Denizlerdeki aşırı alg çoğalmaları; müsilaj, deniz salyası, dünya denizlerinden örnekler, sorunlar ve fırsatlar

Şölen DİKTEPE[1], Eşref AYLAN[1] ve Fulay YILDIZ[1]

1. Giriş

Denizel yaşam tıpkı karada olduğu gibi flora tarafından desteklenmektedir. Denizin en derin kısmıyla sınırlı kemosentez faaliyetleri bir yana bırakılırsa, denizel ekosistemin organik madde üretimini, suda çözünmüş inorganik besin maddelerinden güneş ışığını kullanarak organik madde sentezleyebilen fotosentetik canlılara borçlu olduğu söylenebilir.

Besin zincirindeki en alt halkayı oluşturan fitoplanktonlar, fotosentez yapabilen global biyokütlenin %1'inden azına karşılık gelmelerine rağmen, birincil üretimin %50'sini gerçekleştirmektedirler. Aynı zamanda, atmosfer-hidrosfer-litosfer yönünde ilerleyen CO_2 patikasında, bu gazı devasa miktarlarda transfer etme kapasitesine de sahiptirler (Field vd., 1998). Bu nedenle endüstriyel faaliyetler ile açığa çıkan karbondioksitin geri emilimi konusunda yakın gelecekte fitoplanktonlardan yararlanılması bile düşünülmektedir. Buna karşın, aynı faaliyetler ile açığa çıkan kirleticiler, giderek artan bir şekilde bu canlıları besleyerek, yakın zamanda dünyanın birçok yerinden gelmeye başlayan deniz salyası, köpük ve zehirli alg haberlerinde olduğu gibi, onların bir başka yüzünü de açığa çıkarmıştır. Son yıllarda gündeme gelen küresel ısınmanın önüne geçebilmek için gözler fitoplanktonlara çevrilse de, aşırı alg çoğalmalarını takip eden ekolojik felaketler bu canlıların fayda-zarar denkleminin neresinde bulunduklarını sorgulamaya başlamak gerektiğini göstermektedir.

Deniz salyası geçmişte sadece balıkçıların aşina oldukları bir doğa olayıydı; hatta bu olay için birbirine yakın adalardaki balıkçılar arasında bile farklı farklı isimler kullanılmaktaydı. Geçen yüzyılda turizmin gelişmesi ve son 40 yılda deniz salyası olaylarının sıklığının artarak balıkçılığı tehdit eder hale gelmesi, araştırmacıları bu olayların gelişimini anlamaya ve daha yüzeyde belirmeden önce, su kolonunda zaman içinde nasıl bir dağılım gösterdiğini izlemeye yönlendirmiştir. İronik bir şekilde, ekoloji üzerindeki güçlü ve yıkıcı etkilerine rağmen, kendi yapısı bir o kadar narin ve bu yüzden yerinde örneklenmesi neredeyse imkansız olan deniz salyası, 1980'lerden itibaren dalgıç gözlemlerinin ve su altı kamera sistemlerinin devreye girmesiyle artık su kolonunun farklı derinliklerinde incelenmeye başlanmıştır.

Aşırı alg çoğalmaları okyanusların kıyı ötesi kesimlerinde iyi tolere edilebilmelerine karşın, kapalı-yarı kapalı denizlerin ve genelde kıyı alanlarının ekosisteminde adeta bir sınır koşulu halini almaktadır. Bu nedenle, aşırı alg çoğalmalarının nasıl tetiklendiğini, hangi ortamlarda hangi mekanizmalarla ilerlediğini, olumlu ya da olumsuz ne tür sonuçlara yol açabileceğini ayrı ayrı ele almak gerekir. Bu yazıda aşırı alg çoğalmalarının genel özelliklerinden ve ortaya çıkardığı ürünlerden genel hatlarıyla bahsedildikten sonra, yakın zamanda en son örneği Marmara Denizi'nde görüldüğü gibi, farkı denizel ortamlardaki karakteristikleri, sebepleri ve sonuçları üzerinde ayrıntılı olarak durulacaktır.

1.1. Aşırı Çoğalma

Aşırı çoğalma (bloom) terimi, algler ele alındığında, genellikle bir, bazen de birkaç alg türünün topluluktaki diğer türlere nazaran hücre bolluğunda (abundance) ve ıslak ağırlık, karbon miktarı veya klorofil-a ölçümü ile hesaplanan biyokütlesinde, belirli bir sınırın üzerindeki artış ifade edilmektedir. Yeni hücre oluşumu hızının, hücre eksilme hızından fazla olması ve bu pozitif farkın yeterli bir süre devam etmesi şeklinde formüle edilebilir.

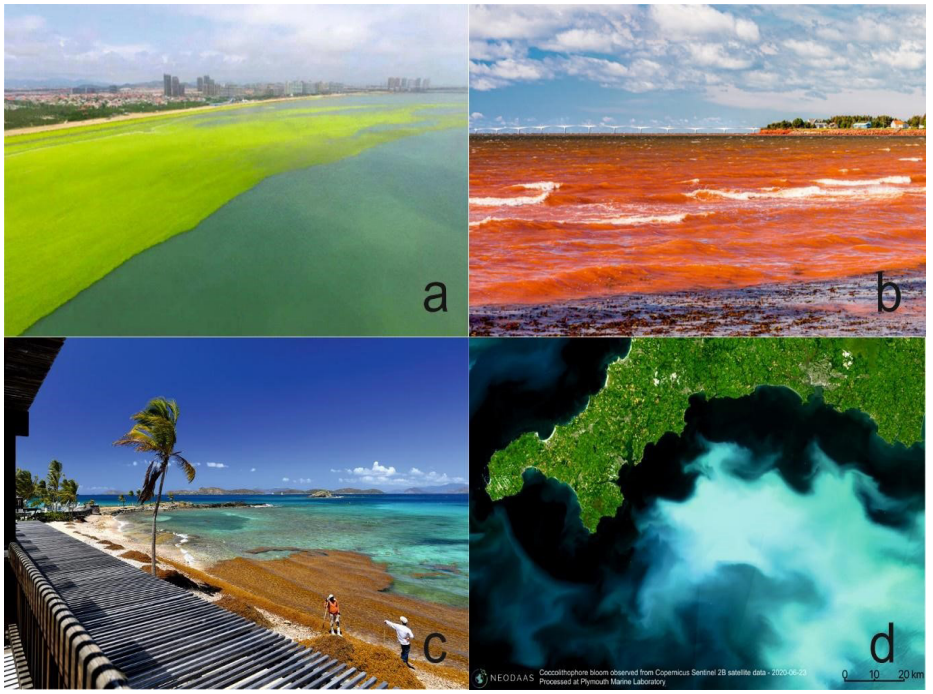
Bir olay olarak ele alındığında ise aşırı çoğalmaların bölge, sıklık, süre, yoğunluk (şiddet) ve su kolonundaki yerleşimi gibi özellikleri ön plana çıkmaktadır. Bu ölçekte bakıldığında her bir olay su yüzeyinde kendine özgü bir renk (yeşil, kırmızı, kahverengi, turkuvaz) ve geniş bir yayılım ile kendini göstermektedir (Şekil 1). Alg içeriğindeki klorofilin yanı sıra diğer pigmentlerden de kaynaklanan bu renklenme, olay özelliklerinin uzaktan algılama yöntemleriyle takibini de mümkün kılmaktadır.

1.2. Aşırı Çoğalma Olaylarını Gösteren Algler

Makroalgler

Makroalglerin aşırı çoğalmaları ılıman ve tropikal bölgelerdeki kıyı ekosistemlerinde sıklıkla

[1]Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Deniz Araştırmaları Dairesi Başkanlığı, Ankara.



Şekil 1- a) Sarı Deniz'deki Green Tide (Yeşil Dalga) (Zhang vd., 2019), b) Red Tide (Kırmızı Dalga), c) St. Thomas Adası (Karayip Denizi) kıyısında Brown Tide (Kahverengi Dalga) (Alain Brin, Blue Glass Photography), d) Manş Denizi güneybatısında kokolitoforların aşırı çoğalmasının uydu görüntüsü (Copernicus Sentinel Uydu Verisi - 26/03/2020 - https://pml.ac.uk/news/Huge-coccolithophore-bloom-spotted-from-space).

karşılaşılan olaylardır. Su yüzeyinde parlak yeşil bir battaniye şeklinde yayıldığı için "Green Tide" olarak adlandırılan bir görünüm sergilerler (Şekil 1a). Dünya genelinde kıyı suları ve haliçlerden bildirilen *Ulva* sp., *Enteromorpha* sp., *Cladophora* sp., *Enteromorpha* sp., *Chaethomorpha* sp., *Gracilaria* sp., *Caulerpa* sp., *Chaetomorpha* sp. türlerinin aşırı çoğalmalarının bazıları göl ve akarsu ortamlarında da gerçekleşmektedir.

Mikroalgler

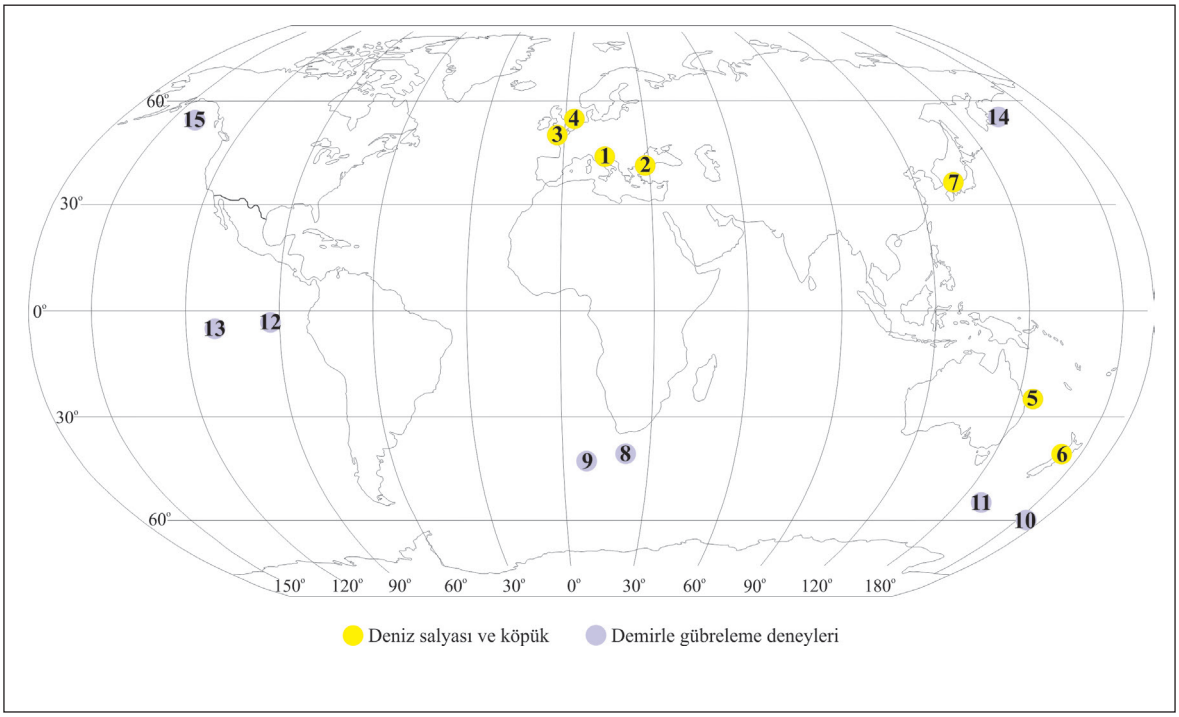
Bentik, epitelik, simbiyotik ve pelajik formları mevcuttur. Fitoplankton olarak bilinen pelajik formlar arasında, aşırı çoğalma özelliği olan dinoflagellatlar, diyatomlar, kokolitoforlar ve siyanobakteriler sayılabilir. Bunların farklı türleri farklı enlem kuşaklarında dağılım göstermektedirler (Şekil 2).

