

Derleme Makalesi

Dünyada ve Marmara Denizi'nde Müsilaj Oluşumu ve Etkileri

Merve Koncağül^{1,a} , Neslihan Erdem Dülger^{2,a,*} , Abdullah Yinanç^{3,a} 

^{1,2,3} Çevre Koruma ve Kontrol Bölümü, Çorlu Meslek Yüksekokulu, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59850

^amkoncagul@nku.edu.tr, ^bnerdemdulger@nku.edu.tr, ^cayinanc@nku.edu.tr

Geliş: 12.12.2022

Kabul: 26.12.2022

DOI: 10.55581/ejeas.1217901

Öz: Dünyada tüm ülkeler çevre kirliliği, atık problemleri ve küresel iklim kriziyle mücadele etmektedir. İnsanlar yaşadıkları ve nefes aldıkları habitatı tahrip ederek doğal ve ekolojik denge üzerinde bozulmaların olmasına sebep olmaktadır. İklim değişikliği de ekolojik dengenin bozulduğunun bir kanıtı olup, sıcaklıkların artmasına, sel, yangın vb. doğal afetlerin artışına sebep olduğu gibi birçok olumsuzluğa yol açmaktadır. İklim değişikliğinin sebep olduğu olumsuz sonuçlardan biri de müsilajdır. Müsilaj, özel iklimsel ve tropik şartlar altında organizmalar tarafından üretilen bir organik madde birikimidir. Doğal bir oluşum olan müsilaj, denizlerde ve okyanuslarda görülmektedir. Müsilaj, deniz salyası veya deniz karı; ekosistemi tehdit eden, denizlerdeki canlılara ve biyoçeşitliliğe olumsuz etkileri olan bir çevre felaketidir. Son yıllarda yaşanan Marmara denizinde kirliliğin artmasına ek olarak su sıcaklıklarının yükselmesi, deniz salyasının belirgin hale gelmesine sebep olmuştur. Dünyada birçok okyanus ve deniz müsilaj ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu makalede müsilaj oluşumu, sebepleri, etkileri, Türkiye'de ve dünyada müsilaj oluşumu örnekleri, müsilajın azaltılması ile ilgili öneriler irdelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Müsilaj, deniz salyası, deniz karı, iklim değişikliği, kirlilik, deniz kirliliği

Formation and the Effect of Musilage in Marmara Sea and in the World

Abstract: All countries in the world is struggling with environmental pollution, waste problems and the global climate crisis. People cause deterioration on the natural and ecological balance by destroying habitat in which they live and breathe. Climate change is also a proof of the deterioration of the ecological balance, which can cause an increase in temperatures, floods, fires, etc. It causes many negativities as well as the increase in natural disasters. One of the negative consequences of climate change is mucilage. Mucilage is an accumulation of organic matter produced by organisms under special climatic and tropical conditions. Mucilage, which is a natural formation, is found in the seas and oceans. Mucilage, sea sputum or sea snow is an environmental disaster that threatens the ecosystem and has negative effects on marine life and biodiversity. Nowadays, the increase in pollution as well as the water temperature in the Marmara Sea has caused the sea saliva to become prominent. Many oceans and seas in the world have been exposed to mucilage. In this article, the formation of mucilage, its causes, effects, examples of mucilage in Turkey and in the world, and suggestions for reducing mucilage are discussed.

Keywords: Musilage, sea snot, marine snow, climate change, pollution, marine pollution

*Sorumlu yazar

E-posta adresi: nerdemdulger@nku.edu.tr (N. Erdem Dülger)

1. Giriş

Canlı organizmalar, ölü hücre atıkları, inorganik maddeler ve diğer bileşenleri içeren ve halk arasında deniz karı, deniz salyası olarak da bilinen müsilaj, aslında organik madde içeriğince zengin bir doğal oluşumdur. Müsilaj, yüksek miktarda besi maddesi içeren tabakalaşmış sulara belirli sıcaklıklarda su yüzeyinin ısınması ile tek hücreli canlı sayısının aşırı çoğalması, besi maddelerini hızla tüketmeleri ve ardından ölüm fazında kitlesel ölümlerin gerçekleşmesiyle hücre içinde doğal olarak içerdikleri polisakkarit ve diğer hidrokarbonların dışarı salınması ile oluşan, birkaç milimetreden birkaç metreye değişen boyutta olabilen birikimlerdir. Müsilaj oluşumunu özetlemek gerekirse; stresli koşullar altında fotosentetik olarak üretilen karbonhidratların fazlasının su ortamına salınması, hücre kalıntılarının ölümü ve ayrışmasıyla büyük miktarlarda polisakkaritin alıcı ortama karışması, hücre lizi sonrasında yüksek miktarda çözünmüş organik madde içeriğinin deniz ortamına karışması, bakteriyel hidroliz ve bozunmanın kısıtlı olması sebebiyle yüksek molekül ağırlıklı organik bileşiklerin zamanla birikmesi, prokaryotların ve fitoplanktonların hücre lizi sonucu hücre içeriğindeki organiklerin deniz ortamına karışması olarak açıklanabilir (Danovaro vd., 2009). Müsilaj, biyokimyasal pek çok koşulun bir araya gelmesi ile meydana gelir. Deniz suyunda azot ve fosfor gibi besi maddesi içeriklerinin gerekenden fazla olması durumunda fitoplanktonların aşırı gelişmesi kalın, jelimsi, sümüksü bir organik madde katmanının oluşumuna yol açar. (Kömüşçü vd., 2022; Precali vd, 2005). Müsilajın oluştuğu veya su sirkülasyonu ile taşındığı alanlarda da biyojeokimyasal süreçleri önemli ölçüde etkilediği kaydedilmiştir. Canlı makro yapıların bozunması, zarar görmesi, ışık sınırlanması, fiziksel ve kimyasal ortamın değişimi müsilajın su sütununda ve ayrıca kayalıklarda yaşayan makro ve mikroorganizmalar üzerinde uyguladığı en çok bildirilen baskılardır. (Rinaldi vd; 1995 Giani 2005 vd.).

