Journal of Marine Medicine
Autumn 2022, Volume 4, Issue 3
Pages: 153-159
10.30491/4.3.153

Investigating the Effects of Heavy Metal Pollution caused by Ship Traffic Effluents on Macrobenthic Communities

Ali Akbar Takhtdar [1 *], Arash Shakoori [1]

[1] *Department of Marine Biology, Chabahar University of Marine and Maritime Sciences, Chabahar, Iran*

Received: 1 June 2022 **Accepted:** 10 July 2022

Abstract

Heavy metals are one of the most common environmental pollutants that can enter coastal areas from natural and human sources and affect marine organisms and the human population. Heavy metals are a serious threat to human health, living organisms and natural ecosystems due to their toxicity, persistence and bioaccumulation characteristics. Many heavy metal ions are toxic or carcinogenic to humans. Heavy metals can lead to the destruction of marine ecosystems by reducing the diversity and number of species and through accumulation in living organisms and food chains. Heavy metals enter coastal and marine environments through various sources, including industries, and domestic sewage. Heavy metals from ship traffic effluents are among polluting sources. This study investigated the effect of this pollution on macrobenthic communities. The findings show that heavy metals have an effect on premature spawning, increase in mortality and decrease in the body's defense system in fish, decrease in growth and survival and irregular cell division in sea urchins, increase in mortality, delay in growth and prevention shell development and irregular cell division in crustaceans, and increased mortality, reducing body defenses, delaying growth, losing breeding capacity and reducing eggshell thickness in seabirds, and irregular structure and acute toxic condition and delay in growth in benthos. Urban and industrial activities are the main sources of marine environment pollution. As a result, it can be stated that environmental quality assessment in this sector can provide useful information for pollution control in coastal areas. Recently, the implementation of environmental legal frameworks in the European Community has increased the awareness of the importance of heavy metals in shipping effluents in order to achieve "good environmental status".

Keywords: Pollution, Heavy Metals, Sewage, Shipping, Macrobenthic Communities

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-09-06]

[DOI: 10.30491/4.3.153]

[*] **Corresponding author:** Ali Akbar Takhtdar, **Email**: Aliakbar.takhtdar@gmail.com
Address: Department of Marine Biology, Chabahar University of Marine and Maritime Sciences, Chabahar, Iran.

مجله طب دریا
دوره ۴، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۱
صفحات: ۱۵۹-۱۵۳
10.30491/4.3.153

بررسی آثار آلودگی فلزات سنگین ناشی از پساب تردد کشتی‌ها بر جوامع ماکروبنتیک

علی اکبر تخت دار [۱] *، آرش شکوری [۱]

[۱] گروه زیست شناسی دریا، دانشگاه علوم دریایی و دریانوردی چابهار، چابهار، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۳/۱۱ **پذیرش مقاله:** ۱۴۰۱/۰۴/۱۹

چکیده

فلزات سنگین از رایج‌ترین آلاینده‌های محیطی هستند که می‌توانند از منابع طبیعی و انسانی به مناطق ساحلی وارد شوند و موجودات دریایی و جمعیت انسانی را تحت تأثیر قرار دهند. فلزات سنگین به دلیل سمیت، ماندگاری و ویژگی‌های تجمع زیستی، تهدیدی جدی برای سلامت انسان، موجودات زنده و اکوسیستم‌های طبیعی هستند. بسیاری از یون‌های فلزات سنگین برای انسان سمی یا سرطان‌زا هستند. فلزات سنگین می‌توانند با کاهش تنوع و فراوانی گونه‌ها و از طریق تجمع در موجودات زنده و زنجیره‌های غذایی منجر به تخریب اکوسیستم‌های دریایی شوند. فلزات سنگین از طریق منابع مختلفی از جمله صنایع، فاضلاب‌ها و پساب‌های خانگی به محیط‌های ساحلی و دریایی وارد می‌شوند. فلزات سنگین ناشی از پساب تردد کشتی‌ها از جمله منابع آلوده‌کننده هستند. این پژوهش به بررسی اثر این آلودگی بر جوامع ماکروبنتیک پرداخته است. یافته‌ها نشان می‌دهد که فلزات سنگین در ماهی بر تخم ریزی زودرس، افزایش مرگ و میر و کاهش سیستم دفاعی بدن تاثیر دارد، در کیسه تنان بر کاهش رشد و بقا و تقسیم سلولی نامنظم، در سخت پوستان بر افزایش مرگ و میر و تاخیر در رشد و جلوگیری از توسعه پوسته و تقسیم سلولی نامنظم و در پرندگان دریایی بر افزایش مرگ و میر، کاهش دفاع بدن، تاخیر در رشد، از دست دادن ظرفیت پرورش و کاهش ضخامت پوسته تخم مرغ و در بنتوزها بر ساختار نامنظم و وضعیت سمی حاد و تاخیر در رشد تاثیر دارد. فعالیت‌های شهری و صنعتی از منابع اصلی آلودگی محیط‌های دریایی هستند. در نتیجه می‌توان بیان کرد که ارزیابی کیفیت زیست محیطی در این بخش می‌تواند اطلاعات مفیدی را برای کنترل آلودگی در مناطق ساحلی ارائه دهد. اخیراً، اجرای چارچوب‌های قانونی زیست‌محیطی در جامعه اروپا باعث افزایش آگاهی در مورد اهمیت فلزات سنگین پساب تردد کشتی به منظور دستیابی به "وضعیت محیطی خوب" شده است.

