

**DENİZ MÜSİLAJININ OLUŞUMU, ÖNLENMESİ VE
OLASI DEĞERLENDİRİLMESİ**

**MECHANISM OF FORMATION, PREVENTION AND
POSSIBLE EVALUATION OF MARINE MUCILAGE**

Prof. Dr. Reşat Apak
TÜBA Şeref Üyesi / TÜBA Honorary Member

**Prof. Dr. Reşat Apak / İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa /
rapak[at]istanbul.edu.tr / ORCID: 0000-0003-1739-5814**

Prof. Dr. Reşat Apak, 1976'da kimya yüksek mühendisi olarak mezun olduğu İstanbul Üniversitesi (İÜ)'nden 1981'de doktora almış ve burada (şimdi İÜ-Cerrahpaşa) 28 yıldır tam zamanlı analitik kimya profesörü olarak çalışmaktadır. Ayrıca Liverpool Üniversitesi'nden deniz kirlenmesi alanında lisansüstü diploması (1981) almıştır. İÜ'nde Mühendislik Fakültesi Dekanlığı (1996-99) ve Deniz Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü (2007-2015) yapmıştır. Saygın uluslararası dergilerden *Talanta*, (*Russian Journal of Analytical Chemistry* ve *Analytical Letters*'in yazı kurulu üyesidir. Uluslararası Temel ve Uygulamalı Kimya Birliği (IUPAC)'da Analitik Kimya dalında Türkiye temsilcisi ve asosiye üyedir. Atıf indekslerine geçen 275 makalesi Google Scholar'a göre 15 963 atıf (h=57) ve Elsevier-Scopus'a göre 10 221 atıf (h=48) almıştır. Biri uluslararası 4 kitap ve 14 kitap bölümü yazmıştır. Dünyada yaygın kullanım bulan CUPRAC (bakır (II) esaslı antioksidan kapasite) tayin yöntemi (2004) ve sahada patlayıcı izi tayin kitinin (2009) bulucusudur. Türkiye Bilimler Akademisi (TÜBA) asli üyeliğini (2012), TÜBİTAK Bilim Ödülü'nü (2017) ve İngiliz Kraliyet Bilimler Akademisi Kimya Topluluğu Danışman (FRSC) üyeliğini (2018) kazanmıştır.

**Prof. Dr. Reşat Apak / İstanbul University-Cerrahpaşa /
wrapak[at]istanbul.edu.tr / ORCID: 0000-0003-1739-5814**

Prof. Dr. Reşat Apak received B.S./M.Sc. degrees in chemical engineering (Istanbul Univ., 1976); obtained postgraduate diploma in marine pollution (Liverpool Univ., 1981); obtained Ph.D. (1982) in İstanbul Univ (IU). He has been working in IU (now IU-Cerrahpaşa) as a full professor for the last 28 years. He served as the faculty dean (1996-99) Institute Director (2007-2015) in IU. He is the editorial board member of *Talanta*, (*Russian Journal of Analytical Chemistry* and *Analytical Letters*). He is Turkey's country representative and associate member of the Analytical Chemistry Division of IUPAC (International Union of Pure & Applied Chemistry). He has authored 275 peer-reviewed SCI journal articles, 14 book chapters and reviews, three textbooks (in Turkish), one textbook on antioxidant analysis (Wiley, 2018), receiving 15 963 citations in Google Scholar (h=57) (10 221 citations in Elsevier-Scopus; h=48). He is the inventor of the "CUPRAC (cupric reducing antioxidant capacity) assay" method currently practised in the leading food research centres worldwide, and also of "field detection of explosive residues kit" (2009). He was elected to Turkish Academy of Sciences (TUBA) in 2012. He is the recipient of TUBITAK (Turkish Scientific & Technical Research Council) Science Award in 2017; he was elected as a Fellow Member of the Royal Society of Chemistry (FRSC) in 2018.

