksisitesi araştırılmıştır. Çalışmada kirliliğin modellenmesi için GNOME Simülasyon Modellemesi yazılımı kullanılmıştır. Modellemede meteorolojik ve oşinografik veriler göz önünde bulundurularak, petrol kirliliğinin etkileyeceği deniz ve kıyı alanları tespit edilmiştir.

Bu çalışma sonucunda, kaza ile oluşacak petrol kirliliği ardından, ekosistem biyoçeşitliliğinin etkilenmesi olası sektöre ait riskli alanlar model sonuçlarından edinilen bilgilerle belirlenmiştir. Sektör Kadıköy olarak seçilen alanda, ham petrolün ulaşabileceği en son noktada bile petrolün toksik etkisinin devam edebileceği görülmüş ve bu noktadan itibaren gereken seyreltme değerleri hesaplanmıştır. Petrol kaynaklı kirlenmenin tespiti için, akut toksisite test ölçüm periyotları olan 5 dk – 15 dk ve 30 dk arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır. En hızlı müdahale gerektiren petrol kaynaklı kirlenmelerde, akut toksisite testinin 5 dakikalık maruziyet süresi sonuçlarından yararlanılabileceği belirlenmiştir. Bu çalışma ile hem bu özel alanın korunması ve hem de biyoçeşitliliğin etkilenmemesi için petrol kirliliği özelinde çalışmalar, senaryolar ve kıyısı alan koruma planları ile bütünlük izlemelerin yapılmasının önemi vurgulanabilir.

*Sorumlu yazarın:

V. Zülal SÖNMEZ

Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul

Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul, Türkiye

✉: zulal.sonmez@iuc.edu.tr

Anahtar kelimeler: Petrol kirliliği, akut toksisite, sektör Kadıköy, İstanbul, deniz kazası.

Determination of the Toxic Effect of That Will Occur Oil Pollution in the Sector Kadıköy Coastal Area After a Possible Ship Accident

Abstract: The Bosphorus, one of the most important passageways in the world, is a special area with high geopolitical importance at the junction of east and west. Countries with a coast to the Black Sea can carry out sustainable maritime trade thanks to the Bosphorus and export a significant part of their petroleum products to the world through the Turkish Straits. Anchorage areas (A, B, C anchor areas) located in Sector Kadıköy in the Bosphorus are the sea areas where the heaviest and most complex structure of ship traffic occur in the Turkish Straits. For this reason, the anchorage areas within Sector Kadıköy and its immediate surroundings are the sea areas where ship accidents occur most frequently in the Turkish Straits. This study models the acute toxic effect of oil pollution that might result from a possible crude oil ship accident at the tanker anchorage area located in Sector Kadıköy, where ship traffic is the most intense in the Bosphorus. In the study, the acute toxicity of crude oil in the marine environment was investigated with the *Bacterial Bioluminescence Bioassay* test in a laboratory environment to determine the effect of possible oil-related pollution on the marine ecosystem. GNOME Simulation Modeling software was used to model pollution in the study. In the modelling, the meteorological and oceanographic data were considered and the sea and coastal areas affected by oil pollution were determined.

*Corresponding author's:
V. Zülal SÖNMEZ
Environmental Engineering Department,
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul,
Turkey.
✉: zual.sonmez@iuc.edu.tr

With the information obtained from the modelling results, this study determined the risky areas of the sector that may affect the ecosystem biodiversity after the accidental oil pollution. In the area chosen as Sector Kadıköy, it was observed that the toxic effect of oil could continue even at the last point where crude oil could reach, and the required dilution values were calculated from this point onwards. There was no statistically significant difference between the acute toxicity test measurement periods of 5 minutes, 15 minutes and 30 minutes to detect oil-based pollution. It was determined that the 5-minute exposure time results of the acute toxicity test could be used in petroleum-based contaminations that require the fastest response. With this study, the importance of conducting integrated monitoring with oil pollution specific studies, scenarios, and coastal protection plans is emphasised to protect this special area and not affect biodiversity.

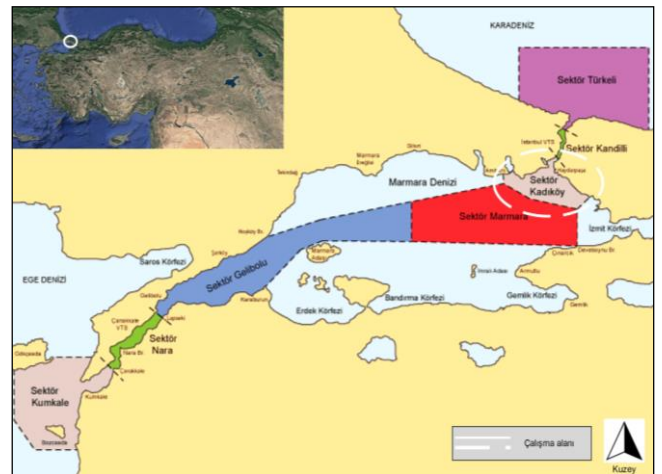
Keywords: Oil pollution, acute toxicity, sector Kadıköy, İstanbul, marine accident.

GİRİŞ

Teknolojinin yenilikçi uygulamaları ile ülkelerin hammaddeye olan ihtiyacı, taşımacılık sektörünün en önemli ayağı olan gemi hareketlerini ön plana çıkarmıştır. Bu durum, son 10 yılda, gemilerin hem daha hızlı ve modern hale gelmesine hem de taşıma kapasitelerinin artmasına neden olmuştur (Kaptan vd., 2020; Yıldız vd. 2021). Artan ham madde ve petrol ihtiyacı, deniz yolu ile taşınan yükü dolaylı olarak da olası kaza riskini ve denize dökülebilecek petrol kirliliğinin miktarını artırmıştır. Gemilerin zorunlu geçiş güzergâhındaki boğaz ve kanallar ise, bu kazaların çok sık yaşandığı deniz alanlarıdır (Uğurlu vd., 2016). Bu durum boğazlara yönelik askeri, siyasi ve ticari kaygılara ek, çevre kirliliği baskısı açısından dikkat edilmesi gereken özel alanlar konusunu gündeme getirmiştir. Çünkü telafisi maddi olarak karşılanamayan, ekosistem hasarlarının uzun yıllar devam ettiği ekolojik felaketsel kazalar, o ülke sınırları için değil, dünya ekosistemleri adına da kötü sonuçlar doğurmaktadır (Doğan ve Burak, 2007; Başar, 2010; Basar vd., 2018). Bu tip olumsuz sonuçlara neden olan ekolojik hasarlı kazalar sonrasında en önemli adım, karar vericiler tarafından akut önlemlerin hayata geçirilmesi ve böylece kronik etkilerin kalıcı olmadan ya da kısmi kayıplarla atlatılmasının sağlanmasıdır. Özel ekosistemlere sahip alanlarda ise, var olan hassas alanların etkilenmemesi adına, önceden yapılacak modelleme ve senaryo çalışmaları ile acil müdahale eylem olasılıkları değerlendirilmeli, hatta alanlar için gereken ekipman ve destekleyici üniteler uygun şartlarda konumlandırılmalıdır.

