

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE TÜRKİYE DENİZLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

CLIMATE CHANGE
AND ITS EFFECTS ON
TURKISH SEAS

EDİTÖRLER
BARIŞ SALİHOĞLU
BAYRAM ÖZTÜRK



ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Yayın no: 60

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE TÜRKİYE DENİZLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

CLIMATE CHANGE AND ITS EFFECTS ON TURKISH SEAS

EDİTÖRLER

Bariş SALİHOĞLU, Bayram ÖZTÜRK

Yayın No: 60

İstanbul 2021



ORTA DOĞU TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TÜRK
DENİZ
ARAŞTIRMALARI
VAKFI

Bu kitabın bütün hakları Türk Deniz Araştırmaları Vakfı'na aittir. İzinsiz basılamaz, çoğaltılamaz. Kitapta bulunan makalelerin bilimsel sorumluluğu yazarlarına aittir.

All rights are reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means without the prior permission from the Turkish Marine Research Foundation.

Copyright © Türk Deniz Araştırmaları Vakfı

ISBN: 978-975-8825-52-3

Kapak fotoğrafı: visibleearth.nasa.gov, ön kapak: doğu Karadeniz, arka kapak: batı Karadeniz

Kaynak Gösterme: Salihoğlu, B., Öztürk, B. (Ed.) 2021. İklim Değişikliği ve Türkiye Denizleri Üzerine Etkileri. Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV) Yayın no: 60, İstanbul, Türkiye, 266s.

Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV)

P. K. 10, Beykoz 34820 / İstanbul, TÜRKİYE

Tel: 0 216 424 07 72, Faks: 0 216 424 07 71

tudav@tudav.org

www.tudav.org



[/tudav](https://www.facebook.com/tudav)



[/TudavTudav](https://twitter.com/TudavTudav)



[/TÜDAV](https://www.youtube.com/TUDAV)



[/turkdenizarastirmalarivakfi](https://www.instagram.com/turkdenizarastirmalarivakfi)

İÇİNDEKİLER

Önsöz	v
İklim Değişikliği, Ekosistem Servisleri ve Bölgesel Yönetim Stratejileri	
Barış Salihoğlu, Ezgi Şahin Yücel, Valeria Ibelllo, Mustafa Yücel.....	1
Karadeniz Deniz Yüzey Sıcaklık Artışları: Uydu Gözlemleriyle Güncel Trendler Üzerine Bir Değerlendirme	
Tülay Çokaçar	24
Güney Karadeniz Kıyıları Deniz Suyu Yüzey Sıcaklığının Uzun Dönemli Değişimi	
Ertuğrul Ağırbaş, Abdullah Metin Çakıroğlu.....	33
İstanbul Boğazı ve Marmara Denizi'nde İklim Değişikliği Göstergeleri	
Hüsne Altıok, Kubilay Dökümcü, Sabri Mutlu, İlayda Destan Öztürk, Dilek Ediger, Ahsen Yüksek	48
Kuzey Ege Denizi Son 46 Yıllık Deniz Suyu Sıcaklığı Değişimleri (1972-2018)	
Onur Gönülal.....	63
Türkiye Denizleri'nde İklim Değişikliğinin İzlenmesinde Belirteç (Makrodeskriptör) Türler Üzerine Öneriler	
Bayram Öztürk	70
Denizlerdeki Isınmanın Plankton Solunumu ve Birincil Üretime Etkisi	
Mustafa Mantıkcı	79
Antarktika Karasal Vejetasyonunun En Baskın Elemanları: Likenleşmiş Mantarlar ve İklim Değişikliğinin İzlenmesinde Kullanılmaları	
Mehmet Gökhan Halıcı, Merve Kahraman	86
Deniz Çayırları ve İklim Değişikliği	
Barış Akçalı, Onur Karayalı.....	100
İklim Değişikliğinin Türkiye Deniz Bahçalarının Dağılımları Üzerindeki Etkileri	
Murat Bilecenoğlu.....	114
İklim Değişikliği ve Deniz Memelilerine Etkisi	
Arda M. Tonay, Beril Gül	120

Deniz Kaplumbağaları Koruma Çalışmalarını İklim Değişikliği Nasıl Değiştirecek? Yakup Kaska	125
Küresel Isınmanın Su Ürünlerine Etkileri Sedat V. Yerli, Uğur Fidansoy	138
İklim Değişikliğinin Türkiye Kıyısız Sulak Alanlarına Etkileri M. Tahir Alp, N. Soner Börekçi	147
İklim Değişikliğinin İstilacı Yabancı Türlerin Başarısına Etkisi Arzu Karahan	161
Doğu Akdeniz Balık Stoklarında Son 40 Yıllık Süreçte İklim Etkisine Bağlı Gözlenen Değişimler ve İleriye Yönelik Uyum Önerileri Ali Cemal Gücü	171
Derin Denizler ve İklim Değişikliğinin Küresel Yönetişimi ve Strateji Önerileri Betül Gökkır	180
İklim Değişiminin Kıyılara Etkileri ve Kıyısız Adaptasyon Devrim Tezcan	192
Avrupa'da Deniz İzleme Çalışmaları'nın İklim Değişiminin Etkilerine Göre Düzenlenmesi Evrin Kalkan Tezcan	199
Denizel İklim Değişikliği Çalışmalarında Mezokozm Uygulamaları Serdar Aksan, Halim Aytekin Ergül	208
Okyanus Asitleşmesinin Makroalgler Üzerine Etkileri Gamze Yıldız	215
Denizlerde İklim Değişikliği ve Belediyelerin Rolü Elif Özgür Özbek	227
Denizlerde İklim Değişikliğine Bağlı Sağlık Sorunları Selin Gamze Sümen	239
Türkiye Kıyılarında Deniz Seviyesinin Yükselmesinin Kültürel Mirasa Potansiyel Etkileri A. Ege Yıldırım, C. İrem Gençler	245
Plastik Kirliliği ve İklim Değişikliği Ülgen Aytan	256

ÖNSÖZ

İklim Değişikliği ve Denizlerimiz Çalıştayı 15 Ocak 2021 tarihinde çevrimiçi yapılan bir etkinlik oldu. Yüksek ilgi gören bu etkinliğe 300'e yakın katılımcı kayıt yaptırdı. Uzun zamandır planladığımız çalıştayı ülkemizin iki güzide kuruluşu TÜDAV ve ODTÜ Denizi Bilimleri Enstitüsü olarak birlikte yapmaktan büyük bir onur duyduk. Bu tür işbirliklerinin ve sinerji oluşturulmasının ülkemiz için örnek olmasını diliyoruz. Kitabı Birleşmiş Milletler Okyanus on yılı (UN Ocean Decade, 2021-2030) dönemini kapsayan süreçte yayınlamamızı da bir etkinlik olarak önemsiyoruz.

Çalıştay, katılan ve sunum yapan uzmanların kalitesi ve bilimsel yetkinlikleri ile öne çıktı. Değişik disiplinlerden uzmanlar birbirlerini tanıdılar. Yeni işbirliği kapıları açıldı. İklim değişikliği son elli yıldır tüm bilim dünyasında en çok incelenen ve ülkemizde de ilgi çeken bilimsel konular arasında yer alır. Ancak, şimdiye dek bu konu Türkiye denizlerindeki iklim değişikliği, eğilimler, senaryolar ve etkiler gibi çok yönlü ve hak ettiği şekilde incelenmedi.

Bu çalıştay; deniz-iklim etkileşimiyle ilgili iyi bir başlangıç olmasına karşın, konunun çok yönlü olarak araştırılması, tedbir alınması gibi konularda daha alınacak çok yolumuz var. Bu kitabın e-kitap olarak basılarak tartışılan konuların geniş kitlelere yayılması, konunun öğrenilmesi ve ilgi duyanlar için kaynak olarak kullanılması için ücretsiz erişim sağlanmıştır. Kitap ilk elden ülkemiz denizleri ve iklim değişikliği konusunda çok değerli bilgileri içermektedir. Bu nedenle araştırmacılar, karar vericiler ve denizciler için bilimsel altlık hatta kaynak kitap niteliğindedir.

Nihai hedefimiz ülkemiz denizlerinde bir izleme ağının kurularak, iklim değişikliği konusunda denizlerimizde olabilecek ve deniz ekosistemini, ekonomimizi, sosyal hayatımızı ve güvenliğimizi etkileyecek doğa olaylarının tahmin edilerek önceden tedbir alınmasının sağlanmasıdır. Bunun için araştırma ve ilgili devlet kurumlarının birlikte çalışması kaçınılmazdır.

Kitabımızı Türk bilim dünyasında yeri doldurulamayacak iki mümtaz şahsiyete ithaf ediyoruz. Bunların ilki ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde iklim konusunda önemli araştırmalar yapmış ve erken ve üretken bir yaşta ebediyete göçmüş meslektaşımız Prof. Dr. Temel OĞUZ'dur, İkincisiyse 2020 yılında rahmetli olan TÜDAV kurucularından hocaların hocası ve örnek bilim insanı Prof. Dr. Kasım Cemal GÜVEN'dir. İki mümtaz şahsiyetin anılarının önünde tazimle eğiliyoruz.

Son olarak kitaba katkı veren tüm uzmanlara, kitabın toparlanmasına emekleri geçen TÜDAV personeli Sayın Deniz Konaklı ve Sayın Zeynep Gülenç ile ODTÜ'den Sayın Ezgi Şahin'e de teşekkür etmek bizim için zevkli bir görevdir.

Prof. Dr. Barış SALİHOĞLU ve Prof. Dr. Bayram ÖZTÜRK
30 Mart 2021

İklim Değişikliği, Ekosistem Servisleri ve Bölgesel Yönetim Stratejileri

Barış SALİHOĞLU*, Ezgi ŞAHİN YÜCEL, Valeria IBELLO, Mustafa YÜCEL

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli, Mersin, Türkiye
*baris@ims.metu.edu.tr

Özet

Ülkemizin içerisinde yer aldığı Akdeniz ve Karadeniz Havzaları, küresel iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek, hassas bölgeler arasında yer alır. Akdeniz ve Karadeniz’de atmosferdeki değişimlere paralel olarak dünya ortalamasının üstünde yüzey suyu sıcaklık değişimleri ve ayrıca deniz seviyesi artışları ve bu havzalarda bölgesel kuraklıklar görölmektedir. İklim değişimi sadece deniz yüzeyini değil aynı zamanda derin denizleri de etkilemektedir. Bu değişimlerin etkileri deniz ekosistemleri üzerinde de gözlemlenmektedir. Özellikle istilacı türlerin ve okyanus asitlenmesinin etkileri her iki havzada da görölmektedir. Bu değişiklikler ayrıca ekosistem servislerini de etkilemektedir. Bölgesel yönetim stratejileri iklim değişikliğini farklı şekillerde ele almaktadır ve iklim değişikliğine adaptasyon ve iklim değişikliğini azaltmak için çeşitli iklim politikaları geliştirilmektedir. Bu çalışma ile bu kilit konularda genel bir değerlendirme sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, ekosistem servisleri, bölgesel yönetim stratejisi, strateji planı

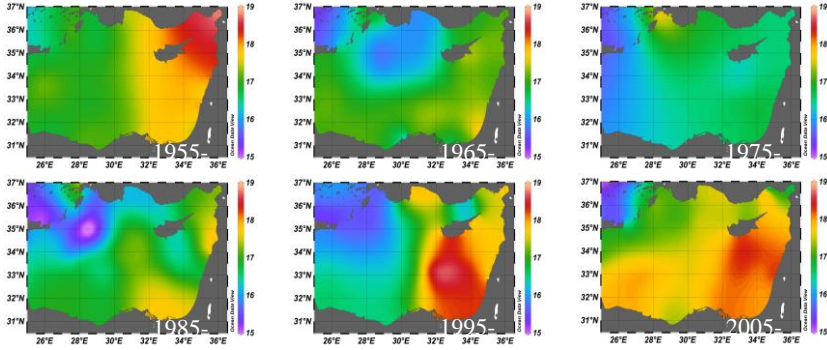
İklim değişikliğinin Akdeniz ve Karadeniz Havzasındaki durumu

Akdeniz

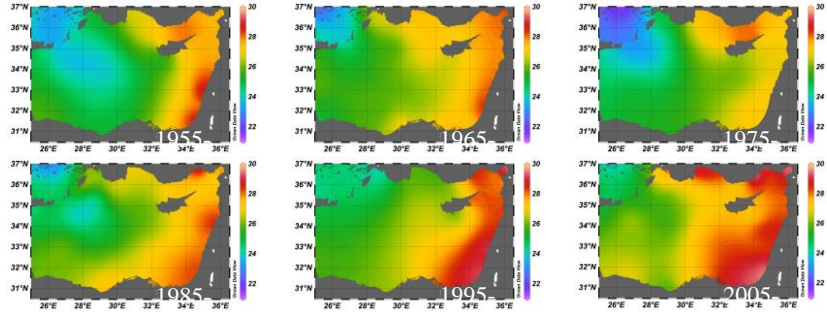
Ülkemizin içerisinde yer aldığı Akdeniz Havzası, küresel iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek, hassas bölgelerden birisidir. İklim değişikliğinin küresel ölçekte etkilerine baktığımız zaman Akdeniz’de gözlenecek sıcaklık artışının genelin üzerinde olduğunuz görüyoruz. Akdeniz havzasındaki ortalama sıcaklık, küresel ortalamadan 0,4°C daha fazla olmak üzere, sanayi öncesi dönemden bu yana şimdiden yaklaşık 1,4°C artış göstermiştir. Son yirmi yılda ise Akdeniz’de deniz seviyesi 6 cm yükselmiş ve deniz suyu asitliği önemli ölçüde artmıştır (Cramer ve diğ. 2018).

Akdeniz bölgesinde gelecekteki sıcaklık artışının küresel oranları %25 aşması, özellikle küresel ortalamadan %40 daha yüksek bir hızda yaz sıcaklık artışı ile birlikte küresel oranları aşması beklenmektedir (Lionello ve Scarascia 2018). 1,5°C’lik bir küresel sıcaklık artışı için bile gündüz maksimumda 2,2°C’lik bir artış gözlenebilir. 2°C’lik küresel atmosferik sıcaklık artışına muhtemelen yaz yağışlarında Türkiye %30’a varan azalma eşlik edecektir (Vautard ve diğ. 2014).

Akdeniz bölgesindeki ortalama sıcaklık, şimdiden küresel ortalamanın $0,4^{\circ}\text{C}$ üzerinde artış gösterirken deniz yüzeyi sıcaklıklarında özellikle bizim bölgemizde ciddi sıcaklık artışı gözlenmektedir (Şekil 1, 2, 3). Son 38 yılda Akdeniz’de yer yer 2°C ’ye yaklaşan artışlar olmuştur. Doğu Akdeniz’de sıcaklık artışı çok belirgin gözlenirken Ege Denizi’ne doğru bu artışlar daha az olmakla beraber yine belirgin şekilde hissedilmektedir (Şekil 1, 2; Pastor ve diğ. 2020).



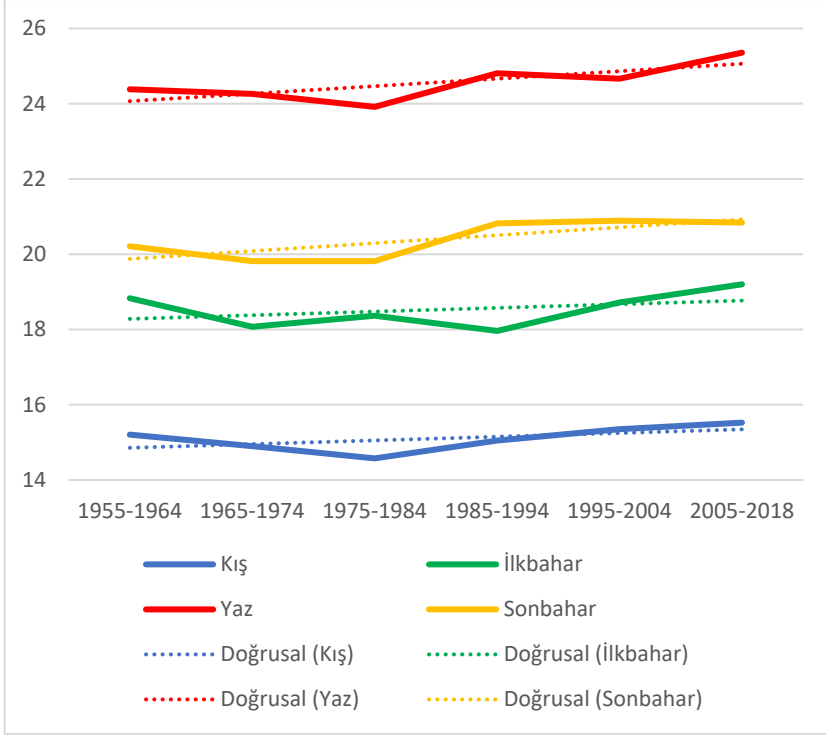
Şekil 1. Doğu Akdeniz’de 1955-2018 döneminde 60 yılda kış yüzey sıcaklıklarının değişimi (Ocak, Şubat, Mart) Doğu Akdeniz için rakamlar ilgili PIDoc’ta mevcut değildir, Climatology veri setinden üretilmiştir (Simoncelli ve diğ. 2020a, b).



Şekil 2. Doğu Akdeniz’de 1955-2018 döneminde 60 yılda yaz yüzey sıcaklıklarının değişimi (Temmuz, Ağustos, Eylül) Doğu Akdeniz için rakamlar ilgili PIDoc’ta mevcut değildir, Climatology veri setinden üretilmiştir (Simoncelli ve diğ. 2020a, b).

İklim değişikliğinin bir diğer etkisi de bazı bölgelerde gözlenen kuraklıktır. Yunanistan ve Türkiye’de kişi başına su miktarı, 2030’da ilk kez $1.000 \text{ m}^3 \text{ yıl}^{-1}$ ’in (şiddetli su stresi için genel olarak kabul edilen eşik) altına düşebilir. (Ludwig ve diğ. 2010). Göller ve rezervuarlardaki su seviyeleri muhtemelen düşecektir. Örneğin, Türkiye’nin en büyük Akdeniz gölü olan Beyşehir, çıkış rejimi değiştirilmezse 2040’larda kuruyabilir (Bucak ve diğ. 2017). Sucul ekosistemlerin sağlıklı bir şekilde işleyişini sağlamak için çevresel akış gereksinimlerini karşılamının önemi, bu sistemlerde belirli miktarlarda su tutulmasını gerektirecek

ve bu da insan kullanımı için erişilebilirliği daha da sınırlayacaktır (Hermoso ve Clavero 2011).



Şekil 3. Üst 10 m. tabakada tüm Doğu Akdeniz havzasının sıcaklık değişimi (Simoncelli ve diğ. 2020a, b).

İklim değişikliği, deniz ve kıyı ekosistemlerinin yapısını ve işlevini büyük ölçüde değiştirmektedir. Çeşitli yerel türlerin (balıklar, kabuklular ve ekinodermiler dahil) coğrafi dağılımındaki değişimler, sıcaklık artış eğilimleri ile ilişkilendirilmektedir (CIESM 2008; Azzurro ve diğ. 2011; Lloret ve diğ. 2015; Parravicini ve diğ. 2015). Sıcak iklimleri tercih eden türler kuzeye doğru hareket etmekte, kolonileşmekte ve yeni alanlarda kalıcı popülasyonlar oluşturmaktadır – bazı durumlarda bu birkaç yıl içerisinde gerçekleşmektedir. Bu arada, kuzey okyanus bölgelerinde gerçekleşen ısınma nedeniyle soğuk iklimi tercih eden türler için uygun habitatlar azalmakta ve bu türlerin bolluğunun önemli ölçüde azalmasına ve hatta yerel türlerin neslinin tükenmesine neden olmaktadır (Chevaldonné ve Lejeune 2003; Azzurro ve diğ. 2011; Milazzo ve diğ. 2016). Süveyş Kanalı'nın genişlemesi ve Leseptiyen türlerin gemilerin balast suyu ile taşınması durumunun daha kötü hale gelmesine neden olmuştur. Ekosistem işleyişi üzerindeki tür kompozisyonunda gerçekleşen değişikliklerin daha geniş sonuçları belirsiz olmakla birlikte türler arası etkileşimler (ör. Rekabet), halihazırda o

bölgede yaşayan yerli türlerin habitat kullanımında değişikliklere neden olmaktadır (Milazzo ve diğ. 2016).

Akdeniz'de bugüne kadar 700'den fazla yerli olmayan deniz bitkisi ve hayvan türü kaydedilmiştir (Galil ve diğ. 2018), bunların çoğu daha sıcak koşullarda avantajlı hale gelmektedir (Azzurro ve diğ. 2011; Marbà ve diğ. 2015). Bu türlerin %50'sinden fazlası Süveyş Kanalı aracılığı ile Akdeniz'e girmiştir. Doğu Akdeniz, yerli olmayan, Lesepsiyen türler nedeniyle en şiddetli çevresel etkinin görüldüğü bölgedir. Önümüzdeki on yıllarda, daha tropikal yabancı türlerin tüm Akdeniz'i kolonileştirmek için uygun çevresel koşulları elde etmesi ve bazı bölgelerde zaten gözlemlenen ekolojik sonuçları yaygınlaştırması beklenmektedir (Vergés ve diğ. 2014).

Derin denizler, büyük miktarda ısı ve CO₂ absorbe etmekte ve böylece iklim değişikliğine karşı kritik bir tampon görevi görmektedir. Ancak kırılğan ekosistemler; sıcaklık artışı, okyanus asitlenmesi, deoksijenasyon ve değişen besin ve organik girdilerinin etkisi altındadır. Ortaya çıkan değişiklikler derin denizlerdeki biyolojik çeşitliliği tehdit edebilir ve sağlıklı bir gezegen ve kilit okyanus servislerini tehlikeye atabilir. Oluşacak fiziksel ve ekolojik geri bildirimlerin anlaşılmasında büyük boşluklar bulunmaktadır (Levin ve Le Bris 2015).

Dünya üzerindeki yaşanabilir hacmin %90'ından fazlası derin, 200 metrenin altındaki, denizlerde. Bu geniş alandaki çeşitli ekosistemler, atmosferdeki ısıyı ve CO₂'yi absorbe ederek, iklim düzenlemesinde önemli bir rol oynar. Derin okyanus böylece sera etkisinin tamponlanmasına yardımcı olur, ancak bu süreçte daha sıcak, asidik ve daha az oksijenli hale gelmektedir (Mora ve diğ. 2013). Bu tür değişiklikler deniz ve okyanus üretkenliğini, biyolojik çeşitliliği ve canlı kaynakların sağlanmasını tehdit etmektedir (Thurber ve diğ. 2014). Derin deniz biyoçeşitliliğinin potansiyel kaybı, adaptasyon kapasitesini baskılayabilir ve gelecek nesiller için mevcut tür, gen ve biyomolekül kütüphanesini kısıtlayabilir (Armstrong ve diğ. 2012). Derin denizin düzenleme kapasitesi, yüzey ekosistemleri için besin maddelerini geri dönüştürürken iklim değişikliğini yavaşlatmaktadır. Böylece gıda tedarikini desteklemekte ve ekonomik ve toplumsal fayda sağlamaktadır (Mora ve diğ. 2013; Thurber ve diğ. 2014). Bununla beraber derin okyanus geniş ve erişimi pahalı olduğu için derin denizlerde yaşayan türlerin çoğu henüz tanımlanamamıştır (Ramirez-Llodra ve diğ. 2010). Derin denizlerdeki kırılğan ekosistemler, sıcaklık artışı, okyanus asitlenmesi, deoksijenasyon ve değiştirilmiş gıda girdilerinin birleşik streslerine maruz kalmaktadır. Ortaya çıkan değişiklikler derin denizlerdeki biyolojik çeşitliliği tehdit edebilir ve sağlıklı bir gezegen ve kilit okyanus servislerini tehlikeye atabilir. Ancak, oluşacak fiziksel ve ekolojik geri bildirimlerin anlaşılmasında büyük boşluklar bulunmaktadır. Derin okyanustaki iklim değişikliğinin etkilerini anlamak için, bu kırılğan ekosistemler üzerinde daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir (Levin ve Le Bris 2015).

Derin deniz türlerinin çoğu çok kararlı termal rejimlerde yaşar; 1°C veya daha düşük sıcaklık artışı stres yaratabilir veya daha derinlemesine veya enlemesine dağılımlarda kaymalara neden olabilir ve de türlerin etkileşimini değiştirebilir. Akdeniz’de, doğal olarak ılık derin sular (13°C-14°C), derin su mercan türlerini tolerans eşiğine yakın yerleştirir (Ramirez-Llodra ve diğ. 2010). Akdeniz gibi yarı kapalı okyanus havzalarında, ekosistem tepkileri hızlı ve tahmin edilmesi zor olabilmektedir, çünkü sıcaklık artışı yalnızca daha hızlı değil, aynı zamanda yoğun derin su konveksiyon olaylarının bir sonucu olarak süresizdir (Danovaro ve diğ. 2004; Adloff ve diğ. 2015).

İklim değişikliği ile beraber ele alınabilecek diğer bir konu okyanus asitlenmesidir (OA). Küresel iklim değişikliği araştırmalarında ele alınan temel bir soru, insan kaynaklı CO₂’nin atmosferden okyanus ve denizlere alınmasının yakın gelecekte denizel ekosistemleri nasıl etkileyeceğidir (Kleypas ve diğ. 2006; Bindoff ve diğ. 2007; Kroeker ve diğ. 2013). Model tahminleri, küresel karbonat sisteminin, yüzyılın sonunda kadar pH ve kalsiyum karbonat doygunluğunda ciddi bir düşüş ile önemli değişikliklere uğrayacağını göstermiştir (Orr ve diğ. 2005; Zeebe 2012). Kalsifiye organizmalar, okyanus asitlenmesi sürecinden olumsuz etkilenir ve bir dizi çalışma, çeşitli organizma grupları için okyanus asitlenmesine yanıt olarak kalsifikasyonun hassasiyetini göstermiştir (Kleypas 1999; Riebesell ve diğ. 2000; Moy ve diğ. 2009; Lischka ve diğ. 2011; Van de Waal 2013). Okyanus asitlenmesinin, karbonat kabukları ve iskeletler üreten çeşitli organizmalar üzerinde önemli bir etkiye sahip olması beklenmektedir (Palmiéri ve diğ. 2015; Kapsenberg, ve diğ. 2017). Akdeniz’de gerçekleştirilen bir çalışma yakın zamanki asitlenmenin etkilerinin, 1993 ile 2005 yılları arasında bazı fitoplanktonlar tarafından inşa edilen kokolitlerin, kalkerli plakaların kalınlığında önemli bir azalmaya yol açtığını göstermiştir. Çalışma sonuçları, genel olarak, etkilerin büyük ölçüde türe bağlı olduğunu ve pH’ın düşmesi ile bu canlıların fizyolojisinde değişikliklerin bu kısa zaman diliminde gözlemlendiğini ortaya koymuştur (Meier ve diğ. 2014).

Hava-deniz karbondioksit (CO₂) akışlarının (fluxes) araştırılması, okyanusun kapasitesinin insan kaynaklı faaliyetlerin neden olduğu atmosferik CO₂ artışı ile karşılaştırabilmesi adına çok önemlidir. Doğu Akdeniz’e baktığımızda hava-deniz CO₂ akışı (CO₂ fluxes) ile ilgili çok az veri bulunmaktadır. Kuzeydoğu Levant baseninde yapılan son gözlemler yoğun uzaysal ve zamansal farklılıklar göstermiştir (Ibello ve diğ. 2021). Yoğun su oluşum süreçlerinin meydana geldiği Rodos girdabı, havzanın geri kalanına kıyasla çok önemli bir net alım gösteren, çevredeki sulardan farklı ilginç bir model sergilemektedir.

Açık okyanusla karşılaştırıldığında, kıyı bölgeleri hem fiziksel hem de biyolojik parametrelerde çok daha yüksek bir değişkenlik sergilemektedir ve bu da okyanus asitlenmesinin etkisini koruma potansiyellerini doğrulamaktadır. Mevsimsel değişkenlik açısından, Kuzeydoğu Levanten havzası, üç modlu mevsimsel değişim CO₂ modelleri ile karakterize görünmektedir: i) 4-5 ay süren uzun bir yaz

dönemi boyunca net bir CO₂ salınımı; ii) kış döneminde net bir CO₂ alımı ve iii) sifıra eşit net CO₂ değişimiyle muhtemelen çok kısa (bir-iki ay) bir geçiş dönemi.

Kışın gözlenen pCO₂, sıcaklık ve klorofil arasındaki yüksek ilişki, bu mevsimdeki akışların ana itici güçlerinin birincil üretim ve ısı akışları olduğuna işaret etmektedir. Ancak, aksine, yaz aylarında CO₂ akışları ve sıcaklık arasındaki yüksek korelasyon, ısı akışlarının hava-deniz CO₂ akışlarının ana faktörü olduğunu göstermektedir. Hava-deniz akışlarının on yıllık varyasyonları, yıllık bazda, Kuzeydoğu Levanten havzasının atmosfere CO₂ saldıgını göstermektedir. (kaynak, 0,291 mmol / m² / gün CO₂ akışı).

Bu son bulgular, Doğu Akdeniz'de, bölgenin atmosfer için net bir CO₂ kaynağı olduğunu tahmin eden bir model ve uydu kombinasyonu ile yapılan önceki hesaplamayı doğruluyor gibi görünmektedir (D'Ortenzio ve diğ. 2008). Uydu Klorofil, pCO₂ ve karışım tabakası derinliği verilerinin birleşik bir analizi, biyolojik süreçlerin sadece sonbahar ve kış aylarında rol oynadığına işaret etmektedir. Bu mevsimlerde, yüzey klorofili artarken ve düşük deniz yüzeyi sıcaklığı, hava-deniz CO₂ akışında bir düşüş sağlamaktadır.

Güneydoğu Levanten'de gerçekleştirilen bir başka çalışma (Sisma-Ventura ve diğ. 2017), alanın yıllık olarak atmosfere net bir CO₂ kaynağı (845 ± 270 mmol C / m² / yıl) olduğunu göstermiştir. Bu bölgedeki CO₂ akışları, mevsimsel değişkenliğin deniz suyundaki karbonat sistemi üzerindeki termodinamik etkinin bir sonucu olduğunu gösteren sıcaklık değişimleriyle oldukça ilişkilidir.

Önümüzdeki on yıllarda, sıcaklık artışı ve asitlenme arasındaki sinerjinin midye gibi ticari türler dahil çok sayıda deniz türünü etkilemesi muhtemel olduğu görülmektedir (Rodrigues ve diğ. 2015). Akdeniz'de midye yetiştiricileri ile gerçekleştirilen bir araştırmada, yetiştiricilere “denizlerde gerçekleşen değişiklikler ile ilgili yetiştiricilik faaliyetlerini en çok etkileyebilecek çevresel etmenler nelerdir? diye” soruluyor. Üreticilerin, ısı dalgası, alg çoğalması gibi etmenler konusunda çok kaygılı olduğu ama deniz asitlenmesi konusundaki bilincin düşük olduğu, bunun çok bir risk olarak görülmediği fark ediliyor (Rodrigues ve diğ. 2015).

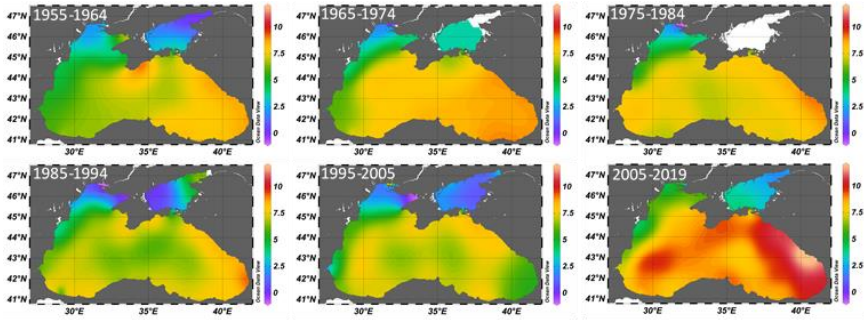
Karadeniz

Avrupa denizleri farklı şekillerde iklim değişikliğinden etkilenmektedir (Belkin 2009). Akdeniz gibi kapalı bir deniz olan Karadeniz'e baktığımızda 1990'ların ortalarından sonra iklim değişikliğinden olumsuz etkilendiğini; yüzey tabakasında düşük besin seviyelerine ve fitoplankton bolluğunun azalmasına neden olduğunu görülmektedir.

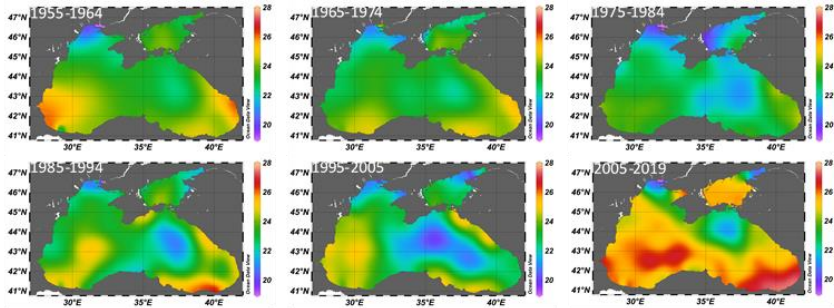
Sonuç olarak besin zincirinin üst basamakları sınırlı besin kaynağı nedeniyle daha az üretken hale gelmiştir. Bununla birlikte istilacı bir tür olan *Mnemiopsis*

leidy'nin bolluğunun azalması, küçük pelajik balıkların toparlamasına yardımcı olmuştur. Diğer bir denizanası türü olan *Beroe ovata* 1998 yılında balast ile Karadeniz'e taşınmış ve *Mnemiopsis leidy* üzerinde avlanmaya başlamıştır. Bu mezoplankton, ihtiyoplankton biyokütlesinde ve balık stoklarında artışa neden olmuştur (Kideys 2002; Shiganova ve diğ. 2003).

Karadeniz'deki uzun vadeli değişikliklere baktığımızda, son 60 yılda yüzeydeki yaz sıcaklıklarındaki değişim net olarak gözlenebiliyor. Karadeniz'deki artış Akdeniz'in de üzerinde 2°C'ye yakın artış göstermektedir. Karadeniz'deki sıcaklık artışı mevsimsel farklılık göstermektedir; yaz mevsiminde sıcaklık artışının kış aylarına göre daha fazla olduğu gözlenmektedir (Şekil 4, 5, 6).



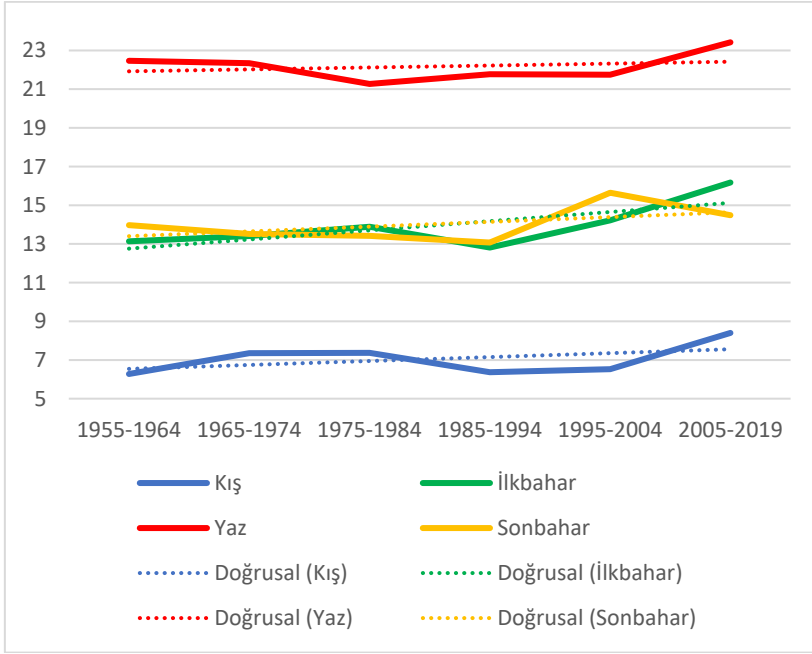
Şekil 4. Karadeniz'de 1955-2019 döneminde 6 on yılda yüzeyde kış sıcaklığının değişimi (Ocak, Şubat, Mart) Karadeniz Şekilleri PIDoc'tan alınmıştır (Myroshnychenko ve Simoncelli 2020).



Şekil 5. Karadeniz'de 1955-2019 döneminde 6 on yılda yüzeyde yaz sıcaklığının değişimi (Temmuz, Ağustos, Eylül) Karadeniz Şekilleri PIDoc'tan alınmıştır (Myroshnychenko ve Simoncelli 2020).

İklim değişikliğinin Karadeniz üzerindeki diğer önemli etkisi ise; ısınan kış havasının Karadeniz'in Soğuk Ara Tabaka (SAT) olarak bilinen; denizin oksijensiz alt tabakası ile oksijenli üst tabakası arasında bulunan orta su katmanını ısıtmasıdır. Bu sıcaklık artışı SAT'ın diğer su tabakaları ile karışmasına neden

olmaktadır. Bu karışma, denizin daha derin katmanlarından gelen su kütlelerinin üst oksijenli tabakaya sızmasına ve bu da deniz yaşamı üzerinde bilinmeyen etkilerin oluşmasına neden olabilir (Stanev ve diğ. 2019).



Şekil 6. Üst 10 m. tabakada tüm Karadeniz havzasının sıcaklık değişimi (Myroshnychenko ve Simoncelli 2020).

Karadeniz'deki okyanus asitleşmesinin Küresel Okyanus'a göre daha hızlı ilerlediği bildirilmiştir (yılıda 0,0017-0,0024 pH birimine karşı 0,0012-0,0114, Bates ve Peters 2007; Santana-Casiano ve diğ. 2007; Dore ve diğ. 2009; Olafsson ve diğ. 2009; Polonsky ve Grebnevaa 2019). Son 50 yılda pH seviyesi sırasıyla -0,06 ve -0,57 pH birimlerinde yüzey ve yüzey altı katmanında (75 m) azalmıştır (Moiseenko ve diğ. 2011; Polonsky ve Grebnevaa 2019).

Bu dramatik pH düşüşünün nedenleri iki farklı sürece atfedilmiştir: i) ara katmandaki dikey sirkülasyonun yoğunlaşması nedeniyle (Polonsky ve Grebnevaa 2019) son on yıllarda daha derin ve daha asidik suların artan yukarı doğru hareketi ve ii) atmosferik insan kaynaklı CO₂ alımı (Moiseenko ve diğ. 2011). Bununla birlikte, bu iki sürecin yoğunluğu henüz ölçülmemiş, bu da insan kaynaklı zorlamayı doğal olandan ayırt etmeyi zorlaştırmaktadır.

Küresel Okyanus ile karşılaştırıldığında, Karadeniz'deki karbonat sistemi, yüzey sularındaki yüksek karbonat içeriği ve buna bağlı olarak yüksek kalsit doygunluk durumu nedeniyle atmosferden karbondioksiti emme kapasitesi yüksektir (CO₃²⁻:

280-350 $\mu\text{M} / \text{kg}$, Moiseenko ve diğ. 2011 ve 7.5 Goyet ve diğ. 1991; Hiscock ve Millero 2006). Son 600 yılda kaydedilen ani pH düşüşü, karbonat sisteminin diğer parametrelerinde de gözlenmiştir.

Daha 1960-1990'lı yıllarda, yüzey sularında denge kısmi karbondioksit basıncının artması, Karadeniz'in atmosferik karbondioksiti absorbe etme kapasitesinde neredeyse iki kat azalmaya neden olmuştur (Moiseenko ve diğ. 2011).

Bu büyük miktardaki CO_2 alımı, karbonat sistemi bileşenleri arasındaki oranları büyük ölçüde değiştirmiştir. Özellikle, karbonat iyonları konsantrasyonunda ve kalsiyum karbonat doygunluk durumunda iki kat azalmaya neden olmuştur. Karbonat iyonu, canlı organizmaların karbonat ve sert kabuğu sentezini düzenleyen temel bir parametre olduğu için deniz organizmaları üzerinde önemli bir etki beklenmektedir.

Ekosistem servisleri, iklim değişikliğinin ekosistem servisleri üzerine etkisi

“Ekosistem servisleri” insanların ekosistemlerden elde ettiği fayda olarak tanımlanmıştır (Millennium Ecosystem Assessment 2005). Her ne kadar insanın doğal çevremiz ile olan ilişkisi tarihin farklı dönemlerinde vurgulansa da “ekosistem servisleri” terimi ilk kez 1980'lerin başında Ekolog Paul Ehrlich ve Harold Mooney tarafından yazılan makalede ortaya çıkmıştır (Ehrlich ve Mooney 1983; Mooney ve Ehrlich 1997). 1900'ların ortasında Nature's Services de dahil ekosistem servisleri” ile ilgili kitaplar yayınlanmıştır (Mooney ve Ehrlich 1997). Bunun üzerine terimin dergi literatüründe kullanılması katlanarak artmıştır (Ehrlich ve Mooney 1983). Sonrasında, bu terimlerin kullanımının 1990'lardan günümüze kademeli olarak arttığı gözlenmektedir (West 2015). 2000'lere baktığımızda ekosistem servisleri artık yaygın bir kavram haline gelmekte ancak net tanımlanamaması analizleri güçleştirmektedir. Birleşmiş Milletler Genel Sekreteri'nin ekosistemin pratik değerini kabul etmesinden sonra başlatılan «Millennium Ecosystem Assessment» dünyanın doğal zenginliklerinin durumunu ve eğilimlerini değerlendirmeye yönelik ilk girişim olmuştur. Milenyum Ekosistem Değerlendirmesi, ekosistemlerin sağladığı hizmetleri ve bu hizmetlerin insan refahı açısından önemini tanımlamıştır. Milenyum Ekosistem Değerlendirmesi'nin on yıl önceki raporu, ekosistem hizmetlerinin %60'ından fazlasının kötüye gittiğini ortaya koymuştur (Millennium Ecosystem Assessment 2005).

Ekosistem servisleri ile ilgili diğer önemli bir gelişme ise ortak bir sınıflandırmanın geliştirilmesi olmuştur. Ekosistem değerlendirme yöntemleri geliştirebilmek ve karşılaştırmalar yapabilmek adına standart, ortak bir uluslararası sınıflandırma geliştirilmesi önem taşımaktadır. Standardizasyon, ekonomik değerlendirme ile bağlantı kurulması gereken yerlerde özellikle önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle, CICES – Ekosistem Servislerinin Uluslararası Sınıflandırılması, 2013 yılında sınıflandırmanın ilk versiyonu yayınlanmıştır. Bu

sınıflandırmaya göre Ekosistem Servisleri üç genel kategoriye ayrılmıştır. i) Tedarik Servisleri – Doğrudan ekosistemden elde edilen faydalar (ör. gıda, su, mineraller, enerji) ii) Düzenleme ve Bakım Servisleri – Ekosistem süreçlerinin düzenlenmesinden elde edilen faydalar (ör. iklim düzenlenmesi, karbon tutumu, kıyı koruma vb.) iii) Kültürel Servisler – Doğrudan ekosistemden elde edilen maddi olmayan faydalar (ör. estetik, eğlence, psikolojik ve manevi faydalar) (Haines-Young ve Potschin-Young 2018).

Üç ana ekosistem servisleri kategorisi üzerine inşa edilen hiyerarşik ve esnek yapı ekosistem servisleri değerlendirmesi için ideal bir sistem olmakla birlikte, deniz ekosistem servisleri nispeten daha az araştırılmıştır (Brouwer ve diğ. 2013). Deniz ekosisteminin karmaşıklığı, toplulukların ve habitatların dağılımı ve sağladığı ekosistem işlevi hakkında yetersiz bilgiye ve bunun sonucunda ekosistem servisleri ile ilgili deniz alan verilerinin azlığına neden olmaktadır (Townsend ve diğ. 2014).

Denizler ve okyanuslar dünya sistemlerinde, insan varlığı ve sağlığında önemli bir rol oynar. Örneğin su döngüsü, karbon döngüsü ve iklim düzenlemesi okyanusların fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerine bağlıdır. Bu süreçleri dengede tutmak, okyanusların insanlığa sunduğu doğrudan ve dolaylı günlük ihtiyaçlar ve diğer faydalar da dahil olmak üzere ekosistem servislerini anahtarlarıdır. Yanı sıra deniz ekosistemlerinin sağlığı ile Mavi Ekonomi arasında net bir etkileşim vardır. Mavi ekonomi faaliyetleri doğrudan ve dolaylı olarak ekosistem servislerinden kaynaklanabilir. (EU Blue Economy Report. 2020). Ekosistem faaliyetleri ve mavi ekonomi arasındaki etkileşim göz önüne alınarak, Avrupa Birliği tarafından 2020 yılında yayınlanan “Mavi Ekonomi Raporu”nda Milenium Ecosystem Assessment baz alınmış ve servisler CICES sınıflandırmasından yola çıkarak ortak bir sınıflandırma ve değerlendirme yapılabilmesi hedeflenerek aynı 3 başlık altında toplanmıştır (EU Blue Economy Report 2020).

İnsan faaliyetleri, ekosistemleri ve uzun vadeli sürdürülebilirliklerini güçlendirmeyi hedefleyebilir. Bununla birlikte, genel olarak, insan faaliyetleri ve mavi ekonomi, deniz ekosistem koşulları üzerinde “İyi Çevresel Durum”u tehdit eden ve bu nedenle ekosistem servis ve sağlığını tehlikeye atan temel baskılar oluşturma eğilimindedir. Yerli olmayan canlı türlerinin tanımlanması ve yayılması, besin ve organik madde girdisi ve hidrolojik koşulların değişmesi gibi ekosistem üzerindeki baskıların bir araya gelmesi; okyanus asitlenmesi veya habitat kaybı gibi zararlı etkilere yol açabilir ve genel olarak deniz ekosistemlerinin dengesini tehlikeye atabilir (EU Blue Economy Report 2020).

Bu nedenle, bu ekosistemlerin doğal sermayesini, biyolojik çeşitliliğini ve servislerini koruma, ekosistemlerin üzerindeki baskıyı azaltmanın yanı sıra değişen iklim ile beraber, iklim değişikliğine adaptasyon ve değişikliğin etkilerini azaltma için sosyal ve ekonomik olarak uygulanabilir doğa temelli çözümler

geliştirmek gerekmektedir. Bunun için de öncelikli olarak iklim değişikliğinin ekosistem işleyişini ve servislerini ne ölçüde tehlikeye attığını anlamak ve buna göre iklim politikaları geliştirmek gerekir.

Bölgesel iklim planları ve iklim değişikliğinin yeri

Son dönemlerde özellikle Avrupa Komisyonu'nun da çabaları ile hemen hemen bütün Avrupa denizleri için strateji dokümanı geliştirilmiştir (EC-Blue Growth 2021) (Tablo 1). İhtiyaca yönelik önlemler almak ve ülkeler arasında iş birliğini teşvik etmek adına geliştirilen bu deniz havzaları stratejilerinde, araştırma ve araştırma altyapısı, mavi büyüme için çözüm önerileri, eğitim ve kapasite geliştirme gibi ana alanlarda, iklim öne çıkan konular arasında yer almaktadır.

Tablo 1. Avrupa Komisyonu Deniz/Okyanus Baseni Strateji Planları (EC-Blue Growth 2021)

AVRUPA KOMİSYONU DENİZ/OKYANUS BASENİ STRATEJİ PLANLARI	
Deniz/ Okyanus Baseni	İklimin Ele Alındığı başlıklar
Adriyatik ve İyonya Denizleri, Haziran 2014	1. Mavi Büyüme 2. Bölgelerin Bağlanması (Ulaşım ve Enerji Ağları) 3. Çevresel Kalite 4. Sürdürülebilir Turizm ana alanlarının tümü için "İklim değişikliğini azalma ve adaptasyon" yatay ilke olarak yer almaktadır. (https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52014DC0357&from=EN)
Arktik Okyanusu, Nisan 2016	1. Kuzey'de sürdürülebilir kalkınmaya yatırım 2. Kuzey kutbu bölgesindeki gelecekteki belirsizlikleri azaltmak ve değişiklikleri izlemek 3. Deniz taşımacılığı ve güvenliği ana başlıklarının yanı sıra 4. İklim değişikliği ile mücadele, Avrupa Komisyonu'nun katkıda bulunduğu öncelikli alanlar olarak öne çıkmaktadır. https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/sites/maritimeaffairs/files/docs/body/developing-a-european-union-policy-towards-the-arctic-region_en.pdf
Atlantik Okyanusu, Kasım 2013	Avrupa Atlantik Deniz Havzası için Araştırma planı öncelikleri arasında yer alan 1. Temel Araştırma ve Yeni Bilgiler 2. Uygulamalı Araştırma – Toplumu ve Ekonomiyi Destekleyen Bilim 3. Kritik Destekler / Altyapı İhtiyaçları başlıkları altında "Belirsizlikle ve Değişimle Başa Çıkmak: Küresel İklim Değişikliğinin Etkilerini Değiştirmek" olarak iklim değişikliği de yerini almaktadır. https://atlanticcities.files.wordpress.com/2013/12/seas-era-d-6-1-4-atlantic-report-final-28-11-2013.pdf
Baltık Denizi, Mayıs 2014	Baltık Denizi ekosistemi kaynak ve servislerinin sürdürülebilir kullanımı yolundaki zorlukları çözmek adına gerekli bilgiyi üretmek ve yaymak adına geliştirilen ajandanın ana alanları arasında iklim değişikliği "İklim değişikliğinin etkilerine uyum sağlamak" başlığı altında yer almaktadır.

Karadeniz, Mayıs 2018	2030 yılına kadar sağlıklı, dayanıklı ve sürdürülebilir bir Karadeniz içi geliştirilen strateji planında 1. Karadeniz'in temel araştırma zorluklarını belirleme 2. Karadeniz'de mavi büyümenin temellerini oluşturan ürünler, çözümler ve kümeler geliştirme 3. Kritik destek mekanizmaları ve yenilikçi araştırma altyapılarının kurulması 4. Eğitim ve kapasite geliştirme ana başlıklarının altında iklim değişikliği; "Kıyı-deniz ara yüzünden derin havzaya kadar Karadeniz'de küresel iklim değişikliğinin ve çeşitli çevresel ve insan kaynaklı stres etkenlerinin etkisini azaltmak için yeni bilgi üretmek" ve "Karadeniz'in içerisinde bulunduğu bilimsel ve sosyoekonomik zorlukların tanımlanarak; sürdürülebilir ekosistem yönetimi, iklim değişikliğinin etkilerinin hafifletilmesi ve daha doğru tahmin sistemlerinin geliştirilmesi" olarak yerini almaktadır.
Akdeniz, Ekim 2015	Akdeniz'de değer verilen, dirençli ve sağlıklı bir Akdeniz için geliştirilen stratejide 1. Akdeniz için gerekli anahtar bilgiler 2. Akdeniz'de temel sektörel sağlayıcılar 3. Akdeniz için teknoloji ve kapasite geliştirme ana başlıkları altında iklim değişikliği "Akdeniz Deniz Dinamikleri: İklim Değişikliğine Sürdürülebilir Adaptasyon Alanında Servis Geliştirme ve Azaltma Planları" olarak yer almaktadır.
Kuzey Denizi, geliştirilme- ye devam ediyor	Kuzey denizinde mavi büyüme konusunda geliştirilebilecek iş birlikleri hakkında gerçekleştirilen çalıştayda mavi büyümenin etkenleri arasında "Daha iyi düzenleme (ör. çevre, enerji, iklim zinciri vb.)" olarak yer almıştır.

Bu strateji planları arasında yer alan Akdeniz – BlueMed Stratejik Araştırma ve Yenilik Ajandası'nı (BlueMed SRIA) incelediğimizde; uzun süreli izlemenin iklim değişikliğinin etkisini anlamak için belirsizleri ortadan kaldırmak açısından önemli olduğu görülmektedir. Sayısal modelleme, tahminler bunun beraberinde gelmektedir. İklim değişikliğine adaptasyon ve iklim değişikliğinin azaltılması için alternatif yolların ortaya konması bir de risklerin kapsamlı değerlendirmesinin yapılmasını Akdeniz'de öne çıkan yönetim stratejileri olarak görülmektedir (Tablo 2). İklimin diğer bir önemi, öncelikli alanların üzerinde de etkisi olmasıdır (BlueMed 2015).

Tablo 2. Akdeniz BlueMed Stratejik Araştırma ve Yenilik Ajandası (BlueMed Initiative, 2021)

AKDENİZ - BLUEMED STRATEJİK ARAŞTIRMA VE YENİLİK AJANDASI

Akdeniz Deniz Dinamikleri: İklim Değişikliğine Sürdürülebilir Adaptasyon Alanında Servis Geliştirme Ve Azaltma Planları

Hedefler	Faaliyetler
Akdeniz dinamiklerini anlamak ve tahmin etmek	Yeni ürünler için uzun vadeli izleme ile birlikte Akdeniz çevre koşullarında sayısal modelleme, tahmin, göstergeler ve trendler / kaymalar tanımlamak sağlamak Akdeniz ve alt havzalar için ölçek küçültme iklim değişikliği modellerinin uygulanması; Bölgesel ölçeklerden yerel ölçeklere kadar deniz ekosistemleri ve kaynakları üzerindeki etkileri değerlendirmek

İklim değişikliğine hazırlık	Gelecekteki alternatif sosyoekonomik kalkınma yollarının, politika seçeneklerinin ve mavi büyümenin biyoçeşitlilik ve doğanın insanlara faydaları üzerindeki etkilerine dair içgörüler sağlamak için çevresel değişim senaryoları gerçekleştirmek Değişen iklimde; aşırı iklim olayları, deniz seviyesinin yükselmesi, sel ve aşırı hava olayları ve istilacı türler dahil olmak üzere Akdeniz bölgesinde iklimle ilgili risklerin kapsamlı bir değerlendirmesinin yapılması Kıyı bölgesinde ve okyanusun derinliklerinde, ekosistem ve insan çevresi üzerindeki iklim değişikliği riskini değerlendirmek, iklim riski izleme programları ve hizmetleri geliştirmek
Akdeniz için iklim servisleri	Akdeniz atmosferi, kıyı ve derin okyanus alanları ile ilgili iklim bilgilerini yaymak için kullanıcı dostu araçlar geliştirmek, iyileştirmek ve sunmak

Karadeniz Stratejik Araştırma ve Yenilik Ajandası (SRIA) ise dört ana konu çerçevesinde toplanmaktadır. İklim, “Karadeniz Bilgi Köprüsü: Karadeniz’in temel araştırma zorluklarını belirleme” ana konusu altında “Kıyı-deniz ara yüzünden derin havzaya kadar Karadeniz’de küresel iklim değişikliğinin ve çeşitli çevresel ve insan kaynaklı stres etkenlerinin etkisini azaltmak için yeni bilgiler üretmek” olarak yer almaktadır (Tablo 3). Karadeniz’de kıyıdan başlayıp deniz havzasına kadar iklimin etkilerini doğrudan tek başına, insan kaynaklı stres faktörlerini değerlendirmeye almadan neredeyse mümkün değildir (ör. Balıklar üzerindeki etkileri değerlendirirken sadece iklim faktörünün etkili olmaması, avcılık, istilacı türler, kirlilik gibi faktörler ile bütünlük içerisinde değerlendirmeye alınması gibi). Bu tür bütünlük bir değerlendirme yapmanın yolu da gözlem ve modelleme ile mümkündür. Son zamanlarda yapay zeka da öne çıkmaktadır.

Tablo 3. Karadeniz Stratejik Araştırma ve Yenilik Ajandası (Connect Black Sea, 2021)

KARADENİZ STRATEJİK ARAŞTIRMA VE YENİLİK AJANDASI

Sütun 1 – Karadeniz’deki temel araştırma zorluklarının ele alınması

Temel Amaç 2: Kıyı-deniz ara yüzünden derin havzaya kadar Karadeniz’de küresel iklim değişikliğinin ve çeşitli çevresel ve insan kaynaklı stres etkenlerinin etkisini azaltmak için yeni bilgiler üretmek

Faaliyet 1.2.3.: Kıyı alanlarının zarar görmesine ilişkin araştırmalar: erozyon, denizaltı heyelanları (sediman kaymaları), deniz seviyesi yükselmesi, ekstrem olaylar, sel ve iklim değişimi ile bağlantıları (Kısa/Orta Dönem)

Avrupa Komisyonu’nun geliştirdiği bir diğer strateji belgesi “Yeşil Mutabakat”dır (Green Deal 2019). Avrupa Yeşil Mutabakatı, 2050 yılına kadar AB’yi net sera gazı emisyonlarının olmadığı ve ekonomik büyümenin kaynak kullanımından ayrıştırıldığı modern, kaynak açısından verimli ve rekabetçi bir ekonomiye sahip adil ve müreffeh bir topluma dönüştürmeyi amaçlayan yeni bir büyüme stratejisidir. Bu strateji planında iklim nötr olma hedefinin nasıl sağlanacağına dair net bir vizyon belirlenmiştir. Uzun vadede iklim açısından nötr bir ekonomi geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Biz deniz bilim insanları için belki de en önemli strateji belgelerinden birisi de Avrupa Komisyonu “Mission Starfish”dir (Mission Starfish 2020). Mission Starfish, okyanuslar ve tatlı su kaynaklarına yönelik çeşitli etkileşimli ve kümülatif tehditleri ele almak için bütünsel ve tutarlı bir 2030 vizyonu önermektedir. Bu misyon, birbirini destekleyen beş hedef çerçevesinde su döngüsünün bir bütün olarak yenilenmesi ve yeniden oluşmasını sağlayacaktır. Bu çerçevede; deniz, okyanus ve tatlı su kaynaklarını temizlemek, aşınmış ekosistemleri ve habitatları eski haline getirmek, temel su ürünlerini sürdürülebilir bir şekilde kullanmak için mavi ekonominin karbondan arındırılması amaçlanmaktadır. Önemli diğer bir nokta ise sıfır karbonlu sektörlerin nasıl faaliyet gösterebileceği şeklindedir (Tablo 4). Değişimleri doğru anlamak, doğru öngörüler oluşturmak gerekecek.

Tablo 4. Avrupa Komisyonu Mission Starfish 2030: Restroe Our Ocean and Waters (EC-Mission Starfish, 2021)

MISSION STARFISH 2030: RESTORE OUR OCEAN AND WATERS

Okyanuslarımızı, denizlerimizi ve sularımızı karbondan arındırmak

Hedef 11: İklim açısından nötr su yolu ile taşıma

Hedef 12: Yenilenebilir, düşük etkili okyanus enerjisi yoluyla enerji geçişini desteklemek

Hedef 13: Sıfır karbonlu su ürünleri yetiştiriciliği

Hedef 14: Başarılı bir mavi biyoteknoloji

Hedef 15: İklim nötr mavi turizm

İklim konusunun ele alındığı bir diğer yönetim planı “Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları”dır. Bu 17 amaç “Binyıl Kalkınma Hedefleri”nin üzerine inşa edilmiş; binyıl hedeflerinin yanı sıra iklim değişikliği, ekonomik eşitsizlik, yenilikçilik, sürdürülebilir tüketim, barış ve adalet gibi yeni alanları içermektedir. Amaçlar birbiri ile bağlantılıdır; bir amaçta başarının anahtarı, birbiriyle ortak yönleri olan sorunları hep birlikte ele almaktır. Bu nedenle iklim konusuna yönelik “İklim Eylemi”nin yanı sıra “Yoksulluğa Son”, “Açlığa Son”, “Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar” amaçlarının hepsinin iklim ile ilgili aksiyonları bulunmaktadır (Tablo 5).

Tablo 5. Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (BM-SKA, 2021)

BİRLEŞMİŞ MİLLETLER SÜRDÜRÜLEBİLİR KALKINMA AMAÇLARI

Amaç 13.

İklim Eylemi

Aksiyon 13.1: İklimle ilgili afetlere karşı dayanıklılığı ve uyum kapasitesini güçlendirme

Aksiyon 13.2: İklim değişikliği önlemlerini politikalara ve planlara entegre etme

Aksiyon 13.3: İklim değişikliğiyle yüzleşmek için bilgi ve kapasite oluşturmak

Aksiyon 13.A: İklim değişikliğine ilişkin BM çerçeve sözleşmesini uygulamak

Aksiyon 13.B: İklim planlama ve yönetimi için kapasite geliştirecek mekanizmaları teşvik etmek

Amaç 1. Yoksulluğa Son	Aksiyon 1.5: Çevresel, Ekonomik ve Sosyal Felaketlere Karşı Direnç Oluşturmak 2030'a kadar, yoksulların ve savunmasız durumlarda bulunanların dayanıklılığını artırmak ve iklimle ilgili aşırı olaylara ve diğer ekonomik, sosyal ve çevresel şoklara ve felaketlere maruz kalmalarını azaltmak
Amaç 2. Açlığa Son	Aksiyon 2.4: Sürdürülebilir Gıda Ürünleri ve Dirençli Tarımsal Uygulamalar 2030'a kadar, sürdürülebilir gıda üretim sistemleri sağlamak ve üretkenliği ve üretimi artıran, ekosistemlerin korunmasına yardımcı olan, iklim değişikliğine, şiddetli hava koşullarına, kuraklık, sel ve diğer felaketlere uyum kapasitesini güçlendiren ve arazi ve toprak kalitesini kademeli olarak iyileştiren dayanıklı tarım uygulamalarını hayata geçirmek
Amaç 11. Sürdürülebilir Şehirler ve Topluluklar	11.B: Katılım, Kaynak Verimliliği ve Afet Riskinin Azaltılması için Politikalar Uygulamak 2020 yılına kadar, Sendai Afet Risk Azaltma Çerçevesi 2015-2030 ile uyumlu olarak dahil etme, kaynak verimliliği, iklim değişikliğini azaltma ve iklim değişikliğine uyum sağlamaya yönelik entegre politikaları ve planları benimseyen ve uygulayan şehirlerin ve insan yerleşmelerinin sayısını önemli ölçüde artırmak ve geliştirmek ve uygulamak, her düzeyde bütünsel afet riski yönetimi

Türkiye'ye baktığımız zaman iklim konusunda Çevre ve Şehircilik Bakanlığı "Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Strateji ve Eylem Planı"nı geliştirmiştir (ÇŞB 2012). Türkiye'de iklim değişikliğinin yaratacağı etkilerin gelecekte yaratacağı etkiler göz önüne alınarak; başta su kaynakları olmak üzere, doğal kaynaklar üzerindeki baskılar ile iklim-bağımlı sektörlerin gelişmesinde olası engellerin önüne geçmek ve durumu iyileştirmek hedefi ile plan beş önemli alana odaklanmıştır. Bu alanlar, Türkiye'de iklim değişikliğinden etkilenebirecek alanlarını, teknik ve bilimsel çalışmaların desteklediği ve katılımcı süreçler ile kabul edilen; i) Su Kaynakları Yönetimi; ii) Tarım ve Gıda Güvencesi; iii) Ekosistem Hizmetleri, Biyolojik Çeşitlilik ve Ormancılık; iv) Doğal Afet Risk Yönetimi ve v) İnsan Sağlığı alanlarıdır.

Mevcut haliyle denizler de Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Strateji ve Eylem Planı" içerisinde yer almaktadır (Tablo 6) ancak daha çok bir uyum için çeşitli stratejilerin geliştirilmesi yönünde aksiyonlar bulunmaktadır. Bu stratejinin denizler ve iklim açısından geliştirilmesi gerekmektedir.

Tablo 6. Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Strateji ve Eylem Planı (T.C. CSB – İklim Değişikliği USEP, 2021)

TÜRKİYE’NİN İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ UYUM STRATEJİ VE EYLEM PLANI

Hedef 2.6. Dağ, step, iç su, deniz kıyı ekosistemlerinde ve sağladıkları ekosistem hizmetlerinde iklim değişikliği etkilerinin belirlenmesi, izlenmesi, iklim değişikliğine uyuma yönelik önlemlerin geliştirilmesi

Hedef UO2.7. Deniz ve kıyı alanları yönetimi çerçevesine iklim değişikliğine uyumun

entegre edilmesi

- UO2.7.1. Balast suları yönetiminde iklim değişikliğinin etkilerinin göz önüne alınması 2012-2015
 - UO2.7.2. Bütünleşik kıyı ve deniz alanları çalışmalarına iklim değişikliğine uyumun entegre edilmesi 2012-Sürekli
 - UO2.7.3. Kıyı alanlarında gerçekleştirilen tüm faaliyetlerin (karada ve kıyı sularında), deniz ve kıyı ekosistemlerini en az etkileyecek şekilde yapılarak bu ekosistemlerin iklim değişikliğine uyumunu bozmayacak planlamaların yapılması
-

İklim değişikliğine uyum ve iklim değişikliğinin etkilerini azaltma konularında hazırlanan bu planlar ve aksiyonları hayata geçmesi gerekli bilimsel bilginin elde edilmesi ve analizlerin yapılması ile mümkündür.

Buna örnek bir uygulama olarak Avrupa Komisyonu Ufuk 2020 BRIDGE-BS Advancing Black Sea Research and Innovation to Co-Develop Blue Growth within Resilient Ecosystems projesi verilebilir. BRIDGE-BS; sağlıklı ve dirençli bir ekosistem ile doğrudan bağlantılı olan ve sürdürülebilir Mavi Büyüme potansiyeli sunan temel ekosistem servisleri üzerine odaklanır (i) İklim Değişikliği Tamponlanma ii) Karbon Tutma gibi). Bütünlükçü bir yaklaşım ile, ekosistemler üzerindeki bütün stres faktörlerinin (sıcaklık artışı, okyanus asitlenmesi, ötrofikasyon, aşırı avcılık gibi) hepsinin ekosistemin direnci ve ekosistem servisleri üzerindeki etkisini doğru anlamak yenilikçi yaklaşımlar ile bulguları karar vericiler ve topluma aktarabilmek gerekmektedir.

Benzer yaklaşımdaki uygulamalar diğer deniz ve okyanus basenlerinde de hayata geçmelidir.

Kaynakça

Adloff, F., Somot, S., Sevault, F., Jordà, G., Aznar, R., Déqué, M., Herrmann, M., Marcos, M., Dubois, C., Padorno, E., Alvarez-Fanjul, E., Gomis, D. (2015) Mediterranean Sea response to climate change in an ensemble of twenty first century scenarios. *Climate Dynamics* 45: 2775-2802.

Armstrong, W., Foley, N.S., Tinch, R., van den Hove, S. (2012) Services from the deep: Steps towards valuation of deep sea goods and services. *Ecosyst Serv* 2: 2-13.

Azzurro, E., Moschella, P., Maynou, F. (2011) Tracking signals of change in Mediterranean fish diversity based on local ecological knowledge. *PLOS ONE* 6(9): e24885, doi: 10.1371/journal.pone.0024885.

Bates, N.R., Peters, A.J. (2007) The contribution of atmospheric acid deposition to ocean acidification in the subtropical North Atlantic Ocean. *Marine Chemistry* 107: 547-58.

Belkin, I.M. (2009) Rapid warming of large marine ecosystems. *Progr Oceanogr* 81: 207-213.

Bindoff, N.L., Willebrand, J., Artale, V., Cazenave, A., Gregory, J. Gulev, S., Hanawa, K., Le Quéré, C., Levitus, S., Nojiri, Y., Shum, C.K., Talley, L.D., Unnikrishnan, A. (2007) Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds., Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Black Sea Connect (2021) Black Sea Strategic Research and Innovation Agenda. Mevcut adres: http://connect2blacksea.org/wp-content/uploads/2019/12/Black_Sea_SRIA_Final.pdf (erişim tarihi 22.03.2021).

BM (2021) Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları. Mevcut adres: <https://www.tr.undp.org/content/turkey/tr/home/sustainable-development-goals.html> (erişim tarihi 22.03.2021).

Brouwer, R., Brander, L., Kuik, O., Papyrakis, E., Batemen, I. (2013) A Synthesis of Approaches to Assess and Value Ecosystem Services in the EU in the Context of TEEB. University Amsterdam, Institute for Environmental Studies.

Bucak, T., Trolle, D., Andersen, H.E., Thodsen, H., Erdoğan, Ş, Levi, E.E., Filiz, N., Jeppesen, E, Bekiroğlu, M. (2017) Future water availability in the largest freshwater Mediterranean lake is at great risk as evidenced from simulations with the SWAT model. *Sci Total Environ* 581-582: 413-425.

Chevaldonné, P., Lejeusne, C. (2003) Regional warming-induced species shift in north-west Mediterranean marine caves. *Ecol Lett* 6: 371-379.

CIESM (2008) No. 35 - Climate Warming and Related Changes in Mediterranean Marine Biota. In: *CIESM Workshop Monographs* (ed. Briand, F.) Helgoland, Germany, http://ciesm.org/online/monographs/35/WM_35_39_45.pdf.

Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J.P., Iglesias, A., Lange, M.A., Lionello, P., Llasat, M.C., Paz, S., Peñuelas, J., Snoussi, M., Toreti, A., Tsimplis, M.N., Xoplaki, E. (2018) Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change* 8: 972-980.

D'Ortenzio, F., Antoine, D., Marullo, S. (2008) Satellite-driven modeling of the upper ocean mixed layer and air-sea CO₂ flux in the Mediterranean Sea, *Deep-Sea Res* 55(4): 405-434.

Danovaro, R., Dell'Anno, A., Pusceddu, A. (2004) Biodiversity response to climate change in a warm deep sea. *Ecol Lett* 7: 821-828.

Dore, J.E., Lukas, R., Sadler, D.W., Church, M.J., Karl, D.M. (2009) Physical and biogeochemical modulation of ocean acidification in the central North Pacific. *Proc Natl Acad Sci USA* 106(30): 12235-12240.

Ehrlich, P., Mooney, H. (1983) Extinction, substitution, and ecosystem services. *Bioscience* 33(4): 248-254.

European Commission (2021) European Green Deal. Mevcut adres: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (erişim tarihi 22.03.2021).

European Commission (2021) Mission Starfish 2030; restore our ocean and waters report. Mevcut adres: <https://op.europa.eu/en/web/eu-law-and-publications/publication-detail/-/publication/672ddc53-fc85-11ea-b44f-01aa75ed71a1> (erişim tarihi 22.03.2021).

European Commission (2021) The EU Blue Economy Report 2020. Publications Office of the European Union. Mevcut adres: Luxembourg. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_20_986 (erişim tarihi 22.03.2021).

European Commission Blue Growth (2021) Mevcut adres: https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/blue_growth_en (erişim tarihi 22.03.2021).

Galil, B.S., Danovaro, R., Rothman, S.B.S, Gevili, R., Goren M. (2019) Invasive biota in the deep-sea Mediterranean: an emerging issue in marine conservation and management. *Biological Invasions* 21: 281-288.

Goyet, C., Bradshaw, A.L., Brewer, P.G. (1991) The carbonate system in the Black Sea. *Deep-Sea Res* 38(2): 1049-1068.

Haines-Young, R., Potschin-Young, M.B. (2018) Revision of the Common International Classification for Ecosystem Services (CICES V5.1): A Policy Brief. *One Ecosystem* 3: e27108, doi: 10.3897/oneeco.3.e27108.

Hermoso, V., Clavero, M. (2011) Threatening processes and conservation management of endemic freshwater fish in the Mediterranean basin: a review. *Mar Freshwat Res* 62: 244-254.

Hiscock, W.T., Millero, F.J. (2006) Alkalinity of the anoxic waters in the Western Black Sea. *Deep-Sea Res* II, 53(17-19): 1787-1801.

Ibello, V., Fach Salihoğlu, B.A., Ok, M., Özhan, K., Örek, H., Yücel, M. (2021) Doğu Akdeniz'de CO₂ ve Asitleşme Seviyelerinin Değerlendirilmesi (ASSET) TÜBITAK projesi no. 117Y031 Sonuç Raporu 2021.

Kapsenberg, L., Alliouane, S., Gazeau, F., Mousseau, L., Gattuso J.P. (2017) Coastal ocean acidification and increasing total alkalinity in the northwestern Mediterranean Sea. *Ocean Sci* 13: 411-426.

Kideys, A.E. (2002) Fall and rise of the Black Sea ecosystem. *Science* 297: 1482-1484.

Kirby, R.R., Beaugrand, G. (2009) Trophic amplification of climate warming. *Proc R Soc B* 276: 4095-4103.

Kleypas, J.A., Feely, R.A., Fabry, V.J., Langdon, C., Sabine, C.L., Robbins, L.L. (2006) Impacts of Ocean Acidification on Coral Reefs and Other Marine Calcifiers: A Guide for Future Research, report of a workshop held 18–20 April 2005, St. Petersburg, FL, sponsored by NSF, NOAA, and the U.S. Geological Survey, 88 pp.

Kleypas, J.A., McManus, J.W., McManus, Meñez, L.A. (1999) Environmental limits to coral reef development: Where do we draw the line? *Integrative and Comparative Biology* 39(1): 146-159.

Kroeker, K.J., Kordas, R.L., Crim, R., Hendriks, I.E., Ramajo, L., Singh, G.S., Duarte, C.M., Gattuso, J.P. (2013) Impacts of ocean acidification on marine organisms: quantifying sensitivities and interaction with warming. *Global Change Biology* 19(6): 1884-1896.

Levin, L.A., Le Bris, N. (2015) The deep ocean under climate change. *Science* 350(6262): 766-768.

Lionello, P., Scarascia, L. (2018) The relation between climate change in the Mediterranean region and global warming. *Reg Environ Change* 18: 1481-1493.

Lischka, S., Büdenbender, J., Boxhammer, T., Riebesell, U. (2011) Impact of ocean acidification and elevated temperatures on early juveniles of the polar shelled pteropod *Limacina helicina*: mortality, shell degradation, and shell growth. *Biogeosciences* 8: 919-932.

Lloret, J., Sabatés, A., Muñoz, M., Demestre, M., Solé, I., Font, T., Casadevall, M., Martín, P., Gómez, S. (2015) How a multidisciplinary approach involving ethnoecology, biology and fisheries can help explain the spatio-temporal changes in marine fish abundance resulting from climate change. *Glob Ecol Biogeogr* 24: 448-461.

Ludwig, W., Bouwman, A.F., Dumont, F., Lespinas, F. (2010) Water and nutrient fluxes from major Mediterranean and Black Sea rivers: past and future trends and their implications for the basin-scale budgets. *Glob Biogeochem Cycles* 24: GB0A13, doi: 10.1029/2009GB003594.

Marbà, N., Jordà, G., Agustí, S., Girard, C., Duarte, C.M. (2015) Footprints of climate change on Mediterranean Sea biota. *Front Mar Sci* 2: 56.

Meier, K.J.S., Beaufort, L., Heussner, S., Ziveri, P. (2014) The role of ocean acidification in *Emiliania huxleyi* coccolith thinning in the Mediterranean Sea. *Biogeosciences* 11: 2857-2869.

Members of the Strategic Board of the BLUEMED Initiative (2017) BlueMed Strategic Research and Innovation Agenda First Update. Sliema (Malta), April 2017. http://www.bluemed-initiative.eu/wp-content/uploads/2019/01/BLUEMED-SRIA_Update_2017.pdf.

Milazzo, M., Quattrocchi, F., Azzurro, E., Palmeri, A., Chemello, R., Di Franco, A., Guidetti, P., Sala, E., Sciandra, M., Badalamenti, F., Garcio-Charton, J.A. (2016) Warming-related shifts in the distribution of two competing coastal wrasses. *Mar Environ Res* 120: 55-67.

Millennium Ecosystem Assessment (2021) Ecosystems and Human-Being: General Synthesis. Mevcut adres: www.millenniumassessment.org/en/Synthesis.html (erişim tarihi 22.03.2021).

Moiseenko, O.G., Konovalov, S.K., Kozlovskaya, O.N. (2011) Intraannual and long-term variations of the carbonate system of the aerobic zone in the Black Sea *Phys Oceanogr* 20: 435-450.

Mooney, H., Ehrlich, P. (1997) Ecosystem services: A fragmentary history. In: *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*, (ed., Daily G), Island Press, Washington, DC, USA, pp. 11-19.

Mora, C., Wei, C.L., Rollo, A., Amaro, T., Baco, A.R., Billett, D., Bopp, L., Chen, Q., Collier, M., Danovaro, R., Gooday, A.J., Grube, B.M., Halloran, P.R., Ingels, J., Jones, D.O., Levin, L.A., Nakano, H., Norling, K., Ramirez-Llodra, E., Rex, M., Ruhl, H.A., Smith, C.R., Sweetman, A.K., Thurber, A.R., Tjiputra, J.F., Usseglio, P., Watling, L., Wu, T., Yasuhara, M. (2013) Biotic and human vulnerability to projected changes in ocean biogeochemistry over the 21st century. *PLOS Biol* 11(10): e1001682, doi: 10.1371/journal.pbio.1001682.

Moy, A.D., Howard, W.R., Bray, S.G., Trull, T.W. (2009) Reduced calcification in modern Southern Ocean planktonic foraminifera. *Nat Geosci* 2: 276-280.

Myroshnychenko, V. (2020) SeaDataCloud Black Sea Temperature and Salinity Climatology V2, doi: 10.12770/847f1627-f39f-40af-b3b0-a2f6d29ff4dc.

Myroshnychenko, V., Simoncelli, S. (2020) SeaDataCloud Temperature and Salinity Climatology for the Black Sea (Version 2). Product Information Document (PIDoc), doi: 10.13155/77420.

Olafsson, J., Olafsdottir, S.R., Benoit-Cattin, A., Danielsen, M., Arnarson, T.S., Takahashi, T. (2009). Rate of Iceland Sea acidification from time series measurements. *Biogeosciences* 6: 2661-2668.

Orr, J.C. Fabry, V. J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S. C., Feely, R. A., Gnanadesikan, A., Gruber, N., Ishida, A., Joos, F., Key, R.M., Lindsay, K., Maier-Reimer, E., Matear, R., Monfray, P., Mouchet, A., Najjar, R.G., Plattner, G-K., Rodgers, K.B., Sabine, C.L., Sarmiento, J.L., Schlitzer, R., Slater, R.D., Totterdell, I.J., Weirig, M-F., Yamanaka, Y., Yool, A (2005) Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437(7059): 681-686.

Palmiéri, J., Orr, J.C., Dutay, J.C., Béranger, K., Schneider, A., Beuvier, J., Somot, S. (2015) Simulated anthropogenic CO₂ storage and acidification of the Mediterranean Sea. *Biogeosciences* 12: 781-802.

Parravicini, V., Mangialajo, L., Mousseau, L., Peirano, A., Morri, C., Montefalco, M., Francour, P., Kulbicki, M., Bianchi, C.N. (2015) Climate change and warm-water species at the northwestern boundary of the Mediterranean Sea. *Mar Ecol Evol Persp* 36: 897-909.

Pastor, F., Valiente J.A., Khodayar S. (2020) A warming Mediterranean: 38 Years of increasing sea surface temperature. *Remote Sensing* 12: 2687, doi: 10.3390/rs12172687.

Polonsky, A.B., Grebneva, E.A., The spatiotemporal variability of pH in waters of the Black Sea (2019) *Dokl Earth Sc* 486: 669-674.

Riebesell, U., Zondervan, I., Rost, B., Tortell, P., Zeebe, R.E., Morel, F. (2000) Reduced calcification of marine plankton in response to increased atmospheric CO₂. *Nature* 407: 364-367.

Ramirez-Llodra, E., Brandt, E., Danovaro, R., De Mol, B., Escobar, E., German, C.R., Levin, L.A., Martinez Arbizu, P., Menot, L., Buhl-Mortensen, P., Narayanaswamy, B.E., Smith, C.R., Tittensor, D.P., Tyler, P.A., Vanreusel, A., Vecchione M. (2010) Deep, diverse and definitely different: Unique attributes of the world's largest ecosystem. *Biogeosciences* 7(9): 2851-2899.

Rodrigues, L.C., Van Den Bergh, J.C.J.M., Massa, F., Theodorou, J.A., Ziveri, P., Gazeau, F. (2015) Sensitivity of Mediterranean bivalve mollusc aquaculture to climate change, ocean acidification, and other environmental pressures: findings from a producer survey. *J Shellfish Res* 34: 1161-1176.

Santana-Casiano, J.M., González-Dávila, M., Rueda, M.J., Llinás, O., and González-Dávila, E.F. (2007) The interannual variability of oceanic CO₂ parameters in the northeast Atlantic subtropical gyre at the ESTOC site. *Global Biogeochemical Cycles* 21: GB1015, doi: 10.1029 /2006GB002788.

Shiganova, T.A., Musaeva, E.L., Bulgakova, Y.V., Mirzoyan, Z.A., Martynyuk, M.L. (2003) Invaders Ctenophores *Mnemiopsis leidyi* (A. Agassiz) and *Beroe ovata* Mayer 1912, and their influence on the pelagic ecosystem of northeastern Black Sea. *Oceanology* 30: 180-190.

Simoncelli, S., Oliveri, P., Mattia, G. (2020a) SeaDataCloud Mediterranean Sea - V2 Temperature and Salinity Climatology, doi: 10.12770 /3f8eaace-9f9b-4b1b-a7a4-9c55270e205a.

Simoncelli, S., Oliveri, P., Mattia, G., Myroshnychenko, V., Barth, A., (2020b) SeaDataCloud Temperature and Salinity Climatology for the Mediterranean Sea (Version 2). Product Information Document (PIDoc), doi: 10.13155/77514.

Sisma-Ventura G., Bialik, O.M., Yam, R. Herut, B., Silverman, J. (2017) pCO₂ variability in the surface waters of the ultra-oligotrophic Levantine Sea: exploring the air-sea CO₂ fluxes in a fast warming region. *Mar Chem* 196: 13-23.

Stanev, E.V. Peneva, E., Chtirkova, B. (2019) Climate change and regional Ocean water mass disappearance: Case of the Black Sea. *JGR Oceans* 124(7): 4803-4819.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2021) Türkiye'nin İklim Değişikliği Uyum Stratejisi ve Eylem Planı Mevcut adres: https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim /editordosya/uyum_stratejisi_eylem_plani_TR.pdf (erişim tarihi 22.03.2021).

Thurber, R., Sweetman, A.K., Narayanaswamy, B.E., Jones, D.O.B, Ingels, J., Hansman, R.L. (2014) Ecosystem function and services provided by the deep sea. *Biogeosciences* 11: 3941-3963.

Townsend, M., Thrush, S.F., Lohrer, A.M., Hewitt, J.E., Lundquist, C.J., Carabines, M., Felsing, M. (2014) Overcoming the challenges of data scarcity in mapping marine ecosystem service potential. *Ecosystem Services* 8: 44-55.

Van de Waal, D.B., John, U., Ziveri, P., Reichart, G.J. (2013) Ocean acidification reduces growth and calcification in a marine dinoflagellate, *PLOS ONE* 8:

e65987, doi:10.1371/journal.pone.0065987.

Vautard, R., Gobiet, A., Sobolowski, S., Kjellström, E., Stegehuis, A., Watkiss, P., Mendlik, T., Landgren, O., Nikulin, G., Teichmann, C., Jacob, D. (2014) The European climate under a 2°C global warming. *Environ Res Lett* 9: 034006, doi: 10.1088/1748-9326/9/3/034006.

Vergés, A., Steinberg, P.D., Hay, M.E., Poore, A.G.B., Campbell, A.H., Ballesteros, E., Heck, K.L., Booth, D.J., Coleman, M.A., Feary, D.A., Figueira, W., Langlois, T., Marzinelli, E.M., Mizerek, T., Mumby, P.J., Nakamura, Y., Roughan, M., van Sebille, E., Gupta, A.S., Smale, D.A., Tomas, F., Wernberg, T., Wilson, S.K. (2014) The tropicalization of temperate marine ecosystems: climate-mediated changes in herbivory and community phase shifts. *Proc R Soc B* 281(1789):20140846, doi: 10.1098/rspb.2014.0846.

West A. (2015) Core Concept: Ecosystem services. *PNAS* 112(24): 7337-7338.

Zeebe, R.E. (2012) LOSCAR: long-term ocean–atmosphere–sediment carbon cycle reservoir model. *Geoscientific Model Development Discussions* 4: 1435-1476.

Karadeniz Deniz Yüzey Sıcaklık Artışları: Uydu Gözlemleriyle Güncel Trendler Üzerine Bir Değerlendirme

Tülay ÇOKAÇAR

İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul, Türkiye
tulay.cokacar@istanbul.edu.tr

Özet

Karadeniz deniz yüzey sıcaklarında (DYS) artış trendi, küresel DYS artışlarıyla, kıyaslandığında öne çıkarak sıcak nokta diyecebileceğimiz bir konumdadır. 1980lerden sonra uydu DYS'nin in situ verilerine eklenmesiyle, bölgesel ve küresel anlamda DYS sıcaklık ortalamalarında belirsizlikler önemli ölçüde düşürülmüş ve detaylı araştırma olanakları doğmuştur. Özellikle son yıllarda DYS artış trendindedir. Deniz yüzey sıcaklıklarına paralel olarak Karadeniz soğuk ara tabakası da ısınarak son yıllarda yok olma durumuna gelmiştir. Bir bütün olarak ele alındığında Karadeniz fiziksel özelliklerindeki bu değişimlerin, ekosistemde değişimlere yol açması kaçınılmazdır ve şimdiye kadarki etkisi birçok araştırmada ortaya koyulmuştur. Böyle değerlendirildiğinde konunun önemi açıktır ve sistemin uzun dönemli ya da olası ani tepkileri korkutucudur. Birçok araştırma, Karadeniz deniz yüzey sıcaklıkları ve atmosfer sıcaklığı zaman serisi analizlerinde, atmosfer sıcaklıklarının DYS'yi belirlemedeki etkin rolünü göstermiştir. Bu nedenle bölgeyi etkisi altına alan küresel boyuttaki atmosferik sistemlerin DYS sıcaklıklarını ne ölçüde etkilediğin üzerine çalışmalar önem kazanmıştır. Bununla birlikte oldukça karmaşık bileşenleri olan bu çalışmalardaki belirsiz kalan kısımların ilerideki araştırmalarla aydınlatılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: İklim, deniz yüzey sıcaklığı, atmosferik etkiler, ısınma trendi, uydu deniz yüzey sıcaklığı, iklim indeksleri

Giriş

19. yüzyıl sonlarıyla birlikte küresel ölçekte yüzey sıcaklıklarının arttığı artık bilinen bir gerçektir. Yeryüzünün üçte ikisi denizlerle kaplı olduğu düşünülürse, atmosferle direk ilişkide olan deniz yüzeyinin iklim sistemindeki önemi daha anlaşılır olacaktır. Deniz yüzey sıcaklığındaki temel iklim değişkeni (Bojinski ve diğ. 2014) ve en önemli iklim göstergelerinden biridir (EPA 2014).

Deniz yüzey sıcaklığındaki (DYS) değişimler, iklim sistemindeki ısınma eğilimini yansıtarlar ve bu değişim meteorolojik ve iklimsel sistemlere etki eder. Atmosfer deniz etkileşimi büyük ölçekli iklime katkıda bulunan bir faktör olmasının yanı sıra, deniz sıcaklığı değişimleri denizel ekosisteminin mikrodan makroya uzanan birçok sürecini etkiler. Dolayısıyla DYS değişimlerinin analizi, denizel ekosistemin küresel ısınmaya verdiği tepki ve bu tepkinin iklimsel diğer değişiklikleri nasıl etkileyebileceğini anlamak açısından değerlendirilir.

Deniz yüzeyi sıcaklığındaki değişimi ve değişim eğilimini (trendini) nicel olarak belirlemek, küresel iklim değişimini anlamak için birincil öneme sahiptir. DYS

değişim eğilimini değerlendirmek için uzun dönemli veriyi değerlendirmek gerekir. DYS değişimleri, gün içi değişimden, mevsimsel değişimlere, yıllık değişimlerden 5-10 yıllık süreçlere varan soğuma ve ısınma salınımlarını içerir. Isınma trendini belirlemek için ise tüm bu dönemsel etkileri elimine edip öyle değerlendirmemiz gerekir. Bir ısınma trendinden bahsedebilmek için genel olarak minimum 30 yıllık (WMO 2011) veri seti gereklidir. Daha kısa bir zaman serisi belirsizliğin artmasına sebep olacaktır. Öyle ki, 30 yıldan kısa zaman serisinde, seçilen başlangıç ve bitiş tarihlerinin değişmesi dahi sonucu büyük oranda değiştirebilecektir. Genel olarak 100 yıllık bir veri seti ile çalışmak belirsizliği daraltmak için değerli olacaktır. Küresel ölçekte, 1880-2012 yıllar arası ortalama deniz yüzey sıcaklığı on yıllık artışını yaklaşık $0,05^{\circ}\text{C}$ /onyıl olarak belirliyor (Hartmann ve diğ. 2013) bu da 130 yılda $0,6^{\circ}\text{C}$ artış demektir. Hartmann ve diğ. (2013) farklı veri setlerini karşılaştırdığı bu çalışmada son on yılda en yüksek deniz yüzey sıcaklığı artışı olduğu ortaya koyulmuştur.

1980'lerin başından itibaren, uydu üzerindeki sensörlerle deniz yüzey sıcaklığı verisi belirsizlik aralıkları daralmış ve daha önce az sayıda sınırlı istasyonda yapılan in situ ölçümleriyle mümkün olamayacak sıklıkta ve ölçekte ölçümler mümkün olabilmıştır. Bulgin ve diğ. (2020) küresel boyutta denizlerdeki sıcaklık artışını 1981-2018 aralığındaki 37 yıllık uydu verisi ile yaptığında $0,09^{\circ}\text{C}$ /onyıl buluyor.

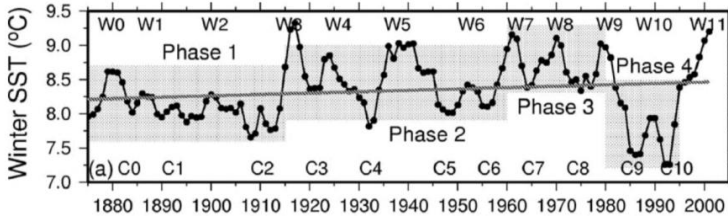
Karadeniz gibi yarı kapalı küçük ölçekte olup da farklı baskı faktörlerine maruz kapalıya yakın sistemler, duyarlı sistemler olarak değerlendiriliyor ve iklimsel değişimlere sistemin tepkisini gözlemlemek, anlamak/ortaya çıkarmak açısından uygun bir ortam olarak ele alınıyor (Stanev ve diğ. 2019). Burman ve diğ. (2020) küresel boyutta denizlerdeki ısınmayı değerlendirdiğinde dünya üzerinde üç bölgede genel ile kıyaslandığında daha yüksek artış belirliyor. Karadeniz bu üç bölgeden biri diğer iki bölge ise Akdeniz ve kuzey kutbu çevresi civarı olarak tespit edilmiş. Bu açıdan değerlendirildiğinde hem Karadeniz hem de Akdeniz'e kıyısı olan ülkemiz için küresel ısınma konusunun önemi artmaktadır.

Küresel boyutta olduğu gibi, Karadeniz ölçeğinde de uzun dönemli veride geriye doğru ölçüm yeri ve zamanı sıklığı azalmaktadır. Karadeniz'deki veri boşluğu da 1980'lerden bu yana uydu teknolojisi ile elde edilen yaygın ve yüksek sıklıktaki DYS uydu verileri ile tamamlanabilmiştir. Karadeniz'de deniz yüzey sıcaklığı değişimlerini inceleyen farklı çalışmalar farklı zaman aralıklarındaki veriyi değerlendirmişlerdir. Doğal olarak sonuçlarda değerlendirilen veri aralığını yansıtan DYS trenleridir. Tüm çalışmalar Karadeniz'de ısınma göstermektedir. Ginzburg ve diğ. (2004) Karadeniz'i, batı ve doğu olmak üzere iki basende incelemiş 1982-2000 yılları arasındaki AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) verisini kullanarak gerçekleştirdiği analizlerde Karadeniz'in batısında $0,08^{\circ}\text{C}$ /yıl, doğusunda ise $0,11^{\circ}\text{C}$ /yıl artış trendlerini göstermiş. Oğuz ve diğ. (2006) geriye dönük in- situ ve uydu SST verisini birleştirerek bir asrı geçen uzun dönemli bir veri setinde (1875-2000) kış ayları

DYS inceleyerek Karadeniz’de yaklaşık $0,0022^{\circ}\text{C} / \text{yıl}$ bir sıcaklık artışı eğilimi tespit etmiş (2000’li yıllara yaklaştıkça ısrarlı ısınmaya bu çalışmada da dikkat çekilmiş). Nardelli ve diğ. (2010) hemen hemen aynı dönemleri inceledikleri (1985-2005) Ginzburg ve diğ. (2004) ile benzer $0,075^{\circ}\text{C} / \text{yıl}$ sıcaklık artışı trendi belirlemiştir. Stanev ve diğ. (2019), 2005 ile 2019 yılları arasında Karadeniz soğuk ara tabakasını incelemiş ve $0,05^{\circ}\text{C} / \text{yıl}$ sıcaklık artışı eğilimi bulmuştur.

Karadeniz’in yüzey ısı akışı duyarlılığı daha önceki çalışmalarda (Staneva ve Stanev 1998; Schrum ve diğ. 2001) analiz edilmiştir. Capet ve diğ. (2012), Karadeniz iç dinamikleri ile DYS değişimleri ilişkisini, bütüncül bir yaklaşımla derinlemesine ortaya çıkarabilmişlerdir. Karadeniz’de gözlemlenen DYS değişimlerini, üç boyutlu fiziksel model sonuçlarında elde edebilmiştir bu sayede sistemin iç dinamiklerinin DYS değişimlerindeki etkisi belirlenebilmiştir. Araştırma, yıllar arası ve on yıllık DYS değişimleriyle, atmosfer sıcaklık değişimlerinin arasındaki uyumun, Karadeniz’i çevreleyen kuvvetli akıntının (Rim Current) güçlendiği zaman aralıklarında bozulduğunu ortaya çıkarmıştır. Bununla beraber, genel olarak atmosfer sıcaklığının Karadeniz’deki deniz yüzey sıcaklığındaki değişimleri belirlemiştir.

Oğuz ve diğ. (2006), Karadeniz’de on yıla yakın ölçekte sıcak ve soğuk dönemleri (Şekil 1) belirlemiş, atmosferik değişimlerle ilişkisinin analizini yapmıştır. 1985 ile 2000 arası DYS zaman serisi analizlerinde, bu dönemdeki doğrusal bir trend ile yükselen sıcaklık artışını, $0,25^{\circ}\text{C}$ olarak tespit etmiştir (Oğuz ve diğ. 2006). DYS değişim zaman aralıklarını beş ayrı döneme (phase1-5) ayırmıştır. 1985’den 1915’e kadar beş yıllık periyodlarla C0, C1, C2 olarak Şekil 1 de gösterilen üç soğuk döngü ile W0; W1, W2 ile gösterilen üç sıcak döngü birbirini takip etmiştir. Sonraki kırk beş yıl içerisinde 1960’lara kadar sıcaklık değişim bant aralığı $7,9$ ile $9,3^{\circ}\text{C}$ arasında değişecek şekilde, önceki dönemle kıyaslandığında $0,3^{\circ}\text{C}$ genişlemiş bir aralıkta sıcak ve soğuk döngüler yer almıştır. 1960 ile 1980 yılları arasında ki ısrarlı ısınmayı 1995 yılına kadar on beş yıl sürecinde, keskin bir soğuma takip etmektedir. 1995 sonrası yeni bir ısınma döneminin başlangıcını oluşturmaktadır.

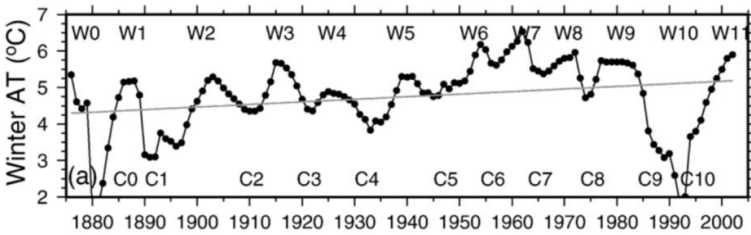


Şekil 1. Uzun dönemli kış (Aralık-Mart) deniz yüzeyi iç basen (>1500m) ortalama sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) (Oğuz ve diğ. 2006’dan alıntılanan Şekil 1a’dır).

Karadeniz soğuk ara tabakası değişimlerini inceleyen çalışmalar, atmosfer sıcaklığı ve DYS zaman serileri arasındaki istatistiksel olarak kuvvetli uyumun,

aynı şekilde soğuk ara tabakası ile DYS arasında da olduğunu göstermişlerdir (Oğuz ve diğ. 2006; Stanev ve diğ. 2019). Yakın zamanlı uydu verilerinin de katkısıyla Karadeniz iç dinamiklerini ortaya koyan modeller geliştirilerek artan yüzey sıcaklarının Karadeniz ara tabakası üzerindeki etkisi aydınlatılabilmektedir. Karadeniz’de ısınmayla birlikte son yıllarda soğuk ara tabakasında geriye dönük verilerle kıyaslandığında seviye düşüşü gözlemlenmiş ve varla yok arası bir duruma gelen ara tabakanın yok olma alarmı verdiği belirlenmiştir (Stanev ve diğ. 2019). Daha önceki çalışmalar (Capet ve diğ. 2014; Stanev ve diğ. 2014; Akpınar ve diğ. 2017) soğuk ara tabakasındaki ısınmayı belirlemiştir. Argo float ile ölçülen soğuk ara tabakası detaylı ölçümleri 2000’lere yaklaşırken başlayıp araştırma kapsamında incelenen 2019’a kadar ki veri setinde, ara tabakada 1°C’den fazla sıcaklık artışı belirlenmiştir (Stanev ve diğ. 2019).

Karadeniz yüzey sıcaklıklarının uzun dönemli yıllar ve 10 yıllar ölçeğinde değişimlerinin analizi, barındırdığı iklimsel işaretleri ortaya çıkarmak birçok araştırmanın konusu olmuştur. Bu amaç doğrultusunda DYS sıcaklıkları üzerinde, atmosferik dinamiklerin değişiminin etkisi niceliksel olarak incelenmiştir. Oğuz ve diğ. (2006) Karadeniz kıyısında yer alan Kerch meteoroloji istasyonu hava sıcaklığı verilerini incelediklerinde 1885-2005 yılları arasında hava sıcaklığının doğrusal bir trend ile yükselen sıcaklık artışı 0,09°C tespit etmişlerdir (Şekil 2). Oğuz ve diğ. (2006) bölgedeki ısrarlı hava sıcaklığı artışının bir kısmını Kuzey Atlantik’den sıcaklık adveksiyonlarıyla (NAO index) açıklarken, bir kısmını da sera gazlarının artışına paralel olarak artan radyasyon kaynaklı ısınmayla (Hurrell 1996) ilişkilendirmektedir. Şekil 2 de yer alan hava sıcaklıklarının ısınma ve soğuma dönemlerinin zamanlama ve ne kadar süreyle devam ettikleri Şekil 1’de belirlenen DYS ile örtüşmektedir (daha önce DYS zaman serisinde belirlenen C0-10 ve W0-11 indeksleriyle örtüşmeyi göstermektedir). Hava sıcaklığı dışında, rüzgar stresi, deniz seviyesindeki atmosfer basıncı ve buharlaşma ile yoğunlaşma arasındaki fark gibi atmosfere ilişkin diğer parametrelerde de DYS sıcaklığında gözlemlenen değişimler ile istatistiksel olarak kuvvetli bir korelasyon tespit edilmiştir.

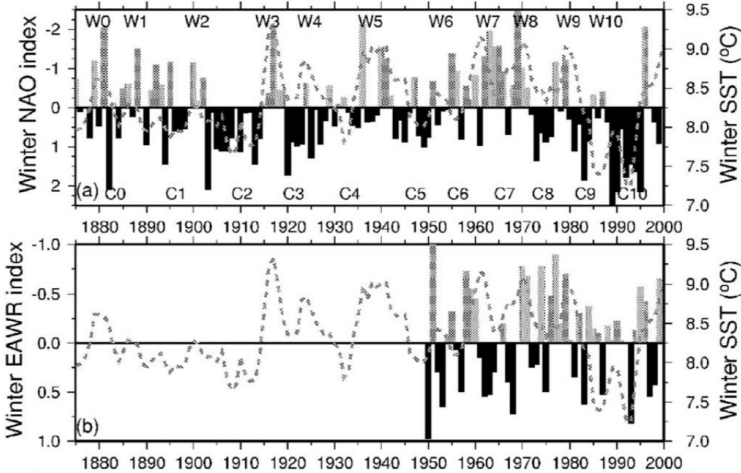


Şekil 2. Uzun dönemli kış (Aralık-Mart) Kerch meteoroloji istasyonu ölçümleri ortalama hava sıcaklığı (°C) (Oğuz ve diğ. 2006'dan alıntılanan Şekil 2a'dır).

Deniz yüzey sıcaklıklarının atmosferik parametrelerle korelasyonu, atmosferik değişimleri belirleyen küresel ölçekli atmosferik sistemleri incelemeyi ve buna bağlı olarak Karadeniz'i etkisi altına alan atmosferik sistemlerin deniz yüzey

sıcaklıklarındaki değişimlere verdiği tepkinin ortaya çıkarılması önem kazanmaktadır. Karadeniz’de baskın olarak batılı rüzgarlarla Güney Avrupa üzerinden gelen, Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) indeksi ile tanımlanabilen sistem ve Sibiryaya üzerinden gelen iki sistem hakimdir. Bu iki sistemlerin kuvvetlerinin değişimi bölge üzerindeki kontrolleri değiştirmekte ve bölgedeki dengeyi belirlemektedir. 1900 den 1984’e kadar NAO indeksi düşüşü 1,3 birim/asır (Jones ve diğ. 1997) olarak belirlenmiş ve bağlantılı olarak Akdeniz ve güney Avrupada batılı rüzgarlarda düşüş gözlemlenmiştir (Hurrell ve diğ. 1996). Bu düşüş bölgenin daha çok Sibiryaya üzerinden gelen sistemlerin etkisi altına girmesine sebep olmuştur. Bu system etkisindeki soğuk yıllar özellikle 1980 lerde Karadeniz ve Akdeniz baseninde gözlemlenmiştir (Özsoy ve Ünlüata 1997).