DENİZ MÜSİLAJININ OLUŞUMU, ÖNLENMESİ VE OLASI DEĞERLENDİRİLMESİ

Özet

Sucul ekosisteme büyük hasar veren, tür çeşitliliğini azaltan ve balıkçılık ekonomisini tahrip eden denizel müsilaj bir kez ortaya çıktığında kimyasal ve bakteriyel parçalanmaya dirençli polimerik bir örgü yapısı oluşturur; bu nedenle polimerleşme öncesi kaynağında engellenmelidir. Bu çalışmada, literatürde tam olarak bilinmeyen denizel müsilajın oluşum mekanizması için bir hipotez ortaya atılmış ve bu hipoteze bağlı olarak müsilaj oluşumunun bölgesel ekolojik bir probleme yol açmadan oluşum evresinde önlenmesi için düşük maliyetli ve pratik bir yol önerilmiştir. Öngörülen yol, tuzluluğun daha düşük olduğu termoklin tabakasında durağan ortamda cereyan eden yavaş polimerizasyon-agregasyon reaksiyonlarına olanak vermemek için bu suları, daha açık denizden alınacak tuzlu sularla karıştırmaktır. Bu karıştırma (sahil açıklarından tuzluluğu yüksek nispeten derin sulardan deniz suyu pompalama) işlemi sürecin başladığı süt kıvamında beyaz koloidal görüntülerin görüldüğü her yerde yapılabilir. Bu yolla müsilajın zemini olan koloidal agregatlar oluşum evresinde dağılacak ve kısmen çözünecektir. Müsilajın biyogübre, biyoyakıt ve biyoyarım adsorbantı olarak değerlendirilmesi tartışmalarına da ayrıca değinilmiştir.

Anahtar Kelimeler:

Denizel müsilaj, Müsilaj oluşumu, Müsilaj önlenmesi, Tuzlu su karıştırma, Koloidal kararsızlaştırma, Biyoyakıt, Biyogübre.

MECHANISM OF FORMATION, PREVENTION AND POSSIBLE EVALUATION OF MARINE MUCILAGE

Abstract

As marine mucilage harms aquatic ecosystems, reduces species diversity and damages fishing economy after emerging as a polymeric gel network resistant to chemical and bacterial degradation, it should be prevented at the source before polymerization. This study aims to suggest a hypothetical mechanism for mucilage formation and a low-cost, practical method to prevent mucilage gelation before it transforms into a region-wide ecological problem. The suggested route consists of mixing the stagnant low-saline coastal water with pelagic saline water transferred from a certain depth for preventing the relatively slow polymerization-aggregation reactions in the upper thermocline. This mixing should be carried out in every place where milk-like marine snow colloids start to emerge by pumping saline pelagic water into coastal water irrigated from land freshwater sources. This measure will disrupt and partly dissolve the newly emerging colloidal aggregates that form the background of marine mucilage. Aside from this practical measure, ongoing discussions regarding the possible evaluation of marine mucilage as biofertilizer, biofuel, and biotreatment adsorbent are also mentioned.

Keywords:

Marine mucilage, Mucilage formation, Mucilage prevention, Saline water mixing, Colloidal destabilization, Biofuel, Biofertilizer.

Giriş

Deniz musilajı, büyük ölçüde karasal kökenli bazı mikroorganizmalar tarafından üretildiği düşünülen kalın, yapışkan bir biyopolimerik madde olup su yüzeyinden başlayarak derinlere kadar tabakalaşır. Oluşum olanağı bulunduğu bölgelerde irreversibl (tersinemez) polimerik bir kitle oluşturur ve ayrışıp parçalanmak için akıntı ve rüzgarlara, büyük ölçüde çözülmüş oksijene ve etkin kütle transferine ihtiyaç duyar.

Yapışkan bir yapıya sahip olan müsilağ, deniz yüzeyinde yüzer haldeki balık yumurtalarını hapsederek yaşamalarına engel olur. Deniz içindeki zooplanktonları içine hapsedtiğinden larvaların beslenmelerini engeller. Deniz çayırlarının üzerini örtüp, dipteki bazı kabuklu canlıların (midye, istiridye, vb.) ışıkla temasını keserek, besin, çözülmüş gaz ve metabolit değişimin önüne geçerek beslenmelerini ve solunumlarını engeller; bu bağlamda sucul ekosisteme büyük zararlar verir ve bulunduğu yerlerde tür çeşitliğini engeller. Balıkçılık ekonomisini büyük ölçüde tahrip eder.

