

İTÜ



# MARMARA DENİZİ'NDE DENİZ SALYASI SORUNU

*ile İlgili Görüş  
ve Öneriler*

**Prof. Dr. İzzet Öztürk**

**Prof. Dr. Mustafa Yanalak**

**Prof. Dr. Özcan Arslan**

**Prof. Dr. İsmail Koyuncu**

**Doç. Dr. Ebru Dülekgürge**

**Doç. Dr. Mustafa Evren Erşahin**

**Dr. Öğr. Üyesi Türker Türken**

Haziran 2021

# *MARMARA DENİZİ'NDE DENİZ SALYASI SORUNU İLE İLGİLİ GÖRÜŞ VE ÖNERİLER*

*Prof. Dr. İzzet Öztürk  
Prof. Dr. Mustafa Yanalak  
Prof. Dr. Özcan Arslan  
Prof. Dr. İsmail Koyuncu  
Doç. Dr. Ebru Dülekgürgen  
Doç. Dr. Mustafa Evren Erşahin  
Dr. Öğr. Üyesi Türker Türken*

*18.06.2021*

## İÇİNDEKİLER

<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>4</b>
1.1. Deniz Karı (Müsilaj) ve İçeriği.....	4
1.2. Olası Mekanizmalar-Nedenler.....	4
1.3. Türler ve Ardıl Çoğalma.....	10
1.4. Uzaktan Algılama.....	10
<b>2. MARMARA DENİZİ VE TÜRK BOĞAZLAR SİSTEMİNİN SU BÜTÇESİ.....</b>	<b>15</b>
<b>3. MARMARA’DA DENİZ SUYU DOLAŞIMI VE AKINTI DURUMU .....</b>	<b>18</b>
<b>4. MARMARA DENİZİ İLE KARADENİZ ETKİLEŞİMLERİ VE KİRLİLİK TAŞINIMI.....</b>	<b>21</b>
4.1. Karadeniz’den İstanbul Boğazı Üst Tabaka Akımı ile Marmara’ya Kirlilik Taşınımı ...	21
4.2. İstanbul Atıksu Deşarjlarıyla Karadeniz ve Marmara’ya Kirlilik Taşınımı .....	21
4.3. İstanbul Boğazı Alt Akımıyla Karadeniz’e Verilen Kirlilik Yükünün Tuna Kaynaklı Kirlilikle Mukayesesi .....	25
<b>5. MARMARA DENİZİ HAVZASINDAKİ KİRLİTİCİ YÜKLERİNİN SEKTÖREL DAĞILIMI.....</b>	<b>28</b>
5.1. Marmara Denizi için Çevresel Master Plan ve Yatırım Stratejileri Projesi (MEMPİS) Bulguları.....	28
5.2. Marmara Denizi ile İlişkili Atıksu Altyapı Durumu ve Deşarjları Raporu (MBB, 2021) Bulguları.....	29
5.3. Marmara’daki Kentsel Atıksu Deşarj Yükleri Dağılımıyla ilgili Güncel (Kavramsal) Durum Analizi.....	32
<b>6. MARMARA DENİZİ İÇİN “İYİ SU KALİTESİ DURUMU” HEDEFLERİ.....</b>	<b>34</b>
6.1. MEMPİS Projesi Hedefleri.....	34
6.2. İSKİ Master Planı (İMC, 1999) Arıtma Stratejisi .....	34
6.3. İstanbul’a (Boğaza Yapılan Deşarjlar) Özgü Kısıtlara İlişkin Hususlar .....	35
<b>7. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİMİ ETKİSİYLE DENİZ SUYU SICAKLIĞININ ARTMASINA BAĞLI DURUMLAR.....</b>	<b>38</b>
<b>8. MÜSİLAJ PROBLEMİ İLE MÜCADELEDE UYDU GÖRÜNTÜLERİ VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN KULLANIMI.....</b>	<b>42</b>
<b>9. GÖRÜŞ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>63</b>
9.1. Genel Durum .....	63

9.2. Su Kalitesi ve Ekolojik Durum.....	63
9.3. Hassas Alanlar Bakımından Değerlendirme.....	64
9.4. Marmara'ya Verilen Kirlilik Yüklerinin Azaltılması ile İlgili Öneriler .....	65
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>69</b>

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Deniz Karı (Müsilaj) ve İçeriği

Organik maddece zengin bir doğal oluşum olan deniz karı, açık denizlerde ve okyanuslarda yaygın şekilde görünmekte iken, su yüzeyinin ısınması ve su kolonundaki tabakalaşma gibi unsurların etkisiyle küçük boyutlu toprakların bir araya gelmesi ile; boyutları ve yayılım alanları yüzlerce kilometreye ulaşabilen, kıyı şeridinde deniz yüzeyini kaplayan tabakalar, üst su kolonu içerisinde yayılan uzun iplikli ve ağ yapılar, yumaklar ve zamanla yaşlanarak dibe çöken ve deniz dibi ile burada yaşayan canlıların üzerini kaplayabilen kalın tabakalar oluşturan oluşumlar deniz müsilajı (deniz salyası) olarak tanımlanmaktadır (Danovaro vd., 2009).

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

Yüksek organik madde içeriği nedeniyle müsilaj, organik madde üzerinde çoğalan heterotrofik mikroorganizmalar ve canlılar için de zengin bir besin kaynağı özelliği taşımakta ve bu organizmaları çeken bir yaşam ve beslenme alanı oluşturmaktadır. Müsilajın içerdiği/tuttuğu canlılar üzerine yapılan çalışmalarda, müsilajın içinde bulunduğu deniz suyu kolonuna kıyasla  $10^3$ - $10^4$  daha fazla prokaryotik canlı barındırdığı kaydedilmiştir (Danovaro vd., 2009). Müsilajdaki gerek prokaryot gerekse virüs zenginliğinin, bakteriyel biyobozunma ve viral şant mekanizmaları sonucunda ilk oluşum sonrası müsilajın artması ve olgunlaşması safhalarına katkı sağladığı değerlendirilmektedir.

### 1.2. Olası Mekanizmalar-Nedenler

Müsilaj oluşum süreçleri bağlamında olası farklı mekanizmalar arasında şunlar sıralanabilir (Danovaro vd., 2009):

- Stres koşullarında fitoplanktonlar tarafından yüksek birincil üretim (fotosentez) fazlası olarak üretilen karbonhidratların deniz ortamına salınması, sızması (P-kısıtlı koşullarda diatomlar tarafından yüksek miktarda üretilen polisakkaritler),
- ölüm ve hücre parçalanması ile hücre duvarı artıklarından kaynaklanan yapısal polisakkaritlerin deniz ortamına karışması,

- ölüm ve hücre parçalanması/lizi sonucu yüksek miktarda çözünmüş organik madde (DOM) ve polisakkarit içeren hücre içeriğinin deniz ortamına karışması,
- bakteriyel hidroliz ve biyobozunumun kısıtlı olması nedeniyle yüksek molekül ağırlıklı organik bileşiklerin/polimerlerin zamanla birikmesi,
- virüslerin varlığında prokaryotların ve fitoplanktonların viral enfeksiyonu ve hücre lizi sonucu hücre içeriğindeki organiklerin deniz suyuna karışması ve birikmesi.

Doğrudan veya dolaylı antropojenik etkiler, iklim değişimi kaynaklı deniz suyu sıcaklık anomalileri ve tabakalaşma, su hareketliliğinin kısıtlı olduğu durgun su kütlelerinde üst su tabakasının sıcaklığının artması ve termal tabakalaşma, kıyı şeritlerinde artan kentleşme ve sanayileşme sonucu kara kökenli kirleticilerin deniz ortamına verilmesi, ötrofikasyon, aşırı balıkçılık faaliyetleri vb., deniz ekosistemindeki doğal dengeleri olumsuz yönde etkileyen pek çok unsurun ve bunların sinerjistik etkilerinin müsilaj vakalarının görülmesinde ve bunların sıklığının giderek artmasında rol oynadığı değerlendirilmektedir (Danovaro vd., 2009; Tüfekci vd., 2010; Genitsaris vd., 2019; Tas vd., 2020).

Müsilaj doğrudan bir kirlilik olmayıp, birçok farklı alanda zincirleme olarak olumsuzlukların tetiklenmesine neden olmaktadır (Şekil 1 ve Şekil 2). Bu olumsuzluklar arasında deniz canlılarının yok olması, balıkçılığın olumsuz etkilenmesi, deniz ve kıyı turizminin zarar görmesi, gemi ve deniz araçlarının zarar görmesi, atmosfere zararlı gazların salınması sayılabilir. Müsilaj oluşuktan sonra, çeşitli deniz vasıtaları ve sistemleri ile sınırlı şekilde denizden toplanmasından başka çözüm olmadığından, müsilajın oluşumuna neden olan faktörleri yok etmek en uygun çözüm olacaktır.

Müsilaj ve deniz kirliliğinin oluşumuna neden olan kirlilik türleri şu şekilde sınıflandırılabilir:

### **Evsel atıklar kaynaklı kirlilik**

Evlerde kullanılan lavabo vb. atıkların kanalizasyon sistemleriyle arıtma tesislerinde arıtılarak, kısmen arıtılarak veya arıtılmadan doğrudan denizle veya denizle bağlantılı akarsularla denize karışması nedeniyle oluşan kirlilik türüdür. Evsel katı atıkların ve bunların sularının doğrudan sulara karışması da başka bir evsel kirlilik türüdür. Bu tür kirliliğin önüne geçmek için yapılması gerekenler, evsel atıkların arıtılmadan denize karışmasını engellemek, arıtma sistemlerinin geri dönüşümünü ve arıtma kalitesini artıracak denetim sistemleri, eğitimler ve teknolojik çözümler üretmektir.

### **Sanayi atıkları kaynaklı kirlilik**

Marmara Denizi'nin etrafında sanayi tesisleri yoğun bir şekilde bulunmaktadır. Bu tesislerde yapılan üretim faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan endüstriyel atıklar, soğutma suları ve kimyasal atıklar arıtılmadan doğrudan/kısmen arıtılarak/arıtılarak denize ulaşabilmektedir. Bu atıklar, içerdikleri ağır metaller, kimyasal maddeler vb. nedeniyle, evsel atıkların arıtılabildikleri arıtma tesislerinde yeterince arıtılamamaktadır. Bu atıkların etkilerini azaltmak için, arıtılmadan denize

karişmasını engellemek, arıtma sistemlerinin geri dönüşümünü ve arıtma kalitesini artıracak denetim sistemleri geliştirmek, eğitimler ve ileri teknolojik çözümler üretmek gerekmektedir.

### **Tarımsal atıklar**

Tarımsal faaliyetlerde kullanılan kimyasal gübreler, ilaçlama faaliyetleri ve sulama esnasında kirliliğın denize ulaşması denizde kirliliğe neden olmaktadır. Tarımda kimyasal gübrelerin yerine organik gübrelerin geliştirilmesi, zararlı canlılarla mücadelenin kimyasal/zehirli maddeler yerine doğadaki döngüyü bozmayacak şekilde yapılması, vahşi sulama yerine damlama sulama vb. yeni teknolojilere geçilmesi gerekmektedir.

### **Gemi ve deniz araçları kaynaklı atıklar**

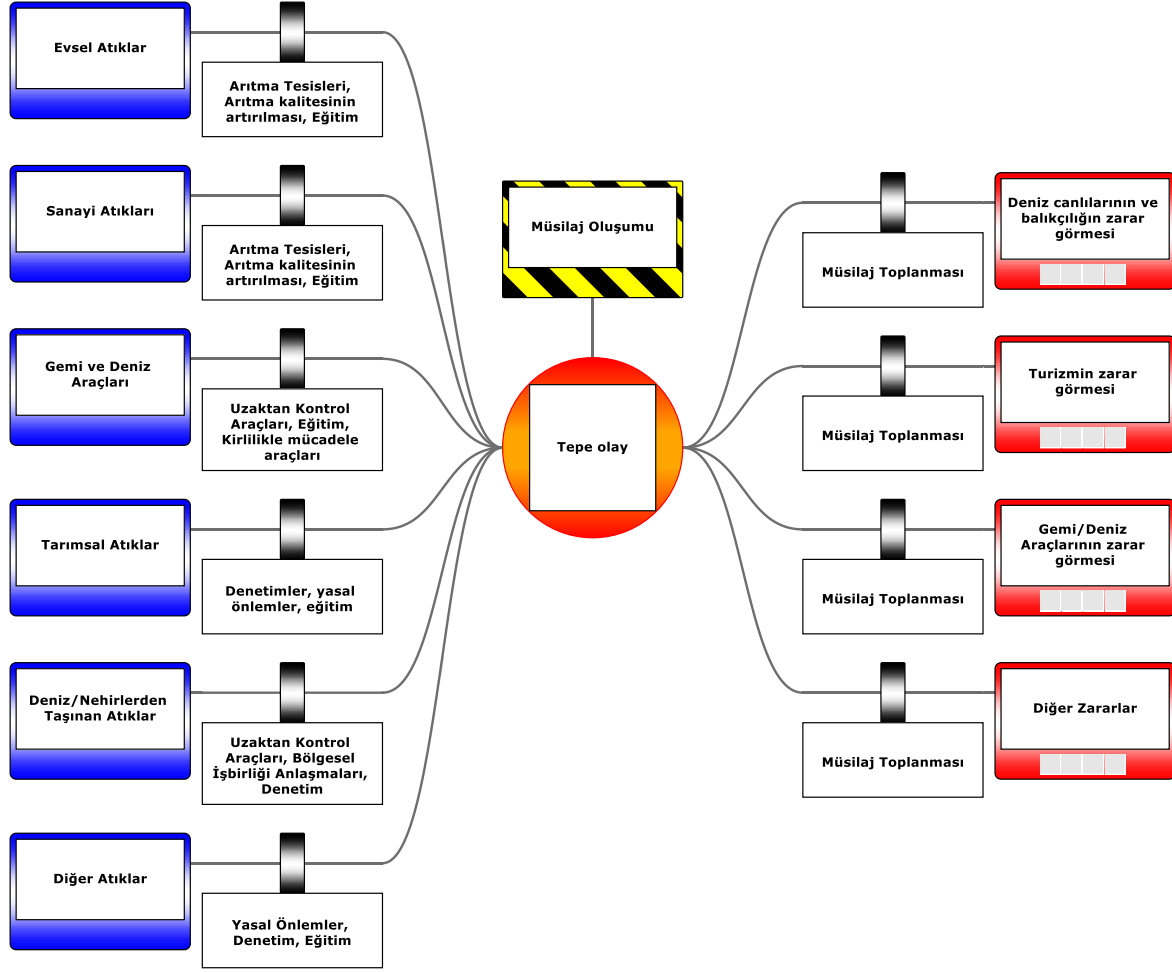
Gemi kazaları ve bazı gemi operasyonları, deniz kirliliğine neden olabilmektedir. Çatma, çatışma, karaya oturma, yangın, yakıt alımında meydana sızıntılar vb. kazalar neticesinde büyük petrol ve kimyasal kirlilikler oluşabilmekte ve denizlere ve deniz canlılarına büyük zararlar verebilmektedir. Ayrıca, gemi tanklarının yıkanmasıyla petrol/kimyasal içeren pis suların ve sintinelerin yasal olmayan yollarla denize boşalması gibi operasyonel işlemler de kirliliğe neden olmaktadır. Denizlerdeki gemi kaynaklı petrol kirliliğine gemi kazalarının etkisi oran olarak günlük faaliyetlerden daha az olmasına rağmen, kazalarda kısa süre içinde çok büyük miktarlarda petrolün denize dökülmesi denizin tolere edebileceğinden çok daha fazla kirliliğın oluşmasına neden olmaktadır. Deniz yüzeyine yayılabilen bu tip kirlilikler, özellikle akıntının da olduğu yerlerde hızlıca yayılmakta ve deniz yaşamını tehdit edebilmektedir. Liman ve terminallerde yapılan yükleme, boşaltma, yakıt alımı gibi operasyonlarda da kirlilik oluşabilmektedir. Bu tarz kirliliklerin önlenmesi için kirliliklerin uzaktan tespit edilebildiği görüntüleme sistemleri ve uydudan tespit sistemleri kurulup kirliliğın hızlıca tespit edilip yayılması engellenmelidir. Kirliliğe neden olan teknelere cezai yaptırımlar uygulanarak caydırıcılık artırılabilir.

### **Diğeri denizlerden taşınan atık ve kirlilikler**

Denizler ve nehirler birbiriyle bağlantılı olduğundan, yüzey ve dip akıntılarıyla kirlilikler ve mikroplastikler Marmara Denizi'ne taşınmaktadır. Buna benzer kirlilikler uzaktan kontrol ve tespit sistemleriyle tespit edilebilir. Bölgesel anlaşmalarla bu kirlilikleri azaltmak mümkündür.

### **Diğeri Atıklar**

Yukarıdaki maddelerde değinilmemiş olan hava kirliliğine bağılı deniz kirlilikleri, denizlerin doğrudan atıklarla kirlenmesi, toz, polen vb. şekilde denizlerin kirlenmesi de mümkündür. Bu tarz kirliliklerin önlenmesi için uzaktan tespit sistemleri ve eğitim gerekmektedir.



Şekil 1. Müsilaj oluşumu ve sebep olduğu zararlar ile ilgili Papyon Analiz Modeli

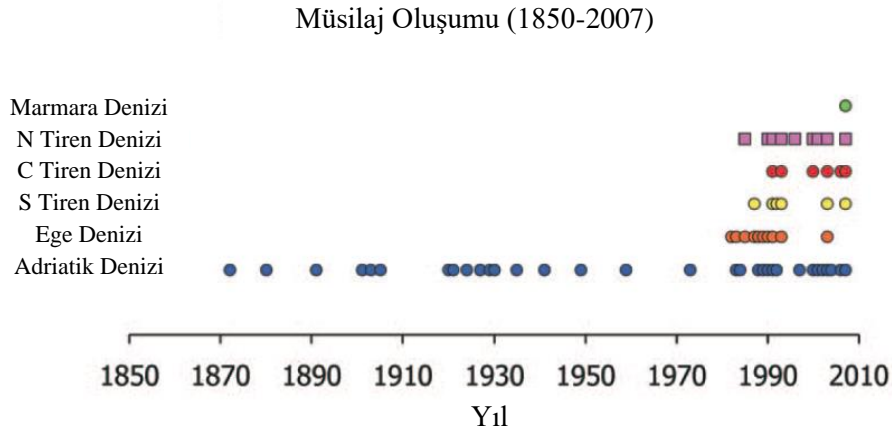




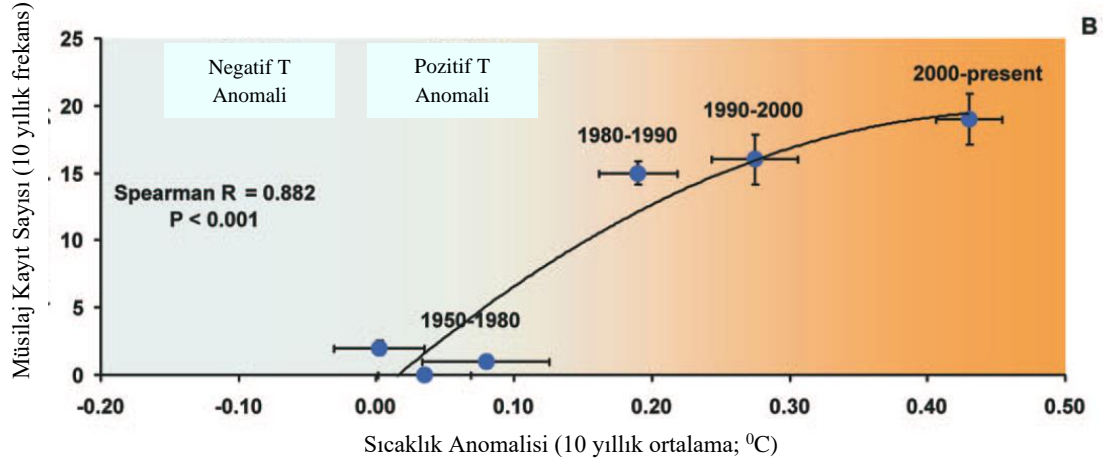
**Şekil 2.** İstanbul/Tuzla Sahil Bölgesi'nde oluşan müsilaj görüntüsü

Dünyanın pek çok farklı bölgesinde kaydedilen müsilaj vakalarına örnek olarak, çok uzun yıllardan beri takip edilen ve yoğun çalışılan Akdeniz-Kuzey Adriatik Denizi müsilaj vakaları (Danovaro vd., 2009), Türkiye’deki ilk kayıt olan Ekim 2007’deki Marmara Denizi müsilajı (Tüfekci vd., 2010; Tas vd., 2020), Haziran 2017’de Yunanistan-Selanik’te tespit edilen kızıl gelgit ve takip eden müsilaj (Genitsaris vd., 2019) ve içinde bulunduğumuz dönemdeki 2021 Marmara Denizi müsilajı sıralanabilir. Adriyatik Denizi müsilaj vakaları ve Ege Denizi’ndeki bazı vakalar ile Marmara Denizi’ndeki ilk müsilaj vakası, oluşum bölgesi ve zamanı bağlamında Şekil 3’te görünmektedir. Tarihi kayıtlar da içeren ve uzun süredir yoğun takip edilen Adriyatik Denizi müsilaj vakaları ile ilgili çalışmalarda, bölgede müsilaj görünme sıklığının giderek artan bir eğilimde olduğu, gözlemlenen müsilaj vakaları ile iklim değişikliği kaynaklı sıcaklık anomalileri arasında belirgin doğrudan bir ilişki olduğu kaydedilmekte (Şekil 4) ve iklim değişikliği kaynaklı sıcaklık artışlarının bölgedeki müsilaj vakalarının boyutlarını ve görülme sıklığını arttırdığı değerlendirilmektedir (Danovaro vd., 2009).

Adriyatik Denizi’nde yakın zamanlarda oluşan müsilaj vakalarının yayılma alanı ve deniz sisteminde kalma süresi bakımından en çarpıcı olanlarından biri olarak Mart 2007’de gözlemlenen ve İtalya’nın 2.500 km’lik kıyı şeridinde yayılarak 5 aydan uzun süre sistemde kalan müsilaj vakası gösterilmekte ve 2006-2007 kışının, geriye dönük son 30 senelik süreç içerisindeki en sıcak kış olduğu tespiti yapılmaktadır. Bu örnek ve zamanlaması, Marmara Denizi’ndeki Ekim 2007 müsilajı bağlamında da dikkat çekicidir.



**Şekil 3.** Akdeniz’de müsilaj oluşumu yer ve zaman kayıtları (Danovaro vd., 2009)



**Şekil 4.** Akdeniz’deki müsilaj oluşumu ile iklim değişikliği bağlantılı sıcaklık anomalileri arasındaki ilişki (Danovaro vd., 2009)

### 1.3. Türler ve Ardıl Çoğalma

Müsilaj vakaları öncesinde, genel olarak fitoplankton sayılarında belirgin artışlar, buna mukabil tür zenginliğinde/çeşitliliğinde azalma, müsilaj başlangıcında ve süresince de bazı diatom ve dinoflagellat türlerinin sayılarında belirgin artışlar kaydedilmiştir (Tüfekci vd., 2010; Genitsaris vd., 2019; Tas vd., 2020). Bu tespitler, olası müsilaj vakalarının belirlenebilmesi açısından erken uyarı unsurları olarak kullanılma potansiyeline sahip olarak değerlendirilebilir. Deniz ekosistemi içerisindeki fitoplankton türleri arasında müsilaj yaptığı bilinen ve/veya müsilaj vakalarında yüksek miktarlarda tespit edilen bazı diatom ve dinoflagellat türleri ön plana çıkmaktadır. Bunlar arasında *S. costatum*, *C. closterium*, *T. rotula* gibi diatomlar ve *G. fragilis* gibi dinoflagellatlar Ekim 2007’deki Marmara Denizi müsilaj vakası çalışmalarında da baskın türler olarak tespit edilmiş olmaları açısından önem taşımaktadır (Tüfekci vd., 2010; Tas vd., 2020).

Marmara Denizi müsilaj sorununa yönelik ekosistem bağlamında (Tas vd., 2020):

- Kirliliğe maruz kalmış kıyılardan taranan çökellerin fitoplankton sistemleri açısından dikkatli incelenmesi ve özellikle yüksek fitoplankton oluşum periyotlarında (Aralık-Mart) derin deniz tabakasına boşaltımının önlenmesi
- Mevcut durum tespiti, ekosistem yanıtlarının takibi ve zararlı alg patlamaları, fitoplankton topluluklarındaki tür değişiklikleri vb. olumsuz gelişmeler için erken uyarı işaretlerinin saptanması bağlamında, sistematik fitoplankton izleme programlarının oluşturulması ve yürütülmesi önerilmektedir.

### 1.4. Uzaktan Algılama

Doğal kaynakların mevcut durumunun belirlenmesi ve zaman içerisinde oluşan değişimlerin ortaya konması canlıların yaşaması, çevre ve sürdürülebilirlik açısından büyük öneme sahiptir. Farklı

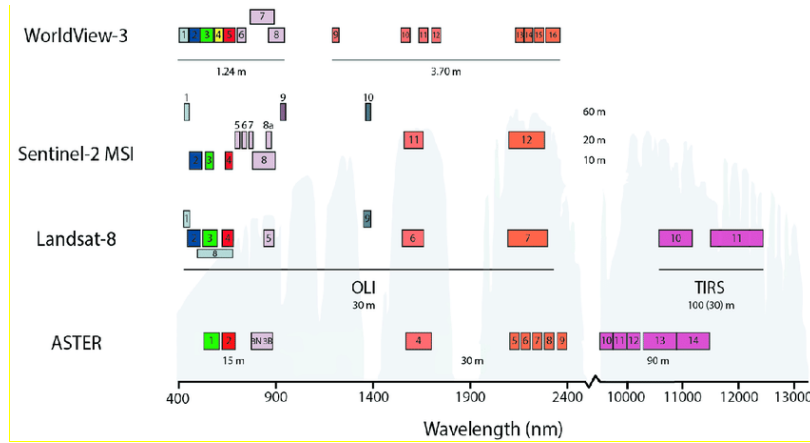
çözünürlük özelliklerine sahip uydu görüntüleri mevcut durum değerlendirmesi ve zamansal analiz için önemli bir kaynaktır. Uydular, elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinde algılama yapabilirler. İnsan gözü sadece 400-700 nm arasındaki bir bölgeyi görebilirken uzaktan algılama verileri görünür bölge dışında da algılama yaparak cisimlerin farklı karakteristiklerinin belirlenmesine olanak sağlar. Şekil 5'te elektromanyetik spektrumun farklı bölgeleri gösterilmektedir. Uzaktan algılama çalışmalarında görünür, kızılötesi ve mikrodalga bölgesinde aktif ve pasif algılayıcılar ile elde edilen veriler kullanılmaktadır. Bu algılayıcılar uydu, uçak, insansız hava aracı (İHA) gibi farklı platformlara takılı olabilir ya da spektrometre ve yer radarı (Ground Penetrating Radar, GPR) gibi yersel ölçme yapmada kullanılan ölçme aletleri de olabilir. Algılama, pasif ve aktif olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilir. Pasif algılamada güneş gibi doğal bir aydınlatma kaynağından gelen ışınımın yansıtma ya da yayma özellikleri kaydedilir. Örneğin görünür ve kızılötesi bölgeden elde edilen görüntülerle arazi örtüsü/kullanımı (AÖ/AK) çıkartılabilir ya da termal kızılötesi bölgede elde edilen görüntülerinden su yüzeyi ya da toprak yüzeyi sıcaklıkları haritaları üretilebilir. Ancak pasif algılama ile görüntü alan sistemlerde bulutlu hava koşullarında sağlanan görüntülerden bulut etkisi nedeniyle yeryüzüne ait bilgi çıkartılamamaktadır. Aktif algılamada ise algılayıcılar kendi enerjilerini yayarlar ve her türlü hava koşulunda gece-gündüz algılama yapılabilir. Görüntü veren algılayıcıların yanı sıra görüntü vermeyen ancak yeryüzüne ait farklı bilgilerin üretilmesini sağlayan altimetre, radyometre gibi algılayıcılar da bulunmaktadır. Stereo olarak algılanan uydu görüntülerinden ya da interferometre gibi tekniklerden yararlanarak yeryüzüne ait 3 boyutlu veri üretilerek arazideki yükseklikle ilgili analizler de yapılabilmektedir.

