

## Müsilaj Oluşumu ve Ekolojisi

Ece Polat<sup>1,2</sup>, Hülya Ünver<sup>1</sup>, Mahmut Altınbaş<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Istanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul.

<sup>2</sup>Sinop Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 57000, Sinop.

### Özet

Müsilaj oluşumu, çeşitli biyolojik ve hidrolojik etkileşimleri içeren çok karmaşık bir olgudur. Müsilaj oluşumuna elverişli koşullar oşinografik değişimlerle gözlenebilirken, ortamda bulunan bakteriyel ve fitoplanktona dayalı aktiviteler de müsilaj oluşumunda etkin rol oynar. 17. yüzyıldan beri farklı denizlerde ve ekosistemlerde gözlenmiş müsilajın, mikrobiyal yapısı ve şekli de farklıdır. Bu durumu, müsilaj oluşumunun çoğunlukla taksona özgü olması ve kalınlığının ile dokusunun ise çevresel faktörlerden etkilenmesi ile açıklamak mümkündür. Müsilaj araştırmalarında baskın tür olarak çoğunlukla fitoplanktonlar karşımıza çıkmaktadır. Özellikle, ortamdaki yüksek organik madde miktarı ve nutrient miktarları, fitoplankton oluşumu ve mikroçevre oluşumunu tetiklemektedir ve suyun sıcaklık, akışkanlık, türbidite gibi bazı özellikleri müsilaj üretimini artırıcı etki göstermektedir. Bu derlemede, öncelikle çözünmüş organik madde (ÇOM) ve mikrobiyal popülasyonun agregat oluşturarak nasıl müsilaja dönüştüğünden bahsedilmiştir. Sonrasında, mikrobiyal ekoloji incelemelerinde müsilajın yapısında karşılaşılmış canlı grupları anlatılmıştır. Müsilaj bölgelerinde gözlenen baskın türler, vaka bilgileri ile detaylı olarak anlatıldıktan sonra, müsilaj oluşumu sonucu yaşamı olumsuz etkilenen canlılardan bazı örnekler verilmiştir.

### Anahtar Sözcükler

Müsilaj, Çevre, Deniz Karı, Mikrobiyal Ekoloji, Fitoplankton

## Mucilage Formation and Ecology

### Abstract

Mucilage formation is a very complex phenomenon involving various biological and hydrological interactions. Mucilage is formed as a result of bacterial and phytoplankton-based activities in the environment. Oceanic shifts can provide an environment favorable for mucilage development; however, other factors also play a role in forming mucilage. Mucilage's microbiological structure and morphology, which have been studied in many waters and habitats since the 17th century, are also distinct. This is due to the fact that mucilage development is largely taxon-specific, and mucilage thickness and texture vary depending on environmental conditions. In mucilage studies, phytoplankton is the main component. A high level of organic matter and nutrients in the environment stimulates the formation of phytoplankton and the microenvironment. Furthermore, various water properties, such as temperature, fluidity, and so on, have an increasing effect on mucilage production. The purpose of this review is to describe how aggregates and mucilage are produced by dissolved organic matter (DOM) and microbial populations. Then, living groups discovered in the structure of mucilage during microbial ecology researches are discussed. Several examples of living organisms negatively affected by the development of mucilage were discussed following a detailed description of the dominant species observed in mucilage regions and case information.

### Keywords

Mucilage, Environment, Marine Snow, Microbial Ecology, Phytoplankton

### 1. Giriş

Yüzlerce kilometrelik kıyı şeridini kaplayarak aşırı büyük boyutlara ulaşabilen müsilaj, deniz karının (marine snow) jelatinimsi yapıda evrimleşmiş aşaması olarak da bilinmektedir (Danovaro vd. 2009; Gregson vd. 2021). Çevresel koşullara bağlı olarak oluşumu tetiklenen müsilajın yapısında bulunan ekolojik türler, oluşturdukları ortak yaşam topluluğu ile deniz ortamından ayrı bir mikroçevre oluşturarak müsilajın sürekliliğini sağlamaktadır. Bu yüzden müsilaj yapısında bulunan ekolojik türlerin tanımlanması müsilajla mücadelede önemlidir. Dünya çapında okyanuslarda, özellikle Akdeniz’de, Pasifik Okyanusu ve Kuzey Denizi ve son yıllarda Kaliforniya gibi ABD kıyılarında masif müsilajlı agregatların görülme sıklığı artmaktadır (Alldredge vd. 2002; Bongiorno vd. 2007).

\* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (212) 2853794 Faks: +90 (212) 2856545

E-posta: polatec@itu.edu.tr (Polat E), unverh@itu.edu.tr (Ünver H),

altinbas1@itu.edu.tr (Altınbaş M)

Gönderim Tarihi / Received : 23/01/2023

Kabul Tarihi / Accepted : 24/07/2023

Fransız kıyılarına yakın Güney Biscay Körfezi'nde, özellikle Adour Halici'nin güneyinde sıklıkla müsilaj oluşumu gözlenmektedir (Rouaud vd. 2019). Ayrıca, ülkemizde de 2020-2021 yılları arasında Marmara Denizi'nde yoğun bir müsilaj oluşumu gözlenmiştir. 2021 Mayıs ayında da gözle görülür hale gelen müsilajın İstanbul Anadolu yakasından görünümü Şekil 1'de gösterilmiştir. Karadurmuş ve Salı (2022) çalışmasında gerçekleştirilmiş müsilajlı bölgeyi inceleme amaçlı dalışlarda, Marmara Denizi'ndeki müsilaj yoğunluğunun denizin 5 ile 25 m derinlikleri arasında en yüksek değerde olduğu gözlenmiştir. Mikroalgal büyüme ile ilgili olarak tanımlanmış ve en göze çarpan müsilaj vakasının ise 1990'larda kuzey Adriyatik Denizi'nde meydana geldiği bilinmektedir. Deniz karı (0,5–1 cm çapındaki agregatlar) tüm okyanuslarda yaygın olarak görülebilirken, kuzey Adriyatik Denizi'ndeki bu müsilaj vakasında, agregatlar hem kıyı hem de açık deniz alanları olmak üzere yüz kilometrekarelik bir alanı kaplamıştır. Ayrıca, büyük yapıdaki bu agregatların oluşumunun, su kolonunun güçlü tabakalaşması ve kuzey Adriyatik havzasında tatlı suyun sirkülasyonunun azaldığı koşullarda ortaya çıktığı sonucuna varılmıştır (Zingone vd. 2021).



Şekil 1: İstanbul Anadolu yakasında fotoğraflanan müsilaj olayı

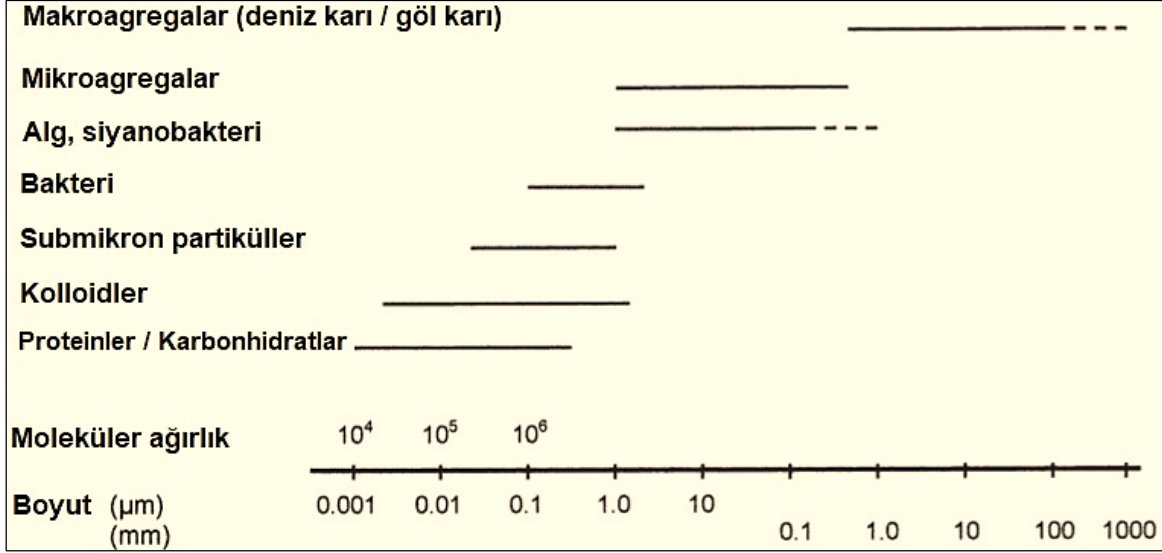
### 1.1. Deniz Karı ve Müsilaj Oluşumu

Sucul mikrobiyal ekoloji bilimi, partiküler organik maddenin (POM) su ortamındaki akıbeti ile ilgilenir ve karbon döngüsünün önemli bir parçası olan POM'ların biyolojik yada abiyotik yollarla üretimi, besin zincirine taşınımı ve batan POM'ların su kolonundan aşağıya doğru hareketi şeklinde farklı hareketleri inceler (Enke vd. 2018; Simon vd. 2002). Ayrıca, CO<sub>2</sub>'nin fotoototrofik fiksasyonunda POM'lar birinci dereceden rol oynar ve bu süreç, pelajik sistemlerde fitoplanktonlar ile kıyı bölgelerinde, sığ göllerde, nehirlerde ve haliçlerde ayrıca, başta makroalgler ve bentik mikroalgler olmak üzere makrofit tarafından gerçekleştirilir (Simon vd. 2002). POM, canlı biyokütleden oluşan toplam askıda maddenin önemli bir bileşenidir ve organik ve inorganik maddelerden oluşur. Organik madde bakımından zengin organik agregatların makroskopik formları (>500 µm) deniz karı olarak bilinir. Deniz sistemlerinde makroagregatlar kapsamlı bir şekilde araştırılmaktadır (Şekil 2).

Makroagregatlar, canlı, yaşlanmış veya ölü alglerden oluşan parçacıklardan oluşur, ve esas olarak diyatomlar, aynı zamanda kokolitoforitler (tek hücreli bitki çeşidi), dinoflagellatlar, filamentli siyanobakteriler, fitodetritus, diyatom frustülleri (kabukları), bakteriler, protozoa, zooplankton türleri ve karkasları, terk edilmiş larva evleri, pteropod (küçük bir salyangoz türü) ağları, dışkı toplıkları, makrofit döküntüleri, kil ve silt mineralleri, kalsit ve diğer çevreleyen sudan temizlenen parçacıklar olmak üzere çok farklı maddeleri yapısında barındırırken (Turk vd. 2010), makroagregatlarda bulunan diyatomlar ise agregatları temizleyerek organik madde açısından zengin hale getirir. Sığ denizlerde, haliçlerde ve kıyılarda, makrofit döküntüleri, yeniden süspansiyon haline gelmiş mineraller ve organik partiküllerin oluşumunda etkilidir. Yüksek bollukları nedeniyle, mikroagregatlar, makroagregatlar ile karşılaştırılabilir miktardadır ve bazı mikroagregat türleri oldukça uzun süre varlığını sürdürür. Özellikle, haliç ve gelgit ortamlarında, bulanık sularda, sığ denizlerde, yüksek miktarda mikroagregatlar yüksek miktarda yeniden süspansiyon edilmiş inorganik partiküller ile bulunur (Simon vd. 2002). Ayrıca, bazı durumlarda mikroagregatlar dayanıklılık göstererek ne makroagregat oluşturur ne de suya batma göstermez. Bu durum, düşük yapışma verimliliği ve Reynolds sayısının 1'in altında olması durumuyla açıklanmaktadır (Simon vd. 2002).

Deniz karı ve müsilaj farklı aşamalarla oluşurlar. Deniz karı, epipelajik zonun (0-200 m derinlik) öfotik (100 m derinliğe kadar az çok ışığın girdiği bölge) tabakasından mezopelajik zona (200-1000 m derinlik) ve ötesine inen ve nihayetinde deniz tabanına ulaşan  $\geq 500$  µm çapında agregatlar olarak tanımlanır (Gregson vd. 2021). Deniz karı yapısında, çeşitli organik ve inorganik parçacıklar, ökaryotik mikroalgler, bakteriler, arkeler, mikrozooplankton, mantarlar, virüsler, dışkı, detritus denilen ölü organik hayvan ve bitki kalıntıları ile besleme yapıları vardır ve bunlar

birbirine biyopolimerlerle bağlıdır (Gregson vd. 2021). Yapısında bulunan yüksek miktardaki bakteriler geniş yüzey alanı-hacim oranları sebebiyle, organik madde taşımada, dönüştürmede ve besinlerin çevriminde etkin özellik gösterirler (Gregson vd. 2021). Deniz karı oluşumu Çözünmüş Organik Madde (ÇOM)'nin Partikül Organik Madde (POM) yapısına dönüşmesi ile ilişkilidir. Deniz karı öncesi deniz mikroorganizmaları gözlenir. Deniz ortamında bulunan mikro veya nano boyuttaki ÇOM'ların yaklaşık %10'luk kısmı, deniz suyunda geçici olarak asılı duran ve POM halinde toplanabilen ve üç boyutlu polimer ağları oluşturmak üzere kendi kendine bir araya gelen deniz mikroorganizmaları oluştururlar (Gregson vd. 2021).



