

**MARMARA DENİZİ'NİN GEÇİRDİĞİ BİYOJEOKİMYASAL
DEĞİŞİMLER BAĞLAMINDA 2021 MÜSİLAJ PATLAMASI,
GÜNCEL BASKILAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

**THE SEA SNOT OUTBREAK IN THE SEA OF MARMARA:
BIOGEOCHEMICAL TRANSFORMATIONS OF THE SEA,
MODERN-DAY PRESSURES AND A ROADMAP
FOR THE WAY FORWARD**

Mustafa Yücel

TÜBA Genç Akademi Üyesi / TÜBA Young Academy Member

Korhan Özkan

TÜBA Genç Akademi Üyesi / TÜBA Young Academy Member

Bettina Fach

Hasan Örek

Mustafa Mantıkçı

Devrim Tezcan

İsmail Akçay

Koray Özhan

Sinan Arkın

Süleyman Tuğrul

Barış Salihoglu

**Doç. Dr. Mustafa Yücel / Orta Doğu Teknik Üniversitesi /
myucel[at]jims.metu.edu.tr / ORCID 0000-0002-7478-902X**

Doktora eğitimini Delaware Üniversitesi'nde Oşinografi alanında 2010 yılında tamamlamıştır. Nisan 2015'den beri ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde öğretim üyesidir ve Aralık 2016'dan beri Enstitü Müdür Yardımcısı olarak da görev yapmaktadır. Ayrıca ODTÜ Ankara Kampusu Yer Sistem Bilimleri Anabilim Dalı'nda da dersler vermektedir. Dr. Yücel'in araştırma ilgi alanları arasında okyanuslardaki biyojeokimyasal döngüler, derin deniz ekosistemleri, sürdürülebilir deniz ekonomisi ve deniz gözlem sistemleri geliştirmek sayılabilir. Doç. Dr. Mustafa Yücel'in 2021 itibari ile Nature, Nature Geoscience, Marine Chemistry başta olmak üzere doğa bilimlerinin önde gelen uluslararası dergilerinde 40'm üzerinde yayını vardır. Dr. Yücel Pasifik, Atlantik, Akdeniz, Karadeniz, Marmara ve Baltık Denizi'de 14 adet uzun süreli araştırma seferlerine katılmış ve 5 kere Alvin (ABD) ve Nautile (Fransa) araştırma denizaltıları ile derin deniz dalışlarına katılmıştır. Makalelerine Google Akademik atıf indeksine göre 1300'ün üzerinde atıf yapılmıştır. Dr. Yücel şu an ODTÜ'nün koordine ettiği AB Ufuk 2020 Black Sea CONNECT ve BRIDGE-BS araştırma konsorsiyumunun eş-koordinatörü olarak görev yapmakta, TÜBİTAK DEEPREDOX projesi yürütücülüğü yapmaktadır. Mustafa Yücel aynı zamanda Türk Deniz Araştırmaları Vakfı TÜDAV Bilim Ödülü (2017), TÜBA-GEBİP ödülü (2018), Bilim Akademisi BAGEP ödülü (2019) ve ODTÜ Mustafa Parlar Vakfı Genç Araştırmacı Teşvik Ödülü (2020) sahibidir.

**Assoc. Prof. Dr. Mustafa Yucel / Middle East Technical University /
myucel[at]jims.metu.edu.tr / ORCID 0000-0002-7478-902X**

(PhD University of Delaware, USA- 2010) has been a faculty member at METU Institute of Marine Sciences since May 2015 and has been serving as the Vice Director of Institute since 2016. He also gives lectures at METU Ankara Campus Earth System Sciences Department. Dr Yucel's research interests include biogeochemical cycles in the oceans, deep-sea ecosystems, sustainable marine economy and developing marine observation systems. As of 2021, Dr Yucel has more than 40 publications in leading international journals of natural sciences, especially Nature, Nature Geoscience, Marine Chemistry. Dr Yucel participated in 14 long-term research expeditions in the Pacific, Atlantic, Mediterranean, Black Sea, Marmara and Baltic Seas and participated in deep-sea dives to the ocean floor 5 times with the Alvin (USA) and Nautile (France) research submarines. Dr Yucel has earned 4 Young Investigator Awards. Turkish Academy of Sciences- Distinguished Young Scientist Award (TUBA 2018) and Science Academy- Distinguished Young Scientist Award (BAGEP 2019) which were given for the first time to an oceanographer. According to the Google Scholar citation index, his articles were cited over 1300 times. Now he is the co-coordinator of EC H2020 Black Sea CONNECT and BRIDGE-BS projects and coordinator of TUBITAK DEEPREDOX project. Dr Yucel has earned 4 Young Investigator Awards. Turkish Academy of Sciences- Distinguished Young Scientist Award (TUBA 2018) and Science Academy- Distinguished Young Scientist Award (BAGEP 2019), which were given for the first time to an oceanographer.

**Dr. Öğr. Üyesi Korhan Özkan / Orta Doğu Teknik Üniversitesi /
okorhan[at]metu.edu.tr / ORCID: 0000-0003-1911-6508**

Dr. Korhan Özkan, Lisans derecesini ODTÜ Biyoloji Bölümünden 2005 yılında, yüksek lisans derecesini ise yine aynı bölümden deneysel limnoloji araştırmaları ile 2008 yılında aldı. Topluluk ekolojisi üzerine yürüttüğü doktora araştırmalarını 2009-2013 yılları arasında Aarhus Üniversitesinde gerçekleştirdi. Dr. Korhan Özkan 2014 yılından bu yana ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsünde öğretim üyesidir. Dr. Korhan Özkan araştırmalarını topluluk ekolojisi, sucul ekoloji ve koruma biyolojisi alanlarında sürdürmektedir. Araştırmalarında özellikle iç su ve deniz ekosistemlerinde canlı topluluklarının ve bu canlı topluluklarının içinde yaşadıkları çevresel koşulların zaman ve mekânda yaşadığı değişimleri ve bunlara sebep olan etkenleri anlamaya çalışmaktadır. Güncel çalışmaları kapsamında yüksek enlem ve yüksek irtifa ekosistemlerinin besin ağı ekolojisi ve paleoekolojisi, tuzcul göllerin ekolojisi, deneysel ekoloji, havza-deniz etkileşimleri ile birlikte tehlike altındaki türlerin ve ekosistemlerin koruma biyolojisi üzerine araştırmalar yürütmektedir. Dr. Özkan araştırmaları kapsamında Kuzey Kutbu ve Antarktika ile birlikte Anadolunun tümü ve Akdeniz, Marmara Denizi ve Karadeniz’de toplamda 17 aydan fazla bilimsel ekspedisyenler gerçekleştirmiştir.

**Assist. Prof. Dr. Korhan Özkan / Middle East Technical University /
okorhan[at]metu.edu.tr / ORCID: 0000-0003-1911-6508**

Dr. Korhan Özkan received his Bachelor’s degree from METU Biology Department in 2005 and his master’s degree from the same department in 2008 on experimental limnology research. He carried out his PhD on community ecology at Aarhus University between 2009-2013. Dr. Korhan Özkan has been a faculty member at METU Institute of Marine Sciences since 2014. Dr. Korhan Özkan conducts research in the fields of community ecology, aquatic ecology and conservation biology. He studies how natural communities and their environment changes in time and space, as well as the factors that drive these changes, especially in inland water and marine ecosystems. Currently, he conducts research on the food web ecology and paleoecology of high latitude and high altitude ecosystems, the ecology of salt lakes, experimental ecology, catchment-sea interactions as well as the conservation biology of endangered species and ecosystems. Dr. Korhan Özkan has carried out scientific expeditions over 17 months in total in the Arctic and Antarctica, as well as Anatolian aquatic ecosystems, the Mediterranean, Marmara and Black Seas.