Atmosferik küresel sistemlerin Karadeniz DYS üzerindeki etkisi incelenmiş (Oğuz 2005b; Oğuz ve diğ. 2006), NAO ve Doğu Atlantik-Batı Rusya indeksi (EA-WR) zaman serileri, DYS sıcaklıkları zaman serileri ile karşılaştırılmıştır. Oğuz ve diğ. (2006) göreceli soğuk ve kuru geçen kış dönemleri pozitif NAO dönemleriyle, göreceli sıcak ve nemli geçen kış dönemleri ise negatif NAO indeksi ile örtüşdüğünü göstermiş ve NAO indeksinin, DYS deki değişimleri %50 açıklayabildiğini belirmiştir. Şekil 3’de görüldüğü üzere 1960-1980 dönemindeki sıcak DYS, negatif NAO indeksi ile büyük ölçüde eşleşirken, 1980-1995 de soğuyan DYS pozitif NAO indeks ile eşleşmektedir. NAO ve EA-WR indekslerinin birinin negatif ve diğerinin pozitif olduğu durumlar ve her ikisinin de aynı yönde olduğu durumlara göre sistem değerlendirildiğinde bu küresel atmosferik sistemlerin başka bir deyişle tele bağlantıların etkisinde DYS sıcaklıklarındaki değişimin daha iyi açıklanabildiği sonucu ortaya çıkmıştır.



Şekil 3. Uzun dönemli kış değişimleri (a) 1875-200 Azurlar ve İzlanda arasındaki basınç farkını baz alan, Kuzey Atlantik Salınımı indeksi (NAO) (b) 1958-2000 dönemi Doğu Atlantik-Batı Rusya indeksi (EA-WR) (Oğuz ve diğ. 2006’dan alıntılanan Şekil 4a, b’dir). Kesikli çizgi ile gösterilen eğriler deniz yüzey sıcaklığını göstermektedir.

Diğer araştırmalarda (Ginzburg ve diğ. 2004; Kazmin ve Zatselin 2007; Capet ve diğ. 2012) NAO nun Karadeniz DYS sıcaklığına etkili olduğu konusunda ortak görüşte olmakla beraber, ayrı sonuçlara vardıkları durumlar da olmuştur. Kazmin ve Zeplin (2017) Karadeniz DYS sıcaklıkları ile EA/WR arasında ilişki bulamamıştır. Ginzburg ve diğ. (2004) Karadeniz'e olası El Nino etkisini incelediğinde, DYS deki aşırı minimum ve maksimum değerlerin El Nino yu yansıtan ENSO indeksi ile açıklanabileceğini belirlerken, Capet ve diğ. (2012) bir ilişki bulamamıştır.

Küresel atmosferik sistemlerin Karadeniz hava sıcaklığı ve DYS üzerindeki etkisin farklı çalışmalarda farklı ağırlıklarda belirlenmesi, yapılan araştırmada atmosferik hareketlerin değişim ölçeklerinin dikkate alınıp alınmadığı ve/veya zaman ortalaması hesaplarken başvurulan yöntem farklılığı dolayısı ile ortaya çıkmaktadır.

Karadeniz üst tabakasındaki sıcaklık değişimleri, Karadeniz ekosistemini ve biyolojik üretimi etkileyen en önemli hidrolojik etkenlerden birisi (Oğuz ve diğ. 2003; Oğuz 2005a) olarak değerlendirilmektedir. 1980'lerde gözlemlenen antropojenik etkilerin baskısındaki Karadeniz ekosistemindeki değişimler, antropojenik baskılar ve iklimsel kuvvetlerin karşılıklı etkileşimleriyle açıklanabilmektedir (Oğuz ve diğ. 2006). DYS değişimlerinin ekosistemdeki değişimlerindeki etkin rolü, bu konunun başka bir boyuttaki öneminin de altını çizmektedir.

Tartışma

Küresel deniz yüzeyi sıcaklık artışı haritalandığında Akdeniz ve Kuzey Atlantik etkeleri ile birlikte daha yüksek bir artış gösteren Karadeniz'deki DYS artışı ön plana çıkmaktadır. Böyle değerlendirilince konu üzerine yapılan çalışmaların, konumu itibariyle Türkiye için önemi açıktır. Diğer taraftan global ölçekte değerlendirilmesi kompleks olan iklimsel değişimleri, Karadeniz gibi küçük ölçekli fakat baskı faktörlerine duyarlı sistemde incelemek, küresel boyuttaki bileşenleri değerlendirmek ve değişimleri anlamak için önemlidir.

1980'lerden bu yana uydu teknolojisi ile elde edilen yaygın ve yüksek sıklıktaki DYS uydu verileri ve yine uydu Deniz Seviyesi Anomali verileri Karadeniz iç dinamiklerinin modellenmesi çalışmaları için önemli veri kaynağı olmuştur. Bu verilerden faydalanarak geliştirilen modeller, Karadeniz iç dinamiklerinin, DYS değişimlerine etkisini açıklayabilmiş, farklı bileşenlerin sisteme etkisi ortaya koyabilmiştir. Yakın zamanda uydu verilerine dayalı yapılan çalışmalar ile deniz yüzey sıcaklıklarına paralel olarak, Karadeniz soğuk ara tabakasının son yıllarda ısınarak yok olma durumuna geldiği ortaya koyulmuştur. Karadeniz fiziksel özelliklerinde ki bu değişimlerin, ekosistemde değişimlere yol açması kaçınılmazdır.

Küresel atmosferik sistemlerin Karadeniz üzerindeki etkisini araştırmak karmaşık bileşenleri olan bir konu olmakla birlikte, her karmaşık konudaki yaklaşım gibi, sistemi basitleştirerek anlamaya çalışıyoruz. Yapılan araştırmalar etki eden atmosferik sistemlerin analizinde genel bir tablo ortaya koymakla birlikte, birçok konu tam olarak anlaşılamamış durumdadır. Karadeniz'deki uzun dönemli DYS değişimlerinde NAO, EA/WR ve ENSO gibi indekslerin etki faktörleri tam olarak anlaşılamamıştır. Bu nedenle Küresel atmosferik sistemlerin, Karadeniz'deki uzun dönemli DYS değişimini etkileme mekanizmaları ileride de çalışılması gereken önemli bir konu olarak durmaktadır.

Kaynakça

Akpınar, A., Fach, B.A., Oğuz, T. (2017) Observing the subsurface thermal signature of the Black Sea cold intermediate layer with Argo profiling floats. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 124: 140-152.

Bojinski, S., Verstraete, M., Peterson, T.C., Richter, C., Simmons, A., Zemp, M. (2014) The concept of essential climate variables in support of climate research, applications, and policy. *Bull Amer Meteor Soc* 95: 1431-1443.

Bulgin, C.E., Merchant, C.J., Ferreira, D. (2020) Tendencies, variability and persistence of sea surface temperature anomalies. *Sci Rep* 10: 7986.

Capet, S., Barth, A., Beckers, J.M., Marilaure, G. (2012) Interannual variability of Black Sea's hydrodynamics and connection to atmospheric patterns. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 77-80: 128-142.

Capet, A., Troupin, C., Carstensen, J., Grégoire, M., Beckers, J.M. (2014) Untangling spatial and temporal trends in the variability of the Black Sea cold intermediate layer and mixed layer depth using the DIVA detrending procedure. *Ocean Dynamics* 64(3): 315-324.

Ginzburg, A., Kostianoyu, A., Sheremet, N. (2004) Seasonal and interannual variability of the Black Sea surface temperature as revealed from satellite data (1982–2000). *J Mar Syst* 52: 33-50.

Hartmann, D.L., Klein Tank, A.M.G., Rusticucci, M., Alexander, L.V., Brnnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F.J., Dlugokencky, E.J., Easterling, D.R., Kaplan, A., Soden, B.J., Thorne, P.W., Wild, M., Zhai, P.M. (2013) Observations: Atmosphere and Surface. In: Climate Change. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- Hurrell, J.W. (1996) Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperature. *Geophys Res Lett* 23: 665-668.
- Jones, P.D., Jonsson, T., Wheeler, D. (1997) Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland. *Int J Climatol* 17: 1433-1450.
- Kazmin, A.S., Zatsepin, A.G. (2007) Long-term variability of surface temperature in the Black Sea, and its connection with the large-scale atmospheric forcing. *Journal of Marine Systems* 68(1-2): 293-301.
- Nardelli, B.B., Colella, S., Santoleri, R., Guarracino, M., Kholod, A. (2010) A re-analysis of Black Sea surface temperature. *J Mar Syst* 79: 50-64.
- EPA (2014) Climate Change indicators in the United States, 2014. Third Edition. U.S. Environmental Protection Agency, EPA 430-R-14-004.
- Oğuz, T. (2005a) Long-term impacts of anthropogenic forcing on the Black Sea ecosystem. *Oceanography* 18(2): 104-113.
- Oğuz, T. (2005b) Black Sea ecosystem response to climatic teleconnections. *Oceanography* 18(2): 122-133.
- Oğuz, T., Çokaçar, T., Malanotte-Rizzoli, P., Ducklow, H.W. (2003) Climatic warming and accompanying changes in the ecological regime of the Black Sea during 1990s. *G Biogeochem Cycles* 17(3): 1088, doi: 10.1029/2003GB002031.
- Oğuz, T., Dippner, J.W., Kaymaz, Z. (2006) Climatic regulation of the Black Sea hydro-meteorological and ecological properties at interannual-to-decadal time scales. *Journal of Marine Systems* 60: 235-254.
- Özsoy, E., Ünlüata, Ü. (1997) Oceanography of the Black Sea a review of some recent results. *Earth Sci Rev* 42(4): 231-272.
- Schrump, C., Staneva, J., Stanev, E., Özsoy, E. (2001). Air-sea exchange in the Black Sea estimated from atmospheric analysis for the period 1979–1993. *Journal of Marine Systems* 31(1-3): 3-19.
- Stanev, E.V., He, Y., Staneva, J., Yakushev, E. (2014) Mixing in the Black Sea detected from the temporal and spatial variability of oxygen and sulfide Argo float observations and numerical modelling. *Biogeosciences* 11(20): 5707-5732.
- Stanev, E.V., Peneva, E., Chtirkova, B. (2019) Climate change and regional ocean water mass disappearance: Case of the Black Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 124(7): 4803-4819.

Staneva, J.V., Stanev, E.V. (1998) Oceanic response to atmospheric forcing derived from different climatic data sets. Intercomparison study for the Black Sea. *Oceanologica Acta* 21(3): 393-417.

WMO (2011) Guide to climatological practices. World Meteorological Organization Rep. 100, 117 p.

Güney Karadeniz Kıyıları Deniz Suyu Yüze Y sıcaklığının Uzun Dönemli Değişimi

Ertuğrul AĞIRBAŞ^{*1}, Abdullah Metin ÇAKIROĞLU²

¹ Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Rize, Türkiye

² Atatürk Havalimanı Meteoroloji Müdürlüğü, İstanbul, Türkiye

* ertugrul.agirbas@erdogan.edu.tr

Özet

Bu çalışmada Karadeniz'in Türkiye kıyıları deniz suyu yüze sıcaklıklarının uzun dönemli (1970-2018) değişimi ve iklimsel indekslerle olan ilişkisi araştırılmıştır. Bu amaçla ülkemiz Karadeniz kıyı şeridinde yer alan meteoroloji gözlem istasyonları tarafından ölçülen deniz suyu yüze sıcaklık verileri kullanılmıştır. Çalışma süresince deniz suyu yüze sıcaklığı aylık 6,75-23,19°C arasında değişim göstermiştir. Yıllık ortalamalar ise 12,89-16,37°C arasında değişim gösterirken, sıcaklıkların her geçen yıl giderek arttığı tespit edilmiştir. Regresyon analizleri deniz suyu yüze sıcaklıklarında 0,04-0,05°C dolaylarında istatistiki bir artış olduğunu gösterirken ($p < 0,001$), doğu havzadaki artışın daha dikkat çekici olduğu görülmüştür ($r=0,69$, $p < 0,001$). Bölgede EAWR ile deniz suyu yüze sıcaklığı arasında negatif ve güçlü ilişkiler tespit edilmiştir (Pearson korelasyonu = -0,65; $p < 0,001$). NAO ile deniz suyu yüze sıcaklığı 1970-1994 ve 2010 sonrası dönemde pozitif bir ilişki sergilemiştir. Deniz suyu yüze sıcaklığı ile Güney salınımı arasında pozitif ve Arktik salınımı ile negatif ilişkiler tespit edilmiştir ($p > 0,05$). Bu çalışma ile Türkiye'nin Karadeniz kıyılarında deniz suyu yüze sıcaklıklarında genel anlamda bir artış eğilimi olduğu ve özellikle son 10 yılda bu trendin daha da hissedilir olduğu görülmüştür. Deniz suyu yüze sıcaklığında tespit edilen bu artış ve iklimsel salınım indeksleri ile olan ilişki ısınmanın bölgesel olduğu kadar küresel kaynaklı olduğunu da göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Deniz suyu yüze sıcaklığı, iklim değişikliği, EAWR, NAO, Karadeniz

Giriş

İklimsel değişimler atmosferik olaylardaki sapmalar ile doğrudan ilişkilidir. Olağan atmosfer koşullarının ekstrem fazlarının oluşmasında iklimsel salınım indekslerinin etkileri oldukça fazladır. Deniz suyu yüze sıcaklığı (DSYS) en önemli iklimsel parametrelerden biri olup uzun dönemli değişimlerinin ve anomalilerinin ortaya konulması, iklimsel indekslerle ilişkilendirilmesi bu parametrenin sucul ekosistemler açısından mevcut ve olası etkilerinin belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır (Kaplan ve diğ. 1998; Maiyya ve diğ. 2010). DSYS, küresel atmosferik salınımlar, yağış miktarları, yoğunluk farklılıkları ve akıntı sistemleri gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Bu gibi etkenler nedeniyle DSYS zaman içerisinde artış veya azalış eğilimleri sergilemektedir. Ancak son zamanlarda iklimsel değişime bağlı olarak sıcaklık trendi daha çok artış yönünde gerçekleşmektedir. DSYS hava ve deniz yüzeyi arasındaki ısı değişiminin tahmin edilmesinde kullanılan önemli bir jeofiziksel

parametredir. Deniz suyu yüzey sıcaklığındaki değişimler küresel iklim modelleri için gerekli olan dünyanın ısı bütçesinin ortaya konmasında ve atmosferik sirkülasyonların tayininde oldukça önem arz etmektedir. Küresel ölçekli hava sistemleri ve Karadeniz'in bölgesel iklim şartları arasında yakın bağlantı olduğunu gösteren çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Niermann ve diğ. 1999; Oğuz 2005; Oğuz ve diğ. 2006; Oğuz ve Gilbert 2007).

Karadeniz'de deniz suyu yüzey sıcaklığı mevsimsel ve bölgesel olarak önemli salınımlar gösterir. Kış aylarında (Şubat-Mart) yüzey suyu sıcaklığı 6-7°C'ye kadar düşerken; güney kesimlerinde 8-9°C, kuzey kesimlerde ise 2-3°C arasında değişmektedir. Tuzluluğun düşük olduğu Azak Denizi ve Odesa Körfezi'nde kış aylarında sıcaklıkların düşmesiyle birlikte sular donmaktadır. Buz kütleleri bazı yıllarda (1929 ve 1954) İstanbul Boğazı'na kadar ulaştığı rapor edilmektedir. Yaz aylarında (Temmuz-Ağustos) ise ortalama 20-22°C seviyelerinde olan deniz suyu yüzey sıcaklığı, güney ve doğu kıyılarında 24-25°C'ye kadar yükselmektedir (Oğuz ve diğ. 1991).

Dünya üzerindeki iklimsel salınımların (Kuzey Atlantik Salınım (NAO), Arktik Salınımı (AO), Güney Salınımı (SO), Doğu Atlantik/Batı Rusya Salınımı (EAWR) vb.) şiddeti oluştukları bölgelere ve zamana bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle araştırmacılar öncelikle ve çoğunlukla çalışma bölgelerine yakın olan salınım indekslerini tercih etmektedirler. Türkiye açısından ise NAO, AO, El Niño/Güneyli Salınım (ENSO) indekslerinin etkili olduğu bildirilmektedir (Demircan 2018). Son dönemlerde ise Kuzey Atlantik/Batı Rusya (EAWR) ve Kuzey Denizi-Hazar Paterni (NCP)'nin de etkili olduğu rapor edilmektedir (Kutiel ve Benaroch 2002; Oğuz ve diğ. 2006; Güçlü 2013).

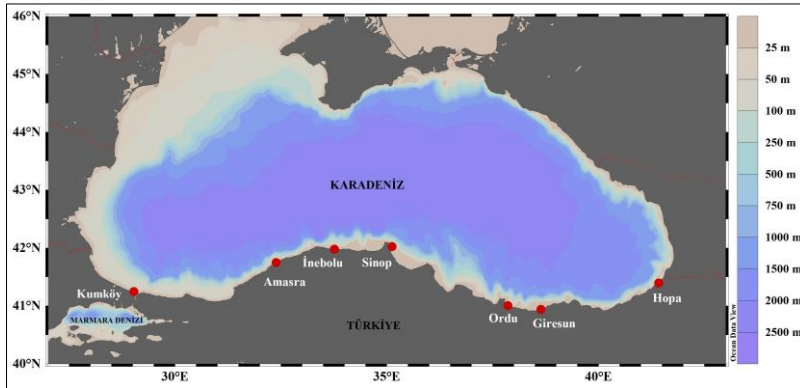
NAO, Azor adaları üzerinde etkisini sürdüren yüksek basınç merkezi ile Grönland ve İzlanda üzerinde egemen alçak basınç merkezi arasındaki geniş ölçekli atmosferik basınç dalgalanması olarak tanımlanmaktadır. Bu indeks Akdeniz de dâhil olmak üzere Avrupa'nın çoğunda iklimsel değişimin ana belirleyicisidir (Hurrell 1995; Hurrell ve diğ. 2003). Salınımın pozitif olması durumunda İzlanda alçak ve Azor yüksek basınç merkezlerinin arasındaki atmosferik basınç farkı yüksektir. Bu durumda Karadeniz üzerinde etkili olan basınç sistemi Azor yüksek basınç merkezidir ve bu durumda düşük deniz suyu yüzey sıcaklıkları, azalan buharlaşma miktarları ve düşük hava sıcaklıkları gözlemlenir. İndeksin negatif olduğu durumlarda ise deniz suyu yüzey sıcaklıklarının arttığı ılıman atmosfer koşulları gözlemlenir. Arktik Salınım ile Türkiye'de minimum sıcaklık değerleri arasında bir ters orantı göze çarpmaktadır. Arktik salınım arttıkça Türkiye'de soğuk bir kış mevsimi yaşanırken Arktik salınım azaldıkça ülkemizde nispeten ılık bir kış mevsimi hüküm sürmektedir (Bozyurt 2017). Güney Salınımı tropik enlemlerde, doğu ve batı Pasifik Okyanusu arasındaki atmosferik basıncın karşılıklı değişimini ifade eden büyük ölçekli bir salınımdır ve yıllar arası iklimsel değişimlerin en dikkate değer işareti olarak kabul edilir. Bu salınımın uç noktadaki fazları El Nino (pozitif) ve La Nina (negatif) adları ile bilinirler. El

Nino olayları güneydoğu Pasifik'te normalden daha yüksek atmosfer basıncına karşılık gelir. La Nina olayları ise El Nino olaylarının tam tersi şartları ifade eder (Bridgman ve Oliver 2006). EAWR salınımı ise ağırlıklı olarak batı Avrupa ve Hazar bölgesinde etkili olan bir hava akımı olup pozitif fazı soğuk hava koşullarını beraberinde getirirken negatif fazı ise sıcak hava koşullarının oluşmasına yol açar (Oğuz ve diğ. 2006).

İklimsel değişime bağlı olarak ortaya çıkan sıcaklık artışları ve deniz suyu yüzey sıcaklığındaki değişimler su kolonu içerisinde dikey tabakalaşma, karışım, besin tuzu konsantrasyonu, fitoplankton tür kompozisyonu, av-avcı ilişkisi, büyüme ve stoğa katılım gibi birçok parametreyi etkiler (Sarmiento ve diğ. 2004; Oğuz 2005; Petitgas ve diğ. 2012). Küresel ısınma dolayısıyla son on yılda deniz suyu yüzey sıcaklığında yaklaşık 0,2°C'lik bir artış kaydedilirken (IPCC 2007), 2014 IPCC iklim raporu deniz suyu yüzey sıcaklık artışlarının tahmin edilenden daha fazla olacağını öngörmektedir. Karadeniz gibi marjinal denizler diğer açık denizlere göre iklimsel değişimlere karşı daha hassastırlar (Anadon ve diğ. 2007). Küresel ısınmaya bağlı olarak meydana gelen değişimler ekosistemin tüm öğelerini etkilediği için sistemin sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma ile Türkiye'nin Karadeniz kıyıları için deniz suyu yüzey sıcaklıklarının uzun dönemli (1970-2018) değişimi araştırılmış ve iklimsel salınım indeksleri ile olan ilişkisi açıklanmaya çalışılmıştır.

Materyal ve Metot

Çalışmada ülkemiz Karadeniz kıyılarında yer alan meteoroloji gözlem istasyonları (Kumköy, Amasra, İnebolu, Sinop, Ordu, Giresun ve Hopa) tarafından ölçülen uzun dönemli (1970-2018) deniz suyu yüzey sıcaklık verileri kullanılmıştır. Çalışma bölgesi batı ve doğu olacak şekilde iki havzaya ayrılarak incelenmiştir (Şekil 1). Batı havza içerisinde; Kumköy, Amasra ve İnebolu istasyonları yer alırken, doğu havzada ise Sinop, Ordu, Giresun ve Hopa istasyonları yer almaktadır.



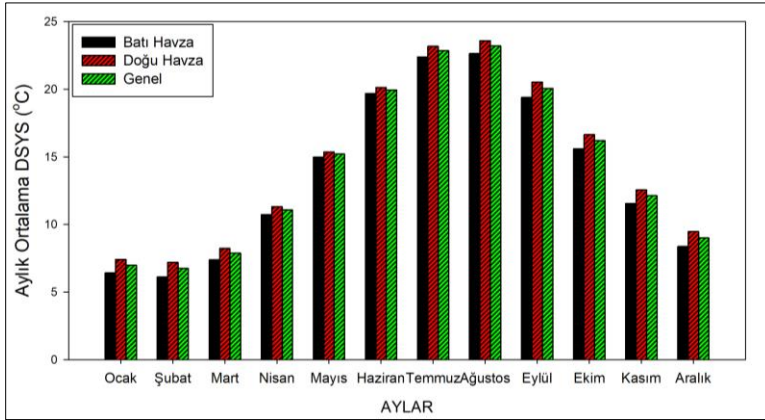
Şekil 1. Çalışma bölgesi ve meteoroloji gözlem istasyonlarının konumu

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından kalite kontrol ve format dönüşümleri yapıldıktan sonra arşivlenen deniz suyu yüzey sıcaklık verileri, Meteorolojik Veri Bilgi Satış Ve Sunum Sistemi (MEVBİS) üzerinden elde edilmiştir. Her istasyon için aylık ortalama olarak kaydedilen verilerin yıllık ortalamaları hesaplandıktan sonra uzun dönemli zaman serileri oluşturularak analiz ve değerlendirmeler yapılmıştır. Daha sonra ise bu zaman serilerinin iklimsel salınım indeksleri ile olan ilişkileri değerlendirilmiştir. İklimsel indeks verileri;

- <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/hurrell-north-atlantic-oscillation-nao-index-station-based> (NAO)
 - https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/cwlink/daily_ao_index/monthly_ao_index.b50.current.ascii.table (AO)
 - <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/soi/> (SO)
 - ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/wd52dg/data/indices/eawr_index.tim (EAWR)
- çevrimiçi olarak sunulan veri bankaları kullanılarak oluşturulmuştur.

Bulgular

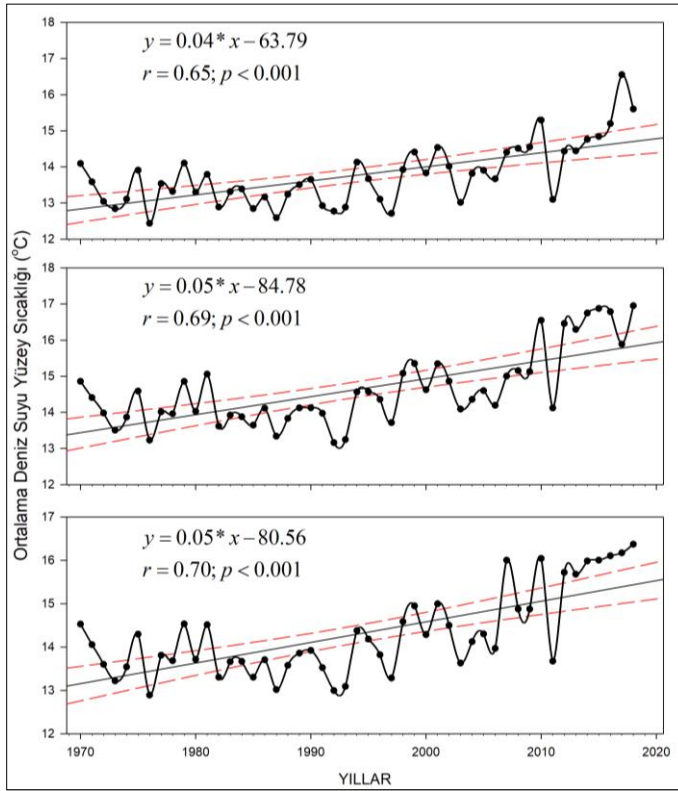
Çalışmanın yürütüldüğü dönem içerisinde aylık ortalama DSYS 6,75-23,19°C arasında değişim göstermiştir (Şekil 2). Sıcaklığın en düşük olduğu ay Şubat olurken en yüksek sıcaklık Ağustos ayında kaydedilmiştir. Havza ölçeğinde bir karşılaştırma yapıldığında Doğu Havza'ya ait aylık sıcaklık ortalamalarının Batı Havza'dan yüksek olduğu tespit edilmiştir, ancak gözlemlenen bu farklılığın istatistikî açıdan önemli olmadığı görülmüştür (Mann-Whitney U, $p>0,05$). Aylık ölçekte Batı Havza'da sıcaklıklar 6,12-22,63°C arasında değişim gösterirken Doğu Havza'da ise 7,20-23,59°C arasında değişmiştir.



Şekil 2. 1970-2018 dönemi için aylık ortalama DSYS değişimi

Yıllık ortalamalar açısından bir değerlendirme yapıldığında ise sıcaklık değişimleri havza genelinde 12,89-16,37°C arasında değişim gösterirken, sıcaklıkların her geçen yıl giderek arttığı dikkat çekmektedir (Şekil 3). Doğu

havzadaki (13,16-16,95°C) yıllık DSYS değişiminin batı havzadan (12,44-16,55°C) daha yüksek olduğu ve bu farklılığın istatistiki açıdan önemli olduğu tespit edilmiştir (Mann-Whitney U, $p < 0,001$). Batı Havza için yıllık ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı 13,79°C iken, Doğu Havza'da ise 14,66°C olarak gözlemlenmiştir. Doğu ve Batı Havzadaki ortalama deniz suyu yüzey sıcaklıklarındaki trend incelendiğinde ise her iki havzada da deniz suyu yüzey sıcaklığının artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Regresyon analizleri yıllık ortalama deniz suyu yüzey sıcaklıklarında, Havza genelinde 0,05°C ($p < 0,001$), Batı Havzada 0,04°C ($p < 0,001$) dolaylarında ve Doğu Havzada ise 0,05°C ($p < 0,001$) artış olduğunu göstermiştir (Şekil 3).

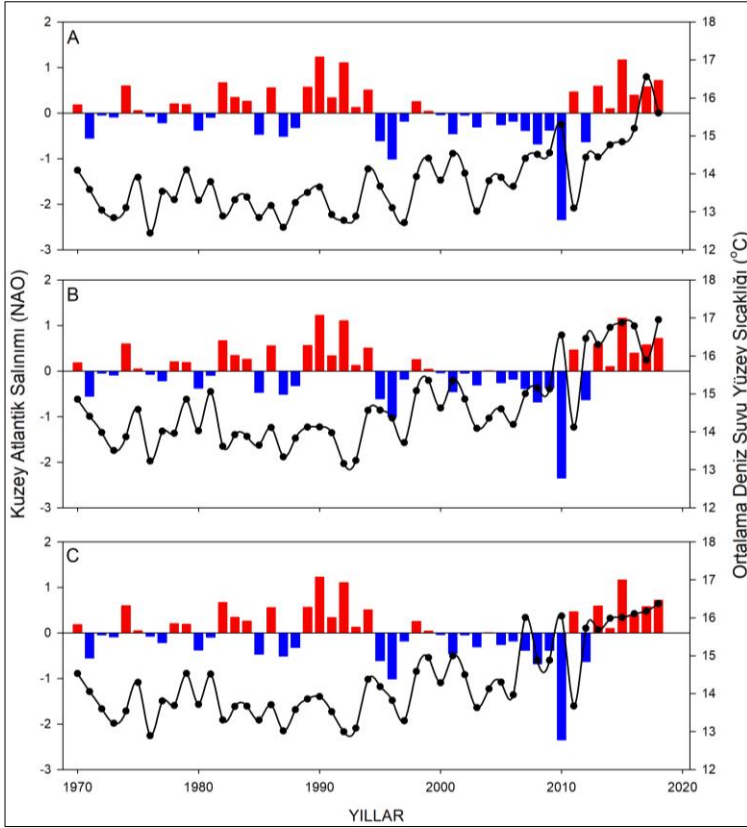


Şekil 3. Yıllara göre Ortalama Deniz Suyu Yüzey Sıcaklığındaki değişim (A: Batı Havza, B: Doğu Havza, C: Tüm Havza, Düz Siyah Çizgi: Lineer Regresyon, Kırmızı Kesikli Çizgi: %95 Güven Aralığı)

Kuzey Atlantik salınımı (NAO Index)

Çalışma bölgesinde, NAO indeks ile DSYS arasında düzensiz bir ilişki gözlemlenmektedir (Şekil 4). Zaman serisi içerisinde 1970 ile 1994 yılları arasında

çoğunlukla pozitif bir ilişki söz konusu iken, 1994 ile 2010 yılları arasında negatif ilişki tespit edilmiştir. 2010 yılından sonra ise tekrar pozitif bir ilişki gözlenmiştir. Korelasyon analizi DSYS ile NAO arasında negatif ve ancak istatistiki açıdan önemli olmayan bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur (Pearson Korelasyonu, $p > 0,05$).

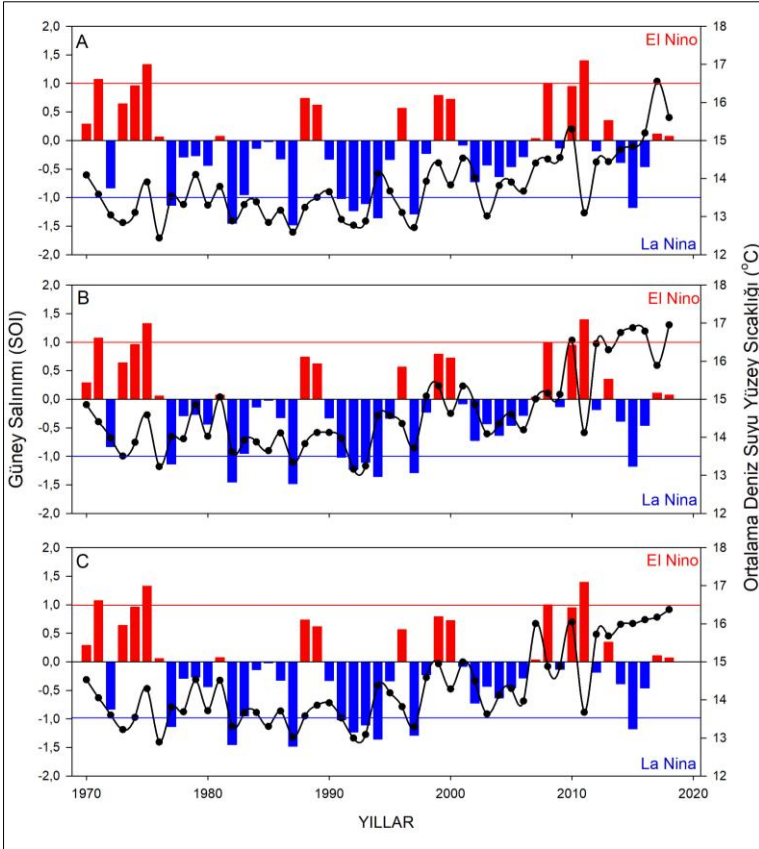


Şekil 4. Yıllık Ortalama Deniz Suyu Yüzey Sıcaklığı ve Kuzey Atlantik Salınımı arasındaki ilişki (A: Batı Havza, B: Doğu Havza, C: Tüm Havza, Bar grafiği: NAO indeksi, Çizgi grafiği: Ortalama deniz suyu sıcaklığı).

Güney salınımı (SO Index)

SO indeksi ile ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı arasındaki ilişki incelendiğinde ise NAO'ya benzer şekilde düzensiz bir ilişki tespit edilmiştir (Şekil 5). Grafikte pozitif ve 1'den büyük değerler kuvvetli El Nino fazını gösterirken, negatif değerler ve özellikle -1'in altındaki değerler ise kuvvetli La Nina fazını göstermektedir. Zaman serisi içerisinde genel olarak La Nina fazı etkili olurken, 1970-1980 ve 2007-2013 yılları arasında ise El Nino fazının etkili

olduğu dikkat çekmektedir. Çalışma süresince DSYS ile SO arasında 1975 ile 2008 yılları arasında negatif, 2008-2013 yılları arasında pozitif ve 2013 yılından sonra ise negatif bir ilişki göze çarpmaktadır. DSYS ile yapılan korelasyon analizlerinde pozitif bir ilişki tespit edilirken ancak bu ilişkinin istatistiki açıdan önemli olmadığı görülmüştür (Pearson Korelasyonu, $p > 0,05$).

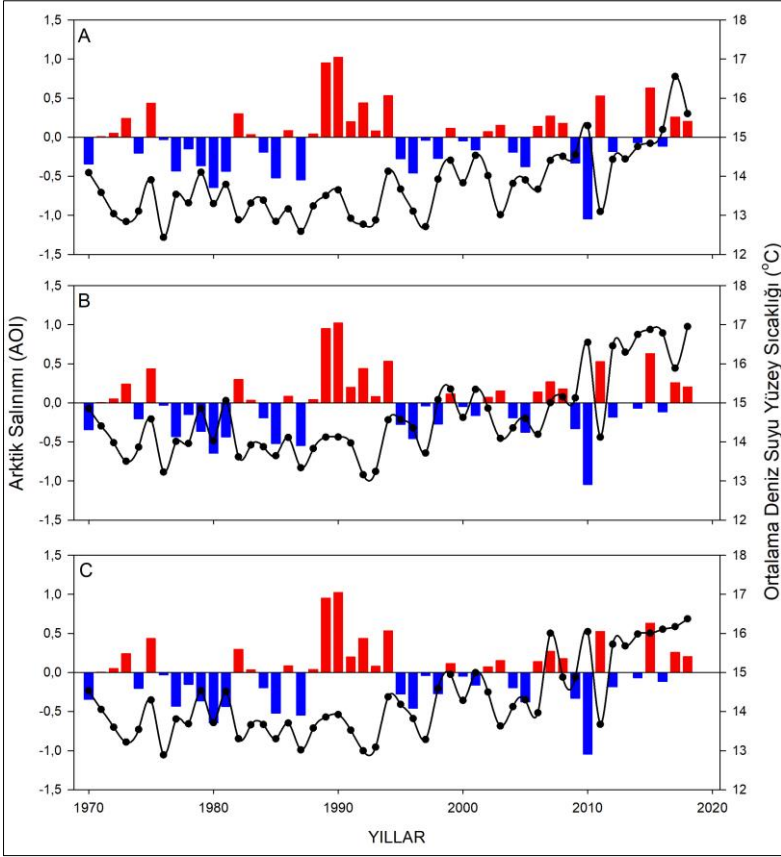


Şekil 5. Yıllık Ortalama Deniz Suyu Yüze Sıcaklığı ve Güney Salınım İndeksi arasındaki ilişki (A: Batı Havza, B: Doğu Havza, Bar grafiği: SO indeksi, Çizgi grafiği: Ortalama deniz suyu sıcaklığı, Yatay Kırmızı Çizgi: Kuvvetli El Nino, Yatay Mavi Çizgi: Kuvvetli La Nina).

Arktik salınımı (AO Index)

Arktik salınım ile deniz suyu yüze sıcaklığı arasında 1989-1994 yılları ile 2011-2018 yılları arasında pozitif ilişki söz konusu iken, diğer dönemlerde deniz suyu yüze sıcaklığının AO indeks ile negatif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6). Yapılan korelasyon analizlerinde her iki havza için AO ile deniz suyu yüze

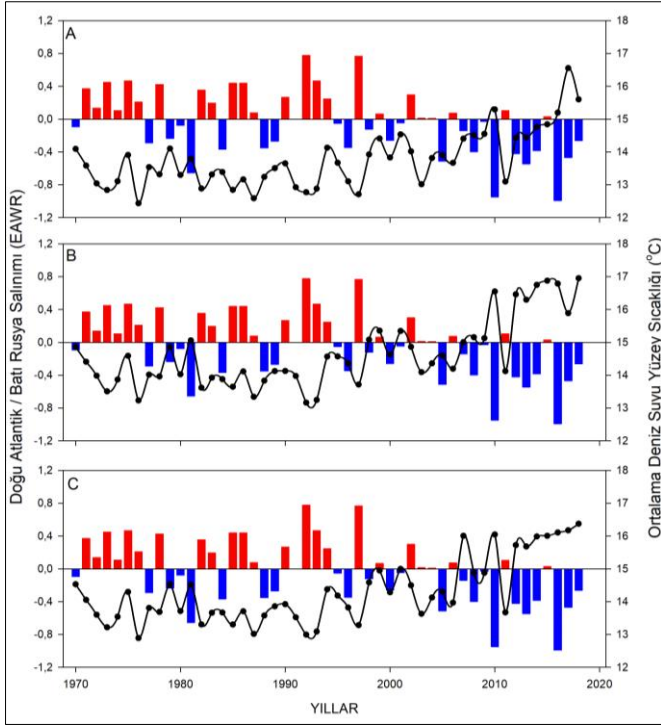
sıcaklığı arasında negatif bir ilişki tespit edilmiştir (Pearson Korelasyonu, $p>0,05$).



Şekil 6. Ortalama Deniz Suyu Yüzey Sıcaklığı ve Arktik Salınımı arasındaki ilişki (A: Batı Havza, B: Doğu Havza, Bar grafiği: AO indisi, Çizgi grafiği: Ortalama deniz suyu sıcaklığı).

Doğu Atlantik / Batı Rusya salınımı (EAWR Index)

Ağırlıklı olarak batı Avrupa ve Hazar bölgesinde etkili olan EAWR salınımı çalışma bölgesinde etkili olan bir indeks olarak dikkat çekmektedir. DSYS ile yapılan karşılaştırmalarda 2000'li yılların sonlarına kadar negatif bir ilişki sergilerken, bu dönemden sonra pozitif bir ilişki göstermiştir (Şekil 7). Yapılan korelasyon analizlerine göre tespit edilen bu ilişkinin istatistiki açıdan önemli olduğu görülmüştür (Pearson Korelasyonu= $-0,65$; $p<0,001$).



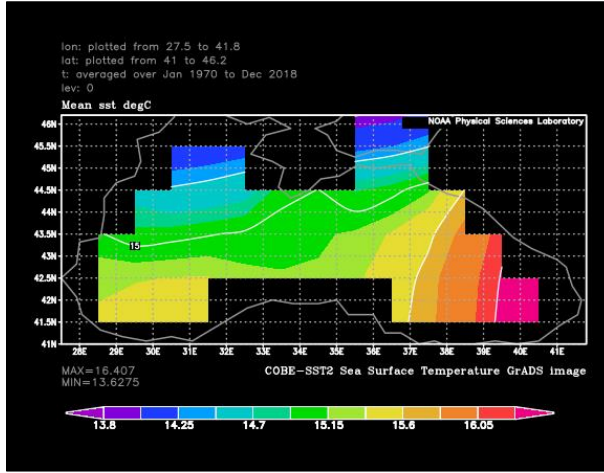
Şekil 7. Ortalama Deniz Suyu Yüzev Sıcaklığı ve Doğu Atlantik/Batı Rusya salınımı arasındaki ilişki (A: Batı Havza, B: Doğu Havza, C: Tüm Havza, Bar grafiği: EAWR indisi, Çizgi grafiği: Ortalama deniz suyu sıcaklığı).

Tartışma ve Sonuçlar

Yarı kapalı ve izole bir sistem olan Karadeniz, iklimsel değişimlere karşı diğer denizlere oranla daha hassastır. Karadeniz’de yüzev sularındaki aylık sıcaklık değişimi mevsime bağlı olarak oldukça değişken bir yapı sergilemektedir. İlkbahar ve yaz başlarında havaların ısınmasına bağlı olarak su sıcaklığı yükselir. Sonbahar ve kış mevsimlerinde ise deniz suyu sıcaklığı hava sıcaklığına oranla yüksek seyrederken sular daha yavaş soğur (Ivanov ve Beverton 1985). Karadeniz’de sıcaklık düşüşlerinin Eylül ayından itibaren başladığı ve en düşük değerlere Ocak-Şubat aylarında ulaştığı bilinmektedir. İlkbahara doğru belirgin bir artışın ardından, Temmuz ve Ağustos ayları yüzev suyu sıcaklıklarının en yüksek değerlere ulaştığı dönemlerdir (Ivanov ve Beverton 1985). Doğu Karadeniz kıyılarında yürütülen bir çalışmada aylık ortalama en yüksek deniz suyu yüzev sıcaklığı Ağustos 1996’da (25,0°C), en düşük su sıcaklığı ise Şubat 1997 döneminde (8,0°C) ölçülmüştür (Sivri 1999). Oğuz ve diğ. (2008) basinin iç bölgelerinde farklı dönemlerde (Şubat 1990, Nisan 1993, Ağustos 1993, Mayıs 2001 ve Mart 2003) yürüttükleri çalışmada 50-60m’lik yüzev tabaka sularında

yılın soğuk geçen dönemlerinde su sıcaklığının 6-7°C ve sıcak dönemlerinde ise 22-26°C arasında değiştiğini rapor etmişlerdir. Ağırbaş (2010) tarafından Güneydoğu Karadeniz kıyusal ekosisteminde yürütülen çalışmada en yüksek deniz suyu yüzey sıcaklığı Temmuz-Ağustos döneminde (24-25,5°C) ölçülmüştür. En düşük sıcaklıklar ise Şubat-Mart-Nisan döneminde (9-9,5°C) kaydedilmiştir. Alkan ve diğ. (2013) Güneydoğu Karadeniz'in Trabzon kıyılarında 2001-2011 dönemine ait uzun dönemli sıcaklık değişimlerinin incelendiği çalışmada en düşük deniz suyu yüzey sıcaklığı Mart ayında (7-10°C), en yüksek Temmuz-Ağustos (25-29°C) döneminde ölçülmüştür. Aynı çalışmada *in-situ* ölçümlerin uydu verileriyle (AVHRR) uyum içerisinde olduğu ve bölgenin genel bir ısınma eğiliminde olduğu rapor edilmiştir (Alkan ve diğ. 2013). Güneydoğu Karadeniz kıyılarında yürütülen başka bir çalışmada ise 2002-2011 dönemi için *in-situ* olarak elde edilen verilere göre deniz suyu yüzey sıcaklığının giderek arttığı ve bahsi geçen dönem içerisinde en düşük sıcaklık 7,9°C olarak kaydedilirken en yüksek sıcaklık ise 28,1°C olarak ölçülmüştür (Ağırbaş ve diğ. 2015). Karadeniz geneli için 1997-2010 dönemine ait uydudan (SeaWiFS) elde edilen zaman serisine göre ise aylık deniz suyu yüzey sıcaklığının 5,9-27,9°C arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir (Ağırbaş ve diğ. 2017). Aynı çalışmada kümülatif deniz suyu yüzey sıcaklık değişimleri incelenmiş olup, 1998-2007 döneminde deniz suyu yüzey sıcaklığında bir düşüş tespit edilirken, 2007 yılından sonra deniz suyu yüzey sıcaklıklarının artış eğilimi gösterdiği rapor edilmiştir (Ağırbaş ve diğ. 2017). Mevcut çalışmada ise en düşük aylık ortalama deniz suyu yüzey sıcaklığı 6,12°C ile Şubat ayında ve en yüksek sıcaklık ise 23,59°C ile Ağustos ayında kaydedilmiştir.

Güçlü (2013), Türkiye'nin Karadeniz kıyıları için yıllık ortalama deniz suyu yüzey sıcaklıklarının 13,97-15,81°C arasında değiştiğini rapor etmiştir. Aynı çalışmada, sıcaklıklarda ilkbahar-yaz mevsimlerinde azalış olduğuna ve sonbahar-kış mevsimlerinde ise artış eğiliminin olduğuna dikkat çekilmiştir. Benzer şekilde, 1982-2009 dönemi için uydudan (Pathfinder verisi) elde edilen deniz suyu yüzey sıcaklık verisine göre Karadeniz genelinde sıcaklığın giderek arttığı ve bu artışın özellikle kuzeybatıdan güneydoğuya doğru dikkat çeken bir trend izlediği rapor edilmiştir (Miladinova ve diğ. 2017). Karadeniz'in geneli için 1970-2018 dönemine ait uydudan (COBE-SST2, NOAA) elde edilen zaman serisine göre son 49 yıl içerisinde bölgede yıllık ortalama deniz suyu sıcaklığının 13,63-16,4°C arasında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 8). Aynı dönemi kapsayan bu çalışmada ise yıllık ortalama DSYS havzanın geneli için 12,89°C ile 16,37°C arasında değişirken, doğu ve batı havza için sırasıyla 13,16-16,95°C ve 12,44-16,95°C arasında değişim göstermiştir. Elde edilen veriler çalışma bölgesinde DSYS'nin her geçen gün giderek arttığını göstermektedir. Aynı dönem için elde edilen uydu verilerinden de görüleceği üzere Doğu Havza sıcaklık ortalamaları Batı Havza'dan daha yüksektir (Şekil 8). Mevcut çalışmada da gerek aylık ortalamalar ve gerekse yıllık ortalamalar açısından havzanın doğu kısmındaki artış dikkat çekicidir.



Şekil 8. 1970-2018 dönemi için uydudan elde edilen ortalama Deniz Suyu YüzeY Sıcaklığındaki değişim (NOAA 2005)

İklimsel indekslerle yapılan karşılaştırmalar, bölgede son 49 yıl içerisinde gözlemlenen sıcaklık artış eğiliminin sadece bölgesel olmadığı aynı zamanda küresel ölçekli olduğunu da göstermektedir. Bilindiği üzere NAO Akdeniz ve Avrupa üzerindeki iklimsel değişkenliği belirleyen ana unsurlardan biridir (Kahya 2011) ve yapılan analizlerde NAO ile DSYs arasında istatistiksel anlamda bir ilişki tespit edilememiş olmasına rağmen dönemsel olarak paralellikler tespit edilmiştir. Güçlü (2013), 1971-2010 dönemi için Türkiye'nin Karadeniz kıyılarında deniz suyu yüzeY sıcaklık anomalileri ile NAO arasında negatif ve düşük düzeyde, El Nino Güney Salınım indeksi (ENSO) ile negatif ve orta düzeyde bir ilişki tespit etmiştir (Güçlü 2013). Ağırbaş ve diğ. (2015), Güneydoğu Karadeniz kıyılarında 2002-2011 dönemi için kış mevsimi deniz suyu yüzeY sıcaklığı ile kış dönemi NAO arasında istatistiksel anlamda negatif ve güçlü ilişkiler olduğunu (Pearson korelasyonu= -0,84; $p = 0,002$) ve bölgenin NAO'dan etkilendiğini rapor etmişlerdir.

Pasifik Okyanusu'nda yürütölen bir çalışmada, 1998-2006 dönemi için ENSO'ya bağılı olarak artan deniz suyu yüzeY sıcaklığının birincil üretim miktarlarında düşmeye neden olduğunu rapor edilmiştir (Behrenfeld ve diğ. 2006). Benzer şekilde Karadeniz'in genelinde birincil üretim ile ENSO arasında negatif anlamda bir korelasyon olduğunu rapor edilmiştir (Ağırbaş ve diğ. 2017). Aynı şekilde bölgesel meteorolojik olayların ENSO'daki dalgalanmalara bağılı olarak su kolonunun gerek fiziksel-kimyasal yapısı ve gerekse fitoplankton-birincil üretim miktarları üzerinde etkili olduğunu da tespit edilmiştir (Mackey ve diğ. 1997; Behrenfeld ve diğ. 2006). Boyce ve diğ. (2010), yıllık klorofil-a anomalilerinin ENSO ile negatif korelasyon gösterdiğini bildirmişlerdir. Diğ. taraftan pozitif ENSO evrelerinin deniz suyu sıcaklık artışlarıyla ilişkili olduğunu tespit edilmiştir (Behrenfeld ve diğ.

2006; Martinez ve diğ. 2009). Güçlü (2013), Türkiye'nin Karadeniz kıyıları için DSYS anomalilerinde en etkili parametrenin hava sıcaklığı olduğunu ve ENSO'daki değişimin de belirli bir dereceye kadar etkili olduğunu rapor etmiştir. Bu çalışmada ise ENSO ile DSYS pozitif bir ilişki sergilerken, Arktik salınım ile yapılan karşılaştırmalarda bölgenin bu iklimsel salınımdan negatif olarak etkilendiği tespit edilmiştir. İklimsel indeksler arasında en güçlü ilişki bölgeyi daha da etkisi altına alan EAWR ile DSYS arasında tespit edilmiştir. Bu indeks DSYS ile negatif ve güçlü ilişkiler (Pearson korelasyonu= -0,65; $p < 0,001$) sergilemiştir.

Bu çalışma ile Türkiye'nin Karadeniz kıyılarında deniz suyu yüzey sıcaklıklarında genel anlamda bir artış eğilimi olduğu ve özellikle son 10 yılda bu trendin daha da hissedilir olduğu görülmüştür. Tespit edilen bu artış eğilimi ve iklimsel salınım indeksleri ile olan ilişkisi bu trendin bölgesel olduğu kadar küresel kaynaklı olduğunu da göstermektedir. Çalışma bölgesinde EAWR salınımının bölgeyi önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Karadeniz ekosisteminin verimliliği büyük oranda pelajik ekosisteme bağlı olduğundan bu tabakada küresel ısınmaya bağlı olarak meydana gelecek ekolojik değişimler sistemin geleceğini önemli oranda etkileyecektir. Dolayısıyla sistemin sürekli olarak takibi sürdürülebilir ekosistem yönetimi açısından büyük önem arz ederken iklim değişikliğine adaptasyon ve uyum çabalarına da önemli katkılar sağlayacaktır.

Teşekkür

Çalışma kapsamında kullanılan uzun dönemli deniz suyu sıcaklık verisi sağlayan Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Kaynakça

Ağırbaş, E. (2010) Güneydoğu Karadeniz'de Pigment Konsantrasyonu ve Birincil Üretimin Çevre Koşulları İle Etkileşimi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.

Ağırbaş, E., Feyzioğlu, A.M., Aytan, U., Valente, A., Yıldız, I. (2015) Are trends in SST, surface Chlorophyll-a, primary production and wind stress similar or different over the decadal scale in the south-eastern Black Sea? *Cah Biol Mar* 56: 329-336.

Ağırbaş, E., Tilstone, G., Feyzioğlu, A.M. (2017) Contrasting wind regimes cause differences in primary production in the Black Sea eastern and Western Gyres. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 17(5): 981-994.

Alkan, A., Zengin, B., Serdar, S., Oğuz, T. (2013) Long term (2001-2011) temperature, salinity and chlorophyll-a variations at a Southeastern coastal site of

the Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 13: 57-68.

Anadon, R., Danovaro, R., Dippner, J.W., Drinkwater, K.F., Hawkins, S.J., O'Sullivan, G., Oguz, T., Reid, P.C. (2007) Impacts of Climate Change on the European Marine and Coastal Environment, Marine Board, Position Paper 9, European Science Foundation, Strasbourg, France.

Behrenfeld, M.J., O'Malley, R.T., Siegel, D.A., McClain, C.R., Sarmiento, J.L., Feldman, G.C., Milligan, A.J., Falkowski, P.G., Letelier, R.M., Boss, E.S. (2006) Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature* 444: 752-755.

Boyce, D.G., Lewis, M.R., Worm, B. (2010). Global phytoplankton decline over the past century. *Nature* 466 (7306): 591-596.

Bozyurt, O., Özdemir, A. (2017) Arktik salınımının yıllar arası gösterdiği eğilimler ile Türkiye'de minimum ortalama sıcaklık değerleri üzerindeki etkileri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi* 19(1): 123-135.

Bridgman, H.A., Oliver, J.E. (2006) The Global Climate System-Patterns, Processes, and Teleconnections. Cambridge University Press, New York, USA.

Demircan, M., Gürkan, H., Türkoğlu, N., Çiçek, İ. (2018) Sıcaklıklardaki Türdeşlik Kırıklıklarının Kuzey Atlantik Salınımı (NAO) İndisi ile İlişkisi, Ankara Üniversitesi, Türkiye Coğrafyası Araştırma ve Uygulama Merkezi(TÜCAUM), TÜCAUM 30. Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, 3-6 Ekim 2018, Ankara, Turkey.

Güçlü, Y. (2013) Türkiye'nin Karadeniz bölgesi kıyısı boyunca deniz suyu yüzey sıcaklığı anomalileri (1971-2010 Dönemi). *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi* 10: 863-896.

Hurrell, J.W. (1995) Decadal trends in the North Atlantic Oscillation and relationships to regional temperature and precipitation. *Science* 269: 676-679.

Hurrell, J.W., Kushnir, Y., Ottersen, G., Visbeck, M. (2003) The north Atlantic oscillation: climate significance and environmental Impact. American Geophysical Union, Washington, D.C., USA, doi: 10.1029/GM134.

IPCC (2007) Climate Change 2007-The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. In: Assessment Report 4 Climate Change 2007 (ed. Solomon, S.). Cambridge University Press, New York, USA.

IPCC (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel

on Climate Change. In: Assessment Report 5 Climate Change 2014 (eds., Core Writing Team, Pachauri, R.K., Meyer, L.A.). IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 151.

Ivanov, L., Beverton, R.J.H. (1985) The fisheries resources of the Mediterranean part two: Black Sea. *Etud Rev CGPM/Stud Rev GFCM* 60: 135.

Kahya, E. (2011) The Impacts of NAO on the Hydrology of the Eastern Mediterranean. In: Hydrological, Socioeconomic and Ecological Impacts of the North Atlantic Oscillation in the Mediterranean Region, Dordrecht, Netherlands, Springer, pp. 57-71.

Kaplan, A., Cane, M.A., Kushnir, Y., Clement, A.C., Blumenthal, M., Rajagopalan, B. (1998) Analyses of global sea surface temperature 1856-1991. *Journal of Geophysical Research* 103(C9): 567-589.

Kutiel, H., Benaroch, Y. (2002) North Sea-Caspian Pattern (NCP)—an upper level atmospheric teleconnection affecting the Eastern Mediterranean: Identification and definition. *Theoretical and Applied Climatology* 71(1):17-28.

Mackey, D.J., Parslow, J.S., Griffith, F.B., Higgins, H.W., Tilbrook, B. (1997) Phytoplankton productivity and the carbon cycle in the western Equatorial Pacific under El Nino and non-El Nino conditions. *Deep Sea Research II* 44: 1951-1978.

Maiyya, I., Said, M., Kamel, M. (2010) Sea surface temperature anomalies in the South Eastern Mediterranean Sea. *JKAU: Mar Sci* 21(1): 151-159.

Martinez, E., Antoine, D., D'Ortenzio, F., Gentili, B. (2009) Climate-driven basin-scale decadal oscillations of oceanic phytoplankton. *Science* 326: 1253-1256.

Miladinova, S., Stips, A., Garcia-Gorriz, E., Macias Moy, D. (2017) Black Sea thermohaline properties: Long-term trends and variation. *J Geophys Res Oceans* 122: 5624-5644.

Niermann, U., Kideys A.E., Gordina, A., Bingel, F. (1999) The role of environmental conditions on the distribution of eggs and larvae of anchovy (*Engraulis encrasicolus* L.) in the Black Sea. *ICES Journal of Marine Science* 56: 58-64.

NOAA (2005) NOAA Physical Sciences Laboratory, COBE SST2 dataset, COBE SST data provided by the NOAA/OAR/ESRL PSL, Boulder, Colorado, USA. Mevcut adres: <https://www.esrl.noaa.gov/> (erişim tarihi 24.02.2020).

Oğuz, T. (2005) Black ecosystem response to climatic teleconnections.

Oceanography 18: 122-133.

Oğuz, T., Dippner, J.W., Kaymaz, Z. (2006) Climatic regulation of the Black Sea hydro-meteorological and ecological properties at inter-annual-to-decadal time scales. *Journal of Marine Systems* 60: 235-254.

Oğuz, T., Gilbert, D. (2007) Abrupt transitions of the top-down controlled Black Sea pelagic ecosystem during 1960-2000: evidence for regime-shifts under strong fishery exploitation and nutrient enrichment modulated by climate-induced variations. *Deep Sea Research I* 54: 220-242.

Oğuz, T., Latif, M.A., Sur, H.I., Özsoy, E., Ünlüata, Ü. (1991) On the dynamics of the southern Black Sea. In: Black Sea Oceanography, NATO/ASI Series, (eds. İzdar, E., Murray, J.M.), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, pp. 46-63.

Oğuz, T., Velikova, V., Cociasu, A., Korchenko, A. (2008) The State of Eutrophication. In: State of the Environment Report 2001-2006/7, Publications of the Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution (BSC), Istanbul, Turkey, pp. 83-112.

Petitgas, P., Alheit, J., Peck, M.A., Raab K., Irigoien, X., Huret, M., Kooij, J., Pohlmann, T., Wagner, C., Zarronaindia, I., Dickey-Collas, M. (2012) Anchovy population expansion in the North Sea. *Mar Ecol Prog Ser* 444: 1-13.

Sarmiento, J.L., Slater, R., Barber, R., Bopp, L., Doney, S.C., Hirst, A.C., Kleypas, J., Matear, R., Mikolajewicz, U., Monfray, P., Soldatov, V., Spall, S.A., Stouffer, R. (2004) Response of ocean ecosystems to climate warming. *Global Biogeochem Cycles* 18: GB3003, doi: 10.1029/2003GB002134.

Sivri, N. (1999) Solaklı Deresi Girdilerinin Kıyısal Pelajik Ekosisteme Etkileri. Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

İstanbul Boğazı ve Marmara Denizi'nde İklim Değişikliği Göstergeleri

Hüsne ALTIÖK*¹, Kubilay DÖKÜMCÜ^{1,2}, Sabri MUTLU³, İlayda Destan ÖZTÜRK^{1,4}, Dilek EDİGER¹, Ahsen YÜKSEK¹

¹ İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

² Türk Deniz Kuvvetleri Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı, İstanbul

³ TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, Kocaeli

⁴ Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV), Beykoz, İstanbul

*altiohk@istanbul.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, ülkemiz için ekonomik değeri oldukça önemli nitelikler içeren Marmara Denizi ve İstanbul Boğazı'nda iklim değişikliği göstergeleri olarak sıcaklık, tuzluluk, ışıklı tabaka, jelatinimsi zooplankton türlerinin aşırı çoğalmaları ele alınmıştır. 1996-2010 tarihleri arasında Marmara Denizi doğusu ve İstanbul Boğazı'nda yüzey suyu sıcaklığı 0,07°C/yıl artış eğilimindedir. Daha uzun dönemli ölçümler Marmara Denizi doğu çukurunda hem üst hem de alt tabakada sıcaklık ve tuzlulukta önemli artışların olduğunu göstermektedir. Öte yandan 1980'lerden günümüze Marmara Denizi doğusunda sönümlenme katsayısı (Kd) artmakta ve buna bağlı olarak ışıklı tabaka kalınlığı ve seki disk derinliği ortalaması azalmaktadır. Bozulmuş ekosistemlerin bir sorunu olan ötrofikasyon ve avcılık gibi ekosistem dengelerinin ani değişimi ile aşırı çoğalan jelatinimsi canlıların, Marmara Denizi'nde son zamanlarda sıkça rastlanması ve bu problemin küresel boyutlarda olması da su sıcaklığının artması ile ilişkilendirilmektedir ve bu süreçlerin balıkçılığı olumsuz yönde etkilediği aşıkardır. Genel olarak, Marmara Denizi'nde yerel baskıların (ötrofikasyon, aşırı avcılık, dip tarama malzemelerinin bertarafı, kıyı dolgu alanları, vb) varlığı iklim değişikliği ile beraber ekosistem üzerinde önemli hasarlara neden olabilir. Bunun için iklim değişikliği ile mücadelede Marmara Denizi'ne olan baskıların azaltılmasına yönelik yönetimsel kararların alınması birinci derecede önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Yüzey suyu sıcaklığı, ışıklı tabaka, sönümlenme katsayısı, jelatinimsi zooplankton, Marmara Denizi, İstanbul Boğazı

Giriş

Günümüzde küresel ısınma ve bu ısınmanın neden olduğu iklim değişikliği konuları pek çok bilim insanı tarafından araştırılmakta ve tartışılmaktadır. İklim değişikliğinin Dünya genelinde, karasal ekosistemler üzerindeki bilinen pek çok olumsuz etkisinin yanı sıra, denizlere ve okyanuslara tesiri de yadsınamaz bir gerçektir. Okyanuslardaki yüzey suyu sıcaklığı artışı bölge denizlerimizde de olduğu gibi en belirgin küresel ısınma göstergesidir. Okyanus ısınmasının belirli bir organizma grubunu etkilemesi, mercan resiflerinde olduğu gibi, ekosistem yapılarının değişimine neden olur. Bu değişimin etkileri aynı zamanda okyanusa bağlı ekonomiler ve kıyı toplulukları üzerinde derin etkiler oluşturmaktadır.

Marmara Denizi coğrafi konumu, komşu denizlerle Türk Boğazlar Sistemi (İstanbul ve Çanakkale Boğazları) vasıtasıyla etkileşimde bulunması, Karadeniz ve Akdeniz gibi iki farklı su tabakasının özelliklerini taşımasıyla bilimsel anlamda eşsiz bir karaktere sahiptir. Öte yandan ülke ekonomisi açısından en büyük paya sahip olan Marmara Denizi ve havzaları nüfusun %30'unu ve sanayinin yaklaşık %50'sini barındırmakla yoğun olarak karasal ve denizel baskılara maruz kalmaktadır. En önemli baskılar ötrofikasyon ve aşırı avcılık olarak karşımıza çıkmakta ve Marmara Denizi ekosistemi üzerinde etkileri gözlenmektedir. Diğer baskı unsurlarıyla beraber küresel ısınmanın deniz suyu sıcaklığı artışına, görünürlüğün azalmasına ve ekosistem bozulmalarına yol açtığı görülmektedir.

Bu çalışmada iklim değişikliğinin Marmara Denizi ve İstanbul Boğazı'na etkilerini görebilmek amacıyla bölgedeki sıcaklık ve tuzluluk parametreleri yıllara göre incelenmiş, zaman serisi verileri kullanılarak eğilim değerleri hesaplanmıştır. Işıklı tabaka derinliğinin zamanla değişimi incelenmiş ve jelatinimsi zooplankton türlerindeki aşırı çoğalmalarına dikkat çekilmiştir.

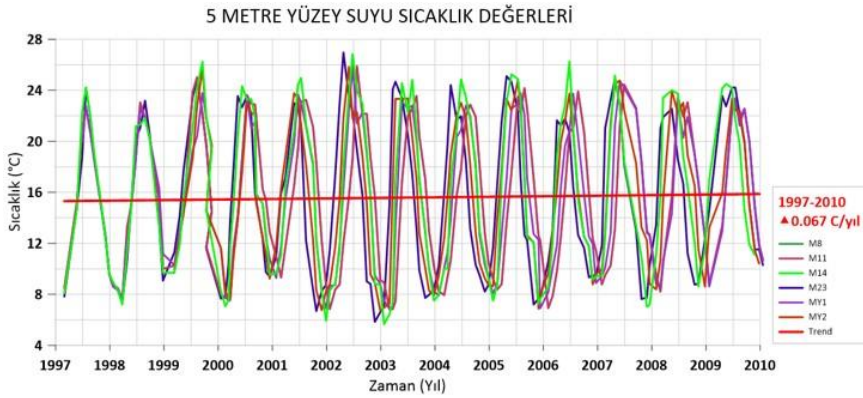
İstanbul Boğazı ve Marmara Denizi doğusu yüzey suyu sıcaklık değişimi ve eğilimi

İstanbul Boğazı'nın kuzey ve güney çıkışı ile Marmara Denizi'nin doğusunda bulunan istasyonlarda (Şekil 1), 1997-2010 yılları arasında aylık toplanan CTD (Conductivity, Temperature, Depth) verileri analiz edilerek yüzey suyu sıcaklık eğilimi tespit edilmiş ve çıkan sonuçlar çevre denizlerde bulunan değerlerle karşılaştırılmıştır. Trend analizi yöntemi olarak doğrusal eğilim yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 1. İstasyon haritası
(WGS-84 koordinat sisteminde Google Earth programında çizilmiştir)

İstanbul Boğazı kuzey (K0 istasyonu) ve güney (B2) çıkışlarında 1996-2010 yılları arasında aylık periyotlarla gerçekleştirilen CTD ölçümlerine göre yüzey suyu sıcaklığı atmosferik koşullara göre değişim göstermekte ve yıllara göre de artış eğilimindedir (Altıok ve Kayışoğlu 2015). Aynı dönemde Marmara Denizi doğusunda (M8, M11, M14, M23, MY1 ve MY2 istasyonları) aylık yüzey suyu sıcaklığı (Şekil 2) istasyonlar arası küçük farklılıklar olsa da benzer bir değişimi yansıtmaktadır. Bu farklılıkların en büyük nedeni İstanbul Boğazı'ndan Marmara Denizi'ne jet akımı şeklinde çıkan Karadeniz kökenli üst tabaka suyudur (Beşiktepe ve diğ. 1994). Marmara Denizi doğusundaki bu istasyonların yüzey sıcaklık verilerinin eğilimi de $0,067^{\circ}\text{C}$ olarak K0 istasyonu ile hemen hemen aynı değerde bulunmuştur (Tablo 1). Bununla beraber B2 istasyonunda eğilim bu istasyonların iki katı olarak hesaplanmıştır. Eğilimdeki bu yükselişin sebebi Karadeniz kökenli soğuk ara tabakanın değişiminden kaynaklanabilir (Altıok ve Kayışoğlu 2015).



Şekil 2. Marmara Denizi doğusu yüzey suyu aylık sıcaklık değişimi

Marmara Denizi'nde üst tabaka sıcaklık artışının değerlendirilmesi maksadıyla çevre denizlerde geçmiş çalışmalarda tespit edilen eğilim (trend) değerleri karşılaştırılmıştır. Çevre denizlerin sıcaklık eğilimleri detaylı incelenerek çalışma yapılan bölgeler esas alınarak tasnif edilmiş ve Tablo 1'de gösterilmiştir.

Farklı yöntem ve zaman ölçeklerinde yapılan araştırmalara göre 1980'lerden günümüze Karadeniz yüzey suyu sıcaklık artışı $0,05-0,09^{\circ}\text{C}/\text{y}$ arasında değişmektedir (Ginzburg ve diğ. 2004; Belkin 2009; Shaltout ve Omstedt 2014). Ege Denizi'nde yüzey suyu sıcaklığı artışı ise $0,04-0,05^{\circ}\text{C}/\text{y}$ değerleri ile daha düşük olarak gözlemlenmiştir (Theocharis 2008; Skliris ve diğ. 2011; Shaltout ve Omstedt 2014). En düşük yüzey suyu sıcaklık artışı ise $0,03-0,04^{\circ}\text{C}/\text{y}$ arasında değişen değerlerle Akdeniz için yapılan araştırmalarda bulunmuştur (Lelieveld ve diğ. 2002; Vargas-Yanez ve diğ. 2008; Nykjaer 2009; Skliris ve diğ. 2012; Shaltout ve Omstedt 2014). Öte yandan İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışında yüzey sıcaklık artışı $0,07^{\circ}\text{C}/\text{y}$ iken Marmara Denizi çıkışında boğazın

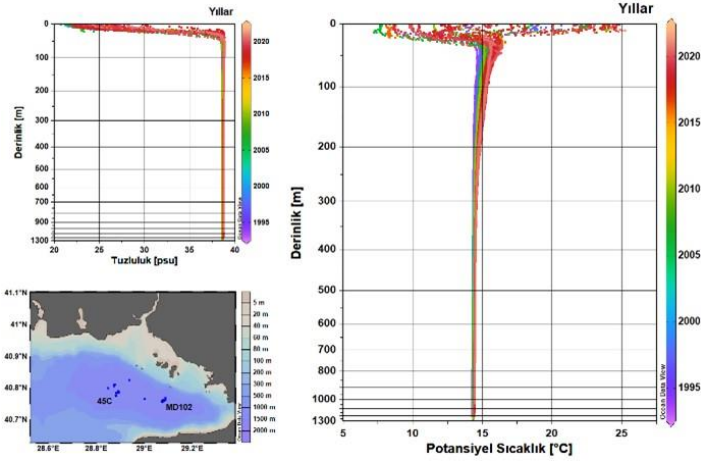
hidrodinamik özellikleri ve Karadeniz soğuk ara tabakasındaki (CIL) değişimlerden dolayı 0,15°C/y değeriyle çevre denizler arasında da en yüksek sıcaklık artışı görülmektedir. Karadeniz soğuk ara tabaka oluşumuna neden olan mekanizmalar son 10 yılda zayıflayarak hem sıcaklığının artışına hem de miktarının azalmasına yol açmıştır (Miladivona ve diğ. 2018; Gündüz ve diğ. 2020). Sıcaklık artışı hidrografik süreçlerle ilişkili olarak bazı bölgelerde daha yüksek gerçekleşebilmektedir. Bu durumun neden ve sonuçları ayrıntılı şekilde incelenmelidir. Marmara Denizi doğusunda 5 metre yüzey suyu sıcaklığı eğilimi ile çevre denizlerdeki geçmiş dönemlerde hesaplanan eğilim verileri birbirlerini destekler niteliktedir. Marmara Denizi'nde tespit edilen 0,07°C'lik eğilimin Ege Denizi ve Akdeniz eğiliminden fazla, Karadeniz eğilimine yakın olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 1. Çevre denizlerin sıcaklık eğilimleri

KOMŞU DENİZLERİN ÜST TABAKA SICAKLIK TRENDLERİ					
BÖLGE	TREND (°C)	TARİH	YÖNTEM	REFERANS	
İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışı (K0)	0,07	1997-2010	Yerinde (in-situ) gözlemler	Altıok ve Kayışoğlu (2015)	
İstanbul Boğazı Marmara Denizi çıkışı (B2)	0,15	1997-2010	Yerinde (in-situ) gözlemler	Altıok ve Kayışoğlu (2015)	
MARMARA DENİZİ	0,07	1997-2010	Yerinde (in-situ) gözlemler	Dökümcü, 2021 YL tezi	
KARADENİZ	0,09	1981-2000	Uydu gözlemleri	Ginzburg ve diğ. (2004)	
	0,05	1982-2012		Shaltout ve Omstedt (2014)	
	0,06	1982-2002		Belkin (2009)	
	0,07	1993-2017		E.U. Copernicus Marine Service Information (2018)	
EGE DENİZİ	0,04	1982-2012	Uydu gözlemleri	Shaltout ve Omstedt (2014)	
	0,05	1980-2000		Theocharis (2008)	
	0,05	1985-2008		Skliris ve diğ. (2011)	
AKDENİZ	Kayda değer soğuma (değer belirtilmemiş)	1970-1980	Yerinde (in-situ) gözlemler	Lelieveld ve diğ. (2002)	
	0,03	1980-2000	Uydu gözlemleri	Vargas-Yanez ve diğ. (2008)	
	0,03	1974-2005		Shaltout ve Omstedt (2014)	
	0,03	1982-2012		D'Ortenzio ve diğ. (2000)	
	Kayda değer bir trend gözlemlenmemiştir.	1985-1996		Uydu gözlemleri	Skliris ve diğ. (2012)
	0,04	1985-2008			Nykjaer (2009)
	0,04	1985-2006			

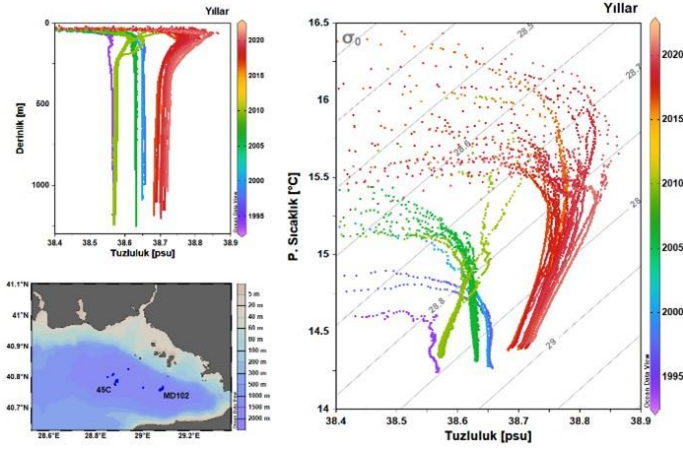
Marmara Denizi Doğu Çukuru sıcaklık ve tuzluluk değişimi

Potansiyel sıcaklığın ve tuzluluğun yıllara bağlı olarak değişimi İÜ DBİE ile “Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme Programı” veri seti harmanlanarak özellikle alt suda incelenmiştir (Şekil 3). 1993 – 2020 yılları arasında toplanmış verilerin derinliğe göre değişimleri bize alt tabaka suyunun ısındığını ve daha tuzlu hale geldiğini göstermiştir.

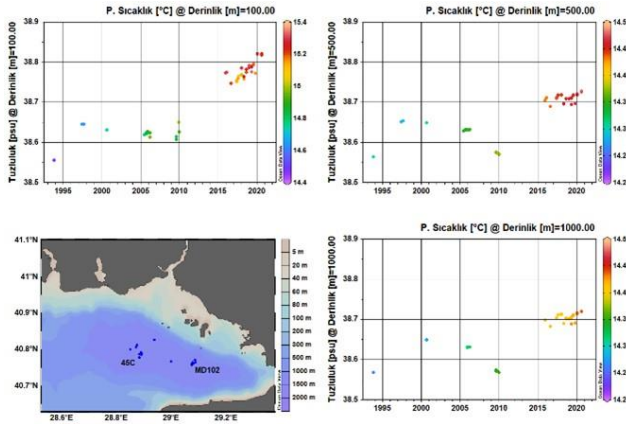


Şekil 3. 45C ve MD102 adlı istasyonlarda 1993 - 2020 yılları arasında elde edilmiş potansiyel sıcaklık ve tuzluluk değerleri

Alt tabakaya odaklanıldığında (38,4 psu ve üzeri değerlere) 1993 – 2010 yılları arasında potansiyel sıcaklığın 14,24 – 16,02°C aralığında değiştiği, derin suyun tuzluluğunun ise en fazla 38,74 psu olduğu gözlenmiştir (Şekil 4). Öte yandan 2016 ve sonrası ölçümlerde ise potansiyel sıcaklık 14,38 – 16,45°C aralığında değişirken, derin suyun tuzluluğu azami 38,86 psu ölçülmüştür. Söz konusu artış alt tabakanın başlangıcından deniz tabanına doğru azalarak gerçekleşmiştir. Bu artışın 100; 500 ve 1000 metredeki etkisi Şekil 5’de sunulmuştur. 2010 yılı öncesinde 100; 500 ve 1000 metredeki potansiyel sıcaklık ve tuzluluk ortalamaları sırasıyla 14,81°C ve 38,62 psu, 14,34°C ve 38,62 psu ve 14,32°C ve 38,60 psu iken, 2015 yılı sonrasında ise sırasıyla 15,29°C ve 38,78 psu, 14,45°C ve 38,71 psu ve 14,41°C ve 38,70 psu olmuştur. Bir diğer deyişle 100 metre derinlikte potansiyel sıcaklık ve tuzluluk artışı ~0,5°C ve ~0,2 psu olurken, 500 ve 1000 metre derinliklerde artış sırasıyla ~0,1°C ve ~0,1 psu olmuştur.



Şekil 4. 45C ve MD102 adlı istasyonlarda 1993 - 2020 yılları arasında elde edilmiş alt tabaka suyunun potansiyel sıcaklık ve tuzluluk değerleri



Şekil 5. 45C ve MD102 istasyonları 100; 500 ve 1000 metredeki potansiyel sıcaklık ve tuzluluğun yıllara bağlı değişimi

Marmara Denizi'nde ışıklı tabaka

Işık, fotosentez ve dolayısı ile birincil üretimin temelini oluşturduğu besin ağı için oldukça önemlidir. Sudaki ışık sıcaklık, rüzgar ve buharlaşma gibi iklimsel koşullara bağlıdır. Bu iklimsel koşullar sudaki ışığı; tabakalaşma, bulut yoğunluğu, askıda katı madde miktarı gibi şekillerde etkilemektedir. Denizlerde ışıklı tabaka derinliğinin bilinmesi, yaklaşık kaç metreye kadar birincil üretimin gerçekleştiği bilgisi dışında denizel ortamların ekolojik sınıflandırmasına da yardımcı olmaktadır (Winder ve Sommer 2012). Sudaki ışığın kaynağı olan güneş

ışığı, sudaki optik aktif maddelerce hem absorbe edilir (emilir) hem de yansıtılır. Optik Aktif Maddeler, fitoplankton biyokütle göstergesi olan klorofil-a, renkli çözülmüş organik maddeler (CDOM), ve sudaki askıda katı maddelerden oluşmaktadır. Klorofil ve askıda katı maddeler ışığı hem absorbe edip hem yansıtırken, renkli çözülmüş organik maddeler ve deniz suyu ışığı sadece absorbe eder. Sudaki optik aktif maddelerin miktarı ise ışığın suya ne kadar nüfus ettiği hakkında bilgi vermektedir (Wen ve diğ. 2018).

Deniz suyunun ışık geçirgenliği (seki disk derinliği), bulanıklık, sudaki asılı maddelerin yoğunluğu ve su kalitesi hakkında bilgi vermektedir (Binding ve diğ. 2008; Gomes ve diğ. 2020). Bu nedenle çevresel izleme ve su kalitesi çalışmalarında oldukça önemli bir parametredir (Al Kaabi ve diğ. 2016; Alikas ve Kratzer 2017). Su kolonunda ışık geçirgenliği, fotosentetik aktif radyasyon (PAR) (Zeu), ışık sönüm (atenüasyon) katsayısı (kd), ve Seki Disk Derinliği (SDD) kullanılarak tanımlanmaktadır. Seki disk, ışık geçirgenliği (berraklık) hakkında ilk bilgileri sağlarken, Zeu çok daha detay ve güvenilir bilgi sunar (Lee ve diğ. 2007; Majozi ve diğ. 2014). Işıklı tabaka derinliği, fotosentetik aktif radyasyonun (PAR) %1'e indiği derinlik olarak kabul edilmektedir (Kirk 1994).

Marmara Denizi üst tabaka ekosistemi hem Karadeniz kaynaklı hem de karasal kaynaklı (evsel ve endüstriyel atıklar) girdilerin yoğun etkisi altındadır. Karasal girdilerin etkisinin daha belirgin görüldüğü yüzey sularında ışıklı tabaka kalınlığı azalmış ve haloklinin hemen altındaki suların çözülmüş oksijen değerlerinde hızlı çöküşler (oksiklin) oluşmuştur (Ediger ve diğ. 2016). Işıklı tabaka kalınlığındaki değişimi görmek amacıyla, bu çalışmada 2000 ve 2009 yıllarında İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü tarafından gerçekleştirilmiş İSKİ Su Kalitesi İzleme Projesi kapsamında ölçülmüş PAR değerleri ve seki disk derinlikleri incelenmiş ve önceki verilerle birlikte değerlendirilmiştir. 1986-1991 yılları arasında Marmara Denizi'nde PAR verileri kullanılarak elde edilmiş Işıklı Tabaka Derinliği çalışması dışında, yapılmış güncel bir çalışma bulunmamaktadır. Bununla beraber, seki disk derinliği kullanılarak gerçekleşmiş su kolonu ışık geçirgenliği çalışmaları mevcuttur (ÇŞB ÇEDİDGM ve TÜBİTAK MAM 2017). Ediger ve Yılmaz (1996) tarafından Marmara Denizi ışıklı tabaka kalınlığı, sönümlenme katsayısı ve seki disk derinliğinin 1986-1991 dönemini kapsayan ortalama değerleri, 2000 ve 2009 yıllarının verileriyle birlikte Tablo 2'de verilmiştir. Marmara Denizi'nde 1986-1991 yılları arasında SDD 8-14 m aralığında değiştiği rapor edilmiştir (Ediger ve Yılmaz 1996) (Tablo 2). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı desteğiyle TÜBİTAK MAM tarafından yapılan çalışmalarda SDD Marmara Denizi'nde 2-8 metre arasında değiştiği belirtilmiştir (ÇŞB ÇEDİDGM ve TÜBİTAK MAM 2017). Balkıs ve diğ.'nin (2012) 2006-2008 yıllarında, Erdek ve Bandırma Körfezleri'nde yaptıkları çalışmalarda SDD nin 4,5 ve 16 metre arasında değiştiği belirtilmiştir. Aydınol ve diğ.'nin (2012) 2008 yılı içinde Prens Adaları bölgesinde yaptıkları çalışmada ise SDD ortalaması 0,8 ve 4,9 metreler arasındadır. Gemlik Körfezi'nde tamamlanan çalışmada ise SDD en düşük 1,2

metre en yüksek ise 13,8 metre olarak belirtilmiştir (Balcı ve Balkıs 2017). Oldukça değişken değerlere sahip SDD özellikle körfezlerde çok düşük değerlerde gözlemlenmektedir.

Tablo 2. Marmara Denizi'nde PAR verileri kullanılarak elde edilmiş Işıklı Tabaka Derinliği çalışmaları (*Ediger ve Yılmaz 1996; **Öztürk Devam Eden Doktora Tezi)

		1986-1991*	2000**	2009**
Işıklı tabaka derinliği (%1 L) m	aralık	15-40	12-40	11-36
	ort ± S	25±6.9	24.6±9.2	22.7±6.3
	n	54	19	17
Kd, m ⁻¹	aralık	0,070-0,352	0,070-0,389	0,12-0,41
	ort ± S	0,136±0,045	0,20±0,07	0,22±0,07
	n	54	19	17
Seki Disk Derinliği, m	aralık	8-14	5,3-13,7	3,1-12,9
	ort ± S	9±3	8,6±2	7,4±2,4
	n	27	23	18

Ediger ve Yılmaz (1996) Türkiye'yi çevreleyen denizlerde Kd PAR değerlerinin Karadeniz'de 0,050 m⁻¹ – 0,160 m⁻¹, Akdeniz'de 0,029 m⁻¹ – 0,079 m⁻¹ aralığında olduğunu ve en yüksek değerlerin 0,070 m⁻¹- 0,352 m⁻¹ ile Marmara Denizi'nde (Tablo 2) olduğunu rapor etmişlerdir. Marmara Denizi'nde 2000 yılında bu aralık 0,070 m⁻¹- 0,389 m⁻¹ ve 2009 yılında ise 0,12 m⁻¹- 0,41 m⁻¹ kadar yükselmektedir.

Bu değerlendirmede ışıklı tabaka derinlikleri, bu derinliklere bağlı hesaplanmış sönümlenme katsayıları Kd ve seki disk derinliklerinin yaklaşık onar yıllık zaman ölçeğinde değişimleri belirlenmiştir. Buna göre ışıklı tabakanın daraldığı, sönümlenme katsayısının arttığı ve seki disk derinliği ortalamasının ise azaldığı görülmüştür.

Biyolojik parametrelerin değişimi

Yapılan araştırmalar, okyanus ısınmasının, biyokütlenin (organik karbon) büyük çoğunluğunu temsil eden mikro organizmalar üzerindeki etkileri, biyojeokimyasal döngüleri ve küresel ölçekte besin ağlarının işleyişini önemli ölçüde değiştireceğini işaret etmektedir (Edwards 2016). Kısaca İklim değişikliği, deniz ekosistemlerinin değişiminin küresel bir itici gücüdür diyebiliriz. Yerel ve bölgesel ölçeklerde insan baskısının etkileri ile etkileşime girebilir ve deniz ekosistemleri üzerindeki etkisi daha şiddetli hissedilebilir (Gissi 2021). Son yapılan araştırmalarda, dünya çapında 1000'den fazla tür içeren jelatinimsi canlıların, ani artışların nedenleri yerel nedenler olarak düşünülse de, olayın giderek daha fazla kaydedilmesi küresel süreçlerinde etkin olduğunun düşündürmektedir (Boero ve diğ. 2016).

Jelatinimsi zooplankton temsilcilerinin arasında Cnidaria, Ctenophora ve Thaliacea taksonomik grupları vardır ve bunlar genellikle topluca "denizanası" olarak bilinir (Boero ve diğ. 2016). Jelatinimsi canlılar veya denizanaları yüksek düzeyde bozulmuş sistemlerin göstergeleri olarak kabul edilmesine rağmen (Doyle 2014), organik madde ve mikroplanktonun filtrasyonundan trofik seviyenin üst segmentlerine kadar önemli rol oynadıklarından pelajik sistemin anahtar türleridir. (Doyle 2014). Genel olarak ani ve aşırı artışları, ötrofikasyon, kıyı dolgusu, avcılık gibi yerel ekosistem dengelerinin ani bozulması yanı sıra, iklim değişikliğine bağlı olarak tür dağılımının genişlemesi ve üreme potansiyelinin artışı ile de ilişkilendirilmektedir (Purcell ve diğ. 2007; Boero ve diğ. 2008). Yerli olmayan jelatinimsi türlerin bozulmuş ekosistemlere kazara girmesi, ciddi sonuçlara yol açan aşırı artışlara neden olabilir (Purcell ve diğ. 2007). Bunun Marmara Denizinde ki örneğini, 1994'lü yıllarda *Mnemiopsis leidyi*' nin oluşturduğu ekosistem hasarıdır (Shiganova 1995; Okuş ve diğ. 1997).

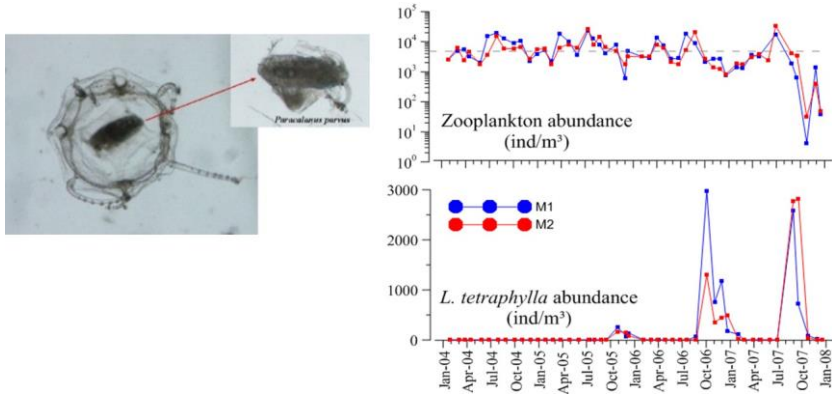
Marmara Denizi'nde iklimsel değişimin canlılar üzerindeki etkisinden bahsetmek oldukça güçtür, çünkü aşırı insan baskısının etkisi iklim değişiminin etkilerini baskılamıştır (aşırı avcılık, ötrofikasyon). Marmara Denizi yerel baskıların yoğun olduğu (Ediger ve diğ. 2016; Yüksek 2016) bir bölge olmasının yanı sıra, son zamanlarda deniz suyu sıcaklığında da artış gözlenmiştir (Altıok ve Kayışoğlu 2015; Dökümcü 2021). Bu etkileşimler Marmara Denizi pelajik sisteminde sıklıkla jelatinimsi canlı popülasyonlarının artışına neden olmakta ve özellikle balıkçılığı etkilemektedir. Örneğin; Marmara Denizi ekosisteminde 2006-2008 yılları arasında büyük yıkım yapan *Liriope tetrphylla*. Tür epipelajik bölgenin özel bir canlı grubudur. Sıcak ve tropikal deniz ortamlarında, genellikle yüze yakın bölgelerde, geniş alanlarda dağılım yapar. Özellikle sıcak ve durgun ortamlarda aşırı artış potansiyeli yüksek olan bir türdür ve yoğun filtrasyon yeteneğine sahiptir (Şekil 6). Marmara Deniz'inde tanımlandığı Kasım 2005 tarihinden sonra, ötrofikasyon ve aşırı avcılığın yüksek olduğu 2006 yılında çoğalmaya devam etti ve üreme potansiyeli yaz dönemine kadar sarktı (Yüksek ve Sur 2010). 2007 Eylül ayında, su sıcaklığının geçmiş yıllara oranla 0,5°C arttığı dönemde, tür kısa sürede yüksek popülasyona ulaşarak, plankton biyomasının büyük oranda düşmesine sebep olmuştur (Yılmaz 2015) (Şekil 6). Bu durum 2007 ve 2008 yıllarında pelajik sistem canlılarını ve balıkçılığı olumsuz yönde etkilemiştir (Yüksek ve Sur 2010). 2008 yılından sonra sistem hızla toparlanmıştır (Yılmaz 2015). Bu dönemde özellikle pelajik balıkçılıkta önemli ekonomik kayıplar oluşmuştur.

Hidrodinamik yapısı güçlü olan Marmara Denizi'nde artık sıklıkla jelatinimsi canlıların yoğun dağılımı gözlenmektedir. 2020 yılında ilk ve yaygın olarak gözlenen *Salpa* türünün artışı da (*Salpa maxima*) (Tunicata, Thaliacea), artan baskıların diğer bir sonucudur.

Salpaların dağılımlarında, başta akıntılar olmak üzere tuzluluk ve sıcaklık önemli rol oynar. Son derece yüksek filtrasyon yeteneğine sahip canlılardır. Virüslerden

protistlere kadar her boyuttaki planktonla beslenebilirler (Bone 1998). Normal koşullarda ortamda *Salpa* popülasyonunun artması, fitoplankton üretimini azalmasına ve özellikle balık larvaları gibi pek çok canlıların larval evredeki gelişimine etki eder (Boero ve diğ. 2008). Fakat Marmara Denizi gibi deşarj ve avcılık baskısının yüksek olduğu ortamlarda, su kütlesin fazla planktondan temizlenmesine katkı verir. Bol planktonlu ortamlarda hızla üreme kabiliyetine sahip olan bu canlılar, ölümleri sonrasında diğeri jelatinimsi canlılarda olduğu gibi salyamsı yapı oluşturarak dibe batarlar ve batarken ortamdaki yüksek organik madde ile birlikte ortamda ki fazla karbonun deniz tabanına taşınmasına katkıda bulunurlar. Yani karbon döngüsünde önemli rol oynarlar. Diğeri yandan yüksek filtrasyon yeteneklerinden dolayı bozulmuş ekosistemlerde, alt trofik seviyelerin enerji akışına da katkı sağlar (Doyle ve diğ. 2014). Sonuç olarak, *Salpa*'ların bolluklarındaki veya dağılımlarındaki büyük değışiklikler okyanusun karbon döngüsünü değıştirebilir ve potansiyel olarak iklim değışikliğinde rol oynayabilir.

Yakın gelecekte iklim değışikliği, oksijen üretimi, karbon tutma ve biyojeokimyasal döngü gibi ekosistem hizmetlerini etkileyerek birincil ve ikincil pelajik üretimin coğrafi dağılımını değıştirmeye devam etmesi muhtemeldir. Bu değışiklikler, halihazırda tükenmiş balık stokları üzerinde ek stres oluşturabileceği gibi, memeli ve deniz kuşu popülasyonları için de olumsuz sonuçlar doğurabilir (Edwards 2016).



Şekil 6. Marmara Denizi'nde eş zamanlı *L. tetraphylla* ve zooplankton dağılımı (Yılmaz 2015)

Sonuç

İstanbul Boğazı ve Marmara Denizi doğusundan yapılan oşinografik çalışmalar 1980'lerden günümüze sıcaklık ve tuzluluk değerlerinde artışı, ışıklı tabaka kalınlığında azalmayı ve jelatinimsi zooplankton türlerinde ani çoğalmaların daha sık gözlemlendiğini ortaya koymaktadır. Ekosistemde önemli hasarlara yol açan bu tür çoğalmalar, Marmara Denizi balıkçılığını olumsuz yönde etkilemektedir.

Yerel baskı unsurları olarak ötrofikasyon, aşırı avcılık, kıyı dolgu alanları ve tarama malzemelerinin boşaltımının ekosistem üzerine etkileri bilinmektedir. İklim değişikliği de Marmara Denizi'nde bir baskı unsuru olarak ele alınmalı ve buna göre mücadele planı geliştirilmelidir. Marmara Denizi'nde henüz çözümlenememiş aşırı insan nüfusunun neden olduğu baskılar için hedeflenen ileri düzeyde arıtım, dip tarama faaliyetlerinin bertarafı gibi yönetimsel planlamaların yanı sıra iklim değişikliği göstergeleri de karar vericilerin önlem almada yararlanacağı önemli bir kriterdir.

Kaynakça

Al Kaabi, M., Zhao, J., Ghedira, H. (2016) MODIS-based mapping of Secchi disk depth using a qualitative algorithm in the shallow Arabian Gulf. *Remote Sensing* 8(5): 423.

Alikas, K., Kratzer, S. (2017) Improved retrieval of Secchi depth for optically-complex waters using remote sensing data. *Ecological indicators* 77: 218-227.

Altıok, H., Kayışoğlu, M. (2015) Seasonal and interannual variability of water exchange in the Strait of Istanbul. *Mediterr Mar Sci* 16: 644-655.

Aydinol, F.I.T., Kanat, G., Bayhan, H. (2012) Sea water quality assessment of Prince Islands' Beaches in Istanbul. *Environmental monitoring and assessment* 184(1): 149-160.

Balci, M., Balkis, N. (2017) Assessment of phytoplankton and environmental variables for water quality and trophic state classification in the Gemlik Gulf, Marmara Sea (Turkey). *Marine Pollution Bulletin* 115(1-2): 172-189.

Balkis, N., Toklu-Aliçli, B., Balci, M. (2012) Evaluation of ecological quality status with the Trophic Index (TRIX) values in the coastal waters of the Gulfs of Erdek and Bandırma in the Marmara Sea. In *Ecological Water Quality-Water Treatment and Reuse*. IntechOpen, doi: 10.5772/33698.

Belkin, M. (2009) Rapid warming of large marine ecosystems. *Prog Oceanogr* 81(1-4): 207-213.

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.

Binding, C.E., Jerome, J.H., Bukata, R.P., Booty, W.G. (2008) Spectral absorption properties of dissolved and particulate matter in Lake Erie. *Remote sensing of environment* 112(4): 1702-1711.

Boero, F., Bouillon, J., Gravili, C., Miglietta M.P., Parsons, T., Piraino, S. (2008) Gelatinous plankton: irregularities rule the world (sometimes). *Mar Ecol Prog Ser* 356: 299-310.

Boero, F., Brotz, L., Gibbons, M.J., Piraino, S., Zampardi, S. (2016) Impacts and effects of ocean warming on jelly fish. In: Explaining ocean warming: Causes, scale, effects and consequences. (eds., Laffoley, D., Baxter, J.M.) Full report. Gland, Switzerland: IUCN. pp. 213-237.

Bone, Q. (1998) The Biology of Pelagic Tunicates. Oxford University Press, Oxford, UK.

ÇŞB ÇEDİDGM ve TÜBİTAK MAM (2017). Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme İşi 2014-2016 Marmara Denizi Özet Raporu, TÜBİTAK MAM Matbaası, Baskı No: 5148704 (ÇTÜE.16.330), Gebze, Kocaeli.

D'Ortenzio, F., Marullo, S., Santoleri, R. (2000) Validation of AVHRR Pathfinder SSTs over the Mediterranean Sea. *Geophys Res Lett* 27(2): 241-244.

Doyle, T.K., Hays, G.C., Harrod, C., Houghton, J.D.R. (2014) Ecological and Societal Benefits of Jellyfish. Chapter 5. T K.A. In: Jellyfish Blooms, (eds., Pitt C.H.Lucas), Springer Science+Business Media, Dordrecht, Netherlands.

Dökümcü, K. (2021) Marmara Denizi Doğusu Oşinografik Şartlarına İklim Değişimi Etkisinin İncelenmesi (devam eden Yüksek Lisans tezi datası), İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

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

Ediger, D., Yılmaz, A. (1996) Variability of light transparency in physically and biochemically different water masses: Turkish Seas. *Fresenius Environmental Bulletin* 5: 133-140.

Edwards, E. (2016) Impacts and effects of ocean warming on plankton. chapter: 3.2. In: Explaining ocean warming: Causes, scale, effects and consequences. Full report, (eds., Laffoley, D., Baxter, J.M.) Gland, Switzerland: IUCN. pp. 75-86.

E.U. Copernicus Marine Service Information (2018) Karadeniz Yüzey Suyu Sıcaklık Trendi. Mevcut adres: <https://marine.copernicus.eu/science-learning/ocean-monitoring-indicators/catalogue/page/2/> (erişim tarihi 01.11.2020).

Ginzburg, A., Kostianoy, A., Sheremet, N. (2004) Seasonal and interannual variability of the Black Sea surface temperature as revealed from satellite data (1982-2000). *J Marine Syst* 52(1-4): 33-50.

Gissi, E., Manea, E., Mazaris, A.D., Frascetti, S., Almpnidou, V., Bevilacqua, S., Coll, M., Guarnieri, G., Lloret-Lloret, E., Pascual, M., Petza, D., Rilov, G., Schonwaldm, M., Stelzenmüller, V., Katsanevakisk, S. (2021) A review of the combined effects of climate change and other local human stressors on the marine environment. *Science of the Total Environment* 755(2021): 142564, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142564.

Gomes, A.C., Alcântara, E., Rodrigues, T., Bernardo, N. (2020) Satellite estimates of euphotic zone and Secchi disk depths in a colored dissolved organic matter-dominated inland water. *Ecological Indicators* 110: 105848, doi: 10.1016/j.ecolind.2019.105848.

Gündüz, M., Özsoy, E., Hordoir, R., (2020) A model of Black Sea circulation with strait exchange (2008-2018). *Geoscientific Model Development* 13(1): 121-138.

Kirk, J.T. (1994) Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge university press, Cambridge, UK.

Lee, Z., Weidemann, A., Kindle, J., Arnone, R., Carder, K.L., Davis, C. (2007) Euphotic zone depth: Its derivation and implication to ocean-color remote sensing. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 112(C3), doi: 10.1029/2006JC003802.

Lelieveld, J., Berresheim, H., Borrmann, S., Crutzen, P., Dentener, J., Fischer, H., Feichter, J., Flatau, P.J., Heland, J., Holzinger, R., Korrman, R., Lawrence, M. G., Levin, Z., Markowicz, K.M., Mihalopoulos, N., Minikin, A., Ramanathan, V., De Reus, M., Roelofs, G.J., Scheeren, H.A., Sciare, J., Schlager, H., Schultz, M., Siegmund, P., Steil, B., Stephanou, E.G., Stier, P., Traub, M., Warneke, C., Williams, J., Ziereis, H., (2002) Global air pollution crossroads over the Mediterranean. *Science* 298: 794-799.

Majozi, N.P., Salama, M.S., Bernard, S., Harper, D.M., Habte, M.G. (2014) Remote sensing of euphotic depth in shallow tropical inland waters of Lake Naivasha using MERIS data. *Remote Sensing of Environment* 148: 178-189.

Miladinova, S., Stips, A., Garcia-Gorrioz, E., Macias Moy, D. (2018) Formation and changes of the Black Sea cold intermediate layer. *Progress in Oceanography* 167: 11-23.

Nykjaer, L. (2009) Mediterranean Sea surface warming 1985–2006. *Clim Res* 39: 11-17.

Okuş, E., Yüksek, A., Uysal, A., Orhon, V. (1997) Stok determination of some commercial demersal fish in the Sea of Marmara. Final report, TÜBİTAK DEBAG-116-G.

Öztürk, D. Marmara Denizi'nde Işıklı Tabakanın Zaman Mekan Ölçeğinde İncelenmesi (devam eden doktora tezi datası). İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

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

Shaltout, M., Omstedt, A. (2014) Recent sea surface temperature trends and future scenarios for the Mediterranean Sea. *Oceanologia* 56(3): 411-443.

Shiganova, T.A., Tarkan, A.N., Dede, A., Cebeci, M. (1995) Distribution of the ichthyo-jellyplankton *Mnemiopsis leidyi* (Agassiz, 1865) in the Marmara Sea (October 1992). *Turkish J Mar Sci* 1: 3-12.

Skliris, N., Sofianos, S., Gkanasos, A., Axaopoulos, P., Mantziafou, A., Vervatis, V. (2011) Long-term sea surface temperature variability in the Aegean Sea. *Adv Oceanogr Limnol* 2(2): 125-139.

Skliris, N., Sofianos, S., Gkanasos, A., Mantziafou, A., Vervatis, V., Axaopoulos, P., Lascaratos, A. (2012) Decadal scale variability of sea surface temperature in the Mediterranean Sea in relation to atmospheric variability. *Ocean Dynam* 62(1): 13-30.

Theocharis, A. (2008) Do we expect significant changes in the Thermohaline Circulation in the Mediterranean in relation to the observed surface layers warming? In: Climate Warming and Related Changes in Mediterranean Marine Biota (ed., Briand, F.) CIESM, Madrid, Spain, pp. 25-30.

Wen, Z., Song, K., Fang, C., Yang, Q., Liu, G., Shang, Y., Wang, X. (2018) Spatial pattern of Kd (PAR) and its relationship with light absorption of optically active components in inland waters across China. *Biogeosciences Discussions* 1-29.

Winder, M., Sommer, U. (2012) Phytoplankton response to a changing climate. *Hydrobiologia* 698(1): 5-16.

Vargas-Yanez, M., García, M.J., Salat, J., García-Martínez, M.C., Pascual, J., Moya, F. (2008) Warming trends and decadal variability in the Western Mediterranean shelf. *Glob Planet Change* 63: 177-184.

Yılmaz, N.İ. (2015) Collapse of zooplankton stocks during *Liriope tetraphylla* (Hydromedusa) blooms and dense mucilaginous aggregations in a thermohaline stratified basin. *Marine Ecology* 36(3): 595-610.

Yüksek, A. (2016) Biodiversity of the Sea of Marmara and the Affecting Factors. In: The Sea of Marmara; Marine Biodiversity, Fisheries, Conservation and Governance (eds., Özsoy, E., Çağatay, M.N., Balkıs, N., Balkıs, N., Öztürk, B.). Turkish Marine Research Foundation (TUDAV), Publication No: 42, pp. 570-580.