کلیدواژه‌ها: آلودگی، فلزات سنگین، پساب، کشتی‌رانی، جوامع ماکروبنتیک.

*نویسنده مسئول: **علی اکبر تخت دار**. پست الکترونیک: Aliakbar.takhtdar@gmail.com
آدرس: گروه زیست شناسی دریا، دانشگاه علوم دریایی و دریانوردی چابهار، چابهار، ایران.

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-09-06]

[DOI: 10.30491/4.3.153]

مقدمه

آلودگی دریا یک معضل جدی در سراسر جهان است زیرا خواص فیزیکی و شیمیایی آب دریا را تغییر می‌دهد و تأثیرات متفاوتی بر موجودات دریایی دارد (۱،۲). مواد مختلفی در آب‌های ساحلی دریایی وارد می‌شوند، اما فلزات سنگین یکی از موادی هستند که بیشتر مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. این دسته از آلاینده‌ها در دریاها بسیار شایع هستند و منشاء آنها یا به صورت انسانی است (مانند متالورژی، استخراج نفت، معادن سنگ معدن، فرآیندهای صنعتی) یا محصولاتی که به صورت روزانه در حال تولید هستند (به‌ویژه آنهایی که مربوط به صنعت فناورانه، مانند باتری‌ها، نهاده‌های کشاورزی و آفت کش‌ها) (۳).

عناصر فلزی به طور طبیعی در آب‌های دریایی در دسترس هستند و به صورت میکرومغذی (از میکروگرم تا میلی‌گرم)، به‌عنوان مواد مغذی برای تولیدکنندگان اولیه اهمیت دارند (۴). با این حال، غلظت‌های بالای فلزات سنگین با کاهش کیفیت محیط ناشی از کاهش اکسیژن و اختلال در چرخه‌های بیوژئوشیمیایی باعث ایجاد اثرات سم‌شناسی می‌شود (۵). تولیدکنندگان دریا مانند جلبک‌های دریایی به دلیل تغییر در مکانیسم جذب مواد مغذی و تغییرات در ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب دریا، تحت تأثیر حضور آلاینده‌ها قرار می‌گیرند. فلزات سنگین با مواد مغذی در مکانیسم‌های انتقال سلولی رقابت می‌کنند و ظرفیت جذب مواد مغذی توسط جلبک‌های دریایی را کاهش می‌دهند (۶). میزان انباشت فلزات سنگین در تولیدکنندگان دریا به عواملی از قبیل دما و pH، در نتیجه تغییرات در اشکال شیمیایی و در دسترس بودن فلزات بستگی دارد (۵).

جوامع بسترهای نرم، شاخص‌های قابل اعتمادی از یکپارچگی زیستی اکوسیستم‌های دریایی هستند (۶). چون موجودات ماکروبنتیک نسبتاً بی‌تحرک هستند، از این رو شرایط محیطی رسوبات را منعکس می‌کنند که در آن بسیاری از آلاینده ها ته‌نشین شده‌اند. در نتیجه، در جوامع ماکروبنتیک به دلیل حساسیت گونه‌های کف‌زی به آلاینده‌های مختلف، تنش‌های محیطی در آنها پدیدار می‌شود. از طریق تکامل، گونه‌های اعماق دریا برای مقابله با تغییرات محیطی پیش‌بینی شده و رقابت بین گونه‌ای سازگار شده‌اند. از این رو، اختلال قابل توجه منجر به تغییر در ترکیب گونه، فراوانی و زیست توده خواهد شد. علاوه بر این، تغییرات در جوامع ماکروبنتیک ممکن است منعکس‌کننده تغییرات در عملکرد اکوسیستم، مانند ساختار تغذیه‌ای باشد (۷). بنابراین، واکنش‌های ماکروبنتیک می‌تواند انواع و سطوح مختلفی از اثرات آلاینده را منعکس کند.