**Doç. Dr. Bettina Fach / Orta Doğu Teknik Üniversitesi /
bettina[at]metu.edu.tr / ORCID: 0000-0003-4688-1918**

(Doktora 2003 Old Dominion Üniversitesi, Kıyı Fiziksel Oşinografi Merkezi, ABD- 2003). Ağustos 2009 tarihinden günümüze ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü’nde öğretim üyesidir. Kendisi deniz ortamlarının matematiksel modelleri üzerinde uzmanlaşmış bir fiziksel oşinografıdır. Karadeniz ve Güney Okyanusu hidrodinamik modelleri, fizik-biyoloji etkileşimi modelleri, kompleks ekosistem etkileşimleri, besin sınırlamaları ve biyokimyasal süreçler üzerindeki

çalışmaları ile tanınmaktadır. Şu an iklim değişiminin akıntılar ve ekosistem dinamiklerini nasıl etkilediğini ve bunun Güney Okyanusu, Karadeniz ve Marmara Denizinde bütün ekosistemden yüksek trofik basamaklara kadar etkilerinin neler olduğu üzerinde çalışmaktadır. 2021'e kadar Dr. Fach doğa bilimlerinin önde gelen uluslararası dergilerinde 30 yayım vardır ve Google Scholar atıf endeksine göre yayımları toplamda 1100'den fazla atıf almıştır.

**Assoc. Prof. Dr. Bettina Fach / Middle East Technical University /
bettina[at]metu.edu.tr / ORCID: 0000-0003-4688-1918**

(PhD Physical Oceanography, Centre for Coastal Physical Oceanography, Old Dominion University, VA, USA- 2003) has been a faculty member at METU Institute of Marine Sciences since August 2009. She is a physical Oceanographer specialized on mathematical models of the marine environment. She is recognized for her work modelling physical-biological interactions in the Black Sea and Southern Ocean with both hydrodynamic models as well as models of complex ecosystem interactions, nutrient limitations, and biogeochemical processes. She currently works on understanding the impact climate change has on circulation and ecosystem dynamics and how this translates through the entire ecosystem into the higher trophic levels in the Southern Ocean, Black and Marmara Seas. As of 2021, Dr Fach has 30 publications in leading international journals of natural sciences and her publications were cited over 1100 times according to the Google Scholar citation index.

**Dr. Öğr. Gör. Hasan Örek / Orta Doğu Teknik Üniversitesi /
orek[at]jims.metu.edu.tr**

Dr. Öğr. Gör. Hasan Örek 1973 yılında Lefkoşa-Kıbrıs'ta doğmuştur. 1996 yılında Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, İzmir'den lisans derecesini almıştır. Yüksek lisans (2000) ve doktora (2007) yılında ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü (ODTÜ-DBE), Mersin'den aldıktan sonra bir süre daha kurumda AB ve Ulusal projelerde çalışmış ve 2010-2013 tarihleri arasında Helmholtz-Zentrum Geesthacht, uzaktan algılama grubunda araştırmacı olarak çalışmalar gerçekleştirmiştir. 2014-2020 yılları arasında ODTÜ-DBE'den araştırmacı olarak çeşitli ulusal ve uluslararası projelere katkı veren Dr. Örek Şubat 2020'den günümüze öğretim elamanı olarak görev yapmaktadır. Dr. Örek'in araştırma ilgi alanları arasında deniz bio-optiği, uzaktan algılama, operasyonel oşinografi, ve deniz ekolojisi, yer almaktadır. DEKOSİM Erdemli Zaman Serisi araştırmalarını koordine etmesinin yanı sıra çeşitli ulusal ve uluslararası projeye katkı vermektedir. R/V Bilim-2 ve R/V Lamas1 gemilerinin bilimsel koordinasyonunu gerçekleştiren Dr. Örek'in çok sayıda uzun süreli araştırma seferine araştırmacı olarak katılmıştır.

**Lecturer Hasan Örek / Middle East Technical University /
orek[at]jims.metu.edu.tr**

Dr. Hasan Örek was born in 1973 in Nicosia-Cyprus. He graduated from Faculty of Fisheries at Ege University in 1996. He graduated from M.Sc. (2000) and

Ph.D. (2007) programs from the Institute of Marine Sciences at Middle East Technical University (IMS-METU). After he worked at IMS-METU for some EU and national projects, he worked as a researcher at Helmholtz-Zentrum Geesthacht remote sensing group between 2010 and 2013. He worked as a researcher at IMS-METU between 2014 and 2020. He has been working as a Lecturer at IMS-METU since February 2020. His research topics are marine bio-optics, remote sensing, operational oceanography and marine ecology. He coordinates DEKOSİM Erdemli Time Series researches as well as being a researcher for many national and international projects of IMS-METU. He also coordinates long-term research cruises carried by the research vessels (R/V Bilim-2 and R/V Lamas-1) of IMS-METU.

**Dr. Mustafa Mantıkçı / Orta Doğu Teknik Üniversitesi /
mantikci[at]ims.metu.edu.tr / ORCID: 0000-0002-9492-2166**

Dr. Mustafa Mantıkçı lisans derecesini 2006 yılında İstanbul Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesinde, yüksek lisansını ise 2009 yılında İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Deniz Biyolojisi ve Fiziksel Oşinografi Bölümünde tamamlamıştır. Doktora çalışmasını “Deniz plankton metabolizmaları” üzerine Danimarka Aarhus Üniversitesi’nde 2015 yılında tamamlayan Mantıkçı, 2006-2011 ve 2015-2018 yılları arasında TÜBİTAK MAM, Çevre Enstitüsünde araştırmacı olarak çalışmıştır. Ocak 2018’den itibaren ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü’nde araştırmacı olarak çalışmaktadır. Mantıkçı, 2007 yılında Marmara Denizi’nde oluşan müsilaj üzerine yapılmış çalışmalarda yer alarak, bu konuda bir TÜBİTAK 1001 projesi ve uluslararası makale yapılmasına katkı sağlamıştır. Deniz araştırmaları ile ilgili birçok ulusal ve uluslararası projede görev almış, özellikle ötrofikasyon, birincil üretim, plankton solunumu ve deniz izlemeleri üzerine çalışmalar yürütmektedir. Mantıkçı, güncel olarak ODTÜ’nün ortağı olduğu “Avrupa Çevre Ajansı, Avrupa Deniz ve İçsular Konu Merkezi” ve “Akdeniz Bütünleşik Kirlilik İzleme” projelerinin koordinatörlüğünü yapmaktadır. 2006 yılından günümüze aktif olarak Baltık Denizi, Akdeniz, Marmara ve Karadeniz’de araştırma seferlerine katılmaktadır.

**Dr. Mustafa Mantıkçı / Middle East Technical University /
mantikci[at]ims.metu.edu.tr / ORCID: 0000-0002-9492-2166**

Dr. Mustafa Mantıkçı gained his undergraduate degree at Istanbul University, Faculty of Fisheries in 2006, and his master’s degree in 2009 at Istanbul University, Institute of Marine Sciences and Management, Department of Marine Biology and Physical Oceanography. Mantıkçı completed his doctoral study on “Marine plankton metabolisms” at Denmark Aarhus University in 2015. He worked as a researcher at TÜBİTAK MRC between 2006-2011 and 2015-2018. Currently, he has been working as a researcher at METU IMS since 2018.