Yüksek, A., Sur, H.I. (2010) First Observation of the Mucilage Formation in The Sea of Marmara in October 2007. Report of the Workshop on Algal and Jellyfish Blooms in the Mediterranean and Black Sea. İstanbul, Turkey, 6-8 October 2010; S9-10. GFCM: SAC13/2011/inf.17.

Kuzey Ege Denizi Son 46 Yıllık Deniz Suyu Sıcaklığı Değişimleri (1972-2018)

Onur GÖNÜLAL

İstanbul Üniversitesi, Su Bilimleri Fakültesi, Deniz Biyolojisi Anabilim Dalı, İstanbul
Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV), Beykoz, İstanbul, Türkiye
ogonulal@istanbul.edu.tr

Özet

Bu çalışmada İstanbul Üniversitesi Su Bilimleri Fakültesi'ne bağlı Gökçeada Deniz Araştırmaları Birimi'nde 1972 ile 2018 yılları arasındaki 46 yıllık sürede Kaleköy istasyonunda ölçülen yüzey suyu sıcaklık verileri hakkında bir değerlendirme yapılmıştır. Sıcaklığın 1972 yılından beri 1,61°C arttığı belirlenmiştir. Bu verilerin Ege Denizi'nde yapılan en uzun süreli ölçümler olduğu, Türkiye oşinografik izleme çalışmaları ve iklim değişikliği zaman serisi verileri için bir altlık olabileceği değerlendirilmektedir. Son bölümde bu sıcaklık değişiminin Kuzey Ege'deki faunaya etkileri irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuzey Ege, Gökçeada, yüzey suyu, sıcaklık

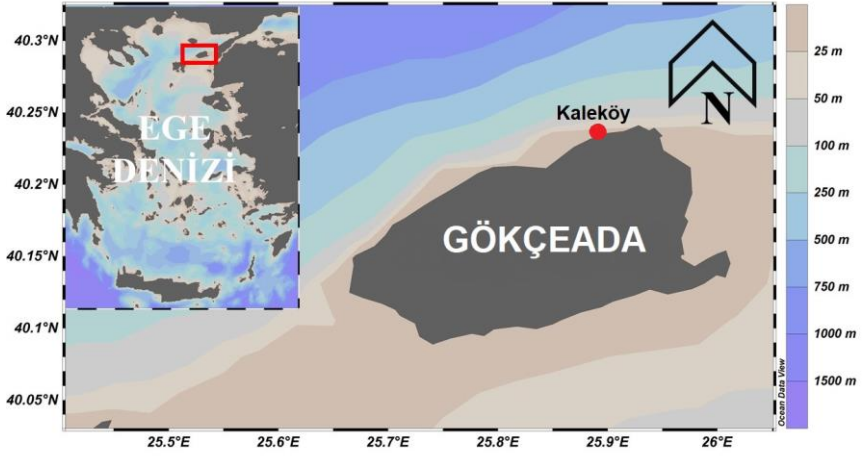
Giriş

İstanbul Üniversitesi Su Bilimleri Fakültesi'ne bağlı Gökçeada Deniz Araştırmaları Birimi, eski adı ile Gökçeada Sünger Araştırma İstasyonu, MGK (Milli Güvenlik Kurulu)'nun istek ve tavsiyeleri ile İ.Ü. Rektörlüğü Hidrobiyoloji Araştırma Enstitüsüne bağlı olarak 1971 yılında kurulmuştur. Kuzey Ege'de yer alan ve Türkiye'nin en büyük adası olan Gökçeada'da bulunan bu birimde, aylık periyotlar halinde oşinografik ölçümlerin (sıcaklık, tuzluluk, pH, çözünmüş oksijen, gel-git seviyesi) yanısıra Gökçeada etrafındaki fauna ve flora tespit çalışmaları da yapılmaktadır. Bu çalışmanın en önemli özelliği ülkemizde yapılan kesintisiz ve en uzun süreli oşinografik ölçümler olmasıdır. Bu sebeple bu çalışmanın, Türkiye oşinografik izleme çalışmaları ve iklim değişikliği zaman serisi verileri için bir altlık olabileceği değerlendirilmektedir.

Bahsi geçen bu çalışmalar ve adanın stratejik önemi neticesinde, 15 Haziran 2017 tarihinde Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı, Gökçeada biriminin "Ulusal Ege Adaları Oşinografik Gözlem Merkezi" olarak kullanılması kararını almıştır.

Materyal ve Metot

Bu çalışma, 1972 yılından itibaren Gökçeada etrafında düzenlenen seferlerde elde edilen veriler değerlendirilerek yapılmıştır. Kaleköy istasyonunda gerçekleştirilen ölçümler haftalık olarak yapılabildiği için söz konusu istasyondaki yüzey suyu sıcaklık ölçümleri değerlendirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Kaleköy, yüzey suyu sıcaklık ölçümleri değerlendirilen istasyon

2000’li yıllara kadar birimde yapılan sıcaklık ölçümleri BT (batitermograf) veya nansen şişesiyle (ters termometre bağlı) alınıp yapılmaktaydı (Şekil 2). Sonraki yıllarda multiparametre cihazları kullanılmaya başlandı.



Şekil 2. Nansen şişesi, ters termometre ve BT (Gökçeada Deniz Canlıları Müzesi’nden)

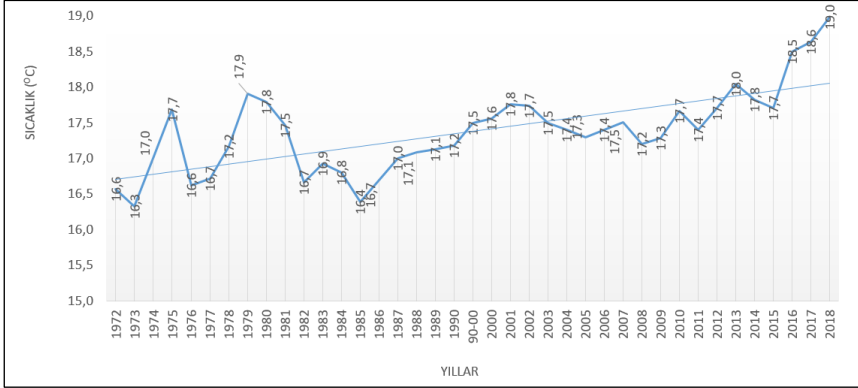
Yapılan ölçümler Şekil 3’de örnek gösterildiği gibi kâğıtlara daktilo ile yazılarak arşivlenmiştir. Bu kâğıtlardaki veriler bilgisayar ortamına aktarılıp değerlendirme aşamasına geçilmiştir. Yüzey suyu sıcaklık-zaman serilerindeki trendleri belirlemek için Mann-Kendall testi uygulanmıştır.

MAYIS-1977	İstasyon No: IV			Tarih: 3.5.1977			İstasyon No: I			Tarih: 3.5.1977		
	Bölge: Kefalio			Saat : 10.45			Bölge: Tepaklıy			Saat : 13.00		
	Nevki: N 40° 11' 20"			E 26° 01' 42"			Nevki: N 40° 14' 12"			E 25° 50' 00"		
DERİNLİK m.	TEMP. C°	% SAL.	P ^{II}	TEMP. C°	% SAL.	P ^{II}	TEMP. C°	% SAL.	P ^{II}	TEMP. C°	% SAL.	P ^{II}
0	16.2	38.65	8.1	15.0	35.95	8.1	15.0	35.95	8.1	15.0	35.95	8.1
5	14.7	38.00	8.1	14.8	35.95	8.1	14.8	35.95	8.1	14.8	35.95	8.1
10	14.3	38.65	8.1	14.6	37.45	8.1	14.6	37.45	8.1	14.6	37.45	8.1
20	14.1	38.95	8.1	14.1	38.65	8.1	14.1	38.65	8.1	14.1	38.65	8.1
25	14.3	38.65	8.1	13.8	38.30	8.1	13.8	38.30	8.1	13.8	38.30	8.1
30	13.9	39.55	8.1	13.8	39.90	8.1	13.8	39.90	8.1	13.8	39.90	8.1
40	14.2	40.50	8.1	14.4	40.85	8.1	14.4	40.85	8.1	14.4	40.85	8.1
50	14.4	40.50	8.1	14.6	40.85	8.1	14.6	40.85	8.1	14.6	40.85	8.1
65	-	-	-	14.7	41.45	8.1	14.7	41.45	8.1	14.7	41.45	8.1
İskandil: 53 m. Seki : 17 m.						İskandil: 70 m. Seki : 20 m.						

Şekil 3. Yapılan ölçümlere ait arşivdeki kağıtlara bir örnek

Bulgular

Bu çalışma sonucunda hem aylık ortalama sıcaklık verileri hem de yıllık ortalama sıcaklık verilerinde önemli ölçüde artış eğilimi tespit edilmiştir. Yıllık ortalama sıcaklıklarda 0,035°C'lik bir artış miktarı belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Yıllara göre ortalama sıcaklık verileri

Mann-Kendall testi sonuçlarına göre de bu artış istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (Şekil 5).

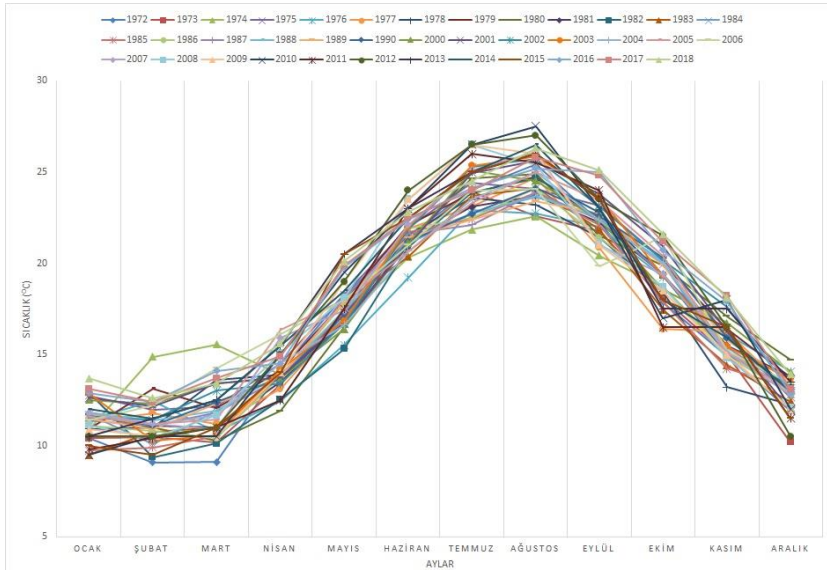
Correlations

			Yıllar	Aylar	Sıcaklık
Kendall's tau_b	Yıllar	Correlation Coefficient	1,000	,000	,059
		Sig. (2-tailed)	.	1,000	,060
		N	468	468	468
	Aylar	Correlation Coefficient	,000	1,000	,305**
		Sig. (2-tailed)	1,000	.	,000
		N	468	468	468
	Sıcaklık	Correlation Coefficient	,059	,305**	1,000
		Sig. (2-tailed)	,060	,000	.
		N	468	468	468

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

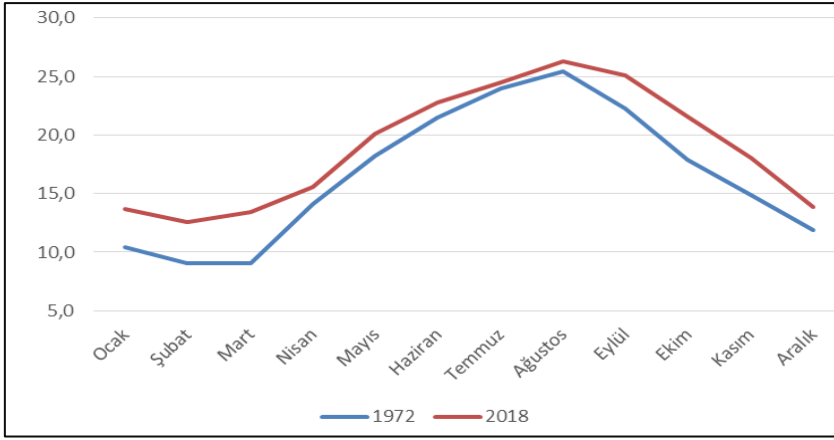
Şekil 5. Yüzey suyu sıcaklığı ve yıllar arasındaki bağıntı (Mann-Kendall testi)

Ayrıca elde edilen bütün veriler aylara göre ortalama sıcaklık değerlerini gösteren bir çizelgede de toplanarak 1972 yılından beri ayların ve mevsimlerin ortalama sıcaklık değişimleri bulunmuştur (Şekil 6). Buna göre mevsimlerde her hangi bir sıcaklık değeri kayması saptanmamıştır.



Şekil 6. Aylara göre ortalama sıcaklık değişimleri

Çalışmanın bir özeti ve küresel ısınmanın Kuzey Ege'deki sonuçlarını daha net görebilmek adına Şekil 7'deki grafik oluşturulmuştur. Ölçümlerin başladığı 1972 ile son değerlendirmenin yapıldığı 2018 yılları arasındaki aylara göre olan ortalama sıcaklık farkı görülmektedir.



Şekil 7. 1972 ve 2018 yıllarındaki ortalama sıcaklık değerleri

Tartışma ve Sonuç

Akdeniz, iklim değişikliğine en duyarlı bölgelerden biri olarak kabul edilmektedir. Ayrıca insan faaliyetleri ile artan baskı, ekosistem yaşam alanlarının ve biyotayla ilgili gelecekteki iklim değişikliği etkilerinin direncini daha da azaltacaktır (UNEP 2009).

Akdeniz genelinde uydu verilerine dayanarak yüzey suyu sıcaklık ölçümleri değerlendirilip gelecekteki sıcaklık artış senaryoları yazılmaktadır. Nykjaer (2009), 1985-2006 arasındaki uydu gözlem verilerine dayanarak yaptığı çalışmada, Akdeniz deniz yüzeyi sıcaklığının son on yılda ortalama $0,4^{\circ}\text{C}$ (batı havzası için $0,03^{\circ}\text{C}$, $\pm 0,008^{\circ}\text{C yıl}^{-1}$; doğu havzası için $+0,05 \pm 0,009^{\circ}\text{C yıl}^{-1}$) oranında arttığını tespit etmiştir. Ayrıca sıcaklık artışlarının yıl boyunca sabit olmayıp en fazla Mayıs, Haziran ve Temmuz aylarında meydana geldiği de bildirmiştir. Adloff ve diğ. (2015) ise benzer şekilde Akdeniz'deki heterojen ısınmadan söz ederek, Balear Denizi, Kuzey İyon Denizi ve Ege Denizi'nin gelecekte Akdeniz'in diğer bölgelerine göre daha fazla ısınacağını iddia etmektedir. MedECC (2019) raporunda ise 2100 yılına kadar Akdeniz'in $1,8^{\circ}\text{C}$ ile $3,5^{\circ}\text{C}$ arasında ısınacağını bildirilmiştir.

Pastor ve diğ. (2020), 1982 ve 2019 yılları arasında uydu verilerinden derlenen deniz yüzeyi sıcaklığı değerlerini analiz ederek mevsimsel sıcaklık döngüsü ve havzada olası bir ısınma eğilimini araştırmışlardır. Sonuçta Akdeniz'in yıllık $0,035^{\circ}\text{C}$ 'lik tutarlı bir sıcaklık artışı eğiliminde olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca en yüksek sıcaklık artışının $1,5^{\circ}\text{C}$ ile Ligurya Denizi, Lion Körfezi Katalonya kıyıları ile Levant Denizi'nin geniş bir bölümünde görüldüğünü tespit etmişlerdir. Akdeniz'in bütünü için bir değerlendirme yapıldığında ise 1982–2019 yılları arasında $1,3^{\circ}\text{C}$ 'lik bir sıcaklık artışı gözlemlenmiştir.

Ege Denizi için en kapsamlı çalışmalardan birini Skliris ve diğ. (2011) gerçekleştirmişlerdir. 1985–2008 yılları arasında uydu verilerine dayanarak yapılan sıcaklık veri analizlerinde en düşük sıcaklık değişiminin Çanakkale Boğazı ve Kuzey Ege’de (0,042°C/yıl), en yüksek değerlerin ise Girit Denizi’nde (0,047°C/yıl) olduğu tespit edilmiştir. Bölgesel olarak bu farklılığın, Kuzey Ege’de etkili olan soğuk Karadeniz suyu ile Güney Ege’de etkili olan sıcak Levant suyundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bizim çalışmamızdan elde edilen sonuçlara göre yıllık 0,035°C’lik bir artış belirlenmiş olup yıl aralığımız daha fazla ve yukarıda bahsedilen çalışmalara göre daha önce başladığı için (1972-2018) toplamda 1,61°C’lik bir sıcaklık artışı tespit edilmiştir.

Son olarak bu sıcaklık değişimlerinin Kuzey Ege’deki faunaya etkisinden bahsetmek gerekirse Kuzey Ege, Akdeniz’in diğer bölgelerine göre yabancı türler açısından nispeten daha az etkilenmiş gibi gözükmektedir. 2010 yılında Gökçeada biriminde devam eden, ada etrafında fauna belirleme çalışmaları kapsamında iki tür balon balığı *Spherooides pachygaster* ve *Lagocephalus sceleratus* tespit edilmiş fakat daha sonrasında bu türler Marmara Denizi’ne doğru göçlerine devam etmelerine rağmen Kuzey Ege’de bir daha kayıt edilmemiştir. Benzer şekilde Gökçeada Deniz Müzesi’nde bulunan 1964 yılında yakalanmış *Siganus rivulatus* türü (Gönülal ve Güreşen 2017) o tarihten sonra Kuzey Ege’de tespit edilememiştir. Ayrıca Dimitriadis ve diğ. (2020) çalışmalarında Babakale Burnu ve Kafireas Burnu arasında termal bir sınır olduğu ve aslan balığının (*Pterois miles*) bu sınırı aşip Kuzey Ege’ye geçemeyeceğinden bahseder. Fakat Dalyan ve diğ. (2021) bir diğer istilacı tür olan *Champsodon nudivittis*’i Gökçeada kuzeyinden bildirmişlerdir.

Sonuç olarak, Kuzey Ege’deki sıcaklık ölçümlerine devam edilmesinin yanısıra yabancı türler özellikle de *C. nudivittis* takip edilmelidir.

Teşekkür

Yazar bu çalışmadaki yönlendirmeleri için sayın Prof. Dr. Bayram ÖZTÜRK’e teşekkür eder.

Kaynakça

Adloff, F., Somot, S., Sevault, F., Jordà, G., Aznar, R., Déqué, M., Gomis, D. (2015) Mediterranean Sea response to climate change in an ensemble of twenty first century scenarios. *Climate Dynamics* 45(9): 2775-2802.

Dalyan, C., Gönülal, O., Kesici, N.B., Yapıcı, S. (2021) The northernmost record of *Champsodon nudivittis* (Ogilby, 1895) in the Mediterranean Sea. *Aquatic Sciences and Engineering* 36: 16-19.

Dimitriadis, C., Galanidi, M., Zenetos, A., Corsini-Foka, M., Giovos, I., Karachle, P.K., Katsanevakis, S. (2020) Updating the occurrences of *Pterois miles* in the Mediterranean Sea, with considerations on thermal boundaries and future range expansion. *Mediterranean Marine Science* 21(1): 62-69.

Gönülal, O., Güreşen, S.O. (2017) A catalogue of the marine species: Gökçeada Marine Museum. *Turkish Journal of Bioscience and Collections* 1: 1-15.

MedECC (2019) Risks Associated to Climate And Environmental Changes in The Mediterranean Region. A preliminary assessment by the MedECC Network Science-policy interface. Mevcut adres: https://www.medecc.org/wp-content/uploads/2018/12/MedECC-Booklet_EN_WEB.pdf, 35 p. (erişim tarihi 10.01.2021)

Nykjaer, L. (2009) Mediterranean Sea surface warming 1985–2006. *Climate Research* 39(1): 11-17.

Pastor, F., Valiente, J.A., Khodayar, S. (2020) A warming Mediterranean: 38 years of increasing sea surface temperature. *Remote Sensing* 12(17): 2687.

Skliris, N., Sofianos, S.S., Gkanasos, A., Axaopoulos, P., Mantziafou, A., Vervatis, V. (2011) Long-term sea surface temperature variability in the Aegean Sea. *Advances in Oceanography and Limnology* 2: 125-139.

UNEP (2009) Synthesis of National Overviews on Vulnerability and Impacts of Climate Change on Marine and Coastal Biological Diversity in the Mediterranean Region. (eds., Pavasovic, B., Cebrian, D., Limam, D., Ben Haj, S., Garcia Charton, J.A.) RAC/SPA, Tunus, p. 76.

Türkiye Denizleri'nde İklim Değişikliğinin Biyolojik İzlemede Belirteç (Makrodestriptor) Türler Üzerine Öneriler

Bayram ÖZTÜRK

İstanbul Üniversitesi, Su Bilimleri Fakültesi, Deniz Biyolojisi Anabilim Dalı, İstanbul
Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV), Beykoz, İstanbul, Türkiye
tudav@tudav.org

Özet

Bu makalede iklim değişikliği izlemelerinde kullanılabilir 12 gruba ait denizel türlerle ilgili öneriler geliştirilerek biyolojik izleme için bir altlık oluşturulması amaçlanmıştır. Ayrıca, Türkiye denizleri'nde iklim değişikliğinden etkilenen türlere örnekler verilerek uzun vadeli izlem çalışmalarının önemine vurgu yapılmıştır. Türkiye denizleri'nin farklı Oşinografik ve Hidrografik özellikleri dikkate alınarak iklim izleme çalışmalarında değerlendirme ve tahmin yapmak için geçmiş yıllarda ölçülmüş veriler ile mareograf istasyonlarındaki verilerin bilim insanlarına açılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyolojik izleme, belirteç türler, iklim izleme çalışmaları, Akdenizleşme

Giriş

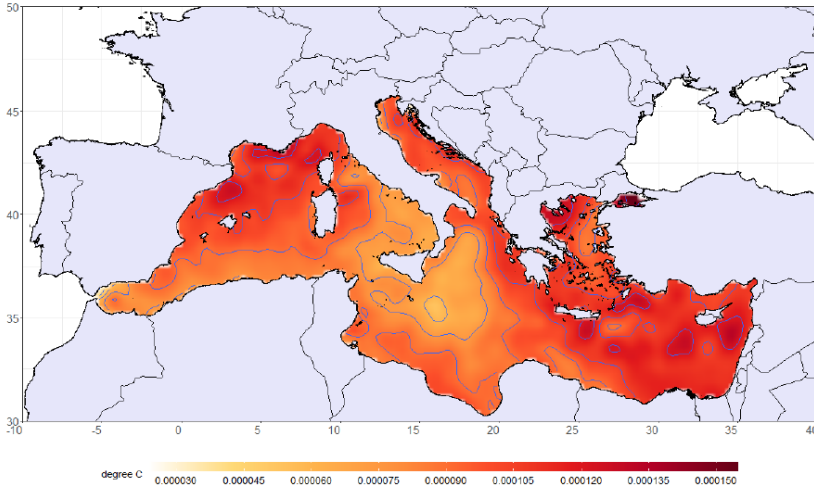
Son zamanlarda sıkça konuşulan ama kamuoyunda daha çok karasal ekosistem odaklı veya ani yağış ve kuraklıklarla ifade edilen iklim değişikliğinin denizlerdeki etkisi genellikle göz ardı edilmektedir. Oysa Atmosfer ve Hidrosfer sürekli etkileşim içinde olan ve birbirini tamamlayan iki büyük sistemdir.

Diğer yandan, denizler Atmosferdeki O₂'in en az yarısını üretir, CO₂ miktarını tutarak azaltır ama daha da önemlisi insanoğluna sürekli olarak gıda sağlar. Bu nedenle denizlerin sağlığı başta insanoğlu olmak üzere Atmosferde yaşayan diğer türlerin sağlığıyla sıkı sıkıya bağlıdır. Biyosferdeki her değişim besin zincirinin en üstündeki balınadan en alttaki bitkisel kökenli tek hücreli canlılara (Fitoplankton) kadar besin ağındaki her grubu etkiler. İklim değişikliğinin karasal ekosistemdeki ve Atmosferdeki izleri denizlerde de görülüyor. Çünkü başta Oksijen, Karbondioksit, Azot ve Fosforun Atmosferdeki dolaşımı ile denizlerdeki dolaşımı birbirlerini tamamlayan süreçlerdir. Türkiye Denizleri'nde iklim değişikliğinin denizlerdeki etkisini anlamak için ne yazık ki uzun süreli veri yoktur.

İlk verilerin (Artüz 1969) tarafından toplandığı hatta bu verilerin arasında 1937 yılına ait değerlerin de olduğu görülmektedir. Fakat bu ve bunun gibi özel amaçla veya düzenli olarak diğer bazı ülkelerde olduğu gibi yüz yıllık veya daha eski veriler bulunmamaktadır. Ancak, ne olursa olsun geç kalınsa bile değişik

bölgelerde, yerlerde hatta değişik yöntemlerle de olsa bütün verilerin toplanması, kendi içinde gruplanarak değerlendirilmesine bir yerden başlamak zorundayız. Çünkü deniz araştırmaları pahalı araştırmalar grubuna girer ve küçücük bir noktadan alınan ölçüm bile doğru yöntemle alındıysa mutlaka kullanılır veya veri olarak değerlendirilir. Bu kapsamda eski verilerin toplanması için özellikle 1970'li yılların öncesiyle ilgili arşivlerdeki projeleri ve sonuçlarını incelemek gerekmektedir. Bir yarımada olan Türk Yurdu'nun etrafındaki denizlerin farklı Oşinografik ve Hidrografik özelliklerinin bilinmesi iklim değişikliği tahminlerini yapmak için bizlere yol gösterebilir.

Şekil 1'e bakıldığında yüzey suyu sıcaklık artışının en fazla Doğu Akdeniz ve Ege Denizi hatta Marmara kısmında olduğu görülmektedir. Doğu Akdeniz'deki yüzey suyu sıcaklık artışı $0,048^{\circ}\text{C} / \text{yıl}$ olarak verilmektedir (Pastor ve diğ. 2020). Diğer yandan Akdeniz iklim değişikliği açısından sıcak noktalardan biridir ve özellikle ülkemizin de sahili bulunan Doğu Akdeniz havzası kırılğan bir nitelik taşır.



Şekil 1. Akdeniz'de yüzey suyu sıcaklığı eğilimleri (Pastor ve diğ. 2020).

Diğer yandan, iklim değişikliğinde belirteç türler biyolojik izleme için önemlidir. Başta da son zamanlarda görülen müsilaj ve ani plankton patlamaları, balık göçlerindeki değişimler, balıkların yumurtalamalarındaki sarkmalar, taş mercanların beyazlaşması gibi olayların aydınlatılması, denizlerde uzun süreli deniz suyu ve diğer verilerin ölçülmesine bağlıdır.

Termofilik (sıcığı seven) olarak adlandırılan *Arbacia lixula* denilen bir tür deniz kestanesinin Kuzey Ege ve Marmara Denizi'nde yoğun olarak görülmeye başlanması bu denizlerdeki faunal değişimin öncü işareti olarak

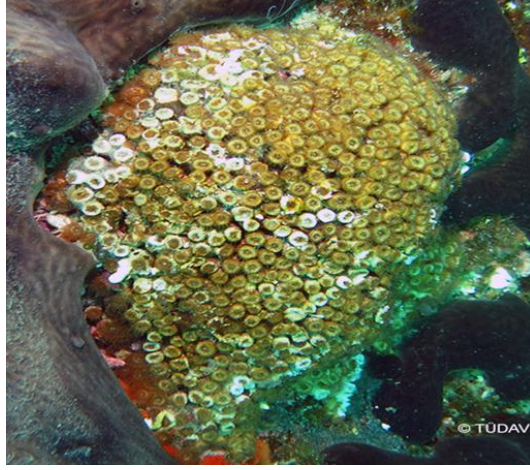
değerlendirilmektedir (Öztürk 2006). Diğer yandan, Karadeniz'in Akdenizleşmesi süreci devam etmektedir. Bilindiği gibi Akdeniz-Karadeniz bağlantısı yaklaşık son 7.000 yılda tekrar sağlanmış ve Akdeniz kökenli türler bu denize tekrar girmişlerdir. Bu giriş günümüzde de devam etmekte olup bu olaya Mediteranizasyon "Akdenizleşme" denilmektedir. Akdeniz'den Karadeniz'e geçen türlerin temel özelliği yüksek tuzluluğa sahip ve sıcak sularda yaşamasıdır. İstanbul Boğazı farklı tuzluluk ve sıcaklık değişimi nedeniyle Akdeniz kökenli türler için bir engel oluşturmaktadır (Oğuz ve Öztürk 2011). Buna karşın, son dönemlerde daha fazla Hint Okyanusu kökenli türlerin Karadeniz'e geçtikleri de bilinmektedir. Akdenizli türler için Örneğin mıgır, baraküda, salpa, sardalya, kupes ve peygamber balığı gibi balık türlerinin bu denize girmesi ve ciddi av vermesi sıcak seven (termofilik) türlerin dağılımının genişlediğini gösterir. Karadeniz'de Akdenizleşme'nin hızlanması ve birçok yeni türün bu denize girmesi ve besin zincirini değiştirmesi önümüzdeki yıllarda daha da belirginleşebilir.

İklim değişikliği veya sıcaklık salınımlarının Akdeniz ve Karadeniz arasındaki akıntı sistemine yapacağı etki de incelemeye değer bir konudur. Çünkü Akdeniz'den Karadeniz'e çıkan yüksek tuzlulukta ve sıcak alt akıntı ile Karadeniz'den gelen düşük tuzlulukta soğuk üst akıntı deniz canlılarının dağılımını ve göçleri üzerinde etkilidir. Deniz suyu sıcaklığının artışı termofilik balık türlerinin Karadeniz'e geçişleri ve girişlerini etkileyeceğinden bu yeni bir "Lesepsiyen" göç olgusuna benzetilebilir. Zaten birçok Kızıldeniz kökenli tür, Karadeniz'e girmiştir.

Bu olguların ışığında Karadeniz'deki av kompozisyonu ve balık türleri de değişecek, tür sayısı da muhtemelen artacaktır. Avlanan balıkların miktarları da değişebilir. Bu ise yüzyıllardır geleneksel hale gelmiş Karadeniz balıkçılığının değişime uğraması demektir. Ancak, Karadeniz'deki H₂S tabakasının kalınlığının değişmesi halinde bu bütün biotayı etkileyecektir. Oksijensiz (Anoksik) tabakanın yükselmesi hacimsel olarak sadece %7'lik olan canlı tabakanın incelenmesi demektir. Bu da Karadeniz gibi sınırlı su yenilenmesine sahip ve türler arası genetik değişimin az olduğu yarı kapalı bir deniz için bir kaos öngörüsü olabilir. Özellikle, bu denize nehirlerden tatlı su ve sediment girişlerinin azalması, havzada H₂S, yerel akıntılar ve genel döngüler üzerinde etkili olabilir.

İklim değişikliğinden etkilenen türler

Ege Denizi'nde taş mercan *Cladocora caespitosa* türünün (Şekil 2) ani sıcaklık değişimlerinden etkilendiği ortaya konulmuştur Güreşen ve diğ. (2015). *Cladocora caespitosa* olarak bilinen ve endemik olan tür Marmara Denizi ve Ege Denizi'nde yoğun olarak bulunurken Akdeniz kıyılarımızda ender olarak görülmektedir. İklim değişikliği'nden en fazla kıyıların etkileneceği ve bu alanların en verimli deniz alanları olduğu da bilinmektedir (Öztürk 2006).



Şekil 2. Akdeniz endemik türü olan Taş Mercan *Cladocora caespitosa* (TÜDAV)

Kıyılarda bulunan Korallijen kökenli başta da tratuar oluşturan (*Lithipillum* spp.) türler ile özel habitatlar olarak bilinen başta Gazipaşa ve Çevlik bölgelerinde bulunan Vermetid teraslar su seviyesi yükselmesi ve ani sıcaklık değişimlerinden etkileneceklerdir (Charton-Garcia ve diğ. 2009) (Şekil 3). Bu türlerin Akdeniz’de deniz suyu seviyesi ve yüzey suyu değişimini izleme amaçlı olarak kullanıldığı bilinmektedir (Chemello ve Silenzi, 2011).



Şekil 3. Vermetid teraslar (B. Öztürk, TÜDAV)

Ayrıca, yağış düzensizliği, kuraklık ve su çekilmesi nedeniyle nehirlere, dalyan ve lagünlere giren yılan balıklarında azalmalar görülmektedir. Başta Meriç Nehri, Büyük ve Küçük Menderes, Gediz ve Ası nehri ve lagünlere giren Yılan

balıklarının (*Anguilla anguilla*) (Şekil 4) azalması bu balığın avcılığını yapan küçük ölçekli balıkçıları da olumsuz etkilemektedir.



Şekil 4. *Anguilla anguilla* (B. Öztürk, TÜDAV)

Belirteç türler

İzleme çalışmaları deniz bilimleri ve iklim araştırmalarının temelini oluşturur. İklim değişikliğini Türkiye denizlerinde izlemek geniş alanlar kaplayan Okyanuslara göre daha kolaydır. Çünkü Türkiye denizleri farklı sıcaklık ve tuzluluk aralıkları içermektedir ve farklıları izlemek görece olarak kolay ve diğer denizlere göre daha avantajlıdır. Örneğin Karadeniz ve Akdeniz kıyılarımızda yaşayan ana türlerin listeleri bilindiğine göre bunların takibi yoluyla değişimi anlamak mümkündür. Termofilik türlerin dağılımı ve kolonileşmesi, belli seçilmiş bentik ve pelajik türlerin izlenmesi izleme maliyetini de azaltan bir etkidir.

Moschella ve diğ. (2010) tarafından oluşturulan, bütün Akdeniz için uygulanması önerilen ve Biyolojik izleme de kullanılan belirteç (Makrodecriptör) türler aşağıda kısaltılarak gösterilmiştir (Tablo 1). CIESM tarafından öncülüğü yapılan ve “Tropical Signals“ olarak tanımlanan program halen devam etmektedir. Bu programda belirteç türlerin seçilmesinde sıcak ve soğuk seven türler listelenerek dağılımların izlenmesi ve biyolojik izlemenin bütün Akdeniz boyunca yapılması amaçlanmıştır. Ayrıca, belli alanlara da sıcaklık ölçüm cihazları (Logger) yerleştirilmiştir (Şekil 5). Ülkemizde de “Tropikal Sinyal” programı kapsamında 2011 yılında başta Çevlik, Bodrum, Gökçeada, Prens adaları ve İstanbul Boğazi’ olmak üzere belli derinliklere yerleştirilen sıcaklık ölçüm cihazlarıyla bir süre kayıt tutulmaya başlanmış ancak cihazların bir kısmı ne yazık ki yerlerinden sökülerek çalışmanın önemli bir kısmı akamete uğratılmıştır. Bazı bölgelerdeki cihazlar ise ölçüm yapmaya devam etmişlerdir.



Şekil 5. Kayıt tutmak için kullanılan cihaz (Logger)

Bu çalışma 2015 yılında tamamlanmış olup önümüzdeki dönemde çalışmanın bütün Türkiye kıyılarına teşmil edilmesi planlanmaktadır. Belirteç olarak izlenmesi gereken türler için kısa, orta ve uzun vadeli olarak planlama yapmak değişimi anlamak açısından önemli olacaktır.

Tablo 1. Akdeniz ve Karadeniz için belirteç olarak izlenmesi önerilen türler

Akdeniz ve Karadeniz için belirteç olarak izlenmesi önerilen türler	
Takson	Tür Adı
Algler	<i>Caulerpa prolifera</i> , <i>Sargassum</i> spp., <i>Digenea simplex</i> , <i>Penicillus capitatus</i>
Yüksek bitkiler	<i>Posidonia oceanica</i> , <i>Caulerpa racemosa</i> , <i>Halophila stipulacea</i>
Porifera	<i>Axinella polypoides</i>
Sölenterata	<i>Rhopilema nomadica</i> , <i>Cassiopea andromeda</i>
Antozoa	<i>Alicia mirabilis</i> , <i>Cladocora caespitosa</i> , <i>Eunicella</i> spp., <i>Astroides alycularis</i> , <i>Paramuricea clavata</i>
Hidrozoa	<i>Carybdea marsupialis</i> , <i>Pennaria disticha</i>
Polychaeta	<i>Hermodice carunculata</i>
Molluska	<i>Dendropome</i> spp., <i>Perna perna</i> , <i>Pinna nobilis</i>
Krustase	<i>Marsupenaeus japonicus</i> , <i>Portunus pelagicus</i> , <i>Nephrops norvegicus</i>
Ekinodermata	<i>Ophidiaster ophidianus</i> , <i>Marthasterias glacialis</i> , <i>Synaptula reciprocens</i>
Tulumlular (Ascidia)	<i>Herdmania momus</i> , <i>Phallusia nigra</i>
Balıklar	<i>Epinephelus</i> spp., <i>Thalassoma pavo</i> , <i>Sardinella aurita</i> , <i>Sprattus sprattus</i> , <i>Serranus scriba</i> , <i>Coris julis</i> , <i>Fistularia commersonii</i> , <i>Lagocephalus sceleratus</i> , <i>Plotosus lineatus</i> , <i>Siganus luridus</i> , <i>Siganus rivulatus</i> , <i>Sargocentron rubrum</i> , <i>Saurida undosquamis</i>

Sonuç ve Öneriler

Denizlerdeki biyolojik değişimi anlamak için uzun süreli ölçümler, tuzluluk, sıcaklık, çözülmüş oksijen, nütrient, akıntı ve su seviyesi değişimleri, deniz canlılarının su sıcaklığının yükselmesi karşısında vereceği metabolik, fizyolojik ve ekolojik tepkilerin incelenmesi, yabancı türlerin giriş ve dağılımının takibi gereklidir. Plankton izleme çalışmaları da bu anlamda önemlidir. Mesela; Marmara Denizi'nde kirlenmeye bağlı olarak oluşan alg artışlarında etkili olan *Noctulica miliaris* türünün aşırı çoğalmasının bu türün asit salgılaması nedeniyle deniz suyunun PH'ını düşürerek asitleşmeye neden olduğu belirtilmektedir (Artüz 1990). Ayrıca, ani plankton patlamaları yanında denizanası çoğalmalarının da izlenmesi önemlidir (Öztürk ve Sümen 2020).

Türkiye kıyılarında deniz seviyesi değişimleri için yerleştirilmiş su seviyesi ölçüm istasyonlarının (Mareograf) ölçümlerinin düzenli olarak yayımlanması ve bilim insanlarına açılması önemli bir gelişmedir. Bu konuda <https://tudes.hgk.msb.gov.tr/tudesportal> açılmış olup ilgili kurumun araştırmacılarla daha fazla işbirliği ve bilgi paylaşması beklenmektedir. Zira, 1935 yılında ilki Antalya'da kurulan su seviyesi ölçüm sisteminin halen ülkemizin 20 kadar istasyonundan veri topladığı ancak bunların araştırmacıların kullanıma açılmalarında geç kaldığı değerlendirilmektedir.

Böylece değişik denizlerden toplanmış veriler deniz bilimcilerin istifadesine sunulurken bu verilerin sağlıklı bir şekilde değerlendirilmesi sağlanabilir. Dahası, erken uyarı sistemi geliştirmek ve tahmin yapmak kolaylaşabilecektir. (Yüce ve Alpar 1994) Türkiye'nin Akdeniz kıyılarında su seviyesi değişikliği konusunda yaptıkları araştırmalarda kısa ve uzun dönemli olarak Antalya ve İskenderun istasyonlarını ele alarak en fazla 17,3 cm'lik bir su seviyesi değişikliği tespit etmişlerdir. Ancak bu verilerin yeni çalışmalarla mukayese edilerek su seviyesi değişimlerinin ayrıntılı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Uzmanlar; Orta Asya'daki Türk devletinin yıkılma sebeplerinden birinin de iklim değişikliğinden kaynaklı o dönemdeki soğumaya bağlamaktadır (Fei ve diğ. 2007). O halde, iklimi ülkelerin bütün aşamalarına yön veren bir etken olarak görüp, tahmin verileri oluşturup karar vericilerle paylaşmak önem arz etmektedir. Ölçüm yapmadan ve veri toplamadan iklim değişikliği ve bunun denizler üzerindeki etkilerini anlamak mümkün olmadığı gibi, araştırma eksiklikleri bizlere zaman kaybettirir, diğer ülke uluslarıyla olan bilimsel yarışmada geri kalmamıza neden olur.

Son olarak, biran önce bütün denizlerimizde bütünleşik ve ulusal bir iklim izleme programının başlatılması şarttır. İlgililerin ve akademik camianın bu konuda çabuk davranması gerekmektedir.

Kaynakça

Artüz, İ. (1969) Daily observations on the hydrographic conditions of the Bosphorus during the period of 1962-1966. *İst Üniv Fen Fak Mecm B* 34(3-4): 207-208.

Artüz, İ. (1990) Marmara Denizi ve Boğazlar Bölgesinde kirlenmenin boyutları ve tarihsel gelişimi. 7 bölümde İstanbul'un çevre sorunları ve çözümü sempozyumu, Türkiye Çevre ve Yeşillendirme kurumu, İstanbul, Türkiye, 1 Kasım 2008, pp. 281-291

Charton-Garcia, J., Cebrian, D., Limam, A., Zenetos, A., Galil, B., Badalamenti, F., Öztürk, B., Marba Bordalba, N., Rizzo, M., Borg, D., Saliba, S., Hajichrostoforou, M. (2009) UNEP-MAP RAC/SPA. Sub-regional report on vulnerability and impacts of climate change on marine and coastal biological diversity in the North Mediterranean non- Adriatic countries and Israel. RAC/SPA.Tunis, 44 p.

Chemello, R. Silenzi, S. (2011) Vermetid reefs in the Mediterranean Sea as archives of sea-level and surface temperature changes. *Chemistry and Ecology*, 27(2): 121–127.

Fei, J., Zhou, J., Hou, Y. (2007) Circa A.D. 626 volcanic eruption, climatic cooling, and the collapse of the Eastern Turkic Empire. *Climatic Change* 81: 469-475.

Güreşen, S.O., Topçu, N.E., Öztürk, B. (2015) Distribution and mortality of the Mediterranean stony coral (*Cladocora ceaspitosa* Linnaeus, 1767) around Gökçeada Island (northern Aegean Sea). *Cahiers de Biologie Marine* 56: 283-288.

Moschella, P., Alberto, F., Antoniadou, C., Chintiroglu, C., Azzurro, E., Ballesteros, E., Ben Abdallah, A., Ben Souissi, J., Boero, F., Galil, B., Gambi, M.C., Garrabou, J., Despalatovic, M., Grubelic, I., Verlaque, M., Chevaldonné, P., Perez, T., Occhipinti, A., Öztürk, B., Ramdani, M., Ramos Esplà, A., Rebzani Zahaf, C., Samuel-Rhoads, Y., Russo, G., Schembri, P., Temraz, T., Zaouali, J. (2010) CIESM Tropical Signals Program – Tracking biogeographic trends in a changing sea. 39th CIESM Congress, Venice, Italy, 10-14 May 2010. *Rapp Com Int Mer Medit* 39: P3.

Oğuz, T., Öztürk, B. (2011) Mechanisms impeding natural Mediterraneanization process of Black Sea fauna. *Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment* 17(3): 234-253.

Öztürk, B. (2006) Küresel ısınma ve Türkiye denizleri için ekolojik bir yaklaşım. *Bilime Ütopya* 139(12): 28-32.

Öztürk, D.I, Sümen, S.G. (2020) Unusal mass mortality of jellyfish *Rhizostoma pulmo* on the coast of the Sea of Marmara in December 2020. *Journal of the Black Sea / Mediterranean Environment* 26(3): 343-351.

Pastor, F., Valiente, A.J., Khodayar, S. (2020) Warming Mediterranean: 38 years of increasing sea surface temperature. *Remote Sens* 12: (2687) 1-16.

Yüce, H., Alpar, B. (1994) Water level variations in the Northern Levantine Sea. *Oceanologia Acta* 17(3): 249-254.

Denizlerdeki Isınmanın Plankton Solunumu ve Birincil Üretime Etkisi

Mustafa MANTIKCI

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli, Mersin, Türkiye
mmantikci@ims.metu.edu.tr

Özet

Küresel ısınma okyanuslar ve denizlerimizde önemli değişikliklere yol açmaktadır. Deniz ekosisteminde deniz suyunun ısınmasından dolayı yaşanmakta olan değişimlerin tahmin edilmesi ve önlemler alınabilmesi için öncelikle denizlerimiz hakkında yapılmış çalışmaların iyi sentezlenip, gelecekte yapılması gereken bilimsel araştırmaların bir strateji çerçevesinde planlanması gerekmektedir. Bu makalede deniz ekosisteminin ve karbon döngüsünün kilit süreçlerinden olan birincil üretim ve plankton solunumuna dair bilgiler paylaşılmış, iklim değişikliğinin bu süreçler üzerine ne tür değişimlere yol açabileceğinden ve yapılması gereken çalışmalardan bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Plankton solunumu, birincil üretim, karbon döngüsü, biyolojik pompa, ötrofikasyon, Q₁₀

Sera gazlarının kullanılmasıyla atmosferde konsantrasyonu artan karbondioksit (CO₂), sanayi öncesi döneme kıyasla yeryüzünde yaklaşık 1,0°C'lik küresel ısınmaya yol açmıştır (IPCC 2019). Bugüne kadar yapılan tahminler ve değerlendirmeler bu ısınmanın süreceği yönündedir. Küresel ısınmanın yeryüzünde şu ana kadar yarattığı değerşiklikler; deniz yüzeyi suyu sıcaklıkları artışı, kutuplarda buz kütlelerinde azalma, deniz yüzeyi pH değerleri ve çözünmüş oksijen konsantrasyonları düşüşü ve deniz seviyesi yükselişi olarak sıralanabilir (IPCC 2019). 1970'den günümüze küresel ısınmanın %90'dan fazlası okyanusların ısınmasına sebep olmuştur. Yapılan tahminlere göre 1986-2005 arası sıcaklıklar referans alındığında, 2031-2050 yılları arasında en az 0,64°C en çok 0,95°C, 2081-2100 yılları arasında ise en az 0,73°C en çok 2,58°C artacağı tahmin edilmektedir. Küresel ısınmanın etkileri beklendiği üzere bölgesel olarak farklılıklar göstermektedir. Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz bölgesinde hava sıcaklıkları küresel artışın 1,5°C üstünde gözükmele birlikte, Ege Denizi 2016 yılında yüzey suyu sıcaklığı en çok artan deniz olmuş, 2100 yılı için öngörüler 1,8°C ile 3,5°C bir artış olması yönündedir (Cramer ve diğ. 2018). Birçok araştırma deniz suyu sıcaklıklarında gerçekleşen artışların deniz ekosisteminde değerşikliklere yol açacağını öngörmektedir. Bu değerşikliklerin başında, atmosferdeki CO₂ ve oksijen (O₂) seviyelerinin dengede tutulmasını sağlayan okyanuslar ve denizlerde gerçekleşen karbon döngüsü ve bu döngüde niş sahibi canlılar ve biyojeokimyasal süreçler gelmektedir. Karbon döngüsünün gerçekleşmesinde büyük pay sahibi olan, sucul ekosistemlerde yaşayan "plankton" diye adlandırılan, deniz ekosistemine hayat veren, fakat bağımsız olarak hareket kabiliyeti olmayan mikroskobik canlılar gelmektedir. Plankton

temel olarak üç trofik sınıftan oluşmaktadır; fitoplankton (bitkisel plankton), zooplankton (hayvansal plankton) ve bakterioplankton. Fitoplankton hücre içeriğinde sahip olduğu kloroplast sayesinde güneş enerjisi ve suyu kullanarak inorganik maddeleri organik maddelere çevirir ve yan ürün olarak da O₂ açığa çıkarır, bu prosese fotosentez adı verilir. Fitoplankton dünyadaki biyokütlelerin sadece %1-2'sini oluşturduğu halde, okyanuslarda gerçekleşen birincil üretimin %90'dan fazlası bu canlıların fotosentezi sayesinde olmaktadır. Fitoplankton fotosentezi pelajik ekosistemlerin ana organik madde kaynağı olmasının yanı sıra, küresel birincil üretim olan 35-65 Gt Cy⁻¹'nin (Falkowski ve diğ. 2000; del Giorgio ve Duarte 2002) yarısını üreterek, küresel karbon döngüsünde önemli bir rol oynar. Diğer bir deyişle soluduğumuz oksijenin yarısı da okyanuslarda fitoplankton fotosentezi ile sağlanmaktadır. Fotosentez sayesinde üretilen organik maddeler deniz ekosisteminde besin ağı ile transfer edilmekte ve metabolizma ile harcanarak enerji transferi gerçekleşmektedir. Böylece birincil üretim besin ağının temelini oluşturarak diğer canlıların zamansal ve uzamsal dağılımlarını kontrol etmektedir.

Denizlerde karbon döngüsü ve biyolojik pompanın işleminde bir diğer önemli süreç ise kimyasal olarak fotosentezin tam tersi olan solunumdur. Her canlı hayatta kalma, büyüme ve üreme için solunum yapar. Işıklı tabakada gerçekleşen oksijenli solunum, hücrelerin enerji elde etmekte kullandıkları biyokimyasal bir süreçtir. Plankton solunumu, birincil üretim sonucu oluşan organik materyalin mineralizasyonunu gerçekleştirir. Plankton solunumu, her ne kadar mixotroflar bu ayrımı daha karmaşıktırsalar da (Seong ve diğ. 2006), iki bileşene ayrılabilir; ototrofik solunum (fitoplankton) ve heterotrofik solunum (zooplankton ve bakterioplankton). Bu bileşenlerin pelajik solunuma katkısı, doğal su örneklerinde plankton solunum hızlarını ayırmada yaşanan zorluklardan dolayı çok iyi bilinmemesine rağmen, genel olarak yarı yarıya olduğu söylenebilir (del Giorgio ve Williams 2005; Mantıkcı 2015). Küresel olarak plankton solunumu üzerine yapılan çalışmalar birincil üretim çalışmalarının sadece %1'ni oluşturduğundan (Robinson ve Williams 2005), bu süreç hakkında daha fazla çalışmalar yapılması biyolojik pompayı, karbon döngülerini ve nihayetinde küresel ısınmanın denizler üzerine etkilerini anlamamıza yardımcı olacaktır.

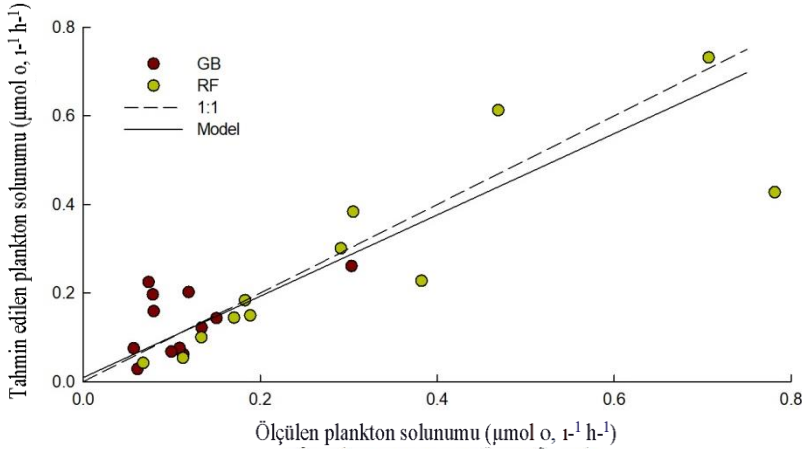
Birincil üretim ve plankton solunumu diğer bir yandan, kıyısal alanlarda ötrofikasyonun oluşmasına yol açan başlıca biyojeokimyasal süreçlerdir. Ötrofikasyon kıyısal ekosistemlerde insan kaynaklı besin tuzu artışının (özellikle azot ve fosfor) fotosentez ile aşırı organik madde üretimine sebep olması ve bu artışın sebep olduğu olumsuz fiziksel, biyokimyasal ve ekolojik değişim süreçler bütünü olarak tanımlanabilir (Nixon 1995). Ötrofikasyonda birincil üretim organik maddelerin artışına sebep olurken, planktonik solunum ise (özellikle heterotrofik solunum) oksijeni kullanarak organik maddeleri tüketilmesiyle, dip sularda hipoksiye sebep olur (Rivkin ve Legendre 2001; Robinson ve diğ. 2002). Ötrofikasyonun deniz ekosisteminde yarattığı diğer olumsuz etkiler ise; ışık geçirgenliğinin azalması, bitki biyokütlelerinde aşırı artış (fitoplankton ve

makrofitler), besin ağı ve tür kompozisyonunda değişiklikler ve balık ölümleri olarak sıralanabilir.

Atmosferdeki CO₂ okyanusların tabanına kadar biyolojik pompa ile ulaşmaktadır. Kısaca biyolojik pompa, atmosferik karbondioksitin yüzey sularında çözüldükten sonra çözünmüş inorganik biçiminin fotosentez ile partikül organik karbona dönüşüp, yüzey tabakadan derinlere batması sırasında karbonun solunum ile yeniden çözünmüş inorganik karbona mineralize olma süreçleri olarak tanımlanabilir. Batan materyalin çok büyük bir kısmı derin sulara veya sedimana ulaşmadan mineralize olur ve sadece birincil üretimin yaklaşık %1 kadarı derin okyanusta veya sedimanda birikir (Ducklow ve diğ. 2001). Böylece organik karbonun büyük bir kısmı plankton tarafından tüketilir. Bu pay su kolonunda birincil üretim ve solunumun dengesine ve direk olarak da organik maddenin tüketilmesi ve sıcaklığa bağlıdır.

Ekolojinin metabolik kuramının (Brown ve diğ. 2004) temelini oluşturan biyokimyasal reaksiyon hızları, metabolik hızlar ve diğer tüm biyolojik aktivite hızları Arrhenius denkleminde verildiği gibi, sıcaklık ile üstel olarak artar. Ekolojinin metabolik kuramı, sıcaklığın ekosistem metabolizmasını düzenlemedeki rolünü ve metabolik hızların ekolojik süreçleri nasıl kontrol ettiğini tahmin etmeye çalışır. Metabolik kurama göre denizlerdeki ısınma heterotrofik solunumu birincil üretime göre daha hızlandıracak ve sonucunda ise okyanusların CO₂ tutulumu zayıflayacaktır (López-Urrutia ve diğ. 2006). Metabolik hızların sıcaklık hassasiyetlerini ölçmek için, sistemde artacak her 10°C için ilgili süreç hızın ne kadar değişeceğini belirten Q₁₀ faktörü kullanılmaktadır. Yapılan birçok araştırmada, plankton solunumunun fotosenteze göre sıcaklığa daha hassas olduğu yani solunum Q₁₀ değerlerinin fotosentez Q₁₀ değerlerinden yüksek bulunmuştur (López-Urrutia ve diğ. 2006; Vaquer-Sunyer ve Duarte 2013; Bendtsen ve diğ. 2014), bu bulgular da metabolik kuramı destekleyici niteliktedir. Mantıkcı (2015)'nin Danimarka kıyı sularında plankton toplulukları üzerine yaptığı araştırmada besin tuzlarının zengin olan bölgedeki fotosentez ve plankton solunumu Q₁₀ değerlerinin besin tuzlarının daha fakir olan bölgedeki Q₁₀ değerlerine göre yaklaşık 2 kat olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte Hopkinson ve Smith (2005) plankton solunumunun fitoplankton biyokütlesi göstergesi olan klorofil-a ve sıcaklık ile ayrı ayrı istatistiki anlamlı ilişkide olduğunu, Mantıkcı (2015) ise iki etkenin bir arada olduğunda istatistiki daha güçlü ilişki kurulabileceğini göstermiştir (Şekil 1). Bu da göstermektedir ki sıcaklık artışıyla besin tuzu sınırlaması organizmalar için belirginleşmekte ve ötrofikasyon tehdidi altında olan denizlerde küresel ısınmanın etkilerini katlamaktadır. Hansen ve Bendtsen (2014) organik karbonun mineralizasyonun sıcaklıkla arttığını, böylece küresel ısınma ile okyanusların derinliklerine taşınan karbonun azalacağı yani okyanus karbon tutulumunun %21 azalacağı ve bununla birlikte çözünmüş inorganik karbon ve besin tuzları dengelerini de değiştireceği tahmin edilmektedir (López-Urrutia ve diğ. 2006; Vaquer-Sunyer ve Duarte 2013). Sıcaklığın yanında, ışık şiddeti (Mantıkcı ve diğ. 2017), organik maddenin

miktarı ve kalitesi, plankton topluluğunun dağılımı ve metabolik durumu (Mantıkçı ve diğ. 2020) plankton solunumunu kontrol eden diğer etmenlerdir, bunlarda olan değişimler de fotosentez ve solunum arasındaki dengeyi değiştirerek tüm deniz ekosistemini etkilemektedir.



Şekil 1. Danimarka kıyılarında bulunan Great Belt (GB) ve Roskilde Fjord (RF) bölgelerinde 12 aylık plankton solunumu (PS) ölçümleri ve tahmin edilen solunum değerleri karşılaştırması. Model $[PS=Klorofil-a * (0.0254)*e^{(Sıcaklık*0.101)}]$ $R^2=0.90$. Şekil Mantıkçı (2015)'den yeniden çizilerek alınmıştır.

Diğer bir yandan denizlerdeki ısınma ile birlikte fitoplankton topluluklarında da küçük hücre boyutuna doğru kaymalar yaşanacağı tahmin edilmekte (Morán ve diğ. 2010) ve bundan dolayı fitoplanktonun su kolonundaki batış hızlarının yavaşlayacak olması, biyolojik pompanın verimliliğini de azaltması beklenmektedir. Bu durum ise okyanusun üst tabakasında CO₂ birikimini artırarak, okyanus pH seviyelerini yükseltecek ve asidifikasyona sebep olacaktır. Küresel ısınmanın fitoplankton üzerine diğer bir etki ise, ısınma ile su kolonunda tabakalaşmanın artması olacaktır (O'Connor ve diğ. 2009). Okyanuslardaki artan tabakalaşma ile dikey karışımın azalması ve dolayısıyla besin tuzlarının üst tabakaya taşınımını azalacağından, ışıklı yüzey tabakasında birincil üretimin azalmasına yol açacaktır (Behrenfeld ve diğ. 2006). Plankton metabolizması ve karbon döngülerindeki bu değişimlerin yanı sıra sıcaklık artışı ile denizlerde oksijen çözünürlüğü azalacağından hipoksik koşullarda da artışlar gözlemlenecektir (IPCC 2019).

Türkiye'nin içinde bulunduğu Akdeniz havzasındaki küresel ısınmanın etkileri, yukarıda belirtildiği üzere küresel tahminlerin üstünde görülmektedir. Ülkemiz Akdeniz havzasında oşinografik özellikleri birbirinden farklı olan üç deniz ile çevrili olup, 8833 km kıyı sahil şeridi ile kara-deniz etkileşimi en yüksek ülkelerin

başında gelmektedir. Maalesef denizlerimiz, kıyılarda aşırı ve plansız yapılaşma, yanlış tarım, hayvancılık ve su ürünleri uygulamaları, doğayla dost olmayan sanayii ve yetersiz kalan arıtım uygulamaları ile ötrofikasyonu deneyimlemektedir (ÇŞB, TÜBİTAK-MAM 2017). Ayrıca Avrupa Birliği üye ülkelerinde sera gazı salınımı 1990-2017 yılları arası %22'lik bir azalma eğilimindeyken, Türkiye'de %145'lik emisyon artışı dikkat çekicidir (EEA 2019). Kıyılarımızda artan ötrofikasyon, küresel ısınmanın denizlerimizde yaratacağı etkiyi de arttıracakı düşünülmektedir. Ülkemizde deniz bilimleri araştırmaları kısıtlı kalmakla beraber plankton metabolizması üzerine de çalışmalar oldukça azdır. Bu biyojeokimyasal süreçlerin küresel ısınma ile denizlerimiz ekosisteminde ne gibi değişiklikler yaratacağı üzerine araştırmalar özellikle; hassas deniz alanların da uzun dönemli birincil üretim ve plankton solunumu ölçümleri, iklim değişikliği senaryolarına göre dizayn edilmiş tüm besin ağını kapsayacak şekilde deneysel çalışmalar ve oşinografik gözlem şamandıraları ile sürekli uzun dönemli ölçümler gibi çalışmalara odaklanmalıdır. Bu çalışmalar TÜBİTAK destekleri, halihazırda denizlerimizde kirlilik araştırmalarının yapıldığı “Bütünleşik Kirlilik İzleme Projesi” ve belki de en önemlisi tüm denizlerimizde ekosistem ve iklim değişikliklerinin etkilerinin araştırıldığı “Deniz Ekosistem ve İklim Araştırmaları Merkezi-DEKOSİM” gibi projelere dahil edilmesi önerilmektedir.

Kaynakça

Behrenfeld, M.J., O'Malley, R.T., Siegel, D.A., McClain, C.R., Sarmiento, J.L., Feldman, G.C., Milligan, A.J., Falkowski, P.G., Letelier, R.M., Boss, E.S. (2006) Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature* 444: 752-755.

Bendtsen, J., Hilligsøe, K.M., Hansen, J.L.S., Richardson, K. (2014) Analysis of remineralisation, lability, temperature sensitivity and structural composition of organic matter from the upper ocean. *Prog Oceanogr* 130: 125-145.

Brown, J.H., Gillooly, J.F., Allen, A.P., Savage, V.M., West, G.B. (2004) Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology* 85: 1771-1789.

Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J.P., Iglesias, A., Lange, M.A., Lionello, P., Llasat, M.C., Paz, S., Peñuelas, J., Snoussi, M., Toreti, A., Tsimplis, M.N., Xoplaki, E. (2018) Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nat Clim Chang* 8(11): 972-980.

ÇŞB, TÜBİTAK-MAM (2017) Denizlerde Bütünleşik Kirlilik İzleme İşi 2014-2016 Akdeniz/ Ege Denizi/ Marmara Denizi/ Karadeniz Özet Raporları, TÜBİTAK-MAM Matbaası, Kocaeli, Türkiye.

del Giorgio, P.A., Duarte, C.M. (2002) Respiration in the open ocean. *Nature* 420: 379-384.

del Giorgio, P.A., Williams, P.J. le B. (Eds.) (2005) Respiration in Aquatic Ecosystems. Oxford University Press.

Ducklow, H.W., Steinberg, D.K., Buesseler, K.O. (2001) Upper ocean carbon export and the biological pump. *Oceanography* 14: 50-58.

EEA (2019) The European environment - state and outlook 2020; Executive summary, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.

Falkowski, P., Scholes, R.J., Boyle, E., Canadell, J., Canfield, D., Elser, J., Gruber, N., Hibbard, K., Högberg, P., Linder, S., Mackenzie, F.T., Moore, B., Pedersen, T., Rosenthal, Y., Seitzinger, S., Smetacek, V., Steffen, W. (2000) The global carbon cycle: a test of our knowledge of earth as a system. *Science* 290(5490): 291-296.

Hansen, J.L.S., Bendtsen, J. (2014) Seasonal bottom water respiration in the North Sea - Baltic Sea transition zone: rates, temperature, sensitivity and sources of organic material. *Mar Ecol Prog Ser* 499: 19-34.

Hopkinson, C.S., Smith, E.M. (2005) Estuarine respiration: an overview of benthic, pelagic, and whole system respiration, In: Respiration in Aquatic Ecosystems. (eds., del Giorgio, P.A., Williams, P.J. le B.), Oxford University Press, pp. 122-146.

IPCC (2019) Technical Summary. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (eds. Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., Weyer, N.M.) In press.

López-Urrutia, A., San Martín, E., Harris, R.P., Irigoien, X. (2006) Scaling the metabolic balance of the oceans. *Proc Natl Acad Sci U.S.A.* 103(8): 739-744.

Mantıkçı, M. (2015) Significance of plankton respiration for productivity in coastal ecosystems. PhD thesis, Aarhus University, Aarhus, Denmark.

Mantıkçı, M., Hansen, J.L.S., Markager, S. (2017) Photosynthesis enhanced dark respiration in three marine phytoplankton species. *J Exp Mar Bio Ecol* 497: 188-196.

Mantıkçı, M., Staehr, P.A., Hansen, J.L.S., Markager, S. (2020) Patterns of dark respiration in aquatic systems. *Mar Freshw Res* 71(4): 432-442.

Morán, X.A.G., López-Urrutia, Á., Calvo-Díaz, A., Li, W.K.W. (2010) Increasing importance of small phytoplankton in a warmer ocean. *Glob Chang Biol* 16: 1137-1144.

- Nixon, S.W. (1995) Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. *Ophelia* 41: 199-219.
- O'Connor, M.I., Piehler, M.F., Leech, D.M., Anton, A., Bruno, J.F. (2009) Warming and resource availability shift food web structure and metabolism. *PLoS Biol* 7, doi: 10.1371/journal.pbio.1000178.
- Rivkin, R.B., Legendre, L. (2001) Biogenic carbon cycling in the upper ocean: effects of microbial respiration. *Science* 291(2): 398-400.
- Robinson, C., Serret, P., Tilstone, G., Teira, E., Zubkov, M. V, Rees, A.P., Woodward, E.M.S. (2002) Plankton respiration in the Eastern Atlantic Ocean. *Deep Res Part I-Oceanographic Res Pap* 49: 787-813.
- Robinson, C., Williams, P.J. le B. (2005) Respiration and its measurement in surface marine waters. In: *Respiration in Aquatic Ecosystems*. (eds., del Giorgio, P.A., Williams, P.J. le B.), Oxford University Press, pp. 147-180.
- Seong, K.A., Jeong, H.J., Kim, S., Kim, G.H., Kang, J.H. (2006) Bacterivory by co-occurring red-tide algae, heterotrophic nanoflagellates, and ciliates. *Mar Ecol Prog Ser* 322: 85-97.
- Vaquier-Sunyer, R., Duarte, C. (2013) Experimental evaluation of the response of coastal Mediterranean planktonic and benthic metabolism to warming. *Estuaries and Coasts* 6(4): 697-707

Antarktika Karasal Vejetasyonunun En Baskın Elemanları: Likenleşmiş Mantarlar ve İklim Değişikliğinin İzlenmesinde Kullanılmaları

Mehmet Gökhan HALICI*, Merve KAHRAMAN

Erciyes Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Kayseri, Türkiye
*mghalici@gmail.com

Özet

Antarktika, mikroorganizmalar, likenleşmiş mantarlar, mantarlar, algler ve karayosunlarını içeren karasal vejetasyona sahiptir ve likenleşmiş mantarlar karasal vejetasyonun en baskın elemanlarıdır. Likenleşmiş mantarlar, biyolojik çeşitliliğin farklı unsurları arasında doğadaki en hassas organizmalardan biridir ve iklim değişikliğinin izlenmesinde indikatör olarak kullanılabilir. Antarktika’da hem likenleşmiş mantarların baskın eleman olması hem de Antarktika’nın koşulları ve bilim insanları dışında el değmemiş olması nedeniyle doğal bir laboratuvar özelliği taşıması Antarktika’daki iklim değişikliğinin izlenmesinde likenleşmiş mantarların önemini gözler önüne sermektedir. Bu derlemede Antarktika’da likenleşmiş mantarlar ve bu organizmaların iklim değişikliğinin izlenmesinde kullanılmalarının açıklanması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Antarktika, likenleşmiş mantar, iklim değişikliği

Giriş

Antarktika birçok insan için dünyanın sonunda, oldukça uzak, izole ve gizemli bir yer gibi görünmektedir ve normal hayatta ve sohbette adı neredeyse hiç geçmemektedir. Ancak hızla ısınan küresel iklim sisteminde kilit bir rol oynaması ve süreklilik gösteren deniz seviyesinin yükselmesine katkısı göz önünde alındığında günümüzdeki önemi her geçen gün artmakta ve insanlık için hayati bir önemde olduğu görülebilmektedir (Antoniades Akt. Oliva ve Ruiz-Fernandez 2020).

Biy çeşitliliğin iklim değişikliğinin öngörücüsü ya da bir göstergesi olarak potansiyel kullanımı nedeniyle Antarktika’daki karasal organizmaların dağılımına ilgi git gide artmaktadır. Örneğin Yeni Zelanda Enlemsel Gradyan Projesi (LGP 2002) Ross Denizi bölgesinde hem deniz hem de karasal biyotanın dağılımı ve çeşitliliğinin yanı sıra günümüz dağılımlarını kontrol eden faktörleri daha iyi anlamak için özel olarak kurulmuştur. Diğer yandan Antarktika’da SCAR isimli biyolojik program (EBA 2006), günümüz Antarktik ekosistemlerinin özelliklerini ve dinamiklerini anlamayı ve organizmaların ve toplulukların mevcut ve gelecekteki çevresel değişikliklere nasıl tepki vereceğini tahmin etmeyi amaçlamaktadır (Green ve diğ. 2011a).

Yaklaşık son on yıldır, Antarktika biyotasının modern taksonomik yöntemler ile değerlendirilmesi hız kazanmıştır. Özellikle sınıflandırmada moleküler biyolojik tekniklerin daha fazla uygulanması ve sonuçların klasik biyocoğrafik analizlerle de desteklenmesi sıklıkla kullanılmaktadır. Üzerinde çalışılan örnekler mevcut omurgasız gruplarının çoğunun yanı sıra genellikle bazı karayosunu ve likenleşmiş mantarları içermektedir (Oliva ve Ruiz-Fernandez 2020).

Antarktika vejetasyon bakımından dünyanın en özel ve en fakir kıtasıdır. Şöyle ki kıtanın bitki örtüsü daha çok likenleşmiş mantarlar ve karayosunu gibi ilkel bitki gruplarının hakim olduğu bir makrofloraya sahiptir. Yüz ölçümü bakımından Avrupa kıtasının yaklaşık 1,5 katı büyüklüğünde olan bu kıtada sadece iki yerli çiçekli bitki türü mevcuttur (Peat ve diğ. 2007).

Bilinmektedir ki Antarktika karasal vejetasyonunun baskın elementleri olan likenleşmiş mantarlar iklim değişikliğine hızla tepki vermektedirler. Özellikle ılıman bölgelerde alt-tropikal türlerin hızlı bir şekilde artması ve bazı boreo-alpin liken türlerinin kademeli olarak azalması bu simbiyotik birlikteliklerin iklim değişikliğine ne denli hızlı tepki verdiklerinin bir göstergesidir (Aptroot 2009). Son yıllarda, küresel iklim değişikliği ile ilgili endişeler dünya çapında artmıştır. Çeşitli araştırmalar, Kuzey Kutbu bölgelerinin ve Antarktika Yarımadası'nın dünya üzerinde iklim değişikliğinin en hızlı olduğu bölgeler olduğunu göstermiştir. Bu bölgelerin görece olarak hızlı bir şekilde ısınması kara ve deniz ortamları üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilir (Rosa 2019). Öte yandan Antarktika'nın %98'i buzla kaplıdır ve dünyadaki buzun %90'ından fazlasını ve tatlı suyunun yüzde %70'ini içermektedir. Küresel doğal süreçlerin etkileşimi ile küresel iklimi etkileyen gezegensel atmosferik ve okyanus koşullarını belirlemede Antarktika ve komşusu Güney Okyanusu kritik bir önem taşımaktadır (Herbert 2012). Bu bağlamda Antarktika karasal vejetasyonunun baskın elemanları olan likenleşmiş mantarlar ve iklim değişikliğinin izlenmesinde kullanılmalarının ele alınması önem arz etmektedir. Bu derlemede Antarktika'da likenleşmiş mantarlar ve bu organizmaların iklim değişikliğinin izlenmesinde kullanılmalarının açıklanması amaçlanmaktadır.

Aşırılıkların kıtası Antarktika

Antarktika dünyanın tartışmasız en özel kıtasıdır. Sadece gezegendeki en güney kıta değil, aynı zamanda yerli insan nüfusu olmayan ve bölgesel egemenliğin bir parçası olmayan tek kıtadır (Bastmeijer ve Tin 2014). Antarktika, dünya tatlı sularının %70'inden fazlasını buz tabakası biçiminde barındıran en soğuk, en rüzgarlı ve en kurak kıtadır (Öztürk 2015). Kalın buz tabakasına rağmen, Antarktika'da yağmur şeklinde yağış oldukça kısıtlıdır. Kıtanın iç bölgeleri, esas olarak kar şeklinde olmak üzere yılda ortalama 51 mm yağış alırken, kıyı bölgeleri yılda ortalama 203 mm yağış almaktadır. Tüm kıta için 20. yüzyıldaki ortalama yağış 150-190 mm/yıl aralığındadır. Ayrıca bu kıta yeryüzünde en şiddetli rüzgarların (~160 km/sa) görüldüğü de kıtadır. Deniz seviyesinden

yükseklik ortalama 2500 m olup çok sayıda sıradağların bulunduğu en yüksek kıtadır. 3.500 km uzunluğunda ve 100 - 300 km genişliğindeki Transantarktik Sıra Dağları, Doğu ile Batı Antarktika arasındaki en uzun sınırı oluşturmaktadır (Luis 2013).

Yukarı paragraftan da anlaşılacağı şekliyle yaklaşık 14 milyon km²'lik yüzölçümüne sahip (ABD'nin yaklaşık 1,4 katı büyüklüğünde bir alan) Antarktika, Dünya'daki en soğuk, en kurak, en yüksek ve en rüzgarlı kıtadır. Bu zorlu koşullar altında yaşamak ve çalışmak zor olsa da, bu bölge bilimsel araştırmalar için birçok fırsat sunmaktadır (National Research Council 2011). Antarktika bir nevi dünya da insan etkisinin en az olduğu devasa bir doğal laboratuvarıdır.

Antarktika kıtasının diğer bir önemi de dünyanın iklim ve okyanus sirkülasyon sistemlerinin merkezinde yer almasıdır. 1957/8 Uluslararası Jeofizik Yılı'ndan bu yana Antarktika Yarımadası ve Scotia Ark gibi kıtanın bazı kısımları ciddi anlamda hızlı çevresel değişiklikler ile karşı karşıya kalmıştır. Bu bölgeler yeryüzünde ısınmanın en yüksek olduğu bölgelerdir.

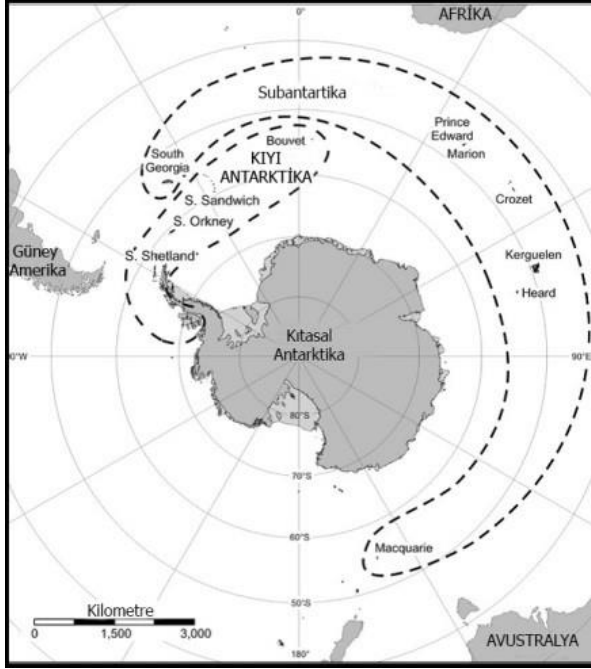
Antarktika üzerindeki ozon tabakasında büyük bir delik yer almaktadır. 1970'lerden beri her bahar ayında tekrar görülen bu delik ilk olarak 1985 yılında Japon bilim insanları tarafından keşfedilmiştir (Rignot ve diğ. 2019). Antarktika üzerindeki ozon tabakasının delinmesinin sebebi b kloroflorokarbon salımının fazlaşmasıdır (Pattyn ve Morlighem 2020). Ozon molekülleri (O₃) stratosferde güneşten gelen morötesi ışınları soğurarak bu katmanın ısınmasına yol açmaktadır. Antarktika üzerindeki ozon tabakasının incelmeye veya delinmesi yerel stratosferde yaklaşık 6°C'lik bir soğumaya yol açmaktadır.

Karasal vejetasyon

Antarktik karasal çevreleri kıtanın kendisini ve yaklaşık 50° enlemin güneyinde yer alan Güney Okyanusu halkasındaki adaları da içermektedir. Bu bölgedeki karasal vejetasyonun yoğunluğu ve karakteristik özellikleri belirli bölgelere ayrılarak ele alınmaktadır. Mevcut verilere göre Antarktika; Subantarktik, Kıyı Antarktikası ve Kıtasal Antarktika olmak üzere üç biyocoğrafik bölgeden oluşmaktadır (Şekil 1). Subantarktik bölgesi Güney Okyanusu'nda yüksek enlemlerde bulunan ada ve ada gruplarından oluşan bir halka şeklindedir. Kıyı Antarktika, Antarktika Yarımadası'nın batı kıyı bölgelerinden Alexander Adası'na (yaklaşık 72° G) kadar batı kıyı bölgelerini, Güney Shetland'ın Scotia Ark ada gruplarını, Güney Orkney ve Güney Sandwich Adaları'nı ve daha izole durumdaki Bouvetöya ve Peter adalarını içermektedir. Kıtasal Antarktika, tüm Doğu (veya Büyük) Antarktika, Balleny Adaları ve Antarktika Yarımadası'nın doğu tarafı dahil olmak üzere Antarktika'nın kıtasal alanının çoğunu kapsamaktadır. McMurdo Kuru Vadilerinin (Dry Valleys) geniş buzsuz soğuk çöl

bölgesi haricinde, bu bölgenin karasal habitatları sınırlı kapsamdadır ve oldukça izole durumdadır (Convey 2001).

Antarktika'nın karasal vejetasyonu karasal biyologlar tarafından yukarıda bahsedilen üç biyocoğrafik bölgede ele alınmaktadır. Bu üç bölgenin ekosistemleri ve iklimsel parametreleri birbirinden farklılık göstermektedir. Bu nedenle fauna ve florası da farklıdır (Convey 2010).



Şekil 1. Antarktika Biyocoğrafik Bölgeleri (Convey 2010'dan Türkçeleştirilmiştir.)

Daha önce de bahsedildiği üzere Subantartik bölgesi ayrıık adalar ve küçük takımadalardan oluşmaktadır. Bu bölgede sıcaklıklar yıl boyunca ortalama olarak donma noktasının üzerindedir ve yağış her yıl için 2000 ile 3000 mm arasındadır. Küresel açıdan önemli deniz kuşları ve memeli popülasyonları Subantartik'te yer alan tüm adalarda görülmektedir. Subantartik'te iki ördek ve bir ötücü türü dışında yerli karasal omurgalılar yoktur ve karasal fauna büyük oranda omurgasız türlerinden oluşmaktadır. Subantartik florası hemen hemen tüm büyük taksonomik bölümlerin türlerini içermektedir ancak odunsu bitkiler ve böceklerle tozlaşan çiçekli türlerin bulunmaması nedeniyle kuzey kutup ve tundra bölgelerinden farklıdır. Kıyı Antarktikası Antarktika Yarımadası'nın batı kıyı bölgesini yaklaşık 72° G enlemlerine kadar kapsamaktadır. Yaşanan sıcaklıklardaki mevsimsel farklılıklar Subantartik'e göre daha fazladır ve ortalama yıllık yağış kuzey Kıyı Antarktikası'nda 400-500 mm olup güneyde 50-

100 mm'ye düşmektedir. Yaz aylarında, karasal ekosistemlerde mevcut olan suyun ana kaynağı mevsimsel olarak eriyen karlardır.

Subantarktik ile karşılaştırıldığında, biyoçeşitlilik çok azalmıştır. Protozoa, Rotifera, Nematoda ve Tardigrada dışında çeşitli omurgasız gruplarındaki türlerin sayısı önemli ölçüde daha düşüktür. Flora ile ilgili olarak, tür çeşitliliği bilgisi çok daha kapsamlıdır (makrofunguslar hariç). Yine, tür çeşitliliği Kıyı Antarktika'da çok daha düşüktür. Doğal olarak yayılış gösteren sadece iki çiçekli bitki türü vardır: *Deschampsia antarctica* (Poaceae) ve *Colobanthus quitensis* (Caryophyllaceae). Buna karşı; liken, karayosunu, ve ciğer otları da görülmektedir. Kıtasal Antarktika ile karşılaştırıldığında alan olarak küçük olmasına rağmen, en çok biyoçeşitliliğin bulunduğu bölge Kıyı Antarktikası'dır. Alan açısından, kıtasal Antarktika, Antarktika biyomunun açık ara en büyük biyocoğrafik bölgesidir. 72° G enlemlerinin kuzeyindeki Antarktika Yarımadası'nın batı kıyısı ve Balleny Adaları haricinde kıtanın tüm kara kütesini kapsamaktadır. Antarktika kıtasının kıyı bölgesi kıtanın iç kısmına göre nispeten daha ılıman bir iklime sahip olsa da, kıyı bölgelerinde bile sıcaklık nadiren donma noktasının üzerine çıkmakta ve sonra sadece kısa süreler için (1 ay veya daha kısa) 0°C üzerinde seyretmektedir. Bu bölgede yıllık yağış 30-70 mm'dir.

Convey (2001)'e göre Subantarktik'te 70 makromantar, 300'den fazla likenleşmiş mantar türü, 250 karayosunu türü, 150 ciğer otu türü, 16 eğrelti otu ve 56 Angiosperm türü bulunmaktadır. Kıyı Antarktikası'nda 30 makromantar, 150 likenleşmiş mantar, 75 karayosunu, 25 ciğer otu ve 2 çiçekli bitki türü bulunmaktadır. Kıtasal Antarktika'da ise 125 liken, 30 karayosunu ve 1 ciğerotu türü bulunmaktadır. Bu doğrultuda her üç bölge içinde likenleşmiş mantarların karasal vejetasyonun en baskın bileşenleri olduğu söylenebilmektedir.

Antarktika karasal vejetasyonunun en baskın bileşenleri: likenleşmiş mantarlar

Likenleşmiş mantarlar Simon Schwendener (1867) tarafından mantarlarla yeşil alglerin veya siyanobakterilerin simbiyotik birliktelikleri şeklinde tanımlanmıştır. Nash III (2008) likenleri, beslenme stratejisi olarak karbonu ototrofik alg hücrelerinden absorbe eden bir mantar grubu olarak tanımlamış; bu birlikteliğin, mantar ve alg arasında dinamik bir dengenin yaratıldığı ve habitat koşullarındaki herhangi bir değişikliğin bu dengeyi bozabileceği küçük bir ekosistem olduğunu belirtmiştir. Spribille ve diğ. (2016) ise ikili doğaya ek olarak liken simbiyozunda potansiyel bir üçüncü ortağa ek olarak Basidiomycetes mayalarının olduğunu öne sürmüş ve üçlü doğayı tanımlamıştır (Akt. Tripathi ve Joshi 2019). Bu doğrultuda likenler, bir Ascomycota (%99) ya da Basidiomycota üyesi olan mantar ortağı (mikobiyont), bir yeşil alg ve/veya siyanobakteri (fotobiyont) ve bir Basidiomycetes mayası arasındaki simbiyotik birliktelik şeklinde tanımlanabilmektedir.

Likenler kutuplardan tropik bölgelere kadar dünyadaki her büyük ekosistemde yayılış gösterebilmektedir. Tropiklerde bir çok tür bulunmakta; sıcak, kurak, yarı kurak çöller ya da soğuk kutup bölgeleri gibi daha zorlu koşulların hakim olduğu ortamlarda da vejetasyonun önemli bir bileşenini oluşturmaktadır. Likenler strese dayanıklı organizmalar olarak kabul edilmekte ve bu nedenle rekabetin çok olmadığı zorlu koşullarda başarılı bir şekilde buldukları alanları kaplamaktadırlar. Bu birliktelikler yavaş büyüme oranları, önemli ölçüde uzun ömürlülük, düşük besin talepleri ve stresli koşullarda hayatta kalmak için özel adaptasyonların varlığı ile karakterize edilmektedir. Likenlerin nemli ormanlarda, çöllerde, Kuzey Kutbu'nda, Alpin kuşakta, Antarktika'da, kimyasallar bakımından zengin ortamlarda, uzay ve Mars gibi dünya dışı ortamlarda hayatta kalabildiği veya kalabileceği ve ekstrem koşullara uyum sağladığına dair kanıtlar bulunmaktadır (Armstrong 2017).

Likenleşmiş mantarlar Antarktika'da buzla kaplı olmayan geniş alanları kaplamaktadır ve zorlu ortamlarda büyüyen öncü organizmaları oluşturmaktadır. Biyokütle ve çeşitliliğe en büyük katkıda bulunan canlılardır. Bu organizmalara özgü karakteristik özellikler, belirli koruyucu mekanizmalar geliştirme, sıcaklığa ve radyasyona uyum sağlama ve bünyesindeki su miktarı en aza indiğinde bile hayatta kalma şeklinde sayılabilmektedir (de Carvalho ve diğ. 2019). Öte yandan likenleşmiş mantarların Antarktika karasal vejetasyonunun en baskın bileşenleri olmaları ve ekstrem koşullara adaptasyonları; büyüme formları, üremeleri, çevresel koşullara uyum mekanizmaları üzerinden de açıklanabilmektedir (Little 2009).

Antarktika likenleşmiş mantarlarının adaptasyonları genellikle arktik ve alpin türlerde görülenlere benzerdir. Antarktika likenleşmiş mantarlarında üreme genellikle eşeyli üremeden ziyade vejetatif diasporlar ve kırılan/kopan parçaların rüzgarla yayılması sonucunda gerçekleşmektedir (Ott 2004). Büyüme formu olarak kabuksu türlerin baskın olduğu görülmektedir, dalsı formların da ılıman bölgelerde bulunan akrabalarına göre daha bodur gelişim gösterdikleri gözlemlenmektedir. Bazı kabuksu türlerin okyanus kaynaklı su buharından faydalanmak için "nispeten saplı" ve "şişkin" tipte büyüme formuna sahip olduğu görülmektedir. Kuzey Kutbu'nda olduğu gibi türlerin çoğunluğu koyu renkli pigmente sahiptir ve genellikle kaya yarık ve çatlaklarında görülmektedir (Armstrong 2017).

Antarktika likenleşmiş mantarlarında kışın şiddetli soğukta metabolik ve fizyolojik faaliyetler minimuma indirilmekte ve karlar erimeye başladığında ve sıcaklıklar yükselmeye başladıkça aktivite gerçekleştirilmektedir. Ayrıca yapılan CO₂ gaz değişim deneyleri göstermektedir ki Antarktika'da sıfırın altındaki sıcaklıklarda likenler az da olsa fotosentez yapabilmektedir (Armstrong 2017). Likenlerin yayılışını etkileyen diğer faktörlerden biri de bulunduğu ortamın kimyasal yapısıdır. Özellikle penguen kolonilerinin çevreleri ve kuşların tüneme alanları yüksek seviyede azotlu bileşikler içerir. Bazı liken türleri yüksek azot

seviyelerinde (nitrofil türler) (Şekil 2), diğerleri ise düşük azot seviyelerinde büyümeye adapte olmuşlardır (Ovstedal ve Lewis-Smith 2001).



Şekil 2. *Rusavskia elegans*, yüksek azot seviyelerini tolere edebilen nitrofil bir liken. James Ross Adası, Foto: M. Gökhan Halıcı (2017).

Tuzluluk seviyeleri de liken büyümesini etkileyebilmektedir. Bazı kabuksu türlerin kıyı bölgelerinde yüksek tuz seviyelerini tolere ettikleri görülmektedir. Ama *Umbilicaria* gibi bazı makro yapraksız likenler yüksek tuz seviyelerinin bulunduğu yerlerde yayılış gösteremez (Şekil 3). Bazı kabuksu türlerin kıyı bölgelerinde yüksek tuz seviyelerini tolere ettikleri görülmektedir (Little 2009).



Şekil 3. *Umbilicaria decussata*, James Ross Adası. Foto: M.G. Halıcı (2017).

İklim değişikliğinin izlenmesinde kullanmaları

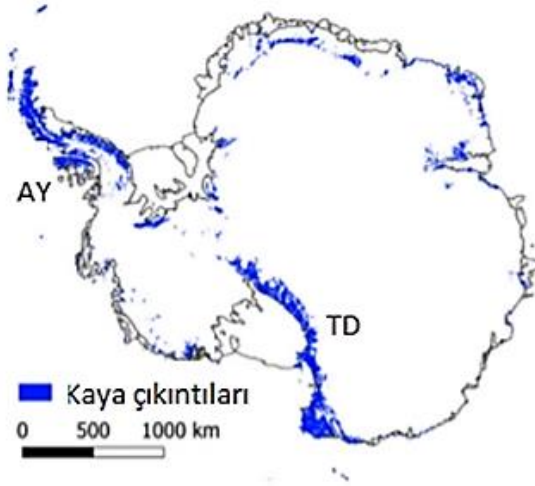
Fizyolojik özellikleri nedeniyle likenler, fiziksel ve kimyasal ortam değişikliklerine hızlı tepki vermektedir. Örneğin ağaç kabukları üzerinde gelişim gösteren epifitik likenler, hava kirliliğinin izlenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. *Lobaria* cinsi likenler özellikle yüksek SO₂ seviyelerine duyarlıdır ve ortamda bu cinse ait likenlerin var olması hava kirliliğin oldukça az olduğunun işaretlerinden biridir. Ayrıca likenler yüksek bitkilerde var olan kütikula gibi koruyucu tabakalara sahip olmadıklarından kirleticileri özellikle hücre duvarlarına bağlı bir şekilde biriktirmektedir (Kuldeep ve Prodyut 2015) ve bu birikim hesaplanarak bu kirleticilerin atmosferdeki konsantrasyonları ucuz bir şekilde belirlenebilmektedir. Hava kirleticilerinin yanı sıra, likenlerin uzun vadeli hayatta kalması büyük ölçüde ışık, nem ve sıcaklıktan etkilenmektedir. Bu nedenle likenler aynı zamanda kentsel iklimin, iklim değişikliklerinin veya küresel değişimin biyolojik etkileri için gösterge olarak uygun görülmektedir (Stapper ve John 2015). Anlaşılabileceği üzere hava kirliliği liken dağılımını ciddi anlamda etkileyen faktörlerden biridir, dolayısıyla iklim değişiminin liken dağılımını etkilemesini içeren çalışmalar için son derece dezavantajlı bir durum oluşturmaktadır. Antarktika'nın sosyal hayatı olmayan tek kıta olması, kışın sadece yaklaşık 1000 ve yazın yaklaşık 5000 kişilik bir nüfusa ulaşması (yaklaşık 80 adet araştırma istasyonunda çalışan bilim insanları ve görevliler) insan kaynaklı kirliliğin en az olduğu kıtanın burası olmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden likenlerin iklim değişimine bağlı olarak dağılımlarının değişmesi en mükemmel şekilde Antarktika'da izlenebilmektedir. Ancak unutulmamalıdır ki son zamanlarda Antarktika'ya yapılan turistik seferlerin artması ve dünyanın diğer kesimlerinde kullanılan insan yapımı kimyasalların iz miktarda Antarktika'da görülmeye başlaması olumsuzdur. Ancak yine de Antarktika iklim değişiminin likenlerin dağılımına etkisini gözlemleyebileceğimiz dünyanın en mükemmel yeridir.

Daha önce de bahsedildiği üzere likenler, Antarktika'daki yaşama iyi adapte olmuşlardır. Uzun kuraklık dönemleriyle baş edebilmekte, yüksek radyasyondan kaynaklanan hasarları önlemek için koruyucu mekanizmalara sahip olabilmekte ve donma sıcaklıklarına dayanabilmektedir. Bu adaptasyonların hepsinin, özellikle iklim değişikliği ve insan faaliyetlerine yanıt olarak büyüme ve hayatta kalma açısından önemli etkileri vardır (Little 2009).

Antarktika karasal vejetasyonunun en baskın elemanları olan likenleşmiş mantarlar ve iklim değişikliğinin izlenmesinde kullanılmaları nispeten yenidir. Bu konuda yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır ancak her geçen gün sayılarının artması beklenmektedir. Antarktika'da likenleşmiş mantarları kullanarak iklim değişikliğinin izlendiği çalışmaların başında Sancho ve diğ. (2019) tarafından hazırlanan derleme gelmektedir. Sancho ve diğ. (2019) Antarktika'da iklim değişikliğinin likenleşmiş mantarların enlemsel gradyanlar boyunca

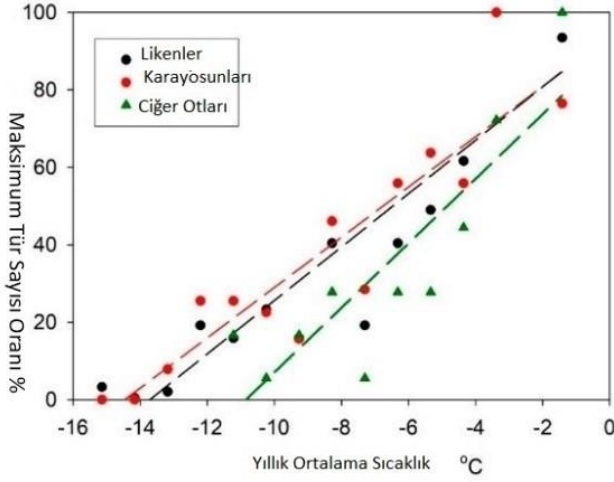
dağılımlarının takip edilmesi ve liken büyüme oranları ile izlenebileceğini göstermişlerdir.

Türlerin konumlarının enlemsel gradyanlar boyunca izlenmesi, iklim değişikliğinin etkilerine bakmanın bir yöntemidir. Bu türlerin hayatta kalması için dağılımlarını tercih edilen koşulları izlemek üzere değiştirmeleri gerektiği varsayımına dayanmaktadır. Hem likenler hem de kara yosunları, Antarktika'daki çevresel gradyanlarla ilişkili güçlü tepkiler göstermektedir. Daha önce de belirttiğimiz gibi Antarktika'nın %90'lık kısmı tamamen buz ile kaplıdır. Likenlerin yayılış gösterdiği yerler sadece buz ile kaplı olmayan alanlardır (Şekil 4). Ross Denizi'nden başlayarak Antarktika Yarımadası'na kadar uzanan Transantarktik Sıra Dağları'nın buzul ile kaplı olmaması, bu gradyanlar boyunca likenlerin dağılımını belli periyotlarda takip etmek için biçilmiş bir kaftandır.



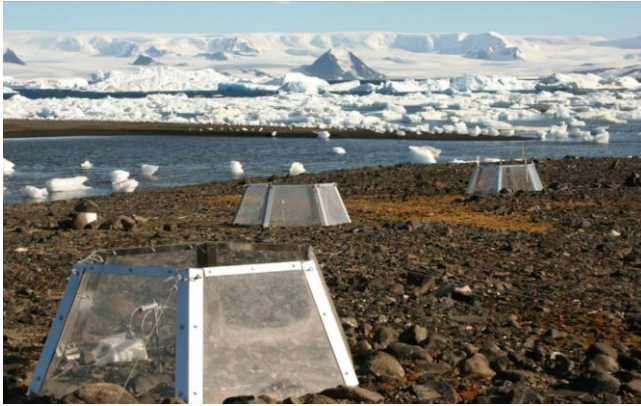
Şekil 4. Antarktika'da buz ile kaplı olmayan alanlar
AY: Antarktika Yarımadası, TD: Transantarktik Sıra Dağları

Ayrıca Antarktika Yarımadası'nda buzla kaplı olmayan alanların kuzey enlemlerden güney enlemlere kadar inmesi de bu takibin mükemmel bir şekilde Antarktika'da yapılabileceğini göstermektedir. Yapılan çalışmalar her iki grubun da Antarktika'nın kuzeyindeki yaklaşık 350 liken türünden güneyde yaklaşık 120'ye, daha sonra da 30 ila 40'a düşerek Antarktika boyunca enlemde artışla birlikte toplam tür sayısında bir düşüş olduğunu göstermektedir (Şekil 5). Genel olarak üç grup fotosentetik organizma türünün sayısı (enlem başına maksimum sayı %) ile ortalama yıllık sıcaklık arasında oldukça önemli, güçlü doğrusal bir ilişki vardır (Sancho ve diğ. 2019).



Şekil 5. Ortalama yıllık sıcaklığa karşı görülen maksimum liken, karayosunu ve çiğero tu tür sayılarının yüzdesi.

Öte yandan Antarktika'da liken büyüme oranları üzerine çalışmalar nadirdir, ancak kıtayı kapsayan dört alan için veri setleri mevcuttur. Bunlar Signy Adası, Livingston Adası, Cape Hallett ve Kuru Vadiler (Dry Valleys)'dir (Sancho ve diğ. 2007). Tüm alanlarda ölçülen liken tallusları birbirinden farklı bulunmuştur. Bu bölgelerde iki kuzey bölgede bulunan saksikol kabuksu likenler için büyüme hızları en hızlıdan, güneye (Kuru Vadiler) doğru gidildikçe en yavaş olmak üzere oldukça farklıdır. Büyüme oranları, $-1,3^{\circ}\text{C}$ ve $-20,1^{\circ}\text{C}$ arasında neredeyse iki büyüklük mertebesinde farklılık göstermektedir (Sancho ve diğ. 2019). Büyüme oranlarını belirlemek için genellikle uç kısmı açık çemberler (OTC) kullanılmaktadır (Şekil 6). Bu çemberlerin içinde yer alan liken türlerinin büyüme hızları periyodik olarak takip edilmektedir.



Şekil 6. Uç kısmı açık çemberler (OTC), Foto: M. Barták (2018)

Antartika'da iklim değişikliğinin izlenmesinde likenleşmiş mantarların kullanıldığı çalışmalarda ön plana çıkan diğer bir parametre ise fotobiyont tipidir. Green ve diğ. (2011b), Antartika'daki karasal bitki örtüsü üzerinde küresel ısınmanın zorladığı işlevsel ve mekansal baskıları değerlendirdikleri çalışmalarda siyanobakteri ihtiva eden likenleşmiş mantarların özel bir duruma sahip olduğunu belirlemişlerdir (Şekil 7). Fotosentetik verilere dayanarak siyanobakteri ihtiva eden likenleşmiş mantarların 0°C altında fotosentez yapmadığını ve bunun da yayılışına etki ettiğini belirlemişlerdir. Buna göre siyanobakteri ihtiva eden likenleşmiş mantarlar Antartika Yarımadası ile sınırlı kalmakta ve güneye ve daha soğuk alanlara gidildikçe bu likenleşmiş mantarların bulunmadığı görülmektedir.



Şekil 7. *Peltigera antarctica*. Fotobiyontu *Nostoc* sp. olan bir siyanoliken. James Ross Adası. Foto: M. Gökhan Halıcı (2017).

Öte yandan likenleşmiş mantarların kısa ya da uzun vadede iklim değişikliğinden kaynaklanan sıcaklık değişimlerine tepkileri ve büyüme oranlarını değerlendiren çalışmalarda bulunmaktadır. Bu çalışmalarda sıcaklığın artması ya da azalmasının likenlerin büyüme oranlarına ciddi etkileri olduğu ve kısa ya da uzun vadede iklim değişikliği sonucunda belli türlerde ciddi gelişim geriliği görülebileceğini göstermiştir (Sancho ve diğ. 2019). Yukarıda da ifade ettiğimiz gibi likenleşmiş mantarların Antartika'nın ekstrem koşullarından dolayı rekabet halinde olduğu çok sayıda organizma yoktur. Ancak git gide sıcaklığın artması çiçekli bitkilerin ve karayosunlarının da Antartika'da sayılarının artmasına sebep olmaktadır. Bir nevi beyaz kıta olarak bilinen Antartika gitgide yeşillenmektedir. Bu organizmaların sayısının artması likenlerin Antartika'daki

hakimiyeti için bir tehdittir. Nitekim dünyanın diğer hiç bir bölgesinde likenler bu denli bir üstünlüğe sahip değildir. Bu durum da yine günümüzde likenlerin iklim değişiminin izlenmesi için kullanılmasında Antarktika'yı mükemmel kılan koşullardan bir tanesidir.

Sonuç ve Tartışma

Antarktika iklim değişikliğinin likenler ile takip edilmesi bakımından dünyanın en uygun kıtasıdır. İnsan kaynaklı kirleticilerin minimum seviyede olması, likenlerin gelişebileceği buzla kaplı olmayan alanların (Transantarktik Sıradağlar, Antarktika Yarımadası) enlemsel gradientler boyunca uzanması, liken gelişimini olumsuz etkileyebilecek özellikle odunsu bitkilerin kıtada yer almaması gibi etmenler Antarktika'yı likenler ile iklim değişikliğinin izlenmesi ve organizmaların dağılımı üzerine etkilerini araştırabilmemiz için devasa bir doğal laboratuvar kılmaktadır. Bu durumun devamı için Antarktika'ya özellikle turistik seferlerin kontrol altında tutulması, yabancı tür giriş ve çıkışlarının çok sıkı bir şekilde denetim altına alınması gerekmektedir. Asıl büyük sorun Antarktika'nın liken biyoçeşitliliğinin az bilinmesidir. Tarafımızdan son 5 senede yapılan çalışmalar göstermiştir ki Antarktika'nın liken biyoçeşitliliği tam ve "doğru" bir şekilde bilinmemektedir. Biyoçeşitlilik çalışmaları için gerekli bütçenin aktarılması ve belirlenen biyoçeşitliliğin gelecek yıllarda takip edilmesi, ilerleyen yıllarda iklim değişikliğinin biz insanlar da dahil olmak üzere tüm canlılar üzerine etkisini anlayabilmemiz ve gereken tedbirleri almamız için ışık tutacaktır.

Kaynakça

Aptroot, A. (2009) Lichens as an indicator of climate and global change. In: Climate Change, (ed., Letcher, T. M.), Elsevier, pp. 401-408.

Armstrong R.A. (2017) Adaptation of Lichens to Extreme Conditions. In: Adaptation Strategies in Changing Environment, (eds., Shukla V., Kumar S., Kumar N.) Plant Springer, Singapore, pp. 1-27.

Bastmeijer, K., Tin, T. (2014) Antarctica—a wilderness continent for science: the 'public's dream' as a mission impossible?. *The Yearbook of Polar Law Online* 6(1): 559-597.

Convey, P. (2001) Antarctic Ecosystems. In: Encyclopedia of Biodiversity (ed., Levin, S.), Elsevier/Academic Press, San Diego, pp. 171-184.

Convey, P. (2010) Terrestrial biodiversity in Antarctica—Recent advances and future challenges. *Polar Science* 4(2): 135-147.

de Carvalho, C.R., Santiago, I.F., da Costa Coelho, L., Câmara, P.E.A.S., Silva, M.C., Stech, M., Rosa, L.H. (2019) Fungi of Antarctica, Springer, Cham.

