

Deniz kirliliğinin görünen yüzü: Müsilaj

Ayşe Seval Palteki



Çevre mühendisliği lisansını İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde tamamladı. Halk sağlığı yüksek lisansının ardından doktora öğrenimine devam etmekte ve İstanbul Medipol Üniversitesinde öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.

Haziran ayının bir günü, Marmara Denizi'nde köpük benzeri kirli beyaz renkli bir katmanın varlığı manşetlere yansdı. Bu katmanın ne olduğu, olası etkileri ve hayatımızı ne derece tehdit edeceği merak konusuydu. Her ne kadar ülkemiz gündeminde bu denli yer bulmadyasa da, 1789'da ilk kez kayıt altına alınmasından bu yana farklı zamanlarda, müsilaj adı verilen bu sorunla; Adriyatik, Tiran, Ligurya, Ege Denizi ve Meksika Körfezi dâhil birçok yerde karşılaşılmıştı. Deniz karı (marine snow) ya da salyası (*sea snot*) olarak da adlandırılabilen müsilaj; denizdeki bitkiler ve bazı mikroorganizmalarca salgılanan ya da sızan, kalın, yapışkan bir madde olarak tanımlanabilmektedir. Bu madde; viskozitesi yüksek, hücre dışı polisakkaritlerden oluşan, yapışkan ve jelimsi bir yapıda olup; virüsler, bakteriler, fitoplanktonlar ve zooplanktonları barındırabilmektedir. Birkaç milimetreden kilometrelerce büyüklüğe kadar değişen ölçülerde, dünyanın her yerinde rastlanabilen bir yapıdır. Bu salgı ilk aşamada çoğunlukla askıda kalarak hayalet ağ halinde bulunmaktayken deniz içerisindeki katı maddelerle birleşirse ağırlaşarak dibe çökebilme, suda çözünmüş gazlarla birleşirse de denizin yüzeyinde görünür hale gelebilmektedir.

Marmara Denizi'ndeki deniz kirliliği sorunu, derin deniz deşarjının başladığı 90'lı yıllardan bu yana çeşitli zamanlarda gündeme gelmiştir. Son 20 yıllık döneme bakıldığında, 2007 yılında Mar-

mara Denizi'nde yer yer renk değişimi ve kokuya sebep olan müsilaj, yaklaşık iki sene boyunca etkisini sürdürmüştür. Söz konusu müsilajın bazı diatom ve dinoflagellat türü fitoplanktonlardan kaynaklandığı anlaşılmıştır. 2015, 2017 ve 2019 yıllarında, denizi belirli noktalarda kırmızıya boyayan kırmızı alg patlaması (*red tide*); 2017 yılında İstanbul Boğazi'nin turkuza dönmeye nedeni olan bir başka plankton *Emiliania Huxleyi* istilası ve aynı yıl gerçekleşen dip balıklarında görülen toplu ölümler; 2018 yılında ilk belirtilerini veren, 2020 Kasım ayında özellikle balıkçılar tarafından gözlemlenen ve 2021 baharı sonunda da basına yansıyan müsilaj, Marmara Denizi'ndeki başlıca sorunlardır. Marmara Denizi'nde 2007 ve 2018 yıllarında yaşanan müsilaj olayının öncesinde, aşırı avlanma ve jelimsi canlıların miktarındaki artış benzerlik göstermektedir.