Şekil 2: Makroagregatların boyut dağılımı Simon vd. (2002) çalışmasından adapte edilmiştir

Deniz karı, mikroorganizmaları yüzeyden taşır ve derin su sütununda yaşayan organizmalar için önemli bir besin kaynağı sağlar ve atmosferdeki CO<sub>2</sub>'yi hapsederek karbon ve enerjiyi afotik bölgeye (ışık almayan bölge) taşıyan bir organik karbon pompası olarak görev yapar (Gregson vd. 2021). Deniz içine batan deniz karlarının batma hızları 1 ile 368 m/gün (ortalama 95 m/gün) aralığında değişkenlik göstermektedir (Gregson vd. 2021). Bozdansky vd. (2017) çalışmasında, bathyal bölgede (derinliği 1000 ile 4000 m arasında olan ve hemen hemen hiç ışık almayan bölge) büyük ve yavaş batan deniz karı partikülleri ile gerçekleştirdiği analiz sonucuna göre, bakterilerin sayısal olarak son derece baskın olduğu ve ayrıca, iki farklı ökaryotik grubun, labyrinthulomycetes (filament veya tüp ağı üreten bir protist sınıfı) ve mantarların, bakteri biyokütlesinin yaklaşık iki katı olacak şekilde deniz karını oluşturduğunu belirtilmiştir.

Yaz koşulları altında su sütunu tabakalaşması, deniz müsilajı olarak bilinen büyük kütleli tabakaların, ince tabakaların, yumaklar ve bulutlar halinde küçük boyutlu agregatlar olarak kademeli bir şekilde birleşmesini destekler (Danovaro vd. 2009). Bu birleşme, son aşama olarak da müsilajlı agregatları oluşturmaktadır. Müsilajlı makroagregatlar, fitoplanktondan türetilen refrakter polisakkaritler ve bakteriyel kapsüller materyal gibi organik maddelerin agregasyonun son aşamasını temsil eder. Biyolojik ve fiziko-kimyasal faktörlerin sinerjik etkilerinin denizel müsilaj oluşumuna ve kalıcılığına neden olabileceğine dair ortak bir görüş vardır (Cozzi vd. 2004; Umani vd. 2007). Bununla birlikte, müsilaj gelişiminden farklı etkenlerin de sorumlu olduğu öngörülmektedir (Bongiorni vd. 2007). Bunlar arasında, değişen inorganik besin kaynağı ve değişen stokiometrik N:P oranları, mikroalglerin fizyolojik stresi (Degobbis vd. 1999), artan mikroalg eksüda üretimi (Pajdak-Stós vd. 2001), mikrobiyal besin zincirinin bozulması (Danovaro vd. 2005), bakteriyoplankton kaynaklı viral enfeksiyonu ardından hücre lizisi ve çözünmüş organik madde (ÇOM) salınımının artması (Azam 1999) gibi etkenler sıralanabilir. Mikrobiyal döngünün hatalı çalışmasına dayanan müsilaj oluşumu hipotezi, ise organik madde bozulması ve kullanımı arasında bir kopukluk olduğunu öne sürer. Bu durumda, müsilaj oluşumu için bir ön koşul olan su sütununda polisakkaritlerin ve çözünmüş bileşiklerin yoğun bir şekilde birikimi ve ardından birleşmesi gerçekleşir (Azam ve Funari 1999; Bongiorni vd. 2007). Viral enfeksiyona bağlı hücre lizisi, hücre içi çözünmüş organik bileşiklerin salınmasına katkıda bulunduğunu bilinirken (Baldi vd. 1997; Bongiorni vd. 2007; Shibata vd. 1997), aynı zamanda, viral enfeksiyonun biyolojik olarak kullanılabilir ÇOM salınımını artırarak prokaryot büyümesinin sürdürülmesine ve dolayısıyla müsilaj bozulmasına katkıda bulunabileceği de varsayılmaktadır (Bongiorni vd. 2007).

Farklı deniz agregatları biyokimyasal bileşimlerinde ve mikrobiyal bolluk ve aktivitelerinde farklılıklar göstermektedir (Bongiorni vd. 2007; Del Negro vd. 2005; Precali vd. 2005; Stachowitsch vd. 1990). Müsilaj agregatlarının oluşumu, ömrü ve diyajenezinin, çeşitli mikrobiyal süreçlerdeki örneğin, substrat hidrolizi, prokaryot alımı ve biyokütle üretimi, substrat salınımı gibi değişikliklerle ilişkili olduğu da varsayılmaktadır. Müsilaj kümelerinin oluşumu, kümelerin yoğun mikrobiyal bozulması ile bunların heterotrof prokaryotlar tarafından sınırlı kullanımı arasındaki ÇOM birikimi ile başlar (Azam ve Funari 1999).

Prokaryotik karbon üretimi (PKÜ) ve bozunma oranlarının, agregatların yaşına bağlı olabileceği gösterilmiştir (Bongiorni vd. 2007; Grossart vd. 2003). Müsilaj, bir kez deniz dibine yerleştikten sonra, hipoksik ve/veya anoksik koşulların oluşmasını teşvik edebilir, bu da bentik ve epibentik (bento-nekton türleri dahil) organizmaları etkiler ve önemli sosyo-ekonomik etkileri olan balıkçılığa zarar verir (Bongiorni vd. 2007; Danovaro vd. 2005). Müsilajın daha kısa yaşam süresini ve daha hızlı çözünmesini destekleyebilecek, böylece kıyı ortamları üzerindeki etkisini azaltabilecek faktörleri ve çevresel koşulları tam olarak aydınlatmak için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır (Bongiorni vd. 2007). Dağılım, kolonizasyon ve yerleşme, müsilaj oluşturan mikroalgler için çok önemli aşamalarıdır (Richardson vd. 2007). Dağılım, yayılma basıncına ve habitatların konfigürasyonu gibi istila edilen bölgenin özelliklerine (elverişli veya elverişsiz bölgelerin boyutu gibi) bağlıdır (Caronni vd. 2015). Bir propagül dağıldıktan sonra, başarılı bir şekilde tekrar kurulması, habitatın fiziksel özelliklerine ve mevcut türlerle etkileşimlere bağlıdır. Habitat kalitesi, deniz tabanının, deniz arazisinin kullanım geçmişinin veya topoğrafyanın fiziksel özellikleri ile habitatı oluşturan türlerin özellikleri ile ifade edilmektedir (Richardson vd. 2007).

Temmuz 2021'de Marmara Denizi'nde Müsilaj agregalarının dikey dağılımı araştırmasında müsilaj kümelerinin dokuz farklı tipi tanımlanmıştır (Destan Öztürk vd. 2021). Bu tiplerden flok, tüm Marmara Denizi yüzey sularında görülürken, boyut olarak en büyük tip bulut şeklindeki kümelerdir. Müsilaj tiplerinin su kolonu içindeki dikey dağılımı farklı olup, tüm Marmara Denizi için aynı dağılım gözlemlenmiştir (Destan Öztürk vd. 2021). Ayrıca, müsilaj kümelerinin haloklinin altına geçip, alt tabaka suyuna ulaştığı görülmüştür. 2021'de görülen ve tüm dünyanın dikkatini çeken müsilaj vakasıyla ilgili gerçekleştirilen saha çalışmalarından elde edilen bilgiler, bu oluşumun tek bir nedenin sonucu olmadığını, artan deniz suyu sıcaklıklarının ve özellikle insan kaynaklı etkenlerin müsilaj oluşumunu tetiklediğini göstermektedir (Savun-Hekimoğlu ve Gazioğlu, 2021). İnsan kaynaklı etkenler olarak, evsel ve endüstriyel atıklar, yetersiz arıtma seviyeleri, aşırı avlanma, kıyı tahribatı ve yoğun gemi trafiği gibi etmenler sıralanabilir. Birçok çalışma ise, "derin deşarj" uygulamasının Marmara deniz ekosisteminin kapasitesini aşan besin yükünün gözlenmesine neden olduğunu göstermiştir. Bu durumu önlemek için, yayılı kaynaklardan gelen girdilerin kontrolü zorlu bir problem olsa da, atık su arıtma tesislerinden gelen noktasal kaynak girdilerinin, etkili arıtma tesislerinin işletmeye alınmasıyla başarılı bir şekilde azaltılabileceği öngörülmektedir (Savun-Hekimoğlu ve Gazioğlu, 2021).

### 1.2.1. Müsilajın Organik Fraksiyonlarının Özellikleri

Agregat oluşumuna yol açan tetikleyici mekanizmalar hakkında çok az bilgi bulunmaktadır. Spektroskopik teknikler kullanılarak farklı aşamalarda toplanan agregatlarının kimyasal bileşimine ilişkin sonuçlar, kuzey Adriyatik Denizi müsilajının organik fraksiyonunun, proteinler ve lipitler de küçük miktarlarda mevcut olmasına rağmen, esas olarak karbonhidratlar ve hümitik asitlerden oluştuğunu ortaya koymuştur (Cappiello vd. 2007; Kovac vd. 2004; Mecozzi vd. 2001). Müsilajlı kütlelerin ise, çözünmüş karbonhidratların partikül organik madde (POM) halinde toplanmasının sonucunda oluştuğu düşünülmektedir. Plankton tarafından salınan polisakkaritler, şeffaf ekzopolimerik partiküller (TEP) gibi daha büyük makrojellerin oluşumuna izin vererek, birbirlerine toplanabilen polimer mikrojelleri oluşturmak üzere kendiliğinden bir araya gelebilir (Engel vd. 2004; Passow 2000; Verdugo vd. 2004). Kuzey Adriyatik Denizi'nde yüksek nehir akışı dönemlerinde meydana gelen nitrat/fosfat oranındaki değişiklikten kaynaklı olarak, polisakkarit hücre dışı eksüdaların salınmasına ile birlikte diatom alglerinin bileşiminde ve büyüme hızında bir değişik gözlenmiştir (Cappiello vd. 2007; Penna vd. 1999). Buna karşın, bakteri-organik madde etkileşimlerinin bir sonucu olarak da müsilaj üretilebilir (Azam ve Funari, 1999). Deniz suyuna yüksek miktarlarda müsilajlı malzeme salındığında, iklim koşulları müsilajlı partikülleri su kütlelerinde yoğunlaştırmaya veya dağıtmaya çalışır (Cappiello vd. 2007).

Hücre dışı polimerik maddeler (EPS), denizlerdeki ÇOM'un önemli bir bileşenidir ve esas olarak polisakkaritlerden (%90'a kadar), aynı zamanda proteinlerden, glikoproteinlerden, nükleik asitlerden ve lipidlerden oluşurlar ve fitoplankton ve heterotrof mikroorganizmalar tarafından salgılanır veya ortama salınırlar (Gregson vd. 2021). Yapışkan özelliğe sahip olması ve asidik şeker yapıları nedeniyle deniz karı oluşumunda etkindirler. 5-50 nm aralığında değişen EPS nanofilleri, 100-200 nm büyüklüğündeki nanojelleri oluşturur ve polianyonik özellikteki bu nanojellerin  $Ca^{2+}$  ile çapraz bağlanması ile ÇOM polimer ağlarının oluşumu gerçekleşir. Oluşan bu ağlar, komşu nanojellerle çarpışarak 3-6 µm boyutundaki mikrojelleri oluşturur ve mikrojellerin çarpışıp toplanması ile birkaç yüz mikrometre boyutunda ve 0,4 µm polikarbonat filtrelerde tutunabilen makrojelleri oluşturur (Gregson vd. 2021). EPS'nin, şeffaf eksopolisakkarit (TEP) kısmı ise, ortamda bulunan partiküllerle agregasyon (yığın) oluşturarak biyolojik yapıştırıcı özellik göstererek deniz karının çökmesine neden olmaktadır (Gregson vd. 2021).

Heterotroflar, genellikle üronik asitlerce zengin polisakkaritler ile protein açısından zengin EPS içeriğine sahip kendi EPS'lerini üretirler (Gregson vd. 2021). Bakteriler tarafından üretilen EPS'nin ise, yüksek protein/ karbonhidrat oranına sahip olduğu ve hidrofobisite, yüzey gerilimi, ışıkla artan kimyasal çapraz bağlama ve batma hızı üzerinde doğrudan etkili olduğu söylenebilir. Fitoplankton hücre dışı salgımları içeriğinde bulunan n-birim oligoheksozların oligosakkaritlerin birincil kaynağı olduğu düşünülmektedir (Hama ve Yanagi 2001).

### 1.2.3. Müsilajın Yaşı

Müsilaj agregatlarının varlığı, agregatlar erken aşamalarda olsa bile su kolonundaki fitoplankton popülasyonlarını etkileyerek zengin bir diyatom topluluğunun gelişmesine izin verir ve nanofitoplankton büyümesini arttırabilir (Totti vd. 2005). Biyokimyasal bileşimleri için birlikte kümelenen müsilajın kompozisyonu, müsilaj ömrünün farklı aşamalarını temsil etmektedir (Precali vd. 2005). Karbonhidrat ve protein fraksiyonları genç kümelerden yaşlı agregatlara doğru artarken, lipid fraksiyonu müsilaj yaşlanmasıyla birlikte çok az değişmektedir. Agregatların karbonhidrat fraksiyonu, yaşlı agregatlarda çok daha hızlı artarak genel biyokimyasal bileşimde bir kayma meydana getirmektedir. Farklı müsilaj türlerinin biyokimyasal bileşimindeki kaymalar, mikrobiyolojik değişkenlerdeki değişikliklerle şekillenmektedir. Prokaryot ve viral bolluğun yanı sıra agregatlardaki prokaryotik karbon üretimi (PKÜ) ve enzimatik aktivitelerin değerleri ve ayrıca yüksek verimli kıyı bentik sistemlerinden bildirilen değerlerle karşılaştırılabilir seviyededir (Bongiorni vd. 2007; Manini vd. 2003).

