



## Original Research Paper

## Study of the bioaccumulation pattern of heavy metals in the soft tissue of rocky oyster (*Saccostrea cucullata*) on the northern coast of Makoran sea

Yasaman Firuzkuhi, Mehran Loghmani\*

Marine Biology Department, Marine Science Faculty, Chabahar Maritime University, Chabahar, Iran

### Key Words

Rocky oyster  
Heavy metals  
*Saccostrea cucullata*  
Makoran

### Abstract

**Introduction:** The use of bivalves as bioindicator species to assess marine environmental pollution has always been of interest to researchers.

**Materials & Methods:** In this study, the accumulation of heavy metals of copper, nickel and cadmium in the soft tissue of rocky oyster (*Saccostrea cucullata*) during the two seasons of autumn 2020 and spring 2021 in 4 stations of Gowatr, Beris, Ramin and Tis on the northern shores of Makoran Sea was investigated. After sampling and separating of soft tissue, according to standard instructions, it was dried, weighed and chemically digested, and the concentration of metals was determined by atomic absorption spectrometry.

**Results:** According to the results, in both autumn and spring, the accumulation pattern was copper <nickel <cadmium, and a significant difference was observed between the seasons ( $p < 0.05$ ). In autumn, among the stations, the highest value was for copper metal, Gowatr ( $268.48 \pm 61.42$ ), nickel ramin pier ( $9.06 \pm 0.75$ ) and cadmium tis pier ( $0.182 \pm 0.09$   $\mu\text{g/g}$  dry weight) also in spring, for Ramin copper metal ( $229.82 \pm 49.19$ ) for nickel goiter metal ( $14.72 \pm 4.21$ ) and for cadmium metal ( $0.095 \pm 0.002$   $\mu\text{g/g}$  dry weight) The highest values were recorded. There was a significant difference between stations in each season ( $p < 0.05$ ). Copper metal has always had the highest accumulation in soft tissue due to its necessity.

**Conclusion:** Compared to international standard FAO, nickel metal had a higher concentration, which due to the lack of related industries in the study area, the natural origin can be the main reason for its existence.

\* Corresponding Author's email: [loghmani.mehran@gmail.com](mailto:loghmani.mehran@gmail.com)

Received: 24 June 2021; Reviewed: 28 July 2021; Revised: 1 October 2021; Accepted: 1 November 2021

(DOI): [10.22034/AEJ.2021.311057.2666](https://doi.org/10.22034/AEJ.2021.311057.2666)

## مقاله پژوهشی

## بررسی الگوی تجمع زیستی فلزات سنگین در بافت نرم اویستر صخره‌ای (*Saccostrea cucullata*) در سواحل شمالی دریای مکران

یاسمن فیروزکوهی، مهران لقمانی\*

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

## چکیده

## کلمات کلیدی

**مقدمه:** استفاده از دو کفه‌ای‌ها به‌عنوان گونه‌های شاخص زیستی جهت ارزیابی آلودگی‌های محیط زیست دریایی همواره مورد توجه محققین بوده است.

**مواد و روش‌ها:** در این تحقیق میزان تجمع فلزات سنگین مس، نیکل و کادمیوم در بافت نرم اویستر صخره‌ای (*Saccostrea cucullata*) در طی دو فصل پاییز ۱۳۹۹ و بهار ۱۴۰۰ در ۴ ایستگاه گواتر، بریس، رمین و تیس در سواحل شمالی دریای مکران مورد بررسی قرار گرفت. پس از نمونه‌برداری و جدا نمودن بافت نرم طبق دستورالعمل‌های استاندارد، رطوبت‌گیری، توزین و هضم شیمیایی شد و غلظت فلزات به کمک دستگاه جذب اتمی Varian Spectr AA۲۲۰ تعیین گردید.

**نتایج:** طبق نتایج، در هر دو فصل پاییز و بهار الگوی تجمع به‌صورت مس > نیکل > کادمیوم بوده و بین فصول، اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ( $p < 0/05$ ). در فصل پاییز در بین ایستگاه‌ها، بالاترین مقادیر برای فلز مس اسکله گواتر ( $268/61 \pm 48/42$ )، نیکل اسکله رمین ( $9/06 \pm 0/75$ ) و کادمیوم اسکله تیس ( $0/182 \pm 0/09$ ) میکروگرم بر گرم وزن خشک) و در فصل بهار، برای فلز مس رمین ( $229/82 \pm 49/19$ ) برای فلز نیکل گواتر ( $14/72 \pm 4/21$ ) و برای فلز کادمیوم ( $0/095 \pm 0/002$ ) میکروگرم بر گرم وزن خشک) در تیس ثبت گردید. میان ایستگاه‌ها از نظر غلظت فلزات در هر فصل اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ( $p < 0/05$ ). فلز مس به‌دلیل ضروری بودن، همواره بالاترین میزان تجمع در بافت نرم را داشته است.

**بحث و نتیجه‌گیری:** در مقایسه با استاندارد جهانی FAO تنها فلز نیکل غلظت بالاتری داشت که با توجه به عدم وجود صنایع مرتبط در منطقه مورد مطالعه، منشاء طبیعی می‌تواند عامل اصلی آن باشد.