Mantıkçı took part in studies on mucilage formed in the Sea of Marmara in 2007 and contributed to a TÜBİTAK 1001 project and an international article on this subject. He has taken part in many national and international projects related

to marine research, specifically working on eutrophication, primary production, plankton respiration and marine monitoring. Currently, he is the coordinator of the “European Environment Agency, European Topic Centre on Inland, Coastal and Marine waters” and “Mediterranean Integrated Pollution Monitoring” projects. Since 2006, he has been actively participating in research expeditions in the Baltic Sea, Mediterranean, Marmara and Black Sea.

**Dr. Öğr. Üyesi Devrim Tezcan / Orta Doğu Teknik Üniversitesi /
dtezcan[at]metu.edu.tr / 0000-0003-4137-9101**

(Doktora, ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü, Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği, Türkiye – 2008). 2014 yılından günümüze ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde öğretim üyesidir ve Aralık 2016'dan beri Enstitü Müdür Yardımcısı olarak da görev yapmaktadır. Kıyı denizlerinde partikül taşınmasından deniz batimetrisine, deniz veri bilimi ve gözlem teknolojisine kadar geniş bir yelpazede uzmanlaşmış bir deniz jeofizikçisidir. Yanı sıra, bölgesel denizlerin sürdürülebilir yönetimi için Doğu Akdeniz'de Mersin Körfezi'nde farklı veri katmanları ve bunların CBS tabanlı entegrasyonunu kullanarak deniz mekansal planlamasına odaklı çalışmalar gerçekleştirmektedir. Enstitünün veri yönetiminden sorumlu olarak, BlackSeaScene, UpgradeBlackSeaScene, Seatadatanet, Seadatanet2, Seadatacloud ve EMODnet gibi birçok Avrupa deniz veri yönetimi projelerinde yer almıştır. Dr. Tezcan, ODTÜ-DBE'nin ana ortaklardan biri olarak yer aldığı AB Ufuk2020 DOORS projesinde enstitüyü temsil eden baş araştırmacılarından biridir.

**Assist. Prof. Dr. Devrim Tezcan / Middle East Technical University /
dtezcan[at]metu.edu.tr / ORCID: 0000-0003-4137-9101**

(PhD METU Institute of Marine Sciences, Marine Geology and Geophysics, Turkey - 2008) has been a faculty member at METU Institute of Marine Sciences since 2014 and has been serving as the Vice Director of Institute since 2016. Dr Tezcan is a marine geophysicist specialized in a broad range of issues spanning particle transport in the coastal seas to marine bathymetry along with marine data science and observatory technology. Lately, he has been focusing on marine spatial planning using different data layers and their GIS-based integration in the Bay of Mersin in the Eastern Mediterranean for sustainable management of the regional seas. As the responsible of the institute's data management, he has taken part in many European marine data management projects such as BlackSeaScene, UpgradeBlackSeaScene, Seatadatanet, Seadatanet2, Seadatacloud, and EMODnet. Dr. Tezcan is one of the principal investigators representing the institute in the EU Horizon2020 DOORS project, in which METU-IMS is one of the main partners.

**Ar. Gör. İsmail Akçay / Orta Doğu Teknik Üniversitesi /
ismail[at]jims.metu.edu.tr / ORCID: 0000-0001-8738-8359**

İsmail Akçay 1989 yılında Mersin’de doğmuştur. 2013 yılında, Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ), Kimya Öğretmenliği bölümünden tezsiz yüksek lisans derecesi alarak mezun olmuştur. Aynı yılda yüksek lisans eğitimine ODTÜ, Deniz Bilimleri Enstitüsü’nde (DBE) Oşinografi Anabilim Dalı’nda başlamış ve 2015 yılında mezun olmuştur. Yüksek lisans çalışmalarında deniz suyu besin tuzları, ötrofikasyon, su kirliliği ve yüzey sedimanında organik madde jeokimyası konularına yönelmiştir. Aynı yılda, ODTÜ-DBE’de Araştırma Görevlisi pozisyonuna atanmıştır. 2015 yılında Oşinografi Anabilim Dalı’nda doktora eğitimine başlamıştır. Doktora çalışmaları, suboksik ve anoksik (oksijensiz) ortamlarda deniz suyu ve sedimanında gerçekleşen biyojeokimyasal süreçleri anlamaya yönelik olup, halen devam etmektedir.

**Research Assistant İsmail Akçay / Middle East Technical University /
ismail[at]jims.metu.edu.tr / ORCID: 0000-0001-8738-8359**

İsmail Akçay was born in 1989 in Mersin. He graduated from Middle East Technical University (METU), Chemistry Education in 2013. He started his M.Sc. studies at the department of Oceanography in Institute of Marine Sciences (IMS), METU and graduated in 2015. He studied dissolved nutrients, eutrophication, marine pollution and surface sediment organic matter geochemistry during his M.Sc. work. He got Research Assistant position in 2015 and started to Ph.D. studies. He is a Ph.D. student studying the impacts of suboxia/anoxia on the seawater and sediment biogeochemistry.

**Dr. Öğr. Üyesi Koray Özhan / Orta Doğu Teknik Üniversitesi /
korayozhan[at]gmail.com/ ORCID: 0000-0002-0189-3993**

Dr. Öğr. Üyesi Koray Özhan lisans eğitimini Orta Doğu Teknik Üniversitesi Kimya bölümünde, yüksek lisans eğitimini Southern Connecticut State Üniversitesi’nde kimya bölümünde aldıktan sonra doktora eğitiminin Louisiana State Üniversitesi’nde Oşinografi ve deniz bilimleri bölümünde 2014 yılında tamamlamıştır. Doktora çalışmasında 2010 yılında Meksika Körfezinde meydana gelen “Deepwater Horizon oil spill” petrol kazası sonrası denizel ekosistemde oluşan zararlar ve petrol hidrokarbonlarının dağılımları üzerine yapmıştır. 2015-2017 yılları arasında ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü’nde doktora sonrası araştırmalarda bulunduktan sonra 2017 yılından itibaren yine aynı kurunda öğretim üyeliğine görevine devam etmektedir. ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsünde birçok projede araştırmacı ve yürütücü olarak görevlerde bulunmuş olup, genel olarak çalışmalarını insan kaynaklı yüklerin denizel etkileri kapsamında ötrofikasyon, denizde organik ve anorganik kirleticiler ve okyanus asitlenmesi konularında yürütmektedir. Bunun yanında araştırmalarını karbonat kimyası ve besin elementleri dinamikleri ve bunların denizel üretim ile olan ilişkileri konusunda yoğunlaştırmaktadır.

Assist. Prof. Dr. Koray Özhan / Middle East Technical University / korayozhan[at]gmail.com / ORCID: 0000-0002-0189-3993

Assistant professor Koray Özhan received his undergraduate degree in chemistry from Middle East Technical University and his master degree in chemistry from Southern Connecticut State University, and completed his PhD in oceanography and marine sciences department at Louisiana State University in 2014. In his doctoral study, he focused on the damages in the marine ecosystem and the distribution of petroleum hydrocarbons after the “Deepwater Horizon oil spill” oil accident that occurred in the Gulf of Mexico in 2010. After doing post-doctoral research at METU Institute of Marine Sciences between 2015 and 2017, he has been working as an assistant professor at the same institution since 2017. He has worked as a researcher and coordinator in many projects at METU Institute of Marine Sciences, and he generally carries out his studies on eutrophication, organic and inorganic pollutants in the sea, and ocean acidification within the scope of anthropogenic impacts on marine ecosystem. In addition, he focuses his research on carbonate chemistry and nutrient dynamics and their relationship with marine production.