Yoğun bir polimer katmanı oluşturan deniz musilajının oluştuktan sonra dağılması ve ayrışması güç olduğundan olanaklar ölçüsünde baştan engellenmelidir. Halen Marmara Denizi'nde bu müsilağ (bakteriyel ayrışmaya ve deterjanlarla parçalanmaya dirençli polimerik ağ yapıda olduğundan) ancak toplanma ve depolanma yoluyla bertaraf edilmektedir. Müsilağ agregatları içinde kütle transferi güç olduğundan bu yığılımların bakteriyel kataliz yardımıyla çözülmüş oksijenle yükseltgenerek parçalanması çok güçleşmektedir.

Deniz musilajı bir kez tabakalaşıp kalınlaştıktan sonra viskoz (yapışkan) katmanlarda detaylı araştırma yapmakla olayın başlatıcısı bulunamaz, çünkü olayın başlatıcısı konumundaki mikroorganizmalar (algler ve bakteriler) süreç boyunca polimerik örgü (network) yapısı içinde, büyük ölçüde olayın faili olmayan pek çok ölü organizma, ekstraselüler metabolit, protein ve polisakkarid gibi biyopolimerler arasında kaybolmuştur. Deniz musilajının çok geniş ve umulmadık ölçüde zengin bir biyoçeşitliliği kapsadığı ve çevresel sulara bulunmayan patojen bakterilere ev sahipliği yaptığı gözlemi (Danovaro, Umani & Pusceddu, 2009) bu biyopolimerlerin oluşum sürecinin, bunların ortaya çıktığı denizel ortamda bulunanlardan oldukça farklı (olasılıkla karasal kökenli) bakteri ve alglerle başlatıldığı hipotezimizi güçlendirmektedir. Nitekim müsilağ içindeki yalıtılmış diatomların salgıladıkları polisakkaridlerin monosakkarid bileşimi ham musilajda rastlananla benzer olduğu halde, bentik agregatlardan yalıtılmış diatomların ve siyanobakterilerin laboratuvar kültür ortamında bu polisakkaridleri yayınlamaları veya çok düşük oranlarda yayınlamaları, doğal musilajın bu organizmalar tarafından oluşturulmadığı tezini desteklemektedir (De Philippis vd., 2005) Buna karşılık diatomların salgıladığı polisakkaridik materyalde bulunan besin öğeleriyle çoğalan heterotrofik bakteriler son aşamada müsilağ oluşturabilmektedirler. Buradan hareketle heterotrofik bakteriler, diatomların polisakkaridik

materyal yayınlamalarını tahrik ediyor olabilir (De Philippis vd., 2005). Bu konuda literatür kaynakları da oldukça kısıtlıdır ve özellikle musilajın oluşum mekanizması halihazırda tüm berraklığıyla açıklığa kavuşturulamamıştır. Dolayısıyla denizel musilajın oluşumunun aydınlatılması ve bunun ekolojik bir problem olarak ortaya çıkışının engellenmesi yolunda önlem önerilmesi esas olarak sınırlı deneysel verilerden hareketle makul bir hipotez oluşturup bilimsel akıl yürütme yoluyla yapılabilir.

