



## Derleme Makalesi

# Denizlerimizin Sessiz Yardım Çığığı: Müsilaj

Hatun YILMAZ<sup>1</sup>  
Serap SALER<sup>2</sup>

**Özet:** Bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de nüfus artışının getirdiğı kentleşme ve sanayileşme; çeşitli çevre sorunlarına yol açmaktadır. Bu çevre sorunlarından biride son yıllarda, denizlerde artış gösteren müsilaj problemidir. 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. Hem dünya denizlerinde hem de ülkemiz denizlerinde müsilaj olayının oluşumu, gelişimi ve sonuçları araştırılmaya başlanmıştır. Bu sorunun giderilmesi veya önlenmesi için birtakım çalışmalar, araştırmalar müsilaj konusu üzerinde yoğunlaşmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Müsilaj, Marmara Denizi, Deniz salyası, Deniz karı.

## The Silent Cry for Help of Our Sea: Mucilage

**Abstract:** Urbanization and industrialization brought about by population growth in our country, as in the rest of the world; causes various environmental problems. One of these environmental problems is the mucilage problem that has increased in the seas in recent years. The liquid waste load of all cities, whether coastal or not, eventually reaches the seas. This pollution load accumulates over time and becomes too large to be cleaned naturally. The formation, development and consequences of the mucilage phenomenon in both the world's seas and our country's seas have begun to be investigated. In order to eliminate or prevent this problem, a number of studies and research have focused on the subject of mucilage.

**Keywords:** Mucilage, Marmara Sea, Sea saliva, Sea snow.

### GİRİŞ

Deniz salyası veya deniz karı olarak da bilinen deniz müsilajı, denizde bulunan mukus benzeri parçacık halindeki organik bir maddedir. Denizdeki biyolojik üretimin ilk basamağı olan fitoplankton, bazı çevresel faktörlerin tetiklemesi ile çoğaldığında deniz suyuna karışır. Müsilaj, çeşitli kıyı bölgelerinde ara sıra veya tekrar tekrar meydana gelen küresel bir olgudur. Dünya çapında yapılan araştırmalar, deniz müsilajı için birden fazla tetikleyicinin mevcut olduğunu göstermektedir. Abiyotik nedenler, deniz suyundaki iklimsel, antropojenik baskıları ve ilişkili besin konsantrasyonu değişikliklerini içerirken, bu değişim koşullarına mikrobiyal tepki, biyotik faktörlerin bir sonucudur (Davaro vd., 2009; Savun-Hekimoğlu ve Gazioğlu, 2001).

Küresel ısınma, mevsimsel değişimler ve insan etkisi deniz suyunun biyolojik ve kimyasal yapısını önemli ölçüde etkiler (Goffart vd., 2002). Denizlerde müsilaj oluşumu, çeşitli deniz organizmaları

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Elazığ-Türkiye; [htnylmz.biyolog@gmail.com](mailto:htnylmz.biyolog@gmail.com); 0000-0001-5174-4980

<sup>2</sup>**Corresponding author:** Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Elazığ-Türkiye; [serapsaler@gmail.com](mailto:serapsaler@gmail.com); 0000-0001-5900-491X

tarafından özel trofik ve mevsimsel koşullar altında üretilen organik materyallerin toplanması olarak tanımlanmıştır (Innamorati vd., 2001). Müsilaj oluşumu süreci, fitoplankton tarafından hücre dışı salgılarla başlar. Bu salgıların çoğu heteropolisakkaritlerden oluşur (Svetličić vd., 2011). Heteropolisakkarit fibriller, zamanla deniz karı olarak bilinen makroagregatları oluşturan mikrojelleri oluşturmaya başlar (Ricci vd., 2014). Bu makroagregatlar döküntülere, askıda kalan parçacıklara, mikroplastik parçacıklara vb. yapışır ve deniz zamkı dediğimiz bir kütle oluşturur (Chin vd., 1998; Svetličić vd., 2011; Ricci vd., 2014).

Deniz sıcaklıkları, oksijen mevcudiyeti, hidrodinamik rejim, ve meteorolojik faktörler genellikle müsilaj olaylarını destekleyen faktörler olarak kabul edilmiştir (Degobbis vd., 1999; Danovaro vd., 2009). Akarsu deşarjlarından ve belediye kanalizasyonundan kaynaklanan ötrofikasyonun müsilaj olaylarına neden olan ana faktör olduğu ileri sürülmüştür (Penna vd., 2004; Türkoğlu ve Öner, 2010).

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

Çeşitli deniz canlıları tarafından üretilen, salgılanan veya bunlardan sızan polimerik maddelerden, hücre dışı polisakkaritlerden oluşan, çözünmüş ve polimerik organik maddece zengin, hidrojel özellikler taşıyan, yoğun ve viskozitesi yüksek olan müsilaj; jelimsi ve yapışkan özellikleri nedeniyle virüsler, bakteriler, fitoplanktonlar ve hatta zooplankton gibi pek çok farklı tür ve boyuttaki deniz canlılarını da bünyesinde barındırabilmektedir. Ağırlıklı olarak karbonhidratlardan oluşan müsilaj içerisinde monosakkaritler gibi basit şekerlerden karmaşık yapıya polisakkaritlere kadar farklı karbonhidratların yanı sıra humik, fulvin, humin maddeler gibi diğer organikler, proteinler, azot ve fosfor bileşenleri, alüminyum, silikon gibi inorganikler ve kalsiyum demir gibi topaklanma ve jelleşme mekanizmalarında da rolü olduğu düşünülen iyonlar tespit edilmiştir (Giani vd., 2005).

Yüksek organik madde içeriği nedeniyle müsilaj, organik madde üzerinde çoğalan heterotrofik mikroorganizmalar ve canlılar için de zengin bir besin kaynağı özelliği taşımakta ve bu organizmaları çeken bir yaşam ve beslenme alanı oluşturmaktadır. Müsilajın içerdiği/tuttuğu canlılar üzerine yapılan çalışmalarda, müsilajın içinde bulunduğu deniz suyu kolonuna kıyasla 103-104 daha fazla prokaryotik canlı barındırdığı kaydedilmiştir (Danovaro vd., 2009).

Müsilajın deniz ekosistemindeki flora ve fauna üzerinde birçok olumsuz etkisi vardır ve bu etkiler sucul yaşamın sağlığı üzerinde yıkıcı bir etkiye sahiptir. Suyun yüzeyini kaplayan deniz müsilajı suya ulaşan ışık miktarını azaltır. Ayrıca organik maddenin bozunma süreci oksijeni tüketilir; bu nedenle hipoksi ve hatta anoksi meydana gelebilir. Bunun sonucunda müsilaj trofik bozulmaya, oksijen yetersizliğine ve toplu ölümlere neden olur (Gray vd., 2002). Müsilaj çok büyük boyutlara ulaşabilir ve yüzlerce kilometrelik kıyı şeridini kaplayabilir (Fogg, 1995). Müsilaj deniz tabanını kaplayabilir veya piknoklin seviyesinde 'sahte benthos' adı verilen bir tabaka oluşturabilir (Sieburth vd., 1987).

Müsilaj nedeniyle; balıkçılık, kültür balıkçılığı, rekreasyon, turizm ve halk sağlığı, sosyal ve ekonomik kayıplar kaçınılmazdır (Rinaldi vd., 1995; Danovaro vd., 2009). Müsilaj olaylarının kabuklular, yumuşakçalar, makroalgler, deniz kestaneleri, birçok bentik organizma ve balık popülasyonları üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır (Taylor vd., 1985; Stachowitsch vd., 1990; Rinaldi vd., 1995; Özalp, 2021).

Deniz yüzeyi müsilaj yapısı ile kaplandığında, suyun atmosfer ile teması kesilmekte ve oksijen transferi engellenmektedir. Bunun yanında, güneş ışığını soğuran deniz salyası suyun ısınmasına da neden olmaktadır. Bu durum, solungaçla nefes alan bazı canlılar için ciddi bir risk oluşturmakta ve çözünmüş oksijenin azalmasıyla canlıların toplu ölümüne sebebiyet vermektedir. Bazı sucul canlılar ise tehlikeyi sezerek bu çamurumsu ortamdan kaçmakta ve bu da uzun vadedeki ekosistem sorunlarından biri olan biyoçeşitlilik kaybına yol açmaktadır (URL 1, 2021; URL 2, 2021).

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 vd., 1990; Calvo vd., 1995; Gotsis-Skretas, 1995; Innamorati, 1995).

