Polymerization
Quarterly, 2020
Volume 10, Number 1
Pages 19-27
ISSN: 2252-0449

Where are the Missing Plastics at Sea?

Maryam Ghaemi
Iranian National Institute of Oceanography and Atmospheric Sciences,
P.O. Box 14155-4781, Tehran, Iran

Received: 22 August 2019, accepted: 14 October 2019

Abstract

The global load of marine floating plastic litter in surface waters is much smaller than expected based on the loads of mismanaged plastic entering the marine environment. Therefore, identifying marine sinks that hold plastic litter is essential to assessing the risks, impacts, and plan interventions to manage this new facing problem. Recent research has shown that mangrove trees occupy the intertidal fringe and develop a partially emerged root system, pneumatophores as a sieve, forming an effective filter that trap different objects and litters transported by currents, like floating plastic objects. In other words, mangroves act as sinks for marine plastic litter as well as a barrier for anthropogenic debris (entering from land to the sea) before they are dispersed in the marine environment. Furtheremore, some large plastics after released into the environment, might undergo a variety of biotic and abiotic processes through which they become smaller and smaller plastic particles instead of disappearing. These small pieces of plastic particles are called microplastics and are less than 5 mm in size and therefore they are not visible to the naked eye.

Key Words

**missing plastics,
microplastic,
respiratory roots,
mangrove,
sea**

(*) To whom correspondence should be addressed.
E–mail: mghaemi@inio.ac.ir

مقالات علمی

بسپارش
فصلنامه علمی
سال دهم، شماره ۱،
صفحه ۲۷-۱۹، ۱۳۹۹
ISSN: 2252-0449

پلاستیک‌های گم‌شده در دریا کجا هستند؟

مریم قائمی

تهران، پژوهشگاه ملی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، صندوق پستی ۴۷۸۱- ۱۴۱۵۵

دریافت: ۱۳۹۸/۵/۳۱، پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۲۲

چکیده

مقدار زباله‌های پلاستیکی شناور در آب‌های سطحی دریاهای جهان، نسبت به مقدار مورد انتظار پلاستیک‌هایی که در اثر سوء مدیریت به محیط‌های دریایی وارد می‌شوند، به‌مراتب کمتر است. بدین دلیل، شناسایی چاهه‌های دریایی که پلاستیک‌های گم شده را نگه می‌دارند، برای ارزیابی خطرها، اثرها و برنامه‌ریزی برای مدیریت این مشکل جدید ضرورت دارد. نتایج پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهد، درختان مانگرو که در حاشیه بین جزر و مدی قرار گرفته‌اند، با گسترش سامانه ریشه‌ای خود، هوابرها یا ریشه‌های تنفسی، فیلتر موثری را تشکیل می‌دهند که پلاستیک‌های حمل شده با جریان‌های دریایی را به دام می‌اندازند. به عبارتی، مانگروها به عنوان چاهه برای زباله‌های پلاستیکی دریایی و همچنین سدی برای زباله‌های بشرزاد از خشکی به دریا پیش از پراکندن در محیط دریایی عمل می‌کنند. افزون بر این، بخشی از پلاستیک‌های بزرگ پس از رهاسازی در محیط زیست، ممکن است دست‌خوش انواع فرایندهای زیستی و غیرزیستی شوند که از راه آن‌ها به جای ناپدید شدن، کوچک‌تر و کوچک‌تر می‌شوند. این قطعات پلاستیکی ریز، میکروپلاستیک یا ریزپلاستیک نامیده می‌شوند که اندازه‌ای کمتر از ۵ mm دارند و بدین علت با چشم غیرمسلح دیده نمی‌شوند.

مریم قائمی

واژگان کلیدی

پلاستیک‌های گم‌شده،
میکروپلاستیک،
ریشه‌های تنفسی،
مانگرو،
دریا

* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:
mghaemi@inio.ac.ir

مقدمه

محصولات پلاستیکی تقریباً در تمام جنبه‌های زندگی روزانه کاربردهای گسترده‌ای پیدا کرده‌اند. کل تولید پلاستیک در جهان تقریباً از ۱/۷ میلیون تن در سال ۱۹۵۰ به ۲۹۹ میلیون تن در سال ۲۰۱۳ یعنی ۲۰۰ برابر افزایش یافته است [۱]. پلاستیک‌ها به‌دلیل وزن کم، دوام زیاد و قیمت کم بسیار استفاده می‌شوند. سرعت بازیافت کم و دفع نادرست زباله‌های پلاستیکی باعث تجمع پلاستیک‌ها در محیط زیست شده است.

پلاستیک‌های نسبتاً بزرگ پس از رهاسازی در محیط زیست، ممکن است دست‌خوش انواع فرایندهای زیستی و غیرزیستی شوند که به جای ناپدیدشدن، ریزتر می‌شوند [۲]. این خرده‌های پلاستیکی ریز که میکروپلاستیک یا ریز پلاستیک نامیده می‌شود، اندازه‌ای کمتر از ۵ mm دارند. اخیرا ثابت شده است، این ریزذرات پلاستیکی عمدتاً مشکلات جدیدی را ایجاد می‌کنند:

۱- آن‌ها به اندازه کافی کوچک هستند که توسط آبزیان جذب شوند و در زنجیره غذایی تجمع یابند،

۲- آن‌ها آلاینده‌های آلی پایدار و فلزات سنگین را روی سطوح خود جذب می‌کنند و بنابراین، دسترس‌پذیری زیستی این آلاینده‌ها را افزایش می‌دهند [۳] و

۳- میکرو پلاستیک‌های بلعیده‌شده توسط پرندگان، تهدید بزرگی برای زنجیره غذایی هستند. زیرا آن‌ها به سطوح بالاتر زنجیره منتقل می‌شوند [۴]. نتایج برخی مطالعات نشان داد، که پرندگان فلامینگو مهاجر که از آب‌های آلوده و رسوب‌خورهای ساوری-ماهول (Sewri-Mahul) و تین (Thane) تغذیه می‌کردند، در معرض خطر قرار گرفته‌اند [۵،۶].

