

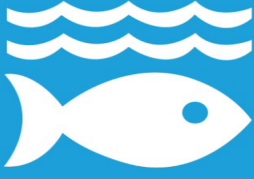


DOĞANIN SESİ

MÜSİLAJ SORUNU VE KARAKTERİZASYONU

Mucilage Problem and Its Characterization

14 SUDAKI
YAŞAM



Haziran 2022
Yıl: 5 Sayı: 9
Sayfalar: 4-16

Figen Esin KAYHAN*
Prof.Dr.

Marmara Üniversitesi,
Fen – Edebiyat Fakültesi
Biyoloji Bölümü, Hidrobiyoloji
Anabilim Dalı
Göztepe Kampüsü 34722
Kadıköy/İstanbul
ORCID: 0000-0001-7754-1356
fekeyhan@marmara.edu.tr

Nazan Deniz YÖN ERTUĞ
Prof.Dr.

Sakarya Üniversitesi, Fen-Edebiyat
Fakültesi
Biyoloji Bölümü
54187 Esentepe/Sakarya
ORCID: 0000-0002-6830-8971
ndyon@sakarya.edu.tr

Anahtar Kelimeler

Müsülaj, Marmara Denizi,
deniz kirliliği

Keywords

Mucilage, Sea of Marmara,
marine pollution

Bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de nüfus artışının getirdiği kentleşme ve sanayileşme; çeşitli çevre sorunlarına yol açmaktadır. Son yıllarda, denizlerde planktonik ve bentik alg çoğalmalarından kaynaklanan müsülajlı organik madde oluşumu artmıştır. Denize kıyısı olsun veya olmasın tüm şehirlerin sıvı atık yükü en sonunda denizlere ulaşmaktadır. Bu kirlilik yükü zamanla birikmekte ve doğal şekilde temizlenemeyecek kadar büyümektedir. Bu derlemede hem dünya denizlerinde hem de ülkemiz denizlerinde müsülaj olayının oluşumu, gelişimi ve sonuçları irdelenmeye çalışılmıştır.

ABSTRACT

As in the whole world, urbanization and industrialization brought about by population growth in our country; causes various environmental problems. In recent years, the formation of mucilage organic matter resulting from planktonic and benthic algae eruptions of the seas has increased. The liquid waste load of all cities, whether they have a coast or not, reaches the seas in the tenth. This pollution load accumulates over time and grows too large to be cleaned by natural means. In this review, the formation, development and results of the mucilage phenomenon in both the world's seas and our country's seas have been tried to be examined.

Yazıların tüm teknik ve hukuki sorumluluğu yazarlarına aittir. İleri sürülen fikir ve iddialar Doğa ve Sürdürülebilirlik Derneğinin görüşünü yansıtmayabilir.



DOĞANIN SESİ



© E. Taşkın

GİRİŞ

Müsilaj olayı, bazı araştırmacılar tarafından planktonik veya bentik mikroalgler tarafından üretilen, denizlerin yüzey sularını ve alt tabakaların büyük kısımlarını kaplayan, yüzen, jelatinimsi ve kolloid bir maddenin yaygın görünümü olarak tanımlanır (Gotsis-Skretas, 1995; Aktan ve diğerleri, 2008; Danovaro ve diğerleri, 2009; Caronni ve diğerleri, 2016; Toklu-Alıçlı ve diğerleri, 2020; Tas ve diğerleri, 2020). Bu müsilajlı kümelerde bakteriler, diyatomeleler ve mikroalgler gibi farklı mikroorganizmalar, yüksek molekül ağırlıklı polisakkaritler ve glikoproteinlerden oluşan, jelatinli kolloid bir yığın içine gömülü olarak bulunurlar (Leppard, 1995; Wimpenny ve diğerleri, 2000). Ayrıca iklimsel, oşinografik ve ötrofik koşullar da müsilaj oluşumunda etkilidir. Müsilajın genel karakterizasyonunda bazı şekerlerin bulunduğu bilinmektedir. Müsilaj içeriğinde bulunan şekerler genellikle %35-40 arabinoz, %20-25 galaktoz, %7-8 ramnoz, %20-25 ksiloz ve %7-8 oranında üronik asitlerdir. Arabinoz ve ksiloz, galaktoz zincirlerinin dallarıdır. Bazı

galaktoz yan zincirleri arabinoz içerir ancak ksiloz içermez ve bazılarında iki arabinoz kalıntısı olan bir ksiloz bulunabilir. Müsilaj molekülleri negatif yüklü olma eğilimindedir, çünkü hidrojen iyonları galakturonik asitlerin karboksilik kısmından ayrışabilir. Bu önemlidir, çünkü müsilajın bazı fizikokimyasal özellikleri karboksilik grubun iyonize formuna bağlıdır. Müsilaj, düşük derecede esterleşme gösterebilen bir bileşiktir. Esas olarak müsilajın viskozitesi, kimyasal bileşimlerine, pH'ına, esterifikasyon derecelerine ve kalsiyum iyonlarının varlığına bağlıdır (Rodríguez-González ve diğerleri, 2014). Son zamanlarda, bazı araştırmacılar tarafından Akdeniz'de müsilaj üreten mikroalgler tarafından köpüklenmenin yoğunlaşması ve birkaç istilacı türün yayılımının artması küresel iklim değişikliğiyle de ilişkilendirilmiştir (Russo ve diğerleri, 2005; Danovaro ve diğerleri, 2009; Yentur ve diğerleri, 2013; Guarnieri ve diğerleri, 2014). Müsilaj, bentik organizmalar üzerindeki şiddetli etkisi nedeniyle yüzey, kıyı ve derin deniz ortamlarında ışık, sıcaklık, oksijen ve pH gibi bir dizi değişkeni etkileyen önemli bir stres faktörüdür (Claudet ve Fraschetti, 2010).