## مقدمه

است. پساب‌های شهری نیز به این آب‌های بکر در حال آسیب رساندن است (۸). خلیج گواتر در جنوب‌شرقی ایران، اقیولیت مکران در بالادست منطقه مورد مطالعه منبع ژئوژئیک مهمی است که فلزات سنگین را از طریق رودخانه باهوکلالت به خلیج گواتر وارد می‌کند. هم‌چنین، چندین منطقه کشتی‌سازی، مزارع مختلف پرورش ماهی و میگو در ساحل خلیج گواتر وجود دارد که می‌توانند به‌عنوان منابع بالقوه انسانی فلزات سنگین عمل کنند. دو بندر بریس و رمین از مهم‌ترین بنادر صیادی سواحل شمالی مکران هستند. Keshavarzi و همکاران، بیان کردند که منابع اصلی آلودگی فلزات سنگین در رمین و بریس مرتبط با تعمیرات و سوخت‌گیری شناورهای بزرگ و کوچک در این مناطق و تخلیه فاضلاب‌های شناورها است (۹). در ارتباط با مطالعات انجام شده درباره میزان تجمع فلزات سنگین در اویستر *S. cucullata* می‌توان به Abkenar و همکاران در جاسک، پزم، گواتر (۱۰)، Nourozifard و همکاران در جزیره قشم (۱۱)، Shakeri و همکاران، در خلیج چابهار (۱۲)، Delshab و همکاران در سواحل عسلویه (۱۳)، Bani Amam و همکاران در بندرلنگه (۱۴) اشاره نمود. در این مطالعات، میزان تجمع فلزات مختلف در بافت نرم و پوسته در فصول و ایستگاه‌های متفاوت مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در مطالعه حاضر نیز با توجه به اهمیت پایش آلودگی در محیط زیست آبیان، بررسی تغییرات میزان تجمع سه فلز کادمیوم، مس و نیکل در طی دو فصل در سواحل شمالی مکران (تیس، بریس، خلیج گواتر، رمین) در بافت نرم اویستر و رسوب از اهداف تحقیق بوده است.

## مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری طی دو فصل پاییز (آبان ۱۳۹۹) و بهار (اردیبهشت ۱۴۰۰) از سواحل جزر و مدی صخره‌ای چهار ایستگاه در سواحل شمالی دریای مکران شامل گواتر، بریس، رمین و تیس که مناطق تجاری، کشتیرانی و صیادی بسیار مهم هستند، صورت گرفت. موقعیت ایستگاه‌ها در شکل ۱ و جدول ۱ نشان داده شده است. در هر فصل، از هر ایستگاه ۱۰ نمونه کامل اویستر جمع‌آوری و پس از شستشوی گل و رسوبات پوسته صدف با آب دریا (۱۵) به آزمایشگاه در ظروف مخصوص حاوی پودر یخ انتقال یافتند. در آزمایشگاه پس از بیومتری هر نمونه، با استفاده از کاردک فولادی قسمت سخت دوکفه‌ای باز و بافت نرم آن‌ها خارج گردید و تا زمان سنجش غلظت فلزات در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (۱۶). در زمان سنجش، کل بافت نرم پس از یخ‌زدایی و قرار گرفتن در دمای محیط به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد برای رسیدن به وزن ثابت در دستگاه آون قرار گرفته و خشک شدند.

آلودگی محیط‌زیست یکی از مهم‌ترین چالش‌های جامعه مدرن است. فلزات سنگین بیش‌تر از طریق مجاری خروجی فاضلاب رودخانه‌ها یا رسوبات جوی به اکوسیستم‌های دریایی منتقل می‌شوند و می‌توانند در آب دریا تجمع یابند که با توجه به تجمع و بزرگ‌نمایی زیستی در اندام‌های مختلف آبیان در محیط آبی، حتی با غلظت بسیار کم در نهایت، می‌توانند سلامت انسان را از طریق زنجیره غذایی مانند مصرف صدف دریایی و دیگر آبیان خوراکی آلوده تهدید کنند (۱). در سال‌های اخیر، آلودگی و مسمومیت توسط فلزات سنگین به دلیل ماندگاری و تجمع‌زیستی در محیط و هم‌چنین، غیرقابل تجزیه بودن به یک موضوع زیست محیطی مهم و نگران‌کننده در سراسر جهان تبدیل شده است (۲). غلظت کلی آلاینده‌ها متداول‌ترین شاخص‌هایی هستند که در ارزیابی مخاطرات بهداشتی مواد غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما، ممکن است همیشه به‌طور مؤثری میزان واقعی غلظت آلاینده‌های خوراکی را منعکس نکنند (۳). امروزه با توجه به توسعه صنایع، کشاورزی و فعالیت‌های انسانی، منجر به افزایش استفاده از فلزات سنگین شده است و تعداد زیادی از فلزات سمی در محیط دریایی آزاد می‌شوند که به دلیل جذب و تجمع جدی آن‌ها در گونه‌های آبی، به‌ویژه در گونه‌های مختلف نرم‌تنان صدفی، تأثیر نامطلوبی بر آن‌ها و مصرف‌کنندگان آن‌ها مانند انسان دارد (۲). اویستر صخره‌ای جزء پرطرفدارترین صدف‌های خوراکی در اکثر نقاط جهان محسوب می‌شود و به‌عنوان یک ماده غذایی مهم در مناطق ساحلی به‌طور گسترده مصرف می‌شود (۴). اویسترها به دلیل ویژگی فیلترکنندگی می‌توانند فلزات سنگین را از طریق تغذیه در آب دریا جمع کنند و سپس، به‌عنوان طعمه برای موجودات دریایی دیگر این فلزات سمی را به سطوح تغذیه‌ای بالاتر انتقال دهند (۵)، از طرفی به دلیل تحمل بالای آن‌ها در شرایط متنوع محیطی و بی‌تحریکی طولانی مدت توانایی انباشت بالای آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات سنگین را دارند که به‌همین دلیل، جزو مهم‌ترین گونه‌های شاخص آلودگی محیطی محسوب می‌شوند (۶). دریای عمان مسیر ورودی آب‌شیرین از طریق دریای عرب و اقیانوس هند به خلیج فارس و نیز یک مسیر حیاتی حمل و نقل برای کشورهای تولیدکننده نفت در خلیج فارس است. خلیج چابهار که در خط ساحلی مکران در استان سیستان و بلوچستان، جنوب‌شرقی ایران واقع شده است و یک بندر و منطقه آزاد صنعتی در سواحل مکران است (۷). امروزه این خلیج در معرض میزان زیادی از مخاطرات آلودگی قرار دارد. توسعه صنایعی از قبیل پتروشیمی، تخلیه فاضلاب از شناورها، قایق‌ها و مخازن آب توازن، منبع قابل توجهی از آلاینده‌های محیط‌زیست دریایی در خلیج چابهار