Müsilajın Nedenleri

Müsilaj oluşumunun bir tek sebepten kaynaklandığını söylemek çoğu zaman mümkün olmamakla birlikte, üç temel etmenden bahsedilebilir. Bunlar; deniz sıcaklığındaki artış, denizin durağanlığı ve besin maddelerinin bir diğer ifadeyle kirlilik yükünün artması olarak sıralanabilir. Bu etmenlerden deniz suyu sıcaklığındaki artışın en önemli sebebi, küresel iklim değişikliğidir. Marmara Denizi'nin sıcaklığı, geçmiş 40 yıllık döneme kıyasla 2,5°C daha yüksek bulunmuştur. Daha düşük etkiye sahip olsa da sanayide soğutma suyu olarak

kullanılan suların doğrudan sucul ortama deşarjı da yine deniz suyu sıcaklığını artırabilen unsurlardandır. Bir diğer etmen olan denizin durağanlığına bakılacak olursa Marmara Denizi'nin Akdeniz ve Karadeniz arasındaki konumu, bu iki denizin tuzluluk oranlarının birbirinden farklı oluşu ve iç deniz olması gereği durağan olduğu söylenebilmektedir.

Denizde daha önceki yaşanan sorunların ve müsilajın ana sebebinin ise deniz kirliliği olduğu düşünülmektedir. Müsilajın diğer nedenleri olan deniz suyu sıcaklığındaki artış ve denizin durağanlığına müdahale edilmesi olası olmamakla birlikte, deniz kirliliğinin önüne geçilebilmesi ise mümkündür. Arıtılmadan ya da ön arıtmadan sonra derine deşarj edilen evsel atık sular yolu ile sucul ortama; karbon, azot ve fosfor gibi besin maddeleri başta olmak üzere, farmasötik ve zenobiyotik kalıntılara kadar pek çok madde karışabilmektedir. Marmara Havzası, sanayi tesisleri ve bunlardan kaynaklanan atık sular açısından da yoğun bir bölgedir. Üretim faaliyetleri sonucunda açığa çıkan endüstriyel atık sular ve soğutma suları; deşarj standartları kapsamında; doğrudan, kısmen veya tamamen arıtılarak havzadaki sucul ortamlara ve dolayısıyla Marmara Denizi'ne aktarılmaktadır. Tarımsal faaliyetler ve hobi bahçeciliğinde kullanılan azot ve fosfor içeren gübre kalıntıları da zaman zaman yüzey suları aracılığıyla Marmara Denizi'ne taşınabilmektedir.



Marmara Denizi konumu itibarıyla yoğun bir gemi trafiğine de sahiptir. Marpol Sözleşmesi gereği, Marmara Denizi deniz kirliliğine hassas bölge olarak kabul edilip deşarjlara izin verilmiyor olsa da kaçak deşarjlar, gemi kazaları ile atıklar, balast suları ya da gemi karinası üzerinde taşınabilen bazı istilacı organizmalar deniz suyuna karışabilmektedir. Tüm bunların yanı sıra Türkiye dışındaki ülkelerden Karadeniz'e dökülen nehirlerin getirmiş olduğu yükün de yaklaşık yarısı Marmara Denizi'ne ulaşmaktadır. Ayrıca Akdeniz ve Marmara Havzalarının zaman zaman tecrübe ettiği sahra tozu fırtınalarının getirmiş olduğu azot, fosfor ve silikat gibi besi maddelerinin de ekosistemdeki algler ve planktonlar üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Tüm bu kirlenme kaynakları ve Marmara Denizi'nin düşük yenileme kapasitesi nedeniyle; ötrofikasyon adı verilen başta azot ve fosfor olmak üzere sucul ortamdaki besinlerin dengesinin ve dolayısıyla su kalitesinin bozulmasına neden olan durum gerçekleşebilmektedir. Bununla birlikte müsilaja sebep olabilen plankton türleri çoğalabilmektedir.