Özel bir ekosisteme sahip olan Marmara Denizi, Türkiye'nin bir iç denizi olma özelliği yanı sıra, yoğun kirlilik baskısını hisseden ve hissettiren özelliği ile son 20 yıldır ülkenin gündemindedir. Antropojenik kirliliğin etkisi ve baskısının yanı sıra, farklı denizlere ulaşmak için, Marmara Denizi'nden geçiş yapan yılda 45 bine yakın geminin baskısı da gün geçtikçe hissedilmektedir (UDHB, 2016; Kaptan vd., 2020; Yıldız vd., 2021). Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmet (TBGTH-2021) alanı; İstanbul Gemi Trafik Hizmetleri ve Çanakkale Gemi Trafik Hizmetleri alanları olarak 2 GTH alt bölgesine ayrılmaktadır (Şekil 1). Yerel deniz trafiği kapsamındaki gemiler hariç olmak üzere, her ne maksatla olursa olsun TBGTH alanında

bulunan tehlikeli yük taşıyan tüm gemiler ile tam boyu 20 metre ve daha büyük gemilerin, yani "Aktif Katılımcı" olarak tanımlanan gemilerin, IMO A.851(20) no'lu karara uygun olarak hazırlanmış olan Türk Boğazları Raporlama (TÜBRAP) sistemine uymaları gerekmektedir. Ancak riski yüksek geçiş rotalarına sahip İstanbul Boğazı'nda, 1999 yılından itibaren yaşanan kazalardan sonra, deniz yaşamının %90'ını zarar görmüş ve uzun yıllar kalıcı hasar olarak kronik etkisini sürdürmüştür (Öztürk vb., 2001). Sadece İstanbul Boğazı'nı değil, Marmara Denizi'nin gemilerden kaynaklı kirliliğini önlemek üzere denetim tekneleri, helikopter ve insansız hava aracı (drone) ile sürekli denetleme çalışmalarını yürüten İstanbul Büyükşehir Belediyesi aynı zamanda, deniz denetim teknelerini Tuzla, Yenikapı ve acil müdahale için Unkapanı'nda konuşlandırılmaktadır. Yine de tarihi yarımada, özel lagün ekosistemlerini içine alan Sektör Kadıköy; kıyasal alanlarında yerleşimlerin yoğun olduğu özel bölgelerinde kazalar ile karşılaşmış, olumsuz etkiler yaşamış ve sadece denizel ekosistemde değil uzun süreli maruziyet nedeniyle insan sağlığını da olumsuz etkilemiş bir denizel alanıdır (Yıldız vd, 2021). Bu alanda yaşanacak olası petrol kazasının, o günkü meteorolojik ve oşinografik veriler göz önünde bulundurularak, petrol kirliliğinin etkileyeceği deniz ve kıyı alanları tespit edilmesi senaryosu bu çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır.



Şekil 1. Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri Alanı (Kıyı Emniyeti, 2021)

Figure 1. Turkish Straits Vessel Traffic Service Area (Coastal Safety, 2021)

Bibliyometrik analiz, akademik yayınların çeşitli unsurlarının sayısal analizler ve istatistikler yardımıyla incelenmesi ile ilgilenen bir araştırma yöntemidir (Ellegaard ve Wallin, 2015; Sahin vd., 2020). Değerlendirme yöntemi olarak kullanıldığında, teknolojinin etkisi veya bir yazarın, organizasyonun araştırmanın etkinliğini belirlemeye yardımcı olmaktadır (Van Raan, 2014; Akduman vd., 2020). Bu çalışmaya konu olan İstanbul Boğazı (=Strait) detayı dikkate alınarak, [oil AND spill AND toxicity AND strait] anahtar kelimeleri ile ilgili çalışmaların ise oldukça sınırlı kaldığı görülmüştür. Bu konuda yapılan sadece 10 adet makale tespit edilmiş, bu makalelerin 6 tanesinde, petrol ve türevlerinin sızıntı ve/veya dökülmelerinden kaynaklanabilecek olası toksisitenin farklı organizmalar (*Paracentrotus lividu*, *Hydra viridissima*, *Macquaria novemaculeata*, *Melanotaenia fluviatilis*, *Octopus pallidus*, *Paphia undulata*) üzerine etkileri araştırılmıştır. (Uysal vd., 1997; Mitchell ve Holdway, 2000; Cohen ve Nugegoda, 2000; Pollino ve Holdway, 2002; Long ve Holdway, 2002; Keshavarzifard vd., 2017). Yapılan bibliyometrik analizde sadece iki çalışmada, simülasyon ve modellemeden yararlanıldığı belirlenmiştir (Gin vd., 2001; Wu vd., 2016). Bunlardan biri, “*modelling study of influences of wave-induced stokes drift on trajectories of oil spills in storm conditions in Hecate Strait*” çalışmasıdır ve özellikle fırtına koşullarında inceleme yapılmıştır (Wu vd., 2016). Gin vd. (2001) tarafından yapılan diğer çalışmada ise, çok aşamalı bir petrol sızıntısı modeli ile bir besin zinciri modelinden oluşan bir petrol sızıntısı etkileşim modeli, petrol sızıntı ve dökülmelerden kaynaklı denizel organizmalar üzerindeki olası etkilerini değerlendirmek için geliştirilmiştir. Geniş kapsamlı içeriğe sahip, bilimsel yayınları kolaylıkla tarayabilen bu arama motorunda; yapılan bu çalışmaya konu olan İstanbul’un tarihi, ekolojik ve ekonomik öneme sahip kıyısız alanındaki, olası petrol içerikli toksik etkilerin karşılaştırılacağı bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Petrol; denizel ekosistemlerin ekolojik işlevlerini sürdürülebilir kılmasını sınırlandıran yapıya sahip bir kimyasaldır. Bu kimyasala ait etkinin ortaya çıkmasında; kimyasal madde ve aralarındaki etkileşim, kimyasal maddeye maruz kalan organizma ve maruziyet ile ilgili özellikler rol oynamaktadır. Bu amaçla yapılan akut toksisite testleri; kimyasal maddenin biyolojik sistemlerde meydana getirdiği zararlı etkileri saptamayı, toksik etkinin niteliğini ve niceliğini tanımlamayı, doz-cevap ilişkisini ve toksisitenin meydana geldiği koşulları belirlemeyi sağlar (Sönmez, Sivri ve Dokmeci, 2016). Ancak, genellikle çevresel değerlendirme için büyüme, çoğalma, larval veya embriyonik gelişim bozukluğu ve davranışsal sapmalar gibi altta kalma etkileri tespit etmek ve ekolojik sonuçlar açısından analiz etmek daha zordur. Bu nedenle, ortamdaki