نمونه‌ها، فلزات مورد بررسی با استفاده از دستگاه جذب اتمی ۲۲۰ VarianSpectrAA سیستم شعله برای سنجش فلز مس و کوره برای سنجش فلز کادمیوم و نیکل استفاده شد. در نهایت، با استفاده از رابطه ۱ غلظت اصلی نمونه‌ها برحسب وزن خشک آن‌ها محاسبه شد

$$C_r = C_i \cdot V/m \quad (18): \text{رابطه ۱}$$

$C_r$ : غلظت اصلی فلز مورد نظر،  $C_i$ : غلظت دستگاه،  $V$ : حجم نهایی (۲۵ میلی‌لیتر)،  $m$ : وزن خشک انتخاب شده

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام گرفت. ابتدا، نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگراف اسمیرنوف بررسی شد. برای مقایسه بین ایستگاه‌ها، از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه و در صورت معنی‌دار بودن، پس‌آزمون توکی استفاده شد. برای مقایسه بین دو فصل از آزمون تی-تست مستقل استفاده شد و همبستگی بین داده نیز با آزمون پیرسون مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت، نمودارها با استفاده از Excel ۲۰۱۵ رسم گردیدند.

## نتایج

**نتایج زیست‌سنجی اویستر صخره‌ای:** در جدول ۲ نتایج زیست‌سنجی اویستر صخره‌ای در طی دو فصل نشان داده شده است. آزمون آماری، اختلاف معنی‌داری را در تغییرات میانگین کل پارامتر وزن با تغییرات پارامتر طول همگن بود. به طوری که، مورد پارامتر طول بین دو فصل در هر ایستگاه نشان نداد ( $p > 0.05$ ). فصل پاییز با میانگین کل طول  $6/49 \pm 0/84$  میلی‌متر نسبت به فصل بهار با میانگین کل  $5/64 \pm 0/81$  میلی‌متر بالاتر بوده است. تغییرات میانگین کل پارامتر وزن با تغییرات پارامتر طول همگن بود. به طوری که، در فصل پاییز و بهار به ترتیب، میانگین کل برابر بوده است:  $62/93 \pm 14/9$  و  $43/11 \pm 12/1$  گرم. آزمون آماری اختلاف معنی‌داری را در پارامتر وزن بین دو فصل در هر ایستگاه نشان داد ( $p < 0.05$ ).



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه برداری در سواحل شمالی دریای مکران

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
گوآتر	۲۵° ۱۱' N	۶۱° ۲۹' E
بریس	۲۵° ۰۸' N	۶۱° ۱۰' E
رمین	۲۵° ۱۶' N	۶۰° ۴۴' E
تیس	۲۵° ۲۱' N	۶۰° ۳۵' E

نمونه‌های خشک شده با استفاده از هاون چینی برای همگن کردن بافت، پودر گردیدند و تا شروع مراحل بعدی در دمای یخچال نگه‌داری شدند. جهت انجام فرآیند هضم اسیدی، ۱ گرم نمونه بافت پودر و همراه با ۱۰ میلی‌لیتر اسیدنیتریک غلیظ (۶۵٪ مرک آلمان) داخل لوله‌های شیشه‌ای ریخته شد. سپس، به مدت ۱ ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۳ ساعت در دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد برای هضم کامل در داخل ترمو راکتور گرما داده شدند. پس از انجام هضم اسیدی، نمونه‌ها از صافی گذرانده و سپس با آب دیونیزه به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شدند (۱۷). در نهایت، پس از آماده‌سازی

جدول ۲: مقایسه پارامترهای زیست‌سنجی اویستر صخره‌ای (*S. cucullata*) (میانگین  $\pm$  انحراف معیار) مناطق نمونه‌برداری سواحل شمالی

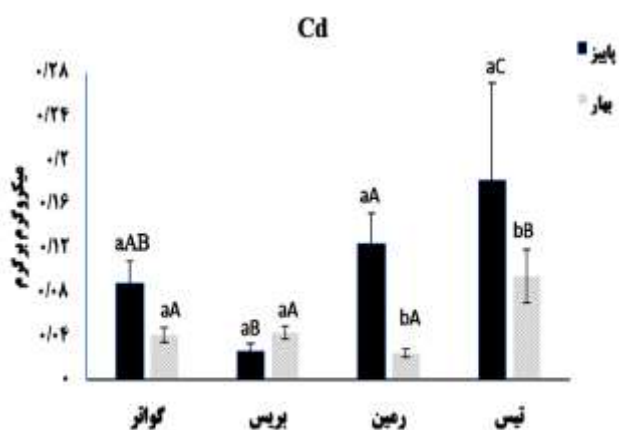
### مکران در دو فصل پاییز و بهار

نام ایستگاه	پاییز		بهار	
	طول (میلی‌متر)	وزن (گرم)	طول (میلی‌متر)	وزن (گرم)
گوآتر	$7/16 \pm 0/2^a$	$77/9 \pm 22/2^a$	$5/52 \pm 1/3^a$	$39/61 \pm 16/9^b$
بریس	$7/4 \pm 1/3^a$	$64/1 \pm 5/2^a$	$5/84 \pm 0/4^a$	$56/9 \pm 8/7^b$
رمین	$4/9 \pm 1/0.2^a$	$46/9 \pm 17/3^a$	$5/66 \pm 0/7^a$	$32/8 \pm 7/7^b$
تیس	$4/7 \pm 0/9^a$	$24/5 \pm 8/13^a$	$5/34 \pm 0/6^a$	$30/3 \pm 6/5^b$

\* مقایسه آماری طول در دو فصل و وزن در دو فصل حروف همسان نشان‌دهنده عدم معنی‌داری و حروف ناهمسان نشان‌دهنده معنی‌داری است.