1.3. Aşırı Çoğalmayı Sınırlayıcı Faktörler

Aşırı çoğalmaların tümünde ortak tek bir özellik belirtmek gerekseydi, herhalde bu onların dönemselliği olurdu. Sadece buradan hareketle dahi, çoğalma hızının, aşırı değil dengeli seyrettiği diğer dönemlerde, bazı faktörler tarafından sınırlanmakta olduğu sonucuna varılabilir. Sınırlayıcı faktör belirlenebilirse, çevre yönetiminde birçok diğer faktör arasında öncelikle ona odaklanmak, aşırı çoğalmanın da kontrol altında tutulmasını sağlayabilir.

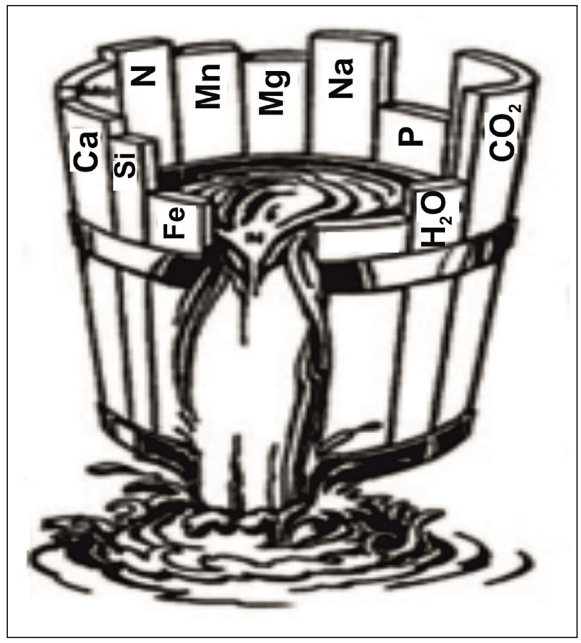
Canlılar büyüme ve çoğalma için birden çok besleyici maddeye ve fiziksel koşula ihtiyaç duyarlar. Oysa ki doğa bu ihtiyaçların tümünü aynı anda ve ideal miktarlarda karşılamaz. Böylece canlının gereksinimleri arasında en yetersiz karşılanan biri ya da birkaçı, o +canlının çoğalması için sınırlayıcı faktör haline gelir (Şekil 3).

Türden türe ve ortamdan ortama değişiklik göstermekle birlikte, besleyiciler deniz suyunda ve fitoplankton bünyesinde sabit bir ortalama oran dahilinde bulunmaktadır (Redfield, 1934). Son dönemde yapılan araştırmalar ile revize edilen bu oran (Redfield Oranı) 106 karbon - 16 nitrojen - 1 fosfor - 0,0075 demir ile ifade edilmektedir. Hücre biyokütlesi en çok nitrojen ve fosfor kullanılarak inşa edilirken, enzimler ve fotosentez için gerekli proteinler ise demir kullanılarak üretilmektedir.



Şekil 2- Müsilaja neden olan aşırı alg çoğalmalarının gerçekleştiği önemli lokasyonlar: Adriyatik Denizi (1), Marmara Denizi (2), Manş Denizi (3), Kuzey Denizi (4), Tasman Denizi (5), Tasman Körfezi (6), Akira Sound (7); demir gübreleme deneyleri: Caruso (8), Eifex (9), SoFeX (10), Soiree (11), IronEX1 (12), Iron EX2 (13), Seeds (14), Series (15) (De Baar vd., 2005).

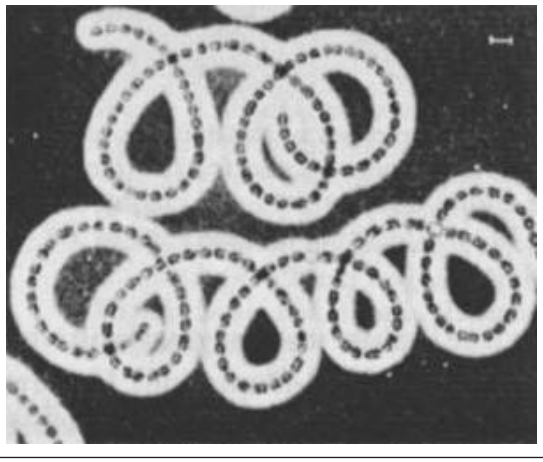
Fitoplankton biyokütlesinde ve birincil üretimde ihtiyaç duyulan faktörlerden her biri ortamdaki miktarına ve alg türüne bağlı olarak sınırlayıcı olabilir. Atmosfer kaynaklı CO_2'nin, deniz suyundaki konsantrasyonu yüksek olduğu için genellikle çoğalmayı sınırlayan bir faktör olarak sayılmamakla birlikte, karbonik asidin suda karbondioksite dönüşme hızının, fitoplankton çoğalma hızına ayak uyduramadığı nadir ortamlar CO_2-sınırlamalı olarak nitelendirilebilir. Işık sınırlaması, gün ışığının az ulaştığı bölgeler, derinlikler ve dönemler için geçerlidir; örneğin, deniz buzullarının eriyerek incelmelerine bağlı olarak, ışık geçirgenliklerinin artması, buzul altında bir aşırı alg çoğalmasını başlatabilir. Atmosferdeki azottan (N_2'den) ve denitrifikasyon süreci ile biyolojik kaynaklardan gelen nitrojen denizlerde ve göllerde sınırlayıcı (N sınırlaması) iken, fosfor daha çok denizlerdeki birincil üretim üzerinde sınırlayıcıdır (P sınırlaması). Nitrat ve fosfat konsantrasyonunun yüksek olduğu denizel alanlarda ise demir sınırlayıcıdır (Fe sınırlaması). Son olarak, diyatomların camdan oluşan dış iskeletlerini inşa etmek için fazlaca silisyum'a ihtiyaç duymaları nedeniyle silisyum dioksit (SiO_2) demirle birlikte bu canlılar için eş-sınırlayıcıdır (Si sınırlaması).



Şekil 3- Doğada canlıların çoğalma potansiyeli birbirinden farklı uzunluklarda çıtalardan yapılmış bir fıçının hacmine benzetilirse, çoğalma en kısa çıtanın boyu ile sınırlı olacaktır (Liebig, 1840).

1.4. Aşırı Alg Çoğalmalarının Çevreye Etkileri

Aşırı alg çoğalmalarının çevre üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri görülmektedir. Olumlu etkileri arasında, besin zincirine katkı sağlamaları ve iklimi kontrol altında tutmaları sayılabilir. Olumsuzlukların başında gelen deniz salyası ise, aslında, bazı fitoplankton türlerinin suda asılı kalmak ve böylece güneş ışığından daha fazla yararlanmak üzere salgıladıkları hücresel müsilajdan (Şekil 4) kaynaklanmaktadır.



Şekil 4-Müsilaj zarfı ile sarılı bir fitoplankton kolonisi.

1.5. Zararlı Aşırı Alg Çoğalmaları

Bazı dinoflagellat ve diyatom türleri toksik maddeler salgılayarak çevrelerindeki diğer organizmalara ve onlarla beslenen canlılara zarar verirler. Salgıları toksik olmayan türler ise, durgun su koşullarında, deniz salyası oluşumuna zemin hazırlar. Deniz salyası, su kolonunun üst kesimlerinde başlayan ve ardından yüzeyden deniz tabanına kadar tüm denizel ortamı etkileyen bir çevre problemi yaratabilir. Bu problemin oluşum süreçleri aşağıda sırasıyla tanıtılmaktadır:

Mikro Süreçler

a. Fitoplanktonların müsilaj salgılaması,

b. Organizmanın ölümü ve hücre duvarının bozunması,

c. Okyanus yüzey sularında deniz karı ile bakterilerin etkileşimi, bakterilerin hücre dışı enzimler ile deniz karındaki polisakkaridleri ve proteinleri yıkması ve bu yolla çözünmüş organik madde üretmesi,

d. Su kolonundaki prokaryotlar kimyasal gradyanlara hassas oldukları için, bunların deniz karındaki besleyici maddelerin yoğunluğunu algılayarak oraya yerleşmesi; böylece hem bu organizmaların hem de onları etkileyen virüslerin sisteme eklenmeleri,

e. Prokaryotların yukarıdaki mekanizmalarla oluşan maddeleri hidrolize etme potansiyellerinin düşük olması nedeniyle yapışkanlığın süreklilik kazanması,

f. Fitoplanktonların ve prokaryotların viral enfeksiyonları (hücre parçalanması yoluyla çözünmüş organik maddenin açığa çıkması),

g. Suyun ışık geçirgenliğinin, dolayısıyla oksijen üretiminin azalması,

h. Zooplanktonların ürettiği karbondioksitin birikimi ve asidifikasyon,

i. Zooplanktonların kalan oksijeni tüketmeye devam etmesi ve hipoksi/anoksi oluşumu.

Makro Süreçler

a. Ötrofikasyon: Denizel ortama kirlilik kaynaklı besleyici gelimi veya besince zengin dip sularının yükselmesi ile gerçekleşmektedir.

b. Su kolonu durgunlaşması: Hem sıcaklık ve tuzluluk koşullarının su kolonunda uzun süreli tabakalanmaya neden olması, hem de dalga, akıntı, gel-git ve seyşe gibi türbülans etkenlerinin eksikliği suda durağanlığa neden olabilmektedir.

Yukarıdaki süreçlerin bir arada işlediği, yani ötrofikasyonun da etkin olduğu sıcak ve sakin alanlarda, aşırı alg çoğalmalarının deniz salyasına doğru ilerlemesi kaçınılmazdır.

1.6. Müsilaj tipleri ve su kolonundaki dağılımları

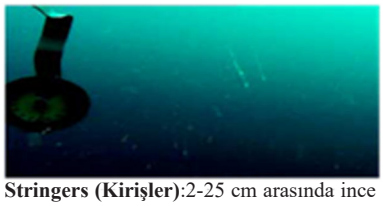
Müsilajın su kolonunun arka plandaki hidrodinamik özelliklerinden dolayı, suyun farklı derinliklerinde değişik formlarda bulunduğu bilinmektedir.

Agregaların tipolojisi sualtı kamerası gözlemleri kullanılarak sınıflanır. Bu gözlemler belirli metrelerdeki agregaların türü, boyutu ve bolluğu hakkında genel bir bilgi sağlamaktadır. Bu sınıflama, Kuzey Adriyatik'te gözlemlenen en sık agrega türlerinden yola çıkılarak geliştirilmiştir (Çizelge 1)

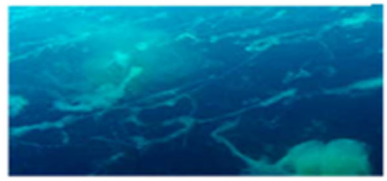
Çizelge 1- Kuzey Adriyatik Denizi'nde gözlenen makroagrega türlerinin tanımı ve görüntüleri (Precali vd., 2005).