Üç müsilaj yaşlanma aşaması tanımlanmaktadır: düşük prokaryot, viral bolluk ile PKÜ ve enzimatik aktivitelerin değerleri ile karakterize edilen genç aşama; tüm mikrobiyal parametrelerin en yüksek değerleri ve diğer kümelerle göre en yüksek zenginleştirme faktörleri (ZF) ile karakterize edilen olgun aşama; mikrobiyal değişkenlerin genç evre kümelerine benzer değerlere düşme eğiliminde olduğu yaşlı evre (Bongiorni vd. 2007). Çalışmalar karbon degradasyonu ile prokaryot biyokütlesine asimilasyon arasındaki dengesizliği sonucu gözlenecek Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK) birikiminin müsilaj gelişimi için bir ön koşul olabileceğini varsaymıştır (Umani vd. 2007). Olgun müsilajda meydana gelen böyle bir dengesizlik ise, müsilaj ömrünü uzatmak için potansiyel bir kendi kendini sürdüren mekanizmaya dönüşebilir (Bongiorni vd. 2007; Guglielmo vd. 2000).

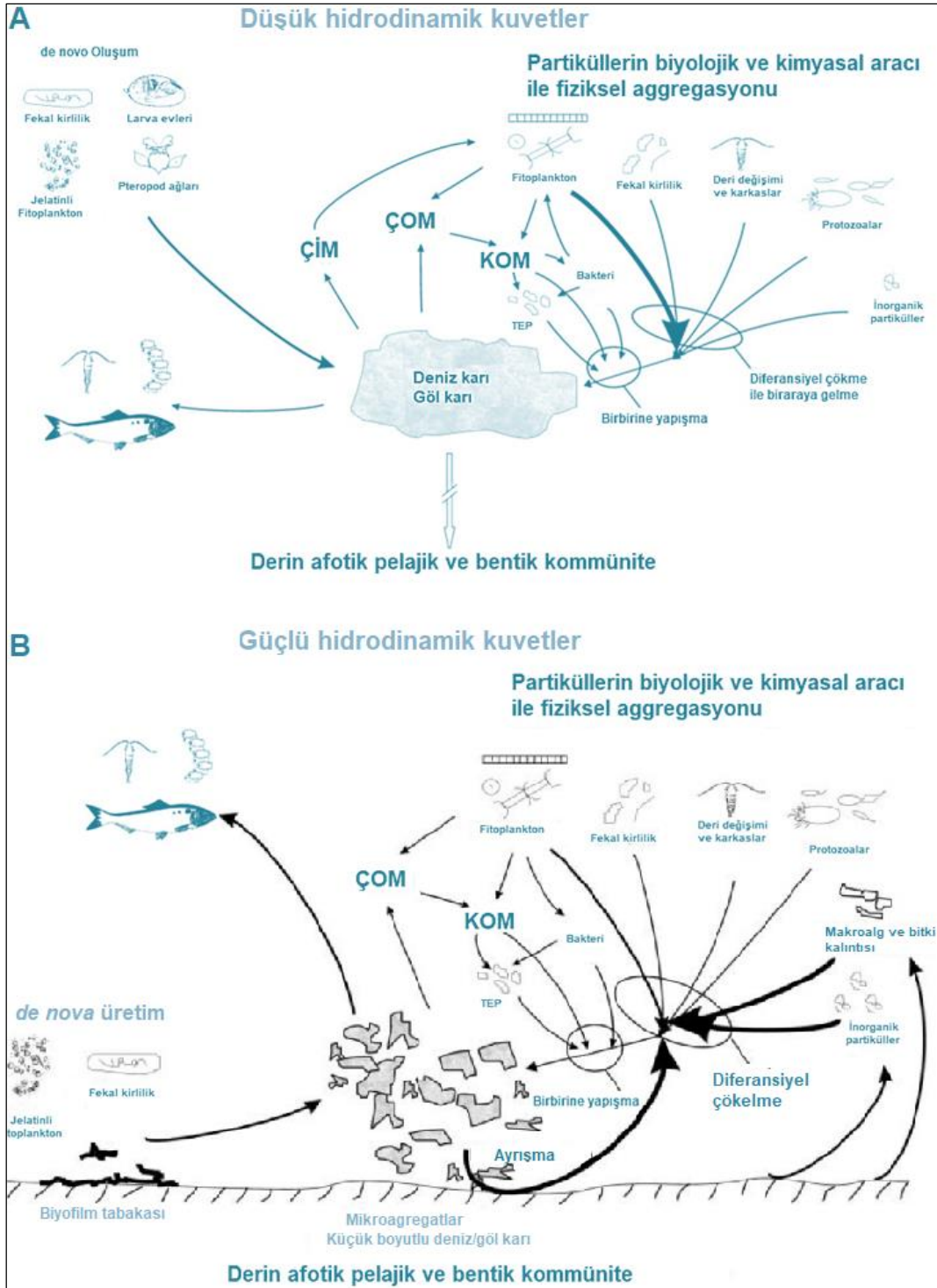
### 1.2.4. Partiküler Organik Madde (POM) Döngüsü

Organik agregatlar, kökenleri, boyutları ve yapısına bağlı olarak, değişken ve dinamik özellik gösterirler ve çevreleyen organizmalar, parçacıklar ve çözünmüş malzeme ile çeşitli şekillerde etkileşime girerek belirgin değişikliklere uğrarlar. Özellikle agregatlar oluştuktan sonra, agregat ile ilişkili heterotrof organizmaların faaliyetlerden büyük ölçüde etkilenme, agregatların kolonizasyon modeli ile açıklanabilir (Simon vd. 2002). Mikrobiyal komünite hakkında mikrobiyal kompozisyon ile mikrobiyal aktivite bilgilerinin bilinmesi agregasyon ve kolonileşmenin oluşumunu aydınlatmak için önemlidir.

Organik agregatların ve ilişkili olduğu mikroorganizmaların, POM, ÇOM ve inorganik besinlerin birçok yolla ayrıştırılmasında, çevriminde ve akışında etkin rol alır (Şekil 3). Pelajik deniz ve limnetik sistemlerde düşük hidrodinamik güç söz konusu iken, sığ ve türbiditeli deniz, haliç, nehir ve göllerde güçlü ve değişken hidrodinamik kuvvet söz konusudur (Simon vd. 2002). Pelajik deniz sistemlerinde makroagregatlar oldukça büyük, 500 µm ila >10 mm, ancak göllerde deniz sistemlerinden daha küçüktür. *De novo* agregat üretimi, çeşitli terk edilmiş larva evleri, pteropod ağları, koloni oluşturan siyanobakteriler ve *Phaeocystis* gibi jelatinimsi fitoplanktonlar gibi farklı kaynaklar ile gerçekleştirilebilir (Simon vd. 2002). Bakterilerin de TEP üretimi ve/veya kontrolünde etkili olduğu düşünülmektedir.

### 1.2.5. Batan Agregatlar

POM çözünürlüğü, substrat hidrolizi ve alımı, biyokütle üretimi, solunum ve substrat salınımı, organik agregatların ayrıştığı başlıca mikrobiyal ve ağırlıklı olarak bakteriyel süreçlerdir (Simon vd. 2002). Batan agregatların statik koşullarda inkübe edilen agregatlara göre 10 kata kadar daha yüksek bakteri ürettiği bilinmektedir. Batan agregatların etrafındaki akış hızları ise doğrudan agregatların mikroçevresini ve büyüme koşullarını etkilemektedir. Şekil 4'te batan agregatlar temsili olarak gösterilmiştir. Agregat ile ilişkili bakterilerin yüksek hidrolitik aktiviteleri ve yüksek metabolik aktivitelerinin bir sonucu olarak, Çözünmüş Organik Karbon (ÇOK), Çözünmüş Serbest Amino Asit (ÇSAA), Çözünmüş Bağlı Amino Asit (ÇBAA) ve inorganik besinler (fosfat, amonyum, nitrat, silikat) agregatlar çevredeki suya göre agregat içi suda önemli ölçüde daha yüksektir (Simon vd. 2002). Bu yüksek değerler, nutrient dönüşümünü ve ürünlerin hidrolizini artırarak biyokütle üretim hızlarını doğrudan artırmaktadır.

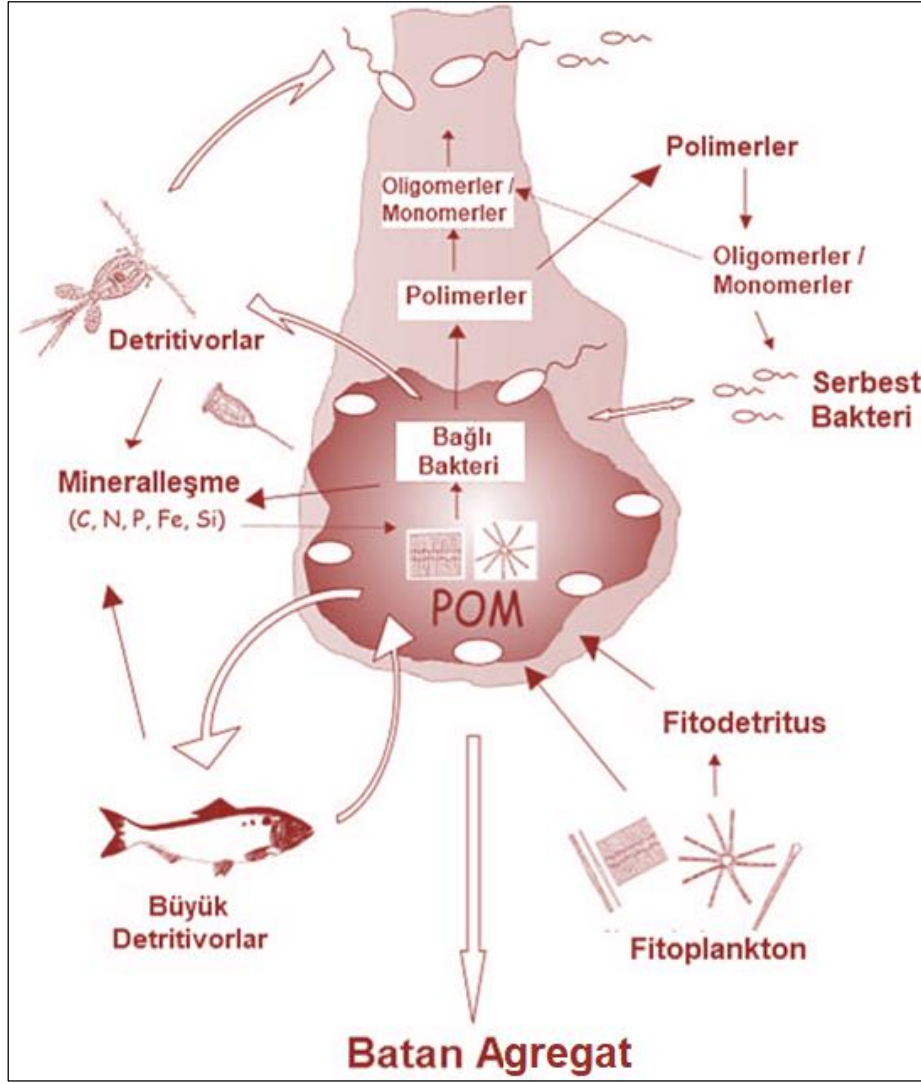


Şekil 3: Farklı ekosistemlerde makroskopik organik agregatların oluşum ve yok olma süreçleri; A) Düşük hidrodinamik kuvvetler (pelajik ekosistem), B) Güçlü hidrodinamik kuvvetler (türbid ekosistem) (ÇİM: Çözünmüş inorganik madde, ÇOM: Çözünmüş organik madde, KOM: Kolloidal organik madde)(Simon vd. 2002)

### 1.2.6. Oşinografik Özelliklerin Etkisi

1985–1998 yıllarında gerçekleştirilen araştırmalarda, havzadaki fiziksel ve biyojeokimyasal koşullardaki ani değişikliklerin, müsilaj oluşumu üzerinde büyük etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır (Cozzi vd. 2004). Deniz suyunun ısınmasının, agregat içermeyen yıllara göre müsilajlı yıllarda daha geç gerçekleştiği gözlenmiştir. 1997'de yüksek tuzluluğu ile bilinen Orta Adriyatik Derin Sularında, tuz oranının çok fazla düştüğü bildirilmiştir. 1989, 1991 ve 1997'deki müsilaj vakaları sırasında, havzadaki tatlı su içeriğinin de, 1992'den 1998'e kadar geçen agregatsız yıllara göre iki kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Cozzi vd. 2004).

