

**MARMARA'DA DENİZ SALYASI SORUNU:  
TANIMI, SEBEPLERİ, BOYUTLARI,  
DEĞERLENDİRME VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

---

**THE MUCILAGE PROBLEM IN MARMARA:  
DEFINITION, CAUSES, DIMENSIONS, EVALUATION  
AND RECOMMENDATIONS FOR SOLUTION**

Prof. Dr. İzzet Öztürk  
*TÜBA Şeref Üyesi / TÜBA Honorary Member*

Doç. Dr. Ebru Dülekgürgen

Doç. Dr. Mustafa Evren Erşahin

**Prof. Dr. İZZET ÖZTÜRK / İstanbul Teknik Üniversitesi /  
ozturkiz[at]itu.edu.tr / ORCID: 0000-0002-8274-5326**

İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) İnşaat Fakültesi'nden 1976 yılında mezun oldu. 1978 yılında İTÜ Çevre Bilimleri ve Teknolojisi Anabilim Dalı'nda asistan olarak göreve başladı. İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü'nden, 1979 yılında Yüksek İnşaat ve Çevre Mühendisliği ve 1982 yılında Doktora derecelerini aldı. 1982-1984 yılları arasında İngiltere Newcastle Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde doktora sonrası araştırmalarda bulundu. 1994 yılında TÜBİTAK Bilimsel Araştırma ve Teşvik ödülüne layık görüldü, ardından aynı yıl İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü'nde Profesörlük kadrosuna atandı. Su ve atıksu arıtımı, bütünleşik su havzaları yönetimi, entegre katı atık yönetimi ve iklim değişiminin su kaynaklarına etkileri alanlarında uluslararası düzeyde uzmanlığı olan Öztürk'ün, ağırlıklı olarak uluslararası olmak üzere 350'den fazla bilimsel yayını, 17 kitabı ve çok sayıda araştırma/uygulama projesi raporu bulunmaktadır. Öztürk, Türkiye Bilimler Akademisi şeref üyesi ve İTÜ Yönetim Kurulu üyesidir. Bir dönem TÜBİTAK KAMAG GYK ve TÜBİTAK Bilim Kurulu üyelikleri de yapan Öztürk, 2015-2020 döneminde İSKİ Yönetim Kurulu üyeliği görevi yapmıştır.

**Prof. Dr. İZZET ÖZTÜRK / Istanbul Technical University /  
ozturkiz[at]itu.edu.tr / ORCID: 0000-0002-8274-5326**

He is graduated Istanbul Technical University (ITU) Civil Engineering Faculty in 1976. Afterwards, he attended ITU Environmental Sciences and Technology Division in 1978 as an Assistant. He received Environmental and Civil Engineering M.Sc. degrees in 1979, and Ph.D. degree in 1982 at ITU Environmental Engineering Department. During 1982-1984, he completed post-doctoral studies at the Newcastle University Environmental Engineering Department in UK. He achieved TR TUBİTAK's Scientific Research and Encouragement award in 1994, then he was enrolled as a Professor in ITU Environmental Engineering Department. He has international expertise in the fields of water and wastewater treatment, integrated watershed management, integrated solid waste management, effects of climate change on water resources, anaerobic digestion, and industrial pollution control. He withholds more than 350 scientific publications, 17 books, and a large number of research/implementation project reports mainly with international reputation. Öztürk is an honorary member of the Turkish Academy of Sciences (TUBA), a member of International Water Association (IWA), and a member of ITU Administrative Committee. Prof. Öztürk, who was a member of TÜBİTAK KAMAG (Public Research Group), and a member of Science Board of TÜBİTAK for a while, was a member of İSKİ Board of Management between 2015-2020.

**Doç. Dr. Ebru DÜLEKGÜRGEN / İstanbul Teknik Üniversitesi /  
dulekgurgen[at]itu.edu.tr / ORCID: 0000-0002-7800-316X**

İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 1993 yılında mezun oldu. 1997'de University of Illinois at Urbana-Champaign (UIUC)'den yüksek lisans ve 2006'da İTÜ FBE Çevre Mühendisliği Programı'ndan doktora derecelerini aldı. 1997-1999'da Pamukkale Üniversitesi, 1999-2007'de İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümleri'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı. Doktorası sırasında 2003'de Almanya Münih Teknik Üniversitesi'nde burslu, 2004'de ABD University of Illinois at Urbana-Champaign'nde davetli araştırmacı olarak çalışmalar yürüttü. 2007-2010'da Pamukkale Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi ve Çevre Bilimleri ABD Başkanı olarak görev aldı. 2010'da İTÜ İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde öğretim üyesi olarak göreve başladı. 2013-15 arasında İTÜ Çevre Mühendisliği Bölüm Başkan Yardımcılığı, 2015-2020 arasında İTÜ Öğrenci Dekanlığı Dekan Yardımcılığı görevlerini yürüttü. Atıksu arıtımı, aerobik granüler aktif çamur teknolojisi, aktif çamur biyopolimerleri ve geri kazanımı, biyolojik aşırı fosfor giderimi, çevre mikrobiyolojisi alanlarında çalışmaları olan Dülekgürgen'in 24 uluslararası bilimsel yayını, 25 uluslararası konferans bildirisi bulunmaktadır. 2015 itibariyle İTÜ ABET Akreditasyon Koordinatörü olarak görev yapmaktadır.

**Assoc. Prof. Ebru DÜLEKGÜRGEN / Istanbul Technical University /  
dulekgurgen[at]itu.edu.tr / ORCID: 0000-0002-7800-316X**

She received a BSc in environmental engineering from Istanbul Technical University (ITU), an MSc from University of Illinois at Urbana-Champaign (UIUC, USA) and a PhD from ITU. She worked as a TA&RA at Pamukkale University (1997-1999) and at ITU (1999-2007). During her PhD, she conducted research at Technical University of Munich, Germany (2003) and at UIUC, USA (2004) as a visiting scholar/researcher. She worked at Pamukkale University Environmental Engineering Department as an assistant professor and served as the Head of Environmental Sciences Division (2007-2010). In 2010, she was appointed as a faculty member at ITU Environmental Engineering Department (ITU-EED), served as the Vice-Chair of ITU-EED (2013-2015) and as the Assoc. Dean of ITU Office of Dean of Students (2015-2020). She has 24 scientific publications and 25 proceedings, and has been working in the fields of wastewater treatment, aerobic granular activated sludge technology, biopolymers of activated sludge and their recovery, enhanced biological phosphorus removal, and environmental microbiology. She has been serving as the ITU Institutional Accreditation Coordinator (ABET) since 2015.

**Doç. Dr. Mustafa Evren ERŞAHİN / İstanbul Teknik Üniversitesi /  
ersahin[at]itu.edu.tr / ORCID: 0000-0003-1607-0524**

Mustafa Evren Erşahin, Trakya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden bölüm ve fakülte birincisi olarak 2003 yılında mezun olmuştur. İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisansını 2005 yılında tamamlamıştır. Doktora çalışmasını İstanbul Teknik Üniversitesi ve Delft University of Technology (Hollanda) arasında imzalanan ortak doktora programı kapsamında gerçekleştirmiş ve 2015 yılında her iki üniversiteden de doktora diploması ve doktor ünvanı almıştır. Mustafa Evren Erşahin'in çalışmalarının bilime sağladığı en önemli katkılar; atıksu arıtımında enerji verimliliği, atıksulardan enerji ve madde geri kazanımı, dinamik membran teknolojisi, yenilikçi atıksu arıtma prosesleri, anaerobik biyoteknoloji, membran biyoreaktör teknolojisi, yenilenebilir enerji geri kazanımı ve biyolojik sistemlerin modellenmesi konuları üzerinedir. Doç. Dr. Mustafa Evren Erşahin bilime yaptığı katkılar dolayısıyla bugüne kadar dördü uluslararası olmak üzere dokuz farklı ödüle layık görülmüştür. Bu kapsamda, 2020 yılında TÜBİTAK Teşvik Ödülü'ne layık görülmüştür. Bilim Kahramanları Derneği tarafından Genç Bilim İnsanı Ödülleri kapsamında, Yılın Bilim İnsanı Ödülü'nü 2020 yılında almıştır.

**Assoc. Prof. Mustafa Evren ERŞAHİN / Istanbul Technical University /  
ersahin[at]itu.edu.tr / ORCID: 0000-0003-1607-0524**

Associate Professor Mustafa Evren Erşahin graduated as an environmental engineer from the Environmental Engineering Department of Trakya University in Turkey holding the first rank both in the department and faculty in 2003. He received his MSc degree from Department of Environmental Engineering at Istanbul Technical University. In 2010, he has joined the Sanitary Engineering Section of the Watermanagement Department at TU Delft as a PhD researcher. He obtained two PhD degree from both Istanbul Technical University and Delft University of Technology in 2015. He was involved in many research and development projects in the field of membrane processes, membrane bioreactors, dynamic membrane technology, energy efficient wastewater treatment processes, anaerobic biotechnology, renewable energy recovery and biosystem modelling. He got TÜBİTAK Incentive Award, and Scientist of the Year Award in 2020.

