

**MARMARA DENİZİNDE MÜSİLAJ OLUŞUMU
MUHTEMEL SEBEPLERİ VE ÖNERİLER**

**MUCILAGE FORMATION IN MARMARA SEA
POSSIBLE CAUSES AND RECOMMENDATIONS**

Prof. Dr. Mehmet Emin Aydın
TÜBA Konsey Üyesi / TÜBA Council Member

**Prof. Dr. Mehmet Emin Aydın / Necmettin Erbakan Üniversitesi /
meaydin[at]erbakan.edu.tr / ORCID: 0000-0001-6665-198X**

Mehmet Emin Aydın, Konya Selçuk Üniversitesi, İnşaat Mühendisliğinden 1985 yılında mezun oldu. 1993 yılında İngiltere, Loughborough Teknoloji Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde suların arıtımı alanında doktorasını tamamladı. Selçuk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümüne 1997 yılında Doçent 2003 yılında Profesör olarak atandı. 2012 yılında Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümüne Profesör olarak atandı. Halen 2018 yılından beri aynı üniversitenin İnşaat Mühendisliği Bölümünde Profesör olarak çalışmaktadır. Araştırma alanı Su Temini, atıksuların uzaklaştırılması, su kirliliği, su arıtma, PAH, PCB, Pestisitler, Kalıcı organik kirleticiler, ekotoksikoloji alanlarını kapsamaktadır. Prof. Dr. Aydın'ın Uluslararası hakemli dergilerde ve sempozyum kitaplarında 235 makalesi, Ulusal sempozyumlarda 82 bildirisi, 12 kitap bölümü ve 6 kitap editörlüğü veya ortak editörlüğü vardır.

**Prof. Dr. Mehmet Emin Aydın / Necmettin Erbakan University /
meaydin[at]erbakan.edu.tr / ORCID: 0000-0001-6665-198X**

Mehmet Emin Aydın has studied of Civil engineering at Selcuk University in Konya, Turkey (1980-1985) and received his PhD in 1993 in the field of drinking water treatment at Civil Engineering Department of Loughborough University of Technology in England. He is appointed as Assoc. Prof. Dr. in Environmental Engineering of Selcuk University in 1997. Since 2003, he is full Professor in Environmental Engineering initially at Selcuk University and then since 2012 in Necmettin Erbakan University in Konya, Turkey. He is working as full Professor in Civil Engineering of Necmettin Erbakan University since 2018. His teaching and research cover water supply, wastewater disposal, water pollution, water and wastewater treatment, ecotoxicology, PAHs, PCBs, pesticides, pharmaceuticals and illicit drugs in environment. Prof. Dr. Aydın published 232 papers in international peer-reviewed journals and proceedings volumes; 82 presentations in National symposiums; 12 international book chapters, 6 book editorships and co-editorships.

MARMARA DENİZİNDE MÜSİLAJ OLUŞUMU, MUHTEMEL SEBEPLERİ VE ÖNERİLER

Özet

Bu çalışmada Marmara Denizi'nde 2021 Haziran ayında yoğun olarak gözlenen müsilaj probleminin muhtemel oluşma sebepleri incelenmiştir. Müsilaj probleminin daha önce görüldüğü yerlerde oluşum sebepleri, çevreye, deniz ekosistemine, ekonomiye verdiği zararlar, bu tür çevre felaketlerinin oluşumunu tetikleyen bölgedeki kirlilik yükleri, Karadeniz'den gelen kirleticiler, havza dışından gelen kirleticiler, daha önceki çalışmalardan derlenmiştir. Kirleticiler içerisinde özellikle N, P gibi besi maddeleri, pestisitler, PCB'ler, PAH'lar, PB-DE'ler, ağır metaller, mikroplastikler gibi mikrokirleticilerin muhtemel etkileri önemli bulunmuştur. Mikrokirleticiler besin zincirinde birikerek bazı türlerin üreme ve çoğalmalarını engelleyebilir veya yavaşlatabilir. Besin zincirinde özellikle fitoplanktonlarla beslenen deniz kabukluları ve küçük balıkların etkisinin azalması fitoplankton sayısının N, P bakımından zengin besi maddelerinin birikimi ve sıcaklığında artmasıyla kontrolsüz çoğalmalarına sebep olur. Ayrıca planktonlarla beslenen balıkların büyük miktarlarda avlanarak ortamdaki çekilmesi bu durumun etkisini artıran bir faktördür.

Anahtar Kelimeler:

Müsilaj, Deniz kirliliği, Deniz deşarjı, Marmara denizi, Kara deniz, Tuna nehri, İstanbul boğazı.

MUCILAGE FORMATION IN MARMARA SEA POSSIBLE CAUSES AND RECOMMENDATIONS

Abstract

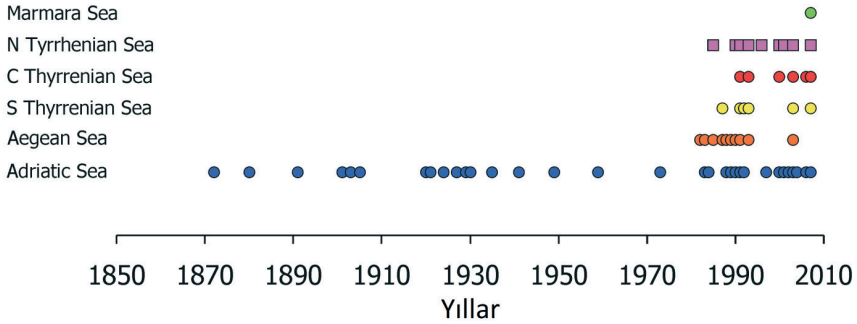
Mucilage problem occurred in June 2021 in Marmara Sea and possible causes were investigated in this work. A review was carried out on the works related to possible causes and harmful effects of mucilage to environment and marine ecosystem as well as mucilage formation initiating pollution loads coming from Marmara basin and from outside the basin especially from Black Sea. Nutrients (N, P) and Micro-pollutants such as pesticides, PCBs, PAHs, PBDEs, heavy metals and micro-plastics and their effects in overall pollution are considered important. Micro-pollutants can accumulate in the food chain and prevent or slow down the reproduction of some species. The decrease in the effect of shellfish and small fish feeding on phytoplankton in the food chain causes uncontrolled increase in phytoplankton numbers with the accumulation and temperature of nutrients rich in N, P. In addition, the withdrawal of fish that feed on plankton from the environment by hunting in large quantities is a factor that increases the effect of this situation.

