

MARMARA'NIN GÖZYAŞI: DENİZ MÜSİLAJİ

TEARS OF MARMARA: SEA MUCILAGE

Prof. Dr. Kaan Yetilmezsoy

TÜBA Genç Akademi Üyesi / TÜBA Young Academy Member

**Prof. Dr. Kaan Yetilmezsoy / Yıldız Teknik Üniversitesi /
yetilmez[at]yildiz.edu.tr / ORCID: 0000-0003-1478-9957**

Kaan Yetilmezsoy, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde (Davutpaşa Kampüsü, Esenler, İstanbul, Türkiye) profesör olarak görev yapmaktadır. 2002 ve 2004 yıllarında sırasıyla Çevre Mühendisliğinden (bölüm birincisi) ve aynı zamanda İnşaat Mühendisliğinden (yüksek onur öğrencisi) lisans derecesi almış ve Yıldız Teknik Üniversitesi'nden üniversite ikincisi olarak mezun olmuştur. Yüksek Lisans ve Doktora derecelerini Çevre Mühendisliği alanında sırasıyla 2004 ve 2008 yıllarında Yıldız Teknik Üniversitesi'nde almıştır. Araştırma alanları matematiksel modelleme, doğrusal/doğrusal olmayan regresyon analizine dayalı modelleme, yapay sinir ağları, bulanık mantık, uyarlanabilir nöro-bulanık çıkarım sistemleri, deneysel tasarım, çok amaçlı optimizasyon teknikleri, MATLAB tabanlı programlama, mühendisler için bilimsel hesaplama, su ve atıksu arıtma tesisi tasarımı, akışkanlar mekaniği ve hidrolik ve arıtma sonrası teknolojiler konularını içermektedir. 175'ten fazla bilimsel eser yayınlamıştır. Akademik başarılarından ötürü, 2018 yılında Türkiye Bilimler Akademisi'nden TÜBA-GEBİP Üstün Başarılı Bilim İnsanı Ödülü'nü almıştır.

**Prof. Dr. Kaan Yetilmezsoy / Yildiz Technical University /
yetilmez[at]yildiz.edu.tr / ORCID: 0000-0003-1478-9957**

Kaan Yetilmezsoy is a professor of Environmental Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, at Yildiz Technical University, Davutpasa Campus, Esenler, Istanbul, Turkey. He received his B.Sc. degrees in both Environmental Engineering (1st rank graduate) and Civil Engineering (graduated as honor student) from Yildiz Technical University (2nd rank graduate), Istanbul/Turkey, in 2002 and 2004, respectively. He also obtained his M.Sc. and Ph.D. degrees in Environmental Engineering from Yildiz Technical University, Istanbul/Turkey, in 2004 and 2008, respectively. His research interests are mathematical modeling, linear/non-linear regression analysis-based modeling, artificial neural networks, fuzzy logic, adaptive neuro-fuzzy inference systems, experimental design, multi-objective optimization techniques, MATLAB-based programming, scientific computation for engineers, design of water and wastewater treatment plants, fluid mechanics and hydraulics, and post-treatment technologies. He has authored more than 175 publications. He has also received "Outstanding Young Scientist Award (TÜBA-GEBİP)" of the year 2018 from Turkish Academy of Sciences (TÜBA) for his academic achievements.