2. Dünyada müsilaj vakaları

Geçtiğimiz yıl Marmara Denizi'nde meydana gelen müsilaj yeni bir oluşum olmamakla beraber, son zamanlarda denizlerde ve okyanuslarda kirliliğin artması, küresel ısınmanın da etkisiyle görülme sıklığı artan bir çevre olayıdır. Dünyada ilk müsilaj olayı 1729 yılında Adriyatik Denizi'nde görülmüş ve tam tanımlanamasa da balıkçı ağlarını kaplaması sebebiyle deniz kirliliği olarak addedilmiş, 1860'larda ise Yeni Zelanda'da görülmüştür. Günümüze kadar aralıklarla aynı bölgede birçok kez müsilaj olayı rapor edilmiştir (MacKenzie v.d., 2002; Danovaro vd., 2009).

Daha sonra nüfusun artmasına bağlı olarak tarım yapılan alan sayısı ve kullanılan gübre miktarındaki artışa ve evsel ve sanayi kaynaklı atıksu deşarjlarına paralel olarak su ortamına karışan azot, fosfor gibi nütrientlerin fazlalaşması, küresel ısınmanın su kaynaklarında ısı artışına neden olması etkisiyle birleşerek tüm dünyada müsilaj olaylarının görülmesine neden olmuştur. 1973'ten başlayarak günümüze değin Kuzey Denizi'nde, Adriyatik Denizi'nde, İtalya'da ve Meksika Körfezi'nde çok sayıda müsilaj vakası gözlenmiştir (Tett vd., 1993; Zevenboom vd., 1991; Danovaro vd., 2009; Mistic vd., 2011).

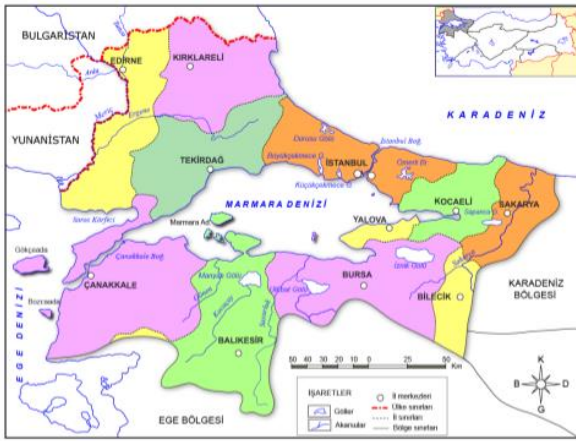
Dünyada en büyük müsilaj olayı yaz aylarında Adriyatik Denizi'nin kuzey kıyılarında görülmüştür (Danovaro vd, 2009). En sık müsilaj olaylarının yaşandığı bu bölgede, aralıklarla çok ağır müsilaj olayları kaydedilmiştir. 1991'de yine yaz aylarında İtalya'nın batısındaki Tiren Denizi açıklarında da oldukça yoğun bir müsilaj olayı görülmüştür. (Danovaro 2009, vd.; Innamorati, 2001).

Son yıllarda yaşanan müsilaj olaylarının da büyük bir çoğunluğu Adriyatik ve Tiren Denizi'nde meydana gelmiştir. 1995'de Baltık Denizi'nde de müsilaj oluşumu gözlenmiştir. 2003 Haziranında İtalya ile Korsika Adası arasındaki Liguria Denizi'nde karşılaşılan müsilaj olayı ile ilgili çalışmalarda, burada meydana gelen müsilajın 1991'de Tiren Denizi'nde müsilaj oluşturan mikroorganizmalardan farklı olduğu belirlenmiştir. Su canlılarında önemli tahribata sebep olan bu müsilaj olayı, temmuz ayında büyük bir fırtına meydana gelmesi ile kendiliğinden dağılmıştır. Burada yaşanan müsilajın, 2003'de Avrupa'da meydana gelen yüksek sıcaklıklarla bağlantılı olduğu, ısınan havanın deniz suyu sıcaklığını arttırdığı ve bu dönemde denize dökülen nehirlerden daha az su geldiği düşünülmektedir (Mistic vd., 2011). 2000'de Yeni Zelanda'da karşılaşılan müsilajın tek hücreli bir alg türünün aşırı çoğalmasından meydana geldiği (Mackenzie vd., 2002), aynı yıl Adriyatik'teki müsilajın ise diatomlardan kaynaklandığı belirlenmiştir (Kovac vd., 2005). 2007 yılında İspanya Fas arasındaki Alboran Denizi'nde meydana gelen müsilajın tek hücreli, canlıların aşırı çoğalmasından, 2007'de Japonya'da gözlenen müsilajın dominant türünün ise diatomlar olduğu belirlenmiştir (Fukao vd.,2009). Müsilaj birikimini meydana getiren diğer canlılar siyanobakter ve heterotrofik bakteriler de olabilmektedir (Fuks vd., 2005)