Dünyada bildirilen müsilaj olaylarının farklı sebepleri olduğu bilinmektedir. Aşırı avlanma sonucu deniz tabanının yapısındaki bozulma, deniz ortamında makro ve mikro kirleticilerin varlığı, küresel ısınmaya bağlı olarak değişen ekosistem dengesi, denizaltı faylarından yoğun kükürt gazları çıkışı ve denizde bu gazlardan kaynaklanan oksijen oranı müsilaj oluşum nedenleri olarak sayılabilir (Taş, vd., 2016; Savun-Hekimoğlu ve Gazioğlu 2021).

2010 yılında Meksika Körfezi sızıntısının da önemli miktarda deniz müsilajına neden olduğu bir çevre felaketi belgelenmiştir. Ayrıca, ciddi miktarda 2013 yılında Avustralya'da meydana gelen bir orman yangını sonrasında deniz kıyısında müsilaj oluşumu gözlemlenmiştir. Bu raporlarda da görüldüğü üzere, deniz ekosisteminin düzenini etkileyecek olan yangın ve petrol sızıntısı gibi olaylarda müsilaj oluşumu dikkat çekmektedir (Passow vd., 2012).

Müsilaj balık ağlarının tıkanmasına neden olduğu için başlangıçta "kirli deniz" fenomeni (mare sporco) olarak tanımlandı (Umani vd., 1989). Raporlara göre, 1900'lerden beri çeşitli bölgelerde müsilaj varlığı sürekli tekrarlanmış ve bilim adamları bu konuda çeşitli araştırmalar yapmışlardır. Uzmanlar 1990'lı yıllarda insan baskısının yüksek olduğu kıyı bölgelerinde deniz salyasının görüldüğüne, 2007 ve 2008 yıllarında da benzer bir durumun Adriyatik Denizi'nde yaşandığına dikkat çekmektedir.

### ***Müsilajın Oluşum Mekanizması ve Nedenleri***

Müsilaj oluşumu birden fazla nedene bağlıdır. Müsilaj oluşum süreçleri bağlamında olası farklı mekanizmalar arasında şunlar sıralanabilir (Danovaro vd., 2009):

\* Stres koşullarında fitoplanktonlar tarafından yüksek birincil üretim (fotosentez) fazlası olarak üretilen karbonhidratların deniz ortamına salınması, sızması (kısıtlı koşullarda diatomlar tarafından yüksek miktarda üretilen polisakkaritler),

\*Ölüm ve hücre parçalanması sonucu yüksek miktarda çözünmüş organik madde ve polisakkarit içeren hücre içeriğinin deniz ortamına karışması,

- \* Bakteriyel hidroliz ve biyobozunumun kısıtlı olması nedeniyle yüksek molekül ağırlıklı organik bileşiklerin/polimerlerin zamanla birikmesi,
- \* Virüslerin varlığında prokaryotların ve fitoplanktonların viral enfeksiyonu ve hücre parçalanması sonucu hücre içeriğindeki organiklerin deniz suyuna karışması ve birikmesi,
- \* İklimsel değişikliklerden kaynaklanan sudaki oksijen, ışık, pH, sıcaklık parametrelerinin aniden veya mevsimsel değişimi.
- \* Kirletici faktörlerin artması, ötrofikasyon ve deniz suyunda termal tabakalaşma gibi faktörlerin etkisidir (Karlson vd., 2021).

Deniz ekosistemindeki doğal dengeleri olumsuz yönde etkileyen pek çok unsur müsilaj vakalarının görülme sıklığının giderek artmasında rol oynadığı değerlendirilmektedir (Danovaro vd., 2009; Tüfekci vd., 2010; Genitsaris vd., 2019; Taş vd., 2020). Bunlar:

- \*Doğrudan veya dolaylı antropojenik etkiler,
- \*İklim değişimi kaynaklı deniz suyu sıcaklık anomalileri ve tabakalaşma,
- \*Su hareketliliğinin kısıtlı olduğu durgun su kütlelerinde üst su tabakasının sıcaklığının artması ve termal tabakalaşma,
- \*Kıyı şeritlerinde artan kentleşme ve sanayileşme sonucu kara kökenli kirleticilerin deniz ortamına verilmesi,
- \*Ötrofikasyon, aşırı balıkçılık faaliyetleri vb.,

#### ***Müsilaja Neden Olan Etmenler***

Müsilajın ortaya çıkmasında ekosistemde yaşayan canlıların dengesinin bozulmasından sanayi ve evsel atıklara kadar çevreyi etkileyen pek çok dinamik vardır. Çoğunlukla petrol ve türevi atıklarda sürekli bir artış gözlenmiştir. Müsilaj doğrudan bir kirlilik olmayıp, birçok farklı alanda zincirleme olarak olumsuzlukların tetiklenmesine neden olmaktadır.

#### ***Evsel Atıklar Kaynaklı Kirlilik***

Evlerde kullanılan lavabo vb. atıkların kanalizasyon sistemleriyle arıtma tesislerinde arıtılarak, kısmen arıtılarak veya arıtılmadan doğrudan denize veya denizle bağlantılı akarsularla denize karışması nedeniyle oluşan kirlilik türüdür. Bu tür kirliliğin önüne geçmek için yapılması gerekenler, evsel atıkların arıtılmadan denize karışmasını engellemek, arıtma sistemlerinin geri dönüşümünü ve arıtma kalitesini artıracak denetim sistemleri, eğitimler ve teknolojik çözümler üretmektir (Öztürk vd., 2021)

#### ***Sanayi Atıkları Kaynaklı Kirlilik***

Bu tesislerde yapılan üretim faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan endüstriyel atıklar, soğutma suları ve kimyasal atıklar arıtılarak, kısmen arıtılarak veya arıtılmadan doğrudan denize ulaşabilmektedir. Bu atıklar, içerdikleri ağır metaller, kimyasal maddeler vb. nedeniyle, evsel atıkların arıtılabildikleri arıtma tesislerinde yeterince arıtılamamaktadır. Bu atıkların etkilerini azaltmak için, arıtılmadan denize karışmasını engellemek, arıtma sistemlerinin geri dönüşümünü ve arıtma kalitesini artıracak denetim sistemleri geliştirmek, eğitimler ve ileri teknolojik çözümler üretmek gerekmektedir (Öztürk vd., 2021).

Marmara bölgesi ülkemizin en yoğun nüfuslanmanın ve sanayileşmenin görüldüğü bölgemizdir. Ayrıca tarım faaliyetlerinin de yoğun olduğu bilinmektedir. Bu kadar yoğun nüfus ve sanayi faaliyetlerinin olduğu bir bölgede Marmara denizi bir atık-gider olarak kullanılması kaçınılmaz bir gerçektir (Öztürk vd., 2021).

### **Tarımsal Atıklar Kaynaklı Kirlilik**

Tarımsal faaliyetlerde kullanılan kimyasal gübreler, ilaçlama faaliyetleri ve sulama esnasında kirliliğin denize ulaşması denizde kirliliğe neden olmaktadır. Tarımda kimyasal gübrelerin yerine organik gübrelerin geliştirilmesi, zararlı canlılarla mücadelenin kimyasal/zehirli maddeler yerine doğadaki döngüyü bozmayacak şekilde yapılması gerekmektedir. Gübreleme ve ilaçlama gibi tarımdan elde edilecek verimin arttırılmasına yönelik faaliyetler zamanla Marmara denizine zirai atık olarak geri dönmektedir. Öyle ki Marmara denizindeki kirlenmenin en büyük nedeni olarak bunları gösterebiliriz (Öztürk vd., 2021).

### **Gemi ve Deniz Araçları Atıkları Kaynaklı Kirlilik**

Gemi kazaları ve bazı gemi operasyonları, deniz kirliliğine neden olabilmektedir. Kazalar neticesinde büyük petrol ve kimyasal maddelerin denize dökülmesi denizin tolere edebileceğinden çok daha fazla kirliliğin oluşmasına neden olmaktadır. Deniz yüzeyine yayılabilen bu tip kirlilikler, özellikle akıntının da olduğu yerlerde hızlıca yayılmakta ve deniz yaşamını tehdit edebilmektedir. Bu tarz kirliliklerin önlenmesi için kirliliklerin uzaktan tespit edilebildiği görüntüleme sistemleri ve uydudan tespit sistemleri kurulup kirliliğin hızlıca tespit edilip yayılması engellenmelidir. Marmara denizi gemi trafiğinin en yüksek olduğu denizlerden biri olma özelliğine sahiptir. Kirliliğe neden olan gemi vb araçlara cezai yaptırımlar uygulanarak caydırıcılık artırılabilir (Öztürk vd., 2021).