بخش بزرگی از ورودی فلزات سنگین، در نهایت در منطقه مصب رودخانه و فلات قاره تجمع می‌یابد. تجمع زیستی فلزات سنگین ممکن است به طور گسترده‌ای به ویژگی‌های رسوب، شیمی آب، عوامل هیدروگرافی و بیولوژیکی و غیره بستگی داشته باشد. افزایش آلودگی توسط فلزات سنگین اثرات نامطلوب قابل توجهی بر سلامتی بی‌مهرگان، ماهی‌ها و انسان‌ها دارد (۸). اثر فلزات سمی بر جانداران دریایی مانند ماهی، نرم‌تنان، جانوران، سخت‌پوستان، پرندگان و موجودات اعماق دریا با سرعت هشداردهنده‌ای در حال افزایش است. علاوه بر این، رسوبات به عنوان شاخص بار فلزات سنگین در یک محیط ساحلی عمل می‌کنند، زیرا آنها مخزن اصلی فلزات سنگین هستند (۹). رسوبات منابع مواد آلی و معدنی در رودخانه‌ها، مصب‌ها، اقیانوس‌ها و سایر سیستم‌های تامین آب هستند. موجودات آبزی که در رسوبات زندگی می‌کنند، فلزات سنگین را به درجات مختلف انباشته می‌کنند (۱۰).

جانوران ماکروبنتیک جزء مهمی از سیستم‌های اکولوژیکی دریایی هستند که در چرخه مواد مغذی و متابولیسم آلاینده‌ها نقش دارند و منبع غذایی برای سطوح تغذیه‌ای بالاتر را تشکیل می‌دهند. ماکروبنتوزها همچنین به عنوان یک شاخص زیستی موثر شناخته شده‌اند. ماکروفون اعماق دریا به دلیل طول عمر، کم تحرک بودن، تحمل‌های متفاوت در برابر استرس محیطی، میزان مواد غذایی کم و ارتباط نزدیک با بستر، اثرات تغییرات محیطی را ادغام می‌کند و سیگنال نسبتاً واضحی را ارائه می‌دهد که مستعد تشخیص اختلال در اکوسیستم است (۱۱).

در صنعت دریایی، رنگ بدنه ضد رسوب برای جلوگیری از رشد موجودات دریایی مانند جلبک‌ها و ماهی‌ها دارای تأثیر منفی بر عملکرد قایق‌ها هستند. متأسفانه، این رنگ‌های بدنه اغلب بر پایه مس و در نتیجه سمی هستند که برای بسیاری از موجودات دریایی مضر می‌باشند (۱۲). علاوه بر این، رنگ‌های مبتنی بر سرب نیز تا زمانی که محدودیت‌های سخت‌تری در سال ۱۹۷۶ وضع شود، رایج بودند و شواهدی مبنی بر استفاده از آنها در ۷۰۰ سال قبل از میلاد وجود داشته است (۱۳). در حالی که برخی از مطالعات نشان داده‌اند که کارخانه‌های کشتی‌سازی صنعتی و اسکله‌های تفریحی هر دو دارای سطوح بالای فلزات سنگین هستند، باید توجه داشت که هر کدام اهداف متفاوتی دارند (۱۴). کارخانه‌های کشتی‌سازی اغلب تعمیرات قابل توجهی را در کشتی‌های بسیار بزرگتر انجام می‌دهند، در مقایسه، کشتی‌های عمدتاً تفریحی در اسکله‌ها لنگر انداخته و تمیز می‌شوند. در مطالعه‌ای روی یک محیط دریایی که آلودگی فلزات سنگین برجسته بود، اشاره شد که غلظت فلزات در مکان‌های نمونه‌برداری عمدتاً تحت تأثیر اندازه دانه‌های رسوب بوده به طوری‌که غلظت‌های بالاتر فلز، معمولاً با رسوبات دانه‌ریزتر ارتباط داشته‌اند. علاوه بر این، مطالعات بیشتر نشان می‌دهد که چگونه رسوبات در این محیط‌های دریایی می‌توانند یک مخزن برای فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها ایجاد کنند، زیرا فلزات می‌توانند در بسیاری از رسوبات بدون ایجاد فعل و انفعالات شیمیایی تغییر شکل دهند (۱۵).