## **MARMARA'DA DENİZ SALYASI SORUNU: TANIMI, SEBEPLERİ, BOYUTLARI, DEĞERLENDİRME VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

### **Özet**

Bu makalede deniz salyası oluşum mekanizmaları ve olası etkenler özetlenerek Marmara Denizi'nde geçmişte yaşanan deniz salyası vakalarıyla ilgili çalışmalar kısaca irdelenmiştir. Ayrıca salya oluşumunu etkileyen hidrodinamik/oşinografik unsurlar bağlamında, Marmara Denizi'ndeki durum tanımlanmış, su bütçeleri yansıtılmış ve havzaya taşınan deşarj oranları özetlenmiştir. Havzadaki deniz suyu taşınımı ile akıntı durumu irdelenmiş, yüzey akıntılarının çok düşük olduğu su kütlelerinin bulunduğu bölgeler belirtilmiştir. Marmara Denizi ve Karadeniz arasındaki kirlilik yükü taşınımı bağlamında Karadeniz'den Marmara'ya üst akımla ve İstanbul Boğazı'ndan Karadeniz'e alt akımla taşınan kirlilik yükleri hesaplanmış, Karadeniz'deki yüksek birincil üretimi destekleyen besi maddesi (N, P) girdilerinin esasen üst tabakaya ulaşan nehir deşarjlarından kaynaklandığı ve Marmara katkısının sınırlı olduğu değerlendirilmiştir. Buna mukabil, Marmara Denizi'ne ulaşan besi maddesi/kirletici yüklerinin iki ana kaynağının Karadeniz'den gelen üst akım ve başta İstanbul olmak üzere havzadaki kentlerden yapılan atıksu deşarjları olduğu, bunların yarısından fazlasında da deşarj öncesi arıtmanın ön arıtma ile sınırlı kaldığı tespitleri yapılmıştır. Marmara Denizi su kalitesi ve ekolojik durumuyla ilgili öngörülen "daha az sıkı su kalitesi" hedefine ulaşabilmek için havzaya ulaşan kirlilik yüklerinin ulaşılabilir en yüksek düzeyde azaltımının gerekli olduğu, ötrofikasyon kontrolü için havzadaki bazı bölgelerin dikkatli izlemeye alınması ve İstanbul Boğazı hariç Marmara'ya yapılacak tüm noktasal atıksu deşarjları öncesi biyolojik C, N ve P giderimli arıtma uygulamasının gerektiği değerlendirilmiştir. Son olarak, Marmara Denizi'nde "İyi Su Durumu" nun gerektirdiği ölçüde kirlilik azaltımına yönelik çözüm önerilerine yer verilmiştir.

### **Anahtar Kelimeler:**

Deniz salyası, Marmara Denizi, Fitoplankton, Birincil üretim, Besi maddesi, Kirlilik yükü, Atıksu arıtma, Su bütçesi, Tabakalaşma

## **THE MUCILAGE PROBLEM IN MARMARA: DEFINITION, CAUSES, DIMENSIONS, EVALUATION AND RECOMMENDATIONS FOR SOLUTION**

### **Abstract**

Background information on mechanisms and possible governing factors for marine mucilage formation was provided and the studies focusing on the cases previously recorded at the Marmara Sea were briefly evaluated. Current status of the Marmara Sea regarding the hydrodynamic/oceanographic factors taking part in mucilage formation were described, water budgets were reflected and percentages of discharges transported to the basin were summarized. Water transports and currents within the system were evaluated and regions with significantly low surface currents were indicated. Regarding pollution load exchanges between the Marmara Sea and the Black Sea, pollution loads transported from the Black Sea to the Marmara Sea by the upper current and those transported in the opposite direction by the lower current were calculated. Rivers discharging to the upper layer of the Black Sea were identified as the main sources of nutrient inputs (N, P) supporting high primary productivity in the Black Sea, whereas relative contribution of the Marmara Sea was said to be limited. In contrast, upper currents from the Black Sea and the wastewater discharges from the cities located around the Marmara Sea -of which more than half of those applying only pre-treatment before discharge, and primarily discharges from Istanbul, were determined as the two main sources of the nutrients/pollution loads ending up in Marmara. In order to reach to the anticipated target of “less stringent water quality” determined within the scope of water quality and ecological state of the Marmara Sea, the need for decreasing the pollution loads reaching to the basin at the highest achievable level was highlighted, careful eutrophication monitoring in some regions within the basin was proposed and the need for implementing biological C, N, P-removal treatment options for all wastewater discharges reaching to the Marmara Sea (with the exception of the Istanbul Strait) was stated. Lastly, solutions for decreasing the pollution loads at a level required by the “Good Water State” of the Marmara Sea were proposed.

### **Keywords:**

Marine mucilage, Marmara Sea, Phytoplankton, Primary production, Nutrients, Pollution loads, Wastewater treatment, Water budget, Stratification

## GİRİŞ

### Deniz Karı/Salyası (Müsilaj) ve İçeriği

Canlı organizmalar, inorganik maddeler, ölü hücre artıkları, vb. farklı unsurlar içeren, organik maddece zengin doğal makroskopik topraklar olan deniz karı, açık denizlerde ve okyanuslarda yaygın şekilde görülmekte ve büyük su kütlelerindeki karbon taşınımının ve döngüsünün (biyolojik pompanın) önemli bir bileşenini oluşturmaktadır (Alldredge & Silver, 1988). Buna mukabil, 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 salyası (müsilaj) olarak tanımlanmaktadır (Danovaro vd., 2009).

Çeşitli deniz canlıları tarafından üretilen, salgılanan veya bunlardan sızan polimerik maddelerden, hücre dışı polisakaritlerden oluşan, çözünmüş ve polimerik organik maddece zengin, hidrojel özellikler taşıyan, yoğun ve viskozitesi yüksek deniz salyası; 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 deniz salyası içerisinde monosakaritler gibi basit şekerlerden karmaşık yapılu polisakaritlere dek 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 salya, 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. Salyanın içerdiği/tuttuğu canlılar üzerine yapılan çalışmalarda, salyanın içinde bulunduğu deniz suyu kolonuna kıyasla  $10^3$ - $10^4$  daha fazla prokaryotik canlı barındırdığı kaydedilmiştir (Danovaro vd., 2009). Salyadaki gerek prokaryot gerekse virüs zenginliğinin, bakteriyel biyobozunma ve viral şant mekanizmaları sonucunda ilk oluşum sonrası salyanın artması ve olgunlaşması safhalarına katkı sağladığı değerlendirilmektedir.

### Olası Mekanizmalar-Nedenler

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

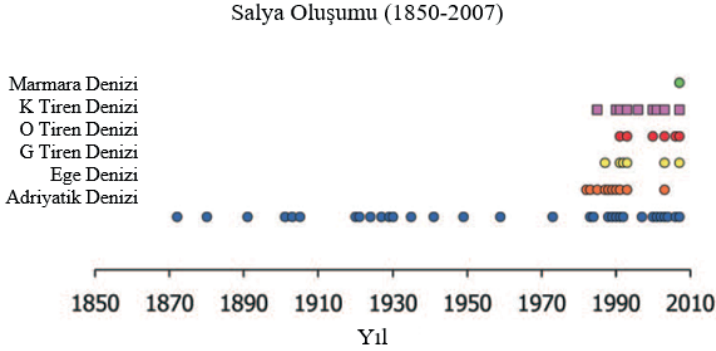
- Stres koşullarında fitoplanktonlar tarafından yüksek birincil üretim (fotosentez)-fazlası olarak üretilen karbonhidratların deniz ortamına salınması, sızması (P-kısıtlı koşullarda diatomlar tarafından yüksek miktarda üretilen polisakkaritler),
- Ölüm ve hücre parçalanması ile hücre duvarı artıklarından 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 içeriği organiklerin deniz suyuna karışması ve birikmesi.

Doğrudan veya dolaylı antropojenik etkiler, iklim değişimi kaynaklı deniz suyu sıcaklık anomalileri, 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 deniz salyası vakalarının görülmesinde ve bunların sıklığının giderek artmasında rol oynadığı değerlendirilmektedir (Danovaro vd., 2009; Tüfekci vd., 2010; Genitsaris vd., 2019; Tas vd., 2020).

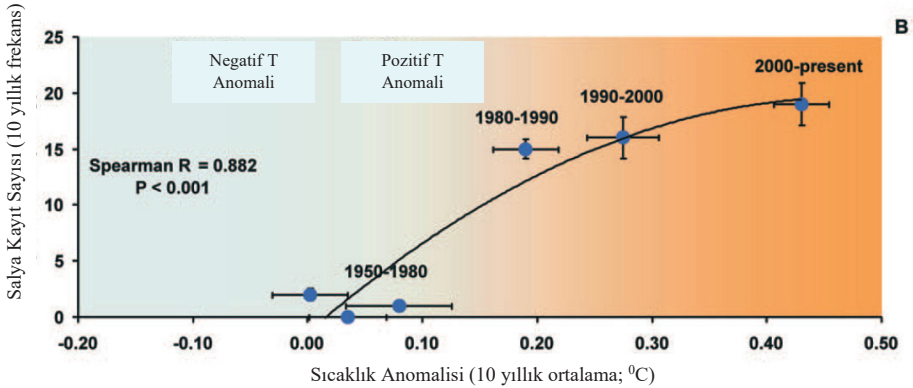
Dünyanın pek çok farklı bölgesinde kaydedilen deniz salyası vakalarına örnek olarak, çok uzun yıllardan beri takip edilen ve yoğun çalışılan Akdeniz-Kuzey Adriyatik Denizi salyası vakaları (Danovaro vd., 2009), Türkiye'deki ilk kayıt olan Ekim-2007'deki Marmara Denizi salyası (Aktan vd., 2008; Tüfekci vd., 2010; Tas vd., 2020), Haziran-2017'de Yunanistan-Selanik'te tespit edilen kızıl gelgit ve takip eden deniz salyası (Genitsaris vd., 2019) ve içinde bulunduğumuz dönemdeki 2021 Marmara Denizi salyası sıralanabilir. Akdeniz havzasındaki Adriyatik Denizi, Tiren Denizi müsülaj vakaları ve Ege Denizi'ndeki bazı vakalar ile Marmara Denizi'ndeki ilk salya vakası, oluşum bölgesi ve zamanı bağlamında Şekil 1'de görünmektedir. Tarihi kayıtlar da içeren ve uzun süredir yoğun takip edilen Adriyatik Denizi salya vakaları ile ilgili çalışmalarda, bölgede salya görünme sıklığının giderek artan bir eğilimde olduğu, gözlemlenen salya vakaları ile iklim-değişikliği kaynaklı sıcaklık anomalileri arasında belirgin doğrudan bir ilişki olduğu kaydedilmekte (Şekil 2) ve iklim-değişikliği kaynaklı sıcaklık artışlarının bölgedeki salya vakalarının boyutlarını ve görülme sıklığını arttırdığı değerlendirilmektedir (Danovaro vd., 2009).