3. Türkiye'de müsilaj vakaları, sebepleri ve çözümüne yönelik çalışmalar

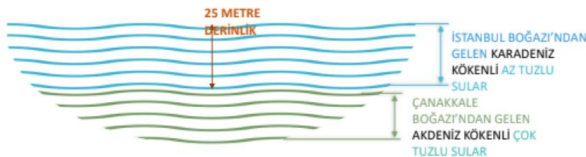
Türkiye'de ilk müsilaj vakası 1992'de Erdek Körfezi'nde su altına dalış yapan sporcular tarafından gözlenmiştir (Tüfekçi vd., 2010). Daha sonra 2007 yılında yine Marmara Denizi İzmit Körfezi'nde su yüzeyinde gözlenen müsilaj olayı meydana gelmiştir (Okyar vd., 2015). 2007-2008 arasında meydana gelen büyük çaplı deniz salyası oluşumu, Çanakkale Boğazı'ndan başlayarak İzmit Körfezi'ne kadar olan bölgeyi kapsamaktaydı (Aktan vd., 2008).

Marmara Bölgesi 7 il ve 25 milyon nüfusa sahip, ülke sanayisinin %50'sinin karşılandığı, yoğun tarımsal faaliyetlerin olduğu, günlük 500.000 kişinin kullandığı şehir iç hatları ve yıllık 41.000 dev transit geçişlerin olduğu yoğun gemi trafiğine sahip olan bir bölgedir. (Birpınar, 2021). Marmara bölgesinde yer alan ve denize sularını döken iller Tekirdağ, İstanbul, Kocaeli, Yalova, Bursa, Balıkesir, Çanakkale olup Şekil 1'de gösterilmektedir. Marmara Denizi akarsuları, Susurluk Çayı, Gönen Çayı, Kocabaş Çayı, Biga Çayı, Sakarya Irmağı, Kara Menderes Çayı, Meriç Irmağı, Ergene Nehri'dir. Bunlardan Susurluk, Gönen, Kocabaş ve Biga Çayı Marmara Denizi'ne dökülmektedir.



Şekil 1. Marmara Bölgesi illeri

Marmara Denizi; yaklaşık 240 km uzunluk ve 70 km genişlikte, 11500 km yüz ölçümüne sahip en derin yeri 1270 metre ve akıntı yönü diğer deniz ve okyanuslardan farklı olarak doğu-batı yönlü olan bir iç denizdir. Marmara Denizi'nin yüzeyindeki ince tabakada tuzluluğu kısmen az Karadeniz suları, bunun altında fazlaca tuzlu olan Ege-Akdeniz suları bulunmaktadır. Bu tabakalar tuz oranının yanında, sıcaklık ve oksijen oranı bakımından farklı su kütlelerinden oluşur. Karadeniz suları tuz bakımından daha az yoğunluklu olup İstanbul Boğazı'ndan Marmara'ya ulaşırken, Ege suları çok daha yoğun olduğundan alt akıntı olarak Çanakkale Boğazı'ndan Marmara'ya ulaşır. Birbirinden ayrılan bu iki tabaka arasında bir geçiş tabakası da bulunmaktadır. Bu iki farklı su kütlesi yaklaşık 25 metrelerde yoğunluğu birbirinden farklı su kütlelerini ayıran ara katman tabakasıyla birbirinden ayrılmaktadır. Marmara Denizi'nin hidrografik yapısı Şekil 2' de gösterilmektedir.



Şekil 2. Marmara Denizi hidrografik yapısı (Pakdemirli, 2021)

Marmara Denizi üst tabakası genişliği 25 metre civarında olup bu sular yılda 2-3 kez yenilenirken, alt tabaka sularının yenilenmesi yaklaşık 6-7 yıl gibi bir süreyi bulmaktadır. (Aydın 2021, Beşiktepe vd., 1994).

Marmara bölgesinde yer alan iller, sanayi ve kentsel atık sularını Marmara Denizi'ne deşarj ederek kirlilik yükünün artmasına sebep olmaktadır. Yapılan deşarj miktarının şehirlere göre dağılımı incelendiğinde % 80'e yakın kısmının İstanbul'dan, daha sonra sırasıyla Kocaeli, Bursa, Tekirdağ, Balıkesir, Yalova ve Çanakkale'den geldiği görülmektedir. Atıksu deşarjları sonucu Marmara Denizi'nde azot ve fosfor yükü artmaktadır. Kentsel atıksulardan ve tarım alanlarından kaynaklanan azot ve fosforun belirli bir eşik değeri üzerine çıkması durumunda ötrofikasyon meydana gelmekte ve böylece alg patlamaları ve müsilaj ortaya çıkmaktadır. Son yıllarda bölgede nüfusun hızla artması, tarım, sanayi, gemi geçişleri, turizm, balıkçılık ve yeterince artılmamış

atıksuların arıtma tesislerinden denizlere deşarjı sonucu Marmara Denizi'nde kirlilik yükü artmış ve bu da denizde oksijen miktarında azalmaya sebep olmuştur. Marmara Denizi'nde yıllara göre değişen oksijen konsantrasyonları incelendiğinde 1985-2005 yılları arasında oksijen konsantrasyonu seviyeleri daha yüksek iken, 2010-2017 yıllarında oksijen konsantrasyonunda düşüş gözlenmiştir (Marmara Denizi Bütünleşik Stratejik Planı 2021-2024, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı).