ksenobiyotik bileşiklere hızlı veya neredeyse anlık bir yanıt verecek teste ihtiyaç duyulmaktadır (Sönmez ve Sivri, 2016). Günümüz şartlarında ise, akut toksisite testleri arasında yer alan en hızlı test biyoluminesans bakterisi ile yapılan akut toksisite testi olarak kabul görmüştür (Sönmez ve Sivri 2020a; Sönmez ve Sivri 2020b).

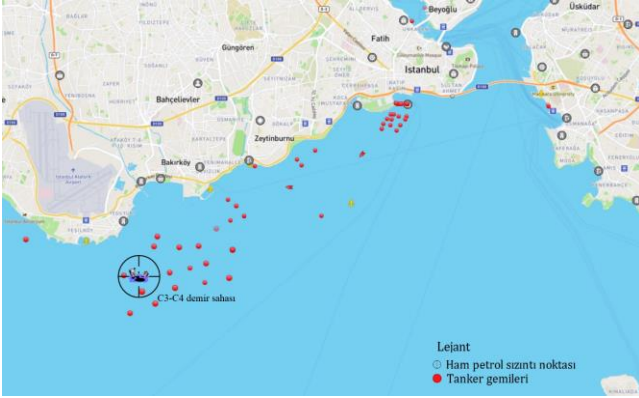
Bu çalışmada, Sektör Kadıköy olarak seçilen alanda, olası gemi kazası ile oluşacak petrol kirliliği ardından, kıyısız ekosisteme etkilerinin GNOME simülasyon modeli sonuçlarından edinilen bilgilerle belirlenmesi hedeflenmiştir. Ham petrolün ulaşabileceği alanlarda toksik etkinin varlığı araştırılmış ve gereken seyreltme değerleri hesaplanmıştır. Petrol kaynaklı kirlenmenin tespiti ve acil müdahalesi için, akut toksisite testinin en kısa maruziyet süresi belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar görselleştirilmiş ve alana ait alınması gereken tedbirler model sonuçları ile yorumlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

İstanbul Boğazı’nda demir yerlerinin, boğaza giriş yapan ve boğazdan çıkış yapan gemilerin en yoğun olduğu alan Sektör Kadıköy’dür. Bu nedenle bu sektörün İstanbul Boğazı’ndaki en riskli sektörlerden biri olduğu literatürdeki birçok çalışmada (Aydogdu vd., 2012; Aydogdu, 2014; Uğurlu vd., 2016) vurgulanmıştır. Bu çalışmada, Sektör Kadıköy içerisinde meydana gelebilecek olası bir tanker kazasının, petrol türevli toksik kirlitici unsurlar nedeniyle kıyısız alanda oluşturacağı yıkıcı etkilerinin analiz edilmesi amaçlanmıştır. Sektör içerisinde tanker tipi gemilerin yanı sıra; konteyner, kuru yük, dökme yük ve RoRo tipi gemilerin yoğunluğu, bu bölgede seyir yapacak ya da demirleyecek büyük tonajlı tankerler için risk oluşturmaktadır. Özellikle hava şartlarının olumsuz olduğu kış aylarında, kıyıya ve seperasyon hattına yakın demir bölgelerinde kaza riski de artmaktadır. Bu çalışmada büyük tonajlı petrol tankerlerinin demirlediği C3-C4 bölgelerinde, olası petrol tanker kazası sonrası oluşabilecek ham petrol kirliliğinin kıyısız alanda yayılımı modellenmiştir.

Çalışmanın iş akışı 3 başlıkta tamamlanmıştır. İlk aşamada; İstanbul Boğazı’ndan geçen, ham petrol taşımacılığında kullanılan gemilerden kaynaklanabilecek olası kazalar için, en riskli olabilecek bölge belirlenmiştir. İkinci aşamada, ham petrol sızıntısı senaryosu oluşturulurken, öncelikle yüksek riskli kaza noktası olarak Şekil 2’de verilen 40° 56,9’K-028° 50,5’D koordinatlı nokta tercih edilmiştir. Bu noktadan petrol dağılımı simüle edilmiştir. Üçüncü aşamada, ham petrolün akut toksisite etkisi için, laboratuvar ortamında *Bacterial Bioluminescence Bioassay* testiyle, ham petrolden kaynaklı kirlenmenin denizel ekosistemde sebep olabileceği toksik etkinin seviyesi ve en zararsız oranı

seyreltme belirlenmiştir. Çalışmanın adımları başlıklar halinde aşağıda sunulmuştur.



Şekil 2. Tanker gemileri için İstanbul Boğazı canlı deniz trafiği haritası.

Figure 2. Istanbul Strait live maritime traffic map for tanker ships.

(<https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:28.940/centerx:40.966/zoom:12>)

Döküntü alanının belirlenmesi: Çalışmada döküntü olası bir kaza senaryosu temel alınarak modellenmiştir. Bunun için öncelikle İstanbul Boğazı'nda döküntü riskinin ve miktarının en yüksek olabileceği deniz alanı belirlenmiştir. Bu alanın belirlenmesinde İstanbul Boğazı'ndaki deniz trafiğinin yoğunluğu (Şekil 2), demir yerleri, demirleyen gemi tipleri ve gemi büyüklükleri göz önünde bulundurulmuştur.

