



Original Research Paper

Investigation of the relationship between heavy metals (Lead, Nickel, Cadmium) bioaccumulation and levels of catalase and superoxide dismutase enzymes in the tissue of rocky oyster (*Saccostrea cucullata*) of the Oman Sea

Mahdiye Aliyazdi, Parvin Sadeghi *, Gilan Attaran Fariman

Department of Marine Biology, Marine Science faculty, Chabahar Maritime University, Chabahar, Iran

Key Words

Heavy metals
Catalase
Superoxide dismutase
Rocky oyster
Oman Sea

Abstract

Introduction: The body's antioxidant defense system acts as a neutralizer of the effect of reactive oxygen species (ROS) produced under adverse conditions. The aim of this study was to investigate the bioaccumulation of heavy metals in sediment and soft tissue of *Saccostrea cucullata* and to measure the levels of catalase and superoxide dismutase enzymes as biomarkers of heavy metal pollutants in the Oman Sea coasts.

Materials & Methods: 180 rocky oysters and 18 sediment samples were collected from 6 stations on the shores of the Oman Sea and transferred to the laboratory. The total length and weight of the samples were measured and the soft tissue of the oyster was separated. The concentration of heavy metals was measured using an atomic absorption spectrometer and the level of enzymes was measured by an enzyme assay kit.

Results: The mean concentrations of cadmium, nickel and lead in rocky oyster soft tissue were 14.9 ± 4.04 , 3.9 ± 1.62 and 6.75 ± 2.01 , respectively, and in sediment 2.63 ± 0.81 , 19.8 ± 2.8 and 22.95 ± 7.77 micrograms per gram of dry weight. Mean levels of catalase and superoxide dismutase were recorded 11.44 ± 4.88 and 22.07 ± 7.94 nmol/min/mg protein, respectively. The pattern of heavy metal accumulation in soft tissue and sediment was Ni<Pb<Cd and Cd< Ni<Pb respectively. The study of the relationship between enzyme levels and metal concentrations showed that increasing the bioaccumulation of heavy metals increases the level of enzymes. So that Ramin station, enzymes showed the highest levels.

Conclusion: The concentration of heavy metals in sediment was higher than the soft tissue of rocky oysters. However, comparison of heavy metals concentration in the sediment with the sediment quality standards showed that the amount of metals studied in the sediments of the study area does not threaten to organisms in this area.

* Corresponding Author's email: parvin.sadeghi@gmail.com

Received: 2 October 2020; Reviewed: 3 November 2020; Revised: 3 January 2021; Accepted: 7 February 2021

(DOI): 10.22034/AEJ.2021.313132.2679

مقاله پژوهشی

بررسی ارتباط تجمع زیستی فلزات سنگین (سرب، نیکل و کادمیوم) و سطوح آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در بافت اویستر صخره‌ای (*Saccostrea cucullata*) دریای عمان

مهديه علی‌یزدی، پروین صادقی*، گیلان عطاران‌فریمان

گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، چابهار، ایران

کلمات کلیدی

چکیده

آلودگی
کاتالاز
سوپراکسیددیسموتاز
دوکفه‌ای
دریای عمان

مقدمه: سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی بدن به‌عنوان خنثی‌کننده اثر گونه‌های اکسیژن فعال (ROS) تولیدشده در شرایط نامساعد، عمل می‌کند. هدف از این تحقیق بررسی میزان تجمع زیستی فلزات سنگین در رسوب و بافت نرم صدف اویستر صخره‌ای (*Saccostrea cucullata*) و اندازه‌گیری سطوح آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز به‌عنوان نشانگر زیستی آلاینده فلزات سنگین در سواحل دریای عمان بود. **مواد و روش‌ها:** ۱۸۰ عدد اویستر صخره‌ای و ۱۸ نمونه رسوب از ۶ ایستگاه در سواحل دریای عمان جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. طول کل و وزن نمونه‌ها اندازه‌گیری و بافت نرم صدف جداسازی شد. غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه جذب اتمی و سطح آنزیم‌ها با کیت سنجش آنزیمی اندازه‌گیری شد.

نتایج: میانگین غلظت فلزات کادمیوم، نیکل و سرب در بافت نرم اویستر صخره‌ای به‌ترتیب $14/9 \pm 4/04$ ، $3/1 \pm 9/62$ و $6/75 \pm 2/01$ و در رسوب به‌ترتیب $2/63 \pm 0/81$ ، $19/8 \pm 2/8$ و $22/95 \pm 7/77$ میکروگرم بر گرم وزن خشک بود. میانگین سطوح کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز به‌ترتیب $11/44 \pm 4/88$ و $22/07 \pm 7/94$ نانومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین ثبت شد. الگوی تجمع فلزات سنگین در بافت نرم و رسوب به‌ترتیب به‌صورت $Ni < Pb < Cd$ و $Cd < Ni < Pb$ بود. بررسی ارتباط سطوح آنزیم‌ها و غلظت فلزات نشان داد که افزایش تجمع زیستی فلزات سنگین سبب افزایش سطح آنزیم‌ها می‌شود. به‌طوری‌که در ایستگاه رمین سطوح آنزیم‌ها بیش‌ترین میزان را نشان داد. **بحث و نتیجه‌گیری:** غلظت فلزات سنگین در رسوب بسیار بالاتر از بافت نرم اویستر صخره‌ای بود. اما، مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوب با کیفیت استانداردهای رسوب نشان داد که میزان فلزات مورد بررسی در رسوبات منطقه مورد مطالعه تهدیدی برای موجودات این منطقه ندارند.

مقدمه

اکسیداتیو در محیط طبیعی خود دارند (۹). زمانی که اکسیژن فعال در بدن تولید می‌شود، موجودات زنده سازش‌پذیری خود را از طریق تنظیم دفاعی آنتی‌اکسیدانی در جهت سم‌زدایی اکسیژن‌های اضافی و کاهش آسیب‌اکسیداتیو به مولکول‌های زیستی، بالا می‌برند. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مانند سوپراکسیددیسموتاز (SOD)، کاتالاز (CAT)، گلوکاتایون پراکسیداز (GPx) و سایر آنزیم‌های کمکی از نظر تشخیصی برای آلودگی‌های محیطی از اهمیت زیادی برخوردار هستند (۱۰). اویستر صخره‌ای (*Saccostrea cucullata*) از خانواده Ostreidae متعلق به شاخه نرم‌تنان است و از طریق ترشحات کربنات کلسیمی توسط کفه‌زیرین خود که بزرگ‌تر از کفه رویی است، به سطوح سخت متصل می‌شوند (۱۱). این گونه یکی از منابع بزرگ غذای دریایی در بسیاری از کشورهای دنیا محسوب می‌شود و ارزش اقتصادی بالایی دارد (۱۲). اویستر صخره‌ای دوکفه‌ای فیلترکننده‌ای است که آب را از طریق آبشش‌ها پمپ می‌کند و در آب‌های آلوده فلزات سنگین را در بافت‌های خود جمع می‌کند. به همین دلیل می‌توان از آن به‌عنوان یک نشانگر کنترل آلودگی محیطی استفاده کرد (۱۳). Saleem و Moloukhia بافت نرم را مناسب‌ترین قسمت نرم‌تنان برای پایش آلودگی فلزات در محیط‌های آبی معرفی کردند (۱۴). اویستر صخره‌ای در مناطق استوایی و نیمه استوایی اقیانوس هند، آرام و دریای سرخ، اقیانوس اطلس در آب‌های کم‌عمق نواحی جزرومدی پراکنش دارد (۱۵). این گونه در سواحل صخره‌ای خلیج فارس و دریای عمان به فراوانی یافت می‌شود. دریای عمان در جنوب شرقی ایران واقع شده است که به‌صورت مستقیم به آب‌های اقیانوسی متصل می‌شود. در سواحل ایرانی دریای عمان سه خلیج مهم گواتر، چابهار و پزم از مهم‌ترین نواحی برای انجام فعالیت‌های صیادی و صنعتی محسوب می‌شوند. وجود اسکله‌های صیادی، کارخانجات کنسروسازی، مزارع پرورش میگو، آب شیرین‌کن و توسعه بندر در سال‌های اخیر سبب ورود آلاینده‌های مختلف به دریای عمان شده است (۱۶). با توجه به اهمیت موارد ذکر شده این مطالعه با اهداف اندازه‌گیری میزان تجمع زیستی فلزات سنگین (کادمیوم، نیکل، سرب) در رسوب و بافت نرم اویستر صخره‌ای در ۶ ایستگاه مطالعاتی، بررسی میزان سطوح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز در اویستر صخره‌ای و مطالعه ارتباط بین میزان تجمع فلزات سنگین و تغییر سطوح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی اویستر صخره‌ای در سواحل دریای عمان انجام گردید.