Deniz musilajının kökeni neyse ve bunu başlatan mikroorganizmalar hangi ortamda kendilerini rahat hissederek bu süreci başlatıyorsa ve geliştiriyorsa, kanımızca önlem olarak bunların tam tersi yapılmalıdır. Adriyatik Denizi'nde hem sonbahar-kış, hem de ilkbahar-yaz musilajları görüldüğünden (Danovaro, Umani & Pusceddu, 2009) süreci başlatan organizmalar özellikle şiddetli sonbahar ve ilkbahar yağmurlarıyla karalardan denizlere taşınan tatlı su kütlesi içinde olmalıdır. Tatlı suların denizlere taşınmasında karasal yağmur-sel suları ve önlenemeyen kanalizasyon sistemi taşkınları etkili olmalıdır. Bunlar denizel ortama intikal ettiklerinde yeni ortamlarına adaptasyon güçlüğü içinde stresle baş edebilmek için büyük olasılıkla bir ipek böceğinin etrafına koza örmesi gibi ekstraselüler metabolitlerinden bir polimer ağ oluşturmaktadır. Bu olay kirlilikle yani mikrobese elementlerinin bolluğuyla el ele yürüten bir polimerizasyon-agregasyon (yığışım) mekanizmasıyla yürütmektedir. Burada kirlilik kuşkusuz önemli bir faktör olmakla birlikte sanılanın aksine denizel müsilaj olgusu ötrofiye sularla çok yakından bağlantılı olmayabilir, çünkü Ege Denizi gibi oligotrofik denizlerde de görülmüştür. Adriyatik Denizi'nde görülen denizel agregatların sıcaklıkla ilişkisi öne sürülmüştür (özellikle 2006, 2007 ve 2008 kış aylarında ortaya çıkan müsilajlar, ortalama sıcaklıklardan 2-3 °C fazlasının görüldüğü sıcak geçen kış aylarıyla ilişkilendirilmiştir) (Danovaro, Umani & Pusceddu, 2009) Marmara Denizi'nde geleneksel olarak azot (fosfora nazaran) sınırlayıcı mikrobese elementi olarak bilinir; bununla birlikte müsilaj agregatlarının gözenek sularında fosfor ve azot birikiminin, çevresel sulardakinden çok daha fazla (deriştirilmiş) olduğu bilinmektedir (Del Negro vd., 2005). Çevreleyen su kütlesi içindeki derişimine nazaran müsilaj içindeki fosfataz enzimi aktivitesi yaklaşık 10 kat fazla bulunmuştur (Del Negro vd., 2005); fosfataz enzimleri, nükleotidler, proteinler ve alkaloidler dahil olmak üzere çeşitli biyomakromoleküllerden fosfat gruplarının koparılmasını sağlar ve müsilaj içindeki bu enzimlerin kökeninde alg ya da plankton olduğu ayırt edilemez. Alkalın fosfataz aktivitesi (AP), bu organizmaların görünürdeki fosfor limitasyonunu aşmak için organik maddeleri hidrolizleme etkinliklerini yansıtmaktadır. Yani muhtemelen başlangıçta mikrobese elementlerinden ortofosfat ile suda nisbeten az çözünen kalsiyum fosfat çekirdekleri oluşmakta ve ekstraselüler metabolitlerden polisakkaridler (örneğin dinoflagella tarafından oluşturulan galaktoz egzopolimerleri) ile bu çekirdekler etrafında koloidal partiküller oluşmakta, bunların agregasyonu ile kalınlaşma (viskozlaşma ve yapışkanlaşma) sağlanmaktadır. Yeni Zelanda'nın Tasmanya Körfezi'nde 2000 yılında görülen müsilaj kuru ağırlığı içinde inorganik materyalin önemli bir bölümünün kalsiyumdan ibaret olduğu ve kalsiyumun deniz suyundan (sodyum ve magnezyuma göre) birkaç ondalık

mertebesi kadar fazla derişiklendiği, ayrıca fosforun kalsiyuma oranının deniz suyunda beklenenden 100 kat yüksek olduğu birlikte değerlendirildiğinde müsilağ agregatlarının kalsiyum fosfat ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) çekirdekleri etrafında şekillendiği ve bu çekirdeklerin oluşacak jeli kararlılaştırdığı tasavvur edilebilir (MacKenzie vd., 2002). Bu olayın su sirkülasyonunun az olduğu sığ ve durgun sularda başlağığı düşünölmektedir. Örneğin, oluşun yığışımaları mekanik kesme kuvvetleriyle dağıtacak türbölansın düşük olduğu sığ pasifik fiyordlarında çapı 0.5 mm'yi geöen agregatlardan ibaret ince tabakalar halinde diatom-ağırlıklı 'deniz karı'nın oluştuğu gözlenmiştir (Alldredge vd., 2002).

Denizin karaların iöine fazlaca geötiği yerlerde karalardan yoğun yağmur suları ve taşkınlarla taşınan sular tuzlu suyun oluşturduğu dip tabakadan bir termoklinle ayrılmakta ve daha düşük yoğunluklu ve olasılıkla daha sıcak tabakada kalmaktadır. Olayda oksijen derişimi de azalmaktadır (anoksiklik artmaktadır). Müsilağ özellikle değişen çevresel koşullarda organik materyalin farklı agregasyon (yığışım) davranışına özgü olup bu davranışın, organik maddelerin anoksik koşullarda polimerizasyon ve agregasyon hızlarının, dengesiz biçimde ayrışma hızından daha üste çıkmasından kaynaklandığı düşünölmektedir (Mecozzi, Pietroletti & Conti, 2008) Müsilağ kalınlaşmadan önce oluşun hidrokolloidlerin özünörlüğü de tatlı suda, tuzlu suya nazaran daha az olmakta ve bünyesinde daha fazla mikroorganizmayı hapsederek ilerlemektedir.