( $P < 0/05$ ). پس آزمون توکی نشان داد که ایستگاه‌های گواتر و رمین با دو ایستگاه دیگر دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند.

در بررسی تغییرات غلظت فلزات در فصل بهار (اشکال ۲-۴)، در فلز کادمیوم الگوی تجمع زیستی نسبت به پاییز متفاوت‌تر و به صورت تیس < بریس < گواتر < رمین بوده است. بین ایستگاه‌های مختلف اختلاف آماری معنی‌دار بوده ( $P < 0/05$ ) و ایستگاه تیس با سه ایستگاه گواتر، بریس و رمین دارای اختلاف آماری معنی‌دار است ( $P < 0/05$ ). برای فلز نیکل ایستگاه گواتر که در فصل پاییز کم‌ترین مقدار را دارا بوده در این فصل، بیش‌ترین غلظت نیکل در این ایستگاه به ثبت رسید و بر این اساس، الگوی تجمع زیستی به صورت گواتر < بریس < رمین < تیس بود. آزمون آماری نشان داد که فلز نیکل دارای اختلاف آماری معنی‌دار در بین ایستگاه‌ها بوده ( $P < 0/05$ ) و به علاوه ایستگاه گواتر با سه ایستگاه بریس، تیس و رمین دارای اختلاف آماری معنی‌دار بوده است ( $P < 0/05$ ). نتایج نشان داد که تجمع زیستی فلز مس در ایستگاه رمین بیش‌تر از دیگر ایستگاه‌ها و الگوی تجمع زیستی به صورت رمین < گواتر < تیس < بریس بود که نسبت به فصل پاییز متفاوت‌تر می‌باشد. نتایج آزمون آماری در شکل ۴ نشان داد که بین ایستگاه‌ها در این فصل، اختلافات معنی‌داری وجود داشته است ( $P < 0/05$ ).



شکل ۲: مقایسه میانگین ( $\pm$  انحراف معیار) غلظت فلز کادمیوم

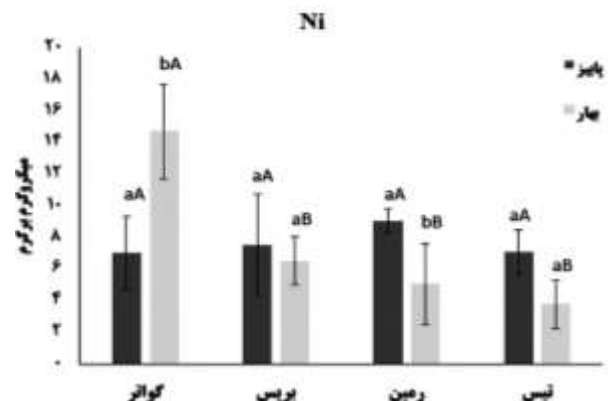
(میکروگرم بر گرم وزن خشک) در بین ایستگاه‌ها و فصول مختلف حروف هم‌نام کوچک، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌داری بین فصول و حروف هم‌نام بزرگ، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌داری بین ایستگاه‌ها می‌باشد.

### بررسی الگوی تجمع فلزات سنگین در بافت نرم اویستر:

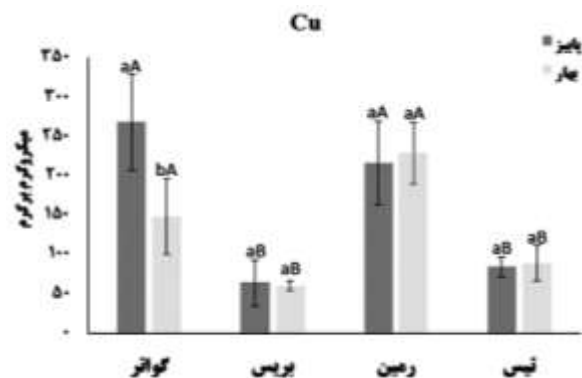
نتایج نشان داد (اشکال ۲، ۳ و ۴) که در ایستگاه گواتر غلظت فلزات مس و کادمیوم در فصل بهار به جز فلز نیکل بالاتر از فصل پاییز بوده است. در این ایستگاه، بالاترین غلظت مربوط به مس ( $268/5 \pm 61/4$ ) میکروگرم بر گرم وزن خشک) و در پاییز بوده است. نتایج آزمون تی تست نشان داد که به غیر از فلز کادمیوم، سایر فلزات بین دو فصل دارای اختلاف معنی‌داری بوده‌اند ( $P < 0/05$ ). در ایستگاه بریس تجمع فلزات مس و نیکل به جز کادمیوم، در فصل پاییز بیش‌تر از بهار بود و بالاترین و کم‌ترین میزان غلظت فلزات به ترتیب مربوط به مس با  $64/28 \pm 11/8$  و کادمیوم با  $0/03 \pm 0/07$  هر دو در پاییز بوده است. همچنین، براساس آزمون آماری بین فلزات در دو فصل اختلاف آماری معنی‌داری وجود نداشت ( $P > 0/05$ ). در ایستگاه رمین، تجمع فلزات کادمیوم و نیکل به جز مس در فصل پاییز بیش‌تر از بهار بود و بالاترین مقدار فلز مربوط به مس با  $229/8 \pm 49/2$  میکروگرم بر گرم وزن خشک بوده که برخلاف دو ایستگاه ماقبل در فصل بهار به ثبت رسید. در این ایستگاه، کادمیوم با  $0/02 \pm 0/03$  کم‌ترین غلظت را در دو فصل دارا بود. آزمون آماری اختلاف معنی‌داری را بین مس و نیکل در بین فصول نشان داد ( $P < 0/05$ ). در ایستگاه تیس، غلظت فلزات نیکل و کادمیوم به جز مس، در فصل پاییز بیش‌تر از بهار و همانند سایر ایستگاه‌ها، بالاترین غلظت فلز مربوط به مس ( $89/31 \pm 4/9$ ) میکروگرم بر گرم وزن خشک) بوده ولی همانند ایستگاه رمین و برخلاف ایستگاه‌های گواتر و بریس، این مقدار در فصل بهار ثبت گردید. کادمیوم با  $0/02 \pm 0/095$  کم‌ترین مقدار را در فصل بهار در این ایستگاه داشته است و تنها فلزی بوده که بین دو فصل اختلاف معنی‌دار را نشان داده است ( $P < 0/05$ ).