EBA (2006) Evolution and Biodiversity in the Antarctic: The Response of Life to Change. Mevcut adres: <http://www.eba.aq> (erişim tarihi 01.03.2021).

Green, T.A., Sancho, L.G., Pintado, A., Schroeter, B. (2011a) Functional and spatial pressures on terrestrial vegetation in Antarctica forced by global warming. *Polar Biology* 34(11): 1643-1656.

Green, T.A., Sancho, L.G., Türk, R., Seppelt, R.D., Hogg, I.D. (2011b) High diversity of lichens at 84 S, Queen Maud Mountains, suggests preglacial survival of species in the Ross Sea region, Antarctica. *Polar Biology* 34(8): 1211-1220.

Herbert, B.P. (2012) Global Warming and Antarctica: Causes, Effects and Policies. Udall Center for Studies in Public Policy The University of Arizona Environmental Policy Working Papers No. 3.

Kuldeep, S., Prodyut, B. (2015) Lichen as a bio-indicator tool for assessment of climate and air pollution vulnerability. *Int Res J Environ Sci* 4: 107-117.

LGP (2002) Latitudinal Gradient Project (LGP). Mevcut adres: <http://www.lgp.aq/> (erişim tarihi 01.03.2021).

Little, L. (2009) Lichen Life in Antarctica: A review on growth and environmental adaptation of Lichens. Individual Project for ANTA 504 for GCAS 08/09.

Luis, A.J. (2013) Past, present and future climate of Antarctica. *International Journal of Geosciences* 4: 959-977.

Nash III, T.H. (2003) Lichen biology. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

National Research Council (2011) Future science opportunities in Antarctica and the Southern Ocean. National Academies Press.

Oliva, M., Fernandez, J.R. (2020) Past Antarctica: Paleoclimatology and Climate Change. Academic Press, London, United Kingdom.

Ott, S. (2004) Early stages of development in *Usnea antarctica* Du Rietz in the South Shetland Islands, northern maritime Antarctica. *Lichenologist* 36: 413-423.

Ovstedal, D., Lewis-Smith, R. (2001) Lichens of Antarctica and South Georgia, A guide to their identification and ecology. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Öztürk, B. (2015) Neden Antarktika. Anahtar yayınları, İstanbul, Türkiye.

Pattyn, F., Morlighem, M. (2020) The uncertain future of the Antarctic Ice Sheet. *Science* 367(6484): 1331-1335.

Peat, H.J., Clarke, A., Convey, P. (2007) Diversity and biogeography of the Antarctic flora. *Journal of Biogeography* 34(1): 132-146.

Rignot, E., Mouginot, J., Scheuchl, B., Van Den Broeke, M., Van Wessem, M. J., Morlighem, M. (2019) Four decades of Antarctic Ice Sheet mass balance from 1979-2017. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116(4): 1095-1103.

Rosa, L.H. (2019) Fungi of Antarctica: Diversity, ecology and biotechnological applications. Springer, Cham, Switzerland.

Sancho, L.G., Green, T.A., Pintado, A. (2007) Slowest to fastest: extreme range in lichen growth rates supports their use as an indicator of climate change in Antarctica. *Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 202(8): 667-673.

Sancho, L.G., Pintado, A., Green, T.G. (2019) Antarctic studies show lichens to be excellent biomonitors of climate change. *Diversity* 11(3): 42.

Schwendener, S. (1867) Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft (Report on Schwendener's announcement of the dual nature of lichens.). *Rheinfelden* 51: 88-89

Spribile, T., Tuovinen, V., Resl, P., Vanderpool, D., Wolinski, H., Aime, M.C., McCutcheon, J.P. (2016) Basidiomycete yeasts in the cortex of ascomycete macrolichens. *Science* 353(6298): 488-492.

Stapper, N.J., John, V. (2015) Monitoring climate change with lichens as bioindicators (suivi du changement climatique à l'aide des lichens comme bioindicateurs). *Pollution Atmosphérique* 226: 1-12.

Tripathi, M., Joshi, Y. (2019) Endolichenic Fungi: Present and Future Trends. Springer, Singapore.

Deniz Çayırıları ve İklim Değişikliği

Barış AKÇALI*¹, Onur KARAYALI²

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, İzmir, Türkiye

² Ege Üniversitesi Su ürünleri Fakültesi, İzmir, Türkiye

*baris.akcali@deu.edu.tr

Özet

Okyanuslar iklimleri düzenleyici rolleri ile dünyayı canlılar için yaşanacak bir durumda olmasına imkan sağlarlar. Atmosferden gelen ısı ve karbonu depolayarak ani değişimleri engeller daha düzenli bir iklim sağlarlar. Ancak iklim değişikliği bu düzeni bozmaktadır. İklim değişikliği dünyadaki her ülkeyi etkilemektedir. Ülke ekonomileri üzerinde olumsuz sonuçları olmaktadır. İklim düzenleri değişmekte, deniz seviyeleri yükselmekte ve hava olayları daha aşırı hale gelmektedir. Dünyada kıyı bölgesinde dağılım gösteren ekosistem mühendisi deniz çayırıları ciddi miktarda karbonu depolayarak iklim değişimine karşı önemli rolü olan habitatlardandır. Son yüzyılda iklim değişimi ve insan etkileri sonucu deniz çayırılarının dağılım alanları giderek azalmaktadır. İklim değişikliğinin kontrol altına alınmasında dünyada halihazırda mevcut olan bu önemli karbon tutucu habitatların korunması önemli rol oynayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Deniz çayırıları, iklim değişikliği, *Posidonia oceanica*

Giriş

Okyanuslar, dünyadaki yaşamın başlangıcından beri gezegenin iklimi ve ekolojisi üzerinde önemli rol oynamaktadır. Aynı zamanda atmosferden hem ısıyı hem de karbonu emerek, küresel ısınmanın çevresel etkilerini azaltmada etkin rolleri bulunmaktadır. Dünya yüzeyinin üçte ikisinden fazlasını kaplayan okyanuslar, yüzeye ulaşan güneş enerjisini ısı şeklinde depolar, dağıtır ve yavaşça atmosfere geri verir. Bu depolama ve sirkülasyon süreçleri, sıcaklıktaki ani değişiklikleri önleyerek, kıyısız bölgenin havasını ılıman ve dünyanın bazı yüksek bölgelerini yaşanabilir hale getirir. Bununla birlikte, sirkülasyon, iklim değişikliğinin ortaya çıkmasıyla istenmeyen sonuçlara yol açabilir (Nellemann ve diğ. 2009). Küresel ısınma ile okyanus suyu, atmosferde bulunan aşırı ısının büyük bir kısmını emerek yüzey suyu sıcaklıklarında ölçülebilir bir artışa neden olur (son 50 yılda ortalama yaklaşık 0,64°C) (Levitus ve diğ. 2000; IPCC 2007). Su ısındıkça genleşerek okyanus seviyesinde artışlara neden olur (UNEP 2008). Zamanla, bu ısı daha derinlere inerek, genleşmeyi artıracak ve deniz seviyesinde çeşitli değişiklikleri tetikleyecektir. Diğer yandan dünyada bulunan kıtasal buz tabakalarının erimesiyle deniz seviyelerindeki artışla beraber tuzluluk değişimleri de görülecektir (UNEP 2008). Bu etkiler okyanus akıntı sisteminde değişikliklere neden olacak, bu durum ise ani iklim değişimleri meydana getirecektir. Ayrıca sıcaklık yükseldikçe buharlaşma artacağı için kasırga, tayfun gibi aşırı hava olaylarının gücü ve sıklığı artacaktır. Deniz yüzeyindeki yarım santigrat derecelik yükselme, kasırgaların enerjisinde %40 artışa neden olmuştur (Saunders ve Lea

2008). Bununla birlikte daha sıcak ve düşük tuzluluktaki yüzey suları, okyanuslardaki tabakalaşmayı sınırlayarak derinlerden gelen verimli suların (upwelling) üst katmanlara ulaşmasını etkileyecek, bu durum ise birincil üretimi düşürecektir. Böylece besin zincirinde oluşacak bozulmalardan deniz ekosistemi ve balıkçılık olumsuz bir şekilde etkilenecektir (Le Quéré ve diğ. 2007; Valdés ve diğ. 2007). Isınma nedeniyle türlerin coğrafi olarak yaşam alanlarında değişimler olacaktır (Cheung ve diğ. 2009). Okyanuslar, sanayi devriminden beri insan etkisiyle oluşan CO₂ emisyonlarının yaklaşık üçte birini emmiştir (Sabine ve Feely 2007). Böylece dünya iklimi için okyanuslar bir regülatör görevi görmektedir, çünkü CO₂'in atmosferden emilimi, atmosferdeki konsantrasyonunu azaltarak küresel ısınmanın etkisini hafifletmektedir. Ancak, deniz suyundaki çözünmüş CO₂, okyanusların pH seviyesini düşürerek asitleşmeye neden olmaktadır (Gattuso ve Buddemeier 2000). Deniz suyundaki pH seviyeleri son 25 yılda yüksek oranlarda azalmıştır ve CO₂ artmaya devam ettikçe, bu yüzyılın sonunda daha da azalacaktır (Feely ve diğ. 2004). Atmosferdeki karbondioksit artmaya devam ettikçe de okyanusların iklim regülatörü görevini sürdürebilmesi gittikçe zorlaşacaktır.

İklim değişikliğinin ekosistemler, toplumlar ve ekonomileri etkileyerek balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği sektöründekiler de dahil olmak üzere tüm geçim kaynakları ve gıda kaynakları üzerindeki baskıyı artıracığı tahmin edilmektedir. İklim değişikliği, gıda güvenliğinin dört boyutunu (bulunabilirlik, istikrar, erişim ve kullanım) etkileyecektir. Kaynaklar daha fazla baskı altına girdikçe gıda kalitesinin korunması daha önemli bir role sahip olacak örneğin balık kaynaklarına erişilebilirlik ve erişim giderek daha kritik bir kalkınma sorunu haline gelecektir (FAO 2008; Cochrane ve diğ. 2009).

Dünya deniz çayırları

Deniz çayırları, dünya çapında ılıman ve tropikal kıyı şeridi boyunca ışığın yeterli olduğu bölgelerde (fotik zon) geniş alanları kaplayan ekosistem mühendisleridir (Short ve Wyllie-Echeverria 1996; Short ve diğ. 2001). Deniz çayırlarının dünyada kapladığı alanın 0,12 milyon km² ile 0,6 milyon km² arasında olduğu tahmin edilmektedir (Duarte ve Chiscano 1999; Green ve Short 2003; Nellemann ve diğ. 2009). Deniz çiçekli bitkileri (fanerogam) deniz yosunlarına oranla çok az türü içermekle birlikte, biyokütle yönünden Akdeniz ekosisteminde ön sıralarda yer alırlar.

Küresel ölçekte deniz çayırlarının da diğer önemli habitatlar olan mercan resifleri, yağmur ormanları ve mangrovlar gibi yüksek oranlarda azalma eğiliminde olduklarına dair kanıtlar vardır (Waycott ve diğ. 2009). Çayırların dağılımındaki azalma bazı bölgelerde çok belirgin olmasa da bazı lokal alanlarda dikkat çekici boyutlara ulaşmaktadır. Bunun sebepleri doğal ve insan kaynaklı etkilere bağlıdır. Özellikle insan baskısının yüksek ve su sirkülasyonunun sınırlı olduğu kapalı koy, lagün gibi ortamlarda ötrofikasyon, antropojenik etkiler gibi baskılara ek olarak

iklim değişikliği gibi etkenlerle birlikte bir sinerji oluşturarak deniz çayırları hızlanabilir (Touchette ve Burkholder 2000; Lloret ve diğ. 2008).

Akdeniz kıyısındaki insan etkisi özellikle 20. yüzyıldan sonra hızla artmaktadır. Son yıllarda yukarıda bahsedilen etkiler giderek artan ivmeyle Akdeniz kıyıların bozulmasına neden olmuştur. Akdeniz’de dağılım gösteren 5 tür deniz çayırları bulunmaktadır. Bunlar; *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson, *Zostera noltii* Hornemann, *Zostera marina* Linnaeus ve *Halophila stipulacea* (Forskal) Ascherson (Şekil 1). Bu türlerden *P. oceanica* Akdeniz için endemik tür olurken diğerleri dünyadaki sıcak denizlerde dağılım göstermektedirler. *H. stipulacea* türü deniz çayırları ise Akdeniz’e Süveyş Kanalı yoluyla giriş yapmış lesepisyen deniz çayırları türüdür.



Şekil 1. Akdeniz’de dağılım gösteren deniz ayırları: A- *P.oceanica*, B- *C. nodosa*, C- *Z. noltii*, D- *Z. marina*, E- *H. stipulacea*.

***Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile**

Bir Akdeniz endemiği olan *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile Akdeniz kıyılarında sığ suların başlayarak 40 metre derinliğe kadar yayılış göstermektedir (Boudouresque ve Meinesz 1982). *P. oceanica* ayırları sahip oldukları mat ve kök sistemi sayesinde Akdeniz’deki deniz çayırları içerisinde biyoçeşitlilik yönünden en zengin habitatları oluşturmaktadır. Akdeniz’de farklı alanlarda yapılan çalışmalarda *P. oceanica* matlarının 6 metre kalınlığa ulaştığı görülmüştür (Boudouresque ve Meinesz 1982; Lo Iacono ve diğ. 2008). Bunu takiben *C. nodosa* ve *Zostera* spp. ayırları gelmektedir. Leseipsiyen deniz çayırları türü olan *H. stipulacea* ise bunlar içinde en düşük biyoçeşitlilik seviyesine sahip olan türdür (Boudouresque ve diğ. 2012; Pergent ve diğ. 2014).

Akdeniz'e yakın zamanda giren yabancı yayılcı bitkiler, yerli deniz çayırları üzerinde birçok olumsuz etki oluşturmuştur. *Caulerpa taxifolia* (M. Vahl) C. Agardh ve *Caulerpa racemosa* var. *cylindracea* (Sonder) Verlaque türlerinin deniz çayırları üzerinde; yaprak yoğunluğunda azalma, eşeyli üreme için daha fazla enerji harcama, strese karşı oluşturulan fenolik bileşiklerde artış, sediment kalitesinde bozulma gibi negatif etkileri tespit edilmiştir (Ceccherelli ve Campo 2002; Pergent ve diğ. 2008; Holmer ve diğ. 2009). Bununla birlikte bu *Caulerpa* türlerinin sağlıklı bir *P. oceanica* çayırını yok etme kapasitesi kısa dönemde tespit edilmemiş olsa bile, stresli ve bozulmuş çayırlar, bu istilacı türlerin gelişimi için çok elverişli ortamlar oluşturmaktadır ve bu durum deniz çayırlarının gerilemesini daha da kötüleştirebilir (Villèle ve Verlaque 1995; Holmer ve diğ. 2009; Montefalcone ve diğ. 2010). *P. oceanica* gibi büyük boyutlu deniz çayırı türlerinin ortamdaki yok olması sonucu, daha küçük türlerin dominant hale gelmesiyle (*C. nodosa* ve *H. stipulace* gibi) kıyasal yapı erozyona karşı hassas hale gelmektedir (Mateo ve diğ. 2002; Boudouresque ve diğ. 2012; Pergent ve diğ. 2014).

Batı Akdeniz'de *P. oceanica* çayırlarının kapladığı yüzey alanı birçok çalışma ile belirlenmeye çalışılmaktadır (Pasqualini ve diğ. 1998; UNEP-MAP-RAC / SPA 2009; Giakoumi ve diğ. 2013; Telesca ve diğ. 2015). Doğu havzası için veri kıtlığı, bu tahminlerin doğruluğunu azaltır, ancak Topouzelis ve diğ. 2018 ve Traganos ve diğ. 2018, Yunan kıyı şeridi için (Akdeniz kıyı şeridinin %32'si), Akçalı ve diğ. 2019 ve Duman ve diğ. 2019 Akdeniz'in Türkiye kıyı şeridinin 3.000 km'si için, önceki tahminlerin doğruluğunun iyileştirilmesini mümkün kılmıştır (Pergent-Martini ve diğ. 2021).

Okyanuslara göre küçük ölçekli olan Akdeniz baseni, global ölçekli değişikliklere daha hızlı tepkiler verebilmektedir. *P. oceanica* üzerine yapılmış bir çalışmada kötü senaryoya göre 21. yüzyıl ortalarında *P. oceanica* çayırlarının %75 kadarı, 2100 yılında ise tamamı kaybolma tehdidi altındadır (Chefaoui ve diğ. 2018). Bunun yanında Akdeniz' de bulunan en yoğun ikinci deniz çayırı türü *C. nodosa*'nın ise yaklaşık %45'ini kaybetme ihtimali bulunmaktadır. Bütün bu nedenlerle denizel ortamda çok önemli işlevleri olan deniz çiçekli bitkisi *P. oceanica*'nın hassasiyetle korunması gerekmektedir. Günümüzde Fransa, İtalya, İspanya gibi birçok Avrupa ülkesinde bu tür özel koruma alanlarında nesli korunması gereken türler listesine alınmıştır (Meinesz ve diğ. 1991; Boudouresque ve diğ. 1994). *P. oceanica*, Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi (WFD 2000/60 / EC) ve Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi (MSFD 2008/56/EC) bağlamında çevrenin kalitesini yansıtan biyolojik gösterge olarak benimsenmiştir. (Malea ve diğ. 2019; Catucci ve Scardi 2020).

Global çevre sorunlarının deniz çayırları ile ilişkisi

Deniz çayırı habitatları dünya çapında büyük önem taşımaktadır. Bu türlerden biri olan *P. oceanica*, Akdeniz ekosisteminde anahtar tür olarak önemli fonksiyonlara

sahiptir (örn. Karbon tutma, sediman tutma ve stabilizasyon, sahillerin erozyona karşı korunması, beslenme ve biyoçeşitlilik gibi). Dünyada süregelen iklim değişikliğinden deniz çayırları da etkilenecektir. İklim değişimi deniz çayırları üzerinde yüzey suyu sıcaklıklarındaki artış, deniz suyu seviyesi değişimleri, fırtına şiddet ve sıklıklarında artış periyodu gibi tehditler oluşturmaktadır (Short ve Neckles 1999; Pergent ve diğ. 2014). Deniz suyu sıcaklıkları deniz çayırlarının dağılımında belirleyici faktörlerdendir (Short ve diğ. 2001). Akdeniz'in en güneydoğusunda *P. oceanica*'nın bulunmayışı, yazın aşırı yüksek deniz suyu sıcaklıkları ile doğrudan ilişkili görünmektedir (Çelebi ve diğ. 2006). Ötrotfikasyon veya su sütunundaki azot ve fosforun aşırı artışı, deniz çayırlarının fizyolojisi üzerinde dolaylı ve doğrudan birçok etkiye sahiptir (Unsworth ve diğ. 2015; Ceccherelli ve diğ. 2018). İnorganik azot konsantrasyonlarındaki aşırı artış, fitoplankton, epifitik algler ve makroalglerin yüksek miktarlarda üremesine neden olarak deniz çayırı büyüme ve hayatta kalma oranlarını ışık değerlerinin azalmasından dolayı sınırlandırabilir (Touchette ve Burkholder 2000).

Zostera marina gibi soğuk su tercih eden türler küçük bir buzul çağının yaşandığı 13. yüzyıldan 15. yüzyıla kadar olan sürede dağılımlarını arttırmışlardır. Ancak küresel ısınma şiddetini arttırsa *Z. marina*'nın Akdeniz'deki kapladığı alan azalabilir hatta yok olması ihtimal dahilindedir. Benzer şekilde 19 yy. ortalarından beri görülen hızlı ısınma *P. oceanica*'nın gerilemesinde rolü olduğu düşünülmektedir (Peirano ve diğ. 2005).

Zostera noltei, çok çeşitli ışık yoğunluğu ve sıcaklıklarda dayanabilen geniş çayırlar oluşturur, bu nedenle ısınma eğiliminin bu tür üzerinde önemli bir etkisi olmayabilir. Tersine, *Z. noltei* diğer deniz çayırlarının azalmasında avantajlı duruma geçebilir (Haritonidis ve diğ. 1990). Genel olarak, sıcak seven türler *C. nodosa* ve *H. stipulacea*, ısınma eğiliminden fayda sağlıyor gibi görünmektedir (Boudouresque ve diğ. 2009). Geçtiğimiz birkaç yıl içinde, *C. nodosa*, yeni alanları kolonileştirmek için *P. oceanica*'nın gerilemesinden yararlanmışır (Montefalcone ve diğ. 2007). Aynı şekilde, *H. stipulacea*'nın yayılması incelendiğinde, daha önce bu tropikal türün gelişimi ile pek uyumlu olmadığı düşünülen bölgelerde bile yayılımının hızlanmış olduğu görülmektedir (Gambi ve diğ. 2008).

Akdeniz'de ortalama yağış hacminin azalacağı öngörülmektedir, ancak aşırı yağış olaylarının sıklığı muhtemelen artacaktır (Christensen ve Christensen 2004; Sánchez ve diğ. 2004; IPCC 2007). Akdeniz'de yağışlar azalsa da sel şeklindeki yağışların sıklığı artmıştır. Bu durum ise sığ bölgelerde veya göreceli kapalı koylarda yaşayan türler için sediment taşınımı ve gömülme gibi olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Ayrıca, iklim rejiminde beklenen değişikliklerle kıyı hidrodinamiğinin dalga hareketinin yoğunluğu ve sıklığı açısından değişmesi nedeniyle *P. oceanica* çayırlarının hem üst hem de alt sınırlarının konumları için dramatik sonuçlar doğuracaktır (Vacchi ve diğ. 2012).

Denizel ortamda depolanan karbon miktarının %70'ini kıyısız vejetasyon (deniz çayırları, mangrov ormanları gibi) tutmaktadır (Nelleman ve diğ. 2009). Küresel olarak deniz çayırları ekosistemleri yıllık 4,2 ila 8,4 Pg karbon depoladığını ayrıca da potansiyel olarak maksimum 19,9 Pg organik karbon depolayabileceği tespit edilmiştir (Fourqurean ve diğ. 2012). 2012 yılının verilerine göre dünya genelinde kaybedilen deniz çayırları bu kabiliyetlerini de kaybettiğinden, yılda 299Tg a kadar organik karbon ortama salınmaktadır. Bahsedilen değerler sınırlı verilere dayanmaktadır. Endüstriyel faaliyetlerin fosil yakıt kullanımının ve diğer insani ihtiyaçlardan kaynaklanan karbondioksit emisyonlarının oluşturduğu global çevre krizlerinden bu derece etkilenirken bir yandan da yüksek miktarlarda karbon depolayabilme yetenekleriyle bu krizin etkisini azaltmaktadırlar. Yapılan çalışmalarda deniz çayırları türleri arasında organik karbon tutma kapasiteleri hakkında çok farklı değerler bulunmaktadır. Bu nedenle bu durumun daha iyi anlaşılabilmesi için detaylı çalışmalara ihtiyaç vardır (Pergent ve diğ. 2014). Bu bitkilerin popülasyonundaki düşüşler ile karbon depolama miktarı azalacağı gibi depolanmış olan karbon da tekrar sisteme geri verilecektir. Çayırların kaybı, hızlı bir erozyon ve karbonun çözünerek sisteme tekrar dönmesi iklim değişiminin hızlanmasına neden olabilecek bir durum oluşturur.

Bu duruma bağlı olarak en önemli küresel çevre sorunlarından biri olan denizlerin asitleşmesi de ışık rekabetçisi olan ve bitkilerin üzerinde yaşayan epifitik organizmaların miktarında artışa sebep olmakta ve konak canlıının fotosentez kabiliyetini kısıtlamakta ayrıca yapraklara kütleli ağırlık kazandırarak bitkilerin akıntılara karşı dayanıklılığını azaltmaktadır (Cebrian ve diğ. 1999). İçinde bulunduğumuz yüzyılın sonlarında deniz sularındaki pH seviyesinin %6 düşeceği öngörülmektedir (Fabry ve diğ. 2008). Tüm bu çalışmaların sonuçlarına bakıldığında neredeyse dünyanın her yerinde deniz çayırları da diğer habitatlar gibi iklim değişikliği ve diğer global çevre sorunlarından önemli ölçüde etkilenmektedirler. Antropojenik etkilerden dolayı direkt ve dolaylı yollarla deniz çayırlarında meydana gelen ciddi regresyon, deniz çayırlarının ekosisteme verdiği hizmetlerde aksamaya yol açmakta ayrıca asidifikasyon artışını tamponlama miktarını da azaltmaktadır. Dış etkilerden dolayı regresif faza geçen ve hatta yok olan çayırlar barındırdıkları karbonu da buldukları ortama geri salarak ortamda pH düşüşüne sebep olmakta ve asidifikasyondan kaynaklı çayırların ve diğer canlıların gördüğü zararı da dolaylı yoldan artırmaktadır.

Asidifikasyonun yanında diğer bir global çevre sorunu da deniz sularında meydana gelen yükselmedir. 20. yüzyılın sonlarından bu yana deniz seviyesinde gözlemlenen artış, *P. oceanica* çayırlarının derin sınırında kaydedilen bazı yakın tarihliler gerilemeleri de açıklayabilir. Deniz seviyesindeki birkaç santimetrelik bir yükselme ile oluşacak ışık değişimi derin sınırda birkaç metreye varan doğrusal bir gerilemeye neden olabilir (Duarte 2002; Boudouresque ve diğ. 2009). Deniz seviyesindeki yükselme muhtemelen devam edecek ve hızlanacaktır (IPCC 2007; Rahmstorf 2007), bu durum ise *P. oceanica* çayırlarının genel olarak yukarı doğru çekilmesine neden olacaktır.

Sonuç

İklim Değişikliği Sözleşmesinin Taraflar Konferansı'nın (COP 21) 21. toplantısında tüm katılımcılar Paris Anlaşması'nı kabul etmiştir. Bu anlaşma, 5. Maddede "Tarafların, uygun olduğu şekilde, karbon stok sistemlerini ve rezervuarlarını korumak ve geliştirmek için harekete geçmesi gerektiğini" belirtmektedir (FCCC 2015). Bu konferansta daha öncekilerden farklı olarak okyanuslar da dahil edilerek tüm ekosistemin ele alınması gerekliliği vurgulanmıştır. Böylece fitoplankton, kıyısız vejetasyon, sulak alanlar gibi karbon stok sistemleri dikkate alınmıştır (Pergent-Martini ve diğ. 2021).

İklim değişikliği, deniz seviyesindeki değişim modellerine ilişkin tahminler göz önüne alındığında, 21. yüzyıl boyunca Akdeniz ölçeğinde *P. oceanica* çayırlarının alt sınırında önemli bir gerilemenin nedeni olabilir (Pergent ve diğ. 2015; Pergent-Martini ve diğ. 2021). İklim değişikliği aynı zamanda dünya çapında deniz çayırı kaybını hızlandıran yeni bir tehdittir; okyanus sıcaklığının 2065 yılına kadar 1,3°C artması (IPCC 2014'teki RCP 6.0 modeline göre) ve sıcak hava dalgaları gibi daha sık ve yoğun aşırı hava olayları deniz ekosistemleri üzerinde önemli etkileri olacaktır (IPCC 2019; Rasmusson ve diğ. 2020). Yükselen sıcaklıklar deniz çayırlarının fotosentez kapasitesinde düşüşe ve biyokütle kayıplarına neden olacaktır (George ve diğ. 2018; Rasmusson ve diğ. 2020). Sıcaklığın yükselmesiyle kıyısız alanda algal patlamalar nedeniyle ötrofik bir ortam gelişecek bu durum ise hipoksik veya anoksik bölgelerin oluşmasına neden olacaktır (Gobler ve Baumann 2016). Ötrofikasyon, deniz çayırlarının hayatta kalması için gerekli olan ışığı ve mikrobiyal aktivitedeki artışla ihtiyaç duyduğu oksijeni bulamaması nedeniyle zorlaşacaktır (Waycott ve diğ. 2009; Rasmusson ve diğ. 2020). Sedimandaki düşük oksijen seviyeleri sülfid üretiminin artmasına ve deniz çayırı dokularına nüfuz ederek ölümlerine neden olur (Borum ve diğ. 2004).

Global tehditlerin bu derece etkili olduğu durumda, henüz lokal anlamda bir etkiye maruz kalmamış herhangi bir çayır dahi aslında etki altındadır ve gerileme göstermeye başlamış olabilir. Bu durum, deniz çayırları kullanılarak yapılan ekosistem sağlığını ölçme ve sınıflandırma çalışmalarında kullanılacak referans değerleri barındıran alanların da yanlıtıcı hale gelmesine sebep olabilecektir. Dolayısıyla ekolojik indekslerin bölgesel kalibrasyonunu güçleştireceği ve yapılan çalışmaların güvenilirliğini kısıtlayabileceği düşünülmektedir.

İklim değişikliğinin kontrol altına alınmasında dünyada halihazırda mevcut olan bu önemli karbon tutucu habitatların korunması önemli rol oynayacaktır. Bunun için kıyısız vejetasyonun korunması, insan kaynaklı organik atıkların kontrolü, karasal erozyon engellenerek siltasyonun azaltılması, sürdürülebilir balıkçılık tekniklerinin geliştirilmesi, kıyısız yapılaşma ile ilgili gerekli önlemlerin alınması gibi düzenlemeler yapılmalıdır. İkinci adım olarak yukarıda bahsi geçen bozulmuş kıyısız vejetasyon habitatlarının restorasyonunu içeren çalışmalar planlanarak uygulamaya geçirilmelidir. Kıyısız vejetasyon restorasyonunda

mangrovlar üzerine yapılan çalışmalarda başarılı uygulamalar yapılmaktadır. Deniz çayırklarının restorasyonu daha karmaşık ve masraflı bir çalışma olduğu için sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle öncelik kayba neden olan baskıları ortadan kaldırmaya yönelik eylemler olmalıdır. Deniz bilimciler, özellikle iklim değişikliğinin ekosistem yapısı, işlevi, biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkilerini ve insan ve doğal sistemlerin bu değişikliklere nasıl uyum sağladığını anlamamıza yardımcı olmak için iklim değişikliği sorunlarını acilen ele almalıdır.

Kaynakça

Akçalı, B., Kaboğlu, G., Güçlüsoy, H. (2019) A review on *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile coverage along the Turkish coasts until 2019. *J Black Sea/Medit Environ* 25(1): 115-124.

Borum, J., Duarte, C.M., Krause-Jensen, D., Greve, T.M. (2004) European seagrasses: an introduction to monitoring and management. M & MS Project, Copenhagen, Denmark.

Boudouresque, C.F., Bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel, E., Diviacco, G., Meinesz, A., Gérard Pergent, G., Pergent-Martini, C., Ruitton, S., Tunesi, L. (2012) Protection and conservation of *Posidonia oceanica* meadows. RAMOGE and RAC/SPA publisher, Tunisia.

Boudouresque, C.F., Bernard, G., Pergent, G., Shili, A., Verlaque, M. (2009) Regression of Mediterranean Seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: a critical review. *Botanica Marina* 52: 395-418.

Boudouresque C.F., Meinesz A. (1982) Découverte de l'herbier de Posidonie. *Cahier Parc National Port-Cros* 4: 1-79.

Boudouresque, C.F., Meinesz, A., Ledoyer, M., Vitiello, P. (1994) Les herbiers à phanérogames marines. Les Biocénoses Marines et Littoraux de Méditerranée: Synthèse, Menaces et Perspectives. *Collection Patrimoines Naturels* 19: 98-118.

Catucci, E., Scardi, M. (2020) A machine learning approach to the assessment of the vulnerability of *Posidonia oceanica* meadows. *Ecological Indicators* 108: 105744.

Cebrian, J., Enriquez, S., Fortes, M., Agawin, N., Vermaat, J.E., Duarte, C.M. (1999) Epiphyte accrual on *Posidonia oceanica* (L.) Delile leaves: implications for light absorption. *Botanica Marina* 42(2): 123-128.

Ceccherelli, G., Campo, D. (2002) Different effects of *Caulerpa racemosa* on two co-occurring seagrasses in the Mediterranean. *Botanica Marina* 45: 71-76.

Ceccherelli, G., Oliva, S., Pinna, S., Piazzini, L., Procaccini, G., Marin-Guirao, L., Dattolo, E., Gallia, R., La Manna, G., Gennaro, P., Costa, M.M. (2018) Seagrass collapse due to synergistic stressors is not anticipated by phenological changes. *Oecologia* 186: 1137-1152.

Chefaoui, R.M., Duarte, C.M., Serrão, E.A. (2018) Dramatic loss of seagrass habitat under projected climate change in the Mediterranean Sea. *Global Change Biology* 24(10): 4919-4928.

Cheung, W.W., Lam, V.W., Sarmiento, J.L., Kearney, K., Watson, R., Pauly, D. (2009) Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish and fisheries* 10(3): 235-251.

Christensen, O.B., Christensen, J.H. (2004) Intensification of extreme European summer precipitation in a warmer climate. *Global and Planetary Change* 44: 107-117.

Cochrane, K., De Young, C., Soto, D., Bahri, T. (eds.) (2009) Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge, FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 530. FAO, Rome, Italy.

Çelebi, B., Gücü, A.C., Ok, M., Sakınan, S., Akoğlu, E. (2006) Hydrographic indications to understand the absence of *Posidonia oceanica* in the Levant Sea (Eastern Mediterranean). *Biologia Marina Mediterranea* 13: 34-38.

Duarte, C.M. (2002) The future of seagrass meadows. *Environmental Conservation* 29: 192-206.

Duarte, C.M., Chiscano, C.L. (1999) Seagrass biomass and production: A reassessment. *Aquatic Botany* 65: 159-174.

Duman, M., Eronat, A.H., İlhan, T., Talas, E., Küçüksezgin, F. (2019) Mapping *Posidonia oceanica* (Linnaeus) meadows in the Eastern Aegean Sea coastal areas of Turkey: Evaluation of habitat maps produced using the acoustic ground discrimination systems. *International Journal of Environment and Geoinformatics* 6(1): 67-75.

Fabry, V.J., Seibel, B.A., Feely, R.A., Orr, J.C. (2008) Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Science* 65(3): 414-432.

FAO (2008) FAO Expert Workshop on Climate Change Implications for Fisheries and Aquaculture. FAO Fisheries Report. No. 870. 7-9 April 2008, Rome, Italy.

FCCC (2015) Conference of the Parties: Twenty-First Session. United Nations - Framework Convention on Climate Change. Paris, France, 30 November - 13 December 2015.

Feely, R.A., Sabine, C.L., Lee, K., Berelson, W., Kleypas, J., Fabry, V.J., Millero, F.J. (2004) Impact of Anthropogenic CO₂ on the CaCO₃ System in the Oceans. *Science* 305: 362-366.

Fourqurean, J.W., Duarte, C.M., Kennedy, H., Marbà, N., Holmer, M., Mateo, M.A., Apostolaki, E.T., Kendrick, G.A., Krause-Jensen, D., Karen J., McGlathery, K.J., Serrano, O. (2012) Seagrass ecosystems as a globally significant carbon stock. *Nature geoscience* 5(7): 505-509.

Gambi, M.C., Barbieri, F., Bianchi, C.N. (2008) New record of the alien seagrass *Halophila stipulacea* (Hydrocharitaceae) in the western Mediterranean: a further clue to changing Mediterranean Sea biogeography. *Biodiversity Records* 2: e84.

Gattuso J.P., Buddemeier R.W. (2000) Ocean biogeochemistry: calcification and CO₂. *Nature* 407: 311-312.

George, R., Gullström, M., Mangora, M.M., Mtolera, M.S.P., Björk, M. (2018) High midday temperature stress has stronger effects on biomass than on photosynthesis: a mesocosm experiment on four tropical seagrass species. *Ecology and Evolution* 8: 4508-4517.

Giakoumi, S., Sini, M., Gerovasileiou, V., Mazor, T., Beher, J., Possingham, H.P., Abdulla, A., Çınar, M.E., Dendrinou, P., Gücü, A.C., Karamanlidis, A.A., Rodic, P., Panayotidis, P., Taşkın, E., Jaklin, A., Voultsiadou, E., Webster, C., Zenetos, A., Katsanevakis, S. (2013) Ecoregion-based conservation planning in the Mediterranean: dealing with large-scale heterogeneity. *PIOS ONE* 8(10): e76449.

Gobler, C.J., Baumann, H. (2016) Hypoxia and acidification in ocean ecosystems: coupled dynamics and effects on marine life. *Biology Letters* 12: 20150976.

Green, E.P, Short, F.T. (2003) World atlas of seagrasses. University of California, Berkeley, Los Angeles & London, USA.

Haritonidis, S., Diapoulis, A., Nikolaidis, G. (1990) First results on the localisation of the herbiers of marine phanerogams in the Gulf of Thermaikos. *Posidonia Newsletter* 3(2): 11-18.

Holmer, M., Marba, N., Lamote, M., Duarte, C.M. (2009) Deterioration of sediment quality in seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) invaded by macroalgae (*Caulerpa* sp.). *Estuaries and Coasts* 32: 456-466.

IPCC (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental

Panel on Climate Change. In: Assessment Report 4 Climate Change 2007 (eds., Core Writing Team, Pachauri, R.K., Reisinger, A.). IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

IPCC (2014) Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Assessment Report 5 Climate Change 2014 (eds., Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., von Stechow, C., Zwickel, T., Minx, J.C.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2019) Technical Summary. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (eds. Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., Weyer, N.M.) In press.

Le Quéré, C., Rödenbeck, C., Buitenhuis, E.T., Conway, T.J., Langenfelds, R., Gomez, A., Labuschagne, C., Ramonet, M., Nakazawa, T., Metz, N., Gillet, N., Heimann, M. (2007) Saturation of the Southern Ocean CO₂ sink due to recent climate change. *Science* 316: 1735-1738.

Levitus, S., Antonov, J.I., Boyer, T.P., Stephens, C. (2000) Warming of the world ocean. *Science* 287: 2225-2228.

Lloret, J., Marín, A., Marín-Guirao, L. (2008) Is coastal lagoon eutrophication likely to be aggravated by global climate change? *Estuar Coast Shelf Sci* 78: 403-412.

Lo Iacono, C., Mateo, M.A., Gràcia, E., Guasch, C.R., Serrano, L., Dañobeitia, J. (2008) Very high-resolution seismo-acoustic imaging of seagrass meadows (Mediterranean Sea): implications for carbon sink estimates. *Geophys Res Lett* 35: L18601.

Malea, P., Mylona, Z., Kevrekidis, T. (2019) Improving the utility of the seagrass *Posidonia oceanica* as a biological indicator of past trace element contamination. *Ecol Ind* 107: 105596.

Mateo, M.A., Sánchez-Lizaso, J.L., Romero, J. (2002) *Posidonia oceanica* 'banquettes': a preliminary assessment of the relevance for meadow carbon and nutrient budget. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 56: 85-90.

Meinesz, A., Caye, G., Loques, F., Molenaar, H. (1991) Restoration of Damaged Areas with Transplantation of Seagrasses. In: The Mediterranean: Review and Perspectives. I. Marine Phytobenthos Studies and Their Applications, Oebalia, 17 (I. Suppl.), pp. 131-142.

Montefalcone, M., Albertelli, G., Morri, C., Bianchi, C.N. (2010) Patterns of wide-scale substitution within meadows of the seagrass *Posidonia oceanica* in NW Mediterranean Sea: invaders are stronger than natives. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 20: 507-515.

Montefalcone, M., Morri, C., Peirano, A., Albertelli, G., Bianchi, C.N. (2007) Substitution and phase shift within the *Posidonia oceanica* seagrass meadows of NW Mediterranean Sea. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 75: 63-71.

MSFD 2008/56/EC (2008) Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive).

Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C.M., Valdés, L., De Young, C., Fonseca, L., Grimsditch, G. (2009) Blue Carbon - A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal, Birkeland Trykkeri AS, Birkeland, Norway.

Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Clabaut, P., Pergent, G. (1998) Mapping of *Posidonia oceanica* using aerial photographs and side-scan sonar: Application of the island of Corsica (France). *Estuarine Coastal and Shelf Science* 47(3): 359-367.

Peirano, A., Damasso, V., Montefalcone, M., Morri, C., Bianchi, C.N. (2005) Effects of climate, invasive species and anthropogenic impacts on the growth of the seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile in Liguria (NW Mediterranean Sea). *Marine Pollution Bulletin* 50: 817-822.

Pergent, G., Bazairi, H., Bianchi, C. N., Boudouresque, C. F., Buia, M. C., Calvo, S., Clabaut, P., Harmelin-Vivien, M., Mateo, M. A., Montefalcone, M., Morri, C., Orfanidis, S., Pergent-Martini, C., Semroud, R., Serrano, O., Thibaut, T., Tomasello, A., Verlaque, M. (2014) Climate change and Mediterranean seagrass meadows: a synopsis for environmental managers. *Mediterranean Marine Science* 15(2): 462-473.

Pergent, G., Boudouresque, C.F., Dumay, O., Pergent-Martini, C., Wyllie-Echeverria, S. (2008) Competition between the invasive macrophyte *Caulerpa taxifolia* and the seagrass *Posidonia oceanica*: contrasting strategies. *BMC Ecology* 8(20) : 1-13.

Pergent, G., Pergent-Martini, C., Bein, A., Dedeken, M., Oberti, P., Orsini, A., Santucci J.F., Short, F. (2015) Dynamic of *Posidonia oceanica* seagrass meadows in the northwestern Mediterranean: Could climate change be to blame? *Comptes rendus biologiques* 338(7): 484-493.

Pergent-Martini, C., Pergent, G., Monnier, B., Boudouresque, C.F., Mori, C., Valette-Sansevin, A. (2021) Contribution of *Posidonia oceanica* meadows in the context of climate change mitigation in the Mediterranean Sea. *Marine Environmental Research* 165: 105236.

Rahmstorf, S. (2007) A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science* 315: 368-370.

Rasmusson, L.M., Buapet, P., George, R., Gullström, M., Gunnarsson, P.C., Björk, M. (2020) Effects of temperature and hypoxia on respiration, photorespiration, and photosynthesis of seagrass leaves from contrasting temperature regimes. *ICES Journal of Marine Science* 77(6): 2056-2065.

Sabine, C.L., Feely, R.A. (2007) The oceanic sink for carbon dioxide. In: Greenhouse Gas Sinks (eds., Reay, D., Hewitt, N., Grace, J., Smith, K.), CABI Publishing, Oxfordshire, UK, pp. 31-49.

Sánchez, E., Gallardo, C., Gaertner, M.A., Arribas, A., Castro, M. (2004) Future climate extreme events in the Mediterranean simulated by a regional climate model: a first approach. *Global and Planetary Change* 44: 163-180.

Saunders, M.A., Lea, A.S. (2008) Large contribution of sea surface warming to recent increase in Atlantic hurricane activity. *Nature* 451: 557-560.

Short, F.T., Coles, R.G., Pergent-Martini, C. (2001) Global seagrass distribution. In: Global Seagrass Research Methods, (eds., Short, F.T., Coles, R.G.), Elsevier Science Publication, Amsterdam, Netherlands, pp. 5-30.

Short, F.T., Neckles, H. (1999) The effects of global climate change on seagrasses. *Aquatic Botany* 63: 169-196.

Short, F.T., Wyllie-Echeverria, S. (1996) Natural and human-induced disturbance of seagrasses. *Environmental Conservation* 23: 17-27.

Telesca, L., Belluscio, A., Criscoli, A., Ardizzone, G., Apostolaki, E.T., Frascetti, S., Gristina, M., Knittweis, L., Martin, C.S., Pergent, G., Alagna, A., Badalamenti, F., Garofalo, G., Gerakaris, V., Pace, M.L., Pergent-Martini, C., Salomidi, M. (2015) Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change. *Sci Rep* 5: 1-14.

Topouzelis, K., Makri, D., Stoupas, N., Papakonstantinou, A., Katsanevakis, S. (2018) Seagrass mapping in Greek territorial waters using Landsat-8 satellite images. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* 67: 98-113.

Touchette, B.W., Burkholder, J.M. (2000) Review of nitrogen and phosphorus metabolism in seagrasses. *J Exp Mar Bio Ecol* 250: 133-167.

Traganos, D., Aggarwal, B., Poursanidis, D., Topouzelis, K., Chrysoulakis, N., Reinartz, P. (2018) Towards global-scale seagrass mapping and monitoring using Sentinel-2 on Google Earth Engine: the case study of the Aegean and Ionian seas. *Rem Sens* 10(8): 1227.

UNEP (2008) Nellemann, C., Hain, S., Alder, J. (eds.) In Dead Water: Merging of climate change with pollution, over-harvest and infestation in the world's fishing grounds. UNEP Rapid Response Assessment. GRID Arendal, Norway.

UNEP-MAP-RAC/SPA (2009) State of knowledge on the geographical distribution of marine magnoliophyta meadows in the Mediterranean. Information Document for the Ninth meeting of the Focal Points for SPAs. UNEP (DEPI)/MED WG 331/Inf 5. RAC/SPA Publ., Malta, 3-6 June 2009.

Unsworth, R.K.F., Collier, C.J., Waycott, M., Mckenzie, L.J., Cullen-Unsworth, L.C. (2015) A framework for the resilience of seagrass ecosystems. *Mar Pollut Bull* 100: 34-46.

Vacchi, M., Montefalcone, M., Bianchi, C.N., Morri, C., Ferrari, M. (2012) Hydrodynamic constraints to the seaward development of *Posidonia oceanica* meadows. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 97: 58-65.

Valdés, L., Lopez-Urrutia, A., Cabal, J., Alvarez-Ossorio, M., Bode, A., Miranda, A., Cabanas, M., Huskin, I., Anadón, R., Alvarez-Marqués, F., Llope, M., Rodriguez, N. (2007) A decade of sampling in the Bay of Biscay: What are the zooplankton time series telling us? *Progress in Oceanography* 74(2-3): 98-114.

Villèle, X., de, Verlaque, M., (1995) Changes and degradation in a *Posidonia oceanica* bed invaded by the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia* in the North Western Mediterranean. *Botanica Marina* 38: 79-87.

Waycott, M., Duarte, C.M., Carruthers, T.J., Orth, R.J., Dennison, W.C., Olyarnik, S., Calladine, A., Fourqurean, J.W., Heck, K.L., Hughes, A.R., Kendrick, G.A., Kenworthy, W.J., Short, F.T., Williams, S.L. (2009) Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106(30): 12377-12381.

WFD 2000/60 /EC (2000) Water Framework Directive. *Journal reference OJL* 327: 1-73.

İklim Değişikliğinin Türkiye Deniz Balıklarının Dağılımları Üzerindeki Etkileri

Murat BİLECENOĞLU

Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Aydın, Türkiye
mbilecenoglu@adu.edu.tr

Özet

Türkiye kıyılarındaki biyolojik tropikalleşme süreci yoğun araştırmalara konu olmasına rağmen, subtropikalleşme ve Akdenizlileşme fenomenleri bugüne kadar son derece düşük bir eforla ele alınabilmiştir. Deniz suyu sıcaklığı artışına bağlı olarak termofilik balık türlerinin Marmara Denizi ve Karadeniz’de artan sayıdaki bilimsel kayıtları çok önemli ekosistem tepkilerine işaret etmekle kalmayıp, tür dağılımlarının çok hızlı değişebildiğini de göstermektedir. Bu çalışmada 1999 ve 2021 yıllarına ait deniz balığı dağılımı verileri incelenerek, faunal yapıdaki değişimler ortaya konmuştur. Günümüz Karadeniz balık faunası, 1999 yılına göre %2,4 daha Akdenizlileşmiş, Marmara Denizi ise tür kompozisyonu açısından Akdeniz’e %17,0 daha benzer hale gelmiştir. Mevcut veriler, bu iki duyarlı ekosistemin doğal tür kompozisyonlarının bozulmaya başladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Termofilik tür, subtropikalleşme, Akdenizlileşme, biyolojik homojenizasyon

Giriş

Akdeniz havzasındaki deniz suyu sıcaklığı artışının kıyısız ekosistemleri ve barındırdığı canlı topluluklarının biyolojik karakterlerini hangi süreçler ile ne ölçüde değiştirdiği, günümüze kadar gerçekleştirilen çok sayıdaki bilimsel araştırmaya konu olmuştur. İlgili fenomenin yarattığı etkiler 1950’li yıllardan beri takip edilmekte olup (Bethoux 1990), Akdeniz’in dünya okyanusları için gözlenen su sıcaklığı artışının en az birkaç kat fazlası oranında ısındığı ortaya konulmuştur (Marbà ve diğ. 2015). Küresel iklim değişikliğinin bir sonucu olarak gözlenen ekosistem tepkileri arasında bölgesel tür kompozisyonlarının ve dağılımlarının değişmesi, kitlesel canlı ölümleri, artan yabancı tür istilaları, fizyolojik süreçlerdeki modifikasyonlar ve bazı stenoterm türlerin lokal yok oluşları yer almakta (Lejeune ve diğ. 2010; Albouy ve diğ. 2012; Parravicini ve diğ. 2015) ve hatta içinde bulunduğumuz yüzyıl boyunca çok daha keskin değişimlerin gözlenebileceği öngörülmektedir (Thuiller ve diğ. 2011).

Artan deniz suyu sıcaklıklarının etkilerini takip etmenin farklı temel bilimler alanlarında farklı yöntemleri bulunmakla beraber, biyolojik oşinografi penceresinden tür dağılımlarının ve popülasyonlarının multidisipliner bir metodoloji eşliğinde izlenmesi en pratik yaklaşımlardan birisidir (Francour ve diğ. 1994; Lloret ve diğ. 2015). Yüksek yayılım gösterme potansiyelleri, ekolojik açıdan farklılaşmaları, fiziko-kimyasal değişimlere karşı genel hassasiyetleri,

sıcaklığa duyarlılıkları ve türlerin tanımlanma kolaylığı nedenleriyle deniz balıkları iklim değişkenliğinin etkilerinin araştırılması için mükemmel adaylardır (Wood ve McDonald 1997).

Akdeniz'deki bazı termofilik balıkların dağılımlarını kuzeye doğru genişletmesi, özellikle son 20 yıl içerisinde deniz biyologları tarafından artan bir ilgi görmektedir. Bu fenomen meridiyonalizasyon (=subtropikalizasyon) olarak isimlendirilmekte ve sıcak seven yerli taksonların öncelikle deniz suyunun ısınmasının bir sonucu olarak Akdeniz'in daha soğuk bölgelerine doğru kaymalarını ifade etmektedir (Azzurro ve diğ. 2011). Tipik Akdenizli taksonların Marmara Denizi'nde görülmeye başlaması, bu konuya iyi bir örnek oluşturmaktadır. Küresel iklim değişikliğinin doğrudan ve dolaylı etkilerine bağlı olarak Türkiye'nin deniz ekosistemleri eşzamanlı ilerleyen diğer iki temel süreç de maruz kalmaktadır. Bunlardan Akdenizlileşme fenomeni en belirgin şekilde Karadeniz ekosisteminde gözlenmekte ve Ege ile Akdeniz'in karakteristik türlerinin girişlerine bağlı olarak gelişmektedir. Doğal ekosistem yapısında bozulmaya neden olan son süreç ise tropikalleşme olup, özellikle Kızıldeniz ve İndo-Pasifik kökenli türlerden kaynaklanmaktadır (Çınar ve diğ. 2011).

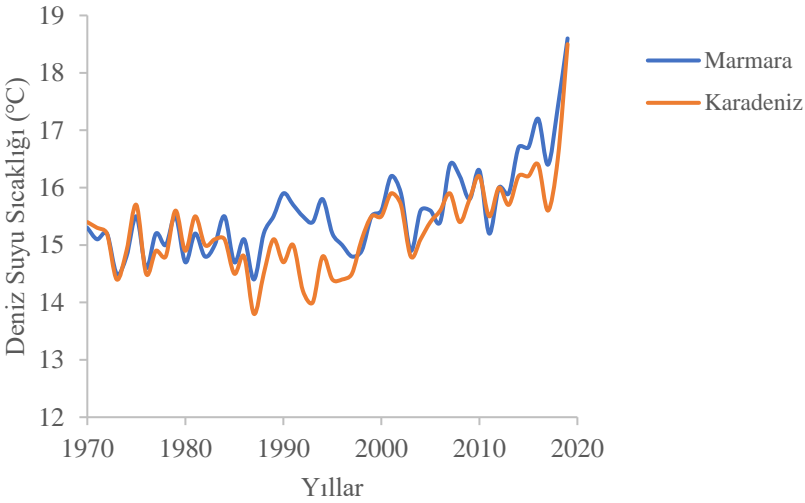
Bu çalışmada Marmara ve Karadeniz ekosistemlerine odaklanılarak, deniz balıkları faunasında deniz suyu sıcaklığı artışının etkileriyle meydana gelen değişimler incelenmiş, özellikle subtropikalleşme ve Akdenizlileşme süreçleri göz önünde tutularak geleceğe yönelik muhtemel faunal senaryolar tartışılmıştır.

Materyal ve Metot

Türkiye deniz balıkları faunasının farklı zaman dilimlerine göre değişimlerini ortaya koyabilmek adına iki temel envanter kullanılmıştır (bkz. Bilecenoğlu ve Taşkavak 1999; Bilecenoğlu ve diğ. 2014 – son 7 yılda verilen yeni kayıtlar ve yeni lokalite verileriyle güncellenmiş versiyon). Mevcut faunal bilgi ile 1999 - 2021 yılları arasında bir karşılaştırma yapma olanağı doğmuş, bu amaçla denizlere göre tür dağılımlarını içeren envanterler varlık/yokluk matrisi halinde değerlendirmeye alınmıştır. Benzerlik analizi için Jaccard indeksi kullanılmış ve BioDiversityPro yazılımı ile hesaplanmıştır (McAleece ve diğ. 1997).

Sonuç ve Tartışma

1970-2019 yıllarına ait ortalama deniz suyu sıcaklıkları verisi Şekil 1'de sunulmuştur (MGM 2021). Onar yıllık süre zarflarında incelendiğinde, 1970-1979 döneminde hem Marmara hem de Karadeniz için yüzey suyu sıcaklığının ortalama 15,1°C olduğu, bu değer 2010-2019 döneminde sırasıyla 16,6°C ve 16,3°C'lere ulaştığı görülmektedir. Özellikle 1980'li yılların sonuna kadar soğuma eğilimindeki sular 1990'lar itibarıyla ısınma ve son 10 yıl itibarıyla aşırı ısınma fazına geçmiş durumdadır.



Şekil 1. Marmara Denizi ve Karadeniz'deki ortalama deniz suyu sıcaklıkları (MGM 2021)

Söz konusu sıcaklık artışı eğilimine bağlı olarak, ilgili denizlerin faunal kompozisyonlarında da değişimler gözlenmiştir. Tipik bir subtropikal köpekbalığı türü olan *Alopias superciliosus* 2007 yılında Silivri açıklarında yakalanmıştır (Kabasakal ve Karhan 2008). Bu bulgu, Marmara Denizi'ndeki 16,4°C'lik sıcaklık ekstremine denk gelmektedir ve mevzubahis tarih itibarıyla termofilik türlerin kaydedilme sıklıkları belirgin şekilde artmıştır. Tropikal bir balon balığının (*Lagocephalus guentheri*) Gelibolu kıyılarında gözlenmesinin ardından (Tuncer ve diğ. 2008), Kızıldeniz ve İndo-Pasifik kökenli diğer yabancı türler (örneğin *Stephanolepis diaspros* – Bilecenoğlu ve Yokeş 2013; *L. sceleratus* – İrmak ve Altınağaç 2015) Marmara Denizi'nde belirmeye başlamış ve özellikle son birkaç yılda yeni kayıt sayısında çok ciddi bir ivme meydana gelmiştir. Akdeniz kıyılarının karakteristik kıyusal balık türleri olan termofilik *Aetomylaeus bovinus* ve *Trachinotus ovatus* türlerinin daha önce hiç gözlenmedikleri Marmara ekosisteminden kaydedilmesi (Bilecenoğlu 2019; Bilecenoğlu ve Öztürk 2019) yine bir sıcaklık ekstremine denk gelmektedir.

Karadeniz faunasındaki değişimler Marmara Denizi'ndeki kadar keskin olmasa da, gerek Atlanto-Akdeniz kökenli yerli türlerin, gerekse Kızıldeniz ve İndo-Pasifik kökenli tropikal türlerin girişlerinde yakın zamanda dikkat çekici artışlar takip edilmektedir. Tıpkı Marmara Denizi'nde olduğu gibi, 2007 yılındaki ani sıcaklık artışıyla birlikte *Gobius cruentatus* türü Karadeniz'de gözlenmiş (Engin ve diğ. 2007) ve zaman içinde tüm havzaya yayılmıştır. Karadeniz'den daha önce hiç kaydı bulunmayan türler envantere eklenmeye devam etmektedir (örneğin *Serranus hepatus* – Dalgıç ve diğ. 2013).

Denizlerimize göre faunal kompozisyondaki benzerlik değişimleri Tablo 1’de sunulmaktadır. Görüleceği gibi Akdeniz ve Ege Denizi arasında çok yüksek bir tür kompozisyonu benzerliği söz konusu olup, 1999 yılında birbirlerine yaklaşık %63 benzeyen Marmara ve Karadeniz ekosistemleri, günümüzde belirgin şekilde artan bir Akdenizleşme etkisi altındadır. Marmara – Akdeniz faunası benzerliği ise, son 20 yılda %17 oranında artmıştır.

Tablo 1. 1999 ve 2021 yıllarına ait Türkiye denizleri ihtiyofaunal benzerlik matrisi (2021 verisi parantez içinde yer almaktadır).

	Akdeniz	Ege	Marmara	Karadeniz
Akdeniz	*	80.1 (80.4)	44.1 (51.6)	28.7 (29.4)
Ege	*	*	51.0 (57.4)	31.9 (31.8)
Marmara	*	*	*	62.9 (54.4)
Karadeniz	*	*	*	*

Ege Denizi’ndeki karakteristik 15°C’lik kış izoterminin giderek kuzeye kayması, pek çok balık türünün aklimatizasyon sürecini başarıyla tamamlayıp artan deniz suyu sıcaklıklarıyla beraber termal dağılım limitleri dahilinde kalan Marmara Denizine yönelmeleri ve hatta buradan Karadeniz’e geçiş yapmaları hali hazırda beklenen ve öngörülen bir gelişmedir (Bilecenoğlu 2016). Her ne kadar termofilik türler yeni katıldıkları ortamlarında kayıt altına alınabiliyor olsa da, izleme çalışmalarının azlığı nedeniyle özellikle stenoterm küçük pelajiklerin popülasyon tepkilerini takip etmekte son derece yetersiz kalmaktadır. İklim değişikliğinin çok boyutlu etkileri bir taraftan birincil üretimi değiştirirken, diğer taraftan yoğun av baskısı altındaki sürü oluşturan küçük pelajik türleri aşırı deniz suyu ısınmasına bağlı olarak çok kırılğan hale getirmektedir (Hidalgo ve diğ. 2018). Jeolojik geçmişleriyle biotaları şekillenen ve her biri kendine has özellikler barındıran denizlerimiz, biyolojik homojenizasyon tehlikesiyle karşı karşıyadır ve çok yakından izlenmelidir.

Kaynakça

- Albouy, C., Guilhaumon, F., Araújo, M.B., Mouillot, D., Leprieur, F. (2012) Combining projected changes in species richness and composition reveals climate change impacts on coastal Mediterranean fish assemblages. *Glob Change Biol* 18: 2995-3003.
- Azzurro, E., Moschella, P., Maynou, F. (2011) Tracking signals of change in Mediterranean fish diversity based on local ecological knowledge. *PLOS ONE* 6: e24885, doi: 10.1371/journal.pone.0024885.

Bethoux, J., Gentili, B., Raunet, J., Tailliez, D. (1990) Warming trend in the western Mediterranean deep water. *Nature* 347: 660-662.

Bilecenoğlu, M. (2016) Demersal Lessepsian fish assemblage structure in the northern Levant and Aegean Seas. *J Black Sea/Medit Environ* 22(1): 46-59.

Bilecenoğlu, M. (2019) First record of *Aetomylaeus bovinus* (Geoffroy St. Hilaire, 1817) (Elasmobranchii: Myliobatidae), from the Sea of Marmara. *J Black Sea/Medit Environ* 25(2): 182-187.

Bilecenoğlu, M., Kaya, M., Cihangir, B., Çiçek, E. (2014) An updated checklist of the marine fishes of Turkey. *Tr J Zool* 38: 901-929.

Bilecenoğlu, M., Öztürk, B. (2019) Occurrence of *Trachinotus ovatus* (Linnaeus, 1758) in the Istanbul Strait, Turkish Straits System. *J Black Sea/Medit Environ* 25(3): 321-324.

Bilecenoğlu, M., Taşkavak, E. (1999) General characteristics of the Turkish marine ichthyofauna. *Zool Middle East* 18(1): 41-56.

Bilecenoğlu, M., Yokeş, M.B. (2013) New Lessepsian fish records from the Aegean and Marmara Seas. In: New Mediterranean marine biodiversity records (December 2013). *Medit Mar Sci* 14(2): 463-480.

Çınar, M.E., Bilecenoğlu, M., Öztürk, B., Katagan, T., Yokeş, M.B., Aysel, V., Dağlı, E., Açıık, S., Özcan, T., Erdoğan, H. (2011) An updated review of alien species on the coasts of Turkey. *Med Mar Sci* 12: 257-316.

Dalgıç, G., Gümüş, A., Zengin, M. (2013) First record of brown comber *Serranus hepatus* (Linnaeus, 1758) for the Black Sea. *Tr J Zool* 37: 523-524.

Engin, S., Turan, D., Kovačić, M. (2007) First record of the red-mouthed goby, *Gobius cruentatus* (Gobiidae), in the Black Sea. *Cybium* 31(1): 87-88.

Francour, P., Boudouresque, C.F., Harmelin, J.G., Harmelin-Vivien, M.L., Quignard, J.P. (1994) Are the Mediterranean waters becoming warmer? Information from biological indicators. *Mar Poll Bull* 28(9): 523-526.

Hidalgo, M., Mihneva, V., Vasconcellos, M., Bernal, M. (2018) Climate change impacts, vulnerabilities and adaptations: Mediterranean and Black Sea marine fisheries. In: Impacts of Climate Change on Fisheries and Aquaculture: Synthesis of Current Knowledge, Adaptation and Mitigation Options (eds., Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L. Funge-Smith, S., Poulain, F.), FAO, Rome, pp.139-157.

Irmak, E., Altınağaç, U. (2015) First record of an invasive Lessepsian migrant, *Lagocephalus sceleratus* (Actinopterygii: Tetraodontiformes: Tetraodontidae), in the Sea of Marmara. *Acta Ichthyol Piscat* 45(4): 433-435.

Kabasakal, H., Karhan, S.Ü. (2008) On the occurrence of the bigeye thresher shark, *Alopias superciliosus* (Chondrichthyes: Alopiidae), in Turkish waters. *Mar Biodiv Rec* 1(e69): 1-3.

Lejeusne, C., Chevaldonné, P., Pergent-Martini, C., Boudouresque, C.F., Pérez, T. (2010) Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. *Trends Ecol Evol* 25: 250-260.

Lloret, J., Sabatés, A., Muñoz, M., Demestre, M. (2015) How a multidisciplinary approach involving ethnoecology, biology and fisheries can help explain the spatio-temporal changes in marine fish abundance resulting from climate change. *Global Ecol Biogeogr* 24(4): 448-461.

Marbà, N., Jordà, G., Agusti, S., Girard, C., Duarte, C.M. (2015) Footprints of climate change on Mediterranean Sea biota. *Front Mar Sci* 56: 1-11.

McAleece, N., Gage, J.D.G., Lamshead, P.J.D., Paterson, G.L.J. (1997) BioDiversity Professional statistics analysis software. Jointly developed by the Scottish Association for Marine Science and the Natural History Museum London.

MGM (2021) Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Deniz suyu sıcaklıkları. Mevcut ardes: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=K> (erişim tarihi 15.01.2021).

Parravicini, V., Mangialajo, L., Mousseau, L., Peirano, A., Morri, C., Montefalcone, M., Francour, P., Kulbicki, M., Bianchi, C.N. (2015) Climate change and warm-water species at the Northwestern boundary of the Mediterranean Sea. *Mar Ecol* 36(4): 897-909.

Thuiller, W., Lavergne, S., Roquet, C., Boulangéat, I., Lafourcade, B., Araujo, M.B. (2011) Consequences of climate change on the tree of life in Europe. *Nature* 470: 531-534.

Tuncer, S., Aslan Cihangir, H., Bilecenoğlu, M. (2008) First record of the Lessepsian migrant *Lagocephalus spadiceus* (Tetraodontidae) in the Sea of Marmara. *Cybiu* 32(4): 347-348.

Wood, C.M., McDonald, D.G. (eds.) (1997) Global warming: implications for freshwater and marine fish. Cambridge University Press, Cambridge.

İklim Değişikliği ve Deniz Memelilerine Etkisi

Arda M. TONAY^{1,2*}, Beril GÜL³

¹ İstanbul Üniversitesi, Su Bilimleri Fakültesi, Deniz Biyolojisi Anabilim Dalı, İstanbul

² Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV), Beykoz, İstanbul, Türkiye

³ İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Biyolojisi Yüksek Lisans Prog.

* atonay@istanbul.edu.tr

Özet

Küresel iklim değişikliğinin, dünya okyanuslarının asiditesini artırdığı, verimliliğini ve deniz buzu örtüsü azalttığı, daha yüksek deniz seviyelerine, biyoçeşitlilik ve ekosistemde kayıplara neden olduğu bilinmektedir. İklim değişikliğinin deniz memelileri üzerindeki etkisi ise doğrudan olabileceği gibi, daha çok dolaylı yollardan gerçekleşmektedir. Ekosistem sağlığının koruyucuları ve iklim değişikliğinin göstergelerinden biri olan deniz memelileri üzerine uzun süreli çalışmalara ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: Deniz memelileri, Cetacea, yunus, balina, yüzgeçayaklılar

Giriş

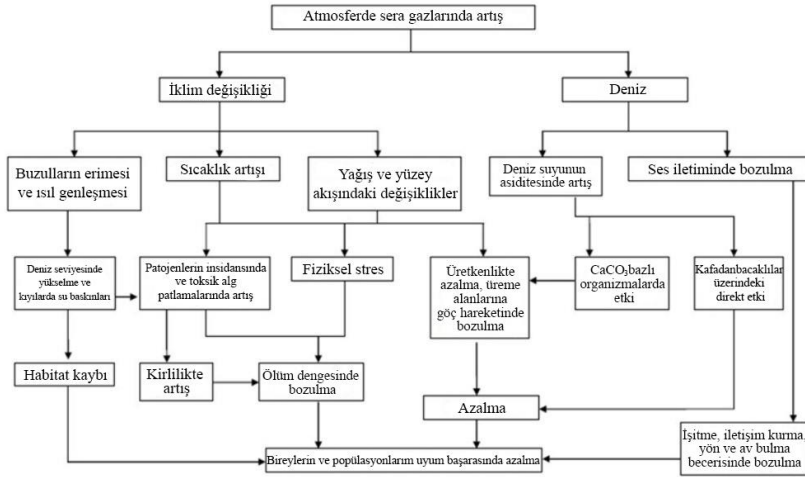
Dünya deniz ve tatlısularında Cetacea (90), Sirenia (4) ve Carnivora (36) takımlarına ait olmak üzere toplam 130 memeli türü yaşamaktadır (Committee on Taxonomy 2020). Balina ve yunusları kapsayan Setase (Cetacea) takımı ise dişsizler (Mysticeti) ve dişliler (Odontoceti) olarak iki alt takımda incelenmektedir. Akdeniz ve Karadeniz sularında 14'ü yerleşik, 3'ü ziyaretçi, 8'i geçit türü, 2'si yabancı olmak üzere toplam 27 Setase ve 1 Yüzgeçayaklı tür ve alttürü vardır (Notarbartolo di Sciara ve Birkun 2010).

İklim değişikliğinin deniz memelileri üzerindeki etkisi net veriler elde etmenin zorluğu nedeniyle tam olarak anlaşılammıştır (Evans ve Bjørge 2013). Bu etkiler lokal, bölgesel veya geniş ölçekte olabilir. Ayrıca bunlar; fiziksel ortamın ve habitatın değişmesi gibi doğrudan olabileceği gibi, av/avcı dinamikleri, dağılım, göç ve topluluk yapılarındaki değişiklikler, biotoksinlere ve hastalıklara maruz kalma oranında artış gibi dolaylı yollardan gerçekleşebilmektedir (Learmonth ve diğ. 2006; Moore 2009) (Şekil 1). Sonuçta, bunların deniz memelilerinin üreme başarısını ve hayatta kalmasını etkileyecek ve dolayısıyla popülasyonlar için sonuçları olacaktır (Learmonth ve diğ. 2006).

İklim değişikliğinin etkileri

Bazı deniz memelileri türlerine, iklim değişikliği daha derin bir şekilde etki etmektedir ve edecektir. Örneğin; Grönland balinası (*Balaena mysticetus*), kutup ayısı (*Ursus maritimus*) ve doğum yapmak veya üremek gibi sebeplerden buza bağlı yaşam sürdüren fok türlerinin dağılımına şimdiden etki etmiştir (Derocher ve diğ. 2004). Grönland balinası, narval (*Monodon monoceros*) ve özellikle buzul

kenarına yakın beslenen beyaz balinaların (*Delphinapterus leucas*), Kuzey Kutbu'ndaki azalan buzullardan etkileneceği düşünülmektedir. Küresel ısınma, Antarktika'daki buz kütlelerinin boyutunu azaltabilir ve böylece kril dağılımını ve bolluğunu etkileyebilir (Moore 2009). Bu beslenme ile ilgili değişen durum neticesinde tercih edilen besin yerine alternatiflere geçiş yapamayan memeliler sorun yaşayabilir. Deniz buzu, krillerin larval ve yavru dönemlerinde kışı geçirmek için hem bir sığınak hem de alt yüzeyinde algler olduğu için bir beslenme ortamı sağlar. Ayrıca, kutup bölgeleri buzulların geri çekilmesi ile özellikle gemicilik sektörü için ulaşılabilir hale gelmektedir ve böylece bölgedeki gürültü kirliliği gibi antropojenik ek etkilere sebep olmaktadır (Merrick ve diğ. 2009). Bununla birlikte özellikle derin dalış yapan birçok deniz memelisinin diyetinde önemli bir yeri olan kalamarların, okyanusların asidifikasyonu yüzünden negatif yönde etkileneceği düşünülmektedir (Simmonds ve diğ. 2012).



Şekil 1. İklim değişikliğinin setaselere potansiyel etkileri (Simmonds ve diğ. 2012' den değiştirilmiştir)

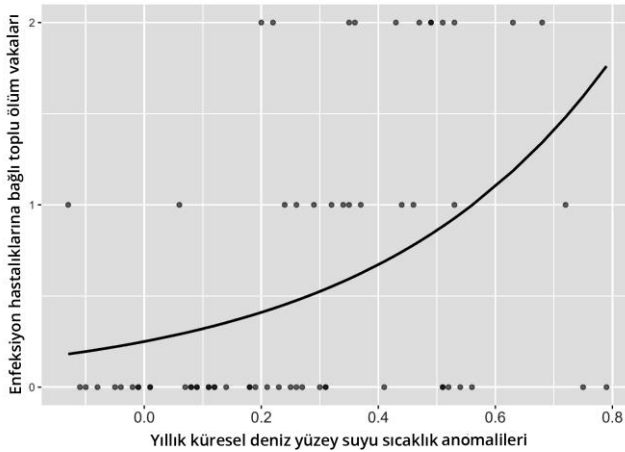
Birçok dişli setase türünün dağılımlarında kaymalar gözlemlenebilir; gelecekte en çok etkilenecek olan mutur (*Phocoena phocoena*) ve beyaz gagalı yunus (*Lagenorhynchus albirostris*) gibi nispeten dar habitat gereksinimlerine sahip olan türler olacaktır (Evans ve Bjørge 2013). Hareketli olmaları ve vücut ısılarını düzenleyebilme becerilerinden dolayı çoğu deniz memelisi, sıcaklık artışının doğrudan etkilerine maruz kalmaz. Ancak bazı popülasyonların yaşam alanları kısıtlı olabilir veya çevresel değişiklikler ışığında dağılım alanlarını değiştirmelerine ve göç etmelerine engel olan fiziksel sınırlar olabilir. Bu tür durumlarda doğrudan etki gözlemlenebilir. Kutup bölgesinde yaşayan beyaz balina ise düşük cilt pigmentasyonu ve atmosferik ozon tabakasının incelmeye göz önüne alındığında, artan UV-B radyasyonunun doğrudan etkilerine maruz kalabilir (Fiedler 2009). Albouy ve diğ. (2020) yaptıkları çalışmada, 21. yüzyılın ortası ve sonu için yüksek ve düşük sera gazı emisyonu senaryolarını kurgulayarak, tüm

deniz memelilerinin küresel ısınmaya karşı savunmasızlığını değerlendirmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda Kuzey Pasifik Okyanusu, Grönland Denizi ve Barents Denizi'nde yaşayan türlerin, (Kuzey Pasifik doğru balinası - *Eubalaena japonica*, Dugong- *Dugong dugon* gibi) türlerin küresel ısınmaya karşı en savunmasız türler olduğu sonucuna varılmıştır. İklim değişikliği sonucunda, oluşabilecek tür kaybının ötesinde, küresel ısınmaya karşı en savunmasız olan deniz memelilerinin potansiyel yok oluşlarının, dünya çapındaki deniz ekosistemlerinin gelecekteki işleyişi üzerinde derin etkileri olabileceği ortaya konulmuştur.

Bununla birlikte, deniz yüzeyinin yükselmesi; kıyılarda yaşayan fok ve deniz aslanlarını habitat kaybı yaratarak etkileyeceği düşünülmektedir; örneğin; Hawai keşiş fok (*Neomonachus schauinslandi*), kıyılarımızda yaşayan Akdeniz fok (*Monachus monachus*) gibi. Ayrıca fırtınalar nedeni ile yavru yüzgeçayaklıların hayatta kalmalarının zorlaşacağı ve sireniaların beslenme sıkıntısı çekecekleri tahmin edilmektedir (Moore 2009).

Hastalıklar

Bulaşıcı hastalıkların artışı ve kitlesel ölümler ile sonuçlanma sebepleri karasal sistemlerde geniş çaplı incelense de denizel ortamlar için aynı durum söylenemez. Sanderson ve Alexander'ın (2020) 1955-2018 yılları arasındaki kayıtları derledikleri çalışmada; deniz memelilerinde enfeksiyon hastalıklarına bağlı olarak görülen toplu ölüm vakalarındaki artışı incelemişlerdir. Toplam 129 vaka üzerinde çalışılmış ve yıllık global deniz yüzey suyu sıcaklığı anormallikleri ile hastalıklardan kaynaklı ölümlerin artışı arasında pozitif bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Enfeksiyon hastalıklarına bağlı toplu ölüm vakalarının (ID MMEs), deniz yüzey suyu sıcaklığı anomalilerine (1955-2018) göre ilişkisi (Sanderson ve Alexander 2020'den değiştirilmiştir)

Duignan ve diğ. (2020) tarafından yapılan bir çalışmada ise iklim değişikliğinin dolaylı etkilerinden kaynaklı Avustralya'daki farklı zamanda gerçekleşen iki ölüm vakasıyla sonuçlanan "tatlı su deri hastalığı" incelenmiştir. Burrunan yunusu (*Tursiops australis*) ve Indo-pasifik afalinası (*Tursiops aduncus*) türlerini etkileyen bu iki vakanın ortak özellikleri; yağış ve sel nedeni ile tuzlulukta ani ve belirgin azalma, hafta ve aylarca hiposalin deniz koşulları ve vücudun %70'ini kaplayan yaralardır. Bu hastalık dünya çapında kıyı deniz memelilerinde ortaya çıkan klinik ve patolojik bir durumdur.

Tartışma ve Sonuç

Günümüze kadar yapılan çalışmalar göz önüne alındığında, iklim değişikliğinin Dünya'nın biyolojik çeşitliliğini güçlü bir şekilde etkilediğine dair şüphe kalmadığı görülmektedir. İklim değişikliğinin denizel ekosistemleri ne derece etkilediğine dair bir sonuca varmak ise oldukça zordur. Lejeusne ve diğ. (2010) minyatür bir okyanus olarak kabul edilen Akdeniz'in bu konu hakkında bize bazı cevaplar verebileceğini düşünmektedir. Çünkü kıyılarından ve derinliklerinden elde edilen verilerin, Akdeniz'in su sıcaklığının giderek arttığını, aşırı iklim olaylarının ve ilgili hastalıkların daha sık gözlenir olduğunu, faunanın değiştiğini bununla birlikte istilacı türlerin yayıldığını göstermiştir. ACCOBAMS-WWC (2014)'ın, iklim değişikliğinin Akdeniz ve Karadeniz'deki setaseler üzerindeki etkilerini inceleyen raporunda, deniz memelilerinin iklim değişikliğinden olumsuz etkilenebileceği ve habitat bozulması, kimyasal ve gürültü kirliliği, tesadüfi ağa yakalanma, askeri gemi trafiği, gemi çarpışmaları, askeri tatbikatlar gibi birçok başka tehditle karşı karşıya olduğu belirtilmiştir. Raporda gelecekte yapılması önerilen bilimsel çalışmalar ve karar vericilere tavsiyeler ele alınmıştır. İklim değişikliğinin Karadeniz'de yaşayan setaseler üzerindeki olası etkileri, sıcaklık değişiklikleriyle ortaya çıkan fizyolojik değişiklikler yoluyla doğrudan veya alt trofik besin zinciri kaynağındaki değişiklikler nedeniyle dolaylı yoldan olabilir. Doğrusal olmayan Karadeniz ekosisteminde, iklim değişikliği etkileri diğer çevresel etkilerden izole edilemez olduğu görülmektedir. Mevcut veriler, diğer çevresel stres faktörlerinin (ötrofikasyon, fırsatçı türler ve jelatinimsi organizmalar yüzünden besin ağının bozulması ve aşırı avcılık, vb.) kombinasyonunda iklime bağlı değişkenliğin (çoğunlukla Kuzey Atlantik Salınımları nedeniyle) setase popülasyonları üzerinde negatif etki oluşturmaya devam ettiğini göstermektedir (ACCOBAMS-WWC 2014).

Ekosistem sağlığının koruyucuları ve iklim değişikliğinin göstergelerinden biri olan deniz memelileri üzerine yapılacak olan yeni çalışmalar ve bu çalışmaların sürekliliği gerekmektedir.

Kaynakça

ACCOBAMS-WWC. (2014) Workshop on Climate Change. Report of the ACCOBAMS expert workshop on the impact of climate change on cetaceans of the Mediterranean and Black Sea, Monaco, 11th June 2014.

Albouy, C., Delattre, V., Donati, G., Frölicher, T.L., Albouy-Boyer, S., Rufino, M., Pellissier, L., Mouillot, D., Leprieur, F. (2020) Global vulnerability of marine mammals to global warming. *Scientific Reports* 10(1): 1-12.

Committee on Taxonomy. (2020) List of marine mammal species and subspecies. Society for Marine Mammalogy, www.marinemammalscience.org

Derocher, A.E., Lunn, N.J., Stirling, I. (2004) Polar bears in a warming climate. *Integrative and Comparative Biology* 44(2): 163-176.

Duignan, P.J., Stephens, N.S., Robb, K. (2020) Fresh water skin disease in dolphins: a case definition based on pathology and environmental factors in Australia. *Scientific Reports* 10(1): 1-17.

Evans, P.G., Bjørge, A. (2013) Impacts of climate change on marine mammals. *MCCIP: Science Review* 2013: 134-148.

Fiedler, P.C. (2009) The Ocean Environment. In: *Encyclopedia of Marine Mammals*, (eds., Würsig, B., Perrin, W.F., Thewissen, J.G.M). Academic Press. pp. 792-797.

Learmonth, J.A., MacLeod, C.D., Santos, M.B., Pierce, G.J., Crick, H.Q.P., Robinson, R.A. (2006) Potential effects of climate change on marine mammals. *Oceanography and Marine Biology* 44: 431-464.

Lejeusne, C., Chevaldonné, P., Pergent-Martini, C., Boudouresque, C.F., Pérez, T. (2010) Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. *Trends in Ecology & Evolution* 25(4): 250-260.

Merrick, R., Silber, G.K., Demaster, D.P., Reynolds, J.E. III (2009) Endangered Species and Populations. In: *Encyclopedia of Marine Mammals*, (eds., Würsig, B., Perrin, W.F., Thewissen, J.G.M). Academic Press. pp. 368-375.

Moore, S.E. (2009) Climate Change. In: *Encyclopedia of Marine Mammals* (eds., Würsig, B., Perrin, W.F., Thewissen, J.G.M), Academic Press, USA. pp. 238-241.

Notarbartolo di Sciara, G., Bitkun, A., Jr. (2010) Conserving whales, dolphins and porpoises in the Mediterranean and Black Seas: an ACCOBAMS status report, 2010. ACCOBAMS, Monaco. 212 p.

Sanderson, C.E., Alexander, K.A. (2020) Unchartered waters: Climate change likely to intensify infectious disease outbreaks causing mass mortality events in marine mammals. *Global Change Biology* 26(8): 4284-4301.

Simmonds, M.P., Gambaiani, D., Notarbartolo di Sciara, G. (2012) Climate change effects on Mediterranean Cetaceans: Time for action. In: *Life in the Mediterranean Sea: a look at Climate Change* (ed., Stambler, N.), Nova Science Publishers, Inc. pp 685-701.

Deniz Kaplumbağaları Koruma Çalışmalarını İklim Değişikliği Nasıl Değiştirecek?

Yakup KASKA

Pamukkale Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Denizli, Türkiye.
Deniz Kaplumbağaları Araştırma, Kurtarma ve Rehabilitasyon Merkezi (DEKAMER),
Dalyan, Muğla, Türkiye
dekamer.org.tr, caretta@pau.edu.tr

Özet

Türkiye’de yapılan deniz kaplumbağa koruma ve izleme çalışmaları yanında küresel iklim değişikliklerinin deniz kaplumbağalarının cinsiyetlerini nasıl etkileyeceği tartışılmıştır. Deniz suyu sıcaklıklarının artması yuvalama sezonun erken başlamasına yol açarken, aşırı deniz suyu soğuması, deniz kaplumbağalarının soğuktan şoka girerek durgunlaşmasına ve ölümlerine yol açabilecek çeşitli sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Deniz seviyesi yükselmesi sonucu bazı kumsalların sular altında kalması veya yeni kumsalların ortaya çıkması gibi durumlar da ortaya çıkabilecektir. Esas deniz kaplumbağalarının etkileneceği durum ise Sıcaklığa bağlı cinsiyet değişimi gösteren türler olarak çıkan yavruların tamamının dişi olarak yumurtadan çıkmasına sebep olabileceği gibi aşırı sıcaklık artışı sonucunda embriyonun gelişiminin mümkün olmaması da olasıdır. Deniz kaplumbağalarının yeni yuvalama alanları seçmeye başlamaları da küresel iklim değişikliğinin bir sonucu olarak ortaya çıkabilecek ve özellikle Ege bölgesindeki kumsallarda yeni yuvalar tespit edilmeye başlanmış olup, bunların da takip edilmesi türün korunması bakımından büyük önem arz etmektedir. Gerek bu yeni kumsalların ve gerekse sular altında kalma riski olan yuvaların yerlerinin değiştirilerek korunması veya kuluçkalıklara taşınması da yine koruma çalışmalarında tercih edilecek yöntemler arasında bulunmaktadır. Yuvalardan çıkacak yavruların yavru çıkış başarılarının izlenmesi, döllenmemiş yumurta oranları ve özellikle denizdeki dağılımları da koruma çalışmalarında önem kazanacak verileri içerecektir. Atlantik’ten Akdeniz’e göç ederek yuva yapmaya başlayan deniz kaplumbağalarının küresel iklim değişikliklerine uyum sağlayarak, yuvalama sezonu değişikliği, yuvalama sıklığı değişikliği, yuva başına yumurta sayısı değişikliği yanında, yuvalama yerini seçme gibi davranışlarında da adaptasyonlar gözlenebilecektir. Özellikle Türkiye’de yapılan son 40 yıllık araştırmalar sonucunda popülasyonda artışlar görülmeye başlanmış olup, koruma çalışmalarımızın başarılı olduğunun en önemli ispatıdır. Benzer koruma çalışmalarının ve detaylı bilimsel çalışmaların aynı şekilde devam ettirilmesi türlerin ülkemiz kumsallarında üremeye devam etmesi ve denizlerimizde beslenmesi ve kışlaması da önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Caretta caretta*, *Chelonia mydas*, küresel ısınma, cinsiyet oranı, yuva taşıma, rehabilitasyon

Giriş

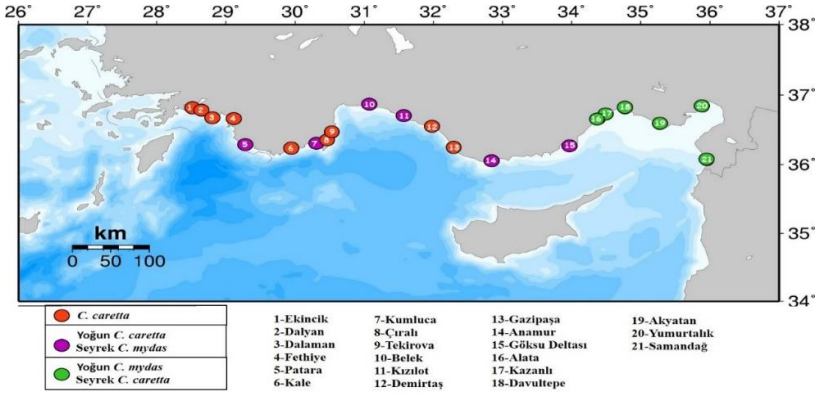
Kaplumbağalar, dünyadaki omurgalı grupları arasında en fazla nesli tehdit altında olanlardandır (Lovich ve diğ. 2018). Günümüzde yedi tür deniz kaplumbağası bulunmaktadır. Bunlar *Dermochelys coriacea* (Vandelli 1761), *Chelonia mydas*

(Linnaeus 1758), *Caretta caretta* (Linnaeus 1758), *Eretmochelys imbricata* (Linnaeus 1766), *Lepidochelys olivacea* (Eschscholtz 1829), *Lepidochelys kempii* (Garman 1880) ve *Natator depressus* (Garman 1880)'dur (Lutz ve Musick 1997). Dünyanın tüm tropik ve subtropik bölgelerinde yayılım gösteren çoğu deniz kaplumbağası popülasyonunda üremeye katılan birey sayısı binlerle ifade edilmektedir. *Chelonia agassizi* (Siyah deniz kaplumbağası) ise *Chelonia mydas*'ın bir alttürü olarak kabul görse de bazı kaynaklarda ayrı tür olarak kabul edilmekte ve dolayısıyla tür sayısı 8 olarak da verilmektedir.

Günümüze kadar Akdeniz'de beş tür deniz kaplumbağası kaydedilmiştir (Başoğlu 1973; Groombridge 1990; Türkozan ve Kaska 2010). *Caretta caretta* (İribaş deniz kaplumbağası-Loggerhead turtle), *Chelonia mydas* (Yeşil kaplumbağa-Green turtle), *Dermochelys coriacea* (Deri kabuklu deniz kaplumbağası-Leatherback), *Lepidochelys kempi* (Gündüz yuvalayan kaplumbağa-Kemp's Ridley) ve *Eretmochelys imbricata* (Atmaca gagalı kaplumbağa-Hawksbill turtle) Akdeniz'de mevcut olup bunlardan da sadece iki tür (*Caretta caretta* ve *Chelonia mydas*) Akdeniz'deki kumsallarda yuva yapmaktadır.

Bu iki türün tüm Akdeniz'de, iribaş deniz kaplumbağası için 15.843 (6.915-31.958), yeşil deniz kaplumbağası için 3.390 (1.894-6552) ergin birey sayılarının olduğu tahmin edilmektedir (Casale ve Heppell 2016). Popülasyondaki azalmanın nedenleri; balıkçılık araçlarına takılma, deniz aracı çarpmaları denizdeki atıklara takılma ve plastik yenmesi, yuvalama kumsallarının tahrip edilmesi ve küresel iklim değişikliği şeklinde sıralanabilir (Casale ve Margaritoulis 2010). Başkale ve diğ. (2018), ülkemizde son yıllarda bu tehditlerin halen devam ettiğini ve her yıl denizde ölen kaplumbağaların neredeyse Fethiye kumsallarından popülasyona katılan birey sayısı kadar olduğunu bildirmiştir.

Türkiye'de bu iki deniz kaplumbağası için ilk yuvalama kayıtları Hathaway tarafından 1972 yılında yayımlanmıştır. Ancak kaplumbağalar ile ilgili çalışmalar özellikle 1988 yılından sonra artmıştır. Baran ve Kasperek (1989) Türkiye'de Kuşadası ile Samandağ arasında kalan 2.456 km kıyı şeridinde deniz kaplumbağalarının yuvalama faaliyetlerini araştırdılar ve batıdan doğuya doğru yuvalama alanı olarak adlandırılan 17 önemli kumsalı belirlediler; Ekincik, Dalyan, Dalaman, Fethiye, Patara, Kumluca, Kale, Tekirova, Belek, Kızılot, Demirtaş, Gazipaşa, Anamur, Göksu Delta, Kazanlı, Akyatan ve Samandağ. Daha sonra, 2010 yılında Türkiye'de 20 yuvalama alanı rapor edilmiştir (Türkozan ve Kaska 2010). Son olarak Davultepe 100. Yıl Kumsalı'nın ve ODTÜ-Erdemli Kumsalı'nın yapılan incelemeler sonucu yuvalama kumsalı olarak kabul edilmesi ile yuvalama kumsalları sayısı 22'e ulaşmıştır. Elde detaylı verilerin olduğu kumsallar için yuva yoğunluklarının da yer aldığı harita verilmiştir (Şekil 1). Ancak şunu söylememiz gerekir ki Akdeniz boyunca tüm Türkiye kumsallarında deniz kaplumbağası yuvalaması görmek olasıdır ve son yıllarda Ege sahillerinde de yuvalar tespit edilmektedir.



Şekil 1. Türkiye'deki deniz kaplumbağaları yuvalama kumsalları

Yakın zamana kadar “Tehlikede (EN)” statüsünde olan *Caretta caretta*’nın durumu, son yapılan güncellemeyle “Duyarlı (VU)” statüsüne değiştirilmiştir ve türün Akdeniz popülasyonu ise “LC-Düşük Riskli” olarak ilan edilmiştir (Casale 2015). Bu değerlendirme, uzun yıllar boyunca izlenen ve basılı verisi olan yuvalama kumsallarındaki iyileşme baz alınarak yapılmış, bununla birlikte değerlendirmede türün halen “korumaya bağımlı” tür olduğunun altı çizilmiştir. *Chelonia mydas* ise küresel olarak “Tehlikede (EN)” kategorisinde iken Akdeniz popülasyonunun değerlendirme çalışmaları henüz sonuçlandırılmamıştır.

Deniz kaplumbağalarını korumak için birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerin çoğu, olması gerektiği gibi, kaplumbağaların veya yaşadıkları habitatların zarar görmemesi üzerine yapılan düzenlemeleri içermektedir. Yaralı bir deniz kaplumbağasının tedavisi, özellikle bu üreme yeteneğine ulaşmış, popülasyon için gerçek önem arz eden bir bireyse kurtarılması, çok önemlidir. Çünkü deniz kaplumbağalarının erginleşmesi yaklaşık 25 yıl sürer ve bu süreçte sağ kalım oranları %01-03 gibi çok düşük oranlardadır. Örneğin Akdeniz iribaş deniz kaplumbağası için erginliğe ulaşma yaşının 21 ila 34 yıl arasında olduğu tahmin edilmektedir (Casale ve Heppell 2016). Bu amaçla dünyanın farklı yerlerinde, yaralı ve hasta deniz kaplumbağalarını kurtarmak, tedavi ve rehabilite ederek tekrar doğaya kazandırmak amacıyla kurtarma ve rehabilitasyon merkezleri kurulmuştur. Deniz Kaplumbağaları Araştırma Kurtarma ve Rehabilitasyon Merkezi (DEKAMER) yaralı deniz kaplumbağalarının tedavi ve rehabilitasyonunu yaparken aynı zamanda kumsallarda izleme, koruma ve bilimsel araştırmalar yapmaya da devam etmektedir.

Materyal ve Metot

Deniz kaplumbağalarının koruma ve izleme çalışmaları çeşitli kumsallarda farklı akademik ve gönüllü kuruluşlar tarafından 1988 yılından bu yana farklı kumsallarda yürütülmektedir. Koruma ve izleme çalışmaları Bilim Komisyonu tavsiyeleri doğrultusundan hemen hemen standart hale getirilmiştir.

Bu koruma ve izleme çalışmaları yanında çeşitli akademik çalışmalar da paralel bir şekilde yürütülmektedir. Bu çalışmaların başında yuvaların sıcaklıklarının kaydı yapılarak, ölü yavrularının gonad histolojisine bakılarak cinsiyet oranları tahmin edilmektedir (Kaska ve diğ. 1998 gibi).

DEKAMER'in yürüttüğü çalışmalar kapsamında üretilen bilimsel yayınlar aynı zamanda ülkemizdeki deniz kaplumbağaları hakkında birçok önemli bilgiyi de ortaya çıkarmıştır. Deniz kaplumbağaları yaralanmaları ve kıyıya vurma vakaları (Kaska ve diğ. 2011), yuvalama kumsallarında görülen sorunlar ve deniz kaplumbağalarının denizde karşılaştıkları tehditler (Başkale ve diğ. 2018), genç ve ergin deniz kaplumbağalarının Türkiye sularında yaşadığı alanlar hakkında bilgiler (Başkale ve diğ. 2018), sağlıklı ve yaralı kaplumbağaların sağlık parametrelerine ilişkin referans aralıkları (Sözbilen ve Kaska 2018), küresel ısınmanın deniz kaplumbağası yavrularının cinsiyet oranlarına etkileri (Sarı ve Kaska 2015), deniz kaplumbağası genetik çeşitliliği ve çoklu babalık üzerinden denizdeki ergin popülasyonları hakkında bilgiler (Sarı ve diğ. 2017) gibi çok farklı alanlarda çalışmaların sonuçları yayınlanmıştır.

Bulgular

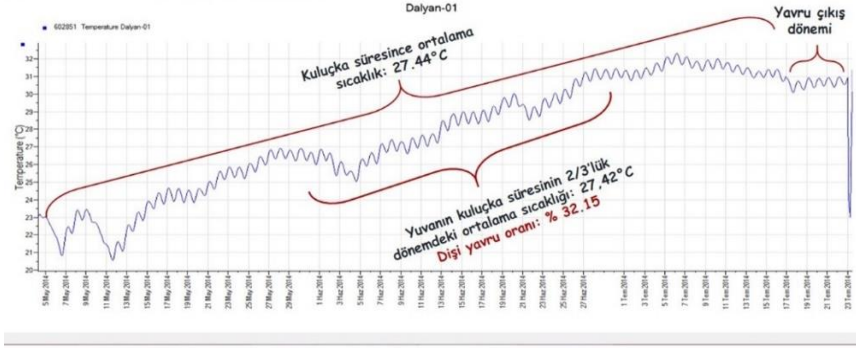
Kumsalda yuva sıcaklığı kaydı yapılarak cinsiyet oranlarının tahmin edilmesi

Yuva içerisine yumurtlama veya taşıma esnasında elektronik sıcaklık kaydediciler bırakılarak her saat veya belirlenen sıklıkta sıcaklık verileri elde edilmektedir. Bu sıcaklık kuluçkanın ortadaki 1/3'lük bölümünün analizi ile tahmin edilebilmektedir. Hem yuva sıcaklıklarına hem de yuvalardan örneklenen yavruların gonadlarına bakılarak elde edilen verilerle bir formül geliştirilmiştir (Şekil 2).

Bu ve benzer çalışmalar sayesinde; Dalyan, Dalaman, Fethiye, Patara, Çıralı, Kızılot, Anamur, Göksu, Kazanlı, Yumurtalık ve Samandağ kumsallarında cinsiyet oranları tahmini yapılarak yayınlanmıştır. Genel olarak dişi ağırlıklı bir popülasyon çıkmaktadır (Kaska ve diğ. 1998, 2006; Öz ve diğ. 2004; Uçar ve diğ. 2012; Yalçın-Özdilek ve diğ. 2016).

Genel olarak sezon başında (Mayıs) yapılan yuvalardan daha çok erkek birey yada dengeli bir oranda yavrular çıkarken, sezon ilerledikçe yuva sıcaklıklarının artmasıyla dişi ağırlıklı bir oran çıkmakta hatta bazı yuvaların tamamından dişi bireyler çıkmaktadır (Sarı ve Kaska 2015). Bu şekilde bir sezona ait tahminler yıllar arasında ve kumsallar arasında da farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar, örnek sayısıyla değişebileceği gibi, yakın yıllar arasında da cinsiyet oranı farklılıkları olduğu açıkça görülmektedir. Bu nedenle hem kumsallardan çıkan yavru cinsiyet oranları hem döllenen yumurta sayıları hem de denizdeki erkek ve çoklu babalık çalışmaları yapılmalıdır. Nitekim Dalyan kumsalında

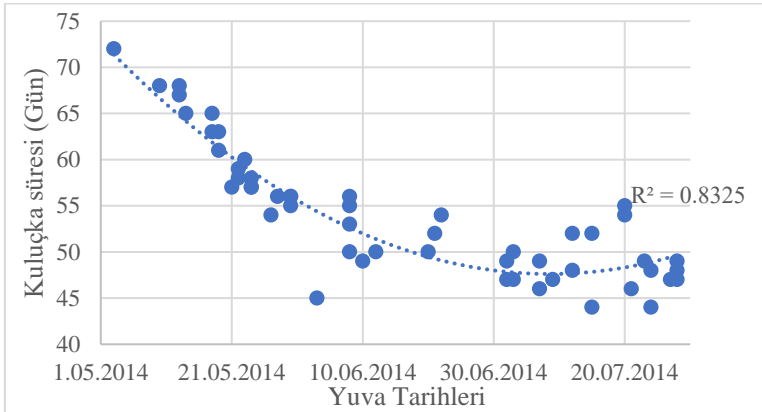
yapılan çoklu babalık çalışmasında da bir anneye ait yuvalarda 4 farklı erkek birey tarafından döllenmiş yumurtaların olduğu bulunmuştur (Sarı ve diğ. 2017).



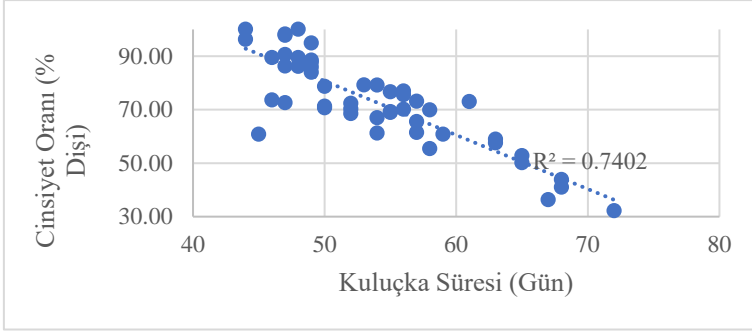
Ortalama Sıcaklık (2/3 Kuluçka Süresinin)=0,0714*%Dişi Oranı+25,125 (Kaska ve diğ. 1998)

Şekil 2. Sıcaklık kaydedicilerden elde edilen sıcaklık verilerinin incelenmesi ve yuvadaki yavruların cinsiyet oranlarının tahmin edilmesi.

Sezon başında yapılan yuvaların sıcaklıkları daha düşük olduğu için embriyonik gelişim de yavaş olmakta ve bu nedenle kuluçka süresi de daha uzun olmaktadır. Bu şekilde örneğin 2014 yılı yuvalarından sezon başında sıcaklıkların düşük olması nedeniyle kuluçka süresi 72 gün olurken, sezon ilerledikçe bu süre 44 güne kadar kısalmıştır (Şekil 3). Genel olarak 1°C değişim kuluçkada 4 gün ile kendisini göstermektedir. Kuluçka süresi 44-45 gün olan yuvaların sıcaklıkları 32°C civarında olmakta ve yuvalardan neredeyse tamamı dişi yavru bireyler çıkmaktadır. Kuluçka süresi 70 gün civarı olan yuvanın sıcaklığı 27°C civarında olmakta ve %30 oranında dişi yavru çıkarken %70 oranında erkek yavruların çıktığı tahmin edilmektedir (Şekil 4).



Şekil 3. Dalyan Kumsalı 2014 yuva verilerinde, kuluçka süresinin zamansal değişimi



Şekil 4. Dalyan Kumsalı 2014 yuva verilerinde, kuluçka süresi ile cinsiyet oranı arasındaki ilişki.

Kuluçka süresi esnasında sıcaklığın yüksek olması embriyonik gelişimi hızlandırdığından dolayı yuva sıcaklığının yüksek olması kuluçka süresinin kısalmasına dolayısıyla o yuvadan çıkan yavruların dişi ağırlıklı olmasına neden olmaktadır.

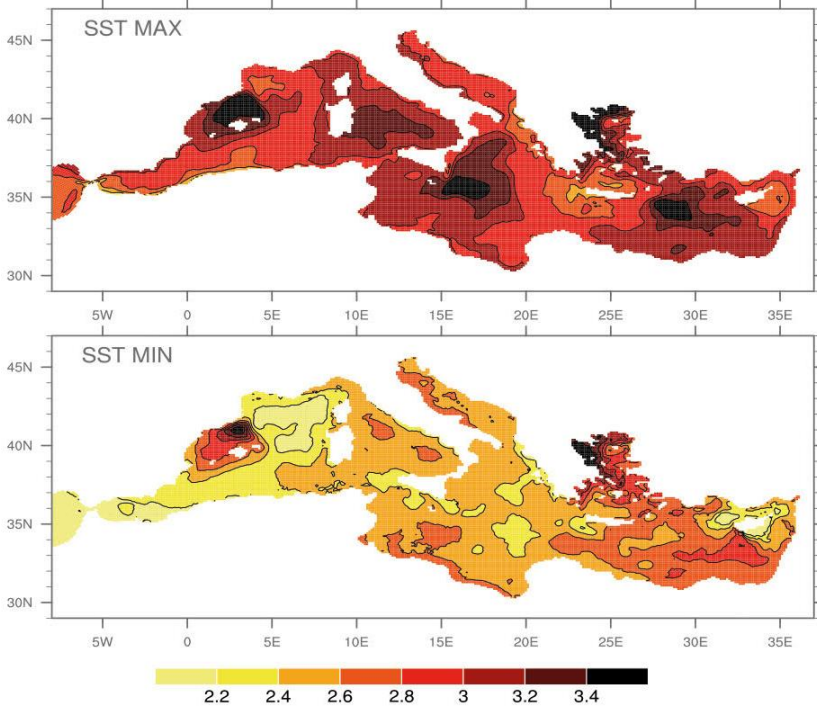
Denize yakın yuvaların daha güvenli bölgelere taşınması

Yumurtalarda embriyonik gelişim ilerleyerek amniyon kesesinin yumurta kabuğuna tutunduğu 24 saat sonunda gözlenmiştir (Kaska ve Downie 1999). Bu nedenle bu süre içerisinde yumurtalar anne kaplumbağa tarafından su altında kalma riski taşıyorsa daha uygun yerlere veya toplu olarak kulukalıklara taşınabilmektedir (Başkale ve Kaska 2005; Sarı ve Kaska 2017). Seçilen alanın eğimi ve denize olan uzaklığı bakımından herhangi bir su baskınına maruz kalmayacak, doğal cinsiyet oranını verecek ve tek cinsiyette yavru üretmeyecek bir bölgede olmasına dikkat edilmelidir (Başkale ve Kaska 2005).