Adriyatik Denizi'nde yakın zamanlarda oluşan salya vakalarının yayılma alanı ve deniz sisteminde kalma süresi bakımından en çarpıcılarından biri olarak Mart 2007'de gözlemlenen ve İtalya'nın 2,500 km'lik kıyı şeridine yayılarak 5 aydan uzun süre sistemde kalan salya 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 salya bağlamında da dikkat çekicidir.



**Şekil 1.** Akdeniz'de salya oluşumu yer ve zaman kayıtları (Danovaro vd., 2009)



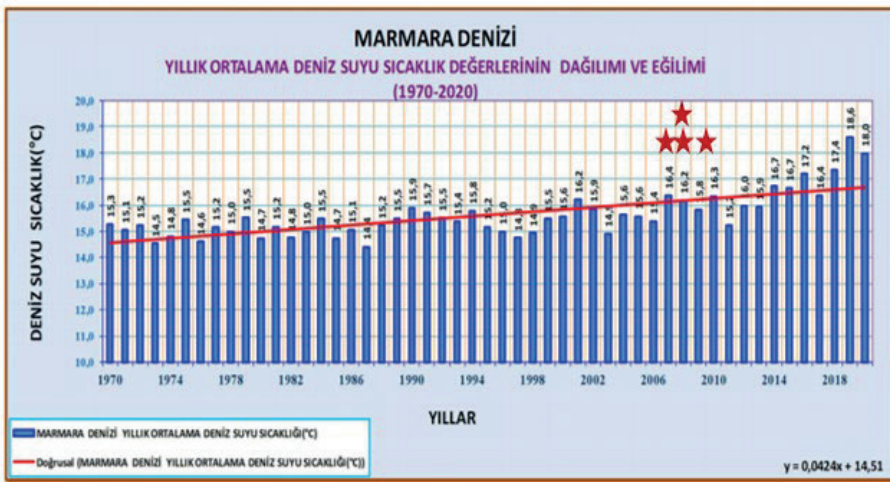
**Şekil 2.** Akdeniz'deki salya oluşumu ile iklim değişikliği bağlantılı sıcaklık anomalileri arasındaki ilişki (Danovaro vd., 2009)

1980'ler itibarıyla Adriyatik Denizi salya vakalarının görülme sıklığındaki belirgin artış ile sıcaklık anomalileri arasında tespit edilen doğrudan ilişki, benzer bir durumun Marmara Denizi için de geçerli olup olmadığı sorusunu gündeme getirmektedir. Bu bağlamda, Ekim-2007 Marmara deniz salyası vakasını takiben, gözlemlenen bu oluşumun nedenlerinin araştırılmasına yönelik olarak TÜBİTAK-MAM tarafından yürütülmüş olan ve laboratuvar-ölçekli deneysel çalışmaların yanı sıra 2008-2010 arasında MAM-önündeki istasyondan alınan Marmara Denizi örneklerinin de incelendiği kapsamlı çalışmada sunulan bazı meteorolojik veriler dikkat çekicidir (Polat Beken vd., 2011). Meteoroloji Genel Müdürlü-

ğü veri tabanındaki meteorolojik verilerin derlenerek analiz edildiği çalışmada, 1985-2008 arasındaki yaklaşık 30 yıllık dönemde yaz ortalama hava sıcaklıklarında ve Eylül ayı deniz suyu sıcaklıklarında süreklilik gösteren bir artış, buna mukabil sonbahar ortalama rüzgâr hızlarında ve Ocak ayı rüzgâr hızlarında ise bir azalma eğilimi olduğu tespiti yapılmıştır. Marmara'da salyanın ilk gözleendiği 2007 yılında son 30 yılın en sıcak yaz (ve sonbahar) döneminin yaşandığı kaydedilen çalışmada, Ekim-2007, Ocak-2008, ve Ekim-Kasım-2008'de Marmara'da gözlenen 1., 2., ve 3. salya vakaları sırasında hava koşullarının da oldukça sakin ve rüzgârsız olduğuna dikkat çekilerek, söz konusu veri ve tespitlerin Marmara Denizi'ndeki salya vakaları ile bazı meteorolojik değişimler arasında bir ilişkiye işaret edebileceği sonucuna varılmıştır (Polat Beken vd., 2011).

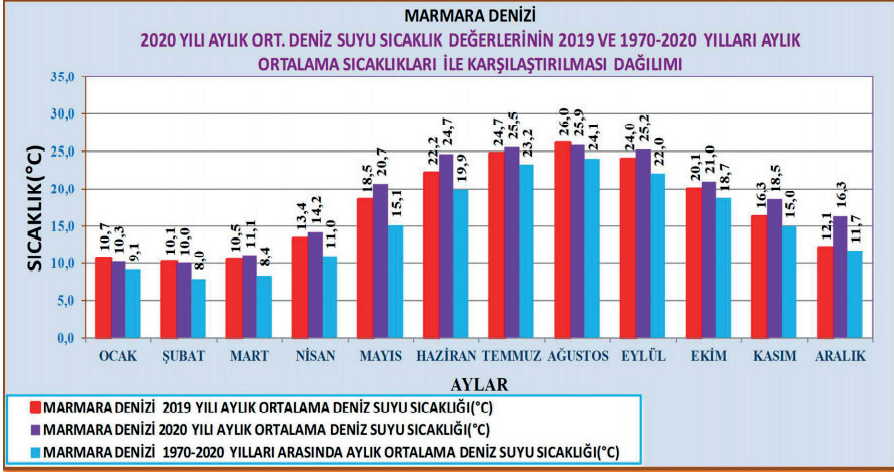
Bu bağlamda, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından yayınlanmış olan ve 1970-2020 arasındaki son 50 yıllık dönemde Marmara Denizi yıllık ortalama deniz suyu sıcaklık verilerini içeren grafik Şekil 3'te verilmektedir. Kaydedilen veriler, son 50 yıl içerisinde Marmara Denizi'ndeki yıllık ortalama deniz suyu sıcaklığının sürekli artan bir eğilimde olduğunu açıkça göstermektedir. Benzer şekilde, aylık ortalama deniz suyu sıcaklıklarının 2019 ve 2020 yıllarında kaydedilen değerlerinin 1970-2020 arası dönem aylık ortalamaları ile birlikte grafiklendiği Şekil 4'teki veriler karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde, son 2 yılda kaydedilen aylık deniz suyu sıcaklıklarında da geriye dönük 50 yıllık ortalamalara kıyasla tüm aylarda artış olduğu görülmektedir. 1970-2020 arası 50 yıllık dönemdeki 10'ar yıllık ortalama deniz suyu sıcaklıkları Marmara Denizi için 15,1-15,0-15,4-15,8-16,8°C olarak verilmektedir (MGM, 2021).

Gerek diğer araştırmacılar tarafından kaydedilen tespitler, gerekse güncel meteorolojik veriler, Marmara Denizi'nin ve ekosisteminin iklim değişikliği baskısı altında olduğu yönünde değerlendirilebilir.



Şekil 3. 1970-2020 arası Marmara Denizi yıllık ortalama deniz suyu sıcaklıkları (MGM 2021).

Not: 2007-2010 arasında Marmara Denizi'nde gözlenen 4 salya vakası (yıldız) grafiğe eklenmiştir.



Şekil 4. Marmara Denizi aylık ortalama deniz suyu sıcaklıkları: 2019 yılı, 2020 yılı ve 1970-2020 arası 50 yıllık dönem karşılaştırmalı verileri (MGM 2021)

## Türler ve Ardıl Çoğalma

Deniz salyası vakaları öncesinde, genel olarak fitoplankton sayılarında belirgin artışlar, buna mukabil tür zenginliğinde/çeşitliliğinde azalma, salya 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 salya vakalarının belirlenebilmesi açısından erken uyarı unsurları olarak kullanılma potansiyeline sahip olarak değerlendirilebilir. Deniz ekosistemi içerisindeki fitoplankton türleri arasında salya yaptığı bilinen ve/veya salya 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 salya vakası çalışmalarında da baskın türler olarak tespit edilmiş olmaları açısından önem taşımaktadır (Tüfekci vd., 2010; Tas vd., 2020).

Farklı araştırmacılar tarafından incelenen salya vakalarında, süreç öncesinde, sırasında ve bitiminde fitoplankton topluluklarının kompozisyonlarında değişimlerden, türlerde farklılaşmalardan, ardıl çoğalmalardan bahsedilmektedir. Yaz aylarında kuzey Adriyatik Denizi'nde gözlenen salya vakaları ile ilgili bir çalışmada, bahar aylarında denizel organik topaklanmaların görüldüğü, yaz aylarında başlayan salya vakalarının hemen öncesinde ve başlangıcında yüksek miktarda primnesiofitlerin tespit edildiği; yaz ayları ile birlikte salyanın belirgin hale geldiği, taze salyanın fırsatçı diatomların büyümesi için uygun bir ortam oluşturduğu ve zamanla olgunlaşan/yaşlanan salyada diatomların sayısının giderek arttığı kaydedilmiştir (Flander-Putrlle & Malej, 2008).