DOĞANIN SESİ

Doğal sistemler sıklıkla ve aynı anda farklı çevresel stres koşullarına maruz kalabilir (Breitburg ve diğerleri, 1999; Halpern ve diğerleri, 2008). Çok faktörlü stres ortamında ise sıklıkla biyolojik çeşitlilik ve ekolojik işleyişi değiştiren olumsuzluklar görülebilir (Paine ve diğerleri, 1998; Vinebrooke ve diğerleri, 2004; Folke ve diğerleri, 2004; Darling ve diğerleri, 2010). Deniz ekosistemlerinde birden fazla stres faktörünün neden olduğu karmaşık etkilerin anlaşılması oldukça uzun zaman alır (Sala ve diğerleri, 2000; Zeidberg ve Robinson, 2007; Guarnieri ve diğerleri, 2014). Günümüzde, müsilajın deniz ekosistemlerini ağır bir şekilde etkilediği düşünülmektedir (Yentur ve diğerleri, 2013). Müsilaj, ülkelerin turizm ve balıkçılık sektörlerini de olumsuz etkiler. Son yıllarda planktonik ve bentik alg çoğalmalarından kaynaklanan müsilajlı organik maddenin varlığı, Avrupa'nın birçok kıyı sularında, özellikle Adriyatik Denizi'nde sık görülen ekolojik bir olaydır. Adriyatik Denizi'nde müsilaj görünümü 1800'den beri periyodik olarak izlenmiş ve kayıt altına alınmıştır. Dalmaçya, Yunan, Tiren ve Sicilya kıyı bölgelerinde ara sıra müsilaj olayları gözlemlenmesine rağmen, bunlar Adriyatik Denizi'nin kuzeyinde meydana gelenler kadar sık veya büyük ölçekte olmamıştır (Mecozzi ve Tomassetti, 2007; Stachowitsch ve diğerleri, 1990; Calvo ve diğerleri, 1995; Gotsis-Skretas, 1995; Innamorati, 1995). Çeşitli gazete, dergi ve bilimsel yayınlardan toplanan gözlemlere göre, Kuzey Adriyatik Denizi'nde görülen müsilaj oluşumlarının ilk kaydı 1729'a kadar uzanır. Bunu 1872, 1880, 1891, 1903, 1905, 1920–1922, 1924, 1927, 1929, 1930, 1935, 1941, 1949, 1951, 1959, 1973, 1976 ve 1983 yıllarının kayıtları takip eder (Danovaro ve diğerleri, 2009). 1988–1991, 1997 2000–2004 ve 2006–2008 periyotlarında ise mevcut kayıtlara dayanarak son dönemde müsilaj olayının daha sık tekrarlandığı görülmektedir (Godrijan ve diğerleri, 2013; Mecozzi, 2007; Precali ve diğerleri, 2005; Degobbis ve diğerleri, 1999). Yunanistan'da (Selanik) 2017 yılında önemli büyüklükte bir müsilaj oluşumu rapor edilmiştir (Genitsaris ve diğerleri, 2019). 2007 yılının Mart ayında başlayan ve beş ay süren bir müsilaj oluşumu ise İtalya kıyılarında görülmüştür. Söz konusu müsilaj 2500 km'lik kıyısal alanı etkisine almıştır. Son otuz yıllık sıcaklık verilerine bakıldığında İtalya'nın 2006-2007 yıllarında en sıcak kışı geçirmiş olması dikkat çekicidir (Danovaro ve diğerleri, 2009).

MÜSİLAJ İÇERİĞİ



Şekil 1. Sahilden toplanan müsilaj görünümü



DOĞANIN SESİ

Deniz ortamında bulunan zararlı kimyasal bileşikler ve aşırı miktarda azot, fosfat gibi besin elementleri organizmaların müsilağı tetikleyen salgılarına neden olabilir (Shears ve Ross, 2010). Müsilaj, mikroalg ve diyatomeleler gibi bazı deniz organizmaları tarafından üretilir ve salgılanır. Salgılanan bu maddeler hücre dışı polisakkarit oluşumlarıdır. Bu salgılar, polimerik madde yönünden zengin olup, yoğun vizkoziteli, jelimsi ve yapışkandır. Bu nedenle bünyesinde virüs, bakteri, fitoplankton ve bazı zooplankton organizmaları kolayca barındırabilir. Müsilaj içeriğinde bulunan organik maddeler; monosakkaritlerden polisakkaritlere kadar bazı karbohidrat türevleri, protein, azotlu ve fosforlu tarımsal bileşikler ve karbon bazlı makromoleküllerdir. Bunlara ek olarak kalsiyum, demir, alüminyum, silikon gibi inorganik maddeler de müsilağ içeriğinde bulunabilir. Deniz suyunun kimyasal bileşimiyle ilgili ayrıntılı çalışmalar, müsilağ olayının, deniz organik maddesinin çözünmeyen fraksiyonu olan tipik humin yapısına sahip karbohidratlar, proteinler ve lipidlerin bir karışımı olduğunu göstermiştir (Mecozzi ve Pietrantonio, 2006). Geçmiş yıllarda, kilometrelerce alanda çeşitli biçim ve boyutlarda, beyazımsı kahverengimsi, amorf, yapışkan, müsilağlı makroagregatların görüldüğü bildirilmiştir. Bunlara “Deniz Karı” (sea snow) veya “Deniz salyası” (sea saliva) gibi isimler veren bilim insanları özellikle su kolonunda yıl boyu bulunan ve boyları 0,5-5 cm arasında olan mikro ve makro yumaklardan da (flocs) bahsetmişlerdir (Alldredge ve Silver, 1988; Stachowitsch ve diğerleri, 1990). Yumak oluşumları ince taneli inorganik tortu parçacıklarının alg hücreleri ile su ortamında bir araya gelmeleri sonucu oluşan büyük gözenekli kümelerdir (Eisma, 1986). Su ortamındaki ince taneli (63 µm’den küçük) parçacıklar daha büyük, gözenekli yumaklar halinde toplanır. Oluşan bu makroagregatlar, ipler, şeritler, amorf formlar olan bulutlar, örümcek ağları, sahte dipler, battaniyeler (deniz halısı), kremesi veya jelatinli yüzey katmanları olarak gözlenebilen şekilleri içerir. Büyük makroagregatlar, deniz yüzeyinin geniş alanlarına veya su sütunu boyunca yüzlerce kilometreye kadar yayılabilir (Degobbis ve diğerleri, 1999). Su ortamlarında organik maddelerin bir araya toplanmasını destekleyen bazı faktörler de vardır. Düşük iyonik kuvvet ve yüksek pH koşullarında, organik maddeler arasındaki negatif gruplara bağlı olarak elektrostatik itmeler artar (Mosley ve Hunter, 2003). Bu durumun tersi olarak, yüksek iyonik kuvvetlerde ve anoksik koşullardan kaynaklanan düşük pH’ta ise elektrostatik itmeler en aza indirilir ve parçacıkların toplanması artar. Bu, anoksik koşullar da sentetik müsilağların kolayca oluşmasını açıklayabilir. Yani canlı organizmaların anoksik koşullarda bozunmasıyla açığa çıkan biyomoleküller ile deniz suyunda bulunan organik madde arasındaki kimyasal reaksiyonların bir sonucu olarak içinde karbonat ve lignin bulunan agregatlar oluşmaktadır. Örneğin; Lignin, deniz suyu örneklerinin %25’inde ve bazı alg türleri tarafından üretilen müsilağların %50’sinde tespit edilmiştir. Ancak, lignin ilk agregatların oluşumundan en az bir hafta sonra ortaya çıktığı için ileri agregasyon adımlarında müsilağ yapısına dahil olduğu düşünülmektedir (Zingone ve diğerleri, 2021; Fuhrman ve diğerleri, 2015).