نتایج بررسی تغییرات غلظت فلز کادمیوم در ایستگاه‌های مختلف در فصل پاییز، نشان داد (شکل ۲) که تجمع زیستی این فلز در ایستگاه تیس بیش‌تر از دیگر ایستگاه‌ها و الگوی کلی تجمع زیستی به صورت تیس < رمین < گواتر < بریس بود. آزمون آماری تحلیل واریانس یک‌طرفه اختلاف معنی‌داری را بین ایستگاه‌ها نشان داد ( $P < 0/05$ ). همچنین، پس آزمون توکی نشان داد که مقادیر ایستگاه تیس با سایر ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌داری دارد سایر نتایج در شکل ۲ مشخص شده است. الگوی تجمع زیستی برای فلز نیکل در فصل پاییز بین ایستگاه‌ها به صورت رمین < بریس < تیس < گواتر بوده است (شکل ۳). آزمون آماری بین ایستگاه‌های مورد مطالعه اختلاف آماری معنی‌داری نشان نداد ( $P > 0/05$ ). در این فصل، تجمع زیستی فلز مس در ایستگاه گواتر بیش‌تر از سایر ایستگاه‌ها بوده (شکل ۴) و الگوی تجمع زیستی به صورت گواتر < رمین < تیس < بریس به دست آمد. براساس آزمون، بین ایستگاه‌های مختلف دارای اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد

فلزات در فصول مختلف و سیکل متفاوت زندگی صدف‌ها، بررسی آن‌ها از نظر فصلی بسیار مهم است (۱۹). محققین بافت نرم صدف را مناسب‌ترین قسمت نرم‌تنان برای پایش آلودگی فلزات در محیط‌های آبی معرفی کردند (۲۰). همان‌طور که در نتایج نشان داده شده غلظت فلزات سنگین در تمام ایستگاه‌ها و دو فصل سرد و گرم دارای نوسان بودند. براساس گفته محققین، سطوح مختلف فلزات سنگین در دو کفه‌ای‌های گوناگون ممکن است به دلیل تفاوت در ویژگی‌های تجمع زیستی فلزات سنگین باشد (۲۱). همچنین، بیان شده است که غلظت فلزات سنگین در بافت خوراکی دو کفه‌ای‌ها به‌طور عمده تحت تأثیر عوامل محیطی (اسیدیته، دما، شوری آب دریا) و عوامل فیزیولوژیکی (بافت‌ها، اندام‌ها و عادات تغذیه) قرار دارد. طبق نتایج، الگوی تجمع فلزات سنگین مطالعه حاضر در هر دو فصل و تمامی ایستگاه‌ها به‌صورت مس < نیکل < کادمیوم به‌دست آمد. همان‌طور که مشخص است، بیش‌ترین تجمع زیستی برای فلز مس ثبت شد. محققین بیان کردند که نرم‌تنان فلز مس را برای ساخت هموسیانین جهت انجام فرآیند تنفس به‌کار می‌برند و به‌همین دلیل، مس دارای بیش‌ترین غلظت است (۱۱، ۲۲). کمبود فلز مس در موجودات می‌تواند باعث اختلالات ایمنی، از دست دادن اشتها و توقف رشد شود. باین‌حال، مطالعات نشان داده است که مصرف بیش از حد آن می‌تواند منجر به بروز اثرات نامطلوب برای سلامتی و حتی ایجاد بیماری شود (۲۳). مقایسه نتایج Bani Amam و همکاران که حاصل بررسی غلظت فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) در بافت عضله صدف مرواریدساز (*Pinctada radiata*) بندر لنگه بود (۱۴)، با مطالعه حاضر نشان داد که غلظت فلز کادمیوم (۲۶/۵) بسیار بالاتر از مطالعه حاضر است که علت آن را تردد بالای نفت‌کش‌ها در منطقه مورد مطالعه بیان کرده بودند. مقایسه غلظت فلزات سنگین تحقیق Sadeghi و همکاران، با مطالعه حاضر که میزان تجمع غلظت فلزات سنگین (سرب، نیکل و کادمیوم) را در دو کفه‌ای *Callista multiradiata* در دو فصل تابستان و زمستان در خور هاله بررسی کردند (۲۴)، نشان داد که غلظت فلز نیکل در فصل زمستان پایین‌تر از غلظت این فلز در فصل بهار و پاییز مطالعه حاضر بود. فلز کادمیوم فصل زمستان حدوداً با مطالعه حاضر هم‌خوانی داشت. غلظت فلز نیکل در فصل زمستان بسیار بالاتر از غلظت فلز نیکل فصل بهار و پاییز مطالعه حاضر بود. اما الگوی پراکنش فلز نیکل و کادمیوم در این مطالعه با مطالعه حاضر هم‌خوانی داشت. Movahedi و همکاران، میزان غلظت فلزات سنگین (کادمیوم، مس، روی و سرب) در دو کفه‌ای *Corbicula fluminalis* را بررسی (۲۵) و مقایسه نتایج مطالعه آن‌ها با مطالعه حاضر، نشان داد که توالی غلظت فلزات مس و کادمیوم مشابه مطالعه حاضر است. اما، میانگین غلظت فلز مس در این مطالعه بسیار پایین‌تر و فلز



شکل ۳: مقایسه میانگین (±انحراف معیار) غلظت فلز نیکل (میکروگرم بر گرم وزن خشک) در بین ایستگاه‌ها و فصول مختلف حروف هم‌نام کوچک، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌داری بین فصول و حروف هم‌نام بزرگ، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌داری بین ایستگاه‌ها می‌باشد.