Keywords:

Mucilage, Marine pollution, Sea outfall, Marmara Sea, Black sea, Danube River, Bosphorus.

Giriş

Müsilaj problemi 1870'lerden bu yana Adriyatik Denizinde sık sık görülen bir durumdur. Ege Denizinde 1990-2010 yılları arasında, Marmara Denizinde ilk kez 2007 ve 2010 yılları arasında (Şekil 1) ve en son 2021 yılı Haziran ayında çok şiddetli olarak görülmüştür (Danovaro, Umani ve Pusceddu, 2009).



Şekil 1. Akdeniz ve Marmara Denizinde müsilajın görüldüğü yıllar (Danovaro vd., 2009)

Marmara Denizinde son olarak ortaya çıkan yoğun müsilaj oluşumu Marmara Deniz ekosistemine gelen çevre kirleticilerinin ve iklim değişikliği gibi baskıların bir sonucu olarak görüldüğü değerlendirilmektedir. Müsilaj yapısındaki öne çıkan polisakkarit ve karbonhidratların belirgin olması müsilaj olayının fitoplankton kökenli maddelerden kaynaklandığını göstermektedir. Yumuşak geçen kış aylarından sonra gelen bahar ve sıcak yaz ayları deniz akıntılarının ve dalgaların yavaşladığı, durgunlaştığı şartlarda su kolonunda anoksik şartların oluşmasına, humik bileşiklerin ayrışmasının gecikmesine ve müsilaj üretiminin hızlanmasına neden olur. Bazı çalışmalarda yüksek N/P oranı ve bazı besin elementlerinin düşüklüğü müsilaj üretimini hızlandırdığı rapor edilmiştir (Mecozzi vd., 2001).

Müsilaj, ağır metaller, algal toksinler gibi toksik bileşikler absorblayarak veya hapsederek anoksik su kolundan biriktirir. Araştırmalar müsilaj oluşumuna fitoplanktonlar, diatomlar, bentik makroalgler ve bakteriler gibi organizmaların sebep olduğunu göstermiştir. Başlangıçta su kolonunda yumaklar oluşumunu takiben birbirleri ile bağlar kurarak yoğun bulut şeklinde yüzey altı tabakalar oluşur. Müsilaj oluşma sürecinde oluşan yumaklar tabana çökebilir veya yüzeyde tabakalar oluşturabilir (Mecozzi vd., 2001).

Besi maddeleri miktarındaki dengesiz değişim, planktonlar ile beslenen canlıların azalması virüs ve bakterilerin etkileriyle diatomların parçalanması, çözünmüş ve kolloid polisakkaritlerin oluşmasına sebep olur. Oluşan yumakların biyolojik kompozisyonu içinde oluştukları su kolonunun kompozisyonunu yansıtır, buldukları ortamdaki organizmalar, partiküller ve çözünmüş maddeler ile etkileşim halindedirler (Negro vd., 2005).

Bu oluşum dış müdahalelere karşı oldukça dirençli bir şekilde uzun zaman varlığını sürdürebilir. Müsilaj yapı içerisinde bakteri ve virüsler, içinde buldukları ortama göre çok daha yüksek sayılarda bulunurlar. Bakteriler, yumakların içerisinde yoğun olarak bulunan organik maddelerin parçalanmasında önemlidir. Organik maddelerin bakteriler tarafından parçalanması esnasında çözünmüş organik madde (ÇOM) oluşur. Oluşan ÇOM yumaklarda bulunan bakterilerin kullanabileceğinden daha hızlı oluştuğundan ortamda besi maddesi artışı olur. Su ortamında bu çözünmüş besinleri kullanabilecek bakterilerin sayısı hızla artar. ÇOM salını müsilajın kısmen parçalandığının göstergesidir. Tablo 1'de müsilaj ve su ortamındaki bakteri ve virüs sayıları verilmiştir.

Tablo 1. Müsilaj ve etrafındaki sulara bakteri ve virüs sayıları (Negro vd., 2005)

	n	Virüs (10¹⁰ VBP/L)	Bakteri (10⁹ hücre/L)	Virüs/bakteri oranı
Ortamdaki su	7	0.3 ± 0.1	0.7 ± 0.1	4.7 ± 0.1
Müsilaj boşluklarındaki su	16	25.7 ± 4.2	88.9 ± 9.8	2.9 ± 0.1
Müsilaj	17	92.2 ± 69.0	87.9 ± 1.0	72.0 ± 0.2

VBP/L: Virüs benzeri partikül / Litre

Çözünmüş ve doğal organik maddelerin, yumak oluşumu sırasında, büyük ölçekli müsilaj oluşumuna dönüşmesi anoksik şartlar, yavaşlamış su akıntıları, su sıcaklığının artması, besi seviyesinde azalma gibi iklim ve hidrolojik şartların da etkisiyle olmaktadır. Adriyatik denizinde müsilaj oluşumu deniz akıntısının yavaşladığı ve sıcaklık anomalilerinin olduğu dönemlerde görülmektedir (Mecozzi vd., 2012). Müsilaj oluşumunda ekosistemde bulunan bütün organik ve inorganik bileşikler kullanılmaktadır. Cu, Pb gibi katyonlarında müsilaj oluşumunu hızlandırdığı belirlenmiştir (Mecozzi vd., 2008).

Denizde yüzeyi kaplayan büyük miktarlarda müsilaj turizm, balıkçılık gibi sektörleri etkilediği için büyük ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Ayrıca denizde, yüzeyden 30 m derinliğe kadar yayılarak, deniz tabanına çökerek ortamda bulunan diğer canlıların ölmelerine sebep olmakta, bulunduğu bölgelerdeki deniz ekosistemini bozmaktadır. Sebep olduğu ekonomik ve ekolojik zararlar göz önüne alındığında yaygın müsilaj oluşumunun tekrarlamaması için Marmara Denizine gelen kirletici yükünün azaltılması önem arz etmektedir. Kirleticiler içerisinde C, N, P yükünün azaltılması ayrıca ekolojik dengenin, besin zincirinin bozulmaması, özellikle planktonlarla beslenen deniz kabukluları ve küçük balıkların türlerinin korunması gerekir. Bu canlıların varlıklarına ve çoğalmalarına tehdit oluşturan özellikle mikrokirletici yükünün azaltılması gerekir.