Ultraviöle	Görünür Bölge			Kızılötesi	Mikrodalga
	Mavi	Yeşil	Kırmızı		
~0,3 $\mu\text{m}$ -	~0,4-0,5 $\mu\text{m}$	0,5~0,6 $\mu\text{m}$	~0,6-0,7 $\mu\text{m}$	~0,7 $\mu\text{m}$ - 1 mm	~ 1 mm - 1 m

**Şekil 5.** Elektromanyetik spektrumun bölgeleri

Uydu görüntüleri mekânsal, spektral, zamansal ve radyometrik çözünürlük özelliklerine göre tanımlanır. Mekânsal çözünürlük, yeryüzünde ayırt edilebilen en küçük obje boyutu ile ilişkilidir ve üretilecek haritanın ölçeğini etkiler. Spektral çözünürlük, algılayıcının elektromanyetik spektrumun hangi bölgesinde veri aldığı ile ilgilidir ve cisimlerin karakteristiklerinin belirlenmesini sağlar. Her obje fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre farklı spektral yansıtma özelliği gösterdiğinden spektral yansıtma eğrisi farklılıkları objenin ayırt edilmesine katkıda bulunur. Algılayıcılar ayırt etmek istenen özelliklere göre seçilir ve elde edilen veriler işlenerek sonuç üretilir. Şekil 6'da bazı uyduların spektral ve mekânsal çözünürlükleri gösterilmektedir. Zamansal çözünürlük görüntünün algılanma sıklığını ifade eder ve zaman serisi analizlerinin yapılmasında önem taşır. Bazı algılayıcılar ile aynı bölge sürekli izlenebilirken aynı bölgeden 5, 16, 26 vb. gün aralıklarla veri sağlayan uydular da bulunmaktadır. Günümüzde aynı özellikteki uyduların yörüngeleri birbirini takip edecek şekilde tasarlanarak aynı bölgeden daha sık aralıklarla görüntü alınabilmektedir. Radyometrik çözünürlük ise verinin kayıt yoğunluğudur. Örneğin 8

bitlik kaydedilen bir veri  $2^8$  gri renk tonuna sahipken 16 bitlik kaydedilmiş bir veri  $2^{16}$  gri renk tonuna sahiptir ve daha fazla detay içerir.



Şekil 6. Uydu görüntülerinde mekânsal ve spektral çözünürlük

Çözünürlük özelliklerinin yanı sıra bir görüntü çerçevesinin ne kadarlık alan kapladığı da önemlidir. Örneğin yüksek çözünürlüklü görüntülerde aynı bölgeyi  $13 \times 13$  km çerçeve boyutları ile algılarken daha düşük çözünürlüklü görüntülerde  $60 \times 60$  km veya  $100 \times 100$  km çerçeve boyutlarında görüntü almak mümkündür. Görüntüler piksellerden oluşan matrislerdir ve görüntü işleme yöntemleri ile AÖ/AK'ya yönelik bilgi çıkartılmasına olanak sağlarlar. Bu özelliklerin bilinmesi çalışmanın amacına yönelik olarak verilerin seçilmesine ve sonuçların istenilen doğruluk seviyesinde üretilmesine katkıda bulunur. Günümüzde görüntü işleme yöntemlerine derin öğrenme ve yapay zekâ algoritmalarının da eklenmesi ile uydu görüntülerinden daha detaylı sonuçlar üretilebilmektedir.

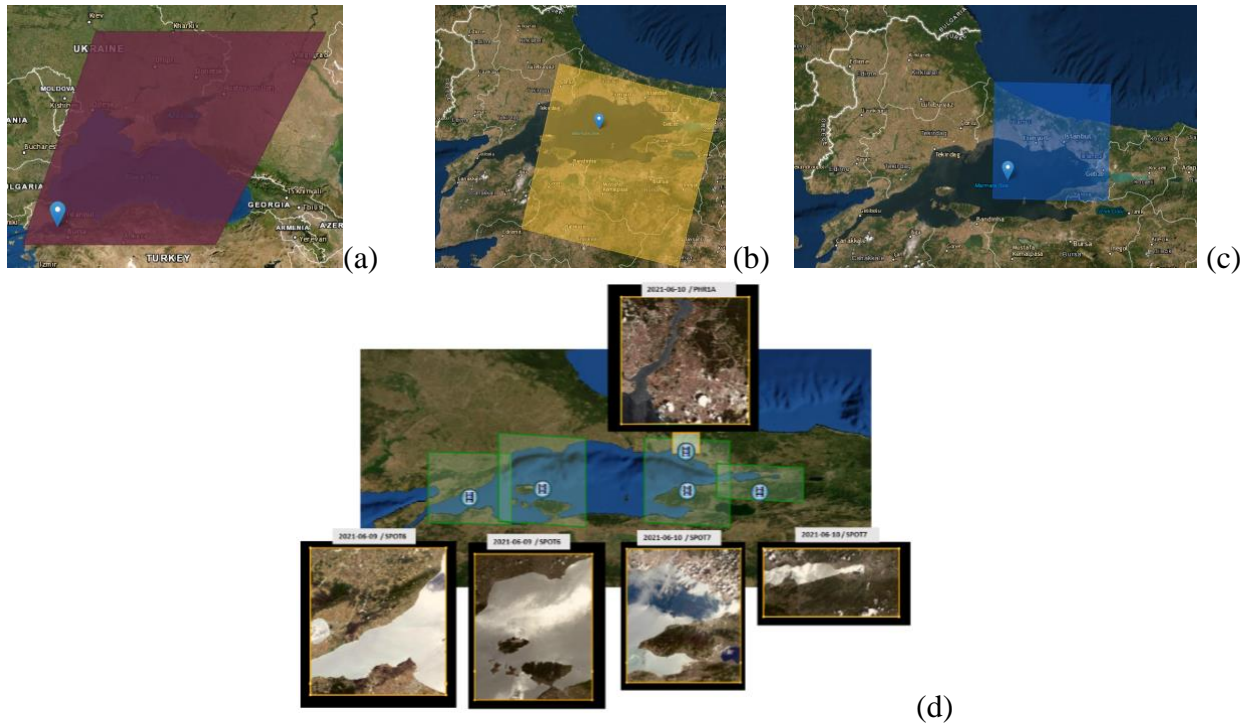
### Marmara Denizi Özelinde Uzaktan Algılama Yaklaşımı

$11.350 \text{ km}^2$ 'lik alana sahip Marmara Denizi'nde meydana gelen müsıllaj olayının incelenmesinde uzaktan algılama verileri kısa sürede geniş alanda bilgi çıkartılmasına olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda müsıllaj ile kaplı alanların belirlenmesinin yanı sıra nerelerde oluşmaya başladığı, mekânsal dağılımı, fiziksel özellikleri, oluşmasına neden olabilecek deniz suyu sıcaklığı gibi parametreler ve çevresiyle etkileşimi de uzaktan algılama verileri ile irdelenebilir. Uzaktan algılama verileri ve coğrafi bilgi sistemleri ile müsıllajla kaplı alanların belirlenmesi ve mekânsal dağılımının izlenmesi, problemin ortaya konması, çözüm önerilerinin getirilmesi ve çözümün sürdürülebilirliğinin izlenmesi açısından önem taşımaktadır.

Marmara Denizi'ndeki müsıllaj konusunda yapılacak araştırmalarda farklı özellikteki uydu görüntüleri kullanılabilir. Müsıllajın hangi alanlarda olduğunun tespitinin yanı sıra mekânsal dağılımı, öncelikle nerelerde görülmeye başladığı, yeni mi oluştuğu yoksa birikim sonucu mu görüldüğü, zaman içinde müsıllajın özelliklerinin değişimi, gemi hareketi, akıntı, rüzgâr vb. etkilerle değişimi, oluşumuna neden olabilecek deniz suyu sıcaklığı, batimetre, bulanıklık, chl-a

vb. parametrelerle ilişkisi, denizdeki gemi trafiği, Marmara Denizi ile bağlantısı olan havzalarda oluşan değişim ve gelen kirletici yükleri arazi ölçmeleriyle desteklenerek belirlenip 3 boyutlu olarak modellenebilir.

Marmara Denizi'nin düşük mekânsal çözünürlüklü uydu görüntülerinden bir bütün olarak incelenmesi ile detay seviyesi düşük ancak görüntünün aynı koşullarda algılanması nedeniyle anlık sonuç üretmeye olanak sağlayacak veriler üretilebilir. Bunun yanı sıra farklı çözünürlüklü uydu görüntüleri ve gereksinim duyulan alanlarda İHA gibi detay seviyesi yüksek veriler ile de bilgi çıkartılabilir. Şekil 7'de farklı çerçeve boyutlarına ve çözünürlük özelliklerine sahip uydu görüntülerinin bir çerçevesinin kapladığı alanlar görülmektedir.



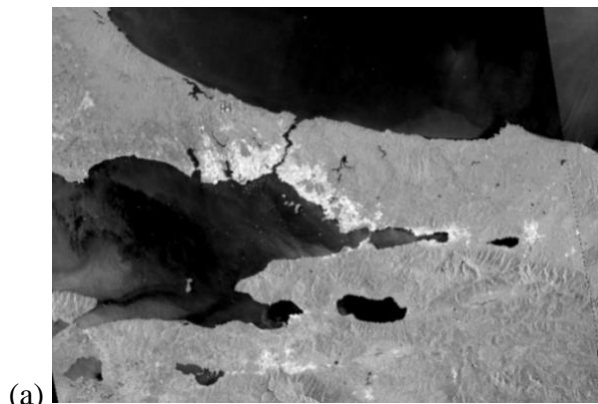
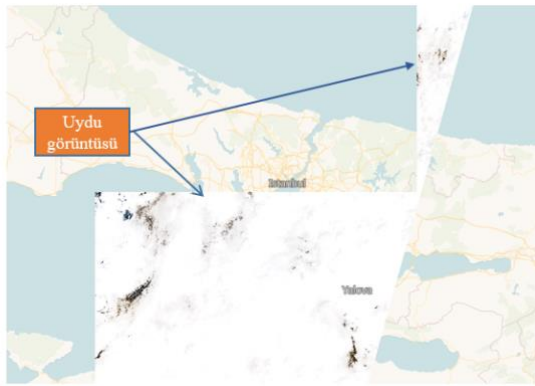
Şekil 7. a) MODİS, b) LANDSAT 8, c) SENTİNEL 2, d) SPOT 7 bir çerçevesinin kapladığı alan

Mekânsal çözünürlüğü düşük ancak çerçeve boyutu geniş uydu görüntüleri eşit koşullarda tüm alanın algılanmasına olanak sağlar. Ancak Şekil 8'de gösterildiği gibi farklı tarihlerde algılanan görüntülerden mozaik oluşturmak da mümkündür. Bu durumda, değerlendirmede çerçeveler arası zaman farklılıkları göz önünde bulundurulmalıdır.



**Şekil 8.** Haziran 2021 Marmara Denizi mozaği (100\*100 km çerçeve boyutuna sahip 5 gün zamansal çözünürlüklü Sentinel 2 uydu verisinden üretilmiştir)

Bulutlu hava koşullarında veya gece pasif algılayıcılar ile bilgi çıkarmak zorlaşırken aktif uydu görüntülerinden veri sağlanabilmektedir. Özellikle yapay açıklıklı radar görüntüleri su yüzey hareketliliği, gemilerden oluşabilecek yağ sızıntılarının belirlenmesi ve gemi trafiğinin izlenmesinde önemli bir veri kaynağıdır. 17.6.2021 tarihinde havanın bulutlu olması nedeniyle optik uydu olan Sentinel 2'den alınan veriden araziye ait bilgi çıkartılamazken, Sentinel 1 SAR uydusundan elde edilen yapay açıklıklı radar görüntüleri ile bölge incelenebilmiş ve Şekil 9'da gösterilmiştir.

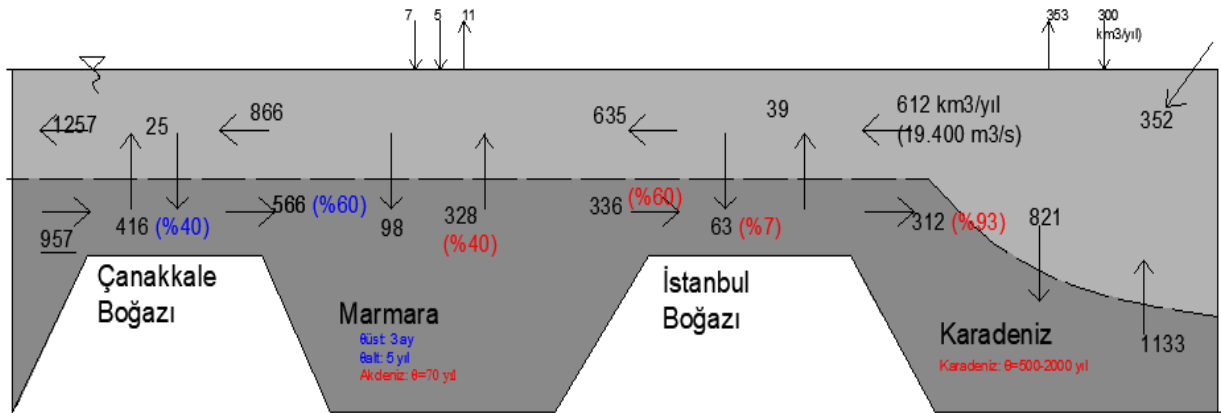


**Şekil 9.** 17 Haziran 2021: a) Sentinel 2, b) Sentinel 1 SAR

## 2. MARMARA DENİZİ VE TÜRK BOĞAZLAR SİSTEMİNİN SU BÜTÇESİ

Çok önceleri bir göl olan Karadeniz'in Boğazlar ve Marmara Denizi üzerinden Akdeniz (Ege) ile birleşmesi, günümüzden ~7500 yıl önce (son buzul çağı bitiminde) gerçekleşmiştir (Ryan vd., 1997). Marmara Denizi ve Türk Boğazlarındaki iki tabakalı hidrodinamik yapıda, düşük yoğunluklu Karadeniz suları üst akımla, İstanbul Boğazı iki ucu arasındaki seviye farkı ile kontrol edilen hidrolik şartların etkisiyle, Marmara Denizi üzerinden Çanakkale Boğazı'nı geçip Adalar'a (Ege Denizi) kavuşmaktadır. Yoğun Akdeniz (Ege) suları ise Çanakkale Boğazı ve Marmara Denizi alt tabakalarını geçerek İstanbul Boğazı çıkışından Karadeniz'e ulaşmaktadır.

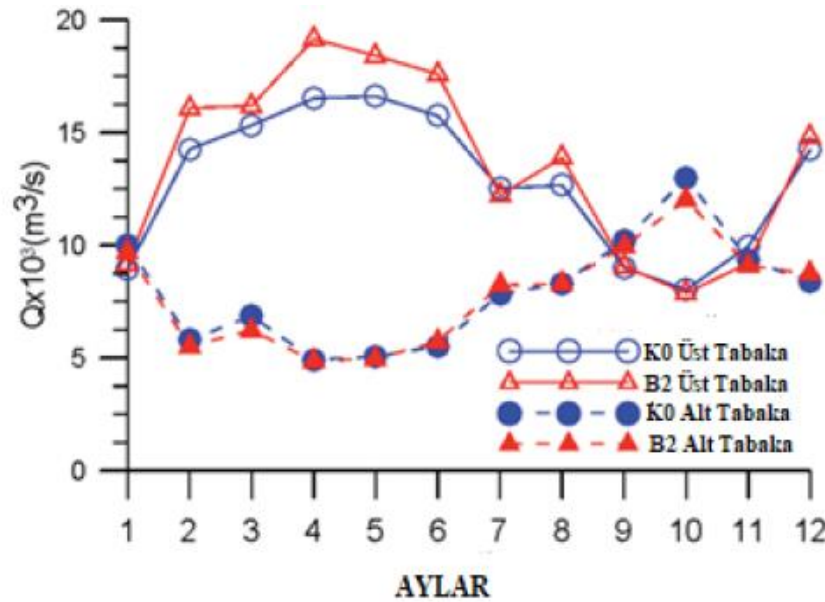
Özsoy vd. (1996) tarafından yürütülen oşinografik ölçümlerle tuzluluk ve su bütçesi hesaplamaları sonunda Türk Boğazlar Sistemi yıllık ortalama su taşınımı ve tuzluluk durumlarının Şekil 10'daki gibi karakterize edilebileceği gösterilmiştir. Özellikle İstanbul Boğazı Kuzey ve Güney eşiklerinde Şekil 11'de yer alan (K0 ve B2 istasyonları) ve sonraki tarihlerde gerçekleştirilen hız/debi ölçümleriyle önemli farklılık göstermesine rağmen, Şekil 10'daki yıllık ortalama değerler çoğu çalışma için hâlâ referans kabul edilmektedir. Örneğin Altıok ve Kayışoğlu (2015) tarafından 1996-2010 döneminde İstanbul Boğazı K0 ve B2 istasyonlarında ADCP ile yapılan hız ölçümleriyle bulunan aylık ortalama debiler Şekil 11'de verilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü üzere, İstanbul Boğazı üst ve alt akım debileri kuvvetli mevsimsel değişim/farklılık göstermekte olup, üst tabaka debisinin en büyük ve en küçük değerleri sırası ile Nisan ve Ekim aylarında, alt tabakanın en yüksek ve en düşük debileri ise (üst tabaka debi değerlerinin aksine) Ekim ve Nisan aylarında gözlenmektedir. Aynı çalışmaya göre K0 ve B2 istasyonlarındaki üst(-alt) tabaka yıllık ortalama debileri sırası ile 404(-250) km<sup>3</sup>/yıl ve 430(-245) km<sup>3</sup>/yıl olmaktadır. K0 istasyonundaki üst akım debisi de 16.000~19.000 m<sup>3</sup>/s (505 km<sup>3</sup>/yıl ~ 600.000 km<sup>3</sup>/yıl) aralığında değişmektedir. Şekil 11'de belirtilen sayısal değerlerin, Türk Boğazlar Sisteminin hidrodinamik yapısını daha iyi temsil edecek şekilde, 5-10 yıllık debi ve seviye ölçümlerinin hidrodinamik modelleme ile desteklenerek güncellenmesi gerekmektedir (Öztürk, 2021).



Şekil 10. Marmara ve Boğazlar Sistemi su bütçesi (ÖEJV -DHI, 1994; Beşiktepe vd., 1994)  
(\*Şekildeki akım değerleri km<sup>3</sup>/yıl boyutundadır.)



Şekil 10'daki yıllık ortalama su dengesine göre, Çanakkale Boğazı'na giren Akdeniz akımının (957 km<sup>3</sup>/yıl) ~%60'ı (566 km<sup>3</sup>/yıl) Marmara'ya ulaşmaktadır. Marmara Denizi alt tabakasını besleyen 566 km<sup>3</sup>/yıl debili Akdeniz kaynaklı suyun ~%40'ı Marmara üst tabakasına geçmekte, geri kalan %60'lık kısım (~ 336 km<sup>3</sup>/yıl) ise İstanbul Boğazı'na giriş yapmaktadır. İstanbul Boğazı'na giren ~336 km<sup>3</sup>/yıl debili Akdeniz kaynaklı akımın da ~ 312 km<sup>3</sup>/yıl'lık kısmı (%93'ü) Karadeniz'e ulaşmaktadır. Dolayısıyla, Çanakkale Boğazı alt akımı ile Marmara Denizi'ne giren Akdeniz kaynaklı tuzlu ve bol oksijenli suyun ancak %55'i (312/566  $\cong$  0,55) İstanbul Boğazı üzerinden Karadeniz'e ulaşmaktadır.



**Şekil 11.** İstanbul Boğazı K0 ve B2 istasyonlarında ADCP ile yapılan hız ölçümleriyle bulunan ortalama debiler (Altıok ve Kayışoğlu, 2015)

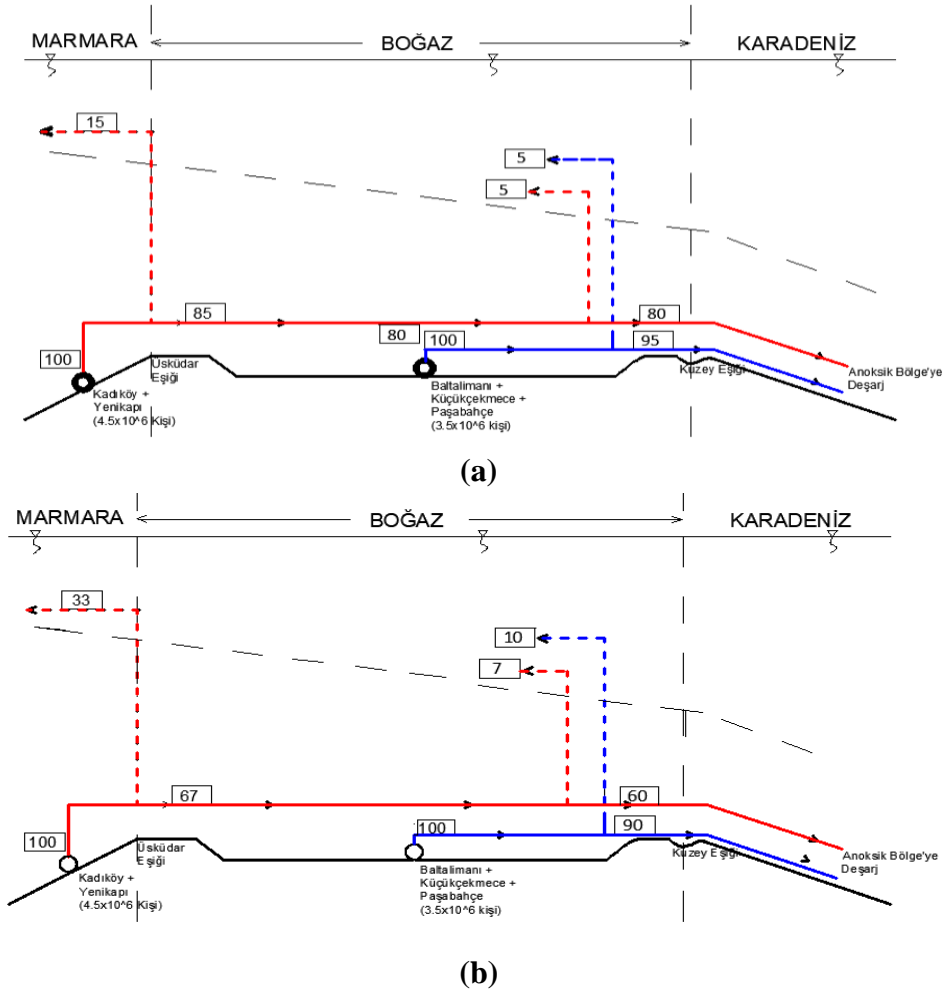
İSKİ Master Planı (IMC, 1999) dolayısıyla bir uluslararası müşavirlik grubunca (ÖEJW/DHI, 1994) yapılan 3 boyutlu hidrodinamik modelleme çalışmasında, Karadeniz, İstanbul Boğazı Marmara Girişi ve Boğaz alt akımlarına yapılacak atıksu deşarjlarının hangi oranlarda Karadeniz'e ulaşacakları ve üst tabakaya geçerek Marmara'ya geri döneceği, çeşitli senaryolar halinde incelenerek elde edilen sonuçlar rapor edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1'de özetlenen bulgular, İstanbul deşarjları için, yıllık ortalama durum ve yaz dönemi itibarıyla Şekil 12(a) ve (b)'deki gibi gösterilmiştir. Şekil 12 incelendiğinde, İstanbul Boğazı Güney girişi önünde alt tabakaya yapılacak atıksu deşarjlarının (Kadıköy ve Yenikapı deşarjları) tipik yıllık ortalama durum şartlarında ~%80'inin; Boğaz alt tabakasına yapılacak deşarjların (Üsküdar, Baltalimanı, Küçükusu ve Paşabahçe) ise ~ %95'inin Karadeniz'e ulaşması beklenir. Yaz dönemlerinde ise söz konusu oranların sırası ile %60 ve %90'a gerilemesi beklenmektedir.