Gemilerin büyük çoğu uluslararası hukuk ve uluslararası deniz hukuku gereği sintine atıklarına veya herhangi bir atıklarını denize boşaltmaları kesinlikle yasaklanmıştır. Ancak yapılan araştırmalara göre dünya ticaretindeki önemli role sahip bu devasa yük gemilerinin %20 si kadarı atıklarını denize boşaltmaktadırlar (Öztürk vd., 2021) (Şekil 1).



**Şekil 1.** Denizlerde sintine suyu boşaltımı ve petrol kirliliği (URL 3, 2018; URL 4, 2023).

Sintine, gemilerin motor, jeneratör, şanzıman, vites kutusu ve tanklardan sızan akışkanlar sintine dairesinde-tankında toplanması olayıdır. Bu akışkanlar yağ, yakıt, petrol ve daha birçok zararlı atık olarak sıralanabilir (Işık ve Çalışır, 2021).

### **Diğer Denizlerden / Nehirlerden Taşınan Atık ve Kirlilikler**

Denizler ve nehirler birbiriyle bağlantılı olduğundan, yüzey ve dip akıntılarıyla kirlilikler ve mikroplastikler denizlere taşınmaktadır. Buna benzer kirlilikler uzaktan kontrol ve tespit sistemleriyle tespit edilebilir. Bölgesel anlaşmalarla bu kirlilikleri azaltmak mümkündür (Öztürk vd., 2021).

### **Diğer Atıklar**

Yukarıdaki maddelerde değinilmemiş olan hava kirliliğine bağlı deniz kirlilikleri, denizlerin doğrudan atıklarla kirletilmesi, toz, polen vb. şekilde denizlerin kirlenmesi de mümkündür. Bu tarz kirliliklerin önlenmesi için uzaktan tespit sistemleri ve eğitim gerekmektedir. (Öztürk vd., 2021). Kirlilik

sonucu oluşan yüksek yoğunluklu müsilaaj turizme, deniz yolu ulaşımına ve özellikle deniz canlılarının yaşamını olumsuz etkilemektedir (Koncağül, 2022)

### ***Dünyada Müsilaaj Vakaları***

Dünyada ilk müsilaaj olayı 1729 yılında Adriyatik Denizi'nde görülmüş ve tam tanımlanamasa da balıkçı ağlarını kaplaması sebebiyle deniz kirliliği (mare sporco) olarak addedilmiş, 1860'larda ise Yeni Zelanda'da görülmüştür. Günümüze kadar aralıklarla aynı bölgede birçok kez müsilaaj olayı rapor edilmiştir (MacKenzie vd., 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 müsilaaj olaylarının görülmesine neden olmuştur. 1973'ten başlayarak günümüze değin Kuzey Denizi'nde, Adriyatik Denizi'nde, İtalya'da ve Meksika Körfezi'nde çok sayıda müsilaaj vakası gözlenmiştir (Tett vd., 1993; Zevenboom vd., 1991; Danovaro vd., 2009; Misic vd., 2011).

1991'de yine yaz aylarında İtalya'nın batısındaki Tiren Denizi açıklarında da oldukça yoğun bir müsilaaj olayı görülmüştür. (Danovaro vd., 2009; Innamorati, 2001).

1995'de Baltık Denizi'nde de müsilaaj oluşumu gözlenmiştir. Ege Denizi, Doğu Çin Denizi, Tiren Denizi, Ligurya Denizi ve Marmara Denizi dahil olmak üzere farklı alanlarda rapor edilmiştir (Umani vd., 1989; Gotsis-Skretas, 1995; Lorenti vd., 2005; Schiaparelli vd., 2007; Aktan vd., 2008; Fukao vd., 2009).

Günümüzün en büyük çevre felaketlerinden biri Meksika Körfezi'nde BP tarafından işletilen Deep Horizons petrol arama platformunda meydana gelen petrol sızıntısı olarak gösterilebilir. Birçok olumsuz etkiye sebep olan bu sızıntı sonucunda bölgeyi araştıran bilim insanlarının bitki planktonlarının platformdan yayılan sızıntıya maruz kaldıkları için stres altında normalden daha fazla yapışkan madde salgıladıklarını tespit etmişlerdir (Abbriano vd., 2011).

2000'de Yeni Zelanda'da karşılaşılan müsilaajın tek hücreli bir alg türünün aşırı çoğalmasından meydana geldiği (Mackenzie vd., 2002), aynı yıl Adriyatik'teki müsilaajın ise diatomlardan kaynaklandığı belirlenmiştir (Kovač vd., 2005). 2007 yılında İspanya Fas arasındaki Alboran Denizi'nde meydana gelen müsilaajın tek hücreli, canlıların aşırı çoğalmasından, 2007'de Japonya'da gözlenen müsilaajın dominant türünün ise diatomlar olduğu belirlenmiştir (Fukao vd., 2009). Müsilaaj birikimini meydana getiren diğer canlılar siyanobakter ve heterotrofik bakteriler de olabilmektedir (Fuks vd., 2005).

Yüzyılın başında müsilaajda bir artış kaydedilmiş olsa da (Precali vd., 2005), daha yeni incelemeler, Akdeniz bölgesinde bu olayların sıklığında genel bir artış eğilimi olduğuna dair hiçbir kanıt ortaya koymamıştır (Zingone vd., 2021).

### ***Türkiye'de Müsilaaj Sorunu***

Türkiye'de ilk müsilaaj 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 müsilaaj 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). O dönemde ne hipoksi ne de anoksi ve balık ölümleri kaydedilmemiş, ancak yoğun agregatların çökmesinin bentik ekosistem üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu fark edilmiştir (Aktan vd., 2008).

Marmara Denizi'nde diatomların ve çevre koşullarının müsilaaj oluşumu ile ilişkili olduğu ortaya konmuştur (Aktan vd., 2008; Tüfekçi vd., 2010; Balkis vd., 2011; Balkis vd., 2013). Yıllar sonra Kasım

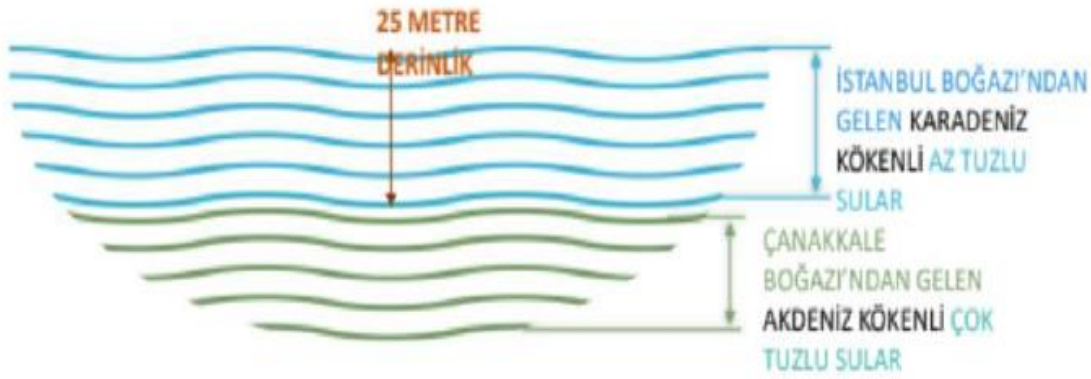
2020'de Marmara Denizi'nde müsilaj yeniden ortaya çıktı ve Nisan 2021'de yüzeyde toplanmaya başladı. Müsilaj oluşumunda fitoplankton bileşimi değişti ve daha önce gözlenmeyen türler baskın hale geldi (Balkis-Özdelice vd., 2021; Ergül vd., 2021). Müsilaj olayı, Marmara Denizi'ndeki denizcilik faaliyetlerini , balıkçılık faaliyetlerini ve bentozu olumsuz etkiledi (Uflaz vd., 2021; Yıldız ve Gönülal, 2021).

### Marmara Denizi'nde Müsilaj Olayı

Marmara Denizinin sınırlarının tamamı Türkiye'nin içinde kalan bir içdeniz konumundadır. Aynı zamanda Ege Denizi ve Karadeniz'i birbirine bağlayan bir su yolu niteliğindedir.

Ege Denizi'ni Marmara Denizi'ne bağlayan Çanakkale Boğazı ve Marmara Denizi'ni Karadeniz'e bağlayan İstanbul Boğazı hem ekolojik açıdan hem de jeopolitik açıdan son derece önemli konumları bulunmaktadır (Yümün ve Kam, 2021).