شکل ۴: مقایسه میانگین (±انحراف معیار) غلظت فلز مس (میکروگرم بر گرم وزن خشک) در بین ایستگاه‌ها و فصول مختلف حروف هم‌نام کوچک، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌داری بین فصول و حروف هم‌نام بزرگ، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌داری بین ایستگاه‌ها می‌باشد.

## بحث

یک ویژگی قابل توجه اویستر *S. cucullata* در سواحل دریای عمان، توانایی آن در تجمع و پراکنش بسیار زیاد است و با توجه به اهمیت آن به‌عنوان یک صدف خوراکی مهم در تغذیه انسان، بنابراین یکی از گونه‌های مناسب جهت بررسی غلظت فلزات سنگین در محیط است. تغذیه از صدف‌هایی که قدرت جذب بالایی از فلزات را دارند، نگران‌کننده است. صدف‌های خوراکی از جمله *S. cucullata* دارای ارزش غذایی و اقتصادی بالایی بوده و به‌همین دلیل، آنالیز تجمع فلزات سنگین در آن‌ها به‌عنوان نشانگر زیستی محیط‌های آبی در دوره‌های نزدیک به هم برای حفظ سلامت مصرف‌کنندگان این صدف و بررسی غلظت آلاینده‌ها بسیار مهم است. به‌علت تفاوت جذب

جدول ۲: مقایسه غلظت فلزات مطالعه حاضر با دیگر مطالعات در

آب‌های داخل و خارج کشور در بافت نرم *S. cucullata*

منبع	منطقه	کادمیوم	نیکل	مس
۳۱	جزیره گرمسیری تایلند	---	۰/۴۶	۸/۴
۱۱	جزیره قشم	۵۱/۰۹	۱۲/۹۴	۲۰۶/۰۳
۱۳	ساحل عسلویه	۱/۵۴	۰/۲۶	۲۸۳/۷۸
۲۸	جزیره قشم	۵/۲۲	۴۳/۸۵	---
۳۲	جنوب جزیره قشم	۱/۷	---	۳۷/۹
۲۲	سواحل خلیج چابهار	---	۶/۶۲	۱۸۷/۵
مطالعه حاضر فصل پاییز	سواحل شمای دریای مکران	۰/۱	۷/۶۷	۱۵۸/۳۷
مطالعه حاضر فصل بهار	سواحل شمای دریای مکران	۰/۰۵۱	۷/۵۲	۱۳۲/۱۲

در جدول ۳، مقایسه غلظت فلزات سنگین مطالعه حاضر با برخی از استانداردهای جهانی نشان‌دهنده امنیت غلظت فلزات مس و کادمیوم در بافت نرم اویستر صخره‌ای بود. اما غلظت فلز نیکل بالاتر از استانداردهای WHO، FAO و FDA به‌دست آمد بنابراین، باید عوامل آلودگی نیکل شناسایی و کنترل گردد.

جدول ۳: مقایسه غلظت فلزات سنگین در بافت نرم دوکفه‌ای با برخی از استانداردهای جهانی (برحسب میکروگرم بر گرم در وزن تر)

استاندارد	کادمیوم	نیکل	مس	منبع
WHO	---	۰/۲	۱۰	۳۳
FAO	۲	۰/۵	۱۰-۳۰	۳۳
FDA	۳	۰/۸	۱۱/۵	۳۴
-	۰/۰۱۳	۱/۳	۲۴/۷	مطالعه حاضر

بررسی مطالعه حاضر نشان داد که الگوی تجمع فلزات مس، کادمیوم و نیکل در ایستگاه‌ها و فصول مختلف متغیر می‌باشد که می‌تواند به استراتژی تغذیه‌ای و شدت تغذیه در فصل و منابع آلاینده در هر ایستگاه مرتبط باشد. به‌طوری‌که، اسکله رمین و گواتر به‌دلیل تردد زیاد شناورهای صیادی و باری همواره از آلودگی بالاتری به نسبت سایر اسکله‌ها برخوردار بودند. فلز مس دارای بالاترین مقدار در بافت نرم اویستر در تمام فصول و ایستگاه‌ها بوده و دلیل آن این است که وجود این فلز برای حیات صدف ضروری است. از طرفی، فلز نیکل هم در مقایسه با استانداردهای جهانی با وجود این‌که غیرضروری است، به نسبت بالا بوده که نشان می‌دهد میزان دستیابی صدف به این فلز به‌ویژه در ایستگاه‌های رمین و گواتر در سواحل شمالی مکران بالاست. هرچند منبع اصلی این آلاینده منشأ زمین‌ساختی ذکر شده، ولی نیازمند بررسی دقیق‌تر می‌باشد.