**Tablo 1.** Boğaz'a giren ve Marmara Denizi'ne taşınan deşarj oranları (ÖEJV/DHI, 1994)

Senaryo	Boğazda İki tabakalı akışı yansıtan en iyi koşullar (%)	Yaz dönemi temsil eden koşullar (%)	Marmara Denizi ve Karadeniz arasında seviye farkının >0.45 m olduğu en kötü tıkanma (tam blokaj) durumu (%)	Yıllık Ort. kararlı durum (%)
<b>Boğaz alt akımına deşarj</b>				
Atıksu Tarlası tutulma derinliği, -50 m	<0.1	34	100	11
(Alternatif tutulma derinliği, -60 m)	(<0.1)	(10)	(33)	(3)
<b>Boğaz'ın Marmara Girişine deşarjı</b>				
Kadıköy (tutulma derinliği, -35 m)	8	40	100	17
Yenikapı Deşarjı, (tutulma derinliği, -40 m)	3	28	90	13
Baltalimanı (tutulma derinliği, -40 m)	<0.1	12	40	4

Tutulma derinliği: Batmış atıksu tarlası derinliği



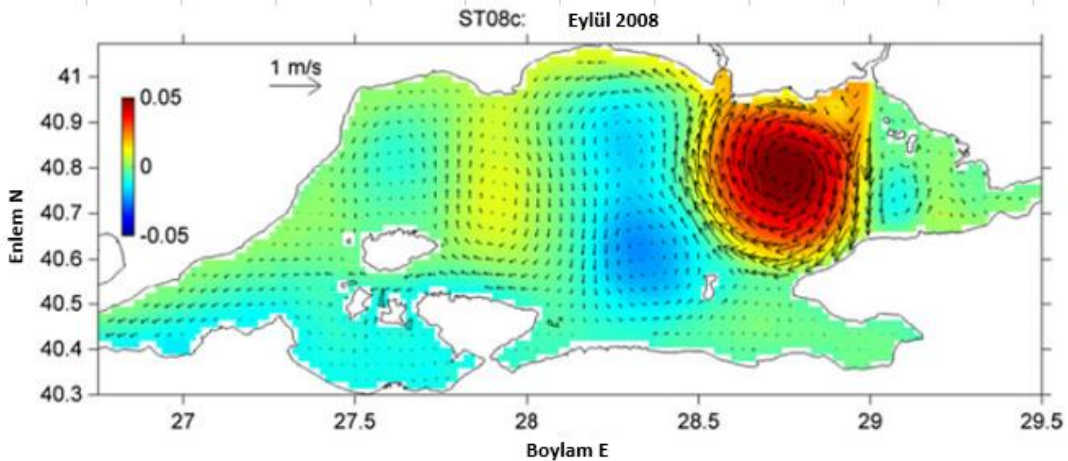
**Şekil 12.** İstanbul Boğazı'na yapılan atıksu deşarjlarının (a) yıllık ortalama tipik kütle dengesi (b) yaz dönemi tipik kütle dengesi (Ayдын vd., 2018)

### 3. MARMARA'DA DENİZ SUYU DOLAŞIMI VE AKINTI DURUMU

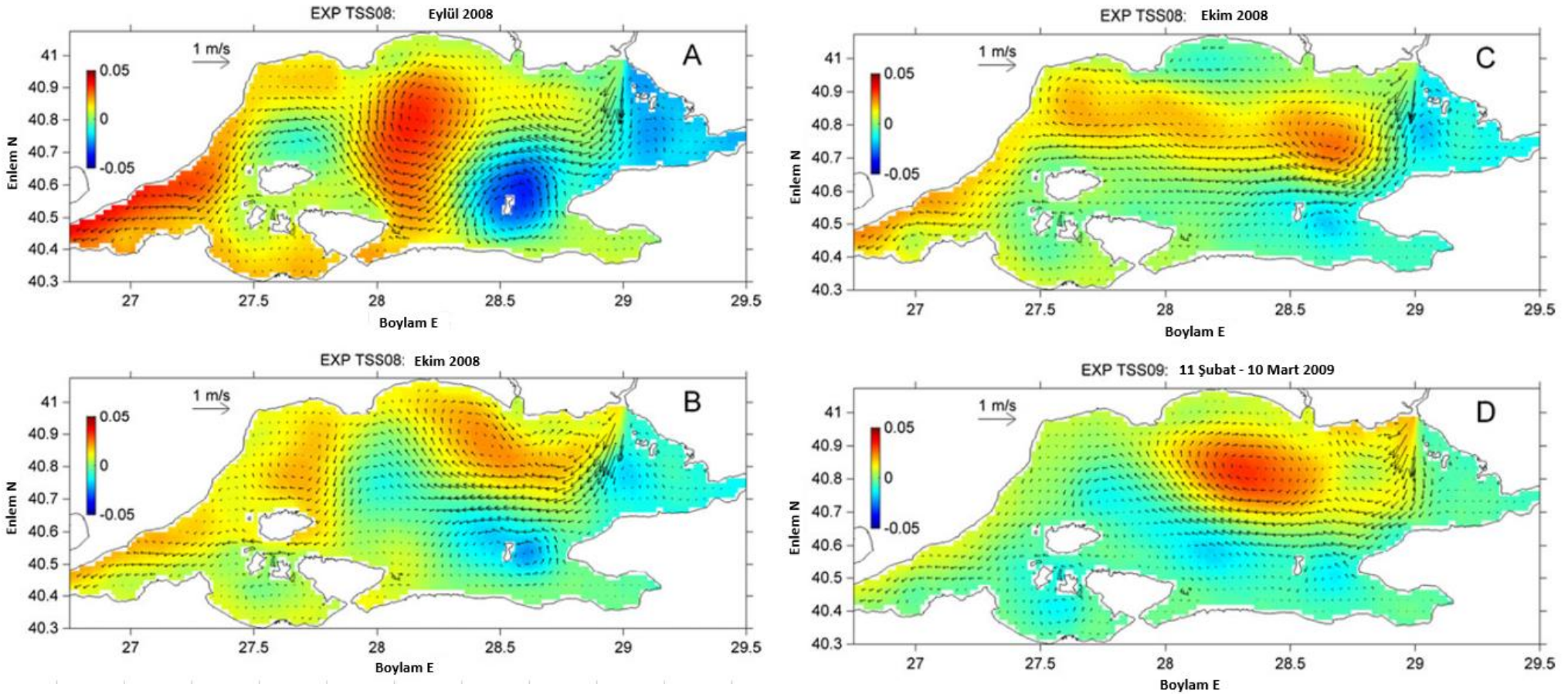
Marmara Denizi üst tabakasındaki su dolaşımı hidrodinamiği NATO Deniz Araştırmaları Merkezi'nce koordine edilen bir proje kapsamında yürütülen, deniz ortamında tesis edilen bazı istasyonlardan elde edilen deniz suyu kolonu fiziksel özellikleri (sıcaklık, iletkenlik, tuzluluk vb.) ve akıntı ölçümleriyle kalibre edilen sayısal modelleme (Regional Ocean Modelling System, ROMS) çalışması ile araştırılmıştır (Chiggiato vd., 2012). Eylül, Ekim ve Aralık 2008 ile Şubat 2009 aylarındaki meteorolojik şartlarda işletilen Meteorolojik Model (COSMO-ME) ve 3 temel, 6 alt senaryo için ROMS ile çalışılan Hidrodinamik Modelleme çalışması çıktıları ışığında ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir (Şekil 13, Şekil 14).

Marmara Denizi üst tabakasinda; aylık ortalama deniz suyu dolaşımı (yüzeydeki akıntı, hız ve yörüngeleri) durumu, Eylül 2008-Mart 2009 dönemi itibarı ile Şekil 14'teki gibidir. Şekilden de görüldüğü üzere, Marmara Denizi yüzey akıntılarında küçük Meso-ölçekli Eddy çevrimleri geçişli yarı kararlı bir durum (yapı) hâkimdir. İstanbul Boğazı'ndan Marmara'ya geçen Karadeniz suları (Boğaz üst tabaka akımı) oldukça iyi tanımlanmış olup, genellikle güney yönde ilerleyerek Bozburun Yarımadası'na yönelmekte, sonrasında ise önce güneybatı ve daha sonra kuzeybatı yönünde ilerleyerek kuzey sahiline ulaşmaktadır. Bu akıntı aslında Çanakkale Boğazı'na geçerek Marmara'yı terk etmektedir. Bu menderesvari yörüngeli yüzey akıntısı ve tipik değişkenliğinin HD Modelleme çıktıları ışığında kararlı bir durum arz ettiği görülmektedir. Bu menderesvari akıntı sistemine, Marmara Denizi merkezini kaplayan büyük bir antisiklonik Eddy çevriminin eşlik ettiği HD Model simülasyonlarıyla gösterilmiştir (Şekil 14).

HD Model herhangi bir rüzgâr zorlamasının olmadığı bir senaryo için işletildiğinde İstanbul Boğazı üst akımının etkisi, Boğaz, Marmara girişi, Çınarcık ve Küçükçekmece Körfezi arasındaki çevrinti ile daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır (Şekil 13).



**Şekil 13.** Eylül 2008 için aylık ortalama yüzey çevrim ve deniz seviyesi aykırıkları, rüzgârsız durum (TSS08 deneyleri) (Chiggiato vd., 2012)



**Şekil 14.** Eylül (a), Ekim (b), Aralık (c) 2008 ve 11 Şubat - 10 Mart 2009 (d) için aylık ortalama yüzey çevrimi ve deniz seviyesi aykırılığı. İlk üç panel TSS08 sayısal deneyindedir, son panel ise TSS09 sayısal deneyindedir (Chiggiato vd., 2012)

Chiggiato vd. (2012) tarafından gerçekleştirilen söz konusu HD Modelleme çalışmalarında, Marmara Denizi'ndeki su dolaşımının rüzgâr akıntıları ile Boğaz akımı tarafından kontrol edildiği gösterilmiştir. Nümerik modelleme çalışmasında, aynı zamanda, piknoklin derinliklerinde de -15 m ~ -37 m aralığında değişen önemli salınımlar olabileceği gösterilmiştir. Söz konusu salınımların kuzeydoğu yönlü (Poyraz) rüzgârlarla kontrol edilen dip suları yükselmesi (upwelling) ve yüzey suları batması (downwelling) süreçlerine bağlı dinamiklerle ilgili olduğu, ayrıca bazı durumlarda süreci Boğaz akımları kaynaklı yatay adveksiyonun da önemli oranda etkilediği ifade edilmektedir.

Beşiktepe vd.'ne (2000) göre Marmara Denizi yüzey suları dolaşımı, İstanbul Boğazı'ndan çıkan jetin Marmara içinde saat yönünde bir dolaşım oluşturması ile tanımlanabilmektedir. Bu genel yapının, rüzgâr ve/veya Karadeniz'den gelen Boğaz üst suyu miktarındaki salınımlar sebebiyle değişmesi de söz konusudur. Çanakkale Boğazı alt akımıyla gelen Akdeniz suları da, Boğaz'ın uzantısı olan deniz altı kanyonunu takip ederek Batı Marmara Çukuru'na ulaşıktan sonra doğuya doğru Marmara'nın derinliklerinde bir akıntı oluşturmaktadır. Ancak yaz aylarında Akdeniz'den gelen suların bir kısmı doğuya dönerek farklı bir yörünge izlemekte ve havzanın güney kesimini etkilemektedir.

Beşiktepe vd.'ne (1994) göre Marmara Denizi alt tabakasından üst tabakaya olan yıllık ortalama geçiş  $229 \text{ km}^3/\text{yıl}$  olup, Çanakkale Boğazı alt akımı ile Marmara'ya giren Akdeniz suyunun  $\sim 229/530 \cong \%43$ 'ü mertebesindedir (Şekil 10).

#### 4. MARMARA DENİZİ İLE KARADENİZ ETKİLEŞİMLERİ VE KİRLİLİK TAŞINIMI

**4.1. Karadeniz'den İstanbul Boğazı Üst Tabaka Akımı ile Marmara'ya Kirlilik Taşınımı**  
İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışındaki K0 istasyonunda 2007 yılında ölçülen üst ve alt tabaka ortalama TIN (NO<sub>x</sub>-N), PO<sub>4</sub>-P, TP ve TOK (toplam organik karbon) konsantrasyonları Tablo 2'deki gibidir (Yüksek vd., 2014).

**Tablo 2.** K0 İstasyonunda 2007 yılında ölçülen üst ve alt tabaka ortalama TIN (NO<sub>x</sub>-N) , PO<sub>4</sub>-P ve TOK (toplam organik karbon) değerleri (Yüksek vd., 2014)

	<i>TIN</i>	<i>PO<sub>4</sub>-P</i>	<i>TP</i>	<i>TOK</i>
<i>Üst Tabaka</i>	~ 3 µM/L	0,1 µM/L	~ 0,3 µM/L	~ 200 µM/L
<i>Alt Tabaka</i>	~ 10 µM/L	0,8 µM/L	~ 1,2 µM/L	~ 170 µM/L

Tablodaki değerler ve Q<sub>İBü</sub> ≅ 13700 m<sup>3</sup>/s (432 km<sup>3</sup>/yıl) Q<sub>İBa</sub> ≅ 7000 m<sup>3</sup>/s (221 km<sup>3</sup>/yıl) ortalama debiler esas alınarak, İstanbul Boğazı Karadeniz girişinden üst tabaka akımı yoluyla Marmara'ya gelen, ağırlıklı olarak Tuna kaynaklı kirlilik yükleri,

$$TIN = 13700 \text{ m}^3/\text{s} \times 86400 \times 3,0 \text{ µM/L} \times 14 \times 10^{-9} \cong 50 \text{ t N/gün}$$

$$TP = 13700 \text{ m}^3/\text{s} \times 86400 \times 0,3 \text{ µM/L} \times 31 \times 10^{-9} \cong 11 \text{ t P/gün}$$

$$TOK = 13700 \text{ m}^3/\text{s} \times 86400 \times 200 \text{ µM/L} \times 12 \times 10^{-9} \cong 2340 \text{ t TOK/gün}$$

mertebesindedir. Boğaz alt tabaka akımı yoluyla Karadeniz'e verilen, ağırlıklı olarak İstanbul atıksu deşarjları kaynaklı kirlilik yükleri de,

$$TIN = 7000 \times 86400 \times 10 \times 14 \times 10^{-9} \cong 85 \text{ t N/gün}$$

$$TP = 7000 \times 86400 \times 1,2 \times 31 \times 10^{-9} \cong 22,5 \text{ t P/gün}$$

$$TOK = 7000 \times 86400 \times 170 \times 12 \times 10^{-9} \cong 1236 \text{ t TOK/gün}$$

düzeyindedir. Hesaplanan bu değerlerin, Karadeniz ile Marmara Denizi arasındaki kirlilik taşınımının boyutlarını karakterize eden veriler olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.

#### 4.2. İstanbul Atıksu Deşarjlarıyla Karadeniz ve Marmara'ya Kirlilik Taşınımı

İstanbul'daki Kadıköy, Yenikapı, Baltalimanı, Küçüküsu, Paşabahçe, Büyükçekmece, Silivri, Küçükçekmece, Tuzla, Ambarlı ve Ataköy atıksu arıtma tesislerinden yapılan atıksu deşarjlarıyla Karadeniz ve Marmara Denizi'ne taşınan kirlilik yükleri hesaplanmıştır. İstanbul Boğazı akımlarının yıllık ortalama tipik kütle dengesine (Şekil 12) göre, Kadıköy ve Yenikapı tesislerinden Boğaz girişine (-50 m'den) yapılan deşarjların %15'i doğrudan Marmara üst akımına geçmekte, Boğaz alt akımında kalan %85'lik kısmın %5'i İstanbul Boğazı'nda Boğaz üst akımına geçip Marmara Denizi'ne dönerken %80'i Karadeniz'e ulaşmaktadır. Baltalimanı, Küçüküsu, Paşabahçe arıtma tesislerinden Boğaz tabanına (-70 m'den) yapılan atıksu deşarjların

%95'i Karadeniz'e ulaşmakta, %5'i ise Boğaz üst akımıyla Marmara Denizi'ne geri dönmektedir. Büyükçekmece, Silivri, Küçükçekmece ve Tuzla Atıksu arıtma tesislerinden Marmara alt tabakasına yapılan deşarjların yarısının doğrudan Marmara Denizi üst tabakasına geçeceği, diğer yarısının ise Boğaz girişine ulaştıktan sonra (Karadeniz ve Marmara Denizi'ne geçiş oranlarının Kadıköy ve Yenikapı AAT'leri ile aynı olduğu kabulü ile) Karadeniz'e ulaşacağı esas alınmıştır. Ambarlı ve Ataköy AAT'leri deşarjlarının tamamı kıyından Marmara denizi üst tabakasına verildiği için, bu iki tesisten Karadeniz'e kirlilik taşınımı olmayacaktır.

İstanbul'daki Kadıköy, Yenikapı, Baltalimanı, Küçüksu, Paşabahçe ve Küçükçekmece mekanik ön arıtma tesislerinin KOİ, TN ve TP giderim verimleri sırasıyla %15, %5 ve %5 iken, Silivri ve Büyükçekmece ileri biyolojik arıtma tesisleri için aynı parametrelerin giderim verimleri %85, %50 ve %70'dir. Tesislere özgü atıksu karakterizasyonları ve giderim verimleri dikkate alınarak hesaplanan kirlilik yükü değerleri Tablo 3'te özetlenmiştir.

**Tablo 3.** İstanbul atıksu tesislerine ait kirlilik yükleri (Aydın vd., 2018)

	<i>Yenikapı, Kadıköy AAT*</i>	<i>Baltalimanı, Küçüksu ve Paşabahçe AAT*</i>	<i>Küçükçekmece AAT*</i>	<i>Büyükçekmece ve Silivri AAT**</i>	<i>Tuzla BAAT ve İBAAT***</i>	<i>Ataköy, Ambarlı İBAAT***</i>
	<i>Yük (kg/gün)</i>	<i>Yük (kg/gün)</i>	<i>Yük (kg/gün)</i>	<i>Yük (kg/gün)</i>	<i>Yük (kg/gün)</i>	<i>Yük (kg/gün)</i>
<i>KOİ</i>	459000	357000	122400	48600	53041	40320
<i>TKN</i>	42750	33250	11400	13500	16862	13980
<i>TP</i>	8550	6650	2280	1620	2262	996

\*Tipik evsel atıksu karakterizasyon değerleri ve %15 (KOİ) %5 (TN) %5 (TP) giderim verimleri ile hesaplanmıştır.

\*\* Tipik evsel atıksu karakterizasyon değerleri ve %85 (KOİ) %50 (TN) %70 (TP) giderim verimleri ile hesaplanmıştır.

\*\*\*Tablo 4-3'te yer alan çıkış suyu karakterizasyon değerleri ile hesaplanmıştır.

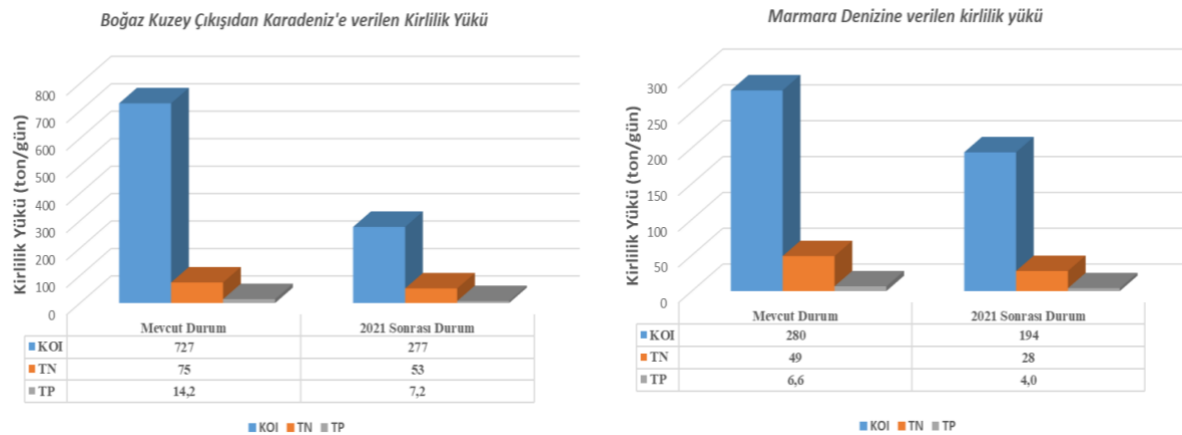
Kadıköy ve Yenikapı AAT'lerinden Boğaz girişine yapılan deşarjın %15'i Marmara Denizi'ne, Boğaz alt akımında kalan kısmın (%85'lik kısmın) %80'i alt akım ile Karadeniz'e ulaşırken, %5'i ise Boğaz üst akımı ile Marmara Denizi'ne geri dönmektedir (bkz. Şekil 12). Büyükçekmece, Küçükçekmece, Silivri, Tuzla Biyolojik ve İleri Biyolojik AAT'lerinden Marmara Denizi alt tabakasına yapılan deşarjların %50'si Marmara Denizine, geriye kalan kısmı ise, Boğaz girişine geçerek Kadıköy ve Yenikapı AAT'leri ile aynı geçiş oranlarıyla, kısmen Marmara'ya geri dönmektedir. Baltalimanı, Küçüksu ve Paşabahçe Mekanik Ön AAT'den yapılan deşarjların %95'i alt akımla Karadeniz'e, %5'i üst akımla Marmara Denizi'ne verilmekte, Ataköy ve Ambarlı AAT'leri deşarjlarının ise tamamı Marmara Denizi üst tabakasına verilmektedir. Bu geçiş oranları ile hesaplanan Karadeniz ve Marmara Denizi'ne taşınan kirlilik yükleri Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Karadeniz (KD) ve Marmara Denizi (MD)'ne verilen toplam kirlilik yükleri (kg/gün) (Aydın vd., 2018)

	<i>KD</i>	<i>MD*</i>	<i>EN (KD)</i>	<i>EN (MD)</i>
<i>KOİ</i>	727444	280112	6062033	2334266
<i>TN</i>	74856	48772		
<i>TP</i>	14227	6649		

\*Ambarlı ve Ataköy AAT'lerinden yalnızca Marmara Denizi üst tabakasına atıksu deşarjları yapılmaktadır. Ayrıca, Tuzla, Büyükçekmece, Küçükçekmece ve Silivri AAT'lerinden Marmara Denizi alt tabakasına yapılan deşarjların %50'si (maksimum) doğrudan Marmara Denizi üst akımına geçmekte, diğer %50'lik kısmı ise Marmara alt tabakası ile Karadeniz ile taşınmaktadır. Marmara ve Boğaz alt akımıyla Karadeniz'e taşınan bu %50'lik kısmın %15'i, Boğazın Marmara girişinde (Üsküdar eşiği güneyi) üst akım ile tekrar Marmara Denizi'ne dönmektedir. Üsküdar eşiğini aşan  $0,50 \cdot (1-0,15) = 0,425$  (%22,5)'luk kısmın da Boğaz boyunca ~%5'i yeniden Boğaz üst akımıyla Marmara'ya geri dönmektedir.

2021 sonrası durum için, İstanbul'da bulunan AAT'lerin, Karadeniz ve Marmara Denizi'ne etkileri de hesaplanmıştır. Bu hesaplamada, Baltalımanı, Yenikapı, Kadıköy, Küçüksu ve Paşabahçe mekanik ön arıtma tesislerinin düşük dozlu kimyasal madde ( $FeCl_3$ ) destekli Birincil Arıtma veya Yüksek Yüklü Aktif Çamur Sistemine dönüştürülmesi; Tuzla Biyolojik ve İleri Biyolojik ve Küçükçekmece AAT'lerin iyileştirilmesi durumları dikkate alınmıştır. Düşük dozlu kimyasal madde ( $FeCl_3$ ) destekli Birincil Arıtma veya Yüksek Yüklü Aktif Çamur Sistemine (A Prosesi) dönüştürülmesi düşünülen ön arıtma (mekanik) tesislerinde giderim verimlerinin KOİ, TN ve TP için sırasıyla %70, %25 ve %50 olacağı öngörülmüş, ayrıca yıllık %2'lik nüfus artışı kabulü ile aynı hesaplar tekrarlanmıştır. İyileştirilmesi planlanan AAT'ler için çıkış suyu değerlerinin 125 mg/L KOİ, 15 mg/L TN ve 2 mg/L TP olacağı kabulü ile hesaplama yapılmıştır. Ambarlı ve Ataköy AAT'leri için ise çıkış suyu değerleri 100 mg/L KOİ, 15 mg/L TN ve 2 mg/L TP, Silivri ve Büyükçekmece AAT'leri için ise 100 mg/L KOİ, 10 mg/L TN ve 2 mg/L TP olarak kabul edilmiştir. Belirtilen kabullerle mevcut ve 2021 sonrası durum için kirlilik yükleri dağılımı Şekil 15'te verilmiştir.



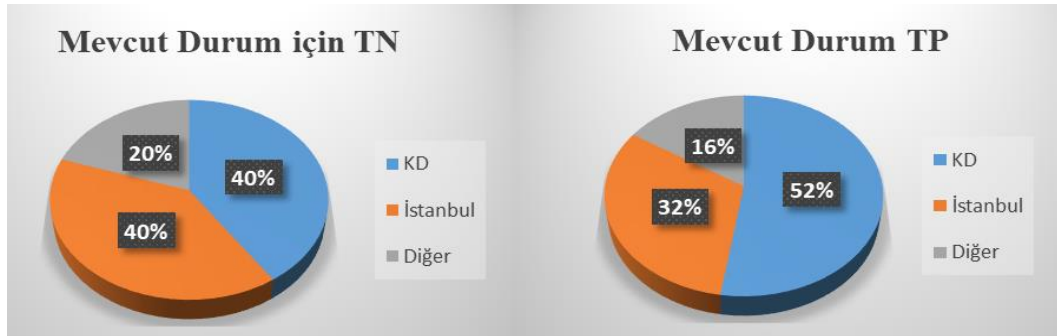
**Şekil 15.** İstanbul'daki AAT'lerden Karadeniz ve Marmara Denizi'ne verilen kirlilik yükleri (Aydın vd., 2018)



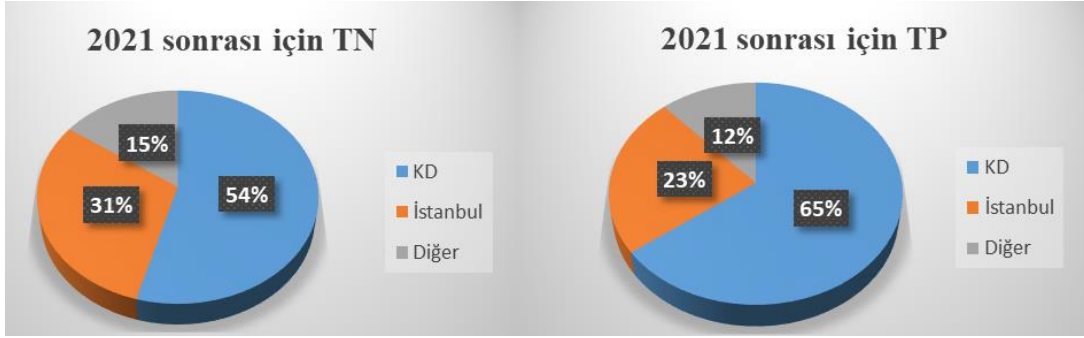
Tablo 5, Marmara Denizi'nde İstanbul'daki AAT'lerinden kaynaklanan yüklerin Karadeniz'den gelen yüklere oranını göstermektedir. Tablodan da görüldüğü üzere, İstanbul'daki arıtma tesislerinden yapılan deşarjların Marmara Denizi üzerinde etkisi Karadeniz'den gelen kirlilik yüklerine kıyasla daha azdır. İstanbul'un Marmara'ya gelen kentsel/endüstriyel kirliliğin ~2/3'ünü temsil ettiği göz önüne alındığında, Marmara'ya yapılan deşarj öncesi arıtmaların giderim verimlerinin önemi daha iyi anlaşılmaktadır. İstanbul'dan ve Karadeniz'den kaynaklanan TN ve TP dağılımı Şekil 16 ve Şekil 17'de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere İstanbul, Marmara'ya gelen besi maddesi yükleri bakımından Karadeniz'den sonra en önemli kaynak durumundadır.