MARMARA’NIN GÖZYAŞI: DENİZ MÜSİLAJI

Özet

2021 Mayıs ve Haziran aylarında Marmara Denizi’nin dört bir yanını etkisi altına alan müsilaj (deniz salyası) felaketi yetersiz atıksu arıtımı, bölgedeki yoğun endüstriyel faaliyetler ve küresel iklim değişikliği sebebiyle ekosistemi, deniz canlılarını ve biyoçeşitliliği ciddi ölçüde tehdit edecek boyutlara ulaşmıştır. 2021 yılı itibarıyla Marmara Denizi’nde vuku bulan müsilaj problemi, durgun hava koşulları, artan sıcaklıklar ve deniz içeriğindeki oldukça değişken besi maddesi (azot ve fosfor) oranları gibi çevresel baskılardan dolayı giderek artmaktadır. Deniz salyası ürettiği bilinen bazı fitoplankton türlerinin (örneğin *Gonyaulax fragilis*, vb.) dış etkenlerden kaynaklanan çok sayıda stres faktöründen dolayı sucul ortama salgıladıkları jelatimsi ve koloidal özelliğe sahip ekzopolimerler (yüksek moleküler ağırlıklı polisakkaritler), müsilaj oluşumunun biyolojik sebeplerini teşkil etmektedir. Müsilaj, deniz yüzeyini yüzlerce kilometrelik kıyı şeridi boyunca battaniye gibi kaplayabilmekte ve oksijenin transferini önleyerek canlı organizmaların, balık yumurtalarının ve larvalarının toplu ölümüne sebebiyet vermektedir. Bunun yanında, bünyesinde deniz flora ve faunasını tehdit eden patojenik bakterilere (koliform ve *Escherichia coli* (*E. coli*) gibi) ve virüslere ev sahipliği yapabilmekte olan müsilaj, deniz canlılarının solungaçlarının tıkanmasına neden olmakta ve dolayısıyla balıkçılığı ve turizmi de olumsuz yönde etkilemektedir. Bu çalışmada, Marmara Denizi’ni tehdit eden müsilaj (deniz salyası) probleminin nedenleri ve negatif yanları irdelenmiş ve bu önemli çevresel problemin çözümüne yönelik acil, orta ve uzun vadede uygulanması gereken faaliyetler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler:

Fitoplankton; Ekzopolisakkarit; Marmara Denizi; Deniz Salyası; Müsilaj.

TEARS OF MARMARA: SEA MUCILAGE

Abstract

The mucilage (sea saliva) disaster, which affected all parts of the Marmara Sea in May and June 2021, has reached such dimensions that it will seriously threaten the ecosystem, sea creatures and biodiversity due to insufficient wastewater treatment, intense industrial activities in the region, and global climate change. As of 2021, the mucilage problem in the Marmara Sea is increasing due to environmental pressures such as stagnant weather conditions, rising temperatures, and highly variable nutrient (nitrogen and phosphorus) ratios in the sea content. The gelatinous and colloidal exopolymers (high molecular weight polysaccharides), which are secreted into the aquatic environment by some phytoplankton species (e.g. *Gonyaulax fragilis*, etc.) known to produce sea saliva due to numerous stress factors arising from external factors, constitute the biological causes of mucilage formation. Mucilage can cover the sea surface like a blanket along hundreds of kilometers of coastline and inhibit the oxygen transfer, causing mass death of living organisms, fish eggs, and their larvae. In addition, mucilage, which can host pathogenic bacteria (such as coliform ve *Escherichia coli* (*E. coli*)) and viruses that threaten marine flora and fauna, causes clogging of the gills of sea creatures and therefore negatively affects fisheries and tourism. In this study, the causes and negative aspects of the mucilage (sea saliva) problem threatening the Marmara Sea were examined and the activities that should be implemented in the immediate, medium and long term for the solution of this important environmental problem were presented.

Keywords:

Phytoplankton; Exopolysaccharide; Marmara Sea; Sea Saliva; Mucilage.