Marmara Havzası Kirlilik Yükleri

Marmara Denizinin de içinde bulunduğu Marmara Havzası alanı 2338525 ha olup ülkenin toplam alanı içerisinde payı %3'dür. İçişleri bakanlığı 2019 verilerine göre Marmara bölgesi toplam nüfusu 25 milyon kişidir. Havza içerisinde İstanbul, Kocaeli, Balıkesir, Bursa, Çanakkale, Kırklareli, Tekirdağ, Edirne ve Yalova illeri yer almaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Marmara Denizi Havzası ve idari sınırları (MEMPIS, 2006)

Marmara Denizi Ege Denizi ve Karadeniz arasında yer alan yüzey alanı yaklaşık 11500 km² (70 km x 240 km) ve maksimum derinliği yaklaşık 1300 m olan bir iç denizdir. İstanbul boğazı Marmara Denizi ve Çanakkale Boğazı Türk Boğazlar Sistemi (TBS) olarak adlandırılmaktadır. Karadeniz suları İstanbul Boğazından üst akıntı olarak Marmara Denizine girer ve Çanakkale Boğazından Ege Denizine üst akıntı olarak geçer. Buna karşılık daha tuzlu olan Ege Denizi suları Çanakkale Boğazı alt akıntısı olarak Marmara Denizine gelir ve alt akıntı olarak İstanbul Boğazından Karadeniz'e geçer. Daha az tuzlu olan Karadeniz'den gelen üst tabaka suları ile daha tuzlu olan Ege Denizi kaynaklı sular birbirinden ayrılan iki tabaka oluşturur. İki tabaka arasında derinliği mevsimlere göre değişen geçiş tabakası vardır. Üst tabakanın yaklaşık derinliği 25 m civarındadır. Marmara Denizi üst tabaka suları yılda 2-3 defa yenilenirken alt tabaka sularının yenilenmesi 6-7 yıl almaktadır.

Marmara Havzası içerisinde çok sayıda Organize Sanayi Bölgesi ve sanayi kuruluşu yer almaktadır. Ayrıca havza içerisinde tarım ve hayvancılık faaliyetleri de yapılmaktadır. Marmara Havzası içerisindeki yerleşim yerlerinin, sanayi kuruluşlarının katı atıklarının depolandığı alanlardan havaya ve suya kirlenmeler karışmaktadır.

Tablo 2. Marmara Denizi'ne deşarj edilen toplam kirlilik yükü (OSB, 2013)

Deşarj kaynağı	AKM (kg/gün)	BOİ (kg/gün)	KOİ (kg/gün)	TN (kg/gün)	TP (kg/gün)
Evsel	1.341.334	1.184.041	2.755.797	213.493	60.226
Endüstriyel	33.277	34.055	68.366	3.244	365
Dereler (yayılı kaynak)	858.971	140.033	599.248	116.902	41.382
Toplam	2.233.582	1.358.129	3.423.411	333.639	101.973

AKM: Askıda katı madde, BOİ: Biyokimyasal oksijen ihtiyacı, KOİ: Kimyasal oksijen ihtiyacı, TN: Toplam azot, TP: Toplam fosfor

Tarım ve hayvancılık faaliyetleri sonucu havzaya çok miktarda N, P ve pestisitler gelmektedir. Evsel ve endüstriyel faaliyetlerle havaya poliaromatik hidrokarbonlar (PAH), poliklorlu bifeniller (PCB) ve Polibromlu difenil eterler (PBDE) gibi kirleticiler, suya C, N, P kirliliklerine ilave olarak metaller, PAH, PCB, PBDE, farmasötikler, mikroplastikler gibi mikrokirleticiler deşarjlarla, yağmur sularıyla ve atmosferden kuru ve yağ çökeltme ile Marmara Denizine taşınmaktadır.

Tuna nehri tüm orta ve doğu Avrupa ile Balkanların evsel, endüstriyel atık sularının deşarj edildiği, ayrıca Tuna nehir havzası içerisindeki tarımsal faaliyetlerden, çöp sahalarından, endüstriyel alanlardan çok miktar ve çeşitte kirlenici yağmur suları ile taşınarak Karadenize dökülmektedir. Tuna nehri debisi Türkiye'deki akarsuların toplam debilerinden birkaç misli daha fazladır. Tuna nehrinin Karadenize taşıdığı kirliliklerin %50'lik kısmı boğaz üst akıntularıyla Marmara Denizine taşınmaktadır (OSB, 2013).

Tablo 3. Tuna Nehrinden Marmara Denizine ulaşan kirlilik yükü (OSB, 2013)

Parametre	Karadeniz'e giden kirlilik yükü (kg/gün)	Marmara Denizi'ne ulaşacak olan kirlilik yükü (kg/gün)
AKM	6.683.040	3.341.520
BOİ	26.204.286	13.102.143
TN	1.137.747	568.874
TP	168.188	84.094

AKM: Askıda katı madde, BOİ: Biyokimyasal oksijen ihtiyacı, TN: Toplam azot, TP: Toplam fosfor

Son 20 yılda Tuna Nehri havzasındaki ülkelerin noktasal kaynaklarda yaptıkları arıtma tesisleriyle kirlilik yükü önemli ölçüde azalmıştır. Buna rağmen Tuna nehrinden Marmara Denizine gelen kirlilik yükünün toplam kirlilik yükü içerisindeki payı ortalama %50'den fazladır. Kirleticiler arasında C, N, P kadar üzerinde durulmayan ancak önemleri son zamanlarda daha iyi anlaşılan mikrokirleticiler de aynı kaynaklardan Marmara Denizine ulaşmaktadır.