**Tablo 5.** Marmara Denizi'nde İstanbul'daki AAT'lerinden gelen yüklerin Karadeniz kaynaklı yüklere göre durumu (Aydın vd., 2018)

<i>Mevcut Durum (2017)</i>			
<i>Kirlilik Yükleri</i>	<i>İST Yükleri (ton/gün)</i>	<i>KD yükleri (K0 istasyonu) (ton/gün)</i>	<i>İST/KD Oranı</i>
<i>TN</i>	48.772	50	0,98
<i>TP</i>	6.649	11	0,60
<i>2021 Sonrası Durum</i>			
<i>Kirlilik Yükleri</i>	<i>İST Yükleri (ton/gün)</i>	<i>KD yükleri (K0 İstasyonu) (ton/gün)</i>	<i>İST/KD Oranı</i>
<i>TN</i>	28.028	50	0,56
<i>TP</i>	3.974	11	0,36



**Şekil 16.** Karadeniz'den gelen ve İstanbul'daki AAT'lerinden kaynaklanan TN dağılımı (diğer yerleşimlerden gelen yükler İstanbul'un yarısı olarak alınmıştır) (Aydın vd., 2018)



**Şekil 17.** Karadeniz ve İstanbul'daki AAT'lerinden kaynaklanan TP dağılımı (diğer yükler İstanbul'un yarısı olarak alınmıştır) (Aydın vd., 2018)

MARMOD Projesi (2021) kapsamında Marmara Denizi'nde yürütülmekte olan tek boyutlu su kalitesi modelleme çalışması sonuçlarına göre, İstanbul Boğazı girişi ve Boğaz tabanına yapılan atıksu deşarjları öncesi >%30 düzeyinde gerçekleştirilecek azot ve fosfor giderimiyle Marmara Denizi alt tabakası ÇO konsantrasyonunun 5~6 yıllık bir süreçte 2 mg/L seviyesine yükseltileceği öngörülmektedir. Bu durum özellikle İstanbul'dan Boğaz girişi ve tabanına yapılan derin deşarjlar öncesi arıtma seviyesinin Yüksek Yüklü Aktif Çamur Sistemine (A Prosesi) yükseltilmesi sonrası elde edilecek ~%60-70 KOİ, %25-30 TKN, %50 TP giderimiyle Tablo 7'deki daha az sıkı su kalitesi (durumu) hedeflerine ulaşılacağı anlamına gelmektedir.

#### **4.3. İstanbul Boğazı Alt Akımıyla Karadeniz'e Verilen Kirlilik Yükünün Tuna Kaynaklı Kirlilikle Mukayesesi**

Tuna Nehri Havzası'ndaki büyük nehirlerin su kalitesi ve kirlilik yüklerinin ve uzun vadeli eğilimlerin genel görünümünü ortaya koymayı amaçlayan Uluslararası İzleme Ağı (TNMN - TransNational Monitoring Network) Şekil 18'de yer almaktadır. Söz konusu veri tabanında Tuna Nehri'ne ait 2014 yılı kirlilik yükü değerleri Tablo 6'da verilmiştir.



Şekil 18. TNMN - Uluslararası İzleme ağındaki izleme istasyonları (Zavadsky, 2017)

Tablo 6. Tuna Nehri ile Karadeniz’e verilen kirlilik yükleri (ton/gün), Reni İstasyonu (Zavadsky, 2017)

Parametre	Yıllık Ortalama Değer
$(NO_3+NO_2)-N$	778 (%70)
TIN	1078
$PO_4-P$	35,1 (%45)
TP	77

İstanbul Boğazı alt akımıyla Marmara havzasından Karadeniz’e verilen kirlilik yüküne kıyasla Tuna Nehri’nin kirlilik yükleri, TIN ve  $PO_4-P$  parametreleri itibarı ile;

$$\frac{(NO_3+NO_2)N_{Tuna}}{(NO_3+NO_2)N_{Boğaz\ alt\ akımı}} = 778/85 \cong 9,2 \text{ kat}$$

ve

$$\frac{PO_4P_{Tuna}}{PO_4P_{Boğaz\ alt\ akımı}} = 35,1/22,5 \cong 1,6 \text{ kat}$$

daha fazladır (Çiçekalan ve Öztürk, 2018).

Tuna Nehri başta olmak üzere, Karadeniz üst tabakasına yapılan nehir deşarjları ile taşınan TIN ve  $PO_4-P$ , Karadeniz’deki yüksek birincil üretimi besleyen en temel N, P girdileridir. İstanbul Boğazı alt akımıyla, takriben Tuna’nın yıllık ortalama debisine yakın bir debi ile Karadeniz’in anoksik/anaerobik alt (dip) tabakasına (>100 m derinlik) verilen kirliliğin oluşturabileceği birincil üretim potansiyeli, Karadeniz’in alt/üst tabakaları arasındaki sınırlı düşey karışım nedeniyle oldukça düşüktür. Karadeniz dip kesimine verilen İstanbul/Marmara kaynaklı TN ve TP yükünün en az ~%70’ninin sözü edilen anoksik/anaerobik hacimde birikmesi beklenir. Belirtilen sebeplerle, Karadeniz’deki yüksek birincil üretimin ana unsuru, Tuna dahil üst

*tabakaya boşalan nehir deşarjları olup, İstanbul Boğazı alt tabaka akımıyla Karadeniz'e verilen kirleticilerin ötrofikasyona katkısı çok sınırlıdır ( $\sim 0,30 \times 85/778 \cong \% 3,3$ ).*

## 5. MARMARA DENİZİ HAVZASINDAKİ KİRLİTİCİ YÜKLERİNİN SEKTÖREL DAĞILIMI

### 5.1. Marmara Denizi için Çevresel Master Plan ve Yatırım Stratejileri Projesi (MEMPIS) Bulguları

#### MEMPIS Projesi

2005 yılında, “Marmara Havzası Çevre Mastır Planı ve Yatırım Stratejisi”nin geliştirilmesi amacıyla, Avrupa Yatırım Bankası (European Investment Bank, EIB), Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile birlikte, Hollanda menşeli Grontmij NV firması önderliğinde MEMPIS Konsorsiyumu kurulmuştur. Kısaca MEMPIS Projesi diye anılan proje, 2005-2006 yılları arasında yürütülerek sonuçları bir rapor halinde sunulmuştur (MEMPIS, 2006). Projenin çalışma alanı, Marmara Denizi’ni ve Marmara Denizi’nin etkileşim içerisinde olduğu havza ve bölgeleri kapsamaktadır (Şekil 19). MEMPIS Projesi kapsamında bir su kalitesi modeli (Delft 3D Hidrodinamik ve Su Kalitesi Modülleri) yapılandırılmış, bu model kapsamında temel olarak, İSKİ’nin 2000-2004 dönemi için aylık verileri ile Ortadoğu Teknik Üniversitesi’nin (ODTÜ) 1989-1991 dönemi için derlenmiş verileri kullanılmıştır. Model kapsamında, mevcut durum senaryosu da dahil olmak üzere toplam 7 adet kirlilik yükü azaltım senaryosu çalıştırılmıştır. MEMPIS Projesi kapsamında fitoplankton, nütrient ve çözünmüş oksijen parametreleri için Marmara Denizi’ne özgü “gösterge hedefler” belirlenmiştir. Bu noktada, kesin konsantrasyonları tanımlayan bir hedef seti yerine, hedef aralıklarının önerilmesi yoluna gidilmiştir.



Şekil 19. Marmara Denizi havzası ve idari sınırlar (MEMPIS, 2006)

Mevcut Durum senaryosuna göre, 2005 yılı verileri ile Marmara ve Susurluk havzası kaynaklı besi maddesi (N, P) yükleri havzadaki toplam yükün ~%50'sini oluşturmaktadır. Geri kalan %50'lik yük girdisi ise Karadeniz'den kaynaklanmaktadır (Şekil 20). Marmara Denizi alt tabaka akımlarının (özellikle İstanbul Boğazı güney girişine deşarj edilen Yenikapı ve Kadıköy atıksularının) %20-25'inin İstanbul Boğazı'nda (bilhassa Üsküdar eşğinde) Karadeniz'den gelen üst tabakaya geçerek Marmara'ya geri döndüğü esas alınmıştır.



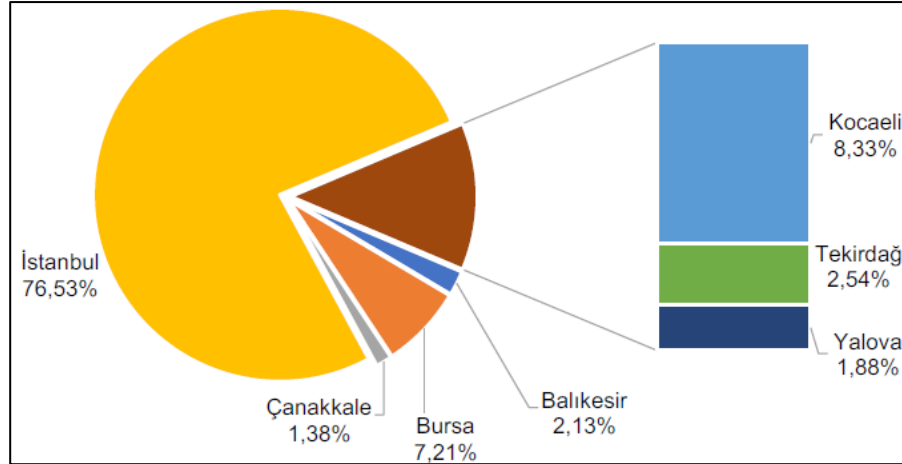
Şekil 20. Muhtelif belediyelerin evsel atıksulardan kaynaklı azot yüklerine katkıları (ton/yıl) (MEMPIS, 2006)

## 5.2. Marmara Denizi ile İlişkili Atıksu Altyapı Durumu ve Deşarjları Raporu (MBB, 2021) Bulguları

Marmara Bölgesi'nde Meriç-Ergene, Marmara, Susurluk, Kuzey Ege ve Sakarya olmak üzere 5 su koruma havzası bulunmaktadır (Şekil 21). Sularını Marmara Denizi'ne ulaştıran iller ise; Balıkesir, Bursa, Çanakkale, İstanbul, Kocaeli, Tekirdağ ve Yalova'dır (Şekil 22).

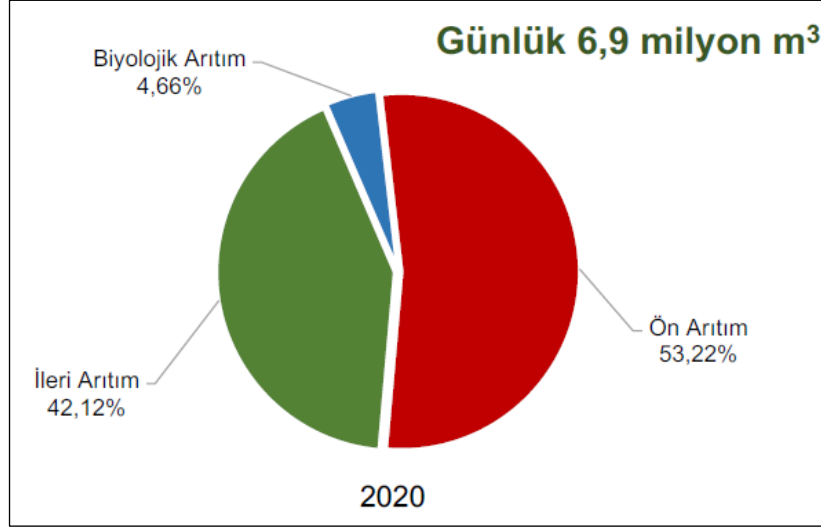


Şekil 21. Marmara Bölgesi'nin iller haritası (MBB, 2021)



Şekil 22. Marmara Denizi'ne yapılan deşarj miktarının şehirlere göre dağılımı (m<sup>3</sup>/gün) (MBB, 2021)

Yapılan deşarjların yarısından fazlasının sadece fiziksel bir arıtmayı içeren ön arıtım proseslerinden geçirilerek Marmara Denizi'ne verilmesi denizdeki kentsel kirlilik yükünün önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Şekil 23).



**Şekil 23.** Marmara Denizi'ne yapılan deşarjların arıtma seviyeleri (MBB, 2021)

İstanbul Boğazı'na derin deşarjı yapılan günlük yaklaşık 279 bin m<sup>3</sup> atıksuyun, Karadeniz'e ulaşmaksızın Marmara'da kaldığı hesaplanmaktadır.

- Marmara Denizi'ne Kocaeli tarafından yapılan toplam deşarjın yaklaşık 388 bin m<sup>3</sup> olduğu, Bursa'nın ise 336 bin m<sup>3</sup>'lük atıksuyunun sadece ön arıtmadan geçirilerek herhangi bir azot, fosfor giderimi yapılmaksızın deşarj edilmesi Marmara Denizi'nde önemli bir kirlilik kaynağı olarak değerlendirilmektedir.
- Baltalimanı AAT'nin biyolojik AAT seviyesine yükseltilmesi için inşaa çalışmalarının devam ettiği, Yenikapı AAT'nin biyolojik prosesleri gerçekleştirecek şekilde yükseltilmesi inşaa işinin başladığı ancak tarihi yarımada'nın sit alanı olmasına ilişkin kısıtlardan dolayı fiili olarak durduğu belirtilmektedir (İSKİ, 2021).
- İstanbul'un ön arıtmadan geçmiş atıksularının deşarjını takiben Marmara'daki kentsel atıksu yüküne en büyük katkı Tekirdağ'ın günlük yaklaşık 44 bin m<sup>3</sup> ve Balıkesir'in günlük yaklaşık 26 bin m<sup>3</sup>'lük ön arıtım atıksu deşarjı gelmektedir.
- Kocaeli tarafından Marmara Denizi'ne hiç ön arıtım atıksuyu deşarj edilmediği görülmektedir. Ancak İzmit Körfezi'nin hassas yapısı dikkate alındığında, Kocaeli deşarjlarını oluşturan %35'lik biyolojik arıtmanın kademeli olarak ileri biyolojik arıtmaya yükseltilmesinin çözünmüş oksijen seviyesinde iyileşmeye zemin hazırlayacağı değerlendirilmektedir.
- Balıkesir'in Marmara Denizi ile ilişkili atıksu deşarjlarının yaklaşık yaklaşık dörtte biri neredeyse hiç arıtmaya tabi tutulmadan (sadece kaba ızgara) denizin derinliklerine deşarj edilmektedir. Geri kalan atıksuyun da sadece %21'i ileri biyolojik proseslerden geçirildikten sonra deşarj edilmektedir. Balıkesir'in arıtılmaksızın derine deşarj ettiği atıksular yazlık nüfusun yoğun olduğu Erdek ve Bandırma'dan kaynaklanmaktadır.



### 5.3. Marmara'daki Kentsel Atıksu Deşarj Yükleri Dağılımıyla ilgili Güncel (Kavramsal) Durum Analizi

Marmara Denizi Havzası'ndaki Kentsel yerleşimlerden deşarj edilen güncel kirlilik yükleri ile ilgili olarak, belirli kabullerle, aşağıdaki gibi bir değerlendirme yapılabilir:

#### Nüfus

Havzada yaşayan nüfus : ~25 milyon kişi  
 İstanbul : ~15 milyon kişi (%60)  
 Diğer şehirler : ~10 milyon kişi (%40)

#### Atıksu Arıtma Durumu

İstanbul : Mekanik Arıtmaya Bağlı Nüfus ~%55 (8.250.000 kişi)  
 : İleri Biyolojik Arıtmaya Bağlı Nüfus %45 (6.750.000 kişi)  
 Diğer Yerleşimler : ~%75'i İleri Biyolojik Arıtmaya,  
 ~%25'i Mekanik Arıtmaya Bağlı,  
 İleri Biyolojik AAT'de ~%70 TN ve TP giderimi  
 Nüfusun %85'ine Merkezi AAT hizmeti verilmekte (%15 kırsal nüfus)

- Alt tabakaya verilen deşarjların ~%50'si belli bir süreçte üst tabakaya geçebilir.

#### Marmara Denizi Üst Tabakasına Verilen Kirlilik Yükü Hesabı

Daha önce Bölüm 4.2 **Tablo**'da verildiği üzere; İstanbul kaynaklı TN ve TP yükleri, yaklaşık olarak;

$$TN = 48.772 \text{ kg/gün}$$

$$TP = 6.649 \text{ kg/gün}$$

alınabilir. Diğer yerlerden gelen yükler de;

$$\begin{aligned} TN &= 10 \times 10^6 \times 0,85 \times 12 \text{ g TN/kişi.gün} \times 10^{-3} (1-0,70) \times 0,75 \\ &= + [10 \times 10^6 \times 0,15 \times 12 \times 10^{-3} \times 0,25] \times 0,5 = 22.950 + 2.250 \\ &= 25.200 \text{ kg/gün} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} TP &= 10 \times 10^6 \times 0,85 \times 2 \text{ g TP/kişi.gün} \times 10^{-3} (1-0,70) \times 0,75 \\ &= + [10 \times 10^6 \times 0,15 \times 2 \times 10^{-3} \times 0,25] \times 0,5 = 3.825 + 375 \\ &= 4.200 \text{ kg/gün} \end{aligned}$$

olarak hesaplanır. Bu verilerle İstanbul'un; Marmara Denizi üst tabakasına verilen kentsel deşarjlar kaynaklı Toplam Azot'un  $48.772 / (48.772 + 25.200) \cong \% 66$ 'sından;

$$\text{Toplam Fosfor'un } 6.649 / (6.649 + 4.200) \cong \% 61 \text{ 'inden}$$

sorumlu olduğu söylenebilir. Dolayısıyla, Marmara Denizi Havzası'ndaki Türkiye kaynaklı en büyük noktasal besi maddesi (N, P) İstanbul'dan gelmektedir.

## 6. MARMARA DENİZİ İÇİN “İYİ SU KALİTESİ DURUMU” HEDEFLERİ

### 6.1. MEMPIS Projesi Hedefleri

MEMPIS (2006) Projesi’nde Marmara Denizi su kalitesi ve ekolojik durumu ile ilgili olarak öngörülen hedef, orta vadede (2030 yılı) Tablo 7’deki daha az sıkı su kalitesi değerlerine (klorofil-a  $\leq 10$  mg/L, TN  $\leq 0,1$  mg/L, TP  $\leq 0,02$  mg/L, çözünmüş oksijen:  $\leq 20$  m derinliklerde (üst tabaka) 6 mg/L,  $\geq 20$  m derinliklerde (ara ve alt tabakalar) 2 mg/L) ulaşılmasıdır. Bu hedeflere ulaşılabilmesi için uygulanması gerekli en etkin iki senaryo; (1) Marmara Havzası ve Karadeniz’den kaynaklanan kirlilik yüklerinin ulaşılabilir en yüksek düzeyde azaltımı (Azami Yük Azaltım Senaryosu), (2) Sadece Marmara Havzası’ndan kaynaklanan kirlilik yüklerinin ulaşılabilir en yüksek düzeyde (Azami Marmara Havzası Yük Azaltım Senaryosu) azaltımıdır (MEMPIS, 2006; Öztürk ve Tanık, 2012).

Tablo 7. Marmara Denizi için önerilen uzun vadeli su kalitesi hedefleri (MEMPIS, 2006)

Parametre	Uzun vadeli hedefler	
	Daha az sıkı	Daha sıkı
Klorofil-a ( $\mu\text{g/L}$ )	10	5
Toplam N ( $\text{mgN/L}$ )	0,1	0,05
Toplam P ( $\text{mgP/L}$ )	0,02	0,01
Çözünmüş Oksijen ( $\text{mg/L}$ ) <20 m altı derinlik için	6	7
Çözünmüş Oksijen ( $\text{mg/L}$ ) 40-100 m arası derinlik için	2	3

### 6.2. İSKİ Master Planı (IMC, 1999) Arıtma Stratejisi

İSKİ Su Temini, Atıksu ve Yağmursuyu Yönetimi Master Planı kapsamında Marmara Denizi ve İstanbul Boğazı’nda yürütülen modelleme çalışmaları sonuçlarına göre, Marmara’da ötrofikasyon kontrolü ve alt tabakadaki çözünmüş oksijen seviyesinin daha da kötüye gitmesinin önlenmesi; diğer bir deyişle, alıcı ortamın yüzme su sporları ve balıkçılık gibi amaçlarla kullanımının sağlanması için, başta İstanbul olmak üzere Marmara’ya yapılacak bütün noktasal atıksu deşarjları öncesi biyolojik C, N ve P giderimli arıtma uygulanması önerilmektedir. Özellikle, İstanbul Boğazı’na yapılacak deşarjlar öncesi yer sorunu nedeniyle ileri biyolojik arıtma için yeterli alanın temin edilemediği durumlarda kimyasal arıtma destekli birinci kademe arıtma uygulanması öngörülmüştür (İstanbul Master Plan Konsorsiyumu, 1999; ÖEJV-DHI, 1994). Bu öngörü dikkate alınarak, son 10 yılda başta İstanbul, İzmit ve Bursa olmak üzere Marmara’ya yapılan kentsel ve endüstriyel atıksu deşarjları öncesi biyolojik N ve P giderimli arıtma uygulamaları hız kazanmıştır. Söz konusu uygulamaların sonucu olarak özellikle Haliç, İzmit ve Gemlik Körfezleri’nde belirgin su kalitesi iyileşmeleri sağlanmış ve biyo-çeşitlilik artmıştır. Ancak, Yenikapı, Kadıköy ve Küçükçekmece Ön Arıtma Tesisleri çıkış sularının deşarj edildiği Küçükçekmece ~ Tuzla Yarımadası aksı kuzeyi ile su alışverişinin sınırlı olduğu İzmit Körfezi doğu bölgesinde alt tabakadaki çözünmüş oksijen seviyelerinin  $< 2$  mg/L olduğu gözlenmektedir (Artüz, 2007; MEMPIS, 2006).

İstanbul'da İSKİ tarafından inşa edilen atıksu ön arıtma ve derin deniz deşarjları, İstanbul Boğazı ile İstanbul'un Marmara ve Adalar sahillerindeki plajlarda su kalitesinin yürürlükte olan Yüzme Suyu Kalitesi Yönetmeliği'nde (76/160/AB) yer alan kriterlere ulaşmasını sağlamıştır. Ancak, alt tabakada çözünmüş oksijen azalmasının durdurulması ve ötrofikasyon riskinin azaltımı açılarından yeterli başarı sağlanamamıştır. Bunun için İstanbul başta olmak üzere Marmara'ya yapılacak tüm evsel/endüstriyel atıksu deşarjlarında kritik besi maddesi olan N ve P'nin Hassas Su Ortamları için öngörülen limitlerin altında ( $TN \leq 15$  (10) mg/L,  $TP \leq 2$  (1) mg/L) indirilmesi gerekmektedir. Bu değerler, Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği Tablo 2 ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 19'da yer alan değerler olup, bu limitlere ulaşılabilmesi için ileri biyolojik arıtma (C, N, P giderimli Aktif Çamur Prosesi) uygulamaları gerekmektedir (Öztürk ve Tanık, 2012).

AB'ye katılan Tuna Havzası ülkelerinde (Orta ve Doğu Avrupa), noktasal kaynak kontrolüne yönelik olarak AB ve Dünya Bankası fonları desteği ile gerçekleştirilen uygulamalar dolayısıyla, özellikle Karadeniz'e Tuna Nehri vasıtasıyla taşınarak yılın ~%70'lik kısmında İstanbul Boğazı'ndan Marmara'ya gelen kirlilik yüklerinde belirgin bir iyileşme gözlenmektedir (Okuş vd., 2008). Ancak Ukrayna, Beyaz Rusya ve Rusya'dan dökülen büyük nehirlerle (Dinyeper, Dinyester, Don) Karadeniz'e taşınan ve Marmara'yı etkileyen kirlilik halen sürmektedir. Marmara'ya gelen toplam kirlilik yükünün ~%50'sinin Karadeniz kaynaklı olduğu bilinmektedir. İstanbul Boğazı üst akımı ile Marmara'ya giren söz konusu kirliliğin %80-85'ini sınıraşan kirletici kaynaklar oluşturmaktadır. Marmara Havzası'ndaki noktasal ve yayılı kirlilik yükleri azami ölçüde kontrol edilse bile, Karadeniz kaynaklı kirlilik girişi mevcut haliyle sürdüğünde, Marmara'da Tablo 7'deki "daha iyi ekolojik duruma" ulaşılması tam anlamıyla mümkün görülmemektedir (MEMPIS, 2006).

### 6.3. İstanbul'a (Boğaza Yapılan Deşarjlar) Özgü Kısıtlara İlişkin Hususlar

#### İSKİ Atıksu Arıtma Tesisleri ve İstanbul Boğazı'na Özgü Hususlar

İstanbul Boğazı'na özgü atıksu deşarj standartları çalışılırken, İSKİ'nin Boğazın Marmara girişine ve Boğaz boyunca konumlanmış toplam 6 adet Mekanik Ön Arıtma tesisi;

- Boğaz ön görünüm bölgesinde kalmaları dolayısıyla, özel imar kısıtları uygulanması,
- Atıksu toplama sisteminin tamamlanmış ve tesis sahalarında sonlanmış olması yüzünden AAT yerinin değişmesinin adeta imkansız olması,
- Küçüksu, Yenikapı ve Baltalimanı AAT'leri hariç, üst/yukarı havzada, mevcut tesislerin yükünü kısmen azaltıcı yeni AAT yapmaya uygun sahaların bulunmayışı,
- Mevcut AAT sahaların (Baltalimanı hariç), besi maddesi (N, P) giderimli ileri biyolojik arıtma sistemi kurulmasına imkan vermeyişi, söz konusu sahalarda ancak yüksek yüklü aktif çamur sistemi gibi kompakt biyolojik arıtma proseslerinin (zemin altına gömülü ve iki katlı çökeltim havuzlu olarak) kurulabileceği

gibi önemli kısıtları haizdir. Belirtilen kısıtlar altında, söz konusu tesislerin 2. Kademe Biyolojik (Yüksek Yüklü Aktif Çamur Sistemi) Arıtma Prosesine dönüştürüldükten sonra, Boğaz alt tabakasına deşarj edilen arıtılmış atıksuların İstanbul Boğazı ile Karadeniz ve Marmara'daki akıbetinin bilinmesi de önem taşımaktadır.