Flocs (Yumaklar):0,5 mm'den 1cm'ye kadar küçük boyutlu agregalardır.

Macroflocs (Makro Yumaklar):1-5 cm arası küresel veya düzensiz agregalardır.

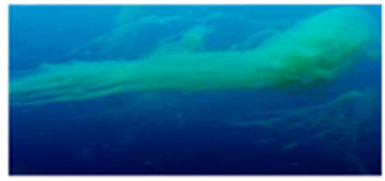


Stringers (Kirişler):2-25 cm arasında ince uzun agregalar; birkaç milimetre kalınlıkta, tipik olarak bir kuyruklu yıldız şeklinde; beyazımsı renktedir.



Ribbons (Kuşaklar):10 ile 20 cm' den 1m' ye kadar; birkaç santimetre kalınlığında; genellikle beyaz ve sarı renktedir.

Cobweb (Örümcek Ağı): Kirişlerden oluşan ağ benzeri agregalar, dikey olarak birkaç metreye ulaşabilir ve yatay olarak onlarca metre uzayabilir, genellikle beyazımsı renktedir.



Clouds (Bulutlar): 0,5 ila 3-4 m arasında uzunca şekilli büyük agregalardır. Bir "baş" ve bir veya daha fazla "kuyruk" ile oluşmuş; genellikle sarı renkli yapılardır.

False Bottom (Yalancı taban): Kiriş ve makrofloklardan oluşan yoğun tabaka; birkaç milimetreden onlarca santimetreye kadar kalınlıktadır; genellikle piknoklinde bulunur.

Blanket (Örtü): Tekdüze kayalıkları kaplayan birleşik agrega tabakası ve bentik organizmalar, sarıdan kahverengiye dönük renkte bulunurlar.

Creamy surface layer (Kremsi yüzey tabakası): 15 cm kalınlığa kadar kirişlerden veya serbest topraklardan oluşturulmuş; yüzeyde veya doğrudan yüzeyin altında yüzer.

Gelatinous surface layer (Jelatinli yüzey tabakası): Kompakt bir süngerimsi görünüm katmanı, yüzeyde yüzen, çoğunlukla sarımsı veya kahverengi; onlarca kilometre uzanan uzun bantlarla birkaç yüz metreye kadar genişlemektedir.

(Stachowitsch vd., 1990). Bu türler: floc (yumak), makroflocs (makro yumaklar), stringers (şeritler), ribbons(kuşaklar), cobweb (örümcek ağı), clouds (bulutlar), false bottom (yalancı taban), blanket (örtü), creamy surface layer (kremsi yüzey tabakası), gelatinous surface layer (jelatinimsi yüzey tabakası) olarak sınıflandırılmıştır (Precali vd., 2005).

1.7. Dünya Denizlerinden Örnekler ve Gelişim Süreçleri

Aşırı alg çoğalmaları kıyı bölgeleri başta olmak üzere dünya denizlerinin bir çok yerinde zaman zaman görülmektedir. Bu çoğalmaların önemli bir bölümü denizel ekosistemin doğal süreçleri, bir bölümü ise kontrollü bilimsel çalışmalar aracılığıyla gerçekleşmektedir. Araştırmacıların ele aldığı başlıca denizler; Adriyatik ve Tiren Denizi, Marmara Denizi, Tasman Körfezi, Tasman Denizi, Karadeniz, Japon Denizi, Alaska Körfezi, Güney Denizleri'dir (Şekil 2).

Karadeniz

Noctiluca scintillans aşırı çoğalmaları 1970'lerden itibaren Karadeniz ekosisteminde etkin olmaya başlamıştır. Bu tür, bulunduğu çevre için oksijen tüketimi, yüksek miktarda ammonia üretmesi ve solungaç tıkanmasına neden olması gibi olumsuz etkiler gösterebilmektedir. İlk red-tide olayı 2011 Nisan ayında Rize kıyılarından rapor edilmiştir (Kopuz vd., 2014).

Yeni Zelanda (Tasman Körfezi)

Bahsedildiği ilk tarih 1860'tır. Göçmenlerin günlükleri ve gazete haberlerinde bahsedilmiştir. Sonraki olayların 1900, 1901, 1956, 1960, 1962, 1964, 1979, 1981'de gerçekleştiğine bakılırsa, bunların 1956'dan sonra sıklaştığı görülmektedir. Genellikle kış sonu, ilkbaharda görülmüş, bazen yaz sonuna kadar sürdüğü kaydedilmiştir. Yoğun/yaygın deniz salyası olayları balıkçılığa olan olumsuz etkileri nedeniyle tariflenmeye başlanmış ve sonraki olaylarda da bu etki yinelenmiştir. Zararlı alg çoğalmaları rapor edilmekle birlikte, bunların sayısı pek azdır (MacKenzie vd., 2002).

Queensland, Avustralya (Tasman Denizi)

Bir Siyanobakteri olan Trichodesmium erythraeum aşırı çoğalmasına bağlı red-tide olayları Avustralya kıyı sularında mevsimsel olarak görülmektedir. Denizde renklenmeye yol açması dışında zararlı bir çevresel etki göstermeyen bu olayların yanında, balıklar için zararlı Cochlodinium helix gibi dinoflagellat aşırı çoğalmaları ve insan için de toksik Gambierdiscus toxicus ve Alexandrium catenella gibi dinoflagellat türlerinin aşırı çoğalmaları da bildirilmiştir (Gillespie vd., 1986; Holmes vd., 1991; Hallegraeff, 1992).

Japon Denizi

Kyushu'nun kuzeybatısında Ariake Sound'u çevreleyen kıyı sularında düzenli olarak deniz salyası oluşumu rapor edilmektedir. Bunlardan 2007 sonbaharındaki oluşum sırasında yapılan araştırmalarda, salyanın beyaz-sarımsı ve yarı saydam iplik, tutam, yumak ve boyutları birkaç milimetre ile birkaç metre arasında değişen kümelenmeler halinde bir yapı sergilediği görülmüştür. Akiera Sound'da pek çok farklı alg türüne bağlı aşırı çoğalmalar gerçekleşse de, bunlardan sadece *Coscinodiscus granii* (*Coscinodiscus* spp.) aşırı çoğalmasının salya oluşumu ile neticelendiği bildirilmiştir. Bu gözlem, salya oluşumunun tür bağımlı bir olay olabileceğini göstermektedir (Fukao vd., 2009).

2. Adriyatik ve Tiren Denizleri'nde Müsilaj Hadisesi

İlk resmi kayıtlara göre deniz salyası hadisesi 1729 tarihinde (Fonda-Umani vd., 1989) Adriyatik kıyılarında gözlenmiştir. Bilim adamlarının dikkatini ise ilk kez 1872'de Trieste Körfezi'nde çekmiştir. Bununla birlikte, müsilajlar Adriyatik'te, daha sık olarak en kuzey kesiminde tekrarlayan bir olaydır.

Organik agregalar dünya okyanuslarında her yerde bulunur ve deniz ekolojisinde önemli bir yer tutar. Tipik olarak birkaç milimetreden onlarca santimetreye (deniz karı) kadar değişmekle birlikte (Alldredge ve Silver, 1988; Alldredge ve Jackson, 1995) daha büyük oluşumların meydana geldiği bilinmektedir. Müsilaj, devasa boyutlara ulaşabilen ve yüzlerce kilometrelik kıyı şeridini kaplayabilen deniz karının jelatinimsi bir evrim aşamasıdır (Herndl, 1988) ve değişen çevresel koşullara sahip su sistemlerini karakterize eder. Tiren Denizi'nde pelajik müsilajlı agregaların genişletilmiş görünümü sadece 1991 ve 2000'de gözlenirken, bentik müsilaj daha sık oluşmuştur. Başlıca müsilaj üreticilerinin Chrysophyceae grubundan iki alg türü (*Nematochrysopsis marina* ve *Chrysonephos lewisii*) ve bir kahverengi alg türü (*Acinetospora crinita*) olduğu tespit edilmiştir. Bu türlerden biri olan *Chrysonephos lewisii*, özellikle doksanlı yıllarda, Tiren ve kuzey Adriyatik Denizi'nin çeşitli bölgelerinde, erişilebilir biyotopları hızla işgal ederek, Akdeniz'e yakın zamanda girmiştir (Precali vd., 2005).

Kuzey Adriyatik için yürütülen çalışma, Haziran 1999'dan Temmuz 2002'ye kadar su kolonunda oluşan müsilaj kümelerinin tipolojisini tanımlamak ve fiziksel görünümleri hakkında bilgi sahibi olmak için yapılmıştır (Precali vd., 2005) (Çizelge 1).

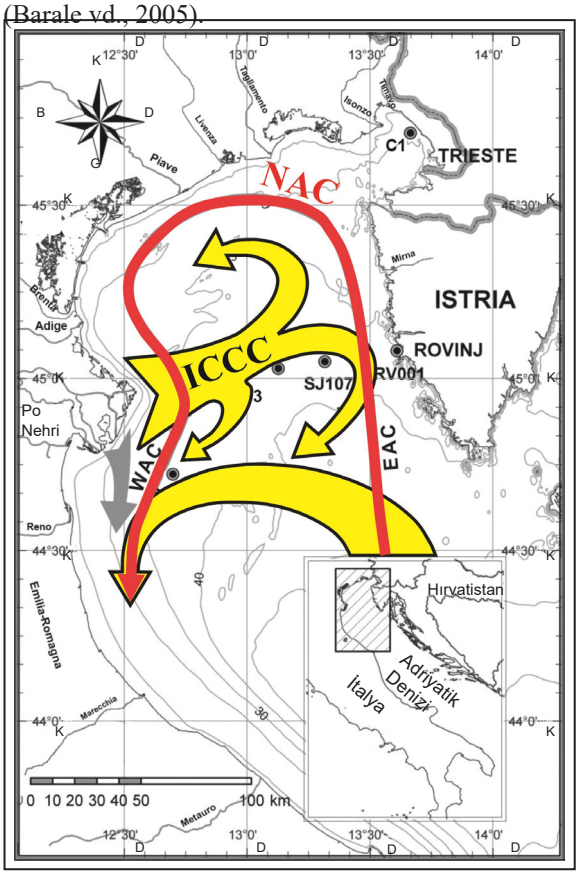
Müsilaj oluşumuna ve toplanmasına yol açan karmaşık etkileşimlerin doğasını araştırmak için MAT Projesi (Adriyatik ve Tiren Denizlerinde Müsilaj) tasarlanmıştır (Giani vd., 2005). Bu projenin amaçları aşağıdaki faktörler göz önüne alınarak planlanmıştır.

Agrega oluşumunun mekânsal dağılımını ve mevsimsel dinamiklerini tanımlamak; toplanma ve dağılma süreçlerinde meteorolojik koşulların, sirkülasyon paternlerinin ve su kolonu tabakalanmasının önemini değerlendirmek; müsilaj olayları ve iklimsel dalgalanmalar arasındaki olası ilişkileri belirlemek için tarihsel veri setlerini analiz etmek; agregaların üretiminde ve bozunmasında ototrofik ve heterotrofik piko-, nano- ve mikroplanktonun rollerini araştırmak; fitoplankton üzerindeki otlatma baskısına ilişkin olası değişiklikleri kanıtlamak; müsilajın kimyasal ve biyokimyasal bileşimini belirlemek ve olası üreticilerin bio-belirteçlerini belirlemek; bazı kimyasal parametrelerin müsilaj sürecindeki etkilerini test etmek ve müsilaj birikiminin bentik topluluklar üzerindeki etkisini incelemek.