Sektör Kadıköy içerisinde yer alan demir yerleri İstanbul Boğazı'nın en karmaşık ve en yoğun trafik akışına sahip deniz alanlarıdır. Bu alanlar içerisinde demire ilerleyen, demirden kalkan, boğaz girişi yapan, boğaz çıkışı sonrası teması olan gemilerin yanı sıra bölgedeki demir yerlerinin yetersizliğinden dolayı oluşan yoğun gemi trafiği kaza riskini arttırmaktadır. Gemi tipi tanker olunca, özellikle ham petrol tankerleri için kazanın yıkıcı etkisi ve kalıcı hasarları daha da önemli görülmektedir. Bu nedenle çalışmada döküntü modellemesi için büyük petrol tankerlerinin demirleme için tercih ettikleri C3-C4 demir sahası arasındaki alan seçilmiştir.

Petrol Dağılımı Simülasyonu Modellemesi: Bu aşamada, bir önceki adımda belirlenen olası döküntü alanında meydana gelebilecek ham petrol tanker kazası sonrası ortaya çıkacak sızıntının dağılımı modellenmiştir. Dağılımın modellemesi için, General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) yazılımı kullanılmıştır (GNOME, 2017). GNOME kirlilik haritası oluşturmak ve acil durum müdahale alanlarını tespit etmek için sıklıkla kullanılan bir yazılımdır (Basar vd., 2018; Dong vd., 2019). Bölgedeki coğrafi verileri elde etmek için küresel bir harita oluşturucu (Coğrafi Bilgi Sistemleri) kullanılırken, oşinografik verileri ve kıyı şeridi verilerini elde etmek için sırasıyla Hibrit Koordinat Okyanus Modeli (HYCOM) veri tabanları ve NOAA küresel kıyı şeridi veri

tabanı kullanılmıştır (GOODS, 2021; SWAN, 2021). Bu veri tabanlarındaki bilgiler NOAA tarafından yönetilmektedir. Uluslararası kuruluşlar tarafından sağlanan, kaydı tutulan ve hava tahminlemesinde kullanılan resmi verileri, istenilen coğrafi bölge için belli zaman aralığında indirmeye ve GNOME modelinde kullanmaya olanak sağlamaktadır. Bu araştırma için gerekli olan coğrafi ve oşinografik haritalar, bu veri tabanlarından Sektör Kadıköy demir sahasını kapsayan bölge için ayrı katmanlar (kıyı çizgisi harita katmanı, yüzey ve derin akıntı katmanı ve rüzgâr katmanı) olarak elde edilmiştir. Akıntı ve rüzgâr verileri değişken ve senaryo süresince dinamiktir. Haritalar daha sonra GNOME teşhis aracı kullanılarak birleştirilmiştir ve simülasyon alt yapısı tamamlanmıştır. Simülasyon modellemesinde mevsimsel akıntılar ve hâkim rüzgâr yönü bu yolla gerçeğe yakın olacak şekilde uygulanmıştır (GOODS, 2021; SWAN, 2021). Kaza sonrası oluşabilecek sızıntı GNOME programında 5000 (üst limit) metrik ton (mt) ham petrol ile sınırlı tutulmuştur. Döküntü İstanbul Boğazı'nda hava ve deniz koşullarının en çetin olduğu aylardan, Şubat ayında modellenmiştir. Modelleme 72 saatlik zaman zarfındaki petrolün yayılımını göstermektedir. Nokta kütle dengesi: Şekillerde nokta/kütle oranı 1/3'tür (simülasyonda 3000 metrik ton döküntü, 1000 adet nokta ile temsil edilmiş ve gösterilmiştir). Minimum pişmanlık senaryosu için (kırmızı noktalar); rüzgâr ve akıntı koşullarında %1 belirsizlik olması durumu simüle edilmiştir.

Akut Toksikite Deneyi: Deniz kazalarının yoğun olarak yaşandığı bölgelerde, taşınan petrolün kaza sonrasında deniz ekosistemindeki akut ve/veya kronik toksik etkilerinin belirlenmesi için farklı testlerin uygulanması mümkündür. Ancak bu testlerden alınacak sonuçlara bağlı müdahalelerdeki gecikmeler, ekosistemlerde kalıcı hasarlara neden olabilmektedir. Yapılan çalışmalarda sıklıkla vurgulanan akut toksisite testinin en kısa maruziyet süresinin belirlenmesi esasına uygun olarak bu çalışmada "*Bacterial Bioluminescence Bioassay (Vibrio fischeri- Microtox®)*" testinin kullanılması tercih edilmiştir. Seçilen metod; IMO tarafından yapılan, 27. Bilimsel Grup toplantısında önemli vurgularla tanımlanan, 29. Bilimsel Grup toplantısında, "Atık Değerlendirme Rehberi: Biyolojik Değerlendirme Tekniklerinin Uygulanması" başlığında Microtox testi ile gündeme gelmiştir (IMO, 2006; IMO, 2008). Ancak bu tip çalışmalarda dikkat edilmesi gereken temel nokta, petrol ve türevlerinin düşük çözünürlüklerinden dolayı biyodenyelerde tek başına test edilememesidir. Bu nedenle, solvent (DMSO) yardımıyla, petrol ve türevleri sıvı faza transfer edilmelidir. Fakat normal şartlar altında doğada bu kadar kuvvetli herhangi bir ekstra çözücü bulunmadığından, bu çalışma için alınan ham petrol

numunesi solvent kullanılmadan çalışılmıştır. Böylece ham petrolün yüzeysel sulardaki toksik etkisinin belirlenmesinde, doğal şartların oluşturulmasına özen gösterilmiştir.

Bu testte, test organizması olarak, rehidrasyon yöntemi kullanılarak dondurularak kurutulmuş 10^8 bakteri/vial kültürü içeren *Vibrio fischeri* kullanılmıştır. Microtox Akut Toksikite prosedürüne göre (Microtox Manual, 1992), numunelerin %2'lik NaCl içermesi koşuluyla, 10 µl bakteri kültürü 500 µl numuneye maruz bırakılmıştır. Şahit olarak %2'lik NaCl kullanılmıştır. Test 3 seri halde yürütülmüştür. Bakteri numuneye maruz kaldıktan sonra, test usulüne uygun ölçüm aralıkları olan 5, 15 ve 30 dakikada ışık ölçümü yapılmıştır. Microtox Omni yazılımı sayesinde kaydedilen değerler, yine bu yazılım sayesinde EC_{50} değeri olarak verilmiştir.