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. 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 (Koncağül vd., 2022).

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).

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 (Koncağül vd., 2022).



**Şekil 3.** Marmara Denizi'nde müsilaj oluşumuna sebep olan etmenler (Koncağül vd., 2022).

Marmara Denizi'nin kıyılarında artan yerleşim yerleri nedeniyle nüfus artışı yüksek düzeydedir. Nüfus artışı ve yoğun sanayileşme nedeniyle evsel ve sanayi atıkları hızlı bir artış göstermektedir. Marmara denizi çevresindeki sanayi tesislerinin ön arıtma yapmadan veya kaçak olarak atıksularını kanalizasyon sistemine vermesinin ve atıksuların sucul ortama direkt verilmesinin önlenmesi gerekmektedir (Yümün ve Kam, 2021).

Denizel ortama deşarj edilen az artılmış ve/veya artılmamış suların taşıdığı nütrientler gübrelerle verilmeyen mutlak gerekli elementler (C, O ve H), makro elementler (N, P, K, S, Ca ve Mg ) ve mikro elementler (Fe, Zn, Mn, Cu, B, Cl ve Mo), algler ve diğer fitoplanktonların aşırı beslenmesine ve sayılarının aşırı artışına (alg patlamasına) neden olmaktadır.

Deniz taşımacılığı ve Ege Denizi-Karadeniz arasında gerçekleşen çift yönlü gemi trafiği denizin önemli ölçüde kirlenmesine neden olmaktadır (Yümün, 2017; Yümün vd., 2021; Kam ve Yümün, 2021).

Hızlı nüfus artışı nedeniyle atık su, atık yükü ve kirlilik artmaktadır. Marmara Denizi beş büyükşehir belediyesi ve iki il belediyesi ile çevrilidir ve bunların çoğu kaba ve ince partikülleri ayırmak için atık sularını fiziksel olarak arıtır. Daha sonra derin deniz deşarjı adı verilen sıvı atık bertaraf işlemi kullanılarak bu atık sular Marmara Denizi'ne girer. Bu yöntem, denizin doğal seyreltme ve temizleme işlemlerinden yararlanmaya çalışır. Atık su, borularla kıyı şeridinden çeşitli mesafelerde deniz tabanına dağılır ve dağıtılır. Dekarbonizasyon tesisleri ve gelişmiş biyolojik arıtma tesisleri mevcuttur; ancak azınlıktadırlar. Birçok çalışma, bu "derin deşarj" uygulamasının, Marmara deniz ekosisteminin kapasitesini aşan besin yükünün fazla olmasına neden olduğunu göstermiştir (Savun-Hekimoğlu ve Gazioğlu, 2021).

Marmara Denizi'nde ve diğer denizlerde zaman zaman alg patlaması ve deniz salyası (müsilaj) yayılımı gerçekleşmektedir. 2021 yılı başında Marmara Denizi'ne deşarj edilen atık suların kaynaklanan kirlilik ve fitoplanktonların çoğalması nedeniyle oluşan deniz müsilajı yayıldı ve deniz ekosistemi için büyük bir tehdit oluşturdu. 2021 yaz ayı içerisinde tarihin en büyük müsilaj oluşumu meydana gelmiş ve dalgalarla deniz kıyısına toplanmıştır (Yümün ve Kam, 2021). Haziran 2021 itibarıyla Marmara Denizi'ndeki Erdek limanından başlayarak İstanbul ve Çanakkale bölgesi kıyıları deniz müsilajı ile kaplandı. Aynı zamanda Karadeniz'e kıyısı olan Riva sahilinde de müsilaj kitlelerinin görüldüğü bildirilmiştir (Ergül vd., 2021).



Marmara denizinde yapılan bir araştırmada Tekirdağ-Marmara Ereğlisi'nde deniz kıyısında biriken müsilaj ve deniz suyundan numuneler alınarak deniz suyu ve müsilaj örneklerinin fiziksel, organik madde ve element konsantrasyonu tayini analizleri yapılmıştır (Yümün ve Kam, 2021). Müsilaj numunesinin de toplam karbon (TC= 422 ppm), inorganik karbon (IC= 93 ppm), toplam organik karbon (TOC=329 ppm) ve toplam azot (TN=17 ppm) değerleri elde edilmiş ve burada müsilajın çoğunlukla organik kökenli olduğu ve bentik, planktik alg ve diğer fitoplanktonlara bağlı olduğu görülmüştür. Ayrıca mikroskop incelemesi yapılarak müsilaj içindeki canlılar araştırılmış ve çalışmada müsilaj içerisinde en fazla yeşil algler (*Stigeoclonium* sp.), ikinci olarak *Ceramium* sp., kırmızı alg (Rhodophyta) ve az miktarda fitoplankton (*Pleurosigma* sp.) bulunduğu saptanmıştır. Burada deniz salyalarının çoğunlukla yeşil ve kırmızı algler, az miktarda da diğer fitoplanktonlara bağlı olarak üretildiği görülmüştür (Yümün ve Kam, 2021).

### **Marmara Denizi'nde Kirlenme Sonucunda Oluşması Olası Problemler**

Müsilajın deniz ekosistemindeki flora ve fauna üzerinde birçok olumsuz etkisi vardır ve bu etkiler sucul yaşamın sağlığı üzerinde yıkıcı bir etkiye sahiptir. Suyun yüzeyini kaplayan müsilaj, suya ulaşan ışık miktarını azaltırken, balıkların solungaçlarını tıkadığı için deniz yaşamının nefes almasını zorlaştırabilir ve hatta öldürebilir (Danovaro vd., 2009; Savun-Hekimoğlu ve Gazioğlu 2021). Denizde görüntü kirliliği ve koku problemi oluşturan müsilaj, denizin derinlerinde yüzeyden daha fazla bulunmaktadır. Bu oluşumun bir kısmı parçalanarak yüzeye çıkarken çözünmüş oksijen miktarında azalmaya sebep olmakta, bir kısmı da dibe çökerek olumsuz ortam şartlarından kaçma yeteneği sınırlı veya hiç olmayan bentik organizmaların ve diğer canlıların (vatozlar, kalkan balığı, pisi balığı, mercan ve midye yatakları, süngerler, istiridye, yengeç, karides, deniz otları, deniz çayırları, yosunlar, vb.) yaşam alanları üzerinde geri döndürülmesi mümkün olmayan ekolojik tahribatlara yol açmaktadır (URL 8, 2021; Başçınar, 2009).

Ayrıca müsilaj tabakası deniz yüzeyinde yüzen balık yumurtalarını ve zooplanktonu kaplayarak yaşamalarını engellerken zooplanktonla beslenen balık larvaları için gerekli besin kaynaklarını yok eder. Deniz müsilaj insanların toksik etkisi tam olarak kanıtlanmamıştır. Bununla birlikte, deniz müsilajı patojenik bakterilerin hayatta kalması ve çoğalması için uygun bir ortam sağladığından halk sağlığıyla ilgili endişeler devam etmektedir (Danovaro vd., 2009; Savun-Hekimoğlu ve Gazioğlu 2021).

### **Canlıların Beslenmesi ve Solunum Etkileri**

Deniz altında yapılan araştırmalar ile deniz yüzeyindeki müsilajların ve kirlenmenin çok daha fazlası denizin altında mevcut olduğu görülmektedir. Bu durum denizi canlılarının değil temel yaşam koşullarına yetme, kıyılarda yaşayan insan ve diğer canlıları da çok ciddi bir şekilde etkilemektedir. Deniz tabanında hareketsiz veya az hareketli durumda bulunan canlıların (midye, istiridye) tamamına yakınının jelimsi müsilaj tarafından kaplandığı görülmekte. Öyle ki bu canlılar deniz suyundaki oksijen oranını dengelemekte oldukça kritik bir konuma sahiptirler (Işık ve Çalışır, 2021).

2021 Yaşanan müsilaj tehdidi o kadar üst sınırlara çıkmış bulunmaktaki dalgıçların tespitlerine göre su altında görüş mesafesi yarım metreye kadar düşmüştür. Daha birkaç yıl öncesine kadar bu verinin 2 veya 3 metre aralığındaydı (Işık ve Çalışır, 2021).

Müsilaj, Marmara Denizi'nde deniz yüzeyinden 30 metre derinliğe kadar olan alanı kaplayarak oksijen transferini engellerken, uzmanlar sünger ve mercanlar başta olmak üzere midye, istiridye ve pina gibi hareketsiz organizmaları da ölümlere neden olduğunu belirtmişlerdir.