2017-18'de Yunanistan-Selanik'te gözlenen fitoplankton patlaması, kızıl gel-git, salya vakaları sırasında fitoplankton türlerinde belirgin farklılaşmalar, ardıl çoğalmalar tespit edilmiştir. 2017 yılında, Mart ayında gözlenen kızıl gel-git sı-

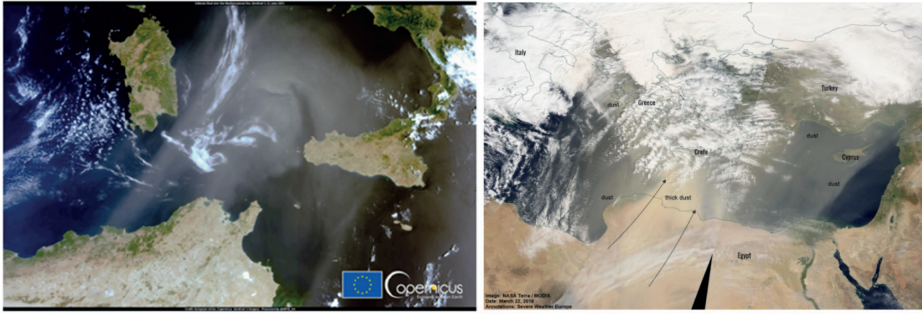
rasında dinoflagelat türlerinden *Noctiluca scintillans* ve *Spatulodinium pseudonociluca*, takip eden bahar-yaz döneminde gözlenen fitoplankton patlamasında diatomlardan *Cylindrotheca closterium*, *Chaetoceros spp.*, *Leptocylindrus minimus*, *Leptocylindrus danicus*, *Skeletonema costatum*, Haziran ayında gözlenen salya vakasında diatomlardan *C. closterium*, *Chaetoceros spp.*, *L. minimus*, *L. danicus*, *S. costatum*, *Phaeocystis sp.*, ve dinoflagellat türü *Gonyaulax cf. fragilis*, Aralık ayındaki kızıl gelgit vakasında *Mesodinium rubrum*, ve 2018 Ocak-Şubat dönemindeki fitoplankton patlamasında diatomlardan *Chaetoceros tenuissimus* ve *S. Costatum* baskın tür olarak ya da yüksek miktarlarda tespit edilmiştir (Genitsaris vd., 2019). Fitoplankton topluluğu içinde salya yapıcı diatom ve dinoflagellat türlerinin salya vakası öncesinde de var olduğu, bahar aylarının (Mart-Mayıs) salya için inkübasyon süreci oluşturduğu ve gözlenen salya vakasının Selanik koyuna özgü meteorolojik ve oşinografik koşullar ile koyda organik madde birikiminin birleşik etkisi sonucu ortaya çıktığı kaydedilmiştir.

Ekim 2007-Şubat 2008 arasında ve Mayıs 2008'de Marmara Denizi, İzmit Körfezi'nde (5 istasyon, yüzey tabakası) gerçekleştirilen çalışmada ilk salya vakasının Ekim 2007'de İzmit ve Erdek genelinde beyaz-sarı yoğun ve kaygan mukus oluşumlar şeklinde görüldüğü, Ocak 2008'deki ikinci salya sırasında İzmit Körfezi'nde benzer oluşumlar gözlenirken Erdek'te iplikli ve ağ yapılar oluştuğu kaydedilmiştir (Tüfekci vd., 2010). Kasım 2007-Mayıs 2008 arasındaki dönemde fitoplankton topluluğu içerisindeki diatom ile dinoflagellat sayılarındaki değişimlerin birbiriyle zıt yönde olduğu, diatom sayılarında sonbahar-kış aylarında artış ve baharda azalma gözlenirken, dinoflagellat sayılarında ise tam tersi yönde bir değişim olduğu tespit edilmiştir. Deniz salyası vakaları sırasında yüksek miktarda gözlenen veya baskın olan türler diatomlardan *S. costatum*, *C. closterium*, *T. rotula*, *L. danicus*, dinoflagellat türlerinden *G. fragilis* (kış) ve *P. micans* (bahar) olarak belirlenmiştir. Salya bağlantılı bu fitoplankton türlerinin çoğu Ocak-Haziran 2008 arasında Marmara Denizi, Büyükada kıyı istasyonundan toplanan örneklerin incelendiği başka bir çalışmada da tespit edilmiştir (Balkis vd., 2011).

Ocak 2004-Aralık 2007 arası kapsayan dönemde Kuzeydoğu Marmara Denizi'ndeki (İstanbul) mikrofıtoplankton türleri üzerine gerçekleştirilen kapsamlı tarama çalışmasında, fitoplankton miktarlarının kıyıya yakın istasyonlarda daha yüksek olduğu, fitoplankton sayılarının ve tür çeşitliliğinin mevsimsel değişiklik gösterdiği, yüksek değerlerin Şubat-Mayıs arasında görüldüğü, yaz ile birlikte değerlerin azaldığı kaydedilmiştir (Tas vd., 2020). Diatomların kış ve erken bahar döneminde (Ocak-Nisan) yüksek sayılara ulaştığı, dinoflagellatların ise bahar ve erken yaz döneminde (Mayıs-Haziran) artış gösterdiği tespit edilmiştir. Ekim 2007'de başlayan ve yaygın şekilde gözlenen deniz salyası vakası öncesinde ise haziran ayında fitoplankton topluluk kompozisyonunda önemli bir değişiklik ve tür çeşitliliğinde belirgin bir azalma olduğu belirlenmiştir. Eylül-Aralık arasındaki 3 aylık dönemde üst su tabakası içerisinde dağılan ve deniz yüzeyinde kalın bir tabaka halinde biriken yoğun salya içerisindeki fitoplankton topluluğunun diatom *T. rotula (gravid)* ve dinoflagellat *G. fragilis (hyalina)* tarafından domine edildiği saptanmıştır.

Denizel sistemlere dışardan gelen besi maddesi girdilerinin birincil üretimi ve plankton çoğalmasını tetikleme potansiyeli nedeniyle önem taşıdığı, bu dış kaynaklardan birinin de atmosferik taşınım olduğu ve bunların özellikle kıyı bölgeleri için yeni besi maddesi kaynakları oluşturduğu kaydedilmektedir. Akdeniz havzasına yoğun şekilde ulaşan (Şekil 5) Sahra tozunun esas olarak silikat ve alüminosilikatlardan oluştuğu, yanısıra azot ve fosfor bileşenleri de içerdiği belirtilmektedir. Sahra kaynaklı tozun Akdeniz'e ulaşması ile özellikle su kolonunda tabakalaşmanın olduğu dönemlerde, atmosferik taşınım ve depozitlerin bir çeşit gübreleme etkisi yarattığı ve denizdeki planktonik mikroorganizmaların çoğalmasını teşvik ettiği belirlenmiştir (Marin vd., 2017).

Bu bağlamda, tüm Akdeniz havzasına benzer şekilde ülkemizin ve Marmara Bölgesinin aralıklarla tecrübe ettiği Sahra tozu fırtınalarının ve bunlarla gelen atmosferik taşınımların, Marmara Denizi'nin inorganik besi maddesi (azot, fosfor, silikat, vb.) içerikleri üzerine olası etkileri ve dolayısıyla Marmara Denizi ekosisteminde birincil üretimin artması, fitoplanktonların çoğalması, alg patlaması ve salya vakaları ile olası etkileşimleri de incelenmeye değer görünmektedir.



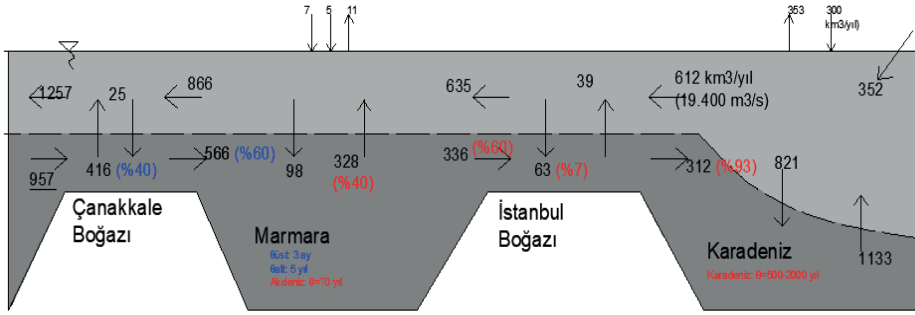
Şekil 5. Akdeniz üzerindeki Sahra tozu taşınımları: (a) Orta Akdeniz; 23.06.2021 (Avrupa Birliği, Copernicus Sentinel-3 uydu görüntüsü), (b) Türkiye-Doğu Akdeniz; 22.03.2018 (NASA Terra MODIS uydu görüntüsü)

## 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 (Ege Denizi)'a kavuşmaktadır. Yoğun Akdeniz (Ege) suları ise Çanakkale Boğazı ve Marmara Denizi alt tabakalarını geçerek İstanbul Boğazı çıkışından Karadeniz'e ulaşmaktadır.



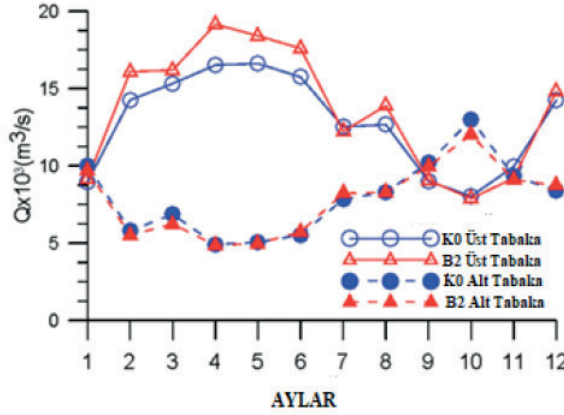
Özsoy vd. (1996) tarafından yürütülen oşinografik ölçümler ile tuzluluk ve su bütçesi hesaplamaları sonunda Türk Boğazlar Sistemi yıllık ortalama su taşınimleri ve tuzluluk durumlarının Şekil 6'daki gibi karakterize edilebileceği gösterilmiştir. Özellikle İstanbul Boğazı Kuzey ve Güney eşiklerinde Şekil 7'deki ( $K_0$  ve  $B_2$  istasyonları) tarihlerde gerçekleştirilen hız/debi ölçümleriyle önemli farklılık göstermesine rağmen, Şekil 6'daki yıllık ortalama değerler çoğu çalışma için hala referans kabul edilmektedir. Örneğin Altıok ve Kayışoğlu (2015) tarafından 1996-2010 döneminde İstanbul Boğazı  $K_0$  ve  $B_2$  istasyonlarında ADCP ile yapılan hız ölçümleriyle bulunan aylık ortalama debiler Şekil 7'de verilmiştir. 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.