2.1. Kuzey Adriyatik'teki Müsilaj Olayları Sırasında Meteorolojik Koşullar ve Sirkülasyon

İncelenen dönem boyunca (Haziran 1999–Temmuz 2002) tüm mevsimlerde deniz karı (yumaklar, makroyumaklar ve kirişler) gözlenmiştir. Daha verimli kıyı sularında deniz karı sonbahar ve kış aylarında daha yüksek değerlere sahip iken, daha büyük agregalar (kuşaklar, örümcek ağları, bulutlar ve sahte tabanlar), özellikle 2000 ve 2002 yıllarında, yalnızca ilkbahar ve yaz sonlarında oluşmuştur (Precali vd., 2005). Müsilaj birikmesi esas olarak üst su sütununda meydana gelmiştir. Aslında, incelenen bölgedeki hem dikey hem de yatay termohalin gradyanları ile, 2000 yılının ilkbahar ve yazında özellikle müsilaj olaylarının 2001'e kıyasla geniş bir alanda uzun bir süre boyunca meydana geldiği, 2002'de ise kısa ömürlü olup daha fazla geliştiği gözlenmiştir. Bu daha belirgin gradyanların, Mayıs-Haziran aylarında deniz yüzeyinin hızlı ısınması, Po Deltasının bazı bölgelerinde oluşan tatlı suların doğuya doğru taşınmasının yaygınlığından ve çok yüksek tuzluluktaki ara suların girmesi dâhil olmak üzere birkaç olağandışı koşulun kombinasyonundan kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 5).

Kuzey Adriyatik'ten su taşıyan Batı Adriyatik Akımının (WAC) iyi geliştiği dönemlerde, müsilajın ya hiç olmadığı (1999) ya da sınırlı kaldığı (2001) gözlenmiştir. Büyük müsilaj olaylarının meydana geldiği dönemlerde (2000-2002) ise WAC zayıf bir akıntı haline gelmiştir. Kuzey Adriyatik'te tatlı suyu tutma özelliğine sahip bir akıntı olan Istria Kıyı Karşı Akıntısı (ICCC), büyük müsilaj olayları sırasında veya sonrasında ise zıt davranış göstermiştir. Hem WAC'nin zayıflaması hem de ICCC'nin güçlenmesi, müsilaj gelişimini destekleyen kuzey Adriyatik'te nehir sularının daha uzun kaldığını göstermektedir (Barale vd., 2005).



Şekil 5- Kuzey Adriyatik Denizi'nde gözlenen akıntı sistemleri: Kuzey Adriyatik Döngüsü (NAdDW), Doğu Adriyatik Akımı (EAC), İstria Kıyı Karşı Akımı (ICCC) ve Batı Adriyatik Akıntısı (WAC) (Numaralandırılmış noktalar CTD ölçümlerini göstermektedir.) (Giani, vd., 2012).

Meteorolojik koşullar müsilaj olaylarını büyük ölçüde etkilemiştir. Bu etkiler 1993 ile 2012 yılları arasında dünya denizleriyle eş zamanlı gerçekleşen ortalama deniz yüzeyi sıcaklığındaki artışla bağlantılı

görülmektedir (Şekil 6). Düşük hızlı rüzgar ve sakin deniz ile karakterize edilen, tekrarlayan antisiklonik koşullar, 2002'de uzun süreli olarak bu olayı desteklemiştir. Buna karşılık, özellikle güçlü "bora" rüzgarı nedeniyle güçlü bir sirkülasyon olayının patlak vermesinden yaklaşık bir ay sonra, Temmuz 2000'de müsilaj olayında keskin bir düşüş gerçekleşmiştir (Russo vd., 2005).

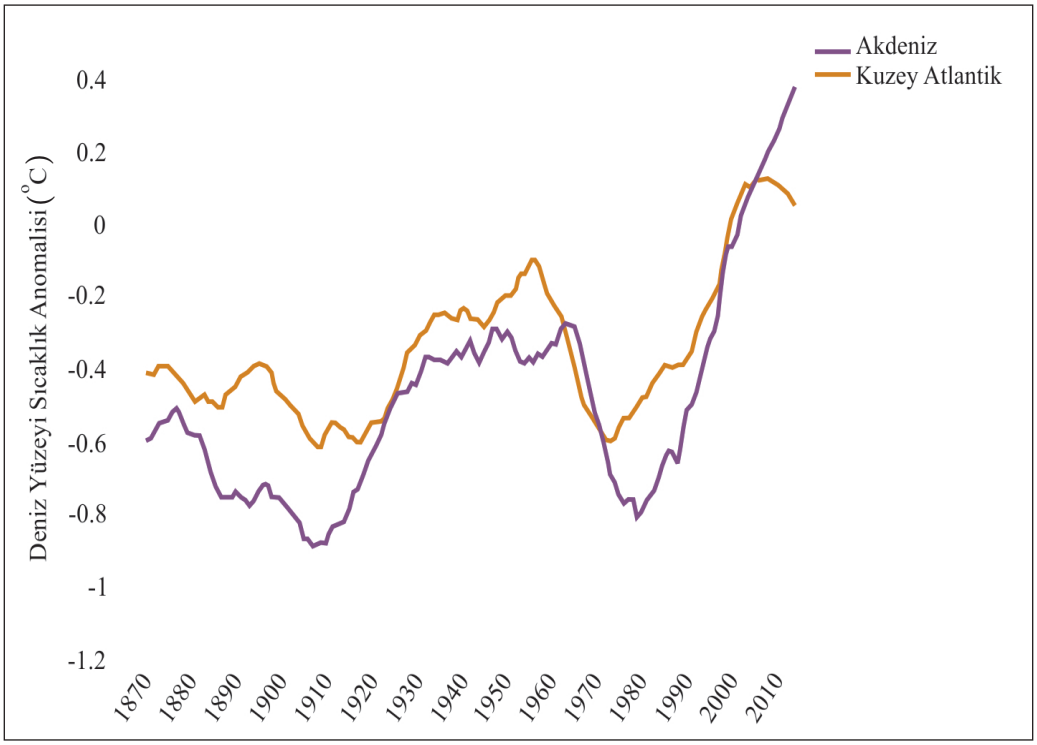
Yaz aylarında müsilaj olayları esnasında pikofitoplanktonlarda (çoğunlukla siyanobakterilerde) aşırı çoğalma sıklıkla gözlenmiştir (Totti vd., 2005). Ayrıca, bol miktarda müsilaj varlığında (örneğin Haziran 2000'de ve Haziran 2002'nin sonlarında), siyanobakterileri çevreleyen suda birincil üreticiler olarak artan bir rol oynayabileceği, fitoplankton organik üretiminin ise esas olarak besin açısından zenginleştirilmiş agregalarda meydana geldiği düşünülmektedir (Danovaro vd., 2005).

2.2. Müsilajın Kimyasal Karakterizasyonu

C:N:P oranları ve karbonhidrat, protein, Fe, Ca, karbonatlar, biyojenik silika ve hümik fulvik (canlılık için yaşamsal öneme sahip birçok faktörü doğal formda içeren maddelerdir) maddelerinin çeşitli tipteki müsilajlı agregaların içeriklerinde yer aldığı belirlenmiştir. (Yüzeyde kremsi ve jelatinimsi tabakalar, yalancı taban, örümcek ağı benzeri kümeler, kirişler, bulutlar) (Giani vd., 2005). Sonuçlar, agregaların deniz kaynaklı olduğunu göstermiştir ve ayrıca kimyasal analizlerle kanıtlandığı üzere müsilajda karasal organik maddenin agrega oluşumuna katkısının Adriyatik Denizi için çok düşük olduğu veya hiç olmadığı ortaya konulmuştur (Berto vd., 2005). Nehir deşarjlarının doğrudan etkisi altında kıyı alanlarında oluşan agregalar artan inorganik içerik gösterirken, organik bileşimindeki değişiklikler çoğunlukla müsilaj yaşlanması sırasındaki bozunma süreçlerinden kaynaklanmaktadır.

2.3. Müsilajlı Agregalar İçindeki Üretim ve Bozunma Süreçleri

Asılı ve batan müsilajlı agregalar, planktonik organizmaların bolluğunun ve besin konsantrasyonunun, çevreleyen deniz suyundan çok daha yüksek olduğu, yaşamsal açıdan zengin ortamlardır (Del Negro vd., 2005). Müsilaj olayının daha erken evrelerinde (örümcek ağları ve şeritler) oluşan agregalardaki kararsız biyopolimerler, çevreleyen sudan daha hızlı hidrolize edilirken, bakteri bolluğu ve üretiminde artışlar gözlenmiştir. Buna karşılık, yaşlı müsilajda (bulutlar) bozunma süreçleri azalmıştır. Bakterilerin P-sınırlaması ve fitoplankton büyümesi muhtemelen şeritlerde hüküm sürerken, bulutlarda N-sınırlaması



Şekil 6- Akdeniz ve Kuzey Atlantik'te 1993 ile 2012 yılları arasındaki ortalama sıcaklığa atıfta bulunulan yıllık ortalama deniz yüzeyi sıcaklığının (°C) zaman serisi [(05.05.2022) (https://www.eea.europa.eu/)].

daha baskın bir rol üstlenmiştir (Giani vd., 2005).

2.4. Müsilajın Adriyatik Denizi'ndeki Deniz Organizmaları Üzerindeki Etkisi

Po Nehri Deltası'nın güneyinde, Temmuz 1996'dan Temmuz 2002'ye kadar (Occhipinti-Ambrogi vd., 2005) ve Po Deltası'nın kuzeyinde, Haziran 1999'dan Haziran 2002'ye kadar müsilaj birikiminin yumuşak tabanlı makrobentoslar üzerindeki olası etkileri kuzeybatı Adriyatik'in iki farklı bölgesinde araştırılmıştır. Büyümesi yavaşlamış gibi görünen bazı kabuklu deniz hayvanlarının popülasyonu dışında, müsilajın her iki bölgedeki yumuşak taban topluluklarını önemli ölçüde etkilemediği tespit edilmiştir (Cornello vd., 2005).

2.5. Tiren Denizi'ndeki Müsilaj ve Bentos Üzerindeki Etkileri

Alg türlerinden Nematochrysopsis marina, Chrysonephos lewisii ve Acinetospora crinita ilkbaharda bentik müsilaj üretmeye başlar (Giuliani vd., 2005). Genel olarak, ilk iki tür büyür ve 20 m'ye kadar ulaşırken, A. crinita daha derinlerde de bulunur. Temmuz ayında, müsilaj üretimi maksimuma ulaştığında, Chrysonephos lewisii diğer iki türe üstün gelerek etkinlik alanını arttırır (Giuliani vd., 2005).