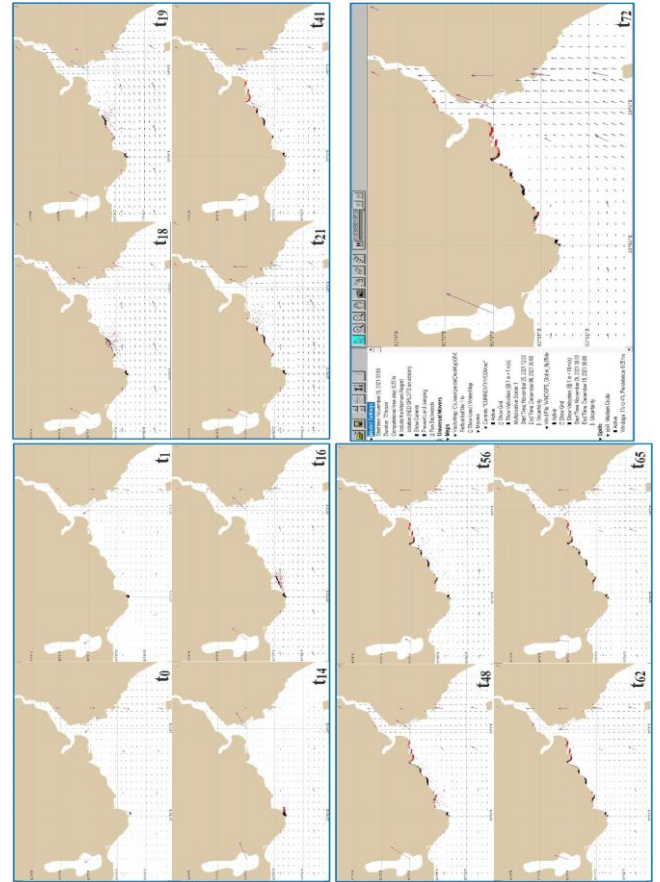
BULGULAR

Bu çalışma için seçilen alan Sektör Kadıköy'de, olası bir kaza ardından oluşacak petrol sızıntısında hem İstanbul Boğazi'nde petrol kirliliğinin dağılım haritası oluşturulmuş hem de kirlilikten etkilenebilecek kıyı alanları belirlenmiştir. GNOME yazılımı kullanılarak yapılan ham petrol sızıntısının yayılımı, t_0-t_{72} aralığındaki dağılımlar işaretlenerek Şekil 3'de sunulmuştur. Sızıntı ilk 30 saat boyunca akıntı ve rüzgârın etkisiyle ilk döküntü noktası olan Bakırköy açıklarından doğuya doğru, Ahırkapı açıklarına kadar deniz yüzeyinde yayılım gösterdiği belirlenmiştir. Döküntü kıyıya 32 saat sonunda Ahırkapı bölgesinden ulaşmıştır. Otuz dördüncü saatin sonunda Sultan Ahmet sahilinde 2 km'lik şerit kirlilikten etkilenmiştir. Kırkıncı saatten itibaren akıntı ve rüzgârın yön değiştirmesiyle ham petrol önce güney, daha sonra güney batı yönünde yayılım göstermiştir. Müdahale edilmediği takdirde 72 saatin sonunda ham petrol Yedikule kıyıları boyunca tekrar karaya ulaşmıştır. Üç km'lik sahil şeridi kirlilikten etkilenmiştir. Senaryo sonunda toplamda 2215 mt ham petrol 5 km'lik sahil şeridine (Ahırkapı, Yedikule) ulaşmış ve 591 mt ham petrol yüzer halde deniz yüzeyinde kalmıştır (Şekil 3). Önceki çalışmalar (Basar vd., 2006; Basar ve Kose, 2005; Basar, 2008; Basar, 2010) boğazın güney girişinde yaşanan herhangi bir kaza durumunda yapılan simülasyon sonucu döküntünün akıntı etkisiyle güneye doğru yöneldiğini göstermektedir. Çalışmamızda ise kirlilik kuzey doğuya doğru yönelerek tüm kıyı şeridi boyunca yayılmıştır. Bunun muhtemel sebebinin Şekil.3'de de görüldüğü gibi şubat ayında bölgede etkili olan kuvvetli güney-güney batılı rüzgârlar olduğu düşünülmektedir.

Model sonuçları ardından sızıntı boyutu, akut toksik etkinin her seviyesinin görülebileceği düzeyde ele alınmıştır. Çünkü petrolün denize girmesinden sonra

kimyasal ve biyokimyasal dönüşüm ürünlerinin analizleri (örn. metabolitler ve foto-kimyasal oksidasyon ürünleri) oldukça zahmetli ve maliyetli iken, canlılar üzerindeki tahribatının belirlenmesine yönelik toksisite testleri hızlı ve kesin sonuca ulaştıracak analizlerdir. Bu aşamada hem etkilenen sahil kesimi ve hem de deniz yüzeyinde yüzer halde kalan ham petrol ile ilgili akut toksisite etkilerini belirlemeye yönelik analiz sonuçları verilmiştir. Simülasyon sonuçları dikkate alınarak hem saf haldeki ham petrolün, hem de deniz suyu numunesine farklı konsantrasyonlarda eklenen ham petrolün akut toksisite testleri yorumlanmıştır.

Bu amaçla, ham petrolün toksik seviyesinin belirlenmesine yönelik çalışma aralığı belirlenmiş ve akut toksisite testi metodolojisi gereği sınırlı konsantrasyon aralıklarında çalışılması tercih edilmiştir. Eisman vd., (1991), Aruldoss ve Viraraghavan (1998) ve Saeed ve Beg (2007) tarafından ham petrolle ilgili yapılan çalışmalarda, biyoluminesans bakteri ile (*Vibrio fischeri*) akut toksisite testinde analizör olarak Microtox® tercih edilmiş ve petrolün aşırı toksik olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların sınıflandırmasında EC_{50} değerlerinin %20 aralıklarla tanımlaması yapılmıştır (Ahmed, 2015).