### Çıkış Suları İstanbul Boğazı Alt Tabakasına Verilen AAT'i için Deşarj Standartları Önerisi

İstanbul'da İSKİ'nin çıkış suları İstanbul Boğazı girişi ve Boğaz alt akımına deşarj edilen 5 Büyük AAT için, teknoloji bazlı ve İstanbul Boğazı'nın benzersiz durumuna özgü deşarj standartları önerisi geliştirilmesi çalışması kapsamında yapılması gereken öncelikli iş, bu tesislerin ham atıksu karakterizasyonunun ortaya konması olmalıdır. İSKİ Genel Müdürlüğü'nce İstanbul'daki 8 büyük AAT'nde 2013-2017 dönemi, Mekanik Arıtma (Kaba ve ince ızgaralar, kum tutucu) çıkışındaki atıksu karakterizasyonu, ortalama değerler itibarı ile Tablo 8'de verilmiştir (İSKİ, 2017).

Tablo 8. İSKİ'nin büyük AAT'leri ham su ortalama kirletici seviyeleri (mg/L), 2013-2017 dönemi

AAT	KOİ <sub>ort</sub>	AKM <sub>ort</sub>	TKN <sub>ort</sub>	TP <sub>ort</sub>
Yenikapı	526	323	56	6
Baltalimanı	433	294	49	4.2
Kadıköy	565 (812)*	386 (624)*	51 (63)*	7 (10.3)*
Küçüksu	494	280	56.4	5.9
Ataköy	582	373	60	6
Ambarlı	475	300	54	6
Paşaköy	506 (672)*	291 (400)*	57 (75)*	6 (8.4)*
Tuzla	674	529	64	8

\* Zamanın %90'nında küçük kalınan (aşılmayan) veya aşılma ihtimali  $1-0.90=0.10$  (%10) olan değer

Tablo 8'de verilen ortalama değerlerden hareketle tesis tasarımına esas karakteristik konsantrasyonlar genelde zamanın ~%70'inde küçük kalınan (aşılmayan) değerler olarak alınmaktadır (Henze vd., 2002).

Deyatları Aydın vd.'nde (2018) açıklanan hesaplamalar sonunda; İstanbul Boğazı giriş ve Boğaz alt tabakasına yapılacak kentsel atıksu deşarjları öncesi AAT çıkış suyu standartları olarak, Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği Tablo 1 ve Tablo 2'deki deşarj limitlerinin,

Toplam AKM = 100 mg/L  
 KOİ = 250 mg/L (≥%65 giderim)  
 BOİ<sub>5</sub> = 160 mg/L  
 TKN = 45 mg/L (≥%25 giderim)  
 TP = 6 mg/L (≥%30 giderim)

şeklinde revize edilmesi önerilmektedir (Aydın vd., 2018). Tesise gelen KOİ, N ve P parametrelerinin zamanın %70'inde gelmesi beklenen değerleri aştığı durumlarda, tesis performansının % giderimler üzerinden değerlendirilmesinin daha isabetli olacağı düşünülmektedir. Diğer bir seçenek de İstanbul Boğazı'na yapılacak deşarjlarda SKKY Tablo 22'de (kanalizasyon sistemleri Derin Deniz Deşarjı ile sonuçlanan Atıksu Altyapı Tesisleri) öngörülen limitler yerine yukarıda önerilen deşarj standartlarının uygulanmasıdır.

İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü'nce İSKİ için yürütülen pilot Yüksek Yüklü Aktif Çamur Sistemi tesisleri, Baltalimanı AAT'ye gelen gerçek ham atıksu (Kum Tutucu Çıkışı) ile %60-70 KOİ, %25-30 TKN ve >%50 TP giderimi sağlanabileceğini göstermektedir (Güven vd., 2019). Bu yüzden söz konusu Biyolojik Arıtma (A prosesi) Sistemi ile Mevcut Mekanik Ön Arıtmaların kademesinin uygun şekilde yükseltilerek bu deşarjlardan Marmara'ya dönen N, P yüklerinin büyük oranda azaltılabileceği görülmektedir.

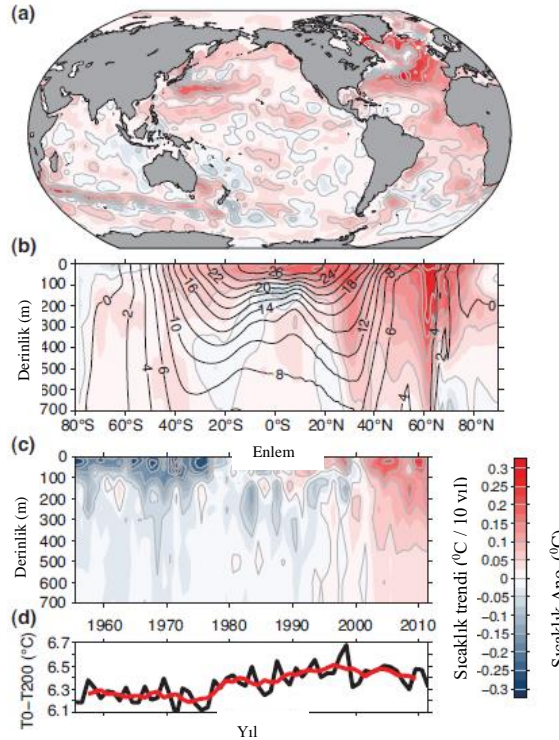
İSKİ'nin İstanbul Boğazı girişine atıksu deşarj edilen Yenikapı ve Kadıköy AAT'lerinde, yukarıda belirtilen C, N, P deşarj yüklerinin daha yüksek oranda kısıtlanabilmesi için, atıksu toplama havzasındaki nüfusun %40~50'sinin yukarı havzada inşa edilecek ileri biyolojik AAT'lerde arıtılması gerekir. Böylece sahildeki yer kısıtı dolayısı ile yaşanan İleri Biyolojik AAT'ye dönüşüm sorunu, kısmen de olsa büyük ölçüde aşılmış olur. Bu tür bir dönüşümle, örneğin atıksuyun %50'sinin A prosesi ile sahilde, diğer %50'sinin ise yukarı havzada İleri Biyolojik Arıtma ile arıtılması durumunda, Toplam KOİ ve TP yükünde ~%70, TN yükünde ise ~%55 oranında azaltım sağlanabilecektir.

## 7. KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİMİ ETKİSİYLE DENİZ SUYU SICAKLIĞININ ARTMASINA BAĞLI DURUMLAR

Küresel iklim değişiminin, okyanusların ısınması ve yağış rejimlerinin değişmesi ile deniz ortamlarının asitlenmesine ve deniz biyo-çeşitliliğinin kaybına yol açması öngörülmektedir. Denizlerdeki diğer insan kaynaklı baskı faktörlerinin bir araya gelmesiyle, denizel ekosistemlerin tümüyle zarar görmesi tehlikesi bulunmaktadır. Sucul ekosistemin ve biyo-çeşitliliğin korunması açısından okyanus ısınmasını sınırlandıran eylem planlarının acilen uygulanması gerekmektedir (IPCC, 2013).

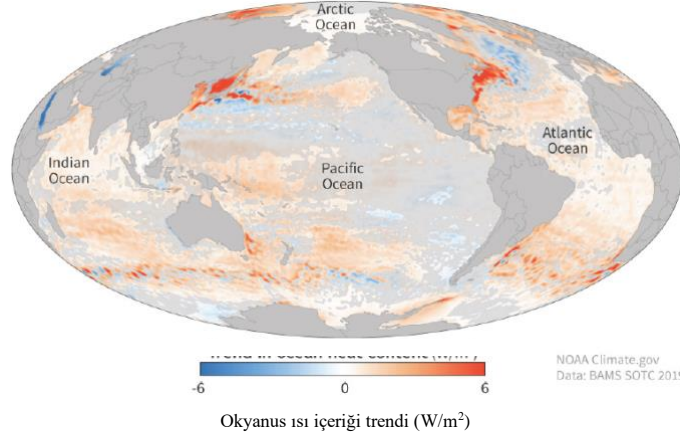
### Denizlerdeki Sıcaklık ve Isı İçeriği Değişimleri

Okyanusların üst tabakasının (0-700 m) 1970'ten 2010 yılına dek ısındığı bilgisi kesinlik kazanmıştır; hatta bu ısınmanın esasen 1870'lerde başladığı tahmin edilmektedir. En yüksek ısınma oranı, deniz yüzeyi yakınında gerçekleşir (1971-2010 döneminde en üst 75 m'de  $0,11^{\circ}\text{C}/10$  yıl). Söz konusu ısınmanın neden olduğu yüzey yoğunlaşmasının, okyanusun termal tabakalaşmasını (0 ile 200 m derinlik arasında yaklaşık %4 oranında) arttırmış olduğu tahmin edilmektedir (Şekil 24) (IPCC, 2013).



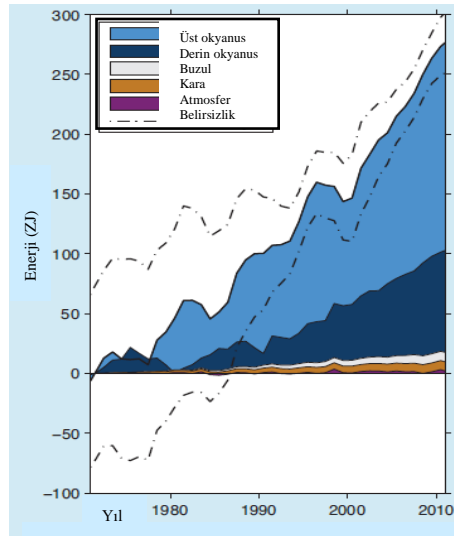
**Şekil 24.** (a) 1971-2010 dönemi için 0 ile 700 m derinlik ortalama sıcaklık trendi ( $^{\circ}\text{C} / 10$  yıl), (b) 1971-2010 dönemi için bölgesel ortalama sıcaklık trendi ( $^{\circ}\text{C} / 10$  yıl), (c) 1971-2010 dönemi için küresel ortalama sıcaklık anomalisi ( $^{\circ}\text{C} / 10$  yıl), (d) 0 ile 700 m derinlikte küresel ortalama sıcaklık farkı (siyah: yıllık, kırmızı: 5 yıllık)

Okyanusların 0-700 m derinliği için 1993-2019 ısı içeriği trendi haritası Şekil 25'te verilmektedir. Çoğu okyanus havzası ısı kazanırken (turuncu), küresel ortalama eğilimin de pozitif olduğu görülmektedir. Dünya yüzeyi ortalamasına göre, 1993-2019 dönemi için okyanusların ısı kazanım oranları da, yine 0-700 m derinlik için 0,36 ila 0,41 W/m<sup>2</sup> arasında değişmektedir (Dahlman, L. A. & Lindsey, R., 2020).



Şekil 25. Okyanusların ısı içeriğindeki değişim (1993-2019)

Okyanus ısınması, küresel enerji değişimi envanterinin en büyük bileşenini oluşturur (1971-2010 döneminde dünya enerji envanterindeki artışın ~%93'ünü oluşturur). Okyanusların üst tabakasındaki (0 ila 700 m) ısınma ise dünya enerji envanterindeki artışın ~%64'üne tekabül eder. Bu da okyanus yüzey alanına daimi olarak etki eden 0,55 W/m<sup>2</sup> ısı değişimime eşdeğerdir. Buzulların erimesi ile kara ve atmosferin ısınması, enerjideki değişimin geri kalan bileşenini oluşturur (Şekil 26) (IPCC, 2013).



Şekil 26. 1970-2010 dönemi dünya iklim sisteminin farklı bileşenlerinde enerji birikim grafiği (1 ZJ = 1021 J)

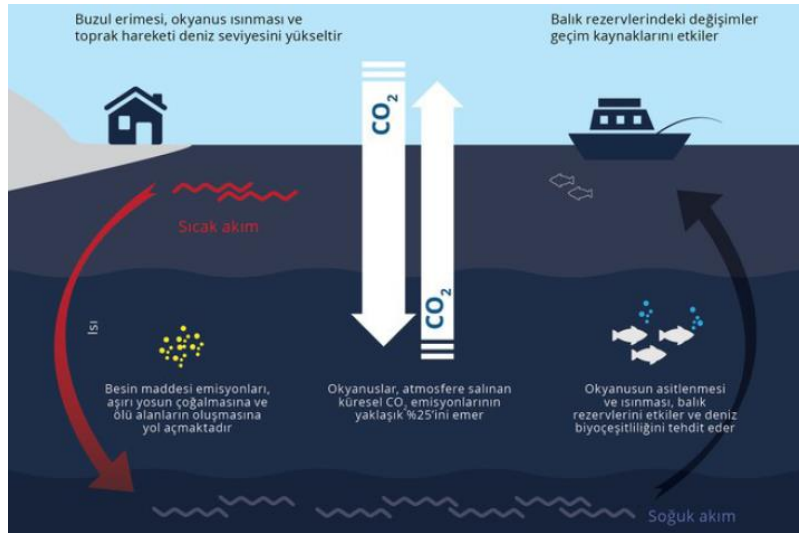


Uluslararası iklim değişikliği çalışmaları (IPCC), küresel ölçekte deniz seviyesinin geçen yüzyılda 10-20 cm mertebesinde yükseldiğini, bu yüzyılda 40-60 cm yükselme öngörüldüğünü ve bu değişimin büyük ölçekte iklim değişikliği kaynaklı küresel ısınmadan kaynaklandığını ortaya koymuştur (TÜDAV, 2021).

Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin esas etkisi, denizlerin en verimli alanları olan kıyılarda görülmektedir. Rüzgâr ve yağmur rejiminin düzensiz bir hal alması sonucu, besi maddelerinin deniz ortamına aktarımı da değişecek, değişen akıntı rejimi de göz önüne alındığında, günümüzdeki canlı verimliliği ve göç dinamiği kısmen veya tamamen değişecektir.

### Denizlerde Besin Ağındaki Değişimler

İklim değişikliği kaynaklı okyanusların ısınmasının deniz yaşamı üzerindeki etkisi güçlü olup günümüzde biyoçeşitlilik büyük bir risk altındadır. Ölçümlere göre, son on yıllarda okyanus yüzeyinin çok altındaki deniz tabakaları dahi söz konusu ısınmadan etkilenmektedir. Buna göre, optimum sıcaklık aralıklarının dışındaki canlılar yaşamsal açıdan daha hassas bir hale gelirken, yeni sıcaklık rejimine uygun diğer türler ise rekabet üstünlüğü elde eder. Bu durum besin zincirine sıçrayarak, avantajlı ve/veya dezavantajlı türlerle etkileşime giren diğer organizmalar üzerinde de yayılma etkisi gösterir. Besin zincirindeki kademesi arttıkça, yeterli besine erişemeyen canlılar bölgesel olarak yok olabilir veya hayatta kalmak için göç etmeye zorlanırlar. Sonuç olarak bu süreç, ekosistemin genel işleyişine zarar vererek besin ağını, türlerin dengesini ve biyo-çeşitliliği tümüyle etkileyebilir (Şekil 27) (EEA, 2021).



Şekil 27. İklim değişikliği ve denizler (EEA, 2021)

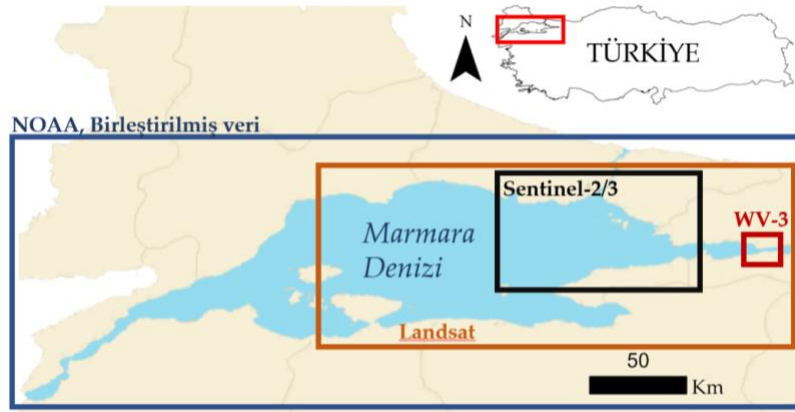
Avrupa’da deniz yüzeyi sıcaklığının, küresel okyanuslardan daha hızlı arttığı yerlerde bu durum, yerel balıkçılara uzanan zincirleme bir etki oluşturmuştur. Bu örneklerden biri, AB ile Faroe Adaları arasında, kısmen aşırı mezgıt avlanmasının, kısmen de ringa ve uskumru gibi balık türlerinin iklim değişikliğine bağlı deniz sıcaklıklarının artması karşısında, kuzeye hareket etmesinin dolaylı bir sonucu olarak ortaya çıkan ve 2014’e dek yıllar boyu devam eden sürdürülebilir balık avcılığı (uskumru) sorunu olmuştur (EEA, 2021).

Deniz suyundaki sıcaklık artışı, Pasifik ve Hint okyanusundaki mercanların sararması ve toplu ölümüne yol açmıştır. Karayipler’de 1989 -1990 yıllarında deniz suyu sıcaklığının 2 derece artması yani su sıcaklığının 28-29°C den 30-31°C ye yükselmesi, mercanların kitlesel ölümüne neden olmuştur. Bu durum sadece denizlerdeki biyoçeşitliliğin yıkımına yol açmakla kalmayıp aynı zamanda küresel ısınmadan birinci derece sorumlu olan karbondioksitin denizler tarafından emilimi de azaltmaktadır. Bu tür süreçler ekosistemin kısır döngüye girmesine sebep olmaktadır (TÜDAV, 2021).

İklim değişikliği kaynaklı küresel ısınmanın, Türkiye’yi çevreleyen denizlere etkisini sadece biyo-çeşitlilikteki değişime de indirgenemez. Bozulan atmosferik ritim ile denizlerimizde daha farklı bir rüzgâr ve akıntı sistemi ortaya çıkacak, bazı limanlarımızda ulaşım aksayacak, balıkçı filolarımızın ve her türlü deniz araçlarının seyri zorlaşacak, balık çiftlikleri şiddetli dalgalara maruz kalacak, adalara ulaşım aksayacak, deniz ortamı kara alanından daha riskli bir hal alacaktır. 27 ilimizin deniz kıyısında olmasından dolayı bu illerimizdeki kıyı yapıları, balıkçılık, turizm gibi ticari faaliyetleri ciddi zarar görecektir. Ülkemizde denizler hâlâ bir protein deposuyken, iklim değişimine bağlı küresel ısınma ile ortaya çıkacak sorunların geleneksel balık avcılığına, av türlerine ve yöntemlerine ciddi etkilerinin olması beklenmektedir (TÜDAV, 2021).

## 8. MÜSİLAJ PROBLEMİ İLE MÜCADELEDE UYDU GÖRÜNTÜLERİ VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN KULLANIMI

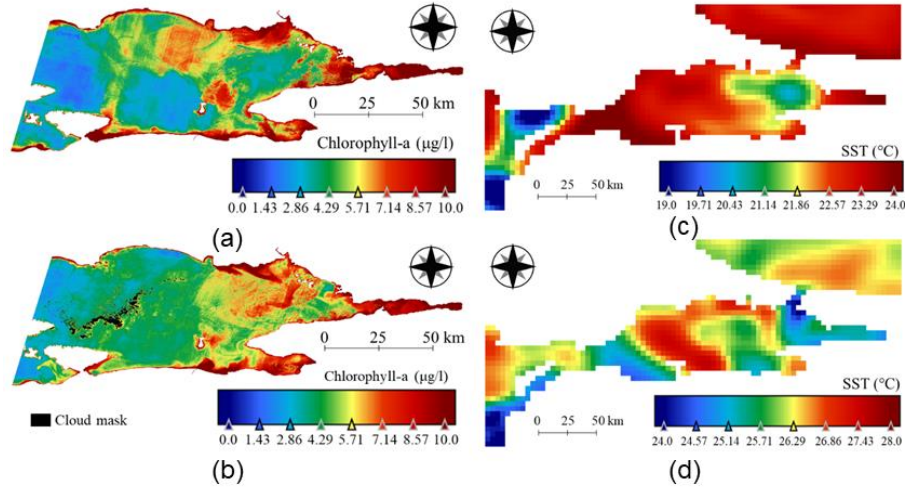
Marmara Denizi yaklaşık (240 km x 70 km) boyutu ile geniş bir alanı kaplamaktadır ve elde edilen sonuçların doğruluk analizi de yapılarak tamamıyla incelenmesi zaman alacaktır. Bölgede müsilaaj kaplı alanların incelenmesi için hem ücretsiz elde edilebilen görüntülerden araştırmalar yapılmakta hem de İTÜ UHUZAM bünyesinde indirilebilen yüksek çözünürlüklü görüntülerden detaylı analizler gerçekleştirilmektedir. Şekil 28’de bu kapsamda incelenen alanlar çerçeve olarak gösterilmektedir.



\*Birleştirilmiş veri: SLSTR, ATSRs and AVHRRs sensörlerinin integrasyonundan oluşmaktadır.

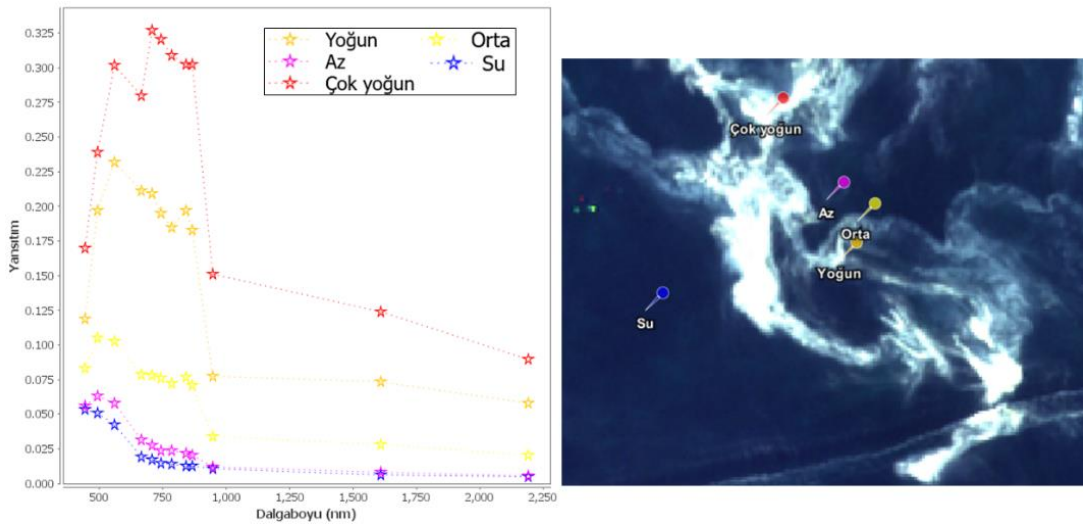
**Şekil 28.** Farklı çözünürlükte uydu görüntülerinden Marmara Denizi’nde incelenen alanlar

NOAA uyduları ile global deniz yüzeyi sıcaklıkları, farklı sensörlerden elde edilen veriler birleştirilerek günlük olarak sağlanabilmektedir. Bunun yanı sıra Landsat ve Sentinel 3 uydularının termal algılayıcılarından da daha detaylı deniz yüzeyi sıcaklıklarını üretmek mümkündür. Sudaki chl-a bilgisi de uygun spektral bantlara uygulanan görüntü işleme yöntemleri ve modelleri ile üretilebilir. Şekil 29’da uydu görüntülerinden üretilen sonuçlar incelendiğinde, deniz suyu sıcaklığı ve chl-a dağılımındaki artış görülmektedir.



**Şekil 29.** Landsat görüntüsüyle üretilen klorofil-a konsantrasyonu dağılımı a) 25.07.2017 b) 28.07.2018. Birleştirilmiş veriyle üretilen su yüzeyi sıcaklığı c) 19.07.2017 d) 18.07.2018

Marmara Denizi'nde görülen müsilaj, uydu görüntülerinde spektral yansıtım olarak belirgin bir şekilde ayrılabilir. Bunun yanı sıra yapılan gözlemlerde müsilaj ile kaplı alanların kendi içinde de değişim gösterdiği tespit edilmiştir. Şekil 30'da farklı yoğunluktaki müsilajlar ve spektral yansıtma eğrileri gösterilmektedir. Arazide spektrometre ile ölçme yapılması durumunda müsilajın özellikleri hakkında uydu görüntülerinden daha detaylı bilgiler üretilebilecektir.

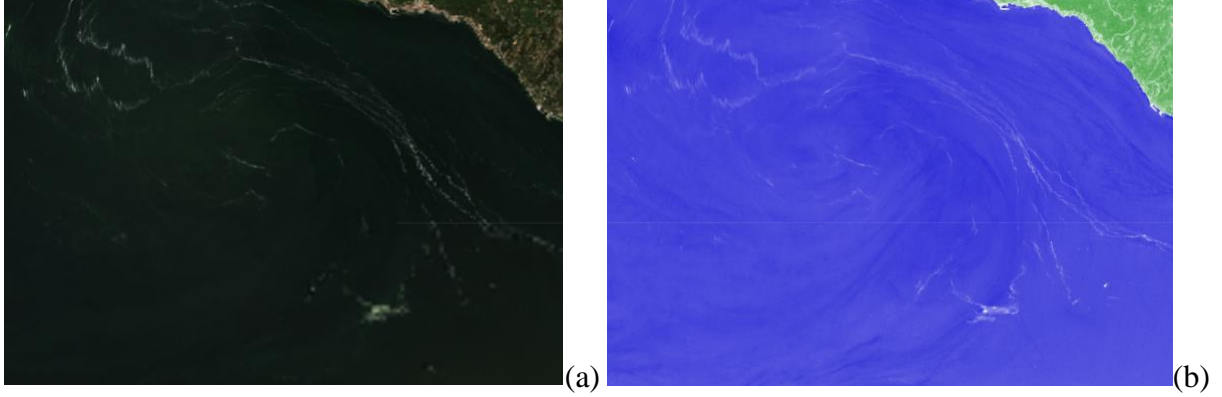


**Şekil 30.** Uydu görüntüsü üzerinden müsilajla kaplı alanlarda spektral eğri değişimleri

Farklı bantlardan üretilen görüntülerden oluşturulan kombinasyonlarla müsilaj alanları incelenebilmekte ya da spektral yansıtma farklılıklarından yararlanan indeksler ile alansal bilgi üretilebilmektedir. Şekil 31'de bir örnek olmak üzere elektromanyetik spektrumun yeşil ve yakın kızılötesi bölgelerinden elde edilen görüntülerden üretilen Normalize Edilmiş Su İndeksi (NDWI) sonucu verilmektedir.

$$NDWI = (\text{Yeşil Bant} - \text{Yakın Kızılötesi Bant}) / (\text{Yeşil Bant} + \text{Yakın Kızılötesi Bant}) \quad (1)$$

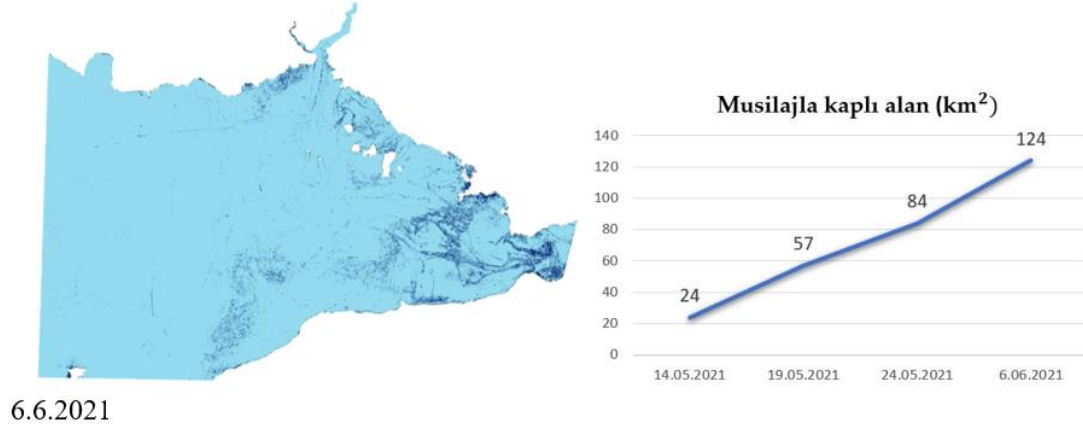
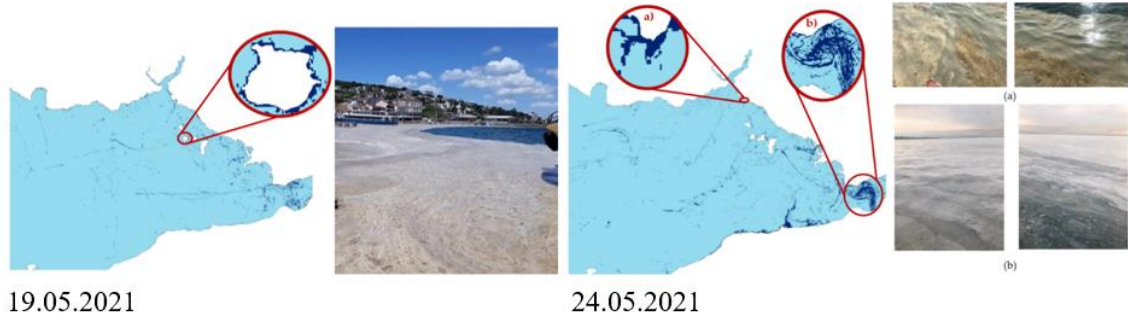
Spektral indeks sonuçları görüntüden kısa sürede görsel ve alansal bilgi çıkartılmasına olanak sağlamaktadır.