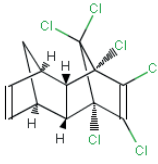
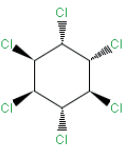
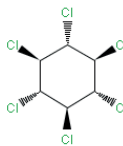
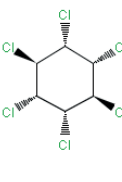
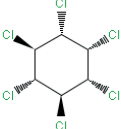
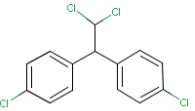
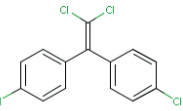
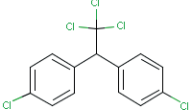
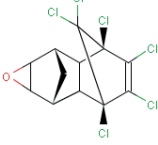
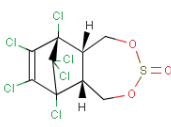
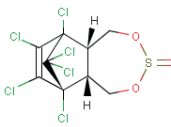
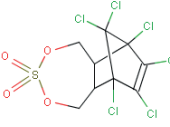
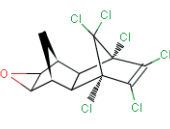
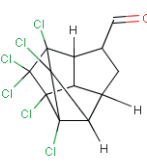
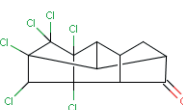
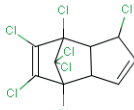
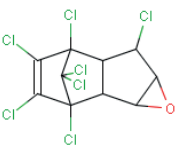
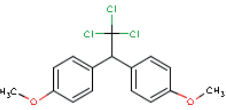
Mikrokirleticiler, Mikroplastikler ve Etkileri

Eser miktarlarda çevrede bulunan çevre ve insan sağlığına zararlı oldukları bilinen genellikle çevredeki doğal bozunma süreçlerine dayanıklı olduklarından uzun süre kalıcı olan kirleticiler mikrokirleticiler olarak sınıflandırılır. Genel olarak inorganik ve organik mikrokirleticiler olarak iki gruba ayrılabilir. Ağır metaller, metaloitler inorganik mikrokirleticileri oluştururken organik mikrokirleticiler pestisitler, PAH'lar, PCB'ler, PBDE'ler, poliklorlu dibenzo dioksinler ve furanlar (PCDD/F'ler) gibi bileşiklerdir. Bu bileşiklerin bazıları kanserojen, mutajen veya endokrin bozucu olarak veya toksik etki göstererek çevre ve insan sağlığına zarar verirler. Bu kirleticiler su ve sedimentte birikebilirler. Özellikle su ortamında planktonların bünyesinde konsantre olurlar, plankton tür ve sayılarına etki edebilirler. Planktonlarla beslenen daha büyük deniz canlılarında ve balıklarda birikerek tür ve sayılarında değişime sebep olabilirler.

Pestisitler

Tarım ürünlerinin üretilmeleri, depolanmaları, taşınmaları sırasında ürünlere ve bitkilere zarar veren böcekleri mikroorganizmaları ve diğer zararlıları yok etmek için kullanılan kimyasal bileşiklerdir. Kullanıldıkları zararlı türüne karşı insektisit, herbisit, fungusit, rodentisit, akarisit gibi farklı isimlerle anılabilir. Ancak burada hepsi için pestisit ismi kullanılmıştır. Pestisitler içerisinde organik klorlu pestisitler (OCP) zararlılara karşı uygulanmaları sırasında ve sonrasında çevreye taşınarak hava, toprak ve su ortamlarında birikebilmekte ve kullanıldıkları yerden çok uzak bölgelere atmosfer ve suyla taşınma yoluyla ulaşabilmektedir. Çevrede tehlike oluşturan OCP'lerin en çok izlenenleri aşağıdaki Tablo 4'de verilmiştir.


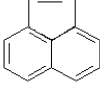

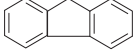
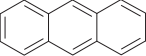
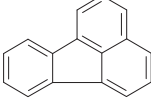
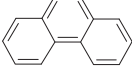
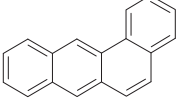
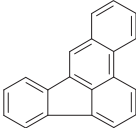
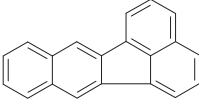
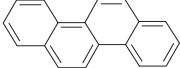
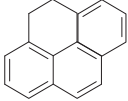
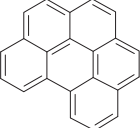
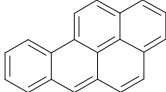
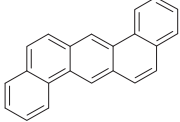
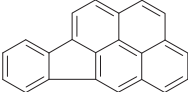
Tablo 4. Çevrede en çok izlenen OCP'ler (EPA, 2021).

			
Aldrin	α -BHC	β -BHC	γ -BHC
			
δ -BHC	4,4'-DDD	4,4'-DDE	4,4'-DDT
			
Dieldrin	Endosulfan I	Endosulfan II	Endosulfan sulfate
			
Endrin	Endrin aldehyde	Endrin ketone	Heptachlor
			
Heptachlor epoxide	Methoxychlor		

Poliaromatik Hidrokarbonlar (PAH)

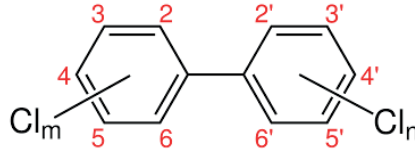
PAH bileşikleri kanserojen ve mutajen olmaları sebebiyle son yıllarda en çok izlenen öncelikli kirleticiler arasındadır. PAH'ların kaynakları endüstriyel prosesler, fosil yakıtlar, araç emisyonları, kok ve odun gibi organik maddelerin ek-sik yanmaları gibi proseslerdir. Çevrede izlenmesi US EPA tarafından öncelikli kirleticiler listesine alınmış olan 16 EPA PAH'ları olarak bilinen PAH bileşikleri Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. 16 EPA PAH'lar (EPA, 2021).

 Naphthalene	 Acenaphthylene	 Acenaphthene	 Fluorene
 Anthracene	 Fluoranthene	 Pyrene	 Benzo(a)anthracene
 Benzo(b)fluoranthene	 Benzo(k)fluoranthene	 Chrysene	 Pyrene
 Benzo(g,h,i)perylene	 B(a)pyrene	 Dibenzo(a,h)anthracene	 Indeno(1,2,3-c,d)pyrene

Poliklorlu Bifeniller (PCB)

Bifenil melokülüne klor atomunun bağlanmasıyla oluşan ve klor sayısı ve pozisyonuna göre 209 adet (Şekil 3) kongeneri bulunan bileşiklerdir. 1920'li yıllerde elektrikli ürünlerde boya, kağıt, karton endüstrisinde kullanılmak üzere üretilmiş ve çevreye yayılmıştır. 1970'li yılların sonlarında üretilmeleri ve kullanımları birçok ülkede sınırlanmış veya yasaklanmıştır. PCB'ler kalıcı olmaları, lipofilik kimyasal yapısı, canlılarda birikme özelliği sebebiyle çevre ve insanlarda kronik ve akut sağlık problemleri oluştururlar. Çevrede en çok bulunan ve izlenen Ballschmider PCB'ler olarak bilinen PCB kongenerleri Tablo 6'da verilmiştir.