تاکنون مطالعات بسیاری درباره منشأ، مسیرها و توزیع میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های دریایی با استفاده از داده‌های حاصل از نواحی ساحلی تا مناطق عمیق دریایی از قطب شمال تا قطب جنوب و از آب‌های شیرین تا موجودات دریایی انجام شده است [۱۰-۷]. همه این مطالعات به روشنی تأیید می‌کنند، میکروپلاستیک‌ها در تمام دریاهای جهان (آب، رسوب و آبزیان) پراکنده شده‌اند. به‌عنوان مثال، اخباری‌زاده و همکاران به بررسی خطرهای احتمالی میکروپلاستیک‌ها و عناصر سمی موجود در رسوبات ساحلی جزیره خارک، قطب اصلی صادرات نفت ایران پرداختند. بیشترین غلظت میکروپلاستیک‌ها، ۲۰±۲۱۷ مورد در ۲۰۰ g رسوب خشک گزارش شد که به‌دلیل نزدیکی به یک کارخانه پتروشیمی عنوان شد. در حالی که کمترین غلظت، ۲۰±۵۹ مورد در ۲۰۰ g رسوب خشک در منطقه دوردستی مشاهده شد. آن‌ها هر دو منبع زمینی (پساب فاضلاب خانگی و صنعتی) و دریایی (وسایل ماهیگیری) را به‌عنوان منابع احتمالی ورود میکروپلاستیک‌ها در منطقه مورد مطالعه عنوان کردند [۱۱]. در منطقه شمال شرقی اقیانوس آرام، میکروالیاف پلاستیکی در معده ماهی Ammodytes personatus تقریبا ۱/۵٪ و در شاه ماهی (Clupea pallasii) حدود ۲/۰٪ برآورد شده است [۱۲].

با این حال، تعداد مطالعات متمرکز بر آلودگی میکروپلاستیک‌ها در بوم‌سازگان (ecosystem) دریایی منحصر به فرد، مانند صخره‌های مرجانی، مانگروها، علف‌های دریایی و غیره، در مقایسه با مطالعات انجام‌گرفته در چهار اقیانوس بزرگ جهان آرام، اقیانوس اطلس، هند و قطب شمال اندک بوده است. سرنوشت تجزیه و ته‌نشینی میکروپلاستیک‌ها در این بوم‌سازگان به‌دلیل حاصلخیزی زیاد و منبع یا چاهه (sink) بودن آن‌ها، با سایر محیط‌های دریایی تفاوت درخور توجهی دارد [۱۳].

میکروپلاستیک‌ها در جنگل‌های مانگرو

مانگرو به بوم‌سازگانی اطلاق می‌شود که از زمین‌های مرطوب حد واسط مناطق جزر و مدی دریا همراه با مجموعه‌هایی از گیاهان بی‌نظیر و جانوران خاصی تشکیل شده است که در مناطق ساحلی و کنار تالابی این بوم‌سازگان تکثیر پیدا می‌کنند. این جنگل‌های دریایی در میان خورها، تالاب‌های ساحلی و زوایای مناسب در مصب رودخانه‌ها در نواحی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری یافت می‌شوند. مانگروها گیاهان گلدار خشکی‌زی هستند که به‌علت عدم توانایی در رقابت با سایر گونه‌های گیاهان در خشکی به ساحل دریا روی آورده‌اند. آن‌ها با تحمل شرایط دشوار زیستی حد فاصل دریا و خشکی در این منطقه چیرگی یافته‌اند [۱۴]. گیاهان موجود در این بوم‌سازگان مجموعه‌ای از گیاهان هالوفیت و مقاوم به نمک دریا هستند [۱۵]. فرایندهای فیزیولوژیک که به مانگروها اجازه می‌دهد، در محیطی دائماً در حال تغییر به زندگی خود ادامه دهند، در میان گیاهان منحصر به فرد است. مانگروها باید با اثرهای خشک‌کنندگی خورشید و باد، عدم تعادل اسمزی ناشی از شوری زیاد آب دریا، کمبود اکسیژن و خاک اشباع از آب مقابله کنند. همچنین، باید قابلیت تحمل اثر جزر و مد، امواج شدید و نوسانات روزانه و فصلی دما را داشته باشند. در پاسخ به چنین شرایطی، مانگروها سازگاری‌های ویژه‌ای را برای استقرار، رشد و تولید مثل کسب کرده‌اند [۱۶]. ریشه این گیاهان دارای عملکردهای زیادی برای این گیاه است. ریشه از گیاه حمایت می‌کند و برای آن مواد مغذی

ضروری و اکسیژن فراهم می‌آورد. در بسترهای نرم و لجنی، وجود سامانه گسترده‌ای از ریشه‌ها برای مستقیم نگه‌داشتن درخت در زمین لازم و ضروری است. در نتیجه بسیاری از این گیاهان، در مقایسه با آنچه که روی زمین است، دارای سامانه‌های بیشتر و گسترده‌تری در زیر زمین هستند. ریشه‌های کابلی‌شکل منتشرشده که به‌وسیله ریشه‌های لنگری‌شکل پایین‌رونده سوراخ می‌شوند، وظیفه نگه‌داری گیاه را به‌عهده دارند. از این شبکه تعداد زیادی ریشه‌های تغذیه‌ای کوچک جوانه می‌زند که وظیفه آن‌ها تغذیه از خاک غنی موجود در زیر لایه سطحی زمین است.