Şekil 6. Marmara ve Boğazlar Sistemi Su Bütçesi (ÖEJV -DHI, 1994; Beşiktepe vd., 1994)

(\*Şekildeki akım değerleri  $\text{km}^3/\text{yıl}$  boyutundadır.)

Şekil 6'daki yıllık ortalama su dengesine göre, Çanakkale Boğazı'na giren Akdeniz akımının ( $957 \text{ km}^3/\text{yıl}$ ) Marmara'ya  $\sim\%60$ 'ı ( $566 \text{ km}^3/\text{yıl}$ ) ulaşmaktadır. Marmara Denizi alt tabakasını besleyen  $566 \text{ km}^3/\text{yıl}$  debili Akdeniz kaynaklı suyun  $\sim\%40$ 'ı Marmara üst tabakasına geçmekte, geri kalan  $\%60$ 'lık kısım ( $\sim 336 \text{ km}^3/\text{yıl}$ ) ise İstanbul Boğazı'na giriş yapmaktadır. İstanbul Boğazı'na giren  $\sim 336 \text{ km}^3/\text{yıl}$  debili Akdeniz kaynaklı akımın da  $\sim 312 \text{ km}^3/\text{yıl}$ '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 ( $312/566 \approx 0,55$ ) İstanbul Boğazı üzerinden Karadeniz'e ulaşmaktadır.



Şekil 7. İstanbul Boğazı K<sub>0</sub> ve B<sub>2</sub> İstasyonlarında ADCP ile Yapılan Hız Ölçümleriyle Bulunan Ortalama Debiler (Altıok ve Kayışoğlu, 2015)

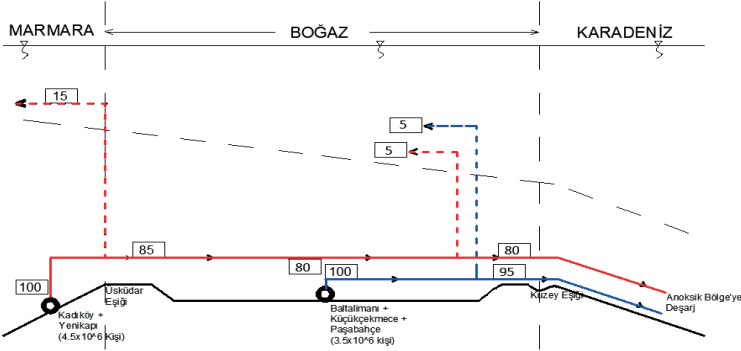
İSKİ Master Planı (IMC,1999) dolayısıyla bir uluslararası Müşavirlik grubunca (ÖEJW/DHI,1994) yapılan 3 boyutlu hidrodinamik modelleme çalışmasında, Karadeniz, İstanbul Boğazı Marmara Girişi ve Boğaz alt akımlarına yapılacak atıksu deşarjlarının hangi oranlarda Karadeniz'e ulaşacakları ve üst tabakaya 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 23(a) ve (b)'deki gibi gösterilmiştir. Şekil 8(a) ve (b) 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, Küçüküsu ve Paşabahçe) ise ~%95'inin Karadeniz'e ulaşması beklenir. Yaz dönemlerinde ise söz konusu oranların sırası ile %60 ve %90'a gerilemesi beklenmektedir.

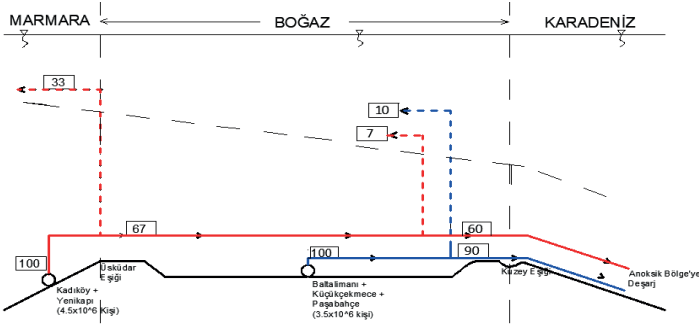
Tablo 1. Boğaz'a Giren ve Marmara Denizi'ne Taşınan Deşarj Oranları (ÖEJV -DHI, 1994)

Senaryo	Boğazda İki tabakalı akışı yansıtan en iyi koşullar (%)	Yaz dönemini 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



(a)



(b)

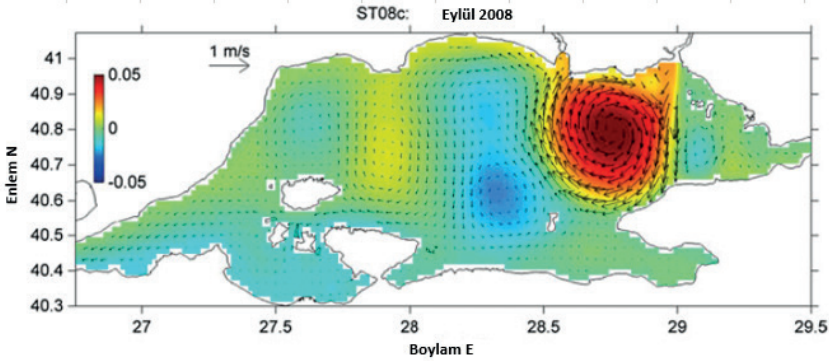
Şekil 8. İstanbul Boğazı'na Yapılan Atıksu Deşarjlarının (a) Yıllık Ortalama Tipik Kütle Dengesi (b) Yaz Dönemi Tipik Kütle Dengesi (Aydm vd., 2018)

## MARMARA'DA DENİZ SUYU DOLAŞIMI VE AKINTI DURUMU

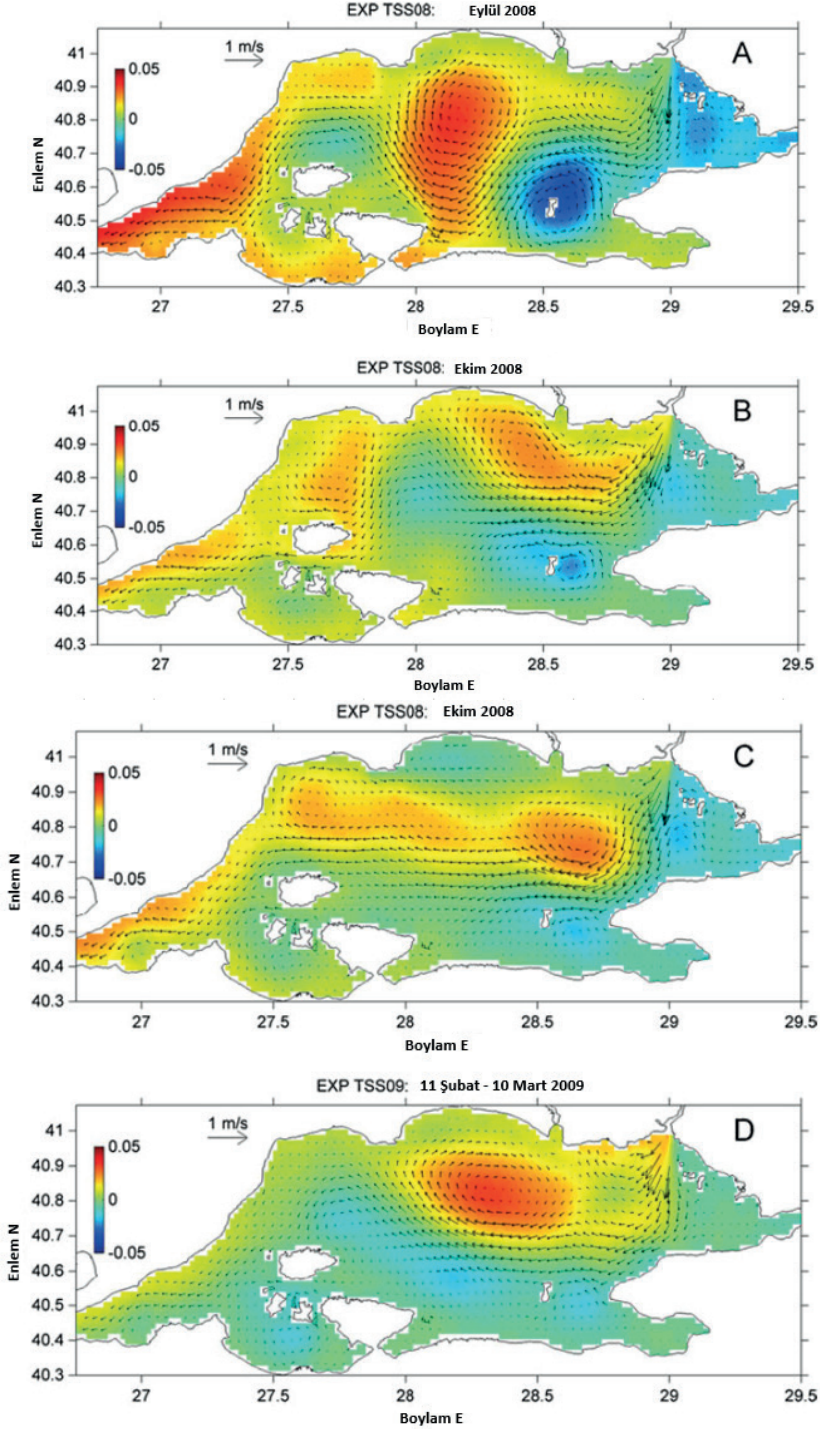
Marmara Denizi üst tabakasındaki su dolaşımı hidrodinamiği NATO Deniz Araştırmaları Merkezi'nce koordine edilen bir proje kapsamında yürütülen, deniz ortamında tesis edilen bazı istasyonlardan elde edilen deniz suyu kolonu fiziksel özellikleri (sıcaklık, iletkenlik, tuzluluk vb.) ve akıntı ölçümleriyle 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.