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-09-06]

[DOI: 10.30491/4.3.153]

مشکلات زیست محیطی ناشی از کشتی‌ها

کشتی‌ها در جهان بیش از ۲۵۰۰ نوع ترکیبات سمی و خطرناک را جابه‌جا می‌کنند و سالانه حدود ۱۰۰ ترکیب به آنها اضافه می‌شود که دارای مشخصه هایی همچون تجمع زیستی در بافت ها، ایجاد سموم در محیط آبی است و برای پستانداران دریایی سوزش و خارش پوست به وجود می‌آورد. مضافاً اینکه در یک کشتی بزرگ روزانه ۱۵ گالن مواد سمی تولید می‌شود که ناشی از رنگ‌کاری، شوینده‌ها، رنگ‌بَرها، باطری‌ها، مواد عکاسی و غیره می‌باشند. آنچه باید بدان توجه نمود حجم بالای مواد خطرناکی است که توسط کشتی‌ها حمل می‌شوند و در نتیجه چنانچه دچار حادثه شوند امکان ایجاد فجایع بزرگ زیست محیطی را دارند. حادثه غرق شدن کشتی کاپتان ساخاروف در حوالی جزیره لاوان که حامل ترکیبات سموم دفع آفات کشاورزی بود از جمله این موارد است. در بسیاری از موارد نیز پس از تخلیه کالا و شست وشوی مخازن نگهداری، پساب آن را وارد محیط‌های دریایی می‌شود و مواد خطرناک وارد محیط زیست دریایی می‌گردند (۱۶).

آب توازن

کشتی‌ها جهت حفظ تعادل خود نیاز به استفاده از آب دریا دارند. جابه جائی گونه‌های جانوری، عوامل بیماری زا، تخلیه مواد نفتی و فلزات سنگین مهمترین آثار زیست محیطی آب توازن محسوب می‌شوند. این امر در خلیج فارس بسیار اثرگذار بوده است، کشتی‌ها وبه خصوص تانکرهای نفتکش هنگام ورود به خلیج‌فارس به علت شرایط امن دریایی اقدام به تخلیه آب توازن می‌کنند. این اقدام اغلب در محدوده تنگه هرمز صورت می‌گیرد. روزانه صدها هزار تن آب توازن بدین روش به خلیج فارس تخلیه می‌شود. ورود نفت از این طریق مهم ترین اثر زیست محیطی محسوب می‌شود. بر اساس برآوردهای صورت گرفته، از یک نفتکش ۲۰۰ هزار تنی، می‌تواند آب توازنی توأم با ۸۰۰ تن نفت به دریا تخلیه شود. مطالعات در جزیره سیری بیانگر تخلیه حدود ۳۰۰ هزار تن آب توازن در ماه می‌باشد. تخلیه آب توازن نفت کش ها برحسب قوانین و مقررات در نواحی ساحلی ممنوع و در فاصله ۱۲ مایلی ساحل با غلظت ۱۵ قسمت در میلیون نفت مجاز است و در فواصل بعد از آن باید با غلظت ۱۰۰ قسمت در میلیون نفت به محیط تخلیه شود. ورود گونه‌های مهاجم از طریق آب توازن نیز در بسیاری از کشورها باعث خسارت چشمگیر و سنگین به اکوسیستم‌های حساس ساحلی و دریایی شده است. ورود ستاره دریایی ۱۲ بازو (*Acanthaster planca*) به آب‌های خلیج فارس از جمله این آثار می‌باشد. این ستاره دریایی با تغذیه از مرجان‌ها، تخریب اکوسیستم‌های مرجانی را به همراه دارد (۱۷).

فلزات سنگین در رسوبات دریایی

فلزات سنگین آزاد شده در محیط های دریایی به سرعت به ذرات متصل می‌شوند و به کف دریا فرو می‌روند (۱۸). رسوبات دریایی، در نتیجه، به عنوان یک مخزن نهایی برای ورود فلزات سنگین به محیط‌های آبی عمل می‌کنند. اندازه گیری سطوح فلزات سنگین در رسوبات دریایی در پایش و ارزیابی بلایای زیست محیطی و آلودگی صنعتی مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان مثال، میزان آلودگی در رسوبات پس از نشت نفت در سال ۱۹۹۱ توسط Basaham و Al-Lihaibi ارزیابی شد. این مطالعه فلزات سنگین منتخب را در رسوبات در امتداد خط ساحلی غربی خلیج فارس اندازه گیری کرد. نمونه‌های رسوب از منطقه نزدیک به ساحل بین کویت و قطر جمع‌آوری شد که به طور کلی روند افزایش اندازه ذرات را از شمال به جنوب خلیج فارس نشان داد. فلزات آنالیز شده در نمونه‌های گل جمع‌آوری‌شده در سواحل کویت بالا بود و نتیجه این مطالعه نشان داد که میزان غلظت فلزات سنگین در رسوبات متغیر است و به ترکیب رسوب بستگی دارد. در این بین فعالیت های انسانی کمترین تاثیر را بر غلظت فلزات در رسوبات دارد (۱۹).