Şekil 3. PCB'lerin genel yapısı

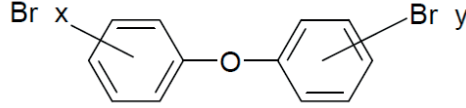
Tablo 6. Çevrede en çok izlenen PCB'ler (Ballschmider PCBs) (EPA, 2021).

<p>PCB 28</p>	<p>PCB 52</p>	<p>PCB 101</p>
<p>PCB 138</p>	<p>PCB 153</p>	<p>PCB 180</p>

Polibromlu Difenil Eterler (PBDE)

PBBDE'ler halojenli alev geciktirici bileşikler olarak elektrikli aletlerde, mobilyalarda, tekstil ürünlerinde, boyalarda ve yüzey kaplamalarda kullanılır. Bromlu difenil eter genel yapısı Şekil 4'de verilmiştir. Brom atomunun difenil molekülüne bağlanma yeri ve sayısına göre 209 PBDE kongener vardır. Bunların bir kısmı ticari olarak bulunduğu için çevrede, canlılarda, balıklarda ve insanlarda en sık ölçülenler BDE-47, BDE-99, BDE-100, BDE-153, BDE-154 kongenerleridir. Ev tozu, sediment ve iç ortam havasında en çok bulunan BDE-209'dur. Tablo 7'de BDE-28 ve BDE-209 kongenerleri verilmiştir. PBDE'ler atmosfer ve deniz akıntılarıyla uzun mesafelere taşınabilirler. Son yıllarda PBDE'ler insan yağ do-

kusunda, anne sütünde, balıklarda, kuşlarda, deniz memelilerinde, sedimentte, arıtma çamurlarında, ev tozlarında, dış ve iç ortam havasında tespit edilmişlerdir. Sudaki ve sedimentteki PBDE'ler bentik organizmalardan balıklara ve besin zincirinin üstündeki organizmalara biyokonsantrasyon ve biyomagnifikasyon yoluyla geçer.



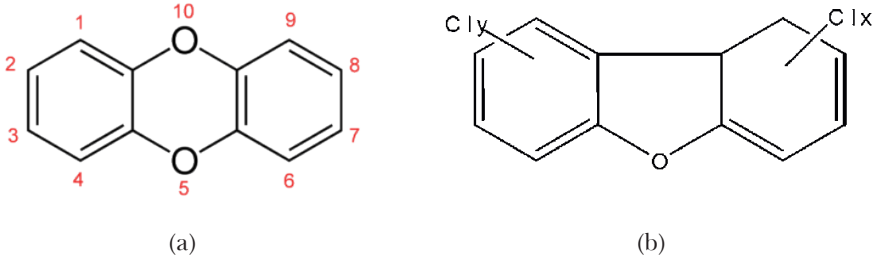
Şekil 4. PBDE yapısı

Tablo 7. Çevrede en sık görülen PBDE kongenerleri (EPA, 2009).

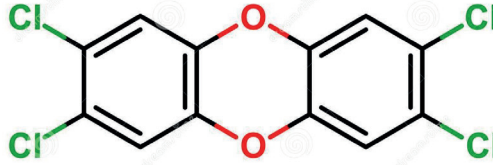
Kongener	Bromlu atom sayısı	Kimyasal ismi
BDE-28	3	2,4,4'-tribromodiphenyl ether
BDE-47	4	2,2',4,4'-tetrabromodiphenyl ether
BDE-85	5	2,2',3,4,4'-pentabromodiphenyl ether
BDE-99	5	2,2',4,4',5-pentabromodiphenyl ether
BDE-100	5	2,2',4,4',6-pentabromodiphenyl ether
BDE-153	6	2,2',4,4',5,5'-hexabromodiphenyl ether
BDE-154	6	2,2',4,4',5,6'-hexabromodiphenyl ether
BDE-183	7	2,2',3,4,4',5',6'-heptabromodiphenyl ether
BDE-197	8	2,2',3,3',4,4',6,6'-octabromodiphenyl ether
BDE-206	9	2,2',3,3',4,4',5,5',6-nanobromodiphenyl ether
BDE-209	10	2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-decabromodiphenyl ether

Poliklorlu Dibenzo Dioksinler ve Furanlar (PBDD/F)

PCDD/F'ler çevreye insan kaynaklı faaliyetler sonucu karışan çevre ve insan sağlığı için tehlikeli kirleticilerdir. Yapılarındaki klor atomu sayısı ve pozisyonuna göre PCDD'lerin 75 kongeneri PCDF'lerin 135 kongeneri bulunmaktadır. PCDD/F'ler yarı uçucu toksik aromatik bileşikler grubundandır. Değişik kongenerlerin 2,3,7,8 pozisyonlarında klor atomunun varlığı toksisitelerini etkiler. Bu pozisyonlarında klor atomu buluna 7 PCDD ve 10 PCDF kongeneri vardır. 2,3,7,8-tetraklorodibenzo-p-dioksin (TCDD) içlerinde en önemli kongenerdir ve Grup 1 kanserojen olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 5 ve 6).



Şekil 5. (a) PCDD ve (b) PCDF genel yapısı



Şekil 6. 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) (EPA, 2021).

Mikroplastikler (MP)

Plastikler ambalaj malzemesinden kozmetik ürünlere, tekstil ürünlerinden elektronik ürünlere çok yaygın şekilde kullanılmaktadır (Tablo 8). Plastikler üretilmeleri ve kullanılmaları sırasında, atıldıkları zaman çevreye karışır. Çevrede mekanik kuvvetler etkisiyle küçük parçalara bölünerek MP'ler haline gelirler. Plastikler bünyelerinde ve yüzeylerinde diğer mikrokirleticileri de taşırlar (Tablo 9).