Marmara Denizi üst tabakasında; aylık ortalama deniz suyu dolaşımı (yüzeydeki akıntı, hız ve yörüngeleri) durumu, Eylül 2008-Mart 2009 dönemi itibarı ile Şekil 10'daki gibidir. Şekilden de görüldüğü üzere, Marmara Denizi yüzey akıntılarında küçük Meso-ölçekli Eddy çevrimleri geçişli yarı kararlı bir durum (yapı) hakimdir. İstanbul Boğazı'ndan Marmara'ya geçen Karadeniz suları (Boğaz üst tabaka akımı) oldukça iyi tanımlanmış olup genellikle güney yönde ilerleyerek Bozburun Yarımadası'na yönelmekte olup 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 10). 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 9).



Şekil 9. Eylül 2008 için Aylık Ortalama Yüzey Çevrim ve Deniz Seviyesi Aykırıkları, Rüzgarsız Durum (TSS08 Deneyleri) (Chiggiato vd., 2012)



Şekil 10. Eylül (a), Ekim (b), Aralık (c) 2008 ve 11 Şubat - 10 Mart 2009 (d) için Aylık Ortalama Yüze Akıntısı Dolaşımı ve Deniz Seviyesi Anomalisi (Chiggiato vd., 2012) İlk üç panel TSS08 sayısal deneyindedir, son panel ise TSS09 sayısal deneyindedir.

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. (2000)'ne 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 ulaştıktan 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.

Marmara Denizi yüzey akıntı dağılımı incelendiğinde, Kadıköy Tuzla arası, İzmit Körfezi, Gemlik ve Mudanya Körfezleri ile Küçükçekmece ve Tekirdağ önlerindeki yüzey akıntılarının çok düşük (<0,03 m/s) olduğu görülmektedir. Yoğun kıyı yapıları dolayısıyla eklenen ilave bariyer etkileri ile birlikte bu bölgelerin deniz salyası oluşumu için çok uygun ortamlar sağladığı değerlendirilmektedir.

## MARMARA DENİZİ İLE KARADENİZ ARASINDA KİRLİLİK TAŞINIMI

### Karadeniz'den İstanbul Boğazı Üst Tabaka Akımı ile Marmara'ya Kirlilik Taşınımı

İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışındaki  $K_0$  istasyonunda 2007 yılında ölçülen üst ve alt tabaka ortalama  $NO_x$ -N, TIN,  $PO_4$ -P, TP ve TOK (toplam organik karbon) konsantrasyonları Tablo 2'deki gibidir (Yüksek vd., 2014).

**Tablo 2.**  $K_0$  İstasyonunda 2007 Yılında Ölçülen Üst ve Alt Tabaka Ortalama TIN ( $NO_x$ -N),  $PO_4$ -P ve TOK (Toplam Organik Karbon) Değerleri (Yüksek vd., 2014)

	$(NO_3+NO_2)$ -N	TIN	$PO_4$ -P	TP	TOK
Üst Tabaka	~ 3 $\mu$ M/L	~ 3 $\mu$ M/L	0,1 $\mu$ M/L	~ 0,3 $\mu$ M/L	~ 200 $\mu$ M/L
Alt Tabaka	~ 6 $\mu$ M/L	~ 10 $\mu$ M/L	0,8 $\mu$ M/L	~ 1,2 $\mu$ M/L	~ 170 $\mu$ M/L

Bu değerler ve  $Q_{İBa} \cong 13700 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $432 \text{ km}^3/\text{yıl}$ )  $Q_{İBa} \cong 7000 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $221 \text{ km}^3/\text{yıl}$ ) ortalama debiler esas alınarak, İstanbul Boğazı Karadeniz girişinden üst tabaka akımı yoluyla Marmara'ya gelen, ağırlıklı olarak Tuna kaynaklı kirlilik yükleri,

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

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

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

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

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

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

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

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

### **İstanbul Atıksu Deşarjlarıyla Karadeniz ve Marmara'ya Kirlilik Taşınımı**

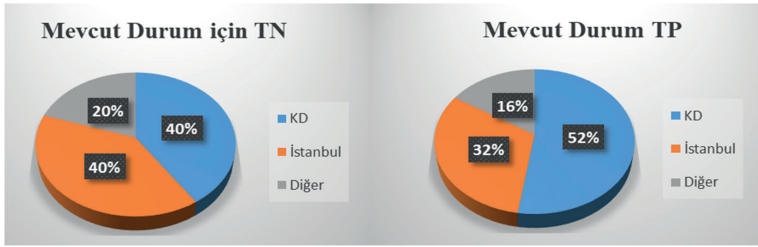
İstanbul'daki Kadıköy, Yenikapı, Baltalimanı, Küçüküsu, Paşabahçe, Büyükçekmece, Silivri, Küçükçekmece, Tuzla, Ambarlı ve Ataköy atıksu arıtma tesislerinden yapılan atıksu deşarjlarıyla Karadeniz ve Marmara Denizi'ne taşınan kirlilik yükleri hesaplanmıştır. İstanbul Boğazı akımlarının yıllık ortalama tipik kütle dengesine (Şekil 8) 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 kıyıda Marmara denizi üst tabakasına verildiği için, bu iki tesisten Karadeniz'e kirlilik taşınımı olmayacaktır.

Aydın vd. (2018) tarafından yürütölen bir çalışmada, Marmara Denizi'nde İstanbul'daki AAT'lerinden kaynaklanan yüklerin Karadeniz'den gelen yüklere oranı verilmiştir (Tablo 3). Tablodan da göröldüğü 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 kirliliğın ~2/3'ünü temsil ettiğii göz önüne alındığında, Marmara'ya yapılan deşarj öncesi arıtmaların giderim verimlerinin önemi daha iyi anlaşıl-

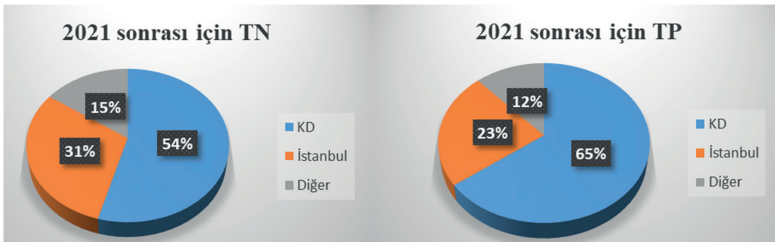
maktadır. İstanbul'dan ve Karadeniz'den kaynaklanan TN ve TP dağılımı Şekil 11-Şekil 12'de verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere İstanbul, Marmara'ya gelen besi maddesi yükleri bakımından Karadeniz'den sonra en önemli kaynak durumundadır.

Tablo 3. Marmara Denizi'nde İstanbul'daki AAT'lerinden Gelen Yüklerin Karadeniz Kaynaklı Yüklerle göre Durumu (Aydın vd., 2018)

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



Şekil 11. Karadeniz'den Gelen ve İstanbul'daki AAT'lerinden Kaynaklanan TN ve TP Dağılımı – Mevcut Durum (Diğer yerleşimlerden gelen yükler İstanbul'un yarısı olarak alınmıştır) (Aydın vd., 2018)



Şekil 12. Karadeniz ve İstanbul'daki AAT'lerinden Kaynaklanan TN ve TP Dağılımı – 2021 sonrası tahminler (diğer yükler İstanbul'un yarısı olarak alınmıştır) (Aydın vd., 2018)



ÇŞB tarafından desteklenen MARMOD Projesi (2021) kapsamında Marmara Denizi'nde yürütülmekte olan tek boyutlu su kalitesi modelleme çalışması sonuçlarına göre, İstanbul Boğazı girişi ve Boğaz tabanına yapılan atıksız 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 5'teki daha az sıkı su kalitesi (durumu) hedeflerine ulaşılabileceği anlamına gelmektedir.

### 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 13'te yer almaktadır. Söz konusu veri tabanında Tuna nehrine ait 2014 yılı kirlilik yükü değerleri Tablo 4'te verilmiştir.



Şekil 13. TNMN-Uluslararası İzleme ağındaki İzleme İstasyonları (Zavadsky, 2017)

Tablo 4. Tuna Nehri ile Karadeniz'e Verilen Kirlilik Yükleri (ton/gün), Reni İstasyonu (Zavadsky, 2017)

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

İstanbul Boğazı alt akımıyla Marmara havzasından Karadeniz'e verilen kirlilik yüküne kıyasla Tuna nehrinin kirlilik yükleri, TIN ve PO<sub>4</sub>-P parametreleri itibarı ile;

$$(\text{NO}_3 + \text{NO}_2)\text{N}_{\text{Tuna}} / (\text{NO}_3 + \text{NO}_2)\text{N}_{\text{Boğaz alt akımı}} = 778/85 \cong 9,2 \text{ kat}$$

ve

$$\text{PO}_4\text{P}_{\text{Tuna}} / \text{PO}_4\text{P}_{\text{Boğaz alt akımı}} = 35,1/22,5 \cong 1,6 \text{ kat daha fazladır (Çiçekalan ve Öztürk, 2018).}$$

Tuna başta olmak üzere, Karadeniz üst tabakasına yapılan nehir deşarjları ile taşınan TIN ve PO<sub>4</sub>-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 (TIN+NH<sub>4</sub>-N) ve TP yükünün en az ~%70'ninin sözü edilen anoksik/anaerobik hacimde birikmesi beklenir. *Belirtilen sebeplerle, Karadeniz'deki yüksek birincil üretimin ana unsuru, Tuna dâhil üst tabakaya boşalan nehir deşarjları olup, İstanbul Boğazı alt tabaka akımıyla Karadeniz'e verilen kirlleticilerin ötrofikasyona katkısı çok sınırlıdır (~0,30x85/778)≅% 3,3).*