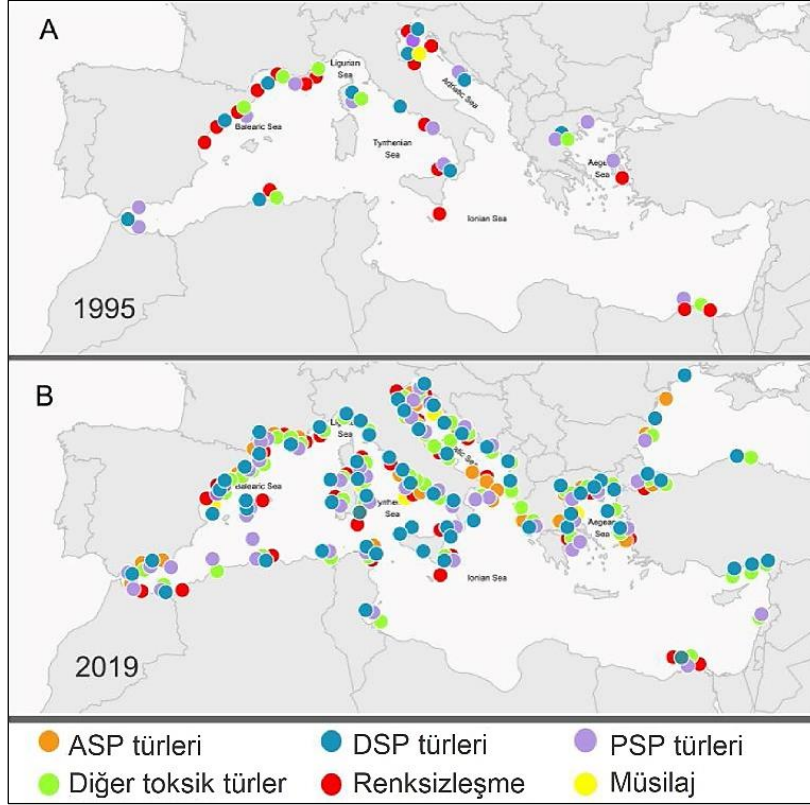
Bu fiziksel olarak zor olarak nitelendirilebilecek koşullara biyolojik tepki olarak ise aşırı bir fitoplankton patlaması raporlanmıştır. Müsilaj oluşumu için uygun materyal oluşturan çözünmüş organik azot (ÇOA) ve fosfor oranında güçlü bir artış tespit edilmiştir. Üst sulardaki besin içeriği incelendiğinde, ilkbaharda gözlenen fosfor ( $PO_4$ ) yoksunluğu durumundan müsilaj görünümüne eş zamanlı olarak, yaz aylarında çözünmüş inorganik azot (ÇİA) ve  $SiO_4$  yoksunluğuna kayma gözlenmiştir (Cozzi vd. 2005). Bu durum değişen Si/N/P oranları ile ilişkilendirilmektedir. Si/N/P değeri 225:105:1'den 21:13:1'e olacak şekilde değişim göstermiştir ve bu değişiklik, alg eksüdalarının fazla miktarda üretimini uyarabilir ve/veya organik maddenin bakteri bozunma kapasitesini değiştirebilen bir stres ortamı yaratabilir. Batan agregatların bozunmasının bir sonucu olarak da 1997 yazında daha derin sulara %55'e kadar güçlü hipoksik koşullara ulaşılmıştır. Artan oksijen tüketimi ile azot ve fosfor oranı incelendiğinde ise, yaşlı agregatlarda artan azot ve fosfor yoksunluğu ile karşılaşılmıştır (Cozzi vd. 2004).



Şekil 4: Makroskopik organik agregatların kaybolma süreçleri ve mikrobiyal ayrışma yolları. POM: Partiküler Organik Madde (Simon vd. 2002)

## 2. Müsilaj Bölgelerinde Görülen Ekolojik Türler

Deniz müsilajı, deniz habitatından ayrı bir mikro habitat özelliğine sahiptir. Deniz müsilajı, dünya çapında belirli kıyı bölgelerinde sıklıkla meydana gelen bir durumdur, birkaç gün veya haftalarca fotik bölgede görülebilmektedir. Deniz mikrobiyal topluluklarındaki dengesizlikler, bu oluşumun başlıca sebeplerindedir. Akdeniz'de potansiyel toksik alg türlerinin, müsilajların ve renk bozulmalarının dağılımı, 1995 ve 2019 yıllarında karşılaştırmalı olarak Şekil 5'te gösterilmiştir. Bu şekil incelendiğinde, özellikle müsilaj probleminin son yıllarda gözle görülebilir oranda arttığı görülmektedir.



Şekil 5: 1995 ve 2019 yıllarında Akdeniz'de potansiyel olarak toksik türlerin, müsilajların ve renk bozulmaları ile ilgili türlerin dağılımı (ASP: amnezik kabuklu su ürünü zehirlenmesi; DSP: diyaretik kabuklu su ürünü zehirlenmesi; PSP: paralitik kabuklu su ürünü zehirlenmesi) (Zingone vd. 2021)

Müsilaj üretebilen yerli olmayan bentik mikroalglerin hakkında nispeten az şey bilinmektedir. Moleküler verilerin hızlı elde edilebilirliği ve bol miktarda keşfedilmemiş mikrobiyal grupların varlığı, mikroorganizmaların ekolojisini anlamak için araştırmaların artmasını teşvik etmektedir. Atık su arıtımı, endüstriyel kimyasal üretim, farmasötik üretim, biyoremediasyon ve müsilaj oluşumu gibi birçok biyolojik süreçte spesifik mikrobiyal süreçlerin tanımlanması önemlidir (Prosser vd. 2007). Mikrobiyal ekoloji mikrobiyoloji, ekoloji ve ekosistem bilimini topluca inceler ve mikrobiyal ekolojide özellikle mikrobiyal tanımlamalar tekniklerle yönlendirilir fakat aynı zamanda sınırlıdır. Mikrobiyal ekolojistler, metagenomların sağladığı bilgiler ışığında, taksonomi ve ekoloji konusunda detaylı araştırmalarda bulunmaktadır (Taş vd. 2021).

Yabancı algler, dünya çapında birçok bölgede deniz florasının önemli bir bileşeni haline gelmiştir. Tropikal türlerin ılıman bölgelere doğru biyo-coğrafi alan genişlemelerinin bir sonucu olarak, iklim değişikliğiyle birlikte yayılma oluşumunun ve etkilerinin büyüklüğünün artacağı tahmin edilmektedir (Shears ve Ross 2009). Alan genişlemeleri, potansiyel olarak toksik bentik dinoflagellat *Gambierdiscus* sp. için belgelenmiştir (Heimann vd. 2011). *Chrysophaeum taylorii*, tropikal ve subtropikal Atlantik'teki Pelagophyceae'ye ait yaygın bir bentik mikroalgdir. Kolonileri, hücrelerin ürettikleri müsilaj içine rastgele gömüldüğü karakteristik demetlere yol açan saplar oluşturur. Son yıllarda, bu tür Akdeniz'de (Luglié vd. 2008), Sardunya (Caronni vd. 2015), Latium (Blasi vd. 2013) ve Türkiye (Aktan ve Topaloğlu, 2011) kıyılarında sıklıkla görülmektedir. *Chrysophaeum taylorii*'nin hücre bolluğunun makroalgler, yumuşakça kabukları ve kum üzerinde, mikroalglerin verimli bir şekilde yerleştiği ve alt tabakanın kolonizasyon seviyesinden ve stabilitesinden bağımsız olarak çoğaldığı sert granitik alt tabakalara göre önemli ölçüde daha düşük olduğu bulunmuştur.

Ayrıca, yapılan gözlemlerde *Chrysophaeum taylorii* yoğunluğu, 2 metrenin üstünde derinlikle azalmıştır, bu da bu türün yüksek ışık yoğunluklarına dayanabildiğini ve sığ suları tercih ettiğini göstermektedir (Caronni vd. 2015).

*Ostreopsis cf. ovata*, Akdeniz kıyılarının çoğunda yaygın olan, özellikle durağan evresinde çok çeşitli palitoksin benzeri bileşikler ve substratları tamamen kaplayabilen değişken miktarlarda mukus üreten zararlı bir bentik dinoflagellattır. Mikroalgal hücrelerden yoksun ancak *Ostreopsis cf. ovata* içeren müsilaj büyüme ortamında yapılan analizlerde, toksin içeriğine rastlanılmıştır (Giussani vd. 2015). Yapılan bir metagenomik çalışmada, Türkiye'de meydana gelen müsilaj olayı sırasında Çanakkale Boğazı'nda planktonik topluluklar arasında en baskın cinsin müsilaj üretme kabiliyeti olduğu bilinen *Alexandrium* olduğu belirlenmiştir (Yılmaz vd. 2021). Bazı *Alexandrium* türlerinin ürettiği toksinin insan sağlığı üzerinde ciddi etkilere ve çift kabuklu, karides ve balık ölümlerine yol açtığı bilinmektedir. Marmara Denizi'nde gerçekleştirilen bir çalışmada ise, fitoplankton bileşimindeki dikkate değer değişiklikler, çevre koşullarının olası etkisi ile açıklanmıştır (Durmuş vd. 2022).



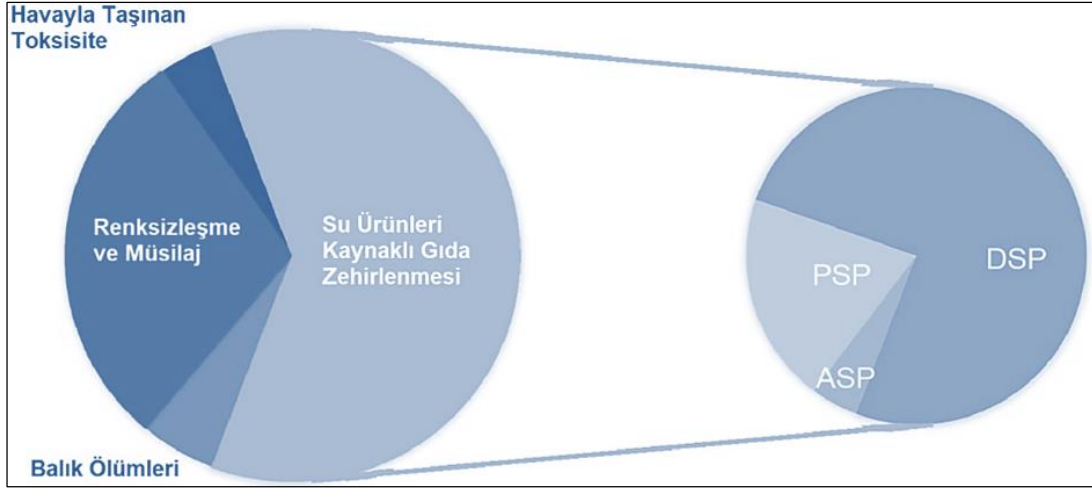
Yağışların ardından karasal akışlar sonucu akarsularla taşınan tatlı su girişlerinin artması sebebiyle, deniz ekosistemlerinde tatlı su mikroalg türlerinin artması söz konusu olmuştur ve Marmara Denizi'nde kaydedilen takson sayısı 417'ye yükselmiştir. Yeni mikroalg türlerinin gözlemlenmesi, mikroalg türlerinin çeşitli çevre koşullarına bağlı olarak indikatör organizmalar olarak kullanılabilceğini göstermektedir. Ayrıca bu çalışma sırasında yeni kaydedilen taksonlar arasında potansiyel olarak toksik ve/veya zararlı türler tespit edilmiştir. Bu çalışma döneminde kayıt altına alınan yeni taksonlardan Türkiye denizleri için 25 taksondan 2'si ve Marmara Denizi için 65 taksondan 9'u potansiyel olarak toksik ve/veya zararlı olarak tespit edilmiştir. Bunlar arasında müsilaj üretebilen *Phaeocystis globosa*, *Chrysophaeum taylorii*, *Ochrosphaera neopolitana*, *Coolia monotis* ve *Ostreopsis* spp. gibi türlerin yanı sıra, yüzeydeki müsilajdan sorumlu olduğu öne sürülen diğer türlerden *Phaeocystis* (*P. pouchettii*) cinsine ait başka türler de bulunmuştur (Durmus vd. 2022).

## 2.1. Mikroalgler

Bakterilerin alglerle simbiyotik ilişkisi söz konusudur. Bu durum "Fikosfer" ile açıklanmıştır. Fikosferde, kemostaktik algler tarafından salınan polisakkarit gibi hücre dışı polimerlerden yararlanılırken, alglerle ilişkili bakteriler tarafından remineralize edilmiş besinler, vitaminler ve diğer büyüme faktörlerinden yararlanırlar (Simon vd. 2002). Bakteriler serbest yaşayabildikleri gibi, alg yüzeyine tutunarak ya da alg hücrelerinin içinde de yaşayabilirler. Fakat her zaman bu durum söz konusu değildir. Fitoplankton ve heterotrof bakteriler, her zaman birbirinden fayda sağlamaz. Alg tarafından üretilen bazı maddeler (Örneğin, antibiyotik), fitoplankton hücre yüzeylerinde bakteri kolonileşmesini önleyebilir. Ayrıca, fitoplankton ve heterotrof bakterilerin ilişkisi parazitik forma dönüşebilir. Bu durum özellikle alglerin stres altında olması (Örneğin, vitamin eksikliği) durumunda gerçekleşir. Tablo 1 'de bazı müsilaj araştırmalarında tespit edilmiş diyatom türleri gösterilmiştir. Ayrıca, alg kaynaklı zararlı vakalar Harmful Algae Event Database, HAEDAT veritabanında yer almaktadır (URL-1, 2022). Zingone vd. (2021)'nin alg kaynaklı zararlı vakaları da incelediği çalışmasında, Akdeniz Bölgesi'nde gözlenmiş tehlikeli alg vakalarında müsilaj probleminin yüzde değerini belirlemiştir. Müsilajın diğer vakalar içindeki dağılımı Şekil 6'de gösterilmektedir.