مواد و روش‌ها

باتوجه به مناطق حضور اویستر صخره‌ای و مطالعات پیشین در مورد بررسی آلودگی نواحی ساحلی دریای عمان (۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۱). این پژوهش در ۶ ایستگاه سواحل دریای عمان شامل رمین،

اکوسیستم‌های آبی یکی از مهم‌ترین منابع مورد استفاده بشر، خصوصاً در زمینه تأمین منابع پروتئینی، نفتی و مواد معدنی هستند و از مهم‌ترین مسیرهای حمل و نقل و ترانزیت کالا در نقاط مختلف جهان محسوب می‌شوند. این اکوسیستم‌ها دارای بیش‌ترین تنوع زیستی از موجودات زنده می‌باشند که در مقابل ورود مواد آلاینده بسیار حساس می‌باشند (۱). در دهه‌های اخیر پیشرفت در زمینه علم و صنعت به‌ویژه در اکوسیستم‌های ساحلی سبب انتقال وسیع آلاینده‌ها به این محیط‌های آبی شده که برخی از آن‌ها به علت پایداری و عدم تجزیه زیستی مانند فلزات سنگین از عمده‌ترین نگرانی‌های مناطق ساحلی هستند. غلظت این آلاینده‌های پایدار به مرور زمان در محیط آلوده و موجودات آن افزایش یافته، سپس با تجمع در زنجیره غذایی اثرات مخرب خود را بر موجودات مصرف‌کننده آن‌ها نیز باقی می‌گذارند (۲). حدود ۸۰ درصد آلودگی دریایی منشأ خشکی دارند. این آلودگی‌ها به‌سرعت در زنجیره غذایی دریایی تجمع یافته که این سموم باعث ایجاد جهش‌ها و بیماری‌هایی در مصرف‌کنندگان آن‌ها و کل شبکه غذایی می‌شوند و اثرات مخرب فراوانی را به بار می‌آورند (۳). فلزات سنگین از مهم‌ترین انواع آلودگی‌های محیط‌های آبی بوده که با پیشرفت روزافزون صنایع در حال افزایش هستند (۴). فلزات سنگین پس از ورود به محیط دریایی به‌صورت معلق و محلول در آب و رسوبات باقی‌مانده و در بافت‌های مختلف موجودات آبرزی تجمع می‌یابند. به‌همین دلیل آبریان شاخص‌های بسیار خوبی برای نظارت بر تجمع فلزات سنگین در محیط‌های آبی در طولانی‌مدت محسوب می‌شوند (۵). اکسیداسیون فرآیند شیمیایی است که سبب انتقال الکترون‌های یک سوبسترا به ماده احیاء شونده می‌شود. این فرآیند سبب ایجاد رادیکال‌های آزاد شده که واکنش‌های زنجیره‌ای را انجام می‌دهند و سبب از بین رفتن سلول‌های حیاتی موجودات می‌شوند. واکنش اکسیداسیون در بدن آبریان سبب اکسیداسیون پروتئین‌ها، DNA و اجزای استروئیدی و هم‌چنین پراکسیداسیون لیپیدهای اشباع‌نشده در غشاهای سلولی می‌شود (۶). آنتی‌اکسیدان‌ها آنزیم‌هایی هستند که مانع اکسیداسیون مولکول‌ها می‌شوند و دارای قدرت احیاء نیز هستند. آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی برای مقابله با سمیت اکسیژن فعال بسیار مهم هستند (۷). افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی در آبریان تحت تأثیر افزایش استرس‌های اکسیداتیو جهت جلوگیری از آسیب‌ها ایجاد می‌شود. فعالیت آنتی‌اکسیدانی باعث کاهش اثرات اکسیداتیوی مولکول‌های دیگر و توانایی احیای مولکول‌های آسیب دیده می‌شود (۸). تمام موجودات آبرزی در بافت‌های خود دارای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی هستند و یک سازگاری فیزیولوژیکی با اثرات متابولیسم اکسیداتیو و قرار گرفتن در معرض آلاینده‌هایی با پتانسیل

دریا بزرگ، ساحل دانشگاه دریانوردی، تیس، کنارک و آب‌شیرین‌کن انجام گرفت. به علت پرکاربرد بودن این ایستگاه‌ها از نظر فعالیت‌های صیادی و کشتیرانی، امکان آلودگی آن‌ها از نظر فلزات سنگین بررسی و گزارش شده است. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه توسط دستگاه GPS مدل GPSMAP 64S ثبت گردید (جدول ۱).

جدول ۱: مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
رمین	۶۰° ۴۴' E	۲۵° ۱۶' N
دریا بزرگ	۶۱° ۳' E	۲۵° ۱۲' N
ساحل دانشگاه دریانوردی	۶۰° ۳۷' E	۲۵° ۱۸' N
تیس	۶۰° ۳۵' E	۲۵° ۲۱' N
کنارک	۶۰° ۲۴' E	۲۵° ۲۳' N
آب‌شیرین‌کن	۶۰° ۲۹' E	۲۵° ۲۶' N

نمونه‌برداری از سواحل صخره‌ای خلیج چابهار و دریای عمان در فصل زمستان سال ۱۳۹۷ صورت گرفت. در این مطالعه از هر ایستگاه ۳۰ عدد اویستر صخره‌ای نسبتاً بزرگ در زمان جزر کامل با استفاده از قلم و چکش جمع‌آوری شد. هم‌چنین، نمونه رسوب بستر (۵ سانتی‌متر بالای بستر) با استفاده از بیلچه از هر ایستگاه با سه تکرار برداشت شد. نمونه‌های صدف و رسوب به صورت جداگانه در کیسه‌های پلاستیکی و درون یونولیت‌های حاوی یخ جهت جلوگیری از تماس آن‌ها با محیط بیرون نگهداری و به آزمایشگاه منتقل شدند. وسایل مورد نیاز آزمایش توسط اسیدنیتریک ۱۰٪ و آب دوبار تقطیر شست‌شو و سپس خشک شدند. در آزمایشگاه ابتدا نمونه‌ها زیست‌سنجی شدند. به طوری که طول کل توسط کولیس با دقت ۱ میلی‌متر و وزن کل توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد. با استفاده از کاردک فولادی و چکش قسمت سخت دوکفه‌ای باز و بافت نرم آن‌ها خارج گردید. تا قبل از انجام آزمایش نمونه‌های مربوط به سنجش غلظت فلزات سنگین و آنزیم‌ها به ترتیب در دمای ۲۰- (۲۲) و ۸۰- درجه سانتی‌گراد (۲۳) نگهداری شدند. برای سنجش غلظت فلزات سنگین، تمام محتویات بافت نرم صدف درون آن به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند. پس از خشک شدن درون دسیکاتور جهت رسیدن به وزن ثابت قرار داده شدند (۲۴). سپس با استفاده از هاون چینی نمونه‌ها پودر گردیدند و جهت هضم حدود ۱ گرم نمونه درون بشر قرار داده شد و به نسبت ۱ به ۴ اسیدنیتریک ۶۵ درصد و اسید پرکلریدریک ۶۰ درصد به آن‌ها اضافه گردید و بر روی هات‌پلیت ابتدا در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ ساعت و سپس به مدت ۳ ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد برای کامل شدن هضم، قرار داده شدند. پس از هضم با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ فیلتر و با آب دوبار تقطیر حجم نمونه‌ها به ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد (۲۵). جهت سنجش