## MARMARA DENİZİ HAVZASINDAKİ KİRLETİCİ YÜKLERİNİN SEKTÖREL DAĞILIMI

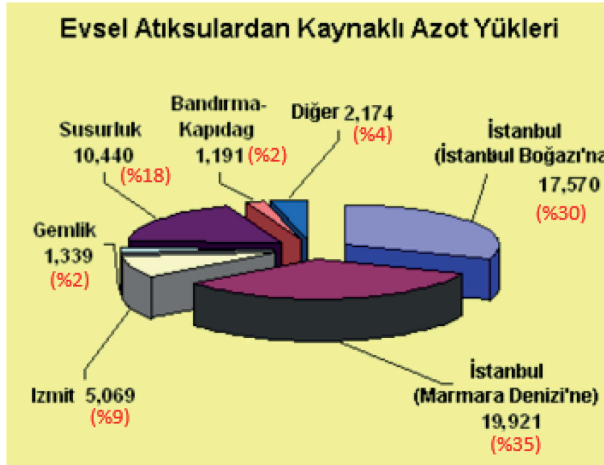
### Marmara Denizi için Çevresel Master Plan ve Yatırım Stratejileri Projesi (MEMPİS) Bulguları

**MEMPİS Projesi;** 2005 yılında, "Marmara Havzası Çevre Master Planı ve Yatırım Stratejisi"nin geliştirilmesi amacıyla, Hollanda menşeli Grontmij NV firması önderliğinde Avrupa Yatırım Bankası (European Investment Bank – EIB) ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı arasında MEMPİS Konsorsiyumu kurulmuştur. Kısaca MEMPİS Projesi diye anılan proje, 2005-2006 yılları arasında yürütülerek sonuçları bir rapor halinde sunulmuştur (MEMPİS, 2006). Projenin çalışma alanı, Marmara Denizi'ni ve Marmara Denizi'nin etkileşim içerisinde olduğu havza ve bölgeleri kapsamaktadır (Şekil 14). MEMPİS 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. MEMPİS 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.

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 15). Marmara Denizi alt tabaka akımlarının (özellikle İstanbul Boğazı güney girişine deşarj edilen Yenikapı ve Kadıköy atıksularının) %20-25'inin İstanbul Boğazı'nda (bilhassa Üsküdar eşiginde) Karadeniz'den gelen üst tabakaya geçerek Marmara'ya geri döndüğü esas alınmıştır.



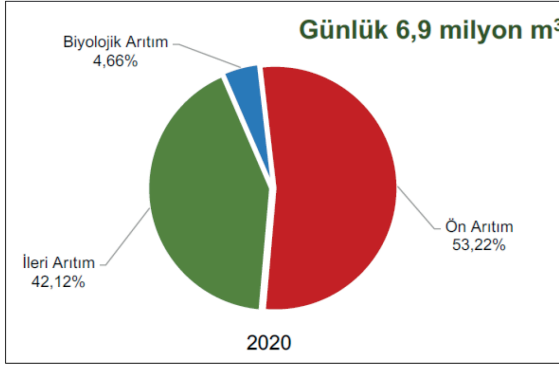
Şekil 14. Marmara Denizi Havzası ve İdari Sınırlar (MEMPİS, 2006)



Şekil 15. Muhtelif Belediyelerin Evsel Atıksulardan Kaynaklı Azot Yüklerine Katkıları (ton/yıl) (MEMPİS, 2006)







**Şekil 18.** Marmara Denizi'ne Yapılan Deşarjların Arıtma Seviyeleri (MBB, 2021)

İstanbul Boğazına mekanik arıtma sonrası derin deşarjı yapılan günlük yaklaşık 279 bin m<sup>3</sup> atıksuyun, Karadeniz'e ulaşmaksızın Marmara'da kaldığı (üst tabakaya geçtiği) hesaplanmaktadır. İstanbul'da Küçükçekmece ve Adalar Belediyesi kentsel atıksuları da mekanik ön arıtma sonrası Marmara'ya derin deşarjla verilmektedir.

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 atıksuyun sadece ön arıtmadan geçirilerek herhangi bir Azot (N), Fosfor (P) giderimi yapılmaksızın deşarj edilmesi Marmara Denizi'nde önemli bir kirlilik kaynağı olarak değerlendirilmektedir.

Baltalimanı AAT'nin biyolojik AAT seviyesine yükseltilmesi için inşa çalışmalarının devam ettiği, Yenikapı AAT'nin biyolojik prosesleri gerçekleştirecek şekilde yükseltilmesi inşa işinin başladığı ancak tarihi yarımadanın sit alanı olmasına ilişkin kısıtlardan dolayı fiili olarak durduğu belirtilmektedir (İSKİ, 2021).

İstanbul'un mekanik 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 mekanik 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 çözülmüş oksijen seviyesinde iyileşmeye zemin hazırlayacağı değerlendirilmektedir.

Balıkesir'in Marmara Denizi ile ilişkili atıksu deşarjlarının 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.

## **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 3'te 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,

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

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

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

### MEMPİS Projesi Hedefleri

MEMPİS (2006) Projesi'nde Marmara Denizi su kalitesi ve ekolojik durumu ile ilgili olarak öngörülen hedef, orta vadede (2030 yılı) Tablo 5'teki 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 azaltımı (Azami Marmara Havzası Yük Azaltım Senaryosu)'dır (MEMPİS, (2006); Öztürk ve Tanık (2012)).*

**Tablo 5.** Marmara Denizi için Önerilen Uzun Vadeli Su Kalitesi Hedefleri (MEMPİS, 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

### 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 nedeni ile ileri biyolojik arıtma için yeterli alanın temin edilemediği durumlarda kimyasal arıtma destekli birinci kademe arıtma uygulanması ön-*

görülmüştür (İstanbul Master Plan Konsorsiyumu, 1999; ÖEJV-DHI, 1994). Bu ön-görü 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 (MEMPİS, 2006).

İstanbul'da İSKİ tarafından inşa edilen atıksu ön arıtma ve derin deniz deşarj-ları, 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 ya-pılacak 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 gide-rimli Aktif Çamur Prosesi) uygulamaları gerekmektedir (Öztürk & 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 yük-lerinde 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 bi-linmektedir. İstanbul Boğazı üst akımı ile Marmara'ya giren söz konusu kirliliğin %80-85'ini sınırımı aşan kirlitici kaynaklar oluşturmaktadır. *Marmara Havzası'n-daki noktasal ve yayılı kirlilik yükleri azami ölçüde kontrol edilse bile, Karadeniz kaynaklı kirlilik girişi mevcut haliyle sürdüğüünde, Marmara'da Tablo 5'teki "daha iyi ekolojik duruma" ulaşılması tam anlamıyla mümkün görülmemektedir* (MEMPİS, 2006).

**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 Mekanik Ön Arıtma tesisi;

- Boğaz ön görünüm bölgesinde kalmaları dolayısıyla, özel imar kısıtları uy-gulanması,

- Atıksu toplama sisteminin tamamlanmış ve tesis sahalarında sonlanmış olması yüzünden AAT yerinin değişmesinin adeta imkânsız olması,
- Küçüküsu, Yenikapı ve Baltaliman AAT'leri hariç, üst/yukarı havzada, mevcut tesislerin yükünü kısmen azaltıcı yeni AAT yapmaya uygun sahaların bulunmaması,
- Mevcut AAT sahaların (Baltalimanı hariç), besin maddesi (N, P) giderimli ileri biyolojik arıtma sistemi kurulmasına imkan veremeyişi, söz konusu sahalarında 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 akibetinin bilinmesi de önem taşımaktadır.

Detayları Aydın vd. (2018)'de 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,

$$\begin{aligned} \text{Toplam AKM} &= 100 \text{ mg/L} \\ \text{KOİ} &= 250 \text{ mg/L} (\geq \%65 \text{ giderim}) \\ \text{BOİ}_5 &= 160 \text{ mg/L} \\ \text{TKN} &= 45 \text{ mg/L} (\geq \%25 \text{ giderim}) \\ \text{TP} &= 6 \text{ mg/L} (\geq \%30 \text{ giderim}) \end{aligned}$$

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 artırılması 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 (A<sup>2</sup>O prosesi) ile arıtılması durumunda, Toplam KOİ ve TP yükünde ~%70, TN yükünde ise ~%55 oranında azaltım sağlanabilecektir.*

## GÖRÜŞ VE ÖNERİLER

### 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 sağlanması idi. Bu yolla, İstanbul başta olmak üzere Marmara sahilindeki su kalitesinin hızlı bir şekilde iyileşerek "Mavi Bayrak" seviyesine ulaşması mümkün olabilmıştır. 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 konsepti ile değil Ön Arıtma Seviyesi ile ilgilidir.

### Su Kalitesi ve Ekolojik Durum

Marmara Denizi su kalitesi ve ekolojik durumu ile ilgili olarak öngörülen hedef, orta vadede (2030 yılı) Tablo 3'teki daha az sıkı su kalitesi değerlerine (klorofil-a ≤ 10 mg/L, TN ≤ 0,1 mg/L, T ≤ 0,02 mg/L, çözünmüş oksijen: ≤ 20 m derinliklerde (üst tabaka) 6 mg/L, ≥20 m derinliklerde (ara ve alt tabakalar) 2 mg/L) ulaşılmasıdır (MEMPİS, 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 çözünmüş



oksijen seviyesinin daha da kötüye gitmesinin önlenmesi; diğer bir deyişle, alıcı ortamın yüzmeye 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 Körfezlerinde 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 (MEMPİS, 2006).

### 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 6'da verilmektedir.

**Tablo 6.** Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliği Marmara Denizi ve 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 (<6)'dir. 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).