فلزات سنگین در رسوبات از طریق منافذ رسوب آزاد می‌شود و به جوامع بیولوژیکی آبزی و اعماق دریا منتقل می‌شوند. با این حال، هنگام ارزیابی اثرات فلزات سنگین بر سلامت جوامع بیولوژیکی، ابهامات متعددی وجود دارد. از جمله راندمان یونیزاسیون فلزات سنگین جامد به شکل محلول در شرایط مختلف، سمیت هر فلز، و جذب و تحمل بیولوژیکی هر گونه نسبت به فلز سنگین. بنابراین، ارزیابی اثر کلی غلظت فلزات سنگین رسوب بر جوامع بیولوژیکی اعماق دریا می‌تواند بسیار دشوار باشد. علیرغم این مشکلات، Hacson یک شاخص خطر اکولوژیکی (ERI) را پیشنهاد کرده که می‌تواند برای تخمین اثر فلزات سنگین در رسوبات بر جوامع اکولوژیکی استفاده شود و بسیاری از دانشمندان این شاخص را هنگام ارزیابی شرایط محیطی به کار می‌برند (۲۰).

تاثیر فلزات سنگین ناشی از پساب کشتی‌ها بر موجودات دریا

جلبک‌ها

گونه‌های جلبک به عنوان شاخص زیستی آلودگی فلزات سنگین مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شواهد حاصل از این مطالعات نشان می‌دهد که فعالیت های انسانی به طور فزاینده ای به آلودگی فلزات سنگین در اکوسیستم های ساحلی و دریایی منجر می‌شود. در حالی که برخی از مطالعات نشان داده که فلزات سنگین در گونه‌های جلبکی در پایین‌تر از مقادیر گزارش شده در مناطق اقیانوسی و مصب رودخانه‌ها هستند (۲۱).

جلبک‌های ماکروسکوپی به خوبی می‌توانند وضعیت محیط اطراف خود را نشان دهند و همبستگی بالایی بین غلظت آلاینده‌ها در آنها و محیط اطرافشان دیده می‌شود. وجود همبستگی مثبت

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-09-06]

[DOI: 10.30491/4.3.153]

میان غلظت فلزات سنگین در رسوبات و جلبک‌ها حاکی از افزایش دسترسی زیستی این فلزات بر اثر آزادسازی دوباره آنها به آب می‌باشد و این بدان معنی است که غلظت این فلزات در جلبک‌ها به غلظت آنها در رسوبات وابسته است (۲۲).

در واقع جلبک‌های دریایی در سطح اول تولید اکوسیستم های مناطق بین جزرو مدی و نزدیک ساحل قرار گرفته‌اند. جلبک‌ها فلزات سنگین را مستقیماً از آب جذب کرده و در خود جمع می‌کنند، از این رو برای پایش زیستی آلودگی فلزات سنگین آب دریا به شکل گسترده‌ای از آنها استفاده می‌شود. جلبک‌ها شرایط لازم و اساسی موردنیاز برای یک پایشگر زیستی مناسب را دارا هستند. با وجود قرار داشتن جلبک‌ها در فهرست گونه‌های مناسب مورد استفاده در پایش زیستی فلزات سنگین نباید فراموش کرد که همیشه غلظت‌های مشاهده شده فلزات در یک جلبک یا هر پایشگر دیگر نشان‌دهنده آلودگی با منشا انسانی نمی‌باشد و ممکن است این امر ناشی از فرآیندهای طبیعی از جمله ساختار زمین شناختی منطقه مورد مطالعه باشد. متداول‌ترین جنس‌هایی از جلبک‌ها که تاکنون برای پایش زیستی فلزات سنگین مورد استفاده قرار گرفته‌اند Ulva و Enteromorpha می‌باشند (۲۳).

نرم تنان

نرم تنان به عنوان مانیتور زیستی برای تشخیص آلودگی فلزات سنگین در محیط دریایی استفاده می‌شوند و اکثر مطالعات، نقاط با آلودگی بالای فلزات سنگین را شناسایی کرده‌اند که عمدتاً به منابع انسانی نسبت داده می‌شود (۲۴).

تاثیر فلزات سنگین بر ماکروبنتوزها

ماکروبنتوز (macrobenthos) شامل موجوداتی است که در پایین ستون آب زندگی می‌کنند و با چشم غیرمسلح قابل مشاهده هستند. در برخی طرح‌های طبقه‌بندی، این موجودات بزرگ‌تر از ۱ میلی‌متر هستند؛ در دیگری، کوچک‌ترین ابعاد باید حداقل ۰/۵ میلی‌متر باشد. ماکروبنتوز عبارتند از کرم‌های چندشاخه‌ای، آنتوزوئن‌ها، خارپوستان، اسفنج‌ها، آسیدین‌ها، سخت پوستان (۲۵).