Müsilaj oluşumuna sebep olan başlıca etmenler yüksek sıcaklık, durağan deniz ve fazla besin elementi (kirlilik) dir (Şekil 3). Ayrıca organik madde birikiminin artması, evsel ve sanayi atıkları, metaller, azot, fosfor yükünün artışı, yanlış balıkçılık, akıntı (tabakalaşma) profilindeki değişiklikler de müsilaj oluşumuna sebep olan etmenlerdir. Marmara Denizi'nde iklim değişikliği sebebiyle artan deniz suyu sıcaklıkları, denizde oluşan durgunluk ve artan kirlilik sebebiyle denizlerdeki besin elementi artışı müsilaj olayını tetiklemektedir.



Şekil 3. Müsilaj oluşumuna sebep olan başlıca etmenler

Havzadaki kirlilik yükünü bölgedeki sanayi, tarım ve hayvancılık faaliyetleri, katı atık ve emisyonları, yüzeysel akışlar, kontrollü veya kontrolsüz yapılan her türlü deşarj etkilemekte ve havzanın su kalitesini olumsuz şekilde düşürebilmektedir (Aydın 2021, ve Marmara Denizi Bütünleşik Stratejik Planı 2021-2024).

Müsilaj oluşumuna sebep olan kirlilik etmenleri, kara kökenli kirlenimler ve diğer kirlenimler olarak sınıflandırılmış ve Tablo 1' de gösterilmiştir.

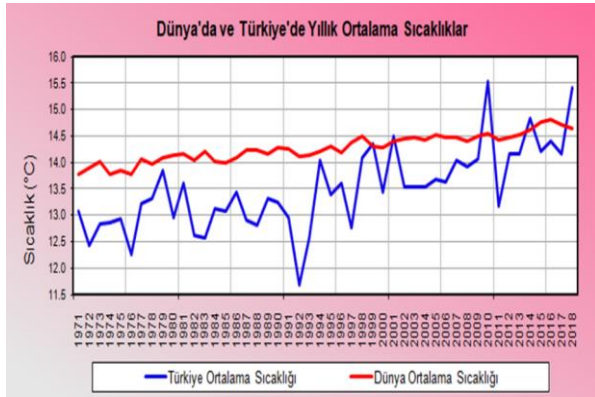
Tablo 1 Müsilaja sebep olan kirlilik etmenlerinin sınıflandırılması (Kurum, 2021)

Kara Kökenli Kirlenimler		Diğer Kirlenimler
Noktasal kaynaklar	Yayıllı Kaynaklar	
Kentsel atıksular	Zirai (tarımsal) atıklar	Gemi kaynaklı kirlenimler
Endüstriyel atıksular	Hayvansal atıklar	Mikrobiyolojik kirlilik
Düzenli depolama alanları sızıntı suları	Mesken bölgelerden gelen yüzeysel akış ve sürüklenmeler	Kıyı düzenlemeleri, dip taramaları
Termal ve yoğun su deşarjları	Atmosferik taşınım kaynaklı kirlenimler	Deniz çöpleri

Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı tarafından yürütülen MARAAT Projesi verilerine göre Marmara Denizi Havzası atıksu arıtma tesislerinin debi bakımından büyük bir kısmının kentsel atıksu olduğu belirlenmiştir. Buna paralel olarak toplam atıksu kaynaklı kirlilik yükünün %96'sı kentsel atıksulardan kaynaklanmaktadır. Projede kentsel atıksuyun yaklaşık %43 gibi azımsanmayacak bölümünün yalnızca fiziksel arıtmaya tabi tutularak deşarj edildiği, %4,9 oranında ileri arıtma yapıldığı, %51,8'lik kısmının ise biyolojik arıtma uygulanarak deşarj edildiği belirlenmiştir. (Marmara Denizi Bütünleşik Stratejik Planı 2021-2024).

Hızla gelişen teknolojik yenilikler ile değişen ve bilinçsizleşen tüketim alışkanlıkları doğal kaynaklar üzerinde baskıyı artırarak çevre ve iklim krizlerine sebep olmaktadır. Yükselen deniz seviyeleri, seller, kuraklıklar, tarım verimliliğindeki değişiklikler, nesli tükenen/tükenmekte olan hayvanlar ve bitkiler iklimsel değişimin etkilerinin sonuçlarıdır. Sıcaklık artışı da iklim değişikliğinin olumsuz bir sonucudur. Şekil 4'de dünyada ve Türkiye'de yıllık ortalama sıcaklıklarının artış eğiliminde olduğu görülmektedir.