Bu süreci önlemede özözümün anahtarı, tuzluluğun daha düşük olduğu termoklin tabakasında durağan ortamda cereyan eden yavaş kimyasal reaksiyonlara olanak vermemek için bu suları, daha açık denizden alınacak tuzlu (salin) sularla karıştırmaktır. Bu karıştırmaya (sahil açıklarından tuzluluğu yüksek nisbeten derin sulardan deniz suyu pompalama) işleminin başlağığı süt kıvamında beyaz koloidal görünümlerin görüldüğü her yerde yapılabilir. Bu işlemin olası yararları şunlar olacaktır:

- 1) Nispeten sığ ve durgun sahil sularının daha tuzlu suyla karışmasıyla yavaş bir polimerizasyona olanak tanınmaz.
- 2) Açık deniz suyunun sığ sahil sularıyla karışmasıyla geçici yaz (veya bahar) termoklini kaybolur. Sudaki düşey ve yatay hareketin artması, başlı başına durgun sularda yürüten yavaş polimerizasyon reaksiyonlarını önler.
- 3) Bakteriyel faaliyetin yoğun olduğu anoksik sular özünömmüş oksijence zenginleşir.
- 4) Olayın başlatıcısı konumundaki (hipotezimize göre) karasal kökenli organizmalar tuzlu suyla karşılaştıklarında stresle baş edemezler ve koloidal agregatları aynı rahatlıkla oluşturamazlar.
- 5) Belirli (örneğin kalsiyum fosfat) çekirdekleri etrafında agregate olan koloidal partiküllerin sudaki özünörlükleri, tuzlu suyun karışmasıyla artar. Le Chatelier prensibine göre özünörlük dengeleri sudaki inert tuzlardan olumlu etkilenir ve tuzlu su ortamında özünömmüş iyon aktiviteleri

tatlı sudakinden daha düşük olacağından çözünme denge tepkimesi çözülmüş iyonlar tarafına kayar ve bunun sonucunda çözünürlük artar. Böylece koloidal agregatlar (tuzlu su ortamında çözünürlüğün artması nedeniyle) oluşmaz.

- 6) Tuzlu suyun kolloid kırıcı olduğunu kendi laboratuvarımızda yürüttüğümüz nanoteknoloji araştırmalarından biliyoruz.
- 7) Bunların yanında Marmara Denizi'ne boşaltılan atık yükünün, özellikle arıtılmamış evsel atıkların ve bunların içinde fosfor yükünün azaltılması önem kazanmaktadır. Aşırı sonbahar yağmurlarıyla kanalizasyon sisteminin taşması sonucu derelerden önemli bir fosfor girişi olmaktadır. Marmara Denizi'ne dökülen tüm akarsu ağının atık yükü azaltılmalıdır. Müsilaj oluşumunda çekirdek oluşturan fosfor (özellikle kalsiyum ve magnezyum fosfat nüveleri) yükü esas olarak evsel atık ve tarımsal gübrelerden kaynaklanmaktadır. Nitekim müsilaj içinde kalsiyum ve magnezyum içeriğinin çok zengin olduğu bilinmektedir. Fosfor atık yükünün azaltılmasında belediye arıtım tesislerinde tersiyer (üçüncül) arıtım da tavsiyeye şayandır.
- 8) Baltık Denizi'nde daha önce müsilaj önlemeyle ilgili yapılan bir mühendislik çalışmasında tüm fosfor kaynağı evsel atıkların bütünsel bir yaklaşımla minimize edildiği ve ayrıca suya fosforu gidermek için kontrollü biçimde alüminyum tuzları katıldığı (böylece fosforu besin olarak kullanan fitoplanktonların "aç bırakıldığı") bilinmektedir. Alüminyumla çöktürme yöntemi ise uzun vadeli toksikliği nedeniyle T.C. Çevre ve Sağlık Bakanlıklarının onayını alamayabilir. Bunlara ek olarak suya alüminyum ilavesi alüminyum fosfat ($AlPO_4$) çözünmeyen tuzları üzerinden yeni müsilaj oluşumu için çekirdek işlevi görebilir; örneğin Adriyatik Denizi'nde kıyasal olmayan nisbeten açık deniz müsilaj agregatlarında yüksek alüminyum oranlarına rastlanmıştır (Giani vd., 2005). Benzer şekilde bakteriyel ayrışmayı katalizlemek amacıyla bariyerlerle ayrılmış denizel ortama bakteri ve oksijen ilavesi de bir kez oluşmuş yoğun müsilaj tabakaları içinde etkin kütle ve enerji transferinin olamayacağından hareketle yüksek verimlilik gösteremeyecektir. *Dolayısıyla mantıklı ve verimli bir kaynağından çözüm önerisi olarak müsilaj henüz şekillenmeye başladığı evrede erken uyarı sistemiyle saptanmalı ve sonbahar/ilkbahar izleyen ilk müsilaj oluşum evresinde sahil sularına tuzlu su karıştırılarak basit ve etkili bir yöntemle engellenmelidir.*