Tablo 8. Yaygın olarak kullanılan plastik türleri (Babel ve Haarstrick, 2019)

Tür	Kısaltma	Kullanımı	d (kg/m ³)
Polypropylene	PP	Ambalaj, şişe kapakları, halatlar, halılar, laboratuvar ekipmanlar, içme çubukları	0.83 – 0.85
Low density polyethylene	LDPE	Ambalaj, genel amaçlı konteynerler, duş perdeleri, yer karoları	0.91 – 0.93
Polyethylene	PE	Süpermarket çantaları, plastik şişeler	0.91 – 0.96
High-density polyethylene	HDPE	Süt kapları, deterjan şişeleri, boru	0.94
Polystyrene	PS	Ambalaj köpüğü, tek kullanımlık bardaklar, gıda kapları, CD'ler, yapı malzemeleri	1.05

Tür	Kısaltma	Kullanımı	d (kg/m ³)
Acrylonitrile butadiene styrene	ABS	Müzik aletleri, yazıcılar, bilgisayar monitörleri, drenaj boruları, koruyucu ekipman	1,06 – 1,08
High-impact polystyrene	HIPS	Yüksek etkili polistiren (HIPS)	1.08
Polyamides (nylons)	PA	Tekstil, dış fırçası kılları, olta hatları, otomotiv	1.13 – 1.35
Polycarbonate	PC	CD'ler, DVD'ler, inşaat malzemeleri,	1.20 – 1.22
		elektronikler, lensler	
Polyvinyl chloride	PVC	Borular, pencere çerçeveleri, döşeme,	1.38
		duş perdeleri	
Polyethylene terephthalate	PET	Alkolsüz içecek şişeleri, gıda ambalajı, ısı yalıtımı, blister ambalajlar	1.38
Polyester	PES	Tekstil	1.40

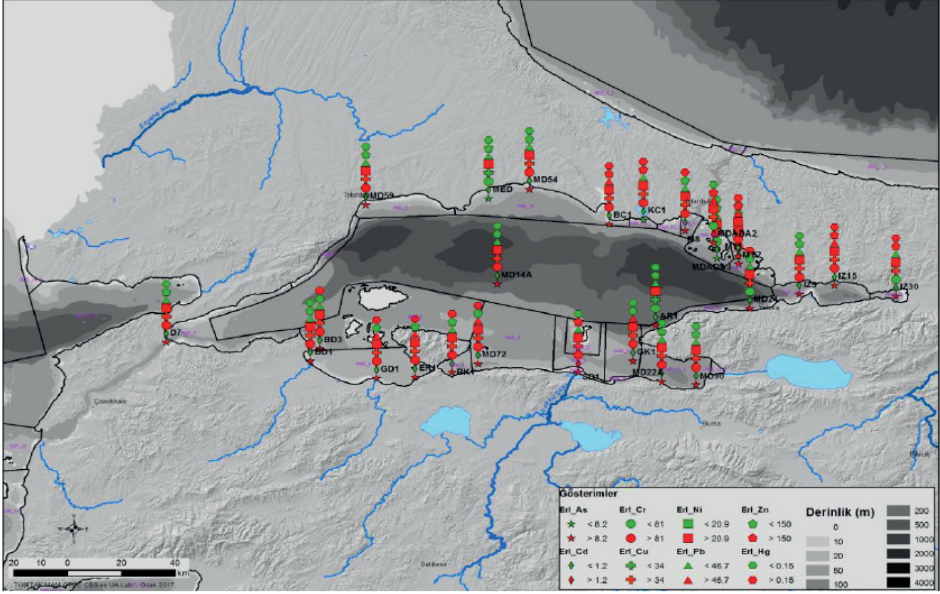
MP'ler birincil kaynak olarak sınıflandırılacak çok çeşitli kaynaklardan AAT'leride geçerek akarsulara, göller ve denizlere kadar taşınırlar. MP'ler doğrudan kullanımları sonucu çevreye verilebilir (birincil kaynak) veya çevre şartlarında daha büyük plastik atıkların parçalanması sonucu (ikincil kaynak) çevrede yayılabilirler. Sucul ortamda yaşayan sürüngenler, kuşlar ve memeliler dahil 663 canlı türünün sağlığı plastiklerden etkilenmiştir. Canlılar tarafından beslenme sırasında alınan MP'ler sindirim sistemini ve endokrin sistemini bozarak sağlıklarını ve üremelerini etkiler. MP'lerin değişik tarifleri yapılmıştır. Ancak EU Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi (2008/5/EG) MP'leri 5 mm'den küçük plastik partiküller olarak tariflenmiştir (Ta Tuan ve Babel, 2019). MP'ler çevrede sürekli olarak parçalanmakta ve daha küçük partiküller oluşmaktadır. 5x5x5 mm küp şeklindeki plastik parçacıktan parçalanarak 50x50x50 µm büyüklüğünde bir milyon MP partikül oluşur. Bilimsel araştırmalar MP'lerin boyutlarının küçülmesiyle canlılara verdikleri zararın arttığını göstermiştir (Babel ve Haarstrick, 2019). Kumaş üretiminde, mobilyalarda, oyuncaklarda, binalarda kullanılan sentetik tekstil fiber 2010 yılında 50 milyon ton üretilmiştir. Sentetik polar bir ceket her yıkamada suya 1900 fiber bırakır. Ortalama mikrofiber çapı 15-20 µm, boyu 5-8 mm civarındadır. Yüksek yüzey alanına sahip olduklarından deniz ortamında kimyasal kirleticileri adsorbe ederler. Karalardan denizlere taşınan plastik çöpler deniz plastik çöplerinin toplamı içerisinde %80 paya sahiptir. AAT'ler evsel ve endüstriyel atıksularla taşınan plastiklerin sadece büyük çaplı olan küçük bir kısmını tutabilir. Kıyı alanlarındaki turizm, balıkçılık, tekneler, kültür balıkçılığı, petrol platformları denize plastikleri doğrudan veren faaliyetlerdir. Yağmur suları çöp sahalarından, zirai alanlardan, yollardaki otomobil lastiklerinin aşınmasıyla oluşan partiküllerden MP'leri su ortamına taşır.

Marmara Denizinde 2015-2016 yıllarında deniz yüzeyinde su kolonunda ve sedimentte belirlenen MP sayıları Tablo 10'da verilmiştir. Genel olarak çalışma bölgelerinde plastik fiber partiküller yoğun olarak belirlenmiştir. Genel olarak fiber partikül ağırlıklı MP'ler evsel ve endüstriyel atıkların denize deşarjı ile gelmektedir. Marmara Denizi etrafındaki kimyasal durum genel olarak metaller, organik kirleticiler ve pestisitler açısından kötü durumdadır. İzmit, Gemlik ve Bandırma körfezleri sanayi tesislerinden gelen kirleticiler, akarsularla havza içinden denize kirleticilerin taşınması sebebiyle önemli kirletici girişi olan noktalarlardır.