Müsilajın Etkileri

İnsanlar deniz kirliliğine deniz canlılarının tüketilmesi sonucu sindirim yoluyla, temas sonucu absorpsiyon yoluyla, aerosollerin solunmasıyla, rekreasyon

amaçlı kullanımla (yüzme vb.) ya da mesleki olarak maruz kalabilmektedir. Müsilajın sebebi olarak gösterilen fitoplanktonlar; sucul ortamda ötrofikasyonun yanı sıra; kirlilik, aşırı avlanma (balıkçılık), küresel iklim değişikliği, işgalci türler gibi stres faktörlerinden kaynaklanan ekolojik değişimler açısından önemli bir göstergedir. Bu bağlamda ele alındığında, altında yatan sebebe göre de etkileri değişiklik gösterebilen müsilajın, çevre ve insan sağlığına doğrudan ve dolaylı birtakım etkileri bulunmaktadır. Müsilajın nadiren de olsa kaynağı olabilen bazı diatom ve dinoflagellatlar, insanlarda akut paralitik, diyaretik ve amnezik zehirlenmelere sebep olabilmektedir. Ancak müsilajın oluşumunda etkili olan türler çoğu zaman toksik madde içermemektedir. Müsilaj bu anlamda kendi başına zararsızdır. Buna karşın yapısında bulunan polisakkaritler nedeniyle birçok patojenin kolonileşebileceği bir besi yeri olarak tehlikeli olabilmektedir. Bu özelliğiyle müsilaj, potansiyel bir virüs ve bakteri taşıyıcısıdır. Ayrıca yine yüzeyinde askıda katı maddeleri toplama özelliği olduğundan zaman zaman ağır metaller gibi insan sağlığını olumsuz etkileyebilecek maddeler de içerebilmektedir. Alerjik reaksiyonlardan enfeksiyonlara kadar pek çok riski barındırdığından, bulunduğu suların yüzme ya da rekreasyon amacıyla kullanımından kaçınılması önerilmektedir.

Müsilaj, deniz ekosisteminin insan kaynaklı doğrudan ve dolaylı etmenlere verdiği ne ilk yanıt ne de son olacaktır. Marmara Denizi'nde çeşitli noktalarda müsilaj kolonileri görüldüğünden bu yana yüzeyden alınabilen kısmı büyük ölçüde temizlendi. Bu durumun görünür yüzünü azaltmaya yardımcı olan geçici bir çözüm olsa da asıl sebep olan besin yükü ve dipteki müsilaj birikiminin tehdidi devam etmektedir.



Kamuoyunda yankı bulan Marmara Denizi'ndeki müsilaj olayı, "Bir musibet bin nasihatten iyidir." sözünü doğrular şekilde, eylem planının oluşturulmasına vesile oldu. Eylem planındaki adımların hızla hayata geçirilmesi, Marmara Denizi'ndeki yenileme kapasitesinin artması ve yeni krizlerin önlenmesiyle birlikte tehdit altındaki bir diğer deniz olan Karadeniz'in de korunması açısından önemlidir.

Katı maddeleri toplayıp ağırlaşan ve dibe çöken müsilaj, dip canlılarının yüzeyini kaplayabilmekte, omurgasız ve balıkların solungaçlarının tıkanmasına ve dolayısıyla oksijensiz kalmasına neden olup onlara zarar verebilmekte, dipte yaşayan midye, mercan gibi deniz canlılarının ağır metal yükünün artmasına sebep olabilmektedir. Bu deniz canlılarının besin zincirinde yer almasıyla birlikte, bu ürünleri tüketenlerde birikim (biyoakümülyasyon) özelliği nedeniyle toksik etkilere sebep olabilmektedir. Bu bağlamda, Marmara Denizi'nde gerçekleşen son müsilaj olayında da gümüş, vatoz ve pisi balığı gibi bazı balık türlerinin toplu ölümleri gözlemlenmiştir. Yine Marmara Denizi'nde geçim kaynaklarından biri olan midyecilik de bu süreçte olumsuz etkilenmektedir. Yüzeydeki müsilaj, sucul ortama oksijen ve ışık girişini engellemekte, fotosentez sürecini sekteye uğratmaktadır. Bu olaylar sonucunda yeterli besin ve oksijene erişemeyen canlılar ölmekte ve denizdeki çözünmüş oksijen miktarı çürüme kaynaklı olarak daha da azalmaktadır. Suyun bulanıklığı ve ışık geçirgenliğinin azalması nedeniyle su altındaki görüş mesafesi de kısalmaktadır. Deniz ekosistemine ve sağlığa bu anlamda vermiş olduğu zararların yanı sıra müsilajın dolaylı etkileri de bulunmakta