فلزات سنگین در رسوب ابتدا درون دستگاه آون در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردیدند. بعد از خشک شدن نمونه‌ها در هاون چینی پودر و هم‌وزن شدند. سپس از الک استیل ۶۳ میکرون جهت یکنواخت شدن عبور داده شدند. ۱ گرم از رسوبات پودر شده هر ایستگاه درون ارلن ریخته و به آن‌ها به نسبت ۱ به ۴ اسید نیتریک ۶۵ درصد و اسیدکلریدریک ۳۵ درصد اضافه شد و حدود ۵ ساعت جهت هضم بر روی هیتر با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس ۴ میلی‌لیتر پرکلریک اسید ۷۰ درصد به نمونه‌ها اضافه و از روی هیتر برداشته شد و توسط آب دوبار تقطیر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شدند (۲۶). در نهایت غلظت فلزات سنگین در بافت نرم و رسوب با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل ۹۳۲-GBC (ساخت کشور استرالیا) اندازه‌گیری و نتایج بر اساس میکروگرم بر گرم وزن خشک گزارش گردید. جهت اندازه‌گیری سطوح آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز، بافت نرم ۲۰ عدد اویستر صخره‌ای جداسازی شد. ۰/۵ گرم از بافت نرم درون بشر قرار داده شد و ۵۰ سی‌سی محلول بافر به نمونه بافت نرم اضافه گردید (جهت تهیه محلول بافر به یک لیتر آب دیونیزه ۰/۰۴ گرم Na_2HPO_4 اضافه گردید و روی هیتر قرار داده شد و درون محلول یک مگنت جهت هم‌زدن و یکنواخت شدن محلول قرار داده شد و هم‌زمان به محلول روی هیتر ۲/۹۱ گرم NaH_2PO_4 و ۲۴/۳۷ گرم EDTA اضافه گردید تا pH محلول به ۷ برسد). سپس نمونه داخل بشر همراه با محلول بافر توسط دستگاه هم‌زنایزر مدل D500 حدود ۵۰ ثانیه مخلوط شد تا به حالت یکنواخت درآید. سپس با استفاده از سمپلر سی‌سی نمونه مخلوط شده درون میکروتیوب ریخته شد و نمونه‌ها درون سانتریفیوژ با دور ۱۲۰۰۰ و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده تا کاملاً به حالت محلول درآیند، سپس با سمپلر فاز بالای محلول برداشته شد و درون میکروتیوب انتقال یافت. محلول آماده شده تا زمان انجام آزمایش مربوط به سنجش آنزیم‌ها در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند (۲۷). میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی با استفاده از دستورالعمل کیت اندازه‌گیری میزان سوپراکسیددیسموتاز با کد KSOD96 و کیت اندازه‌گیری میزان کاتالاز با کد KCAT96 ساخت شرکت کیازیست و با استفاده از دستگاه میکروپلیت ریدر (Biochrom Anthos 2020) ساخت کشور پرتغال) با طول موج ۵۷۰ نانومتر، سنجش گردید. مقادیر اندازه‌گیری شده آنزیم‌ها بر حسب نانومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین گزارش گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام گرفت. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگراف اسمیرنوف بررسی و سپس با استفاده از آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه ANOVA و پس‌آزمون توکی (Tukey) مقایسه میانگین غلظت فلزات

اختلاف آماری معنی‌داری می‌باشد ($P < 0.05$). به‌همین دلیل از پس‌آزمون توکی برای مقایسه دقیق‌تر بین ایستگاه استفاده شد که نشان داد بین ایستگاه دریابزرگ با آب‌شیرین‌کن، ساحل دانشگاه دریانوردی با تیس، اختلاف آماری معنی‌داری وجود ندارد ($P > 0.05$). بیش‌ترین میزان فلز نیکل در بافت نرم اویستر صخره‌ای ایستگاه‌رمین با میانگین 71.08 ± 0.08 و کم‌ترین میزان در ایستگاه کنارک با میانگین $2/6 \pm 0/2$ میکروگرم بر گرم وزن خشک ثبت گردید. تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که اختلاف آماری معنی‌داری بین میزان تجمع نیکل در اویستر صخره‌ای ایستگاه‌ها وجود دارد ($P < 0.05$). پس‌آزمون توکی نشان داد بین ساحل دانشگاه دریانوردی با ایستگاه تیس و کنارک، اختلاف آماری معنی‌داری وجود ندارد ($P > 0.05$). بررسی میانگین و انحراف معیار غلظت فلز کادمیوم نشان داد که بیش‌ترین میزان تجمع زیستی فلز کادمیوم در بافت نرم اویستر صخره‌ای ایستگاه‌رمین ($20/10 \pm 8/19$) و کم‌ترین میزان آن در ایستگاه کنارک ($10/5 \pm 0/3$) ثبت گردید (جدول ۳).

سنگین و آنزیم‌ها در ایستگاه‌های مختلف انجام شد. هم‌چنین، اختلاف آماری معنی‌داری در سطح $0/05$ مورد بررسی قرار گرفت. همبستگی بین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون پیرسون مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت نمودارها با استفاده از Excel 2016 رسم گردیدند.

نتایج

میانگین و انحراف معیار طول کل (سانتی‌متر) و وزن (گرم) اویستر صخره‌ای در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه داده شده است. نتایج بررسی میانگین و انحراف معیار میزان فلز سرب در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که بیش‌ترین میزان تجمع زیستی این فلز در بافت نرم اویستر صخره‌ای در ایستگاه رمین ($9/0 \pm 8/4$) و کم‌ترین میزان آن در ایستگاه کنارک ($4/2 \pm 0/2$) بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک ثبت گردید. بررسی غلظت فلز سرب در ایستگاه‌های مورد مطالعه با آزمون آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-way Anova) نشان داد که غلظت این فلز در ایستگاه‌های مختلف با یکدیگر دارای

جدول ۲: میانگین طول و وزن (میانگین \pm انحراف معیار) اویستر صخره‌ای (*S. cucullata*) در ۶ ایستگاه مورد مطالعه دریای عمان

دریا بزرگ	ساحل دانشگاه دریانوردی	تیس	کنارک	آب شیرین‌کن	رمین
طول کل (سانتی‌متر)	$6/2 \pm 0/55$	$7/4 \pm 0/99$	$7/5 \pm 0/43$	$7/05 \pm 0/36$	$5/6 \pm 0/5$
وزن (گرم)	$59/29 \pm 15/2$	$84/92 \pm 14/24$	$85/75 \pm 13/9$	$86/01 \pm 9/31$	$57/71 \pm 21/8$

جدول ۳: میانگین و انحراف معیار غلظت فلزات سنگین (میکروگرم بر گرم وزن خشک) در بافت نرم اویستر صخره‌ای (*S. cucullata*) در ایستگاه‌های مختلف

فلزات	دریا بزرگ	ساحل دانشگاه دریانوردی	تیس	کنارک	آب شیرین‌کن	رمین
سرب	$8 \pm 0/4^a$	$5/2 \pm 0/3^b$	$5/2 \pm 0/4^b$	$4/2 \pm 0/3^c$	$8/1 \pm 0/3^a$	$9/8 \pm 0/4^d$
نیکل	$4/7 \pm 0/2^a$	$2/7 \pm 0/3^b$	$2/8 \pm 0/2^b$	$2/6 \pm 0/2^b$	$3/1 \pm 0/1^c$	$7/08 \pm 0/08^d$
کادمیوم	$19/2 \pm 0/2^a$	$11/2 \pm 0/2^b$	$11/8 \pm 0/1^b$	$10/5 \pm 0/3^c$	$15/8 \pm 0/3^d$	$21 \pm 0/2^e$

حروف انگلیسی غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح $0/05$ می‌باشد ($P < 0/05$)

جدول ۴: میانگین و انحراف معیار غلظت فلزات سنگین (میکروگرم بر گرم وزن خشک) در رسوب ایستگاه‌های مختلف

فلزات	دریا بزرگ	ساحل دانشگاه دریانوردی	تیس	کنارک	آب شیرین‌کن	رمین
سرب	$34/1 \pm 1/05^a$	$24/2 \pm 1^b$	$28 \pm 0/7^c$	$19/8 \pm 1/4^d$	$30/3 \pm 1/2^c$	$43/3 \pm 1/3^c$
نیکل	$21/4 \pm 1/4^ac$	$17/5 \pm 1/4^ab$	$18/8 \pm 1/4^a$	$17/1 \pm 1/4^ae$	$19/2 \pm 1/05^a$	$24/4 \pm 1^c$
کادمیوم	$3/1 \pm 1^ab$	$2/1 \pm 0/4^a$	$2/1 \pm 0/2^a$	$2/03 \pm 0/5^a$	$2/6 \pm 0/5^ab$	$3/7 \pm 0/4^b$

حروف انگلیسی غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح $0/05$ می‌باشد ($P < 0/05$)

بین ایستگاه تیس و آب‌شیرین‌کن اختلاف آماری معنی‌داری وجود ندارد ($P > 0.05$). نتایج حاصل از تجمع زیستی فلز نیکل در رسوبات ایستگاه‌های مختلف نشان داد که بیش‌ترین میزان غلظت این فلز در ایستگاه رمین با میانگین $24/5 \pm 0/97$ و کم‌ترین میزان آن در ایستگاه کنارک با میانگین $17/14 \pm 1/44$ میکروگرم بر گرم وزن خشک ثبت شده است. پس‌آزمون توکی نشان داد که دریا بزرگ با دو ایستگاه ساحل دانشگاه دریانوردی و کنارک دارای اختلاف آماری معنی‌داری بود ($P < 0.05$). هم‌چنین، رمین با تمامی ایستگاه‌ها دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود و تنها با ایستگاه دریابزرگ فاقد اختلاف آماری معنی‌داری