MÜSİLAĞIN OLUŞUM MEKANİZMASI

Gerçekte, müsilağ bir kirlilik değildir. Müsilaj oluşumu birden fazla nedene bağlıdır. Birden fazla stres etkeninin rol oynadığı müsilağ süreci birkaç olası şekilde açıklanabilir. Birincisi; fitoplanktonik türlerin aşırı fotosentezi sonucu ortaya çıkan monosakkaritlerden polisakkaritlere kadar fazla miktardaki karbohidrat bileşiklerinin deniz ortamına salınmasıdır. İkincisi; ölen mikroorganizmaların hücre parçalanması ve lizis sonucu yapısal polisakkaritlerin ve aşırı miktarda çözünmüş organik maddenin deniz suyuna karışmasıdır. Üçüncüsü; iklimsel değişikliklerden kaynaklanan sudaki oksijen, ışık, pH, sıcaklık parametrelerinin aniden veya mevsimsel değişimi, kirlenici faktörlerin artması, ötrofikasyon ve deniz suyunda termal tabakalaşma gibi faktörlerin etkisidir. Ani ve yoğun müsilağ oluşumu sonucu anoksik koşullar oluşur ve deniz tabanındaki bitki ve hayvanların ölümü kaçınılmaz hale gelir. Sonuçta ekosistemin esnekliği yani kendini yenileme kapasitesi azalır ve ciddi şekilde zarar görür (Karlson ve diğerleri, 2021).



DOĞANIN SESİ

MÜSİLAJ OLUŞUMUNDA ROL OYNAYAN TÜRLER

Müsilaj üretiminin esas olarak taksona özgü olduğu iddia edilmektedir (Mingazzini ve Thake, 1995). Bakteriler, diyatome, denizel algler ve tek hücreli fitoplanktonik organizmalar müsilaj üretimine neden olurlar. Müsilaj oluşumundan önce genellikle fitoplankton türlerinde ve sayılarında artış gözlenir. Bunu takiben deniz suyunda bazı diyatome ve dinoflagellat türlerin çeşitliliği artar. Bu tespitler gerçekte birer “erken uyarı sistemi” olarak kabul edilebilir (Karlson ve diğerleri, 2021). Örneğin, son yıllarda Akdeniz’de yayılan ve müsilaj üreten mikroalgler içinde hızlı menzil genişlemesi nedeniyle *Chrysophaeum taylorii* dikkat çekmiştir. *Chrysophaeum taylorii*, büyük miktarlarda müsilajlı materyal salgılayabilir (Schaffelke ve diğerleri, 2004; Caronni ve diğerleri, 2016; Caronni ve diğerleri, 2017). Bir dinoflagellat olan *Gonyaulax fragilis*’in 2008 kışında Kuzey Adriyatik’te aniden çoğalarak müsilaj oluşumunda etkili olduğu rapor edilmiştir (Danovaro ve diğerleri, 2009). Dünyanın başka denizlerinde de örneklerine rastlanmaktadır. Örneğin; Manş Denizi’nde olağandışı alg çoğalması sonucu köpüklü müsilaj görünümü, Kuzey Denizi’nde fark edilen aşırı köpük üretimi ve Yeni Zelanda’nın Tasman Körfezi’nde görülen müsilaj oluşumları diyatome *Chaetoceros wailesii*, haptofit *Phaeocystis* (deniz yosunu) veya dinoflagellat *Gonyaulax hyaline* gibi bazı türlerle ilişkilendirilmiştir (Fogg, 1995; Lancelot, 1995). Diyatome *Chaetoceros wailesii*’nin Kuzey Denizi’ne gelişiyse aşırı mukus oluşumu ve balık ağlarında tıkanmalar görüldüğü bildirilmiştir (MacKenzie ve diğerleri, 2002). Müsilaj olayı İtalyan denizlerinde de zaman zaman kirlilik seviyelerine bağlı olarak artmış ve bu durum 1729 yılından beri izlenmiştir (Conti, 1996, Volterra ve Conti, 2000).