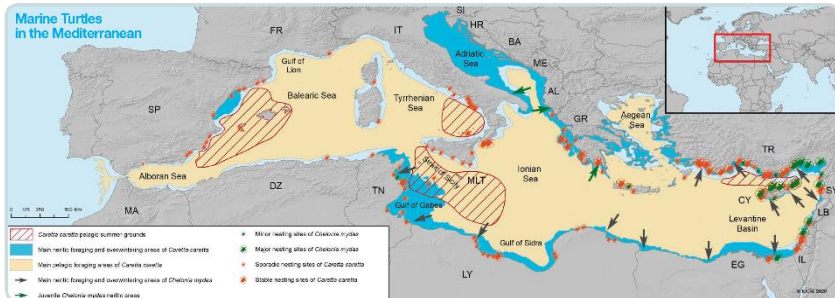
Yuvalama davranışlarında, yuva sıcaklıklarında ve embriyonik gelişimde de deniz suyu sıcaklıklarının etkisi olduğu gösterilmiştir (Girondot ve Kaska 2015). Bu çerçevede özellikle Akdeniz bölgesinin batısının doğusuna göre biraz daha serin deniz suyuna sahip olması da hem yuvaların kuluçka süresinde farklılıklara hem cinsiyet oranlarında değişimlere hem de deniz içindeki dağılımlarında farklılıklara yol açacaktır. Akdeniz’de deniz suyu sıcaklıkları genel olarak artış göstermektedir ve 2100 yılına kadar bu artışın 1,8°C ile 3,5°C arasında olması beklenmektedir (Adloff ve diğ. 2015). Bu deniz suyu sıcaklık artışlarının hangi bölgelerde en az ve en fazla olacağı Şekil 5’de verilmiştir.

Deniz kaplumbağaların denizdeki dağılımları, göç yolları ve diğer bilgiler derlenerek (Casale ve diğ. 2018) koruma çalışmalarına ışık tutacak dağılım haritaları (Şekil 6) ve yuvalama sayıları hakkında özet bilgi çıkarılmıştır (Caminas ve diğ. 2020). Bu dağılımlar ve deniz suyu sıcaklıkları dikkate alınarak, dünya popülasyonunun %4’lük kısmının Akdeniz’de bulunduğu (Casale 2015)

Caretta caretta türü için ve bundan çok daha az oranda Akdeniz’de bulunan *Chelonia mydas* için Akdeniz, güvenli bir yaşam ortamı oluşturabilecek çeşitlilikte deniz sıcaklıkları bulundurmaktadır. Ancak bu değişimlere göre deniz kaplumbağalarının Akdeniz içinde, yuvalama, beslenme ve göç alanlarında değişiklikler olması da olasıdır.



Şekil 5. Akdeniz’de deniz suyu sıcaklıklarının değişiminin en az ve en fazla görülmesi beklenen bölgelerin değişim haritası (Adloff ve diğ. 2015).



Şekil 6. Akdeniz’de deniz kaplumbağalarının yuvalama ve beslenme alanlarının dağılımı (Caminas ve diğ. 2020).

Yuvalama alanlarındaki değişimlerin çok daha uzun sürebilecek olmasına rağmen, özellikle besin bolluğuna bağlı olarak, beslenme ve buna bağlı göç yollarının değişmesi sonucu “Önemli Deniz Kaplumbağa Alanları-Important Marine Turtle Areas” belirleme çalışmalarının da gerek Akdeniz için, gerekse diğer popülasyonlar için yapılması beklenmektedir.

Gonadların histolojik incelenmesiyle yavru cinsiyet oranı tahmini

Gonadların histolojik olarak incelenmesi ile cinsiyet oranı belirlenmesi H&E (Hematoksilen-Eozin) ve PAS (Periyodik Asit-Shift) ile boyanarak benzerlik ve farklılıklar incelenebilmektedir (Sarı ve Kaska 2016). Gonadları mikroskopla inceleyerek cinsiyet tayini yapmanın yanılma payı yok denecek kadar azdır. Bu inceleme ile elde edilen görüntülerde testisler ovaryumdan daha ince ve küçük yapıdır. Ovaryum üzerinde lateral uzantılı oyuklar mevcuttur. Gonadlardan alınan enine kesitlerde görülen belirgin fark daha kesin cinsiyet tayinine olanak sağlar. Dişiye ait gonad enine kesitinde, kenar girintilerin olduğu yapı ve germinal epitelyum ovaryumun dış yüzeyinde, medulla ise içtedir. Bunları birbirinden ayıran *tunika albuginea* vardır. Erkeğe ait gonad enine kesitinde ise yan kenarlar daha az girintilidir. Seminifer tübüller PAS ile boyamada koyu stroma içerisine gömülü halde bulunurlar. Dişiye ait yumurta kanalı daha eliptik ve ovalken erkeğe ait yumurta kanalı yuvarlaktır. Yakın zamanda gerek sıcaklık, gerekse kuluçka süresi veya histolojik incelemeler yanında laparoskopik inceleme veya kandaki Anti-Mülleren hormon gibi hormonların incelenmesi sonucu da cinsiyet tahmin çalışmaları yapılabilmektedir.

Tartışma ve Sonuç

Yüz milyon yıldan daha fazla süredir dünya üzerindeki varlığını sürdürmeyi başarmış deniz kaplumbağalarının nesli, günümüzde yuvalama kumsallarının tahribatı, bilinçsizce gerçekteştirilen balıkçılık faaliyetleri, avlanma gibi çeşitli insan aktiviteleri sonucu tükenme tehlikesiyle karşı karşıya kalmıştır. 40 yıldır ülkemizde deniz kaplumbağalarıyla ilgili çalışmalar yapılmaktadır fakat bu çalışmalardan özellikle ilk yapılanlar, genellikle popülasyon izleme ve koruma çalışmalarıdır. Çağımızın en önemli çevresel tehdidi olan küresel ısınma tüm dünyayı etkilemektedir. Küresel ısınmanın yaratacağı hava sıcaklığı artışının kum ve yuva sıcaklıklarına da etki edeceği kaçınılmaz bir gerçektir. Bu çerçevede cinsiyetin sıcaklık ile belirlendiği türlerin ve tabii ki deniz kaplumbağalarının bu durumdan nasıl etkileneceğinin belirlenmesi önemli bir konudur. Zira koruma ve izleme çalışmalarına farklı bir boyut ve derinlik kazandıran cinsiyet oranı araştırmaları, ülkemizde önemi belki de geç anlaşılan ve son zamanlarda başlanılan bir çalışma alanıdır. Deniz kaplumbağalarının nesillerini devam ettirebilmesi çok sayıda yavru üretimine değil her iki cinsiyette yavruların da yeteri kadar üretilmesine bağlıdır (Kaska ve diğ. 1998).

Yurtdışında çok sayıda cinsiyet oranı veren çalışma olsa da ülkemizde bazı kumsallarda bir sezonluk çalışmalar şeklinde verilmiştir. Çoğu kumsalda dişi ağırlıklı bir oran rapor edilse de en dengeli cinsiyet oranı veya en fazla erkek üreten kumsal Fethiye Kumsalı'dır (Kaska ve diğ. 2006). Kaska ve diğ. (1998), yuva sıcaklıklarının 24°C ile 35°C arasında değiştiğini ve kuluçka süresi boyunca artışın 9,6°C olduğunu bildirmiştir. Sarı ve Kaska (2017) ise İribaş deniz kaplumbağası yuva sıcaklıklarının 22,7°C ile 34,2°C arasında değiştiği ve kuluçka süresi boyunca artışın en fazla 10°C olduğu sonucuna varmıştır. Küresel ısınmanın etkisi sonucu bu artışın daha da fazla olması embriyonik ölümlere yol açabilecektir.

Öz ve diğ. (2004) denize veya nehre yakın yuvaların (muhtemelen yüksek nem oranı nedeniyle) karaya doğru olan yuvalardan daha serin olduğunu belirtmiştir. Kaska ve diğ. (2006) ise yapılış tarihleri aynı ama denizden uzaklıkları farklı (8 m ve 15 m) olan iki yuvanın kuluçka süresi boyunca sıcaklıklarını incelemiş, denize daha yakın olan yuvanın, uzak olandan 2,7°C daha serin olduğunu, bunun da kuluçka süresinin 13 gün daha fazla olmasını sağladığını ortaya çıkarmıştır (Sarı ve Kaska 2017). Günlük ortalama kum sıcaklığı, iribaş deniz kaplumbağası yuvasının aynı periyottaki günlük ortalama sıcaklığından 1,1-1,9°C, yeşil deniz kaplumbağası yuvasınınkinden 0,4-1,0°C (Kaska ve diğ. 1998), Patara kumsalındaki aynı dönem yuvasından ise 0,9-1,6°C daha düşük olduğu bildirilmiştir (Öz ve diğ. 2004). Kum sıcaklığı ile aynı derinlik ve denizden uzaklıktaki yuva sıcaklıklarına göre 1,1-1,6°C daha düşük olduğu ve kum ile yuva sıcaklığı arasındaki farkın 1,3-2°C olduğu bulunmuştur (Sarı ve Kaska 2017).

Kaska ve diğ. (1998) denize uzaklıkları farklı ancak derinlikleri aynı iki noktadan denize daha yakın olanın daha serin olduğunu, diğerinin ise daha sıcak olduğunu bildirmiştir. Kaska ve diğ. (2006) ise aynı tarihte yapılmış iki yuvadan denize yakın olanın uzak olana oranla daha serin şartlarda inkübe olduğunu rapor etmiştir. Türkiye'deki iribaş deniz kaplumbağalarıyla yapılan bazı çalışmalarda da yuvanın kuluçka süresi boyunca sıcaklığı ile kuluçka süresi arasında negatif bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır (Kaska ve diğ. 1998; Öz ve diğ. 2004; Kaska ve diğ. 2006).

Derinlik değişmeden denizden uzaklık arttıkça genelde kum sıcaklığı da artmıştır (Kaska ve diğ. 1998; Öz ve diğ. 2004; Sarı ve Kaska 2017). Sıcaklık profilleriyle ilgili tüm bu durumlar yuva taşıma işlemlerinde göz önünde bulundurulmalıdır. Yuva yerinin değişimi (yuva taşınması), su baskını, kum erozyonu ve predasyon riski altındaki yuvaların korunabilmesi için önemli koruma tekniklerinden biridir (Başkale ve Kaska 2005 gibi).

Bilindiği gibi çağımızın en önemli doğa olaylarından biri küresel ısınmadır. Günümüze dek yerküre birkaç küresel ısınmaya maruz kaldıysa da, hiçbirinden bugünkü kadar etkilenmemiştir çünkü hiçbirinde insan etkisi bugünkü kadar yoğunlaşmamıştır. Küresel ısınmanın dünyadaki her canlıya olduğu gibi deniz

kaplumbağalarına da ciddi etkileri vardır. Küresel ısınmanın deniz kaplumbağası popülasyonları üzerindeki etkilerinin tartışılması, deniz seviyesi yükselmesinin bir sonucu olarak yuvalama kumsallarının kaybı ve cinsiyet oranlarındaki değişiklikler üzerine yoğunlaşmıştır (Öz ve diğ. 2004; Monsinjon ve diğ. 2017, 2019). Bu yüzden Akdeniz'deki deniz kaplumbağası popülasyonları dünyadaki diğer popülasyonlarla kıyaslandığında muhtemelen iklimsel değişimlerden ilk olarak etkilenecektir. Dolayısıyla Akdeniz'de bu türün neslini devam ettirmesi hemen hemen eşit sayıda dişi ve erkek deniz kaplumbağası üreten yuvalama kumsallarının korunmasına bağlıdır. Bu sebeptendir ki, yuvalama kumsallarının önemi sadece yıllık yuva sayıları ve kumsal uzunluğu ile belirlenmemeli, aynı zamanda bir kumsalda üretilen yavruların cinsiyet oranı, daha doğrusu erkek yavru oranı da tespit edilmelidir. Fakat cinsiyet oranı bakımından önem belirleme işinde kumsalda üretilen yavruların cinsiyet oranı ardı ardına çok yıllık belirlenmelidir. Çünkü sıcaklıkta, dolayısıyla da cinsiyet oranında sezon içi olduğu kadar sezonlar arası da farklılıklar olması muhtemeldir. Sonuç olarak, gelecekteki sıcaklık artışları ile deniz kaplumbağası yuvalarındaki yumurtaların tamamına yakını ya da tamamı sıcaklığın (>35°C) öldürücü etkisinden dolayı öldüğünde, doğal olarak erkek yavru üretimi neredeyse hiç gerçekleşmediğinde, popülasyonun devamını sağlamak için erkek yavru üretiminin yollarının aranması yerine şimdiden yeterince erkek yavruyu üreten kumsalların korunması ile deniz kaplumbağası neslinin devamına katkıda bulunabilmek mümkündür (Casale ve diğ. 2018). Küresel ısınma yanında özellikle plastik kirliliği ve bunların dağılımı ve deniz kaplumbağaları için iyi bir çevre durumunun olup olmadığı gibi konularda son zamanlarda küresel ısınma yanında araştırılan konular arasında yer almaktadır.

Kaynakça

Adloff, F., Somot, S., Sevault, F., Jordà, G., Aznar, R., Déqué, M., Herrmann, M., Marcos, M., Dubois, C., Padorno, E., Alvarez-Fañjul, E., Gomis, D. (2015) Mediterranean Sea response to climate change in an ensemble of twenty first century scenarios. *Climate Dynamics* 45(9-10): 2775-2802.

Baran, İ., Kasperek, M. (1989) Marine turtles Turkey. Status survey 1988 and recommendations for conservation and management, Max Kasperek Verlag, Heidelberg, Germany.

Başkale, E., Kaska, Y. (2005) Sea turtle nest conservation techniques on Southwestern beaches in Turkey. *Israel Journal of Zoology* 51: 13-26.

Başkale, E., Sözbilen, D., Katılmış, Y., Azmaz, M., Kaska, Y. (2018) An evaluation of sea turtle strandings in the Fethiye-Göcek Specially Protected Area: An important foraging ground with an increasing mortality rate. *Ocean & Coastal Management* 154: 26-33.

Baçoğlu, M. (1973) Sea turtles and the species found along the coasts of neighboring countries. *Türk Biyoloji Dergisi* 23: 12-21.

Camiñas, J.A., Kaska, Y., Hochscheid, S., Casale P. Panagopoulou, A., Báez, J.C., Otero, M.M., Numa, C., Alcázar, E. (2020) Conservation of marine turtles in the Mediterranean Sea (brochure). IUCN, Malaga, Spain.

Casale, P. (2015) *Caretta caretta* (Mediterranean subpopulation). The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T83644804A83646294. Mevcut adres: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T83644804A83646294.en>. (erişim tarihi 23.08.2015).

Casale, P., Broderick, A.C., Camiñas, J.A., Cardona, L., Carreras, C., Demetropoulos, A., Fuller, W.J., Godley, B.J., Hochscheid, S., Kaska, Y., Lazar, B., Margaritoulis, D., Panagopoulou, A., Rees, A.F., Tomás, J., Türkozan, O. (2018) Review: Mediterranean sea turtles: current knowledge and priorities for conservation and research. *Endangered Species Research* 36: 229-267.

Casale, P., Heppell, S.S. (2016) How much sea turtle bycatch is too much? A stationary age distribution model for simulating population abundance and potential biological removal in the Mediterranean. *Endangered Species Research* 29: 239-254.

Casale, P., Margaritoulis, D. (2010) Sea Turtles in the Mediterranean: distribution, threats and conservation priorities. IUCN/SSC Marine Turtle Specialist Group, Gland, Switzerland.

Girondot, M., Kaska, Y. (2015) Nest temperatures in a loggerhead nesting beach in Turkey is more determined by sea surface than air temperature. *Journal of Thermal Biology* 47: 13-18.

Groombridge, B. (1990) Marine turtles in the Mediterranean; distribution, population status, conservation, A report to the Council of Europe, World Conservation Monitoring Centre, Cambridge, UK.

Kaska, Y., Downie, R. (1999) Embryological development of sea turtles in the Mediterranean. *Zoology in the Middle East* 19: 55-69.

Kaska, Y., Downie, R., Tippet, R., Furness, R. (1998) Natural temperature regimes for loggerhead and green turtle nests in the Eastern Mediterranean. *Canadian Journal of Zoology* 76: 723-729.

Kaska, Y., Ilgaz, Ç., Özdemir, A., Başkale, E., Türkozan, O., Baran, I., Stachowitsch, M. (2006) Sex ratio estimations of loggerhead sea turtle hatchlings

by histological examination and nest temperatures at Fethiye beach, Turkey. *Naturwissenschaften* 93: 338-343.

Kaska, Y., Şahin, B., Başkale, E., Sarı, F., Owczarczak, S. (2011) Sea Turtle Research and Rehabilitation Centre (DEKAMER), Dalyan, Muğla, Turkey. *Marine Turtle Newsletter* 131: 16-17.

Lovich, J.E., Ennen, J.R., Agha, M., Gibbons, J.W. (2018) Where have all the turtles gone, and why does it matter?. *BioScience* 68(10): 771-781.

Lutz, P.A., Musick, J.A. (1997) *The Biology of Sea Turtles*. CRC Press. Washington DC, USA.

Monsinjon, J., Jribi, I., Hamza, A., Ouerghi, A., Kaska, Y., Girondot, M. (2017) Embryonic growth rate thermal reaction norm of Mediterranean *Caretta caretta* embryos from two different thermal habitats, Turkey and Libya. *Chelonian Conservation and Biology* 16(2): 172-179.

Öz, M., Erdoğan, A., Kaska, Y., Düşen, S., Aslan, A., Sert, H., Yavuz, M., Tunç, M.R. (2004) Nest temperatures and sex-ratio estimates of loggerhead turtles at Patara beach on the southwestern coast of Turkey. *Canadian Journal of Zoology* 82: 94-101.

Sarı, F., Kaska, Y. (2015) Loggerhead sea turtle hatchling sex ratio differences between two nesting beaches in Turkey. *Israel Journal of Ecology & Evolution* 61(3-4): 115-129.

Sarı, F., Kaska, Y. (2016) Histochemical and immunohistochemical studies of the gonads and paramesonephric ducts of male and female hatchlings of loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*). *Biotechnic & Histochemistry* 91(6): 428-437.

Sarı, F., Kaska, Y. (2017) Assessment of hatchery management for the loggerhead Turtle (*Caretta caretta*) nests on Goksu Delta, Turkey. *Ocean & Coastal Management* 146: 89-98.

Sarı, F., Köşeler, A., Kaska, Y. (2017) First observation of multiple paternity in loggerhead sea turtles, *Caretta caretta*, nesting on Dalyan Beach, Turkey. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 488: 60-71.

Sözbilen, D., Kaska, Y. (2018) Biochemical blood parameters and hormone levels of foraging, nesting, and injured loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in Turkey. *Turk J Zool* 42: 287-296.

Türkozan, O., Kaska, Y. (2010) Turkey. In: Sea Turtles in the Mediterranean: Distribution, threats and conservation priorities (eds., Casale, P., Margaritoulis, D.), IUCN, Gland, Switzerland, pp. 257-294.

Uçar, A.H., Kaska, Y., Ergene, S., Aymak, C., Kaçar, Y., Kaska, A., İli, P. (2012) Sex ratio estimation of the most eastern main loggerhead sea turtle nesting site: Anamur beach, Mersin-Turkey. *Israel Journal of Ecology & Evolution* 58: 87-100.

Yalçın-Özdilek, Ş., Sönmez, B., Kaska, Y. (2016) Sex ratio estimations of *Chelonia mydas* hatchlings at Samandağ Beach, Turkey. *Turkish Journal of Zoology* 40: 552-560.

Küresel Isınmanın Su Ürünlerine Etkileri

Sedat V. YERLİ*, Uğur FİDANSOY

Hacettepe Üniversitesi, Biyoloji Bölümü SAL, Beytepe-Ankara, Türkiye
*svyerli@gmail.com

Özet

Küresel iklim değişikliğinin bir sonucu olan küresel ısınma, çevreye ve canlılara etkisi nedeni ile son yıllarda dünyanın geleceği açısından en önemli etkileyici güçler arasında yorumlanmaktadır. Küresel ısınmanın su ürünlerine ve su ürünleri sektörüne etkisi bu bildiride gözden geçirilmiştir. Su ürünleri sektörünün, öncelikle sektörün en önemli bileşenleri olan balık ile diğer su canlılarının ve habitatlarının doğrudan ve dolaylı olumsuz etkilenmesi ile bunların üretimi sürecinde olası ekonomik zorlukların ortaya çıkması nedeni ile etkileneceği tahmin edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Küresel ısınma, su ürünleri, etkiler

Giriş

Küresel iklim değişikliğinin bir sonucu olarak küresel ısınma; dünyanın fiziksel, kimyasal ve biyolojik çevresini olumsuz yönde etkilemektedir. Çevrenin olumsuz değişimi, canlılarda ve yaşama ortamlarında beklenmeyen değişimlere yol açmaktadır. Küresel ısınmanın sonuçları konusunda birçok açık kaynakta benzer tahminler yapılmaktadır. Küresel ısınma sonucunda denizlerin ve okyanus sularının sıcaklığı artmaktadır. Artan sıcaklıkların etkisi ile buzulların erimesi ile büyük miktarda su, okyanuslara ve denizlere boşalmaktadır. Deniz seviyesinin yükselmesi, kıyı erozyonuna yol açmakta, kıyı bölgelerinin kalitesini bozmaktadır. Deniz etkisi ve düzensiz kurak dönemler iç sularda tuzlanmaya neden olabilmektedir. Deniz seviyesinin yükselmesinin sonuçları; kıyı taşkınları, kıyı bozulması ve kirlenmesi ile kendini gösterebilecektir. Kıyıların su taşkınlarına maruz kalması ile deniz kara arasındaki en verimli bölge olan ekoton hattı zarara uğrayabilecektir. Kıyı kesimini kullanan canlılar; habitat kalitesinin bozulması ve kaybedilmesi tehlikesi ve yaşam alanlarının daralması ile başa çıkmak zorunda kalmaktadır. Küresel ısınma; hidrolojik çevrimdeki ani yüklenmeler, kısa devreler, buharlaşma, kuraklaşma, kullanılan ve tutulabilen suyun miktarının değişimleri şeklinde de etkilerini sürdürebilmektedir.

Küresel ısınmanın okyanuslardaki hakim akıntı rejimlerini de etkilemesi beklenmektedir. Buzullarının erimesi ile okyanuslardaki soğuksu akıntıları ile Gulf Stream gibi sıcak su akıntılarının işlevlerinin etkileneceği tahmin edilmektedir. Kara ve deniz sıcaklık farklarının artışı rüzgar rejimini de etkileyebilecektir. Kıyılarda ve bağlantılı iç su sistemlerinde besin maddelerinin birikimi plankton üretiminin artmasına yol açabilecektir. Deniz suyu sıcaklığı değişimleri ve artışları diğer su kalite parametrelerini de etkileyecektir. Sıcaklık

birçok biyokimyasal reaksiyon için belirleyici parametredir. Gerek denizlerde gerekse iç sularda besin maddeleri artışı ve fitoplankton biyokütlesinin artışı ile besin piramidinin de etkileeneceği düşünülmektedir. Sıcaklık artışı ile hastalık yapıcı mikroorganizmalar için yeni yayılış alanları ortaya çıkacaktır. Sağlıklı suların yararlanan bütün canlılar ve balıklar için tehdit oluşturacaktır. Suyla bulaşan hastalıklar tehdit haline gelebilecektir. Uyum güçlükleri nedeni ile sıcaklığın birkaç derece artmasının türlerin üçte birini etkileyeceği rapor edilmektedir. Bazı türlerin de yok oluşuna neden olabileceği belirtilmektedir.

Küresel ısınmanın sucul canlılar üzerine etkileri

Küresel ısınma ile öncelikle hidrolojik çevrimin etkilenmesi beklenmektedir. Sıcaklık, hidrolojik çevrimin en önemli bileşenidir. Yağış rejimindeki değişimler, ani yağışlar, ardışık kurak dönemler, bunlara bağlı besin maddesi yüklenmesi ve kaçakları ilkin üretimi artıracak ve/veya azaltacaktır. Fitoplankton düzeyindeki değişimler, besin zincirinde de etkiler yaratabilecektir. Balıklara kadar uzanan bu süreç, yüzeyde, su kolonunda ve dipte balık beslenmesi ile doğrudan ilişkilidir. Hamsi (*Engraulis encrasicolus*) ve çaça (*Sprattus sprattus*) gibi pelajik ve sürü oluşturan balıklar bunlar arasındadır.

Atmosferde CO₂ artışı deniz suyunda da pH'nın düşmesine yol açabilecektir. Asitlenme ile sonuçlanan bu durum krustaseleri olumsuz etkiler. Asidik ortam bu canlıların dış iskeletlerinin (kalsiyum karbonat) çözünmesine yola açabilmektedir. Alglerin, krillerin olumsuz etkilenmesi ile biyokütle kaybına uğrar. Bu süreç krill ile beslenen deniz canlılarını da etkileyecektir.

Mercan resifleri, karbon döngüsünde yutak olarak önemli bir yere sahiptir. Balıklar ve sucul omurgasızlar için beslenme ve barınma alanı sağlar. Birçok iri gövdeli canlı için de üreme alanıdır. Sıcaklık artışı ve asidite artışı mercanların ölümüne yol açar. Bu olay, ağarma olarak ifade edilmektedir.

Su sıcaklığı balık yaşamı, beslenmesi, büyümesi ve üremesi için önemlidir. Balıkların yaşam döngüleri içerisinde yumurta, larva ve genç bireylerin istekleri farklı olabilir. Ani sıcaklık değişimleri, uyum güçlüğü nedeni ile balıklar için öldürücü olabilir. Balıklar yavaş sıcaklık değişimlerine biraz daha kolay uyum gösterebilmektedir. Sıcaklık değişimlerine karşı uygun alanlara göç edebilirler. Sıcaklık, beslenme, solunum, osmoregülasyon, büyüme ve üreme üzerine doğrudan etkilidir. Balıklar uyum gösteremezse metabolik aktivitelerini sürdürmezler. Toplu ölümlere kadar olaylar kayıt edilmektedir. Sıcaklık etkisi ile balıkların üreme, beslenme ve barınma alanları kayma gösterebilmektedir. *Sardinella aurita*, *Boops boops* ve *Sarpa salpa* örnekler arasında verilmektedir. Bu günlerde ısınma durumunda kuzeye yönelme şeklindedir. Dip yüzey arasında da benzer yönelme olabilir. En tipik örnekleri sıcak seven Hint Okyanusu türlerinin Süveyş Kanalı ile Akdeniz'e, Karadeniz'e dağılmasıdır.

Küresel ısınmanın ve sıcaklık artışının balıklara etkisi

Çevre sıcaklığı; canlıların fizyolojik işlevlerini yerine getirebildiği uygun sıcaklık aralığını ifade eden termotolerans üst ve alt sınırını aşarsa canlıda ısıl stres oluşmaya başlar. Optimum sıcaklıklarda fizyolojik işlevlerin yerine getirilmesi en etkin şekilde gerçekleştirilir. Optimum sıcaklık sınırları, türler arası, hatta aynı türün farklı yaşam evreleri için farklılık gösterebilir (Roberts 2001). Sıcaklık artışı, sudaki oksijen çözünürlüğünü azaltacağından termal ve oksidatif stres birlikte görülebilir (Tan 2006; Vinagre ve diğ. 2012). Sıcaklık artışının, çevreden doğrudan etkilenen vücut sıcaklığına sahip canlılar olmaları nedeni ile balıkları bütün fizyolojik faaliyetleri düzeyinde etkiledikleri birçok araştırmada gösterilmiştir.

Drosophila larvalarının yüksek sıcaklığa maruz bırakılması sonucu Ritossa (1962) tarafından gözlemlenen DNA bölgeleri tanımlanarak hücresel düzeyde termal stres yanıtı keşfedilmiştir. Daha sonra bu DNA bölgelerinin sentezlediği proteinlerin tanımlanması ve adlandırılması yapılmıştır (Vincent ve Taguay 1979; Kampinga ve diğ. 2009). Hücresel düzeyde ısı şoku proteinleri (HSPs), sentez sonrasında proteinlerin katlanmasını düzenleme, hücre çekirdeğinin ve zarının parçalanmasını engelleme, yapısal bozukluklara uğramış proteinleri onarımı, hasarlı proteinlerin uzaklaştırılması, proteinlerin organeller düzeyinde konumlandırılması gibi birçok göreve sahiptir (Feder ve Hofmann 1999).

Sıcaklık artışının balıklarda, hücresel düzeyde ısı şoku proteinlerinin üretilmesine neden olarak ısıl stres yanıtı oluşturduğu, enzim aktivitesi değişimini yolu ile buna bağlı olarak metabolizma hızını etkilediği, deformasyonlara sebep olduğu, bağışıklık sistemlerini etkilediği, bazı patojen organizmaların etkilerini arttırdığı, pestisit ve ağır metallerin etkilerini artırıcı etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir (Sindermann 1979; Bjerkås ve diğ. 2001; Tan 2006; Handeland ve diğ. 2008; Kaya 2009; Kayhan ve Atasayar 2010; Assis ve diğ. 2012; Vergauwen ve diğ. 2013). Sucul organizmalarla yapılan araştırmalar; ısı şoku proteinlerinin (HSPs) bütün canlılarda olduğu gibi, sucul organizmalarda da çevresel değişimlere tepki olarak üretilen proteinler olduğu belirtilmiş ve deneysel çalışmalarla gösterilmiştir (Alak 2007; Kayhan ve Atasayar 2010). Ot sazani (*Ctenopharyngodon idella*), gökkuşaağı alası (*Oncorhynchus mykiss*), ve zebra balığında (*Danio rerio*) yapılan çalışmalar; balıkların hücresel ısıl strese karşı HSPs üreterek belirli sıcaklık derecelerine (bu proteinlerin bozulduğu sıcaklık değerleri) kadar hücre ölümünü engelledikleri gösterilmiştir (Iwama ve diğ. 1999; Keller ve diğ. 2008; Wu ve diğ. 2012).

Su sıcaklığının artmasıyla birlikte balıklarda metabolizmanın hızlandığı gözlemlenirken, termal tolerans üst sınırına yaklaşıldığında metabolik aktivitenin enzimlerin yapısının bozulması sonucu yavaşladığı, daha da artmasıyla da balığın ısıl şoka girdiği ve ölümü gözlemlenir (Roberts 2001; Dikel 2009). Metabolizma hızının artması, besin alınımını da hızlandırır ve büyümeye katkıda bulunur. Balık

yetiştiriciliğinde bölgenin iklim koşullarına uygun balık türü seçimi açısından balıklar üzerine yapılan sıcaklık araştırmaları önemlidir. Termal tolerans üst sınırları hakkında bilgi edinilmesi de yetiştiricilikte sürdürülebilirlik açısından önemlidir.

Genç *Clupea harengus* bireyleri ve *Hippocampus guttulatus* üzerine yapılan çalışmalar belirli derecelere kadar sıcaklık artışının olumlu olduğunu, fakat beklendiği üzere sıcaklık arttıkça büyüme hızı artışının yavaşladığını da göstermiştir (Bernreuther ve diğ. 2012; Planas ve diğ. 2012). Bazı tropikal balıklarda (*Oreochromis niloticus*, *Rachycentron canadum* ve *Arapaima gigas*) beyin asetilkolinesteraz (AChE) enzim aktivitesinin artan sıcaklıkla düştüğü gözlemlenmiştir (Assis ve diğ. 2012).

Genç Atlantik somonlarının tatlı suda ve denizde gelişim evreleri boyunca sıcaklığın artmasıyla birlikte katarakt gelişiminin de arttığı farklı tarihlerde yapılan araştırmalar ile gösterilmiştir (Bjerkås ve diğ. 2001).

Sıcaklık değişimlerinin balıkların bağışıklık sistemlerini etkilediği, düşük sıcaklıkta metabolizma hızının düşmesiyle birlikte bağışıklık sisteminin etkinliğinin de azaldığı ve yüksek sıcaklıkta ise enzim faaliyetlerini etkilediği ve stres meydana getirdiği için yine bağışıklık üzerinde baskılayıcı bir etki oluşturduğu belirtilmiştir (Kaya 2009).

Bakteriyel enfeksiyonların ortam sıcaklığın artmasıyla birlikte arttığı ve balıklarda oluşan ısıl stresle birlikte parazitlerin balıkların bağışıklık sistemlerinin etkinliğinin azalmasıyla konaklarına daha kolay tutundukları gözlemlenmiştir (Mihursky ve diğ. 1970; Esch ve diğ. 1976; Sinderman 1979).

Birçok balık türü, üreme dönemlerinde farklı sıcaklık tercihlerine sahiptir. *Barbus* ile yapılan çalışmalar farklı dönemlerde ulaşılan su sıcaklığının bu türün üreme stratejilerine ve bireylerin gelişimine doğrudan etki ettiğini göstermiştir (Baras 1995). *Barbus barbus*'ta yapılan bir başka çalışmada ise üreme sıcaklığının eşik değerleri belirlenmiş ve bu türün bu eşik değer dışında izlediği üreme stratejilerinden bahsedilmiştir (Baras ve Philippart 1999).

Küresel ısınmanın avcılık ve yetiştiricilik üzerine etkileri

Birçok ekonomik faaliyette olduğu gibi, iklim değişikliğinin sonucu olan küresel ısınmanın su ürünlerine etkileri sektör temelinde aşağıdaki başlıklar halinde araştırılmaktadır. İklim değişikliğinin su ürünlerine etkileri; denizlerde demersal ve pelajik balık avcılığı, iç sularda balık avcılığı; deniz balıkları yetiştiriciliği ile iç su balıkları yetiştiriciliği ana başlıkları altında incelenmektedir (Climefish 2019).

Kaynak gösterilen proje kapsamında 2050 tarihine kadar olası üç öngörü çerçevesinde tahminler yapılmıştır. Denizlerdeki küresel ısınmanın en iyi öngörü ile 2100 yılına kadar sıcaklıkları 2°C artıracığı; muhtemel öngörü ile 2100 yılına kadar 3°C artacağı ise en kötü öngörü ile 2100 yılına kadar 4°C artacağı tahmin edilmektedir. Bu öngörüler ışığında İtalya'da yapılan bir araştırmada 16 durum araştırması ile 25 tür çalışılmıştır. Yedi durum için yönetim planları geliştirilmiştir.

Araştırmanın sonuçlarına göre; deniz suyu sıcaklığı ve asitleme artışı, karides, midye, istiridye, ve mercanları etkilemektedir. Fitoplankton ve zooplankton dağılımı, biyokütle ve tür kompozisyonları etkilenmektedir. Deniz, kıyı, deniz çayıruları, delta ve lagünler yine etki alanındadır. Balık av kompozisyonları etkilenmektedir. Pelajik balık popülasyonlarının mekânsal ve zamansal dağılım desenleri, nişlerine bağlı olarak değişmektedir. İklim değişikliğine bağlı olarak, birincil ve ikincil üretim dalgalanma göstermektedir. Balıkların dağılım aralıkları, göç alanları, stok büyüklükleri etkilenmektedir (uskumru, mezigit, çaça, hamsi ve sardalya gibi). Balıkların üreme başarısı, popülasyon dinamiği, göç kalıpları, diğer balık popülasyonları ile girişimler etkilenmektedir (Climefish 2019).

Kuzeydoğu Atlantik balık türlerinin biyocoğrafik alan tercihleri, habitatları ve vücut büyüklüğü ile ilgili yayınlanmış verilerin gözden geçirilmesi (Rijnsdorp ve diğ. 2009) sonucunda; küresel ısınmanın balık türlerinin bolluk ve dağılımında (enlem ve derinlik dağılım modellerinde) kaymalara neden olduğu hipotezi desteklenmektedir. Pelajik türler, iklime bağlı olarak zooplankton üretimindeki dalgalanmalara göre mevsimsel göç modellerinde değişiklikler sergilemektedir. Son yıllarda çaça, hamsi ve istavrit doğal dağılım alanlarının kuzey sınırında artış gösterirken, morina ve pisi balıkları dağılım aralıklarının güney sınırında azalma, kuzeyinde ise artış göstermiştir. Neden olan ilişkiler belirsiz kalsa da, mevcut kanıtlar, pelajik yumurta veya larva aşamasında daha yüksek üretim yapma ile hayatta kalma çabasında veya beslenme alanlarındaki nitelik/niceliğindeki değişikliklerden etkilenen stoka katılma başarısında, iklimle ilgili değişikliklerin anahtar süreç olduğunu göstermektedir (Rijnsdorp ve diğ. 2009).

Denizel bölge projeksiyonuna ve RCP 8.5 senaryosuna göre 2050 yılında maksimum av potansiyelinin %2,3 ile %5,3 arasında azalacağı tahmin edilmektedir (Barange ve diğ. 2018). İçsu avcılığı, bazı bölgelerde kuraklık, bazı bölgelerde taşkınlara bağlı nedenlerden habitat kalitesi bozulması ve habitat kaybı nedeni ile çözümü zor sorunlar ile karşı karşıya kalacaktır.

Deniz ve içsularda yetiştiriciliği yapılan balık ve diğer su canlıları, küresel ısınma nedeni ile verimli alanların kalite kaybına uğraması ve su canlılarının uyum kapasitesinin zorlanmasına bağlı olarak, yetiştiricilik sektörünü çözüm arayışlarına zorlayacaktır. Özellikle hayvan refahı açısından sağlıklı ortam, güvenli yem ve hastalıklar mücadele sorun olarak etkisini artıracaktır.

Küresel ısınmanın su ürünleri sektörüne etkileri

Deniz balıkları dağılımlarının değişimi; deniz balıklarının avlanma sahalarına ya da başka alanlara dağılımları ile sonuçlanabilecektir. Deniz balıklarının dağılım değişimi avcılığı yapılan populasyonlara ulaşım için av teknelerinin yakıt ve zaman giderlerinin artmasına yol açacaktır. Türler, farklı ülkelere ait kotaların olduğu bölgelere göç edebilirler (Climefish 2019).

Deniz canlıları korunan alanların veya balıkçılığın sınırlandırıldığı alanların dışına göç edebilirler. Yeni türler veya istilacı türler ticari olarak işletilme imkanı yaratabilecek ve/veya yeni balıkçılık fırsatları sunabilecektir. Bilim adamları ve balıkçılar açısından yeni dağılım alanları için sürekli izleme ihtiyacı ortaya çıkabilir. Bilim adamları ve balıkçılar paylaşılan stok sorunları için çözüm ihtiyacı da duyabileceklerdir. Dağılım değişiklikleri görülen kaynakları izlemek için kotalar, erişme zorluğu ve kurumsal engeller yeni sorun alanlarıdır. Ortaya çıkan yeni türlerin avcılığı için filonun uyumu gerekecektir. İklim değişikliğinin balıkçılığa etkileri, diğer ülkelere göre gelişen ülkelerinin ulusal ekonomilerine yüksek uyum giderleri nedeni ile daha fazla zarar verebilecektir (Climefish 2019).

Su ürünlerinin işletilmesi stokların izlenmesini gerektirmektedir. Stok yönetim stratejileri ve planları ile küresel ısınma arasında her safhada girişimler söz konusu olabilecektir. Yavru ve genç bireylerin stoka katılımı, balıkların büyümesi, biyokütle gelişimi, stok ölüm oranları, avlanabilirlik durumu, dağılım durumu, üreme yaşı, fekondite, fizyolojik etkilenme, hastalık durumu ile av ve avcı ilişkilerinin yeniden değerlendirilmesi gerekebilecektir.

ABD’de *Brosme*, 1985 yılında 2000 tonun üzerinde avlanırken, 2004 yılında av miktarının 100 tonun altına düştüğü vurgulanarak, iklim değişikliğinin bu duruma etkisi gösterilmiştir. Ayrıca iklim değişimi modellemesi yaparak, sıcaklık artışına bağlı olarak, bu balığın habitatının 2020-2060 yılları arasında %30-40 oranında, 2060-2100 yılları arasında ise %50-80 oranında azalacağı hesaplanmıştır (Hare ve diğ. 2012).

Sonuç

Küresel iklim değişikliğinin sonucu olan küresel ısınma; balıklar başta olmak üzere su canlılarını ve habitatlarını yaşam döngüleri boyunca etkilemektedir. Biotanın değişimi, mevcut biotanın önceki durumuna göre olumsuz yönde salınımları, yeni biota oluşumu, büyük ölçüde görülmesi muhtemel değişimlerdir. Su ürünleri sektörünün, öncelikle sektörün en önemli bileşenleri olan balık ve su canlılarının ve habitatlarının doğrudan ve dolaylı olumsuz etkilenmesi ile avcılık ve yetiştiricilik faaliyetleri de yeni stratejiler, planlar ve önlemler gerektirecektir.

Teşekkür

Bu bildiri, Sü (2014) tarafından hazırlanan ‘‘Farklı Su Sıcaklığı Düzeylerinin Sazan (Familya Cyprinidae, *Cyprinus carpio* L., 1758)’a Etkilerinin Isı Şoku

Proteinler Kullanılarak Araştırılması” başlıklı yüksek lisans tezinin bir kısmını yansıtmaktadır.

Kaynaklar

Alak, G. (2007) Farklı yaşlardaki gökkuşağı alabalıklarında hsp70 geninin kantitatif analizi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.

Assis, C.R.D., Linhares, A.G., Oliveira, V.M., França, R.C.P., Carvalho, E.V.M.M., Bezerra, R.S., Bezerra, L.C.Jr. (2012) Comparative effect of pesticides on brain acetylcholinesterase in tropical fish. *Science of the Total Environment* 441: 141-150.

Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M.C.M., Cochrane, K.L., Funge-Smith, S., Poulain, F. (eds.) (2018) Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627. Rome, FAO. 628 pp.

Baras, E. (1995) Thermal related variations of seasonal and daily spawning periodicity in Barbus. *Journal of Fish Biology* 46: 915-917.

Baras, E., Philippart, J.C. (1999) Adaptive and evolutionary significance of a reproductive thermal threshold in Barbus. *Journal of Fish Biology* 55: 354-375.

Bernreuther, M., Herrmann, J.P., Peck, M.A., Temming, A. (2012) Growth energetics of juvenile herring, *Clupea harengus* L.: food conversion efficiency and temperature dependency of metabolic rate. *Journal of Applied Ichthyology* 95(4): 1-10.

Bjerkås, E., Bjørnstad, E., Breck, O., Waagbø, R. (2001) Water temperature regimes affect cataract development in smolting Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases* 24: 281-291.

Climefish (2019) Cases 2-3 Baltic Sea Fisheries. Mevcut adres: <https://climefish.eu/2019/04/10/baltic-sea-fisheries/> (erişim tarihi 14.01.2021).

Dikel, S. (2009) Su Sıcaklığının Balık Yetiştiriciliğine Etkisi. *Alınteri* 16(B): 42-49.

Esch, G.W., Hazen, T.C., Dimock, R.V.Jr., Gibbons, J.W. (1976) Thermal effluent and the epizootiology of the ciliate *Epistylis* and the bacterium *Aeromonas* in association with centrarchid fish. *Trans Amer Micros Soc* 95: 687-693.

Feder, M.E., Hofmann, G.E. (1999) Heat-shock proteins, molecular chaperones, and the stress response: evolutionary and ecological physiology. *Annual Reviews of Physiology* 61: 243-282.

Handeland, S.O., Albert, K., Imsland, A.K., Stefansson, S.O. (2008) The effect of temperature and fish size on growth, feed intake, food conversion efficiency and stomach evacuation rate of Atlantic salmon post-smolts. *Aquaculture* 283: 36-42.

Hare, J.A., Manderson, J.P., Nye, J.A., Alexander, M.A., Auster, P.J., Borggaard, D.L., Capotondi, A.M., Damon-Randall, K.B., Heupel, E., Mateo, I., O'Brien, L., Richardson, D.E., Stock, C.A., Biegel, S.T. (2012) Cusk (*Brosme brosme*) and climate change: assessing the threat to a candidate marine fish species under the US Endangered Species Act. *ICES Journal of Marine Science* 69(10): 1753-1768.

Iwama, G.K., Vijayan, M.M., Forsyth, R.B., Ackerman, P.A. (1999) Heat shock proteins and physiological stress in fish. *American Zoologist* 39: 901-909.

Kampinga, H.H., Hageman, J., Vos, M.J., Kubota, H., Tanguay, R.M., Bruford, E.A., Heetham, M.E., Chen, B., Hightower, L.E. (2009) Guidelines for the nomenclature of the human heat shock proteins. *Cell Stress & Chaperones* 14: 105-111.

Kaya, M. (2009) Probiyotik Bakteri İzolasyonu Ve Kültürü Yapılan Balık Türlerinin Bağışıklık Sistemleri Üzerindeki Etkisinin Tespiti Üzerine Bir Çalışma. Doktora tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

Kayhan, F.E., Atasayar, Z. (2010) Sucul organizmalarda ısı şoku proteinlerinin (Hsp) biyolojik önemi ve termotolerans. *Journal of Fisheries Sciences* 4(3): 246-253.

Keller, J.M., Escara-Wilke, J.F., Evan T., Keller, E.T. (2008) Heat stress-induced heat shock protein 70 expression is dependent on ERK activation in zebrafish (*Danio rerio*) cells. *Comparative Biochemistry and Physiology* 150(A): 307-314.

Mihursky, J.A., McErlean, A.J., Kennedy, V.S. (1970) Thermal pollution, aquaculture and pathobiology in aquatic systems. *Journal of Wildlife Diseases* 6(4): 347-355.

Planas, M., Blanco, A., Chamorro, A., Valladares, S., Pintado, J. (2012) Temperature induced changes of growth and survival in the early development of the seahorse *Hippocampus guttulatus*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 438: 154-162.

Rijnsdorp, A.D., Peck, M.A., Engelhard, G.H., Möllmann, C., Pinnegar, J.K. (2009) Resolving the effect of climate change on fish populations. *ICES Journal of Marine Science Advance Access* 66(7): 1570-1583.

Ritossa, F. (1962) A new puffing pattern induced by temperature shock and DNP in *Drosophila*. *Experientia* 18: 571-573.

Roberts, R.J. (ed.) (2001) Fish Pathology. W.B. Saunders Company, London, UK.

Sindermann, C.J. (1979) Pollution-associated diseases and abnormalities of fish and shellfish: A review. *Fishery Bulletin* 76(4): 717-749.

Sü, U., (2014) Farklı Su Sıcaklığı Düzeylerinin Sazan (Familya Cyprinidae, *Cyprinus carpio* L., 1758)'a Etkilerinin Isı Şoku Proteinler Kullanılarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Tan, A. (2006) Atık Sularda Bazı Kirlilik Parametrelerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.

Vergauwen, L., Hagenars, A., Blust, R., Knapen, D. (2013) Temperature dependence of long-term cadmium toxicity in the zebrafish is not explained by liver oxidative stress: Evidence from transcript expression to physiology. *Aquatic Toxicology* 126: 52- 62.

Vinagre, C., Madeira, D., Narciso, L., Cabral, H.N., Diniz, M. (2012) Effect of temperature on oxidative stress in fish: Lipid peroxidation and catalase activity in the muscle of juvenile seabass, *Dicentrarchus labrax*. *Ecological Indicators* 23: 274-279.

Vincent, M., Tanguay R.M. (1979) Heat-shock induced proteins present in the cell nucleus of *Chironomus tentans* salivary glands. *Nature* 281: 501-503.

Wu, C., Zhao, F., Zhang, Y., Zhu, Y., Ma, M., Mao, H., Hu, C. (2012) Overexpression of Hsp90 from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) increases thermal protection against heat stress. *Fish & Shellfish Immunology* 33: 42-47.

İklim Değişikliğinin Türkiye Kıyusal Sulak Alanlarına Etkileri

M. Tahir ALP*, N. Soner BÖREKÇİ

Mersin Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yenişehir, Mersin, Türkiye

*talp@mersin.edu.tr

Özet

Tarih boyunca insanoğlunun kurduğu medeniyetler su kaynaklarına yakın konumlandırılmış ve bu kaynaklardan çeşitli amaçlarla stratejik olarak yararlanılmaya çalışılmıştır. Sulak alanlar canlıların yaşamı için en önemli kaynaklardan biridir ve biyolojik çeşitliliğin en yüksek olduğu, ekonomik önemi büyük ve hassas ekosistemlerdir. Rekreatyonel faaliyetlerin yanı sıra, su temini, sulama faaliyetleri, su ürünleri yetiştiriciliği ve çok sayıda canlıya ev sahipliği yapan sulak alanların canlılık için vazgeçilmezliğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle sulak alanlar toplumların hayatta kalmaları ve gelişmeleri için her zaman kritik öneme sahip olmuşlardır. Ekolojik dengenin sağlanmasında ve sürdürülmesinde, sulak alanlar kritik rol oynamaktadır İnsanoğlunun su kaynaklarından yararlanma çabaları bu hassas ekosistemleri farklı boyutlarda etkilemiş hatta aşırı baskıya maruz bırakmıştır. Tüm bu baskılara ilaveten etkilerini şu andan hissetmeye başladığımız küresel iklim değişikliğinden etkilenecek olan sulak alanlar ekolojik dengelerin bozulması, işlevsizleşme ve hatta yok olma tehlikeleriyle karşı karşıyadır. Bu çalışmada küresel iklim değişikliğinin özellikle Türkiye kıyusal sulak alanları üzerine etkileri çeşitli makale rapor ve çalışmalar ışığında irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sulak alan, lagünler, küresel ısınma, iklim değişikliği

Sulak alanlar ve önemi

Sulak alanlar canlıların yaşamı için en önemli kaynaklardan biridir ve biyolojik çeşitliliğin en yüksek olduğu, ekonomik önemi büyük ve çevresel değişikliklere duyarlı ekosistemlerdir. Rekreatyonel faaliyetlerin yanı sıra, su temini, sulama faaliyetleri, su ürünleri yetiştiriciliği ve çok sayıda canlıya ev sahipliği yapan sulak alanların varlığı, canlılık için vazgeçilmez bir öneme sahiptir. Ekolojik dengenin sağlanmasında ve sürdürülmesinde, sulak alanlar kritik rol oynamaktadır (Pakalne 2004; Beklioğlu ve diğ. 2007; Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2012).

Sulak alanların kesin bir tanımını yapmak oldukça zordur. Ramsar sözleşmesine göre: “Sulak alanlar, doğal ya da yapay, kalıcı ya da geçici, tatlı, acı ya da tuzlu, durgun veya akan su kütlelerini, gelgit bölgelerinde suların çekildiği dönemlerde derinliği altı metreyi geçmeyen deniz sularını kapsayan bütün sazlık, bataklık, turba ve suyla kaplı alanlardır” (Ramsar Convention Secretariat 2016).

Sulak alanların fiziksel, kimyasal ve hidrolojik fonksiyonları buldukları ekosistemler için hayati önem taşımaktadır. Sulak alanlar sel, taşkın, yağış gibi olaylarla ani su akışlarını depolayabilme özellikleri sayesinde taşkınları önleyebilirler (Cox ve Campell 1997; Çeşmeci 2010). Bu mekanizma su

içerisinde taşınan, kimyasal kirleticilerin, mikroorganizmaların, organik yükün sulak alanlarda beklemesini sağlar. Sulak alanların olduğu bölgede bitkilerin varlığı, okyanusların / denizlerin kıyı şeridi üzerindeki aşındırıcı etkisini azaltabilmektedir. Sulak alanlar, yeraltı ve yüzey suları arasında bir bağlantı sağlamakta olup yeraltı suları için kaynak görevi görmektedirler (Özdemir 2007). Sulak alanların buldukları bölgede nem, sıcaklık gibi parametreler üzerinde etkileri olabilir. Özellikle tarımsal faaliyetlerde, sulak alanlar bitki örtüsünü dona karşı korur (Çeşmeci 2010).

Ülkemizdeki sulak alanlar karakteristiklerine göre 7 ana gruba ayrılmıştır. Bunlar; Haliç ve deltalar, tatlı su bataklıkları, göller, nehir ve taşkın ovaları, turbalıklar, kıyasal sulak alanlar, insan yapısı sulak alanlardır. Ramsar sözleşmesine göre sınıflandırmada 1-Denizel ve kıyasal sulak alanlar, 2- Karasal sulak alanlar, 3- Yapay sulak alanlar olmak üzere 3 başlık altında toplanmıştır. Toplamda farklı özelliklerde 42 sulak alan tipi tanımlanmaktadır. (Meriç ve Çağırnkaya 2013)

İnsan nüfusu artışı Akdeniz sulak alanlarının sürdürülebilirliği açısından birçok zorluk barındırmaktadır. Artan nüfusla suya, gıdaya, tarıma olan ihtiyacın ve beraberinde sanayi ve evsel atıkların artması da söz konusu olduğundan doğal sulak alanların sürdürülebilirliği tehlikeye altındadır.

İnsanların geçimlerinin ve refahının doğal ekosistemleri korumakla bağlantılı olduğu günümüzde daha iyi anlaşılır hale gelmiştir. Bu ekosistemlerde oluşan ekonomik değer kaybı birçok insanın geçimini tehlikeye atacaktır. Bu alanlar taşkın riskini doğal olarak engelleyen alanlar olduğundan, azalmaları nüfus artışı yaşanan sahil bölgelerinde daha çok insanın sel tehdidi riskiyle karşı karşıya kalmasına neden olmaktadır (Geijendorffer ve diğ. 2018).

Akdeniz'deki ülkeler için 6 metreden derin olmayan deniz suları GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) modeli ile hesaplanmıştır. Buna göre Türkiye'de 6 metreden derin olmayan deniz sularının yüzey alanı Karadeniz'de 1266 km², Akdeniz'de 2529 km²'dir (Perennou ve diğ. 2012; Geijendorffer ve diğ. 2018).

Türkiye'de sulak alanların durumu

Türkiye, yaklaşık 1.350.000 hektar sulak alan kaybı ile 20 yy.'da en çok sulak alan kaybeden ülkeler arasındadır (Magnin ve Yazar 1997; Karadeniz ve diğ. 2009). Ayrıca Ramsar alanı ilan edilmiş olmasına rağmen Türkiye'de Sultan Sazlığı bataklıkları tamamıyla kurumuştur (Dadaser-Celik ve diğ. 2008). Tuz Gölü ve Akşehir Gölleri, 1984-2015 yılları arasında toplamda 777 km² net su kaybına uğramıştır (Geijendorffer ve diğ. 2018).

WWF (2008), Türkiye'deki sulak alanların yarısına yakını kaybedildiğini rapor etmiştir. Resmî kayıtlara göre Türkiye' de Mahalli Öneme Haiz 13, Ulusal Öneme

Haiz 59 ve Ramsar Sözleşmesi kapsamında 14 Sulak Alan bulunmaktadır (Tablo 1; Şekil 1).

Tablo 1. Türkiye’de Sulak Alanlar (Tarım ve Orman Bakanlığı 2020)

Sulak alan Statüsü	Alan (Ha)	Adet
Ramsar Alanı	184.487	14
Ulusal öneme Haiz Sulak alan	869.697	59
Mahalli öneme haiz Sulak alan	14.513	13



Şekil 1. Türkiye sulak alanlar haritası (Faydaoğlu 2019)

Lagünler (Deniz kulağı)

Deniz kulağı olarak da adlandırılan lagünler, bir deniz veya okyanusla bağlantısı olan iç sulardır. Bu bağlantı sürekli veya aralıklı olabilir. Lagünler tipik olarak sığdır, deniz veya okyanusa olan mesafeleri de göz önüne alındığında, iklim değişikliklerinin bir sonucu olan deniz seviyesindeki artışların lagünleri etkilemesi beklenebilir (Sacca 2016). Lagünler denizlerden veya akarsulardan taşınan sedimentin sürekli olarak etkisi altındadır.

Lagünler fonksiyonel olarak su kalitesinin korunmasını sağlar, zehirli atıkların arıtılmasını sağlayan, oksijen üreten, organik maddelerin suda çözünebileceği, tuzlu suyun yeraltı suyuna karışmasını önleyen ekosistemler olması bakımından lagünlerin varlığı buldukları bölgenin sağlığı için önemlidir. Lagünlerde rekreasyonel ve balıkçılık faaliyetleri yapılmaktadır (Bayrak ve Ekinci 2015). Biyolojik çeşitlilik açısından ve ekolojik olarak önemli olan bu bölgeler, hassas ekosistemlerdir. (Erdem 2004; Balkaya ve Çelikoba 2005; Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2012). Biyolojik olarak zengin alanlar olan lagünler, balıklar ve kuşlar için uygun bir beslenme-barınma-üreme alanı olmaktadır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2012).

Akdeniz yaklaşık olarak 400 lagüne ev sahipliği yapmaktadır. Akdeniz’de toplamda 640.000 hektara sahip olan lagünlerin Türkiye’deki payı ise 34.500 hektar olduğu bildirilmekle birlikte bunlardan bazıları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Türkiye'nin Kıyısındaki Lagünleri (Cataudella ve diğ. 2015)

Lagün Adı	Yüzey Alanı (ha)	İl
Gelemiş Gölü	7	Antalya
Beymelek Lagünü	250	Antalya
Akgöl	820	Mersin
Paradeniz	590	Mersin
Dipsiz Dalyanı	50	Mersin
Tuzla Gölü	800	Adana
Akyatan Gölü	5000	Adana
Agyatan Gölü	1100	Adana
Çamlı Dalyanı	1300	Adana
Yelkoma Dalyanı	640	Adana
İkizler Kum Ocağı	13	Hatay
Yeniyurt Gölcükleri	9	Hatay
Seçil Gölcüğü	5	Hatay
Tarım İl. Müd. Gölcükleri	8	Hatay
Tigem Gölcüğü	24	Hatay
Katipoğlu Göleti	13	Hatay
Tuz Göleti	6	Hatay
Simenlik+Akgöl	200	Samsun
Ahubaba gölleri	22	Samsun
Balık	1300	Samsun
Uzun	293	Samsun
Cernek	589	Samsun
Gıcı	125	Samsun
Tatlı	52	Samsun
Liman	200	Samsun
Karaboğaz	166	Samsun
Sarıkum	102	Samsun
Küçükboğaz	30	Sinop
Erikli	5	Kırklareli
Mert	50	Kırklareli
Saka	5	Kırklareli
Küçükçekmece	1400	İstanbul
Tuzla	70	İstanbul
Hersek	150	Yalova
Arap Çiftliği	550	Bursa
Dalyan & Poyraz	170	Bursa
Yarıntı	19	Balıkesir
Tahir	5	Balıkesir
Tuzluazmak	6	Balıkesir
Hoyrat	10	Çanakkale
Karabiga Gölleri	80	Çanakkale
Çardak Buruniçi	180	Çanakkale
Çatalazmak Gölleri	10	Çanakkale
Küçükçekmece	1400	İstanbul
Tuzla	70	İstanbul

Hersek	150	Yalova
Arap Çiftliği	550	Bursa
Dalyan & Poyraz	170	Bursa
Yarıntı	19	Balıkesir
Tahir	5	Balıkesir
Tuzluazmak	6	Balıkesir
Hoyrat	10	Çanakkale
Karabiga Gölleri	80	Çanakkale
Çardak Buruniçi	180	Çanakkale
Çatalazmak Gölleri	10	Çanakkale
Küçükçekmece	1400	İstanbul
Tuzla	70	İstanbul
Hersek	150	Yalova
Arap Çiftliği	550	Bursa
Dalyan & Poyraz	170	Bursa
Yarıntı	19	Balıkesir
Tahir	5	Balıkesir
Tuzluazmak	6	Balıkesir
Hoyrat	10	Çanakkale
Karabiga Gölleri	80	Çanakkale
Çardak Buruniçi	180	Çanakkale
Çatalazmak Gölleri	10	Çanakkale
Küçükçekmece	1400	İstanbul
Tuzla	70	İstanbul
Hersek	150	Yalova
Toplam	23344	

Dünya ve Türkiye’de iklim değişikliği

Dünyamız yaklaşık 4,6 milyar yaşındadır ve bu süre boyunca küresel iklim sürekli değişimlere uğramıştır (Türkeş 2013a). Biyosferde gerçekleşen olaylara ek olarak insan kaynaklı etkiler, iklim sisteminin değişimini hızlandırmaktadır (Türkeş 2008, 2012).

Sanayi devrimi ile dünyada başlayan, üretim ve nüfus artışı ile beraber doğal kaynakların kullanımı da artmıştır. Bu gelişmeler sera gazı salınımlarını ve buna bağlı olarak küresel ölçekte sıcaklık artışlarına ve küresel iklimin değişmesine neden olmaktadır (Çapar 2019).

Küresel sıcaklık artışlarının denizler, okyanuslar ve iç sular üzerindeki etkisi karasal ortamlardan daha fazladır. 1950'lerden beri okyanusların ısınması, küresel ısınmanın %93'lük kısmı olarak kabul edilmektedir (EEA 2014).

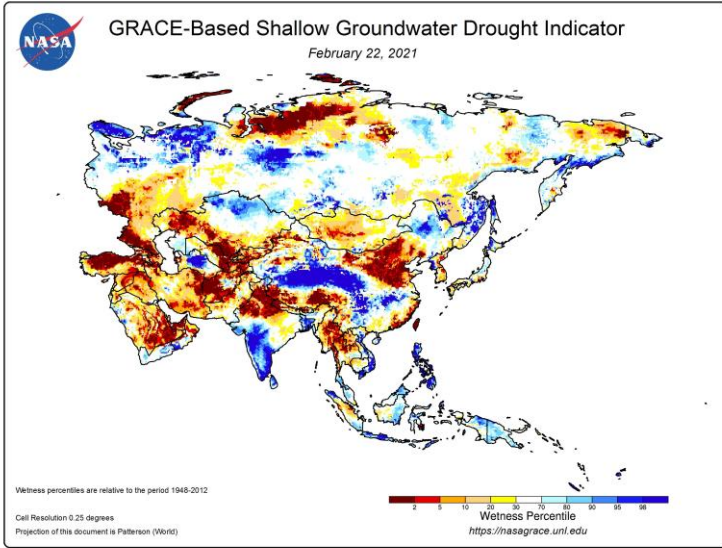
Küresel ölçekte iklim değişikliği çevresel bir sorunun ötesindedir. Yapılan bilimsel çalışmalarla kanıtlanmıştır ki, önümüzdeki yıllarda sıcaklık artışlarında anomaliler devam edecektir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2012). Sera gazı

emisyonlarının etkisiyle geçtiğimiz 100 yıl içerisinde dünyamız 0,5°C sıcaklık artışı olmuştur. Stern'ün çalışmasıyla, bugünden itibaren hiç sera gazı salınımı olmasa bile küresel sıcaklığın artacağı ve gelecek yüzyıl içinde sıcaklık artışının 1,4°C ila 5,8°C arasında olabileceği öngörülmektedir (Stern 2007).

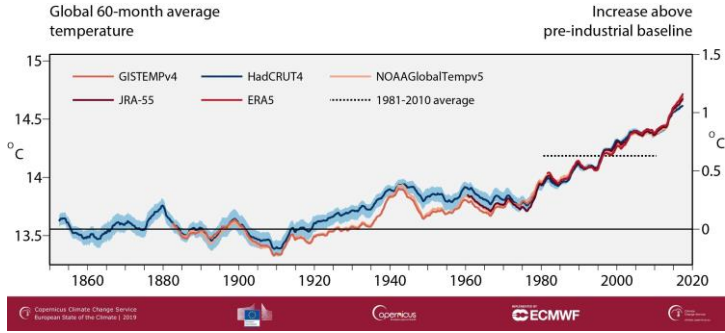
NASA'nın GRACE-FO uydu verilerine göre 1948-2012 yılları arasındaki değerlere kıyasla 22.02.2021 itibari ile Asya için yapılan kuraklık analizinde Türkiye'nin nem oranları endişe vericidir (Şekil 2).

Avrupa Birliği İklim Değişimi Servisi (Copernicus Climate Change Service) ve IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) sanayi öncesi döneme (1850-1900 yılları arası) göre kıyaslandığında mevcut durumda küresel sıcaklığın 1,1°C'nin biraz üzerinde bir değerde arttığını bildirmektedirler (C3S 2020). 2016 yılında küresel sıcaklık artışı 1,5°C'yi de görmüştür (Simmons 2017). 30 yıllık küresel ısınma eğilimi devam ederse IPCC'nin uyardığı 1,5°C sıcaklık artışı değerinin, 2034 yılının Ocak ayında kalıcı olması beklenmektedir (C3S 2021a) (Şekil 3).

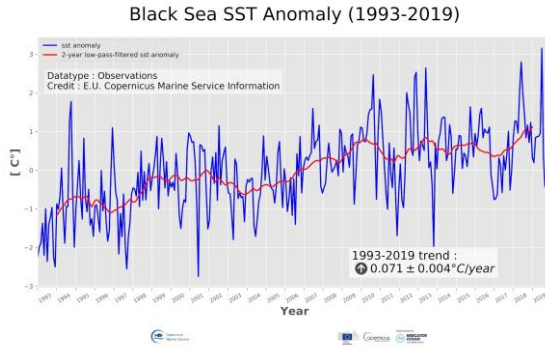
1993-2019 döneminde Karadeniz (Şekil 4) ve Akdeniz'de (Şekil 5) aylık ortalama (mavi çizgi) ve 24 aylık (kırmızı çizgi) deniz yüzeyi sıcaklığı anormalliklerinin zaman serileri 1993-2014 dönemine göre kıyaslanarak verilmiş, sıcaklıkların artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir (CMEMS 2020a, b).



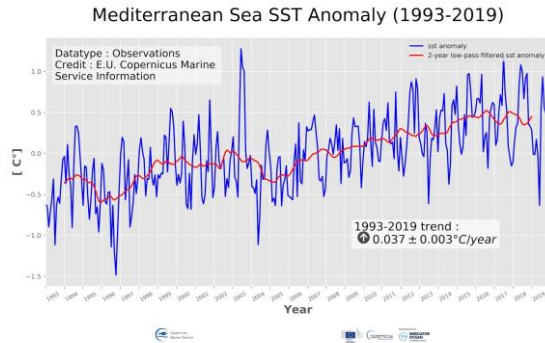
Şekil 2. NASA'nın GRACE-FO programı kapsamında kaydettiği veriler kullanılarak 1948-2012 yılları arasındaki değerlere kıyasla 22.02.2021 itibari ile Asya için yapılan kuraklık analizi (Kuraklık kırmızı renk, su oranı ise mavi renk) (NASA 2021).



Şekil 3. Sol ekseninde, yerden 2 metre yükseklikte 60 aylık dönemde küresel ortalama sıcaklık, sağ ekseninde ise farklı veri kümelerine göre sanayi öncesi dönemden bu yana tahmini değişim (C3S 2020)



Şekil 4. Karadeniz'de 1993-2019 yılları için aylık ortalama (mavi çizgi) ve 24 aylık (kırmızı çizgi) deniz yüzeyi sıcaklığı anormalliklerinin zaman serileri. Anormallikler 1993-2014 dönemine göre kıyaslanmıştır (CMEMS 2020a).

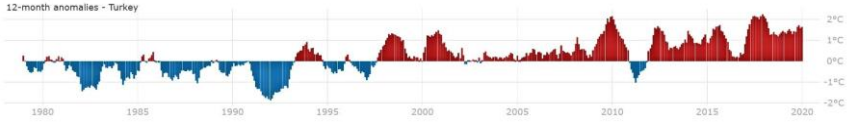


Şekil 5. 1993-2019 döneminde Akdeniz'de aylık ortalama (mavi çizgi) ve 24 aylık (kırmızı çizgi) deniz yüzeyi sıcaklığı anormalliklerinin zaman serileri. Anormallikler 1993-2014 dönemine göre kıyaslanmıştır (CMEMS 2020b).

Türkiye'de 1950-2010 yılları arasında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün (MGM) istasyonlarında kaydedilen aylık ortalama, aylık maksimum ve aylık ortalama minimum hava sıcaklığı verilerine göre incelemede, şehirleşmenin yoğun olduğu bölgelerde ısınma eğilimlerinin normalden fazla olduğu bildirilmiştir (Türkeş 2013b).

Yağışlardaki azalma 1970'lerden başlayarak Türkiye'yi de içine alacak şekilde Akdeniz havzasında önemli ölçüde etkili olmuştur. Türkiye genelinde 1950-2013 arasında don olaylarının görülme sıklığı azaldığı, 1950-2016 yılları arasında ise yıllık tropikal gece sayılarında artış gözlemlendiği rapor edilmiştir. Aynı raporda WMO İklim Komisyonu tarafından yapılan araştırmada 1960-2010 yılları arasında yaz, sıcak gün, tropikal gece sayılarında artış, don olaylı, serin gün ve gece sayılarında ise azalma eğilimi olduğu not edilmiştir. Türkiye'de 1950-2014 yılları arasında rekor minimum hava sıcaklığı frekansının azalma eğiliminde iken, rekor maksimum hava sıcaklığı frekansının ise 2000'li yıllardan itibaren artış eğilimindedir (Türkeş 2018).

Şekil 6'da Türkiye'de son 20 yılda yaşanan 12 aylık anomalileri gösterilmektedir.



Şekil 6. Türkiye'de 1981-2010 ortalamalarına göre, 1979-2020 yılları arasındaki yeryüzeyine yakın hava sıcaklığı 12 aylık ortalama anomalileri (C3S 2021b)

Türkiye 2020 yılı sıcaklık ortalaması 14,9°C olarak gerçekleşmiştir. Bu değer 1981-2010 normalinin (13,5°C) 1,4°C üzerindedir. Bu sonuçla 2020 yılı 1971'den bu yana gerçekleşen en sıcak 3. yıl olmuştur (Tarım ve Orman Bakanlığı 2021).

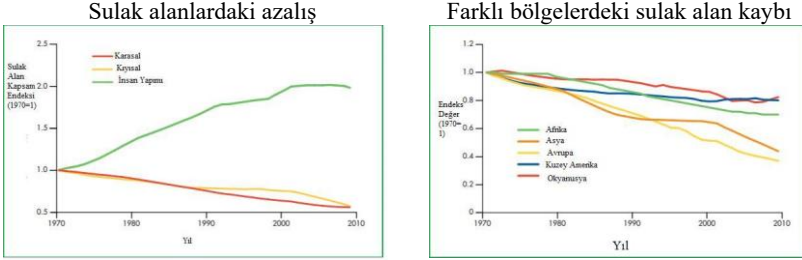
Türkiye'de MGM'nin 1970-2011 yılları arasındaki verilerine dayanan DDSLR (son yağış olayından sonra gerçekleşen en uzun yağışsız / kuru günler) yaklaşımına göre yapılan çalışmada, Akdeniz bölgesinin kıyı bölgesi ile Suriye ve Irak sınırı boyunca en yüksek değerleri kaydedilmiştir. Model çalışmaları gelecekte Türkiye'de özellikle Akdeniz Havzasında daha fazla şiddetli yağış, hortum, fırtına, daha fazla sel, taşkın ve ve daha fazla şiddetli sıcak hava dalgası kuraklık ve orman yangını yaşayacağımızı gösteriyor (Türkeş 2018).

Türkiye için yapılan iklim modellemesinde (HadGEM2), 2 farklı emisyon senaryosu denenmiş ve buna göre ilkinde (RCP 4.5) 1970 - 2000 yılları arasındaki hava sıcaklıkları değerlerine göre 2070-2100 yılları arasında yaz mevsimi 4-6,5°C arasında artması ikincisinde (RCP 8.5) ise 5-5,7°C arasında artması öngörülmektedir. RCP 4.5 senaryosuna göre kış mevsiminde ise 3,5°C, ilkbahar ve sonbaharda 4-4,5°C arasında artması, RCP 8.5 senaryosuna göre ise 4,5°C artış öngörülmektedir (Türkeş 2018).

İklim değişikliğinin Türkiye kıyasal sulak alanları üzerinde olası etkileri

İklim değişikliği dünyada olduğu gibi Türkiye’de de karasal ve sucul ortamlarda sıcaklıkları arttırırken beraberinde birçok sorun doğuracaktır. Deniz suyu seviyesinin artması, olağan dışı hidrolojik olayların sıklığının artması, turizm, tarım, ulaşım, yerleşim yerlerinin terk edilmesi gibi birçok sorunu da beraberinde getirmesi beklenmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2012)

Dünyada karasal ve kıyasal sulak alanlarda azalma artarak devam ederken, insan yapımı sulak alanlar da ise artış gözlenmektedir (Şekil 7). 1986’dan bu yana, Akdeniz’de (Cezayir, Fransa, İspanya, Yunanistan) tarımsal kullanım amacıyla kullanılan sadece 5 havzada bile doğal sulak alanların kaybı %20’dir (Geijendorffer ve diğ. 2018).



Şekil 7. Dünyada Sulak Alan kayıpları (Karakoç 2019)

Türkiye’nin sürdürülebilir kullanılabilir su potansiyeli 112 milyar m³’tür. İklim değişikliğinin en önemli etkisinin su döngüsü üzerinde olacağı dikkate alındığında Türkiye’nin su kaynaklarında da düşüş olacağı tahmin edilmektedir (Şen 2013; Kadioğlu ve diğ. 2017; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2018). Kötümser bir senaryo ile yapılan model projeksiyonlarında, Türkiye’nin su potansiyeli 2050’de %16, 2075’te ise %27 düşüş gösterecektir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2018). Bu durum Türkiye sulak alanları için de geçerlidir.

Akdeniz havzasındaki ülkelerde 1990’dan bugüne olan nüfus artışı %32 iken, Akdeniz ülkelerinin sahil bölgeleri içinse nüfus artışı %42 olarak kaydedilmiştir. Bu bölgelerdeki nüfus artışı iklim değişikliğinin en belirgin etkilerinden biri olan deniz seviyesinin artışından etkileneceklerin sayısının da artması anlamına gelmektedir (Geijendorffer ve diğ. 2018).

Lagünler, hayvanlara barınak-yiyecek sağlamakta ve insanların balıkçılık ve rekreasyonel faaliyetlerine ev sahipliği yapmaktadır. Bu özellikleri ile önemli ekosistem faydaları sağlayan lagünler bir yandan da periyodik ya da ani nüfus artışları, tarımsal faaliyetler, yoğun balıkçılık ve akuakültür gibi kaynakların aşırı kullanımı, kirlilik ve ötrifikasyona sebep olacak antropojenik baskıların etkisi altındadırlar (Sacca 2016).

Küresel iklim değışikliğinin sulak alanlarımıza olası etkileri (senaryolar):

- Sıcaklık artışları ile buzulların erimesi ile deniz seviyesinde oluşabilecek değışimler sulak alanlarımızın kıyı kenar bariyerlerini aşarak ortamdaki tuzluluk seviyesinin kalıcı olarak değıştirmesi, deniz suyunun lagünlerin fonksiyonlarını işlevsizleştirmesi,
- Aşırı ısınmaya bağlı olarak düzensiz yağış rejimi nedeni ile kıyı sulak alanlarımızdaki hidrolojik dengenin bozulması ve buna bağlı olarak ekolojik kırılmalar yaşanması,
- Aşırı besin tuzu girdisi ve ötrofikasyon,
- Isınmaya bağlı olarak suyun gaz tutma kapasitesinin azalması ve verimlilik kaybı,
- Organik yükün artması, amonifikasyon ve asidifikasyon,
- Özellikle Akdenizde tropikleşme sürecinin hızlanması,
- İstilacı türlerin ekosisteme girmesi ve ekonomik kayıplar,
- Biyoçeşitlilikte meydana gelebilecek değışimlerin ekosisteme negatif etkileri,
- Karbon bağlama kapasiteleri oldukça yüksek olan ekosistemler olan Sulak Alanların iklim değışikliği nedeni ile yok olmasına bağlı olarak doğaya daha fazla karbon salınması,
- Sıcaklık artışında denizlerdeki verimliliğin azalması, türlerin yüksek enlemlere doğru kayması, balıkçılığın zarar görmesi, şeklinde ifade edilebilir.

Sonuç olarak, sulak alanların korunması ve rehabilitasyonu ile varlıklarının sürdürülebilir kılınmasının, taşkın kontrolü, su temini, gıda sağlanması ve biyolojik çeşitliliğin korunması açısından büyük önem taşıdığı unutulmamalıdır. Sulak alanların ve delta kıyılarının korunabilmesi için iklim değışiklikleriyle etkin şekilde mücadele edilmelidir. Sulak alanlarımızın sürdürülebilirliği açısından dünya ile yönetimsel modeller konusunda tam entegrasyonun sağlanması ve buna yönelik stratejilerin geliştirilerek uygulamaların politik güvenceye alınmasının en önemli yaklaşım olacağı yadsınmaz.

Kaynakça

Balkaya, N., Çelikoba, İ. (2005) Sulak alanlar ve Kızılırmak Deltası. II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi, MBGAK, İstanbul, Türkiye, 17-19 Kasım 2005, pp. 568-577.

Bayrak, M., Ekinci, D. (2015) Türkiye Lagünlerinin Mekansal Kullanımı ve Başlıca Sorunları. In: Coğrafyada Yeni Yaklaşımlar, (ed., Efe, R.), Samsun, Türkiye, pp. 285-309.

Bekliöglu, M., Ceran, Y., Erdem, O., Erdoğan, S., Hemmami, M., Koopmanschap, E., Meriç, T., Özen, A., Dinç-Sarısoy, H. (2007) Sulak alan Yönetim Planlaması Rehberi. Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü & Kuş Araştırmaları Derneği. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

C3S (2020) Copernicus Climate Change Service, Global Average Temperature. Mevcut adres: <https://climate.copernicus.eu/ESOTC/2019/surface-temperature> (erişim tarihi 21.02.2021).

C3S (2021a) How close are we to reaching a global warming of 1.5°C? Mevcut adres: <https://climate.copernicus.eu/how-close-are-we-reaching-global-warming-15degc> (erişim tarihi 21.02.2021).

C3S (2021b) Surface air temperature anomalies relative to 1981-2010. Mevcut adres: https://cds.climate.copernicus.eu/apps/75786/10_anomaly_plot/134fea9a19d1f58f6f75f41e5635b29b45cbde58?_realm=75786&_request_id=8b22b09c-8c18-4d04-be87-9d974d370226&country=Turkey&yearmonth=Feb%202020 (erişim tarihi 24.02.2021).

Cataudella, S., Crosetti, D., Massa, F. (eds.) (2015) Mediterranean Coastal Lagoons: Sustainable Management and Interactions Among Aquaculture, Capture Fisheries And The Environment. General Fisheries Commission for the Mediterranean. Studies And Reviews 95: I. Rome, FAO.

CMEMS (2020a) Black Sea Anomaly Time Series of Sea Surface Temperature. Mevcut adres: <https://marine.copernicus.eu/access-data/ocean-monitoring-indicators/black-sea-anomaly-time-series-sea-surface-temperature> (erişim tarihi 24.02.2021).

CMEMS (2020b) Mediterranean Sea Anomaly Time Series of Sea Surface Temperature. Mevcut adres: <https://marine.copernicus.eu/access-data/ocean-monitoring-indicators/mediterranean-sea-anomaly-time-series-sea-surface> (erişim tarihi 24.02.2021).

Cox, K., Campell, L. (1997) Global Climate Change and Wetlands: Issues and Awareness, The Global Air Issues Branch Environmental Protection Service Environment, Canada.

Çapar, G. (2019) Su kaynakları yönetimi ve iklim değişikliği. İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi 8, İklimin Projesi. Ankara, Türkiye.

Çeşmeci, H. (2010) İklim değişikliğinin Seyfe Gölü sulakalanına, iklimine ekolojisine ve yöre halkının yaşamına etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2012) İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı 2011-2023, Ankara, Türkiye.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2018) Türkiye'nin Yedinci Ulusal Bildirimi, Ankara, Türkiye.

Dadaser-Celik, F., Bauer, M.E., Brezonik, P.L., Stefan, H.G. (2008) Changes in the Sultan Marshes Ecosystem (Turkey) in Satellite Images 1980-2003. *Wetlands* 28: 852-865.

EEA (2014) Climate change and water — Warmer oceans, flooding and droughts. Mevcut adres: <https://www.eea.europa.eu/signals/signals-2018-content-list/articles/climate-change-and-water-2014> (erişim tarihi 18.02.2021).

Erdem, O. (2004) Sulak Alanlar: Önemi, Temel Sorunları, Türkiye'nin Uluslararası Öneme sahip sulak alanları. Haber Ekspres: İzmir Gediz Deltası ve Kuşları, (28 Şubat 2004), 7 p.

Faydaoğlu, E. (2019) Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Su Kalitesi Yönetimi Hizmet İçi Eğitimi, Antalya, Türkiye.

Geijzendorffer, I., Chazée, L., Gaget, E., Galewski, T., Guelmami, A., Perennou, C. (2018) Mediterranean wetlands outlook 2: Solutions for sustainable Mediterranean Wetlands, Tour du Valat, France.

Kadıoğlu, M., Ünal, Y., İlhan, A., Yürük, C. (2017) Türkiye'de İklim Değişikliği ve Tarımda Sürdürülebilirlik, Türkiye Gıda ve İçecek Sanayii Dernekleri Federasyonu Yayını, İstanbul, Türkiye.

Karadeniz, N., Tiril, A., Baylan, E. (2009) Wetland management in Turkey: problems, achievements and perspectives. *Afr J Agr Res* 4: 1106-1119.

Karakoç, D.Y. (2019) Türkiye'de Sulak Alanlar. Mevcut adres: <https://dspace.ankara.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/20.500.12575/66247/T%c3%bcrk%e2%80%99de%20sulak%20alanlar.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (erişim tarihi 20.02.2021).

Magnin, G., Yazar, M. (1997) Important bird areas in Turkey. Society for the Protection of Nature, Istanbul, Turkey.

Meriç, T.B., Çağırankaya, S. (editörler) (2013) Sulak Alanlar. Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Hassas Alanlar Dairesi Başkanlığı, Sulak Alanlar Şube Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.

NASA (2021) 22 Şubat 2021 itibari ile Yeraltı Suyu Yüzdelerini Gösteren Haritalar. Mevcut adres: <https://nasagrace.unl.edu/> (erişim tarihi 26.02.2021).

Orman ve Su İşleri Bakanlığı (2012) Dipsiz Lagünü Sulak Alan Yönetim Planı Projesi, Dipsiz Lagünü Sulak Alan Alt Havzası Biyolojik Çeşitlilik Araştırma Alt Projesi. Doğa Koruma Ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.

Özdemir, A. (2007) Sulakalanlar İle İlgili Temel Bilgiler. In: Sulakalan Yönetim Planı Rehberi, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, pp. 9-11.

Pakalne, M. (2004) Wetland management methods in protected nature areas and their application in LIFE-Nature projects. Baltic Environmental Forum, University of Latvia Department of Botany and Ecology, Latvia.

Perennou, C., Beltrame, C., Guelmami, A., Tomas Vives, P., Caessteker, P. (2012) Existing areas and past changes of wetland extent in the Mediterranean region: an overview. *Ecologia Mediterranea* 38: 53 - 66.

Ramsar Convention Secretariat (2016) An Introduction to the Convention on Wetlands (previously The Ramsar Convention Manual), Gland, Switzerland.

Sacca, A. (2016) Chapter 1. Confined Coastal Lagoons: Extraordinary Habitats At Risk. In: Coastal Lagoons: Geology, Characteristics And Diversity, (ed., Snyder, C.), Nova Science Publishers, New York, pp. 1-25.

Simmons, A.J., Berrisford, P., Dee, D.P., Hersbach, H., Hirahara, S., Thépaut, J.-N. (2017) A reassessment of temperature variations and trends from global reanalyses and monthly surface climatological datasets. *QJR Meteorol Soc* 143: 101-119.

Stern, N., Stern, N.H. (2007) The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge University Press, United Kingdom.

Şen, Ö.L. (2013) A Holistic View Of Climate Change and Its Impacts in Turkey, IPC-Sabancı University, Istanbul, Turkey.

Tarım ve Orman Bakanlığı (2020) Türkiye'deki Sulak Alanlar. Mevcut adres: <https://www.tarimorman.gov.tr/DKMP/Belgeler/Korunan%20Alanlar%20Listesi/3-%20sulak%20alanlar.pdf> (erişim tarihi 16.02.2021).

Tarım ve Orman Bakanlığı (2021) Türkiye 2020 Yılı İklim Değerlendirmesi, İklim ve Zirai Meteoroloji Dairesi Başkanlığı Araştırma Dairesi Başkanlığı, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.

Türkeş, M. (2008) İklim Değişikliği ve Küresel Isınma Olgusu: Bilimsel Değerlendirme. In: Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü: İklim Değişikliğinin Bilimsel, Ekonomik ve Politik Analizi. (ed., Karakaya, E.) Bağlam Yayınları, İstanbul, Türkiye, pp. 21-57.

Türkeş, M. (2012) Küresel İklim Değişikliği ve Çölleşme. In: Günümüz Dünya Sorunları –Disiplinlerarası Bir Yaklaşım (ed., Özgen, N.), Eğiten Kitap, Ankara, Türkiye, pp. 1-42.

Türkeş, M. (2013a) İklim değişiklikleri: Kambriyen'den Pleyistosene, Geç Holosen'den 21. Yüzyıla. *Ege Coğrafya Dergisi* 22(1): 1-25.

Türkeş, M. (2013b) Türkiye'de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi* 4(2): 1-32.

Türkeş, M. (2018) İklim Değişikliğinin Bilimsel Temelleri, Türkiye'ye Etkileri. İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi 1, İklimin Projesi. Ankara, Türkiye.

WWF (2008) Türkiye'deki Ramsar Alanları Değerlendirme Raporu. Mevcut adres: https://wwftr.awsassets.panda.org/downloads/wwf_turkiye_ramsar_alanlari_degerlendirme_raporu.pdf?1421 (erişim tarihi 16.02.2021).

İklim Değişikliğinin İstilacı Yabancı Türlerin Başarısına Etkisi

Arzu KARAHAN

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli-Mersin, Türkiye
arzukarahan@ims.metu.edu.tr

Özet

İstilacı yabancı türler, doğal alanlarının dışındaki yerlere giren ve oradaki biyoçeşitliliği olumsuz yönde etkileyen türlerdir. Doğu Akdeniz istilacı tür baskısından en fazla etkilenen alanlardan biridir. Bunun en önemli kaynağı ise Süveyş Kanalı'dır. İklim değişikliği ve istilacı tür baskısı birbirlerini besleyen iki unsur haline gelmiştir. Şöyle ki, iklim değişikliği, birçok yabancı türün yayılmasını ve yerleşmesini kolaylaştırmakta ve istilacı olmaları için fırsatlar yaratmaktadır. Kasırğa, sel ve kuraklık gibi iklim değişikliğinden kaynaklanan aşırı iklim olayları, istilacı yabancı türleri yeni alanlara taşınmakta ve yerel habitatların istilalara karşı direncini azaltmaktadır. Okyanus asitlenmesi larva gelişimleri ve döllenmeyi etkilemekte, böylece doğal türlerin direncini azaltmakta ve bu da istilacı türler ile olan mücadelelerini kaybetmelerine neden olmaktadır. "İstilaların epidemiyolojisini" anlamak, mevcut istilaları kontrol etmek ve gelecekteki istilaları önlemek açısından oldukça önemlidir. Yabancı türlerin farklı popülasyonları arasındaki melezlenmeler, yeni genetik düzenlemeler ortaya çıkarmakta, yeni oluşan popülasyonların istilacı olmasına neden olabilmektedir. Öte yandan her yabancı tür istilacı olmamaktadır. Türün istilacı olma potansiyellerinin araştırılması, içinde DNA barkodlama ve eDNA (çevresel DNA)'nın da olduğu oldukça geniş kapsamlı moleküler teknikler kullanılarak yapılmaktadır. Bu şekilde istilacı tür henüz logaritmik artış fazına girmeden tanımlanabilmekte ve mücadele başlatılabilmektedir. Böylece hem ekolojik hem de ekonomik kazanç sağlanmaktadır. İklim değişikliği etkilerinin istilacı tür başarısını arttırması nedeni ile, istilacı türler ile olan mücadelenin kapsamı, iklim değişikliği ile mücadele kapsamında alınan tedbirler ölçüsünde genişletilmeli, etkin bir mücadele için birlikte değerlendirilmelidirler.

Anahtar Kelimeler: Yabancı türler, iklim değişikliği, istilacı tür başarısı, genetik çeşitlilik, melezlenme

İstilacı türler ve iklim değişikliği

İstilacı yabancı türler, doğal alanlarının dışındaki yerlere giren ve oradaki biyoçeşitliliği olumsuz yönde etkileyen türlerdir. Bu türler ekonomiye oldukça büyük zararlar verebilmektedirler. İstilacı türlerin küresel maliyetinin yılda 1,4 trilyon dolar olduğu, bu türlerin yalnızca ABD'de her yıl 120 milyar dolardan fazla zarara neden oldukları bildirilmiştir (Pimentel ve diğ. 2000, 2005). İstilacılar, özellikle geçimleri doğal kaynaklara, sağlıklı ekosistemlere, ticarete ve turizme dayalı olan gelişmekte olan ülkelerdeki yoksul kesimleri daha fazla etkilemekte, bu toplulukların iş alanlarını yok ederek göçe zorlamaktadır (CABI 2021).

Doğu Akdeniz istilacı tür baskısından en fazla etkilenen alanlardan biridir (Karahan ve diğ. 2017). Bunun en önemli kaynağı ise Süveyş Kanalı'dır. Şöyle ki, 1869 yılında 164 km uzunluk ve 8 m derinliğinde inşa edilen kanalın uzunluğu 2010 yılında 193 km'ye, genişliği 225 m'ye ve derinliği 24 m'ye ulaşmıştır. Son olarak Mısır yönetimi 2015 yılında kanalın bir kısmına paralel olarak yaptırdığı 2. bir kanalı açmıştır. Bu da Kızıldeniz'den Akdeniz'e geçen tür sayısında artışa neden olmuştur. Günümüzde Akdeniz'de 600'ün üzerinde Kızıldeniz türü tanımlanmıştır ve henüz tanımlanmamış türlerin olması muhtemeldir (Galil ve diğ. 2015). Yerli olmayan türlerin yönetimi ve kontrolü, koruma biyologlarının önümüzdeki yıllarda karşılaşılabileceği en büyük zorluklardan biri olarak öngörülmektedir.

Öte yandan iklim değişikliği ve istilacı tür baskısı birbirlerini besleyen iki unsur haline gelmiştir. Şöyle ki, iklim değişikliği, birçok yabancı türün yayılmasını ve yerleşmesini kolaylaştırmakta ve istilacı olmaları için fırsatlar yaratmaktadır (Nellemann ve diğ. 2008; Şekil 1). İstilacı yabancı türler, doğal yaşam alanlarının (karasal, sucul), tarım sistemlerinin ve kentsel alanların iklim değişikliğine karşı direncini azaltmakta böylelikle habitatları biyolojik istilalara savunmasız hale getirmekte, yerel türlerin iklim değişimine olan direncini azaltmaktadır. Öte yandan kasırga, sel ve kuraklık gibi iklim değişikliğinden kaynaklanan aşırı iklim olayları, istilacı yabancı türleri yeni alanlara taşımakta ve yerel habitatların istilalara karşı direncini azaltmaktadır. İklim değişikliği aynı zamanda bu türlerin tanıtılması için yeni yollar açmaktadır. Örneğin, buzulların erimesi nedeniyle ortaya çıkan Arktik nakliye geçitleri, gemilerin Asya'dan Avrupa'ya seyahatleri için harcanan zamanı büyük ölçüde azaltmaktadır. Okyanus asitlenmesi larval gelişimleri ve döllenmeyi etkilemekte, böylece doğal türlerin direncini azaltmaktadır. Okyanus asitlenmesinin larvalara olan etkisinin yetişkinlerden çok daha yıkıcı olduğu, yetişkinlerde de üremede anormalliklere neden olduğu bildirilmiştir (Ross ve diğ. 2011). Bunlar yumurta ve sperm üretiminde aksama, döllenme, gelişme dahil olmak üzere pek çok aşamada aksamalar şeklinde bildirilmiş, özellikle yumuşakçalar ve derisidikenliler gibi artan CO₂'den etkileenecek bir kabuğa sahip olan canlılarda bunun daha da yıkıcı olduğu rapor edilmiştir (Ross ve diğ. 2011).

İstilaların epidemiyolojisi

"İstilaların epidemiyolojisini" anlamak, mevcut istilaları kontrol etmek ve gelecekteki istilaları önlemek açısından oldukça önemlidir (Mack ve diğ. 2000; Walker ve diğ. 2003). Giren popülasyonun kaynağını, bir türün bir alana girme sıklığını, her bir girişin boyutunu ve sonraki yayılma modelini anlamak, etkili kontrol mekanizmaları geliştirmek için önemlidir. Bununla birlikte, bu tür olayları gözlemek ve girişlerin göreceli sıklığını veya yayılma modelinin değerlendirilmesini yapmak oldukça zordur. Moleküler belirteçler, bu soruları yanıtlamak için önemli bir fırsat sağlamaktadırlar. Türün genetiğinin anlaşılması,

hangi türlerin istilacı olma potansiyelinin daha yüksek olduğunu tahmin etmeye yardımcı olmaktadır (Allendorf ve Gordon 2007).



Şekil 1. İstilacı türler ve iklim değişikliği ilişkisi (Nellemann ve diğ. 2008'den)

İstilacı bir türün gelişiminde iki ana aşama vardır. İlk aşama, yeni bir alana yerli olmayan bir türün girmesi, kolonileşmesi ve kurulmasıdır. Başka bir deyişle, tanıtılan türler (yabancı türler) varmalı, hayatta kalmalı ve yerleşmelidir. İkinci aşama, yabancı türlerin yerli türlerin yerini almasıdır. Yerli olmayan bir türün istilacı hale gelmek için bu iki aşamadan geçip geçmeyeceğini tahmin etmemize yardımcı olabilecek genetik ilkeler; genetik sürüklenme, gen akışı, melezlenme, doğal seçim ve adaptasyon olarak sıralanabilir. Her yabancı tür istilacı tür haline gelmez. Genetik çalışmalar, hangi türlerin istilacı olma olasılığının daha yüksek olduğunu tahmin etmeye de yardımcı olmaktadır (IUCN 2021). Yapılan çalışmalar kendi doğal alanının dışına çıkan her 10 türden yalnızca birinin yerleşik hale geldiğini ve yerleşik hale gelen her 10 türden yalnızca birinin istilacı olduğunu, yani yabancı her 100 türden sadece birinin istilacı olduğunu göstermiştir (Allendorf ve Gordon 2007). İstilacı türler, popülasyon biyolojisi ve

türlerin kısa vadeli evrimi gibi temel araştırmalar için de olağanüstü fırsatlar sağlamaktadır (Lee 2002).

Kurucu darboğazı (Bottleneck) ve yerel uyumların (Adaptasyon) etkileri

Koruma genetiğindeki endişelerin çoğu, küçük popülasyonların potansiyel zararlı özellikleri biriktirmesi ile ilgilidir. şöyle ki, genetik sürüklenme yoluyla çeşitlilik kaybı ve akraba çiftleşmelerinin artması bu popülasyonların yok olmasına katkıda bulunmaktadır. Bununla birlikte, yabancı türlerin kolonizasyonu genellikle bir popülasyon darboğazını içerir, çünkü ilk kolonistlerin sayısı genellikle azdır. Bu nedenle, yeni kurulmuş bir popülasyon, türediği popülasyondan genetik olarak daha az çeşitli olacaktır (Barrett ve Kohn 1991; Frankham 2008).

Azalan genetik çeşitliliğin iki zararlı sonucu olabilir; Birincisi, akrabalı üreme depresyonu (inbreeding depression) nüfus artışıını sınırlayabilir ve popülasyon devamlılığını tehlikeye sokar. İkincisi, azalan genetik çeşitlilik, tanıtılan popülasyonların yeni çevrelerinde evrimleşme yeteneklerini sınırlayacaktır. Dolayısıyla Allendorf ve Gordon (2007) tarafından iki paradoks bildirilmiştir, İlki; **‘Eğer popülasyon darboğazları zararlı ise, o halde kurucu bir darboğazdan geçen istilacı türler neden bu kadar başarılılar?’** sorusudur. Bu paradoksa bir cevap, ortaya çıkan türlerin genellikle yerli türlerden daha fazla genetik çeşitliliğe sahip olmasıdır, çünkü bunlar birkaç kaynak popülasyonun bir karışımıdırlar. Yani, daha fazla sayıda tanıtılan birey ile salım olaylarının sayısı arasındaki açık ilişki ve tanıtılan bir türün istilacı olma olasılığı, birçok istilacı türün, beklendiği kadar genetik olarak etkisiz hale gelmediğini göstermektedir. Ayrıca bitki türleri, eşeysiz üreme yoluyla akraba üremesinin zararlarını önleyebilmektedirler, şöyle ki, birçok istilacı bitki türü eşeysiz (apomiksis veya vejetatif) üreme yoluyla çoğalır (Asker ve Jerling 2017). Her iki durumda da akraba depresyonunun etkilerinden kaçınılır çünkü yeni nesil, ebeveyn bitkileriyle genetik olarak özdeştir. *Caulerpa taxifolia* buna verilebilecek en çarpıcı örneklerden biridir. 1980 yılında bu yosunun belirli bir suşunun soğuk akvaryum ortamlarında büyüdüğünün keşfetmesinin sonra hem kimyasallara hem de ultraviyole ışığana maruz bırakılarak seçici üreme yapılmış ve sonuçta ortam koşullarına oldukça dirençli bir *Caulerpa* suşu üretilmiştir. Bu suşun kazara 1984 yılında Jacques Cousteau'nun Monako Oşinografi Müzesi'nden Akdeniz'e bırakılması ile insan eliyle geliştirilen en tehlikeli türlerden biri doğaya salınmış oldu. Sadece on yıl sonra, *Caulerpa*'nın 3.000 hektarı (7.400 dönüm) kaplayacak şekilde büyüdüğu ve yerli bitkilerin büyümesinin engellendiği bildirilmiş ve tür "Katil yosun" lakabını almıştır (Allendorf ve Gordon 2007).

Paradoksun diğer ayağı ise yerel uyumlar (adaptasyon) ile ilgilidir. Yerel adaptasyonların varlığı, tehdit altındaki türlerin korunmasındaki en önemli endişelerden biridir (McKay ve Latta 2002). Yani, yerel popülasyonlar arasındaki uyumsal farklılıkların, farklı çevresel koşullarda farklı seçici baskılara neden olması beklenmektedir. Coğrafi olarak izole olmuş popülasyonlarda bu tür yerel

adaptasyonların varlığı, tehdit altındaki türlerin yönetiminde önemli bir rol oynar (Crandall ve diğ. 2000). Bir tür, yeni bir bölgeye girdiğinde, tamamıyla yeni bir çevre ile karşı karşıya kalacaktır. Bununla birlikte, tanıtılan türlerin çoğu genellikle rekabet eder ve yerli türlerin yerini alır. Allendorf ve Gordon (2007) tarafından bildirilen 2. paradoks şöyledir; “Eğer yerel uyum önemliyse, o zaman yabancı türler neden yerli türlerin yerini almakta bu kadar başarılılar?”. Yabancı türlerin neden yerli türlerden daha iyi performans gösterdiğini açıklamak için çeşitli açıklamalar önerilmiştir; birincisi, bazı türler, daha rekabetçi bir ortamda evrimleştikleri için özünde daha iyi rakipler olabilir şeklindedir. İkincisi ise, olası düşman yokluğu yerli olmayan türlerin büyüme ve üreme için daha fazla kaynağa sahip olmasına ve böylece yerli türleri geride bırakmasına izin verebilir. Özetle, her ne kadar yerli türler daha iyi adapte olmuş olsalar da, yabancı türlerin iyi performans göstermesinin birkaç nedeni olabilir.

Yabancı türlerin genetik analizi

Yabancı türlerin genetik analizi taksonların kökeni, genetik çeşitliliğin miktarı ve yayılma mekanizmaları hakkında değerli bilgiler vermektedir. Genetik çalışmalar olmadan türün istilacı olma potansiyelinin araştırılması veya istilacı tür olduğunun tanımlanması (kriptik türleşme) oldukça zordur. Amerika Birleşik Devletleri'nin güneydoğusu boyunca yayılan Asya bataklık veya pirinç yılanbalığı (cins *Monopterus*) popülasyonları bu duruma verilecek güzel bir örnektir. Bataklık yılanbalıkları hem su hem de atmosfer solunumu yapabilen avcılardır. Kuraklığa tolerans sağlayan, oldukça yüksek miktarlarda üretebildikleri mukus sayesinde zorlu ekolojik koşullarda yaşayabilmektedirler. Bataklık yılanbalıklarının benzer morfolojileri tür tanımlamalarını oldukça zorlaştırmaktadır. Collins ve diğ. (2002), bu yabancı yılan balıklarının tek bir tanıtım ile mi çoklu girişler sonucunda mı şekillendiklerini öğrenmek için mtDNA analizi yapmışlardır. Sonuç olarak birbirlerine oldukça yakın bir çevrede (<40 km) bulunan popülasyonların bile genetik olarak farklı olduklarını ortaya koymuşlardır. Çalışmanın diğer bir çarpıcı sonucu, genetik olarak farklı olan bu popülasyonların iki veya üç farklı türü temsil ettiğinin bildirilmesidir.