Çevresel problemlerin çözümünde teşhis ve tedavi elele yürümelidir. Kirlilik maddi bir veridir ve çoğu kez kirlilik kaynakları sınırlandırılrsa da altyapısal kirlilik ve besin maddeleri fazlalığı ile bağlantılı çözülmüş oksijen azlığı, denizel ekosistemde uzun süre egemen olabilmektedir. Denizel müsilaj geçmişte kirliliğin yoğun olmadığı oligotrofik denizlerde de görülmüştür. Tüm kirlilik kaynaklarının sınırlandırılması hatta yokedilmesi herkesin ortak arzudur, ancak fiziksel gerçeklik buna elvermezse aktif müdahale seçeneği öne çıkmakta-

dır. Denizel müsilağ bir kez ortaya çıktıktan sonra oluşan ısrarlı, bakteriyel ve kimyasal ayrışmaya dirençli polimerik jel yapının uzun süre denizel ortamda kalıcı olacağı aşıkardır. O nedenle denizel müsilağ henüz yaygın biçimde ortaya çıkmadan önlenmelidir.

Müsilağ yer yer toksik olabilen mikroorganizmalarla bezenmiş bir biyoçeşitlilik içerdiğinden müsilağ içindeki polisakkaridlerin izole edilerek hayvan yemi olarak kullanılması henüz gündeme getirilememektedir. Çoğu müsilağ agregatları esas olarak polisakkaridlerden ve kısmen de proteinlerden oluşmaktadır (Decho & Herndl, 1995). Batı Akdeniz’de (Tiren Denizi’nde) rastlanan bazı pelajik musilajimsi agregatlarda organik karbon içeriğinin % 45-68’inin karbohidrat, protein, lipid, hümit ve fülvik asit fraksiyonlarından ibaret olduğu gösterilmiştir (Giani vd., 2012). Deniz musilajından lipid fraksiyonun apolar çözücülerle özütleterek kazanımı ultra-sonikasyon teknolojisi yardımıyla yapılmıştır (Keris-Sen vd., 2014). Doğal olarak kimyasal ayırma ve özütleme teknikleri geliştikçe bu maddelerin toksik ve patojen bakteri kütlelerinden arındırılarak kazanılması gündeme gelebilecektir. Buna karşılık denizel mikroalg ekstraktlarının (özütlerinin) bitki büyümesini destekleyen biyogübre işlevi taşıdığı ve gelecekte de tarımsal gübre açığını karşılamada önemli bir rol alabileceği öngörülmektedir. Mikroalg özütleleri, bitki büyümesini teşvik edici bütün besin öğelerini içermektedirler. Bu tür biyogübrelerde varolan mikroalglerin çoğunluğunun hava azotunu sabitleştirme (fiksasyon) ve toprağı azotça zenginleştirerek bitki büyümesini destekleme özellikleri de ek bir avantaj olabilir (Sampathkumar vd., 2019) Mikroalgler tarafından yayınlanan musilajın toprak yapısını ve gözenekliliğini (porözitesini) iyileştirdiği bilinmektedir (Karthikeyan vd., 2007). Musilajın ve içerdiği alg ve siyanobakteri kütlelerinin biyogübre, biyoyakıt ve atıksu arıtım tesislerinde ağır metal adsorpsiyonunda kullanımı (Singh, Kumar & Singh, 2019) gibi çeşitli olasılıklar halen tartışma safhasındadır.