Marmara Denizi'nde geçmişten günümüze sıcaklık değişimi incelendiğinde iklim değişikliği sonucunda artan sıcaklıkların, müsilağın Marmara Denizi'nde artış göstermesine sebep olması ihtimali oldukça yüksektir. Marmara Denizi yüzeyindeki sıcaklık artışları son on yıla göre artış göstermiştir. Şekil 4'te verilen grafiğe göre 2010 yılında Türkiye'de ortalama sıcaklığın diğer yıllara göre yüksek olduğu görülmekte olup bu yılda sıcaklığın artışının sebep olduğu müsilağ oluşumunun Ege ve Marmara Denizinde gözlemlendiği tespit edilmiştir (Aydın,2021).



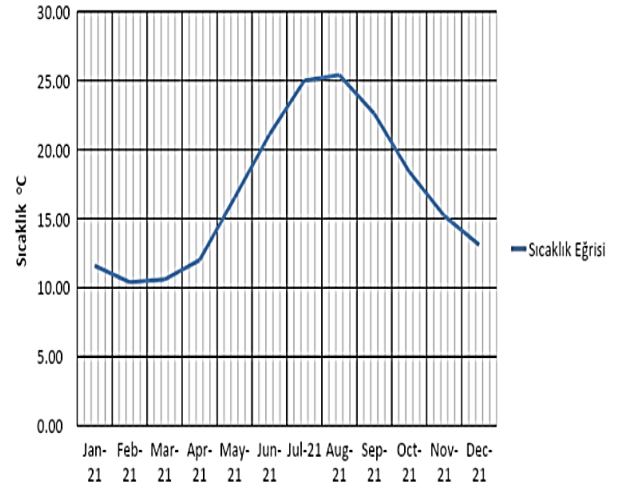
Şekil 4. Dünyada ve Türkiye'de yıllık ortalama sıcaklıklar (CSGB, 2021).

Marmara Denizi su sıcaklıklarının beş eşit periyotta, yaklaşık 10 yıllık süreç aralıklarıyla değerlendirildiği Tablo 2'de yıl bazında gözlemlenen ortalama sıcaklık verileri belirtilmiştir. Tablo 2'den sıcaklık değer artışının 2000'li yıllardan itibaren diğer yıllardan farklı seyri görülebilmektedir. En yüksek ortalama deniz suyu sıcaklığı ise 2019 yılında 18,6 °C olarak belirlenmiştir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021).

Tablo 2 1970-2021 yılları arası deniz suyu sıcaklıkları (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022)

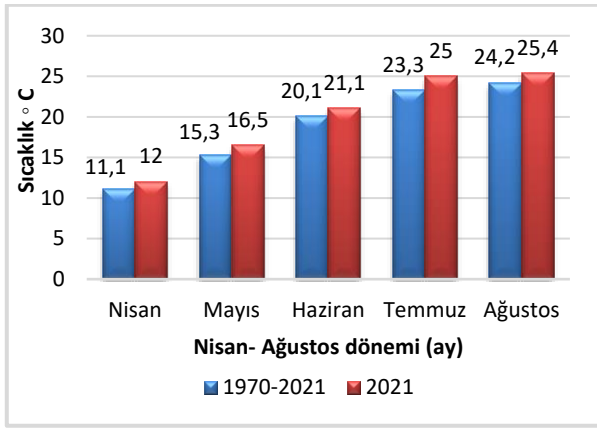
Yıl aralığı	Ortalama Sıcaklık (°C)
1970-1979	15,1
1980-1989	15,0
1990-1999	15,4
2000-2009	15,8
2011- 2021	16,8

Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) 2021 yılı aylık ortalama sıcaklık verileri Şekil 5'de gösterilmiştir. Şekil 5'den müsilağın görünür bir şekilde Marmara Denizi'nde meydana geldiği aylar olan Mayıs 2021 sıcaklık verisinin 16,5 °C ve Haziran 2021 sıcaklık verisinin 21,1 °C olduğu, bir aylık süreçte deniz suyu sıcaklığının yaklaşık 4,6 °C artış gösterdiği görülebilmektedir. Bu sıcaklık artışının müsilağ oluşumunda başlıca neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 5. 2021 yılı aylık ortalama deniz suyu sıcaklıkları (MGM, 2021).

Şekil 6'da ise 1970-2021 yılı deniz suyu sıcaklık aralığının, müsilağ olayının görüldüğü 2021 yılı nisan-aoğustos dönemi ile karşılaştırılması yapılmıştır. Biyolojik ve kimyasal süreçler için sıcaklıktaki küçük değişikliklerin nicel farklılıklara yol açabildiği bilinmektedir. Yukarıdaki tablolar ve Şekil 6 incelendiğinde Marmara Denizi'nin ortalama sıcaklığında 1970'lerden beri istikrarlı bir artış olduğu, fakat en önemli yükselişin 2010-2020 periyodunda olduğu görülmektedir. Az gibi gözükse de bu sıcaklık artışı, deniz içindeki fitoplanktonların ve bakterilerin her zamankinden daha fazla üremelerine ve çoğalmalarına sebebiyet vermiştir.



Şekil 6. 1970 ve 2021 Nisan-Ağustos dönemi ortalama deniz suyu sıcaklıkları

Marmara Denizi'nde Nisan - Mayıs aylarında ortaya çıkan müsilaja paralel olarak, farklı zamanlarda fakat aynı aylarda Marmara'daki barajlar ve Küçükçekmece Lagünü'nde de alg çoğalması görülebilmektedir. (İstanbul Çevre Durum Raporu, 2021, TMMOB). Ayrıca Nisan-Ağustos dönemi alg popülasyonunun artması yönetilmesi zor olan mevsimsel koku ve tat problemlerine de yol açabilmektedir (Çelik vd., 2021). Müsilajda olduğu gibi tatlı sulardaki alg patlamalarının sebebi de aşırı azot, fosfor yüküdür.