جامعه ماکروبنتوز دریایی یک جزء حیاتی و شاخص قابل اعتماد برای یکپارچگی زیستی اکوسیستم‌های دریایی، به ویژه جزر و مدی است. از یک طرف، ماکروبنتوزها نقش حیاتی در حفظ عملکردهای اکوسیستم، مانند چرخش مواد در رسوبات و جریان انرژی در شبکه‌های غذایی ایفا می‌کنند. از سوی دیگر، نسبتاً بی تحرک بوده و بنابراین شرایط محیطی رسوبات را منعکس می‌نمایند، که در آن بسیاری از آلاینده ها (به عنوان مثال، فلزات سنگین و غنی سازی آلی) در نهایت رسوب می‌کنند (۱۷).

آلودگی فلزات سنگین یکی از رایج‌ترین آسیب‌های انسانی است که بر اکوسیستم‌های دریایی (مانند مناطق جزر و مدی، آب‌های ساحلی و مصب‌ها) تأثیر می‌گذارد و توسط مطالعات بسیاری در سراسر جهان ثبت شده است (۲۷). آلاینده‌های فلزات سنگین می‌توانند منجر به اثرات سمی نامطلوب بر موجودات اعماق دریا شوند، که منجر به تغییراتی در ترکیب، ساختار و عملکرد اکوسیستم جوامع ماکروبنتیک می‌گردد. به عنوان مثال، در تالاب آویرو (پرتغال)، با افزایش آلودگی جیوه، فراوانی کل و غنای گونه‌ای کاهش یافته است. در بندر اینچئون (کره جنوبی) و منطقه ساحلی جنوب اسفاکس (تونس)، جامعه ماکروبنتوز به تدریج با سطوح آلودگی تغییر کرده، و تنوع گونه‌ها با کاهش فاصله از منبع آلودگی کاهش یافته است (۲۸). با این حال، بیشتر مطالعات نشان داده‌اند که مناطق جزرومدی در برابر فعالیت‌های انسانی آسیب‌پذیرتر هستند.

ماکروبنتوز از گونه‌های متعدد تشکیل شده است و گونه‌های مختلف تحمل متفاوتی در برابر فشارهای محیطی دارند. به عنوان مثال، *Capitella capitata* و *Heteromastus filiformis* به طور طبیعی در برابر اختلالات محیطی مقاوم هستند، که می‌توانند در یک منطقه با بار آلی بالا یا منطقه آلوده به فلزات سنگین به خوبی زندگی کنند، در حالی که برخی از گونه‌ها (مانند *Polychaete magelona*) داکینی و دوپایان *Perioculodes longimanus*) ذاتاً به اختلالات محیطی حساس هستند و نمی‌توانند در چنین مناطق بسیار آلوده زنده بمانند (۲۷).

جدول-۱. اثرات فلزات سنگین بر موجودات دریایی

آلودگی فلزات سنگین	جاندار	تاثیر
	ماهی	• تخم ریزی زودتر اتفاق می افتد • افزایش مرگ و میر • کاهش سیستم دفاعی بدن
	کیسه تنان	• رشد و بقا را از دست می‌دهد • تقسیم سلولی نامنظم
	نرم تنان	• رشد با تأخیر • سیستم بلوغ را به تاخیر انداخت
	سخت پوستان	•افزایش مرگ و میر و تاخیر در رشد • اثرات روی توسعه پوسته رخ می‌دهد • تقسیم سلولی نامنظم

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-09-06]

[DOI: 10.30491/4.3.153]

پرندگان دریایی	• افزایش مرگ و میر • کاهش دفاع بدن • تاخیر در رشد • از دست دادن ظرفیت پرورش • کاهش ضخامت پوسته تخم مرغ
بنتوزها	• ساختار نامنظم • وضعیت سمی حاد در پایین • تاخیر در رشد

ارزیابی اثرات زیست محیطی (EIA)

ارزیابی تاثیر محیطی (EIA)؛ یک فرآیند سیستماتیک برای شناسایی، پیش‌بینی، ارزیابی و کاهش پیامدهای زیست‌محیطی یک پروژه پیشنهادی در محیط‌های بیولوژیکی و فیزیکی است (۲۹). EIA نقش مهمی در تغییر یا اصلاح فرآیند، طراحی و فناوری تاسیسات صنعتی و در نتیجه به حداقل رساندن خطرات و اثرات آلودگی محیطی ایفا می‌کند. EIA همچنین باید بهترین شیوه‌ها را در فعالیت‌های لایروبی و احیا برای کاهش خطر انتقال آلاینده‌ها به دلیل اختلال در رسوبات را فراهم نماید. بنابراین، EIA به عنوان یک ابزار مدیریت زیست محیطی، می‌تواند با کاهش میزان آلاینده‌های فلزات سنگین تولید شده توسط فرآیندهای صنعتی مانند پساب کشتی‌ها، تصفیه فاضلاب و پالایش نفت به مدیریت فلزات سنگین کمک نماید (۳۰).