Dr. Sinan Ş. Arkin / Orta Doğu Teknik Üniversitesi / sinan.arkin[at]jims.metu.edu.tr / ORCID: 0000-0001-7805-4015

Dr. Sinan Arkin, Lisans eğitimini Johns Hopkins Üniversitesi'nin Fizik ve Astronomi Bölümü'nde aldı. 2005 yılında aldığı Yüksek Lisans derecesini Imperial College Londra'nın Matematik Bölümü'nde Uygulamalı Matematik üzerine yaptı. Yine aynı bölümden 2010 yılında doktorasını alan Dr. Arkin, bu dönemde ekosistemler içerisinde evrim geçiren popülasyonların dinamikleri ve bu popülasyonların sergilediği üretkenlik, verimlilik ve çeşitlilik arasındaki ilişkiler üzerine çalıştı. 2012-2014 yılları arasında ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde Karadeniz konulu birçok ulusal ve Avrupa Birliği projelerinde araştırmacı olarak çalıştı. 2014-2016 yılları arasında ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde öğretim üyesi olarak görev yaptı. 2016 yılından beri yine ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde yarı zamanlı öğretim görevlisi olarak yer alan Dr. Arkin aynı zamanda kurucularından biri olduğu Arkin Yaratıcı Sanatlar ve Tasarım Üniversitesi'nin Mtevelli Heyeti Başkanlığı'nı da yapmaktadır. Dr. Sinan Arkin'in araştırma alanları arasında fizik, kimya ve ekolojiji birleştiren bütünlük modeller, iklim değişikliğinin deniz ekosistemleri üzerindeki etkisi ve uydu verileri ile sayısal modelleri birleştiren tahmin sistemleri yer almaktadır.

Dr. Sinan Ş. Arkin / Middle East Technical University / sinan.arkin[at]jims.metu.edu.tr / ORCID: 0000-0001-7805-4015

Dr. Sinan Arkin received his BA in Physics and Astronomy from the Johns Hopkins University. In 2005, he completed his MSc degree in Applied Mathematics at Imperial College London's Department of Mathematics. Receiving his doctorate from the same department in 2010, Dr. Arkin studied the dynamics of populations evolving within ecosystems and the relationships between productivity, efficiency and diversity exhibited by these populations. Between 2012 and 2014, he worked

as a researcher in several national and EU projects on the Black Sea as part of the METU Institute of Marine Sciences, where he worked later as a faculty member between 2014-2016. Serving as a part-time lecturer at METU Marine Sciences Institute since 2016, Dr. Arkin is also the Chairman of the Board of Trustees of the Arkin University of Creative Arts and Design (ARUCAD). Dr. Sinan Arkin's areas of research include integrated models combining physics, chemistry and ecology, the impact of climate change on marine ecosystems, and forecasting systems combining satellite data with numerical models.

**Prof. Dr. Süleyman Tuğrul / Orta Doğu Teknik Üniversitesi /
stugrul[at]metu.edu.tr/**

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7003951873>

(Doktora, ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü, Kimyasal Oşinografi, Türkiye – 1982). 1990 yılından günümüze ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde öğretim üyesidir. İnsan kaynaklı ötrofikasyonun Karadeniz'in üst (oksik-suboksik) tabaka kimyası ve redoks bağımlı kimyasal özelliklere uzun vadeli etkilerinin değerlendirilmesi, Kuzeydoğu Akdeniz'de ötrofikasyon sınıflandırma araçlarının adaptasyonu ve karşılaştırılması ve İskenderun ve Mersin Körfezleri dahil Kıyı Suları Türkiye Boğazları'nda Besin ve TOC değişim akışlarının değerlendirilmesi Dr. Tuğrul'un araştırma ilgi alanları arasında yer almaktadır. Birçok ulusal ve uluslararası projede yürütücü ve araştırmacı olarak yer alan Dr. Tuğrul'un 50'ye yakın makalesi bulunmaktadır. Makalelerine Google Akademik atf indeksine göre 3000'e yakın atf yapılmıştır.

**Prof. Dr. Süleyman Tuğrul / Middle East Technical University /
stugrul[at]metu.edu.tr /**

<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7003951873>

(PhD, METU Institute of Marine Sciences, Chemical Oceanography, Turkey – 1982) has been a faculty member at METU Institute of Marine Sciences since 1990. Assessment of long-term impacts of human-induced eutrophication on the Black Sea upper (oxic-suboxic) layer chemistry and redox-dependent chemical features, adaptation and comparison of eutrophication classification tools in the NE Mediterranean and Coastal Waters including the Iskenderun and Mersin Bays Assessment of nutrient and TOC exchange fluxes in the Turkish Straits System are among his research interests. He has been involved in many national and international projects as coordinator and researcher. He published nearly 50 articles. According to the Google Scholar citation index, his articles were cited 3000 times.

Prof. Dr. Barış Salihoglu / Orta Dogu Teknik Üniversitesi / [sabaris\[at\]metu.edu.tr](mailto:sabaris@metu.edu.tr) / ORCID: 0000-0002-7510-7713

(Doktora 2005 Old Dominion Üniversitesi, Kıyı Fiziksel Oşinografi Merkezi, ABD - 2005). Mayıs 2009 tarihinden günümüze ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde öğretim üyesidir ve 2016 yılından günümüze Enstitü Müdürü olarak görev yapmaktadır. Dr. Salihoglu, AB Ufuk2020 Black Sea CONNECT ve BRIDGE-BS projelerinde yürütücüsü, 5 AB projesinde ortaklık rolü üstlenmektedir. Dr. Salihoglu'nun araştırma ilgi alanları, deniz ekosistemlerinin matematiksel modellenmesinden tanımlayıcı fiziksel oşinografiye kadar çeşitli konuları içermektedir. Dr. Salihoglu'nun 50'in üzerinde makalesi bulunmaktadır. Makalelerine Google Akademik atıf indeksine göre 2000'e yakın atıf yapılmıştır.

Prof Dr. Baris Salihoglu / Middle East Technical University / [sabaris\[at\]metu.edu.tr](mailto:sabaris@metu.edu.tr) / ORCID: 0000-0002-7510-7713

(PhD Physical Oceanography, Centre for Coastal Physical Oceanography, Old Dominion University, VA, USA- 2005) has been a faculty member at METU Institute of Marine Sciences since May 2009 and has been serving as the Director of Institute since 2016. He is the coordinator of EC H2020 Black Sea CONNECT and BRIDGE-BS projects and he is a partner in 5 EU funded projects. His research interests cover a variety of topics, which range from mathematical modeling of marine ecosystems to descriptive physical oceanography. His main research focus is on exploring marine ecosystem and biogeochemical dynamics via the combination of modeling and data analyses. He works on the development of biogeochemical cycle models in the North Atlantic, Mediterranean and Black Sea. He published over 50 articles. According to the Google Scholar citation index, nearly 2000 citations have been made to his articles.

