



Derleme Makalesi / Review Article

Antifouling Ürünlerin Kullanımı ve Çevresel Etkileri

Use of Antifouling Products and Their Impacts on the Environment

Selim Atak^{1,2}, Pınar Arslan Yüce³, Göktug Gül⁴ Aysel Çağlan Günel^{5*}

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Bilimleri Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

²Sağlık Bakanlığı, Ankara, Türkiye

³Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Çankırı, Türkiye

⁴Çevre Sağlığı ve Çevre Bilimleri Programı, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

⁵ Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Biyoloji Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye

Öz

Denizlerde ve okyanuslarda her gün binlerce su taşıtı dünyanın bir yerinden diğerine geçerek tedarik zincirlerinin ve ürünlerin taşınmasını sağlamak ve sucul ekosistemde yer değiştirmektedir. Antifouling ürünler, yakıt verimliliğinin artırılmasına, hava emisyonlarının azaltılmasına, gürültü kirliliğinin azaltılmasına ve istilacı türlerin yayılmasının önlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu çalışmada antifouling ürünlerin tanımı, tarihçesi, kullanımları ve çevresel etkileri derlenmiştir.


Anahtar Kelimeler: Antifouling, Deniz kirliliği, Biofouling, Çevre, Antifouling ürünler

Abstract

Every day, thousands of watercraft pass from one part of the world to another in the seas and oceans, transporting supply chains and products and displacing them in the aquatic ecosystem. Antifouling products help improve fuel efficiency, reduce air emissions, reduce noise pollution, and prevent the spread of invasive species. In this study, the definition, history, uses and environmental impacts of antifouling products are compiled.

Keywords: Antifouling, Marine pollution, Biofouling, Environment, Antifouling products

Yazışma Adresi/Address for Correspondence:

Aysel Çağlan Günel  <https://orcid.org/0000-0002-9072-543X>

Adres: Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Biyoloji Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye
E-mail: caglangunal@gmail.com

Geliş Tarihi/Received:25 Temmuz 2025. Kabul Tarihi /Accepted: 26 Ağustos 2025. Çevrimiçi Yayın/Published Online:31 Ağustos 2025.

1.GİRİŞ

Günümüzde insanlık; kendini, faaliyetlerini, ürünlerini ya da hayvanlarını zararlılardan korumak için büyük bir çaba harcamaktadır. Bu çaba çoğu zaman çeşitli kimyasalların kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Ancak kullanılan kimyasalların da insan, hayvan ve çevre üzerine olumsuz etkilerinin fark edilmesiyle daha az zararlı ürünlerin kullanılmasına yönelik bir eğilim olduğu gibi yasal düzenlemeler de bu yönde gelişmiştir. Bu eğilimin yasal zemindeki karşılığına AB’de Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, Ruhsatlanması ve Sınırlanması Regülasyonu (REACH), Bitki Koruma Ürünleri Regülasyonu (PPPR) ve Biyosidal Ürünler Regülasyonu (BPR) örnek olarak gösterilebilir. “Antifouling, gemilerin, tekne ve yapıların su altındaki kısımlarında istenmeyen organizmaların (alg, midye, denizsakayığı) tutunmasını ve birikmesini önlemek için kullanılan kaplama veya boyalara verilen isimdir”.

Bu derlemede antifouling ürünlerin kullanımı ve çevresel etkileri incelenmiştir.

2.BİFOULİNG

2.1.Biofoulingin Tanımı

Su içerisinde bulunan balık kafesleri, tekne ve gemi tabanları, petrol kulelerinin su içinde kalan kısımları gibi yapılar zamanla bakteriler, diatomlar, algler, kaya midyesi, boru kurdu vb. sucul organizmalar tarafından kaplanırlar. Bu da zamanla söz konusu yapının bozunmasına ve/veya görevini yapamamasına neden olur.

IMO, sucul ortama batmış ya da sucul ortama maruz kalan yüzeyler ve yapılar üzerinde mikroorganizmalar, bitkiler ve hayvanlar gibi sucul organizmaların birikmesini biofouling olarak adlandırmaktadır. Biofouling, bakteri ve diatomlar dâhil mikroskobik organizmalar ve bunların oluşturduğu sümüksü maddeler anlamına gelen microfouling ve büyük, gözle görülebilecek kadar belirgin, kaya midyeleri, boru kurtları veya alg yaprakları gibi çok hücreli

organizmalar anlamına gelen macrofouling içerebilmektedir¹.