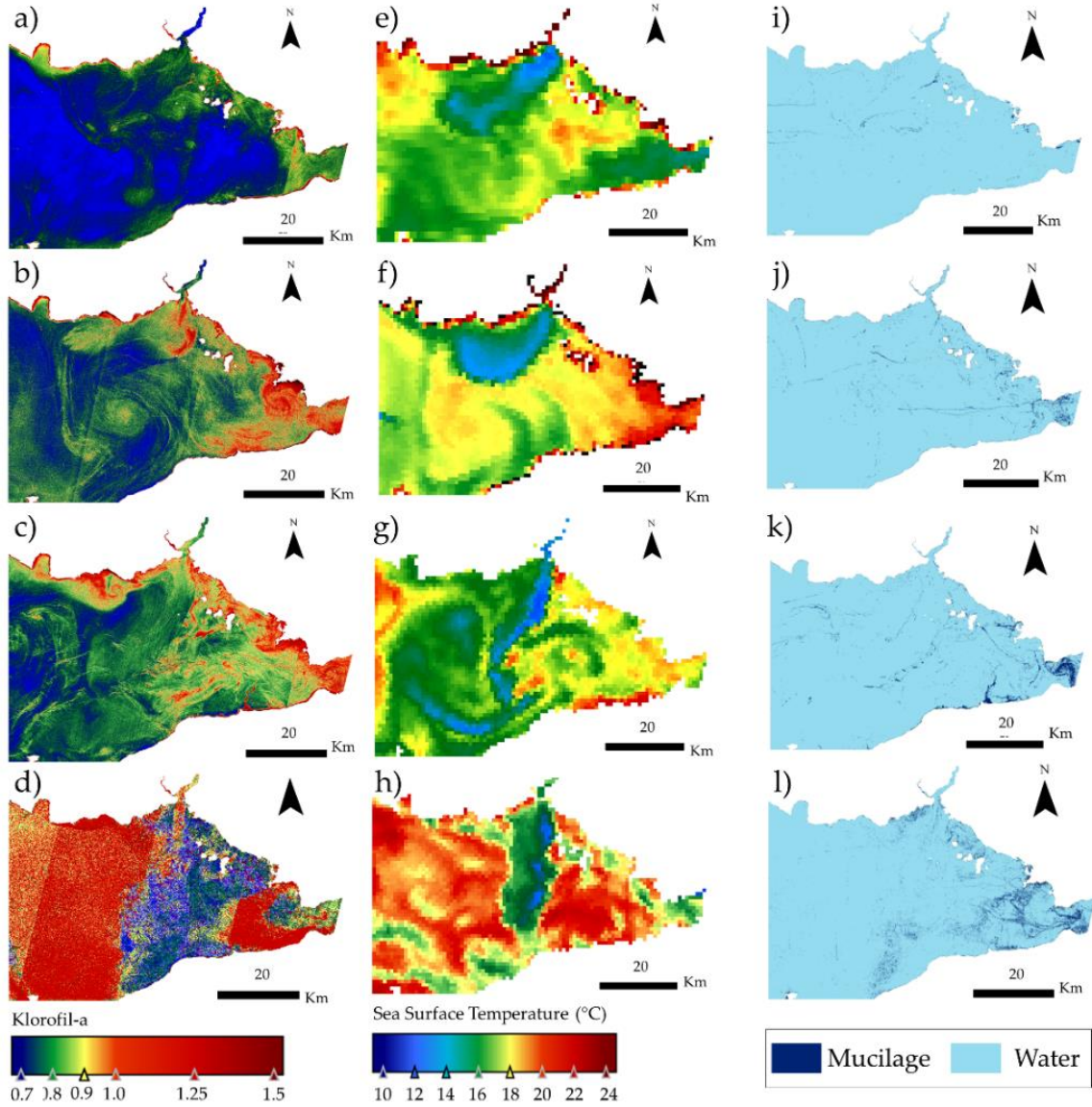
**Şekil 31.** a) Doğal görüntü, b) Normalize edilmiş su indeksi uygulama sonucu (müsilajla kaplı alanlar beyaz ile gösterilmiştir)

Müsilajla kaplı alanların yüksek doğrulukla belirlenmesi için görüntülere uygulanan farklı görüntü işleme yöntemleriyle özellikler çıkartılmış ve elde edilen veri seti destek vektör makineleri yöntemiyle sınıflandırılmıştır. Müsilajla kaplı alanların doku özellikleri farklılık gösterdiğinden özellikle doku parametresi sınıflandırmada önemli bir girdi sağlamıştır. Şekil 32’de 19 Mayıs, 24 Mayıs ve 6 Haziran 2021 tarihlerine ait görüntülerin sınıflandırılması ile elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.

Şekil 32 incelendiğinde, Marmara Denizi’nin doğusunda 14 Mayıs 2021 tarihinden 6 Haziran 2021 tarihine kadar olan süreçte müsilajla kaplı alanların 5 kat arttığı tespit edilmiştir. Şekil 33’te ise müsilaj kaplı alanlar ile deniz yüzey sıcaklıkları ve chl-a dağılımının zamansal dağılımı gösterilmektedir. Deniz yüzey sıcaklığının ve chl-a’nın artış gösterdiği alanlarda müsilaj kaplı alanların da arttığı görülmektedir.

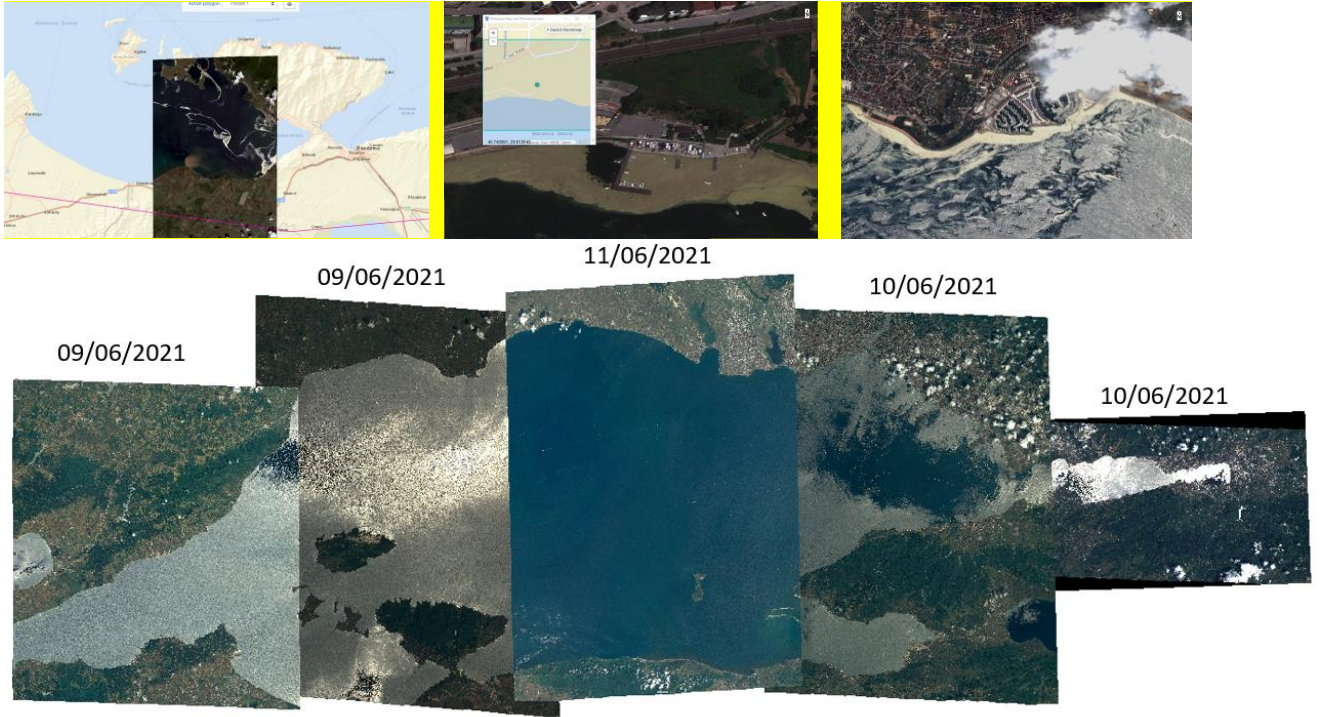


Şekil 32. Sentinel 2 görüntüleri sınıflandırma sonuçları



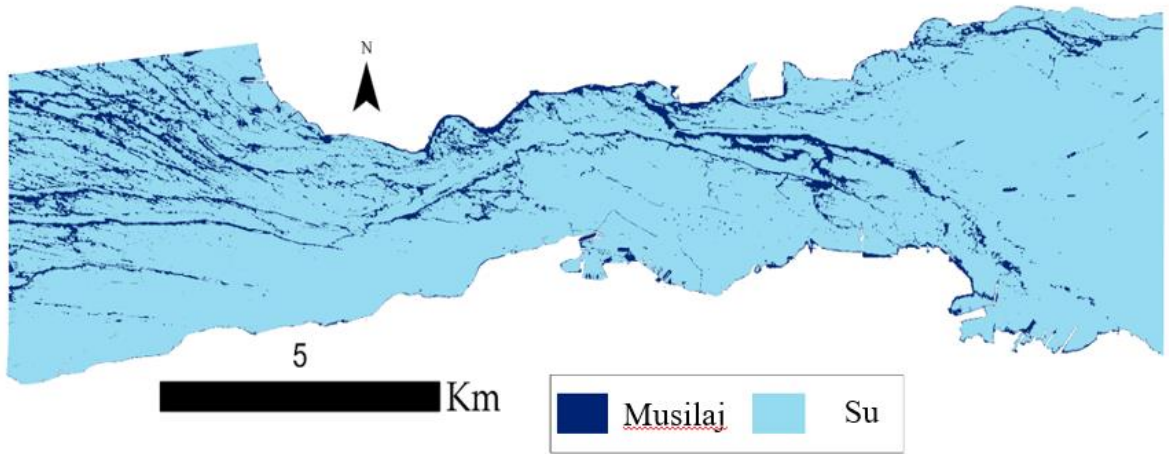
**Şekil 33.** Deniz yüzey sıcaklığı, chl-a değişimi ve müsilaj kaplı alanların dağılımı a) 14 Mayıs 2021, b) 19 Mayıs 2021, c) 24 Mayıs 2021; Sınıflandırma sonuçları d) 14 Mayıs 2021, e) 19 Mayıs 2021, f) 24 Mayıs 2021; Bant oran sonuçları g) 14 Mayıs 2021, h) 19 Mayıs 2021, i) 24 Mayıs 2021; deniz yüzey sıcaklıkları (Sentinel 3) j) 14 Mayıs 2021, k) 19 Mayıs 2021, l) 24 Mayıs 2021

Orta çözünürlüklü uydu görüntüleri bölgenin geneli hakkında bilgi çıkartılmasını sağlarken İTÜ UHUZAM bünyesinde sağlanabilen yüksek çözünürlüklü uydu görüntüleriyle de detaylı araştırmalar yapılabilmektedir. Şekil 34’te farklı yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden, 10 Haziran 2021 tarihinde UHUZAM tarafından indirilen görüntülerden örnekler ve incelemek üzere indirilen mevcut görüntüler gösterilmektedir.



**Şekil 34.** a) 10.6.2021 yüksek çözünürlüklü görüntü örnekleri, b) Marmara Denizi'nde UHUZAM tarafından Haziran 2021'de alınan yüksek çözünürlüklü görüntüler

Detaylı değerlendirme yapmak amacıyla UHUZAM bünyesinde sağlanan Worldwiew 3 görüntülerinden makine öğrenmesi yöntemleri ile yapılan sınıflandırma sonucu müsilaj ile kaplı alanlar yüksek doğrulukla belirlenmiş ve Şekil 35'te verilmiştir.

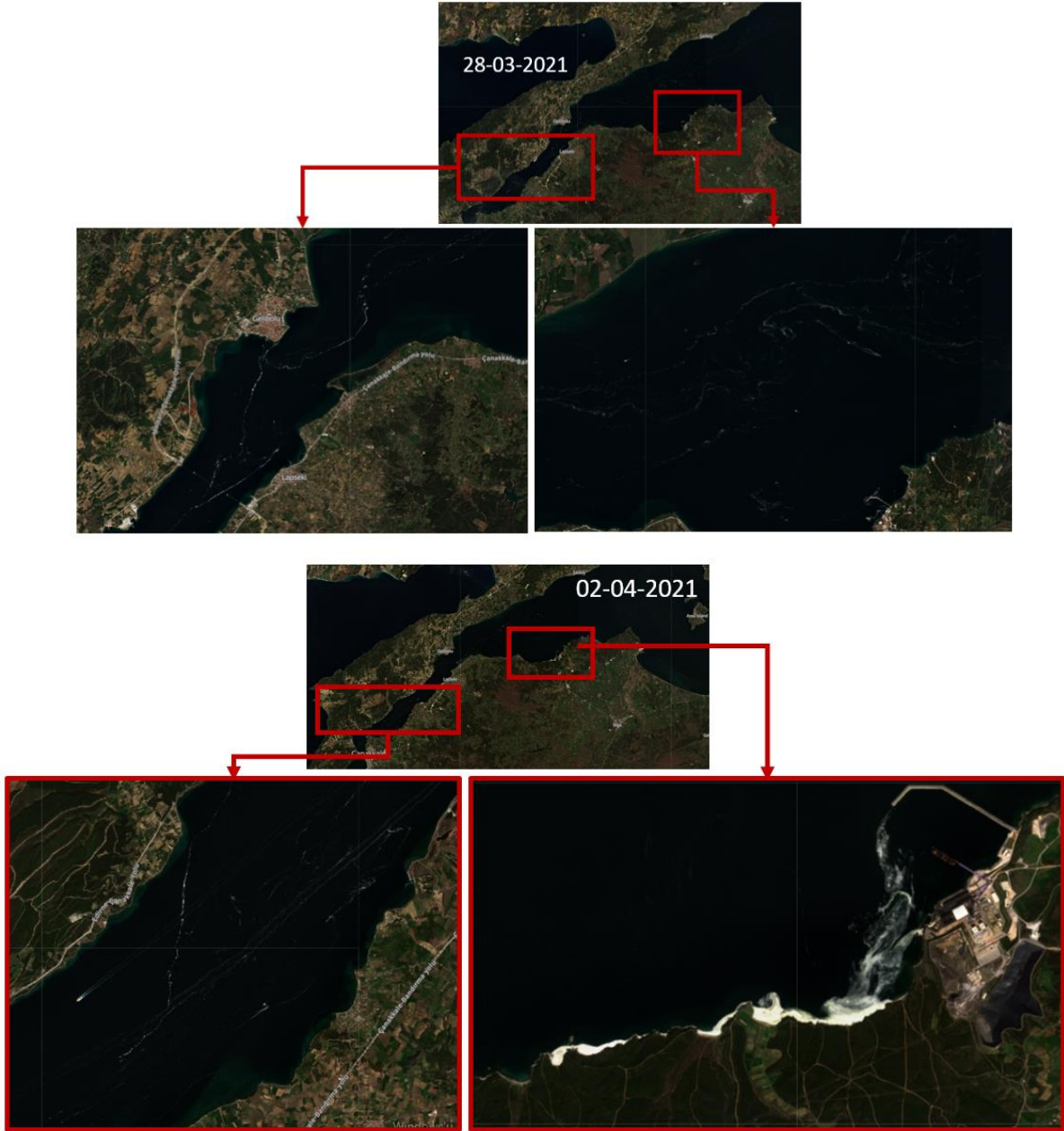


**Şekil 35.** 25.05.2021 tarihli Worldwiew-3 görüntüsü sınıflandırma sonucu

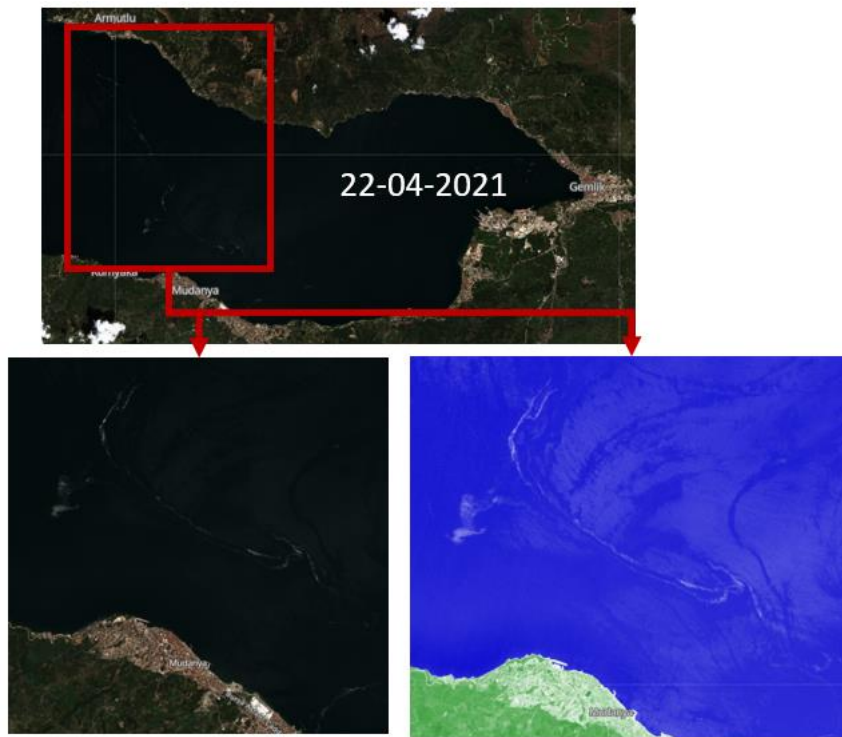
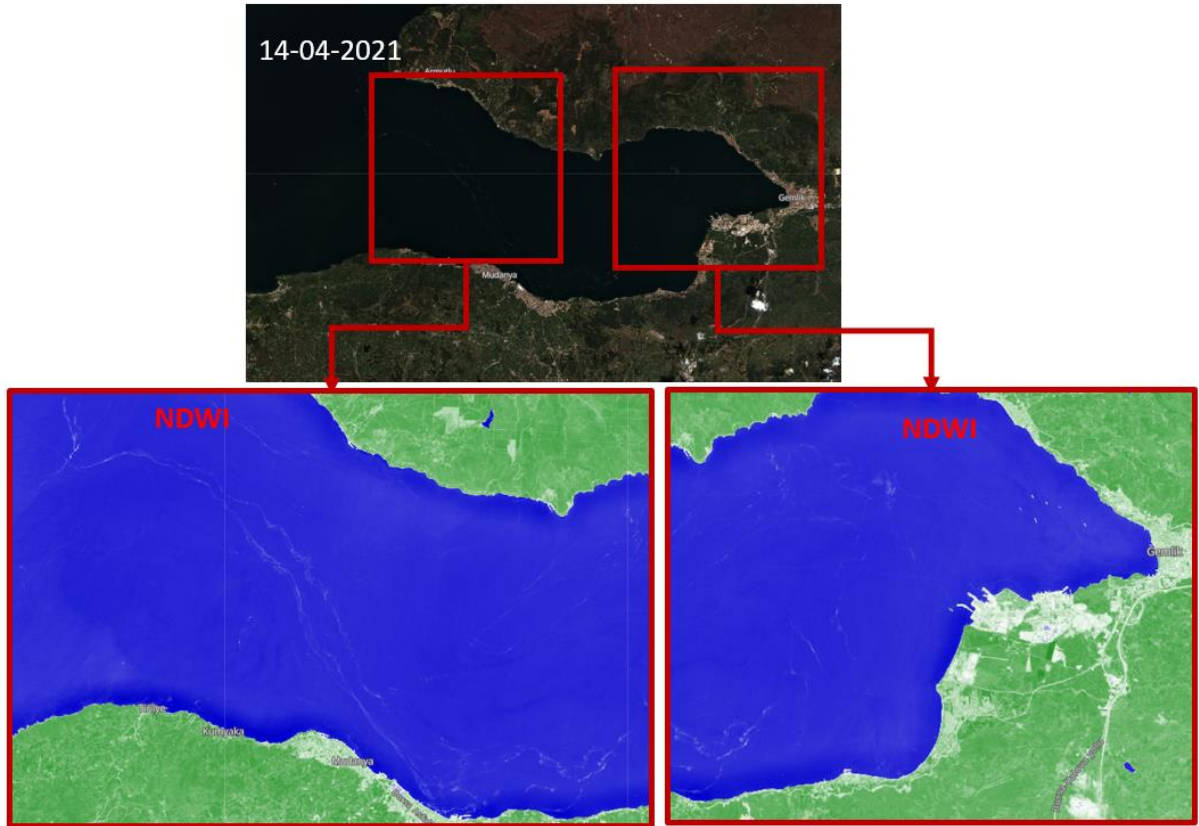
Mevcut uydu görüntüleri zamansal olarak incelendiğinde, Marmara Denizi'nde müsilajın 28 Mart 2021 tarihinden itibaren Çanakkale Boğazı'nda görülmeye başlandığı belirlenmiştir. Şekil 36'da farklı çözünürlüklü görüntülerden 28 Mart-13 Haziran 2021 tarihleri arasında Marmara Denizi'nde zamansal olarak müsilaj kaplı alanların dağılımı verilmektedir.

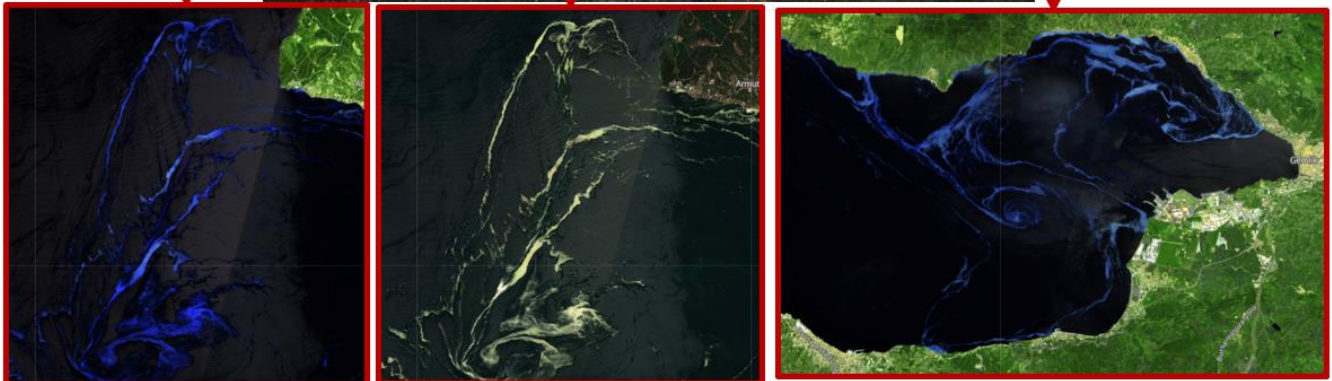
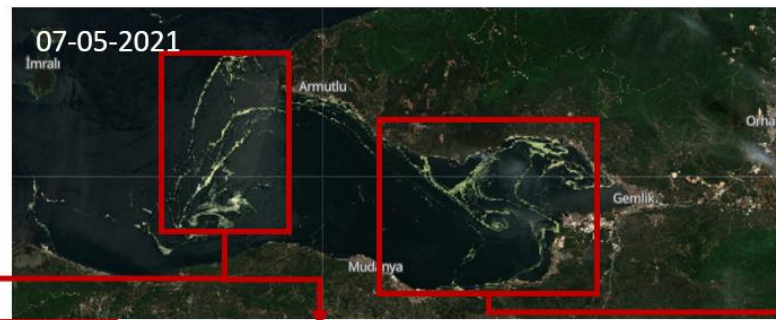


Görüntüler incelendiğinde, müsilajla kaplı alanların özellikle İstanbul Anadolu Yakası sahilleri, Gemlik ve İzmit Körfezleri ile Kapıdağ Yarımadası ve çevresinde yoğunluk gösterdiği, kıyılarda biriktiği belirlenmiştir.