MARMARA DENİZİ'NİN GEÇİRDİĞİ BİYOJEOKİMYASAL DEĞİŞİMLER BAĞLAMINDA 2021 MÜSİLAJ PATLAMASI, GÜNCEL BASKILAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Özet

ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü'nün son 40 yılda R/V Bilim-2 gemisi ile topladığı veriler Marmara Denizi'nin organik madde ve besin tuzları açısından giderek zenginleştiği ve oksijen azlığı (hipoksia) çekmeye başladığını göstermiştir. Marmara Denizi'nin iki tabakalı sistemini oluşturan üst 25-30 metredeki Karadeniz ve altındaki Akdeniz kaynaklı sular, oşinografide haloklin adı verilen keskin bir tuzluluk geçişi ile ayrılmıştır. Haloklin altı sularda özellikle Doğu Marmara'da ciddi hipoksia görülmekte ve artan azot ve fosfor tuzu girdileri ile Marmara Denizi aşırı üretkenlik- ötrofikasyon baskısı çekmektedir. 2021 yılındaki müsilaj patlamasının da temel nedeni Marmara Denizi'nin bu yeni biyojeokimyasal durumu sayılmalıdır. ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü koordinasyonunda T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı desteği ile yürütülen MARMOD projesi (2017-devam) ile Marmara besin bütçesinde en büyük payın sıra ile yayılı yükler, noktasal deşarjlar ve Karadeniz suyu olduğu sonucuna varılmıştır. MARMOD modelleme sonuçlarına göre karasal girdilerde en az yüzde 40'lık bir azot-fosfor yükü azalımı ile sistem hipoksia eşiğini en az 5-6 yılda aşabilir. Bir başka deyişle, son derece kırılğan bir ekosistem durumuna gelen Marmara Denizi için geriye dönüş mümkündür. Bu nedenle beklenmeden tüm kaynaklarda en güçlü efor ile yük azaltım önlemleri alınmalı ve denize ek besin yükü getirecek her türlü yeni uygulamadan kaçınılmalıdır.

Anahtar Kelimeler:

Oşinografi, Biyojeokimya, Azot, Fosfor, Hipoksia, Ötrofikasyon, Kara-Deniz Etkileşimi.

THE SEA SNOT OUTBREAK IN THE SEA OF MARMARA: BIOGEOCHEMICAL TRANSFORMATIONS OF THE SEA, MODERN-DAY PRESSURES AND A ROADMAP FOR THE WAY FORWARD

Abstract

The Sea of Marmara is a two-layer marine system where a strong halocline at 25-30 m separates the low salinity Black Sea waters from the denser Mediterranean waters. Historical data sets of IMS-METU obtained by R/V Bilim-2 showed that surface waters of the Marmara Sea are highly enriched by organic matter and nutrients leading to deep water hypoxia. Hypoxia have been developing in the sub-halocline waters of the eastern Marmara Sea due to the respiration of the eutrophication-derived organic matter. The development of eutrophication is caused by the excessive nitrogen and phosphorus inputs which also represents the root of the problem leading to the 2021 mucilage outbreak. The results of the MARMOD Project led by METU, funded by Ministry of Environment and Urbanization, indicated that anthropogenic and natural nutrient sources adversely affects Marmara Sea marine ecosystem and the contribution of terrestrial nutrient inputs are much greater than the Black Sea surface inflows. Model results indicate that if the terrestrial nutrient (N, P) sources decrease by 40 percent, deep water hypoxia may shift to above-threshold conditions within the next 5-6 years. This effort is only possible with a holistic approach involving nutrient load reduction in all types of inputs to the sea.

Keywords:

Oşinografi, Biyojeokimya, Nitrogen, Phosphorus, Hypoxia, Eutrophication, Land-Sea İnteraction.

Deniz Ekosistemi Bağlamında Müsilaj

Deniz salyası, ya da bilimsel adı ile ‘müsilaj’, deniz yüzeyinde kısa zamanda görünür olarak ortaya çıkan, geniş alanları kaplayabilen ve jelatin yapıda bulunan madde birikimi olarak tanımlanabilir. Müsilajın oluşumunu tetikleyen birçok etken bulunmakla beraber ana neden ortamda azot-fosfor besin yükleri ile organik madde birikiminin artması ve bozunmanın normal hızların üzerine çıkması ile bozunma ürünlerinin birbirleri ile tutunarak, muhtemelen içerisinde biriken gazlar ile deniz yüzeyinde görünür biçimde geniş alanlar kaplamasıdır. Biyolojik kökenli bu oluşumların fitoplankton türlerinin salgıladığı hücre dışı sıvılar ile tetiklendiği bilinmektedir (Mackenzie vd., 2002). Bu haliyle aslında denizel ortamda organik madde havuzunun bir parçasıdır ve doğal kompozisyonu içerisinde eser miktarlarda bulunabilirler. Ancak Marmara Denizi gibi doğal dengesini yitirmiş deniz sistemlerinde müsilajın doğal döngüler dışında bir artış hızıyla oluşmaya başlaması beklenebilir (Polat-Beken vd., 2010).

Müsilaj gibi görünür şekilde geniş alanlarda köpük benzeri yapılar çeşitli okyanus kıyılarında zaman zaman tamamen doğal dinamikler içerisinde meydana gelebilmektedir. Ancak ötrofikasyona tabi kıyasal denizlerde müsilaj riski çok daha fazladır. Müsilaj daha önce Adriyatik Denizi’nde uzun yıllar boyunca gözlenmiş ve ancak insan kaynaklı karasal girdilerin kontrol altına alınması ile müsilaj riski azaltılabilmektedir (Vollenweider vd., 1998). Son yıllardaki değişim ile Marmara Denizi de Adriyatik gibi ötrofik dünya denizleri arasında yerini almış, müsilaj gibi ekstrem doğa olaylarına müsait hale gelmiştir. Marmara’da ilk defa 2007 yılında müsilaj patlaması kaydedilmiş ve bilimsel olarak çalışılmıştır (Tüfekçi vd., 2010). Bu ilk olaya göre daha geniş alanlarda ve şiddetli olarak kendini gösteren 2021 müsilaj patlaması sırasında R/V Bilim-2 araştırma gemisi ile toplanan örneklerden bir kısmı Şekil 1’de gösterilmiştir. Yoğun organik yapıda, fotosentetik canlıların ürettiği bu jel yapısı bu yazının yazıldığı Haziran 2021 sonu itibari ile, her zaman yüzeyle bulunmasa bile ilk 30 metrelik su kolonu esas alırsa Marmara’nın tamamına yayılmış durumdadır. Bu bölümde daha çok müsilaja kaynaklık eden çevresel gidişat özetlenecek ve bunu tersine çevirmeye yönelik çözüm önerileri ortaya konacaktır.

Marmara’da Müsilaja Sebebiyet Veren Çevresel Faktörler

Akdeniz ile Karadeniz arasındaki su değişimini sağlayan iki tabakalı Marmara Denizi, Çanakkale ve İstanbul Boğazları ile birlikte öşinografi literatüründe Türk Boğazlar Sistemi (TBS) olarak anılmaktadır (Şekil 2). Marmara’nın merkezinde olduğu TBS’deki iki tabakalı akıntı rejimi ile Karadeniz’in az tuzlu suları yüzeyden Ege’ye, Ege’nin daha tuzlu suları da boğazlardaki taban akıntısı ile Karadeniz’e taşınmaktadır. Marmara Denizi’nin iki tabakalı sistemini oluşturan üst 25-30 metredeki Karadeniz ve altındaki Ege Denizi kaynaklı sular, öşinog-

rafide haloklin adı verilen tuzluluk farkından kaynaklı keskin bir ara yüzey ile ayrılmıştır. Üst tabaka suları yaklaşık 230 km³ hacme sahiptir ve 4-5 ayda bir yenilenir. Alt tabaka suları ise yaklaşık 3378 km³ hacme sahiptir ve 6-7 yılda bir yenilenir (Beşiktepe vd., 1993; 1994). 2021 R/V Bilim-2 seferlerinde tüm Marmara baseninde müsilağın bu üst tabakaya sıkıştığı tespit edilmiş, derin su ağları ve deniz tabanı karot örneklerinden gözlemlendiği kadarı ile derin sulara haziran sonu itibari ile çökmediği görülmüştür.