Yabancı türleri tanımlamak amacıyla yapılan çalışmalar oldukça çeşitli ve kapsamlıdır; bazı yabancı türler popülasyon genetiği çalışmaları ile tanımlanırken, diğer bazıları için filocoğrafya çalışmaları yapılmaktadır, fakat her durumda öncelikle yapılması gereken türlerin DNA barkodlarının oluşturulmasıdır. Klasik DNA barkodlama tekniği (Hebert ve Gregory 2005) istilacı hayvan türü tanımlamasında kullanılan temel tekniklerden biridir. Bu yöntem kullanılarak birçok yabancı hayvan türünün DNA barkodu yapılmış ve BOLD system ve NCBI'a yüklenmiştir (Çiftçi ve diğ. 2017; Karahan ve diğ. 2017; Yücel ve diğ. 2017). Oluşturulan barkodlar istilacı türlerin takibini kolaylaştırmakta ve daha hızlı bir şekilde tanımlanmasını sağlamaktadır. Klasik DNA barkodlama tekniğini yanında deniz suyu, bentoz, dışkı vb. örnekleri kullanarak örnek içinde bulunan hedef türlerin veya tüm canlıların belirlenmesine

dayanan metabarkodlama veya eDNA yöntemi ise çok daha fazla türün kısa süre içinde tanımlanmasını sağlamakta böylece türler istilacı hale gelmeden tespit edilebilmektedirler.

Yabancı türlerde genetik çeşitliliğin tanımlanması için iki model bildirilmiştir;

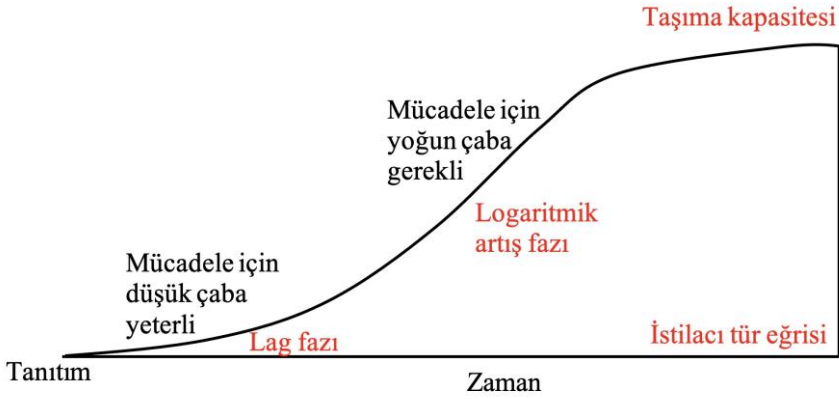
- 1) Darboğaz modeli: Çoğu durumda, tanıtılan türlerin yalnızca birkaç kurucusu olabilir, böylece genetik çeşitlilik kurucu etkisiyle azalmış olur. Stone ve Sunnucks (1993), güneydoğu Avrupa'ya tanıtılan Türkiye meşesini habitatı olarak kullanan *Andricus quercusalis*'in isimli yaban arısının (gallwasp) kuzey ve batı Avrupa'daki istilasını incelemiş ve doğal aralıktan daha uzaktaki popülasyonların azalmış genetik çeşitliliğini türün son 300-400 yılda Avrupa'ya yayılırken bir dizi darboğazdan geçtiğinin göstergesi olarak yorumlamıştır.
- 2) Karışım (Admixture) modeli: Darboğaz modelinin aksine birçok yabancı tür, doğal aralıktaki popülasyonlara kıyasla daha büyük çeşitliliğe sahiptir, çünkü kurucuları farklı yerel popülasyonlardan gelmektedir. Farklı popülasyonlardan bireyleri karıştırmak genetik çeşitliliği arttırmaktadır. Bu nedenle, farklı gölcüklerden eşit sayıda balığı yeni bir göle sokarsak ve balıklar rastgele çiftleşirse, yeni kurulan popülasyonda beklenen heterozigotluk (allele farklılığı) orijinal popülasyonlardan çok daha yüksek olacaktır (Allendorf ve Gordon 2007).

Üreme mekanizmalarının genetik olarak analizi: Moleküler analizler, tanıtılan bir bitki türünün eşeyli mi yoksa eşeysiz olarak mı çoğaldığını, üreme sistemini ve tanıtılan türün poliploidi düzeyini belirlemek için de kullanılabilir ve bir istilacı eşeysiz olarak çoğalıyorsa kaç farklı klonal soyun mevcut olduğu belirlenebilir (Chapman ve diğ. 2004). Örneğin, genetik çalışmalar Akdeniz'e tanıtılmış olan 'katil yosunun' Kaliforniya kıyılarında rapor edilen popülasyonlar ile aynı olduğunu, türün sadece eşeysiz üreme ile bu kadar geniş bir alana yayıldığını göstermiştir (Jousson ve diğ. 2000).

İstilacı türlerin yayılması

İstilaların ortak özelliği, ilk kolonizasyon ile hızlı nüfus artışı ve alan genişlemesinin başlangıcı arasındaki bekleme (lag time) süresidir (Sakai ve diğ. 2001; Nellemann ve diğ. 2008) (Şekil 2). Bu süreç, yeni habitata adaptasyonların evrimini, istilacı yaşam öyküsü özelliklerinin evrimini veya akraba depresyonundan sorumlu genetik yükün temizlenmesini içerebilir. Birçok durumda başarılı bir istila olma olasılığı üzerinde genetik kısıtlamalar vardır. Başarılı istilacılar, lag sürelerinde, bu genetik kısıtlamaların üstesinden gelecek uyumlar kazanmaktadırlar (Mack ve diğ. 2000; Ellstrand ve Schierenbeck 2006). Yabancı türlerin çoğu yeni ortamlarında başlangıçta (Lag süresi) düşük ve bazen tespit edilemeyen sayılarda kalır ve ardından yıllar veya on yıllar sonra istilacı

hale gelirler (Allendorf ve Gordon 2007). Öte yandan yayılma baskısı (Propagule effect), giriş çabası olarak da adlandırılır, bir türün yerli olmadıkları bir bölgeye salınan bireylerinin sayısının bileşik bir ölçüsüdür. Yerli olmayan bir türün yerleşip yerleşmeyeceğini tahmin etmek için en önemli faktör propagül baskısı olarak ortaya çıkmıştır (Kolar ve Lodge 2001). Yayılma baskısı hem tanıtılan bireylerin sayısını hem de salım olaylarının sayısını içerir. Sadece demografi temelinde tanıtılan türlerin oluşumunda propagül baskısının önemli bir faktör olması beklenmektedir. Tanıtılan bir türün genetiğinin propagül baskısından etkilenmesinin başlıca iki yolu vardır. İlk olarak, daha fazla sayıda kurucu bireyin herhangi bir popülasyon darboğazının etkisini azaltması beklenir, böylece yeni kurulan popülasyon daha büyük genetik çeşitliliğe sahip olur. İkincisi ve belki de en önemlisi, farklı tanıtımların farklı kaynak popülasyonları olabilir. Bu nedenle, genetik olarak farklı yerli popülasyonlardan bireyler arasındaki hibridizasyon, aynı türün yerli popülasyonlarından daha fazla genetik varyasyona sahip olan popülasyonlarla sonuçlanabilir (Ellstrand ve Schierenbeck 2006).



Şekil 2. İstilacı türün yeni coğrafyadaki büyüme grafiği (IUCN 2021'den).

Melezlenmeler (Hibridizasyon) (Allendorf ve Gordon 2007);

- 1) Evrimsel yenilik sağlamaktadır; şöyle ki melezlenme, ebeveyn taksonlarının hiçbirinde meydana gelmeyen yeni genotiplerin ve fenotiplerin oluşumu ile sonuçlanabilir.
- 2) Genetik çeşitliliği arttırmaktadır; melezlerin evrimsel başarısından genetik çeşitlilik miktarındaki bir artış tek başına sorumlu olabilir. Yani, melez popülasyonlardaki daha büyük genetik varyasyon (heterozigotluk ve alelik çeşitlilik), doğal seçim için uyarlanabilir evrimsel değişim sağlamak için daha fazla avantaj sağlayabilir.
- 3) Genetik yükü azaltır; izole olmuş küçük popülasyonlarda zararlı çekinik mutasyonlar birikir, popülasyonlar arasındaki melezlenmeler bu yükte bir azalmaya yol açabilir.

Sonuç

İstilacı olma potansiyeli olan türlerin logaritmik artış fazına girmeden önce tanımlanması oldukça önemlidir. Bu sayede daha kısa sürede daha az ekonomik kayıpla bu türlerin yeni ortamlarında yok edilmesi mümkündür. Öte yandan iklim değişikliğinin yer değişimlerini hızlandırdığı ve doğal türleri olumsuz etkilediği günümüzde çok daha fazla istilacı tür baskısı ile karşılaşmamız kaçınılmazdır. Şu ana kadar istilacı türlerin yok edilmesinde uygulanan 3 yöntem bildirilmiştir;

- 1) ‘Önce vur, sonra soru sor’; yabancı türün hiçbir bilimsel çalışma yapılmadan yeni ortamından yok edilmesi esasına dayanır, Böylece tür geniş alanlara yayılmadan kontrol altına alınır.
- 2) Biyolojik mücadele; tanıtılan türün ortamına salınan o türün avcısı olan bireylerin kullanılması veya tanıtılan türün genetik olarak modifiye edilmiş bireylerinin ortama salınarak üreme yeteneği düşük veya kısır yeni nesillerin üretilmesi gibi farklı teknikler içermektedir.
- 3) Pestisit ve herbisit kullanılması. En eski yöntemlerden biridir, maalesef ki hem doğal kaynakların kirlenmesine neden olmakta hem de seçici olmayan etkisi nedeni ile doğal türlere de zarar vermektedir.

İklim değişikliğinin istilacı tür başarısını arttırması nedeni ile burada 4. bir yöntem olarak

- 4) İklim değişikliği ile mücadele yöntemlerinin başlıca maddelerinin;
 - a) Karbon salınımının azaltılması,
 - b) Ekolojik enerji üretim yöntemlerinin yaygınlaştırılması,
 - c) Su ve enerji tüketiminin azaltılmasının

istilacı türler ile mücadele yöntemlerine eklenmesi önerilmektedir.

Kaynakça

Allendorf, F.W., Luikart, G. (2007) Conservation and the genetics of populations. Blackwell Publishing, Victoria, Australia.

Asker, S.E., Jerling, L. (2017) Apomixis in Plants. CRC Press, Boca Roca, Florida, Turkey, doi: 10.1201/9781315137537.

Barrett, S.C.H., Kohn, J.R. (1991) Genetic and evolutionary consequences of small population size in plants; implications for conservation. In: Genetics and conservation of rare plants, (eds. Falk, D. A., Holsinger, K.E.), Oxford University Press, New York, USA, pp. 3-30.

CABI. (2021) Prevent. Detect. Control. Taking action against invasive species. Mevcut adres: <https://www.invasive-species.org> (erişim tarihi 07.03.2021).

Chapman, H., Robson, B., Pearson, M.L. (2004) Population genetic structure of a colonising, triploid weed, *Hieracium lepidulum*. *Heredity* 92: 182-188.

Collins, T.M., Trexler, J.C., Nico, L.G., Rawlings, T.A. (2002) Genetic diversity in a morphologically conservative invasive taxon: Multiple introductions of swamp eels to the southeastern United States. *Conservation Biology* 16: 1024-1035.

Crandall, K.A., Bininda-Emonds, O.R.P., Mace, G.M., Wayne, R.K. (2000) Considering evolutionary processes in conservation biology. *Trends in Ecology & Evolution* 15: 290-295.

Çiftçi, O., Karahan, A., Orek, Y.A.K., Kideys, A.E. (2017) First record of the buccaneer anchovy *Encrasicholina punctifer* (Fowler, 1938) (Clupeiformes; Engraulidae) in the Mediterranean Sea, confirmed through DNA barcoding. *Journal of Applied Ichthyology* 33: 520-523.

Ellstrand, N.C., Schierenbeck, K.A. (2006) Hybridization as a stimulus for the evolution of invasiveness in plants? *Euphytica* 148: 35-46.

Frankham, R. (2008) Inbreeding and Extinction: Island Populations. *Conservation Biology* 12: 665-675.

Galil, B.S., Boero, F., Campbell, M.L., Carlton, J.T., Cook, E., Fraschetti, S., Gollasch, S., Hewitt, C.L., Jelmert, A., Macpherson, E., Marchini, A., McKenzie, C., Minchin, D., Occhipinti-Ambrogi, A., Ojaveer, H., Olenin, S., Piraino, S., Ruiz, G.M. (2015) 'Double trouble': the expansion of the Suez Canal and marine bioinvasions in the Mediterranean Sea. *Biological Invasions* 17: 973-976.

Hebert, P.D.N., Gregory, T.R. (2005) The Promise of DNA Barcoding for Taxonomy. *Systematic Biology* 54: 852-859.

IUCN. (2021) Invasive alien species and climate change Mevcut adres: <https://www.iucn.org/resources/issues-briefs/invasive-alien-species-and-climate-change> (erişim tarihi 07.03.2021).

Jousson, O., Pawlowski, J., Zaninetti, L., Zechman, F.W., Dini, F., Di Guiseppe, G., Woodfield, R., Millar, A., Meinesz, A. (2000) Invasive alga reaches California. *Nature* 408: 157-158.

Karahan, A., Douek, J., Paz, G., Stern, N., Kideys, A.E., Shaish, L., Goren, M., Rinkevich, B. (2017) Employing DNA barcoding as taxonomy and conservation tools for fish species censuses at the southeastern Mediterranean, a hot-spot area for biological invasion. *Journal for Nature Conservation* 36: 1-9.

Kolar, C.S., Lodge, D.M. (2001) Progress in invasion biology: predicting invaders. *Trends in Ecology & Evolution* 16: 199-204.

- Lee, C.E. (2002) Evolutionary genetics of invasive species. *Trends in Ecology & Evolution* 17: 386-391.
- Mack, R.N., Simberloff, D., Lonsdale, W.M., Evans, H., Clout, M., Bazzaz, F.A. (2000) Biotic invasions: Causes, epidemiology, global consequences, and control. *Ecological Applications* 10: 689-710.
- McKay, J.K., Latta, R.G. (2002) Adaptive population divergence: markers, QTL and traits. *Trends in Ecology & Evolution* 17: 285-291.
- Nellemann, C., Hain, S., Alder, J. (2008) In Dead Water: Merging of Climate Change with pollution, over-harvest, and inestations in the worlds fishing grounds. UNEP/Earthprint, GRID-Arendal, Norway.
- Pimentel, D., Lach, L., Zuniga, R., Morrison, D. (2000) Environmental and economic costs of nonindigenous species in the United States. *BioScience* 50: 53-65.
- Pimentel, D., Zuniga, R., Morrison, D. (2005) Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics* 52: 273-288.
- Ross, P.M., Parker, L., O'Connor, W.A., Bailey, E.A. (2011) The impact of ocean acidification on reproduction, early development and settlement of marine organisms. *Water* 3: 1005-1030.
- Sakai, A.K., Allendorf, F.W., Holt, J.S., Lodge, D.M., Molofsky, J., With, K.A., Baughman, S., Cabin, R.J., Cohen, J.E., Ellstrand, N.C., McCauley, D.E., O'Neil, P., Parker, I.M., Thompson, J.N., Weller, S.G. (2001) The population biology of invasive species. *Annual Review of Ecology and Systematics* 32(1): 305-332.
- Stone, G.N., Sunnucks, P. (1993) Genetic consequences of an invasion through a patchy environment — the cynipid gallwasp *Andricus quercuscalicis* (Hymenoptera: Cynipidae). *Molecular Ecology* 2: 251–268.
- Walker, N.F., Hulme, P.E., Hoelzel, A.R. (2003) Population genetics of an invasive species, *Heracleum mantegazzianum* : implications for the role of life history, demographics and independent introductions. *Molecular Ecology* 12: 1747-1756.
- Yücel, N., Sakallı, A., Karahan, A. (2017) First record of the honeycomb stingray *Himantura leoparda* (Manjaji-Matsumoto & Last, 2008) (Myliobatoidei: Dasyatidae) in the Mediterranean Sea, confirmed by DNA barcoding. *Journal of Applied Ichthyology* 33: 530-532.

Doğu Akdeniz Balık Stoklarında Son 40 Yıllık Süreçte İklim Etkisine Bağlı Gözlenen Değişimler ve İleriye Yönelik Uyum Önerileri

Ali Cemal GÜCÜ

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli, Mersin, Türkiye
gucu@ims.metu.edu.tr

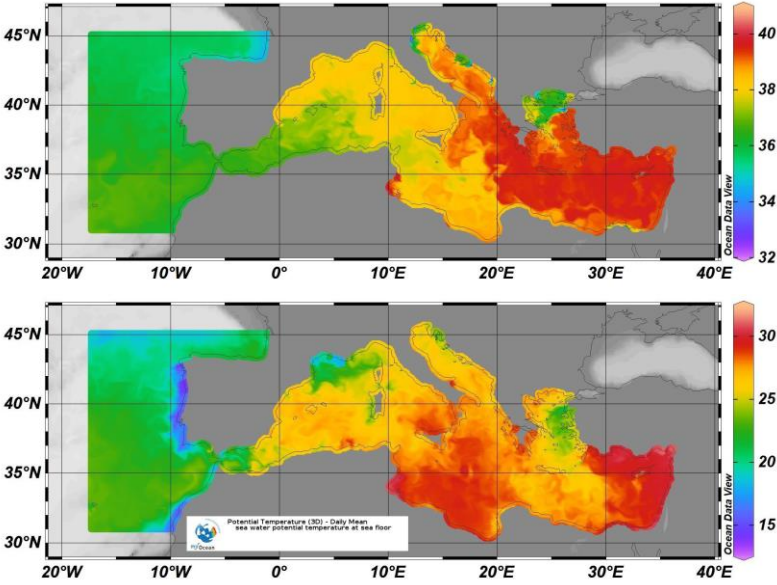
Özet

Bu çalışmada Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü'nün 1980 yılında başlattığı ve farklı projelerle 40 yıl boyunca gerçekleştirdiği deniz çalışmalarında yapılan gözlemler değerlendirilmektedir. Bu süreç boyunca gözlenen değişimler ve bu değişimlerin iklim değişikliğiyle olası ilişkileri incelenmiş ve ileriye yönelik önlemler önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kuzeydoğu Akdeniz, balık stokları, Lessepsian göç, önlemler

Akdeniz'in bir zamanlar tropik bir okyanus olduğu, hatta deniz suyu kimyasının değişip oksijen içeriğinin artarak modern faunanın şekillenmesine zemin oluşturduğu ve Kambriyen patlaması olarak bilinen dönemde ilk balıklara, yumuşakçaların çeşitlenmesine ev sahipliği yaptığı bilinmektedir (Schopf 1999). Ancak, denizel biyolojik çeşitliliğin beşdiği olan bu okyanusun kıtaların hareketleri nedeniyle kapandığı, kuruduğu, bugün Akdeniz'in olduğu bölgenin kurak bir tuz çölüne dönüştüğü de bilinmektedir. 5,5 milyon yıl önce kuru bir çukur olan bu alanın Atlantik Okyanusuyla yeni bir bağ oluşturması sonucu modern Akdeniz'in şekillenmeye başladığı düşünülmektedir (Hsu 1983). Kuruduğunda tropik okyanus döneminde sahip olduğu biotanın tamamına yakını kaybeden Akdeniz'in fauna ve florası bu bağlantı sonrasında Atlantik kökenli canlılarca yeniden şekillendirilmeye başlamıştır (Tortonese 1985).

Ancak, Akdeniz'in en batısında, Atlantik Okyanusu'na açılan kapısı Cebelitarık Boğazı'nda ılıman iklim hüküm sürerken, en doğusundaki, örneğin İskenderun Körfezi'nde iklim subtropik olarak sınıflandırılmaktadır. Bu iki uç arasında yaz mevsimindeki sıcaklık farkı 10°C'yi bulmaktadır (Şekil 1). Akdeniz'in en doğusunda deniz suyu tuzlulukları da batıya göre yüksektir (Şekil 1). İki uç arasındaki bu ekolojik farklar Atlantik Okyanusu'ndan Akdeniz'e giren türlerin ancak yarısının doğuya uyum sağlayabilmesine imkan vermiştir. Bu nedenle de yakın bir geçmişe kadar Doğu Akdeniz'deki tür zenginliği batıdakiakinin ancak yarısına ulaşabilmiştir (Tortonese 1985). Ancak 1880'lerde yapılan Süveyş Kanalı Akdeniz'i Hint Okyanusu'na bağlamış ve Kızıldeniz'in subtropik iklim kökenli canlılarının geçişine olanak sağlayan yeni bir kapı açılmıştır.



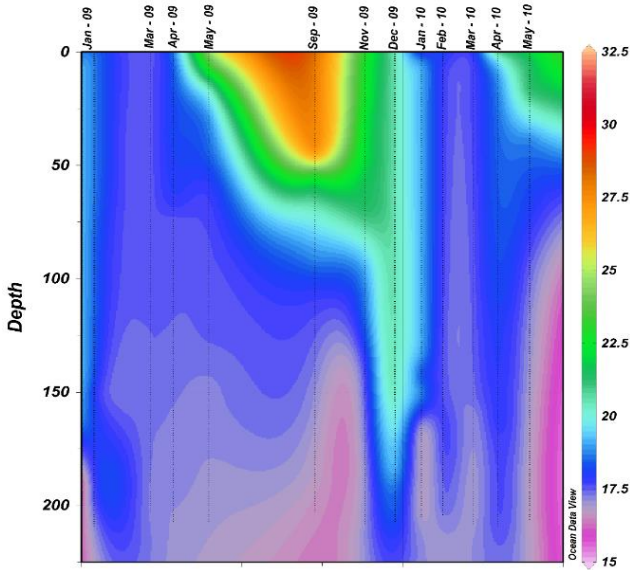
Şekil 1. Akdeniz’de Ağustos 2020 sonu yüzey sıcaklığı (üst) ve tuzluluk (alt) dağılımları (Copernicus Marine Products and Services, Clementi ve diğ. 2019)

İklim raporları Akdeniz’deki sıcaklık artışının sanayi öncesi seviyelerin 1,5°C üzerine çıktığını göstermektedir. Bu da bu alandaki ısınma etkisinin küresel ortalamadan %20 daha hızlı olduğu anlamına gelmektedir. 2040'a kadar sıcaklık artışı 2,2°C ve muhtemelen havzanın bazı kısımlarında 2100'e kadar 5,1°C kadar yükseleceği tahmin edilmektedir (MedECC 2019). Akdeniz içerisinde de Kuzeydoğu Akdeniz’in küresel ısınmadan en fazla etkilenen basen olduğu bilinmektedir.

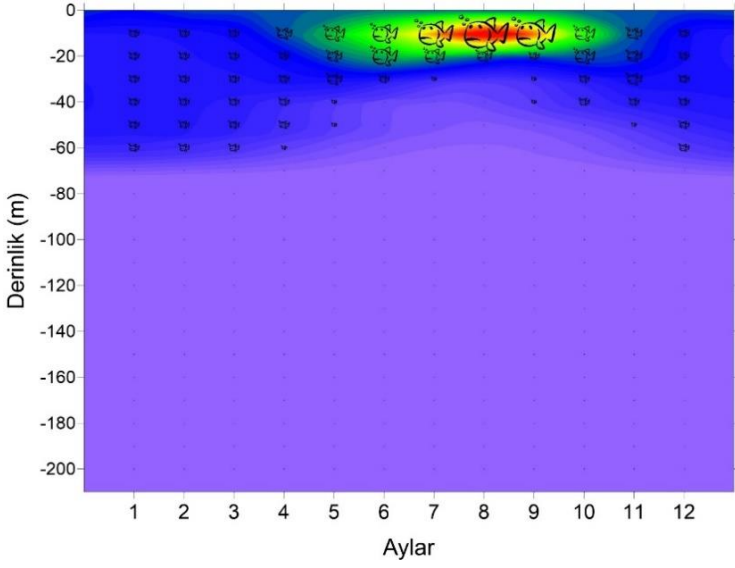
Bir yanda ılıman okyanus kökenli canlıların ekolojik toleranslarını zorlayarak adapte oldukları sıcak bir deniz, bir yandan sıcaksever, yüksek tuzluluğa alışık yeni türlerin girişine olanak sağlayan yeni bir kanal ve bütün bunların üzerine yükselmekte olan deniz suyu sıcaklıkları, Doğu Akdeniz’i ekolojik olarak iklim değişikliklerinden en çok etkilenen hassas denizler arasına sokmuştur. Nitekim, küresel ısınmanın Lessepsian türlerin (Kızıldeniz’den Akdeniz’e geçen türler) başarısı üzerine katalitik etki yaptığını vurgu yapan çalışmalara rastlanmaktadır (Hiddink ve diğ. 2012; Mavruk ve diğ. 2017). Bu çalışmalarda ayrıca iklimin yüzey suyundaki etkisinin deniz tabanına göre çok daha yüksek olduğunun da altı çizilmektedir.

Bu noktada akla gelen önemli soru, 5,5 milyon yıllık süreç içinde kökenlerinin olduğu bölgeden çok daha sıcak bir denizde yaşamaya adapte olabilmiş Akdenizli biotanın iklim değişikliği ve Kızıldeniz’den gelen göçmenlere karşı kendisini koruyabilmek için geliştirdiği mekanizmalarının olup olmadığıdır.

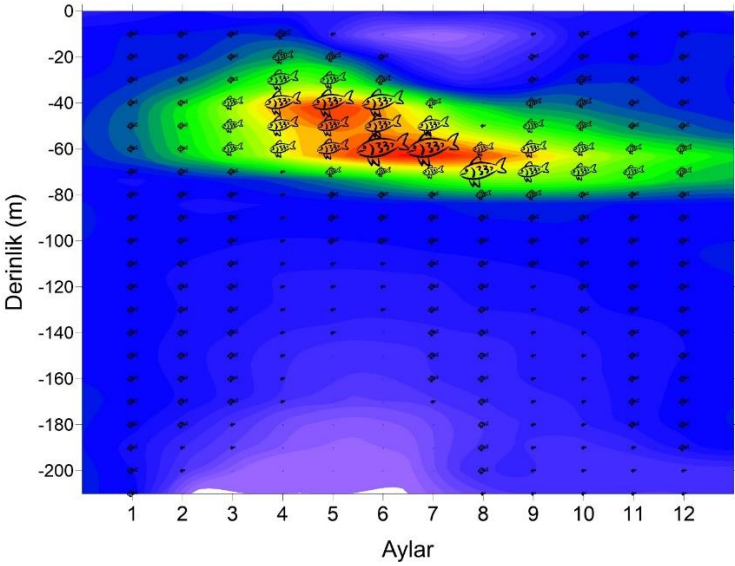
Pek çok tür ortam sıcaklıklarındaki artışa tepki olarak yaşam alanını kaydırmaktadır. Akdeniz’de de bazı balık türlerinin bu tepkiyi verdiği, ısınmanın etkisiyle yaşam alanlarını kuzeye doğru kaydırıldığı bilinmektedir (Sabates ve diğ. 2006; Tsikliras 2008). Ancak Akdeniz’in kuzeydoğusunda Mersin ve İskenderun Körfezleri’ndeki balıkların daha kuzeye çıkma şansları yoktur. Bu bölgede yapılan çalışmalar ısınmaya tepki olarak kuzeye yönelme şansı olmayan balıkların daha serin dip sularına çekildiğini göstermektedir (Gücü ve diğ. 2010). Nisan ayı başlarında suların ısınmaya başlamasının ardından termoklin tabakası oluşmaya başlar ve bu tabaka yaz sonuna kadar derinleşir (Şekil 2). Yüzeysel tabakası sıcaklığı Akdeniz’li balıkların tolere edebileceği sınıra ulaştığında pek çok türün dikey dağılımının derine doğru çekildiği gözlenmektedir (Şekil 3). Atlantik kökenli Akdenizli balıkların yüksek sıcaklığa karşı verdikleri bu tepki sonucunda yüzeysel ile termoklin arasındaki alan yaz aylarında büyük ölçüde terk edilmekte ve bu alanda termal/ekolojik bir pencere açılmaktadır. Diğer taraftan bu pencere kökeni tropikal denizler olan Lessepsian balıklar için oldukça uygun bir ortam sunmaktadır. Nitekim bazı önemli Lessepsian türlerin bollukları bu pencerenin açıldığı dönemde önemli oranda artmaktadır. Bu türlere örnek balon balıklarından *Lagocephalus suezensis* verilebilir (Şekil 4). Bu dönem zarfında söz konusu türün kısa bir süre içinde gonadlarını geliştirdiği, aynı zamanda enerji depolayıp kondisyon kazandığı ve boyca büyüdüğü rapor edilmektedir (Gücü ve diğ. 2010).



Şekil 2. Kuzey-doğu Akdeniz’de dikey sıcaklık profilindeki yıl için değişimler

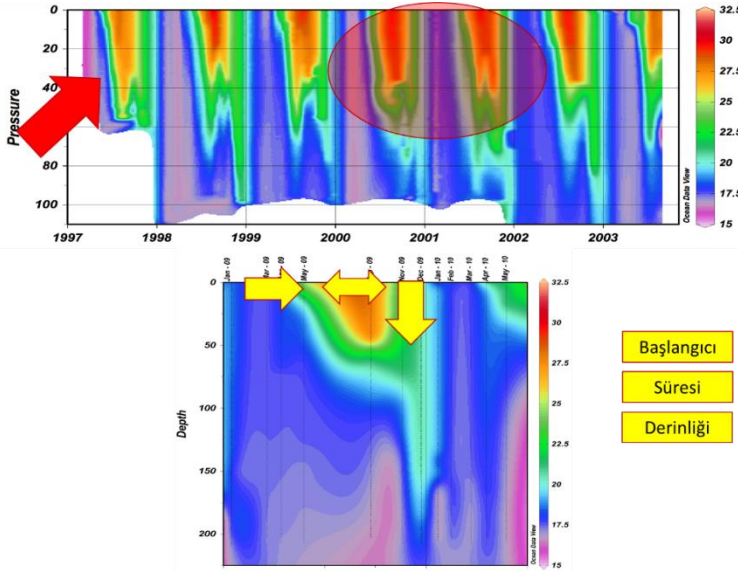


Şekil 3. Barbuňa balığının (*Mullus barbatus*) batimetrik dağılımının yılın içindeki değişimleri (Gücvü ve diđ. 2010 yeniden düzenlenmiştir, sembol büyüklükleri göreceli bolluktur)

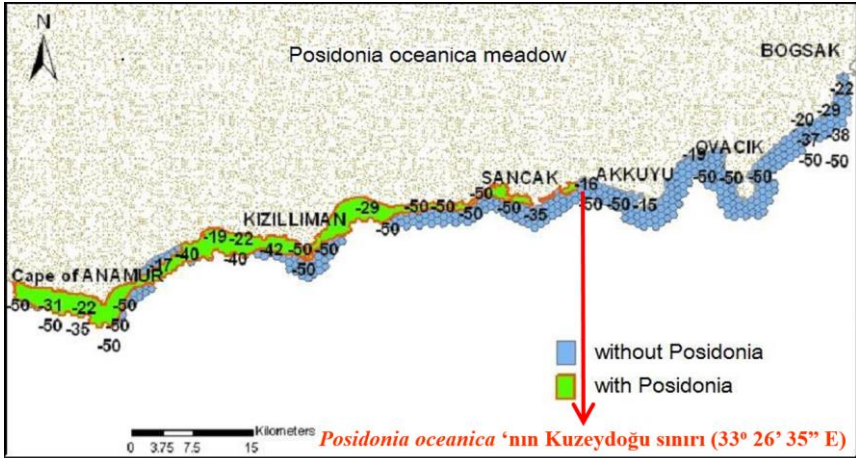


Şekil 4. Balon balığının (*Lagocephalus suezensis*) batimetrik dağılımının yılın içindeki değişimleri (Gücvü ve diğ. 2010 yeniden düzenlenmiştir, sembol büyüklükleri göreceli bolluktur)

Sonuç olarak bahsi geçen termal/ekolojik pencerenin başlangıç tarihinin, açık kaldığı sürenin ve ulaştığı derinliğin Lessepsian türlerin başarısını doğrudan etkilediği düşünülmektedir. İklim değişikliğinin de bu üç faktör üzerinde önemli etkisi olduğu görülmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Kuzey-doğu Akdeniz’de dikey sıcaklık profilindeki yıllık değişimler

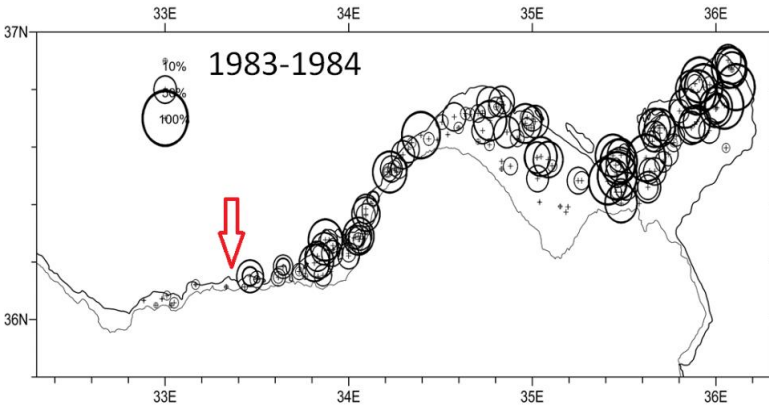


Şekil 6. Deniz çayırlarının (*Posidonia oceanica*) Kuzeydoğu Akdeniz’deki dağılım sınırı (Sakınan ve Gücü 2010’dan alınmıştır)

Bir ekosistemin yabancı türlere karşı durabilmesi ekosistemin ne kadar dirençli olmasına bağlıdır. Olgun (mature) ekosistemlerde türler arası bağlar kuvvetli olduğundan direncin de yüksek olduğu bilinmektedir (Odum 1971). Akdeniz kıyı ekosisteminin olgunluğunda deniz çayırları ve özellikle de *Posidonia oceanica* önemli bir rol oynar (Boudouresque ve diğ. 2006). Tüm Akdeniz'in neredeyse tamamını yeşil bir kuşak gibi çepeçevre saran bu türün yayılımı Anamur burnu ile Göksu deltası arasında sonlanır (Şekil 6) ve bu noktadan doğuya doğru Nil Nehri'ne kadar bu türe rastlanmaz (Gücü ve Gücü 2002).

1980'lerde henüz bölgedeki deniz çayırlarının tahrip edilmediği yıllarda ODTÜ-DBE'nin Mersin, Adana ve Hatay illerini kapsayan balıkçılık çalışmalarında *Posidonia oceanica*'nın kıyı ekosistemi üzerindeki olumlu etkisi Lessepsian balıklara karşı gösterdiği dirençten anlaşılmaktadır (Şekil 7). Mersin ve İskenderun körfezlerinde örneklenen dip balıkları içinde Lessepsian türlerin çok yüksek yüzdelere temsil edilmesine, hatta bazı istasyonlarda bu oranın %100'e ulaşmasına rağmen *Posidonia oceanica*'nın bulunduğu bölgede bu oranda gözle görülebilir düşmeler kaydedilmiştir (Gücü ve Bingel 1994).

Diğer taraftan 1980'li yıllarda Lessepsian türlerin batıya doğru göçlerinin önünde bariyer oluşturduğu düşünülen *P. oceanica*'nın kendisi de Akdeniz'de ısınmanın tehdidi altındadır. 1979 yılında yapılan bir çalışmada bugün Mersin Akkuyu Nükleer santralinin yapıldığı koyda yoğun deniz çayırlarına rastlandığı rapor edilirken (Cirik 1986) aynı alanda bugün bu türün ölü rizomlarına dahi rastlanmaktadır (Gücü ve Gücü 2002). Bu alanda yapılan çalışmalar çayırın batıya doğru 10 km kadar çekildiği ve çayır kalitesinin de yıldan yıla bozulduğunu göstermektedir (Çelebi ve diğ. 2006). Sonuç olarak iklim değişiminin kuzeydoğu Akdeniz balık faunası üzerindeki doğrudan etkisinin yanında kıyı ekosisteminin direncini arttıran deniz çayırlarının geri çekilmesine neden olarak ekosistemin tropikalleşme sürecini de hızlandırdığı anlaşılmaktadır.



Şekil 7. ODTÜ-DBE tarafından 1983-1984 yıllarında gerçekleştirilen trol örneklemelerinde gözlenen Lessepsian balık yüzdeleri; kırmızı ok *P. oceanica*'nın doğu sınırını göstermektedir (Gücü ve Bingel 1994).

İklim değişikliği ve beraberinde getireceği diğer değişimler artık önlenemez bir boyuta ulaşmıştır. Bu aşamadan sonra yapılması gerekenler ise bu değişimi durdurma yönünde atılacak adımlardan ziyade süreci anlama, etkileri öngörme, ve eğer mümkünse oluşacak değişimlere yön verme yönünde olmalıdır. Bu bağlamda Kuzey-Doğu Akdeniz’de yapılan izleme çalışmaları bazı ipuçları sunmaktadır.

Bir zamanlar sadece az sayıda küçük kıyı balıkçısı tarafından avlanılan Mersin’in dağlık batı ve Alanya’nın doğu kıyılarında 1980’lerin sonunda üç büyük liman inşa edilmesinin üzerine balıkçılığın yapısı değişmiş, küçük kayıkların yanında tröla filosu gelişmeye başlamıştır. Bu gelişmenin ardında hızlı derinleşen dik topoğrafyası nedeniyle oldukça dar balıkçılık alanlarına sahip bu alandaki balık stokları hızla azalmaya başlamıştır. Bölgede yapılan araştırmalar 1983 yılından bu yana stoklardaki azalmanın 15 kat olduğunu, bunun ötesinde bir zamanlar baskın türler olan büyük ticari değeri yüksek balıkların yerini küçük balıklara bırakmakta olduğunu rapor etmişlerdir (Gücü ve Erkan 2005). Bölge aynı zamanda önemli bir Akdeniz Foku kolonisine ev sahipliği yaptığından alan dönemin Tarım, Orman ve Hayvancılık Bakanlığınca Mersin ili Aydıncık ilçesi Sancak Burnu ile Bozyazı ilçesi Kızılliman burnu arasında kalan bölge endüstriyel ölçekli balıkçılığa kapatılmıştır. Alanın koruma altına alınmasının ardından ekosistemin verdiği tepkinin izlenebilmesi için ODTÜ-DBE tarafından bir çalışma başlatılmış, ve bu sayede bölgede balıkçılığa kapalı bir alan ile yoğun avcılık baskısına maruz kalan komşu bir başka alandaki değişimlerin izlenmesi mümkün olabilmıştır. Sonuçlar, korunan alanın hemen doğusunda kalan ve yoğun balıkçılık faaliyetlerine sahne olan bölgeye (yılıda ortalama 1,8 yeni tür) kıyasla daha yavaş bir hızla olsa da koruma alanında Lessepsian balıkların yılda ortalama 1,2 türle artmaya devam ettiğini göstermiştir. Ancak, daha dikkat çeken bulgu, koruma sonrasında hızlı bir artış gösteren balık biyokütlesinde Lessepsian balıkların oranının avcılığa açık alandan daha yüksek olmasıdır (Gücü ve diğ. 2010).

Bu durum, yıpranmış ekosistemlerin rehabilitasyonu için uygulanabilecek yöntemlerin başında sıralanan deniz koruma alanlarının yabancı tür baskısı altındaki ekosistemlerde beklenen etkiyi yaratmayabileceğine işaret etmektedir. Özellikle ekosistem üzerinde ısınma gibi dışsal baskıların etkili olduğu durumlarda yabancı türlerin yerli türlere karşı avantajlı duruma gelebileceği görülmektedir. Aynı zamanda avcılığa açık bölgedeki Lessepsian balık yoğunluğunun korunan alana göre düşük olması da üzerinde durulması gereken bir durum olup balıkçılık yoluyla ekosistemin gidişatını kontrol edilebileceğine dair ipuçları sunmaktadır. Özellikle bölgede uygulanan zaman, derinlik ve yer yasaklarının ekosistem ve balık stoklarının üzerindeki etkisinin anlaşılması, ve bu düzenlemelerin ekosistemin yabancı türlere karşı korunması amacıyla yeniden tasarlanması KD Akdeniz’in iklim değişimlerinin hızlandırdığı dönüşümlerin avantajı çevrilebilmesi bakımından umut vadetmektedir.

Kaynakça

Boudouresque, C.F., Mayot, N., Pergent, G. (2006) The outstanding traits of the functioning of the *Posidonia oceanica* seagrass ecosystem. *Biol Mar Medit* 13(4): 109-113.

Cirik, Ş. (1986) A Propose de la Végétation Marine de la baie d'Akkuyu (Mersin, Turquie), 5. OPTIMA meeting, 8-15 Septembre 1986, Istanbul, Turquie.

Clementi, E., Pistoia, J., Escudier, R., Delrosso, D., Drudi, M., Grandi, A., Lecci R., Cretí S., Ciliberti S., Coppini G., Masina S., Pinardi, N. (2019) Mediterranean Sea Analysis and Forecast (CMEMS MED-Currents, EAS5 system) [Data set]. Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS).

Çelebi, B., Gücü, A.C., Ok, M., Sakınan, S., Akoğlu, E. (2006) Hydrographic indications to understand the absence of *Posidonia oceanica* in the Levant Sea (Eastern Mediterranean). *Biologia Marina Mediterranea* 13(4): 34-38.

Gücü A.C., Bingel, F. (1994) Trawlable species assemblages on the continental shelf of the northeastern Levant Sea (Mediterranean) with an emphasis on Lessepsian migration. *Acta Adriatica* 35 (1): 83-100.

Gücü, A.C., Erkan, F. (2005) A holistic approach for the conservation of the Mediterranean monk seal on the Cilician coast of Turkey. 1-11. In: INOC International Workshop on Marine and Coastal Protected Areas. 23-25 March 2005, Meknes, Morocco.

Gücü, A.C., Ok, M., Sakınan, S. (2010) Past and present of fish fauna in the NE Levant Sea and factor facilitating the colonization by Lessepsian fishes: In: Report of the Sub-Regional Technical Meeting on the Lessepsian migration and its impact on Eastern Mediterranean fishery. GCP/INT/041/EC – GRE – ITA/TD-04, FAO EastMed, Nicosia, Cyprus, pp. 88-110.

Gücü, G., Gücü, A.C. (2002) Ecological significance of sea grass meadows (*Posidonia oceanica* (L.) Delile) in Bozyazi-Kizilliman Marine Protected Area. In: Second International Conference on Oceanography of the Eastern Mediterranean and Black Sea: Similarities and Differences of Two Interconnected Basins, (ed., Yılmaz, A.), TÜBİTAK Publisher, Ankara, Turkey, pp. 924-930.

Hiddink, J.G., Ben Rais Lasram, F., Cantrill, J., Davies, A.J. (2012) Keeping pace with climate change: what can we learn from the spread of Lessepsian migrants? *Global Change Biology* 18: 2161-2171.

Hsu, J.K. (1983) *The Mediterranean Was a Desert*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.

Mavruk, S., Bengil, F., Yeldan, H., Manaşırlı, M., Avşar, D. (2017) The trend of Lessepsian fish populations with an emphasis on temperature variations in Iskenderun Bay, the Northeastern Mediterranean. *Fisheries Oceanography* 26(5): 542-554

MedECC (2019) Risks associated to climate and environmental changes in the Mediterranean region. Mevcut adres: <https://www.medecc.org/medecc-booklet-isk-associated-to-climate-and-environmental-changes-in-the-mediterranean-region/> (erişim tarihi 24.06.2020).

Odum, E.P. (1971) *Fundamentals of ecology*. Third edition. W.B. Saunders, Philadelphia, Pennsylvania, USA.

Sabates, A., Martín, P., Lloret, J., Raya, V. (2006) Sea warming and fish distribution: the case of the small pelagic fish, *Sardinella aurita*, in the western Mediterranean. *Glob Change Biol* 12: 2209-2219.

Sakınan, S., Gücü A.C. (2010) Selection of the priority areas on the west coasts of Mersin using GIS to assess a marine conservation planning. *Rapp Comm int Mer Médit* 39: 793.

Schopf, J.W. (1999) *Cradle of Life: The Discovery of Earth's Earliest Fossils*. Princeton University Press, New Jersey, USA.

Tortonese, E. (1985) Distribution and Ecology of Endemic Elements in the Mediterranean Fauna (Fishes and Echinoderms). In: *Mediterranean Marine Ecosystems*. NATO Conference Series (I Ecology), vol 8, (eds., Moraitou-Apostolopoulou, M., Kiortsis, V.), Springer, Boston, MA, USA.

Tsikliras, A.C. (2008) Climate-related geographic shift and sudden population increase of a small pelagic fish (*Sardinella aurita*) in the eastern Mediterranean Sea. *Marine Biology Research* 4: 477-481.

Derin Denizler ve İklim Değişikliğinin Küresel Yönetişimi ve Strateji Önerileri

Betül GÖKKİR

Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV), Beykoz, İstanbul, Türkiye
betul.gokkir@gmail.com

Özet

İklim değişikliğinin etkileri ile mücadelenin en önemli boyutlarından biri deniz ve okyanuslardır. Derin denizler (200 metre ve daha derin sular) küresel sıcaklıklar, oksijen üretimi ve karbon döngüsü için yaşamsal önem taşımaktadır. İklim değişikliği ile ilgili uluslararası işbirliği ve yönetim mekanizmaları son yıllarda bu durumun altını çizmeye ve okyanusları iklim değişikliği politikalarının başat unsurlarından biri olarak ele almaya başlamıştır. Bu çalışma, iklim değişikliği ve derin denizler ilişkisini ve ilgili uluslararası yönetim aktörlerini ve araçlarını incelemektedir. Son olarak, çevre ve insan sağlığı için söz konusu aktör ve araçların dikkate alınması gereken stratejileri konu edinmektedir. Ulusal, bölgesel ve küresel ölçekteki yönetim aygıtlarının bilgi boşluğu, ilgi boşluğu ve kurumsal bölünmüşlüğü sonuçlarını hedef alan stratejileri hayata geçirerek kapasite geliştirmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Derin denizler, küresel yönetim, Paris Anlaşması, okyanus bilimi ve iklim, kurumsal bölünmüşlük

Giriş

Derin denizler (200 metreden daha derin deniz ve okyanus suları) yeryüzündeki yaşama elverişli alanların %96'sını kapsamakta ve küresel ekosistemin sağlıklı işlemini için kritik önem taşımaktadır. Bu yaşamsal önemine karşın derin denizler ve sağladıkları kaynakların yönetiminde önemli boşluklar bulunmaktadır (DOSI 2019). Bir taraftan denizel atıklar ve kirlilik, aşırı balık avlanma, deniz yatağında doğal kaynak arayışı gibi insan kaynaklı baskılarda artış görölmekteyken bir taraftan da iklim değişikliği nedeniyle denizlerin ısınması, oksijen kaybı ve okyanus asitlenmesi gözlemlenmektedir. Birbiri ile etkileşim içerisinde olan tüm bu sorunlar, doğa ve insanlık için giderek daha tehlikeli boyutlara ulaşmaktadır. Yapılan ölçümlere göre 1990'lardan bu yana deniz yüzeyindeki hava sıcaklığı, asit düzeyi ve denizel sıcak hava dalgalarının göröldüğü gün sayısı artmakta iken derin denizlerdeki oksijen miktarı azalmaktadır (IPCC 2019).

Bu gelişmeler derin deniz faunasına zarar vermekte ve bu alanlardan edinilen ekosistem hizmetlerinde düşüşe neden olmaktadır. Örneğin, iklim değişikliği nedeniyle derin denizlerde balık türlerinin yer değiştirmesi ile balıkların fiziksel yapılarının değişmesi ve belirli düzeyde ısınma/asitlenme/oksijen kaybı gözlemlenmesinden sonra ani şekilde balık türlerinde verim düşmesi riski bulunmaktadır (FAO 2018). Benzer şekilde, derin denizlerde petrol ve gaz üretimi

ve deniz yatağı madenciliği gibi faaliyetlerin sürdürülebilmesi ancak ilgili düzenlemelerde iklim değişikliğinin göz önünde bulundurulması ile mümkündür. Derin denizlerin çevresel yönetiminde stratejik planlama ve etki değerlendirmesi gibi teknikler uygulanırken iklim bilinci ile adım atılmalıdır (Levin ve diğ. 2020).

İklim değişikliği ve derin denizlerin yönetimi konusunda her aktör kendi yapısı, çıkarları ve öncelikleri çerçevesinde mevcut ve tasarlanan kurumsal yapılarda çeşitli rol ve yetkilere sahiptir. Derin denizlerde kaynakların sürdürülebilir kullanımı konusunda tüm aktörlerin ortak kavramlar, ilkeler ve öncelikler etrafında birleşmesi; bunların ilgili diğer kurumlar tarafından eşgüdümle yürütülmesi ve etkili gözlemlene-denetleme-uygulatma kapasitesinin bulunması derin denizlerdeki kaynakların daha başarılı bir şekilde korunmasına katkı sağlayacaktır. Çalışmanın takip eden bölümlerinde bu ortak önceliklerin belirlenmesi ve kapasitenin oluşturulması amacıyla yönelik gelişmeler ve mevcut boşluklar incelenmektedir.

İklim-okyanus ilişkisi ve küresel yönetim araçları

İklim değişikliği ile ilgili başlıca küresel yönetim araçları bilimsel bir platform olarak Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'ni (HİDP/IPCC), Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ni (BMİDÇS/UNFCCC) ve bu çerçevede ilerleyen, geçmişte Kyoto Protokolü ve güncel olarak Paris Anlaşması süreçlerini içermektedir. Bu süreçler etrafında gelişen tartışmalar karbondioksit veya sera gazı salımlarına daha çok odaklansa da son yıllarda küresel ekosisteme bütüncül yaklaşım anlayışı güçlenmektedir.

BMİDÇS 1992'de denizel ekosistemlere atıfta bulunmakla beraber bu konuya güçlü vurgu yapılmamıştır. İlk okyanus ve iklim ilişkisi vurgusu 2015 sonunda gerçekleşen BMİDÇS 21. taraflar toplantısında yapılmıştır. HİDP'nin 2019 tarihli raporu (Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate) ise okyanusların küresel iklim değişikliği anlaşmaları ve politikalarının daha merkezi bir noktasına konumlandırıldığını işaret etmektedir.

2020 sonunda gerçekleşen BMİDÇS Okyanus ve İklim Değişikliği Diyalogu etkinliği ve Okyanus-İklim Zirvesi'nde uzun yıllar uluslararası iklim değişikliği yönetimi süreçlerinin dışında kalmış ABD yönetiminden dahi katılım olması; tüm ülke temsilcilerinin okyanusları korumadan iklim değişikliği sorununu çözümlenmenin mümkün olmadığını açıkça altını çizmesi, derin denizler ve iklim değişikliği ajandalarının artık ortaklaştığının göstergeleri arasında yer almaktadır.

Uluslararası çevre ve sürdürülebilir kalkınma politikalarında yaygın olarak benimsenmiş olan 2030 ajandası okyanuslar ve iklim değişikliği hedeflerinin tanımlanmasında da önemli yere sahiptir. Küresel İklim Hareketi Zirvesi'nde tanımlanan sekiz okyanus-ilişkili Paris Anlaşması hedefinin beşi 2030 tarihlidir (Ocean-Climate Action Agenda 2018). Kıyısız bölgeler için ekonomi, gıda

güvenliği ve nüfus ile ilgili hedefler daha geniş yer tutmakla beraber, derin denizler için okyanus sanayilerinde karbon salımlarının azaltılması, sürdürülebilir balıkçılık, okyanus-iklim araştırmalarının gözlem ve tahmin konusunda yeterliliğe kavuşması hedefleri belirlenmiştir. Ayrıca, benzer hedeflerden birisi ise okyanusların %30'unda deniz koruma alanlarının ilan edilmesidir ve bu hedef aynı zamanda Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi'nin 30x30 politikasıdır. Ayrıca, bu hedef 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA) ile aynı doğrultudadır. Bu hedeflerin farklı küresel yönetim aygıtları tarafından uyumlu ve bütünleşmiş şekilde tanımlandığı gibi tutarlı bir şekilde uygulamaya da geçirilmesi iklim-okyanus kesişiminde ekosistem hizmetlerinin devamı için anahtar rol oynayacaktır.

Paris Anlaşması ve derin denizler

İlk hukuken bağlayıcı iklim değişikliği anlaşması olarak 2016 yılında yürürlüğe giren Paris Anlaşması, uluslararası iklim değişikliği işbirliği ve hedefleri konusunda temel güncel yönetim aygıtıdır. Bu anlaşma ile küresel ısınmanın 2100 yılına kadar 2, hatta 1,5°C'nin altında tutulması amacı güdülmektedir. Bilimsel araştırmalar, Paris Anlaşması'nın uygulanmasının denizel ekosistem ve türler için de yararlı olacağını ortaya koymuştur (Gattuso ve diğ. 2018). Örneğin, Anlaşma'nın hayata geçirilmesi ile Kuzey Atlantik Okyanusu deniz kuşu türlerinin iklim değişikliği nedeniyle kış mevsiminde yer değiştirme oranının düşeceği tahmin edilmektedir (Clairbaux ve diğ. 2020).

Paris Anlaşması hedeflerine ulaşmak için her ülke ulusal katkı beyanını açıklayarak 2020 itibarıyla uygulayacağı iklim değişikliği tedbirlerini ve takvimini ilan etmektedir. Taraf ülkelerin ilan ettikleri ilk ulusal katkı beyanlarının içeriği üzerine yapılan bir çalışmaya göre, beyan edilen katkılar %70 oranında denizel sorunlara değinmektedir (Gallo ve diğ. 2017). Burada denizlerle ilgili en popüler üç tema kıyıları üzerindeki etkiler, okyanus ısınması ve balıkçılıktır. Kıyı bölgelerindeki nüfus yoğunluğu ve deniz yüzeyinin yükselmesi ve aşırı hava olaylarının kıyılarda yaşam üzerindeki etkisi düşünüldüğünde bu sıralamayı anlamak mümkündür. Derin denizler bağlamında özellikle mercek altına alınması gereken boyut ise, ulusal katkı beyanlarında en popüler beşinci sıradaki tema 'daha çok araştırma' konusudur.

Derin denizler hala büyük ölçüde keşfedilmemiş alanlardır. İklim değişikliğinin derin deniz organizmaları, toplulukları ve biyolojik süreçleri üzerindeki etkileri hala tam bilinmemektedir (IPCC 2019). Son araştırmalar, derin deniz ekosistemlerinde keşfedilmemiş habitat ve tür oranının geniş karbon tutma potansiyelini ortaya koymuştur (Duarte ve diğ. 2020). Bir başka yeni çalışma ise mezopelajik bölgede balık türlerinin karbon döngüsü ve gıda ağı için önemini göstermektedir (Wright ve diğ. 2020). Yeni bulgularla beraber iklim değişikliğine adaptasyon fırsatları keşfedilebileceği gibi derin deniz ekosistemlerinin iklim

değişikliğinden gördüğü zararın yeni boyutları ortaya çıkabilir. Bu nedenle son yıllarda iklim ve okyanus bilimi üzerine çalışmalar yoğunluk kazanmıştır.

Okyanus bilimi ve iklim değişikliği yönetişimi aktörleri

Hem hükümetlerarası kuruluşlar hem de bilimsel topluluklar ve sivil toplum örgütleri gibi hükümet-dışı aktörler tarafından yürütülen okyanus bilimi ve iklim değişikliği ilişkisi çalışmaları, 2010'lu yılların sonunda ivme kazanmıştır. Bu durumun en önde gelen göstergelerinden biri 2021-2030 onyılının Birleşmiş Milletler (BM) tarafından Sürdürülebilir Kalkınma için Okyanus Bilimi Onyılı ilan edilmesidir. Bu bilim onyılı programı 'SKA 14: Sudaki Yaşam' sürdürülebilir kalkınma amacına hizmet etmektedir ve planlanması ve uygulanması BM, BM Genel Meclisi ve Hükümetlerarası Oşinografi Komisyonu (HOK/IOC) gibi hükümetlerarası kuruluşların öncülüğünde ilerlemektedir.

Hükümetdışı aktörler de okyanus bilimi ve iklim konusunda işbirlikleri ve çalışmalar yürütmektedir. Bu aktör türlerinden biri bilim insanlarının kurduğu ağlardır. DOOS (Derin Okyanus Gözlemeleme Stratejisi), DOSI (Derin Okyanus Yönetimi Girişimi), ve INDEEP (Derin Deniz Ekosistemleri Uluslararası Bilimsel Araştırma Ağı) gibi ulus-aşırı bilim insanı ağları, bu tür aktörlerin başlıca örnekleri arasında yer almaktadır. Bu bilimsel aktörler, derin denizlerle ilgili gözlem ve veri konusundaki ihtiyacı karşılama ve uluslararası politikaları bilgilendirme potansiyeline sahiptir.

Bir diğer hükümetdışı okyanus-iklim bilimi aktörü ise üniversite enstitüleri, özel sektör temsilcileri, yerel yönetimler ve savunuculuk yapan sivil toplum kuruluşlarından oluşan, kimi zaman devlet ve hükümetlerarası aktörlerin de destek verdiği, ortaklıklar ve girişimlerdir. Okyanus-İklim Kesişimi (Ocean Climate Nexus), Okyanus-İklim Ortaklığı (Ocean-Climate Alliance) ve Okyanus ve İklim Platformu (Ocean and Climate Platform) bu gibi girişimlerin başlıca temsilcileri arasındadır. Bu aktörler bilimsel çalışmaların yanında uluslararası politika önerileri de geliştirmektedir. Örneğin, Okyanus ve İklim Platformu, 90'dan fazla kuruluşun bir araya getirmekte ve bilimsel bilgi yayımı ve ağ oluşturma, savunuculuk ve uluslararası işbirliği alanlarında çalışmaktadır. Hükümetler için politika önerileri yayımlamıştır (Ocean and Climate 2019).

Derin denizlerde iklim değişikliği yönetişimi stratejileri

Derin denizlerde iklim değişikliğinin farklı bölgelerde ve ekosistemlerde çok çeşitli etkilerinin olması nedeniyle bu konu ile ilgili çok sayıda yönetim mekanizması örneği sayılabilir. Okyanus yönetişimi düzenlemeleri üzerine yapılan yeni bir çalışma, sınır-ötesi denizel kaynaklar ile ilgili 191 farklı düzenleme tespit etmiştir (Fanning ve Mahon 2020). Söz konusu yöntemlerin başarıyla uygulanmasına katkıda bulunacak unsurlar, küresel okyanus yönetişimi bağlamında üç genel strateji başlığında irdelenebilir. İlk olarak, bir önceki alt

başlıkta incelenen okyanus-iklim bilimi bölümünü de tamamlayacak olan bilgi boşluğunu yönetme stratejisi önerilmektedir. İkinci olarak, iklim ve derin denizler arasındaki ilişkinin büyüklüğü ve insanlar için önemi konusunda yeterli farkındalık olmamasından doğan ilgi boşluğunu yönetme ihtiyacıdır. Üçüncü olarak, derin denizler ve iklim değişikliği etkileşimi farklı uluslararası kurumların yetki alanlarına giren faaliyetlerle gerçekleşmektedir. Her kurumun farklı yapısının ve önceliklerinin oluşu ve başka kurumlar tarafından yetkilerinin paylaşılması ve zayıflatılması kaygısı bir kurumsal bölünmüşlük doğurmaktadır. Kurumsal bölünmüşlüğün yönetilmesi, etkili iklim-derin denizler yönetişiminin bir diğer temel ayağıdır.

Bilgi boşluğunu yönetme

Son yıllarda yoğunlaşan çalışmalara karşın hala iklim değişikliğinin derin deniz organizmaları ve biyolojik süreçleri üzerindeki etkileri yeterince bilinmemektedir (IPCC 2019). Çevresel sorunların tanımlanması ve çözüm önerisi geliştirilmesi ancak bilimsel veri ve araştırma ile mümkündür. Dolayısıyla, hem genel olarak küresel çevresel yönetişimde hem de iklim-derin denizler ilişkisi özelinde bilimsel belirsizlik ve bilim-politika arayüzü konuları çok tartışılan başlıklardır (Watson 2005; Diaz ve diğ. 2015; Gattuso ve diğ. 2018).

Derin denizlerde bilimsel belirsizlik düzeyinin daha yüksek olması nedeniyle mevcut projeksiyon/tahmin değerleri büyük değişkenlik gösterebilir. İklim değişikliğinin etkilerine karşı önerilen 13 okyanus temelli çözümü inceleyen bir çalışmada bilimsel belirsizlik nedeniyle birçok çözümün uygulanması hakkında herhangi bir tavsiyede bulunulmamıştır (Gattuso ve diğ. 2018).

Bilimsel boşluğun giderilmesi amacıyla çeşitli uluslararası projeler yürütülmektedir. BM kurumları, HOK ve Nippon Vakfı gibi aktörlerin ortak girişimleriyle 2030'a kadar tüm okyanus zemininin haritalanması hedeflemektedir. Benzer işbirlikleriyle uzaydan tüm mercan kayalıklarını 2021 yazına kadar haritalanması, küresel okyanus gözlem sistemi (IOC GOOS) ve küresel okyanus asitlenmesi gözleme ağı (GOA-ON) gibi projeler yürütülmektedir. Bir yandan bu gibi projelerle bilimsel veri eksikliği giderilmeye çalışılırken diğer yandan belirsizliğin veya yetersiz bilginin karar alma süreçlerinde harekete geçmeme gerekçesi olarak kullanılmamalıdır. Olumsuz etkileri olmayacağı belirlenmeyen bir önerinin varlığında ihtiyatlı yaklaşım uygulanmalıdır çünkü bazı hassas denizel ekosistemlerin geri dönüşü olmayacak şekilde zarar görmesi olasılığı bulunmaktadır. İklim değişikliğinin derin denizler üzerindeki bilinen etkisi dahi bir an önce yerelden küresele her ölçekte güçlü sürdürülebilirlik politikaları uygulanması gereğini açıkça ortaya koymaktadır (FAO 2018; IPCC 2019; Levin ve diğ. 2020). Önümüzdeki dönemde de ulusal ve uluslararası kuruluşlar derin denizler-iklim araştırmaları için ayırdıkları fon miktarını arttırmalıdır.

İlgi boşluğunu yönetme

Bilimsel çalışmalar bir çevresel sorunun nedenlerinin tanımlanması ve çözüm yöntemlerinin belirlenmesi konusunda yeterli teknik bilgi sağlansa dahi, etkili yönetim ancak bu yöntemlerin gereken titizlikle hayata geçirilmesi ile mümkündür. Örneğin, iklim değişikliği ve derin denizler konusunda ekosistem temelli yönetim ve adaptasyon için restorasyon, mavi karbon, yenilenebilir enerji, koruma alanları gibi yöntemler sıralanmaktadır (Ocean and Climate 2019). Denizel ekosistem üzerindeki çok sektörlü etkilerin ortak değerlendirmesinin yapıldığı bir çalışmada açık denizler ve dolayısıyla derin denizler için en etkili yöntemin koruma alanları olduğu sonucuna varılmıştır (O’Leary ve diğ. 2020). Uygun çevresel yönetim tekniklerinin belirlenmesine ilaveten sosyal-kurumsal uygulama ve adaptasyon yöntemleri de başarılı çevresel ve toplumsal dönüşümün temel unsurlarıdır. Bu nedenle, topluluk-temelli adaptasyon, farkındalık oluşturma ve eğitim, paydaş katılımı, toplumsal/kurumsal/teknik/finansal kapasite artırma etkili yönetişimin önemli boyutları arasında yer almaktadır. Bu boyutlar ise söz konusu çevresel soruna yeterli ilgi ve adanmışlığın gösterilmesi ile ilgilidir.

Derin denizler aynı zamanda kıyı nüfusundan daha uzak ve büyük oranda ulusal yetki alanlarından ötesinde yer alan ekosistemlerdir. Derin deniz ekosistemlerinin zenginliği ve korunmasının yaşamsal önemi, bir ‘gözden irak, gönülden irak’ (De Santo 2018; Lamy ve diğ. 2020) vakası olarak genellikle kamuoyunun dikkatini çekmemektedir. Derin denizlerin küresel sıcaklık ve karbon tutma özelliği her coğrafyadan ve kesimden insanın yaşam kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu konuya kamuoyunun ilgisini çekmek ve farkındalık yaratmak dolaylı olarak birçok kanaldan iklim değişikliği ve derin denizlerin yönetimi konusunda olumlu adımlar atılmasına neden olacaktır.

Bireylerin derin denizlerin kendi yaşamları için de önemli olduğu bilincinde olması tüketiciler olarak tercihlerini etkileyebilmektedir. Bu durumda denizel sektörlerin ürün ve hizmetlerinden yararlanırken tercihlerini daha sürdürülebilir olan seçenekten yana kullananların oranı artacaktır. Dolayısıyla özel sektör için de sürdürülebilirlik teşvik edilmiş olacaktır. Sürdürülebilir mavi ekonomi ve mavi büyüme kavramları (Bennett ve diğ. 2019) ana-akımlaşarak bu konuda eğitim ve istihdam olanakları genişleyecektir. İlk ve orta öğretim müfredatından yüksek öğrenim programlarına kadar farklı düzeyde eğitime deniz çalışmalarının entegre edilmesi de bu dönüşüme katkıda bulunacaktır.

Ayrıca birer vatandaş ve seçmen olarak bireylerin karar alıcılardan derin denizler konusunda adım atılmasını talep etmesi ve ekolojik dengeye zarar verecek uygulamalara tepki göstermesi de dolaylı olarak ulusal ve uluslararası denizel yönetim mekanizmalarının yaşama geçirilmesi yönündeki iradeyi güçlendirecektir. Yapılan çalışmalara göre kamuoyunda çevre konusu daha öncelikli hale geldikçe ülkelerin yenilenebilir enerjiye geçiş oranları da

yükselmektedir (Anderson ve diğ. 2017). Derin denizler ve iklim değişikliği konusu kamuoyu için daha öncelikli hale geldiğinde okyanus temelli iklim değişikliği çözümlerinin uygulanmasında da artış yaşanması olasıdır.

İnsanların yaşam alanlarından uzakta olan derin denizlerin gözden ırak gönülden ırak olmasını sorunuyla mücadele etmek için Avrupa Birliği kurumlarınca da hedefler belirlenmiştir. Gözden ırak gönülden ırak (out of sight out of mind) olma sorunu ve ilgili hedefler Mission Starfish 2030 raporunda (Lamy ve diğ. 2020) detaylandırılmıştır. Bu konu, aynı zamanda Avrupa Komisyonu'nun 2030 SKA Ajandası ve Okyanus Bilimi Onyılı programının uygulanmasına yönelik tamamlayıcı çalışmalardan biridir. Her bireyin bir deniz/okyanus vatandaşı olduğu yönünde bir duygusal bağın kurulması bu hedefler arasında yer almaktadır. Çünkü şu an var olan duygusal mesafe ihtiyaç duyulan geniş ölçekli çevresel ve toplumsal dönüşümü zorlaştırmaktadır. Toplumda okyanus okuryazarlığını arttırmak, denizler konusunu temel eğitim sistemine dahil etmek ve vatandaş bilimini güçlendirmek bu amaca yönelik adımlar arasında yer almaktadır (Lamy ve diğ. 2020).

Kamuoyundaki ilgi eksikliğinin giderilmesi konusunda sivil topluma önemli bir rol düşmektedir (Parmentier 2012). Sivil toplum örgütleri kendi aralarında ortaklıklar kurarak ve/veya hükümetlerle iletişim ve işbirliği içerisinde farkındalık artırma etkinlikleri yürütmektedir. Bu tür çalışmaların etkisinin artmasıyla kamuoyuna, özellikle de gençlere, ulaşmak ve iklim değişikliği ve derin denizler ile ilgili yönetim mekanizmalarının güçlenmesine katkı sağlamak olanağı vardır.

Kurumsal bölünmüşlüğü yönetme

Derin denizlerin çevresel yönetimi konusu; iklim değişikliği ve bununla ilişkili olarak, biyoçeşitlilik, balıkçılık, kirlilik gibi çeşitli konularla etkileşim içerisinde olan çok boyutlu bir sorunsaldır. Bu boyutlardan birçoğu ile ilgili ulusal, bölgesel ve küresel kuruluş ve anlaşmalar bulunmaktadır. Küresel çevresel yönetimde süregelen bir tartışma konusu olan kurumsal bölünmüşlük (Zelli ve Van Asselt 2013), okyanuslar ve özellikle açık denizler konusunda da gözlemlenen bir durumdur (De Santo ve diğ. 2019; Mahon ve Fanning 2019).

Derin denizlerin büyük bölümü ulusal yetki alanlarının ötesinde yer aldığı için Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi (BMDHS), bölgesel balıkçılık örgütleri ve denizcilikle ilgili sektörel örgütleri (örneğin, Uluslararası Denizcilik Örgütü ve Uluslararası Deniz Yatağı Otoritesi) tarafından getirilen düzenlemeler bir denizel bölgede eş zamanlı olarak etkili olabilmektedir. Uluslararası deniz çevre hukukunda yer alan mekanizmalara Paris Anlaşması gibi iklim değişikliği rejimleri eklendiği zaman resim daha da karmaşık hale gelmektedir.

Çeşitli yönetim mekanizmalarının varlığına karşın açık denizlerdeki çevresel sorunları bütüncül şekilde ve küresel düzeyde ele alan bir mekanizmanın

bulunmamasından kaynaklanan bir boşluk yaşanmaktadır. Bu boşluğu doldurmak amacıyla BMDHS çerçevesinde açık denizlerde biyoçeşitliliğin korunması ve sürdürülebilir kullanımı üzerine hukuken bağlayıcı bir sözleşme geliştirilmesine yönelik müzakereler başlamıştır. “Ulusal Yargı Yetkisi Dışındaki Alanlarda Denizel Biyoçeşitlilik Üzerine Hükümetlerarası Konferans” görüşmelerinin ilk üç gerçekleşmiş; dördüncü ve son müzakere toplantıları ise COVID-19 salgını nedeniyle ertelenmiştir (Birleşmiş Milletler 2020).

Çok sayıda ve düzeyde kurumsal yapının varlığı ve yetki paylaşımı konusunda kurumsal bölünmüşlük düşünüldüğünde, yeni bir sözleşmenin başarılı olabilmesi için bu kurumlar arasında tamamlayıcı ve görevdeşlik oluşturabilen akıllı bir kurumsal dizayna sahip olması gerektiği görülmektedir. Esasında yeni bir sözleşme ile amaç, bütüncül bir ekosistem yönetimi anlayışının uygulamaya geçirilmesidir. Derin denizler ve iklim değişikliğine dayanıklılık konusu da bu yeni sözleşmede göz önünde bulundurulması gereken bir boyut olarak karşımıza çıkmaktadır (Yadav ve Gjerde 2020).

Müzakere edilen sözleşme taslak metninde tekrarlar ‘var olan kurumların yetki alanları veya etkililiği zayıflatılmaksızın’ benzeri ibarelerin geçmesi, yeni sözleşmenin hedefine ulaşacak kapasiteye sahip olmaması ihtimalini düşündürmektedir. Kurumsal bölünmüşlük genel olarak olumsuz bir ifade olarak kullanılsa da bazı çalışmalar, çok merkezli şekilde çeşitli bölgesel örgütlerin deneyimlerini paylaşmasının ekosistem temelli yönetimin daha iyi uygulanması ve bölgesel ve küresel yönetim aygıtları arasında eşgüdüm sağlanması açısından daha yararlı olacağını; BM liderliğinde bütüncül ve çok düzeyli bir yönetim düzeni sağlamanın mümkün olduğunu ifade etmektedir (Mahon ve Fanning 2019; Fanning ve Mahon 2020).

Uluslararası çevre rejimlerinin hayata geçirilmesi konusunda sıklıkla karşılaşılan iki sorun derin denizler için de geçerliliğini korumaktadır. Bu iki sorundan birincisi, müzakerelerin başlaması, imzalanması ve hayata geçirilmesi aşamaları tamamlanana kadar geçen süre zarfında çoktandır tehlike arz eden soruna etkili müdahale için geç kalınması ihtimalidir. İklim değişikliği konusundaki küresel müzakereler ve anlaşmalar bu durumun belki de en büyük örneği sayılır. Derin denizler özelinde ise Güney Hint Okyanusu Balıkçılık Anlaşması’nın bölgedeki ekonomik açıdan önemli balık türleri aşırı avlanmadan zarar gördükten sonra imzalanmış ve hayata geçmiş olması örneği verilebilir (Japp ve Wilkinson 2007). İkinci sorun ise anlaşmalar hayata geçirildikten sonra raporlama-denetim-yaptırım mekanizmalarının etkili şekilde yürütülmemesi durumudur. Örneğin, ilgili düzenlemelerin hayata geçmesine rağmen devam eden yasa dışı ve kayıt dışı balıkçılık faaliyetleri bu durumun bilinen örneklerindedir. Kısacası, kurumsal bölünmüşlük bir yana, bazen var olan uluslararası düzenlemelere devletler taraf olsa dahi yeterli adanmışlığı göstermemektedir. Denizel ekosistemler ve insanlık adına sürdürülebilir bir gelecek için tüm aktörlerin ertelemeyen ve kararlılıkla harekete geçmesi gerekmektedir.

Sonuç

Okyanusları göz önünde bulundurmadan iklim değişikliği ile mücadele mümkün değildir. Son yıllarda uluslararası iklim değişikliği aktörleri ve politikaları bu durumu vurgulamakta ve okyanusları daha merkezi bir yere koymaktadır. Mevcut iklim değişikliği hedeflerinin gerçekleştirilmesi için derin denizlerle ilgili bilimsel çalışmaların artarak devam etmeli, kamuoyuna iklim-derin denizler ilişkisinin önemi daha çok anlatılmalı, derin denizlere ayrılan teknik ve finansal kaynakların oranı yükseltilmelidir. Ayrıca, derin denizler ve iklim konusunun farklı boyutları farklı ölçekten ve sektörden çok sayıda kurum tarafından yürütülmektedir. Kurumlar arasında yetki bölünmüşlüğü olumsuz sonuçlarından kaçınmak için kurumlar arası iletişim ve eşgüdüm azami düzeyde tutulmalı ve hükümetler ve hükümetdışı aktörler uluslararası amaçlar etrafında işbirliğine daha çok adanmışlık göstermelidir.

Kaynakça

Anderson, B., Böhmelt, T., Ward, H. (2017) Public opinion and environmental policy output: a cross-national analysis of energy policies in Europe. *Environmental Research Letters* 12(11): 114011, doi:10.1088/1748-9326/aa8f80.

Bennett, N.J., Cisneros-Montemayor, A.M., Blythe, J., Silver, J., Singh, G., Andrews, N., Calò, A., Christie, P., Di Franco, A., Finkbeiner, E.M., Gelcich, S., Guidetti, P., Harper, S., Hotte, N., Kittinger, J.N., Le Billon, P., Lister, J., Lopez de la Lama, R., Mckinley, E., Solas, A.M., Sowman, M., Talloni, N., Teh, L.C.L., Voyer, M., Sumaila, R. (2019) Towards a sustainable and equitable blue economy. *Nature Sustainability* 2(11): 991-993.

Birleşmiş Milletler. (2020) Intergovernmental Conference on Marine Biodiversity of Areas Beyond National Jurisdiction Mevcut adres: <https://www.un.org/bbnj/> (erişim tarihi 14.01.2021).

Clairbaux, M., Cheung, W.W.L., Mathewson, P., Porter, W., Courbin, N., Fort, J., Strøm, H., Moe, B., Fauchald, P., Descamps, S., Helgason, H., Bråthen, V.S., Merkel, B., Anker-Nilssen, T., Bringsvor, I.S., Chastel, O., Christensen-Dalsgaard, S., Danielsen, J., Daunt, F., Dehnhard, N., Erikstad, K.-E., Ezhov, A., Gavrilov, M., Krasnov, Y., Langset, M., Lorentsen, S.-H., Newell, M., Olsen, B., Reiertsen, T.K., Systad, G., Þórarinnsson, Þ.L., Baran, M., Diamond, T., Fayet, A.L., Fitzsimmons, M.G., Frederiksen, M., Gilchrist, G.H., Guilford, T., Huffeldt, N.P., Jessopp, M., Johansen, K.L., Kouwenberg, A.L., Linnebjerg, J.F., McFarlane Tranquilla, L., Mallory, M., Merkel, F.R., Montevicchi, W., Mosbech, A., Petersen, A., Grémillet, D. (2021) Meeting Paris agreement objectives will temper seabird winter distribution shifts in the North Atlantic Ocean. *Glob. Change Biol.*, 27: 1457-1469.

De Santo, E.M. (2018) Implementation challenges of area-based management tools (ABMTs) for biodiversity beyond national jurisdiction (BBNJ). *Marine Policy* 97: 34-43.

De Santo, E.M., Ásgeirsdóttir, Á., Barros-Platiau, A., Biermann, F., Dryzek, J. Gonçalves, L.R., Kim, R.E., Mendenhall, E., Mitchell, R., Nyman, E., Scobie, M., Sun, K., Tiller, R., Webster, D.G., Young, O. (2019) Protecting biodiversity in areas beyond national jurisdiction: An earth system governance perspective. *Earth System Governance* 2: 100029, doi: 10.1016/j.esg.2019.100029.

Díaz, S., Demissew, S., Carabias, J., Joly, C., Lonsdale, M., Ash, N., Larigauderie, A., Adhikari, J.R., Arico, S., Báldi, A., Bartuska, A., Baste, I.A., Bilgin, A., Brondizio, E., Chan, K.M.A., Figueroa, V.E., Duraiappah, A., Fischer, M., Hill, R., Koetz, T., Leadley, P., Lyver, P., Mace, G.M., Martin-Lopez, B., Okumura, M., Pacheco, D., Pascual, U., Pérez, E.S., Reyers, B., Roth, E., Saito, O., Scholes, R.J., Sharma, N., Tallis, H., Thaman, R., Watson, R., Yahara, T., Hamid, Z.A., Akosim, C., Al-Hafedh, Y., Allahverdiyev, R., Amankwah, E., Asah, S.T., Asfaw, Z., Bartus, G., Brooks, L.A., Caillaux, J., Dalle, G., Darnaedi, D., Driver, A., Erpul, G., Escobar-Eyzaguirre, P., Failler, P., Fouda, A.M.M., Fu, B., Gundimeda, H., Hashimoto, S., Homer, F., Lavorel, S., Lichtenstein, G., Mala, W.A., Mandivenyi, W., Matczak, P., Mbizvo, C., Mehrdadi, M., Metzger, J.P., Moller, B.M.H., Mooney, H.A., Mumby, P., Nagendra, H., Nesshover, C., Oteng-Yeboah, A.A., Pataki, G., Roué, M., Rubis, J., Schultz, M., Smith, P., Sumaila, R., Takeuchi, K., Thomas, S., Verma, M., Yeo-Chang, Y., Zlatanova, D. (2015) The IPBES Conceptual Framework-connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14: 1-16.

DOSI (2019) Advancing science-based policy. Mevcut adres: <https://www.dosi-project.org> (erişim tarihi 15.03.2021).

Duarte, C.M., Agusti, S., Barbier, E., Britten, G.L., Castilla, J.C., Gattuso, J.P., Fulweiler, R.W., Hughes, T.P., Knowlton, N., Lovelock, C.E., Lotze, H.K., Predragovic, M., Poloczanska, E., Roberts, C., Worm, B. (2020). (2020) Rebuilding marine life. *Nature* 580(7801): 39-51.

Fanning, L., Mahon, R. (2020) Governance of the Global Ocean Commons: Hopelessly Fragmented or Fixable?. *Coastal Management* 48(6): 527-533.

FAO (2018) Deep-ocean climate change impacts on habitat, fish and fisheries, (eds., Levin, L., Baker, M., Thompson, A.), FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 638. FAO, Rome, Italy.

Gallo, N.D., Victor, D.G., Levin, L.A. (2017). Ocean commitments under the Paris Agreement. *Nature Climate Change* 7(11): 833-838.

Gattuso, J.P., Magnan, A.K., Bopp, L., Cheung, W.W.L., Duarte, C.M., Hinkel, J., Mcleod, E., Micheli, F., Oschiles, A., Williamson, P., Bille, R., Chalastani, V.I., Gates, R.D., Irisson, J.O., Middelburg, J.J., Pörtner, H.O., Rau, G.H. (2018) Ocean solutions to address climate change and its effects on marine ecosystems. *Frontiers in Marine Science* 5: 337.

IPCC (2019) Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems, (eds. Shukla, P.R., Skea, J., Calvo Buendia, E., Masson-Delmotte, V., Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Zhai, P., Slade, R., Connors, S., van Diemen, R., Ferrat, M. Haughey, E., Luz, S., Neogi, S., Pathak, M., Petzold, J., Pereira, J.P., Vyas, P., Huntley, E., Kissick, K., Belkacemi, M., Malley, J.). In press.

Japp, D.W., Wilkinson, S. (2007) Deep-Sea Resources and Fisheries. Report and Documentation of the Expert Consultation on Deep-sea Fisheries in the High Seas, Bangkok, Thailand, 21-23 November 2006. FAO, Rome, pp. 39-60.

Lamy, P., Heffernan, P., Ramm, K., Slat, B., Citores, A., Manakovski, D., Pitta e Cunha, T., Moldoveanu, V., Evans, L., Karageorgis, A., Deidun, A., Meissner, G., Kauppi, L., Galgani, F., Pedicchio, M.C., Pons, G. (2020). Mission Starfish 2030: Restore Our Ocean and Waters. Mevcut adres: <https://op.europa.eu/s/onTH> (erişim tarihi 14.01.2021).

Levin, L.A., Wei, C.L., Dunn, D.C., Amon, D.J., Ashford, O.S., Cheung, W.W., Colaço, A., Dominguez-Carrió, C., Escobar, E.G., Harden-Davies, H.R., Drazen, J.C., Ismail, K., Jones, D.O.B., Johnson, D.E., Le, J.T., Lejzerowicz, F., Mitarai, S., Morato, T., Mulsow, S., Snelgrove, P.V.R., Sweetman, A.K., Yasuhara, M. (2020) Climate change considerations are fundamental to management of deep-sea resource extraction. *Global Change Biology* 26(9): 4664-4678.

Mahon, R., Fanning, L. (2019) Regional ocean governance: Polycentric arrangements and their role in global ocean governance. *Marine Policy* 107: 103590, doi: 10.1016/j.marpol.2019.103590.

O'Leary, B.C., Hoppit, G., Townley, A., Allen, H.L., McIntyre, C.J., Roberts, C.M. (2020) Options for managing human threats to high seas biodiversity. *Ocean & Coastal Management* 187: 105110, doi: 10.1016 /j.ocecoaman.2020.105110. Ocean and Climate (2019) Policy Recommendations: A healthy ocean, a protected climate. Mevcut adres: <https://ocean-climate.org/wp-content/uploads/2019/11/mep-plaidoyer-ENG-WEB-1.pdf> (erişim tarihi 14.01.2021).

Ocean-Climate Action Agenda (2018) Mevcut adres: https://www.oceanclimateaction.org/wp-content/uploads/Ocean-Climate-Action-Agenda_FINAL_8.16.18-2.pdf (erişim tarihi 14.01.2021).

Parmentier, R. (2012) Role and impact of international NGOs in global ocean governance. *Ocean Yearbook Online* 26(1), doi: 10.1163 /22116001-92600092.

Watson, R.T. (2005) Turning science into policy: challenges and experiences from the science–policy interface. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 360(1454): 471-477.

Wright, G., Gjerde, K., Finkelstein, A., Currie, D. (2020) Fishing in the twilight zone: Illuminating governance challenges at the next fisheries frontier. IDDRI, Study N°06/20.

Yadav, S.S., Gjerde, K.M. (2020) The ocean, climate change and resilience: Making ocean areas beyond national jurisdiction more resilient to climate change and other anthropogenic activities. *Marine Policy* 122: 104184, doi: 10.1016/j.marpol.2020.104184.

Zelli, F., Van Asselt, H. (2013) Introduction: The institutional fragmentation of global environmental governance: Causes, consequences, and responses. *Global Environmental Politics* 13(3): 1-13.

İklim Değişiminin Kıyılara Etkileri ve Kıyısız Adaptasyon

Devrim TEZCAN

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli, Mersin, Türkiye
devrim@ims.metu.edu.tr

Özet

Kıyısız alanlar iklim değişiminin yoğun etkileri altındadır. Bu etkiler ve özellikle deniz seviyesi yükselmesi kıyısız ekosistem, sosyo-ekonomik aktiviteler ve insan hayatı için bir risk oluşturmaktadır. Bu etkilerden tümüyle kaçınmak mümkün olmadığından onlarla beraber yaşamın yollarının aranması gerekir. İklim değişimine uyum (Adaptasyon) amacıyla birçok yöntem geliştirilmiştir. Ancak her yöntemin her bölgeye uygun olmayacağı gibi tersine zarar vermesi mümkündür. Bundan dolayı iklim değişimine uyum için bölgesel bazda bir adaptasyon planı hazırlanması, planın içinde tüm ulusal ve yerel paydaşların yer alması, bölgenin hem fiziksel hem sosyo-ekonomik özelliklerinin iyi araştırılması ve alınacak önlemlerin buna göre değerlendirilmesi gereklidir. Hazırlanan ve uygulanan tüm adaptasyon planlarının sürekli izlenerek belli zamanlarda güncellenmesi, iklim değişiminin öngörülemez etkilerini de kapsayacak şekilde geliştirilmesi önemli bir husustur.

Anahtar Kelimeler: Deniz seviyesi yükselmesi, kıyısız adaptasyon, adaptasyon planı

Giriş

İklim değişimi doğrudan insan yaşamını etkileyen bir gerçektir. Küresel ısınmayı hızlandıran insan etkisi azalmadığı sürece ısınma artacak, bu da beraberinde birçok iklim kaynaklı değişim ve hatta felaketlere yol açacaktır. Atmosfere insan tarafından salınan karbon emisyonu miktarını düşürme gibi azaltım (mitigation) yöntemlerinin kısa vadede uygulanabilirliği kuşkuludur. En iyimser iklim senaryolarında bile küresel ısınma hızını kontrol altına almak çok kolay görünmemektedir (Nicholls ve Tol 2006; Meehl ve diğ. 2007).

Küresel ısınma kaynaklı iklim değişimlerinin kısa vadede azaltılması mümkün olmadığından bu değişimlere uyum (adaptation) sağlamak gerekliliği ortaya çıkmıştır. Özellikle kıyı ve denizlerde iklim değişiminin çok değişik etkileri ortaya konmuştur. Dünya nüfusunun önemli bir kısmı kıyılarda yaşamaktadır. En büyük ticari ulaşım yolu olan gemi taşımacılığından dolayı önemli ekonomik aktiviteler kıyılara yakın alanlarda gelişmiştir. Kıyılar sosyal ve ekonomik önemini yanı sıra birçok ekosistem servisine ev sahipliği yapmaktadır.

İklim değişimi

Antarktika'da yapılan yaklaşık 3,2 kilometre uzunluğunda karot örnekleme dünyamızda son 800 bin yılda sıcaklığın nasıl değiştiğini ortaya koymuştur (Lüthi ve diğ. 2008). Buzların içine hapseden hava kabarcıklarındaki önemli sera gazlarından karbon ve metan ölçümü sonucu oluşturulan grafik bize karbon

gazının dolayısıyla sıcaklığın belli aralıklarda azalıp çoğaldığını göstermiştir. Karbon oranı son buzul döneminden beri artış eğilimindedir. Günümüzde atmosferdeki karbon oranı son 800 bin yılda olmadığı kadar artmış durumdadır. Bu küresel ısınmanın ve ona bağlı etkilerin hızlanarak artacağı anlamına gelmektedir. Doğal olaylardan dolayı meydana gelen iklimsel değişim, 1800'ü yıllardan itibaren bir ivmelenerek hızlanmaya başlamıştır. Bunun temel nedeni Endüstri devrimi ile birlikte atmosfere insan tarafından salınımına başlanan sera gazlarının etkisidir (Lüthi ve diğ. 2008).

Deniz seviyesi değişimi

Stratigrafi çalışmaları da deniz seviyesinin jeolojik tarih boyunca iklimsel değişimlere bağlı olarak zaman zaman azalıp yükseldiğini göstermiştir. Son 500 bin yılda yaklaşık 100-110 bin yıl periyodunda dünyamızda yaşanan buzul dönemlerine paralel olarak küresel deniz seviyesinde değişimler olmuştur. Son buzul dönemi sırasında küresel deniz seviyesi bugünkü seviyesinden yaklaşık 125 metre daha aşağıda olduğu tespit edilmiştir. 10-15 bin yıl önce sona eren son buzul dönemini takiben deniz seviyesi yükselmeye başlamış, altı bin yıl önce yaklaşık bugünkü seviyesine yakın bir noktaya kadar ulaşmıştır (Clark ve diğ. 2009). Bu noktadan sonra yükselme hızı yavaşlamış ama devam etmiştir.

Deniz seviyesinin aletsel olarak ölçülmeye başladığı son 170 yıla baktığımızda yükselmenin yılda 3,3 mm hıza ulaştığı görülmektedir. Bu yükselme hızının artmasında başlıca etken küresel ısınmanın insan kaynaklı olarak artmasıdır (Cazenave ve Remy 2011).

Küresel ısınmanın artması ile deniz seviyesinin yükselmesinin üç önemli kaynağı vardır. Birincisi kutup bölgelerinde yer alan buzların erimesi, ikincisi kıtalarda yer alan buzulların erimesi ve son olarak okyanusların ısınarak hacminin artması. Hükümetler Arası İklim Değişimi Paneli'nin (IPCC) değişik emisyon azaltım senaryolarına göre küresel deniz seviyesinin en düşük emisyon senaryosunda bile 2100 yılına kadar 0,26-0,55 metre arasında artacağı öngörülmektedir. En kötü senaryoda ise 1 metreye yakın deniz seviyesi artışı beklenmektedir (IPCC 2014).

İklim değişiminin kıyısız alanlara etkileri

Kıyısız alanlar doğal süreçler ve insan kaynaklı baskıların etkisi altındaki dinamik bölgelerdir. Rüzgar, dalga gibi aşındırıcı etkiler, kıyısız sediman taşınımı, insan yapımı liman, mendirek, dolgu alanı gibi altyapılar kıyı şekillerinin sürekli değişmesine neden olmaktadır. Bununla yanı sıra iklim değişimi ile birlikte denizlerde meydana gelen küresel deniz seviyesindeki yükselme, yüzey sularının sıcaklığının artması, CO₂ konsantrasyonunun artması, akıntı/rüzgar/dalga rejimlerinin değişmesi gibi etkiler kıyısız alanların üzerinde büyük baskılar yaratmaktadır.

Deniz seviyesi yükselmesi kıyısız alanlarda fiziksel ve ekolojik olarak çok geniş bir yelpazede zararlı sonuçlar doğurmaktadır. Bunların arasında su taşkınları,

sulak alanların kaybedilmesi, kıyı bölgelerinin erozyona uğraması ve tuzlu girişimi gibi doğrudan etkiler yer almaktadır. Diğer yandan su sıcaklığının artması, yağış rejiminin değişmesi, fırtınaların yoğunluğunun ve sıklığının artması gibi iklim değişiminin neden olduğu diğer etkiler de kıyısal alanları tehdit etmektedir.

İklim değişiminden kaynaklı bu etkiler aynı zamanda önemli sosyo-ekonomik zarara yol açma kapasitesine sahiptir. Sel ve su taşkınları can kayıplarına yol açmakta, ayrıca arazi ve taşınmazları kullanılamaz hale getirebilmektedir. Kıyı boyunca yapılmış parklar gibi alanların yanı sıra kıyıya yakın yol, kanalizasyon gibi önemli altyapıların zarar görebilmektedir. Kıyı turizmi, kıyısal tarım gibi ekonomik faaliyetlerde iklim değişiminden doğrudan etkilenme potansiyeline sahiptir.

Adaptasyon

Atmosfere insan tarafından salınan karbon emisyonu miktarını düşürme gibi azaltım (mitigation) yöntemlerinin ne oranda uygulanabileceği tartışma konusudur. Bununla birlikte karbon emisyonunu sıfıra indiren en iyi senaryoda bile deniz seviyesinin yükselmesi devam edeceği öngörülmektedir (IPCC 2014). Azaltım sadece deniz seviyesinin yükselme hızını yavaşlatabilecek ancak kıyısal alanlara olan etkilerini tam olarak engelleyemeyecektir (Nicholls ve Lowe 2004).

Bu nedenle iklim değişiminin kıyısal alanların doğal ve sosyo-ekonomik yapılarına zarar vermesini önleyecek yöntemlerin geliştirilip uygulanması gerekmektedir.

Adaptasyon kavramı genel anlamda gerçekleşmiş veya beklenen iklim değişimi ve etkilerine uyum sağlama süreci olarak tanımlanmaktadır. Adaptasyon iklim değişikliği etkilerinin neden olduğu zararları azaltmanın yanı sıra bu etkilerin oluşturacağı olumlu fırsatlardan da faydalanma yollarını içermektedir. Kıyısal alanlarda adaptasyon ise başta deniz seviyesi yükselmesi olmak üzere iklim değişiminin kıyılarda yaratacağı etkilerin azaltılması olarak tanımlanmaktadır.

Adaptasyon yöntemleri

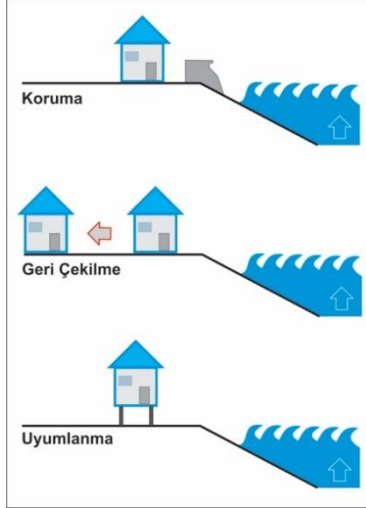
Kıyısal alanlarda uygulanan üç ana adaptasyon yöntemi vardır (Şekil 1; Nicholls 2015):

- Koruma (Protection)
- Geri Çekilme (Retreat)
- Uyumlanma (Accommodation)

Koruma yöntemlerinin en başında duvar, mendirek gibi sert yapılar (hard structures) gelmektedir. Ancak hem maliyetli, hem de kıyısal sisteme uzun vadede zarar verme olasılığı olan yöntemlerdir. Diğer yandan kıyısal kumulların ve sulak alanların restore edilmesi ya da yeniden yaratılması gibi daha yumuşak (soft) koruma yöntemleri ile kıyısal sisteme uyum içinde adaptasyon sağlanabilir.

Geri çekilme yöntemi ise kıyı çizgisinde yer alan tüm aktivitelerin arada bir tampon bölge bırakacak şekilde geri çekilmesini içermektedir. Ancak ekonomik ve yasal olarak büyük sorunlara yol açabileceğinden uygulama alanları ekonomik faaliyetlerin en az olduğu yerler ile sınırlı kalmaktadır.

Uyumlanma yöntemi ise erken uyarı sistemleri, su ve taşkınlara karşı yapıların ve altyapı sistemlerinin güçlendirilmesi gibi yerinde önlemleri içermektedir.



Şekil 2. Adaptasyon Yöntemleri (Nicholls 2015'den değiştirilmiştir)

Bu yöntemler tek başlarına kullanılacakları gibi birden fazla yöntemde birbirlerini tamamlayacak şekilde kullanılabilir. Bu yöntemler uygulanmadan önce yapılması gereken bölgesel ölçekte geniş içerikli bir adaptasyon planı oluşturulmasıdır.

Adaptasyon planı geliştirme

İklim değişikliğinin tehlikesinin farkında olan birçok ülke bu değişimlerin etkilerine karşı adaptasyon plan çerçeveleri geliştirmişlerdir. Bu çerçeve çalışmalar farklı bileşenler içerse de genelde aynı yaklaşıma sahiptirler. Bu çerçeve çalışmalar sonunda belirli bir bölge için nasıl bir ya da birden fazla adaptasyon yöntemi ve tekniği uygulanacağını belirleneceği adaptasyon planları geliştirmek hedeflenmektedir.

Ülkemizde de benzer adaptasyon planları geliştirilmesi kıyı alanlarının iklim değişikliğine uyumunu sağlayacak, olumsuz etkileri azaltmaya yardımcı olacaktır. Yeni bir plan geliştirmek yerine daha önce geliştirilmiş çerçeveler ve denenmiş planları kullanarak bir adaptasyon planı geliştirmek ciddi bir maliyet ve zaman tasarrufu sağlayacaktır.

Bir adaptasyon planı geliştirmek için öncelikle bir karar destek mekanizmasına ihtiyaç vardır. Bu karar destek mekanizması çeşitli adımlar içerir (şekil 2).

İlk adım olan **İhtiyaçların Tanımlanması**, uygulama yapacak bölge ve özelliklerinin belirleneceği, uygulanacak olan adaptasyon ile toplum ve kurumlar için beklenen sonuçlarının ortaya konacağı, süreç içinde yer alması gereken paydaşların belirleneceği, adaptasyonun uygulama aşamasında karşılaşılabilecek yasal zorlukların belirleneceği, bölgede adaptasyon için gerekli fiziksel ve sosyo-ekonomik verileri ve kaynaklarının belirleneceği en temel süreçtir.

İkinci adım **Kırılgnlıkların Belirlenmesi** iklim değişiminin bölgede kıyıs alanda yaratacağı risklerin, hasar görebilirlik derecesinin belirleneceği, bunun yanı sıra iklim değişiminden faydalanma yollarının da araştırıldığı süreçtir.

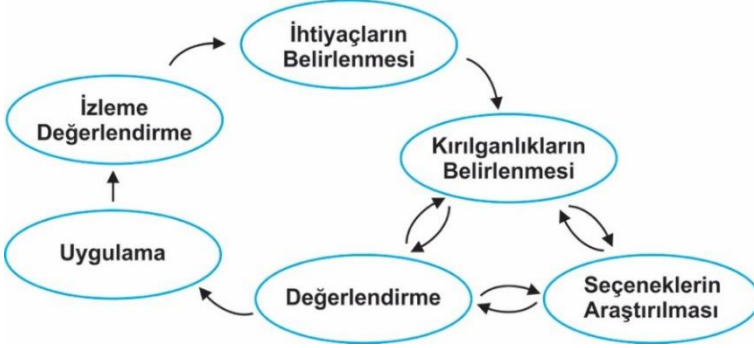
Üçüncü adım olan **Seçeneklerin Araştırılması**, ilk iki aşamanın sonunda elde edilen bilgiler ışığında nasıl bir adaptasyona ihtiyaç olduğuna dair ilk fikirler ortaya ıkmiş olacağından, buna uygun adaptasyon yöntem ve tekniklerinin araştırılıp incelenmesi sürecidir. Nasıl uygulanacağı ya da maliyetinden bağımsız olarak, uygulanması mümkün tüm tekniklerin ortaya konması önemlidir.

Değerlendirme adımı bir önceki adımda belirlenen olası adaptasyon seçeneklerinin avantaj ve dezavantajlarını değerlendirip, olası maliyet ve risk analizlerinin yapılmasını içermektedir. Artık karar verme aşaması olan bu değerlendirmeler yapılırken paydaşlarında katılımını ile en uygun olan, sürdürülebilir seçimlerin yapılması önemlidir. Uygulanacak olan adaptasyon yönteminin yararlı olabileceği kadar doğurabileceği sorunların da inceleneneği bir risk analizi yapılması gerekir. Ayrıca bir kar-zarar analizi yaparak planlanan adaptasyon yöntemlerinin maliyet yönünden incelenmesi, ekonomik olarak uygulanabilir seçimler yapılması için gereklidir.

Uygulama adımı bir önceki adımda belirlenen adaptasyon yöntemlerinin uygulama safhasıdır. Uygulama öncesinde özellikle topluma iklim değişiminin ve doğuracağı etkilerin neler olduğu, seçilen adaptasyon yönteminin bu etkileri nasıl azaltacağı yönünde bilgilendirmeler yapılması, uygulama aşamasında kamuoyu tepkisinin önüne geçmek için gereklidir. Ayrıca uygulamadan önce adaptasyon yönteminin mali kaynağının, yapımı ve sürdürülmesinden sorumlu olacak kurum veya kurumların belirlenmesi önemlidir.

Tüm diğer adımlar gerçekleştirilip seçilen adaptasyon yöntemi başarıyla uygulandıktan sonra en önemli adım **izleme ve değerlendirme** sürecidir. Bu süreç ilkim değişimi etkisinin öngöröldüğü şekilde gelişip gelişmediğini izlenmesi ve buna karşı uygulanan yöntemin başarılı olup olmadığını değerlendirilmesidir. Değerlendirme sonucuna göre uygulanan yöntemin yeniden gözden geçirilmesi, hatta değiştirilmesinin gerekebileceği unutulmamalıdır.

Adaptasyon planı aslında döngüsel bir süreçtir (Şekil 2). Her bir adımın başarılı bir şekilde yürütülmesi adaptasyonun başarıyla sağlanması için çok önemlidir. Ancak her zaman öngörülemeyen durumlarla karşılaşılabilceği unutulmamalı, gerekiyorsa daha önceki süreçler tekrarlanmalıdır.



Şekil 3. Adaptasyon planı karar-destek mekanizması

Bir adaptasyon planı oluştururken dikkat edilmesi gereken önemli noktalar vardır.

Adaptasyon planı hazırlanma öncesinde ve İhtiyaçların Tanımlanması aşamasında öncelikle bölgesel özellikler göz önünde tutulmalıdır. Her bölgenin hem coğrafi, hem sosyo-kültürel yapısı farklı olabileceğinden her yerde aynı adaptasyon yönteminin başarılı olması beklenemez. Yine bu aşamalarda bölgede daha önce gerçekleştirilmiş adaptasyon yöntemleri veya benzeri önlemler incelenmeli, bunlar başarılı olmuş ise başarı derecelerinin belirlenmesi, başarısız oldularsa bunun nedenlerinin belirlenmesi doğru adaptasyon planı için çok önemlidir.

Kıyılar birçok ulusal ve yerel yönetimlerin sorumluluklarının kesiştiği bir alandır. Bundan dolayı adaptasyon planı hazırlanırken tüm bu paydaşların yapıcı katılımlarının sağlanması önemlidir. Toplumun iklim değişimine karşı bilinçlendirilmesi, bu konuda farkındalık çalışmaları yürütülmesi, halkın kıyılara uygulanacak olan adaptasyon tekniklerini benimsemesine yardımcı olacaktır.

Yüksek maliyetten dolayı adaptasyon planının uygulanmamasına yol açacağından plan geliştirme aşamasında kararları etkileyebilecek gereksiz harcama önerilerinden kaçınılması önemlidir. Bir diğer önemli husus, adaptasyon yönteminin uygulanacağı yerlerdeki arazi sahipliği göz önünde bulundurulmalı, tapu sahiplerinin yasal hakları unutulmamalıdır.

Adaptasyon planı uzun dönemli seçenekler içermeli, her zaman yeni önerileri içine katabilecek, gerektiğinde değişime açık fikirlerden oluşmalıdır.