Tablo 1: Bazı müsilaj çalışmalarında tespit edilmiş diyatom türleri

Tür	Yıl	Bölge	Yazar
<i>Cerataulina pelagica</i> <i>Chaetoceros</i> sp. <i>Cylindrotheca closterium</i> <i>Guinardia flaccida</i> <i>Guinardia striata</i> <i>Hemiaulus hauckii</i> <i>Leptocylindrus</i> sp. <i>Nitzschia</i> sp. <i>Pleurosigma</i> sp. <i>Pseudonitzschia delicatissima</i> <i>Pseudonitzschia</i> sp. <i>Proboscia indica</i> <i>Rhizosolenia hebetata</i> <i>Thalassionema frauenfeldii</i> <i>Thalassionema nitzschioides</i> <i>Thalassiosira</i> sp. <i>Achnanthes</i> sp. <i>Cylindrotheca</i> sp. <i>Navicula</i> sp. <i>Thalassiosira rotula</i> <i>Skeletonema costatum</i> <i>Cylindrotheca closterium</i> <i>Pseudonitzschia</i> sp.	1988-2002	Kuzey Adriyatik (Emilia-Romagna kıyısı)	Pompei vd. (2003)
	1999-2002	Toscana Takımadaları, Tiren Denizi	De Philippis vd. (2005)
	2020-2021	Marmara Denizi	Balkis-Ozdelice vd. (2021)



Şekil 6: Harmful Algae Event Database (HAEDAT) veritabanından elde edilmiş zararlı alg kaynaklı vakaların dağılımı (Zingone vd. 2021)

Bir çalışmada piko-, nano- ve mikrofitoplankton miktarı ve kompozisyonunun alansal ve zamansal varyasyonları, farklı boyut sınıflarının ekolojik rolü ile büyük müsilaj makroagregatlarının ortaya çıktığı dönemlerde meydana gelebilecek topluluk yapısındaki değişikliklere odaklanarak 37 aylık bir süre boyunca araştırılmıştır (Totti vd. 2005). Kuzey Adriyatik havzasını kapsayan bölgede, mikrofitoplankton (esas olarak diyatomlar) için kış sonu/ilkbaharda, nanofitoplankton için ilkbahar-yaz döneminde ve pikofitoplankton için yaz aylarında en yüksek bolluk gözlenmiştir. Ototrofik bileşenlerin ise, büyük müsilaj kümelerinin meydana geldiği yazlarda, diğer yazlara kıyasla daha bol bulunduğu tespit edilmiştir. Müsilaj olayı sırasındaki mikrofitoplankton topluluğu, *Chaetoceros* spp., *Cerataulina pelagica*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima*, *Cylindrotheca closterium*, *Dactyliosolen fragilissimus* gibi fırsatçı türler ile karakterize edilmiştir. Bununla birlikte, bazı *Ceratium furca* türleri, *Cylindrotheca closterium*, *Oxytoxum* spp., *Hemiaulus hauckii* ve *Gonyaulax fragilis*, büyük müsilajların yaz aylarında önemli ölçüde daha yüksek yoğunluklarla ortaya çıktığında raporlanmıştır (Totti vd. 2005). 2021 yılında Marmara Denizi'nde gözlemlenen yoğun müsilaj oluşumunda, gerçekleştirilen mikroskobik gözlemlerde Marmara Denizi'nin tipik baskın cinsleri olan *Protoperdinium* ve *Tripos* tür kompozisyonu açısından çok az gözlenmiştir. Fakat daha önce gözlemlenmemiş üç türün baskın hale gelmesi ve Cyanophyceae grubunun farklı türlerle temsil edilmesi bu dönemde müsilaj oluşumunda fitoplankton bileşiminin değiştiğini göstermiştir (Balkis-Ozdelice vd. 2021). Yüzey tabakasındaki köpüklü müsilajda *Phaeocystis pouchetii* (Prymnesiophyceae) ile *Skeletonema costatum*, *Cylindrotheca closterium*, *Thalassiosira rotula* (Bacillariophyceae) ve *Gonyaulax fragilis* (Dinophyceae), ve bentik habitatta iplikli müsilaj ürettikleri bilinen *Chrysoreinhardia giraudii* ve *Nematochryopsis marina* (Chrysophyceae) tespit edilmiştir (Balkis-Ozdelice vd. 2021). Bunun dışında, farklı müsilaj vakalarında çok sayıda dinoflagella türü gözlenmiştir. Örneğin, 1988-2002 yılları arasında Kuzey Adriyatik bölgesinde gözlenen dinoflagellatlar ve 2020-2021 yılları arasında Marmara Denizi'nde müsilajlı bölgede gözlenen dinoflagellatlar (Tablo 2).

## 2.2. Metazoa

Deniz, nehir ve nehir ağzı agregatlarında çok çeşitli metazoa bulunur. Zooplankton, en bilinen ve agregatlarda karşımıza çıkabilen metazoadır. Zooplanktonun, agregatların yüzeyinde görülme miktarı protozoa ve prokaryotlardan 10-100 kat aralığında daha yüksek olduğu bilinmektedir ve bu durum zooplanktonun ÇOM'ları kimyasal ipuçları ile algılaması ve batan agregatlara tutunması ile açıklanabilmektedir (Simon vd. 2002). Her zooplanktonun akıbeti bulunduğu ortama bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, kriller (Euphausiacea) deniz kabuklularının sahip olduğu yüzme davranışı, deniz karının parçalanmasına sebep olmaktadır (Simon vd. 2002). Ortamda bulunan TEP miktarı, krillerin diyatomlardan çok TEP'i yem olarak yutmasını tetikler. Makroagregatlarda bulunan makrozooplanktonla ve balıklarla beslenme mikrobiyal döngü ile besi döngüsünün daha yüksek trofik seviyeleri arasında doğrudan bağlantılıdır ve bakteriler makroagregatların proteininin %50'sini oluştururlar (Simon vd. 2002). Agregatların parçalanması, tüketimi ve mineralleşmesinde zooplankton aktif olarak rol alır. Fakat mekanizmayı anlamak için agregatlar ve metazoa ile ilgili daha fazla araştırma yapmaya ihtiyaç vardır. 2008 yılında Marmara Denizi'nde gözlenen müsilaj vakasında zooplankton üzerinde yapılan incelemede başta copepoda (bir eklem bacaklı türü) ve cladocera (su piresi) olmak üzere, *Mnemiopsis leidyi* (bir taraklı organizma) gibi zooplankton türevleri gözlenmiştir (İşinibilir-Okyar vd. 2015) (Tablo 3).

Tablo 2: Müsilajlı bölgelerde gözlenen dinoflagellatlar

Tür İsmi	Bölge	Yazar		
<i>Alexandrium</i> sp.	Kuzey Adriyatik (Emilia-Romagna kıyısı)	Pompei vd. (2003)		
<i>Amphidinium</i> sp.				
<i>Ceratium furca</i>				
<i>Ceratium fusus</i>				
<i>Dinophysis caudata</i>				
<i>Dinophysis rotundata</i>				
<i>Dinophysis sacculus</i>				
<i>Dinophysis</i> sp.				
<i>Gyrodinium</i> sp.				
<i>Gonyaulax polygramma</i>				
<i>Gonyaulax</i> sp.				
<i>Gymnodinium</i> sp.				
<i>Prorocentrum compressum</i>				
<i>Prorocentrum micans</i>				
<i>Protoperdinium</i> sp.				
<i>Kofooidinium velleloides</i>				
<i>Oxytoxum</i> sp.				
<i>Podolampas palmipes</i>				
<i>Protoperdinium diabolus</i>				
<i>Protoperdinium</i> sp.				
<i>Scripsiella</i> sp.	Marmara Denizi	Yılmaz vd. (2021) Akcaalan vd. (2023)		
<i>Spatulodinium</i> sp.				
<i>Alexandrium</i> sp.				
<i>Alexandrium margalefii</i>				
<i>Coolia monotis</i>			Durmus vd. (2022)	
<i>Ostreopsis</i> spp.				
<i>Gonyaulax fragilis</i>				
<i>Cochlodinium</i> sp.				
<i>Gymnodinium</i> sp.				Balkis-Ozdelice vd. (2021)
<i>Gyrodinium</i> sp.				
<i>Oxytoxum</i> sp.				

Tablo 3: 2008 yılında Marmara Denizi'nde gerçekleştirilen müsilaj ve zooplanktonla ilgili çalışmada tespit edilmiş zooplankton türleri (İşinibilir-Okyar vd. 2015)

Tür	Tür
Copepoda	Ctenophora
<i>Acartia clausi</i>	<i>Mnemiopsis leidy</i>
<i>Acartia</i> sp.	<i>Pleurobrachia pileus</i>
<i>Acartia tonsa</i>	Cnidaria
<i>Aetideus armatus</i>	<i>Aglaura hemistoma</i>
<i>Calanus euxinus</i>	<i>Aurelia aurita</i>
<i>Centropages ponticus</i>	<i>Medusa planula</i>
<i>Clytemnestra rostrata</i>	Siphonophora
<i>Corycaeus limbatus</i>	Meroplankton
<i>Ctenocalanus vanus</i>	Actinotroch larvası
<i>Euchaeta marina</i>	Bivalvia larvası
<i>Euterpina acutifrons</i>	<i>Cirripede nauplii</i>
<i>Lucicutia clausi</i>	Decapoda larvası
<i>Metridia lucens</i>	Echinodermata larvası
<i>Microcalanus pusillus</i>	Gastropoda larvası
<i>Microsetella rosea</i>	Balık yumurtası ve larvası
<i>Oithona nana</i>	<i>Pisidia longimana</i>
<i>Oithona setigera</i>	<i>Polychaeta</i> larvası
<i>Oithona similis</i>	Appendicularia
<i>Oncaea media</i>	<i>Fritillaria</i> sp.
<i>Oncaea minuta</i>	<i>Oikopleura dioica</i>
<i>Oncaea subtilis</i>	Chaetognatha
<i>Paracalanus parvus</i>	<i>Sagitta setosa</i>
<i>Pseudocalanus elongatus</i>	<i>Penilia avirostris</i>
<i>Scolecithricella abyssalis</i>	<i>Pleopis polyphemoides</i>
<i>Evadne nordmanni</i>	Cladocera
<i>Evadne tergestina</i>	

### 2.3. Protozoa

Heterotrof flagellatlar, siliatlar, sarkodinler ve amipler gibi protozoa türlerinin kolonize olarak mikro ve makro agregatları oluşturduğu bilinmektedir. Agregatlar üzerindeki protozoa topluluğu, bentik ve biyofilm ilişkili formlar için seçici farklı çevre koşulları olmasından dolayı çevreye suda bulunan protozoa türleri farklılıklar gösterir (Simon vd. 2002). Bazen, neredeyse tüm flagellatlar ve siliatlar agregatlarda bulunurken çok azı suda serbestçe asılı kalırmaktadır, bazense agregat ile ilişkili bakteri ve alglerle beslenen protozoa, agregat kaybını önlemektedir. Örneğin, *Noctiluca scintillans* diatom ile beslenirken agregatların kaybını önleyecek şekilde çoğalabilmektedir (Simon vd. 2002). Ayrıca, protozoa, amonyum ve birincil aminlerin rejenerasyonunda önemli rol oynamaktadırlar (Simon vd. 2002). Bakteri ve protozoanın agregatlar üzerinde birlikte etkisi çok fazla çalışılmamıştır. *Noctiluca scintillans* ve *Spatulodinium pseudonoclituca* türlerine Selanik koyu, Akdeniz bölgesinde 2017-2018 yılları arasında gözlenen müsilaj numunelerinde rastlanıldığı bildirilmiştir (Genitsaris vd. 2019).

### 2.4. Prokaryotlar

Prokaryotlar, ağırlıklı olarak bakteriler, şimdiye kadar incelenen hemen hemen tüm agregat türlerinde bulunmuştur. Bakteriler, agregatlar üzerinde üniform bir dağılım göstermezlerken genellikle mikrokoloniler oluşturur ve iplikli yapılar meydana getirirler (Simon vd. 2002). Agregat başına düşen bakteri sayısı agregat boyutuyla doğrudan ilişkilidir ve daha önceki çalışmalarda, en küçük mikro agregatlarda agregat başına <100 bakteri gözlenirken, 10 mm ve üzeri boyutuna ulaşan agregatlarda  $10^6$  adet bakteri gözlenmiştir (Simon vd. 2002). Agregatın yapısına bağlı olarak agregat ile ilişkili bakteri sayısının ortamdaki toplam bakteri sayısına oranı değişkenlik göstermektedir. Örneğin bu oran, pelajik ortamlarda %10'dan küçük iken, haliçlerde %90 ve üzeri olabilmektedir (Simon vd. 2002). Agregatlar üzerindeki bakteriler genellikle çevredeki sulara serbest yaşayan bakterilerden daha büyüktür. Örneğin, hücre başına 0,01 ve  $1,0 \mu\text{m}^3$  veya 30 ila >100 femtogram aralığındadır (Simon vd. 2002). Bu durum çevredeki sudan daha elverişli beslenme koşulları ile açıklanabilir.

Bakteri topluluklarını daha iyi anlamak için, agregatların yapısal bileşimi ile ilgili bakteri topluluklarının belirli rolleri ve işlevleri hakkında araştırma yapmak ve veriler elde etmek çok önemlidir. Bu amaçla çeşitli moleküler teknikler ile 16S rRNA geni veya parçalarının polimeraz zincir reaksiyon (PZR) veya rRNA hedefli farklı seçiciliğe sahip oligonükleotit problemleri ile floresan *in situ* hibridizasyon (FISH) tekniği kullanılarak incelenmesi mümkündür (Simon vd. 2002). Fakat filogenetik özellikleri belirlemek sülfat indirgeyiciler ( $\delta$ -Proteobakterilerin alt kümesi) veya amonyum oksitleyiciler ( $\beta$ -Proteobakterilerin alt kümesi) gibi birkaç bakteri grubu dışında fizyolojik özellikleri tanımlamak için etkili olmamaktadır. Birçok deniz ve haliç ortamlarında, deniz karı ve partikülle ilgili bakteri toplulukları hakkında bilgi, 16S rRNA genlerinin kısmen ya da tamamen dizilenmesi veya RFLP (Terminal kısıtlama parçası uzunluk polimorfizmi) bakteri komünitesindeki değişim ile açıklanabilmektedir (Simon vd. 2002). Bazı çalışmalarda  $\gamma$ -Proteobacteria yüksek iken, bazı çalışmalarda ise düşük popülasyon gözlenmektedir. Müsilaj popülasyon incelemelerinde siyanobakterilerle de çoğunlukla karşılaşmaktadır (Tablo 4).