Karadeniz'in kuzeybatı kıta sahanlığı, özellikle Tuna, Dinyeper ve Dinyester nehirleri başta olmak üzere bölgesel nehir sularının etkisi altındadır ve dolayısıyla bu bölgenin yüzey sularında birincil üretimin (N, P klorofil içerikli biyokütle; POM) yüksek olduğu bilinmektedir (Cociasu vd., 1997; Oğuz vd., 2008). Bu sular, güney yönlü siklonik genel akıntılarla güneybatı Karadeniz'e taşınır ve sonrasında boğaz yoluyla Marmara'ya ulaşmaktadır. Az tuzlu (genellikle 16.5-17.8) olan bu sular, fotosentez kaynaklı organik (C, N, P bileşenli) madde ve besin tuzlarınca oldukça zengindir. Geçmiş dönemlerde gerçekleştirilen çalışmalara göre, Tuna'nın değişen debisine, kıta sahanlığındaki mevsimsel karışımlara ve besin tuzlarının kıta sahanlığı sularındaki tüketim hızına bağlı olarak, Marmara'ya ulaşan az tuzlu sularının biyokimyasal özelliklerinde dikkate değer mevsimsel değişimler gözlenmiştir (Polat & Tuğrul, 1995). Ayrıca, Son 20-30 yıllık dönemde Tuna nehir suları hacim akıları ve taşıdığı organik ve inorganik madde yükünün azalma eğilimi içinde olduğu bölgede yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Buna rağmen ve Marmara bölgesinde aşırı artan nüfus ve sanayileşme nedeniyle Marmara Denizi'nde atık suların taşımış olduğu toplam azot (TN) ve fosfor (TP) yüklerinin Karadeniz'den gelen yüklere göre daha fazla olduğu son dönemlerde gerçekleştirilen çalışmalarda açıkça belirtilmiştir.

Marmara Denizi ise son yirmi yılda giderek artan antropojenik kirlilik yükü gir-dileri sonucu giderek oksijenini yitiren, bozunmuş bir ekosisteme dönüşmüştür. Acil olarak oksijen azalmasının hızı, nedenleri ve arka planda yürüten biyojeokimyasal çevrimlerin anlaşılmasına ihtiyaç vardır. ODTÜ-DBE'de yapılan son araştırmalar özellikle Marmara Denizi'nin doğusunda (Çımarcık Baseni, İzmit ve Gemlik Körfezleri) oksijen azlığının sürekli hale geldiği gözlemlenmiştir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı MARMOD projesi entegre veritabanı ile de ortaya çıkan tabloya göre 1980'lerin başında hipoksia eşiği olan 80 mikromolar ve üzeri çözünmüş oksijen içeren 30 m altı Marmara'nın derin suları artık hipoksi eşiğinin altında değerler içermektedir. Buna örnek olarak 2016 yılında R/V Bilim-2 araştırma gemisi ile elde edilen TBS üzerinde bir kesit Şekil 2'de verilmiştir.

Karadeniz üst akıntısından ve özellikle son yıllarda artan karasal kaynaklı gir-dilerden etkilenen Marmara Denizi'nde su kolonu ve sedimanı biyojeokimyasal özelliklerinin değişimi ve güneybatı Karadeniz'de eksik olan güncel kış dönemi verisine katkıda bulunmak amacıyla Kasım-Aralık 2020 döneminde güneybatı Karadeniz ve Marmara Denizi'nde Şekil 4'te istasyon yerleri gösterilen alanlarda ODTÜ-DBE'ye ait araştırma gemisi R/V Bilim-2 ile saha çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada yerinde fiziksel ölçümler ve deniz suyu ve sediman ka-

rot örneklemeleri (çoklu karot örnekleyici, Oktopus-Kiel ile) yapılmıştır. Ayrıca, mevsimsel değişimlerin anlaşılması ve Marmara-Karadeniz bağlantısının araştırılması için Batı Karadeniz (İstanbul boğaz çıkışı) su kolonu ve sedimanı biyokimyasal döngülerin anlaşılması amacıyla Temmuz 2019 ve yine kış dönemini temsil eden Kasım-Aralık 2020 dönemlerinde saha çalışmaları gerçekleştirilmiş olup, deniz suyu ve sediman karot örnekleri alınmıştır. Şu an sonuçları analiz edilmekte olan bu verilere göre Marmara Denizi'nin karasal kaynaklı girdilerin hem su kolonuna hem de sediman tabakasını olumsuz şekilde etkilediği açıkça görülmektedir. Ötrofik ve suboksik/anoksik koşulların geliştiği Marmara Denizi'nden elde edilen sediman gözenek suyu besin tuzu değerleri oligotrofik (verimsiz) özellikte doğu Akdeniz gözenek suyu değerlerine göre en az 10 kat daha yüksektir ve özellikle reaktif fosfat, silikat ve amonyak bakımından ciddi bir kaynaktır. Bu durum, karasal kaynaklı kirlilik yüklerine ek olarak Marmara ekosisteminin iç dinamiğiyle de (örneğin, sediman-su arayüzeyi besin tuzu akıları) ilgili çalışmaların önemini vurgulamaktadır.

Güncel Faktörler

İstanbul boğazının yaklaşık 25 metrelik üst tabakası üretken Batı Karadeniz sularını Marmara Denizi'ne taşımaktadır (Beşiktepe vd., 1993; 1994). Bu sebeple Karadeniz suyu ve onunla birlikte Tuna Nehri ile orta Avrupa'dan gelen besin yükü özellikle Marmara Denizi'nin besin bütçesinde önemli bir yer tutmaktadır (Tuğrul & Polat, 1995). Özellikle 1950'lerden başlayarak artan azot kullanımı sebebiyle Tuna Nehri kaynaklı besin taşımını 10 kata kadar artmış (Şekil 3) ve bu durum hem Karadeniz hem de Marmara Denizi'nin yaşadığı ötrofikasyon probleminin öne çıkan nedenlerinden biri olmuştur (Kroiss vd., 2003; Ludwig vd., 2009). 1990'lar ile Avrupa çapında hayata geçirilen önlemler ile bu besin taşımını artışı durmuş ve azalma gözlenmeye başlanmıştır (Kroiss vd., 2003; Ludwig vd., 2009). Ancak bu değişimin aksine Marmara Denizi'ne boşalan havzalarda toplam insan nüfus ve faaliyetlerinde büyük bir artış yaşanmıştır. Bir iç deniz olan Marmara, çevresindeki kara alanları ile çok güçlü bir bağa sahiptir ve bu nüfus ve insan faaliyetindeki güçlü artış sonucunda hem noktasal deşarjlar hem de yeraltı ve yer üstü suları ile besin taşımını Marmara Denizi besin bütçesinin en önemli ögesi haline gelmişlerdir.