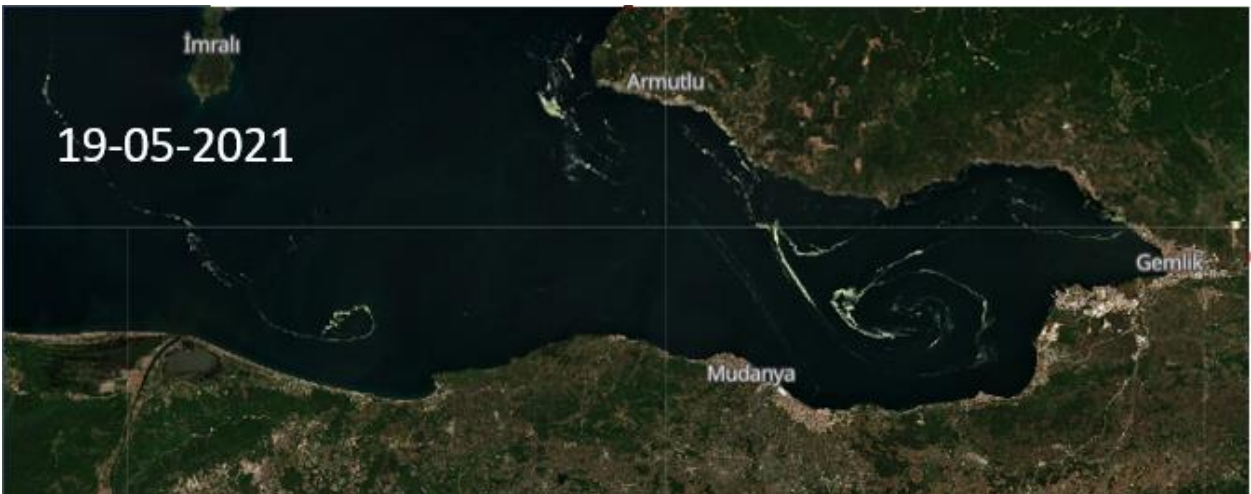






14-05-2021

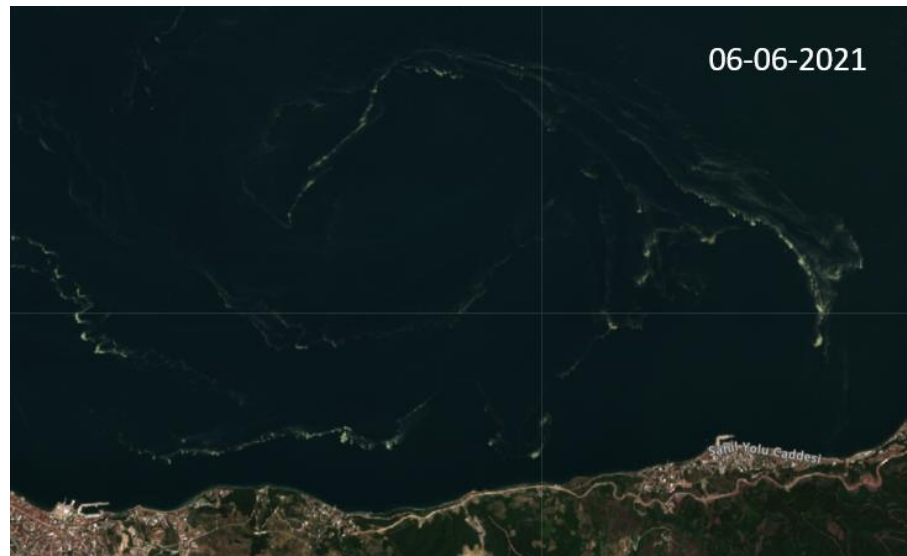
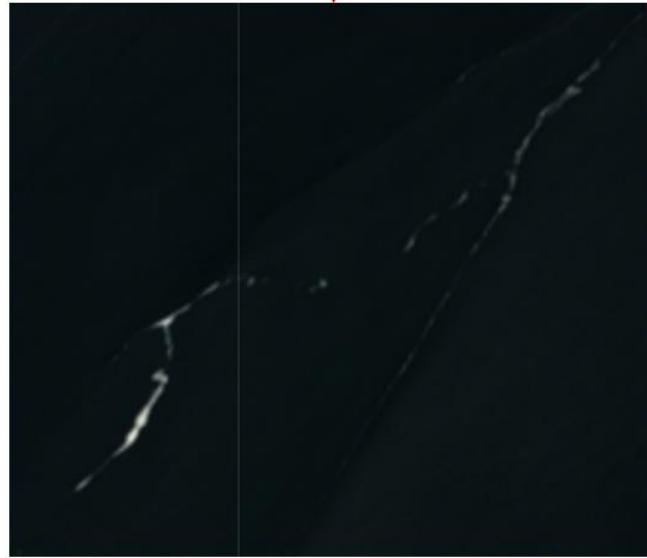


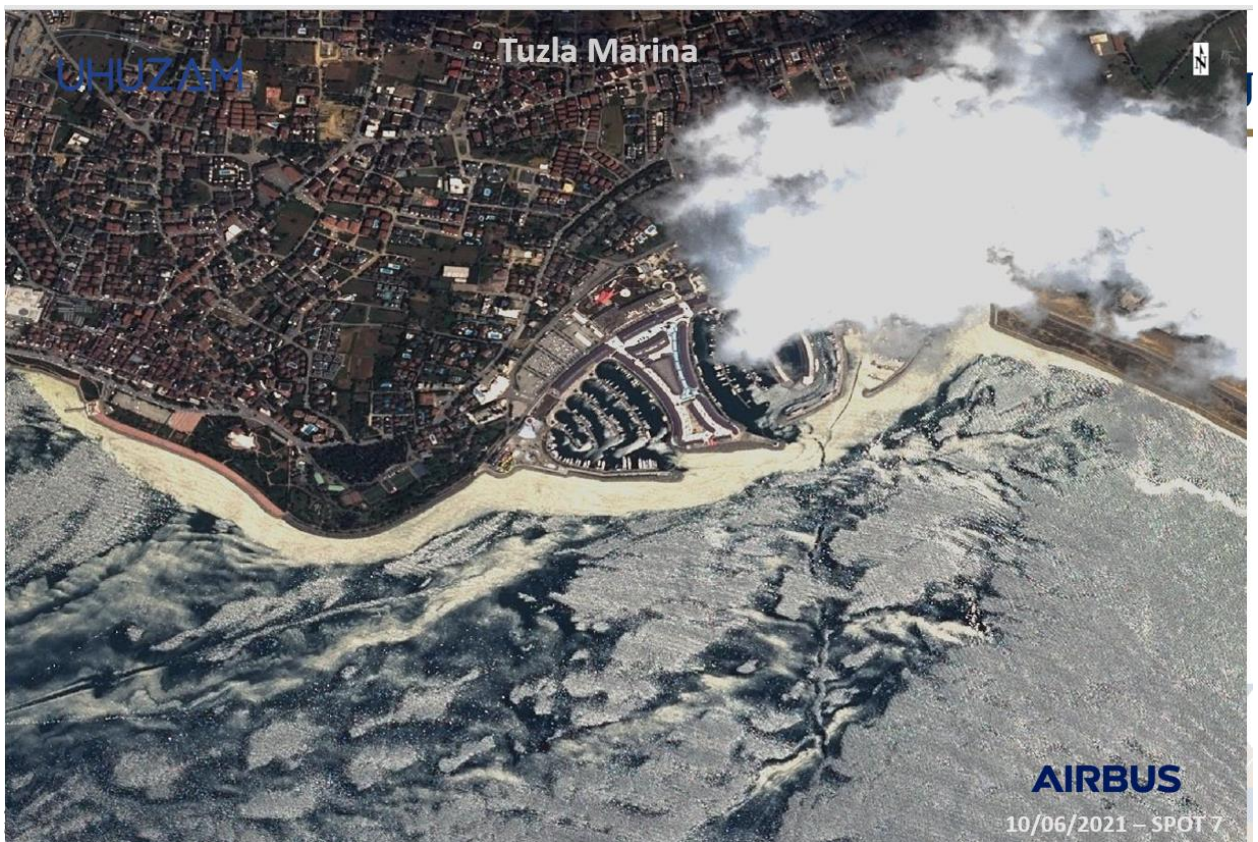
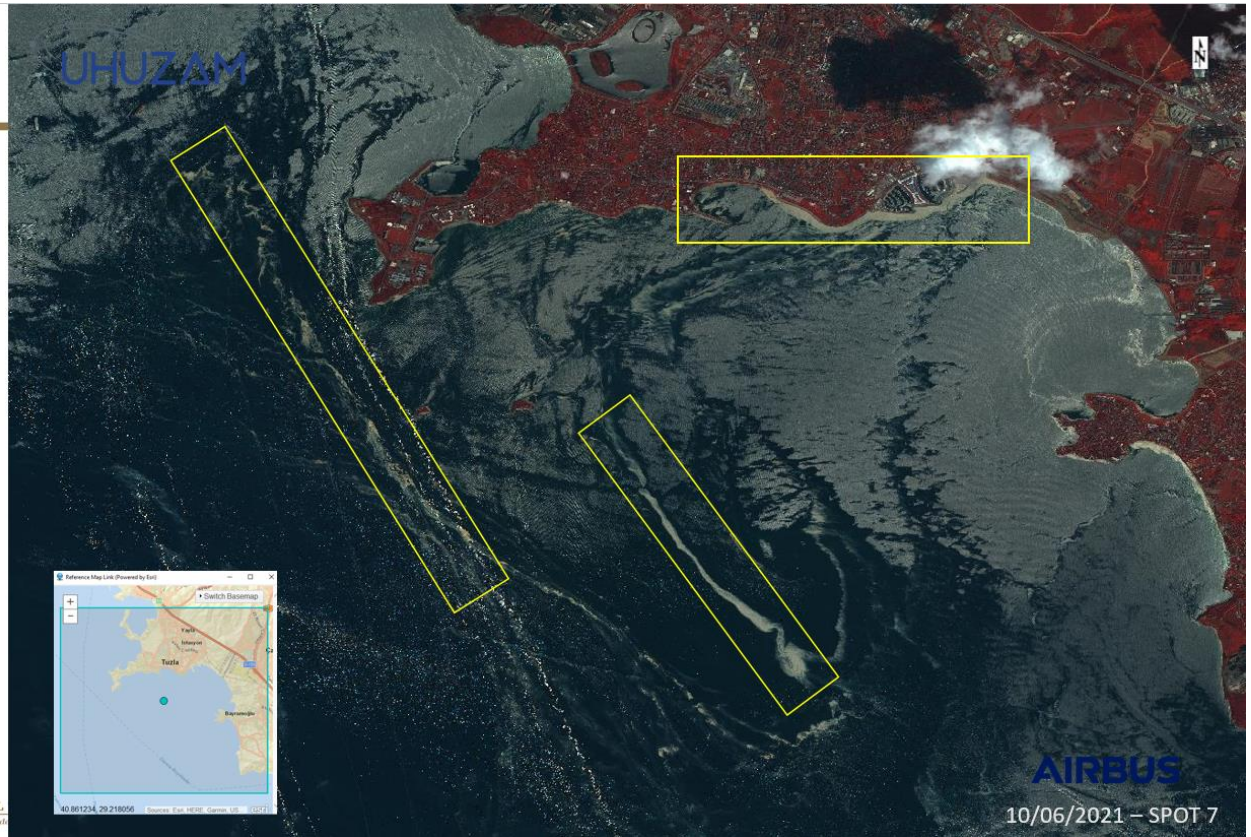


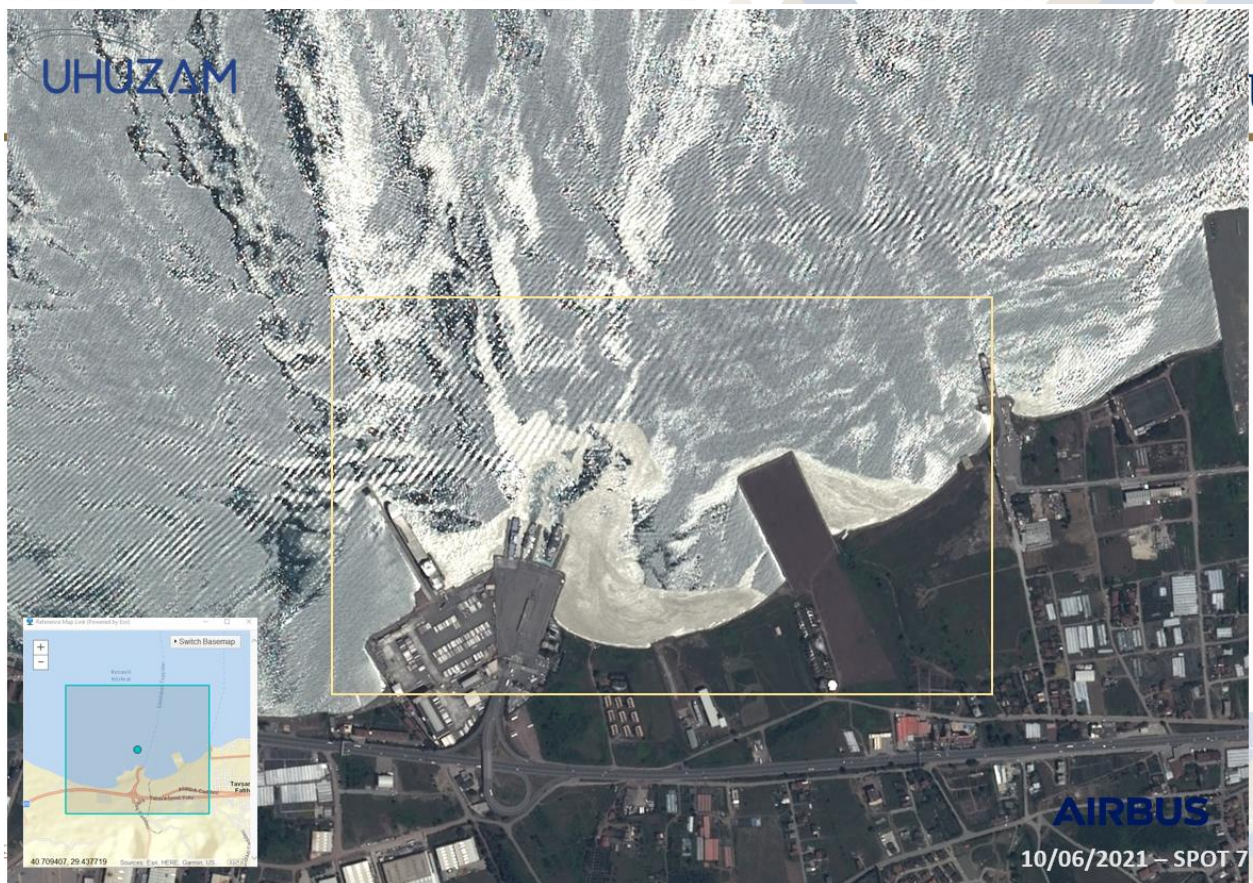
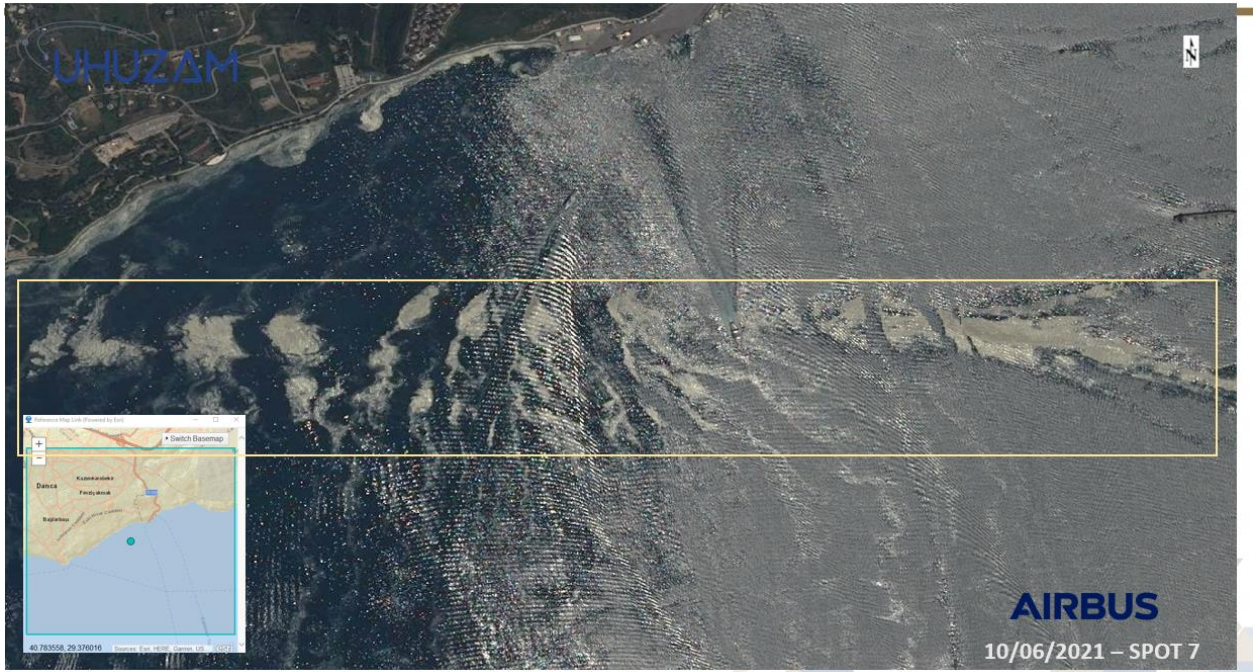


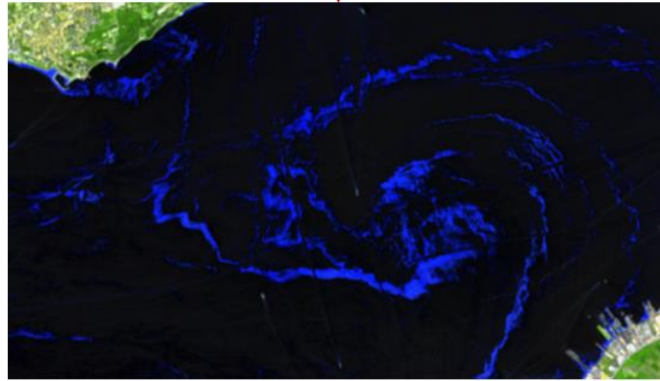






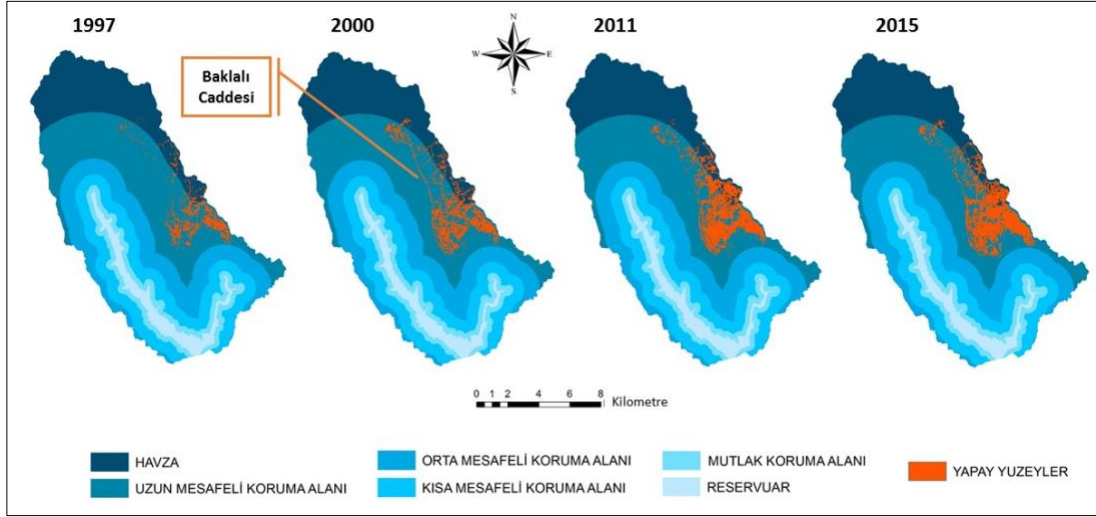
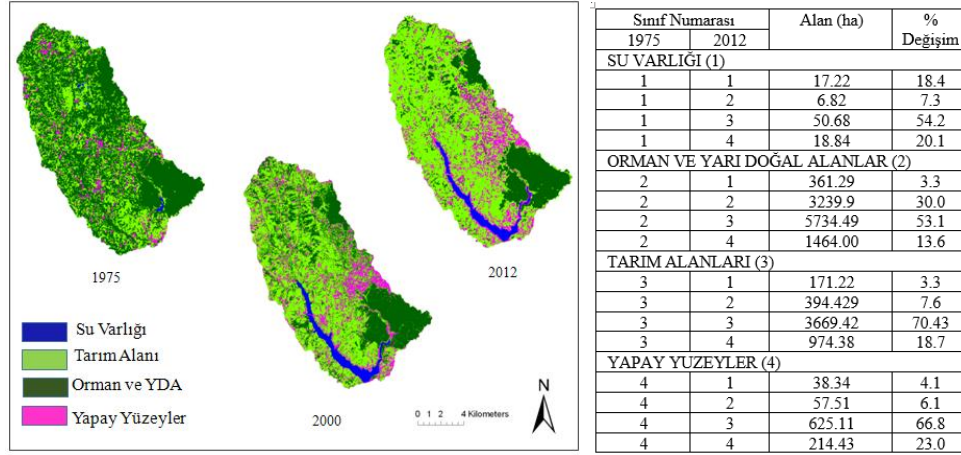






Şekil 36. Marmara Denizi'nin farklı bölgelerinde müsilaj kaplı alanların değişimi

Marmara Denizi'nde ortaya çıkan müsilaj sorununun incelenmesinde denizin etkileşimli olduğu havzaların durumu ve değişimi de zamansal olarak irdelenmelidir. Havzalardaki AÖ/AK değişimi belirlenerek etki edebilecek parametreler farklı kaynaklardan sağlanmalı Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında analiz edilmeli, havzadaki kirletici yükleri belirlenmelidir. Bir örnek olmak üzere Marmara alt havzası olan Sazlıdere Havzası AÖ/AK sonucu ve sınıfların zaman içinde birbirine dönüşümü Şekil 37'de verilmektedir.

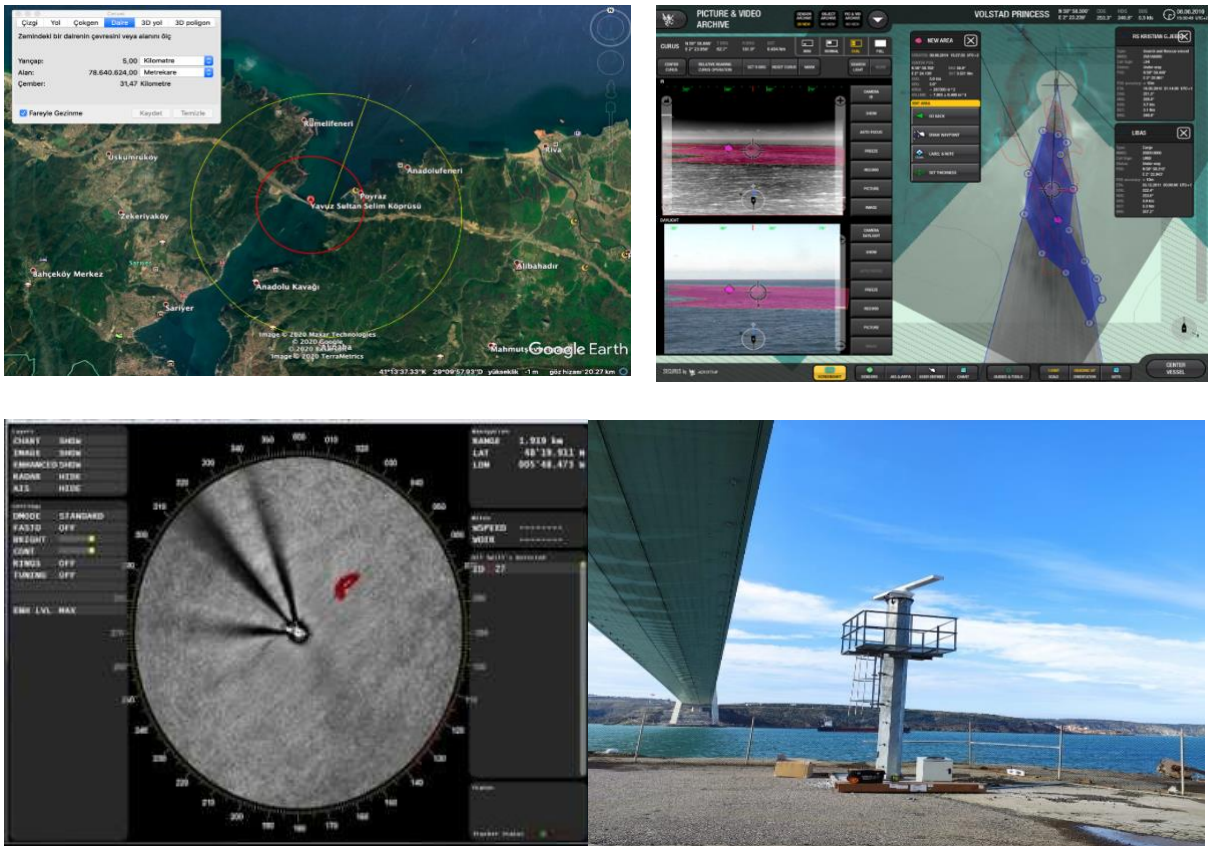


Şekil 37. Sazlıdere Havzası AÖ/AK değişimi ve Arnavutköy İlçesi'nin havzaya etkisi

### Uzaktan Tespit Sistemleri ve Yavuz Sultan Selim Köprüsü İzleme Sistemi

Uzaktan tespit sistemi olan kamera/radar sistemler, dünyada çeşitli noktalarda kullanılmaktadır. Sistem, Norveç Kıyı yönetimi tarafından halihazırda kullanılmaktadır. Norveç Bölgesinde geniş bir alan 10 gemi, 2 uçak ve 4 izleme merkezi tarafından sistem tarafından kontrol altında tutulmaktadır. Ayrıca, Hazar Denizi'nde yüzey ve su altı kirliliğinin tespiti ve boru hattının kontrolü amacıyla 7 gemi ve 1 izleme merkezi olan sistem Azerbaycan'da kuruludur. Sistem, 2021 yılında, İTÜ Türk Boğazları Denizcilik Uygulama Araştırma Merkezi (İTÜBOA) ve

Yavuz Sultan Selim Köprüsü'nün işletmecisi ICA firmasıyla üçüncü köprüye kurulmuş, Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü, Sahil Güvenlik, İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve İTÜBOA tarafından takip edilmektedir (Şekil 38). İstanbul Boğazı kuzey bölgesi için gemilerden kaynaklı deniz kirliliğini algılama, takip ve analiz sisteminin geliştirilmesi projesi yeni nesil Ar-Ge süreciyle geliştirilmiş termal kamera ve geniş spektrumlu radar ile desteklenmiştir. Bu sistem kapsamında elde edilecek kirlilik tespiti verilerinin hem anlık görüntülerinin, hem de kirlilik raporlarının ilgili kurumlar (KEGM, IBB, SGK, İTÜBOA) ile sürekli paylaşılmasının projenin sonuçlarının çevre kirliliğinin önlenmesi, olası kirliliklere etkin ve hızlı müdahale bakımından faydalı olacaktır.