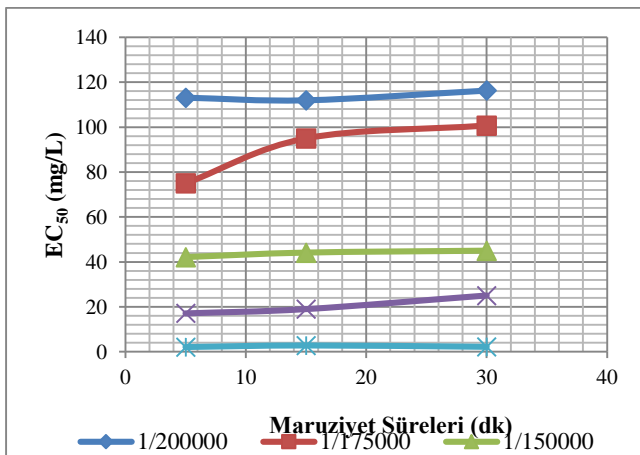


Şekil 3. Sektör Kadıköy kıyısız alanında GNOME simülasyon modeli ile petrol yayılımı.

Figure 3. Oil spill with GNOME simulation model in the coastal area of Sector Kadıköy

Buna göre, EC_{50} (% veya mg/L olarak) değerleri; <20 son derecede toksik; 20–40 şiddetli toksik; 40-60 orta seviyede toksik; 60–80 az toksik; 80-99 pratik olarak toksik değil; >100 non-toksik veya rölatif olarak zararsız olarak toksisite derecelerine sahiptir (Hodge ve Sterner, 2005; Yıldız vd., 2021). Bu çalışmadaki konsantrasyon ve EC_{50} değerleri incelendiğinde; toksisite değerlerinin son derece toksik ($EC_{50}=17,11$ mg/L) ve şiddetli toksik ($EC_{50}=22,21$ mg/L) sınıflandırmasına uygun olduğu bulunmuştur. Yıldız vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada da, çalışılan ham petrol şiddetli toksik (24,41 mg/L) bulunmuştur.

Çalışmanın bir sonraki evresinde, kıyısız alan sularından alınan örneklerin, toksisitesi tespit edilen ham petrole ait farklı konsantrasyonlarının uyumlamalı denemeleri yürütülmüştür. Özellikle simülasyon sonuçlarındaki alanlara ait deniz yüzey suyu örnekleri ile çalışılmış ve sonuçlar Şekil 4'te sunulmuştur. Bu şekilde, ham petrol örneğine ait farklı seyreltmeler (1/125.000-1/200.000) ve tüm maruziyet süreleri için (sırasıyla 5, 15, 30 dk.) değerler hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, 1/125.000 sonuçlarının toksik özellik taşıdığı belirlenmiştir. Aynı yöntem ile ancak 200.000 kat seyreltmede, tüm maruziyet süreleri 5, 15 ve 30 dk.lar için non-toksik özellik göstermiştir. Bu sonuçla, ham petrolün ulaşabileceği en son noktada bile petrolün toksik etkisinin olabileceği, bu noktadan itibaren ancak 200.000 kat seyreltmeye maruz kalırsa toksik özelliğini kaybedebileceği bulunmuştur. Yıldız vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada, çalışılan ham petrolün toksisite seviyeleri birbirine yakın olup, toksisite sınıfları aynıdır. Bu nedenle, Yıldız vd. (2021) tarafından ham petrol denize döküldüğünde, deniz suyuyla sadece 1:200.000 seyreltme petrol kirliliği toksik olmayan hale getirecektir bulgusu ile çalışmanın sonucu örtüşmektedir.



Şekil 4. Maruziyet sürelerine göre EC_{50} (mg/L) değerleri.

Figure 4. EC_{50} (mg/L) values according to exposure times.

* Tüm sonuçlar pozitif kontrol olarak formaldehit ile karşılaştırılmıştır (Sönmez ve Sivri, 2016).

* All results were compared with formaldehyde as a positive control (Sönmez and Sivri, 2016).

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Petrolün biyolojik etkileri üzerine yapılan araştırmalar, deneysel çalışma tasarımındaki gelişmelerden, bilgisayar teknolojisi ile sağlanan modelleme uygulamasından ve özel deneysel ekipmanların geliştirilmesinden büyük ölçüde yararlanmıştır. Bu teknolojik adımlar sayesinde, modellemelerle eş zamanlı petrol konsantrasyonu ve toksisite analizleri kullanılarak, ölümcül sonuçlardan ve kalıcı tahribatlardan başarılı müdahalelere geçiş olmuştur. Bu çalışmanın sonuçları ile İstanbul Boğazı'nda değişken akıntı ve rüzgar rejiminin petrol türevli deniz kirliliğinin sahilde ulaşacağı alanları önemli ölçüde etkileyebileceği gösterilmiştir. Edinilen sonuçlara göre, Yeşilköy kıyı şeridinden yaklaşık 1300 metre uzaklıkta meydana gelen petrol içerikli döküntünün yıkıcı etkilerinden, Yeşilköy sahilinin çok az miktarda etkilenmesi ilginç bir çalışma çıktısı olarak görülmektedir. Yeşilköy'de meydana gelen döküntünün Ahırkapı ve Yedikule kıyılarında yoğunlaşması İstanbul Boğazı'ndaki akıntı ve rüzgar rejiminin önemini açıkça ortaya koymaktadır. Bu nedenle literatürdeki çalışmalarda (Başar, 2010; Aydoğdu vd., 2012; Uğurlu vd., 2015a; Uğurlu vd., 2015b; Yıldız vd., 2021) belirtildiği üzere, İstanbul Boğazı'ndaki deniz kazaları açısından riskli bölgelerde, acil müdahale istasyonları kurulması yararlı olacaktır. Bunun yanı sıra gelişen teknolojiyle riskli bölgelerin takibi uzaktan izleme sistemleri (İnsansız Hava Araçları) ile desteklenmeli ve böylece olası acil durumlarda erken uyarı sistemi olarak bu sistemler kullanılabilir. Çünkü kaza sonrası bölge dinamiklerinden dolayı kirlilikten etkilenebilecek alanları tahminleyebilmek gerçekten çok zordur.