“Fouling, genellikle yapay yapıların üzerinde büyüyen bitki ve hayvan topluluklarını taşlar, kayalar ve diğer doğal objelerin üzerinde oluşarlardan ayırt etmek için kullanılan bir terimdir. Sıklıkla büyümenin sonuçlarının zararlı olarak addedileceği sınırlı durumlar için kullanılır”².

AB’nin 528/2012/EU sayılı regülasyonu olan BPR’da zararlı organizma; patojenik ajanlar da dâhil varlıkları istenmeyen veya insanlar, aktiviteleri veya ürettikleri ya da kullandıkları ürünler veya hayvanlar ya da çevre üzerinde zararlı etkileri olan organizma olarak tanımlanmıştır³.

Anlaşılabacağı üzere insan, hayvan ya da çevre sağlığı açısından doğrudan bir zararı bulunmayan sucul organizmaların suda kullanılan taşıtlar ya da yapılarda tutunmaları ve üremeleri insanların faaliyetlerine zarar verdiğinden bu organizmalar, su ortamındaki yapılar ve taşıtlar üzerinde istenmemekte ve zararlı olarak addedilmektedirler.

2.2. Biofoulingin Tarihçesi

Biofouling denizcilik sektörü için her zaman büyük bir sorun olmuştur. 1404-1472 yılları arasında yaşamış olan İtalyan mimar, sanatçı, yazar ve şair Leon Battista Alberti, Della Architettura Libri Dieci isimli kitabında aşağıdaki tespitine yer vermiştir:

“13 yüzyıldır su altında yatan ve bu tezi yazdığım sırada Riccia (Nemi) Gölü kenarında yapılan kazı ile ortaya çıkarılan bir Truva gemisini inceledim ki çam ve selvi ahşabı sürpriz bir şekilde sağlam kalmıştı. Dışarıdan Yunan katranı ve sıkıştırılmış keten kumaştan oluşan iki tabaka ile kaplanmıştı ve bu, pirinç çiviler ile tutturulmuş kurşun plakayla kaplanmıştı⁴.”

“Ciddiyeti antik çağlarda anlaşılmış olmasına rağmen, foulingin etkileri sadece yakın zamanlarda sistematik bilimsel incelemenin konusu olmuştur. Bununla birlikte, gemi tabanının işleme tabi tutulmasına ilişkin yazılı kayıtların M.Ö. 5. Yüzyıla kadar uzandığı bulunmuştur”⁵.

Tarihsel kayıtlardan da rahatlıkla anlaşılacağı üzere ahşap gemilerin kullanıldığı dönemlerde insanlığın en büyük problemi geminin içine su sızmasının ve ahşabın çürümesinin önlenmesi ya da geciktirilmesi idi ki bu sebeple katran, zift, kurşun, bakır ve pirinç gibi malzemeler kullanılmıştır.

Antik Yunan ve Roma uygarlıklarında gemiler bakır çivilerle sabitlenmiş kurşunla kaplanırdı. Kolomb'un gemilerinin zift ve donyağı ile kaplı olduğu düşünülmektedir. Birleşik Krallık'ta, 1600'lerin sonlarında kurşun kaplama Deniz Kuvvetleri tarafından terk edilmiş ve katran, gres sülfür zift ve kükürt içeren zehirli boyalar geliştirilmiştir. Gerçek anlamda antifouling boyaların geliştirilmesi 1800'lerin ortalarında demir gemilerin kullanımına başlanması ve bakır kaplamanın demiri korozyona uğratmasıyla başladı. Reçine bağlayıcıya bakır oksit, arsenik ve cıva oksit eklenmesiyle boyalar hazırlandı⁶.