Marmara Denizi'ndeki Müsilaj Probleminin Nedenleri ve Olumsuz Etkileri

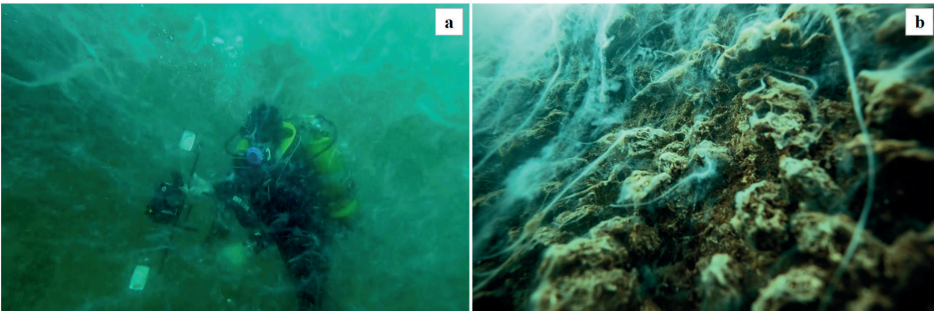
Müsilaj (deniz salyası veya deniz karı), denizdeki biyolojik üretimin ilk basamağını oluşturan ve 5,000 türü bulunan fitoplanktonların (bitkisel planktonların, mikroalglerin veya mikroskobik bitkiciklerin) mevsimsel düzensizlikler, deniz suyu sıcaklığındaki anomali, durgun hidrolik koşullar, besi maddesi (azot ve fosfor) yükünün artması, deniz suyundaki tabakalaşma (stratifikasyon) ve deniz yüzeyi ile tabanı arasındaki yetersiz sirkülasyon gibi stresli koşullara tepki olarak akuatik ortama salgıladıkları yüksek kolloidal özellikteki ekzopolisakkarit bir yapıdır. Bu ekzopolimerik bileşikler (Xu vd., 2013; Zingone ve Wyatt, 2005), oldukça büyük boyutlara ulaşarak yüzlerce kilometrelik kıyı şeridini kaplayabilen ve deniz yüzeyinden 30 metre kadar derinlere inebilen beyaz/sarımsı ve köpüksü görüntülü (Şekil 1), bulut benzeri, jelatimsi, yüksek moleküler ağırlıklı ve önemli miktarda azot, fosfor ve silis ihtiva edebilen organik yapılardır (Özalp, 2021).



Şekil 1. Müsilaj (deniz salyası) ile kaplı bazı sahillerden (İstanbul, Türkiye) görüntüleri: (a) 09 Mayıs 2021 tarihinde Bostancı sahili (Daily Sabah, 2021) ve (b) 19 Haziran 2021 tarihinde Maltepe sahili (Fotoğraf: Doç. Dr. Afşın Yusuf ÇETİNKAYA).

2021 Ocak ayında Marmara Denizi'nde ve 2021 Mart ayında Çanakkale bölgesinde etkili olan ve halk arasında deniz salyası olarak da adlandırılan müsilaj oluşumunun en büyük nedeninin, deniz kaynaklı baskılardan ziyade ileri kademe de arıtılmayan ve kontrolsüz bir şekilde denize deşarj edilen evsel, endüstriyel, liman ve marina kaynaklı atıklar ve atıksular olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, Marmara Denizi'nin çevresindeki tarım alanlarında aşırı gübre kullanılması sonucu yağmur suyu ile taşınan besin maddeleri, Karadeniz'den gelen kirletici yükleri, nehirler ile denize ulaşan kontaminasyonlar, küresel ısınmanın etkileriyle birlikte müsilaj oluşumunu hızlandırmaktadır (Independent Türkçe, 2021).