نتیجه‌گیری

فراهمی زیستی فلزات سنگین ممکن است به طور گسترده‌ای به ویژگی‌های رسوب، شیمی آب، عوامل هیدروگرافی و بیولوژیکی و غیره بستگی داشته باشد. افزایش آلودگی توسط فلزات سنگین اثرات نامطلوب قابل توجهی بر سلامتی بی‌مهرگان، ماهی‌ها و انسان‌ها دارد (۹). اثر فلزات سمی بر جانداران دریایی مانند ماهی‌ها، نرم تنان، جانوران، سخت پوستان، پرندگان و موجودات اعماق دریا با سرعت هشدار دهنده‌ای در حال افزایش است. علاوه بر این، رسوبات به عنوان شاخص بار فلزات سنگین در یک محیط ساحلی عمل می‌کنند، زیرا آنها منبع اصلی فلزات سنگین هستند. رسوبات منبع مواد آلی و معدنی در رودخانه ها، مصب ها، اقیانوس ها و سایر سیستم‌های تامین آب هستند. موجودات آبزی که در رسوبات زندگی می‌کنند، فلزات سنگین را به درجات مختلف انباشته می‌کنند.

تشکر و قدردانی: از همه اساتیدی که در غنای مطالب حاضر یاری‌رسان بودند، نهایت تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

نقش نویسندگان: همه نویسندگان در نگارش اولیه مقاله یا بازنگری آن سهیم بودند و همه با تایید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می پذیرند.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می‌کنند که هیچ گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Gattuso JP, Magnan A, Billé R, Cheung WW, Howes EL, Joos F, Allemand D, Bopp L, Cooley SR, Eakin CM, Hoegh-Guldberg O. Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO2 emissions scenarios. Science. 2015;349 (6243):aac4722. doi:10.1126/science.aac4722
2. Zicker F. Science and Global Health. *Novelty in Clinical* Medicine. 2022; 1(3): 119-120. doi: 10.22034/ncm.2022.337000.1038
3. Wang Z, Xiao J, Fan S, Li Y, Liu X, Liu D. Who made the world's largest green tide in C hina?—an integrated study on the initiation and early development of the green tide in Y ellow S ea. Limnology and Oceanography. 2015;60(4):1105-17. doi:10.1002/lno.10083
4. Blaby-Haas CE, Merchant SS. Regulating cellular trace metal economy in algae. Current opinion in plant biology. 2017;39:88-96. doi:10.1016/j.pbi.2017.06.005
5. Gao G, Liu Y, Li X, Feng Z, Xu Z, Wu H, Xu J. Expected CO2-induced ocean acidification modulates copper toxicity in the green tide alga Ulva prolifera. Environmental and Experimental Botany. 2017;135:63-72. doi:10.1016/j.envexpbot.2016.12.007
6. Contreras-Porcia L, Meynard A, López-Cristoffanini C, Latorre N, Kumar M. Marine metal pollution and effects on seaweed species. InSystems biology of marine ecosystems 2017 (pp. 35-48). Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-319-62094-7_3
7. Blanchet H, Lavesque N, Ruellet T, Dauvin JC, Sauriau PG, Desroy N, Desclaux C, Leconte M, Bachelet G, Janson AL, Bessineton C. Use of biotic indices in semi-enclosed coastal ecosystems and transitional waters habitats—implications for the implementation of the European Water Framework Directive. Ecological indicators. 2008;8(4):360-72. doi:10.1016/j.ecolind.2007.04.003
8. Gaston GR, Brown SS, Rakocinski CF, Heard RW, Summers JK. Trophic structure of macrobenthic

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-09-06]
[DOI: 10.30491/4.3.153]