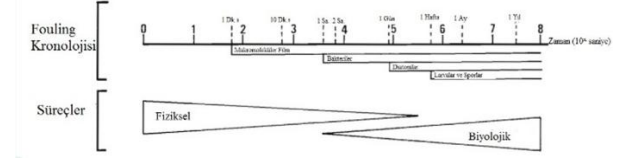
Demir ve çeliğin gemilerde kullanımı ahşap gemilerde kullanılan yöntemleri işe yaramaz hale getirmiştir. Suyun geminin içerisine sızması önlenmiş olsa da demir ve çelik de su içerisinde paslanmakta ve bozunmaktaydı. Boya kullanımı bunu bir miktar geciktirse de denizin yıpratıcı etkileri nedeni ile uygulanan boya tabakaları çok uzun süre dayanmadığı gibi boyalı olsa bile suyla temas eden yerlerde yerleşen ve gelişen sucul organizma toplulukları bozunmayı hızlandırırken gemileri ağırlaştırmakta, yavaşlatmakta ve yakıt sarfiyatını artırmaktaydılar. Bu durumda uygulanabilecek yöntem kullanılan boyalara sucul organizmaların tutunmasını engelleyecek ve/veya onları öldürecek birtakım maddelerin karıştırılması olacaktı ki böylelikle bugün sıklıkla zehirli boyalar olarak da anılan antifouling boyalar geliştirilmeye başlanmıştır.

2.3. Biofoulingin gelişimi

“Batan tabakalar üzerindeki birincil film yapıcılar bakteriler ve diğer mikroorganizmalardır ve bu çeşit film tabakaları müteakiben daha büyük ve daha zararlı fouling organizmaların tutunmasına hizmet eder”⁷.

“Yeni bir yüzeydeki kolonizasyon süreci yapısal

ve kronolojik 4 fazdan oluşur: Biyokimyasal şartlanma, bakteriyel kolonizasyon, tek hücreli ve çok hücreli ökaryotların kolonizasyonu”⁸. Bu kolonizasyon şeması, fiziksel ve biyolojik faktörlerin bu şemadaki rolü Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Kolonizasyon şeması⁸

2.4. Biofoulingin Çevresel Etkileri

IMO, antifouling sistemleri gemilerde istenmeyen organizmaların kontrolünde veya tutunmasını önleme amacıyla kullanılan kaplama, boya, yüzey işleme, yüzey veya cihaz olarak tanımlarken¹; BPR, antifouling ürünleri gemilerde, su kültürü donanımlarında veya su içerisinde kullanılan diğer yapılarda fouling organizmaların (mikroplar ve yüksek formlu bitki veya hayvan türleri) yerleşmesini ve büyümesini kontrol etmek için kullanılan ürünler olarak tanımlamaktadır³.

Günümüzde biofouling denizcilik sektörünün en büyük problemlerinden biridir. “İlk olarak, fouling pahalıdır. Antifouling kaplama olmazsa fouling çok hızlı gerçekleşir. %58 - %77 arasında artan sefer maliyetleri son derece önemlidir. (...) İkinci olarak, ekonomik etkilerine bakmaksızın fouling, fosil yakıt sarfiyatının önemli ölçüde artmasına sebep olur; (...)”⁹. “Slime filmi yalnızca %21 oranında bir güç kaybına sebep olabilirken ağır kalkerli biofouling ile birlikte bu kayıp %86’ya ulaşır”¹⁰. “Antifouling ürünler ya da sistemlerin temel kullanım amacı biofoulingin sebep olduğu bozunmanın oluşturduğu sürtünme artışının önüne geçmektir. Bu sürtünmenin sonucu ya sabit güç ile hızda yaşanan azalma ya da hızı sabit tutabilmek için güç artışı sağlamak olacaktır ki her iki durum da ekonomik anlamda zarara sebep olmaktadır”¹¹. Elbette ki taşınan kargo ya da yolcunun ulaştırılması gereken yere zamanında ulaştırılabilmesi için tercih edilecek yöntem motor gücünü yani yakıt sarfiyatını

artırmak olacaktır. Maalesef artan yakıt sarfiyatının getireceği tek olumsuz sonuç maliyet olmayacaktır. Daha fazla güç, daha fazla kaynak tüketimi ve daha fazla emisyon salınımını da beraberinde getirmektedir. İklim değişikliğinin önüne geçebilmek için hazırlanan emisyon azaltım anlaşmaları ve çalışmaları sebebiyle gemilerden salınan karbon emisyonunun azaltılmasında başarılı sonuçların elde edilmiş olduğu günümüzde biofouling sebebiyle artan fosil yakıt tüketimi ve karbon emisyonu kabul edilemez bir durumdur.