olup yapısı nedeniyle deniz taşıtlarının filtrelerini ve balık ağlarını tıkayabilmektedir. Bu özelliği ile hem balıkçılık hem turizm üzerinde olumsuz etkiye sahiptir. Özellikle müsilajın görünür olduğu kıyı kesimlerindeki yüzme ve diğer su sporlarını kapsayan turizm tesislerinin tercih edilmesi azalmakta, bu anlamda turizm olumsuz olarak etkilenmektedir. Bütün bunlar ekonomik kayıplar ve işsizlik gibi sonuçlar doğurabilmektedir. Bunların yanı sıra yüksek kaliteli protein, yağ asitleri, iz elementler ve vitaminler açısından önemli bir besin kaynağı olarak kabul edilen balık ve diğer deniz canlılarından, toplu ölümler ve müsilajın muhtemel toksik etkileri nedeniyle yoksun kalınması; ikame besin maddelerine de erişilemeyen durumlarda insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Önlemler ve Gelecekteki Durum

Müsilaj, deniz ekosisteminin insan kaynaklı doğrudan ve dolaylı etmenlere verdiği ne ilk yanıt ne de son olacaktır. Marmara Denizi'nde çeşitli noktalarda müsilaj kolonileri görüldüğünden bu yana yüzeyden alınabilen kısmı büyük ölçüde temizlendi. Bu durumun görünür yüzünü azaltmaya yardımcı olan geçici bir çözüm olsa da asıl sebep olan besin yükü ve dipteki müsilaj bi-

rikiminin tehdidi devam etmektedir. Oluşan ortamdan yararlanabilecek olan bazı fırsatçı planktonların, bu defa denizde köpüklenme sorununa sebep olabileceği düşünülmektedir. Sorun ortaya çıktıktan sonraki geçici çözümler yerine, Marmara'daki kirliliğin artışının ve dolayısıyla oluşabilecek diğer tehditlerin önlenmesi için hızla atılacak her adım önem arz etmektedir. Bu durumu gidermek amacıyla geçtiğimiz Haziran'da 22 eylemden oluşan "Marmara Denizi Koruma Eylem Planı" yayınlandı. Plandaki eylemler ağırlıklı olarak daha kısa sürede cevap alınabilecek olan Marmara Denizi'ndeki kirliliğin ve gelen yükün bir diğer ifadeyle sucul ortamdaki besin yükünün azaltılmasına odaklanmıştır. En önemli eylemlerden biri, ön arıtma ya da biyolojik arıtma ile giderilemeyen azot ve fosforun da giderilmesini sağlayacak olan tüm tesislerin ileri biyolojik arıtma olmaksızın deşarjının engellenmesidir. Bu tesislerin kurulması sürecinde oluşabilecek yükün önüne geçebilmek adına bir genelge yayınlanarak deşarj ölçütlerinin kısıtlanması ve çıkış suyu kalitesinin iyileştirilmesi amaçlandı. Bu doğrultudaki bir diğer eylem ise atık su arıtma tesislerini gereken şekilde işletmeyen organize sanayi bölgelerinin ileri arıtma teknolojilerine geçişinin hızlandırılmasına yöneliktir. Ayrıca Marmara Havzasında önemli endüstriyel ürünler olan peynir ve zeytin atık sularının (peynir altı suyu ve karasuyu) azaltımının sağlanması amacıyla teknolojik dönüşümün gerçekleştirilmesi ve atık suların yeniden kullanımın artırılması da diğer eylemlerdendir. Tampon bölge oluşturulması yoluyla, atık suların denize karışmasını engellenmesi de deşarj yükünün azaltılmasına yönelik eylemlerden bir diğeridir. Bunların dışında gemilerin deşarjını engelleyecek önlemlerin alınması, izlem noktalarının artırılarak 7/24 çevrim içi izlem ve erken uyarı sistemlerine geçilmesi, iyi tarım uygulamalarının yaygınlaştırılması, fosfor ve yüzey aktif madde içeren temizlik malzemelerinin aşamalı olarak azaltılması ve organik temizlik maddelerinin kullanımının teşviki de eylemler arasında yer almaktadır. Eylemlerin bir bölümü müsilajdan hem çok etkilenen hem müsilajın sebeplerinden biri olan balıkçılıkta ekosisteme uygun uygulamalara geçilmesi ve müsilaj nedeniyle oluşan zararların karşılanması adına ekonomik destek sağlanmasını içermektedir. Ayrıca hâlihazırdaki müsilajın