Gemilerin denge suları, tehlikeli alg türlerinin denizden denize taşınmasında en önemli etkenlerden biridir. Örneğin, bir diyatome olan *Odontella aurita*’ya ait kistler Japonya- Avustralya arasında gidip gelen bir ticaret gemisinin denge suyunda bulunmuştur (Haimeur ve diğerleri, 2012). Toksik patlama yaşanan bölgelerden gelen herhangi bir gemi bir seferde en az üç yüz milyon toksik dinoflagellat kistini başka denizlere bulaştırabilir. Makroagregatların sahip olduğu mikroalg ve mikrofitoplankton bileşimi bir olaydan diğerine değişse de, ana katkıda bulunan organizmaların öncelikle diyatome türleri olduğu iddia edilmektedir (Stachowitsch ve diğerleri, 1990; Revelante ve Gilmartin, 1991; Rinaldi ve diğerleri, 1995; Degobbis, 2000; Kovac ve diğerleri, 2002; Fonda Umani ve diğerleri, 2005; Totti ve diğerleri, 2005). Makroagregatlar, barındırdığı türlerin yaşı kadar örneğin; 1-3 ay kadar ortamda kalabilmektedir (Fogg, 1995). Bazı fitoplankton türleri için makroagregatlar oldukça elverişli bir mikro habitat olarak kullanılır (Alldredge ve Silver, 1988; Flander-Putrl ve Malej, 2008). Örneğin; *Cylindrotheca closterium*, makroagregatlarda sürekli kolonize olabilen, fırsatçı bir diyatome olarak bilinmektedir (Najdek ve diğerleri, 2005; Totti ve diğerleri, 2005). *Cylindrotheca closterium*’un diğer türlere kıyasla mukusta daha yüksek bir üreme potansiyeline sahip olduğu ve sonuç olarak başlangıçta makroagregatlarda yaşayan diğer tüm türlere üstün geldiği bildirilmiştir (Grossart, 1999; Degobbis ve diğerleri, 1999). Müsilaj içinde süren mikrobakteriyel faaliyetler nedeniyle oluşan çok sayıda gaz kabarcığı, makroagregatları kolayca yüzdürmektedir. Oluşan kaldırma kuvveti makroagregatların hareket etmelerini kolaylaştırır. Ancak daha tuzlu suların makroagregatlara difüzyonu, tabakaların batmasına sebep olabilir (Alldredge ve Crocker, 1995). Yapılan bir çalışmada, araştırmacılar müsilajdan sorumlu olabilecek fitoplankton türlerini belirlemek için İzmit Körfezi’nde yüzey ve derin sulardan su örnekleri almışlardır. Özellikle müsilaj oluşumunun ilk günlerinde denizel diyatome ve alg türlerini (*Proboscia alata*, *Rhizosolenia sp.*, *Pseudosolenia calcar-avis*) tespit etmişlerdir (Tüfekçi ve diğerleri, 2010). Müsilaj olayının hücre dışına polisakkarit salgılayan bir alg grubu ve çeşitli diyatome türleri tarafından meydana geldiğini rapor etmişlerdir. Daha sonra müsilaj oluşumu Marmara Denizi’nde sürekli artmış ve hızla yayılmıştır. Bu organizmalara ek olarak *Thalassiosira sp.*, *Ditylum brightwellii*, *Coscinodiscus ssp.*, *Leptocylindrus minimus*, *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros ssp.*, *Cerataulina pelagica*, *Cylindrotheca closterium* türlerinin varlığını da rapor etmişlerdir (Aktan ve diğerleri, 2008). İstanbul Boğazi ve Marmara Denizi’nde 2017 yazında İstanbul Boğazi’ni turkuaz rengine dönüştüren ve kokkolitofor alglerden olan



DOĞANIN SESİ

Emiliana huxleyi artışı gözlenmiştir. *E. huxleyi* balıklar için toksik bir tür olmamasına rağmen çok uzun süre denizde kalması sonucu balık türlerinin ölümüne sebep olmaktadır. Artışın ve renk değişikliğinin başlangıç günlerinde hipoksi, anoksi veya balık ölümleri görülmemiştir. Ancak ilerleyen haftalarda anoksik ortamlar nedeniyle balık ölümleri gözlenmeye başlanmıştır. Ayrıca sedimentte alg tarafından salgılanan bentik müsilağ agregatları gözlenmiştir. Bu agregatların midye ve yengeçler gibi deniz canlılarının üzerinde yoğun olarak çökemeleri bentik ekosistemi olumsuz etkilemiştir. *Emiliana huxleyi* artışından Ege ve Marmara Deniz'leri de olumsuz etkilenmiştir (TÜDAV, 2017).

MARMARA DENİZİ VE İZMİT KÖRFEZİ'NDEKİ MÜSİLAJ OLAYLARI

Bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de nüfus artışının getirdiği kentleşme ve sanayileşme; çeşitli çevre sorunlarına yol açmaktadır. Marmara Bölgesi 70'li yıllarda köylerden kentlere göç almış ve büyük şehirlerde nüfus artışı gerçekleşmiştir. Kontrolsüz şehirleşme ve sanayileşme o yıllarda ortaya çıkmış ve büyük şehirlerin doğal, yeşil alanları ile birlikte akarsu, göl ve denizleri de bu artan kirlilik yükünden etkilenmiştir. Marmara Denizi'ne her yıl toplam yaklaşık 40.000 km³ atık su katılmaktadır. 2007-2008 kışında Marmara Denizi kıyılarında (özellikle İzmit Körfezi) başlangıçta yüzeyde ve su sütununda asılı duran beyaz jelatinimsi malzemeden oluşan geniş bir müsilağ olayı fark edilmiştir. Marmara Denizi'ne kıyısı olsun veya olmasın tüm Marmara Bölgesi şehirlerinin sıvı atık yükü sonunda denize ulaşmaktadır. Marmara Denizi'ne atık suların geldiği havzalar, Kuzey Marmara havzası, İzmit-Gemlik Körfezi havzası, İzmit Gölü havzası, Nilüfer Çayı havzası, Uluabat Gölü havzası, Simav-Susurluk havzası, Manyas Gölü havzası, Biga-Gönen havzası ve Çanakkale Boğazı havzasıdır. Tolere edilmesi hemen hemen imkansız olan bu yük Marmara Denizi'nde zamanla birikmiş ve doğal yollardan bertaraf edilemeyecek kadar büyümüştür. Karasal kaynaklardan taşınan kirletici maddeler hem evsel hem de endüstriyel atıklarda fazlasıyla bulunur. Bu kirletici yük denizlerde karışımın daha az olduğu alt tabakalara indiği zaman bakteriyel parçalanmanın etkisiyle çözünmüş oksijen seviyelerini azaltır (Rouauda ve diğerleri, 2019). Bu da canlıların yaşamını tehlikeye sokar. Genellikle bu tip kirlenmelerin yoğun ve sürekli olduğu denizlerde ekolojik yıkım yıllar içinde yavaş yavaş olduğundan, eski haline dönmesi hemen hemen imkansızdır (Hüseyinoğlu ve diğerleri, 2021). Yani atık yükünün azaltılması ya da tamamen kesilmesi bile ancak on yıllar sonra faydasını gösterebilir. Oluşan yeni ekosistem ise eski halinden farklı bir ekolojik yapıda olur. Özellikle kapalı ve yarı-kapalı denizlerde çevresel kirletici yükü derhal kendini gösterir (Toklu-Alıçlı ve diğerleri, 2020; Tüfekçi ve diğerleri, 2010). Marmara Denizi, Akdeniz'den gelen yoğun (tuzluluk ‰ 37- 38.5) ve daha sıcak sular ile Karadeniz'den gelen soğuk, düşük tuzlu su (‰ 20-22) arasındaki geçiş bölgesinde oldukça karmaşık bir hidrolojik sisteme sahiptir. Pknoklin 10-30 metre derinlikte bulunur ve mevsimsel olarak değişir. İlk müsilağ olayı 2007 sonbaharının ortalarında Marmara Denizi'nin kuzeydoğu kesiminde 18.4±19.0°C sıcaklıkta gözlenmiştir (Tüfekçi ve diğerleri, 2010; Tas ve diğerleri, 2020). Özellikle Marmara Denizi'ne göre daha zayıf bir su sirkülasyonuna sahip olan İzmit Körfezi yoğun ve uzun süren müsilağ istilasına maruz kalmıştır. İzmit Körfezi sadece İstanbul'un değil, Bursa, Gebze, Adapazarı ve Sakarya'nın da atık yükünü yıllarca taşımak zorunda kalmış dar bir körfezdür. İzmit Körfezi'ne verilen evsel ve endüstriyel atık su miktarı doğal sistemin temizleme kapasitesinin çok üzerindedir. Son otuz-kırk yıl içerisinde körfezde biyoçeşitlilik azalmış ve özellikle ilkbahar-yaz aylarında alt su katmanlarında oksijen seviyesi 1.0 mg/L' nin altına kadar düşmüştür (Morkoç ve diğerleri, 1995). Ayrıca 1999 yılında yaşanan Marmara Depreminden sonra yapılan bazı dip araştırmalarında İzmit Körfezi'nin iç kısmında ve Marmara Denizi'nin alt sularında anoksik koşulların olduğu rapor edilmiştir (Balkıs, 2003). Ayrıca Avrupa kökenli başka kirlilik yükleri Karadeniz üzerinden Tuna, Dinyeper, Dinyester ve İstanbul Boğazı üst akıntı aracılığıyla Marmara Denizi'ne ulaşmaktadır (Androulidakis ve diğerleri, 2021).