### ***Kıyılara ve Turizme Etkileri***

Pandemi dönemi hariç ülkemiz her yıl ortalama 40 milyon dolaylarında turist olarak ziyaretçi ağırlamaktadır. Turizmden elde edilen gelirlerin Türkiye için ne denli önemli olduğunu ve cari açığın kapatılması açısından etkileri kanıtlanmıştır. 2021 yılı olağandışı bir boyuta ulaşan müsilaj olayı bu turistleri kötü bir sürpriz olarak karşıladı. Kirli, yüzülemez ve koku yayılımı ile birlikte insanların vakit geçirmek istemeyeceği bir yer haline geleceğine hiçbir şüphe yoktur. Bu durumun devam etmesi tekrarlanması halinde turizm sektörüne kapatılması ve telafisi edilmesi zor zararlar verecektir (Işık ve Çalışır, 2021).

### ***Alglerin Aşırı Büyümesi***

Azot ve fosfor sularındaki mikroorganizmalar için nutrient kaynaklarıdır ve alglerin aşırı derecede büyümesine sebep olurlar. Bu ise deniz kirliliğindeki en ciddi sorunlardan bir tanesidir. Bu sayede ortamın oksijeninde azalmalar gözlenir. Azot ve fosforun ortamdaki fazlalığı alglerde aşırı büyümeye ve bazı zehirlerin açığa çıkmasına sebep olur. Marmara denizinde görülen müsilaj olayı zararlı alglerin aşırı çoğalması sonucu meydana gelmiştir. Azot konsantrasyonundaki değişimler plankton türlerinde de farklılıklara sebep olur ve uzun solukta su kalitesine etkide bulunur (Işık ve Çalışır 2021).

Azot, evsel ve endüstriyel kalifiye noktasal kaynaklardan ve zirai kökenli alansal kaynaklardan denize ulaşır. Fosfor, çoğu zaman evsel kaynaklardan marmara denizi'ne gelmektedir ve bu kirliliğin önlenmesi arıtma tesislerinin kurulmasıyla mümkün olabilir. Klasik kirleticiler sınıfına sokulabilen sülfat, kalsiyum, sodyum, potasyum, klorür ve çözünmüş katı konsantrasyonlarında Marmara Denizi'nde artışlar olması muhtemeldir. Bundan dolayı bu denizin çevresinde görülen nüfus ve endüstri kuruluşlarında ki artışa paralel hızda atık su arıtma tesisleri inşa edilmemektedir (Işık ve Çalışır 2021).

### ***Balıkçılık***

Denizlerin kirlenmesi balıkların ve kabukluların değerlerinin, ticaretinin azalmasına ve ekonomik kayba sebep olur. Marmara Denizi'nin balıkçılıkla alakalı başlıca problemleri endüstriyel ve evsel atıklar, deniz taşımacılığında oluşan kirlenme ve zamansız ve dikkatsiz avlanmadır. Marmara Denizi'nde tutulan balıklar gerek kirli ortamlardan avlandıklarından ve gerekse taşıdıkları kirleticilerden dolayı arınır nitelikteki balıklar değildirler. Yurttaşların bilinçlenmesi ve sağlıkla alakalı bazı negatif vakaların görülmesine paralel olarak Marmara Deniz balığının tüketiminin ileriki yıllarda daha da azalacağı tahmin edilmektedir. Bu da balıkçılık sektörünün bu denizde tükenme noktasına geldiğini göstermesi açısından önemlidir (Işık ve Çalışır, 2021).

Balık ve balık popülasyonlarındaki hastalıklar; balık, çevre ve patojen değişkenlerinin etkileşimine bağlı olarak gelişir (Buller, 2004; Austin ve Austin, 2016). Abiyotik, biyotik, genetik faktörler tarafından kontrol edilen bu değişkenler, çevresel parametrelerin kalitesine ve patojenik mikroorganizmaların virülansına, genetik duyarlılığa ve balığın fizyolojik sağlığına bağlıdır. Balıklar, kirlilik ve artan sıcaklıklar dahil olmak üzere hastalığa karşı duyarlılıklarını artıran stres faktörlerinden önemli ölçüde etkilenir. Bu çevresel stres koşullarında patojenlere maruz kalan balıklar, bakteriyel hastalıklara yakalanmaya daha yatkındır (Buller, 2004; Austin ve Austin, 2016).

Yapılan bir araştırmada Marmara Denizi'nde yaşayan kefal (*Mugil cephalus*), lüfer (*Pomatomus saltatrix*), istavrit (*Trachurus trachurus*), hamsi (*Engraulis encrasicolus*) gibi çeşitli balık türlerine parazitolojik, bakteriyolojik ve histopatolojik inceleme yöntemleri uygulanmıştır. İncelenen balık örneklerinde herhangi bir klinik bulguya rastlanmazken, bu balıkların solungaç ve derilerinden hazırlanan yaş preparatlarda ince müsilaj tabakalarının varlığı dikkat çekmiştir. Bununla birlikte,

otopsisi yapılan balık örneklerinin dahili incelemesinde bazı farklılıklar kaydedilmiştir. Karaciğer örneklerinden bakteriyolojik kültürleme sonucunda farklı *Vibrio* ve *Pseudomonas* türlerinin izolatları elde edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen verilere göre deniz balıklarının müsilaj nedeniyle strese girdiği ve bu balıkların en çok solungaç ve karaciğer dokularının etkilendiği belirlenmiştir. İzole edilen bakteri türlerinin insanlar için patojen olmadığı, deniz suyu ve balıkların tipik florasında bulunabilen bakteri türlerinden oluştuğu da belirlenmiştir. Ayrıca bu çalışmada ayrıca deniz ortamında yaygın olarak bulunan ve nitrojen fikse etme yeteneği tespit edilen *Vibrio diazotrophicus* türü müsilaj içeren su örneklerinde ilk kez izole edilerek tanımlanmıştır (Buller, 2004; Austin ve Austin, 2016).

### Marmara Denizi'nde Müsilaj Mücadelesi

2021 Haziran ayında yaşanan müsilaj felaketi nedeniyle Türkiye'nin en büyük ve en kapsamlı deniz temizliği seferberliğini başlatıldı (Tablo 1). Bu kapsamda Marmara Belediyeler Birliği (MBB) ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ortaklığında "Marmara Denizi'nde Müsilaj Problemi ve Çözüm Önerileri" başlıklı çevrimiçi çalıştay gerçekleştirildi (URL 5). Ayrıca 6 Haziran 2021, Kocaeli'nde Marmara denizi eylem planı kamuoyuna açıklandı (URL 6, 2021).

Bu eylem planı Kapsamında 8 Haziran 2021 tarihi itibarıyla temizleme çalışmaları başlamış olup, 7 ilde hem karadan hem de denizden temizleme çalışmaları yürütülmüştür. Temizlik çalışmalarında deniz süpürgesi, vidanjör, kombine kanal açma aracı, depolama tankı gibi araç ve gereçler kullanılmaktadır. Bu çalışmalar sonucu Tablo 1'de görüldüğü üzere 8- 14 Haziran 2021 tarihleri arasında toplam 2684,5 m<sup>3</sup> müsilaj toplanmıştır (URL 8, 2021).

**Tablo 1.** 8-14 Haziran 2021 tarihleri arasında toplanan müsilaj miktarı (URL 8, 2021).

İller	Çalışılan Bölge Sayısı	Toplanan müsilaj miktarı (m <sup>3</sup> )
İstanbul	16	629,5
Kocaeli	4	155,5
Bursa	2	123,5
Tekirdağ	2	128
Balıkesir	2	333
Çanakkale	2	251
Yalova	4	1064
<b>Toplam</b>	<b>32</b>	<b>2684,5</b>

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Çözüm konusunda uzmanlar, sadece yüzeyde müsilaj toplamanın kesin sonuçlar vermeyeceğini söylüyor. Uzun vadeli bir çözüm için müsilaj oluşumuna elverişli koşulların ortadan kaldırılması gerektiğini öne sürüyorlar. Marmara Denizi'ni tehdit eden müsilaj (deniz salyası) probleminin kısa, orta ve uzun vadede çözümüne ilişkin öneriler ve konuyla ilgili çevresel farkındalığın artırılması amacıyla alınması gereken bilimsel temelli tedbirler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

\* Müsilaj problemi sebebiyle adeta nefes almakta zorlanan ve ciddi bir çevresel baskıya maruz kalmış hasta bir su ekosistemi konumunda bulunan Marmara Denizi'nin çevresinin tamamının acilen hassas alan (koruma bölgesi) ilan edilmesi gereklidir (Yetilmezsoy, 2021).