کادمیوم بالاتر از غلظت این دو فلز در مطالعه حاضر بود. Safahieh و همکاران، غلظت فلزات سرب، نیکل، مس و کادمیوم را در صدف *Solen roseomaculatus* بوشهر مورد بررسی قرار دادند (۲۶). مقایسه این مطالعه با مطالعه حاضر نشان داد که میزان فلز نیکل و کادمیوم بالاتر از مطالعه حاضر بود. اما تجمع فلز مس بسیار پایین‌تر از تحقیق حاضر بود و الگوی تجمع فلز نیز با مطالعه حاضر هم‌خوانی نداشت و میزان نیکل بیش‌تر از مس بود. Rajaei و همکاران، غلظت فلز کادمیوم، کروم، منگنز و سرب را در صدف مرواریدساز (*Pinctada radiata*) جزایر هندورابی و لاوان بررسی کردند (۲۷). مقایسه نتایج مطالعه مذکور نشان داد که فلز کادمیوم نسبتاً بالاتر از مطالعه حاضر است. 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 (۲۸) نشان داد که غلظت نیکل و کادمیوم این مطالعه بالاتر از مطالعه حاضر است. در مطالعه Einollahi Pir و همکاران که بر روی تجمع فلزات مس، نیکل و سرب در رسوب و بافت نرم صدف اویستر صخره‌ای (*S. cucullata*) خلیج چابهار بود (۲۲)، مشخص شد که میزان فلز مس همانند مطالعه حاضر بسیار بالا بود و هم‌چنین، حضور نیکل مس در بافت نرم حدوداً با مطالعه حاضر هم‌خوانی داشت. Shakouri و Gheytasi، تجمع فلزات سنگین اویستر صخره‌ای (*S. cucullata*) را در خلیج چابهار بررسی کردند (۱۲) که مقایسه نتایج نشان داد، غلظت هر سه فلز نیکل، مس و کادمیوم بسیار بیش‌تر از مطالعه حاضر است. در سال‌های اخیر موارد بسیاری مانند افزایش تردد کشتی‌ها، صنعتی شدن و افزایش جمعیت خلیج چابهار و دریای عمان سبب آلودگی این منطقه تجاری مهم شده است (۹)، (۲۹) که بالطبع با توجه به نوع تغذیه دوکفه‌ای اویستر، آلاینده‌ها مؤثر خواهند بود و به‌نظر می‌رسد یکی از دلایل بالا بودن میزان تجمع فلزات نسبت به مطالعات قبلی منطقه باشد و در مقایسه با سایر نقاط، علت تفاوت در غلظت فلزات سنگین مطالعه حاضر با مطالعات دیگر، معمولاً شرایط محیطی و جغرافیایی متفاوت، تفاوت روش دفع فضلاب‌های شهری و صنعتی، گونه‌های مختلف، تفاوت در عادات تغذیه، جنسیت، سن، اندازه، شرایط متفاوت در سنجش و فعالیت‌های آزمایشگاهی، است (۳۰). در جدول ۲ مقایسه برخی تحقیقات انجام شده در ارتباط با غلظت فلزات در گونه اویستر صخره‌ای با مطالعه حاضر ارائه شده است. این مقایسه نشان داد که غلظت فلزات در مناطق مختلف با یکدیگر تفاوت دارند. مطالعات متعدد علت تفاوت‌ها در تجمع زیستی فلزات را عوامل مختلفی هم‌چون تفاوت‌های جغرافیایی در طول و عرض، گونه‌های متفاوت و اثرات متفاوت فعالیت‌های انسانی بیان کردند (۳۰).