Bentik müsilaj, hem agregalarda hem de çevreleyen suda organik madde döngüsünü önemli ölçüde etkileyen bakteriler tarafından bol miktarda kolonize edilir (Misiç vd., 2005). Aslında, bakteri aktivitesi ve çevresel koşullardaki farklılıkların, 2001'e göre 2000 yılında müsilajı daha kalıcı hale getirdiği gözlenmiştir. Toskana Takımadalarının çeşitli bölgelerinden gelen mikroalgler ve bentik müsilaj topluluğunda her zaman diyatomlar ve siyanobakteriler hakim olmuştur.

Müsilaj olaylarını tahmin etmek için hidrodinamik ve ekolojik modeller geliştirmek amacıyla tanımlanmış kritik alanlarda ilgili parametrelerin uzun vadeli ölçümleri yapılmalıdır. Ancak şu zamana kadar Adriyatik Denizi'nde yapılan çalışmalarda sınırlayıcı faktörler; meteorolojik koşulların neden olduğu sıcaklık ve bununla beraber deniz yüzeyinin ısınması, rüzgar, akıntı ve özellikle Chrysonephos lewisii türünün bentik müsilajdaki aktif faaliyetidir.

3. Marmara Denizi'nde Müsilaj Hadisesi

Marmara Denizi, İstanbul Boğazı ve Çanakkale Boğazı ile Karadeniz'i, Ege Denizi'ne bağlayan küçük, yarı kapalı bir havzadır. Marmara Denizi, ekonomi, lojistik ve strateji açısından Türkiye'nin en önemli Denizidir. Morfolojik ve coğrafi yapısına bağlı olarak, zengin biyolojik çeşitliliğe ve üretkenliğe sahip olmasının yanı sıra, denizel canlılar için önemli bir göç yoludur.

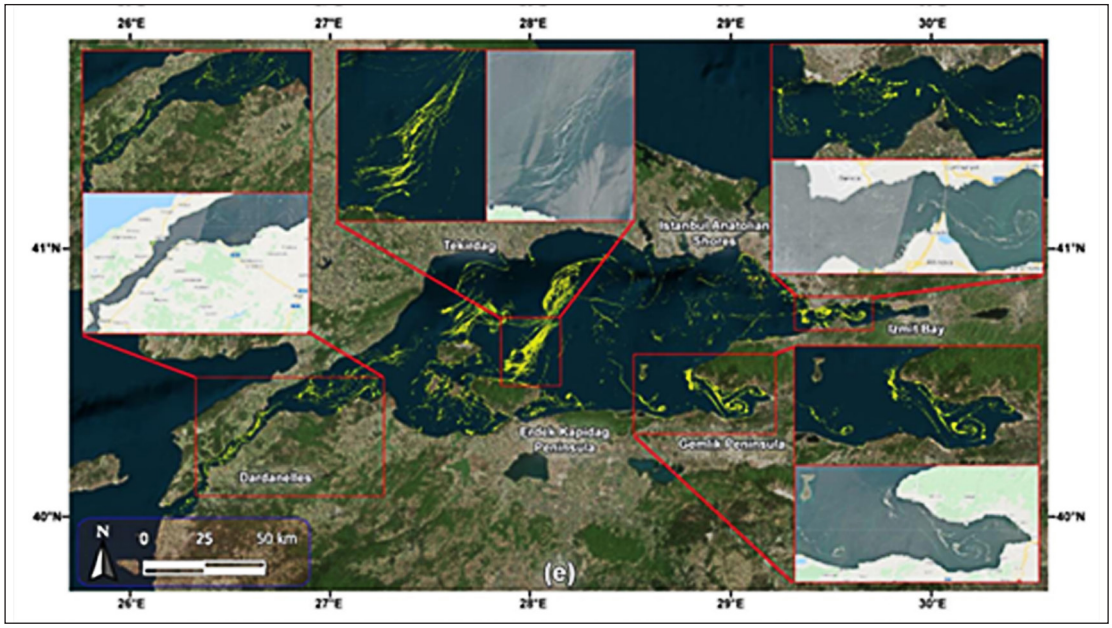
Ülkemizde kayıtlı ilk müsilaj hadisesi 2007 yılında Marmara Denizi'nde görülmüştür (Aktan vd., 2008; Tüfekçi vd., 2010). 2015 yılında kırmızı alg çoğalması, 2017'de balık ölümleri ve 2021 Mayıs ayından itibaren etkisini yaz döneminin başında belli eden Şekil 7 ve Şekil 8'de görüldüğü gibi Gemlik ve İzmit körfezleri ile İstanbul'un kıyı bölgelerinde etkili olan, hem yüzey hem de 30 m su kolununda görülen müsilaj hadisesi meydana gelmiştir. Yaşanan bu çevresel felaket, deniz ekosistemine zarar vermenin yanında birçok sanayi kuruluşunu, balıkçılık ve turizm faaliyetlerini, deniz trafiğini olumsuz etkileyerek maddi kayıplara neden olmuştur. Yıllara göre Marmara Denizi'nde yaşanan hadiseler incelendiğinde birçok açıdan stratejik önem sahip olan iç denizimizin günümüzde çok kırılgan bir ekosisteme sahip olduğu görülmektedir.

Marmara'da müsilaj oluşumuna etki eden etmenler incelendiğinde yalnızca tek bir faktörün etkili olmadığı görülmüştür. Artan antropojenik kirlilik, yanlış avcılık politikaları, iklim değişikliği sebebi ile artan deniz suyu sıcaklığı ve durgunlaşan deniz koşulları başta olmak üzere birçok faktör etkilidir. Bu koşulların anlaşılması ve bu tarz problemlerin çözülmesi için Marmara Denizi'nin bir çok açıdan multidisipliner bir bakış açısı ile incelenmesi gerekmektedir.

Marmara Denizi'nde Ege Denizi ile Karadeniz arasındaki yaklaşık 55 cm'lik bir seviye farkı nedeniyle (Alpar ve Yüce, 1998), Karadeniz yüzey suyu (25- 30 m), İstanbul Boğazı yoluyla sürekli Marmara'ya doğru yoğunluğu artarak, Ege'nin daha tuzlu, daha yoğun su kütlesi de Karadeniz'e doğru akarak çift tabakalı bir akıntı sistemi meydana getirir. Seviye farkından doğan ve "jet" olarak tanımlanan kuvvetli akıntı, yaklaşık 230 km³ hacme sahip olan Marmara yüzey sularının 4-5 ayda bir yenilenmesine sebep olurken, yaklaşık 3378 km³ hacimdeki alt tabaka suları ise 6-7 yılda bir yenilenmektedir (Beşiktepe vd., 1994).

Karadeniz'in kuzeybatı kıta sahanlığı, özellikle Tuna, Dinyeper ve Dinyester nehirleri başta olmak üzere bölgesel nehir sularının etkisi altındadır (Cociasu vd., 1997; Oğuz vd., 2008). Bu sular, güney yönlü siklonik genel akıntılarla güneybatı Karadeniz'e taşınır ve sonrasında İstanbul boğazı

Şekil 7- Marmara Denizi'nde Müsilaj (03.06.2021)(https://www.bbc.com/turkce/haberler-turkiye-57293708).



Şekil 8- Müsilaj Haritası (17.05.2021-06.06.2021) (Uğur vd., 2021).

yoluyla Marmara'ya ulaşır ve sağa doğru yönelir (Beşiktepe vd., 1994). Az tuzlu (genellikle 16.5-17.8) olan bu sular besin tuzlarınca oldukça zengindir. Ayrıca, son 20-30 yıllık dönemde Tuna nehir suları hacim akılarının ve taşıdıkları organik ve inorganik madde yükünün azalma eğilimi içinde olmasına rağmen günümüzde de Marmara Denizi için hala risk teşkil etmektedir. Bu sadece üst tabakada deniz suyu kimyasını değil, alt tabaka suyunun kimyasal özelliğini de değiştirmiştir (Ediger vd., 2016). Üst tabakada artan ötrofikasyon ışıklı bölgenin azalmasına ve üretim derinliğinin daralmasına sebep olurken, daha fazla partikül organik maddenin alt suya taşınmasına neden olmuştur (Ediger vd., 2016).

Çanakkale boğaz akıntısı ile Marmara'ya giren Akdeniz kökenli su besin elementlerince zayıf oksijence zengindir. Son 30 yılda yaşanan değişimler

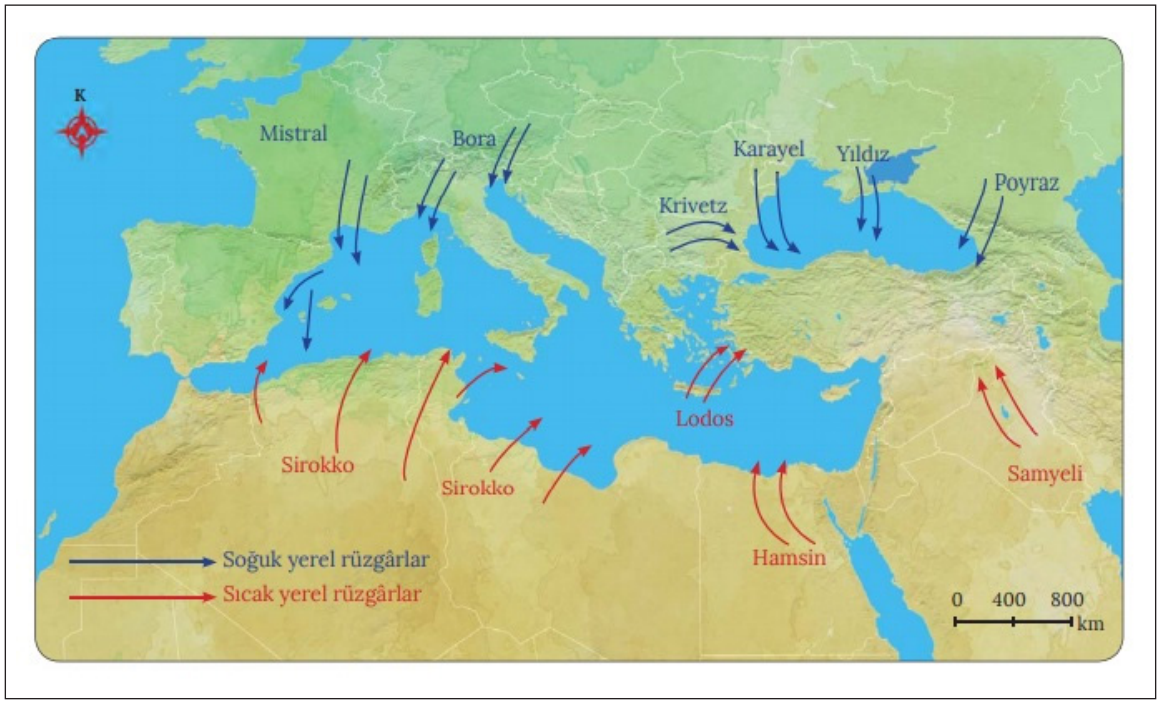
göz önüne alındığında derin sularda oksijen ve besin elementi bulunamaz noktaya gelmiştir. Bu durum pelajik ve dip ekosistemini etkilemiştir (Ediger vd., 2016).