Kıyısız alanlar, haliçler ve iç sular; gemi kaynaklı atıklardan yoğun etkilenen en hassas ekosistemleri barındıran kısımlardır. Hatta "sıcak nokta" olarak tanımlanan alanlar, barındırdıkları türler ile korunması gereken özel noktalar. Bu alanlarda yer alan türler, farklı trofik seviyelerdeki canlılara besin kaynağı oluşturan zengin biyoçeşitliliğe sahiptir. Ancak Marmara Denizi kıyısız alanındaki bu özel noktalar henüz izleme programlarına dahil edilememiştir. Belirli dönemlerde bazı fizikokimyasal ve biyolojik parametrelerle takip edilen alanlar olsa da Marmara Denizi'nde izlenen biyolojik parametreler arasında akut toksisitenin yer almadığı bilinmektedir. Her ne kadar akut toksisite testi ile kirliliğin türü ve kaynağı hakkında net bilgi edinilirse de alanda var olan türlerin etkilendiği maddenin toksik bir etken kaynaklı olup olmadığı hakkında çok kısa sürede karar verilebilir. Böylece sucul ekosistemdeki ani değişimleri 5-30 dakika arasındaki sürede hızlıca tespit etmek mümkün olabilir. Akut toksisite testleri sayesinde, karar vericilerin acil durum tespiti ve müdahalesi daha hızlı

ve etkin olabilir. Daha öncesinde alana ait simülasyonlar yapılmışsa, müdahale yöntemi ve müdahale edilmesi gereken bölgeler kalıcı hasar görmeden kurtarılabilir. Ancak elde edilen verilere göre, sucül organizmalara olası akut veya kronik etkilerinin belirlenmesi için; sadece ham petrolü tanımlayan fiziksel/kimyasal özelliklerin yetersiz kalacağı, akut toksisite seviyelerinin de dikkate alınması gerektiği söylenebilir. Çünkü yumurta ve larva ile planktonik formların, sedimentte ve kıyısız alanda yaşayan yengeç, istakoz ve karides gibi kabukluların diğer canlılara oranla daha duyarlı oldukları, 1-10 ppm oranında petrol konsantrasyonundan dahi etkilendikleri bilinmektedir (Yönsel, 2004; Demiray, 2006). Birçok canlı türünün etkilendiği petrol kaynaklı kirlenmenin çok hızlı tespit edilebilirliği ve müdahalesinde, akut toksisite testinin 5 dakikalık maruziyet süresinin dahi fikir verebileceği bu çalışmanın en önemli bulgularından biri olarak belirtilebilir.

Bu çalışma sonuçlarında da belirlendiği üzere, denizel alanlarda mikroorganizmalardan makro organizmalara kadar her trofik seviyede gözlenebilecek hasarların önlenmesi adına özellikle petrol türevli kazalarda, hızlı ve etkin önlemlerin alınması için sucül alanların izlenmesi, modellenmesi ve farklı senaryo çalışmalarının yürütülmesi gerekmektedir. Yetkili karar vericiler kaza anında hem bilimsel hem de teknolojik sonuçları dikkate almalı ve stratejik etkileri planlayarak etkin acil müdahale kararı vermelidir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, simülasyon modellemesi konusunda destek veren Fırat SİVRİ'ye teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Ahmed, M. (2015).** Acute Toxicity (Lethal Dose 50 Calculation) of Herbal Drug Somina in Rats and Mice. *Pharmacology & Pharmacy*, **6**, 185-189.
- Akduman, S., Demirbağ, M.A. & Sivri, N. (2020).** Bibliometric Profile of Scientific Research on Bacteriological Water Quality Studies in Turkey (1999-2019). *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, **5**(3), 425-432.
- Aruldoss, J. & Viraraghavan, T. (1998).** Toxicity Testing of Refinery Wastewater Using Microtox. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **60**, 456-463.
- Aydogdu, Y.V., Yurtoren, C., Park, J.S. & Park, Y.S. (2012).** A study on local traffic management to improve marine traffic safety in the Istanbul Strait. *The Journal of Navigation*, **65**(1), 99-112.
- Aydogdu, Y.V. (2014).** A comparison of maritime risk perception and accident statistics in the Istanbul Strait. *The Journal of Navigation*, **67**(1), 129-144.
- Basar, E. & Kose, E. (2005).** Due To The Heavy Marine Traffic And Associated Risk The Oil Spill Scenarios At Kandilli Which Is The Narrowest Point In Istanbul Strait. *In International Oil Spill Conference* (Vol. 2005, No. 1, pp. 167-169). American Petroleum Institute.
- Basar, E., Kose, E. & Guneroglu, A. (2006).** Finding risky areas for oil spillage after tanker accidents at Istanbul strait. *International Journal of Environment and Pollution*, **27**(4), 388-400.
- Basar, E. (2008).** Oil spill simulations in the aftermath of tanker accident at the tanker routes in the Marmara Sea. *In International Oil Spill Conference* (Vol. 2008, No. 1, pp. 1215-1217). American Petroleum Institute.
- Başar, E. (2010).** Weathering and oil spill simulations in the aftermath of tanker accidents at the junction points in the Marmara Sea. *Fresenius Environmental Bulletin*, **19**(2), 260-265.
- Basar, E., Sivri, N., Uğurlu, Ö. & Sönmez, V.Z. (2018).** Potential impacts of oil spill damage around the planned oil rigs at the Black Sea. *Indian Journal of Geo Marine Sciences*, **47**(11), 2198-2206.
- Cohen, A.M. & Nuggeoda, D. (2000).** Toxicity of three oil spill remediation techniques to the Australian bass *Macquaria novemaculeata*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **47**(2), 178-185.
- Demiray, N. (2006).** *Sintine sularından kaynaklanabilecek deniz kirliliğinin değerlendirilmesi*. Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, 79 s.
- Dong, C.D., Thi-Hong-Hanh Nguyen, T.H., Hou, C.C.T. & Tsai, C.C. (2019).** Integrated numerical model for the simulation of the ts taipei oil spill. *Journal of Marine Science and Technology*, **27**(4), 359-368.
- Doğan, E. & Burak, S. (2007).** Ship-originated pollution in the Istanbul strait (Bosphorus) and Marmara Sea. *Journal of Coastal Research*, **23**(2(232)), 388-394.
- Eisman, M.P., Landon-Arnold, S. & Swindoll, C. (1991).** Determination of petroleumhydrocarbon toxicity with Microtox reg sign. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, **47**(6), 811-816.
- Ellegaard, O. & Wallin, J.A. (2015).** The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact?. *Scientometrics*, **105**(3), 1809-1831.
- Gin, K.Y.H., Huda, M.K., Lim, W.K. & Tklich, P. (2001).** An oil spill-food chain interaction model for coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, **42**(7), 590-597.