نوع سومی از ریشه‌ها نیز وجود دارند که وظیفه آن‌ها جمع‌آوری اکسیژن است. معمولاً اکسیژن بسیار کمی در داخل گل و لای پوشیده از آب در بوم‌سازگان مانگرو وجود دارد. از راه حل‌های گیاهان مانگرو برای رفع این مشکل آن است که بخشی از ریشه‌های خود را از سطح گل و لای و آب بیرون بیاورند. این ریشه‌ها که با سلول‌های تنفسی ویژه‌ای به نام لنتیکول پوشیده شده‌اند، ریشه‌های هوایی نامیده می‌شوند.

جنگل‌های مانگرو از نظر بوم‌شناختی اهمیت زیادی دارند، زیرا افزون بر غنی‌سازی آب‌های ساحلی و تثبیت کربن، خطوط ساحلی را نیز در برابر فرسایش، طوفان، سیلاب و سونامی محافظت و تثبیت می‌کنند [۱۷]. این جنگل‌ها، زیستگاه گونه‌های مختلف آبزی و حیوانات وابسته به آن هستند. بدین دلیل دارای تنوع زیستی بسیار زیادی هستند و در زمره حاصلخیزترین بوم‌سازگان‌های جهان قرار دارند [۱۷،۱۸]. جنگل‌های مانگرو در بین انسان‌ها به‌عنوان منبع غذایی (شکار، ماهیگیری، و برداشت صدف) و منبع تامین چوب و علوفه شناخته شده‌اند [۱۸]. همچنین، آن‌ها در کاهش کربن دی‌اکسید موجود در اتمسفر نقش موثری دارند.

در اولین مطالعه که درباره وضعیت آلودگی میکروپلاستیک‌ها در بوم‌سازگان‌های ساحلی مانگرو انجام شد، Nor و Obbard، میکروپلاستیک‌ها را در رسوبات هفت زیستگاه مانگرو بین جزر و مدی در سنگاپور شناسایی کردند [۱۹]. نتایج این پژوهش نشان داد، اکثریت میکروپلاستیک‌ها از نظر شکل لیفی بودند. در مجموع، چهار نوع پلیمر از جمله پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، نایلون و پلی‌وینیل کلرید شناسایی شدند. میان فراوانی میکروپلاستیک‌ها و توزیع اندازه رسوب هیچ ارتباطی مشاهده نشد. وجود میکروپلاستیک‌ها احتمالاً در اثر تخریب زباله‌های پلاستیکی دریایی انباشته شده در مانگروست. پراکندگی مکانی غلظت میکروپلاستیک‌ها در رسوبات مانگرو بین ۱۲/۰ تا ۶۲/۷ ذره در کیلوگرم وزن رسوب خشک متغیر بود. آن‌ها در پایان نتیجه گرفتند، مطالعات بیشتری برای بررسی اثرهای میکروپلاستیک‌ها بر جانداران این زیستگاه و نیز هر گونه اثر سمی آن‌ها لازم است.

Domínguez و همکاران، در سال ۲۰۱۷ طرحی را برای مطالعه وجود میکروپلاستیک در مانگروهای واقع در خلیج Guayaquil در کشور اکوادور انجام دادند [۲۰]. اهداف آن‌ها، ارزیابی پراکندگی میکروپلاستیک در بخش‌های مختلف بوم‌سازگان مانگرو و تعیین احتمال بلع میکروپلاستیک توسط آبزیان بود. میکروپلاستیک‌ها بیشتر در رسوبات نواحی بین جزر و مدی و زیر جزر و مدی یافت شدند. الیاف، فراوان‌ترین نوع میکروپلاستیک در آب، رسوبات بستر و نواحی بین جزر و مدی بودند. مصرف میکروپلاستیک‌ها در موجودات آبزی با وجود انواع مختلف میکروپلاستیک‌ها در دستگاه گوارش گونه‌های مختلف آبزی تعیین شد. نتایج حاکی از وجود میکروپلاستیک‌ها در محیط‌های مصبی و اثرهای سوء بر گونه‌های آبزی بود.

Li و همکاران در سال ۲۰۱۹، دریای نیمه‌بسته مائوئی (Maowei) در شمال غربی دریای چین جنوبی را به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب کردند [۲۱]. سه رودخانه اصلی Maoling، Qin و Dalan به دریای مائوئی می‌ریزند و مساحتی حدود ۱۳۵ km^2 را در بر می‌گیرند. اهداف مطالعه آن‌ها عبارت بود از:

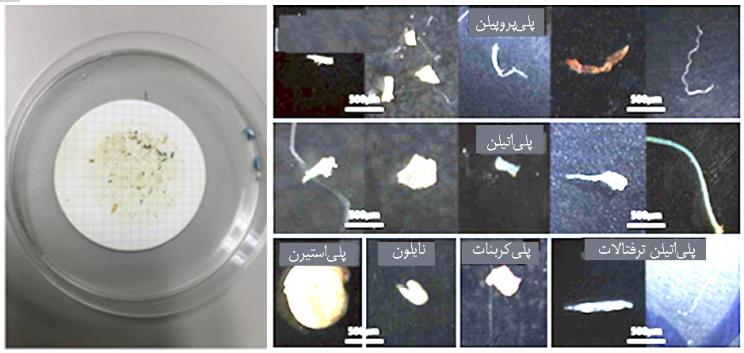
۱- تشخیص تفاوت‌های بین میکروپلاستیک‌ها در رسوبات مانگروهای واقع در مصب رودخانه و آن‌ها که در ورودی‌های دریای نیمه‌بسته قرار گرفته بودند،

۲- تعیین فراوانی و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها در ریشه‌گاه (ریزوسفر) و سایر نواحی در رسوبات مانگرو و

۳- بررسی ارتباط ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی رسوبات و محتوای میکروپلاستیک.