\* Marmara Denizi Havzası'ndaki Nüfusu 5000'i geçen tüm yerleşimlerde ve tüm Organize Sanayi Bölgelerinde atık suların üçüncü derece ileri biyolojik arıtma seviyesine kadar artırılmalıdır (Aydın, 2021).

\* Sanayi tesislerinin ön arıtma yapmadan veya kaçak olarak atıksularını kanalizasyon sistemine vermesinin önlenmelidir. Bu sayede arıtma tesislerinde arıtma işlemini yapan mikroorganizmaları ölerek tesislerin zaman zaman devre dışı kalması önlenecektir (Yümün ve Kam, 2021).

\* Bölgeye atıksu deşarjı olan tüm noktalar denetlenmeli ve ileri kademe arıtma yapmayan ve yüksek miktarda azot ve fosfor yükü üreten tesislerin faaliyetleri gerekli tedbirler alınuncaya kadar durdurulmalıdır. Bölgedeki mevcut atıksu arıtma tesislerinin tamamı ileri biyolojik arıtma tesisine dönüştürülmeli ve fiziksel arıtma sonrasında derin deniz deşarj işlemlerine son verilmelidir. İzleyen süreçte ise güncellenen deşarj standartlarına uygun olarak işletilmeyen tesislere ağır yaptırımlar uygulanmalıdır. Bununla birlikte, arıtılmış atıksuların mümkün olduğunca yeniden kullanımı (örneğin tesis içinde, tarımsal uygulamalarda, vb.) artırılmalı ve temiz üretim teknolojileri kamu-özel sektör işbirliği çerçevesinde desteklenerek faaliyete (özellikle zeytin karasuyu ve peynir altı suyu üreten tesisler için) geçirilmelidir (Yetilmezsoy, 2021).

\* Marmara Denizi'ni alıcı ortama olarak kullanan atıksu arıtma tesislerinin tamamı kesintisiz bir şekilde gece-gündüz çevrimiçi olarak izlenmelidir (Yetilmezsoy, 2021).

\* Marmara Denizi'nden geçen gemilerin sayısı, büyüklüğü, tipi gibi faktörler ve gemilerin üretebileceği atık miktarları esas alınarak, sintine ve atıksu kaynaklı bir risk analizi yapılması, bu kirleticiler için üç boyutlu yayılım dağılım modelinin oluşturulması ve modelleme çalışmalarında elde edilecek tahminlere göre kaçak sintine ve atıksu deşarjlarının denetim altına alınması maksadıyla uzaktan kontrol mekanizması geliştirilmesi gerekmektedir. Bu konudaki literatür incelendiğinde, gemi kaynaklı kaçak deşarjların tespiti ile ilgili uygulamaların havadan görüntüleme (örneğin radarlar, lazer florosensörler, mikrodalga radyometreler, kızılötesi/ultraviyole tarayıcılar, vb.) ve uydu sistemleri (örneğin optik sensörler) gibi uzaktan algılama araçları ile çok daha geniş bir skalada ve dış faktörlerden (örneğin gece/gündüz, sıcaklık, bulut, rüzgâr, vb.) etkilenmeden gerçekleştirilebildiği görülmektedir. Ülkemiz için şu aşamada aciliyeti olmayan projeler yerine, mevcut yatırımların bu tür teknolojik araştırmalara ve uygulamalara yönlendirilmesi, Marmara Denizi ve diğer sucul ortamlar için atıksu ve sintine suyu deşarjları ile ilgili risklerin değerlendirilmesi ve bu konuda geleceğe yönelik sürdürülebilir bir yönetim stratejisi oluşturulabilmesi yönünden son derece faydalı olacaktır (Yetilmezsoy, 2021).

\* Marmara Denizi çevresindeki tarım alanlarında aşırı gübre kullanımının ve denize harfiyat boşaltılmasının acilen önüne geçilmelidir. Bunun yanında, Karadeniz'den, Akdeniz'den ve Susurluk, Biga ve Gönen nehirleri ile taşınan besi maddeleri ve kirleticiler sürdürülebilir bir yönetim politikası çerçevesinde kontrol altına alınmalıdır (Yetilmezsoy, 2021).

\* Denize deşarj edilen bu nütrientlerin yanında özellikle tekstil, deri ve metalürji olmak üzere sanayiden kaynaklanan toksik maddeler ile karşı karşıya kalıp yaşam mücadelesi veren mikroorganizmaların karşılaştıkları bu stres karşısında genetik olarak değişip mutantlar oluşturup müsila üretme yeteneğini artırması olgusu da araştırılıp incelenmesi gereken diğer bir önemli konudur (Yümün ve Kam, 2021).

\* Marmara Denizinde azot (nitrit ve nitrat), fosfor (ortofosfat), silikat, pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen, sıcaklık, klorofil-a, Secchi diski derinliği, Redfield oranı (C:N:P), silikat:azot oranı gibi kritik su kalitesi parametreleri ve denizdeki biyoçeşitlilik durumu düzenli periyotlar ile monitör edilerek bölgeye ait uyarı sistemleri geliştirilmelidir (Yetilmezsoy, 2021).

\* Müsilajı oluşturan mikroorganizmaları parçala yan bir bakıma yiyen "faj" olarak adlandırdığımız virüs ve bakterileri üreterek deniz ortamına verilmesinin de araştırılarak uygulamaya konulması uzun vadeli çözüm önerileri arasında yer alabilir. Fakat bu uygulamada denize bırakılacak virüs veya bakterilerin çevreye, diğer canlılara ve insana zarar verici etkilerinin olmaması zorunludur (Yümün ve Kam, 2021).

\* Müsilaja karşı faydalı biyolojik (örneğin yararlı deniz bakteri izolatları) uygulamaların yanında tatbik edilebilecek özel, agresif olmayan ve kontrollü kimyasal (örneğin granüler klorin, sodyum diklor, kalsiyum hipoklorit, sodyum hipoklorit, lityum hipoklorit, vb.) dozlamaları, zararlı

mikroorganizmaların yeni oluşacak ortama ve ilgili preparatlara adapte olmalarını engellemek maksadıyla beklenmeyen zamanlarda (anlık veya uzun süreli şok tedavisi) ve yeterli karıştırma şartlarında yapılmalıdır (Yetilmezsoy, 2021).

\* Petrokimya endüstrisi atıklarının, petrol ve ürünlerinin üretilmeleri, taşınmaları ve depolanmaları sırasında çevreye bırakılmalarının önlenmelidir (Aydın, 2021).

\* Evsel ve endüstriyel Atık Arıtma Tesislerinde deşarjlarının izleme ve denetim işlemlerinin yeteri sayıda ve sıklıkta yapılması, iyi işletilmeyen tesislere etkili yaptırımlar uygulanmalıdır (Aydın, 2021).

\* Tüm Havza'da katı atıkların ve zararlı atıkların son teknolojiye uygun bertaraf edilmelidir (Aydın, 2021).

\* Kıyı düzenlemesi ve kıyıda tesislerin bakım onarımları sırasında, taban taraması durumlarında kıyı ekolojisine zarar verilmesinin önüne geçilmelidir (Aydın, 2021).

\* İstanbul Boğazı Karadeniz girişi ile Çanakkale Boğazı Marmara Çıkışı arasında, özellikle kıyı ve geçiş suları başta olmak üzere, su kolonunda aylık bazda sürekli su kalitesi izlemesi yapılarak fizikokimyasal durum ve biyoçeşitliliğin takibi edilmelidir (Öztürk ve Şeker, 2021).

\* Marmara Denizi üst tabakasında fitoplankton (birincil üretim organizmaları) popülasyonunu dengeleyici ekolojik şartların oluşumu desteklenmelidir (Öztürk ve Şeker, 2021); bu bağlamda;

- a. Suyu süzerek beslenen üst kademe organizmaların (balık, deniz kabukluları vb.) tür ve sayıca artırılması,
- b. Buna uygun balık/su ürünü avlanma politikası geliştirilmesi,
- c. Denizlerimizde biyoçeşitliliğin korunması yönünde stratejiler izlenmesi,
- d. Karadeniz, Marmara ve Ege Denizi arasındaki balık göçü ile balık sığınma/yumurtlama alanlarının korunarak sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekmektedir. Balık popülasyonunun ve biyoçeşitliliğin korunması için çeşitli adımlar atılmasının yanı sıra Marmara Denizi'nin nefes almasını sağlayacak korunan alanların genişletilmesi de önemlidir.