مقایسه فلز کادمیوم در بین ایستگاه‌های مختلف با آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه اختلاف آماری معنی‌داری را نشان داد ($P < 0.05$). اما ایستگاه تیس با ساحل دانشگاه دریانوردی فاقد اختلاف آماری معنی‌دار با یکدیگر بود ($P > 0.05$). نتایج میانگین و انحراف معیار غلظت فلزات سنگین (سرب، نیکل و کادمیوم) در رسوب ایستگاه‌های نمونه‌برداری در جدول ۴ ارائه شده است. بیش‌ترین میزان تجمع سرب در رسوب در ایستگاه رمین ($43/34 \pm 1/32$) و کم‌ترین غلظت آن در ایستگاه کنارک ($19/8 \pm 1/47$) میکروگرم بر گرم وزن خشک ثبت گردید. نتایج آماری نشان داد در میزان تجمع سرب در رسوب،

و نتایج حاصل نشان داد که بیش‌ترین میزان این آنزیم در ایستگاه رمین بامیانگین $33/13 \pm 0/46$ و کم‌ترین غلظت آن در ایستگاه کنارک با میانگین $10/31 \pm 0/37$ بر حسب نانومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین ثبت شد (شکل ۲). نتایج مقایسه آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نشان داد که میزان این آنزیم در ایستگاه‌های مختلف دارای اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشد ($P < 0/05$). به‌همین دلیل از پس‌آزمون توکی برای مقایسه دقیق‌تر استفاده شد که نشان داد بین تمام ایستگاه‌ها با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد ($P < 0/05$). جهت بررسی همبستگی بین فلزات سنگین و میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در بافت نرم اویستر صخره‌ای از آزمون پیرسون استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد که تمامی فلزات در بافت نرم اویستر صخره‌ای با آنزیم‌های مورد بررسی دارای همبستگی قوی و معنی‌داری در سطح $0/01$ هستند (جدول ۵). همبستگی بین فلزات در بافت نرم اویستر صخره‌ای و رسوبات نیز با استفاده از همبستگی پیرسون بررسی شد. طبق نتایج به‌دست آمده تمامی داده‌ها دارای همبستگی قوی و معنی‌دار بودند ($P < 0/05$) (جدول ۶).

بود ($P > 0/05$). میانگین و انحراف معیار غلظت فلز کادمیوم در رسوبات ایستگاه‌های مورد مطالعه بررسی شد و نتایج حاصل نشان داد که بالاترین میزان تجمع در ایستگاه رمین ($3/0 \pm 72/41$) و پایین‌ترین غلظت آن در ایستگاه کنارک ($2/03 \pm 0/56$) میکروگرم بر گرم وزن خشک ثبت گردید. مقایسه غلظت کادمیوم در ایستگاه‌های مختلف اختلاف آماری معنی‌دار را بین ایستگاه‌ها نشان داد ($P < 0/05$). همچنین تمامی ایستگاه‌ها با یکدیگر و ایستگاه رمین تنها با دریا بزرگ و آب‌شیرین‌کن فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بودند ($P > 0/05$). نتایج بررسی میانگین و انحراف معیار آنزیم کاتالاز در بافت نرم اویستر صخره‌ای ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که بیش‌ترین میزان این آنزیم در ایستگاه رمین ($7/0 \pm 0/08$) و کم‌ترین میزان در ایستگاه کنارک ($2/67 \pm 0/25$) بر حسب نانومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین ثبت گردید (شکل ۱). همان‌طور که در شکل ۱ قابل مشاهده است، بین میزان آنزیم کاتالاز در اویستر صخره‌ای ایستگاه‌های دریا بزرگ با تیس و آب‌شیرین‌کن، ساحل دانشگاه دریانوردی با کنارک اختلاف آماری معنی‌داری وجود ندارد ($P > 0/05$). میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در ایستگاه‌های مورد مطالعه بررسی

جدول ۵: همبستگی بین فلزات سنگین و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در بافت نرم اویستر صخره‌ای (*S. cucullata*)

سوپراکسید دیسموتاز	کاتالاز	کادمیوم	نیکل	سرب		
				۱	ضریب همبستگی معنی‌داری	سرب
			۱	۰/۸**	ضریب همبستگی معنی‌داری	نیکل
		۱	۰/۸**	۰/۹**	ضریب همبستگی معنی‌داری	کادمیوم
	۱	۰/۹**	۰/۸**	۰/۹**	ضریب همبستگی معنی‌داری	کاتالاز
۱	۰/۹**	۰/۹**	۰/۸**	۰/۹**	ضریب همبستگی معنی‌داری	سوپراکسید دیسموتاز
	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰		

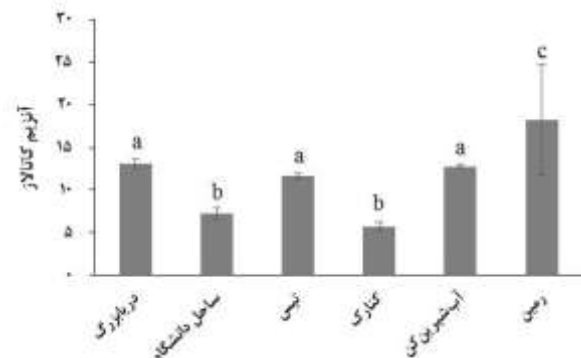
** همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

جدول ۶: همبستگی فلزات سنگین بین بافت نرم اویستر صخره‌ای (*S. cucullata*) و رسوب

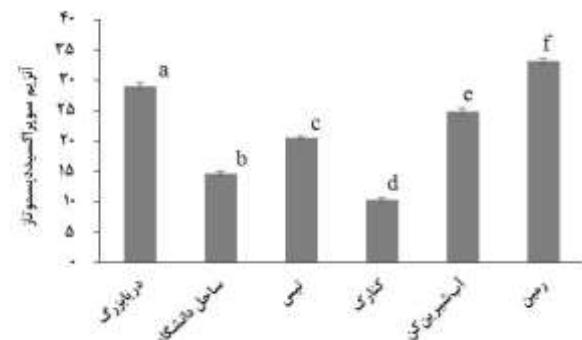
کادمیوم (رسوب)	نیکل (رسوب)	سرب (رسوب)	کادمیوم (بافت)	نیکل (بافت)	سرب (بافت)		
					۱	ضریب همبستگی معنی‌داری	سرب (بافت نرم)
				۱	۰/۸**	ضریب همبستگی معنی‌داری	نیکل (بافت نرم)
			۱	۰/۸**	۰/۹**	ضریب همبستگی معنی‌داری	کادمیوم (بافت نرم)
		۱	۰/۹**	۰/۹**	۰/۸**	ضریب همبستگی معنی‌داری	سرب (رسوب)
	۱	۰/۹**	۰/۸**	۰/۹**	۰/۷**	ضریب همبستگی معنی‌داری	نیکل (رسوب)
۱	۰/۸**	۰/۸**	۰/۷	۰/۷**	۰/۷**	ضریب همبستگی معنی‌داری	کادمیوم (رسوب)
	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰		