Uzun yıllar antifouling ürünlerin aktif maddesi olarak kullanılan tribütülin (TBT)'in zararlarının fark edilmesi ve yasaklanmasının ardından, başta bakır olmak üzere çeşitli biyosidler (İrgarol 1051, Diuron, DCOIT) kullanıma bu alanda kullanmaya müsait olan başka aktif maddeler önem kazanmıştır.

Yapılan çalışmalar, biyosid içermeyen foul-release kaplamalar, daha akıllı ve kontrollü salınım yapan sistemler ve biyo-tabanlı çözümler gibi daha sürdürülebilir teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasının çevresel etkilerin azaltımı açısından önemli olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

1. EU, 2012. https://health.ec.europa.eu/biocides/regulation_en
2. International Maritime Organisation. Annex 26 Resolution MEPC.207(62) Adopted on 15 July 2011 2011 Guidelines for the Control and Management of Ships' Biofouling to Minimize the Transfer of Invasive Aquatic Species, 2011;4. Web: http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=30766
3. Redfield, A.; Ketchum, B. *Marine Fouling and Its Prevention*; United States Naval Institute: Annapolis, MD, USA, 1952; p. 388 United States Naval Institute Annapolis Maryland. *Marine Fouling and Its Prevention*. Menasha WI, 1952 (No.580). The Fouling Community: A. C. Redfield and E. S. Deevy Jr., 1952;37.
4. Alberti, L.B. *Architettura Libri Dieci di Leon Battista Alberti* (Çev. C. Bartoli). Milano A Spese Degli Editori. (Eserin orijinali 1485'te yayımlandı), 1833;159. Web: http://books.google.com.tr/books?id=J5YHAAAQAQAJ&printsec=frontcover&hl=tr&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false adresinden 29 Aralık 2014 tarihinde alınmıştır.
5. United States Naval Institute Annapolis Maryland. *Marine Fouling and Its Prevention*. Menasha WI, 1952 (No.580). The History of the Prevention of Fouling: F. B. Laidlaw, 1952;211.

6. Readman J. W. Development, Occurrence and Regulation of Antifouling Paint Biocides: Historical Review and Future Trends. In I. K. Konstantinou (Ed.), *The Handbook of Environmental Chemistry: Antifouling Paint Biocides* (pp. 1-15). Springer Berlin Heidelberg, pp. 2006;1-15.
7. Zobell, C.E., Allen, E.C. The Significance of Marine Bacteria in the Fouling of Submerged Surfaces. *Journal of Bacteriology*, 1935;29:239-251.
8. Wahl, M. Marine epibiosis. I. Fouling and antifouling:some basic aspects. *Marine Ecology Progress Series*, 1989;58:175-189.
9. Abbott, A., Abel, P. D., Arnold, D. W. And Milne, A. Cost-benefit analysis of the use of TBT: the case for a treatment approach. *The Science of the Total Environment*, 2000;258:5-19.
10. Schultz, M. P. Effects of coating roughness and biofouling on ship resistance and powering. *Biofouling: The Journal of Bioadhesion and Biofilm Research*, 2007;23:331-341.
11. Maurice, T. *Indian Antiquities: or, Dissertations, Relative to the Ancient Geographical Divisions, the Pure System of Primeval Theology, the Grand Code of Civil Laws, the Original Form of Government, the Widely-Extended Commerce, and the Various and Profound Literature, of Hindostan: Compared, throughout, with the Religion, Laws, Government, Commerce, and Literature, of Persia, Egypt, and Greece Vol. VI – Part I*, London, GB,1796; 378. Web: https://books.google.com.tr/books?id=ufxjAAAA_MAAJ&pg=PA31&dq=Indian+Antiquities:&hl=tr&sa=X&ei=fSGhVK2GHOKfyAOioIKoDA&ved=0CBwQ6AEwAA#v=onepage&q=Indian%20Antiquities%3A&f=false