Boğaz'ın kuzey ve güney ucundaki bu üst tabaka kalınlıkları ve kimyasal miktarları, meteorolojik koşullara ve rüzgar şiddetine bağlı olarak yüzey suyu- atmosfer karışımına bağlı günlük salınımlar gösterebilmektedir (Özsoy vd., 1994). Şekil 9'da görüldüğü üzere Lodos ve Poyraz Marmara Denizi akıntı hatları üzerinde etkiye sahiptir. Kuvvetli poyraz estiği zaman boğaz üst akıntısı kısmen kalınlaşır ve tabana kadar ulaşabilir. Bu durumda Karadeniz yönüne doğru alt akıntının önünü kapatır ve tuzlu sular Karadeniz'e ulaşamaz. Lodos estiğinde ise Boğaz'ın güney (Marmara) girişinde üst akıntı incelirken, alttaki tuzlu su tabakası kalınlaşır ve Karadeniz yönüne doğru daha güçlü akar. Bu sayede su kolonunda durgunlaşma koşulları oluşmaz ve biyoçeşitlilik sürdürülebilir (Özsoy vd., 1994; Beşiktepe vd., 1994).

Marmara Denizi'nde toplam nitrat, toplam azot, oksijen, klorofil miktarı oşinografik şartlara, drenaj ağlarına karasal girdilere ve meteorolojik koşullara göre kıyılarda ve derin denizde ve su kolonu boyunca değişiklik göstermektedir. Kıyı bölgelerindeki ve açık denizdeki besleyici elementlerden fosfat konsantrasyonunun farklılığındaki en önemli etmen denize deşarj edilen evsel atık ve gübre fabrikalarının atıklarıdır. Klorofil-a'dan ve karasal baskılardan dolayı nitrat konsantrasyonu kıyılarda açık deniz bölgelerine göre daha yüksektir. Marmara Denizi'nin sahip olduğu çift akıntı sistemi oksijence doygun üst tabakanın alt tabakaya ulaşmasını engellemektedir. Yaz döneminde kıyı bölgelerinin ara ve alt sularında anoksik oksijen koşulları görülmektedir (Bandırma, Erdek ve İzmit körfezi bu koşullara birer örnektir). Akdeniz'den gelen doygun oksijenli alt tabaka suyu sayesinde Çanakkale Boğazı girişindeki dip sularında kış ve yaz döneminde çözünmüş oksijen miktarı ≈4-8 mg/L olmasına rağmen İstanbul Boğazı Marmara Denizi çıkışında oksijen konsantrasyonu 1-3 mg/L olarak kaydedilmiştir. Oksijen konsantrasyonundaki bu değişim Marmara Denizi için ciddi bir uyarı niteliğindedir (TÜBİTAK MAM, 2017). Nisan 2021'de meydana gelen Marmara Denizi'ndeki müsilaj hadisesi ile eş zamanlı olarak fitoplankton için sınırlayıcı faktörün azot olduğu görülmüştür (Ergul vd., 2021).

3.1. Marmara Denizi'nde Görülen Müsilaj Türleri

(Öztürk vd., 2021) tarafından yapılan çalışmada Marmara Denizi'ndeki 10 istasyondan CTD ölçümleri ve su altı video kayıtları alınarak su kolonunda var olan müsilaj tipolojisi tanımlanmıştır. Çalışma sonucunda 9 farklı tipte müsilaj agregasının bulunduğu bu türlerin dikey dağılımlarının tüm Marmara için aynı olduğu gözlenmiştir. Tüm yüzey sularında flocs (yumaklar), bunun altında kalan 8-10 m derinlikteki alanda



Şekil 9- Akdeniz çevresindeki yerel rüzgarlar.

macrofocs (makro yumaklar) görülmüştür.
8-10 ila 15 m arasında hemen hemen her istasyonda stringers (kirişler) ve ribbons (şeritler) görüldüğü kaydedilmiştir. 15 m'de bir başka müsilaj agregasyon türü olan cobweb (örümcek ağı) tespit edilmiştir ve bu derinlik istasyonları için hemen hemen her seviyede aynıdır. Müsilaj agregalarının büyüklük bakımından en büyük türü clouds (bulutlar)'dır. Her istasyonda 20 m'den başlayarak 60 m derinliğe kadar bulutlar da görülmüştür.

3.2. Marmara Denizi'nde Meydana Gelen Müsilaj Hadisesinin Sebepleri

Marmara Denizi'nde Bulunan Zararlı Türler

Marmara Denizi'nde bulunan bazı zararlı türler toksin üretmektedir. Üretilen toksinler çeşitli yollarla kabuklu canlılar, balıklar ve insan üzerinde zararlı etkiler oluşturabilmektedir. Zararlı türlerin varlığı İzmit, Gemlik ve Bandırma körfezlerinde daha yoğun bir dağılım göstermektedir (TÜBİTAK MAM, 2017). Müsilaj erken döneminde yapılan bir çalışmanın sonuçları göstermiştir ki Marmara Denizi'nde 83 fitoplankton türü mevcuttur. Bu türler arasında müsilaj oluşumu ile ilişkili olanlar; Cerataulina pelagica, Cylindrotheca closterium, *Pseudo-nitzschia* sp., Skeletonema costatum, Thalassiosira rotula, Alexandrium tamarense, Dinophysis acuminata, Dinophysis caudata, Dinophysis fortii, Gonyaulax fragilis, Gonyaulax spinifera, *Gymnodinium* sp., *Gyrodinium* sp., ve Prorocentrum micans'dır (Ergul vd., 2021).

Kirlilik Faktörü

Marmara Denizi'nin çevresinde yaklaşık 25 milyon insan yaşamaktadır. Nüfusa paralel olarak antropojenik kirlilikte de artış meydana gelerek, biyobirikim yapma özelliğine sahip malzemeler denizel ortamı birçok yönden etkilemektedir. Su kolonunda bulunan partiküler madde halindeki kirleticiler çökelerek sedimana depolanır, canlılar için kirlilik kaynağı olarak davranır ya da desorbsiyon yoluyla tekrar su fazına geçer. Seviye üzerinde görülen kirlilik ekosistemi bozarak biyolojik çeşitlilik kaybına sebep olmaktadır. Karadeniz'den gelen kirleticilerin, endüstriyel faaliyetlerin sebep olduğu kirletici grupları (Çizelge 2) ,atık sular ve gemi balast suları Marmara Denizi'nde meydana gelen kirlenmenin ana sebepleridir.

Çizelge 2'de verilen kirletici gruplarından Dieldrin, 16 PAH bileşeni ve çeşitli metallerin Marmara Denizi'nde özellikle sanayinin geliştiği kıyı kesimlerinde yüksek etki değerine sahip olduğu görülmektedir (TÜBİTAK MAM, 2017).

Artan nüfusun bir diğer olumsuz getirisi de kirlilik kaynağı olan artan atık su miktarıdır. Günde yaklaşık azot ve fosfor bileşikleri içeren 4,7 milyon metreküp atık su tam biyolojik arıtma olmadan büyük ölçüde fiziksel çökeltme ve ızgara sistemleri ile ayrıştırılıp Marmara Denizi'ne deşarj edilmektedir (Marmara Belediyeler Birliği, 2021). Bunların yanında Türk boğazlarından bir yılda geçen gemi sayısının son yıllarda ortalama olarak yaklaşık 50.000 olduğu bilinmektedir. Bu gemilerin çoğunluğu Atlantik ve Hint Okyanusu yoluyla Türkiye'ye gelip balast sularını Türk limanlarına bırakmaktadırlar. Bu durum Marmara Denizi'nde kirlenmeye ve ortama yabancı- istenmeyen tür istilasına sebep olmaktadır (Ilgar vd., 2015).

İklim değişikliğinin sonucu olarak deniz suyu sıcaklığının artması ve çeşitli dönemlerde durgunlaşan ve değişen hava koşulları görülmektedir. Okyanusların ısınması, biyojeokimyasal döngüler ve besin ağı işleyişinde önemli bir etkiye sahiptir (Edwards, 2016). Sıcaklıkta meydana gelen artış orta enlemde yaşayan deniz analarının üreme dönemlerini olumlu yönde etkileyerek uzatabilir ve ılıman sularda yayılan tropik türlerin kış aylarında hayatta kalma süreleri uzar. Bunların sonucu olarak hem yerli hemde yabancı türlerin istilası meydana gelebilir (Purcell, 2005). Şekil 10'da görüldüğü üzere Marmara Denizi 1970-2021 yılları arasında artan deniz suyu sıcaklık trendine sahiptir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, iklim değişikliğinin gelecekte Türkiye'yi nasıl etkileyeceğini ortaya koyabilmek amacıyla 2016-2099 dönemi için geliştirdiği küresel iklim projeksiyonlarında Türkiye genelinde ortalama sıcaklığın 2021-2099 döneminde yıllık 1 ila 6 derece artacağını ve yağışların ise yüzyılın son periyodunda yurt genelinde azalacağını ileri sürmektedir. İklim değişikliği ile ilgili öne sürülen bu senaryo sıcaklığa bağlı müsilaj gibi olayların artabileceğini düşündürmektedir (Akçakaya vd., 2015).

Çöl Tozları

Müsilaj hadisesine sebep olabilecek havza dışı kaynaklardan birinin de atmosferik taşınımlar olduğu ve bunların özellikle kıyı bölgeleri için yeni besi maddesi kaynakları oluşturduğu kaydedilmektedir. Akdeniz havzasına yoğun şekilde ulaşan (Şekil 11) Sahra tozunun esas olarak silikat ve aluminosilikatlardan oluştuğu, bunun yanı sıra azot ve fosfor bileşenleri de içerdiği belirtilmektedir. Sahra kaynaklı tozun Akdeniz'e ulaşması ile özellikle su kolonunda tabakalaşmanın olduğu dönemlerde, bir çeşit gübreleme etkisi yarattığı ve denizdeki

planktonik mikroorganizmaların çoğalmasını teşvik ettiği belirlenmiştir (Marin vd., 2017).

Avcılık Politikası

Marmara Denizi'nde uygulanan yanlış avcılık politikaları balık kaynaklarında büyük kayıplar yaşanmasına neden olmuştur. Av gücünün arttırılması ve av boyutlarının küçültülmesi balık türlerinin üreyip çoğalmasına fırsat vermeyecek şekilde av baskısı oluşturmuştur. Bu sebepten dolayı Marmara Denizi besin ağı, ani değişikliklere daha hızlı ve keskin yanıtlar vermeye başlamıştır.

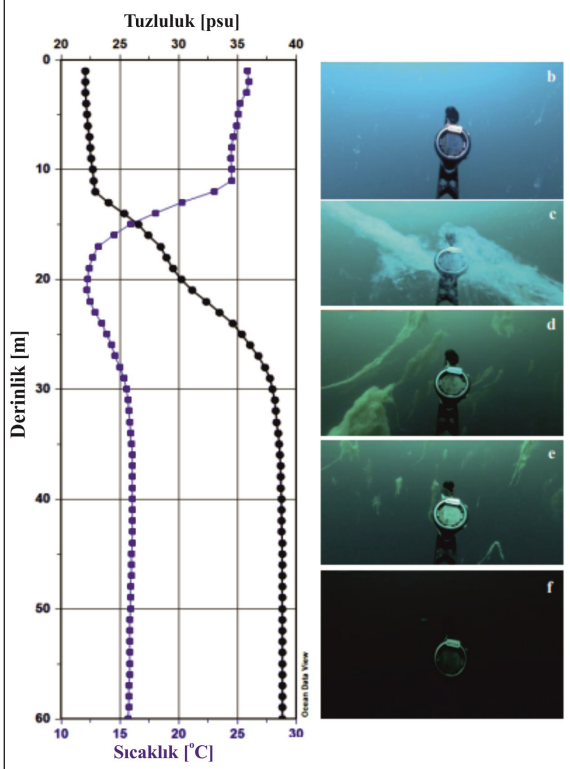
Kıyı Ekosisteminin Tahribatı

Nehirlerdeki ve haliçlerdeki tatlı su midyesi ve istiridye kümeleri, biyoçeşitlilik ve biyojeokimyasal dönüşümler için sıcak noktalardır. Habitat oluşturur, değiştirir ve besin ağlarını doğrudan (yani av) ve dolaylı olarak (yani besinlerin ve enerjinin hareketi) etkiler. Bu sebeplerden dolayı inşaat faaliyetleri gibi nedenlerden dolayı çift kabuklu yumuşakça (bivalv) topluluklarının yok edilmesi ekolojik yapıda bozulmalara sebep olmuştur (Vaughn vd., 2018).