Marmara Denizi'nde ilk kez Ekim 2007'de görülen, 2021 yılında tekrarlayan ve kilometrelerce alana yayılan müsilaj sadece görsel kirliliğe sebep olmakla kalmamış, denizlerin üst, orta ve alt tabakalarında etkisini sürdürerek deniz ekosistemini etkilemiş, balık ağlarını tıkayarak balıkçılık faaliyetlerine de engel olmuştur. Müsilaj bünyesinde sınır değerleri aşan ağır metal de barındırmaktadır. Müsilajın, ekolojiye, turizm sektörüne, balıkçılık, ulaşım, denizcilik ve insan sağlığına olumsuz etkileri söz konusudur. Müsilajın yoğun bir yapısı vardır. Bu durum müsilajın, deniz yüzeyini kaplayarak, güneş ışığını engellemesine ve deniz altında bulunan birçok canlıda olumsuz etkiler meydana getirmesine neden olur. Deniz yüzeyinde bulunan müsilaj deniz dibine çökerek canlıların (balık vb.) solungaçlarını kapatmakta ve oksijensiz kalmalarına sebep olmaktadır. Denizleri temizleyen midye vb. gibi canlıların yüzeylerinin müsilaj ile kaplanması deniz kirliliğinin daha uzun süre etki göstermesine sebep olmaktadır. Müsilaj balık ağlarına yapışarak ağların dibe çökmesine, tekrar yukarı çekilememesine ve ayrıca tekne aksamalarının tahribatına da neden olmaktadır. Müsilajın denizlerde yarattığı görüntü kirliliği, turizm faaliyetlerinin yapılmasını engellemekte ve turistler görüntü kirliliği ve sağlık problemleri endişesiyle deniz turizmini tercih etmemektedir. Ayrıca marina ve limanlarda biriken müsilaj tesislerin turistik ve lojistik faaliyetlerini engellemektedir. (Yüksek, 2021).

Müsilaj sorununun sebeplerini belirlemek ve çözüm önerileri sunmak üzere hızla çalışmalara başlanmış ve "Başta Marmara Denizi Olmak Üzere Denizlerimizdeki Müsilaj Sorununun Sebeplerinin Araştırılarak Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi Amacıyla Meclis Araştırması Komisyonu" kurulmuş ve Nisan 2022'de bir rapor yayınlamıştır. Bir yandan Marmara Denizi'nde yaşanan müsilaj olayında kokunun giderilmesi, görsel kirlilik ve ışık geçirgenliğinin sağlanması

için yüze temizliği faaliyetleri yapılmıştır. Denizlerden toplanan müsilaj, sızdırmaz araçlarla uygun bertaraf tesislerine taşınarak bertaraf edilmiştir. Bu bağlamda on binlerce metre küp müsilaj bertaraf edilmiştir. En çok müsilaj İstanbul ve Yalova'dan toplanmıştır. Marmara Denizi'nde 20 Mayıs 2021 tarihinde müsilaj alan büyüklüğü 12741,94 ha ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. 2 Temmuz 2021 tarihinde ise müsilaj alanının büyüklüğü 1046 ha alana düşerek en düşük seviyeye ulaşmıştır. (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021).

22 Haziran 2021' de "Marmara Deniz Havzası Eylem Planı Kapsamında Deşarj Standartlarında Kısıtlama Genelgesi" yayınlanmış ve İstanbul, Bursa, Kocaeli illerinin tamamında, sanayi ve evsel atıksu arıtma tesisleri için Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) parametresinde kentsel atıksularda %20, endüstriyel atıksularda ise sektörel deşarj standardı belirlenmekle birlikte yaklaşık %50 kısıtlama yapılmıştır. (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2021). Öztürk v.d. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, kirlilik yükünün düşürülmesi amacıyla 2030 yılına kadar Klorofil-a, toplam azot, toplam fosfor değerlerinin belirlenen değerlere indirilmesi ve derinliğe bağlı olarak belirli çözünmüş oksijen değerlerinin sağlanması önerilmiştir (Öztürk vd., 2021).

Yümün vd (2021), Marmara Denizi'ndeki müsilajın sebeplerini araştırmak için Marmara Ereğlisi'nden deniz suyu ve müsilaj numuneleri olarak gerekli çalışmaları yürütmüşlerdir. Numunelerin; pH'ı, tuzluluk oranları, iletkenlikleri, organik madde analizi, oksijen içerikleri ve elementel analizleri yapılmıştır. Marmara Ereğlisi müsilaj olmayan kısımdan alınan deniz suyu numunesinde yapılan ölçüm sonuçlarına göre; toplam azot (TN=0,3 ppm), toplam karbon (TC=36 ppm), inorganik karbon (IC=26 ppm) ve toplam organik karbon (TOC=10 ppm) değerleri elde edilmiştir. Benzer şekilde müsilaj olan kısımdan alınan örneklerin toplam organik madde konsantrasyonları (TOC=329 ppm) ve toplam azot (TN=17 ppm) değerleri ölçülmüştür. Deniz suyu verilerinin daha düşük seviyelerde olduğu, elde edilen veriler ışığında müsilajın çoğunlukla organik kökenli olduğu, bentik, planktonik alg ve diğer fitoplanktonlara bağlı olduğu anlaşılmıştır. Müsilajın çözünmüş oksijen değerinin ölçülemeyecek kadar az tespit edilmesi bu çalışmanın bir diğer önemli bulgularından biridir. Ayrıca çalışmada müsilaj içindeki canlı türlerinin mikroskopik incelemesi yapılarak müsilaj içerisinde en fazla yeşil algler (*Stigeoclonium* sp.), ikinci olarak kırmızı algler (*Ceramium* sp ve *Rhodophyta* sp.) ve az miktarda fitoplankton (*Pleurosigma* sp.) bulunduğu tespit edilmiştir (Yümün, vd., 2021).