Tablo 4: 1999-2002 yıllarında Toskana Takımadaları, Tiren Denizi bölgesinde müsilaj araştırmalarında ait tespit edilen siyanobakteri türleri (De Philippis vd. 2005)

Tür İsmi
<i>Leptolyngbya</i> sp.
<i>Lyngbya</i> sp.
<i>Rivularia</i> sp.
<i>Oscillatoria</i> sp.
<i>Symploca</i> sp.
<i>Aphanocapsa</i> sp.
<i>Gloeocapsa</i> sp.

### 2.5. Mantarlar ve Virüsler

Mantarlar, akarsulardaki diğer makrofit türevli materyaller ve yaprak çöpünün birincil ayrıştırıcılarıdır ve nehirler ve denizler çevresinde yaygın olarak bulunurlar. Makrofit türevi organik maddece zengin ekosistemlerde mikro ve makro agregatları kolonize ederler (Simon vd. 2002). Ancak, mikrobiyal ekoloji ve agregatların ayrışması konusunda mantarlarla ilgili bilgi boşluğu bulunmaktadır (Simon vd. 2002). Virüsler, tüm su ekosistemlerinde en bol bulunan bileşenlerdendir ve virüs benzeri parçacıkların sayısı olarak da bildirilen virüs miktarı, deniz ortamının yüzey sularında tipik olarak  $10^5$  ila  $10^8$  parçacık  $\text{ml}^{-1}$  aralığındadır (Danovaro vd. 2003). Müsilaj, virüs ve diğer patojenlerin büyümesi ve/veya hayatta kalmasıyla ilişkili mikrobiyal riski artırmaktadır. Deniz karı agregatlarındaki bakterilerin virüs enfeksiyonunun, serbest yaşayan bakteri topluluklarında bakteriyel ölümlere benzer bir önemi olduğu bilinmektedir.

Kuzey Adriyatik Denizi'nde yapılan son araştırmalar, su sütunundaki vibrioplankton ve bakteri miktarlarının, müsilajın ortaya çıkmasından önce ve sonra önemli farklılıklar göstermediğini bildirmiştir. Büyük agregatların virüsleri derinlere taşıma özelliği olmadığı, virüsü derinlere bakterilerin taşıyabildiği yapılan araştırmalarda bulunmuştur (Simon vd. 2002). Özellikle, virüslerde bulunan protein kapsitindeki (kapsülündeki) aktif bakteriyel aminopeptidaz enzimlerinin, virüsleri agregatlar içinde hızla parçaladığı düşünülmektedir.

### 3. Müsilaj Bölgelerinde Görülen Baskın Ekolojik Türler

Ariakae Sound halici, Japonya bölgesinde 2007 yılında *Coscinodiscus* sp. diyatomu popülasyonundaki artışa paralel ani bir şekilde müsilaj oluşumu gözlenmiştir (Fukao vd. 2009). Yapılan incelemelerde, *Coscinodiscus* sp. diyatomu tarafından üretilen TEP'lerin, D-mannoz ve/veya D-glukozdan daha fazla L-fukoz içerdiğini gözlenmiştir. Böylece yüksek L-fukoz içeriğine sahip bu tür TEP'lerin oldukça viskoz olduğu ve bu nedenle, *Coscinodiscus* sp. diyatomu tarafından üretilen TEP'lerin polisakkarit bileşiminin denizdeki müsilajın viskozitesini doğrudan etkilediği sonucuna varılmıştır (Fukao vd. 2009).

2007 yılında Adriyatik Denizi'nde gözlenen müsilaja ait tür çalışmalarında ise Ribozomal RNA (rRNA) intergenik dizi analizi (RISA) kullanılmıştır (Danovaro vd. 2009). RISA analizleri özellikle popülasyon çeşitliliği ve dağılımı hakkında bilgi elde etmek için tercih edilen kültürleme (cultivation) adımına ihtiyaç duyulmayan bir yöntemdir. Bu yöntemle yapılmış çalışmada, ayrıca toplam koliform, *Escherichia coli*, *Vibrio* sp. ve *Vibrio harveyi* gibi patojenik organizmaların varlığı bakteriyel 16S rRNA hedeflenerek floresan *in situ* hibridizasyon (FISH) tekniği de kullanılmıştır. RISA parmak izi tekniklerinin kullanılması, denizdeki müsilajın aynı zamanda bakteri çeşitliliğini açıklamak için önemliydi ve müsilajdaki ribotiplerin sayısının, çevredeki deniz suyundan ortalama olarak yaklaşık %65 daha yüksek olduğu görülmüştür (Danovaro vd. 2009). Günlerce, haftalarca ve hatta aylarca deniz yüzeyinde askıda kalabilen müsilaj, akıntılarla dağılırken farklı bölgelere farklı türde prokaryotik organizmaların taşınmasında etkili olduğu söylenmektedir (Danovaro vd. 2009). FISH analizleri sonucunda çok yüksek miktarda toplam koliform ve *Escherichia coli* varlığı müsilajda tespit edilmiştir ve bu patojenik bakterilerin dermatit gibi insan temasıyla oluşan hastalıklar ile rekreasyonel faaliyetleri sınırlayıcı özellik taşıdığı bilinmektedir.

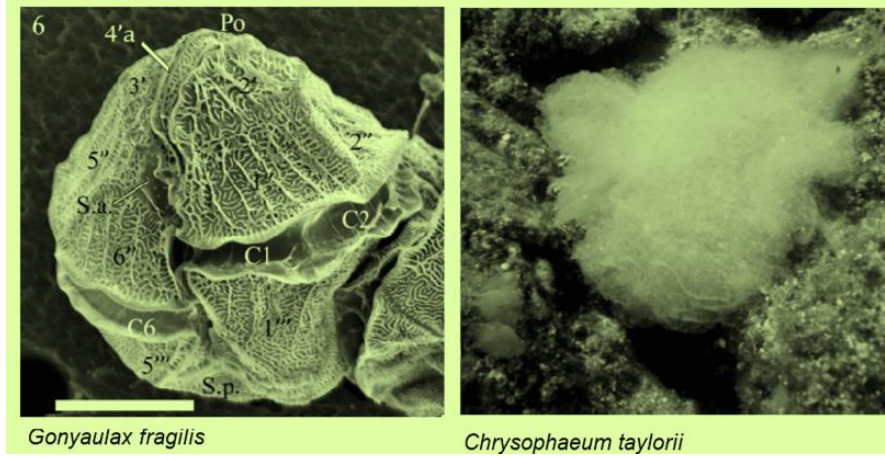
Sardunya Adası, İtalya açıklarında 2013-2017 yılları arasında gerçekleştirilen bir çalışmada, *Acinetospora crinita* (bir çeşit kahverengi alg) kaynaklı müsilaj agregasyonu olduğu gözlenmiştir (Piazzi vd. 2018). Yine Sardunya Adası, İtalya açıklarında gerçekleştirilen bir başka çalışmada ise, *Chrysothaeum taylorii* (bir çeşit altın sarısı alg) kaynaklı müsilaj yoğunluğunun nutrient zenginleştirme, mekanik rahatsızlık ve su türbülansı olması durumlarındaki değişimleri araştırılmıştır (Caronni vd. 2017). Elde edilen sonuçlarda, mekanik parçalama ve su türbülansı hem hücre yoğunluğu hem de müsilaj örtüsü üzerinde tutarlı etkiler yaratırken (mekanik parçalama ve su türbülansı sırasıyla her iki parametre için aynı etkiyi gösterirken), nutrient zenginleştirme zıt etki göstererek, müsilaj üretimini engellerken hücre yoğunluğunu artırmıştır.

Selanik şehir merkezinin kıyı cephesinden Mart 2017'den Şubat 2018'e kadar haftalık olarak incelenen su numunelerinde, dinoflagellatlar *Noctiluca scintillans* ve *Spatulodinium pseudonociluca* tarafından oluşturulan kırmızı gelgit olayları ile dönüşümlü gerçekleşen müsilaj vakalarında ise zararlı dinoflagellat *Dinophysis* cf. *acuminata* gözlenmiştir (Genitsaris vd. 2019). 2020 yazında Tavolara Punta Coda Cavallo Deniz Koruma Alanı'ndaki Sardunya Adası kıyısında, *Pseudo-nitzschia*, *Nitzschia* ve *Cylindrotheca* cinslerine ait diyatomlar (Bacillariophyta) ile *Cylindrotheca closterium* türünün yaygın olarak bulunduğu görülmüştür (Panizzuti vd. 2022).

Bangaram Atol'ünde 2018 yılında gerçekleştirilen çalışmalarda ise *Trichodesmium erythraeum* siyanobakterisinin filamentleri ile makroalg kalıntılarının *Prorocentrum rhathymum* (dinoflagellat, ateş rengi alg grubu) ile müsilajlı bir agregasyon (yığın) oluşturduğu görülmüştür (Thomas vd. 2021). *Prorocentrum rhathymum* türünün metafit özellikte olduğu ve müsilajlı matrisi aracılığıyla kendisini substratlara bağlayabildiği ve su sütununda kolayca yer değiştirdiği bildirilmiştir (Thomas vd. 2021). Bangaram Atol sularının gözlenen sakin resif koşullarının, yüzey sularında potansiyel toksik olarak nitelendirilebilen *Prorocentrum rhathymum* 'un varlığını desteklediği düşünülmektedir ve bu türün kumlu plaj ortamından su sütununa kayması ile yüzen makroalgler ve bunların müsilajlı kümelerinden kaynaklandığı söylenmektedir (Thomas vd. 2021). Özellikle, yüksek tuzluluk, yüksek deniz yüzeyi sıcaklığı ve makroalgall tallus denilen özelleşmiş vücut yapılarının tutunma için elverişli olması müsilajlı matrikslerin agregasyonunu tetiklediği bildirilmiştir (Thomas vd. 2021). Ayrıca daha sıcak ve daha az karışimli denizler müsilaj oluşumu için elverişli olduğundan, Marmara'da su sıcaklığı son 20 yılda dünya ortalamasının üzerinde 2 ila 2,5 santigrat derece artmasına bağlı olarak iklim değişikliğine bağlı ısınmanın müsilaj oluşumunu tetiklemesi beklenmektedir (Savun-Hekimoğlu ve Gazioğlu, 2021). Rouaud vd. (2019) ise çalışmasında, Adour Nehri membasında, üç farklı derinlikte bir yıl boyunca deniz mikrobiyal topluluk bileşimini ve dinamiklerini araştırmak için 16S ve 18S rRNA genlerini hedefleyen bir parmak izi yöntemi (fingerprinting, T-RFLP) kullanarak inceleme gerçekleştirmiştir. Yapılan incelemelerde, kış/ilkbahar ve yaz/sonbahar dönemleri olmak üzere iki farklı müsilaj kompozisyonu olduğu gözlenmiştir.

Yapılan çalışmada bir yıl boyunca, bakteri, arkea ve ökaryotların müsilajda, deniz tabanında, yüzey suyunda, sığ sularda ve orta katmanlarda nasıl değiştiği incelenmiştir. Müsilajın içinde arkea popülasyonuna rastlanmamıştır, bu da müsilajın deniz habitatından farklı bir mikrohabitat olduğunun en büyük kanıtı olarak nitelendirilmektedir.

Bentik müsilajlı agregatların oluşmasında başlıca beş filamentli makroalgün etkili olduğu söylenmektedir. Bunlar, *Acinetospora crinita*, *Tribonema marinum* isimli iki kahverengi alg ile *Nematochryopsis marina*, *Chrysonephos lewisii*, *Chrysophaeum taylorii* isimli üç adet chrysophyta (altın sarısı algler) sınıfı heterokonttur (Piazzı vd. 2018). Fakat farklı bölgelerde başka baskın türlere de rastlamak mümkündür. Çoğu müsilaj araştırmalarında müsilaja sebep olduğu düşünülen bazı türler baskın özellik göstermektedir (Tablo 5). Tabloda görüldüğü üzere, 2007-2008 yılları arasında Marmara Denizi'nde görülen *Gonyaulax fragilis*, *Cylindrotheca closterium*, *Skeletonema costatum*, *Thalassiosira rotula* baskın türlerinin müsilaj oluşturması düşük Redfield oranı ile açıklanmıştır (Tüfekçi vd. 2010). Pompei vd. (2003) çalışmasında ise, baskın tür *Gonyaulax fragilis* yapılan istatistiksel analizlerde müsilaj oluşumu ile pozitif korelasyon oluşturmuştur. Kuzey Adriyatik Denizi'nde gerçekleştirilen farklı çalışmalarda, *Nitzschia longissima*, *Nitzschia closterium* ve *Cylindrotheca closterium* gibi farklı türlerin baskınlık gösterdiği bildirilmiştir (Najdek vd. 2005; Revelante ve Gilmartin, 1991). *Gonyaulax fragilis* ve *Chrysophaeum taylorii* gibi müsilaj yapıcı organizmaların mikroskop ile görüntüleri ise Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 7: Bazı müsilaj yapıcı organizmalar (Aktan ve Topaloğlu 2011; Escalera vd. 2018)

Tablo 5: Müsilaj oluşumu gözlenen bazı bölgelerde tespit edilmiş baskın alg türleri