نتایج این پژوهش نشان داد، فراوانی میکروپلاستیک‌ها در مصب رودخانه‌ها بسیار کمتر از آن‌هایی بود که در مناطق ورودی اقیانوس (مقادیر از ۸±۵۲۰ تا ۱۷±۹۴۰ قطعه بر کیلوگرم) قرار داشتند. شکل ۱، میکروپلاستیک‌های جمع‌آوری‌شده در رسوبات مانگروهای واقع در دریای نیمه‌بسته مائویی را نشان می‌دهد. اغلب میکروپلاستیک‌های مشاهده‌شده در رسوبات مانگرو از نظر نوع پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌استیرن، رنگ سفید-شفاف و اندازه کوچک‌تر از ۱ mm بودند. افزون بر این، برخی عوامل دیگر، از جمله ریزوسفر-غیرریزوسفر و مقدار ماده آلی، توزیع و ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها را تعیین می‌کرد. به‌طور ویژه:

۱- درصد میکروپلاستیک‌های رنگی به‌دلیل فعالیت‌های میکروبی در ریزوسفر بیشتر بود و



شکل ۱- میکروپلاستیک‌های جمع‌آوری‌شده در رسوبات مانگرو واقع در دریای نیمه‌بسته مائویی [۲۱].

۲- روابط خطی مثبت بین حجم منافذ ماده آلی ذره‌ای آزاد، ماده آلی ذره‌ای اشغال‌شده و فراوانی میکروپلاستیک‌های بسیار کوچک (mm ۱>) مشاهده شد.

ناجی و همکاران در سال ۲۰۱۹، مطالعه‌ای در باره میکروپلاستیک‌های کوچک‌تر از mm ۱> (S-MPPs) در رسوبات بوم‌سازگان مانگروی خور خوران در ایران انجام دادند. میانگین تعداد میکروپلاستیک‌ها در پنج ایستگاه نمونه‌برداری‌شده به ترتیب ۱۹/۵ تا ۳۴/۵ ذره در کیلوگرم رسوب خشک در بندر گلکان و بندر لنگه گزارش شد. به‌طور کلی، میکروالیاف و به دنبال آن قطعه‌ها (fragments) متداول‌ترین نوع میکروپلاستیک‌های جداشده در هر سایت بودند (به ترتیب ٪۵۶ < و ٪۳۵~). این مطالعه اولین شواهد از آلودگی میکروپلاستیک در مانگروهای واقع در سواحل ایرانی خلیج فارس محسوب می‌شود. برای درک، پایش و نیز جلوگیری از آلودگی بیشتر میکروپلاستیک در این منطقه، انجام مطالعات طولانی‌مدت ضروری است [۲۲].

درشت‌پلاستیک‌ها در جنگل‌های مانگرو

مقدار کمتر زباله‌های پلاستیکی شناور در آب‌های سطحی دریاهای جهان، نسبت به مقدار مورد انتظار پلاستیک‌هایی که در اثر سوء مدیریت به محیط دریایی وارد می‌شوند [۲۵-۲۳]، توجه را به ضرورت شناسایی چاه‌های دریایی سوق داده است که پلاستیک‌های گم‌شده (missing plastic) را نگه می‌دارند.

ته‌نشینی در سواحل به همراه سایر فرایندهای چاهه از جمله قطعه‌قطعه‌شدن (fragmentation) [۲۶]، ته‌نشینی (sedimentation) [۲۷] و فروبری (ingestion) [۲۸] یا به‌طور کلی، برهم‌کنش با جانداران دریایی [۲۹] به‌عنوان مهم‌ترین چاهه آلودگی‌های پلاستیکی در دریا شناخته شده است.

درختان مانگرو که در حاشیه بین جزر و مدی قرار گرفته‌اند، از راه گسترش سامانه ریشه‌ای خود، هوابرها (pneumatophore)، فیلتر موثری را تشکیل می‌دهند که انرژی و تلاطم امواج را تضعیف می‌کنند [۳۰]. احتمالاً اشیای حمل‌شده به‌وسیله جریان‌هایی مانند اشیای پلاستیکی شناور را به دام می‌اندازند. با این حال، نقش هوابرها یا ریشه‌های تنفسی به‌عنوان تله برای زباله‌های رسیده به سامانه از راه دریای آزاد هنوز آزمایش نشده است. در واقع، تنها تعداد انگشت‌شماری از مطالعات، آلودگی پلاستیک را در جنگل‌های مانگرو گزارش کرده‌اند که بیشتر آن‌ها روی میکروپلاستیک‌ها در رسوبات مانگرو تمرکز داشته‌اند [۳۴-۱۹،۳۱].

زباله‌های پلاستیکی می‌توانند به‌طور مستقیم در نقش بوم‌شناختی جنگل‌های مانگرو در بوم‌سازگان مصبی تداخل ایجاد کنند، به‌ویژه بدین دلیل که می‌توانند ماه‌ها نگه داشته شوند و در برابر رخدادهای شدید جزر و مدی و ورود رودخانه‌های فصلی مقاومت کنند. این یافته در مطالعه‌ای به‌دست آمد که در جنگل‌های مانگرو برزیل درباره زباله‌های پلاستیکی نشان‌دارشده انجام شد [۳۵]. با وجود این، اطلاعات مربوط به درشت‌پلاستیک‌ها کمیاب است، اجزایی که احتمالاً به‌وسیله هوابرها به دام می‌افتند و از لحاظ جرم نیز سهم بیشتری دارند. Ivar do Sul و همکاران [۳۵] اشیای پلاستیکی ردیابی‌شده در جنگل مانگرو را بررسی کردند. آن‌ها دریافتند، قابلیت نگه‌داری، بسته به هیدرودینامیک جسم متفاوت است. به‌عنوان مثال، کیسه‌های پلاستیکی خیلی راحت‌تر از بطری‌های پلاستیکی نگه داشته می‌شوند.