4. Müsilaj ile Mücadele Yöntemleri

Kriz Evresindeki Uygulamalar

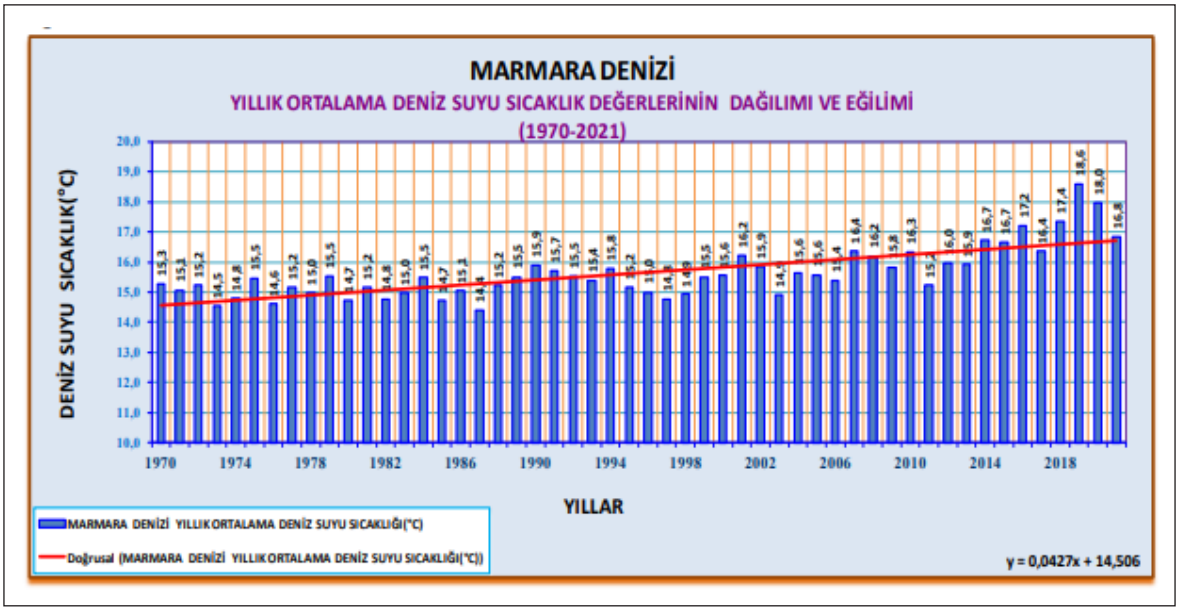
- Deniz salyasının etkilerini yatıştırmaya yönelik müdahaleleri kapsar. Yüzeyden temizleme ve deniz suyunun derin kesimlerindeki çözünmüş oksijen miktarını artırmak için denize oksijen pompalanması işlemi bunlardan en yaygın olanlarıdır.
- Tür-spesifik faj kullanımı ile algler enfekte edilerek aşırı çoğalma sonlandırılabilir (Garry vd., 1998; Thomas vd., 2002)



Şekil 10- a) MD4A istasyonunun sıcaklık ve tuzluluk profilleri; b) 6 m derinlikteki yumaklar ve makro yumaklar ; c) 15 m derinlikteki örümcek ağı; d) 24 m derinlikteki bulutlar; e) 29 m derinlikteki bulutlar ve gözyaşları; f) 53 m derinlikteki gözyaşları.

Çizelge 2- Sediman matrisinde analiz edilen kirletici gruplar (TÜBİTAK MAM, 2017).

Tip	Kirletici Grup	Spesifik Kirleticiler
Sentetik olmayan kirleticiler	Metaller	Kadminyum, civa, kurşun, bakır, çinko, alüminyum, arsenik, kobalt, krom, demir, manganez, nikel
	Poliaromatik Hidrokarbonlar	Asenaften, asenaftilen, antrasen, benzo[a]antrasen, benzo[a] piren, benzo[b]floranten, benz[g,h,i]perilen, benzo[k] floranten, krisen, dibenz[a,h]antrasen, floranten, florin, indeno[1,2,3- cd]piren, naftalen, fenantren, piren
Sentetik kirleticiler	Poliklorlu bifeniller (PCBs)	PCB28, PCB31, PCB52, PCB101,PCB118, PCB138, PCB153 ve PCB180
	Organoklorlu Pestisitler	a-BHC, b-BHC, d-BHC, heptaklor, aldrin, endrin, dieldrin, hekzaklorobenzen, 4,4-DDT, 4,4-DDE, 4,4-DDD



Şekil 11- Marmara Denizi'nin deniz suyu sıcaklığı çizelgesi: aylık ortalama deniz suyu sıcaklık verilerinin 1970-2021 yılları arasındaki dağılımı ve eğilimi. Kaynak: https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/denizSuyu/Marmara-Deniz-Suyu-Sicakligi-Analizi-2021.pdf.

- Tür-spesifik faj kullanımı ile algler enfekte edilerek aşırı çoğalma sonlandırılabilir (Garry vd., 1998; Thomas vd., 2002)

Uzun Vadeli Mücadele ve İdame

- Aşırı çoğalmanın nedenlerini irdeleyerek, tespit edilen nedenlere yönelik mücadele adımlarının belirlenmesini içerir.
- Dış kaynaklı besleyici yükünü azaltmak için temel hedef, alg çoğalmasının hangi besleyiciler tarafından sınırlandığının ortaya konulmasıdır. Bu besleyici/besleyiciler belirlendikten sonra bunların azaltılmasına yönelik düzenlemeler planlanabilir.
- Sınırlayıcı besleyici, yeri belli kaynaklardan geliyorsa noktasal ölçekte, tarım gibi yayılı kaynaklardan geliyorsa akaçlama alanı ölçeğinde ele alınarak yönetilmelidir.
- Etkili bir endüstriyel ve evsel atıksu yönetimi de besleyici yükünü azaltmak için önemlidir.
- Dip sularının oksijence zengin yüzey suları ile karıştırılması sağlanabilir.
- Planlı makroalg yetiştirilebilir ve hasadı yapılabilir (Craggs vd., 1996).
- Ötrofikasyonun hakim olduğu bölgelerin kıyılarında bivalv yetiştirilerek aşırı alg çoğalmaları belli ölçüde baskılanabilir.
- Aşırı avlanmayı engelleyecek tedbirler alınabilir.
- İstilacı türlerin erişim yolları kontrol altına alınabilir.

5 . Müsilajın Potansiyel Kullanım Alanları

- Saflaştırma (tuz ve diğer maddelerin ayrılması) sonrasında elde edilen polisakkarid madde, toksisite testlerinin ardından tarımda kullanılabilir. Müsilaj antibakteriyel, antiviral ve antifungal özelliklere sahip olduğu için bundan biopestisit elde edilebilir (Swain vd., 2017).
- Yüzey sularından mikroplastiklerin uzaklaştırılmasında (MP sedimantasyonu) kullanılabilir.
- Atmosferden karbondioksit emilimini arttırmak (karbon pompası) amacıyla, dünya denizlerinin besince zengin kesimlerinde aşırı alg çoğalmaları kontrollü olarak tetiklenebilir (Puškarić, 2010).
- Biyoyakıt elde edilebilir (Pandley vd., 2019)

Değinilen Belgeler

Akçakaya, A., Sümer, U.M., Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Çukurçayır, F. 2015. Yeni senaryolar ile türkiye iklim projeksiyonları ve iklim değişikliği. Ankara: Meteoroloji Genel Müdürlüğü.

Aktan, Y., Dede A., Çiftçi P.S. 2008. Mucilage event associated with diatoms and dinoflagellates in Sea of Marmara, Turkey. An IOC Newsletter on toxic algae and algal blooms, The Intergovernmental

Oceanographic Commission of UNESCO, 36, 1–3.

Alldredge, A. L., Jackson, G. A. 1995. Aggregation in marine systems. Deep-sea research. Part 2. Topical studies in oceanography, 42(1).

Alldredge, A. L., Silver, M. W. 1988. Characteristics, dynamics and significance of marine snow. Progress in oceanography, 20(1), 41-82.

Alpar, B. I., Yüce, H. 1998. Sea-level variations and their interactions between the Black Sea and the Aegean Sea. Estuarine Coastal and Shelf Science, 46 (5), 609-619.

Barale, V., Schiller, C., Tacchi, R., Marechal, C. 2005. Trends and interactions of physical and bio-geo-chemical features in the Adriatic Sea as derived from satellite observations. Science of the total environment, 353(1-3), 68-81.

Berto, D., Giani, M., Taddei, P., Bottura, G. 2005. Spectroscopic evidence of the marine origin of mucilages in the Northern Adriatic Sea. Sci Total Environ. 2005 Dec 15;353(1-3):247-57. doi: 10.1016/j.scitotenv.2005.09.017. Epub 2005 Nov 11. PMID: 16289299.

Beşiktepe, Ş.T., Sur, H.İ., Özsoy, E., Latif, M.A., Oğuz, T., Ünlüata, Ü. 1994. The circulation and hydrography of the Marmara Sea. Progress in Oceanography 34: 285-334.

Cociasu, A., Diaconu, V., Teren, L., Nae, I., Popa, L., Dorogan, L., Malciu., V. 1997. Nutrient stockson the Western shelf of the Black Sea in the last three decades. In Özsoy, E., Mikaelyan, A. (Ed.). Sensitivity to change: Black Sea, Baltic and North Sea, NATO ASI Series, 49-63 Kluwer Academic Publishers.

Cornello, M., Boscolo, R., Giovanardi, O. 2005. Do mucous aggregates affect macro-zoobenthic community and mussel culture? A study in a coastal area of the Northwestern Adriatic Sea. Sci Total Environ. 2005 Dec 15;353(1-3):329-39. doi: 10.1016/j. scitotenv.2005.09.022. Epub 2005 Oct 10. PMID: 16216313.

Craggs, R.J., Adey, W.H., Jenson., K.R., St. John, M.S., Green, F.B., Oswald, W.J. 1996. Phosphorus removal from wastewater using an algal turf scrubber. Water Science and Technology, 33, 7, 191-198.