Müsilaj Tipi	Baskın Tür	Yıl	Bölge	Yazar	Notlar
Pelajik Bölge Müsilajı	<i>Gonyaulax fragilis</i>	2007-2008	Marmara Denizi	Tüfekçi vd. (2010)	96250 <sup>a</sup>
	<i>Cylindrotheca closterium</i>				161250 <sup>a</sup>
	<i>Skeletonema costatum</i>				Azot fosfor oranı (0,1-14,4), Redfield oranına göre düşük olması kaynaklı müsilaj oluşumunun gerçekleştiği düşünülmektedir.
	<i>Thalassiosira rotula</i>				131040 <sup>a</sup>
	<i>Phaeocystis</i> sp. (Prymnesiophyceae)	2006	Barcelona ve Cabrera (Katalan Kıyıları)	Arin vd. (2014)	1,62-15,4 · 10 <sup>6 a</sup>
	<i>Bacteriastrium</i> sp.				10 <sup>4</sup> -10 <sup>6 a</sup>
	<i>Rhizosolenia</i> sp.				
	<i>Pseudonitzschia</i> sp.				
	<i>Chaetoceros</i> sp.				
	<i>Gonyaulax hyalina</i>	2007	Marmara Denizi	Tas vd. (2020)	49 · 10 <sup>3 a</sup>
<i>Thalassiosira gravida</i>				241 · 10 <sup>3 a</sup>	
<i>Phaeocystis pouchetii</i>	2021	Marmara Denizi	Balkis-Ozdelice vd. (2021)	6,2 · 10 <sup>6 a</sup> (Kadıköy) 4,4 · 10 <sup>6 a</sup> (Marmaraereğlisi) 2,9 · 10 <sup>6 a</sup> (Burgazada)	
Bentik Bölge Müsilajı	<i>Nitzschia longissima</i>	1989	Kuzey Adriyatik Denizi	Revelante ve Gilmartin (1991)	Çevredeki deniz suyundaki yoğunluklarından bağımsız olarak, çalışma boyunca "makroagregat" mikroplankton komünitesine önemli bir katkıyı oluşturmuşlardır.
	<i>Nitzschia closterium</i>				
	<i>Gonyaulax fragilis</i>	1988-2002	Kuzey Adriyatik Denizi (Emilia-Romagna kıyısı)	Pompei vd. (2003)	<i>Gonyaulax fragilis</i> popülasyonu müsilaj oluşumu arasında pozitif korelasyon söz konusudur. 7,0 · 10 <sup>6 a</sup>
	<i>Cylindrotheca closterium</i>	2001-2002	Kuzey Adriyatik Denizi	Najdek vd. (2005)	Yeni oluşturulmuş müsilajlı agregatlarda bu türün baskınlığı söz konusudur. Özellikle yüksek tuzluluğun müsilajın aşırı üretiminde etkili olduğu vurgulanmıştır.
	<i>Nematochryopsis marina</i>	1999-2001	Capo Calvo (Elba Adası) Toskana Takımadaları yakını	Giuliani vd. (2005)	Özellikle bahar mevsiminde karşılaşmıştır.
	<i>Acinetospora crinita</i>				20 metre ve altı derinliklerde gözlenmiştir.
	<i>Chrysonephos lewisii</i>				<i>Paramuricea clavata</i> (bir mercan çeşidi) ile gerçekleştirilen araştırmada en büyük hasar gözlenmiştir.
	<i>Chrysophaeum taylorii</i>	2011-2013	Sardunya adasının kuzey doğusu	Caronni vd. (2015)	2 metre derinlikten sonra yoğunluğu azalmıştır.
	<i>Chrysophaeum taylorii</i>	2011	Ege Denizi (Bodrum kıyısı, Karaada ve Orak adası)	Aktan ve Topaloğlu (2011)	5-20 metre derinliklerde gözlenmiştir.
	<i>Syndera</i> sp.	1999-2002	Toskana Takımadaları, Tiren Denizi	De Philippis vd. (2005)	% 60 <sup>b</sup>
<i>Licmophora</i> sp.				% 40 <sup>b</sup>	
<i>Navicula</i> sp.				% 35 <sup>b</sup>	

<sup>a</sup> Tespit edilen maksimum hücre yoğunluğu (hücre L<sup>-1</sup> cinsinden)<sup>b</sup> Toplam analiz edilen numunelerin içinde, numunelerin gözlenme miktarı

#### 4. Müsilajdan Olumsuz Etkilenen Türler

Daha önceki araştırmalarda, Corallinales ve Peyssonneliales sınıflarına ait kırmızı algler (Rhodophyta), Knidiler (Cnidaria), deniz halkalı solucanları (Polychaeta) ve yosun hayvancıkları (Bryozoa) gibi canlılardan oluşan resiflerin değişen çevresel koşullardan olumsuz etkilendiği bildirilmiştir (Piazzı vd. 2018). Özellikle alg çimi (algal turf), bryozoaya (mikroskopik omurgasız yosun hayvancıkları), süngerlere ve gorgoniana (*Gorgonia* cinsi deniz mercanı) ait popülasyonlar incelendiğinde, müsilajlı bölgelerde alg çimlerinde popülasyon artışı olduğu gözlenmiştir (Piazzı vd. 2018). Bu durum özellikle, bryozoanın stres koşullarına karşı hassas organizmalar olmasına rağmen alg çimlerinin dayanıklı özellikte olmasıyla açıklanabilmektedir. Bu durum aynı zamanda, sediment tabakasında artışa da neden olabilmektedir. Müsilajlı agregatların aşırı büyümesi, daha az hareketli canlıların yüzeyini kaplamasıyla dibe yakın anoksik koşulların oluşmasına ve ışık penetrasyonunun azaltılması sonucunda bentik organizmalara ciddi ölçüde zarara yol açarak büyük miktarlarda organik maddenin bozunmasına bağlı olarak bentik hipoksiye neden olmaktadır (Piazzı vd. 2018). Bazı çalışmalarda müsilajın, denizkestanesi ve karındanbacaklı (gastropoda) türleri gibi otoburların doğrudan ve dolaylı etkilerinin incelenmesi gerekliliği vurgulanarak araştırılması tavsiye edilmiştir (Caronni vd. 2017).

2020 yılı sonbaharında, Marmara Denizi'nin tamamında büyük bir müsilaj vakası kaydedilmiş ve 2021 yılı yaz aylarına kadar süren bu vaka ile ilgili birçok araştırma gerçekleştirilmiştir. Özellikle Prens Adaları'nda su kolonundaki müsilajlı agregatların gorgonia üzerindeki etkileri incelenmiş ve Nisan-Temmuz ayları dört gorgonioan türünde kolonilerin müsilajla kaplı olduğu, bazı kolonilerin hala sağlıklı olduğu, bazılarının tam ölüm gösterdiği, diğerlerinin ise kısmi ölüm gösterdiği gözlenmiştir (Topçu ve Öztürk, 2021). Özalp (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda ise Çanakkale bölgesinde görülen müsilajın mercan habitatlarına olan etkisi incelenmiştir. Müsilajın, *Savalia savaglia*, *Paramuricea clavata*, *Eunicella cavolini*, *Polycyathus muelleriae*, *Axinella cannabina* ve *Parazoanthus axinellae* gibi canlıların yüzeyini floklama ya da bulut şeklinde kaplama olacak şekilde etkilediği belirtilmiştir. Karadurmuş and Sari (2022) tarafından gerçekleştirilen Marmara Denizi ile ilgili müsilaj araştırmalarında ise, kordalılarının artropodlardan daha fazla etkilendiği ve incelenen tüm ölü balıkların solungaç liflerinin tamamen müsilajla kaplandığı belirtilmiştir. Ayrıca, kıyı bölgesinde on sekiz aileye ait 10164 ölü birey gözlemlenmiş ve *Atherina* sp. 100 metrekare başına 3040 ölü birey ile en çok etkilenen takson olurken, onu *Engraulis encrasicolus*, *Spicara* sp., *Trachurus trachurus* ve *Sardina pilchardus* izlemiştir. Bu durum istasyonlarda ölçülen düşük çözünmüş oksijen seviyesi ( $2,4-4,6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) nedeniyle gelişen çok yoğun müsilaj oluşumunun öldürücü bir etkisi ile açıklanabilir.

#### 5. Sonuç

Müsilaj, içeriğinde farklı tip organizmalar bulundurması ve kimyasal özellikleri nedeniyle kompakt ve yoğun bir yapıdır. Müsilaj oluşumunda çözünmüş organik madde (ÇOM) ve partiküler organik madde (POM)'ler doğrudan etkilidir. Günümüzde organik agregatların mikrobiyal ekolojisi deniz ve limnetik sistemlerde oldukça iyi anlaşılmış ve ana süreçleri oluşturan ve ayrışan agregatlar tespit edilmiş ve bunlar ayrıntılı olarak incelenmiştir. Mikrobiyal hücre dışı polimerik maddelerin de müsilaj yapısında etkin rol aldığı bilinmektedir. Fakat, müsilaj birikiminin kökenini/mekanizmasını ekolojik türlerle ilişkilendirilerek açıklamak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç vardır.

Deniz mikrobiyolojisi ve ekolojisini daha iyi tanımlamak için geliştirilen yeni moleküler biyolojik tekniklerin kullanımı ile mikrobiyal çeşitliliğin döngü olarak analizi karmaşık biyokimyasal dönüşümlerin açıklanması için önemlidir. Mikrobiyal ekolojistlerin gerçekleştirdiği taksonomik analizlerde, özellikle, DNA ve RNA dizilemesindeki teknolojik ve erişilebilirlik konusunda gerçekleşen iyileştirmeler organizmaları tanımlamada problem olarak nitelendirilen hata payını da düşürecek ve düşük DNA ve RNA girdileri ile yüksek hassasiyette tür analizi yapılabilecektir. Müsilajın yapısında bulunan tanımlanmamış mikrobiyal davranışların da laboratuvar ortamında takip edilmesi ile, daha önce açıklanamamış türler arası mikrobiyal etkileşimler açıklanabilecektir. Ayrıca, müsilajla mücadele edebilmek için, su kolonu içerisindeki mikrobiyal taşınma, biyokimyasal bozunmalar gibi konuların daha fazla araştırılması önemlidir.

#### Kaynaklar

- Akcaalan R., Ozbayram E.G., Kaleli A., Cam A.O., Koker L., Albay M. (2023), *Does environmental DNA reflect the actual phytoplankton diversity in the aquatic environment? case study of marine mucilage in the Sea of Marmara*, Environmental Science and Pollution Research, 30(28), 72821-72831.
- Aktan Y., Topaloğlu B., (2011), *First record of Chrysophaeum taylorii Lewis & Bryan and their benthic mucilaginous aggregates in the Aegean Sea (Eastern Mediterranean)*, Journal of Black Sea/Mediterranean Environment, 17(2), 159-170.
- Allredge A.L., Cowles T.J., MacIntyre S., Rines J.E.B., Donaghay P.L., Greenlaw C.F., Holliday D.V., Dekshenicks, M.M., Sullivan J.M., Zaneveld J.R.V., (2002), *Occurrence and mechanisms of formation of a dramatic thin layer of marine snow in a shallow Pacific fjord*, Marine Ecology Progress Series, 233, 1-12, doi: 10.3354/meps233001.
- Arin L., Almada R., Sampedro N., Reñé A., Blasco D., Calbet A., Camp J., Estrada M., (2014), *Foam events due to a Phaeocystis bloom along the Catalan Coast (NW Mediterranean)*, Harmful Algae News, 27(48), 48-49.
- Azam F., Funari E., (1999), *Significance of bacteria in the mucilage phenomenon in the northern Adriatic Sea*, Annali Dell'Istituto Superiore Di Sanità, 35(3), 411-419.
- Baldi F., Minacci A., Saliot A., Mejanelle L., Mozetic P., Turk V., Malej A., (1997), *Cell lysis and release of particulate*