Cordeiro و Costa مانگروهای مصب Sao Vicente در کشور برزیل را بررسی کردند، جایی که زباله‌ها بیشتر از منابع زمینی و رودخانه‌ای وارد می‌شدند. آن‌ها مشاهده کردند، بیشترین مقدار زباله از نظر چگالی، پلاستیک (٪۶۲/۸۱) و از نظر وزن، چوب (٪۵۵/۵۳) بود. آن‌ها مشکلات مربوط به تجمع زباله‌ها را این‌گونه عنوان کردند، هزینه‌هایی که از راه مرگ و میر گونه‌های جانوری و از بین

رفتن زیستگاه‌ها به بوم‌سازگان وارد می‌شود و همچنین هزینه‌های مستقیمی که به اقتصاد محلی از راه اجتناب توریست‌ها از بازدید این جنگل‌ها وارد می‌شود [۱۸].

Singar گزارش کرد، پلاستیک‌هایی که در نتیجه ریختن زباله‌های شهری و/یا جریانات جزر و مدی وارد خورهای مانگرو بمبئی می‌شدند، در بین ریشه‌ها گیر می‌افتند [۳۶]. به‌عنوان مثال، ٪۷۱–۵۵ از زباله‌های زیست‌تخریب‌ناپذیر در داخل مانگروی ماهیم (Mahim) در بمبئی پلاستیک بود. این زباله‌ها مانع از ورود جریانات جزر و مدی به مانگرو و نیز از مانگرو به بیرون می‌شد. تجمع پلاستیک‌ها، که مانع جریان منظم آب بوده، از اصلی‌ترین دلایل سیل بمبئی در سال ۲۰۰۵ عنوان شد [۳۷].

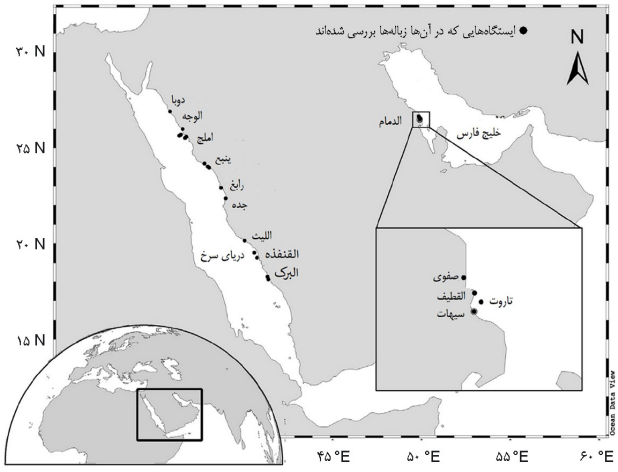
در جنگل‌های مانگرو در جزیره‌ای در ساحل پاپوآی گینه نو، مقادیر زیاد و غیرمعمولی زباله مشاهده شد که یک قسمت m ۵۰ آن دارای وزن ترکیبی kg ۸۸۹ زباله دریایی (٪۹۰ پلاستیک) بود. گرچه این جزیره بسیار کم جمعیت است، اما در نزدیکی مناطق پرجمعیت و جریان‌های غالب دریایی قرار دارد. این بار زباله زیاد به‌عنوان مانع اساسی در احیای جنگل‌های مانگرو بود، بدین دلیل که باعث خفگی نهال‌ها و ایجاد مشکلاتی در کیفیت آب خلیج اطراف می‌شد [۳۸].

در مطالعه Debrot و همکاران، عملکرد جنگل‌های مانگرو به‌عنوان تله و فیلتر برای زباله‌ها عنوان شد. زباله‌های بزرگ‌تر مانند کیسه‌های پلاستیکی، بطری و طناب در میان ریشه‌ها به دام افتادند و زباله‌های کوچک‌تر به عمق جنگل نفوذ کردند [۳۹]. با وجود این، در حالی که این مطالعات برخی برهم‌کنش‌های متفاوت بین ریشه‌های مانگرو و انواع مختلفی از زباله‌های پلاستیکی را نشان می‌داد، فقط پلاستیک‌های رهاشده در داخل جنگل را در نظر می‌گرفتند و بار زباله‌های پلاستیکی به دام افتاده از دریای آزاد را گزارش نمی‌کردند.

با توجه به اهمیت جنگل‌های مانگرو، مدیریت موثر خطرهای تهدیدکننده این بوم‌سازگان‌ها، از جمله آلودگی‌های پلاستیکی، ضرورت دارد. پلاستیک‌های به‌دام افتاده به‌وسیله ریشه‌های این درختان می‌توانند از راه جلوگیری از تبادل گازها و همچنین آزادسازی مواد شیمیایی مضر جذب‌شده روی سطح آن‌ها در محیط اطراف، هم روی درخت و هم روی جانوران اطراف اثرهای منفی بگذارند [۴۰]. با این حال، نقش جنگل‌های مانگرو به‌عنوان تله برای پلاستیک‌های دریایی تا حد زیادی ناشناخته مانده است. Martin و همکاران در سال ۲۰۱۹ این فرضیه را آزمایش کردند که ریشه‌های هوایی مانگرو، نقش فیلتر مؤثری را برای درشت‌پلاستیک‌هایی ایفا می‌کنند که از آب‌های آزاد مجاور به مانگرو وارد می‌شوند [۴۱]. آن‌ها همچنین نقش محرک‌ها و منابع احتمالی دریایی و به‌طور کلی زباله‌های بشرزاد را در اثرگذاری بر توزیع زباله‌ها در جنگل‌های مانگرو بررسی کردند. آن‌ها این کار را با انجام سرشماری بصری در جنگل‌های مانگروی عربستان سعودی واقع در مناطق عمدتاً دورافتاده یا غیرمسکونی، جایی‌که پلاستیک‌ها به‌طور مشخص منشأ دریایی داشتند، هم در دریای سرخ و هم خلیج فارس انجام دادند. جنگل‌های مانگروی عربستان سعودی تقریباً در کل طول سواحل ملی (به استثنای شمالی‌ترین مناطق، از شمال ۲۸N) به ترتیب m^2 ۴۸/۴۲ و km^2 ۱۰/۳۶ در سواحل دریای سرخ و خلیج فارس (بخش سرزمینی عربستان سعودی) گسترش یافته‌اند [۴۲].