temizlenmesi ve etkilerinin azaltılabilmesi için süreklilik esasıyla Marmara Denizi'ndeki müsilajın bilimsel temelli yöntemlerle tamamen temizlenmesine yönelik çalışmalar başlatılması ve hayalet ağların bir yıl içerisinde temizlenmesi eylemleri de yer almaktadır. Kamuoyunun deniz kirliliği konusunda bilinçlendirilmesi de hem deniz kirliliği kaynaklı yeni sorunların ortaya çıkışının hem de olası etkilerinin önüne geçebilmek adına atılacak adımlardandır. Eylem planında yer alan bu eylemler dışında, iklim değişikliğini yavaşlatmaya dair atılacak her adım hem müsilaj hem etkisini günden güne gösteren iklim değişikliğine bağlı diğer sorunlar açısından önem taşımaktadır.

İklim değişikliği sucul ortamda; bir yandan sıcaklık artışına, diğer yandan artan karbondioksit miktarı ile birlikte asidik ortam oluşmasına sebep olabilmektedir. Bu durum, denizlerde önemli bir oksijen kaynağı olan mercanların ve onlara bağlı yaşamını sürdüren diğer deniz canlılarının popülasyonunun azalmasıyla sonuçlanabilmekte, azot miktarındaki artışla da suda ötrofik bir ortam oluşabilmektedir. Bu nedenle, ülkemizin ve dünyanın farklı noktalarında müsilaj ve benzeri olayların gelecek günlerde gündemimizde yer alabileceği düşünülmektedir. Bunun bir örneği olarak, geçtiğimiz eylül ayının sonunda, Mersin'de de denizin derin bölümlerinde müsilaja rastlanmıştır. Kamuoyunda yankı bulan Marmara Denizi'ndeki müsilaj olayı, "Bir musibet bin nasihatten iyidir." sözünü doğrular şekilde, eylem planının oluşturulmasına vesile oldu. Eylem planındaki adımların hızla hayata geçirilmesi, Marmara Denizi'ndeki yenileme kapasitesinin artması ve yeni krizlerin önlenmesiyle birlikte tehdit altındaki bir diğer deniz olan Karadeniz'in de korunması açısından önemlidir. Ayrıca diğer kıyılarımızda mevcut olan ve oluşabilecek müsilaj olaylarında da alınabilecek önlemler açısından örnek teşkil etmesi beklenilmektedir. Öte yandan söz konusu sorunlar süregelen olduğu için atılan adımların etkisinin görülmesi ise zaman alacaktır.

Kaynaklar

- Artüz, M.L., *Marmara Denizi Genelinde Gözlemlenen Karışık Alg Patlaması Sonucunda Oluşan Müsilaj Agregat Konusunda Rapor*. 2008.
- Degobbis, D., Malej A., Fonda Umani, S. *The Mucilage Phenomenon in the Northern Adriatic Sea. A Critical Review of the Present Scientific Hypotheses. Ann Ist Super Sanita*. 1999;35(3):373-81.