- GNOME. (2017).** GNOME 1.3.11, NOAA Office of Response Restoration, US. <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/responsetools/gnome.html>
- GOODS. (2021).** GOODS, NOAA Office of Response Restoration, US, <https://gnome.orr.noaa.gov/goods>.
- Hodge, A. & Sterner, B. (2005).** Toxicity Classes. In: Canadian Center for Occupational Health and Safety. <https://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/ld50.html> Erişim tarihi:25.08.2021
- IMO. (2006).** LC/SG 29/2, International Maritime Organization, 29th Meeting, United Kingdom.
- IMO. (2008).** Casualty Investigation Code: Code of the International Standards and Recommended Practices for a Safety Investigation into a Marine Casualty or Marine Incident. International Maritime Organization Publishing.
- Kaptan, M., Sivri, N., Blettler, M.C. & Uğurlu, Ö. (2020).** Potential threat of plastic waste during the navigation of ships through the Turkish straits. *Environmental Monitoring and Assessment*, **192**(8), 1-7.
- Keshavarzifard, M., Zakaria, M.P. & Sharifi, R. (2017).** Ecotoxicological and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in short-neck clam (*Paphia undulata*) and contaminated sediments in Malacca Strait, Malaysia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **73**(3), 474-487.
- Kıyı Emniyeti (2021).** Türk Boğazları Gemi Trafik Hizmetleri (TBGTH) Kullanıcı Rehberi, Erişim tarihi: 10.08.2021, <https://kiyiemniyeti.gov.tr/Data/1/Files/Documents/Documents/kb/OM/TM/OR/TBGTH%20Kullan%C4%B1c%C4%B1%20Rehberi.pdf>
- Long, S. M. & Holdway, D. A. (2002).** Acute toxicity of crude and dispersed oil to *Octopus pallidus* (Hoyle, 1885) hatchlings. *Water Research*, **36**(11), 2769-2776.
- Microtox. (1992).** Microtox® Manual. Microbics Corporation.
- Mitchell, F. M. & Holdway, D. A. (2000).** The acute and chronic toxicity of the dispersants Corexit 9527 and 9500, water accommodated fraction (WAF) of crude oil, and dispersant enhanced WAF (DEWAF) to *Hydra viridissima* (green hydra). *Water Research*, **34**(1), 343-348.
- Öztürk, B., Öztürk, A.A. & Algan, N. (2001).** Ship originated pollution in the Turkish Straits System. In *Proc. Int. Symp. on Regional Seas*, Tudav Publication, İstanbul, 86-94.
- Pollino, C.A. & Holdway, D.A. (2002).** Reproductive potential of crimson-spotted rainbowfish (*Melanotaenia fluviatilis*) following short-term exposure to bass strait crude oil and dispersed crude oil. *Environmental Toxicology: An International Journal*, **17**(2), 138-145.
- Saeed, T. & Beg, M. (2007).** Relative toxicity of seawater-soluble fractions of Kuwait crude oil and different petroleum products. *Science International-Lahore*, **19**(4), 277.
- Sahin, S., Akpınar, I. & Sivri, N. (2020).** An alternative material for an effective treatment technique proposal in the light of bibliometric profile of global scientific research on antibiotic resistance and *Escherichia coli*. *Environ Monit Assess.*, **192**, 714.
- Sonmez V.Z, Sivri N. & Dokmeci A.H. (2016).** Determination of The Toxicity of Different Discharge Waters using Acute Toxicity Tests Approved for National Pollutant Discharge Permit in Turkey. *Biosci Biotech Res Asia*, **13**, 2.
- Sönmez, V.Z. & Sivri, N. (2016).** Interlaboratory precision of acute toxicity tests using reference toxicant formaldehyde, *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, **1**(3), 96-99.
- Sönmez, V.Z., & Sivri, N. (2020a).** The Toxic Effects of Commonly Used Antibiotics in Turkey on Aquatic Organisms. *J. Anatolian Env. And Anim. Sciences*, **5**(2), 154-160.
- Sönmez, V.Z., & Sivri, N. (2020b).** Change of Acute Toxicity of Dyestuff Wastewaters. *Pol. J. Environ. Stud.*, **29**(1), 1-8.
- SWAN. (2020).** Istanbul Strait Wind and Speed Direction, Turkish State Meteorological Service, Web, <https://www.mgm.gov.tr/deniz/swan.aspx?b=06&t=rz&s=00&g=p#sfB>
- Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı (UDHB) (2016).** Gemi trafik kayıtları. <https://www.gemitrafik.com/tag/udhb/> erişim tarihi: 25.08.2021
- Uğurlu, Ö., Köse, E., Yıldırım, U., & Yüksekıldız, E. (2015a).** Marine accident analysis for collision and grounding in oil tanker using FTA method. *Maritime Policy & Management*, **42**(2), 163-185.
- Uğurlu, Ö., Nişancı, R., Köse, E., Yıldırım, U. & Yüksekıldız, E. (2015b).** Investigation of oil tanker accidents by using GIS. *International Journal of Maritime Engineering*, **157**(2), 113-124.
- Uğurlu, Ö., Erol, S. & Başar, E. (2016).** The analysis of life safety and economic loss in marine accidents occurring in the Turkish Straits. *Maritime Policy & Management*, **43**(3), 356-370.

-
- Uysal, Z., Saydam, C. & Yilmaz, K. (1997).** Impact of the recent oil spill (Nassia) in bosphorus (Turkey) on developmental stages of sea urchin *Paracentrotus lividus* Lam. eggs. *Fresenius Environmental Bulletin*, **6**, 584-588.
- Van Raan, T. (2014).** Advances in bibliometric analysis: Research performance assessment and science mapping. *Bibliometrics: Use and Abuse in the Review of Research Performance*, **87**, 17-28.
- Wu, Y., Hannah, C.G., Lau, H., O'Flaherty-Sproul, M. & Wang, X. (2016).** A Modelling Study of Influences of Wave-induced Stokes Drift on Trajectories of Oil Spills in Storm Conditions in Hecate Strait. In *Proceedings of the 39th AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response* (pp. 331-347). Environment Canada Ottawa, ON.
- Yildiz, S., Sönmez, V.Z., Uğurlu, Ö., Sivri, N., Loughney, S. & Wang, J. (2021).** Modelling of possible tanker accident oil spills in the Istanbul Strait in order to demonstrate the dispersion and toxic effects of oil pollution. *Environmental Monitoring and Assessment*, **193** (158) 1-19.
- Yönsel, F. (2004).** *Deniz Ulaşımı ve Deniz Kirliliği*, Doctoral Dissertation, Faculty of Naval Architecture and Ocean Engineering, İ.T.U., İstanbul, Turkey.