گونه حرا مانگروی غالب در دریای سرخ و خلیج فارس است، در حالی که گونه چندل تنها به‌طور پراکنده و محدود در مناطق معدودی در جنوب دریای سرخ و غرب خلیج فارس وجود دارد [۴۲]. بدین دلیل، در پژوهش مزبور فقط جنگل‌های حرا مطالعه شدند. این مشاهده و گستردگی جنگل‌های حرای مورد مطالعه، این منطقه را به یک مطالعه موردی خوب برای بررسی اینکه آیا حرا به‌عنوان چاهه برای آلودگی پلاستیک‌های دریایی عمل می‌کند یا خیر، تبدیل کرد. شکل ۲ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (شبه‌جزیره عربستان) و ایستگاه‌هایی که در آن‌ها زباله‌ها بررسی شده است (نقاط سیاه) را نشان می‌دهد. نزدیک‌ترین شهرها به ایستگاه‌ها نیز نشان داده شده است.

نتایج پژوهش مزبور این فرضیه را پشتیبانی کرد که مانگروها به‌عنوان چاهه برای زباله‌های پلاستیکی دریایی و همچنین سدی برای زباله‌های بشرزاد پیش از پراکنده‌شدن در محیط دریایی عمل



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (شبه‌جزیره عربستان) [۴۱].

شکل ۳- تصاویر زباله‌های پلاستیکی به‌دام افتاده در میان ریشه‌های هوایی مانگروهای مورد مطالعه [۴۱].

می‌کنند. یافته‌های این پژوهش پیشنهادهای پیشین را تایید می‌کند که مانگروها، زباله‌های شناور را بر اساس ویژگی‌های آن‌ها نگه می‌دارند. ریشه‌های آن‌ها به‌عنوان فیلتر عمل کرده و از ورود و پراکندگی مجدد زباله‌های با اندازه بزرگ منتقل‌شده با جریان‌های جزر و مد و امواج به داخل مانگروها، به محیط دریایی جلوگیری می‌کنند. آن‌ها تأیید کردند، فاصله تا مسیرهای اصلی حمل و نقل دریایی به‌طور معناداری بر تراکم زباله‌های بشرزاد در جنگل‌های مانگروی دریای سرخ تأثیر داشتند. این نشان می‌دهد، فعالیت‌های انجام‌گرفته در اقیانوس به همراه جریان‌های سطحی به‌عنوان اصلی‌ترین منشأ آلودگی در این حوضه است. افزون بر این، زباله‌ها در جایی فراوان‌تر بود که مانگروها تراکم بیشتری داشتند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد، با توجه به مشاهده پلاستیک‌ها در مناطق دورافتاده و غیرمسکونی و باقی‌ماندن در محیط به مدت طولانی، ضرورت دارد تا مصرف و پراکندگی پلاستیک‌ها در محیط کاهش یابد. شکل ۳ تصاویر زباله‌های پلاستیکی به دام افتاده در میان ریشه‌های هوایی مانگروهای مطالعه‌شده را نشان می دهد.

نتیجه‌گیری

با توجه به مقدار پلاستیک‌های واردشده به محیط‌های دریایی، مقدار زباله‌های پلاستیکی شناور در آب‌های سطحی دریاهای جهان، نسبت به مقدار مدنظر به‌مراتب کمتر است. در این پژوهش، با هدف یافتن پلاستیک‌های گم‌شده در دریا، مطالعاتی در متون علمی مختلف انجام شد که به نظر می‌رسد: (۱) بخشی از درشت‌پلاستیک‌های واردشده به دریا به قطعات ریزتری به نام میکروپلاستیک تبدیل می‌شوند. این خرده‌های پلاستیکی که با چشم غیرمسلح قابل مشاهده نیستند، می‌توانند وارد زنجیره غذایی شوند و (۲) بخشی از این درشت‌پلاستیک‌ها، در بوم‌سازگان‌های ساحلی مانند مانگروها به دام افتاده و این جنگل‌ها، به‌عنوان چاهه برای زباله‌های پلاستیکی دریایی عمل می‌کنند. با وجود این، ارتقای دانش در زمینه سرنوشت پلاستیک‌های واردشده به دریاها و نیز اثرهای آلودگی پلاستیک‌ها بر زیستگاه‌های مختلف دریایی، ضروری به نظر می‌رسد. همچنین، مدیریت زباله‌های پلاستیکی و سایر انواع زباله‌ها برای بقای بوم‌سازگان‌های مانگرو ضروری است. به کمک استقرار یک سامانه مدیریت زیست‌محیطی موثر می‌توان از این بوم‌سازگان جذاب و منحصر به‌فرد حفاظت کرد. برای اطمینان از چگونگی حفاظت، شناخت ارزش‌های این بوم‌سازگان در مقیاس جهانی و محلی امری مهم است. افزون بر این، نیاز است تا پژوهش‌های پایه در ارتباط با این بوم‌سازگان ترویج شود. خارج کردن زباله‌ها از زیستگاه‌های مانگرو می‌تواند برای حصول بهبودی از اثرهای ناشی از زباله‌ها موثر باشد. بدین منظور می‌توان برنامه‌های پاک‌سازی مختلف توسط شهرداری‌ها، ساکنان محلی، دانش‌آموزان، صنایع، سازمان‌های مردم‌نهاد و علاقه‌مندان به طبیعت

را سازمان‌دهی کرد. به علاوه، اتخاذ راهکارهای خلاقانه بیشتر برای مدیریت زباله‌ها و اجرای مؤثر قوانین آلودگی برای کنترل تهدیدهای ناشی از پلاستیک و بازیابی وضعیت سلامت مانگروها در درازمدت ضروری به نظر می‌رسد.