### **Marmara'ya Verilen Kirlilik Yüklerinin Azaltılması ile İlgili Öneriler**

Marmara Denizi'ne noktasal, yayılı ve hareketli kaynaklardan gelen; çok yüksek birincil üretim ve bazı özel koşullarda deniz salyası oluşum süreçlerini arttıran, kirlenici yüklerinin "İyi (Kimyasal ve Ekolojik) Su Durumu'nun gerektirdiği ölçüde azaltımı ile ilgili öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir (TÜBA, 2021; İTÜ, 2021):

- Mevcut Atıksu Arıtma Tesislerinde Proses (A<sup>2</sup>O) ve Kapasite Yeterliliğinin sağlanarak, İstanbul Boğazı girişi ve Boğaziçi hariç zamanın >%95'inde ÇŞB Kentsel Atıksuların Arıtımı Yönetmeliği 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; bu tesislerin atıksu havzaları bölünerek yukarı havzada (nüfusun %40~50'si için) ileri biyolojik arıtma uygulanması,

- \* Nüfusu 100.000 kişiden büyük olan sahil yerleşimlerinde İleri Biy. AAT sonrası -35~40 m'den Marmara Alt Tabakasına Derin Deşarj yapılması ya da çıkış TN ve TP değerlerinde gerektiğinde mevcut standardın yarısına (TN = 5 mg/L, TP = 0,5 mg/L) inilmesi ve
- \* 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.
- Atıksu Arıtma Tesislerine; biyokatı, biyometan, azot, fosfor ve su gerikazanımı sağlayan Atıksu Rafineleri gözüyle bakılmalı ve bu şekilde bilhassa N, P gerikazanımına öncelik verilmelidir. Gerikazanılan ürünlerin kullanımı, ilgili kurumlar arasındaki iletişim güçlendirilerek, teşvik edilmelidir.
- 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.
- Marmara Denizi ve Susurluk Nehrine atıksu deşarj eden, N>5000 kişi olan, bütün yerleşimler ile OSB'lerde İleri Biyolojik AAT Sistemi kurulması sağlanmalıdır.
- Kontamine (özellikle TOK, N değerleri yüksek) nehir ağzı ve liman taraftarlarının Marmara Denizi'ndeki döküm alanlarına boşaltımının önlenmesi, bu tür atıklara ön arıtma uygulanarak kirli kısmın karada depolanması sağlanmalıdır.
- 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 sürdürülebilirliği sağlanmalıdır.
- 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.
- 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.
- ÇŞB ve Büyükşehir Su Kanalizasyon İdarelerinin, evsel ve endüstriyel AAT deşarjlarının izleme, denetim ve yaptırım kapasitelerinin geliştirilerek,

standartlara uygun olarak işletilmeyen tesislere caydırıcı yaptırımlar uygulanmalı, izleme verileri kamuoyu ile paylaşılmalıdır; gerektiğinde (belirli süreliğine) 100.000 EN üzeri kapasiteli (büyük) İleri Biyolojik AAT'de arıtılan debi ( $m^3/gün$ ), harcanan elektrik enerjisi (kWh/EN.gün), atılan bakteri biyokütlesi (çamur) (g KM/EN.gün) ve deşarj edilen suda Toplam Azot (mg/L) parametreleri izlenebilir.

- AAT ve Atıksu Kanal Sistemi Taşmalarının Kontrolü, ayrık Sistem Kanal Şebekelerinin etkinleştirilmesi; bu kapsamda,
  - \* Dere kenarı atıksu kollektörlerinin sürekliliğinin sağlanması (kamulaştırma ve ilgili hukuki süreçlerin hızla çözümü ile birlikte)
  - \* Kentsel altyapının iklim değişimi etkilerine dirençli hale getirilmesi hususları acilen çözümlenmelidir.
- Tarifelerini su ve atıksu yönetimi hizmeti gerçek maliyetinin altına düşüren SUKİ'lerin, kirleten öder prensibini tam maliyet esasına geçirecek, düzeltici idari kararları hızla almaları gerekmektedir. Ayrıca su kanalizasyon idarelerinin ihtiyaç duyacağı atıksu arıtma tesislerinin yapımı için uygun koşullu finansmanla ilgili kredi temin imkanları geliştirilmelidir.
- Özel bilgi ve profesyonel deneyim gerektiren İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesislerinin işletiminin, Uzman Özel Sektör Firmalarınca, asgari 8-10 yıllık sözleşmelere dayalı olarak profesyonelce işletilmesi uygulamaları yaygınlaştırılmalıdır.

## Kaynakça / References

- Aktan Y., Dede A., Ciftci P.S. (2008). Mucilage event associated with diatom and dinoflagellates in Sea of Marmara, Turkey. In: *Harmful Algae News*. The Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, No. 36, 1-3.
- Allredge, A.L. & Silver, M.W. (1988). Characteristics, dynamics and significance of marine snow. *Progress in Oceanography*, 20, 41-82.
- Altıok, H., & Kayışoğlu, M. (2015). Seasonal and interannual variability of water exchange in the Strait of Istanbul, *Mediterranean Marine Science*, 16(3), 636-647.
- 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.
- Balkis N., Atabay H., Türetgen I., Albayrak S., Balkis H. & Tüfekçi V. (2011). Role of single-celled organisms in mucilage formation on the shores of Büyükkada Island (the Marmara Sea). *J. Marine Biological Association of the United Kingdom*, 91, 771-781. doi:10.1017/S0025315410000081
- 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, Türkiye.
- 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*, 7(4),729-741, doi:10.36306/konjes.654886.
- 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.
- Flander-Putrlje, V. & Malej, A. (2008). The evolution and phytoplankton composition of mucilaginous aggregates in the northern Adriatic Sea. *Harmful Algae*, 7, 752-761. doi:10.1016/j.hal.2008.02.009
- 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.
- İSKİ (2021). *MBB ve İSKİ Çevrimiçi Toplantısı*. İstanbul
- İTÜ (2021). *Marmara Denizi'nde Deniz Salyası Sorunu ile İlgili Görüş ve Öneriler*, Haziran 2021, [https://haberler.itu.edu.tr/docs/default-source/default-document-library/deniz-salyas%C4%B1-\(musilaj\)-itu\\_rapor.pdf?sfvrsn=54235df0\\_2](https://haberler.itu.edu.tr/docs/default-source/default-document-library/deniz-salyas%C4%B1-(musilaj)-itu_rapor.pdf?sfvrsn=54235df0_2) adresinden alınmıştır. (Erişim Tarihi: 29.06.2021)
- Marín, I., Nunes, S., Sánchez-Pérez, E.D., Txurruka, E., Antequera, C., Sala, M.M., Marrasé, C. & Peters, F. (2017). Coastal bacterioplankton metabolism is stimulated stronger by anthropogenic aerosols than Saharan dust. *Frontiers in Microbiology*, 8:2215. doi:10.3389/fmicb.2017.02215

- MARMOD Projesi (2021). *Marmara Denizi Bütünleşik Modelleme Sistemi (MARMOD) Faz I ve Faz II Projesi*, ODTÜ Erdemli Deniz Araştırmaları Enstitüsü ve ÇŞB ile.
- MBB (2021). Marmara Denizi ile ilişkili Atıksu Altyapı Durumu ve Deniz Deşarjları
- 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.
- MGM (2021). *2020 Yılı Marmara Denizi Deniz Suyu Sıcaklık Analizi*. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/resmi-istatistikler/denizSuyu/Marmara-Deniz-Suyu-Sicakligi-Analizi-2020.pdf> adresinden alınmıştır (Erişim Tarihi: 25.06.2021)
- Okuş, E., Ozturk, I., Sur, H. I., Yuksek, A., Tas, S., Yilmaz, A. A., Altıok, H., Balkis, N., Dogan, E., Ovez, S. & Aydın, A. F. (2008). Critical Evaluation of Wastewater Treatment and Disposal Strategies for Istanbul with Regards to Water Quality Monitoring Study Results. *Desalination*, 226, 231-248.
- 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., Latif, M.A, Sur, H.I., & Goryachkin, Yu. (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. & 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.
- Polat Beken, S.Ç., Tüfekçi, V., Sözer, B., Yıldız, E., Mantıkçı, M., Atabay, H., Telli-Karakoç, F., Hocoğlu, S., Ediger, D., Tolun, & L., Olgun, A. (2011). *Deniz Ortamında Müsilaj/mukus Oluşumunu Denetleyen Faktörlerin Laboratuvar Koşullarında İncelenmesi- Final Raporu*. TÜBİTAK ÇAYDAG Proje No: 108Y083, Şubat 2011.
- Ryan, W.B.F., Pitman, W.C., Major, C.O., Shimkus, K., Moskalenko, V., Jones, G.A., Dimitrov, P., Görür, N., Sakınç, M. & Yüce, H. (1997). An abrupt drowning of the Black Sea shelf. *Marine Geology* 138:119-126.
- 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>
- TÜBA. (2021). *Müsilaj-Deniz Salyası Değerlendirme Raporu*, 3 Haziran 2021, <http://tuba.gov.tr/files/images/2021/deniz%20salyas%C4%B1/TU%CC%88BA%20Mu%CC%88silaj%20-%20Deniz%20Salyas%C4%B1%20Deg%CC%86erlendirme%20Raporu.pdf> adresinden alınmıştır. (Erişim Tarihi: 29.06.2021)
- TÜBİTAK MAM. (2013) *Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme İşi Marmara Denizi Kirlilik İzleme Çalışması*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Tüfekci, V., Balkis, N., Polat Beken, Ç., Ediger, D. & Mantıkci, M. (2010). Phytoplankton composition and environmental conditions of a mucilage event in the Sea of Marmara. *Turkish Journal of Biology*, 34, 199-210.
- 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
- Zavatsky, I. (2017). ICPDR Experience on the Danube - Black Sea Cooperation, 3rd Marmara Sea Symposium 21 November, 2017, İstanbul, Turkey.