- polysaccharides in extensive marine mucilage assessed by lipid biomarkers and molecular probes*, Marine Ecology Progress Series, 153, 45-57.
- Balkis-Ozdelice, N., Durmuş, T., Balci, M., (2021), *A 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.
- Blasi F., Delaria M., Caronni S., (2013), *Prima segnalazione della microalga bentonica Chrysosphaeum taylorii Lewis e Bryan lungo le coste laziali*, Biologia Marina Mediterranea, 20(1), 120-121.
- Bochdanský A.B., Clouse M.A., Herndl G.J., (2017), *Eukaryotic microbes, principally fungi and labyrinthulomycetes, dominate biomass on bathypelagic marine snow*, The ISME Journal, 11(2), 362-373.
- Bongiorni L., Armeni M., Corinaldesi C., Dell'Anno A., Pusceddu A., Danovaro R., (2007), *Viruses, prokaryotes and biochemical composition of organic matter in different types of mucilage aggregates*, Aquatic Microbial Ecology, 49(1), 15-23.
- Cappiello A., Truffelli H., Famigliani G., Pierini E., Capellacci S., Penna A., Ricci F., Ingarao C., Penna N., (2007), *Study on the oligosaccharides composition of the water-soluble fraction of marine mucilage by electrospray tandem mass spectrometry*, Water Research, 41(13), 2911-2920.
- Caronni S., Bresciani A., Delaria M.A., Meloni F., Navone A., Panzalis P., Heimann K., Ceccherelli G., (2015), *Ecology of the benthic mucilage-forming microalga Chrysosphaeum taylorii in the W Mediterranean Sea: Substratum and depth preferences*, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 161, 38-45.
- Caronni S., Calabretti C., Cavagna G., Ceccherelli G., Delaria M.A., Macri G., Navone A., Panzalis P., (2017), *The invasive microalga Chrysosphaeum taylorii: Interactive stressors regulate cell density and mucilage production*, Marine Environmental Research, 129, 156-165.
- Cozzi S., Cantoni C., Precali R., Degobbi D., Catalano, G., (2005), *Relationship among hypoxia, mucilage events and circulation in the Northern Adriatic Sea*, Science, 7, 08829.
- Cozzi, S., Ivančić I., Catalano G., Djakovac T., Degobbi D., (2004). *Dynamics of the oceanographic properties during mucilage appearance in the Northern Adriatic Sea: analysis of the 1997 event in comparison to earlier events*, Journal of Marine Systems, 50(3-4), 223-241.
- Danovaro R., Armeni M., Corinaldesi C., Mei M.L., (2003), *Viruses and marine pollution*, Marine Pollution Bulletin, 46(3), 301-304.
- Danovaro R., Armeni M., Luna G.M., Corinaldesi C., Dell'Anno A., Ferrari C.R., Fiordelmondo C., Gambi C., Gismondi M., Manini E., (2005), *Exo-enzymatic activities and dissolved organic pools in relation with mucilage development in the Northern Adriatic Sea*, Science of the Total Environment, 353(1-3), 189-203.
- Danovaro R., Umani S.F., Pusceddu A., (2009), *Climate change and the potential spreading of marine mucilage and microbial pathogens in the Mediterranean Sea*, Plos One, 4(9), e7006, doi:10.1371/journal.pone.0007006.
- Degobbi D., Malej A., Umani S. F., (1999), *The mucilage phenomenon in the northern Adriatic Sea. A critical review of the present scientific hypotheses*, Annali dell'Istituto superiore di sanità, 35(3), 373-381.
- De Philippis R., Faraloni C., Sili C., Vincenzini M., (2005), *Populations of exopolysaccharide-producing cyanobacteria and diatoms in the mucilaginous benthic aggregates of the Tyrrhenian Sea (Tuscan Archipelago)*, Science of The Total Environment, 353(1-3), 360-368.
- Del Negro P., Crevatin E., Larato C., Ferrari C., Totti C., Pompei M., Giani M., Berto D., Umani S.F., (2005), *Mucilage microcosms*, Science of the Total Environment, 353(1-3), 258-269.
- Destan Öztürk İ., Mutlu S., Kaman G., Bayram Partal F., Demirtaş A., Çağlar S., Kuzyaka E., Altıok H., Ediger D., (2021), *Vertical distribution of mucilage typology in the water column after a massive mucilage formation in the surface waters of the sea of Marmara*, Journal of Black Sea/Mediterranean Environment, 27(2), 184-201.
- Durmuş T., Balkis-Ozdelice N., Taş S., Bayram Partal F., Balci M., Dalyan C., Sari M., (2022), *New records for microalgae species of the Turkish seas under the effect of intense mucilage in the sea of Marmara*, European Journal of Biology, 81(2), 144-162.
- Engel A., Thoms S., Riebesell U., Rochelle-Newall E., Zondervan I., (2004), *Polysaccharide aggregation as a potential sink of marine dissolved organic carbon*, Nature, 428(6986), 929-932.
- Enke T.N., Leventhal G.E., Metzger M., Saavedra J.T., Cordero O.X., (2018), *Microscale ecology regulates particulate organic matter turnover in model marine microbial communities*, Nature Communications, 9(1), 2743, doi:10.1038/s41467-018-05159-8.
- Escalera L., Italiano A., Pistocchi R., Montresor M., Zingone A., (2018), *Gonyaulax hyalina and Gonyaulax fragilis (Dinoflagellata), two names associated with 'mare sporco', indicate the same species*, Phycologia, 57(4), 453-464.
- 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.
- 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, doi:10.3390/d11080136.
- Giuliani S., Virno Lamberti C., Sonni C., Pellegrini D., (2005), *Mucilage impact on gorgonians in the Tyrrhenian Sea*, Science of The Total Environment, 353(1-3), 340-349.
- Giussani V., Sbrana F., Asnaghi V., Vassalli M., Faimali M., Casabianca S., Penna A., Ciminiello P., Dell'Aversano C., Tartaglione L., (2015), *Active role of the mucilage in the toxicity mechanism of the harmful benthic dinoflagellate Ostreopsis cf. ovata*, Harmful Algae, 44, 46-53.
- Gregson B.H., McKew B.A., Holland R.D., Nedwed T.J., Prince R.C., McGenity T.J., (2021), *Marine oil snow, a microbial perspective*, Frontiers in Marine Science, 8, 11, doi:10.3389/fmars.2021.619484.
- Grossart H.P., Hietanen S., Ploug H., (2003), *Microbial dynamics on diatom aggregates in Øresund, Denmark*, Marine Ecology Progress Series, 249, 69-78.
- Guglielmo L., Carrada G.C., Catalano G., Dell'Anno A., Fabiano M., Lazzara L., Mangoni O., Pusceddu A., Saggiomo V., (2000), *Structural and functional properties of sympagic communities in the annual sea ice at Terra Nova Bay (Ross Sea, Antarctica)*, Polar Biology, 23(2), 137-146.
- Hama T., Yanagi K., (2001), *Production and neutral aldose composition of dissolved carbohydrates excreted by natural marine phytoplankton populations*, Limnology and Oceanography, 46(8), 1945-1955.
- Heimann K., Capper A., Sparrow L., (2011), *Ocean surface warming: Impact on toxic benthic dinoflagellates causing ciguatera*,

- Encyclopedia of Life Sciences, doi: 10.1002/9780470015902.a0023373.
- İşinibilir-Okyar M., 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.
- Karadurmuş U., Sari M., (2022), *Marine mucilage in the sea of Marmara and its effects on the marine ecosystem: mass deaths*, Turkish Journal of Zoology, 46(1), 93-102.
- Kovac N., Faganeli J., Bajt O., Sket B., Orel B., Penna N., (2004), *Chemical composition of macroaggregates in the northern Adriatic sea*, Organic Geochemistry, 35(10), 1095-1104.
- Luglié A., Satta C., Padedda B., Pulina S., (2008), *What is Chrysophaeum taylorii Lewis & Bryan doing in Sardinia (Tyrrhenian Sea, Mediterranean)?*, Harmful Algae News, 36, 4-5.
- Manini E., Fiordelmondo C., Gambi C., Pusceddu A., Danovaro R., (2003), *Benthic microbial loop functioning in coastal lagoons: a comparative approach*, Oceanologica Acta, 26(1), 27-38.
- Mecozzi M., Acquistucci R., Di Noto V., Pietrantonio E., Amici M., Cardarilli D., (2001), *Characterization of mucilage aggregates in Adriatic and Tyrrhenian Sea: structure similarities between mucilage samples and the insoluble fractions of marine humic substance*, Chemosphere, 44(4), 709-720.
- Najdek M., Blažina M., Djakovac T., Kraus R., (2005), *The role of the diatom Cyclindrotheca closterium in a mucilage event in the northern Adriatic Sea: Coupling with high salinity water intrusions*, Journal of Plankton Research, 27(9), 851-862.
- Özalp H.B., (2021), *First massive mucilage event observed in deep waters of Çanakkale Strait (Dardanelles), Turkey*, Journal of Black Sea/Mediterranean Environment, 27(1), 49-66.
- Pajdak-Stós A., Fiakowska E., Fyda J. (2001), *Phormidium autumnale (Cyanobacteria) defense against three ciliate grazer species*, Aquatic Microbial Ecology, 23(3), 237-244.
- Panizzuti F., Citterio S., Gentili R., Navone A., Panzalis P., Provera I., Caronni S., (2022), *Microalgal characterization during a mucilaginous bloom on deep gorgonian forests of Tavolara Punta Coda Cavallo MPA*, Aquatic Microbial Ecology, 88, 161-165.
- Passow U., (2000), *Formation of transparent exopolymer particles, TEP, from dissolved precursor material*, Marine Ecology Progress Series, 192, 1-11.
- Penna A., Berluti S., Penna N., Magnani M., (1999), *Influence of nutrient ratios on the in vitro extracellular polysaccharide production by marine diatoms from the Adriatic Sea*, Journal of Plankton Research, 21, 1681-1690.
- Piazzi L., Atzori F., Cadoni N., Cinti M.F., Frau F., Ceccherelli G., (2018), *Benthic mucilage blooms threaten coralligenous reefs*, Marine Environmental Research, 140, 145-151.
- Pompei M., Mazziotti C., Guerrini F., Cangini M., Pigozzi S., Benzi M., Palamidesi S., Boni L., Pistocchi R., (2003), *Correlation between the presence of Gonyaulax fragilis (Dinophyceae) and the mucilage phenomena of the Emilia-Romagna coast (northern Adriatic Sea)*, Harmful Algae, 2(4), 301-316.
- 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.
- Prosser J.I., Bohannon B.J.M., Curtis T.P., Ellis R.J., Firestone M.K., Freckleton R.P., Green J.L., Green L.E., Killham K., Lennon J.J., Osborn A.M., Solan M., van der Gast C.J., Young J.P.W., (2007), *The role of ecological theory in microbial ecology*, Nature Reviews Microbiology, 5(5), 384-392.
- Revelante N., Gilmartin M., (1991), *The phytoplankton composition and population enrichment in gelatinous "macroaggregates" in the northern Adriatic during the summer of 1989*, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 146(2), 217-233.
- Richardson D.M., Holmes P.M., Esler K.J., Galatowitsch S.M., Stromberg J.C., Kirkman S.P., Pyšek P., Hobbs R.J., (2007), *Riparian vegetation: degradation, alien plant invasions, and restoration prospects*, Diversity and Distributions, 13, 126-139.
- Rouaud V., Susperregui N., Fahy A., Guyoneaud R., Bichon S., Liénart C., Del Amo Y., Savoye N., Gaudin P., Duran R., Lauga B., (2019), *Dynamics of microbial communities across the three domains of life over an annual cycle with emphasis on marine mucilage in the Southern Bay of Biscay resolved by microbial fingerprinting*, Continental Shelf Research, 186, 127-137.
- 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.
- Yılmaz S., Küçükler M.A., Kahraman D. (2021), *Metagenomic characterization of planktonic communities during a mucilage event in the Çanakkale Strait (Dardanelles), Turkey*, Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences, 6(3), 421-427.
- Shears N.T., Ross P.M., (2009), *Blooms of benthic dinoflagellates of the genus Ostreopsis; an increasing and ecologically important phenomenon on temperate reefs in New Zealand and worldwide*, Harmful Algae, 8(6), 916-925.
- Shibata A., Kogure K., Koike I., Ohwada K., (1997), *Formation of submicron colloidal particles from marine bacteria by viral infection*, Marine Ecology Progress Series, 155, 303-307.
- Simon M., Grossart H.P., Schweitzer B., Ploug H., (2002), *Microbial ecology of organic aggregates in aquatic ecosystem*, Aquatic Microbial Ecology, 28(2), 175-211.
- 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.
- Taş N., de Jong A.E.E., Li Y., Trubl G., Xue Y., Dove N.C., (2021), *Metagenomic tools in microbial ecology research*, Current Opinion in Biotechnology, 67, 184-191.
- Tas S., Kus D., Yılmaz I.N., (2020), *Temporal variations in phytoplankton composition in the north-eastern Sea of Marmara: potentially toxic species and mucilage event*, Mediterranean Marine Science, 21(3), 668-683.
- Thomas L.C., Nandan S.B., Padmakumar K.B., (2021), *First report on an unusual bloom of the potentially toxic epibenthic dinoflagellate Prorocentrum rhathymum from Bangaram Lagoon of the Lakshadweep archipelago: Arabian Sea*, Regional Studies in Marine Science, 41, 101549, doi: 10.1016/j.risma.2020.101549.
- Topçu NE., Öztürk B., (2021), *The impact of the massive mucilage outbreak in the Sea of Marmara on gorgonians of Prince Islands: a qualitative assessment*, Journal of Black Sea/Mediterranean Environment, 27(2), 270-278.
- Totti C., Cangini M., Ferrari C., Kraus R., Pompei M., Pugnetti A., Romagnoli T., Vanucci S., Socal, G., (2005), *Phytoplankton size-distribution and community structure in relation to mucilage occurrence in the northern Adriatic Sea*, Science of the Total Environment, 353(1-3), 204-217.

- Tüfekçi V., Balkis N., Polat Beken Ç., Ediger D., Mantıkçı M., (2010), *Phytoplankton composition and environmental conditions of a mucilage event in the Sea of Marmara*, Turkish Journal of Biology, 34(2), 199-210.
- Turk V., Hagström Å., Kovač N., Faganeli J., (2010), *Composition and function of mucilage macroaggregates in the northern Adriatic*, Aquatic Microbial Ecology, 61(3), 279-289.
- Umani S.F., Del Negro P., Larato C., De Vittor C., Cabrini M., Celio M., Falconi C., Tamberlich F., Azam F., (2007), *Major inter-annual variations in microbial dynamics in the Gulf of Trieste (northern Adriatic Sea) and their ecosystem implications*, Aquatic Microbial Ecology, 46(2), 163-175.
- URL-1, (2022), *Harmful Algal Event Database (HAEDAT)*, <http://haedat.iode.org>, [Erişim 20 Ocak 2022].
- Verdugo P., Alldredge A.L., Azam F., Kirchman D.L., Passow U., Santschi P.H., (2004), *The oceanic gel phase: a bridge in the DOM–POM continuum*, Marine Chemistry, 92(1-4), 67-85.
- Zingone A., Escalera L., Aligizaki K., Fernández-Tejedor M., Ismael A., Montresor M., Mozetič P., Taş S., Totti C., (2021), *Toxic marine microalgae and noxious blooms in the Mediterranean Sea: a contribution to the global HAB status report*, Harmful Algae, 102, 101843, doi: 10.1016/j.hal.2020.101843.