قدردانی

بدین وسیله از حمایت معنوی پژوهشگاه ملی اقیانوس شناسی و علوم جوی تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

مراجع

1. Chae Y. and An Y.J., Current Research Trends on Plastic Pollution and Ecological Impacts on The Soil Ecosystem: A Review, *Environ. Pollut.*, **240**, 387-395, 2018.
2. Lambert S. and Wagner M., Characterisation of Nanoplastics During the Degradation of Polystyrene, *Chemosphere*, **145**, 265-268, 2016.
3. Song Y.K., Hong S.H., Jang M., Han G.M., Jung S.W., and Shim W.J., Combined Effects of UV Exposure Duration and Mechanical Abrasion on Microplastic Fragmentation by Polymer Type, *Environ. Sci. Technol.*, **51**, 4368-4376, 2017.
4. Hammer J., Kraak M.H., and Parsons J.R., Plastics in the Marine Environment: The Dark Side of a Modern Gift, *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, Whitacre D.M., Nigg H.N., and Doerge D.R. (Eds.) Springer, New York, 1-44, 2012.
5. Dhananjayan V., Muralidharan S., and Peter V.R., Occurrence and Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water and Sediment Collected Along the Harbour Line, Mumbai, India, *Int. J. Oceanogr.*, **2012**, 1-7, 2012.
6. Chaudhari-Pachpande S. and Pejaver M.K., A Preliminary Study on the Birds of Thane Creek, Maharashtra, India, *J. Threat. Taxa*, **8**, 8797-8803, 2016.
7. 7. Lots F.A.E., Behrens P., Vijver M.G., Horton A.A., and Bosker T., A Large-Scale Investigation of Microplastic Contamination: Abundance and Characteristics of Microplastics in European Beach Sediment, *Mar. Pollut. Bull.*, **123**, 219-226, 2017.
8. Browne M.A., Galloway T.S., and Thompson R.C., Spatial Patterns Plastic Debris Along Estuarine Shorelines, *Environ. Sci. Technol.*, **44**, 3404-3409, 2010.
9. Cincinelli A., Scopetani C., Chelazzi D., Lombardini E., Martellini T., Katsoyiannis A., Fossi M.C., and Corsolini S., Microplastic in the Surface Waters of the Ross Sea (Antarctica): Occurrence, Distribution and Characterization by FTIR, *Chemosphere*, **175**, 391-400, 2017.
10. Graca B., Szewc K., Zakrzewska D., Dolega A., and Szczerbowska-Boruchowska M., Source and Fate of Microplastics in Marine and Beach Sediments of the Southern Baltic Sea- A Preliminary Study, *Envion. Sci. Pollut. Res.*, **24**, 7650-7661, 2017.
11. Akhbarizadeh R., Moore F., Keshavarzi B., and Moeinpour A., Microplastics and Potentially Toxic Elements in Coastal Sediments of Iran's Main Oil Terminal (Khark Island), *Environ. Pollut.*, **220**, 720-731, 2017.
12. Hipfner J.M., Two Forage Fishes as Potential Conduits for the Vertical Transfer of Microfibers in Northeastern Pacific Ocean Food Webs, *Environ. Pollut.*, **239**, 215-222, 2018.
13. Jacotot A., Marchand C., Rosenheim B.E., Domack E.W., and Allenbach M., Mangrove Sediment Carbon Stocks Along an Elevation Gradient: Influence of the Late Holocene Marine Regression (New Caledonia), *Mar. Geol.*, **404**, 60-70, 2018.
14. Danehkar A., Biology and Ecology of Mangroves, *Forest and Grassland (Persian)*, **28**, 24-29, 1995.
15. Erfani M., Danehkar A., Nori G.R., and Ardakani T., Study of Factors Effecting on Area Global Changing in Mangrove Forest, *4th International Congress of the Islamic World Geographers*, Zahedan, Iran, 1-15, 14-16 April, 2010.
16. Queensland Department of Primary Industries and Fisheries, Coastal Habitat Resources Information System (CHRIS), http://chrisweb.dpi.qld. gov.au/CHRIS/, September 2005.
17. Kathiresan K. and Bingham B.L., Biology of Mangroves and Mangrove Ecosystems, *Adv. Mar. Biol.*, **40**, 81-251, 2001.
18. Cordeiro C.A.M.M. and Costa T.M., Evaluation of Solid Residues Removed from a Mangrove Swamp in the Sao Vicente Estuary, SP, Brazil, *Mar. Pollut. Bull.*, **60**, 1762-1767, 2010.
19. Nor N.H.M. and Obbard J.P., Microplastics in Singapore's Coastal Mangrove Ecosystems, *Mar. Pollut. Bull.*, **79**, 278-283, 2014.