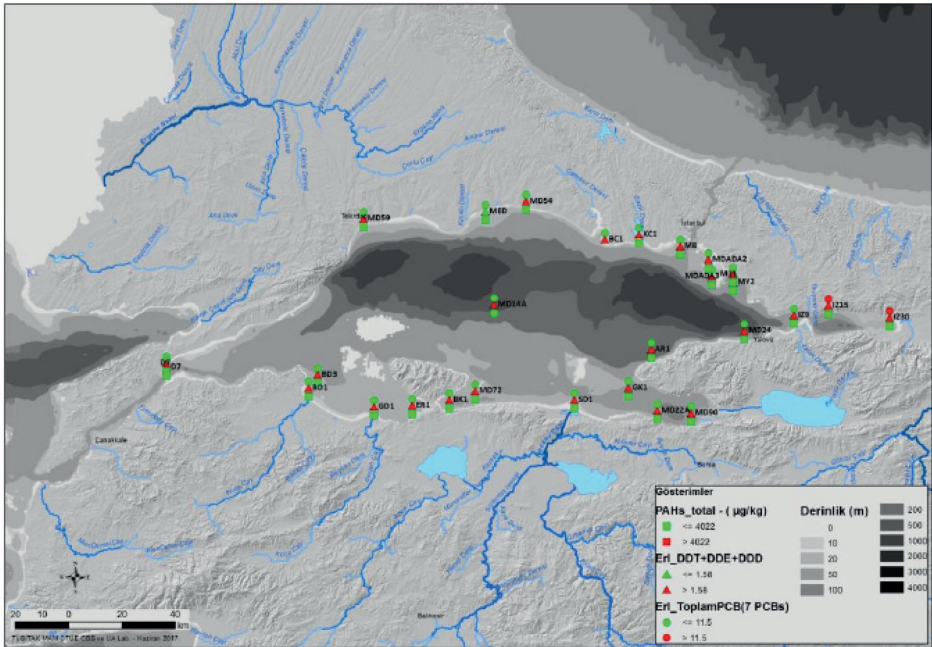
Tablo 9. Plastiklerde bulunan diğer mikrokirleticiler (Babel & Haarstrick, 2019)

Katkı Maddesi	Zararlı Bileşikler	Konsantrasyon
Alev geciktiriciler:	Klorlu parafinler Bromlu alev geciktiriciler Borik asit	10 – 20 % w/w
Plastikleştiriciler: Fitalatlar Epoksid Polyester	Bentyl butyl phthalates Diisoheptylphthalates Tris(2-chloroethylphosphate)	Yüksek molekül ağırlıklı Used up to 10 – 80 % w/w
Dengeleyiciler: Halojen Anti-oksidantlar Soğurucular	Arsenik bileşikleri Bisphenol A Kadmiyum bileşikleri Kurşun bileşikleri Octylphenol	0.1 – 10.1 % w/w
Kür malzemesi Katalizör, radikal temizleyiciler	2,2'-dichloro-4,4'-methylene- dianiline TiO ₂	0.1 – 2 % w/w
Renklendiriciler	Kadmiyum, krom, kobalt bile- şikleri	1 – 4 % w/w

2016 yılında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Marmara Denizindeki izleme istasyonların tamamında Nikel, % 90 civarında Arsenik ve Bakır Düşük Etki Aralığı (ERL) üzerinde tespit edilmiştir. Genel olarak Pb, Cd, Zn ERL altında, Hg ise Düşük Etki Aralığı (ERL)'nin %50 seviyesinde üzerindedir (Şekil 7). Sediman istasyonlarının yaklaşık %95'inde DDT ve türevleri toplamı Düşük Etki Aralığı (ERL) üzerinde tespit edilmiştir. Toplam PCB, 2 istasyonda ERL üzerinde tespit edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 7. Marmara Denizi sediman istasyonlarında metallerin Düşük Etki Aralığı (ERL) kalite sınıflandırması (ÇŞB, 2017).



Şekil 8. Marmara Denizi sediman istasyonlarında organik kirleticilerin Düşük Etki Aralığı (ERL) kalite sınıflandırması (ÇŞB, 2017).

Biyota örneklerinin (berlam, istavrit, mezgit, karides ve midye) Cd, Pb ve Hg değerleri Türk Gıda Kodeksi'nde (TGK) yer alan sınır değerlerin altında kalmıştır. Ancak balık ve karides örneklerindeki Hg, AB Öncelikli Kirleticiler Direktifi ekosistem sağlığı için verilen sınır (0.02 mg/kg) değerinin üzerinde bulunmuştur. Benzo(a)pyrene (5 $\mu\text{g}/\text{kg}$) ve fluoranthene içeriği (30 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 2013/39/AB sayılı direktifte verilen değerlerinin ve TGK sınır değerinin (benzo(a)pyrene; (balık 2 $\mu\text{g}/\text{kg}$, kabuklular 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ya, çift kabuklu yumuşakçalarda 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$) altında bulunmuştur. Yenilebilir dokulardaki toplam PCB'lerin (PCB28, PCB52, PCB101, PCB138, PCB153 ve PCB180) konsantrasyonları, Türk gıda kodeksinin izin verilen maksimum limit değerlerinin (75 ng/g) altındadır. Balık (berlam istavrit) ve karides örnekleriyle, 5 istasyonda toplanan midyede, yapılan ölçümlerde DDT ve türevlerine rastlanmıştır. Diğer organoklorlu pestisitler (a-BHC, b- BHC, d-BHC, heptaklor, lindane ve aldrin), ölçüm sınırının altında tespit edilmiştir. Marmara Denizi'nde DDT ve türevlerinin midye'de (*Mytilus galloprovincialis*) 1.96-22.56 ng/g yaş ağırlık, balık'ta (berlam, istavrit) 5.37-59.90 ng/g yaş ağırlık, karides'te 0.07-0.12 ng/g yaş ağırlık seviyelerinde tespit edilmiştir (ÇŞB, 2017).