\* Deniz ekolojisini ve besin zinciri dengesini bozacak her türlü avlanmanın önlenmelidir (Aydın, 2021).

\* Müsilaj ile mücadelenin sadece sucul ekosistem ve çevre açısından değil aynı zamanda ekonomik ve toplumsal boyutları da dahil olmak üzere disiplinler arası değerlendirilmesine gereksinim vardır; bu sorun ilgili farklı bilim disiplinlerinin katkısı ile tartışılarak kısa ve uzun vadeli çözüm önerileri belirlenerek acil eylem planı olarak uygulamaya konulmalıdır (Öztürk ve Şeker, 2021).

\* Müsilajın ekonomik, sosyal ve psikolojik etkileşimleri göz önünde bulundurularak üreticilerin ve tüketicilerin çevre bilincinin/farkındalığının artırılmasında mülki idare ve yerel yönetimlerin iş birliği yapılmalıdır (Öztürk ve Şeker, 2021).

\* Konunun uluslararası mahiyeti Marmara Denizi ile komşuluğu ve etkileşimi bulunan (Tuna Havzası gibi) ülkelerin de bu sorunun çözümüne katılımları ve destekleri talep edilmelidir (Öztürk ve Şeker, 2021).

**Çıkar Çatışması Beyanı:** Yazarlar, bu makale ile ilgili başka kişi veya kurumlar ile çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

#### KAYNAKLAR

- Abbriano, R. M., Carranza, M., Hogle, S. L., Levin, R. A., Netburn, A. N. ... & Franks, P. J. (2011). Deepwater horizon oil spill: A review of the planktonic response. *Oceanography*, 24(3), 294-301.
- Aktan, Y. (2008). Mucilage event associated with diatoms and dinoflagellates in Sea of Marmara, Turkey. *Harmful Algae News*, 36, 1-3.

- Austin, B., & Austin, D. A. (2016). *Bacterial fish pathogens: disease of farmed and wild fish*. London, United Kingdom: Springer International Publishing.
- Aydın, M. E. (2021). Marmara denizi'nde müsilaj oluşumu, muhtemel sebepleri ve öneriler. Marmara'da Deniz ekolojisi; *Deniz salyası oluşumu, etkileşimleri ve çözüm önerileri*, 49-68. <https://doi.org/10.53478/tuba.2021.003>
- Balkis, N., Atabay, H., Türetgen, I., Albayrak, S., Balkis, H. ... & Tüfekçi, V. (2011). Role of single-celled organisms in mucilage formation on the shores of Büyükada Island (the Marmara Sea). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 91(4), 771-781.
- Balkis, N., Sivri, N., Fraim, N. L., Balcı, M., Durmuş, T. ... & Sukatar, A. (2013). Excessive growth of *Cladophora laetevirens* (Dillwyn) Kutzing and enteric bacteria in mats in the Southwestern Istanbul coast, Sea of Marmara. *IUFS Journal of Biology*, 72(2), 43-50.
- Balkis-Ozdelice, N., Durmuş T., & Balcı, M. A. (2021). Preliminary study on the intense pelagic and benthic mucilage phenomenon observed in the Sea of Marmara. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8(4), 414-422. <https://doi.org/10.30897/ijgeo.954787>
- Başçınar, N. S. (2009). Bentik canlılar ve biyoindikatör tür. *Aquaculture Studies*, 1, 5-8.
- 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(4), 285-334.
- Buller, N. B. (2004). *Bacteria from fish and other aquatic animals: A practical identification manual*. CABI publishing.
- Calvo, S., Barone, R., & Flores, L. N. (1995). Observations on mucus aggregates along Sicilian coasts during 1991-1992. *Science of the total environment*, 165(1-3), 23-31.
- Danovaro, R., Fonda Umani, S., & Pusceddu, A. (2009). Climate change and the potential spreading of marine mucilage and microbial pathogens in the Mediterranean Sea. *PLoS One*, 4(9), 1-8, e7006. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007006>
- Degobbis, D., Malej, A., & Fonda Umani, S. (1999). The mucilage phenomenon in the northern Adriatic Sea: a critical review of the present scientific hypotheses. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanità*, 35, 373-381.
- Ergul, H. A., Balkis-Ozdelice, N., Koral, M., Aksan, S., Durmus, T. ... & Canli, O. (2021). The early stage of mucilage formation in the Marmara Sea during spring 2021. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 27(2) 232-257.
- 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(1-3), 59-63.
- Fukao, T., Kimoto, K., Yamatogi, T., Yamamoto, K., Yoshida, Y. ... & Kotani, Y. (2009). Marine mucilage in Ariake Sound, Japan, is composed of transparent exopolymer particles produced by the diatom *Coscinodiscus granii*. *Fisheries Science*, 75(4), 1007-1014.
- Fuks, D., Radić, J., Radić, T., Najdek, M., Blažina, M. ... & Smoldaka, N. (2005). Relationships between heterotrophic bacteria and cyanobacteria in the northern Adriatic in relation to the mucilage phenomenon. *Science of the total environment*, 353(1-3), 178-188.
- 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.
- 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(3-1), 232-246.
- Goffart, A., Hecq, J. H., & Legendre, L. (2002). Changes in the development of the winter-spring phytoplankton bloom in the Bay of Calvi (NW Mediterranean) over the last two decades: a response to changing climate? *Marine Ecology Progress Series*, 236, 45-60.
- Gotsis-Skretas, O. (1995). Mucilage appearances in Greek waters during 1982-1994. *Science of the total environment*, 165(1-3), 229-230.
- Gray, J. S., Wu, R. S., & Or, Y. Y. (2002). Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Marine Ecology Progress Series*, 238, 249–279. <https://doi.org/10.3354/meps238249>
- Işık, S. M., & Çalışır, Y. (2021). Marmara Denizindeki müsilaj olayı ve kirlilik: nedenleri sonuçları ve çözüm önerileri üzerine bir çalışma. Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi, 1-14.
- Innamorati, M. (1995). Hyperproduction of mucilages by micro and macro algae in the Tyrrhenian Sea. *Science of the Total Environment*, 165(1-3), 65-81.
- Innamorati, M., Nuccio, C., Massi, L., Mori, G., & Melley, A. (2001). Mucilages and climatic changes in the Tyrrhenian Sea. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 11(4), 289-298, <https://doi.org/10.1002/aqc.448>.
- Kam, E., & Yümün, Z. Ü. (2021). Geographical distribution of toxic elements in Northeast Marmara Sea sediments and analysis of toxic element pollution by various pollution index methods (Istanbul/Turkey). *Applied Ecology And Environmental Research*, 19(3), 1869-1893.
- Karlson, B., Andersen, P., Arneborg, L., Cembella, A., Eikrem, W., John, U., ... & Suikkanen, S. (2021). Harmful algal blooms and their effects in coastal seas of Northern Europe. *Harmful Algae*, 102, 101989.
- Koncagül, M., Dülger, N. E., & Yinanç, A. (2022). Dünyada ve Marmara Denizi'nde müsilaj oluşumu ve etkileri. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(2), 73-79.
- Lorenti, M., Buia, M.C., Di Martino, V., & Modigh, M. (2005) Occurrence of mucous aggregates and their impact on *Posidonia oceanica* beds. *Science of the Total Environment*, 353(1-3), 369-379.
- 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., & Tomassetti, P. (2007). Handling of a large dataset: application of time series analysis to oceanographic studies. *International journal of Environment and Health*, 1(3), 347-359.
- Misic, C., Schiaparelli, S., & Harriague, A. C. (2011). Organic matter recycling during a mucilage event and its influence on the surrounding environment (Ligurian Sea, NW Mediterranean). *Continental Shelf Research*, 31(6), 631-643.
- 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.
- Özalp, H. B. (2021). First massive mucilage event observed in deep waters of Çanakkale Strait (Dardanelles), Turkey. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 27(1), 49-66.
- Öztürk, İ., Yanalak, M., Arslan, Ö., Koyuncu, İ., Dilekgürgeç, E., ... & Türken, T. (2021). Marmara Denizi'nde deniz salyası sorunu ile ilgili görüş ve öneriler (Rapor). İstanbul Teknik Üniversitesi, 73. <https://polen.itu.edu.tr/items/a583d969-40ef-414e-ad4b-4e235a4c4988>.
- Öztürk, İ., & Şeker, M. (Eds.). (2021). Marmara Denizi'nin ekolojisi; deniz salyası oluşumu, etkileşimleri ve çözüm önerileri. Türkiye Bilimler Akademisi, Ankara.
- Passow, U., Zierovogel, K., Asper, V., & Diercks, A. (2012). Marine snow formation in the aftermath of the deepwater horizon oil spill in the Gulf of Mexico. *Environmental Research Letters*, 7(3), 035301. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/3/035301>.
- Penna, N., Capellacci, S., & Ricci, F. (2004). The influence of the Po River discharge on phytoplankton bloom dynamics along the coastline of Pesaro (Italy) in the Adriatic Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 48(3-4), 321-326.
- Precali, R., Giani, M., Marini, M., Grilli, F., Ferrari, C. R. ... & 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
- Ricci, F., Penna, N., Capellacci, S., & Penna, A. (2014). Potential environmental factors influencing mucilage formation in the northern Adriatic Sea. *Chemistry and Ecology*, 30(4), 364-375.
- Rinaldi, A., Vollenweider, R. A., Montanari, G., Ferrari, C. R., & Ghetti, A. (1995). Mucilages in the Italian seas: the Adriatic and Tyrrhenian seas during 1988-1991. *Science in the Total Environment*, 165(1-3), 165-183.
- Savun-Hekimoğlu, B., & Gazioğlu, C. (2021). Mucilage problem in the semi-enclosed seas: Recent outbreak in the Sea of Marmara. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 8(4), 402-413.
- Schiaparelli, S., Castellano, M., Povero, P., Sartoni, G., & Cattaneo-Vietti, R. (2007) A benthic mucilage event in North-Western Mediterranean Sea and its possible relationships with the summer 2003 European heatwave: short term effects on littoral rocky assemblages. *Marine Ecology*, 28(3), 341-353.
- Sieburth, J. N., Johnson, P. W., Eberhardt, M. A., Sieracki, M. E., Lidstrom, M. ... & Laux, D. (1987). The first methane-oxidizing bacterium from the upper mixing layer of the deep ocean: *Methylomonas pelagica* sp. nov. *Current Microbiology*, 14, 285-293.
- Stachowitsch, M., Fanuko, N., & Richter, M. (1990). Mucus aggregates in the Adriatic Sea: an overview of stages and occurrences. *Marine Ecology*, 11(4), 327-350.
- Svetličić, V., Žutić, V., Radić, T. M., Pletikapić, G., Zimmermann, A. H. ... & Urbani, R. (2011). Polymer networks produced by marine diatoms in the Northern Adriatic Sea. *Marine Drugs*, 9(4), 666-679.
- Taş, S., Ergül, H. A., Balkis, N. (2016). Harmful algal blooms (HABs) and mucilage formations in the Sea of Marmara. E. Özsoy, M. N. Çağatay, N. Balkis, N. Balkis, B. Öztürk (Eds.) *The Sea of Marmara marine biodiversity, fisheries, conservation and governance*. Turkish Marine Research Foundation (Tudav), Publication No: 42, 768-786.