DOĞANIN SESİ



Şekil 2. Kadıköy, Caddebostan-Bostancı arası sahilde müsülaj oluşumu

Marmara Denizi'ni biyolojik yönden önemli kılan, göçmen balıkların göç yolu olmasıdır. Özellikle Karadeniz'de deniz suyu sıcaklığı azalmaya başlayınca, İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı yoluyla Marmara ve Ege Denizi'ne sıcaklığa hassas balık türleri geçmektedir. Marmara ve Ege Denizi'nde yumurtlayan balıklar Karadeniz'de deniz suyu ısınmaya başladığı aylarda ters yöne göç ederler. Buradaki en önemli parametrelerden biri de deniz suyundaki çözünmüş oksijen miktarıdır. Oysa Marmara Denizi'nin alt tabakalarında oksijen azdır. Oksijen, Çanakkale Boğazı aracılığıyla Akdeniz ve Ege Denizi'nden gelen akıntı suları sayesinde Marmara Denizi'ne taşınır. Marmara Denizi'nde yirmi yıl öncesine kadar kırk metreden rahatlıkla geçebilen balıklar, günümüzde 20-25 metrede bile yer yer anoksik ortamlarla karşılaşabilmektedirler. 2020-21 yılında yaşanan müsülaj olayı etkisini kaybetse de anoksik ortamların denizin alt tabakalarında hala varlığını sürdürebileceği belirtilmektedir (Casillo ve diğerleri, 2018). Marmara Denizi, Türkiye'nin balıkçılık ve su ürünleri ihtiyacının yaklaşık %20'ni karşılamaktadır. Marmara Denizi'nde oksijen içeriği genellikle kritik seviyede olduğundan bu oksijen içeriğini azaltan ve tehlikeye sokan her girişim olumsuz sonuçlar doğuracaktır. Sucul canlıların fizyolojik aktivitelerini (beslenme, üreme, yüzme vs.) sağlıklı bir şekilde gerçekleştirebilmeleri için çözünmüş oksijen içeriği alt sınırının 5 mg/L olması gerekir. Özellikle İzmit Körfezi ve Güney Marmara'da oksijen azlığı çok ciddi boyutlara ulaşmış durumdadır. Anoksik ortamın yaklaşık 22 metreden sonra başladığı belirtilmiştir. Buna karşın Güney ve Batı Marmara bölgelerinde Akdeniz kaynaklı oksijenli suyun müsülajın etkilerini azaltabileceği rapor edilmiştir (Ediger ve diğerleri, 2009; TÜDAV, 2017).



DOĞANIN SESİ

SONUÇ

Müsilajın uzun süreli etkisi sonucu ekonomik zarar artmakta, sucul ekosistem ve balık popülasyonları da olumsuz yönde etkilenmektedir. Müsilajın bölgesel ve ulusal çevre kirliliği üzerine olan olumsuz etkileri iyice analiz edilmeli bunu çözmeye yönelik acil eylem planları oluşturulmalıdır. Kontamine atık suların deniz ortamlarına boşaltılması engellenmeli ve modern arıtma yöntemleri geliştirilmelidir. Sonuçta büyük boyutlarda ortaya çıkan kirlilik, ekosistem bozulması ile kendini göstermiş, balık ve diğer su ürünlerinin biyoçeşitliliği potansiyelinde düşüslere neden olmuştur. Bu durum sadece kendi yaşamımızdan kayıplar yaşamamıza değil, gelecek nesillerin temiz bir çevrede yaşama hakkını ellerinden almakla da sonuçlanabilir. Denizel ekosistemin sağlığı açısından Marmara Denizi'nin mevsimsel dinamiklerini, iklimsel, hidrografik ve oşinografik koşullarını, besin maddesi girdilerini, evsel ve endüstriyel atık yükünü, omurgalı/omurgasız türlerin biyoçeşitliliğini, bentik ve pelajik ekosistem özelliklerini, balıkçılık faaliyetlerinin neden olduğu etkileri daha iyi anlamak için kısa-orta-uzun vadeli izleme projelerinin yapılması ve süreklilik kazandırılması çok önemlidir.