Adaptasyon planı oluşturmak ve uygulamak yıllar alabilecek bir süreçtir. Zaman kazanabilmek için daha önce geliştirilmiş ve denenmiş adaptasyon planlarını incelenmeli, orada elde edilen tecrübe ile bilgi birikimi kullanılmalıdır.

Yapısal farklılıklar, ekonomik aktiviteler ve kültürel varlıkların farklılıklar gösterdiği kıyasal alanlarda farklı adaptasyon seçenekleri değerlendirilmeli, farklılık çok büyük ise ayrı bir adaptasyon planı geliştirilmelidir.

Kaynakça

Cazenave, A., Remy, F. (2011) Sea level and climate: measurements and causes of changes. *WIREs Clim Change* 2: 647-662.

Clark, P.U., Dyke, A.S., Shakun, J.D., Carlson, A.E., Clark, J., Wohlfarth, B., Mitrovica, J.X., Hostetler, S.W., McCabe, A.M. (2009) The last glacial maximum. *Science* 325: 710-714.

IPCC (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Assessment Report 5 Climate Change 2014 (eds. Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Lüthi, D., Le Floch, M., Bereiter, B., Blunier, T., Barnola, J.M., Siegenthaler, U., Raynaud, D., Jouzel, J., Fischer, H., Kawamura, K., Stocker, T.F. (2008) High-resolution carbondioxide concentration record 650,000-800,000 years before present. *Nature* 453: 379-382.

Meehl, G.A., Stocker, T.F., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., Gregory, J.M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J.M., Noda, A., Raper, S.C.B., Watterson, I.G., Weaver, A.J., Zhao Z.C. (2007) Global Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (eds., Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M., Miller, H.L.) Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 747-845.

Nicholls, R.J., Lowe, J.A. (2004) Benefits of mitigation of climate change for coastal areas. *Global Environmental Change* 14(3): 229-244.

Nicholls, R.J. (2015) Chapter 9 - Adapting to Sea Level Rise. In: Coastal and Marine Hazards, Risks, and Disasters, (eds., Shroder, J.F., Ellis, J.T., Sherman, D.J.) Elsevier, pp. 243-270.

Nicholls, R.J., Tol, R.S.J. (2006) Impacts and responses to sea-level rise: a global analysis of the SRES scenarios over the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society* 364(A): 1073-95.

Avrupa’da Deniz İzleme Çalışmaları’nın İklim Değişiminin Etkilerine Göre Düzenlenmesi

Evrım KALKAN TEZCAN

ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü, 33731 Erdemli/Mersin, Türkiye
evrimkalkan@ims.metu.edu.tr

Özet

Deniz izleme çalışmaları insan kaynaklı baskıları belirleyerek, ekosistem üzerindeki etkilerini izlemek, kontrol altına almak ve yönetmek için Avrupa Birliği (AB) üyesi ve komşu ülkelerince yapılmaktadır. Türkiye’de 2014 yılından beri ulusal deniz izleme programını AB Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi’ne uyumlandırarak yürütmektedir. Son dönemde kaçınılmaz şekilde deneyimlenen insan kaynaklı iklim değişiminin etkilerinin azaltulmasını sağlamak ve iklim değişimi adaptasyon önerileri geliştirilebilmek için denizel çevrenin fiziksel, kimyasal ve biyolojik karakteristiğinde yol açtığı olumsuz etkilerinin izlenmesi gereksinimi ortaya çıkmıştır. Halihazırda yürütülen izleme çalışmaları insan kaynaklı iklim değişimi etkilerini belirlemede yeterli olmamaktadır. Bu nedenle AB komisyonu ve AB ülke komisyonlarınca rutin olarak sürdürülen deniz izleme çalışmalarına iklim değişiminin etkilerini de belirlemeye yönelik yaklaşım kazandırılması için yapılması gerekenler tartışılmaktadır. AB Deniz Strateji Çerçeve Direktifi’ni (DSCD) baz alarak, küresel ölçekte, uzun süreli ve ortak metodolojinin kullanıldığı çalışmalara ihtiyaç olduğu belirtilmektedir. Ayrıca, yenilikçi metotların kullanılması (moleküler metotlar, gliders, ferryboxes, vb.), modelleme çalışmalarına ağırlık verilmesi, yerinde gözlem sistemleri ile sürekli ve kesintisiz izlemenin yapılması da diğer önemli çıkarımlardır. Mevcut izleme çalışmalarının revize edilmesinin yanı sıra, veri paylaşımı, iş birliklerinin (ülkelerarası ve ulusal ölçekte koordinasyon) artırılması ve ekosistemde tespit edilen direnç azalışı karşısında gerekli önlemlerin alınmasına yönelik stratejiler geliştirilmesi de ayrıca göz önünde bulundurulması gereken önemli noktalar.

Anahtar Kelimeler: İklim değişimi, DSCD, deniz izleme, deniz ekosistemi

Giriş

İnsan kaynaklı baskıların etkileri ve deniz izleme çalışmaları

Okyanuslar ve denizler, dünya yüzeyinin %71'ini ve dünya üzerindeki yaşanabilir alanın %99'unu temsil etmektedir (<http://www.coml.org/>, EC 2020a). Sahip oldukları zengin biyoçeşitlilik ve bilinen en büyük canlılara ev sahipliklerinin yanı sıra insanlar için besin, iklim düzenlemesi ve rekreasyonel vb. hizmetler sunmaktadır. Ayrıca soluduğumuz oksijenin yarısından fazlası deniz organizmaları tarafından sağlanmaktadır. Atmosfere salınan insan kaynaklı karbondioksitin dörtte biri okyanuslar ve denizler tarafından absorbe edilmekte ve dünya üzerindeki karbon döngüsünün en büyük rezervuarını okyanuslar oluşturmaktadır (atmosferdekinin 50 katı fazla) (Doney ve diğ. 2012; EC 2013; EC 2020a).

Yaşamın sürmesinin ana kaynağını oluşturan bu sistem maalesef gittikçe artan insan baskısı ile karşı karşıyadır (Danovaro ve diğ. 2016; EC 2020a). Okyanuslar ve denizler üzerindeki en güncel baskılar; nüfus artışı, kentleşme ve özellikle sanayi devriminden sonra belirgin bir artış gösteren insan kaynaklı karbondioksit (CO₂) emisyonlarının neden olduğu iklim değişimidir. Bu baskılar biyoçeşitlilik kaybı, habitat hasarı, ötrofikasyon, kirlilik, asidifikasyon, akıntı sisteminde değişim, yabancı tür girişleri, istilacı türlerin sayılarında belirgin artış vb. birçok şeye yol açarak, ekosistem tahribatına neden olmaktadır (Hoegh-Guldberg ve Bruno 2010; Burrows ve diğ. 2011; Doney ve diğ. 2012).

Denizlerde insan kaynaklı baskıları belirlemek, izlemek, yönetmek ve ekosistem üzerindeki etkilerini olabildiğince minimum tutmak için AB üye ülkeleri için bağlayıcılığı olan pek çok direktif ve politika (Kuş Direktifi (1979), Habitat Direktifi (1992), Su Çerçeve Direktifi (EC 2000), Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi (EC 2008), Ortak Balıkçılık Politikası (2014), vb.) bulunmaktadır (EC 2020a). Bunlar değişen baskılar çerçevesinde değerlendirilerek revize edilmekte, yenileri yürürlüğe sokulmakta ve hazırlanmaktadır (EC 2020b). Yenilenen ya da yenisi hazırlanan tüm dokümanlar denizlerde ekosistem öncelikli bütünlük bir yaklaşımın gerekliliği üzerine oluşturulmaktadır (EC 2020a, b).

Denizel çevre ve deniz ekosisteminin maruz kaldığı balıkçılık, deniz tabanı tahribatı, kirlilik ve küresel ısınma gibi insan kaynaklı etkilerin yoğunlaşmasıyla Avrupa Birliği (AB) bir yandan denizel ürün ve servislerin sürdürülebilir kullanımını sağlarken, diğer yandan Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi'ni (DSÇD) uygulamaya sokarak bütünlükçi bir yaklaşımla Avrupa denizlerini korumayı amaçlamıştır (EC 2020b). Bu direktiflerden deniz izlemeleri için oluşturulmuş DSÇD, bütünlük bir anlayış ile ekosistem öncelikli yönetimi içeren, AB üye ülkelerinin denizel ekosistemlerini temiz, sağlıklı ve üretken bir durumda (iyi çevresel durum, İÇD) tutmasını hedefleyen uluslararası deniz koruma çerçevelerinden birisidir (EC 2008; Bourlat ve diğ. 2013). Hedefi; AB'ye üye ve uyum sürecinde olan ülkelerin izleme çalışmalarını yürüttükleri kendi deniz alanları için iyi çevresel durum koşullarını belirlemeleri, eğer o seviyede iseler durumlarını korumaları, değil iseler de iyileştirici önlemler almalarıdır (Borja ve diğ. 2013; EC 2020c). İyi çevresel duruma ulaşılması ile deniz alanlarının sürdürülebilir kullanımı ve sosyo-ekonomik fayda mümkün olacaktır (EC 2020c).

Direktif (DSÇD) kapsamında iyi çevresel durumu değerlendirmek için 11 tanımlayıcı (1. Biyoçeşitlilik, 2. Yabancı türler, 3. Ticari balık ve yumuşakçalar, 4. Besin ağı, 5. Ötrofikasyon, 6. Deniz tabanı bütünlüğü, 7. Hidrografik değişimler, 8. Kirleticiler, 9. Deniz ürünlerindeki kirleticiler, 10. Deniz çöpleri, 11. Enerji ve gürültü kirliliği) kullanılmaktadır (EC 2008). Bu tanımlayıcılar, ekosistem üzerindeki insan baskı ve etkilerini tespit edebilmeye yönelik belirlenmiştir (Borja ve diğ. 2013).

Deniz izleme çalışmaları hem çevresel değişimlerin hem de insan kaynaklı etkilerin denizel ekosistem üzerindeki etkilerinin bilimsel bir anlayışla belirlenmesi için veri toplama ve değerlendirmeyi içermektedir (Painting ve diğ. 2020). Bunun için belirli bir planlama çerçevesinde çalışılan alanlara göre gerekli metodolojiyi kullanarak gerçekleştirilir. Ekosistem üzerindeki baskıların çeşidi ve şiddeti aynı kalmamaktadır. Bu nedenle, izleme çalışmalarının, ekosistem üzerindeki baskıların çeşidi ve şiddetinin aynı kalmadığı, bu nedenle de değişen baskıları izlemeye, yönetmeye ve etkilerini azaltmaya yönelik gereksinimlerin de değişmekte olduğu gözetilerek programlanması ve belli periyotlarda gözden geçirilmesi gereklidir (Zampoukas ve diğ. 2013; Painting ve diğ. 2020). Ayrıca, izleme çalışmaları kapsamında ekosistemde değişim meydana getiren etkilerin kökeninin tespit edilmesi de (insan kaynaklı ve/veya doğal) diğer önemli bir noktadır (EC 2020c). Türkiye’de 2014 yılından beri kendi ulusal deniz izleme programını DSÇD (Denizlerde Bütünleşik İzleme Programı)’ye uyumlu şekilde yürütmektedir.

İnsan kaynaklı küresel iklim değişimi

Okyanuslar ve denizler küresel ısınmanın dramatik etkileriyle karşı karşıyadır (Webster ve diğ. 2017; Painting ve diğ. 2020). İnsan kaynaklı baskıların en önemlilerinden olan iklim değişimi son dönemde bilim insanlarının öncelikli konusu haline gelmiştir. İklim değişimi, insan yaşam alanlarına etkisi, kıyı alanları ve kıyı ekosistemleri üzerinde yaratacağı olumsuz etkinin yanı sıra denizel çevrenin fiziksel, kimyasal ve biyolojik karakteristiğini etkilemektedir (EC 2020b; Painting ve diğ. 2020). İklim değişiminin denizel ortamın fiziksel koşullarında yarattığı değişimlere/etkilere deniz seviyesi değişimi, artan fırtınalardan dolayı dalga etkisi, su sıcaklığı değişimi, su sirkülasyonu paternindeki değişim, karadan tatlı su girdisi, vb. örnek olarak verilebilir. Kimyasal değişimler; okyanus asitlenmesi, oksijen seviyesindeki düşüş vb. şekilde ortaya çıkarken, habitat kayıpları, tür yok oluşları, istilacı türlerin girişi, tür göçleri vb. pek çok etki de biyolojik koşullardaki değişimleri göstermektedir (EC 2020b; Painting ve diğ. 2020).

2019’da yayımlanmış olan Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli’nin (IPCC) İklim Değişiminde Okyanuslar ve Kriyosfer Raporu’nda, tüm deniz ekosisteminin iklim değişimi karşısında giderek artan bir riskle karşı karşıya olduğu vurgulanmıştır (IPCC 2019; EC 2020a). Aynı raporda, 1993’den beri okyanusların iki kattan fazla oranda ısındığı ve bunun etkisinin su kolonunun tamamında görüldüğü belirtilmiştir. Belli denizel bölgelerde lokal olarak ısınmanın yoğunlaştığı, bunun da biyoçeşitlilik üzerinde ve ekosistem direncinde dramatik sonuçlara neden olduğu raporlanmıştır. Ayrıca, CO₂ emisyonlarında 1980’den beri görülen insan kaynaklı hızlı artışın okyanus asitlenmesine neden olduğu, okyanuslarda oksijen kaybının yaşandığı ve oksijensiz bölgelerin gittikçe arttığı belirtilmiştir (IPCC 2019; EC 2020a).

Okyanuslardan, iklim üzerindeki etkilerinden ve küresel iklim sistemindeki rolünden ilk kez bahseden bir iklim anlaşması olan Paris Anlaşması kapsamında da hükümetlerce öne çıkartılan en önemli endişeler; iklim değişiminin kıyısall etkileri, okyanus ve denizlerin ısınmasının etkileri ve iklim değişiminin balıkçılık üzerine etkileridir (Gallo ve diğ. 2017; EC 2020a).

Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi'nin iklim değişimini izleme yaklaşımı

AB Komisyonunca hazırlanan DSÇD'nin uygulamasına ilişkin raporda iklim değişiminin tüm denizler için en önemli baskı unsurlarından biri olduğu vurgulanmaktadır (EC 2020a). DSÇD'nin esas amacı, deniz ekosistemi üzerindeki insan kaynaklı etkileri tespit etmek ve izlemek olsa da, doğrudan insan kaynaklı iklim değişiminin etkilerini saptamak ve takip etmek için tasarlanmış değildir (Danovaro ve diğ. 2016; EC 2020a). Diğer yandan DSÇD, iklim değişiminin etkilerini izlemede, etkilerinin azaltılmasını araştırmada ve iklim değişimi adaptasyon önerilerinin geliştirilebilmesine yönelik ekosistem öncelikli bir yaklaşımın uygulanması için iyi bir çerçeve oluşturmaktadır (EC 2020a). AB Komisyonu'nun 2020'de yayınladığı, 17 üye ülkenin kendi deniz alanlarında yaptıkları izleme çalışmalarının sonuçlarına yönelik çıkarımlarından derlenen raporunda, DSÇD kapsamındaki tüm deniz alanları için iklim değişiminin en önemli baskı unsuru olduğu vurgulayıcı bir şekilde belirtilmiştir (EC 2020a).

Deniz Stratejisi Çerçeve Direktifi'nin mavi büyüme ile ortaklaşması

Denizel alanların kullanımında son dönemde öne çıkan mavi büyüme (Blue Growth) ve mavi ekonomi (Blue Economy) denizlerin ekosistem öncelikli sürdürülebilir kullanımını ve denize dayalı sürdürülebilir ekonomiyi içermektedir (European Commission 2019). Mavi büyüme ve ekonomi perspektifinde, sürdürülebilir bir gelişme için okyanusları ve denizleri koruyarak ve denizel kaynakları sürdürülebilir şekilde kullanarak, ekonomik faydaya dönüştürmek ana hedefdir. Denizel çevreyi korumak sadece biyoçeşitliliği korumanın çok ötesine geçerek insanlığın ve gezegenin refahı için önemli bir hale gelmektedir (COM 2014; European Commission 2019; EC 2020a). Balıkçılık, su ürünleri yetiştiriciliği, açık deniz platformları (rüzgar enerji çiftlikleri), gaz ve petrol endüstrisi, deniz taşımacılığı, kıyı savunma sistemleri, turizm, deniz koruma alanları, vb. tüm sektörler aynı alandan (denizel alan) ekonomik fayda sağlamaya çalışmaktadır (COM 2014; European Commission 2019; EC 2020a). Doğrudan ya da dolaylı olarak denizlerin, okyanusların ve kıyıların sağlığına dayalı sürdürülebilir kullanımının 2017'de sağladığı gelir 658 milyar avro olmuştur (EC 2020a).

DSÇD ve Mavi Büyüme, sürdürülebilirlik ve ekosistem öncelikli yaklaşımda ortaklaşmaktadır. Ancak, Mavi büyümenin uygulamasında sürdürülebilir kullanımın göz ardı edilmesi söz konusu olursa, bu durum DSÇD'nin iyi çevresel

duruma ulaşma ölçütü ile çatışma durumunun ortaya çıkmasına neden olacaktır (European Commission 2019; EC 2020a).

DŞÇD, Mavi Büyüme ve Mavi Ekonomi'nin ortak perspektiflerini, denizlerin sürdürülebilir kullanımı ve korunması oluşturmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda göz ardı edilemeyecek kadar önemli etkilere neden olacağı ısrarla vurgulanan insan kaynaklı iklim değişiminin göz önünde bulundurulması zorunludur. Bu baskıların izlenmesi ve yönetilmesi önemli bir hal almaktadır (EC 2020a).

Öneriler - İklim değişiminin etkilerine göre Avrupa'da deniz izleme çalışmalarının düzenlenmesi

Avrupa denizlerinde halihazırda yürütülen insan etkisinin tespiti ve takibi yönünde gerçekleştirilen deniz izleme çalışmalarının küresel iklim değişiminin etkilerini de izlemeye yönelik geliştirilmesi gerektiği AB komisyonu ve üye ülke komisyonlarınca tartışılmaktadır, öneriler geliştirilmektedir. Henüz Avrupa denizlerinde iklim değişiminin ekosistem üzerindeki etkisinin izleme metodolojisi tam olarak netleştirilmiş değildir, ancak gereklilik olduğu belirtilmektedir (OSPAR 2017a, b; HELCOM 2018; EC 2020a).

İklim değişiminin etkilerini belirlemek DŞÇD odaklı deniz izleme çalışmalarının temel amaçlarından biri değildir (EC 2020a). Ancak, daha lokalde insan kaynaklı etkiler nedeniyle meydana gelen değişimleri daha geniş ölçekte iklim değişimi kaynaklı etkilerden ayırt etmede önemli rol oynadığı belirtilmektedir (EC 2013; Elliot ve diğ. 2015). Küresel ısınma ve onun bir sonucu olan okyanus asitlenmesi etkisini büyük mekânsal ölçekte gösterdiğinden, iklim değişiminin denizel ekosistem üzerindeki gerçek boyutunu görebilmek için geniş ölçekte ve uzun süreli izleme çalışmalarının yapılması önerilmektedir (OSPAR 2017a, b; HELCOM 2018; EC 2020a). Ayrıca, DŞÇD kapsamında izlenen deniz koruma alanları gibi referans alanların geniş ölçekli iklim değişimi izlemelerinin tamamlayıcısı olarak kullanılması gerekliliği öneriler arasındadır (EC 2020a). Özellikle farklı habitat tiplerinin gözlemlendiği kıyı bölgelerinin belirlenmesi, bu bölgeler için öngörülen iklim değişikliği etkilerine yönelik tanımlayıcılara karar verilmesi ve vakit kaybetmeden izleme çalışmalarına başlanması gerekliliği vurgulanmaktadır (EC 2013; EC2020a).

İzleme çalışmalarının, iklim değişiminin bölgeye özel beklenen etkilerine yönelik, ortak metodoloji ve uzun süreli kıyaslanabilir veri elde etmeye dayalı oluşturulması önerilmektedir. Ayrıca, halihazırda iklim değişiminin önemli etkilerinin gözlemlendiği çalışma alanlarına yönelik balıkçılık, istilacı tür girişleri, akıntı rejiminde değişimler vb. uygun izleme yöntemlerinde ortaklaşılması gerektiği belirtilmektedir (Zampoukas ve diğ. 2013; Garcia-Garcia ve diğ. 2019; EC 2020a; Painting ve diğ. 2020).

Biyolojik, kimyasal ve fiziksel parametrelerin birbirleriyle entegre bir şekilde değerlendirilmesinin iklim değişimi etkilerinin tespitinde önemli olduğu vurgulanmaktadır (Painting ve diğ. 2020). İzleme çalışmalarında yeni teknolojilerin (moleküler metotlar, gliders, ferryboxes, vb.) kullanılması, yerinde gözlem sistemleri ile sürekli ve kesintisiz izlemenin yapılması ve modelleme çalışmalarına ağırlık verilmesi önemli önerilerdendir (Tett ve diğ. 2013; Danovaro ve diğ. 2016; García-García ve diğ. 2019; Painting ve diğ. 2020).

Bunların yanı sıra, veri toplamada sürdürülebilirliğin sağlanması, veri paylaşımı, iş birlikleri (ülkelerarası ve ulusal ölçekte koordinasyon) ve ekosistemde tespit edilen direnç azalışı karşısında gerekli önlemlerin alınmasına yönelik stratejiler geliştirilmesi gerekliliği de göz önünde bulundurulması gereken diğer konulardır (EC 2020a; Painting ve diğ. 2020).

Kaynakça

Borja, A., Elliott, M., Andersen, J.H., Cardoso, A.C., Carstensen, J., Ferreira, J.G., Heiskanen, A.S., Marques, J.C., Neto, J.M., Teixeira, H., Uusitalo, L., Uyarra, M.C., Zampoukas, N. (2013) Good Environmental Status of marine ecosystems: what is it and how do we know when we have attained it? *Marine Pollution Bulletin* 76: 16-27.

Bourlat, S.J., Borja, A., Gilbert, J., Taylor, M.I., Davies, N., Weisberg, S.B., Griffith, J.F., Lettieri, T., Field, D., Benzie, J., Glöckner, F.O., Rodriguez-Ezpeleta, N., Faith, D.P., Bean, T.P., Obst, M. (2013) Genomics in marine monitoring: new opportunities for assessing marine health status. *Marine Pollution Bulletin* 74: 19-31.

Burrows, M.T., Schoeman, D.S., Buckley, L.B., Moore, P., Poloczanska, E.S., Brander, K.M., Brown, C., Bruno, J.F., Duarte, C.M., Halpern, B., Holding, J., Kappel, C.V., Kiessling, W., O'Connor, M.I., Pandolfi, J.M., Parmesan, C., Schwing, F., Sydeman, W.J., Richardson, A.J. (2011) The pace of shifting climate in marine and terrestrial ecosystems. *Science* 334: 652-655.

COM (2014) Communication from the Commission: Innovation in the Blue Economy: realising the potential of our seas and oceans for jobs and growth, 254/2.

Danovaro, R., Carugati, L., Berzano, M., Cahill, A. E., Carvalho, S., Chenuil, A., Corinaldesi, C., Cristina S., David, R., Dell'Anno, A., Dzhenbekova, N., Garcés, E., Gasol, J.M., Goela, P., Féral, J.P., Ferrera, I., Forster, R.M., Kurekin, A.A., Rastelli, E., Marinova, V., Miller, P.I., Moncheva, S., Newton, A., Pearman, J.K., Pitois, S.G., Reñé, A., Rodríguez-Ezpeleta, N., Saggiomo, V., Simis S.G.H., Stefanova, K., Wilson, C., Lo, M.M., Greco, S., Cochrane, S.K.J., Mangoni, O., Borja, A. (2016) Implementing and innovating marine monitoring approaches

for assessing marine environmental status. *Frontiers of Marine Sciences* 3: 213, doi: 10.3389/fmars.2016.00213.

Denizlerde Bütünleşik İzleme Programı (2019) Denizlerde Bütünleşik İzleme Programı 2017-2019, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye. Mevcut adres: <https://ced.csb.gov.tr/denizlerde-butunlesik-kirlilik-izleme-programi-i-84266> (erişim tarihi 10.03.2021).

Doney, S.C., Ruckelshaus, M., Duffy, J.E., Barry, J.P., Chan, F., English, C.A., Galindo, H.M., Grebmeier, J.M., Hollowed, A.B., Knowlton, N., Polovina, J., Rabalais, N.N., Sydeman, W.J., Talley, L.D. (2012) Climate change impacts on marine ecosystems. *Marine Sciences* 4: 11-37.

EC (2000) Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy, OJ L 327, 22.12.2000, p. 1.

EC (2008) Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of marine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive), OJ L 164, 25.6.2008, p. 19.

EC (2013) Commission Staff Working Document: Climate change adaptation, coastal and marine issues: Accompanying the document Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, An EU Strategy on adaptation to climate change, SWD 133 final, Brussels.

EC (2020a) Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the implementation of the Marine Strategy Framework Directive (Directive 2008/56/EC), COM 259 final, Brussels.

EC (2020b) Review of the status of the marine environment in the European Union towards clean, healthy and productive oceans and seas, Accompanying the Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the implementation of the Marine Strategy Framework Directive (Directive 2008/56/EC), SWD 61 final, Brussels.

EC (2020c) Commission Staff Working Document, Background document for the Marine Strategy Framework Directive on the determination of good environmental status and its links to assessments and the setting of environmental targets. Accompanying the Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the implementation of the Marine Strategy Framework Directive (Directive 2008/56/EC), SWD 62 final, Brussels.

Elliott, M., Borja, A., McQuatters-Gollop, A., Mazik, K., Birchenough, S., Andersen, J. H., Painting, S., Peck, M. (2015) Force majeure: Will climate change affect our ability to attain Good Environmental Status for marine biodiversity? *Marine Pollution Bulletin* 95: 7-27.

European Commission (2019) The EU Blue Economy Report 2019. Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi: 10.2771 /21854.

Gallo, N.D., Victor, D.G., Levin, L.A. (2017) Ocean commitments under the Paris Agreement. *Nature Climate Change* 7: 833-838.

García-García, L., van der Molen, J., Sivyver, D., Devlin, M., Painting, S., Collingridge, K. (2019) Optimizing monitoring programs: a case study based on the OSPAR Eutrophication assessment for UK waters. *Frontiers Marine Sciences* 5, doi: 10.3389/fmars.2018.00503.

Habitat Direktifi (1992) Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. *Official Journal* L206: p. 7.

HELCOM (2018) The HELCOM Ministerial Declaration, Baltic Marine Environment Protection Commission, Brussels Ministerial Meeting 2018. Brussels, Belgium, 6 March 2018.

Hoegh-Guldberg, O., Bruno, J.F. (2010) The impact of climate change on the World's marine ecosystems. *Science* 328: 1523-1528.

IPCC (2019) IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (eds. Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegria, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., Weyer, N.M.) In press.

Kuş Direktifi (1979) Directive 2009/147/EC of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on the conservation of wild birds (OJ L 20; 26.1.2010; p. 7).

Ortak Balıkçılık Politikası (2014) Regulation (EU) No 1380/2013 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2013 on the Common Fisheries Policy, amending Council Regulations (EC) No 1954/2003 and (EC) No 1224/2009 and repealing Council Regulations (EC) No 2371/2002 and (EC) No 639/2004 and Council Decision 2004/585/EC (OJ L 354, 28.12.2013, p. 22).

OSPAR (2017a) OSPAR Assessment Portal, Assessment Process and Methods. Mevcut adres: <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/intermediate>

assessment-2017/introduction/assessment-process-and-methods/ (erişim tarihi 10.03.2021).

OSPAR (2017b) OSPAR Assessment Portal, Ecosystem assessment outlook – developing an approach to cumulative effects assessment for the QSR. Mevcut adres: <https://oap.ospar.org/en/ospar-assessments/intermediate-assessment-2017/chapter-6-ecosystem-assessment-outlook-developing-approach-cumul/> (erişim tarihi 10.03.2021).

Painting, S.J., Collingridge, K.A., Durand, D., Grémare, A., Créach, V., Arvanitidis, C., Bernard, G. (2020) Marine monitoring in Europe: is it adequate to address environmental threats and pressures? *Ocean Science* 16(1): 235-252.

Tett, P., Gowen, R.J., Painting, S.J., Elliott, M., Forster, R., Mills, D.K., Bresnan, E., Capuzzo, E., Fernandes, T.F., Foden, J., Geider, R.J., Gilpin, L., Huxham, M., McQuatters-Gollop, A., Malcolm, S., Saux-Picart, S., Platt, T., Racault, M.F., Sathyendranath, S., Wilkinson, M. (2013) Framework for understanding marine ecosystem health. *Marine Ecology Progress Series* 494: 1-27.

Webster, M.S., Colton, M.A., Darling, E.S., Armstrong, J., Pinsky, M.L., Knowlton, N., Schindler, D.E. (2017) Who should pick the winners of climate change? *Trends in Ecology & Evolution* 32 (3): 167-173.

Zampoukas, N., Piha, H., Bigagli, E., Hoepffner, N., Hanke, G., Cardoso, A.C. (2013) Marine monitoring in the European Union: How to fulfill the requirements for the marine strategy framework directive in an efficient and integrated way. *Marine Policy* 39: 349351, doi: 10.1016/j.marpol.2012.12.004.

Denizel İklim Değişikliği Çalışmalarında Mezokozm Uygulamaları

Serdar AKSAN*, Halim AYTEKİN ERGÜL

Kocaeli Üniversitesi, Fen - Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Umuttepe, Kocaeli, Türkiye

*serdar.aksan@kocaeli.edu.tr

Özet

İklim değişikliğinin gelecekteki ekolojik sonuçlarının öngörülebilmesi için geçmişte yapılan çalışmaların sonuçları üzerine kurulan senaryolara ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecekte oluşması beklenen iklim ve ekolojik koşulları kısıtlı gerçeklikle de olsa taklit edebilen mezokozm çalışmaları günümüzde yapılan saha çalışmaları ile gelecek senaryoları arasında kalan boşluğu doldurmaktadır. Halen geliştirilmeye devam eden bu çalışmalar sayesinde çeşitli kimyasal ve fiziksel parametreler kontrollü olarak değiştirilebilmekte ve olası senaryolar test edilebilmektedir. Bu derleme çalışması, dünya genelinde, farklı öngörü ve senaryoları irdeleyen mezokozm uygulamalarını ele almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Okyanus asitlenmesi, mezokozm

Giriş

Sanayi devrimi sonrası dönemi kapsayan son 200 yılda, atmosferde bulunan CO₂ miktarı, yer küre tarihinde şimdiye kadar görülmemiş bir süratle, %30 oranında artmıştır. Bu hızlı artışın başlıca sebepleri fosil yakıtların tüketilmesi, ormanlık alanların azalması ve çimento üretimidir. 19. yüzyıldan günümüze küresel CO₂ emisyonunda görülen artış göz önüne alındığında, atmosferde bulunması beklenen CO₂ miktarı çok daha fazla olmalıdır. Ancak, atmosferik ölçümlerde belirlenen değerlerin beklenenin altında çıkmasının nedeni artan CO₂ gazının yaklaşık 1/4 oranında okyanus sularında çözünmesidir (Doney ve diğ. 2009; EPOCA 2010; Ellis ve diğ. 2011). Bu durum, küresel ısınmayı tetikleyen sera gazlarının sebep olduğu yeni bir problemi ortaya çıkartmıştır (Doney ve diğ. 2009). Çözünen CO₂'in okyanus karbonat kimyasını değiştirmesi nedeni ile okyanus yüzey suları her geçen gün biraz daha asitlenmektedir (Guinotte ve Fabry 2008; EPOCA 2010; Doney ve diğ. 2012; IPCC 2014).

Okyanuslar hızlı bir ekolojik değişim içerisindedirler. Özellikle mercan resiflerinde olmak üzere çok sayıda çalışmada, deniz canlılarında artan ölüm ve hastalık oranları ve fizyolojik değişiklikler bildirilmiştir (Bellwood ve diğ. 2004; Bruno ve Selig 2007; De'Ath ve diğ. 2012; Hoegh-Guldberg 2014). Bilim insanları, devam eden sera gazı salımlarının neden olabileceği sonuçları öngörebilmek için çalışmalar yapmaktadırlar (Hoegh-Guldberg 2014). Öte yandan sadece saha çalışmaları yaparak bu değişimlerin ekosistemleri ve organizmaları nasıl etkileyeceğini, eşik değerlerin neler olduğunu, canlıların bu

değişikliklere nasıl adapte olabileceğini belirlemek oldukça güçtür. Bu nedenle, gelecekte çevrede oluşacak değişikliklerin etkilerini öngörmek için bu koşulları yapay ve yarı-yapay ortamlarda taklit etmek bilim insanları için kaçınılmaz hale gelmiştir.

İzole/yarı-izole olarak gerçekleştirilen mezokozm çalışmaları, saha çalışmaları ile laboratuvar ortamında gerçekleştirilen küçük ölçekli çalışmalar arasındaki boşluğu doldurmaktadır. Bu çalışmalar, deneysel parametreleri kontrol altında tutarken, canlının doğal ortamını mümkün olduğunca taklit etmektedirler (Kraufvelin 1999; Benton ve diğ. 2007; Widdicombe ve diğ. 2010; Stewart ve diğ. 2013).

Mezokozm çalışmalarında farklı yaklaşımlar

Deney düzeneklerinin tasarım aşamaları, deneyin sağlıklı olarak yürütülebilmesi için büyük önem taşımaktadır. Yürütülecek deneyin süresi, taklit edilmek istenen ortam, çalışılacak tür ya da türler ve sahip olunan bütçe, tasarım aşamasını şekillendiren önemli değişkenlerdir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen ve hacmi birkaç litre olan akvaryumlarla yapılan çalışmalardan, Langdon ve diğ. (2000) tarafından yapılan, 2650 m³ hacme sahip yapay mercan resifi (BIOSPHERE-2) çalışmasına kadar farklı ölçeklerde ve farklı tasarıma sahip bir çok mezokozm çalışması yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir (Langdon ve diğ. 2003; Stewart ve diğ. 2013; Jokiel ve diğ. 2014).

Mezokozm çalışmaları doğal ortamlarla olan bağlantıları açısından kapalı ve yarı açık sistemler olarak ikiye ayrılabilirler. Kapalı sistemler, periyodik olarak su değişimi yapılan ve genellikle küçük hacimli çalışmalar için tercih edilen düzeneklerdir (Şekil 1) (de Putron ve diğ. 2011; Belivermiş ve diğ. 2015; Paul ve diğ. 2015; Aksan ve Ergül 2019), fakat, yukarıda da bahsedildiği gibi BIOSPHERE-2 gibi büyük hacimli kapalı sistem mezokozm çalışmaları da gerçekleştirilmiştir. Deneyin yapılacağı alanın denize yakın olmaması ya da var olan deniz suyunun deney için uygun özellikte olmaması (çevrede kirlilik kaynaklarının bulunması, tuzluluğun uygun olmaması vb.) kapalı sistemlerin tercih edilmesi için başlıca nedenlerdir. Kapalı sistem çalışmalarında kullanılacak filtrasyon sistemleri su değişim sıklığını azaltmakta ve ortamın karalılığını artırmaktadır. Bu çalışmalarda, iklim değişikliğinin neden olduğu asitleşme ve ısı artışının yanı sıra, toksik maddeler, ötrofikasyon ve hipoksi gibi farklı stres kaynaklarının da tek tek ve sinerjik olarak etkilerinin incelenmesi için gereken kontrollü ortam sağlanabilmektedir (Belivermiş ve diğ. 2015).

Açık sistem çalışmaları, pelajik bölgeye yerleştirilmiş kafeslerden, sürekli olarak deniz suyu ile beslenen akvaryumlara kadar çeşitlilik göstermektedir (Şekil 2) (Spilling ve diğ. 2016; Gazeau ve diğ. 2017; Maugeud ve diğ. 2017; Wang ve diğ. 2017). Birden fazla türün birbirleri ile ilişkileri ve kısıtlı besin zincirlerinin tepkilerinin incelenmesi için uygun olan açık sistem çalışmaları, özellikle toksik maddelerin kullanımını içeren deneysel çalışmalar için uygun değildirler. Bu tarz

çalışmalar tercih edilen türün yaşam alanını kapsayan bölgelerde gerçekleştirilirse, türün değişikliklere vereceği doğal cevaba daha yakın sonuçlar elde edilebilir.



Şekil 1. Bir kapalı sistem mezokozm tasarımı örneği (Craggs ve diğ. 2017' den düzenlenerek)



Şekil 2. Açık sistem mezokozm tasarımı örneği (Jokiel ve diğ. 2014' den düzenlenerek)

İklim değişikliği mezokozm çalışmalarında kontrollü olarak değiştirilmek istenen parametre, su sıcaklığı ve pH değerleridir. Su sıcaklığı, çeşitli ısıtıcı/soğutucular ile ya da ortam sıcaklığının değiştirilmesi ile kontrol edilebilir. pH değerinin değiştirilmesi için ise iki farklı yol izlenmektedir. İlk yöntemde, suya HCl ve NaOH gibi asit ve bazlar dozlar halinde verilerek suyun pH değerini istenilen

seviyeye getirerek uygulanmaktadır. Bu yöntem, dışarıdan asit ve baz eklemenin sadece suyun pH'ını değil karbonat kimyasını da değiştirmesi nedeniyle, son yıllarda daha az tercih edilmeye başlanmıştır. Diğer yöntem ise suya saf CO₂ gazı verilmesidir. Bu yöntemde en büyük sorun dozlama miktarının belirlenmesi için sürekli pH ölçümü yapan cihazlara ihtiyaç duyulmasıdır. Ototrof türleri barındıran mezokozm çalışmalarında CO₂ gazı ile pH düzenleme yöntemi, suda çözülmüş inorganik karbon miktarını etkileyeceği için özellikle tercih edilmelidir (Stewart ve diğ. 2013).

Karşılaşılan zorluklar

Mezokozm çalışmalarında aşılması gereken sorunların başında, çalışmada kullanılan organizmaların, oluşturulan yapay habitat içerisinde deney sürecinde mümkün olan en düşük stres seviyesinde tutulması gelmektedir. Tercih edilen türe uygun olarak gerekli aydınlatma şartları (Gece-gündüz döngüsü), uygun besin ve populasyon yoğunluğu, saklanma alanı gibi ihtiyaçların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bunlarla birlikte, mezokozm çalışmalarında deney aşamasına başlamadan önce belirli bir adaptasyon süresinin geçmesinin deneyin tutarlılığı açısından olumlu olduğu bilinmektedir (Stewart ve diğ. 2013; Jokiel ve diğ. 2014; Duarte ve diğ. 2015; Falkenberg ve diğ. 2016).

Sonuç

Kısıtlı çalışma imkanlarına rağmen mezokozm deneyleri iklim değişikliğinin neden olacağı etkileri anlamamız için kritik öneme sahiptir. Gerek büyük ölçekli disiplinler arası çalışmalar, gerekse ekonomik türleri hedef alan küçük çaplı çalışmalar, iklim değişikliği ile ilgili olarak sahip olduğumuz bilgi birikimini adım adım ileri taşımaktadır. Yeni izleme teknolojileri ve geliştirilen yöntemler ile birlikte mezokozm uygulamalarının iklim değişikliği çalışmalarında giderek artan bir önem kazanacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

Aksan, S., Ergül, H.A. (2019) Low Cost Microcosm Setup for Marine Climate Change Studies. *2nd International Environmental Chemistry Congress*, Antalya, Turkey, 31 October - 3 November 2019, p. 25.

Belivermiş, M., Warnau, M., Metian, M., Oberhänsli, F., Teyssié, J.L., Lacoue-Labarthe, T. (2015) Limited effects of increased CO₂ and temperature on metal and radionuclide bioaccumulation in a sessile invertebrate, the oyster *Crassostrea gigas*. *ICES Journal of Marine Science: Journal Du Conseil* 71: 236.

Bellwood, D.R., Hughes, T.P., Folke, C., Nyström, M. (2004) Confronting the coral reef crisis. *Nature* 429(6994): 827-833.

Benton, T.G., Solan, M., Travis, J.M.J., Sait, S.M. (2007) Microcosm

experiments can inform global ecological problems. *Trends in Ecology and Evolution* 22(10): 516-521.

Bruno, J.F., Selig, E.R. (2007) Regional decline of coral cover in the Indo-Pacific: Timing, extent, and subregional comparisons. *PLOS ONE* 2(8): e711, doi: 10.1371/journal.pone.0000711.

Craggs, J., Guest, J.R., Davis, M., Simmons, J., Dashti, E., Sweet, M. (2017) Inducing broadcast coral spawning ex situ: Closed system mesocosm design and husbandry protocol. *Ecology and Evolution* 7(24): 11066-11078.

De'Ath, G., Fabricius, K.E., Sweatman, H., Puotinen, M. (2012) The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109(44): 17995-17999.

De Putron, S.J., McCorkle, D.C., Cohen, A.L., Dillon, A.B. (2011) The impact of seawater saturation state and bicarbonate ion concentration on calcification by new recruits of two Atlantic corals *Coral Reefs* 30(2): 321-328.

Doney, S.C., Fabry, V.J., Feely, R.A., Kleypas, J.A. (2009) Ocean Acidification: The Other CO₂ Problem. *Annual Review of Marine Science* 1(1): 169-192.

Doney, S.C., Ruckelshaus, M., Duffy, E., Barry, J., Chan, F., English, C., Galindo, H., Grebmeier, J., Hollowed, A., Knowlton, N., Polovina, J., Rabalais, N., Sydeman, W., Talley, L. (2012) Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Annual Review of Marine Science* 4: 11-37.

Duarte, G., Calderon, E.N., Pereira, C.M., Marangoni, L.F.B., Santos, H.F., Peixoto, R.S., Bianchini, A., Castro, C.B. (2015) A novel marine mesocosm facility to study global warming, water quality, and ocean acidification. *Ecology and Evolution*, 5(20): 4555-4566.

Ellis, R.P., Parry, H., Spicer, J.I., Hutchinson, T.H., Pipe, R.K., Widdicombe, S. (2011) Immunological function in marine invertebrates: Responses to environmental perturbation. *Fish & Shellfish Immunology* 30(6): 1209-1222.

EPOCA. (2010) Guide to best practices for ocean acidification research and data reporting. Directorate General for Research, Environment, European Commission.

Falkenberg, L.J., Russell, B.D., Connell, S.D. (2016) Design and performance evaluation of a mesocosm facility and techniques to simulate ocean acidification and warming. *Limnology and Oceanography: Methods* 14(4): 278-291.

Gazeau, F., Sallon, A., Pitta, P., Tsiola, A., Maugendre, L., Giani, M., Celussi, M., Pedrotti, M.L., Marro, S., Guieu, C. (2017) Limited impact of ocean acidification on phytoplankton community structure and carbon export in an oligotrophic environment: Results from two short-term mesocosm studies in the Mediterranean Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 186: 72-88.

Guinotte, J.M., Fabry, V.J. (2008) Ocean acidification and its potential effects on marine ecosystems. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1134(1): 320-342.

Hoegh-Guldberg, O. (2014) Coral reefs in the anthropocene: Persistence or the end of the line? *Geological Society Special Publication* 395(1): 167-183.

IPCC. (2014) Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Assessment Report 5 Climate Change 2014 (eds., Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Sokona, Y., Farahani, E., Kadner, S., Seyboth, K., Adler, A., Baum, I., Brunner, S., Eickemeier, P., Kriemann, B., Savolainen, J., Schlömer, S., von Stechow, C., Zwickel, T., Minx, J.C.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Jokiel, P.L., Bahr, K.D., Rodgers, K.S. (2014) Low-cost, high-flow mesocosm system for simulating ocean acidification with CO₂ gas. *Limnology and Oceanography: Methods* 12(5): 313-322.

Kraufvelin, P. (1999) Baltic hard bottom mesocosms unplugged: Replicability, repeatability and ecological realism examined by non-parametric multivariate techniques. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 240(2): 229-258.

Langdon, C., Broecker, W.S., Hammond, D.E., Glenn, E., Fitzsimmons, K., Nelson, S.G., Peng, T.H., Hajdas, I., Bonani, G. (2003) Effect of elevated CO₂ on the community metabolism of an experimental coral reef. *Global Biogeochemical Cycles* 17(1): 1001.

Langdon, C., Takahashi, T., Sweeney, C., Chipman, D., Goddard, J., Marubini, F., Aceves, H., Barnett, H., Atkinson, M.J. (2000) Effect of calcium carbonate saturation state on the calcification rate of an experimental coral reef. *Global Biogeochemical Cycles* 14(2): 639-654.

Maugendre, L., Guieu, C., Gattuso, J.P., Gazeau, F. (2017) Ocean acidification in the Mediterranean Sea: Pelagic mesocosm experiments. A synthesis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 186: 1-10

Paul, C., Matthiessen, B., Sommer, U. (2015) Warming, but not enhanced CO₂

concentration, quantitatively and qualitatively affects phytoplankton biomass. *Marine Ecology Progress Series* 528: 39-51.

Spilling, K., Schulz, K. G., Paul, A.J., Boxhammer, T., Achterberg, E.P., Hornick, T., Lischka, S., Stuhr, A., Bermúdez, R., Czerny, J., Crawford, K., Brussaard, C. P.D., Grossart, H.P., Riebesell, U. (2016) Effects of ocean acidification on pelagic carbon fluxes in a mesocosm experiment. *Biogeosciences* 13(21): 6081-6093.

Stewart, R.I.A., Dossena, M., Bohan, D.A., Jeppesen, E., Kordas, R.L., Ledger, M.E., Meerhoff, M., Moss, B., Mulder, C., Shurin, J.B., Suttle, B., Thompson, R., Trimmer, M., Woodward, G. (2013) Mesocosm experiments as a tool for ecological climate-change research. *Advances in Ecological Research* 48: 71-181).

Wang, T., Tong, S., Liu, N., Li, F., Wells, M.L., Gao, K. (2017) The fatty acid content of plankton is changing in subtropical coastal waters as a result of OA: Results from a mesocosm study. *Marine Environmental Research* 132: 51-62.

Widdicombe, S., Dupont, S., Thorndyke, M. (2010) Experimental design of perturbation experiments Laboratory experiments and benthic mesocosm studies. In: Guide to best practices for ocean acidification research and data reporting (eds., Riebesell, U., Fabry, V.J., Hansson, L., Gattuso, J.P.), Publications Office of the European Union, Luxembourg, pp. 113-122

Okyanus Asitleşmesinin Makroalgler Üzerine Etkileri

Gamze YILDIZ

Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Bursa, Türkiye
gamze@uludag.edu.tr

Özet

Sanayi devrimiyle birlikte atmosfere salınan CO₂ miktarında önemli derecede artış olmaktadır. Bu artış deniz yüzey sularının karbon kimyasında değişimlere neden olmaktadır. ‘Okyanus Asitleşmesi’ olarak isimlendirilen bu değişimler neticesinde deniz suyunda HCO₃⁻ ve H⁺ iyon derişimleri artarken, CO₃⁻² iyon derişimi ve pH azalmaktadır. Çalışmalar sanayi öncesi döneme kıyasla, günümüzde deniz sularında 0,1 birimlik pH azalması olduğunu ve 2100 yılına kadar bu azalmanın 0,3 - 0,4 birime ulaşacağını öngörmektedir. Deniz suyundaki bu asitleşme deniz organizmaları ve ekosistem üzerine olumsuz etkilerde bulunmaktadır. Önemli ekolojik nişleri nedeniyle okyanus asitleşmesinin makroalgler üzerine olası etkileri yoğun olarak araştırılmaktadır. Günümüze kadar yapılan çalışmalar makroalglerin okyanus asitleşmesine karşı türe özgü cevaplar verdiğini, bazı türlerinin asitleşmeden pozitif yönde etkileneceğini, bazı türlerin negatif yönde etkileneceğini, bazı türlerin ise bu değişimlerden etkilenmeyeceğini göstermektedir. Türler arasındaki bu değişiklik türlerin tallus yapısı, sahip olduğu adaptasyon mekanizmaları, buldukları derinlik ve suyun optik özellikleri gibi farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Bu farklılıklar nedeniyle okyanus asitleşmesinin makroalgler üzerine olası etkileri henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Ayrıca tür düzeyinde yapılan çalışmaların aksine, komünite ve ekosistem düzeyinde yapılan araştırmalar oldukça sınırlı sayıdadır. IPCC tarafından öngörülen ekolojik senaryoların deniz yaşamını ne yönde etkileyeceğini tahmin edebilmek için, çok daha fazla komünite ve ekosistem düzeyinde çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Okyanus asitleşmesi, makroalg, fotosentez, kalsifikasyon, büyüme

Giriş

Sanayi devrimiyle birlikte fosil yakıt kullanımındaki artışa ilaveten nüfusun hızla artış göstermesi, orman alanlarının azalması ve tüketim eğiliminin artması gibi nedenler atmosferik karbondioksit (CO₂) miktarındaki artışı hızlandırmıştır. Sanayi devriminin başlarında yaklaşık 280 ppm olan atmosferik CO₂ günümüzde 410 ppm’e kadar yükselmiştir (Gingerich 2019). Normal koşullarda deniz suyunda bulunan inorganik karbon bileşenleri bir denge içerisindedir. pH’ın 8,2 olduğu normal deniz suyunda bulunan inorganik karbonun yaklaşık %88’i HCO₃⁻ formunda, yaklaşık %11’i CO₃⁻² formunda ve sadece yaklaşık %0,5’lik bir kısmı ise çözünmüş CO₂ formundadır (Fabry ve diğ. 2008).

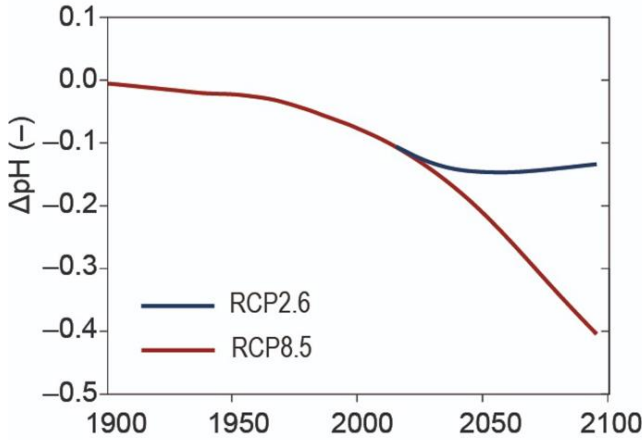
Atmosferde CO₂ derişiminin artması, yüzey sularının kısmi CO₂ basıncının (pCO₂) da artmasına neden olmaktadır (Gruber ve diğ. 2019). Bu artış deniz yüzey sularının karbon kimyasında önemli değişimlere neden olmaktadır (Orr ve diğ. 2005). ‘Okyanus Asitleşmesi’ olarak isimlendirilen bu değişimlerle (Doney

ve diğ. 2009) deniz suyunda HCO_3^- ve H^+ iyon derişimleri artarken (Raven 2011), CO_3^{2-} iyon derişimi ve pH azalmaktadır. Atmosferik CO_2 'in deniz yüzeyi tarafından absorblanması sonucu meydana gelen tepkimeler aşağıda gösterilmektedir.



Atmosferik CO_2 miktarındaki artış, CO_2 'in deniz suyuna difüzyonunu artırmaktadır. CO_2 'in difüzyonu yukarıdaki tepkimenin sağa doğru ilerlemesine neden olmaktadır. Bu durum asitleşmeye neden olan H^+ iyon derişimini artırırken, CO_3^{2-} iyon derişiminin azalmasına, dolayısıyla da okyanus asitleşmesinin bir diğ. indikatörü olan kalsit ve aragonit doygunluklarının da azalmasına neden olmaktadır (Schulz ve diğ. 2009).

Çalışmalar 1800'lü yıllardan günümüze kadar, yüzey sularında 0,1 birimlik pH azalması olduğunu (Orr ve diğ. 2005) ve 2100 yılına kadar bu azalmanın 0,3 - 0,4 birime ulaşacağını öngörmektedir (Calderia ve Wickett 2003). Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panel raporunda (IPCC 2019) belirtilen senaryolara göre ise 2081 - 2100 yıllarına kadar yüzey okyanus sularında 0,036-0,042 birim (RCP 2.6) veya 0,287-0,291 (RCP 8.5) birim pH azalması 'neredeyse kesin' olarak tanımlanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. 1990-2100 yılları için IPCC (2019)'nin RCP 2.6 ve RCP 8.5 senaryolarına göre simüle edilen deniz yüzeyi pH değişimleri

Okyanus asitleşmesi ile denizlerin çözünmüş inorganik karbon havuzundaki bu yeni düzenlenme ekosistem ve deniz canlılarını doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir. Özellikle deniz ekosistemlerinin birincil üreticileri olan makroalgler, su kimyasındaki bu değişimlerden doğrudan etkilenmekte ve solunum, fotosentez, besin alımı ve kalsifikasyon gibi önemli metabolik

faaliyetlerinde bir takım değişimler olmaktadır. Bu değişimlerin bir sonucu olarak ekosistem yapısında da değişimler olabilmektedir.

Fotosentez üzerine etkileri

Hem birincil üretime katkıları nedeniyle hem de ekolojik önemleri nedeniyle okyanus asitleşmesinin makroalgler üzerine olası etkileri birçok araştırmacı tarafından çalışılmaktadır. Yapılan çalışmalar, artan CO₂ derişiminin fotosentez üzerine olası etkilerinin, makroalglerin doğal ortamlarındaki karbon sınırlamasıyla büyük oranda ilişkili olduğunu göstermektedir.

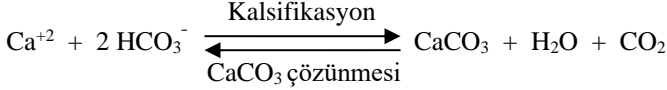
Fotosentezin karanlık evre reaksiyonlarında CO₂ fikse eden RuBisCO enziminin tüm formları, karboksilasyon aktivitesi yanında oksidasyon aktivitesi de göstermektedir. Enzimin karboksilasyon ve oksidasyon aktiviteleri bir rekabet içerisindedir ve aktivitenin ne yönde gerçekleşeceği, ortamın O₂ ve CO₂ derişimlerine bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca RuBisCO enziminin CO₂'e karşı düşük affinite göstermesi, enzimin karboksilasyon aktivitesini sınırlamaktadır (Raven ve diğ. 2011).

Deniz suyunun günümüzdeki inorganik karbon derişimleri ve RuBisCO enziminin özellikleri dikkate alındığında, makroalgler için fotosentezin günümüz koşullarında doygun olmayacağı düşünölmektedir. Ancak, yapılan çalışmalar günümüz koşullarında birçok makroalg türünün doygun veya doyguna yakın bir fotosentez potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Beardall ve diğ. 1998). Çünkü çoğu makroalg türü, karasal C₄-bitkilerine benzer olarak inorganik karbon yoğunlaştırıcı mekanizmalara sahiptir (Giordano ve diğ. 2005). Bu mekanizmalara sahip olan türler RuBisCO enzimi için gereken CO₂'i, deniz suyunda bol miktarda bulunan HCO₃⁻ iyonlarından doğrudan ya da dolaylı olarak temin etmektedirler (Larsson ve Axelsson 1999).

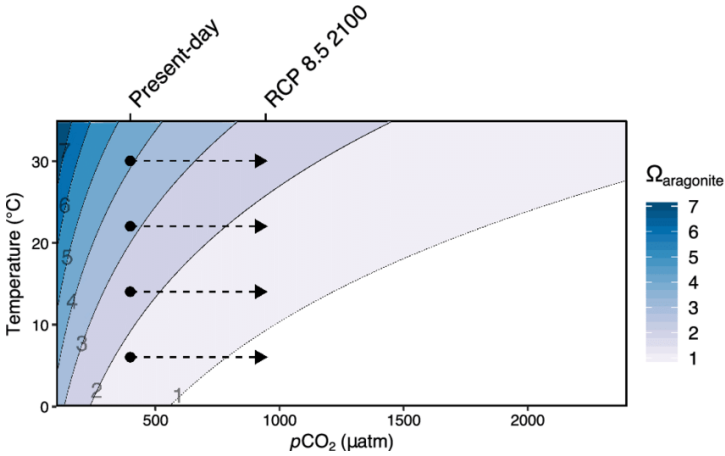
Makroalg türlerinin HCO₃⁻ iyonlarını kullanabilme yetenekleri ve stratejileri türler arasında farklılık göstermektedir. Bu nedenle deniz suyunda artan CO₂ miktarlarına karşı türe özgü değişimler gözlenmektedir. Bazı türlerin (*Corallina officinalis*, *Porolithon cf. onklodes*) fotosentez (Yıldız ve diğ. 2013; Ordonez ve diğ. 2019), bazı türler (*Lithophyllum cabiochae*) negatif yönde etkilenmekte (Martin ve diğ. 2013), bazı türler ise (*Corallina elongata*) hiç etkilenmemektedir (Noisette ve diğ. 2013; Comeau ve diğ. 2017). Genel kanı, inorganik karbon yoğunlaştırıcı mekanizmalara sahip olan türlerin okyanus asitleşmesinden fotosentetik olarak etkilenmeyeceği veya çok az etkileneceği yönündedir. Buna karşın, inorganik karbon yoğunlaştırıcı mekanizmalara sahip olmayan türlerin ise günümüz koşullarında doygun olmayan fotosentetik performansla sahip olduğu (Zou ve diğ. 2003) ve artan CO₂ derişimlerinden pozitif yönde etkileneceği belirtilmektedir.

Kalsifikasyon üzerine etkileri

Kalsifikasyon, en genel tanımı ile CaCO_3 'ün biyolojik olarak oluşumu şeklinde ifade edilebilir (Borowitzka 1987). Aşağıdaki tepkimede kalsifikasyonun gerçekleşmesi ve mevcut CaCO_3 'ün çözünmesi gösterilmektedir. Bu tepkimeler deniz suyunun pH'ı ile doğrudan ilişkilidir. Okyanus asitleşmesi nedeniyle deniz suyunun pH azalması, aynı zamanda deniz suyunun karbonat doygunluk durumunu da azaltmaktadır.



Şekil 2'de deniz suyu aragonit doygunluk durumunun (Ω) sıcaklık ve pCO_2 ile değişimi gösterilmektedir (Hall-Spencer ve Harvey 2019). Hesaplamalar 35psu tuzluluk ve 2250 $\mu\text{mol/kg}$ alkalinite değerleri temel alınarak 'seacarb' kullanımıyla Hall-Spencer ve Harvey (2019) tarafından yapılmıştır. IPCC'nin RCP 8.5 senaryosunun gerçekleşmesi durumunda aragonit doygunluk durumunun azalacağı yapılan hesaplamalarla net olarak görülmektedir.



Şekil 2. Deniz suyu aragonit doygunluk durumunun sıcaklık ve pCO_2 ile değişimi (Hall-Spencer ve Harvey 2019'dan alıntılanmıştır).

Laboratuvar şartlarında yapılan çalışmalar, okyanus asitleşmesi nedeniyle aragonit doygunluk durumundaki azalmanın, makroalglerde kalsifikasyonu azaltacağını göstermektedir (Doney ve diğ. 2009; Tyrrell 2011). Ayrıca bazik ortamlarla kıyaslandığında, asidik ortamlarda mevcut CaCO_3 'ün daha fazla çözüldüğü de belirtilmektedir (Brownlee ve Taylor 2002).

Makroalgler CaCO_3 'ın 3 kristal formundan (aragonit, kalsit ve magnezyum kalsit) birini veya ikisini aynı anda yapılarında biriktirmektedirler (Adey 1998). *Padina*, *Halimeda*, *Penicillus*, *Udotea* gibi deniz alglerinde aragonit formu yaygın olarak bulunurken (Ries 2006), kalsit formu tatlı sularda yaşayan alglerde daha yaygın olarak bulunmaktadır. Ancak, kırmızı alglerin Corallinaceae grubunda çözünürlüğü en yüksek olan yüksek-Mg-kalsit formundaki CaCO_3 bulunmaktadır (Borowitzka ve diğ. 1974).

Kalkerli makroalgler deniz ekosisteminde mercan kayalıklarının oluşumu, sediment üretimi, karbon döngüsüne katkıları ve habitat oluşumu gibi pek çok önemli ekolojik fonksiyonlara sahiptir (Hofmann ve Bischof 2014). Bu nedenle okyanus asitleşmesinin kalkerli makroalgler üzerine etkileri hem laboratuvara kültür çalışmalarıyla (Mercado ve diğ. 1999) hem de doğal olarak CO_2 sızıntısına sahip alanlarda (Porzio ve diğ. 2011) araştırılmaktadır.

Deniz suyunda aragonit doygunluk durumu azaldığında, makroalg türlerinde hem kalkerleşme azalmakta hem de mevcut CaCO_3 mineralleri çözünmektedir. (Jokiel ve diğ. 2008; Kuffner ve diğ. 2008). Buna ilaveten, makroalg türlerinin kalsifikasyon mekanizmaları da türler arasında farklılık göstermektedir.

Linares ve diğ. (2015), doğal olarak asitleşmenin olduğu deniz alanlarında sadece aragonit yapısına sahip olan *Peyssonnelia rosa-marina* türünün bulunduğunu belirtmiştir. Benzer şekilde, doğal olarak CO_2 sızıntısı olan alanlarda, diğer türlere kıyasla, yine aragonit yapısına sahip olan *Halimeda spp.* (Vogel ve diğ. 2015) ve *Peyssonnelia squamaria* (Porzio ve diğ. 2011) türlerinin daha fazla yayılış gösterdiği tespit edilmiştir. *Peyssonnelia squamaria* türü ile laboratuvar kültür ortamında yapılan asitleştirme deneyleri de, *P. squamaria* türünün okyanus asitleşmesinden pozitif yönde etkileneneğini göstermiştir (Yıldız 2018). Buna karşın, yüksek Mg-kalsit yapısına sahip korallijen algler ve aragonit yapısına sahip *Halimeda* türlerinin ise yüksek CO_2 'li ortamlarda kalsifikasyonlarının azaldığı belirlenmiştir (Gao ve diğ. 1993; Budenbender ve diğ. 2011).

Sonuç olarak, pek çok kalkerli makroalg türü okyanus asitleşmesine karşı hassasiyet göstermektedir. Fakat kalsifikasyon mekanizmaları arasındaki farklılık, iskelet mineralojisi, karbon alım mekanizmaları ve coğrafi farklılıklar nedeniyle türlerin okyanus asitleşmesine karşı hassasiyetleri de türe özgü farklılık göstermektedir.

Nütrient alımı ve büyüme üzerine etkileri

Azot, fosfor ve karbon makroalglerin büyümesi ve fotosentezi için gereken en önemli nütrientlerdir. Bunlar arasında azot, makroalg büyümesini sınırlayan element olması nedeniyle (Tyrrell 1999), büyük oranda çalışılmaktadır (Roleda ve Hurd 2019). Bazı durumlarda fosfor da büyümeyi sınırlayıcı olabilmektedir.

Makroalgler azotun inorganik formları olan nitrat (NO_3^-) nitrit (NO_2^-) ve amonyum (NH_4^+) iyonlarını kullanabildikleri gibi üre gibi organik azot kaynaklarını da metabolizmaları için kullanmaktadırlar (Hurd ve diğ. 2014). Ancak bu tercih türler arasında farklılık göstermektedir. Bazı türler ATP kullanımını gerektiren NO_3^- iyonlarını tercih ederken, bazı türler NH_4^+ iyonlarını tercih etmekte veya her iki formu da eşit miktarda kullanmaktadırlar. Bazı türler ise ekolojik koşulların değişmesi ile azot tercihini değiştirebilmektedir.

Nitrat reduktaz, azot asimilasyonunun ilk basamağı olan NO_3^- 'in NO_2^- 'e katalizini sağlayan, dolayısıyla da azot metabolizması hakkında bilgi veren önemli bir belirteçtir. Karbon metabolizmasında olduğu gibi, makroalglerin azot metabolizması da okyanus asitleşmesinden farklı şekillerde etkilenmektedir (Liu ve Zou 2015; Fernandez ve diğ. 2017). CO_2 ile asitleştirilmiş ortamlarda *Gracilaria chiliensis* (Gao ve diğ. 1993) ve *Ulva lactuca* (Zou ve diğ. 2001) türlerinin NO_3^- alımını artırdığı ve büyüme oranlarında da artış olduğu tespit edilmiştir. Buna paralel olarak asitleştirilmiş ortamlarda nitrat reduktaz aktivitesi de *Porphyra leucostica* (Mercado ve diğ. 1999) ve *Corallina officinalis* (Hofmann ve diğ. 2013) türlerinde artış göstermiştir. Buna karşın Kang ve diğ. (2017) *Gracilaria lemaneiformis* türünün zenginleştirilmiş CO_2 'li ortamda azot tercihini NH_4^+ yönünde kullanarak, enerji tasarrufu sağladığını saptamıştır. Esmer makroalglerden olan *Sargassum muticum* türünde ise diğer türlerin aksine nitrat reduktaz aktivitesi azalmıştır (Xu ve diğ. 2017). Elde edilen veriler okyanus asitleşmesi ile makroalg türlerinin azot metabolizmasını yeniden düzenlediğini, farklı türlerin farklı şekillerde adaptasyon sağladığını göstermektedir. Bu farklılıklar türlerin tallus yapısı, fotosentez kapasitesinin değişimi, sekonder metabolitlere ihtiyacın artması gibi birçok faktörden kaynaklanabilmektedir.

Büyüme oranı, makroalglerin ekolojik başarısını temsil eden en önemli parametrelerdendir. Makroalglerin büyüme oranı fotosentez, nutrient alımı ve kalsifikasyon gibi yollarla doğrudan ilişkili olması nedeniyle, okyanus asitleşmesinden dolayı olarak etkilenmektedir. Makroalglerin enerji gerektiren karbon yoğunlaştırıcı mekanizmalara sahip olup olmaması, azot kaynağı tercihi ve tallus yapısının kalkerli olup olmaması gibi özellikler, türler arasında büyüme oranını etkileyen faktörlerdir. Ayrıca bazı türler, asitleşme ile başa çıkabilmek için sekonder metabolit sentezlerini artırarak ilave enerji harcamaktadır.

Yapılan çalışmalar genel olarak *Lomentaria articulata* (Kübler ve diğ. 1999) gibi karbon yoğunlaştırıcı mekanizmalara sahip olmayan türlerde okyanus asitleşmesi ile büyüme oranının artacağı yönündedir. Buna karşın *Corallina sessilis* (Gao ve Zheng 2010) gibi kalkerli türlerin büyüme oranlarının ise okyanus asitleşmesi ile azalacağı öngörülmektedir. Ancak, *Porphyra yezoensis* ve *Ulva rigida* türleri karbon yoğunlaştırıcı mekanizmalara sahip olduğu halde, asitleştirilmiş ortamlarda büyüme oranlarının da arttığı belirlenmiştir (Gao ve diğ. 1991; Björk ve diğ. 1993).

Tartışma

Antropojenik kaynaklar nedeniyle artan atmosferik CO₂ sonucu okyanusların karbon kimyasındaki değişimlerin makroalgler üzerine olası ekolojik ve fizyolojik etkilerini belirlemeye yönelik çalışmalar 1900'lü yılların başlarında başlamış (Gao ve diğ. 1991, 1993) ve günümüzde de halen yoğun olarak araştırılmaktadır. Bu çalışmalar çoğunlukla CO₂ ile asitleştirilen laboratuvar kültür deneyleri şeklinde yapılmaktadır. Bu çalışmalara ilaveten *in situ* mezokozm deneyleri ve doğal olarak CO₂ sızıntısına sahip deniz alanlarında yapılan araştırmalar ile de okyanus asitleşmesinin makroalgler üzerine olası etkileri incelenmektedir.

Günümüze kadar yapılan çalışmalar deniz yüzey sularının asitleşmesi ile makroalglerin fotosentez, solunum, kalsifikasyon, nutrient alımı, hücre bileşenleri ve büyüme gibi fizyolojik özelliklerinin değiştiğini (Gao ve Zheng 2010) ve bu değişimlerin türler arasında önemli derecede farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır (Kim ve diğ. 2016). Türler arasındaki bu değişkenlik türlerin tallus yapısı, sahip oldukları adaptasyon mekanizmaları, buldukları derinlik, deniz suyunun optik özellikleri ve coğrafik farklılıklardan kaynaklanmaktadır.

Deniz ekosistemlerinin IPCC tarafından modellenen ve gelecekte olması tahmin edilen asitleşme senaryolarından ne şekilde etkileneceğini belirlemek amacıyla tür düzeyinde birçok araştırma yapılmış ve elde edilen veriler, bazı türlerin kazanan bazı türlerin ise kaybeden olacağını açıkça göstermiştir. Genel olarak çalışmalar *Desmarestia anceps* (Iniguez ve diğ. 2017), *Furcellaria lumbricalis* (Pajusalu ve diğ. 2016) ve *Gracilariopsis lemaneiformis* (Kang ve diğ. 2017) gibi kalkerli olmayan tallus yapısına sahip türlerin, kalkerli tallus yapısına sahip türlere kıyasla okyanus asitleşmesinden kazançlı çıkacağını göstermektedir. Kalkerli türler arasında da aragonit formunda CaCO₃ içeren *Halimeda* spp. (Vogel ve diğ. 2015) ve *Padina* spp. (Johnson ve diğ. 2012) gibi türlerin yüksek-Mg-kalsit formunu içeren türlere kıyasla daha avantajlı olacağı öngörülmektedir. Ancak bu genellemelerin her zaman geçerli olmadığını gösteren çalışmalar da bulunmaktadır. Bu nedenle, okyanus asitleşmesinin makroalgler üzerine olası etkileri henüz tam olarak anlaşılammıştır. Ayrıca tür düzeyinde yapılan çalışmaların aksine, okyanus asitleşmesinin komünite ve ekosistem üzerine etkilerini araştıran çalışmalar oldukça sınırlı sayıdaadır. Gelecekte olması tahmin edilen ekolojik koşullardan denizlerimizin ne yönde etkileneceğini tahmin edebilmek için, çok daha fazla komünite ve ekosistem düzeyinde çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Kaynakça

Adey, W.H. (1998) Coral reefs: algal structured and mediated ecosystems in shallow, turbulent, alkaline waters. *J Phycol* 34: 393-406.

Beardall, J., Beer, S., Raven, J.A. (1998) Biodiversity of marine plants in an era of climate change: some predictions based on physiological performance. *Bot Mar* 41: 113-123.

Björk, M., Haglund, K., Ramazzanov, Z., Pedersen, M. (1993) Inducible mechanism for HCO_3^- utilization and repression of photorespiration in protoplast and thalli of three species of *Ulva* (Chlorophyta). *Journal of Phycology* 29: 166-173.

Borowitzka, M.A. (1987) Calcification in algae: mechanisms and the role of metabolism. *CRC Crit Rev Plant Sci* 6: 1-45.

Borowitzka, M.A., Larkum, A.W.D., Nockolds, C.E. (1974) A scanning electron microscope study of the structure and organization of the calcium carbonate deposits of algae. *Phycologia* 13: 195-203.

Brownlee, C., Taylor, A.R. (2002) Algal calcification and silification. In: Encyclopedia of Life Sciences, Macmillan Publishers Ltd, Nature Publishing Group, pp. 1-6.

Budenbender, J., Riebeselli, U., Form, A. (2011) Calcification of the Arctic coralline red algae *Lithothamnion glaciale* in response to elevated CO_2 . *Mar Ecol Prog Ser* 441: 79-87.

Calderia, K., Wickett, M.E. (2003) Oceanography: Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature* 425: 365-365.

Comeau, S., Carpenter, R.C., Edmunds, P.J. (2017) Effects of pCO_2 on photosynthesis and respiration of tropical scleractinian corals and calcified algae. *ICES J Mar Sci* 74: 1092-1102.

Doney, S.C., Fabry, V.J., Feeley, R.A., Kleypas, J.A. (2009) Ocean acidification: the other CO_2 problem. *Annual Review of Marine Science* 1: 169-192.

Fabry, V.J., Seibel, B.A., Feely, R.A., Orr, J.C. (2008) Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Science* 65: 414-432.

Fernandez, P.A., Roleda, M.Y., Leal, P.P., Hurd, C.L. (2017) Seawater pH, and not inorganic nitrogen source, affects pH at the blade surface of *Macrocystis pyrifera*: implications for responses of the giant kelp to future oceanic conditions. *Physiol Plant* 159: 107-119.

Gao, K., Aruga, Y., Asada, K., Ishihara, T., Akano, T., Kiyohara, M. (1991) Enhanced growth of the red alga *Porphyra yezoensis* Ueda in high CO_2 concentrations. *Journal of Applied Phycology* 3: 355-362.

Gao, K., Aruga, Y., Asada, K., Kiyohara, M. (1993) Influence of enhanced CO₂ on growth and photosynthesis of the red algae *Gracilaria* sp. and *G. chilensis*. *Journal of Applied Phycology* 5: 563-571.

Gao, K., Zheng, Y. (2010) Combined effects of ocean acidification and solar UV radiation on photosynthesis, growth, pigmentation and calcification of the coralline alga *Corallina sessilis* (Rhodophyta). *Global Change Biology* 16: 2388-2398.

Gingerich, P.D. (2019) Temporal scaling of carbon emission and accumulation rates: modern anthropogenic emissions compared to estimates of PETM onset accumulation. *Paleoceanogr Paleoclim* 34: 329-35.

Giordano, M., Beardall, J., Raven, J.A. (2005) CO₂ concentrating mechanisms in algae: mechanisms, environmental modulation and evolution. *Annu Rev Plant Biol* 56: 99-131.

Gruber, N., Clement, D., Carter, B.R., Feely, R.A., Van Heuven, S., Hoppema, M., Ishii, M., Key, R.M., Kozyr, A., Lauvset, S.K., Monaco, C.L. (2019) The oceanic sink for anthropogenic CO₂ from 1994 to 2007. *Science* 363: 1193-1199.

Hall-Spencer, J.M., Harvey, B.P. (2019) Ocean acidification impacts on coastal ecosystem services due to habitat degradation. *Emerging Topics in Life Sciences* 3(2): 197-206.

Hofmann, L.C., Bischof, K. (2014) Ocean acidification effects on calcifying macroalgae. *Aquatic Biology* 22: 261-279.

Hofmann, L.C., Straub, S., Bischof, K. (2013) Elevated CO₂ levels affect the activity of nitrate reductase and carbonic anhydrase in the calcifying rhodophyte *Corallina officinalis*. *Journal of Experimental Botany* 64(4): 899-908.

Hurd, C.L., Harrison, P.J., Bischof, K., Lobban, C.S. (2014) *Seaweed Ecology and Physiology*, 2 Edn. Cambridge: Cambridge University Press, NY, USA.

Iniguez, C., Heinrich, S., Harms, L., Gordillo, F.J.L. (2017) Increased temperature and CO₂ alleviate photoinhibition in *Desmarestia anceps*: from transcriptomics to carbon utilization. *Journal of Experimental Botany* 68(14): 3971-3984.

IPCC (2019) *Changing Ocean, Marine Ecosystems, and Dependent Communities*. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (eds., Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegría, A., Nicolai, M., Okem, A., Petzold, J., Rama, B., Weyer, N.M.) In press.

- Johnson, V.R., Russell, B.D., Fabricius, K.E., Brownlee, C., Hall-Spencer, J.M. (2012) Temperate and tropical brown macroalgae thrive, despite decalcification, along natural CO₂ gradients. *Global Change Biology* 18: 2792-2803.
- Jokiel, P.L., Rodgers, K.S., Kuffner, I.B., Andersson, A.J., Cox, E.F., Mackenzie, F.T. (2008) Ocean acidification and calcifying reef organisms: a mesocosm investigation. *Coral Reefs* 27: 473-483.
- Kang, J.W., Kambey, C., Shen, Z., Yang, Y., Chung, I.K. (2017) The short-term effects of elevated CO₂ and ammonium concentrations on physiological responses in *Gracilariopsis lemaneiformis* (Rhodophyta). *Fisheries and Aquatic Sciences* 20: 10-18.
- Kim, J.H., Kang, E.J., Edwards, M.S., Lee, K., Jeong, H.J., Kim, K.Y. (2016) Species-specific responses of temperate macroalgae with different photosynthetic strategies to ocean acidification: a mesocosm study. *Algae* 31(3): 243-256.
- Kuffner, I.B., Andersson, A.J., Jokiel, P.L., Rodgers, K.S., Mackenzie, F.T. (2008) Decreased abundance of crustose coralline algae due to ocean acidification. *Nat Geosci* 1: 114-117.
- Kübler, J.E., Johnston, A.M., Raven, J.A. (1999) The effect of reduced and elevated CO₂ and O₂ on the seaweed *Lomentaria articulate*. *Plant Cell and Environment* 22: 1303-1310.
- Larsson, C., Axelsson, L. (1999) Bicarbonate uptake and utilization in marine macroalgae. *Eur J Phycol* 34: 79-86.
- Linares, C., Vidal, M., Canals, M., Kersting, D.K., Ambblas, D., Aspillaga, E., Cebrián, E., Delgado-Huertas, A., Díaz, D., Garrabou, J., Hereu, B., Navarro, L., Teixidó, N., Ballesteros, E. (2015) Persistent natural acidification drives major distribution shifts in marine benthic ecosystems. *P Roy Soc B-Biol Sci* 282: 20150587.
- Liu, C., Zou, D. (2015) Responses of elevated CO₂ on photosynthesis and nitrogen metabolism in *Ulva lactuca* (Chlorophyta) at different temperature levels. *Mar Biol Res* 11(10): 1043-1052.
- Martin, S., Cohu, S., Vignot, C., Zimmerman, G., Gattuso, J.P. (2013) One-year experiment on the physiological response of the Mediterranean crustose coralline alga, *Lithophyllum cabiochae*, to elevated pCO₂ and temperature. *Ecol Evol* 3: 676-693.
- Mercado, J.M., Javier, F., Gordillo, L., Niell, F.X., Figueroa, F.L. (1999) Effects of different levels of CO₂ on photosynthesis and cell components of the red alga *Porphyra leucosticta*. *J Appl Phycol* 11: 455-461.

Noisette, F., Egilsdottir, H., Davoult, D., Martin, S. (2013) Physiological responses of three temperate coralline algae from contrasting habitats to near-future ocean acidification. *J Exp Mar Biol Ecol* 448: 179-187.

Ordonez, A., Wangpraseurt, D., Lyndby, N.H., Kühl, M., Diaz-Pulido, G. (2019) Elevated CO₂ leads to enhanced photosynthesis but decreased growth in early life stages of reef building coralline algae. *Frontiers in Marine Science* 5: 495.

Orr, J.C., Fabry, V.J., Aumont, O., Bopp, L., Doney, S.C., Feely, R.A., Gnanadesikan, A., Gruber, N., Ishida, A., Joos, F., Key, R.M., Lindsay, K., Maier-Reimer, E., Matear, R., Monfray, P., Mouchet, A., Najjar, R.G., Plattner, G.K., Rodgers, K.B., Sabine, C.L., Sarmiento, J.L., Schlitzer, R., Slater, R.D., Totterdell, I.J., Weirig, M.F., Yamanaka, Y., Yool, A. (2005) Anthropogenic ocean acidification over the twenty-first century and its impact on calcifying organisms. *Nature* 437: 681-686.

Pajusalu, L., Martin, G., Paalme, T., Pollumae, A. (2016) The effects of CO₂ enrichment on net photosynthesis of the red alga *Furcellaria lumbricalis* in a brackish water environment. *PeerJ* 4: e2505.

Porzio, L., Buia, M.C., Hall-Spencer, J.M. (2011) Effects of ocean acidification on macroalgal communities. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 400: 278-287.

Raven, J.A. (2011) Effects on marine algae of changed seawater chemistry with increasing atmospheric CO₂. *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy* 111B(1): 1-17.

Raven, J.A., Giordano, M., Beardall, J., Maberly, S.C. (2011) Algal and aquatic plant carbon concentrating mechanisms in relation to environmental change. *Photosynth Res* 109(1-3): 281-96.

Ries, J.B. (2006) Aragonitic algae in calcite seas: Effect of seawater Mg/Ca ratio on algal sediment production. *Journal of Sedimentary Research* 76: 515-523.

Roleda, M.Y., Hurd, C.L. (2019) Seaweed nutrient physiology: application of concepts to aquaculture and bioremediation. *Phycologica* 58(5): 552-562.

Schulz, K.G., Barcelos e Ramos, J., Zeebe, R.E., Riebesell, U. (2009) CO₂ perturbation experiments: similarities and differences between dissolved inorganic carbon and total alkalinity manipulations. *Biogeosciences* 6: 2145-2153.

Tyrrell, T. (1999) The relative influences of nitrogen and phosphorus on oceanic primary production. *Nature* 400: 525-531.

Tyrrell, T. (2011) Anthropogenic modification of the oceans. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A* 369: 887-908.

Vogel, N., Fabricius, K.E., Strahl, J., Noonan, S.H.C., Wild, C., Uthicke, S. (2015) Calcareous green alga *Halimeda* tolerates ocean acidification conditions at tropical carbon dioxide seeps. *Limnology and Oceanography* 60(1): 263-275.

Xu, Z., Gao, G., Xu, J., Wu, H. (2017) Physiological response of a golden tide alga (*Sargassum muticum*) to the interaction of ocean acidification and phosphorus enrichment. *Biogeosciences* 14: 671-681.

Yıldız, G. (2018) Physiological responses of the Mediterranean subtidal alga *Peyssonnelia squamaria* to elevated CO₂. *Ocean Sciences Journal* 53(4): 691-698.

Yıldız, G., Hofmann, L.C., Bischof, K., Dere, S. (2013) Ultraviolet Radiation Modulates the Physiological Responses of the Calcified Rhodophyte *Corallina officinalis* to Elevated CO₂. *Botanica Marina* 56(2): 161-168.

Zou, D., Gao, K., Ruan, Z. (2001) Effects of elevated CO₂ concentration on photosynthesis and nutrients uptake of *Ulva lactuca*. *J Ocean Univ Qingdao* 31: 877-882.

Zou, D., Gao, K., Xia, J. (2003) Photosynthetic utilization of inorganic carbon in the economic Brown alga, *Hizikia fusiforme* (Sargassaceae) from the South China Sea. *J Phycol* 36: 1095-1100.

Denizlerde İklim Değişikliği ve Belediyelerin Rolü

Elif ÖZGÜR ÖZBEK

Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV), Beykoz, Türkiye
e80ozgur@yahoo.com

Özet

Üç tarafı denizlerle çevrili olan Türkiye'nin, küresel iklim değişimiyle birlikte artan deniz suyu sıcaklıkları, deniz seviyesi, kıyı erozyonu, asidifikasyon, fırtına ve sel gibi aşırı hava olayları ve değişen okyanus akıntı sistemlerinden etkilenmesi kaçınılmazdır. Türkiye, Akdeniz Havzası ülkeleri arasında Yunanistan ve İtalya'nın ardından en uzun kıyı çizgisine sahiptir. Türkiye'deki kıyı alanları taşıdığı bölgesel farklılıklar nedeniyle ekolojik, ekonomik, morfolojik, meteorolojik, sosyoekonomik, kültürel açılardan ya da arazi kullanım biçimleri, nüfus yoğunluğu ve sektörel yoğunlaşma gibi açılardan değişkendir. Demokrasinin temel kurumlarından biri olarak görülen yerel yönetimler halka en yakın yönetim birimleri olarak toplumsal talepleri daha iyi karşılamakta, sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilmesi için bilgilendirme sağlamakta, kamu hizmetlerini daha hızlı ve etkin bir şekilde yerine getirmekte, yerel kaynakların harekete geçirilmesinde, yerel ihtiyaçlara cevap verilmesinde ve halkın yönetime katılımını kolaylaştırmakta hayati rol oynamaktadırlar. Yerel yönetimlerin bu bağlamda yerel iklim değişikliği eylem planlarının yanı sıra deniz ve kıyı alanlarının korunması ile ilgili özel eylem planları oluşturması, organizasyon yapılarında bu konularda uzman insan kaynaklarıyla özelleşme sağlamaları, teknolojisinden de en üst düzeyde istifade etmeleri ve tüm bu faaliyetleri gerçekleştirirken ilgili kamu kurum, üniversite, ekonomik sektör temsilcileri ve STK'lar ile işbirliği için koordinasyon sağlamaları önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Küresel iklim değişikliği, deniz ve kıyı bölgeleri, yerel yönetimler, Akdeniz

İklim değişikliğinin deniz ve kıyı bölgelerine etkileri ve olası riskler

Küresel iklim değişikliği kıyı çizgilerinde ve dolayısıyla dünya jeomorfolojisinde büyük değişiklikler oluşturan bir olaydır. Deniz seviyesindeki değişimlerin; kıyı şehirlerinde ekonomik risk ve artan maliyet, tuzlu su girişi nedeniyle tatlı su miktarında azalma, sel kaynaklı yaralanma ve ölüm riskinde artış, erozyon ve toprak çökmesi, kıyı koruma ve arazi kullanım planlaması maliyetinde artış, kıyı yerleşimlerinde nüfusun yer değiştirmesi, altyapı sistemlerinin güçlendirilmesi gerekliliği, nehir ağzlarında ve kıyı akiferlerinde tuzlanma, deniz kenarı bariyerlerin hasara uğraması, deniz seviyesinde yer alan yerleşimlerin sular altında kalması, kıyı şehirlerinde altyapının tahrip olması vb. uzun vadeli ekonomik kalkınmaya olumsuz etkileri öngörülmektedir (Talü 2019). Fırtına ve sel gibi aşırı hava koşullarındaki potansiyel artış, kıyı erozyonu, deniz suyu sıcaklıklarında artış, asidifikasyon ve değişen okyanus akıntı sistemleri nedenleriyle de kıyı yerleşimleri, kıyı turizmi, kıyıya yakın tarım alanları, yeraltı suları, deniz taşımacılığı, balıkçılık ve su ürünleri yetiştiriciliği ve biyoçeşitlilik de risk altındadır (TUDAV 2013; Turan ve diğ. 2016).

İklim değişikliğinin Türkiye'deki kıyı alanlarına etkileri

Kıyı kentlerinde nüfus yoğunluğunun fazla olması sebebiyle Türkiye nüfusunun yaklaşık %54,5'i kıyılarda yaşamaktadır (Kurt 2015) ve kıyı bölgeleri ülkenin GSMH'nin yarısından fazlasına – yaklaşık %60'ına – ev sahipliği yapmaktadır. 81 ilden 28 (%35)'inin denize kıyısı bulunmakla birlikte, bölgesel özellikler ve etkileşimlere göre kıyı alanlarındaki mevcut faaliyetlerin etkilerinin iç bölgelerde de izlendiği görülmektedir. Kıyı alanlarında yer seçen kullanımlar genelde kentsel ve kırsal yerleşim alanları, turizm alanları, endüstri ve depolama alanları ile balıkçılık ve su ürünleri üretimi, deniz ulaştırması ve enerji gibi sektörlerdir. Simav ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmada, Türkiye kıyılarındaki risk alanlarını belirlemiş, Türkiye kıyılarında deniz seviyesi yükseliminden en çok etkilenecek alanların; Adana, Antalya, Çanakkale, Edirne, Mersin ve Samsun'a benzer şekilde; kıyılarında deltalar gibi alçak alanlara sahip iller olacağını saptamıştır. Yine aynı çalışmaya göre Türkiye'nin orta seviye risk taşıyan ülkeler içinde olduğu sonucuna varılmıştır. Benzer bulguları, Geymen ve Dirican (2016) da CBS kullanarak yaptıkları risk analiziyle tespit etmiş, 2500 yılında Türkiye topraklarının yaklaşık %0,70'nin yükselen sulardan doğrudan etkileneceği sonucuna ulaşmıştır.

Akdeniz'in deniz ortamı ve kıyı bölgesinin korunması sözleşmesi

1992 yılında Rio de Janeiro'da yapılan BM Çevre ve Kalkınma Zirvesinde alınan kararların ruhuna uygun olarak, Barselona Sözleşmesi, 1995 yılında, deniz çevresinin yanı sıra, kıyı alanlarını da kapsayacak biçimde genişletilmiş, ayrıca, sürdürülebilir kalkınma hedefi, halkın katılımı, çevresel etki değerlendirmesi gibi unsurlar getirilmiştir. Bu çerçevede, yenilenen Sözleşme'nin adı "Akdeniz'in Deniz Ortamı ve Kıyı Bölgesinin Korunması Sözleşmesi" olarak değiştirilmiş olup, 2004 yılında yürürlüğe girmiştir. Ülkemiz, yeniden düzenlenen Barselona Sözleşmesi'ni 2002 yılında onaylamıştır. Sözleşmeye 21 ülke ve AB tarafır.

Barselona Sözleşmesi ve Ek Protokolleri 18. Taraf Ülkeler Toplantısı (COP18) 2013'de İstanbul'da gerçekleştirilmiş olup toplantı sonucunda İstanbul Deklarasyonu ile 'İstanbul Çevre Dostu Şehirler Ödülü'nün oluşturulması kararı kabul edilmiştir. 2016 yılında Atina'da düzenlenen COP19'da Atina Bildirisi onaylanmıştır. Toplantı sonunda, UNEP/MAP 2016-2021 Orta Dönemli Stratejisi ile 2016-2021 Sürdürülebilir Kalkınma için Akdeniz Stratejisi kabul edilmiştir. Ayrıca, Akdeniz'in Deniz Ortamı ve Kıyı Bölgesinin Korunması Sözleşmesi (Barselona Sözleşmesi) ile Karadeniz'in Kirlenmeye Karşı Korunması Sözleşmesi (Bükreş Sözleşmesi) Sekretaryaları arasında Mutabakat Zaptı imzalanmıştır. Her iki sözleşmeye de taraf olan tek ülke Türkiye'dir. 2017 yılında "Sürdürülebilir Kalkınma Hedefi 14 Odağında Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri için 2030 Gündeminin Uygulanması: Kirlilik ve Biyolojik Çeşitlilik" temasıyla Tiran'da gerçekleştirilen COP20'de, Tiran Bildirisi kabul edilmiştir. Ayrıca konferansta, "İstanbul Çevre Dostu Şehir Ödülü", 17 başvuru arasından İzmir'e verilmiştir. COP21, 2019 yılında İtalya, Napoli'de düzenlenmiş olup, toplantı

neticesinde kabul edilen Napoli Bildirisi'nde, Akdeniz'de deniz çöpleri, mavi ekonomi, biyoçeşitlilik, deniz koruma alanları ve iklim değişikliğine yer verilmiştir. COP22'nin, 2021 yılında ülkemiz ev sahipliğinde Antalya'da gerçekleştirilmesi planlanmaktadır (T.C. Dışişleri Bakanlığı 2020).

İklim değişikliği ve yerel yönetimler

Kentler ve kentsel bölgeler; bugün dünyanın yüzey alanının yalnızca %2'sini kaplasalar da, kaynakların yaklaşık %75'ini tüketip atıkların hemen tümünü üretmektedirler. Sergiledikleri ekonomik performansla paralel olarak tüm enerjinin %73'ünü tüketirken, iklim değişikliğine yol açan küresel sera gazı salımlarının da %80'inden sorumludurlar. Küresel ısınmaya yol açan sera gazları, özellikle CO₂ büyük ölçüde kentlerde ve çevresinde faaliyet gösteren sanayiden, konutlardan, trafiğe çıkan motorlu araçlardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle sera gazı emisyonlarının azaltılmasında en büyük görev kentlere ve kent yönetimlerine düşmektedir. Dünyada nüfusun yarısı, Türkiye'de ise üçte ikisi kentlerde yaşamaktadır (Çolakoğlu 2019). Ekonomik, sosyal, çevresel altyapıyı kuran, işleten ve idame ettiren kuruluşlar olan yerel yönetimlere BM Rio Çevre ve Kalkınma Zirvesi'nde (1992) 21. yüzyılın sürdürülebilir kalkınma için eylem planı olarak kabul edilen "Gündem 21" ile sürdürülebilir kalkınma konusunda önemli bir rol vermiştir. Günümüzün küreselleşen ve bilgi toplumuna dönüşen dünyasında, bu standartları yakalayabilmek adına yerel yönetimlerde köklü bir değişime gidilmesinin gerekliliği açıktır. AB müktesebatı yerel yönetimler konusunda üye ve aday ülkelere çeşitli sorumluluklar yüklemektedir. Avrupa Yerel Yönetimler Özerklik Şartı ile getirilen ilkelerden biri olan ve Maastricht Antlaşması'nın önemli bir yönünü oluşturan "Subsidiarite" (yerellik) ilkesi yerel yönetimlerde bir dönüşümün gerekliliğini işaret etmektedir. Bu ilke modern yerel yönetimler anlayışının temeli durumundadır. Avrupa Yerel Yönetimler Özerklik Şartı'nda "Kamu sorumlulukları genellikle ve tercihen vatandaşın en yakın olan makamlar tarafından kullanılacaktır." denilmektedir. Dolayısıyla halka hizmet götürmede birinci derecede yetkili olan yerel yönetimlerin vatandaşın en yakın ve kesintisiz hizmet getirebilmesi için birtakım imkanlarla donatılması gerekmektedir. Avrupa Birliği'ne üyelik sürecinde, ülkemizde yerel yönetimlerin demokratikleşmesine yönelik ciddi reform çalışmaları gündeme gelmiş ve bu alanda birçok yasal düzenlemeye gidilmiştir. Yerel Yönetimler Reformu kapsamında çıkartılan 5216 Sayılı Büyükşehir Belediye Kanunu bu düzenlemelerden biridir. Bu kanun Büyükşehir Belediyelerinin görev, yetki ve sorumluluklarını yeniden tanımlamıştır (Kayan 2015).

Yerel yönetimlerin iklim değişikliği ile ilgili oluşturdukları birlik ve kurumlar

Yerel yönetimlerin oluşturdukları birlik ve kurumlar, iklim değişikliği ile mücadele bakımından, içinde buldukları merkezi yönetimlerden çok daha ileri hedef ve stratejileri hayata geçirmiştir. ICLEI'nin küresel çapta, "İklim Değişikliği ile Mücadele için Kentler", ABD'nin "Belediye Başkanları İklim Koruma

Anlaşması”, “Yerel Yönetimler İklim Yol Haritası”, AB ülkelerindeki “Belediye Başkanları Sözleşmesi” bu alandaki başlıca örneklerdir. Yerel yönetimlerin bu birlikler aracılığı ile yapmış olduğu çalışmalarda sera gazı envanterlerinin çıkartılması ve azaltım yapılabilecek alanların belirlenmesi öncelikli konudur. Sonrasında oluşturulacak Enerji Eylem Planları, sera gazı salımlarının azaltılması için; enerji, kamu binaları, ulaşım, konut, arazi planlaması ve atık yönetimi sektörlerinde alınacak önlemleri gözler önüne sererek düşük karbonlu bir kent için önemli fırsatlar ortaya koymaktadır. Yerel yönetim birimlerinin yanında önemli paydaşlarının da (mesleki oda ve birlikler, sanayi kuruluşları, üniversiteler, diğer kamu kurumları, vs...) katılımı ile oluşturulan bu Eylem Planları Avrupa kentleri arasında en iyi uygulama yarışmalarına dönüşme eğilimindedir. Yerel yönetimlerin uygulama örnekleri şeffaf bir şekilde diğer imzalayan yerel yönetimlerle paylaşılmaktadır (Talu 2019).

Türkiye’de yerel yönetimlerin iklim değişikliği ile ilgili çabaları

Türkiye’deki 30 Büyükşehir Belediyesi içinde yalnızca 14’ünün sera gazı envanteri bulunmaktadır. Bununla birlikte bu belediyelerden 9’u Sera Gazı Azaltım Hedefi ve Eylem Planı, 5’i ise Uyum Eylem Planı da hazırlamıştır.

- **Sera Gazı Envanteri Olmayanlar;** Adana, Ankara, Aydın, Balıkesir, Diyarbakır, Eskişehir, Konya, Malatya, Manisa, Mardin, Mersin, Ordu, Samsun, Şanlıurfa, Tekirdağ, Van.
- **Sera Gazı Envanteri Olanlar;** Erzurum, Kayseri, Muğla, Sakarya, Trabzon.
- **Sera Gazı Envanteri, Azaltım Hedefi ve Eylem Planı olanlar;** Antalya, Gaziantep, Kahramanmaraş.
- **Sera Gazı Envanteri, Azaltım Hedefi, Azaltım ve Uyum Eylem Planı olanlar;** Bursa, Denizli, İstanbul, İzmir, Kocaeli, Hatay.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı yayınladığı “Türkiye’nin İklim Değişikliği Eylem Planları”nın yanı sıra Yerel İklim Değişikliği Eylem Planı (YİDEP) yönetmeliğinin hazırlık çalışmalarını sürdürmektedir. YİDEP’in Resmi Gazete’de yayımlanmasıyla beraber Türkiye genelinde iklim değişikliği bağlantılı tedbirlerin artmasına vesile olması, iklim değişikliği ile yerelde “kapsamlı ve planlı mücadele” için öngörülen çalışma düzenini, yöntemini ve genel kuralları içermesi, ilk etapta büyükşehirlerle yönelik hazırlanarak, sonraki aşamalarda daha alt ölçeklerde yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır.

Yerel yönetimlerde iklim değişikliği ile ilgili organizasyon yapısında değişimler

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 8 Nisan 2020 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanarak yürürlüğe giren “Belediye ve Bağlı Kuruluşları ile Mahalli İdare Birlikleri Norm Kadro İlke ve Standartlarına Dair Yönetmelik”te yaptıkları değişikliklerle büyükşehir belediyelerinde “Sıfır Atık Dairesi Başkanlığı” ile “İklim Değişikliği

Dairesi Başkanlığı”, il ve ilçe belediyelerinde ise “İklim Değişikliği Şube Müdürlüğü” ile “Sıfır Atık Şube Müdürlüğü” kurulacağını bildirmiştir. Böylece yerel yönetimler, iklim değişikliğiyle daha etkin şekilde mücadele edebilecek, karar alma süreçlerini hızlandırarak adımlarını süratle atabilmek için teşkilatlanmalarını tamamlamayı eylem planlarını hayata geçirebilecektir. Belediyelerin internet sitelerinde yayınladıkları organizasyon şemaları incelendiğinde henüz hiçbir büyükşehir belediyesinde iklim değişikliği ile ilgili daire başkanlığı düzeyinde bir yapılanma gerçekleşmediği görülmektedir. Bunun yerine belediyeler “Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı” altında Şube Müdürlüğü düzeyinde yapılanmayı tercih etmişlerdir (Tablo 1). Şube Müdürlüğü düzeyinde yapılanmada müdürlükler bağlı oldukları daire başkanlığının mevzuatı içerisinde faaliyet gösterdiklerinden iklim değişikliği ile mücadelenin gerektirdiği multidisipliner yaklaşımı yakalayamadıkları ortadadır. Çünkü iklim değişikliği ile mücadele belediyelerde ulaşımdan, peyzaja, tarıma, yenilenebilir enerji kaynaklarından, enerji verimliliğinden afet yönetimi ve kentsel dönüşüme kadar daha birçok farklı daire başkanlığının görev ve yetki alanına giren ve alınan kararlarda önceliklendirilmesi gereken bir konudur.

Bunun yanı sıra belediyelerin deniz ve kıyı alanlarının yönetimi ile ilgili sorumlulukları nedeniyle kıyı belediyelerde daire başkanlığı ve şube müdürlüğü düzeyinde yapılanmalar gerçekleşmiştir (Tablo 1). Fakat bu birimlerin de görev ve sorumlulukları her belediyede farklı tanımlanmıştır.

Tablo 1. Denize kıyısı olan büyükşehir belediyelerinde iklim değişikliği ve deniz ve kıyı alanlarının yönetimi ile ilgili yapılanmalar

Denize kıyısı olan Büyükşehir Belediyeleri	Kıyısı olduğu deniz	İklim değişikliği ile ilgili ayrı birim	Deniz ve kıyı ile ilgili ayrı birim
		Şube Müdürlüğü (ŞM) Daire Başkanlığı (DB)	Şube Müdürlüğü (ŞM) Daire Başkanlığı (DB)
Adana BB	Akdeniz	-	Denizcilik ve İç Su Hizmetler ŞM (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında)
Antalya BB	Akdeniz	İklim Değişikliği ve Temiz Enerji ŞM (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında)	Deniz ve Kıyı Yönetimi ŞM (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında) & Kıyı Yapılar ŞM (Park ve Bahçeler DB altında)
Aydın BB	Ege Denizi	İklim Değişikliği ŞM (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında)	Denizcilik DB; Kıyı Tesisleri ve Deniz Ulaşımı ŞM & Deniz Ulaşımı ve Denetimi Çevre Denetim ŞM
Balıkesir BB	Marmara ve Ege Denizi	Çevre Koruma ve İklim Değişikliği ŞM (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında)	Kıyı ve Sahil Hizmetleri ŞM (Kent Estetiği DB altında) & Deniz Ulaşımı ve Liman İşletme ŞM (Ulaşım Planlama ve Raylı Sistemler DB altında)

Bursa BB	Marmara Denizi	Sıfır Atık ve İklim Değişikliği ŞM (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında)	Sahil Planlama ve Yapım ŞM (Park ve Bahçeler DB altında)
Hatay BB	Akdeniz	İklim Değişikliği ŞM (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında)	Deniz ve Kıyı Yönetimi ŞM (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında)
İstanbul BB	Karadeniz ve Marmara Denizi	-	Deniz Hizmetleri Müdürlüğü (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında)
İzmir BB	Ege Denizi	İklim Değişikliği ve Temiz Enerji ŞM (İklim Değişikliği ve Çevre Koruma Kontrol DB altında)	Deniz ve Destek Hizmetleri ŞM (Ulaşım DB altında)
Kocaeli BB	Karadeniz ve Marmara Denizi	Çevre Koruma ve İklim Değişikliği ŞM (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında)	Deniz ve Kıyı Hizmetleri ŞM (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında) & Deniz Ulaşım ŞM (Ulaşım DB altında)
Mersin BB	Akdeniz	İklim Değişikliği ve Temiz Enerji ŞM (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında)	Denizcilik Hizmetleri ve Denetimi ŞM (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında)
Muğla BB	Ege Denizi	Çevre Yönetim ve İklim Değişikliği ŞM (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında)	Deniz ve Kıyı Tesisleri ŞM (Ulaşım DB altında)
Ordu BB	Karadeniz	Çevre Koruma ve İklim Değişikliği ŞM (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında)	-
Sakarya BB	Karadeniz	İklim Değişikliği ŞM (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında)	Sıfır Atık Yönetim ve Deniz Hizmetleri ŞM (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında)
Samsun BB	Karadeniz	-	Kıyı Yönetimi ve Hafriyat ŞM (Fen İşleri DB altında)
Tekirdağ BB	Karadeniz ve Marmara Denizi	Enerji Verimliliği ŞM (Etüt ve Projeler DB altında)	Çevre ve Deniz Hizmetleri ŞM (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında) & Akarsu Yapıları ŞM (Fen İşleri DB altında)
Trabzon BB	Karadeniz	Çevre Koruma ve İklim Değişikliği ŞM (Çevre Koruma ve Kontrol DB altında)	-

İklim değişikliğinin deniz ve kıyı bölgelerine etkileri ve olası risklere karşı yerel yönetimler neler yapabilir?