Sonuç olarak bu makalede önerilen müsilağ önleme yöntemi Dünya’da daha önce uygulanmamış olsa da savunma sanayindeki adımlarımızda olduğu gibi ülkemiz bu konuda öncü olabilir. Denemek ve görmek gerekir. Burada önerilen yöntem, düşük maliyetli ve pratik bir yöntemdir ve başarılı olduğu takdirde denizel musilajı yüksek toplumsal-çevresel maliyetli ekolojik bir felaket boyutlarına ulaşmadan kaynağında yok edebilecek potansiyele sahiptir.

Kaynakça / References

- Allredge, A. L., Cowles, T. J., MacIntyre, S., Rines, J. E. B., Donaghay, P. L., Greenlaw, C. F., Zaneveld, J. R. V. (2002). Occurrence and mechanisms of formation of a dramatic thin layer of marine snow in a shallow Pacific fjord. *Marine Ecology Progress Series*, 233, 1–12. <https://doi.org/10.3354/meps233001>
- Danovaro, R., Umami, S. F., & Pusceddu, A. (2009). Climate change and the potential spreading of marine mucilage and microbial pathogens in the mediterranean sea. *PLoS ONE*, 4(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007006>
- De Philippis, R., Faraloni, C., Sili, C., & Vincenzini, M. (2005). Populations of exopolysaccharide-producing cyanobacteria and diatoms in the mucilaginous benthic aggregates of the Tyrrhenian Sea (Tuscan Archipelago). *Science of the Total Environment*, 353(1–3), 360–368. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.078>
- Decho, A. W., & Herndl, G. J. (1995). Microbial activities and the transformation of organic matter within mucilaginous material. *Science of the Total Environment*, 165(1–3), 33–42. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04541-8](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04541-8)
- Del Negro, P., Crevatin, E., Larato, C., Ferrari, C., Totti, C., Pompei, M., Fonda Umami, S. (2005). Mucilage microcosms. *Science of the Total Environment*, 353(1–3), 258–269. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.018>
- Giani, M., Berto, D., Zangrando, V., Castelli, S., Sist, P., & Urbani, R. (2005). Chemical characterization of different typologies of mucilaginous aggregates in the Northern Adriatic Sea. *Science of the Total Environment*, 353(1–3), 232–246. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.09.027>
- Giani, M., Sist, P., Berto, D., Serrazanetti, G. P., Ventrella, V., & Urbani, R. (2012). The organic matrix of pelagic mucilaginous aggregates in the Tyrrhenian Sea (Mediterranean Sea). *Marine Chemistry*, 132–133, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2012.01.002>
- Karthikeyan, N., Prasanna, R., Nain, L., & Kaushik, B. D. (2007). Evaluating the potential of plant growth promoting cyanobacteria as inoculants for wheat. *European Journal of Soil Biology*, 43(1), 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.11.001>
- Keris-Sen, U. D., Sen, U., Soydemir, G., & Gurol, M. D. (2014). An investigation of ultrasound effect on microalgal cell integrity and lipid extraction efficiency. *Bioresource Technology*, 152, 407–413. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.11.018>
- MacKenzie, L., Sims, I., Beuzenberg, V., & Gillespie, P. (2002). Mass accumulation of mucilage caused by dinoflagellate polysaccharide exudates in Tasman Bay, New Zealand. *Harmful Algae*, 1(1), 69–83. [https://doi.org/10.1016/S1568-9883\(02\)00006-9](https://doi.org/10.1016/S1568-9883(02)00006-9)
- Mecozzi, M., Pietroletti, M., & Conti, M. E. (2008). The complex mechanisms of marine mucilage formation by spectroscopic investigation of the structural characteristics of natural and synthetic mucilage samples. *Marine Chemistry*, 112(1–2), 38–52. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2008.05.007>
- Sampathkumar, P., Dineshkumar, R., Rasheeq, A. A., Arumugam, A., & Nambi, K. N. (2019). Marine microalgal extracts on cultivable crops as a considerable bio-fertilizer: A Review. *Indian Journal of Traditional Knowledge (IJTK)*, 18(4), 849–854.
- Singh, J. S., Kumar, A., & Singh, M. (2019). Cyanobacteria: A sustainable and commercial bio-resource in production of bio-fertilizer and bio-fuel from waste waters. *Environmental and Sustainability Indicators*, 3–4, 100008. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2019.100008>