Yıldırım vd. (2022), müsilajdan enerji elde edilmesi ihtimalini değerlendirmiştir. Müsilajın nem içeriğinin %94-99 olduğu, tehlikeli ve toksik özellikte olmadığı, patojen bakteri içermediği, kalorifik açıdan yakma ile enerji elde edilmeye uygun bulunmadığı, yüksek tuz içeriği nedeniyle tarımsal amaçla doğrudan kullanımının uygun olmadığı bilinmektedir. Ayrıca düşük metan içeriği (%20-25) nedeniyle biyometanizasyon prosesi (organik atıkların biyokimyasal reaksiyonlarla biyogaza dönüştürülmesi işlemi) için uygun olmadığı tespit edilmiştir (Yıldırım, vd., 2022).

Müsilaj ile ilgili yapılan çalışmalar devam etmekte ve müsilajın olumsuz etkilerine maruz kalmamak ve çevreye olan

zararı en aza indirmek için çeşitli çözüm önerilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Müsilajın tekrar ortaya çıkmasının önlenmesi için, halkın bilinçlendirilerek atık yönetimine katkıda bulunması, eylemlerinin sonucunun bilincinde olmasının sağlanması, çevreye zarar veren deterjan ve kişisel hijyen malzemelerinin kullanımının azaltılması ve teşvik edilmesi, atık su arıtma tesislerinin biyolojik ve ileri arıtma yöntemlerini içerecek şekilde geliştirilmesi, deşarj kriterlerinin sıkılaştırılması, deniz ve havza koruma alanlarının gözden geçirilmesi, balıkçılık faaliyetlerinin etkin denetlenmesi, gemi balastı ve sintine sularının kontrolü, yeşil bina uygulamalarının desteklenmesi, sulara tarım kimyasallarının ve gübrelerin karışmasının önlenmesi, uzaktan izleme ile kirlenmenin erken tespiti ve erken müdahale yapılmasına olanak sağlanması gibi öneriler getirilebilir. Belirli noktalardan sürekli numune alınarak su kalitesinde meydana gelebilecek bozulmaların izlenmesi, bunun yanında denize dökülen akarsu havzalarında da kirlilik oluşturabilecek kaynaklarla ilgili benzer kirlilik önleme tedbirlerinin alınması, yerinde bir yaklaşım olacaktır.

Yazar Katkısı

Literatür Araştırması Merve KONCAGÜL (MK), Neslihan ERDEM DÜLGER (NED), Abdullah YİNANÇ (AY), Biçimsel düzen, Merve KONCAGÜL (MK), Neslihan ERDEM DÜLGER (NED), Verilerin değerlendirilmesi Neslihan ERDEM DÜLGER (NED), Sonuçların tartışılması Abdullah YİNANÇ (AY).

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Kaynaklar

- [1] Aktan Y., Dede A., Çiftçi P. S., (2008). Mucilage event associated with diatoms and dinoflagellates in Sea of Marmara, Turkey. *Harmful Algae News* 36: 1–3.
- [2] Aydın, M.E. (2021). Musilage formation in Marmara Sea Possible causes and recommendations, doi:10.53478/TUBA.2021.003.
- [3] Beşiktepe, Ş.T., Sur, H.İ., Özsoy, E., Latif, M.A., Oğuz, T. & Ünlüata, Ü. (1994). The circulation and hydrography of the Marmara Sea. *Progress in Oceanography* 34: 285-334.
- [4] Birpınar, M.E. (2021), Mavi vatan denizlerimizde yeni kabus; Müsilaj, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.
- [5] Celik, S.Ö., Tufekci, N., Koyuncu, I. (2021). Self-forming dynamic membrane filtration for drinking water treatment, *Water Supply*, 22(2), 1624-1637, doi: 10.2166/ws.2021.329
- [6] Danovaro, R., Fonda Umani, S., Pusceddu, A. (2009). Climate change and the potential spreading of marine mucilage and microbial pathogens in the Mediterranean Sea, 4(9):7006. 10.1371/journal.pone.0007006.
- [7] Fukao, T., (2009). Mucilage phenomenon in Ariake Sound [Japan] during autumn, 2007 and estimation of the causative phytoplankton, *Bulletin of the Plankton Society of Japan*, 55

(2), 127-131.