İklim değişikliğinin etkilerine karşı şehirlerde azaltım ve uyum sağlamak, başta mekânsal planlama olmak üzere tüm planlama unsurlarını bütünleştirici stratejik bir planlama ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. İklim eylem planı ile belediyenin bütüncül politikalarını içeren yatırım programının (stratejik planlar, bütçeleme, vb.) bağlantılı ve uyumlu olması gerekmektedir. Belediyeler, stratejik planlarını yerel iklim eylem planlarının uygulanmasındaki hukuki ve mali dayanak olarak değerlendirmelidir. Ayrıca, 2004 yılında kabul edilen 5216 Sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu'yla büyükşehir belediyeleri, "coğrafi ve kent bilgi sistemlerini" kurmakla yükümlü hale getirilmiştir. Bu sistemlerin kurulmasıyla vatandaşa daha planlı ve etkin hizmet sunulması ve yerel yöneticilerin karar alma süreçlerinde bu sistemlerin sağladığı bilgileri kullanarak hizmet süreçlerini asgari zamanda ve doğru bir biçimde yönetmesi sağlanmıştır. Ayrıca kent bilgi sistemleri sayesinde vatandaşların kent hakkında bilgi edinme süreleri kısaltılarak yönetimde şeffaflık ve hesap verebilirlik güçlendirilmiştir. Şahsa dayalı bilgi anlayışı terk edilerek bilginin tekelleşmesi ortadan kaldırılmıştır.

Yine Büyükşehir Belediyesi Kanunu'yla sürdürülebilir kalkınma ilkesine uygun olarak çevrenin, tarım alanlarının ve su havzalarının korunmasını sağlamak Büyükşehir belediyesinin görev, yetki ve sorumlulukları arasındadır. Bu hedefle belediyeler deniz ve kıyıların korunmasına yönelik atıksu arıtma tesislerini kurmak, işletmek; havza yönetimi ve derelerin ıslahını sağlamak; kirliliğe karşı kontrol ve denetleme yapmak; deniz suyu kalitesi parametrelerinin ölçümünü yapmak, bu amaçla izleme programları yürütmek; bütünlük kıyı alanları planları oluşturmak, bilinçlendirme kampanyaları düzenlemek vb. faaliyetler yürütmektedirler (Tablo 2).

Örneğin, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi kontrol ve denetimi etkin yürütmek amacıyla ilgili bakanlıktan gemi ve deniz araçlarından kaynaklanan kirliliğe ilişkin kontrol denetleme ve idari yaptırım kararı verme yetkisi almış ve bu yetkiye dayanarak donanımlı personeliyle karadan, iki adet kontrol teknesiyle denizden ve bir deniz uçağıyla havadan olmak üzere üç koldan yoğun kontrol çalışmaları yürütmektedir. 2007 yılından itibaren özellikle deniz uçağı ile gerçekleştirilen kontrol ve denetim faaliyetleri sonucunda hem gemilerden hem de kıyı tesislerinden kaynaklı kirliliğin önlenmesinde anlamlı ve kayda değer sonuçlar almıştır. Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin kullandığı bu yöntem, denizlere kıyısı bulunan büyükşehir belediyelerine örnek bir uygulama olarak kabul edilmelidir (Kayan 2015).

Antalya Büyükşehir Belediyesi ise Türk Deniz Araştırmaları Vakfı ile birlikte 2017-2019 yılları arasında yürüttüğü "Antalya'nın Deniz ve Kıyılarının İklim Değişikliğine Adaptasyonu" başlıklı AB projesi kapsamında Antalya'nın deniz ve kıyılarının iklim değişikliğine karşı risk yönetimi stratejisinin hazırlanması ve

turizm, balıkçılık, biyolojik çeşitliliğimiz, tarihi ve doğal miraslarımızı korumak için alınması gereken önlemlerin belirlenmesi amacıyla faaliyetler düzenlemiştir. Proje kapsamında Türkiye Denizleri'nde gün geçtikçe daha sık görülmeye başlayan yabancı türlerden balon balıkları, aslan balığı ve denizanalarıyla vb. ile ilgili farkındalık yaratılması hedeflenmiş, bu amaçla poster, broşür, boyama kitapları, kısa-film ve bilgi föyleri hazırlanmış, sosyal medya ve internet sayfası üzerinden kamuoyu bilgilendirme çalışmaları gerçekleştirilmiş, seminer, odak grup toplantıları, çalıştay ve "İklim Değişikliği ve Denizlerimiz Festivali" düzenlenmiştir. Ayrıca proje boyunca Antalya Deniz Biyolojisi Müzesi'nde okul gruplarına ve okullara gidilerek toplam 15 bin öğrenciye eğitim seminerleri verilmiştir. Proje etkileri Antalya ile sınırlı kalmamış, gerçekleştirilen iki deniz araştırma sörveyinin bilimsel sonuçları ve TÜDAV'ın farkındalık faaliyetlerini ülke düzeyine yaygınlaştırmasıyla, proje sonuçları denize kıyısı olan tüm illerimizde etkili olmuştur.

Halk sağlığı açısından deniz suyu kalitesi izleme programları ve verilerin şeffaflığı da önem taşımaktadır. Bu konuda iyi örneklerden biri olarak da TÜDAV'ın 2002 yılında yerel yönetimlerle işbirliği ile yürüttüğü "Ölüdeniz Lagünü ve Çevresinin Korunması Projesi" AB Life Projesi gösterilebilir. Proje kapsamında kurulan deniz suyu kalitesi izleme laboratuvarında ölçülen parametrelere ilişkin sonuçlar zamanında projenin internet sitesinde yayınlanarak toplum bilinci ve farkındalığı sağlanmıştır.

Tablo 2. İklim değişikliğinin deniz ve kıyı bölgelerine etkileri ve olası risklere karşı yerel yönetimler neler yapabilir?

İklim Değişikliğinin Deniz ve Kıyı Bölgelerine Etkileri ve Olası Riskler	Yerel Yönetimler Neler Yapabilir?
<p>Fırtına ve sel gibi aşırı hava koşullarındaki potansiyel artış Fırtına ve sellerin şiddetinin artması bekleniyor.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Doğal kaynaklar, turizm, rekreasyon, deniz yoluyla mal taşımacılığı için kullanan kıyı bölgeleri için bir risk oluşturuyor mu? • Bu ekonomik sektörler için risk seviyesi nedir? • Altyapıya mı? • Kültürel, ticari ve konut yapılarına mı? • Fırtınaların sıklığındaki ve yoğunluğundaki değişiklikler (olumsuz olarak) kıyı topluluklarını etkileyecek mi, kıyı bölgesindeki ticari ve yerleşim hayatını yok edecek mi? 	<ul style="list-style-type: none"> • Afet Yönetiminin teknolojik yeniliklerle geliştirilmesi • Meteorolojik Erken Uyarı Sistemleri • Kritik ekosistem fonksiyonlarını ve hizmetlerinin devamlılığını sağlamak ve korumak • Mekansal Planlama • Risk Analizleri (Hortum seyir haritası vb.) • Kıyısız Etkilenebilirlik Haritaları ve Endeksi (CVI) • Bütünleşik Kıyı Alanları Yönetim Planları
<p>Deniz seviyesi yükselmesi (DSY) Kıyılar, deniz seviyesinin yükselmesine karşı hassastır. Deniz seviyesinin</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Uzun vadeli meteorolojik projeksiyonları kullanarak mekansal planlama

<p>yükselmesi erozyon gibi kıyı şeridinin değişmesine, doğal yeraltı suyu eğiminin değişmesine ve binaların bodrumu bataklıklar ve yeşil alanlar gibi alçak alanlarda su baskınlarına, geleneksel balıkçılık alanlarının değişmesine, kıyı boyunca altyapı ve binaların hasar görmesine ve tahrip olmasına, kültürel mirasa zarar vermesine neden olabilir. Kıyı morfolojisindeki değişiklikler, sel yollarını da etkileyebilir ve böylece sel riskini ve olasılığını artırabilir.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deniz seviyesinde ne kadar yükselme bekliyoruz? • Beklenen risk nedir? 	<ul style="list-style-type: none"> • Kıyısız Etkilenebilirlik Haritaları, Endeksi (CVI) • Dijital Kıyı Çizgisi Analiz Sistemi (DSAS) • Kritik ekosistem fonksiyonlarını ve hizmetlerinin devamlılığını sağlamak ve korumak • Coğrafi Bilgi Sistemleri üzerinde kıyı alanlarının modellenerek kullanım alanlarının belirlenmesi ve her bir alanda risk analizleri, baskı/olumsuz, etkiler/maliyet analizleri
<p>Kıyı erozyonu</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kıyı boyunca kıyı erozyonu riskinin yüzdesi nedir? • 100 metre ve 200 metre kıyı şeridindeki kaç konut binasının erozyona duyarlı olduğunu tanımlayın / haritalayın? • Hangi belirli alanlarda bulunuyorlar? • Arkeolojik miras alanlarının riski nedir? 	<ul style="list-style-type: none"> • Uzun vadeli meteorolojik projeksiyonları kullanarak mekansal planlama • Kıyısız Etkilenebilirlik Haritaları, Endeksi (CVI) • Dijital Kıyı Çizgisi Analiz Sistemi (DSAS) • Kritik ekosistem fonksiyonlarını ve hizmetlerinin devamlılığını sağlamak ve korumak • Coğrafi Bilgi Sistemleri üzerinde kıyı alanlarının modellenerek kullanım alanlarının belirlenmesi ve her bir alanda risk analizleri, baskı/olumsuz, etkiler/maliyet analizleri
<p>Deniz sıcaklığının artması</p> <p>Yerli türler artan sıcaklıkla baş edemeyebilir ve tehditlere karşı daha savunmasız hale gelebilir. Öte yandan, Akdeniz'e Süveyş Kanalı veya diğer vektörler yoluyla giren yabancı türler dağılımlarını genişletmektedir. Bu yabancı türlerden bazıları halk sağlığı ve diğer ilgili sektörlerde problemler yaratabilmektedir. Örneğin, turistler denizanası sokmalarını şikayet edebilmektedir.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Potansiyel ekonomik etkiler nelerdir? 	<ul style="list-style-type: none"> • Uyum stratejileri geliştirmek • Etkilenebilecek sektörlerle ilgili uzun-vadeli planlamalar (örn. Turizm sezon değişiklikleri, farklı su ürünlerinin tüketimleri ile ilgili farkındalık, halk-sağlığı problemlerine karşı bilinçlendirme) • Halk temelli bilim ve dijital veri platformlarını kullanarak zamanında doğru ihbar ve verilere ulaşarak hızlı aksiyon sağlamak, (örn. Denizanası ihbarları, kıyısız orman yangınları vs.) • Yabancı türlerin yerel coğrafi dağılım haritası. • Denizanası artışlarının mekânsal ve zamansal takibi. • Bilinçlendirme kampanyaları (koruma altındaki habitat ve türlerin önemi vs.)

	<ul style="list-style-type: none"> • Deniz ve iklim okur-yazarlığını artırıcı faaliyet ve etkinlikler
<p>Okyanus sistemindeki değişim Deniz sıcaklığının yükselmesi, akıntılar ve yükselme gibi okyanus sistemleri üzerinde etkiler. Sonuç olarak, birincil üretim zaman, yer ve miktar açısından etkilenecektir.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fauna ve flora için potansiyel riskler nelerdir? • Balıkçılık gibi insan faaliyetlerini etkiler mi? 	<ul style="list-style-type: none"> • Etkilenebilecek sektörlerle ilgili uzun-vadeli planlamalar (örn. Deniz taşımacılığı, balıkçılık, su ürünleri yetiştiriciliği nasıl etkilenir vs.) • Bilinçlendirme kampanyaları • Deniz ve iklim okur-yazarlığını artırıcı faaliyet ve etkinlikler
<p>Asidifikasyon Deniz suyunun artan asitliği, suda çözünen CO₂ miktarının artması nedeniyle ortaya çıkmaktadır. Asitlik, yumuşakçalar ve deniz kestaneleri gibi deniz hayvanlarının tabakalaşmasını engeller.</p> <ul style="list-style-type: none"> • En çok hangi türler etkilenecek? • Potansiyel riskler nelerdir? 	<ul style="list-style-type: none"> • Etkilenebilecek sektörlerle ilgili uzun-vadeli planlamalar (örn. Kıyı bölgelerindeki yapılar, tarihi alanlar nasıl etkilenebilir vs.) • Bilinçlendirme kampanyaları (deniz çayırının önemi vs.) • Deniz ve iklim okur-yazarlığını artırıcı faaliyet ve etkinlikler
<p>Deniz suyu kalitesi parametrelerinde ve denizel ekosistemde değişimler İklim değişikliğinin etkileriyle birlikte artan antropojenik baskılar deniz suyu kalitesinin azalmasına ve buna bağlı biyoçeşitlilikte değişimlere neden olmaktadır.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Deniz suyu kalitesi ölçme, izleme programları yürütmek ve sonuçların halk sağlığı için açık veri portalında anında paylaşımı • Atıksu arıtma tesislerinin kurulumu&işletilmesi • Şeffaf ve erişilebilir deniz ve kıyı yönetimi: Okyanusun Dijital İkizine Doğru (örn.Copernicus Marine Service) • Ani ve kronik olayların tespiti ve geçmişle ilişkisini belirlemek; hızlı tepki mekanizmasının geliştirilmesine katkı sağlamak (toplu ölüm olayları, petrol sızıntısı vb.) • Karaya vuran veya yaralanmış deniz canlıları hakkında anında veri toplamak (yunuslar, foklar, deniz kaplumbağaları gibi hayvanlar için kurtarma sağlanabilmesi) • Kısa ve uzun vadeli kirlilikle ilgili verilerin toplanması, derlenmesi; ilgililerle hızlı iletişim sağlanması: Kirlilik izleme programları • Deniz / kıyı bölgelerinde yaşanan sorunlara hızla müdahale kılavuzlarının hazırlanması.

Sonuç

Günümüzde çevre sorunları sınır aşan bir boyuta ulaşmıştır. İklim değişikliğinin etkilerine karşı ve kirliliğin önlenmesinde teknolojiye de en üst düzeyde yararlanmalıdır. Belediyeler, iklim değişikliği yerel eylem planlarının yanı sıra deniz ve kıyı alanlarının korunması ve yönetimi ile ilgili özel eylem planları da oluşturmalıdır. Tüm bu faaliyetleri gerçekleştirirken belediyelerin ilgili kamu kurum, üniversite, ekonomik sektör temsilcileri ve STK'lar ile işbirliği için koordinasyon sağlaması büyük önem arz etmektedir.

Kaynakça

31093 nolu Resmi Gazete (08.04.2020) Belediye ve Bağlı Kuruluşları ile Mahalli İdare Birlikleri Norm Kadro İlke ve Standartlarına Dair Yönetmelik.

5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu (2004).

Çolakoğlu, E. (2019) İklim Değişikliği, Sürdürülebilir Kentler ve Kentsel Planlama Etkileşimi. İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi 11, İklim Değişikliği Alanında Ortak Çabaların Desteklenmesi Projesi (iklimİN), Ankara, Türkiye.

Geymen, A., Dirican, A.Y. (2016) İklim değişikliğine bağlı deniz seviyesi değişiminin coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak analiz edilmesi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi* 8: 95-74.

Kayan, K. (2015) Görev, yetki ve sorumluluklar açısından 5216 sayılı Büyükşehir Belediye Kanunu'nun getirdiği yenilikler ve Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'nin uygulamaları. *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi* 5(9): 199-224.

Kurt, S. (2015) Türkiye'de kıyı kullanımına yönelik yasa ve düzenlemelerin tarihi seyri. *Eastern Geographical Review* 20(33): 91-110.

Simav, Ö., Şeker, D.Z., Tanık, A., Gazioğlu C. (2015) Kıyı etkilenebilirlik göstergesi ile Türkiye kıyıları risk alanlarının tespiti. *Harita Dergisi* 153: 1-8.

T.C. Dışişleri Bakanlığı (2020) Barselona sözleşmesi. <http://www.mfa.gov.tr/barselona-sozlesmesi.tr.mfa> (erişim tarihi 23.02.2021).

Talu, N. (2019) Yerel İklim Eylem Planlaması ve Türkiye Pratikleri. İklim Değişikliği Eğitim Modülleri Serisi 10; İklim Değişikliği Alanında Ortak Çabaların Desteklenmesi Projesi (iklimİN), Ankara, Türkiye.

Turan, C., Salihoğlu, B., Özgür Özbek, E., Öztürk, B. (eds.) (2016) The Turkish Part of the Mediterranean Sea; Marine Biodiversity, Fisheries, Conservation and

Governance. Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TUDAV), Yayın No: 43, İstanbul, Türkiye.

Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (2002) Ölüdeniz Lagünü ve Çevresinin Korunması Projesi. Mevcut adres: <http://www.tudavoludeniz.org/modules.php?name=2Environment> (erişim tarihi: 15.02.2021).

Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (2013) İklim Değişikliği ve Denizler Raporu, İstanbul, Türkiye. Mevcut adres: <https://tudav.org/calismalar/iklim-degisikligi/iklim-degisikligi-ve-denizler-raporu/> (erişim tarihi: 15.02.2021).

Denizlerde İklim Değişikliğine Bağlı Sağlık Sorunları

Selin Gamze SÜMEN

Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Tıp Fakültesi, Sualtı Hekimliği ve Hiperbarik Tıp Anabilim Dalı, Sultan 2. Abdülhamid Han Eğitim ve Araştırma Hastanesi, İstanbul
Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV), Beykoz, İstanbul, Türkiye
sgsumen@gmail.com

Özet

Küresel iklim değişikliği, önemli çevresel sorunlarından biri haline geldi. Kuraklıkla tehdit altında tarım arazileri, geniş alanları etkileyen orman yangınları, seller, tufanlar iklim değişikliğinin ekolojik etkilerinin bazılarıdır. İklim değişikliği etkileriyle nadiren insan yaşamına dair potansiyel yıkıcı etkilere de yol açmaktadır. Aşırı sıcaklık dalgaları, yükselen deniz seviyeleri, sel ve kuraklıklarla sonuçlanan yağış değişiklikleri, yoğun kasırgalar ve bozulmuş hava kalitesi gibi iklim değişikliğinin çevresel sonuçları, insanların fiziksel, sosyal ve psikolojik sağlığını doğrudan ve dolaylı olarak etkiler. Bugüne kadar, iklim değişikliği araştırmalarının çoğunluğu sağlıktan ziyade çevresel etkilere odaklanmıştır. İklim değişikliğinin insan sağlığı için ciddi bir tehdittir ve bu konuda önlemlerin alınabilmesi için ayrıntılı bilimsel çalışmalara ihtiyaç vardır. Karşımıza çıkan insan sağlığını tehdit eden konular, iklimsel tehditleri ele alma veya bunlara hazırlık yapma, bireyin davranışı, yaşı, cinsiyeti ve ekonomik durumu gibi faktörlerden etkilenir. Etkiler, kişinin nerede yaşadığına, sağlık tehditlerine karşı ne kadar duyarlı olduğuna, iklim değişikliği etkilerine ne kadar maruz kaldığına ve ne kadar iyi uyum sağlayabildiğine bağlı olarak değişecektir. Bilim insanlarının iklim değişikliği ile ilgili üzerinde durması gereken konular, sağlık üzerine etkileri ile ilgili farkındalık oluşturulması, doğru tespitler yapılması, gerekli önlemlerin alınması ve iyileştirmelerin yapılmasıdır.

Anahtar Kelimeler: İklim değişikliği, sağlık, COVID 19, salgın, küresel ısınma

Küresel iklim değişikliği, 21. yüzyılın acil çözüm önerilerinin gerekli görüldüğü önemli çevresel sorunlarından biri haline geldi. Eriyen buz kütlelerine güçlük tutunan kutup ayısı, kuraklıkla tehdit altında tarım arazileri, geniş alanları etkileyen orman yangınları, seller, tufanlar iklim değişikliğinin ekolojik etkileri olarak zihinlerde yer etti. İklim değişikliğinin gelecekte ne tür sorunlara yol açacağı konusunda endişe ve tartışmaları ortaya çıkardı. Ancak iklim değişikliği etkileriyle nadiren insan yaşamına dair potansiyel yıkıcı etkileriyle ele alınmaktadır. Bugüne kadar, iklim değişikliği araştırmalarının çoğunluğu sağlıktan ziyade çevresel etkilere odaklanmıştır. İklim değişikliği insan sağlığı için ciddi bir tehdittir ve bu konuda önlemlerin alınabilmesi için ayrıntılı bilimsel çalışmalara ihtiyaç vardır.

Dünya Sağlık Örgütü'nün tanımına göre, "sağlık, yalnızca rahatsızlığın veya sakatlığın yokluğu değil, tam bir fiziksel, zihinsel ve sosyal iyilik halidir". İnsan sağlığı ve refahı için, temiz ve sağlıklı bir çevrede yaşam sürmelidir. İklim değişikliği ve çevre kirliliği, sağlık için ciddi tehdit oluşturarak beraberinde

küresel sağlık sorunlarını da ortaya çıkarır. Dünya nüfusunu olumsuz etkileyen bu koşullarda artık temiz hava, tatlı su kaynakları ve temel sağlıklı gıdaya erişim risk altında olacaktır (McMichael ve diğ. 1996).

Küresel olarak bu yüzyılın sonlarına doğru 1-5°C sıcaklık artışı beklenmektedir (Patz ve diğ. 2005). Sera gazı emisyonları, özellikle de fosil yakıt yakılması, kalabalık şehirleşmeler, yeşil alanların azalması, gelişen teknoloji ile fabrikalar ve atıkları, dünyayı ısıtmaya devam ediyor. Bu durumun iklime yansımaları sonucu hava sıcaklığında dalgalanmalar ve aşırı hava olaylarındaki artıştır. Aşırı sıcaklık dalgaları, yükselen deniz seviyeleri, sel ve kuraklıklarla sonuçlanan yağış değişiklikleri, yoğun kasırgalar ve bozulmuş hava kalitesi gibi iklim değişikliğinin çevresel sonuçları, insanların fiziksel, sosyal ve psikolojik sağlığını doğrudan ve dolaylı olarak etkiler. İklim değişikliğinden kaynaklanan olaylar, beraberinde sağlık sorunlarını da getirerek insanları zorunlu göçe zorlamaktadır (Myers 2002; Sarofim ve diğ. 2016).

Karşımıza çıkan insan sağlığını tehdit eden konular, iklimsel tehditleri ele alma veya bunlara hazırlık yapma, bireyin davranışı, yaşı, cinsiyeti ve ekonomik durumu gibi faktörlerden etkilenir. Etkiler, kişinin nerede yaşadığına, sağlık tehditlerine karşı ne kadar duyarlı olduğuna, iklim değişikliği etkilerine ne kadar maruz kaldığına ve ne kadar iyi uyum sağlayabildiğine bağlı olarak değişecektir (McMichael ve diğ. 1996). İklim değişikliği insan sağlığını iki şekilde etkileyebilir: 1) iklim veya aşırı hava olaylarından etkilenen sağlık sorunlarının şiddetini veya sıklığını değiştirerek, 2) daha önce benzeri görülmemiş veya beklenmeyen sağlık sorunları veya tehditler yaratarak. Avrupa Komisyonu Araştırma Grubunun verisine göre Tablo 1’de görüldüğü gibi iklim değişikliğinin insan sağlığına etkisi altı stres etkenine göre gruplandırılmıştır (Paci 2014).

Tablo 1. İklim değişikliği kaynaklı stres faktörlerinin insan sağlığına etkileri

Stres kaynakları	Sağlık etkileri
Küresel ısınma	Küresel ısınmaya bağlı hastalıklar, ölümler
Hava kirliliği	Alerji, solunum sistemi hastalıkları
Gıda ve su kaynaklı hastalıklar	Salmonella ve Kamfilobakter vb. bakteri, parazit kaynaklı ishaller
Vektör kaynaklı hastalıklar	Sıtma, Deng ateşi, Lime hastalığı
Doğal afetler	Ölümler, yaralanmalar, depresyon, salgın hastalıklar (sıtma, salmonella, E. coli vs)
Beslenme yetersizliği	Gıda temin edilmesinde yetersizlik ve ilgili hastalıklar

İnsanların yaşamlarının belli dönemlerinde iklim değişikliğinin tehditlerine karşı daha savunmasız oldukları bilinmektedir. Çocukluk, yaşlılık, hamilelik, bazı ek hastalıkların olması (kanser, diyabet, kalp hastalığı, astım, felç vb.) daha ağır etkilenmelere zemin hazırlar. Bazı nüfus toplulukları ayrıca daha fazla etkilenecektir. Bu gruplar yoksullar, göçmenler, yerli halklar, sokakta yaşayanlar, ve ciddi tıbbi sağlık sorunları olanlardır. Aşırı sıcak veya soğuk hava olaylarının

etkisiyle hastalık ve ölüm riskinin artması beklenmektedir. (McMichael ve diğ. 2006; Sarofim ve diğ. 2016; Landrigan ve diğ. 2018).

Aşırı sıcağa maruz kalmak, sıcak çarpması insan vücudunda pek çok temel organı etkiler. Başta sıvı ve elektrolit kaybına bağlı sorunların yanı sıra kalp dolaşım sistemi, solunum, üriner sistem ve sinir sistemini ilgilendiren hastalıklara yol açabilir. Aşırı sıcaklığın, bu durumla başa çıkmaya daha az hazırlıklı olan kuzey enlemlerinde yer alan nüfusları etkileme olasılığı nispeten daha yüksektir. Ayrıca bazı popülasyonlar diğerlerinden daha savunmasızdır. Örneğin, açık hava çalışanları, öğrenciler, sporcular ve evsizler, dış ortamlarda daha fazla zaman geçirdikleri için, aşırı sıcağa daha fazla maruz kalacaktır. Klimaya erişimden yoksun olan düşük gelirli haneler ve yaşlı yetişkinler de olumsuz etkilenirler (McMichael ve diğ. 1996; Lavigne 2014; Sarofim ve diğ. 2016). Literatürde artan sıcaklığa bağlı acile başvurular ve ölümlerde artışla ilgili bilimsel yayınlar mevcuttur. Kıbrıs'tan bir araştırmacı grubu tarafından kaleme alınan makalelerinde artan sıcaklıkla birlikte ada halkında ölümlerin artışından bahsedilir. Bir derecelik sıcaklık artışında ölümler iki katı artmıştır (Haritini ve diğ. 2016). Singapur'da yapılmış diğer bir çalışmada ise sıcaklık, rüzgar gibi hava olaylarının el-ayak-ağız hastalığının görülme sıklığını artırdığı ileri sürülür (Leong 2011).

Özellikle hava kirliliğinin artışıyla hava kalitesinde olumsuz değişiklikler söz konusudur. Solunan havada yüksek ozon konsantrasyonları, zararlı partiküllerde artış hastalıklar ve erken ölümlerle sonuçlanabilir. Solunabilir hava kalitesi dışında ince partiküllerin solunması, akciğer kanseri, kronik tıkayıcı akciğer hastalığı (KOA) ve kalp dolaşım sistemi hastalıkları tetikleyici rol oynar. İklim değişikliğiyle artan orman yangınlarında dumanı kaynaklı partiküller rüzgar tarafından uzun mesafelere taşınabilir. Partiküllerle zengin olumsuz hava koşulları, kirlenici kaynağından uzakta yaşayan insanları dahi etkiler (McMichael ve diğ. 1996).

Bulunulan ortamdaki ekosistemler sel, kuraklık, sıcak hava dalgaları ile değişikliğe uğrar. Biyolojik çeşitlilik ve habitat kayıpları ortaya çıkar. Buna bağlı gıda üretimi ve suya erişim zorlaşarak, altyapı ve yerleşimlere ciddi zarar verir. Etkilenen insan toplulukları yerleşim bölgelerini terk etmek zorunda kalırlar. Topluluklar yeni yerlere göçe zorlanır. Bölgesel kıtlıklar üzerinde iklime bağlı etkiler iyi bilinmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'ne göre dünya çapındaki en büyük sağlık krizlerinden biri, insanların yetersiz besleniyor olmasıdır. Kuraklık ve aşırı hava olaylarının tarımsal ürünler üzerinde doğrudan etkileri vardır. Tüm bu koşullar da tropik ve su kaynaklı hastalıkların yayılmasına katkıda bulunarak, sonuçta hastalık ve ölüm oranlarını artırır (Epstein 2005). Ayrıca bitkinin ekolojisini değiştirerek gıda arzını dolaylı olarak etkileyen patojenleri ortaya çıkarır.

İklim değişiklikleri ve aşırı hava olayları bulaşıcı hastalıklar üzerinde derin etkileri vardır. Bulaşıcı ajanlar (örneğin protozoa, bakteri ve virüsler gibi) ve

bunların ilişkili vektör organizmaları (sivrisinekler, keneler ve tatarcıklar vb.) sıcaklığa adaptasyonları güçtür. Üreme ve hayatta kalma oranları sıcaklık dalgalanmalarından etkilenir. Vektör kaynaklı hastalıkların dağılımları artış gösterir (McMichael ve diğ. 1996; Epstein 2005). COVID-19 salgını yarasaların sorumlu tutulduğu, son bir yıl içinde ortaya çıkan salgın hastalıklardan biridir. Salgınlara halk sağlığı sistemlerinin öneminin anlaşılmasını ve güçlü iş birliğine ihtiyacı gözler önüne serdi. Sadece fiziksel zararlarla sınırlı kalmayıp, sokağa çıkma yasağı ve belirsizlikle ruh sağlığının kritik önemini de hatırlattı.

İklim değişikliği, doğrudan veya dolaylı yollardan, sosyal destek sistemleri, kültürel değerler ve çevre koşulları üzerinden ruh sağlığını derinden etkiler. Uzun süreli ve şiddetli olumsuz hava olaylarının, küresel ve çevresel tehdit olarak gelecekle ilgili kaygı ve endişeleri arttıran önemli etkileri olacaktır. Ruh sağlığına etkileri, özellikle savunmasız toplulukların sosyal açıdan karşı karşıya kalacağı toplumun refahını etkileyecek aşılması zor problemler doğuracaktır. Üstesinden gelebilmek için, duygu ve düşünceleri yönetmek için koşullar başa çıkma stratejileri geliştirmeyi gerektirecektir (Dodgen ve diğ. 2016).

Ruh sağlığı, insan refahının temel bir bileşenidir. Ruh sağlığı, her bireyin kendi potansiyelini gerçekleştirdiği, yaşamın normal stresleriyle baş edebildiği, üretken ve verimli çalışabildiği ve kendi toplumuna katkıda bulunabildiği bir durumdur. Ruh sağlığı, bilişsel, duygusal ve sosyal beceriler gerektirir. Ancak günümüzde depresyon ve anksiyete gibi zihinsel bozukluklar, yaygın olarak toplumu etkilemektedir. Tüm salgın hastalıklarda olduğu gibi, COVID-19 salgınında, özellikle travma sonrası stres bozukluğu, anksiyete, depresyon, ve intihar girişimi gibi ruhsal sorunlarda artıştan bahsedilmektedir (Hao ve diğ. 2020; Tan ve diğ. 2020). Bu sonuçlardan bazıları doğrudan COVID-19'un özellikleriyle ilişkilidir. Örneğin, enfeksiyon riskinin yüksek olması, patolojik olarak bulaşma korkusuna ve tehdit duygularına yol açabilecek, stres ve kaygı düzeylerini artırabilecek genel bir alarm durumunu teşvik etmiştir. İlave olarak deneyimlenen sosyal izolasyon, yalnızlık ve değersizlik gibi temel duygusal durumlar ruh sağlığını olumsuz etkiler. Depresyon ve kendine zarar verme riskini artırabilir (Dodgen ve diğ. 2016; Jungmann ve Withhöft 2020).

İklim değişikliğinin sonucunda deniz sularındaki sıcaklık artışı, denizlerde istilacı deniz canlılarının popülasyonunu arttırmıştır. Önceleri okyanuslarda ve tropikal bölgelerde yaşayan bazı canlı türleri (aslan balığı, balon balığı, kedi balığı, denizanaları) artık Akdeniz ve Ege denizinde de görülmektedir. Balıkçılar, tatilciler, dalgıçlar doğal olarak bu canlılarla daha çok temas etmektedir. Böylece beklenmedik yaralanmalar ile ilgili bildirimlerle de daha çok karşılaşılmaktadır (Öztürk ve diğ. 2018; Sümen ve Bilecenoğlu 2019).

Sonuç olarak, iklim değişikliği insan sağlığı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Toplum refahı için konuyla ilgili anlayışı artıracak araştırmaları hızlandırmak öncelikli olmalıdır. İklim değişikliğinin insan sağlığı açısından dolaylı, uzun

vadeli ve karmaşık sonuçlarına ilişkin araştırmalarla izlenecek yollar daha net belirlenecektir. Bilim insanlarının iklim değişikliği ile ilgili üzerinde durması gereken konular, sağlık üzerine etkileri ile ilgili farkındalık oluşturulması, doğru tespitler yapılması, gerekli önlemlerin alınması ve iyileştirmelerin yapılmasıdır.

Kaynakça

Dodgen, D., Donato, D., Kelly, N., La Greca, A., Morganstein, J., Reser, J., Ruzek, J., Schweitzer, S., Shimamoto, M.M., Tart, K.T., Ursano, R. (2016) Ch. 8: Mental Health and Well-Being. The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, pp. 217-246, doi: 10.7930/J0TX3C9H.

Epstein, P.R. (2005) Climate change and human health. *New England Journal of Medicine* 353(14): 1433-1436.

Hao, F., Tan, W., Jiang, L., Zhang, L., Zhao, X., Zou, Y., Hu, Y., Luo, H., Jiang, X., McIntyre, R.S., Tran, B., Sun, J., Zhang, Z., Ho, R., Ho, C., Tam, W. (2020) Do psychiatric patients experience more psychiatric symptoms during COVID-19 pandemic and lockdown? A case-control study with service and research implications for immunopsychiatry. *Brain Behavior and Immunity* 87: 100-106.

Haritini, T., Clare, H., Sotiris, V., Anastasia, K.P., Georgiou, K.E., Pavlos, K., Edna, N.Y. (2016) Health impact assessment for mortality associated with high temperatures in Cyprus. In: 2016 18th Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON) pp. 1-4. IEEE.

Jungmann, S.M., Witthöft, M. (2020) Health anxiety, cyberchondria, and coping in the current COVID-19 pandemic: Which factors are related to coronavirus anxiety? *J Anxiety Disord* 73: 102239.

Landrigan, P.J., Fuller, R., Acosta, N.J., Adeyi, O., Arnold, R., Basu, N., Baldé, A.B., Bertollini, R., Bose-O'Reilly, S., Boufford, J.I., Breyse, P.N., Chiles, T., Mahidol, C., Coll-Seck, A.M., Cropper, M.L., Fobil, J., Fuster, V., Greenstone, M., Haines, A., Hanrahan, D., Hunter, D., Khare, M., Krupnick, A., Lanphear, B., Lohani, B., Martin, K., Mathiasen, K.V., McTeer, M.A., Murray, C.J.L., Ndahimananjara, J.D., Perera, F., Potočnik, J., Preker, A.S., Ramesh, J., Rockström, J., Salinas, C., Samson, L.D., Sandilya, K., Sly, P.D., Smith, K.R., Steiner, A., Stewart, R.B., Suk, W.A., van Schayck, O.C.P., Yadama, G.N., Yumkella, K., Zhong, M. (2018) The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet* 391(10119): 462-512.

Lavigne, E., Gasparini, A., Wang, X., Chen, H., Yagouti, A., Fleury, M.D., Çakmak, S. (2014) Extreme ambient temperatures and cardiorespiratory

emergency room visits: Assessing risk by comorbid health conditions in a time series study. *Environmental Health* 13(5): 1-8.

Leong, P.F., Labadin, J., Abd Rahman, S.B., Juan, S.F.S. (2011) Quantifying the relationship between the climate and hand-foot-mouth disease (HFMD) incidences. In: 2011 Fourth International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization pp. 1-5. IEEE.

McMichael, A.J., Haines, J.A., Slooff, R., Sari Kovats, R. (1996) Climate change and human health: an assessment (No. WHO/EHG/96.7). World Health Organization.

McMichael, A.J., Woodruff, R.E., Hales, S. (2006) Climate change and human health: present and future risks. *The Lancet* 367(9513): 859-869.

Myers, N. (2002) Environmental refugees: a growing phenomenon of the 21st century. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 357(1420): 609-613.

Öztürk, B., Topaloğlu, B., Sümen, S.G., Turan, C., İşinibilir, M., Aktaş, S., Özen, S. (2018) Jellyfish of the Black Sea and Eastern Mediterranean Waters. Turkish Marine Research Foundation, Publication no: 48, Istanbul, Turkey.

Paci, D. (2014) Human health impacts of climate change in Europe report for the PESETA II project. JRC Scientific and Policy Reports 26494.

Patz, J.A., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., Foley, J.A. (2005) Impact of regional climate change on human health. *Nature* 438(7066): 310-317.

Sarofim, M.C., Saha, S., Hawkins, M.D., Mills, D.M., Hess, J., Horton, R., Kinney, P., Schwartz, J., St. Juliana A. (2016) Ch. 2: Temperature-Related Death and Illness. The Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment. *U.S. Global Change Research Program, Washington, DC*, pp. 43-68, doi: 10.7930/J0MG7MDX.

Sümen, S.G., Bilecenoğlu, M. (2019) Traumatic finger amputation caused by *Lagocephalus sceleratus* (Gmelin, 1789) bite. *Journal of the Black Sea/Medit EnvironMENT* 25(3): 333-338.

Tan, B.Y.Q., Chew, N.W.S., Lee, G.K.H., Jing, M., Goh, Y., Yeo, L.L.L., Zhang, K., Chin, H.K., Ahmad, A., Khan, F.A., Shanmugam, G.N., Chan, B.P.L., Sunny, S., Chandra, B., Ong, J.J.Y., Paliwal, P.R., Wong, L.Y.H., Sagayanathan, R., Chen, J.T., Ng, A.Y.Y. Teoh, H.L., Ho, C.S., Ho, R.C., Sharma, V.K. (2020) Psychological impact of the COVID-19 pandemic on health care workers in Singapore. *Annals of internal Medicine* 173(4): 317-320.

Türkiye Kıyılarında Deniz Seviyesinin Yükselmesinin Kültürel Mirasa Potansiyel Etkileri

A. Ege YILDIRIM^{*1}, C. İrem GENÇER²

¹ A.E. Yıldırım Koruma Planlama, İstanbul, Türkiye

² Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul, Türkiye

*ege@aegeyildirim.com

Özet

İklim değişikliğine bağlı olarak görölen başlıca olumsuz etkilerden biri deniz seviyesinin yükselmesidir. Yapılan araştırmalar, deniz suyu seviyesindeki mevcut yükselme ile orantılı olarak 2100 yılına dek 0,28-0,98 m'lik bir yükselme beklendiğini göstermektedir. Türkiye'nin kıyı yerleşimlerinde 100 m rakımı altında olan ve 0-10 km'lik kıyı hattı içinde kalan kültürel miras alanları deniz seviyesindeki yükselmeden olumsuz etkilenecektir. Kıyı illeri, Türkiye genelindeki toplam sit alanlarının %35'ini barındırmaktadır, ayrıca Dünya Miras Alanları ve tampon bölgelerini içeren 3.022 ha deniz kıyısında yer almaktadır. Bu çalışmada kültürel miras üzerindeki olası etkiler ortaya konulmuş ve deniz suyu yükselmesine yönelik uyum ve azaltım çalışmalarında kültürel mirasın rolü ve korunması için yapılabilecekler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Deniz seviyesinin yükselmesi, Türkiye kültürel mirası, Dünya Miras Alanları, kıyı alanları, iklim değişikliği

Giriş

Deniz seviyesinin yükselmesi ve Türkiye kıyılarına olası etkileri

İklim değişikliğine bağlı olarak görölen başlıca olumsuz etkilerden biri deniz seviyesinin yükselmesidir. IPCC (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli) Raporu'na (2014a) göre, 1901-2010 yılları arasında küresel deniz suyu seviyesi 0,19 m yükselmiştir. Yapılan araştırmalar, deniz suyu seviyesindeki mevcut yükselme ile orantılı olarak 2046-2065 yılları arasında farklı iklim senaryolarına göre 0,17-0,38 m'lik; 2100 yılına dek 0,28-0,98 m'lik bir yükselme beklendiğini göstermektedir (IPCC 2014b). Dolayısıyla, deniz suyu seviyesi 21. yüzyıl boyunca yükselmeye devam edecek, hatta bu, 1971-2010 yılları arasında gözlemlenen deniz suyu seviyesindeki yükselme hızından büyük olasılıkla daha fazla olacaktır (IPCC 2014a).

Deniz suyu seviyesinin yükselmesi dünyanın her yerinde aynı oranda olmayacaktır (IPCC 2014a) ve bu durumun kıyı bölgelere olan etkilerine yönelik küresel ölçekte çalışmalar çok sınırlıdır (Gosling ve diğ. 2011). Bu nedenle deniz seviyesindeki yükselmenin Türkiye için kesin etkilerini saptamak güçtür, ancak yapılan az sayıda çalışma ile bize önemli bulgular sunmaktadır. Bunlar arasında Jetic, Keckes ve Pernetta (1996), Jetic, Milliman ve Sestini (1992) Nicholls ve Hoozemans'ın (1996) Akdeniz havzasında iklim değişikliğinin kıyı bölgelere

olan etkisine ilişkin çalışmaları ve Karaca ve Nicholls'un (2008) deniz suyu yükselmesinin Türkiye kıyılarına olası etkileri çalışması sayılabilir. Bu bağlamda, Harita Genel Müdürlüğü'ne bağlı Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi, Türkiye kıyılarında 1984 yılından beri belirli noktalarda deniz seviyesini ölçmektedir (TUDES 2021). Bu verileri değerlendiren Yıldız ve diğ. (2003), Türkiye'de deniz seviyesi yükselmesinin etkilerinin saptanmasına katkı sağlamaktadır ve bu tür çalışmaların artması beklenmektedir.

Deniz suyu yükselmesinin kıyı formasyonuna çeşitli etkileri bulunmaktadır; başlıca etkiler erozyon, su baskını, çöküntü alanlarının su altında kalması ve tuzlu suyun iç kesimlere ilerlemesidir (Karaca ve Nicholls 2008). Denize doğru genişlemekte olan delta alanlarında deniz seviyesinin yükselmesi bu genişlemeyi yavaşlatacak, hatta bazı yerlerde kıyıların geriye çekilmesine yol açacaktır. Bu durum özellikle tarım alanlarının yoğun olduğu Kızılırmak, Yeşilirmak, Gediz, Seyhan ve Ceyhan gibi deltaların su altında kalmasıyla sonuçlanacaktır. Deniz suyu seviyesinin yükselmesi, fırtına dalgalarının/fırtına kabarması etkisinin kıyılardan iç kesimlere doğru daha fazla hissedilmesine, fırtınaların yıkıcı etkilerinin özellikle Gölcük Körfezi, İzmir Körfezi, Fethiye, Alanya, Mersin, İskenderun gibi koy ve limanlarda artmasına yol açmaktadır. Ayrıca deniz suyu sıcaklığındaki, ve su baskını ve fırtınaların şiddetindeki artış Karadeniz kıyılarını da olumsuz etkileyerek kıyı erozyonunu hızlandırmaktadır (Karaca ve Nicholls 2008). Kuleli'nin (2010) Türkiye kıyılarında 10 m rakımı altında kalan 7.319 km²'lik kıyı alanında topografya, nüfus, gelir, tarımsal üretim verileri üzerinden yürüttüğü risk analizi çalışmasında, deniz suyu yükselmesinden ötürü Marmara kıyılarının nüfus açısından, Akdeniz kıyılarının ise arazi kaybı açısından en yoğun risk altında olduğu ortaya çıkmıştır.

Karaca ve Nicholls (2008) Türkiye'nin deniz suyu seviyesinin yükselmesinden etkilenebilecek alanları iki başlık altında toplamıştır:

1. Bölge: Kıyıların 100 m rakımı altında kalan 0-1 km derinliğindeki kısmı. Deniz seviyesinin 1 m yükselmesi bu bölgede önemli doğrudan ve dolaylı etkiler yaratacaktır.

2. Bölge: Kıyıların 100 m rakımı altında kalan 1-10 km derinliğindeki kısmı. Deniz seviyesinin 1 m yükselmesi bu bölgede genellikle dolaylı etkiler yaratacaktır. Demirköken ve diğ.'nin (2008) çalışmasına göre, Türkiye kıyılarının 100 m rakımı altında kalan kısmı 41.130 km²'lik alan kaplamaktadır.

Bu bölgeleme Türkiye'nin kıyı illerinde deniz seviyesinin yükselmesinden etkilenecek kültürel mirasın saptanması için de önemlidir. Özellikle 1. bölgede yer alan kültürel miras alanları yüksek risk altındadır. Bu çalışmada deniz suyu yükselmesinin Türkiye kıyılarındaki kültürel miras üzerindeki olası etkileri ortaya konulmaktadır. Çalışma sonunda, deniz suyu yükselmesine yönelik uyum ve azaltım çalışmalarında kültürel mirasın rolü ve korunması için yapılabilecekler sunulmuştur.

Kültürel miras ve iklim değişikliği ilişkisi

Hızlanan iklim değişikliği krizinde, birçok risk faktörü kültürel mirası olumsuz etkilemektedir. Bunlar arasında artan sıcaklık, kuraklık, çölleşme ve daha sık ve aşırı hava olaylarının yapılara zarar vermesi; hava kirliliğinin malzemelerin erozyonuna ve bozulmasına yol açması; yükselen deniz seviyesinin, sellere, kıyı erozyonuna ve peyzajların tahrip olmasına, geleneksel kaynaklara ve kültürel alanlara erişimin kaybına sebep olması ve değişen yağış ve nem oranlarının toprak kaymalarına ve tarım döngülerinin bozulmasına yol açması sayılabilir.

Öte yandan, geçmiş deneyim ve bilginin hazinesi olarak kültürel miras, uyum (adaptasyon) ve azaltma stratejilerinde yararlanılması gereken zengin bir kaynaktır (ICOMOS 2019). Bin yıllar boyunca, dalgalanan iklim ve çevre koşulları karşısında insan toplulukları yaşam biçimlerini doğaya uyarlamışlardır. Arkeolojik veriler, yazılı iklim kayıtlarından ve gözlemlerinden çok daha öncesine dayanan iklim değişikliği kanıtları sağlayabilmekte, iklim değişikliği araştırmaları için önemli bilgiler sunmaktadır. İnsanlar topluluklarının geliştirdiği, yerel koşullara ve doğal peyzajdaki değişimlere uyum sağlayabilen duyarlı stratejiler ve gelenekler, yerel olarak uyarlanmış yaklaşımlardan binaların karbondan arındırılmasına ve kentsel alanların geliştirilmesi için düşük karbonlu modeller sağlamaya kadar birçok çağdaş azaltım seçeneğini destekleyebilir. Mevcut yapıların yeniden kullanılması ve güçlendirilmesi, tarihi kentsel peyzajların yerleşim ilkelerinin günümüze uyarlanması, iklim eylemiyle uyumlu kalkınma modelleri sağlamaktadır (Labadi ve diğ. 2021).

Türkiye’de kıyı bölgelerinde yer alan kültürel miras

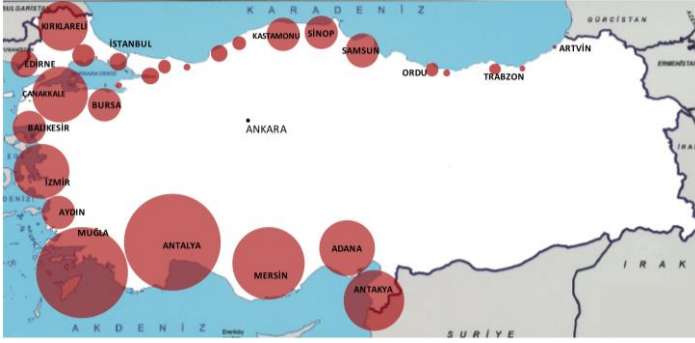
1983 tarihli 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu’na göre; Türkiye’de kültür varlıkları, tabiat varlıkları ve sit alanlarına (Kültür varlığı, tabiat varlığı ve sit alanı tanımları için bkz. 2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıkları Koruma Kanunu) koruma statüsü atfedilmektedir. Sit alanları, arkeolojik, kentsel, tarihi, kırsal, doğal ve karma sit (iki veya daha fazla sit türünün birlikte bulunduğu alanlar) olarak sınıflandırılmaktadır. Kültürel miras ise somut ve somut olmayan bileşenlerden oluşmakta; korunması gerekli tek yapı, yapı grupları ve sit alanları ile toplulukların, grupların ve (kimi durumlarda) bireylerin kültürel miraslarının bir parçası olarak tanımladıkları uygulamalar, anlatımlar, bilgiler, beceriler ve bunlara ilişkin araçlar, gereçler ve kültürel mekanları içermektedir.

Bu çalışmada Türkiye’nin kıyı bölgelerinde yer alan kültürel mirası saptamak için Kültür ve Turizm Bakanlığı ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın yayınladığı veriler kullanılmıştır (Tablo 1). Ancak bu veriler yalnızca arkeolojik, kentsel, tarihi, doğal ve karma sit alanlarının sayıları ile sınırlı olduğu için kültürel mirasın kapsamlı olarak dökümü yapılamamaktadır. Üstelik sit alanlarına ilişkin yüzölçümü verileri bulunmamaktadır. Doğal sit alanları yüzölçümü bakımından daha büyük alan kaplamakla birlikte sayıca daha az bulunmaktadır.

Tablo 1. Türkiye genelinde ve denize kıyısı olan illerdeki sit alanları (KVGGM 2021a)

Türkiye Genelinde Sit Alanları		Denize Kıyısı Olan İllerdeki Sit Alanları	
Sit türü	Sayısı	Sayısı	Oranı
Arkeolojik	19475	7554	%38
Kentsel	331	210	%63
Tarihi	191	71	%37
Karma	149	73	%48
Doğal	2572	207	%8
Toplam	22718	8115	%35

Türkiye’de 81 ilin 28’i, yani yaklaşık 1/3’ü deniz kıyısında bulunmakta, bu iller toplam sit alanlarının %35’ini barındırmaktadır (Tablo 2). 2019 sonu itibarıyla Türkiye’nin denize kıyısı olan illerde 7.554 arkeolojik sit alanı, 210 kentsel sit alanı, 71 tarihi sit alanı, 73 karma sit alanı, ve 207 doğal sit alanı bulunmaktadır. Ancak bu alanların ne kadarının deniz suyu yükselmesi sonucu doğrudan etkilenecek olan 1. bölgede kaldığı bilinmemektedir. Bunun için daha kapsamlı bir çalışma yapılarak iller bazında sit alanlarının yerinin ve yüzölçümünün tespit edilmesi gereklidir. Ayrıca tespit edilen arkeolojik sit alanları ağırlıklı olarak yer üstünde bulunan alanları içermekte, yeraltı ve su altındaki arkeolojik mirasın tümünü kapsamamaktadır. Kırsal sit alanları da mevcut yasal mevzuat kapsamında koruma altında değildir. Dolayısıyla, bu çalışma deniz seviyesinin yükselmesinden etkilenme potansiyeli taşıyan kültürel miras hakkında genel bir fikir vermektedir (Şekil 1).



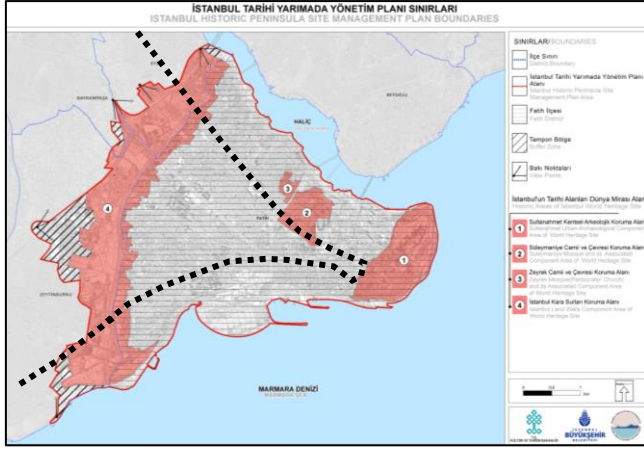
Şekil 1. Türkiye’nin kıyı illerinde yer alan sit alanları (Tablo 2’deki sit alanlarının sayısı orantılı yuvarlaklar ile ifade edilmiştir.)

Sit alanlarının yanı sıra, Türkiye’nin Dünya Miras Alanlarından (<https://www.unesco.org.tr/Pages/125/122/UNESCO-D%C3%BCnya-Miras-%C4%B1-Listesi>) bazıları deniz seviyesinin yükselmesinden doğrudan etkilenecektir. Dünya Miras Listesi’nde yer alan Efes, Truva, Xanthos-Letoon arkeolojik alanları ve İstanbul’un Tarihi Alanları ile bu alanların çevresindeki tampon bölgeleriyle toplam 3.022,22 ha alan 0-10 km’lik kıyı şeridinde 100 m rakımı altında kalmaktadır (UNESCO 2021).

Tablo 2. Türkiye’de denize kıyısı olan illerde bulunan sit alanları
(ÇŞB 2021; KVGGM 2021b)

No	İller	Sit Alanları Türleri					Toplam
		Arkeolojik	Kentsel	Tarihi	Karma	Doğal	
1	Adana	430	3		1	10	444
2	Adapazarı	46	3			1	50
3	Antakya	466	2	2		2	472
4	Antalya	994	18	2	4	34	1052
5	Artvin	5		3	1	1	10
6	Aydın	289	8	4		2	303
7	Balıkesir	274	12	1	1	11	299
8	Bartın	66	1			3	70
9	Bursa	263	17		7	16	303
10	Çanakkale	444	14	10	4	7	479
11	Düzce	34	2			1	37
12	Edirne	247	2		4	15	268
13	Giresun	16	2			8	26
14	İstanbul	69	23	6	10	14	122
15	İzmir	766	47	26	16	13	868
16	İzmit	88	9	1	1	6	105
17	Kastamonu	177	5	2	2		186
18	Kırklareli	448	2	2	2	3	457
19	Mersin	678	2	3	1	13	697
20	Muğla	894	18	1	14	11	938
21	Ordu	40	2		1		43
22	Rize	6		2		4	12
23	Samsun	200	6		1	4	211
24	Sinop	274	1		1	1	277
25	Tekirdağ	219	2	2	1	6	230
26	Trabzon	9	8	4		18	39
27	Yalova	20			1	2	23
28	Zonguldak	92	1			1	94
Toplam							8115

İstanbul’da 0-10 km arasında kalan 1. bölgeye bakıldığında, Hipodrom, Ayasofya, Aya İrini, Küçük Ayasofya Camisi ve Topkapı Sarayı’nı içine alan Sultanahmet Kentsel Arkeolojik Sit Alanı; Süleymaniye Camisi ve çevresini içine alan Süleymaniye Koruma Alanı’nın büyük bir kısmı; Zeyrek Camisi ve çevresini içine alan Zeyrek Koruma Alanı’nın tamamı; İstanbul Kara Surları Koruma Alanı’nın bir kısmı olmak üzere Tarihi Yarımada’nın yarısına yakın bir alan deniz suyu yükselmesinden etkilenecektir (Şekil 2).



Şekil 2. Tarihi Yarımada kıyılarının 1. bölge içinde kalan kısımları (İstanbul Tarihi Alanları Alan Başkanlığı 2021)

Deniz seviyesinin yükselmesinin kültürel mirasa olası etkileri

Deniz seviyesinin yükselmesinin kültürel miras üzerinde fiziksel ve sosyal etkileri bulunmaktadır (Gençer 2017). Kıyı erozyonu, delta alanlarında sel baskınları, su yükselmesi sonucu kıyılardaki kültürel miras alanlarının geri döndürülemez hasara uğraması ya da terk edilmesi, kalıcı olarak bazı alanların su altında kalması; su, nem, tuz ve asit seviyesindeki değişimin tarihi yapılar ve arkeolojik kalıntılar bünyesinde oluşturduğu fiziksel, biyolojik, kimyasal hasarlar; deniz seviyesinin yükselmesine bağlı olarak kıyı alanlarında yeraltı su seviyesinin de yükselmesi, bunun sonucunda zeminde meydana gelen sıvılaşma ile tarihi yapıların zemin ve temellerinde ve gömülü kalıntılarda hasarlar meydana gelmesi başlıca fiziksel etkiler arasında sayılabilir (Colette 2007).

Kıyı bölgelerinde oluşacak erozyonu tahmin etmek güçtür, çünkü ani ve şiddetli olabilir (Ezcurra ve Rivera-Collazo 2018). Özellikle erozyon kısa sürede kültürel miras alanlarını strüktürel yönden olumsuz etkileyebilir, tarihi yapıların çökmesine, taşıyıcı sistemlerinin hasar görmesine yol açabilir. Kıyı erozyonuna bağlı olarak daha önceden gömülü olan alanların açığa çıkması hem bu alanların rüzgar, deniz dalgası gibi dış ortam koşullarına maruz kalmasına hem de yağmalanmasına neden olabilir. Deniz seviyesinin yükselmesi, daha önceden suyla teması olmayan kuru alanların periyodik olarak ıslanma ve kuruma döngüsüne maruz kalmasına, buna bağlı olarak özellikle o bölgede yeraltında bulunan arkeolojik kalıntıların bozulmasına sebep olacaktır. Dahası, tuzlu suyun yükselmesi, tarihi alanların çevresindeki toprak ve suyun kimyasal dengesini değiştirecek, bu da malzemenin bozulmasına, tuz birikmesine, metal elemanların korozyona uğramasına yol açacaktır (Ezcurra ve Rivera-Collazo 2018). Tarihi yapı malzemelerinin daha gözenekli olması, yükselen su seviyesinin duvar ve

döşemelerin daha fazla ıslanmasına, tuzun malzeme bünyesine daha fazla nüfuz etmesine, organik malzemenin daha fazla çürümesine sebep olur (Colette 2007).

Deniz seviyesinin yükselmesi fırtına dalgalarının/fırtına kabarması etkilerinin kıyılardan iç kesimlere doğru daha fazla hissedilmesine yol açacaktır. Böylece rüzgarın aşındırıcı etkisi, rüzgarın taşıdığı tuz ve suyun etkisi ile nemin gözenekli malzemenin bünyesine nüfuz etmesi, tarihi yapılarda ve arkeolojik alanlarda sabit ve hareketli yüklerinin değişmesi sonucunda strüktürel hasar ve çökme meydana gelebilir; ayrıca aşınmaya bağlı olarak yapı yüzeylerinde daha hızlı bozulma oluşacaktır (Colette 2007).

Deniz suyunun yükselmesine bağlı sosyal etkiler arasında, kıyılardaki bazı kültürel miras alanlarına erişimin kısıtlanması veya tamamen ortadan kalkması; nüfus hareketleri ve göç; gelenekler, ritüeller ve sosyal etkileşimin yok olması (insan-mekan ilişkisinin kopması); somut olmayan kültürel mirasın da olumsuz etkilenmesi, hatta bazılarının yok olması; bazı yerleşim alanlarının ve geçim kaynaklarının su baskını sonucu yok olmasının yarattığı ekonomik olumsuzlukları saymak mümkündür (Colette 2007).

Tespit ve uyum çalışmaları

Kültürel mirasın iklim değişikliğinin önemli sonuçlarından biri olan deniz seviyesinin yükselmesi karşısında incinebilirliğinin tespiti için öncelikle alanın korunması gerekli değerlerinin anlaşılması ve saptanması gereklidir. Bu da belgeleme çalışmalarının yapılmasını, ulusal envanter kayıtlarının güncel tutulmasını gerektirir. Sonraki adımlar, önce ulusal ve/veya bölgesel düzeyde, ardından yerel düzeyde iklim değişikliğinin kültürel miras alanına etkisinin değerlendirilmesidir. Yapılan risk analizi sonucunda incinebilirliği saptamak mümkün olacaktır (Sesana ve diğ. 2020).

Kültürel mirasın ne kadar incinebilir olduğunu saptamak, onu korumak, erken uyarı sistemleri kurmak ve iklim değişikliğine uyum sağlamak için doğru stratejiler belirlemeyi sağlayacaktır. Ancak, iklim etkileri altında kültürel mirasın yönetimi için yapılacak tüm araştırmaların tamamlanmasını beklemeyi göze alamayız. Bu nedenle, öncelikle iklim verileri ile kültürel mirasın konumunu çakıştıran risk ve incinebilirlik haritaları hazırlanarak, kültürel mirasın farklı türlerini tehdit eden risklere ilişkin genel bir taslak çerçeve oluşturulabilir (Colette 2007).

Kültürel mirasa yönelik iklim değişikliği modellerinin oluşturulması ve iklim değişikliği etkilerinin gözlenmesi; aşırı hava olaylarından ötürü meydana gelebilecek çökme ve yığılmaların öngörülmesi ve meydana gelebilecek hasarların anlaşılabilir olarak iyileştirme çalışmalarının yapılması gibi önleyici ve düzeltici eylemler yürütülmelidir (Colette 2007). Ayrıca iklim değişikliği etkilerinin ve yapılarda meydana gelebilecek bünyesel hasarların anlaşılması;

yapı malzemeleri ve yapım tekniklerinin suya ne kadar dayanıklı olduğunun tespiti; yenilenebilir malzeme stoklarının değerlendirilmesi ve geleneksel yapım tekniklerinin canlandırılması ve geliştirilmesi; tarihi yapıların aşırı hava olayları altında performanslarının tespit edilmesi; hassas malzemeler ile dayanıklı malzemeler arasındaki arayüzün anlaşılması gibi konularda bilgi toplanmalı ve paylaşılmalıdır (Colette 2007).

Tüm bu çalışmaların eşgüdümlü yürütülebilmesi için yönetim planları hazırlanmalı ve yönetim planları sürekli yeniden değerlendirilip yeni iklim verilerine göre güncellenebilir olmalıdır. Alana özgü eylem kararları yönetim stratejilerine adapte edilmeli, acil durum eylem planları hazırlanarak sürekli gözlem ve bakım sağlanmalıdır (Ezcurra ve Rivera-Collazo 2018).

Bütün bu eylemlerin yanı sıra, kentsel, kırsal ve doğal alanların, binaların, taşınabilir kültür varlıklarının bütünleşik ele alındığı stratejilerin belirlenmesi çok önemlidir (Colette 2007). Peyzaj yaklaşımı olarak tanımlanan bu bütünleşik yaklaşım stratejisi, kültürel miras korumanın her adımında uygulanmalıdır. Korunacak alanların belirlenmesinde bu yaklaşım dikkate alınmalı, kültürel miras alanlarının çevresinde tampon bölgeler oluşturulmalıdır. Özellikle tampon bölgeler ve varsa doğal koruma alanları, kültürel miras alanlarının iklim değişikliğinin etkilerine karşı korunmasında gereklidir. Bu tür alanlar kıyı erozyonunu önlemeye yönelik yüksek maliyetli mühendislik çözümleri yerine suların yükselmesine karşı ağaçlardan doğal kıyı bariyerleri oluşturulması, geleneksel su kanalları etrafındaki duvarların güçlendirilmesi, deniz kıyısındaki yerleşimlerde varsa tuzla bataklıklarının doğal bariyer olarak kullanılması gibi çözümler sunabilir.

Tartışma ve Sonuçlar

İklim değişikliğinin, hem genel olarak hem de denizlere etkisi özelinde, kültürel miras ile ilişkisi henüz yeterince anlaşılmamaktadır. Bu görece yeni çalışma alanında hızla bilgi ve eylem kapasitesi geliştirilmelidir. Bu doğrultuda, aşağıda tanımlanan hareket alanlarında öneriler sunulmuştur.

İklim değişikliğinin küresel etkilerinin doğurduğu zorluklara karşı bölgesel düzeyde mücadele edilmeli; afetlere hazırlık ve afet yönetimiyle bütünleşik stratejiler geliştirilmeli, bilgi, inovasyon ve eğitim ile etkin afet planlaması yapılmalıdır.

Disiplinlerarası bilimsel araştırmalara destek verilmeli, doğa bilimlerini ve sosyal, coğrafi bilimleri buluşturan, tarihsel iklim değişikliklerini 'derin zaman' perspektifinden inceleyen, tipolojik pilot çalışmalarla desteklenen bir süreç izlenmelidir.

Kapsamlı, eşgüdümlü, bütünleşik iklim-miras politikaları geliştirilmelidir. Kentsel, bölgesel, ulusal kalkınma plan-proje-karar-uygulamalarında doğal ve

kültürel alanların bütün olarak korunması ve yönetimi için savunuculuk, kamuoyu bilinçlendirme ve kapasite artırımı önemlidir. Bu çalışmaların etkili olması için, üniversite-endüstri, kamu-özel sektör işbirlikleri yaratılmalı; merkezi ve yerel yönetimler, ilgili kurumlar, yerel uzmanlar dahil çeşitli paydaşlar (Örneğin Çevre ve Şehircilik ile Kültür ve Turizm bakanlıkları; TUDES Harita Genel Müdürlüğü; TÜBİTAK; TÜDAV, Doğal Hayatı Koruma Derneği, ICOMOS Türkiye vb. sivil inisiyatifler; UNDP Türkiye) birlikte örgütlenmelidir.

Yerel kapasite, kaynaklar, ve yerelde uyum sağlama stratejileri geliştirilmelidir. Yerel yöneticiler mevcut yönetim planlarını ve eylemlerini iklim değişikliğinin etkilerine göre adapte etmelidir.

Uluslararası işbirliği artırılmalı, uluslararası bilgi, eylem, dayanışma ağlarına katılım, bilgi ve deneyim paylaşımı özendirilmelidir. Ortak denizlerin kıyılarındaki yerleşimler ve miras alanları, paylaşılan deniz alanları (örneğin Ege Denizi için Yunanistan) öncü çalışmaların konusu olabilir. Yunanistan'ın, Uluslararası İklim Değişikliği ve Kültür Mirası Konferansı (Atina 2019) ile başlattığı girişime (<https://ccich.gr/>), T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı'nın da katılımı için destek verilebilir. Bugün bu konuda faal olan çeşitli uluslararası ağlar ve çalışmalar arasında: UNESCO Dünya Mirası ve İklim Politikası (<https://whc.unesco.org/en/climatechange/>), BM Özel Raportörü'nün Kültürel Haklar ve İklim Değişikliği 2020 Raporu (www.ohchr.org/EN/Issues/CulturalRights/Pages/ClimateChange.aspx), ICOMOS'un 'İklim Değişikliği ve Kültür Mirası' Çalışma Grubu (www.icomos.org), İklim-Miras Ağı (climateheritage.org), Dünya Mirası için İncinebilirlik Endeksi (CVI) (cvi-heritage.org), Google'ın 'Heritage on the Edge' projesi (artsandculture.google.com/project/heritage-on-the-edge), Avrupa Miras Yeşil Belgesi sayılabilir.

Gerek yerel, gerek ulusal ve uluslararası düzeyde olsun, tüm dünyanın birlikte el vermesi gereken konulardan biri de, iklim eyleminde kültürel ve doğal mirasın da dikkate alınması, korunması ve faydalanılmasıdır.

Kaynakça

Colette, A. (2007) Climate Change and World Heritage. UNESCO World Heritage Centre, Paris.

ÇŞB (2021) Sit alanları: <https://www.csb.gov.tr/sit-alanlari> (erişim tarihi 10.01.2021).

Demirkesen, A.C., Evrendilek, F., Berberoğlu, S. (2008) Quantifying coastal inundation vulnerability of Turkey to sea-level rise. *Environmental Monitoring and Assessment* 138: 101-106.

Ezcurra, P., Rivera-Collazo, I.C. (2018) An assessment of the impacts of climate change on Puerto Rico's cultural heritage with a case study on sea-level rise. *Journal of Cultural Heritage* 32: 198-209.

Gençer, C.İ. (2017) Kültürel mirasın korunmasında iklim değişikliğinin oluşturduğu tehditler. *Mimar İst* 58: 24-30.

Gosling, S.N., Warren, R., Arnell, N.W., Good, P., Caesar, J., Bernie, D., Lowe, J.A., van der Linden, P., O'Hanley, J.R., Smith, S.M. (2011) A review of recent developments in climate change science. Part II: The global-scale impacts of climate change. *Progress in Physical Geography* 35(4): 443-464.

ICOMOS. (2019) The Future of Our Pasts: Engaging Cultural Heritage in Climate Action, ICOMOS, Paris.

IPCC. (2014a) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Assessment Report 5 Climate Change 2014 (eds. Core Writing Team, Pachauri, R.K., Meyer, L.A.). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

IPCC. (2014b) Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. In: Part A: Global and Sectoral Aspects. In: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Assessment Report 5 Climate Change 2014 (eds. Core Writing Team, Pachauri, R.K., Meyer L.A.). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

İstanbul Tarihi Alanları Alan Başkanlığı. (2021) Yönetim Planı Alanı Analitik Paftalar: <http://www.alanbaskanligi.gov.tr/analytic.html> (erişim tarihi 10.01.2021).

Jeftic, L., Keckes, S., Pernetta, J.C., (1996) Climatic Change and the Mediterranean: Environmental and Social Impacts of Climate Change and Sea-Level Rise in the Mediterranean Region. Edward Arnold, London.

Jeftic, L., Milliman, J.D., Sestini, G. (1992) Climate Change in the Mediterranean. Edward Arnold, London.

Karaca, M., Nicholls, R.J. (2008) Potential implications of accelerated sea-level rise for Turkey. *Journal of Coastal Research* 242: 288-298.

Kuleli, T. (2010) City-based risk assessment of sea level rise using topographic and census data for the Turkish coastal zone. *Estuaries and Coasts* 33: 640-651.

KVGM (2021a) Türkiye Geneli Sit Alanları İstatistikleri: <https://kvmgm.ktb.gov.tr/TR-44973/turkiye-geneli-sit-alanlari-istatistikleri.html> (erişim tarihi 10.01.2021).

KVGM (2021b) İllere Göre Sit Alanları İstatistiği: <https://kvmgm.ktb.gov.tr/TR-44974/illere-gore-sit-alanlari-istatistigi.html> (erişim 2 Ocak 2021).

Labadi, S., Giliberto, F., Rosetti, I., Shetabi, L., Yıldırım, E. (2021) ICOMOS. (2021) Heritage and the Sustainable Development Goals: Policy Guidance for Heritage and Development Actors. ICOMOS, Paris.

Nicholls, R.J., Hoozemans, F.M.J. (1996) The Mediterranean: vulnerability to coastal implications of climate change. *Ocean & Coastal Management* 31(2-3): 105-132.

Sesana, E., Gagnon, A. S., Bonazza, A., Hughes, J.J. (2020) An integrated approach for assessing the vulnerability of World Heritage Sites to climate change impacts, *Journal of Cultural Heritage* 41: 211-224.

TUDES (2021) Türkiye Ulusal Deniz Seviyesi İzleme Sistemi: <https://tudes.harita.gov.tr/> (erişim 10 Ocak 2021).

UNESCO. (2021) World Heritage Centre: <http://whc.unesco.org/> (erişim 12 Ocak 2021).

Yıldız, H., Demir, C., Gürdal, M.A., Akabalı, O.A., Demirkol, E.Ö., Ayhan, M.E., Türkoğlu, Y. (2003) Antalya-II, Bodrum-II, Erdek ve Menteş mareograf istasyonlarına ait 1984-2002 yılları arası deniz seviyesi ve jeodezik ölçülerin değerlendirilmesi. Harita Genel Komutanlığı, *Harita Dergisi* 70(17).

Plastik Kirliliği ve İklim Değişikliği

Ülgen AYTAN

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Deniz Biyolojisi Anabilim Dalı, Rize, Türkiye
ulgen.kopuz@erdogan.edu.tr

Özet

Okyanus ve denizlerimizdeki en hızlı büyüyen çevresel tehdit haline gelen plastik kirliliği gezegenimizin iklimi için de ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Çok büyük bir kısmı fosil yakıtlardan yapılan plastikler ham maddenin çıkarılmasından, rafinerizasyonuna, geri dönüşümünden doğada son bulmasına kadar yaşam döngüsünün her aşamasında sera gazı emisyonuna yol açmaktadır. Plastik üretiminin önümüzdeki yıllarda katlanarak artacağı göz önünde bulundurulduğunda, plastikten kaynaklanan sera gazı emisyonlarının küresel sıcaklık artışını 1,5°C'nin altında tutma kabiliyetimizi tehlikeye attığı düşünülmektedir. Küresel ölçekte plastiklerin üretiminin kontrol altına alınması, plastik atıkların işlenmesi ve bertarafının iyileştirilmesi ve (mikro) plastiklerin iklim üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi önem arz etmektedir

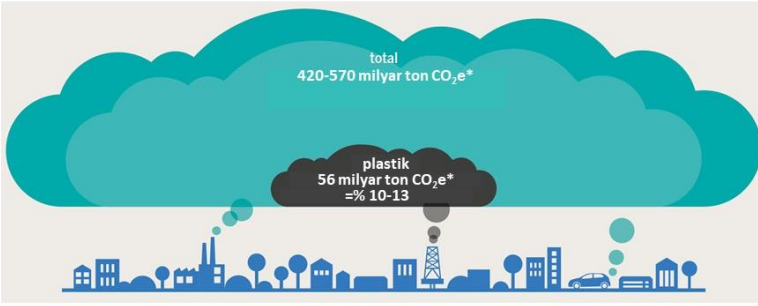
Anahtar Kelimeler: Plastik, mikroplastik, deniz kirliliği, sera gazı, iklim değişikliği

Giriş

İnsanoğlunun dünyaya olan etkisinin en üst düzeylere çıktığı Sanayi Devrimi'nden günümüze kadar gelen ve sürmekte olan jeolojik çağ "Antroposen" olarak adlandırılmaktadır. Büyük Sanayi devriminden bu yana, küresel atmosferdeki sera gazı konsantrasyonu artmaya devam etmiştir. Ciddi küresel ısınma etkilerine neden olan sanayileşme öncesine kıyasla CO₂, CH₄ ve N₂O konsantrasyonları sırasıyla %41, %160 ve %20 artmıştır (IPCC 2013). Özellikle 1950-2010 periyodunda sera gazları küresel ortalama sıcaklığı 0,5-1,3°C arttırmış ve devam eden emisyonların daha fazla küresel ısınmaya yol açacağı tahmin edilmektedir (IPCC 2013).

Sera gazı konsantrasyonundaki artışın neden olduğu küresel ısınma, tüm insanlık için önemli bir çevresel sorun haline gelmiştir. 2015 Paris İklim Anlaşması'nda, ülkeler küresel ısınmayı 2°C'nin altına düşürmeyi ve sıcaklık artışını 1,5°C'nin altında sürdürme çabalarını sürdürmeyi taahhüt etmişlerdir. 2018'de Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli'nde, küresel ısınmayı 1,5°C seviyelerin altında tutmak için küresel sera gazı emisyonlarının 2030'a kadar %45 azalması ve en geç 2050'ye kadar sıfır net emisyonla ulaşılmak zorunda olduğu sonucuna varılmıştır (IPCC 2018). İklim politikasında, dikkat büyük ölçüde yenilenebilir enerjiye ve daha temiz ulaşım geçişine odaklanılsa da, 2010'da küresel sera gazı emisyonunun %30'dan sorumlu endüstri de önemli bir kısmı oluşturmaktadır. Plastik üretimi bu emisyonun, en büyük ve en hızlı büyüyen katılımcılarından

biridir. Yaklaşık %99'u doğal gaz ve ham petrol gibi fosil yakıtlardan yapılan plastikler, yaşam döngüsünün her aşamasında sera gazı emisyonlarına neden olmaktadır. Plastik üretimi büyüdükçe petrol, gaz ve kömür gibi fosil yakıtların araştırılması, çıkarılması, taşınması ve rafine edilmesinden ötürü emisyonlar artacaktır. Plastik üretiminin önümüzdeki 20 yıl içinde ikiye katlanması, 2050'lerin başında ise dört katına çıkması beklenmektedir. Bu artışın beklendiği gibi gerçekleşmesi durumunda plastik üretiminin 2050'ye kadar 56 milyar ton CO₂ emisyonuna neden olacağı, diğer bir deyişle küresel ısınmayı 1,5°C'nin altında tutmak için kalan küresel karbon bütçesinin %10-13'üne mal olması ön görülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. 2050'ye kadar küresel ısınmayı 1,5°C'de tutabilmek için kalan maksimum CO₂ bütçesinde plastik üretiminin payı (*CO₂ eşdeğer= farklı sera gazlarının iklim etkisini standartlaştırmak için ölçüm birimi) (Plastic Atlas 2019' dan değiştirilmiştir).

Plastik kirliliğinin iklim değişikliği üzerine etkisi

İnsan nüfusundaki hızlı artış ve tüketim alışkanlıklarındaki değişimi ifade eden “Büyük Hızlanma” döneminde en göze çarpan insan kaynaklı faaliyetlerden biri, plastik üretimi, kullanımı ve bertarafıdır. Hafif, kolay işlenebilir, her alana uygulanabilir, dayanıklı ve düşük maliyetli olmaları dolayısı ile plastikler ambalajlardan (poşet, şişe vb.) giysilere, ekipman parçalarından yapı malzemelerine kadar bir çok sektörde kullanılmaya başlanmıştır (Derraik 2002). 1950'lerde 2 milyon ton olan küresel plastik üretimi, 2018'de 359 milyon tona ulaşmıştır (Plastics Europe 2019). Yoğun üretim, yaygın uygulamalar ve plastiklerin yanlış yönetimi, bu uzun ömürlü ve bozunmaya karşı dayanıklı materyalin çevreye girme şansını arttırmaktadır. Bugüne kadar üretilen plastik atıkların yalnızca %9'u geri dönüştürülmüş, %12'si yakılırken, geri kalanı %79'u vâhşi depolama sahalarında veya doğal ortamda birikmiştir (Şekil 2). Bu sentetik malzeme çevre boyunca o kadar yaygın hale gelmiştir ki, plastik, insan faaliyetlerinin Dünya sisteminin durumu, dinamikleri ve geleceği üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğu ortaya çıkan dönem olan Antroposen'in jeolojik bir işareti olarak kabul edilmektedir (Waters ve diğ. 2016).



Şekil 2. Doğada biriken plastikler (Hemşin Vadisi, RİZE © Ülgen AYTAN).

Yapılan hesaplamalara göre yıllık plastik üretiminin %2-5'i okyanus ve denizlerde sonlanarak, deniz çöplerinin %80'inden fazlasını, plaj çöplerinin ise %50-80'inini oluşturmaktadır (Derriak 2002). Okyanus ve denizlere kıyısı olan ülkelerden giren 12.7 milyon ton plastiğin 2025'e kadar 250 milyona ulaşması beklenmektedir (Jambeck ve diğ. 2015). Okyanus ve denizlere çeşitli yollar ile ulaşan plastik atıklar bir dizi fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreç sonucunda her geçen gün daha ufak parçalara ayrılarak mikro- (<5 mm) (Şekil 3) ve nanoplastiklere (<100 nm) dönüşmektedirler (Arthur ve diğ. 2009). Plastikler ayrıca mikroskobik boyutta imal edilen ya da denize girmeden önce üretim, kullanım veya bakım sırasında büyük boyutlu plastiklerin aşınmasından kaynaklanan <5 mm küçük plastikler olarak da denizel ortama girebilmektedir (Boucher ve Friot 2017).



Şekil 3. Denizel ortamdan izole edilen mikroplastiklerden bazıları (© Ülgen AYTAN).

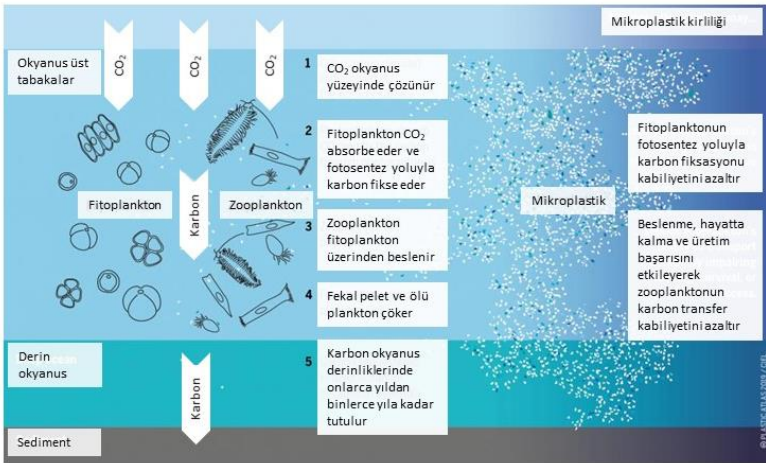
Plastikleri cazip kılan dayanıklı ve bozulmaya karşı dirençli olma özellikleri onların aynı zamanda doğada tamamen yok olmasını neredeyse imkânsız hale getirerek, daha fazla alanı kontamine etmelerine neden olmaktadır. Üretimleri aşamasında uygulama alanlarına bağlı olarak ilave edilen toksik kimyasallar ve buldukları çevredeki kalıcı hidrofobik kirleticileri tutma kapasiteleri plastikleri bir kirletici kokteyli haline getirmektedir (Koelmans 2015). Okyanus ve denizlerde plankton ile eş boyuta inen mikroskobik boyuttaki plastikler besin zannedilerek tüketilebilmekte ve canlı yaşamını olumsuz etkilemektedir (Wright ve diğ. 2013). Besin zincirine girerek ilerleyen plastik ve ilişkili kirleticiler (Setala ve diğ. 2014) kontamine olmuş su ürünleri yoluyla insan sağlığını için de risk teşkil etmektedir (Sá ve diğ. 2018).

Plastiklerin ekolojik, sosyo-ekonomik ve sağlık üzerine etkileri son yıllarda yapılan çalışmalar ile yoğun şekilde ele alınırken, plastiklerin küresel sera gazı emisyonlarına ve iklim değişikliğine göz ardı edilemeyecek katkısı da son zamanlarda (mikro) yapılan çalışmalarla el alınmaya başlanmıştır. Küresel plastik üretiminin hızla yaygınlaşmasıyla, plastik endüstrileri endüstriyel sera gazı emisyonlarının en önemli ve hızla büyüyen kaynağı haline gelmiştir (Shen ve diğ. 2020). Ham petrolün yaklaşık %4'ünün plastik hammaddesi olarak kullanıldığı göz önünde bundurduğunda, 2015 yılında kuyudan rafineriye sera gazı emisyonunun, petrolün ağırlıklı ortalama karbon yoğunluğu belirlenerek 68 milyon ton CO₂ eşdeğeri (CO₂e) olarak tahmin edilmiştir (Masnadi ve diğ. 2018). Sera gazı emisyonları sadece üretim sürecinden değil, aynı zamanda plastik hammaddelerin çıkarılması ve taşınmasından, plastik atık yönetiminden ve plastiklerin çevrede sonlanmasıyla da kaynaklanmaktadır (Hamilton ve diğ. 2019). Plastikler atıldığında, plastiklerin küresel iklim üzerindeki etkisi durmamakta, aslında, iklim üzerindeki etkilerinin çoğu, kullanım süresinin sona ermesinden sonra ortaya çıkmaktadır (Royer ve diğ. 2018).

Her yıl milyonlarca ton plastik atık çeşitli kaynaklardan okyanus ve denizlere ulaşmakta ve UV ile başlayan ve devam eden fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçlerle ile aşınmakta ve parçalanmaktadır. Yakın zamanda yapılan bir çalışma ile plastiklerin okyanus ve denizlerde bozunması sırasında önemli ölçüde sera gazları açığa çıktığı ortaya konmuştur (Royer ve diğ. 2018). Çalışmada en yaygın yedi plastik türü (polikarbonat, akrilik, polipropilen, polietilen tereftalat, polistiren, yüksek yoğunluklu polietilen ve düşük yoğunluklu polietilen) deniz suyu ve güneşe maruz bırakıldıktan sonra sera gazı çıkışları ölçülmüş ve plastik yüzey alanının okyanustaki hava koşullarına ve parçalanmaya bağlı olarak arttığı ve buna bağlı olarak metan ve etilen gaz çıkışında ciddi artış olduğu gözlenmiştir. Çalışmada en yüksek oranda gaz açığa çıkaran plastik türünün okyanus ve denizlerde en sık rastlanılan plastiklerden biri olan düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) olduğu tespit edilmiştir. Mikroplastik formundaki LDPE'nin, aynı ağırlıktaki LDPE pelet formunda olduğundan 488 kat daha fazla metan ürettiği ortaya konmuştur (Royer ve diğ. 2018). Metan, sera gazlarının içinde %20'lik bir kısmı oluştursa da, ısınmada CO₂'ye oranla 21 kat daha güçlü bir gazdır. Küresel

olarak güneş ışınımına maruz kalan plastiğin toplam yüzeyini (çöplüklerde, kıyı şeridinde, okyanuslarda vb.) düşünüldüğünde, sera gazları içinde metan gazının güçlü etkisi iklim değişikliği üzerinde katlanarak artmaktadır. Plastikten salınan bir diğer sera gazı olan etilen ise daha da büyük miktarlarda üretilmekte ve sera gazı bütçesine önemli katkı yapmaktadır. Sonuç olarak, plastik çevrede bozundukça gittikçe daha fazla sera gazı salınması beklenmektedir. Çevresel bozunmadan kaynaklanan emisyon plastik yakma ile karşılaştırıldığında nispeten küçük olmasına rağmen (yılda yaklaşık 2122 ton CO₂e) göz ardı edilemeyecek süren bir süreçtir. Beklendiği şekilde 2050'ye kadar plastik üretiminin dörde katlanması ve bunun sonucu olarak okyanus ve denizlerde sonlanacak plastik atıkların miktarındaki ciddi artış, deniz yüzeyinde de ve kıyı şeridinde aşınmaya, parçalanmaya devam edecek olan bu plastiklerden kaynaklanacak sera gazı emisyonu dolayısıyla ile endişe vericidir (Shen ve diğ. 2020).

Okyanus ve denizlerde yaygın mikroplastik varlığı, karbon fiksasyonu üzerinde de olumsuz etki oluşturabilmektedir (Şekil 4). Fitoplankton ve zooplankton, atmosferden karbon tutulmasına ve atmosfere yeniden girmesini önleyerek derin denizlere taşıyan mikrobiyal karbon pompasında önemli bir rol oynamaktadır. Yapılan çalışmalar mikroplastik kirliliğinin fitoplanktonun fotosentez yoluyla karbonu fiksasyonu yeteneğini azaltabileceğini göstermiştir (Sjollema ve diğ. 2016; Nolte ve diğ. 2017). Pelajik bölgenin yeni katılımcısı haline gelen mikro-ve nanoplastikler fitoplankton ile ışık rekabetine girerek de fotosentezi olumsuz etkileyebilir.



Şekil 4. Mikroplastiklerin biyolojik karbon pompasına potansiyel etkisi (Plastic Atlas 2019'dan değiştirilmiştir).

Yapılan laboratuvar çalışmaları mikroplastiklerin zooplanktonun metabolik hızı, beslenme davranışı, üreme başarı oranı ve hayatta kalma oranını olumsuz etkilediğini ortaya koymuştur (Bottorel ve diğ. 2019). Dünya genelinde yapılmış

sınırlı sayıda çalışma ile doğal ortamından toplanmış zooplankton türlerinde mikroplastik tüketimi tespit edilmiştir (Sun ve diğ. 2017; Desforjes ve diğ. 2015; Aytan ve diğ. 2020). Ülkemizde Karadeniz’de yakın zamanda yapılan bir çalışma ile özellikle hamsi gibi planktivor balıkların ana besini oluşturan kopepod türlerinde mikroplastik tüketimi tespit edilmiştir (Aytan ve diğ. 2020). Aynı çalışmada kopepodların fekal peletlerinde de mikroplastiklere rastlanmış olması Karadeniz gibi üretimin sınırlı bölgede gerçekleştiği bir ekosistemde karbon akışı için endişe vericidir (Aytan ve diğ. 2020). Fekal peletlerin akışı, karbonun (antropojenik atmosferik karbon dahil) okyanus sedimanına biyolojik transferinin önemli bir bileşenidir. Yapılan deneysel çalışmalar mikroplastiklerin zooplankton fekal peletlerinin özelliklerini ve batma oranlarını değiştirdiğini, dolayısıyla mikroplastik tüketiminin fekal peletler yoluyla karbonun derin denize transferinin azaltılabileceğini ortaya konmuştur (Cole ve diğ. 2016; Wieczorek ve diğ. 2019). Mikroplastik tüketimi, polimer yoğunluğuna bağlı olarak fekal peletleri yüzeyde daha uzun süre kalmasına ve bakteriler tarafından üst tabakalarda dekompose edilerek ve CO₂’in tekrar atmosfere geçmesine neden olabilir (Wieczorek ve diğ. 2019).

İklim değişikliğinin plastik kirliliği üzerine etkisi

19. yüzyılın ortalarından bu yana, atmosferik sıcaklıkta ortalama $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ’lik bir artış olmuş ve bu ısınma denizel ortamda mercanlarda ağarma, okyanus asitleşmesi ve deniz buzullarının erimesi gibi bir dizi etkiyle ilişkilendirilmiştir (Welden ve Lusher 2017). İklim değişikliğinin belirtileri yalnızca atmosferdeki ısınmanın bir sonucu değil, atmosfer, hava, kara ve okyanusların termal özellikleri arasındaki etkileşimle ilgilidir (IPCC 2013). Sıcaklığın sirkülasyon, tuzluluk ve deniz sıcaklığı üzerine en çok tartışılan etkisi, buzun erimesi ve buzul azalma hızının artmasıdır. Kutup bölgelerindeki buz erimesinin, denizdeki plastik atıkların dağılımı üzerinde bir dizi etkiye sahip olduğu tahmin edilmektedir. Buz tabakalarının mevsimsel genişlemesi ve daralmasının mikroplastik akışına katkıda bulunduğu inanılmaktadır. Su donarken mikroplastikler buz içinde hapsolmakta, eridikçe tekrar denizel ortama salınmaktadır (Lusher ve diğ. 2015). Birçok polimerin yoğunluğunun deniz suyundan daha düşük veya eşit olması dolayısıyla plastikler yüzeyde ve/veya su kolonunda askıda kalarak akıntılar aracılığıyla uzun mesafelere taşınabilmektedir. Buzun erimesine bağlı olarak tatlı su girdisi olan yerlerdeki deniz suyu yoğunluğundaki azalmanın plastik atıkların batma hızını arttırması beklenmektedir. Yüksek buharlaşma alanlarında ise artan su yoğunluklarına bağlı olarak plastiklerin su kolonunda ve/veya yüzey sularında daha uzun süre kalması ön görülmektedir (Welden ve Lusher 2017). Okyanus ve denizlerdeki plastiklerin dağılımı değerlendirilirken araştırmacılar tarafından nöstonik plastiklerin; düşük su yoğunluğuna sahip alanlarda yüzeyde kalma süresinin azalacağı su yoğunluğuna sahip bölgelerde ise bu sürenin artacağı hesaba katmalıdır.

Kutuplardan tatlı su girdisi dolayısıyla değişen yoğunluk nedeniyle vertikal karışımda, sirkülasyon hızında ve yüksek enlemlerdeki yağış rejimi gibi

hidrolojik döngüde değişimler beklenmektedir. Sirkülasyonda meydana gelen değişimler dolayısıyla ısının Dünya da dengesiz dağılması rüzgar düzenlerini değiştirerek yüzey suyu hareketlerinde değişimlere neden olması beklenmektedir. Rüzgar hızı ve yönündeki değişiklikler, yüzey sularının yanı sıra filamentlerin ve girdapların konumu ve buna bağlı olarak yüzen makro- ve mikroplastik dağılımını değiştirebilir. Yine artan rüzgar hızına bağlı olarak bazı bölgelerde artan dikey karışım deniz dibinde mikroplastiklerin miktarının artmasına sebep olabilir (Kukulka ve diğ. 2012; Reisser ve diğ. 2014). Bunun yanısıra, daha önce sedimana ulaşmış olan mikroplastikler rüzgarla kıyıya yakın sularda karıştırılarak yeniden süspansen olabilir (Floderus ve Pihl 1990). Kıyı sistemlerindeki bu değişiklikler mikplastiklerin açık deniz alanlarına taşınmasını da kolaylaştırabilir.

İklimsel değişime bağlı olarak deniz yüzey suyu sıcaklığında fırtına şiddetinde, sel ve yağış miktarında artışı beklenmektedir. Buna bağlı olarak okyanus ve denizlere karalardan giren ve denizde kaybedilen plastik atıkların miktarında olması beklenen artışın yanı sıra, değişen sirkülasyon ve kıyısal morfoloji dolayısıyla da plastiklerin girişinde, dağılımında ve akümülyasyonunda değişim olması beklenmektedir (Welden ve Lusher 2017).

Sonuç ve Öneriler

Okyanus ve denizler gezegenimizin en büyük aktif karbon havuzudur ve küresel iklim değişikliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Plastiklerin her geçen gün artan tüketimi ve yanlış yönetimi nedeniyle okyanus ve denizlerde plastik kirliliği giderek daha büyük bir tehdit haline gelmektedir. Plastiklerin sera gazı emisyonlarının sonuçlarıyla ilgili sınırlı bilgi olmasına rağmen, mevcut veriler, plastiklerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının iklim etkilerinin önemli olduğuna ve özellikle okyanusların karbon tutma yeteneğine etki edeceğine işaret etmektedir. İklim değişikliğine bağlı olarak yağış, sel, fırtına sıklığı ve şiddetinde artış sonucu okyanus ve denizlere girecek plastik miktarında ciddi artış beklenmesi denizel ortamdan uzaklaştırılması neredeyse imkânsız bu kalıcı kirleticinin deniz ekosistemi ve iklim değişikliğine etkileri göz önünde bulundurulduğunda endişe vericidir. Plastik kirliliğinin sera gazı emisyonlarına ve iklim değişikliğine olan katkısı küresel ölçekte acilen göz önünde bulundurulması etkisi detaylı olarak araştırılmalı, emisyon azaltma stratejileri formüle edilmeli ve buna karşılık gelen politikalar küresel olarak uygulanmalıdır. (Mikro) Plastik krizini çözmek ve çevresel etkilerini minimuma indirmek için küresel plastik üretiminin kontrol altına alınması, plastik atıkların işlenmesi ve bertarafının iyileştirilmesi ve küresel ölçekte (mikro) plastiklerin iklim üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi önem arz etmektedir.

Kaynakça

Arthur, C., Baker, J., Bamford, H. (2009) Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects, and Fate of Microplastic Marine

Debris, National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Memorandum NOS-OR&R-30. Tacoma, Washington, USA, 9-11 September 2008.

Aytan, U., Esensoy, F.B., Şentürk, Y., Ağırbaş, E., Valente, A. (2020) Presence of microplastics in zooplankton and planktivorous fish in the southeastern Black Sea In Marine Litter in the Black Sea. (eds., Aytan, U. Pogojeva, M., Simeonova, A.). Turkish Marine Research Foundation (TUDAV) Publication No: 56, Istanbul, Turkey. pp 314-325.

Bergmann, M., Gutow, L., Klages, M. (eds.) (2015) Marine Anthropogenic Litter. Springer Open, Switzerland, doi: 10.1007/978-3-319-16510-3.

Bottorell, Z.L.R., Beaumont, N., Dorrington, T., Steinke, M., Thompson, R.C., Lindeque, P.K. (2019) Bioavailability and effects of microplastics on marine zooplankton: A review. *Environ Pollut* 245: 98-110.

Boucher, J., Friot D. (2017) Primary Microplastics in the Oceans: A Global Evaluation of Sources. IUCN, Gland, Switzerland.

Cole, M., Lindeque, P.K., Fileman, E., Clark, J., Lewis, C., Halsband, C., Galloway, T.S. (2016) Microplastics alter the properties and sinking rates of zooplankton faecal pellets. *Environ Sci Technol* 50: 3239-3246.

Derraik, J.G.B. (2002) The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Mar Pollut Bull* 44: 842-852.

Desforges, J.P.W., Galbraith, M., Ross, P.S. (2015) Ingestion of microplastics by zooplankton in the Northeast Pacific Ocean, *Arch Environ Contam Toxicol* 69: 320-330.

Floderus, S., Pihl, L. (1990) Resuspension in the Kattegat: impact of variation in wind climate and fishery. *Estuarine, Coastal Shelf Sci* 31: 487-498.

Geyer, R., Jambeck, J.R., Law, K.L., 2017. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Sci. Adv.* 3: e1700782, doi: 10.1126/sciadv.1700782.

Hamilton, L.A., Feit, S., Muffett, C., Kelso, M., Rubright, S.M., Bernhardt, C., Schaeffer, E., Moon, D., Morris, J., Labbe-Bellas, R. (2019) Plastic & Climate: the Hidden Costs of a Plastic Planet. Center for International Environmental Law (CIEL). <https://www.ciel.org/plasticandclimate> (erişim tarihi 10.02.2021).

IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Assessment Report 5 Climate Change 2013 (eds. Stocker,

T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M. Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

IPCC (2018) Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty (eds. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H.O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P.R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J.B.R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M.I., Lonnoy, E., Maycock, T. Tignor, M., Waterfield, T.). In Press.

Jambeck, J.R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T.R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Law, K.L. (2015) Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 347 (6223): 768-771.

Kukulka, T., Proskurowski, G., Morét-Ferguson, S., Meyer, D.W., Law, K.L. (2012) The effect of wind mixing on the vertical distribution of buoyant plastic debris. *Geophys Res Lett* 39(7): L07601, doi: 10.1029/2012GL051116.

Lusher, A. L., Tirelli, V., O'Connor, I., Officer, R. (2015) Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples. *Sci Rep* 5: 14947, doi: 10.1038/srep14947.

Masnadi, M.S., El-Houjeiri, H.M., Schunack, D., Li, Y.P., Englander, J.G., Badahdah, A., Monfort, J.C., Anderson, J.E., Wallington, T.J., Bergerson, J.A., Gordon, D., Koomey, J., Przesmitzki, S., Azevedo, I.L., Bi, X.T., Duffy, J.E., Heath, G.A., Keoleian, G.A., McGlade, C., Meehan, D.N., Yeh, S., You, F.Q., Wang, M., Brandt, A.R. (2018) Global carbon intensity of crude oil production. *Science* 361: 851e853, doi: 10.1126/science.aar6859.

Nolte, T.M., Hartmann, N.B., Kleijn, J.M., Garnæs, J., Van, d.M.D., Jan, H.A., Baun, A. (2017) The toxicity of plastic nanoparticles to green algae as influenced by surface modification, medium hardness and cellular adsorption. *Aquat Toxicol* 183: 11e20, doi: 10.1016/j.aquatox.2016.12.005.

Plastic Atlas (2019) Facts and figures about the world of synthetic polymers. Heinrich Böll Foundation, Berlin, Germany, and Break Free From Plastic. https://www.boell.de/sites/default/files/202001/Plastic%20Atlas%202019%20nd%20Edition.pdf?dimension1=ds_plastikatlas (erişim tarihi 15.02.2021).

Plastics Europe (2016) Plastics - the facts 2016. <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/3-plastics-facts-2016> (erişim tarihi 15.01.2021).

Plastics Europe (2019) Plastics – the Facts 2018: An analysis of European plastics production, demand and waste data. Mecut adres: https://www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL_web_version_Plastics_the_facts2019_14102019.pdf (erişim tarihi 15.01.2021).

Reisser, J., Slat, B., Noble, K., du Plessis, K., Epp, M., Proietti, M., de Sonnevile, J. Becker, T., Pattiaratchi, C. (2014) The vertical distribution of buoyant plastics at sea. *Biogeosciences Discussions* 11(11): 16207-16226.

Royer, S.J., Ferron, S., Wilson, S.T., Karl, D.M. (2018) Production of methane and ethylene from plastic in the environment. *PLOS ONE* 13, doi: 10.1371/journal.pone.0200574-0200574.

Sá, L.C., Oliveira, M., Ribeiro, F., Rochad, T. L., Futter, M. N. (2018) Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: What do we know and where should we focus our efforts in the future? *Science of the Total Environment* 645: 1029-1039.

Setälä, O., Fleming-Lehtinen, V., Lehtiniemi, M. (2014) Ingestion and transfer of microplastics in the planktonic food web. *Environ Pollut* 185: 77-83.

Shen, M., Huang, H., Chen, M., Song, B., Zeng, G., Zhang, Y. (2020) (Micro)plastic crisis: Un-ignorable contribution to global greenhouse gas emissions and climate change. *Journal of Cleaner Production* 254: 120138, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120138.

Sjollema, B., S., Redendo-Hasselerharm, P., Leslie, A., H., Kraak, H.S., M., Vethaak, A.,D. (2016) Do plastic particles affect microalgal photosynthesis and growth? *Aquatic Toxicology* 170: 259-261.

Sun, X., Li, Q., Zhu, M., Liang, J., Zheng, S., Zhao, Y. (2017) Ingestion of microplastics by natural zooplankton groups in the northern South China Sea, *Mar Pollut Bull* 115: 217-224.

Wagreich, M., Williams, M., Zhisheng, A., Grinevald, J., Odada, E., Oreskes, N., Wolfe, A.P. (2016) The Anthropocene is functionally and stratigraphically distinct from the Holocene. *Science* 80: 351, doi: 10.1126/science.aad2622.

Waters, C.N., Zalasiewicz, J., Summerhayes, C., Barnosky, A.D., Poirier, C., Gauszka, A., Cearreta, A., Edgeworth, M., Ellis, E.C., Ellis, M., Jeandel, C., Leinfelder, R., McNeill, J.R., Richter, D.D., Steffen, W., Syvitski, J., Vidas, D., Welden, N., Luser, A. (2017) Impacts of changing ocean circulation on the distribution of marine microplastic litter. *Integrated Environmental Assessment and Management* 13(3): 483-487.

Wieczorek, A.M., Croot, P.L., Lombard, F., Sheahan, J.N., Doyle, T.K. (2019) Microplastic ingestion by gelatinous zooplankton may lower efficiency of the biological pump. *Environ Sci Technol* 53: 5387-5395.

Wright, S.L., Thompson, R.C., Galloway, T.S. (2013) The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review. *Environmental Pollution* 178: 483-492.



TÜRK
DENİZ
ARAŞTIRMALARI
VAKFI

ISBN: 978-975-8825-52-3