Günümüzde Marmara Denizi'nde meydana gelen müsilaj (deniz salyası), mukus, aşırı alg üremesi, deniz renginde haftalar süren renk değişimleri ve toplu balık ölümleri gibi ani değişimlerin sebeplerini irdeleyebilmek için geçmişte yapılmış ve günümüzde hala yapılmakta olan ekolojik hataları görmek gerekir. Marmara Denizi, bir iç deniz olarak adlandırılmakla birlikte aslında büyük bir göldür. 2020-21 yıllarında Marmara Denizi'ni esir alan müsilaj kuşkusuz o yıllardan günümüze gelen bir çevre kirliliği patlamasıdır. Pek de sürpriz olmasa gerektir ki son yıllarda yaklaşan tehlikenin işaretleri görülmüş fakat yeterli önem verilmemiştir.

Sonuç olarak, hem nokta hem de yaygın nitrojen ve fosfor kaynakları doğru yöntem ve tekniklerle bertaraf edilmez ise, müsilaj oluşumunun artmaya devam etmesi muhtemeldir. Müsilaj sorununun karmaşık süreci; ortamdaki besin yükü ve etkilerinin sürekli izlenmesi, multidisipliner anlayışla sorunların üzerine gitme, izleme, ölçme ve deniz suyunda mevsimsel olarak tekrarlanan değerlendirmeler sayesinde anlaşılabilir. Bu araştırmalarda bilimsel uzmanlar, akademisyenler, yöneticiler, ilgili sektörlerin yöneticileri ve toplum işbirliği yapmalı ve üretilen çözüm önerilerini samimiyetle özümseyerek uygulamaya koymalıdır.



DOĞANIN SESİ

KAYNAKLAR

- Aktan, Y., Dede, A., Ciftci, P.S. (2008). "Mucilage event associated with diatoms and dinoflagellates in Sea of Marmara, Turkey". Harmful Algae News – An IOC Newsletter on Toxic Algae and Algal Blooms. <http://ioc.unesco.org/hab/news>.
- Allredge, A.L., Crocker, K.M. (1995). "Why do sinking mucilage aggregates accumulate in the water column?" Science of the Total Environment, 165:15–22.
- Allredge, A.L., Silver, M.W. (1988). "Characteristics, dynamics and significance of marine snow". Progress in Oceanography, 20: 41–82.
- Androulidakis, Y., Kolovoyiannis, V., Makris, C., Krestenitis, Y., Baltikas, V., Stefanidou, N., Chatziantoniou, A., Topouzelis, K., Moustaka-Gouni, M. (2021). "Effects of ocean circulation on the eutrophication of a Mediterranean gulf with river inlets: The Northern Thermaikos Gulf", Continental Shelf Research, 221, 104416, ISSN 0278-4343, <https://doi.org/10.1016/j.csr.2021.104416>.
- Balkis, N. (2003). "Effect of Marmara (İzmit) Earthquake on the chemical oceanography of Izmit bay, Turkey". Marine Pollution Bulletin, 7 (1): 865-878.
- Breitburg, D.L., Sanders, J.G., Gilmour, C.C., Hatfield, C.A., Osman, R.W., Riedel, G.F., Seitzinger, S.P. (1999). "Variability in responses to nutrients and trace elements, and transmission of stressor effects through an estuarine food web". Limnology and Oceanography. 44: 837-863.
- Calvo, S., Barone, R., Naselli, F.L. (1995). "Observations on mucus aggregates along Sicilian coasts during 1991–1992". Science of the Total Environment, 165: 23–32.
- Caronni, S., Calabretti, C., Cavagna, G., Ceccherelli, G., Delaria, M.A., Macri, G., Navone, A., Panzalis, P. (2017). "The invasive microalga *Chrysothrix taylorii*: Interactive stressors regulate cell density and mucilage production". Marine Environmental Research, 129: 156-165. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2017.05.005>
- Caronni, S., Delaria, M.A., Heimann, K., Macri, G., Navone, A., Panzalis, P., Ceccherelli, G. (2016). "The role of floating mucilage in the invasive spread of the benthic microalga *Chrysothrix taylorii*". Marine Ecology, 37 (4) :867-876. <http://dx.doi.org/10.1111/maec.12365>
- Casillo, A., Lanzetta, R., Parrilli, M., Corsaro, M.M. (2018). "Exopolysaccharides from Marine and Marine Extremophilic Bacteria: Structures, Properties, Ecological Roles and Applications". Marine Drugs, 16.
- Claudet, J., Fraschetti, S. (2010). "Human-driven impacts on marine habitats: a regional meta-analysis in the Mediterranean Sea". Biological Conservation, 143: 2195-2206.
- Conti, M.E. (1996). "The pollution of the Adriatic Sea: scientific knowledge and policy actions". International Journal of Environmental Pollution, 6: 113–130.
- Danovaro, R., Umani, 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), e7006. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0007006>
- Darling, E.S., McClanahan, T.R., Cote, I.M. (2010). "Combined effects of two stressors on Kenyan coral reefs are additive or antagonistic, not synergistic". Conservation Letters, 3: 122-130.
- Degobbi, D., Malej, A., Fonda Umani, S. (1999). "The mucilage phenomenon in the Northern Adriatic. A critical review of the present scientific hypotheses". The Annali dell'Istituto Superiore di Sanita, 35:373-381.



DOĞANIN SESİ

Degobbis, D., Precali, R., Ivanc'ic', I., Smoldaka, N., Fuks, D., Kveder, S. (2000). "Longterm changes in the northern Adriatic ecosystem related to anthropogenic eutrophication". *International Journal of Environment and Pollution*, 13: 495-533.

Ediger, D., Beken, S.Ç., Tüfekçi, V., Tolun, L., Tüfekçi, H., Mantıkçı, M. ve Atabay, H. (2009). "İzmit Körfezi su kalitesinin ve karasal girdilerin izlenmesi ve kirliliğin önlenmesine yönelik önerilerin geliştirilmesi". *Sonuç Raporu. ÇE.02.02. TÜBİTAK-MAM, Çevre Enstitüsü, Gebze, Kocaeli.*

Eisma, D. (1986). "Flocculation and deflocculation of suspended matter in estuaries". *Netherlands Journal of Sea Research*, 20: 183–199.