20. Domínguez G., Calle M., Tirape A., Calle P., Noel M., Ross P., and Alava J., Occurrence of Microplastics in the Mangrove Ecosystem of the Gulf of Guayaquil, Ecuador, Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) Latin America 12th Biennial Meeting, Santos, São Paulo, Brazil, 7-10 September 2017.
21. Li R., Zhang L., Xue B., and Wang Y., Abundance and Characteristics of Microplastics in the Mangrove Sediment of the Semi-Enclosed Maowei Sea of the South China sea: New Implications for Location, Rhizosphere, and Sediment Compositions, *Environ. Pollut.*, **244**, 685-692, 2019.
22. Naji A., Nuri M., Amiri P., and Nyogi S., Small Microplastic Particles (S-Mpps) In Sediments of Mangrove Ecosystem on the Northern Coast of the Persian Gulf, *Mar. Pollut. Bull.*, **146**, 305-311, 2019.
23. Jambeck J.R., Geyer R., Wilcox C., Siegler T.R., Perryman M., Andrady A., Narayan R., and Law K.L., Plastic Waste Inputs from Land into the Ocean, *Science*, **347**, 768-771, 2015.
24. Cozar A., Echevarría F., González-Gordillo J.I., Irigoien X., Úbeda B., Hernández-León S., et al., Plastic Debris in the Open Ocean, *Proc. Natl. Acad. Sci. Unit. States Am.*, **111**, 10239-10244, 2014.
25. Lebreton L., Slat B., Ferrari F., Sainte-Rose B., Aitken J., Marthouse R., Hajbane S., Cunsolo S., Schwarz A., Levivier A., and Noble K., Evidence That the Great Pacific Garbage Patch Is Rapidly Accumulating Plastic, *Sci. Rep.*, **8**, 2018. DOI:10.1038/s41598-018-22939-w
26. Gigault J., Pedrono B., Maxit B., and Ter Halle A., Marine Plastic Litter: The Unanalyzed Nano-Fraction, *Environ. Sci. Nano*, **3**, 346-350, 2016.
27. Van Cauwenberghe L., Devriese L., Galgani F., Robbens J., and Janssen C.R., Microplastics in Sediments: A Review of Techniques, Occurrence and Effects, *Mar. Environ. Res.*, **111**, 5-17, 2015.
28. Ryan P.G., Ingestion of Plastics by Marine Organisms, *Hazardous Chemicals Associated with Plastics in the Marine Environment, The Handbook of Environmental Chemistry*, Takada H. and Karapanagioti H.K. (Eds.), Springer Nature, Switzerland, 1-32, 2016.
29. Watts A.J., Lewis C., Goodhead R.M., Beckett S.J., Moger J., Tyler C.R., and Galloway T.S., Uptake and Retention of Microplastics by the Shore Crab Carcinus Maenas, *Environ. Sci. Technol.*, **48**, 8823-8830, 2014.
30. Norris B.K., Mullarney J.C., Bryan K.R., and Henderson S.M., The Effect of Pneumatophore Density on Turbulence: A Field Study in a Sonneratia-Dominated Mangrove Forest, Vietnam, *Cont. Shelf Res.*, **147**, 114-127, 2017.
31. Naji A., Esmaili Z., and Khan F.R., Plastic Debris and Microplastics Along the Beaches of the Strait of Hormuz, Persian Gulf, *Mar. Pollut. Bull.*, **114**, 1057-1062, 2017.
32. Lourenço P.M., Serra-Gonçalves C., Ferreira J.L., Catry T., and Granadeiro J.P., Plastic and Other Microfibers in Sediments, Macroinvertebrates and Shorebirds from Three Intertidal Wetlands of Southern Europe and West Africa, *Environ. Pollut.*, **231**, 123-133, 2017.
33. Barasarathi J., Agamuthu P., Emenike C.U., and Fauziah S.H, Microplastic Abundance in Selected Mangrove Forest in Malaysia, *Proceeding of the ASEAN Conference on Science and Technology*, 18-20 August, 2014.
34. Lima A.R.A., Costa M.F., and Barletta M., Distribution Patterns of Microplastics within the Plankton of a Tropical Estuary, *Environ. Res.*, **132**, 146-155, 2014.
35. Ivar do Sul J.A., Costa M.F., Silva-Cavalcanti J.S., and Araújo M.C.B, Plastic Debris Retention and Exportation by a Mangrove Forest Patch, *Mar. Pollut. Bull.*, **78**, 252-257, 2014.
36. Vennila A., Jayasiri H.B., and Pandey P.K., Plastic Debris in the Coastal and Marine Ecosystem: A Menace That Needs Concerted Efforts, *Int. J. Fish. Aquat. Stud.*, **2**, 24-29, 2014.
37. Singare P.U., Quantification Study of Non-Biodegradable Solid Waste Materials Accumulated in the Mangroves of Mahim Creek, Mumbai, *Mar. Sci.*, **2**, 1-5, 2012.
38. Smith S.D.A., Marine Debris: A Proximate Threat to Marine Sustainability in Bootless Bay, Papua New Guinea, *Mar. Pollut. Bull.*, **64**, 1880-1883, 2012.
39. Debrot A.O., Meesters H.W.G., Bron P.S., and de León R., Marine Debris in Mangroves and on the Seabed: Largely-Neglected Litter Problems, *Mar. Pollut. Bull.*, **72**, 1, 2013. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.03.023
40. Cole M., Lindeque P., Halsband C., and Galloway T.S., Microplastics as Contaminants in the Marine Environment: A Review, *Mar. Pollut. Bull.*, **62**, 2588-2597, 2011.
41. Martin C., Almahasheer H., and Duarte C.M., Mangrove Forests as Traps for Marine Litter, *Environ. Pollut.*, **247**, 409-508, 2019.
42. Almahasheer H., Aljowair A., Duarte C.M., and Irigoien X., Decadal Stability of Red Sea Mangroves, *Estuarine Coastal Shelf Sci.*, **169**, 164-172, 2016.