**Şekil 38:** Yavuz Sultan Selim Köprüsü'ne kurulan Kirlilik Tespit Sistemi

## 9. GÖRÜŞ VE ÖNERİLER

### 9.1. Genel Durum

Marmara Denizi havzasında 1990'lı yıllardan bu yana (özellikle 2005 yılı sonrası) çok önemli kentsel atıksu altyapı (Atıksu Arıtma ve Derin Deşarj Sistemleri) ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisi yatırımları gerçekleştirilmiştir. Bu dönemde Türkiye, Gayri Safi Milli Gelirinin ~%1,5'ini her yıl düzenli olarak çevre yatırımlarına harcamıştır ve halen harcamaya devam etmektedir (Çiçekalan vd., 2019). Bu yoğun çevre yatırımları sonrası havzadaki kentsel atıksuların %100'e yakını asgari Mekanik Ön Arıtma (Izgara ± Elek ve Havalandırmalı Kum Tutucu Prosesi) sonrası Derin Deniz Deşarjı (-35 ~ -70 m'den Marmara Denizi Alt Tabakasına (Akdeniz suyuna) Deşarj yoluyla uzaklaştırılmaktadır. MBB (2021) güncel verilerine göre Marmara Denizi havzasındaki belediye atıksularının %53'ü Mekanik Arıtma, %42'si İleri Biyolojik (C, N, P giderimle) Arıtma, %5'i ise Biyolojik (C, kısmi N, P giderimli) Arıtma sonrası denize deşarj edilmektedir.

Türkiye'nin sahil kasabalarındaki Ön Arıtma ve Derin Deşarj stratejisinin temel amacı, plaj sularının olabilecek en hızlı yolla kirlenmeye (özellikle mikrobiyal, kaba ve yüzer kirleticiler) karşı korunarak yüzme ve su sporları için uygun su kalitesinin sağlanmasıydı. Bu yolla, İstanbul başta olmak üzere Marmara sahillerindeki su kalitesinin hızlı bir şekilde iyileşerek "Mavi Bayrak" seviyesine ulaşması mümkün olabilmiştir. Derin deniz deşarjı uygulamalarındaki temel sorun, İstanbul Boğazı girişi ve tabanına yapılan deşarjlar hariç, ön arıtma seviyesinin mali ve fiziki (yer bulma, imar, sit alanı vb.) kısıtlar sebebiyle düşük ya da yetersiz oluşudur. Dolayısıyla yaşanan süreçteki sorun Derin Deniz Deşarj boru hattı veya konseptiyle değil, Ön Arıtma Seviyesiyle ilgilidir.

### 9.2. Su Kalitesi ve Ekolojik Durum

Marmara Denizi su kalitesi ve ekolojik durumu ile ilgili olarak öngörülen hedef, orta vadede (2030 yılı) Tablo 3'deki daha az sıkı su kalitesi değerlerine (klorofil-a  $\leq 10$  mg/L, TN  $\leq 0,1$  mg/L, T  $\leq 0,02$  mg/L, çözülmüş oksijen:  $\leq 20$  m derinliklerde (üst tabaka) 6 mg/L,  $\geq 20$  m derinliklerde (ara ve alt tabakalar) 2 mg/L) ulaşılmasıdır (MEMPIS, 2006).

İSKİ Su Temini, Atıksu ve Yağmursuyu Yönetimi Master Planı kapsamında Marmara Denizi ve İstanbul Boğazı'nda yürütülen modelleme çalışmaları sonuçlarına göre, Marmara'da ötrofikasyon kontrolü ve alt tabakadaki çözülmüş oksijen seviyesinin daha da kötüye gitmesinin önlenmesi; diğer bir deyişle, alıcı ortamın yüzme su sporları ve balıkçılık gibi amaçlarla kullanımının sağlanması için, başta İstanbul olmak üzere Marmara'ya yapılacak bütün noktasal atıksu deşarjları öncesi biyolojik C, N ve P giderimli arıtma uygulanması önerilmektedir. Özellikle, İstanbul Boğazı'na yapılacak deşarjlar öncesi yer sorunu nedeni ile biyolojik arıtma için yeterli alanın temin edilemediği durumlarda kimyasal arıtma destekli birinci kademe arıtma uygulanması öngörülmüştür (ÖEJV-DHI (1994); IMC (1999)). Bu



öngörü dikkate alınarak, özellikle son 10 yılda başta İstanbul, İzmit ve Bursa olmak üzere Marmara'ya yapılan kentsel ve endüstriyel atıksu deşarjları öncesi biyolojik N ve P giderimli arıtma uygulamaları hız kazanmıştır. Söz konusu uygulamaların sonucu olarak özellikle Haliç, İzmit ve Gemlik Körfezleri'nde belirgin su kalitesi iyileşmeleri sağlanmış ve biyo-çeşitlilik artmıştır. Ancak, Yenikapı, Kadıköy, Küçükçekmece ve Büyükçekmece Ön Arıtma Tesisleri çıkış sularının deşarj edildiği Büyükçekmece Baba Burnu ~ Tuzla Yarımadası aksı kuzeyi ile su alışverişinin sınırlı olduğu İzmit Körfezi doğu bölgesinde alt tabakadaki çözünmüş oksijen seviyelerinin < 2 mg/L olduğu gözlenmektedir (MEMPIS, 2006; Artüz, 2007).

### 9.3. Hassas Alanlar Bakımından Değerlendirme

Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından, 2009 yılında Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği'ne bağlı "Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği" yayımlanmıştır. Tebliğe göre; *hassas alan* (HA), ötrofik olduğu belirlenen veya gerekli önlemler alınmazsa yakın gelecekte ötrofik hale gelebilecek doğal tatlı su gölleri, diğer tatlı su kaynakları, haliçler ve kıyı suları, yüksek nitrat konsantrasyonları içerebilecek içme suyu temini amaçlanan yüzeysel tatlı sular ve diğer sebeplerle daha ileri arıtma gerektiren alanlarını; *gri alan* (GA), morfolojik ve su kalitesi özelliklerine göre kentsel atık su girdilerinin ötrofikasyon riski oluşturabileceği düşünülen ve/veya potansiyel olarak ötrofikasyon riski taşıdığı tespit edilen ancak veri yetersizliği olan izlenmesi gereken haliçler ve kıyı sularını; *az hassas alan* (AHA) ise, morfoloji, hidroloji ya da özel hidrolik şartlara göre atıksu deşarjının çevreyi olumsuz yönde etkilemediği deniz, haliç ve lagün gibi kıyı su ortamları ile hassas su alanları haricindeki kıyı sularını tanımlamaktadır. Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği kapsamında Marmara Denizi ve Karadeniz ötrofikasyon kriterleri Tablo 9'da verilmektedir.

**Tablo 9.** Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği ötrofikasyon kriterleri

Trofik Seviyeler	TN ( $\mu$ /L)	TP ( $\mu$ /L)	Klorofil-a ( $\mu$ /L)	Seki Disk (m)
Oligotrofik	< 260	< 10	< 1	> 6
Mezotrofik	260-350	10-30	1-3	3-6
Ötrofik	350-400	30-40	3-5	1,5-3
Hipertrofik	> 400	> 40	> 5	< 1,5

TÜBİTAK MAM tarafından Çevre ve Şehircilik Bakanlığı için yürütülen Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme işi kapsamında Marmara Denizi'nde iki mevsim (Ağustos ve Kasım) alıcı ortam izlemesi gerçekleştirilmiştir. Ötrofikasyon izleme ve değerlendirmesi için nütrient, oksijen ve klorofil-a konsantrasyonları kullanarak kıyı ve deniz sularının su kalitesini belirleyen TRIX indeksi değerleri de bu çalışmada hesaplanmıştır. TRIX indeksi 0–10 aralığında değişim gösterir. TRIX < 3 değerleri oligotrofik, 3-4 aralığı mezotrofik duruma eğilim olduğunu, 4-6 aralığı mezotrofik ve TRIX > 6 ötrofik özellik göstergesidir (Vollenweider vd., 1998). Bu çalışmada, her iki ölçüm döneminde de yüksek TRIX değerleri bulunan bölgeler Kapıdağ Yarımadası kuzeyi (<5,6), Bandırma Körfezi ve Gemlik Körfezi'dir (<6). Biga ve Gönen Deltası-Erdek Körfezi ile İzmit Körfezi güney girişi değerleri 2,6–5 aralığında seyretmektedir.

Büyükçekmece-Tekirdağ arası ise 4–5,5 aralığında iken İstanbul Boğazı 3,8–5 değerlerine işaret etmektedir (TÜBİTAK MAM, 2013). Bandırma Körfezi Doğusu-Mudanya arasındaki yüksek kirliliğin Susurluk Deresi kaynaklı olduğu çalışmada vurgulanmaktadır. Benzer şekilde Susurluk Deresi'nin MEMPIS Projesi (2006) kapsamında da yüksek azot girdileri ile dikkat çekilen bir bölgedir. Dolayısıyla, 2011 izleme çalışmaları ile yine aynı durumun devam ettiği tespit edilmiştir. Marmara güney şelfi Hassas ve Az Hassas Alan Tebliği'ne göre gri alan olarak tanımlanmış olmakla birlikte, Susurluk Deresi ve civarının potansiyel olarak hassas alan olmaya yaklaşmasından dolayı, bu bölgede dikkatli bir şekilde izleme çalışmalarına devam edilmelidir. Ayrıca MEMPIS Projesi'nde yüksek fosfor değerleri ile belirtilen Bandırma Körfezi de, halen yüksek fosfor değerleri sergilemektedir (TÜBİTAK MAM, 2013).

#### 9.4. Öneriler

Marmara Denizi'ne noktasal, yayılı ve hareketli kaynaklardan gelen; çok yüksek birincil üretim ve bazı özel koşullarda müsilaaj oluşum süreçlerini arttıran, kirletici yüklerinin “İyi (Kimyasal ve Ekolojik) Su Durumu'nun gerektirdiği ölçüde azaltımı ile ilgili öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1) Sorunun kalıcı çözümü için disiplinlerarası bilimsel temelli yaklaşım uygulanmalı ve üniversite-kamu-sanayi-özel sektör-STK işbirlikleri geliştirilmelidir.
  - 2) Marmara Denizi'ni içine alan Marmara Havzası bir bütün olarak ele alınmalıdır. Boğazlar ve deniz bağlantıları da bir arada değerlendirilmelidir.
  - 3) Marmara Denizi ve Havzası özel korumaya ve izlenmeye alınmalıdır.
  - 4) Konu çevre, ekonomi, sanayi, ulaşım, kalkınma, tarım, ziraat, sosyal ve beşeri hayat unsurlarıyla beraber ele alınmalıdır.
  - 5) Mevcut Atıksu Arıtma Tesislerinde – Proses ve kapasite yeterliliğinin sağlanarak (zamannın >%95'inde) deşarj standartlarına uygun (TN = 10 (15) mg/L, TP = 1 (2) mg/L) kalitede deşarj suyu elde edilebilmelidir.
- Bu bağlamda;
- Kapasitesi yetersiz olan AAT'lerin büyütülmesi,
  - İSKİ'nin İstanbul Boğazı girişi ve Boğaz tabanına atıksu derin deşarjı yapılan Kadıköy, Yenikapı, Küçüksu ve Paşabahçe Mekanik Ön Arıtma Tesislerinde kademe yükseltiminin (Asgari Yüksek Yüklü Aktif Çamur Sistemi (A-Prosesi) veya Kimyasal Destekli Birincil Arıtma) gerçekleştirilmesi,
  - Nüfusu 100 bin kişiden büyük olan sahil yerleşimlerinde İleri Biyolojik AAT sonrası - 35~40 m'den Marmara Alt Tabakasına Derin Deşarj yapılması ya da çıkış TN ve TP değerlerinde mevcut standardın yarısına (TN = 5 mg/L, TP = 0,5 mg/L) inilmesi,

- İleri Biyolojik AAT çıkış sularının azami oranda kentsel yeşil alanların (varsa tarım alanlarının) sulamasında ve/veya endüstride kullanılarak, Marmara'ya verilen atıksu miktarının azaltılması sağlanabilir.
- 6)** Atıksu Arıtma Tesislerine; biyokatı, biyometan, azot, fosfor ve su gerikazanımı sağlayan atıksu rafineleri gözüyle bakılmalı ve bu şekilde bilhassa N, P geri kazanımına öncelik verilmelidir. Bu kapsamda yenilikçi, az yer kaplayan ve enerji verimliliği yüksek atıksu arıtma proseslerinin uygulanmasına geçilmelidir. Geri kazanılan ürünlerin kullanımı, ilgili kurumlar arasındaki iletişim güçlendirilerek, teşvik edilmelidir.
  - 7)** Atıksu arıtma hizmetlerinde en uygun kamu-özel sektör işbirliği modelleri belirlenerek uygulanmalıdır.
  - 8)** İstanbul Boğazı üst akımı ile Marmara'ya giren Karadeniz (ağırlıklı Tuna) kaynaklı sudaki mevcut POK, inorganik azot ve fosfor tuzları seviyesinin düşürülmesi kapsamında Karadeniz havzası ülkeleri ile etkin ve sürekli iletişim/işbirliği mekanizmaları geliştirilmelidir.
  - 9)** Marmara Denizi ve Susurluk Nehri'ne atıksu deşarj eden, N>5000 kişi olan, bütün yerleşimler ile OSB'lerde İleri Biyolojik AAT Sistemi kurulması sağlanmalıdır.
  - 10)** Atıksularını merkezi kentsel AAT havzasındaki atıksu kanal şebekesine deşarj eden OSB ve tekil sanayi tesislerinin etkin izleme ve denetimler ile öncelikli ve tehlikeli maddeleri belediye kanal şebekesine deşarj etmeleri önlenmelidir.
  - 11)** Kontamine (özellikle TOK, N değerleri yüksek) nehir ağzı ve liman tarantılarının Marmara Denizi'ndeki döküm alanlarına boşaltımının önlenmesi, bu tür atıklara ön arıtma uygulanarak kirli kısmın karada depolanması sağlanmalıdır.
  - 12)** Marmara Denizi üst tabakasında (-25 m üstü Karadeniz suyu) fitoplankton (birincil üretim organizmaları) popülasyonunu dengeleyici ekolojik şartların oluşumunun desteklenmesi; suyu süzerek beslenen üst kademe organizmaların (balık, deniz kabukluları vb.) tür ve sayıca artırılması, buna uygun balık/su ürünü avlanma politikası geliştirilmesi, Karadeniz, Marmara ve Ege Denizi arasındaki balık göçü ile balık sığınma/yumurtlama alanlarının korunarak sürdürülebilirliğinin sağlanmalıdır.
  - 13)** Kıyı ve liman tesislerinin yer seçimi ve tasarımında, sediment taşınımı ve kıyı çizgisinin korunmasının yanında; dış ve iç kısımlar arasında su geçişi ve dolaşımı ile ölü bölge oluşumu durumlarının da dikkate alınması gerekmektedir.

**14)** İstanbul Boğazı Karadeniz girişi ile Çanakkale Boğazı Marmara çıkışı arasında, özellikle kıyı ve geçiş suları başta olmak üzere, su kolonunda aylık bazda sürekli su kalitesi izlemesi yapılarak fizikokimyasal durum ve biyoçeşitliliğin takibi yapılmalıdır.

**15)** Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ve Büyükşehir Su Kanalizasyon İdarelerinin, evsel ve endüstriyel AAT deşarjlarının izleme, denetim ve yaptırım kapasitelerinin geliştirilerek, standartlara uygun olarak işletilmeyen tesislere caydırıcı yaptırımların uygulanması ile izleme verilerinin paylaşımı sağlanmalıdır.

**16)** Müsilaj atığının farklı amaçlarla kullanım ve yerinde arıtma seçenekleri araştırılmalıdır.

**17)** İklim değişimine bağlı deniz suyu sıcaklık artışının denizel ekosistem (özellikle plankton, alg ve onlarla beslenen kabuklular/balıklar) popülasyon dinamiği etkileri Marmara/Karadeniz özelinde araştırılmalıdır.

**18)** AAT ve Atıksu Kanal Sistemi Taşmalarının Kontrolü, ayırık Sistem Kanal Şebekelerinin etkinleştirilmesi;

- Dere kenarı atıksu kollektörlerinin sürekliliğinin sağlanması (kamulaştırma ve ilgili hukuki süreçlerden hızla çözümü ile birlikte)
- Kentsel altyapının iklim değişimi etkilerine dirençli hale getirilmesi hususları acilen çözümlenmelidir.

**19)** Pandemi döneminde, AAT'lerin işletimi ve denetiminde yaşanan olumsuzluklar giderilmelidir.

**20)** Tarifelerini su ve atıksu yönetimi hizmeti gerçek maliyetinin altına düşüren SUKİ'lerin, kirlenme öder prensibinin tam maliyet esasına göre ayarlanması ile hayata geçirecek, düzeltici idari kararları hızla almaları gerekmektedir.

**21)** Özel bilgi ve profesyonel deneyim gerektiren İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinin işletiminin, uzman özel sektör firmalarınca, asgari 8-10 yıllık sözleşmelere dayalı olarak işletilmeleri yaygınlaştırılmalıdır.

**22)** Özellikle müsilaj ve kirlenmenin izlenmesi için farklı mekânsal ve zamansal çözünürlüklerde uydu görüntüleri temin edilmelidir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan eylem planı Eylem 12'de yer almaktadır).

**23)** Aktif uydu sistemleri incelenerek çalışmalara entegre edilmesi gerekmektedir.

**24)** Harita Genel Müdürlüğü tarafından çekilen hava fotoğrafları ve Göktürk uydularından elde edilen görüntüler de incelenerek sisteme dahil edilmelidir.

- 25) Özel (hassas) alanlar için insansız hava aracı (İHA) görüntüleri, LİDAR verileri ve kamera görüntüleri ayrıca temin edilmelidir.
- 26) Arazide yapılacak spektrometre GNSS (GPS vb.) ve hidrografik ölçmeler ile desteklenmelidir.
- 27) Değerlendirmeler hem batimetri verileri hem de yükseklik bilgileri ile entegre edilerek 3 boyutlu analizler (kesit, hacim, eğim, bakı vb.) gerçekleştirilmelidir.
- 28) Görüntüler üzerinden konum, uzaklık, alan, sıcaklık, hız, yön, gemi hareketliliği vb. geometrik ve tematik veriler çıkartılmalıdır.
- 29) Marmara Denizi ve Havzası için karar destek sistemi olarak da hizmet edecek dinamik bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kurulmalıdır.
- 30) Sistemin paydaşları, ilgili kurumlar/kuruluşlar ve kullanıcılar belirlenmelidir.
- 31) Veriler ve standartları belirlenmelidir. Veri üretim aralıkları, yapılacak analizler ve sunulacak kurumlar/kuruluşlar belirlenmelidir.
- 32) WEBGIS üzerinden gerekli sunum ve paylaşımlar yapılmalıdır.
- 33) Marmara Denizi ve etkileşimde olduğu havzalar ve dere yatakları gibi hassas alanlar hakkında zamansal olarak arazi örtüsü/kullanımı bilgisi üretilmeli, bu alanlardaki yapılaşma ve meydana gelen değişim belirlenmeli, havzayı ilgilendirilen diğer verilerle birarada değerlendirilerek Marmara Denizi ekosistemine olan etkiler ortaya konulmalıdır.

## KAYNAKLAR

- Altıok, H. ve Kayışoğlu, M. (2015). “Seasonal and interannual variability of water exchange in the Strait of Istanbul”, *Mediterranean Marine Science*, 16(3), 636-647.
- Artüz, M. L., Okay, A. I., Mater, B., Artüz, B., Gürseler, G., Okay, N. (2007). *Bilimsel Açıdan Marmara Denizi*, Türkiye Barolar Birliği Yayınları: 119.
- Aydın, A. F., Erdik, T., Karpuzcu, M. E., Çiçekalan, B. (2018). *Biyolojik Arıtma Sonrası İstanbul Boğazı'na Deşarj Edilen Atıksular İçin Alıcı Ortam Standart Önerisi Geliştirilmesi Hakkında Teknik Rapor*, İSKİ-İTÜNOVA.
- Beşiktepe Ş. T., Sur H. İ., Özsoy E., Latif M. A., Oğuz T., Ünlüata Ü. (1994). “The circulation and hydrography of the Marmara Sea”, *Prog. Oceanogr.*, 34, 285-334.
- Beşiktepe, Ş. T., Özsoy, E., Latif, M. A., Oğuz, T. (2000). “Marmara Denizi'nin Hidrografisi ve Dolaşımı”, *Marmara Denizi 2000 Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 11-12 Kasım 2000, İstanbul.
- Chiggiato, J., Jarosz, E., Book, J. W., Dykes, J., Torrisi, L., Poulain, P. M., Gerin, R., Horstmann, J., Beşiktepe, Ş. (2012). “Dynamics of the circulation in the Sea of Marmara: numerical modeling experiments and observations from the Turkish straits system experiment”, *Ocean Dynamics*, 62:139–159, DOI 10.1007/s10236-011-0485-5.
- Çiçekalan, B., Öztürk, İ. (2018). “Tuna'nın Marmara Denizi Üzerindeki Hidrolik ve Organik Yük Baskıları, III”. *Marmara Denizi Sempozyumu Bildirileri ve Çalıştay Raporları*, 72-91.
- Çiçekalan, B., Özgün, H., Öztürk, İ. (2019). “Türkiye’de ve Dünyada Çevre Koruma Harcamalarının Mukayeseli Değerlendirmesi”, *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 7, s. 4., ss. 729-741, doi:10.36306/konjes.654886.
- Dahlman, L. A. & Lindsey, R. (2020). “Climate Change: Ocean Heat Content”, *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Climate*, ABD. Ağustos 2020. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-ocean-heat-content>.
- Danovaro R., Fonda Umani S., Pusceddu A. (2009). “Climate Change and the Potential Spreading of Marine Mucilage and Microbial Pathogens in the Mediterranean Sea”. *PLoS ONE* 4(9): e7006. doi:10.1371/journal.pone.0007006.
- EEA (2021). İklim Değişikliği ve Denizler, Avrupa Çevre Ajansı (EEA), Mayıs 2021. <https://www.eea.europa.eu/tr/isaretler/isaretler-2015/makaleler/iklim-degisikligi-ve-denizler>
- Genitsaris S., Stefanidou N., Sommer U., Moustaka-Gouni M. (2019). “Phytoplankton Blooms, Red Tides and Mucilaginous Aggregates in the Urban Thessaloniki Bay”, *Eastern Mediterranean. Diversity*, 11, 136; doi:10.3390/d11080136.

Giani M., Berto D., Zangrando V., Castelli S., Sist P., Urbani R. (2005). “Chemical characterization of different typologies of mucilaginous aggregates in the Northern Adriatic Sea”. *Science of the Total Environment*, 353, 232–246.

IMC (1999). “İstanbul Su Temini, Kanalizasyon ve Drenaj, Atıksu Arıtma ve Uzaklaştırma Master Planı”. İstanbul Master Plan Konsorsiyumu (IMC), İstanbul, 1999.

IPCC (2013). “Climate Change 2013: The Physical Science Basis”. *Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, İngiltere ve New York, NY, USA, s. 1535.

İSKİ (2017, Aralık). Ölçüm Sonuçları.

İSKİ (2021). *MBB ve İSKİ Çevrimiçi Toplantısı*. İstanbul.

Lindsey (2011). “Climate Change: Ocean Heat Content”, <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-ocean-heat-content> adresinden alındı.

Loeb, N. G., Lyman, J. M., Johnson, G. C., Allan, R. P., Doelling, D. R., Wong, T., Soden, B. J., Stephens, G. L. (2012). Observed changes in top-of-the-atmosphere radiation and upper-ocean heating consistent within uncertainty, <https://www.nature.com/articles/ngeo1375> adresinden alındı.

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.

MBB (2021). Marmara Denizi ile ilişkili Atıksu Altyapı Durumu ve Deniz Deşarjları.

ÖEJV-DHI (1994). “Ömerli-Elmalı Joint Venture / Protection Ömerli and Elmalı Environmental Protection Project, Feasibility Study, Final Report”, İstanbul Water and Sewerage Administration, Turkey.

Özsoy, E., M. A. Latif, H. I. Sur, Yu. Goryachkin. (1996). “A review of the exchange flow regime and mixing in the Bosphorus Strait”, *Bulletin de l’Institut oceanographique*, Monaco, no. special 17, CIESM Science Series no. 2, 187-204.

Öztürk, İ. ve Tanık, A. (2012). “Marmara Denizi Su Kalitesi Durumu ve Atıksu Deşarjları Öncesi Arıtma Stratejileri”. *Derdimiz, Değerimiz, Denizimiz: Marmara Sempozyumu Tebliğler Kitabı*, 18-19 Aralık, 101-110.

Öztürk, İ. (2021). “Bilimsel Veriler Işığında Marmara Denizi ve Türk Boğazlar Sistemi”, hazırlık aşamasında.

Tas S., Kus D., Yilmaz I. N. (2020). “Temporal variations in phytoplankton composition in the northeastern Sea of Marmara: potentially toxic species and mucilage event”. *Mediterranean Marine Science*, 21(3), 668-683. doi:<https://doi.org/10.12681/mms.22562>

TÜBİTAK MAM (2013). “Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme İşi Marmara Denizi Kirlilik İzleme Çalışması”, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

TÜDAV (2021). “İklim Değişikliği ve Denizler Raporu”, Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV). <https://tudav.org/calismalar/iklim-degisikligi/iklim-degisikligi-ve-denizler-raporu/>, Erişim: 17.06.2021.

Tüfekci, V., Balkis, N., Polat Beken, Ç., Ediger, D., Mantikci, M., (2010). “Phytoplankton composition and environmental conditions of a mucilage event in the Sea of Marmara”. *Turkish Journal of Biology*, 34, 199-210.

Vollenweider, R. A., Giovanardi, F., Montanari, G., Rinaldi, A. (1998). “Characterization of the Trophic Conditions of Marine Coastal Waters with Special Reference to the Adriatic Sea: Proposal for a Trophic Scale, Turbidity and Generalized Water Quality Index”. *Environmetrics*, 9, 329-357.

Yüksek A., Apak, R., Erçağ, E., Alpar, B., Ünlü, S., Altıok, H., Taş, S., Dursun, F. (2014). “Denizde ve Haliç’te Su/Sediment Kalitesi İzleme ve Biyoçeşitliliğin İzlenmesi, Final Raporu”. İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü.

Zavadsky, I. (2017). “ICPDR Experience on the Danube - Black Sea Cooperation”, 3rd Marmara Sea Symposium, 21 November 2017, İstanbul, Turkey.



# İTÜ



/itu1773