** همبستگی معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

تجمع فلزات سنگین در رسوب به صورت سرب-نیکل-کادمیوم و در بافت نرم اویستر صخره‌ای (*S. cucullata*) به صورت کادمیوم-سرب-نیکل است. آلوده‌ترین ایستگاه در این مطالعه از نظر تجمع فلزات سنگین ایستگاه رمین ثبت شد و توالی آلودگی ایستگاه برای فلزات نیکل و کادمیوم به صورت رمین > دریا بزرگ > آب شیرین کن > تیس > ساحل دانشگاه دریانوردی > کنارک ثبت شد. اما برای فلز سرب آلودگی ایستگاه آب شیرین کن بیش‌تر از دریا بزرگ بود. پایش مداوم خلیج چابهار به علت داشتن منابع با ارزش دریایی از جمله ماهیان و نرم‌تنان تجاری و اقتصادی مهم و به علت افزایش آلودگی‌ها ضروری است تا خطری سلامت بومیان و منابع مهم این منطقه را تهدید نکند. Liu و همکاران، تجمع زیستی فلزات سنگین سرب و کادمیوم در سه گونه دوکفه‌ای *Ruditapes philippinarum* *Macra veneriformis* و *Scapharca subcrenata* از آب‌های Laizhou چین را مورد بررسی قرار دادند (۳۰). مطالعه آن‌ها نشان داد که همانند مطالعه حاضر الگوی تجمع فلز کادمیوم بیش‌تر از سرب است. Shaari و همکاران تجمع زیستی فلزات سرب و کادمیوم را در اویستر *Crassostrea sp.* مورد بررسی قرار داده (۳۱) و مقایسه نتایج نشان داد که غلظت فلزات بسیار کم‌تر از مطالعه حاضر بود و با مطالعه حاضر هم‌خوانی نداشت که می‌تواند به این دلیل باشد که تجمع فلزات سنگین در بافت صدف تحت تأثیر متابولیسم آن‌ها و در دسترس بودن فلزات مختلف در محیط است (۳۲). تفاوت در مکان و نحوه زندگی موجودات و همچنین تفاوت‌های فیزیولوژیکی، گونه‌ای و متابولیکی از عوامل اختلاف در الگوی تجمع فلزات سنگین در بدن است (۳۳). در مطالعه حاضر غلظت فلز کادمیوم در بافت نرم اویستر صخره‌ای بالاتر از غلظت فلزات نیکل و سرب بود. ورود کودهای شیمیایی، پساب مناطق آلوده و فرسایش خاک و سنگ بستر از مهم‌ترین منابع کادمیوم هستند (۳۳). بنابراین، می‌توان این‌گونه استنباط کرد که در مناطق مورد مطالعه ورود پساب‌های آلوده از کشتی‌های بزرگ و کوچک و فاضلاب‌های کشاورزی می‌تواند عامل بالا بودن غلظت کادمیوم باشند. Holwerda در مطالعه خود بیان کرد علت بالا بودن میزان کادمیوم در دوکفه‌ای، شباهت کادمیوم با فلزات ضروری مانند روی و کلسیم برای رشد آن‌ها است (۳۴). Azarbad و همکاران میزان جذب کادمیوم و مس توسط اویستر صخره‌ای (*Saccostrea cucullata*) تحت مطالعات میدانی را در خلیج فارس مورد بررسی قرار دادند (۳۵). براساس نتایج به دست آمده از این تحقیق مشخص شد، که این صدف توانایی بالایی در جذب فلزات دارد و می‌توان از آن به عنوان پالاینده زیستی استفاده کرد. Bagheri و همکاران به بررسی اویستر صخره‌ای (*Saccostrea cucullata*) به عنوان پایشگر زیستی فلزات روی، مس، سرب و کادمیوم در منطقه



شکل ۱: میزان آنزیم کاتالاز (نانومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) در بافت نرم اویستر صخره‌ای (*S. cucullata*) ایستگاه‌های مورد مطالعه *حروف انگلیسی غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد ($P < 0/05$)



شکل ۲: میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (نانومول بر دقیقه بر میلی‌گرم پروتئین) در بافت نرم اویستر صخره‌ای (*S. cucullata*) ایستگاه‌های مورد مطالعه *حروف انگلیسی غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف آماری معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ می‌باشد ($P < 0/05$)

بحث

آب‌زیان ماکروبینتوزی از مناسب‌ترین و مهم‌ترین موجودات برای نشان دادن الگوی تجمع فلزات در اکوسیستم‌های آبی می‌باشند که امروزه مطالعات بسیاری در داخل و خارج کشور بر روی آن‌ها انجام شده است و بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که صدف‌های دوکفه‌ای به دلیل ویژگی فیلترکنندگی، بی‌تحرك بودن و تحمل فشارهای محیطی بالا می‌توانند ارگانسیم خوبی برای نظارت زیست‌محیطی می‌باشند (۲۸). تغییرات ایجاد شده در علم و صنعت، افزایش جمعیت جهان و مناطق ساحلی، توسعه فعالیت‌های صنعتی و تخلیه فاضلاب‌های آن‌ها به محیط آبی سبب گسترش آلاینده‌های پایداری در این محیط شده و تهدید جدی برای آینده اکوسیستم‌های آبی محسوب می‌شوند (۲۹). براساس نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر مشخص شد که توالی

ERL کیفیت رسوب آمریکا بالاتر بود. اما، نسبت به استانداردهای دیگر کم‌تر بود. میزان نیکل نسبت به استاندارد LAL بالاتر بود اما نسبت به استانداردهای دیگر پایین بود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که غلظت فلزات در منطقه مورد مطالعه تهدیدی برای موجودات آن منطقه نیستند. یکی از عوامل منشأ فلز نیکل در دریای عمان، وجود سنگ‌هایی از جنس *Ophiolites* در بستر این دریا است که دارای میزان زیادی از سولفید نیکل بوده به همین دلیل یکی از علل افزایش فلز نیکل در رسوبات سواحل خلیج چابهار وجود همین سنگ‌ها است (۴۳). براساس مطالعات Sadeghi و همکاران، افزایش غلظت نیکل در رسوبات بیش‌تر به دلیل آلودگی‌های نفتی از قبیل سوخت ماشین‌ها و کشتی‌ها است (۱۸). علت بیش‌تر آلودگی فلزات سنگین خطرناک در مناطق مورد مطالعه، طبق پژوهش‌های صورت گرفته در این منطقه، بیش‌تر به دلیل تعمیرات و تعویض روغن قایق‌ها و لنج‌های ماهیگیری به‌خصوص رنگ‌آمیزی و سوخت‌رسانی آن‌ها است. از مهم‌ترین منابع آلودگی فلزات سنگین، استفاده از رنگ‌ها در بدنه این قایق‌ها، لنج و کشتی‌ها جهت جلوگیری از چسبیدن موجودات مزاحم از قبیل بارناکل‌ها هستند (۴۴، ۱۷).

جدول ۷: مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوبات مطالعه حاضر با سایر مطالعات دیگر بر حسب میکروگرم بر گرم وزن خشک

منبع	سرب	نیکل	کادمیوم	منطقه
۴۵	۸/۹۶	۸۱/۸۷	۵/۲۷	سواحل چابهار
۱۸	۳۸/۳	۱۳۳/۸	۳/۱	دریای عمان
۴۶	---	۷۰/۰۸	۳/۳۶	خور موسی
۴۷	۲/۳	---	۳/۴	خلیج فارس
۴۸	۱/۷۷	---	۱/۴	سواحل پاکستان
۴۹	۱۵/۲	۴	۰/۷۵	دریای مدیترانه، مصر
مطالعه حاضر	۳۰	۱۹/۷	۲/۶	سواحل دریای عمان

جدول ۸: مقایسه غلظت فلزات سنگین رسوبات مطالعه حاضر با استانداردهای کیفیت رسوب (میکروگرم بر گرم وزن خشک)

منبع	سرب	نیکل	کادمیوم	استاندارد
۵۰	۲۱۸	۵۱/۶	۹/۶	ERM
۵۰	۴۶/۷	۲۰/۹	۱/۲	ERL
۵۱	۲۱۸	۵۰	۹/۶	HAL ^۱
۵۱	۲	۳	۰/۰۴	LAL ^۲
۵۲	۳۰/۲	۱۵/۹	۰/۷	ISQGs ^۳
۵۲	۱۱۲	۴۲/۸	۴/۲	PEL ^۴
مطالعه حاضر	۳۰	۱۹/۷	۲/۶	سواحل دریای عمان

^۱Highest Alert Level, ^۲Lowest Alert Level, ^۳Canadian Interim Marine Sediment Quality, ^۴Probable Effects Level

زمانی که آبزیان در معرض آلاینده‌ها قرار می‌گیرند تولید رادیکال‌های آزاد در بدن آن‌ها افزایش می‌یابد و به دنبال آن سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی در آن‌ها فعال می‌شود که آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و کاتالاز از جمله آنتی‌اکسیدان‌های مهم هستند (۵۳). در