Danovaro, R., Armeni, M., Luna, GM., Corinaldesi, C., Dell'Anno, A., Ferrari, C.R., Fiordelmondo, C., Gambi, C., Gismondi, M., Manini, E., Mecozzi, M., Perrone, F.M., Pusceddu, A., Giani, M. 2005. Exo-enzymatic activities and dissolved organic pools in relation with mucilage development in the Northern Adriatic Sea. Sci Total Environ. 2005 Dec 15;353(1-3):189-203. doi: 10.1016/j. scitotenv.2005.09.029. Epub 2005 Oct 12. PMID: 16225908.

De Baar, H. J. W., Boyd, P. W., Coale, K. H., Landry, M. R., Tsuda, A., Assmy, P., Bakker, D. C. E., Bozec, Y., Barber, R. T., Brzezinski, M. A., Buesseler, K. O., Boye, M., Croot, P. L., Gervais, F., Gorbunov, M. Y., Harrison, P. J., Hiscock, W. T., Laan, P., Lancelot, C., Hukuk, C.S., Levasseur, M., Marchetti, A., Millero, F.J., Nishioka, H., Nojiri, Y., van Oijen, T., Riebesell, U., Rijkenberg, M., Saito, H., Takeda,S., Timmermans, K.R., Veldhuis, M.JW., Waite, A.M., Wong,C., A. M. 2005. Synthesis of iron fertilization experiments: From the iron age in the age of enlightenment. Journal of geophysical research-Oceans, 110(C9), (ARTN C09S16). https://doi. org/10.1029/2004JC002601.

Del Negro, P., Crevatin, E., Larato, C., Ferrari, C., Totti, C., Pompei, M., Fonda Umani, S. 2005. Mucilage microcosms. Science of the Total Environment, 353(1–3), 258–269. https://doi. org/10.1016/j. scitotenv.2005.09.018.

Ediger, D., Polat Beken, Ç., Yüksek, A., Tuğrul, S. 2016. Eutrophication in the Sea of Marmara. The Sea of Marmara; Marine Biodiversity, Fisheries, Conservation and Governance (ss. 723-736). Ed. Özsoy, E., Çağatay, M.N., Balkıs, N., Balkıs, N., Öztürk, B. Turkish Marine Research Foundation (TUDAV), Publication No: 42, Istanbul.

Edwards, K. F., Thomas, M. K., Klausmeier, C. A., Litchman, E. 2016. Phytoplankton growth and the interaction of light and temperature: a synthesis at the species and community level. Limnology and Oceanography 61: 1232–1244.

Ergul, H.A., Balkis-Ozdelice, N., Koral, M., Aksan, S., Durmus, T., Kaya, M., Kayal, M., Ekmekci, F., 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).

Field, C.B., Behrenfeld, M.J., Randerson J.T., Falkowski, P.G. 1998. Primary production of the biosphere: integrating terrestrial and oceanic components. Science, 281, 237–240.

Fonda-Umani, S., Ghirardelli, E., Specchi, M. 1989. Gli episodi di "mare sporco" nell'Adriatico dal 1729 ai giorni nostri. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia. Direzione Regionale Ambiente, Trieste, p 178. DOI:10.1371/journal.pone.0007006.

Fukao, T., Kimoto, K., Yamatogi, T., Yamamoto, K.I., 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), pp.1007-1014.

Garry, R.T., Hearing, P., Cosper, E.M. 1998. Characterization of a lytic virus infectious to the bloomforming microalga Aureococcus anophageefferens (Pelagophyceae). J. Phycol., 34, 616–621.

Giani, M., Djakovac, T., Degobbis, D., Cozzi, S., Solidoro, C., Umani, S. F. 2012. Recent changes in the marine ecosystems of the northern Adriatic Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 115, 1-13.

Giani, M., Savelli, F., Berto, D., Zangrando, V., Ćosović, B., Vojvodić, V. 2005. Temporal dynamics of dissolved and particulate organic carbon in the northern Adriatic Sea in relation to the mucilage events. Science of the Total Environment, 353(1-3), 126-138.

Gillespie, N. C., Lewis, R. J., Pearn, J. H., Bourke, A. T. C., Holmes, M.J., Bourke, J. B., Shields, W. J. 1986. Ciguatera in Australia: occurrence, clinical features, pathophysiology and management. Med. J.Aust. 145,584-590.Giuliani, S., Lamberti, C. V., Sonni, C., Pellegrini, D. 2005. Mucilage impact on gorgonians in the Tyrrhenian sea. Science of the Total Environment, 353(1-3), 340-349.

Hallegraeff, G.M. 1992. Harmful algal blooms in the Australian region. Marine Pollution Bulletin, 25, 186-190.

Herndl, G. J. 1988. Ecology of amorphous aggregations (marine snow) in the Northern Adriatic Sea. II. Microbial density and activity in marine snow and its implication to overall pelagic processes. Marine Ecology Progress Series, 48(3), 265–275.

Holmes, M. J., Lewis, R. J., Poli, M. A., Gillespie, N. C. 1991. Strain supplies and important aquaculture growing areas are dependent production of ciguatoxin precursors (gambiertoxins) by now being monitored by increasingly sophisticated algal Gambierdiscus toxicus (Dinophyceae) in culture. Toxicon 29, 761-775.

Ilgar, R. 2015. Çanakkale Boğazındaki gemi hareketliliği ve kaza risk haritasının belirlenmesi. Türk Coğrafya Dergisi, (65), pp.1-10.

Kopuz, Ü., Feyzioğlu, A.M., Valente, A. 2014. An Unusual Red-Tide Event of Noctiluca Scintillans (Macartney) in the Southeastern Black Sea. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 14, 261-268.

Liebig, J. von. 1840. Organic chemistry in its applications to agriculture and physiology, First edition, Taylor and Walton, London, 387pp.

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), pp.69-83.

Marín, I., Nunes, S., Sánchez-Pérez, E.D., Txurruka, E., Antequera, C., Sala, M.M., Marrasé, C., Peters, F. 2017. Coastal bacterioplankton metabolism is stimulated stronger by anthropogenic aerosols than Saharan dust. Frontiers in Microbiology, 8:2215. doi:10.3389/fmicb.2017.02215.

Marmara Belediyeler Birliği 2021. Marmara Denizi ile İlişkili Atıksu Altyapı Durumu ve Deniz Deşarjları.

Misiç, C., Giani, M., Povero, P., Polimene, L., Fabiano, M. 2005. Relationships between organic carbon and microbial components in a Tyrrhenian area (Isola del Giglio) affected by mucilages. Sci Total Environ. 2005 Dec 15;353(1-3):350-9. doi: 10.1016/j.scitotenv.2005.09.024. Epub 2005 Oct 11. PMID: 16223521.

Occhipinti-Ambrogi, A., Savini, D., Forni, G. 2005. Macrobenthos community structural changes off Cesenatico coast (Emilia Romagna, Northern Adriatic), a six-year monitoring programme. Sci Total Environ. 2005 Dec 15;353(1-3):317-28. doi: 10.1016/j.scitotenv.2005.09.021. Epub 2005 Oct 28. PMID: 16257433.

Oğuz, T., Salihoğlu, B., Fach, B. 2008. A coupled planktoneanchovy population dynamics model assessing nonlinear controls of anchovy and gelatinous biomass in the Black Sea. Marine Ecology Progress Series 369, 229-256.

Özsoy, E., Latif, M. A., Beşiktepe, Ş., Oğuz, T., Güngör, H., Ünlüata, Ü., Gaines, A. F., Tuğrul, S., Baştürk, Ö., Yilmaz, A., Yemenicioğlu, S., Saydam, C., Salihoğlu, İ.1994. Monitoring via Direct Measurements of the Modes of Mixing and Transport of Wastewater Discharges into the Bosphorus Underflow (Hydrography, Sea-Level, Current and Flux Measurements in the Bosphorus Strait, and Acoustical Chemical and Rhodamine-B Dye Tracer Studies of the Ahirkapı Waste Discharge), Volumes 1, 2 and 3, METU Institute of Marine Sciences, Erdemli, İçel, Turkey.

Öztürk, İ. D., Mutlu, S., Kaman, G., Partal, F. B., 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 the Black Sea/Mediterranean Environment, 27(2) 184-201.

Pandley, M.K., Dasgupta, C.N., Mishra, S., Srivastava, M., Gupta, V.K., Suseela, M.R., Ramteke, P.W. 2019. Bioprospecting microalgae from natural algal bloom for sustainable biomass and biodiesel production. Applied Microbiology and Biotechnology, 103, 13, 5447-5458.

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.

Purcell, J.E., Uye, S., Lo, W.T. 2007. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. Mar Ecol Prog Ser 350:153-174.

Puškarić, S. 2010. A method of sequestering atmospheric carbon into a deep body of water. United States Patent and Trademark Office. Application Number 61/373,246 from 12 August 2010. Confirmation No. 1411.

Redfield, A. C., 1934. Organic Derivatives in Sea Water and Their Relation to the Composition of Plankton. James Johnstone Memorial Volume, University Press of Liverpool, 176-192.

Russo, A., Maccaferri, S., Djakovac, T., Precali, R., Degobbis, D., Deserti, M., Paschini, E., Lyons, D. M. 2005. Meteorological and oceanographic conditions in the northern Adriatic Sea during the period June 1999–July 2002: influence on the mucilage phenomenon. Science of the Total Environment, 353(1-3), 24-38.

Stachowitsch, M., Fanuko, N., Richter, M. 1990. Mucus Aggregates in the Adriatic Sea: An Overview of Stages and Occurrences. Marine Ecology, 11: 327-350. https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.1990.tb00387.x

Swain, S.S., Paidesetty, S.K., Padhy R.N. 2017. Antibacterial, antifungal and anti-mycobacterial compounds from cyanobacteria, Biomedicine and Pharmacotherapy, 90, 760-776. Vol.90, pp.760-76.

Thomas, J. A., Soddell, J. A., Kurtböke, D. I. 2002. Fighting foam with phages? Water Science and Technology, 46 (1-2), 511-518.

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. Sci Total Environ. 2005 Dec 15;353(1-3):204-17. doi:10.1016/j.scitotenv.2005.09.028. Epub 2005 Oct 4. PMID: 16213005.

TÜBİTAK MAM, 2017. Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme İşi Marmara Denizi Kirlilik İzleme Programı 2014-2016 yılı, Marmara Özet Raporu Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

Tüfekçi, V., Balkıs, 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. doi.10.3906/biy-0812-1.

Uğur, A., Yılmaz,, O. S., Çelen, M., Ateş, A. M., Gülgen, F., Şanlı, F. B. 2021. Determination of mucilage in the sea of marmara using remote sensing techniques with google earth engine. International Journal of Environment and Geoinformatics, 8(4), 423-434.

Vaughn, C.C., Hoellein, T.J. 2018. Bivalve impacts in freshwater and marine ecosystems. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 49(1).

Zhang, J., Shi, J., Gao, S., Huo, Y., Cui, J., Shen, H., Liu, G., He, P. 2019. Annual patterns of macroalgal blooms in the Yellow Sea during 2007–2017. PLoS One, 14(1), p.e0210460.

https://www.bbc.com/turkce/haberler-turkiye-57293708) (Erişim tarihi, 03.06.2021).

(https://www.eea.europa.eu/)(Erişim tarihi, 05.05.2022).

https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/denizSuyu/Marmara-Deniz-Suyu-Sicakligi-Analizi-2021.pdf (Erişim tarihi, 30.07.20222).

https://pml.ac.uk/news/Huge-coccolithophore-bloom-spotted-from-space (Erişim tarihi, 26/03/2020).