Flander-Putrlle, V., Malej, A. (2008). "The evolution and phytoplankton composition of mucilaginous aggregates in the Northern Adriatic Sea". *Harmful Algae*, 7 (6): 752– 761.

Fogg, G.E. (1995). "Some speculations on the nature of the pelagic mucilage community of the northern Adriatic Sea". *Science of the Total Environment*, 165: 59–63.

Folke, C., Carpenter, S., Walker, B., Scheffer, M., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C.S. (2004). "Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management". *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35: 557-581.

Fonda Umani, S., Milani, L., Borme, D., de Olazabal, A., Parlato, S., Precali, R., Kraus, R., Lucic, D., Njire, J., Totti, C., Romagnoli, T., Pompei, M., Cangini, M. (2005). "Inter-annual variations of planktonic food webs in the northern Adriatic Sea and their role in driving organic carbon fluxes". *Science of the Total Environment*, 353 (1–3): 218–231.

Fuhrman, J.A., Cram, J.A., Needham, D.M. (2015). "Marine microbial community dynamics and their ecological interpretation". *Nat Rev Microbiol* 13:133-146.

Genitsaris S., Stefanidou N., Sommer U., Moustaka-Gouni M. (2019). "Phytoplankton Blooms, Red Tides and Mucilaginous Aggregates in the Urban Thessaloniki Bay". *Eastern Mediterranean. Diversity*, 11(8):136. <https://doi.org/10.3390/d11080136>

Godrijan, J., Maric, D., Tomazic, I., Precali, R., Pfannkuchen, M. (2013). "Seasonal phytoplankton dynamics in the coastal waters of the north-eastern Adriatic Sea". *Journal of Sea Research*, 77: 32-44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2012.09.009>

Gotsis-Skretas, O. (1995). "Mucilage appearance in Greek waters during 1982–1994". *Science of the Total Environment*, 165: 229–230.

Grossart, H.P. (1999). "Interactions between marine bacteria and axenic diatoms (*Cylindrotheca fusiformis*, *Nitzschia laevis*, and *Thalassiosira weissflogii*) incubated under various conditions in the lab". *Aquatic Microbial Ecology*, 19: 1–11.

Guarnieri, G., Bevilacqua, S., Vignes, F., Fraschetti, S. (2014). "Grazer removal and nutrient enrichment as recovery enhancers for overexploited rocky subtidal habitats". *Oecologia*, 175: 959-970.

Haimeur, A., Ulmann, L., Mimouni, V. (2012). "The role of *Odontella aurita*, a marine diatom rich in EPA, as a dietary supplement in dyslipidemia, platelet function and oxidative stress in high-fat fed rats". *Lipids Health Dis.*, 11: 147. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-11-147>

Halpern, B.S., Walbridge, S., Selkoe, K.A., Kappel, C.V., Micheli, F., D'Agrosa, C., Bruno, J.F., Casey, K.S., Ebert, C., Fox, H.E., Fujita, R., Heinemann, D., Lenihan, H.S., Madin, E.M.P., Perry, M.T., Selig, E.R., Spalding, M., Steneck, R., Watson, R. (2008). "A global map of human impact on marine ecosystems". *Science*, 319: 948-952.



DOĞANIN SESİ

Hüseyinoğlu, M.F., Tari, G., Günay, M.E. (2021). "Analysis of 70 years of change in benthic invertebrate biodiversity in the Prince's Islands region, Istanbul". *Regional Studies in Marine Science*, 48:102003, ISSN 2352-4855. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.102003>.

Innamorati, M. (1995). "Hyperproduction of mucilages by micro and macro algae in the Tyrrhenian Sea". *Science of the Total Environment*, 165: 65–81.

Karlson, B., Andersen, P., Arneborg, L., Cembella, A., Eikrem, W., John, U., West, J.J., Klemm, K., Kobos, J., Lehtinen, S., Lundholm, N., Mazur-Marzec, H., Naustvoll, L., Poelman, M., Provoost, P., De Rijcke, M., Suikkanen, S. (2021). "Harmful algal blooms and their effects in coastal seas of Northern Europe". *Harmful Algae*, 102:101989.

Kovac, N., Bajt, O., Faganeli, J., Sket, B., Orel, B. (2002). "Study of macroaggregate composition using FT-IR and H-1-NMR spectroscopy". *Marine Chemistry*, 78:205–215.

Lancelot, C. (1995). "The mucilage phenomenon in the continental coastal waters of the North Sea". *Science of the Total Environment*, 165:83–102.

Leppard, G.G. (1995). "The characterization of algal and microbial mucilages and their aggregates in aquatic ecosystems". *Science of the Total Environment*, 165: 103-131.

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*, 1:69–83.

Mecozi, M. (2007). "Spectroscopic evidence of the marine origin of mucilages in the Northern Adriatic Sea". *Science of the Total Environment*, 381: 326–327.

Mecozi, M., Pietrantonio, E. (2006). "Carbohydrates proteins and lipids in fulvic and humic acids of sediments and its relationships with mucilaginous aggregates in the Italian seas". *Marine Chemistry*, 101:27–39.

Mecozi, M., Tomassetti, P. (2007). "Handling of a large dataset: application of time series analysis to oceanographic studies". *International Journal of Environmental Health*, 1:347–359.

Mingazzini, M., Thake, B. (1995). "Summary and conclusions of the workshop on marine mucilages in the Adriatic Sea and elsewhere". *Science of the Total Environment*, 165: 9-14.

Morkoç, E., Okay, S.O. ve Geveci, A. (1995). "Towards a Clean İzmit Bay". Technical Report. TÜBİTAK-MRC Publications, Kocaeli, Turkey.

Mosley, L., Hunter, K.H. (2003). "Forces between colloid particles in natural waters". *Environmental Science and Technology*, 37:3303–3308.

Najdek, M., Blazina, M., Dakovac, T., Kraus, R. (2005). "The role of the diatom *Cylindrotheca closterium* in a mucilage event in the northern Adriatic Sea: coupling with high salinity water intrusions". *Journal of Plankton Research*, 27 (9): 851–862.

Okuş, E., Öztürk, I., Sur, H.I., Yüksek, A., Taş, S., Aslan-Yılmaz, A., Altıok, H., Balkıs, N., Doğan, E., Ovez, S., Aydın, A.F. (2008). "Critical evaluation of wastewater treatment and disposal strategies for Istanbul with regards to water quality monitoring study results". *Desalination* 226:231–248. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.109>.