بین جزرومدی جزیره هرمز در خلیج فارس پرداختند و نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که روند تجمع فلزات سنگین در بافت نرم صدف به صورت روی <مس> <سرب> <کادمیوم> و در پوسته صدف به ترتیب سرب <روی <مس> <کادمیوم> بود (۳۶). هم‌چنین، نتیجه گرفتند که میزان فلزات سرب، روی و مس در بافت نرم صدف و رسوبات منطقه مورد مطالعه باهم همبستگی قوی داشتند و بیان نمودند که پوسته صدف به‌عنوان پایشگر زیستی مناسب برای فلز سرب و بافت نرم آن برای فلزات مس، روی و کادمیوم مناسب می‌باشند. مقایسه مطالعه حاضر با مطالعه Alavian Petroody و همکاران که به بررسی تجمع فلزات سرب، نیکل و کادمیوم در بافت نرم اویستر صخره‌ای (*S. cucullata*) در بندر لافت جزیره قشم پرداختند نشان داد که غلظت نیکل و سرب این مطالعه بسیار بالاتر از مطالعه حاضر بود اما مقدار کادمیوم پایین‌تر از مطالعه حاضر به دست آمد (۳۷). Safahieh و همکاران، غلظت فلزات سرب، نیکل و کادمیوم را در صدف *Solen roseomaculatus* و رسوب استان بوشهر مورد بررسی قرار دادند (۳۸). مقایسه این مطالعه با مطالعه حاضر نشان داد که در بافت نرم صدف میزان فلز سرب حدوداً با مطالعه حاضر هم‌خوانی داشت. اما میزان فلز نیکل و کادمیوم بسیار کم‌تر از مطالعه حاضر بود. Rajaei و همکاران، غلظت فلز کادمیوم و سرب در صدف مرواریدساز (*Pinctada radiata*) را جزایر هندورابی و لاوان بررسی کردند (۳۹). مقایسه نتایج مطالعه مذکور نشان داد که برخلاف مطالعه حاضر غلظت فلزات فاقد اختلاف آماری معنی‌دار بودند ($P > 0.05$). میزان تجمع زیستی فلزات نیکل و سرب در بافت نرم دوکفه‌ای *Crassostrea gasar* در خلیج Millionnaires چندین برابر مطالعه حاضر گزارش شده است (۴۰). تفاوت‌های موجود در میزان تجمع فلزات سنگین در بافت موجودات در اثر عوامل مختلفی مانند تفاوت‌های جغرافیایی، گونه‌های مختلف و فعالیت‌های متفاوت انسانی است (۵). مطالعات زیادی بر روی فلزات سنگین در رسوبات خلیج چابهار انجام شده است که علت بالا بودن آلودگی رسوبات را به صنایع کشتی‌سازی، آب‌شیرین‌کن، حمل و نقل کشتی‌ها و قایق‌های تجاری و صیادی نسبت داده‌اند (۴۱، ۱۸، ۲۱، ۴۲). جهت مقایسه وضعیت تجمع فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه از استانداردهای کیفیت رسوب و هم‌چنین مطالعات دیگران بر روی آلودگی رسوبات استفاده شد که در جداول ۷ و ۸ قابل مشاهده است. طبق مقایسه غلظت فلزات در رسوبات مطالعه حاضر با مطالعات دیگر مشخص شد که در برخی مطالعات میزان فلزات بالاتر از مطالعه حاضر و در برخی دیگر پایین‌تر بود و این مسئله به علت تفاوت در مناطق مورد مطالعه، وجود منابع آلاینده متفاوت در آن نقاط و هم‌چنین، متفاوت بودن جنس رسوبات است. طبق بررسی نتایج این مطالعه با استانداردهای کیفیت رسوب مشخص شد که فلز کادمیوم نسبت به استاندارد

این تحقیق سطح آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بیش‌تر از آنزیم کاتالاز بود و الگوی میزان آنزیم‌ها در ایستگاه‌ها به‌صورت رمین <دریا بزرگ> آب‌شیرین‌کن <تیس> ساحل دانشگاه دریانوردی <کنارک> ثبت شد. هم‌چنین، بین سطوح آنزیم در ایستگاه‌های مختلف اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده شد ($P < 0.05$). هم‌چنین مشخص شد که عوامل استرس‌زا در اثر آلودگی فلزات سنگین در گونه مورد مطالعه باعث ایجاد تغییراتی در فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و سوپراکسید استرس اکسیداتیو بیشتر در موجود، سطح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی جهت جلوگیری از فعالیت استرس اکسیداتیو نیز فعال شده و افزایش پیدا کردند. El-Shenawy و همکاران، استفاده از سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی آنزیمی حلزون *Eobania vermiculata* به‌عنوان نشانگرهای زیستی آلودگی فلزات سنگین را مورد بررسی قرار دادند (۵۴). مقایسه این تحقیق با مطالعه حاضر نشان داد که دو مطالعه از نظر فعالیت آنتی‌اکسیدانی در مقابل آلودگی با یکدیگر هم‌خوانی دارند و نتایج مطالعه El-Shenawy و همکاران نشان داد که حلزون‌های ایستگاه‌های آلوده، سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی را برای از بین بردن یا تبدیل رادیکال‌های آزاد به متابولیت‌های با سمیت کم و سپس کاهش آسیب اکسیداتیو ایجاد کرده‌اند (۵۴). مقایسه نتایج مطالعه

Bhalla و Balasaheb با مطالعه حاضر هم‌خوانی نداشت و این مطالعه نشان داد که افزایش تجمع زیستی فلزات سنگین در *Lamelleidens marginallis* باعث افزایش سطح پراکسید لیپید در سلول‌های موجود شده که سبب فعالیت کم‌تر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز در فصل تابستان نسبت به فصل‌های موسمی و زمستانی شد (۵۵). گاهی اوقات افزایش بیش‌ازحد فلزات سبب افزایش غلظت سلولی اکسیژن فعال و کاهش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی سلولی شده که آسیب اکسیداتیو را افزایش می‌دهد. به‌عنوان مثال، پراکسید لیپید مکانیسم شناخته شده‌ای برای آسیب سلولی است و نشانگر آسیب اکسیداتیو در سلول‌ها و بافت‌ها است (۵۶). نتایج مطالعه صورت گرفته توسط Uluturhan و همکاران که به بررسی پاسخ آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در برابر آلاینده‌های فلزی بر روی دو گونه دوکفه‌ای *Mytilus galloprovincialis* و *Tapes decussatus* پرداختند (۵۷)، با مطالعه حاضر هم‌خوانی داشت و نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که افزایش آلاینده‌ها سبب افزایش سطح آنزیم‌های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز شد و کاهش سطح فلزات نیز سبب کاهش فعالیت آنزیم‌ها شد. هم‌چنین آن‌ها نتیجه گرفتند تغییرات فصلی سطح فلزات و نشانگرهای زیستی ممکن است مربوط به فیزیولوژی خاص گونه‌ها و شرایط محیطی باشد. نتایج مطالعات صورت گرفته توسط Mlouka و همکاران که به بررسی اثر فلز مس بر روی دو گونه *Mytilus edulis*

و *Mytilus galloprovincialis* در دریای مدیترانه پرداختند (۵۸) با مطالعه حاضر هم‌خوانی داشت و نتایج این مطالعه نشان داد که در اثر افزایش تجمع زیستی مس در این دو گونه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی از جمله کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز افزایش می‌یابد. Ganguly و همکاران، الگوی تجمع فلزات سنگین و اثر آن‌ها بر سطح آنتی‌اکسیدان‌ها و حفظ تعادل اکسیداتیو در صدف *Nerita articulate* را در خور مانگروی Sundarban هند مورد بررسی قرار دادند (۵۹). نتایج آن مطالعه نشان داد که دامنه تغییرات نشانگرهای زیستی انتخاب شده، با یکدیگر متفاوت بود. اما با میزان تجمع فلزات سنگین در بافت در ارتباط بود. نتایج مطالعه آن‌ها بیانگر بالا بودن میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی جهت مقابله با عامل استرس‌زا بود. در سال‌های اخیر مشخص شده است که ارزیابی ریسک آلودگی محیط‌زیست تنها نمی‌تواند براساس تجزیه و تحلیل شیمیایی باشد زیرا نشانه‌روشنی از تأثیرات سمی آلاینده بر روی زیست‌آبزیان ارائه نمی‌دهد. به‌همین دلیل از نشانگرهای زیستی دیگری مانند آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی جهت پایش سطوح آلاینده و کنترل آن‌ها در محیط آلوده استفاده می‌کنند. فلزات سنگین یکی از مهم‌ترین آلاینده‌هایی هستند که باعث القای استرس اکسیداتیو در موجودات می‌شوند بنابراین سیستم دفاعی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان سلول‌ها در چنین مواردی برای محدود کردن این استرس شروع به فعالیت می‌کنند. صدف‌ها را می‌توان به‌عنوان ارگانسیم‌های نگهبان برای ارزیابی پاسخ هشدار دهنده اولیه در مورد آسیب‌های زیست‌محیطی طولانی‌مدت استفاده کرد. در مطالعه حاضر که فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز تحت تأثیر فلزات سنگین در دریای عمان مورد بررسی قرار گرفت، تجمع فلزات سنگین در رسوب به‌صورت سرب <نیکل> کادمیوم و در بافت نرم صدف *S. cucullata* کادمیوم <سرب> نیکل مشاهده شد. در این مطالعه مشخص شد که تجمع زیستی فلز کادمیوم در رسوب بیش‌تر از فلزات سرب و نیکل در بافت نرم بود. اما در بافت نرم اویستر صخره‌ای غلظت فلز کادمیوم دارای کم‌ترین میزان نسبت به فلز سرب به‌دست آمد. آلوده‌ترین ایستگاه در این مطالعه هم از نظر تجمع زیستی فلزات در رسوب و هم بافت نرم اویستر صخره‌ای ایستگاه رمین ثبت شد و توالی آلودگی ایستگاه برای فلزات نیکل و کادمیوم به‌صورت رمین <دریا بزرگ> آب‌شیرین‌کن <تیس> ساحل دانشگاه دریانوردی <کنارک> ثبت شد اما برای فلز سرب فقط آلودگی ایستگاه آب‌شیرین‌کن بیش‌تر از دریا بزرگ بود. در این تحقیق سطح فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز بیش‌تر از آنزیم کاتالاز بود و الگوی فعالیت آنزیم‌ها در ایستگاه‌ها به‌صورت رمین <دریا بزرگ> آب‌شیرین‌کن <تیس> ساحل دانشگاه دریانوردی <کنارک> ثبت شد و بین سطوح آنزیم در ایستگاه‌های مختلف اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده

assessment of trace element pollution in sediments and five important commercial fishes of the Oman Sea. Marine Pollution Bulletin. 173: 112962.