- [8] Fuks, D, Radić, J, Radić, T, Najdek, M, Blazina, M, Degobbis, D, & Smoldaka N. (2005). Relationships between heterotrophic bacteria and cyanobacteria in the northern Adriatic in relation to the mucilage phenomenon. *Sci Total Environ.* 15;353(1-3):178-88. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.015.
- [9] Giani, M., Savelli, F., Berto, D., Zangrando, V., Čosović, B., Vojvodić, V. (2005). Temporal dynamics of dissolved and particulate organic carbon in the northern Adriatic Sea in relation to the mucilage events. *Science of the Total Environment*, 353(1-3), 126-138.
- [10]-<https://cevresehgostergeler.csb.gov.tr/sicaklik-i-85727> (Erişim tarihi: 19.06.2022)
- [12] Innamorati, M., Nuccio, C., Massi, L., Mori, G. & Melley, A. (2001). Mucilages and climatic changes in the Tyrrhenian Sea, *Aquatic Conser: Mar. Freshw. Ecosyst.* 11: 289–298, DOI: 10.1002/aqc.448.
- [12] İstanbul Çevre Durum Raporu, 2021, TMMOB
- [13] Kovač, N., Mozetič, P., Trichet, J., Défarge, C. (2005). Phytoplankton composition and organic matter organization of mucous aggregates by means of light and cryo-scanning electron microscopy, *Marine Biology*, 147(1), 261-271.
- [14] Kömüşçü, A.Ü., Aksoy, M., Doğan, O.H. (2022). An analysis of meteorological conditions in relation to occurrence of the mucilage outbreaks in Sea of Marmara, March-June 2021, *International Journal of Environment and Geoinformatics* 9(3):126-145.
- [15] Kurum, M., Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Müsilaj Sorununu Araştırma Komisyonu Toplantısı, 2021.
- [16] 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).
- [17] Misic, C., Schiaparelli, S., Covazzi Harriague, A. (2011). Organic matter recycling during a mucilage event and its influence on the surrounding environment (Ligurian Sea, NW Mediterranean). *Science of the Total Environment*, 31, 631-643.
- [18] Müsilaj Temizlik ve Denetim Raporu, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Temmuz 2021.
- [19] Okyar, M. İ., Üstün, F., & Orun, D. A. (2015). Changes in abundance and community structure of the zooplankton population during the 2008 mucilage event in the northeastern Marmara Sea. *Turkish Journal of Zoology*, 39(1), 28-38.
- [20] Öztürk, İ., Yanalak, M., Arslan, Ö., Koyuncu, İ., Dülkürgün, E., Erşahin, M., Türken, T. (2021). Marmara Denizi'nde deniz salyası sorunu ile ilgili görüş ve öneriler, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [21] Pakdemirli, B. (2021), Müsilaj kapsamında yapılan çalışmalar, Tarım ve Orman Bakanlığı.

- [22] Precali, R., Giani, M., Marini, M., Grilli, F., Ferrari, C. R., Pečar, 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.
- [23] 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(1-3), 165-183.
- [24] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Marmara Denizi Bütünleşik Stratejik Planı 2021-2024, Kasım 2021, <https://cygm.csb.gov.tr/marmara-denizi-butunlesik-stratejik-plani-haber-265668>
- [25] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Deniz Suyu Sıcaklıkları Analizi 2021. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/denizSuyu/Marmara-Deniz-Suyu-Sicakligi-Analizi-2021.pdf>
- [26] Tett, P.B., Joint, I.R., Purdie, D.A., Baars, M., Oosterhuis, S., DAneri, G., Hannah, F., Mills, D.K., Plummer, D., Pomroy, A.J., Waine, A.W., Witte, H.J. (1993). Biological consequences of tidal stirring gradients in the North Sea. *Royal Society* 343, 1669. <http://doi.org10.1098/rsta.1993.061>.
- [27] Tüfekçi, V., Balkıs, N., Beken, Ç. P., Ediger, D. & Mantıkçı, M. (2010). Phytoplankton composition and environmental conditions of the mucilage event in the Sea of Marmara. *Turkish Journal of Biology*, 34(2), 199-210.
- [28] Yıldırım, Ö. (2022). Evaluation of the biogas potential of mucilage formed in the Marmara Sea, *International Journal of Hydrogen Energy*, 47 (34), 15456-15463.
- [29] Yümün, Z.Ü., Kam, E. (2021). Marmara Denizi'nde Müsilaj Sorunu ve Çözüm Yöntemleri. *Türkiye Bilimler Akademisi* 1, 163-181. DOI: 10.53478/TUBA.2021.010
- [30] Yüksek, A. (2021). Marmara denizi'nde deniz salyası/müsilajı oluşturan sebepler, Marmara Denizi'nin Ekolojisi: Deniz Salyası Oluşumu, Etkileşimleri ve Çözüm Önerileri. 87-104. DOI: 10.53478/TUBA.2021.001.
- [31] Zevenboom, W., Rademaker, M., Colijn, F. (1991). Exceptional Algal Blooms in Dutch North Sea Waters. *Water Science and Technology* 24 (10), 251-260 .doi:10.2166/wst.1991.0298
- [32] 22 Haziran 2021 tarihli Marmara Deniz Havzası Eylem Planı Kapsamında Deşarj Standartlarında Kısıtlama Genelgesi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/icerikler/2021-13-sayili-genelge-22-06-2021-1172378-20210623132535.pdf>