## منابع

- radiata*) in Lengeh port (Persian Gulf), 20th marine industry conference, Tehran, Marine Engineering Association of Iran. (In Persian)
15. **Parafkande Haghghi, F., 2000.** The methods of aquatics age determination. Iranian Fisheries Research Organization. Management of Information Science and International Relations. 80 p.
  16. **Staniskiene, B., Matusevicius, 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.
  17. **Zhou, J., Ma, D., Pan, J., Nie, W. and Wu, K., 2008.** Application of multivariate statistical approach to identify heavy metal sources in sediment and waters: a case study in Yangzhong, China. Environmental Geology. 54: 373-380.
  18. **Berman, R.G., 1990.** Mixing properties of Ca-Mg-Fe-Mn garnets. American Mineralogist. 75(3-4): 328-344.
  19. **Talebi Matin, M., Shamsaee Mehrjan, M. and Haghbayan, S., 2013.** A comparative study of heavy metal concentrations of nickel and cadmium in the rock attached oyster (*Saccostrea cucullata*) and in sediments at the part of coastal province of Bushehr (Deir seaport). Journal of Marine Biology. 5(1): 25-34. (In Persian)
  20. **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.
  21. **Rajaram, R., Ganeshkumar, A. and Vinothkannan, A., 2020.** Health risk assessment and bioaccumulation of toxic metals in commercially important finfish and shellfish resources collected from Tuticorin coast of Gulf of Mannar, Southeastern India. Marine Pollution Bulletin. 159: 111469.
  22. **Einollahi Pir, F., Safahiyeh, A., Dadollahi Sohrab, A. and Savari, A., 2012.** Accumulation of heavy metals (copper, lead and nickel) in the sediment and bivalve *Saccostrea cucullata* in the intertidal area of Chabahar. Iranian Journal of Marine Science and Technology. 10(2): 10-25. (In Persian)
  23. **Zhao, S., Feng, C., Quan, W., Chen, X., Niu, J. and Shen, Z., 2012.** Role of living environments in the accumulation characteristics of heavy metals in fishes and crabs in the Yangtze River Estuary, China. Marine Pollution Bulletin. 64(6): 1163-1171.
  24. **Sadeghi, M.S., Sajjadi, N. and Javadian Farzaneh, N., 2017.** Evaluation of heavy metals (Pb, Ni, Cd) in soft tissues *Callista multiradiata* in Haleh zone (Hormozgan province). Iranian Journal of Biological Sciences. 12(3): 1-7. (In Persian)
  25. **Movahedi, H., Fattollahi, M., Pir Ali, E. and Zamani Ahmad Mahmoudi, R., 2016.** The Bivalve *Corbicula fluminalis* (Müller, 1774): An Indicator for Heavy Metals Accumulation in the Habitat of Zayandeh-Roud River. Journal of Aquatic Ecology. 6(3): 33-44. (In Persian)
  26. **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)
  27. **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 Hendourabi and Lavan Islands, the Persian Gulf. Journal of Natural Environment. 68(1): 45-52. (In Persian)
  28. **Alavian Petroody, S.S., Hamidian, A.H., Eagderi, S. and Ashrafi, S., 2015.** Investigation on the Concentration of
  1. **Rajeshkumar, S. and Li, X., 2018.** Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake. China. Toxicology reports. 5: 288-295.
  2. **Sobihah, N.N., Zaharin, A.A., Nizam, M.K., Juen, L.L. and Kyoung-Woong, K., 2018.** Bioaccumulation of heavy metals in maricultured fish, *Lates calcarifer* (Barramudi), *Lutjanus campechanus* (red snapper) and *Lutjanus griseus* (grey snapper). Chemosphere. 197: 318-324.
  3. **Amiard, J.C., Amiard-Triquet, C., Charbonnier, L., Mesnil, A., Rainbow, P.S. and Wang, W.X., 2008.** Bioaccessibility of essential and non-essential metals in commercial shellfish from Western Europe and Asia. Food and Chemical Toxicology. 46(6): 2010-2022.
  4. **Lin, S. and Hsieh, L.J., 1999.** Occurrences of green oyster and heavy metals contaminant levels in the Sien-San area, Taiwan. Marine Pollution Bulletin. 38(1): 960-965.
  5. **He, M., Ke, C.H., Tian, L. and Li, H.B., 2016.** Bioaccessibility and health risk assessment of Cu, Cd, and Zn in "colored" oysters. Archives of environmental contamination and toxicology. 70(3): 595-606.
  6. **Han, J.L., Pan, X.D., Chen, Q. and Huang, B.F., 2021.** Health risk assessment of heavy metals in marine fish to the population in Zhejiang, China. Scientific Reports. 11(1): 1-9.
  7. **Agah, H., Bastami, K.D. and Fumani, N.S., 2016.** Ecological risk, source and preliminary assessment of metals in the surface sediments of Chabahar Bay, Oman Sea. Marine Pollution Bulletin. 107(1): 383-388.
  8. **Hosseini, R., Sayadi, M.H., Aazami, J. and Savabieasfehiani, M., 2020.** Accumulation and distribution of microplastics in the sediment and coastal water samples of Chabahar Bay in the Oman Sea, Iran. Marine Pollution Bulletin. 160: 111682.
  9. **Keshavarzi, B., Ebrahimi, P., Moore, F. and Hamzeh, M.A., 2013.** Geochemistry and distribution of heavy metals in coastal and marine sediments of Chabahar Bay. *Advanced Applied Geology*. 3(7): 74-81. (In Persian)
  10. **Abkenar, A.M., Yahyavi, M., Esmaeili, M. and Rombenso, A., 2021.** High bioaccumulation factors and ecological risk index of Cd and Hg in Indian white shrimp, hooded oyster, brown algae, and Sediment in northern coasts of the Gulf of Oman before and after a monsoon. Regional Studies in Marine Science. 41: 101552.
  11. **Nourozifard, P., Mortazavi, S., Asad, S. and Hassanzadeh, N., 2020.** Using *Saccostrea cucullata* as a biomonitor of heavy metals (Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, and Cr) in water and sediments of Qeshm Island, Persian Gulf. *Ecopersia*. 8(3): 181-190.
  12. **Shakouri, A. and Gheytsi, H., 2018.** Bioaccumulation of heavy metals in oyster (*Saccostrea cucullata*) from Chabahar Bay coast in Oman Sea: Regional, seasonal and size-dependent variations. Marine Pollution Bulletin. 126: 323-329.
  13. **Delshab, H., Farshchi, P., Mohammadi, M. and Moattar, F., 2017.** Assessment of heavy metals contamination and its effects on oyster (*Saccostrea cucullata*) biometry parameters in the Asaluyeh port coasts, Persian Gulf, Iran. International Journal of Environmental Studies. 74: 1031-1043.
  14. **Bani Amam, M., Maschinian Moradi, A., Mostafavi, P. and Matinsirat, A., 2017.** Investigating the accumulation of lead and cadmium heavy metals in the muscle tissue and gonad of the pearl oyster (*Pinctada*



- heavy metals Ni, Cd and Pb in different ages bivalve *Saccostrea cucullata* and compared with international standards. Journal of Natural Environment. 68(2): 239-246. (In Persian)
29. **Sadeghi, P. and Darbazi, M., 2016.** Assessment of heavy metals concentration Cu, Ni and Zn in *Acanthopleura vaillantii* in the coast of Chabahar Bay. Journal of Aquatic Ecology. 6(3): 115-123. (In Persian)
30. **Yilmaz, A.B., Yanar, A. and Alkan, E.N., 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.
31. **Kobkeatthawin, T., Sirivithayapakorn, S., Nitiratsuwat, T., Muenhor, D., Loh, P.S. and Pradit, S., 2021.** Accumulation of Trace Metal in Sediment and Soft Tissue of *Strombus canarium* in a Tropical Remote Island of Thailand. Journal of Marine Science and Engineering. 9(9): 991.
32. **Kazemi, A., Riyahi Bakhtiari, A.R., Kheirabadi, N., Karami, A.M. and Haidari, B., 2013.** Survey of heavy metal accumulation in the rocky oyster (*Saccostrea cucullata*) on the southern intertidal coast of Qeshm Island, Persian Gulf. Journal of Fisheries, Islamic Azad University, Azadshahr Branch. 7(3): 1-7. (In Persian)
33. **Shulkin, V.M., Presley, B.J. and Kavun, V.I., 2003.** Metal concentrations in mussel *Crenomytilus grayanus* and oyster *Crassostrea gigas* in relation to contamination of ambient sediments. Environment International. 29(4): 493-502.
34. **Liu, J.H. and Kueh, C.S.W., 2005.** Biomonitoring of heavy metals and trace organics using the intertidal mussel *Perna viridis* in Hong Kong coastal waters. Marine Pollution Bulletin. 51: 857-875.