17. **Hamzeh, M.A., Shah-hosseini, M. and Beni, A.N., 2013.** Effect of fishing vessels on trace metal contamination in sediments of three harbors along Iranian Oman Sea coast. Environmental monitoring & assessment. 185(2): 1791-1807.
18. **Sadeghi, P., Loghmani, M. and Afsa, E., 2019.** Trace element concentrations, ecological and health risk assessment in sediment and marine fish *Otolithes ruber* in Oman Sea, Iran. Marine pollution bulletin. 140: 248-254.
19. **Sadeghi, P., Loghmani, M. and Frokhzad, S., 2020.** Human health risk assessment of heavy metals via consumption of commercial marine fish (*Thunnus albacares*, *Euthynnus affinis*, and *Katsuwonus pelamis*) in Oman Sea. Environmental Science and Pollution Research. 27: 14944-14952.
20. **Shahri, E., Sayadi, M.H. and Yousefi, E., 2020.** Evaluation of heavy metal pollution of Zinc, Nickel, Chromium, Lead, Cadmium, Copper and Iron in water, surface sediments and algae of the northern shores of Makran Sea in summer 2020. Journal of Animal Environment. 12(4): 593-602. (In Persian)
21. **Sadeghi, P., Koohkan, O. and Moradi, A., 2020.** Histopathological lesions of gill tissue in John's snapper (*Lutjanus johnii*) and Javelin grunter (*Pomadasy kaakan*) in the Oman Sea. Journal of Animal Environment. 12(3): 123-130. (DOI): 10.22034/aej.2020. 112925 (In Persian)
22. **Staniskiene, B., Matusевичius, P., Budreckiene, R. and Skibniewska, K.A., 2006.** Distribution of Heavy Metals in Tissues of Freshwater Fish in Lithuania, Polish Journal of Environment Study. 15(4): 585-591.
23. **Pellerin, J. and Amiard, J.C., 2009.** Comparison of bioaccumulation of metals and induction of metallothioneins in two marine bivalves (*Mytilus edulis* and *Mya arenaria*). Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology. 150(2): 186-195.
24. **Tanner, P.A., Leong, L.S. and Pan, S.M., 2000.** Contamination of heavy metals in marine sediment cores from Victoria Harbour, Hong Kong. Marine Pollution Bulletin. 40(9): 769-779.
25. **AOAC. 2005.** Official Methods of Analysis, 18th edn. Association of official analytical chemists, Washington DC.
26. **MOOPAM. 1999.** Manual of oceanographic observation and pollutant analyses methods. In: Section 6, Regional Organization for the Protection of the Marine Environment (RÖPME), third Ed, Kuwait.
27. **Cong, M., Wu, H., Liu, X., Zhao, J., Wang, X., Lv, J. and Hou, L., 2012.** Effects of heavy metals on the expression of a zinc-inducible metallothionein-III gene and antioxidant enzyme activities in *Crassostrea gigas*. Ecotoxicology. 21(7): 1928-1936.
28. **Canesi, L., Negri, A., Barmo, C., Banni, M., Gallo, G. and Dondero, F., 2011.** The organophosphate chlorpyrifos interferes with the responses to 17 β -estradiol in the digestive gland of the marine mussel *Mytilus galloprovincialis*, Galloprovincialis. PLoS One. 6(5): e19803.
29. **Anbuselvan, N. and Sridharan, M., 2018.** Heavy metal assessment in surface sediments off Coromandel Coast of India: Implication on marine pollution. Marine pollution bulletin. 131: 712-726.
30. **Liu, J., Cao, L. and Dou, S., 2017.** Bioaccumulation of heavy metals and health risk assessment in three benthic bivalves along the coast of Laizhou Bay, China. Marine Pollution Bulletin. 117(1-2): 98-110.
31. **Shaari, H.B., Raven, B., Sultan, K., Mohammad, Y. and Yunus, K., 2016.** Status of heavy metals concentrations in oysters (*Crassostrea sp.*) from Setiu Wetlands, Terengganu, Malaysia. Sains Malaysiana. 45(3): 417-424.
32. **Huanxin, W., Lejun, Z. and Presley, B.J., 2000.** Bioaccumulation of heavy metals in oyster (*Crassostrea virginica*) tissue and shell. Environmental Geology. 39(11): 1216-1226.
33. **Yang, Z. and Peterson, R.T., 2004.** Customer satisfaction, perceived value, and loyalty: The role of switching costs. Psychology and Marketing. 21(10): 799-822.
34. **Holwerda, D.A., 1991.** Cadmium kinetics in freshwater clams. V. Cadmium-copper interaction in metal accumulation by *Anodonta cygnea* and characterization of the metal

شد ($P < 0.05$). همان‌طور که مشخص شد افزایش آلودگی باعث ایجاد تغییراتی در میزان آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی شد و در هر ایستگاه که آلودگی بیش‌تر بود به‌علت ایجاد استرس اکسیداتیو بیش‌تر در موجود، سطح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی جهت جلوگیری از فعالیت استرس اکسیداتیو نیز فعال‌شده و افزایش پیدا کردند. همچنین، غلظت فلزات در رسوب بسیار بالاتر از بافت نرم اویستر صخره‌ای بود. اما، بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوب با کیفیت استانداردهای رسوب نشان داد که میزان فلزات مورد بررسی در رسوبات منطقه مورد مطالعه تهدیدی برای موجودات آن منطقه نیستند.

منابع

1. **Clark, R.B., 1992.** Marine Pollution (3rd ed.), Gookcraft Ltd., Great Britain, UK. 50-60.
2. **Macko, S.A., 2018.** A Perspective on Marine Pollution. In: The Marine Environment and United Nations Sustainable Development Goal 14. Brill Nijhoff. 291-308.
3. **Li, X., Gao, Y., Wang, Y. and Pan, Y., 2014.** Emerging persistent organic pollutants in Chinese Bohai Sea and its coastal regions. The Scientific World Journal. 1-10.
4. **Kabata-Pendias, A., 2001.** Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton, FL. 413 p.
5. **Yilmaz, A., Yanar, A. and Alkan, E., 2018.** Review of heavy metal accumulation in aquatic environment of Northern East Mediterranean Sea part II: Some non-essential metals. Pollution. 4(1): 143-181.
6. **Rosa, A., Scano, P., Melis, M.P., Deiana, M., Atzeri, A. and Dessi, M.A., 2009.** Oxidative stability of lipid components of mullet (*Mugil cephalus*) roe and its product bottarga. Food Chemistry. 115(3): 891-896.
7. **Sies, H., Berndt, C. and Jones, D.P., 2017.** Oxidative stress. Annual review of biochemistry. 86: 715-748.
8. **Sifi, K., Amira, A. and Soltani, N., 2013.** Oxidative stress and biochemical composition in *Donax trunculus* (Mollusca, Bivalvia) from the gulf of Annaba (Algeria). Advances in Environmental Biology. 39(1): 595-605.
9. **Yang, Y., Bazhin, A.V., Werner, J. and Karakhanova, S., 2013.** Reactive oxygen species in the immune system. International reviews of immunology. 32(3): 249-270.
10. **Parolini, M., Magni, S., Castiglioni, S. and Binelli, A., 2016.** Amphetamine exposure imbalanced antioxidant activity in the bivalve *Dreissena polymorpha* causing oxidative and genetic damage. Chemosphere. 144: 207-213.
11. **Petroody, A., Ashrafi, S., Eagderi, S. and Khazaei, M., 2013.** Investigation of body size effect on bioaccumulation pattern of Cd, Pb and Ni in the soft tissue of rock oyster *Saccostrea cucullata* from Laft Port. Journal of the Persian Gulf. 4(14): 39-45.
12. **Nell, J.A., Smith, I.R. and Sheridan, A.K., 1999.** Third generation evaluation of Sydney rock oyster *Saccostrea commercialis* (Iredale and Roughley) breeding lines. Aquaculture. 170(3-4): 195-203.
13. **Barua, P., Mitra, A., Banerjee, K. and Chowdhury, M.S.N., 2011.** Seasonal Variation of Heavy Metals Accumulation in Water and Oyster (*Saccostrea cucullata*) Inhabiting Central & Western Sector of Indian Sundarbans. Environmental Research Journal. 5(3): 121-130.
14. **Moloukhia, H. and Sleem, S., 2011.** Bioaccumulation, Fate and Toxicity of Tow Heavy Metals Common in Industrial Wastes in Tow Aquatic Molluscs. Journal of American Science. 7(8): 459-464.
15. **Yesudhasan, P., Al-Busaidi, M., Al-Rahbi, W.A., Al-Waili, A.S., Al-Nakhaili, A.K., Al-Mazrooei, N.A. and Al-Habsi, S.H., 2013.** Distribution patterns of toxic metals in the marine oyster *Saccostrea cucullata* from the Arabian Sea in Oman: spatial, temporal, and size variations. SpringerPlus. 2(1): 1-12.
16. **Sadeghi, P., Loghmani, M., Yousuf, D.J. and Taghizade Rahmat Abadi, Z., 2021.** Ecological and human health risk

50. Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L. and Culder, F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*. 19: 8197.
51. USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2000. Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories, Volume II. Risk Assessment and Fish Consumption Limits. (EPA 823-B-00-008). United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.
52. CCME (Canadian Council of Minister of the Environment). 1999. Canadian environmental quality guidelines, from publication No.1299: ISBN 1-896997-34-1.
53. Limon-Pacheco, J. and Gonsbatt, M.E., 2009. The role of antioxidants and antioxidant-related enzymes in protective responses to environmentally induced oxidative stress. *Mutation Research*. 674(2): 137-147.
54. El-Shenawy, N.S., Mohammadden, A. and Al-Fahmie, Z.H., 2012. Using the enzymatic & non-enzymatic antioxidant defense system of the land snail *Eobania vermiculata* as biomarkers of terrestrial heavy metal pollution. *Ecotoxicology and environmental safety*. 84: 347-354.
55. Balasaheb, R. and Bhalla, R., 2018. Effect of Heavy Metals on Antioxidant Biomarker Enzymes & Biochemical Constituents in Different Tissues of *Lamelleidens marginallis* in Different Reservoirs of Nasik District. *Nature Environment and Pollution Technology*. 17(1): 183-188.
56. Zhang, Y.Y., Müller, L., Winterhalter, R., Moortgat, G.K.; Hoffmann, T. and Pöschl, U., 2010. Seasonal cycle and temperature dependence of pinene oxidation products, dicarboxylic acids and nitrophenols in fine and coarse air particulate matter. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 10(16): 7859-7873.
57. Uluturhan, E., Darilmaz, E., Kontas, A., Bilgin, M., Alyuruk, H., Altay, O. and Sevgi, S., 2019. Seasonal variations of multi-biomarker responses to metals and pesticides pollution in *M. galloprovincialis* and *T. decussatus* from Homa Lagoon, Eastern Aegean Sea. *Marine pollution bulletin*. 141: 176-186.
58. Mlouka, R., Cachot, J., Boukadida, K., Clerandeanu, C., Gourves, P.Y. and Banni, M., 2019. Compared responses to copper and increased temperatures of hybrid and pure offspring of two mussel species. *Science of the Total Environment*. 685: 795-805.
59. Ganguly, A., Moniruzzaman, M., Chakraborty, S.K., Karan, S. and Mukherjee, J., 2019. Impact of metal accumulation pattern on the annual rhythmicity of antioxidants and their interrelationship to maintain the oxidative balance in mollusc. *Biological Rhythm Research*. 50(4): 603-615.
- binding protein, *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*. 21: 432-437.
35. Azarbad, H., Javanshir Khoi, A., Mirvaghefi, A.R. and Danehkar, A., 2011. Rock oyster (*Saccostrea cucullata*) is able to absorb heavy metals? Case study: cadmium and copper absorption in forests Mangrove. *Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources*. 64(2): 113-123. (In Persian)
36. Bagheri, Z., Riyahi Bakhtiari, A. and Khandan Barani, H., 2015. Investigation of Oyster (*Saccostrea cucullata*) as a Biomonitoring Agent of Pb, Cd, Zn and Cu in Intertidal Zones of Hormoz Island, the Persian Gulf. *Journal of Oceanography*. 5(20): 71-77. (In Persian)
37. Alavian Petroody, S.S., Hamidian, A.H., Eagderi, S. and Ashrafi, S., 2015. Investigation on the Concentration of heavy metals Ni, Cd and Pb in different ages bivalve *Saccostrea cucullata* and compared with international standards. *Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources*. 68(2): 239-246. (In Persian)
38. Safahieh, A., Habibi, S., Zanos, H.P. and Fathtabar, M., 2016. Accumulation of Heavy Metals (Cu, Ni, Pb, Cd) in the Sediment and Razor Clam, *Solen Roseomaculatus* in the Shorelines of Bushehr Province. *Journal of Oceanography*. 7(27): 41-48. (In Persian)
39. Rajaei, M., Poorbagher, H., Farahmand, H., Mortazavi, M.S., Aflaki, F. and Hamidian, A.H., 2015. Accumulation of Mn, Cd, Cr and Pb in *Pinctada radiata* (Bivalvia: Pterioidea) in the Hendorabi and Lavan Islands, the Persian Gulf. *Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources*. 68(1): 45-52. (In Persian)
40. Tuo, A.D., Soro, M.B., Trokourey, A. and Bokra, Y., 2020. Seasonal variation in trace metal contents in oyster *Crassostrea gasar* from the Milliardaires Bay, Côte d'Ivoire. *International Journal of Communication Systems*. 8(2): 624-630.
41. Sadeghi, P., Savari, A., Movahedinia, A., Safahieh, A. and Ajdari, D., 2014. An assessment of hematological and biochemical responses in the tropical fish *Epinephelus stoliczkae* of Chabahar Bay & Gulf of Oman under chromium exposure: ecological and experimental tests. *Environmental science and pollution research*. 21: 6076-6088.
42. Molamohyeddin, N., Ghafourian, H. and Sadatipour, S.M., 2017. Contamination assessment of mercury, lead, cadmium and arsenic in surface sediments of Chabahar Bay. *Marine Pollution Bulletin*. 124(1): 521-525.
43. De Mora, S., Fowler, S.W., Wyse, E. and Azemard, S., 2004. Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and coastal sediments in the Gulf and Gulf of Oman., *Marine Pollution Bulletin*. 49: 410-424.
44. Sistani, A., Vani, J. and Khan, D.L., 2015. Temporal and spatial varieties of industrial metals (Cu, Pb and Ni) fixation in the silt from intertidal zone along the Iranian shores of the Oman Sea. *International Journal of Oceanography and Marine Biology*. 2(1): 038-043.
45. Mirza, R. and Moeinaddini, M., 2017. Contamination and Ecological Assessment of Heavy Metals (Hg, Cd, Pb, Ni, V, Cu) in Surface Sediments of Chabahar Bay. *Journal of Oceanography*. 8(31): 1-9. (In Persian)
46. Saadati, M., Soleimani, M., Sadeghsaba, M. and Hemami, M.R., 2020. Bioaccumulation of heavy metals (Hg, Cd and Ni) by sentinel crab (*Macrophthalmus depressus*) from sediments of Mousa Bay, Persian Gulf. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 191: 109986.
47. Hosseini, M., Nabavi, S.B., Golshani, R., Nabavi, S.N. and Raeesi sarasiab, A., 2016. The heavy metals pollution (Cd, Co, Pb, Cu and Ni) in sediment, liver and muscles tissues of flounder *Psettodes erumei* from Busheher Province, Persian Gulf. *Journal of Animal Research (Iranian Journal of Biology)*. 28(4): 441-449. (In Persian)
48. Ahmed, Q., Ali, Q.M. and Bat, L., 2017. Assessment of heavy metals concentration in Holothurians, sediments and water samples from coastal areas of Pakistan (northern arabian sea). *Journal of coastal life medicine*. 5(5): 191-201.
49. Khaled, A., Abdel-Halim, A., El-Sherif, Z. and Mohamed, L.A., 2017. Health risk assessment of some heavy metals in water and sediment at Marsa-Matrouh, Mediterranean Sea, Egypt. *Journal of Environmental Protection*. 8(01): 74.