Paine, R.T., Tegner, M.J., Johnson, E.A. (1998). "Compounded perturbations yield ecological surprises". *Ecosystems*, 1: 535-545.

Precali, R., Giani, M., Marini, M., Grilli, F., Ferrari, C.R., Pecar, O., Paschini, E. (2005). "Mucilaginous aggregates in the northern Adriatic in the period 1999–2002: typology and distribution". *Science of the Total Environment*, 353 (1–3): 10–23.



DOĞANIN SESİ

- Revelante, N., Gilmartin, M. (1991). "The phytoplankton composition and population enrichment in gelatinous "macroaggregates" in the northern Adriatic during the summer of 1989". *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 146: 217–233.
- Rinaldi, A., Vollenweider, R.A., Montanari, G., Ferrari, C.R., Ghetti, A. (1995). "Mucilages in Italian seas the Adriatic and Tyrrhenian seas", 1988–1991. *Science of the Total Environment*, 165: 165–183.
- Rouauda, V., Susperréguib, N., Fahya, A., Guyoneauda, R., Bichonc, S., Liénartc, C., Del Amoc, Y., Savoyec, N., Gaudinde, P., Durana, R., Lauga, B. (2019). "Dynamics of microbial communities across the three domains of life over an annual cycle with emphasis on marine mucilage in the Southern Bay of Biscay resolved by microbial fingerprinting". *Continental Shelf Research*, 186: 127-137.
- Rodríguez-González, S., Martínez-Flores, H.E., Chávez-Moreno, C.K., Macías-Rodríguez, L.I., Zavala-Mendoza, E., Garnica-Romo, M.G., Chacón-García, L. (2014). "Extraction and Characterization of Mucilage From Wild Species of *Opuntia*". *Journal of Food Process Engineering*, 37 (3): 285-292. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12084>
- Russo, A., Maccaferri, S., Dakovac, T., Precali, R., Degobbis, D., Deserti, M., Paschini, E., Lyons, D.M. (2005). "Meteorological and oceanographic conditions in the northern Adriatic Sea during the period June 1999-July 2002: influence on the mucilage phenomenon". *Science of the Total Environment*, 353: 24-38.
- Sala, O.E., Chapin, F.S., Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber Sanwald, E., Huenneke, L.F., Jackson, R.B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D.M., Mooney, H.A.,
- Oesterheld, M., Poff, N.L.R., Sykes, M.T., Walker, B.H., Walker, M., Wall, D.H. (2000). "Global biodiversity scenarios for the year 2100". *Science*, 287: 1770-1774.
- Schaffelke, B., Heimann, K., Marshall, P.A., Ayling, A.M. (2004). "Blooms of *Chrysocestis fragilis* on the Great Barrier reef". *Coral Reefs*, 23: 514.
- Shears, N.T., Ross, P.M. (2010). "Toxic cascades: multiple anthropogenic stressors have complex and unanticipated interactive effects on temperate reefs". *Ecology Letters*, 13: 1149-1159.
- Stachowitsch, M., Fanuko, N., Richter, M. (1990). "Mucus aggregates in the northern Adriatic Sea: an overview of types and occurrences". *Marine Ecology*, 11: 327–350.
- Toklu-Aliçlı, B., Polat, S., Balkis-Özdelice, N. (2020). "Temporal variations in the abundance of picoplanktonic *Synechococcus* (Cyanobacteria) during a mucilage event in the Gulfs of Bandırma and Erdek". *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 233:106513, ISSN 0272-7714, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106513>.
- Totti, C., Cangini, M., Ferrari, C., Kraus, R., Pompei, M., Pugnetti, A., Romagnoli, T., Vannucci, S., Social, G. (2005). "Phytoplankton size-distribution and community structure in relation to mucilage occurrence in the northern Adriatic Sea". *Science of the Total Environment*, 353 (1–3): 204–217.
- TUDAV (2017). <https://tudav.org/bizden/basin-bultenleri/basin-bulteni-emiliana-huxleyi-asiri-cogalmasi/> (15.04.2022)
- Tas, S., Kus, D., Yilmaz, I. N. (2020). "Temporal variations in phytoplankton composition in the northeastern Sea of Marmara: potentially toxic species and mucilage event". *Mediterranean Marine Science*, 21(3): 668-683. <https://doi.org/10.12681/mms.22562>
- Tüfekçi, V., Balkis, N., Polat Beken, Ç., Ediger, D., Mantikçi, M. (2010). "Phytoplankton composition and environmental conditions of a mucilage event in the Sea of Marmara". *Turkish Journal of Biology*, 34, 199–210. <http://dx.doi.org/10.3906/biy-0812-1>.



DOĞANIN SESİ

Vinebrooke, R.D., Cottingham, K.L., Norberg, M.S., Dodson, S.I., Maberly, S.C., Sommer, U. (2004). "Impacts of multiple stressors on biodiversity and ecosystem functioning: the role of species co-tolerance". *Oikos*, 104: 451-457.

Volterra, L., Conti, M.E. (2000). "Algae as biomarkers, bioaccumulators and toxin producers". In: Conti, M.E., Botre, F. (Eds.), *The Control of Marine Pollution: Current Status and Future Trends*. International Journal of Environmental Pollution, 13:92–125.

Wimpenny, J., Werner, M., Ulrich, S. (2000). "Heterogeneity in biofilms". *FEMS Microbiological Reviews*, 24:661-671.

Yentur, R.E., Büyükkates., Y., Ozen, O., Altın, A. (2013). "The environmental and socioeconomical effects of a biologic problem: Mucilage". *Marine Science and Technology Bulletin*, 2: 13-15.

Zeidberg, L.D., Robinson, B.H. (2007). "Invasive range expansion by the Humboldt squid, *Dosidicus gigas*, in the eastern North Pacific". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104: 12948-12950.

Zingone, A., Escalera, L., Aligizaki, K., Fernández-Tejedor, M, Ismael, A., Montresor, M., Mozetic, P., Taş, S., Totti, C. (2021). "Toxic marine microalgae and noxious blooms in the Mediterranean Sea: A contribution to the Global HAB Status Report". *Harmful Algae*, 102: 101843, ISSN 1568-9883. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2020.101843>.