Denizde görüntü kirliliği ve koku problemi oluşturan müsilaj, denizin derinlerinde yüzeyden daha fazla bulunmaktadır. Bu oluşumun bir kısmı parçalanarak yüzeye çıkarken çözünmüş oksijen miktarında azalmaya sebep olmakta, bir kısmı da dibe çökerek (Şekil 2) olumsuz ortam şartlarından kaçma yeteneği sınırlı veya hiç olmayan bentik organizmaların ve diğer canlıların (vatozlar, kalkan balığı, pisi balığı, mercan ve midye yatakları, süngerler, istiridye, yengeç, karides, deniz otları, deniz çayıruları, yosunlar, vb.) yaşam alanları üzerinde geri döndürülmesi mümkün olmayan ekolojik tahribatlara yol açmaktadır (Çevre Mühendisliği Portalı, 2021; Başçmar, 2009). Ayrıca bu mukozamsı yapı, suyun içindeki bakteri ve virüs gibi mikroorganizmalar için çok uygun bir beslenme habitatı oluşturmakta ve içerisinde zararlı mikrobiyal türlerin de olduğu organizmalar bu salgının üzerinde kümelenmektedir. Deniz yüzeyi müsilaj yapısı ile kaplandığında, suyun atmosfer ile teması kesilmekte ve oksijen transferi engellenmektedir. Bunun yanında, güneş ışığını soğuran deniz salyası suyun ısınmasına da neden olmaktadır. Bu durum, solungaçla nefes alan bazı canlılar için ciddi bir risk oluşturmakta ve çözünmüş oksijenin azalmasıyla canlıların toplu ölümüne sebebiyet vermektedir. Bazı sucul canlılar ise tehlikeyi sezerek bu çamurumsu ortamdan kaçmakta ve bu da uzun vadedeki ekosistem sorunlarından biri olan biyoçeşitlilik kaybına yol açmaktadır (BBC News Türkçe 2021; Yacht Türkiye, 2021).



Şekil 2. Müsilaj oluşumunun deniz içerisindeki (a) ve deniz tabanındaki (b) görünümü (Blog Gazetesi, 2021).

Müsilaj (Deniz Salyası) Problemine İlişkin Bütünsel Çözüm Önerileri

Marmara Denizi'ni tehdit eden müsilaj (deniz salyası) probleminin kısa, orta ve uzun vadede çözümüne ilişkin öneriler ve konuyla ilgili çevresel farkındalığın artırılması amacıyla alınması gereken bilimsel temelli tedbirler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Müsilaj problemi sebebiyle adeta nefes almakta zorlanan ve ciddi bir çevresel baskıya maruz kalmış hasta bir su ekosistemi konumunda bulunan Marmara Denizi'nin çevresinin tamamının acilen hassas alan (koruma bölgesi) ilan edilmesi gereklidir.
- Bölgeye atıksu deşarjı olan tüm noktalar denetlenmeli ve ileri kademe arıtma yapmayan ve yüksek miktarda azot ve fosfor yükü üreten tesislerin faaliyetleri gerekli tedbirler alınmaya kadar durdurulmalıdır. Bölgedeki mevcut atıksu arıtma tesislerinin tamamı ileri biyolojik arıtma tesisine dönüştürülmeli ve fiziksel arıtma sonrasında derin deniz deşarj işlemlerine son verilmelidir. İzleyen süreçte ise güncellenen deşarj standartlarına uygun olarak işletilmeyen tesislere ağır yaptırımlar uygulanmalıdır. Bununla birlikte, arıtılmış atıksuların mümkün olduğunca yeniden kullanımı (örneğin tesis içinde, tarımsal uygulamalarda, vb.) artırılmalı ve temiz üretim teknolojileri kamu-özel sektör işbirliği çerçevesinde desteklenerek faaliyete (özellikle zeytin karasuyu ve peynir altı suyu üreten tesisler için) geçirilmelidir.
- Marmara Denizi'ni alıcı ortama olarak kullanan atıksu arıtma tesislerinin tamamı kesintisiz bir şekilde gece-gündüz çevrimiçi olarak izlenmelidir. Ayrıca, Marmara Denizi'nden geçen gemilerin sayısı, büyüklüğü, tipi gibi faktörler ve gemilerin üretebileceği atık miktarları esas alınarak, sintine ve atıksu kaynaklı bir risk analizi yapılması, bu kirleticiler için üç boyutlu yayılım dağılım modelinin oluşturulması ve modelleme çalışmalarında elde edilecek tahminlere göre kaçak sintine ve atıksu deşarjlarının denetim altına alınması amacıyla uzaktan kontrol mekanizması geliştirilmesi gerekmektedir. Bu konudaki literatür incelendiğinde, gemi kaynaklı kaçak deşarjların tespiti ile ilgili uygulamaların havadan görüntüleme (örneğin radarlar, lazer floresensörler, mikrodalga radyometreler, kızılötesi/ultraviyole tarayıcılar, vb.) ve uydu sistemleri (örneğin optik sensörler) gibi uzaktan algılama araçları ile çok daha geniş bir skalada ve dış faktörlerden (örneğin gece/gündüz, sıcaklık, bulut, rüzgâr, vb.) etkilenmeden gerçekleştirilebildiği görülmektedir. Ülkemiz için şu aşamada aciliyeti olmayan projeler yerine, mevcut yatırımların bu tür teknolojik araştırmalara ve uygulamalara yönlendirilmesi, Marmara Denizi ve diğer sucul ortamlar için atıksu ve sintine suyu deşarjları ile ilgili risklerin değerlendirilmesi ve bu konuda geleceğe yönelik sürdürülebilir bir yönetim stratejisi oluşturulabilmesi yönünden son derece faydalı olacaktır.