Tablo 10. Marmara Denizinde tespit edilen mikroplastiklerin özellikleri, sayı ve toplam Ağırlıkları (ÇŞB, 2017)

İstasyon	Deniz yüzeyi				Su kolonu		Sediman	
	Adet/km ²		Adet/m ³		Adet/m ³		Adet/L	
	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015
İZ30	418788	413242	0.94	1.78	17.05	44.84	243	500
İZ17	381060	-	0.92	-	8.62	-	187	-
MD24	407470	352381	0.90	2.17	5.88	-	94	940

İZ30, İZ17: İzmit Körfezi izleme istasyonları, MD24:İzmit Körfezi girişi izleme istasyonu

Sonuçlar

Marmara Denizi etrafında 25 milyon nüfusun yaşadığı iller, yoğun endüstri ve zirai faaliyetler yer almaktadır. Denize noktasal ve yayılı kaynaklardan büyük miktarlarda C, N, P taşıyan atık deşarjları yapılmaktadır. Akarsularla havza içinden kirleticiler taşınırken Karadeniz'den özellikle Tuna Nehrinin taşıdığı kirleticiler Marmara Deniz kirliliğinin %50'sine karşılık gelmektedir. Ayrıca aynı bölgelerden ve kirletici kaynaklardan denize metaller, pestisitler, PAH'lar, PCB'ler, PBDE'ler, PCDD/F'ler ve MP'ler taşınmaktadır. Mikrokirleticiler suda, sedimentte ve deniz ekosisteminde birikerek ekolojik yapıya zarar verir, normal işleyişini bozar. Böylece bazı plankton ve onlarla beslenen balıklar ve canlıların tür ve sayılarında azalmaya sebep olurlar. Bu durumda istilacı dayanıklı türlerin müsilağ felaketine de sebep olan bazı fitoplankton türlerinin aşırı çoğalmasını tetikler. Sıcaklığın artması, denizin durgunlaşması, besi maddelerindeki dengesizlik gibi faktörlerinde etkisiyle müsilağ oluşumu hızlanır.

Öneriler

Marmara denizinde gelecekte müsülaj ve benzeri büyük çevre problemleri yaşanmaması için aşağıdaki hususların dikkatle uygulanması önemlidir.

- Marmara Denizi Havzası'ndaki Nüfusu 5000'i geçen tüm yerleşimlerde ve tüm OSB'lerde atık suların üçüncü derece ileri biyolojik arıtma seviyesine kadar arıtılması,
- Marmara Denizi Havzası'ndaki tüm bölgede iyi tarım uygulamaların yaygınlaştırılması,
- Tüm Havza'da katı atıkların ve zararlı atıkların son teknolojiye uygun bertarafı,
- Havza bazında pestisit, gübre ve diğer kimyasal bileşiklerin kullanımının kontrol altına alınması, Bu tür kimyasalların kullanılmalari, üretilmeleri, taşınmaları ve depolanmaları sırasında çevreye bırakılmalarının önlenmesi,
- Petrokimya endüstrisi atıklarının, petrol ve ürünlerinin üretilmeleri, taşınmaları ve depolanmaları sırasında çevreye bırakılmalarının önlenmesi,
- Evsel ve endüstriyel AAT deşarjlarının izleme ve denetim işlemlerinin yeteri sayıda ve sıklıkta yapılması, iyi işletilmeyen tesislere etkili yaptırımlar uygulanması
- Çevreye mikrokirletici salımı yapan kaynakların belirlenmesi, salımların önlenmesi ve izlenmesi,
- Kıyı düzenlemesi ve kıyıdaiki tesislerin bakım onarımları sırasında, taban taraması durumlarında kıyı ekolojisine zarar verilmesinin önlenmesi,
- Deniz ekolojisini ve besin zinciri dengesini bozacak her türlü avlanmanın önlenmesi,
- Deniz taşımacılığı ve liman faaliyetleri sırasında denize kirletici girişinin önlenmesi,
- Bütün AAT çıkışlarına, denize akarsu giriş ağızlarına ve akarsular üzerindeki kritik noktalara kalite izleme istasyonları kurulması, Genel kirlilik parametreleri yanı sıra mikrokirleticilerin ve mikroplastiklerin de mutlaka izlenmesi,
- Tuna Nehri paydaş ülkeleriyle Tuna Nehrine gelen kirliliklerin azaltılması için uluslararası çalışmaların yapılması önerilmektedir.

Kaynakça / References

- Babel, S. & Haarstrick, A. (2019). Assessment of microplastic pollution in the lower Chao Phraya River, Thailand, *Exceed Mena Regional Workshop*. Rabat, Morocco.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), (2017). ÇED İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı, 2016-2017 yılı Marmara Denizi Özet Raporu.
- Danovaro, R., Umani, S.F. ve Pusceddu, A. (2009). Climate change and the potential spreading of marine mucilage and microbial pathogens in the Mediterranean Sea. *PLOS ONE*. 4 (9); e7006.
- EPA (2009). Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) Action Plan.
- EPA (2021). Current Chemical and Bioassay Data, <https://comptox.epa.gov/dashboard>.
- Mecozzi, M., Acquistucci, R., Noto, V.D., 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 substances. *Chemosphere*. 44; 709-720.
- Mecozzi, M., Pietroletti, M. & Conti, M.E. (2008) The complex mechanisms of marine mucilage formation by spectroscopic investigation of the structural characteristics of natural and synthetic mucilage samples. *Marine Chemistry*. 112; 38-52.
- Mecozzi, M., Pietroletti, M., Scarpiniti, M., Acquistucci, R. & Conti, M.E. (2012). Monitoring of marine mucilage formation in Italian seas investigated by infrared spectroscopy and independent component analysis. *Environmental Monitoring Assessment*. 184; 6025-6036.
- MEMPIS Consortium (2006). *Environmental Master Plan and Investment Strategy for the Marmara Sea Basin - Turkey, Water Quality Modeling of the Sea of Marmara, Model Development and Scenario Simulations*. European Investment Bank and Turkish Ministry of Environment & Forestry.
- Negro, P.D., 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; 258-269.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı (OSB), (2013). Su Yönetimi Daire Başkanlığı, Marmara Denizi kirlilik raporu.
- Ta Tuan, A. & Babel, S. (2019). Current status of microplastics contamination in marine and freshwater environments. *Microplastics in Water Environment*, Tayland.