Marmara Denizi ve çevresindeki noktasal deşarjlar ile birlikte yayılı yükler ile ilgili kapsamlı gözlemlerin yokluğu sebebiyle bu yüklerin Marmara Denizi besin bütçesindeki yerini yüksek hassasiyet ile kestirmek mümkün değildir. Örneğin MARMOD projesi kapsamında yapılan çalışmalar Susurluk Havzasında yürütülen izleme çalışmalarının sonuçları ile elde edilen yayılı yüklerin miktarı, küresel olarak meralardan beklenen ortalama besin salımları (Lu vd., 2017) ile benzeştiğini ortaya koymaktadır. İlgili havzadaki yoğun tarımsal faaliyet ve insan nüfusu dikkate alındığında, bu havzadan Marmara Denizi'ne ulaşan besin yüklerinin elimizdeki gözlemlerden çok daha yüksek olması beklenmelidir. Bu durum güncel besin yükü kestirimlerin düşük tahmin niteliğinde olduğuna işaret

etmektedir. Bu durumun temel sebebi aylık ay da mevsimsel yapılan gözlemlerin yüzey ve yeraltı suyunda anlık olaylar ile (yağmur ve sel) oluşan besin taşımını temsil edememesidir. Yapılan pek çok çalışma yerüstü sularında besin tuzu taşımınlarının yarısına yakınının hatta daha fazlasının anlık olaylarla oluştuğuna işaret etmektedir (Hobbie vd., 2017; Bowes vd., 2009). Bu nedenle özellikle güney havzalardan yoğun bir yayılı yük geldiği dikkate alınmalıdır. Benzer şekilde Marmara Denizi'ne deşarj edilen kent ve sanayi kaynaklı noktasal yüklerin verimli arıtılmadığı, besin yükü gözlemlerinin kapsam ve örnekleme aralığı yetersizliği sebebiyle tüm bütçeyi yansıtmadığı bilinmektedir. Ayrıca, boğazlar sisteminin alt suyuna bırakılan kentsel ve sanayi atıklarının yüksek verimlilik ile arıtılmadığı ve hatta boğaz alt suyuna verilen deşarjların önemli bir oranının boğaz üst suyuna karışarak Marmara Denizi'ne geri döndüğü bilinmektedir. Tüm bu kaynakların Marmara Denizi'nin toplam besin bütçesindeki yeri yüksek bir hassasiyet ile kestirilemese de her birinin toplam bütçe içerisinde önemli bir yer tuttuğu açıktır. Güncel olarak Marmara besin bütçesinde en büyük payın sıra ile yayılı yükler, noktasal deşarjlar ve Karadeniz suyu olması olasıdır.

Marmara Denizi Ekosistem Yönetimi İçin Öncelikler

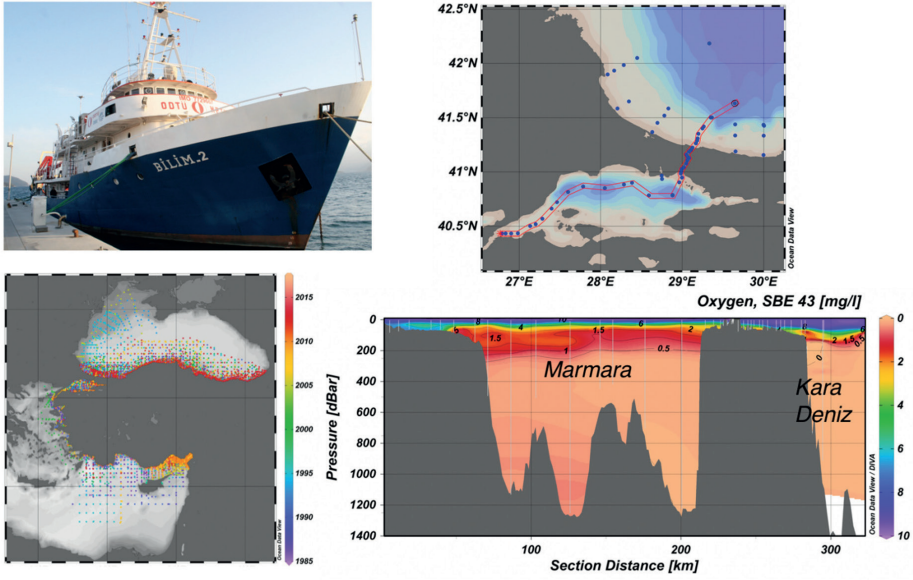
- Marmara Denizi uzun bir süredir ötrofikasyon baskısı sonucu son derece kırılabilir bir ekosistem durumuna gelmiştir. Bu nedenle önceliklendirme beklenmeden tüm besin kaynaklarında en güçlü efor ile azaltım önlemleri alınmalıdır.
- Sucul ekosistemlerde baskılar sonucu eşik değerleri aşıldığında ekosistem durumu yeni bir yapıya sıçrayabilir. Ekosistemlerde bu yeni yapıdan geri dönüş doğrusal bir şekilde gerçekleşmeyebilir ve eski yapıya atlayabilmek için eşik değerlerin çok daha altına inmek gerekebilir. Marmara'da gözlenen müsülaj gibi deşişimler de bu şekilde bir eşiğin aşıldığına işaret ediyor olabilir. Bu nedenle Marmara Denizi'nin iyi ekolojik durumuna geri bir atlama yapabilmek için besin tuzu seviyelerinin eşik değerinin çok daha altına kadar düşürülmesi gerekebileceği akılda tutulmalıdır.
- İklim deşişimi ile sucul ekosistemlerde ötrofikasyon yönetiminin zorlaşacağı öngörülmektedir. Çağımızda yaşanması öngörülen iklim deşişimleri ile Marmara Denizi'nde besin tuzu yükünün azaltılması için ek zorluklar yaşanacağı akılda tutulmalıdır.
- Bu nedenle Marmara Denizi'ne ek besin yükü getirecek her türlü uygulamadan kaçınılmalıdır.
- Marmara çevresindeki pek çok kentsel alandan noktasal deşarj ile çok sayıda atık su Marmara Denizi'ne ulaşmaktadır. Bu nedenle fırsatın izin verebildiği tüm deşarjların deniz ortamından alınması ve mümkün olmayan durumlarda bu atık suların en yüksek seviye artırabilmesi önemli bir önceliktir.

- Susurluk havzası gibi yayılı yüklerin önemli olduğu alanlarda tarım ve atık depolama alanlarında iyi uygulamalar teşvik edilerek uzun vadeli önlemlerin alınması gerekmektedir. Ancak aynı zamanda akarsu boylarında tampon bölgelerin ilan edilmesi ve bu bölgelerde akarsu bitki örtüsünün korunması ile besin tutulumu yapılarak ivedilikle önlem alınması önemli bir önceliktir.
- Yapılan son modelleme çalışmaları Marmara Denizi'ne ulaşan besin yüklerinde %40 civarında bir azaltım yapılması ile Marmara Denizi oksijen koşullarında beş sene gibi bir zaman aralığında belirgin iyileşme olacağına işaret etmektedir.

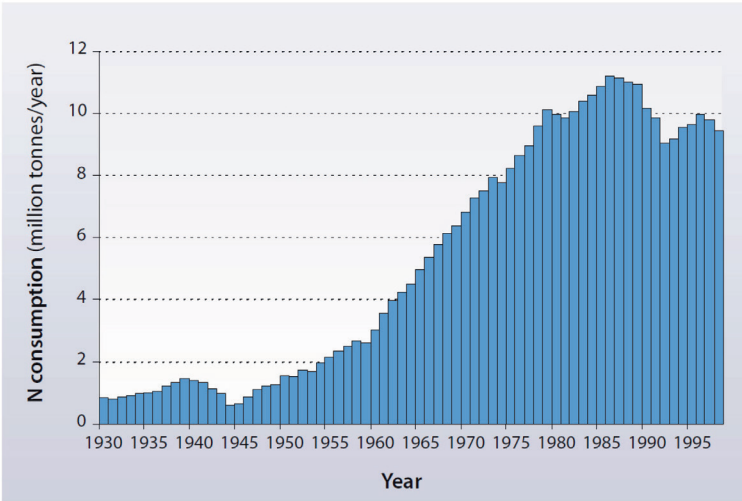
Sonuç olarak, son derece kırılğan bir ekosistem durumuna gelen Marmara Denizi için geriye dönüş mümkündür. Ancak bunun tek yolu önceliklendirme beklenmeden tüm kaynaklarda bir an önce yük azaltım önlemleri almak ve denize yeni besin tuzu girişi verebilecek projeleri gözden geçirmek olacaktır.