communities in northern Gulf of Mexico estuaries. Gulf and Caribbean Research. 1995;9(2):111-6. doi:10.18785/grr.0902.05
9. Khan FE, Jolly YN, Islam GM, Akhter S, Kabir J. Contamination status and health risk assessment of trace elements in foodstuffs collected from the Buriganga River embankments, Dhaka, Bangladesh. International Journal of Food Contamination. 2014;1 (1):1-8. doi:10.1186/s40550-014-0001-z
10. Mohiuddin KM, Ogawa YZ, Zakir HM, Otomo K, Shikazono N. Heavy metals contamination in water and sediments of an urban river in a developing country. International journal of environmental science & technology. 2011;8(4):723-36. doi:10.1007/BF03326257
11. Siddiquee NA, Parween S, Quddus MM, Barua P. Heavy metal pollution in sediments at ship breaking area of Bangladesh. InCoastal environments: focus on Asian regions 2012 (pp. 78-87). Springer, Dordrecht. doi:10.1007/978-90-481-3002-3_6
12. Mrozińska N, Bąkowska M. Effects of heavy metals in lake water and sediments on bottom invertebrates inhabiting the brackish coastal lake Łebsko on the southern Baltic coast. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2020;17(18):6848. doi:10.3390/ijerph17186848
13. Carson RT, Damon M, Johnson LT, Gonzalez JA. Conceptual issues in designing a policy to phase out metal-based antifouling paints on recreational boats in San Diego Bay. Journal of environmental management. 2009;90(8):2460-8. doi:10.1016/j.jenvman.2008.12.016
14. Eklund B, Eklund D. Pleasure boatyard soils are often highly contaminated. Environmental management. 2014;53(5):930-46. doi:10.1007/s00267-014-0249-3
15. Papamanolis G, Giannakopoulos E, Kalavrouziotis IK. Shipyards waste and sustainable management in Greece: case study. Desalination and Water Treatment. 2018;127:90-6. doi:10.5004/dwt.2018.22595
16. González-Fernández D, Garrido-Pérez MC, Nebot-Sanz E, Sales-Márquez D. Source and fate of heavy metals in marine sediments from a semi-enclosed deep embayment subjected to severe anthropogenic activities. Water, Air, & Soil Pollution. 2011;221(1):191-202. doi:10.1007/s11270-011-0782-0
17. Llanos EN, Bottero MA, Jaubet ML, Elías R, Garaffo GV. Functional diversity in the intertidal macrobenthic community at sewage-affected shores from Southwestern Atlantic. Marine Pollution Bulletin. 2020;157:111365. doi:10.1016/j.marpolbul.2020.111365
18. de Souza MD, Taitson PF, Oliveira JB. The SCImago Journal & Country Rank and the JBRA. JBRA Assisted Reproduction. 2019;23(1):1. doi:10.5935/1518-0557.20180082
19. Hedge LH, Knott NA, Johnston EL. Dredging related metal bioaccumulation in oysters. Marine Pollution Bulletin. 2009 ;58(6):832-40. doi:10.1016/j.marpolbul.2009.01.020
20. Ruilian YU, Xing Y, Yuanhui ZH, Gongren HU, Xianglin TU. Heavy metal pollution in intertidal sediments from Quanzhou Bay, China. Journal of Environmental Sciences. 2008 ;20(6):664-9. doi:10.1016/S1001-0742(08)62110-5
21. Rodriguez P, Reynoldson TB. The pollution biology of aquatic oligochaetes. Springer Science & Business Media; 2011.
22. Hu C, Dong J, Gao L, Yang X, Wang Z, Zhang X. Macrobenthos functional trait responses to heavy metal pollution gradients in a temperate lagoon. Environmental Pollution. 2019;253:1107-16. doi:10.1016/j.envpol.2019.06.117
23. Amini F. Heavy Metal Concentrations in Padina gymnospora and Padina tetrastromatica Dictyotaceae, Ochrophyta,) and Sediments of BushehrCoastline (Bushehr Province, Iran). Journal of Phycological Research. 2020 ;4(1):497-507. doi:10.29252/JPR.4.1.497
24. Ni-Ni-Win, Hanyuda T, Arai S, Uchimura M, Prathep A, Draisma SG, Soe-Htun, Kawai H. Four new species of Padina (Dictyotales, Phaeophyceae) from the western Pacific Ocean, and reinstatement of Padina japonica. Phycologia. 2010;49(2):136-53. doi:10.2216/09-54.1
25. Ouma KO, Shane A, Syampungani S. Aquatic Ecological Risk of Heavy-Metal Pollution Associated with Degraded Mining Landscapes of the Southern Africa River Basins: A Review. Minerals. 2022;12(2):225. doi:10.3390/min12020225
26. Link JS, Griswold CA, Methratta ET, Gunnard J, Brodziak JK, Col LA, et al. Documentation for the energy modeling and analysis exercise (EMAX). 2006.
27. Dong JY, Zhao L, Yang X, Sun X, Zhang X. Functional Trait Responses of Macrobenthos to Anthropogenic Pressure in Three Temperate Intertidal Communities. Frontiers in Marine Science. 2021. doi:10.3389/fmars.2021.756814
28. Mosbahi N, Serbaji MM, Pezy JP, Neifar L, Dauvin JC. Response of benthic macrofauna to multiple anthropogenic pressures in the shallow coastal zone south of Sfax (Tunisia, central Mediterranean Sea). Environmental Pollution. 2019; 253: 474-87. doi:10.1016/j.envpol.2019.06.080
29. Golson-Garner KF, Tsegaye T, Coleman T, Tadesse W, Spencer D. Examining the Effects of Urbanization on the Indian Creek Watershed. 2005.
30. Honari M, Boleyn T. Health ecology: health, culture and human-environment interaction. Routledge; 2005. doi:10.4324/9780203982549

[Downloaded from jmarmed.ir on 2026-09-06]

[DOI: 10.30491/4.3.153]