- Marmara Denizi çevresindeki tarım alanlarında aşırı gübre kullanımının ve denize harfiyat boşaltılmasının acilen önüne geçilmelidir. Bunun yanında, Karadeniz'den, Akdeniz'den ve Susurluk, Biga ve Gönen nehirleri ile taşınan besin maddeleri ve kirleticiler sürdürülebilir bir yönetim politikası çerçevesinde kontrol altına alınmalıdır.
- Marmara Denizinde azot (nitrit ve nitrat), fosfor (ortofosfat), silikat, pH, iletkenlik, çözülmüş oksijen, sıcaklık, klorofil-a, Secchi diski derinliği, Redfield oranı (C:N:P), silikat:azot oranı gibi kritik su kalitesi parametreleri ve denizdeki biyoçeşitlilik durumu düzenli periyotlar ile monitör edilerek bölgeye ait uyarı sistemleri geliştirilmelidir.
- Musilaja karşı faydalı biyolojik (örneğin yararlı deniz bakterisi izolatları) uygulamaların yanında tatbik edilebilecek özel, agresif olmayan ve kontrollü kimyasal (örneğin granüler klorin, sodyum diklor, kalsiyum hipoklorit, sodyum hipoklorit, lityum hipoklorit, vb.) dozlamaları, zararlı mikroorganizmaların yeni oluşacak ortama ve ilgili preparatlara adapte olmalarını engellemek amacıyla beklenmeyen zamanlarda (anlık veya uzun süreli şok tedavisi) ve yeterli karıştırma şartlarında yapılmalıdır.

Kaynakça / References

- Başçınar, N. S. (2009). Bentik canlılar ve biyoindikatör tür. *SÜMAE Yunus Araştırma Bülteni* 9(1), 5-8.
- BBC News Türkçe (2021). www.bbc.com/turkce (03.06.2021)
- Blog Gazetesi (2021). <https://bloggazetesi.com> (16.06.2021).
- Çevre Mühendisliği Portalı (2021). www.cevremuhendisligi.org (19.06.2021)
- Daily Sabah (2021). www.dailysabah.com (09.05.2021).
- Independent Türkçe (2021). www.indyrturk.com (14.05.2021).
- Özalp, H. B. (2021). First massive mucilage event observed in deep waters of Çanakkale Strait (Dardanelles), Turkey. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 27(1), 49-66.
- Xu, H., Yu, G., & Jiang, H. (2013). Investigation on extracellular polymeric substances from mucilaginous cyanobacterial blooms in eutrophic freshwater lakes. *Chemosphere*, 93(1), 75-81. doi: 10.1016/j.chemosphere.2013.04.077
- Yacht Türkiye (2021). www.yachtturkiye.com (04.06.2021).
- Zingone, A., & Wyatt, T. (2005) Harmful algal blooms: keys to the understanding of phyto-plankton ecology. In: The sea: ideas and observations on progress in the study of the seas, (eds., Robinson, A.R., Brink, K.H.), Harvard University Press, USA, pp. 867-926.