Şekil 1. R/V Bilim 2021 Haziran Marmara seferlerinde örneklenmiş müsilağ katmanları.

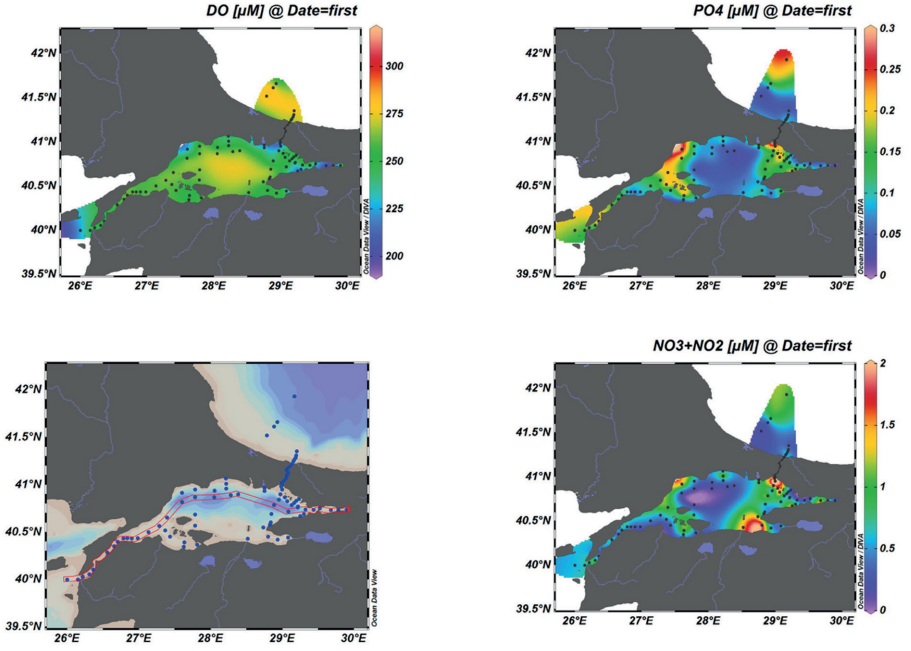


Şekil 2. R/V Bilim gemisi ve 1982 yılından beri Türkiye denizlerinde veri topladığı ölçüm noktaları. Ayrıca 2016 Aralık R/V Bilim Marmara ve Karadeniz seferlerinden Marmara Denizi ve Boğazlar Sistemini gösterir kesit de Türk Boğazlar Sistemi'ndeki oksijen dağılımını göstermektedir.



· http://www.unep.org/dewa/giwa/areas/reports/r22/giwa_eutrophication_in_blacksea.pdf

Şekil 3. Karadeniz'e Tuna Nehri üzerinden gelen yoğun besin kirliliği hem Karadeniz hem de Marmara ekosisteminde büyük bir ötrofikasyon problemine yol açmıştır. Ancak 2000'li yıllardan beri alınan önlemler Tuna Nehri kaynaklı besin kirliliğinin artmasını engellemiş ve düşüş gözlenmiştir. Benzer veri setlerine Marmara havzalarında da ihtiyaç duyulacaktır.



Şekil 4. 2020 Kasım R/V Bilim Marmara Denizi seferi sırasında belirlenen yüzey suyu besin tuzu dağılımları. Güney baseninde yükselen $\text{NO}_x\text{-N}$ değerleri tarımsal besin yüküne ve kuzey basende yükselen PO_4 değerleri kentsel ve sanayi besin yüklerine işaret etmektedir.

Kaynakça / References

- Beşiktepe, Ş., Özsoy, E., Ünlüata, Ü., (1993). Filling of the Marmara Sea by the Dardanelles Lower Layer Inflow. *Deep-Sea Research* 40, 1815-1838.
- Beşiktepe, Ş.T., Sur, H.İ., Özsoy, E., Latif, M.A., Oğuz, T., Ünlüata, Ü., (1994). The circulation and hydrography of the Marmara Sea. *Progress in Oceanography*, 34, 285-334.
- Bowes, M. J., Smith, J. T., & Neal, C. (2009). The value of high-resolution nutrient monitoring: A case study of the River Frome, Dorset, UK. *Journal of Hydrology*, 378(1-2), 82-96.
- Cociasu, A., Diaconu, V., Teren, L., Nae, I., Popa, L., Dorogan, L., Malciu., V. (1997). *Nutrient stocks on the Western shelf of the Black Sea in the last three decades*. In Özsoy, E., Mikaelyan, A. (Ed.). Sensitivity to change: Black Sea, Baltic and North Sea, NATO ASI Series, 49-63 Kluwer Academic Publishers.
- Hobbie, S. E., Finlay, J. C., Janke, B. D., Nidzgorski, D. A., Millet, D. B., Baker, L. A. (2017). Contrasting nitrogen and phosphorus budgets in urban watersheds and implications for managing urban water pollution (vol 114, pg 4177, 2017). *PNAS*, 114(20), E4116-E4116.
- Kroiss., Helmut, Zessner., Matthias, & Lampert, Cristoph. (2003). Nutrient Management in the Danube Basin and Its Impact on the Black Sea. *Journal of Coastal Research*, 19(4), 898-906.
- Ludwig, W., Dumont, E., Meybeck, M., & Heussner, S. (2009). River discharges of water and nutrients to the Mediterranean and Black Sea: major drivers for ecosystem changes during past and future decades?. *Progress in oceanography*, 80(3-4), 199-217.
- MacKenzie, L., Sims, I., Beuzenberg, V., Gillespie, P. (2002). Mass accumulation of mucilage caused by dinoflagellate polysaccharide exudates in Tasmanian Bay, New Zealand. *Harmful Algae* 1, 69-83.
- Oğuz, T., Salihoglu, B., Fach, B., (2008). A coupled plankton-anchovy population dynamics model assessing nonlinear controls of anchovy and gelatinous biomass in the Black Sea. *Marine Ecology Progress Series* 369, 229-256.
- Polat, Ç., Tuğrul, S., Çoban, Y. (1998). Elemental composition of seston and nutrient dynamics in the Sea of Marmara. *Hydrobiologia* 363, 157-167.
- Polat-Beken Ç., Tüfekçi V., Sözer B., Yıldız E., Mantıkcı M., Atabay H., Telli-Karakoç F., Hocaoglu S., Ediger D., Tölm L., Olgun A. (2010). Deniz Ortamında Musilaj/mukus Oluşumunu Denetleyen Faktörlerin Laboratuvar Koşullarında İncelenmesi. Proje No: 108Y083 TÜBİTAK, ULAKBİM web sitesinden erişilen adres: <https://app.trdizin.gov.tr/proje/TVRJD016UTA/deniz-ortamin-da-musilaj-mukus-olusumunu-denetleyen-faktorlerin-labaratuvar-kosullarinda-incelemesi>
- Tuğrul, S., Polat, Ç. (1995). Quantitative comparison of the influxes of nutrients and organic carbon into the Sea of Marmara both from anthropogenic sources and from the Black Sea. *Water Science and Technology* 32(2), 115-121.
- Vollenweider, R. A., Giovanardi, F., Montanari, G., Rinaldi, A. (1998). Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea. Proposal for a trophic scale, turbidity and a generalized water quality index. *Environmetrics*, 9, 329-357.