- Taylor, F. J., Taylor, N. J., & Walsby, J. R. (1985). A bloom of the planktonic diatom, *Cerataulina pelagica*, off the coast of northeastern New Zealand in 1983, and its contribution to an associated mortality of fish and benthic fauna. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 70(6), 773-795. <https://doi.org/10.1002/iroh.19850700602>.
- Tett, P. B., Joint, I. R., Purdie, D. A., Baars, M., Oosterhuis, S. ... & Witte, H. J. (1993). Biological consequences of tidal stirring gradients in the North Sea. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Physical and Engineering Sciences*, 343(1669), 493-508. <https://doi.org/10.1098/rsta.1993.061>.
- Tüfekçi, V., Balkis, N., Beken, C. P., Ediger, D., & Mantikci, M. (2010). Phytoplankton composition and environmental conditions of the mucilage event in the Sea of Marmara. *Turkish Journal of Biology*, 34(2), 199-210.
- Turkoglu, M., & Oner, C. (2010). Short time variations of winter phytoplankton, nutrient and chlorophyll a of Kepez Harbor in the Dardanelles (Çanakkale Strait, Turkey). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10(4), 537-548.
- Umami, S. F., Ghirardelli, E., & Specchi, M. (1989). *Gli episodi di "mare sporco" nell'Adriatico dal 1729 ai giorni nostri*. Ufficio stampa e pubbliche relazioni della Regione Friuli-Venezia Giulia.
- Uflaz, E., Akyüz, E., Bolat, F., Bolat, P., & Arslan, Ö. (2021). Investigation of the effects of mucilage on maritime operation. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment*, 27(2), 140-153.
- URL 1 (2021). BBC News Türkçe. [www.bbc.com/turkce](http://www.bbc.com/turkce) Erişim: 03 Haziran 2021.
- URL 2. (2021). Yacht Türkiye. [www.yachtturkiye.com](http://www.yachtturkiye.com) Erişim: 04 Haziran 2021.
- URL 3. (2018). <https://www.hurriyet.com.tr/ekonomi/denizi-kirleten-gemilere-ceza-yagdi-40848785> Erişim: 26 Mayıs 2018.
- URL 4, (2023). <https://ahmetfevzikibar.com/gemilerden-kaynaklanan-deniz-kirliligi-uluslararası-sozlesmelerin-turk-hukukundaki-yeri/> Erişim: 6 Haziran 2023.
- URL 5 (2022). <https://www.gazetekadikoy.com.tr/gundem/marmara-denizi-icin-eylem-plani> Erişim: 17 Haziran 2022.
- URL 6 (2021). <https://www.marmara.gov.tr/tr/marmara-denizi-koruma-eylem-plani-aciklandi> Erişim: 6 Haziran 2021.
- URL 7 (2021) [https://webdosya.csb.gov.tr/db/marmarahepimizin/menu/koordinasyon-kurulu-sunum-eylem-plani\\_20211028022051.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/marmarahepimizin/menu/koordinasyon-kurulu-sunum-eylem-plani_20211028022051.pdf) Erişim: 6 Haziran 2021.
- URL 8 (2021). Çevre mühendisliği portalı. [www.cevremuhendisligi.org](http://www.cevremuhendisligi.org) Erişim: 19 Haziran 2021.
- Xu, H., Yu, G., & Jiang, H. (2013). Investigation on extracellular polymeric substances from mucilaginous cyanobacterial blooms in eutrophic freshwater lakes. *Chemosphere*, 93(1), 75-81.
- Yetilmezsoy, K. (2021). Marmara'nın gözyaşı: Deniz müsülajı. *Marmara Denizi'nde Müsülaj Sorunu ve Çözüm Yöntemleri, Türkiye Bilimler Akademisi*, 155-162.
- Yıldız, T., & Gönülal, O. (2021). Sea snot and its impacts on the fisheries in the Sea of Marmara and its adjacent waters. *J. Black Sea/Mediterranean Environment*, 27(2), 167-183.
- Yümün, Z. Ü., & Kam, E. (2017). Effects of radionuclides on the recent foraminifera from the clastic

sediments of the Canakkale Strait-Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 131, 179-182.

Yümün, Z. Ü., & Kam, E. (2021). Marmara Denizi'nde Müsilaj Sorunu ve Çözüm Yöntemleri. *Marmara Denizi'nin Ekolojisi: Deniz Salyası Oluşumu, Etkileşimleri ve Çözüm Önerileri*. Türkiye Bilimler Akademisi 163-182.

Yümün, Z. Ü., Kam, E., Dinçer, A., Önce, M., & Yümün, S. (2021). The investigation of toxic element pollution and radioactivity analyses of marine sediments in the Gulf of Gemlik (Bursa, Turkey). *Applied Ecology And Environmental Research*, 14751-14765.

Yümün, Z. Ü., Kam, E., & Önce, M. (2023). Marmara Denizi'nde deniz salyası (müsilaj) oluşma nedenleri ve alınması gereken önlemler. *Çevre Şehir ve İklim Dergisi*, 2(3), 98-115.

Zevenboom, W., Rademaker, M., & Colijn, F. (1991). Exceptional algal blooms in Dutch North Sea waters. *Water Science and Technology*, 24(10), 251-260. <https://doi.org/10.2166/wst.1991.0298>.

Zingone, A., & Wyatt, T. (2005). Harmful algal blooms: keys to the understanding of phyto-plankton ecology. A. R. Robinson, K. H. Brink (Eds.) *The sea: ideas and observation on progress in the study of the seas*. Harvard University Press.

**How to cite this article / Bu makaleye atf için:**

Yılmaz, H., & Saler, S. (2023). Denizlerimizin sessiz yardım çağlığı: Müsilaj. *J Biol Sci Health*, 1(2), 38-55.