Danovaro, R., Umani, S.F., Pusceddu, A. *Climate Change and the Potential Spreading of Marine Mucilage and Microbial Pathogens in the Mediterranean Sea. PLoS One*. 2009;4(9).

Hosomi, R., Yoshida, M., Fukunaga, K., et al. *Seafood Consumption and Components for Health. Global Journal of Health Science* 2012; 4(3), 72-86. doi: <https://doi.org/10.5539/gjhs.v4n3p72>

Kutluk, E. *İstanbul Boğazı'ndan Geçen Gemilerin Oluşturduğu Trafik Yükünün Çevresel Etkileri: Ro-Ro Gemileri Özelinde Bir İnceleme. Siyasal Bilim Dergisi*, 2018;6(1):285-310.

<https://marmara.gov.tr/marmara-denizi-koruma-eylem-planı-acıkladı> (Erişim Tarihi: 30.07.2021)

Öztürk, P.D.İ., Yanalak, P.D.M., Arslan, P.D.Ö., Koyuncu, P.D.İ., Dülekğürgen, D.D.E., Erşahin, D.D.M.E., vd. *Marmara Denizi'nde Deniz Salyası Sorunu ile İlgili Görüş ve Öneriler. İTÜ*. 2021.

Palz, J.A., *Climate Change, Frumkin H., Environmental Health From Global to Local içinde, John Wiley & Sons*, 2010, s: 292;304.

Ricci, F., Penna, N., Capellacci, S., Penna, A., et al. *Potential Environmental Factors Influencing Mucilage Formation in the Northern Adriatic Sea, Chemistry and Ecology* 2014; 30:4, 364-375, doi: <https://doi.org/10.1080/02757540.2013.877004>

Rinaldi, A., Vollenweider, R.A., Montanari, G., Ferrari, C.R., Ghetti, A. *Mucilages in Italian Seas: the Adriatic and Tyrrhenian Seas 1988-1991. Science of The Total Environment*. 1995;1-3:165-183.

Savun-Hekimoğlu, B., Gazioglu C. *Mucilage Problem in the Semi-Enclosed Seas: Recent Outbreak in the Sea of Marmara. Int J Environ Geoinformatics*. 2021;8(4):402-13.

Tas S., Kus, D., Yılmaz, I. N. *Temporal Variations in Phytoplankton Composition in the Northeastern Sea of Marmara: Potentially Toxic Species and Mucilage Event. Mediterranean Marine Science*. 2020; 21(3), 668-683. doi:<https://doi.org/10.12681/mms.22562>

Terbiyik Kurt, T., Polat, S., Uysal, Z., & Ak Örek, Y. *Türk Boğazlar Sistemi'nde Mesozooplankton Biyokütlesinin İlbahar ve Sonbahar Mevsimlerindeki Alansal ve Vertikal Dağılımı. Acta Aquatica Turcica*. 2020; 16(2), 189-201. <https://doi.org/10.22392/actaquatr.623804>

Totti, C., Romagnoli, T., Accoroni, S., Coluccelli, A., Pellegrini, M., Campanelli, A., vd. *Phytoplankton Communities in the Northwestern Adriatic Sea: Interdecadal Variability Over a 30-Years Period (1988-2016) and Relationships with Meteorological Drivers. J. Mar Syst [Internet]*. 2019;193(January):137-53.

Yentür, R.E., Büyükkateş, Y., Özen, Ö., Altın, A. *The Environmental and Socio-Economical Effects of a Biologic Problem: Mucilage. Mar Sci Technol Bull*. 2013;2(2):13-5.

Yümün, Z.Ü., Kam, E. *Marmara Denizi'nde Müsilaj Sorunu ve Çözüm Yöntemleri. Marmara'da Deniz Ekolojisi: Deniz Salyası Oluşumu, Etkileşimleri ve Çözüm Önerileri*. 2021;(Temmuz):163-81.